

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2005～2008

課題番号：17204010

研究課題名（和文） 実解析的および複素多様体の変形と不変量の変分の総合的研究

研究課題名（英文） Research on deformations of real and complex manifolds and variations of invariants

研究代表者

志賀 啓成 (SHIGA HIROSHIGE)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10154189

研究成果の概要：

タイヒミュラー空間およびその境界が表現する平面領域の解析的性質について成果が得られた。たとえばタイヒミュラー空間の内部に現れる単連結領域がそのリーマン写像の増大度で特徴づけられた。このような領域は多次元空間でそのポテンシャル論的性質も研究され、新たな知見を得た。複素力学系では中立不動点の摂動において、放物的くりこみの概念が定義され、それを用いて局所不変集合の構造が決定された。多変数値分布論においては、準アーベル多様体での第二主要定理が証明され、正則曲線の代数的退化に対して新しい知見を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2006年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2007年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2008年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
年度			
総計	21,000,000	6,300,000	27,300,000

研究分野：数学

科研費の分科・細目：基礎解析学

キーワード：函数論，タイヒミュラー空間，複素多様体，ポテンシャル論，複素力学系

1. 研究開始当初の背景

タイヒミュラー空間の分野で志賀はリーマン面の正則族の global monodromy の必要条件を得、さらに底空間が特別な場合に正則族の個数評価を得ていた。また、今吉は正則族の universal covering を研究し、正則族が Kodaira surface の場合に global monodromy などを考察した。

ポテンシャル論では志賀は境界付きのリーマン面において Dirichlet 解が擬等角変形によってどのように変化するかを明らかにし、擬等角写像によるポテンシャル論的な性質

の不変性について論じた。村田は歪積型楕円型方程式に対するマルチン境界を構成する一般的方法を与え、その応用として幾つかの方程式・偏微分作用素の変動に対するマルチン境界を具体的に決定した。相川は一樣 John 領域に対して、一樣境界 Harnack 原理を証明し、Martin 境界の研究を行っていた。複素多様体の分野では宮嶋は正規孤立特異点の変形をその境界上の強擬凸 CR 構造の変形を通じて研究し、正規孤立特異点の変形の「倉西プログラム」を完成していた。野口は J. Winkelmann との共同研究で、準アーベル

多様体の因子と代数曲線からの有理写像の剛性定理と有限性定理を得た。

複素力学系では宍倉は、くりこみ理論、特に、放物型不動点とその分岐に関連したくりこみの枠組みをの研究をした。角は主として有限個の有理関数の作る半群の力学系を研究し、ある種の双曲性をもつ有限生成有理半群のジュリア集合のハウスドルフ次元をポアンカレ級数を用いて評価していた。

2. 研究の目的

多様体を変形した時に生じる様々な現象を解析・幾何的な立場から、いろいろな不変量を観察することによって総合的に論じる。本研究では、「変形空間」そのものの探求に加えて「変形によって生じる影響」、すなわち、様々な基本概念、不変量がどのように変化するかを、複素解析の総合的な観点から考察する。研究課題全体としてはこれらの分野を「解析構造の変形」という立場から捉えて、相互関係を重視した総合的な研究にする。

3. 研究の方法

研究課題を以下の4つに分ける。

(1). タイヒミュラー空間論, (2). 複素多様体, 複素幾何, (3). 偏微分方程式, ポテンシャル論, (4). 複素力学系

上記4つの有機的な **interaction**: すなわち、これらの分野の一線級の研究者による組織を作り、研究を遂行するとともに、相互に有機的に研究結果を交換し、総合的に新しい知見を求める

4. 研究成果

志賀啓成は Klein 群の不変集合の Riemann 写像を研究し、その境界挙動をいくつかの場合に明らかにし、擬フックス群などの特徴付けに成功し、双曲多様体の変形理論と等角写像論の関連性についての新たな知見を得た。また、正則関数の連続度に関する古典的な Hardy-Littlewood の定理を改良した。この結果は研究分担者の相川弘明らにポテンシャル論的な見地からの興味を引き起こしている。リーマン面の理論では、単位円板の力学系に関する Denjoy-Wolff の定理をリーマン面の自己正則写像に拡張し、力学系理論のリーマン面論、離散群論に対する新たな知見を得た。

