

# 低圧ガスTPCを応用した 太陽Kaluzza-Kleinアクシオン探索

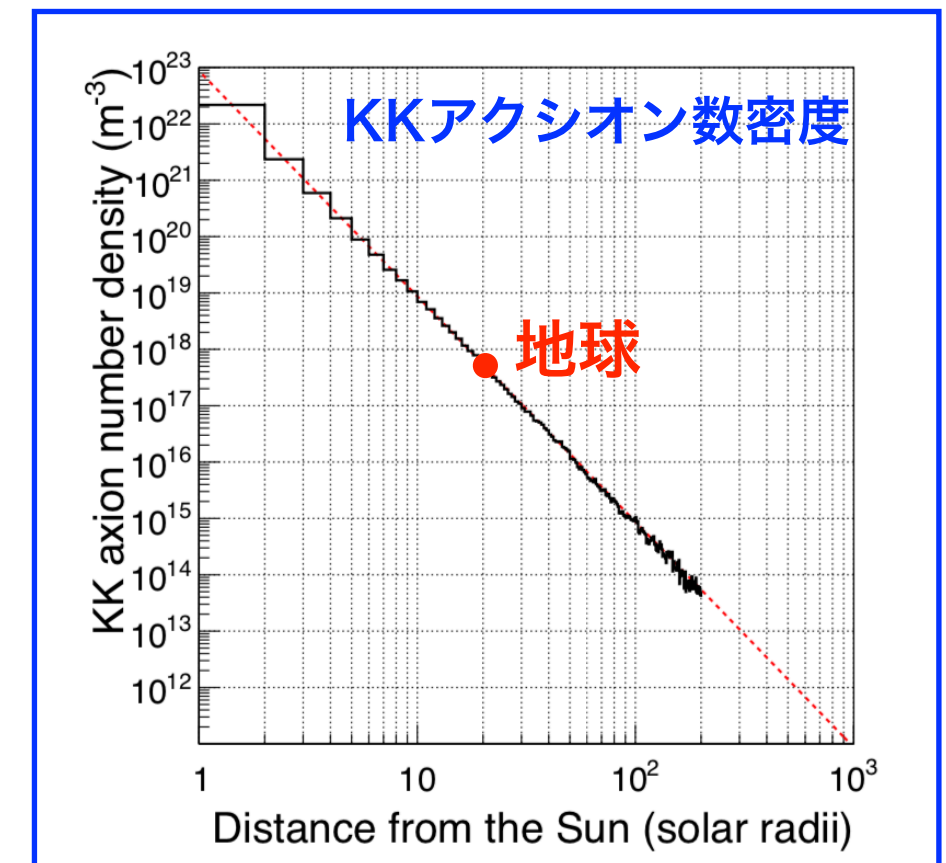
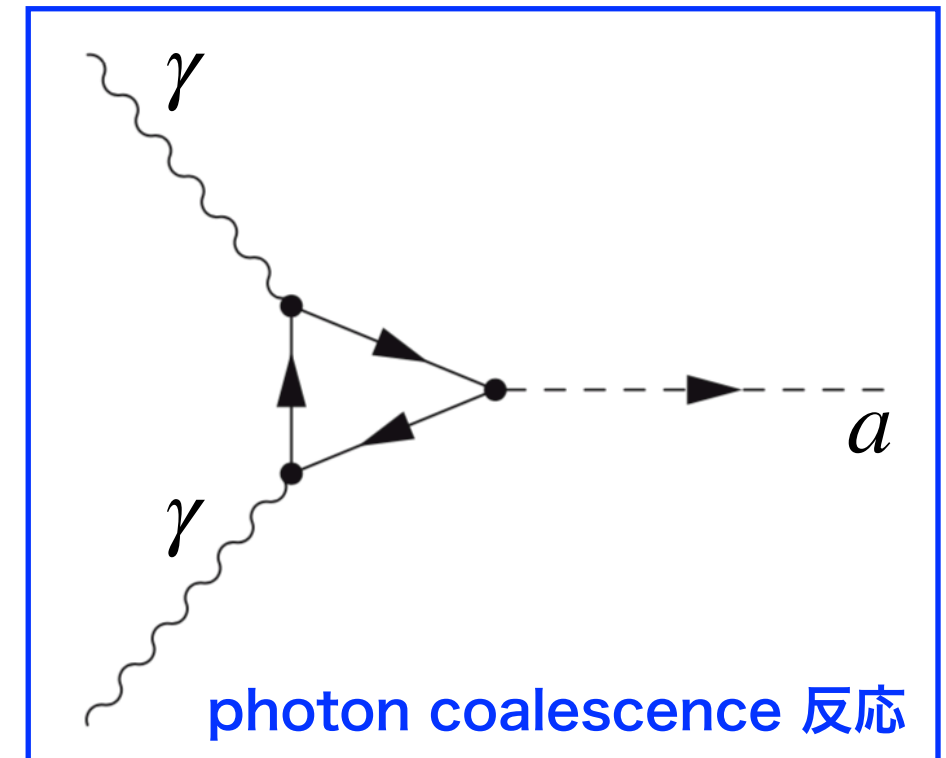
---

東北大学 ニュートリノ科学研究センター  
細川佳志

Dec. 6-7<sup>th</sup>, 2019  
MPGD & TPC 合同研究会

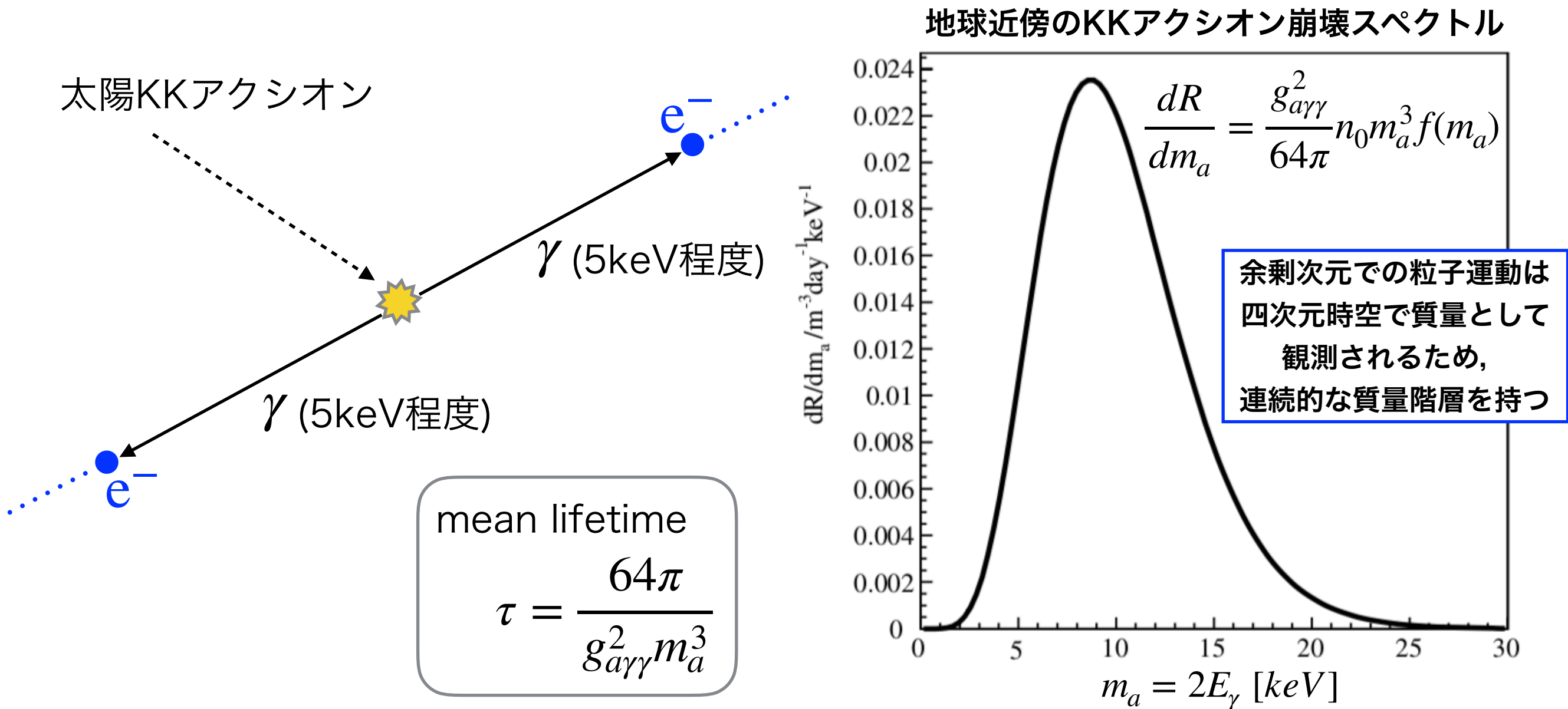
# 太陽Kaluzza-Klein(KK)アクシオン

- ▶ 強いCP問題を解決する粒子“アクシオン”
- ▶ ゲージ階層性問題を解決可能なKK模型 (大きな余剰次元)
- ▶ 余剰次元を伝播するアクシオン  
“カルツァ=クライン(KK)アクシオン”は, photon coalescence 反応( $\gamma\gamma \rightarrow a$ )などによって太陽内部でも熱的生成可能
  - 太陽系内に重力で捉えられた  
“太陽KKアクシオン”は**地球でも観測できる**
- ▶ **素粒子物理学などの問題を複数解決**
  - 強いCP問題・ゲージ階層性問題
  - 太陽コロナ問題



