

Tauonic B decays in the MSSM

伊藤 英男 (茨城大)

共同研究者: 岡田 安弘 (高工研, 総研大), 小嶺 信二 (高工研)

最近の KEK と SLAC での B factory 実験の成功は、標準模型を超える物理を探索するのに B の物理が非常に有効であることを示している。 $B \rightarrow J/\psi K_S$ やその他の過程で現在観測されている大きな CP の破れは、小林・益川理論の定量的な検証を与える。また、B-factory 実験は、 $b \rightarrow sll$ の分岐比や $B \rightarrow \phi K_S$ での CP の破れのような、知られている新しい物理の効果に対して感度が良いたくさんの新しい観測を測定してきた。

近い将来、現在の B factory に加えて、より多くの B 中間子の物理の情報が Tevatron や LHC でのハドロンコライダーによる B 中間子の物理によって得られるだろう。さらに現在稼働中の e^+e^- コライダーによる B factory のアップグレード版である SuperB Factory が計画されている。これは現在達成されているルミノシティよりも 50 ~ 100 倍のルミノシティを貯めることを目標にされている。

我々は終状態に τ 粒子を含む B 中間子の崩壊過程 (tauonic 崩壊) $B \rightarrow D\tau\nu$, $B \rightarrow \tau\nu$ 、に対する新しい物理の効果を研究した。これらの過程の重要な特徴は、2 ヒッグス二重項模型 (2HDM) や最小超対称標準模型 (MSSM) のような模型において、荷電ヒッグス粒子が樹木レベルで寄与を与えることができることである。また MSSM を考えた場合、 $\tan\beta$ が大きいとき ($\tan\beta = 50$ 程度するとき) 超対称性からのダウン型湯川結合定数に対する補正 ($[\hat{R}_d^{-1}]_{11,22}$) がこれらの過程に対して非常に大きな寄与を与えることが知られている。 $\tan\beta$ は、2 つあるヒッグス 2 重項の中性ヒッグスの真空期待値の比である。今回、新たに荷電レプトンに対する湯川結合定数への超対称補正 ($[\hat{R}_e^{-1}]_{33}$) も考慮に入れた [1]。ここで今回は、Minimal Flavor Violation (MFV) という仮定を置いた MSSM の枠組みで計算した。この仮定は、フレーバー混合の起源が小林・益川行列のみであるという仮定である。超対称補正 $[\hat{R}_d^{-1}]_{11,22}$ と $[\hat{R}_e^{-1}]_{33}$ は、1 からのズレでその大きさを表す量である。通常 $[\hat{R}_d^{-1}]_{11,22}$ が超対称補正のほとんどを占有しているが、ある特定の領域については $[\hat{R}_e^{-1}]_{33}$ も重要になり得る超対称パラメータ領域があることを我々は発見した。図.1,2 にこれらの超対称補正を考慮した場合の $B \rightarrow D\tau\nu$ と $B \rightarrow \tau\nu$ 過程の分岐比を荷電ヒッグスの質量の関数としてそれぞれに示した。これらの図からこれら 2 つの過程に対しては、超対称ループ補正が非常に大きな寄与を与えることが分かる。また、これらの超対称補正を含んだ荷電ヒッグスの寄与は、2 つの崩壊振幅の表式の中に以下のパラメータの組み合わせで登場する。

$$\tilde{R} \equiv \frac{M_W \tan\beta}{M_{H^\pm}} \sqrt{[\hat{R}_e^{-1}]_{33} [\hat{R}_d^{-1}]_{11,22}}$$

ここで、 $[\hat{R}_d^{-1}]_{11}$ が $B \rightarrow \tau\nu$ に寄与し、 $[\hat{R}_d^{-1}]_{22}$ が $B \rightarrow D\tau\nu$ に寄与する。ところが、MFV の仮定の下では $[\hat{R}_d^{-1}]_{11} \simeq [\hat{R}_d^{-1}]_{22}$ という関係が現れるため、2つの崩壊過程に対する超対称補正の効き方には相関関係が現れることになる。この相関関係を図.3 に示した。図中のエラーバー付近の数字は、 \tilde{R} の値を表している。 $\tilde{R} = 0$ の場合は標準模型の場合に一致する。 \tilde{R} の表式を見て分かる通り、今回考えた超対称補正は単に $\tan\beta$ の値を増減させるのみであるので、この相関関係は 2HDM の場合に現れる相関関係と同じである。また、今回解析したこれらのパラメータ領域は、LHC でのヒッグスを発見出来ると期待されているパラメータ領域と同じ領域である。従って、今後計画されている SuperB Factory と LHC の結果を比較することは非常に興味深い。例えばもし LHC で、SuperB Factory とは独立に荷電ヒッグスの質量と $\tan\beta$ の値が決定された場合、SuperB Factory から \tilde{R} の値が決定されれば、今回得られた相関関係と比較することで超対称補正の大きさが分かる可能性がある（もちろん MFV の枠組みが正しいかどうかの検証もなされなければならない）。

