

受付 ID	15a-1
分野	原子核

格子 QCD に基づくハイペロン β 崩壊の研究

Hyperon beta decay from lattice QCD

佐々木 勝一

東北大学

1. 研究目的

ハイペロン β 崩壊とは、バリオン 8 重項 (ハイペロン) の弱い相互作用によるセミレプトニック崩壊のことで、現象論的に「カビボ-小林-益川 (CKM) 行列のユニタリティの問題」や「陽子スピン問題」と関連して重要であるにも関わらず、ハイペロン β 崩壊におけるフレーバー SU(3) の破れの構造が理論的不定性なく理解されているとは言い難い。本研究では実験的には難しい、ハイペロン β 崩壊におけるフレーバー SU(3) の破れを、模型に依らない第一原理計算により精度よく決定することを目的とする。

2. 研究の背景

これまで研究代表者により現実的なフレーバー SU(3) の破れを厳密に取り入れた Domain Wall Fermions (DWF) による動的格子 QCD 数値解析が、4 つの独立なハイペロン崩壊 ($\Sigma \rightarrow n$, $\Lambda \rightarrow p$, $\Xi \rightarrow \Lambda$, $\Xi \rightarrow \Sigma$) の内の $\Sigma \rightarrow n$ 崩壊と $\Xi \rightarrow \Sigma$ 崩壊の 2 つのチャンネルに対して為されてきた。その計算結果から、ハイペロン β 崩壊の Dirac 形状因子の零運動量移行での値、ベクトル結合 $f_1(0)$ が、フレーバー SU(3) 対称性を厳密に課した場合の値に比べて、2-3%程度小さくなるのが模型に依らない第一原理計算として初めて示された。実験的には $|V_{us}f_1(0)|$ が直接観測可能であるため、格子 QCD 計算による $f_1(0)$ の決定は CKM 行列要素の一つである V_{us} の大きさを知る上でかかせない。

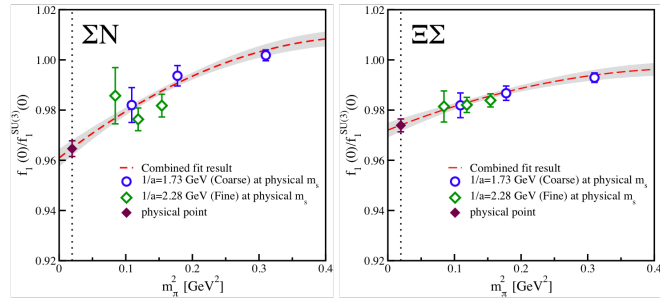
もしフレーバー SU(3) 対称性の破れがなければ、この $f_1(0)$ の値は SU(3) 群のクレブシュ・ゴールドマン係数で決まるが、実際にはフレーバー SU(3) 対称性は破れており、その破れの効果がどのように $f_1(0)$ に現れるかは、CKM 行列要素のユニタリティの検証に必要な情報として、近年精力的に研究されている。先行研究において、格子 QCD 計算による $f_1(0)$ の値に CKM 行列要素のユニタリティを仮定した場合に得られる $(V_{us})^{\text{unitarity}}$ を組み合わせた $|V_{us}f_1(0)|$ に対する理論予測値と、実際のハイペロン β 崩壊の実験で測られたものを直接比較すると、 $\Sigma \rightarrow n$ 崩壊においては理論予想値と実験値が 2σ 程度ではあるが一致しないことが報告されている。

3. 研究成果の内容

前述の実験値と理論値の不一致が CKM 行列のユニタリティの破れを直接意味しているか否かさなる研究が必要であり、特に、これまでに格子 QCD 計算において評価で

きていない「格子間隔依存性による系統誤差」の評価をすべく、平成27年度学際共同利用および他機関の計算資源の利用を合わせて、2つの異なる格子間隔上での $\Sigma \rightarrow n$ と $\Xi \rightarrow \Sigma$ に対するベクトル結合 $f_1(0)$ の格子QCD計算を実施した。以下の図はその結果をまとめたものである。まず、粗い格子間隔の計算結果(○)と細かい格子間隔の計算結果(◇)の間に良いスケーリングが確認できる。このことは、格子間隔依存性が充分小さいことを示している。

図中の点線のカーブは格子間隔依存性が零として、2つの格子間隔での計算結果を統合してカイラル外挿をしたものである。カイラル外挿して最終的に得られる物理点におけるベクトル結合



定数 $f_1(0)$ は、先行研究のデータと比べて精度が格段に上がった。ベクトル結合 $f_1(0)$ とクレブシュ・ゴールドン係数による $f_1(0)_{\text{SU}(3)}$ の値との比 $f_1(0)/f_1(0)_{\text{SU}(3)}$ が約3-4%程度減少することが第一原理計算としての帰結となり、先行研究において指摘されていた $\Sigma \rightarrow n$ における理論値と実験値の 2σ 程度の不一致が有限格子間隔に伴う系統誤差に伴うものではないことが確実となった。

4. 今後の展望

実験値 $|V_{us}f_1(0)|_{\text{exp}}$ を評価する際に、これまでハイペロン β 崩壊におけるSU(3)対称性の破れの効果に伴う、第二形状因子 g_2 の存在を無視した解析が行われてきた。今後は、実験ではその存在が特定されていない第二形状因子 g_2 に対する格子QCD計算も前述の理論値と実験値の不一致の根拠を考える上で重要である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

なし

(2) 学会発表

The 33rd International Symposium on LATTICE FIELD THEORY (LATTICE 2015)

July 14-18, 2015, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan

“SU(3)-breaking effects and induced second-class form factors in hyperon beta decays from 2+1 flavor lattice QCD” by Shoichi Sasaki

(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		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	2160 時間