

輻射シーソー機構でのスカラー二重項の崩壊によるレプトジェネシス

○関川優梨花¹, 浅井健人², 佐藤丈¹, 山中真人³ (横浜国大¹, 京大基研², 広島工業大³)

輻射シーソー機構によるレプトン数・暗黒物質生成

…輻射補正によりループレベルでニュートリノに質量を与える機構 (treeレベルではmassless)

標準模型の諸問題

- ◆ ニュートリノ質量の起源
- ◆ 暗黒物質の存在
- ◆ バリオン非対称

Scotogenic模型 E. Ma, Phys.Rev.D.73.077301 (2006)
Z. Tao, Phys.Rev.D.54.5693 (1996)標準模型 (Z₂ even)

+

右巻きニュートリノ (Z₂ odd) : N_i ($i = 1, 2, 3$)SU(2)_L 二重項スカラー (Z₂ odd) : $\eta = \begin{pmatrix} \eta^+ \\ \eta^0 \end{pmatrix}$

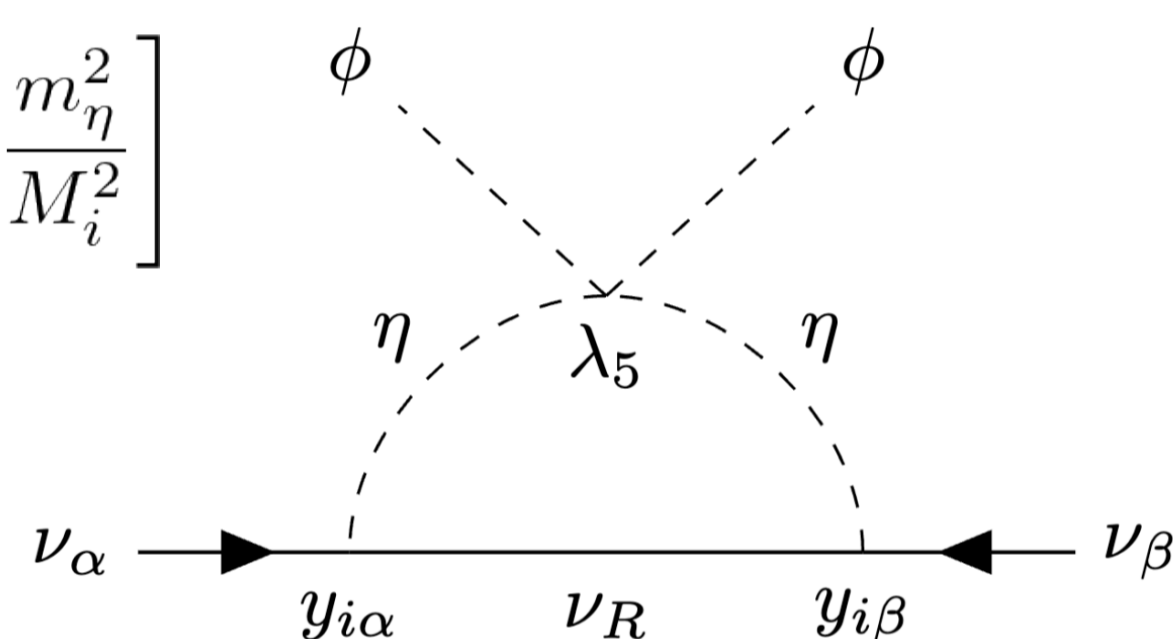
$$\mathcal{L} \supset (-y_{i\alpha} \bar{\psi}_{N_i} \tilde{\eta}^\dagger \psi_{L_\alpha} + \text{h.c.}) - \frac{1}{2} M_i \bar{\psi}_{N_i} \psi_{N_i} - V$$

$$V = m_\eta^2 \eta^\dagger \eta + \frac{\lambda_1}{2} (\Phi^\dagger \Phi)^2 + \frac{\lambda_2}{2} (\eta^\dagger \eta)^2$$

$$+ \lambda_3 (\Phi^\dagger \Phi) (\eta^\dagger \eta) + \lambda_4 (\Phi^\dagger \eta) (\eta^\dagger \Phi) + \frac{\lambda_5}{2} [(\Phi^\dagger \eta)^2 + \text{h.c.}]$$

ニュートリノ質量

$$[M_\nu]_{\alpha\beta} = \frac{\lambda_5 v^2}{16\pi^2} \sum_i \frac{y_{i\alpha} y_{i\beta} M_i}{m_\eta^2 - M_i^2} \left[1 - \frac{M_i^2}{m_\eta^2 - M_i^2} \log \frac{m_\eta^2}{M_i^2} \right]$$

