



地球シミュレータによる 素粒子標準模型の研究

宇川 彰
筑波大学計算科学研究センター

- 本研究の俯瞰
- 本計画の目標
- 物理結果
- まとめと展望



研究メンバー

- | | | | |
|----------|--------|--|-------|
| ■ 青木 慎也 | 筑波大学 | saoki@het.ph.tsukuba.ac.jp | |
| ■ 石川 健一 | 広島大学 | kishika@het.ph.tsukuba.ac.jp | |
| ■ 石川 智巳 | 筑波大学 | tomomi@ccs.tsukuba.ac.jp | |
| ■ 石塚 成人 | 筑波大学 | ishizuka@ccs.tsukuba.ac.jp | |
| ■ 岩崎 洋一 | 筑波大学 | iwasaki@ccs.tsukuba.ac.jp | |
| ■ 宇川 彰 | 筑波大学 | ukawa@ccs.tsukuba.ac.jp | 申請代表者 |
| ■ 大川 正典 | 広島大学 | okawa@sci.hiroshima-u.ac.jp | |
| ■ 大野木 哲也 | 京都大学基研 | onogi@yukawa.kyoto-u.ac.jp | |
| ■ 金谷 和至 | 筑波大学 | kanaya@het.ph.tsukuba.ac.jp | |
| ■ 金児 隆志 | KEK | takashi.kaneko@kek.jp | |
| ■ 蔵増 嘉伸 | KEK | yoshinobu.kuramashi@kek.jp | |
| ■ 中島 日出雄 | 宇都宮大学 | nakajima@is.utsunomiya-u.ac.jp | |
| ■ 橋本 省二 | KEK | shoji.hashimoto@kek.jp | |
| ■ 古井 貞隆 | 帝京大学 | furui@umb.teikyo-u.ac.jp | |
| ■ 松木 孝幸 | 東京家政大学 | matsuki@tokyo-kasei.ac.jp | |
| ■ 吉江 友照 | 筑波大学 | yoshie@ccs.tsukuba.ac.jp | |

格子場理論フォーラム(全国44名 23組織)より参加



本研究の俯瞰 (I) : 素粒子の強い相互作用と格子QCD

□ 素粒子の強い相互作用

- 三つの基本相互作用の一つで, 原子核(陽子, 中性子の集合体)を結びつける力

□ 格子QCD(Quantum Chromodynamics) 量子色力学

- 6種類のquarkの場と, 力を媒介するgluonの場を基本自由度とする理論

$$L_{QCD} = \frac{1}{8\pi\alpha_s} \text{Tr}(F_{\mu\nu}F_{\mu\nu}) + \sum_f \bar{q}_f (\gamma_\mu \cdot (\partial_\mu - iA_\mu) + m_f) q_f \quad \text{QCDのlagrange関数}$$

$$\langle O(A, \bar{\psi}, \psi) \rangle = \frac{1}{Z} \int dA d\bar{q} dq O(A, \bar{q}, q) e^{-\int d^4x L_{QCD}} \quad \text{物理量を与える超多重積分}$$

