

The time to discover the CMSSM is soon coming

山中 真人(名古屋大学)

arXiv:1308.XXXX

共著者:小西康文、太田慎吾、佐藤文、須貝顕一、下村崇

- ☑ 125GeVヒッグス粒子(?)
- ☑ 新物理の兆候無し@LHC
- ☑ フレーバー数非保存反応の兆候無し

標準模型は極めて優等生

標準模型を超える物理も必要

- ☑ ダークマター候補の不在
- ☑ 宇宙の物質・反物質非対称の起源
- ☑ ニュートリノ質量の起源

- ☑ Constrained minimal SUSY standard model (CMSSM)に希望を託す

どこのパラメーター領域に注目すべきか？

2/12

☑ Coannihilation region

暗黒物質とスタウの質量が縮退

残存量決定時にスタウも残り、
暗黒物質がちょうど良い量まで
消え去るよう手伝う

☑ 125GeV Higgs、muon g-2 など も含めると尤もらしい領域は？

$$\delta m \equiv m_{\tilde{\tau}} - m_{\tilde{\chi}} < m_{\tau}$$

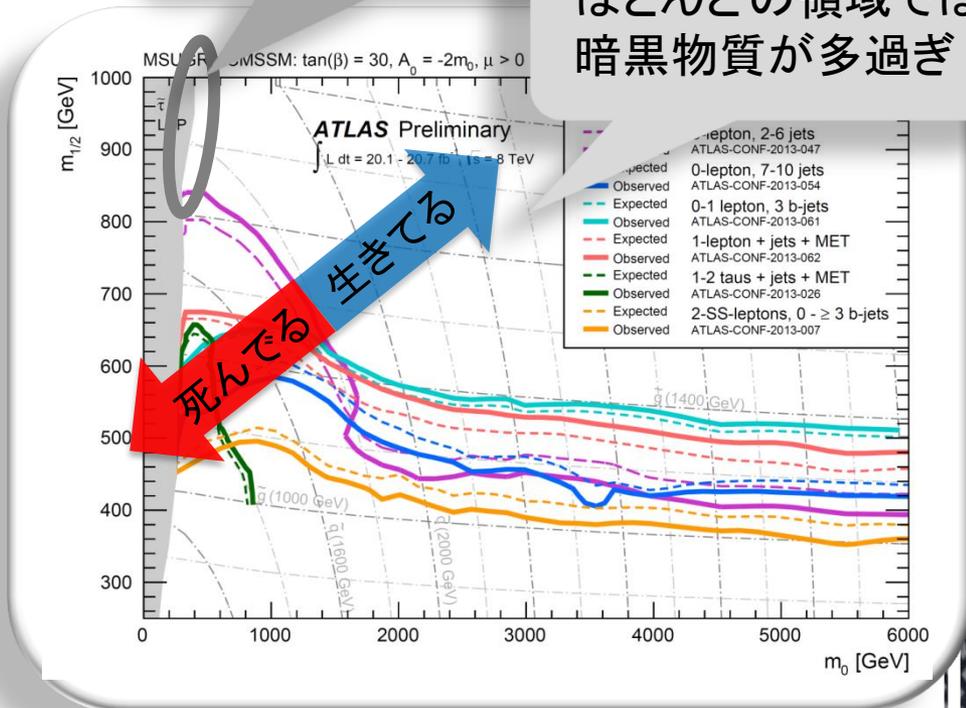
[L. Aparicio, D. Cerdeno, L. Ibanez, JHEP(2012)]

[J. Ellis, et al, PRD87(2013)]

