

令和 3 年 7 月 19 日現在

機関番号：21402
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2017～2020
 課題番号：17K05448
 研究課題名(和文) 高エネルギー原子核衝突のための微視的輸送モデルによるイベントジェネレータの開発

研究課題名(英文) development of an event generator for high energy nuclear collisions based on a microscopic transport model

研究代表者
 奈良 寧 (Nara, Yasushi)

国際教養大学・国際教養学部・教授

研究者番号：70453008

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：QCD物質の状態方程式を広範囲に決定することを目的とし、重イオン衝突実験における様々な観測量の入射エネルギー依存性がSTARなどの実験グループによって測定されている。実験結果からQCD物質の状態方程式の情報を引き出すために、重イオン衝突の時空発展を記述する微視的輸送モデルに基づいたイベントジェネレータJAM2を最新の理論とテクノロジーをもとに全面的に改訂した。微視的輸送モデルに状態方程式を導入するために、1) 2体衝突項の圧力調整、2) 流体+カスケードと流体+量子分子動力学の開発、3) 相対論的平均場理論を使った相対論的量子分子動力学の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

JAM2は高エネルギー原子核衝突で発生する事象(event)すなわち、すべての生成された粒子の運動量分布の情報をシミュレートする世界標準 Monte Carlo event generatorである。JAM2は高エネルギー原子核衝突の時空発展を微視的に記述する理論的枠組みであり実験値から高密度QCD物質の性質を明らかにすることに貢献する。最新版JAM2の開発は高エネルギー物理、原子核実験だけでなく、中性子散乱、原子炉、核変換、医療、加速器、宇宙工学などの応用分野へ多大な影響を与えるものになる。

研究成果の概要(英文)：Several experiments such as STAR-BES and NA61/SHINE are ongoing, and FAIR, NICA, and J-PARC-HI experiments are planning to explore the phase structure of QCD matter for a wide range of temperature and densities. An event generator JAM2 (Jet AA Microscopic transport model) based on a microscopic transport model, which describes the spacetime evolution of heavy-ion collision, has been developed to extract information about the properties of QCD matter. We have developed three approaches to control the equation of state: 1) Modified two-body collision term, 2) Hydrodynamics + cascade model and hydrodynamics + quantum molecular dynamics, 3) Relativistic quantum molecular dynamics based on the relativistic mean-field theory of sigma-omega interactions.

研究分野：原子核理論

キーワード：クォークグルーオンプラズマ 高エネルギー原子核衝突 QCD状態方程式 輸送理論 数値シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙は今から約 138 億年前にビッグバンから始まったと考えられている。ビッグバン直後から 100 万分の 1 秒から数十万分の一秒の間の宇宙は高温高密度状態であり、クォークグルーオンプラズマ (QGP) 状態にあったと考えられている。バリオン密度がゼロの場合はクロスオーバー転移を通して QGP 状態が出現することが格子 QCD 計算により確かめられた。そして、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の RHIC 加速器や、欧州原子核共同研究機構 (CERN) の LHC 加速器による高エネルギー原子核衝突実験から、実験的にバリオン密度がほとんどゼロの QGP 状態が見つかったと報告された。したがって、高温高密度 QCD 物質の研究は、QGP の発見段階から QGP 物性研究の段階に移行した。

次期課題意識としては、**広範囲の温度とバリオン密度における QCD 相図の完成**があげられる。具体的には、有限バリオン密度における 1 次あるいは 2 次相転移と QCD 臨界点の探索である。この目的のためには、様々な入射エネルギーで異なる初期温度やバリオン化学ポテンシャル領域の探索をして、観測の入射エネルギー依存性における非単調な振る舞いを見ることが重要である。実際に、RHIC の入射エネルギー走査 (BES) などが行われ、この集団フローの振る舞いが 1 次相転移の証拠である可能性が議論されている。また、QCD 物質の相図探索のために、ドイツ GSI の FAIR や、ドゥブナの NICA、日本の J-PARC などでの重イオン衝突実験が計画されている。