相川弘明は、 $C^{1,1}$ -領域と内部および外部球条件を満たすことが同値であることを示し、Green 関数の比較を用いて $C^{1,1}$ -領域における境界 Harnack 原理を証明した。

さらに、任意の領域において大域的な境界 Harnack 原理が成立することと、大域的な Carleson 評価が成立することが同値である

ことを示し、John 領域において調和測度が強ダブリングであることと、領域が準一様であることが同値であることを示した。

須川敏幸は単位円板上の正則関数（一様局所単葉関数や像がある領域に含まれる関数など）がハーディー族に含まれるための条件について研究を行った (Y. C. Kim 氏との共同研究)。また、Peschl-Minda による不変微分作用素を組織的に研究し、その応用として高階の不変シュワルツ微分を定義し、その基本的な性質を研究した (Seong-A Kim 氏との共同研究) さらに、平面領域の双曲経量の詳細な評価や、錐特異性を持つ場合の諸問題について研究を行った (Vuorinen 氏, Kraus 氏, Roth 氏らとの共同研究)。

村田實は放物型方程式に対する初期値・境界値問題の非負値解の一意性定理を応用して、歪積型楕円型方程式のマルチン境界を決定する方法を与えた。放物型方程式の非負値解の構造を研究し、一般的でほぼ最適な仮定 [intrinsic ultracontractivity] の下で任意の非負値解の具体的な積分表示を与えた。また、土田哲生とともに周期係数楕円型作用素を研究し、グリーン関数の漸近形を与えるとともに極限吸収原理を示した。

松崎克彦は漸近的タイヒミュラー空間に固定点をもって作用する擬等角写像類群の部分群について、その特性を研究した。また、発散型のクライン群について、その性質を研究した。

野口潤次郎は、準アーベル多様体へのレベル 1 の打ち切り個数関数による最良な第二主要定理証明し、応用として新しい正則曲線の代数退化定理などを得た。更に、正則束の接続を使う方法により値分布理論の研究を進めた。

一般に、特異点へのアプローチには、定義方程式に基づく代数的方法の他に、その内在的構造に基づく解析的アプローチが考えられるが、宮嶋公夫は、主として複素構造の安定変形の視点から正規孤立特異点のモジュライへのアプローチを行い、『非特異部分の複素構造の安定変形』による特異点の変形空間の（複素 3 次元以上の場合の）構成と『特異点解消』の変形空間の構成に係る解析的困難を克服し、それらの構成を行った。

今吉洋一は孤立特異点の周りのリーマン面の正則族のモノドロミーに関する松本一モンテシーノスの定理の証明をタイヒミュラー空間論の立場から与えた。また、小平曲面のある種のタイプの正則なセクションを完全に決定することに成功した。

宍倉光広は無理的中立不動点を持つ複素力

学系の研究を主に行った。稲生啓行氏との共同研究では、放物型不動点を持つ場合、およびその摂動の場合に、放物型（近放物型）くりこみの概念を定義し、それに関して不変な関数空間を定義した。この結果の応用として、回転数が高いタイプの無理的中立不動点を持つ2次多項式について、その局所不変集合を決定した。

角 大輝はリーマン球面上の有理写像の族で生成された写像の合成を積とする半群の力学系と、リーマン球面上におけるランダムな有理関数力学系の両者の理論を、互いに交錯させながら、基礎から構築した。特に、ランダムな複素力学系において、無限遠点に収束する確率の関数が、ある条件下において、リーマン球面上で連続でありながら付随する半群のジュリア集合というフラクタル図形の上でのみ変化するという興味深い性質を持つことを発見し、そのメカニズムを詳しく考察した。

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 37 件)

①L. Liu, H. Shiga, Z. Sun, H. Wei, On some geometric properties of Teichmüller space, to appear in RIMS Kokyuroku Bessatsu

“Infinite dimensional Teichmüller space and moduli space”, 査読有

②Shiga, H., Modulus of continuity, a Hardy-Littlewood theorem and its application, to appear in RIMS Kokyuroku Bessatsu “Infinite dimensional Teichmüller space and moduli space”, 査読有

