Meson Above the Deconfining Transition

T. Umeda (Hiroshima Univ.)
for
the QCD-TARO Collaboration

- **Introduction**
- **Our Approach & Strategy**
- **Lattice QCD**
- **Results**
- **Conclusion & Outlook**

c.f. hep-lat/9901017

– The QCD-TARO Collaboration –

PH. DE FORCRAND
IPS, ETH-Zürich, CH-8092 Zürich, Switzerland

M. GARCÍA PÉREZ
Dept. Física Teórica, Universidad Autónoma de Madrid, E-28049 Madrid, Spain

橋本 貴明
Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, Fukui University, Fukui 910, Japan

日置 慎治
Department of Physics, Tezukayama University, Nara 631-8501, Japan

宮村 修 , 松古 栄夫 , 梅田 貴士
Department of Physics, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan

中村 純
Research Institute for Information Science and Education, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan

I. O. STAMATESCU
FEST, Schmeilweg 5, D-69118 Heidelberg,
and Inst. Theor. Physik, Universität Heidelberg, D-69120 Heidelberg, Germany

and
高石 哲弥
Hiroshima University of Economics, Hiroshima 731-01, Japan

Main Work

- Finite Temperature QCD
- Finite Chemical Potential
- MCRG & Improved Action

Introduction

有限温度におけるハドロンの性質は
どのように変化するか

クォーク・グルーオンプラズマ (QGP)

ある相転移温度 T_c で
ハドロン相 $\Longrightarrow$ **QGP** 相

$\Uparrow$

クォーク・グルーオンが自由粒子？

NJL model

Our Approach

Lattice QCD を用いて有限温度での **hadron(meson)** の性質を調べる

◎ ユークリッド空間で時間方向の **correlator** を測定

$\Longrightarrow$ **Pole mass** (時間方向の **mass**)

$\Updownarrow$

Screening mass (空間方向の **mass**)

$\Longrightarrow$ **Wave function**

Hadronic bound state を調べる

相転移後に **meson** は存在するか？

$\Longrightarrow$ **Spectral function** (※)