☑ この小さな質量差の領域こそ実現可能性の高い注目領域

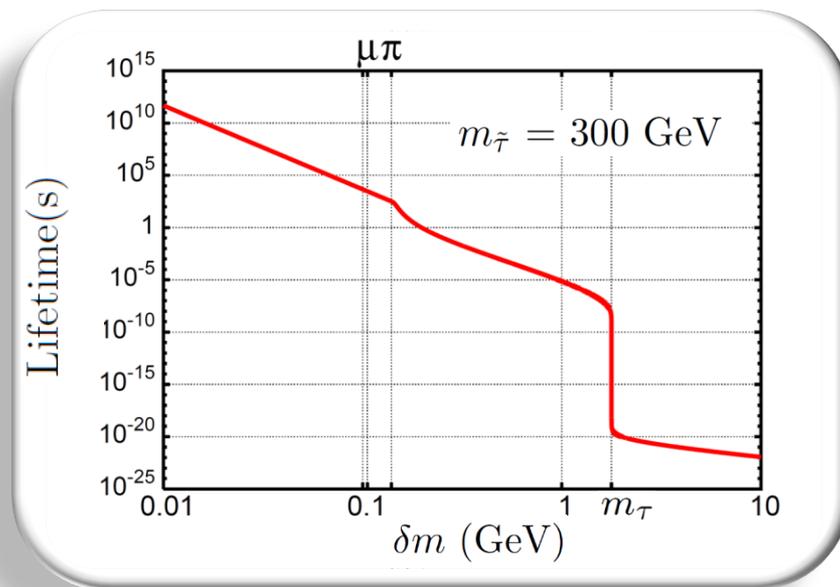
暗黒物質の観測と無矛盾
Coannihilation region

ほとんどの領域では
暗黒物質が多過ぎ



研究目的

- ☑ $\delta m < m_\tau$ の領域では2体崩壊禁止によりスタウNLSPが長寿命化



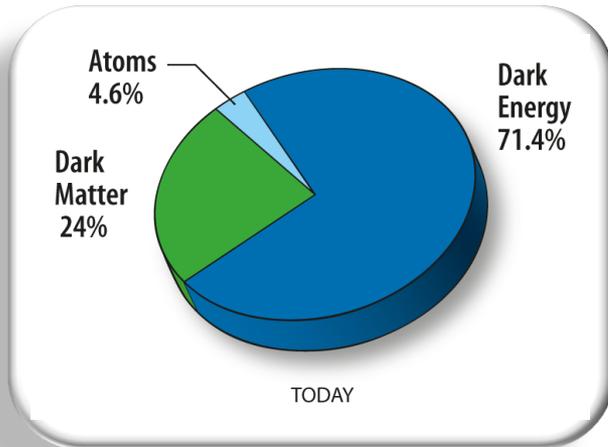
[T. Jittoh, J. Sato, T. Shimomura, MY, PRD73 (2006)]

- ☑ $\delta m > m_\tau$ のCMSSMを調べるだけでは見落とす現象や制限あり
- ☑ CMSSMの確立に向け、実現可能性大の領域を丁寧に洗い直すべき

研究目的：新たな現象、それに伴う特典・制限を含め、現実的CMSSMの検証可能性を真摯に解析

どうやってパラメーターを絞り込んでいくか？

4/12



- ☑ **制限1**: 暗黒物質残存量

$$0.089 \leq \Omega_{\text{DM}} h^2 \leq 0.136 \quad [\text{WMAP 9-year}]$$

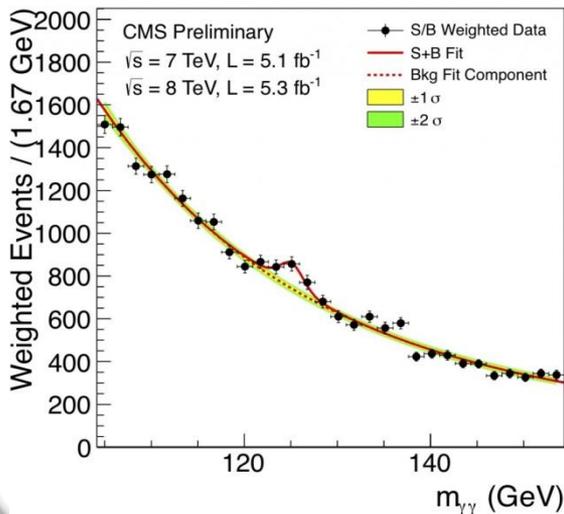
- ☑ **ヒッグス質量**

$$m_h = 125.8 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.4(\text{sys}) \text{ [GeV]} \quad [\text{CMS}]$$

$$m_h = 125.2 \pm 0.3(\text{stat}) \pm 0.6(\text{sys}) \text{ [GeV]} \quad [\text{ATLAS}]$$

