

格子QCDにおける非摂動論的な繰り込み

谷口裕介, 青木慎也, 藏増嘉伸, 村野啓子
(共同利用07b-13)

現在の素粒子理論

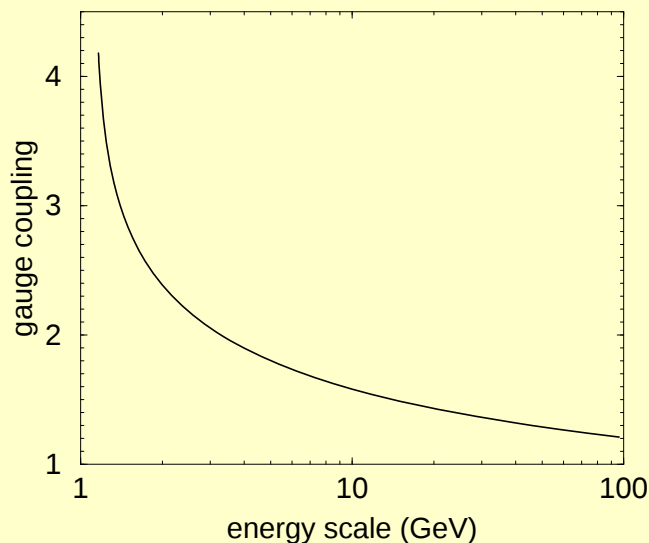
- (電磁気力) × (弱い相互作用) × (強い力) × (重力)
- 強い力を記述する理論 = Quantum Chromodynamics (QCD)
 - 構成要素
 - クォーク：物質 (フェルミオン)
 - グルーオン：ゲージ場
 - 理論のパラメーター
 - クォークの質量
 - 相互作用の結合定数

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4g^2} F_{\mu\nu}^a F_{\mu\nu}^a + \bar{\psi}_i (\gamma_\mu D_\mu + m_i) \psi_i$$

- 理論のパラメーターの精密測定：理論の確定
⇒ 新しい物理の発見へ。

理論のパラメーターの測定

- 理論計算 $\Leftrightarrow$ 実験結果
 - 具体的には：小さな結合定数での摂動計算 $\Leftrightarrow$ 高エネルギー散乱実験
- 漸近自由性という性質



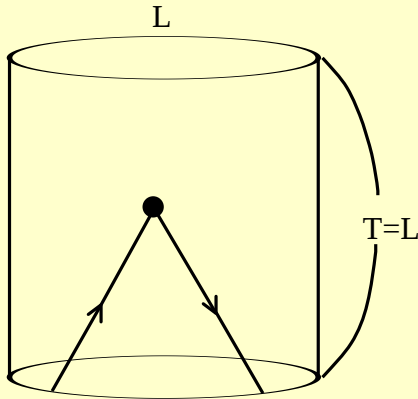
- 異なるエネルギー領域でのパラメーター測定も重要
 - 大きな結合定数での計算 $\Leftrightarrow$ 低エネルギー実験
 - 系統誤差の見積り

目標

- meson 関連量をインプットにして $\alpha_s(M_Z)$ を求める。
- quark mass の非摂動的な繰り込み定数
 - PACS-CS のデータの繰り込み

