

QCD sum rule による 有限温度における クォークoniumのMEM解析

発表者 鈴木 溪^A

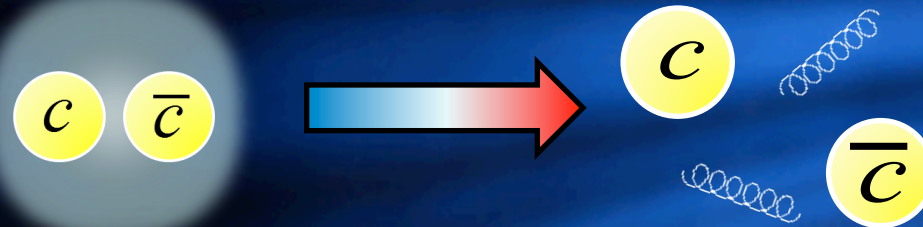
共同研究者 Philipp Gubler^A、森田 健司^B、岡 真^A

所属 東工大^A、京大基研^B

研究概要 outline

・研究の背景

臨界温度付近でクォーコニウムが溶ける



・研究の目的

溶ける温度を求める

・研究方法

MEMを用いたQCD sum rule

クォークonium quarkonium













- クォークonium
重クォークとその反クォークの束縛状態

チャーモニウム
 $J/\psi, \eta_c, \chi_c, \dots$ etc.



ボトモニウム
 Y, η_b, χ_b, \dots etc.



物質粒子			
	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム
レプトン	 eニュートリノ	 μニュートリノ	 τニュートリノ
	 電子	 ミューオン	 タウ

クォーコニウム抑制 quarkonium suppression

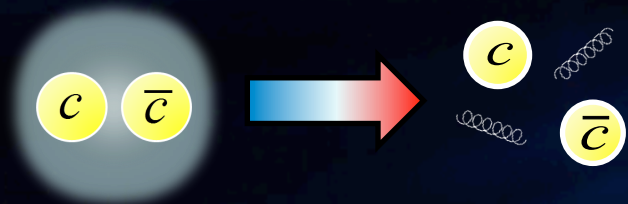
- J/ψ抑制

T. Matsui and H. Satz, Phys. Lett. B178, 416 (1986)

T. Hashimoto et al., Phys. Rev. Lett. 57, 2123 (1986)

高温・高密度状態でJ/ψの収量が抑制される

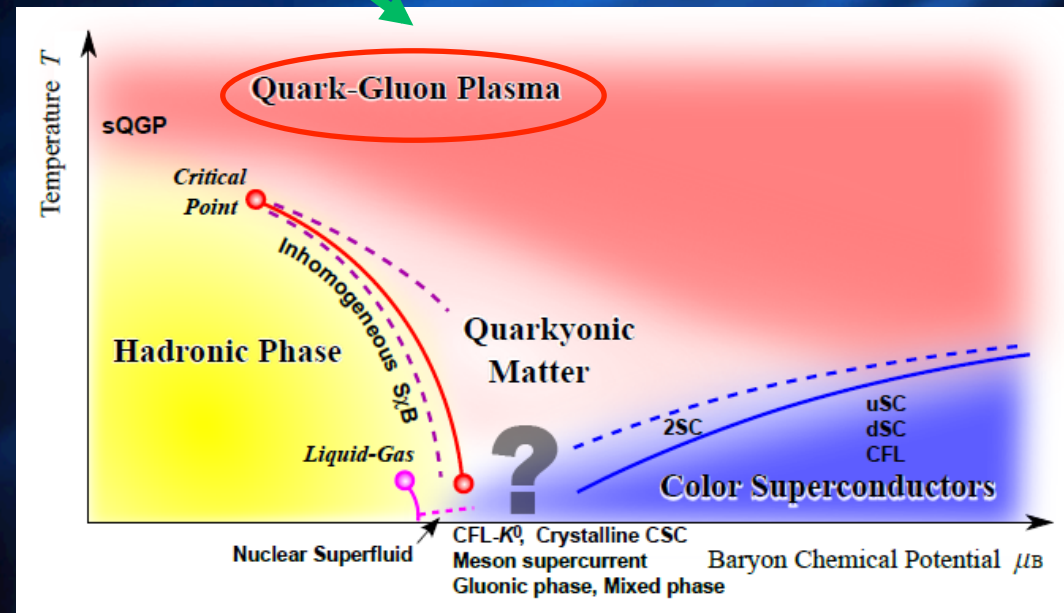
⇒QGP生成のシグナル?



- J/ψ抑制のメカニズム

—カラーのデバイ遮蔽効果

—閉じ込めポテンシャルの消失



先行研究(理論) previous work

- クエンチ格子QCD (スペクトル関数のMEM解析)

⇒ $T \sim 1.6T_c$ で J/ψ , η_c が消失する

⇒ $T \sim 1.1T_c$ で χ_{c0} , χ_{c1} が消失する

M. Asakawa and T. Hatsuda, Phys. Rev. Lett. **92**, 012001 (2004)

S. Datta et al., Phys. Rev. D **69**, 094507 (2004)

T. Umeda et al., Eur. Phys. J. C **39S1**, 9 (2005)

A. Jackovac et al., Phys. Rev. D **75**, 014506 (2007)

- 2フレーバー格子QCD

⇒ $T \sim 1.5 T_c$ で J/ψ が消失する

G. Aarts et al., Phys. Rev. D **76**, 094513 (2007)

- クエンチ格子QCD (波動関数から束縛・散乱状態を判別)

⇒ $T > 2.0T_c$ でも J/ψ , η_c は消失しない

H. Iida et al., Phys. Rev. D **74**, 074502 (2006)

- クエンチ格子QCD (対角化の方法による状態の分離)

