

# 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  $\Rightarrow$  **QGP** 相

↑

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

⇒ Pole mass ( 時間方向の mass )



Screening mass ( 空間方向の mass )

⇒ Wave function

Hadronic bound state を調べる  
相転移後に **meson** は存在するか？

⇒ Spectral function (※)

## Lattice QCD

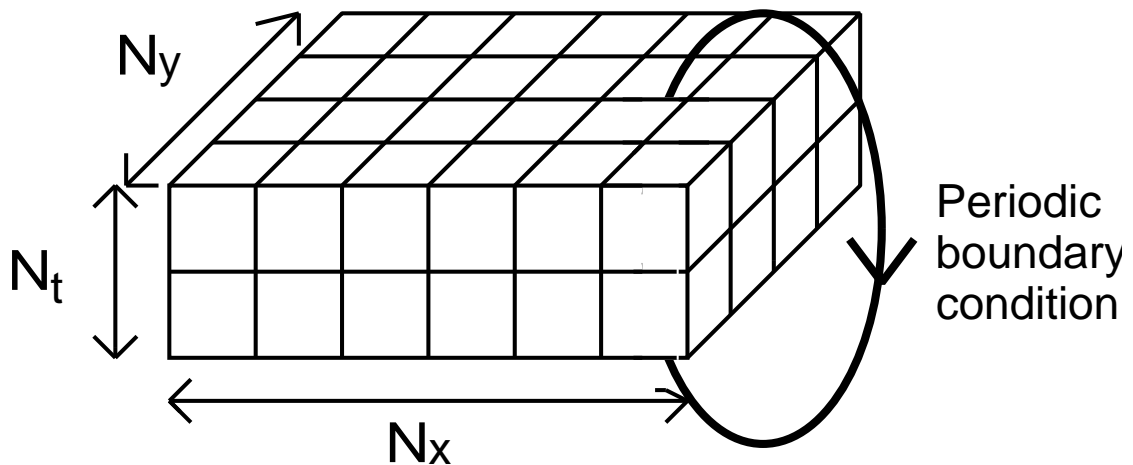
ゲージ不変性を厳密に保ったまま  
(ユークリッド) 空間を離散化



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

## Anisotropic Lattice

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

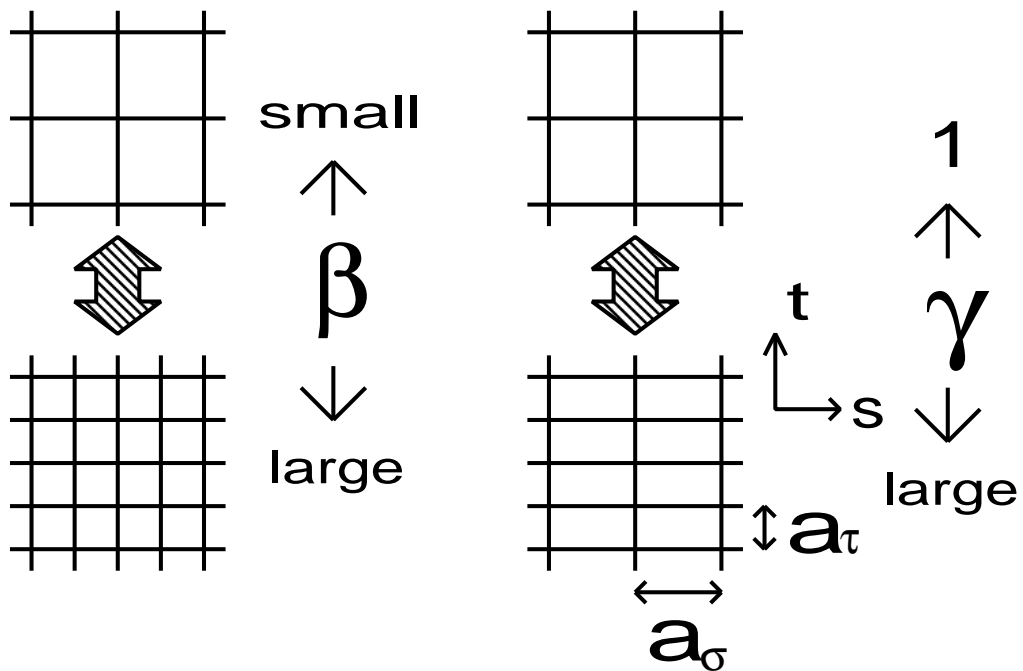


時間方向の詳しい情報が必要



## Anisotropic Lattice

○ゲージ場 (  $\beta, \gamma$  )