- ☑ **制限2**: 観測値、及び、コードの計算値の不定性を加味し、保守的な制限を使用

$$m_h = 125.0 \pm 3.0 \text{ [GeV]}$$



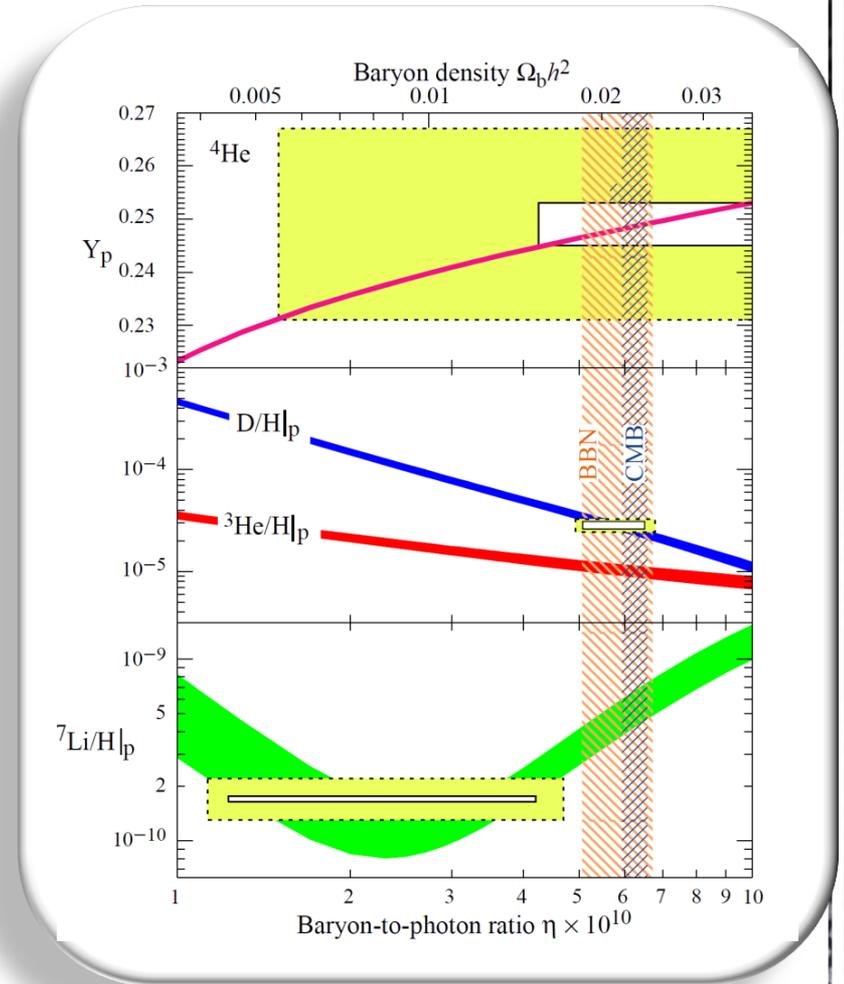
☑ 軽元素合成量

Li7の予言値と観測値のズレ解消のため、
スタウとLi7の束縛状態形成が必要

☑ 制限3: 形成可能な寿命をもたらす質量差

$$\delta m = m_{\tilde{\tau}} - m_{\tilde{\chi}} \leq 1[\text{GeV}]$$

（論文中では制限を0.1GeV以下にした
場合も調べているが今日は割愛）



☑ 軽元素合成量

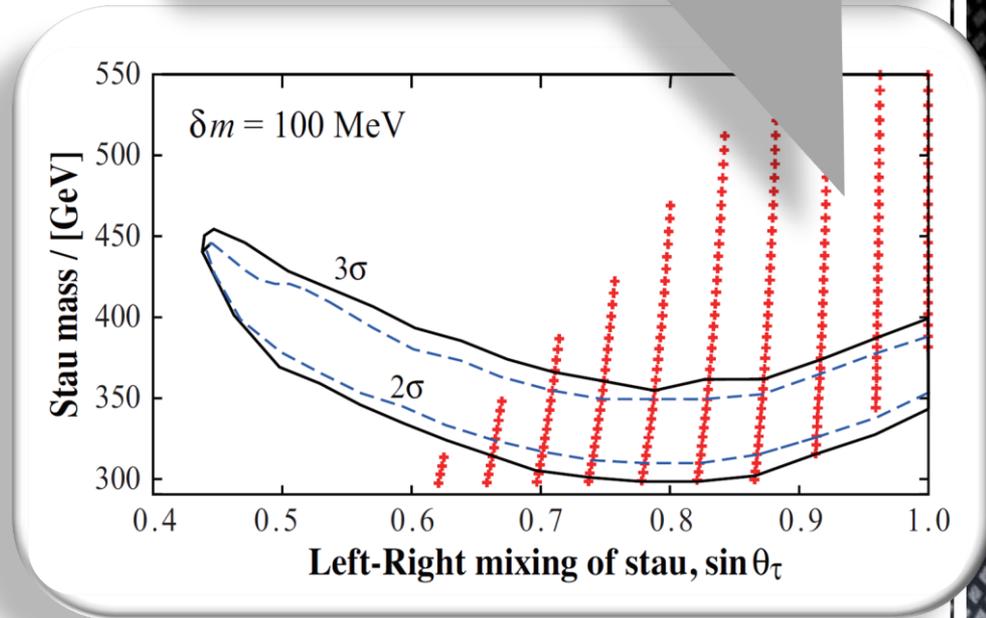
Li7の予言値と観測値のズレ解消のため、スタウとLi7の束縛状態形成が必要

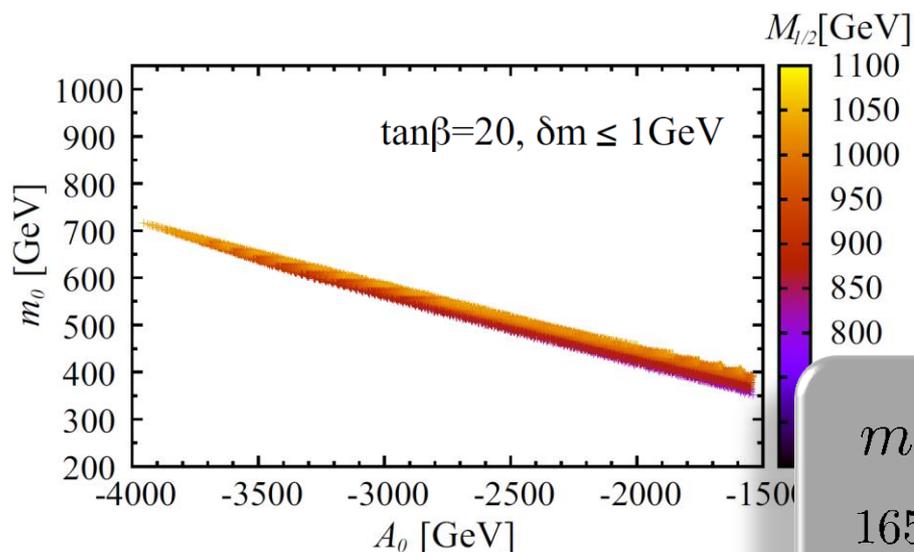
