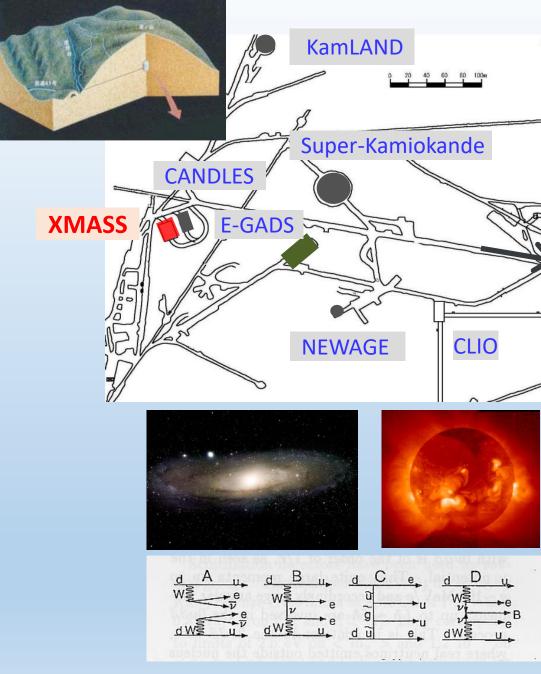
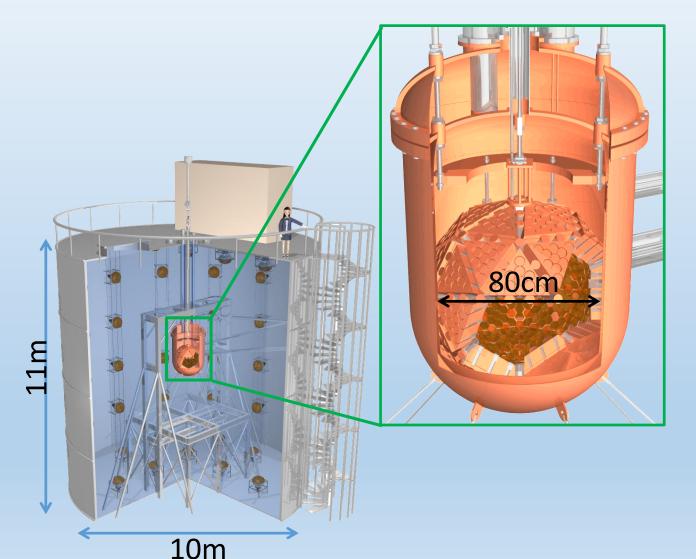


## XMASS実験

- 神岡の地下1,000 m (2,700 m.w.e.)で行われている 液体キセノンを用いた多目的宇宙素粒子実験
  - □暗黒物質の直接探索
  - □ 低エネルギー太陽ニュートリノ(pp/7Be)の観測
  - □ニュートリノレス二重ベータ崩壊の探索
- 特徴
  - □大質量 (832kgの有感領域)
  - 低エネルギー閾値 (~0.5keVee)
  - □低バックグラウンド
  - □ 原子核反跳だけでなくe/γ 事象にも感度がある

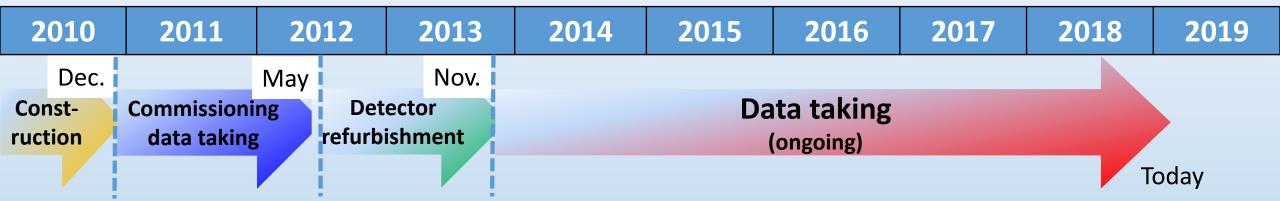


# 一相式液体キセノン検出器: XMASS-I



- 液体キセノン検出器
  - □ 832 kgの液体キセノン (-100°C)
  - □ 642 2インチ光電子増倍管 (光電面被覆率 >62%)
  - □ 各チャンネルの信号を10-bit 1GS/sの波形デジタイザで記録
- 水チェレンコフ検出器
  - □ 直径10m、高さ11m
  - □7220インチ光電子増倍管
  - □ 宇宙線ミューオンのVETO
  - □環境中性子・ガンマ線の遮蔽