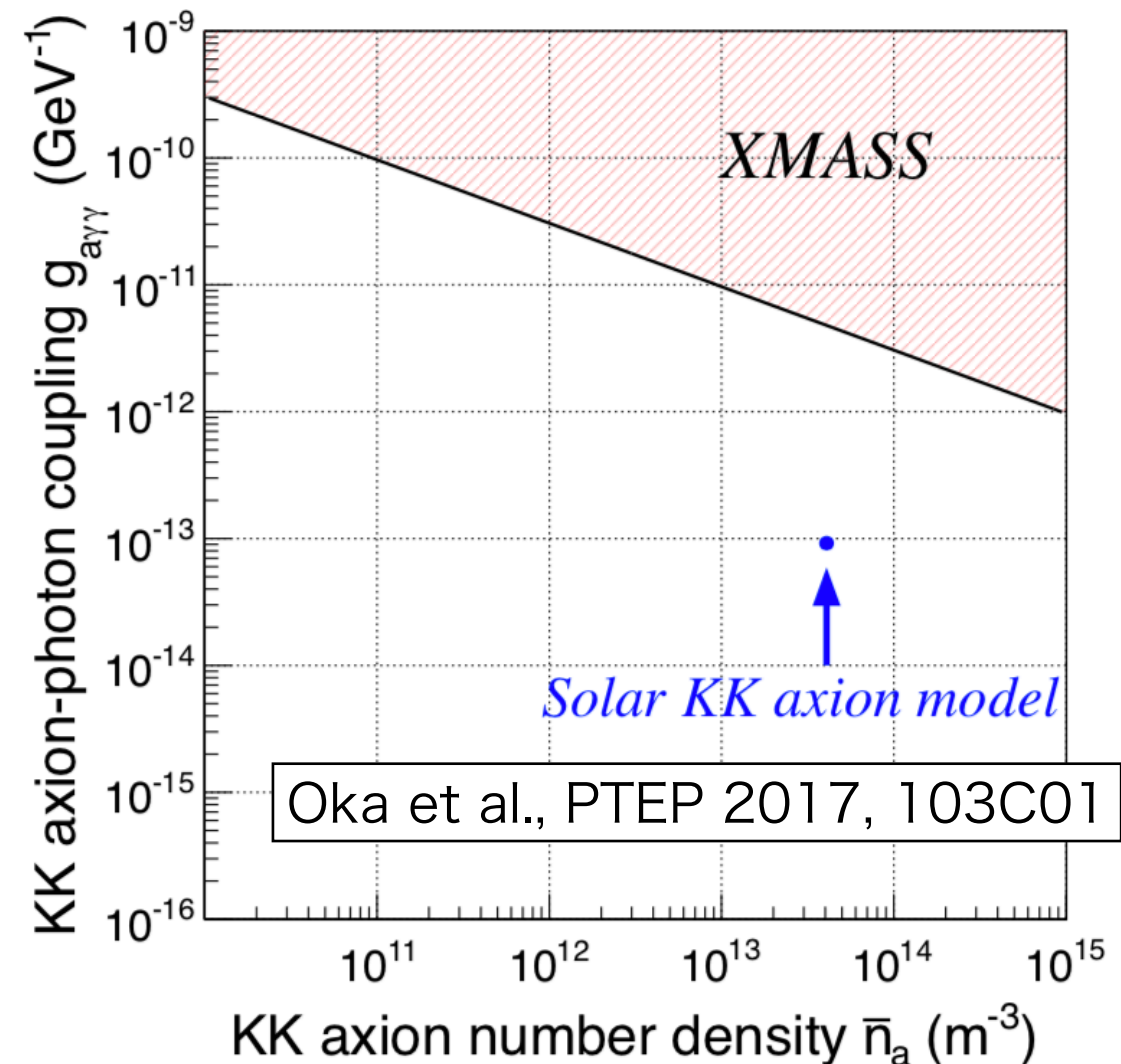
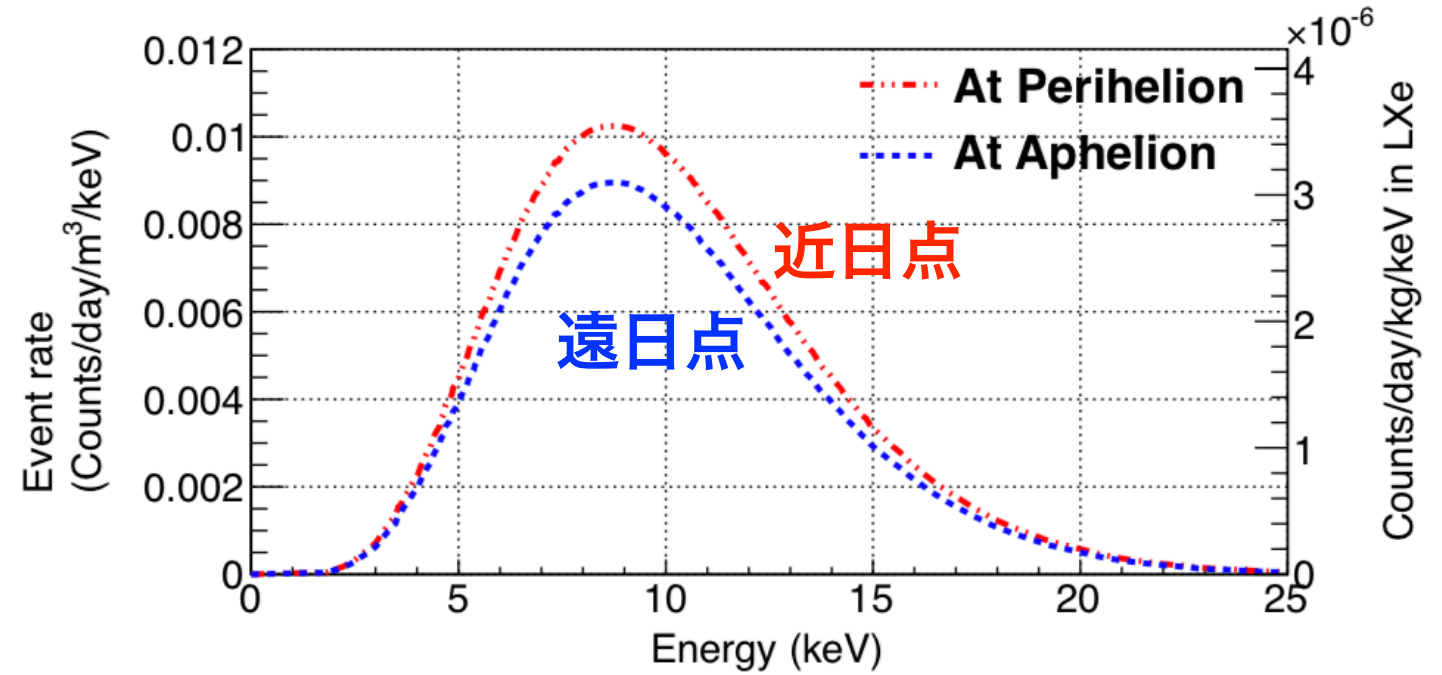
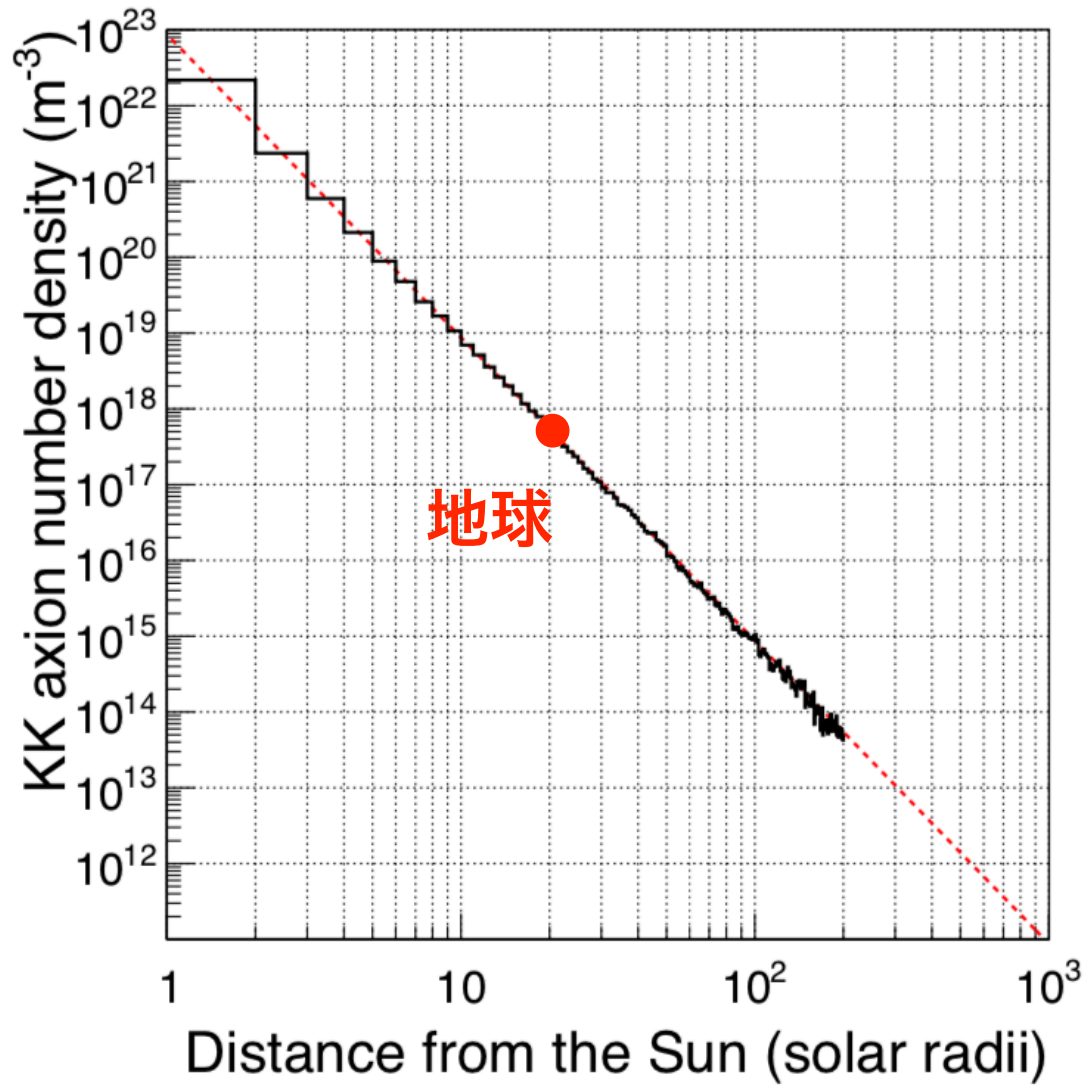
# KKアクシオンの崩壊

