

平成 22 年 6 月 3 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17071003

研究課題名（和文） 量子臨界近傍に現れる新奇量子現象の解明

研究課題名（英文） Novel quantum phenomena emerging near quantum critical point

研究代表者

今田 正俊 (IMADA MASATOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70143542

研究成果の概要（和文）：異なる量子系である電子系とヘリウム系を中心に、モット転移や磁気転移などの新奇量子臨界性と、スピン液体や非フェルミ液体相などの新しい量子相をいくつも見出し、その特質と発現機構の解明を進め、共通する特徴・普遍性と新しい概念を抽出した。

研究成果の概要（英文）：In a number of different quantum systems such as electrons and Helium atoms, we have discovered novel quantum criticality and new quantum phases. We have also clarified nature and mechanisms of the novel quantum criticalities around Mott transitions and magnetic transitions as well as of the quantum phases such as quantum spin liquid and non-Fermi liquid, with which new concepts and universalities are extracted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	8,500,000	0	8,500,000
2006年度	12,900,000	0	12,900,000
2007年度	13,100,000	0	13,100,000
2008年度	13,300,000	0	13,300,000
2009年度	13,500,000	0	13,500,000
総計	61,300,000	0	61,300,000

研究分野：理工系（数物系科学）

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：量子臨界現象，量子スピン液体，フラストレーション，金属絶縁体転移，モット絶縁体，強相関電子系，新奇量子現象，特異な超伝導

1. 研究開始当初の背景

顕著な量子効果のもとで多粒子系の示す現象は多彩であるが、その中でも量子相転移は最も注目を集め、磁気転移、金属絶縁体転移、誘電転移、超伝導転移、超流動転移などが広範な凝縮系分野で研究されてきた。強相関フェルミ粒子系の中には、熱的な相転移の単純な延長線上や定量的な修正によっては理解できない未知の現象が多く発見され、新しい概念が必要とされていた。量子スピン液

体相、モット局在化転移近傍でのエキゾチックな量子流体相、金属相などはその典型的な例である。現実の物質群に目を転ずると、遷移金属化合物、分子性導体、ヘリウムなどを舞台とした強相関系の研究は、銅酸化物高温超伝導やマンガン酸化物系の巨大磁気抵抗などの精力的な研究を通じて、実験的には試料純度と実験技術の飛躍的な向上、理論的には数値計算手法のいくつかのブレークスルーに後押しされ、新しい局面を迎えていた。

特に、モット転移や電荷秩序に伴う金属絶縁体転移の性質と、その近傍に現れる奇妙な振る舞いが注目を集めていた。モット転移の問題では、2次元³Heにおける局在転移近傍の新奇量子相や、2次元分子性導体における量子スピン液体的な振る舞い、電荷秩序系では、2次元分子性導体における電荷揺らぎの共存と新奇な輸送現象などが挙げられる。

これらの課題に対して、経路積分くりこみ群計算により、ギャップのない量子スピン液体相の存在が今田らにより示されていた。一方、実験的にはET型有機化合物のモット転移近傍で鹿野田らにより、また単原子層ヘリウム3においては福山らの先駆的な比熱測定と石本らによる極低温での帯磁率測定を経て、ギャップのないスピン液体相が発見されていた。さらに、中辻らはNiGa₂S₄にスピン液体相の存在を示唆する結果を得ていた。求、渡辺はこれらの系の数値解析手法に精通しており、理論実験双方で準備研究は完了し、大きな発展が期待される時期にさしかかっていた。また、ET化合物のモット臨界点で鹿野田らは従来期待されていたイジング型の普遍性とは異なり、新しいタイプの臨界指数を得、今田は、モット転移の量子性によって生じる新奇な臨界性を発見し謎の首尾一貫した理解が可能なることを示唆していた。以上新奇な物性を理論的に解明し、急速に展開する実験研究と緊密な連携を図り、実験・理論の両面からの新量子相・新奇量子臨界性の解明が急務であった。

