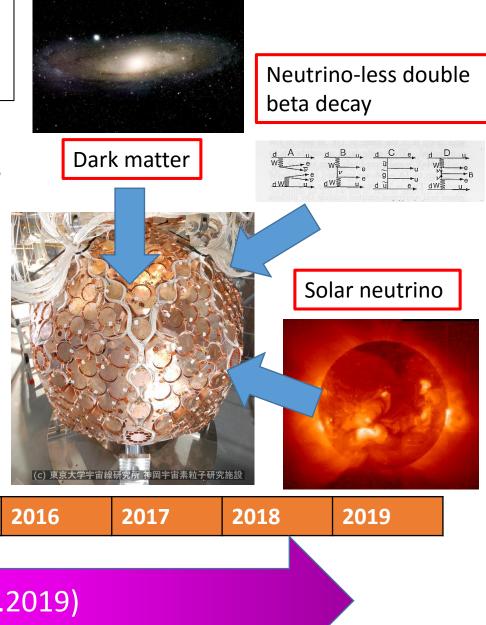
# B01+B05:液体キセノンを用いた暗黒物質探索と極低放射能モレキュラーシーブの開発

東京大学宇宙線研共同利用研究成果発表会 2019年12月14日 日本大学理工学部 小川 洋

- B01: 液体キセノンを用いた暗黒物質探索
  - XMASS実験
  - 2019年度の成果
- BO5:極低放射能モレキュラーシーブの開発
- まとめ

### B01:液体キセノンを用いた暗黒物質探索 XMASS実験

- 1相式 (scintillation only) 液体キセノン検出器
- 神岡宇宙地下素粒子実験施設 Lab-C (~2700m.w.e.)に 設置
- 世界初のton class暗黒物質探索実験
- 大光量~15pe/keV →低閾値(~1keV)
- 暗黒物質探索(有効体積、季節変動etc)、Hidden photon dark matter探索、2v2重電子捕獲の探索等の 成果を出してきた。
  - ・ ⇒暗黒物質探索だけでなく、低エネルギーの色々な物理事象の研究が可能。





Data taking (-Feb.2019)

2015

2014

>5yrs continues operation

# 2019年度の成果

### • 発表論文

- ▶季節変動を用いたsub-GeV領域の暗黒物質探索 (Search for sub-GeV dark matter by annual modulation using XMASS-I detector) *Physics Letters B 795 (2019) pp. 308-313*
- WIMP-キセノン非弾性散乱の探索 (Search for WIMP-129Xe inelastic scattering with particle identification in XMASS-I) Astroparticle Physics 110 (2019) 1-7
- 低BG PMT (R10789)の開発 (Development of low radioactivity photomultiplier tubes for XMASS-I detector) *Nucl. Instrum. Meth. A922 (2019) 171-176*
- ・2019年2月に観測完了。キセノンを回収した。
- ・4本の論文を執筆中: →太陽ニュートリノによるエキゾチックなニュートリノ相互作用の探索、136χeによる0ν4β事象の探索、GW related解析、新PMT開発
- 共同利用研究費: 40万円(旅費)