- 1個の結合定数と6個のクォーク質量を知れば, 強い相互作用の全てを予言可能

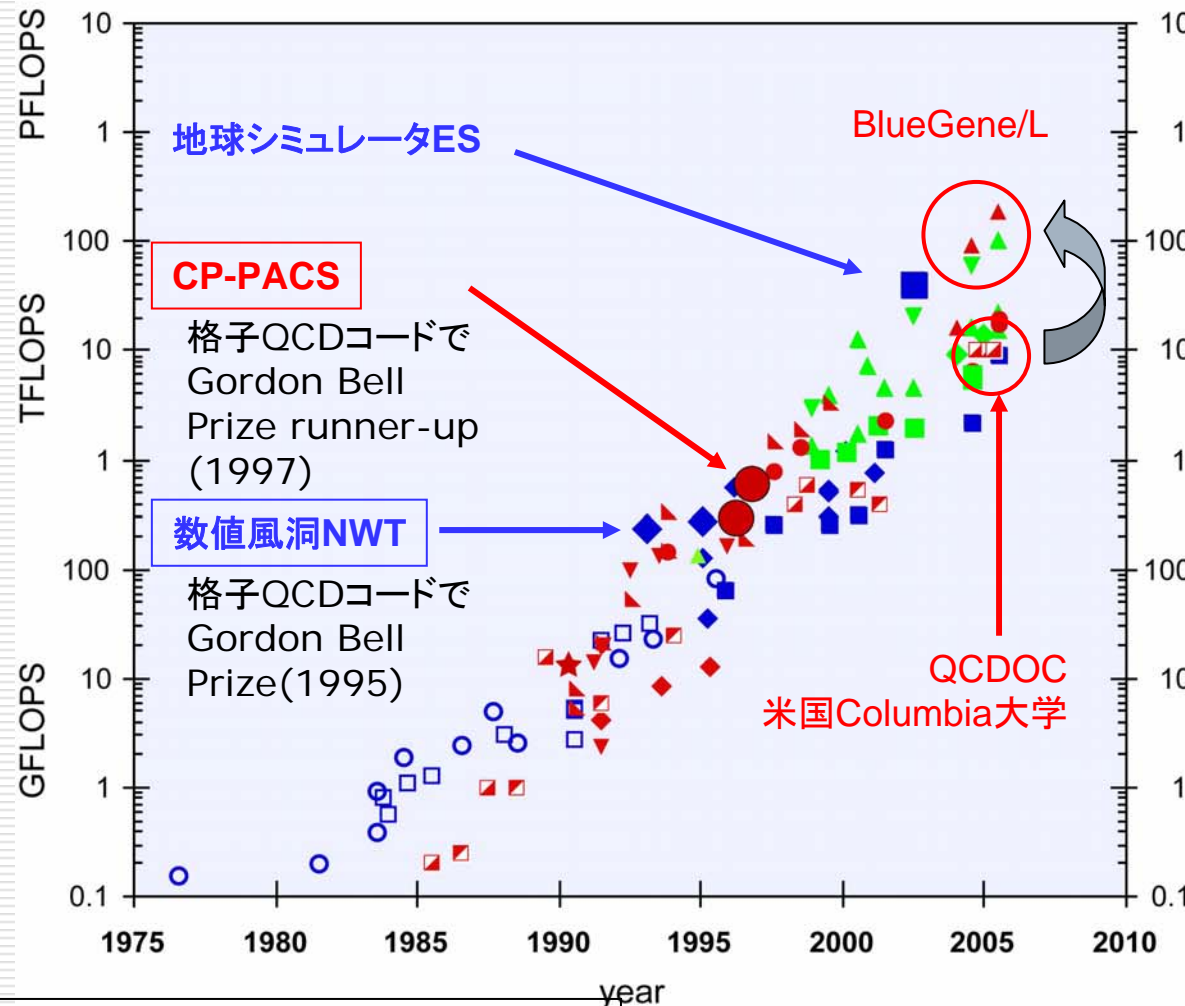
$$\alpha_s = \frac{g_s^2}{4\pi} \quad m_u, m_d, m_s, m_c, m_b, m_t$$

■ 歴史的に深い関係

- | | |
|----------------------------|--------------|
| □ 湯川秀樹の中間子論(1934) | 強い相互作用理論の始まり |
| □ 朝永振一郎のくりこみ理論(1948) | 場の理論の根幹となる考え |
| □ 西島和彦のstrangeness(1951) | 3番目のクォーク |
| □ 南部陽一郎のcolor(1964) | QCDに繋がるアイデア |
| □ 近藤都登らによるtopクォークの発見(1995) | 6番目のクォーク |



本研究の俯瞰(II): 格子QCDとトップスーパーコンピュータ



我が国の主要なプロジェクトマシン

- ◆ 数値風洞 NWT/ベクトル並列
- CP-PACS/超並列
- 地球シミュレータ ES/ベクトル並列

ベクトル計算機

- CRAY/CDC
- Hitachi/Fujitsu/NEC

ベクトル並列計算機 (SMP)

- ◆ Fujitsu
- NEC
- CRAY

スカラ並列計算機 (SMP)

- ◆ Fujitsu
- Hitachi
- ▲ IBM
- ▼ SGI/HP/Dell

超並列計算機 (MPP)

- CRAY
- ◆ Fujitsu
- ▲ IBM
- ▼ TMC/nCUBE
- ▲ Intel/MPP
- ★ QCDPAX
- Columbia
- APE