## XMASS-I検出器によるデータ収集





- 2010年12月に建設完了
- コミッショニング、検出器改修作業を経て 2013年11月よりデータ収集再開
- 5年以上にわたり、安定的にデータ収集を継続
- 2018年度中に観測終了予定

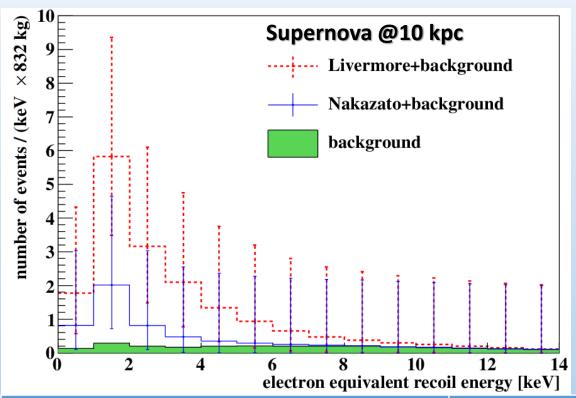
#### ニュートリノ・原子核コヒーレント弾性散乱 (CEvNS)

$$\nu + A \rightarrow \nu + A$$

- ニュートリノが原子核中の全核子と
  - 中性カレント反応
  - 断面積~N<sup>2</sup>
  - □ 原子核反跳エネルギー~O(10) keV

- 超新星爆発時にニュートリノがコアにトラップされる主な機構
- 暗黒物質の直接探索における究極のバックグラウンド (太陽v, 大気v, DSNB v)
- 2017年にSNSを用いたCOHERENT実験により初めて実験的にCEVNSが観測された。

#### XMASSで期待される超新星ニュートリノの信号

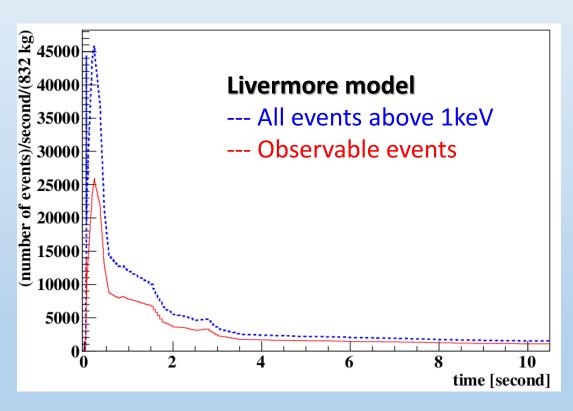


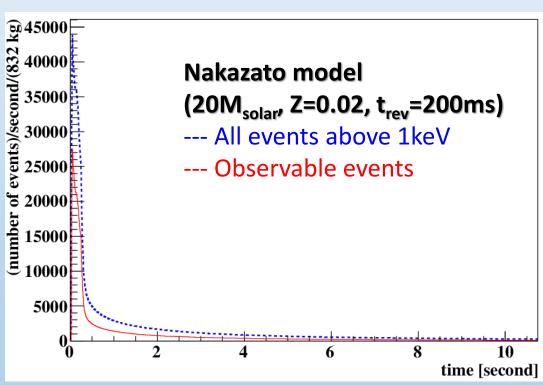
- 10 kpcの距離で超新星爆発が起きた場合、3.5~21イベント程度が期待される。
- ◆ ベテルギウス(196 pc)の場合には、 O(10<sup>4</sup>)イベントが期待される。

