



ミグダル効果観測のための、 中性子ビーム起源ガンマ線背景事象の測定

2022/5/27

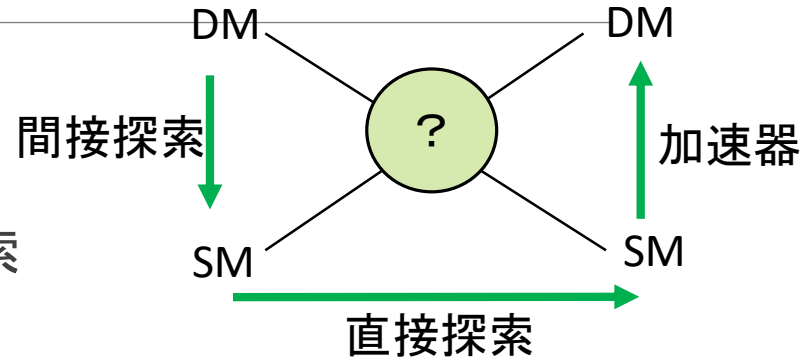
高エネルギー物理 春の学校

神戸大学 M1 大藤 瑞乃

この研究はKEK測定器開発プラットフォームCの支援を受けました

低質量領域のDM探索

- WIMP : **W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**article
 - DMの有力候補
 - 稀にSM粒子と相互作用する(仮定)→直接探索



- 100 GeV~1 TeVが理論的に高いモチベーション

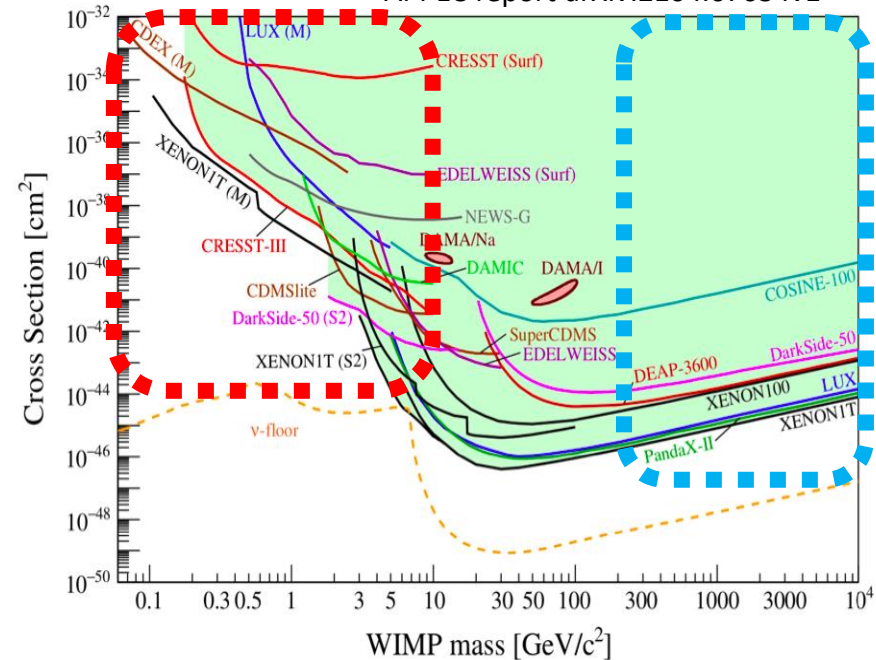
- まだ見つかっていない

→ より低質量の領域(sub-GeV) まで探索

- 質量が小さいと信号を見るのが難しい

⇒ **ミグダル効果**を考えて感度を向上させる

Direct Detection of Dark Matter
-- APPEC Committee Report
APPEC report arXiv:2104.07634v1



ミグダル効果

- 原子核の急な動きに伴って低確率で電子の電離・励起が起きる

1.A. B. Migdal, *Qualitative Methods in Quantum Theory* (W.A. Benjamin, Inc., Reading, 1977), Vol. 48

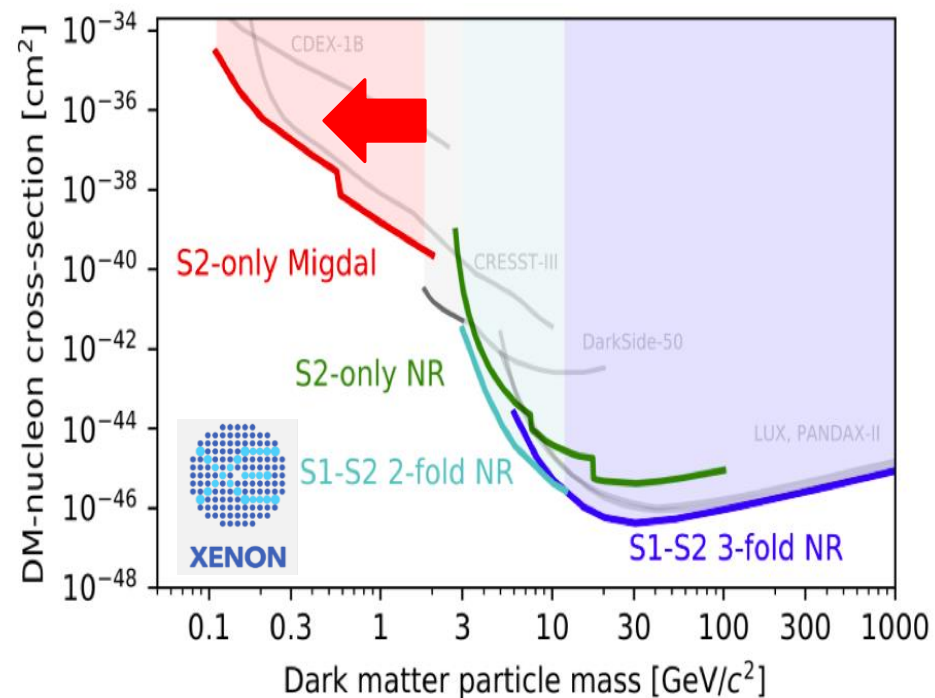
→ 反跳のエネルギーが小さくても追加の信号によって検出できる

- 原子核反跳に伴うミグダル効果は未観測(α 崩壊, β 崩壊は済)

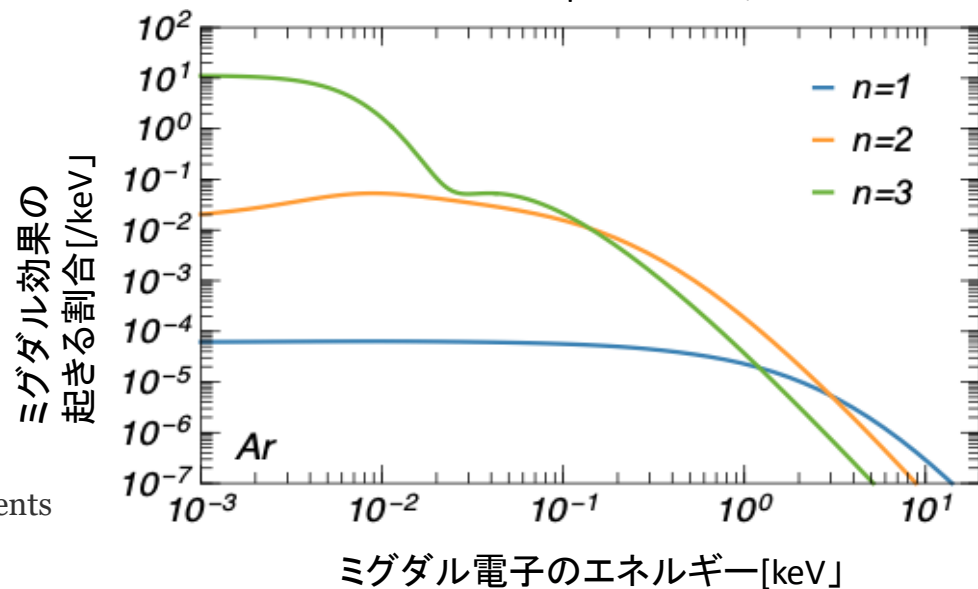
👉 実際に観測したい

⇒ 原子核のK殻電離のミグダル効果に注目

Migdal effect in dark matter direct detection experiments
2018, Article number: 194 (2018)

