

## 物理学科 物性物理学グループ

## 【教員・研究分野】

教授	飯田 敏	Satoshi Iida	構造物性物理学
教授	池本 弘之	Hiroyuki Ikemoto	構造不規則系
教授	石川 義和	Yosikazu Isikawa	低温, 磁性
教授	桑井 智彦	Tomohiko Kuwai	低温, 磁性物理
教授	清水 建次	Kenji Shimizu	磁性体の核磁気共鳴
准教授	田山 孝	Takashi Tayama	磁性
准教授	水島 俊雄	Toshio Mizushima	固体物理

## 【研究概要】

## 構造物性物理学

結晶物理学と回折結晶学に基礎を置きながらシンクロトロン放射光の特徴をフルに生かした研究を構造物性物理学と結晶工学の境界領域で行ないたい。西播磨の大型放射光施設(Spring-8)を利用した研究を推進したい。特に、これまでほとんど利用されていなかったコヒーレンス長の長いX線と高エネルギー(短波長)のX線を用いた研究を開拓したい。我々はコヒーレントX線の不規則媒質からの散乱波の干渉であるX線スペckルを観察することが構造物性を研究する上で非常に有用であろうと考えている。X線スペckル・パターン中には真の意味での「物質中の構造揺らぎ」に関する情報が含まれているからである。主要研究対象としては誘電体結晶とその関連物質を取り上げたい。当面は、今進めているリラクサー結晶の誘電特性の起源の解明やSrTiO<sub>3</sub>結晶中の量子強誘電状態の探索をめざしたい。現在も進めている半導体結晶の結晶成長やデバイスプロセス関係の研究者との連係、共同研究を今後もさらに積極的に推進したい。結晶構造変化に対応して敏感に物性が変わるような面白い物質があれば、誘電体に限らず広く手がけてみたいと思っている。

## f電子系化合物などにおける極低温熱電・熱特性

極低温・高磁場・高圧力の複合極端条件下においてf電子を有する希土類元素を含む磁性化合物が示す量子効果を輸送・熱物性測定を中心とした実験的手法により研究している。とくに、f電子系強相関伝導系が量子臨界点(QCP)において示す非フェルミ液体的異常をはじめとした磁気揺動と磁性消失、f電子系における圧力誘起超伝導等に興味を持ち研究を行っている。これら研究を行うための装置・測定系の製作にも力を入れており、準断熱法を用いた0.1Kから室温に至る広い温度範囲の磁場中比熱精密測定系やHe<sup>3</sup>クライオスタットを用いた圧力下比熱測定系、希釈冷凍機を用いた磁気熱量効果測定系などを構築した。最近では、希釈冷凍機を用いたミリケルビン(mK)に至る極低温領域の熱電能(ゼーベック係数)と熱伝導測定系を立ち上げ、QCP近傍の磁性化合物CeNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>や、1K以下で多極子モーメントに関わる異常を示すと期待されるPr化合物等の熱電能を測定し、その熱電特性と熱特性の相関の研究を行っている。ミリケルビン領域の熱電能測定は国内では他に行われておらず、この点が非常に大きな特徴である。ごく最近では、これまで培った低温領域の熱特性測定テクニックを生かし、阪大核物理学研究センターとの共同研究として重水素単結晶の作製と極低温における熱伝導および熱容量測定の実験を行っている。

## 構造不規則系

原子が共有結合で結ばれることにより基本構造が形成され、さらに基本構造同士が相互作用して2次構造をつくる、階層構造を有する元素のナノ粒子、あるいは構造不規則系の研究を行っている。これらの系を構造と物性の両面から検討することにより、階層構造を有する物質の特徴を明らかにすることを研究目的としている。実験手法としては、X線吸収微細構造測定、X線回折測定、ラマン分光測定などの構造解析と、光吸収係数、フォトルミネッセンスなどの物性測定を用いている。X線を用いた実験は、KEK-PFやSpring-8などの大型放射光施設を利用している。