本研究の俯瞰(III): 過去の研究と本研究の目標

□ 過去の研究

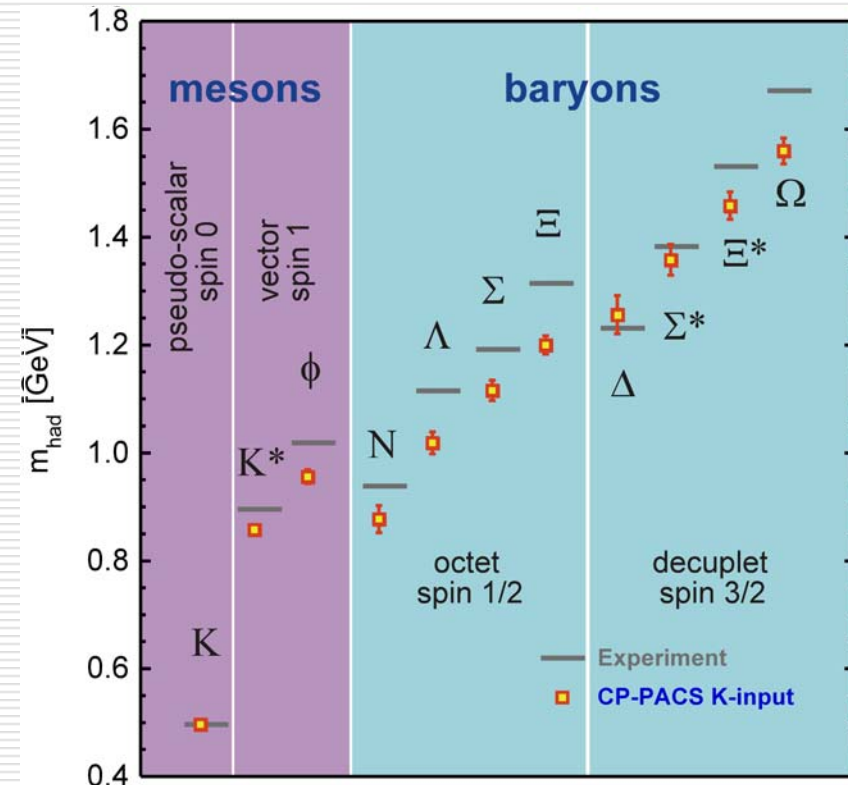
- クエンチ近似(真空の構造を無視)による計算
 - 計算力の不足
 - 計算アルゴリズムの未開発
- 実験との明確なずれ
 - QCDの正確な検証として不十分
 - 信頼できる予言には極めて不満足

□ 本研究の目標

軽いクォーク(up, down, strange)
全てを近似無く扱ったQCDの完全なシミュレーション

- PHMCアルゴリズムの開発
- ESの計算パワー

CP-PACSによるクエンチ近似結果



主要な素粒子のスペクトル

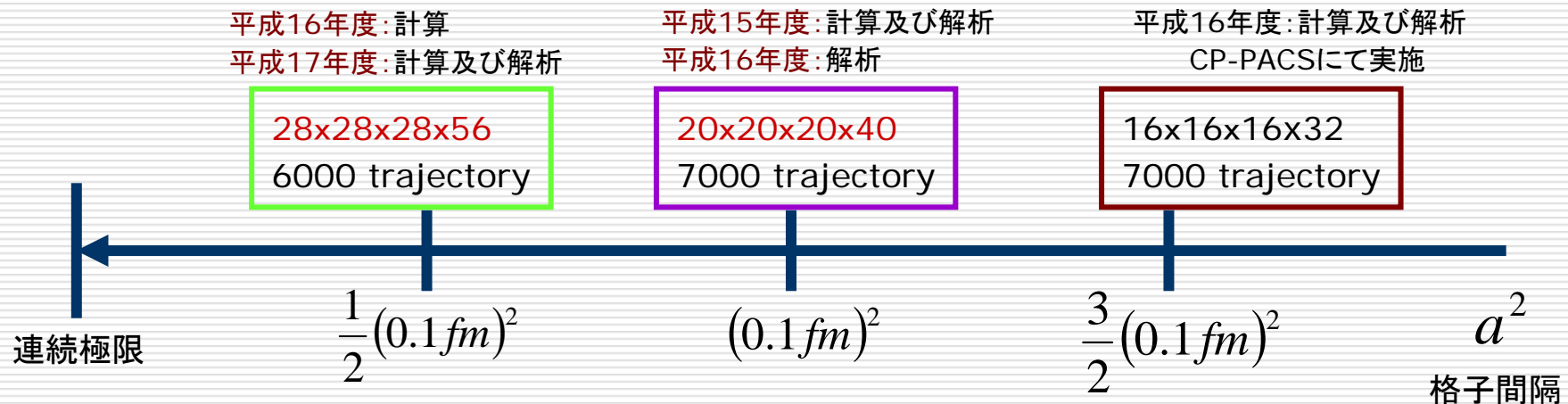


当初計画(平成14年度～16年度+17年度)

i.

完了

のクォーク質量・統計数5000以上



- ii. ハドロン質量スペクトルによるQCDの検証とクォーク質量の決定
- iii. 重いクォークの計算によるCP非保存の解明
- iv. 生成グルオン配位の世界公開

