

XMASSにおける超新星 ニュートリノの観測

東京大学宇宙線研究所 平出克樹 2015年3月16-17日 新学術「地下素核研究」第1回超新星ニュートリノ研究会 東京理科大学野田キャンパス



■ 神岡地下1,000mで行う大型液体キセノン検出器を用いた 多目的宇宙素粒子実験

現在稼働中

XMASS-1

(total ~1ton)

XMASS-1.5

(total ~5tons)

- 暗黒物質の直接探索
- 低エネルギー太陽ニュートリノの観測
- ニュートリノレス二重ベータ崩壊の探索







XMASS-2 (total ~24tons)



XMASS-I検出器の概要

■ 液体キセノン検出器

- 832kgの液体キセノン
- 高い光電子収量 (14 p.e./keV_{ee})
- 低エネルギー閾値 (o.3 keV_{ee})

■ 水チェレンコフ検出器(外水槽)

- 環境γ線 · 中性子の遮蔽
- 宇宙線ミューオンのveto





XMASS実験の現状

■ 2010年9月: XMASS検出器完成

■ 2010年10月~2012年5月: コミッショニングラン

Light WIMP search (Phys. Lett. B 719 (2013) 78-82)
Solar axion search (Phys. Lett. B 724 (2013) 46-50)
WIMP-¹²⁹Xe inelastic scattering search (Prog. Theor. Exp. Phys. 063C01 (2014))
Bosonic super-WIMP search (Phys. Rev. Lett. 113, 121301 (2014))

■ 2012年6月~2013年10月: 検出器改良作業 ■1桁以上のBG低減に成功

■ 2013年11月~ データ収集継続中





XMASSにおける超新星ニュートリノの観測

Coherent elastic neutrino-nucleus scattering

 $\boldsymbol{\nu}_{\boldsymbol{\chi}} + (\boldsymbol{A}, \boldsymbol{Z}) \to \boldsymbol{\nu}_{\boldsymbol{\chi}} + (\boldsymbol{A}, \boldsymbol{Z})$

- XMASSにおける超新星ニュートリノ事象の主なプロセス。
- 全てのフレーバーに感度がある。
- O(10keV)以下の原子核反跳を観測する。

Charged current neutrino-nucleus reactions

 $\nu_e + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z + 1)$ $\overline{\nu}_e + (A, Z) \rightarrow e^+ + (A, Z - 1)$

- 近傍超新星の場合には観測できる可能性がある。
- O(MeV)の電子事象なので、コヒーレント散乱とは区別できる。

コヒーレント弾性散乱(1)

ニュートリノが原子核中の全核子と"コヒーレント"に反応して原子核が反跳される。

 $v_x + A \rightarrow v_x + A$

$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T_A}\right)_w (T_A, E_v) = \frac{G_F^2 M}{8\pi} \left[1 + \left(1 - \frac{T_A}{E_v}\right)^2 - \frac{MT_A}{E_v^2}\right] Q_W^2 F^2(q^2)$$

6

$$Q_W = N - (1 - 4\sin^2\Theta_W)Z,$$

この反応が関与する場面

- 超新星爆発時のニュートリノに対するOpacity
- ・ 暗黒物質の直接探索における究極的なバックグラウンド(solar, atmospheric and DSNB v)

・ 観測できるのは、原子核反跳のみ ・ 反跳エネルギーは、数+keV以下 ・ 反跳エネルギーは、数+keV以下



検出できる

原子核反跳エネルギー~数+keV以下

XMASS検出器で期待される 超新星ニュートリノの信号

Livermoreモデル (d=10kpc) 10秒間で観測される事象





XMASS(832kg)で期待されるイベント数

Supernova model	d=10kpc
Livermore	15 events
Nakazato (20M, Z=0.02, 100ms)	3.5 events
Nakazato (30M, Z=0.02, 300ms)	8.7 events
Nakazato (blackhole)	21 events

ニュートリノコヒーレント弾性散乱の 世界初の観測になるかも!!

銀河系内の期待される超新星爆発の分布



近傍超新星爆発の場合

コヒーレント弾性散乱のほかに 荷電カレント反応も観測できる可能性がある。

$$\nu_e + {}^{132}Xe \rightarrow {}^{132}Cs + e^-$$

 $\bar{\nu}_e + {}^{132}Xe \rightarrow {}^{132}I + e^+$

ベテルギウス(200pc)の場合XMASS検出器で *v_e* CC: ~数百イベント *v_e* CC: ~数十イベント Ref.) P.C. Divari, Advances in High Energy Physics vol. 2013, 143184 (2013).



近傍超新星ニュートリノ観測に むけたXMASS DAOの強化

XMASSデータ収集システムの概要



- ATMからのHITSUM信号を用いてトリガーを生成する。
- ・通常のトリガーレートは、5Hz程度。

データ収集システムの高速化



新型トリガーシステムの開発・導入

<u>現行のシステムの問題点</u>

> ATMのペデスタル測定のため3o分に一度、数秒間のdead timeが発生
 > ATMのデータ転送が追いつかない場合、トリガーがvetoされてしまう

Flash-ADCによるトリガーシステムを開発・導入して、ATMを切り離したい (現在、ATMはトリガー生成とODの記録にしか使っていない)



まとめ

- ・XMASS実験は、液体キセノンを用いた多目的実験で、現在その第1段 階として主に暗黒物質の直接検出を目指してデータ収集中。
- ・低エネルギー閾値かつ大質量のXMASS検出器を用いて、超新星
 ニュートリノによるコヒーレント弾性散乱を世界で初めて観測できる可能性がある。
- ・ベテルギウスなど近傍での超新星爆発が起きれば、XMASSでも高頻度のイベントが観測されるため、XMASS DAQの強化を行う。