B. Morgan et al., Astroparticle Physics 23 (2005) 287–302



- ▶ 崩壊時, 5keV程度の光子を2つ同時に放出する
- ▶ 検出器内でのKKアクシオンの崩壊数は, 有効体積のみに依存する

# 旧B01班 XMASS実験による先行研究



## ▶ XMASS実験によって世界初の探索

- 極低バックグラウンド液体キセノン検出器
- Exposure:: 0.288 m<sup>3</sup> (832 kg) x 359 days

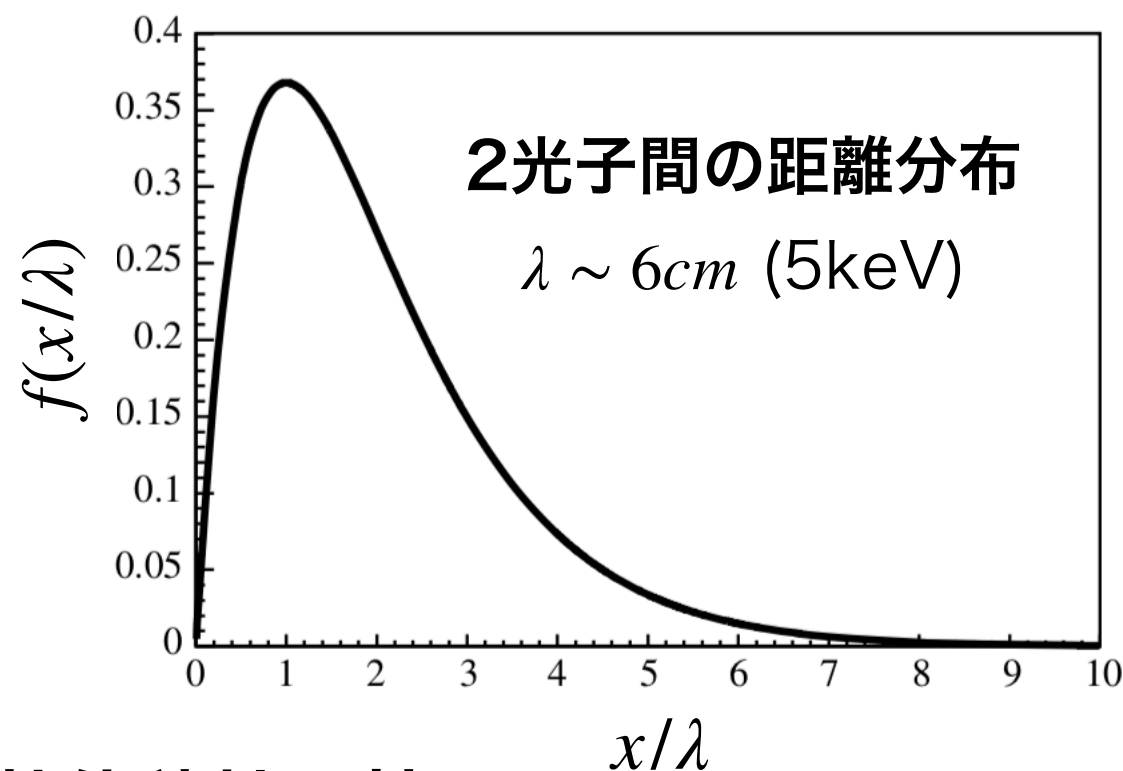
## ▶ 太陽-地球間の距離による崩壊数の季節変動を探索

## ▶ モデルまであと二桁！！有意な振幅は見られず

# 低圧ガス検出器を用いた探索

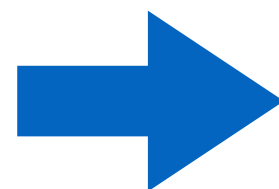
## ▶ 非常に強力なBG除去能力

- 2光子を分離して検出可能なので、位置・エネルギー情報を利用した強力なBG除去が可能