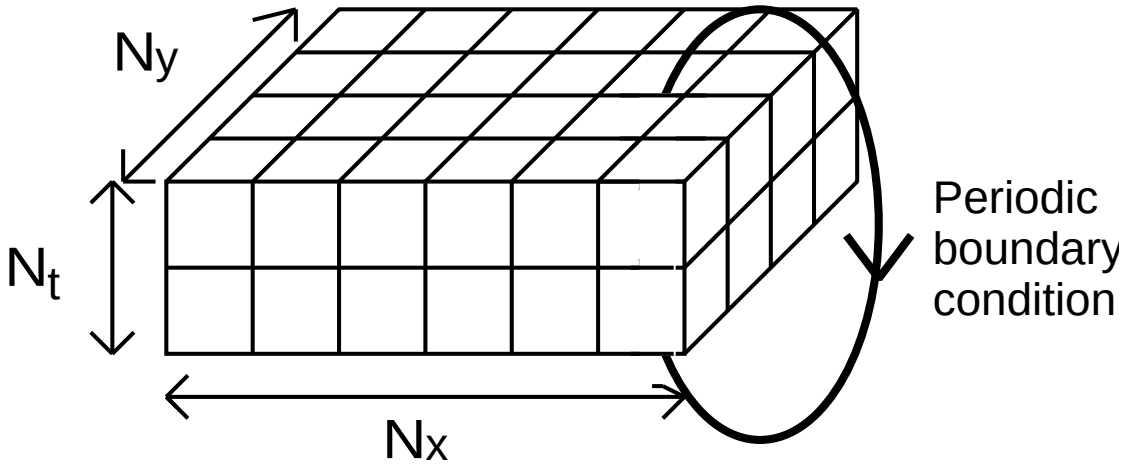
Lattice QCD

ゲージ不変性を厳密に保ったまま
(ユークリッド) 空間を離散化

⇓

経路積分が厳密に定義できる
⇒ **Monte Carlo** 積分で実行

有限温度 Lattice QCD



温度： $T = \dfrac{1}{N_t a}$ （ a ： 格子間隔 ）

Anisotoropic Lattice

有限温度の **Lattice QCD** で
時間方向の correlator を測定したい

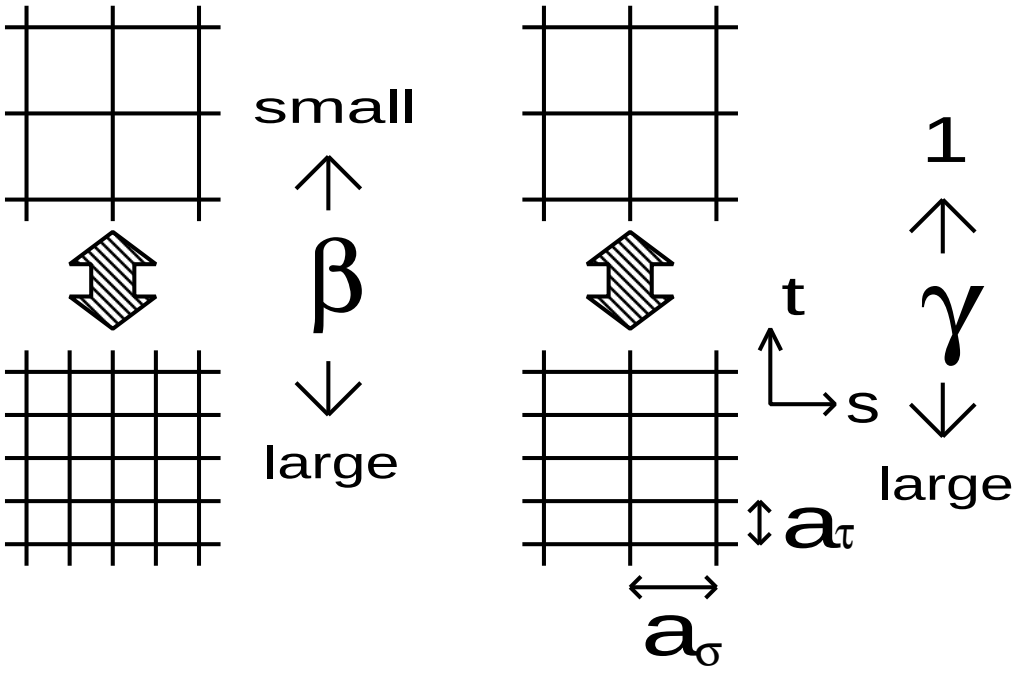
⇓

時間方向の詳しい情報が必要

⇓

Anisotoropic Lattice

○ゲージ場 (β , γ)



$$\gamma \neq a_\sigma / a_\tau \equiv \xi$$

○クォーク場 (κ σ,γ_F)

$$\gamma_F \neq m_\sigma / m_\tau \equiv \xi_F \sim \xi$$

Strategy

○ **mass** は $t \gg 1$ で求められる

しかし、有限温度では $N_t a_\tau \to$ 小

1. Anisotropic Lattice

2. 良い hadronic operator を作る

⇓

◎ 良い **hadronic operator** を定義する。
これが $T > 0$ でどのように振舞うか？

◎ $T > T_c$ で **hadronic bound state** はどうなるか？

Correlator

$$G_M(\vec{x},t) = \sum_{x,\vec{y}_1,\vec{y}_2} \omega_1(\vec{y}_1)\omega_2(\vec{y}_2)$$
$$\times\langle Tr[S(\vec{y}_1,0;\vec{z},t)\gamma_M\gamma_5 S^\dagger(\vec{y}_2,0;\vec{z}+\vec{x},t)\gamma_5\gamma_M^\dagger]\rangle$$