☑ 制限4: 十分な数の束縛状態をもたらすスタウ質量

$$339[\text{GeV}] \leq m_{\tilde{\tau}} \leq 450[\text{GeV}]$$

LHC bound

実線内の赤点: 暗黒物質と軽元素の存在量が全て観測値と整合





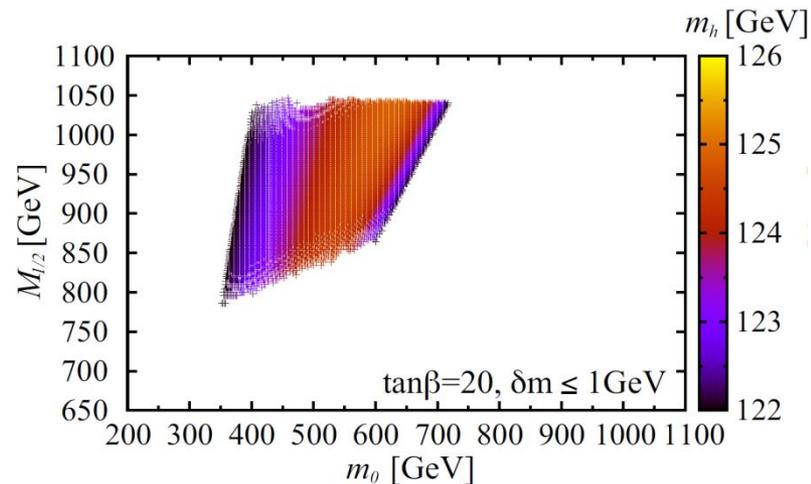
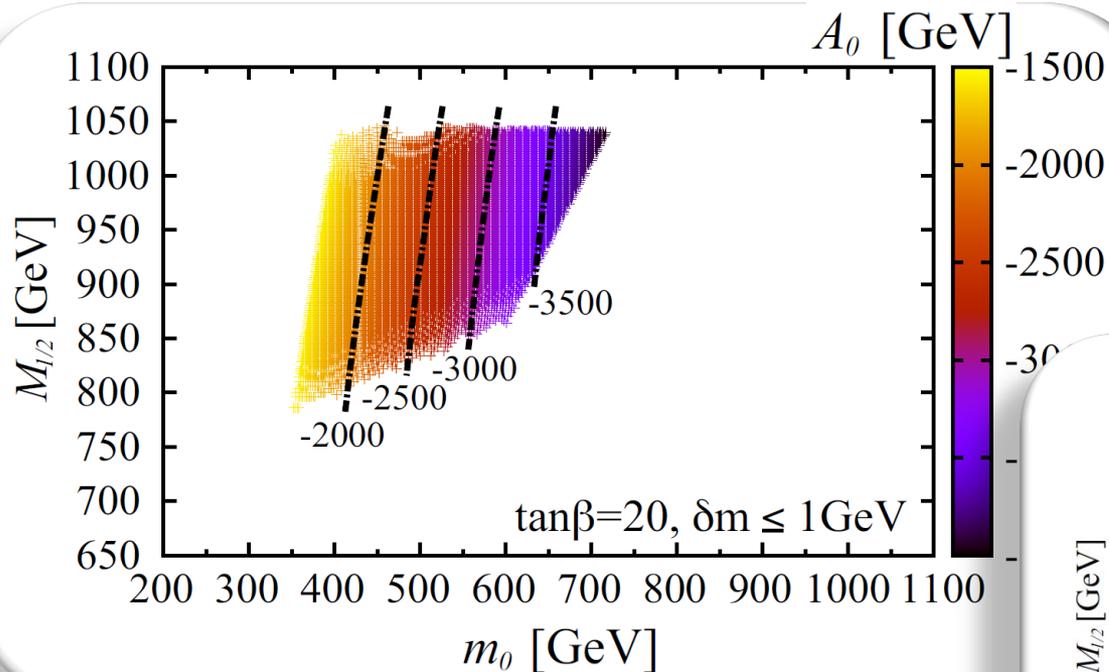
- ☑ この線形性はシナリオが持つ重要な特徴
- ☑ 独特のSUSYスペクトラムを予言

$$m_0 = -5.5 \times 10^{-3} A_0 \tan \beta + b$$
$$165[\text{GeV}] \lesssim b \lesssim 228[\text{GeV}] \quad \text{for } \tan \beta = 20$$