方法

- Schrödinger functional を用いた非摂動的な繰り込み

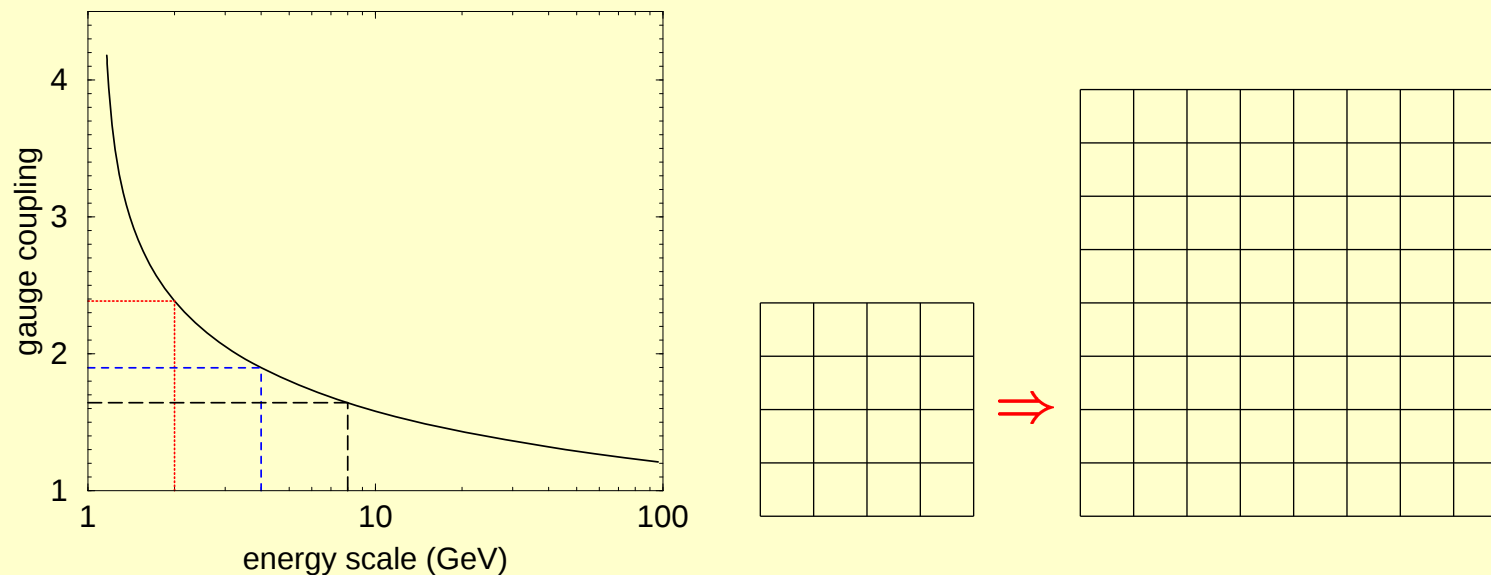


- 有限体積 L^4
- 適切な境界条件
- 繰り込みスケール $\sim 1/L$

- 格子理論と相性が良い
- 低エネルギーから高エネルギーまでをカバーできる

具体的な方法

- Step Scaling Function
 - 繰り込みスケールを $L \rightarrow 2L$ と変化したときの繰り込み群 flow $g(L) \rightarrow g(2L)$ を求める。



- 低エネルギー領域で Pion の崩壊定数 f_π でスケールを決める。

歴史

- $N_f = 0$: 1993 by Alpha collaboration
- $N_f = 2$: 2004 by Alpha collaboration
- $N_f = 2 + 1$: 2008? 競争中

Numerical setup

- Iwasaki gauge action $\beta = 2.1 \sim 6.2$
- Wilson fermion with clover term. (Non-perturbative c_{SW})
- RHMC algorithm for 3rd flavour
- HMC algorithm for two flavours
- CPS++ code ([RBC Collaboration](#))
- 計算機
 - 筑波大 学情メディアセンターのクラスター kaede: (~ 180 PU)
 - 東大 SR11000: (~ 64 PU)
 - PACS-CS: (256 PU) × 一ヶ月

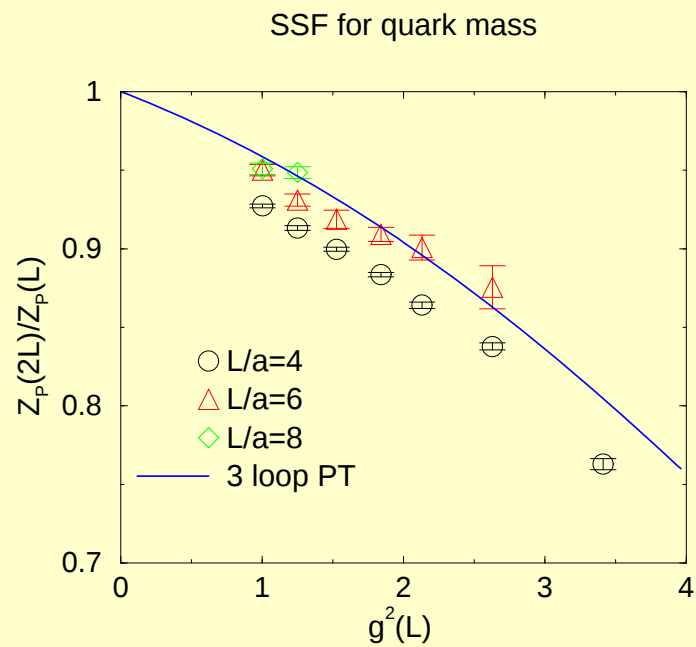
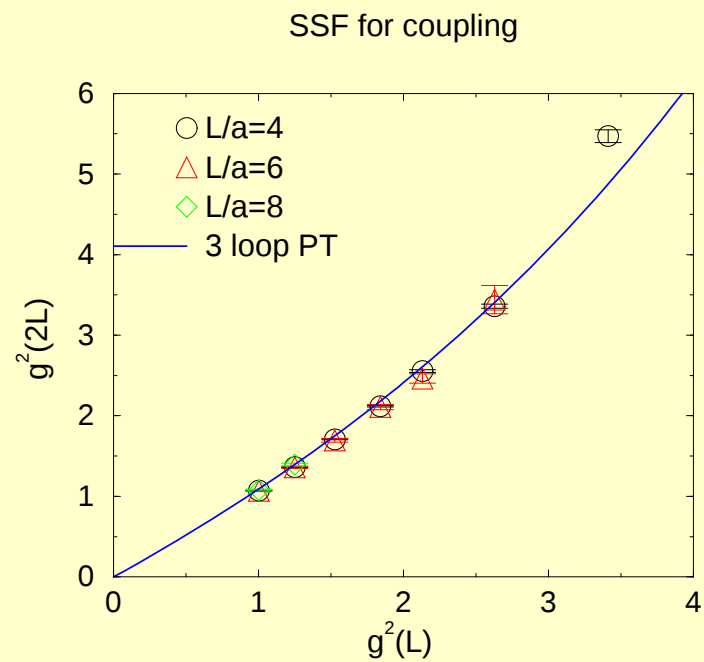
現状

