

Fe-57 を用いた 太陽アクシオン検出実験

2005/3/27 (@東京理科大学野田キャンパス)

難波俊雄

東京大学素粒子物理国際研究センター

アクシオン

- QCD における「強い CP 問題」
 - アクシオン模型により自然に解決
 - 付随して、南部-ゴールドストーンボソン: 「アクシオン」
- アクシオン
 - 結合の強さ ($g_{a\gamma\gamma}$, g_{aNN} 等) は質量 (m_a) に比例
 - (主に $g_{a\gamma\gamma}$ を用いて) 種々の実験手法で検出が試みられてきたが未発見
 - (もし存在するのであれば) 非常に弱い結合を持つのであろう

理論的不定性あり

太陽アクシオンと検出原理

S.Moriyama PRL 75(1995)3222

- $g_{ar\gamma}$ 由来の熱的輻射 (種々の実験)
- この実験では g_{aNN} 由来のアクシオン輻射を狙う

- 太陽中に含まれる ^{57}Fe が熱的に励起
- 脱励起の M1 遷移で光子のかわりにアクシオン生成
- 地上にて ^{57}Fe を用意
- アクシオンによって励起された ^{57}Fe の脱励起をとらえる

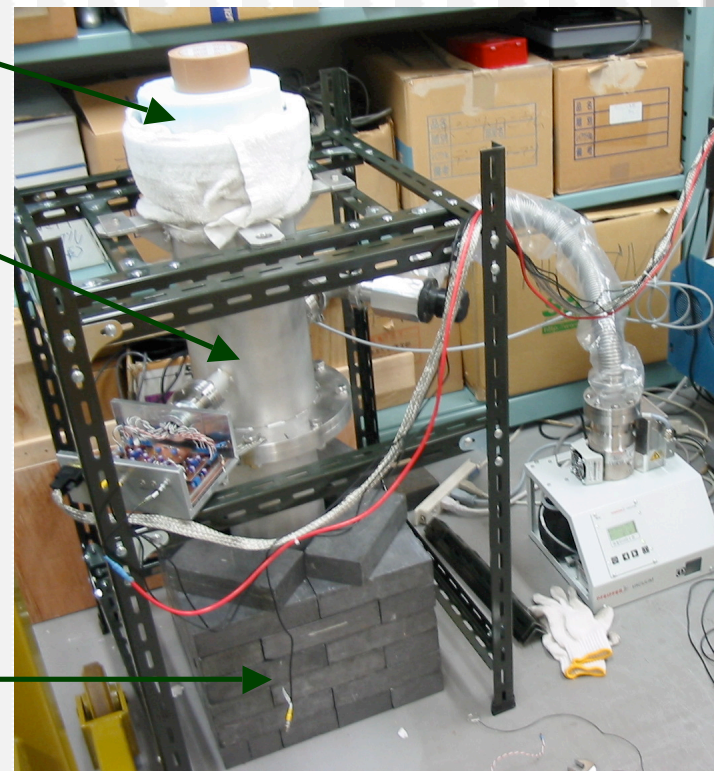
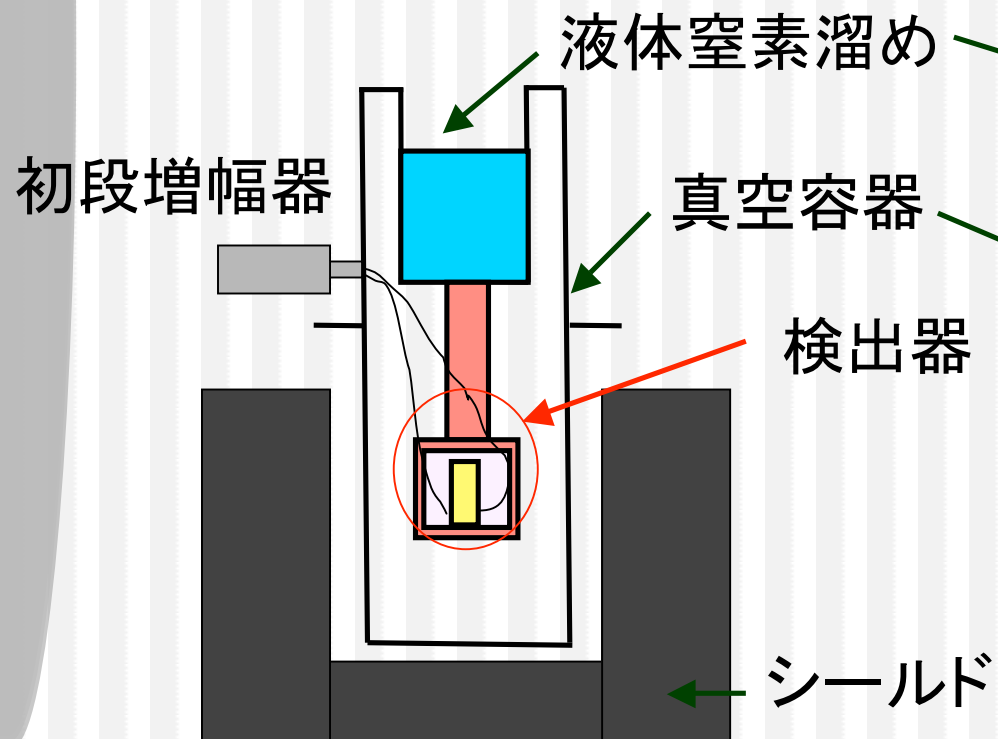


対象領域と期待されるレート

- 比較的重いアクシオンが対象: $m_a \cong 10\text{eV} \sim 1\text{keV}$
 - cf. 世の中のメジャーな実験
 - CAST (cern group)、東大: $g_{a\gamma\gamma}$ 、太陽アクシオン、 $m_a < 1\text{eV}$
 - ADMX (US 連合): $g_{a\gamma\gamma}$ 、暗黒物質アクシオン、 $m_a \approx 1\mu\text{eV} \sim 10\mu\text{eV}$
- この領域の $g_{a\text{NN}}$ に対しての既存の制限
 - J/ ψ の崩壊から: $m_a < \sim 6\text{keV}$
 - 同様な太陽 ^{57}Fe アクシオン実験から: $m_a < 745\text{eV}$
- 見たい領域にアクシオンがあった場合:
 - 太陽アクシオンの地上での流束: $\Phi \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (@ $m_a=100\text{eV}$)
 - ^{57}Fe 1g あたりの励起レート: $R \sim 10^2 \text{ day}^{-1} \text{ g}^{-1}$ (@ $m_a=100\text{eV}$)