③Shiga, H., Denjoy-Wolff theorem on Riemann surfaces, to appear in the Proceedings of the “International Workshop of Teichmüller theory and Moduli Problems”, 査読有

④K. Matsuzaki, Symmetric groups that are not the symmetric conjugates of Fuchsian groups, The proceedings of the Ahlfors-Bers colloquium, V, Contemporary Math., American Mathematical Society (to appear), 査読有

⑤E. Fujikawa, K. Matsuzaki and M. Taniguchi, Structure theorem for holomorphic self-covers and its applications, Infinite dimensional Teichmüller space and moduli space, RIMS Kokyuroku Bessatsu, Research Institute of Mathematical Sciences, Kyoto Univ. (to appear), 査読有

⑥K. Matsuzaki, On quasiconformal invariance of convergence and divergence types for Fuchsian groups, Illinois J. Math. (to appear), 査読有

⑦K. Matsuzaki and Y. Yabuki, The Patterson-Sullivan measure and proper conjugation for Kleinian groups of divergence type, Ergodic Theory Dynam. Systems (to appear), 査読有

⑧M. Shishikura, The connectivity of the Julia set and fixed points, “Complex dynamics: families and friends” (Ed. by D. Schleicher), A. K. Peters, accepted, 査読有.

⑨K. Miyajima, Analytic construction of versal deformation of resolution of normal isolated singularities, J. Korean Math. Soc., 46, No. 1, 125-150, 2009, 査読有

⑩J. Hubbard, D. Schleicher and M. Shishikura, Exponential Thurston maps and limit of quadratic differentials, J. Amer. Math. Soc. 22, 77-117, 2009, 査読有

⑪H. Aikawa, Equivalence between the boundary Harnack principle and the Carleson estimate, Math. Scand., 103, 1, 61-76, 2008, 査読有

⑫H. Aikawa and K. Hirata, Doubling conditions for harmonic measure in John domains, Ann. Inst. Fourier (Grenoble), 58, 2, 429-445, 2008, 査読有

⑬Noguchi, J., Winkelmann, J. and Yamanoi, K., The second main theorem for holomorphic curves into semi-abelian varieties II, Forum Math. 20, 469-503, 2008, 査読有

⑭M. Kisaka and M. Shishikura, On multiply connected wandering domains of entire functions, “Transcendental Dynamics and Complex Analysis” (Ed. by P. J. Rippon and G. M. Stallard) London Mathematical Society Lecture Note Series 348, Cambridge Univ. Press, 348, 217-250, 2008, 査読有

⑮M. Roy, H. Sumi, M. Urbanski, Analytic families of holomorphic iterated function systems, Nonlinearity 21, 2255-2279, 2008, 査読有

⑯H. Aikawa, T. Kilpelainen, N. Shanmugalingam, and X. Zhong, Boundary Harnack principle for p-harmonic functions in smooth Euclidean domains, Potential Anal., 26, 3, 281-301, 2007, 査読有

⑰Minoru Murata, Integral representations

of nonnegative solutions for parabolic equations and elliptic Martin boundaries, *J. Func. Anal.*, 245, 177–212, 2007, 査読有

⑮ Noguchi, J., Winkelmann, J. and Yamanoi, K., Degeneracy of holomorphic curves into algebraic varieties, *J. Math. Pures Appl.* 88 Issue 3, 293–306, 2007, 査読有

⑯ Noguchi, J., Some results in the analogue of Nevanlinna theory and Diophantine approximations, *Proc. Diophantine Geometry ed. U. Zannier*, 259–275, Scuola Normale Superiore Pisa, 2007, 査読有

⑰ K. Miyajima, Analytic approach to deformation of normal isolated singularities, in “Real and Complex Singularities”, *Proceedings of the Australian-Japanese workshop on real and complex singularities* (ed. L. Paunescu et al.), World Scientific, 279–289, 2007, 査読有

⑱ Y. Imayoshi, “A construction of holomorphic families of Riemann surfaces over the punctured disk with given monodromy” *Handbook of Teichmüller spaces*, *European Math. Soc.* 2, 101–108, 2007,

