

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：34316

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17629

研究課題名(和文) 動的境界条件を持つ非線形偏微分方程式の新展開

研究課題名(英文) Nonlinear partial differential equation with a dynamical boundary condition

研究代表者

川上 竜樹 (Kawakami, Tatsuki)

龍谷大学・理工学部・教授

研究者番号：20546147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、境界上での拡散を表す動的境界条件を持つ非線形偏微分方程式を中心に考察を行った。主結果としては動的境界条件下において、単位球の外部領域における半線形楕円型方程式の可解性、半空間及び単位球の外部領域において拡散方程式の可解性及びその拡散極限の形状と最適な収束速度を得た。また付随する結果として、異常拡散に関連する拡散方程式に対して、時間大域可解性に関する臨界指数の導出を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動的境界条件は近年、国内外において領域の有界性にかかわらず活発に研究が行われてきている。その中で解の時間大域可解性や内部の拡散現象の極限を考察した熱方程式の拡散極限は、時間大域挙動に対する内部と外部の拡散現象の影響の考察や、今後の非線形問題への応用に向けて最も基本的かつ重要な問題であり、必要不可欠な研究と言える。本成果が足掛かりとなり、今後非線形問題等に大いに進展していくことが期待される。

研究成果の概要(英文)：We consider some nonlinear partial differential equations with a dynamical boundary condition in unbounded domains. For the nonlinear elliptic equation in the exterior of unit ball, we gave several results on existence, nonexistence and large time behavior of small positive solutions. For the heat equation, we considered two cases, the half space and the exterior of unit ball, and proved the existence of global-in-time solutions. Furthermore, we showed that, if the diffusion coefficient tends to infinity (it called by the large diffusion limit), then the solution converge to solutions of the Laplace equation with same dynamical boundary condition. Moreover, we also considered some diffusion equations, which are related with anomalous diffusion, and obtained the critical exponent for the existence of global-in-time solutions.

研究分野：偏微分方程式

キーワード：動的境界条件 可解性 臨界指数 拡散極限

1. 研究開始当初の背景

これまでの多くの非線形拡散問題に関する研究は、境界上での値を固定したディリクレ境界条件や流入を固定したノイマン境界条件、さらにはそれらを組み合わせたロバン境界条件など固定された境界条件の下で考察されてきた。一方で、実際の現象においては境界での状況を固定することは困難であり、境界上における反応を考慮することが必要不可欠であると考えられる。境界上の反応を考慮した境界条件の一つとして、完全流体に囲まれた個体の熱伝導モデルなどを記述する際に現れる動的境界条件が挙げられる。この境界条件は近年盛んに研究が行われてきたが、その多くは有界領域に制限されており、半空間に代表される非有界領域に対しては、内部の方程式が最も基本的なラプラス方程式の場合でさえ、Amann-Fila 両氏の 1997 年の共同研究に端を発する比較的新しい研究であり、十分な成果は得られておらず、その進展が期待されていた。川上は上記の論文の著者の一人である Comenius 大学の Marek Fila 氏と東京大学の石毛和弘氏(当時は東北大学所属)とともに半空間における動的境界条件の研究を開始し、冪乗型の非線形項を有する半線形楕円型方程式について、いくつかの興味深い結果を得た。一方で、半空間以外の非有界領域や冪乗型以外の非線形性については解の時間局所可解性といった基本的な結果すら得られておらず、これらの未解決問題を研究すべきであるという確信に至った。

2. 研究の目的

本研究は半空間や球の外部領域に代表される非有界領域において、動的境界条件を持つ非線形偏微分方程式について、時間局所及び大域可解性や解の漸近挙動の考察を通して、本問題や対応する楕円型方程式の解析の新展開を行うことを目的とする。また、これに起因する研究として、半空間における動的境界条件付き楕円型方程式と密接な関わりを持つ分数冪拡散方程式について、様々な非線形性を伴った場合、特に解の一階微分を非線形項に含む場合に対して、時間局所及び大域可解性並びに解の漸近挙動について考察するとともに、解の高次漸近展開の構築及びその応用を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