2. 研究の目的

本研究では以下の問題の解明を目標とした。

- (1)ヘリウム3、有機物質、遷移金属化合物で発見され、量子シミュレーションで支持されるギャップレスな量子スピン液体相 (2) 複数の実験系に見出される多体フェルミ粒子系のモット転移および磁気転移の臨界点近傍に生じる非従来型量子臨界現象 (3) 局在化寸前の量子フェルミ流体相の性質。エキゾチックな量子多体相の可能性、自己組織化の形成機構 (4)電荷秩序などで生じる多重量子臨界点近傍の物性 (5)スピンと電荷の揺らぎの効果、特に金属絶縁体転移や磁気転移の近傍における相競合の機構の解明。(6)フラストレーションの効果が物性に及ぼす影響。

3. 研究の方法

理論、実験を横断して緊密な議論を積み重ね、新しい概念に結びつくような未解明の現象に関して多数の研究会などで解明を進めた。またA01福山班をはじめ、領域内他グループとの研究討論も活発に行った。以下理論実験の個々の研究手法を述べる。

理論手法：強相関電子系における強い揺らぎの効果やそれに伴う非自明状態の発現の本質を捉えるために、出来る限り近似を排した数値手法を採用し、必要があれば独自に手法

開発も行った。具体的には、経路積分繰り込み群法、ガウス基底モンテカルロ法、多変数変分モンテカルロ法を独自開発し、密度行列繰り込み群法、境界条件平均を用いた厳密対角化法、連続時間モンテカルロ法や厳密対角化と併用したクラスタ動的平均場法を用いた。(今田、求、渡辺)

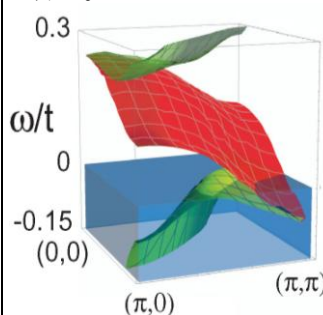
実験手法：スーパークリーン物質の作成を目指した試料作製条件の探索を化学輸送法、フラックス法を用いて行った。作成した試料の比熱・磁化・電気抵抗の測定には希釈冷凍機、あるいは、ヘリウム3冷凍機を用いた。(中辻)分子を構成要素とする有機導体を用い、バンド幅制御のモット転移に関しては絶縁相が反強磁性体であるκ-(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Cl(κ-C1)とスピン液体であるκ-(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃(κ-Cu₂(CN)₃)を対象とした。中性-イオン性転移に関しては典型物質であるTTF-CA および量子相転移が指摘されていたDMTTF-QX₄(X=Br, Cl)を研究対象とした。圧力によって相転移を司るパラメータを連続的に変化させるため、低压域ではヘリウムガス圧方式を、より高压には油圧方式を用いた。電荷とスピン自由度を調べるため電荷自由度に関しては電気抵抗、スピン自由度に関しては核磁気共鳴法(NMR)を圧力下で測定した。格子運動の情報を必要としたときには核四重極共鳴(NQR)測定も行った。(鹿野田・宮川)

4. 研究成果

本研究プロジェクトの主要な成果は、全く異なる量子系である電子系とヘリウム系の双方について、新奇量子臨界点と新しい量子相解明がともに進み、共通する特徴・普遍性と相違点がはっきりしたことである。以下に成果をまとめる。

(1) [非フェルミ液体, 新量子相の解明]

①[ドーブしたモット絶縁体の新量子相]ドーブされた2次元モット絶縁体を示す電子構造の大規模な再構成をクラスタ動的平均場近似およびスレーブボゾン法の拡張により解明し、モット転移近傍にフェルミ液体で表せない新量子相が存在することを明らかにした。加えてホールポケット、フェルミアーク、リフシツ転移、擬ギャップ等、謎となっていた現象の生成機構の包括的理解を得た。



図：ドーブされたモット絶縁体で極面(緑)とゼロ面(赤)がフェルミレベル ($\omega=0$) 付近で絡み合っ引き起こす新奇量子液体

②[ヘリウムの新量子液体]