Supernova model	d=10 kpc	d=196 pc
Livermore	15	3.9x10 <sup>4</sup>
Nakazato (20M <sub>solar</sub> , Z=0.02, t <sub>rev</sub> =100ms)	3.5	$0.9x10^4$
Nakazato (30M <sub>solar</sub> , Z=0.02, t <sub>rev</sub> =300ms)	8.7	2.3x10 <sup>4</sup>
Nakazato (black hole)	21	5.5x10 <sup>4</sup>

K. Abe et al. (XMASS Collaboration), Astropart. Phys. 89 (2017) 51-56

# XMASS検出器で期待される 超新星ニュートリノ事象の時間分布





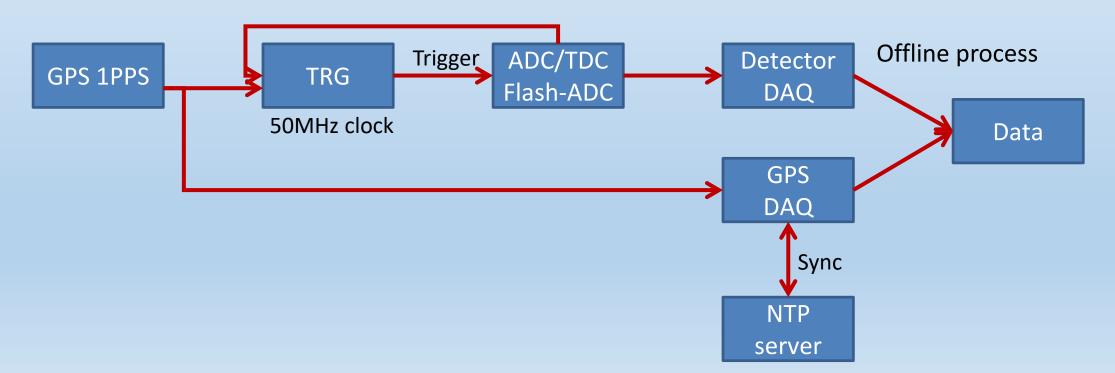
近傍超新星爆発(~200pc)の場合には、観測された 事象の時間分布から超新星モデルの区別ができそう。

# 超新星ニュートリノ観測に関連する改善

- GPSによる時刻同期の導入
- KamLAND pre-supernova alarmの監視
- ・ 低閾値トリガーの導入
- ・ ラン切替の自動化(デッドタイム削減)

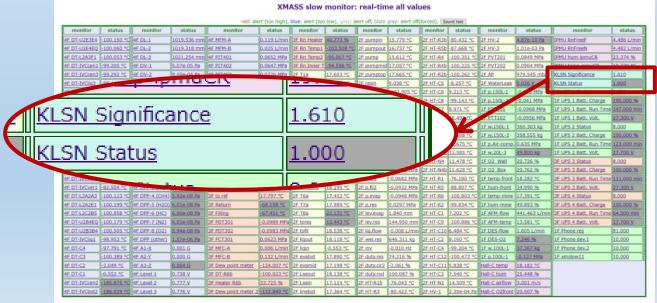
## GPSによる時刻同期の導入

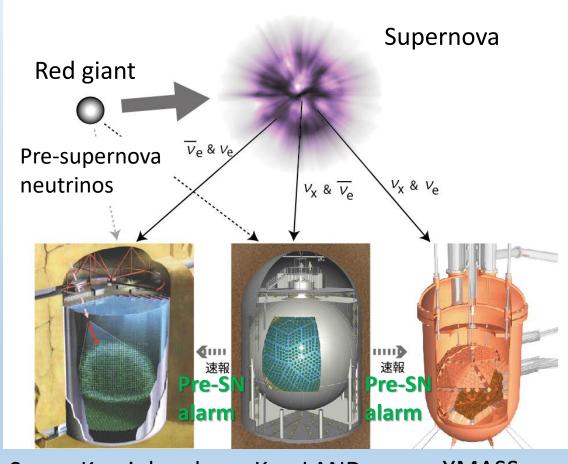
- GPS 1PPSとNTPを用いた時刻同期システムを導入した。
  - Super-KamiokandeよりGPS 1PPS信号をもらう。
  - □ GPS 1PPS信号をトリガーとして入力する。
  - □ 各GPS 1PPS信号のLinux時間を記録し、offlineで情報をマージする。



