

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007 ~ 2009  
 課題番号：19340086  
 研究課題名 (和文) 5f 電子系における弱い磁性の起源および隠れた秩序・超伝導との相関

研究課題名 (英文) Study of Weak Magnetism and It's Relationship to Hidden Order and Superconductivity in 5f-Electron Systems

研究代表者

網塚 浩 (AMITSUKA HIROSHI)

北海道大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：40212576

研究成果の概要 (和文)：5f 電子系超伝導体 URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> で長年の謎となっていた弱い反強磁性が結晶中の残留応力により不均一に誘起された磁気秩序相に起因することを微視的に初めて明らかにした。更にこの系の超伝導が隠れた秩序と呼ばれる未知秩序領域内だけで生じ、反強磁性とは共存しないことを示すと共に、隠れた秩序として可能な機構の限定を行った。また関連系の研究から量子相転移点近傍の電子物性及び 5 f 電子の磁性について幾つかの新知見を得た。

研究成果の概要 (英文)：We have obtained, for the first time, microscopic evidence that weak antiferromagnetism of the 5f-electron superconductor URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> is ascribed to an inhomogeneous antiferromagnetic order induced by a residual stress in a crystal. We have further shown that the superconductivity of this system does not coexist with the antiferromagnetism but does occur only in the unknown ordered state called “hidden order”. Some new findings have also been obtained from the study of related materials, regarding electronic properties in the vicinity of quantum phase transitions and magnetism of 5f-electron systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2008 年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：重い電子系、隠れた秩序、異方的超伝導、高次多極子、反強磁性、ウラン化合物、アクチナイド、5 f 電子系

#### 1. 研究開始当初の背景

希土類やアクチノイド元素を含む金属化合物 (4f, 5f 電子系) では、極低温領域で 0.01 ~ 0.1  $\mu_B/\text{ion}$  という非常に弱い磁気振幅をもつ磁気秩序や揺らぎを示す物質が多数存在

する。近藤効果による局所的な磁性の抑制、あるいは c-f 混成バンドの遍歴的磁気揺らぎやスピン密度波などがその原因として考えられてきた。興味深いのは、このような弱い磁性が、種々物理量の (i) 非フェルミ液体的

挙動や (ii) 異方的超伝導との共存、さらには (iii) 非自明な“隠れた”自由度との相関、といった新奇物性異常を伴うケースが多く見られることである。(i) および (ii) は、磁気秩序の絶対零度への抑制点、すなわち量子臨界点近傍に多く現れる。これらは高温超伝導体の振る舞いとも共通しており、量子臨界点近傍の金属状態の理解は、当時も現在も強相関電子系分野の主要課題となっている。

一方、特徴 (iii) は、主に U や Pr 化合物で見られ、 $f^2$  という非クラマース電子配置に起因するものと考えられる。隠れた自由度としては電気四極子、磁気八極子などの高次多極子が予想され、それらの秩序や揺らぎが弱い磁性を直接的あるいは間接的に引き起こす可能性が議論されてきた。非クラマース電子状態の研究は、特にスクッテルナイト系の研究を通じて日本を中心に大きく発展している段階にあった。

本申請課題研究の中心物質である  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  は、弱い反強磁性 (転移点  $T_0 = 17.5 \text{ K}$ ) と異方的超伝導 ( $T_c \sim 1.3 \text{ K}$ ) が共存する重い電子系として 1986 年に発見された物質であるが、秩序磁気モーメント ( $\mu_{\text{ord}} \sim 0.03\mu_B/\text{U}$ ) の大きさに対し、磁気エントロピー ( $\Delta S \sim 0.2 R \ln 2$ ) が不釣り合いに大きい、また反強磁性状態で予想される内場が  $^{29}\text{Si}$  NMR では観測されないといった矛盾が指摘され、隠れた秩序変数の存在の可能性が議論されてきた。しかしながら、20 年の歳月を経てなお秩序変数は解明されず、反強磁性を本質と見なす立場と、非本質とする立場との間で論争が続いていた。私達は、1999 年にこの物質に対して静水圧下中性子散乱実験を初めて行い、反強磁性が加圧によって著しく増強される振る舞いを観測した。その後、国内外で圧力効果の研究が活発となり、この物質が高圧下で大きなモーメント ( $\mu_{\text{ord}} \sim 0.4\mu_B/\text{U}$ ) をもつ反強磁性状態へと 1 次相転移することが明らかとなった。しかしながら、常圧～弱圧の秩序状態の本質、及び反強磁性と超伝導との相関については未解明であり、国内外の複数の研究グループが精力的に研究を進めている状況にあった。