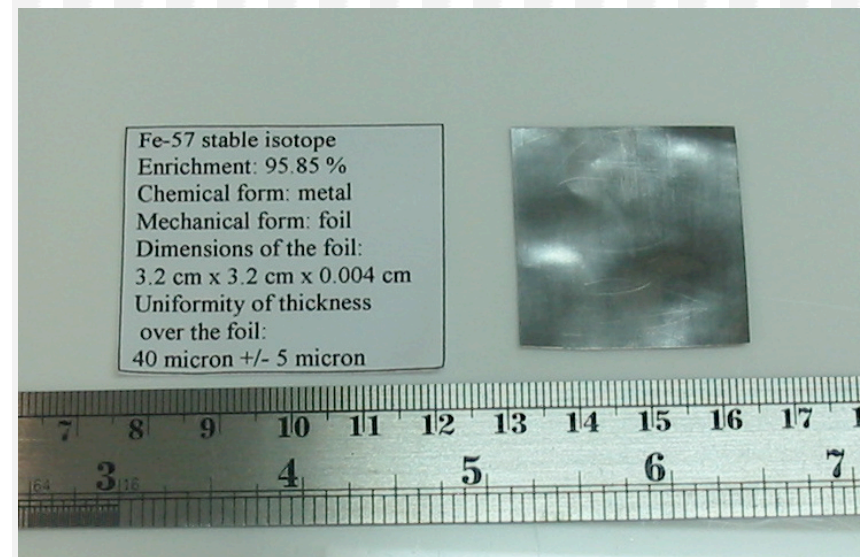
実験セッティングアップ (1)

- ターゲット: ^{57}Fe をエンリッチした鉄のホイル
- 検出器: シリコン PIN フォトダイオード
- 液体窒素で冷却して使用



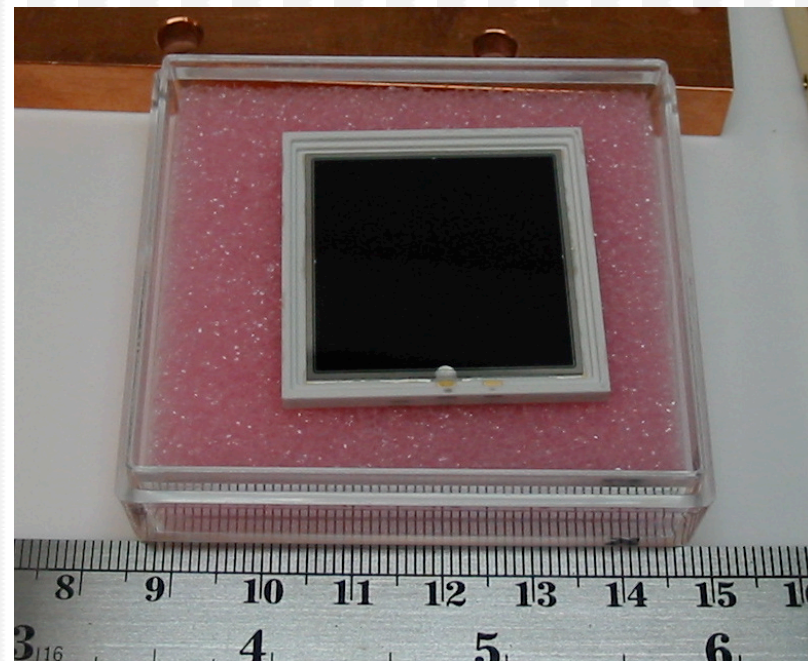
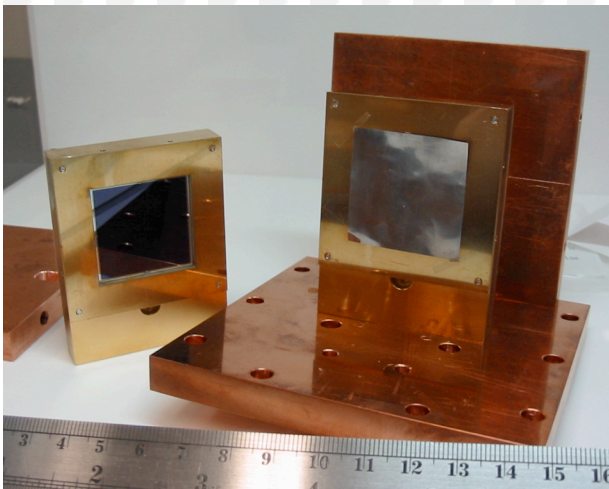
実験セットアップ (2)

- ^{57}Fe ホイル
 - 95.85% エンリッチ
 - 3.2cm 角
 - 厚さ 40 μm
 - 質量 320mg
 - 通常の鉄フォイル (^{57}Fe : 2.2%) の測定により、BG さっぱり
 - cf. att. length=20 μm (@14.4keV)



