

# SuperKEKBと格子QCD計算の連携

橋本省二, 金児隆志 (KEK, 総研大)

@ 重点課題9報告会

2019年7月12日

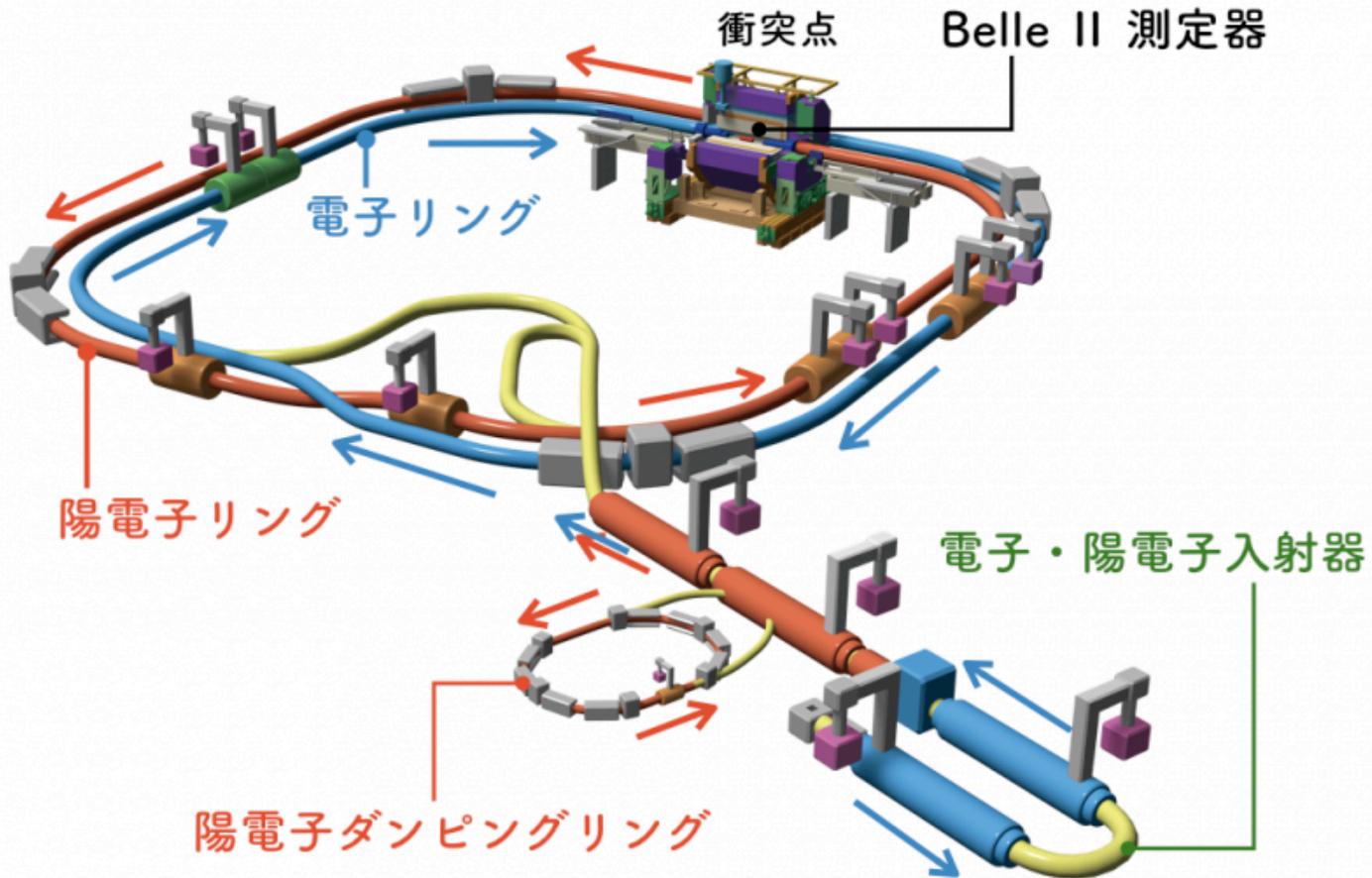


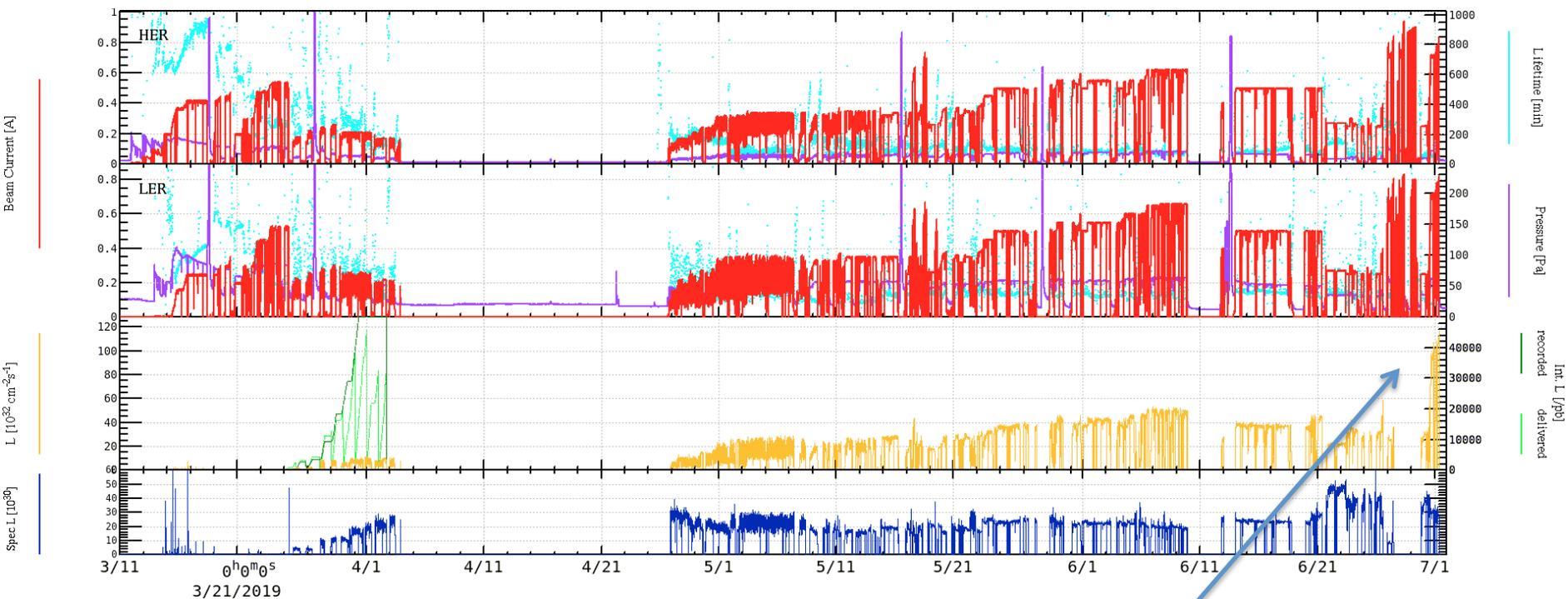
計算基礎科学連携拠点  