- 次の3点で連続極限を取る。

L/a	4	6	8
$2L/a$	8	12	16

- $L/a = 4 \rightarrow L/a = 8$: ほぼ完了
- $L/a = 6 \rightarrow L/a = 12$: 1/4完了
- $L/a = 8 \rightarrow L/a = 16$: ほとんど手つかず。

途中結果



◇のデータがPACS-CSで得られたもの。

今後の作業

- $L/a = 8 \rightarrow L/a = 16$ のデータをためて連続極限を取る。
- 膨大な計算量が必要
 - PACS-CS: (128 PU) × 5 本 × 半年
- T2K に期待 !!

Schrödinger functional scheme

(Lüscher et al)

- 繰り込まれた結合定数

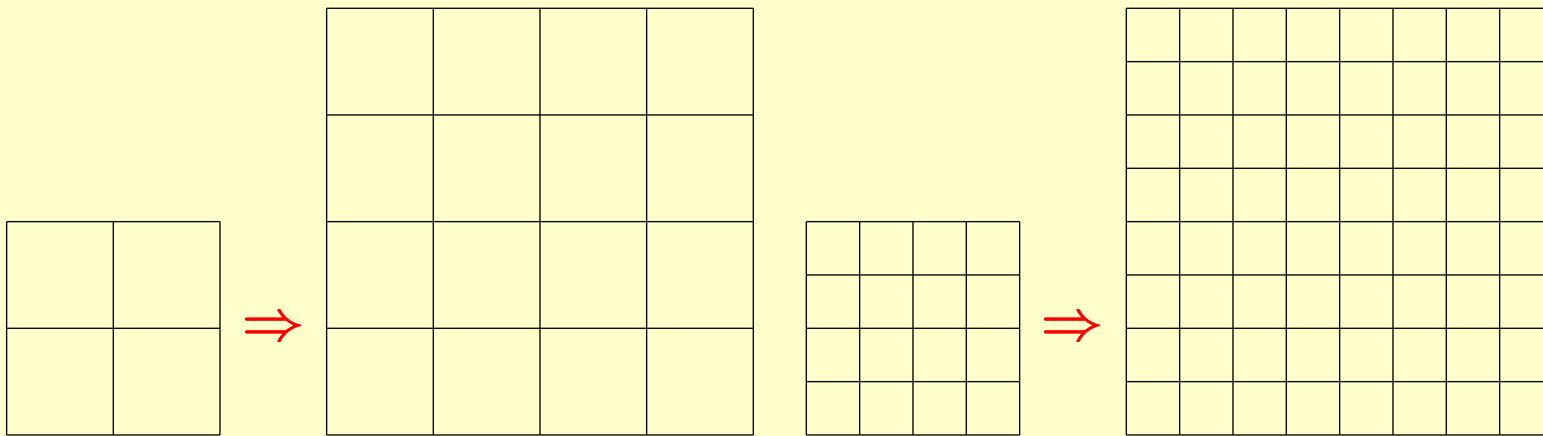
$$S_0 = \frac{1}{g_0^2} F_{\mu\nu}^2 \Rightarrow \Gamma_0[B_\mu] = \Gamma[B_\mu] = \frac{1}{g_R^2(L)} k[B_\mu]$$

- 質量の繰り込み

$$Z_P(L) = \frac{\langle P \cdot \mathcal{O}_{\text{boundary}} \rangle_{\text{lattice}}}{\langle P \cdot \mathcal{O}_{\text{boundary}} \rangle_{\text{tree}}}$$
$$Z_m = 1/Z_P$$

Step scaling function

- 繰り込み群の各ステップ毎に連続極限を取る。
 - $L \rightarrow 2L, \quad g(L, a) \rightarrow g(2L, a)$



- 連続極限での繰り込み群 flow $g(L) \rightarrow g(2L)$ を求める。

繰り込み群 flow

