

令和 3 年 5 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05442

研究課題名(和文) 格子QCD数値解析による流体方程式基本定数の解析

研究課題名(英文) Analysis of quantities in hydrodynamic equations on the lattice

研究代表者

北澤 正清 (Kitazawa, Masakiyo)

大阪大学・理学研究科・助教

研究者番号：10452418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙に存在する4つの相互作用のうち、クォークやグルーオンの間に働く「強い相互作用」は量子色力学(QCD)と呼ばれる理論によって記述される。QCDの動力学は、初期宇宙や中性子星内部のような超高温・高密度環境下での相転移現象を記述する上で決定的に重要な役割を担う。本研究では、これらの相転移を記述する上で欠かせない熱力学量などの物理量をQCDの第一原理数値シミュレーションによって解析する研究を行った。特に、最近開発された勾配流法と呼ばれる手法に基づくエネルギー運動量テンソルの解析により、高温物質や無限に重いクォークが置かれた系の精密解析を行い、これらの系に関する全く新しい情報を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、QCDの第一原理数値シミュレーション上でのエネルギー運動量テンソルの直接測定に関する研究が大きく進んだ。これまでの成果で、熱力学量やゆらぎ、非一様圧力、静的クォーク系での応力構造などの測定が実現し、QCDの有限温度相転移や静的クォーク系に関する理解が進んだ。また、本研究によってこれらの測定技術が確立したことにより、これらの技術を用いてハドロン構造を精密解析する将来研究への展望が開けた。

研究成果の概要(英文)：Among the four interactions in our Universe, the strong interaction that describes dynamics of quarks and gluons is known to be described by Quantum Chromodynamics (QCD). Dynamics of QCD plays a crucial role in describing phase transitions in the hot and dense media, which are realized in the early Universe and cores of neutron stars.

In the present project, I have performed the first-principle numerical simulations of quantities indispensable for describing these phase transitions such as thermodynamic quantities based on the lattice QCD. In particular, the analysis of energy-momentum tensor using the gradient flow method has been applied to various measurements that are connected to understanding of the phase transitions in hot medium.

研究分野：原子核理論

キーワード：格子ゲージ理論 エネルギー運動量テンソル 応力 クォーク・グルーオン・プラズマ

## 1. 研究開始当初の背景

物質の温度を約 1.5 兆ケルビン以上に上昇させると、量子色力学 (QCD) の基本構成要素であるクォークとグルオンが核子への閉じ込めから解放された状態、「クォーク・グルオン・プラズマ (QGP)」が実現する。ビッグバン直後の初期宇宙の姿である QGP 状態は、2000 年に稼働した大型加速器 RHIC (アメリカ、BNL) での重イオン衝突実験により地上での実験的生成に成功し、それ以降、RHIC や、欧州 CERN の加速器 LHC での精力的な実験を背景に広く研究されてきた。

RHIC の重イオン衝突実験がもたらした重要な成果の一つに、相転移温度付近の QGP 状態は、人類がこれまでに手にした物質の中で最も粘性的な効果が小さく、最も完全流体に近い物質である、という発見が挙げられる。この発見は、「QCD や強結合ゲージ理論で記述される多体系の流体的性質の研究」という新しい問題意識を理論研究者に突きつけ、素粒子論から物性論に及び多様な分野の研究者を巻き込みながら様々な研究を誘起し続けてきた。

## 2. 研究の目的

相転移温度付近の QGP の性質を、QCD に基づいて定量的に解析することのできる現在唯一の手段は、格子 QCD 数値シミュレーションを用いることである。格子 QCD 分野でも、RHIC の発見に触発される形で、粘り粘性係数をはじめとした輸送係数を第一原理的に測定し、RHIC の実験結果を説明しようとする数多くの研究がなされてきた。しかし、膨大な計算機資源を投入した多くの挑戦をよそに、未だ信頼に足る解析に成功した研究は存在しない。

本研究では、重イオン衝突実験で生成される温度領域の QGP に注目し、流体方程式の動的性質を特徴づける量である、状態方程式、拡散係数、音速、粘性係数などを、格子 QCD 数値解析で測定することを目指した研究を行った。これらの量は、エネルギー運動量テンソル (EMT) と深く関連しており、これらの量の数値解析には EMT の高精度測定が必要とされる。実際、EMT の期待値を測定することで有限温度媒質の状態方程式が得られるし、粘性係数は EMT の二点相関関数と久保公式によって結びついている。