Joint Institute for  
Computational Fundamental Science

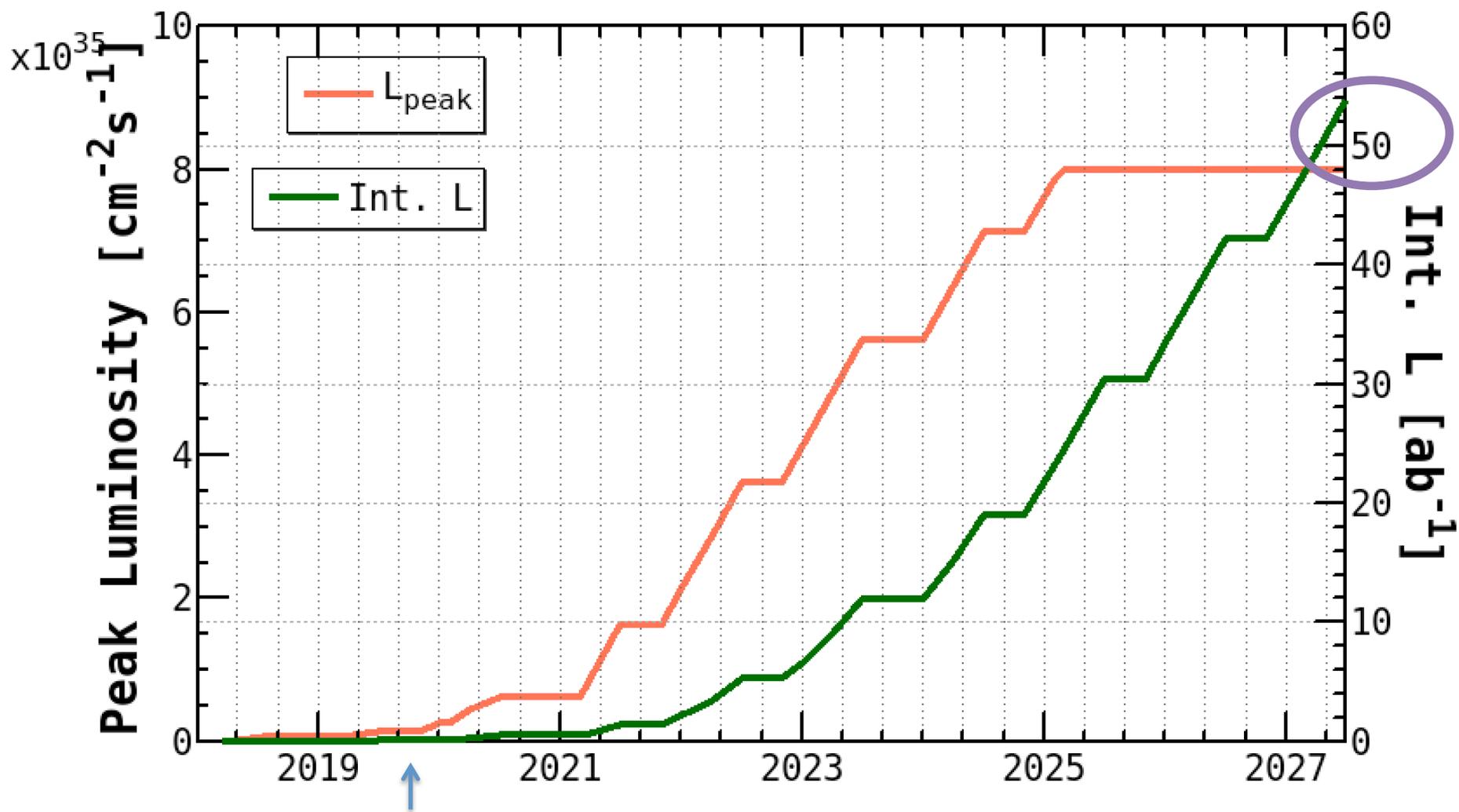


国立大学法人  
総合研究大学院大学

The Graduate University for Advanced Studies [SOKENDAI]