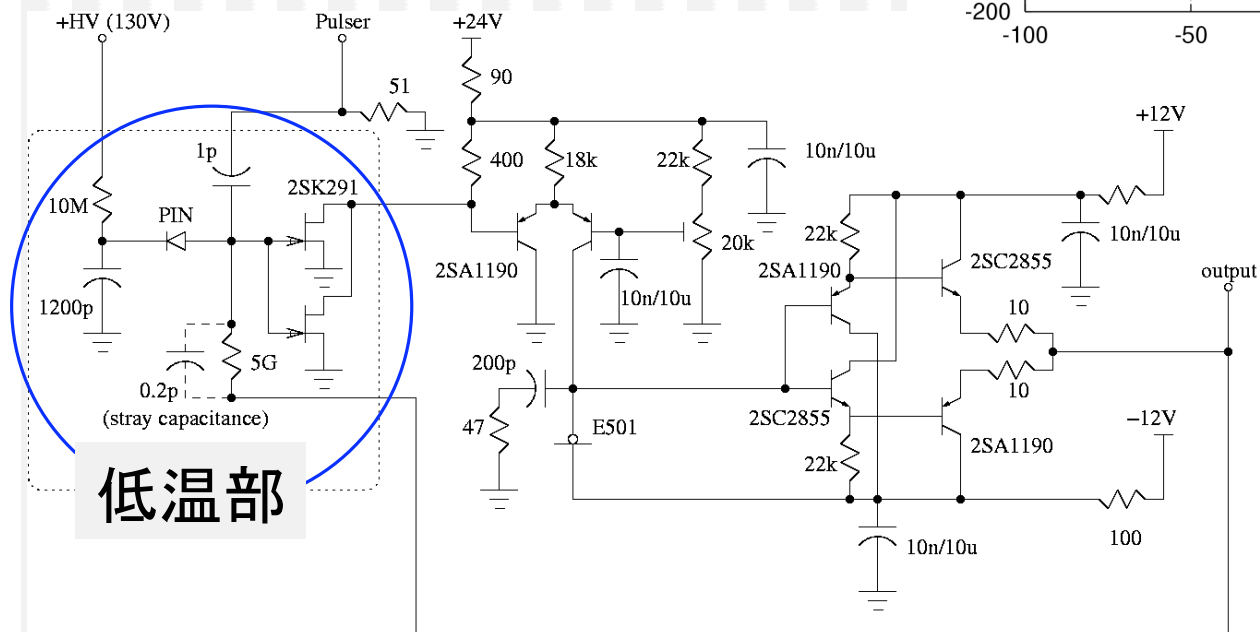
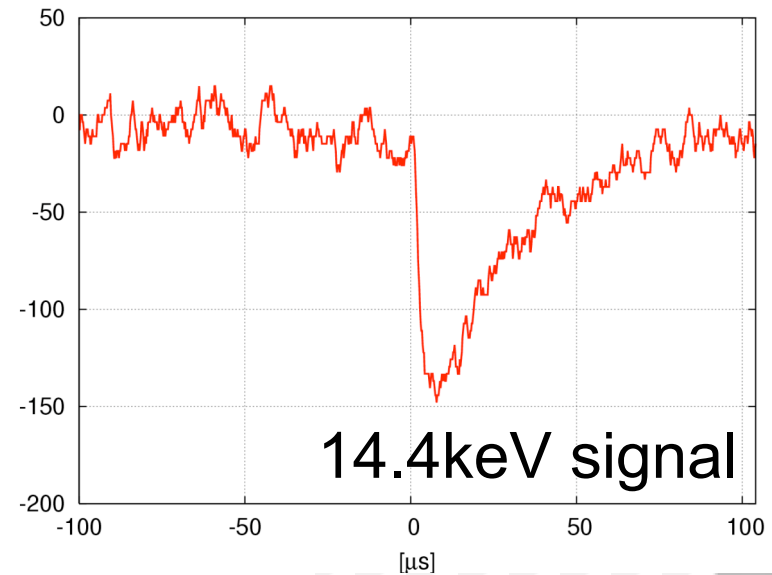
実験セットアップ (3)

- PIN フォトダイオード
 - Hamamatsu S3584-06
 - 受光領域: 2.8cm×2.8cm
 - 厚さ: 500 μ m
 - $C_t = 200$ pF
 - 2枚で鉄ホイルを挟む



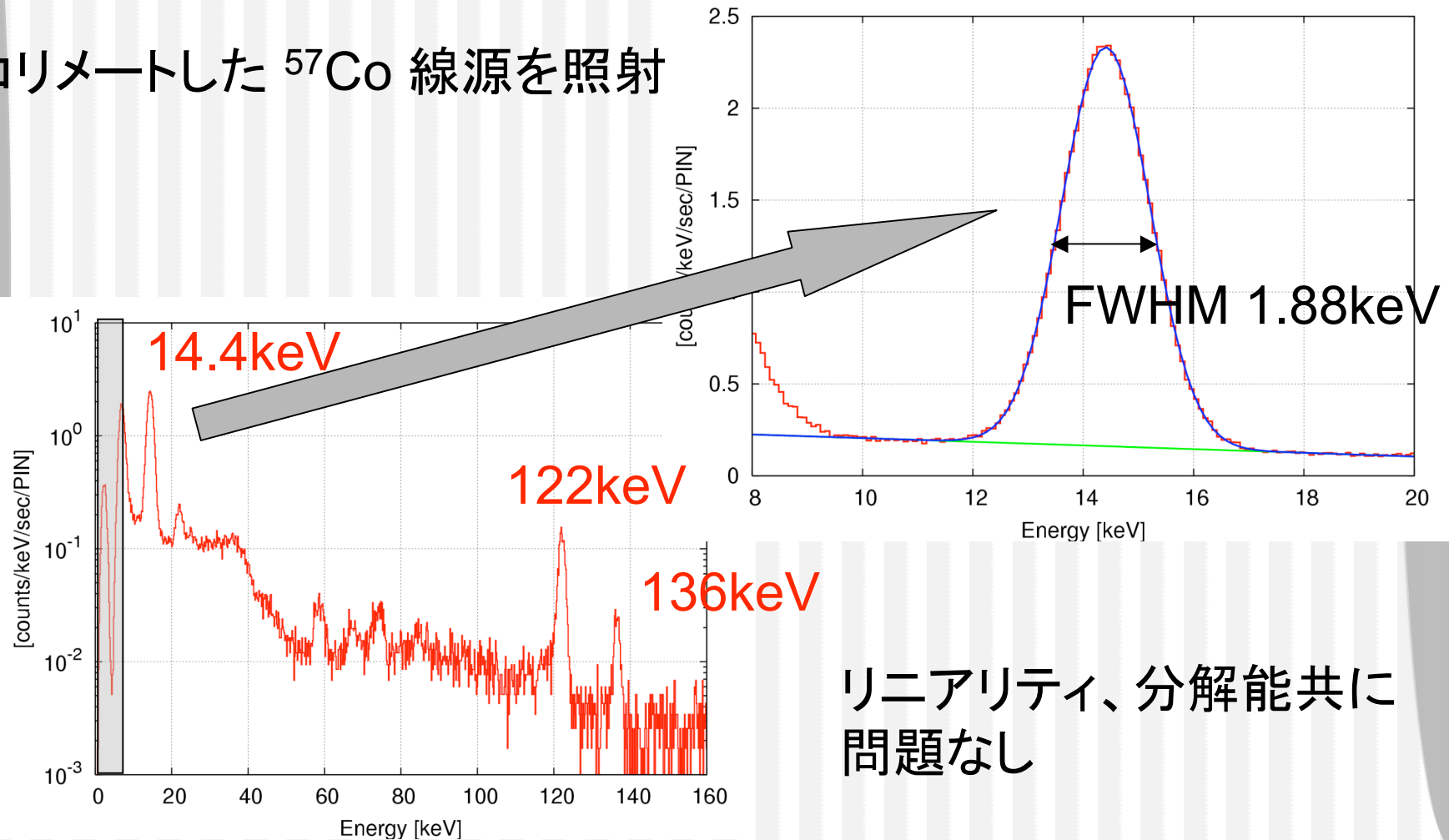
実験セッティング (4)

