

MEG実験による $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索の 最新状況

日本物理学会2012年秋季大会
13/Sep./2012 @京都産業大学

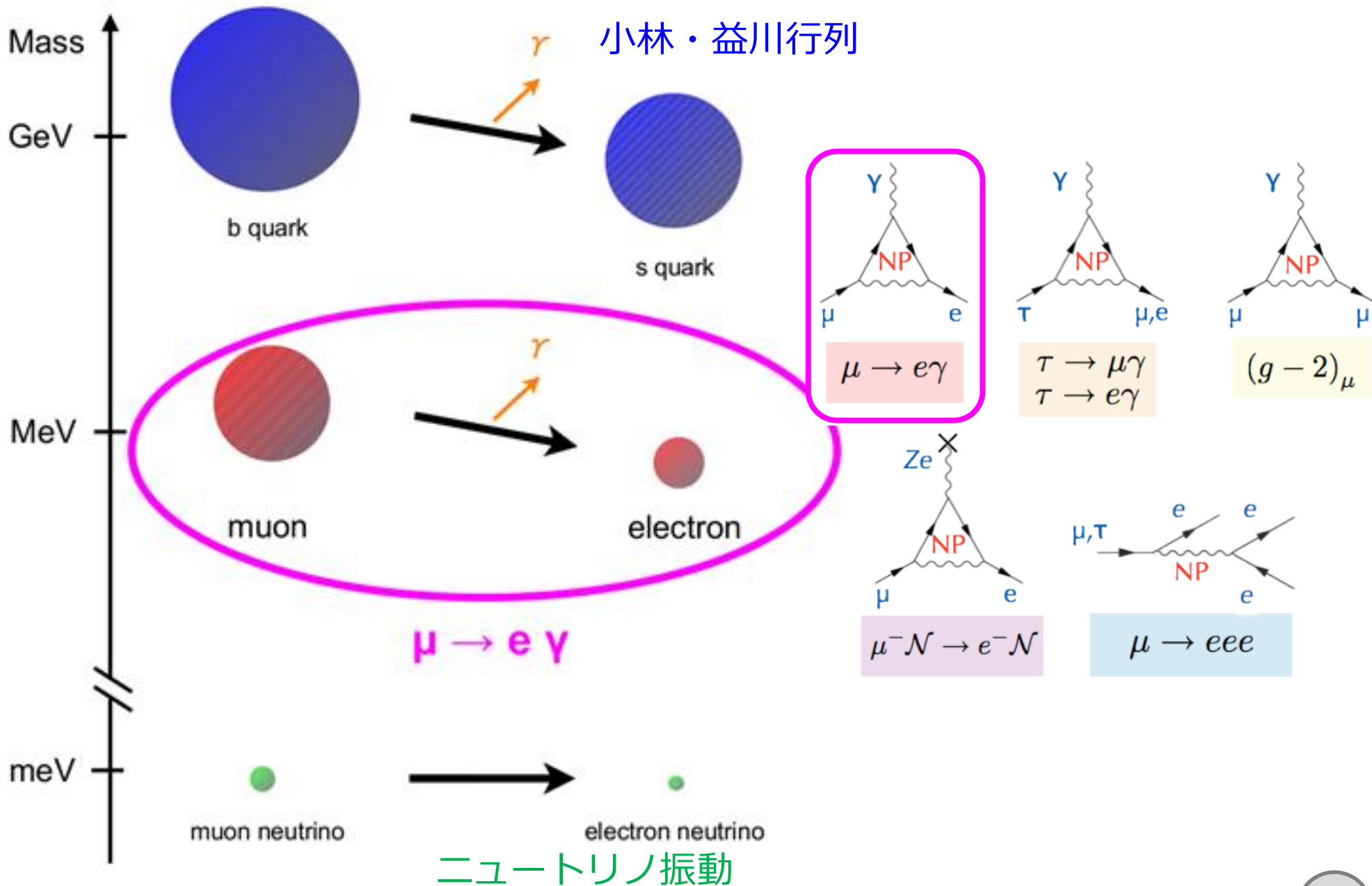


ICEPP, the University of Tokyo

内山 雄祐

他、MEGコラボレーション

研究対象



$\mu \rightarrow e\gamma$ 探索の物理的意義

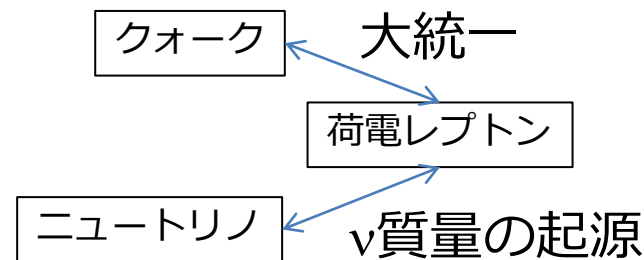
- フレーバ物理の謎 (謎だらけ)
 - 質量と混合パターンの起源は？
 - フレーバ対称性の破れの起源は？
- クォークセクターでの詳細な研究
 - CPおよびフレーバの破れの主要な寄与はCKM(つまりSM)
 - 小さなズレを探る
 - 加えて理論的予測の不定性
- レプトンセクター
 - MFV仮定でもLFVはnon-negligible
 - ν 質量との関係
 - 理論計算の不定性なし、SM寄与(BG)なし

SM Higgs以外にTeVスケールに何かあるか？

相補的

LHC時代(早期)のフレーバ物理の課題

MFVの概念？
何らかの機構(対称性)



フレーバの破れのSMからのズレが見つかっていないことが
TeVスケールの現実的なモデルを構築する際に最も厳しい条件となっている

$\mu \rightarrow e\gamma$: クリーンな環境で高精度探索が可能

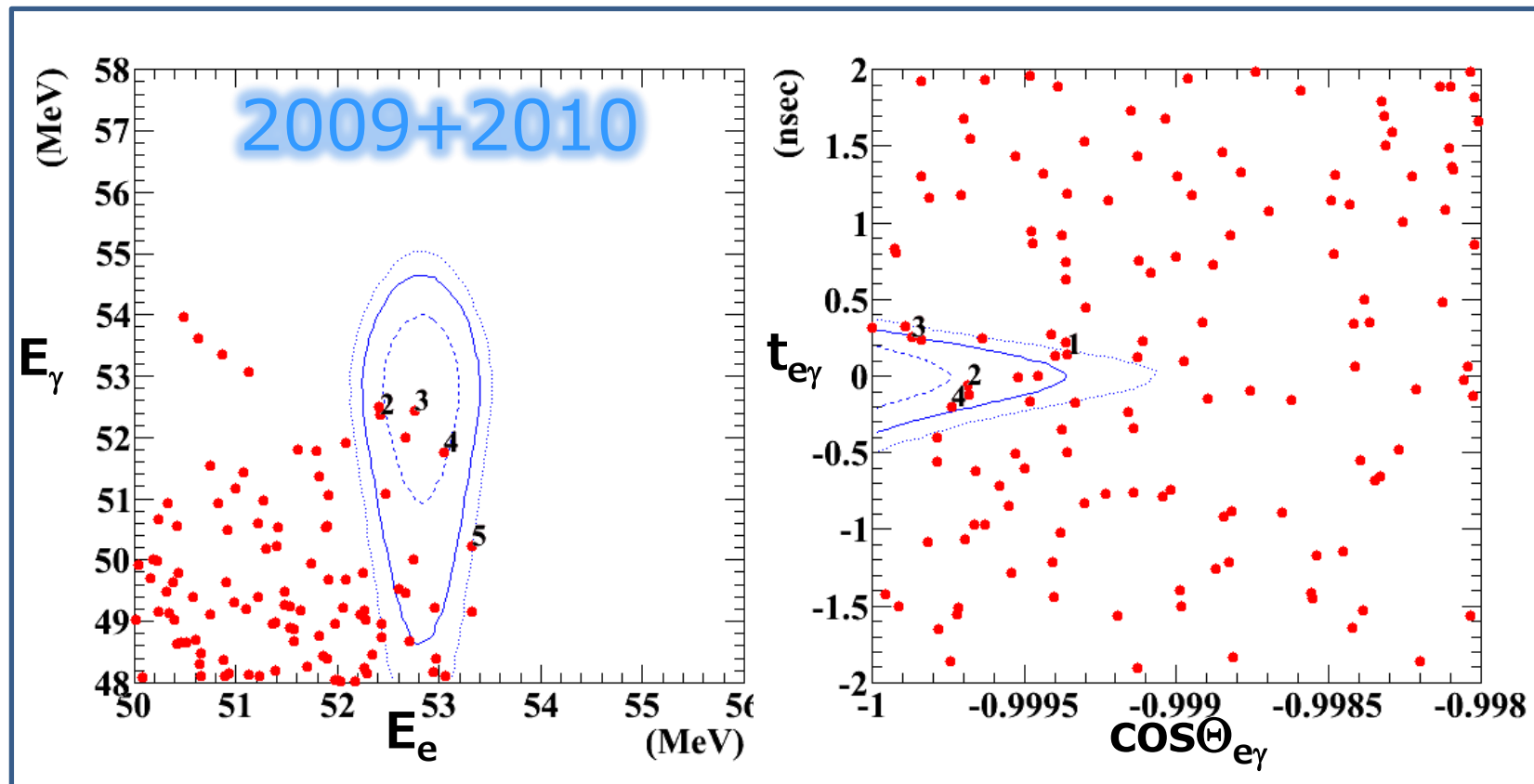
探索を極限まで突き詰めて、新物理の選別(殺す)
発見はそのまま疑いようのない新物理の証拠