$S(\vec{x}_1,t_1;\vec{x}_2,t_2)$: **quark propagator**

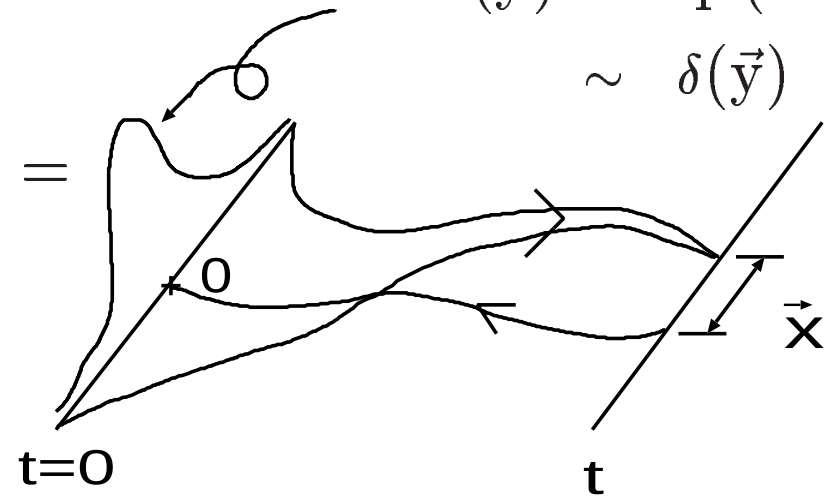
$$\gamma_M = \gamma_5 \ , \ \gamma_1 \ , \ 1 \ , \ \gamma_1\gamma_5$$
$$(\quad M = P_s \ , \ V \ , \ S \ , \ A \quad)$$

※ **Gauge fixing : Coulomb gauge**

source $\omega(\vec{y}) \sim \exp(-a y^p)$ (exp)

$\sim \delta(\vec{y})$ (point)

$G_M(\vec{x},t) =$



a, p は $T \simeq$ での **point-point** の P_s **correlator** の $\vec{x}$ 依存から決定

Simulation parameter

- **Lattice size**

  $12^3 \times N_t$ $\qquad$ $T = 1/N_t a_\tau$

  $N_t = 72\ ,\quad 20\ ,\quad 16\ ,\quad 12$

  $(\ T \simeq 0\ ,\ 0.93T_c\ ,\ 1.15T_c\ ,\ 1.5T_c\ )$

- $\beta = 5.68\ ,\ \gamma = 4.0$ **, quenched**

- **#conf. = 60**

- **anisotoropy :** $\xi = a_\sigma/a_\tau = 5.3(1)$

- **cutoff :** $a_\sigma^{-1} = 0.85(3)\ ,\ \ a_\tau^{-1} = 4.5(2)\ GeV$

- $\kappa_\sigma = 0.081\ ,\ \ 0.084\ ,\ \ 0.086$

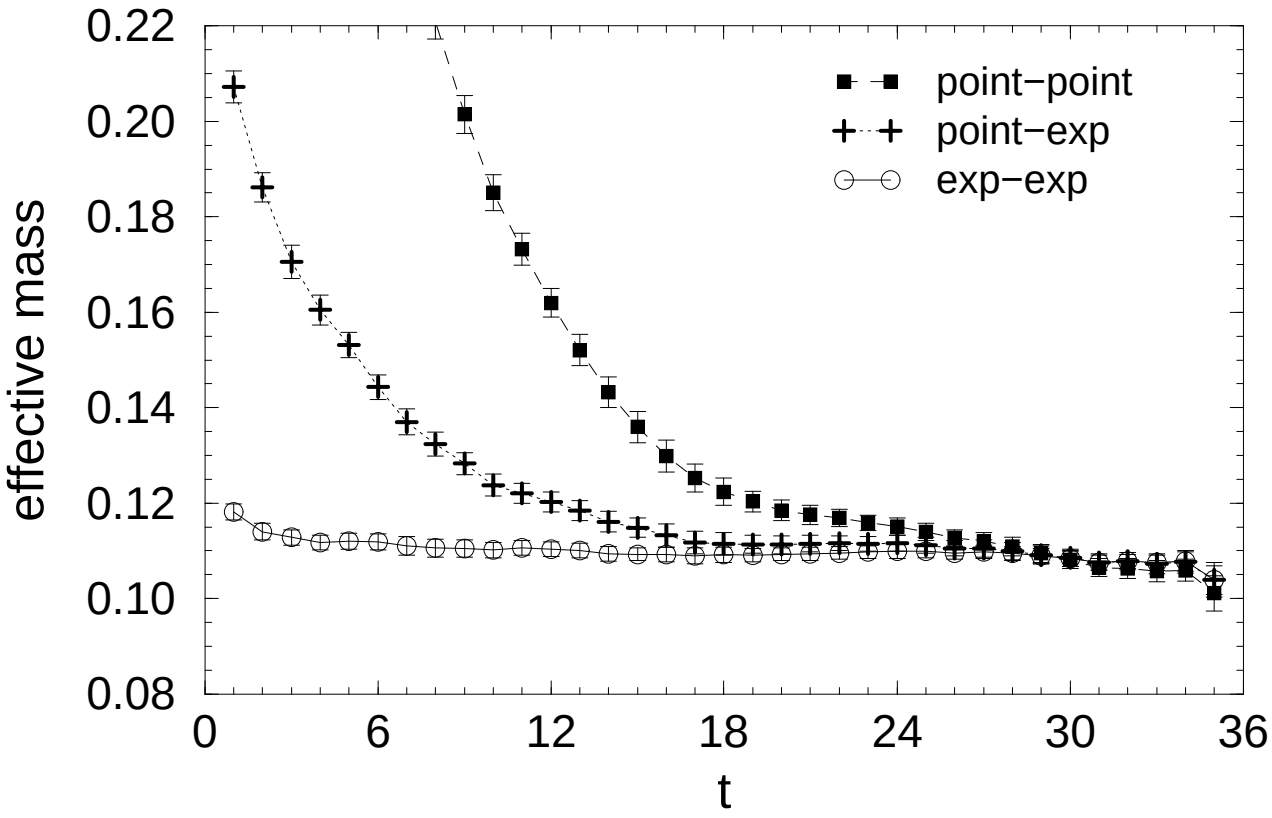
  $\gamma_F = 4.05(2),\ 3.89(2),\ 3.78(2)$