⇒ $T > 2.3T_c$ でも J/ψ , η_c , χ_{c0} は消失しない

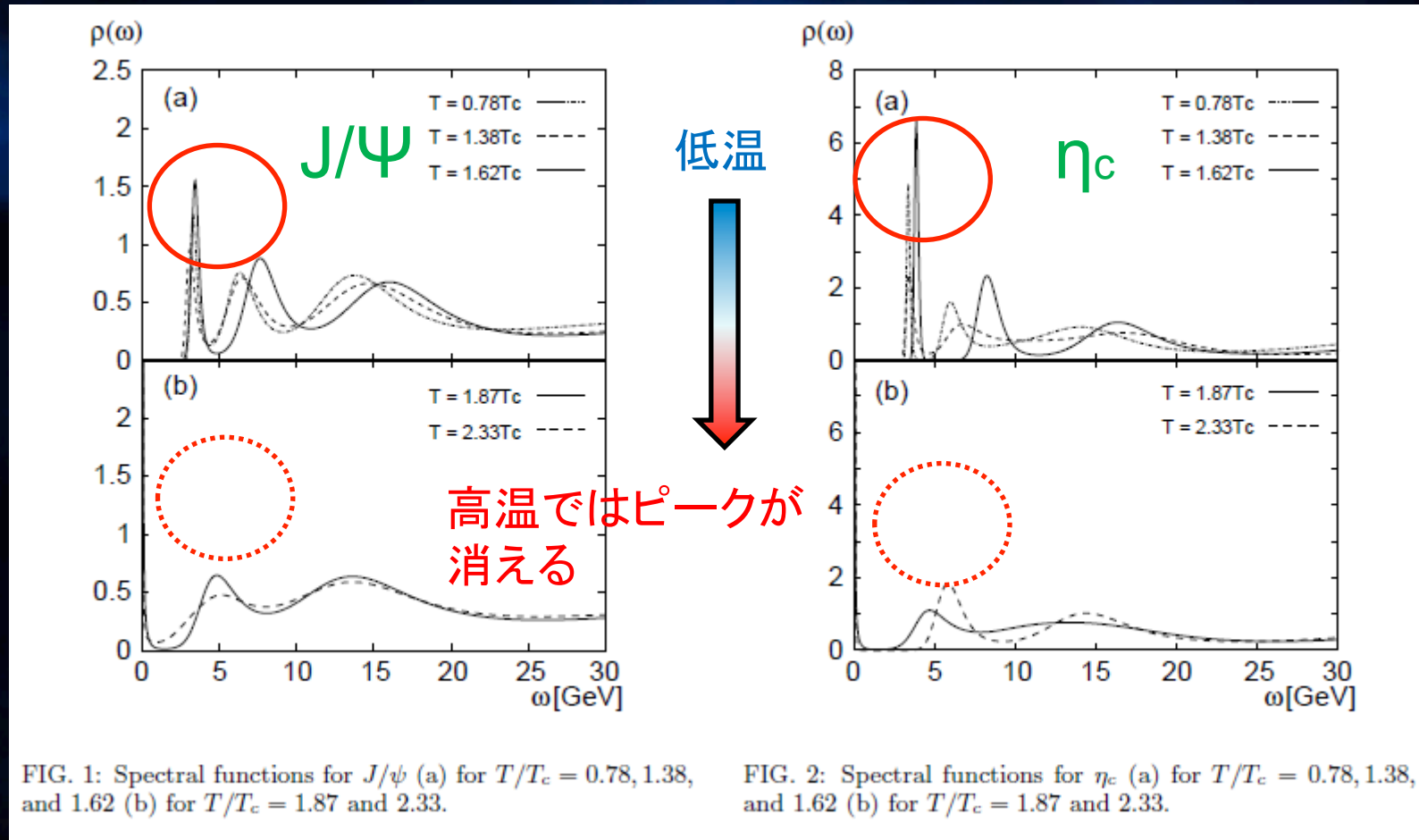
H. Ohno et al., PoS LATTICE2008, 203 (2008)

スペクトル関数
を見る方法

波動関数
を見る方法

先行研究(理論)