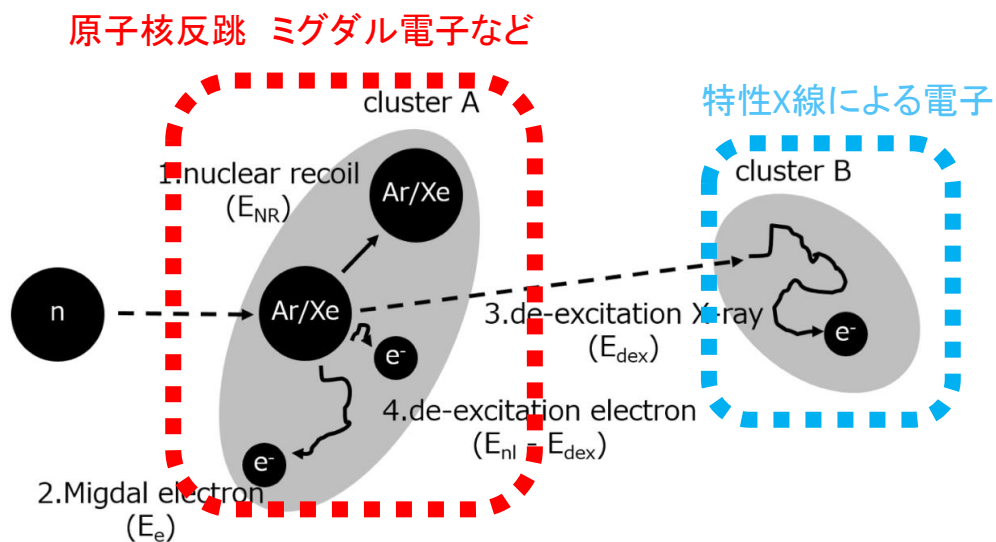


Jacques Pienaar, TAUP2021



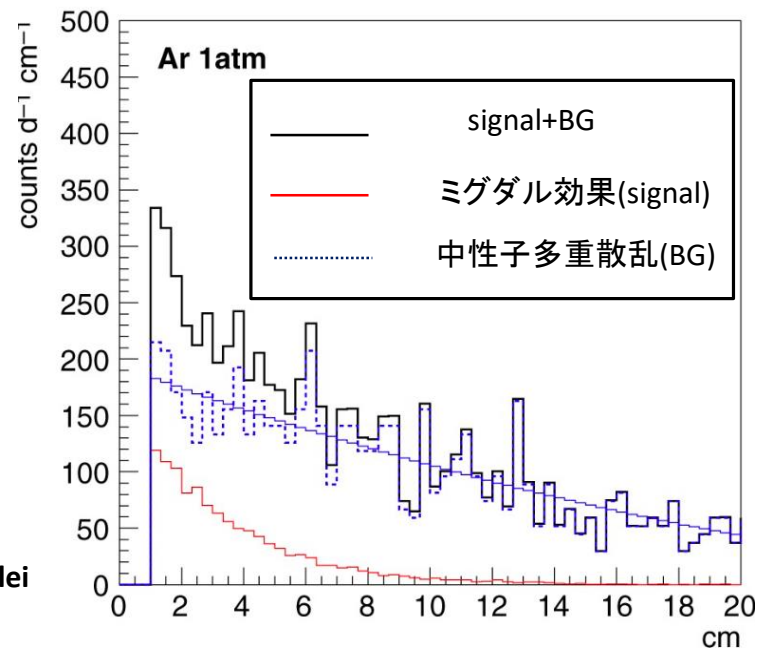
ミグダル効果の観測

- 1クラスターだと, 中性子-原子核の弾性散乱のみの場合(BG)とミグダル効果が発生している場合の判別が難しい
- K殻電離に伴う特性X線(2クラスター目→クラスターB)との位置関係・エネルギーから選別できそう



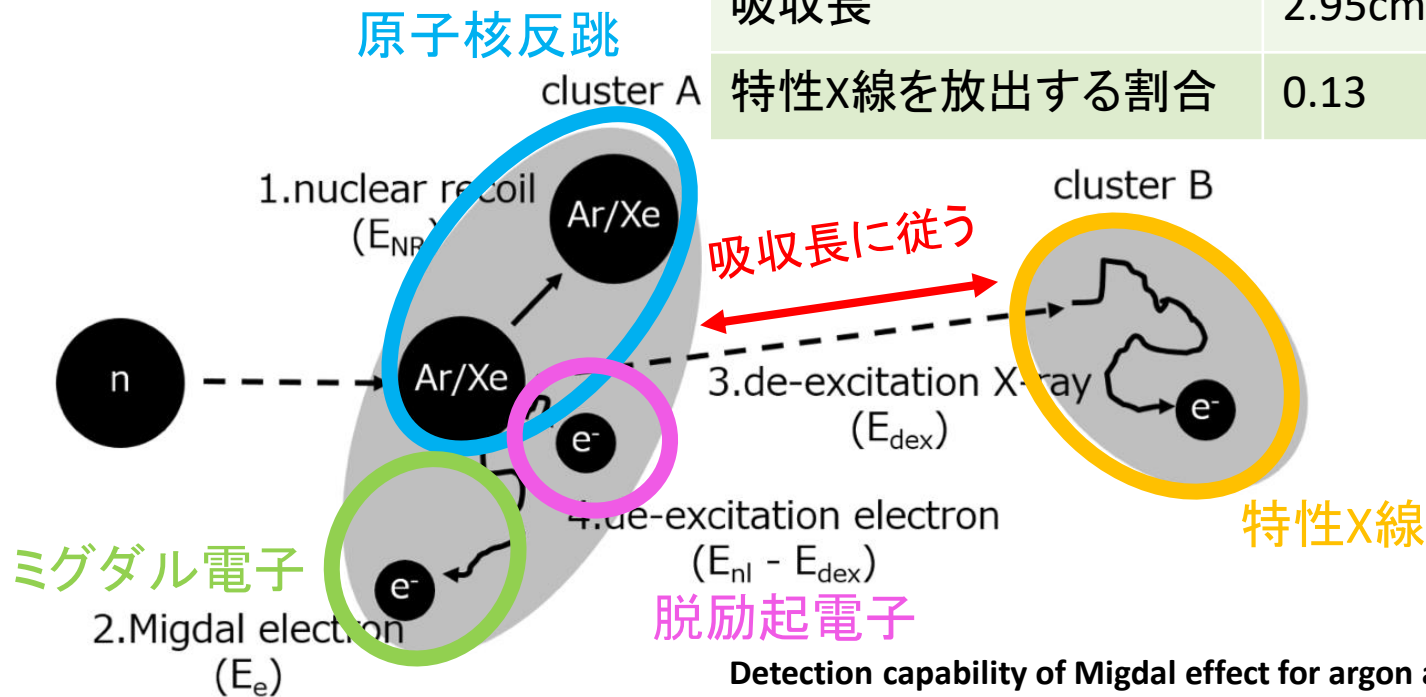
Detection capability of Migdal effect for argon and xenon nuclei with position sensitive gaseous detectors
arXiv:2009.05939

2クラスター間の距離分布 (simulation)



2つのクラスターの信号

target	Ar 1atm	Xe 8atm
クラスターBのエネルギー (K核電離による特性X線)	3keV	30keV
吸収長	2.95cm	2.19cm
特性X線を放出する割合	0.13	0.9



Detection capability of Migdal effect for argon and xenon nuclei with position sensitive gaseous detectors
arXiv:2009.05939

