

XENONnTにおけるシミュレーションによる 中性子反同時計測システムの性能評価

神戸大学粒子物理学研究室M1 上野龍一



XENON実験

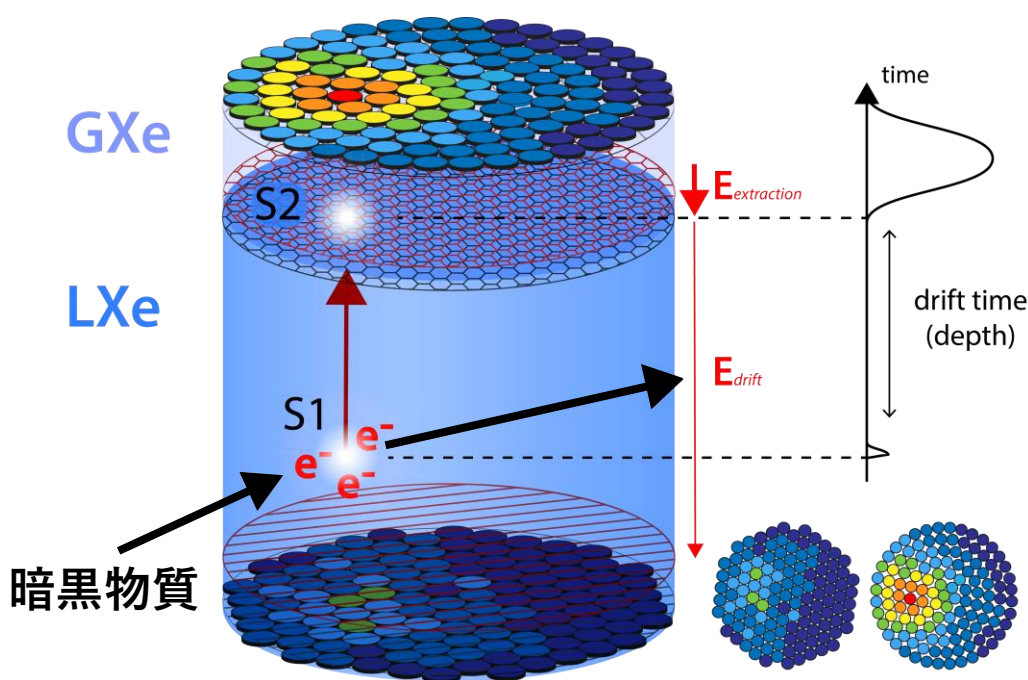
XENON実験：世界最高感度の暗黒物質直接探索実験



- イタリアはグランサツソに位置
- 2017年に東大・名古屋大とともに神戸大が日本グループとして参加
- 気液二層のキセノンを用いた検出器



XENON実験：世界最高感度の暗黒物質直接探索実験



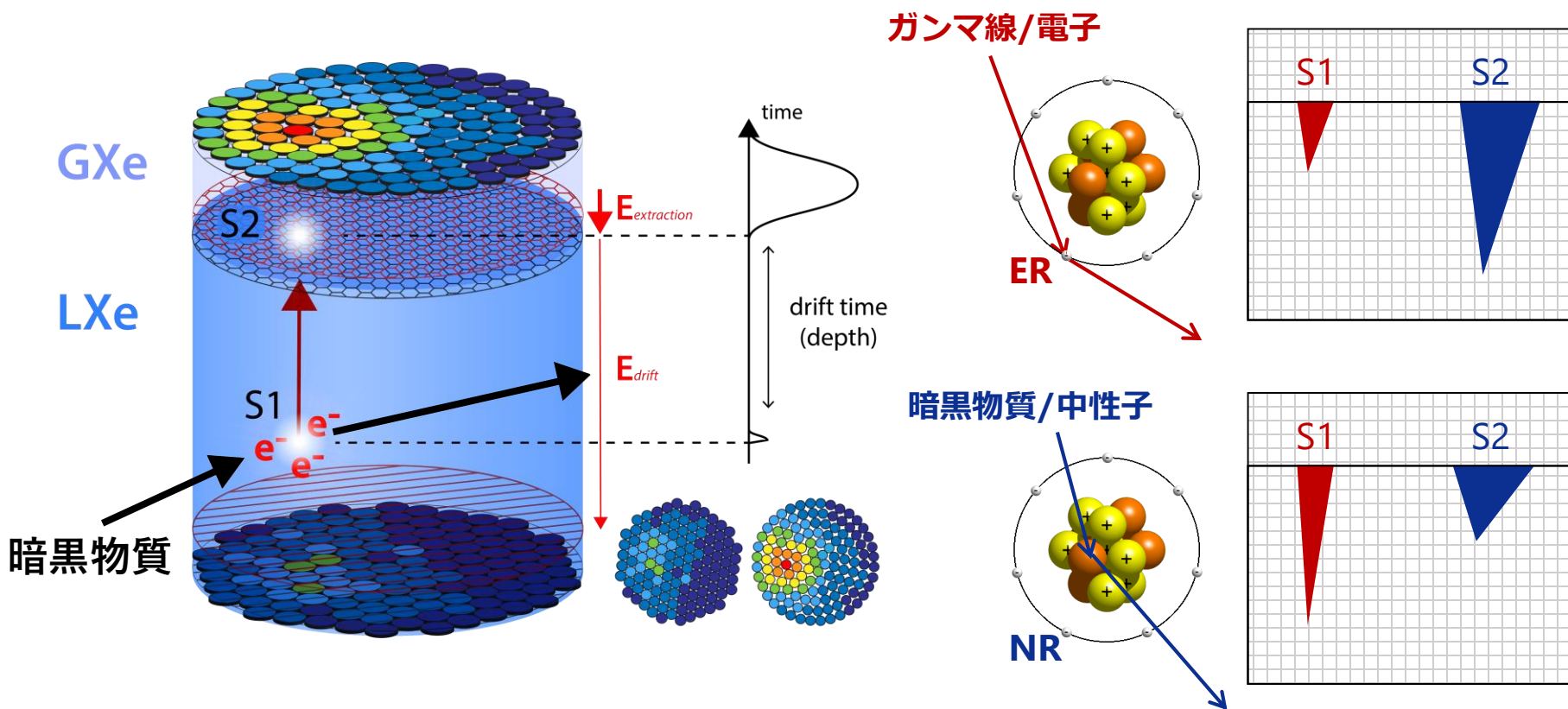
検出原理

1. 暗黒物質がLXeに入射
2. Xeが経路曲折を経てシンチレーション光を放出 (S1)
3. 同時に生じた電子が電場に引っ張り上げられる
4. 電子がGXeに到達することでEL光を放出 (S2)

