

受付 ID	16a38
分野	素粒子分野

## 格子QCDによるK中間子崩壊振幅の研究

Calculation of K meson decay amplitude from lattice QCD

石塚 成人  
筑波大学 計算科学研究センター

### 1. 研究目的

現在、格子 QCD では、計算機の計算能力および計算アルゴリズムの進歩により、現実のクォーク質量でのシミュレーションが可能となっている。ハドロン質量は誤差数%で求められており、標準模型の未知定数の一つであるクォーク質量の精密決定が出来るようになってきた。この様に格子 QCD の最近の進歩は目覚ましいものがある。しかし、一方で昔からの未解決な問題で、かつ標準模型の検証において極めて重要な問題が残されている。K 中間子崩壊での  $\Delta I=1/2$  則の解明と、CP 非保存パラメータの理論からの予測である。これらの問題には、K 中間子が二つの  $\pi$  中間子に崩壊する過程の崩壊振幅の計算が必要である。崩壊過程には、終状態のアイソスピンが  $I=0$  と  $I=2$  の二つの場合があり、それぞれの崩壊振幅を  $A_0$  と  $A_2$  と呼ぶ。先の問題の場合、これら両方の振幅の計算が必要であるが、 $A_0$  の計算が極端に難しく、先の問題が未解決のまま残っているのである。計算が難しい理由は、“非連結グラフ”と呼ばれるダイアグラムが存在し、そのため統計誤差が非常に大きくなるからである。

上記の背景のもと、本プロジェクトの目的は、 $A_0$  と  $A_2$  両方の K 中間子崩壊振幅を、格子 QCD により数値計算し、未解決問題である  $\Delta I=1/2$  則の研究、および CP 非保存パラメータを求め素粒子標準模型における CP 非保存現象の理解を確立することである。

本プロジェクトは、平成 23 年度からはじまった継続プロジェクトである。実際のクォーク質量では、K 中間子は有限運動量をもつ  $\pi$  中間子へ崩壊する。平成 23-26 年度研究では、ゼロ運動量の  $\pi$  中間子へ崩壊する非物理的場合について考え、計算の最大の障壁になっている非連結ダイアグラムの計算方法の開発を行った。そして、その場合について崩壊振幅を求めた。平成 27 年度研究では、これまでの研究を有限運動量の場合に拡張し、より信頼性の高い崩壊振幅を求める事を考え、この状況下での崩壊振幅の計算方法を開発し、試験計算を行った。平成 28 年度研究では、試験計算を基に大型計算を開始した。

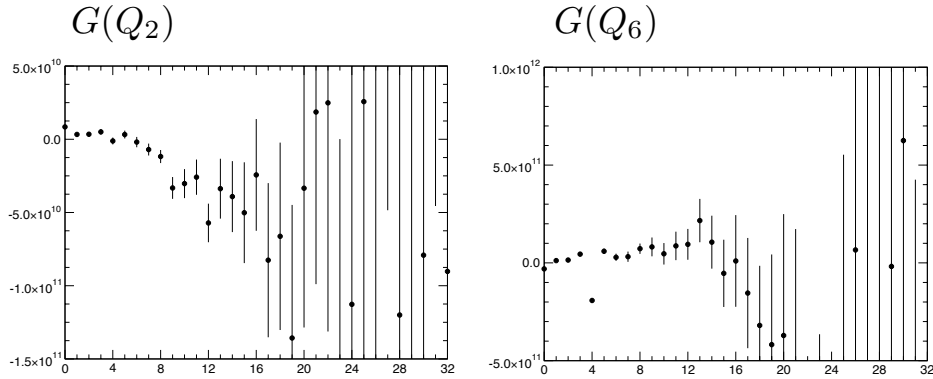
### 2. 研究成果の内容

本研究では、これまで行ってきたゼロ運動量の場合の計算を、有限運動量の場合に拡張し、より信頼性の高い崩壊振幅を求める事を考える。計算は、格子間隔 0.09fm、格子サイズ 4.6fm、 $\pi$  中間子質 250MeV、K 中間子質量 560MeV のもとで行う。崩壊振幅は、崩壊過程： $K(p) \rightarrow \pi(p)\pi(0)$  について計算する。ここで  $p=2\pi/L$  は考えている格子上で許される最低の運動量である。これは、崩壊過程： $K(0) \rightarrow \pi(p/2)\pi(-p/2)$  を考えることと同じである。

非連結ダイアグラムには、弱演算子のところで、クォークが同じ位置に戻ってくるクォークループが存在する。このクォークループの統計揺らぎが、非連結ダイアグラムの大きい統計揺らぎの原因の一つになっている。クォークループの計算には、ゼロ運動量の場合に有効であった二つの方法：ホッピングパラメータ展開法、不完全収束法を用いて計算する。有限運動量をもった K 中間子と  $\pi$  中間子には、運動量ウォールソース演算子を用いる。更に統計精度上げる為に、オールモードアベレージ法を用い、全時間平均をとる。

平成 28 年度研究では、これらの計算法を組み見込んだ計算コードを開発し、統計数=200 までの計算を行い、計算効率と崩壊振幅の統計揺らぎの大きさを調べた。

下図は、 $K \rightarrow \pi\pi$  過程の時間相関関数である。左図は演算子  $Q_2$ 、右図は  $Q_6$  のものである。横軸は格子間隔を単位とした時間を表し、 $K$  中間子は  $t=27$ 、 $\pi$  中間子は  $t=4$  に固定されており、弱演算子の時間  $t$  を動かした。  $t=12-16$  領域の一定値の部分に崩壊振幅を与える。



ゼロ運動量の場合と比較して、さほど統計揺らぎは大きくなることが分かった。これにより、我々が採用した計算方法の有効性が示された。また、各クォークダイアグラムの大きさは、ゼロ運動量の場合と非常によく似ていることが分かった。

平成29年度は崩壊振幅の計算を継続し、残り統計数=800の計算を完了させ、崩壊振幅の最終的な結果を得る予定である。

### 3. 学際共同利用として実施した意義

$K$  中間子崩壊には、解決できていない重要な問題がある。その問題に多くの計算手法によりアプローチすることは、素粒子物理のみならず、学際的計算科学の発展に貢献できたのではないかと考えている

### 4. 今後の展望

平成28年度計算において、採用した計算方法が有効なものであることが示され、予定の約20%の計算が終了した。平成29年度の研究では、計算を継続して残り80%の計算を完了させ、最終的な結果を得る予定である。その後は、その結果を元に、現実のクォーク質量の元での計算に向けた準備研究を行う。そこでは、更に大きい運動量の  $\pi$  中間子を扱う必要があり、それに有効な演算子を作る必要がある。それをクリアして、クォーク質量による外挿無しで比較できる物理量を求めるのが今後の目標である。

### 5. 成果発表

- (1) 学術論文 なし
- (2) 学会発表 なし
- (3) その他 なし

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	3250 時間
HA-PACS/TCA		
COMA	○	2000 時間
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		