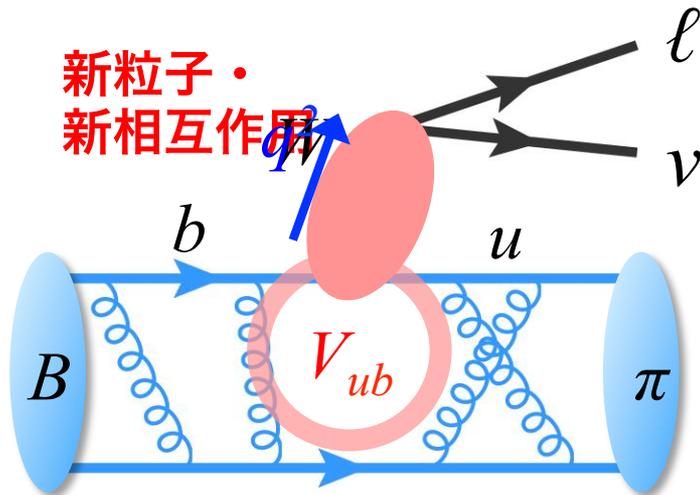




# セミレプトニック崩壊

小林・益川行列の決定 / 新物理探索

e.g.  $B \rightarrow \pi \ell \nu$  崩壊



- 小林益川行列の決定

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

物質と反物質の  
非対称性の源  
新物理による  
に新たな源？

- 新物理探索

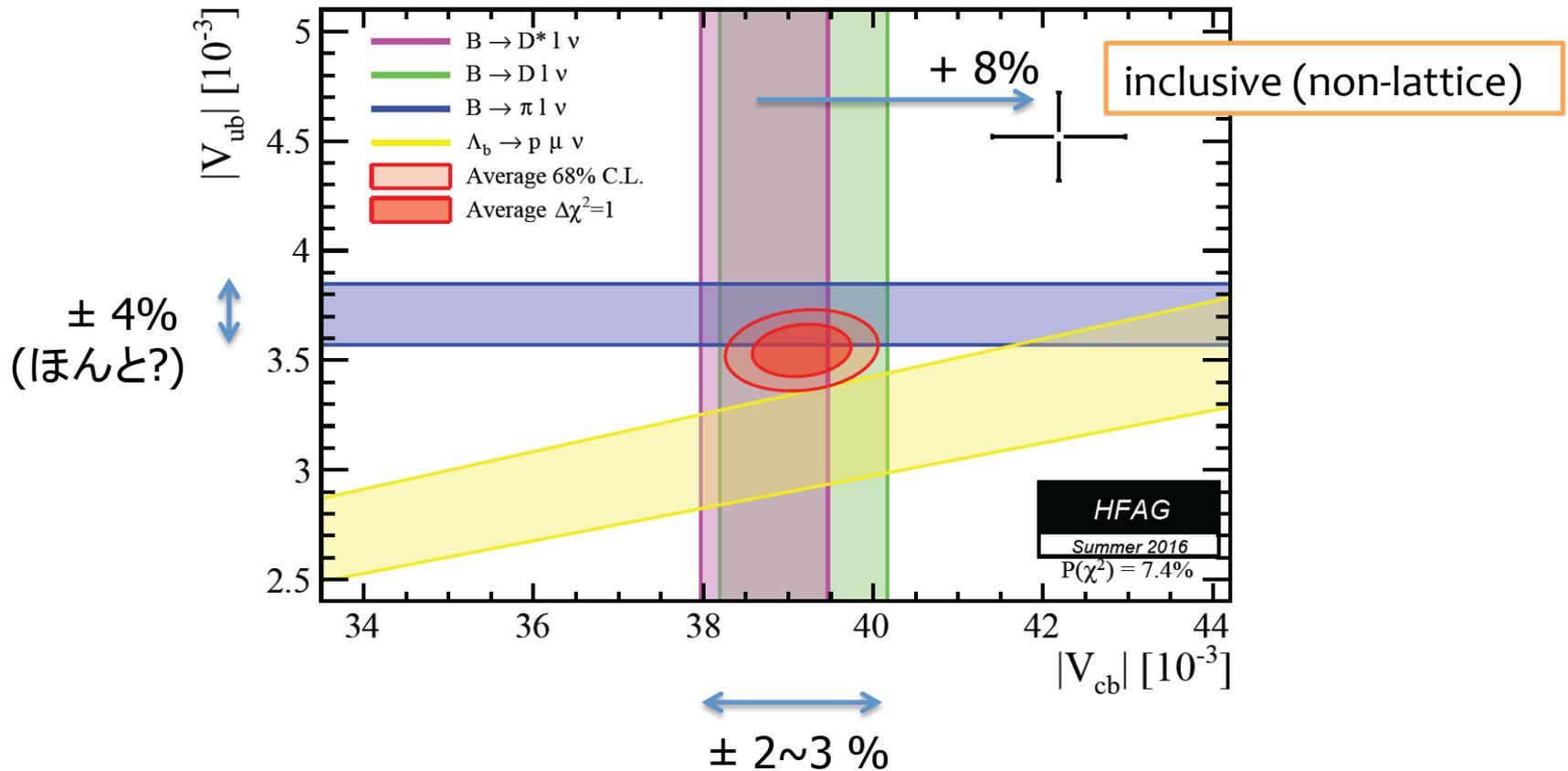
⇔ 標準理論と実験の精密比較

QCDの非摂動効果

$$\langle \pi(p') | V_\mu | B(p) \rangle = (p + p')_\mu f_+^{B\pi}(q^2) + (p - p')_\mu f_-^{B\pi}(q^2)$$