S1・S2の2種類の信号を上下に配置されたPMTで直接検出

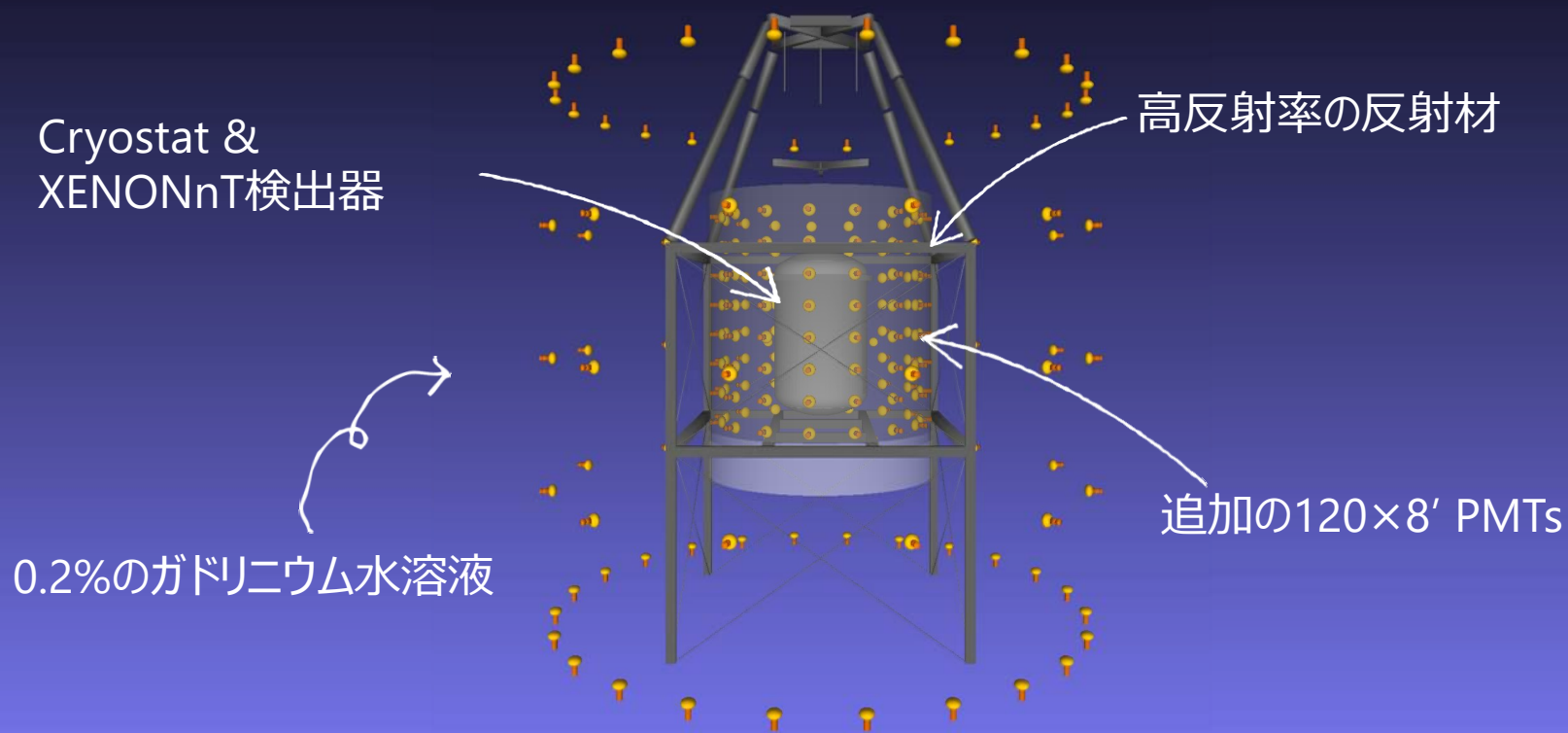
XENON実験

XENON実験：世界最高感度の暗黒物質直接探索実験

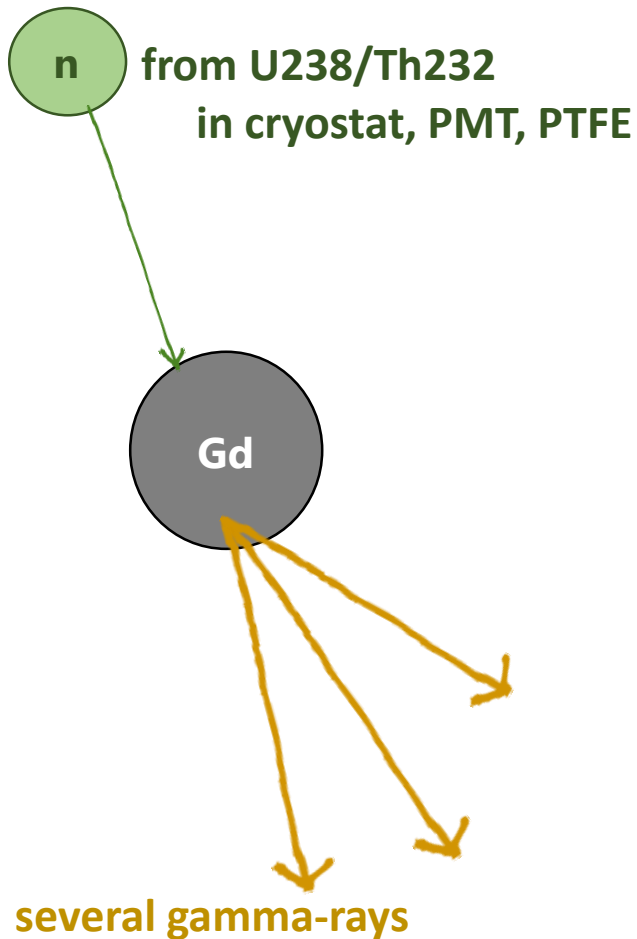


研究の動機

nVETO : NRイベントから中性子によるものを取り除きたい



Gd中性子捕獲



ガドリニウムのすごいところ

① 高い中性子捕獲断面積

中性子捕獲断面積が極めて大きい



${}^{157}\text{Gd} \cdot {}^{155}\text{Gd}$ が**天然元素中最大の断面積**を持つ