2. 研究の目的

高エネルギー原子核衝突で測定される観測量を正しく理解するためには、反応の時空発展を微視的に記述できる理論的枠組みが必要であり、加速器で発生する事象 (event) すなわち、すべての生成された粒子の運動量分布の情報をシミュレートする Monte Carlo event generator が不可欠である。申請者が開発した Monte Carlo event generator JAM は、これまで様々な場面で使われてきた。JAM は粒子・重イオンコード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) や GEANT4 にも組み込まれている。これまでは、バグフィックスや状態方程式をコントロールする衝突項の導入など、現バージョンの大幅な改訂なしで行える範囲内で JAM の拡張を行ってきたが、最近の高エネルギー原子核衝突実験の進展や理論的進展により、**最新のテクノロジーと理論で JAM コードを書き直す全面改訂が要請されている。**

本研究では、JAM を C++ 言語を用いて、すべてを一から見直して JAM の新バージョン JAM2 を開発する。これは Fortran 77 の単なる翻訳ではない。C++ で書き直す意義は、オブジェクト指向プログラミングにより、ソースコードをわかりやすくし、Fortran では

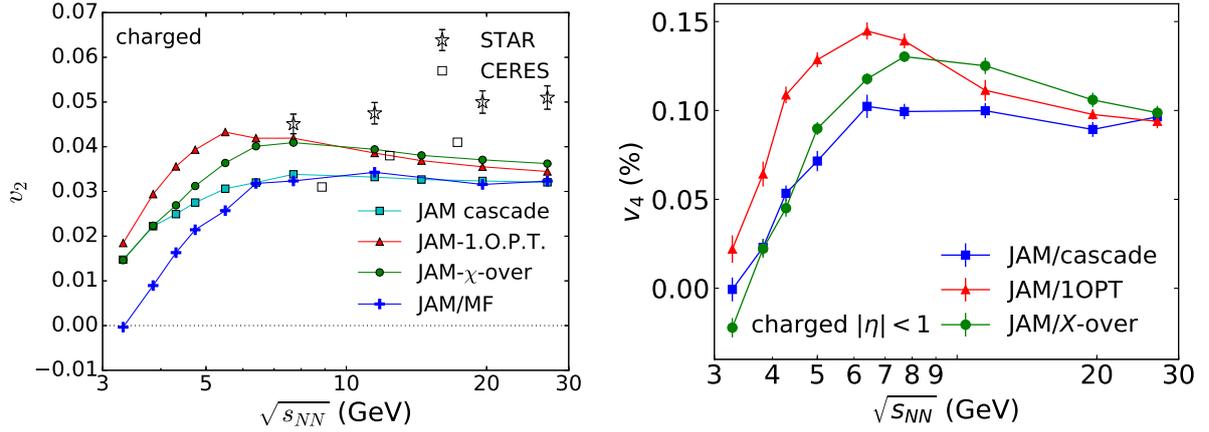


図 1: Au + Au 衝突における v_2 と v_4 のビームエネルギー依存性。

導入するのが難しかった複雑な物理を見通しよく導入することである。

ハドロン輸送模型としての JAM により、QGP 生成のシグナルに関する最新の重イオン衝突実験の実験値を解析し、どこまでがハドロン自由度で理解できるかについて最も信頼できるベースラインを与える。長期的には、クォークとグルーオンの時空発展を追加することで、平衡状態を仮定しないパートンの微視的輸送理論の構築につながる。

3. 研究の方法

これまで使っていた Fortran の PYTHIA 6.4 から、C++ の PYTHIA 8.2 の最新版に移行し、低エネルギーの素過程には 20 年前には存在しなかった最新のデータをもとに再フィットする。また、状態方程式の効果を非平衡微視的輸送模型に取り入れるための、新たな方法を開発する。具体的には、3つのアプローチを試みる。1) 2体衝突項の圧力を操作して任意の状態方程式をシミュレートする。2) エネルギー密度の高い部分を流体に置き換えた流体と粒子のハイブリットシミュレーションの開発。3) 相対論的量子分子動力学 (relativistic quantum molecular dynamics, RQMD) の枠組みに相対論的平均場理論 (relativistic mean field theory, RMF) を使い σ と ω メソンによる相互作用を取り入れる。これらの開発によって、実験結果から状態方程式の情報を引き出す。

