

研究責任者名 Name	浅川正之 Asakawa Masayuki	所属機関 Affiliation	大阪大学大学院理学研究科 Osaka University
受理番号 Proposal No.	13/14-T02 13/14-24	研究課題名 Program title	格子 QCD による有限温度媒質中のチャーモニウムの分散関係の解析

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文) 相対論的重イオン衝突実験において、チャーモニウムの収量は重要な観測量の一つと考えられている。格子 QCD を用いた第一原理計算による非摂動的な計算においては、これまで有限温度媒質中に静止したチャーモニウムの溶解や、チャームクォークの拡散係数などが調べられてきた。しかし、相対論的重イオン衝突実験において生成したチャーモニウムは媒質に対して運動している。我々は格子シミュレーションによってチャーモニウムに対応する、有限運動量を持った相関関数を生成した。そして、特に擬スカラーチャンネルに注目して、最大エントロピー法を用いてスペクトル関数を復元することで、束縛状態の溶解や分散関係などのチャーモニウムの動的性質について調べた。そして、媒質中においてもチャーモニウムの分散関係が Lorentz 型の分散関係から大きく変化しないことという非自明な結果を得た。またマスシフトを統計的に有意な誤差で観測することができた。今回の測定で使った格子間隔では高運動量領域において最大エントロピー法によるスペクトル関数の復元がうまくいかないことが分かったので、より細かい格子間隔でのシミュレーションの準備を進めている。

(英文) The yield of charmonium in the relativistic heavy ion collision is one of the important observables. Such as the dissociation of charmonia and the diffusion coefficient of charm quark are studied with the lattice first principle calculation. However the charmonia created in heavy ion collisions move through the medium. We generate the correlation functions at finite momenta with the lattice simulation. We study the dynamical properties of charmonia such as the dissociation and the dispersion relations reconstructing the spectral functions with Maximum entropy method. Then we find that the dispersion relation of charmonium at finite temperature traces the Lorentz invariant form dispersion relation. This result is a nontrivial result. And we observe the mass shift with statistical significance. We need the correlation functions which are generated by the simulation with the smaller lattice space to reconstruct the spectral functions with high momentum. Thus now we prepare the simulation with the smaller lattice.