本日報告

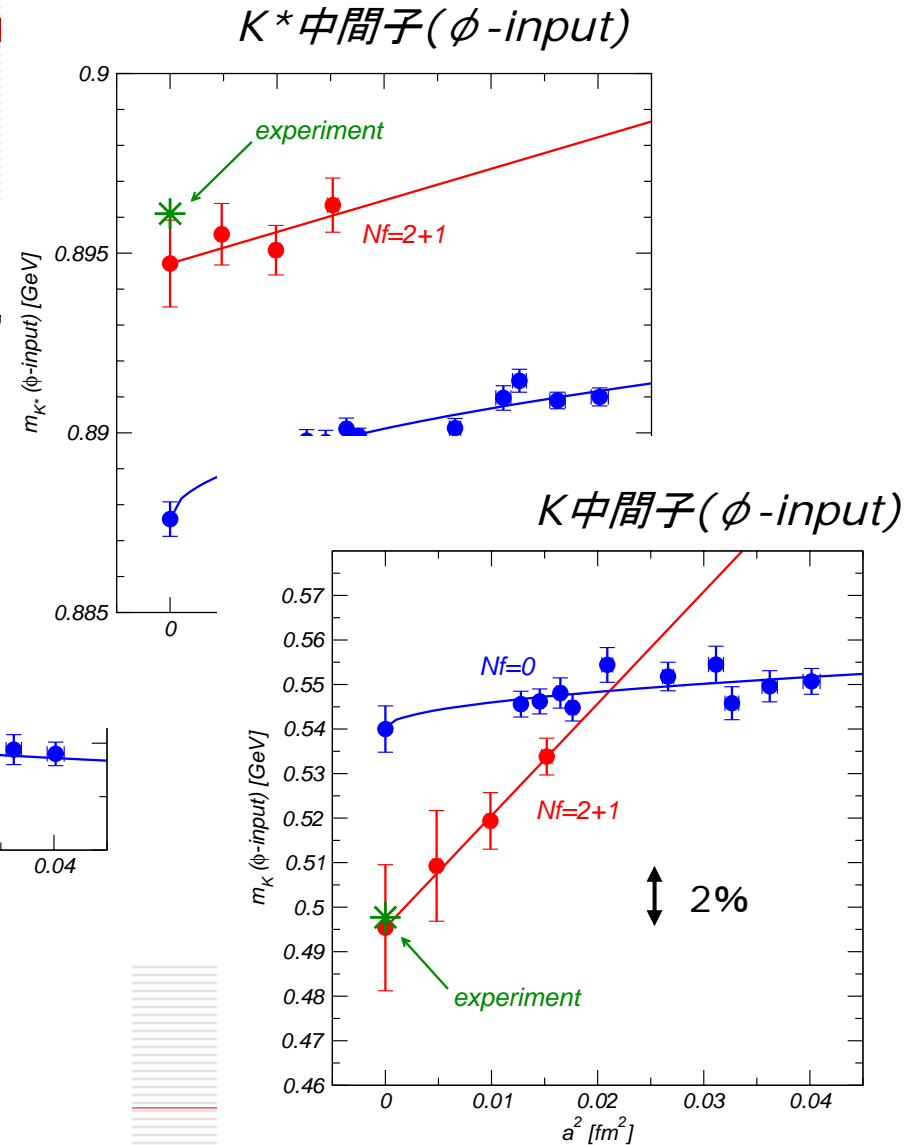
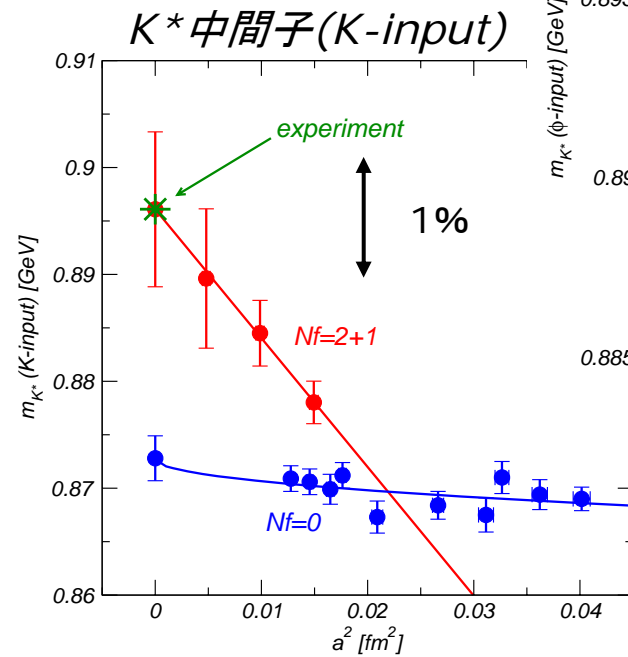
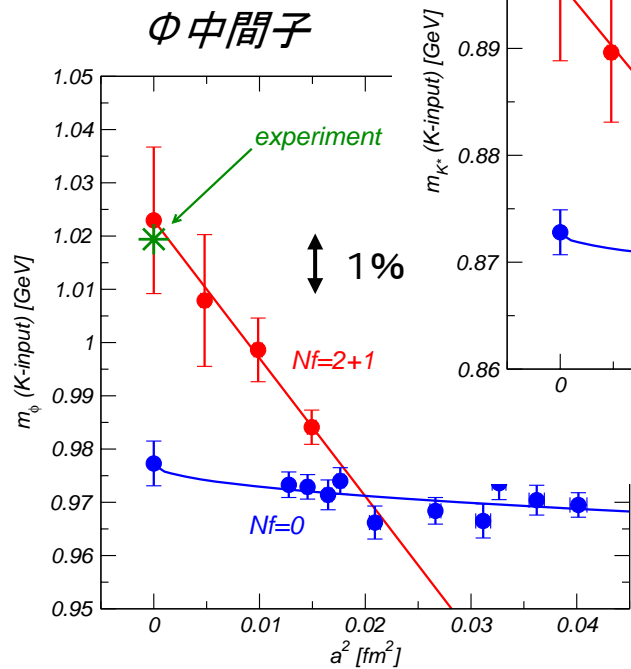