⑲ H. Aikawa, K. Hirata, and T. Lundh, Martin boundary points of a John domain and unions of convex sets, *J. Math. Soc. Japan*, 58, 1, 247–274, 2006, 査読有

⑳ H. Aikawa and N. Shanmugalingam, Holder estimates of p -harmonic extension operators, *J. Differential Equations*, 220, 1, 18–45, 2006, 査読有

㉑ Minoru Murata, (with Tetsuo Tsuchida), Asymptotics of Green functions and the limiting absorption principle for elliptic operators with periodic coefficients, *J. Math. Kyoto Univ.*, 46, 713–754, 2006, 査読有

㉒ Minoru Murata, Representations of nonnegative solutions for parabolic equations, *Advanced Studies in Pure Mathematics*, 44, 283–289, 2006, 査読有

㉓ K. Miyajima, Deformation of complex structure on normal isolated singularities, *Kyushu J. Math.*, 60, 415–437, 2006, 査読有

㉔ Y. Imayoshi, T. Nogi, “A remark on holomorphic sections of certain holomorphic families of Riemann surfaces” *Proceedings of the 13th International Conference on Finite or Infinite Dimensional Complex Analysis and*

Application (the World Scientific Publishing Co.). 101–108, 2006, 査読有

㉕ H. Sumi, Semi-hyperbolic fibered rational maps and rational semigroups, *Ergodic Theory and Dynamical Systems*, 26, 893–922, 2006, 査読有

㉖ Shiga, H., On complex analytic properties of limit sets and Julia sets. *Kodai Math. J.*, 28, 368–381, 2005, 査読有

㉗ Shiga, H., On the hyperbolic length and quasiconformal mappings. *Complex Variables*, 50, 123–130, 2005, 査読有

㉘ Minoru Murata, Uniqueness theorems for parabolic equations and Martin boundaries for elliptic equations in skew product form, *J. Math. Soc. Japan*, 57, 1–27, 2005, 査読有

㉙ Noguchi, J., A note on entire pseudo-holomorphic curves and the proof of Cartan-Nochka’s theorem, *Kodai Math. J.* 28, 336–346, 2005, 査読有

㉚ Imayoshi, Yoichi, Nishimura, Minori A remark on universal coverings of holomorphic families of Riemann surfaces. *Kodai Math. J.* 28, no. 2, 230–247, 2005, 査読有

㉛ Imayoshi, Yoichi, A construction of holomorphic families of Riemann surfaces over the punctured disk with given monodromy. *Finite or infinite dimensional complex analysis and applications*, 97–104, Kyushu University Press, Fukuoka, 2005, 査読有

㉜ H. Sumi, Dimensions of Julia sets of expanding rational semigroups, *Kodai Math. J.*, Vol. 28, No. 2, 390–422, 2005, 査読有

㉝ H. Sumi, Dynamics of polynomial semigroups with bounded postcritical set in the plane, *数理解析研究所講究録 1447 「複素力学系（1次元複素力学系とその関連分野）」* 198–215, 2005年8月, 査読無

㉞ J.-Y. Briand, S. Cantat and M. Shishikura, Linearity of the exceptional set for maps of $P_k(C)$, *Math. Ann.*, 330, no. 1, 39–43. 2004, 査読有

[学会発表] (計 40 件)

① 相川弘明, 複雑領域上の正調和関数, 日本数学会 (企画特別講演), 東京大学, 2009年3月26–29日, 講演 3月29日

② Minoru Murata, Structure of nonnegative solutions for parabolic equations and perturbation theory for elliptic operators, ソボレフ不等式とその周辺, 2009年3月23日, 東北大学

③M. Shishikura, Renormalizations in complex dynamics and the Teichmüller theory, A Conference in Teichmüller Theory and Related Topics, 2009年3月21日, Graduate Center of CUNY, New York, USA

④SHIGA HIROSHIGE, Monodromy and Complex Structures of Surface Fibrations Complex Analysis and Dynamics Seminar 2009/03/13, Graduate Center of CUNY Teichmüller Theory, 2009/03/16, Here and there Colloquium City University, Queens college

⑤相川弘明, Boundary Harnack principle and the quasihyperbolic boundary condition, 京都大学数理解析研究所・共同研究集会「Potential Theory and related Fields」, 2009年2月16-19日, 講演2月18日

