計画研究 B01
高感度大型装置で推進する
暗黒物質直接探索

代表者　東京大学宇宙線研究所　森山茂栄
分担者　東京大学宇宙線研究所　山下雅樹
東京大学宇宙線研究所　安部　航
名古屋大学高等研究院　風間慎吾
横浜国立大学大学院工学研究院　中村正吾

2019年8月25日

新学術「地下宇宙」領域研究会＠大阪大学

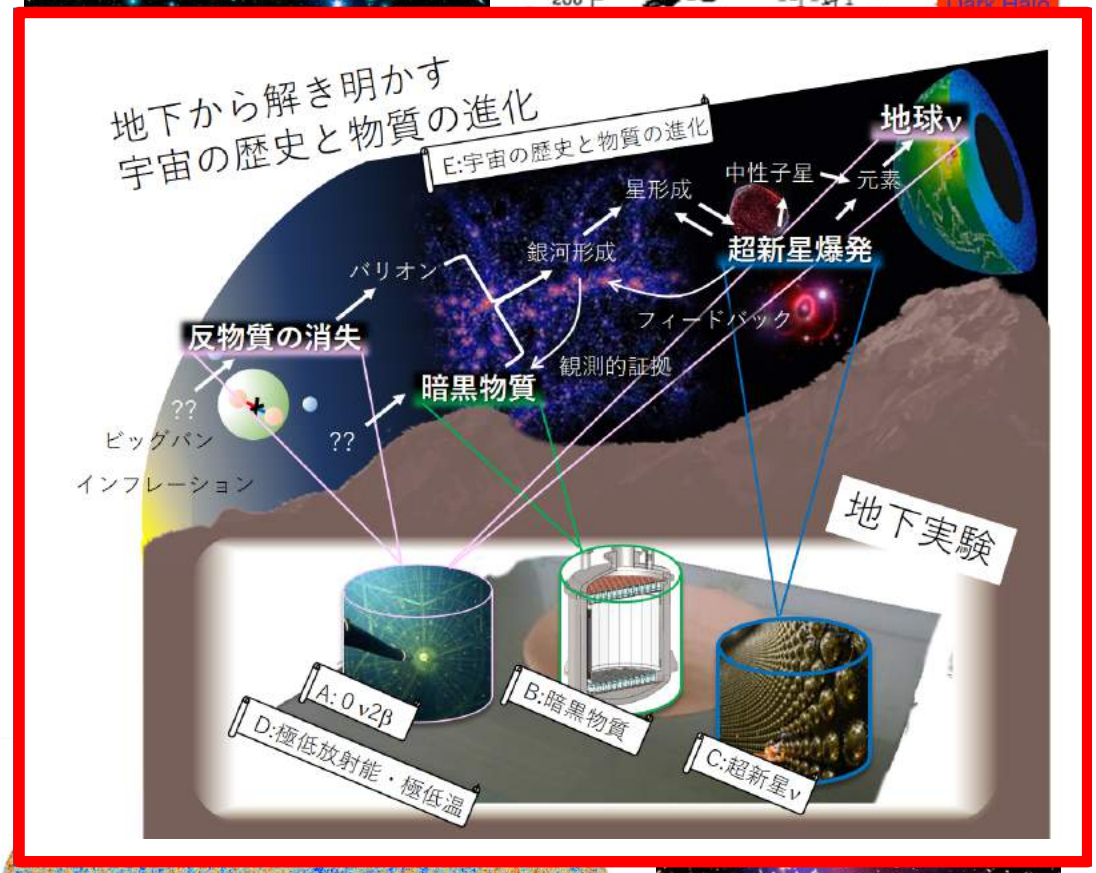
内容

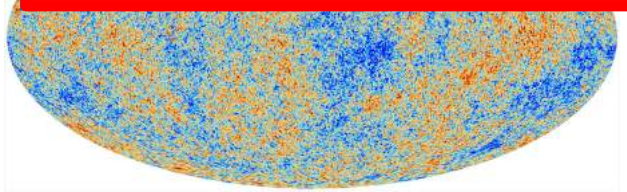
- 暗黒物質探索とは
- B班, B01班の紹介
- 本研究計画の新学術内の主たる連携
- 本研究計画で推進する中身の紹介
  - XENONnT実験の推進
  - （将来の）暗黒物質探索・研究の高度化支援
  - XMASSのデータ解析とそれに基づいたXENONnT等での解析
- 公募研究で期待する研究
- 特任助教の公募について
- まとめ

暗黒物質探索とは

- 暗黒物質の存在: 宇宙の進化や天体の観測により疑いがない事実。
- しかしその性質は現在も未知。
- 暗黒物質が検出器に衝突する現象の観測：本領域が挑戦する根源的な「謎」である、「星・銀河はどのようにつくられたのか?」なる問いに答える端緒を与える。
- 世界中の研究者が取り組んでいる。

R.P.Olling and M.R.Merrifield MNRAS 311, 369- (2000)