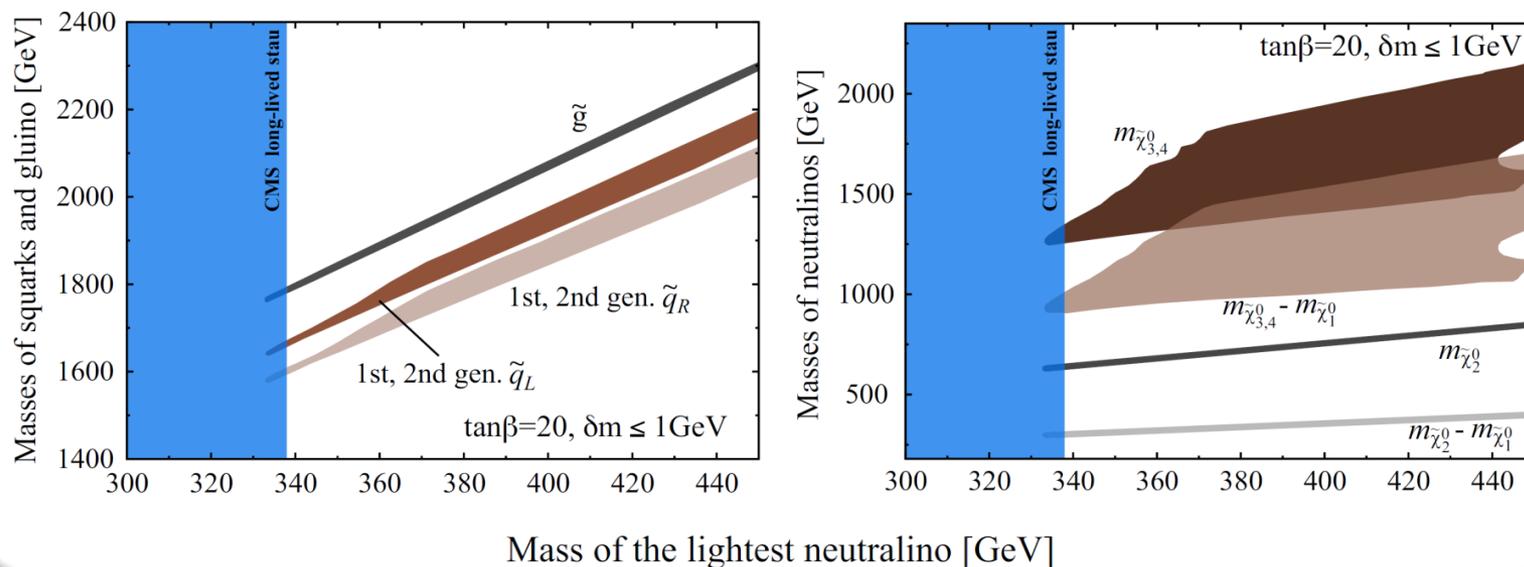
- ☑ なぜ線形？

$m_{\tilde{\chi}}$ を固定して m_0 だけを增大させると、 $\delta m > 1\text{GeV}$

スタウ質量行列の非対角を A_0 増大で大きくし $\delta m \leq 1\text{GeV}$ を保つ

m_0 - $M_{1/2}$ plane

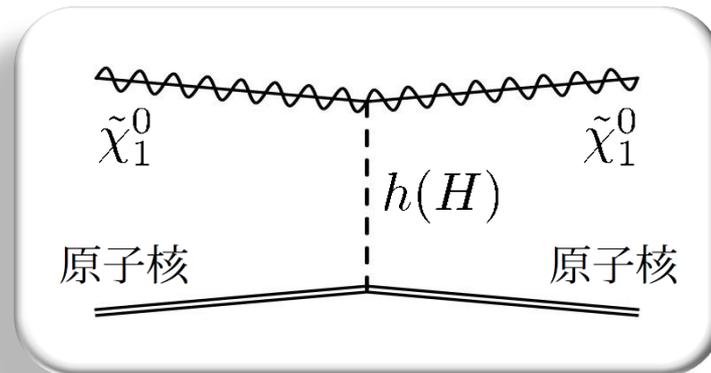
- ☑ 左右端: ヒッグス質量の下限で制限
- ☑ 下端: 暗黒物質残存量の下限で制限 ($\tan\beta$ が大きいほど下端は大きな値に)
- ☑ 上端: スタウ質量の上限で制限 (元素合成がもたらすオリジナル制限)



- ☑ 特徴: $m_{\tilde{q}}$ と $m_{\tilde{g}}$ がシャープに線形かつ平行
- ☑ $m_{\tilde{\tau}} (= m_{\tilde{\chi}_1^0})$ の決定から $m_{\tilde{q}}$ と $m_{\tilde{g}}$ を精度良く予言可能
- ☑ **4つの制限**で規格されたCMSSMでは全SUSY粒子がLHCで生成可能な質量

残存量、ヒッグス質量、軽元素合成量 (2つ)

