

# Flavor-changing neutral current in the supersymmetric standard model

大下範幸

お茶の水女子大学理学部素粒子論研究室<sup>1</sup>

超対称性標準模型には、flavor-changing neutral current の過程を引き起こす、標準模型には無い、新しい要因が存在する。例えば、chargino-d-type quark-u-type squark 相互作用において、異なる世代の quark と squark が結合し得る。また、charged Higgs boson-d-type quark-u-type quark 相互作用においても同様である。こういった異なる世代間の相互作用は、 $B^0-\bar{B}^0$ 、 $K^0-\bar{K}^0$  混合や  $B$ -meson の放射崩壊に寄与し得る。これらについて、考えてみたい。

模型としては、 $N = 1$  超重力と大統一理論に基づくものを仮定する。このとき、d-type quarks と up-type squarks の相互作用における世代混合は、quarks どうしに対するのと同じ Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) 行列によって記述される。また、第一世代と第二世代の squarks の質量はほぼ縮退するが、第三世代の top squarks だけは軽いものと重いものに分れている可能性がある。

$B_d^0-\bar{B}_d^0$  混合に関して、box diagrams による単距離効果を測定し得る物理量は、混合パラメーター  $x_d$  である。標準模型では、 $W$ -boson の介する diagrams がこれに寄与するが、超対称性模型では、それ以外に chargino と charged Higgs boson からも寄与がある。これらの3種類の寄与を、それぞれ  $A_{tt}^W$ 、 $A^C$ 、 $A_{tt}^H$  と表して、比  $R$  を  $R = (A_{tt}^W + A^C + A_{tt}^H)/A_{tt}^W$  と定義すれば、 $R$  の値の1からのずれが、標準模型には含まれない寄与の大きさの目安となる。一方、 $K^0-\bar{K}^0$  混合においては、 $CP$  非保存パラメーター  $\epsilon$  が、単距離効果によって決まるが、これも、同じ  $A^C$  と  $A_{tt}^W$  で表される寄与を受ける。

比  $R$  の値を計算すると、 $A_{tt}^W$ 、 $A^C$ 、 $A_{tt}^H$  が同符合となるため、一般に1以上であることがわかる。さらに、Higgs bosons の真空期待値の比  $\tan\beta$  が1よりあまり大きくなければ、squarks や charged Higgs bosons の質量によっては、 $R \gtrsim 2$  となることも可能である。この時、超対称性模型における新しい寄与は、 $W$ -boson によるものと同じくらいの大きさを持っているわけである。

もし  $R$  の値が1からずれたとすると、CKM 行列  $V$  の値の評価に影響が現れる。それを見るためには、CKM 行列を標準型で表すと判りやすい。このとき、CKM 行列を決める4個のパラメーターのうち、3個は  $\sin\theta_{12} = |V_{12}|$ 、 $\sin\theta_{23} = |V_{23}|$ 、 $\sin\theta_{13} = |V_{13}|$  と定まる。実験によると、現在のところ  $|V_{12}| \equiv |V_{us}| = 0.2205 \pm 0.0018$ 、 $|V_{23}| \equiv |V_{cb}| = 0.04 \pm 0.004$ 、

<sup>1</sup>東京都文京区大塚 2-1-1

$|V_{13}/V_{23}| \equiv |V_{ub}/V_{cb}| = 0.08 \pm 0.02$  という値になることが知られている。これらの値は、標準模型を仮定して決められたものだが、tree level での崩壊過程を用いて測定されたものであり、超対称性模型の枠内でも同じ値となる。したがって、残る未決定のパラメーターは  $CP$ -violating phase  $\delta$  だけとなるが、この値は  $x_d$  や  $\epsilon$  から決めることができる。これらの実験値は、 $x_d = 0.71 \pm 0.06$ 、 $|\epsilon| = 2.26 \times 10^{-3}$  と、かなり正確に測定されているからである。すなわち、 $R > 1$  と  $R = 1$  では、 $CP$ -violating phase  $\delta$  が異なって予言されるのである。

実際に  $\delta$  の値がどのように定まるかをみてみよう。この時、一つの問題点は、 $x_d$  および  $\epsilon$  の理論式に現れる崩壊定数  $f_{B_d}$  や bag factors  $B_{B_d}$ 、 $B_K$  の値に関して、まだ理論的不定性が大きいということである。しかし、これらの値は標準模型か超対称性模型かの違いにはよらない。ここでは、最近の lattice 計算による  $180 \text{ MeV} < f_{B_d} \sqrt{B_{B_d}} < 260 \text{ MeV}$  と lattice ならびに  $1/N$  計算による  $0.6 < B_K < 0.9$  という結果をつかうことにする。CKM 行列の成分  $|V_{13}/V_{23}|$ 、 $|V_{23}|$  に関する実験値の誤差もまだ小さくはないが、実験の中心値  $|V_{13}/V_{23}| = 0.08$ 、 $|V_{23}| = 0.04$  を仮定する。そうすると、 $x_d$  と  $\epsilon$  を矛盾なく説明できる  $R$  の値として可能な領域は  $0.8 \lesssim R \lesssim 2.1$ 、これに対応して  $\cos \delta$  の値は  $-0.5 \lesssim \cos \delta \lesssim 0.8$  と予言される。一方、標準模型 ( $R = 1$ ) では、 $-0.1 \lesssim \cos \delta \lesssim 0.3$  となる。すなわち、標準模型ではとり得ない  $\cos \delta$  の値を、超対称性模型では持つことができる。