MIRACLUE Collaboration

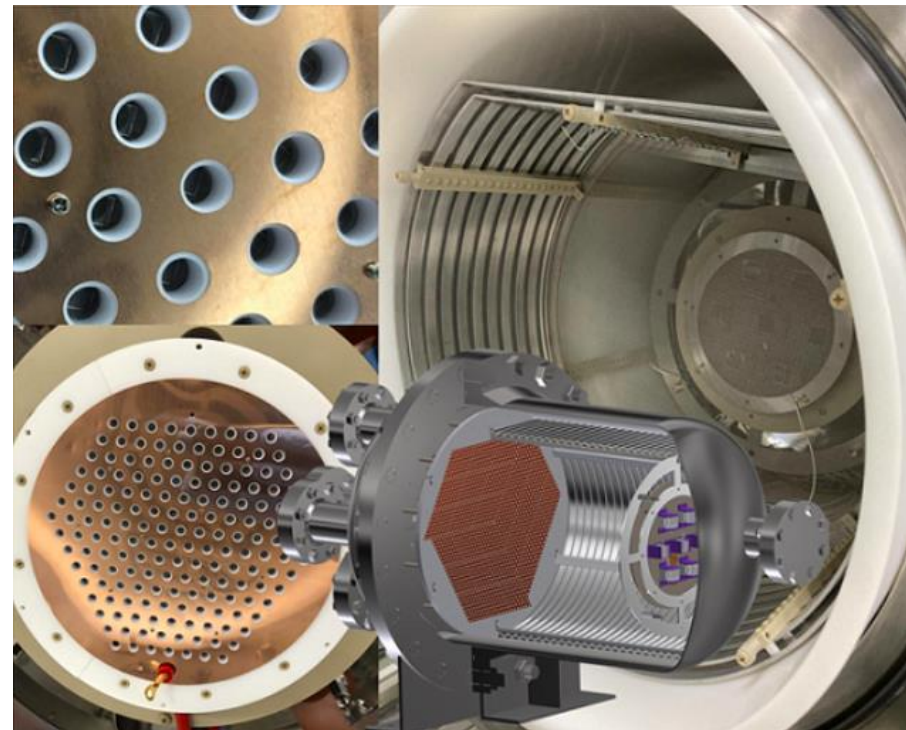


Migdal effect Investigation as RARE event CLUES

神戸大 : Ar 1 atm (30cm)³



東北大 : Xe 5~8 atm 16cm ϕ \times 10cm



https://ppwww.phys.sci.kobe-u.ac.jp/~newage/newage_about_j.html

http://www.phys.tohoku.ac.jp/research-fields/enpp/particle_accelerator/

MIRACLUE実験

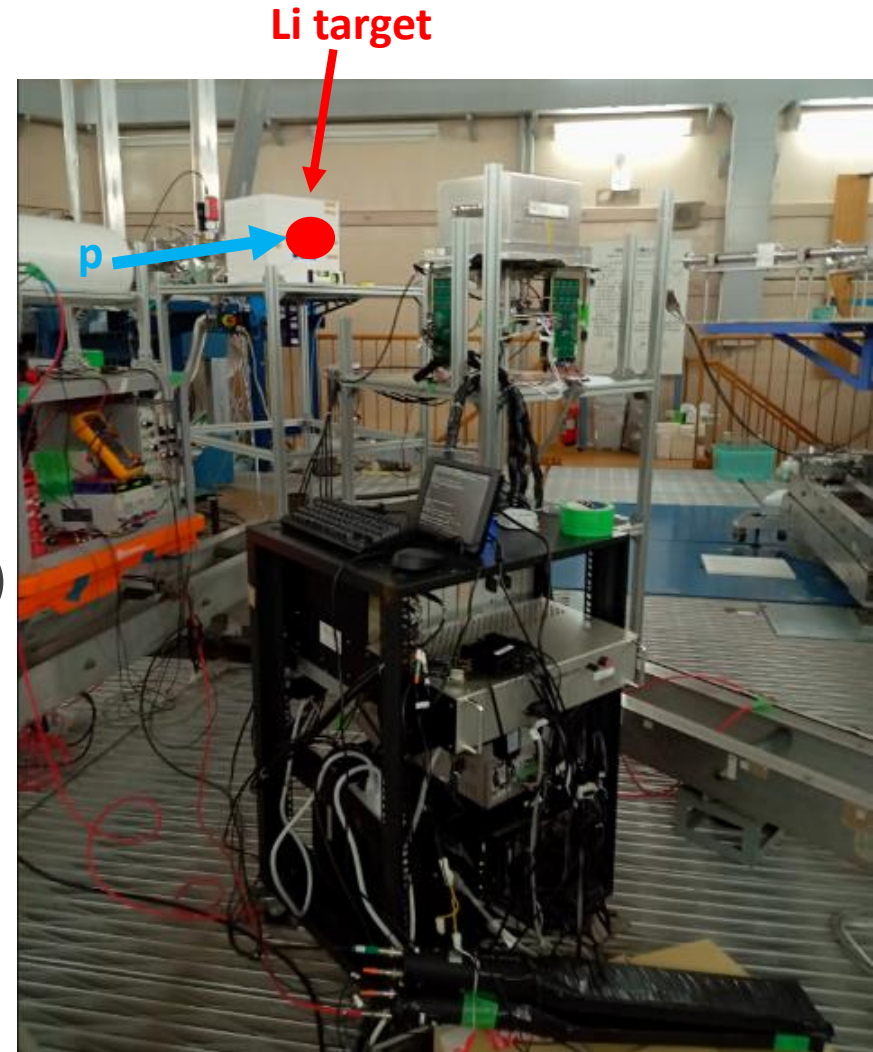
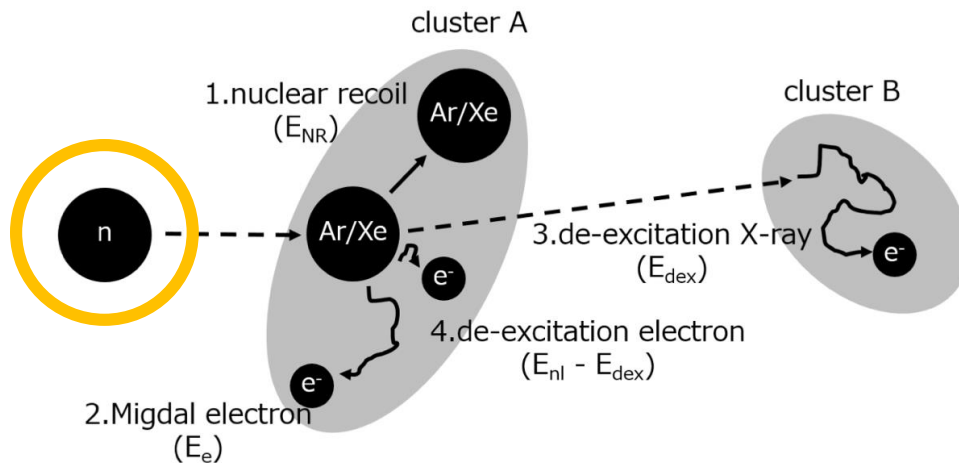
➤茨城県つくば市 産業技術総合研究所
床面はBGを減らすため格子状に