Published result

- 2009 + 2010年データを用いたMEG 2nd 物理結果を昨年夏公表
 - 世界最高感度での探索を行い、今までの上限値を**5倍上回る制限**を与えた。
 - ガンマ線解析の向上(分解能の改善・系統誤差の低減)
 - 陽電子再構成変数間の相関の理解と組み込み
 - 検出器間のアライメントの徹底
 - 物理解析の改善(BG制限の組み込み)

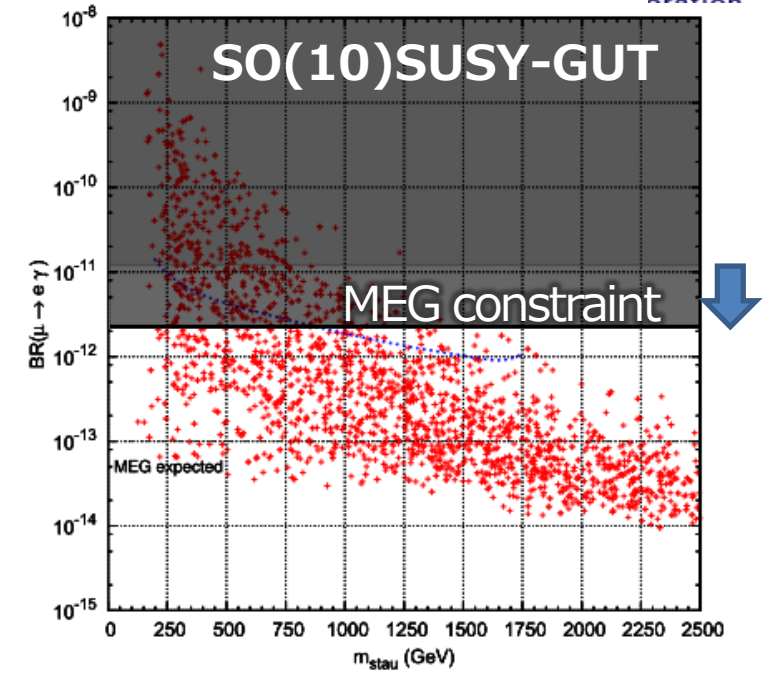
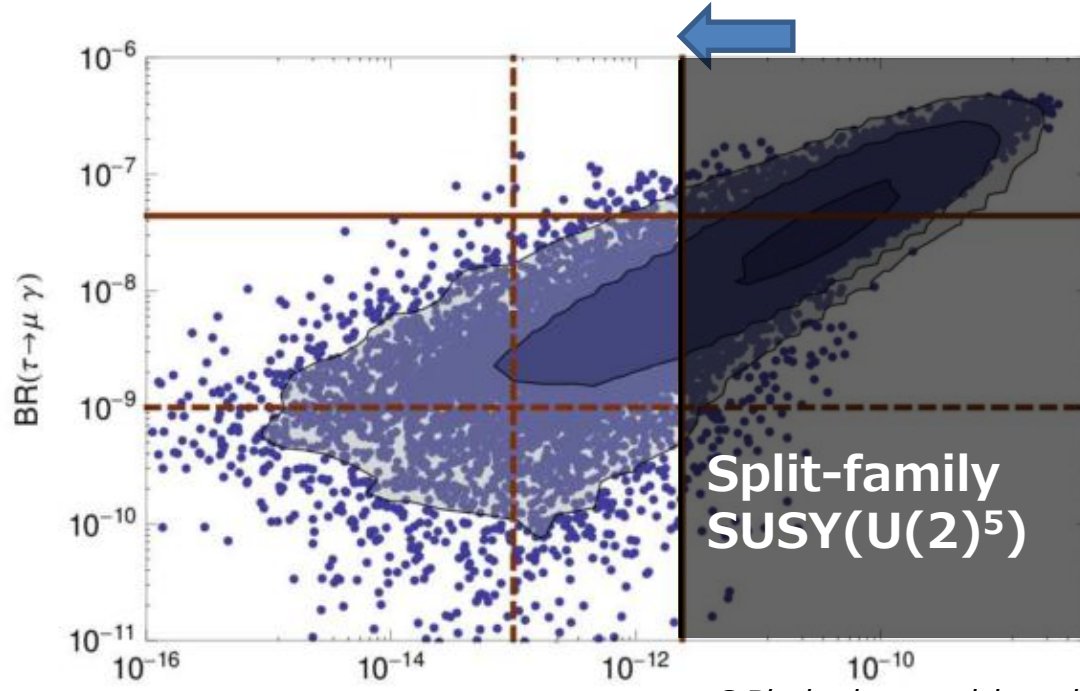
$$\mathcal{B} < 2.4 \times 10^{-12}$$

(PRL **107**,171801(2011))