研究手法としては、半空間における動的境界条件付き半線形楕円型方程式に対する考察をもとに、非有界領域における動的境界条件を持つ非線形偏微分方程式を対応する積分方程式に変形し、積分核の情報を用いることで可解性や漸近挙動を考察した。また、半空間における動的境界条件は分数冪拡散方程式と密接に関わっているため、分数冪拡散などの異常拡散に関連する拡散方程式について、対応する積分方程式の積分核の性質を考察することにより、非線形問題の可解性について考察を行った。

また、最新の研究成果の情報収集のために各種セミナーや研究集会への参加するとともに、国内外の共同研究者と密に連絡を取り合うことで研究を推進した。併せて 2018 年度と 2019 年度に「楕円型・放物型微分方程式研究集会」を大阪府立大学と龍谷大学でそれぞれ開催・運営し、積極的な研究交流を図るとともに、複数の国際研究集会を運営し、国際的な連携強化に努めた。

4. 研究成果

上記の研究目的に基づき、動的境界条件を持つ非線形楕円型方程式及び拡散方程式について可解性の考察を行うとともに、それに起因する問題に対して以下の研究成果を得た。

(1) 単位球の外部領域における動的境界条件付き半線形楕円型方程式に関する研究

Fila 氏と石毛氏との共同研究により、空間 3 次元以上の場合に、可解性に関する臨界指数の導出並びに時間大域挙動を示すと同時に、時間局所可解性と時間大域可解性の同値性を示した。これは半空間に対して我々が証明した内容の外部領域への拡張になっているが、これらの領域では積分方程式に付随する積分核が全く異なることや、境界領域の有界性が異なることなどの違いがあり、今回の成果によってより一般の領域に対して問題が展開していくことが期待できる。

(2) 半空間における動的境界条件付き熱方程式に関する研究

Fila 氏と石毛氏との共同研究により、空間 2 次元以上の半空間において時間大域解を構成するとともに、熱方程式の拡散極限として、本問題の解が動的境界条件を有するラプラス方程式の解に収束することを示した。また Comenius 大学の Johannes Lankeit 氏も加えて、上記で得られた収束の速さが最適であること、さらに空間 3 次元における単位球の外部領域でも同様の結果が得られることを示した。この問題では領域内部が熱方程式で支配されているため、境界上の拡散の影響と内部の拡散の影響をそれぞれ考慮する必要があるが、積分核の減衰の違いなどを用い

ることで、それぞれの特徴を捉えることに成功した。非線形問題を考察するには本問題の基本解の考察が必要不可欠であるが、この結果により、時間大域解の構成法や初期条件への依存性などの多くの情報を得ることができたと言える。

(3) 退化係数を有する非線形拡散方程式に関する研究

動的境界条件に付随する分数冪拡散方程式と関連の深い退化拡散方程式に対して、Johns Hopkins 大学の Yannick Sire 氏と静岡大学の藤嶋陽平氏と共同研究を行い、退化係数に応じた基本解評価を得るとともに、その応用として冪乗型の非線形項を有する場合に、解の時間大域可解性に関する臨界指数を導出し、方程式に付随した不変量に関して十分小さな初期値に対して時間大域解を構成した。

(4) 様々な反応項を有する拡散方程式の臨界指数に関する研究

逆 2 乗冪のポテンシャルを有する半線形熱方程式の大域可解性について、石毛氏との共同研究を行い、球面調和関数の影響を考慮した適切な優解を構成することにより、これまで得られていた既存の結果を全て包含する形で臨界指数を導出した。また、時空間に依存する非斉次項を有する半線形熱方程式について、King Saud 大学の Mohamed Jleli 氏と Bessem Samet 氏と共同研究を行い、解の時間大域可解性に関する臨界指数を導出した。

(5) Half Laplacian を有する粘性 Hamilton-Jacobi 方程式に関する研究

大阪市立大学の岩淵司氏（現在は東北大学所属）と共同研究を行い、対応する積分方程式に関して、方程式から導かれるスケール不変な Besov 空間において、小さな初期値に対応する可解性と時間大域挙動を示した。本問題に対しては、これまで粘性解の枠組みにおいて可解性が得られていたが、対応する積分方程式を扱った結果は本研究が初である。なお、本結果は川上の別の研究課題からの継続研究として得られた成果であり、双方の研究課題に成果として掲載している。

