

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601  
 研究種目：基盤研究(C) (一般)  
 研究期間：2015～2019  
 課題番号：15K05098  
 研究課題名(和文) 宇宙線と星間ガスや大気の相互作用終状態を広帯域で再現するシミュレータの開発

研究課題名(英文) Development of a simulator to predict the final states of interactions between cosmic-rays and inter-stellar gas and atmosphere in a broad energy range

## 研究代表者

釜江 常好 (Kamae, Tuneyoshi)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・名誉教授

研究者番号：90011618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：主目的は、広いエネルギー領域の宇宙線と星間物質の相互作用で生まれる、ガンマ線、ニュートリノ、電子などをシミュレーションすることである。従来のものは、実験データが豊富な陽子だけを扱い、ヘリウム、炭素などの原子核の相互作用で発生する2次粒子の予言能力は限定的であった。理論モデルは、共鳴状態と原子核反応対応のストリングと、LHCのデータを再現するPythia8を滑らかに接続する枠組みを開発した。観測データとの比較は、現象論的モデルで、最新の電子、陽子、原子核宇宙線のスペクトルや銀河系中心で観測された、ガンマ線と比較した。引き続き、CTAやICECUBE実験のデータと比較できる予測を計算している。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

天体GeVガンマ線の観測が大きく発展し、5000以上の点源と、宇宙線とガスの衝突する場所が多数発見された。ガンマ線スペクトルや時間変動は、粒子加速や物質と磁場の分布、さらに宇宙線のスペクトルを教えてくれる。宇宙起源のニュートリノを検出し始めた。加速器実験のデータに基づいて、宇宙線と標的の組合わせで2次粒子スペクトルを予言することは、学術情報を得るには必修となる。コードを校正する実験は限られたエネルギーでしか存在しない。理論に基きデータを繋ぐシミュレータが、重要となる。信頼できるシミュレータを作成すれば、既存のデータの解釈だけでなく、近い将来に稼働始める実験の解析にも、極めて有用となる。

研究成果の概要(英文)：This project aimed at predicting the spectra of gamma-rays, electrons, neutrinos, and nuclei produced in the interaction of cosmic-rays with inter-stellar matter or with magnetic field in the stellar objects. The simulation platform consists of JAM, a simulator for heavy ion collisions tuned in the RHIC energy range and a version of Pythia8. The energy range to be covered is from (K.E./nucleon) 300MeV to  $\sim$ PeV. The secondary particles considered are gammas, electrons, neutrinos, and protons. The framework has been compared only in the energy range below 10TeV and only for incident particle of protons. The Voyager-1 observation of electrons and protons have been fitted with other cosmic-ray observations. The obtained spectra indicate that the observed low-energy cosmic rays include those from local IP white dwarfs.

研究分野：物理学

キーワード：ガンマ線天体物理 ニュートリノ天体物理 宇宙線の相互作用 高エネルギー天体物理 素粒子反応 原子核反応

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

天体ガンマや太陽系外からの宇宙線を観測し、銀河や天体を研究するには、星間ガスや大気と宇宙線の相互作用をシミュレートせねばならない。その際、観測原理やエネルギー帯域、装置の形状や場所も異なる実験を、統一的に解析せねばならない。各グループが選ぶシミュレータで検証されてきた結果、相反する結論を出し続けてきた。パイ中間子しきい値から LHC まで、加速器データを集め、信頼できる理論基盤上に一貫性あるシミュレータを作成し、形状やトリガー条件に対応できる形、すなわち終状態の粒子を保存した形で提供したい。我々の知識で足りない部分は、協力を得て、期間内に、完成すると確信している。このシミュレータが完成すると、幅広いエネルギー領域で、天体ガンマ線や宇宙線のスペクトルや組成を高信頼度で解析できるようになる。それを目指したい。

### 2. 研究の目的

- (1) 陽子と中重原子核との相互作用のデータを、JAM のシミュレーションの結果を比較する。
- (2) 一次宇宙線と大気の相互作用で、二次相互作用を無視できる実験データに、申請者が参加するフェルミ天体ガンマ線衛星が 550km 上空で観測した、地球大気の縁から来るガンマ線のデータがある。入射宇宙線を、陽子とヘリウム、CNO、Si、Fe にして、大気の相互作用で生まれるガンマ線をシミュレートし比較する。
- (3) Fe の原子核と大気中の窒素や酸素との相互作用では、Fragmentation で残された原子核が、一次宇宙線の持つエネルギーの大きな部分を残し、再度、窒素や酸素と相互作用する。それらのデータは、低エネルギー領域のデータを使って、大気圏内での宇宙線観測と比較したい。
- (4) 上で得られる結果を、HESS などのチェレンコフ望遠鏡で観測された、宇宙線バックグラントや、スーパーカミオカンデなどの地下ニュートリノ施設で観測された、ミュオンのデータと比較することも、考えたい。