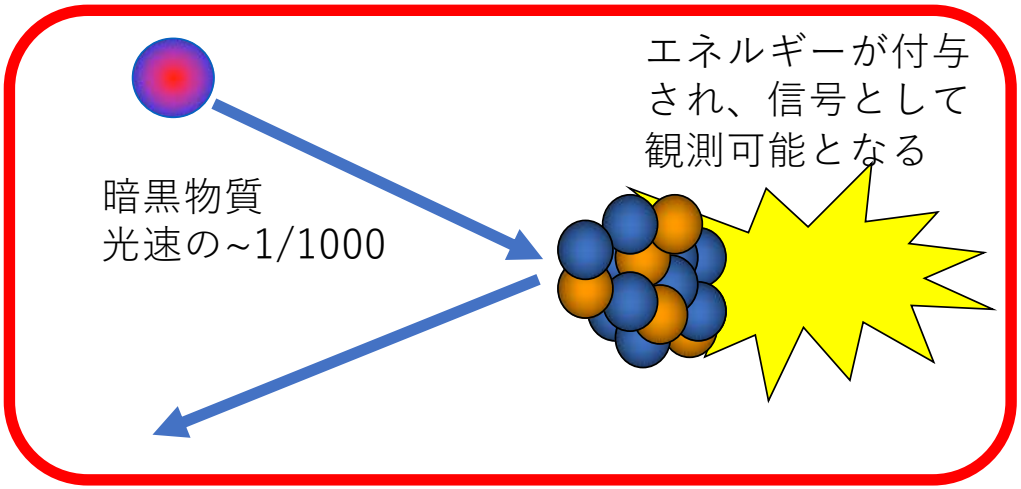


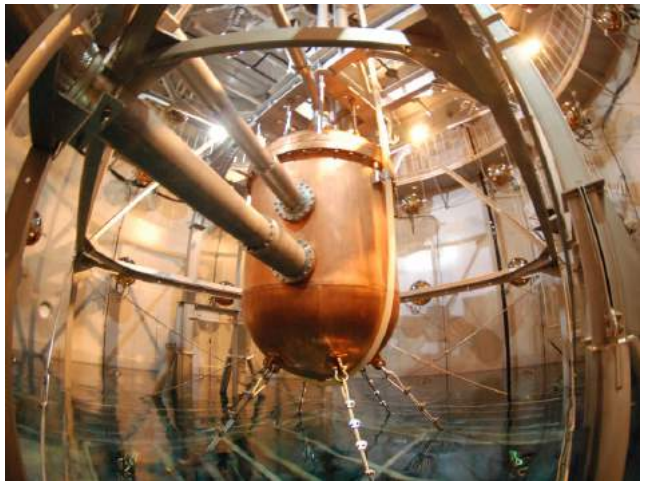


暗黒物質直接探索（検出）実験

- 暗黒物質は宇宙初期に普通の物質と熱的に平衡状態になっていたと期待。
- その場合、ダークマターは普通の物質と相互作用＝衝突すると期待。
- ダークマターの速度は、銀河中心に落ちないし、銀河から飛び出さない
  ➔ 太陽の速度と同じ程度

  速度 ~　太陽の速度 270 km/s ~ 10^{-3} c　（光速の0.1%位）
- 暗黒物質が実験室の原子核を跳ね飛ばす現象を観測し発見を目指す。

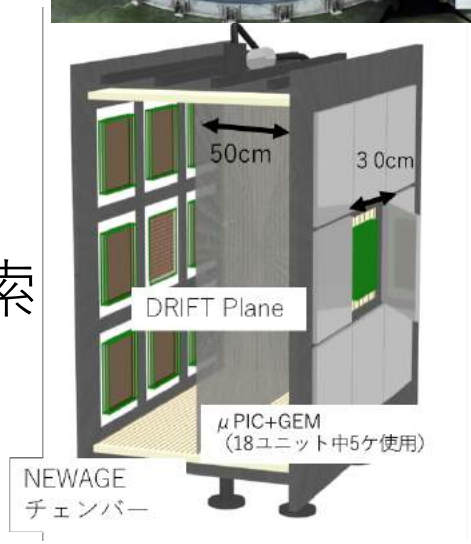




神岡の
XMASS検出器も
同様の原理で
探索を行ってきた

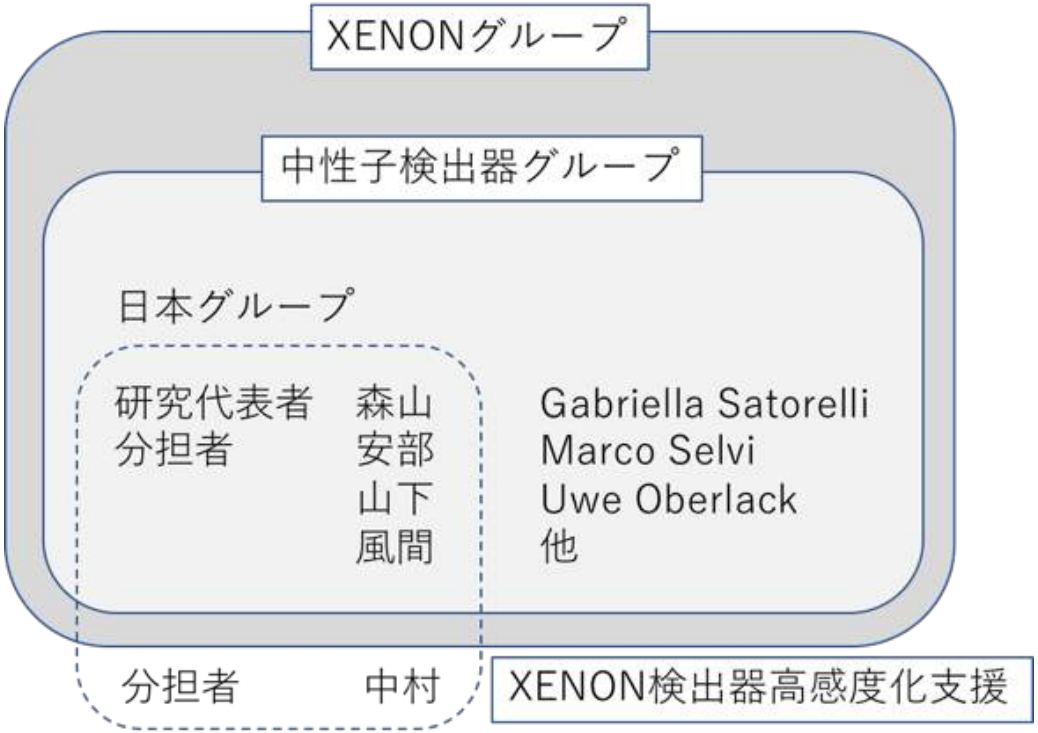
B班の紹介

- B01: 高感度大型装置で推進する
  暗黒物質直接探索
  国際的に打って出る、
  本新学術での新たな研究活動
  - 代表　森山茂栄
  - 中心的活動：XENONnT実験の推進
  - （将来の）暗黒物質探索・研究のためのR&D
  - XMASS実験のデータ解析
- B02: 方向に感度を持った暗黒物質直接探索
  - 代表　身内賢太朗
  - 詳細は次のトーク