## 2. 研究の目的

(1) 強相関 5f 電子系に現れる弱い磁性と隠れた秩序の起源、ならびにこれらの性質と異方的超伝導との関係性を解明する。

(2) 遍歴・局在双対性、結晶場効果、高次多極子自由度の挙動、単サイト多体電子相関といった 5f<sup>2</sup> 非クラマース系の磁性に関する基礎的情報を得る。

(3) 4f 電子系、d 電子系も含め、強相関電子系における量子相転移点近傍における磁性と超伝導の相関および乱れの効果を調べる。

## 3. 研究の方法

(1)  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  における隠れた秩序・弱い磁性・超伝導の相関については、中性子散乱および交流磁化率を静水圧下で同時測定することによって調べる。低歪みの良質単結晶を北海道大学で作製する。中性子散乱実験は日本原子力研究開発機構、改 3 号炉内、東大物性研究所中性子科学研究施設のビームポート 4G および 5G を共同利用して行う。

(2)  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  における隠れた秩序変数の探査については、共鳴 X 線散乱を用いて電気四極子秩序の可能性を直接的に、また 1 軸応力下中性子散乱実験を用いて磁気八極子の可能性を間接的に調べる。また、Rh ドープ系も含め、超音波弾性定数測定による四極子感受率の再評価、および中性子非弾性散乱実験による磁気励起の精密観測を行う。共鳴 X 線散乱実験は大型放射光施設 SPring-8 内、日本原子力研究開発機構のビームポート BL22XU を共同利用して実施する。

(3)  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  および  $\text{UPt}_3$  における弱い反強磁性が結晶内の不均一な残留歪みに起因する可能性を、共鳴 X 線散乱実験によって調べる。

(4) 非クラマース系の局所電子状態 (結晶場効果及び局所多体電子相関) を、 $\text{La}_{1-x}\text{R}_x\text{Ru}_2\text{Si}_2$  系 ( $\text{R} = \text{希土類}$  および  $\text{U}$ ,  $x \leq 0.1$ ) の磁化率・比熱・電気抵抗測定により系統的に調べる。

(5) 関連する d 電子系、4f 電子系の量子臨界点近傍における磁性と超伝導状態の相関および 5f 電子系化合物の磁性および超伝導特性を、極低温磁化、比熱、電気抵抗および (偏極を含む) 中性子散乱実験を用いて調べる。

## 4. 研究成果

(1) 歪みの少ない良質の  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  単結晶を用い、高圧下における交流磁化率および中性子弾性散乱実験を進めた。特に複数の圧力媒体を用いることで静水圧性による物性への影響を評価した。実験の結果、静水圧性の向上に伴い隠れた秩序から反強磁性秩序への転移圧力が下がるとともに転移に伴う異常が鋭くなること、また圧力媒体に依らず転移圧で超伝導相が反強磁性相と入れ替わることを明らかにした。これにより超伝導は当初考えられていた様に反強磁性と共存して起こるのではなく、競合していることが明確となった (図 1)。この系の超伝導の相関長と臨界磁場を考慮すると、反強磁性秩序による内場によって超伝導が抑制されるとは考え難いため、観測結果はクーパー対を媒介する引力相互作用が隠れた秩序状態にのみ存在し、反強磁性相では消失していることを示唆して