格子QCD ⇒ 形状因子を実験に見合う精度で決定

$$|V_{xb}| = [\text{実験値}] / [\text{形状因子の格子計算}]$$



# シミュレーションセットアップ

カイラル対称な作用

カットオフ  $a^{-1} \lesssim 4.6 \text{ GeV} \sim m_b$

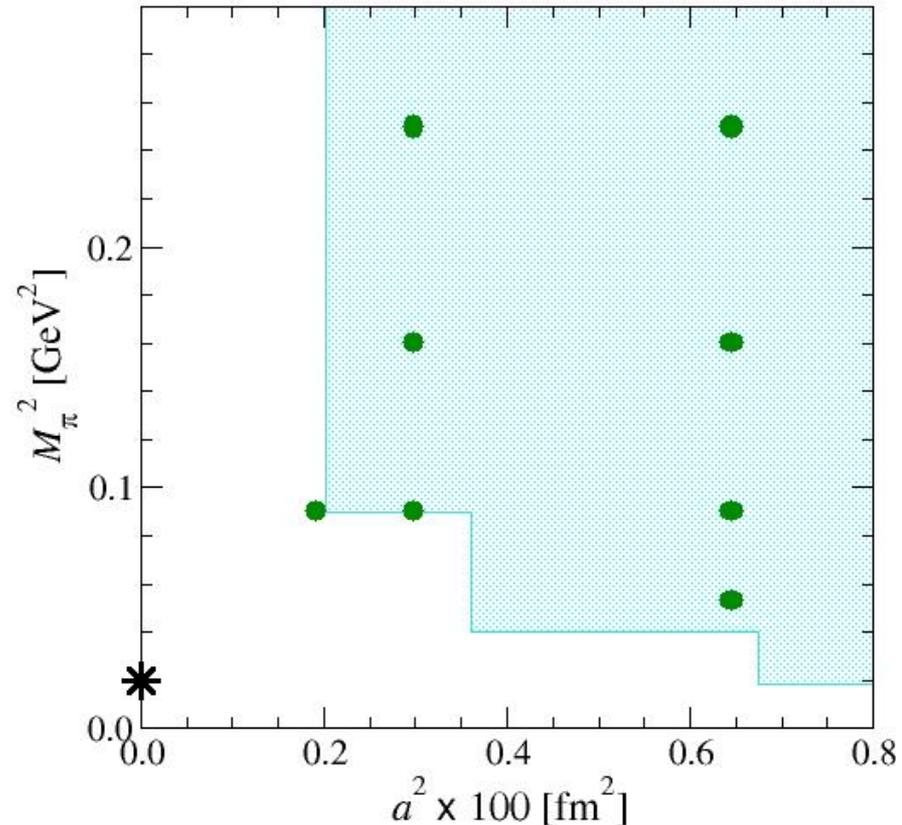
- charm:  $m_c \ll a^{-1}$  : OK
- bottom: 現実よりも軽い質量  $m_Q$   
 $\Rightarrow m_Q \rightarrow m_b$  への外挿が必要

現実より重い  $M_\pi \gtrsim 230 \text{ MeV}$

- 統計精度の点で有利
- カイラル摂動論で外挿を制御

先行研究では

- 大きく変わらないパラメタ: *e.g.*  $B \rightarrow \pi \ell \nu$
- 有効理論のボトムクォーク作用  $\Rightarrow$  くりこみ・マッチングの不定性