## KamLAND pre-supernova alarmの監視

- KamLANDがpre-supernova alarmを配信
  - K. Asakura et al. (KamLAND Collaboration), Astrophys. J. 818 (2016) 91
- 配信された情報をXMASSのスローモニ ターシステムに入力し、XMASSシフトが 24時間体制で監視





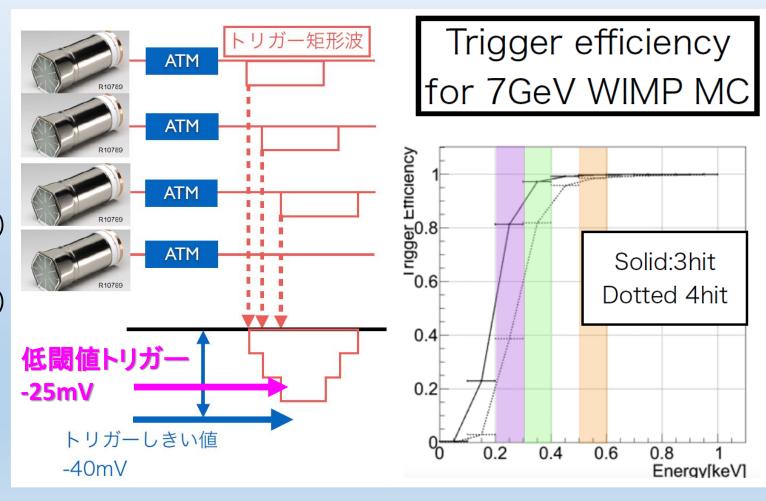
Super-Kamiokande

KamLAND

**XMASS** 

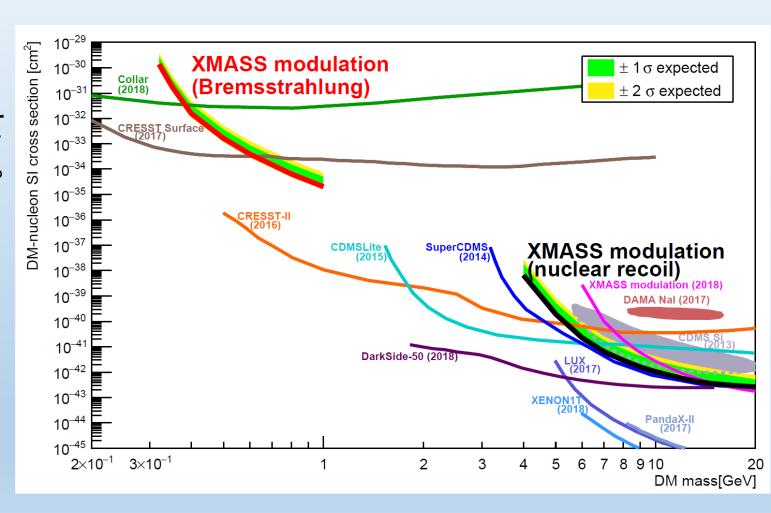
# 低閾値トリガーの導入

- 各PMTヒット毎に出力される矩形波をアナログ的に足し上げた波形が 閾値を越えるとトリガーを生成
- 2015年12月から、 通常のトリガー(4ヒット閾値に対応) に加え、 低閾値トリガー(3ヒット閾値に対応) を導入した。
- 2013年当初よりPMTのダークレート が減少したことで低閾値化できた。