☑ 暗黒物質と原子核の散乱探索



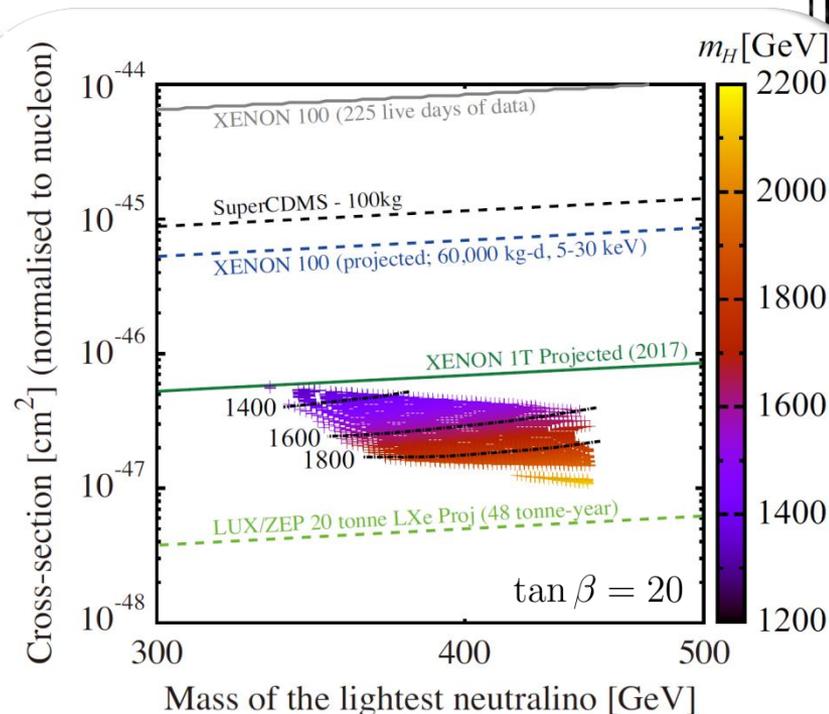
☑ m_H と散乱断面積にきれいな相関

重いヒッグスの質量 $m_H \simeq \mu$

μ が小の時、ニュートラリーノ混合が大

→ $\tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0 h$ のカップリングが強

☑ 直接検出実験と重いヒッグスの検証
実験から、暗黒物質の主成分決定、
及び、ニュートラリーノ混合を制限可能



LHC in near future

☑ 100fb^{-1} でテスト可能な断面積

☑ シナリオ特有のシグナル

■ 検出器を突き抜ける長寿命スタウのトラック

■ 長寿命スタウのトラックとミッシングエネルギーの数がほぼ同数

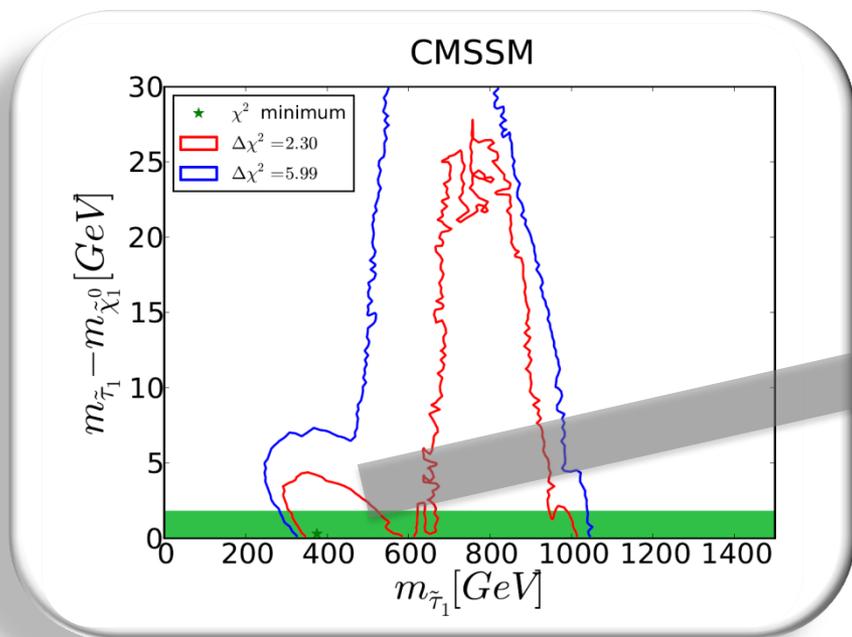
■ 多数の軽いストップ

☑ $m_{\tilde{q}}(m_{\tilde{g}})$ と $m_{\tilde{\chi}_1^0}$ の比例関係や暗黒物質検出との合わせ技で近未来に確立 or 棄却