M. Asakawa and T. Hatsuda,
Phys. Rev. Lett. **92**, 012001 (2004)



⇒チャームニウムの消失温度は $T \sim 1.6T_c$

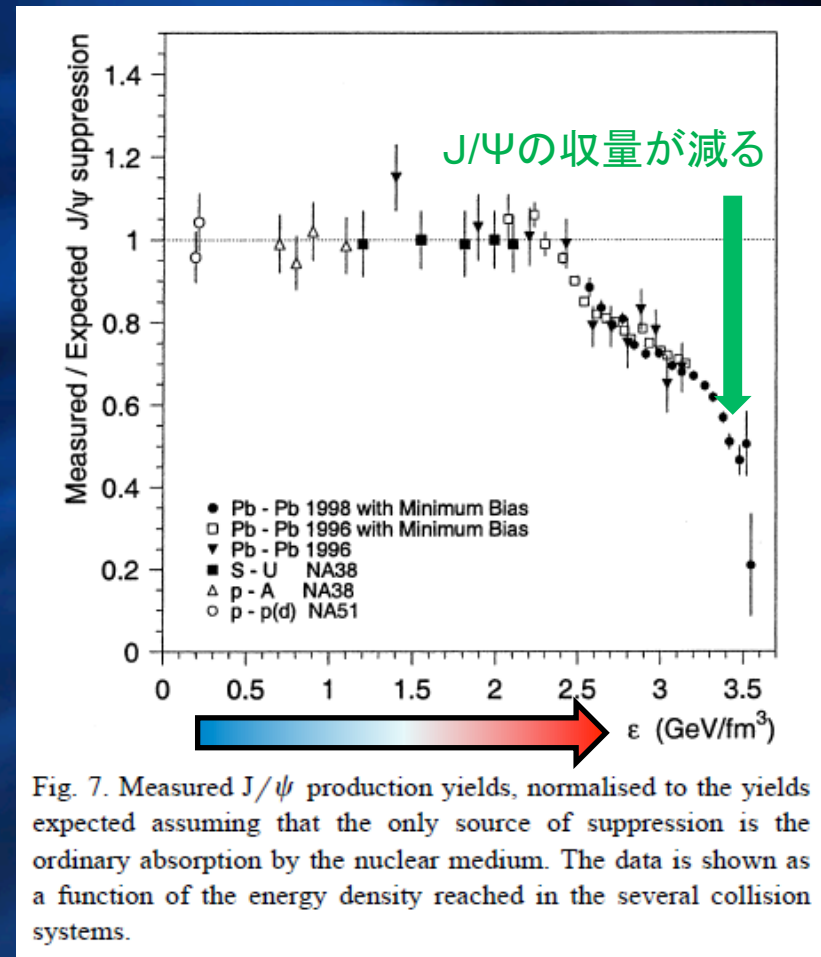
先行研究(実験) previous work

- SPS(CERN)の実験

M.C. Abreu et al. [NA50 Collaboration],
Phys. Lett. B477, 28 (2000)

- 最近は...

RHICやLHCでチャーモニウム、ボ
トモニウムの抑制現象が観測され
ている



QCD和則 QCD sum rule

M.A. Shifman, A.I. Vainshtein, and V.I. Zakharov,
Nucl. Phys. B147, 385 (1979); B147, 448 (1979)

- QCD和則

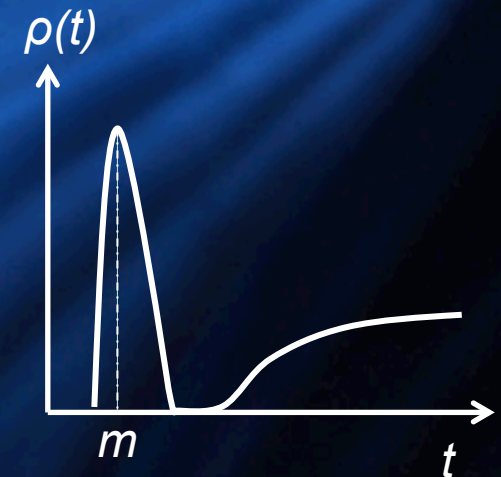
- QCDの非摂動的な情報を扱う手法

- 演算子積展開(OPE)から得られる相関関数とスペクトル関数を結ぶ関係式

$$\Pi_{\text{OPE}}(q^2) = \int_0^\infty \frac{\rho(t)}{t - q^2} dt$$

↑
OPEをinput

↓
**スペクトル関数を
output**



→ 一粒子状態が求まる

QCD和則 QCD sum rule

$$\Pi_{\text{OPE}}(q^2) = \int_0^\infty \frac{\rho(t)}{t - q^2} dt$$

OPEサイド

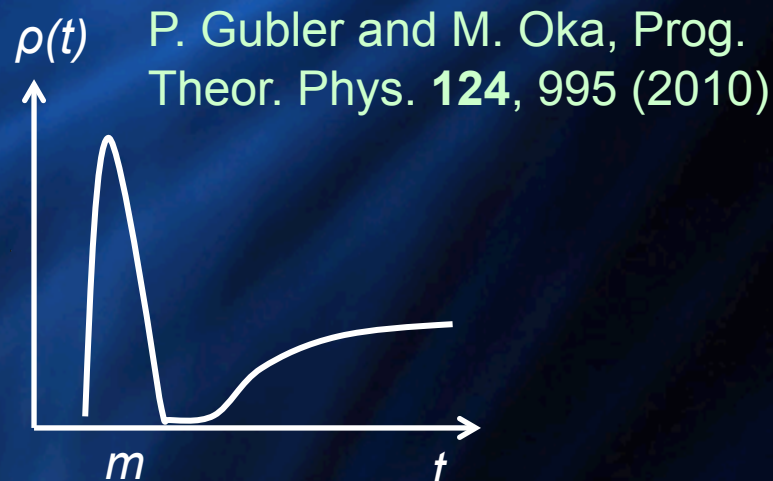
- ・ 摂動項 + 非摂動項

クォーク凝縮、グルーオン凝縮 etc.

- ・ 非摂動項は グルーオン凝縮 からの寄与のみ考える
⇒ グルーオン凝縮には 温度依存性 がある

現象論サイド

- ・ 最大エントロピー法(MEM) を用いてスペクトル関数を解析



OPEによるクォークonium相関関数

$$M^2(M^2) = e^{-\nu} \pi M^2(\nu) [1 + \alpha_s(M^2) a'(M^2)]$$

where, $\nu = 4\pi\alpha_s / M^2$ (M: Borel mass)

$$+ \underbrace{b'(\nu) \langle \mathcal{O}_1 \rangle + c'(\nu) \langle \mathcal{O}_2 \rangle}_{\text{凝縮項のみ}}$$

A. Bertlmann, Nucl. Phys. B204, 387
(1982)

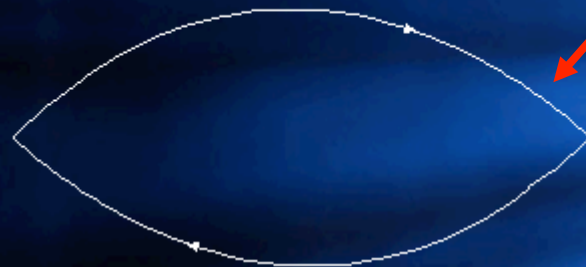
温度依存性は
凝縮項のみ

- **1st term** → Free massive correlator
 - **2nd term** → 摂動的な α_s 補正項
 - **3rd term** → スカラーグルーオン凝縮
 - **4th term** → Twist-2 グルーオン凝縮
- } 摂動項
- } 非摂動項