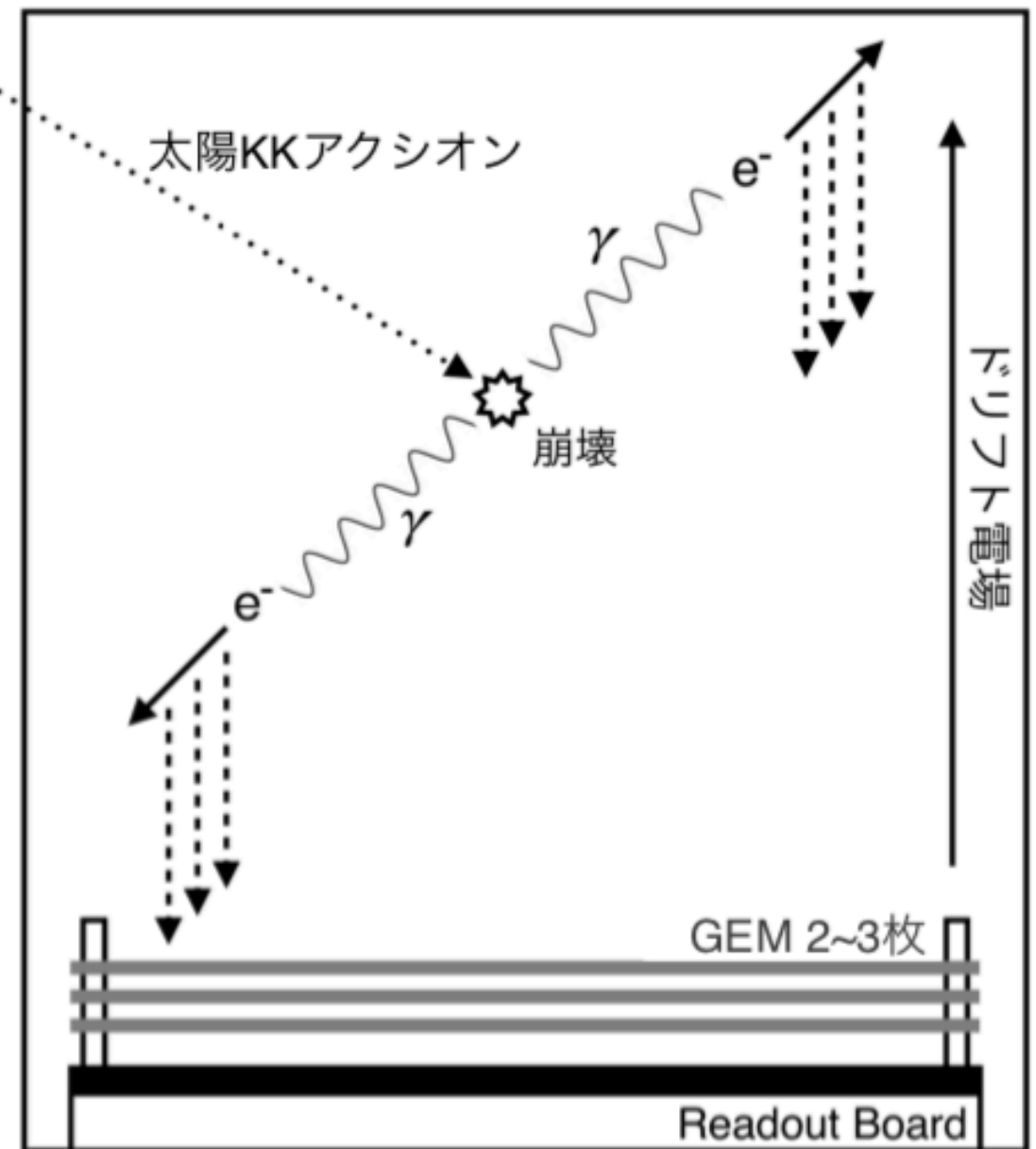


## ▶ 有効体積拡張性

- 常温の低圧ガスを使うので、有効体積の拡張が比較的容易



**KKアクシオン探索に  
非常に適している！！**



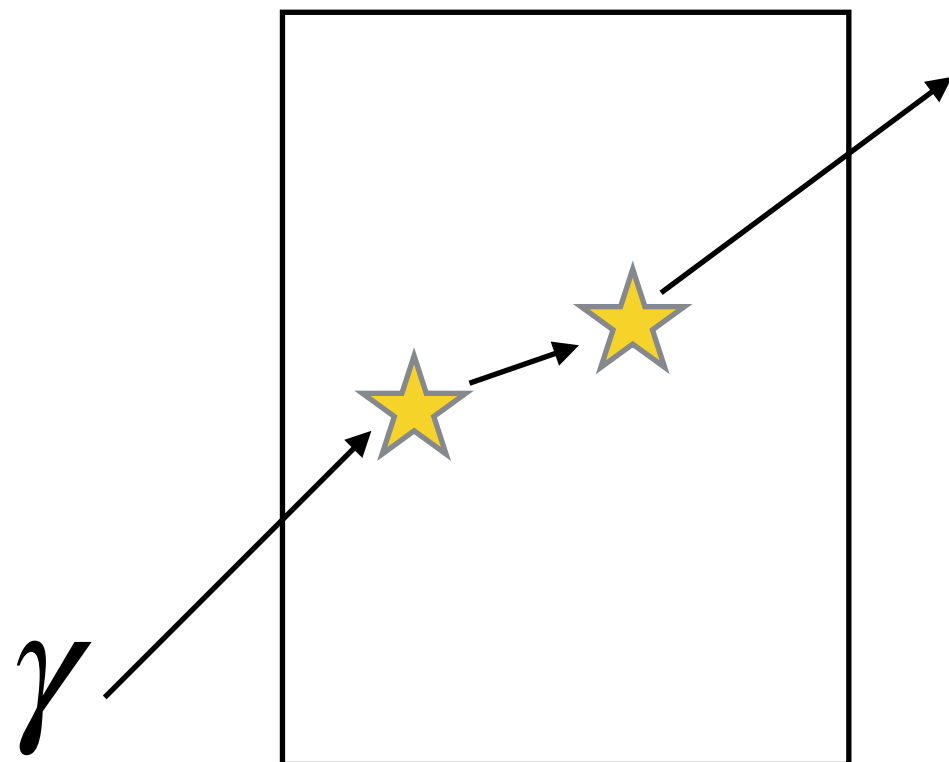


# 先行研究との比較

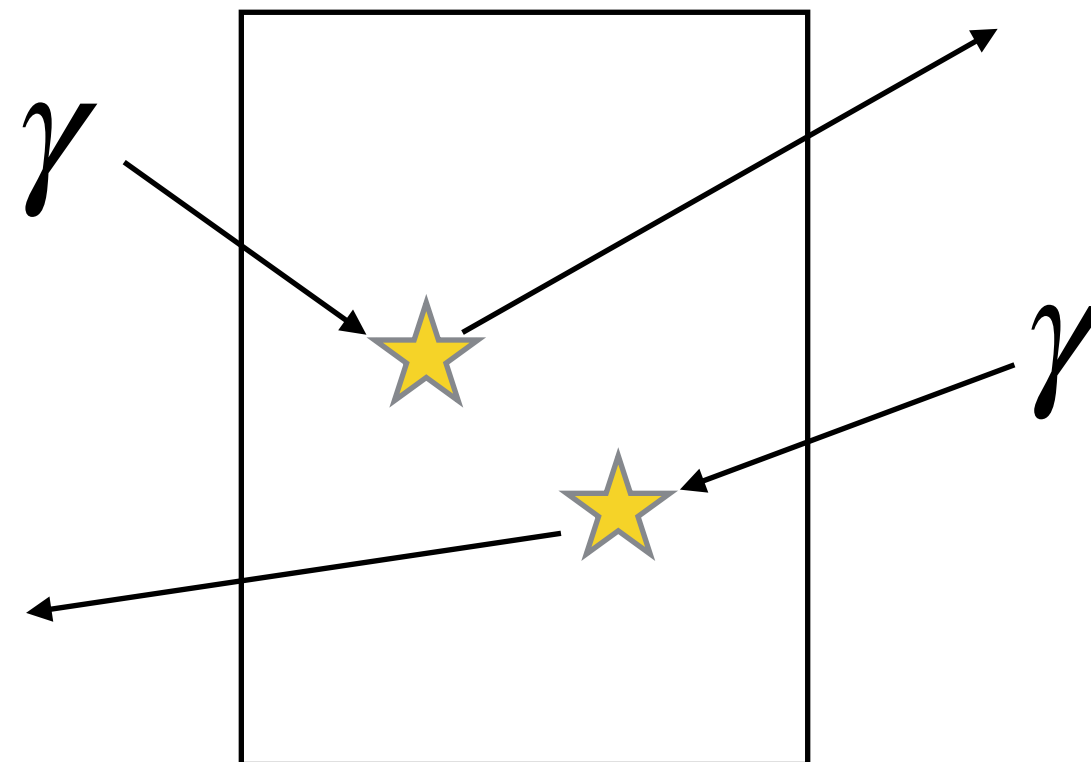
	低圧ガス(本研究)	XMASS
ターゲット	0.2気圧 SF <sub>6</sub> ガス	液体キセノン(高密度)
低BG環境	低放射能容器 シールド無し	極低放射能容器 + 超純水シールド
二光子分離能力	○	×
有効体積拡張性	○	△
低エネルギー閾値	○	○

# 予想される背景事象

単一光子の多重散乱



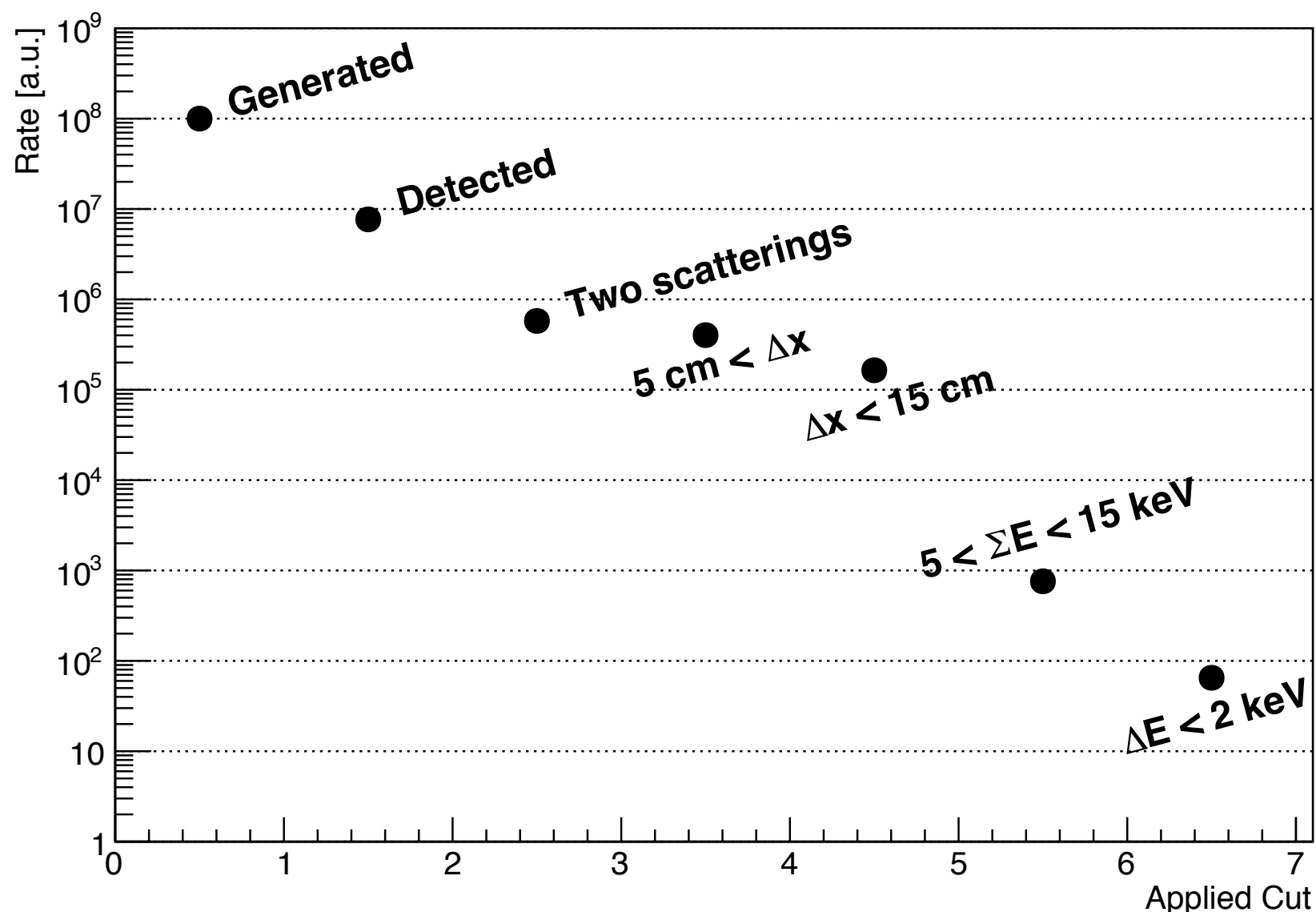
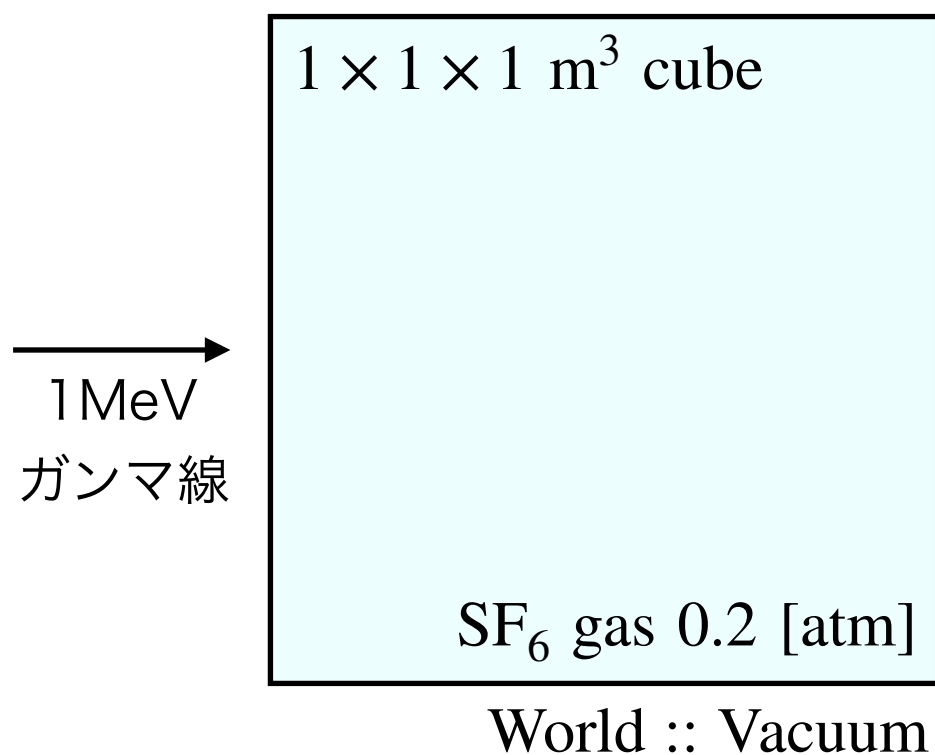
二光子のコインシデンス事象