### 3. 研究の方法

陽子と中重原子核との相互作用のデータ、および pAT2K グループによりまとめられた pA、piA のデータ、ニュートリノ・ビームのデータと、シミュレーションの結果を比較する。そしてフェルミ天体ガンマ線衛星の地球大気の縁から来るガンマ線データを再現する。これは原子核のフラグメントを含めて二次相互作用を無視できる稀なケースである。

### 4. 研究成果

#### (1) 観測との比較

フェルミ LAT 観測器で捉えられた、地球大気リムからくるガンマ線のスペクトルの解析は、フェルミ LAT グループが発表した陽電子のスペクトルが、他の観測結果より大きくなったのは、大気リムで生成された不安定粒子の崩壊で生まれた正電荷をもつミュオンが、検出器に到来するまでの数 1000km の距離の中で、陽電子に崩壊したものが含まれていることが判明した。LAT グループ会議での口頭発表。

地球近傍で観測された宇宙線のスペクトルを、Voyager-I が、太陽磁気圏外で観測した、低エネルギー領域に延長すると、10 倍から 1000 倍も小さくなることが判明した。この原因を、太陽系近傍に多数発見されつつある、磁化された白色矮星 (IP 型) で、電子や原子核が加速され、到来していると仮定すると、うまく説明できることが判った。今まで仮定されてきた宇宙線スペクトルの低エネルギー部分 (<100GeV) に新たな成分が追加されることになる。この成分が生まれ出す、ガンマ線のスペクトルを、シミュレータで予測したところ、銀河系中心部分で観測され、

謎とされていた余剰ガンマ線がうまく説明できた。これは、T.Kamae 他で、PASJ に発表された。

(2) JAM1 は 20 年前に構築されたコードであるため、新しい実験値を考慮してモデルの素過程反応を改良する必要がある。パイ中間子しきい値から重心系でのエネルギー 3 GeV までは、2GeV までの共鳴状態  $N^*$  とデルタ粒子の励起とその崩壊により、粒子生成を記述し、3GeV から 10GeV まで、なめらかにストリング励起へとつなげるモデルを新しく構築した。共鳴状態への断面積は新しくマトリクスエレメントを用いて、各励起状態への断面積をフィットした。これにより、しきい値付近での断面積の振る舞いの記述が改良された。これまでの UrQMD, GiBUU や SMASH では、 $NN$   $ND(1232)$ ,  $NN$   $NN^*$ ,  $NN$   $D(1232)D(1232)$ ,  $NN$   $D(1232)N^*$ ,  $NN$   $D(1232)D^*$  を取り入れていたが、我々は、さらに  $NN$   $N^*N^*$ ,  $NN$   $N^*D^*$ ,  $NN$   $D^*D^*$  も取り入れた。この拡張は、pp 反応のフィットには重要であることがわかった。ここで、 $N^*$ 、 $D^*$  は 2GeV までの共鳴状態全部である。もちろん、逆過程も詳細釣り合いの原理にもとづき取り入れられている。

これらの改良によって、以前のモデルよりも精度よく陽子-陽子衝突を記述できるようになった。ストリング励起のモデルも改良し、10GeV までの陽子-陽子衝突の新しい実験値まで含めうまくフィットできるようになった。JAM1 では HIJING と同じストリング生成模型を使っていたが、今回は、クォークが交換されストリングになるプロセスを導入した。HIJING では、陽子-陽子衝突実験系でのエネルギー 1.2、2.4 GeV での陽子の固い横運動量分布をフィットするために、現象論的にガウシアン以外の効果を付け加えていたが、新しいモデルでは、そのようなパラメーターなしで陽子の横運動量分布をフィットすることができた。

10GeV 以上では、なめらかに Pythia8 につなげ LHC エネルギーまでの陽子-陽子衝突をうまく記述できるようにした。Pythia8 では、パートン同士のハード散乱を取り入れ陽子-陽子を記述するものである。原子核衝突に応用する場合は、入射粒子が陽子や中性子だけでなく、その共鳴状態など Pythia8 では取り扱ってない粒子の反応があるため、Pythia8 の変更も同時に行っている。以上のように、パイ中間子しきい値から重心系でのエネルギー数 TeV までの陽子-陽子衝突を記述できるモデルであり、これは世界で唯一のモデルである。さらに、このモデルは原子核衝突も記述できる。

