

平成22年6月1日現在

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2006～2009

課題番号：18204007

研究課題名 (和文) 大規模相互作用系の確率解析

研究課題名 (英文) Stochastic analysis on large scale interacting systems

研究代表者

舟木 直久 (FUNAKI TADAHISA)

東京大学・大学院数理科学研究科・教授

研究者番号：60112174

研究成果の概要 (和文)：界面模型とランダム行列理論に関連する大規模相互作用系に対し、確率解析および非線形偏微分方程式論に基づく研究を行った。特に、壁あるいはピンニングを持つ界面模型について、大偏差原理の速度汎関数が複数の最小解を持つ場合の詳細な解析とスケール極限の決定を行い、さらに2次元ヤング図形の動的模型に対し流体力学極限を証明した。また、ランダム行列理論における動的モデルとして Ginibre 干渉ブラウン粒子系を考察し、着目粒子の劣拡散的挙動という際立った性質を発見した。

研究成果の概要 (英文)：We have studied large scale interacting systems related to the interface model and the theory of random matrices, based on the stochastic analysis and the theory of nonlinear partial differential equations. In particular, concerning the interface model on a wall or with a pinning effect, we have made a precise analysis and determined the scaling limit when the corresponding large deviation rate functional admits plural minimizers, and moreover, established the hydrodynamic limit for an evolutionary model of two dimensional Young diagrams. As a dynamic model in the theory of random matrices, we have investigated the system of Ginibre interacting Brownian particles and found an outstanding property, that is, the sub-diffusive behavior of a tagged particle in this system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2007年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
年度			
総計	18,600,000	5,580,000	24,180,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：数学・数学一般 (含確率論・統計数学)

キーワード：確率論, 解析学, 統計力学, 応用数学, 数理物理, 関数方程式論

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究課題が対象とする大規模相互作用

系とは、巨視的に観測される様々な現象を微視的レベルから解析し理解するために導入

される数理模型の総称で、一般に莫大な量の自由度を有する系である。大規模相互作用系が用いられるのは主に物理現象に対してである。そこでは、微視的レベルで複雑にからみあい時間発展をする多数の原子・分子が存在し、それらは相互作用を繰り返す集団として設定される。このような物理系を扱う分野は統計力学とよばれ、確率論はそのような系に数学的基礎を与える役割を担ってきた。

(2) 大規模相互作用系から巨視的レベルにおける時間発展法則を導くことは、微視から巨視へと結ぶスケール極限をとることにより実行される。このような極限操作は、一般に流体力学極限とよばれ Varadhan によって確立されたエントロピー法以後、日本人研究者達の貢献もあって現代確率論において重要なテーマとなっている。特に日本は確率解析の研究に強固な伝統をもち、確率力学が関与する領域において諸外国に先駆けて研究を行う優位な環境にある。

(3) 海外共同研究者との交流や国際研究集会「大規模相互作用系の確率解析」(平成 14 年 7 月、日本数学会主催、神奈川県湘南国際村センター) の開催などを通し、研究代表者の舟木は界面模型の重要性を深く認識するに至った。統計力学の目標の一つは、相転移の理解である。特に、複数の相が共存する状況においては、これらの相を分離する境界面が現れる。そのような現象をモデル化するのが $\nabla\phi$ 界面模型である。

(4) 大規模相互作用系とランダム行列理論との深い関わりが知られており、その研究は研究分担者の長田が行っている。当時、ランダム行列の理論は特に注目を集めていた。突破口を開いたのは Johansson らによる研究で、Tracy-Widom 分布の導出・ $1/3$ 乗則の発見の後、世界的に爆発的な研究が続いていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究の主目的は、確率解析および非線形偏微分方程式論の手法を広く駆使することにより、様々な大規模相互作用系を深く考察することにある。具体的な研究対象は、相分離における界面模型・ランダム行列およびそれに関連するブラウン粒子系などである。これらの系について、相転移の理解、スケール極限、流体力学極限、自己拡散、均質化、自由境界問題の導出などを論ずる。

(2) 本研究のテーマのひとつに特異性の解析がある。たとえば平面上に置かれた水滴の場合、水滴面の運動には壁すなわち境界面からの反射および引力効果が作用し、それが特異性となって現れる。 $\nabla\phi$ 界面模型においては、