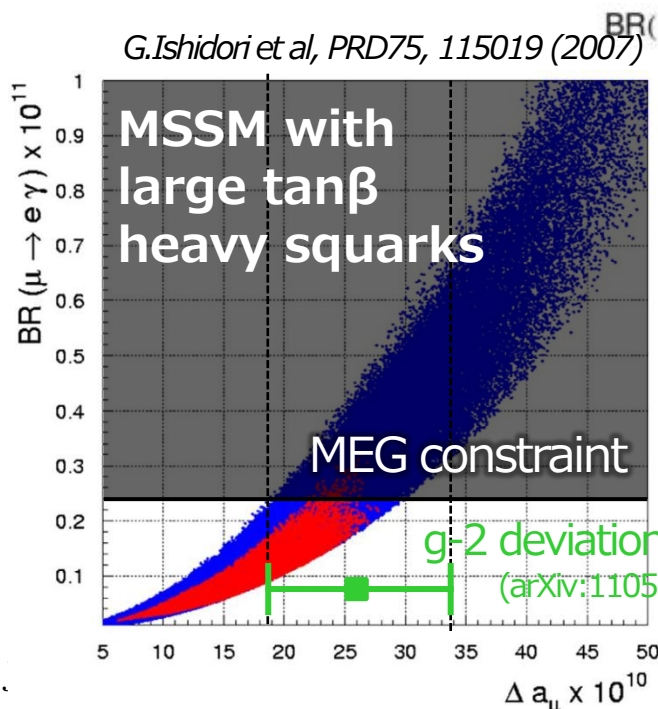


SUSYな場合

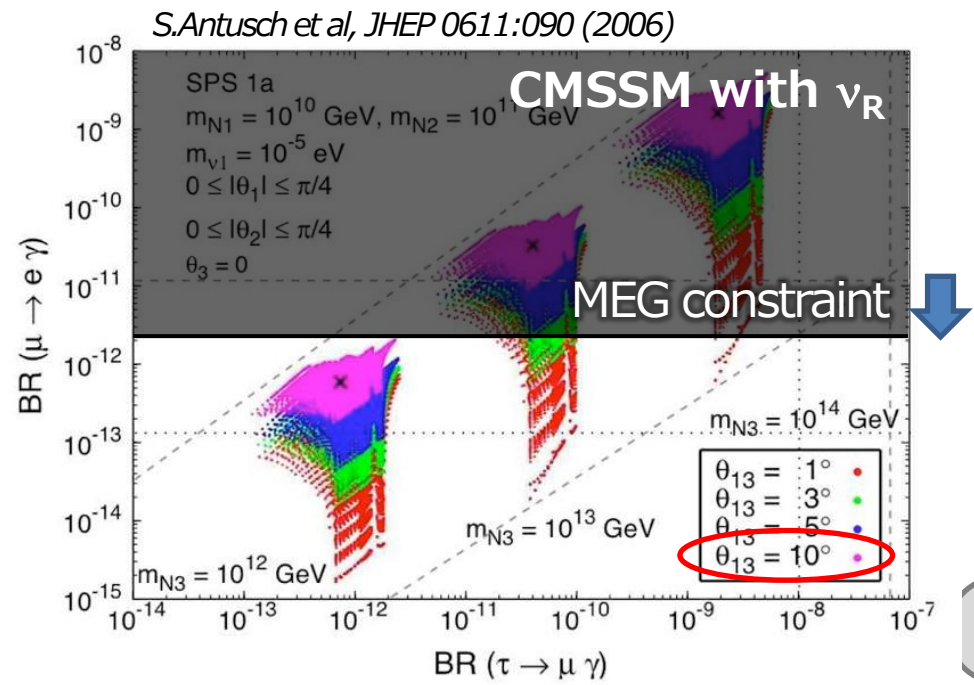
L. Calibbi et al, JHEP 0912:057 (2009)



G. Blankenburg et al, hep-ph/1204.0688 (2012)

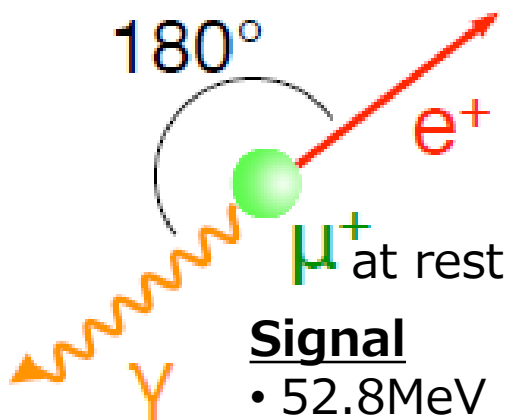


G. Ishidori et al, PRD75, 115019 (2007)



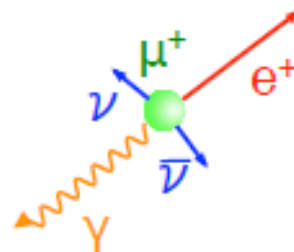
S. Antusch et al, JHEP 0611:090 (2006)

Signal & Background



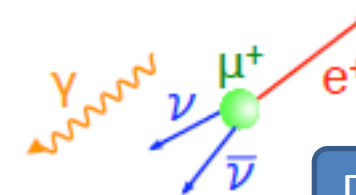
Signal

- 52.8MeV
- Back-to-back
- Time coincidence



Physics BG

- (radiative muon decay)
- <52.8MeV
 - Any angle
 - Time coincidence

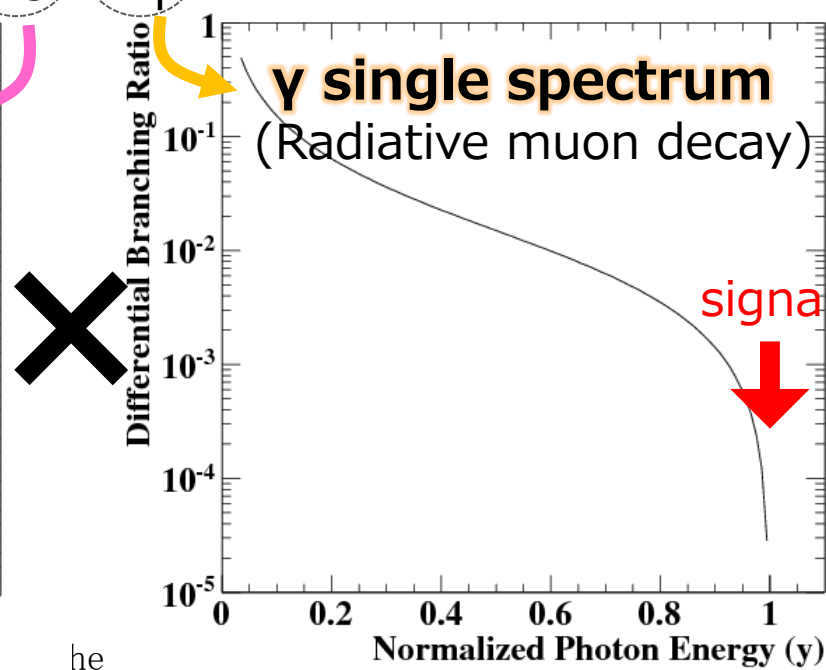
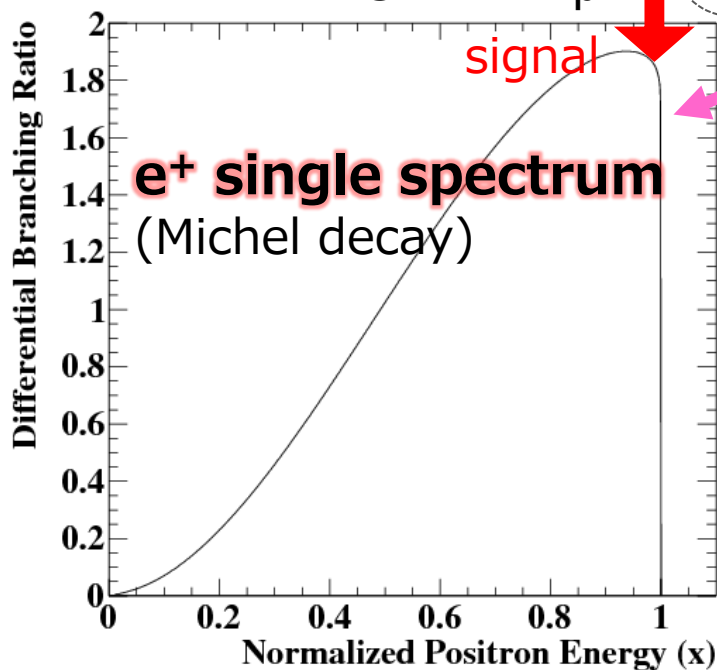


Dominant

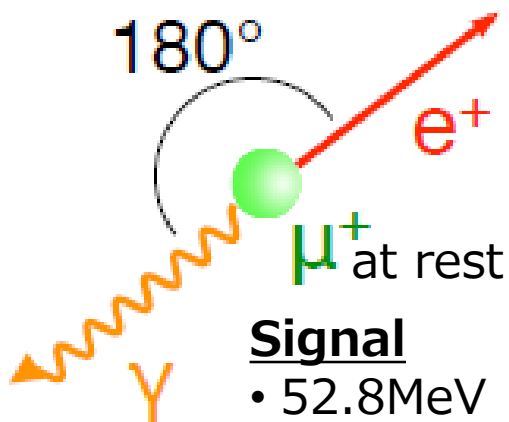
Accidental BG

- <52.8MeV
- Any angle
- Random

$$R_{BG} \propto R_{\mu}^2 \cdot f_e \cdot f_{\gamma} \cdot \delta\omega/4\pi \cdot \delta t$$