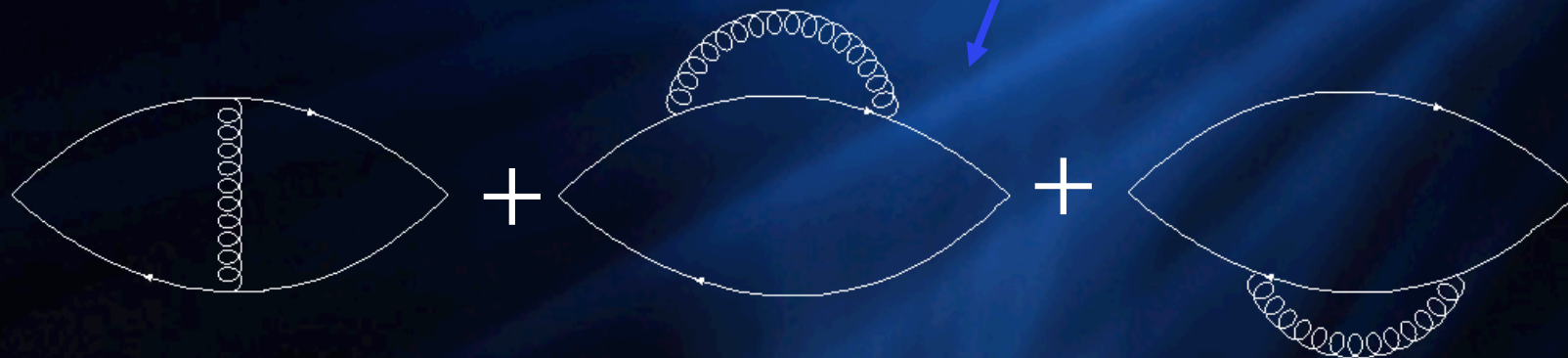
OPEサイド(摂動項)

- 1st-term

$$M^J(M^2) = e^{-\pi} \pi M^J(v) [1 + \alpha_s(M^2) a^J(v) + b^J(v) \phi_3^J(J) + c^J(v) \phi_4^J(J)]$$

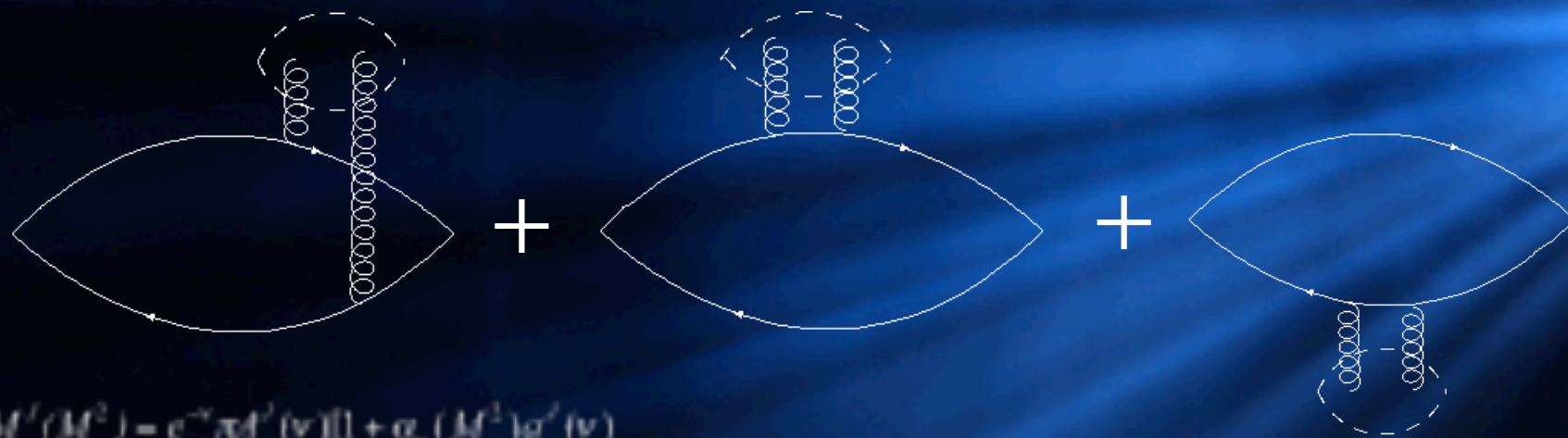


- 2nd-term (α_s 補正)



OPEサイド(非摂動項)

- 3rd-term + 4th-term (グルーオン凝縮の寄与)