- ▶ 外部入射光子に起因する事象が主要なバックグラウンドとなると予想
  - 2事象間のエネルギー差・位置情報を用いてどこまで除去できるか？

# 崩壊特性を活かしたBG除去

toy MC using Geant4



- ▶ 非常に簡単なMCを用いて、単一光子多重散乱BGに対する除去能力を評価
- ▶ 単純なカットだけで5桁程度の背景事象削減が可能



# 遮蔽によるBG除去

B. Morgan et al., Astroparticle Physics 23 (2005) 287–302

## a) $\gamma$ x2のコインシデンス事象頻度

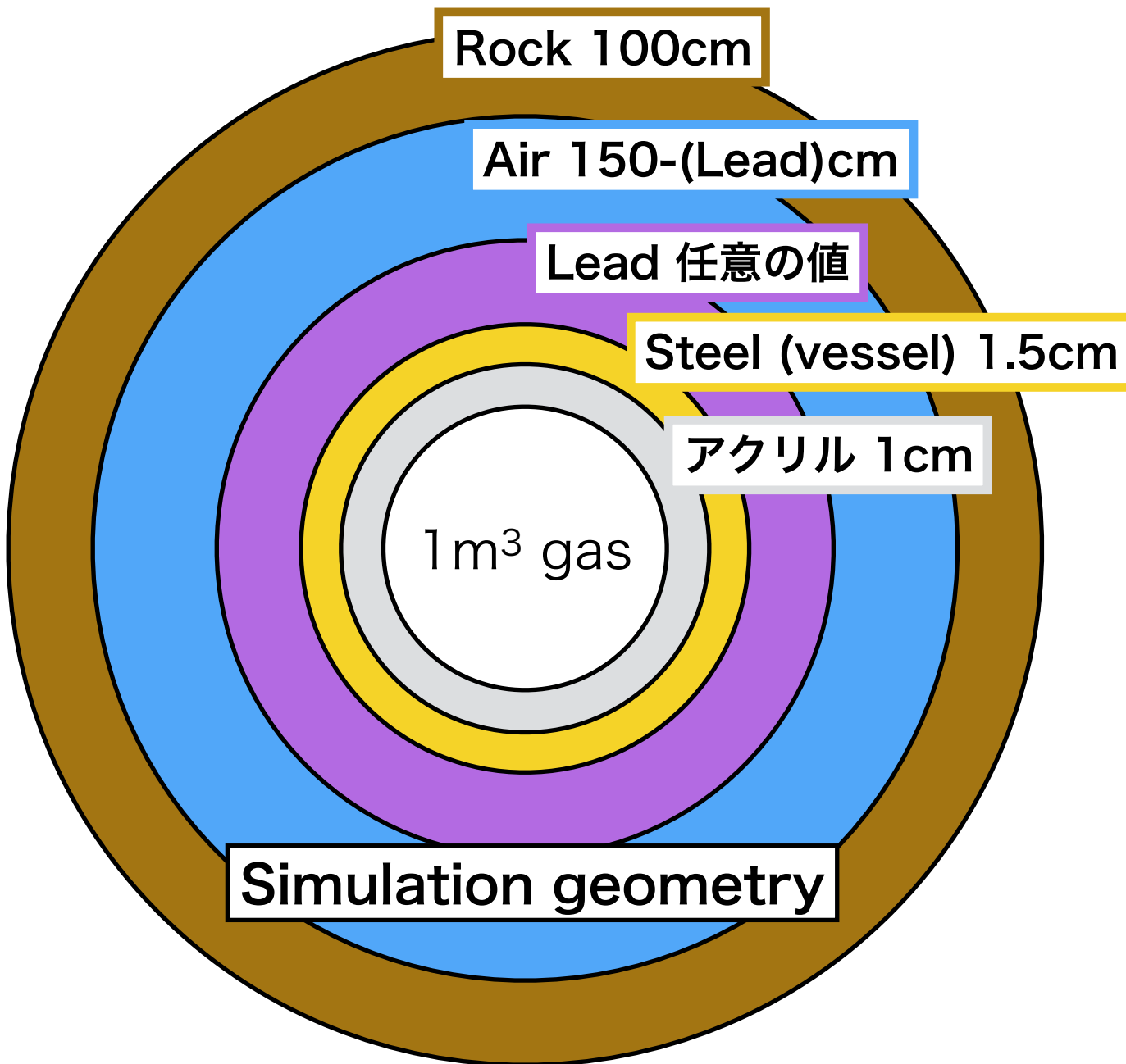
Configuration	$R$ (0–30 keV)/m <sup>-3</sup> day <sup>-1</sup>
unshielded vessel	270
vessel with 5 cm Pb	0.109
vessel with 10 cm Pb	$7.82 \times 10^{-3}$
vessel with 15 cm Pb	$5.81 \times 10^{-3}$
Cu vessel with 15 cm Pb	$2.15 \times 10^{-6}$

## b) 岩盤由来 単一光子の多重散乱

Configuration	$R_d$ (0–30 keV)/m <sup>-3</sup> day <sup>-1</sup>
Rock, no shield	110
Rock, 5 cm Pb	1.64
Rock, 10 cm Pb	0.101
Rock, 15 cm Pb	$5.05 \times 10^{-3}$

## c) 容器由来 単一光子の多重散乱

Configuration	$R_d$ (0–30 keV)/m <sup>-3</sup> day <sup>-1</sup>
Steel vessel	0.540
Copper vessel	$4.94 \times 10^{-3}$