格子数値計算上での EMT 測定は、従来極めて難しかった。しかし、勾配流変換 (gradient flow) と呼ばれる概念に基づく全く新しい EMT 測定手法が 2013 年に提案され、申請者が代表を務める FlowQCD 共同研究でこの手法が数値計算に適用されたことで、この手法による EMT 測定が従来の解析法と比べ著しい有用性を持つことが発見された。本研究では、手法を用いることで、熱力学量や粘性係数などの流体方程式と関連した物理量の測定を行った。

また、研究期間の途中段階で、この EMT 測定技術を流体方程式の基本定数のみならず、QCD 真空における静的クォーク系の測定へと応用する派生課題が発見され、当初の目的と並行してこの研究にも精力的に取り組んだ。

## 3. 研究の方法

本研究では、格子 QCD 数値計算において、様々な系の EMT 測定を勾配流法によって行った。本研究開始前の数値解析は主にクエンチ近似と呼ばれる近似を課した計算を行っていたが、本研究期間にはクエンチ近似での解析の深化に加え、この近似を課さないフル QCD での数値計算にも取り組んだ。クエンチ近似での数値解析については申請者が代表を務める FlowQCD 共同研究での研究として、フル QCD での数値解析は WHOT-QCD 共同研究での研究として、それぞれの共同研究が持つ利点を活かしながら研究を進めた。

## 4. 研究成果

熱力学量の解析に関しては、本研究期間中に着実な進展があった。まず、現実クォーク質量におけるフル QCD での解析が実現した [1]。また、期間中に提案された 2 ループのマッチング係数を用いることで、より安定した解析が実現することが分かった [2, 3]。さらに、解析の途中段階で行う極限操作の順序に関する詳細な解析も行った [4]。これらの成果により勾配流法に関する理解が深まり、従来以上に系統誤差を排除し、安定した EMT 測定を行うことができるようになった。

従来の熱力学量測定は無限一様系でのみ行われていたが、本研究では非等方な境界条件を課した、圧力に非等方性がある系での熱力学量測定にも初めて取り組んだ。純ゲージ理論の臨界温度周辺で行った数値解析では、この系に現れる圧力非等方性が自由場の理論と比べて極端に小さいという興味深い結果が得られた [5]。この結果は、非等方流体模型への入力としても使えるものである。

粘性係数の測定と関連した EMT 相関関数についても解析を進めた [6]。この解析により、従来の手法よりも高精度で相関関数を測定することに成功した。また、この解析で得られた相関関数

を使うことによってエネルギーおよび運動量の熱ゆらぎや、比熱などの物理量の測定を行い有用な結果を得た。一方で、当初の研究目的の一つであった粘性係数の測定を実現するうえでは測定精度が依然不足していることが判明し、粘性係数を定量的に評価する解析は断念せざるを得なかった。

以上の流体方程式基本定数に関する研究とは別に、EMT 測定の派生課題として、真空中に静的なクォークが置かれた系の空間構造を調べるために EMT の空間分布を測定する研究にも取り組んだ。特に、クォークと反クォークが置かれた系に作られるフラックスチューブと呼ばれる構造周辺の EMT 分布測定を行い、クォーク間相互作用が場の歪みを介して微視的に伝搬する様相を可視化することに成功した[7]。また、この結果をクォーク閉じ込めの有効模型で解析することにより、EMT 空間構造に関する情報がフラックスチューブの物理的性質の理解に本質的な役割を果たすことを示した[8]。さらに、有限温度媒質中に静的クォークが一個置かれた系の数値解析を行い、カラー場の遮蔽などの性質を調べた[9]。