いる。

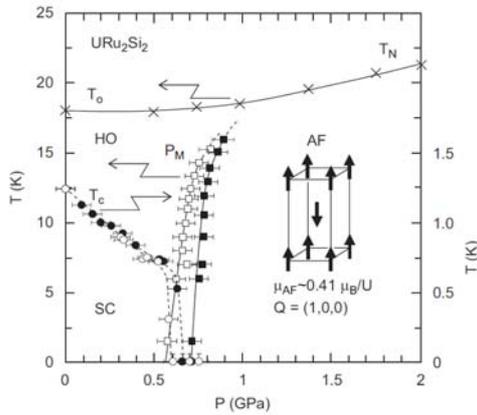


図 1 中性子散乱と交流磁化率測定によって得られた  $URu_2Si_2$  の温度-圧力相図 (白抜き印はダブネオイル、黒塗り印はフロリナートをそれぞれ圧力媒体に用いた結果を表している)

(2) (1)と同じく良質な  $URu_2Si_2$  の単結晶に対し、隠れた秩序が四極子秩序である可能性を検証するために、共鳴 X 線散乱実験を原研量子ビーム応用研究部門・稲見俊哉氏との共同研究として実施した。その結果、過去の報告より約一桁高い精度で、期待される秩序波数をとる反強四極子秩序が無いことを確認した (図 2)。

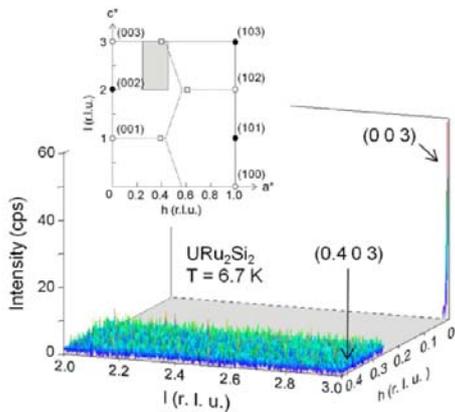


図 2 共鳴 X 線散乱による  $URu_2Si_2$  における四極子秩序の探査結果。(0,0,3)位置のピークは不均一反強磁性による磁気反射を示している。秩序波数の可能性が議論されていた(0.4, 0, 3)を含む逆格子空間内の面上 (内挿図陰影部) には有意な反射は見られない。

同時に、弱い反強磁性が結晶格子の歪んだ領域で発生していることを初めて微視的に検証した。これによって、この物質の弱い反強磁性が、結晶中の残留歪みにより誘起されているものであることが確実となった。またこの結果を受け、 $UPt_3$  の弱い反強磁性についても同様に共鳴 X 線散乱を用いて調べた。過去に一件観測例があるが、我々の実験では磁気散乱が観測できなかった。格子表面がほぼ一

様に歪んでいることがわかり、これが原因なのか、あるいは磁性が不均一なために弱すぎて観測にかからないのか今後更に調べる必要がある。

(3)  $URu_2Si_2$  の隠れた秩序変数が八極子秩序である可能性を検証すべく、1 軸応力下で中性子弾性散乱を実施した。その結果、期待される散乱面内ではそのような秩序は精度内で無いことがわかった (図 3)。

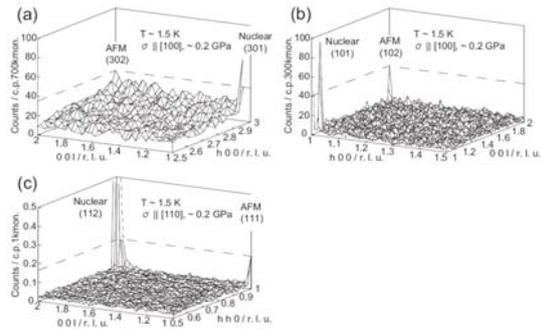


図 3 一軸応力下中性子散乱による  $URu_2Si_2$  における磁気八極子秩序の探査結果。  $Q = (0, 0, 1)$  の不均一反強磁性による散乱ピーク以外には (h,0,l) 面内に有意な磁気反射は見られない。

