

平成28年度 (2016年度)

年 次 報 告 書

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻
Department of Physics, Graduate School of Science
Osaka University

はじめに

この年次報告書は、大阪大学大学院理学研究科・物理学専攻の2016年度(2016年4月～2017年3月)の教育・研究・社会貢献などの活動とその成果をまとめたものです。その目的は、学内外への情報発信と私たち自身の自己評価に資することです。

物理学専攻の基幹講座には、大きく分けて、素粒子・原子核理論、素粒子・原子核実験、物性理論、物性実験、それに学際物理学の合計5つの研究グループ(大講座)があります。これらの基幹講座の各研究グループは、豊中キャンパスに活動の拠点を置き、教員と博士研究員、大学院生などにより研究・教育を推進しています。

研究面については、物理学専攻の基幹講座のメンバーは、物理学専攻の協力講座や専攻外の学内の研究室、さらに日本国内の大学や研究機関と協力しています。また、米国、欧州、アジアなどの海外の大学や研究機関とも広く共同研究を行い、世界をリードする多くの優れた研究成果をあげています。

教育においては、数多くの優秀な学生や若手研究者を育成し、社会に送り出しています。リーディング大学院「物質科学カデットプログラム」や理学研究科の高度博士人材養成プログラムに参画し、これまでの博士教育とは異なる大学院教育を模索しております。さらに、海外から大学院留学生を受け入れて英語による講義を行う International Physics Course (IPC) を設置し、国際化を推進しています。

また、高校での出前講義などの多くの社会貢献も進めております。

現在、政府主導の大学改革が予想外のスピードで進められており、私共物理学専攻も無関係ではられません。また、この原稿を書いている日(2017年3月23日)には、ネイチャーのこの十年間に日本の科学研究が失速したとの記事についても報道がなされました。このように、私共を取り巻く制度・環境は激動しています。この年次報告書の基礎データを、このような状況において専攻の進むべき道を探るための一助とし、物理学分野の発展、社会の発展に寄与するよう努めてまいりたいと思っております。

2017年度物理学専攻長 浅川 正之

この年次報告の中で人名の肩に付けた記号の説明

s = スタッフ・メンバー

i = 招へい教員、招へい研究員

p = 科研費・運営費などによる特任研究員

t = その他の経費による特任研究員

PD = 日本学術振興会特別研究員 (PD)

DC = 日本学術振興会特別研究員 (DC)

d = 博士後期課程学生

m = 博士前期課程（修士課程）学生

b = 学部学生

*=国際会議講演，学会講演等において実際に登壇した人

目次

第 1 章	各研究グループの研究活動報告	1
1.1	岸本グループ	1
1.2	久野グループ	12
1.3	下田グループ	22
1.4	核物質学研究グループ	32
1.5	山中（卓）グループ	44
1.6	小林グループ	50
1.7	田島グループ	62
1.8	豊田グループ	71
1.9	野末グループ	74
1.10	花咲グループ	83
1.11	素粒子理論グループ	91
1.12	原子核理論グループ	110
1.13	黒木グループ	120
1.14	動的量子多体系の理論グループ	129
1.15	越野グループ	133
1.16	阿久津グループ	137
第 2 章	受賞と知的財産	138
第 3 章	学位論文	140
3.1	修士論文	140
3.2	博士論文	144
第 4 章	教育活動	146
4.1	大学院授業担当一覧	146
4.2	学部授業担当一覧	160
4.3	共通教育授業担当一覧	163
4.4	物理学セミナー	167
第 5 章	物理談話会，南部コロキウム	168
5.1	物理談話会	168
5.2	南部コロキウム	169

第 6 章	学生の進路状況など	171
6.1	学部卒業生の進路	171
6.2	博士前期課程修了者の進路	172
6.3	International Physics Course (IPC) 前期課程修了者の進路	173
6.4	博士後期課程修了者の進路	174
6.5	International Physics Course (IPC) 後期課程修了者の進路	174
6.6	学生のインターンシップ参加	175
第 7 章	リーディング大学院「インタラクティブ物質科学・カデットプログラム」	176
7.1	プログラムの目的	176
7.2	プログラムの概要・特徴	176
7.3	平成 28 年度の活動	177
第 8 章	理数オナープログラム	181
8.1	平成 28 年度活動概観	181
8.2	オナーセミナー	182
8.3	自主研究と発表会	183
8.4	大学院科目等履修生, リーディング大学院生との関係	184
8.5	オナープログラム参加者の活動記録	184
第 9 章	国際化推進事業	186
9.1	International Physics Course (IPC)	186
第 10 章	大学院等高度副プログラム	188
10.1	プログラムの目的	188
10.2	基礎理学計測学	188
10.3	放射線科学	189
第 11 章	国際交流活動	191
11.1	目的	191
11.2	活動の内容	191
11.3	海外研究機関訪問、海外からの来訪者など	191
11.4	部局間学術交流協定	193
11.5	海外研究機関での集中講義および阪大における海外拠点との国際会議・シンポジウム	193
11.6	その他	195
第 12 章	湯川記念室	196
12.1	平成 28 年度活動概観	196
12.2	第 32 回湯川記念講演会	196
12.3	その他	197

第 13 章 社会活動	198
13.1 物理学科出張講義の記録	198
13.2 連携講座	201
13.3 最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2016	203
13.4 高校生のための物理学科一日体験入学	205
13.5 「いちょう祭」「まちかね祭」などにおける施設の一般公開	207
13.6 理科教育セミナー	208
13.7 日本物理学会第 72 回年次大会 (2017 年) の開催	210
第 14 章 大阪大学オープンキャンパス (理学部)	211
第 15 章 平成 28 年度の年間活動カレンダー	212
第 16 章 物理学専攻における役割分担	213
第 17 章 グループ構成 (平成 28 年度)	216

第1章 各研究グループの研究活動報告

1.1 岸本グループ

平成 28 年度の研究活動概要

^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究 –宇宙の物質起源の解明–

我々の宇宙は、「物質」だけで構成されており「反物質」が存在する証拠はない。この「宇宙における物質と反物質の非対称性問題」の有力な解として、レプトジェネシスシナリオが期待されている。このシナリオが成立するためには、レプトン数を破る「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊」の実験的観測が不可欠である。この「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊」は、非常に稀な事象 (半減期 $> 10^{26-27}$ 年) であるため、実験的観測では、如何にバックグラウンドを減らした高感度の検出器を作れるかが鍵となる。

我々は、二重ベータ崩壊研究を目的として、 ^{48}Ca を標的原子核とした CANDLES 計画を推進している。 ^{48}Ca は全ての二重ベータ崩壊原子核のなかで最も Q 値が高いので、本質的

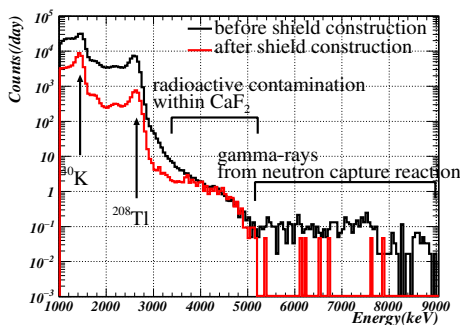


図 1.1: CANDLES III システムの CaF_2 シンチレータで得られたエネルギースペクトル。黒ヒストグラムが遮蔽システム導入前、赤ヒストグラムが遮蔽システム導入後のエネルギースペクトルである。5 MeV 以上のエネルギー領域において、事象量が大きく低減できていることがわかる。これは、遮蔽システムによって、中性子捕獲反応から放出された γ 線が低減されているためである。

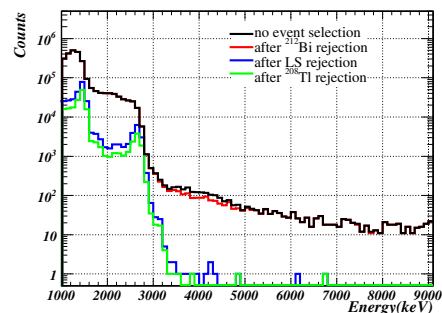


図 1.2: CANDLES III システムの CaF_2 シンチレータで得られたエネルギースペクトル。21 日の測定データに、各種イベントセレクションを行うことで得られた。本図の緑ヒストグラムが、バックグラウンド事象である液体シンチレータ事象、 ^{212}Bi 事象、 ^{208}Tl 事象を除去したあとに得られたスペクトルである。 $Q_{\beta\beta}$ 値付近に事象がないことが確認できる。

に放射性バックグラウンドの少ない環境での測定を実現しやすい。CANDLES 検出器では、さらにバックグラウンドを低減するために、この ^{48}Ca を含む CaF_2 シンチレータを液体シンチレータ中に設置する。測定では、それぞれのシンチレータの信号特性の違いを利用して、 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊信号とバックグラウンド事象の弁別を行う。このことにより、バックグラウンドの少ない高感度測定を実現する。

今年度は、昨年導入した遮蔽システムの性能評価、および、低バックグラウンド測定を行った。本システムは、検出器外の原子核による中性子捕獲反応から放出された γ 線を遮蔽するとともに、検出器内に中性子が入ってこないように中性子を効果的に遮蔽するためのシステムである。この中性子捕獲反応から放出される γ 線は、二重ベータ崩壊測定の主なバックグラウンドであり、遮蔽システムによって二重ベータ崩壊測定感度が大きく改善されることが予想される。

図 1.1 は、CANDLES システムの CaF_2 シンチレータで、遮蔽システム導入前後に得られたエネルギースペクトルを示している。中性子捕獲反応から放出される γ 線が主な事象となる 5 MeV 以上のエネルギー領域において、事象量が大きく低減していることがわかる。図 1.2 には、二重ベータ崩壊測定用の事象選択を行った結果のエネルギースペクトルを示す。これは、測定時間 21 日で得られたエネルギースペクトルである。遮蔽システム導入前は、 ^{48}Ca の $Q_{\beta\beta}$ 値 (4.27 MeV) にバックグラウンド事象が観測されていたが、遮蔽システム導入によって、現在、そのエネルギー領域に事象は観測されていない。現時点では、測定時間が短いため、二重ベータ崩壊半減期測定の下限值は 6.9×10^{21} 年とまだ短い。しかし、今後、継続して低バックグラウンド測定を継続することで、 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊半減期の世界最高感度を達成する見込みである。

ストレンジネス核物理

ストレンジネスの自由度を導入した新たな原子核について研究を行っている。原子核中の核子はアップとダウクォークで構成されている。これらと異なるストレンジクォークを原子核中に導入することにより、原子核の性質の変化、新たに現れる相互作用と現象などに関する研究が可能となる。これに関連した以下の研究を進めている。

大質量の恒星が超新星爆発の後に、ブラックホールに成らず中性子星として残る質量限界は、中性子星中の高密度核物質の状態方程式で決まる。状態方程式は未知の部分が多いが、 \bar{K} 中間子凝縮をはじめとする中性子星中のストレンジネスの存在が状態方程式に大きく影響すると考えられている。この \bar{K} 中間子凝縮と関連する \bar{K} 中間子原子核の研究を進めている。 \bar{K} 中間子凝縮が起こるには、 \bar{K} 中間子と原子核の間に強い引力がはたらくことが必要条件である。これまでに実施した (K^-, p) および (K^-, n) 反応の研究で (KEK-PS E548 実験)、ホウ素から酸素程度の質量の原子核と \bar{K} 中間子の間に、ポテンシャルの深さで約 200 MeV の強い引力がはたらくという結果が得られている。この手法をヘリウム程度の質量領域の原子核に適用した研究 (J-PARC E15 実験) を進めている。

ストレンジネスを持つバリオンの一つである Λ ハイペロンを原子核に埋め込んだ Λ ハイパー核の研究を行っている。2 重荷電交換 (π^-, K^+) 反応による中性子過剰 Λ ハイパー核生成実験 (J-PARC E10 実験) のデータおよび理論解析を進めている。 Λ ハイペロンを追加することで、中性子過剰原子核がより安定になる効果が期待され、原子核の存在限界を拡大できる可能性がある。また、 ΛN - ΣN 混合と呼ばれる現象に起因する、 Λ ハイパー核に特徴

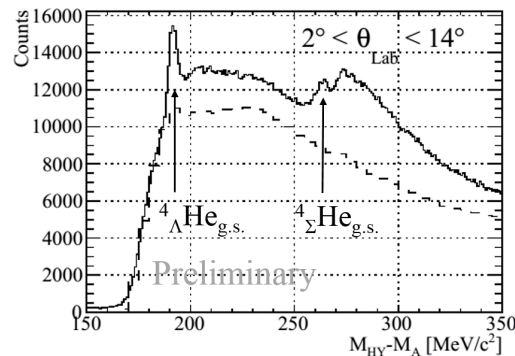


図 1.3: J-PARC E13 実験の初期データ解析で得られた ${}^4\text{He}(K^-, \pi^-)X$ 反応の missing-mass スペクトラム (実線)。破線は $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ 崩壊からのバックグラウンドの寄与の見積もりを示す。スペクトラム中に ${}^4_\Lambda\text{He}$ ハイパー核の基底状態の生成に対応するピーク (${}^4_\Sigma\text{He}_{\text{g.s.}}$) が明確に観測された。

的な相互作用が現れると期待されるが、その相互作用の大きさに関する情報が中性子過剰 Λ ハイパー核から得られる可能性がある。

Λ ハイペロンを 2 個原子核に導入すると、ダブル Λ ハイパー核が生成でき、2 個の Λ ハイペロン間の相互作用に関する情報が得られる。しかし、ダブル Λ ハイパー核の生成はこれまで数例しかなく、十分な情報が得られていない。多数のダブル Λ ハイパー核を生成するため、2 個のストレンジクォークを導入可能な (K^-, K^+) 反応と、ハイブリッド・エマルジョン法と呼ばれる手法を用いたダブル Λ ハイパー核生成実験 (J-PARC E07 実験) を開始した。

ストレンジネスを持つ他のバリオンとして Σ ハイペロンがある。 Σ ハイペロンを原子核中に埋め込んだものは Σ ハイパー核と呼ばれるが、これまでに発見された Σ ハイパー核は 1 種 (${}^4_\Sigma\text{He}$) のみで、その基底状態の存在だけが実験的に知られている。このため Σ ハイペロンと原子核の相互作用についての情報は十分ではない。 Σ ハイペロンと原子核の相互作用のより詳しい情報を得るため、 (K^-, π^-) 反応を用いて Σ ハイパー核の励起状態を探索する実験 (J-PARC E13 実験) を実施しデータ解析を進めている。初期解析により、 ${}^4_\Sigma\text{He}$ ハイパー核の基底状態生成が明確に観測されており (図 1.3 参照)、励起状態の情報を引き出すための解析を行っている。

学術雑誌に出版された論文

Studies of high density baryon matter with high intensity heavy-ion beams at J-PARC

H. Sako, H. Harada, T. Sakaguchi, T. Chujo, S. Esumi, T. Gunji, S. Hasegawa, S.H. Hwang, Y. Ichikawa, K. Imai, K. Itakura, M. Kaneta, B.C. Kim, M. Kinsho, M. Kitazawa, Y. Liu, H. Masui, S. Nagamiya, K. Nishio, M. Okamura, K. Oyama, K. Ozawa, P.K. Saha, A. Sakaguchi^s, S. Sato, K. Shigaki, H. Sugimura, K. Tanida, J. Tamura, H. Tamura, Y. Nara, T.R. Saito (J-PARC Heavy-Ion Collaboration)

Nucl. Phys. A **956** (Dec.) (2016) 850-853
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nuclphysa.2016.03.030>).

High purity NaI(Tl) scintillator to search for dark matter

Ken-Ichi Fushimi, Hiroyasu Ejiri, Ryuta Hazama, Haruo Ikeda, Kunio Inoue, Kyoshiro Imagawa, Gakuji Kanzaki, Alexandre Kozlov, Reiko Orito, Tatsushi Shima, Yasuhiro Takemoto^p, Yuri Teraoka, Saori Umehara^p, Sei Yoshida^s
JPS Conf. Proc. **11** (Nov.) (2016) 020003 1-6
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.11.020003>).

Search for electron antineutrinos associated with gravitational wave events GW150914 and GW151226 using KamLAND

A. Gando, Y. Gando, T. Hachiya, A. Hayashi, S. Hayashida, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Karino, M. Koga, S. Matsuda, T. Mitsui, K. Nakamura, S. Obara, T. Oura, H. Ozaki, I. Shimizu, Y. Shirahata, J. Shirai, A. Suzuki, T. Takai, K. Tamae, Y. Teraoka, K. Ueshima, H. Watanabe, A. Kozlov, Y. Takemoto^p, S. Yoshida^s, K. Fushimi, A. Piepke, T.I. Banks, B.E. Berger, B.K. Fujikawa, T. O'Donnell, J.G. Learned, J. Maricic, M. Sakai, L.A. Winslow, E. Krupczak, J. Ouellet, Y. Efremenko, H.J. Karwowski, D.M. Markoff, W. Tornow, J.A. Detwiler, S. Enomoto, M.P. Decowski (KamLAND Collaboration)
Astrophys. J. **829** (No. 2, Oct.) (2016) L34 1-5
(<http://dx.doi.org/doi:10.3847/2041-8205/829/2/L34>).

Status and future prospect of ⁴⁸Ca double beta decay search in CANDLES

T. Iida^p, K. Nakajima, S. Ajimura, T. Batpurev^d, W.M. Chan^d, K. Fushimi, R. Hazama, H. Kakubata, B.T. Khai, T. Kishimoto^s, X. Li^d, T. Maeda, A. Masuda, K. Matsuoka, K. Morishita, N. Nakatani, M. Nomachi, S. Noshiro, I. Ogawa, T. Ohata^d, H. Osumi, K. Suzuki, Y. Tamagawa, K. Tesuno, V.T.T. Trang^d, T. Uehara, S. Umehara^p, S. Yoshida^s
J. Phys. Conf. Ser. **718** (Sept.) (2016) 062026 1-5
(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1742-6596/718/6/062026>).

Search for Majorana Neutrinos near the Inverted Mass Hierarchy Region with KamLAND-Zen

A. Gando, Y. Gando, T. Hachiya, A. Hayashi, S. Hayashida, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Karino, M. Koga, S. Matsuda, T. Mitsui, K. Nakamura, S. Obara, T. Oura, H. Ozaki, I. Shimizu, Y. Shirahata, J. Shirai, A. Suzuki, T. Takai, K. Tamae, Y. Teraoka, K. Ueshima, H. Watanabe, A. Kozlov, Y. Takemoto^p, S. Yoshida^s, K. Fushimi, T.I. Banks, B.E. Berger, B.K. Fujikawa, T. O'Donnell, L.A. Winslow, Y. Efremenko, H.J. Karwowski, D.M. Markoff, W. Tornow, J.A. Detwiler, S. Enomoto, M.P. Decowski
Phys. Rev. Lett. **117** (No. 8, Aug.) (2016) 082503 1-6
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.117.082503>).

The CANDLES experiment for the study of ^{48}Ca double beta decay

T. Iida^p, T. Kishimoto^s, M. Nomachi, S. Ajimura, S. Umehara^p, K. Nakajima, K. Ichimura, S. Yoshida^s, K. Suzuki, H. Kakubata, W. Wang^d, W.M. Chan^d, V.T.T. Trang^d, M. Doi-hara, T. Ishikawa, D. Tanaka, M. Tanaka, T. Maeda, T. Ohata^d, K. Tetsuno^d, Y. Tamagawa, I. Ogawa, S. Tomita, G. Fujita, A. Kawamura, T. Harada, Y. Inukai, K. Sakamoto, M. Yoshizawa, K. Fushimi, R. Hazama, N. Nakatani, H. Osumi, K. Okada

Nucl. Part. Phys. Proc. **273-275** (Apr.-June) (2016) 2633-2635

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.013>).

Near threshold angular distributions of the $^2\text{H}(\gamma, \Lambda)X$ reaction

B. Beckford, P. Bydžovský, A. Chiba, D. Doi, T. Fujii, Y. Fujii, K. Futatsukawa, T. Gogami, O. Hashimoto, R. Honda^p, K. Hosomi, H. Kanda, M. Kaneta, Y. Kaneko, S. Kato, D. Kawama, C. Kimura, S. Kiyokawa, T. Koike, K. Maeda, K. Makabe, M. Matsubara, K. Miwa, S. Nagao, S.N. Nakamura, A. Okuyama, K. Shirotori, K. Sugihara, H. Tamura, K. Tsukada, K. Yagi, F. Yamamoto, T.O. Yamamoto, Y.C. Han, K. Hirose, T. Ishikawa, K. Suzuki, T. Tamae, H. Yamazaki

PTEP **2016** (No. 6, June) (2016) 063D01 1-9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw071>).

Interference effect between ϕ and $\Lambda(1520)$ production channels in the $\gamma p \rightarrow K^+K^-p$ reaction near threshold

S.Y. Ryu, J.K. Ahn, T. Nakano, D.S. Ahn, S. Ajimura, H. Akimune, Y. Asano, W.C. Chang, J.Y. Chen, S. Date, H. Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Fukui, S. Hasegawa, K. Hicks, K. Horie, T. Hotta, S.H. Hwang, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, K. Kino, H. Kohri, Y. Kon, N. Kumagai, P.J. Lin, Y. Maeda, S. Makino, T. Matsuda, N. Matsuoka, T. Mibe, M. Miyabe, M. Miyachi, Y. Morino, N. Muramatsu, R. Murayama, Y. Nakatsugawa, S.I. Nam, M. Niyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ohta, T. Ooba, D.S. Oshuev, J.D. Parker, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi^s, T. Sawada, P.M. Shagin, Y. Shiino, H. Shimizu, E.A. Stokovskiy, Y. Sugaya, M. Sumihama, A.O. Tokiyasu, Y. Toi, H. Toyokawa, T. Tsunemi, M. Uchida, M. Ungaro, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R.G.T. Zegers

Phys. Rev. Lett. **116** (No. 23, June) (2016) 232001 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.116.232001>).

Study of the elementary (K^-, n) reactions to search for the K^-NN boundstate via the $^3\text{He}(K^-, n)$ reaction at J-PARC

Takumi Yamaga, S. Ajimura, G. Beer, C. Berucci, H. Bhang, M. Bragadireanu, P. Buehler, L. Busso, M. Cargnelli, S. Choi, C. Curceanu, S. Enomoto, D. Faso, H. Fujioka, Y. Fujiwara, T. Fukuda, C. Guaraldo, T. Hashimoto, R.S. Hayano, T. Hiraiwa, M. Iio, M.

Iliescu, K. Inoue, Y. Ishiguro, T. Ishikawa, S. Ishimoto, T. Ishiwatari, K. Itahashi, M. Iwai, M. Iwasaki, K. Kanno, K. Kato, Y. Kato, S. Kawasaki, P. Kienle, T. Kim, H. Kou, Y. Ma, J. Marton, Y. Matsuda, Y. Mizoi, O. Morra, T. Nagae, H. Noumi, H. Ohnishi, S. Okada, H. Ota, K. Piscicchia, A. Romero Vidal, Y. Sada, A. Sakaguchi^s, F. Sakuma, M. Sato, A. Scordo, M. Sekimoto, H. Shi, K. Shirotori, D. Sirghi, F. Sirghi, K. Suzuki, S. Suzuki, T. Suzuki, K. Tanida, H. Tatsuno, M. Tokuda, D. Tomono, A. Toyoda, K. Tsukada, O. Vazquez Doce, E. Widmann, B.K. Wuenschek, T. Yamazaki, H. Yim, Q. Zhang, J. Zmeskal

AIP Conf. Proc. **1735** (No. 1, May) (2016) 040007 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.4949467>).

Structure near $K^- + p + p$ threshold in the in-flight ${}^3\text{He}(K^-, \Lambda p)n$ reaction

Y. Sada, S. Ajimura, M. Bazzi, G. Beer, H. Bhang, M. Bragadireanu, P. Buehler, L. Busso, M. Cargnelli, S. Choi, C. Curceanu, S. Enomoto, D. Faso, H. Fujioka, Y. Fujiwara, T. Fukuda, C. Guaraldo, T. Hashimoto, R.S. Hayano, T. Hiraiwa, M. Iio, M. Iliescu, K. Inoue, Y. Ishiguro, T. Ishikawa, S. Ishimoto, T. Ishiwatari, K. Itahashi, M. Iwai, M. Iwasaki, Y. Kato, S. Kawasaki, P. Kienle, H. Kou, Y. Ma, J. Marton, Y. Matsuda, Y. Mizoi, O. Morra, T. Nagae, H. Noumi, H. Ohnishi, S. Okada, H. Ota, K. Piscicchia, A. Romero Vidal, A. Sakaguchi^s, F. Sakuma, M. Sato, A. Scordo, M. Sekimoto, H. Shi, D. Sirghi, F. Sirghi, K. Suzuki, S. Suzuki, T. Suzuki, K. Tanida, H. Tatsuno, M. Tokuda, D. Tomono, A. Toyoda, K. Tsukada, O. Vazquez Doce, E. Widmann, B.K. Wuenschek, T. Yamaga, T. Yamazaki, H. Yim, Q. Zhang, J. Zmeskal

PTEP **2016** (No. 5, May) (2016) 051D01 1-11

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw040>).

国際会議における講演等

Recent progress of search for ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ via the ${}^6\text{Li}(\pi^-, \text{K}^+)\text{X}$ reaction in J-PARC E10

R. Honda^{p*}

Strangeness Nuclear Physics 2017 (at Osaka, Mar. 12-14, 2017), Japan

The result of search for ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ via the ${}^6\text{Li}(\pi^-, \text{K}^+)\text{X}$ reaction in J-PARC

R. Honda^{p*}

International Symposium on Neutron Star Matter (NSMAT2016) (at Sendai, Nov. 21-24, 2016), Japan

Search for excited state of ${}^4_{\Sigma}\text{He}$ hypernucleus in the J-PARC E13 experiment

M. Nakagawa^{d*}

International Symposium on Neutron Star Matter (NSMAT2016) (at Sendai, Nov. 21-24,

2016), Japan

Double hypernuclei experiment with hybrid emulsion method at J-PARC (poster)

S. Hayakawa^{d*}

International Symposium on Neutron Star Matter (NSMAT2016) (at Sendai, Nov. 21-24, 2016), Japan

Development of an aerogel Cherenkov counter for the Σp scattering experiment (poster)

K. Kobayashi^{m*}

International School for Strangeness Nuclear Physics (SNP School 2016) (at Sendai, Nov. 18-20, 2016), Japan

Low background double beta decay search in CANDLES

Takashi Iida^{p*}

International Workshop on Double Beta Decay and Underground Science (DBD16) (at Osaka, Nov. 8-10, 2016), Japan

Development and performance evaluation of CaI_2 scintillator crystal for dark matter search (poster)

Takashi Iida^{p*}

International Workshop on Double Beta Decay and Underground Science (DBD16) (at Osaka, Nov. 8-10, 2016), Japan

Search For Neutrino-less Double Beta Decay Of ^{48}Ca -Candles-

S. Umehara^{p*}

The 26th International Nuclear Physics Conference (INPC 2016) (at Adelaide, Sept. 11-16, 2016), Australia

Study of $^{12}_{\Lambda}\text{Be}$ Neutron-rich Hypernucleus Production via the $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \pi^+)$ Reaction at 1.8 GeV/c at J-PARC (poster)

R. Honda^{p*}

The 26th International Nuclear Physics Conference (INPC 2016) (at Adelaide, Sept. 11-16, 2016), Australia

Development of scintillating bolometer for ^{48}Ca neutrinoless double beta decay search (poster)

Konosuke Tetsuno^{d*}

XXVII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (at London, July

4-9, 2016), UK

Development of Calcium Iodide scintillator for future dark matter search (poster)

T. Iida^{p*}

Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2016 (at Tokyo, May 11-13, 2016), Japan

日本物理学会, 応用物理学会等における講演

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (114) CANDLES 実験の現状

梅原さおり^{p*}, 他 CANDLES Collaboration

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (115) 検出器遮蔽による (n, γ) 事象の低減

飯田崇史^{p*}, Michael Moser for the CANDLES collaboration

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (116) バックグラウンドの除去と見積もり

太畑貴綺^{d*} for the CANDLES Collaboration

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (117) 液体シンチレータのエネルギー較正

片桐誠也^{m*}, 吉田斉^s, 他 CANDLES コラボレーション

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (118)-次世代 CANDLES 検出器 Scintillating Bolometer の開発

李曉龍^{d*}, 鉄野高之介^d, Ken Keong Lee, 石川雅啓, 吉田斉^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

MPPC を使用した大強度ビーム測定用高速応答・高時間分解能検出器の開発

赤石貴也^{b*}, 浅野秀光, 阪口篤志^s, 白鳥昂太郎, 野海博之, 高橋智則, 本多良太郎^p, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

大型液体シンチレータ検出器における近傍超新星観測トリガの改良

竹本康浩^{p*}

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

J-PARC E40 実験のための粒子飛行情報を用いるトリガーシステムの開発

中田祥之 ^{d*}, 赤澤雄也, 池田迪彦, 小澤祥太郎, 小林和也 ^m, 阪口篤志 ^s, 長谷川勝一, 藤岡徳菜, 本多良太郎 ^p, 三輪浩司

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学, 2017 年 3 月 17 日 - 3 月 20 日)

J-PARC E13 実験における $^4\text{He}(\text{K}^-, \pi^-)$ 反応を用いた ^4_2He の励起状態の探索 (4)

中川真菜美 ^{d*} for the J-PARC E13 collaboration

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学, 2017 年 3 月 17 日 - 3 月 20 日)

Study of ^{180m}Ta Decay by Ultra-low Background HPGe Detector

Chan Wei Min ^{d*}, 岸本忠史 ^s, 梅原さおり ^p, 松岡健次, 吉田斉 ^s, 他 CANDLESCollaboration

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学, 2017 年 3 月 17 日 - 3 月 20 日)

神岡地下における環境中性子起因高エネルギー γ 線フラックスの測定

四ツ永直輝 ^{m*}, 吉田斉 ^s, 飯田崇史 ^p, 中島恭平, 他中性子測定コンソーシアムおよび CANDLES コラボレーション

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学, 2017 年 3 月 17 日 - 3 月 20 日)

汎用のメモリーモジュール、高速 TDC, ADC モジュール

本多良太郎 ^{p*}

新学術領域「中性子星核物質」第二回検出器ワークショップ (於 東工大岡山キャンパス, 2017 年 3 月 4 日)

FPGA を用いた high-resolution TDC の開発

本多良太郎 ^{p*}

新学術領域「中性子星核物質」第 5 回ウィンタースクール・研究会 (於 福島, 2017 年 2 月 16 日 - 18 日)

宇宙暗黒物質探索のためのヨウ化カルシウムシンチレータの開発

飯田崇史 ^{p*}

ダークマターの懇談会 (於 神戸大学, 2017 年 1 月 27 日 - 28 日)

 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究

飯田崇史 ^{p*}

平成 28 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会 (於 東京大学, 2016 年 12 月 9 日 - 10 日)

The CANDLES project aiming for the low background frontier

飯田崇史 ^{p*}

新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 2016（於 石川県山代温泉、2016年11月28日 - 30日）

J-PARC 二次ビームライン高強度化に向けた Front-end electronics の開発状況

本多良太郎 *p**

計測システム研究会（於 J-PARC、2016年10月13日 - 14日）

J-PARC ハドロン実験のための汎用ロジック回路、Hadron Universal Logic module の開発

本多良太郎 *p**

Open-It 若手研究会（於 阿蘇、2016年10月5日 - 7日）

Σp 散乱実験用エアロゲルチェレンコフ検出器の開発

小林和也 *m**, 赤澤雄也, 池田迪彦, 小澤祥太郎, 河合秀幸, 阪口篤志 *s*, 田端誠, 中田祥之 *d*, 本多良太郎 *p*, 三輪浩司

日本物理学会 2016年秋季大会（於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日）

J-PARC ハドロン実験のための汎用ロジック回路、Hadron Universal Logic module の開発

本多良太郎 *p**, 三輪浩司, 細見健二, 池野正弘, 内田智久

日本物理学会 2016年秋季大会（於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日）

Σp 散乱実験用エアロゲルチェレンコフ検出器の開発

小林和也 *m**, 赤澤雄也, 池田迪彦, 小澤祥太郎, 河合秀幸, 阪口篤志 *s*, 田端誠, 中田祥之 *d*, 本多良太郎 *p*, 三輪浩司

日本物理学会 2016年秋季大会（於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日）

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (109) CANDLES 実験の現状

竹本康浩 *p** for the CANDLES Collaboration

日本物理学会 2016年秋季大会（於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日）

J-PARC E05 pilot run における $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \pi^+)\text{X}$ スペクトラムの取得

本多良太郎 *p** for the J-PARC E05 Collaboration

日本物理学会 2016年秋季大会（於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日）

J-PARC K1.8 ビームラインにおけるハイブリッド・エマルジョン法を用いたダブルハイパー核探索実験

早川修平 *d**, J-PARC E07 collaboration

日本物理学会 2016年秋季大会（於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日）

J-PARC E13 実験における $^4\text{He}(\text{K}^-, \pi^-)$ 反応を用いた $^4_\Sigma\text{He}$ の励起状態の探索 (3)中川真菜美 ^{d*} for the E13 collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (110) Methods for Reduction of Multi-Crystal BackgroundsTemuge Batpurev ^{d*} for the CANDLES collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (111) 検出器遮蔽後の BG の評価太畑貴綺 ^{d*} for the CANDLES Collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (113) 二重ベータ崩壊のためのシンチレーティングボロメーターの開発鉄野高之介 ^{d*} for the CANDLES Collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

宇宙暗黒物質探索のためのヨウ化カルシウムシンチレータの開発飯田崇史 ^{p*}, 鎌田圭

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

1.2 久野グループ

平成28年度の研究活動概要

久野グループでは、荷電レプトン・フレーバー非保存過程を探索する研究 (COMET 実験と DeeMe 実験)、大強度ミューオン源 MuSIC の開発、 $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ 崩壊分岐比の精密測定 (PIENU 実験) やスーパーカミオカンデ実験への参加などを行っている。

COMET ミューオン・電子転換過程 [$\mu^- + N \rightarrow e^- + N$] は、荷電レプトン・フレーバー保存則を破るため、標準理論では強く抑制されている。しかしながら、超対称性大統一理論や超対称性シーソー理論、余剰次元など標準理論を超える新しい物理モデルでは、現在の実験感度を数桁向上させることで、観測可能できると言われている。現在、実験で得られている分岐比の上限値は、 7×10^{-13} (90% C.L.) (SINDRUM II 実験、2006 年) である。

COMET 実験は、J-PARC 主リングからの大強度パルス陽子ビームを用いて、Phase-I (2018/2019 年実験開始予定) で、 3×10^{-15} 、Phase-II (2021 年実験開始予定) で、 3×10^{-17} の実験感度 (Single Event Sensitivity) で探索する計画である。Phase-I では、90 度のミューオン輸送湾曲ソレノイド後にミューオン停止標的を配置し、周囲に配置した円柱型ドリフトチェンバー (CDC) を用いて、運動量 105 MeV/c の転換電子を探索する。昨年度は、CDC 実機の 2 万本のワイヤー張りが完成し、張力測定を行い、基準を満たさないワイヤーの張り直しを行なった。平成 28 年度は、実機に CFRP (強化炭素ファイバープラスチック) 製の内筒をインストール (図. 1.1) し、CDC 検出器として完成に至った (図. 1.2)。その後、ガス漏れ試験・高電圧印加試験を経て、夏からは宇宙線ミューオンを用いたコミッションングデータ収集を開始した。取得したデータの解析や解析ツールの開発・性能向上・フレームワーク化が現在も進行中である。並行して、CDC 検出器の信号読み出し電子回路の放射線耐性評価試験・対策の研究も進んでおり、ガンマ線や中性子に対する応答の実測や実験室での放射線レベルのシミュレーションを行っている。加えて、実機のデータ収集システムの高度化へ向けたトラッキングトリガーシステムの開発も行なっており、実機への導入を目指して電子



図 1.1: CDC の内筒インストール

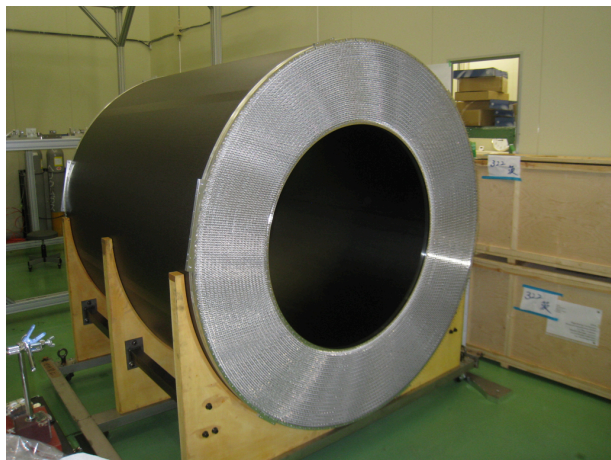


図 1.2: 完成した COMET CDC 検出器

回路開発、データ通信試験やアルゴリズム開発が進行中である。

COMET 実験全体としては、Technical Design Report(TDR) の更新を行い、より詳細な実験計画をまとめた。また、今夏の J-PARC における PAC 審査を経て Stage-2 の承認が得られ、コミュニティ全体で COMET 実験を推進・応援していく準備体制が整いつつある。

DeeMe J-PARC RCS (Rapid Cycling Synchrotron) からの高品質・大強度パルス陽子ビームの特長を活かしたミュオン電子転換過程探索実験 (DeeMe) の準備を進めている。DeeMe 実験では、陽子ビームが照射される陽子標的の内部にミュオン原子が大量に生成される現象に着目し、ミュオン電子転換過程で発生する信号電子を大立体角 2 次ビームラインで引き出して、高バースト耐性電子スペクトロメータで運動量を正確に測定する。パルス陽子ビームに同期して飛来する大量のバックグラウンド粒子から検出器を保護するため、狭間隔でワイヤーを配置して高電圧を高速で切り替える特殊な高バースト耐性 MWPC を使用する。平成 28 年度は、完成した 4 台の MWPC の読み出し回路の改良と調整を行なった。また、2017 年 3 月に電磁石と MWPC を組み合わせたスペクトロメータシステムとして全体動作試験 (図. 1.3) を行い、良好な結果を得た。ところで、炭素原子軌道上でミュオンが崩壊することによって発生する電子は、ミュオン電子転換過程探索において主要なバックグラウンド源となることが知られている。本全体動作試験では、この電子の中運動量領域における運動量スペクトルの測定も行なった。

MuSIC RCNP において、大強度・高効率ミュオン生成装置 MuSIC 及びビームラインが完成しており、2014 年からミュオン強度測定等を継続的に行なっている。昨年度は、運動量が 29.8 MeV/c という非常に速度の遅いミュオン (表面ミュオン) の初測定に成功した。正電荷を持ったパイオンが陽子ビーム標的の表面近くにほとんど静止した状態で存在し、弱い相互作用の過程により 99.9% の確率で正電荷ミュオン (表面ミュオン) とニュートリノに 2 体崩壊する。弱い相互作用の過程においてはパリティを保存しないため、崩壊により発生したミュオンは、そのスピンの進行方向とは逆向きに 100% 偏極している。研

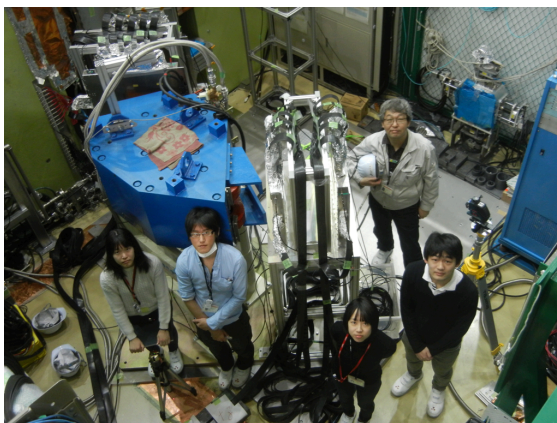


図 1.3: J-PARC MLF D2 実験エリアでの測定の様子

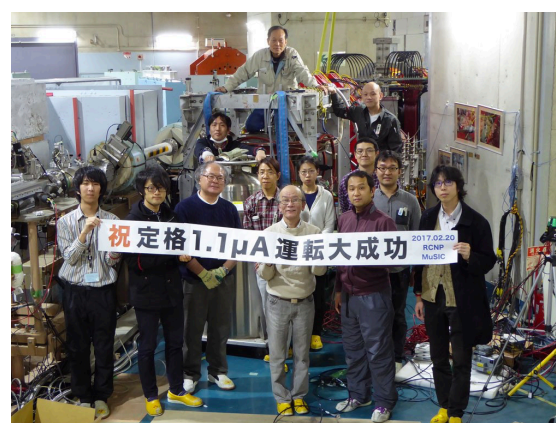


図 1.4: MuSIC 定格 1.1 μA 運転成功記念写真

究したいサンプルにこのスピン偏極表面ミュオンを打ち込むことで、ミクロの世界の磁場を正確に測定することが出来るため、物性関連の研究に非常に有用である。

平成28年度初めには、ミュオンビームのサイズ調整やビーム偏極度測定、高時間分解能 μ SR測定の実験などを経て、ユーザー実験を行う段階に到達し、前期には、負ミュオンを使った2つのユーザー実験が行われた。後期は、ミュオン生成標的機構の交換やビームライン周辺の放射線遮蔽増強作業を行い、2017年2月には1.1 μ Aの大電流定格運転試験に成功(図1.4)、その後は、定格運転による最初のユーザー実験が成功裏に行われ、大強度ミュオン源として順調に稼働を開始している。

学術雑誌に出版された論文

Improved analyses for $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ in muonic atoms by contact interactions

Yuichi Uesaka, Y. Kuno^s, Joe Sato, Toru Sato, and Masato Yamanaka

Phys. Rev. D **93**, (Apr.) (2016) 076006

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.93.076006>).

Real-time supernova neutrino burst monitor at Super-Kamiokande

K. Abe, Y. Kuno^s, *et al.*(Super-Kamiokande Collaboration)

Astroparticle Physics **81** (Apr.) (2016) 39-48

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.astropartphys.2016.04.003>).

Quark and lepton mass matrices described by charged lepton masses

Yoshio Koideⁱ, Hiroyuki Nishiura

Mod. Phys. Lett. A **31** 20, (June) (2016) 1650125

(<http://dx.doi.org/doi:10.1142/S021773231650125X>).

Solar neutrino measurements in Super-Kamiokande-IV

K. Abe, Y. Kuno^s, *et al.*(Super-Kamiokande Collaboration)

Phys. Rev. D **94**, (Sept.) (2016) 052010

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.94.052010>).

SEARCH FOR NEUTRINOS IN SUPER-KAMIOKANDE ASSOCIATED WITH GRAVITATIONAL-WAVE EVENTS GW150914 AND GW151226

K. Abe, Y. Kuno^s, *et al.*(THE SUPER-KAMIOKANDE COLLABORATION)

Astrophys. J. Lett., **830**:L11, (Oct.) (2016)

(<http://dx.doi.org/doi:10.3847/2041-8205/830/1/L11>).

Search for Muon to electron conversion at J-PARC

C. Wu^p on behalf of the COMET Collaboration

Hyperfine Interactions **237** (Oct.) (2016) 149

(<http://dx.doi.org/doi:10.1007/s10751-016-1351-0>).

Delivering the world's most intense muon beam

S. Cook, R. D' Arcy, A. Edmonds, M. Fukuda, K. Hatanaka, Y. Hino, Y. Kuno^s, M. Lancaster, Y. Mori, T. Ogitsu, H. Sakamoto^s, A. Sato^s, N.H. Tran^p, T.M. Nguyen^d, M. Wing, A. Yamamoto, and M. Yoshida

Phys. Rev. Accel. Beams **20** (No. 3, Mar.) (2017) 030101

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevAccelBeams.20.030101>).

Muon - electron conversion in a family gauge boson model

Yoshio Koideⁱ, Masato Yamanaka

Phys. Lett. B **762** (Nov.) (2016) 41 - 46

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2016.09.004>).

Spatial and Temporal Evolution of Scintillation Light in LYSO Electromagnetic Calorimeter for Non-Paraxial Electromagnetic Showers

V. Kalinnikov, E. Velicheva, Z. Tsamalaidze, A. Lobko and O. Missevitch, Y. Kuno^s

Nonlinear Phenomena in Complex Systems **19**, (No. 4, Dec.) (2016), 345 - 357.

Search for proton decay via $p \rightarrow e^+\pi^0$ and $p \rightarrow \mu^+\pi^0$ in 0.31 megaton · years exposure of the Super-Kamiokande water Cherenkov detector

K. Abe, Y. Kuno^s, *et al.* (Super-Kamiokande Collaboration)

Phys. Rev. D **95**, (Jan.) (2017) 012004

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.95.012004>).

A fast high-voltage switching multiwire proportional chamber

H. Natori, N. Teshima, M. Aoki^s, H. Nishiguchi, T.D. Nguyen, Y. Takezaki, Y. Furuya, S. Ito, S. Mihara, D. Nagao^d, Y. Nakatsugawa, T.M. Nguyen^d, Y. Seiya, K. Shimizu, K. Yamamoto

Prog. Theor. Exp. Phys. **2017** (Iss. 2, Feb.) (2017) 023C01

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw193>).

国際会議報告等

Search for Muon to electron conversion at J-PARC

C. Wu^{p*}

Hyperfine Interactions, Springer **237** (Oct.) (2016) 149.

the 6th International Symposium on Symmetries in Subatomic Physics (SSP 2015) (June 2015, 参加者数約 110 名) (Canada).

国際会議における講演等**The COMET Experiment**

H. Yoshida^{s*} for the COMET Collaboration

The XIIIth International Conference on Heavy Quarks and Leptons (at Virginia, May 22-27, 2016, 参加者数約 70 名), USA

COMET

Y. Kuno^{s*} for the COMET Collaboration

4th Workshop on Muon g-2, EDM and Flavour Violation in the LHC Era (at Marseilles, May 23-27, 2016, 参加者数約 20 名), France

COMET Muon Stopping Target Optimization

M.L. Wong^{d*} for the COMET Collaboration

4th Workshop on Muon g-2, EDM and Flavour Violation in the LHC Era (at Marseilles, May 23-27, 2016, 参加者数約 20 名), France

Lepton number violation studies using muons

Y. Kuno^{s*}

71st Fujihara Seminar International Symposium on “Interplay between Hadronic, Nuclear and Atomic Physics” (Shimoda 2016) (at Shizuoka, July 6-8, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

New DC muon beamline, MuSIC : present status of beamline commissioning and prospects

D. Tomono^{d*} for the MuSIC collaboration

18th international workshop on Neutrino factories and Future Neutrino Facilities Search (Nufact16) (at Quy Nhon, Aug. 21-27, 2016, 参加者数約 120 名), Vietnam

The experiment to search for the muon to electron conversion at J-PARC MLF (DeeMe)

D. Nagao^{d*} on behalf of DeeMe collaboratio

18th international workshop on Neutrino factories and Future Neutrino Facilities Search (Nufact16) (at Quy Nhon, Aug. 21-27, 2016, 参加者数約 120 名), Vietnam

RCNP-MuSIC: X-ray and γ -ray spectroscopy with a DC muon beam

A. Sato^{s*}

The 6th Yamada workshop on Muonic X and Gamma-ray Spectroscopy (MXG16) (at

Osaka, Sept. 26-28, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Possibility of the muon scattering experiment at MuSIC-RCNP

D. Tomono^{D*}

The 6th Yamada workshop on Muonic X and Gamma-ray Spectroscopy (MXG16) (at Osaka, Sept. 26-28, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Overview of Lepton Flavour Violation experiments

M. Aoki^{S*}

International Conference on Kaon Physics (KAON2016) (at Birmingham, Sept. 14-17, 2016, 参加者数約 80 名), UK

Commissioning of new DC muon beam line, MuSIC-RCNP at Osaka University

D. Tomono^{D*}, M. Fukuda, K. Hatanaka, W. Higemoto, M. Ieiri, Y. Kawashima t, M. Minakawa, Y. Miyake, Y. Mori, S. Morinobu, Y. Nakazawa^d, A. Nambu, K. Ninomiya, T. Saito, H. Sakamoto^s, A. Sato^s, K. Shimomura, P. Strasser, K. Takahisa, A. Taniguchi, G. Yoshida

Physics of fundamental Symmetries and Interactions (PSI2016) (at PSI, Oct. 16-20, 2016, 参加者数約 170 名), Switzerland

Overview of muon LFV experiments

Y. Kuno^{S*}

LFV/LFUV - Why and How? (at Paris, Nov.7-9, 2016, 参加者数約 30 名), France

Muon to electron conversion at COMET

Y. Kuno^{S*}

GDR QCD 2016 (at Orsay, Nov.8-10, 2016, 参加者数約 70 名), France

COMET experiment

Y. Kuno^{S*}

Mini-Workshop in Osaka 2016 on "Quarks, leptons and Family Gauge Bosons" (at Osaka, Dec. 26-27, 2016, 参加者数約 20 名), Japan

Search for Lepton Flavor Violation

Y. Kuno^{S*}

4th International Workshop on Dark Matter, Dark Energy and Matter-Antimatter Asymmetry (at Hsinchu, Dec. 29-31, 2016, 参加者数約 180 名), Taiwan

Search for Muon to Electron Conversion at J-PARC - the COMET Experiment

M.L. Wong^{d*}

International Conference on High Energy Physics - Theory to Experiment (IHEP-T2E 2017) (at Kuala Lumpur, Feb. 27 - Mar. 1, 2017, 参加者数約 50 名), Malaysia

Current status of the AlCap experiment (poster)

M.L. Wong^{d*} on behalf of AlCap collaboration

The 6th Yamada workshop on Muonic X and Gamma-ray Spectroscopy (MXG16) (at Osaka, Sept. 26-28, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Radiation issues of the COMET Phase-I CDC (poster)

Y. Nakazawa^{d*} for the COMET Collaboration

The 6th Yamada workshop on Muonic X and Gamma-ray Spectroscopy (MXG16) (at Osaka, Sept. 26-28, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Status of the COMET Phase-I (poster)

T.S. Wong^{d*} for the COMET Collaboration

The 6th Yamada workshop on Muonic X and Gamma-ray Spectroscopy (MXG16) (at Osaka, Sept. 26-28, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

μ -e conversion search in COMET Experiment and See-Saw Scenarios (poster)

H. Yoshida^{s*} for the COMET Collaboration

International Workshop on "Double Beta Decay and Underground Science" (DBD16) (at Osaka, Nov. 8-10, 2016, 参加者数約 80 名), Japan

COMET Phase-I radiation protection strategy (poster)

Y. Nakazawa^{d*} for the COMET Collaboration

The international workshop on future potential of high intensity accelerators for particle and nuclear physics (HINT2016) (at J-PARC, Dec. 5-8, 2016, 参加者数 150 名), Japan

Cosmic Ray Test of Cylindrical Drift Chamber for the COMET Phase-I (poster)

T.S. Wong^{d*}

The international workshop on future potential of high intensity accelerators for particle and nuclear physics (HINT2016) (at J-PARC, Dec. 5-8, 2016, 参加者数 150 名), Japan

日本物理学会, 応用物理学会等における講演

ユカワオンモデルノ狙いをユカワオンなしで実現できるか? I

小出 義夫^{i*}, 西浦宏幸

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学, 2016 年 9 月 21 日 - 9 月 24 日)

COMET-CDC の宇宙線を用いた性能評価試験

森津 学^{s*}, 久野 良孝^s, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 中沢 遊^d, 山根 峻人^m, 吉田 学立^s, Nam Hoai Tran^p, Ming Liang Wong^d, Ting Sam Wong^d, Wu Chen^p, Jie Zhang, 他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

COMET Phase-I における CDC 読み出し回路の放射線耐性

中沢 遊^{d*}, 上野 一樹, 内田 智久, 久野 良孝^s, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 千代 浩司, 濱田 英太郎, 藤井 祐樹, 森津 学^s, 山根 峻人^m, 吉田 学立^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

 μ -e 転換過程探索実験 DeeMe におけるスペクトロメータ較正プランとバックグラウンド測定について

長尾 大樹^{d*}, 青木 正治^s, 中津川 洋平, 他 DeeMe コラボレーション

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

Current status of the AlCap experiment

Ming Liang Wong^{d*} for the AlCap collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

阪大 RCNP-MuSIC における DC ミューオンビームラインの進捗状況

佐藤 朗^{s*}, 家入 正治, 植田 浩史, 川島 祥孝^p, 久野 良孝^s, 齋藤 岳志, 坂本 英之^s, 下村 浩一郎, 高久 圭二, 谷口 秋洋, 友野 大^p, 二宮 和彦, 畑中 吉治, 髭本 亘, 福田 光宏, 松崎 禎市郎, 三宅 康博, 皆川 道文, 森 義治, 森信 俊平, 中沢 遊^d, Lai Jun^m

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

阪大 RCNP-MuSIC におけるミューオンビームのスピンの偏極度測定 (II)

友野 大^{p*}, 家入 正治, 植田 浩史, 川島 祥孝^p, 久野 良孝^s, 齋藤 岳志, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 下村 浩一郎, 高久 圭二, 谷口 秋洋, 中沢 遊^d, 二宮 和彦, 畑中 吉治, 髭本 亘, 福田 光宏, 松崎 禎市郎, 三宅 康博, 皆川 道文, 森 義治, 森信 俊平

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

阪大 RCNP-MuSIC におけるビーム増強に向けたコミッショニング (I)

佐藤 朗^{s*}, 家入 正治, 川島 祥孝^p, 久野 良孝^s, 齋藤 岳志, 坂本 英之^s, 下村 浩一郎, 高久 圭二, 谷口 秋洋, 友野 大^p, 中沢 遊^d, 二宮 和彦, 畑中 吉治, 髭本 亘, 福田 光宏, 松崎 禎市郎, 三宅 康博, 皆川 道文, 森 義治, 森信 俊平

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

阪大 RCNP-MuSIC におけるビーム増強に向けたコミッショニング (II)

友野 大^{p*}, 家入 正治, 植田 浩史, 川島 祥孝^p, 久野 良孝^s, 齋藤 岳志, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 下村 浩一郎, 高久 圭二, 谷口 秋洋, 中沢 遊^d, 二宮 和彦, 畑中 吉治, 髭本 亘, 福田 光宏, 松崎 禎市郎, 三宅 康博, 皆川 道文, 森 義治, 森信 俊平

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

Flavon VEV Scales in a $U(3) \times U(3)$ ' Model I

小出 義夫^{i*}, 西浦 宏幸

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

COMET Phase-I における CDC 読み出し回路開発の現状

中沢 遊^{d*}, 内田 智久, 久野 良孝^s, 佐藤 朗^s, 千代 浩司, 吉田 学立^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

COMET-CDC の宇宙線を用いた性能評価試験 (2)

森津 学^{s*}, 沖中 香里^m, 久野 良孝^s, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 中沢 遊^d, 中村 有希^m, 山根 峻人^m, 吉田 学立^s, Ming Liang Wong^d, Ting Sam Wong^d, Wu Chen^p, Jie Zhang, 他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

COMET CDC における宇宙線試験の解析

沖中 香里^{m*}, 森津 学^s, 久野 良孝^s, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 中沢 遊^d, 中村 有希^m, 山根 峻人^m, 吉田 学立^s, Ming Liang Wong^d, Ting Sam Wong^d, Wu Chen^p, Jie Zhang, 他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

Simulation and Calibration of CDC for COMET Phase-I

Ting Sam Wong^{d*}, Y. Kuno^s, Y. Nakamura^m, Y. Nakazawa^d, M. Moritsu^s, K. Okinaka^m, H. Sakamoto^s, A. Sato^s, T. Yamane^m, H. Yoshida^s, Ming Liang Wong^d, Wu Chen^p, Jie Zhang, COMET collaborators

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

COMET CDC に対するエージングテスト

中村 有希^{m*}, 沖中 香里^m, 久野 良孝^s, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 中沢 遊^d, 森津 学^s, 山根 峻人^m, 吉田 学立^s, Ming Liang Wong^d, Ting Sam Wong^d, Wu Chen^p, 他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 – 3月20日)

COMET Phase-I CDC のための Slow Control System の開発状況

吉田 学立^{s*}, Ming Liang Wong^d, 久野 良孝^s, 佐藤 朗^s, 森津 学^s, 他 COMET コラボレーション

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

DeeMe 実験における C 標的を用いた DIO スペクトル測定実験について

長尾 大樹^{d*}, 青木正治, 中津川 洋平, 他 DeeMe コラボレーション

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

ミューオン原子の真空中での生成によるエキゾチック原子の脱励起過程の研究

板橋 隆久^{i*}, 坂本 英之^s, 佐藤 朗^s, 高久 圭二, 友野 大^p, 川島 祥孝^p

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

書籍等の出版, 日本語の解説記事

パイオン捕獲超伝導電磁石を用いた大強度ミューオン源の開発

佐藤 朗^s, 吉田誠

高エネルギーニュース 第 35 巻 1 号 (2016 年 4/5/6 月, 1 頁)

COMET Phase-I Cylindrical Drift Chamber

吉田 学立^s, 森津 学^s

高エネルギーニュース 第 35 巻 3 号 (2016 年 10/11/12 月, 137 頁)

J-PARC RCS のパルス陽子ビームを活用したミュオン電子転換過程探索実験 : DeeMe

青木 正治^s

日本中間子科学会誌 めそん No. 45 (2017 年春号, 3 月, 20 頁)

世界最高感度でのミューオン稀事象探索に挑む COMET 実験の現状と今後

吉田 学立^s

日本中間子科学会誌 めそん No. 45 (2017 年春号, 3 月, 28 頁)

1.3 下田グループ

平成28年度の研究活動概要

1. スピン偏極した不安定核ビームによる軽い中性子過剰核の特異な構造の研究

安定核近傍では魔法数である中性子数20が、中性子が極端に多い原子核では魔法数としての性質を失い、その形は変形しているという「逆転の島」と呼ばれ質量領域がある。このような原子核の構造を明らかにするため、我々のグループでは、スピン偏極した不安定原子核のベータ崩壊の際に放出されるベータ線の非対称度測定から娘核の構造を探るという、独自の実験手法を用いて研究を進めてきた。単一粒子軌道の変化と集団運動の発現機構を解明するため、高偏極ビームを生成可能なカナダのTRIUMFで、国際共同研究（大阪大学下田グループ、高エネルギー加速器研究機構、東京農工大学、法政大学、TRIUMF）を実施しているこれまで、スピン偏極したナトリウム28核、ナトリウム29核、ナトリウム30核、ナトリウム31核のベータ崩壊後の娘核であるマグネシウム28核、マグネシウム29核、マグネシウム30核、マグネシウム31核について、系統的な構造変化の研究を行った。

原子核の形が球形から変形への途中（遷移領域）であるマグネシウム31核は、我々の実験結果から、低いエネルギー領域に異なる変形度をもったプロレート型（レモン型）の原子核の回転バンドが3種類も確認され、また、球形の状態も存在することが理論計算との比較から導き出された。このような様々な原子核の形や運動状態が存在する現象は、「変形共存」と呼ばれ、現在、盛んに議論されている問題であり、陽子数が12という軽い核では始めて観測された。この結果は、2016年度に査読付き論文（H. Nishibata et al., Phys. Lett. B 767 (2017) 81）として発表し、さらに、3つの国際会議で招待講演を行った。さらに、既存の理論では説明できない励起状態も発見されており、今後も構造の議論を進めていく。

マグネシウム30と31核の実験では、ベータ遅延中性子崩壊の際の中性子も測定した。これらの核の中性子非束縛状態の励起エネルギーを確定し、スピン・パリティを提案し、中性子放出の Γ 幅を求め、スペクトロスコピック・ファクターを導出した。解析の途中経過を日本物理学会年次大会で発表し、現在、査読付き投稿論文に発表する準備を進めている。

2015年度から長年の懸案である中性子数20をもつマグネシウム32核の研究を開始した。我々独自の上記の手法を用いるためには、まずは、ナトリウム32核のスピン偏極したビームを開発する必要がある。このためには、ナトリウム32原子の超微細構造の情報が必要で

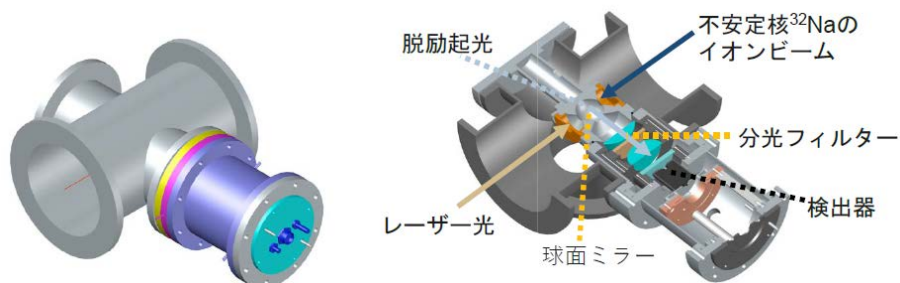


図 1.1: レーザー集光系と検出系の概略図。(左) 外観図。(右) 断面図。

あるが、非常に中性子過剰であるこの原子ではいまだ測定されていない。そこで、ナトリウム 32 原子の超微細構造を、毎秒百個程度という非常に少ないビーム量でも測定可能な新しい測定システムの開発を行った。まず、レーザー照射後にナトリウム原子から放出される蛍光を非常に効率よく測定するため、図 1.1 に示すような集光系と検出系を新たに設計・製作した。次に、従来の方法では照射するレーザーの散乱光がバックグラウンドとなり、少ないビーム量での測定が難しい。この問題を解決するために、ナトリウム原子を 330 nm のレーザーで高い励起エネルギーの準位 (4p) まで励起させ、中間状態を経て放出される 590 nm の蛍光を測定することによってバックグラウンドを減らすことにした。2016 年度に安定核をもつナトリウム 23 原子を用いてテストを行い、装置の改良を進めてきた。2017 年度に改良型システムを用いて、もう 1 度、安定なナトリウム 23 原子を用いてテストを行い、その後、目的のナトリウム 32 原子の超微細構造を求める実験を行う予定である。

2. 飛行核分裂による安定領域から遠く離れた重い中性子過剰核の構造研究

変形共存や、中性子数や陽子数に対する変形の進化を系統的に調べ、原子核の量子相転移現象を明らかにすることは、現在の重要課題のひとつである。この問題を解決するため、安定核から遠く離れた原子核を世界最高強度で供給可能な理化学研究所の RI ビームファクトリで実験を、日本（理化学研究所、東京大学原子核科学研究センターなど）や韓国の Hoseo 大学、フランスの IPhC、その他の海外の大学や研究所の研究者との国際共同研究として、2013 年度に行った。光速の約 70% のウラン 238 核ビームを軽い標的核に照射し、超伝導 RI ビーム生成分離装置「BigRIPS」を用いて、ウランの核分裂反応により大量の不安定核が生成される。その中から、我々のグループは、陽子数が魔法数 50 で中性子数が魔法数 82 の 2 重閉殻であるスズ 132 核よりも陽子数と中性子数ともに大きな中性子過剰核に注目した。この研究は、EURICA (EUroball-RIKEN Cluster Array ; ユリカ) プロジェクトのひとつとして実施し、安定核から遠く離れた原子核のアイソマー（長い寿命をもつ励起状態）や β 崩壊を調査するため、日本とヨーロッパ共同で大型 γ 線検出器アレイを構築して行われた。

これまでの解析で、中性子数が極端に多い 4 つのセシウム原子核において、新しいアイソマー状態を発見した。このアイソマーの詳細な解析から、様々な変形状態での単一粒子軌道や陽子-中性子間の有効相互作用を引き出せる可能性を秘めている。

2016 年度は、ヨウ素 142 核のベータ崩壊からゼノン 142 核の核構造の研究を進めた。その際、励起状態のスピンを推定するため、EURICA ガンマ線検出器アレイで初めて、ガンマ線の角相関の解析を行い、より詳細な構造の議論が可能となった。実験結果を集団運動モデルを用いた理論計算と比較したところ、ゼノン 142 核の基底状態は西洋なし型の変形をしている可能性があり、加えて、プロレート型の振動、西洋なし型の振動、いびつな形（3 軸非対称変形）の振動、などが観測され、様々な種類の変形と運動状態が共存していることが明らかとなった。また、ヨウ素 140 核からゼノン 140 核へのベータ崩壊では、親核に数百ミリ秒という長い半減期をもつアイソマーが存在することが分かった。これは、核構造の面白さのみならず、超新星爆発などの際の宇宙での元素合成過程にも大きな影響を与えるであろう発見である。これらの結果を日本物理学会年次大会で発表し、現在、投稿論文として発表する準備を進めている。

2016 年度はさらに、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の和光原子核研究センターのグループの装置を用いた中性子数 126 近傍の中性子過剰核の核構造の研究を開始した。こ

の領域の中性子過剰核は、宇宙での元素合成に際し、金や白金を合成するのに重要な超新星爆発時の r 過程の通り道にある原子核である。しかし、生成するのが困難であるため、実験データはまだまだ少ない。そこで、KEK のグループは、多核子移行反応でこの質量領域の原子核を生成し、アルゴンガスセルとレーザー共鳴イオン化法で分離する方法を開発した。この手法により、ベータ崩壊、アイソマー探査、中性子過剰核原子の超微細構造測定が可能となった。2016 年度は装置の性能テスト実験が行われた。2017 年度以降、本実験がスタートする予定である。

3. ベータ遅延中性子崩壊で放出される中性子測定のための中性子検出器の開発

安定核より極端に中性子が多い原子核の核構造を詳細に調べるためには、中性子分離エネルギーが小さくなるため、中性子非束縛状態を研究する必要がある。我々のグループでは、中性子過剰核のベータ遅延中性子崩壊により中性子非束縛状態を生成し、研究を進めてきた。これまで、中性子は大型のプラスチックシンチレーター検出器で測定し、飛行時間法 (TOF 法) により、中性子のエネルギーを精密に決定してきた。しかし、検出効率のエネルギー依存性は、検出器の信号の閾値に大きく依存するため、低エネルギーの中性子の強度を正確に求めるのは非常に困難であった。そこで、これまでの問題点を改良すべく、同じく大型プラスチックシンチレーターを用いた新型中性子検出器の開発を行った。主な改良点は、(1) シンチレーター内での光の集光率を向上させるため、形状や反射材などをシミュレーションをもとに決定し、(2) 量子効率の大きい光電子増倍管を採用し、(3) 検出器の信号の閾値を可能な限り下げるため、ノイズレベルを低く抑えるよう光電子増倍管用冷却システムを導入した。

試作品を設計・製作し、大阪大学核物理研究センター (RCNP) で性能テストを行った。図 1.2 は新型中性子検出器と従来型検出器のセットアップの写真である。RCNP の 2 次ビームコース (EN コース) で窒素 17 不安定核ビームを生成し、この核がベータ遅延中性子崩壊の際に放出する中性子を検出した。冷却の効果は大きく、ノイズレベルを大きく下げることができた。実験データは現在、解析中であり、このデータをもとに、さらなる改良を加えて、将来的にはカナダの TRIUMF におけるマグネシウム 32 核の研究に使用する予定である。

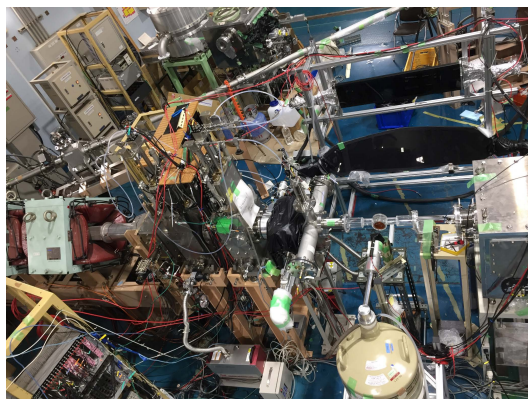


図 1.2: RCNP での中性子検出器テスト実験のセットアップの写真。

学術雑誌に出版された論文

**First observation of γ rays emitted from excited states south-east of ^{132}Sn :
The $\pi g_{9/2}^{-1} \otimes \nu f_{7/2}$ multiplet of $^{132}\text{In}_{83}$**

A. Jungclauss, A. Gargano, H. Grawe, J. Taprogge, S. Nishimura, P. Doornenbal, G. Lorusso, Y. Shimizu, G.S. Simpson, P.-A. Söderstrom, T. Sumikama, Z.Y. Xu, H. Baba, F. Browne, N. Fukuda, R. Gernhauser, G. Gey, N. Inabe, T. Isobe, H.S. Jung, D. Kameda, G.D. Kim, Y.-K. Kim, I. Kojouharov, T. Kubo, N. Kurz, Y.K. Kwon, Z. Li, H. Sakurai, H. Schaffner, K. Steiger, H. Suzuki, H. Takeda, Zs. Vajta, H. Watanabe, J. Wu, A. Yagi^d, K. Yoshinaga, S. Bonig, L. Coraggio, J.-M. Daugas, F. Drouet, A. Gadea, S. Ilieva, N. Itaco, T. Kroll, A. Montaner-Piza, K. Moschner, D. Mucher, H. Nishibata^{DC}, A. Odahara^s, R. Orlandi, A. Wendt

Phys. Rev. C **93** (Apr.) (2016) 041301 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.93.041301>).