#### 参考文献：

- [1] Y. Taniguchi, M. Kitazawa, et al., Phys. Rev. **D96**, 014508 (2017).
- [2] T. Iritani, M. Kitazawa, H. Suzuki, H. Takaura, PTEP **2019**, 023B02 (2019).
- [3] Y. Taniguchi, M. Kitazawa, et al., Phys. Rev. **D102**, 014510 (2020).
- [4] M. Shirogane, M. Kitazawa, et al., PTEP **2021**, 013B08 (2021).
- [5] M. Kitazawa, et al., Phys. Rev. **D99**, 094507 (2019).
- [6] M. Kitazawa, et al., Phys. Rev. **D96**, 111502 (2017).
- [7] R. Yanagihara, M. Kitazawa, et al., Phys. Lett. **B789**, 210 (2019).
- [8] R. Yanagihara, M. Kitazawa, PTEP **2019**, 093B02 (2019).
- [9] R. Yanagihara, M. Kitazawa, et al., Phys. Rev. **D102**, 114522 (2020).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 S. Ejiri, S. Itagaki, R. Iwami, K. Kanaya, M. Kitazawa, A. Kiyohara, M. Shirogane, T. Umeda	4. 巻 101
2. 論文標題 End point of the first-order phase transition of QCD in the heavy quark region by reweighting from quenched QCD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 054505 (1-20)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.054505	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Asakawa, B. Muller, M. Kitazawa	4. 巻 101
2. 論文標題 Issues with Search for Critical Point in QCD with Relativistic Heavy Ion Collisions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 34913 (1-3)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.101.034913	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 R. Yanagihara, M. Kitazawa	4. 巻 2019
2. 論文標題 A study of stress-tensor distribution around the flux tube in the Abelian--Higgs model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PTEP	6. 最初と最後の頁 093B02 (1-19)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Kitazawa, S. Mogliacci, I. Kolbe, W.A. Horowitz	4. 巻 99
2. 論文標題 Anisotropic pressure induced by finite-size effects in SU(3) Yang-Mills theory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 94507 (1-11)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.094507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Iritani Takumi, Kitazawa Masakiyo, Suzuki Hiroshi, Takaura Hiromasa	4. 巻 2019
2. 論文標題 Thermodynamics in quenched QCD: energy?momentum tensor with two-loop order coefficients in the gradient-flow formalism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 023B02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akamatsu Yukinao, Asakawa Masayuki, Hirano Tetsufumi, Kitazawa Masakiyo, Morita Kenji, Murase Koichi, Nara Yasushi, Nonaka Chiho, Ohnishi Akira	4. 巻 98
2. 論文標題 Dynamically integrated transport approach for heavy-ion collisions at high baryon density	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 24909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.98.024909	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 Nonaka Toshihiro, Kitazawa Masakiyo, Esumi Shinichi	4. 巻 906
2. 論文標題 A general procedure for detector-response correction of higher order cumulants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 10 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.08.013	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 Yanagihara Ryosuke, Iritani Takumi, Kitazawa Masakiyo, Asakawa Masayuki, Hatsuda Tetsuo	4. 巻 789
2. 論文標題 Distribution of stress tensor around static quark-anti-quark from Yang-Mills gradient flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 210 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.09.067	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 Kim Taekwang, Asakawa Masayuki, Kitazawa Masakiyo	4. 巻 2018
2. 論文標題 Photon production spectrum above $T_c$ with a lattice quark propagator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of theoretical and experimental physics	6. 最初と最後の頁 013D01 (1-17)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Kitazawa, T. Iritani, M. Asakawa, T. Hatsuda	4. 巻 96
2. 論文標題 Correlations of the energy-momentum tensor via gradient flow in SU(3) Yang-Mills theory at finite temperature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 111502 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.111502	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. Kitazawa, X. Luo	4. 巻 96
2. 論文標題 Properties and uses of factorial cumulants in relativistic heavy-ion collisions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 024910 (1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.96.024910	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. Taniguchi, S. Ejiri, R. Iwami, K. Kanaya, M. Kitazawa, H. Suzuki, T. Umeda, N. Wakabayashi	4. 巻 96
2. 論文標題 Exploring $N_f = 2+1$ QCD thermodynamics from gradient flow	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 014509 (1-28)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.014509	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. Nonaka, M. Kitazawa, S. Esumi	4. 巻 95
2. 論文標題 More efficient formulas for efficiency correction of cumulants and effect of using averaged efficiency	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 064912 (1-12)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.95.064912	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. Sakaida, M. Asakawa, H. Fujii, M. Kitazawa	4. 巻 95
2. 論文標題 Dynamical evolution of critical fluctuations and its observation in heavy ion collisions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 111502 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.111502	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23件 (うち招待講演 23件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 北澤正清
2. 発表標題 重イオン衝突実験におけるゆらぎを用いたQCD相転移探索
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 ( 2020/03/16 - 2020/03/19, 名古屋大学, 名古屋 ) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Topological charge on the lattice studied by neural network
3. 学会等名 RCNP Theory Grop Seminar ( 2019/12/02, 大阪大学吹田キャンパスRCNP, 大阪 ) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Critical fluctuations and their evolution, and cumulants
3. 学会等名 Workshop on QCD in the Nonperturbative Regime ( 2019/11/18 - 2019/11/20, TIFR, Mumbai, India ) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Stress-energy-momentum tensor on the lattice
3. 学会等名 the SUBATECH Seminar at IMT Atlantique ( 2019/09/25, SUBATECH, IMT Atlantique, Nantes, France ) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Lattice QCD and QGP
3. 学会等名 HaPhy-CENuM joint workshop: "The Future of lattice studies in Korea" ( 2019/09/06 - 2019/09/07, Pukyong National University, Busan, Korea ) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北澤正清
2. 発表標題 高密度物質の相構造・ゆらぎ
3. 学会等名 理研シンポジウム・チュートリアル研究会「高エネルギー重イオン衝突の物理:基礎・最先端・課題・展望」( 2019/08/19 - 2019/08/21, 理研, 和光 ) (招待講演)
4. 発表年 2019年