(4)  $URu_2Si_2$  の隠れた秩序を解明するため、高圧下で現れる反強磁性状態を詳しく調べる研究を進めた。電気抵抗や熱膨張は既によく調べられているが、磁化のデータが少ない点に着目し、約 3 GPa の高圧領域まで SQUID 磁束計を用いて磁化を高精度で測定可能な高圧セルを作製した。その結果、磁場や僅かな一軸応力によって反強磁性相は敏感に抑制されることがわかった。現在、多数の圧力点について慎重に測定と解析を進めており、これまで議論されていなかった高温領域の電子状態と基底状態との相間について新たな情報が得られるものと期待される。

(5)  $URu_2Si_2$  について多極子秩序の可能性を調べるため、Rh ドープ系の弾性応答の再検証を進めた。精度を向上させた実験により、隠れた秩序における弾性定数  $c_{44}$  と  $c_{66}$  の応答に過去の報告よりも大きい差異があることがわかった。また Rh ドープ系で  $c_{11}$  に現れる弾性異常が母物質と異なることも明らかにした。また、高エネルギー分解能非弾性中性子散乱実験を実施し、 $x = 0.015$  において隠れた秩序相特有の磁気励起ギャップが消失することを明らかにした。

(6) 5f 電子状態の遍歴・局在双対性に関する基礎情報を得る目的で、 $UPd_2Si_2$  における非整合-整合反強磁性秩序の圧力効果を調べた。その結果、3.4 GPa 近傍に Lifshitz 点と考えられる 2 重臨界点が存在することを初めて観測

した(図4)。低温で見られる重い電子的振る舞いと比較的高温で秩序に至る局所的磁性との共存がどのように理解できるのかは興味深い点であり、圧力効果の詳しい解析を現在進めている。

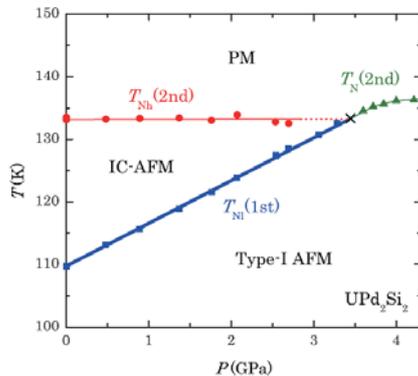


図4 UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の圧力-温度相図。IC-AFMは非整合反強磁性秩序状態、PMは常磁性状態、Type-I AFMは体心正方晶Q=(0,0,1)の縦波の反強磁性秩序状態を表す。×印が予想される多重臨界点。

(7) 関連5f電子系として以下の研究を行った。UPt<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の結晶性の乱れと低温輸送特性、磁気特性を詳しく調べ、この系の輸送特性に異方的なアンダーソン局在が生じている可能性を示した。5f電子の局在性が強い立方晶U<sub>3</sub>Pd<sub>20</sub>Ge<sub>6</sub>の弾性定数測定を行い、反強磁性転移点において大きな弾性率の変化があること観測し、反強磁性が電気四極子秩序を伴っている可能性を示した。異方的超伝導体UBe<sub>13</sub>の超伝導状態における熱平衡磁化および比熱測定を行い、常磁性効果の存在および超伝導相内で何らかの状態変化が起こっていることを示す磁化異常の存在を示した。

(8) ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>構造を持ついわゆる122系の結晶場効果および単サイト電子相関を調べるために、La<sub>1-x</sub>R<sub>x</sub>Ru<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>系(R=希土類元素, x<0.1)を対象に、fイオンの単一サイト電子状態の系統的研究を進めた。その結果、広く用いられている「LS結合+結晶場効果」による近似手法のみでは磁気異方性を定量的に説明できない事実を明らかにした。また、調べた全ての希土類イオンに対する等価演算子法による結晶場パラメータを、僅か3パラメータの有効点電荷を与えることで予想できることを示した。

(9) 磁性と超伝導の共存系であるCeRh<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>In<sub>5</sub>の中性子散乱を実施し、超伝導発現に伴う磁気構造の逐次変化を観測し、超伝導機構との関連性を議論した。