⑥Minoru Murata, Structure of nonnegative solutions for parabolic equations and perturbation theory for elliptic operators, Potential Theory and Related Fields, 2009年2月17日, 数理解析研究所

⑦志賀啓成, Klein群と等角写像 複素解析の発展とその応用, 2009/01/25, 桐生市民会館

⑧相川弘明, Beurling's minimum principle and the minimal thinness. 複素解析の発展とその応用, 桐生市市民文化センター, 2009年1月24日~25日. 講演1月24日

⑨ 宍倉光広, 力学系の研究に現れる複素解析的手法, 複素解析の発展とその応用, 2009年1月24日, 桐生

⑩松崎克彦, クライン群の正規部分群の収束指数の評価, リーマン面・不連続群論研究集会, 大阪大学, 2009/1.10.

⑪宍倉光広, 正則写像の無理的中立不動点の不変集合, 力学系研究集会, 2009年1月10日, 軽井沢

⑫ H. Sumi, Random complex dynamics and singular functions on the complex plane, UK-Japan Winter School Dynamics and Complexity, 2009年1月8日, University of Bath (イギリス)

⑬H. Aikawa, Continuity problem of the extremal length. International Workshop on Potential Theory 2008, Tokyo-Mejiro, Gakushuin University, December 17-20, 2008, Talk on December 17.

⑭野口潤次郎, 接続と正則曲線のロンスキアンと第二主要定理について, 葉層の微分幾何とベルグマン核, 京都大学数理解析研究所研究集会, 16 December 2008.

⑮ 角大輝, The space of postcritically bounded 2-generator polynomial semigroups with hyperbolicity, Moduli and invariants in complex analysis and algebraic geometry, 2008年11月27日

⑯Noguch, J., Some second main theorems

and applications, Workshop on Complex Hyperbolic Geometry and Related Topics, Fields Institute, Toronto, 17 November 2008 (Canada).

⑰Noguch, J., Unicity, Kobayashi hyperbolicity, rational points and examples, Workshop on arithmetic and hyperbolic geometry, University of Montreal, 8 November 2008 (Canada).

⑱相川弘明, Beurling's minimum principle and the minimal thinness. ポテンシャル論研究集会, 秋田大学カレッジプラザ, 2008年11月1日~3日. 講演11月2日

⑲Minoru Murata, Semismall perturbations, semi-intrinsic ultracontractivity, and integral representations of nonnegative solutions for parabolic equations, ポテンシャル論研究集会, 2008年11月2日, 秋田市カレッジプラザ

⑳ M. Shishikura, Renormalization for rationally indifferent fixed points of holomorphic functions, Workshop on Complex Dynamics and Related Topics, 2008年11月2日, Fudan University, Shanghai, P. R. China

㉑ H. Sumi, Random complex dynamics and singular functions on the complex plane, Complex dynamics and related topics, 2008年11月1日, Fudan University (上海、中国)

㉒K. Matsuzaki, Recurrent orbits on L^∞ spaces, Dynamics n' Analysis Seminar, Wesleyan University, USA, 2008/11.

㉓K. Matsuzaki, General topology of moduli spaces of topologically infinite Riemann surfaces, Colloquium of Math., Wesleyan University, USA, 2008/10.

㉔K. Matsuzaki, Symmetric groups that are not the symmetric conjugates of Fuchsian groups, Geometric Function Theory and Geometry, 2008 Fall Eastern Section Meeting, Wesleyan University, USA, 2008/10.

㉕SHIGA HIROSHIGE, Modulus of continuity, a Hardy-Littlewood theorem and its application The 16th ICFIAA, 2008/07/29, Dongguk University, Gyeongju, Korea

㉖Noguch, J., Some open problems in the value distribution theory and Kobayashi hyperbolic manifolds, Hayama Symposium on Complex Analysis in Several Variables 2008, Shonan Village Center, 15 July 2008 (Japan).