➤565keVの中性子ビームを用いる

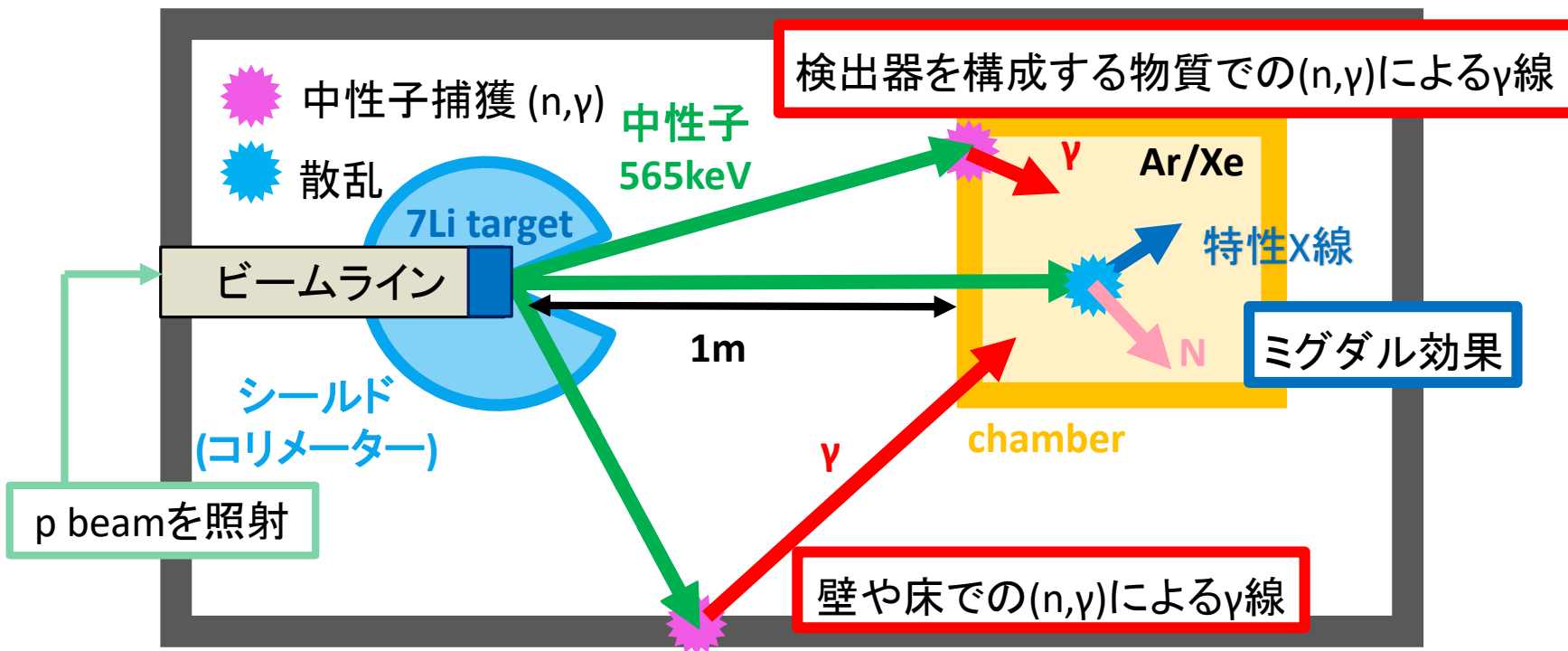
→pをLiターゲットに照射,

7Li(p,n)7Be反応を起こす

flux : $\sim 1500/\text{sec}/\text{cm}^2$ (at 1m)

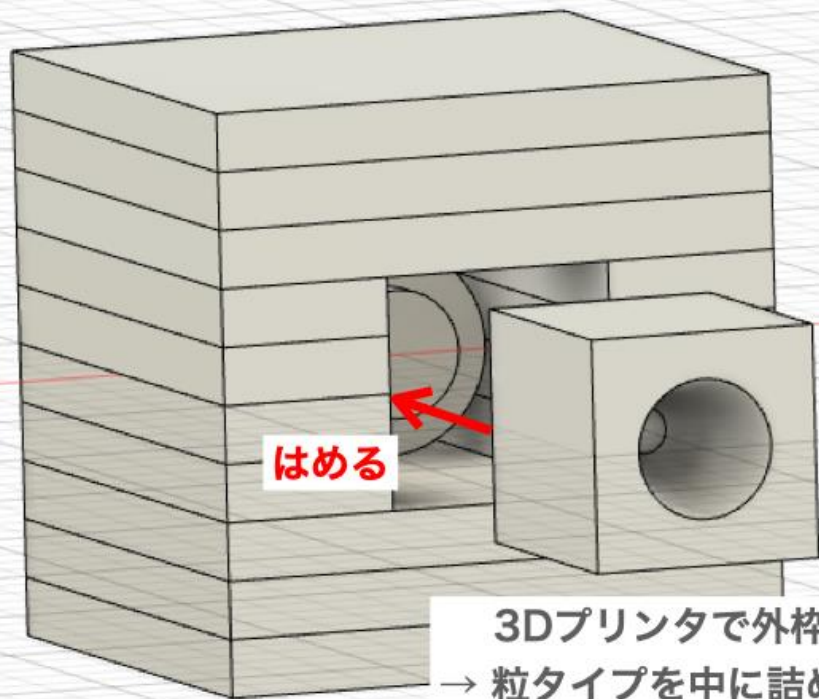


実験室の概形(俯瞰図)



シールド(コリメーター)

LIF添加ポリエチレン



ブロック



粒

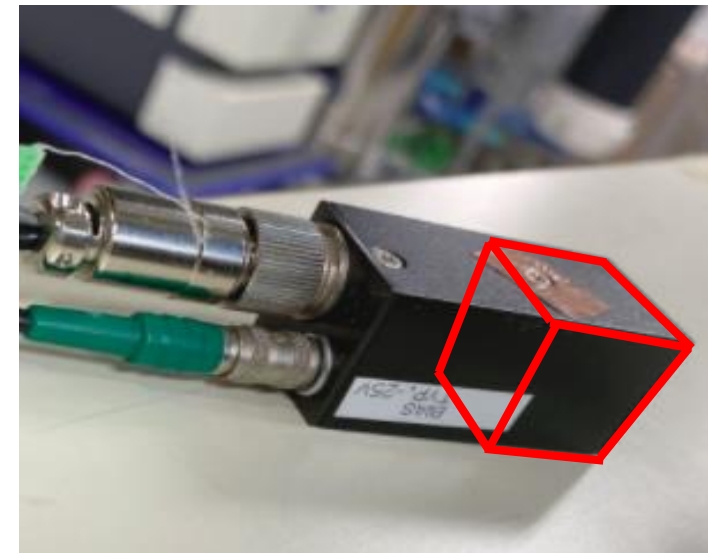
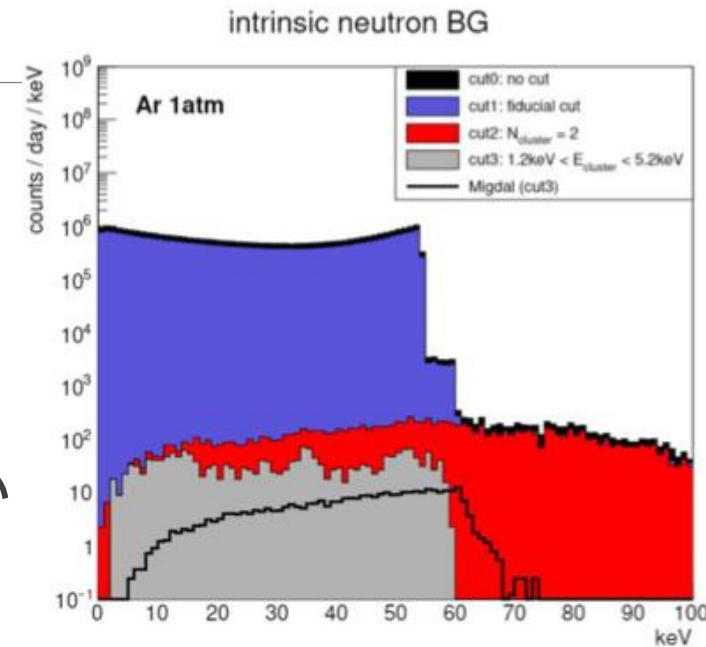


https://conference-indico.kek.jp/event/154/contributions/3117/attachments/2142/2668/17-2-1-MPGDActiveTPC_kanezaki_20211217.pdf