微視的レベルの時間発展は局所時間を含む確率微分方程式によって記述される。この方程式は界面が境界に触れたときデルタ関数に相当する特異なドリフト項を含む。特異性には解析の困難という数学上の興味と同時に、大偏差原理と自由境界問題などを通じた確率論と非線形解析学の関わりが見出される。

(3) ランダム行列理論と関係して現れる干渉ブラウン粒子系の相互作用項は、無限和であり絶対収束しないきわめてデリケートな項である。このような困難の克服は本研究の際立った特色である。さらに、ヤング図形の動的理論を扱い、ランダム行列理論および界面理論との接点を見出す。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者、研究分担者、連携研究者および関連する研究者が一堂に会し活発に研究連絡を行う場として、研究集会「大規模相互作用系の確率解析」を各年度にそれぞれ一度ずつ継続的に開催した。平成 18 年度は九州大学西新プラザ(7 月 11 日-13 日)で、平成 19 年度は国際研究集会として多数の研究者を海外から招聘し九州大学西新プラザ(10 月 22 日-26 日)で、平成 20 年度は東京大学(11 月 4 日-6 日)で、平成 21 年度は東京大学(10 月 7 日-9 日)で行われた。さらに、若手研究者向けに「確率論サマースクール」を信州大学(平成 18 年 8 月 7 日-10 日)で開催した。

(2) 以下の外国人研究者を招聘した：E. Bolthausen, Y.S. Chow, F. Comets, J.D. Deuschel, J. Fritz, R. Kotecky, O. Kutovyi, C. Landim, S.Y. Lee, L. Levine, S. Olla, H. Shahgholian, B. Toth, B. Virag, L. Zambotti (所属・職名は省略)

(3) 研究代表者、研究分担者、連携研究者らは、研究打ち合わせ、研究連絡、研究成果発表のため国内出張、海外出張を行った。

4. 研究成果

(引用は 5. [雑誌論文]による)

(1) 研究代表者の舟木は、大規模相互作用系の一種である壁上の界面模型の研究に動機付けられて制限つきパス空間上でウィナー測度に基づく部分積分公式を論じた¹⁸⁾。さらに、これに関連して、ベッセル過程、その冪、あるいは局所時間などについて、確率積分を論じた¹⁹⁾, ²⁰⁾, ²⁶⁾, ²⁷⁾。これは純粋に確率解析的な対象物であるが、同時に統計力学における基本的な道具 Brascamp-Lieb 不等式がきわめて有効に利用できる。また、FKG 不等式や Brascamp-Lieb 不等式といった相関不等式に対し、確率微分方程式の比較定理・エ

ルゴード定理に基づく見通しのよい証明を与えた⑰。

ピンニングを持つ界面模型は1次元ではランダムウォークに原点へのジャンプの効果を加えて得られるマルコフ連鎖になる。その見本路大偏差原理を示すことができるが、その速度汎関数の最小解が複数個ある場合には、スケール変換されたマルコフ連鎖の極限の特定は非自明である。舟木は、そのような場合を考察し、まずガウスの場合⑦、⑱、次に一般の場合②、⑲に、スケール極限として現れる最小解を決定した。

舟木は続いて、界面模型の一種でもある2次元ヤング図形の時間発展モデルを構成し、その時空のスケール極限の下で現れる境界曲線の運動を記述する非線形偏微分方程式を導いた。大規模相互作用系に対する流体力学極限の手法を用いる。さらに、いわゆるVershik 曲線がこの方程式の定常解として特徴付けられることを示した①。

(2) 研究分担者の長田は、ランダム行列に関連して、平面内のクーロンポテンシャルによる相互作用を持つGinibre 干渉ブラウン粒子系という無限次元確率力学系について、着目粒子が劣拡散的な挙動を示すことを証明した③。そのためにGinibre 点過程について、有限粒子系近似に関する、モーメントの一樣評価を行った⑩。またベッセル点過程の部分積分公式を確立し、Airy 点過程の部分積分公式に関する研究を進展させた。

さらに長田は、Menger スポンジを変形したフラクタル上に、平行移動かつ回転不変な自己相似拡散過程を構成した。このフラクタルの族はいくつかのパラメータを含むが、それをうまく選ぶと空間のハウスドルフ次元は2となり、等周次元はそれより小さな値になる。構成した拡散過程は拡散的スケーリングを持つ⑳、㉑。