Magnetic moment of the $13/2^+$ isomeric state in ^{69}Cu : Spin alignment in the one-nucleon removal reaction

A. Kusoglu, G. Georgiev, C. Sotty, D. L. Balabanski, A. Goasduff, Y. Ishii, Y. Abe, K. Asahi, M. Bostan, R. Chevrier, M. Chikamori, J. M. Daugas, T. Furukawa, H. Nishibata^{DC}, Y. Ichikawa, Y. Ishibashi, R. Lozeva, H. Miyatake, D. Nagae, T. Nanao, M. Niikura, T. Niwa, S. Okada, A. Ozawa, Y. Saito, H. Shirai, H. Uenoⁱ, D.T. Yordanov, and N. Yoshida

Phys. Rev. C **93** (May) (2016) 054313 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.93.054313>).

Towards high precision measurements of nuclear g -factors for the Be isotopes

A. Takamine, M. Wada, K. Okada, Y. Ito, P. Schury, F. Arai, I. Katayama, K. Imamura, Y. Ichikawa, H. Uenoⁱ, H. Wollnik, H. A. Shuessler

Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B **376** (June) (2016) 307 – 310

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nimb.2015.12.0270168-583X/2015>).

Direct measurement of nanoscale lithium diffusion in solid battery materials using radioactive tracer of ^8Li

H. Ishiyama, S.C. Jeong, Y.X. Watanabe, Y. Hirayama, N. Imai, H.S. Jung, H. Miyatake, M. Oyaizu, A. Osa, Y. Otokawa, M. Matsuda, K. Nishio, H. Makii, T.K. Sato, N. Kuwata, J. Kawamura, H. Uenoⁱ, Y.H. Kim, S. Kimura, M. Mukai

Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B **376** (June) (2016) 379 – 381

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nimb.2015.12.0360168-583X/2015>).

Frequency characteristics of nuclear spin oscillator with an artificial feedback toward search for ^{129}Xe atomic electric dipole moment

T. Inoue, T. Furukawa, A. Yoshimi, T. Nanao, M. Chikamori, K. Suzuki, H. Hayashi¹, H.

Miyatake, Y. Ichikawa, M. Tsuchiya, N. Hatakeyama, S. Kagami, M. Uchida, H. Uenoⁱ, Y. Matsuo, T. Fukuyama and K. Asahii

Eur. Phys. J. D **70** (June) (2016) 129 1-10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjd/e2016-70034-8>).

Large-scale shell model study of the newly found isomer in ^{136}La

E. Teruya, N. Yoshinaga, K. Higashiyama, H. Nishibata^{DC}, A. Odahara^s, T. Shimoda^s
Phys. Rev. C **94** (July) (2016) 014317 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.014317>).

β decay of semi-magic ^{130}Cd : Revision and extension of the level scheme of ^{130}In

A. Jungclauss, H. Grawe, S. Nishimura, P. Doornenbal, G. Lorusso, G.S. Simpson, P.-A. Söderstrom, T. Sumikama, J. Taprogge, Z.Y. Xu, H. Baba, F. Browne, N. Fukuda, R. Gernhauser, G. Gey, N. Inabe, T. Isobe, H.S. Jung, D. Kameda, G.D. Kim, Y.-K. Kim, I. Kojouharov, T. Kubo, N. Kurz, Y.K. Kwon, Z. Li, H. Sakurai, H. Schaffner, Y. Shimizu, K. Steiger, H. Suzuki, H. Takeda, Zs. Vajta, H. Watanabe, J. Wu, A. Yagi^d, K. Yoshinaga, G. Benzoni, S. Bonig, K.Y. Chae, L. Coraggio, J.-M. Daugas, F. Drouet, A. Gadea, A. Gargano, S. Ilieva, N. Itaco, F.G. Kondev, T. Kroll, G.J. Lane, A. Montaner-Piza, K. Moschner, D. Mucher, F. Naqvi, M. Niikura, H. Nishibata^{DC}, A. Odahara^s, R. Orlandi, Z. Patel, Zs. Podolyak, A. Wendt

Phys. Rev. C **94** (Aug.) (2016) 024303- 1-8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.024303>).

Long-lived K isomer and enhanced γ vibration in the neutron-rich nucleus ^{172}Dy : Collectivity beyond double midshell

H. Watanabe, G.X. Zhang, K. Yoshida, P.M. Walker, J.J. Liu, J. Wu, P.H. Regan, P.-A. Söderstrom, H. Kanaoka^m, Z. Korkulu, P.S. Lee, S. Nishimura, A. Yagi^d, D.S. Ahn, T. Alharbi, H. Baba, F. Browne, A.M. Bruce, R.J. Carroll, K.Y. Chae, Zs. Dombradi, P. Doornenbal, A. Estrade, N. Fukuda, C. Griffin, E. Ideguchi, N. Inabe, T. Isobe, S. Kanaya^d, I. Kojouharov, F.G. Kondev, T. Kubo, S. Kubono, N. Kurz, I. Kuti, S. Lalkovski, G.J. Lane, C.S. Lee, E.J. Lee, G. Lorusso, G. Lotay, C.-B. Moon, I. Nishizuka, C.R. Nita, A. Odahara^s, Z. Patel, V.H. Phong, Zs. Podolyak, O.J. Roberts, H. Sakurai, H. Schaffner, C.M. Shand, Y. Shimizu, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, S. Terashima, Zs. Vajta, J.J. Valiente-Dobon, Z.Y. Xu

Phys. Lett. B **760** (Sept.) (2016) 641-646

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2016.07.057>).

High-precision quadrupole moment reveals significant intruder component in $^{33}_{13}\text{Al}_{20}$ ground state

H. Heylen, M. De Rydt, G. Neyens, M. L. Bissell, L. Caceres, R. Chevrier, J.M. Daugas, Y. Ichikawa, Y. Ishibashi, O. Kamalou, T.J. Mertzimekis, P. Morel, J. Papuga, A. Poves, M.M. Rajabali, C. Stödel, J.C. Thomas, H. Uenoⁱ, Y. Utsuno, N. Yoshida, and A. Yoshimi
 Phys. Rev. C **94** (Sept.) (2016) 034312 1-5
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.034312>).

***K*-mixing in the doubly mid-shell nuclide¹⁷⁰Dy and the role of vibrational degeneracy**

P.-A. Söderstrom, P.M. Walker, J. Wu, H.L. Liu, P.H. Regan, H. Watanabe, P. Doornenbal, Z. Korkulu, P. Lee, J.J. Liu, G. Lorusso, S. Nishimura, V.H. Phong, T. Sumikama, F.R. Xu, A. Yagi^d, G.X. Zhang, D.S. Ahn, T. Alharbi, H. Baba, F. Browne, A.M. Bruce, R.J. Carroll, K.Y. Chae, Zs. Dombradi, A. Estrade, N. Fukuda, C.J. Griffin, E. Ideguchi, N. Inabe, T. Isobe, H. Kanaoka^m, S. Kanaya^d, I. Kojouharov, F.G. Kondev, T. Kubo, S. Kubono, N. Kurz, I. Kuti, S. Lalkovski, G.J. Lane, E.J. Lee, C.S. Lee, G. Lotay, C.-B. Moon, I. Nishizuka, C.R. Nita, A. Odahara^s, Z. Patel, Zs. Podolyak, O.J. Roberts, H. Sakurai, H. Schaffner, C.M. Shand, H. Suzuki, H. Takeda, S. Terashima, Zs. Vajta, J.J. Valiente-Dobon, Z.Y. Xu
 Phys. Lett. B **762** (Nov.) (2016) 404 - 408
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2016.09.058>).

Proton-hole and core-excited states in the semi-magic nucleus ¹³¹In₈₂

J. Taprogge, A. Jungclaus, H. Grawe, I.N. Borzov, S. Nishimura, P. Doornenbal, G. Lorusso, G.S. Simpson, P.-A. Söderstrom, T. Sumikama, Z.Y. Xu, H. Baba, F. Browne, N. Fukuda, R. Gernhauser, G. Gey, N. Inabe, T. Isobe, H.S. Jung, D. Kameda, G.D. Kim, Y.-K. Kim, I. Kojouharov, T. Kubo, N. Kurz, Y.K. Kwon, Z. Li, H. Sakurai, H. Schaffner, Y. Shimizu, K. Steiger, H. Suzuki, H. Takeda, Zs. Vajta, H. Watanabe, J. Wu, A. Yagi^d, K. Yoshinaga, G. Benzoni, S. Bonig, K.Y. Chae, L. Coraggio, J.-M. Daugas, F. Drouet, A. Gadea, A. Gargano, S. Ilieva, N. Itaco, F.G. Kondev, T. Kroll, G.J. Lane, A. Montaner-Piza, K. Moschner, D. Mucher, F. Naqvi, M. Niikura, H. Nishibata^{DC}, A. Odahara^s, R. Orlandi, Z. Patel, Zs. Podolyak, A. Wendt
 Eur. Phys. J. A **52** (Nov.) (2016) 347 1-10
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epja/i2016-16347-y>).

***μs* isomers of ^{158,160}Nd**

E. Ideguchi, G.S. Simpson, R. Yokoyama, Mn. Tanaka, S. Nishimura, P. Doornenbal, G. Lorusso, P.-A. Söderstrom, T. Sumikama, J. Wu, Z.Y. Xu, N. Aoi, H. Baba, F.L. Bello Garrote, G. Benzoni, F. Browne, R. Daido^m, Y. Fang^m, N. Fukuda, A. Gottardo, G. Gey, S. Go, N. Inabe, T. Isobe, D. Kameda, K. Kobayashi, M. Kobayashi, I. Kojouharov, T. Komatsubara, T. Kubo, N. Kurz, I. Kuti, Z. Li, M. Matsushita, S. Michimasa, C.-B. Moon, H. Nishibata^{DC}, I. Nishizuka, A. Odahara^s, Z. Patel, S. Rice, E. Sahin, H. Sakurai,

H. Schaffner, L. Sinclair, H. Suzuki, H. Takeda, J. Taprogge, Zs. Vajta, H. Watanabe, A. Yagi^d

Phys. Rev. C **94** (Dec.) (2016) 064322 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.064322>).

Shape coexistence in the $N=19$ neutron-rich nucleus ^{31}Mg explored by $\beta - \gamma$ spectroscopy of spin-polarized ^{31}Na

H. Nishibata^{DC}, T. Shimoda^s, A. Odahara^s, S. Morimoto^m, S. Kanaya^d, A. Yagi^d, H. Kanaoka^m, M.R. Pearson, C.D.P. Levy, M. Kimura

Phys. Lett. B **767** (Jan.) (2017) 81-85

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2017.01.049>).

94 β -Decay Half-Lives of Neutron-Rich ^{55}Cs to ^{67}Ho : Experimental Feedback and Evaluation of the r-Process Rare-Earth Peak Formation

J. Wu, S. Nishimura, G. Lorusso, P. Möller, E. Ideguchi, P.-H. Regan, G.S. Simpson, P.-A. Söderstrom, P.M. Walker, H. Watanabe, Z.Y. Xu, H. Baba, F. Browne, R. Daido^m, P. Doornenbal, Y. Fang^m, G. Gey, T. Isobe, P.S. Lee, J.J. Liu, Z. Li, Z. Korkulu, Z. Patel, V. Phong, S. Rice, H. Sakurai, L. Sinclair, T. Sumikama, M. Tanaka, A. Yagi^d, Y.L. Ye, R. Yokoyama, G.X. Zhang, T. Alharbi, N. Aoi, F.L. Bello Garrote, G. Benzoni, A.M. Bruce, R.J. Carroll, K.Y. Chae, Z. Dombradi, A. Estrade, A. Gottardo, C.J. Griffin, H. Kanaoka, I. Kojouharov, F.G. Kondev, S. Kubono, N. Kurz, I. Kuti, S. Lalkovski, G.J. Lane, E.J. Lee, T. Lokotko, G. Lotay, C.-B. Moon, H. Nishibata^{DC}, I. Nishizuka, C.R. Nita, A. Odahara^s, Zs. Podolyak, O.J. Roberts, H. Schaffner, C. Shand, J. Taprogge, S. Terashima, Z. Vajta, S. Yoshida^d

Phys. Rev. Lett. **118** (Feb.) (2017) 072701 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.118.072701>).

Type II shell evolution in $A = 70$ isobars from the $N \geq 40$ island of inversion

A.I. Morales, G. Benzoni, H. Watanabe, Y. Tsunoda, T. Otsuka, S. Nishimura, F. Browne, R. Daido^m, P. Doornenbal, Y. Fang^m, G. Lorusso, Z. Patel, S. Rice, L. Sinclair, P.-A. Söderstrom, T. Sumikama, J. Wu, Z.Y. Xu, A. Yagi^d, R. Yokoyama, H. Baba, R. Avigo, F.L. Bello Garrote, N. Blasi, A. Bracco, F. Camera, S. Ceruti, F.C.L. Crespi, G. de Angelis, M.-C. Delattre, Zs. Dombradi, A. Gottardo, T. Isobe, I. Kojouharov, N. Kurz, I. Kuti, K. Matsui, B. Melon, D. Mengoni, T. Miyazaki, V. Modamio-Hoybjor, S. Momiyama, D.R. Napoli, M. Niikura, R. Orlandi, H. Sakurai, E. Sahin, D. Sohler, H. Schaffner, R. Taniuchi, J. Taprogge, Zs. Vajta, J.J. Valiente-Dobón, O. Wieland, M. Yalcinkaya

Phys. Lett. B **765** (Feb.) (2017) 328-333

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2016.12.025>).

The design and basic performance of a spiral fiber tracker for the J-PARC E36

experiment

O. Mineev, S. Bianchin, M.D. Hasinoff, K. Horie, Y. Igarashi, J. Imazato, H. Ito, H. Kawai, S. Kodama, M. Kohl, Yu. Kudenko, S. Shimizu^s, M. Tabata, A. Toyoda, N. Yershov
Nucl. Instr. and Meth. A **847** (Mar.) (2017) 136-141
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2016.11.057>).

New *K* isomers in the neutron-rich *N* =100 isotones ¹⁶²Sm, ¹⁶³Eu, and ¹⁶⁴Gd

R. Yokoyama, S. Go, D. Kameda, T. Kubo, N. Inabe, N. Fukuda, H. Takeda, H. Suzuki, K. Yoshida, K. Kusaka, K. Tanaka, Y. Yanagisawa, M. Ohtake, H. Sato, Y. Shimizu, H. Baba, M. Kurokawa, D. Nishimura, T. Ohnishi, N. Iwasa, A. Chiba, T. Yamada, E. Ideguchi, T. Fujii, H. Nishibata^{DC}, K. Ieki, D. Murai, S. Momota, Y. Sato, J.W. Hwang, S. Kim, O.B. Tarasov, D.J. Morrissey, B.M. Sherrill, G. Simpson, and C.R. Praharaaj
Phys. Rev. C **95** (Mar.) (2017) 034313 1-8
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.95.034313>).

国際会議報告等

Study of neutron-rich ¹⁴²Xe using β -decay spectroscopy

A. Yagi^{d*}, H. Kanaoka^m, A. Odahara^s, R. Lozeva, C.-B. Moon, H. Nishibata^{DC}, T. Shimoda^s, P. Lee, R. Daido^m, Y. Fang^m, S. Nishimura, P. Doornenbal, G. Lorusso, P.-A. Söderstrom, T. Sumikama, H. Watanabe, T. Isobe, H. Baba, H. Sakurai, F. Browne, Z. Patel, S. Rice, L. Sinclair, J. Wu, Z.Y. Xu, R. Yokoyama, T. Kubo, N. Inabe, H. Suzuki, N. Fukuda, D. Kameda, H. Takeda, D.S. Ahn, D. Murai, F.L. Bello Garrote, J.M. Daugas, F. Didierjean, E. Ideguchi, T. Ishigaki^m, H.S. Jung, T. Komatsubara, Y.K. Kwon, C.S. Lee, S. Morimoto^m, M. Niikura, I. Nishizuka, K. Tshoo
RIKEN Accel. Prog. Rep. **49** (Mar.) (2017) 33.

.

The 9th Nishina School

H. Ueno^{i*}, and T. Kishida
RIKEN Accel. Prog. Rep. **49** (Mar.) (2017) 285.

.

国際会議における講演等

Structure of neutron-rich Mg isotopes studied in decay spectroscopy of spin-polarized Na isotopes

T. Shimoda^{s*} (invited)

Int. Conf. on Hyperfine interactions and their applications (HYPERFINE 2016) (at Leuven, July 3-8, 2016, 参加者数約 200 名), Belgium

Nuclear moment measurements using radioactive ion beams

H. Ueno^{i*} (invited)

Int. Conf. on Hyperfine interactions and their applications (HYPERFINE 2016) (at Leuven, July 3-8, 2016, 参加者数約 200 名), Belgium

Shape evolution in neutron-rich $A \sim 140$ nuclei beyond the doubly-magic nucleus ^{132}Sn

A. Odahara^{s*}

EURICA Celebration and Collaboration Meeting (at Saitama, Sept. 6-7, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Measurement of hyperfine structure splittings of gold and silver atoms in superfluid helium for the application to radioactive isotope atoms (poster)

T. Fujita^{d*}

RIKEN summer school 2016 (at Tsukuba, Sept. 9-10, 2016, 参加者数約 100 名), Japan

Nuclear moments and their applications

H. Ueno^{i*} (invited)

2016 IBS Annual Meeting: IBS-RIKEN Conf. on Recent Developments in RI Physics (at Daejeon, Nov. 17-18, 2016, 参加者数約 200 名), Korea

Search for T -violating muon polarization in $\text{K}^+ \rightarrow \pi_0 \mu^+ \nu$ decays

S. Shimizu^{s*}

Int. workshop on future potential of high intensity accelerators for particle and nuclear physics (HINT2016) (at Tokai, Dec. 5-8, 2016, 参加者数約 100 名), Japan

Nuclear-moment measurements at RIBF utilizing spin-oriented RI beams

H. Ueno^{i*} (invited)

First Tsukuba-CCS-RIKEN joint workshop on microscopic theories of nuclear structure and dynamics (at Wako and Tsukuba, Dec. 12-16 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Slowed-down RI Beams

H. Ueno^{i*} (invited)

IMP-RNC Workshop 2017 (at Lanzhou, Feb. 20-21, 2017, 参加者数約 30 名), China

日本物理学会，応用物理学会等における講演

Measurement of $\Gamma(K^+ \rightarrow e^+\nu) / \Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+\nu)$ using stopped positive kaons清水俊^{s*}, for the TREK collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

中性子過剰な Xe 同位体における集団運動状態の系統的变化

八木彩祐未^{d*}, 小田原厚子^s, R. Lozeva, C.-B. Moon, 方一帆^m, 大道理恵^m, 西畑洸希^{DC}, 金岡裕志^m, P. Lee, 下田正^s, 西村俊二, P. Doornenbal, G. Lorusso, 炭竈聡之, 渡辺寛, P.-A. Söderstrom, J. Wu, F. Brown, Z.Y. Xu, 横山輪, 磯部忠昭, 馬場秀忠, 櫻井博儀, 鈴木宏, 稲辺尚人, 亀田大輔, 福田直樹, 竹田浩之, 安得順, 清水陽平, 佐藤広海, 久保敏幸, 石垣知樹^m, 森本翔太^m, 井手口栄治, 小松原哲郎, 新倉潤, 西塚一平, and the EURICA collaborators

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

中性子過剰核の変形共存 中性子非束縛状態における探索

金谷晋之介^{d*}, 下田正^s, 小田原厚子^s, 西畑洸希^{DC}, 森本翔太^m, 八木彩祐未^d, 金岡裕志^m, 河村嵩之^m, M. Pearson, C.D.P. Levy

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

非常に中性子過剰な Xe 同位体の核構造の研究 (ポスター)

八木彩祐未^{d*}

基礎科学研究者養成プロジェクトおよび大学院オーナー特別コース履修生研究成果発表会 (於 大阪大学、2017 年 3 月 3 日)

中性子過剰核の変形共存—中性子非束縛状態における探索— (ポスター)

金谷晋之介^{d*}

基礎科学研究者養成プロジェクトおよび大学院オーナー特別コース履修生研究成果発表会 (於 大阪大学、2017 年 3 月 3 日)

1.4 核物質学研究グループ

平成28年度の研究活動概要

核物質学研究グループは、理化学研究所のRIビームファクトリー、放射線医学総合研究所(放医研)の重イオンシンクロトロンHIMAC、核物理研究センターのリングサイクロトロン、J-PARC等の国内加速器施設や、海外の施設も使用し、広く不安定原子核・短寿命 β 放射性核やミュオン、超冷中性子(UCN)を使った原子核物理学と物性物理学ならびに基礎物理・素粒子との境界領域の実験研究を行っている。

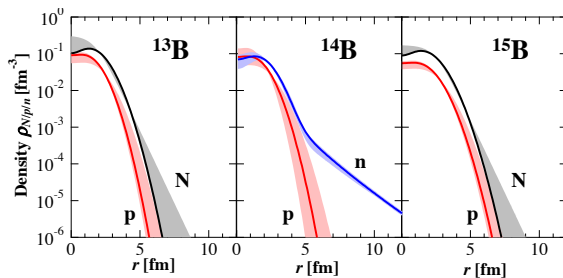


図 1.1: $^{13,14,15}\text{B}$ の陽子・中性子・核子密度分布

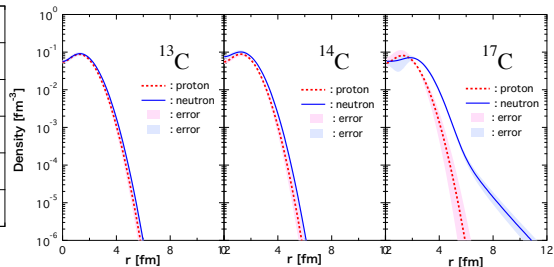


図 1.2: $^{13,14,17}\text{C}$ の陽子・中性子密度分布

不安定原子核の核構造を究明するため、原子核衝突の反応断面積を利用して、核半径および核内の陽子・中性子・核子密度分布を決定する研究を行っている。この研究の一環として、放医研HIMACでの実験で中性子過剰核 $^{13-15}\text{B}$ および $^{13,14,17}\text{C}$ の反応断面積の高精度測定を系統的に行った。その結果、得られた反応断面積のエネルギー依存性を利用して導出した $^{13,14,15}\text{B}$ および $^{13,14,17}\text{C}$ の密度分布を図1.1, 1.2に示す。中性子数が奇数である ^{14}B については、価中性子が通常の殻模型で期待される $1d_{5/2}$ 軌道に入っているとすると実験値を再現できず、遠心力ポテンシャルのない $2s_{1/2}$ 軌道に入っていると考える必要がわかった。そのため、図のとおり中性子ハローと呼べるような長いテールが存在することが示された。これにより、通常の安定核とは異なる軌道の逆転と、対応する中性子密度分布が実験的に明らかになった。一方で、 ^{17}C の場合は、逆に $2s_{1/2}$ 軌道を仮定するとデータの再現性が悪く、主に d 軌道に価中性子が入っていることがわかった。この場合、遠心力ポテンシャルにより中性子ハローと呼べるほどのテールにはならないことが図からもわかる。

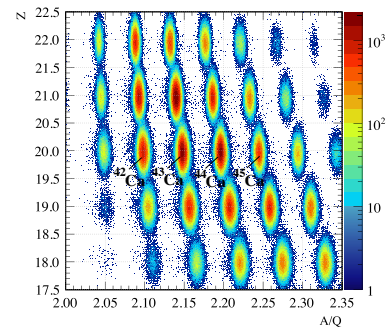


図 1.3: Ca 同位体を含む入射ビームの核種同定スペクトル

中性子過剰核の中性子スキンの厚さは、非対称核物質の状態方程式パラメータと密接な関連があるとされている。この状態方程式パラメータは、中性子星の構造や超新星爆発メカニズムなどの宇宙物理学の問題を明らかにするための鍵といわれている。そこで我々は、NiおよびCa同位体の相互作用断面積・荷電変化断面積を測定することにより、中性子スキンの厚さを系統的に中性子数/陽子数比の関数として求める研究を進めている。2016年11月

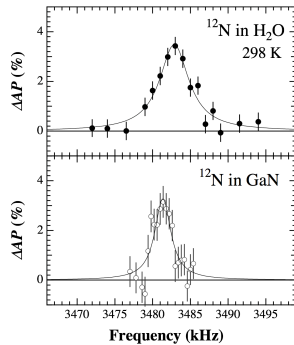


図 1.4: ^{12}N の β -NMR

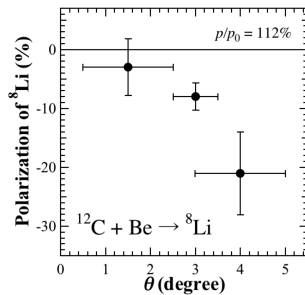


図 1.5: ^8Li の核偏極

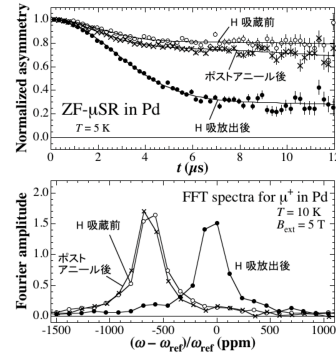


図 1.6: μ スピン緩和とナイトシフト

に、そのための実験を理研 RI ビームファクトリー (RIBF) にて行った。

核子当たり 350 MeV に加速された ^{238}U ビームの飛行核分裂反応により中性子過剰 Ni, Ca 同位体のビームを生成し、不安定核分離装置 BigRIPS および Zero-degree Spectrometer により、これら同位体ビームの C, CH_2 標的に対する相互作用断面積・荷電変化断面積を測定した。実験では予定通り $^{42-50}\text{Ca}$ および $^{58-77}\text{Ni}$ のデータを取得することに成功した。図 1.3 に、典型的な入射 Ca ビームの核種同定スペクトルを示す。現在、このデータ解析を遂行中である。

我々は、 β -NMR(β 線核磁気共鳴) 技術を駆使して、短寿命 β 放射性核の電磁気モーメントの測定や、これらの不安定核をプローブとして、物質科学の研究を行っている。平成 28 年度は、水中に打ち込んだ短寿命核 ^{12}N の精密 NMR スペクトル測定に成功し、参照試料 GaN 中 ^{12}N に対する化学シフトを $(4.3 \pm 0.7) \times 10^2$ ppm と決定した(図 1.4)。この成果は、不安定核の精密モーメント測定や、液体中に打ち込んだイオンが形成する化学状態の特定に繋がり、原子核物理のみならず生物、化学など様々な分野への応用が期待される。

核子当たり 70 MeV の ^{12}C ビームを用いて、入射核破碎反応により高スピン偏極 ^8Li ビーム生成に成功した。 ^8Li の相対運動量 $(112 \pm 2) \%$ 、角度 $(4 \pm 1)^\circ$ において、約 20% もの偏極が観測され、Li イオン電池材料中の Li の伝導特性研究への利用が期待される(図 1.5)。

我々はまた、ミュオンスピン緩和・回転も利用して物質科学の研究を行っている。水素吸蔵物質である Pd について、水素吸蔵-放出過程における水素の挙動を調べるために、ミュオンのスピン緩和率とナイトシフト測定を行った(図 1.6)。その結果、電解チャージと真空引きによる水素吸蔵-放出処理により緩和率とナイトシフトは共に劇的に変化し、これは吸蔵時に形成された原子空孔に水素が留まり、真空引きでは放出されない残留水素が多数存在するためであると考えられる。空孔が回復する 500 $^\circ\text{C}$ でのポストアニールによりほぼ吸蔵前の状態に戻ったことはこの考えを支持している。

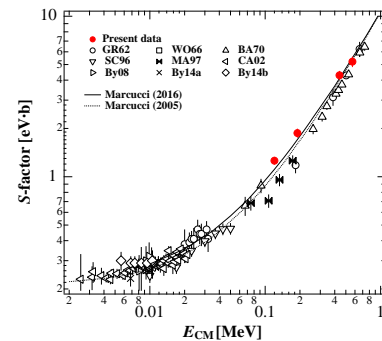


図 1.7: $d(p,\gamma)^3\text{He}$ 反応の確率

バンデグラフ加速器の平成 28 年度の運転は 4 月-7 月まで行われ、それ以降は運転停止を余儀なくされた。p (10 日; $d(p,\gamma)^3\text{He}$ 断面積), d (1 日; 中性子発生), ^3He (3 日; ^{12}N in BN) ビームによる実験が行われた。ビッグバン元素合成では恒

星中でのそれより高いエネルギーでの核反応が重要となるが、 $d(p,\gamma)^3\text{He}$ 反応のそのエネルギー領域での測定値は少なくかつ測定値間でのばらつきが大きかった。そこで、我々はこのエネルギー領域での断面積を精度良く測定した。その結果を図 1.7 に示す。我々の結果を、最新の理論計算（太実線）はよく再現していることがわかる。

学術雑誌に出版された論文

Charge-changing cross-section measurements of $^{12-16}\text{C}$ at around 45A MeV and development of a Glauber model for incident energies 10A-2100A MeV

R.-E. Collaboration, D.T. Tran, H.J. Ong, T.T. Nguyen, I. Tanihata, N. Aoi, Y. Ayyad, P.Y. Chan, M. Fukuda^s, T. Hashimoto, T.H. Hoang, E. Ideguchi, A. Inoue, T. Kawabata, L.H. Khiem, W.P. Lin, K. Matsuta^s, M. Mihara^s, S. Momota, D. Nagae, N.D. Nguyen, D. Nishimura, A. Ozawa, P.P. Ren, H. Sakaguchi, J. Tanaka, M. Takechi, S. Terashima, R. Wada, and T. Yamamoto,

Phys. Rev. C **94** (Dec.) (2016) 064604-1-9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.064604>).

Two-Proton Radioactivity of ^{67}Kr

T. Goigoux, P. Ascher, B. Blank, M. Gerbaux, J. Giovinazzo, S. Grévy, T. Kurtukian Nieto, C. Magron, P. Doornenbal, G. G. Kiss, S. Nishimura, P.-A. Söderström, V. H. Phong, J. Wu, D. S. Ahn, N. Fukuda, N. Inabe, T. Kubo, S. Kubono, H. Sakurai, Y. Shimizu, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, J. Agramunt, A. Algora, V. Guadilla, A. Montaner-Piza, A. I. Morales, S. E. A. Orrigo, B. Rubio, Y. Fujita, M. Tanaka^{DC}, W. Gelletly, P. Aguilera, F. Molina, F. Diel, D. Lubos, G. de Angelis, D. Napoli, C. Borcea, A. Boso, R. B. Cakirli, E. Ganioglu, J. Chiba, D. Nishimura, H. Oikawa, Y. Takei, S. Yagi^m, K. Wimmer, G. de France, S. Go, and B. A. Brown

Phys. Rev. Lett. **117** (Dec.) (2016) 162501-1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.117.162501>).

New neutron-deficient isotopes from ^{78}Kr fragmentation

B. Blank, T. Goigoux, P. Ascher, M. Gerbaux, J. Giovinazzo, S. Grévy, T. Kurtukian Nieto, C. Magron, J. Agramunt, A. Algora, V. Guadilla, A. Montaner-Piza, A. I. Morales, S. E. A. Orrigo, B. Rubio, D. S. Ahn, P. Doornenbal, N. Fukuda, N. Inabe, G. Kiss, T. Kubo, S. Kubono, S. Nishimura, V. H. Phong, H. Sakurai, Y. Shimizu, P.-A. Söderström, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, J. Wu, Y. Fujita, M. Tanaka^{DC}, W. Gelletly, P. Aguilera, F. Molina, F. Diel, D. Lubos, G. de Angelis, D. Napoli, C. Borcea, A. Boso, R. B. Cakirli, E. Ganioglu, J. Chiba, D. Nishimura, H. Oikawa, Y. Takei, S. Yagi^m, K. Wimmer, G. de France, and S. Go

Phys. Rev. C **93** (June) (2016) 061301(R)-1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.93.061301>).

国際会議報告等

NMR detection of short-lived β -emitter ^{12}N implanted in water

T. Sugihara^{m*}, M. Mihara^s, J. Shimaya^b, K. Matsuta^s, M. Fukuda^s, J. Ohno^m, M. Tanaka^{DC}, S. Yamaoka^m, K. Watanabe^b, S. Iwakiri, R. Yanagihara^b, Y. Tanaka^m, H. Du^m, K. Onishi^m, S. Kambayashi^b, T. Minamisono^t, D. Nishimura, T. Izumikawa, A. Ozawa, Y. Ishibashi, A. Kitagawa, S. Sato, M. Torikoshi, S. Momota
 Hyperfine Interactions **238** (Jan.) (2017) 20-1-5.

International Conference on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2016) (2016, 100) (Belgium).

Present status of the ^{129}Xe comagnetometer development for neutron EDM measurement

M. Mihara^{s*}, Y. Masuda, K. Matsuta^s, S. Kawasaki, Y. Watanabe, K. Hatanaka, R. Matsumiya

Hyperfine Interactions **237** (Aug.) (2016) 122-1-8.

International Conference on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2016) (2016, 100) (Belgium).

Charge-changing cross section measurement of neutron-rich carbon isotopes at 50A MeV

D.T. Tran^{*}, T.T. Nguyen, I. Tanihata, H.J. Ong, M. Fukuda^s, N. Aoi, Y. Ayyad, H. Sakaguchi, J. Tanaka, P.Y. Chan, T.H. Hoang, T. Hashimoto, E. Ideguchi, A. Inoue, T. Kawabata, L.H. Khiem, K. Matsuta^s, M. Mihara^s, S. Momota, D. Nagae, A. Ozawa, P.P. Ren, S. Terashima, R. Wada, W.P. Lin, and T. Yamamoto

EPJ Web of Conferences **117** (May) (2016) 07023-1-6.

12th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions 2015 (2015, 200) (Italy).

国際会議における講演等

Measurements of radiative capture cross sections at Big Bang energies (poster)

M. Tanaka^{DC*}, M. Fukuda^s, Y. Tanaka^m, H. Du^m, K. Onishi^m, S. Yagi^m, T. Sugihara^m, T. Hori^b, S. Nakamura^b, R. Yanagihara^b, K. Matsuta^s, M. Mihara^s, D. Nishimura, S. Iwakiri, S. Kambayashi^b, S. Kunimatsu, H. Sakakibara, and S. Yamaoka^m

The 14th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC-XIV) (at Niigata, June 19-24, 2016, 参加者数約 200 名), Japan

Measurements of reaction cross sections for $^{19-27}\text{F}$ isotopes (poster)

A. Homma^{*}, M. Takechi, T. Ohtsubo, D. Nishimura, M. Fukuda^s, T. Suzuki, T. Yamaguchi, T. Kuboki, A. Ozawa, S. Suzuki, H. Ooishi, T. Moriguchi, T. Sumikawa, H. Geissel, N. Aoi, Rui-jiu Chen, De-Qing Fang, N. Fukuda, S. Fukuoka, H. Furuki, N. Inaba, N. Ishibashi, T. Ito, T. Izumikawa, D. Kameda, T. Kubo, M. Lantz, C. S. Lee, Yu-Gang Ma, M. Mihara^s, S. Momota¹, D. Nagae, R. Nishikiori, T. Niwa, T. Ohnishi, K. Okumura, T. Ogura, M. Nagashima, H. Sakurai, K. Sato, Y. Shimbara, H. Suzuki, H. Takeda, S. Takeuchi, K. Tanaka, H. Uenishi, M. Winkler and Y. Yanagisawa

The 14th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC-XIV) (at Niigata, June 19-24, 2016, 参加者数約 200 名), Japan

Measurement of Reaction Cross Section for ^{9-11}C (poster)

K. Nishizuka^{*}, M. Takechi, T. Ohtsubo, D. Nishimura, M. Fukuda^s, K. Aoki, K. Abe, A. Ikeda, T. Izumikawa, H. Oikawa, K. Onishi^m, J. Ohno^m, S. Ohmika, I. Kato, Y. Kanke, K. Kanbe^b, N. Kanda, H. Kikuchi, A. Kitagawa, S. Sato, U. Sayama, J. Shimaya^b, T. Sugihara^m, S. Suzuki, T. Suzuki, H. Takahashi, Y. Taguchi, Y. Takei, Y. Takeuchi, A. Takenouchi, T. Takemoto, N. Tadano, M. Tanaka^{DC}, Y. Tanaka^m, K. Chikaato, H. Du^m, T. Nagai, J. Nagumo, S. Fukuda, K. Hori, A. Homma, M. Machida, S. Matsunaga, A. Mizukami, M. Mihara^s, E. Miyata, D. Murooka, S. Yagi^m, S. Yamaoka^m, T. Yamaguchi, and K. Yokoyama

The 14th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC-XIV) (at Niigata, June 19-24, 2016, 参加者数約 200 名), Japan

NMR detection of short-lived β -emitter ^{12}N implanted in water

T. Sugihara^{m*}, M. Mihara^s, J. Shimaya^b, K. Matsuta^s, M. Fukuda^s, J. Ohno^m, M. Tanaka^{DC}, S. Yamaoka^m, K. Watanabe^b, S. Iwakiri, R. Yanagihara^b, Y. Tanaka^m, H. Du^m, K. Onishi^m, S. Kambayashi^b, T. Minamisono^t, D. Nishimura, T. Izumikawa, A. Ozawa, Y. Ishibashi, A. Kitagawa, S. Sato, M. Torikoshi, S. Momota (invited)

International Conference on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2016) (at Leuven, July 3-8, 2016, 参加者数約 100 名), Belgium

Present status of the ^{129}Xe comagnetometer development for neutron EDM measurement

M. Mihara^{s*}, Y. Masuda, K. Matsuta^s, S. Kawasaki, Y. Watanabe, K. Hatanaka, R. Matsumiya

International Conference on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2016) (at Leuven, July 3-8, 2016, 参加者数約 100 名), Belgium

Hyperfine interactions of ^8Li in Li-ion conductor $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (poster)

S. Yamaoka^{m*}, M. Mihara^s, M. Tanaka^{DC}, Y. Tanaka^m, H. Du^m, T. Sugihara^m, S. Kambayashi^b,

K. Onishi^m, M. Fukuda^s, K. Matsuta^s

International Conference on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2016) (at Leuven, July 3-8, 2016, 参加者数約 100 名), Belgium

Possibility of interaction cross section measurements at HIAF

M. Fukuda^{s*} (invited)

Workshop on Physics Opportunities Using High-energy Ions at HIAF (at Institute of Modern Physics, Lanzhou, July 6-8, 2016, 参加者数約 70 名), China

Reaction cross sections for $^{13-15}\text{B}$ and one neutron halo in ^{14}B

M. Tanaka^{DC*}, M. Fukuda^s, D. Nishimura, M. Takechi, S. Suzuki, H. Du^m, Y. Tanaka^m, K. Aoki, S. Fukuda, A. Honma, T. Izumikawa, Y. Kamisho^m, N. Kanda, I. Kato, Y. Kanke, A. Kitagawa, J. Kohno, M. Machida, K. Matsuta^s, M. Mihara^s, E. Miyata, Y. Morita^m, J. Muraoka, D. Murooka, T. Nagai, M. Nagashima, K. Onishi^m, J. Ohno^m, T. Ohtsubo, H. Oikawa, S. Sato, H. Shimamura, T. Sugihara^m, T. Suzuki, N. Tadano, R. Takagaki, Y. Takei, A. Takenouchi, S. Yagi^m, T. Yamaguchi, S. Yamaki, and S. Yamaoka^m

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

Nuclear Structure of $^{15,16}\text{C}$ via Reaction Cross Section Measurements

H. Du^{m*}, M. Fukuda^s, D. Nishimura, M. Takechi, K. Abe, T. Izumikawa, H. Oikawa, T. Ohtsubo, J. Ohno^m, I. Kato, Y. Kanke, H. Kikuchi, A. Kitagawa, S. Sato, U. Sayama, J. Shimaya^b, S. Suzuki, T. Suzuki, Y. Takeuchi, T. Takemoto, N. Tadano, M. Tanaka^{DC}, R. Tamura, Y. Tanaka^m, J. Nagumo, K. Nishizuka, S. Fukuda, K. Hori, S. Matsunaga, A. Mizukami, M. Mihara^s, E. Miyata, D. Murooka, S. Yamaoka^m, T. Yamaguchi

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

Measurements of reaction cross section for $^{19-27}\text{F}$ isotopes

A. Homma^{*}, M. Takechi, T. Ohtsubo, D. Nishimura, M. Fukuda^s, T. Suzuki, T. Yamaguchi, T. Kuboki, A. Ozawa, S. Suzuki, H. Ooishi, T. Moriguchi, T. Sumikawa, H. Geissel, N. Aoi, Rui-jiu Chen, De-Qing Fang, N. Fukuda, S. Fukuoka, H. Furuki, N. Inaba, N. Ishibashi, T. Ito, T. Izumikawa, D. Kameda, T. Kubo, M. Lantz, C.S. Lee, Yu-Gang Ma, M. Mihara^s, S. Momota, D. Nagae, R. Nishikiori, T. Niwa, T. Ohnishi, K. Okumura, T. Ogura, M. Nagashima, H. Sakurai, K. Sato, Y. Shimbara, H. Suzuki, H. Takeda, S. Takeuchi, S. Takeuchi, K. Tanaka, H. Uenishi, M. Winkler, Y. Yanagisawa

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

Development of high resolution TOF detector for RI beams using Cherenkov

radiation

M. Takechi^{*}, E. Miyata, T. Ohtsubo, M. Fukuda^s, D. Nishimura, K. Abe, K. Aoki, A. Ikeda, T. Izumikawa, H. Oikawa, K. Onishi^m, S. Ohmika, I. Kato, Y. Kanke, N. Kanda, K. Kanbe^b, H. Kikuchi, A. Kitagawa, S. Sato, H. Shimamura, J. Shimaya^b, S. Suzuki, T. Suzuki, R. Takagaki, H. Takahashi, Y. Takei, Y. Takeuchi, T. Takenouchi, N. Tadano, M. Tanaka^{DC}, Y. Tanaka^m, K. Chikaato, H. Du^m, J. Nagumo, K. Nishizuka, T. Nishimura, S. Fukuda, M. Machida, A. Mizukami, M. Mihara^s, J. Muraoka, S. Yagi^m, S. Yamaoka^m, T. Yamaguchi, K. Yokoyama

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

Measurement of reaction cross sections for ⁹⁻¹²C isotopes

K. Nishizuka^{*}, M. Takechi, T. Ohtsubo, D. Nishimura, M. Fukuda^s, K. Aoki, K. Abe, A. Ikeda, T. Izumikawa, H. Oikawa, K. Onishi^m, J. Ohno^m, S. Ohmika, I. Kato, Y. Kanke, K. Kanbe^b, N. Kanda, H. Kikuchi, A. Kitagawa, S. Sato, U. Sayama, J. Shimaya^b, T. Sugihara^m, S. Suzuki, T. Suzuki, H. Takahashi, Y. Taguchi, Y. Takei, Y. Takeuchi, A. Takenouchi, T. Takemoto, N. Tadano, M. Tanaka^{DC}, Y. Tanaka^m, K. Chikaato, H. Du^m, T. Nagai, J. Nagumo, S. Fukuda, K. Hori, A. Homma, M. Machida, S. Matsunaga, A. Mizukami, M. Mihara^s, E. Miyata, D. Murooka, S. Yagi^m, S. Yamaoka^m, T. Yamaguchi, and K. Yokoyama

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

Nuclear structure of ^{6,8}He via reaction cross section measurements (poster)

Y. Tanaka^{m*}, M. Fukuda^s, D. Nishimura, M. Takechi, M. Tanaka^{DC}, H. Du^m, K. Onishi^m, K. Aoki, A. Ikeda, T. Izumikawa, H. Oikawa, T. Ohtsubo, I. Kato, Y. Kanke, A. Kitagawa, S. Sato, T. Sugihara^m, T. Suzuki, K. Takahashi, Y. Takei, A. Takenouchi, N. Tadano, K. Chikaato, T. Nagai, K. Nishizuka, S. Fukuda, A. Homma, M. Machida, K. Matsuta^s, M. Mihara^s, E. Miyata, S. Yagi^m, S. Yamaoka^m, T. Yamaguchi, and K. Yokoyama

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

Reaction cross sections for ¹²N at medium energies and its structure (poster)

K. Onishi^{m*}, M. Fukuda^s, D. Nishimura, M. Takechi, K. Aoki, A. Ikeda, T. Izumikawa, H. Oikawa, T. Ohtsubo, I. Kato, Y. Kanke, A. Kitagawa, S. Sato, T. Sugihara^m, S. Suzuki, T. Suzuki, H. Takahashi, Y. Takei, A. Takenouchi, N. Tadano, M. Tanaka^{DC}, Y. Tanaka^m, K. Chikaato, H. Du^m, T. Nagai, K. Nishizuka, S. Fukuda, M. Machida, M. Mihara^s, E. Miyata, S. Yagi^m, S. Yamaoka^m, T. Yamaguchi, and K. Yokoyama

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

NMR of short-lived beta emitter ^{12}N in water and its new applicability (poster)

T. Sugihara^{m*}, M. Mihara^s, J. Shimaya^b, K. Matsuta^s, M. Fukuda^s, M. Yaguchi^b, K. Iwamoto^m, M. Wakabayashi^m, J. Ohno^m, Y. Kamisho^m, Y. Morita^m, K. Kanbe^b, M. Tanaka^{DC}, S. Shinozaki^b, S. Yamaoka^m, K. Watanabe^b, S. Iwakiri, R. Yanagihara^b, Y. Tanaka^m, H. Du^m, K. Onishi^m, S. Kambayashi^b, T. Minamisono^t, D. Nishimura, T. Izumikawa, T. Ohtsubo, S. Suzuki, M. Nagashima, T. Sakai, K. Abe, Y. Nakamura, D. Murooka, A. Ozawa, D. Nagae, Y. Ishibashi, K. Abe, T. Niwa, T. Nagatomo, A. Kitagawa, S. Sato, M. Torikoshi, and S. Momota

Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape (at Zakopane, Aug. 28 - Sept. 4, 2016, 参加者約 130 名), Poland

日本物理学会，応用物理学会等における講演

 $^{6,8}\text{He}$ の中性子剥離断面積と荷電変化断面積

福田 光順^{s*}, 田中 悠太郎^m, 田中 聖臣^{DC}, 西村太樹, 武智麻耶, 杜 航^m, 大西 康介^m, 青木一矢, 池田彩香, 泉川卓司, 笈川浩之, 大坪隆, 加藤郁磨, 菅家悠生, 北川敦志, 佐藤眞二, 杉原貴信, 鈴木健, 高橋拓希, 武井悠稀, 竹之内嵐, 只野奈津生, 親跡和弥, 永井伎, 西塚賢治, 福田茂一, 町田聖寛, 三原 基嗣^s, 宮田恵理, 八木翔一, 山岡 慎太郎^m, 山口貴之, 横山耕平
日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 - 9 月 24 日)

反応断面積測定による $^{6,8}\text{He}$ の核構造

田中 悠太郎^{m*}, 福田 光順^s, 西村太樹, 武智麻耶, 田中 聖臣^{DC}, 杜 航^m, 大西 康介^m, 青木一矢, 池田彩香, 泉川卓司, 笈川浩之, 大坪隆, 加藤郁磨, 菅家悠生, 北川敦志, 佐藤眞二, 杉原貴信^m, 鈴木健, 高橋拓希, 武井悠稀, 竹之内嵐, 只野奈津生, 親跡和弥, 永井伎, 西塚賢治, 福田茂一, 町田聖寛, 三原 基嗣^s, 宮田恵理, 八木 翔一^m, 山岡 慎太郎^m, 山口貴之, 横山耕平
日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 - 9 月 24 日)

 $^{15,16}\text{C}$ の反応断面積と核構造

杜 航^{m*}, 福田 光順^s, 西村太樹, 武智麻耶, 安部敬治郎, 泉川卓司, 笈川浩之, 大坪隆, 大野淳一^m, 加藤郁磨, 菅家悠生, 菊池遥, 北川敦志, 佐藤眞二, 佐山海斗, 島谷 二郎^b, 鈴木伸司, 鈴木健, 竹内勇貴, 竹本貴紀, 只野奈津生, 田中 聖臣^{DC}, 田村峻, 田中 悠太郎^m, 南雲淳也, 西塚賢治, 福田茂一, 堀兼修, 松永達, 水上淳, 三原 基嗣^s, 宮田恵理, 室岡大樹, 山岡 慎太郎^m, 山口貴之

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 - 9 月 24 日)

中間エネルギー領域における ^{12}N の反応断面積と核構造

大西 康介^{m*}, 福田 光順^s, 西村太樹, 武智麻耶, 青木一矢, 池田彩香, 泉川卓司, 笈川浩之, 大坪隆, 加藤郁磨, 菅家悠生, 北川敦志, 佐藤眞二, 杉原 貴信^m, 鈴木伸司, 鈴木健, 高橋拓希,

武井悠稀, 竹之内嵐, 只野奈津生, 田中 聖臣^{DC}, 田中 悠太郎^m, 親跡和弥, 杜 航^m, 永井伎, 西塚賢治, 福田茂一, 町田聖寛, 三原 基嗣^s, 宮田恵理, 八木翔一, 山岡 慎太郎^m, 山口貴之, 横山耕平

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

水に打ち込まれた短寿命核 ^{12}N の NMR

杉原 貴信^{m*}, 三原 基嗣^s, 島谷 二郎^b, 松多 健策^s, 福田 光順^s, 矢口 雅貴^m, 岩元 昂大^m, 若林 優^m, 大野 淳一^m, 上庄 康斗^m, 森田 祐介^m, 神戸 峻輔^b, 田中 聖臣^{DC}, 篠崎 真一^b, 山岡 慎太郎^m, 渡邊 浩太^b, 岩切秀一, 柳原 陸斗^b, 田中 悠太郎^m, 杜 航^m, 大西 康介^m, 上林 祥平^b, 南園 忠則^t, 西村大樹, 泉川卓司, 大坪隆, 鈴木伸司, 長島正幸, 酒井拓, 阿部 康介, 中村佳裕, 室岡大樹, 小沢顕, 長江大輔, 石橋陽子, 阿部康志, 丹羽崇博, 長友傑, 北川敦志, 佐藤眞二, 鳥越正巳, 百田佐多生

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

中性子 EDM 測定のための ^{129}Xe 核スピン磁力計の開発 VIII

三原 基嗣^{s*}, 増田康博, 松多 健策^s, 畑中吉治, 松宮亮平, 川崎真介, 渡邊裕

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

理論・実験核物理領域合同シンポジウム「反応断面積による核半径研究の進展」～まとめ
福田 光順^{s*}

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

短寿命核 ^{12}N の NMR による、水中での孤立窒素イオンの挙動研究

杉原 貴信^{m*}, 三原 基嗣^s, 島谷 二郎^b, 松多 健策^s, 福田 光順^s, 大野 淳一^m, 田中 聖臣^{DC}, 山岡 慎太郎^m, 渡邊 浩太^b, 岩切秀一, 柳原 陸斗^b, 田中 悠太郎^m, 杜 航^m, 大西 康介^m, 上林 祥平^b, 南園 忠則^t, 八木 翔一^m, 中村 翔健^b, 堀 太一^b, 西村大樹, 泉川卓司, 小沢顕, 石橋陽子, 北川敦志, 佐藤眞二, 鳥越正巳, 百田佐多生