今後は、パイオン-核子、ケイオン-核子散乱などの、2 次衝突に重要なプロセスの改良も行いたい。また、ストリングフュージョンなどの集団効果を取り入れたい。また、パイ中間子しきい値付近でのパイ中間子生成が重要となる観測量を見たい。この場合は、共鳴状態を通した粒子生成以外のプロセス  $NN$   $deuteron + pion$ ,  $NN$   $NN + pion$  などが重要となる。このためには、逆プロセスの  $NN\pi \rightarrow NN$  という 3 体衝突の導入が必要である。

(3) カスケード模型では、原子核衝突を粒子間の 2 体衝突のインコヒーレントな積み重ねとして記述する。したがって、熱平衡化などのプロセスに重要だと考えられる N 体衝突や量子効果などのプロセスがはいっていない。完全に微視的にこのようなプロセスを導入することは現時点で難しい。しかし、第一歩として、原子核衝突で熱平衡に達したと仮定した場合、どのように観測量に反映されるかを調べることは重要である。原子核衝突でできた熱い物質のエネルギー密度がある一定の値に達した場所は熱平衡になったと仮定し、その部分は流体模型で記述するというハイブリットモデルの導入を行った。RHIC 以上のエネルギーでは、原子核がすり抜けた後に、流体化するという描像がうまくいくが、低エネルギーでは、原子核が衝突しながら流体化するというプロセスを導入する必要がある。このアイデアを、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いれ、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模型で時間発展することで JAM に取り入れた。この JAM+流体模型は、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。とくに  $K+\pi$  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。この結果は、核子当り実験室系のエネルギー 10 GeV 付近でも系の一部は平衡状態に達していることを強く示唆している。このダイナミカルな流体初期条件を RHIC や LHC のエネルギーにも使えるように拡張することで、低エネルギーから高エネルギーまで一貫したモデルを構築することが次期課題意識である。また、流体部分に粘性の効果を取り入れることも重要である。

(4) 低エネルギーでは集団運動の効果を取り入れることが重要である。JAM に相対論的量子分子動力学 (relativistic quantum molecular dynamics, RQMD) の枠組みを用いて、核子の平均場を取り入れた。この改良により、核子当り実験室系の入射エネルギーが 20 GeV までの原子核反応の記述が改善された。また、平均場により、核子間が結合する効果が入るので、反応で生成されるハドロンだけでなく、原子核クラスター生成と、その励起状態の崩壊も行えるようにした。平均場は、相対論的平均場理論 (relativistic mean-field theory, RMF) に基づき、 $\sigma$  と  $\omega$  メソンによる相互作用を RQMD 模型に取り入れることに成功した (RQMD.RMF 模型)。 $\rho$  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場合と比較すると、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ると、重心系でのエネルギー 2.4 GeV から 7.7 GeV までの directed と elliptic flow は同時に一つのパラメータセットで説明できることがわかった。しかし、11.5 GeV 以上で陽子の directed flow が負に変わる実験値は再現できなかった。この結果は、相転移による状態方程式の軟化によって directed flow が負になるのではないかという推測を間接的にサポートするものであるが、今後そのような相転移を取り入れた模型による解析が重要課題である。将来的には、動的流体+カスケード模型のカスケードの部分に流体と同様の状態方程式を使った RQMD.RMF に置き換えることで、流体量子分子動力学を構築する予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Nara Yasushi、Stoecker Horst	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 Nara Yasushi	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 Chauvin Maxime、Floren Hans-Gustav、Jackson Miranda、Kamae Tuneyoshi、Kataoka Jun、Kiss Mozsi、Mikhalev Victor、Mizuno Tsunefumi、Takahashi Hiromitsu、Uchida Nagomi、Pearce Mark	4. 巻 483
2. 論文標題 PoGO+ polarimetric constraint on the synchrotron jet emission of Cygnus X-1	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L138 ~ L143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly233	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 Chauvin M, Floren H-G, Friis M, Jackson M, Kamae T, Kataoka J, Kawano T, Kiss M, Mikhalev V, Mizuno T, Tajima H, Takahashi H, Uchida N, Pearce M	4. 巻 477
2. 論文標題 The PoGO+ view on Crab off-pulse hard X-ray polarisation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L45 ~ L49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly027	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 Kamae Tuneyoshi, Lee Shiu-Hang, Makishima Kazuo, Shibata Shinpei, Shigeyama Toshikazu	4. 巻 70
2. 論文標題 Evidence for GeV cosmic rays from white dwarfs in the local cosmic ray spectra and in the gamma-ray emissivity of the inner Galaxy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 29 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy010	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 M. Chauvin, H. -G. Floren, M. Friis, M. Jackson, T. Kamae, J. Kataoka, T. Kawano, M. Kiss, V. Mikhalev, T. Mizuno, N. Ohashi, T. Stana, H. Tajima, H. Takahashi, N. Uchida, and M. Pearce	4. 巻 2
2. 論文標題 Accretion geometry of the black-hole binary Cygnus X-1 from X-ray polarimetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature-Astronomy	6. 最初と最後の頁 652 ~ 655
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 Kamae, T., Lee, S.-H., Makishima, K., Shibata, S., Shigeyama, T.	4. 巻 70 (2)
2. 論文標題 Evidence for GeV cosmic rays from white dwarfs in the local cosmic ray spectra	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy010	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 Fermi Collaboration, Abdollahi, S., Kamae, T. et al.	4. 巻 95
2. 論文標題 Cosmic-ray electron-positron spectrum from 7 GeV to 2 TeV with the Fermi Large	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 82007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.082007	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 S. Abdollahi, T. Kamae et al., (Fermi-LAT Collaoration)	4. 巻 118
2. 論文標題 Search for Cosmic-Ray Electron and Positron Anisotropies with Seven Years of Fermi Large Area Telescope Data	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 91103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.118.091103	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 M. Ackermann, T. Kamae et al., (Fermi-LAT Collaoration)	4. 巻 93
2. 論文標題 Measurement of the high-energy gamma-ray emission from the Moon with the Fermi Large Area Telescope	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 822001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.93.082001	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 Does non-monotonic behavior of directed flow signal the onset of deconfinement?	4. 巻 -
2. 論文標題 Y. Nara and A Ohnishi	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Nuclear Physics A	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) arXiv:1512.06299	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23件（うち招待講演 12件 / うち国際学会 9件）

