

レプトジェネシスとニュートリノレス二重ベータ崩壊

横山達哉^a

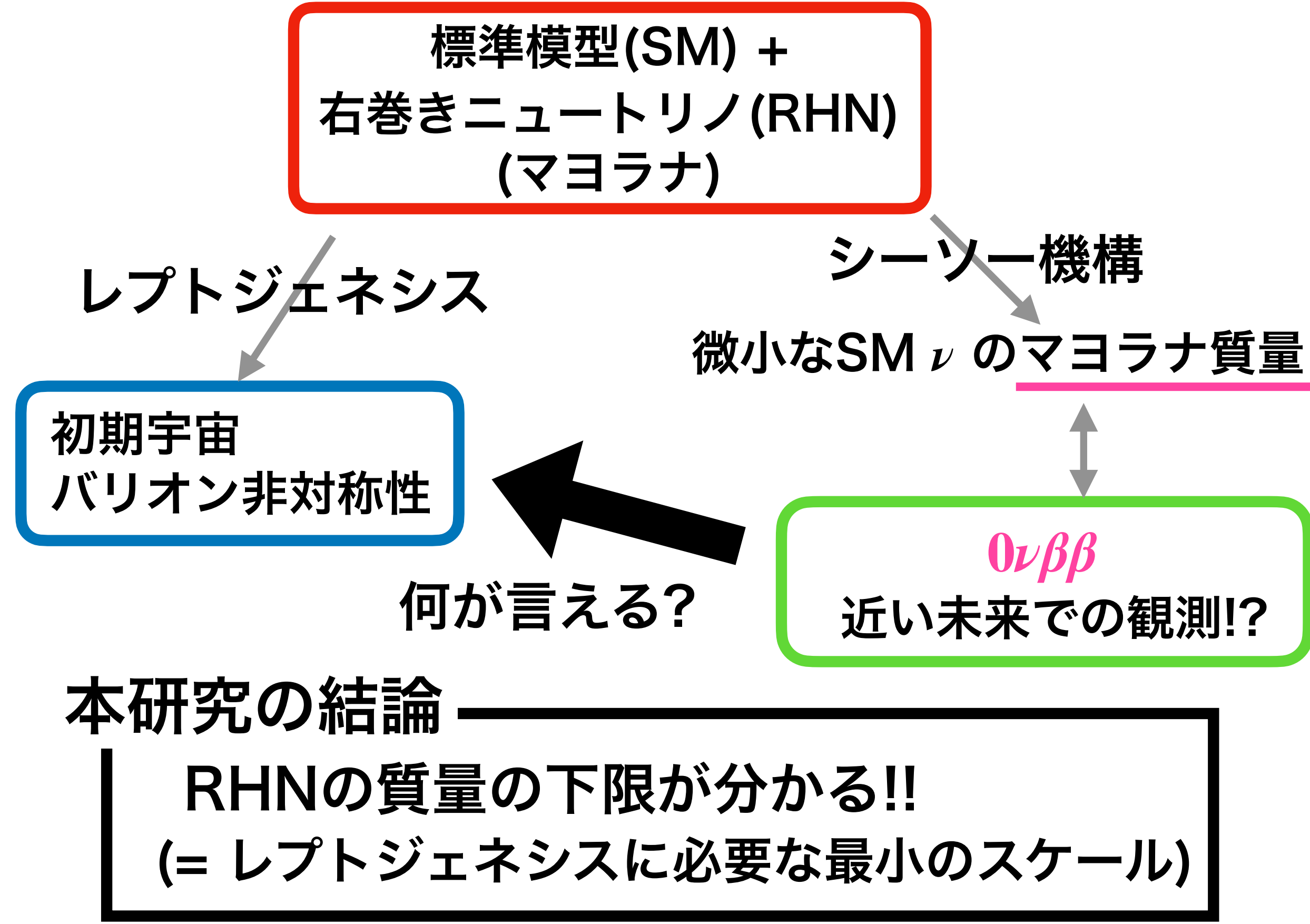
(based on arXiv: 2502.10093)