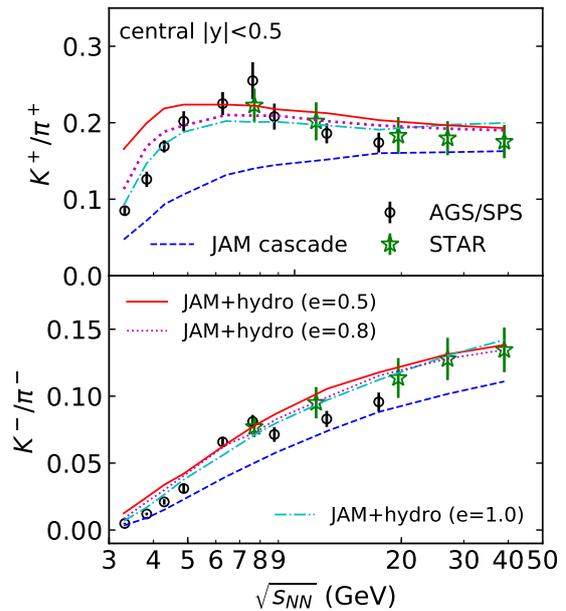
4. 研究成果

(1) JAM カスケードモードに状態方程式の効果をとり入れたバージョンで、楕円フロー v_2 と v_4 への影響を詳細に調べ、その増大が 1 次相転移のシグナルとなることを予言した (図 1)。標準的な輸送模型では 2 体衝突項における方位角方向をランダムに選ぶことで、理想気体の状態方程式とほぼ同じ圧力を与えているが、その方位角を状態方程式で与え

られる条件によって決定し、圧力を自由に変化させることに成功した。したがって、この操作によって1次相転移やクロスオーバーなどの状態方程式の効果を取り入れることができる。またこの手法は、標準的なカスケード計算と同じ計算時間である。この方法を用いて、集団フローの入射エネルギー依存性を計算したところ、入射エネルギーが核子当たりの重心系で $\sqrt{s_{NN}} = 7\text{GeV}$ 以下の衝突で v_2 と v_4 が1次相転移の場合に増大することを予言した。この集団フローの増大のメカニズムを理解するために、スペクテーターの効果を詳細に調べた結果、1次相転移の場合には、ソフト化のために系の縮小と膨張速度が遅くなり、スペクテーターによるブロッキング効果が小さくなることで、 v_2 の減少が抑えられたためであることを実際の計算で示した。

(2) JAMハドロンカスケードと流体をダイナミカルに結合したモデルを構築した。このモデルは流体方程式のソース項を通して粒子が流体になるメカニズムをとり入れ、エネルギー密度の高いところは流体素片として時間発展し、そうでない部分はハドロンカスケードモデルで時間発展するようにしたものである。この新しいモデルは流体とカスケードをダイナミカルに結合することにより時空発展を同時に解いた世界で初めての試みである。

膨張してエネルギー密度が低くなったときは、クーパーフライ公式を用いて逆に流体素片を粒子に変換し、時間発展の最後にはすべて粒子となり、イベント毎の解析もできる。このアプローチで核子当たり重心系での入射エネルギー3-30GeVの粒子生成を計算したところ、カスケード計算に比べて、ストレンジス生成、反バリオン生成が増大し、入射エネルギー依存性も含めて実験値をよく再現することが分かった。特に K^+/π^+ 比もよく再現できるようになったことは大きな成果である(図2)。また、陽子、パイオン、ケイオン、ラムダ粒子、反陽子などの横運動量分布や縦方向の粒子分布もよく再現できることを示した。しかし、 v_1 などの集団フローに関しては、この流体