ちなみに水素原子の中性子捕獲断面積も大きい

② 高いガンマ線エネルギー

合計で **8 MeV** の複数のガンマ線を放出

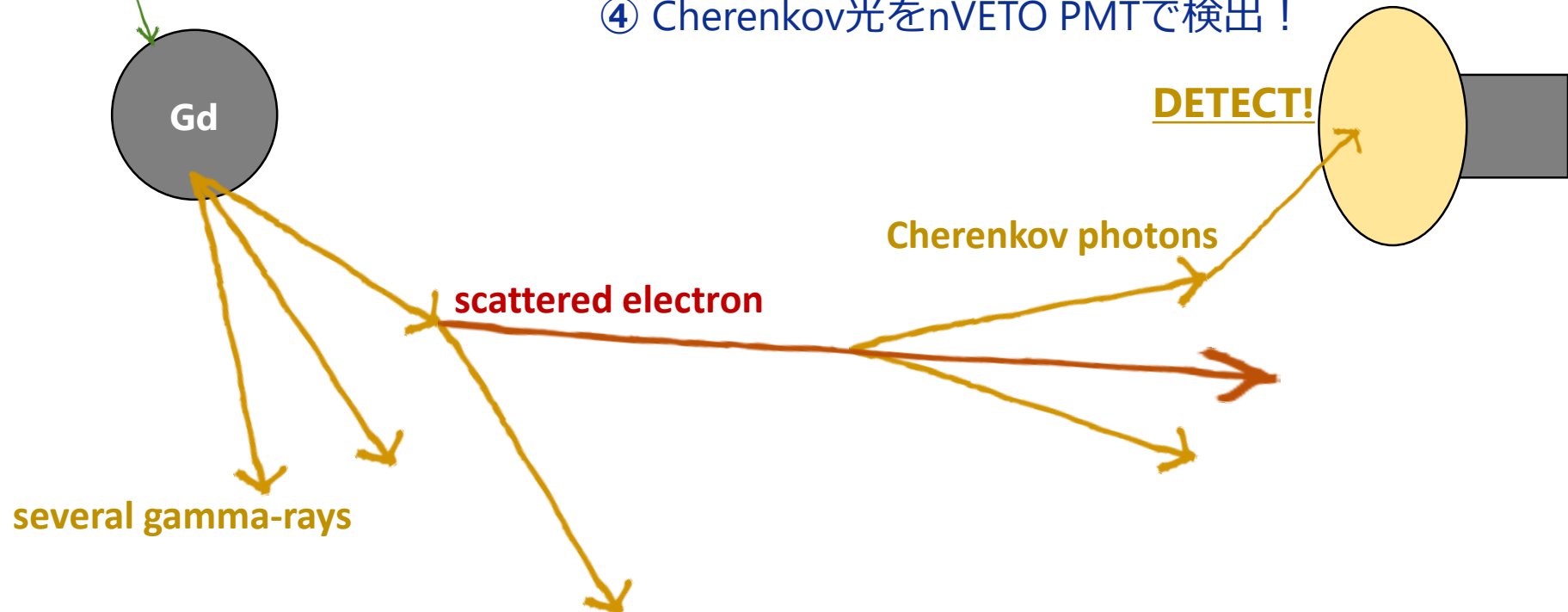
ちなみに水素原子は 2.2 MeV の単一のガンマ線

中性子検出原理

n from U238/Th232
in cryostat, PMT, PTFE

中性子検出の素過程

- ① Gdが中性子を捕獲
- ② 放出されたガンマ線が電子を散乱
- ③ 散乱された電子がCherenkov光を放出
- ④ Cherenkov光をnVETO PMTで検出！