▶ 遮蔽物と低放射能容器で、ガンマ線BGを大きく除去可能

# ここまでのまとめ

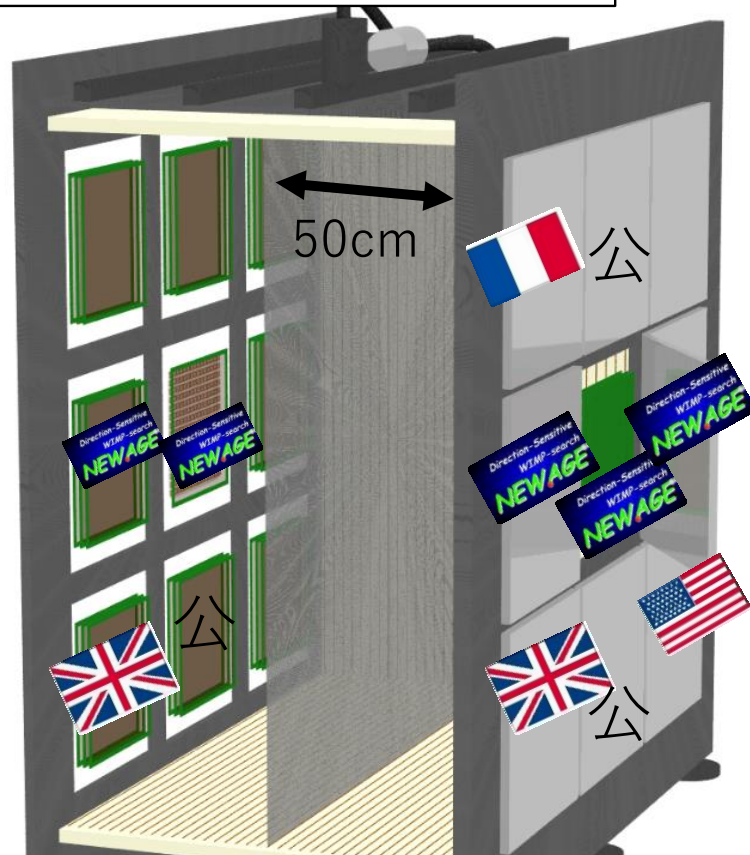
- ▶ 低圧ガス検出器は、未発見の素粒子KKアクシオン探索に非常に有利
- ▶ **有効体積拡張性**
  - KKアクシオン信号頻度は有効体積のみに依存
- ▶ **非常に強力な背景事象除去能力**
  - 5keV程度の光子2つを放出する、KKアクシオン崩壊の特徴的な信号
  - 水・鉛などのシールドを用いて、さらなるBG除去
- ▶ **要請される性能**
  - 大きな有効体積
  - 低エネルギー事象(5 keV x 2)を検出可能
  - ふたつの光子を分離

ここから先はもう少し具体的な話

# NEWAGEチェンバーの利用

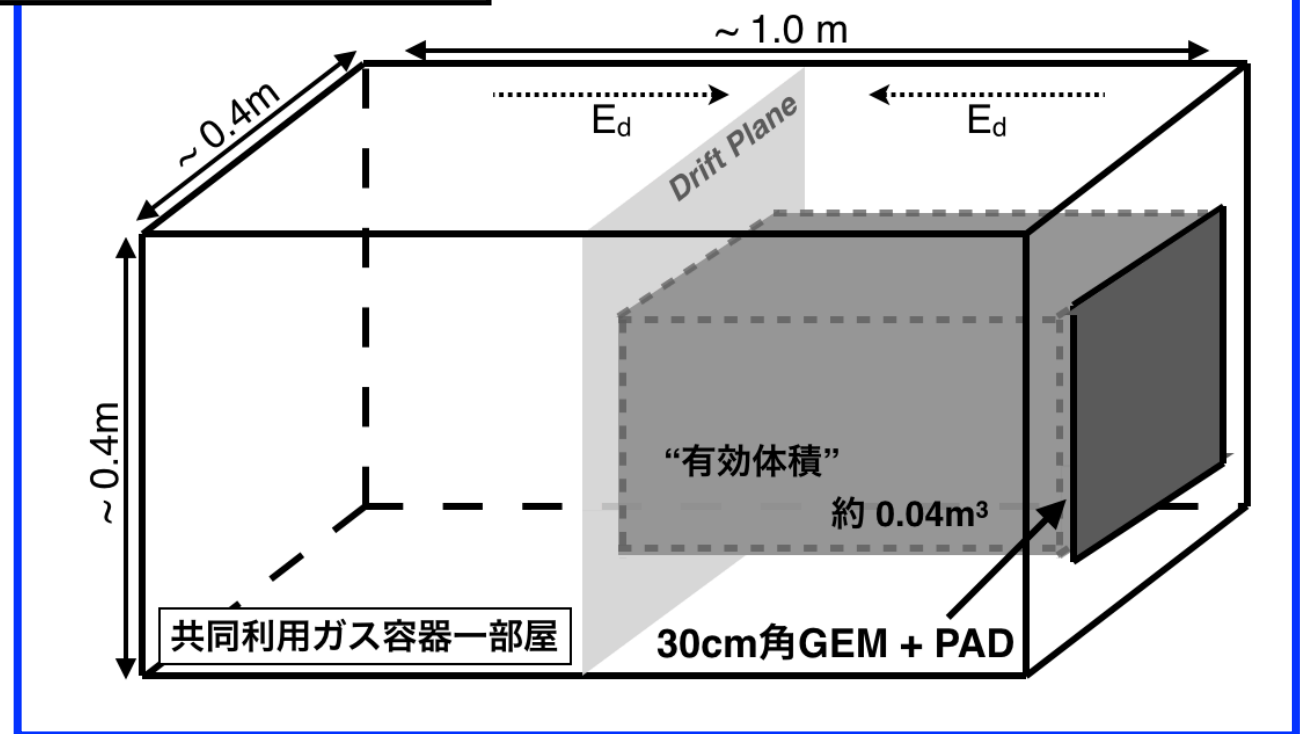
身内氏スライドより抜粋  
(新学術「地下宇宙」領域研究会 2019)

NEWAGEチェンバー：  
使用イメージ



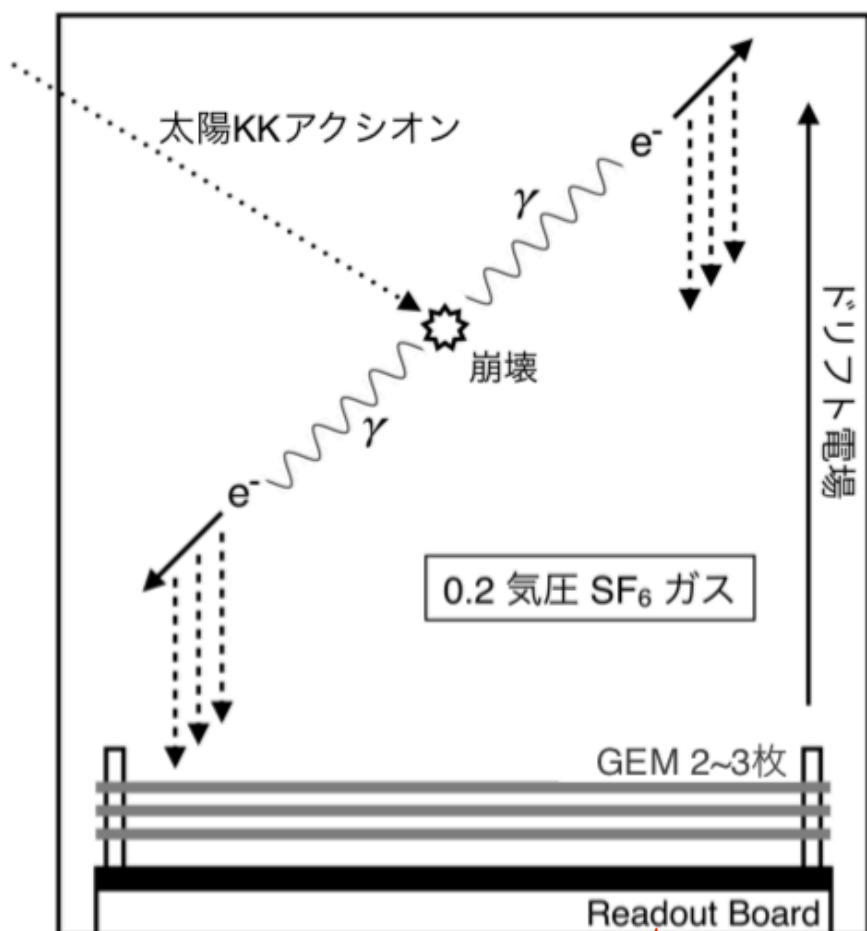
$\mu$  PIC+GEM  
(18ユニット中5ヶ使用  
他は海外G、公募研究などに供用)