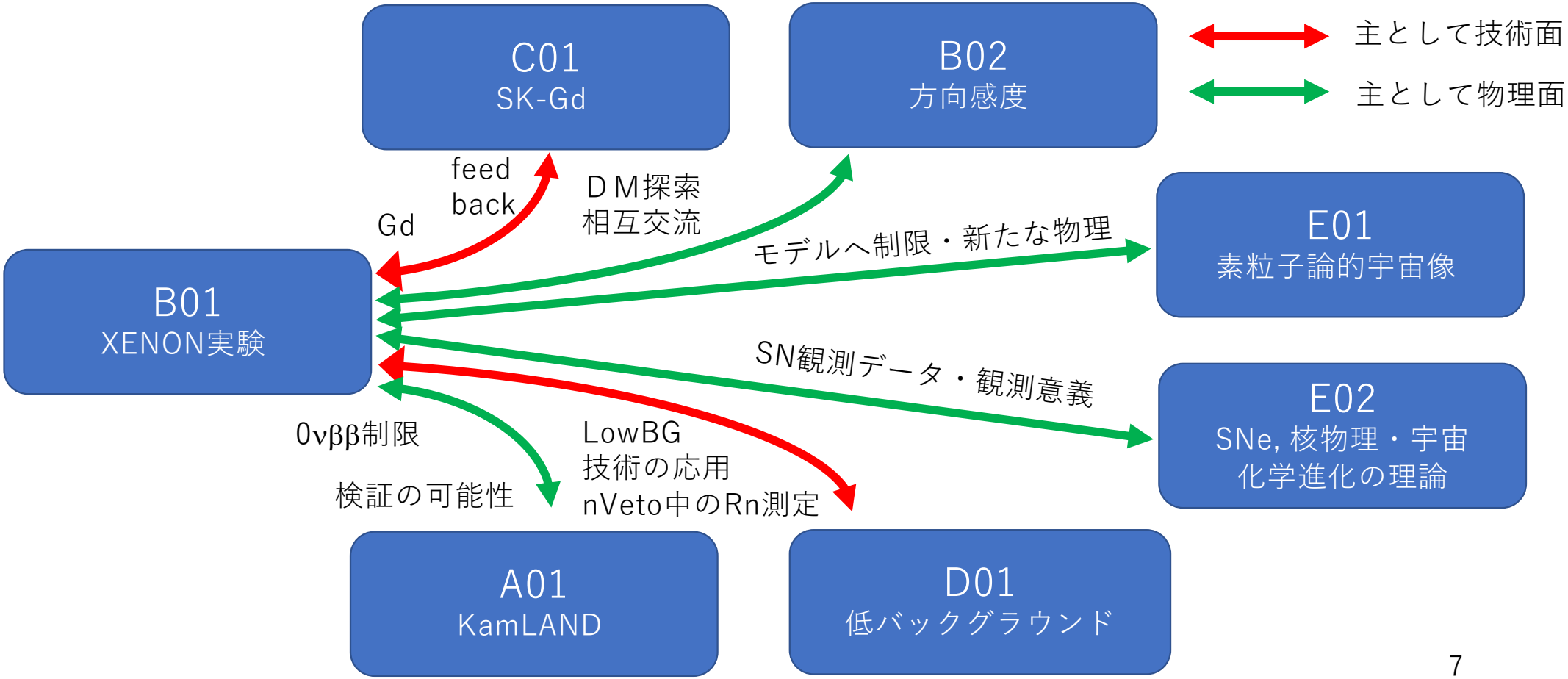
B01班の紹介

- XENON実験の推進が柱
- 暗黒物質探索・研究の
  高感度化支援（R&D）
- XMASSデータ解析とその応用



※　本領域内・外にもXENONの
日本メンバーが中性子検出器
グループ等で活躍中

本研究計画の新学術内の主たる連携 (B01の視点)

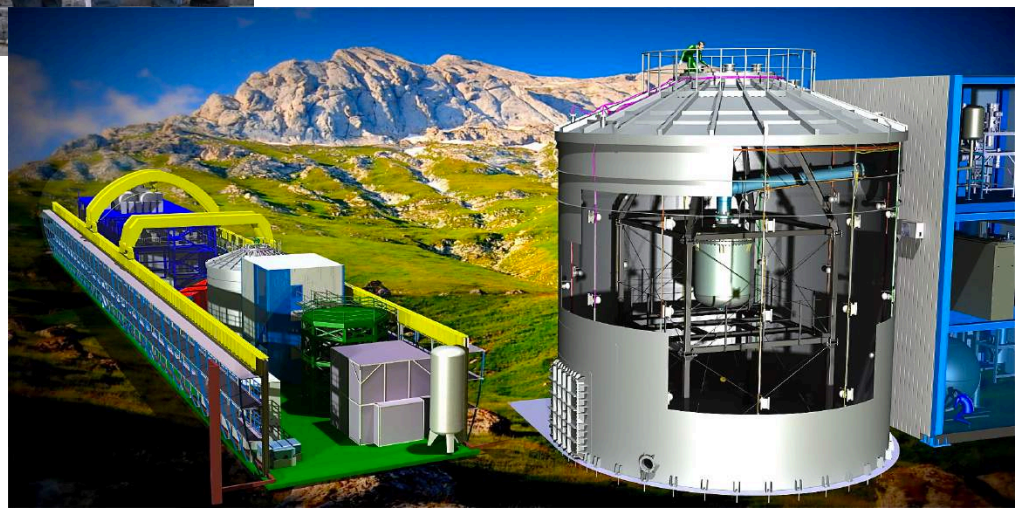


本研究計画で推進する中身の紹介

- XENON実験の推進
  - 期間内に20トン年の曝露量で暗黒物質(WIMPs)と核子の散乱断面積 $2x10^{-48}cm^2$を達成できる感度を実現し、大発見を目指す。
  - 特に本研究で発見の切り札となる中性子検出器を本領域の連携によって導入する。SK-Gdの技術を暗黒物質の研究に応用する特徴を持つ。
  - 硫酸ガドリニウムを調達し、中性子検出器の高い性能を維持運転する。
  - それをもとに暗黒物質探索を強力に推進する。
  - 前新学術領域で培ったXMASSで発展させた物理の研究。