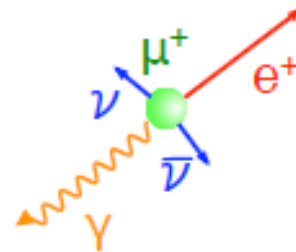


Signal & Background



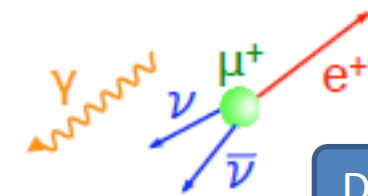
Signal

- 52.8MeV
- Back-to-back
- Time coincidence



Physics BG

- (radiative muon decay)
- <52.8MeV
 - Any angle
 - Time coincidence

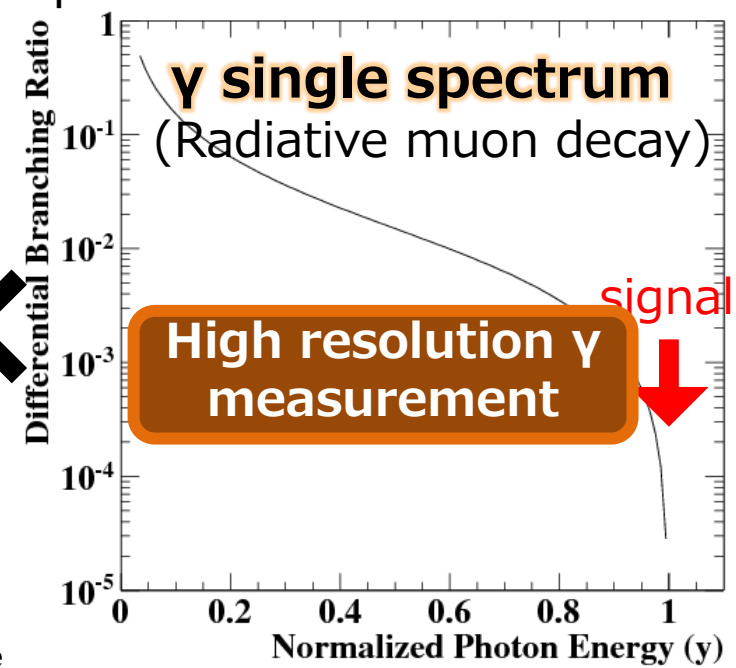
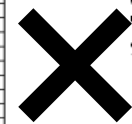
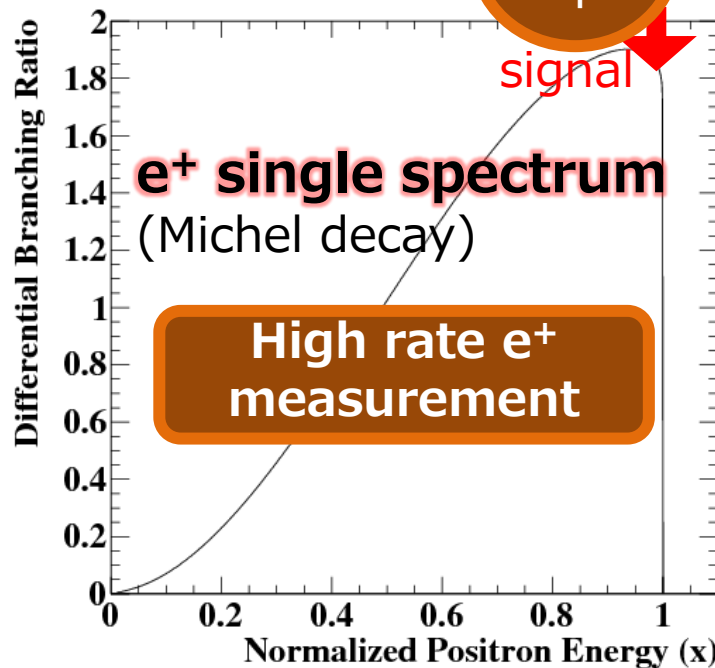


Dominant

Accidental BG

- <52.8MeV
- Any angle
- Random

$$R_{BG} \propto R_{\mu}^2 \cdot f_e \cdot f_{\gamma} \cdot \delta\omega/4\pi \cdot \delta t$$

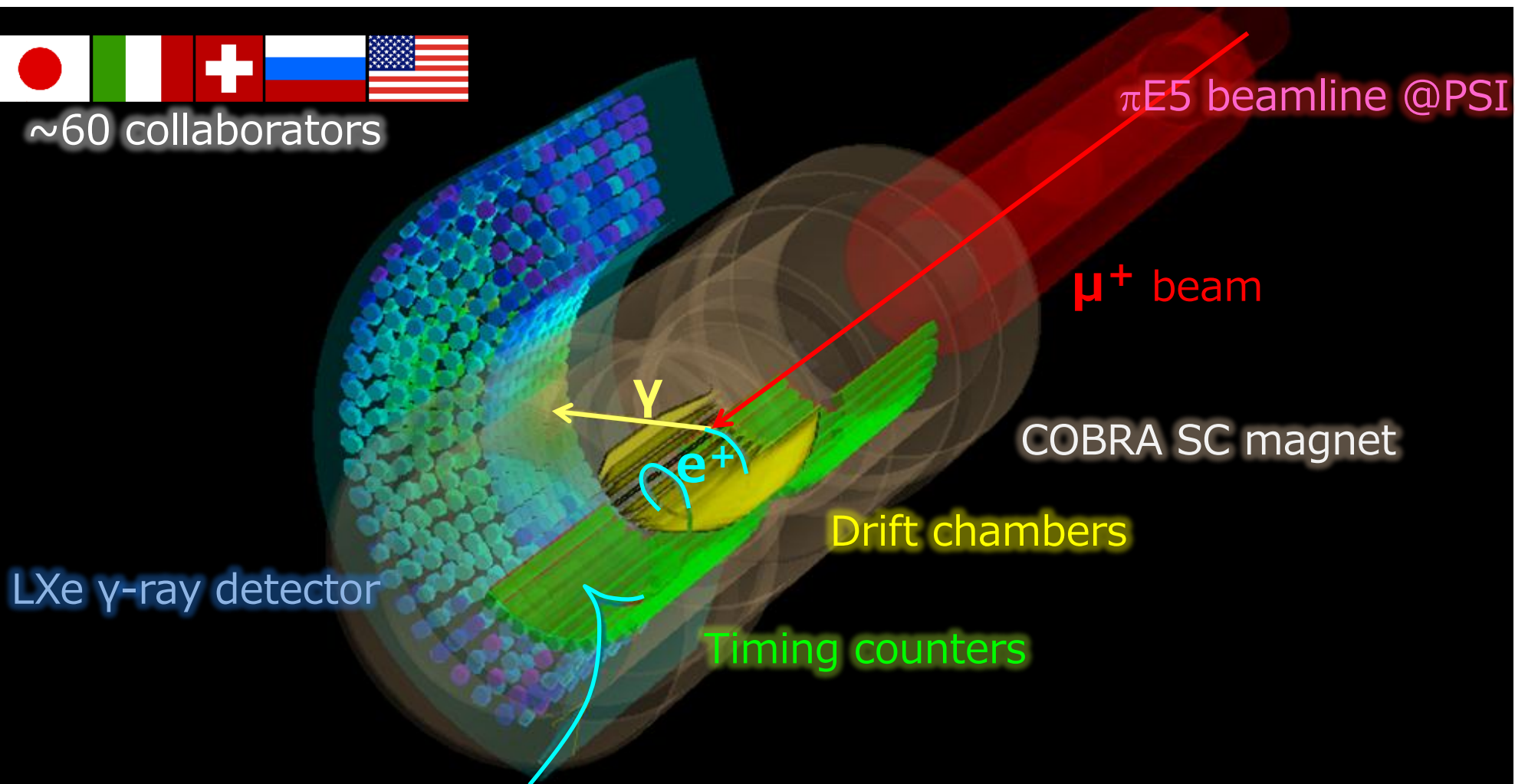


The MEG Experiment

- **世界最大強度 直流** ミューオンビーム @ PSI
- **特殊勾配磁場による** 高計数対応 e^+ スペクトロメータ
- 世界最大 **液体キセノン検出器** による高精度ガンマ線測定



~60 collaborators

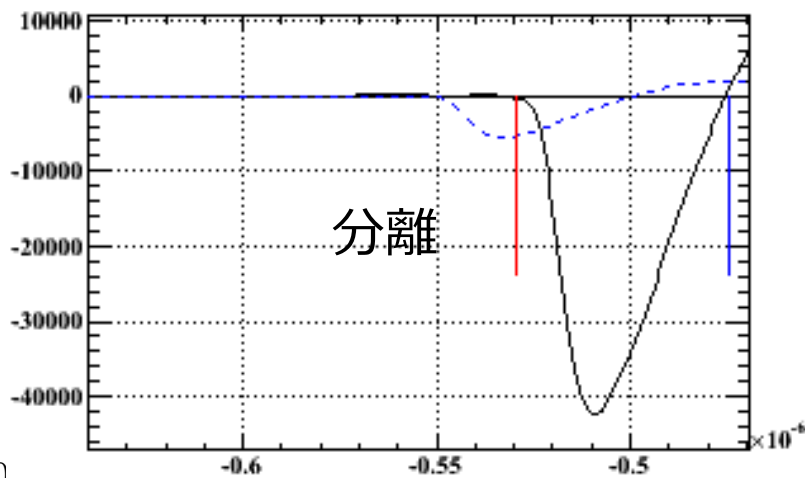
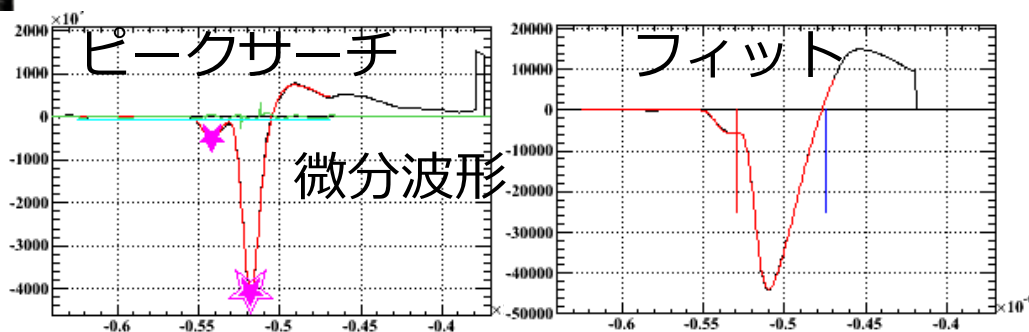


2011データ・What's new?