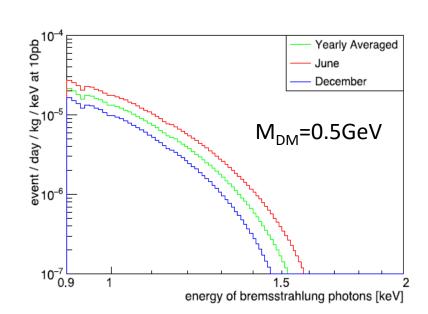


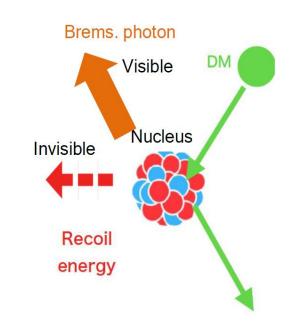
観測完了時の写真

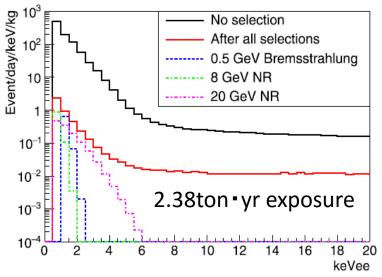


# 季節変動を用いたsub-GeV領域の暗黒物質探索

- ・これまでのDM-原子核散乱の探索:原子核散乱の直接 観測のために、主に> a few GeVの質量が探索領域。
- Sub-GeVの質量を持つDMの探索の為に、相互作用で起こる制動放射効果(Bremsstrahlung)を用いた観測を実施。
  - 例)1GeV DM: 3keV brems + ~0.1keV elastic N.R.(最大值)
- ・ 本解析では、季節変動を用いた探索となる。
  - DMと検出器(地球)の相対速度の違いから、観測事象数が、夏:増える、冬;減る。
  - 主な系統誤差:検出器の 光量変化→Weekly calibrationで評価。
  - Threshold: 1keV → L.Y.は 55Fe source 1.65keV peak (L-shell escape)で評価

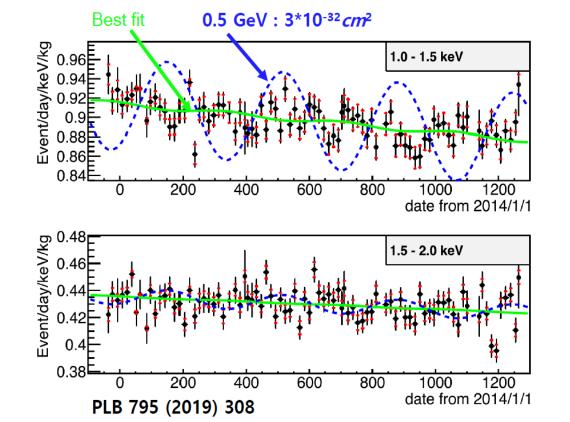


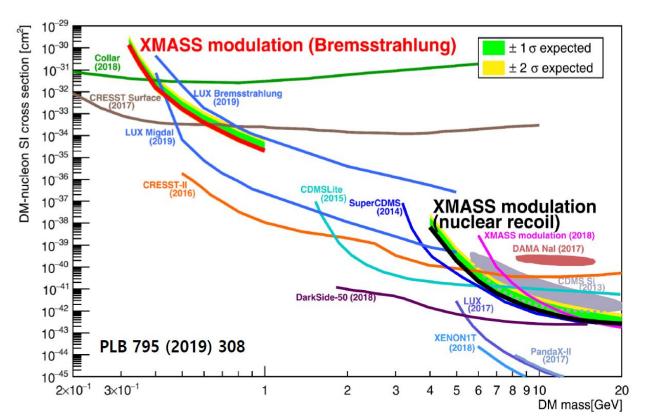




# 解析結果

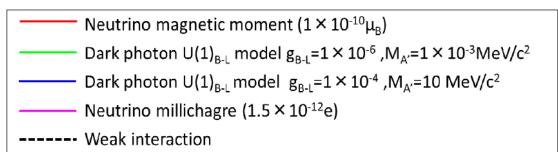
- Sub-GeV (0.32GeV~1GeV) 領域:解析の結果、有意なシグナルは得られなかった。
  - 90% CL upper limit : 1.6 × 10<sup>-33</sup> cm<sup>2</sup> @ 0.5GeV
- Brems効果、季節変動効果によるsub-GeV DM探索の初めての結果。
- Low energy threshold data を用いることで、multi-GeV (4-20GeV)領域について、以前の季節変動解析より厳しい制限をつけた。