検出器設置イメージ

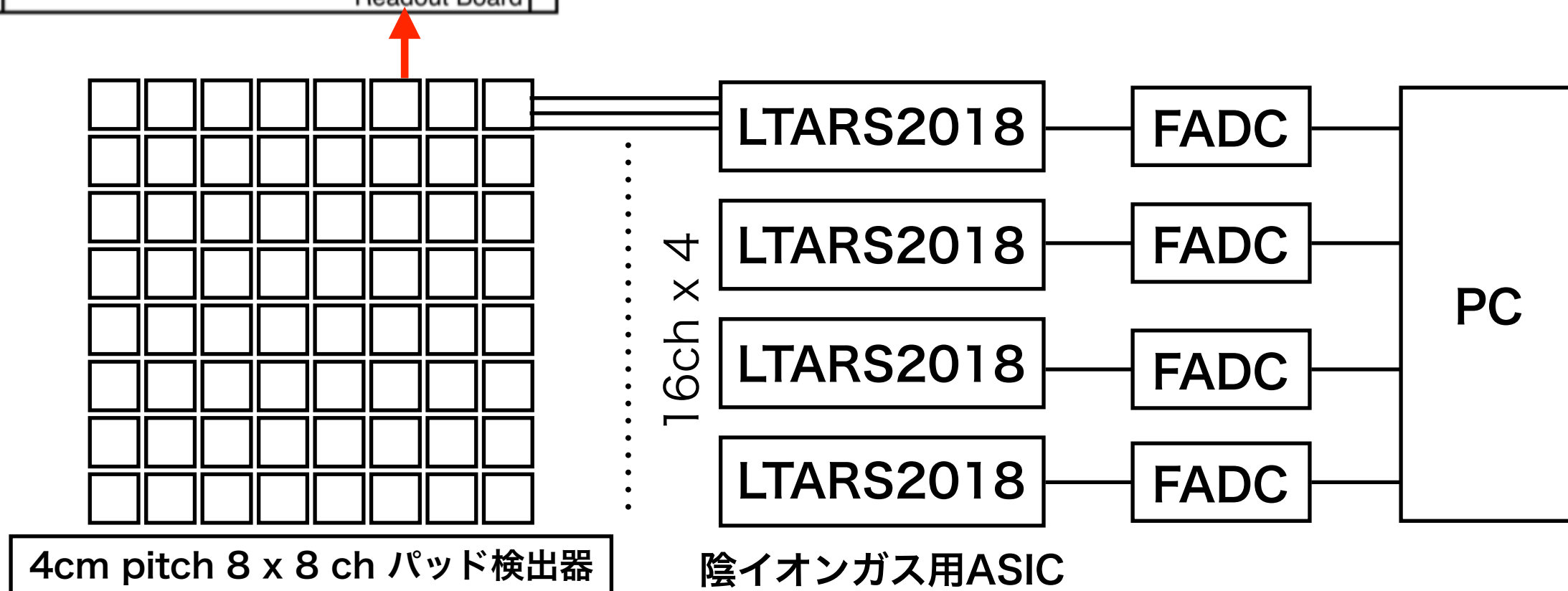


- ▶ 低圧ガス容器の一部を  
拝借して低コストで実験開始
  - SF<sub>6</sub> 0.2atm
  - 低放射能仕様
  - 有効体積 40L (XMASS:: 288L)

# 開発予定の検出器・回路概念図

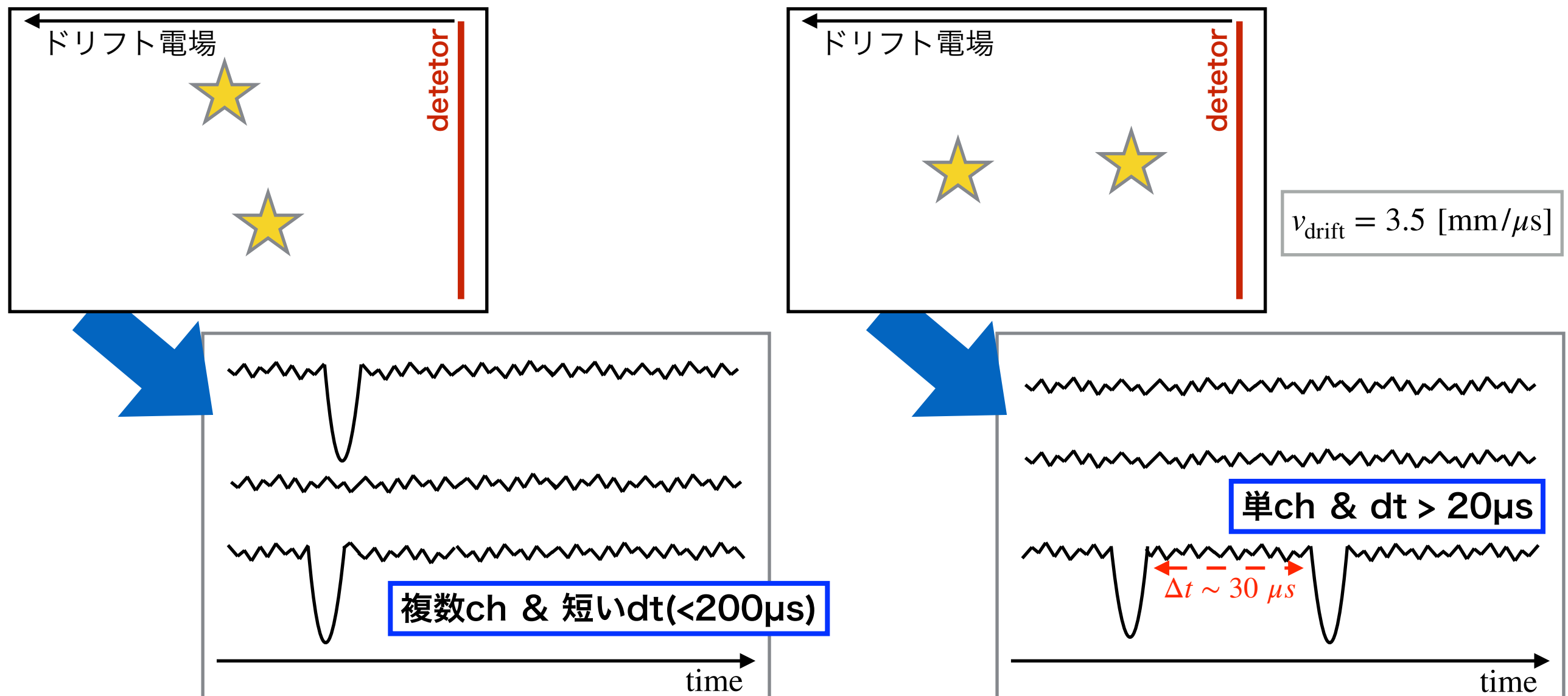


- ▶ **GEM + パッド検出器**
- ▶ **0.2気圧 陰イオンガス SF<sub>6</sub>**
  - メイン・マイノリティチャージを用いて、Z方向位置再構成可能に
- ▶ **陰イオンガス特化ASIC "LTARS2018"**
  - 陰イオンの長い時定数に対応
  - 広いダイナミックレンジ