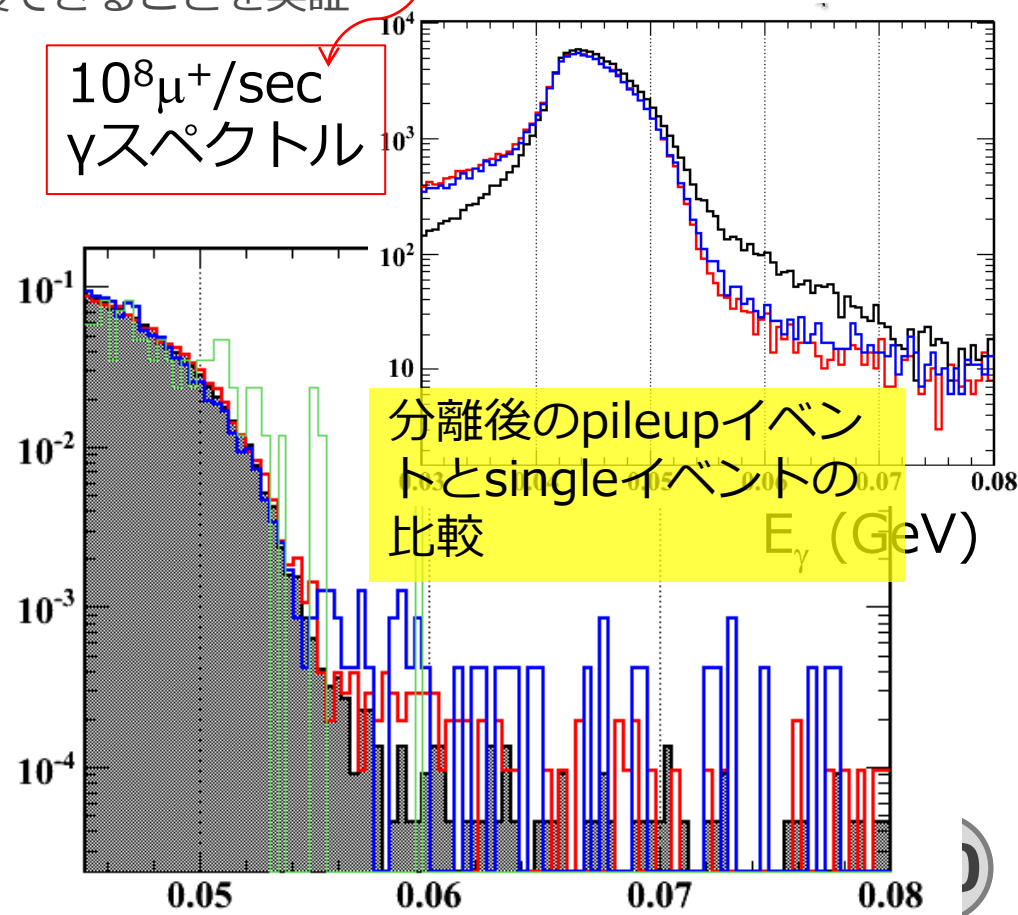
- 統計
 - 2011 \geq 2009+2010 統計量**2倍**以上に
 - マルチバッファの導入によるDAQ&トリガー効率の改善
($>99 \times 95\%$ $\leftarrow 84 \times 92\%$)
- ガンマ線解析
 - 波形を用いたパイルアップ分離
 - 検出効率の改善(**$\uparrow 6\%$**)
 - エネルギー較正法の改善
 - 分解能・スケールを決定する π^0 較正法における,BGO検出器(\leftarrow NaI)の導入による、系統誤差の低減。
 - エネルギー分解能: (平均) **1.7%** ($\leftarrow 1.9\%$)
- 陽電子解析
 - トラッキングアルゴリズムの改善
 - 検出効率の改善(**$\uparrow 5\%$**)
 - イベント毎の再構成精度・変数相関の評価
 - デジタル波形フィルタによるノイズ除去
- 2011データ解析準備完了
 - almost ready to open blind box

γ パイルアップ分離解析

- 波形を使ったパイルアップ分離法を今年開発
 - 個々のPMTの出力をすべて波形データとして記録。
 - 位置・時間・エネルギー再構成を行った後に和波形を作る。
 - 光量分布および時間分布でのパイルアップサーチ情報も統合。
 - 和波形のフィットによりパイルアップを分離しメイン γ 線を再構成。
 - 精度・効率のよいパイルアップ分離を実現 分解能、検出効率の改善
 - 高計数率測定に向けてますます重要に (今年15% \uparrow 、upgrade3倍)
 - 3倍のレート下でもスペクトルを回復できることを実証

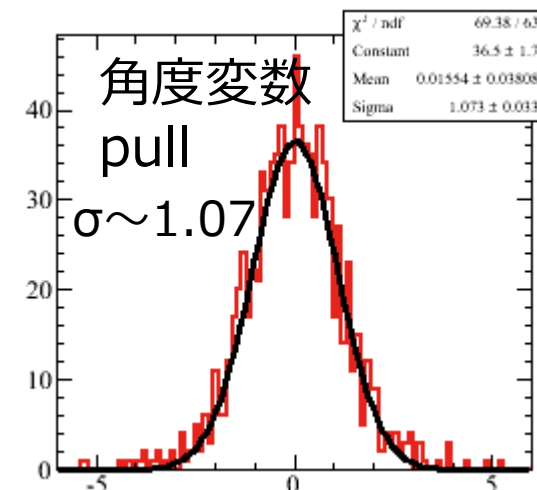


$10^8 \mu^+/\text{sec}$
 γ スペクトル



e⁺飛跡再構成

- e⁺トラッキングコード(Kalman filter)を新調
 - ジオメトリ・粒子輸送にGeant3プログラムを活用
 - トラック毎に再構成精度・相関を計算
 - 共分散行列をlikelihood fitに組み込む
 - 汎用性・拡張性のあるコーディングで、Upgradeスタディ(異なった検出器)にも活用。