XENON collaborationと実験サイト

Google map

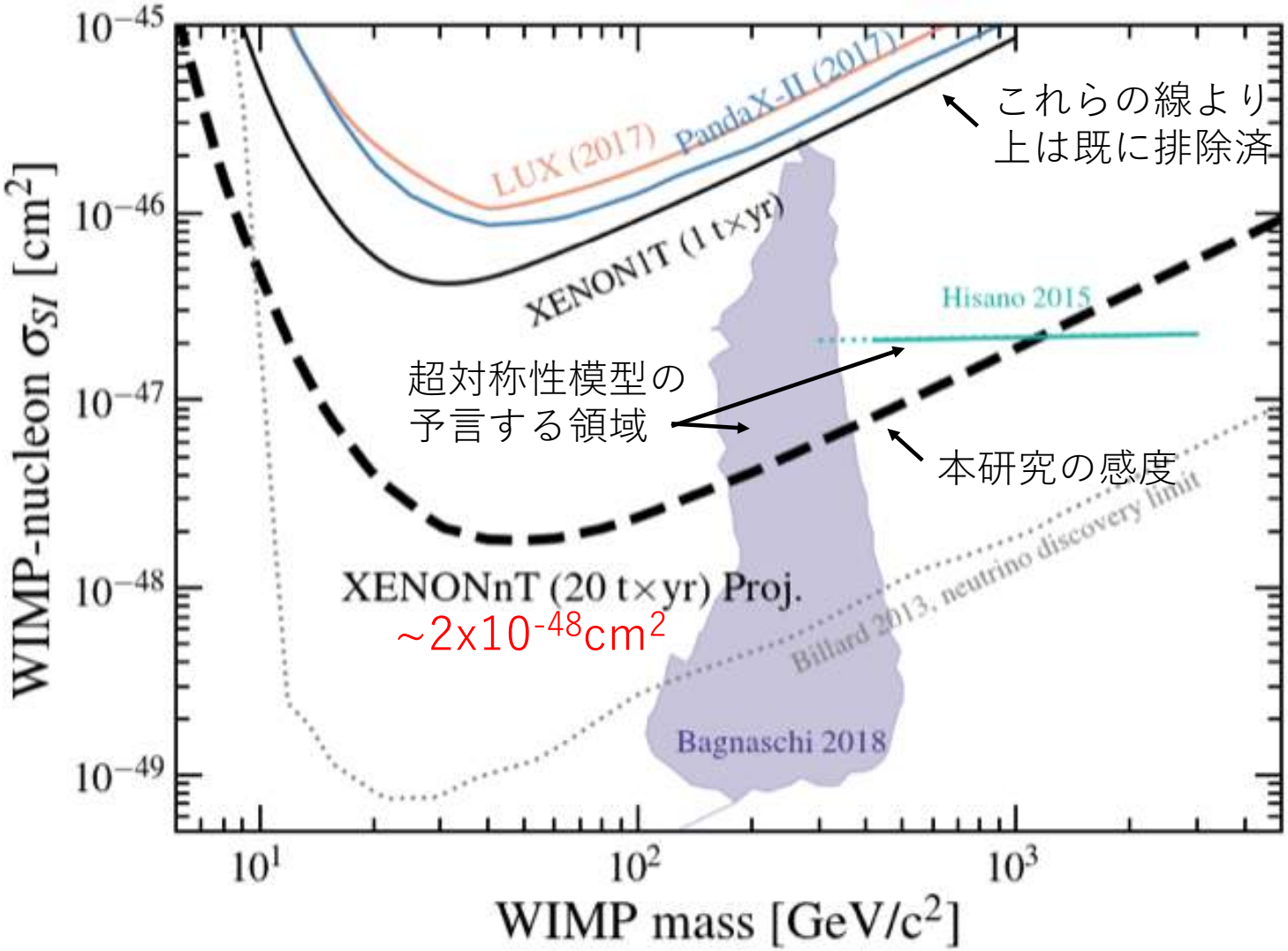


~160 collaborators
26 institutions

- グランサッソ＠イタリア

本研究で狙う暗黒物質(WIMPs)と核子の散乱断面積の領域

分担者　山下、安部、風間

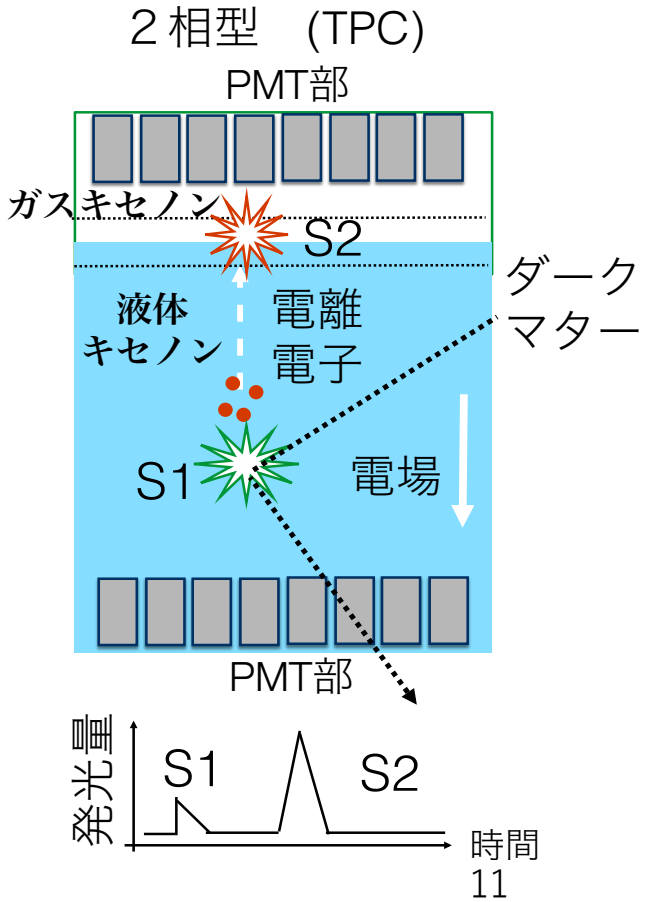


2018年まで運転してきたXENON1T検出器を大型化（upgrade）してXENONnT検出器の運転を本年開始する。

本計画研究で大幅な感度の躍進を果たし、暗黒物質の発見を目指す。

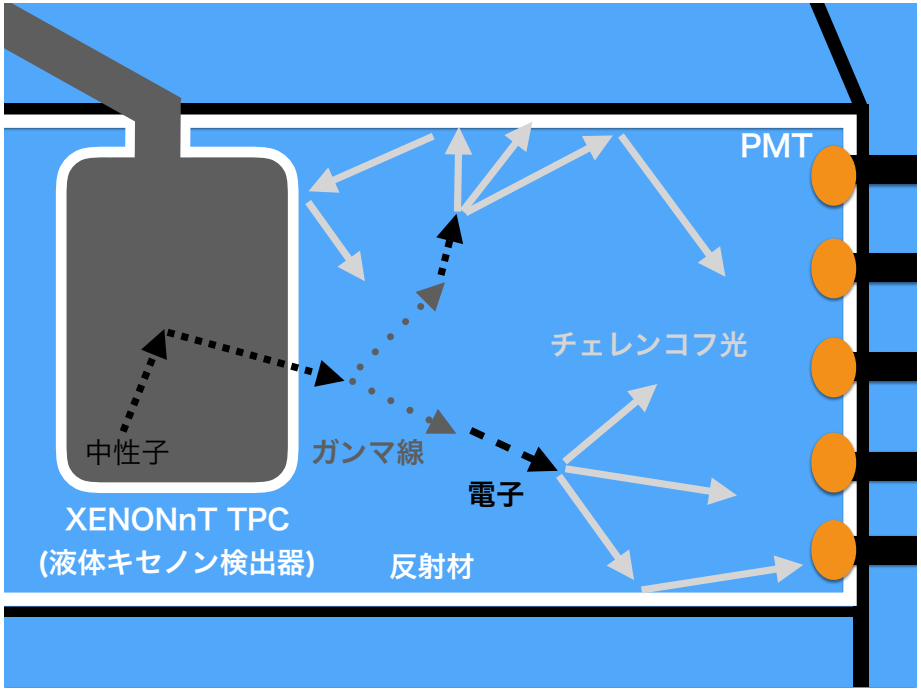
中性子起源のバックグラウンド

- これまでLXe２相型TPC検出器では、S1とS2の信号の比較によってガンマ線や電子線のバックグラウンドを大きく低減することで感度を向上させてきた。
