

# 擬-ゴールドスティーノダークマターの探索における $\gamma$ 線エネルギースペクトルの数値解析

金沢大学 自然科学研究科 数物科学専攻 素粒子・宇宙・理論物理研究室 博士後期課程1年 巾下 裕輝

## 1.研究目的

自発的超対称性の破れによって現れる、南部・ゴールドストーン粒子であるゴールドスティーノがダークマターとなる可能性を考える。

## 2.超対称性について

フェルミオン(ボソン)に対して、それぞれに対応するスーパーパートナーであるボソン(フェルミオン)が存在すると考える理論。

### 2.1 超対称変換

フェルミオン(ボソン)がそれぞれに対応するボソン(フェルミオン)をスーパーパートナーとして持ち、スピンの入れ替えを行う。

・超対称代数( $\mathcal{N}=1$ の場合)

$$\{Q_\alpha, Q_\alpha^\dagger\} = -2\sigma_{\alpha\dot{\alpha}}^\mu P_\mu \quad Q_\alpha, Q_\alpha^\dagger: \text{超対称演算子}$$

### 2.2 自発的超対称性の破れ

・成り立ち  
→大域的超対称性が自発的に破れるとき、真空状態が超対称変換の下で不変でなくなり、スカラーポテンシャルの真空期待値が正となる

破れの仕組み

・真空状態 $|0\rangle$ の超対称変換

$$Q_\alpha|0\rangle \neq 0, \quad Q_\alpha^\dagger|0\rangle \neq 0$$