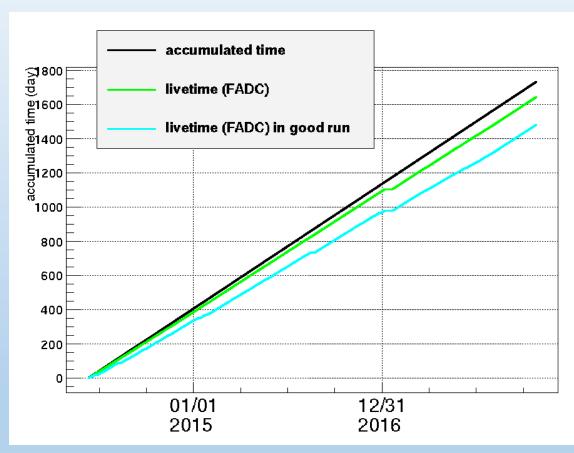
# 季節変動を用いた低質量WIMPsの探索

- 低閾値トリガーの導入と、 LUXによるLeffの新しい測定により、 4 GeVまでの低質量WIMPsについて 原子核反跳による探索が実現した。
- エネルギー閾値2.3 keV<sub>nr</sub> (~2.3 PE)
- また、原子核が反跳された際の Bremsstrahlung photonを探索する ことで、sub-GeV暗黒物質の探索も 行った。
- M. Kobayashi et al. (XMASS Collaboration) arXiv:1808.06177 [astro-ph.CO]



# ラン切替の自動化(デッドタイム削減)

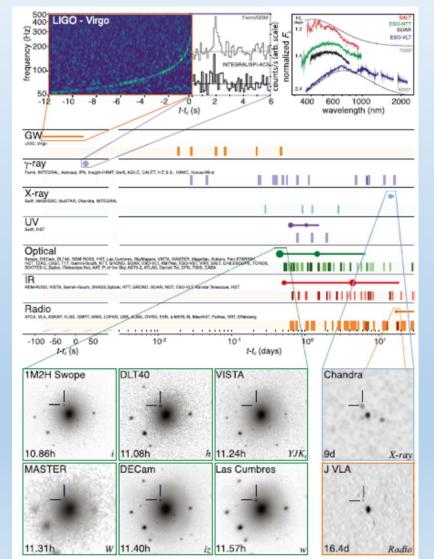
- シフト負担の軽減化
  - □ ラン切替の自動化 (24時間毎の定期切替、異常時の自動回復)
  - □ Calibrationデータ収集頻度の低減 (週1回、数時間→月1回、数時間)
- 2018年度は、超新星ニュートリノ観測を 主なターゲットとして、データ収集を継続
- 2013年11月~2018年8月時点
  - □ 平均DAQ稼働率 >94% (calibrationを含む)
  - □ 物理解析データ取得率 >85% (quality check後)



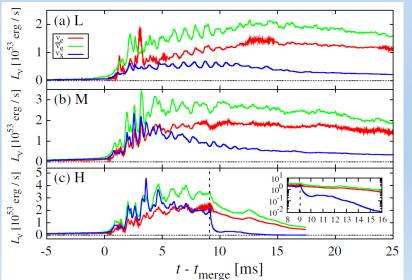
2018年8月時点

#### 連星中性子星合体からの重力波イベントGW170817

ApJ Lett. 848, L12 (2017)



- 2015年以来、LIGO/Virgoによって複数の重力波イベントが報告されている。
- 2017年8月17日には、連星中性子星合体からの重力 波イベントGW170817が初めて観測され、マルチメッセ ンジャーでの観測にも成功している。
- 連星中性子星合体からのニュートリノ放出を計算した論文もある。



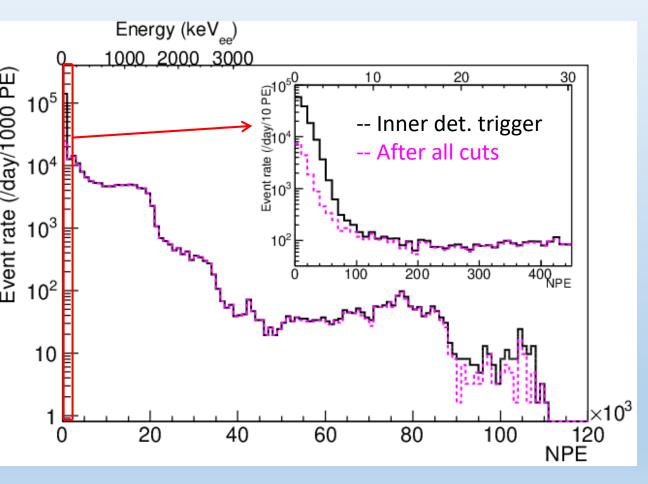
Y. Sekiguchi et al. PRL 107, 051102 (2011)