- XENONnT実験では、その感度向上の結果、極めて稀に生じる中性子起源のバックグラウンドが影響し始める。５年間の測定の間に9事象近いバックグラウンドが生じることがシミュレーションによって予言されている。
  - 二重散乱等の区別が容易な事象は除いてある。
  - 中性子の起源はPMT等の構成部品。

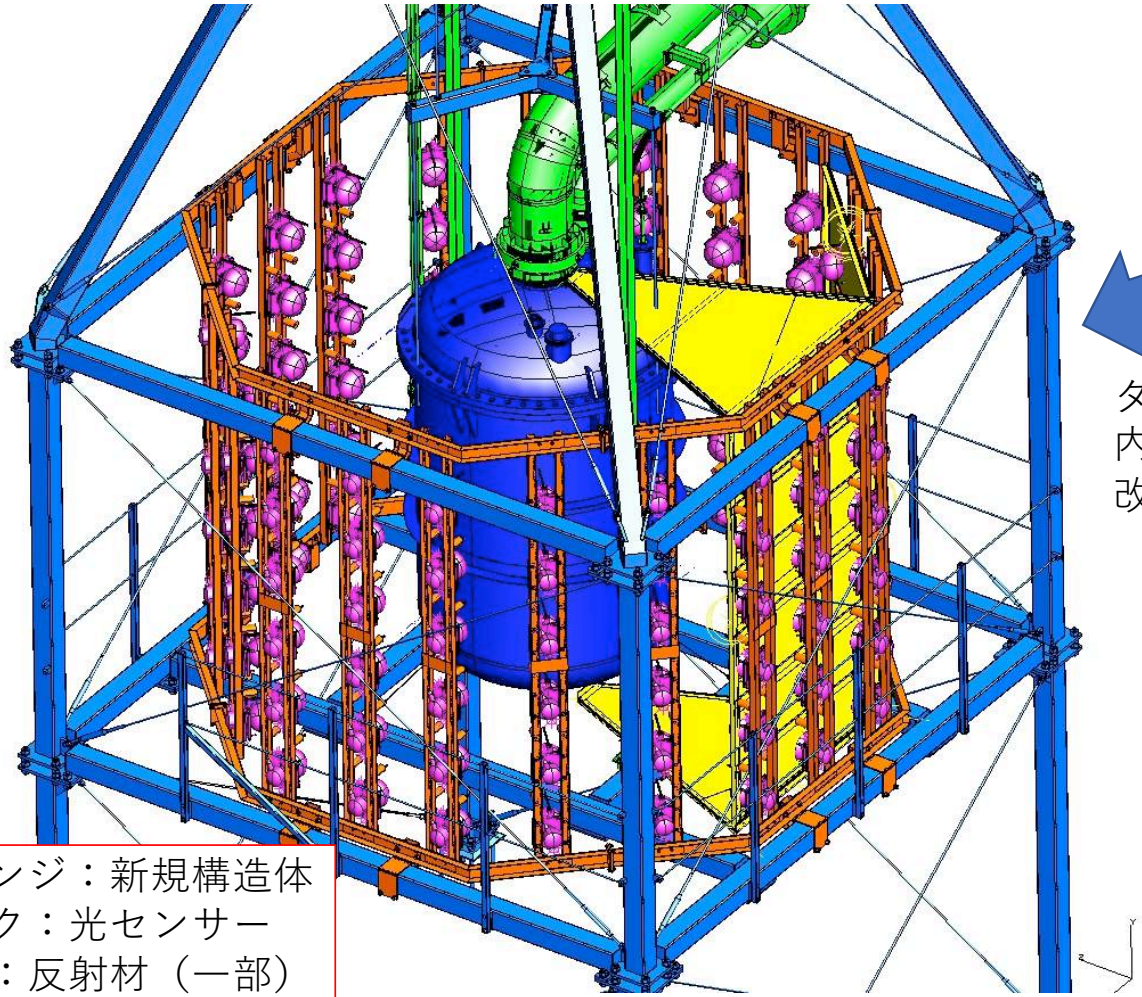


中性子カウンターの設置

- SK-Gdで開発された、ガドリニウムを用いた中性子カウンターを実現する。
  - 本研究では硫酸ガドリニウムの調達と、ガドリニウムが溶けた水の純化システムの運転、キャリブレーション、最適化等を含む。
- 中性子の検出効率は80%以上を目指す。
- 700トンのタンクに0.2% Gdを導入予定。(SK-Gdの目標の倍の濃度)
  - C01, D01との連携による研究
- 暗黒物質探索のデータが得られ次第データ解析を開始できる準備を行う。