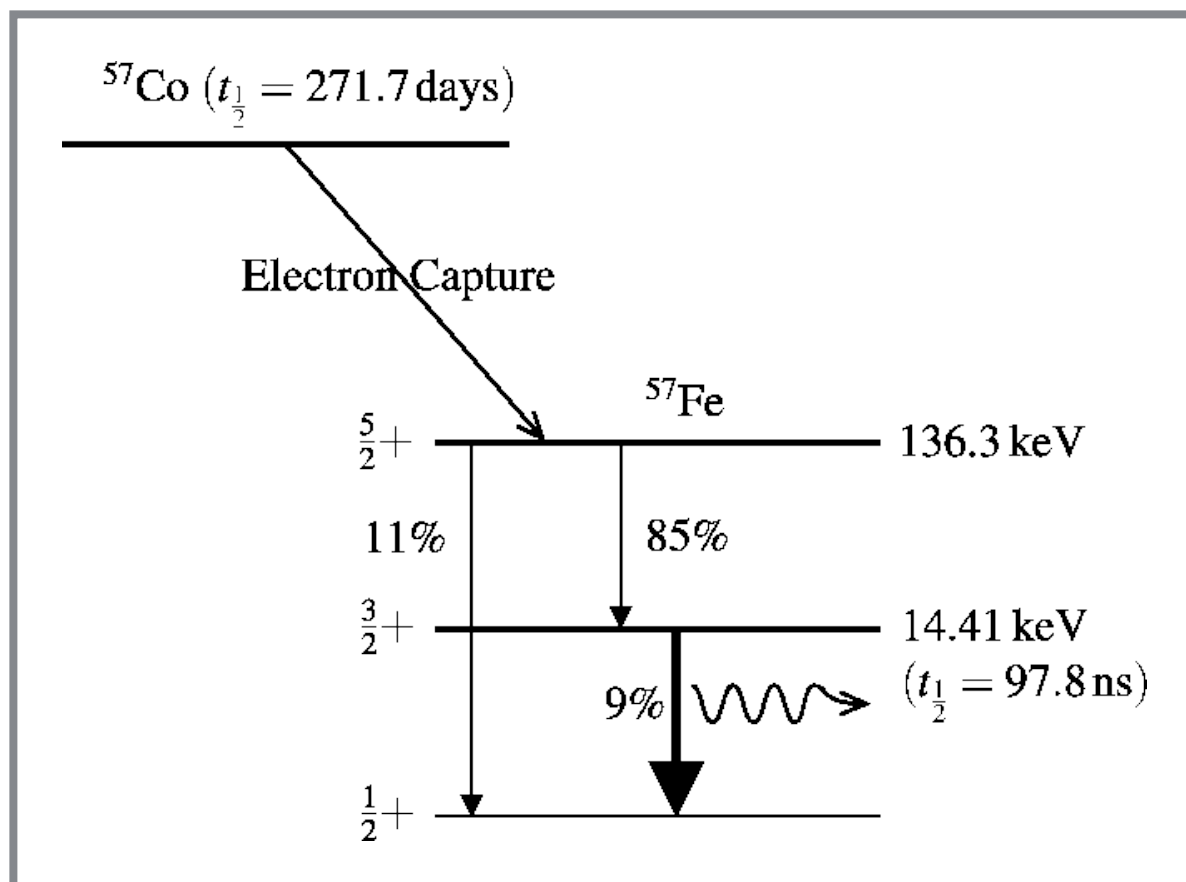


# トリガーロジック開発

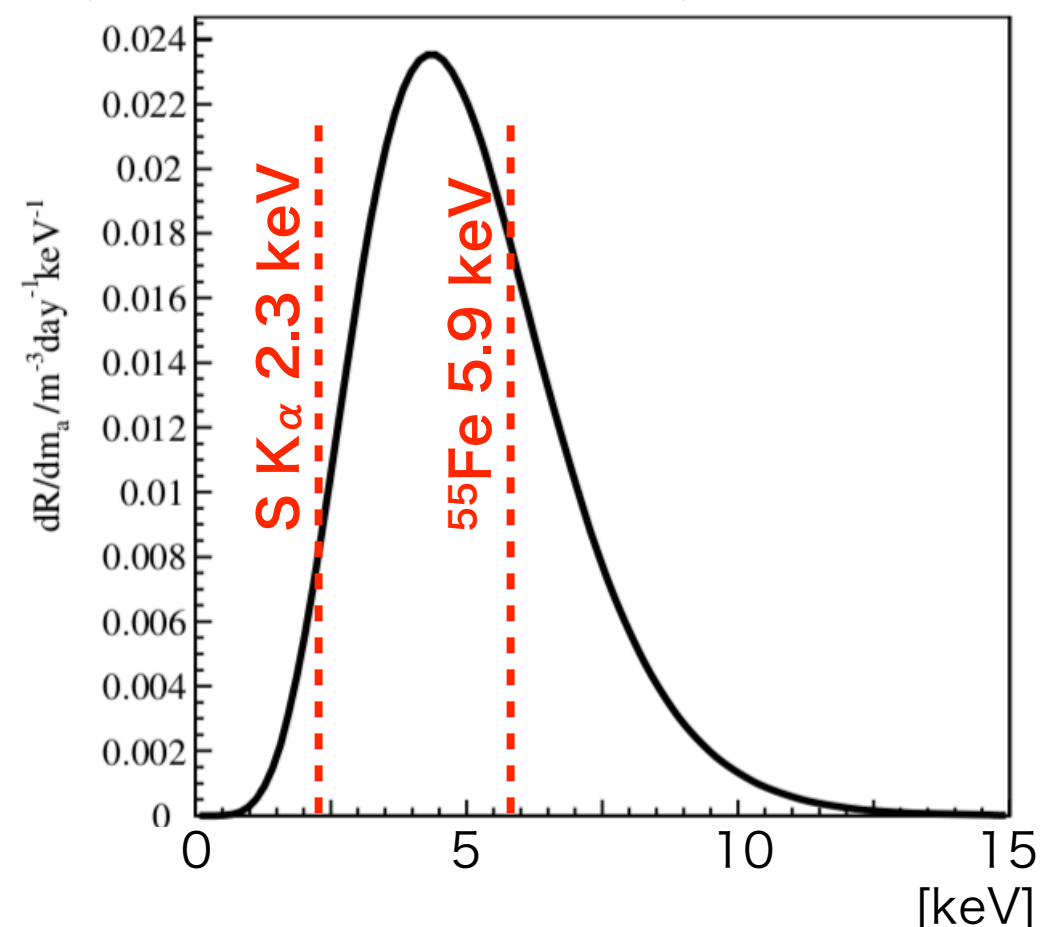
- ▶ 観測したい信号は, “5 keV 光子 x 2” の低エネルギー事象
  - 高頻度の外部ガンマ線コンプトン散乱によって, データ取得が困難
- ▶ **2箇所以上で同時に起こった事象のみ記録して, トリガー頻度削減**したい



# 検出器較正



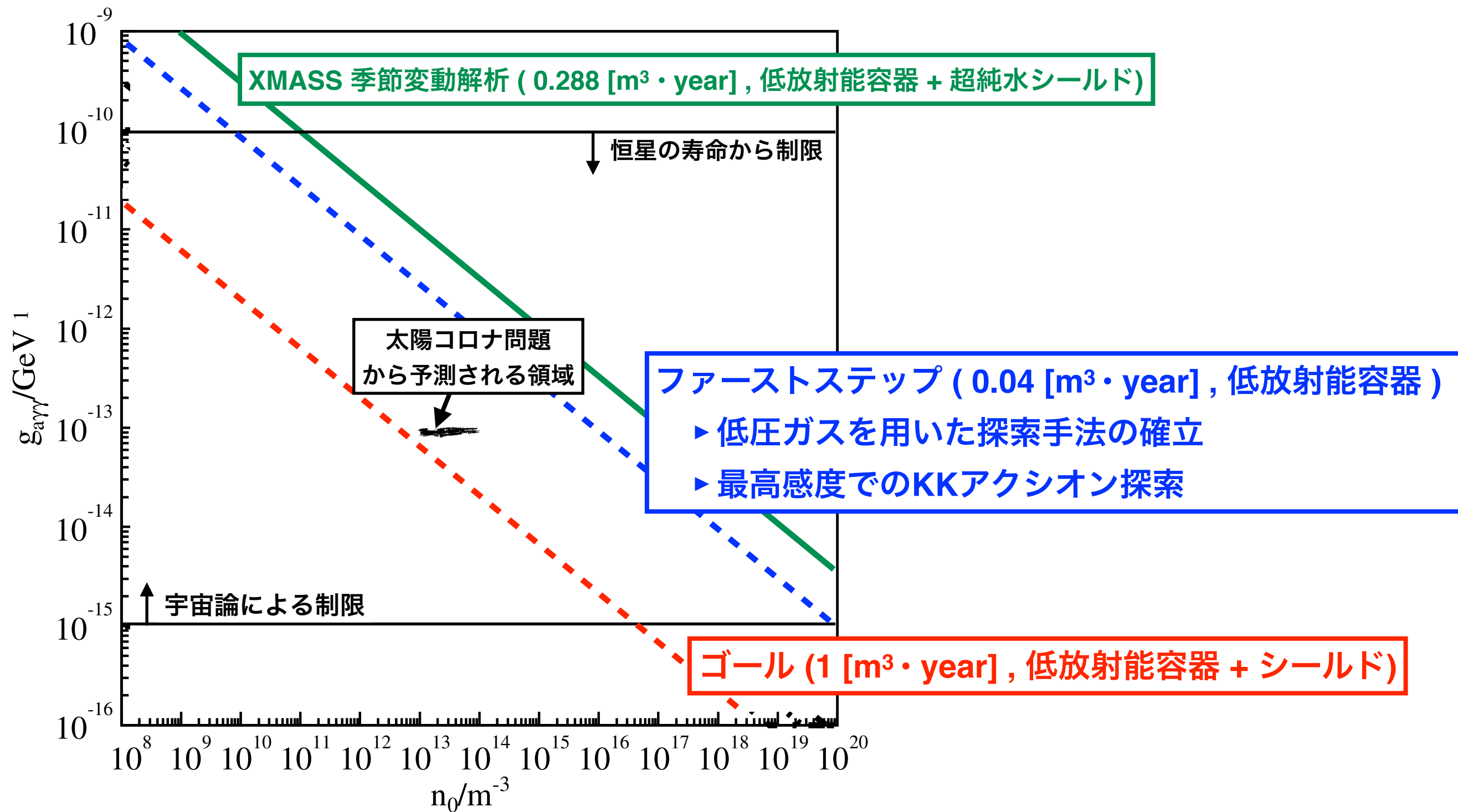
光子1つあたりのエネルギースペクトル



- ▶ 二地点で同時に起こる擬似信号として,  $^{57}\text{Co}$ 線源を活用する
  - ほぼ**同時に放出される 122 keV + 14.4 keV X線**
  - より適した擬似信号源を模索中
- ▶  $^{55}\text{Fe}$  5.9 keVを用いて, エネルギー較正
- ▶  $\text{SF}_6$ ガスに含まれる**硫黄(S)の特性X線 2.3 keV**を利用した較正も試みる



# 予想感度



- ▶ NEWAGEチェンバー 1部屋を用いた開発・観測で, 先行研究以上の感度
- ▶ 更なる低BG環境構築・有効体積拡張で太陽コロナ問題によるモデルを検証

# 研究計画

2020年度

2021年度

試験用 小型容器の製作

GEM・PAD動作試験

トリガーロジック・読出回路 開発

検出器・回路 統合試験

長期安定性確認

NEWAGEチェンバーへ  
検出器設置

長期観測

回路の低ノイズ化

シミュレータ (Geant4 + Garfield) の開発・改良

# まとめ

- ▶ 余剰次元を伝播するKKアクシオンは**太陽内部でも熱的に生成可能**  
太陽系内にトラップされているものも存在し、**地球でも観測可能**
- ▶ KKアクシオン探索には、**低圧ガス検出器が非常に有利**
  - 崩壊数は有効体積のみに依存 -> **有効体積拡張性**
  - 同エネルギーの光子を2つ放出 -> **2光子同時検出によるBG除去**
- ▶ NEWAGE チェンバー供用部を一部利用して、  
低コスト・高感度での太陽KKアクシオン探索が可能であると期待
  - **将来的に太陽コロナ問題を説明可能な領域の探索**を目指す