グラファイトに吸着されたヘリウム 3 の第 2 層固体相のヘリウム濃度を整合絶縁相から変化させたときに実験的に観測される比熱のピーク構造の変化などの謎を、第 3 層への強い密度ゆらぎと、液相がもつ密度秩序へのゆらぎによって説明できることを突き止めた。これは①で述べた電子系のモデルで見出される非フェルミ液体・新量子相との共通の物理の存在を示す結果である。

③[重い電子]

カゴメ格子ハバード模型に対するクラスタ動的平均場法の適用から、スピカイラリティーに起因した、重い電子状態形成の新しい機構を見出した。この結果は、通常は表に現れないスピンの多量体的なゆらぎが低温での繰り込まれたフェルミ液体状態形成を支配する機構を示し、 LiV_2O_4 などの未解明の重い電子状態形成の機構にヒントを与えた。

④[中性-イオン性転移]

TTF-CA では中性相と格子が二量体化しているイオン性強誘電相が存在すると考えられていたが、NQR 測定により高圧にはイオン性常誘電相が存在することを見出した。

(2)[スピン液体相の解明]

量子数射影を組込んだ経路積分繰り込み群法と境界条件平均を併用する厳密対角化の計算から、異方的三角格子ハバード模型の常磁性金属相と磁気秩序絶縁相の間に見出された量子スピン液体絶縁相の解明を進め、特異なギャップレスのスピン励起を持つ相があることを明らかにし、 κ -ET 系、吸着 2 次元 ^3He の系の実験との比較研究が進んだ。

また実験的には κ - $\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ の ^{13}C NMR スペクトルの磁場依存性の測定を行い、スピン液体相において磁場によって磁気モーメントが誘起されることが分かった。

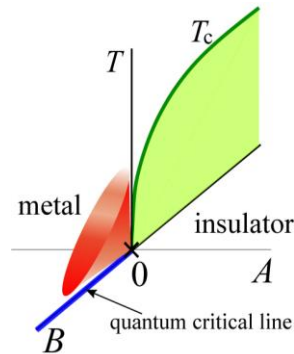
$\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ もスピン液体的なふるまいを示すが比熱とスピン緩和率の奇妙な振る舞いを理解する目的で、ハイパーカゴメ格子上のハバードモデルをクラスタ動的平均場法を用いて調べ、電子相関による状態密度の変化から実験結果を解釈出来る可能性を指摘した。一方、低スピン系 ($S=1$) で 3 角格子の対称性を保つ、擬 2 次元系 NiGa_2S_4 を発見し、粘性の高いスピン状態が実現していることを見出した。 Mn,Fe,Co による Ni サイトへの磁性不純物効果からスピン液体状態がスピンの偶奇性によって変化することを明らかにした。またこの状態はスピン凍結に伴った広い臨界状態として理解できることを示した。

(3)[新規量子臨界性]

①モット転移の臨界性

量子モット転移が新奇な量子臨界性を持つことをミクロな模型の考察も含めて確立した。この臨界性は対称性の破れとトポロジ転移という異なる性格の臨界性を併せ持つという点で量子相転移に今まで知られてい

なかった概念を導入することとなった。 $|\text{-ET}$ 塩、 V_2O_3 におけるモット転移がこの統一的な理論で理解できることを示した。



図：温度 T 、量子ゆらぎ B 、金属絶縁体転移制御因子 A の空間での量子モット転移の臨界性。トポロジ性のために通常の量子臨界と異なる量子臨界線(青線)が延びる。

また κ -ETCl 塩におけるモット転移の臨界点近傍を NMR によって磁性の観点から調べた。電荷に自由度の臨界性について電気抵抗ですでに我々の研究によって従来とは異なった臨界指数をもつことを指摘していた。スピン-格子緩和時間から見積もった臨界指数も電気伝導度のそれと同じ値を持つことを見出した。さらに臨界点近傍では電気伝導度が大きくなる領域において反強磁性揺らぎが押さえられていることを観測した。