## 希土類金属・合金、希土類金属間化合物の磁性研究。強相関電子系酸化物の磁性研究。

核磁気共鳴を実験手段として磁氣的秩序状態にある物質、例えば希土類金属間化合物やマンガン酸化物などの磁氣的性質について研究している。実験の特徴は共鳴周波数が1000MHz以上になるギガヘルツ帯での核磁気共鳴も

行えること。

希土類を含んだ金属間化合物の単結晶を用いて、4f 電子の示す異方的な性質を磁氣的、電氣的、熱的な観点から研究、更に強相関相互作用を示す物質探索をも行い、近藤効果と RKKY 相互作用の競合についての研究を行っている。測定温度範囲は 1K 近辺から室温までの広い範囲に渡っている。

強相関電子系における異方的超伝導、多極子秩序、重い電子状態などの物理現象について研究をしている。実験手段としては独自に開発した測定技術を用いて極低温下(0.1~4K)で磁化、熱膨張、比熱等の熱力学量の精密物性測定を行っている。また、新しい実験装置の開発にも積極的に取り組んでいる。

## 【学術論文】

1. Strong Coupling between 4f Valence Instability and 3d Ferromagnetism in  $\text{Yb}_x\text{Fe}_4\text{Sb}_{12}$  Studied by Resonant X-Ray Emission Spectroscopy, Hitoshi Yamaoka, Ignace Jarrige, Naohito Tsujii, Jung-Fu Lin, Tsuyoshi Ikeno, Yosikazu Isikawa, Katsuhiko Nishimura, Ryuji Higashinaka, Hideyuki, Sato, Nozomu Hiraoka, Hirofumi Ishii, and Ku-Ding Tsuei, *Phys. Rev. Lett.*, **107**, 177203-1-4 (2011).
2. Specific Heat in Magnetic Fields and Magnetizations of  $\text{HoFe}_2\text{Zn}_{20}$  Single Crystal, Isikawa, Y., Miyamoto, S., Kumagai, K., Nakahara, M., Mizushima, T., Tayama, T., Kuwai, T. and P. Lejay, *Proceedings of JCPMAT 2011*, 127-131 (2011).
3. Magnetic properties of  $\text{NdFeO}_3$  single crystal in the spin reorientation region, Shujuan Yuan, Yabin Wang, Mingjie Shao, Fenfen Chang, Baojuan Kang, Yosikazu Isikawa, and Shixun Cao, *J. Appl. Phys.*, **109**, 07E141-1-3 (2011).
4. Critical behavior in a Kondo-screening partially-ordered antiferromagnet  $\text{CePdAl}$ , Akira Oyamada, Tomomi Kaibuchi, Masahide Nishiyama, Tetsuaki Itou, Satoru, Maegawa, Yosikazu Isikawa, Andreas Donni and Hideaki Kitazawa, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **320**, 012067-1-6 (2011).
5. Magnetic and thermal properties of cubic  $\text{SmCu}_4\text{X}$  compounds ( $\text{X} = \text{Ag, Au, Pd}$ ), Zhang, S., Tayama, T., Mizushima, T., Kuwai, T., and Isikawa, Y., *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80**, SA067-1-3 (2011).
6. Anomalous behavior on specific heat and thermoelectric power in wide range of temperatures in  $\text{CeNi}_2(\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x)_2$ , Takeuchi, M., Funane, M., Isikawa, Y., Mizushima, T., Tayama, T., Fukuhara, T., and Kuwai, T., *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80**, SA063-1-3 (2011).
7. Thermoelectric power at low temperatures in  $\text{Ce}(\text{Ni}_{1-x}\text{Pd}_x)_2\text{Ge}_2$  and  $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$  in the vicinity of antiferromagnetic quantum critical point, Kuwai, T., Iwaki, T., Takeuchi, M., Mizushima, T., Tayama, T., Isikawa, Y., and Fukuhara, T., *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80**, SA064-1-3 (2011).
8. Low-Temperature Magnetization of Antiferromagnet  $\text{NdCu}_4\text{Ag}$ , Tayama, T., Takayama, Y., Miura, Y., Zhang, S., and Isikawa, Y., *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80**, Suppl. A, SA074-1-3 (2011).
9. f-Electron-Nuclear Hyperfine-Coupled Multiplets in the Unconventional Charge Order Phase of Filled Skutterudite  $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$ ,

Y. Aoki, T. Namiki, S. R. Saha, T. Tayama, T. Sakakibara, R. Shiina, H. Shiba, H. Sugawara, and H. Sato,  
*J. Phys. Soc. Jpn.*, **80**, 054704-1-7 (2011).