1 . 発表者名 M. Kitazawa
2 . 発表標題 Theoretical study of QGP and phase transitions in RHIC
3 . 学会等名 2019 ANPhA Symposium “ High-energy heavy ion studies in Asia/Pacific and world in coming 10 year ” ( 2019/06/28 - 2019/06/29, seogwipo KAL Hotel, Jeju, Korea ) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kitazawa
2 . 発表標題 Fluctuations in dense baryonic medium
3 . 学会等名 拓大 Heavy Ion Cafe ( 2019/06/22 - 2019/06/23, 上智大学, 東京 ) ( 招待講演 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kitazawa
2 . 発表標題 Stress tensor on the lattice: multi- & single-quark systems, Casimir Effect, and etc.
3 . 学会等名 YITP molecule workshop “ Frontiers in Lattice QCD and related topics ( 2019/04/15 - 2019/04/26, 京都大学基礎物理学研究所, 京都 ) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kitazawa
2 . 発表標題 Critical fluctuations in HIC: Theory overview
3 . 学会等名 the EMMI Rapid Reaction Task Force “ Dynamics of critical fluctuations: theory - phenomenology - HIC ” ( 2019/04/08 - 2019/04/12, GSI, Darmstadt, Germany ) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Masakiyo Kitazawa
2. 発表標題 Equilibration of higher cumulants
3. 学会等名 the EMMI workshop "Probing the Phase Structure of Strongly Interacting Matter: Theory and Experiment" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masakiyo Kitazawa
2. 発表標題 Exploring extremely dense medium in heavy-ion collisions
3. 学会等名 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masakiyo Kitazawa
2. 発表標題 Stress-tensor distribution around static quarks
3. 学会等名 MIAPP programme "Interface of Effective Field Theories and Lattice Gauge Theory" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masakiyo Kitazawa
2. 発表標題 QCD phase structure and future heavy-ion programs
3. 学会等名 KPS-JPS joint meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masakiyo Kitazawa
2. 発表標題 Energy-momentum tensor on the lattice via gradient flow
3. 学会等名 the workshop "High Performance Computing In High Energy Physics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masakiyo Kitazawa
2. 発表標題 Exploring non-Abelian gauge theory with energy-momentum tensor
3. 学会等名 XIII Quark Confinement and Hadron Spectroscopy (Confinement2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Evolution of Critical Fluctuations / Non-binomial Efficiency Correction
3. 学会等名 the GSI workshop ``Constraining the QCD Phase Boundary with Data from Heavy Ion Collisions'' (at GSI, Darmstadt, Germany, Feb. 12-14, 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Search for QCD Critical Point at J-PARC Heavy-Ion Program
3. 学会等名 Reimei Workshop 2017 ``Hadronic Resonances and Dense Nuclear Matter'' (at IQBRC, Tokai, Japan, Dec. 11-14, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 On the efficiency correction for non-binomial efficiency loss
3. 学会等名 QGP/CEP research with Fluctuation (at TChOU, Tsukuba University, Tsukuba, Japan, Dec. 11-12, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Lattice study of energy-momentum tensor with gradient flow; thermodynamics, correlations, and stress
3. 学会等名 Workshop of recent developments in QCD and quantum field theories (at National Taiwan University, Taipei, Taiwan, Nov. 9-12, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Critical Enhancement and Diffusion of Non-Gaussian Fluctuations
3. 学会等名 International EMMI Workshop on critical fluctuations near the QCD phase boundary in relativistic nuclear collisions (at CCNU, Wuhan, China, Oct. 10-13, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 J-PARC Heavy-Ion Program and Search of the QCD Critical Point
3. 学会等名 Compact Stars in the QCD Phase Diagram VI (at JINR, Dubna, Russia, Sep. 26-29, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kitazawa
2. 発表標題 Non-Gaussian Fluctuations in Relativistic Heavy-Ion Collisions
3. 学会等名 The NA61-Theory virtual meetings (on Internet, Apr. 27, 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Masakiyo Kitazawa <a href="http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~masakiyo.kitazawa/physics.html">http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~masakiyo.kitazawa/physics.html</a>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------