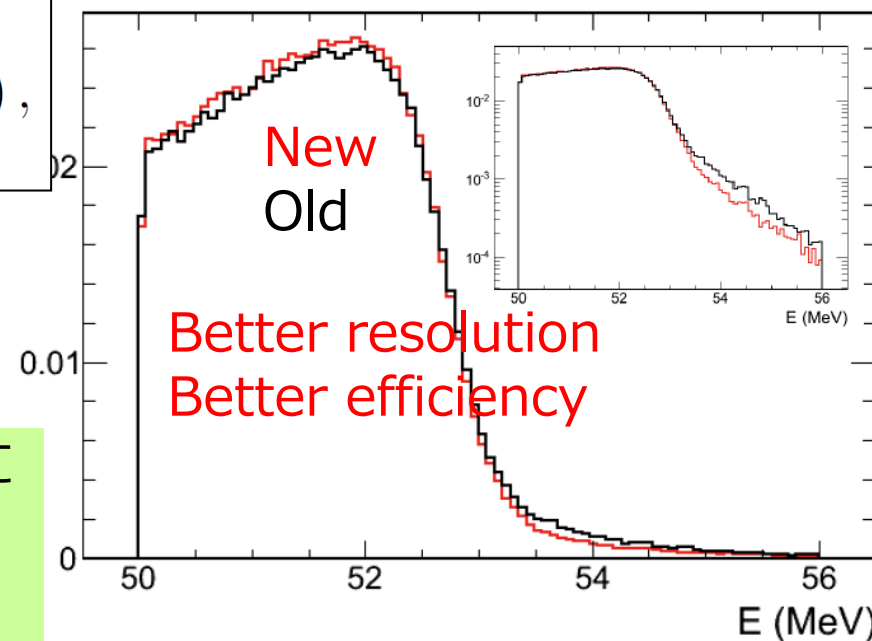


e⁺エネルギースペクトル (Michel spectrum)

$$\mathcal{L}(N_{\text{sig}}, N_{\text{RMD}}, N_{\text{BG}}) = \frac{e^{-N}}{N_{\text{obs}}!} e^{-\frac{(N_{\text{RMD}} - \langle N_{\text{RMD}} \rangle)^2}{2\sigma_{\text{RMD}}^2}} e^{-\frac{(N_{\text{BG}} - \langle N_{\text{BG}} \rangle)^2}{2\sigma_{\text{BG}}^2}} \times \prod_{i=1}^{N_{\text{obs}}} (N_{\text{sig}} S(\vec{x}_i) + N_{\text{RMD}} R(\vec{x}_i) + N_{\text{BG}} B(\vec{x}_i)),$$

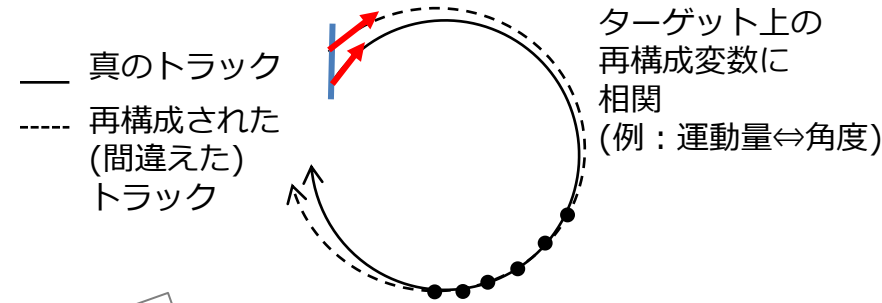
$$S(E_\gamma, E_e, t_{e\gamma}, \phi_{e\gamma}, \theta_{e\gamma} | \vec{x}_\gamma, \Sigma_e) = S(t_{e\gamma} | E_\gamma, E_e) \times S(E_\gamma | \vec{x}_\gamma) \times S(\phi_{e\gamma} | \vec{x}_\gamma, \Sigma_e) \times S(\theta_{e\gamma} | \vec{x}_\gamma, \Sigma_e) \times S(E_e | \Sigma_e)$$

変数間の相関および測定精度をイベント毎に考慮した多次元確率密度分布関数を使って信号の同定精度を最大限引き出す。



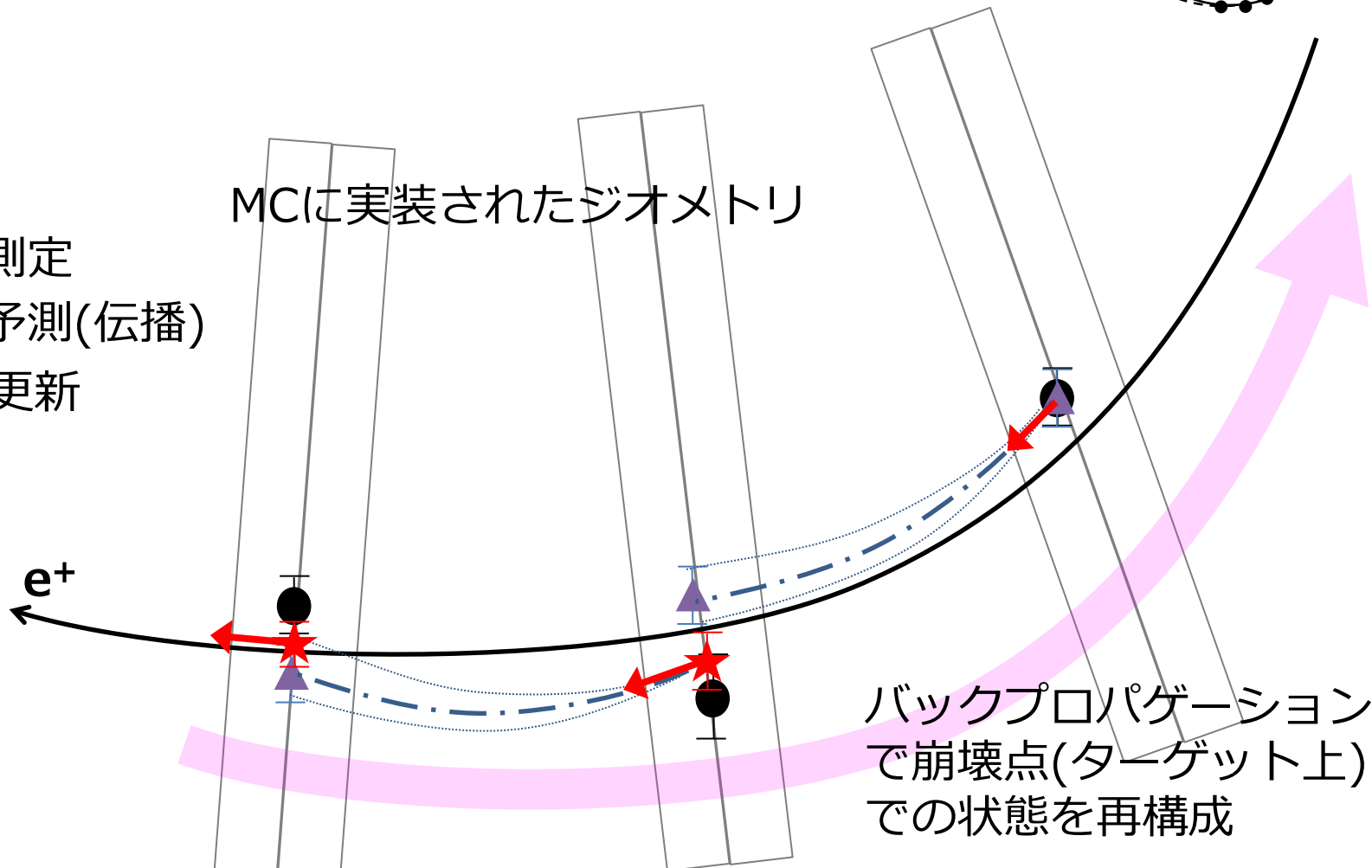
粒子の輸送をGEANT3のプログラムを使って計算 (GEANE)

- 磁場中の運動
- 物質効果
- 誤差の伝播(共分散行列の計算)



- 測定 (Measurement)
- ▲ 予測(伝播) (Prediction/Propagation)
- ★ 更新 (Update)