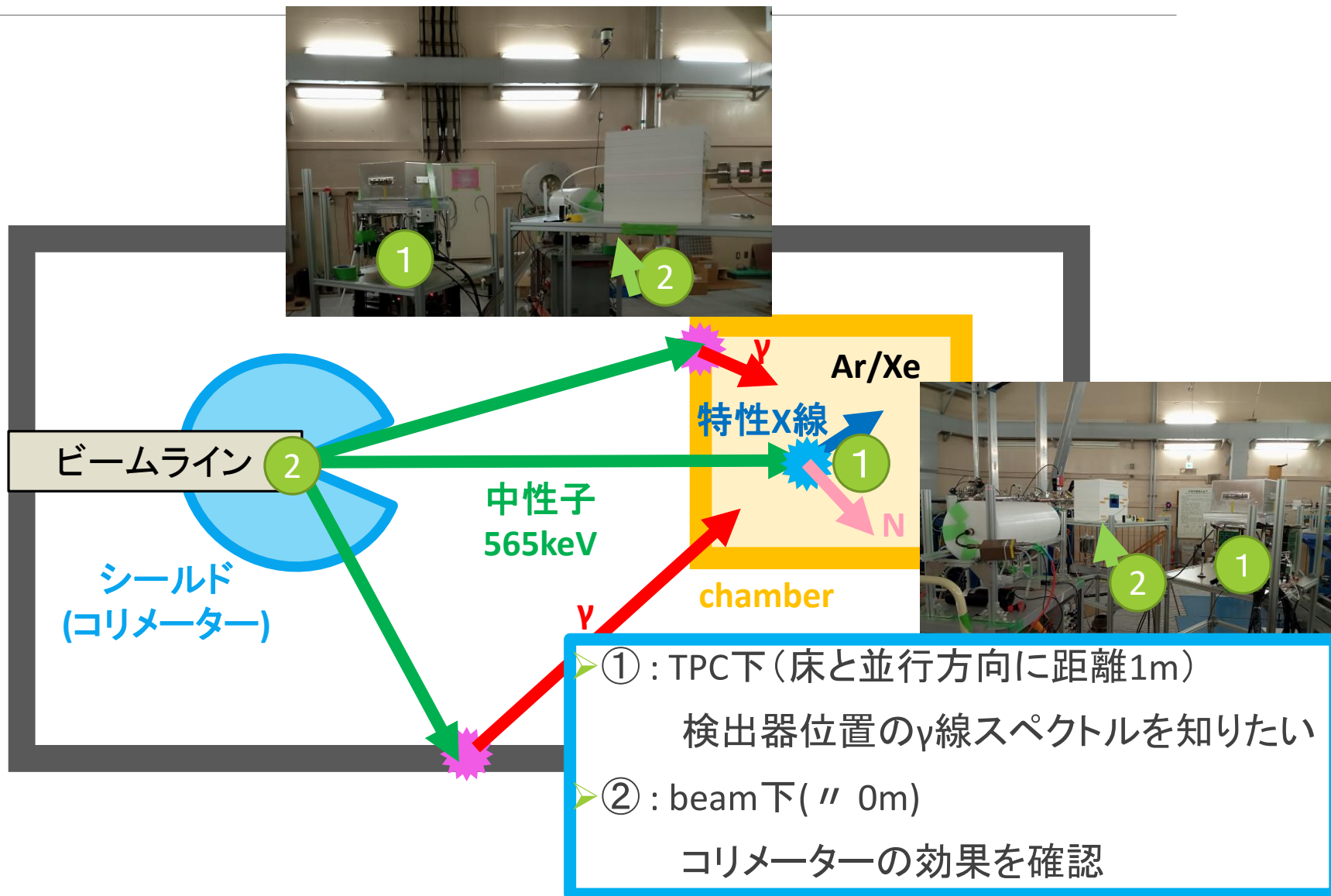
研究の目的

- 右図灰色は避けられないBGを含む
 - 前述の特性X線のエネルギーなどでカットをかけてなお残る
- とりあえず減らせるものを極限まで減らしたい
 - γ 線BGを見積もるために予備実験
 - ・ 本実験と同じく産総研
 - ・ 2022/4/11~同4/14
 - ⇒ CsIシンチレーターで γ 線を測定

CsIシンチレーター
(約1cm*1cm*1cm)



実験条件



測定結果 1

➤ 中性子ビームの照射中(on)と照射中でない場合(off)を比較

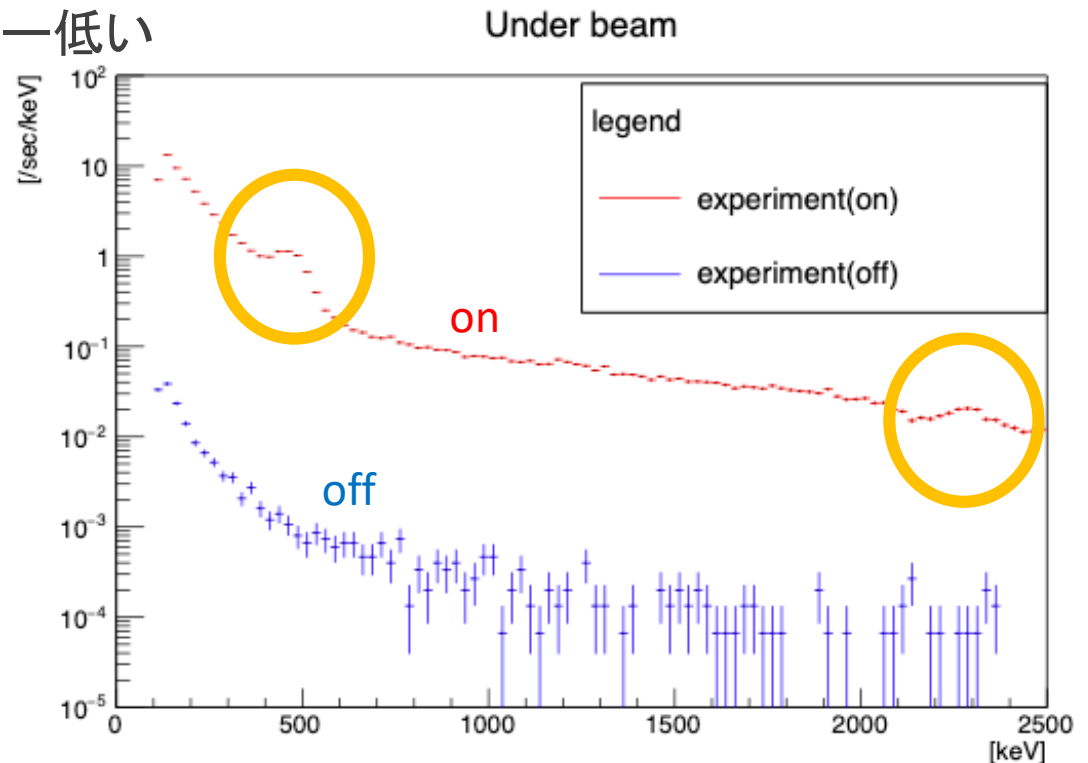
→②beam下の位置は統計が多かった

➤ 470 keV付近, 2.27MeV付近にピークが見える

(⇒Li(p,γ)-478keV,H(n,γ)-2.27MeV?)