(3) 研究分担者のヴァイスは、水面波の2次元モデルにおける解の存在および定性的な振る舞いを考察し、幾何学的手法により、特異点の角度が $2\pi/3$ になるという拡大ストークス予想を証明した⑥。さらに、渦度が0でないときにもストークス予想が正しいことを示した。また、表面張力を持つ2次元水面波が特異点を持たないことを示した。

(4) 研究分担者の乙部は、多次元の領域において、解がその領域に制限される場合の確率偏微分方程式を定式化し、解の存在と一意性に関する研究を行った。特に2次元円板領域の場合や、反応項がリプシッツ条件を満たさない場合の確率反応拡散方程式についての研究を行った。また、無限次元空間内の部分集合における発散定理を示した㉒、㉓。さら

に、複素ヒルベルト空間上のシュレディンガー作用素のスペクトル型による再帰性の違いを明らかにした。

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31件)

- ① T. Funaki and M. Sasada, Hydrodynamic limit for an evolutionary model of two-dimensional Young diagrams, *Comm. Math. Phys.*, 査読有, 2010, 掲載確定.
- ② T. Funaki and T. Otobe, Scaling limits for weakly pinned random walks with two large deviation minimizers, *J. Math. Soc. Japan*, 査読有, vol 62, 2010, 掲載確定.
- ③ H. Osada, Tagged particle processes and their non-explosion criteria, *J. Math. Soc. Japan*, 査読有, 2010, 掲載確定.
- ④ G. Weiss, Existence of a degenerate singularity in the high activation energy limit of a reaction-diffusion equation, *Comm. Partial Diff. Eq.*, 査読有, vol 35, 2010, 185-199.
- ⑤ J. Andersson and G. Weiss, Uniform regularity close to cross singularities in an unstable free boundary problem, *Comm. Math. Phys.*, 査読有, 2010, 掲載確定.
- ⑥ E. Varvaruca and G. Weiss, A geometric approach to generalized Stokes conjectures, *Acta Mathematica*, 査読有, 2010, 掲載確定.
- ⑦ E. Bolthausen, T. Funaki and T. Otobe, Concentration under scaling limits for weakly pinned Gaussian random walks, *Probab. Theory Relat. Fields*, 査読有, vol 143, 2009, 441-480.
- ⑧ T. Funaki and B. Xie, A stochastic heat equation with the distributions of Lévy processes as its invariant measures, *Stoch. Proc. Appl.*, 査読有, vol 119, 2009, 307-326.
- ⑨ T. Funaki, Stochastic analysis on large scale interacting systems, *Selected Papers on Probab. and Statis.*, Translations (Amer. Math. Soc.), 査読有, vol 227, 2009, 49-73.
- ⑩ J. Andersson and G. Weiss, A parabolic free boundary problem with Bernoulli type condition on the free boundary, *J. Reine Angew. Math.*, 査読有, vol 627, 2009, 213-235.
- ⑪ R. Monneau and G. Weiss, Pulsating traveling waves in the singular limit of a reaction-diffusion system in solid