 $M_{NS}$ = 1.35(L), 1.5(M), and 1.6(H) x Msolar

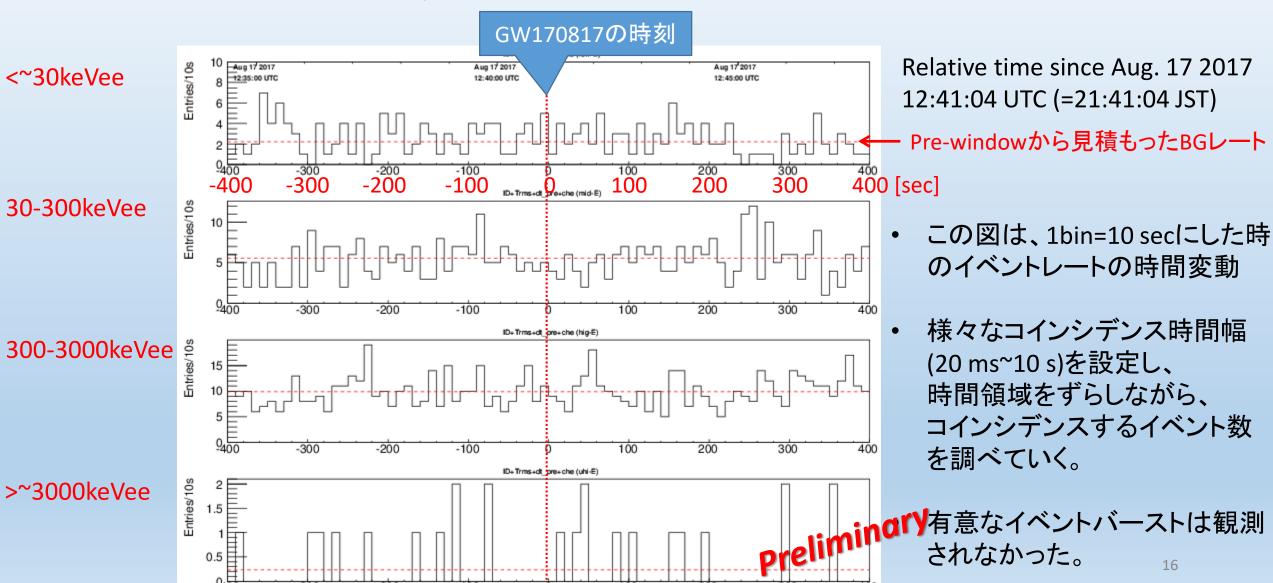
14

## データセットおよび事象選択



- ・データセット
  - □ GW170817 (Aug. 17 2017 12:41:04UTC) の前後 [-400,+10000] sec
- XMASS検出器の全体積(832kg液体キセノン) を用い、単純な事象選択カットのみをかける
  - □ 液体キセノン検出器のみのトリガー
  - **□** PMTアフターパルスの除去
  - □ チェレンコフ事象の除去
- 4つのエネルギー領域に分けて イベントバーストを探索する
  - □ <~30 keV 0.22 event/s
  - **□** 30-300 keV 0.56 event/s
  - □ 300-3000 keV 0.99 event/s
  - □ >~3000 keV 0.02 event/s