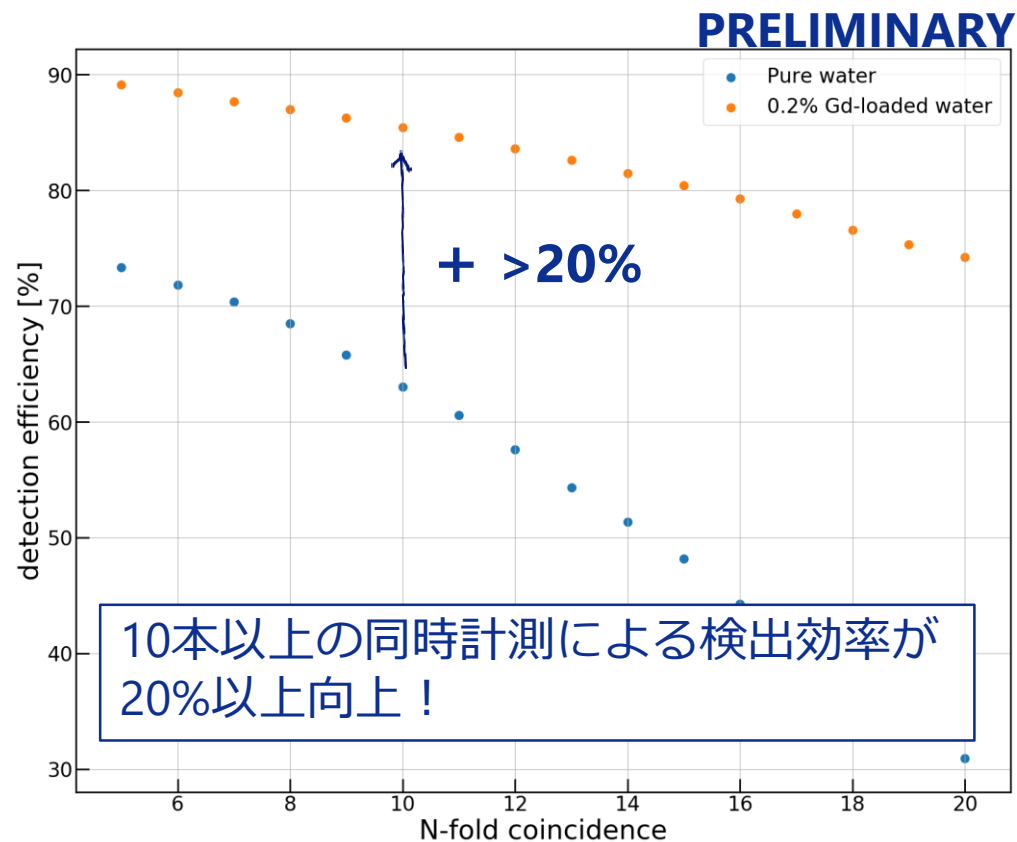
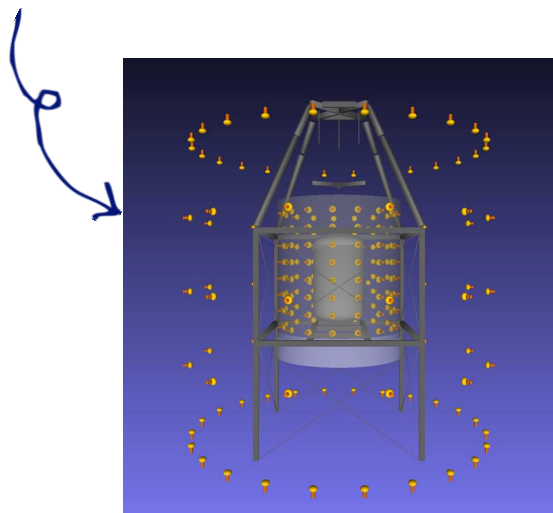