物理結果 (I): メソン質量スペクトルの連続極限

本計算 ($N_f=2+1$)

クエンチ近似計算 ($N_f=0$)

実験値の比較





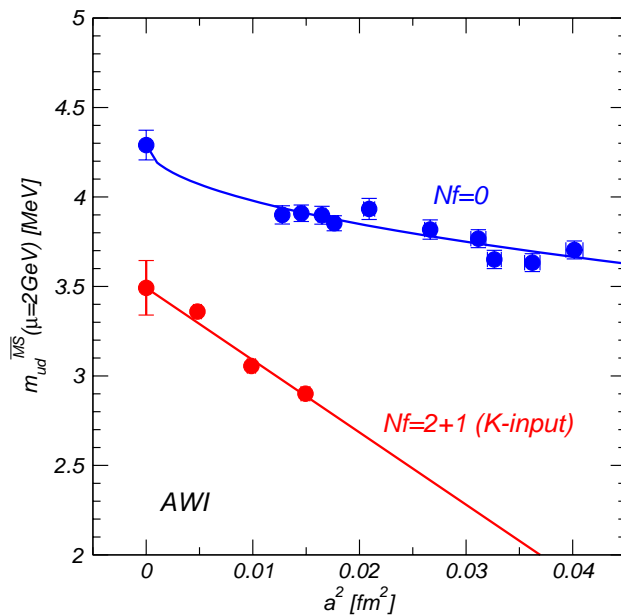
物理結果(II):クォーク質量の連続極限

本計算 ($N_f=2+1$)

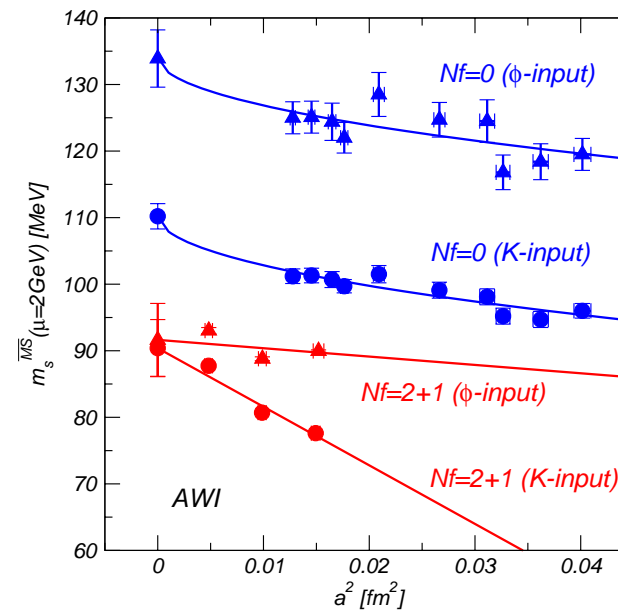
クエンチ近似計算 ($N_f=0$)