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

○クォーク場 (  $\kappa_\sigma, \gamma_F$  )

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

## Strategy

○ **mass** は  $t \gg 1$  で求められる

しかし、有限温度では  $N_t a_T \rightarrow$  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？

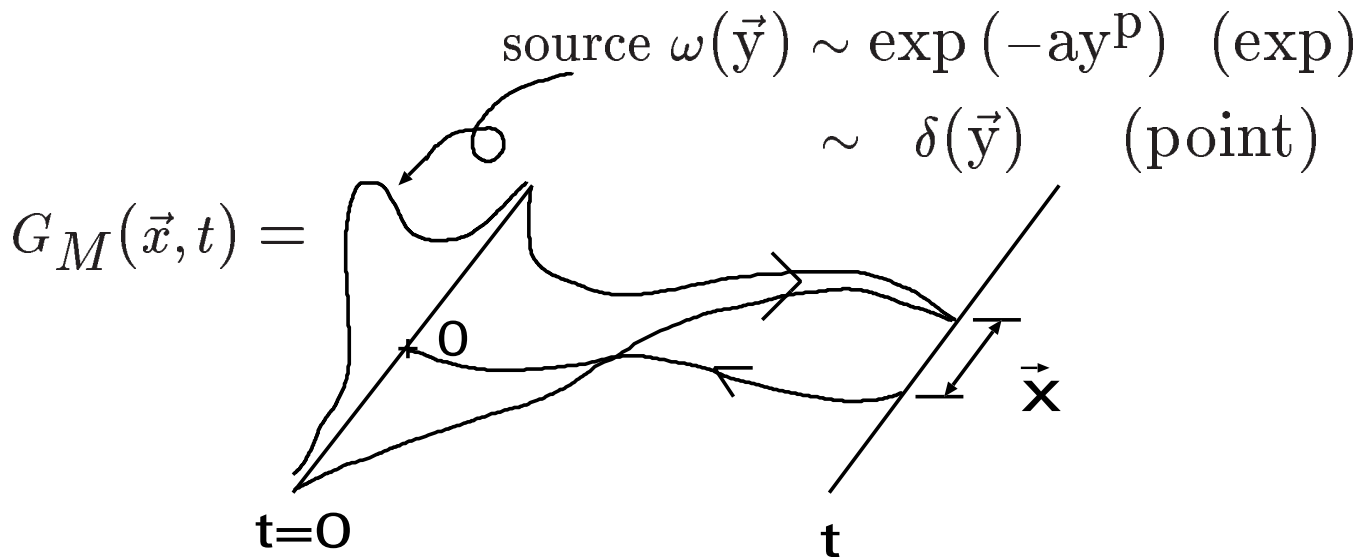
## Correlator

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

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

$$\begin{aligned} \gamma_M &= \gamma_5, \gamma_1, 1, \gamma_1 \gamma_5 \\ (M &= P_s, V, S, A) \end{aligned}$$