検出効率

Geant4を用いたシミュレーションによって暗黒物質-likeな中性子検出効率を評価

Monte Carlo configuration

- 0.2% Gd (0.48% Gd-sulphate)を水に溶解
- 反射材の反射率99%を仮定

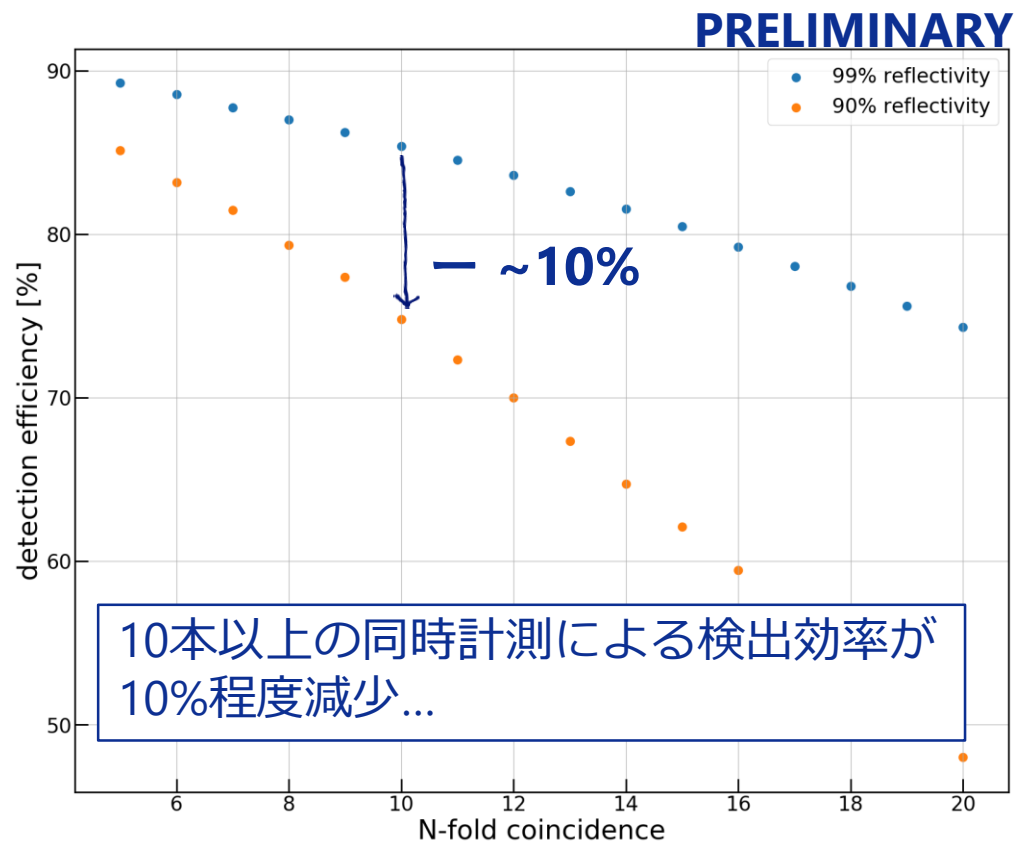
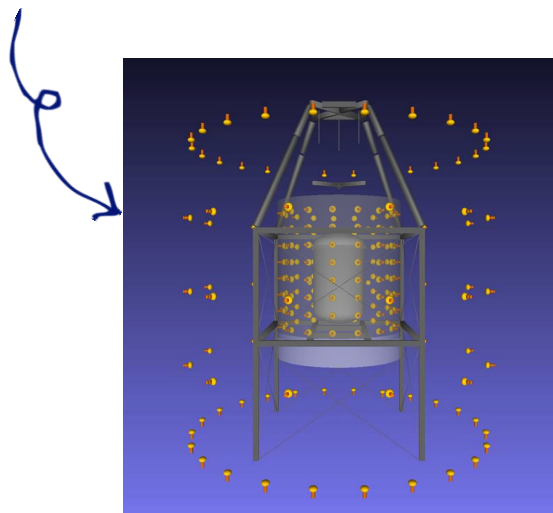