(10) 強磁性量子臨界点に対する乱れの効果を調べるために、T<sub>c</sub>=5.7Kの強磁性金属CePtと中間原子価常磁性金属CeRhの混晶系CePt<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>について、比熱・磁化・交流磁化率

測定を行った。その結果、強磁性秩序はx=0.75(以下x<sub>c</sub>)付近で消失、またx>x<sub>c</sub>の広い濃度範囲で顕著な非フェルミ液体異常が現れることを見出した。さらにx<sub>c</sub>近傍ではクラスターガラス状態が発現しており、単純な強磁性の量子臨界点は存在していないことを示した。既存の理論の中では、相関の乱れを本質とする量子Griffiths-McCoy特異性によるスピン揺らぎの理論が、観測結果に比較的良く適合することを示した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計25件)

- ① H. Amitsuka, T. Inami, M. Yokoyama, S. Takayama, Y. Ikeda, I. Kawasaki, Y. Homma, H. Hidaka, T. Yanagisawa, “Resonant X-ray scattering study of hidden order in URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> using a low-stress single crystal”, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 200, 2010, 012007-1—4
- ② Y. Ikeda, M. Yokoyama, D. Nishikawa, H. Hidaka, T. Yanagisawa, K. Tenya, S. Kawarazaki, T.J. Sato, H. Yoshizawa, H. Amitsuka, “Search for Hidden Order Parameter of URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> by Neutron-Scattering Experiment under Uniaxial Stress”, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 200, 2010, 012065-1—4
- ③ T. Yanagisawa, H. Saito, T. Mayama, Y. Ikeda, H. Hidaka, M. Yokoyama, H. Amitsuka, “Elastic constants of U(Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>”, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 200, 2010, 012236-1—5
- ④ M. Bleckmann, A. Otop, S. Süllo, R. Feyerherm, J. Klenke, A. Loose, R.W.A. Hendrikx, J.A. Mydosh, H. Amitsuka, “Structural properties, magnetic order and electronic transport in single crystalline UPt<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 査読有, 2010, in press, 7 pages
- ⑤ M. Yokoyama, I. Kawasaki, S. Oinuma, N. Oyama, K. Tenya, H. Amitsuka, “Effects of Co doping on antiferromagnetic structure in CeRhIn<sub>5</sub>”, Physica B, 査読有, 404, 2009, 2539—2542
- ⑥ I. Kawasaki, D. Nishikawa, H. Hidaka, T. Yanagisawa, K. Tenya, M. Yokoyama, H. Amitsuka, “Magnetic properties around quantum critical point of CePt<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>”, Physica B, 査読有, 404, 2009, 2908—2911
- ⑦ H. Nobukane, K. Inagaki, K. Ichimura, K. Yamaya, S. Takayanagi, I. Kawasaki, K.