  $(\ m_q \simeq 0.17\ ,\ \ 0.12\ ,\ \ 0.10\ [GeV]\ )$

Source dependence

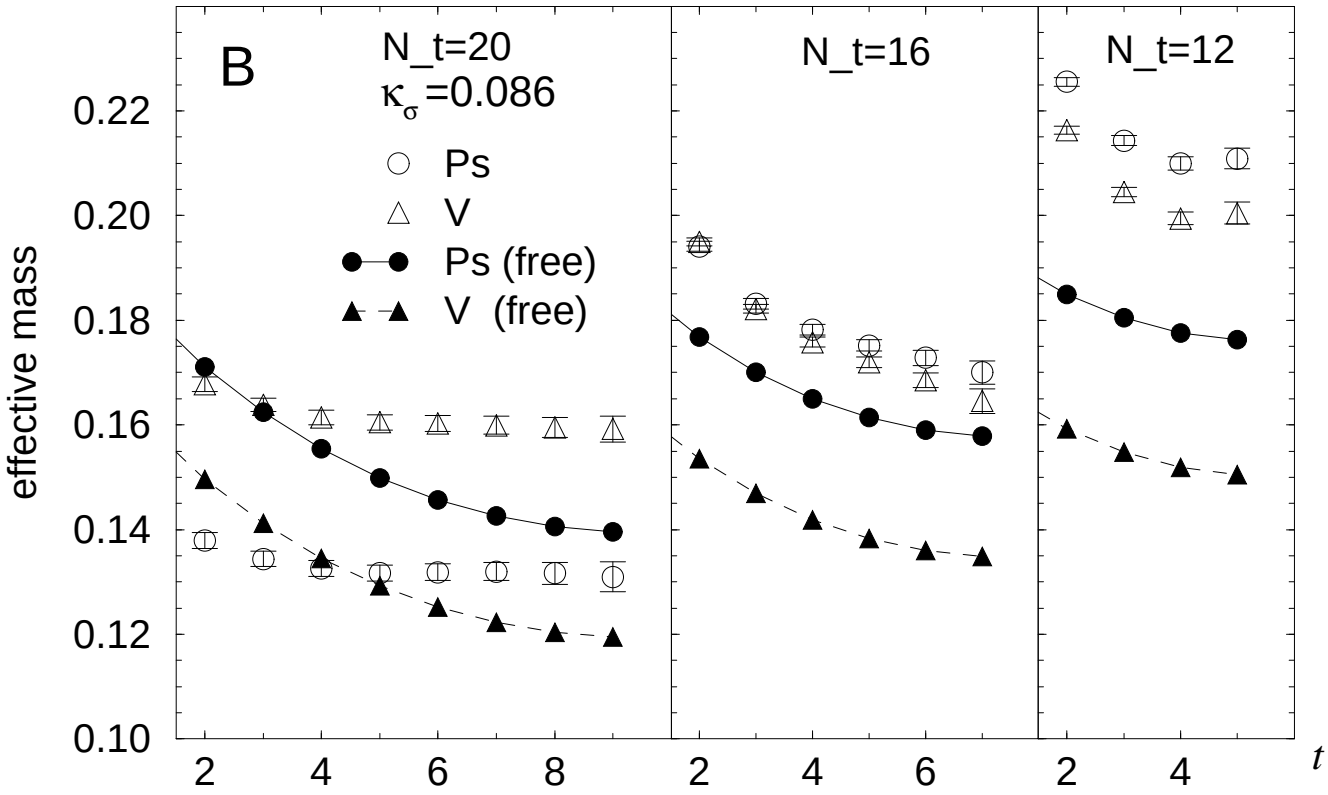
Effective mass : m_{eff}

$$m_{eff}(t) = -\ln \frac{G_M(\vec{x}=0,t)}{G_M(\vec{x}=0,t+1)} \longrightarrow