の比較

クエンチ近似で存在する入力依存性が本計算では完全に解消



up-down quark



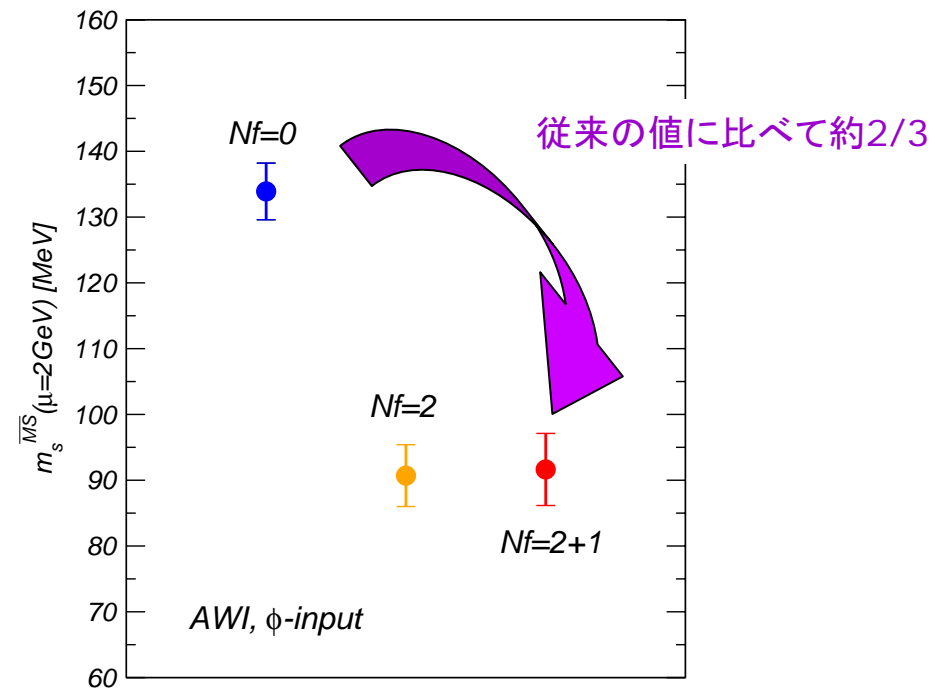
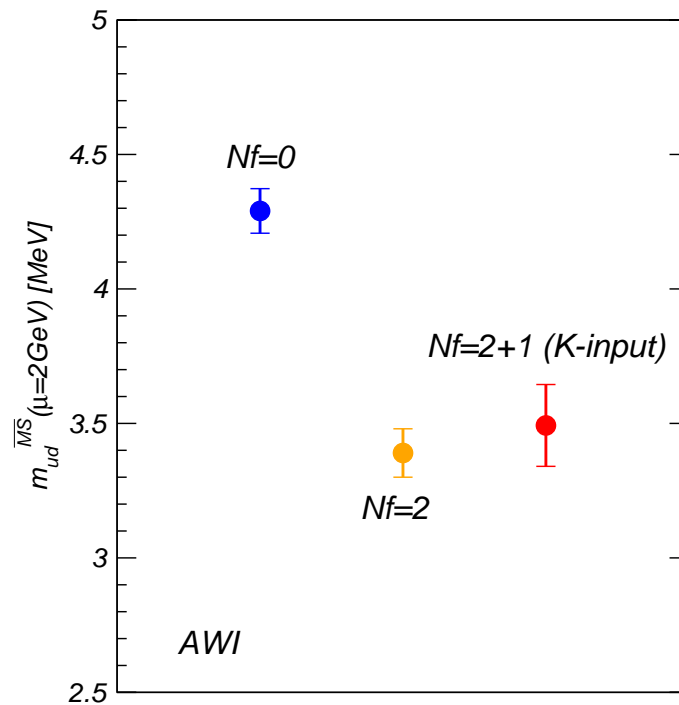
strange quark



物理結果(III):クォーク質量の決定

$$m_{up-down}(\overline{MS}, 2GeV) = 3.47 \pm 0.15 \text{ MeV}$$
$$m_{strange}(\overline{MS}, 2GeV) = 89.6 \pm 4.2 \text{ MeV}$$