共同研究者：A. Granelli^b, 濱口幸一^a, M. R. Ramirez-Quezada^c, 嶋田健悟^d, 和田淳太郎^a

^a東京大学, ^bボローニャ大学, ^cマインツ大学, ^d京都大学

① 研究の概要

動機：ニュートリノレス二重ベータ崩壊が観測された際、そこから引き出せるレプトジェネシスへの制限が知りたい！



② 導入

■ (Type-I) Seesaw Lagrangian

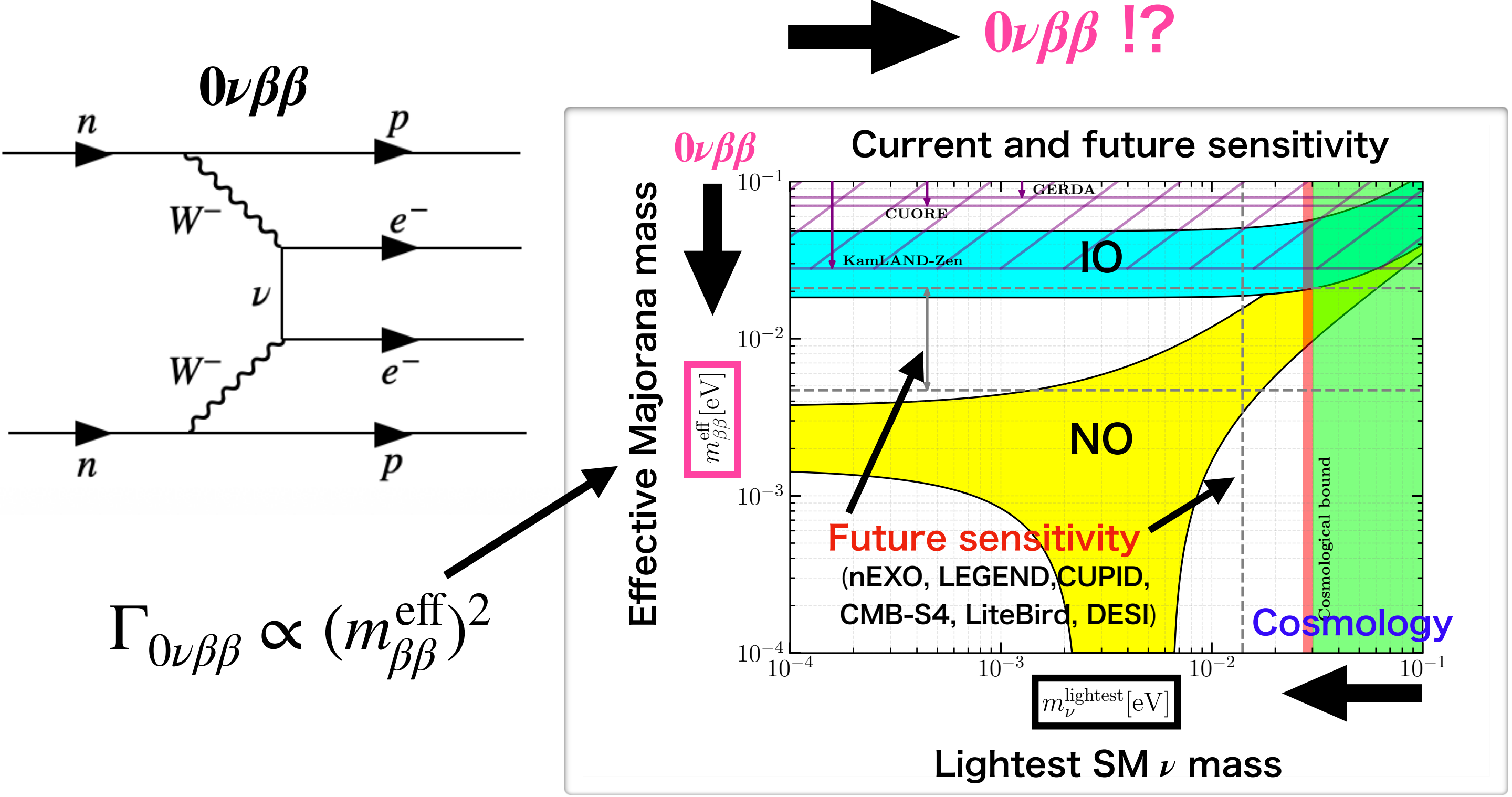
$$\mathcal{L} \supset i\bar{N}_k \gamma^\mu \partial_\mu N_k - \lambda_{\alpha k} \bar{\ell}_\alpha^i \phi_i^c N_k - \frac{1}{2} M_k \bar{N}_k^c N_k + (\text{h. c.})$$