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Ni 領域中重核の陽子標的相互作用断面積測定

中村 翔健^{b*}, 武智麻耶, 田中 聖臣^{DC}, 本間彰, 鈴木健, 福田 光順^s, 西村太樹, 森口哲朗, 安得順, A.S. Aimaganbetov, 天野将道, 荒川裕樹, S. Bagchi, K.H. Behr, N. Burtebayev, 親跡和弥, 杜 航^m, 藤井朋也, 福田直樹, H. Geissel, 堀 太一^b, 星野寿春, 伊五澤涼, 池田彩夏, 稲辺尚人, 猪股玖美, 板橋健太, 泉川卓司, 上岡大起, 神田直人, 加藤郁磨, I. Kenzhina, Z. Korkulu, Ye. Kuk, 日下健祐, 松多 健策^s, 三原 基嗣^s, 宮田恵理, 長江大輔, M. Nassurlla, 西室国光, 西塚賢治, 大甕舜一朗, 大西 康介^m, 大竹政雄, 大坪隆, 王恵仁, 小沢顕, A. Prochazka, S. K. Sakhiyev, 櫻井博儀, C. Scheidenberger, 清水陽平, 杉原 貴信^m, 炭竈聡之, 鈴木伸司, 鈴木宏, 竹田浩之, 田中良樹, 田中 悠太郎^m, 谷畑勇夫, 和田太郎, 若山清志, 八木 翔一^m, 山口貴之, 柳原 陸斗^b, 柳澤善行, 吉田光一, T.K. Zholdybayev

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Ca,Ni 同位体の荷電変化断面積測定

田中 聖臣 ^{DC*}, 武智麻耶, 本間彰, 鈴木健, 田中 悠太郎 ^m, 福田 光順 ^s, 西村太樹, 森口哲朗, 安得順, A.S. Aimaganbetov, 天野将道, 荒川裕樹, S. Bagchi, K.-H. Behr, N. Burtebayev, 親跡和弥, 杜 航 ^m, 藤井朋也, 福田直樹, H. Geissel, 堀 太一 ^b, 星野寿春, 伊五澤涼, 池田彩夏, 稲辺尚人 ^E, 猪股玖美, 板橋健太, 泉川卓司, 上岡大起, 神田直人, 加藤郁磨, I. Kenzhina ^J, Z. Korkulu ^E, Ye. Kuk, 日下健祐, 松多 健策 ^s, 三原 基嗣 ^s, 宮田恵理, 長江大輔 ^E, 中村翔健, M. Nassurlla ^F, 西室国光, 西塚賢治, 大甕舜一朗, 大西康介, 大竹政雄, 大坪隆, 王恵仁, 小沢 顕, A. Prochazka, S.K. Sakhiyev, 櫻井博儀, C. Scheidenberger, 清水陽平, 杉原貴信, 炭竈 聡之, 鈴木伸司, 鈴木宏, 竹田浩之, 田中良樹, 谷畑勇夫, 和田太郎, 若山清志, 八木 翔一 ^m, 山口貴之, 柳原 陸斗 ^b, 柳澤善行, 吉田光一, T.K. Zholdybayev

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Ca 同位体の相互作用断面積と核構造

田中 悠太郎 ^{m*}, 武智麻耶, 田中 聖臣 ^{DC}, 本間彰, 鈴木健, 福田 光順 ^s, 西村太樹, 森口哲朗, 安得順, A.S. Aimaganbetov, 天野将道, 荒川裕樹, S. Bagchi, K.-H. Behr, N. Burtebayev, 親跡和弥, 杜 航 ^m, 藤井朋也, 福田直樹, H. Geissel, 堀 太一 ^b, 星野寿春, 伊五澤涼, 池田彩夏, 稲辺尚人 ^E, 猪股玖美, 板橋健太, 泉川卓司, 上岡大起, 神田直人, 加藤郁磨, I. Kenzhina ^J, Z. Korkulu ^E, Ye. Kuk, 日下健祐, 松多 健策 ^s, 三原 基嗣 ^s, 宮田恵理, 長江大輔 ^E, 中村翔健, M. Nassurlla ^F, 西室国光, 西塚賢治, 大甕舜一朗, 大西康介, 大竹政雄, 大坪隆, 王恵仁, 小沢 顕, A. Prochazka, S.K. Sakhiyev, 櫻井博儀, C. Scheidenberger, 清水陽平, 杉原貴信, 炭竈 聡之, 鈴木伸司, 鈴木宏, 竹田浩之, 田中良樹, 谷畑勇夫, 和田太郎, 若山清志, 八木 翔一 ^m, 山口貴之, 柳原 陸斗 ^b, 柳澤善行, 吉田光一, T.K. Zholdybayev

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

中間エネルギー領域における ¹⁰Be の反応断面積と核構造

八木 翔一 ^{m*}, 福田 光順 ^s, 西村太樹, 武智麻耶, 岩元 昂大 ^m, 泉川卓司, 大坪隆, 大野 淳一 ^m, 上庄 康斗 ^m, 神戸 峻輔 ^b, 北川敦志, 河野準平, 佐藤眞二, 朱易帆, 鈴木伸司, 鈴木健, 田代 圭佑, 田中 聖臣 ^{DC}, 長島正幸, 本間彰, 三原 基嗣 ^s, 森田 祐介 ^m, 山木さやか, 山口貴之, 若林 優 ^m, 渡辺大介

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

中間エネルギー領域における ¹²N の 1 陽子剥離断面積

大西 康介 ^{m*}, 福田 光順 ^s, 西村太樹, 武智麻耶, 森田 祐介 ^m, 青木一矢, 池田彩夏, 泉川卓司, 笈川浩之, 大坪隆, 加藤郁磨, 菅家悠生, 北川敦志, 佐藤眞二, 杉原 貴信 ^m, 鈴木健, 高橋拓希, 武井悠稀, 竹之内嵐, 只野奈津生, 田中 聖臣 ^{DC}, 田中 悠太郎 ^m, 親跡和弥, 杜 航 ^m, 永井伎, 西塚賢治, 福田茂一, 町田聖寛, 三原 基嗣 ^s, 宮田恵理, 八木 翔一 ^m, 山岡 慎太郎 ^m, 山口貴之, 横山耕平

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

中性子 EDM 測定のための ^{129}Xe 核スピン磁力計開発 IX三原 基嗣^{s*}, 増田康博, 松多 健策^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

中性子 EDM 測定のための一様静磁場の開発 (3)松多 健策^{s*}, UCN グループ

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

Ni 領域中性子過剰核における核子剥離反応の系統的研究柳原 陸斗^{b*}, 武智麻耶, 田中 聖臣^{DC}, 本間彰, 鈴木健, 福田 光順^s, 西村太樹, 森口哲朗, 安得順, A.S. Aimaganbetov, 天野将道, 荒川裕樹, S. Bagchi, K.-H. Behr, N. Burtebayev, 親跡和弥, 杜 航^m, 藤井朋也, 福田直樹, H. Geissel, 堀 太一^b, 星野寿春, 伊五澤涼, 池田彩夏, 稲辺尚人^E, 猪股玖美, 板橋健太, 泉川卓司, 上岡大起, 神田直人, 加藤郁磨, I. Kenzhina^J, Z. Korkulu^E, Ye. Kuk, 日下健祐, 松多 健策^s, 三原 基嗣^s, 宮田恵理, 長江大輔^E, 中村翔健, M. Nassurlla^F, 西室国光, 西塚賢治, 大甕舜一朗, 大西康介, 大竹政雄, 大坪隆, 王恵仁, 小沢 顕, A. Prochazka, S.K. Sakhiyev, 櫻井博儀, C. Scheidenberger, 清水陽平, 杉原貴信, 炭竈 聡之, 鈴木伸司, 鈴木宏, 竹田浩之, 田中良樹, 田中 悠太郎^m, 谷畑勇夫, 和田太郎, 若山清志, 八木 翔一^m, 山口貴之, 柳澤善行, 吉田光一, T.K. Zholdybayev

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

ビッグバンエネルギー領域における $d(p, \gamma)^3\text{He}$ の断面積測定堀 太一^{b*}, 福田 光順^s, 田中 聖臣^{DC}, 田中 悠太郎^m, 杜 航^m, 大西 康介^m, 杉原 貴信^m, 八木 翔一^m, 中村 翔健^b, 柳原 陸斗^b, 松多 健策^s, 三原 基嗣^s, 西村太樹, 岩切秀一, 上林 祥平^b, 国松翔太, 榊原光, 山岡 慎太郎^m

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

リチウムイオン電池材料物質中の ^8Li のベータ NMR三原 基嗣^{s*}, 山岡 慎太郎^m, 田中 聖臣^{DC}, 田中 悠太郎^m, 杜 航^m, 杉原 貴信^m, 上林 祥平^b, 大西 康介^m, 八木 翔一^m, 柳原 陸斗^b, 堀 太一^b, 中村 翔健^b, 福田 光順^s, 松多 健策^s, 南園 忠則^t, 北川敦志, 佐藤真二

平成 28 年度 KUR 専門研究会「短寿命 RI を用いた核分光と核物性研究 III」(2016年12月20日 - 12月21日, 京大原子炉)

水に打ち込まれた短寿命 β 放射核 ^{12}N の NMR杉原 貴信^{m*}, 三原 基嗣^s, 島谷 二郎^b, 松多 健策^s, 福田 光順^s, 岩切秀一, 大野 淳一^m, 田中 聖臣^{DC}, 山岡 慎太郎^m, 渡邊 浩太^b, 田中 悠太郎^m, 杜 航^m, 大西 康介^m, 八木 翔一^m, 上林 祥平^b, 柳原 陸斗^b, 中村 翔健^b, 堀 太一^b, 南園 忠則^t, 西村太樹, 泉川卓司, 小沢 顕, 石橋陽子, 北川敦志, 佐藤真二, 取越正巳, 百田佐多生

平成 28 年度 KUR 専門研究会「短寿命 RI を用いた核分光と核物性研究 III」(2016年12月20日 - 12月21日, 京大原子炉)

Hydrogen-induced vacancies in Pd studied by muon Knight shift (ポスター)

三原 基嗣^{**}, 荒木秀樹, 水野正隆, 下村浩一郎, 小林篤史, 近藤雅史, 髭本亘, 門野良典
理研シンポジウム: ミュオン科学応用の最先端/理研 RAL ミュオン施設 25 周年記念 Users Meeting (2016 年 2 月 16 日 - 17 日, 理研)

書籍等の出版, 日本語の解説記事

第 4 版 物理学実験

杉山清寛・福田 光順^s・山中千博・下田正 編 (共著) 福田 光順^s, 三原 基嗣^s 他
大阪大学出版会 (2016 年 3 月発行, 194 頁)

1.5 山中（卓）グループ

平成 28 年度の研究活動概要

山中卓研究室は、J-PARC KOTO 実験と、ヨーロッパの CERN LHC ATLAS 実験に参加しており、新たなシリコン検出器の開発にも取り組んでいる。

J-PARC KOTO 実験

J-PARC KOTO 実験の目的は、中性の K 中間子の $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊を用いて、CP 対称性を破る、標準理論を超える新たな物理を探ることである。2013 年に実験を開始し、2015 年には 2013 年の約 20 倍の統計を貯めた。

円筒形ガンマ線検出器：2015 年度には直径 2 m、長さ 3 m の円筒形のガンマ線検出器を製作して現存する測定器の中に挿入した。2016 年 4 月にはその円筒形ガンマ線検出器に光電子増倍管などを取り付けて、測定器として完成させた (外川)。その後、測定器の入った真空容器を閉じ、6 月にデータ収集を行った。

さらに、詳細なシミュレーションにより、新たな円筒形ガンマ線検出器は $K_L \rightarrow 2\pi^0$ 崩壊による背景事象を約 1/3 にできることを明らかにし、検出器の性能評価と合わせて博士論文としてまとめた (村山)。

電磁カロリメータのアップグレード：2013 年のデータでの解析では、CsI 電磁カロリメータに入った中性子をガンマ線と見誤ることによっておきる背景事象が見つかった。そこで、CsI 結晶の上流側に半導体の光検出器 (MPPC) を取り付け、下流側の光電子増倍管との信号の時間差を用いて反応点の深さを測定し、ガンマ線と中性子が反応する深さの分布が異なることを利用して、これらの粒子を識別する。この手法の実証試験のために、2016 年度は中性子とガンマ線を入射する実験を RCNP で 2016 年 6 月と 2017 年 2 月に行った (南條、外川、山中、小寺、原口、西宮、佐藤)。ガンマ線と中性子は明らかに異なる時間差分布をしているが、さらに詳細な解析が必要である。また、実機で予定しているように MPPC を 4 個直列に接続して読み出すことにも成功している。さらに MPPC を中性子に当て、放射線損傷の影響も試験した (南條、小寺)。

データ解析：2013 年に収集したデータの解析結果を論文発表した。

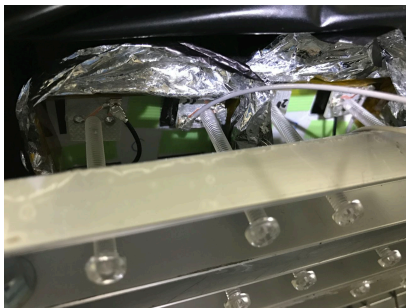


図 1.1: CsI 結晶に押し付けられた MPPC。

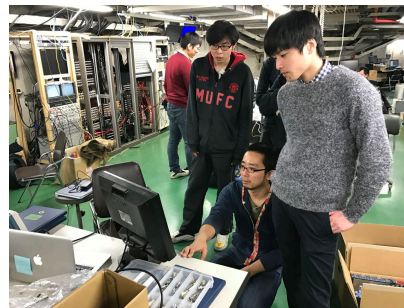


図 1.2: RCNP でのビームテスト。

CERN ATLAS 実験

CERN の世界最高重心系エネルギーの陽子陽子衝突型加速器 (LHC) を用いた ATLAS 実験の目的は、エネルギーフロンティアでの素粒子物理の標準理論を越える物理の探索、及び発見された Higgs 粒子の性質の解明である。

2015 年度に LHC の重心系エネルギーは 8TeV から 13TeV に上がった。2016 年度はビーム輝度も設計値を上まわり、収集した統計量も 2015 年度の 10 倍に達している。さらに 2026 年度からはビーム輝度を上げた High Luminosity LHC (HL-LHC) プロジェクトが計画されており、それに合わせ ATLAS 検出器の大幅なアップグレードも予定している。山中グループでは 2016 年度に次のことを行った。

データ解析：

- 終状態に $H \rightarrow bb$ 過程を含む暗黒物質探索 [Teoh, 花垣]：解析終了し、暗黒物質候補は未発見であったが、いくつかのモデルに制限を与え、結果を博士論文としてまとめている。
- $H \rightarrow bb$ 事象探索 [山口、石島、花垣]：多変数解析により感度向上を図ると共に、いくつかの背景事象の見積もり手法により系統誤差削減を試みた。夏には ICHEP 国際会議に結果を出した。来年度さらに結果をアップデートする予定である。

現行 ATLAS 実験の運用：

- 放射線ダメージの影響評価 [今坂、花垣、南條]：現行 ATLAS 実験のビーム衝突点近傍のシリコンピクセルセンサーについて、 γ 線起因の放射線損傷と考えられる挙動を確認した。その影響を調査するため、読み出し ASIC について γ 線照射を行い、損傷の原因を絞り込んだ。
- データ転送速度改善のためのエレクトロニクスアップグレード [矢島]：ビーム衝突点近傍のセンサーのデータ転送レートがハードウェアの限界を迎えつつあるため、データ収集システムのアップグレードを行った。デバイスの試験、インストール、運用評価を行い、2017 年 4 月からの ATLAS での運転を準備している。

HL-LHC に向けた開発：HL-LHC での新型ピクセル型シリコン飛跡検出器は、加速器輝度の増大に伴う飛跡密度の増加に対して、ピクセルサイズを細かくして ($50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$) 対応する。

- ビーム試験に用いる冷却システム及び飛跡構成用半導体ストリップ検出器 [山元、南條]：放射線ダメージ下でのセンサー運用のために冷凍機をもちいた冷却システムを構築し、ビーム試験の間運用した。また、検出器をビーム方向に対して傾け、ストリップ間に電荷を分配することによって位置精度の向上を図った。
- 高速データ読み出しシステムの開発 [澤田、南條] HL-LHC における新型ピクセルセンサーの読み出しでは、ASIC あたり 5Gbps でのデータ出力を予定している。このデータを読み出す FPGA を用いたシステムを作るため、10Gbps までの受信特性を調べた。

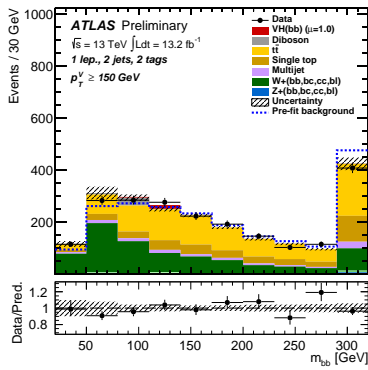


図 1.3: b ジェットから再構成した質量分布

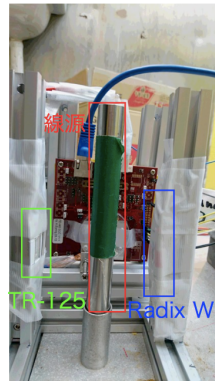


図 1.4: 現行 ATLAS の ASIC γ 線照射試験

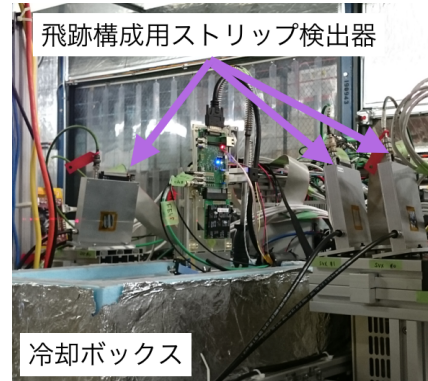


図 1.5: HL-LHC に向けたピクセル検出器ビーム試験

SOI 技術を用いた ILC 実験用シリコン検出器の開発

SOI (Silicon On Insulator) 技術は、高抵抗シリコン基板上に絶縁層 (SiO_2) を挟んで産業レベルの CMOS 回路を形成する技術であり、従来別々であったセンサー部と信号処理部を一体化でき、小型化、高精度化する事が可能となる。我々の研究室では、ILC 実験の飛跡検出器用途を目的とした SOI シリコン検出器、SOFIST の開発を行っている。

本年度は、アナログ部のみを実装した 50×50 ピクセル (1 ピクセルは $20 \times 20 \mu\text{m}^2$) の検出器、SOFIST version 1 の性能評価を行なった。センサーの厚さは $500 \mu\text{m}$ である。 ^{90}Sr のベータ線源を用いたシグナル-ノイズ比 (S/N 比) の性能評価や、 $670 \text{ MeV}/c$ の陽電子ビームを用いて、複数枚の検出器で陽電子のトラックを再構成できることを確認したのち (森、外川)、位置分解能を評価するため、米国フェルミ国立加速器研究所 (FNAL) で $120 \text{ GeV}/c$ 陽子ビームを用いたテスト実験を行なった。S/N 比 500 程度、残差分布で $1.7 \mu\text{m}$ の幅が得られており、目標とする $3 \mu\text{m}$ 以下の位置分解能を満たすことを確認した (外川)。

また、デジタル部のテストを目的とした version 2 のチップ製造も終わり、読み出し、テストの準備を始めている。

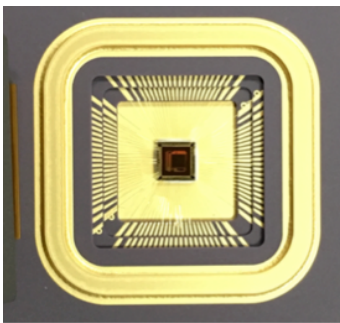


図 1.6: SOFIST version 1



図 1.7: FNAL での実験セットアップ

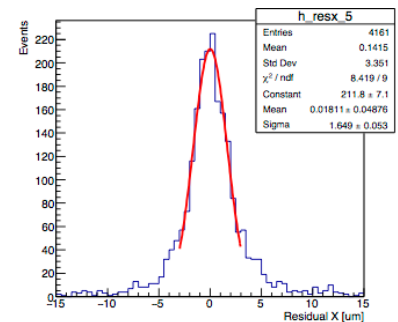


図 1.8: 得られた残差分布

学術雑誌に出版された論文

A new search for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ and $K_L \rightarrow \pi^0 X^0$ decays

J.K.Ahn, . . . , S. Banno^m, H. Haraguchi^m, M. Ise^m, E. Iwai^p, K. Miyazaki^m, R. Murayama^d, Y. Nakaya^m, Y. D. Ri^p, Y. Sugiyama^d, Y. Takashima^m, M. Togawa^s, T. Toyoda^m, M. Yamaga^p, T. Yamanaka^s, Y. Yanagida^m, H. Yoshimoto^m *et al.* (J-PARC KOTO Collaboration)

PTEP **2017** (Feb.) (2017) 021C01

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptx001>).

国際会議報告等

国際会議における講演等

Rare Kaon Decay Experiments

T. Yamanaka^{s*} (invited)

Flavor Physics and CP Violation - FPCP 2016 (at Pasadena, CA, June 6-9, 2016, 参加者数約 68), USA

SOI detector for the ILC experiment

M. Togawa^{s*}

China-Japan Mini Workshop on SOIPIX at IHEP (at Beijing, July 14 2016, 参加者数約 25), China

A new cylindrical photon-veto detector for the KOTO experiment (poster)

M. Togawa^{s*}

KAON2016 (at Birmingham, Sept. 14-17, 2016, 参加者数約 80), UK

Performance and description of the upgraded readout with the new back-end electronics for ATLAS Pixel detector (poster)

K. Yajima^{d*}

LHCC poster session (at Geneva, Feb. 22, 2017, 参加者約 100 名), Switzerland

日本物理学会，応用物理学会等における講演

KOTO 実験での中性子背景事象削減に向けた CsI 両読み用の MPPC 読み出しシステムの開発

佐藤友太^{m*}, 山中 卓^s, 南條創, 外川学^s, 原口弘^m, 西宮隼人^m

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

KOTO 実験における中性子及び γ 線事象の弁別のための CsI 結晶の両読み機構の性能評価
西宮隼人 ^{m*}, 佐藤友太 ^m, 外川学 ^s, 南條創, 原口弘 ^m, 山中 卓 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

ATLAS アップグレードに向けての、FPGA を用いたギガビット通信によるピクセル検出器の高速読み出し試験

澤田恭範 ^{m*}, 南條創, 花垣和則 ^s, 矢島和希 ^d

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

LHC-ATLAS 実験におけるピクセル検出器のデータ読み出しシステムアップグレード

矢島和希 ^{d*}, 花垣和則 ^s, 田窪洋介, 津野総司, 東野聡, 留目和輝, 山口大貴, Gabriele D'Amen, Gabriele Balbi, Marcello Bindi, JuanAn Garcia

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

HL-LHC 実験 ATLAS 検出器のアップグレードに向けた飛跡再構成用 SVX4 テレスコープを用いたピクセル検出器の性能評価

山元大生 ^{m*}, 南條創, 澤田恭範 ^m, 鈴木淳貴, 徳武仁美, 佐藤和之, 澤井宏美, 池上陽一, 中村浩二, 海野義信, 花垣和則 ^s, 大川英希, 原和彦, 陣内修, 他 ATLAS 日本シリコングループ, 浜松ホトニクス

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

LHC-ATLAS 実験における $WH \rightarrow \ell\nu b\bar{b}$ 崩壊過程を用いたヒッグス粒子の探索 – 系統誤差の評価と最新結果–

石島直樹 ^{d*}, 山口洋平 ^p, 花垣和則 ^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

J-PARC KOTO 実験における、波形解析による電磁カロリメーターでの中性子弁別法の開発

杉山 泰之 ^{d*}, 塩見公志, 外川学 ^s, 山中 卓 ^s, 他 KOTO Collaboration

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

高エネルギー実験での使用に向けた GAGG 結晶の基礎性能評価

西宮隼人 ^{m*}, 佐藤友太 ^m, 外川学 ^s, 南條創, 山中 卓 ^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

ATLAS 実験におけるピクセル検出器の動作特性評価

今坂俊博 ^{m*}, 花垣和則 ^s, 南條創, 東野聡, 田窪洋介, 他 ATLAS 日本シリコングループ

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

J-PARC KOTO 実験に追加する横方向光子検出器のインストールと性能評価

外川学^{s*}, LimGeiYoub, 小松原健, 田島靖久, 野村正, 原口弘^m, 宮崎康一^m, 村山 理恵^d, 山中 卓^s, Elizabeth Pod, Yau W. Wah 他 KOTO Collaboration
日本物理学会 2016 年秋季大会（於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日）

ILC に向けたピクセルセンサー：SOFIST の動作試験

森哲平^{m*}, 小野峻, 外川学^s, 花垣和則^s, 新井康夫, 坪山透, 山田美帆, 西村龍太郎, 他 SOIPIX
グループ
日本物理学会 2016 年秋季大会（於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日）

J-PARC KOTO 実験のために新たに組込んだ円筒形光子検出器：インナーバレル

村山 理恵^d, 外川学^s, 山中 卓^s, G. Y. Lim
高エネルギーニュース **35** (12 月) (2016) 176-184.

1.6 小林グループ

平成28年度の研究活動概要

半導体や金属を微細加工して作製される微小な電子回路をメゾスコピック系と呼ぶ。その最大の特長は、量子力学的効果が本質的であるようなスケールにおいて、制御性の高い実験ができる点にある。実際に、微小な電子波干渉計や、量子ドット（人工原子）等で発現する電子の電荷・スピン・コヒーレンス・多体効果に基づく多彩な量子現象とその制御は、1980年代以降、物性物理学の発展に大きな貢献を果たしてきた。

小林グループでは、このようなメゾスコピック系における様々な現象、主に量子多体现象、非平衡現象、スピン輸送現象などに注目して研究を行っている。高精度な電流ゆらぎ測定やスピン輸送測定を行うことで、定量的に量子輸送・スピン輸送を観測・制御することができ、これまで実現が困難であったような実験に挑むことが可能になる。さらにメゾスコピック系ならではの新しい現象の発見を目指して研究を進めている。

平成28年度、我々は主として以下のテーマに取り組んだ。

- a) ゆらぎで探る量子液体の非平衡ダイナミクス
- b) アンドレーフ近藤効果
- c) 高周波印加による単電子放出技術の開発
- d) 超高移動度量子細線における電流ゆらぎの精密測定
- e) スピン流のゆらぎ検出
- f) 表面弾性波を用いた原子層超伝導体の伝導特性の変調
- g) 原子層超伝導体におけるスピン輸送測定
- h) 異方的超伝導体におけるスピン輸送測定
- i) スピングラスにおける非線形スピン流電流変換

以下では、「d) 超高移動度量子細線における電流ゆらぎの精密測定」、「g) 原子層超伝導体におけるスピン輸送測定」について詳しく紹介する。

超高移動度量子細線における電流ゆらぎの精密測定

量子効果が本質的であるような微小素子に電流 I を流すと、電子の透過と反射の確率過程に基づいて電流にショット雑音が生じる。ショット雑音には、量子統計や散乱過程、多体効果といった様々な情報が含まれている。したがって、ショット雑音は通常の伝導度測定だけでは得られないような電子のダイナミクスを知るための有力なプローブとなる。

量子ポイントコンタクト (QPC) とは、ゲート電極を用いて2次元電子系を狭窄することで実現される量子細線の一種である。この素子は、伝導電子の固有状態を反映して、伝導度が量子化されるという特徴を持つ。QPCにおける量子多体効果を明らかにすることを目指して、これまでに多くのショット雑音測定がおこなわれてきた。透過率が100%の量子化チャネルに対して、理論的にはショット雑音 S はいっさい生じない。言い換えると、 $F = S/2e|I|$ で定義されるファノ因子 F は厳密にゼロとなる。ところが、QPCの電流雑音を測定すると、たとえ完全透過のチャネルであっても有限のファノ因子が生じることが多くの先行研究で報

告されてきた。こうした理論と実験のあいだのずれを説明するものとして、 $1/f$ 雑音、チャネルミキシング、電子発熱といった仮説が挙げられていたが、未解決のままとなっていた。

我々は、超高移動度 QPC の電流雑音を高精度測定することで、有限のファノ因子が本質的なものであるかどうか、そして温度や磁場に対してどのように依存するかを調べた。その結果、試料に磁場を印加するとファノ因子が有意に抑制されるという結果を得た。さらに、2次元電子系が量子ホール状態のとき、ファノ因子が統計的なエラーバーの範囲内でゼロとなることを確かめた。これらの実験結果をもとに、QPC 近傍の電子系におけるホットエレクトロンの熱散逸を仮定したモデルを用いて系統的な解析を行い、発熱とそれに伴う熱流によって現象が説明されることを見出した。

原子層超伝導体におけるスピン輸送測定

スピントロニクスとは、電子の持つスピンの自由度を用いてエレクトロニクスを創出する新しい研究分野であり、今世紀に入って急進展している。その根幹を担うのが、スピン角運動量の流れ「スピン流」であり、さまざまな分野で研究が進んでいる。

このスピン流の生成と検出を可能にするのが、スピンホール効果と呼ばれる現象である。スピン軌道相互作用の強い非磁性体に電流を流すと、電流とスピンの量子化軸に直交する方向に電子が散乱される。つまり、スピナップとスピンドアウンの電子は互いに逆方向に散乱されるため、電荷の流れを伴わないスピン流を生成することが可能となる。逆にスピン流を流すと逆変換によって電流が生成されるため、スピン流の電氣的検出も可能となる（逆スピンホール効果）。最近の研究で、超伝導体にスピン流を注入すると、検出される電気信号が常伝導状態に比べ 2000 倍近く増強することが報告されている。しかしながら、超伝導に転移する温度 (T_C) は一般的には低温に限られ、実用のデバイスとして用いるためには、まだ大きな隔りがある。超伝導体を用いた新しいスピントロニクスを創製するためには、系統的な学理を構築することと、応用への道筋を切り開くことが必須となる。

上述した研究背景に基づいて、本研究では超伝導転移する「2次元原子層物質」に着目した。2次元原子層超伝導体を用いる利点は、電界で T_C を制御できること、特に FeSe などフェルミエネルギーの小さな層状超伝導体では、電界効果で T_C を大幅に増強できることが近年報告されており、先述の巨大逆スピンホール効果がもっと高温で発現し、よりデバイス応用しやすくなる。

本年度は典型的な原子層超伝導体である NbSe₂ を用いて、スピン輸送素子を作製し、逆スピンホール効果の測定を行った。スピン流は電流と異なり、連続の式を満たさないため、スピン流が拡散する典型的な長さ、スピン拡散長 ($\sim 1 \mu\text{m}$) よりも小さく素子を作製する必要がある。まずは、NbSe₂ 単結晶からスコッチテープを用いて 20 nm の厚みの薄膜を作製し、シリコン基板に転写した。この際にできる NbSe₂ 薄膜の大きさは $10 \mu\text{m}^2$ 程度とスピン輸送素子には大きいため、アルゴンイオンエッチング法を用いて、300 nm の幅の細線に加工してスピン輸送素子に組み込み、逆スピンホール効果を測定した。NbSe₂ の $T_C (= 7.2 \text{ K})$ 以上の 10 K で明瞭な逆スピンホール信号を検出することに成功した。今後は、 T_C 以下での測定を行うと同時に、電界効果で大きく T_C を変調できる FeSe を用いた実験を行っていく予定である。

学術雑誌に出版された論文

Observation of magnon-Hall-like effect for sample-edge scattering in unsaturated YIG

K. Tanabe^p, R. Matsumoto, J. Ohe, S. Murakami, T. Moriyama, D. Chiba, K. Kobayashi^s, and T. Ono

physica status solidi (b) **253** (No. 4, Apr.) (2016) 783-787

(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/pssb.201552520>).

Finite Shot Noise and Electron Heating at Quantized Conductance in High-mobility Quantum Point Contacts

T. Muro^m, Y. Nishihara, S. Norimoto^d, M. Ferrier^{PD}, T. Arakawa^s, K. Kobayashi^s, T. Ihn, C. Rössler, K. Ensslin, C. Reichl, and W. Wegscheider

Physical Review B **93** (No. 19, May) (2016) 195411 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.195411>).

Spin mixing conductance in Cu-Ir dilute alloys

S. Takizawa, M. Kimata, Y. Omori, Y. Niimi^s, and Y. Otani

Applied Physics Express **9** (No. 6, May) (2016) 063009 1-3

(<http://dx.doi.org/doi:10.7567/APEX.9.063009>).

Snell's Law for Spin Waves

J. Stigloher, M. Decker, H. S. Körner, K. Tanabe^p, T. Moriyama, T. Taniguchi, H. Hata, M. Madami, G. Gubbiotti, K. Kobayashi^s, T. Ono, and C. H. Back

Physical Review Letters **117** (No. 3, July) (2016) 037204 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.117.037204>).

What Can We Learn from Noise? – Mesoscopic Nonequilibrium Statistical Physics –

K. Kobayashi^s

Proceedings of the Japan Academy, Series B **92** (No. 7, July) (2016) 204-221

(<http://dx.doi.org/doi:10.2183/pjab.92.204>).

Tuning the spin Hall effect of Pt from the moderately dirty to the superclean regime

E. Sagasta, Y. Omori, M. Isasa, M. Gradhand, L. E. Hueso, Y. Niimi^s, Y. Otani, and F. Casanova

Physical Review B **94** (No. 6, Aug.) (2016) 060412(R) 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.94.060412>).

Field-Enhanced Kondo Correlations in a Half-Filling Nanotube Dot: Evolu-

tion of an $SU(N)$ Fermi-Liquid Fixed Point

Y. Teratani, R. Sakano, R. Fujiwara^m, T. Hata^{DC}, T. Arakawa^s, M. Ferrier^{PD}, K. Kobayashi^s, and A. Oguri

Journal of the Physical Society of Japan **85** (No. 9, Sept.) (2016) 094718 1-18
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.094718>).

Effect of Magnetic Fluctuations on Spin Current

Y. Niimi^s, D. H. Wei, and Y. Otani

Journal of the Physical Society of Japan **86** (No. 1, Jan.) (2017) 011004 1-10
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.86.011004>).

国際会議における講演等

Spin Hall effects in strong spin-orbit materials (nonmagnets, ferromagnets, spin-glasses, and superconductors)

Y. Niimi^{s*} (invited)

5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM2016) (at Fethiye, Apr. 24-30, 2016, 参加者数約 300 名), Turkey

Non-equilibrium Fluctuations of Quantum Liquids in the Kondo Regime

K. Kobayashi^{s*}, M. Ferrier^{PD}, T. Arakawa^s, T. Hata^{DC}, R. Fujiwara^m, R. Delagrangé, R. Weil, R. Deblock, R. Sakano, and A. Oguri (invited)

China-Japan International Workshop on Quantum Technologies 2016 (QTech2016) (at Beijing, May 13-14, 2016, 参加者数約 50 名), China

Current Fluctuations in Mesoscopic Systems

K. Kobayashi^{s*} (invited)

45th International Conference on the Physics of Semiconductors, Jaszowiec 2016 Conference (at Szczyrk, June 18-24, 2016, 参加者数約 120 名), Poland

Noise detection of the field enhancement of Kondo correlations in a carbon nanotube quantum dot

M. Ferrier^{PD*}, T. Hata^{DC}, T. Arakawa^s, Y. Teratani, R. Sakano, A. Oguri, and K. Kobayashi^s (invited)

The 22nd International Conference on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics (HMF-22) (at Sapporo, July 24-29, 2016, 参加者数約 100 名), Japan

Symmetry Control in the Kondo Effect

K. Kobayashi^{s*} (invited)

Spintronics and Core-to-Core Workshop 2017 (at Osaka, Mar. 21-22, 2017, 参加者数約 50 名), Japan

Interaction effect on the field dependence of a carbon nanotube excitation spectrum

T. Hata^{DC*}, R. Fujiwara^m, T. Arakawa^s, M. Ferrier^{PD}, R. Sakano, Y. Teratani, A. Oguri, and K. Kobayashi^s

33rd International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2016) (at Beijing, July 31 - Aug. 5, 2016, 参加者数約 800 名), China

Tuning the spin Hall effect of Pt from the moderately dirty to the superclean regime

Y. Omori^{*}, E. Sagasta, M. Isasa, M. Gradhand, L. Hueso, Y. Niimi^s, F. Casanova, and Y. Otani

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Strong suppression of spin Hall Effect in spin-glass metal (poster)

H. Taniguchi^{m*}, M. Maki, T. Arakawa^s, T. Taniguchi, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Enhancement of thermal noise in a superconductor/carbon nanotube/superconductor junction (poster)

S.-H. Lee^{m*}, M. Ferrier^{PD}, T. Hata^{DC}, T. Arakawa^s, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Single electron source for two-electron interference experiments (poster)

S. Norimoto^{d*}, M. Yokoi^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Conductance quantization and shot noise in a tunnel-coupled double row quantum point contact (poster)

D. Terasawa^{*}, S. Norimoto^d, T. Arakawa^s, M. Ferrier^{PD}, A. Fukuda, K. Kobayashi^s, and Y. Hirayama

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Interaction effect on the field dependence of a carbon nanotube excitation spectrum

T. Hata^{DC*}, R. Fujiwara^m, T. Arakawa^s, M. Ferrier^{PD}, R. Sakano, Y. Teratani, A. Oguri, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Edge mixing dynamics in a quantum Hall pn junction of graphene

S. Matsuo^{p*}, S. Takeshita^m, T. Tanaka^{DC}, S. Nakaharai, K. Tsukagoshi, T. Moriyama, T. Ono, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Conducting property of quantum point contact exposed to surface acoustic wave (poster)

M. Yokoi^{m*}, T. Arakawa^s, H. Watanabe^b, S. Norimoto^d, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Fabrication of NbSe₂ narrow wire aiming for spin injection (poster)

T. Kawamura^{m*}, M. Maeda^d, K. Hino^b, P. Noël, S. Takeshita^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Spin transport in superconducting Bi/Ni bilayers (poster)

N. Kabeya^{m*}, M. Maeda^d, T. Kawamura^m, H. Taniguchi^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, K. Kobayashi^s, X.-X. Gong, D. Yue, and X.-F. Jin

the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, 参加者数約 250 名), Japan

Field-Enhanced Kondo Correlations in a Half-Filling Nanotube Dot

Y. Teratani^{*}, A. Oguri, R. Sakano, M. Ferrier^{PD}, T. Arakawa^s, T. Hata^{DC}, and K. Kobayashi^s
Osaka City University and National Taiwan Normal University Mini-workshop (at National Taiwan Normal University, Taipei, Sept. 23, 2016), Taiwan

Spin-related phenomena detected by spin current (poster)

Y. Niimi^{s*}

International workshop on nano-spin conversion science & quantum spin dynamics (at Tokyo, Oct. 12-15, 2016, 参加者数約 100 名), Japan

Tuning the spin Hall effect of Pt from the moderately dirty to the superclean regime

E. Sagasta^{*}, Y. Omori, M. Isasa, M. Gradhand, L. Hueso, Y. Niimi^s, Y. Otani, and F. Casanova

61st Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials (MMM) (at New Orleans, Oct. 31 - Nov. 4, 2016, 参加者数約 2000 名), USA

Shot noise of a superconductor/nanotube junction in the SU(2) and SU(4) Kondo regime (poster)

T. Hata^{DC*}, M. Ferrier^{PD}, S.-H. Lee^m, T. Arakawa^s, R. Sakano, A. Oguri, R. Delagrangé, R. Deblock, and K. Kobayashi^s

Meso School 2016 Topological matter interactions and light-matter coupling (at Cargèse, Oct. 31 - Nov. 12, 2016, 参加者数約 60 名), France

Shot noise of a superconductor/nanotube junction in the SU(2) and SU(4) Kondo regime

T. Hata^{DC*}, M. Ferrier^{PD}, S.-H. Lee^m, T. Arakawa^s, R. Sakano, A. Oguri, R. Delagrangé, R. Deblock, and K. Kobayashi^s

628. Wilhelm and Else heraeus Seminar “Trends in Mesoscopic Superconductivity” (at Bad Honnef, Nov. 14-18, 2016, 参加者数約 100 名), Germany

Conduction properties of NbSe₂ thin film exposed to microwave (poster)

M. Yokoi^{m*}, T. Kawamura^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

International School on Spintronics and Spin-Orbitronics (at Fukuoka, Dec. 16-17, 2016, 参加者数約 120 名), Japan

Spin injection into NbSe₂ thin film (poster)

T. Kawamura^{m*}, T. Kawakami^b, P. Noël, K. Hino^b, S. Takeshita^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

International School on Spintronics and Spin-Orbitronics (at Fukuoka, Dec. 16-17, 2016, 参加者数約 120 名), Japan

Extraordinary Hall effect and spin Hall effect measurements in ternary alloy spin glasses (poster)

H. Taniguchi^{m*}, K. Yamagishi, T. Arakawa^s, T. Taniguchi, Y. Niimi^s, and K. Kobayashi^s

International School on Spintronics and Spin-Orbitronics (at Fukuoka, Dec. 16-17, 2016, 参加者数約 120 名), Japan

Spin transport in superconducting Bi/Ni bilayers (poster)

N. Kabeya^{m*}, K. Iwashita^b, H. Taniguchi^m, T. Kawamura^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, K. Kobayashi^s, X. X. Gong, D. Yue, and X.-F. Jin

International School on Spintronics and Spin-Orbitronics (at Fukuoka, Dec. 16-17, 2016, 参加者数約 120 名), Japan

NRG study of field induced crossover from SU(4) to SU(2) Kondo state in a carbon nanotube quantum dot

Y. Teratani^{*}, A. Oguri, R. Sakano, M. Ferrier^{PD}, T. Hata^{DC}, T. Arakawa^s, and K. Kobayashi^s
APS March Meeting 2017 (at New Orleans, Louisiana, Mar. 13-17, 2017, 参加者数約 10000 名), USA

日本物理学会、応用物理学会等における講演

Nonlinear spin conversion in complex spin materials

新見 康洋^{s*}

「ナノスピン変換科学」A01 班内研究会（九州大学伊都キャンパス、2016 年 4 月 18 日－19 日）

Spin Hall effects in spin glasses

谷口 祐紀^{m*}、真木 まゆみ、荒川 智紀^s、谷口 年史、新見 康洋^s、小林 研介^s

「ナノスピン変換科学」A01 班内研究会（九州大学伊都キャンパス、2016 年 4 月 18 日－19 日）

Spin injection into a layered superconductor NbSe₂

河村 智哉^{m*}、前田 正博^d、日野 航佑^b、P. Noël、竹下 俊平^m、荒川 智紀^s、新見 康洋^s、小林 研介^s

「ナノスピン変換科学」A01 班内研究会（九州大学伊都キャンパス、2016 年 4 月 18 日－19 日）

Kondo screening of spin and valley in a Carbon Nanotube Quantum dot

M. Ferrier^{PD*}

関西ナノスピン変換若手ワークショップ（大阪大学、大阪、2016 年 4 月 15 日）

Spin Hall effect in spin glass (ポスター)

H. Taniguchi^{m*}

関西ナノスピン変換若手ワークショップ（大阪大学、大阪、2016 年 4 月 15 日）

High frequency noise measurement in micromagnet (ポスター)

S. Iwakiri^{m*}

関西ナノスピンの変換若手ワークショップ（大阪大学、大阪、2016年4月15日）

Spin transport in unconventional superconductor Bi/Ni film (ポスター)

N. Kabeya^{m*}

関西ナノスピンの変換若手ワークショップ（大阪大学、大阪、2016年4月15日）

量子ドットにおける近藤効果の制御

小林 研介^{s*}

大阪大学基礎工学研究科附属「スピントロニクス学術連携研究教育センター」キックオフ・シンポジウム（大阪大学、2016年6月10日）

Edge dynamics in graphene junctions in the quantum Hall regime probed by the shot noise (ポスター)

S. Matsuo^p, S. Takeshita^m, T. Tanaka^{DC}, S. Nakaharai, K. Tsukagoshi, T. Moriyama, T. Ono, and K. Kobayashi^{s*}

新学術領域「ゆらぎと構造」第3回領域研究会（九州大学、2016年6月17日－19日）

Universality of Non-equilibrium Fluctuations in Strongly Correlated Quantum Liquids

M. Ferrier^{PD*}, T. Arakawa^s, T. Hata^{DC}, R. Fujiwara^m, R. Delagrangé, R. Deblock, R. Sakano, A. Oguri, and K. Kobayashi^s

新学術領域「ゆらぎと構造」第3回領域研究会（九州大学、2016年6月17日－19日）

微小磁性体における高周波「電流雑音」測定系の開発

岩切 秀一^{m*}、則元 将太^d、荒川 智紀^s、葛西 信哉、新見 康洋^s、小林 研介^s

第61回 物性若手夏の学校（長野県下高井郡、2016年7月29日－8月2日）

非平衡量子伝導解明のための極低温高周波測定系の構築

則元 将太^{d*}、横井 雅彦^m、岩切 秀一^m、M. Ferrier^{PD}、荒川 智紀^s、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 2016年秋季大会（於 金沢大学、2016年9月13日－9月16日）

近藤効果が発現する量子ドットにおける励起スペクトル

秦 徳郎^{DC*}、M. Ferrier^{PD}、荒川 智紀^s、小林 研介^s、R. Delagrangé、R. Deblock、H. Bouchiat、阪野 壘、寺谷 義道、小栗 章

日本物理学会 2016年秋季大会（於 金沢大学、2016年9月13日－9月16日）

異方的超伝導体 Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送 (ポスター)

壁谷 奈津紀^{m*}、前田 正博^d、河村 智哉^m、谷口 祐紀^m、荒川 智紀^s、新見 康洋^s、小林 研介^s、X.-X. Gong、D. Yue、X.-F. Jin

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

ユニタリ極限の近藤領域にある超伝導／カーボンナノチューブ／超伝導接合におけるショット雑音 (ポスター)

S.-H. Lee^{m*}、秦 徳郎^{DC}、荒川 智紀^s、M. Ferrier^{PD}、小林 研介^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

微小磁性体における高周波電流雑音測定系の開発 (ポスター)

岩切 秀一^{m*}、則元 将太^d、荒川 智紀^s、葛西 信哉、M. Ferrier^{PD}、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

三元合金スピングラスにおける異常ホール効果とスピンホール効果の測定

谷口 祐紀^{m*}、山岸 航大、荒川 智紀^s、谷口 年史、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

グラフェン量子ホール状態における pn 接合でのショット雑音

松尾 貞茂^{p*}、竹下 俊平^m、田中 崇大^{DC}、中払 周、塚越 一仁、森山 貴広、小野 輝男、小林 研介^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

Conducting property of quantum point contact exposed to surface acoustic wave (ポスター)

M. Yokoi^{m*}, T. Kawamura^m, T. Arakawa^s, Y. Niimi^s, K. Kobayashi^s

第 6 回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会 (栃木、2016 年 9 月 21 日 – 23 日)

Shot noise in Superconductor / Carbon nanotube / Superconductor junction in the unitary Kondo limit (ポスター)

S.-H. Lee^{m*}, M. Ferrier^{PD}, T. Hata^{DC}, T. Arakawa^s, and K. Kobayashi^s

第 6 回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会 (栃木、2016 年 9 月 21 日 – 23 日)

量子多体系における対称性の制御

小林 研介^{s*}

平成 28 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」(宮城県仙台市、2016 年 11 月 22 日 – 23 日)

スピン軌道相互作用の強い超伝導体中のスピン輸送現象

新見 康洋^{s*}

平成 28 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」(宮城県仙台市、2016 年 11 月 22 日 – 23 日)

ナノ構造における量子輸送とゆらぎ小林 研介^{**} (招待)

第53回熱測定ワークショップ「ナノ粒子、ナノ構造体の熱測定」(大阪大学、2016年11月29日)

グラフェンにおける量子ホール端状態のダイナミクス小林 研介^{**} (招待)

第61回日本磁気学会スピニエレクトロニクス専門研究会「スピンとトポロジー」(東北大学金属材料研究所、2017年1月10日)

雑音から探る固体素子の伝導ダイナミクス小林 研介^{**} (招待)

日本磁気学会第212回研究会「高周波磁気デバイス・材料・評価技術の現状と新展開」(中央大学、2017年2月21日)

ショット雑音で探る量子ホール・グラフェン接合の端状態ダイナミクス (ポスター)小林 研介^{**}

平成28年度電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会「新世代ICTの羅針盤」(東北大学、2017年2月23日)

非平衡電流ゆらぎで探る近藤効果小林 研介^{**} (招待)

平成28年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会(東北大学電気通信研究所、2017年2月24日)

超伝導薄膜におけるスピン輸送測定新見 康洋^{**} (招待)

日本物理学会 第72回年次大会(2017年)(於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

三元合金スピングラスにおけるスピンホール効果の測定 (ポスター)谷口 祐紀^{m*}、山岸航大、荒川 智紀^s、谷口 年史、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 第72回年次大会(2017年)(於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

表面弾性波を用いた超伝導 NbSe₂ 薄膜の伝導特性の変調横井 雅彦^{m*}、河村 智哉^m、荒川 智紀^s、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 第72回年次大会(2017年)(於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

NbSe₂ 薄膜へのスピン流注入河村 智哉^{m*}、河上 司^b、P. Noël、日野 航佑^b、竹下 俊平^m、荒川 智紀^s、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

単電子計数とフィードバック制御による単電子源安定化の試み (ポスター)

則元 将太^{d*}、中村 秀司、岡崎 雄馬、小林 研介^s、金子 晋久

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

微小磁性体における高周波電流雑音測定系の開発 (ポスター)

岩切 秀一^{m*}、則元 将太^d、荒川 智紀^s、葛西 信哉、M. Ferrier^{PD}、新見 康洋^s、小林 研介^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定

壁谷 奈津紀^{m*}、岩下 孔明^b、谷口 祐紀^m、河村 智哉^m、荒川 智紀^s、新見 康洋^s、小林 研介^s、X.-X. Gong、D. Yue、X.-F. Jin

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

書籍等の出版、日本語の解説記事

新著紹介「磁石の発明特許物語—六人の先覚者」

小林 研介^s

日本物理学会誌 Vol. 71, (5 月) No. 5, 332 (2016)

巻頭言「物理学会の歩き方」

小林 研介^s

日本物理学会誌 Vol. 71, (6 月) No. 6, 345 (2016)

グラフェン pn 接合におけるパリティ効果の発見

松尾 貞茂^p、小林 研介^s

パリティ Vol. 31, (7 月) No. 7, 56-61 (2016)

書評「量子測定と量子制御」

小林 研介^s

数理科学 No. 643, (1 月) 58 (2017)

物性物理 100 問集

木村剛、小林 研介^s、田島節子 (監修)、大阪大学インタラクティブ物質科学・カデットプログラム物性物理 100 問集出版プロジェクト (編集)

大阪大学出版会 (2016 年 12 月)

1.7 田島グループ

平成28年度の研究活動概要

1) 1111型鉄系超伝導体 $R\text{FeP}_{1-x}\text{As}_x\text{O}$ ($R =$ 希土類元素) の電子相図

鉄系超伝導はマルチバンド系で、その電気伝導や超伝導に Fe の異なる $3d$ 電子軌道の特性を持った複数のフェルミ面が関与している。圧力効果やバンドフィリングを変えることにより、これらの電子・ホールフェルミ面の形状が変化する。それに伴いフェルミ面間のネスティングが変化し、それを媒介とした超伝導や磁氣的性質が変わると予想される。

これまでの当グループの研究により、1111型鉄系超伝導体 $\text{LaFeP}_{1-x}\text{As}_x\text{O}$ では、P/As 固溶量を変えることにより、二つの反強磁性秩序相 AFM1($x > 0.8$)、AFM2($0.3 < x < 0.6$) と、超伝導相 SC1($0.6 < x < 0.8$)、SC2($x < 0.3$) が出現することが判明した。一般的な鉄系超伝導体の多くが、単一の反強磁性相と量子臨界点付近に超伝導相を持つものに対し、La1111系は複数の秩序相を持つ。これは、P/As 固溶によりフェルミ面の形状が LaFeAsO 型から LaFePO 型へと変化し、同時にネスティングが変化することと関係がある。FeAs 型では xy 軌道特性を持つ2次元ホール面が (π, π) 近傍に存在するのに対し、FeP 型ではこのホール面は存在しない。AFM1 相の磁気秩序は FeAs 型の、AFM2 相は FeP 型のフェルミ面のネスティングにより生じている。

本研究では、希土類元素 R を La から Pr や Nd に変化させた $R\text{FeP}_{1-x}\text{As}_x\text{O}$ の電子相図について研究を行った。希土類元素を La から Pr、Nd に変化させることは、Fe-As/P 局所構造を変化させ、FeAs 型フェルミ面で生じる (π, π) ホール面を拡大させる効果がある。実際、Pr 系では $x \sim 0.6$ 、Nd 系では $x \sim 0.4$ 付近の低 As 濃度領域まで、AFM1 相が安定化、拡大することが判明した。他方、FeP 型フェルミ面と関係がある AFM2 相は、希土類元素を変えても常に $x = 0.4$ 付近で出現するが、Pr、Nd 系では磁気転移温度が上昇し、AFM2 相も安定化することが判明した。その結果、Pr、Nd 系では AFM1 相と AFM2 相は接続し、 $0.3 < x < 1$ の広い範囲で反強磁性相が出現することが判明した。

2) 122系鉄化合物超伝導体の面間輸送特性

鉄系超伝導体は、超伝導の舞台である FeAs 層とブロック層が交互に積層した層状の結晶構造を取っており、二次元的な物性を示すと考えられる。しかし、122系と呼ばれる BaFe_2As_2 を中心とする物質群は鉄系超伝導体の中でも三次元性が強いことが知られており、電子状態を包括的に理解するためには、FeAs 面内だけでなく面間方向の物性測定が必要となる。本研究では、 BaFe_2As_2 を出発点として、系統的な面間輸送現象測定を行うことにより、多岐に渡る元素置換 ($\text{Fe} \rightarrow \text{Co}$, Ru , $\text{As} \rightarrow \text{P}$, $\text{Ba} \rightarrow \text{K}$, Sr 置換) に伴う電子状態の変化を調べた。

母物質 BaFe_2As_2 は、低温で磁気・構造秩序相を示すが、相転移点以上の温度では、電気抵抗率は面内では金属的、面間では非金属的に振る舞う。大型単結晶試料を用いた面間方向のホール効果測定の結果、面間方向の伝導にはインコヒーレントな電子キャリアとコヒーレントな正孔キャリアが同程度の寄与を示すことが分かった。高温領域では、電子が優勢なキャリアとなっており、これが非金属的な電気伝導の原因である。

元素置換効果については、低温の磁気・構造秩序相における不純物散乱効果に着目した。電気伝導に寄与する FeAs 層から離れた Ba サイトの等原子価置換である Sr 置換の場合は、

面内・面間ともに不純物効果はほとんど現れなかった。それ以外の元素置換では、置換された原子が面間方向に強い散乱の生じる異方的な散乱体として働くことが判明した。この異方性は、等原子価置換の P、Ru 置換では大きくはないが、電子ドーブに対応する Co 置換では非常に大きく、軌道選択的散乱等の特殊なメカニズムが働いていることが強く示唆される。また、正孔ドーブに対応する K 置換では、伝導層から離れたサイトを置換しているために、散乱効果が面間方向で特に強く現れ、最も大きな異方性を示した。さらに、K 置換量が小さい限られた領域で、低温の面間電気抵抗率にアップターンが現れることを見出した。これは単純な不純物散乱効果では説明できず、弱局在効果等の特殊な現象を見ている可能性が考えられる。122 系鉄化合物でこのような振る舞いが観測されたのは初めてであり、磁気・構造秩序相における元素置換効果が興味深い現象を引き起こしている一例であると言える。

3) FeSe の光学特性

一般に、鉄系超伝導体では超伝導相に隣接して磁気・構造秩序相が現れるが、FeSe は磁気秩序を示さずに構造相転移のみを示す興味深い物質である。構造相転移に伴って軌道秩序が形成されることが知られており、スピンと軌道の寄与を分離した議論が可能となることが期待される。しかし、FeSe における軌道秩序形成が電荷ダイナミクスに与える影響については、現状では明らかにはなっていない。

我々は、CaF₂ 基板上に作製した FeSe 薄膜を用いて光学スペクトル測定を行った。得られたスペクトルには、特に遠赤外領域で基板の寄与が強く現れるので、基板の影響を取り除く必要がある。そのため、一般的に光学スペクトルの解析に使われる Kramers-Kronig 変換ではなく、フィッティングを使った解析手法を洗練し、FeSe の光学定数を得た。

室温における FeSe の光学伝導度スペクトルは、低エネルギー領域ではほぼ平らであり、インコヒーレントな応答が支配的である。温度の減少にしたがって、ドルーデピークが発達するが、その重みは非常に小さく、コヒーレントに振る舞うキャリア密度はわずかであることが分かった。構造相転移点以下の詳細な解析から、ドルーデ成分の重みが温度減少に伴って徐々に減少していくことが明らかになった。このことは、キャリア密度が温度変化している、すなわち、フェルミ面の大きさが温度変化していることを表しており、FeSe の軌道秩序相において特異な金属状態が実現していることを示唆する結果である。また、FeSe の光学フォノンモードの温度依存性を調べると、構造相転移点前後で異なる振る舞いを示すことが分かった。このことは、軌道と格子の自由度が密接に関係していることを意味しており、構造相転移の起源が軌道の自由度にあることを支持している。

4) 銅酸化物高温超伝導体の面内光学測定による超伝導前駆現象の観測

銅酸化物高温超伝導体の低キャリア濃度領域の電子状態は、「異常金属相」として知られているが、起源が不明な擬ギャップだけでなく、近年では電荷秩序や異常な超伝導前駆現象など、様々な異常電子相が見つかっている。我々は、過去に YBa₂Cu₃O_{7- δ} (YBCO) の面間光学伝導度の測定から、超伝導転移温度 T_c の倍以上高い温度から超伝導凝縮成分が観測されることを報告した。類似の報告は、ドイツの研究グループからもなされているが、いずれも面間方向の光学測定によるものであり、超伝導の伝導面にそった方向の物性測定から明確な超伝導前駆現象を観測した例はない。

今回我々は、YBCOの面内光学スペクトルの詳細な温度依存性の測定を、二つの不足ドーブ組成の試料について行い、光学伝導度の虚数項の解析から超伝導凝縮成分の見積もりを行い、 T_c より遥かに高い温度から有限の超伝導キャリアが存在することを確認した。また、超伝導キャリアが現れはじめる温度 T_p は、面間伝導度測定で得られた温度に非常に近く、キャリア濃度が低下するとともに増大することもわかった。この結果により、超伝導前駆現象は面間偏光の光学測定固有の観測結果ではなく、普遍的なものであると結論できる。

T_p がキャリア数減少とともに増大していくことは、モット絶縁体との相境界に近づくにつれて「本来の超伝導転移温度」が増大していることを意味し、実際に観測される T_c がその逆の傾向を示すのは、擬ギャップなどの競合秩序によって超伝導が抑制されているからであると解釈できる。

学術雑誌に出版された論文

Multiple Antiferromagnetic Spin Fluctuations and Novel Evolution of T_c in Iron-based superconductors $\text{LaFe}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)(\text{O}_{1-y}\text{F}_y)$ revealed by ^{31}P -NMR Studies

T. Shiota, M. Uekubo^m, K.T. Lai^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

Journal of the Physical Society of Japan **85** (No. 5, May) (2016) 053706 1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.053706>).

Distinct doping dependence of critical temperature and critical current density in $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ superconductor

D. Song, M. Nakajima^s *et al.*

Scientific Reports **6** (May) (2016) 26671 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/scep26671>).

Effects of introducing isotropic artificial defects on the superconducting properties of differently doped Ba-122 based single crystals

V. Mishev, M. Nakajima^s *et al.*

Scientific Reports **6** (June) (2016) 27783 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/scep27783>).

Effects of c/a anisotropy and local crystal structure on superconductivity in $A\text{Fe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ($A = \text{Ba}_{1-y}\text{Sr}_y, \text{Sr}_{1-y}\text{Ca}_y$ and Eu)

T. Adachi^d, Y. Nakamatsu^m, T. Kobayashi^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

Journal of the Physical Society of Japan **85** (No. 6, June) (2016) 063705 1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.063705>).

Optical studies of high-temperature superconducting cuprates

S. Tajima^s

Reports on Progress in Physics **79** (No. 9, July) (2016) 094001 1-15
(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/0034-4885/79/9/094001>).

Superconducting gap symmetry of LaFeP(O,F) observed by impurity doping effect

S. Miyasaka^s, S. Suzuki^m, S. Tajima^s
Symmetry **8** (No. 8, July) (2016) 80 1-8
(<http://dx.doi.org/doi:10.3390/sym8080080>).

Spin and orbital disordering by hole doping in Pr_{1-x}Ca_xVO₃

M. Reehuis, S. Miyasaka^s *et al.*
Phys. Rev. B **94** (No. 10, Sept.) (2016) 104436 1-11
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.94.104436>).

Distinctive orbital anisotropy observed in the nematic state of a FeSe thin film

Y. Zhang, M. Nakajima^s *et al.*
Phys. Rev. B **94** (No. 11, Sept.) (2016) 115153 1-8
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.94.115153>).