※ Gauge fixing : Coulomb gauge



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



## Simulation parameter

- **Lattice size**

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

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

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

- $\beta = 5.68, \quad \gamma = 4.0, \quad \text{quenched}$

- $\# \text{conf.} = 60$

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

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

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

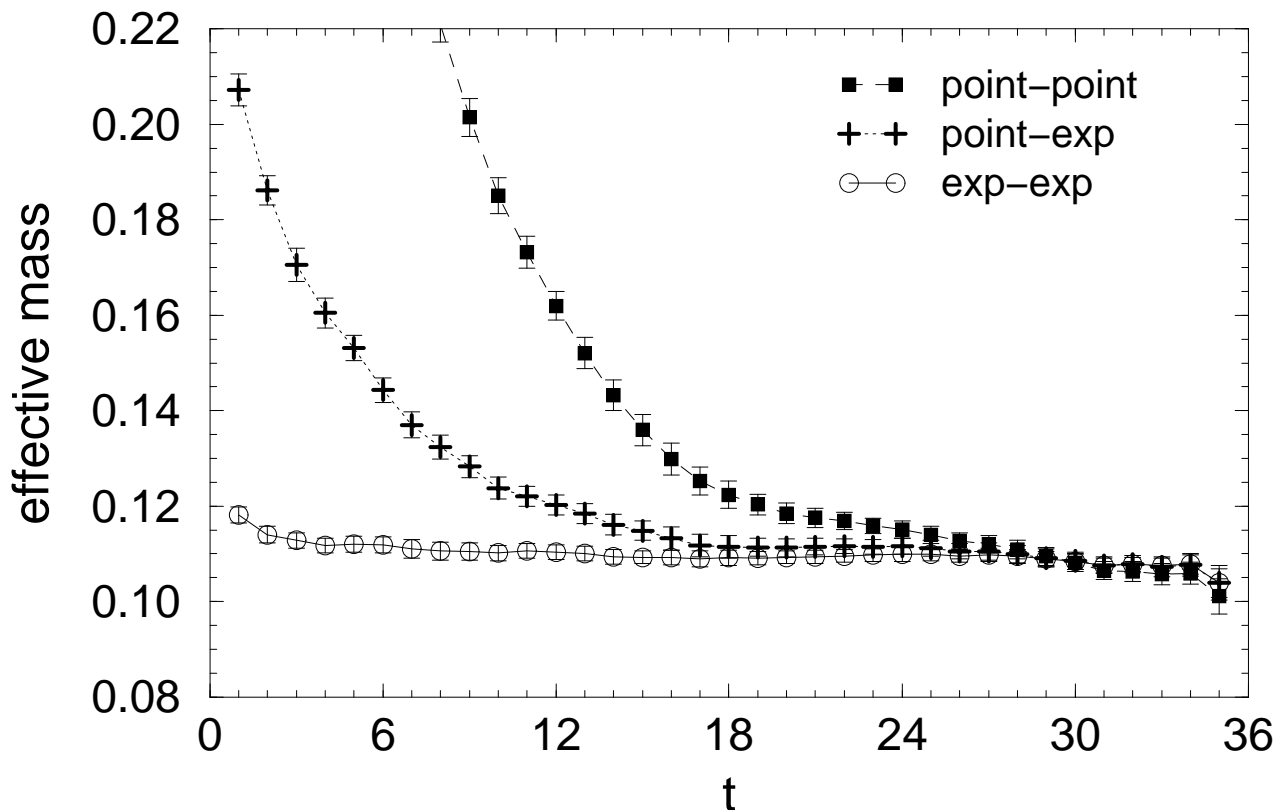
$$\gamma_F = 4.05(2), \quad 3.89(2), \quad 3.78(2)$$