- 初段増幅器 (自作)
- 初段の JFET (2SK291×2) は冷却部に設置 (ヒーターで温度制御 ~150K)



検出器性能評価 (1)

コリメートした ^{57}Co 線源を照射

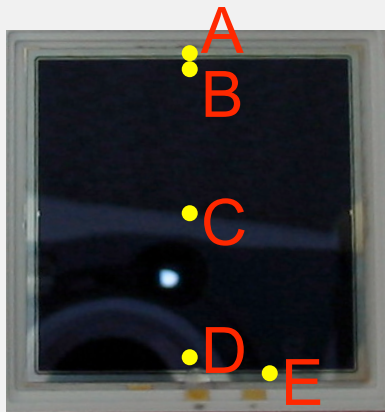


リニアリティ、分解能共に
問題なし

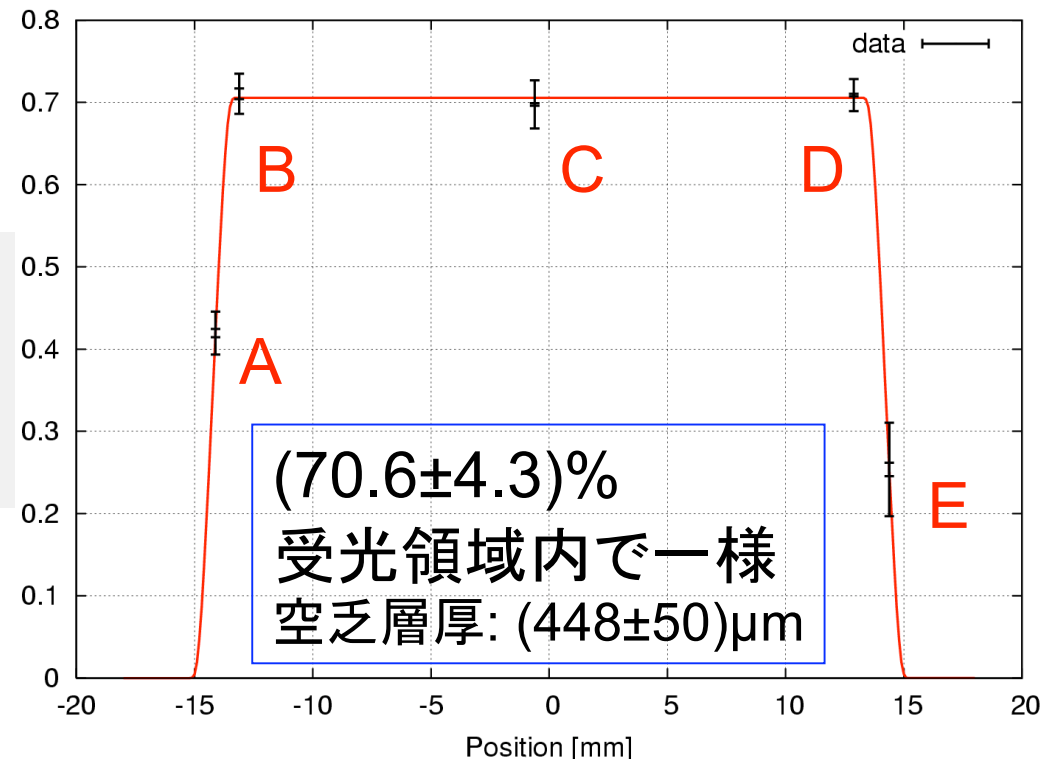
検出器性能評価 (2)

14.4keV に対する検出効率、位置の一様性が重要

- ^{57}Co 線源の照射位置を変えてスキャン測定
- 絶対強度は、 CaF_2 シンチレータにて測定: $6.15 \text{ cts/s} \pm 5\%$



検出効率



アクシオン (仮) 測定結果

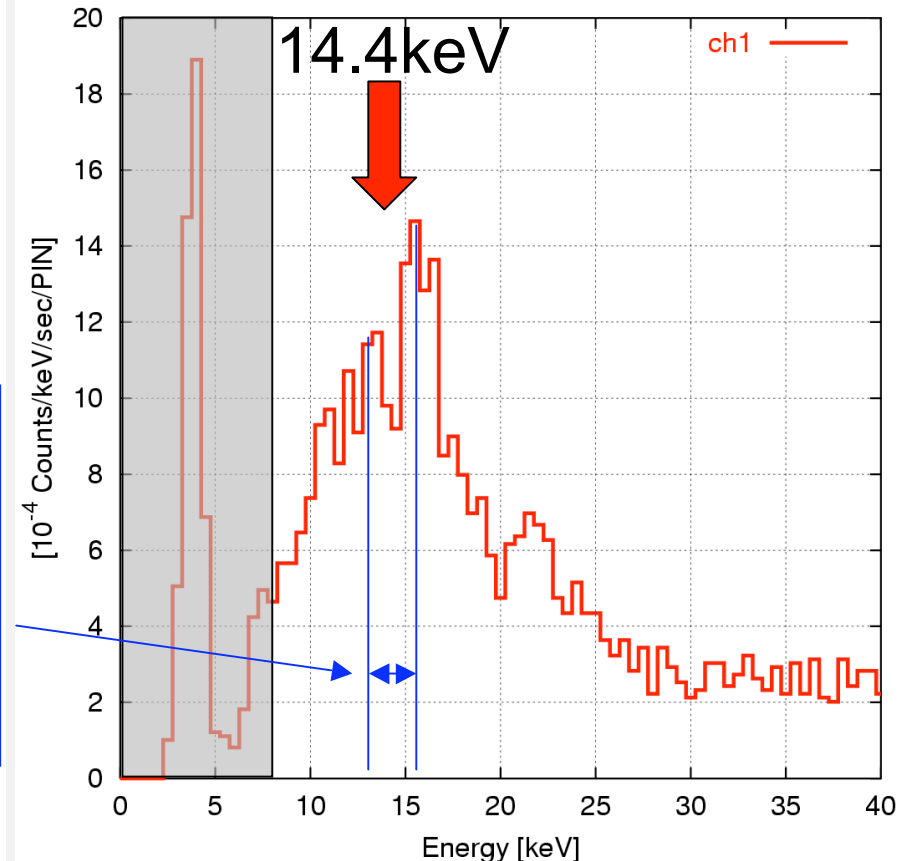
- シールド中にて、2 枚の PIN フォトダイオードで ^{57}Fe フォイルを挟んで測定

- 対象領域に複数のピーク!!
- アクシオン?!