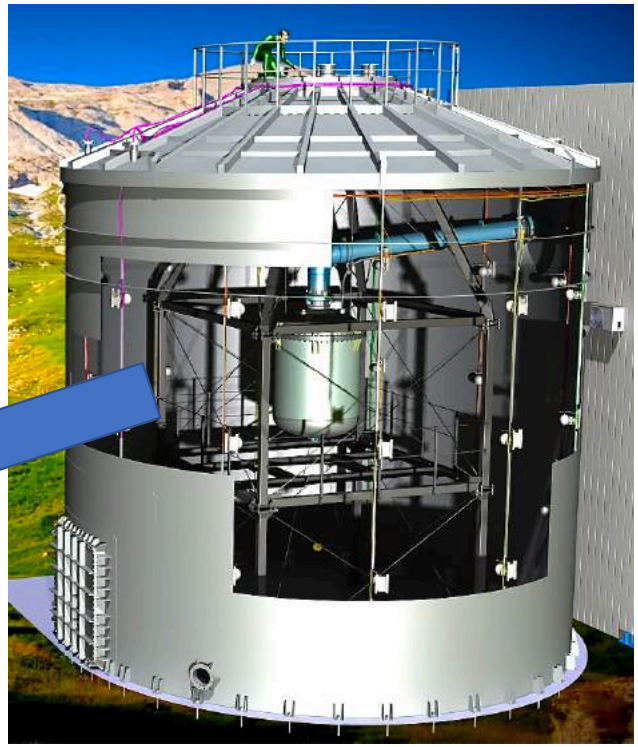


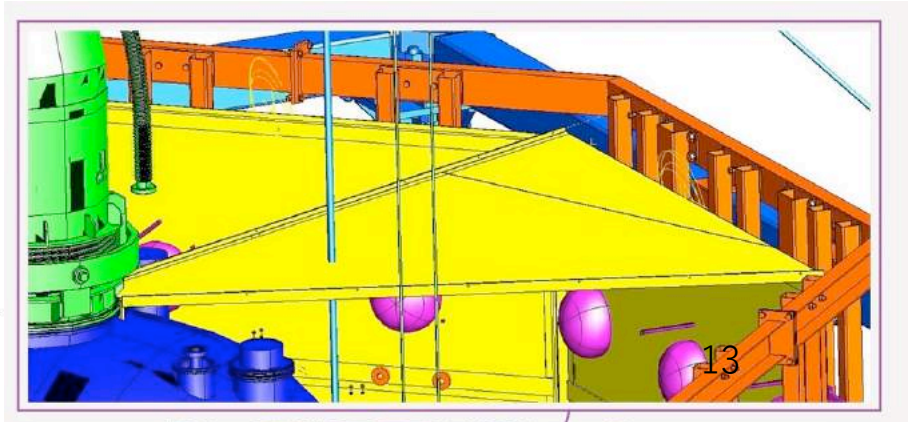
実際の中性子カウンター
（これらはヨーロッパのグループが中心で建設）



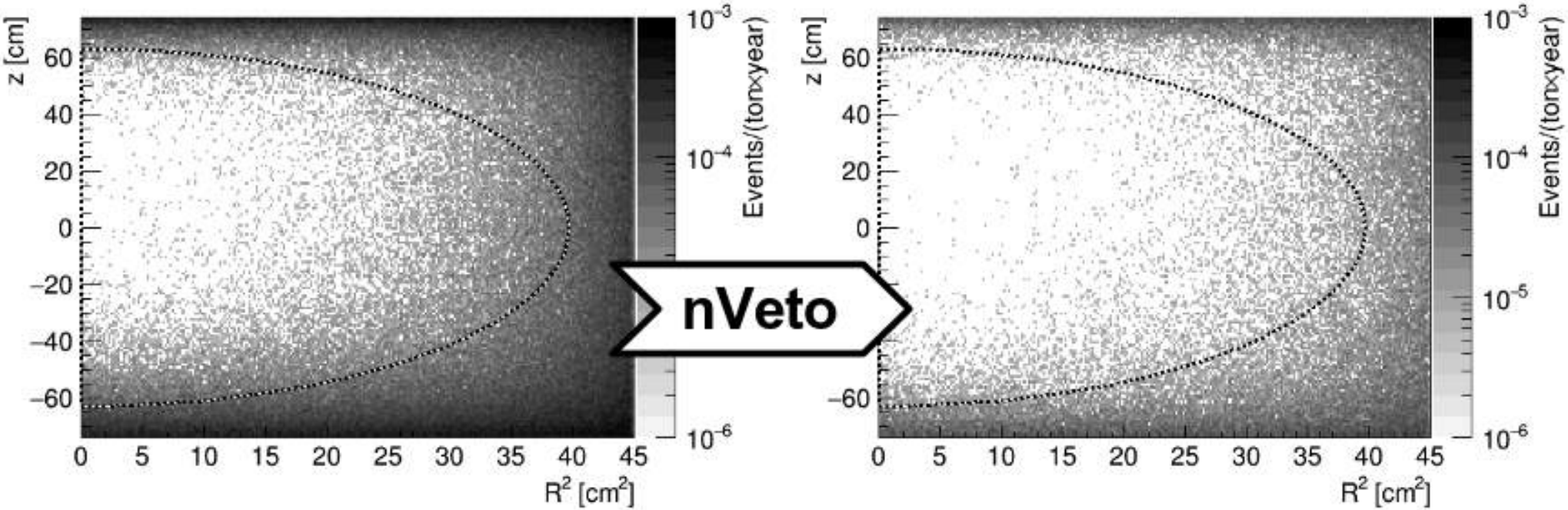
オレンジ：新規構造体
ピンク：光センサー
黄色：反射材（一部）

タンク
内部を
改造



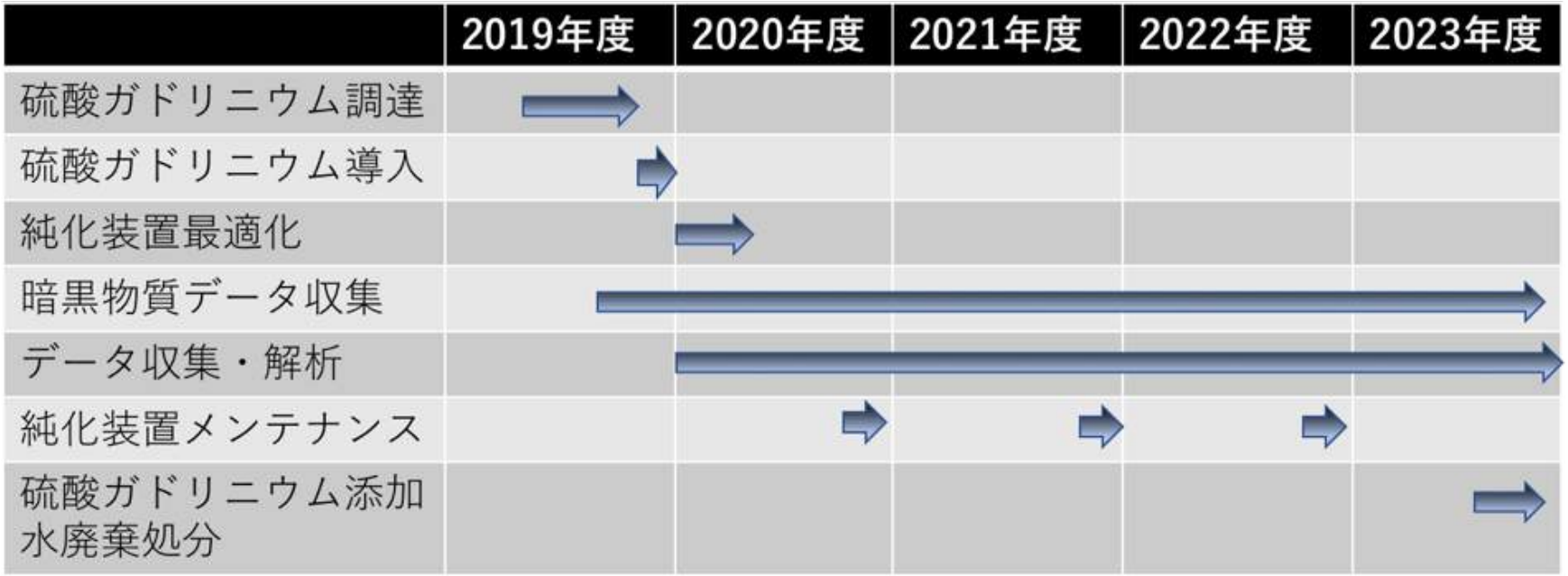


中性子バックグラウンドの低減



- 中性子検出器により中性子事象を排除する前(左)と後(右)の液体キセノン TPC 内 の事象分布の比較。定量的にはバックグラウンドがおよそ 1/10 低減。
- 本研究計画で調達する硫酸ガドリニウムに含まれる**放射性不純物の量等**と、水純化システム（ヨーロッパのグループが調達予定）の**運用**が肝要。

年次計画



- 本年度から来年度にかけて中性子カウンターの運転を開始し、暗黒物質探索を開始。
- 中性子除去効率の精密な理解を深め、長期の暗黒物質探索データ解析を実行。
- 定期的なメンテナンス、回収作業を行う。

調達するGdの（放射性）不純物の評価

- SK-Gdのように独自に測定は困難。風間調査。

国立研究開発法人 物質・材料研究機構
National Institute for Materials Science

- 材料分析ステーション　川田さん