$$( m_q \simeq 0.17, \quad 0.12, \quad 0.10 [\text{GeV}] )$$

## Source dependence

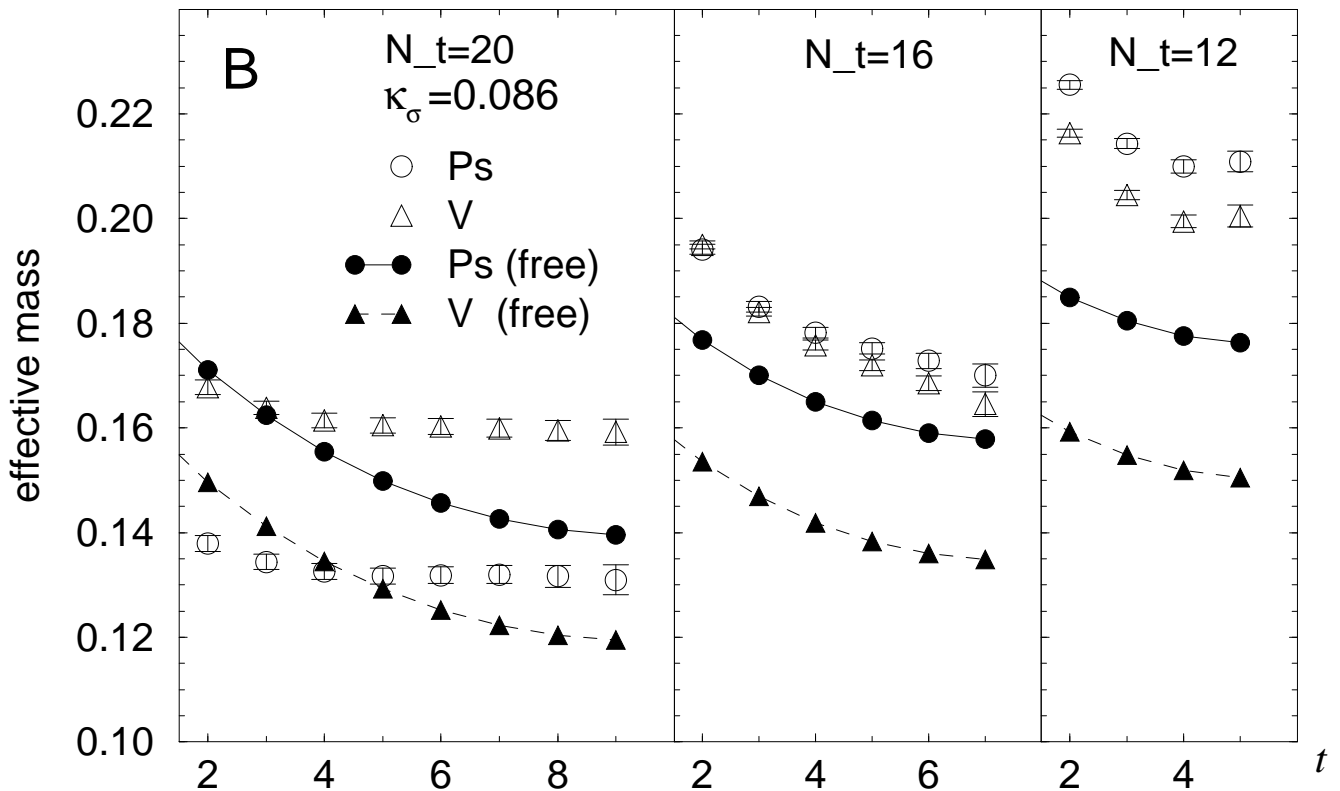
Effective mass :  $m_{eff}$

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