上に述べた  $\cos \delta$  の値は、 $B$ -meson 崩壊における  $CP$  非対称性に影響を与える。いわゆる 'unitarity triangle' の角を  $\phi_1 (\equiv \arg(-V_{21}V_{23}^*V_{31}^*V_{33}))$ 、 $\phi_2 (\equiv \arg(-V_{31}V_{33}^*V_{11}^*V_{13}))$ 、 $\phi_3 (\equiv \arg(-V_{11}V_{13}^*V_{21}^*V_{23}))$  と書いて、 $\sin 2\phi_1$ 、 $\sin 2\phi_2$ 、 $\sin 2\phi_3$  等が  $CP$  非対称性として測定されるが、これらは  $r (\equiv \cot \theta_{12}(\sin \theta_{13}/\sin \theta_{23}))$  と  $\delta$  で表されることが示される。特に  $\sin 2\phi_2$  は  $\delta$  への依存性が大きく、 $r$  の値にはあまり依らない。 $\sin 2\phi_3$  は  $\delta$  だけの関数である。ゆえに、 $\sin 2\phi_2$  もしくは  $\sin 2\phi_3$  が測定されると、ほぼ  $\delta$  の値が分ることになる。いいかえれば、 $R$  の値に起因する  $\cos \delta$  の値の相違は、 $\sin 2\phi_2$  と  $\sin 2\phi_3$  に反映されるということである。なお、 $\sin 2\phi_1$  は  $\delta$  にも  $r$  にもあまり依らない。もし、 $B_s^0$ - $\bar{B}_s^0$  混合に対する混合パラメーター  $x_s$  が測定されるとすると、 $x_s/x_d$  も  $\delta$  依存性を持つ。 $|V_{13}/V_{23}|$  と  $|V_{23}|$  の値として実験の中心値を仮定すると、 $\sin 2\phi_2$  に対して、標準模型では  $(0.15, 0.74)$  の領域、超対称性模型では  $(-0.96, 0.74)$  の領域の値が予言される。例えば、 $B$ -factories で  $\sin 2\phi_2 \sim -1$  という実験値が得られたとすると、これは、超対称性模型を間接的に示唆しているといえるであろう。

次に、 $B$ -meson の放射崩壊を考える。この過程は、 $b$ -quark の崩壊  $b \rightarrow s\gamma$  によって起こるが、 $B^0$ - $\bar{B}^0$ 、 $K^0$ - $\bar{K}^0$  混合と同じく chargino や charged Higgs boson による新しい寄与がある。ただ、charged Higgs boson による振幅の符号は、 $W$ -boson によるものに対し、正であるが、chargino によるものは正にも負にもなり得る。したがって、崩壊幅は、標準模型による予言と比べて、大きくにも小さくにもなる。また、chargino の寄与が大きくなるのは、 $\tan \beta$  が大きいところである。将来、 $B$ -meson の放射崩壊幅が精密に測定されて、

標準模型による予言との相違が確認されたら、超対称性模型に対する傍証を得ることができるともかもしれない。

結論を述べれば、超対称性標準模型においては、CKM 行列に含まれる  $CP$ -violating phase  $\delta$  の値が標準模型とは異なって予言され得る。この相違は、 $B$ -meson 崩壊における  $CP$  非対称性  $\sin 2\phi_2$  または  $\sin 2\phi_3$  を測定することにより観測される可能性がある。また、 $B$ -meson の放射崩壊幅にも、標準模型による予言値との相違が生じるかもしれない。一方、これらの測定において、標準模型との一致が確認されたら、それは、超対称性標準模型に対する重要な制限となるであろう。

## 参考文献

- [1] N. Oshimo, Nucl. Phys. B404 (1993) 20.
- [2] G.C. Branco, G.C. Cho, Y. Kizukuri, and N. Oshimo, Phys. Lett. B337 (1994) 316.
- [3] G.C. Branco, G.C. Cho, Y. Kizukuri, and N. Oshimo, Nucl. Phys. B449 (1995) 483.
- [4] G.C. Cho, Y. Kizukuri, and N. Oshimo, TKU-HEP 95/02, OCHA-PP-62 (1995).