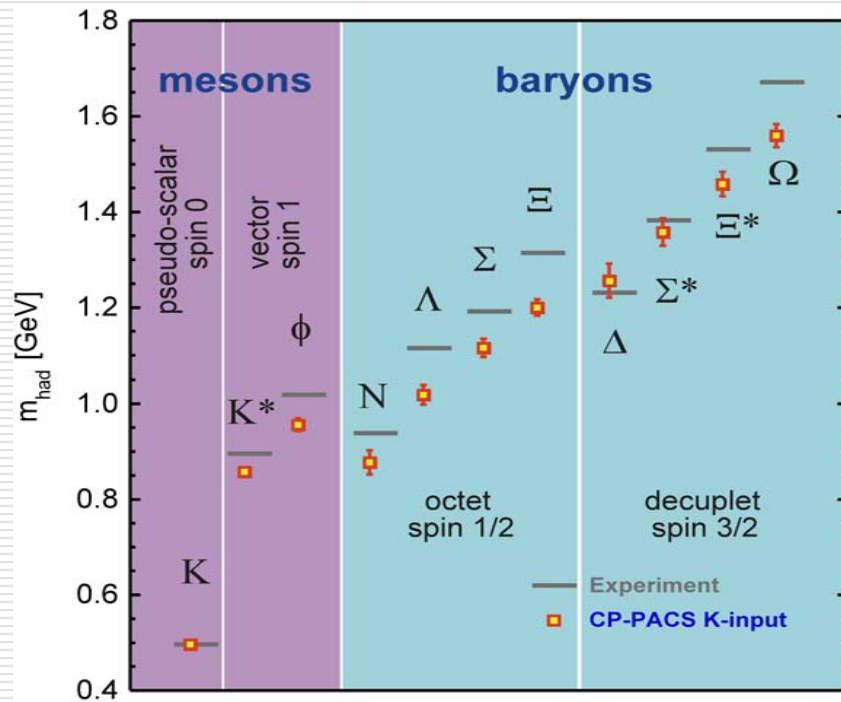
Nf=2+1
K-input





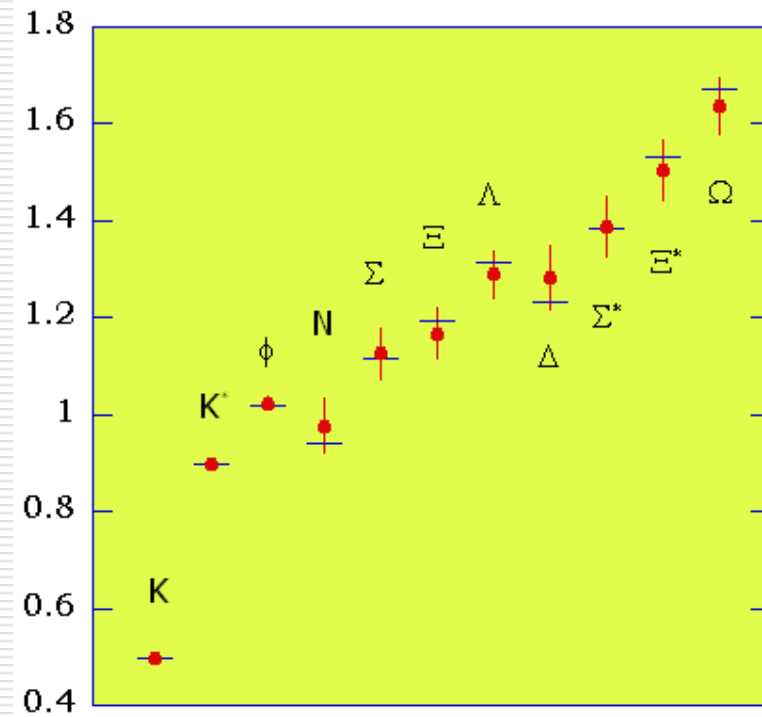
物理結果(IV): バリオン(重粒子)質量

CP-PACSによるクエンチ近似結果



本計算による予備的結果

誤差が大きく, また有限体積効果等, 詳細解析が必要だが, encouraging





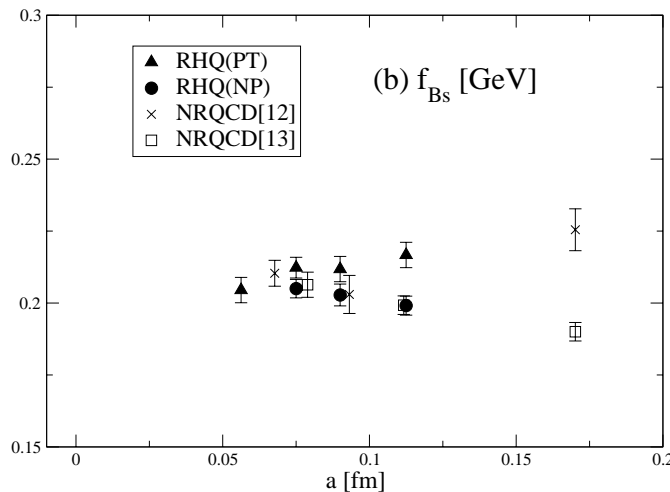
物理結果 (V) : 重いクォークの計算

CP非保存(物質・反物質の非対称性)の解明に重要

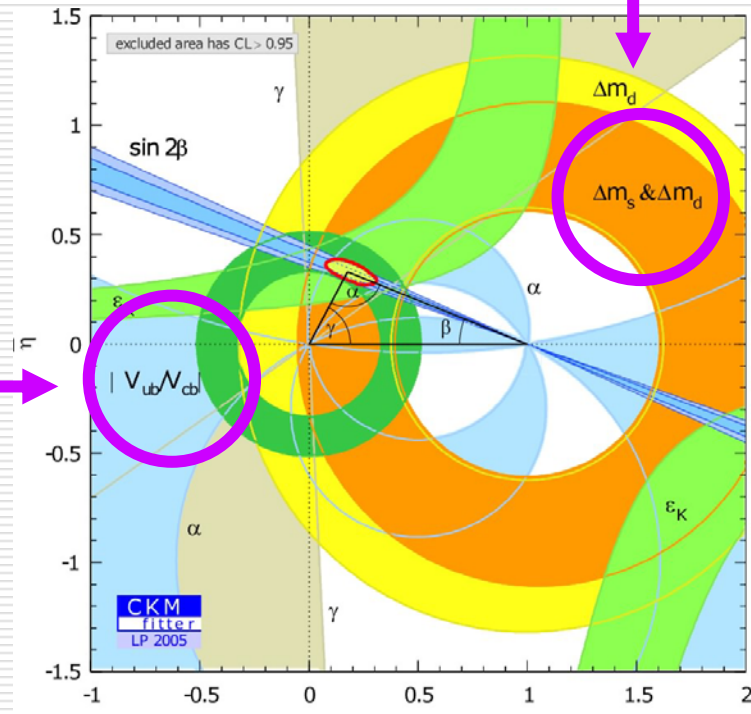
□ 本計画における実施項目

- 重いクォークの理論的枠組みの開発
- 大規模テスト計算による理論の正当性の確認(本年度実施)
- 本格計算の実施
 - 12月末を目標に準備中
 - 年度末までに約1/3の計算を目標

B中間子崩壊定数テスト計算



CP非保存パラメータの決定



CKMfitter Group (J. Charles *et al.*),
Eur. Phys. J. **C41**, 1-131 (2005).