参考

この領域の観測されたイベントがすべてアクシオン起源だと仮定した場合、既存の実験と同程度の制限を与える

(M. Krčmar, *et al.*,
PLB442(1998)38: $m_a < 745\text{eV}$)



スペクトルの形状の原因

- PIN フォトダイオードベース中のウラン、トリウム系列
- 壊変時に L-X 線を放出
 - **Th**: 15.64keV, 15.78keV, 16.28keV, ... **Ra**: 15.30keV, 17.92keV, ... **Bi**: 12.68keV, 12.98keV, 13.07keV, 13.21keV, ... **Pa**: 13.30keV, 16.79keV,

ベース中の U/Th 値

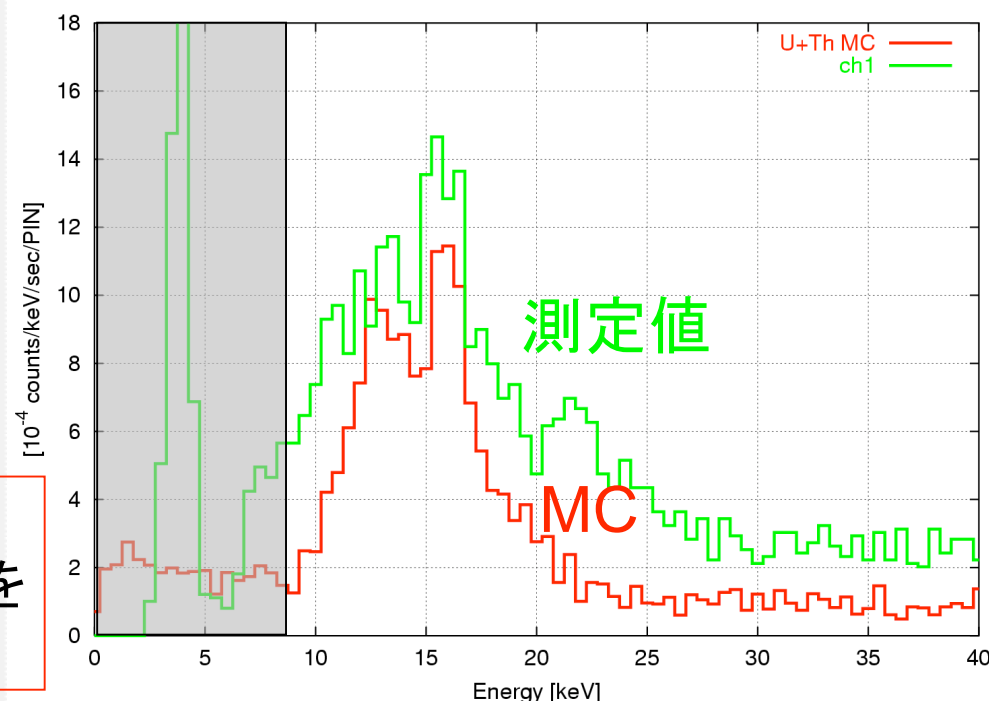
•U: 0.36Bq/PIN

•Th: 0.11Bq/PIN

をもとにしたモンテカルロと
よく一致



ベースを低バックグラウンド
仕様にした PIN フォトダイオードを
製作中 (6 月)



まとめと今後の見通し

- g_{aNN} のみを利用して、太陽アクシオン探し
- ^{57}Fe のホイルとシリコン PIN フォトダイオードを使用
- 検出器の基本性能を確認し、既存の実験と同程度の感度まで到達
- ベースを交換した PIN フォトダイオードを作成中 (6 月納入予定)
- 新 PIN フォトダイオードと BG さっ引きによって 200 倍の感度向上を目指す

($m_a \sim 200\text{eV}$ 程度の検出感度)