N_k : 右巻きニュートリノ (RHN) with $k = 1 \sim 3$

- SM ν の微小な質量の起源を自然に説明する。 “シーソー機構”
- 初期宇宙におけるRHNの崩壊 → 非対称性の生成 “レプトジェネシス”

■ $0\nu\beta\beta$

シーソー機構では、SM ν はマヨラナ粒子になる。



③ 解析-1 (何をやったか)

■ レプトジェネシス・シーソーの成立を拘束条件として課す。

- シーソー機構の成立：
シーソーの関係式を通じて、 ν 振動の実験結果(ν の質量二乗差など)を解析に組み込む(Casas-Ibarra parameterization).

Casas and Ibarra (2001)

- レプトジェネシスの成立：

密度行列方程式(③ 解析-2へ)を用いて生成されるバリオン非対称性を計算し、その値を観測値と比較する。

■ $(m_\nu^{\text{lightest}}, m_{\beta\beta}^{\text{eff}})$ を固定した上でRHN mass M_1 を最小化する。

- 将来、 m_ν^{lightest} 又は $m_{\beta\beta}^{\text{eff}}$ の値が観測によって判明した際、そこからRHN massの下限が導けるようになる。

④ 解析-2 (計算の詳細)

■ フレーバー効果

[Barbieri et al. (2000), Abada et al. (2006), Nardi et al. (2006)]

ℓ_α のフレーバー($\alpha = \tau, \mu, e$)を考慮に入れた際に生じる量子効果

- (主に)SMの湯川相互作用 $h_\alpha \bar{\ell}_\alpha \phi e_\alpha$ によるデコヒーレンス
- 通常のボルツマン方程式では取り扱いが不完全になる。

■ 密度行列方程式

[Sigl & Raffelt (2002), Abada et al. (2006), Blanchet et al. (2013)]

