

柿崎 充（東北大学）

2003年8月22日

目的

- デモクラティック質量行列模型に基づいた
新しい SUSY フレーバー問題の解決策の提唱
- この模型と代表的な超対称模型における予言の比較
 - － スフェルミオンの質量
 - － レプトンフレーバーの破れ

1. Motivation

超対称標準理論における 2 つの世代構造に関する謎:

1. フェルミオン質量項のフレーバー問題

- なぜ荷電フェルミオンの質量に階層性があるのか？

$$m_e \ll m_\mu \ll m_\tau, \quad m_u \ll m_c \ll m_t, \quad m_d \ll m_s \ll m_b$$

- クォークの世代混合は小さい

⇔ レプトンには大きな世代混合 (← ν 振動実験)

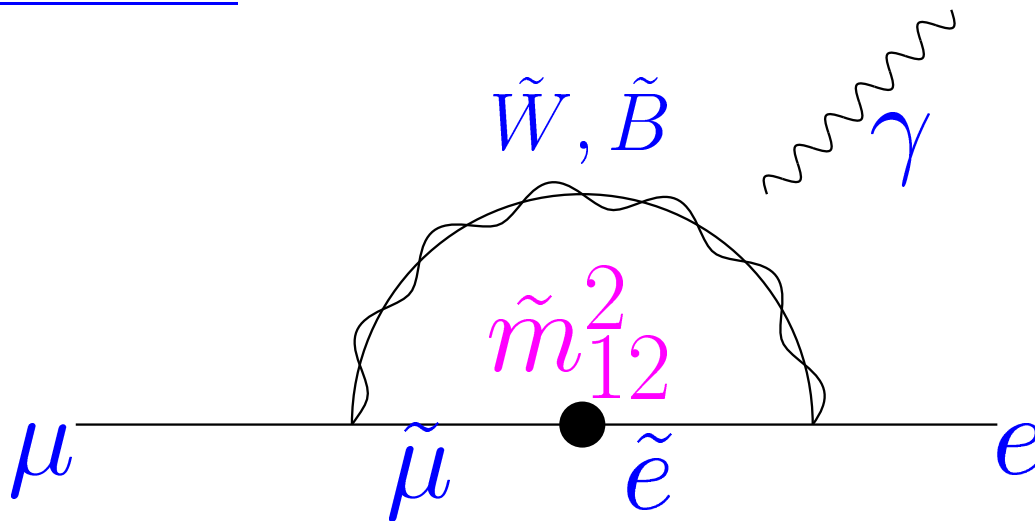
2. スフェルミオン質量項のフレーバー問題

- 超対称粒子 (スフェルミオン \tilde{q}_i 、ゲージノ \tilde{g}) の存在

⇒ 新たに世代構造を持つパラメータが導入: $\mathcal{L} = \tilde{m}_{ij}^2 \tilde{q}_i^* \tilde{q}_j$

⇒ 大きく世代を変える過程 (FCNC, LFBV) を予言

例: $\mu \rightarrow e\gamma$



しかし $\mu \rightarrow e\gamma$ はまだ観測されていない

$$\Rightarrow \tilde{m}_{12}^2 / m_{\text{SUSY}}^2 \ll O(1), \quad m_{\text{SUSY}} \sim 100 \text{ GeV}$$

- なぜスフェルミオン質量行列の非対角成分は小さいのか? ⇒ **SUSY フレーバー問題**

フレーバー(世代)を支配する理論



FCNC, LFV の抑制 | フェルミオンの質量、混合角

- フレーバーが変わる反応の観測、不観測

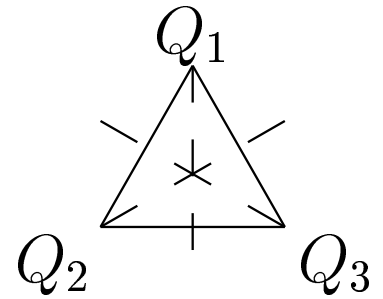
スフェルミオンの質量の測定

⇒ フェルミオンの世代構造の生成機構に近づける

2. Democratic mass matrix (Review)

思想: どの世代も平等

⇒ 3つの世代のフェルミオン Q_i の
間に入れ換えの対称性: S_3



荷電フェルミオン質量項: $\mathcal{L} = m_{qij} \bar{\psi}_{Li} \psi_{Rj}$

- $S_3(L) \times S_3(R)$ 対称性 ⇒ デモクラティック行列:

$$m_q \propto \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\epsilon_q & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_q & 0 \\ 0 & 0 & \delta_q \end{pmatrix}, \quad \epsilon_l \ll \delta_l \ll 1$$

↑ 小さな S_3 対称性の破れ

- m_q を対角化

⇒ 質量の階層性: $m_{1st} \ll m_{2nd} \ll m_{3rd}$

クォークセクターの小さな世代混合

ニュートリノ質量項: $\mathcal{L} = m_{\nu ij} \bar{\psi}_{Li}^c \psi_{Lj}$

- $S_3(L)$ 対称性 ⇒ 不変量は 2 コ:

$$m_\nu \supset \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Universal Democratic

- デモクラティックな部分が小さいと

$$m_\nu \propto \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\epsilon_\nu & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_\nu & 0 \\ 0 & 0 & \delta_\nu \end{pmatrix}$$

⇒ 縮退したニュートリノの質量

大きなレプトン混合

3. Democratic sfermions **New!**

思想: 超対称標準理論の場と超対称性を破る場との
相互作用もデモクラティック

スフェルミオン質量項: $\mathcal{L} = \tilde{m}_{ij}^2 \tilde{q}_i^\dagger \tilde{q}_j$

$$S_3(Q) \text{ 対称性} \Rightarrow \tilde{m}_{ij}^2 = m_0^2 \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \rho \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \right]$$

- フェルミオンの質量行列が対角な基底で見ると

$$\tilde{m}_{ij}^2 = m_0^2 \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + U^\dagger \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho \end{pmatrix} U \right], \quad U \sim \mathbf{1}$$

⇒ 予言: 第3世代のみ異なる質量: $\tilde{m}_1^2 = \tilde{m}_2^2 \neq \tilde{m}_3^2$

小さな非対角成分 ⇒ フレーバーの破れは小さい

⇒ **SUSY** フレーバー問題が解決

左巻スレプトン質量項:

- 左巻 (ス) レプトンと超対称性を破る場が
デモクラティックな結合をすると、
 m_ν にデモクラティックな部分が出現

⇒ レプトン混合が小さくなってしまふ: ダメ

⇒ $\rho_L = 0$ が要請される ⇒ $m_{\tilde{e}_L} = m_{\tilde{\mu}_L} = m_{\tilde{\tau}_L}$

⇒ LFV に寄与しない

右巻スレプトンの質量項:

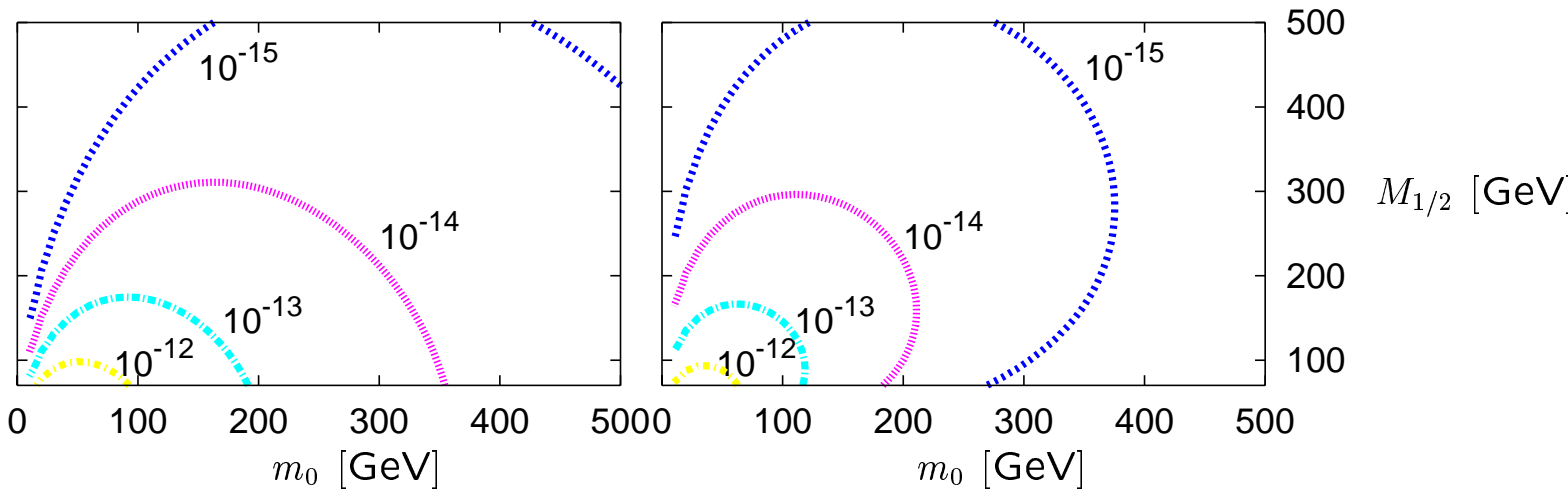
$m_{\tilde{e}_R} = m_{\tilde{\mu}_R} \neq m_{\tilde{\tau}_R}$; 小さなフレーバー混合 ⇒ LFV

$\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の分岐比 ($\text{Br}(\mu \rightarrow e\gamma)$)

● デモクラティック模型の予言:

(a) $\rho_R = 1, a_1^R = 0$

(b) $\rho_R = 0.1, a_1^R = m_0$



実験	現在	将来
$\text{Br}(\mu \rightarrow e\gamma)$	$< 1.2 \times 10^{-11}$	$\sim 10^{-14}$

● 現在の実験と矛盾しない; 将来の実験で観測可能

- 最小超重力理論 + ν_R
- デモクラティック模型

コライダー実験

$$\begin{aligned} m_{\tilde{e}_L} &= m_{\tilde{\mu}_L} > m_{\tilde{\tau}_L} \\ m_{\tilde{e}_R} &= m_{\tilde{\mu}_R} = m_{\tilde{\tau}_R} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\tilde{e}_L} &= m_{\tilde{\mu}_L} = m_{\tilde{\tau}_L} \\ m_{\tilde{e}_R} &= m_{\tilde{\mu}_R} \neq m_{\tilde{\tau}_R} \end{aligned}$$

LFV 実験

左巻スレプトンに世代混合 右巻スレプトンに世代混合
 $\Rightarrow \mu^+ \rightarrow e_R^+ \gamma$ $\Rightarrow \mu^+ \rightarrow e_L^+ \gamma$

- スレプトンの質量スペクトルの測定
 - 偏極ミュオンを用いた e^+ の角分布の計測
- によって模型を区別できる

4. Summary

- SUSY フレーバー問題は超対称模型にとって深刻
- 面白い解決策:

FCNC の抑制
フェルミオンのフレーバー構造 } 同じ起源

デモクラティック質量行列を用いて
このアイデアを実現した

- デモクラティックスフェルミオン模型の予言:
 - 観測可能な $\mu^+ \rightarrow e_L^+ \gamma$
 - $m_{\tilde{e}_R} = m_{\tilde{\mu}_R} \neq m_{\tilde{\tau}_R}$ $m_{\tilde{e}_L} = m_{\tilde{\mu}_L} = m_{\tilde{\tau}_L}$
- コライダー実験, LFV 探索により
フレーバーの理論を峻別できる