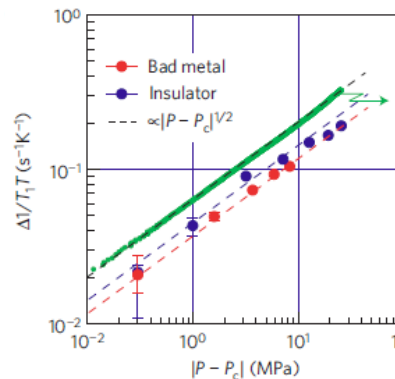


図 臨界指数の見積もり

②磁気量子臨界性・多重量子臨界性

三重量子臨界点のまわりの量子臨界性が秩序パラメータと関係のない様ゆらぎの発散を伴う、新奇なものであることを見出し、 YbRh_2Si_2 、 CeRu_2Si_2 、下記の YbAlB_4 の実験結果の謎を説明しうることを明らかにした。実験的に新しい重い電子系物質 β - YbAlB_4 を開発し、この系が量子臨界点近傍にあるスーパークリーン物質であり、 Yb 系重い電子系化合物としては初めての超伝導体であることを突き止めた。この重い電子系超伝導体 YbAlB_4 においてゼロ磁場量子臨界点が存在することを明確にすると同時に、量子振動の測定からその電子状態を明らかにした。この量子臨界点が f 電子系では初めて価数揺動をうことを見出した。また量子三重臨界による

物理がこの物質の物性を支配している可能性を指摘した。

③[その他の新奇量子臨界性]

量子臨界点上と考えられる DMTTF-QBr₂Cl₂ の Br NQR 測定を行った。その結果、スペクトル線幅は温度低下に伴い徐々に増大し、スピン格子緩和時間はフォノンで期待される T⁷ よりも短くなっていることを観測した。この結果から本物質が電荷-格子が結合した量子相転移の臨界領域に位置すると考えられる。

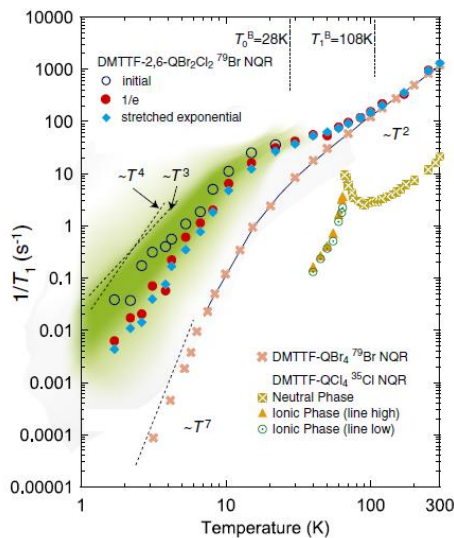


図 DMTTF-QBr₂Cl₂ の Br NQR の 1/T₁

(4)[相競合]

拡張ハバードモデルに対する乱雑位相近似を用いた計算から、電子間斥力が誘起するウィグナー結晶化とフェルミ面のネスティングに起因した電荷密度波形成という、2つの異なる不安定性によって電荷揺らぎが共存しうることを明らかにした。この結果は、電子相関による種々のウィグナー結晶型の電荷秩序の競合や、ドメイン形成による非一様な電子状態の発現といった従来考えられていたシナリオとは全く異なる視点を与えるものである。

パイロクロア格子上の二重交換モデルに対するモンテカルロ計算から、二重交換相互作用と反強磁性交換相互作用の拮抗による新奇な常磁性金属相の発現機構を明らかにした。さらに、この常磁性金属相と強磁性金属相の間の新しい相分離状態も見出した。これらの結果は、Moパイロクロア酸化物における圧力効果を良く説明する。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 21 件)

(1) M. Imada, T. Misawa and Y. Yamaji, “Systematic Control of Doped Carrier Density without Disorder at Interface of Oxide Heterostructures”, J. Phys. Soc.

