

受付 ID	16a-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。

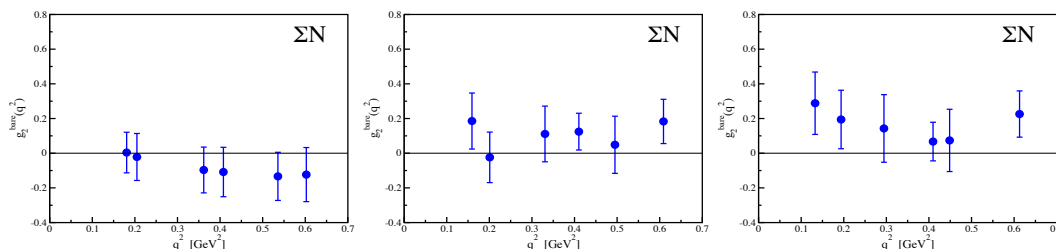
2. 研究成果の内容

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 Domain Wall Fermions (DWF) による動的格子 QCD 数値解析が、2 つのハイペロン β 崩壊 ($\Sigma \rightarrow n$ と $\Xi \rightarrow \Sigma$) に対して為されてきた。実験的には $|V_{us}f_1(0)|$ が直接観測可能であるため、ハイペロン崩壊におけるベクトル結合定数 $f_1(0)$ の格子 QCD 計算による決定は CKM 行列要素の一つである V_{us} の大きさを知らずにかかせない。本研究課題において 2 つの格子間隔を用いて格子 QCD 計算を行い、カイラル外挿して最終的に得られる物理点でのベクトル結合定数 $f_1(0)$ は、先行研究のデータと比べて精度が格段に上がった。格子間隔依存性による系統誤差が小さいことも確認され、ベクトル結合定数 $f_1(0)$ が、SU(3) 対称性を厳密に課した場合の値 $f_1(0)_{SU(3)}$ に比べて約 3-4% 程度減少することが第一原理計算として確実となった。さらに格子 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} 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判明した。

しかしながら理論値と実験値の不一致を CKM 行列におけるユニタリティの破れの兆候と早計に結論付けることはできない。特に、実験ではその存在が特定されていない第二種形状因子 g_2 の格子 QCD 計算による評価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となる。実際、これまでハイペロン β 崩壊の実験解析においては、実験値 $|V_{us}f_1(0)|$ を評価する際に、SU(3) 対称性の破れに伴う第二種形状因子 g_2 の存在を無視した解析が行われている。すでにゼロでない第二種形状因子 g_2 の存在はクエン

手近の格子 QCD 計算において報告されており、「CKM 行列のユニタリティを理論的に仮定」することで $|V_{us}f_1(0)|$ に対して理論からの制限が課され、そのことによって第二種形状因子 g_2 の大きさをハイペロン崩壊の崩壊率およびスピン偏極に伴う非対称度の二つの実験から見積もることが本研究課題により可能となり、最終的に $g_2(0) \approx 0.47$ 程度と算出できた。

当該年度ではハイペロン β 崩壊の擬ベクトルチャンネルについても計算を進めることによって、この推論が正しいことを格子 QCD による第二種形状因子 g_2 の直接計算により確かめた。下図は、 $\Sigma \rightarrow n$ 崩壊における第二種形状因子 g_2 を評価したものである。図の左 ($am_{ud} = 0.02$) から中央 ($am_{ud} = 0.01$)、右 ($am_{ud} = 0.005$) に向かうに従って、SU(3) 対称性の破れが大きい計算に相当する。SU(3) の破れが大きくなるとゼロでない第二種形状因子 g_2 の存在が顕著となることが下図より読み取ることができる。定量的にも前述のように間接的に評価したものとおおよそ一致していることも確認できた。



3. 今後の展望

当該年度で擬ベクトルチャンネルも含めた $\Sigma \rightarrow n$ と $\Xi \rightarrow \Sigma$ 崩壊の計算がほぼ完了した。今後はハイペロン β 崩壊において SU(3) 対称性の破れより生じる第二種形状因子 g_2 の最終解析を完了させ、 $|V_{us}f_1(0)|$ に対する理論予測値と実験値との不一致が CKM 行列におけるユニタリティの破れの兆候かどうかについて最終的な結論を導きたい。

4. 成果発表

(1) 学術論文：

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

S. Sasaki, PoS **LAT2015** (2016) 120.

(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		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	1350 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。		