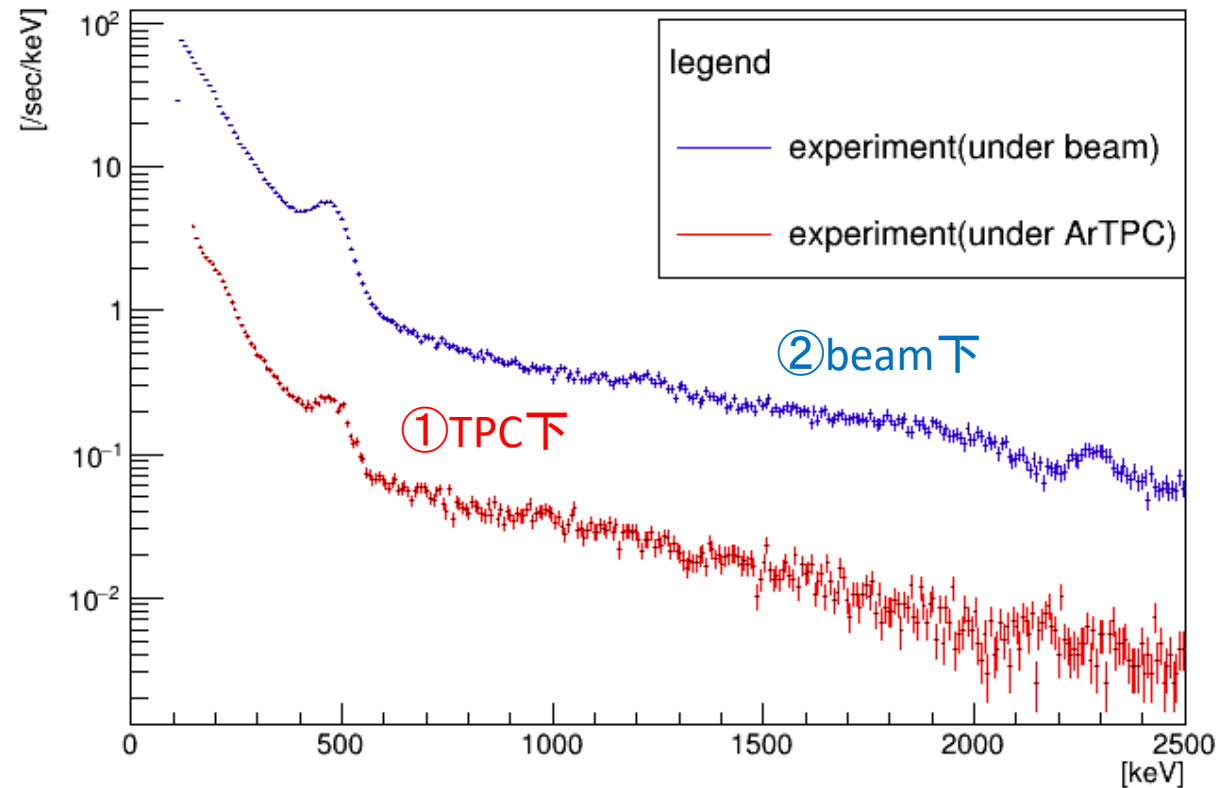
➤ offはonより常に2~3オーダー低い

→今回は無視



測定結果 2

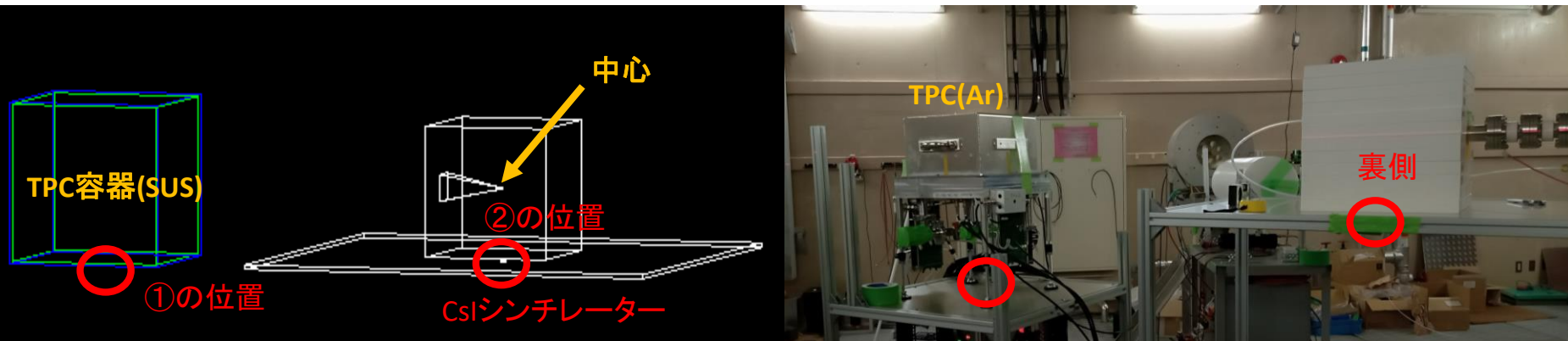
- ①TPC下と②beam下での比較
- コリメーターがあっても②beam下の方が多い
→ 立体角の違い ; 10^2 のオーダー程度異なる？



シミュレーション



- シミュレーションツール Geant4を用いた
- 方向, エネルギーの関係を考慮して
 - ランダムな方向に中性子565keVを照射
- CsIシンチレーター内で γ 線が落とすエネルギー
 - 実験結果との比較
- 照射した中性子の数に対してどの程度CsIシンチレーターに入るか
 - γ 線BGのフラックスの見積もり