Jpn., 査読有, **79** (2010) 034704(1-7).

(2) T. Misawa, Y. Yamaji and M. Imada, “Spin Fluctuation Theory for Quantum Tricritical Point Arising in Proximity to First-Order Phase Transitions: Applications to Heavy-Fermion Systems, YbRh₂Si₂, CeRu₂Si₂, and β-YbAlB₄”, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, **78** (2009) 084707(1-15).

(3) S. Sakai, Y. Motome and M. Imada, “Evolution of Electronic Structure of Doped Mott Insulators: Reconstruction of Poles and Zeros of Green’s Function”, Phys. Rev. Lett., 査読有, **102** (2009) 056404(1-4).

(4) S. Watanabe and M. Imada, “On Proximity of 4/7 Solid Phase of ³He Adsorbed on Graphite -Origin of Specific Heat Anomalies in Hole-Doped Density Ordered Solid-”, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, **78** (2009) 033603(1-4).

(5) S. Watanabe and M. Imada, “What is Minimal Model of ³He Adsorbed on Graphite? ---Importance of Density Fluctuations in 4/7 Registered Solid ---”, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, **76** (2007) 113603(1-4).

(6) T. Misawa and M. Imada, “Quantum criticality around metal-insulator transitions of strongly correlated electrons”, Phys. Rev. B, 査読有, **75** (2007) 115121(1-23).

(7) T. Mizusaki and M. Imada, “Gapless quantum spin liquid, stripe, and antiferromagnetic phases in frustrated Hubbard models in two dimensions”, Phys. Rev. B, 査読有, **74** (2006) 014421(1-10).

(8) M. Udagawa and Y. Motome, “Chirality-driven mass enhancement in the kagome Hubbard model”, Phys. Rev. Lett., 査読有, **104** (2010) 106409(1-4).

(9) Y. Motome and N. Furukawa, “Phase competition in the double-exchange model on the frustrated pyrochlore lattice”, Phys. Rev. Lett., 査読有, **104** (2010) 106407(1-4).

(10) T. Koretsune, Y. Motome, and A. Furusaki, “Exact diagonalization study of Mott transition in the Hubbard model on an anisotropic triangular lattice”, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, **76** (2007) 074719(1-10).

(11) M. Udagawa and Y. Motome, “Charge ordering and coexistence of charge fluctuations in quasi-two-dimensional organic conductors θ-(BEDT-TTF)₂X”, Phys. Rev. Lett., 査読有, **98** (2007) 206405(1-4).

(12) S. Nakatsuji, Y. Nambu, and S. Onoda,

“Novel Geometrical Frustration Effects in the Two-Dimensional Triangular-Lattice Antiferromagnet NiGa_2S_4 and Related Compounds”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, **79** (2010) 011003(1-16).

(13) Y. Nambu, S. Nakatsuji, Y. Maeno, E. K. Okudzetso, and J. Y. Chan, “Spin dependent impurity effects in the 2D frustrated magnetism of NiGa_2S_4 ”, *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, **101** (2008) 207204(1-4).

(14) K. Kuga, Y. Karaki, Y. Matsumoto, Y. Machida, and S. Nakatsuji, “Superconducting properties of the non-Fermi-liquid system $\beta\text{-YbAlB}_4$ ”, *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, **101** (2008) 137004(1-4).

(15) S. Nakatsuji, K. Kuga et al. (他 10 名), “Superconductivity and quantum criticality in the heavy-fermion system $\beta\text{-YbAlB}_4$ ”, *Nature Physics*, 査読有, **4** (2008) 603-607.

(16) S. Nakatsuji, Y. Nambu et al. (他 7 名), “Spin Disorder on a Triangular Lattice”, *Science*, 査読有, **309** (2005) 1697-1700.

(17) F. Iwase, K. Miyagawa, K. Kanoda, S. Horiuchi, and Y. Tokura, “Charge-Lattice-Coupled Quantum Fluctuations in $\text{DMTTF-2,6-QBr}_2\text{Cl}_2$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, **79** (2010) 043709(1-4).