(6) 分数冪拡散方程式の解の高次漸近展開に関する研究

石毛氏と広島大学の道久寛載氏と共同研究を行い、既存の研究によって問題点として挙げられていた基本解の可積分性の空間減衰に起因する問題点を明確にし、基本解による可積分性の損失が有限次元であること、またそれを除いた空間における初期値のモーメントの次数に応じた高次漸近展開理論を構築した。

(7) 指数型非線形項を有する非線形熱方程式に関する研究

境界上での反応の考察に先立ち、全空間において指数型非線形項を有する非線形熱方程式の時間大域解の漸近挙動について、Milano 大学の Bernhard Ruf 氏、Elide Terraneo 氏、Bergamo 大学の Giulia Furioli 氏と共同研究を行った。積分方程式の解と弱解の同値性を示すとともに、初期値の空間に応じた解の減衰評価を与えた。なお、本結果は川上の別の研究課題からの継続研究として得られた成果であり、双方の研究課題に成果として掲載している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Fila, K. Ishige and T. Kawakami	4. 巻 -
2. 論文標題 The large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications in Contemporary Mathematics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219199720500030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 M. Jleli, T. Kawakami and B. Samet	4. 巻 486
2. 論文標題 Critical behavior for a semilinear parabolic equation with forcing term depending on time and space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Analysis and Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmaa.2020.123931	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Kawakami and M. Muratori	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonexistence of radial optimal functions for the Sobolev inequality on M^n	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Springer INdAM Series	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 K. Ishige and T. Kawakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equations with quadratically decaying potential	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Indiana University Mathematics Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Fila, K. Ishige, T. Kawakami and J. Lankeit	4. 巻 114
2. 論文標題 Rate of convergence in the large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asymptotic Analysis	6. 最初と最後の頁 37--57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Fujishima, T. Kawakami and Y. Sire	4. 巻 58
2. 論文標題 Critical exponent for the global existence of solutions to a semilinear heat equation with degenerate coefficients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Calculus of Variations and Partial Differential Equations	6. 最初と最後の頁 Art. 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Fila, K. Ishige and T. Kawakami	4. 巻 30
2. 論文標題 An exterior nonlinear elliptic problem with a dynamical boundary condition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Revista Matemática Complutense	6. 最初と最後の頁 281--312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13163-017-0225-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Ishige, T. Kawakami and H. Michihisa	4. 巻 49
2. 論文標題 Asymptotic expansions of solutions of fractional diffusion equations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Mathematical Analysis	6. 最初と最後の頁 2167--2190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/16M1101428	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kawakami and H. Takeda	4. 巻 23
2. 論文標題 Higher order asymptotic expansions to the solutions for a nonlinear damped wave equation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 NoDEA. Nonlinear Differential Equations and Applications	6. 最初と最後の頁 Art. 54, 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00030-016-0408-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 G. Furioli, T. Kawakami, B. Ruf and E. Terraneo	4. 巻 262
2. 論文標題 Asymptotic behavior and decay estimates of the solutions for a nonlinear parabolic equation with exponential nonlinearity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 145--180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2016.09.024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Iwabuchi and T. Kawakami	4. 巻 107
2. 論文標題 Existence of mild solutions for a Hamilton--Jacobi equation with critical fractional viscosity in the Besov spaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal de Mathématiques Pures et Appliquées. Neuvième Série	6. 最初と最後の頁 464--489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matpur.2016.07.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計37件 (うち招待講演 37件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 The large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 VI Italian-Japanese workshop on Geometric Properties for Parabolic and Elliptic PDE's (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equation with quadratically decaying potential
3. 学会等名 Workshop on Nonlinear parabolic PDEs and related fields (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical exponent for the global existence of solutions to a semilinear heat equation with degenerate coefficients
3. 学会等名 The 44th Sapporo Symposium on Partial Differential Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical exponent for the global existence of solutions to a semilinear heat equation with degenerate coefficients
3. 学会等名 4th Swiss-Japanese PDE Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical exponent for the global existence of solutions to a semilinear heat equation with degenerate coefficients
3. 学会等名 New development in the theory of evolution equation : theory, phenomena and technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equation with quadratically decaying potential
3. 学会等名 Nonlinear Analysis Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 Critical exponent for the global existence of solutions to a semilinear heat equation with degenerate coefficients