本模型の暗黒物質の候補 : N_1 η

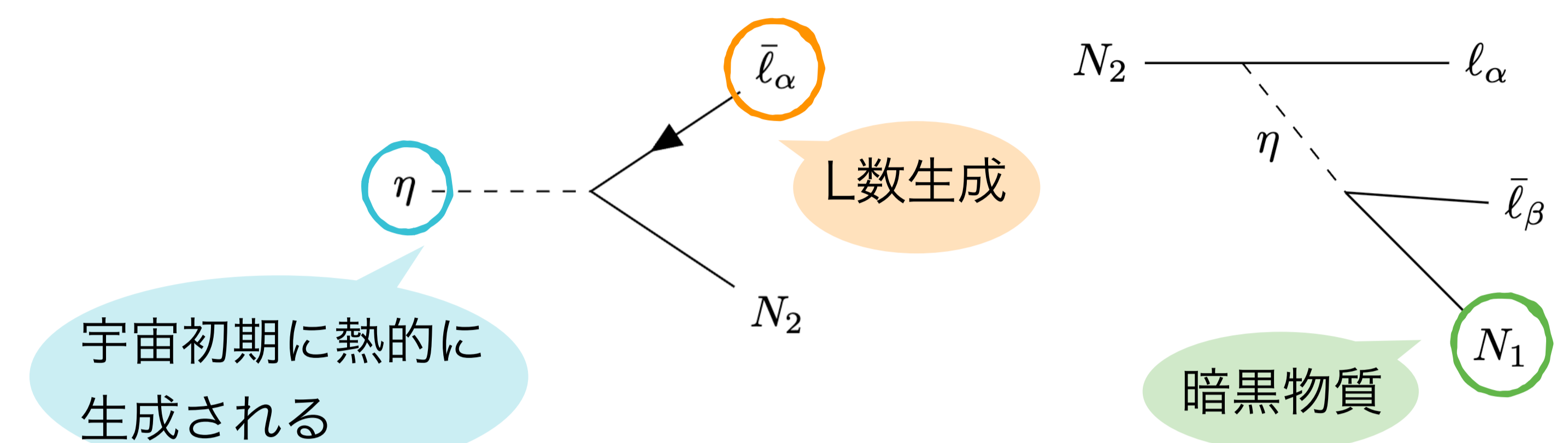
標準模型の諸問題

- ニュートリノ質量の起源
- 暗黒物質の存在
- バリオン非対称

 N_1 がDM候補の場合でも

一つの枠組みで説明可能か?

B-L数の時間発展を追って検証

シナリオ $M_1 < M_2 < M_3 < m_\eta$ とする

宇宙初期に熱的に生成される

暗黒物質

レプトジェネシス

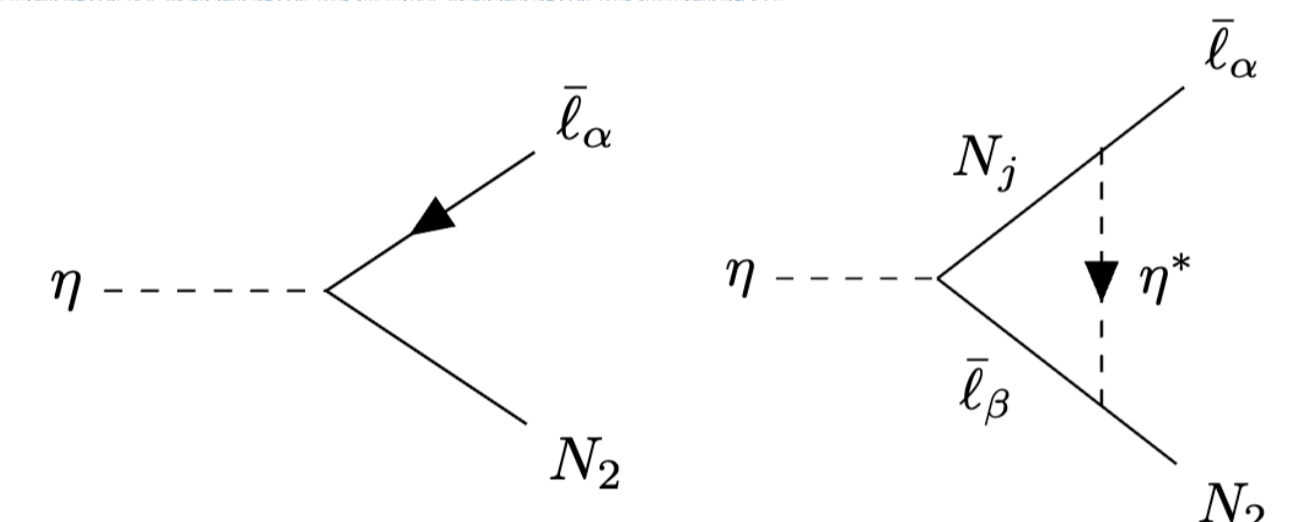
レプトン数 \longrightarrow バリオン数

スファレロン過程

本シナリオでのCPの破れの大きさ

$$\epsilon_{i\alpha} = \frac{\Gamma(\eta \rightarrow N_i \bar{l}_\alpha) - \Gamma(\bar{\eta} \rightarrow N_i l_\alpha)}{\Gamma(\eta \rightarrow N_i \bar{l}_\alpha) + \Gamma(\bar{\eta} \rightarrow N_i l_\alpha)}$$