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 (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 " Dynamics of high energy nuclear collisions (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衝突のダイナミッ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
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 Kamae, T., Lee, S.-H., Makishima, K., Shibata, S., Shigeyama, T.
2. 発表標題 Evidence for GeV cosmic rays from white dwarfs in the local cosmic ray spectra
3. 学会等名 The 7th Fermi Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. 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 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Nara
2. 発表標題 Pythia 8 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) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Pythia 8 and JAM event generators
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 釜江常好
2. 発表標題 最新の宇宙線、ガンマ線、分子雲観測データに基づく銀河系内と近傍の宇宙線スペクトルの研究
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kamae
2. 発表標題 Study on heavier nuclear CRs
3. 学会等名 Cross-section for Cosmic Ray Conference (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 J-PARC エネルギー重イオン衝突のダイナミックス
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会内シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Nara
2. 発表標題 Monte-Carlo Event Generator for CGC: What has to be done?
3. 学会等名 France-Japan SAKURA Workshop on small-x physics at the LHC
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奈良寧
2. 発表標題 高エネルギー重イオン衝突における粒子生成のイベントジェネレーターによる解析
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Analysis of highest baryon density produced in high energy nuclear collisions
3. 学会等名 Heavy ion physics at J-PARC (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Does non-monotonic behavior of directed flow signal the onset of deconfinement?
3. 学会等名 Quark Matter 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Numerical simulations in high energy nuclear collisions
3. 学会等名 CANHP 2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Simulations of per-equilibrium dynamics in relativistic heavy-ion collision
3. 学会等名 New development in QGP (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Directed flow signals the softest point of QCD Equation of State
3. 学会等名 The 31st Reimei WorkShop on Hadron Physics in Extreme Conditions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Study of directed flow within a transport model with softening of the EoS
3. 学会等名 FiAS seminar (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Study of baryon directed flow within a hadronic transport model
3. 学会等名 HIC for FAIR nuclear physics Colloquium (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奈良 寧
2. 発表標題 Study of the EoS dependence of directed flow within a hadronic transport model
3. 学会等名 GSI Theory seminar (招待講演)
4. 発表年 2016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
研究 分担者	奈良 寧  (Nara Yasushi)  (70453008)	国際教養大学・国際教養学部・教授    (21402)	