- Tenya, H. Amitsuka, K. Konno, Y. Asano, S. Tanda, "Parity violation in a single domain of spin-triplet  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  superconductors", *Solid State Communications*, 査読有, 149, 2009, 1212—1215
- ⑧ H. Amitsuka, K. Matsuda, M. Yokoyama, I. Kawasaki, S. Takayama, Y. Ishihara, K. Tenya, N. Tateiwa, T.C. Kobayashi, H. Yoshizawa, "Dependence of pressure induced phase transitions on pressure transmitting media in the heavy-electron superconductor  $\text{URu}_2\text{Si}_2$ ", *Physica B*, 査読有, 403, 2008, 925-927
- ⑨ K. Yano, T. Sakakibara, T. Tayama, M. Yokoyama, H. Amitsuka, Y. Homma, P. Miranovic, M. Ichioka, Y. Tsutsumi, K. Machida, "Field-Angle-Dependent Specific Heat Measurements and Gap Determination of a Heavy Fermion Superconductor  $\text{URu}_2\text{Si}_2$ ", *Physical Review Letters*, 査読有, 100, 2008, 017004-1—4
- ⑩ S. Sullow, A. Otop, A. Loose, J. Klenke, O. Prokhnenko, R. Feyerherm, R.W.A. Hendriks, J.A. Mydosh, H. Amitsuka, "Electronic Localization and Two Dimensional Metallic State in  $\text{UPt}_2\text{Si}_2$ ", *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, 77, 2008, 024708-1—5
- ⑪ K.H. Kim, Y.S. Oh, P.A. Sharma, N. Harrison, H. Amitsuka, J.A. Mydosh, "Hall effect signatures of electronic structure change near a field induced quantum critical point in  $\text{U}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Si}_2$ ", *Physica B*, 査読有, 403, 2008, 721-725
- ⑫ M. Yokoyama, N. Oyama, H. Amitsuka, S. Oinuma, I. Kawasaki, K. Tenya, M. Matsuura, K. Hirota, T.J. Sato, "Change of antiferromagnetic structure near a quantum critical point in  $\text{CeRh}_{1-x}\text{Co}_x\text{In}_5$ ", *Physical Review B*, 査読有, 77, 2008, 224501-1—5
- ⑬ K. Tenya, R. Yamahana, M. Yokoyama, H. Amitsuka, K. Deguchi, Y. Maeno, "Anomalous pinning behavior in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ ", *Physica B*, 査読有, 403, 2008, 1101—1103
- [学会発表] (計 71 件)
- ① 網塚浩、「 $\text{URu}_2\text{Si}_2$ における隠れた秩序変数の探索」、Hidden 研究会、2010年2月3日、東京大学物性研究所
- ② 清水悠晴、「重い電子系  $\text{UBe}_{13}$ における基礎物性測定」、日本物理学会第65回年次大会、2010年3月21日、岡山大学
- ③ 西川大地、「 $\text{URu}_2\text{Si}_2$ の高圧下磁化測定II」、日本物理学会第65回年次大会、2010年3月21日、岡山大学
- ④ 日高宏之、「 $\text{UPd}_2\text{Si}_2$ における圧力誘起多重臨界点」、日本物理学会第65回年次大会、2010年3月21日、岡山大学
- ⑤ 齋藤旬、「重い電子系化合物  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  の Rh ドープ系における超音波測定」、日本物理学会第65回年次大会、2010年3月21日、岡山大学
- ⑥ 網塚浩、「高圧下静磁化測定装置開発の現状」、特定領域“100 テスラ領域の強磁場スピン科学研究会”、2009年5月22日、東大物性研究所
- ⑦ 日高宏之、「Effects of pressure on incommensurate-commensurate magnetic phase transitions of  $\text{UPd}_2\text{Si}_2$ 」、新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」第2回研究会、2009年8月18日、広島大学
- ⑧ 池田陽一、「Specific Heat Measurement of  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  under High Pressure」、新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」第2回研究会、2009年8月18日、広島大学
- ⑨ 真山太一、「カゴ状化合物  $\text{U}_3\text{Pd}_{20}\text{Si}_6$  の超音波測定」、日本物理学会2009年秋季大会、2009年9月27日、熊本大学
- ⑩ 清水悠晴、「重い電子系超伝導体  $\text{UBe}_{13}$  における超伝導熱平衡磁化測定」、日本物理学会2009年秋季大会、2009年9月27日、熊本大学
- ⑪ 田中淳、「 $\text{UPd}_2\text{Si}_2$ の圧力効果」、日本物理学会2009年秋季大会、2009年9月25日、熊本大学
- ⑫ 池田陽一、「 $\text{URu}_2\text{Si}_2$ の圧力下比熱測定II」、日本物理学会2009年秋季大会、2009年9月25日、熊本大学
- ⑬ T. Yanagisawa, "Elastic constants of  $\text{U}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Si}_2$ ", *International Conference on Magnetism 2009 (ICM09)*, July 27, 2009, Karlsruhe (Germany)
- ⑭ M. Yokoyama, "Magnetic Field Dependence of Antiferromagnetic Structure in  $\text{CeRh}_{1-x}\text{Co}_x\text{In}_5$ ", *International Conference on Magnetism 2009 (ICM09)*, July 27, 2009, Karlsruhe (Germany)
- ⑮ H. Amitsuka, "Resonant X-ray Scattering Study of Hidden Order in  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  using a Low-Stress Single Crystal", *International Conference on Magnetism 2009 (ICM09)*, July 28, 2009, Karlsruhe (Germany)
- ⑯ Y. Ikeda, "Search for Hidden Order Parameter of  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  by Neutron Scattering Experiment under Uniaxial Stress", *International Conference on Magnetism 2009 (ICM09)*, July 28, 2009, Karlsruhe (Germany)
- ⑰ H. Amitsuka, "Effects of Pressure on Incommensurate-Commensurate Magnetic Phase Transitions of the 5f-Electron System  $\text{UPd}_2\text{Si}_2$ ", *Joint IMR International Symposium High Magnetic Field Spin Science in 100T VI*, December 7, 2009,