反射率依存

Geant4を用いたシミュレーションによって暗黒物質-likeな中性子検出効率を評価

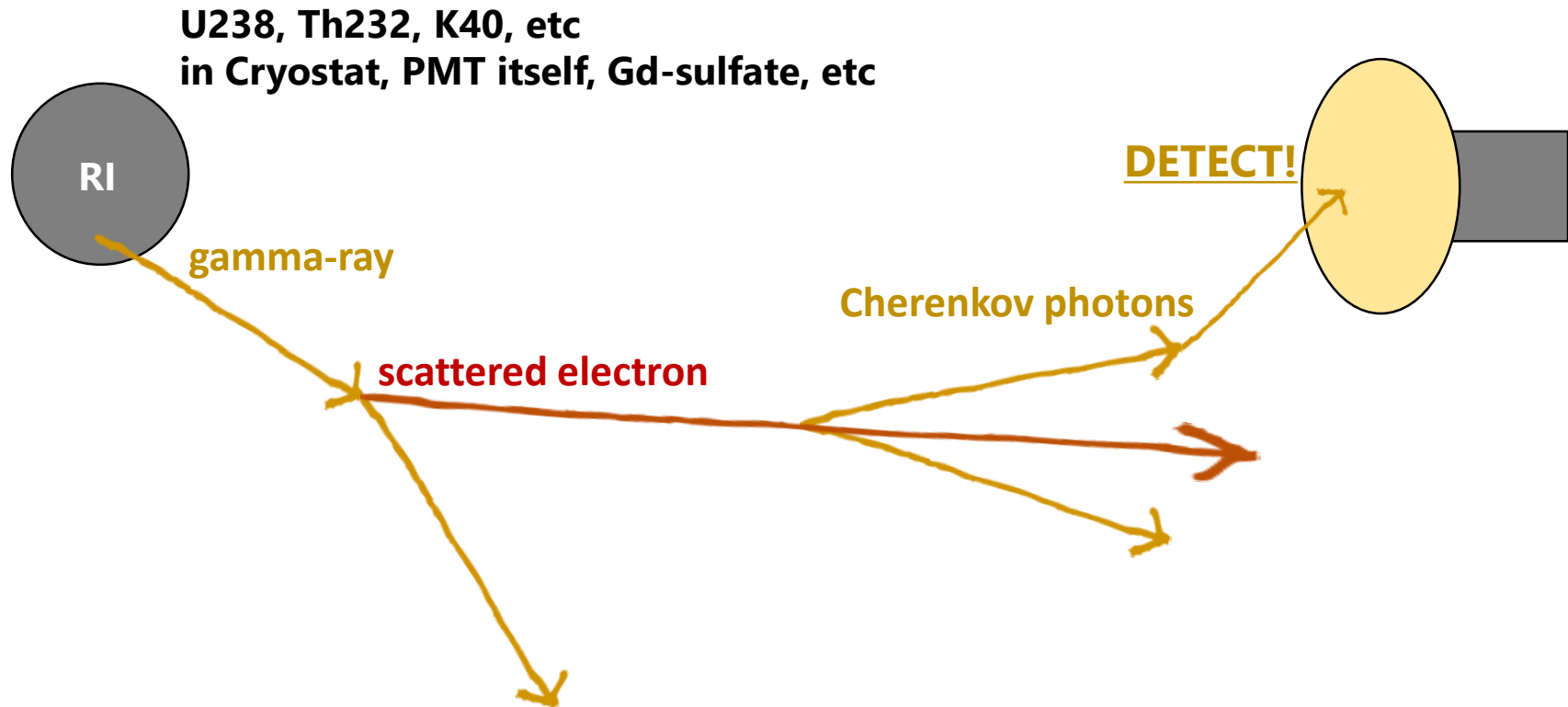
Monte Carlo configuration

- 0.2% Gd (0.48% Gd-sulphate)を水に溶解
- 反射材の反射率99%と90%を比較



Background

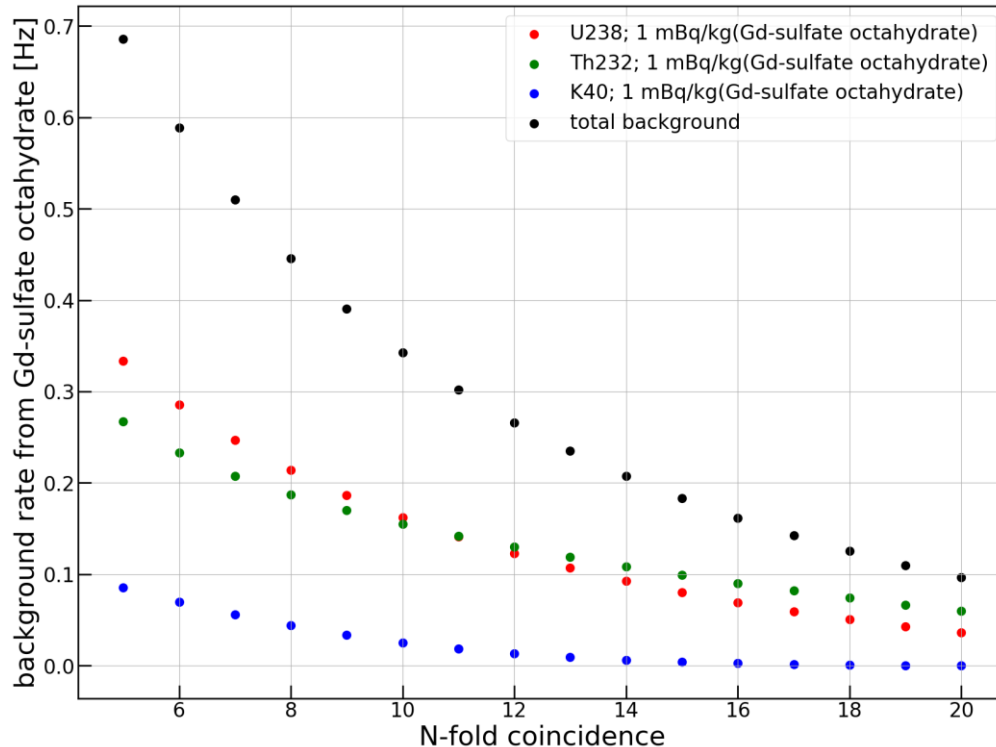
- nVETO PMTのバックグラウンドレートが高い
⇒ accidental coincidenceによって逆に暗黒物質を中性子と見間違えてしまう



Background from Gd-sulphate

- nVETO PMTのバックグラウンドレートが高い
⇒ accidental coincidenceによって逆に暗黒物質を中性子と見間違えてしまう
- 1 mBq/kgを仮定してGd-sulfateによるバックグラウンドレートを計算

