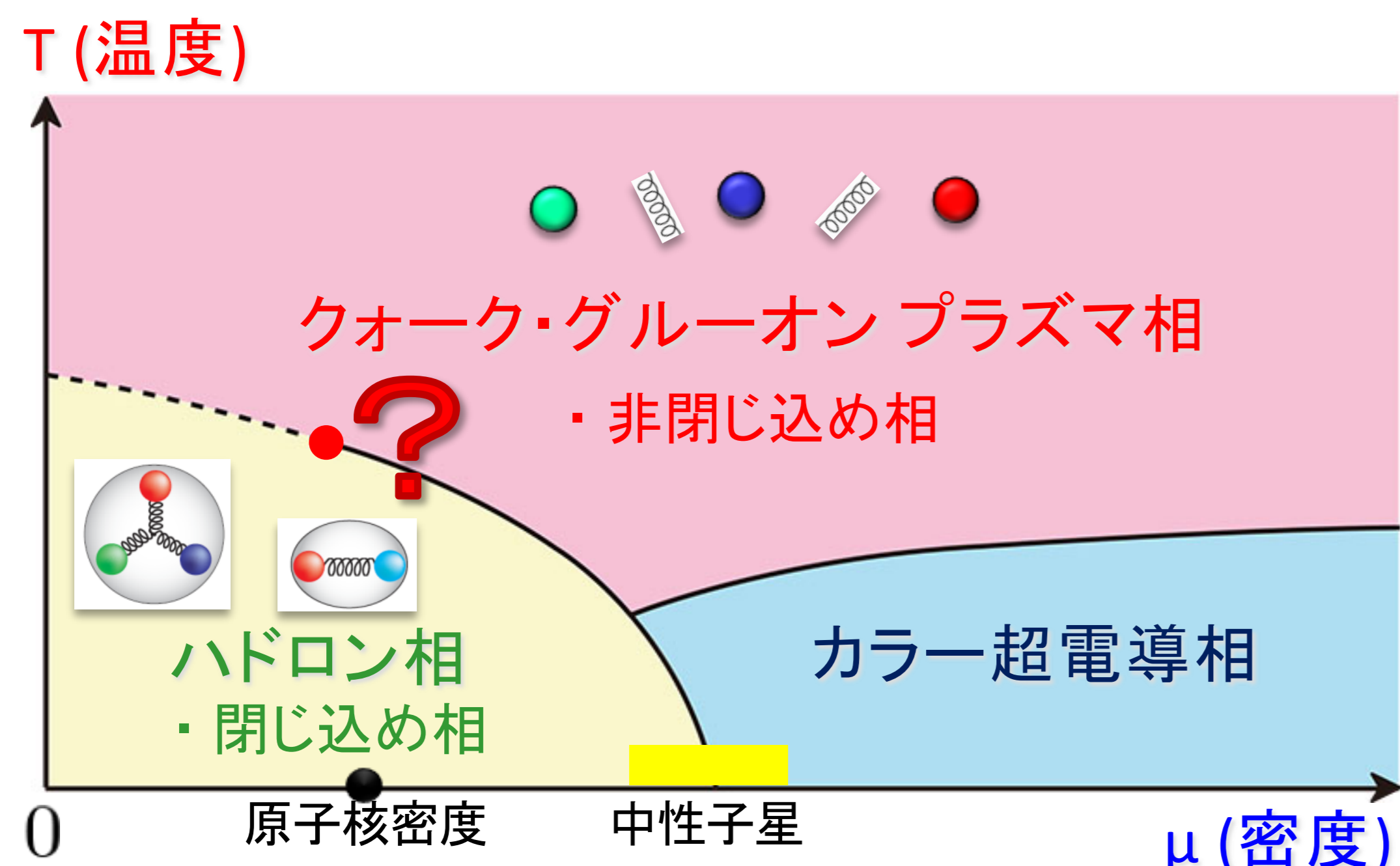


若山 将征 (大阪大学核物理研究センター)、飯田 英明 (慶應大学)、中村 純 (大阪大学核物理研究センター)

リー・ヤンの零点分布から探る有限密度QCDにおける相構造の研究



量子色力学(QCD)の相構造の予想図



研究目的

原子核などの物質を構成するクォークやグルーオンの基礎理論である量子色力学(QCD)の相構造は明らかになっていない。本研究ではQCDを非摂動的に直接解くことができる唯一の方法である格子QCDを用いて、QCDの相構造の決定を目指す。

「符号問題」とその解決策

有限密度系の格子QCDには「符号問題」と呼ばれる困難が存在

μ (密度)	モンテ・カルロ法の適用	
μ = 0	○	
μ > 0	×	← 「符号問題」が存在
μ² < 0 (純虚数)	○	← 「符号問題」は存在せず 格子QCD計算が可能！