$$M^i(M^2) = e^{-\pi f^2(v)} [1 + \alpha_s(M^2) \sigma^i(v)]$$

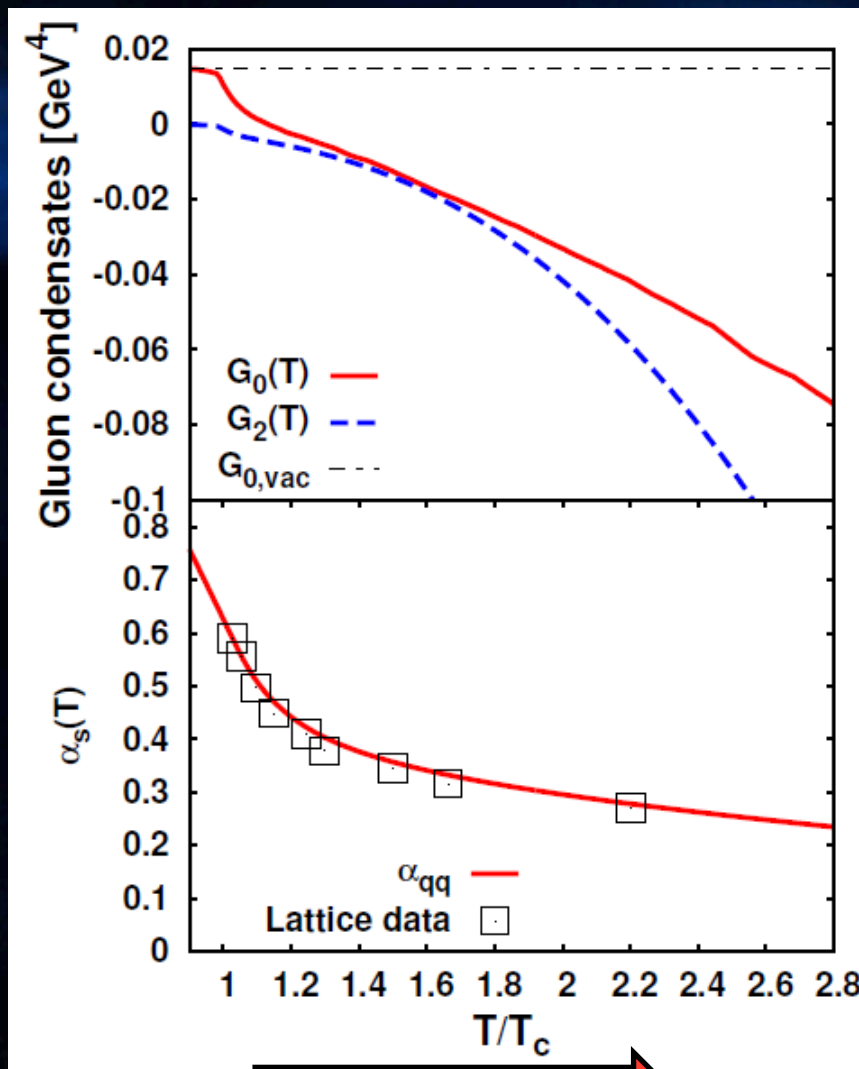
$$+ b^i(v) \phi_b(T) + c^i(v) \phi_c(T)$$

$$\phi_b = \frac{4\pi^2}{9(4m_s^2)^2} G_0(T)$$

$$\phi_c = \frac{4\pi^2}{3(4m_s^2)^2} G_2(T)$$

⇒ グルーオン凝縮の係数は
重クォークのカレント質量に反比例

グルーオン凝縮の温度依存性



・温度依存性の導入

グルーオン凝縮の温度依存性は
エネルギー密度 ϵ と圧力 p で表せる

$$G_0(T) = G_0^{\text{vac}} - \frac{8}{11}(\epsilon - 3p)$$

$$G_2(T) = -\frac{\alpha_s(T)}{\pi}(\epsilon + p)$$

ϵ と p はlattice計算による
数値を代入

⇒温度を上げると

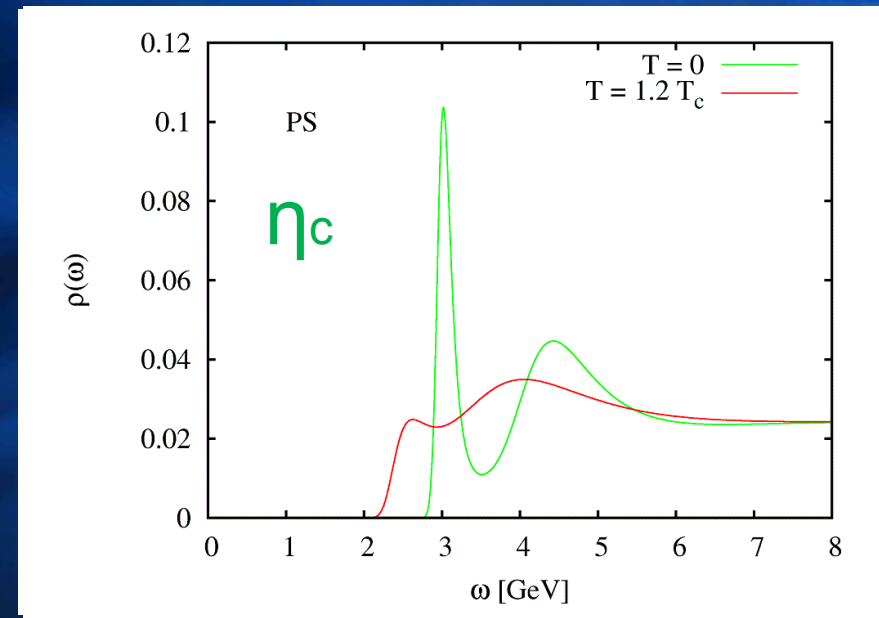
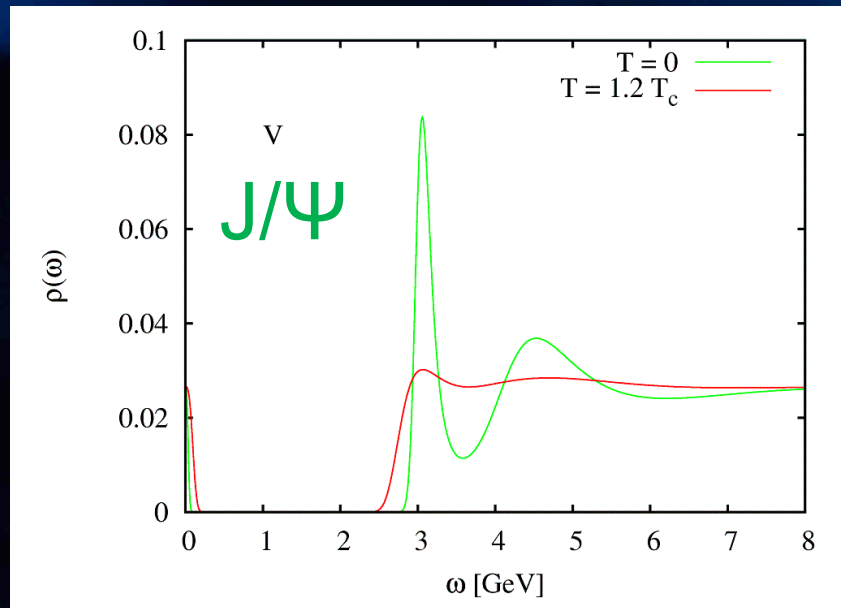
グルーオン凝縮は減少