10. Structural and electronic properties of pyrochlore-type  $A_2\text{Re}_2\text{O}_7$  (A = Ca, Cd, and Pb),  
Ohgushi K, Yamaura J., Ichihara M, Kiuchi Y., Tayama T., Sakakibara T., Gotou H., Yagi T. and Ueda Y.,  
*Phys. Rev. B*, **83**, 125103-1-6 (2011).

**【総説・解説】**

1. X線トポグラフィの三次元化と応用,  
梶原堅太郎, 飯田敏, 向出大平, 川戸清爾,  
*日本結晶学会誌*, **54**, 12-17(2012) .

**【表彰】**

1. JPSJ Papers of Editors' Choice,  
Y. Aoki, T. Namiki, S. R. Saha, T. Tayama, T. Sakakibara, R. Shiina, H. Shiba, H. Sugawara, and H. Sato

## 物理学科 量子物理学グループ

## 【教員・研究分野】

教授	栗本 猛	Takeshi Kurimoto	理論物理学 (素粒子論, その他)
教授	松島 房和	Fusakazu Matsushima	レーザー分光学
教授	森脇 喜紀	Yoshiki Moriwaki	量子エレクトロニクス, レーザー分光学
准教授	榎本 勝成	Katsunari Enomoto	分子分光学, 量子エレクトロニクス
准教授	兼村 晋哉	Shinya Kanemura	理論物理学 (素粒子論)
准教授	小林 かおり	Kaori Kobayashi	分子分光学, マイクロ波分光, レーザー分光
助教	柿崎 充	Mitsuru Kakizaki	理論物理学 (素粒子論, 宇宙論)

## 【研究概要】

## 遠赤外分光学

光を用いて原子分子の構造や相互作用を研究する。用いる光はレーザーであることが多いが、適当な光の無い波長域では、光源そのものの開発も行う。とくに、遠赤外域で作上げた波長可変の分光計は、50 ミクロンから長波長側のコヒーレントな遠赤外光を発生でき、世界でも、この領域のコヒーレントな光源による高分解能分光学は富山大学でしかできないという特色を持っている。これまでに、水分子などの身近な分子をはじめとして多くの分子を対象に回転スペクトルを調べてきたが、最近では陽子のついたプラス分子イオンやマイナスの分子イオンの測定も行えるようになった。

## 素粒子物理学 (対称性の破れ)

現在あるいは近い将来に実験可能な素粒子現象について、時間反転、空間反転、粒子・反粒子変換の各対称性の破れに主に注目した研究を行ない、現在の素粒子標準模型の次に来るべき理論を探求することを目標としている。

## 量子エレクトロニクス, レーザー分光学

低温ヘリウム (固体・液体・気体) 中での原子分子の分光:

ヘリウムは、物質との相互作用が小さく、電磁波・光に対して広い周波数範囲で透明であるため、原子分子などを閉じ込めその性質を調べるための媒体となる。我々は、ヘリウム中に閉じ込められた原子分子を分光学的に調べることにより、原子分子とヘリウムとの衝突相互作用、ヘリウムが形成する構造、ヘリウムのボース-アインシュタイン凝縮に伴う素励起などの光学的な検出の研究している。

原子・分子・イオンの空間捕捉と冷却:

静電磁場やマイクロ波を用いて原子・分子・イオンを狭い空間内に捕捉・冷却する手段の研究を行っている。捕捉・冷却された原子分子イオンを用いて、他との相互作用が極めて小さい孤立系、あるいは制御された相互作用を行う系を用意し、レーザーなどの電磁波を用いた精密な遷移周波数の測定や、衝突・反応の詳細を調べる研究を行っている。