$$= \frac{1}{8\pi} \sum_{\beta,j} \frac{\text{Im}[y_{i\alpha}^* y_{i\beta}^* y_{j\alpha} y_{j\beta}]}{|y_{\alpha i}|^2} \frac{M_i M_j}{m_\eta^2 - M_i^2} \left\{ 1 - \left(1 + \frac{m_\eta^2 - M_j^2}{m_\eta^2 - M_i^2} \right) \log \left(\frac{m_\eta^2 - M_i^2}{m_\eta^2 - M_j^2} + 1 \right) \right\}$$



B-L数の時間発展

 $Y = n/s$, $z = m_\eta/T$ とする (s はエントロピー密度)。 Y_L , $Y_{\Delta\eta}$, Y_+ , Y_N のボルツマン方程式を連立して数値的に解き各粒子数密度の時間発展を追った。

$$Y_L = n_\ell - n_{\bar{\ell}}$$

$$Y_{\Delta\eta} = n_\eta - n_{\bar{\eta}}$$

$$Y_+ = n_{\eta^+} + n_{\eta^-}$$

$$\frac{dY_N}{dz} = \frac{1}{zH} (\Gamma_\eta) \left\{ Y_\eta - Y_\eta^{eq} \frac{Y_N}{Y_N^{eq}} \right\}$$

$$\frac{dY_L}{dz} = -\frac{1}{zH} \left\{ Y_{\Delta\eta} + Y_\eta^{eq} \frac{Y_L}{Y_L^{eq}} \frac{Y_N}{Y_N^{eq}} + \epsilon \left(Y_+ - Y_+^{eq} \frac{Y_N}{Y_N^{eq}} \right) \right\} (\Gamma_\eta) + \frac{s}{zH} \left\{ Y_{\Delta\eta} Y_+ - Y_\eta^{eq} Y_+^{eq} \frac{Y_L}{Y_L^{eq}} \right\} C_{spec}(\sigma v)_{\eta\eta \rightarrow \phi\phi}$$

$$\frac{dY_{\Delta\eta}}{dz} = -\frac{1}{zH} \left\{ Y_{\Delta\eta} + Y_\eta^{eq} \frac{Y_L}{Y_L^{eq}} \frac{Y_N}{Y_N^{eq}} + \epsilon \left(Y_+ - Y_+^{eq} \frac{Y_N}{Y_N^{eq}} \right) \right\} (\Gamma_\eta) - \frac{s}{zH} \left\{ Y_{\Delta\eta} Y_+ - Y_\eta^{eq} Y_+^{eq} \frac{Y_L}{Y_L^{eq}} \right\} C_{spec}(\sigma v)_{\eta\eta \rightarrow \phi\phi}$$

$$\frac{dY_+}{dz} = \frac{1}{zH} \left\{ Y_+ - Y_+^{eq} \frac{Y_N}{Y_N^{eq}} \right\} (\Gamma_\eta) - \frac{s}{zH} \left\{ \frac{1}{2} Y_+^2 - \frac{1}{2} Y_+^{eq2} \right\} ((\sigma v)_{\eta\eta \rightarrow \phi\phi} + (\sigma v)_{\eta\eta \rightarrow AA})$$

 Y^{eq} : 熱平衡にある粒子の粒子数密度 C_{spec} : ヒッグス非対称からレプトン非対称への転換率

パラメータ設定

$M_1 = 1 \text{ MeV}$

$M_2 = 9.5 \times 10^9 \text{ GeV}$

$M_3 = 9.8 \times 10^9 \text{ GeV}$

$m_\eta = 10^{10} \text{ GeV}$

$\lambda_5 = 1$

$m_1 = 1.00 \times 10^{-31} \text{ eV}$

ニュートリノ質量とミキシング (NuFit6.0)