PRELIMINARY



Summary table

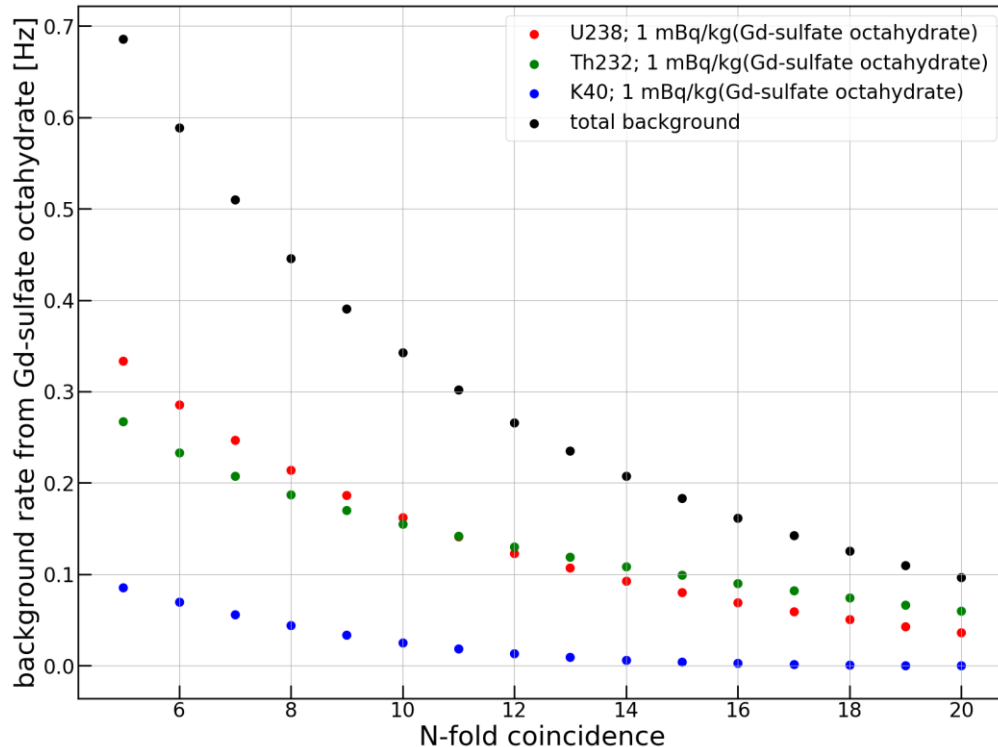
source	rate
K40	0.025 Hz
U238	0.162 Hz
Th232	0.155 Hz
total	0.34 Hz

実際に放射能を測定してスケールすることでバックグラウンドレートが得られる

Background from Gd-sulphate

- nVETO PMTのバックグラウンドレートが高い
⇒ accidental coincidenceによって逆に暗黒物質を中性子と見間違えてしまう
- 1 mBq/kgを仮定してGd-sulfateによるバックグラウンドレートを計算

PRELIMINARY



Ikeda, Neutrino 2018

Unit: [mBq/kg (Gd₂SO₄)₃ 8H₂O] * Gd

Chain	Isotope	Typical	Goal*	Company A	
				Ge	ICPMS
²³⁸ U	²³⁸ U	50	< 5	-	~ 0.04
	²²⁶ Ra	5	< 0.5	-	-
²³² Th	²³² Th	100	< 0.05	-	~ 0.09
	²²⁸ Ra	10	< 0.05	-	-
	²²⁸ Th	100	< 0.05	-	-
²³⁵ U	²³⁵ U	30	< 3	-	-
	²²⁷ Ac/Th	300	< 3	-	-

Ge detector: Sensitive to almost 0.1 mBq/kg (Canfr)
ICPMS: For isotopes w/ long life (Kamioka)

SK-Gd goalレベルを参考にして、
かつK40 : 100 mBq/kgを仮定すると
バックグラウンドレートは**3.3 Hz**

まとめとOngoing

まとめ

- 世界最高感度の暗黒物質探索実験XENONnTが今年運転開始予定
- nVETOとして0.2%のガドリニウム水溶液を使用
- ガドリニウムを溶解することで中性子検出効率が20%以上向上

Ongoing

- 生成源（cryostat, PMT, PTFEに含まれるU238/Th232）ごとに中性子検出効率の反射率・nVETO PMT閾値依存などの基礎的なstudy
- Gd以外の様々な検出器物質（支持構造、Cryostat、nVETO PMT自身）に含まれる放射性不純物によるBG study