+JAMカスケードモデルは単純なカスケードモデルと同じ結果しか得られないことがわかった。この理由は、カスケードモデルで記述される部分は状態方程式の効果がフリーのハドロンガス状態となっているためである。そこ

で、カスケードで記述される部分に状態方程式の効果を取り入れるために、量子分子動力学 (QMD) を導入できることを示した (流体+QMD 模型)。

(3) 相対論的平均場理論 (relativistic mean-field theory, RMF) による σ - ω メソン相互作用を取り入れた相対論的量子分子動力学 (relativistic quantum molecular dynamics, RQMD.RMF) を開発して、集団フローの解析を行った。1 体分布関数の時間発展を追う相論的 BUU と異なり、RQMD.RMF は N 体分布関数の時間発展を扱える非平衡微視的輸送理論であり、揺らぎやクラスター生成なども記述できる。また、RQMD.RMF に運動量依存ポテンシャルを導入したことも大きな成果である。 σ - ω による相互作用は、引力はスカラー密度に依存し、斥力はバリオン密度に依存した構造になっており、スキルム型ポテンシャルを使ったシミュレーションとは反応機構が大きく異なることが分かった。この模型で集団フローの入射エネルギー依存性を調べた。 $\sqrt{s_{NN}} = 2.4$ GeV から 7.7 GeV までの directed flow と elliptic flow を同時に一つのパラメータセットで説明できた (図 3)。 $\sqrt{s_{NN}} = 11.5$ GeV と 17.3 GeV の負の陽子フローは状態方程式のソフト化の効果により説明できることも示した (図 3 の MD2+Attractive orbit)。