3. 学会等名 応用数理解析セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equation with quadratically decaying potential
3. 学会等名 大阪大学微分方程式セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 動的境界条件を有する線形熱方程式の拡散極限
3. 学会等名 基盤研究(S)キックオフシンポジウム 発展方程式における系統的形状解析及び漸近解析 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 動的境界条件を有する線形熱方程式の拡散極限
3. 学会等名 数学と現象 : Mathematics and Phenomena in Miyazaki 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 A semilinear elliptic equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 138th AMS Meeting, Special Session on Partuial Differential Equations and New Perspective of Variational Methods (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equations with quadratically decaying potential
3. 学会等名 UK-Japan Workshop on Analysis of Nonlinear Partial Differential Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 The large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition,
3. 学会等名 8th Euro-Japanses Workshop On Blow-up (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Positive solutions of a semilinear elliptic equation with singular Dirichlet boundary data
3. 学会等名 12th AIMS International Conference on Dyn. Systems, Diff. Equations and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Heat equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 12th AIMS International Conference on Dyn. Systems, Diff. Equations and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equations with quadratically decaying potential
3. 学会等名 京都大学NLPDEセミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 動的境界条件付き半線形楕円型方程式
3. 学会等名 日本数学会2018年度秋季総合分科会 函数方程式論分科会 特別講演 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equations with quadratically decaying potential
3. 学会等名 九州大学関数方程式セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 動的境界条件付き熱方程式の拡散極限
3. 学会等名 武蔵野大学・龍谷大学連携シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上 竜樹
2. 発表標題 外部領域における動的境界条件付き半線形楕円型方程式の可解性
3. 学会等名 応用数学研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Asymptotic expansion of solutions of fractional diffusion equations
3. 学会等名 Singularity and asymptotic behavior of solutions for partial differential equations with conservation law（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 竜樹
2. 発表標題 Existence of mild solutions for the Hamilton-Jacobi equation with critical fractional viscosity in the Besov spaces
3. 学会等名 名古屋大学微分方程式セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 竜樹
2. 発表標題 外部領域における動的境界条件付き半線形楕円型方程式の可解性
3. 学会等名 明治大学非線型数理セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Decay estimates of the solutions for a nonlinear parabolic equation
3. 学会等名 Equadiff 2017（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 An exterior nonlinear elliptic problem with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 Analysis and Partial Differential Equations Seminar（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Asymptotic expansion of solutions of fractional diffusion equations
3. 学会等名 Seminario di Analisi Nonlineare (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 A semilinear elliptic equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 Seminario di Analisi matematica (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Higher order asymptotic expansions to the solutions for a nonlinear damped wave equation
3. 学会等名 Qualitative Theory of Differential Equation (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Minimal solutions of a semilinear elliptic equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 9th European conference on elliptic and parabolic problems (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Minimal solutions of a semilinear elliptic equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 XXXVI Convegno di Analisi Armonica (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 A semilinear elliptic equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 7th Euro-Japanese workshop on Blow-up (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 An exterior nonlinear elliptic problem with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 Geometry of solutions of PDE 's and its related inverse problems (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 An exterior nonlinear elliptic problem with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 Analysis on Shapes of Solutions to Partial Differential Equations (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Asymptotic behavior and decay estimates of the solutions for a nonlinear parabolic equation with exponential nonlinearity
3. 学会等名 International Workshop on Nonlinear PDEs 2016 in Osaka (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 An exterior nonlinear elliptic problem with a dynamical boundary condition.
3. 学会等名 2017 NCTS Workshop on Applied Mathematics at Tainan (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 竜樹
2. 発表標題 Existence of mild solutions for the Hamilton-Jacobi equation with critical fractional viscosity in the Besov spaces
3. 学会等名 なかもず解析セミナー (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川上 竜樹
2. 発表標題 指数型非線形項を持つ非線形放物型方程式の時間大域解について
3. 学会等名 武蔵野大学・龍谷大学連携シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 壁谷 喜継、川上 竜樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 240
3. 書名 ベクトル解析入門	

〔産業財産権〕

〔その他〕

川上竜樹のホームページ https://whale2.math.ryukoku.ac.jp/~kawakami/kawakami.html 川上 竜樹 -研究者- researchmap https://researchmap.jp/k-tatsuki?lang=japanese
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----