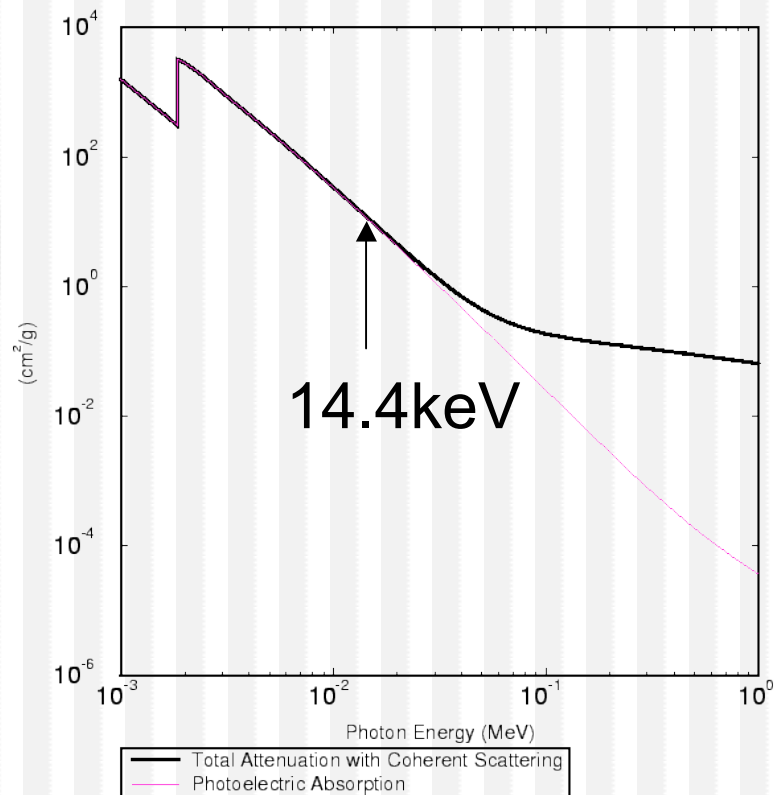
秋の学会でお会いしましょう

こわい人対策

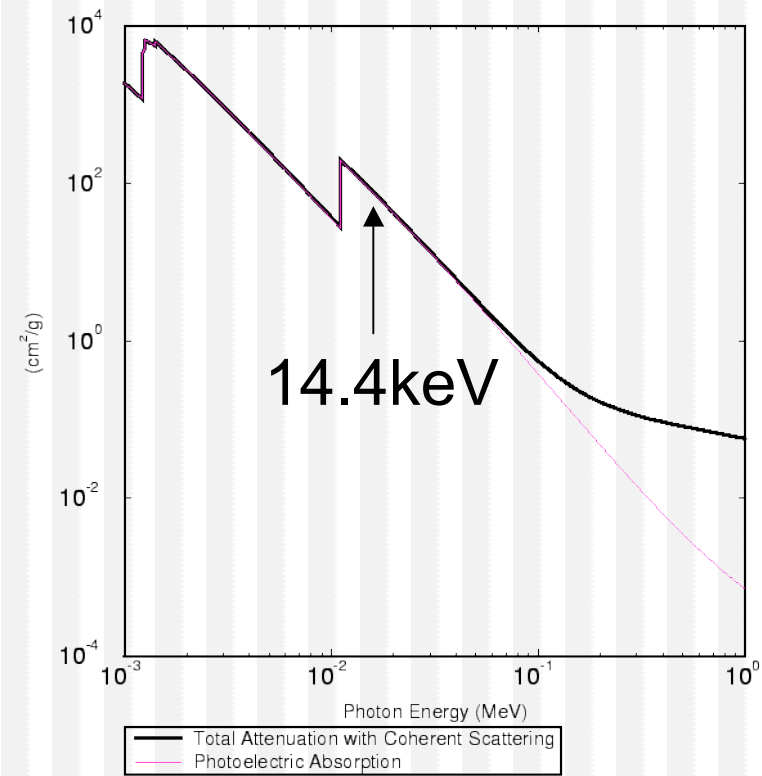


吸収係数

シリコン

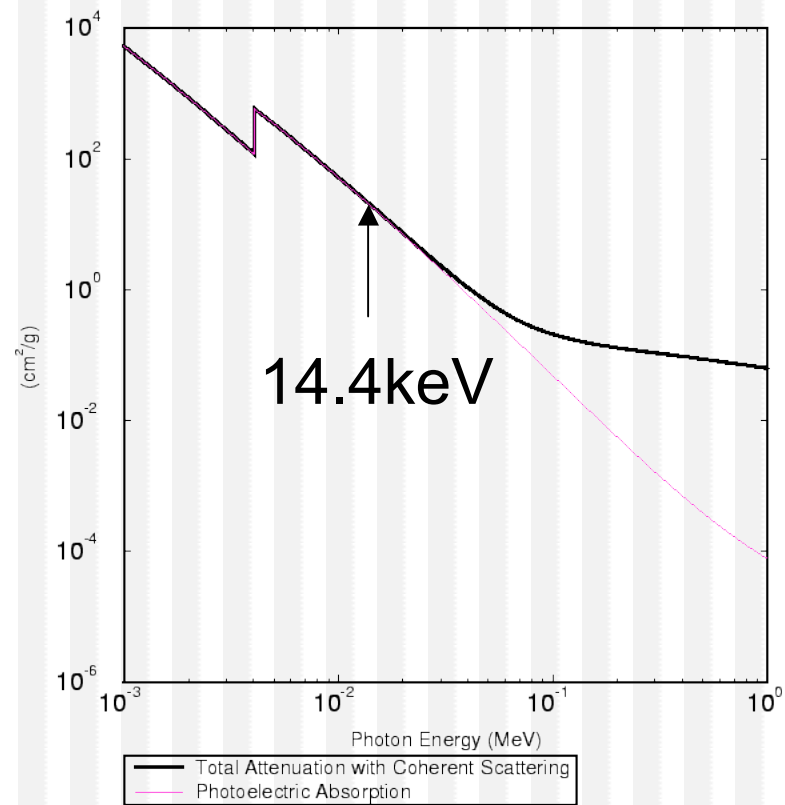


ゲルマニウム



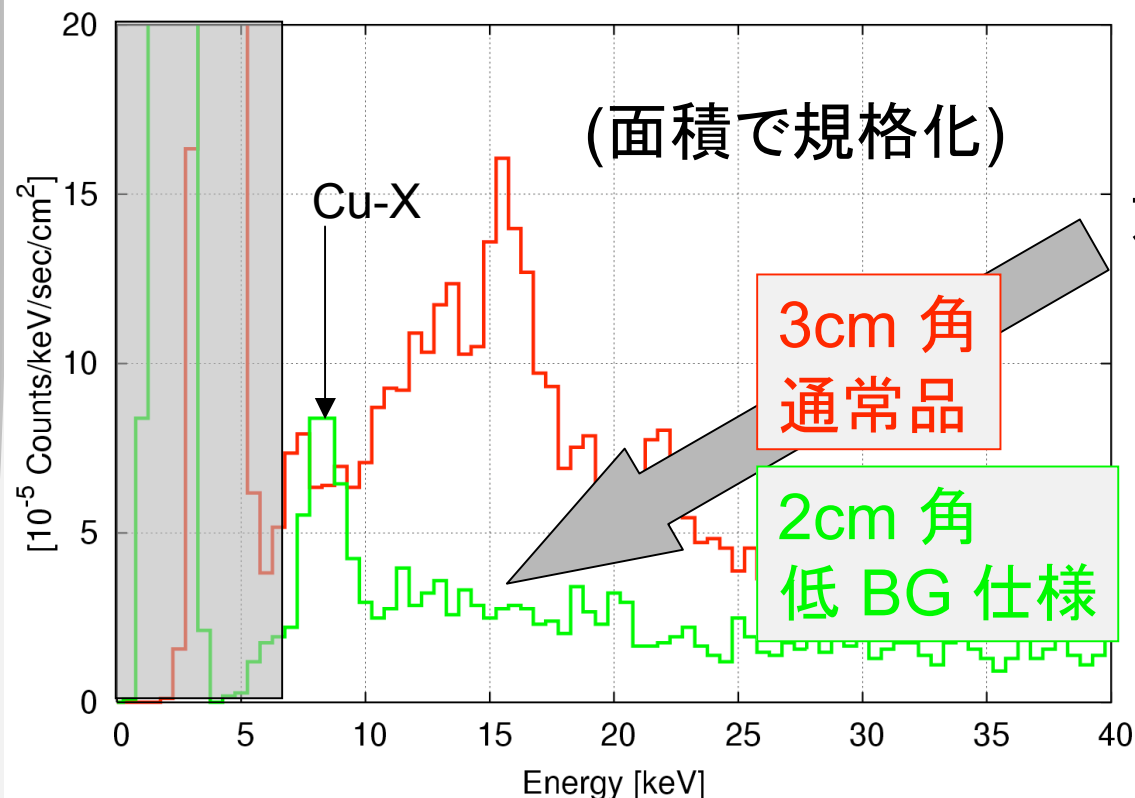
吸収係数

フッ化カルシウム