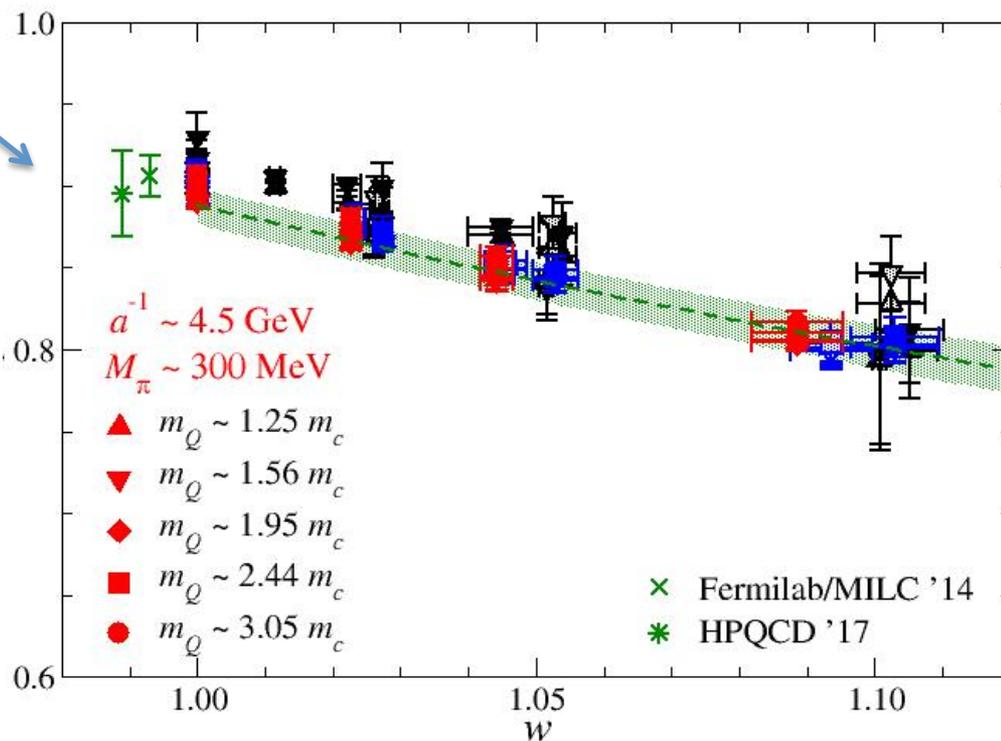


確かな QCD 計算  $\Rightarrow$  物理点計算 @ ポスト京

|  $V_{cb}$  |

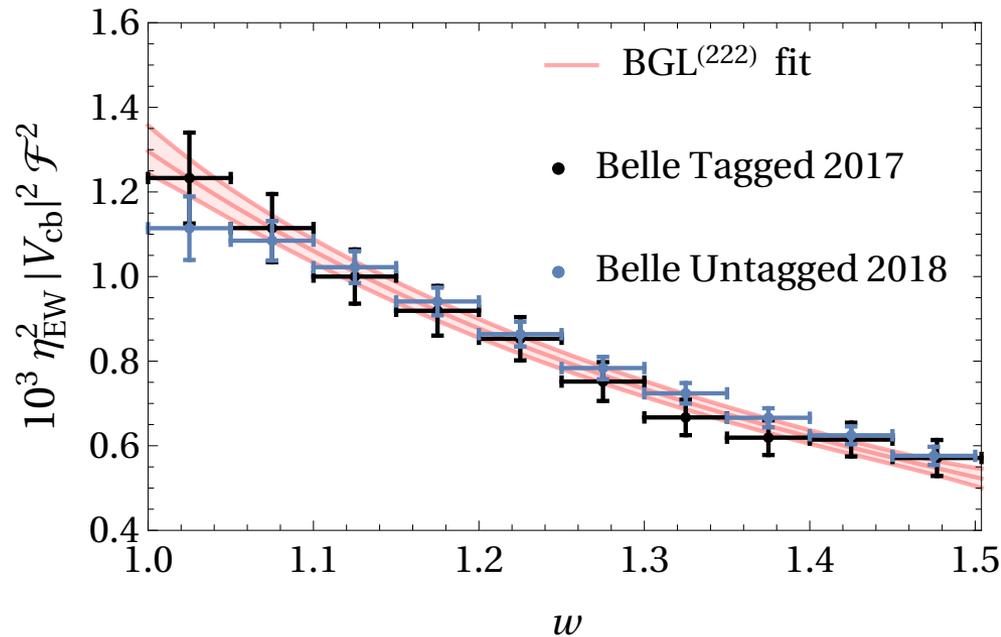
# 形状因子 (function of $q^2$ )

- 反跳ゼロの極限では計算が容易



(異なる色は  
それぞれの  
格子間隔)

