

## B 中間子セミレプトニック崩壊による新物理模型の検証

### Test of new physics models through B meson semileptonic decays

金児 隆志

高エネルギー加速器研究機構

#### 1. 研究目的

B 中間子のセミレプトニック崩壊は、素粒子標準理論に欠けている物理的メカニズム、即ち、「新物理」の有望なプローブと期待されている。このため、我が国が主導する国際協力実験 SuperKEKB/Belle II は測定精度を格段に向上させようとしている。その一方で、異なるセミレプトニック崩壊から決定した小林・益川行列要素  $|V_{ub}|$ 、 $|V_{cb}|$  が有意にずれているという問題は10年以上にわたり未解決のままである。この問題を解決しなければ、Belle II の精密な実験データの解釈は曖昧なものにならざるを得ない。近年の現象論や実験の研究により、 $|V_{cb}|$  のずれの原因として、 $B \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$  崩壊への量子色力学 (QCD) の寄与を記述する形状因子の不定性が過小評価されている可能性が指摘されている。

そこで、本研究では、 $B \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$  崩壊の形状因子を、時空格子上のQCDの数値シミュレーションによって第一原理から非摂動的に計算する。これによって  $|V_{cb}|$  のずれの問題を理解・解決し、同時に、形状因子の精密なデータを提供することにより、Belle II などの実験と協力して、新物理の探索と解明を推し進める。

#### 2. 研究成果の内容

本研究では、計算コストを削減し、離散化誤差を抑えるために、現実世界よりも重い  $\pi$  中間子質量と軽いボトムクォーク質量を用いる。格子カットオフは  $a^{-1} = 2.5, 3.6, 4.5$  GeV の3点を取り、ボトムクォーク質量は  $0.8 a^{-1}$  より小さい複数の値をとる。また、 $\pi$  中間子質量は  $M_\pi = 230, 300, 400, 500$  MeV である。本研究は2017年度の研究課題 (課題番号 xg17i036) の継続課題であり、この課題と併せて、 $M_\pi \geq 300$  MeV のシミュレーションを完了した。特に、2018年度は、一番細かい格子でのシミュレーションを完了し、重いクォークの物理でしばしば問題となる離散化誤差が十分小さく抑えられていることを確認することができた。

図1は、反跳がゼロの場合の  $B \rightarrow D \ell \nu$  崩壊のスカラー ( $S_1$ )、ベクトル ( $V_1$ ) 形状因子と  $B \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$  崩壊の軸性ベクトル形状因子 ( $A_1$ ) の比を比較したもので、シンボルは格子QCDによる第一原理計算の結果をプロットしている。異なるシンボルは、ボトムクォ

ーク質量、 $\pi$ 中間子質量、格子間隔の異なる結果を表しており、これらが一致していることは、形状因子のクォーク質量依存性と離散化誤差が小さく、これらの結果が現実世界の形状因子の良い近似となっていることを示唆している。一方、図中のバンドは重クォーク対称性に基づいた重クォーク有効理論の予言である。これが第一原理計算からずれていることは、重クォーク対称性の破れによる有効理論の高次補正が無視できないことを示唆している。従来の  $|V_{cb}|$  の決定は重クォーク対称性に基づいた形状因子のパラメトリゼーションを採用しており、本研究の結果は、従来の決定で無視されてきた重クォーク有効理論の高次補正が  $|V_{cb}|$  のずれの原因である可能性を示唆している。

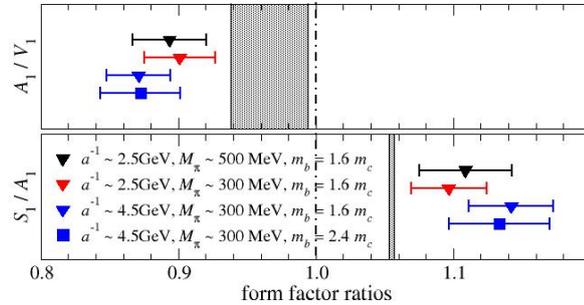


図1 形状因子の比。シンボルとバンドは、QCDと重クォーク有効理論の予言をプロットしている。

### 3. 学際共同利用として実施した意義

現在の計算機性能では、離散化誤差を十分に抑えたシミュレーションを現実世界のクォーク質量で行うことは難しい。本研究のように、格子間隔、 $\pi$ 中間子質量、ボトムクォーク質量を変えたシミュレーションを行い、結果を現実世界へと外挿する必要があるため、多大な計算コストが必要になる。その一方で、格子QCDの数値シミュレーションは、各ノードの演算量が一律で、隣接ノードのみが通信を必要とすることから、メニーコア・アーキテクチャに適したアプリケーションである。世界有数の性能を誇る Oakforest-PACS を用いることにより、本研究を速やかに実施することができた。

### 4. 今後の展望

本研究では、 $|V_{cb}|$  の従来の決定手法の問題点を指摘することができた。さらに、より軽い  $\pi$  中間子質量  $M_\pi=230$  MeV でのシミュレーションを完了し、クォーク質量と格子間隔についての外挿を制御して、現実世界の形状因子を予言する。有効理論ではなく、第一原理に基づいて  $|V_{cb}|$  を決定し、微分崩壊率の精密な理論予言を導くことができれば、Belle II などの実験データとの精密な比較検証により、新物理の探索と解明を促進することができる。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

“ $B \rightarrow D^* \ell \nu$  form factors from  $N_f = 2+1$  QCD with Moebius domain-wall

quarks”, T. Kaneko, Y. Aoki, B. Coquhoun, H. Fukaya, S. Hashimoto, Proceedings of Science, LATTICE2018 (2019) 311.

(2) 学会発表 “

“ $B \rightarrow D^* \ell \nu$  form factors from  $N_f = 2+1$  QCD with Moebius domain-wall quarks”, T. Kaneko, Y. Aoki, B. Coquhoun, H. Fukaya, S. Hashimoto, The 36th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2018), 2018年7月22-28日、ミシガン大学

“高詳細格子上の QCD シミュレーションによる  $B \rightarrow D^* \ell \nu$  崩壊の研究”、金児隆 Brian Colquhoun, 橋本省二、深谷英則、日本物理学会 2018 年秋季大会、2018 年 9 月 14-17 日、信州大学.

“ $B \rightarrow D^* \ell \nu$  from lattice QCD with domain-wall quarks “, T. Kaneko, 6th KEK Flavor Factory Workshop, 2019 年 2 月 14-15 日, 高エネルギー加速器研究機構 (招待講演) .

“ $B \rightarrow D^* \ell \nu$  崩壊からの  $|V_{cb}|$  の決定”、金児隆志、青木保道、Brian Colquhoun, 橋本省二、深谷英則、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月 14-17 日、九州大学.

(3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
COMA			
Oakforest-PACS	○	458,522	183408
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			