m \quad (t \gg 1)$$



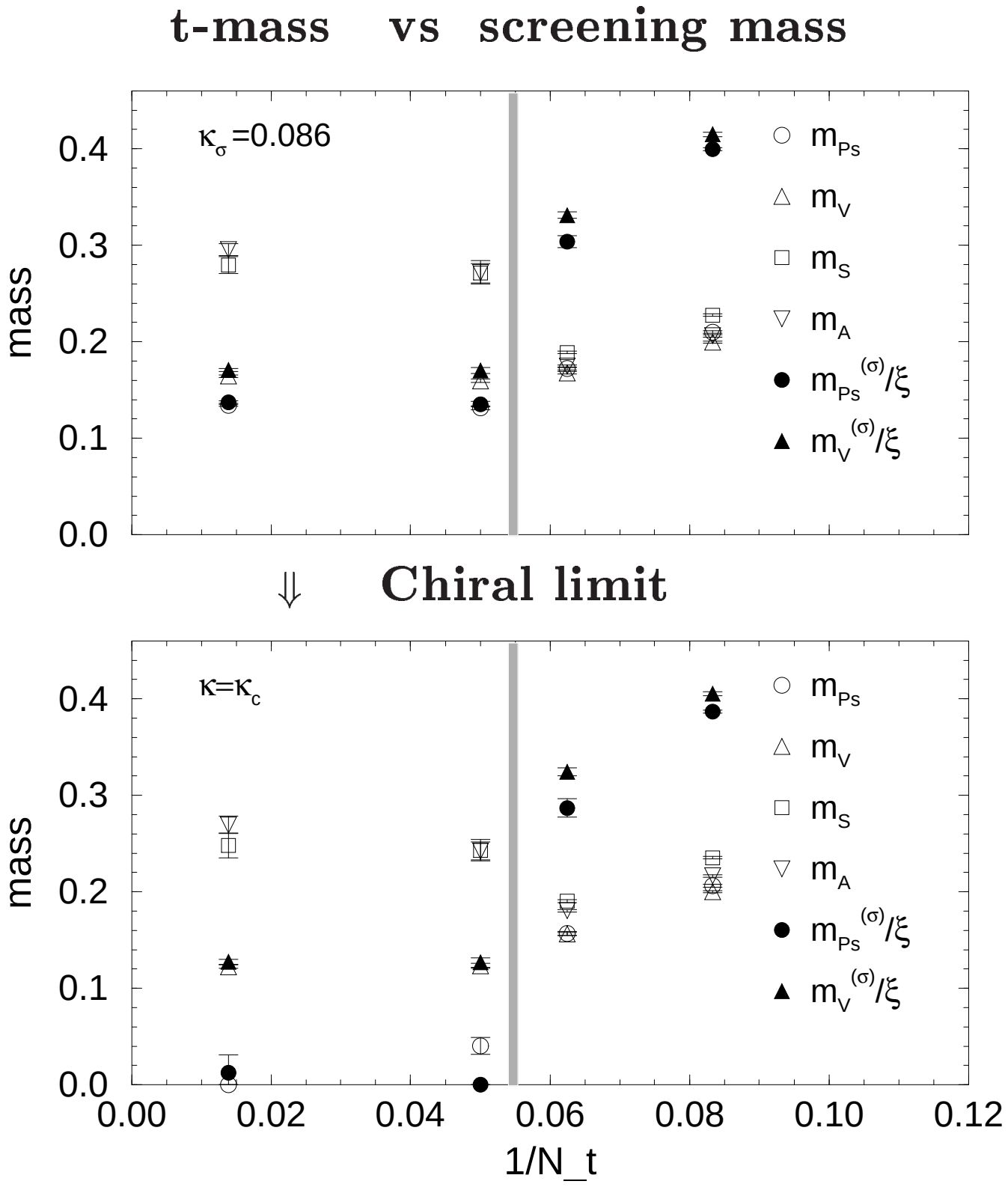
exp-exp source が $T \simeq 0$ で
ground state との overlap が大きい
$\Rightarrow$ 以降、**exp-exp source** を使用