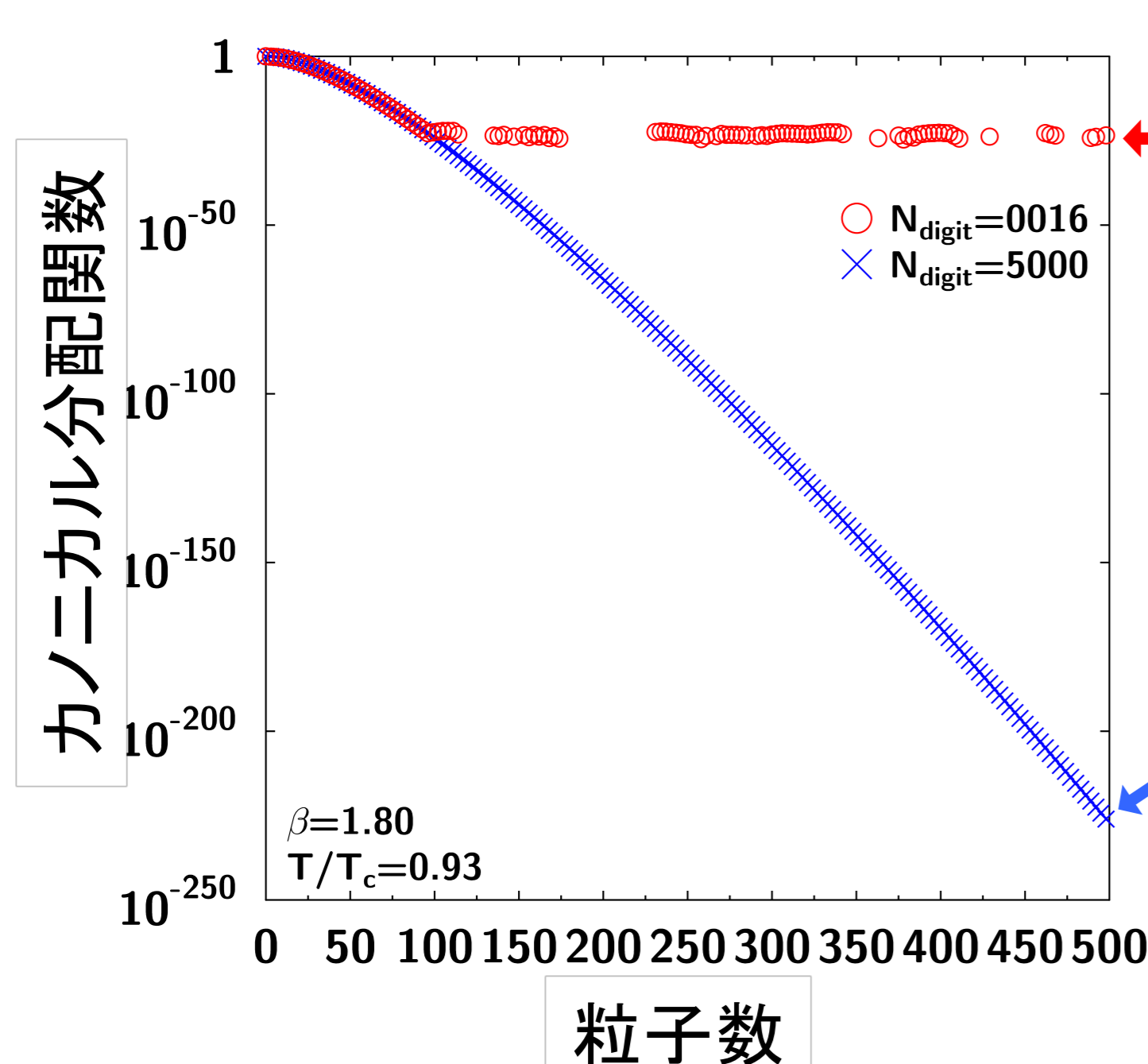
カノニカル法

純虚数密度領域で格子QCD計算から得られた結果をフーリエ変換することで、実密度領域の情報を引き出す。

A. Hasenfrantz & D. Toussaint, Nucl. Phys. B371 (1992)

フーリエ変換時に激しい桁落ちが発生！

約5,000桁を保証する多倍長による超高精度計算を行うことで克服！



倍精度では、小さい粒子数までしか正しく求めることができない。

多倍長精度では、より大きい粒子数まで正しく求めることができる。

リー・ヤンの零点

グランドカノニカル分配関数の零点は系の相転移について多くの情報を持つ。

T.D. Lee & C.N. Yang, Phys. Rev. 87, 404&410 (1952)