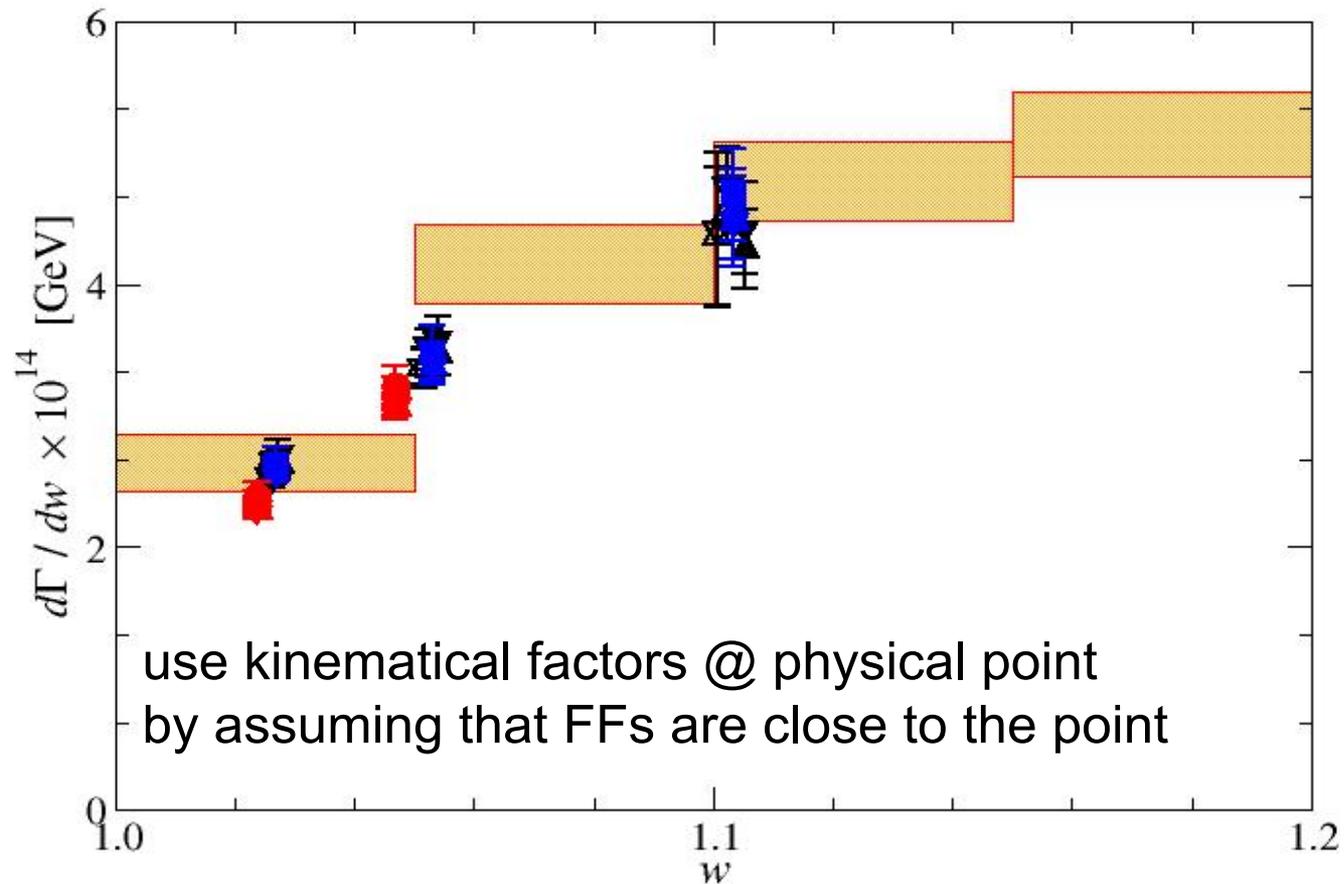
反跳ゼロでは崩壊率もゼロ  
= 傾きを決めることも重要



Gambino et al (2019)

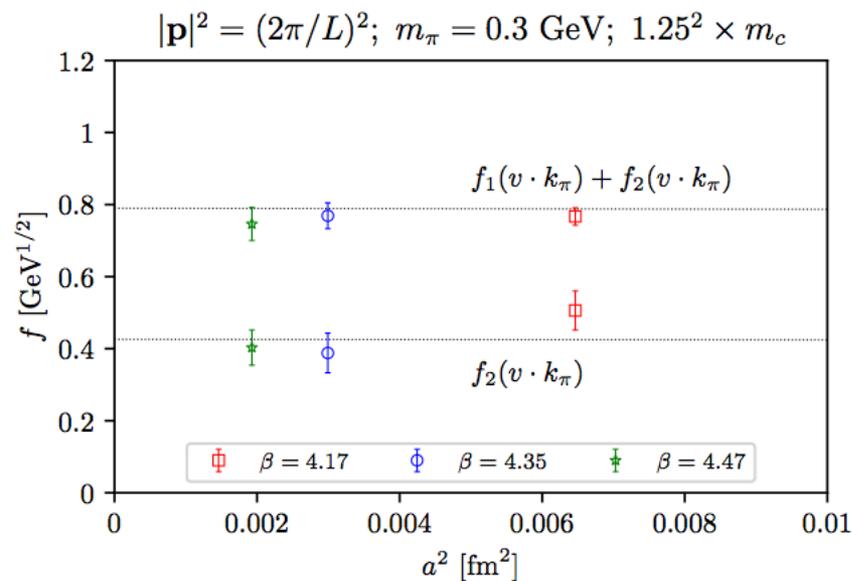
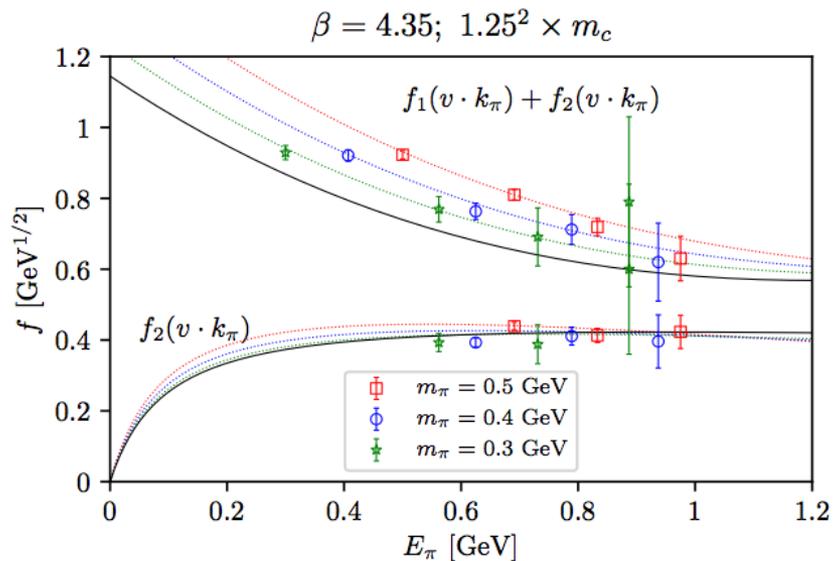
“The value of  $|V_{cb}|$  that we find is about  $2\sigma$  from the one from inclusive semileptonic B decays, and is very sensitive to the slope of the form factor at zero recoil which should soon become available from lattice calculations.”

“it is lattice QCD that will decide the eventual fate of the  $|V_{cb}|$  puzzle.”