マトリックス分離による$Gd_2(SO_4)_3$ 中の不純物定量

- 費用負担はあるが測定の段取りから協力頂ける。
- 現在バックグラウンドの評価中。
  - クリーンブースを用意し環境に配慮。
  - XENONでは^{238}U<5mBq/kg, ^{232}Th<10mBq/kgが要求
- 他にも水透過率を悪くする可能性のあるイオンも評価予定
- ICPMS測定の外注に興味があれば相談に乗ってくれる

期待される物理学上の成果

- 暗黒物質の発見・兆候を得るか、世界最高の制限を得る(B01)
- 新しい物理現象の探索を理論研究者（E01）との連携し推進
- 超新星観測の際の知見を超新星研究者（E02）, SK-Gd研究者（C01）, カムランド研究者（A01）と連携し融合
- ニュートリノのでない二重β崩壊の発見(A01)の際の検証可能性の追求

暗黒物質探索・研究の高感度化支援

分担者　山下、風間

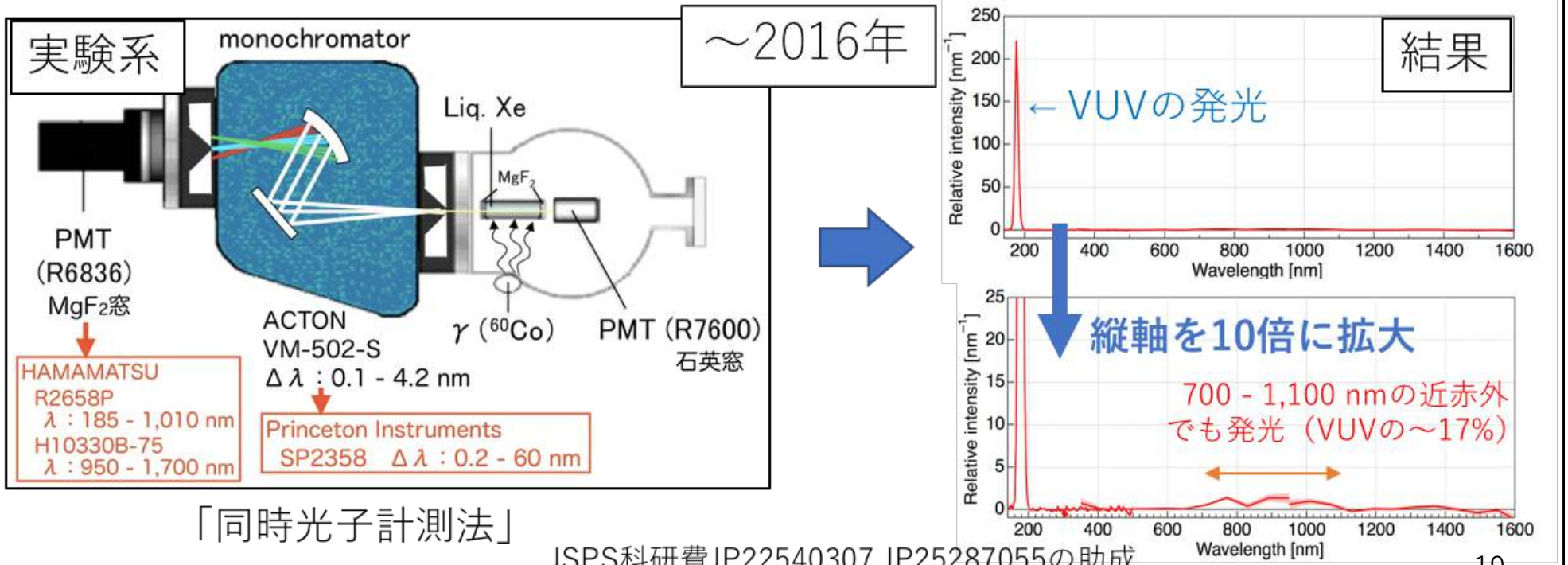
- 将来の検出器のための新型光センサーMPPCの低バックグラウンド化
  - XMASS & XENON1T/nT実験では、浜松ホトニクスと共同で開発した低BG PMTが用いられてきた
  - 将来実験に向けては、より低BGな光検出器が必要
  - MPPC=SiPM(Silicon PhotoMultiplier)がその候補であるが、ダークカウントがPMTに比べて約100倍近く高い
  - ダークレートの低減と低放射能化が課題
  - D01と連携して推進