グランドカノニカル分配関数

$$Z_{GC}(\mu_q, T, V) = \sum_{n=-N_{max}}^{N_{max}} Z(n, T, V) \xi^n = 0$$

カノニカル分配関数
フガシティ: $\xi = e^{\mu_q/T}$

この高次方程式を解くときにも高精度計算が必要
数値計算では有限

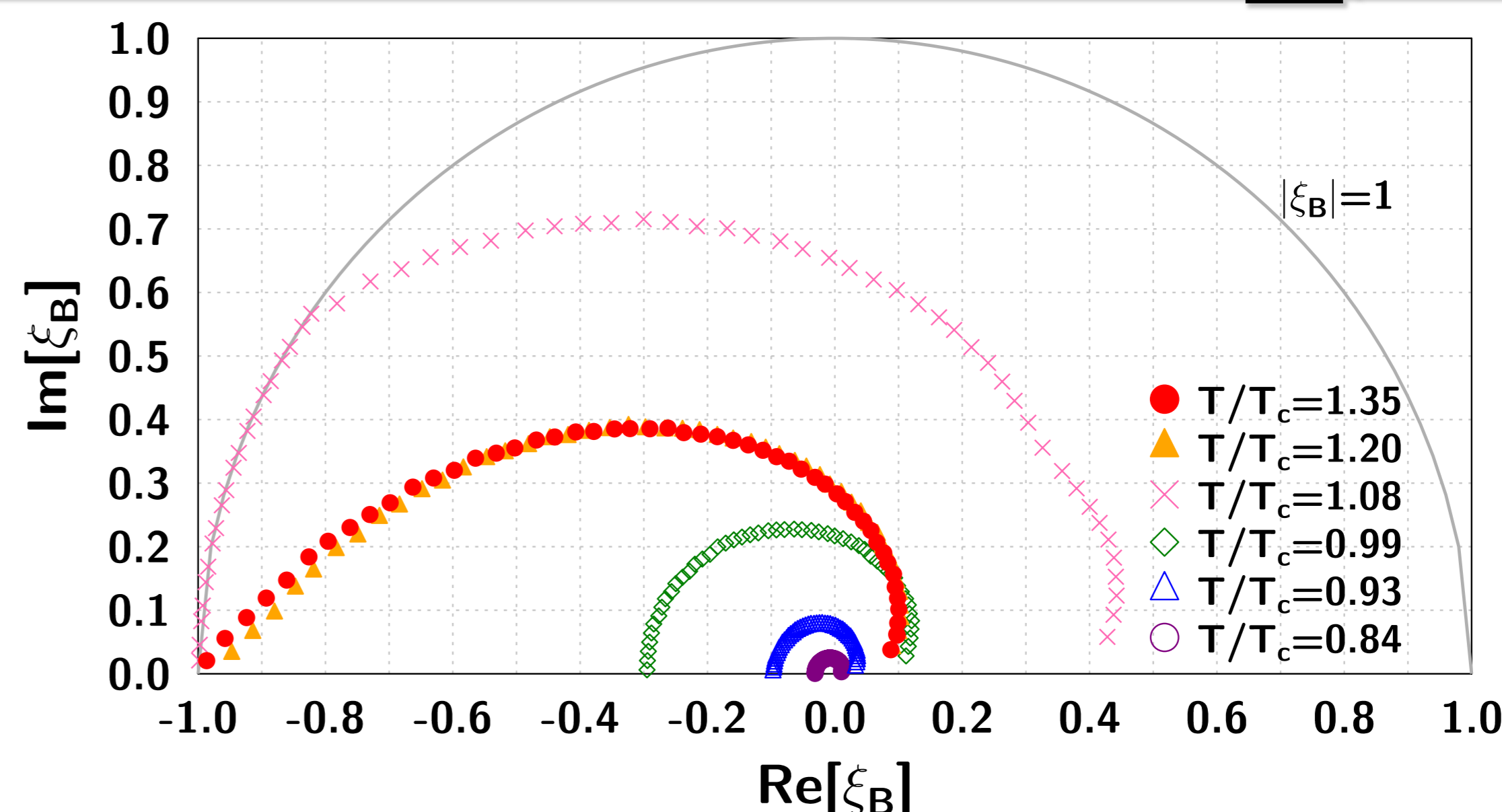
体積VとN_{max}が無大の極限で、リー・ヤンの零点が正の実軸上に収束すれば、その点が現実の世界での相転移点を与える。