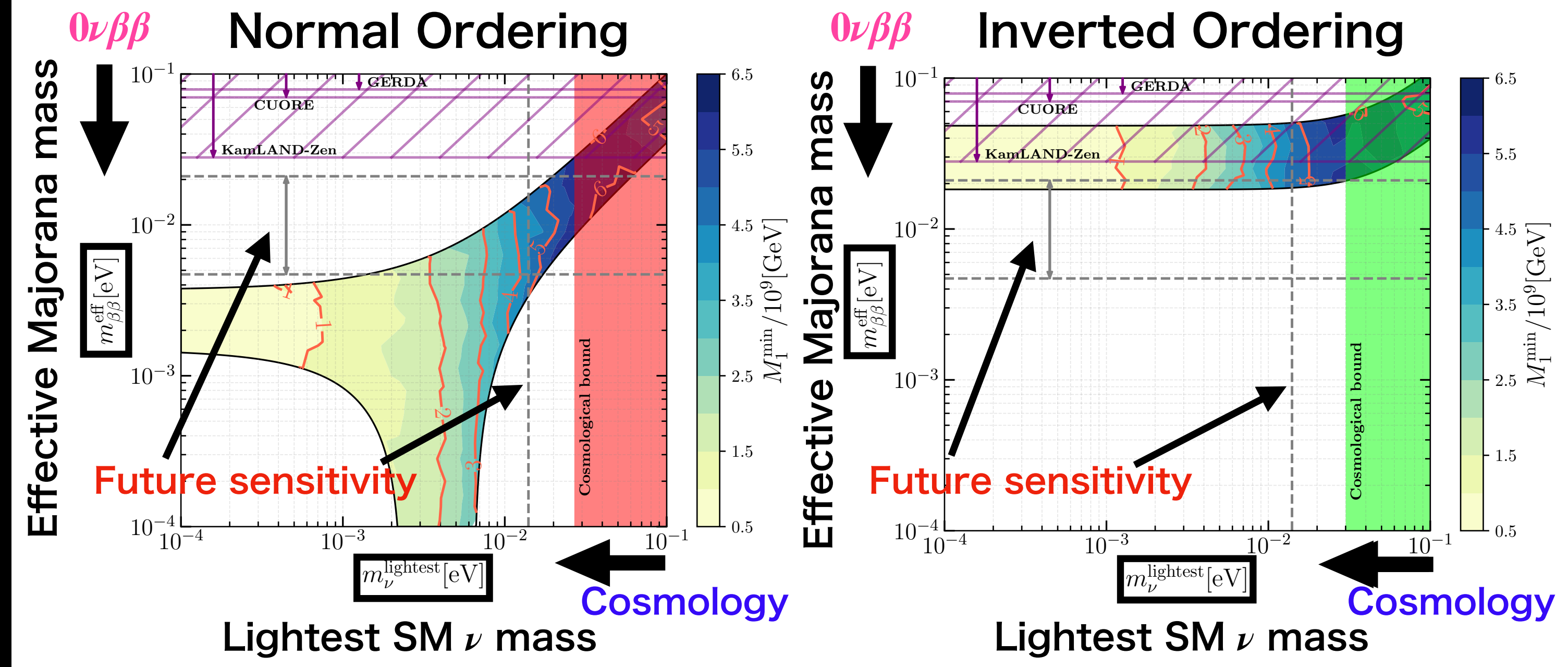
$$\frac{dN_{B-L}^{\alpha\beta}}{dz} = -\epsilon^{\alpha\beta} D_1 (N_1 - N_1^{\text{eq}}) - \frac{1}{2} W_1 \{P, N_{B-L}\}^{\alpha\beta} - \frac{1}{2} \frac{\Gamma_\tau}{Hz} \begin{pmatrix} 0 & N_{B-L}^{\mu\tau} & N_{B-L}^{\tau e} \\ N_{B-L}^{\mu\tau} & 0 & 0 \\ N_{B-L}^{\tau e} & 0 & 0 \end{pmatrix} - \frac{1}{2} \frac{\Gamma_\mu}{Hz} \begin{pmatrix} 0 & N_{B-L}^{\mu\mu} & 0 \\ N_{B-L}^{\mu\mu} & 0 & N_{B-L}^{\mu e} \\ 0 & N_{B-L}^{\mu e} & 0 \end{pmatrix}$$

デコヒーレンス → フレーバー効果を記述できる！
(非対角項の減衰)