地球シミュレータによるQCDデータの世界公開

International Lattice Data Grid (ILDG)

- QCDデータの国際的な蓄積・共有のためのグリッド
- 日本サイト: Lattice QCD Archive (筑波大計算科学研究センターにて設置・運用)
- $N_f=2+1$ データは平成18年6月を目処に公開準備中

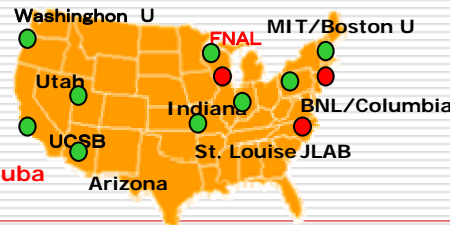
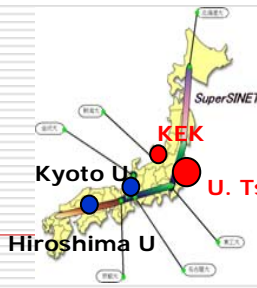
英国拠点
エディンバラ大学物理学科
並列計算機センター

独国拠点
ドイツ電子シンクロtron
フォンノイマン計算研究所

伊国拠点
ローマ大学II
物理学科

日本拠点
筑波大学
計算科学研究センター

米国拠点
フェルミ国立加速器研究所
(FNAL)



LATTICE QCD ARCHIVE
Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

HOME About the archive

REGISTER This Archive stores gauge configurations and other data of lattice QCD, and make them available to lattice field theory community world-wide. The Archive is maintained by the [Center for Computational Sciences, Univ. of Tsukuba](#).

ARCHIVE

TOOLS Files stored

LINKS The main set of files currently in the Archive are the two-flavor full QCD configurations contributed by the CP-PACS Collaboration. They were produced on the [CP-PACS parallel computer](#) at the Center for Computational Sciences. There are four sets of files corresponding to four lattice spacings, all generated with the renormalization-group improved Iwasaki gluon action and the Wilson-clover quark action with tadpole-improved cover coefficient.

e-mail [Details of the 2-flavor configurations are given here.](#)

Further addition of configurations at smaller quark masses are anticipated in the future.

ILDG The binary format for archived configurations is based on the [ILDG QCDFML draft ver 4.0](#). Conversion of markup files to the final version [QCDFML v1.1](#) using [Binary File Format v1.0](#) will take place soon.

A C-library to convert our format to the standard one is given in the [tools](#) section.

Files in preparation

We are planning to add 2+1 flavor full QCD configurations by the CP-PACS and JLQCD Collaborations to the Archive. They are generated at three lattice spacings with a fully $O(a)$ improved action -- combining the renormalization-group improved Iwasaki gluon action and a nonperturbatively $O(a)$ improved Wilson-clover quark action -- and adopting an exact HMC+PHMC algorithm.

[Details of the 2+1 flavor configurations are given here.](#)

The 2+1 flavor configurations will be released to LQA/ILDG when (1) six months have passed after a paper on light hadron spectrum and light quark masses is made public, and (2) results on heavy quarks and eta' are presented at a Lattice conference.

Conditions

To access files in the Archive, a [registration](#) using your mail address is required. This is to allow us to keep track of the locations of downloaded files.

If you use the [CP-PACS 2-flavor full QCD configurations](#) stored in this Archive, please [acknowledge](#) the CP-PACS Collaboration and cite



まとめと展望

計画達成度

- i. シミュレーションの実施 **完了 100%**
- ii. ハドロン質量スペクトルによるQCDの検証とクォーク質量の決定 **完了 100%**
- iii. 重いクォークの計算によるCP非保存の解明 **引き続き実施 30%**
- iv. 生成グルオン配位の世界公開 **H18年6月実施 100%**

成果と展望

- 完全なQCD第一原理計算を実施
 - 1-2%精度でQCDを精密検証
 - up,down,strangeクォーク質量を決定(従来値より大幅に軽い値)
 - 生成データを用いて引き続き広範な物理現象の解析を予定
重いクォークの物理とCP非保存, ハドロン物理の諸現象, ...
- 米欧との競争は激化の一途;平成18年度以降は新たな計画の立案を検討