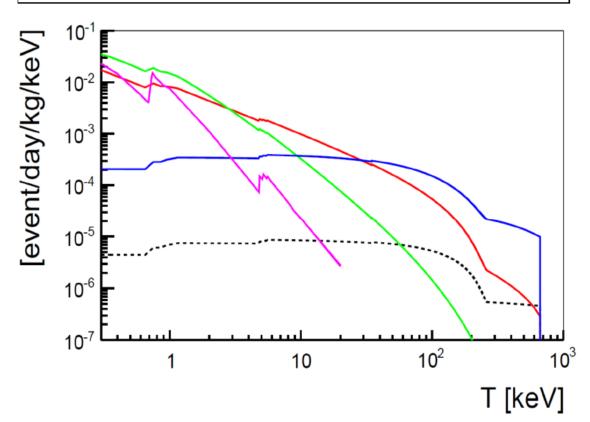




# 太陽ニュートリノによるエキゾチックなニュートリノ相互作用の探索 (new!)

- 太陽ニュートリノをXMASS-I実験等の現行暗黒物質探索検出器で観測:
  - XMASS-I→数十分の1以上のバックグラウンド削減が必要。
- エキゾチックなニュートリノ相互作用がある場合、低エネルギーでの事象の増加が期待される。→低閾値を持つ暗黒物質探索検出器が有利。
- ・太陽ニュートリノとキセノン電子による、以下を介した相互作用をXMASS-I検出器で探索:
  - ニュートリノ微弱荷電(milli-charge)
  - ニュートリノ磁気能率
  - Dark photon U(1)<sub>B-L</sub>
- 有効体積カット+バックグラウンド事象を詳細に予想した上で、探索を目指す。

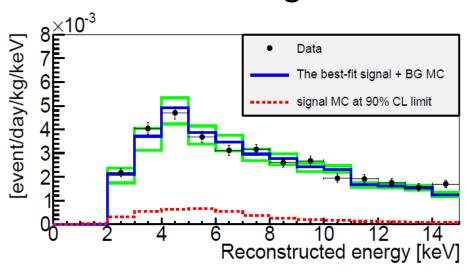




• Neutrino mill-charge (2-15keV) • Neutrino 磁気能率, Dark photon(2-200keV)

event/day/kg/keV]

[event/day/kg/keV]

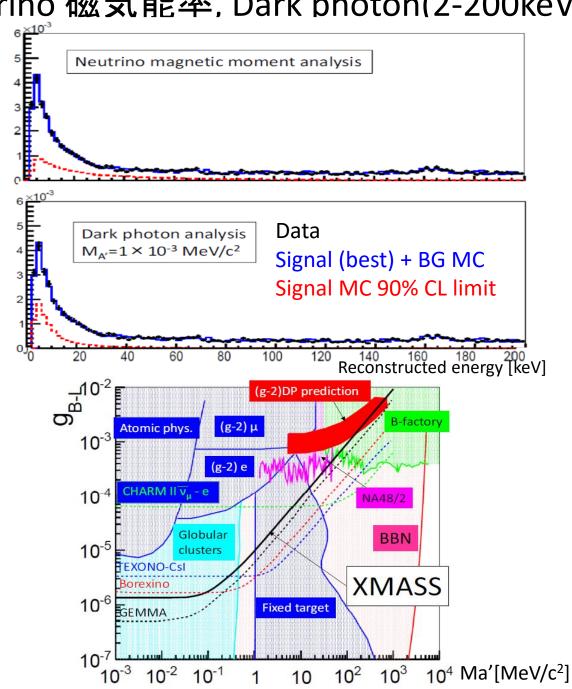


Milli-charge  $< 5.1 \times 10^{-12}$  e (90% C.L.)

- <6.9 × 10<sup>-12</sup>e for  $v_e$ , <1.1 × 10<sup>-11</sup>e for  $v_{\mu}$ , <1.1 × 10<sup>-11</sup>e for  $v_{\tau}$
- vの直接探索の結果としては、最高感度 Neutrino magnetic moment  $<9.9\times10^{-11}\,\mu_B$  (90% C.L.)