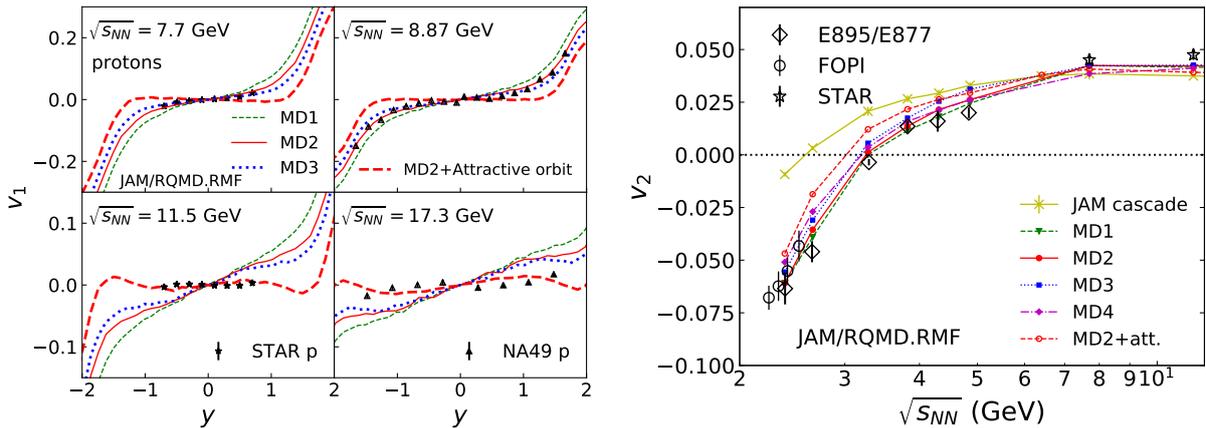


図 3: Au + Au 衝突における v_1 (左図) と楕円フロー (v_2)(右図) のビームエネルギー依存性の RQMD.RMF 模型と実験との比較。

(4) JAM2 開発に関して新しく導入した成果は以下の通りである。①核子-核子衝突断面積のフィットにマトリックスエレメントを使った新しい共鳴状態の断面積の導入。②ハドロン-ハドロン衝突におけるストリング生成に関する部分を改良。③陽子-陽子 (pp) 衝突のインプットに新しい NA61 の実験データを取り入れた $6 < \sqrt{s_{NN}} < 20$ GeV の pp 衝突の改善。④ pp 衝突は LHC エネルギーまでフィットした。⑤ Pythia6 から Pythia8 に移行し、ストリングのハドロン化をアップデートした。⑥ 2 体衝突項に膨張するグリッドを導入することにより計算時間の高速化を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 A. V. Giannini and Y. Nara	4. 巻 1010
2. 論文標題 Non-perturbative renormalization of the average color charge and multi-point correlators of color charge from a non-Gaussian small-x action	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Physics A	6. 最初と最後の頁 122178-1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysa.2021.122178	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. Nara, T. Maruyama and H. Stoecker	4. 巻 102
2. 論文標題 Momentum-dependent potential and collective flows within the relativistic quantum molecular dynamics approach based on relativistic mean-field theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 024913-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.102.024913	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. Murase, Y. Akamatsu, M. Asakawa, T. Hirano, M. Kitazawa, K. Morita, Y. Nara, C. Nonaka and A. Ohnishi	4. 巻 32
2. 論文標題 Dynamically Integrated Transport Model for High-energy Nuclear Collisions at $3 < \sqrt{s_N} < 30$ GeV	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 0100818-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.32.010081	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 Yasushi Nara, Horst Stoecker	4. 巻 100
2. 論文標題 Sensitivity of the excitation functions of collective flow to relativistic scalar and vector meson interactions in the relativistic quantum molecular dynamics model RQMD.RMF	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 54902-1 ~ 54902-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.054902	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 Yasushi Nara	4. 巻 208
2. 論文標題 JAM: an event generator for high energy nuclear collisions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 11004-1 ~ 11004 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920811004	査読の有無 無
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 Murase Koichi, Akamatsu Yukinao, Asakawa Masayuki, Hirano Tetsufumi, Kitazawa Masakiyo, Morita Kenji, Nara Yasushi, Nonaka Chiho, Ohnishi Akira	4. 巻 26
2. 論文標題 Dynamically Integrated Transport Approach for High Energy Nuclear Collisions at High Baryon Density	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 24016-1 ~ 24016-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.024016	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 A. Dumitru, A. V. Giannini, M. Luzum and Y. Nara,	4. 巻 12
2. 論文標題 Centrality and energy dependence of charged particles in p+A and A+A collisions from running coupling kT-factorization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.	6. 最初と最後の頁 973-978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5506/APhysPolBSupp.12.973	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 C. Zhang, J. Chen, X. Luo, F. Liu and Y. Nara	4. 巻 97
2. 論文標題 Beam energy dependence of the squeeze-out effect on the directed and elliptic flow in Au + Au collisions in the high baryon density region	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 064913-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.97.064913	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. Akamatsu, M. Asakawa, T. Hirano, M. Kitazawa, K. Morita, K. Murase, Y. Nara, C. Nonaka, A. Ohnishi	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 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 024909-1-9
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 Y. Nara, J. Steinheimer and H. Stoecker	4. 巻 54
2. 論文標題 The enhancement of v4 in nuclear collisions at the highest densities signals a first- order phase transition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Eur. Phys. J.	6. 最初と最後の頁 188-193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/i2018-12626-y	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 Y. Nara, H. Niemi, J. Steinheimer, H. Stoecker	4. 巻 769
2. 論文標題 Equation of state dependence of directed flow in a microscopic transport model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Lett. B	6. 最初と最後の頁 543-548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.02.020	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 A. Ohnishi, Y. Nara, H. Niemi, H. Stoecker	4. 巻 10
2. 論文標題 Directed Flow in Heavy-ion Collisions and Softening of Equation of State	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Acta Phys. Polon. Supp.	6. 最初と最後の頁 699 703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5506/APhysPoIBSupp.10.699	査読の有無 無
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 Jiamin Chen, Xiaofeng Luo, Feng Liu, and Yasushi Nara	4. 巻 42
2. 論文標題 Effects of mean field and softening of equation of state on elliptic flow in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5$ GeV from the JAM model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chin. Phys. C	6. 最初と最後の頁 024001 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1674-1137/42/2/024001	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 Yasushi Nara, Harri Niemi, Akira Ohnishi, Jan Steinheimer, Xiaofeng Luo, Horst Stoecker	4. 巻 54
2. 論文標題 Enhancement of elliptic flow can signal a first order phase transition in high energy heavy ion collisions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Eur.Phys.J. A	6. 最初と最後の頁 18 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/i2018-12413-x	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