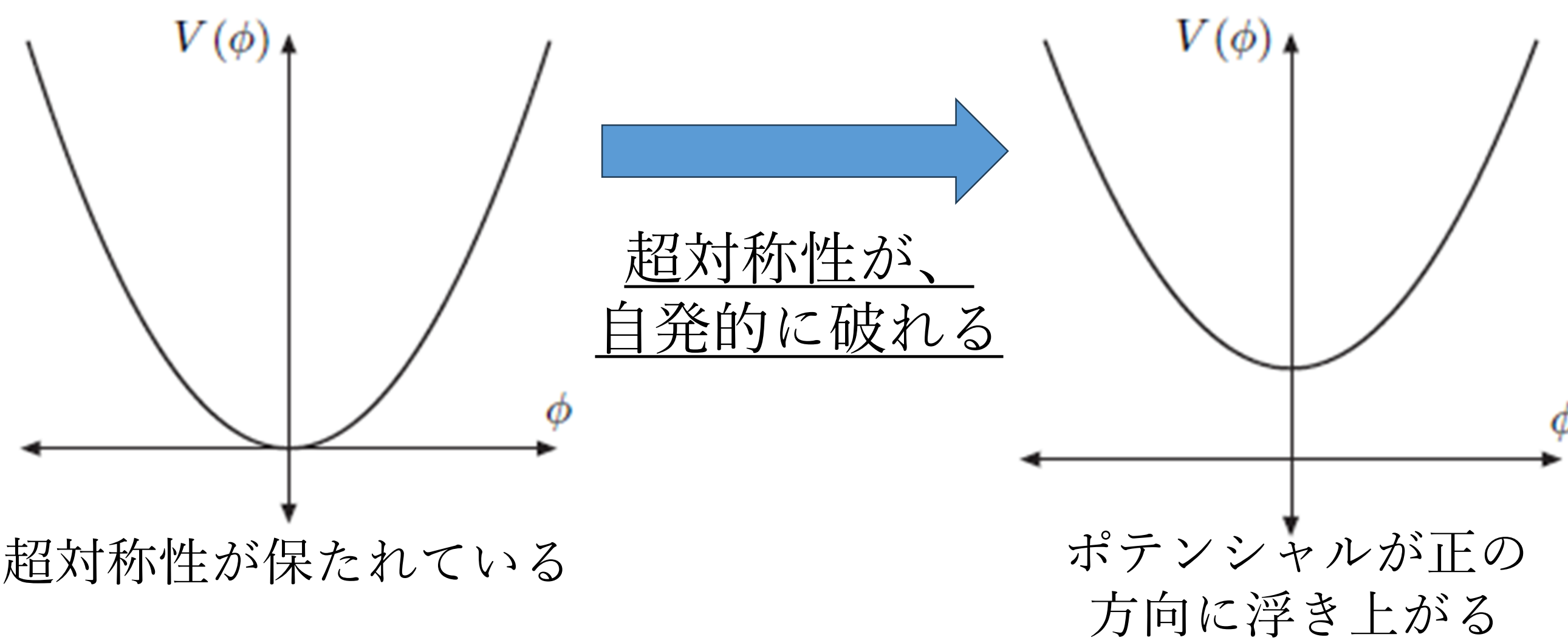
・ハミルトニアン演算子と超対称演算子の関係

$$H = P_0 = \frac{1}{4}(Q_\alpha Q_\alpha^\dagger + Q_\alpha^\dagger Q_\alpha)$$

・スカラーポテンシャルの真空期待値

$$\langle 0|H|0\rangle = \langle 0|V|0\rangle = \frac{1}{4}(|Q_\alpha^\dagger|0\rangle|^2 + |Q_\alpha|0\rangle|^2) > 0$$

→真空期待値が正となる



・ゴールドスティーノについて

→大域的な連続的対称性が自発的に破れた際に、質量のない南部・ゴールドストーン粒子が現れ、大域的な超対称性の場合それが中性のフェルミオンとなり、その粒子を「ゴールドスティーノ」と呼ぶ。

## 3.研究モデル

・擬-ゴールドスティーノをダークマターの候補に  
→非最小な超対称模型を考え、2つの超対称セクターが独立に破れる場合を仮定すると、ゴールドスティーノが破れたセクターの個数分現れる。  
これが物理的な自由度を持ち、ダークマターの候補として考えられる。

モデルの特徴

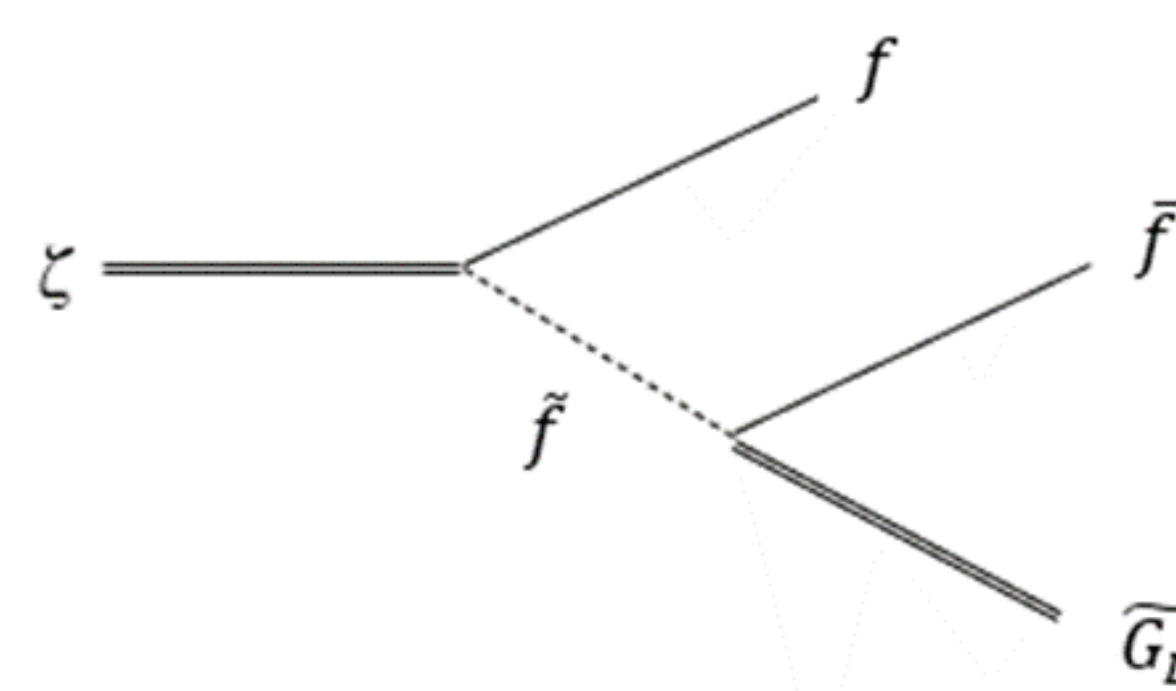
先行研究[2]より、超重力(SUGRA)の影響で、擬-ゴールドスティーノがツリーレベルで質量を持ち、これがグラビティーノの質量の2倍になることが分かっている。