Carrier localization due to local magnetic order induced by magnetic impurities in Ba(Fe_{1-x}TM_x)₂As₂ (TM = Mn and Cr) as seen via optical spectra

T. Kobayashi^d, M. Nakajima^s, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s
Phys. Rev. B **94** (No. 22, Dec.) (2016) 224516 1-6
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.94.224516>).

Enhanced superconductivity in surface-electron-doped iron pnictide Ba(Fe_{1.94}Co_{0.06})Fe₂As₂

W. S. Kyung, M. Nakajima^s *et al.*
Nature materials **15** (No. 11, Sept.) (2016) 1233-1236
(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/nmat4728>).

Doping-dependence critical current properties in K, Co, and P-doped BaFe₂As₂ single crystals

S. Ishida, M. Nakajima^s *et al.*
Phys. Rev. B **95** (No. 1, Jan.) (2017) 014517 1-6
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.014517>).

Investigation of Precursor Superconducting State in YBa₂Cu₃O_{7-δ} through In-plane Optical Spectroscopy

J.H.K. Lee^m, K. Kamiya^m, M. Nakajima^s, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s
Journal of the Physical Society of Japan **86** (No. 2, Feb.) (2017) 023701 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.86.023701>).

Unusual nodal behaviors of the superconducting gap in the iron-based superconductor $\text{Ba}(\text{F}_{0.65}\text{Ru}_{0.35})_2\text{As}_2$: Effects of spin-orbit coupling

L. Liu, M. Nakajima^s *et al.*

Phys. Rev. B **95** (No. 10, Mar.) (2017) 104504 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.104504>).

Curie temperature enhancement with reserving a reasonable magnetoresistance by Pr substitution in $\text{Ba}_2\text{FeMoO}_6$

S. Tajima^s, S. Miyasaka^s, R. E. El-Shater^t *et al.*

Journal of Magnetism and Magnetic Materials **435** (Aug.) (2016) 1-8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jmmm.2016.11.131>).

国際会議における講演等

Anomalous low-energy excitation induced by magnetic impurity in optical spectrum of iron-based superconductor

S. Miyasaka^{s*}, T. Kobayashi^d, M. Nakajima^s, S. Tajima^s

Low-Energy Electrodynamics in Solids (LEES) 2016 (at Shiga, May 29 - June 3, 2016, 参加者数約 300 名), Japan

Investigation of Precursor Superconducting State in YBCO through In-plane Infrared Optical Spectroscopy (poster)

J.H.K. Lee^{m*}, M. Nakajima^s, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s

Low-Energy Electrodynamics in Solids (LEES) 2016 (at Shiga, May 29 - June 3, 2016, 参加者数約 300 名), Japan

Optical spectroscopy of FeSe thin film (poster)

M. Nakajima^{s*}, K. Yanase^m, S. Tajima^s *et al.*

Low-Energy Electrodynamics in Solids (LEES) 2016 (at Shiga, May 29 - June 3, 2016, 参加者数約 300 名), Japan

Electronic structure of $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_2(\text{As}_{1-y}\text{P}_y)_2$ ($x = 0.08$, $y = 0.25$) revealed by angle resolved photoemission spectroscopy (poster)

T. Adachi^{d*}, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

Low-Energy Electrodynamics in Solids (LEES) 2016 (at Shiga, May 29 - June 3, 2016, 参加者数約 300 名), Japan

Optical study of FeSe thin film on CaF₂ substrate (poster)M. Nakajima^{s*}, K. Yanase^m, S. Tajima^s *et al.*

Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS) (at Stuttgart/Ludwigsburg, June 19-24, 2016, 参加者数約 300 名), Germany

Anomalous low-energy excitation induced by magnetic impurity in optical conductivity of iron based superconductorS. Miyasaka^{s*} (invited)

Engineering Materials and Nanotechnology (EMN) 2016 Prague Meeting (at Prague, June 21-24, 2016, 参加者数約 300 名), Czech Republic

Variety of Fermi surface nesting and the pairing mechanism beyond it in iron-based superconductorsS. Tajima^{s*}, S. Miyasaka^s, M. Nakajima^s, A. Takemori^d, M. Uekubo^m, T. Kobayashi^d, K.T. Lai^d *et al.* (invited)

Superstripes 2016 (at Ischia, June 23-29, 2016, 参加者数約 300 名), Italy

Novel metallic state in orbitally ordered phase of FeSe revealed by optical spectroscopy”M. Nakajima^{s*}, K. Yanase^m, S. Tajima^s *et al.* (invited)

2016 Korean Physics Society (KPS) Fall Meeting (at Gwangju, Oct. 19-21, 2016, 参加者数約 300 名), Korea

Superconductivity near the BCS-BEC crossoverS. Tajima^{s*} (invited)

Workshop on Pairing Interaction of High Temperature Superconductors (at Suwon, Nov. 7-8, 2016, 参加者数約 300 名), Korea

Chemical-substitution effect on c-axis transport properties of BaFe₂As₂ (poster)M. Nagafuchi^{m*}, M. Nakajima^s, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s

The 29th International Superconductivity Symposium (ISS2016) (at Tokyo, Dec. 13-15, 2016, 参加者数約 2000 名), Japan

Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Study of Fermi Surface and Superconducting Gap in NdFeAs(O,F) (poster)Z.H. Tin^{m*}, T. Adachi^d, A. Takemori^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

The 29th International Superconductivity Symposium (ISS2016) (at Tokyo, Dec. 13-15, 2016, 参加者数約 2000 名), Japan

Effect of oxygen vacancies on electronic state in Sr₄V₂O₆Fe₂As₂ (poster)

H. Yokota^{m*}, M. Nakajima^s, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s

The 29th International Superconductivity Symposium (ISS2016) (at Tokyo, Dec. 13-15, 2016, 参加者数約 2000 名), Japan

Optical study of electron-doped cuprate $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ (poster)

R. Ohnishi^{m*}, M. Nakajima^s, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

The 29th International Superconductivity Symposium (ISS2016) (at Tokyo, Dec. 13-15, 2016, 参加者数約 2000 名), Japan

Double pair breaking peak in triple layer cuprate Bi2223 (poster)

G. Vincini^{d*}, L.T. Sobirey^m, T. Adachi^d, N. Murai^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

The 29th International Superconductivity Symposium (ISS2016) (at Tokyo, Dec. 13-15, 2016, 参加者数約 2000 名), Japan

日本物理学会，応用物理学会等における講演

遷移金属硫化物、砒化物の電子相関とスピン-軌道相互作用の制御による異常物性の探索
宮坂 茂樹^{s*}

新学術領域研究「J-Physics」領域会議 (於 北海道大学、2016 年 5 月 26 日 – 5 月 28 日)

銅と鉄の高温超伝導：いくつかのシナリオ

田島 節子^{s*}

新学術領域研究「J-Physics」若手夏の学校 (於 高野山天徳院、2016 年 8 月 11 日)

層状化合物 NiTe_x ($x \sim 2$) 単結晶の異常な磁気抵抗効果

西野 光咲^{m*}, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

FeSe 薄膜の赤外分光測定

中島 正道^{s*}, 柳瀬 和哉^m, 田島 節子^s 他

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

Double pair breaking peak in triple layer cuprate Bi2223

G. Vincini^{d*}, L.T. Sobirey^m, T. Adachi^d, N. Murai^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

Fermi Surface and Superconducting Gap of $(\text{Sr,Ca})\text{Fe}_2(\text{As,P})_2$ revealed by Angle Resolved Photoemission Spectroscopy (ポスター)

宮坂 茂樹^{s*}, 足立 徹^d, 田島 節子^s 他

UVSOR シンポジウム 2016 (於 岡崎コンファレンスセンター、2016 年 10 月 29 日 – 10 月 30 日)

Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Study of Fermi Surface and Superconducting Gap in NdFeAs(O,F) (ポスター)

Z.H. Tin^{m*}, T. Adachi^d, A. Takemori^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^{s et al.}

UVSOR シンポジウム 2016 (於 岡崎コンファレンスセンター、2016 年 10 月 29 日 – 10 月 30 日)

Fe(Se,Te) 薄膜の光学スペクトル

柳瀬 和哉^{m*}, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s 他

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

鉄系超伝導体 NdFeP_{1-x}As_xO_{1-y}F_y (y=0-0.14) の F 置換に伴う電子相図の変化

山本 高寛^{m*}, 竹森 章^d, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s 他

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

LaFeAsO_{1-y}(F,H)_y (y=0-0.3) における P および Sb 置換効果

辻 拡和^{m*}, 上久保 将大^m, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s 他

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

ラマン分光法による BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ の電子構造の研究

足立 徹^{d*}, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s 他

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

鉄系超伝導体の反強磁性相における面間輸送現象の研究 II

永瀨 真彦^{m*}, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Sr₄V₂O₆Fe₂As₂ における酸素欠損誘起の磁気相転移

中島 正道^{s*}, 横田 裕章^m, 脇村 泰平^b, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Sr₄V₂O₆Fe₂As₂ の結晶構造と構造相転移

横田 裕章^{m*}, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

(Pr,La,Ce)₂CuO_{4+δ} 単結晶の光学スペクトルの Ce 濃度及び還元処理依存性

大西 諒太^{m*}, 中島 正道^s, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s 他

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

(Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Study of NdFeAs(O,F) single crystal (ポスター))

Z.H. Tin^{m*}, T. Adachi^d, A. Takemori^d, S. Miyasaka^s, S. Tajima^s *et al.*

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

書籍等の出版, 日本語の解説記事

複数の電子軌道が絡んだ多重スピン揺らぎが生み出す鉄系超伝導

棕田秀和, 宮坂 茂樹^s, 田島 節子^s 他

固体物理 (2017年1月発行, 第52巻, 23-30頁)

1.8 豊田グループ

平成 28 年度の研究活動概要

はじめに

当研究グループでは、独創的／最先端な質量分析装置の開発と、それらを用いた応用研究を行っている。特に最近では、我々のグループで開発した小型・高分解能のマルチターン飛行時間型質量分析計を核として、それを利用した新しい分析装置の開発や、応用研究を行っている。また、外部の研究機関・企業との共同研究も積極的に進めている。さらにイオン軌道のシミュレーション手法の開発も行っている。

マルチターン飛行時間型質量分析計を中心としたプロジェクト

飛行時間型の質量分析装置は、質量分解能が飛行距離に比例するため、高分解能を得るには装置の大型化が避けられない。我々のグループでは、同一飛行空間を多重周回させることで飛行距離を長くするという原理で、小型でありながら高分解能が得られるマルチターン飛行時間型質量分析計を開発した。この装置は扇形電場を4個用いたイオン光学系を採用しており、空間・時間の両方について完全収束条件を満足するよう設計されている。今年度は、このマルチターン飛行時間型質量分析計をベースとして次のようなプロジェクトを進めた。

1. マルチターン飛行時間型質量分析計を核とした分野横断型融合研究

当グループで開発した小型でありながら高分解能が得られるマルチターン飛行時間型質量分析計は、医学や歯学、環境科学などの様々な分野で広く用いることが可能である。理学研究科附属基礎理学プロジェクト研究センター重点研究推進部門先進質量分析学プロジェクトを拠点として、分野横断型の研究を学内外の様々な研究者と推進している。大阪大学歯学研究科の村上教授と、歯肉溝滲出液中の代謝物の網羅解析による歯周病診断に関する研究を行ない、歯周病を表す代謝物マーカーを特定し、オンサイト診断に向けた検討を開始した。大阪大学医学研究科眼科教室とは、涙中の代謝物の網羅解析による目の疾患のオンサイト診断に関する研究を行なった。また、PM_{2.5}の原因物質と考えられている揮発性有機化合物（VOC）のオンサイト計測のためのプロトン移動反応を用いたイオン化法とマルチターン飛行時間型質量分析計を組み合わせたオンサイトモニタリングシステムの開発を科研費を獲得し開始した。その他、地震や火山などの地殻変動による希ガス同位体比変動をオンサイトで行える装置の開発の準備として、6～8桁存在比の異なるヘリウム同位体比（³He/⁴He）の計測システムの構築を開始した。

2. 超高分解能高速イメージング質量分析技術（質量顕微鏡）の構築

マルチターン飛行時間型質量分析計の完全収束性を活かし、広い範囲を一度にイオン化し、マルチターン飛行時間型質量分析計で像を保持したまま高分解能質量分離後、検出器に像を結像させる、像投影方式のイメージング質量分析計の開発と、この装置

の特長を活かした研究を行った。空間分解能 1 μ m 以下、質量分解能 1 万以上を達成している。本年度は、工学研究科粟津研究室や KEK との共同研究で時間と位置を同時に検出できるイオン検出器の開発を行ったり、宇宙地球科学専攻の寺田研究室との共同研究で隕石中のアミノ酸などの有機化合物の分析などを行った。また、生物科学専攻の上田研究室との共同研究では CREST-AMED を獲得し、1 分子・質量イメージング顕微鏡の開発を開始した。

3. 超高感度極微量質量分析システムの開発

集束イオンビーム、フェムト秒レーザーとマルチターン飛行時間型質量分析計を組み合わせた TOF-SIMS 装置を用いた月の石や隕石の局所 U-Pb 年代測定法の開発を宇宙地球科学専攻の寺田研と行った。ADC と TDC の両方の特徴を持ち合わせた検出システムを構築し（特許出願）、Pb の同位体比を本システムで検出できることを確認した。

共同研究

以下の共同研究を外部研究機関・企業と行っている。

1. アルカリ金属ターゲットを用いた多価イオンの電子移動解離（大阪府立大学理学研究科）
2. 小型マルチターン飛行時間型質量分析計の開発（MSI.TOKYO(株)）
3. 土壌から発生する温室効果ガスの連続モニタリング手法の確立（北海道大学農学研究院）
4. 歯周病のオンサイト診断法の確立（歯学研究科，工学研究科，九州大学生体防御医学研究所）
5. 目の疾患のオンサイト診断法の確立（医学研究科，九州大学生体防御医学研究所）
6. 投影型イメージング質量分析計を用いた薬物動態研究（工学研究科，生命機能研究科）
7. 新しいイオン検出器の開発（浜松ホトニクス(株)，KEK，工学研究科）
8. PM_{2.5} の原因物質のオンサイトモニタリング装置の開発（紀本電子工業(株)，清華大学）
9. 火山ガスのオンサイト計測装置の開発（東京大学）

学術雑誌に出版された論文

国際会議報告等

Development on Multi-Turn TOF-SIMS with a Femto-second Laser for Post-Ionization: First Application of OPTIMA (Osaka PosT-Ionization MAss spectrometer) for Presolar SiCs

K. Terada*, Y. Kawai, M. Toyoda, M. Ishihara^s, J. Aoki, H. Yabuta, K. Miya, T. Suwa, T. Matsuda, and R. Nakamura

JPS Conf. Proc. 14 (Mar.) (2017) 011103.

14th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC2016) (June. 2016, 参加者数約 200 名) (Japan).

国際会議における講演等

Development on Multi-Turn TOF-SIMS with a Femto-second Laser for Post-Ionization: First Application of OPTIMA (Osaka PosT-Ionization MASS spectrometer) for Presolar SiCs

K. Terada*, Y. Kawai, M. Toyoda, M. Ishihara^s, J. Aoki, H. Yabuta, K. Miya, T. Suwa, T. Matsuda, and R. Nakamura

14th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC2016) (at Nigata, June 19-24, 2016, 参加者数約 200 名), Japan

日本物理学会, 応用物理学会等における講演

MULTUM-S II を用いた歯周病オンサイト診断法の開発

野口勇介 ^{m*}, 川崎英也, 馬場健史, 豊田岐聡

第 64 回質量分析総合討論会, (於 ホテル阪急エキスポパーク、2016 年 5 月 18 日 - 5 月 20 日)

タンデム飛行時間型質量分析計 (ESI-TOF/TOF) による電荷逆転質量分析

今岡成章 ^{d*}, 曾木政伸, 早川滋雄, 豊田岐聡

第 64 回質量分析総合討論会, (於 ホテル阪急エキスポパーク、2016 年 5 月 18 日 - 5 月 20 日)

単一微粒子質量分析計による北京市 PM2.5 の粒径別化学組成と混合状態の連続観測

前田幸輝 ^{m*}, 古谷浩志, Ma Tao, Duan Fengkui, He Kebin^v, 紀本岳志, 豊田岐聡

第 64 回質量分析総合討論会, (於 ホテル阪急エキスポパーク、2016 年 5 月 18 日 - 5 月 20 日)

1.9 野末グループ

平成28年度の研究活動概要

多孔質結晶のゼオライトでは、共有結合で形成されたアルミノケイ酸塩の安定な骨格 $\text{Al}_m\text{Si}_p\text{O}_2(m+p)$ ($m \leq p$) によってナノメートルサイズの細孔が形成され、それが窓を共有して規則正しく配列している。そのため、骨格構造を維持したまま、様々なゲスト物質を様々な濃度で吸蔵できる。また、骨格はAlの数 m だけ負に帯電しており、交換可能な陽イオンが骨格のすき間に多数分布し、電荷バランスをとっている。陽イオンとしてアルカリ陽イオンを含むゼオライトを用い、それを完全に脱水して、アルカリ金属を外部から吸蔵させると、その s 電子はゼオライトの陽イオンにも共有されて複数の陽イオンに広がり、図 1.1 に示したように、ナノクラスターが細孔内に形成されて、それが単純立方構造やダイヤモンド構造や体心立方行動などで配列する。クラスターの s 電子は陽イオンからは引力を、骨格からは斥力を受けるため、 s 電子の閉じ込めを球形井戸型ポテンシャルで近似すると、 $1s$, $1p$, $1d$ 等の量子準位が形成される。吸蔵するアルカリ金属原子数を変化させると、それらの量子準位を s 電子が順に占有し、スーパーアトム描像が成立する。これらの準位の s 電子は、細孔の窓を経由して隣接したクラスターと相互作用する。その結果、ゼオライトの種類とアルカリ金属の種類とその吸蔵量に依存して、強磁性やフェリ磁性、反強磁性、絶縁体金属転移など、数多くの興味ある物性が観測される。

隣接する細孔が比較的狭い窓を共有する場合は、 s 電子の局在波動関数はよい近似となり、隣接する細孔への遷移を考慮して強束縛近似 (tight-binding approximation) が成立する。一方、 s 電子は陽イオンの位置の変位と相互作用する。この電子格子相互作用には種々の格子変位が考えられ、様々なポーラロンが形成される。その最も簡単なモデルとして、サイト内 (細孔内) でのみ s 電子と相互作用する変形ポテンシャル型の電子格子相互作用を仮定するモデルとして Holstein 模型がある。バンド幅を $2B$ とし、後で述べるオンサイトの電

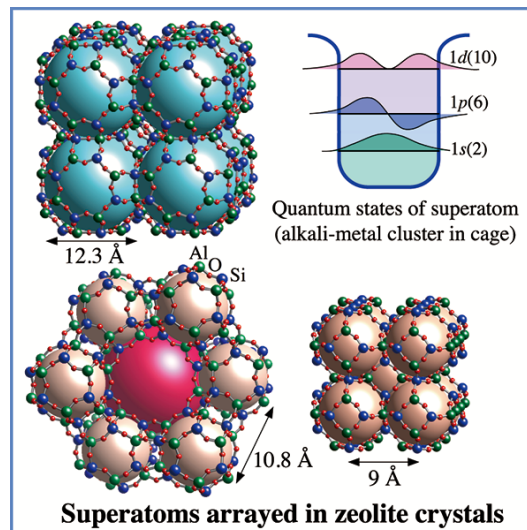


図 1.1: 種々のゼオライト中の配列したアルカリ金属クラスター (スーパーアトム) の模式図。

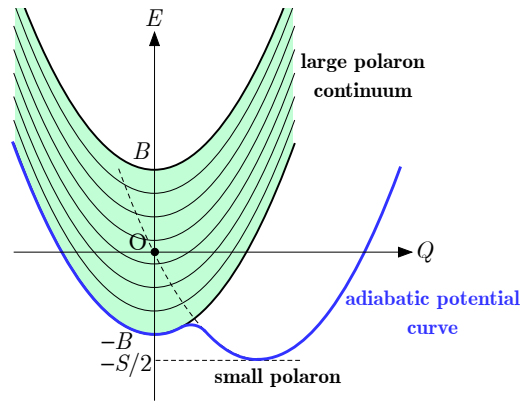


図 1.2: ラージポーラロンと自己束縛したスモールポーラロンの断熱ポテンシャル。

子格子相互作用エネルギーの大きさ S を仮定すると、図 1.2 に示すように、陽イオンの格子変位による配位座標 Q に対して、ふたつの安定状態が断熱ポテンシャル上に形成される。ひとつは s 電子がゼオライト結晶全体に広がって遍歴しているラージポーラロンであり、もうひとつは格子を局部的に歪ませて自己束縛したスモールポーラロンであり、後者は $2B < S$ のときに安定化される。

しかし、このモデルでは電子間斥力が仮定されていないため、スモールポーラロンは互いに必ず対をつくってスモールバイポーラロンを形成し、系全体は非磁性の絶縁体になってしまう。これではこの系の様々な性質を再現することができない。そこで、以下の様に、サイト間の遷移エネルギー t_{ij} とオンサイトの電子格子相互作用の結合定数 λ に、オンサイトの電子間斥力エネルギー U を加えた Holstein-Hubbard モデルで考える必要がある。

$$H = - \sum_{i,j,\sigma} t_{ij} a_{i\sigma}^\dagger a_{j\sigma} + U \sum_i n_{i\uparrow} n_{i\downarrow} + \sum_i \left(\frac{P_i^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega^2 Q_i^2 \right) - \lambda \sum_i Q_i (n_{i\uparrow} + n_{i\downarrow}) \quad (1.1)$$

ここで右辺第 3 項はフォノンの項であり、また、電子格子相互作用エネルギーの大きさ S は以下の様に定義される。

$$S = \frac{\lambda^2}{m\omega^2} \quad (1.2)$$

その結果、図 1.3(a) に模式的に示すように、最隣接サイトへの電子遷移エネルギー t 、 U 、 S の大小関係に依存してラージポーラロン、スモールポーラロン、スモールバイポーラロンが形成される。 t が大きければラージポーラロンが形成されて金属となり、 t が小さく $S < U$ では磁性をもつスモールポーラロンによる Mott 絶縁体が形成され、 $S > U$ では非磁性のスモールバイポーラロンが形成されて絶縁体となる。図 1.3(b) に模式的に示したように、サイト当たりの平均 s 電子数 n を考慮した t - U - S の三角形を考え、 t - U - S - n による粗視化したモデルにより、この系の磁性や絶縁体金属転移などが定性的に説明できるようになる。即ち、「相関ポーラロン系」として系全体を考える必要がある。バルクのアルカリ金属の s 電子系は三角形の頂点の t が支配的な系に相当し、単純金属として特別な性質は示さないが、ゼオ

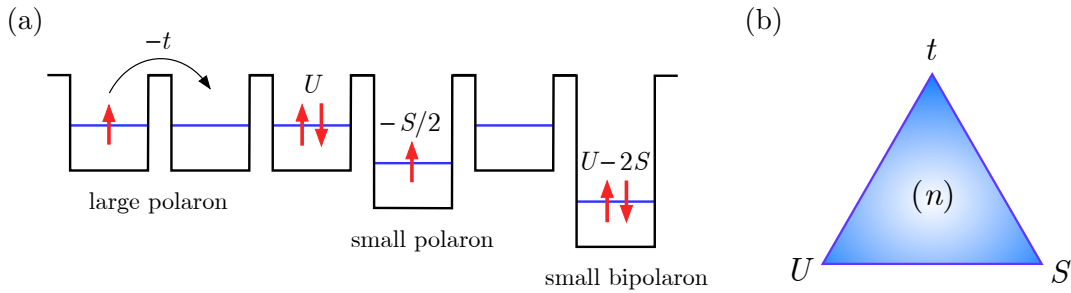


図 1.3: Holstein-Hubbard モデルの概念図。(a) t , U , S の大小関係に依存して種々のポーラロンが形成される。(b) t , U , S の大小関係に, サイト当たりの平均 s 電子数 n を考慮した三角形。

ライトの配列したナノ空間での s 電子系は U や S の効いた三角形の下部に相当し, バルクのアルカリ金属には無かった磁性や絶縁体金属転移など, 多彩な性質が観測される。これらの描像は, 他の様々な系, 特に様々なキャリアドーピングを行う系とも共通の視点があり, Holstein-Hubbard モデルを用いた研究は広く行われている。

これらの系のうちで, 図 1.4 に示した β ケージとスーパーケージがそれぞれダイヤモンド構造で配列したゼオライト LSX (化学組成 $\text{Na}_x\text{K}_{12-x}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}$) に, K 原子を n 個吸蔵して Na-K の合金クラスターを作成した系について紹介する。この系では, ケージ当たりの Na 数 x と s 電子数 n に依存して, 磁性や電気伝導などに大きな変化が観測される。まず, x が 0 と 4 の系では, 図 1.5(a) に典型例を示したように, フェリ磁性が観測される。特に $x = 4$ の系で $n = 7.8$ の試料では, 補償温度約 5K で磁化がゼロになる Néel の N 型フェリ磁性が明瞭に観測される。この磁性はスーパーケージの遍歴電子系と β ケージの局在電子系のふたつの非等価な磁気副格子が反強磁性相互作用をもつモデルで説明できる。

また, 図 1.5(a) に示した x が 7.3 の系では, $n = 8.9$ 付近でほぼ純粋な強磁性が観測され

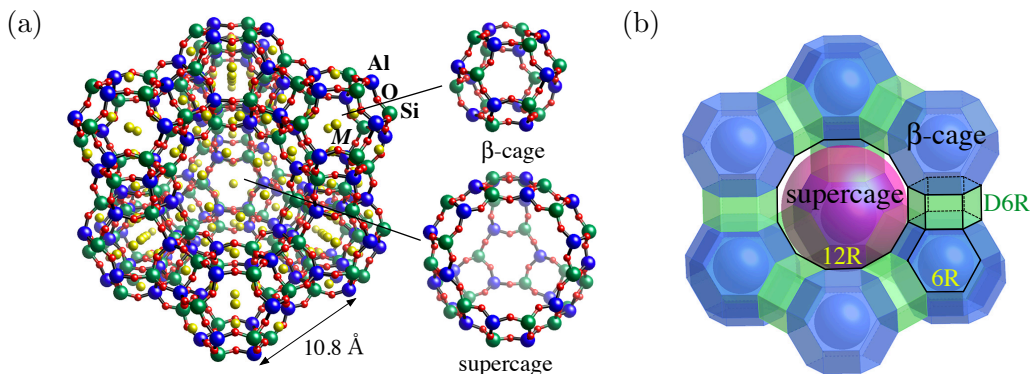


図 1.4: (a) ゼオライト LSX のアルミノケイ酸塩骨格構造 (FAU 型) と陽イオン M の配置, (b) ゼオライト LSX のダブルダイヤモンド構造で配列した β ケージとスーパーケージにクラスターが形成された模式図。

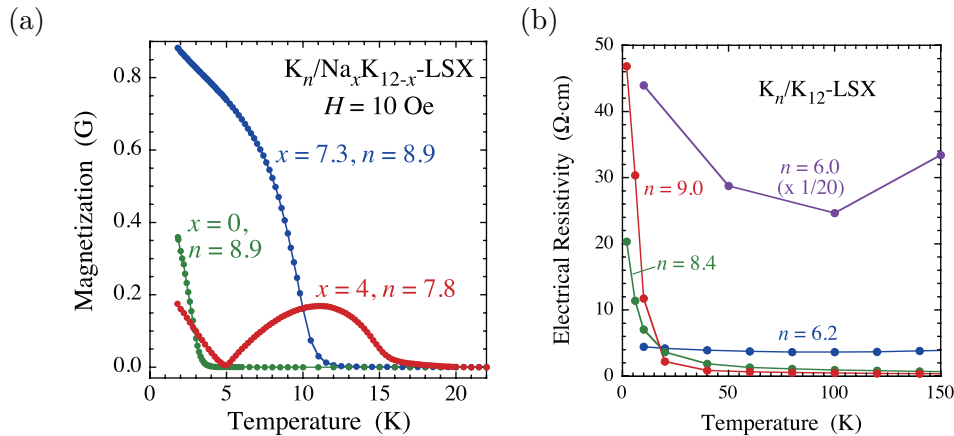


図 1.5: ゼオライト LSX 中の合金クラスター K_n/Na_xK_{12-x} -LSX における, (a) $(x, n) = (0, 8.9), (4, 7.8), (7.3, 8.9)$ での自発磁化の典型的な温度依存性, (b) $x = 0$ におけるカリウムクラスターの電気伝導度の温度依存性。

る。この系は絶縁体であり, しかも β ケージの s 電子の光励起による光学反射スペクトルが強磁性の発現と同期することから, β ケージの局在磁気モーメントがスーパーケージの sp^3 閉殻構造の電子系を經由して超交換相互作用が発生し, 強磁性配列したと解釈されている。

また, 図 1.5(a) に示した $x = 0$ のカリウムクラスターの系では n が増加するとフェリ磁性が観測されるが, 図 1.5(b) に示したように, 低温での電気伝導度には顕著な異常が観測される。 n が増加すると, 高温域での電気伝導度は減少し, 金属への転移が観測されるが, フェリ磁性を示す試料では, 低温での電気抵抗が急激に増大する。これは 1 meV 程度の非常に小さなエネルギーギャップがフェルミ面付近に形成され, それが磁性と連動していることになる。そこで, 図 1.6(a) に示したように, スーパーケージのネットワークに遍歴電子系が形成され, それが β ケージの局在状態と混成するモデルを考えた。その際, β ケージ内の 2 電子間には大きな斥力エネルギー U が発生するので, $U > S$ の条件を満たし, しかも 1 電子と 2 電子状態の間にフェルミエネルギーが来る状況を考えると, 近藤絶縁体に似た状況を考えることができる。ただし, この系の遍歴電子系はバンド幅が狭く, 遍歴電子強磁性が形成されるため, 通常近藤絶縁体における非磁性の遍歴電子系とは状況が異なる。このモデルにより, 低温での磁気相転移に伴ってギャップが発生し, 図 1.5(b) に示した低温での電気抵抗の急激な増大が説明できる。

さらに, 全てのイオンが Na イオンのゼオライト LSX (化学組成 $Na_{12}Al_{12}Si_{12}O_{48}$) において, 細孔当たり n 個の Na 原子吸蔵させた系では, 従来にない磁性が観測される。 $n = 10$ の系では非磁性の絶縁体であり, 図 1.6(b) に示したように室温付近まで磁化率は一定である。しかし, $n \approx 16$ の系では電気抵抗は急激に小さくなって金属に転移するが, その際, 図 1.6(b) に示したように室温に向かって顕著に増大する磁化率が観測される。このような, 金属における高温域での磁化率の増大は他に例を見ない。なお, 低温での磁化率の増大は, わずかに分布する不純物磁気モーメントによるものである。一方, 電子格子相互作用を考慮した金属状態では, ラージポーラロン状態が安定となるが, スモールポーラロンが断熱ポテ

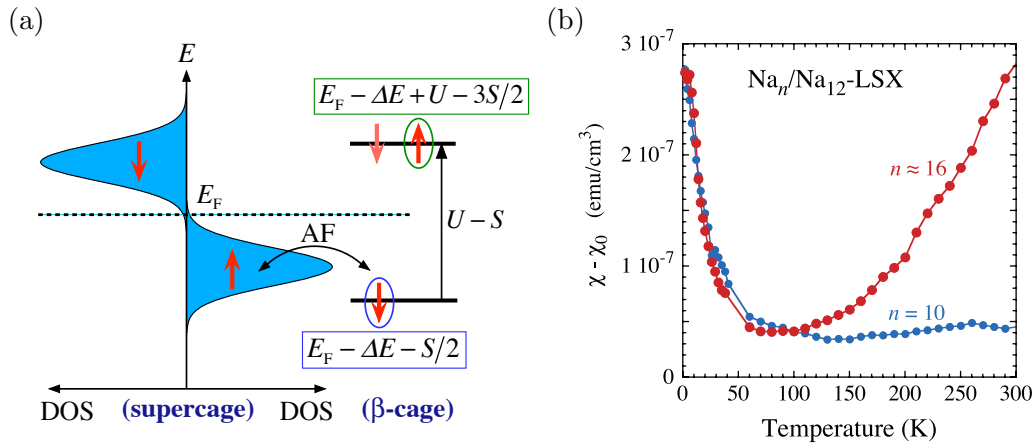


図 1.6: (a) ゼオライト LSX のカリウムクラスターにおけるスーパーケージの遍歴電子系と β ケージの局在電子系の相関とフェリ磁性におけるエネルギーギャップの発生機構, (b) ゼオライト LSX のナトリウムクラスターにおける $n = 10$ と $n \approx 16$ における磁化率の温度依存性。

ンシャル上で準安定状態を形成する事が理論的に指摘されている。昇温に伴って、スモールポーラロンが熱的に形成され、それが磁化率の顕著な増大の原因となっていることが考えられる。この問題は、近藤効果の系にさらに断熱ポテンシャルを考慮したより高度な問題を含んでおり、興味を持たれる。また、図 1.6(b) に示した室温に向けて磁化率が増大する現象は、²³Na の NMR スペクトルのシフトととしても明瞭に観測される。構造解析により Na イオンサイトは多数存在することがわかっており、その状況で NMR スペクトルが 1 本で観測されることは、Na イオンが NMR 時間スケールでは激しく運動している、先鋭化が起きていると考えなくてはならない。このことから、室温付近では Na イオンはラージポーラロンとスモールポーラロンの断熱ポテンシャル上を激しく行き来して、Na イオンは s 電子の変化を伴いながらダイナミカルに運動し、従来にない熱活性型の磁性が NMR で観測されていると考えられる。

これらの詳しい内容は、以下の Review Article に示されている。Electrons of alkali metals in regular nanospaces of zeolites, T. Nakano and Y. Nozue, *Adv. Phys.* **X 2** (2017) 254-280, <http://dx.doi.org/10.1080/23746149.2017.1280415>

学術雑誌に出版された論文

Magnetodielectric detection of magnetic quadrupole order in $\text{Ba}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ with Cu_4O_{12} square cupolas

K. Kimura, P. Babkevich, M. Sera, M. Toyoda, K. Yamauchi, G. Tucker, J. Martius, T. Fennell, P. Manuel, D. Khalyavin, R. Johnson, T. Nakano^s, Y. Nozue^s, H. Ronnow, and T. Kimura

Nature Commun. **7** (Apr.) (2016) 13039 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/ncomms13039>).

Magnetic moments and ordered states in pyrochlore iridates $\text{Nd}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ and $\text{Sm}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ studied by muon-spin relaxation

R. Asih^d, N. Adam, S. S. M. Tajudin, D. P. Sari^d, K. Matsuhira, H. Guo, M. Wakeshima, Y. Hinatsu, T. Nakano^s, Y. Nozue^s, S. Sulaiman, M. I. M. Ibrahim, P. K. Biswas, I. Watanabeⁱ

J. Phys. Soc. Jpn. **86** (Jan.) (2017) 024705 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.86.024705>).

Electrons of alkali metals in regular nanospaces of zeolites

T. Nakano^s and Y. Nozue^s

Adv. Phys. X **2** (Feb.) (2017) 254-280

(<http://dx.doi.org/doi:10.1080/23746149.2017.1280415>).

Magnetic Properties of FePd Nanoparticles Prepared by Sonoelectrodeposition

N. H. Luong, T. T. Trung, T. P. Loan, L. M. Kien^s, T. T. Hong, and N. H. Nam

J. Electron. Mater. **45** (May) (2016) 4309-4313

(<http://dx.doi.org/doi:10.1007/s11664-016-4565-7>).

Defect structures in Frank-Kasper type square-triangle tiling of multimodal cage-type mesoporous silicas

Y. Sakamotoⁱ

J. Phys.: Condens. Matter **29** (Feb.) (2017) 124002 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1361-648X/aa5b02>).

Challenge to atomic-scale characterization of electron-beam-sensitive microporous materials

Y. Sakamotoⁱ

Microscopy **65** S1 (Apr.) (2016) i15

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/jmicro/dfw081>).

Ionothermal synthesis and magnetic study of a new manganese(II) phosphite with an unprecedented Mn/P ratio

T. Su, H. Xing, Y. Li, J. Wu, T. Nakano^s, J. Yu

Inorg. Chem. Front. **3** (Apr.) (2016) 924-927

(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/C6QI00014B>).

放射光・中性子・ミュオンで見た配列アルカリ金属ナノクラスターの磁気秩序

中野岳仁^s

SPring-8/SACLA Information **21** (Nov.) (2016) 280-284.

国際会議における講演等

Electronic Properties of Alkali Metals Loaded into Channel-Type Zeolite L

P. T. Thi^d, T. Nakano^s, Y. Sakamotoⁱ and Y. Nozue^{s*} (invited)

3rd International Conference on Functional Materials Science 2016 (ICFMS 2016) (at Bali, Oct. 19, 2016, 参加者数 約 100 人), Indonesia

Anomalous enhancement of ferromagnetic properties in alkali-metal nanoclusters in zeolite crystal by high pressure helium gas

T. Nakano^{s*} (invited)

3rd International Conference on Functional Materials Science 2016 (ICFMS 2016) (at Bali, Oct. 19, 2016, 参加者数 約 100 人), Indonesia

Electron microscopy studies of nanoporous materials at the atomic- and meso-scale

Y. Sakamoto^{i*} (invited)

The 3rd SPIRIT international symposium, Photochemistry of molecule and nanoparticle superstructures (at Kyoto, Feb. 3, 2017, 参加者数 約 50 人), Japan

Antiferromagnetic ordering and insulator-to-metal transition in alkali metal nanoclusters arrayed in sodalite

T. Nakano^{s*}

European Physical Society, Condensed Matter Division (CMD-26) (at Groningen, Sept. 4, 2016, 参加者数 約 600 人), Netherlands

μ SR Study of Non-Magnetic Anion Based Organic Superconductor λ -(BETS)₂GaCl₄

D. P. Sari^{d*}, R. Asih^d, K. Hiraki, Y. Ishii, A. Hillier, T. Takahashi, I. Watanabeⁱ, T. Nakano^s, and Y. Nozue^s

3rd International Conference on Functional Materials Science 2016 (ICFMS 2016) (at Bali, Oct. 20, 2016, 参加者数 約 100 人), Indonesia

μ SR Study of Non-Magnetic Anion Based Organic Superconductor λ -(BETS)₂GaCl₄

D. P. Sari^{d*}, R. Asih^d, K. Hiraki, Y. Ishii, A. Hillier, T. Takahashi, I. Watanabeⁱ, T. Nakano^s, and Y. Nozue^s

The 15th International Conference on Molecule-Based Magnets (ICMM 2016) (at Sendai, Sept. 4-8, 2016, 参加者数 約 300 人), Japan

Magnetic ordered states in pyrochlore iridates $\text{Nd}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ and $\text{Sm}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ studied by μSR

R. Asih^{d*}, N. Adam, S.S. Mohd-Tajudin, D. P. Sari^d, K. Matsuhira, H. Guo, M. Wakeshima, Y. Hinatsu, T. Nakano^s, Y. Nozue^s, S. Sulaiman, M.I. Mohamed-Ibrahim, P.B. Kumar, and I. Watanabeⁱ

The 8th International Conference on Highly Frustrated Magnetism (HFM 2016) (at Taipei, Sept. 7-10, 2016, 参加者数 約 500 人), Taiwan

日本物理学会, 応用物理学会等における講演

μSR study on ferromagnetism of Na-K alloy clusters incorporated in zeolite LSX

L. M. Kien^{s*}, T. Nakano^s, K. Tanibe^m, S. Yoon, M. Abdel-Jawad, F. L. Pratt, I. Watanabeⁱ, and Y. Nozue^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

μSR study on the magnetic ordered state of $(\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x)_2\text{Ir}_2\text{O}_7$

R. Asih^{d*}, S. S. Mohd-Tajudin, F. Astuti, S. Maeda, K. Matsuhira, M. Wakeshima, Y. Hinatsu, A. Miyake, M. Tokunaga, I. Watanabeⁱ, T. Nakano^s, and Y. Nozue^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

Superconducting Pairing Symmetry of the Non-Magnetic Anion Based Organic Superconductor $\lambda\text{-(BETS)}_2\text{GaCl}_4$ Studied by μSR

D. P. Sari^{d*}, R. Asih^d, K. Hiraki, Y. Ishii, A. Hillier, T. Takahashi, I. Watanabeⁱ, T. Nakano^s, and Y. Nozue^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

ゼオライト A 中のカリウムクラスターの中性子磁気回折 II

中野岳仁^{s*}, 大石一城, 松浦直人, K. Nemkovskiy, Y. Su, P. Manuel, D. Khalyavin, 梅本尚嗣^m, 野末泰夫^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Magnetic ordered states in the hole-doped pyrochlore iridates $(\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x)_2\text{Ir}_2\text{O}_7$

R. Asih^{d*}, S.S. Mohd-Tajudin, F. Astuti, S. Maeda, K. Matsuhira, M. Wakeshima, Y. Hinatsu, A. Miyake, M. Tokunaga, I. Watanabeⁱ, T. Nakano^s, and Y. Nozue^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Superconducting state of $\lambda\text{-(BETS)}_2\text{GaCl}_4$ studied by μSR and DFT calcula-

tions

D. P. Sari^{d*}, R. Asih^d, K. Hiraki, Y. Ishii, T. Takahashi, T. Koretsune, H. Seo, I. Watanabeⁱ,
T. Nakano^s, and Y. Nozue^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

**Ferrimagnetism and Electrical Resistivity of Na-K Alloy Clusters in Zeolite
LSX**

L. M. Kien^{s*}, A. Miyazaki^b, T. Nakano^s, Y. Nozue^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学, 2017年3月17日 - 3月20日)

電子顕微鏡法による規則性多孔質材料の構造解析と今後の展開

阪本康弘^{i*}

日本顕微鏡学会第59回シンポジウム (帝京平成大学, 2016年11月18日 - 11月19日)

ゼオライト骨格中ヘテロ原子の原子分解能STEM観察

阪本康弘^{i*}, 大友亮一, 横井俊之

第32回ゼオライト研究発表会 (タワーホール船堀, 2016年12月1日 - 12月2日)

正方形・正三角形タイリング構造をもつシリカメソ多孔体中欠陥構造の解析

阪本康弘^{i*}

第21回準結晶研究会 (北海道大学, 2017年3月2日 - 3月4日)

1.10 花咲グループ

平成 28 年度の研究活動概要

巨大磁気抵抗効果に対する局在スピンのモーメントサイズ効果

フタロシアニン分子 (Pc) から構成される 1 次元伝導体 $\text{TPP}[\text{Fe}(\text{Pc})(\text{CN})_2]_2$ は巨大磁気抵抗効果を示す事が知られている。左図に示した様に、環状の Pc 分子には電気伝導性を担う π 電子が存在する。分子中心 (図 1.1 の左図の M の位置) に位置する Fe 原子が d 電子の局在スピンを与えている。磁気抵抗効果は、電氣的に絶縁化していく低温領域で観測される。伝導 π 電子間のクーロン斥力が強いため、低温で電荷秩序を起し絶縁化していくが、局在スピンの反強磁性的秩序によって電荷秩序がさらに安定化される。この状態で磁場を印加すると局在スピンの向きが揃えられるので電荷秩序の安定性が減少し、その結果、巨大な負の磁気抵抗が生ずる。

局在スピン源である Fe^{3+} の d 電子スピンは $S=1/2$ である。もし Cr^{3+} に置換すれば $S=3/2$ となり、局在スピンのモーメントが大きくなるので、伝導 π 電子と局在 d スピンの間の相互作用を強化できる可能性がある。そこで、 $\text{TPP}[\text{Cr}(\text{Pc})(\text{CN})_2]_2$ の試料を作成した。まず $\text{Cr}(\text{Pc})$ 分子を合成してシアノ基を付加した後、電気化学的手法を用いて単結晶を作製した。そして電気抵抗、磁化、ESR 等の物性を測定した。磁化率は高温で Curie-Weiss 的な温度依存性を示した。その Curie 定数は 2.08 emu K/mol であり、Cr に $S=3/2$ の局在スピンの存在している事を支持している。ただし Fe の場合と異なり、磁化の異方性はほとんど観測されなかった。これは、 t_{2g} の各軌道にスピンの 1 つずつ充填され、軌道角運動量の効果が消失した結果である。Weiss 温度は -20K 程度である事から、局在スピン間相互作用は反強磁性的であり、そのエネルギーは $M=\text{Fe}$ の場合よりも大きい事が示唆された。パルス強磁場でも磁化が飽和する傾向は見られなかった。

次に磁気抵抗について述べる。磁場が増加するにつれて、電気抵抗は減少する。低温

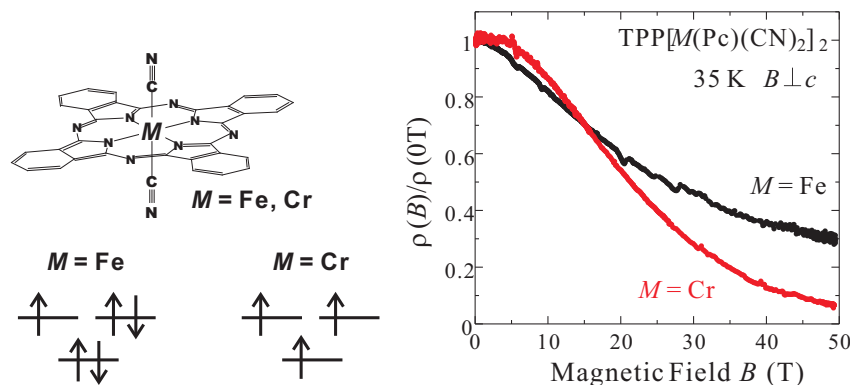


図 1.1: (左) フタロシアニン系分子の分子構造と電子状態 M には遷移金属 (Fe, Cr 等) が入る。3d t_{2g} 軌道における局在スピンの電子状態を示す。(右) $M=\text{Fe}$ と Cr における磁気抵抗効果

になるにつれて電気抵抗の減少分も増加する傾向が見られた。35Kにおける磁気抵抗の結果を図1.1の右図に示す。弱磁場では $M=Fe$ の方が電気抵抗の減少分が大きいですが、強磁場になるとむしろ $M=Cr$ の方が電気抵抗の減少分が大きくなる。これは、 $M=Fe$ に比べて局在スピンの相互作用エネルギーが強いので、これを凌駕するため強磁場が必要である事を示唆している。

伝導電子と局在スピンを有する1種類の分子から構成された電気伝導体

分子性伝導体では、分子を部分的に酸化（還元）する事で、フィリングを調整して電気伝導性を持たせている。結晶全体で電気的中性を保つため、電気伝導性を担う分子以外に、反対の電荷を持つ対イオンが必要であった。近年、1種類の分子のみから構成される電気伝導体を作る試みがなされているが、伝導 π 電子系しか有しないものがほとんどであった。伝導 π 電子と局在dスピンの両者が共存する1種類の分子からなる伝導体（対イオンを含まない伝導体）は過去にほとんど例がなく、磁気抵抗効果の報告は皆無であった。

1種類の分子で、伝導 π 電子系と局在dスピンの両者が存在する伝導体を作るため、図1.2の左図のような新規分子 $[Mn(Pc)(CN)]_2O$ を合成した。環状のフタロシアニン (Pc) 分子が伝導 π 電子を有するが、Pc分子の中心に局在dスピン源となるMn原子が挿入されている。電気化学的方法で、このPc分子を2量体化させるとともにPc分子を部分酸化させた伝導性結晶を作製した。電気伝導率は室温付近で $10^2 \Omega cm$ 付近の値を示しており、Pc分子が部分酸化されている事が示唆された。磁気抵抗の測定結果を図1.2の右図に示す。低温で負の磁気抵抗が観測されるが、室温付近でもある程度負の磁気抵抗が観測された。このような高い温度で磁気抵抗が観測される事は極めて珍しい。磁化率はCurie的な常磁性を示しており有効磁気モーメントは $3.16\mu_B$ であったが、 $S=1$ の局在スピンの値に近い。図1.2の左図に示す様に、2量体化した $Mn(Pc)$ 分子の間に酸素がある。この酸素の位置は真ん中ではなく、一方のMnに少し偏っている。そのため、酸素による結晶場効果は2つのMnで異なっている。一方のMnは低スピン状態で非磁性状態になっており、もう一方のMnが $S=1$ になっていると考えられる。

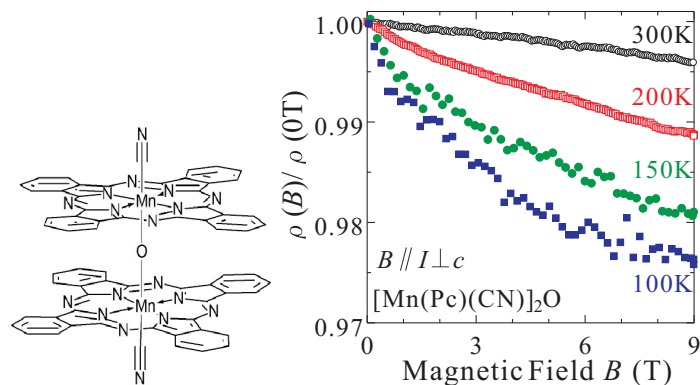


図 1.2: (左) $[Mn(Pc)(CN)]_2O$ の分子構造 (右) $[Mn(Pc)(CN)]_2O$ の磁気抵抗効果

学術雑誌に出版された論文

Multiple charge density wave transitions in the antiferromagnets $R\text{NiC}_2$ ($R=\text{Gd}$, Tb)

S. Shimomura, C. Hayashi, N. Hanasaki^s, K. Ohnuma, Y. Kobayashi, H. Nakao, M. Mizumaki, and H. Onodera

Physical Review B **93** (No. 16, Apr.) (2016) 165108-1-11

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.165108>).

High Magnetic Field Study on Giant Negative Magnetoresistance in the Molecular Conductor $\text{TPP}[\text{Cr}(\text{Pc})(\text{CN})_2]_2$

M. Ikeda^m, T. Kida, T. Tahara, H. Murakawa^s, M. Nishi, M. Matsuda, M. Hagiwara, T. Inabe, and N. Hanasaki^s

Journal of the Physical Society of Japan **85** (No. 6, June) (2016) 064713-1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.064713>).

Phthalocyanine-Based Single-Component Molecular Conductor $[\text{Mn}^{\text{III}}(\text{Pc})(\text{CN})]_2\text{O}$

M. Ikeda^m, H. Murakawa^s, M. Matsuda, and N. Hanasaki^s

Inorganic Chemistry **55** (No. 15, Aug.) (2016) 7314-7316

(<http://dx.doi.org/doi:10.1021/acs.inorgchem.6b00678>).

A giant negative magnetoresistance effect in an iron tetrabenzoporphyrin complex

M. Nishi, M. Ikeda^m, A. Kanda^m, N. Hanasaki^s, N. Hoshino, T. Akutagawa, and M. Matsuda

Dalton Transactions **45** (No. 42, Nov.) (2016) 16604-16609

(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/C6DT01911K>).

Relation between the structural phase transition and superconductivity in $\text{Cu}_x\text{IrTe}_{2-y}\text{Se}_y$

M. Kamitani, H. Sakai^s, Y. Tokura, and S. Ishiwata

Physical Review B **94** (No. 13, Oct.) (2016) 134507-1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.94.134507>).

Field-temperature phase diagram and entropy landscape of CeAuSb_2

L. Zhao, E. A. Yelland, J. A. N. Bruin, I. Sheikin, P. C. Canfield, V. Fritsch, H. Sakai^s, A. P. Mackenzie, and C. W. Hicks

Physical Review B **93** (No. 19, May) (2016) 195124-1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.195124>).

Critical enhancement of thermopower in a chemically tuned polar semimetal MoTe₂

H. Sakai^s, K. Ikeura, M. S. Bahramy, N. Ogawa, D. Hashizume, J. Fujioka, Y. Tokura, and S. Ishiwata

Science Advances **2** (No. 11, Nov.) (2016) e1601378-1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1126/sciadv.1601378>).

Contrasting magnetic behaviors in Rh- and Ru-doped cubic perovskite SrFeO₃: nearly ferromagnetic metal vs. spin-glass insulator

M. Kinoshita, H. Sakai^s, N. Hayashi, Y. Tokura, M. Takano, and S. Ishiwata

Angewandte Chemie International Edition **55** (No. 49, Dec.) (2016) 15292-15296

(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/anie.201608222>).

Interplay between charge-density wave and antiferromagnetic order in GdNiC₂

N. Hanasaki^s, S. Shimomura, K. Mikami, Y. Nogami, H. Nakao, and H. Onodera

Physical Review B **95** (No. 8, Feb.) (2017) 085103-1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.085103>).

Anticorrelation between polar lattice instability and superconductivity in the Weyl semimetal candidate MoTe₂

H. Takahashi, T. Akiba, K. Imura, T. Shiino, K. Deguchi, N. K. Sato, H. Sakai^s, M. S. Bahramy, and S. Ishiwata

Physical Review B **95** (No. 10, Mar.) (2017) 100501(R)-1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.100501>).

Observation of spin-polarized bands and domain-dependent Fermi arcs in polar Weyl semimetal MoTe₂

M. Sakano, M. S. Bahramy, H. Tsuji, I. Araya, K. Ikeura, H. Sakai^s, S. Ishiwata, K. Yaji, K. Kuroda, A. Harasawa, S. Shin, and K. Ishizaka

Physical Review B **95** (No. 12, Mar.) (2017) 121101(R)-1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.121101>).