これまでの格子QCD計算の結果

M. Wakayama et al., arXiv: 1802.02014[hep-lat] (2018)

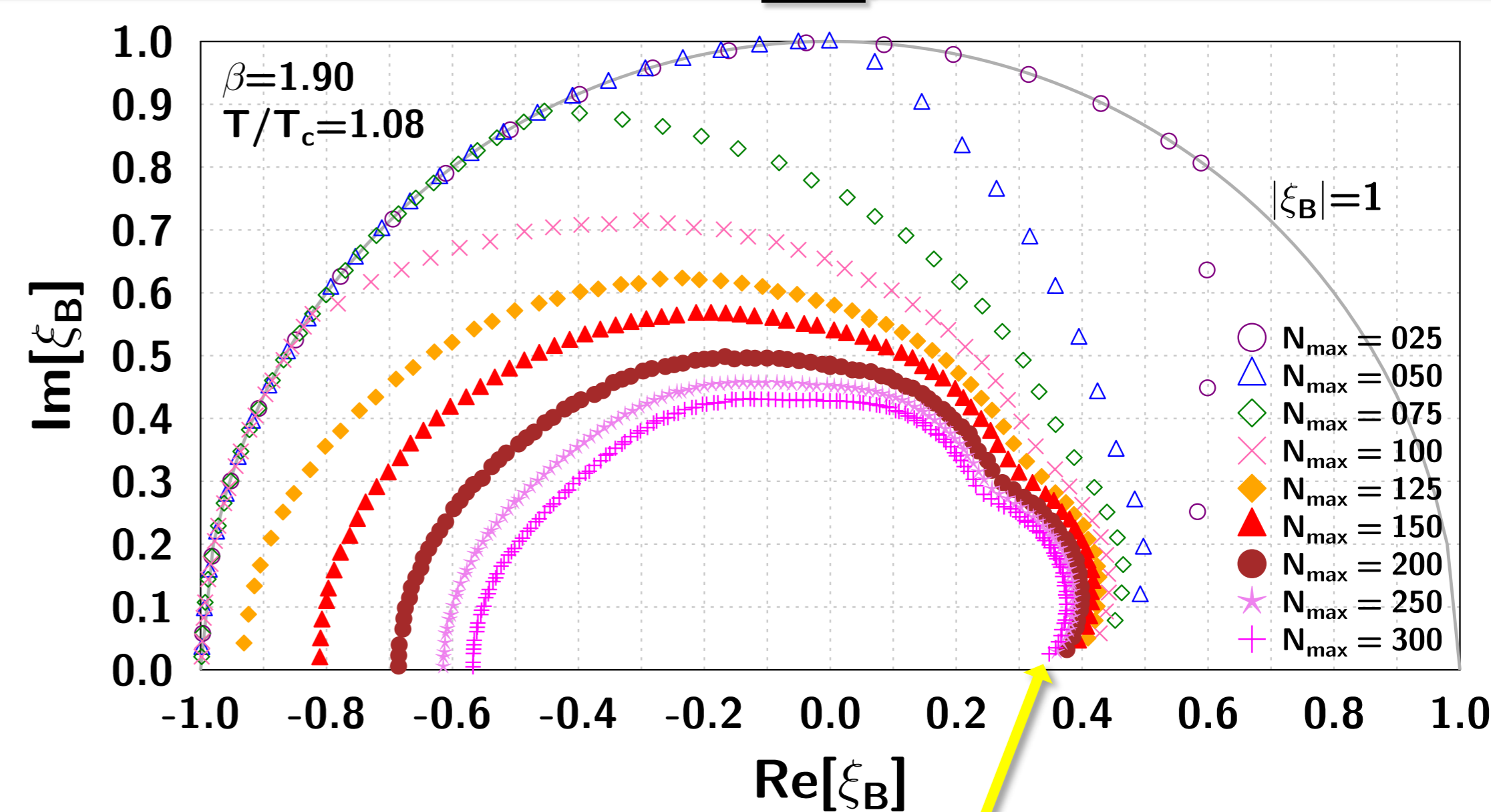
- GPU計算機を用いた16³x4(=16,384)並列での計算
- 5,000桁を保証する多倍長による超高精度計算
- 6点(温度点)x20点(純虚数密度点)x2,000配位 = 24万配位での高統計量

リー・ヤンの零点分布の温度依存性(N_{max}=100)



臨界温度T_c以上とT_c以下では、リー・ヤンの零点分布の振る舞いは大きく異なることが分かる。

リー・ヤンの零点分布のN_{max}依存性(T/T_c=1.08)



N_{max}が増加するにつれて、リー・ヤンの零点は正の実軸上に収束？

今年度の計画

格子QCDを用いてリー・ヤンの零点分布の体積依存性を計算し、QCD相構造の決定を目指す。大阪大学CMCのGPU計算機OCTOPUSを利用。