## 3.1 解析結果

・このモデルのラグランジアン

$$\mathcal{L} = \widetilde{g}_f \bar{\zeta} P_L f \tilde{f} + g_f \tilde{G}_L P_L f \tilde{f} + H.C.$$

・寿命計算、エネルギースペクトルの解析



$\zeta \rightarrow f \bar{f} \tilde{G}_L$ の3体崩壊の  
ファインマンダイアグラム

→擬-ゴールドスティーノを長寿命粒子と仮定し、標準模型のフェルミオン $f$ 、反フェルミオン $\bar{f}$ 、グラビティーノ $\tilde{G}_L$ の3体に崩壊するシナリオを考え、崩壊幅を計算し、寿命を概算する。

また、微分崩壊幅から $\gamma$ 線のエネルギースペクトルの解析を行う。

・計算結果

微分崩壊幅

$$d\Gamma_{\zeta \rightarrow f \bar{f} \tilde{G}_L} = \frac{1}{(2\pi)^3} \frac{1}{8m_\zeta} |\overline{\mathcal{M}}|^2 dE_{\tilde{G}_L} dE_f$$

寿命

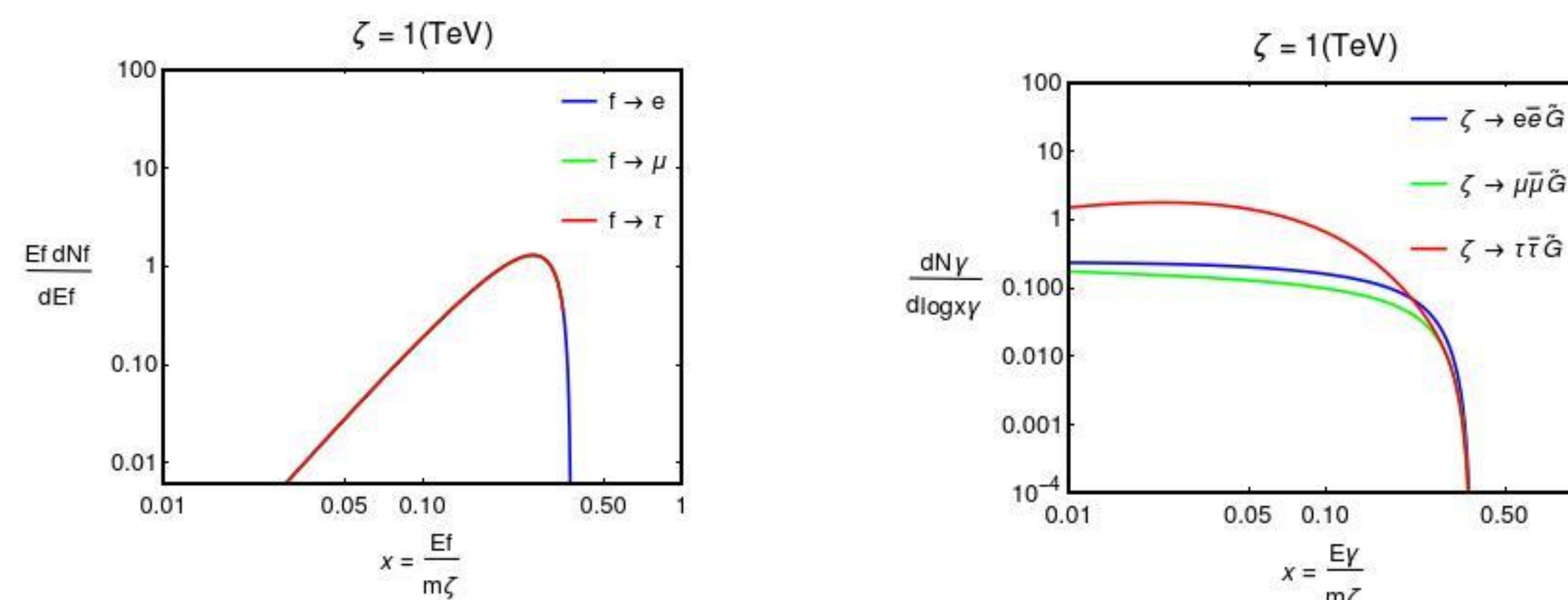
$$\tau_{\zeta \rightarrow f \bar{f} \tilde{G}} = \frac{\hbar}{\Gamma_{\zeta \rightarrow f \bar{f} \tilde{G}_L}} \approx \frac{3072\pi^3 \hbar}{g_f^2 \tilde{g}_f^2 m_\zeta F\left[\frac{1}{2}\right]} \times 10^{-5} [s]$$