Dark photonのcoupling constant, massに制限を付けた。→(g-2) anomaly をdark photonで説明する領域をほぼ排除。

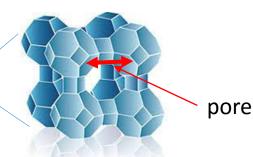
• XMASSによる、低閾値での探索が行えた。



### B05:暗黒物質探索実験のための極低放射能モレキュラーシーブ(MS)の開発

#### モレキュラーシーブス







モレキュラーシーブスの材 料をHPGe検出器でRIを測 定し、選定

4A type MSの材料 水酸化ナトリウム 水酸化アルミニウム シリカ成分

100	226	222	200
material	<sup>226</sup> Ra[mBq/kg]	$^{232}$ Th[mBq/kg]	Company/Commercial name
NaOH	<12.2	<8.14	WAKO/NaOH for precise analysis
Al(OH)3	< 9.1	<4.26	Nihon Keikinzoku / BHP39
Silica component	19.6±0.3	93.4±4.3	Nissan Kagaku/Snowtechs ST-30



選定されて材料を使って、 日大船橋キャンパスでモ レキュラーシーブスを製作 (~0.5kg total)

- 放射性同位体ラドン→暗黒物質探索検出器における深刻なバックグラウンド。
- 吸着剤モレキュラーシーブス(MS) が、ラドン除去に有効である可能性。
  - モレキュラーシーブス:特定のpore sizeに従って、 不純物を吸着できる。
  - 3A type ~ 13X type (3 Å ~ 13 Å )まで様々なタイプある。
  - ラドン吸着に有効なのは5A type (5 Å pore size)
    - SF6: A. C. Ezeribe et al 2017 JINST 12 P09025, キセノン: 小川2018

極低放射能モレキュラーシーブス(MS)を開発する。

- 極低放射能材料の選定し、MSを自前で製作する。
  - ・ (株)ユニオン昭和との共同研究
- 今回は、4A type (4 Å pore size) を製作した。

共同利用研究費:10万円+スタートアップ支援50万円 (旅費:15万円、物品費:45万円)

### • 放射性不純物の測定

・ HPGe検出器による測定:

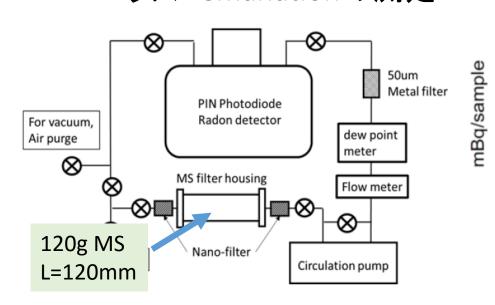
Target <sup>226</sup>Ra : < 10mBq/kg

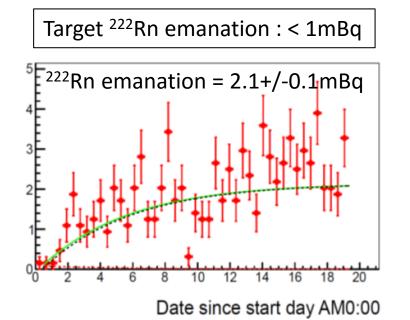
	_	• • • •
sample name	<sup>226</sup> Ra[mBq/kg]	<sup>232</sup> Th[mBq/kg]
sample 1	22.6±7.9	91.1±8.9
sample 1b (solidifying)	$57.0 \pm 14.0$	198.4±16.5
Sample 2	22.8±9.2	92.4±10.4
ー 市販のMS	~5300	~7000

固化したMS

~97%削減

(固化したMSとの比較) ~99%削減 ・ ラドンemanationの測定:





材料の選定により、 極低放射能モレキュ ラーシーブスを製作 できることがわかっ た。

製作したモレキュラーシーブス

MS4A2回目

IS4A1回目イオン交換

*arXiv:1910.02617* JINSTに投稿中

## まとめ

- B01: 液体キセノンを用いた暗黒物質探索
  - ・ XMASS実験は、2019年2月に観測を完了した。
  - ・ 本年度は3本の論文を出版。
  - データ解析は継続して実施している。
  - ・ 物理結果として以下を紹介:
    - 季節変動を用いたsub-GeV領域の暗黒物質探索
    - 太陽ニュートリノによるエキゾチックなニュートリノ相互作用の探索 (new)
- B05:暗黒物質探索実験のための極低放射能モレキュラーシーブ (MS)の開発
  - 極低放射能材料の選定することで、極低放射能モレキュラーシーブスを製作できることがわかった。
  - 本結果は、論文を投稿中