さらに我々は、今回考えた超対称補正が他の崩壊過程に対して、tauonic 崩壊に大きく寄与するパラメータ領域でどのように効くのかを計算した。特に、 $b \rightarrow s\gamma$ 過程に対しては実験から非常にきつい制限が課せられているため、この制限に抵触していないかどうか確認が必要であったからである。図.4,5 に、 $b \rightarrow s\gamma$ の分岐比の荷電ヒッグスの質量依存性を示した。これらの図より、 μ パラメータが負の場合は超対称補正の寄与が非常に大きいのが分かる。そのため、実験からの制限を守りつつ tauonic 崩壊に対する超対称補正を大きくするには、パラメータに対する微調整が必要であり不自然であることが分かる。その一方で μ パラメータが正の場合、ほとんど実験から許される領域内に分岐比の曲線が入っているので、パラメータに対する微調整をすることなく自然に tauonic 崩壊に対する寄与が大きくなり得ることが分かる。これは、 μ パラメータが正の場合、荷電ヒッグスの寄与とチャージノの寄与が相殺し合うことで実現されているものである。我々は他に $B_s \rightarrow \mu\mu$ についても計算した。この崩壊過程の分岐比は現時点で上限値しか実験値が得られていないのだが、標準模型の予言する分岐比は現在の上限值から 2 桁ほど小さい。そのため近い将来に実験で捕らえることが難しいが、tauonic 崩壊同様に超対称補正の効果で分岐比が大きくなり得ることが知られている。計算結果は、 $b \rightarrow s\gamma$ と同様に μ パラメータが負の場合、超対称補正が分岐比を非常に大きくする。しかし、先ほど見たようにこの場合は $b \rightarrow s\gamma$ の制限が厳しい。一方、 μ パラメータが正の場合も分岐比は大きくなるが、 $b \rightarrow s\gamma$ の制限が緩い。以上のことから、このような超対称補正を考えた場合、 μ パラメータが負の場合はパラメータに対する微調整が必要であることが分かる。一方で正の場合は tauonic 崩壊の分岐比が超対称補正で大きくなるパラメータ領域で、 $B_s \rightarrow \mu\mu$ の分岐比も大きくなり、 $b \rightarrow s\gamma$ の制限も緩いため非常に面白いと考えられる。

このように、今回考えた超対称補正は $\tan\beta$ が大きいとき、いくつかの崩壊過程に対して非常に大きな寄与を与える。特に tauonic 崩壊に対する寄与は非常に大きい。また、tauonic 崩壊は SuperB Factory で非常に良く測定できると期待されている過程であり、これらの結果を踏まえると、今後新しい物理を探索するための良い指標になるであろうと考えられる。