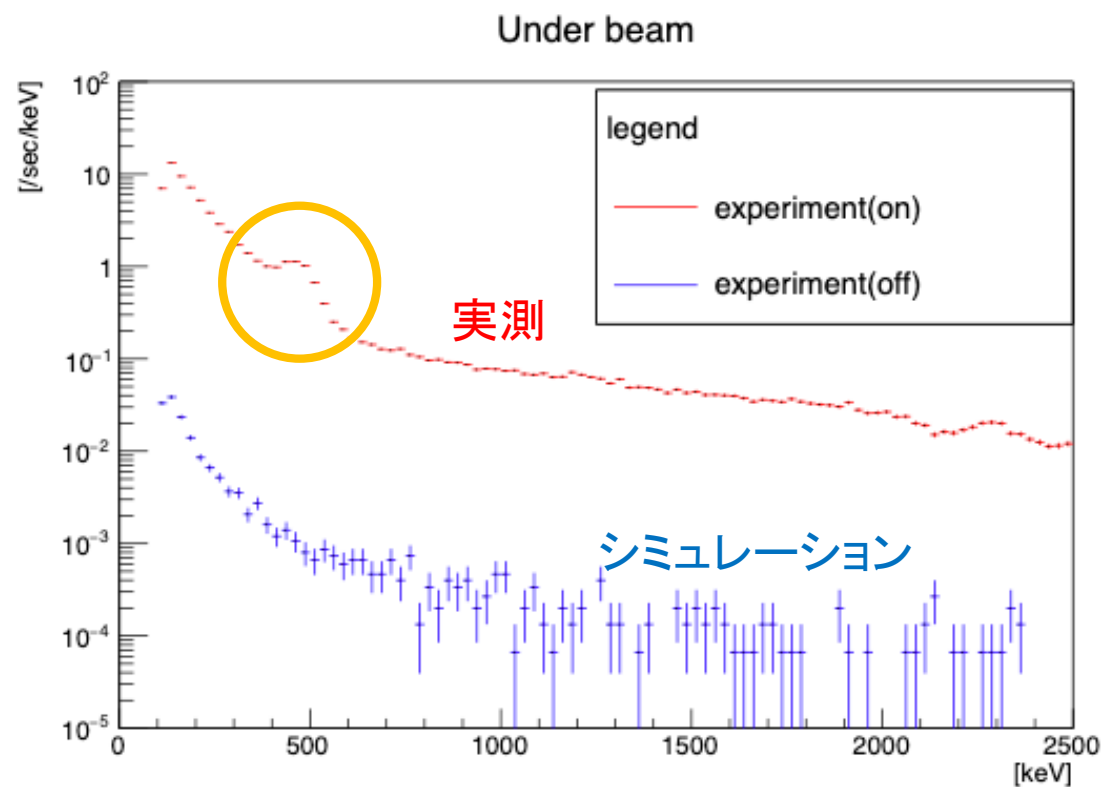
中性子照射シミュレーションと測定結果の比較

➤ 統計の多かった②beam下について

➤ シミュレーションには測定値にあった480keV付近のピークがない

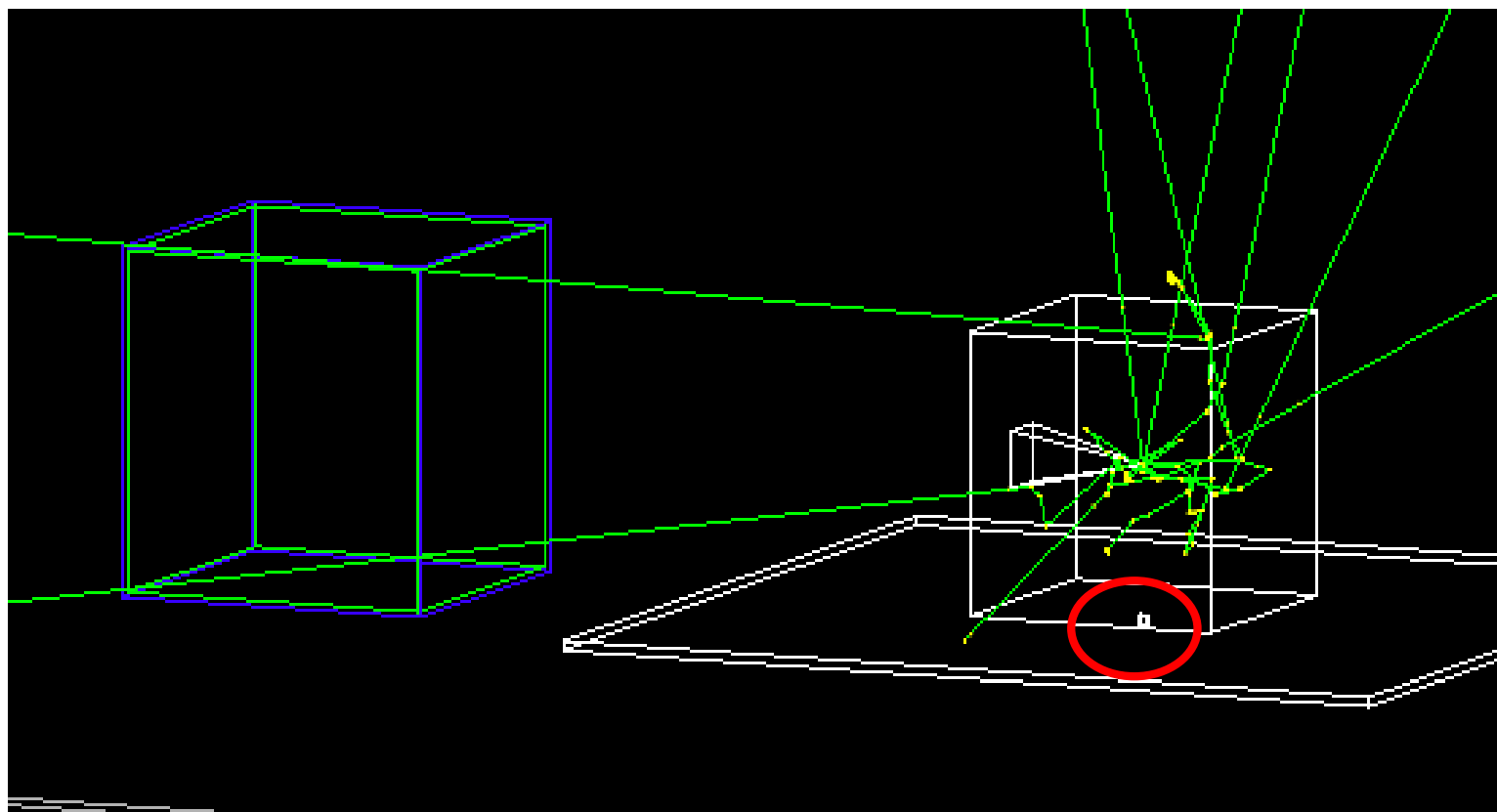
⇒ $\text{Li}(p,\gamma)$ 反応を考えてみる

Measurement of thick-target gamma-ray production yields of the ${}^7\text{Li}(p, p'){}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(p, \gamma){}^8\text{Be}$ reactions in the near-threshold energy region for the ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ reaction



γ 線照射シミュレーション

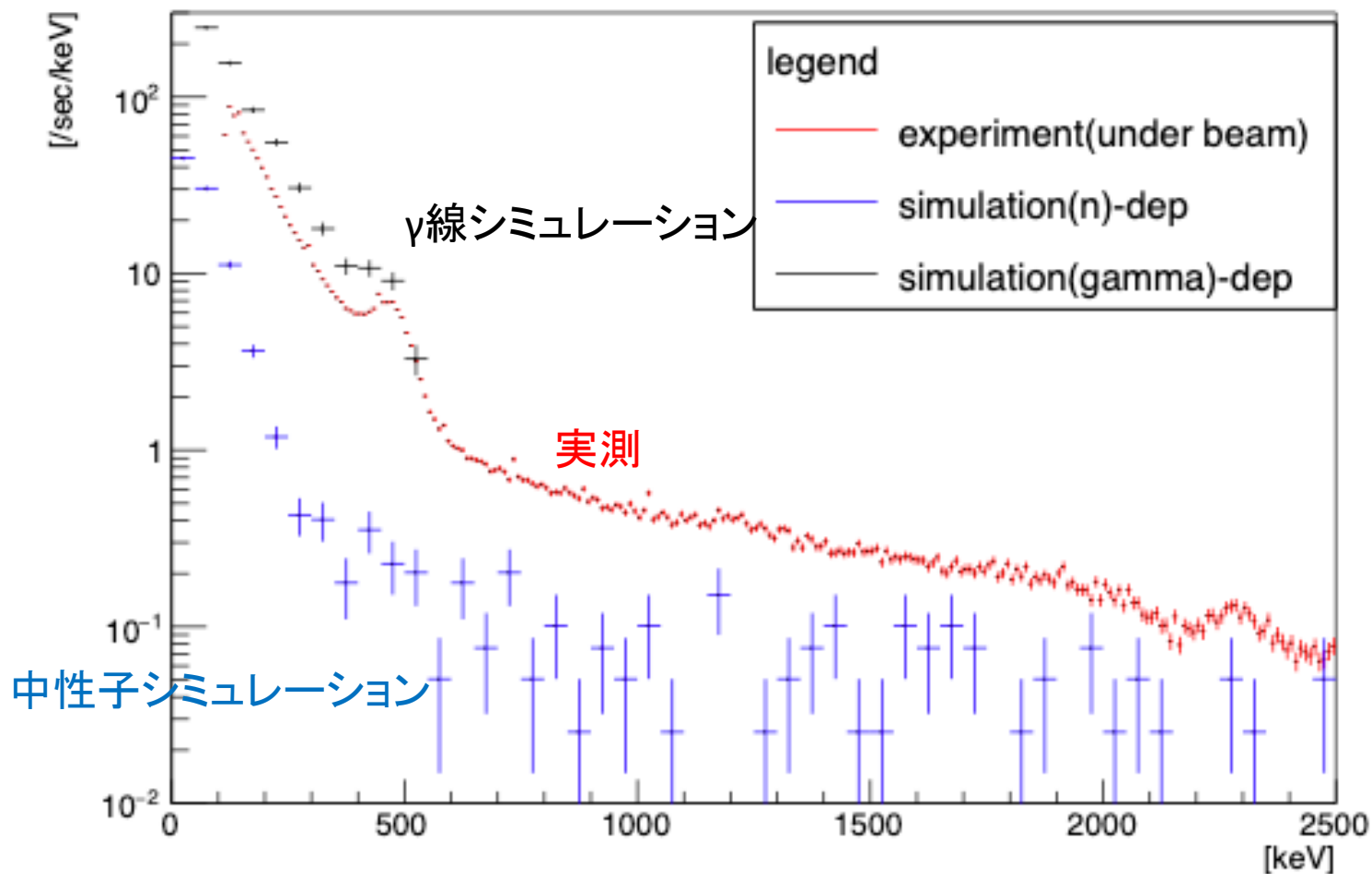
- ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ -478keV (中性子シミュレーションでは未考慮)
- 478keVの γ 線を中心からランダムな方向に照射