国際会議における講演等

Observation of quantized Hall plateaus in a bulk antiferromagnet EuMnBi₂ with magnetically confined 2D Dirac fermions

H. Masuda, H. Sakai^{s*}, M. Tokunaga, Y. Yamasaki, A. Miyake, J. Shiogai, S. Nakamura,

S. Awaji, A. Tsukazaki, H. Nakao, Y. Murakami, T. Arima, Y. Tokura, and S. Ishiwata
9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS 9) (at Kobe, Aug. 8-11, 2016, Approx. 300 participants), Japan

Giant Ferromagnetic π -d Interaction and Magnetoresistance in the Phthalocyanine Molecular Conductor (poster)

H. Murakawa^{s*}, M. Ikeda^m, A. Kanda^m, M. Matsuda, and N. Hanasaki^s

The 15th International Conference on Molecular-Based Magnets (ICMM2016) (at Sendai, Sept. 7, 2016, Approx. 400 participants), Japan

Localized spin density dependence of giant magnetoresistance in phthalocyanine molecular alloyed compound TPP[Cr_xCo_{1-x}(Pc)(CN)₂]₂ (poster)

R. Ishii^{m*}, M. Ikeda^m, H. Murakawa^s, M. Nishi, M. Matsuda, T. Inabe, and N. Hanasaki^s

The 15th International Conference on Molecular-Based Magnets (ICMM2016) (at Sendai, Sept. 7, 2016, Approx. 400 participants), Japan

日本物理学会，応用物理学会等における講演

ビスマス正方格子を有する層状磁性体におけるディラック電子と磁気秩序の強相関現象
酒井英明^{s*}

物性研究所客員所員講演会 (招待講演) (於 東京大学物性研究所、2016年4月21日)

特殊なアニオン構造をもつニクタイト系磁性体における強相関ディラック電子状態
酒井英明^{s*}

第4回酸化物研究の新機軸に向けた学際討論会 (招待講演) (於 京都大学化学研究所、2016年8月5日 - 8月6日)

ディラック電子系磁性体 EuMnBi₂ における異常磁気伝導と量子ホール効果
酒井英明^{s*}

合同シンポジウム「トポロジカル材料開発の新展開」(招待講演)

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 金沢大学、2016年9月13日 - 9月16日)

層状物質 SnSe₂ における有機分子インターカレーションを用いたキャリア濃度制御と熱電性能の向上 (ポスター)

李海卿^{m*}, 酒井英明^s, 片山敬介^m, 池田光雄^m, 青石優平^m, 村川寛^s, 花咲徳亮^s

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 金沢大学、2016年9月13日 - 9月16日)

クロムフタロシアニン分子混晶における巨大磁気抵抗に対する局在スピン密度効果
石井龍太^{m*}, 池田光雄^m, 村川寛^s, 西美樹, 松田真生, 花咲徳亮^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 - 9 月 16 日)

多層ディラック電子系磁性体 EuMnBi_2 のゼーベック・ネルンスト効果における量子振動現象

鶴田圭吾 ^{m*}, 酒井英明 ^s, 増田英俊, 石渡晋太郎, 中野岳仁, 野末泰夫, 三宅厚志, 徳永将史, 村川寛 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 - 9 月 16 日)

多層ディラック電子系磁性体 EuMnBi_2 におけるフェルミ面の次元性に依存したゼーベック・ネルンスト係数の量子振動 (ポスター)

鶴田圭吾 ^{m*}, 酒井英明 ^s, 増田英俊, 石渡晋太郎, 中野岳仁, 野末泰夫, 三宅厚志, 徳永将史, 村川寛 ^s, 花咲徳亮 ^s

第 2 回ディラック電子系マルチフェロイクス研究会 (於 名古屋大学物質科学国際研究センター、2016 年 11 月 17 日 - 11 月 18 日)

多層ディラック磁性体 EuMnBi_2 の電気・熱輸送特性からみたランダウ準位構造

酒井英明 ^{s*}

第 2 回ディラック電子系マルチフェロイクス研究会 (招待講演) (於 名古屋大学物質科学国際研究センター、2016 年 11 月 17 日 - 11 月 18 日)

磁性体の中のディラック電子とスピンを利用したその伝導制御

酒井英明 ^{s*}

東邦大学 物理学科コロキウム (招待講演) (於 東邦大学、2016 年 11 月 29 日)

有機と無機の長所を生かした物性研究

花咲徳亮 ^{s*}

兵庫県立大学フロンティア機能物質創製センター第 3 回シンポジウム—機能性物質の最前線—(招待講演) (於 兵庫県立大学、2017 年 1 月 21 日)

ディラック電子をキャリアとする新しい磁性体の開拓

酒井英明 ^{s*}

平成 28 年度大阪大学物質材料科学研究推進機構講演会 (招待講演) (於 大阪大学、2017 年 1 月 26 日)

有機分子インターカレーションによる遷移金属ダイカルコゲナイド SnSe_2 の電力因子と熱伝導率の制御

李海卿 ^{m*}, 酒井英明 ^s, 片山敬介 ^m, 池田光雄 ^m, 青石優平 ^m, 村川寛 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 - 3 月 20 日)

クロムフタロシアン分子伝導体の均質な混晶における巨大磁気抵抗効果と磁化の相関

石井龍太 ^{m*}, 池田光雄 ^m, 村川寛 ^s, 西美樹, 松田真生, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

形の異なる 2 種類の陽イオン分子を持つ分子混晶 $(K \cdot 4EtOH)_x (PPh_4)_{1-x} [Co(Pc)(CN)_2]_2$
の合成と物性

杉本崇 ^{b*}, 石井龍太 ^m, 村川寛 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

超高移動度補償半金属の単結晶合成と 100 万倍を超える磁気抵抗効果の観測

横井滉平 ^{b*}, 村川寛 ^s, 駒田盛是 ^m, 木田孝則, 酒井英明 ^s, 萩原政幸, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

パイロクロア型ルテニウム酸化物 $R_2Ru_2O_7$ ($R = Nd, Pr$) におけるホールドープ効果 (ポ
スター)

井上寛治 ^{m*}, 村川寛 ^s, 酒井英明 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

層状ディラック反強磁性体 $EuMnBi_2$ における元素置換を用いたキャリア濃度制御 (ポ
スター)

鶴田圭吾 ^{m*}, 酒井英明 ^s, 増田英俊, 石渡晋太郎, 秋葉和人, 三宅厚志, 徳永将史, 村川寛 ^s, 花
咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

熱電材料 $SnSe$ における元素置換を利用したバンド構造とキャリア密度の制御 (ポスター)

坂本拓也 ^{m*}, 酒井英明 ^s, 片山敬介 ^m, 村川寛 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

スピネル型酸化物 $MgTi_2O_4$ の構造相転移における Ti サイト低濃度置換効果 (ポスター)

服部崇幸 ^{m*}, 鳥越秀平 ^d, 酒井英明 ^s, 村川寛 ^s, 佐賀山基, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

スピネル型酸化物 $MgTi_2O_4$ における、相転移近傍のナノスケール構造揺らぎ

鳥越秀平 ^{d*}, 服部崇幸 ^m, 樹神克明, 本田孝志, 仁谷浩明, 阿部仁, 佐賀山基, 池田一貴, 大友季
哉, 村川寛 ^s, 酒井英明 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

ワイル半金属 $TaAs$ における強磁場下電気抵抗率測定

駒田盛是 ^{m*}, 村川寛 ^s, 横井滉平 ^b, 木田孝則, 萩原政幸, 酒井英明 ^s, 花咲徳亮 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

機能性原子層の三次元積層物質における新奇量子物性の開拓

酒井英明^{s*}

新世代研究所 2016年度第2回界面ナノ科学研究会(招待講演)(於 新世代研究所、2017年3月30日)

書籍の出版, 日本語の解説記事等

新しい多層ディラック電子系 EuMnBi_2 における磁気秩序と結合した量子伝導現象酒井英明^s

固体物理 (アグネ) (2016年9月発行, 第51巻, 第9号, 491-507頁 (2016年))

ディラック電子の流れを制御できる新磁性体

酒井英明^s

パリティ (丸善出版) (2016年11月発行, 第31巻, 第11号, 30-33頁 (2016年))

磁石の中のスピン秩序を利用したディラック電子の制御

酒井英明^s

パリティ (丸善出版) (2017年1月発行, 第32巻, 第1号, 30-32頁 (2017年))

1.11 素粒子理論グループ

平成 28 年度の研究活動概要

ゲージ・ヒッグス電弱統合理論における W', Z'

ゲージ・ヒッグス統合理論では、我々の時空に 5 次元目があり、ヒッグスボソンはゲージ場の一部で、相互作用の結果、ゲージ対称性そのものが破れる（細谷機構）。 $SO(5) \times U(1)$ ゲージ・ヒッグス電弱統合理論ではコライダー実験で W ボゾンの KK 励起粒子が W' として、 γ, Z, Z_R ボゾンの KK 励起粒子が Z' として現れる。船津、幡中、細谷、折笠は LHC 14TeV 実験で $W' \rightarrow t\bar{b}, \mu\nu, WH, WZ, Z' \rightarrow e^+e^-, ZH, WW$ 等の衝突断面積、生成事象数を評価した。LHC RUN2 で $Z' \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$ を観測すれば、これより 5 次元目でのアハロノフボーム位相 θ_H を決めることができることを示した。余剰次元の発見が期待される。

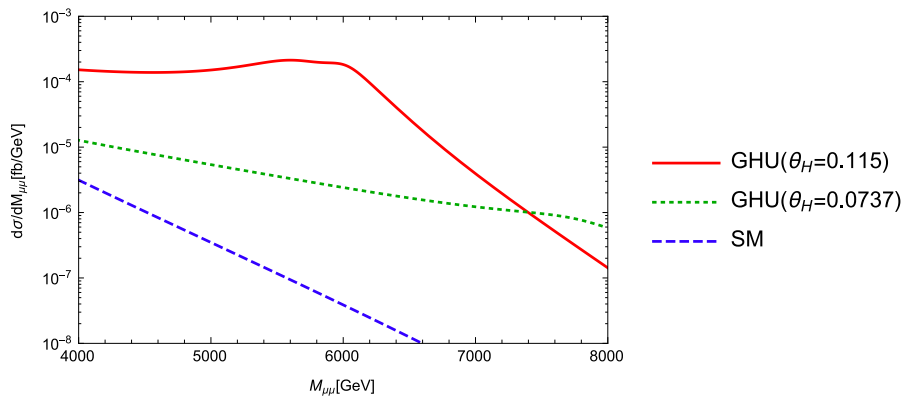


図 1.1: LHC 14TeV 実験、 $pp(u\bar{u}, d\bar{d}) \rightarrow \{\gamma, Z, Z^{(1)}, \gamma^{(1)}, Z_R^{(1)}\} \rightarrow \mu^+\mu^-$ 過程の微分断面積 $d\sigma/dM_{\mu\mu}$ 。ここで、 $M_{\mu\mu}$ は $\mu^+\mu^-$ の invariant mass。赤実線と緑点線はゲージ・ヒッグス電弱統合理論で $\theta_H = 0.115, 0.0737$ の場合。青点線は標準模型の場合。終状態が e^+e^- の場合も $\mu^+\mu^-$ と同じ。

ゲージ・ヒッグス大統一理論

古井、細谷、山津は、電弱相互作用だけでなく、強い相互作用も統一する 5 次元 Randall-Sundrum ワープ空間上の $SO(11)$ ゲージ・ヒッグス大統一理論を構築した。クォークとレプトンは、 $SO(11)$ のスピナー表現 (32) とベクトル表現 (11) の場として記述され、ブレーン相互作用も含めるとクォークとレプトンの質量スペクトルを再現できることを示した。4 次元の通常の大統一理論と違い、陽子崩壊が起こらないなどの顕著な性質がある。

$SO(5) \times U(1)_X$ ゲージ・ヒッグス統合模型のハドロンコライダー現象論

幡中と細谷は、折笠（チェコ工科大）、船津（KEK）とともに、 $SO(5) \times U(1)_X$ ゲージ・ヒッグス統合模型のハドロンコライダーでの Kaluza-Klein ベクトルボソンの生成と崩壊事象について調べた。特に本研究では KK 励起ベクトルボソンが 2 体ボソンに崩壊する場合

について崩壊幅と散乱断面積を計算した。特に崩壊幅について2体ベクトルボソンへの崩壊幅とベクトルボソンとヒッグスへの崩壊幅に興味深い関係式を見出した。さらに模型に現れる全てのフェルミオンのKK状態とそれらの結合定数を求め、それを終状態が2体ベクトルボソン(WとZ)に崩壊する場合のユニタリティ保存の証明に応用した。

$SO(5) \times U(1)_X$ ゲージ・ヒッグス統合模型のレプトンコライダー現象論

幡中と細谷は、折笠(チェコ工科大)、船津(KEK)とともに、 $SO(5) \times U(1)_X$ ゲージ・ヒッグス統合模型のレプトンコライダーでの中性 Kaluza-Klein ベクトルボソンの生成と崩壊事象について調べた。特に本研究ではKK励起ベクトルボソンがフェルミオン対に崩壊する場合について散乱断面積を計算した。LEPなど既存の電子陽電子コライダーでの精密実験結果から模型への制限を求めた。また、将来のコライダーで可能となる偏極ビームの効果を取り入れ、将来実験での終状態角度分布への予言値を計算した。

$B \rightarrow \pi\tau\bar{\nu}$ および $B \rightarrow \tau\bar{\nu}$ における新物理の寄与

田中は、渡邊(IFS, Montreal大)と共同でチャームを含まないB中間子のタウオンニック崩壊 $B \rightarrow \pi\tau\bar{\nu}$ および $B \rightarrow \tau\bar{\nu}$ における新物理の寄与について調べた。理論的不定性が少ない分岐比の比を導入し、模型に寄らない枠組みで、現在の実験からの制限および建設中の Belle II 実験での感度について明らかにした。

原子ニュートリノ

田中は、笹尾(岡山大)、津村(京大)、吉村(岡山大)と共同で、原子ニュートリノ過程に対するQEDバックグラウンドについての研究を行なった。特に、フォトニック結晶導波路の一つであるブラッグファイバーを用いてこれを抑制する方法を提案し、バックグラウンド抑制に必要な屈折率に対する条件を明らかにした。

アイソトープシフトによる新物理探索

田中は、三上、山本(阪大, Yonsei大)と共同で、原子スペクトルのアイソトープシフト(IS)に対する原子内で作用する未知の相互作用の影響を調べた。特に、新粒子の効果によるISでのキング線形性の破れと通常のISにおける線形性の破れを評価し、これらを比較することで新物理に対する感度を明らかにした。

任意の数の Higgs を含む模型における可能な Higgs 微分相互作用の分類

Higgsの微分相互作用は、その寄与が高いenergy領域で増大し観測し易くなるため、Higgs sectorに含まれる新しい粒子を探す手段として注目されている。山本(康)は摂動的な物理が背後にあった場合に可能な微分相互作用を、任意の数のHiggsを含む模型の元で全て書き下し分類した。Higgsの数が増えることで、対称性にのみ基いて有効的に書き下した相互作用が摂動的な物理の範囲では表現しきれない場合があることを示した。この研究はKEKに所属していた菊田氏との研究に基いて行われた。

Beryllium-8 崩壊から示唆された 17MeV の vector 粒子を含む暗黒物質の模型

HungaryのAtomki研究所で、 ^8Be の原子核反応を見る実験において17MeVの新しい粒子を検出した可能性が報告された。山本(康)はKarlsruhe工科大学の北原氏と共に、この粒

子は暗黒物質とよく相互作用しているとの仮定に基づき、可能なモデルを検証した。その結果、暗黒物質が直接、この粒子と相互作用しているのではなく、更に他の粒子を介して相互作用している場合に、熱的に生成された暗黒物質という単純な生成機構を満足出来ることを具体的に示した。また、その時、暗黒物質が fermion であれば、宇宙の観測から示唆されている、強く相互作用する暗黒物質としても解釈出来る可能性を示した。

宇宙背景放射のパワースペクトルの断熱正則化

Alinea は昨年引き続き宇宙背景放射のパワースペクトルの紫外発散正則化の研究を進展させた。パワースペクトルはインフラトンの零点振動を評価したものであり、境界条件を変えたときの変化分しか測定できない。Alinea は、L.Parker が提唱した方法、即ち宇宙膨張が十分にゆっくりと進行したという（仮想的な）状況のもとでの零点振動との差のみが観測量であるとする考え方を援用し、引き算項を調べた。昨年の研究と比べ、(1) K-inflation で重力場との結合が minimally coupled の場合、(2) canonical inflation で重力場との結合が non-minimally coupled の場合の二つの場合について考察を拡張した。いずれの場合も引き算項は時間の関数であるが、horizon crossing の時期には引き算項は十分に減少して観測量には影響を及ぼさないという結果を得た。

宇宙相関関数における二重ソフト極限と重力量子交換

Alinea, 窪田、美澄の3人は、二重ソフト極限という技法を駆使して、宇宙相関関数の間の新しい関係式を、二つの独立した考え方のもとで導いた。一つはソフトな背景場のもとでの相関関数を評価するものであり、もうひとつは dilatation symmetry に付随した Ward identity を用いるものである。当然のことながら両者は同じ結果を与えることを確認した。4点関数、すなわちトリスペクトルの場合には、この新しい関係式は3つの項から成り立っている。ひとつはスカラー交換の寄与、もうひとつはスカラー接触相互作用の寄与、そして最後が重力量子交換の寄与である。これら3つの項を比較すると、数値的には量子重力子交換の寄与が他の二つよりも大きく、トリスペクトルの二重ソフト極限を観測すれば重力場の量子論的効果が初めて観測可能になるという知見を得た。

6次元格子上のドメインウォールフェルミオンを用いたカイラルゲージ理論の定式化

深谷、大野木、山本、山村は arXiv:1607.06174(PTEP に掲載決定)にて6次元の Dirac フェルミオンを用いた4次元カイラルゲージ理論の定式化を提案した。この定式化では、6次元の Dirac 場に2種類のギャップを持たせ、それぞれにドメインウォール構造を与えギャップを閉じ、その交叉点に Weyl フェルミオンが生じることを利用する。この系には6次元から4次元へ至る摂動的アノマリーの降下方程式の構造が自然に含まれ、4次元のゲージアノマリーが6次元の大域的対称性の量子異常に起因することを示す。さらに、大域的アノマリーの降下方程式の構造を示唆する証拠も見つかった。カイラルゲージ理論の構成には反ドメインウォールの寄与を打ち消す必要があるが、これは Grabowska & Kaplan によって示された Yang-Mills gradient flow を用いることで4次元のゲージ対称性を損なうことなく実現することに成功した。Yang-Mills gradient flow では完全に反ドメインウォールの寄与をキャンセルできない問題や、大域的アノマリーの分類など、未解決な点が多いが、ゲージアノマリーが高次元の存在を示唆するという新しい研究の方向性を示している。

2次元超対称 $O(N)$ 非線形シグマ模型に対するフロー方程式

大野木、菊地は基礎物理学研究所の青木教授と共に、2次元超対称 $O(N)$ 非線形シグマ模型に対するフロー方程式について調べた。この模型の超場のフロー方程式は、そのスカラー項の振る舞いにのみ依存することを明らかにした。ラージ N 極限でこの方程式を解く事により、2点相関関数は有限になることを示した。

ラージ N スカラー場の理論のフロー方程式と誘導時空

大野木は青木、Balog、Weisz と共に、3次元 $O(N)$ スカラー場理論に対するフロー方程式にもとづく4次元の誘導計量について調べた。フローされた場を規格化し、ラージ N 極限をとることで繰り込まれた質量というパラメータを除いて時空構造は普遍的で、UV と IR の固定点において漸近的にユークリッド AdS 時空になることを示した。

カイラル凝縮の精密計算

深谷は KEK の橋本らと、メビウスドメインウォールフェルミオンを用いた大規模数値シミュレーションによって、QCD のカイラル凝縮を高い精度で理論計算することに成功した。Dirac 演算子の固有値分布とカイラル凝縮を結ぶ Banks-Casher 関係式を精査し、クォーク質量ゼロ極限を3-4点のクォーク質量のシミュレーションから外挿、さらに連続極限を3点の格子間隔の結果を外挿して求めた。カイラル対称性の破れを1%未満に抑えながらの数値計算は世界初である。

有限温度 QCD における $U(1)_A$ 量子異常の消失の可能性

QCD はアップクォークとダウンクォークの質量ゼロ極限で、 $SU(2)$ と $U(1)$ の軸性カイラル変換に対する対称性を持つが、前者は自発的対称性の破れ、後者は量子異常、という別のメカニズムで対称性が破れている。長年、この両者は独立で、特に有限温度の相転移においても、回復するのは $SU(2)$ 対称性のみで、 $U(1)$ 量子異常は維持されると考えられてきた。深谷は KEK の橋本らとメビウスドメインウォールフェルミオンを用いた大規模数値シミュレーションを実行、その結果、ドメインウォールフェルミオンの低エネルギーモードのカイラル対称性の破れが予想に反して大きいこと、オーバーラップフェルミオンへ reweighting すると、 $U(1)_A$ の破れがゼロと無矛盾な程度に抑えられることを示した。これは $U(1)_A$ の破れが消失する状況証拠を与えるものである。この研究はカイラル相転移の次数に影響する等、ハドロン物理へ重要なインパクトを持つと考えている。

カイラル凝縮のカオス

橋本は慶應義塾大学の村田佳樹氏と京都大学の吉田健太郎氏とともに、強結合ゲージ理論のフェルミオンの凝縮に現れるカオスを計算した。AdS/CFT 対応を用いることにより、重力側で古典極限を取り、リアプノフ指数などのカオスの指標を、場の量子論のフェルミオンについて求めることに成功した (図 1.2)。この結果は、大阪大学からプレスリリースされている。

端状態のトポロジカル数

橋本は、慶應義塾大学の木村太郎とともに、トポロジカル物質の端状態に、トポロジカル数が現れる場合があることを示した。通例、トポロジカル物質には、bulk にトポロジカル

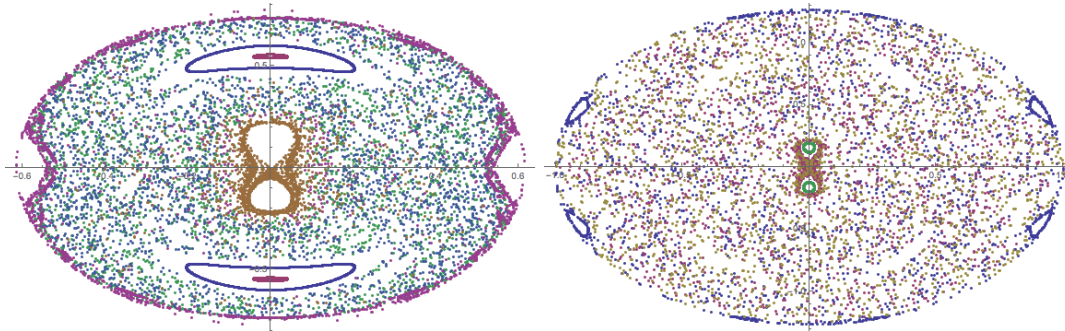


図 1.2: 強結合ゲージ理論のフェルミオン凝縮の運動に現れるカオス。ポアンカレ切断面を、エネルギーの二つの値で示す。エネルギーが高くなると、カオスの領域が広がる (右図)。

数が存在するために、端状態が存在する。この考え方を一般化し、端状態にもトポロジカル数がある場合を示すことで、「端の端」状態がある可能性を開いた。

共形場理論における defect

山口は、近年開発された共形場理論の解析の新しい手法について研究した。特に $4 - \epsilon$ 次元の $O(N)$ モデルにおける twist defect について Rychkov-Tan による ϵ 展開の手法を適用し、defect 上のある種の局所演算子の共形次元を得た。ここで得た共形次元は、Feynman 図による従来の手法で得たものと一致し、新しい手法の妥当性と有用性を示せた。

M 弦と余次元 2 欠陥演算子

6 次元 (2,0) 超対称共形場理論は M 理論において現れるが、この理論自体は未だ謎が多い。この理論の力学的物体は張力のない弦であることが知られており、さらに M 理論の観点からいくつかの非局所 (欠陥) 演算子が自然に現れると考えられている。森と杉本は、この理論に余次元 2 欠陥演算子がある状況を M 理論的に構成した。またこの弦を直接解析することは今のところ困難であるが、モジュライ空間のある領域にいくとこの弦が張力を持ち、これを M 弦と呼ぶ。そして余次元 2 欠陥演算子がある場合の M 弦の分配関数を位相的弦理論の手法を用いて具体的に与え、この非局所演算子を持つ情報の解析を行った。

非摂動効果を含む位相的弦理論における幾何転移現象

ABJM 理論と位相的弦理論の間に成立する双対性に基づき、位相的弦理論の非摂動的定式が提唱されたが、これは仮説であり、様々な観点から検証する必要がある。杉本は、摂動的に知られている幾何転移現象を上記の定式に当てはめ、非摂動的にも幾何転移現象が成立することを示した。

位相的弦理論と 2 次元電子系の間に関立する関係

近年、非摂動効果を含む、ある特定のトーリックカラビ-ヤウ多様体上の位相的弦理論と 2 次元電子系の間に関立することが指摘された。そこで杉本は、ジュネーブ大学の初田泰之氏とテキサス A&M 大学の Xu Zhaojie 氏とともに、この関係を上記とは異なるトーリックカラビ-ヤウ多様体について調べ、これにも 2 次元電子系と関係があることを示した。

漸近安全重力の下でのヒッグス・湯川模型における非ミニマル結合

尾田は山田（金沢大、ハイデルベルク大）とともに、漸近安全重力と非ミニマルに結合したヒッグス・湯川模型の固定点構造を、汎関数繰り込み群を用いて調べた。宇宙項、ニュートン定数、スカラー場の質量と自己結合定数の繰り込み群方程式を、スカラー・フェルミオン・重力子のループを取り入れて求めた。フェルミオンの量子揺らぎを取り入れることにより、非ミニマル結合定数が、漸近安全重力の下でのガウシアン物質固定点のまわりで無関係になることを発見した。

3次元超重力理論における高階微分項の超対称性

飯塚は理化学研究所の田中章詞氏とともに、3次元 AdS 時空超重力理論において局所化の方法を用いて経路積分を行うために、3次元超重力理論における高階微分項 (R^2 , $R_{\mu\nu}^2$) が超対称 Exact 項として記述されるかについて調べた。結果、超対称性の off-shell 形式において、 R^2 や $R_{\mu\nu}^2$ などの高階微分項は、超対称 Exact 項としては書けない事が解った。その理由としては、余剰項として、必ず cosmological constant スケールの質量項が付随するためである事が解った。

量子重力と QCD の比較

重力の量子化は難しい。これはよく知られた事実であるが、その説明はニュートン定数がくりこみ不可能であるとのひとことで片づけられ、他の量子化可能なゲージ理論との比較という視点からの説明は乏しい。深谷は一般相対性理論をゲージ理論の一つとして、その特殊性を洗い出すことから他のゲージ理論と比較し、量子重力の難しさは、それを記述する数学の基礎となるファイバー束が平行化可能なことに起因するとの考察を発表した。

Dilaton 場を伴う Robinson-Trautman 解

棚橋は、ケンブリッジ大学 DAMTP の Harvey S. Reall 氏とともに Einstein-Maxwell-Dilaton 理論における動的時空の厳密解構成に取り組んだ。Robinson-Trautman 解とはペトロフ II 型に属する Einstein 方程式の厳密解であり、動的なブラックホールや重力波などを記述する。本研究では、この解を 4次元の Einstein-Maxwell-Dilaton 理論におけるペトロフ II 型の解へと拡張することを試みた。この理論は 5次元の Einstein 重力理論をコンパクト化することで得られることが知られている。そのため、先述のような解を構成することで、未だ不明な点の多い高次元時空における解の幾何学的な分類について知見が得られる可能性がある。この理論に関する先行研究では、簡単のため付加的な条件を課した上で解の構成と分類が行われていた。本研究ではこの条件を用いないより一般的な場合に注目し、その場合に得られる解の性質に関して調査を行った。

最も一般的なスカラー・テンソル理論における因果構造と衝撃波形成

棚橋は、KEK に所属していた大橋勢樹氏とともに、良い性質を持つ最も一般的なスカラー・テンソル理論における因果構造と衝撃波形成について研究を行った。運動方程式が 2 階微分までで与えられる最も一般的な理論はホルンデスキ理論と呼ばれるが、この理論をさらに複数のスカラー場が存在する場合に拡張して得られる理論に本研究では注目した。この理論における因果構造について解析したところ、一般相対論では事象の地平面となるキリング地平面がこの理論ではそうはならず、背景場がある条件を満たす場合のみ一般相対論と同様の性

質が実現されることが分かった。また、この理論においては波動が集積し衝撃波形成が起こりうることも判明した。本研究では上記の結果を一般的に導くとともに、これらの現象を観察することのできる簡単な具体例を構成した。

ブラックホール地平面におけるカオスの普遍性について

橋本と棚橋は、ブラックホール地平面付近における点粒子の運動を解析し、ブラックホール重力の効果によって粒子はカオス的な運動をするようになること、またそのカオス性の強度はブラックホールの重力の強さだけで決まり、そのほかの系の詳細に依存しないという普遍性を示すことを発見した。このカオス強度の上限の表式は、近年 Maldacena らによって導出された有限温度の場の理論におけるカオス強度の上限の表式と、係数を含めて完全に一致する。本研究成果は、量子カオスを古典重力理論の視点から理解する新たな方法をもたらす可能性がある。

AdS 時空中のスカラー場のエンタングルメントエントロピー

AdS/CFT 対応において、古典重力近似がよい場合には、CFT のエンタングルメントエントロピー（以下 EE）は AdS 時空中の極小曲面の面積から求めることができる。一般にはそこに量子補正が加わり、その補正は AdS 時空中の量子場の EE 等で与えられると考えられている。杉下は AdS 時空中のスカラー場の EE を解析的に求めた。さらに、スカラー場の存在による AdS 時空の変形の効果等を計算し、CFT の EE に対する補正を求めた。その結果は、CFT のラージ N 展開による補正と一致することが確認された。

学術雑誌に出版された論文

Toward realistic gauge-Higgs grand unification

Atsushi Furui^d, Yutaka Hosotani^s, N. Yamatsu

Prog. Theor. Exp. Phys. **2016** (No. 9, Sept.) (2016) 093B01 1 - 44

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw116>).

Gauge-Higgs EW and grand unification

Yutaka Hosotani^s

Int. J. Mod. Phys. A **31** (No. 20n21, July) (2016) 1630031 13 pages

(<http://dx.doi.org/doi:10.1142/S0217751X16300313>).

Collider signals of W' and Z' bosons in the gauge-Higgs unification

S. Funatsu, H. Hatanaka, Yutaka Hosotani^s, Y. Orikasa

Phys. Rev. D **95** (No. 3, Feb.) (2017) 035032 1 - 35

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.95.035032>).

Review of lattice results concerning low-energy particle physics

S. Aoki, Hidenori Fukaya^s, Tetsuya Onogi^s, et al.

Eur. Phys. J. C **77** (No. 2, Apr.) (2017) 112

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-016-4509-7>).

Flow equation for the large N scalar model and induced geometries

S. Aoki, J. Balog, Tetsuya Onogi^s and P. Weisz

Prog Theor Exp Phys **2016** (No. 8, Aug.) (2016) 083B04

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw106>).

Chaos in chiral condensates in gauge theories

Koji Hashimoto^s, Keiju Murata, Kentaroh Yoshida

Phys. Rev. Lett. **117** (No. 23, Dec.) (2016) 231602

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.117.231602>).

Topological number of edge states

Koji Hashimoto^s, Taro Kimura

Phys. Rev. B **93** (No. 19, May) (2016) 195166

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.195166>).

The double-soft limit in cosmological correlation functions and graviton exchange effects

Allan L. Alinea^d, Takahiro Kubota^s and Nobuhiko Misumi

J. Cosmol. Astropart. Phys. **2017** (Jan.) 01 034 (2017)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1475-7516/2017/01/034>).

Adiabatic regularization of power spectra in nonminimally coupled chaotic inflation

Allan L. Alinea^d

J. Cosmol. Astropart. Phys. **2016** (Oct.) (2016) 10 027

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1475-7516/2016/10/027>).

The ϵ -expansion of the codimension two twist defect from conformal field theory

Satoshi Yamaguchi^s

Prog. Theor. Exp. Phys. **2016** (No. 9, Sept.) (2016) 091B01 1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw115>).

Non-minimal coupling in Higgs-Yukawa model with asymptotically safe gravity

Kin-ya Oda^s and Masatoshi Yamada

Class.Quant.Grav. **33** (May) (2016) 125011.

Basic oscillation measurables in the neutrino pair beam

T. Asaka (Niigata U.), Minoru Tanaka^s(Osaka U.), M. Yoshimura (Okayama U.)
Phys. Lett. **B760** (Sept.) (2016) 359-364
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2016.07.001>).

New physics contributions in $B \rightarrow \pi\tau\bar{\nu}$ and $B \rightarrow \tau\bar{\nu}$
Minoru Tanaka^s(Osaka U.), Ryoutaro Watanabe (IBS, Daejeon)
Prog. Theor. Exp. Phys. (Jan.) (2017) 013B05
(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw175>).

Remarks on a SUSY exact action in 3D supergravity
Norihiro Iizuka^s, Akinori Tanaka
Phys. Rev. D **93** (May) (2016) 105029.

Exact path integral for 3D higher spin gravity
Masazumi Honda, Norihiro Iizuka^s, Akinori Tanaka, Seiji Terashima
Phys. Rev. D **95** (Feb.) (2017) 046016.

Renormalization of domain-wall bilinear operators with short-distance current correlators
M. Tomii, G. Cossu, B. Fahy, Hidenori Fukaya^s, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki
[JLQCD collaboration]
Phys. Rev. D **94** (No. 5, Sept.) (2016) 054504 1-17
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.94.054504>).

Stochastic calculation of the Dirac spectrum on the lattice and a determination of chiral condensate in 2+1-flavor QCD
Guido Cossu, Hidenori Fukaya^s, Shoji Hashimoto, Takashi Kaneko, Jun-Ichi Noaki
Prog. Theor. Exp. Phys. **2016** (No. 9, Sept.) (2016) 093B0 1-17
(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptw129>).

なぜ、量子重力は (QCD に比べて) 難しいのか?
深谷 英則^s
素粒子論研究 **25** (No. 2, Mar.) (2017) 1-13.

Derivative interactions and perturbative UV contributions in N Higgs doublet models
Yohei Kikuta, Yasuhiro Yamamoto^p
Eur. Phys. J. **C76** (No. 5, May) (2016) 297
(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-016-4128-3>).

Protophobic light vector boson as a mediator to the dark sectorTeppei Kitahara, Yasuhiro Yamamoto^PPhys. Rev. D **95** (No. 1, Jan.) (2017) 015008(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.95.015008>).**Entanglement entropy for free scalar fields in AdS**Sotaro Sugishita^{PD}

J. High Energy Phys.1609 (No. 9, Sept.) (2016) 128 1-23

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP09\(2016\)128](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP09(2016)128)).**Surface Operators from M-strings**Hironori Mori^{DC}, Yuji Sugimoto^dPhys. Rev. D **95** (No. 2, Jan.) (2017) 026001 1-15(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.95.026001>).**The enhancement of supersymmetry in M-strings**Yuji Sugimoto^dInt. J. Mod. Phys. A, **31**, (June) 1650088 (2016)(<http://dx.doi.org/doi:10.1142/S0217751X16500883>).**Geometric transition in the nonperturbative topological string**Yuji Sugimoto^dPhys. Rev. D **94**, (Sept.) 055010 (2016)(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.94.055010>).

国際会議報告等

Recent progress of SPAN towards neutrino mass spectroscopyT. Masuda*, H. Hara, Y. Miyamoto, N. Sasao (Okayama U.), Minoru Tanaka^s(Osaka U.),
S. Uetake, A. Yoshimi, K. Yoshimura, M. Yoshimura (Okayama U.)J.Phys.Conf.Ser. **718** (No. 6, June) (2016) 062043.

TAUP 2015 (Italy).

Six-dimensional regularization of chiral gauge theories on a latticeHidenori Fukaya^{s*}, Tetsuya Onogi^s, Shota Yamamoto^m, Ryo Yamamura^{DC*}Proceedings, 34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016) **PoS LATTICE 2016** (Mar.) (2017) 330(14pages).

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of

Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約 420 名) (UK).

D meson semileptonic decays in lattice QCD with Moebius domain-wall quarks

T. Kaneko*, B. Fahy, Hidenori Fukaya^s, S. Hashimoto [JLQCD Collaboration]

Proceedings, 34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016) **PoS LATTICE 2016** (Mar.) (2017) 297(7pages).

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約 420 名) (UK).

Current correlators in the coordinate space at short distances

Masaaki Tomii*, Hidenori Fukaya^s, Shoji Hashimoto, Takashi Kaneko [JLQCD Collaboration]

Proceedings, 34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016) **PoS LATTICE 2016** (Mar.) (2017) 289(7pages).

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約 420 名) (UK).

国際会議における講演等

Unification of gauge fields and Higgs field

Yutaka Hosotani^{**} (invited)

PLANCK 2016, From the Planck Scale to the Electroweak Scale (at Valencia, 23-27 May 2016, 200), Spain

アインシュタインから南部へ：真空は空っぽでない

細谷 裕^{**} (invited)

日本物理学会 科学セミナー 2016 (at 東京大学駒場, Aug. 21-22, 250)

New dimensions from gauge-Higgs unification

Yutaka Hosotani^{**} (invited)

Summer School and Workshop on the Standard Model and Beyond (at Corfu, Aug. 31 - Sept. 12, 2016, 100), Greece

New dimensions from gauge-Higgs unification

細谷 裕^{**}

第 6 回日大理工・益川塾連携シンポジウム (at キャンパスプラザ京都, Oct. 15-16, 2016, 50)

Gauge-Higgs unification – LHC and beyond –Yutaka Hosotani^{s*} (invited)

NCTS Annual Theory Meeting 2016, Particles, Cosmology and String (at Hsinchu, Dec. 6-9, 2016, 150), Taiwan

Origin of Higgs: gauge-Higgs unification at LHC/ILC and beyondYutaka Hosotani^{s*} (invited)

HPNP2017, Higgs as a Probe of New Physics, (at Toyama, Mar. 1-5, 2017, 120), Japan

Six dimensional regularization of chiral gauge theoriesTetsuya Onogi^{s*} (invited)

Topological Materials Science: Intensive-Interactive Meeting (at Keio University, Nov. 17-18, 2016, 参加者約 40 名), Japan

Chaos of Chiral CondensateKoji Hashimoto^{s*} (invited)

14th Workshop on Non-Perturbative Quantum Chromodynamics (at Paris, June 13-16, 2016, 参加者約 50 名), France

Review: Topdown Approach to Glueball DecaysKoji Hashimoto^{s*} (invited)

14th Workshop on Non-Perturbative Quantum Chromodynamics (at Paris, June 13-16, 2016, 参加者約 50 名), France

Gravity challenges strongly correlated matter: Non-equilibrium phase diagramKoji Hashimoto^{s*} (invited)

International symposium on new horizons in condensed matter physics (at Tokyo, June 18-19, 2016, 参加者約 100 名), Japan

Chaos and quantum field theoryKoji Hashimoto^{s*} (invited)

Big Waves of Theoretical Science in Okinawa (at Okinawa, July 8-11, 2016, 参加者約 30 名), Japan

Chaos of chiral condensateKoji Hashimoto^{s*} (invited)

NCTS Summer workshop on Strings and Quantum Field Theory (at Hsinchu, July 25-29, 2016, 参加者約 50 名), Taiwan

Edge states and D-branes

Koji Hashimoto^{s*} (invited)

Holography and Topology of Quantum Matter (at APCTP, Pohang, Aug. 22-29, 2016, 参加者約 30 名), Korea

Boundary conditions of Weyl semimetals

Koji Hashimoto^{s*} (invited)

Physics of bulk-edge correspondence and its universality: From solid state physics to cold atoms (at Kyoto university, Sept. 27-30, 2016, 参加者約 100 名), Japan

Edge-of-edge states

Koji Hashimoto^{s*} (invited)

Topological Materials Science: Intensive-Interactive Meeting (at Keio University, Nov. 17-18, 2016, 参加者約 40 名), Japan

Chaos in QFT

Koji Hashimoto^{s*} (invited)

KEK Theory Workshop 2016 (at KEK Theory Center, Tsukuba, Dec. 6-9, 2016, 参加者数約 80 名), Japan

D-branes

Koji Hashimoto^{s*} (invited)

21st APCTP Winter School on Fundamental Physics (at APCTP, Pohang, Jan. 19-25, 2016, 参加者約 50 名), Korea

Codimension 2 twist defects in Wilson-Fisher theories

Satoshi Yamaguchi^{s*} (invited)

Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity, (at Yukawa Institute, Kyoto, Feb. 6-7, 2017, 参加者数約 50 名), Japan

Codimension two twist defects in Wilson-Fisher theories

Satoshi Yamaguchi^{s*} (invited)

Progress in Quantum Field Theory and String Theory II (at Osaka City University, Osaka, Mar. 27-31, 2017, 参加者約 90 名), Japan

Higgs inflation and fate of our universe

Kin-ya Oda^{s*} (invited)

(at National Tsing Hua University, May 26-28, 2016, 100 participants), Taiwan

Multiple point principle in (non-super) superstring, and Higgs inflation

Kin-ya Oda^{s*} (invited)

3rd RISE Collaboration Meeting (at University of Toyama, Mar. 6-7, 2017, 50 participants), Japan

Towards Background-free RENP Using a Photonic Crystal Waveguide

Minoru Tanaka^{s*}

FPUA 2017, (Kyoto, Jan. 9-10, 約100名), Japan

New physics contributions in $B \rightarrow \pi\tau\bar{\nu}$ and $B \rightarrow \tau\bar{\nu}$

Minoru Tanaka^{s*} (invited)

Mini-workshop on $D^{(*)} \tau \nu$ and related topics (at Nagoya, Mar. 27-28, 約40名), Japan

Six-dimensional regularization of chiral gauge theories on a lattice 1

Hidenori Fukaya^{s*}, Tetsuya Onogi^s, Shota Yamamoto^m, Ryo Yamamura^{DC*}

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約420名), UK

Six-dimensional regularization of chiral gauge theories on a lattice 2

Hidenori Fukaya^s, Tetsuya Onogi^s, Shota Yamamoto^m, Ryo Yamamura^{DC*}

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約420名), UK

Six-dimensional regularization of chiral gauge theories on a lattice

Hidenori Fukaya^{s*} (invited)

KEK Theory Workshop 2016 (at KEK Theory Center, Tsukuba, Dec. 6-9, 2016, 参加者数約80名), Japan

Causal structure and shock formation in the most general scalar-tensor theories

Norihiro Tanahashi^{p*}

Conference “Testing Gravity 2017” (at Simon Fraser University, Jan. 26, 2017, 100), Canada

Black Hole Horizon is a Nest of Chaos

Norihiro Tanahashi^{p*}

IX Black Hole Workshop (at University of Minho in Guimarães, Dec. 19, 2016, 100), Portugal

Black Hole Horizon is a Nest of Chaos

Norihiro Tanahashi^{p*} (invited)

KMI mini-workshop on General relativity in higher dimensions -recent progress and future

perspective- (at Nagoya University, Nov. 26, 2016, 20), Japan

Black Hole Horizon is a Nest of Chaos (poster)

Norihiro Tanahashi^{P*}

The 26th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (at Osaka City University, Oct., 2016, 200), Japan

Gravitational wave propagation and shock formation in modified gravity theory (poster)

Norihiro Tanahashi^{P*}

RIKEN-Osaka-OIST Joint Workshop 2016 (at OIST, July 8-11, 2016, 参加者約 30 名), Japan

Entanglement entropy for free scalar fields in AdS

Sotaro Sugishita^{PD*}

2016 Midwest Relativity Meeting (at Perimeter institute, Oct. 13-15, 2016, 参加者約 100 名), Canada

Random volumes from matrices (poster)

Sotaro Sugishita^{PD*}

RIKEN-Osaka-OIST Joint Workshop 2016 (at OIST, July 8-11, 2016, 参加者約 30 名), Japan

Entanglement entropy for free scalar fields in AdS (poster)

Sotaro Sugishita^{PD*}

Progress in Quantum Field Theory and String Theory II (at Osaka City University, Osaka, Mar. 27-31, 2017, 参加者約 90 名), Japan

Entanglement in quantum physics (poster)

Mitsuhiro Nishida^{DC*}

RIKEN-Osaka-OIST Joint Workshop 2016 (at OIST, July 8-11, 2016, 参加者約 30 名), Japan

Geodesic Witten diagrams with an external spinning field

Mitsuhiro Nishida^{DC*}, Kotaro Tamaoka^d

KEK Theory Workshop 2016 (at KEK Theory Center, Tsukuba, Dec. 6-9, 2016, 参加者数約 80 名), Japan

Geodesic Witten diagrams with an external spinning field

Mitsuhiro Nishida^{DC*}, Kotaro Tamaoka^d

Holography, Quantum Entanglement and Higher Spin Gravity, (at Yukawa Institute, Kyoto, Feb. 6-7, 2017, 参加者数約 50 名), Japan

Surface defects from M-strings and open topological string (poster)

Hironori Mori^{DC*}, Yuji Sugimoto^d

Progress in Quantum Field Theory and String Theory II (at Osaka City University, Osaka, Mar. 27-31, 2017, 参加者約 90 名), Japan

Surface operators and M-strings (poster)

Hironori Mori^{DC*}, Yuji Sugimoto^d

Strings and Fields 2016 (at Yukawa Institute, Kyoto, Aug. 22-28, 2016, 参加者数約 160 名), Japan

Surface operators and M-strings (poster)

Hironori Mori^{DC*}, Yuji Sugimoto^d

Strings 2016 (at Beijing, Aug. 1-5, 2016, 参加者約 300 名), China

Relaxation time of the fermions in the magnetic field (I) - the case for relativistic fermions - (poster)

Aya Kagimura^{d*}, Tetsuya Onogi^s

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約 420 名), UK

Relaxation time of the fermions in the magnetic field (II) - away from strong magnetic field limit - (poster)

Aya Kagimura^d, Tetsuya Onogi^{s*}

34th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2016) (University of Southampton, Southampton, July 24-30, 2016, 参加者約 420 名), UK

Surface Operators from M-strings

Yuji Sugimoto^{d*} and Hironori Mori^{DC}

KEK Theory Workshop 2016 (at KEK Theory Center, Tsukuba, Dec. 6-9, 2016, 参加者数約 80 名), Japan

The non-perturbative effect of Geometric transition in Topological string theory (poster)

Yuji Sugimoto^{d*}

Strings and Fields 2016 (at Yukawa Institute, Kyoto, Aug. 22-28, 2016, 参加者数約 160 名), Japan

Effective potential under criticalityYuta Hamada, Hikaru Kawai, Yukari Nakanishi^{d*}, Kin-ya Oda^s

New Higgs Working Group, (University of Toyama, May 7-8, 2016), Japan

Meaning of prescriptions I and II in Higgs inflationYuta Hamada, Hikaru Kawai, Yukari Nakanishi^{d*}, Kin-ya Oda^s

New Higgs Working Group (at University of Toyama, Oct. 15-16, 2016), Japan

Search for unknown interactions using the King's plot of isotope shifts (poster)Kyoko Mikami^{m*}, Minoru Tanaka^s, Yasuhiro Yamamoto^p

9th International Workshop On Fundamental Physics Using Atoms (FPUA) (at Kyoto, Jan. 9-10, 80), Japan

日本物理学会, 応用物理学会等における講演

 $SO(11)$ gauge-Higgs grand unification in five and six dimensions細谷 裕^{s*}, 山津直樹

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

Hadron and lepton collider phenomenology of $SO(5) \times U(1)$ gauge-Higgs unification船津周一郎, 幡中 久樹^{p*}, 細谷 裕^s, 折笠雄太

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

 $SO(11)$ gauge-Higgs grand unification in 6D warped space細谷 裕^{s*}, 山津直樹

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

ブラックホール地平面におけるカオスの普遍性について

橋本 幸士^s, 棚橋 典大^{p*}

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Edge-of-edge states in a topological phaseXi Wu^{d*}, 橋本 幸士^s, 木村太郎

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Generic boundary conditions in topological phases橋本 幸士^s, 木村太郎, Xi Wu^{d*}

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

原子ニュートリノ観測のための誘電体導波路中の QED 過程の解析

笹尾登, 田中 実^{s*}, 津村浩二, 吉村太彦

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

B 中間子のチャームを含まないタウオニック崩壊への新しい物理の寄与

田中 実^{s*}, 渡邊諒太郎

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

6 次元格子を用いたカイラルゲージ理論の定式化 1

深谷 英則^{s*}, 大野木 哲也^s, 山本 奨太^m, 山村 亮^{DC}

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

6 次元格子を用いたカイラルゲージ理論の定式化 2

深谷 英則^{s*}, 大野木 哲也^s, 山本 奨太^m, 山村 亮^{DC}

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

6 次元格子を用いたカイラルゲージ理論の定式化における複素位相の解析

深谷 英則^{s*}, 大野木 哲也^s, 山本 奨太^m, 山村 亮^{DC}

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

最も一般的なスカラー・テンソル理論における因果構造と衝撃波形成

棚橋 典大^{p*}, 大橋勢樹

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

Entanglement entropy for free scalar fields in AdS

杉下 宗太郎^{PD*}

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

2 次元超対称 O(N) 非線形シグマ模型に対するフロー方程式

菊地 健吾^{i*}, 青木慎也, 大野木 哲也^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

磁場中のフェルミオンの散乱時間 I

鍵村 亜矢^d, 大野木 哲也^{s*}

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

磁場中のフェルミオンの散乱時間 II

鍵村 亜矢^{d*}, 大野木 哲也^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

非摂動効果を含む位相的弦理論の自由エネルギーを用いた幾何転移現象

杉本 裕司^{d*}

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

M-strings and Open Topological String

杉本 裕司^{d*}、森 裕紀^{DC}

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

処方箋と新しいヒッグスインフレーション機構

尾田 欣也^s、川合光、中西 由香理^{d*}、濱田雄太

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

Meaning of prescriptions I and II in Higgs inflation (ポスター)

尾田 欣也^s、川合光、中西 由香理^{d*}、濱田雄太

基研研究会 素粒子物理学の進展 2016 (於 京都大学基礎物理学研究所、2016 年 9 月 5 日–9 月 9 日)

Generic boundary conditions in topological phases

Xi Wu^{d*}、橋本幸士、木村太郎

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 – 9 月 24 日)

AdS 時空の測地線を用いた共形ブロックの構成

西田 充宏^{DC}、玉岡幸太郎^{d*}

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

書籍等の出版, 日本語の解説記事

特集「超ひも理論」ニュートン 2017 年 1 月号

橋本 幸士^s

ニュートンプレス, (2016 年 11 月 26 日発行)

マンガ 超ひも理論をパパに習ってみた 一天才物理学者・浪速阪教授の 70 分講義

橋本 幸士^s、門田英子

大阪大学出版会, (2016 年 12 月 12 日発行, 176 頁)

1.12 原子核理論グループ

平成28年度の研究活動概要

超高温・高密度環境下における QCD 相構造の探索は高エネルギー原子核衝突実験の究極的な目標の一つだが、近年、イベント毎解析で観測される保存電荷ゆらぎが、この目標を達成する切り札として実験・理論の双方から活発に研究されている。浅川、北沢をはじめとする原子核理論グループでは、ここ数年保存電荷ゆらぎの研究を精力的に行ってきた。坂井田、浅川、北沢は、東大の藤井と共に、QCD 臨界点周辺でのゆらぎの動的時間発展を研究した。保存電荷の輸送の効果を適切に取り込んだ解析を行い、QCD 臨界点に付随したゆらぎの増幅が起こる場合、実験で観測されるゆらぎのラピディティ幅依存性に非単調性が現れることを示し、この非単調性を臨界点探索に用いることを提案した。北沢は、保存電荷ゆらぎの実験解析において、検出器の検出効率が 100% ではない効果を補正する研究を継続して行った。検出効率補正に伴う数値コストを、従来の手法と比べて劇的に削減する方法論を提案した他、この手法の解析計算を更に簡略化する方法論を筑波大学の野中、江角と共に提案した。大西、北沢、浅川は、保存電荷ゆらぎの観測が運動量空間でなされることに注目し、本来実空間で測定されるべき量を運動量空間で観測するために生じるにじみの効果について定量的な考察を行った。また、浅川、北沢は、保存電荷ゆらぎに関する招待レビュー論文を執筆した。

格子 QCD 数値シミュレーションは、QCD の非摂動的性質を第一原理的に理解する重要な手段であり、高エネルギー原子核衝突実験と並ぶ原子核理論研究グループの主要研究課題である。特に我々は、勾配流法と呼ばれる手法を用いて、格子ゲージ理論上でのエネルギー運動量テンソルを解析する研究を行ってきた。本年度、北沢、浅川は、理研の入谷、初田、九州大学の鈴木と共同で、この手法を用いてクエンチ QCD の熱力学量を高精度測定する研究を行った。また、エネルギー運動量テンソル相関関数の測定も行っている。北沢は、筑波大の金谷、谷口、新潟大の江尻らで構成される WHOT-QCD 共同研究のメンバーとして、勾配流法をフル QCD 数値解析に適用し、熱力学量を測定する研究を行った。北沢が所属する WHOT-QCD 共同研究では、クエンチ QCD の一次相転移に伴う 2 相共存や潜熱を測定する研究を行った。また、この問題を勾配流法を用いて解析する研究にも取り組んでいる。池田、浅川、北沢は、最大エントロピー法を用いることで格子上で得られたユークリッド相関関数からチャーモニウムのスペクトル関数を推定する研究を行った。スペクトル関数には、束縛状態の存在と対応してピーク構造が出現するが、このようなピークの位置と留数を誤差付きで求める方法を提案し、この方法を用いたチャーモニウム分散関係の解析を行った。

金、浅川、北沢は、格子上で得られたクォーク伝搬関数を用いて、クォーク・グルーオン・プラズマから放出される単位体積・単位時間当たりの光子生成量を計算した。この研究により、光子生成量の非摂動的な解析に基づく定量的な予言が実現した。

重いクォーコニウムの収量は、重イオン衝突実験で QGP 状態の生成に敏感な量であると考えられている。赤松、Heidelberg 大学の Alexander Rothkopf 氏によって作られた確率論的ポテンシャルモデルは、重いクォーコニウムの時間発展を記述する有力なモデルである。このモデルは量子開放系の理論に基づくものであり、格子 QCD 計算や摂動論によって得られた複素ポテンシャルについて物理的説明を与える。梶本、赤松、浅川は、Rothkopf 氏と共に、こ

の模型を用いて空間1次元での数値計算を行った。この模型に特徴的な性質である波動関数デコヒーレンスを数値的に確認し、実験と定性的に同じ結果が得られることを認め、現在広く使用されている複素ポテンシャルを用いて得られる結果との差を明らかにした。

相対論的流体力学における熱ゆらぎの効果に注目が集まっている。赤松は、Stony Brook大学のDerek Teaney氏とAleksas Mazeliauskas氏とともに、相対論的重イオン衝突実験での単純化したセットアップであるBjorken膨張において、相対論的流体力学における熱ゆらぎの効果を解析した。膨張系では、運動学的スケール(kinetic regime)という新しいスケールが現れ、そこでは熱平衡化と膨張の効果が釣り合うことで、流体ゆらぎの熱平衡分布からのずれが顕著になってくる。そこで、Kinetic regimeにおける流体ゆらぎの有効理論を構築し、エネルギー・運動量テンソルへのゆらぎの寄与を解析した。流体ゆらぎがBjorken膨張中で熱平衡分布からずれることは、ゆらぎの非線形項にも反映され、Bjorken膨張において長時間テイルを与えることを示した。この解析は最初はスケール不変な理論で行なったが、続いてスケール対称性のない理論にも拡張した。スケール対称性のない理論では流体ゆらぎにより体積粘性がくりこみを受けることを示した。さらに、QCD臨界点におけるゆらぎについて、赤松はStony Brook大学のDerek Teaney氏、Fanglida Yan氏、マサチューセッツ工科大学のYi Yin氏とともに、Kinetic regimeの考え方を応用し、重イオン衝突におけるスケーリング則の提案を計画している。臨界点近傍では緩和時間が発散するため、臨界点に十分長い時間をかけて到達する場合であっても、平衡とは異なるスケーリング則が現れる。これはKibble-Zurekスケーリングと呼ばれており、そのスケーリング則における基準となるスケールがkinetic regimeに他ならない。

相対論的流体力学における数値解法の一つにGodunov法がある。そこでの重要なアルゴリズムにリーマン・ソルバーという部分がある。赤松は、名古屋大学の岡本和久氏と野中千穂氏とともに、Milne座標系におけるリーマン・ソルバーを開発した。これは数年前に赤松が野中氏らと開発したデカルト座標系におけるリーマン・ソルバーの拡張である。

ニュートリノ振動の研究では混合角(θ_{23})の精度向上、CP非保存角(δ)が現在の中心課題である。これらの振動パラメタを抽出するために、MeVからGeVの広いエネルギー領域にわたるニュートリノ原子核反応の精密な理論的解析が不可欠である。佐藤、中村らは主に核子共鳴領域のニュートリノ反応の研究を進めた。中村、鎌野(KEK)、佐藤は動的チャネル結合模型を用いたニュートリノ反応模型を構築した。とくに、模型を改良するために、中性子標的光反応の解析および、電子線によるパイ中間子生成反応の再解析を行った。また、核子共鳴領域からDIS領域にわたる模型を構築するために、これらの境界領域をハドロン模型とパートン模型による解析を行った。その結果ベクトル流模型では、両描像がスムーズに移行することが確認できたが、軸性ベクトル流についてはさらに解析を進める必要性が判明した。中村は、重陽子標的の光反応によるエータ中間子生成データの解析を行い、エータ・核子散乱長を抽出した。準弾性散乱領域では原子核の分解反応を精度よく記述する必要があるが、村田、中村、佐藤は少数核子系におけるレプトンによる原子核分解反応の研究を開始した。特に、少数核子系の光反応の研究に用いられる、ローレンツ積分変換法(LIT)について、フーリエ変換を用いて調べ、LIT法は離散スペクトルを平滑化する方法の一種にすぎないことを示した。

上坂、佐藤は久野、山中(益川塾)、佐藤丈(埼玉大)とともにミューオン原子中での荷

電レプトンフレーバー非保存 (CLFV) 過程 $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ に関する研究を行った。接触型有効相互作用と光子交換型有効相互作用による遷移確率には、レプトンへのクーロン相互作用の効果が大きく異なって現れることを示した。その結果、CLFV 崩壊率の原子番号依存性や放出電子の分布から CLFV 相互作用の情報が得られる可能性を示した。

上坂は山中 (益川塾)、竹内 (東大) と、CLFV 探索の候補である、核子散乱による電子 (ミューオン)-タウレプトン転換過程に関する解析を行った。これまで、この過程において LFV の源がヒッグス粒子であるとした場合、核子中の重クォークとの散乱過程が主要であると考えられてきたが、解析の結果、特に比較的低エネルギーの衝突実験において、終状態としてグルーオンを持つサブプロセスが重要であることを見出した。

学術雑誌に出版された論文

Equation of State for SU(3) Gauge Theory via the Energy-Momentum Tensor under Gradient Flow

M. Kitazawa^s, T. Iritani, M. Asakawa^s, T. Hatsuda, H. Suzuki

Physical Review D **94** (Iss. 11, Oct) (2016) 114512 1-14

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.94.114512>).

In-medium dispersion relations of charmonia studied by maximum entropy method

A. Ikeda^{DC}, M. Asakawa^s, M. Kitazawa^s

Physical Review D **95** (Iss. 1, Jan.) (2017) 014504 1-11

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.95.014504>).

Thermal blurring of event-by-event fluctuations generated by rapidity conversion

Y. Ohnishi, M. Kitazawa^s, M. Asakawa^s

Physical Review C **94** (Iss. 4, Oct.) (2016) 044905 1-10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.044905>).

Importance of third moments of fluctuations of conserved charges in relativistic heavy-ion collisions

M. Asakawa^s, S. Ejiri, M. Kitazawa^s

European Physics Journal A **52** (Oct.) (2016) 252-253

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epja/i2016-16252-5>).

Latent heat at the first order phase transition point of SU(3) gauge theory

M. Shirogane, S. Ejiri, R. Iwami, K. Kanaya, M. Kitazawa^s

Physical Review D **94** (Iss. 1, July) (2016) 014506, 1-14

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.94.014506>).

Efficient formulas for efficiency correction of cumulantsM. Kitazawa^sPhysical Review C **93** (Iss. 4, Apr.) (2016) 044911, 1-7<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.93.044911>).**Fluctuations of conserved charges in relativistic heavy ion collisions: An introduction**M. Asakawa^s, M. Kitazawa^sProgress in Particle and Nuclear Physics **90** (Sept.) (2016) 299-342<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.pnpnp.2016.04.002>).**Kinetic regime of hydrodynamic fluctuations and long time tails for a Bjorken expansion**Y. Akamatsu^s, A. Mazeliauskas, D. TeaneyPhysical Review C **95** (Iss. 1, Jan.) (2017) 014909<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.95.014909>).**A new relativistic hydrodynamics code for high-energy heavy-ion collisions**K. Okamoto, Y. Akamatsu^s, C. NonakaThe European Physical Journal C **76** (Iss. 10, Oct.) (2016) 579<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-016-4433-x>).**Isospin decomposition of $\gamma N \rightarrow N^*$ transitions within a dynamical coupled-channels model**H. Kamano, S.X. Nakamura^p, T.-S. H. Lee, T. Sato^sPhysical Review C **94** (Iss. 1, July) (2016) 015201, 1-14<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.94.015201>).**Improved analyses for $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atoms by contact interactions**Y. Uesaka^d, Y. Kuno^s, J. Sato, T. Sato^s, M. YamanakaPhysical Review D **93** (Iss. 7, Apr.) (2016) 076006, 1-8<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.93.076006>).

国際会議報告等

Thermal blurring effects on fluctuations of conserved charges in rapidity spaceM. Asakawa^{s*}, M. Kitazawa^s, Y. Ohnishi, M. Sakaida^{DC}Nuclear Physics **A956** (Dec.) (2016) 332-335.

XXV International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2015), (at Kobe, Sept. 27 - Oct. 3, 2015, 参加者数約 800 名) (Japan).

Studies of high density baryon matter with high intensity heavy-ion beams at J-PARC

H. Sako*, M. Kitazawa^s, *et al.*

Nuclear Physics **A956** (Dec.) (2016) 850-853.

XXV International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2015), (at Kobe, Sept. 27 - Oct. 3, 2015, 参加者数約 800 名) (Japan).

Thermodynamics and reference scale of SU(3) gauge theory from gradient flow on fine lattices

M. Kitazawa^{s*}, M. Asakawa^s, T. Hatsuda, T. Iritani, E. Itou, H. Suzuki

Proceedings of Science **LATTICE2015** (Nov.) (2016) 162 1-7.

The 32nd International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2015) (at Kobe, June, 2015, 参加者数約 400 名) (Japan).

Coupled-channel Dalitz plot analysis of $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ decay

S.X. Nakamura^{p*}

PoS **CHARM2016** (Sept.) (2016) 087, 1-6 .

The 8th International Workshop on Charm Physics (CHARM2016) (at Bologna, Sep 5-9, 2016, 参加者数約 100 名) (Italy).

Meson Productions in Neutrino-Nucleon Scattering

S.X. Nakamura^{p*}

JPS Conference Proceedings **13** (Feb.) (2017) 020038, 1-6.

The 14th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2016) (at Kyoto, Jul. 25-30, 2016, 参加者数約 150 名) (Japan).