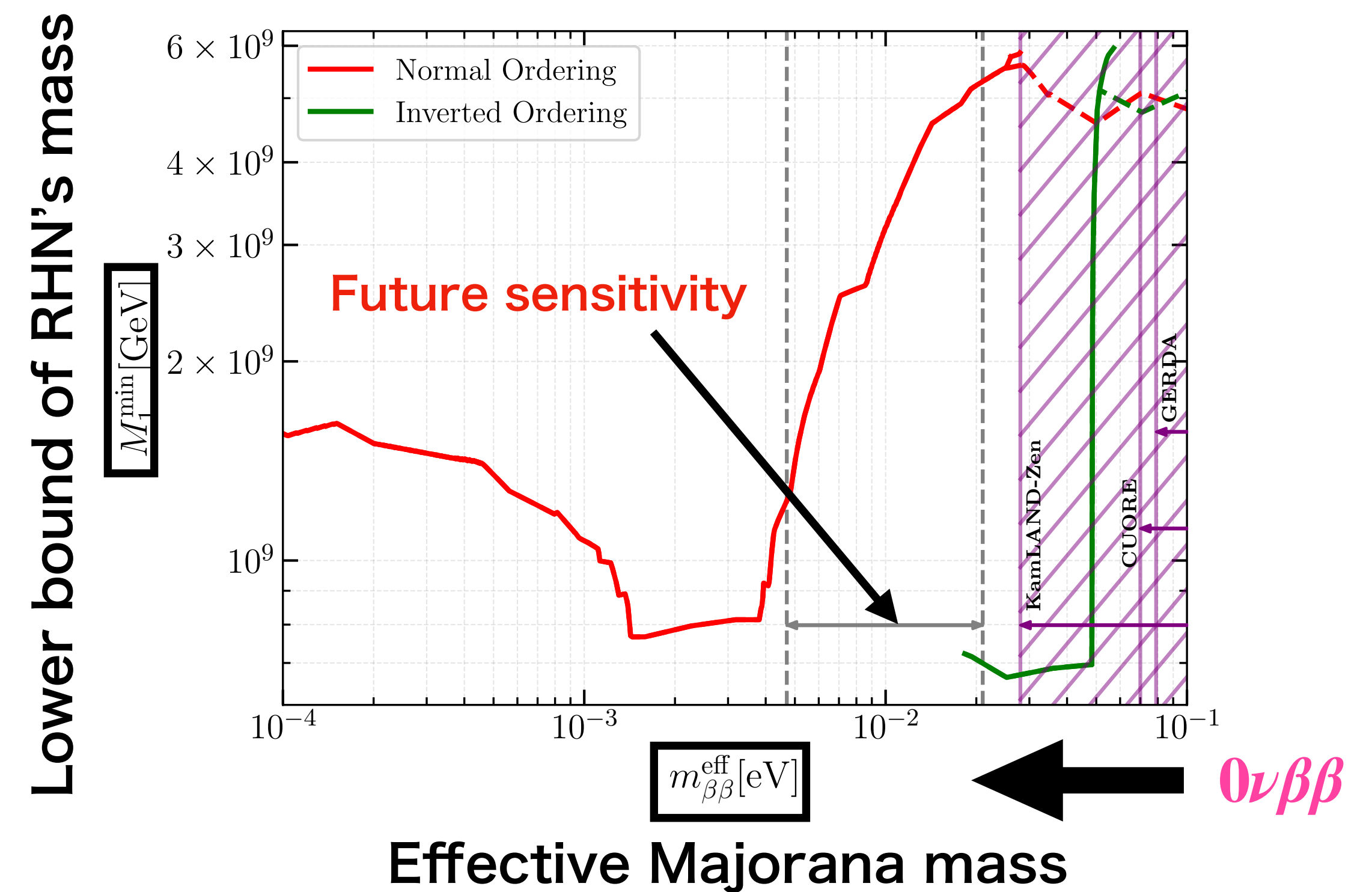
- ボルツマン方程式と違って解析的に解くことは難しい。
- 本研究ではパブリックコード“Ulysses”(A. Granelli et. al. (2021))を用いて数値的に密度行列方程式を解くことで、レプトジェネシスで作られるバリオン非対称性を評価する。

⑤ 結果

■ RHN mass M_1 の下限の $(m_\nu^{\text{lightest}}, m_{\beta\beta}^{\text{eff}})$ 平面上での等高線



■ RHN mass M_1 の下限 vs $m_{\beta\beta}^{\text{eff}}$



⑥ まとめ

- レプトジェネシスが要請するRHN massの下限を、フレーバー効果を含んだ密度行列方程式を用いて数値的に求め、その結果を m_ν^{lightest} と $m_{\beta\beta}^{\text{eff}}$ の関数として示した。
- 将来の $0\nu\beta\beta$ 実験の感度の範囲内でRHN massの下限がおおよそ1桁変化することを示し、レプトジェネシスに必要な最小のエネルギースケールを決定する上で $0\nu\beta\beta$ 実験が重要な役割を果たすことが分かった。