(18) F. Kagawa, K. Miyagawa and K. Kanoda, “Magnetic Mott criticality in a kappa-type organic salt probed by NMR”, *Nature Physics*, 査読有, **5** (2009) 880-884.

(19) S. Yamashita, Y. Nakazawa, M. Oguni, Y. Oshima, H. Nojiri, Y. Shimizu, K. Miyagawa and K. Kanoda, “Thermodynamic properties of a spin-1/2 spin-liquid state in a kappa-type organic salt”, *Nature Physics*, 査読有, **4** (2008) 459-462.

(20) F. Iwase, K. Miyagawa, S. Fijiyama, K. Kanoda, S. Horiuchi and Y. Tokura, “Neutral-ionic phase transition in DMTTF-QCl_4 investigated by ^{35}Cl NQR”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, **76** (2007) 07370(1-4).

(21) Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato and G. Saito, Emergence of inhomogeneous moments from spin liquid in the triangular-lattice Mott insulator, $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$, *Phys. Rev. B*, 査読有, **73** (2006) 140407(1-4).

[学会発表] (計 30 件)

(1) Y. Yamaji, “Fermi surface topology in the proximity to the Mott insulator, 2010 APS March Meeting, 2010 年 3 月 16 日 Portland, Oregon, USA.

(2) 今田正俊, “量子スピン液体の理論の現状と今後の課題”, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009 年 9 月 25 日, 熊本.

(3) M. Imada, “Unconventional quantum criticality”, Workshop on New Developments in strongly Correlated Electron Systems, 2009 年 9 月 21 日, Zurich, Switzerland.

(4) M. Imada, “Unconventional Quantum Criticality Emerging as a New Language of Transition-Metal Oxides, Heavy-Fermion Compounds, and Organic Conductors”, Int. Conf. on Magnetism, 2009 年 7 月 28 日, Karlsruhe, Germany.

(5) M. Imada, “Fermi arc hole pocket and pseudogap”, International Workshop ‘CORPES09’, 2009 年 7 月 23 日, Zurich, Switzerland.

(6) M. Imada, “Electronic Structure Calculation of Real Strongly Correlated Materials”, Supercomputing in Solid State Physics 2009, 2009 年 2 月 17 日, 柏, 千葉.

(7) M. Imada, “Quantum Criticality as a Common Language of Electrons and 3He ”, Int. Workshop on ‘Quantum Critical Phenomena and Novel Phases in Superclean Materials’, 2009 年 1 月 12 日, Honolulu, Hawaii, USA.

(8) S. Sakai, “Mott Transition in the 2D Hubbard Model—as a Reconstruction of Poles and Zeros of Green’s Function”, Int. Workshop on ‘Quantum Critical Phenomena and Novel Phases in Superclean Materials’, 2009 年 1 月 10 日, Honolulu, Hawaii, USA.

(9) S. Sakai, “Non Fermi Liquid and Zeros of Green Function in the 2D Hubbard Model”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, 2008 年 8 月 18 日, Buzios, Brazil.

(10) M. Imada, “Quantum Criticality in Helium and Electron Systems”, ULT2008, Frontiers of Low Temperature Physics, 2008 年 8 月 16 日, Royal Holloway Univ. U.K.

(11) M. Imada, “Two-Dimensional Hubbard Model and High-Tc Superconductivity”, 2008 APS March Meeting, 2008 年 3 月 12 日, New Orleans, Louisiana, USA.

(12) Y. Motome, “Spin-charge coupled phenomena in Mo pyrochlore oxides under pressure: Monte Carlo study of the double-exchange model on a frustrated pyrochlore lattice”, 2010 APS March Meeting, 2010 年 3 月 18 日, Portland, Oregon, USA.

(13) M. Udagawa, “Chirality-driven heavy-fermion behavior in kagome Hubbard model”, 2010 APS March Meeting, 2010 年

3月16日, Portland, Oregon, USA.