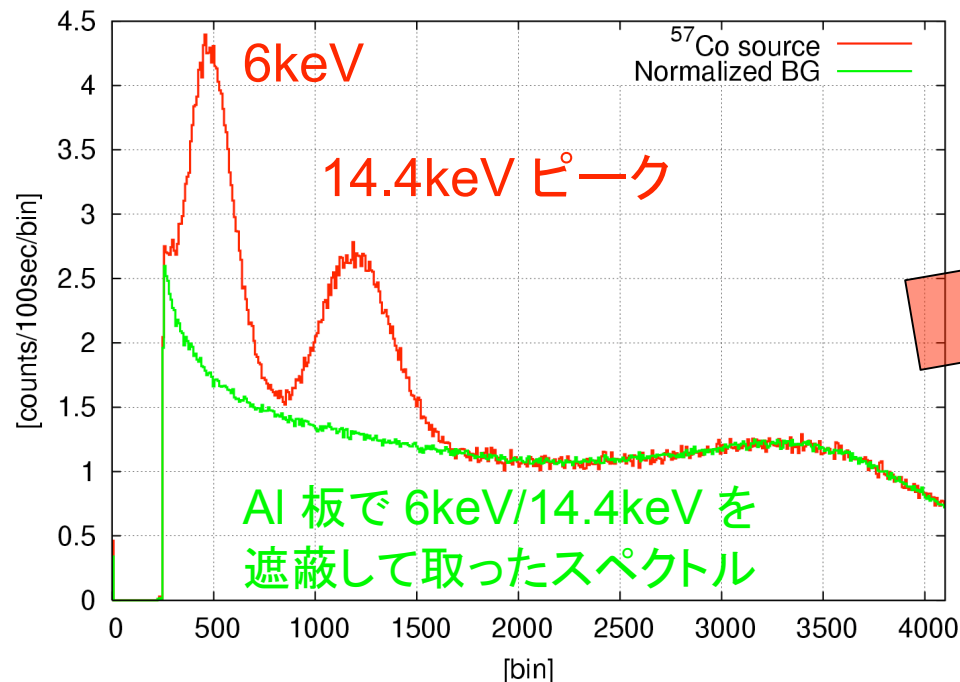


ベース交換品評価

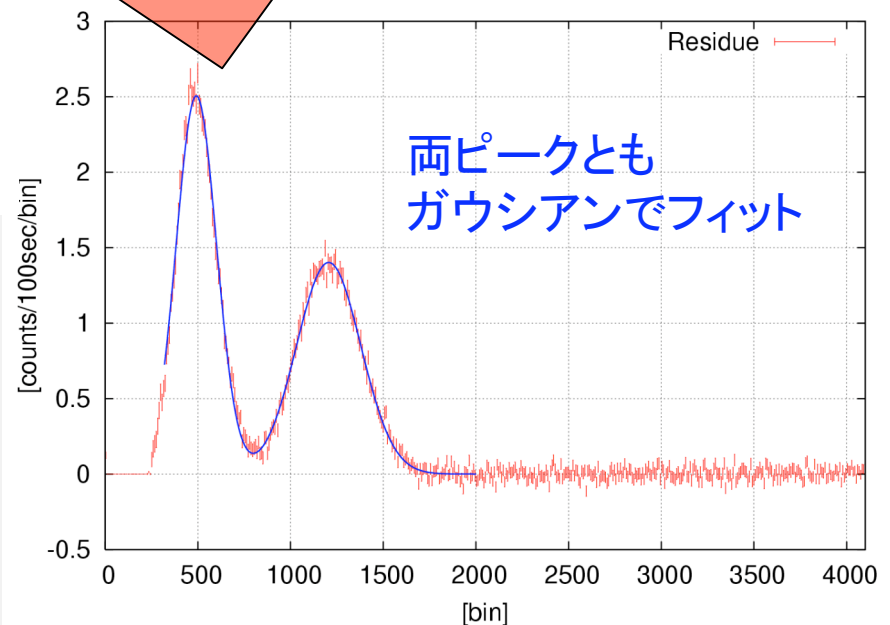
手っ取り早く手に入った 2cm 角の低 BG ベース品で評価



CaF₂ による測定

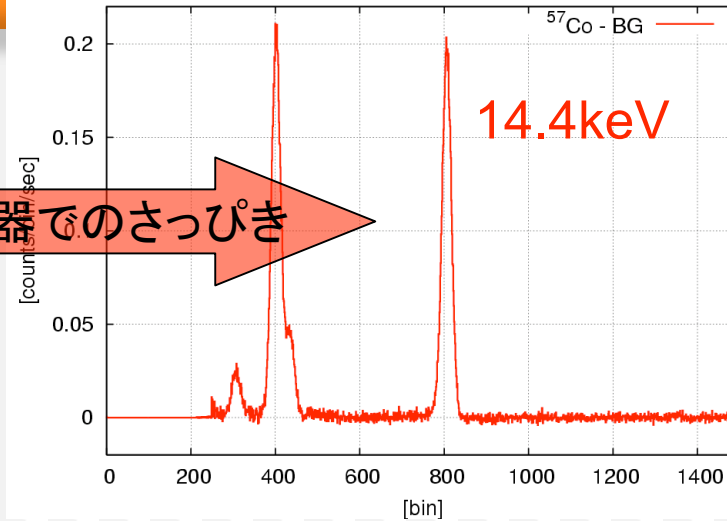
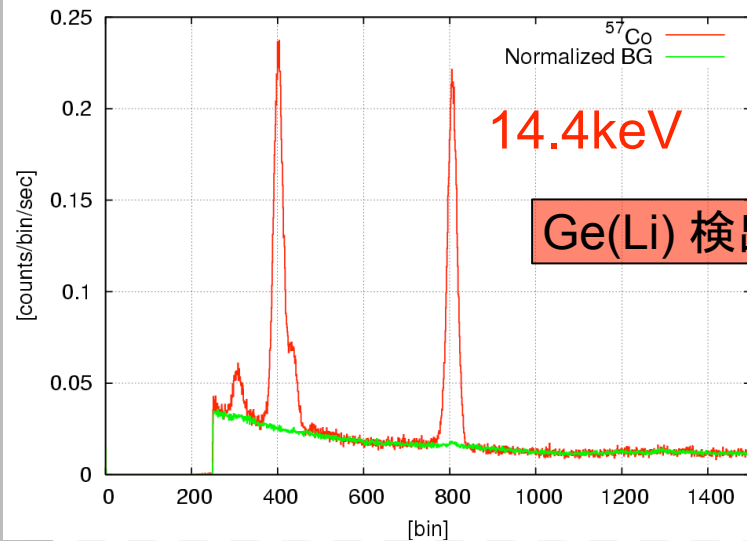