ここで、

$$\xi \equiv m_{\tilde{G}_L}/m_\zeta,$$

$$F[\xi] \equiv 1 + 2\xi - 8\xi^2 + 18\xi^3 - 18\xi^5 + 8\xi^6 - 2\xi^7 - \xi^8 + 24\xi^3(1 - \xi + \xi^2)\log\xi$$

・レプトン、 $\gamma$ 線のエネルギースペクトル

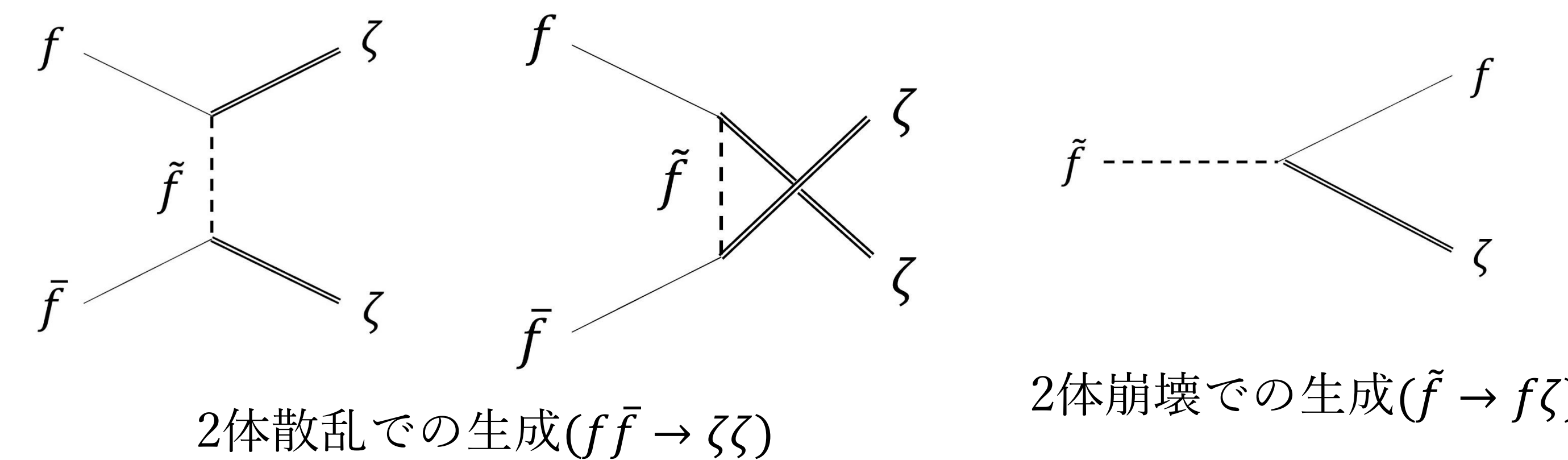


レプトン $e, \mu, \tau$ とそれに対応する $\gamma$ 線のエネルギースペクトル

→MAGIC、Fermi-LATや、将来実験であるCTAなどの $\gamma$ 線観測の結果と比較し、考察する

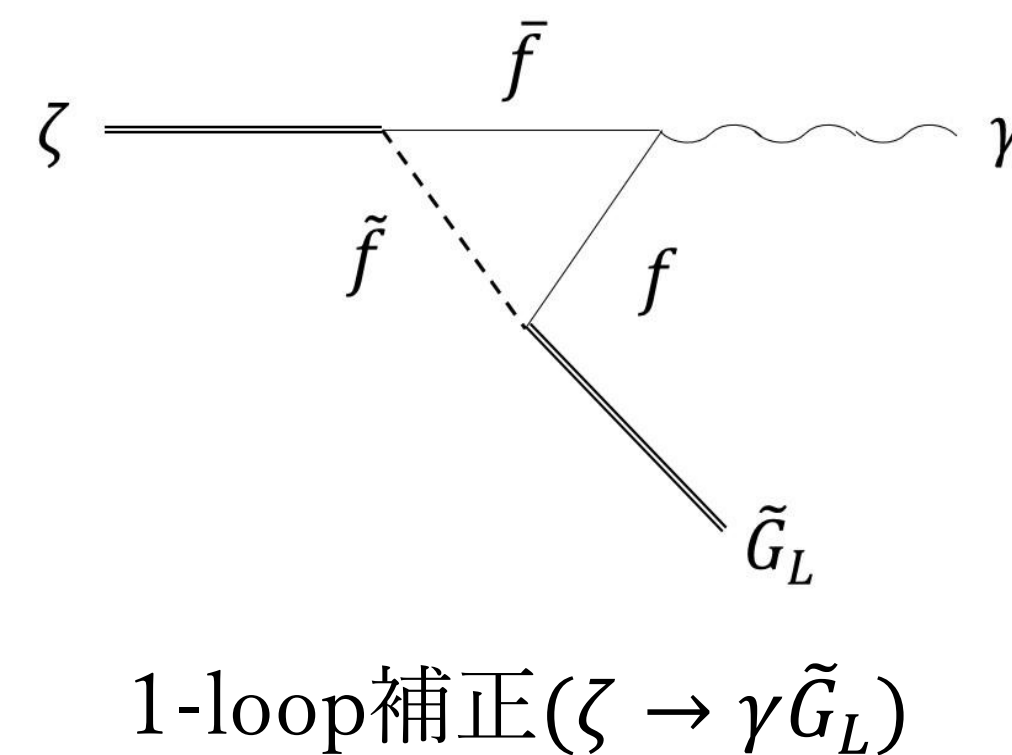
## 4.今後の研究について

・1-loop補正と生成過程



2体散乱での生成( $f \bar{f} \rightarrow \zeta \zeta$ )

2体崩壊での生成( $\tilde{f} \rightarrow f \zeta$ )



1-loop補正( $\zeta \rightarrow \gamma \tilde{G}_L$ )

→擬-ゴールドスティーノの生成シナリオ、loop補正を考慮するために、上図、左図のダイアグラムから崩壊幅、断面積などを計算する

## 5.参考文献

- [1] S. P. Martin, A Supersymmetry Primer, arXiv:hep-ph/9709356
- [2] Clifford Cheung, 野村泰紀, Jesse Thaler, Goldstini, arXiv:hep-ph/1002.1967
- [3] S. Navas et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 110, 030001 (2024)