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yasushi Nara
2. 発表標題 Anisotropic flows within relativistic quantum molecular dynamics (RQMD.RMF) with momentum-dependent potential
3. 学会等名 Symposium of the HADES collaboration Meeting XXX XL (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 高エネルギー原子核衝突のためのイベントジェネレータ JAM2
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 運動量依存ポテンシャルを取り入れた相対論的平均場理論量子分子動力学 (RQMD.RMF) による集団フローの解析
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasushi Nara
2. 発表標題 Hydrodynamic quantum molecular dynamics approach in JAM
3. 学会等名 International Workshop on Partonic and Hadronic Transport Approaches for Relativistic Heavy Ion Collisions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Nara
2. 発表標題 Relativistic quantum molecular dynamics with scalar and vector interactions
3. 学会等名 The 36th Heavy Ion cafe (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Nara
2. 発表標題 Relativistic molecular dynamics approach for heavy ion collisions at high baryon region
3. 学会等名 The 17th International Conference on QCD in Extreme Conditions (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 相対論的平均場理論の量子分子動力学シミュレーションによる集団フローの解析
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 pp,pA,AA衝突のダイナミクスは同時に理解したか? QGPシミュレーションの理論の現状
3. 学会等名 第29回Heavy Ion Pub研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 デルタマターとバリオン数高次揺らぎ
3. 学会等名 日本物理学会2020年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 JAM:an event generator for high energy nuclear collisions
3. 学会等名 20th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 K/pi ratios from a dynamically integrated transport approach
3. 学会等名 YITP long-term workshop New Frontiers in QCD 2018 - Confinement, Phase Tran- sition, Hadrons, and Hadron Interactions - (国 際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 Signatures of the 1st order phase transition in heavy-ion collisions at FAIR ener- gies
3. 学会等名 Physics Symposium at 32 nd CBM collaboration meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 Dynamically integrated transport model for heavy ion collisions at J-PARC-HI
3. 学会等名 The 52nd Reimei Workshop " Experimental and Theoretical Hadron Physics: Re- cent Exciting Developments " (招待講演) (国際学 会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 流体量子分子動力学(HyQMD)による集団フローの解析
3. 学会等名 日本物理学会第 74 回年次大会 (2019 年) 九州大学 (伊都キャンパスキャンパス)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Nara
2. 発表標題 Extension of Pythia8 to high energy nuclear collisions
3. 学会等名 Workshop on forward physics and high-energy scattering at zero degrees 2017 (HESZ2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasushi Nara
2. 発表標題 Effects of Phase Transition on Collective Flows From a Microscopic Transport Mode
3. 学会等名 EMMI International workshop on Critical Fluctuations near the QCD phase boundary in relativistic nuclear collisions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Recent development and future perspectives in dynamical simulation of heavy ion collisions at the highest baryon density region
3. 学会等名 2017年度 KEK理論センターJ-PARC分室活動 総括研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Pythia8 and JAM event generators
3. 学会等名 第二回空気シャワー観測による宇宙線の起源探索勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 1次相転移のシグナルとしてのv4の増大
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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			
ドイツ	フランクフルト高等研究所 (FIAS)	ゲーテ大学 (フランクフルト)		
中国	華中師範大学 (Wuhan)	湖州師範大学 (Huzhou)		
ブラジル	サンパウロ大学			