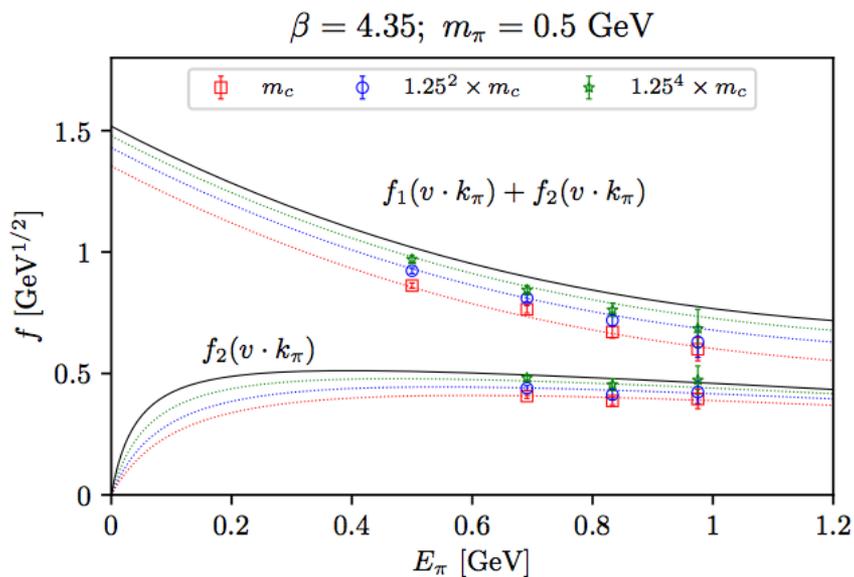
Belle との共同解析を検討中

$|V_{ub}|$



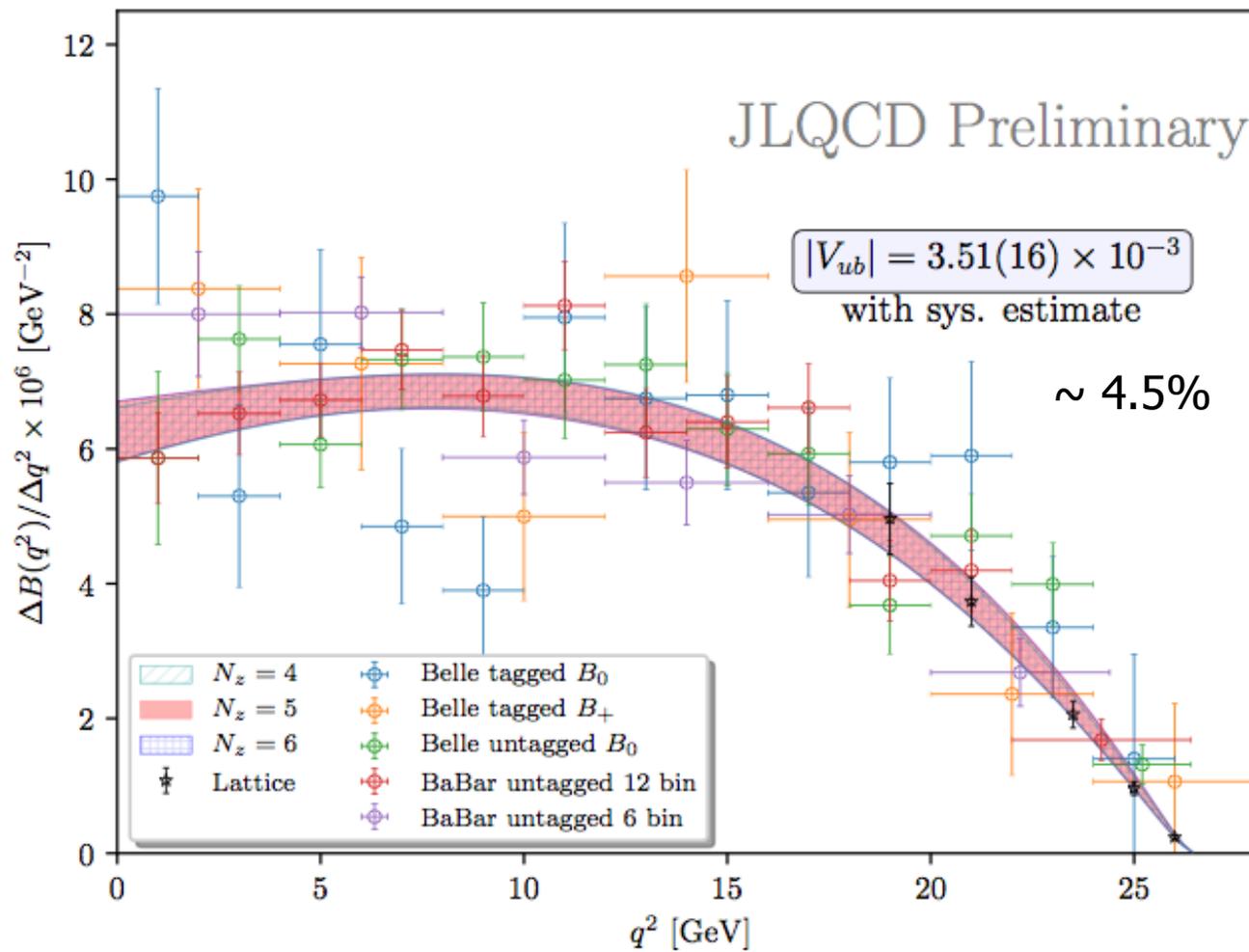
形状因子のクォーク質量依存性

格子間隔依存性



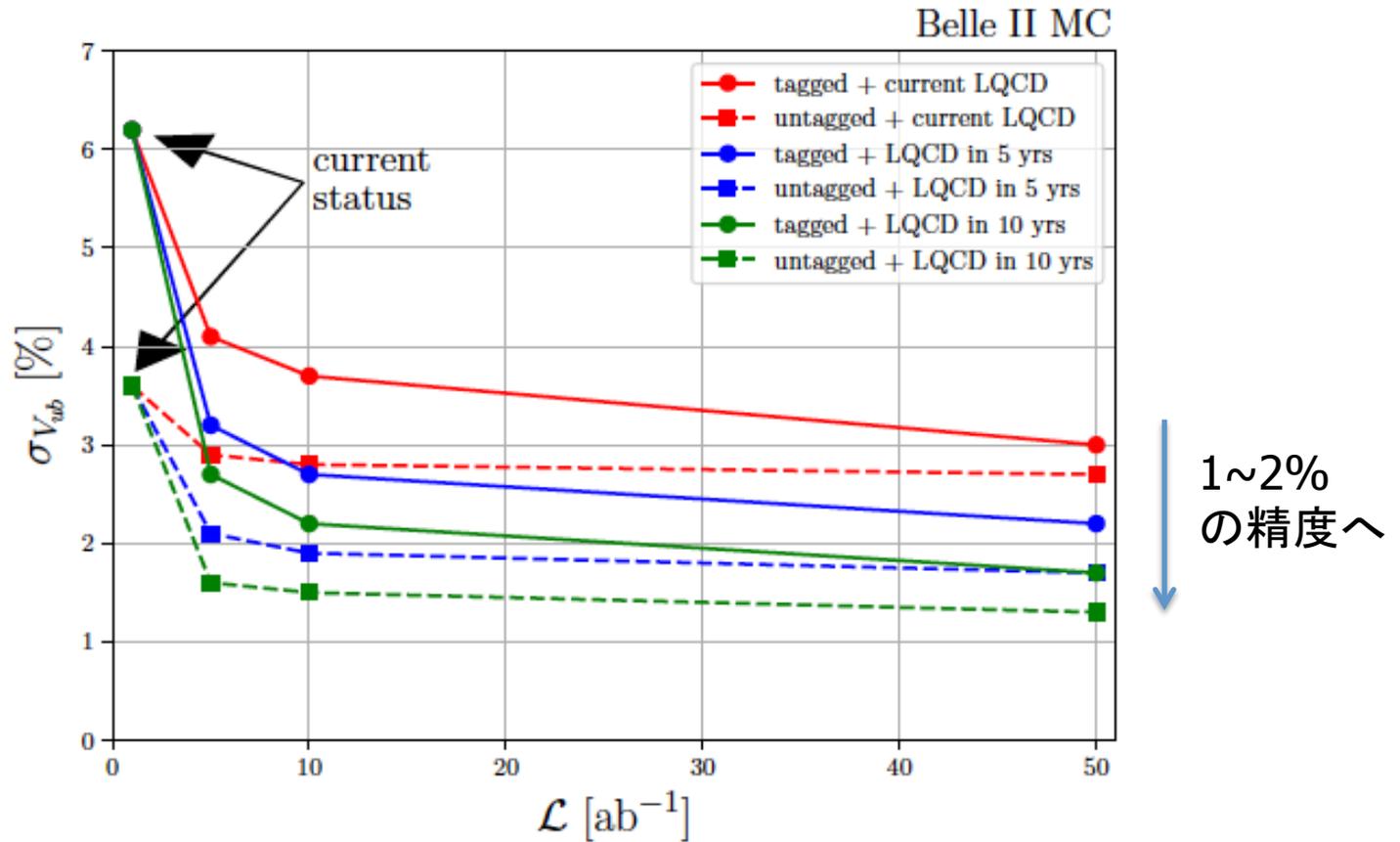
Koponen @ Lattice 2019

# 連続極限 + 実験値 (Belle)



# 現状のまとめ

- $|V_{cb}|, |V_{ub}|$  ともに解析の最終段階。今年中には論文。 $|V_{ub}|$  について重点課題9の目標として掲げた5%の精度を達成できる見通し。
- 世界の他グループ
  - $|V_{cb}|$  は他に Fermilab/MILC, HPQCD, LANL/SWME, RBC/UKQCD
  - $|V_{ub}|$  は他に Fermilab/MILC, HPQCD, RBC/UKQCD
- その他の応用研究
  - インクルーシブ崩壊の計算手法
  - $B \rightarrow D^{**}$  (軌道励起状態) への崩壊
  - $B \rightarrow K\pi$  へのチャーモニウム共鳴の影響



# 富岳での目標

- 精度向上: 5% → 2%
  - 重いクォークによる誤差: 現状は 3.4GeV から 4.4GeV への外挿。これを取り除くには格子間隔を  $\times 1.5$  小さく ( $64^3 \rightarrow 96^3$ )
  - 軽いクォークによる誤差: 現状はパイ中間子質量 230 MeV → 135 MeV