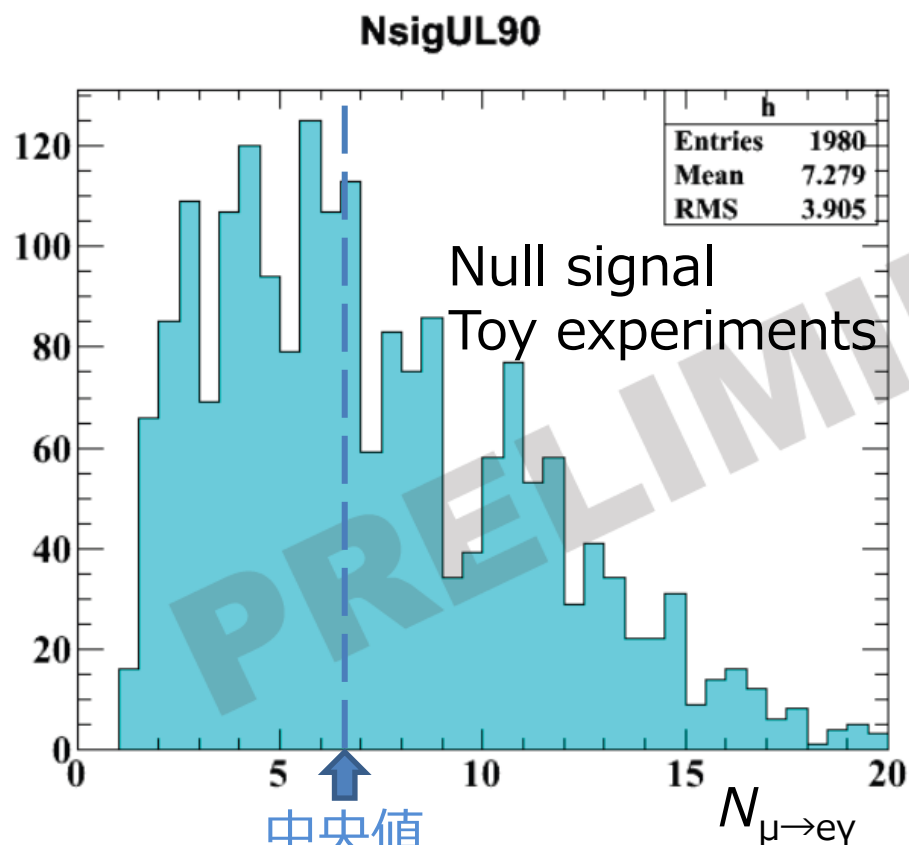
MCに実装されたジオメトリ



バックプロパゲーションで崩壊点(ターゲット上)での状態を再構成

予想感度

- 2009・2010年データを再解析中
 - 改良した解析を前データにも適用し、検出効率を高める。
- 今秋に2011データおよび再解析データをアンブラインド
 - 2009-2011データの結果でパブリッシュ予定
 - 予想感度： $<1 \times 10^{-12}$



2009-2011 Expected sensitivity

median Nsig UL = 6.6

Sensitivity : 9.2×10^{-13}

2009-2010 data + 2011 MC

median Nsig UL = 7.1

Sensitivity : 1.0×10^{-12}

ランの現状と予定

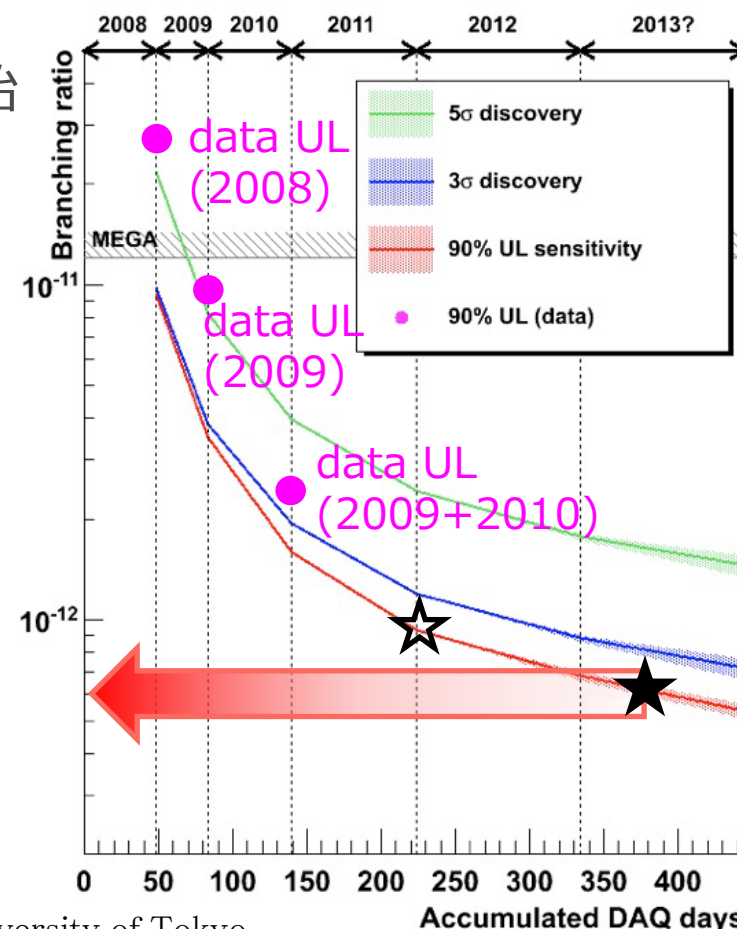
- 8月1日よりMEG DAQを再開 ~ 12月半ば(クリスマス)まで
 - ドリフトチェンバーを7枚,新装 (16枚中)
 - ビーム強度を上げて走っている ($3.4 \times 10^7 \mu/\text{sec}$, $\uparrow \sim 15\%$)
 - 2011年と同程度($\times 1.1$)の統計を取得予定

- 来年度、3ヶ月程度のビームタイムを要求

- 冬の停止期間中、実験装置はいじらずに、
- 加速器再開とともに、速やかにランを開始
- 2012の半分ほどの統計
- **MEG 1st stage 終了予定。**

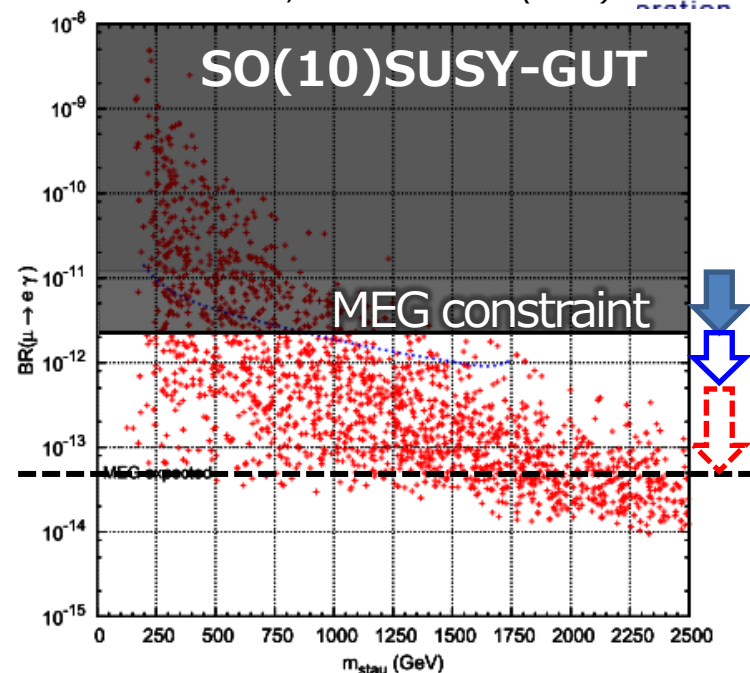
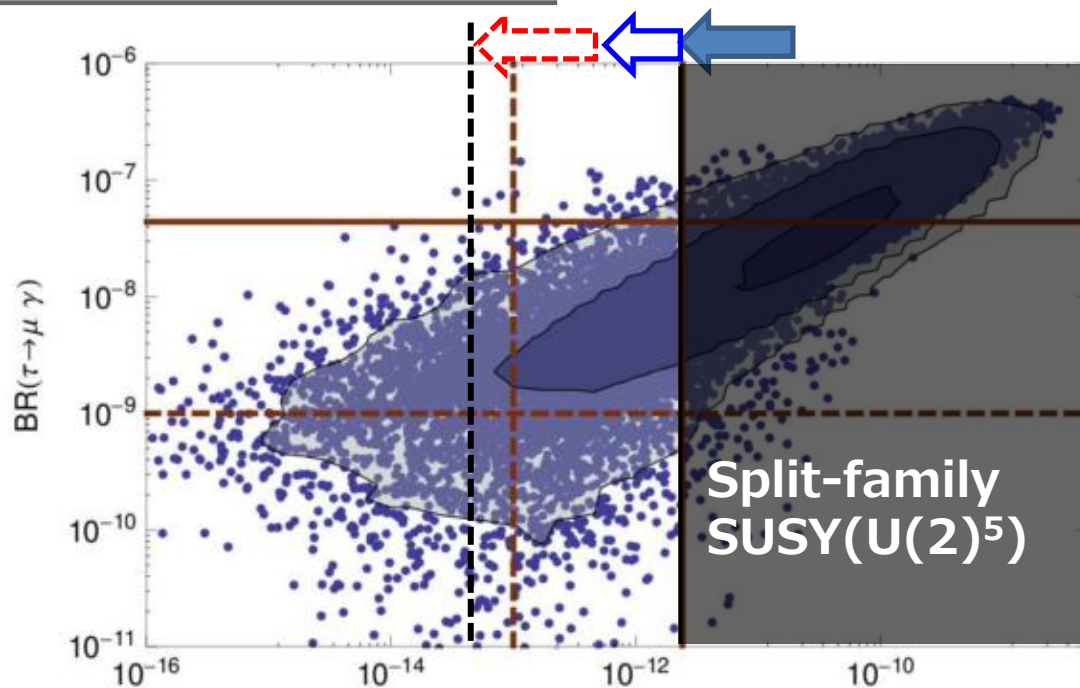
- 2009-2013 (full data)

- 現在公開データの3.5倍の統計
- 予想到達感度 : $\sim 6 \times 10^{-13}$
(90% C.L.)