- combustion, *Ann. Inst. H. Poincaré Anal. Non Linéaire*, 査読有, vol 26, 2009, 1207-1222.
- ⑫ H. Shahgholian and G. Weiss, A parabolic obstacle-problem-like equation, *Adv. Math.*, 査読有, vol 221, 2009, 861-881.
- ⑬ Y. Otobe, A type of Gauss' divergence formula on Wiener spaces, *Electronic Comm. Probab.*, 査読有, vol 14, 2009, 457-463.
- ⑭ T. Funaki, A scaling limit for weakly pinned Gaussian random walks, *RIMS Kokyuroku Bessatsu*, 査読有, vol B6, 2008, 97-109.
- ⑮ 舟木直久, 大規模相互作用系の確率解析, *数学*, 査読有, vol 60, 2008, 113-133.
- ⑯ H. Osada and T. Shirai, Variance of the linear statistics of the Ginibre random point field, *RIMS Kokyuroku Bessatsu*, 査読有, vol B6, 2008, 193-200.
- ⑰ T. Funaki and K. Toukairin, Dynamic approach to a stochastic domination: The FKG and Brascamp-Lieb inequalities, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 査読有, vol 135, 2007, 1915-1922.
- ⑱ T. Funaki and K. Ishitani, Integration by parts formulae for Wiener measures on a path space between two curves, *Probab. Theory Relat. Fields*, 査読有, vol 137, 2007, 289-321.
- ⑲ T. Funaki, Y. Hariya and M. Yor, Wiener integrals for centered powers of Bessel processes, I, *Markov Proc. Relat. Fields*, 査読有, vol 13, 2007, 21-56.
- ⑳ T. Funaki, Y. Hariya, F. Hirsch and M. Yor, On some Fourier aspects of the construction of certain Wiener integrals, *Stoch. Proc. Appl.*, 査読有, vol 117, 2007, 1-22.
- ㉑ T. Funaki, Dichotomy in a scaling limit under Wiener measure with density, *Electron. Comm. Probab.*, 査読有, vol 12, 2007, 173-183.
- ㉒ T. Funaki, Hydrodynamic limit and nonlinear PDEs with singularities, *Adv. Stud. Pure Math.*, 査読有, vol 47, 2007, 421-440.
- ㉓ H. Osada, Exotic Brownian motions, *Kyushu J. Math.*, 査読有, vol 61, 2007, 233-257.
- ㉔ R. Monneau and G. Weiss, An unstable elliptic free boundary problem arising in solid combustion, *Duke Math. J.*, 査読有, vol 136, 2007, 321-341.
- ㉕ R. Monneau and G. Weiss, Self-propagating high temperature synthesis (SHS) in the high activation energy regime, *Acta Math. Univ. Comenian. (N.S.)*, 査読有, vol 76, 2007, 99-109.
- ㉖ T. Funaki, Y. Hariya and M. Yor, Wiener integrals for centered Bessel and related processes, II, *ALEA (Latin American Journal of Probability and Mathematical Statistics)*, 査読有, vol 1, 2006, 225-240.
- ㉗ T. Funaki, Y. Hariya, F. Hirsch and M. Yor, On the construction of Wiener integrals with respect to certain pseudo-Bessel processes, *Stoch. Proc. Appl.*, 査読有, vol 116, 2006, 1690-1711.
- ㉘ H. Osada, Singular time changes of diffusions on Sierpinski carpets, *Stoch. Proc. Appl.*, 査読有, vol 116, 2006, 675-689.
- ㉙ H. Shahgholian and G. Weiss, The two-phase membrane problem --- an intersection-comparison approach to the regularity at branch points, *Adv. Math.*, 査読有, vol 205, 2006, 487-503.
- ㉚ Y. Otobe, Stochastic partial differential equations with two reflecting walls, *J. Math. Sci. Univ. Tokyo*, 査読有, vol 13, 2006, 129-144.
- ㉛ K. Honda, Y. Otobe, Rigorous solution for electromagnetic waves propagating through pre-Cantor sets, *J. Phys. A*, 査読有, vol 39, 2006, L315-L322.
- [学会発表] (計 4 1 件)
- ① 舟木直久, Brascamp-Lieb inequality and its applications to Wiener integrals for centered Bessel processes, *Welsh Probability Seminar*, 2010年3月5日, 英国・スワンジー
- ② 舟木直久, Brascamp-Lieb inequality and its applications to Wiener integrals for centered Bessel processes, *Stochastic Analysis Seminar*, 2010年2月25日, 英国・ラフボロ
- ③ 舟木直久, Hydrodynamic limit for surface diffusion in 2D Young diagrams, *Probability Forum*, 2010年2月24日, 英国・ウォーリック
- ④ 舟木直久, Brascamp-Lieb inequality and Wiener integrals for centered Bessel processes, *Stochastic Partial Differential Equations Seminar*, 2010年2月23日, ニュートン研究所, 英国・ケンブリッジ
- ⑤ 乙部 厳己, Recurrence properties for quantum dynamics, *Stochastic Partial Differential Equations Seminar*, 2010年2月18日, ニュートン研究所, 英国・ケン