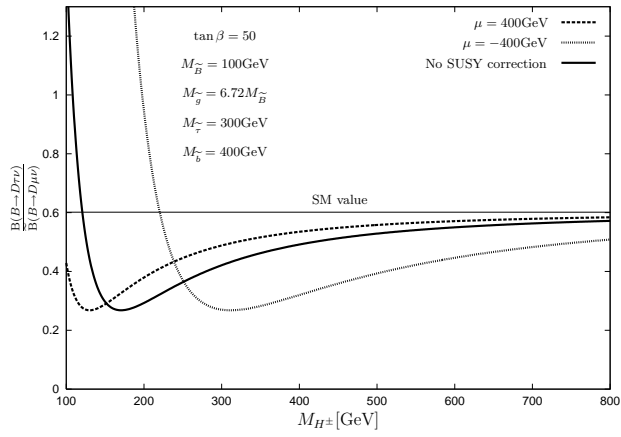


図.1 : $B \rightarrow D\tau\nu$ の分岐比

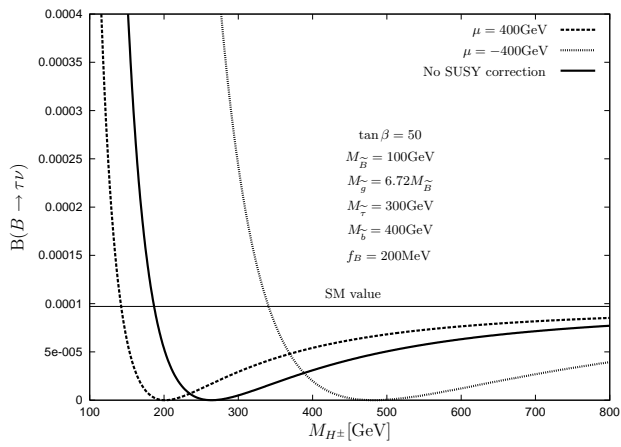


図.2 : $B \rightarrow \tau\nu$ の分岐比

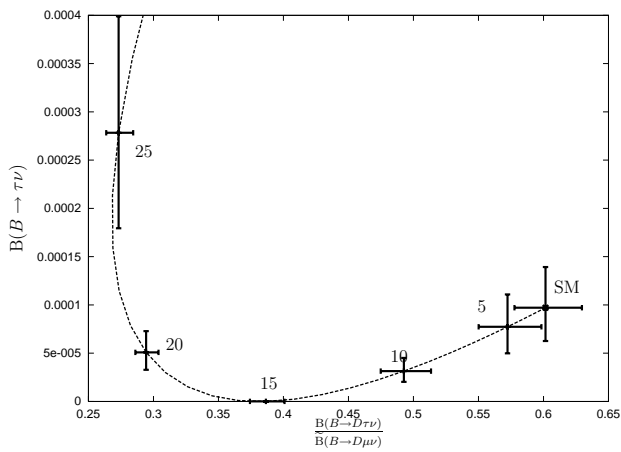


図.3 : $B \rightarrow D\tau\nu$ と $B \rightarrow \tau\nu$ の相関関係

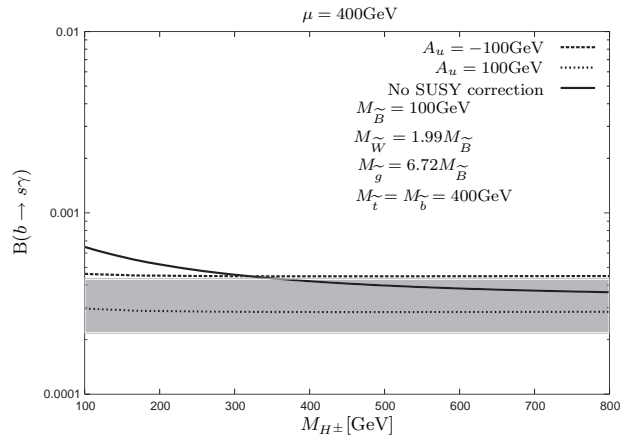


図.4 : $b \rightarrow s\gamma$ の分岐比 ($\mu > 0$ の場合)

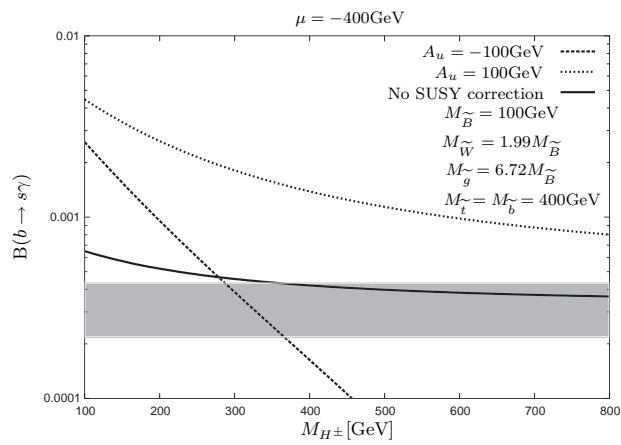


図.5 : $b \rightarrow s\gamma$ の分岐比 ($\mu < 0$ の場合)

参考文献

- [1] H. Itoh, S. Komine and Y. Okada, arXiv:hep-ph/0409228.