Input	Point 1[GeV]	Point 2[GeV]	Point 3[GeV]
$M_{1/2}$	818.6	932.8	1038.0
m_0	452.0	657.7	639.7
A_0	-2264.7	-2918.4	-3397.0
Particle			
h	123.8	124.6	124.9
\tilde{g}	1822.4	2057.8	2272.6
$\tilde{\chi}_1^0$	349.3	400.9	448.5
$\tilde{\tau}_1$	350.3	401.0	449.1
\tilde{u}_L	1710.9	1942.2	2149.7
\tilde{t}_1	945.8	968.6	1016.3
Cross Section	Point1 [fb]	Point2 [fb]	Point3 [fb]
$\sigma(\tilde{u}_L, \tilde{u}_L)$	2.915	1.277	0.614
$\sigma(\tilde{u}_L, \tilde{u}_R)$	1.672	0.668	0.296
$\sigma(\tilde{u}_R, \tilde{u}_R)$	2.970	1.327	0.652
$\sigma(\tilde{u}_L, \tilde{d}_L)$	3.243	1.335	0.608
$\sigma(\tilde{u}_R, \tilde{d}_R)$	2.680	1.124	0.522
$\sigma(\tilde{g}, \tilde{u}_L)$	2.735	0.899	0.330
$\sigma(\tilde{g}, \tilde{u}_R)$	3.156	1.041	0.391
$\sigma(\tilde{t}_1, \tilde{t}_1^*)$	4.399	3.662	2.655
$\sigma(\tilde{\chi}_1^+, \tilde{\chi}_1^-)$	1.229	0.629	0.355
$\sigma(\tilde{\chi}_1^+, \tilde{\chi}_2^0)$	3.514	1.858	1.075
$\sigma(\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_2^0)$	1.232	0.616	0.341
$\sigma(\text{All SUSY})$	37.730	17.277	8.456
Produced number			
$N_{\tilde{\tau}_1}$	1595	774	303
$N_{\tilde{\tau}_1^*}$	2270	989	409
$N_{\tilde{\chi}}$	3679	1692	978

- ☑ 新物理の有力候補: constrained minimal SUSY standard model (CMSSM)
- ☑ 現状の観測の示唆: $\delta m \equiv m_{\tilde{\tau}} - m_{\tilde{\chi}} < m_{\tau}$ の領域が実現可能性大
- ☑ 2体崩壊不可によりスタウNLSPが長寿命化
- ☑ 暗黒物質残存量、ヒッグス質量、軽元素合成量を観測と無矛盾にもた
らす要請を課し、真摯に現象論的立場からCMSSMのパラメーターを予言
 - A0-m0間に線形関係、特徴的なSUSYスペクトラムを予言 (from 質量縮退)
 - SUSY粒子質量に上限 $\lesssim 2.3\text{TeV}$ (from スタウ質量上限)
- ☑ 近未来の暗黒物質直接検出実験、LHC実験における相互検証で
シナリオの確立 or 棄却可能

どこのパラメーター領域に注目すべきか？



[J. Ellis, et al, PRD87 (2013)]