研究成果を公開しているホームページアドレス

研究成果の 公表	口頭研究発表 件数	査読付きの 学術論文数	プロシーディング 論文数	その他 (投稿中を含む)
	4	1	1	1

成果の公表リスト（それぞれの枠に番号をつけて記入願います。）

口頭研究発表 Presentations at scientific meetings concerning the program									
1. 池田 惇郎 ``非閉じ込め相におけるチャームクォークの分散関係の格子 QCD による解析'', 日本物理学会 第 69 回年次大会, 東海大, 神奈川, March 27-30, 2014									
2. A. Ikeda, ``Charmonium spectra and dispersion relation with improved Bayesian analysis in lattice QCD'', Lattice 2014, New York, USA, June 23-28, 2014.									
3. A. Ikeda ``Charmonium spectra and dispersion relation with improved Bayesian analysis in lattice QCD'', ATHIC 2014, Osaka, Japan, August 5-8, 2014									
4. A. Ikeda, ``Charmonium spectra and dispersion relations with maximum entropy method in extended vector space'', Hawaii 2014, Hawaii, USA, October 7-14, 2014									
査読付きの学術論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。									
Refereed Journal Articles (name of journal, volume, page, year)									
1	<table border="1"> <tr> <td>著者名 Author</td> <td>Yasuhiro Kohno, Masayuki Asakawa, and Masakiyo Kitazawa</td> </tr> <tr> <td>タイトル title</td> <td>Shear viscosity to relaxation time ratio in SU(3) lattice gauge theory</td> </tr> <tr> <td>雑誌名 name of journal</td> <td>Physical Review D 89, (2014) 054508</td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td>http://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.89.054508</td> </tr> </table>	著者名 Author	Yasuhiro Kohno, Masayuki Asakawa, and Masakiyo Kitazawa	タイトル title	Shear viscosity to relaxation time ratio in SU(3) lattice gauge theory	雑誌名 name of journal	Physical Review D 89, (2014) 054508	URL	http://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.89.054508
著者名 Author	Yasuhiro Kohno, Masayuki Asakawa, and Masakiyo Kitazawa								
タイトル title	Shear viscosity to relaxation time ratio in SU(3) lattice gauge theory								
雑誌名 name of journal	Physical Review D 89, (2014) 054508								
URL	http://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.89.054508								
2	<table border="1"> <tr> <td>著者名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>タイトル</td> <td></td> </tr> <tr> <td>雑誌名等</td> <td></td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td></td> </tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
著者名									
タイトル									
雑誌名等									
URL									
3	<table border="1"> <tr> <td>著者名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>タイトル</td> <td></td> </tr> <tr> <td>雑誌名等</td> <td></td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td></td> </tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
著者名									
タイトル									
雑誌名等									
URL									
プロシーディング論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。									
International Conference Proceedings (name of journal, volume, page, year)									
1.	<table border="1"> <tr> <td>著者名 Author</td> <td>A.Ikeda, M. Asakawa and M. Kitazawa</td> </tr> <tr> <td>タイトル title</td> <td>Charmonium spectra and dispersion relation with improved Bayesian analysis in lattice QCD</td> </tr> <tr> <td>雑誌名等</td> <td>PoS(LATTICE2014)215</td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td>http://pos.sissa.it/archive/conferences/214/215/LATTICE2014_215.pdf</td> </tr> </table>	著者名 Author	A.Ikeda, M. Asakawa and M. Kitazawa	タイトル title	Charmonium spectra and dispersion relation with improved Bayesian analysis in lattice QCD	雑誌名等	PoS(LATTICE2014)215	URL	http://pos.sissa.it/archive/conferences/214/215/LATTICE2014_215.pdf
著者名 Author	A.Ikeda, M. Asakawa and M. Kitazawa								
タイトル title	Charmonium spectra and dispersion relation with improved Bayesian analysis in lattice QCD								
雑誌名等	PoS(LATTICE2014)215								
URL	http://pos.sissa.it/archive/conferences/214/215/LATTICE2014_215.pdf								
2.	<table border="1"> <tr> <td>著者名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>タイトル</td> <td></td> </tr> <tr> <td>雑誌名等</td> <td></td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td></td> </tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
著者名									
タイトル									
雑誌名等									
URL									
3.	<table border="1"> <tr> <td>著者名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>タイトル</td> <td></td> </tr> <tr> <td>雑誌名等</td> <td></td> </tr> <tr> <td>URL</td> <td></td> </tr> </table>	著者名		タイトル		雑誌名等		URL	
著者名									
タイトル									
雑誌名等									
URL									
その他 (学位論文、紀要、投稿中の論文を含む) (著者、タイトル、論文種別、URL を記載) Others (thesis for a degree, bulletin, papers to be published, etc.)									
1.池田 惇郎、 非閉じ込め相におけるチャームクォークの拡散現象の格子 QCD による解析、 修士論文									
特記 (本研究に関係した、新聞記事・著作、受賞など) (過去に遡っても構いません。) Special Notes (newspaper article, literary works, awards, etc.)									

格子 QCD による有限温度媒質中のチャーモニウムの分散関係の解析

1 研究組織

- 研究責任者
浅川 正之 (あさかわ まさゆき) 大阪大学 大学院理学研究科・教授
- 共同研究者
北沢 正清 (きたざわ まさきよ) 大阪大学 大学院理学研究科・助教
池田 惇郎 (いけだ あつろう) 大阪大学 大学院理学研究科・D1

2 実施報告

相対論的重イオン衝突実験においてチャーモニウムの収量は QGP 生成のシグナルとして重要な観測の一つと考えられている。このため、格子 QCD 数値解析により臨界温度付近のチャーモニウムの性質を第一原理的に調べる研究も数多くなされている。しかし、これまで格子上においては媒質に対して静止したチャーモニウムの性質のみが調べられており、媒質に対する相対速度を持つチャーモニウムの性質はほとんど研究されていない。一方、重イオン衝突実験において生成するチャーモニウムは媒質に対して運動している。我々は、格子上で有限運動量をもった相関関数を測定し、最大エントロピーを用いてスペクトル関数を復元することで、有限温度媒質中におけるチャーモニウムの分散関係を調べる研究を行っている。これらの解析では、クエンチ近似および、空間をできるだけ大きくするため非等方度 4 の非等方格子によるシミュレーションを用いている。これまでに、有限温度のゲージ配位を各温度につき 400 ~ 500 個生成し、そのゲージ配位上で測った擬スカラーチャンネルの有限運動量をもつ虚時間相関関数を測定した。