**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

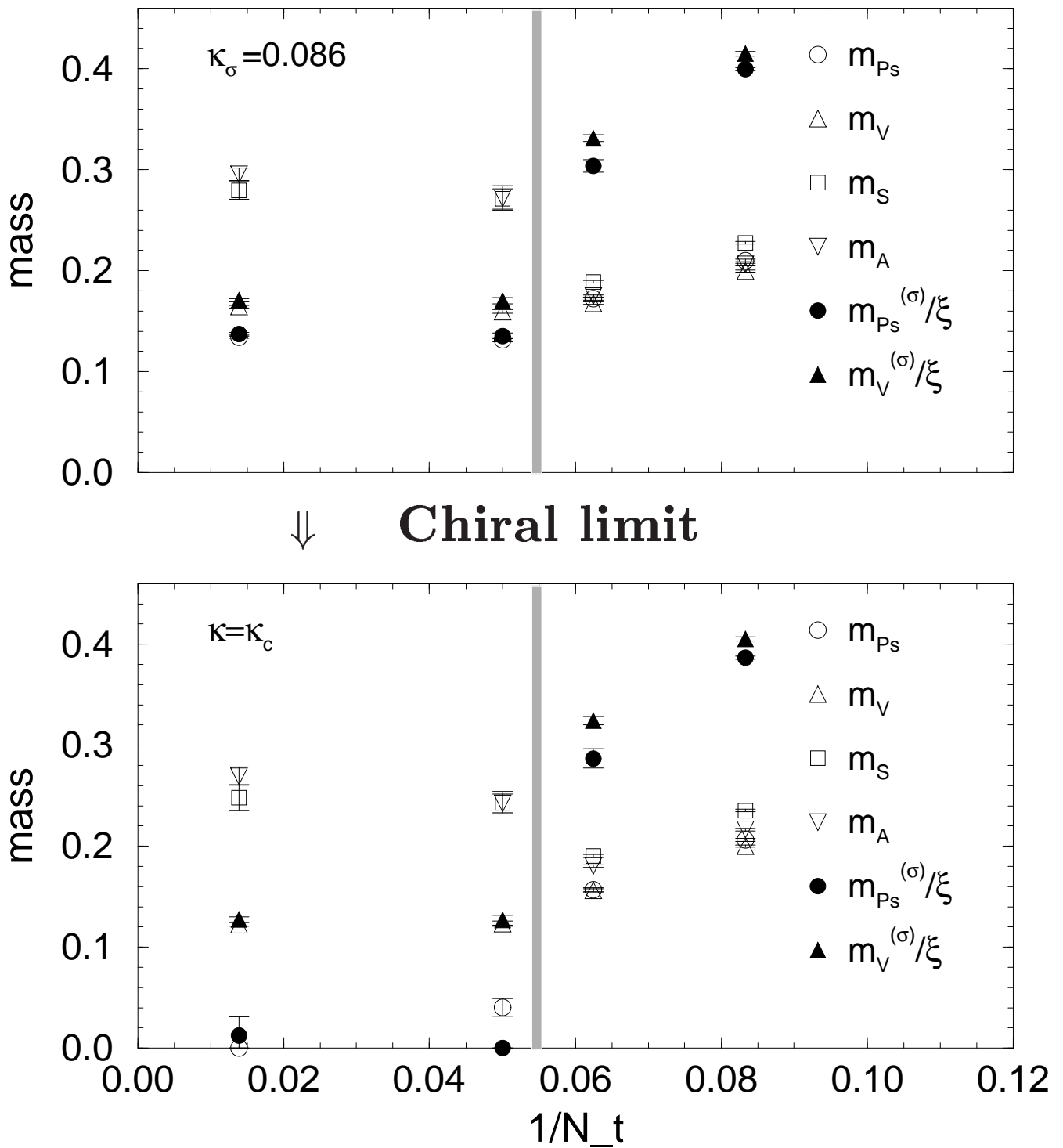
## Effective t-mass



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

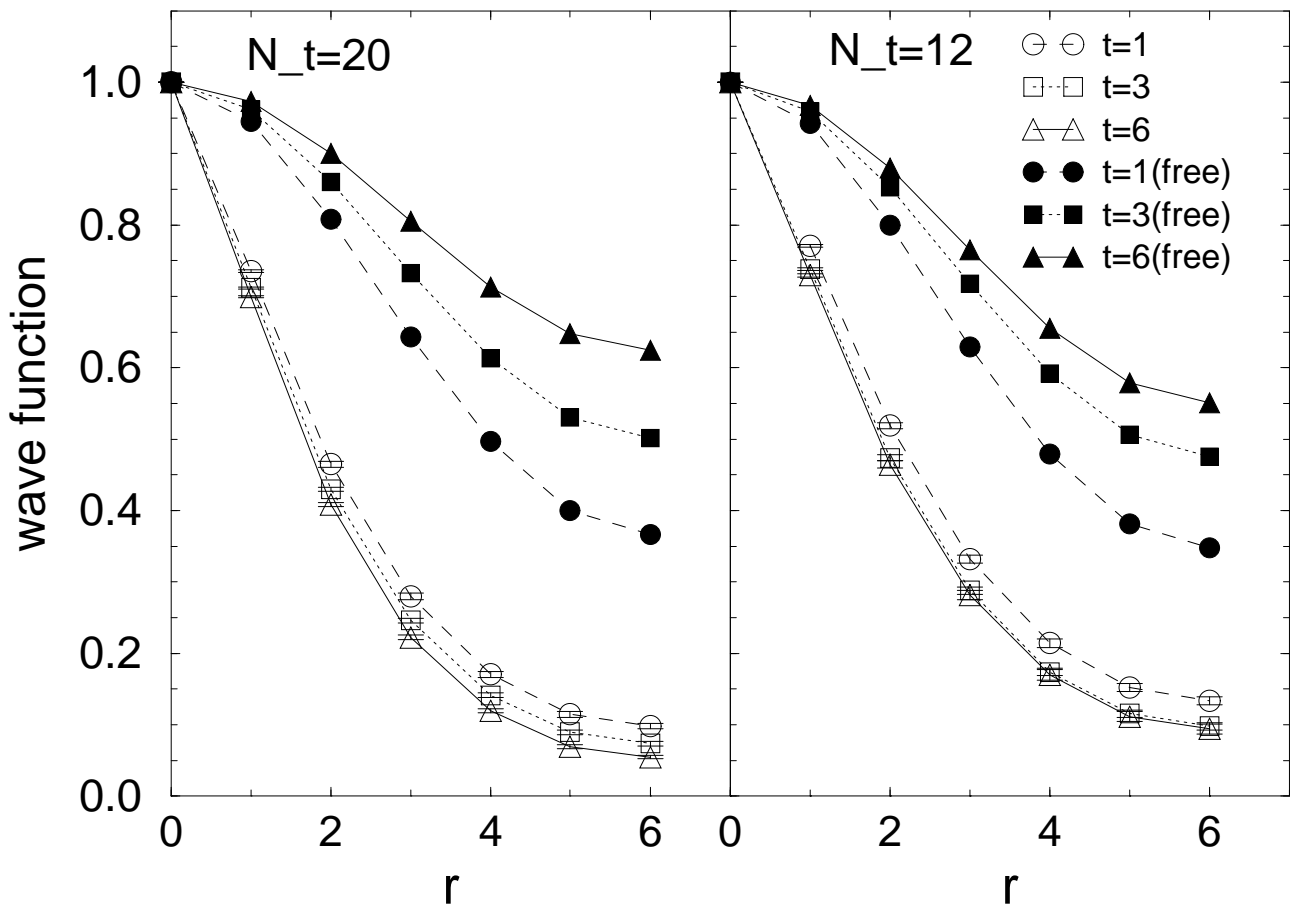
# Temperature dependence of mass

## t-mass vs screening