㉗ H. Sumi, Random complex dynamics and singular functions on the complex plane, Aspects of Transcendental Dynamics, 2008

年6月18日, Jacobs University Bremen (ドイツ)

⑳Minoru Murata, Structure of nonnegative solutions for parabolic equations and perturbation theory for elliptic operators, マルコフ過程とディリクレ形式に関する話題, 2008年2月17日, 熊本大学

㉑宮嶋公夫, 正規孤立特異点の特異点解消完備変形空間の解析的構成, 平成19年度多変数関数論冬セミナー, 2007.12.23, 富山大学理学部

㉒SHIGA HIROSHIGE, On conformal mappings and Kleinian groups 無限次元タイヒミュラー空間とモジュライ空間, 2007/11/1, 数理解析研究所

㉓志賀啓成, フラクタルな境界を持つ領域の等角写像について 確率論とPDE, 2007/10/15, 広島大学学生会館

㉔K. Miyajima, Deformation of CR structure on a boundary of isolated singularities, Conference in complex analysis and geometry, 2007.9.26, CIRM, Marseille, France

㉕T. Sugawa, "Uniformly perfect sets and Hardy spaces", 2007.08.28 University of Helsinki, Finland, Finland-Japan Joint Seminar on Analysis

㉖T. Sugawa, "Uniformly locally univalent functions and Hardy spaces" (with Yong Chan Kim), 2007.08.02, 大阪市立大学 15th ICFIDCAA

㉗宮嶋公夫, 強擬凸領域と特異点の変形, 微分幾何学セミナー, 2007.2.19, 筑波大学大学院物質理学研究科

㉘須川敏幸, "2次微分に付随するリーマン面上の計量について", 2007.02.02, 島根大学 リーマン面・不連続群論合同研究集会

㉙T. Sugawa, "Hausdorff moment problem and geometric function theory", 2006.12.13, 広島大学, Finland-Japan Joint Seminar on Analysis

㉚T. Sugawa, "Hausdorff moment problem and polylogarithms", 2006.12.3, 広島大学 等角写像論・値分布論合同研究集会

㉛K. Miyajima, An analytic approach to the Res-functor, Mini-Symposium on singularity theory, Algebraic geometry and Complex analysis, 2006.8.21, 鹿児島大学理学部

㉜今吉洋一, A construction of holomorphic families of Riemann surfaces over the punctured disk with given monodromy, リーマン面に関連する位相幾何学, 2005年9月26日-29日, 東京大学

[図書] (計4件)

①相川弘明, 複雑領域上のディリクレ問題-ポテンシャル論の観点から(岩波数学叢

書), 岩波書店(2008), 302pp

②H. Aikawa, Boundary Harnack principle and the quasihyperbolic boundary condition, in Sobolev Spaces in Mathematics II, Applications in Analysis and Partial Differential Equations, Springer Verlag (2008), 19-30, 分担執筆

③H. Aikawa, T. Kumagai, Y. Mizuta, and N. Suzuki eds., Potential theory in Matsue, Advanced Studies in Pure Mathematics, vol. 44, Mathematical Society of Japan, Tokyo (2006), Papers from the International Workshop on Potential Theory held at Shimane University, Matsue, August 23-28, 2004, MR2265403, 413pp

④村田實(共著者 倉田和浩), 楕円型・放物型偏微分方程式, 岩波書店, 2006年, 1-258

6. 研究組織

(1) 研究代表者

志賀 啓成 (SHIGA HIROSHIGE)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 10154189

(2) 研究分担者

相川 弘明 (AIKAWA HIROAKI)
北海道大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 20137889

須川 敏幸 (SUGAWA TOSHIYUKI)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 30235858

(3) 連携研究者

村田 實 (MURATA MINORU)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 50087079

松崎 克彦 (MATSUZAKI KATSUHIKO)
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 80222298

野口 潤次郎 (NOGUCHI JUNJIRO)
東京大学・大学院数理学研究科・教授
研究者番号: 20033920

宮嶋 公夫 (MIYAJIMA KIMIO)
鹿児島大学・理学部・教授
研究者番号: 40107850

今吉 洋一 (IMAYOSHI YOICHI)
大阪市立大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 30091656

宍倉 光広 (SHISHIKURA MITSUHIRO)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 70192606

角 大輝 (SUMI HIROKI)
大阪大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号: 40313324