実時間相関関数の虚部であるスペクトル関数を虚時間相関関数から得るには、虚時間から実時間への解析接続を行う必要がある。格子 QCD から得られる虚時間相関関数は有限個のデータ点から成るため、一般にこの解析接続は難しい。そこで、我々はこの虚時間相関関数に最大エントロピー法を用いることでスペクトル関数を推定した。最大エントロピー法の利点の一つとして、復元されたスペクトル関数が持つ誤差を手法の範囲内で評価できることが挙げられる。また、最大エントロピー法による解析には default model を導入する必要があるが、もし悪い default model を採用すると誤差が大きくなってしまい、物理的に意味のある情報を引き出すことができなくなるため、結果の default model 依存性も定性的には見積もることが可能である。

最大エントロピー法を有限運動量相関関数に適用する際の問題として、まず default model にどのような関数を採用するかという問題がある。格子 QCD で得られた相関関数の解析においては、default model として摂動論的 QCD の結果 $A(\omega) = m_0\omega^2$ が採用されることが多い。ただしここで、 m_0 は摂動論的 QCD で決められる定数である。一方、有限運動量におけるスペクトル関数の振る舞いは、Lorentz 不変性と非負性を考慮すると $A(\omega, p) = \max(\varepsilon, m_0(\omega^2 - p^2))$ となる。本研究では、これら 2 つの default model による解析を行った [1]。その結果、図 1 より 2 つのスペクトル関数は一致しており、default model 依存性は小さいということが分かった。

有限温度媒質中におけるチャーモニウムの分散関係を調べるには、チャーモニウムに対応するスペクトル関数のピーク位置の運動量依存性を調べる必要がある。ここで問題となるのは「スペクトル関数のピークの位置」をどう定義するかである。最大エントロピー法によって復元されたスペクトル関数は不定性を持っている。そのため、スペクトル関数のピークの頂点のエネルギー ω やピークの幅といった、スペクトル関数の形状だけから決まる量は物理量とは直接対応しない。そこで、我々は「スペクトル関数のピークの位置」をピークの重心を用いて定義した。この定義を用いれば、先に述べた最大エントロピー法における誤差評価の手法を応用することで、ピークの重心について誤差を評価することが可能だからである [1]。図 2 は擬スカラーチャンネルのチャーモニウムの分散関係を評価した結果である [1]。図より、有限温度においてもチャーモニウムの分散関係は Lorentz 型の分散関係と大きく異ならないという非自明な結果を確認できる。また、ゼ

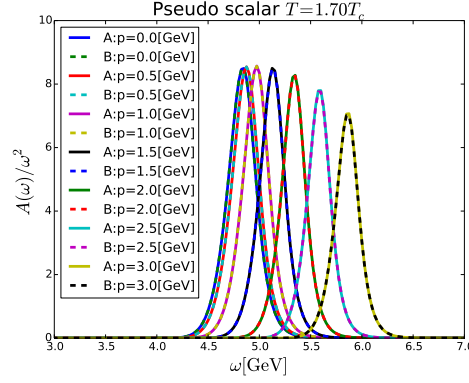


Figure 1: 2つの異なる default model(A) $A(\omega) = m_0\omega^2$, (B) $A(\omega, p) = \max(\varepsilon, m_0(\omega^2 - p^2))$ を用いて、最大エントロピー法により復元したスペクトル関数 [1]。

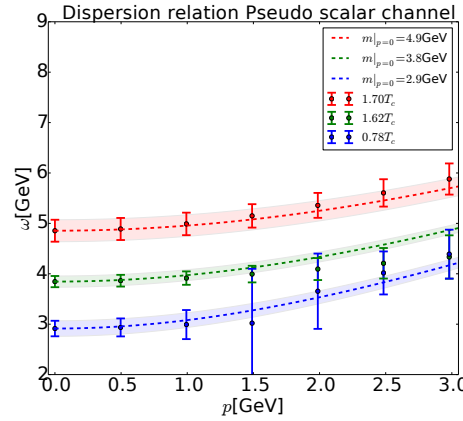


Figure 2: η_c の分散関係 [1]。温度は $T = 0.78T_c, 1.62T_c, 1.70T_c$ 。破線は Lorentz 型の分散関係 $\omega = \sqrt{m|_{p=0}^2 + p^2}$ 。

口運動量におけるピーク位置の温度依存性から、チャーモニウムのピークは温度の上昇とともに増大することが分かった。

これまでの解析で、現在の格子間隔では一部の温度において高運動量領域のスペクトル関数の復元の際、物理的なピークとダブラーの寄与によるピークが混ざってしまっている兆候が見えている。またプログラムのバグでベクターチャンネルの相関関数がうまく取れていない事が分かった。そこで現在、より小さな格子間隔でのシミュレーションを準備している。

References

- [1] A. Ikeda, M. Asakawa and M. Kitazawa, PoS (LATTICE2014)215.