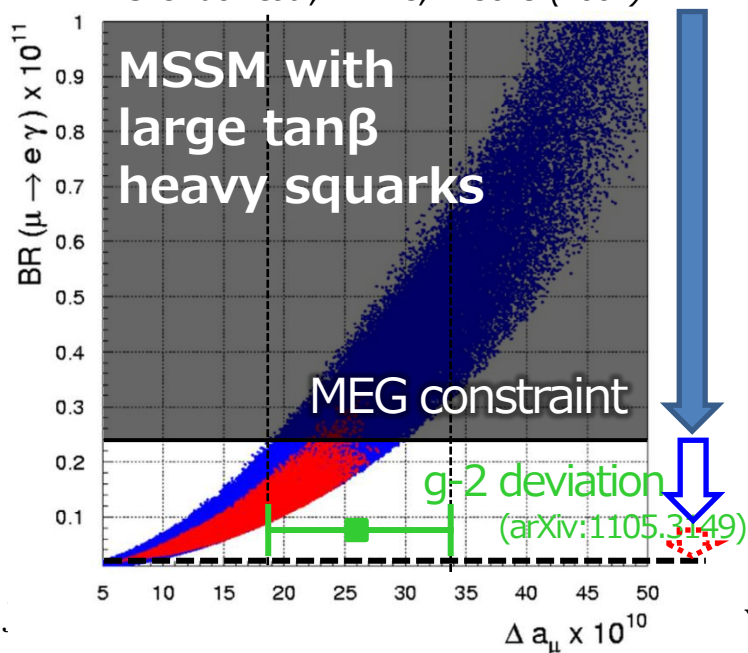
SUSYな場合

L. Calibbi et al, JHEP 0912:057 (2009)

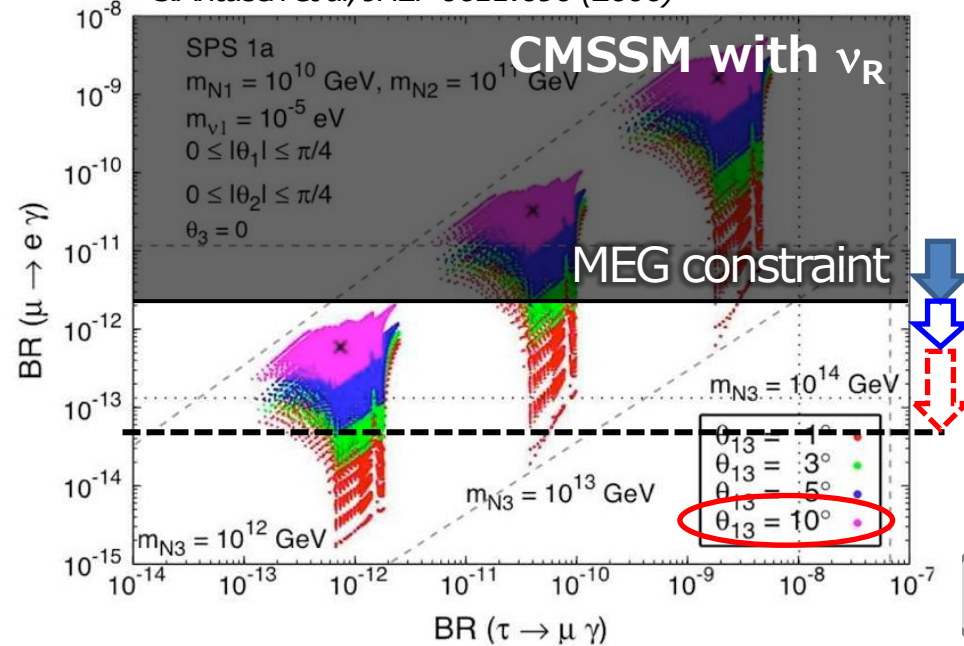


G. Blankenburg et al, hep-ph/1204.0688 (2012)

G. Ishidori et al, PRD75, 115019 (2007)

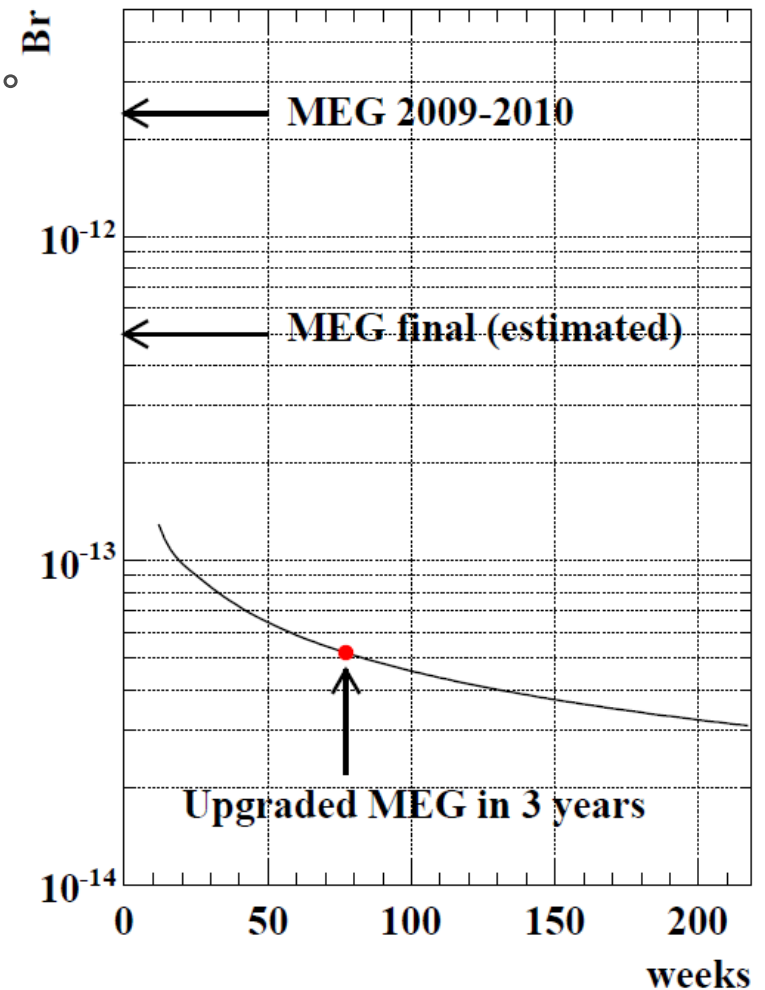


S. Antusch et al, JHEP 0611:090 (2006)



その先へ

- 現在,ランと並行して, 感度を**1桁**上げた実験へのR&Dを進めている。
 - 現MEG実験の経験を活かし、
 - 検出器のUpgradeのみで、安く・早く
 - ビーム強度を上げる余地は現状であり。
 - 目標到達感度： $\sim 6 \times 10^{-14}$
- 詳しくは以下のトークで
 - ガンマ線検出器： 澤田(12pSH-7)
 - 陽電子 飛跡検出器： 藤井(13pSG-9)
 - 時間測定： 西村(14pSK-4)
 - アップグレード全体像： 岩本(14aSK-6)



Conclusion

- MEGは新物理に対して最も厳しい制限の一つを与えている。
 - $\mu \rightarrow e\gamma$ の上限値を5倍更新 (**BR** $<2.4 \times 10^{-12}$).
- 新しい結果の公表はもうすぐ。
 - 今秋中に統計量倍の結果を発表
 - 感度 **$<1 \times 10^{-12}$**
- 今年度のランも開始済み、順調に統計を貯めている。
 - ビーム強度を上げて走っている。
- 来年度少し走り、MEG 1st stage 終了予定。
 - 予想到達感度 **$\sim 6 \times 10^{-13}$**
- さらに1桁感度を上げる実験の準備を並行して進めている。