Effective t-mass



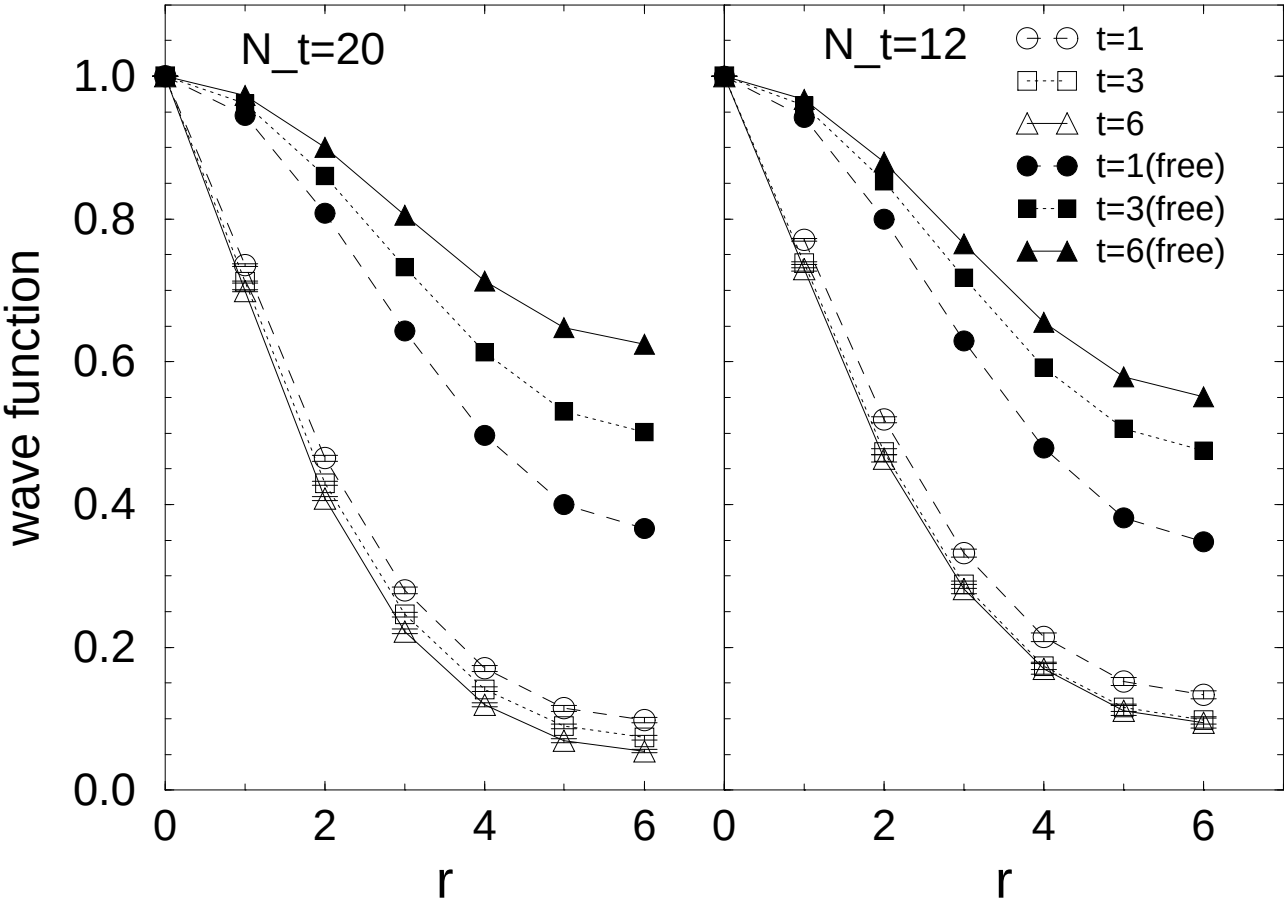
- $T > T_c$ で大きく変化
- T_c で m_{Ps} と m_V が逆転？
- **chiral symmetry** の回復？