$m_2 = 8.65 \times 10^{-3} \text{ eV}$ $\sin^2 \theta_{12}^2 = 0.307$

$m_3 = 5.03 \times 10^{-2} \text{ eV}$ $\sin^2 \theta_{23}^2 = 0.561$

$\sin^2 \theta_{13}^2 = 0.02195$

$\delta_{CP}/^\circ = 177$

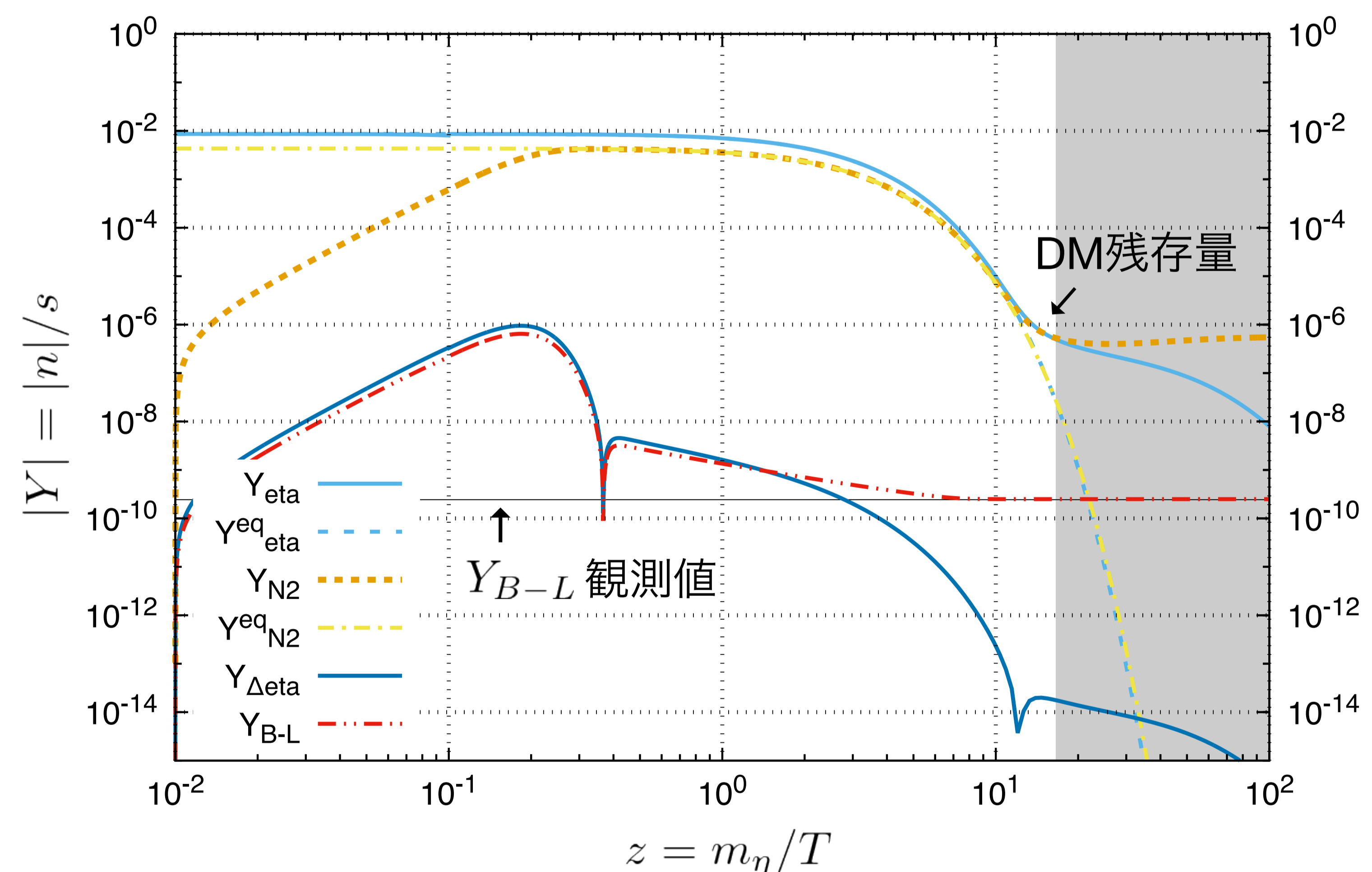


図1. B-L数の時間発展

結果

- ◆ バリオン数の観測値と一致
- ◆ η , N_2 , N_3 のfreeze out時の残存量が (N_1 に崩壊することで) 暗黒物質の残存量となる $Y_{DM}^{obs} = \frac{4.26 \times 10^{-10} \text{ GeV}}{m_{DM}}$

まとめ

- ◆ Scotogenic模型において、右巻きニュートリノを暗黒物質候補としたシナリオでも、

- ✓ ニュートリノ質量の起源
- ✓ 暗黒物質の存在
- ✓ バリオン数非対称

を一つの枠組みで説明することが可能

- ◆ SU(2)スカラー二重項を暗黒物質候補とするシナリオとは全く異なるパラメータ領域が予想される