  - チャームクォークの寄与: 2+1+1 フレーバー
- 実験との連携
  - 他の物理量解析
- 国際協力
  - 次世代の格子データ生成のための国際協力: 協議中
  - 応用は、K中間子、核子など幅広く

## 参考：現状の格子データ

$\beta = 4.17, 1/a \sim 2.4 \text{ GeV}, 32^3 \times 64 \text{ (x12)}$

$m_{ud}$	$m_\pi$ [MeV]	MD time
$m_s = 0.030$		
0.007	310	10,000
0.012	410	10,000
0.019	510	10,000
$m_s = 0.040$		
0.0035	230	10,000
0.0035 ( $48^3 \times 96$ )	230	10,000
0.007	320	10,000
0.012	410	10,000
0.019	510	10,000

$\beta = 4.35, 1/a \sim 3.6 \text{ GeV}, 48^3 \times 96 \text{ (x8)}$

$m_{ud}$	$m_\pi$ [MeV]	MD time
$m_s = 0.018$		
0.0042	300	10,000
0.0080	410	10,000
0.0120	500	10,000
$m_s = 0.025$		
0.0042	300	10,000
0.080	410	10,000
0.0120	510	10,000
$\beta = 4.47, 1/a \sim 4.6 \text{ GeV}, 64^3 \times 128 \text{ (x8)}$		
0.0030	$\sim 300$	10,000