S13371 (for VUV light)

暗黒物質探索・研究の高感度化支援

分担者　中村

- 液体キセノンの近赤外発光の研究：粒子識別への応用の可能性

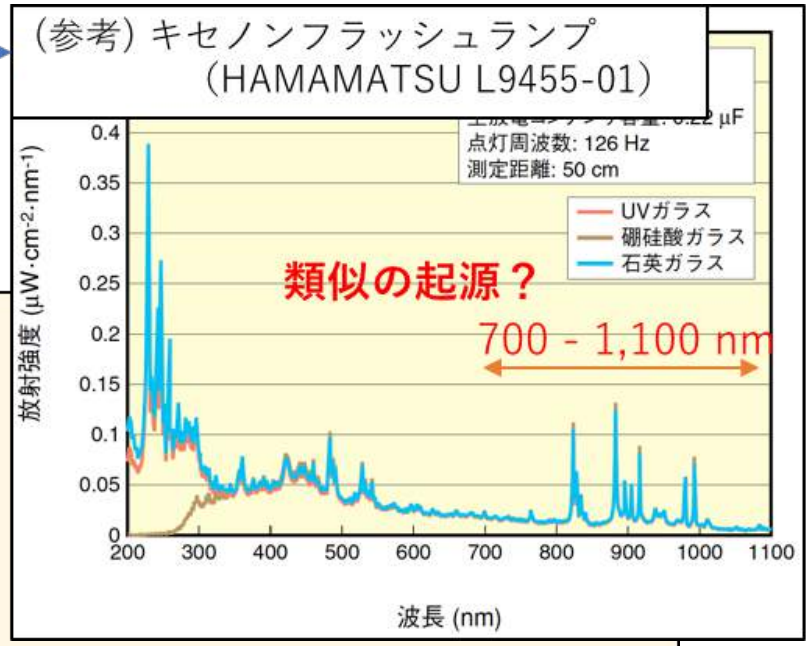


「同時光子計測法」

JSPS科研費JP22540307,JP25287055の助成

暗黒物質探索・研究の高感度化支援

・近赤外発光の起源？ → 原子遷移？
・原子遷移も測れれば，**励起過程の詳細**が分かる？
　→ **粒子弁別への応用**？ **新たな時間情報**？



<u>装置の問題点</u>
・SN比が小さかった
　⇒波長情報が乏しい（Δλ ～ 60 nm）
・時間情報が乏しい（ΔT < 100 ns）

<u>小SN比の主たる原因</u>
・近赤外用PMTが 低感度&高ノイズ
　↓
対策：**冷却CCD**の導入（波長情報のため）＆ **(冷却) MPPC**の導入（時間情報のため）

これらを改善した装置にて本研究計画で詳細な
データの取得と粒子弁別への応用の可能性を探る。

XMASSのデータ解析とXENONnT等での解析

分担者　安部

- XMASSは神岡で1トンの検出器を約５年間運転し、良質のデータの蓄積がある。
- 暗黒物質(WIMPs)の探索のみならず、幅広い暗黒物質の候補に対して探索の幅を広げ、論文を出版してきた。
- これらの解析結果はXENON実験グループを含めた他の実験グループを刺激し、より高感度の探索を促している。
- XMASSは１相型検出器としてその特色を活かし、解析を行う。他の実験での解析へと発展させる。

公募で期待される研究例

- XENONnTに於ける中性子カウンターに関連する研究
  - シミュレーション等性能評価
- 暗黒物質探索・研究の高感度化支援
  - 新たな検出器デザインの確立
- XMASSデータ解析とXENONnT等への応用
  - フルデータセットを用いた解析のための計算機利用
- その他大型高感度暗黒物質探索実験装置の推進等

公募　締め切り9/17の特任助教

- 中性子カウンターに必要な純化システムの導入とその運用。
  当然暗黒物質探索のデータ解析にも関われる。４月からでも可。
- **興味があるかたはICRR HPをご確認・お問い合わせください。**

１．職種及び公募人員　：　特任助教　１名

２．職務内容（専門分野）等　：　2019年度より開始された新学術領域研究「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」（領域代表者：東北大学・ニュートリノ科学研究センター・井上邦雄、研究期間2019年度から2023年度）の計画研究B01「高感度大型装置で推進する暗黒物質直接探索」（研究代表者：東京大学宇宙線研究所・森山茂栄）を推進する特任助教を求めます。採用されたものは暗黒物質直接探索実験XENONnTに用いる中性子カウンターと関連設備の設置、運用、較正、及びデータ解析等を行うことが期待されます。

３．勤務地　：　宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設（岐阜県飛騨市神岡町）

まとめ

- 本新学術領域の中でも、世界へ打って出ることにより暗黒物質の発見という物理学上の高い成果を上げることを目的として研究活動を行う。
- 特にXENONnT検出器の中性子バックグラウンドを低減し、発見の切り札を与える中性子カウンターに必要な資材や技術を本領域内の連携を基に持ち込み成果を上げる。
- 暗黒物質探索・研究の高度化支援、XMASSのデータ解析やその他実験への応用。
- 公募研究、特任助教ポジションへの広い応募を期待する。