Sendai (Japan)

- ⑮ 池田陽一、「URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>における1軸応力下弾性中性子散乱実験」、日本物理学会 第64回年次大会、2009年3月27日、立教大学
- ⑯ 横山淳、「U(Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の隠れた秩序相における磁気励起」、日本物理学会 第64回年次大会、2009年3月27日、立教大学
- ⑰ 網塚浩、「共鳴X線散乱実験によるウラン化合物の微弱磁性の観測」、日本物理学会 第64回年次大会、2009年3月27日、立教大学
- ⑱ 高山茂貴、「URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>における隠れた秩序変数の探索」、日本物理学会 2008年秋期大会、2008年9月21日、岩手大学
- ⑳ 森下明、「磁性希釈極限系 La<sub>1-x</sub>RE<sub>x</sub>Ru<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> (RE: 希土類元素,  $x < 0.1$ ) における磁気異方性、結晶場効果の系統的研究」、日本物理学会 2008年秋期大会、2008年9月21日、岩手大学
- ㉑ I. Kawasaki, “Non-Fermi Liquid Behavior and Magnetic Properties in Ferromagnetic CePt<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES08), August 18, 2008, Buzios (Brazil)
- ㉒ 高山茂貴、「U(Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> ( $x < 0.02$ ) における磁気励起」、日本物理学会 第63回年次大会、2008年3月23日、近畿大学
- ㉓ 石原祐子、「URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の静水圧下磁化測定」、日本物理学会 第63回年次大会、2008年3月23日、近畿大学
- ㉔ 横山淳、「Ce(Rh,Co)In<sub>5</sub>の磁場中中性子散乱」、日本物理学会 第63回年次大会、2008年3月24日、近畿大学
- ㉕ 横山淳、「CeRhIn<sub>5</sub>のCo置換系における反強磁性状態II」、日本物理学会 第62回年次大会、2007年9月22日、北海道大学
- ㉖ H. Amitsuka, “Magnetic anisotropy of URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> and related compounds”, 4th International Symposium on High Magnetic Field Spin Science in 100 T, November 27, 2007, Sendai (Japan)
- ㉗ M. Yokoyama, “Polarized neutron scattering study on antiferromagnetic states in CeRh<sub>0.6</sub>Co<sub>0.4</sub>In<sub>5</sub>”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES’07), May 18, 2007, Houston (USA)
- ㉘ H. Amitsuka, “Dependence of pressure induced phase transitions on pressure transmitting media in the heavy-electron superconductor URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES’07), May 17, 2007, Houston (USA)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

網塚 浩 (AMITSUKA HIROSHI)  
北海道大学・大学院理学研究院・教授  
研究者番号：40212576

### (2) 研究分担者

天谷 健一 (TENYA KENICHI)  
信州大学・教育学部・准教授  
研究者番号：70261279  
横山 淳 (YOKOYAMA MAKOTO)  
茨城大学・理学部・准教授

### (3) 連携研究者

日高 宏之 (HIDAKA HIROYUKI)  
北海道大学・大学院理学研究院・助教  
研究者番号：90466459  
柳澤 達也 (YANAGISAWA TATSUYA)  
北海道大学・創成研究機構・特任助教  
研究者番号：10456353