- ☑ 125GeV Higgs、muon g-2 なども含めると尤もらしい領域は？

$$\delta m < m_\tau$$

$$\delta m = m_{\tilde{\tau}_R} - m_{\tilde{\chi}}$$

暗黒物質とスタウの質量差

リチウム7問題

- ☑ Prediction

$${}^7\text{Li}/\text{H} = (4.15^{+0.49}_{-0.45}) \times 10^{-10}$$

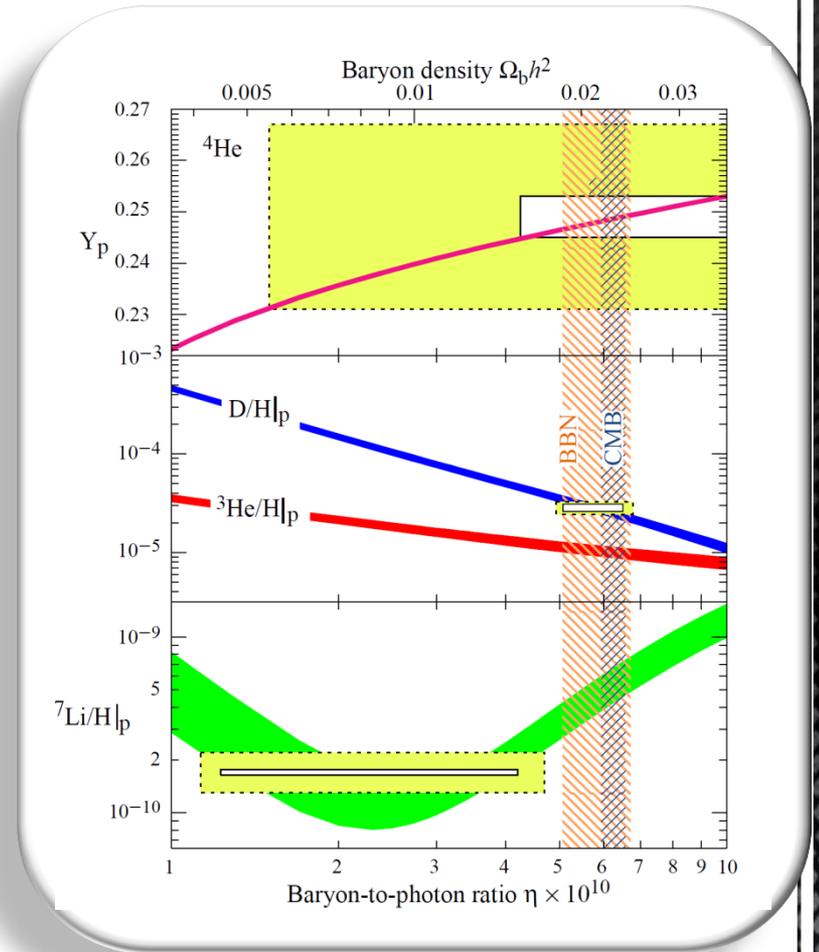
- ☑ Observation

$${}^7\text{Li}/\text{H} = (1.26^{+0.29}_{-0.24}) \times 10^{-10}$$

- ☑ Discrepancy: **${}^7\text{Li}$ problem**

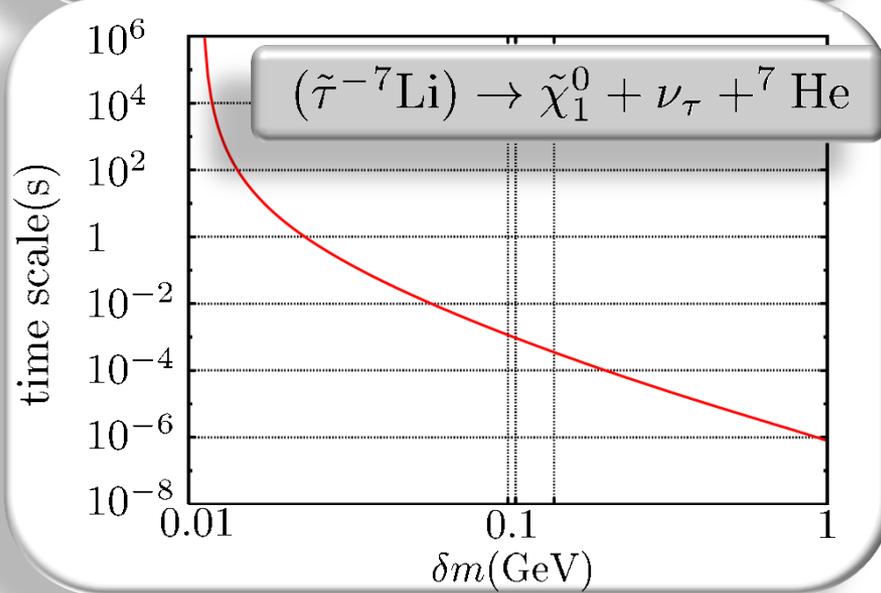
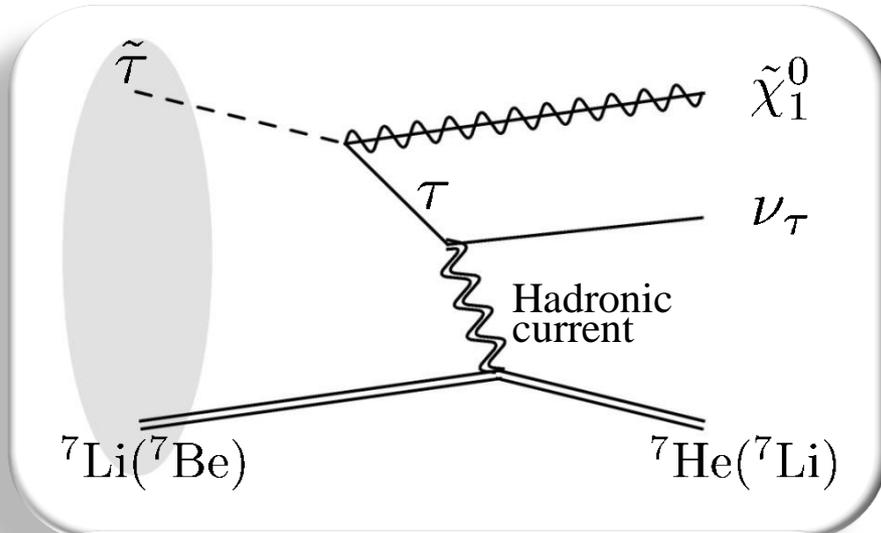
- ☑ No solutions by modifying nucleus reaction rates

- ☑ Find mechanism to reduce **both ${}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Be}$** at the BBN epoch



Internal conversion for solving the lithium7 problem

[T. Jittoh, K. Kohri, M. Koike, J. Sato, T. Shimomura, MY, PRD76 (2007)]



- ☑ Mechanism to reduce both ${}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Be}$
- ☑ Nuclear transformation by the bound state $(\tilde{\tau}^{-7}\text{Li})$ and $(\tilde{\tau}^{-7}\text{Be})$ [cf. electron capture]
- ☑ ${}^7\text{Li}$ is immediately destroyed once forming the bound state