Temperature dependence of mass



Wave function

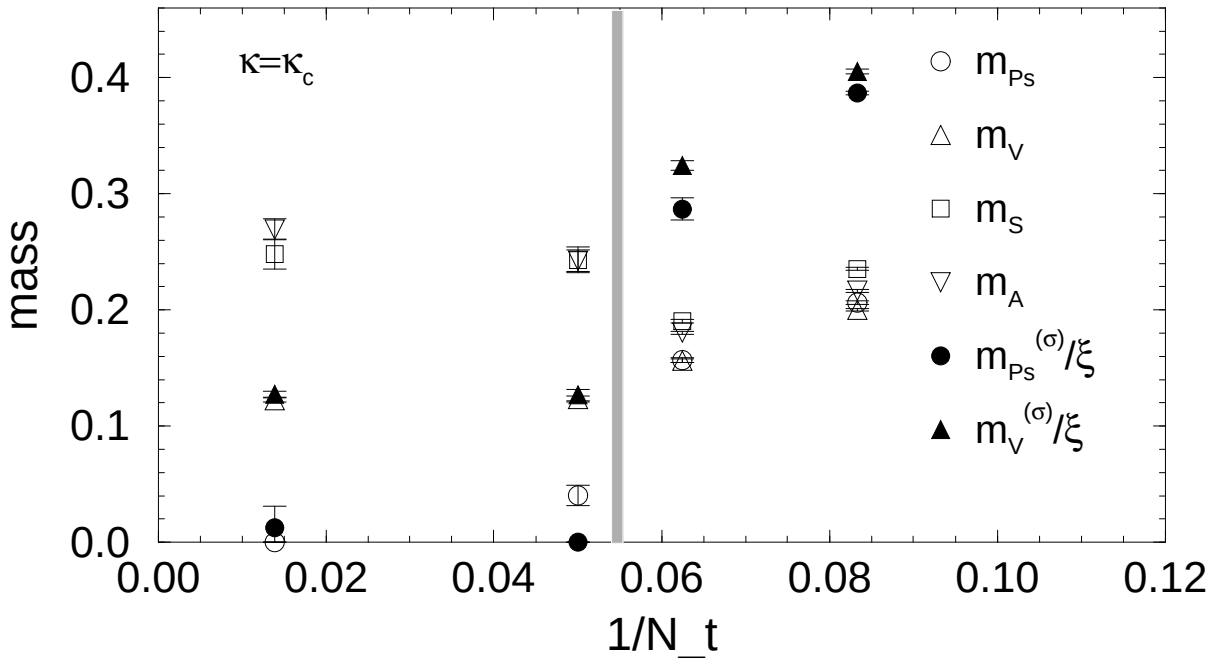
相転移後に **meson** は残っているか？



$T \simeq 1.5T_c$ でも、まだ **meson** が残っている

Conclusion

- 有限温度での **meson correlator** の解析から



$T > T_c$ **meson** の性質の変化が大きい

Pole mass $\leftrightarrow$ **Screening mass**

chiral symmetry の回復

- **Wave function** の解析から

$\sim 1.5T_c$ でも **meson** が残っている

Outlook

- より大きな、改良された **Lattice** による精密測定
- 他の **channel** での測定。 **baryon** など
- **Heavy quarkonium :** J/ψ...
- **Dynamical quark** を入れた **full QCD**
- **Spectral function**

  Nucl.Phys.B(Proc.Suppl.)63(1998)460 (Lattice'97)
- **Topological quantities** との相関