フロア成分の不定性を
消すために、2mm の Al 板を
はさんで取ったスペクトルを
さっぴき

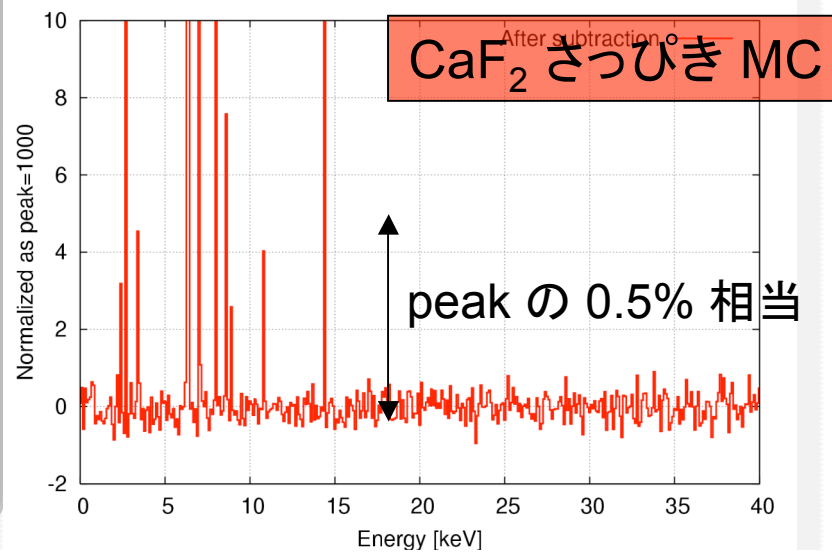


Al を透過してくる 14.4keV は、
全体の 0.8% (手で補正)

さっぱり妥当性？



Ge(Li) 検出器でのさっぱり



どちらも、14.4keV 近辺で
問題となる構造は見られない

$g_{a\gamma\gamma}$ を利用した実験などあてにならない
(という立場)

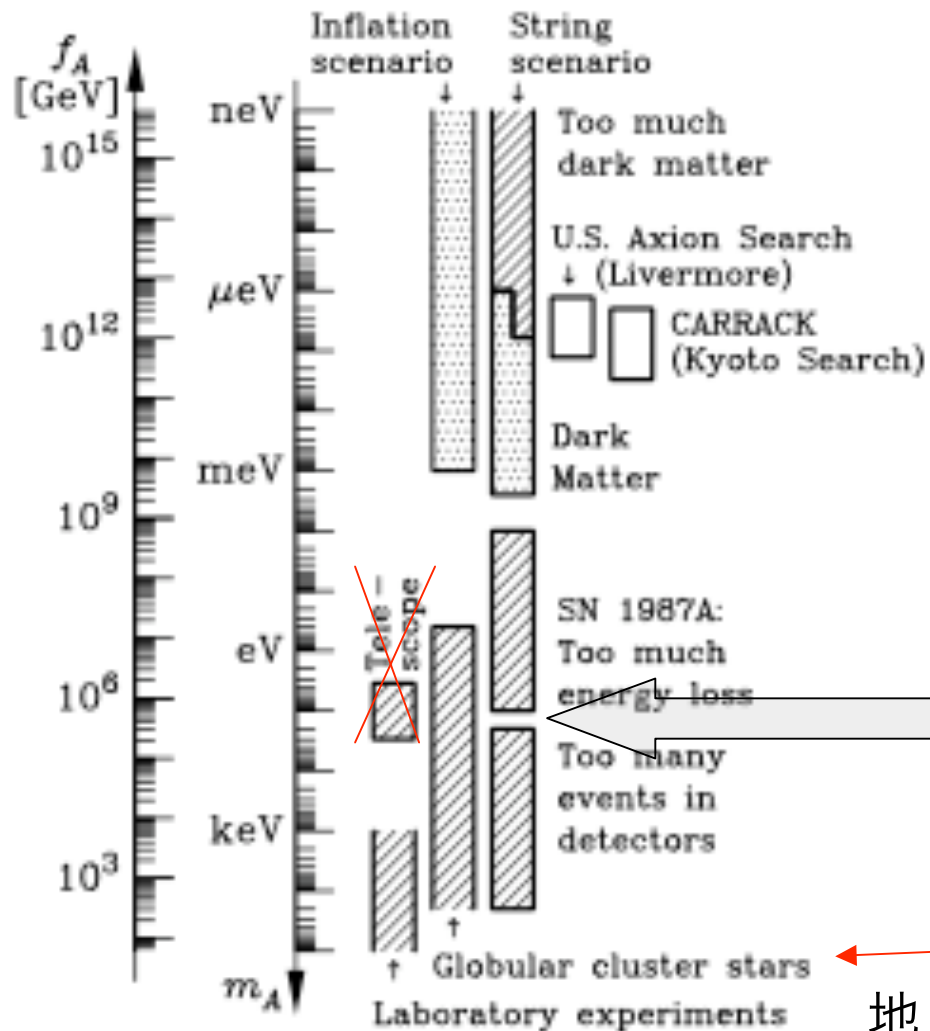
$$g_{a\gamma\gamma} = \frac{\alpha}{2\pi f_a} \left(\frac{E}{N} - 1.92 \right)$$

$U_{PQ}(1)$ のアノマリー由来項
DFSZ: $E/N=8/3$
KSVZ: $E/N=2?$...
(モデル依存)

a - π^0 mixing 由来項

Cancel out の可能性

$g_{a\gamma\gamma}$ をあてにしなければ



Hadronic axion window
 $10 < m_a < 40 \text{ eV}$ ぐらい

ここに allowed region ができる

こいつも怪しい
地上実験では $\sim \text{keV}$ までの制限