K. Morita and S.H. Lee, Phys.
Rev. Lett. 100, 022301 (2008);
Phys. Rev. C 77, 064904 (2008)

解析結果 (チャーモニウム s-wave)

$T=0.9T_c$

P. Gubler, K. Morita, and M. Oka,
arXiv:1104.4436 [hep-ph]



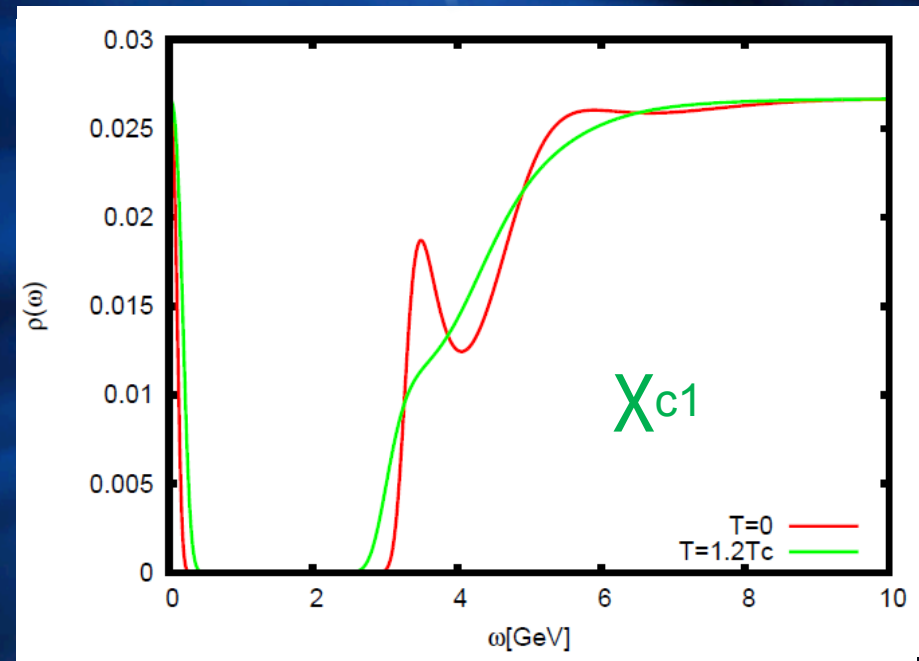
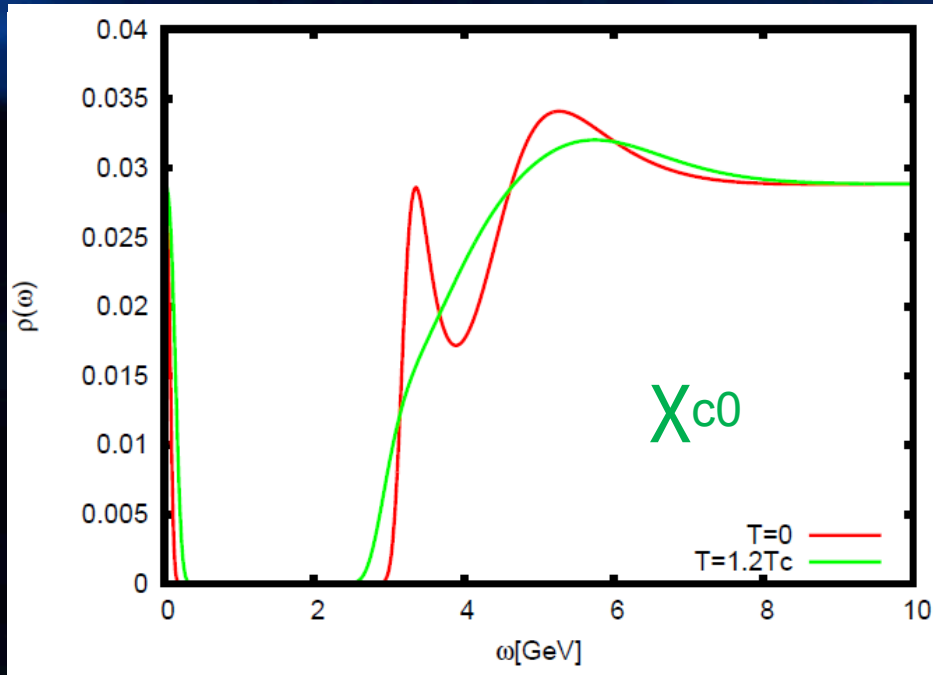
Υ の消失温度は $1.0T_c \sim 1.1T_c$

η_c の消失温度は $0.9T_c \sim 1.0T_c$

解析結果 (チャーモニウム p-wave)