国際会議における講演等

Critical Point and Conserved Charge Fluctuations in Relativistic Heavy Ion Collisions

M. Asakawa^{s*}

Exploring the QCD Phase Diagram through Energy Scans (at Seattle, Sep. 19 - Oct. 14, 2016, 参加者数約 50 名), USA

Heavy ion physics at J-PARC

M. Kitazawa^{s*} (invited)

KEK Theory Center Workshop “Hadron and Nuclear Physics in 2017” (at Tsukuba, Jan. 7-10, 2017, 参加者数約 100 名), Japan

Transport of fluctuations

M. Kitazawa^{s*} (invited)

Exploring the QCD Phase Diagram through Energy Scans (at Seattle, Sep. 19 - Oct. 14, 2016, 参加者数約 50 名), USA

Energy-momentum tensor and thermodynamics from gradient flow

M. Kitazawa^{s*} (invited)

Phase structure of lattice field theories (Japanese-German Seminar 2016) (at Niigata, Sep. 26-28, 2016, 参加者数約 60 名), Japan

Understanding experimentally-observed fluctuations

M. Kitazawa^{s*}

Critical Point and Onset of Deconfinement 2016 (at Wroclaw, May 30 - June 4, 2016, 参加者数約 100 名), Poland

Non-perturbative production rate of photons with a lattice quark propagator – effect of vertex correction

T. Kim^{DC*}, M. Asakawa^s, M. Kitazawa^s

Critical Point and Onset of Deconfinement 2016 (CPOD2016) (at Wroclaw, May 30 - June 4, 2016, 参加者数約 100 名), Poland

Charm quark diffusion coefficient from nonzero momentum Euclidean correlator in temporal channel

A. Ikeda^{DC*}, M. Asakawa^s, M. Kitazawa^s

34th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2016) (at Southampton, July 24-30, 2016, 参加者数約 450 名), UK

Charm quark diffusion coefficient and relaxation time on the quenched lattice

A. Ikeda^{DC*}, M. Asakawa^s, M. Kitazawa^s

The 14th International workshop on QCD in eXtreme conditions (XQCD2016) (at Plymouth, Aug. 1-3 2016, 参加者数約 100 名), UK

A kinetic regime of hydrodynamic fluctuations and long time tails for a Bjorken expansion

Y. Akamatsu^{s*}, A. Mazeliauskas, D. Teaney

26th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2017) (at Chicago, Feb. 6-11, 2017, 参加者数約 700 名), USA

Time Evolution of Heavy Quarkonium in the Quark-Gluon Plasma from a Stochastic Potential Model (poster)

S. Kajimoto^{m*}, Y. Akamatsu^s, M. Asakawa^s, A. Rothkopf

26th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2017) (at Chicago, Feb. 6-11, 2017, 参加者数約 700 名), USA

A new relativistic viscous hydrodynamics code and its application to the Kelvin-Helmholtz instability in high-energy heavy-ion collisions (poster)

K. Okamoto^{*}, Y. Akamatsu^s, C. Nonaka

26th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2017) (at Chicago, Feb. 6-11, 2017, 参加者数約 700 名), USA

A kinetic regime of hydrodynamic fluctuations and long time tails for a Bjorken expansion

Y. Akamatsu^{s*}, A. Mazeliauskas, D. Teaney (invited)

QCD in Finite Temperature and Heavy-Ion Collisions (at Brookhaven National Laboratory, Feb. 13-15, 2017, 参加者数約 60 名), USA

Coupled-channel Dalitz plot analysis of $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ decay

S.X. Nakamura^{p*}

The 8th International Workshop on Charm Physics (CHARM2016) (at Bologna, Sept. 5-9, 2016, 参加者数約 100 名), Italy

Meson Productions in Neutrino-Nucleon Scattering

S.X. Nakamura^{p*}

The 14th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2016) (at Kyoto, July 25-30, 2016, 参加者数約 150 名), Japan

Extracting η -neutron interaction from $\gamma d \rightarrow \eta n$ data

S.X. Nakamura^{p*}

YITP Workshop Meson in Nucleus 2016(MIN2016) (at Kyoto, July 31 - Aug. 2, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

Extracting low-energy η -nucleon scattering amplitude from $\gamma d \rightarrow \eta n$ data

S.X. Nakamura^{p*}

KEK theory center workshop on Hadron and Nuclear Physics in 2017 (KEK-HN-2017) (at Tsukuba, Jan. 7-10, 2017, 参加者数約 100 名), Japan

Recent Developments in Neutrino-Nucleus Scattering(Theory)

S.X. Nakamura^{D*} (invited)

XVIII International Workshop on Neutrino Factories and Future Neutrino Facilities (NU-FACT16) (at Quy Nhon, Aug. 21-27, 2016, 参加者数約 120 名), Vietnam

$\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atoms

Y. Uesaka^{d*}

PASCOS 2016 (at Quy Nhon, July 10-16, 2016, 参加者数約 145 名), Vietnam

Neutrino induced meson production reactions on nucleon and nucleus

T. Sato^{s*} (invited)

International Nuclear Physics Conference (INPC 2016) (at Adelaide, Sept. 11-16, 2016, 参加者数約 400 名), Australia

Electromagnetic form factors of nucleon resonances within dynamical coupled channel model of meson production reactions

T. Sato^{s*} (invited)

INT workshop Spectrum and Structure of Excited Nucleons from Exclusive Electroproduction (at Seattle, Nov. 14-18, 2016, 参加者数約 40 名), USA

One Pion Production in the Resonance Region

T. Sato^{s*} (invited)

International Workshop on Frontiers in Electroweak Interactions of Leptons and Hadrons (at Aligarh, Nov. 2-6, 2016, 参加者数約 122 名), India

Neutrino Nucleon interaction in the few-GeV region

T. Sato^{s*} (invited)

KEK theory center workshop on Hadron and Nuclear Physics in 2017 (KEK-HN-2017) (at Tsukuba, Jan. 7- 10, 2017, 参加者数約 100 名), Japan

Dynamical evolution of critical fluctuation and its observation (poster)

M. Sakaida^{DC*}, M. Asakawa^s, H. Fujii, M. Kitazawa^s

the XXVI international conference on ultrarelativistic heavy-ion collisions (Quark Matter 2017) (at Chicago, Feb. 6-11 2017, 参加者数約 800 名), USA

日本物理学会，応用物理学会等における講演

ファクトリアルキュムラントを用いた初期キュムラントの解析

北沢 正清^{s*}

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

臨界点近傍を通過する重イオン衝突実験における保存電荷の相関関数の時間発展坂井田 美樹^{DC*}, 浅川 正之^s, 北沢 正清^s, 藤井宏次

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

QCD 物質中での重クォーク物理の進展赤松 幸尚^{s*}

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

膨張するクォーク・グルーオン・プラズマにおけるクォークコニウムの時間発展梶本 詩織^{m*}, 赤松 幸尚^s, 浅川 正之^s, A. Rothkopf

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

 $\gamma d \rightarrow \eta n$ 反応で探る ηN 相互作用 2中村 聡^{p*}, 鎌野 寛之, 石川 貴嗣

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

ミューオン原子中の CLFV 過程 $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ における原子核 Coulomb の影響上坂 優一^{d*}, 久野 良孝^s, 佐藤丈, 佐藤 透^s, 山中真人

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

重イオン衝突実験と高温高密度 QCD北沢 正清^{s*}

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日)

高次キュムラントに対する検出効率補正の効率化北沢 正清^{s*}

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日)

格子クォーク伝搬関数を用いた非摂動光子生成率解析：頂点関数補正の効果 2金 泰広^{DC*}, 浅川 正之^s, 北沢 正清^s

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日)

重イオン衝突実験における保存電荷の動的臨界ゆらぎ坂井田 美樹^{DC*}, 浅川 正之^s, 北沢 正清^s, 藤井宏次

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日)

Kinetic regime of hydrodynamic fluctuations in the Bjorken expansion赤松 幸尚^{s*}, A. Mazeliauskas, D. Teaney

日本物理学会 2016年秋季大会 (於 宮崎大学、2016年9月21日 - 9月24日)

クォーク・グルーオン・プラズマ中におけるクォークoniumの時間発展

梶本 詩織 ^{m*}, 赤松 幸尚 ^s, 浅川 正之 ^s, A. Rothkopf

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 - 9 月 24 日)

$\gamma d \rightarrow \eta n$ 反応で探る ηN 相互作用

中村 聡 ^{p*}, 鎌野 寛之, 石川 貴嗣

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 宮崎大学、2016 年 9 月 21 日 - 9 月 24 日)

1.13 黒木グループ

平成28年度の研究活動概要

電子相関に起因する非従来型超伝導

我々は、高温超伝導体として知られる銅酸化物や鉄系超伝導体に関する研究を行い、それらの類似点と相違点を見出すことで、高温超伝導発現における普遍性を見出して、新超伝導体探索につなげることを目指している。鉄系超伝導体では、電子的フェルミ面とホールのフェルミ面があることが特徴の一つであり、発見当初より、我々のグループも含め、これらのフェルミ面のネスティング（ずらして重なること）がよいことが、スピンの揺らぎを增强し、高温超伝導につながると考えられてきた。しかし、近年、ネスティングがよくない物質でも高い超伝導転移温度が出現し、高温超伝導のための条件の見直しが必要となっていた。我々は近年この問題に取り組み、ネスティングが悪い時に発生する有限エネルギーのスピンの揺らぎが、高い超伝導転移温度を引き起こす可能性に注目して調べている。今年度に主に焦点を当てた系は、二層系格子、はしご型格子、ダイヤモンド格子などである。また、これらのモデルを実現する現実の物質の理論探索を、第一原理計算を通じて行っている。

今年度、ペアリングメカニズムの研究については、銅酸化物高温超伝導体、および、層状窒化塩化物のそれぞれについて、これまで考えられてきたよりも、より精度の高い理論モデルを扱った。すなわち、酸素や窒素などのアニオンサイトをあらわに考慮したモデルを考え、さらに、カチオン・アニオン間、アニオン・アニオン間の相互作用も考慮した乱雑位相近似による解析を行なって、実験結果との関係を議論した。

超伝導体及びその周辺物質の電子状態に関する研究

銅酸化物高温超伝導体については、この数年、電子ドーブとホールドーブの相図の非対称性に着目して研究を行って来た。今年度は特に擬ギャップなど、電子相関の現れ方の非対称性について研究を行なった。動的平均場近似による解析を行なった結果、無ドーブ時のモット転移を境に、電子側とホール側とで不連続な変化が起こることを示した。

スピン・トリプレット超伝導体として注目されてきた SrRu_2O_4 の表面では RuO_6 八面体の回転が起きていることが知られている。本研究では、 SrRu_2O_4 表面を選択的に観測した ARPES 実験と、DFT+DMFT 法による強相関効果の解析を組み合わせることで、表面での電子相関効果が強まっていること、またそれが RuO_6 八面体の回転に起因していることを示した。DFT によるバンド計算の範囲では、 d_{xy} 軌道の状態密度は回転の影響を強く受けるものの、 $d_{xz/yz}$ 軌道についてはその影響が殆どない。軌道間相互作用が存在することにより、すべての軌道が強く練り込まれる結果となるが、それでも特に d_{xy} 軌道の有効質量増強が最も強い。この種のルテニウム酸化物では、例えば Ruddlesden-Popper 相において結晶構造と物性の関係に強く関心が持たれており、本研究は、同じ SrRu_2O_4 でも、バルクと表面との結晶構造の違いが、電子状態に（軌道に依存して）強く影響を与えることを示したものである。

最近発見されたルテニウム酸化物である SrRu_2O_6 は比較的高いネール温度を示すハニカム構造の反強磁性体であるが、ここで同じ結晶構造で仮想的に CaOs_2O_6 のバンド構造を解

析すると、strain をかけることでトポロジカル転移を示すことがわかった。この転移は $5d$ 電子の強いスピン軌道相互作用と、強い遍歴性による（ハニカム格子の A,B サイト間の）bonding-antibonding splitting に起因している。実際、バンド反転が起きる A 点 $(0, 0, \pi)$ における valence band top と conduction band bottom は、スピン軌道相互作用がなければ e_g 軌道の bonding 軌道と antibonding 軌道で構成されており、スピン軌道相互作用による混成がバンド反転を引き起こす。本研究は、遷移金属酸化物では比較的珍しい、トポロジカル転移の舞台となる物質の理論的提案である。

BiS_2 系超伝導体については、近年、圧力下等において単斜晶の結晶構造が実現していることが議論されているが、その効果を第一原理計算に取り込んだ研究はこれまで行われてこなかった。我々は昨年度からその問題に取り組み、従来、正方晶で小さいと考えられてきた層間の結合が、意外にも大きくなることを示した。圧力下において超伝導転移温度が高くなることとの関係に興味を持たれる。

熱電効果

熱電効果に関しては、バンド端が平坦に潰れているバンド形状が有利であることを提唱してきたが、今年は、そのような特異なバンド形状の優位性を一般的に論じた。これまで、電力因子のみに焦点をあてた研究を行ってきたが、実はこのようなバンド形状は、電子による熱伝導も抑制する効果があることがわかり、総合的に熱電効果に有利に働くものであることを示した。

また、近年、無次元性能指数 $ZT = 2.6$ という極めて高い熱電性能を示すことがわかった SnSe に関する研究を行なった。第一原理バンド計算から構築された有効モデルを基にゼーベック係数を計算し、実験結果をほぼ定量的に理解できることを示した。バンドを軌道別寄与の成分に分解することで、大きな熱電特性の起源を議論するとともに、仮に電子をドーピングすることができた場合に大きな性能向上が見込めることを示した。

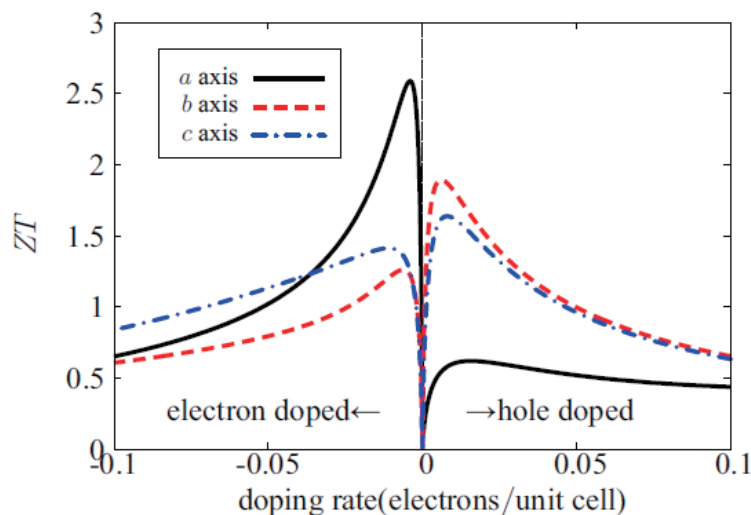


図 1.1: 理論計算で予想される電子およびホールドーピング時の SnSe の無次元性能指数 ZT

Quantum Transport and Anderson Localisation

At very low temperatures, disordered materials exhibit numerous quantum transport phenomena including weak-localisation, universal conductance fluctuations, Anderson localisation and the Anderson metal-insulator transition.

The main achievements this year were:

Using the transfer matrix technique, studies of the Anderson transitions in the three and four dimensional $U(1)$ model were performed. Numerical estimations of the critical exponent in these universality classes were then made by careful finite size scaling analyses of the data. In general, disordered non-interacting systems are classified into ten symmetry classes. The unitary class is perhaps the most fundamental since all other symmetries such as time reversal, spin rotation etc. are broken. Recently the three and four dimensional unitary universality classes have attracted renewed interest because of the relation to three-dimensional Weyl semi-metals and four-dimensional topological insulators.

強相関系の第一原理計算手法の開発

第一原理計算において、局在性の強い固体電子系を精度良く取り扱うための手法開発および適用を行った。具体的には、多体波動関数を露わに取り扱う波動関数理論の一種であるトランスコリレイティッド法を ZnO に適用した。その結果、ジャストロウ因子によって近距離の電子相関効果を取り込まれることで、従来手法よりも精度良くバンド構造を再現することに成功した。特に、多体波動関数の情報から（有効的な一体描像である）バンド構造を抜き出すことは、他の波動関数理論では実現の難しかった点である。

表面吸着系

吸着原子の秩序と外部駆動力が競合する系の振る舞いを微視的視点より理解することを目標にする。

学術雑誌に出版された論文

Estimate of the Critical Exponent of the Anderson Transition in the Three and Four-Dimensional Unitary Universality Classes

Y. Ueoka, K. Slevin^s

J. Phys. Soc. Jpn. **85** (Sept.) (2016) 104712(1-5)

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.104712>).

Anderson metal-insulator transitions with classical magnetic impurities

D. Jung, S. Kettemann, K. Slevin^s

Phys. Rev. B **93** (Apr.) (2016) 134203(1-5)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.134203>).

Cluster multipole theory for anomalous Hall effect in antiferromagnets

M.-T. Suzuki, T. Koretsune, M. Ochi^s, and R. Arita

Phys. Rev. B **95** (Mar.) (2017) 094406(1-11) (Editors' Suggestion)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.094406>).

Correlated Band Structure of a Transition Metal Oxide ZnO Obtained from a Many-Body Wave Function Theory

M. Ochi^s, R. Arita, and S. Tsuneyuki

Phys. Rev. Lett. **118** (Jan.) (2017) 026402(1-6)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.118.026402>).

Orbital-Dependent Band Narrowing Revealed in an Extremely Correlated Hund's Metal Emerging on the Topmost Layer of Sr₂RuO₄

T. Kondo, M. Ochi^s, *et al.*

Phys. Rev. Lett. **117** (Dec.) (2016) 247001(1-6)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.117.247001>).

Strong Bilayer Coupling Induced by the Symmetry Breaking in the Monoclinic Phase of BiS₂-Based Superconductors

M. Ochi^s, R. Akashi, and K. Kuroki^s

J. Phys. Soc. Jpn. **85** (Aug.) (2016) 094705(1-8)

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.094705>).

Spectroscopic evidence for a type II Weyl semimetallic state in MoTe₂

L. Huang, T. M. McCormick, M. Ochi^s, *et al.*

Nature Matter. **15** (July) (2016) 1155-1160

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/nmat4685>).

Strain-induced topological transition in SrRu₂O₆ and CaOs₂O₆

M. Ochi^s, R. Arita, N. Trivedi, and S. Okamoto

Phys. Rev. B **93** (May) (2016) 195149(1-6)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.195149>).

High power factor in thiospinels Cu₂Tr(Tr=Mn, Fe, Co, Ni)Ti₃S₈ arising from TiS₆ octahedron network

K.Hashikuni, H. Usui^s, K. Kuroki^s, *et al.*

Appl. Phys. Lett. **109** (Nov.) (2016) 182110(1-5)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.4966955>).

Observation of a Hidden Hole-Like Band Approaching the Fermi Level in K-Doped Iron Selenide Superconductor

M.Sunagawa, H. Usui^s, K. Kuroki^s, *et al.*

J. Phys. Soc. Jpn. **85** (June) (2016) 073704(1-5)

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.073704>).

Multiple Antiferromagnetic Spin Fluctuations and Novel Evolution of Tc in Iron-Based Superconductors LaFe(As_{1-x}P_x)(O_{1-y}F_y) Revealed by 31P-NMR Studies

T.Shiota, H. Usui^s, K. Kuroki^s, *et al.*

J. Phys. Soc. Jpn. **85** (Apr.) (2016) 053706(1-4)

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.85.053706>).

Two-particle self-consistent analysis for the electron-hole asymmetry of superconductivity in cuprate superconductors

D. Ogura^d, K. Kuroki^s

Phys. Status Solidi C **14** (Mar.) (2017) 1600157(1-4)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/pssc.201600157>).

国際会議における講演等

Dimensionality dependence of the critical exponent of the Anderson transition

K. Slevin^{s*} (invited)

Anderson Localization in Topological Insulators, (at Daejeon, Sept. 5-9, 2016, 参加者数約 56 名), Korea

Origin of the doping dependence of T_c in the 1111 iron based superconductors

H. Usui^{s*} (invited)

EMN Prague meeting (at Prague, June 21-24, 2016, 参加者約 200 名), Czech Republic

BiS₂ 系超伝導の現況概観

H. Usui^{s*} (invited)

豊田理研ワークショップ「高温超伝導をめぐる最近の発展と展望」 (at Aichi, July 30-31, 2016, 参加者約 20 名, Japan)

Origin of the non-monotonic variance of Tc in the 1111 iron based superconductors with isovalent doping

H. Usui^{s*} (invited)

20th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (at Halle, Sept. 5-9, 2016, 参加者数約 200 名), Germany

Enhancement of thermoelectric properties due to peculiar band structures

H. Usui^{s*} (invited)

EMN Meeting on Energy and Sustainability 2016 (at Osaka, Nov. 29 - Dec. 2, 2016, 参加者約 50 名), Japan

Effect of band structures on Wiedemann-Franz law and thermoelectric effect

H. Usui^{s*} (invited)

The 2017 EMN Meeting on Thermoelectric Materials (at Hanoi, Mar. 13-17, 2017, 参加者約 20 名), Vietnam

Two-Particle Self-Consistent Analysis for the Electron-Hole Asymmetry of Superconductivity in Cuprate Superconductors

D. Ogura^{d*}, K. Kuroki^s

20th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (at Halle, Sept. 5-9, 2016, 参加者数約 200 名), Germany

Peculiar electronic structures for HTC superconductivity mediated by spin fluctuations

K. Kuroki^{s*}

International Workshop on Superconductivity and Related Functional Materials 2016 (at Ibaraki, Dec. 20-22, 2016, 参加者数約 75 名), Japan

Two-Particle Self-Consistent Analysis for the Relationship between Antiferromagnetic Fluctuations and Superconductivity in the d-p model

D. Ogura^{d*}, K. Kuroki^s

International Workshop on Superconductivity and Related Functional Materials 2016 (at Ibaraki, Dec. 20-22, 2016, 参加者数約 75 名), Japan

Two-Particle Self-Consistent Analysis for the Electron-Hole Asymmetry of Superconducting Transition Temperature in high-T_c Cuprates

D. Ogura^{d*}, K. Kuroki^s

American Physical Society March Meeting 2017 (at New Orleans, LA, Mar. 13-17, 2017, 参加者数約 10000 名), USA

First-principles study on the high thermoelectric efficiency originating from ‘pudding-mold’ bands in n- and p-type SnSe

H. Mori^{m*}, H. Usui^s, M. Ochi^s, K. Kuroki^s

American Physical Society March Meeting 2017 (at New Orleans, LA, Mar. 13-17, 2017, 参加者数約 10000 名), USA

Two-Particle Self-Consistent Analysis for the Electron-Hole Doping Asymmetry of Superconductivity in High-Tc Cuprates (poster)

D. Ogura^{d*}, K. Kuroki^s

International Symposium on New Horizons in Condensed Matter Physics (at Tokyo, June 18-19, 2016, 参加者数約 50 名), Japan

First principles analysis of powerfactor in thermoelectric material BiCuSeO (poster)

H. Usui^{s*}, K. Kuroki^s

The 35th International Conference and the 1st Asian Conference on Thermoelectric Materials (at Wuhan, May 29 - June 2, 2016, 参加者約 500 名), China

First-principles band structure of correlated material obtained with a many-body wave function theory (poster)

M. Ochi^{s*}, R. Arita, and S. Tsuneyuki

CEMS-QPEC Symposium on Emergent Quantum Materials (at Tokyo, Jan. 18-20, 2017, 参加者数約 100 名), Japan

Strong correlation effects on the Sr₂RuO₄ surface: and LDA + DMFT analysis (poster)

M. Ochi^{s*}, S. Sakai, T. Kondo, and R. Arita

CEMS-QPEC Symposium on Emergent Quantum Materials (at Tokyo, Jan. 18-20, 2017, 参加者数約 100 名), Japan

Accurate band structure of wurtzite ZnO calculated with the bi-orthogonal transcorrelated method (poster)

M. Ochi^{s*}, R. Arita, and S. Tsuneyuki

International Symposium on New Horizons in Condensed Matter Physics (at Tokyo, June 18-19, 2016, 参加者数約 100 名), Japan

The origin of high power factor of n- and p- type SnSe from first principles calculations (poster)

H. Mori^{m*}, H. Usui^s, M. Ochi^s, K. Kuroki^s

The 35th International Conference and the 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT 2016), (at Wuhan P. R. May 29 - June 2, 2016, 参加者数約 500 名), China

日本物理学会，応用物理学会等における講演

d-p 模型における反強磁性揺らぎと超伝導の相関関係に対する 2 体自己無撞着法による解析
小倉大典 ^{m*}, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

Anderson transitions with classical magnetic impurities

K. Slevin^{s*}, D. Jung, S. Kettemann, T. Ohtsuki

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

平面波基底トランスコリレイティッド法の固体 **ZnO** への適用

越智正之 ^{s*}, 有田亮太郎, 常行真司

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

第一原理計算による **n** 型及び **p** 型 **SnSe** のゼーベック効果の解析

森仁志 ^{m*}, 白井秀知 ^s, 越智正之 ^s, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

梯子型ハバード模型の多変数変分モンテカルロ法による解析

加藤大智 ^{m*}, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 – 9 月 16 日)

FeSe 系におけるバンド構造の不純物効果に関する第一原理計算による解析

白井秀知 ^{s*}, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

Sr₂RuO₄ 表面において **RuO₆** 八面体の回転が引き起こす強相関効果 : **LDA + DMFT** による解析

越智正之 ^{s*}, 酒井志朗, 近藤猛, 有田亮太郎

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

梯子型ハバード模型における超伝導の多変数変分モンテカルロ法を用いた解析

加藤大智 ^{m*}, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

銅酸化物における準粒子密度の **IPT** 及び **CT-QMC** をソルバーとする **DMFT** 解析

水野竜太 ^{m*}, 越智正之 ^s, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学、2017 年 3 月 17 日 – 3 月 20 日)

銅酸化物超伝導体における **d-p** 及び **p-p** 軌道間斥力由来の電荷揺らぎによる超伝導増強の可能性

井上智裕 ^{m*}, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

層状窒化塩化物超伝導体 $ZrNCl$ の多軌道有効模型におけるペアリング対称性の解析

吉岡希裕 ^{m*}, 黒木和彦 ^s

日本物理学会 第72回年次大会 (2017年) (於 大阪大学、2017年3月17日 - 3月20日)

熱電効果におけるバンド形状とヴィーデマン・フランツ則

白井秀知 ^{s*}, 黒木和彦 ^s

応用物理学会 2016年秋季大会 (於 朱鷺メッセ、2016年9月13日-9月16日)

n型及び**p**型 $SnSe$ のゼーベック効果の第一原理的理論解析

森仁志 ^{m*}, 白井秀知 ^s, 越智正之 ^s, 黒木和彦 ^s

第十三回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2016) ,(於 東京理科大学、2016年9月5日-9月7日)

d-p 模型における反強磁性揺らぎと超伝導の相関関係：2体自己無撞着法による解析 (ポスター)

小倉大典 ^{m*}, 黒木和彦 ^s

超伝導研究の最先端：多自由度、非平衡、電子相関、トポロジー (於 京都大学基礎物理学研究所、2016年10月10日~10月12日)

1.14 動的量子多体系の理論グループ

平成 28 年度の研究活動概要

カゴメ格子 Hubbard モデルにおける Mott 転移

本研究室では多数の電子と正孔が同数共存する系（電子正孔系）の平衡状態の研究に長年注力してきた。この系では相互作用起因の金属絶縁体転移（Mott 転移）が起こることが期待されている。一方、Mott 転移は格子上で定義された強相関電子系でも考察されている。特に多バンドあるいは他軌道 Hubbard モデルは電子正孔系と密接な関わりを持つ。この観点から、カゴメ格子上で定義されたハーフフィリングの Hubbard モデルを考察した。カゴメ格子は単位胞に 3 つのサイトを含み、3 バンド Hubbard モデルの実例になっている。この系は、強い磁氣的フラストレーションを示す系としても知られており、特に Hubbard モデルの強結合極限に当たる反強磁性 Heisenberg モデルの基底状態が、 120° Neél 秩序のような単純な磁気秩序状態ではないことが既に知られている。そこで我々は、磁性秩序の可能性も調べることができるクラスター変分法を用いた数値計算を用いて、この系について調べた。その結果は使用したクラスターのサイト数や形状に依存して変わるが、少なくとも Heisenberg モデルの結果を強結合極限で再現するには、偶数サイトのクラスターを用いるべきことが分かった。このとき、絶対零度で起きる Mott 転移が、これまで信じられていた Brinkman-Rice 機構（フェルミ準位上の準粒子の質量が発散する機構）ではなく、valence-bond が結晶化した非自明な秩序形成による Salter 機構によるものとして理解されることが明らかになった。つまり、相互作用のバンド分裂により、セミメタルから絶縁体への転移が起こる。これを実空間上で見ると、valence-bond 形成によって一重項を組み、隣接 2 サイト上に電子が局在する機構が重要になっている。クラスターサイズをより大きくすると、もっと複雑な valence-bond 結晶、あるいは結晶が誘拐したスピン液体が実現する可能性もあるが、隣接 2 サイト上に電子が局在して Mott 転移が起きるといふ描像自体は生き残ると考えられる。

散逸による超伝導状態の安定化

より安定な超伝導を実現することは、科学のみならず社会における大きな挑戦の一つであり、転移温度上昇のため研究が続けられている。通常取られる戦略は、物質内部に着目して、超伝導を安定化させるような相互作用を持つ元素組成を見つけ出すことである。その方針を確立するために、高い転移温度を示す銅酸化物超伝導や鉄系超伝導等の発現機構の解明に、理論的な研究の焦点が当てられてきた。本研究では視点を変えて、物質内部の最適化ではなく環境への散逸の制御を通して超伝導の安定化を図ることを考える。ここで述べる散逸とは、環境との間の相互作用によって引き起こされる着目系への影響のことである。通常、散逸といえば不純物等が想定され、主に超伝導を不安定化させるものとして認識されているが、近年、散逸を制御し超伝導体中の準粒子を不安定化させることで、絶対零度環境下で内部相互作用に起因しない超伝導を作りだせる可能性が理論的に提案されている。しかし、応用を念頭におくと、外部の熱環境や物質内部の相互作用は無視できるものではない。そこで実際に熱環境下にある s 波超伝導体において散逸が超伝導安定化に寄与できるか否か理論的に検証し、超伝導転移温度に対する制御された散逸の影響について解析した。結果として、理想的な散逸が超伝導を常に安定化させ、転移温度を消失させることが明らかとなった。散

逸のある場合、熱力学的な転移温度以上ではギャップは特徴的な冪減衰を示し、冪の逆数が散逸の強さで表される。また、今回提案する散逸が超伝導と半導体の接合系に電圧を加えた非平衡系で実現できる可能性を提示した。

熱機関としてのレーザー系の理論

量子系を用いた熱力学（量子熱力学）の研究の具体例としてレーザー系を熱機関と見立てたものを考える。レーザー系を熱機関と見立てるという発想自体は1950年代からあるが、共振器がない系での計算でありレーザー系の解析としては不十分であった。また、近年では共振器を含めた計算も行われているが、そこではレーザーのパワーを解析したものが主であった。そこで我々は、レーザーの熱効率を考えることから始めた。まず、共振器から光として放射されるエネルギーを全て仕事として勘定し、熱効率を計算するとカルノー効率を超えてしまう場合があるという結果が得られた。このため、まともな結果を得るには放射光のエネルギーを仕事と熱に分ける必要がある。直感的には、レーザー光のようなコヒーレントな光のエネルギーは仕事、熱輻射のようなインコヒーレントな光のエネルギーは熱というように分けられると考えられる。今回、我々はこの直感を裏付ける定式化に成功した。具体的には、キャビティ QED 系と熱浴や放射光を受け取る系（「ドレイン」と呼ぶ）が相互作用している系を考える。通常は、熱浴とドレインの自由度を消去してキャビティ QED 系の量子マスター方程式を得た後、その定常解における放射光としての（単位時間あたりの）流出エネルギーを計算する。しかし、この方法ではその流出エネルギーを仕事と熱に分解する指針は見えてこない。そこで我々は、この流出エネルギーをドレインがどのような形で受け取るのかを調べた。そのために、ドレインの量子マスター方程式をキャビティ QED 系と熱浴の自由度を消去することで導出した。この量子マスター方程式から、ドレインの時間発展がハミルトニアンで書ける部分と書けない部分に分解でき、それぞれの時間発展の仕方に対応したドレインへのエネルギー流入を仕事と熱に割り振ることが可能となる。このようにして定義した仕事と熱はフォトン場の振幅が非ゼロの部分とゼロの部分という直感的な分け方と整合していることを示した。また、エネルギー保存（熱力学第一法則）がきちんと成り立っていることも示した。

非断熱領域における量子マスター方程式

マルコフ型の量子マスター方程式は、非平衡開放系の性質を記述する上で有用な方法論として知られている。しかしながら、その理論形式は対象系のハミルトニアンの時間的に変化しないか、または変化したとしても断熱定理を満たすほど十分ゆっくりでなければ、正当性が得られないと考えられてきた。このような制約は、例えば近年盛んに研究されている開放系量子アニーリングの解析などを困難にしてくただけでなく、非断熱領域における新たな量子制御の可能性を議論することすら困難にしてくたと言える。そこで今回、我々はハミルトニアンの時間変化を評価する時間スケールを新たに導入し、その妥当性を評価した。その結果、これまでの認識とは異なり、マルコフ型量子マスター方程式は非断熱領域でも成り立ち、さらにはその時間変化が熱浴の相関時間と比較して速い領域でも正当化できることを見出した。この結果は、今後、前述のような応用を見込めるだけでなく、非平衡統計力学の一般的性質を議論する上でも重要になってくると期待している。

学術雑誌に出版された論文

Bond formation effects on the metal-insulator transition in the half-filled kagome Hubbard modelR. Higa^d and Kenichi Asano^sPhys. Rev. B **93** (No. 24 June) (2016) 245123 1-11<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.245123>).**Decomposition of radiation energy into work and heat**Tatsuro Yuge, Makoto Yamaguchi, and Tetsuo Ogawa^sPhys. Rev. E **95** (No. 2 Feb.) (2017) 022119 1-11<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevE.95.022119>).**Markovian quantum master equation beyond adiabatic regime**Makoto Yamaguchi, Tatsuro Yuge, and Tetsuo Ogawa^sPhys. Rev. E **95** (No. 1 Jan.) (2017) 012136 1-16<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevE.95.012136>).

国際会議における講演等

Current noise enhancement by quantum effects of a charge resolution limitYasuhiro Yamada^{d*} and Tetsuo Ogawa^s (invited)

International Nanotechnology Conference & Expo (at Baltimore, Apr. 4-6, 2016, 参加者数約 40 名), USA

Unified picture of cooperative phenomena in semiconductor electron-hole-photon systemMakoto Yamaguchi^{*} and Tetsuo Ogawa^s

The 8th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (IC-SCE8) (at Edinburgh, Apr. 25-29, 2016, 参加者数約 200 名), UK

Metal-Insulator Transition in the Half-Filled Kagome Hubbard Model (poster)Kenichi Asano^{s*}

8th International Conference on Highly Frustrated Magnetism (HFM2016) (at Taipei, Sept 7-11, 2016, 参加者数約 300 名), Taiwan

日本物理学会，応用物理学会等における講演

超伝導転移温度に対する制御された散逸の影響

山田 康博^{1*)}, 小川 哲生^s

日本物理学会 2016 年秋季大会 (於 金沢大学、2016 年 9 月 13 日 - 9 月 16 日)

1.15 越野グループ

平成 28 年度の研究活動概要

当研究室では、2次元物質・ナノカーボン物質・トポロジカル物質等の新しい物質を対象として、その量子輸送現象(電気伝導、量子ホール効果)、光学応答、磁場応答、スピン伝導などの量子的な物性を理論的に研究している。平成 28 年度は主として以下のような研究活動を行った。

ワイル半金属の表面状態の電気伝導

ワイル半金属とは、質量のない相対論的粒子と等価な準粒子を持つ3次元の電子系である。価電子バンドと伝導バンドが波数空間上の孤立した点(ワイル点)で接し、その周りでの電子の状態はワイル方程式で近似的に記述される。ワイル半金属はトポロジカル絶縁体の関連物質として理論的に予言され、最近になり TaAs や NbP, TaP 等の固体物質で実現されている。ワイル半金属の大きな特徴の一つはトポロジカルに保護された表面状態の存在にある。表面状態の作るバンドは、必ずワイル点の間を結ぶように現れるため(図1)、フェルミ面は閉じた曲面にならず、途中で途切れたフェルミアークという形をとる。表面状態の存在は角度分解光電子分光の実験により徐々にわかってきているが、一方で表面状態が実際にどのような物理現象をもたらすかは、多くの部分が未解明である。今回、大湊と越野は有限の厚みを持つスラブ状のワイル半金属に対して、磁場中の電気伝導の研究を行った。電場と磁場が平行な配置では、カイラル異常に起因する負の磁気抵抗が生じることがバルクの計算によって知られていたが、今回、表面状態の存在によってその性質が本質的に変化することが示された。電気伝導度はワイル点間での電子の散乱によってほぼ決定されるが、表面が存在する場合は、ワイル点同士を結ぶ表面状態がその散乱に支配的な寄与を与え、系がマクロな大きさになってもその効果は顕著であることが明らかになった。

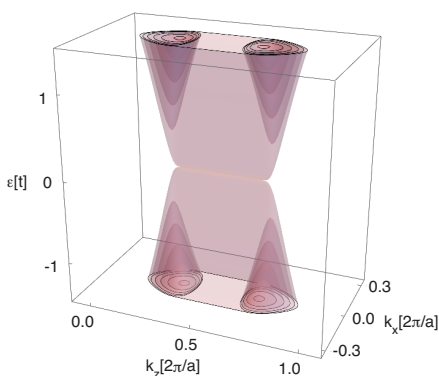


図 1.1: スラブ状のワイル半金属におけるバンド構造

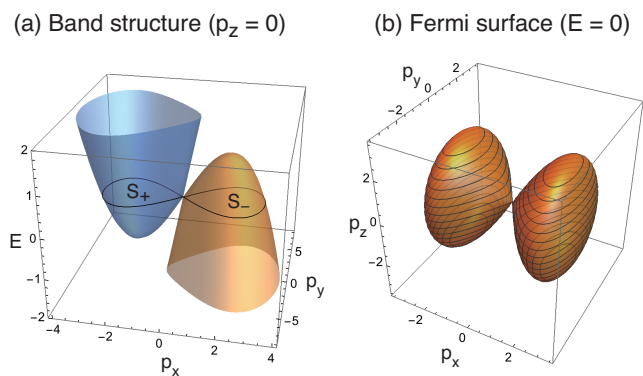


図 1.2: 第2種ワイル半金属の (a) バンド構造と (b) フェルミ面

第2種ワイル半金属のランダウ準位とサイクロトロン共鳴

ワイル半金属には第1種と第2種の2種類があり、第1種ではバルクのバンドのフェルミ面はワイル点のみであるのに対し、第2種ではバンドの反転によりワイル点とフェルミ面が共存し、電子ポケットとホールポケットがワイル点で接する特異な形を取る(図2)。実際の物質では WTe_2 , $MoTe_2$ などで第2種型のバンド構造が確認されている。越野はこの系における磁場中電子のランダウ準位構造とサイクロトロン共鳴を研究した。電子バンドとホールバンドがつくる「8の字型」の半古典軌道が量子化した特殊なランダウ準位が形成され、それに伴い、偏光方向によって吸収率が異なる非等方的なサイクロトロン共鳴が生じることを明らかにした。

少数層グラファイトの電子間相互作用効果

グラファイトは電気の良導体としてよく知られるが、厚さを原子スケールまで薄くすると必ずしもそうとは限らない。2層グラフェンでは低温にすると電子間相互作用の効果によってギャップが開いて絶縁体になることが知られている。これより厚みを増した少数層グラファイトで絶縁体状態は可能かどうかは重要な問題である。越野とLancaster大のE. McCannは、ジュネーブ大の実験グループ(A. Morpurgoグループ)とともに4層グラフェンでの絶縁体状態を発見し、ここで越野らは層ごとに異なるスピンの蓄積したスタッガード層と呼ばれる基底状態を提案した(2015年)。本年度はこのグループでさらに6層、8層において絶縁状態を発見し、理論的な立場から結果をサポートした。越野、McCannは現在詳細な理論計算に基づく基底状態の解析を進めている。

3次元ナノポーラスグラファイトの電子物性

グラフェンは炭素の蜂の巣格子からなる2次元物質であるが、格子の六角形の中に7角形や5角形を混ぜることで立体的な構造を作ることが出来る。伊藤(東北大;現筑波大)らは、グラフェンの曲面構造が接続したマクロサイズの物質「3次元ナノポーラスグラファイト」を作成することに2014年に成功した。この構造は、アモルファスなどの乱れた構造がなくほぼグラフェンの六角格子で占められており、この中に7角形や5角形などのトポロジカル欠陥がわずかに入ることで100nmから1 μ m程度の長さスケールの曲面構造を支持している。今回、越野、青木(産総研)は東北大の伊藤、田邊、菅原、陳ら実験グループとともにナノポーラスグラフェンの電気伝導、トランジスタ効果について研究を行った。特に、磁場中においては非線形な磁気抵抗効果が測定された。通常このような磁気抵抗は異なる2種類のキャリアが共存するときに生ずるが、単純なグラフェンでは考えられない結果である。越野は、この系の3次元的な構造によって面を貫く局所的な磁場が非均一であることに注目し、半古典的な理論を用いて特異な磁気抵抗を説明することに成功した。

回転積層グラフェンにおけるバンド構造と電気伝導

グラファイトではグラフェンの層同士は向きを揃えて規則的に積層するが、層と層の間は比較的弱い van der Waals 相互作用で結びついているので、試料の作成条件によっては異なる構造も生じうる。特に、結晶方向の角度が回転して積層した「回転積層グラフェン」では、角度によって様々な電子状態が生ずる。特に角度が2度以下程度になると、周期の大きなモアレ干渉模様によってバンド構造が大きく変調することを示すことが出来る。越野は文 (Shanghai NYU) とともにこの問題の理論研究に取り組んできた。今回、越野と文は、Max Planck 研究所の Y. Kim, J. Smet らと共に、実際の回転積層系における電子状態について研究を行った。モアレ干渉によるバンド構造の詳細と磁場中の Hofstadter butterfly 構造を初めて実験的に明らかにするとともに、その構造に対して詳細な理論的な解釈を与えた。

学術雑誌に出版された論文

Quantum interference on electron scattering in graphene by carbon impurities in underlying h-BN

T. Kaneko, M. Koshino^s, R. Saito

Phys. Rev. B, **95** (Mar.) (2017) 125421 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.125421>).

Electric Properties of Dirac Fermions Captured into 3D Nanoporous Graphene Networks

Y. Tanabe, Y. Ito, K. Sugawara, D. Hojo, M. Koshino^s, T. Fujita, T. Aida, X. D. Xu, K. K. Huynh, H. Shimotani, T. Adschiri, T. Takahashi, K. Tanigaki, H. Aoki, M. W. Chen
Adv. Mater. **28** (Dec.) (2016) 10304-10310

(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/adma.201601067>).

Interaction-induced insulating state in thick multilayer graphene

Y. Nam, D.-K. Ki, M. Koshino^s, E. McCann, A. F. Morpurgo

2D Mater. **3** (Oct.) (2016) 045014 1-9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/2053-1583/3/4/045014>).

Cyclotron resonance of figure-of-eight orbits in a type-II Weyl semimetal

M. Koshino^s

Phys. Rev. B **94** (July) (2016) 035202 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.94.035202>).

Charge inversion and topological phase transition at a twist angle induced van Hove singularity of bilayer graphene

Y. Kim, P. Herlinger, P. Moon, M. Koshino^s, T. Taniguchi, K. Watanabe, J. Smet

Nano Lett. **16** (July) (2016) 5053-5059

(<http://dx.doi.org/doi:10.1021/acs.nanolett.6b01906>).

Magnetotransport in Weyl semimetals in the quantum limit: Role of topological surface states

Y. Ominato, M. Koshino^s

Phys. Rev. B **93** (June) (2016) 245304 1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.93.245304>).

Tunneling conductance in a two-dimensional Dirac semimetal protected by nonsymmorphic symmetry

T. Habe^p

Phys. Rev. B **95** (Mar.) (2017) 115405 1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.95.115405>).

国際会議における講演等

Physics of incommensurate 2D crystals

M. Koshino^{s*} (invited)

11th International Symposium on Computational Challenges and Tools for Nanotubes (at Vienna, Aug. 13, 2016, 参加者数約 50 名), Austria

Physics of moire superlattices and Weyl semimetals

M. Koshino^{s*} (invited)

Regensburg-Tohoku Workshop on Solid-State Physics and Spintronics (at Zao, Mar. 28-30, 2017, 参加者数約 40 名), Japan

日本物理学会, 応用物理学会等における講演

遷移金属ダイカルコゲナイドにおける異常ホール効果とホールスピン流

T. Habe^{p*}, M. Koshino^s

日本物理学会 第 72 回年次大会 (2017 年) (於 大阪大学, 2017 年 3 月 17 日 - 3 月 20 日)

ワイル半金属における表面垂直磁場による電気伝導の消失効果

A. Igarashi^{m*}, M. Koshino^s

日本物理学会 第 71 回年次大会 (於 東北学院大学, 2016 年 3 月 19 日 - 3 月 22 日)

1.16 阿久津グループ

第2章 受賞と知的財産

平成 28 年度における物理学専攻での受賞と当該年度に申請された特許権等の知的財産権の一覧は以下の通りである。

受賞

1. 受賞者：壁谷奈津紀 (M1)
賞の名称：PASPS9 Young Researcher Best Poster Award
受賞内容：the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9), (Kobe International Conference Center, Kobe City, Japan, August 8-11, (2016)) における若手研究者の優れたポスター発表に与えられる賞。
2. 受賞者：Lee Sanghyun (M1)
賞の名称：PASPS9 Young Researcher Best Poster Award
受賞内容：the 9th International Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS 9), (Kobe International Conference Center, Kobe City, Japan, August 8-11, (2016)) における若手研究者の優れたポスター発表に与えられる賞。
3. 受賞者：足立 徹 (D2)
賞の名称：Best Poster Award in International Conference on Low-Energy Electrodynamics in Solids 2016
受賞内容：International Conference on Low-Energy Electrodynamics in Solids 2016 における優れたポスター発表に与えられる賞。
4. 受賞者：前田幸輝 (M1)
賞の名称：第 64 回質量分析総合討論会討論会 ベストプレゼンテーション賞 最優秀賞
受賞内容：第 64 回質量分析総合討論会討論会では、若手の育成を期すため、ベストプレゼンテーション賞の表彰を行いました。発表申込み時に本賞審査対象となることを希望された発表 49 件について、実行委員会が委嘱した審査員 (Mass Spectrometry 誌編集委員および日本質量分析学会理事から構成) によって厳正なる審査を行い、最優秀賞 4 件ならび

に優秀賞4件を決定いたしました。 http://www.mssj.jp/conf/64/poster_awards.html

5. 受賞者：佐藤 透（准教授）、中村 聡（特任助教）
 賞の名称：戸塚洋二賞
 受賞内容：精密な νd 断面積計算による太陽ニュートリノ問題解決への貢献に対して賞が与えられた。ニュートリノと重水素の衝突断面積の精密で信頼できる計算を行い、カナダのニュートリノ観測装置 SNO が行った太陽ニュートリノの謎の解決に重要な貢献をした。久保寺国晴 South Carolina 大学教授とともに受賞。

6. 受賞者：黒木和彦（教授）
 賞の名称：Journal of the Physical Society of Japan Outstanding referee 2017 優秀レフェリー賞
 受賞内容：The JPSJ Outstanding Referee Program is instituted starting in 2015 to recognize physicists who have been very helpful in article publications in Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ). This program recognizes about ten of currently active referees and editors every year. The outstanding referees are selected by the JPSJ editorial board based on various aspects of contributions as a reviewer as well as an editor based on the records kept since year 2004. Individuals with current or very recent direct connections to JPSJ, such as editor-in-chief and full-time editors, are excluded.

7. 受賞者：黒木和彦（教授）
 賞の名称：New Journal of Physics Outstanding Reviewers 2016 優秀レフェリー賞
 受賞内容：New Journal of Physics における優れた査読者に贈られる賞。

8. 受賞者：山田康博（特任研究員）
 賞の名称：ImPACT 未来開発研究会 2016 ベストポスター賞
 受賞内容：2016年11月に開催された ImPACT 未来開発研究会 2016 における優れたポスター発表に与えられる賞。

知的財産

1. 特許名称：質量分析装置及び質量分析方法
 発明者：河井洋輔，豊田岐聡，本堂敏信，寺田健太郎
 出願人：国立大学法人大阪大学
 出願番号：特願 2016-081605
 出願日：2016年4月15日

第3章 学位論文

3.1 修士論文

平成 28 年度に修士の学位を取得された方々の氏名、論文題目は以下の通りであった。

学生氏名	指導教員	論文題名
川嶋元貴	橋本幸士	D3 プレーンの自己双対性と IIB 型超弦理論の $SL(2, Z)$ 双対不変性
濱口基之	小口多美夫	第一原理計算による二次電池正極材料 Li_2MTiO_4 ($M=V, Mn, Fe, Co, Ni$) の電子構造の解析
池田一毅	橋本幸士	Langlands Program, Field Theory, and Mirror Symmetry (ラングランズプログラム、場の理論、およびミラー対称性)
井上寛治	花咲徳亮	パイロクロア型ルテニウム酸化物 $(R_{1-x}Ca_x)_2Ru_2O_7$ ($R = Nd, Pr$) における反強磁性秩序の抑制と金属絶縁体転移
井上智裕	黒木和彦	銅酸化物超伝導体におけるネマティック揺らぎとスピン揺らぎの協力・競合に関する研究
今坂俊博	山中 卓	ATLAS 実験におけるピクセル検出器の動作特性評価
植田泰智	疇地 宏	ダブルシェルを用いたインプリント擾乱の抑制
梅本尚嗣	野末泰夫	カリウム吸蔵ゼオライト A の低温における反射スペクトルと電子状態
太田 雄	木村真一	マルチプローブ研究のための高輝度電子源と真空紫外分光計の開発
大西諒太	田島節子	光学スペクトルから見た電子ドーピング型超伝導体 $(Pr, La, Ce)_2CuO_{4+\delta}$ の電子状態における還元処理効果
岡部廉平	細谷 裕	インフレーションの有効理論を用いた trispectrum についての考察
梶本詩織	浅川正之	クォーク・グルーオン・プラズマ中における重いクォークニウムの時間発展
片桐誠也	岸本忠史	CANDLES 実験における CaF_2 シンチレータと液体シンチレータの複合信号波形解析によるバックグラウンドの調査
加藤健三	野末泰夫	セシウムを吸蔵したゼオライト LSX の電子物性
加藤大智	黒木和彦	多変数変分モンテカルロ法による梯子型ハバード模型に関する研究

金川和貴	能町正治	μ -TCA 規格による読み出しシステムを用いた $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ 結晶のエネルギー分解能の測定
川島丈嗣	疇地 宏	Shock Ignition 条件下における衝撃波特性に関する研究
河村嵩之	下田 正	オプレート型超変形状態の探索に向けて
河村智哉	小林研介	NbSe ₂ 薄膜における逆スピホール効果の検出
岸潤一郎	木村真一	半導体 InSb(001) 上に作製した Bi 薄膜の 1 次元的な表面電子状態の研究
久米世大	福田光宏	加速器を用いた熱中性子源による LLFP 核種核変換処理法の研究
小林和矢	岸本忠史	Σ_p 散乱実験用エアロゲルチェレンコフ検出器の開発
駒田盛是	花咲徳亮	ワイル半金属 TaAs の大型単結晶の合成とパルス強磁場を用いた電気伝導特性の研究
佐藤和樹	萩原政幸	有限要素法を用いたパルス強磁場発生シミュレーション
高田 篤	萩原政幸	三角格子反強磁性体 $\text{Rb}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}(\text{MoO}_4)_2$ の強磁場物性と強光源を用いた高圧下パルス強磁場 ESR 装置の開発
竹野祐輔	木村真一	SmS の光誘起相転移ダイナミクス
多田吉克	菊池 誠	タンパク質に対する分子混雑効果の統計力学 – ファネルガスモデルによる解析
田中哲生	小口多美夫	機械学習を用いた物性予測に関する研究
田中悠太郎	福田光順	Ca 中性子過剰同位体の相互作用断面積と核半径
谷口祐紀	小林研介	スピン流を用いたスピンゆらぎの電氣的検出
田原大夢	萩原政幸	遷移金属硫化物 BaVS_3 の圧力-磁場効果
都築将仁	能町正治	CANDLES 実験のための時間較正
中川智裕	大岩 顕	光-電子スピン量子状態変換に向けた (110) 量子井戸の研究
永瀬真彦	田島節子	BaFe_2As_2 の面間輸送現象における元素置換効果
平野裕理	小口多美夫	グラフェンにおける電子状態トポロジーへの積層構造の影響
根来雄介	木村真一	SmS の光励起相の電子構造
萩原健太	木村真一	近藤絶縁体 $\text{YbB}_{12}(001)$ のトポロジカル表面金属状態
原 周平	福田光宏	粒子線治療のための変調型 Spiral Beam Scanning システムの開発研究
原口 弘	山中 卓	J-PARC KOTO 実験における、CsI 電磁カロリメータ両端読み出しの研究
平井隼人	細谷 裕	量子誤り訂正符号理論に基づいた AdS/CFT 対応の離散的な模型
船越元気	橋本幸士	非正準型の単一スカラー場インフレーションモデルにおけるスカラーゆらぎの 4 点相関関数の解析
松尾一輝	藤岡慎介	レーザー生成強磁場下での高エネルギー密度プラズマの流体運動

三上恭子	橋本幸士	アイソトープシフトに対する原子内に働く未知の相互作用の影響
溝川翔太	橋本幸士	ブラックホールエントロピーの半古典論
光元亨汰	菊池 誠	斥力スピン模型におけるガラス・ジャミング転移
宮崎雄太	大岩 顕	希薄磁性半導体 GaSmN の物性に与えるキャリア密度の影響
向井健太郎	野末泰夫	Na を吸蔵したゼオライト LSX の電子スピン共鳴
森 哲平	山中 卓	ILC に向けたピクセルセンサー：SOFIST の動作試験
柳井優花	與曾井優	LEPS における 2.9GeV 光子ビームを用いたハイペロン励起状態研究のためのミラーメソッドによる π バックグラウンド評価
山根峻人	久野良孝	COMET 実験 Phase-I CDC 読み出しボードの性能評価試験と検出器の宇宙線試験
山本奨太	大野木哲也	カイラルゲージ理論の 6 次元格子による定式化
山本高寛	田島節子	鉄系超伝導体 $R\text{FeP}_{1-x}\text{As}_x$ (O, F) の電子相図の希土類元素 (R) 依存性
横井雅彦	小林研介	表面弾性波を用いた超伝導 NbSe ₂ 薄膜の伝導特性の変調
横田裕章	田島節子	ペロブスカイト型ブロック層を持つ鉄系超伝導体 Sr ₄ V ₂ O ₆ Fe ₂ As ₂ における酸素欠損効果
横山裕子	木村真一	ワイル半金属の光学・磁気光学スペクトルと電子状態
吉岡希裕	黒木和彦	層状窒化塩化物超伝導 ZrNCl の多軌道有効模型におけるペアリング対称性の解析
四ツ永直輝	岸本忠史	神岡地下実験施設における環境中性子起因高エネルギー γ 線の測定
渡辺 海	保坂 淳	波動関数等価ポテンシャルとカレント行列要素の計算
杜 航	福田光順	中性子過剰同位体 ²⁹ Ne の SAMURAI スペクトロメータによる相互作用断面積測定

International Physics Course (IPC) の修了者

学生氏名	指導教員	論文題名
WONG Ting Sam	久野良孝	Development of Prototype detector for Cylindrical Drift Chamber in COMET Phase-I
LAW King Fai	藤岡慎介	A quantitative direct measurement method of kilo-tesla magnetic field in laser platform: Proton Deflectometry by Target Normal Sheath Accelerated Proton Beam
HOANG Thi Ha	青井 考	The Proton and Neutron Quadrupole Collectivity in ^{32}Si
BUI Tuan Khai	能町正治	PARALLEL DATA READOUT FOR BACKGROUND REJECTION IN CANDLES EXPERIMENT

3.2 博士論文

平成28年度に博士の学位を取得された方々の氏名，論文題目は以下の通りであった。

学生氏名	主査	論文題名
園田昭彦	橋本幸士	Electromagnetic instability in AdS/CFT (AdS/CFTにおける電磁場中の不安定性)
杉山泰之	山中 卓	Pulse shape discrimination method to suppress neutron-induced background in the J-PARC KOTO experiment (KOTO実験における中性子由来背景事象を低減するための波形弁別法)
田中純貴	青井 考	Halo-induced dipole excitation of ^{11}Li studied via proton inelastic scattering (陽子非弾性散乱によるハローに起因した ^{11}Li のダイポール励起)
池田惇郎	浅川正之	Dynamical property of charmonia and charm quark diffusion coefficient at finite temperature in quenched lattice (有限温度媒質中におけるチャームクォークの束縛状態および輸送係数の格子数値解析)
Taekwang Kim	浅川正之	Non-perturbative analysis on thermal radiations of photons and dileptons from quark-gluon plasma (クォーク・グルーオンプラズマからの光子及びレプトン対熱輻射の非摂動的解析)
小島完興	藤岡慎介	Generation mechanism of relativistic electron beams by high-intensity-laser-plasma interactions (高強度レーザープラズマ相互作用による相対論的電子ビームの生成機構の解明)
坂井田美樹	浅川正之	Dynamics of fluctuations in relativistic heavy ion collisions for search of QCD phase structure (重イオン衝突実験におけるQCD相構造の探索に向けたゆらぎの動的性質の研究)
鳥越秀平	花咲徳亮	Nanoscale Structural Analyses in Transition Metal Oxides with a Pyrochlore Lattice (パイロクロア格子を有する遷移金属酸化物におけるナノスケール構造解析)
西田充宏	大野木哲也	Aspects of the gauge/gravity correspondence: holographic superconductor and geodesic Witten diagram (ゲージ/重力対応の諸相:ホログラフィック超伝導体と測地ウィッテン図)
森 裕紀	橋本幸士	M-theory Perspectives on Codimension-2 Defects (M理論に基づく余次元2欠陥演算子の解析)

吉澤大智	萩原政幸	Peculiar Magnetic Properties of Chiral Helimagnets and a Frustrated Magnet Revealed by Electron Spin Resonance (電子スピン共鳴によって明らかになったカイラルらせん磁性体とフラストレート磁性体の特異な磁性)
Alinea, Allan Lambit	細谷 裕	Inflationary Universe: Power Spectra in Single-Field Inflation and Adiabatic Regularization (インフレーション宇宙論：単一スカラー場インフレーションにおけるパワー・スペクトルと断熱正則化)
村山理恵	山中 卓	New cylindrical gamma-veto detector for the J-PARC KOTO experiment (J-PARC KOTO 実験のための新たな円筒型光子検出器)

International Physics Course (IPC) の修了者

学生氏名	指導教員	論文題名
Ong Jian Fuh	保坂 淳	Radiation Reaction in the Interaction of Ultraintense Laser with Matter and Gamma Ray Source (超高強度レーザーと物質の相互作用における輻射減衰とガンマ線源)
Wei Min Chan	岸本忠史	Study of ^{180m}Ta Decay and Development of Ultra-low Background Gamma-ray Spectrometry (^{180m}Ta の崩壊の研究と超低バックグラウンドガンマ線スペクトロメトリーの開発)
Tran Dinh Trong	青井 考	Study of nucleon density distributions of nuclei and energy dependence of the charge changing cross sections via Glauber model (グラウバー模型による荷電変化断面積エネルギー依存性と核内核子分布の研究)

第4章 教育活動

平成28年度も、大学院教育、学部教育、共通教育のそれぞれにおいて、物理学専攻の教員は以下に掲げる授業科目を担当し、大阪大学の教育活動の一翼を担った。

4.1 大学院授業担当一覧

Aコース（理論系：基礎物理学・量子物理学コース）

(前期課程)

[基礎科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
場の理論序説	2	細谷 裕	学部との共通科目
原子核理論序説	2	保坂 淳	
散乱理論（開講せず）	2	未定	
一般相対性理論	2	藤田 裕	学部との共通科目

[専門科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子物理学 II（開講せず）	2	大野木哲也	
場の理論 I	2	細谷 裕	
場の理論 II	2	山口 哲	
原子核理論	2	佐藤 透	
物性理論 I（開講せず）	2	浅野建一	ナノ教育プログラム
物性理論 II	2	Keith M. Slevin	ナノ教育プログラム, 英語科目
固体電子論 I（開講せず）	2	黒木和彦	ナノ教育プログラム
固体電子論 II	2	小口多美夫	ナノ教育プログラム
量子多体系の物理	2	越野幹人	ナノ教育プログラム, 英語科目

[トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子物理学特論 I	2	窪田高弘	
素粒子物理学特論 II	2	尾田欣也	
原子核理論特論 I (開講せず)	2	佐藤 透	
原子核理論特論 II (開講せず)	2	未定	
物性理論特論 I	2	阿久津泰弘	
物性理論特論 II (開講せず)	2	菊池 誠	

[セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子論半期セミナー I	4.5	大野木哲也・田中 実・深谷英則	※
素粒子論半期セミナー II	4.5	窪田高弘	※
場の理論半期セミナー I	4.5	橋本幸士・山口哲・飯塚則裕	※
場の理論半期セミナー II	4.5	細谷 裕・尾田欣也 Wade Naylor	※
原子核理論半期セミナー I	4.5	浅川正之・佐藤 透・北澤正清	※
原子核理論半期セミナー II	4.5	保坂 淳・緒方一介・石井理修	※
多体問題半期セミナー I	4.5	阿久津泰弘	※
多体問題半期セミナー II	4.5	菊池 誠・吉野 元	※
物性理論半期セミナー I	4.5	黒木和彦・Keith M. Slevin・越智正之・ 坂本好史	※
物性理論半期セミナー II	4.5	小口多美夫・白井光雲・山内邦彦・ 粂田浩義	※
数理物理学半期セミナー	4.5	小川哲生・浅野建一・大橋琢磨	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

(後期課程)

[トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
特別講義 A I 「インフレーションと宇宙背景輻射」	1	高橋史宜 (東北大・院・理)	集中 MC・DC 共通 6月29日-7月1日
特別講義 A II 「ハドロンコライダー実験の最先端」	1	中村浩二 (高エネルギー加速器研究 機構)	集中 MC・DC 共通 MC・DC 共通 6月21日-23日
特別講義 A III 「核子多体系の集団運動と密度汎函数 理論」	1	中務 孝 (筑波大・ 計算科学研究 センター)	集中 MC・DC 共通 MC・DC 共通 12月26日-28日
特別講義 A IV 「超伝導の第一原理計算」	1	有田亮太郎 (理化学研究所)	集中 MC・DC 共通 ナノ教育プログラム 11月30日-12月2日

[セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
場の理論特別セミナー	9	細谷 裕・尾田欣也	※
場の数理特別セミナー	9	橋本幸士・山口 哲・飯塚則裕	※
素粒子論特別セミナー	9	大野木哲也・田中 実・深谷英則	※
素粒子論的宇宙論特別セミナー	9	窪田高弘	※
原子核理論特別セミナー	9	浅川正之・佐藤 透・北澤正清	※
多体問題特別セミナー	9	保坂 淳・緒方一介・石井理修	※
物性理論特別セミナー I	9	黒木和彦・Keith M. Slevin・越智正之・坂本好史	※
物性理論特別セミナー II	9	小口多美夫・白井光雲・山内邦彦・靱田浩義	※
統計物理学特別セミナー	9	阿久津泰弘・菊池 誠・吉野 元	※
数理物理学特別セミナー	9	小川哲生・浅野建一・大橋琢磨	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

B コース (実験系：素粒子・核物理学コース)

(前期課程)

[基礎科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子物理学序論A	2	青木正治	学部との共通科目
素粒子物理学序論B	2	未定	学部との共通科目
原子核物理学序論	2	下田 正	学部との共通科目

[専門科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学 I	2	青木正治	
高エネルギー物理学 II (開講せず)	2	山中 卓	
原子核構造学	2	小田原厚子・民井 淳	
加速器物理学	2	福田光宏	
放射線計測学	2	青井 考・野海博之	