(14) Y. Motome, “Spin-charge interplay in frustrated itinerant systems”, Int. Symp. on ‘Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials’, 2010年3月9日, 横浜.

(15) Y. Motome, “Phase competition and large residual entropy in the pyrochlore double-exchange system”, International Conference on Magnetism 2009, 2009年7月26日, Karlsruhe, Germany.

(16) Y. Motome and N. Furukawa, “Phase competition and large residual entropy in the pyrochlore double-exchange system”, 2009 APS March Meeting, 2009年3月18日, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

(17) Y. Motome, “Phase competitions in frustrated spin-charge coupled systems”, Int. Workshop on ‘Quantum Critical Phenomena and Novel Phases in Superclean Materials’, 2009年1月13日, Honolulu, Hawaii, USA.

(18) M. Udagawa, “Magnetic Fluctuations in the Hubbard Model on Kagome-based Frustrated Lattices”, 2008 APS March Meeting, 2008年3月13日, New Orleans, Louisiana, USA.

(19) M. Udagawa, “Coexisting fluctuations of charge ordering in quasi-2D organic conductors, θ -(ET)₂X”, 2007 APS March Meeting, 2007年3月6日, Denver, Colorado, USA.

(20) 中辻知, “Non-Fermi-Liquid and Superconducting Properties of Quantum Critical β -YbAlB₄”, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity, 2009年9月12日, 新宿.

(21) 中辻知, “Non-Fermi-Liquid and novel phase formation in β -YbAlB₄ and Pr₂Ir₂O₇”, Quantum Criticality and Novel Phases 2009, 2009年8月3日, Dresden, Germany.

(22) S. Nakatsuji, “Geometrical Frustration Effects in Phase transition and Transport Phenomena”, Highly Frustrated Magnetism 2008, 2008年9月9日, Braunschweig, Germany.

(23) S. Nakatsuji, “Superconductivity and Non-Fermi-Liquid Behavior in β -YbAlB₄”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems”, 2008年8月18日, Buzios, Rio, Brazil.

(24) 中辻知, Spin Disordered States in Geometrically Frustrated Lattices, The 15th International Conference on Crystal Growth, 2007年8月14日, Salt Lake City,

Utah

(25) K. Miyagawa, “Neutral-Ionic Phase Transition in TTF-CA under Pressure”, Int. Symp. on ‘Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials’, 2010年3月10日, 横浜.

(26) K. Kanoda, “Mott physics revealed by triangular-lattice organics”, Int. Symp. on ‘Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials’, 2010年3月9日, 横浜.

(27) 鹿野田一司, 有機三角格子系におけるスピン液体, 日本物理学会シンポジウム, 2009年9月25日 熊本.

(28) K. Kanoda, “Spin liquid in triangular-lattice organic Mott insulator --- when pressurized and doped ---”, Int. Conf. on Magnetism 2009 (ICM2009), July 30 2009年7月30日, Karlsruhe, Germany.

(29) K. Kanoda, “Neutral-ionic transition Probed by NQR --charge-lattice-coupled quantum phase transition--”, Int. Workshop on ‘Quantum Critical Phenomena and Novel Phases in Superclean Materials’, 2009年1月13日, Honolulu, Hawaii, USA.

(30) K. Miyagawa, “NMR Study on the Superconducting State of Doped Mott Insulator with Triangular Lattice, κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈”, Low-Temperature Physics 25 (LT25), 2008年8月8日, Amsterdam, Holland.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今田 正俊 (IMADA MASATOSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 70143542

(2) 研究分担者

求 幸年 (MOTOME YUKITOSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号: 40323274
中辻 知 (NAKATSUJI SATORU)
東京大学・物性研究所・准教授
研究者番号: 70362431
宮川 和也 (MIYAGAWA KAZUYA)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号: 90302760

(3) 連携研究者

鹿野田一司 (KANODA KAZUSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 20194946
渡辺真仁 (WATANABE SHINNJI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・特任准教授
研究者番号: 40334346