ブリッジ

- ⑥ 舟木直久, Scaling limits for a dynamic model of 2D Young diagrams, The First CREST-SBM International, Conference "Random Media", 2010年1月26日, 仙台国際センター
- ⑦ 舟木直久, 2次元ヤング図形の時間発展モデルに対する流体力学極限, 京都大学理学研究科談話会, 2010年1月20日, 京都大学
- ⑧ 舟木直久, Scaling limits for a dynamic model of 2D Young diagrams, Workshop: Stochastic Partial Differential Equations, 2010年1月4日, ニュートン研究所, 英国・ケンブリッジ
- ⑨ 長田博文, Tagged particles of Ginibre interacting Brownian motions, 確率論シンポジウム, 2009年12月15-18日, 愛媛大学
- ⑩ ヴァイス ゲオグ, Singular limit of reaction-diffusion system describing combustion in porous media, SIAM conference on Analysis of PDE's, 2009年12月7-10日, 米国・マイアミ
- ⑪ 長田博文, Stochastic domination of Ginibre random point field, 無限粒子系、確率場の諸問題V, 2009年12月5-6日, 奈良女子大学
- ⑫ 舟木直久, 流体力学極限 -- 非線形偏微分方程式のミクロな相互作用系からの導出, CREST「現代数学解析による流体力学の未解決問題への挑戦」立上げ研究集会, 2009年11月20日, 早稲田大学
- ⑬ 長田博文, Infinitely dimensional stochastic differential equations for interacting Brownian motions, 確率解析とその周辺, 2009年11月5-7日, 東北大学
- ⑭ 長田博文, Tagged particles of interacting Brownian motions with the 2D Coulomb potential and the stochastic domination of the Ginibre random point field, 大規模相互作用系の確率解析, 2009年10月7-9日, 東京大学
- ⑮ 乙部 巖己, Recurrence theorem and ergodicity of quantum dynamics, 大規模相互作用系の確率解析, 2009年10月7日, 東京大学
- ⑯ 長田博文, An equality on Ginibre random point field and tagged particles of interacting Brownian motions with 2D Coulomb potentials, Topics on Random Media, 2009年9月14-15日, 京都大学
- ⑰ 舟木直久, Scaling limits for weakly pinned random walks with two large deviation minimizers, 13th Brazilian School of Probability, 2009年8月6日,

ブラジル・マレシアス

- ⑱ 舟木直久, Hydrodynamic limit for an evolutionary model of 2D Young diagrams, 27th Brazilian Mathematics Colloquium, Probability Session, 2009年7月31日, ブラジル・リオデジャネイロ
- ⑲ 舟木直久, A stochastic heat equation with the distributions of Lévy processes as its invariant measures, Workshop on Stochastic Partial Differential Equations, 2009年7月21日, 中国・山東省威海
- ⑳ 舟木直久, Hydrodynamic limit and nonlinear PDEs, Mathematical Fluid Dynamics Launching Workshop, 2009年4月16日, 早稲田大学
- ㉑ 乙部 巖己, SLE and the free field, SLE and related topics, 2009年3月10日, 九州大学
- ㉒ 長田博文, Interacting Brownian motions with 2D Coulomb potentials, Random Processes and Systems, 2009年2月19日, 京都大学
- ㉓ 舟木直久, Scaling limits for weakly pinned random walks with two large deviation minimizers, Random Processes and Systems, 2009年2月18日, 京都大学
- ㉔ 舟木直久, Scaling limits for weakly pinned random walks with two large deviation minimizers, Random Functions, Random Surfaces and Interfaces, 2009年1月5日, カナダ・モントリオール
- ㉕ 舟木直久, Scaling limits for weakly pinned random walks with two large deviation minimizers, Interplay of Analysis and Probability in Physics, 2008年12月4日, ドイツ・オーベルウオルファッハ
- ㉖ 舟木直久, Hydrodynamic limit for two-species exclusion processes, Interacting Particle Systems, Statistical Mechanics and Probability Theory, 2008年11月28日, ポアンカレ研究所, フランス・パリ
- ㉗ 舟木直久, Hydrodynamic limit for the $\nabla \phi$ interface model via two-scale approach, Interacting Particle Systems, Statistical Mechanics and Probability Theory, 2008年11月24日, ポアンカレ研究所, フランス・パリ
- ㉘ 乙部 巖己, Divergence formulae on the space of continuous functions and applications to stochastic PDEs, Mathematical Finance and Stochastic Analysis Seminars, 2008年11月19日, 英国・ヨーク
- ㉙ 長田博文, Diffusions in a 2D Coulomb

environment, Random Matrices, Special Functions and Related Topics, 2008 年 11 月 14 日, 京都大学