γ 線照射シミュレーションと測定結果の比較 1

➤ 500keV以下の構造が再現できていそう(Branching 100%なので多め)

Under beam



γ 線照射シミュレーションと測定結果の比較 2

➤ 高エネルギー成分について：実測値では $\sim 2.3\text{MeV}$ にピークが存在

→ 中性子を照射したシミュレーションでは

$\text{H}(n,\gamma)\text{-}2.27\text{MeV}$

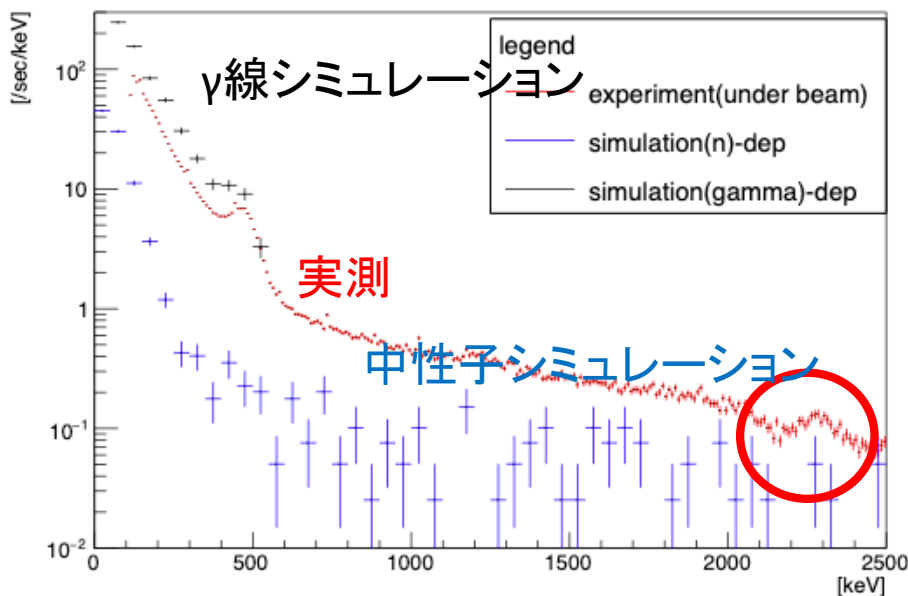
CsIシンチレーターへ入った粒子のエネルギーも $\sim 2.3\text{MeV}$ にピーク

→ 中性子を照射したシミュレーションでは

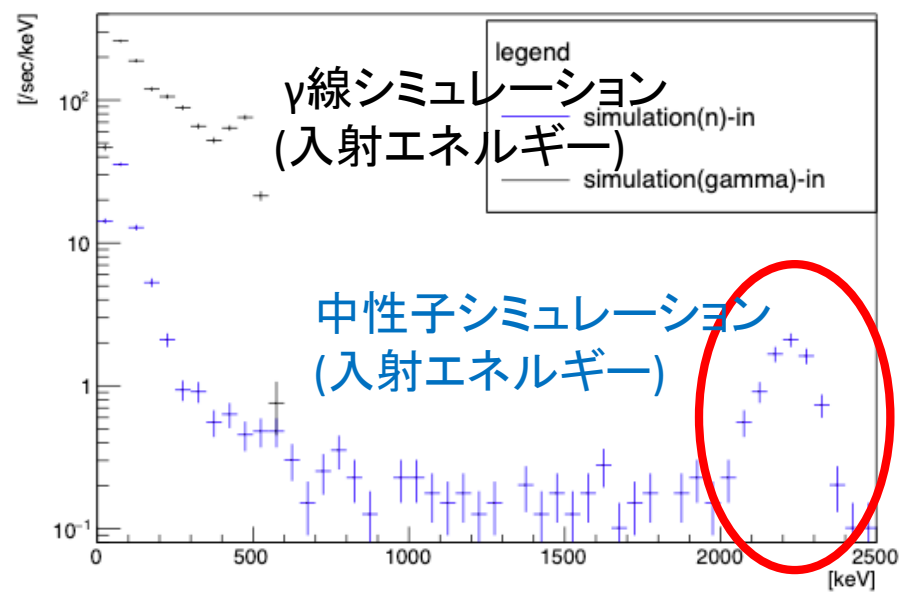
シンチレーター内にこのエネルギーを落としきっていない

= 再現が不足している

Under beam

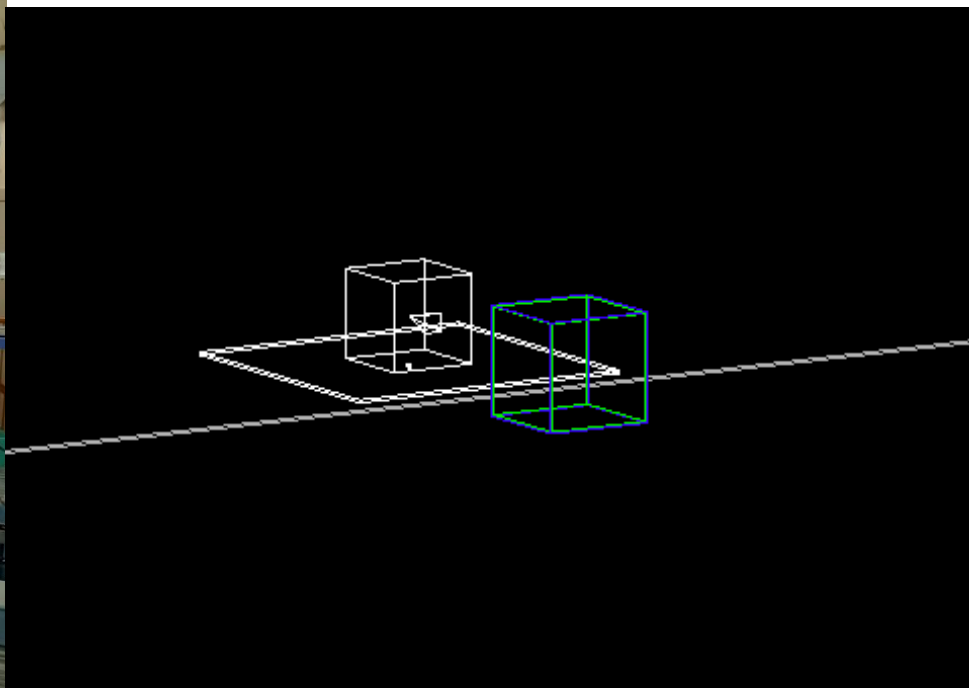


eIn-simulation



今度の課題

- 500keV~の連続的なエネルギー分布が再現できていない
 - 統計を貯めてシミュレーションを見直す
 - シミュレーションのジオメトリを実際に近づける
 - 現在は考慮していないBG源となる物質・事象があるかも？



まとめ・課題

- ▶ 原子核反跳に伴うミグダル効果の初観測を目指している
 - BGの理解が重要
- ▶ γ 線BGをCsIシンチレーターを用いて測定した
 - 低エネルギー領域ではターゲット近傍からの γ 線が主となる
 - 高エネルギー領域では,
未考慮の周辺物質で γ 線が増加している可能性がある
- ▶ シミュレーションとの測定結果の比較を行い,
低エネルギー領域での一致を確認した
- ▶ シミュレーションの再現度等高め,
高エネルギー領域での再構成行うことが課題