$T=0.9T_c$

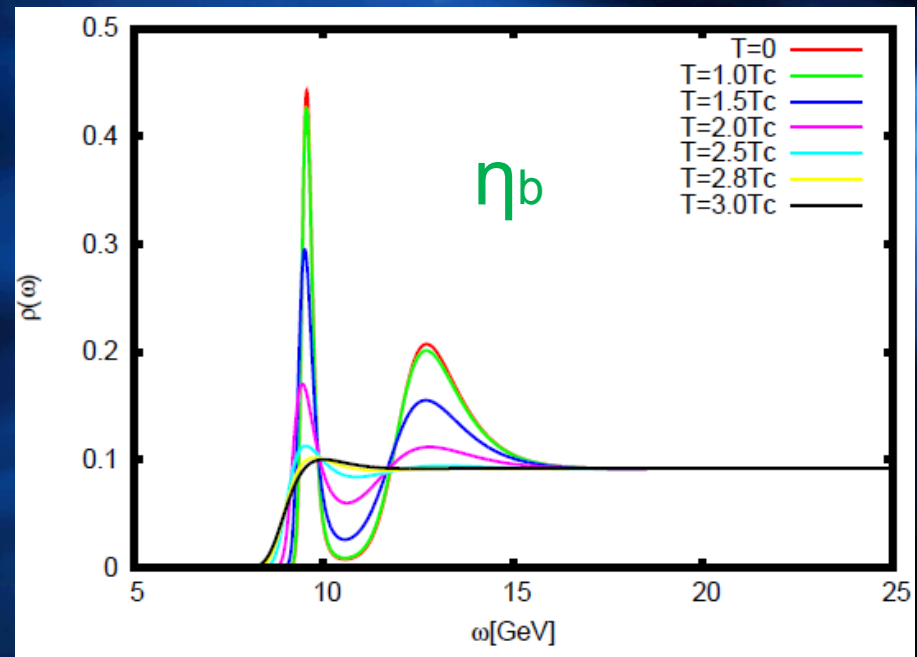
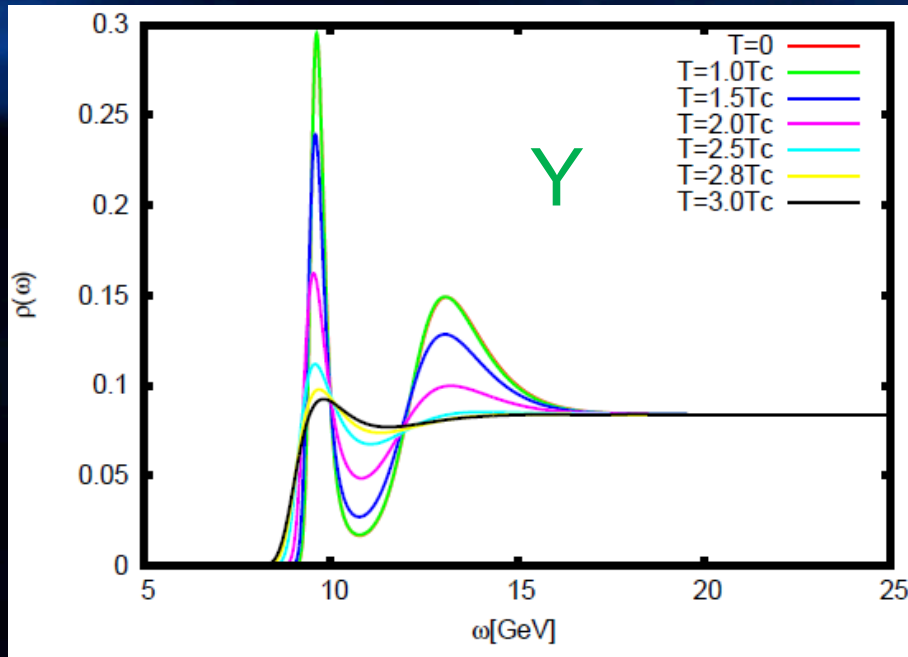
PRELIMINARY



X_{c0} と X_{c1} の消失温度は $1.0T_c \sim 1.1T_c$

解析結果 (ボトモニウム s-wave)

PRELIMINARY

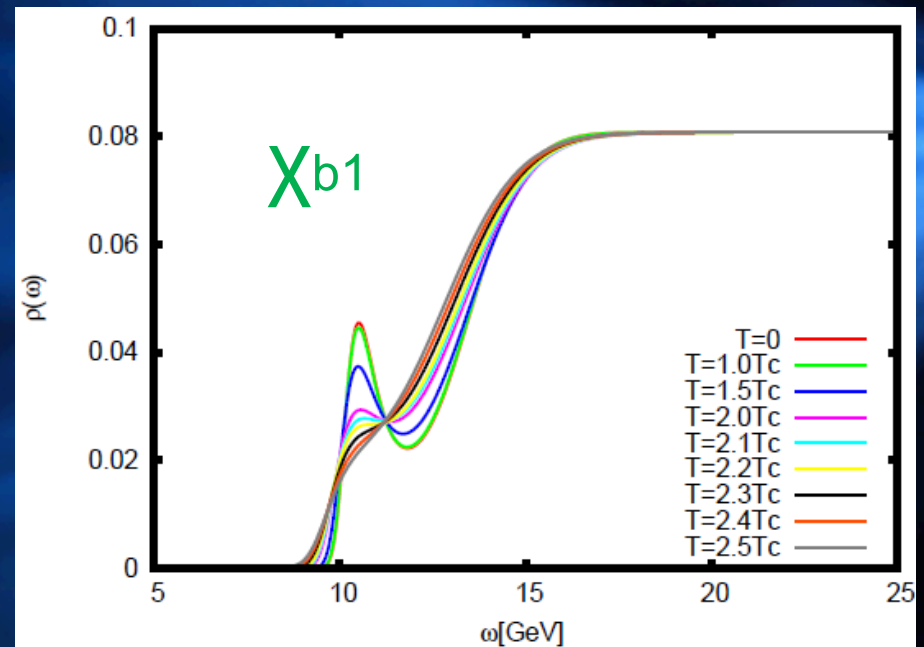
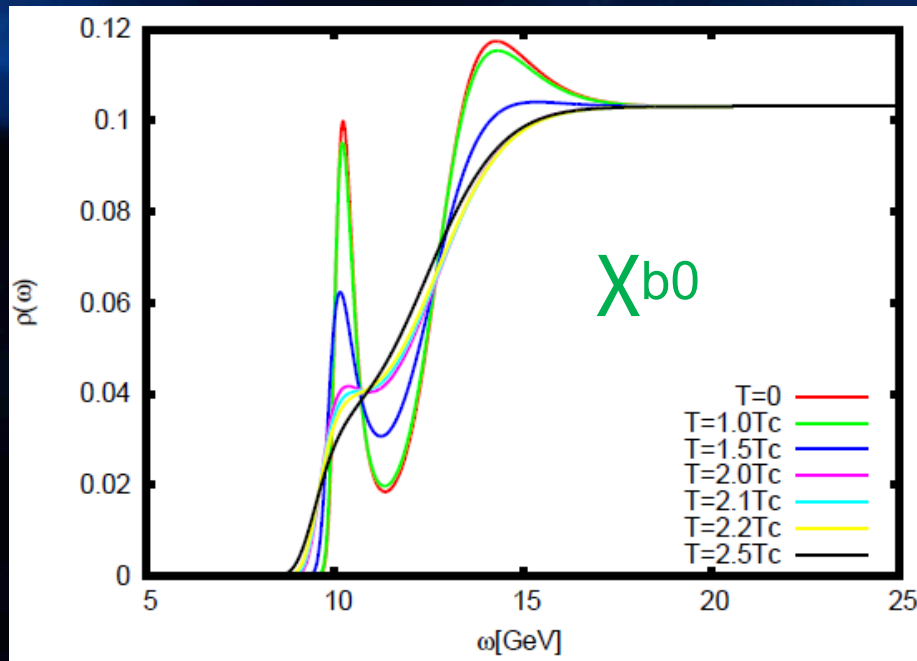