## 星間分子・トリチウム含有分子の分子分光

気相中の分子を高分解能・高感度なレーザー分光法やマイクロ波分光法を用いて研究し基礎的なデータを収集し、その解析を行っている。

マイクロ波分光では8-340GHzの範囲内で内部回転を持つ星間分子やその候補の実験室のデータの測定と解析を行っている。この測定に必要な装置の開発も行っている。これらは電波観測に不可欠であり、星間空間の運動、星の生成や環境を調べるための基礎となっている。このようなデータを天文観測や分光観測に役立てるために周波数検索できるデータベースとして整備しウェブ上で公開している。さらに電波観測への応用を行い、星間空間での分子の物理状態の把握などを行っている。

近赤外領域のレーザー分光では特に水素の放射性同位体であるトリチウム含有分子の分子分光を行っており、現在は高濃度トリチウム水の分光を実施中である。

## 理論物理学 (素粒子の質量起源)

主として素粒子の質量の起源に関する理論的研究を行っている。ゲージ対称性の自発的破れ (ヒッグス機構) は

その一つの解答を与えると考えられるが、素粒子標準模型を超える新しい物理に関連し様々なヒッグス模型の構造と性質に関する理論的研究をしている。またニュートリノ混合と微小質量の起源および宇宙のバリオン数生成や暗黒物質の起源などの初期宇宙の謎を素粒子論に基づいて研究している。

### 理論物理学 (素粒子論的宇宙論)

素粒子標準模型を超える新しい素粒子模型の構築及び検証を、初期宇宙現象との整合性という宇宙論的観点から行っている。特に、標準模型では説明できないニュートリノの質量、宇宙の暗黒物質の正体の解明を目指し、加速器実験、宇宙観測のデータに基づいた多角的な研究を行っている。

### 【学術論文】

1. Deposition of novel nanocomposite films by a newly developed differential pumping co-sputtering system,  
Nose, M., Kurimoto, T., Saiki, A., Matsuda, K., and Terayama, K.,  
*J. Vac. Sci. Technol.*, **A30(1)**, 011502-1-7 (2012).
2. Ab initio study on potential energy curves of electronic ground and excited states of  $^{40}\text{CaH}^+$  molecule,  
Abe, M., Moriwaki, Y., Hada, M., and Kajita, M.,  
*Chem. Phys. Lett.*, **521**, 31 (2012).
3.  $\nu_4$  band of  $\text{CH}_4$  in helium nanodroplets: A probe of the dynamical response of a superfluid,  
Ravi, A., Kuma, S., Yearwood, C., Kahlon, B., Mustafa, M., Al-Basheer, W., Enomoto, K., and Momose, T.,  
*Physical Review A*, **84**, 020502-1-4 (2011).
4. Photoassociative production of ultracold heteronuclear ytterbium molecules,  
Borkowski, M., Ciurylo, R., Julienne, P.S., Yamazaki, R., Hara, H., Enomoto, K., Taie, S., Sugawa, S., Takasu, Y., and Takahashi, Y.,  
*Physical Review A*, **84**, 030702-1-4 (2011).
5. Development of a superconducting cavity for a microwave lens to collimate cold molecular beams,  
Enomoto, K., Djuricanin, P., Gerhardt, I., Nourbakhsh, O., Moriwaki, Y., Hardy, W., and Momose, T.,  
*Proceedings of 5th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms 2011*, 79-83 (2011).
6. Non-decoupling effects in supersymmetric Higgs sectors,  
Kanemura, S., Shindou, T., and Yagyu K.,  
*Physics Letters B*, **699**, 258 (2011).
7. Masses of dark matter and neutrino from TeV scale spontaneous  $U(1)_{\text{B-L}}$  breaking,  
Kanemura, S., Shimomura, T., and Seto O.,  
*Physical Review D*, **84**, 16004 (2011).
8. Triviality and vacuum stability bounds in the three-loop neutrino mass model,  
Mayumi A., Kanemura S., and Yagyu K.,  
*Physical Review D*, **83**, 75016 (2011).
9. Testing Higgs portal dark matter via Z fusion at a linear collider,  
Kanemura S., Matsumoto S., Nabeshima T., and Taniguchi H.,  
*Physics Letters B*, **701**, 591 (2011).
10. Testing Higgs models via the HWZ vertex by a recoil method at the International Linear Collider,  
Kanemura S., Yagyu K., and Yanase K.,  
*Physical Review D*, **83**, 75018 (2011).