[トピックス]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学特論 I (開講せず)	2	久野良孝	
高エネルギー物理学特論 II	2	山中 卓	
素粒子・核分光学特論 (開講せず)	2	吉田 齐	
原子核物理学特論 I (開講せず)	2	與曾井優	
原子核物理学特論 II	2	青井 考	
ハドロン多体系物理学特論	2	與曾井優	

[セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学半期セミナー I	4.5	山中 卓・花垣和則・外川 学	※
高エネルギー物理学半期セミナー II	4.5	久野良孝・青木正治・佐藤 朗	※
クォーク核物理学半期セミナー	4.5	中野貴志・野海博之・與曾井優 堀田智明・味村周平・白鳥昴太郎・ 大西宏明	※
原子核構造半期セミナー I	4.5	下田 正・小田原厚子・清水 俊	※
原子核構造半期セミナー II	4.5	松多健策・福田光順・三原基嗣	※
原子核反応半期セミナー	4.5	青井 考・民井 淳・嶋 達志 鈴木智和・高久圭二・井手口栄治・ 下村浩一郎	※
核反応計測学半期セミナー	4.5	能町正治・菅谷頼仁	※
加速器科学半期セミナー	4.5	福田光宏・依田哲彦	※
レプトン核科学半期セミナー	4.5	岸本忠史・阪口篤志・吉田 齊	※
高エネルギー密度物理半期セミナー	4.5	疇地 宏・重森啓介・藤岡慎介	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

(後期課程)

[トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
特別講義 B I 「Heavy Flavor Physics at Belle II」	1	飯島 徹 (名古屋大学・ 現象解析研究センター)	集中 MC・DC 共通 12月14日-16日
特別講義 B II 「不安定原子核の精密分光による 基礎物理学」	1	和田道治 (高エネルギー加速器研究機構)	集中 MC・DC 共通 7月25日-27日

[セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学特別セミナー I	9	山中 卓・花垣和則・外川 学	※
高エネルギー物理学特別セミナー II	9	久野良孝・青木正治・佐藤 朗	※
原子核構造特別セミナー I	9	下田 正・小田原厚子・清水 俊	※
原子核構造特別セミナー II	9	松多健策・福田光順・三原基嗣	※
バリオン核分光学特別セミナー	9	岸本忠史・阪口篤志・吉田 斉	※
核反応計測学特別セミナー	9	能町正治・菅谷頼仁	※
クォーク核物理学特別セミナー	9	中野貴志・野海博之・與曾井優 堀田智明・味村周平・白鳥昂太郎・ 大西宏明	※
原子核反応特別セミナー	9	青井 考・民井 淳・嶋 達志 鈴木智和・高久圭二・井手口栄治・ 下村浩一郎	※
加速器科学特別セミナー	9	福田光宏・依田哲彦	※
高エネルギー密度物理特別セミナー	9	疇地 宏・重森啓介・藤岡慎介	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

Cコース（実験系：物性物理学コース）

〔前期課程〕

〔基礎科目〕

授業科目	単位数	担当教員	備考
固体物理学概論1	2	小林研介	学部との共通科目
固体物理学概論2	2	萩原政幸	学部との共通科目
固体物理学概論3	2	田島節子	学部との共通科目
放射光物理学（開講せず）	2	未定	ナノ教育プログラム
極限光物理学	2	疇地 宏・藤岡慎介	学部との共通科目

〔専門科目〕

授業科目	単位数	担当教員	備考
光物性物理学	2	田島節子・宮坂茂樹	英語科目
半導体物理学	2	大岩 顕・長谷川繁彦	
超伝導物理学（開講せず）	2	田島節子・宮坂茂樹	
量子分光光学（開講せず）	2	未定	ナノ教育プログラム
シンクロトロン分光学	2	木村真一	
荷電粒子光学概論（開講せず）	2	石原盛男	ナノ教育プログラム
孤立系イオン物理学	2	豊田岐聡	ナノ教育プログラム
量子多体制御物理学（開講せず）	2	小林研介・新見康洋	

〔トピック〕

授業科目	単位数	担当教員	備考
強磁場物理学（開講せず）	2	萩原政幸・杉山清寛・木田孝則	
ナノ構造物性物理学	2	野末泰夫・中野岳仁	ナノ教育プログラム
強相関係物理学	2	花咲徳亮・酒井英明・村川 寛	
重い電子系の物理（開講せず）	2	杉山清寛	
極限物質創成学（開講せず）	2	未定	ナノ教育プログラム

[セ ミ ナ ー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
メゾスコピック物理半期セミナー	4.5	小林研介・新見康洋・荒川智紀	※
質量分析物理半期セミナー	4.5	豊田岐聡・石原盛男・青木 順	※
超伝導半期セミナー	4.5	田島節子・宮坂茂樹・中島正道	※
ナノ構造物性半期セミナー	4.5	野末泰夫・中野岳仁・高見 剛	※
半導体半期セミナー	4.5	大岩 顕・長谷川繁彦・木山治樹	※
量子物性半期セミナー	4.5	花咲徳亮・酒井英明・村川 寛	※
光物性半期セミナー	4.5	木村真一・渡辺純二・大坪嘉之・ 渡邊 浩	※ ※
強磁場物理半期セミナー	4.5	萩原政幸・鳴海康雄・木田孝則・ 赤木 暢	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

(後期課程)

[トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
特別講義 C I 「低次元電子系の伝導物性 ～有機導体から原子層物質まで～」	1	長田俊人 (東京大・物性研究所)	集中 MC・DC 共通 7月5日-7日
特別講義 C II 「機能性物質が拓く新しい物性物理」	1	寺崎一郎 (名古屋大・院・理)	集中 MC・DC 共通 6月20日-21日

[セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
メゾスコピック物理特別セミナー	9	小林研介・新見康洋・荒川智紀	※
強磁場物理特別セミナー	9	萩原政幸・鳴海康雄・木田孝則・赤木 暢	※
ナノ構造物性特別セミナー	9	野末泰夫・中野岳仁・高見 剛	※
半導体特別セミナー	9	大岩 顕・長谷川繁彦・木山治樹	※
超伝導特別セミナー	9	田島節子・宮坂茂樹・中島正道	※
質量分析物理特別セミナー	9	豊田岐聡・石原盛男・青木 順	※
量子物性特別セミナー	9	花咲徳亮・酒井英明・村川 寛	※
光物性特別セミナー	9	木村真一・渡辺純二・大坪嘉之・渡邊 浩	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

共通授業科目（A, B, C コース共通）

（前期課程）

授業科目	単位数	担当教員	備考
加速器科学（開講せず）	2	未定	
自由電子レーザー学（開講せず）	2	未定	
レーザー物理学	2	重森啓介	
ナノ教育プログラム複雑系物理学	2	渡辺純二	
相転移論（開講せず）	2	阿久津泰弘	
ニュートリノ物理学	2	吉田 斉	
非線形物理学（開講せず）	2	吉野 元	
原子核反応論（開講せず）	2	緒方一介	
素粒子物理学 I（開講せず）	2	橋本幸士	
数物アドバンスコア 1（開講せず）	2		
数物アドバンスコア 2（開講せず）	2		

（後期課程）

[ト ピ ッ ク]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Topical Seminar I 「Dirac physics at surfaces and ultrathin materials」	1	平原 徹 (東京工業大・理)	集中 MC・DC 共通 11月16日-18日
Topical Seminar II 「Quantum information, Black Holes, and Holography」	1	吉田 紅 (Perimeter Institute for Theoretical Physics)	集中 MC・DC 共通 9月6日-9日

(前・後期課程)

授業科目	単位数	担当教員	備考
研究者倫理特論	0.5	梶原康宏	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
科学論文作成法	0.5	佐藤尚弘	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
研究実践特論	0.5	佐藤尚弘	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
実践科学英語	1	中嶋 悟・梶原康宏	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
科学英語基礎	1	E.M. ヘイル・今野一宏	学部との共通科目, 修了要件外
先端機器制御学	2	豊田岐聡・兼松泰男 中村亮介・濱田格雄 西山雄大	大学院副プログラム (基礎理学計測学) 集中
分光計測学	2	豊田岐聡・兼松泰男 濱田格雄・中村亮介 邨次 敦	大学院副プログラム (基礎理学計測学) 集中
先端的研究法：質量分析	2	豊田岐聡・青木 順・ 寺田健太郎・高尾敏文	ナノ教育プログラム, 大学院副プログラム (基礎理学計測学), 集中
先端的研究法：X線結晶解析	2	今田勝巳・栗栖源嗣 中川敦史 他	大学院副プログラム (基礎理学計測学), 集中
先端的研究法：NMR	2	上垣浩一・林 文晶 村田道雄・梅川雄一	大学院副プログラム (基礎理学計測学), 集中
ナノマテリアル・ ナノデバイスデザイン学	1	吉田 博 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
ナノプロセス・物性・ デバイス学	1	藤原康文 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
超分子ナノバイオプロセス学	1	宮坂 博 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
ナノ構造・機能計測解析学	1	竹田精治 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
ナノフォトニクス学	1	宮坂 博 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中

(後期課程)

授業科目	単位数	担当教員	備考
学位論文作成演習	0.5	佐藤尚弘	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
高度理学特別講義	0.5	佐藤尚弘	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
企業インターンシップ	1	佐藤尚弘	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
海外短期留学	2	佐藤尚弘	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
産学リエゾン PAL 教育研究訓練	5	伊藤 正 他	ナノ教育プログラム, 集中 修了要件外
高度学際萌芽研究訓練	5	伊藤 正 他	ナノ教育プログラム, 集中 修了要件外

I P C コース (国際物理特別コース)

(前期課程)

[専 門 科 目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Quantum Field Theory I	2	細谷 裕	These credits cannot be used to fulfill the requirements of graduation
Quantum Field Theory II	2	山口 哲	
Electrodynamics	2	Luca Baiotti	
Quantum Mechanics	2	Luca Baiotti	
Condensed Matter Theory	2	Keith M. Slevin	
High Energy Physics	2	山中 卓	
Nuclear Physics in the Universe	2	藤田佳孝	
Synchrotron Radiation	2	木村真一	
Spectroscopy			
Quantum Many-body Systems	2	越野幹人	
Introduction to Theoretical	2	保坂 淳	Biennially
Nuclear Physics			

[セ ミ ナ ー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Semestral Seminar I	4.5	岸本忠史	
Semestral Seminar I	4.5	久野良孝	
Semestral Seminar I	4.5	木村真一	
Semestral Seminar I	4.5	福田光宏	
Semestral Seminar II	4.5	岸本忠史	
Semestral Seminar II	4.5	保坂 淳	
Semestral Seminar II	4.5	福田光宏	
Semestral Seminar II	4.5	田島節子	
Semestral Seminar III	4.5	岸本忠史	
Semestral Seminar III	4.5	保坂 淳	
Semestral Seminar III	4.5	田島節子	
Semestral Seminar IV	4.5	久野良孝	
Semestral Seminar IV	4.5	疇地 宏	
Semestral Seminar IV	4.5	青井 考	
Semestral Seminar IV	4.5	能町正治	

(後期課程)

[トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Topical Seminar I “Dirac physics at surfaces and ultrathin materials”	1	平原 徹 (東京工業大学理学院) 11月16-18日	集中 MC・DC 共通
Topical Seminar II “Quantum information, Black Holes, and Holography”	1	吉田 紅 (Perimeter Institute for Theoretical Physics) 9月6-9日	集中 MC・DC 共通

[セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Seminar for Advanced Researches	9	久野良孝	
Seminar for Advanced Researches	9	岸本忠史	
Seminar for Advanced Researches	9	田島節子	
Seminar for Advanced Researches	9	橋本幸士	
Seminar for Advanced Researches	9	疇地 宏	
Seminar for Advanced Researches	9	中野貴志	
Seminar for Advanced Researches	9	青井 考	
Seminar for Advanced Researches	9	豊田岐聡	
Seminar for Advanced Researches	9	木村真一	
Seminar for Advanced Researches	9	能町正治	
Seminar for Advanced Researches	9	藤岡慎介	

4.2 学部授業担当一覧

授業科目名	毎週授業時間数	単位数	担当教員
【必修科目】			
安全実験法	集中 15	1	今野一宏・野末泰夫・松多健策・ 深瀬浩一・外川 学・山本 仁・ 古屋秀隆・廣野哲朗
力学1	2	2	キース スレヴィン
力学1 演義	2	2	キース スレヴィン・林田 清
力学2	2	2	阿久津泰弘
力学2 演義	2	2	阿久津泰弘・富田賢吾
数理物理1	2	2	佐藤 透
数理物理1 演義	2	2	佐藤 透・飯塚則裕
電磁気学1	2	2	吉野 元
電磁気学1 演義	2	2	吉野 元・深谷英則
熱物理学	2	2	花咲徳亮
数理物理2	2	2	橋本幸士
数理物理2 演義	2	2	橋本幸士・渡辺純二
量子力学1	2	2	黒木和彦
量子力学1 演義	2	2	黒木和彦・北澤正清
物理学実験基礎	6	2	杉山清寛・鳴海康雄・清水 俊・ 木田孝則・山中千博・住 貴宏
量子力学2	2	2	尾田欣也
量子力学2 演義	2	2	尾田欣也・坂本好史
統計力学1	2	2	湯川 論
統計力学1 演義	2	2	湯川 論・大橋琢磨
統計力学2	2	2	川村 光
物理学実験1	12	4	福田光順・中野岳仁・ 阪口篤志・高久圭二・南條 創・ 三原基嗣・橋爪 光・桂 誠・ 久富 修・谷 篤史・竹内徹也・ 宮坂茂樹・佐藤 朗・中島正道・ 村川 寛・青木 順・中嶋 大・ 外川 学・小田原厚子・松多健策・ 新見康洋・小林研介・松尾太郎・ 河井洋輔
物理学実験2	12	4	(同上)
【選択必修科目】			
物理学特別研究	12+12	8	物理学科各教員
宇宙地球科学特別研究	12+12	8	物理学科各教員

授業科目名	毎週授業時間数	単位数	担当教員
【選択科目】			
物理学セミナー	2	2	物理学科各教員
量子物理学概論	2	2	阪口篤志
電磁気学 2	2	2	山口 哲
熱物理学演義	2	2	花咲徳亮・飯塚則裕
地球科学概論	2	2	近藤 忠
数理物理 3	2	2	窪田高弘
惑星科学概論	2	2	寺田健太郎
物性物理学 1	2	2	小林研介
質量分析学	2	2	豊田岐聡
連続体力学	2	2	長峯健太郎
量子力学 3	2	2	浅川正之
物理実験学	2	2	松多健策
光物理学	2	2	野末泰夫
地球惑星進化学	2	2	中嶋 悟
生物物理学概論	2	2	久富 修
原子核物理学 1	2	2	岸本忠史
物性物理学 2	2	2	萩原政幸
物理学・宇宙地球科学輪講	2 + 2	4	物理学科各教員
宇宙地球フィールドワーク 1 ~ 4	集中 45	各 1	佐伯和人・廣野哲朗・ 寺崎英紀・中嶋 悟・ 藪田ひかる・境家達弘
相対論	2	2	藤田 裕
素粒子物理学 1	2	2	青木正治
原子核物理学 2	2	2	下田 正
物性物理学 3	2	2	田島節子
宇宙物理学	2	2	芝井 広
地球惑星物質学	2	2	佐々木晶・佐伯和人
極限光物理学	2	2	疇地 宏
数値計算法	2	2	青山和司
相対論的量子力学	2	2	細谷 裕
素粒子物理学 2	2	2	南條 創

授業科目名	毎週授業時間数	単位数	担当教員
物理オナーセミナー1～	2	各1	橋本幸士
科学技術論B	2	2	北山辰樹
理学への招待	2	1	杉田 洋・長峯健太郎・ 石川直人・稲木美紀子
科学英語基礎	2	1	Hail, Eric Mathew
数値計算法基礎	2	2	小田中紳二

4.3 共通教育授業担当一覧

専門基礎教育科目（理系）担当教員

授業科目名	担当教員	配当学部	学期	曜日時限
物理学概論 I	嶋 達志 小口多美夫 田中慎一郎	医 (医) 医 (放) 歯 医 (検) 薬	I	月 3
物理学概論 II	寺田健太郎 木村真一 植田千秋	医 (医) 医 (放・検) 歯 1~27 薬・歯 28~	II	水 2
物理学 1A	浅川正之 小田原厚子	理 理	I	月 3
物理学 1B	大野木哲也	理	I	月 3
物理学 2A	岸本忠史 新見康洋	理 理	II	金 4
物理学 2B	藤田 裕	理	II	金 4
物理学入門 I	杉山清寛	医 (医・放・検) 歯薬	I	月 3
物理学入門 II	小林研介	医 (医・放・検) 歯薬	II	水 2
物理学序論 1	高杉英一	理	I	月 3
物理学序論 2	鷹岡貞夫	理	II	金 4
現代物理学入門	藤田佳孝	理	II	火 1
電磁気学 I	青山和司 堀 一成 萩原政幸	基 (化) 基 (シ 1 ~ 1 3 0) 基 (シ 1 3 1 ~ ・ 情)	II	月 1
電磁気学 I	能町正治 谷口年史 浅野建一	工 (理 1 ~ 9 5) 工 (理 9 6 ~ 1 9 0) 工 (理 1 9 1 ~)	II	月 1
電磁気学 I	芝井 広 酒井英明 深谷英則	工 (然 1 ~ 8 5) 工 (然 8 6 ~ 1 7 0) 工 (然 1 7 1 ~)	II	火 3
電磁気学 II	山中 卓 堀 一成	基 (化) 基 (シ・情)	III	月 3

授業科目名	担当教員	配当学部	学期	曜日時限
電磁気学 II	浜口智志・吉村 智 白鳥昂太郎 味村周平	工 (理 1 ~ 9 5) 工 (理 9 6 ~ 1 9 0) 工 (理 1 9 1 ~)	III	月 3
熱学・統計力学要論	大橋琢磨 菊池 誠 田中 実	基 (シ) 基 (シ) 基 (電・化・情)	III	月 2
熱学・統計力学要論	金順一 井手口栄治 白井光雲	工 (電) 工 (環) 工 (地)	III	火 1
力学 I	大野木哲也 渡辺純二 住 貴宏	工 (然 1 ~ 8 5) 工 (然 8 6 ~ 1 7 0) 工 (然 1 7 1 ~)	I	月 4
力学 I	鷹岡貞夫 細谷 裕 小無啓司 山口 哲	工 (理 1 ~ 9 5) 工 (理 9 6 ~ 1 9 0) 工 (理 1 9 1 ~) 工 (地)	I	火 1
力学 I	野末泰夫 石原盛男 宮坂茂樹 西浦宏幸 谷口年史 吉田 斉	基 (電 1) 基 (電 2) 基 (化) 基 (シ 1 ~ 9 0) 基 (シ 9 1 ~) 基 (情)	I	金 4
力学 I	木村真一 林田 清 猿倉信彦	工 (電 1 ~ 8 0) 工 (電 8 1 ~) 工 (環)	I	金 4
力学 II	小無啓司 越智正之 能町正治 川村 光	工 (理 1 ~ 9 5) 工 (理 9 6 ~ 1 9 0) 工 (理 1 9 1 ~) 工 (地)	II	火 1
力学 II	富田賢吾 山中千博 猿倉信彦	工 (電 1 ~ 8 0) 工 (電 8 1 ~) 工 (環)	II	金 1

授業科目名	担当教員	配当学部	学期	曜日時限
力学 II	吉田 博 田中歌子 河井洋輔 西浦宏幸 越野幹人	基 (電 1) 基 (電 2) 基 (化・情) 基 (シ 1 ~ 9 0) 基 (シ 9 1 ~)	II	金 4
電気物理学 A 電気物理学 B	平 雅文 加藤裕史・伊庭野健造	工 (電 1・電 2) 工 (電 3・電 4)	I	月 4
電気物理学 A 電気物理学 B	平 雅文 尾崎典雅・中村浩隆	工 (電 3・電 4) 工 (電 1・電 2)	II	金 3
情報活用基礎	外川浩章	理	I	月 4
物理学の考え方	下田 正 浅野建一	人文外法経 人文外法経	I	水 2
現代物理学の基礎	豊田岐聡 山中 卓 窪田高弘	工 工 医歯薬基	I I	月 1 月 4
物理学実験	辰巳 晃 趙 研 (ZHAO YAN) 伊丹康二 杉山清寛 大坪嘉之 近藤俊之	工 (電・環)	I	火 3 ~ 5
物理学実験	古川正紘 菅谷頼仁 高久圭二 米澤宏一 渡村友昭 三原基嗣 小林 康 中野岳仁	工 (然) 医 (医)	I III	木 3 ~ 5
物理学実験	松井孝典 大参宏昌 荒川智紀 青木正治 吉田 齐 上向井正裕 寺澤広基	工 (理)	II	火 3 ~ 5

授業科目名	担当教員	配当学部	学期	曜日時限
物理学実験	村川 寛 北澤正清 田中 実 外川 学 半澤弘昌 莊司泰弘	基(電)、基(化・情)	II	木3～5
物理学実験	末岡裕一郎 宮部さやか 小嶋 勝 青木 順 渡邊 浩 酒井英明	工(地)	II	金3～5
物理学実験	中島正道 佐藤 朗 福田光順 清水 俊 田口敦清 坂本好史	医(放・検)・基(シ)	III	金3～5
自然科学実験1 物理	石原盛男	理	I	水3～5
	越智正之 石原盛男 荒川智紀 青木正治	理	II	水3～5
自然科学実験2 物理	阪口篤志 石原盛男	理	III	水3～5

4.4 物理学セミナー

物理学セミナーは物理学科1年生に教員の顔が見えるようにするとともに、研究の現場を覗くチャンスを早いうちから与えて、物理を勉強する意欲を高めてもらう目的で、1学期の木曜日3限に専門教育科目の選択科目として開講している。

担当した研究グループは以下の通り。

物理学専攻（基幹講座）

大野木グループ

久野グループ

下田グループ

野末グループ

田島グループ

物理学専攻（協力講座）

菊池グループ

木村グループ

宇宙地球科学専攻（基幹講座）

佐々木グループ

芝井グループ

近藤グループ

第5章 物理談話会，南部コロキウム

5.1 物理談話会

平成 28 年度に行なわれた教室談話会（先端物理学・宇宙地球科学輪講）の日程，講師，講演題目を以下に列挙する．

2016 年 10 月 7 日	谷口年史	ガイダンス
2016 年 10 月 14 日	小林研介	人工量子系の物理学
2016 年 10 月 21 日	青木正治	ミュオンで探る素粒子の世界
2016 年 10 月 28 日	芝井 広	第二の地球と生命を探す
2016 年 11 月 11 日	浅野建一	電子正孔系の物理
2016 年 11 月 18 日	坂和洋一	大型レーザーで探る宇宙：レーザー宇宙物理
2016 年 11 月 25 日	鳴海康雄	「極限強磁場の科学」
2016 年 12 月 2 日	橋本幸士	この世のすべてを記述する数式について
2016 年 12 月 9 日	青山和司	自発的対称性の破れと磁性・超伝導・超流動
2016 年 12 月 16 日	藤岡慎介	大型レーザーで創る多様で魅力的な極限実験室
2017 年 1 月 6 日	藤田 裕	宇宙の歴史
2017 年 1 月 20 日	酒井英明	新物質の物理学 – 面白く役に立つ物質の設計
2017 年 1 月 27 日	赤松幸尚	相対論的重イオン衝突実験と Quark-Gluon Plasma の物理
2017 年 2 月 3 日	廣野哲朗	物理と化学を駆使して活断層の動きを探る

5.2 南部コロキウム

大阪大学理学部では、H25年度より、物理学専攻を中心として、南部陽一郎特別栄誉教授の名を冠したコロキウムシリーズを開始した。

<http://www.phys.sci.osaka-u.ac.jp/nambu/>

本コロキウムは、南部先生の研究に代表されるような、物理を中心とする科学分野を横断的にとらえる研究を進めていく刺激となるよう企画された。著名な研究者の講演から、分野の壁を越えてディスカッションが出来る雰囲気を作ることを目指している。教員だけではなく、学部生、大学院生の参加を歓迎することで、教育効果を高めることも目標としている。南部コロキウムを通じて、学術交流を促進し、大阪大学の理論科学・物理学の発展を加速させる。

大阪大学の基礎理学プロジェクト研究センターの「理論科学連携拠点」がコロキウムを主催オーガナイズする。理論科学研究拠点は教員十数名からなり、代表は物理学専攻の橋本幸士が務めている。

平成28年度は、昨年度に引き続き、下記の南部コロキウムを開催し、各々、教員と学生が合計100名程度が参加する等、成功を収めた。場所はH701教室、時刻は16:20-17:50である。開催の30分前から軽食を提供し、学術交流を円滑にするよう心がけている。

- 第20回 南部コロキウム

開催日：2017年2月2日（木）

講師：梶田 隆章 先生 [東京大学宇宙線研究所長 教授]

講演：『ニュートリノ振動の発見』

- 第19回 南部コロキウム

開催日：2017年1月12日（木）

講師：Edwin L.Turner 先生 [Professor, Department of Astrophysical Sciences, Princeton University (プリンストン大学宇宙物理科学科 教授)]

講演：『Implausible Life: An Unappealing But Credible Scenario for Life's Origin
ありそうもない生命：魅力的ではないが信頼できる生命の起源に関するシナリオ』

- 第18回 南部コロキウム

開催日：2016年10月13日（木）

講師：齊藤 英治 先生 [東北大学 金属材料研究所 教授 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI) 教授]

講演：『スピン流とスピントロニクス of 物理』

- 第17回 南部コロキウム

開催日：2016年7月14日（木）

講師：多賀 巖太郎 先生 [東京大学大学院教育学研究科 教授]

講演：『ヒト脳の形態と機能の発達』

- 第16回 南部コロキウム

開催日：2016年5月26日（木）

講師：西森 秀稔 先生 [東京工業大学理学院 教授]

講演：『量子アニーリングの光と影』

本コロキウムは未来研究イニシアティブ予算の補助を得て開催されている。

（文責：橋本 幸士）

第6章 学生の進路状況など

平成28年度の学部卒業生，博士前期課程修了者，博士後期課程修了者のその後の進路は以下の通りであった。

6.1 学部卒業生の進路

大阪大学博士前期課程進学	(理学研究科)	59名
大阪大学博士前期課程進学	(他研究科)	2名
他大学博士前期課程進学		5名
専門学校入学		1名
留学準備中		1名
就職準備中		1名
国家公務員	(気象庁)	1名
公立高等学校教員		2名
民間企業就職		5名
合計		77名

学部卒業生の進路の内訳：

(株) アルファシステムズ	1名
(株) オービック	1名
(株) セプテーニ・ホールディングス	1名
東急リバブル(株)	1名
(株) みずほ銀行	1名

6.2 博士前期課程修了者の進路

大阪大学博士後期課程進学 (理学研究科)	16名
民間企業就職	39名
財団法人就職	1名
理科教員 (私立)	1名
その他	1名
合計	58名

博士前期課程修了者の進路の内訳：

(株) いい生活	1名
EY アドバイザリー・アンド・コンサルティング (株)	1名
(株) クリス	1名
(株) screen ホールディングス	1名
キーサイト・テクノロジー・インターナショナル合同会社	1名
社	
キヤノン (株)	1名
共栄バルブ工業 (株)	1名
(株) 神戸製鋼所	2名
サンディスク (株)	1名
(株) 島津製作所	1名
新日鉄住金ソリューションズ (株)	1名
(株) セック	1名
ソニー (株)	1名
中国電力 (株)	1名
中部電力 (株)	1名
(株) ツバキ E&M	1名
テクノスデータサイエンス・エンジニアリング (株)	1名
東洋ゴム工業 (株)	1名
ナルックス (株)	1名
日清食品 (株)	1名
日新電工 (株)	1名
(株) 日放電子	1名
(株) 日本製鋼所	1名
浜松ホトニクス (株)	1名
(株) 半導体エネルギー研究所	1名
日立アプライアンス (株)	1名
(株) 日立製作所	2名

富士通（株）	1名
プライスウォーターハウスクーパース（株）	1名
（株）ブリヂストン	1名
三菱重工業（株）	2名
三菱電機（株）	2名
武蔵エンジニアリング（株）	1名
（株）村田製作所	1名
ルネサスエレクトロニクス（株）	1名

6.3 International Physics Course (IPC) 前期課程修了者の進路

大阪大学博士後期課程国際物理特別コース進学	4名
合計	4名

6.4 博士後期課程修了者の進路

民間企業就職	4名
大学共同利用機関法人・助教（常勤）	2名
大阪大学・非常勤研究員	1名
日本学術振興会・特別研究員PD	2名
高等専門学校・教員	1名
海外研究機関・研究員等	1名
母国へ帰国	1名
その他	1名
合計	13名

博士後期課程修了者の進路の内訳：

（株）アカリク	1名
大和証券（株）	1名
日本IBM（株）	1名
（株）リガク	1名
大阪大学・大学院理学研究科・物理学専攻・特任研究員	1名
京都大学・基礎物理学研究所・日本学術振興会・特別研究員PD	1名
京都大学・化学研究所・日本学術振興会・特別研究員PD	1名
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構・特別助教	1名
大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 分子科学研究所・助教	1名
阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・助教	1名
Technische Universität Darmstadt, Germany・Postdoctorial Fellow	1名

6.5 International Physics Course (IPC) 後期課程修了者の進路

大阪大学・核物理研究センター・特任研究員	1名
大阪大学・核物理研究センター・教務補佐員	1名
Extreme Light Infrastructure for Nuclear Physics (ELI-NP)	1名
Romania・研究員	
合計	3名

6.6 学生のインターンシップ参加

平成 28 年度における、学生が参加したインターンシップは以下の通りである。

参加日数	インターンシップ受け入れ先
5 日以上	物質・材料研究機構、産業技術総合研究所 [2 名]、(株)構造計画研究所、パリ南大学、イオンフィナンシャルグループ (株)、京セラ (株)、キーサイト・テクノロジー合同会社、三菱電機、パリ大学、ワシントン大学理学研究科化学専攻
5 日未満	住友金属鉱山、住友電気工業、ウシオ電機 (株)、住友重機械工業 (株)

第7章 リーディング大学院「インタラクティブ物質科学・カデットプログラム」

7.1 プログラムの目的

本プログラムは、人類の持続的発展に貢献する物質科学研究を担う次世代人材育成を目的とし、既存の大学院と並存する副専攻プログラムとして実施する。履修生を物質科学研究・事業における幹部候補生（Material Science Cadet）と位置づけ、化学・物性物理学・材料工学など、物質科学のさまざまな領域・手法を専門とするプログラム担当者が協働し、産・官・学の広いセクターにおいて物質科学研究・事業の中心的役割を担う人材を輩出することを目指す。

育成を目指す博士人材に期待される能力は、以下のとおりである。

- (1) 物質科学の一領域における確固たる「高度な専門性」
- (2) 主専門とは異なる分野にも目を向ける「複眼的思考」や「俯瞰的視点」
- (3) 他の専門領域の人たちと議論ができる「コミュニケーション力」
- (4) 自ら課題を見出し、その解決に向かう「企画力」、「自立力」
- (5) 既存の考え方に捉われない「セレンディピティ」的な視点・思考力
- (6) 時代と共に変わりゆく社会の動向に対応できる「柔軟性」
- (7) 世界を相手に自らの考えを認めさせることができる「国際突破力」

このリーディング大学院プログラムは、大学院制度の改革を狙ったいわゆる“システム改革”のためのプログラムである。従って、7年間の事業期間は新しいシステムの試行期間と考えるべきであり、本プログラムが成功した場合には、事業終了後これを継続するだけでなく、学内の他分野にも広げていくことが期待されている。

7.2 プログラムの概要・特徴

本プログラムは、大阪大学未来戦略機構第3部門が実施するという形態をとるが、担当教員は、基礎工学研究科（物質創成専攻、システム創成専攻）、理学研究科（物理学専攻、化学専攻、高分子科学専攻）、工学研究科（マテリアル工学専攻、精密科学・応用物理学専攻、応用化学専攻、生命先端工学専攻）の各専攻に所属する教授37名と、理化学研究所・播磨研究所の研究員2名、情報通信研究機構の研究員1名から成る。

履修生は、所属する専攻の大学院課程の科目を修得するのに加えて、本プログラム独自の科目や他専攻・他研究科の科目を所定の単位数履修することが要求される。中でも特徴的な必修科目として、物理系学生が化学を学ぶ「物質化学入門」（その逆の科目もある）、他研究室に3ヶ月滞在して研究を行う「研究室ローテーション」、国内の企業や公的研究所に3ヶ

月滞在する「物質科学国内研修」、海外の研究機関等に3ヶ月滞在する「物質科学海外研修」がある。海外研修を実のあるものにするための「物質科学英語 1、2」も必修科目である。

また、1年次の最後に専門科目の筆記試験を行う 1st Qualifying Examination (QE)、2年次の最後に「博士論文研究企画」を発表する 2nd QE、4年次に英語で行う博士論文中間発表(3rd QE)などを経て、所属研究科の博士論文審査後に実施する本プログラムの Final QE に合格すると、博士号の学位に加え、本プログラムの修了証が授与される。ちなみに、5年一貫の博士コースであるため、いわゆる「修士論文」は課せられないが、「博士論文研究企画」の発表が義務づけられている。これに関連した研究成果を修士論文としてまとめ、所属専攻の修士論文発表会において発表して、修士号を得ることが、本プログラムの3年次への進級要件となっている。

大阪大学では、他に4つのリーディング大学院プログラムが実施されており、共通して、履修生に修士1年次から月20万円の奨励金を支給し、経済的な憂いなく勉学に専念できる環境を整えている。

7.3 平成 28 年度の活動

7.3.1 履修生の自主活動による「物性物理 100 問集」出版

本プログラムでは、履修生の専門分野における基礎学力を今一度再学習してもらう目的で、物理系専攻の履修生に「物性物理 100 問集」、化学系専攻の学生に「物質化学 100 問集」を配布し、自習による足らざる部分の強化とその成果を後述する 1st QE で確認を行っている。何れの教科書も履修生が幅広い知識を身につけるよう、様々な分野の教科書や演習書を参考にし、本学基礎工、理学、工学研究科に所属するプログラム担当教員によって作成されたもので、毎年度 1st QE を通過した履修生から問題の不備・改善点を指摘してもらうことで、100 問集を改善し、最終は上記の主旨のもとで出版をめざす計画であった。当初はあくまでも教員が改訂していく予定だったが、多くの重要な改善案が履修生から提案され、さらには自分たち自身で問題集を作りたいという彼らの強い意欲を目の当たりにし、履修生に改訂を任せるべきだという判断に至った。特に「物性物理 100 問集」に課題を感じた履修生が活発に活動し、具体的な構成案を担当教員に提案するに至った。その結果、履修生自身による「物性物理 100 問集出版プロジェクト」が発足し、物理学専攻の履修生 2 名を含む 6 名の有志が中心となって 100 問集を毎年度改訂していく形となり、問題の難易度や不備に関するアンケート調査、また問題と解答例の分析および加筆修正がなされた。履修生主体の出版プロジェクトによって編集されたこの平成 28 年度版の中身を、教員があらためて見たところ、基礎物理から応用に渡ってバランスよく問題が選ばれ、履修生自身の手による問題が追加されているだけでなく、解答例が丁寧で非常に充実しており、問題文にも理解を助けるための工夫が加えられていることが分かり、新しい形の教科書として今後の大学院教育に提供されるべきという判断に至った。

このように履修生が自主的に課題を発見し、解決手段を考え、自らが活動して具体的な形で成果を世に問う姿は、グローバルに活躍するリーダー育成を目指し、大学院教育の抜本的改革を支援し、最高学府に相応しい大学院の形成を推進することを目的としたリーディング

大学院が定着しつつある成果と言える。さらに、その成果が大阪大学にとどまらず日本の大学院に学ぶ多くの大学院生の成長を具現化する波及効果の大きな形となっている事、これまでに無い教科書の形態を創出したことは非常に重要である。本書「物性物理 100 問集」は、木村剛（基礎工）・小林研介（物理学専攻）・田島節子（物理学専攻）による監修のもと、平成 28 年 11 月に大阪大学出版会から発行された。関係部署に配布を行ったところ、大学教員ばかりでなく、デバイス系の企業からも社員研修の教科書に採用したいとの申し出も有り、順調に販売を伸ばし平成 29 年 2 月には早々に重版が決定した。また、「物質化学 100 問集」についても検討が進み、平成 29 年度中の出版を目指して取組が加速している。

7.3.2 国際シンポジウムの企画推進

履修生の自主的な発案により、カデットプログラム主催の国際シンポジウムを平成 29 年 6 月 8 日、9 日に大阪大学豊中キャンパスにて開催することとなった。理学研究科物理学専攻の履修生 3 名、化学専攻の履修生 1 名を含む 13 名が実行委員会を立ち上げ、活動を開始。世界が直面する課題「エネルギー」「健康」「資源」「環境」を議論する 4 分科会で構成、それぞれの分科会で若手の研究者を海外大学、国内大学研究機関、国内企業からそれぞれ招待し、最先端の研究開発状況を知るとともに、異分野の交流を目指している。今回の企画には若手の助教、講師がアドバイザー的な立場でサポートをしているが、全ての活動を履修生が自発的に役割分担を決めて推進している。国際シンポジウムの企画は、テーマの選定、招待講演者の決定と依頼など教授レベルのマネジメント力と人脈が必要とされるが、履修生が構成する実行委員会では、真摯な議論を通して推進課題を明確にし、教員を上手く活用しながらシンポジウムを具体化しており、次世代のリーダーとしての実力を早くも発揮し始めている。

7.3.3 履修生が進める阪大 5 リーディング「知の横断」

物理学専攻の一期生が、阪大で取り組む 5 つのリーディング大学院取組の相互理解と連携を深めることと、大学院の研究活動を広く高校生にも啓蒙することで彼らの理解を深め、大学院を目指す学生をエンカレッジすることを目的に、シンポジウム「阪大院生五者 知の横断」を 7 月 10 日に開催した。開催に当たっては、阪大の全リーディングプログラムと高大接続オフィスの後援をいただいた。各リーディングからは高校生や異分野の人にも分かりやすく配慮された研究発表を、また本学社会経済研究所の大竹教授からは「暮らしに役立つ経済学」というタイトルで、お金にまつわるお話を分かりやすく解説いただいた。また、ロボットの研究で著名な本学基礎工学研究科の石黒研究室の見学も実施された。参加者は 86 名で、うち高校生が 23 名参加した。高校生からは「自分の視野がぐんと広がった」「とても面白い発表で参考になった」といった評価に加えて、「もっと質疑の時間を多くとって欲しい」といった意見もいただき、本会が成功裏に終了したことが裏付けられた。阪大のリーディング大学院が協力して開催する初めての試みで有ったが、院生の交流、高校生へのアウトリーチ活動の二つの目的は概ね達成された。第 2 回の開催を、同じく物理学専攻の後輩がリーダーとなって進めており、次回どのように発展しているかが楽しみである。

7.3.4 国内研修、海外研修の実施

本年度は第二期生を中心に 21 名が「物質科学国内研修」(必修)に取り組んだ。16 の民間企業と 3 つの国立研究法人にて 3 ヶ月間の研修を行った。研究室の外に出てこれまでに無い環境で学ぶことで社会への役立ちを考える機会となるなど、履修生は大学では学べない多くのことを持ち帰ることができた。物理学専攻の履修は 2 名が受講し、それぞれ産業技術総合研究所、物質・材料研究機構で 3 ヶ月間の研修を行い、自身の研究分野がどのような広がりがあるかを実感するとともに、チームでの仕事の取組みを体験し新たな人間関係を構築するなど、実りの多い経験をすることができた。

第一期生中心に 15 名が「物質科学海外研修」(必修)に取り組んだ。物理学専攻からは 3 名の履修生が、パリ大学(フランス)、パリ南大学(フランス)、ワシントン大学(アメリカ)で、化学専攻の 1 名がヘルムホルツセンター高磁場研究室(ドイツ)でそれぞれ自身の研究分野をさらに深堀する研究活動を行った。この研修は、自らが持ち込んだテーマについて現地研修先の教員や学生と議論しながら推進するもので、海外において独力で研究を推進できる「国際突破力」の養成をはかることをねらいとしている。みな想定外の状況や困難を自ら解決して、成果を持ち帰って来た。また今後の共同研究につなげるなど、今後世界を舞台に活躍する基本的な姿勢をしっかりと身に付けて来た事を報告会や報告書で確認出来た。

7.3.5 Qualifying Examination (QE)

専門分野の基礎学力を評価するために 1 年次に受験する筆記試験(1st QE)、2 年次に受験する博士後期課程の研究企画を試問する博士論文企画審査(2nd QE)、4 年次に取り組む博士論文の中間報告を英語により報告させる 3rd QE が昨年同様に実施された。履修生の質保証のための取組みであるが、プログラムとしては気付きを与える機会としても重要な位置づけとして考えており、不合格の履修生については、評価委員のコメント含めて何が不十分であったかを伝え、どの様に改善したらよいかの方向性を示して再試験に臨ませた。その結果、残念ながら 1st QE、3rd QE それぞれ 1 名の不合格者が出た。本年度は特別選抜一期生(H25 年度に M2 で入学) 5 名(うち 1 名が理学研究科所属)が最終学年になり、プログラム履修の成果を問う Final Examination (FE) に臨んだ。FE では事前に提出する小論文と、それに基づく口頭発表と試問がなされた。小論文として以下の課題を与え、1 週間後に回収し評価委員に事前配布した。

課題：「20~30 年後の未来に、我が国をはじめ世界の抱える社会的問題や経済・産業構造の変化を予測し、将来の持続的発展を実現するため、自分がリーダーシップを発揮して科学技術に基づきこれらの課題にどのように対応していくのか(課題発見と課題解決の方法)について、自分の進路と関連付けながら 2000 字程度で述べよ。その際、なぜその進路を選択したか、課題発見・課題解決のためや経済・産業構造の転換に対応するため、将来具体的に何を行いたいか(例えば産業界を選んだなら、どのような産業をどのようにして興すか、またそれが社会・産業構造の変革にどのように繋がり科学技術の進歩や人類社会の持続的な発展に貢献するのかなど)も織り交ぜて作文すること。」

発表と口頭試問には9名のプログラム担当教員が評価委員として参加、また5名の外部評価委員にも質疑に参加いただき、将来課題の捕え方、どの様にリーダーシップを発揮して社会貢献をしていくかについて具体的な質疑応答が行われた。プログラム履修生としての質を保証する場であり、厳しい質問の連続に回答が滞る場面も何度もあり、緊張した雰囲気の中で進められた。審査の結果、4名が合格、1名は不合格となった。評価委員で議論した結果、不合格者について再試験で改めて試問に回答する機会を与えられた。再試験ではプログラムコーディネーター、教務教育システム実践WG主査、コーディネーター補佐の特任教授が、あらためてリーダーとしての理解と覚悟について2時間に及ぶ質疑応答で確認し合格とした。

3月には平成29年度の入学者選抜を実施し、11名を合格させた。物理学専攻からは4名の学生が応募し3名が合格した。また、化学専攻からは3名、高分子科学専攻からは1名が合格した。

7.3.6 特別選抜一期生の課程修了

平成25年度に入学した特別選抜一期生5名（うち1名が理学研究科所属）が、それぞれの専攻における博士論文審査を経て、カデットプログラムのFinal Examinationに合格し課程を修了することとなった。3月15日に学位授与式に先立ちプログラム修了認定証が授与された。プログラムは教員にとって初めての取組みで、彼らからのフィードバックはプログラム活動を推進するうえで貴重な助言となった。履修生もプログラムの趣旨をよく理解しており、積極的にプログラムに参加するばかりでなく様々な自主活動を起案、推進することで続く後輩にあるべき姿を身を持って示してくれたことに感謝している。5名はいずれも企業に活躍の場を選び、4月からは実社会でこれまで学んだことを実践することとなる。彼らの活躍を期待している。

（文責：小林 研介）

第8章 理数オーナープログラム

8.1 平成28年度活動概観

理数オーナープログラムは、学問の違いを考慮して学科毎に提供しているが、参加する学生は学科の壁を越えて履修することができる。理数オーナープログラムに参加する学生は、各学科がオーナーカリキュラムとして指定する科目を履修するとともに、オーナーセミナーを少なくとも2科目2単位履修しなければならない。従って、本プログラムに参加する学生数は、オーナーセミナーを受講する学生数で計ることができる。オーナーセミナーに参加した学生数の年度毎の変化を図8.1に示している。H21-22はほぼ100~120名程度で定常的になってきたように見えたが、H24年度は90名、H25年度は66名、H26年度は56名、H27年度は49名、H28年度は44名に減少した。理数オーナープログラムが対象とする2,3年生の学生総数は約500名なので、対象となる延べ学生総数は前後期合わせて1,000名程度で、H28年度の参加者数は、ほぼその4%にあたる。

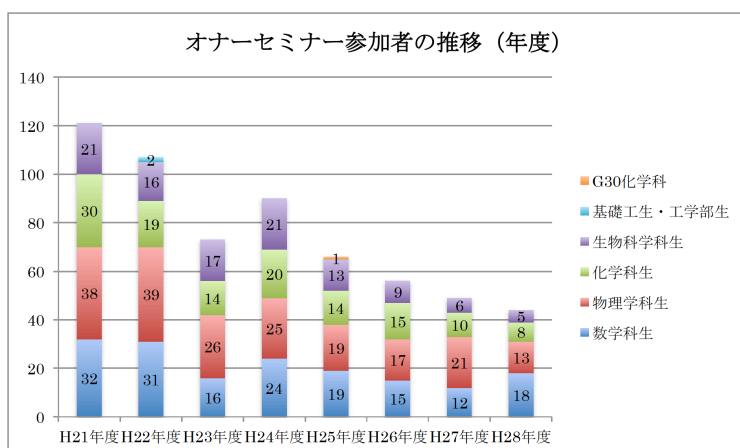


図 8.1: オナー参加者数の推移

理数オーナープログラムのコアであるオーナーセミナーは、主に学部2,3年生を対象としている。H24-27では、2年生が最も多く、3年生の参加者が少なくなっている。

オーナープログラム修了者の推移を図8.2に示す。H25は、修了者の数がH24に比べて半減したが、H26は19名に回復した。しかし、H27は9名、H28は5名へと減少した。H27物理学科修了者は3名。

また、将来、社会に出てからリーダーとなる素質を持つ学生を学部段階から育成する理数オーナープログラムでは、リーダーに欠かせない高度な専門性に裏付けられた広い視野と社会性を涵養することを目的として、理数オーナープログラム修了者の中から、優れた学業成績を修め、かつ、在学中に特筆すべき社会活動、体験活動、教育活動等（オーナー体験）に積極的に取り組んだ学生を「優秀修了」として認定する。H25年度理数オーナープログラム修了者から適用し、H28年度には1名の優秀修了者がでた。

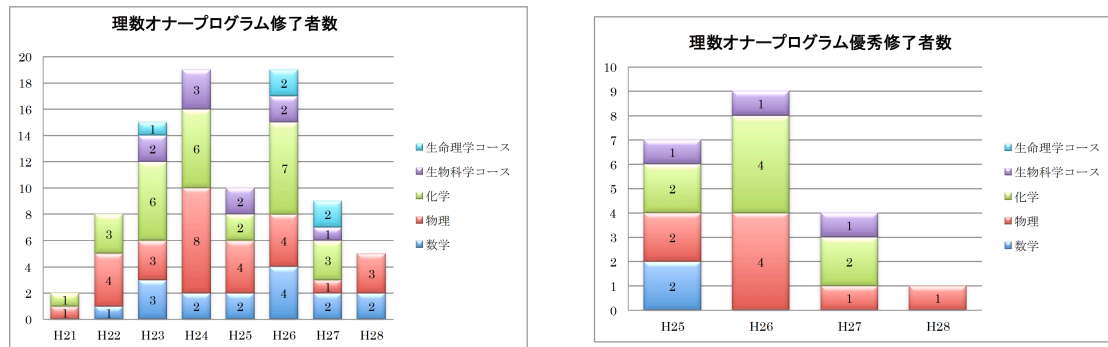


図 8.2: オナープログラム修了者数と優秀修了者数

8.2 オナーセミナー

学部の低学年から意欲ある学生をさらに引き上げる方法として、少人数制の理数オーナーセミナーを開講している。高度な内容の授業を行うとともに、主体的な学習態度を身につけさせ、セミナー終了後は教員および学生の評価をもとにセミナーをさらに改良することを目標とする。少人数制のため、個々の能力を教員が的確に把握できるので、彼らの実力を加味しつつ、学生の好奇心を引き出し、通常授業の枠にとらわれない内容を展開する。H23年度は28のオーナーセミナーを開講したが、H28年度は前後期合わせて24（前期12、後期12）のオーナーセミナーを開講し、のべ51名（前期24名、後期27名）が履修した。物理学科では、前期は4セミナーを開講、後期は4セミナーを開講した。

《前期》物理オーナーセミナー 開講4セミナー 受講者数9名

A ソリトンの数理（山口 哲）物理学科2年1名、3年1名

B 反粒子の世界とエキゾチック原子の生成（板橋 隆久、久野 良孝）物理学科2年2名、3年2名、化学科2年1名

C 量子光学の世界（渡辺 純二）化学科2年1名

D 自然界の物質が宇宙条件で得る磁気活性（植田 千秋、桂 誠）物理学科2年1名

《後期》物理オーナー 開講4セミナー 受講者数8名

E 加速器を使って分析しよう—身の回りの謎への挑戦—（福田 光順、藤田 佳孝）物理学科1年2名、生物科学科1年1名

F 物性物理における多体量子論（黒木 和彦、越智 正之）物理学科3年3名

G サイクロトロンと理論で見るサブアトミックの世界（緒方、高久、蓑茂、井手口、鈴木、青井、嶋）物理学科3年1名

H 自然界の物質が宇宙条件で得る磁気活性（植田 千秋、桂 誠）物理学科2年1名

8.3 自主研究と発表会

自分で研究課題を見いだした学生には、オナーセミナーの中で何度か発表をさせて実行可能な課題となるように指導した。なかなか自分で課題を見いだせない学生に対しては、担当教員が用意した大きなテーマの中から学生に選ばせ、討論を通して具体的な研究課題を見いだすように指導した。最終的に参加学生が選択した研究課題は資料にまとめた。自主研究の課題探しは、オナーセミナー開始後2ヶ月目から始める。

オナーセミナーの授業と並行して、自ら課題を見つけ自主研究に取り組んだ成果を発表するために研究成果発表会を前期、後期それぞれ1回ずつ合計2回開催した。発表時間は一人10分、質疑応答は5分とした。全学科ともオナーセミナーの通常授業の平常点と発表会の出来を合算し、成績評価を行った。

発表のパフォーマンス力が高かった学生を聴衆の投票結果により表彰し、学生のやる気をも高めるようにした。また、研究データの考察方法や、文章による説明能力を養うため、この研究結果を自主研究報告書にまとめさせて提出させた。

H28 前期 オナー自主研究発表会

平成28年9月28日(水) 11:00-15:00 at H701

物理オナーセミナーからの発表 4セミナー 参加学生5名5演題

〈山口 G〉ソリトンの数理

- 1 ボゾン・フェルミオン対応 物理学科 3年
- 2 Young 盤と対称多項式 物理学科 2年

〈板橋、久野 G〉反粒子の世界とエキゾチック原子の生成

- 3 Anti-Hydrogen and Fundamental Physics 物理学科 2年

〈渡辺 G〉量子光学の世界

- 4 分子による光の吸収や放出に現れる量子性 化学科 2年

〈植田、桂 G〉自然界の物質が宇宙条件で得る磁気活性

- 5 磁気並進運動による氷の磁化率測定 物理学科 2年

H28 後期 オナー自主研究発表会

平成28年3月30日(木) 10:30-15:30 at H701

物理オナーセミナーからの発表 4セミナー 参加学生8名6演題

〈福田、藤田 G〉加速器を使って分析しよう—身の回りの謎への挑戦—

- 1 現在の土壌における原爆地表実験由来の残留放射性物質の分析 物理学科1年
- 2 屋内のラドン濃度の測定 物理学科1年
- 3 水中におけるラドン蓄積 生物科学科1年

〈黒木、越智 G〉

- 4 多体摂動論によるハバード模型の電気伝導率 物理学科3年3名 共同研究

〈緒方、高久、蓑茂、井手口、鈴木、青井、嶋 G〉サイクロトロンと理論で見るサブアトミックの世界

5 重力崩壊型超新星爆発における ^{44}Ti 生成反応 物理学科 3年

〈植田、桂 G〉自然界の物質が宇宙条件で得る磁気活性

6 磁気並進運動を用いた反磁性磁化率の測定 物理学科 2年

8.4 大学院科目等履修生、リーディング大学院生との関係

理学部では、早めに自立して研究ができる学力を習得させるため、一定以上の成績をとった学生を対象に、3、4年次の段階で大学院生に混ざって授業が受けられる制度を用意している。全学科学部生を対象としており、選抜方法等、各学科長に一任されている。元々は理数オーナープログラム受講生に対し、学年を超えた勉強の機会を提供しようとして導入された制度であるので、各学科ごとの基準とはいえ、おのずと理数オーナープログラム参加者の認定が多い。H28年度に大学院科目等履修生の資格を与えられた者の数を表 8.1 にまとめる。16人中、6人がオーナー参加者である。

表 8.1: 大学院科目等履修生（候補者）の数

学科	学年	候補者数, オナー参加者数				
		H24	H25	H26	H27	H28
物理学科	4年生	7, 6	6, 3	20, 6	7, 3	5, 3
化学科	4年生	6, 6	2, 2	8, 8	3, 3	2, 2
生物科学科	4年生	5, 2	3, 2	7, 3	17, 8	9, 1
合計		18, 14	11, 7	35, 17	27, 14	16, 6

大阪大学では、既存の研究分野の枠にとらわれず、より広く深い知識を身につけ、それを社会で実践し、グローバルに活躍できる人材を育てる「博士課程教育リーディングプログラム」を文科省の支援を受け、平成 23 年度から全学で取り入れている。国の将来を担う人材の候補生として、大学も力を入れてバックアップしているプログラムである。理学研究科、生命機能研究科の博士課程に進学した理学部卒業生のうち、本大学院プログラムに選抜された奨学生とその中でのオーナー生の人数を表 8.2 に記す。

8.5 オナープログラム参加者の活動記録

オーナープログラムも今年度で 10 年目を迎えた。オーナーセミナーを受講している学部生は、何事にも好奇心旺盛である点などで仲良くなるスピードも早く、研究発表や交流会を通して、学科、学年を超えた集団ができていく。こういう元気な学生が在籍する理数オーナープロ

表 8.2: 博士課程教育リーディングプログラムへのオナー参加者数

プログラム名	理学部卒採択者数, オナー参加者数						
	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
超域イノベーション	2, 1	2, 0	2, 0	1, 0	3, 1	0, 0	2, 1
生体統御ネットワーク 医学教育	4, 3	2, 2	2, 2	0, 0	2, 1	2, 0	2, 1
インタラクティブ 物質科学カデット	–	11, 8	9, 7	8, 1	7, 4	8, 3	7, 1

プログラムの卒業生が今後どの方面で活躍していくか楽しみであり、先端的な取り組みを始めた大阪大学理学部の誇りであると言ってよい。

オナーセミナー、発表会以外にも学生が中心となり、企画運営した H28 年度の活動内容を下記に記す。

- 1) オープンキャンパス H28.8/10 理学部 H 棟 1F コミュニケーションスペース
オナー参加者 11 名 来場者 約 120 名
- 2) H28 前期自主研究発表会 H28.9/30 理学部 H 棟 H701
- 3) H28 前期オナー交流会 H28.9/30 理学部 H 棟 2 階 コミュニケーションスペース
学生参加者 18 名 教職員 5 名
- 4) 第 6 回サイエンス・インカレ (文部科学省主催) H28.3/4, 5
筑波大学 筑波キャンパス春日エリア
出場者 4 名 口頭発表者 2 演題 3 名 (物理 B1 2 名、B2 1 名)
ポスター発表者 1 演題 1 名 (物理 B2 1 名)
入賞者
サイエンス・インカレ・アンバサダー賞 物理 B2 (ポスター)
「未来の惑星探査を見据えて～磁気並進運動による反磁性磁化率の測定～」
出場者
物理 B2 (口頭)
「ダストの磁場整列の謎に迫る！ 低濃度鉄含有ガラスロッドの磁化率測定」
物理 B1 2 名共同発表 (口頭)
「未来は予測できるのか ～二重振り子によるカオス研究～」
- 5) オナープログラム修了式 H29.3/22 理学部 D 棟 D501
理数オナープログラム修了者 5 名 優秀修了者 1 名
- 6) H28 後期自主研究発表会 H29.3/30 理学部 H 棟 H701
- 7) H28 後期オナー交流会 H29.3/30 理学部 H 棟 7 階 コミュニケーションスペース
学生参加者 24 名 教職員 9 名

(文責：橋本 幸士)

第9章 国際化推進事業

9.1 International Physics Course (IPC)

国際化推進事業は、「国際化拠点整備事業（グローバル30）」をもとに、大学の機能に応じた質の高い教育の提供と、海外の学生が我が国に留学しやすい環境を提供する取組のうち、英語による授業等の実施体制の構築や、留学生受け入れに関する体制の整備、戦略的な国際連携の推進等、我が国を代表する国際化拠点の形成の取組を支援することにより、留学生と切磋琢磨する環境の中で国際的に活躍できる高度な人材を養成することを目的としています。

文部科学省 HP

http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/07/1280880.htm

平成20年に策定された「留学生30万人計画」の具体的な実現への方策の一部として、英語のみで受講・卒業できるコースの創設、国際公募による外国人教員の採用、受け入れ体制の整備等、特に大学のグローバル化に重点が置かれているところが特徴です。

大阪大学は、学位取得が可能な英語コースとして、「化学・生物学複合メジャーコース」（理学部・工学部・基礎工学部共同）、「人間科学コース」（人間科学部）の学部コース及び「統合理学特別コース」、「国際物理特別コース」（理学研究科）の大学院コースを平成22年度に新設しました。これらのコースは、既存の英語コース（フロンティアバイオテクノロジー英語特別プログラム、船舶海洋工学英語特別コース、“Engineering Science 21st Century”プログラム、量子エンジニアリングデザイン研究特別プログラム）に加えて、本学の教育プログラムの幅を一段と広げるものとして期待されるものです。留学生数については、G30の定める目標年である平成32年までに、約2倍の3,000名とすることを目標値として掲げています。構想では、現在約200名弱の受け入れがある1年未満の短期留学生数を今後拡大し、平成32年にはおよそ1,000名規模まで拡大することを目指します。

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻では、平成22年10月に国際物理特別コース（IPC）を新しく開設しました。このコースは授業・研究指導とも英語で行われ、国際共同研究や実験など、国際舞台で活躍できる人材を育成します。大阪大学は高強度レーザーと高エネルギー加速器の両方の大型装置を所有している唯一の大学です。凝縮系物理学や他の分野に興味がある学生の方や、海外からの留学生も歓迎しています。奨学金制度もあります。定員は、MSコースが1学年5名、PhDコースが1学年5名です。

平成22年度は、平成22年10月1日に、第一期生を迎え入れました。入学者は、MSコースが5名、PhDコースが3名で、国籍は、中国3名、ベトナム3名、エストニア1名、バンラディシュ1名です。さらに、平成23年10月1日に、第二期生を迎え入れました。入学者は、MSコースが5名、PhDコースが1名で、国籍は、中国3名、ベトナム1名、インドネシア1名、マレーシア1名です。平成24年度10月1日に、第三期生を迎え入れ、入学者は、MSコースが2名、PhDコースが3名（学内進学）で、国籍は、中国4名、ベトナム1名です。平成25年10月1日に、第四期生を迎え入れ、入学者は、MSコースが5名、PhDコースが5名（学内進学2名）で、国籍は、フランス1名、ドイツ1名、シンガポール1名、中国1名、モンゴル1名、ベトナム3名、マレーシア2名です。平成26年10月1日に、第五期生を迎え入れ、入学者は、MSコースが4名、PhDコースが1名（学内進学）で、国籍は、中国3名、ベトナム2名です。

平成27年度から、PhDコースの4月入学制度を取り入れることになりました。平成27年4月1日に第六期生を迎え入れ、入学者は、PhDコースに1名で、国籍は、マレーシアです。10月1日入学者は、MSコースが3名、PhDコースが6名（学内進学1名）で、国籍は、中国1名、インドネシア1名、マレーシア1名、カザフスタン1名、インド1名、イラン1名、イタリア1名、ベトナム2名です。