Y の消失温度は $3.0T_c$ 以上

η_b の消失温度は $3.0T_c$ 以上

解析結果 (ボトモニウム p-wave)

PRELIMINARY

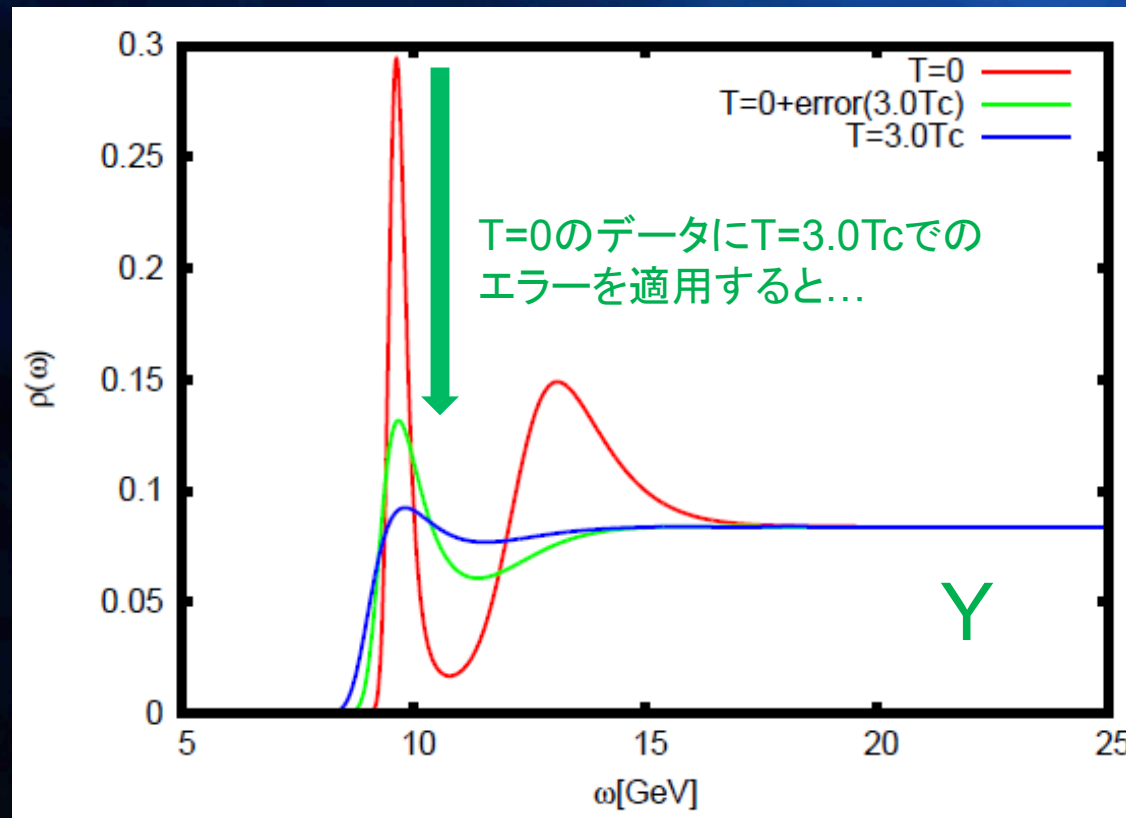


X_{b0} の消失温度は
2.0 T_c ~2.5 T_c

X_{b1} の消失温度は
2.0 T_c ~2.5 T_c

エラーに対するスペクトル関数の振る舞い

- MEM解析ではエラーが大きいとスペクトル関数が潰れる



⇒実際には、エラーによる減少を差し引いてグルーオン凝縮の温度依存性による減少を評価すべき

まとめ summary

- QCD和則によるMEM解析を用いて、クォーコニウムの消失温度を導出した。

- チャーモニウムの消失温度

$J/\psi: 1.0T_c \sim 1.1T_c$ 、 $\eta_c: 0.9T_c \sim 1.0T_c$

$X_{c0}: 1.0T_c \sim 1.1T_c$ 、 $X_{c1}: 1.0T_c \sim 1.1T_c$

- ボトモニウムの消失温度

—チャーモニウムより温度に対する応答が鈍い

$Y: 3.0T_c$ 以上、 $\eta_b: 3.0T_c$ 以上

$X_{b0}: 2.0T_c \sim 2.5T_c$ 、 $X_{b1}: 2.0T_c \sim 2.5T_c$

PRELIMINARY

PRELIMINARY

PRELIMINARY