- ⑩ 舟木直久, Otto-Villani らの手法による界面モデルの流体力学極限, 大規模相互作用系の確率解析, 2008 年 11 月 5 日, 東京大学
- ⑪ 長田博文, Tagged particle processes and their non-explosion criteria, 大規模相互作用系の確率解析, 2008 年 11 月 4 日, 東京大学
- ⑫ 長田博文, SDE representing diffusions on fractals, Stochastic Analysis and Applications, 2008 年 9 月 8 日, 九州大学
- ⑬ ヴァイス ゲオグ, Geometric methods and generalized Stokes conjectures for water waves, Nordic-Russian Symposium in Honor of Vladimir Maz'ya, 2008 年 8 月 27 日, スウェーデン・ストックホルム
- ⑭ 舟木直久, A stochastic heat equation with the distributions of Lévy processes as its invariant measures, The 7th World Congress in Probability and Statistics, 2008 年 7 月 16 日, シンガポール
- ⑮ ヴァイス ゲオグ, A new frequency formula and applications to a singular perturbation problem, Viscosity Solutions in Partial Differential Equations, 2008 年 6 月 26 日, 京都大学
- ⑯ ヴァイス ゲオグ, A nonlinear frequency formula and the singular set of a free boundary problem, Free Boundary Problems, Theory and Applications, 2008 年 6 月 11 日, スウェーデン・ストックホルム
- ⑰ 長田博文, Stochastic Differential Equations on the Sierpinski Carpet, 3rd Conference on Analysis and Probability on Fractals, 2008 年 6 月 11 日, 米国・コーネル
- ⑱ 舟木直久, Scaling limits for weakly pinned Gaussian random fields under the presence of two possible candidates, Gradient Models and Elasticity, 2008 年 6 月 10 日, 英国・ウォーリック
- ⑲ 乙部 巖己, Numerical behavior of electromagnetic waves penetrating through pre-Cantor dielectric mediums, International Workshop on Photonic Fractals, 2008 年 3 月 3 日, 大阪大学
- ⑳ 舟木直久, 大規模相互作用系の確率解析とその展開, 日本数学会秋季総合分科会総合講演(日本数学会賞秋季賞受賞講演), 2007 年 9 月 22 日, 東北大学
- ㉑ 長田博文, Interacting Brownian motions related to random matrices, 32nd Conference on Stochastic Processes and

their Applications, 2007 年 7 月 7 日, 米国・イリノイ

[図書] (計 1 件)

- ① 乙部 巖己, 理工系学生のための情報科学概論, プレアデス出版, 2009, 238 ページ

[その他]

ホームページ等

<http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~funaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

舟木 直久 (FUNAKI TADAHISA)

東京大学・大学院数理科学研究科・教授

研究者番号: 60112174

(2) 研究分担者

長田 博文 (OSADA HIROFUMI)

九州大学・大学院数理学研究院・教授

研究者番号: 20177207

ヴァイス ゲオグ (WEISS GEORG)

東京大学・大学院数理科学研究科・准教授

研究者番号: 30282817

乙部 巖己 (OTOBE YOSHIKI)

信州大学・理学部・講師

研究者番号: 30334882

(3) H19 まで研究分担者、H20 から連携研究者

三村 昌泰 (MIMURA MASAYASU)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号: 50068128

樋口 保成 (HIGUCHI YASUNARI)

神戸大学・理学部・教授

研究者番号: 60112075

種村 秀紀 (TANEMURA HIDEKI)

千葉大学・理学部・教授

研究者番号: 40217162

熊谷 隆 (KUMAGAI TAKASHI)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 90234509

吉田 伸生 (YOSHIDA NOBUO)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 40240303

千代延 大造 (CHIYONOBU TAIZO)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号: 50197638

半田 賢司 (HANDA KENJI)

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号: 10238214

杉浦 誠 (SUGIURA MAKOTO)

琉球大学・理学部・准教授

研究者番号: 70252228

西川貴雄 (NISHIKAWA TAKAO)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号: 10386005