平成28年度から、MSコースの4月入学制度も取り入れることになりました。平成28年4月1日に第七期生を迎え入れ、入学者は、MSコースが1名、PhDコースが1名（学内進学）で、国籍は、マレーシア、モンゴルです。10月1日入学者は、MSコースが3名、PhDコースが7名（学内進学4名）で、国籍は、ベトナム3名、中国4名、マレーシア2名、インド1名です。

平成28年12月から平成29年1月にかけて、平成29年度入学のための入学試験を行い、4月入学のMSコースが2名、PhDコースが1名、10月入学のMSコースが2名、PhDコースが1名の合格者を発表しています。彼らの国籍は、ベトナム、インドネシア、中国、韓国です。

（文責：岸本 忠史）

第10章 大学院等高度副プログラム

10.1 プログラムの目的

「大学院等高度副プログラム」は、大学院レベルの学生が幅広い領域の素養や複眼的視野を得るとともに、新しい分野について高度な専門性を獲得する学際融合的な教育プログラムである。同プログラムは、各実施部局及び学際融合教育研究センターが協力して推進している。

同プログラムは、幅広い分野の知識と柔軟な思考能力を持つ人材など、社会において求められる人材の多様な要請に対応する取組として、教育目標に沿って、一定のまとまりを有する授業科目により構成され、体系的に履修することができるプログラムである。このプログラムは、平成20年度より開設され、平成23年度からは、一部のプログラムについて、6年生課程の学部（医学部・歯学部・薬学部）5、6年次生も対象とされている。プログラム毎に定める修了の要件を満たすことで、プログラムの修了認定証が交付される。

理学研究科では、物理学専攻が中心になり、平成24年度から「基礎理学計測学」と「放射線科学」の2つのプログラムを新規提案し、実施している。

「高度副プログラム」の詳細は、以下のURLを参照。

- ・ <http://www.prc.sci.osaka-u.ac.jp/fukuprog/>
- ・ <http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/fukusenkou/index.html>

10.2 基礎理学計測学

10.2.1 プログラム概要

様々な計測機器や分析機器は、物理、化学、生物科学、ライフサイエンス、環境科学など幅広い分野の研究において、必要不可欠なものとして用いられている。しかしながら、近年、装置がブラックボックス化し、その原理をよく理解せずに機器を利用し、得られた結果についての考察や評価を十分に行えないケースが増えてきている。また、他の誰も見たことがないようなモノを見ようとする時には既存の計測機器では不可能な場合がほとんどで、新たに機器を開発することが必要となる場合もある。このような場合にも、測定原理などをしっかりと理解していることが必須である。

本プログラムでは、「質量分析」、「NMR」、「X線結晶解析」、「放射線計測」、「機器制御」、「分光計測」などの分析・計測法に関して、その機器や測定の基本原理を系統的に講義形式

で学ぶとともに、その技術を体得するための実習も同時に行うことを特徴とする。さらにこのような最先端計測技術の基礎となっている原理についても講義形式で学ぶことができる。このプログラムで学んだ計測技術を実際の研究に役立てられることを目指す。

10.2.2 修了要件

8単位以上。ただし、実習形式の講義（先端的研究法、先端機器制御学、分光計測学）の中から4単位以上必ず取得すること。

10.2.3 授業科目

選択必修科目

先端的研究法：質量分析、先端的研究法：X線結晶解析、先端的研究法：NMR、先端機器制御学、分光計測学

選択科目

放射線計測基礎1、放射線計測基礎2、放射線取扱基礎、放射線計測学、放射光物理学、加速器科学、加速器物理学、孤立系イオン物理学、有機分光化学(I)、生体分子化学(I)、核化学1(I)、核磁気共鳴分光学(I)、無機分光化学概論、先端物性工学、表面分析工学、時空間フォトニクス、レーザー分光学、基礎物理学I、基礎物理学実習

10.2.4 プログラム登録者数

平成28年度のプログラム登録者数は15名であった。その内訳は、理学研究科物理学専攻1名(M2:1名)、理学研究科化学専攻5名(M1:2名、M2:3名)、生物科学専攻2名(D2:2名)、薬学研究科博士課程医療薬学専攻1名(3年:1名)、薬学研究科博士後期課程創成薬学専攻1名(D2:1名)、生命機能研究科博士課程生命機能専攻2名(5年:1名)、歯学研究科博士課程口腔科学専攻1名(3年:1名)、国際公共政策研究科国際公共政策専攻1名(M2:1名)、基礎工学研究科物質創成専攻1名(D1:1名)、医学系研究科博士課程医学専攻1名(3年:1名)である。

なお、平成28年度の本プログラム修了者は2名であった。

10.3 放射線科学

10.3.1 プログラム概要

放射線計測は素粒子原子核実験を行う上で基礎的な技術であり、いまもなお先進的な研究開発が行われている。しかし、それにとどまらず、様々な分野に応用され、研究・実用において不可欠なものとなっている。本プログラムでは、基礎的な計測技術の習得から、加速器を用いた最先端の放射線科学を、実験実習を中心として習得する。

すでに、医学物理士コースのために核物理研究センターと理学研究科物理学専攻ならびに附属基礎理学プロジェクト研究センターは講義・実験を協力して行っている。本プログラムはこれをさらに進めるとともに、最先端の医療現場での放射線計測についてもその基礎を学ぶ。

このような要求は日本だけでなく大きな加速器施設を持たない ASEAN 諸国でも非常に高い。理学研究科では核物理研究センターと共同で「物理実験基礎コース」を ASEAN・中国の学生を招聘して、英語での講義・実験を行ってきた。本プログラムではそれらの英語による講義・実験を用いる事により、日本国内だけでなく世界に開かれたプログラムとする。

10.3.2 修了要件

8 単位以上。

10.3.3 授業科目

必修科目

放射線計測基礎 1、放射線計測基礎 2、放射線計測応用

選択科目

加速器科学、放射線計測学、核化学 1(I)、放射線取扱基礎、放射線計測学概論 1、放射線計測学概論 2、Nuclear Physics in the Universe、放射線診断物理学、高精度放射線治療、粒子線治療

10.3.4 プログラム登録者数

平成 28 年度のプログラム登録者数は 11 名であった。その内訳は、理学研究科物理学専攻 3 名 (M2 : 1 名、D3 : 2 名)、理学研究科化学専攻 4 名 (M1 : 2 名、M2 : 2 名)、医学系研究科保健学専攻 1 名 (M2 : 1 名)、薬学研究科博士課程医療薬学専攻 1 名 (3 年 : 1 名)、基礎工学研究科物質創成専攻 1 名 (D1 : 1 名)、国際公共政策研究科国際公共政策専攻 1 名 (M2 : 1 名) である。

なお、平成 28 年度の本プログラム修了者は 1 名であった。

(文責 : 豊田 岐聡)

第11章 国際交流活動

11.1 目的

大阪大学大学院理学研究科（物理学専攻）での国際交流活動の主たる目的は

1. 物理学専攻の教育研究の成果を海外に向けて積極的に情報発信すること
2. 海外の大学や研究機関から本研究科博士前・後期課程への学生の入学を推進することである。

このような活動には、教員個々人のチャンネル形成と信頼関係の形成が必要である。それに加え、研究科としてオーソライズされた組織的なプロモーション活動も必要であり、物理学専攻としてはこれらについて努力している。平成28年度の活動は、以下の通りである。

11.2 活動の内容

- 本研究科・専攻・教育研究・International Programs の紹介。
- 本研究科・専攻の大学院生への経済的支援の説明。
- 本研究科・専攻の短期、長期の研究活動の可能性、希望や意見などの聴取。
- 在学中から Home Institute と連絡を取り合い、一人の学生を育てていく Double Degree Program（以下DDP）や、留学生の経済支援について Home Institute との co-funding の検討・議論。
- (mini-)Workshops の実施。
- 教育研究関連公的機関への訪問・情報収集。

11.3 海外研究機関訪問、海外からの来訪者など

1. インド、2017年1月12日-1月21日 日本・アジア青少年サイエンス交流事業（さくらサイエンスプラン）；久野
2. カザフスタン、ベトナム、マレーシア、インドネシア、2016年11月24日-12月3日 Al-Farabi Kazakh National University, Institute for Nuclear Science and Technology, The University of Da Nang, University of Education, Dalat Nuclear Research Institute, VNU-HCM University of Science, University of Malaya, Institut Teknologi

Bandung, University of Indonesia 日本・アジア青少年サイエンス交流事業（さくらサイエンスプラン）；能町 他

3. 阪大訪問

- (a) Prof. Enrico Brehm (Ludwig Maximilian Univ.) 2016年6月21日 研究打合せ・議論
- (b) Prof. Seong Chan Park (Yonsei Univ.) 2016年7月7日 研究打合せ・議論
- (c) Dr. Aimi Amirah Binti Jasni, Dr. Nurdyana Binti Ramlee (Univ. Tek. Malaysia) 2016年6月13日-9月2日 インターンシップ
- (d) Mr. Yu Du (California Univ.) 2016年6月16日-8月10日 インターンシップ
- (e) Dr. Zhang Jie (IHEP) 2016年7月3日-7月9日 研究打合せ
- (f) Dr. Zhang Jie, Prof. Jiang Xiaoshan (IHEP) 2016年7月18日-8月2日 研究打合せ
- (g) Prof. Yoshi Uchida (Imperial College London) 2016年8月17日-9月11日 研究打合せ
- (h) Mr. Ewen Gillies (Imperial College London) 2016年8月31日-9月3日 研究打合せ
- (i) Dr. Phillip Litchfield (Imperial College London) 2016年9月1日-9月3日 研究打合せ
- (j) Prof. Daniya Zinatulina 他13名 2016年9月26日-28日 国際会議
- (k) 馬涛 (清華大学) 2016年7月12日-8月10日 共同研究
- (l) Prof. Seok Kim (Seoul National Univ.) 2016年12月14日 研究打合せ・セミナー参加
- (m) Prof. Bum-Hoon Lee (Sogang Univ.) 2017年1月31日 研究打合せ・セミナー参加
- (n) Prof. Bohdan Grzadkowski (Warsaw Univ.) 2017年2月23日-27日 研究打合せ・セミナー参加
- (o) Prof. Li Haibo 他9名 (IHEP) 2016年12月19日-23日 ワークショップ
- (p) Prof. Yoshi Uchida, Mr. Ewen Gillies (Imperial College London) 2017年3月2日-20日 共同研究
- (q) Mr. Dorian Pieters (Univ. Strasbourg) 2017年3月6日-31日 インターンシップ
- (r) Mr. Mikhail Kravchenko (ベラルーシ国立大学) 2017年3月29日-31日 特別聴講生
- (s) Dr. Edward Mccann (Lancaster Univ.) 2016年11月1日-15日 研究打合せ

11.4 部局間学術交流協定

平成 28 年度に、物理学専攻の教員がコンタクトパーソン (CP) となって新たに締結した海外研究機関との部局間学術交流協定は、以下の通りである。

1. 蘭州大学 物理科学技術学院 (中華人民共和国)
2016 年 8 月 14 日-2021 年 8 月 13 日 CP:保坂淳教授
2. フリードリッヒ・ヴェルヘルム大学ボンとケルン大学によるボン・ケルン統合物理・天文学大学院 (ドイツ連邦共和国)
2016 年 7 月 4 日-2021 年 7 月 3 日 CP:福田光順准教授、久野良孝教授
3. 清華大学 環境学院 (中華人民共和国)
2016 年 11 月 24 日-2021 年 11 月 23 日 CP:豊田岐聡教授
4. アルファラビ・カザフ国立大学 理工学部 (カザフスタン共和国)
2016 年 6 月 4 日-2021 年 6 月 3 日 CP:岸本忠史教授, 保坂淳教授, Baiotti Luca 特任准教授
5. フリードリヒ・シラー大学イエーナ 物理・天文学部 (ドイツ連邦共和国)
2016 年 12 月 21 日-2021 年 12 月 20 日 CP:花咲特亮教授
6. グローニンゲン大学 理学部 (オランダ王国)
2017 年 2 月 8 日-2022 年 2 月 7 日 CP:久野良孝教授
7. インド工科大学ボンベイ 理学部 (インド共和国)
2017 年 2 月 24 日-2022 年 2 月 23 日 CP:久野良孝教授
8. インハ大学 理学部 (大韓民国)
2016 年 12 月 22 日-2021 年 12 月 21 日 CP:保坂淳教授, 岸本忠史教授

11.5 海外研究機関での集中講義および阪大における海外拠点との国際会議・シンポジウム

1. FrontierLab Mini UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA(マレーシア) 2016 年 6 月 13 日-9 月 2 日 ; 久野
2. FrontierLab Summer Program カリフォルニア大学 (アメリカ) 2016 年 6 月 16 日-8 月 10 日 ; 久野
3. 学振二国間交流 IHEP (中国) 2016 年 7 月 3 日-7 月 9 日 ; 久野
4. 学振二国間交流 IHEP (中国) 2016 年 7 月 18 日-8 月 2 日 ; 久野

5. 国際共同研究促進 Imperial College London (イギリス) 2016年8月17日-9月11日; 久野
6. nufact2016 International Centre for Interdisciplinary Science Education (ベトナム) 2016年8月22日-8月27日; 久野
7. 20th COMET collaboration meeting (CM19) Institute of Basic Science (韓国) 2016年9月5日-9月9日; 久野
8. KAON2016 バーミンガム大学 (イギリス) 2016年9月13日-9月19日; 久野
9. The 6th Yamada workshop on Muonic X and Gamma ray Spectroscopy 2016 大阪大学 2016年9月26日-9月28日; 久野
10. INPC016 オーストラリア 2016年9月10日-9月17日; 岸本
11. 次世代 ^{76}Ge 実験会議 ドイツ 2016年4月23日-4月28日; 岸本
12. 研究交流 Sejong 大学 (韓国) 2016年8月23日-8月26日; 岸本
13. 国際共同研究促進プログラム・実験 CAEN (フランス) 2016年5月4日-5月13日; 青井
14. Baryons 2016 International Conference on the Structure of Baryons フロリダ州立大学 (アメリカ) 2016年5月17日-5月29日; 與曾井
15. J-PARC Workshop 仁荷大学 (韓国) 2016年6月7日-6月10日; 保坂
16. The 9th international conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB) 2016 Saint Mary's University (カナダ) 2016年7月10日-7月17日; 青井
17. ”放射線計測スクール (RT School)” ホーチミン市国家大学 (ベトナム) 2016年7月18日-7月27日; 能町
18. Euroschool on Exotic Beam TU-Darmstadt (ドイツ) 2016年8月26日-9月9日; 民井
19. Overseas talents cultivation base 北京師範大学 (中国) 2016年7月25日-8月5日; 藤岡
20. 後援 Electron quantum optics in ballistic conductors フランス 2016年8月1日; 小林
21. 単一スピン制御検討会 4 Nuclear-Spin States Coherent Manipulation Using a Single Molecular Magnet フランス 2016年8月5日; 小林
22. Double Beta Decay and underground science 大阪大学 2016年11月8日-11月10日; 久野

23. IHEP-OU joint workshop IHEP (中国) 2016年12月19日-12月23日; 久野
24. 超伝導スピントロニクス研究会 「Unconventional transport in Unconventional materials」 イギリス 2016年11月17日; 小林
25. メゾスコピック系に関する研究会 「The Kondo effect in carbon nanotubes」 ドイツ 2017年3月27日; 小林
26. 2016 JAEA/ASRC Reimei workshop Inha University (韓国) 2016年10月23日-10月26日; 保坂
27. AGATA-GRETINA collaboration meeting Argonne National Laboratory (アメリカ) 2016年12月4日-12月11日; 青井

11.6 その他

物理学専攻（博士課程）の在籍留学生人数は、平成29年4月現在で合計46名。
 (国費留学生：10名、私費留学生：33名、政府派遣留学生：3名)

国名	前期課程	後期課程	非正規生
イタリア	0	1	0
イラン	0	1	0
インド	0	2	0
インドネシア	1	2	0
カザフスタン	1	0	0
ドイツ	0	0	3
パキスタン	1	0	0
フィリピン	0	1	0
フランス	0	0	1
ベトナム	1	7	1
マレーシア	3	5	0
モンゴル	0	1	0
大韓民国	2	2	0
中国	4	5	1
計	13	27	6

(文責：木村 真一)

第12章 湯川記念室

12.1 平成28年度活動概観

大阪大学湯川記念室は、湯川博士の中間子論が大阪大学(旧大阪帝国大学)理学部にて生まれ、日本で最初のノーベル賞として実を結んだことを記念して、1953年、本部に直属する組織として発足し、1976年に改めて附属図書館内に設置された。2008年10月より、大阪大学総合学術博物館に属する。理学研究科、特に、物理学専攻のメンバーが中心的に運営をにない、物理や自然科学の基礎の社会的、学内的な啓蒙活動に積極的に取り組んでいる。

湯川記念室のホームページは <http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/> である。湯川記念室委員会は全学的な組織で、委員長は細谷裕である。

12.2 第32回湯川記念講演会

2016年10月9日(日)、13時-17時、大阪大学中之島センター、佐治敬三メモリアルホールで開催した。湯川記念室が主催、日本物理学会大阪支部が共催、日本物理教育学会近畿支部が後援した。183名の参加者があった。佐治敬三メモリアルホールだけでなく、別部屋にもビデオ中継した。

序. 細谷 裕 (大阪大学湯川記念室)

“湯川博士と大阪大学”

1. 上田 正仁 (東京大学大学院理学系研究科教授)

“事実は小説より奇なり 量子の世界への誘い”

2. 米徳 大輔 (金沢大学理工研究域数物科学系教授)

“宇宙最大の爆発「ガンマ線バースト」による重力波源と初期宇宙の探求”

<http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/sympo/sympo32.html>

上田氏は量子の世界の奇怪な振る舞いを様々な実験観測データをもとに面白く説明し、今やそれらの奇妙な性質を積極的に利用して盗聴が不可能な量子暗号や夢の量子コンピューターが作られることを解説した。引き続き、米徳氏は、ガンマ線バースト・重力波・初期宇宙をキーワードとして、最新のトピックを交えながら、重力波の観測と協力してブラックホールが作られる瞬間を観測できるかもしれないとわかり易く解説した。

湯川記念講演会はこの10年あまり、市民に対する講演会として定着してきた。過去13年間の講演会参加者数の推移を表にまとめる。市民の満足度は非常に高い。

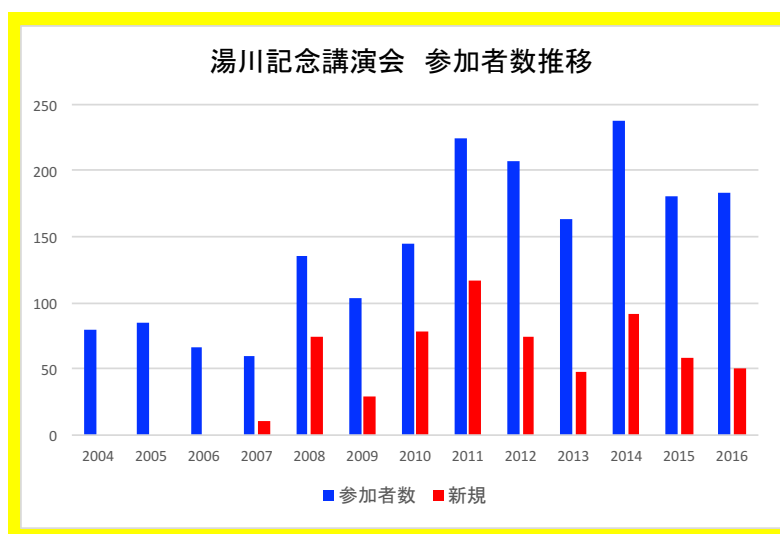


図 12.1: 湯川記念講演会の参加者数推移

12.3 その他

いちよう祭（2016年5月1日）で理学研究科H棟7階コミュニケーションスペースにおいて、湯川秀樹愛用の黒板公開、湯川秀樹博士関連の写真パネルを展示し、湯川秀樹博士、朝永振一郎博士、仁科芳雄博士のビデオ上映を行った。

（文責：細谷 裕）

第13章 社会活動

13.1 物理学科出張講義の記録

主に高校生を対象とした平成28年度の物理学科出張講義は、宇宙地球科学専攻の谷口年史准教授の取りまとめにより、宇宙地球科学専攻と物理学専攻の教員の協力で、以下の5校を対象に実施された。

学 校 名	所在地	日 時	講 師	対 象
伊丹市立伊丹高校	伊丹市	7月12日(火)	芝井 広	1年生240名
三重県立上野高等学校	伊賀市	7月13日(水)	杉山清寛	2年生40名
大阪府立北野高等学校	大阪市	9月10日(土)	常深 博	1年生80名
西宮市立西宮東高等学校	西宮市	10月3日(月)	松多健策	1,2年生40名
西宮市立西宮高等学校	西宮市	11月11日(金)	野末泰夫	グローバルサイエンス科 2年生約40名

(文責：野末 泰夫)

その他に、平成28年度に以下のようなアウトリーチ活動が物理学専攻の教員によって実施された。

イベント名	開催場所	講師	開催日	対象
第69回ミュージアムレクチャー(大阪大学総合学術博物館)	大阪大学総合学術博物館待兼山修学館3階セミナー室	下田 正	5月28日	市民・学生 約20名
出張講義	大阪府立富田林高等学校	下田 正	6月7日	高校1年生 360名+教員 50名
SEEDS 生選抜のための課題講義	大阪大学豊中キャンパス	下田 正	6月19日	SEEDS 受講希望者約 150名

私立帝塚山中学校生への講義と施設見学	大阪大学接合科学研究所と核物理研究センター	下田 正、小田原厚子	7月12日	中学3年生 95名+教員3名
第11回女子中高生のための関西科学塾 A日程(実施、司会)	大阪大学豊中キャンパス	田島節子	7月24日	中高生+保護者(228名)
大阪大学21世紀懐徳堂 i-Spot 講座	大阪市まちづくり情報発信施設「アイ・スポット」(大阪市中央区今橋 4-1-1 淀屋橋 odona 2階)	山中 卓	8月24日	小学5-6年生
豊中市科学教室(第11回女子中高生のための関西科学塾 アウトリーチ活動)	豊中市教育センター(阪急蛍池駅西側 ルシオーレビル6階)	小田原厚子	9月11日	小中高生、保護者(213名)
兵庫県立兵庫高等学校「創造応用(探究活動)」の指導	兵庫県立兵庫高等学校と大阪大学豊中キャンパス	下田 正、小田原厚子	9月14日-2月2日(週1回)	高校2年生 6名
「大阪大学が東中にやってくる」(第11回女子中高生のための関西科学塾 アウトリーチ活動)	伊丹市立東中学校	田島節子	10月15日	中学生 14名、一般42名、教員4名
出張講義(大学模擬授業)	三重県立津高等学校	小田原厚子	10月14日	高校生 58名+教員2名
高校生のための UMEKITA 科学塾	カフェラボ(ナレッジキャピタル北館1F/グランフロント大阪内)	橋本幸士	10月29日	高校生 18名、小学生3名、保護者・教員10名
私立開明高等学校生への講義	大阪大学全学教育推進機構	下田 正	12月8日	高校1年生 45名+教員2名
第11回女子中高生のための関西科学塾 E日程(実施、保護者プログラム)	大阪大学豊中キャンパス	田島節子	12月18日	中高生+保護者(211名)

大阪府立高津高等学校 「課題研究発表会」での基調講演	高津高等学校	下田 正	2月3日	高校1,2年生720名+ 教員30名 +来賓10名
兵庫県立兵庫高等学校 「創造応用研究発表会」での質疑および講評	兵庫高等学校	下田 正	2月22日	高校2年生70名+ 教員10名
日本物理学会第13回 Jr.セッション 高校生向け講演	大阪大学豊中キャンパス	小林研介	3月18日	高校生
日本物理学会 市民科学講演会	池田市民文化会館（アゼリアホール）	橋本幸士	3月19日	一般市民約600名
名古屋市立向陽高校生への講義と施設見学	核物理研究センターとレーザーエネルギー学研究センター	久野良孝、 佐藤朗	3月22日	高校生40名+ 教員3名
第11回女子中高生のための関西科学塾 F日程(実施)	実験：大阪大学、発表：大阪市立青少年センター	田島節子	3月25-26日	女子中高生+ 保護者+ 教員129名
第11回女子中高生のための関西科学塾 F日程(実験と発表指導)	実験：大阪大学、発表：大阪市立青少年センター	下田 正	3月25-26日	中高生7名

物理学専攻関連で実施された SEEDS プログラム

SEEDS プログラム名	課題名	担当者
SEEDS 実感科学研究 [テーマ No.3]	最先端質量分析装置を用いて研究をしてみよう	豊田岐聡, 石原盛男, 青木順
SEEDS 実感科学研究 [テーマ No.36]	炎色反応とは ～「リアカー無きK村・・・」は本当か？～	下田 正
SEEDS 体感科学研究 [テーマ No.1]	最先端の物理を高校生に (Saturday Afternoon Physics)	SAP 責任者：浅野建一、他担当者
SEEDS 体感科学研究 [テーマ No.7]	光の不思議：波動性と粒子性を観察しよう	渡辺純二、大坪嘉之、渡邊浩、木村真一
SEEDS 体感科学研究 [テーマ No.8]	物体の運動を調べ、微分方程式を用いて理解しよう	下田 正
SEEDS 体感科学研究 [テーマ No.9]	放射線とは何だろう？～極微の世界からのメッセージを調べよう	小田原厚子、下田 正

13.2 連携講座

滋賀県立虎姫高等学校の2年生の生徒11名が教諭2名(宮田教諭, 坂口教諭)と共に, 平成28年8月2日(火)と8月3日(水)の1泊2日の日程で, スーパーサイエンスハイスクール(SSH)のサマーセミナーとして大阪大学大学院理学研究科の連携講座に参加した。近年の高等学校の物理教育では演示実験に偏りがちであり, 場合によっては全く実験を行わない高校も多くあると聞く。さらに, 高校によっては実験実習を体験するためには設備が十分でなく, 指導が必ずしも十分に行えないという状況にある。そこで, 野末泰夫教授が中心となって, 過去13年にわたり, 滋賀県立虎姫高等学校と連携をとりながら, 物理科学の基礎とその発展となる実験実習を, 高校生に実際に体験してもらい, その中で物理学的なものの考え方とその理解を深めるプログラムを行ってきた。本年は, 杉山清寛教授が中心となり大学側の準備を行い, 虎姫高校側も新たに赴任した宮田崇弘教諭が中心となって準備を進めた。

単に実験を行うだけでなく, 2日目には, 実験と理解した内容をまとめたものをみんなの前で発表することによって, 自ら考えることとそれを互いに伝え理解しあうことにより, 考察がより深まることを目指した。さらに, その延長上にある物理科学の最前線の研究内容の一端を紹介した講義を行い, その内容を理解することにより, 物理科学全般への関心を高めることとした。

今年度は高校生も理解しやすい内容であるとの評価がある電気抵抗の測定について, 大学の最新の機材を実際に用いて, 生徒自らが操作し, 実験の様子と結果を観察・記録し, その結果を解析した。さらに午後には生徒が自ら考案した発展課題に挑んだ。元々の大学の実験では, 銅の高温側の電気抵抗の温度変化を測定することになっているが, 低温側の抵抗はどのようなだろうか, とか, 銅以外の物質での電気抵抗, 特に半導体の電気抵抗はどうなっているか等, 高校生一人ずつが事前に電気抵抗への疑問などを議論し合い, 実験計画を練って実験に望んだ。そのために, 宮田教諭と坂口教諭が事前に大阪大学を訪れて, これらの実験の手配について阪大側と相談している。これらについても創意工夫した点や理解した内容やうまくゆかなかった点などをまとめ, 翌朝の発表会にて発表した。その際, 成果をレポートにまとめるだけでなく, みんなの前で発表し議論することを体験した。しかも, 内容は, 高校で扱う範囲を少し越えており, その経験は, 将来, より進んだ内容へと興味を展開させるための良い経験になると期待される。

発表の後, 杉山清寛教授による電気抵抗と超伝導についての講義を受講した。その後, 吹田キャンパスに移動し, 産業科学研究所のご協力・ご指導を得て, 特別に実験室の見学を行った。この連携講座は今回で14回目となる。

日程は以下の様に行った。

8月2日(火)

10:00-16:40

銅の電気抵抗の温度依存性測定をした。さらに, 午後を中心に, 発展課題の実験を行い, その解析を行った。

8月3日(水)

9:00-10:45

前日に行った実験の成果の発表と討議をおこなった。生徒が自らまとめた内容は、大学生のレベルに達しており、充実した発表と議論が行われた。また、適切なアドバイスを行いながら生徒同士で質問し、議論を深めた。単に正しい答を求めるのではなく、なぜそうなるのかを自分の力で考えながら理解することを目指した。

11:00-12:00

杉山清寛教授による講義「強磁場発生物理学」を行い、最新の強磁場発生方法やその物理について学習した。

14:00-15:30

吹田キャンパスに移動し、産業科学研究所の加速器などの施設を見学し、いくつかの実験室では実習をさせていただき、大学における最先端の研究の一端を理解した。

(文責：杉山 清寛)

13.3 最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2016

日時：2016年10月15日、22日、29日、11月5日、12日、19日(土) 15時 - 18時

web： <http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/SAP/>

主催：物理学専攻

共催：大阪大学大学院理学研究科、工学研究科、基礎工学研究科、核物理研究センター、全学教育推進機構、レーザーエネルギー学研究センター、大阪大学総合学術博物館湯川記念室、理学研究科技術部

SAPは、主に高校生を対象に、一線の研究者が最先端の物理を分かりやすく講義するとともに、様々な実験のデモや体験も取り入れ、物理、科学、およびその応用、実用化に対する興味を引き出そうという野心的な試みである。今年度の「最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2016」は、主催部局をこれまでの大阪大学総合学術博物館湯川記念室から、大阪大学大学院理学研究科物理学専攻に変えたが、10月15日から11月19日まで、毎土曜日午後3時から6時まで6週にわたり、豊中キャンパス理学部D501大講義室等で例年通り開催された。毎回、高校生、一般を含め、平均120人が出席した。4回以上出席した120名には小林理事・副学長から修了証書が授与された。参加者158人のうち男性が99名、女性が59名であった。

毎回3時間の授業は、(1) 基幹講義：自然界の様々な世界を訪ねる、(2) コーヒーブレイク：実験デモ、実演、展示、交流、(3) 実践講義：物理、技術の現実世界での応用、の3部で構成され、自然の謎を解き明かす最先端の物理の探索とともに、我々の社会にこうした知識と技術がいかに生かされ実現されているかなど、未来への展望も含めてわかりやすく解説された。10月29日には、工学研究科、核物理研究センター、レーザーエネルギー学研究センターの最新設備の見学を実施した。「知りたい、学びたい」と思って自主的に参加した高校生の熱気と質問に終始つまれ、最終日には、小林傳司理事・副学長より祝辞が述べられ、修了証書が授与された。6週間にわたって大学が高校生に提供するこの野心的なプログラムは今年も盛況のうちに終了した。

プログラムの詳細はホームページを参照されたい。理学研究科からは、田島節子、浅野建一、阪口篤志、藤田佳孝、松多健策、山口哲、福田光順、渡辺純二、櫻井太郎、高尾明子らが中心的に運営に携わった。

この12年間の実績を表13.3にまとめる。SAP2016では、4回以上出席した人は120人であり、参加者は非常に熱意があることを物語る。また、参加高校数は73を数え、SAPプロジェクトが広く浸透していることが分かる。SAPプロジェクトが大阪大学の主要なアウトリーチ活動の一つになっていると言ってよいだろう。

(文責：浅野 建一)



図 13.1: 「最先端の物理を高校生に SAP2016」の風景



図 13.2: 「最先端の物理を高校生に SAP2016」修了式後の集合写真

表 13.3: 「最先端の物理を高校生に SAP」の12年間の実績

開催年	2005	06-09	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
実行委員長	細谷 裕	略	阪口篤志	藤田佳孝	藤田佳孝	藤田佳孝	藤田佳孝	藤田佳孝	浅野建一
副委員長	藤田佳孝	略	佐藤 透	阪口篤志	松多健策	松多健策	松多健策	松多健策	-
参加者数	171	略	179	192	190	175	173	153	158
男性, 女性	126, 45	略	124, 55	128, 64	119, 71	113, 62	115, 58	91, 62	99, 59
高1, 高2	106, 54	略	103, 54	100, 59	90, 65	106, 42	76, 75	65, 68	86, 46
平均参加者	141	略	142	155	146	139	141	113	120
≥4回出席者	146	略	149	155	150	140	140	110	120
6回出席者	83	略	66	92	72	74	83	42	50
リピーター	-	略	9	7	11	12	1	10	3
参加高校数	38	略	69	93	79	60	60	63	73

13.4 高校生のための物理学科一日体験入学

高校生を対象とした研究室紹介として「研究室をのぞいてみよう」を実施した。これは「最先端の物理を高校生に (Saturday Afternoon Physics)」の一企画として、これまでの「高校生のための物理学科一日体験入学」を発展させ2009年度より行っている。

本年度の実施内容は以下の通りであった。

開催日時：2016年11月12日（土） 16:00 - 18:00

開催場所：大阪大学理学研究科・基礎工学研究科

内容： 高校生による研究室訪問

参加者数：約150名（オブザーバーを含む）

参加グループ：14グループ（物理：7、強磁場センター：1、宇宙地球：1、基礎工：5）

理学研究科物理学専攻

協力研究室	担当者	企画名称
岸本グループ	阪口篤志	PETの原理を知ろう
下田グループ	下田 正、小田原厚子	放射線を測って原子核から宇宙まで感じてみよう
核物質学グループ	三原基嗣	加速器で見る原子核の世界
山中卓グループ	南條 創	光は粒か？
田島グループ	田島節子、宮坂茂樹	物の色は何で決まる？

素粒子理論グループ 橋本幸士
動的量子多体系の理論グループ 浅野建一

この世の全てを記述する数式
マイクロとマクロの狭間—メゾスコピック世界での電子波の干渉—

先端強磁場科学研究センター

協力研究室 担当者
萩原グループ 鳴海康雄

企画名称
強い磁場の作り方

理学研究科宇宙地球科学専攻

協力研究室 担当者
廣野グループ 廣野哲朗

企画名称
物理と化学を用いた巨大津波発生の解明

基礎工学研究科

協力研究室 担当者
吉田博研究室 吉田 博

企画名称
創エネルギー材料（太陽電池、燃料電池、熱電材料）の計算機ナノマテリアルデザインと実証

木村研究室 木村健太

光を使った高分解能顕微鏡 原子の見方

芦田研究室 芦田昌明
鈴木研究室 鈴木義茂
阿部研究室 阿部真之

レーザーと最先端光技術
小さな磁石の不思議な世界
ナノ加工の世界を体験しよう

参考: <http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/SAP/>

(文責: 山口 哲)

13.5 「いちよう祭」「まちかね祭」などにおける施設の一般公開

「いちよう祭」「まちかね祭」における施設の一般公開の状況は以下の通りであった。

公開行事名	担当(責任)者	公開日	参加人数
素粒子で探る未知の世界	森津	5月1日	192
ミクロ・ナノ構造の観察と実験体験	中野	5月1日	35
放射線検出器で探る素粒子・原子核 ・そして宇宙	阪口	5月1日	80
素粒子のおもちゃ箱	山中	5月1日	290
超伝導を体験しよう	宮坂	5月1日	190
体験！ 磁気抵抗、熱電変換、磁気浮上 (物体)	村川	5月1日	171
磁石であそぼう	小林	5月1、2日	205
質量分析って何だろう	前田(豊田)	5月1日	42
ビデオ上映「元素誕生の謎にせまる」 および「原子番号113の元素創生」	三原	5月1、2日	70
加速器で見る原子核の世界	三原	5月1、2日	305
ビデオ上映「元素誕生の謎にせまる」他	三原	11月5、6日	40
加速器で見る原子核の世界	三原	11月5、6日	150

参加者総数：1,770名（高校生：569名 一般：1,201名）

「いちよう祭」以外での施設の一般公開の状況は以下の通りであった。

公開日	公開内容	対象者	参加人数
8月10日	オープンキャンパス 下田グループ、核物質学グループ、 岸本グループ、山中グループ、久野グループ、 田島グループ、花咲グループ、豊田グループ、 萩原グループ、素粒子理論グループ、 動的量子多体系の理論グループ、黒木グループ	高校生、一般	2400名 (全体)

(文責：松多 健策)

13.6 理科教育セミナー

本「理科教育セミナー」は、大阪大学基礎工学研究科と理学研究科が、高校や大学の教育に活かす目的を持って、高校の先生方と大学の教員が一堂に会し、物理教育について議論し最先端の物理を研鑽する場として、毎年開催されている。他専攻が開催をやめる中、6年程前より、「物理教育セミナー」として物理学専攻が主体となって、基礎工学研究科と共同で開催を進めてきた。

平成28年度は理学研究科が当番研究科ということで、平成27年8月4日(木)、5日(金)の2日間にわたって理学研究科大セミナー室で開催された。日程は以下の通りであった。

8月4日(木曜日)

1. (講義) ブラックホールと重力波天文学 10:00-12:00
大阪大学大学院理学研究科 教授 長峯 健太郎
2. (高大連携企画) セミナー「高大接続改革での物理教育」 13:30-17:30
 - (a) 始めに (13:30-13:40)
大阪大学大学院理学研究科 教授 下田 正
 - (b) 高校物理教育に求められる変化とは (13:40-14:20)
大阪教育大学附属高等学校池田校舎 教諭 筒井 和幸
 - (c) 物理教育での動機づけとアクティブ・ラーニング (14:20-15:20)
同志社女子中学校高等学校 教諭 北村 貴文
 - (d) 高校教育での ICT 機器の紹介 (15:20-15:50)
清風南海高校 教諭 折戸 正紀
 - (e) 休憩 (15:50-16:00)
 - (f) 大学におけるアクティブ・ラーニングの動向 (16:00-16:50)
大阪大学全学教育推進機構 教授 山口 和也
大阪大学全学教育推進機構 特任助教 大山 牧子
 - (g) 参加者全員による討論 (16:50-17:30)
参加者全員

8月5日(金曜日)

1. 基礎工学研究科研究室訪問 10:00-12:00
8つの研究室の中から2つの研究室を見学していただきます。
大阪大学大学院基礎工学研究科 8つの研究室

2. (講義) 高温超伝導研究の最前線 13:30-15:30
大阪大学大学院理学研究科 教授 田島 節子

セミナーの参加者は、
高校、中学、高専の教員 31名、 退職などのその他教育関係者 9名、
大阪大学側として、理学研究科 5名、 基礎工学研究科 1名、全学教育推進機構 4名
の総計 50名でした。

(文責：杉山 清寛)

13.7 日本物理学会第72回年次大会(2017年)の開催

日本物理学会第72回年次大会(2017年)が2017年3月17日から20日まで、豊中キャンパスで開催された。参加登録者は5827名であった。

実行委員会委員は、青井考(RCNP)、青木正治、青山和司(宇宙地球)、浅川正之、浅野建一、荒川智紀、大岩颯(産研)、小口多美夫(産研)、尾田欣也、小田原厚子、越智正之、川原希恵、北岡良雄(基礎工)、北沢正清、木田孝則(先端強磁場科学研究センター)、木村真一(生命機能)、黒木和彦、小林研介、酒井英明、阪口篤志、佐藤朗、佐藤透、清水俊、田島節子、外川学、中島正道、中野貴志(RCNP)、中野岳仁、鳴海康雄(先端強磁場科学研究センター)、南條創、新見康洋、野海博之(RCNP)、萩原政幸(先端強磁場科学研究センター)、橋本幸士[副委員長]、花咲徳亮[副委員長]、瀧本雄治(工学)、深谷英則、福田光順、藤岡慎介(レーザー研)、藤阪千衣、宮坂茂樹、村川寛、山口哲、山中卓[委員長]、湯川諭(宇宙地球)、吉田齐[庶務係長]、渡辺純二(生命機能)の47名。

一般講演とポスターの会場として、全学推進機構、文法経、法経、基礎工、理の建物の60教室を用いた。大学の共催のため、使用料は無料であった。総合講演と市民科学講演会には池田市民文化会館のアゼリアホール、Jr.セッションには大阪大学会館を用いた。

3月19日に開かれたJr.セッションには生徒と教師合わせて430人が参加した。3月20日午前に開かれた総合講演では、西森秀稔氏(東工大)と大栗博司氏(CALTECH・東京大学カブリ)が講演を行った。同日午後に開かれた市民科学講演会では、橋本幸士氏と梶田隆章氏(東京大学宇宙線研)が講演を行った。参加者は約600名であった。

今大会では、次の様々な改革や工夫を行った。

- 問題は直接大会本部に電話連絡してもらうようにし、会場系のアルバイトを減らした。
- アルバイトを必要な人数だけ配置するようにし、アルバイトの効率化を図った。
- 会場の命名法を3文字に変えて、建物と階がわかるようにした。
- 看板とビラのデザインも改良し、約60枚の看板と約160枚のビラを自動生成した。
- 手荷物預かりのサービスを初日と最終日に行い、そのためのシステムを確立した。
- 昼食の混雑を緩和するために、リアルタイムで状況を把握し、参加者を誘導した。
- 「何でも屋」という専任のチームを作り、あらゆるトラブルに対処した。
- 準備を3~6ヶ月前倒しで行い、直前の忙しさを緩和した。
- 実行委員会内の情報共有や記録のためにWikiを活用した。
- 将来の実行委員会に準備の手法や経験を伝えていくために、物理学会にWikiのサーバーを立ててもらい、そこに各係の引き継ぎ用のマニュアルを作って書いた。アルバイト用のマニュアルも整備した。

これらの改革により、各大会の実行委員会の経験を継承・蓄積し、自動化と合わせて、より少ない労力で、これからも高い品質の大会を準備できるシステムを作り上げた。詳しい記事は「日本物理学会誌」2017年8月号に掲載される予定。(文責：山中 卓)

第14章 大阪大学オープンキャンパス(理学部)

平成28年8月10日(水曜日)に平成28年度大阪大学オープンキャンパス(理学部)が開催された。この催しの趣旨は、「大学進学を希望している受験生及び進路指導担当教諭等の方々に、大阪大学並びに理学部の教育・研究、入学試験などについて紹介し、適切な進路選択をするために必要な情報及び資料を提供し、本学部が期待する入学者を確保する」というものであり、例年、2000名を超える参加者を集めている。

大阪大学では数千名にも上る参加者に対応するために、4年ほど前からWebによる事前登録方式を採用し、理学部でも、学部長挨拶、模擬講義や学科説明会にこの事前登録による定員制を導入している。本年度も昨年度を踏襲して、同様なシステムで事前登録を行った。物理学科の模擬講義と学科説明会は事前登録では満杯となる盛況となった。学科説明会はD501からのリレーで、階下の大きな2つの講義室にビデオ中継も行われた。物理学科では、模擬講義の行われた前半(午前)の時間帯を避けて、午後(後半)に研究室公開を行った。物理学専攻から12グループ、宇宙地球科学専攻から8グループの公開があった。これに加えて午前・午後を通し、一昨年度から始めたビデオ上映(元素誕生の謎にせまる・原子番号113の元素創生の2本立て)も行った。

理学部全体の参加人数は、申込数2,799人に対し実際の参加者は2,110人と、昨年度に比べると絶対数・割合ともに若干の増加が見られた。物理学科の2つの模擬講義は基礎工学部シグマホールで行われ、全体の定員は460名で事前申込数も同数あったのに対し、参加者計305名にとどまった。また、物理学科の学科説明会は昨年度までは50分×2回を行っていたが、理学部全体のプログラムの都合で今年度は各学科とも50分×1回であった。物理学科説明会には413名の参加があった。今年度は学生アルバイトを昨年度の半分の4名採用し、昨年同様、学科の受付・案内などの他にビデオ上映の世話、全体の会場受付なども担当してもらった。

日程は以下の通り。

1. 学科説明会	10:00-10:50	D501, D403, D303
	田島 節子	物理学科長
2. 研究室公開	13:00-16:00	各研究室
	見学希望研究室を自由に見学してまわった 今年も化学、数学の学科説明会の時間も物理学科として研究室を公開した。	
3. 模擬講義	「結晶中の電子の波：その多彩な性質」	11:00-11:50 Σホール
	野末 泰夫 教授 (物理学専攻)	
4. 模擬講義	「生命を育む『青い地球』の条件」	12:00-12:50 Σホール
	寺田 健太郎 教授 (宇宙地球科学専攻)	

(文責：福田 光順)

第15章 平成28年度の年間活動カレンダー

4月4日	入学式
4月5日	新入生オリエンテーション
4月11日	第1学期授業開始
4月9日 - 10日	新入生研修旅行
4月28日	物理学専攻教室会議(第306回)
5月1日	大阪大学記念日
5月1日 - 2日	いちょう祭
5月12日	物理学専攻教室会議(第307回)
6月4日	大学院入試説明会(東京)
6月11日	大学院入試説明会(大阪)
6月16日	物理学専攻教室会議(第308回)
7月21日	物理学専攻教室会議(第309回)
8月8日	第1学期授業終了(夏季休業8月9日 - 9月30日)
8月10日	オープンキャンパス, 合同ビアパーティ
8月12日、15日 - 16日	夏季一斉休業
8月30日	大学院合同入試ならびに東京入試筆記試験
8月31日	大学院合同入試面接試験
9月1日	大学院合同入試ならびに東京入試面接試験
9月29日	物理学専攻教室会議(第310回)
10月3日	第2学期授業開始
10月20日	物理学専攻教室会議(第311回)
11月4日 - 6日	大学祭
11月17日	物理学専攻教室会議(第312回)
12月15日	物理学専攻教室会議(第313回)
12月21日	物理学科忘年会
12月22日	理学懇話会
12月23日	冬季休業(12月23日 - 1月5日)
12月26日	物理学専攻臨時教室会議(第314回)
1月14日 - 15日	大学入試センター試験
1月19日	物理学専攻教室会議(第315回)
2月6日 - 8日	博士論文公聴会
2月14日 - 15日	修士論文発表会
2月16日	物理学専攻教室会議(第316回)
2月14日	第2学期授業終了
2月25日	入学試験(前期日程)
3月15日	物理学専攻教室会議(第317回)
3月22日	卒業式

第16章 物理学専攻における役割分担

<物理学専攻>

	平成 28 年度 担当者
専攻長 (物理)	田島
副専攻長	黒木、橋本
議長団	小田原、酒井、新見
物理学科長	田島
専攻長 (宇宙地球)	近藤
大学院カリキュラム委員会	大野木
大学院入試実施委員会	浅川、[川村]
大学院入試実施委員会 (東京)	大野木、田島、[嶋]
大学院入試説明会	大野木、田島、[嶋]
入学案内資料作成	[寺崎]
年次報告書作成	山口、山中
ODINS	吉田、酒井
専攻WEB管理作成	花垣
学術交流	花咲
教職員過半数代表委員	吉田、荒川
薬品管理、高圧ガス支援システム	荒川
高度副プログラム実施WG	岸本、下田、田島、黒木、[豊田*、青井、能町]
IPC (大学院) コース長	岸本
IPC 運営委員会	岸本*、[保坂、Baiotti]
図書委員	細谷、山口

<物理学科>

	平成 28 年度 担当者
学年担任 (1年)	[萩原]、[谷口]
(2年)	黒木、[佐伯]
(3年)	橋本、[久富]
拡大物理学科教務委員会	花咲、阿久津、小林、尾田、小田原、福田、佐藤透、阪口、石原、[長峯*]

物理・宇宙地球科学輪講（物理談話会）	[谷口*]、小田原
学部生特別ケア	阿久津、山中
3 年生物理学実験	花咲*、福田、宮坂
生命理学コース運営・教務委員会	[豊田、中嶋]
研修旅行	尾田*
能動性懇談会	橋本、下田、細谷
縦断合宿	黒木
大学説明会	福田
理科と情報数理の教育セミナー	[杉山]
物理学科出張講義担当	[谷口]
就職担当	[萩原]
T A 担当	松多（共通教育）[豊田（理、高度副プログラム）]
SAP	浅野*、阪口、松多、山口
物理系同窓会	松多、岸本、田島（常任幹事）、[能町、萩原、赤井]

<理学研究科・理学部>

	平成 28 年度 担当者
研究科長・学部長	[常深]
副研究科長	田島、[豊田、中嶋、盛田、佐藤]
企画調整会議	田島、[豊田、深瀬*]
安全衛生管理委員会	山中、石原、[豊田、杉山、寺田]
防災委員会	田島、野末、松多、[萩原、豊田、近藤、常深*]
情報倫理委員会	黒木、[豊田]
いちよう祭実行 WG	松多、[青木順]
ネットワークシステム委員会	酒井、[豊田]
Web 情報委員会	花垣
広報委員会	花垣、福田
技術部運営委員会	野末
技術部各室連絡会議委員	
情報ネットワーク室	佐藤（透）、[能町]
研究支援室	山中、[山中（千）]
教育支援室	野末、[豊田、山中（千）]
分析測定室	石原、[豊田、中嶋、村田]
ハラスメント相談員	田島
ハラスメント対策委員会	小田原

国際交流委員会	[木村]
学部入試委員会	田島
学部 AO 入試実施委員会	岸本
理学部共通教育連絡委員会	佐藤(透)、阪口
学部教育教務委員会	花咲、尾田
理学部プロジェクト教育実施委員会	橋本
学務評価委員会	浅野、小田原
学生生活委員会	橋本、山中
学生相談員	橋本、山中
大学院入試委員会	浅川、大野木、田島
大学院教育教務委員会	大野木
大学院入試実施委員会	浅川*、黒木
施設マネジメント委員会	野末、[豊田、萩原、川村]
エックス線・放射線専門委員会	小田原、松多
放射線安全委員会	松多
放射線障害防止委員会	三原、橋本*
基礎理学プロジェクト研究センター運営委員会	[豊田*、能町、近藤]
構造熱科学研究センター運営委員会	野末
社会学連携委員会	花咲
理学懇話会運営委員会	岸本、田島
高大連携連絡委員会	[谷口]
先端強磁場科学研究センター運営委員会	田島、野末、[豊田、萩原*、杉山]
教職員活性化・男女共同参画 WG	小田原
留学生担当教員	岸本
なんでも相談室運営 WG	阿久津*
コア科目・オーナー科目検討 WG	橋本
省エネ委員	新見

1. 専攻長は入試委員、防災委員、産学官連携問題委員、研究推進委員、評価委員を兼任する
2. *は委員長（リーダー、責任者）、[]内は協力講座、他専攻、他部局

第17章 グループ構成(平成28年度)

グループ	研究テーマ
	正メンバー
	準メンバー
	大学院学生 学部4年生
素粒子理論 (細谷)	テーマ: 素粒子論, 場の理論, 統一理論, 宇宙論
	正: 細谷 裕, 尾田欣也 準: 〈高杉英一〉, 山本康裕
	D3: Allan Alinea Lambit D2: 鍵村亜矢, 山村 亮, 中西由香理, 古井敦志 D1: 尾崎翔美 M2: 岡部廉平, 平井隼人 M1: 立花瑞歩 B4: 愛甲将司, 瀧内敦司, 中塚洋佑
素粒子理論 (橋本)	テーマ: 超弦理論, 場の理論, 量子重力, 数理物理
	正: 橋本幸士, 山口 哲, 飯塚則裕 準: 棚橋典大, 杉下宗太郎
	D3: 森 裕紀 D2: 杉本裕司, Xi Wu D1: 玉岡幸太郎, 横矢 毅 M2: 川嶋元貴, 池田一毅, 船越元気, 三上恭子, 溝川翔太 M1: 芥川哲也, 太田敏博, 東出和也 B4: 榎本一輝, 岡崎貴樹, 松木義幸
素粒子理論 (大野木)	テーマ: 素粒子物理学, 格子ゲージ理論, 場の量子論
	正: 大野木哲也, 田中 実, 深谷英則 準: 東島 清
	D3: 西田充宏 M2: 山本奨太 M1: 北口真規, 齊藤 量 B4: 岩垣純一, 兵藤友昭
原子核理論	テーマ: ハドロン物理学
	正: 浅川正之, 佐藤 透, 北澤正清 準: 赤松幸尚, 中村 聡, 河野泰宏
	D3: 池田惇郎, 金 泰広, 坂井田美樹, 村田知也 D2: 上坂優一 M2: 梶本詩織 M1: 今井藍子, 三浦崇寛, 村田大雅, 柳原良亮 B4: 大塚高弘, 野中奏志, 松本拓也

山中(卓)	テーマ: 高エネルギー物理学(素粒子実験物理学)
	正: 山中 卓, 南條 創, 外川 学, 花垣和則(特任教授) 準: 山口洋平, 杉山泰之
	D3: 村山理恵, Jia Jian Teoh, 石島直樹 D1: 矢島和希 M2: 今坂俊博, 原口 弘, 森 哲平 M1: 佐藤友太, 澤田恭範, 西宮隼人, 山元大生 B4: 大西裕二, 原宜広, 真利共生
久野	テーマ: 素粒子実験物理学
	正: 久野良孝, 青木正治, 佐藤 朗 準: <石田勝彦>, 坂本英之, 吉田学立, 森津 学, Tran Hoai Nam, Chen Wu, 荻津 透, 板橋隆久, 小出義夫, 中井浩二, 吉田 誠
	D3: Truong Minh Nguyen D2: Ming Liang Wong D1: 長尾大樹, 中沢 遊, Weichao Yao, Sam Wong Ting M2: 岡田麻奈, 山根峻人 M1: 沖中香里, 高溝健太郎, 中村有希, 濱野元太, 頼 俊, Phuc Huynh Nguyen B4: 元石尊寛, 森田泰之, 竹部宣樹, 馬場幸史郎
岸本	テーマ: 素粒子・核分光学
	正: 岸本忠史, 阪口篤志, 吉田 齊, <大西宏明> 準: 梅原さおり, 飯田崇史, 竹本康浩, 本多良太郎
	D3: 早川修平, 中川真菜美, Wei Wang, Chan Wei Min D2: 太畑貴綺, 鉄野高之介, 中田祥之, Shokati Mojdehi Masoumeh D1: 李 曉龍, Temuge Batpurev, Ken Keong Lee M2: 芥川一樹, 片桐誠也, 小林和矢, 四ツ永直輝, Abzal Iskendir M1: 石川雅啓, 大田龍之亮, 木下円機, 藤原翔太, Muhammad Firdaus Mohd Soberi B4: 赤石貴也
核物質学 (岸本)	テーマ: 実験核物理学, 核物性
	正: 松多健策, 福田光順, 三原基嗣 準: 南園忠則, 増田康博
	D2: 田中聖臣 M2: 田中悠太郎, 杜 航 M1: 大西康介, 杉原貴信, 八木翔一 B4: 中村翔健, 堀太地, 柳原陸斗
下田	テーマ: 不安定な高アイソスピン原子核や原子核の高スピン状態の構造研究
	正: 下田 正, 小田原厚子, 清水 俊, <上野秀樹> 準: 西畑洗希
	D3: 藤田朋美, 八木彩祐未 D1: 金谷晋之介 M2: 河村嵩之 M1: 鈴木崇平, 都留晴日, ムハマド ハルーン B4: 中島 諒

黒 木	テーマ: 物性理論
	正: 黒木和彦, Keith Martin Slevin, 坂本好彦, 越智正之 準: 白井秀知
	D3: 杉本岳志 D1: 小倉大典, 水野竜太 M2: 井上智裕, 加藤大智, 吉岡希裕 M1: 中西俊五, 巴山晴樹, 森 仁志 B4: 幸城秀彦, 関水準記, 徳永雄斗, 松本花梨
阿久津	テーマ: 物性理論
	正: 阿久津泰弘
	B4: 上木嵩大, 富阪 怜
動的量子多体系の理論 (阿久津)	テーマ: 物性理論
	正: 浅野建一, 大橋琢磨 準: 小川哲生, 山田康博, 奥村 暁, 越野和樹, 石川 陽, 岡 隆史
	D3: 西山祐輔 B4: 藤岡翔太
越 野	テーマ: 物性理論
	正: 越野幹人 準: 羽部哲朗
	D3: Thanh Nam Nguyen Ngoc (委託大学院生) M2: 李 陽 (委託大学院生), 桐生敏樹 (委託大学院生), 林 智宏 (委託大学院生) M1: 鳥海 篤 B4: 野村高史, 藤本大仁
小 林	テーマ: 固体素子を用いた精密物性科学と機能開拓
	正: 小林研介, 新見康洋, 荒川智紀 準: Meydi Ferrier
	D2: 秦 徳郎, 前田正博 D1: 則元将太 M2: 河村智哉, 谷口祐紀, 横井雅彦 M1: 岩切秀一, 壁谷奈津紀, Lee Sanghyun B4: 岩下孔明, 河上司, 山下薫平
田 島	テーマ: エキゾチック超伝導体のメカニズムやその他新奇量子現象の研究
	正: 田島節子, 宮坂茂樹, 中島正道, 〈Alfred Q. R. Baron〉 D2: 足立徹, Giulio Vincini M2: 大西諒太, 永渕真彦, 山本高寛, 横田裕章, How Tin Zi M1: 辻 拡和, 西野光咲, 柳瀬和哉 B4: 伊藤優汰, 三宅修平, 脇村泰平
花 咲	テーマ: 強相関電子系の量子輸送現象
	正: 花咲徳亮, 酒井英明, 村川 寛 D3: 鳥越秀平 M2: 青石優平, 井上寛治, 片山敬介, 駒田盛是 M1: 石井龍太, 坂本拓也, 鶴田圭吾, 服部崇幸, 李 海卿 B4: 杉本崇, 西村拓也, 藤村飛雄吾, 横井滉平

野 末	テーマ: ナノ構造物質における量子物性
	正: 野末泰夫, 中野岳仁 準: [Luu Manh Kien], Gayan Prasad Hettiarachchi, 〈渡邊功雄〉, 〈阪本康弘〉
	D3: Dita Puspita Sari, Retno Asih M2: 梅本尚嗣, 加藤健三, 向井健太郎 M1: 赤堀寿樹 B4: 鈴木将太, 宮崎 晃, 岡山赳彦
豊 田	テーマ: 最先端質量分析装置の開発とそれを用いた新しいサイエンスの開拓
	正: 石原盛男 準: 豊田岐聡, 青木 順, Kirk Jensen, 古谷浩志, 長尾博文, 本堂敏信, 松岡久典, 中山典子
	D2: 今岡成章 D1: Brijesh M2: 高木秀平, 野口勇介 M1: 前田幸輝 B4: 船津卓見, 大庭 明 (生命理学)
協力講座の学生	D3: 奥谷 颯, 吉澤大智, 劉斌, 柴田卓也, Jianfuh Ong, 山本哲也, Tran Dinh Trong, 伊藤 健, Nam Hai Tran, 川崎新吾, 山我拓巳, 笠松勇斗, 上村直樹, 藤村卓功, Mui Viet Luong, 小島完興, 坂田匠平 D2: 前田剛, 吉田数貴, 山本康嵩, 三浦正季, 福市真之, 加藤弘樹, 李昇浩, Rajesh Kumar, Nhat Thanh Phan Khoa, Ngoc Nguyen Phuong D1: 江添貴之, 杉浦拓也, 井上 梓, 桂川仁志, 田中慎太郎, Neoh Yuen Sim, Bui Tuan Khai, Hoang Thi Ha, King Fai Farley Law M2: 多田吉克, 光元亨汰, 片岡揮能, 浅岡俊介, 佐藤和樹, 高田 篤, 田原大夢, 太田 雄, 岸潤一郎, 竹野祐輔, 根来雄介, 萩原健太, 横山裕子, 金川和貴, 都築将仁, 安倍幸大, 渡辺 海, 柳井優花, 久米世大, 原 周平, 瀨口基之, 田中哲生, 阿部智彦, 中川智裕, 宮崎雄太, 菅田好人, 植田泰智, 川島丈嗣, 松尾一輝, Ahmad Ja'far Arifi M1: 永田新太郎, 横井秀汰, 松本健太, 池田良平, 吉住歩樹, 木野秀俊, 佐藤勇吾, 茶園亮樹, 橋本風太, 星善次郎, 小林真優里, 平川景史, 山野下莉那, 熊倉雅仁, 川口紀俊, 東出世羽, 柳谷諒, 青松裕美, 上林祥平, 岸本秀隆, 森田大樹, Chengwei Wang, Hui Wen Koay B4: 細川智也, 金子忠宗, 宮武夏雄, 中島裕喜, 三田善志郎, 山下拓海, 山下雄紀, 金井田小夏

【注1】 〈 〉 招へい教員

【注2】 協力講座は大学院生と学部4年生のみ記載