mass



## Wave function

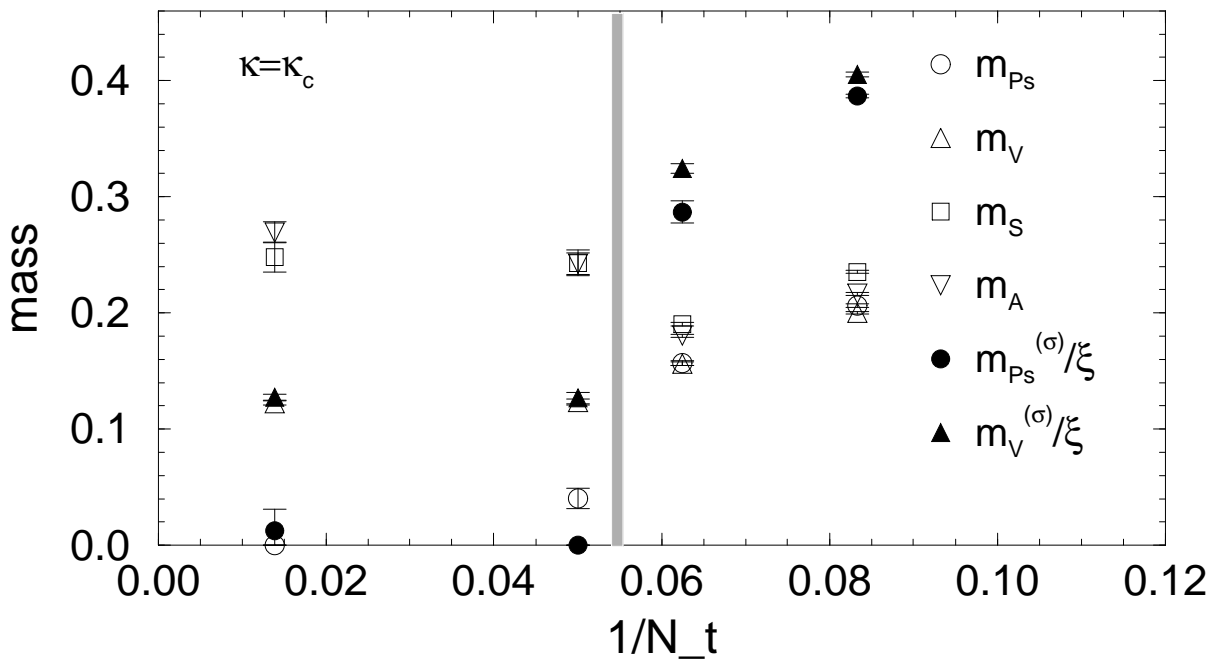
相転移後に meson は残っているか？



$T \simeq 1.5T_c$  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** :  $J/\psi$ ...
- **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