11. Light Charged Higgs bosons at the LHC in 2HDMs,  
Aoki M., Guedes R., Kanemura S., Moretti S., Santos R., and Yagyu K.,  
*Physical Review D*, **84**, 55028 (2011).
12. Doubly-charged scalar bosons from the doublet,  
Aoki M., Kanemura S., and Yagyu K.,  
*Physics Letters B*, **705**, 355 (2011).
13. Neutrino Masses from Loop-Induced Dirac Yukawa Couplings,  
Kanemura S., Nabeshima T., and Sugiyama H.,  
*Physics Letters B*, **703**, 66 (2011).
14. Decoupling property of the supersymmetric Higgs sector with four doublets,  
Mayumi A., Kanemura S., Shindou T., and Yagyu K.,  
*Journal of High Energy Physics*, **1111**, 38 (2011).
15. Indirect bounds on heavy scalar masses of the two-Higgs-doublet model in light of recent Higgs boson searches,  
Kanemura S., Okada Y., Taniguchi H., and Tsumura K.,  
*Physics Letters B*, **704**, 303 (2011).
16. First-order electroweak phase transition powered by additional F-term loop effects in an extended supersymmetric Higgs sector,  
Kanemura S., Senaha E., and Shindou T.,  
*Physics Letters B*, **706**, 40 (2011).
17. Testing the Higgs triplet model with the mass difference at the LHC,  
Aoki M., Kanemura S., and Yagyu K.,  
*Physical Review D*, **85**, 55007 (2011).
18. TeV-Scale Seesaw with Loop-Induced Dirac Mass Term and Dark Matter from  $U(1)_{\{B-L\}}$  Gauge Symmetry Breaking,  
Kanemura S., Nabeshima T., and Sugiyama H.,  
*Physical Review D*, **85**, 33004 (2011).
19. Near-infrared Spectroscopy of Tritiated Water,  
Kobayashi, K., Enokida, T., Iio, D., Yamada, Y., Hara, M., and Hatano, Y.,  
*Fusion Science & Technology*, **60**, 941-943 (2011).
20. Analysis of the pure-rotational spectrum in the  $v_{28}=1$  excited torsional state and torsional couplings of trans-ethyl methyl ether,  
Kobayashi, K., Matsui, T., Mori, N., Tsunekawa, S., and Ohashi, N.,  
*Journal of Molecular Spectroscopy*, **269**, 242-247 (2011).
21. Thermal abundance of non-relativistic relics with Sommerfeld enhancement,  
Iminniyaz, H., and Kakizaki, M.,  
*Nuclear Physics B*, **851**, 57-65 (2011).
22. Higgs Phenomenology of Minimal Universal Extra Dimensions,  
Belanger, G., Belyaev, A., Brown, M., Kakizaki, M., and Pukhov, A.,  
*Proceedings of Hadron Collider Physics Symposium 2011*.

23. Les Houches 2011: Physics at TeV Colliders New Physics Working Group Report,  
Brooijmans, G. et al.,  
*Working Group Report of Les Houches 2011: Physics at TeV Colliders.*

**【著書】**

1. 理工系数学の土台,  
栗本猛 (単著),  
プレアデス出版, 1-297p, ISBN978-4-903814-45-2.
2. 原子分子物理学ハンドブック,  
松島房和, 小林かおり,  
朝倉書店, 第2章 2.3, 132-157 .

**【表彰】**

1. 第6回 (2012年) 日本物理学会若手奨励賞,  
榎本勝成