#### GW170817から+/-400 sec以内のイベントレートの変動



#### GW170817から+/-400 sec以内のイベントレートの変動

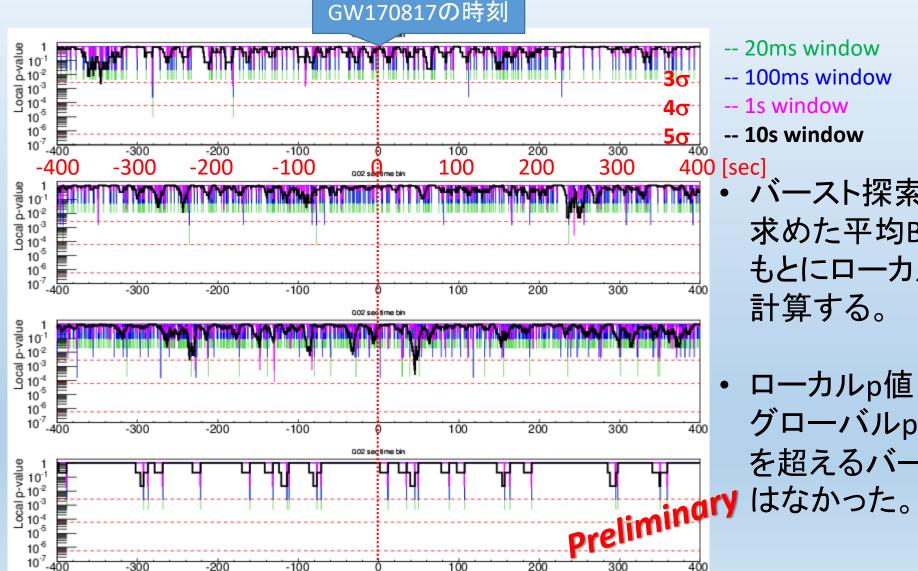


<~30keVee

30-300keVee

300-3000keVee

>~3000keVee



- -- 20ms window
- -- 100ms window
- -- 1s window
- -- 10s window

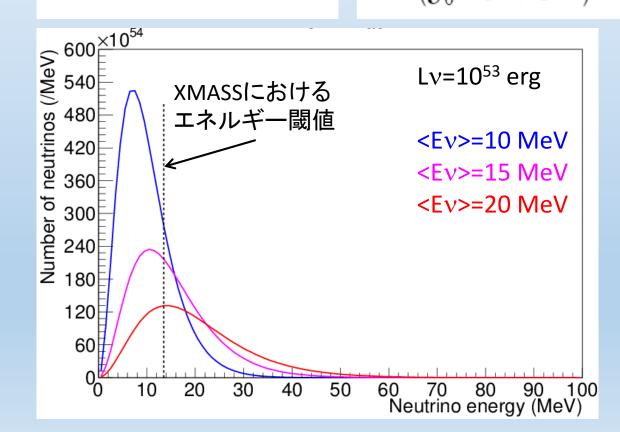
- バースト探索領域の前で 求めた平均BGレートを もとにローカルp値を 計算する。
- ローカルp値 >5σ グローバルp値 >2σ を超えるバーストの候補

#### コヒーレント弾性散乱を用いたニュートリノ観測

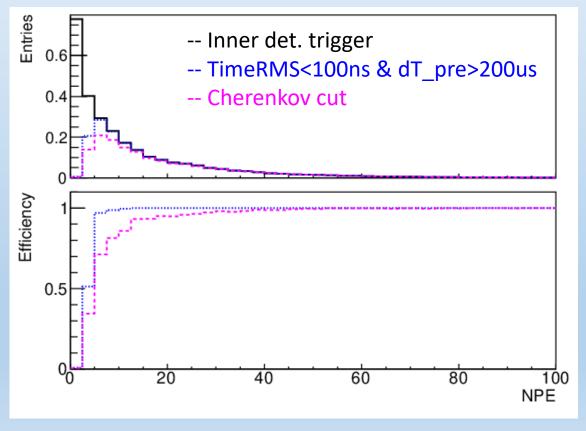
#### Fermi-Dirac型のニュートリノエネルギー分布を仮定

$$f(E_{\nu}) = \frac{C}{(k_{\rm B}T)^3} \frac{E_{\nu}^2}{e^{E_{\nu}/k_{\rm B}T} + 1}, \qquad C = \left(\int_0^{\infty} \frac{x^2}{e^x + 1} dx\right)^{-1}$$

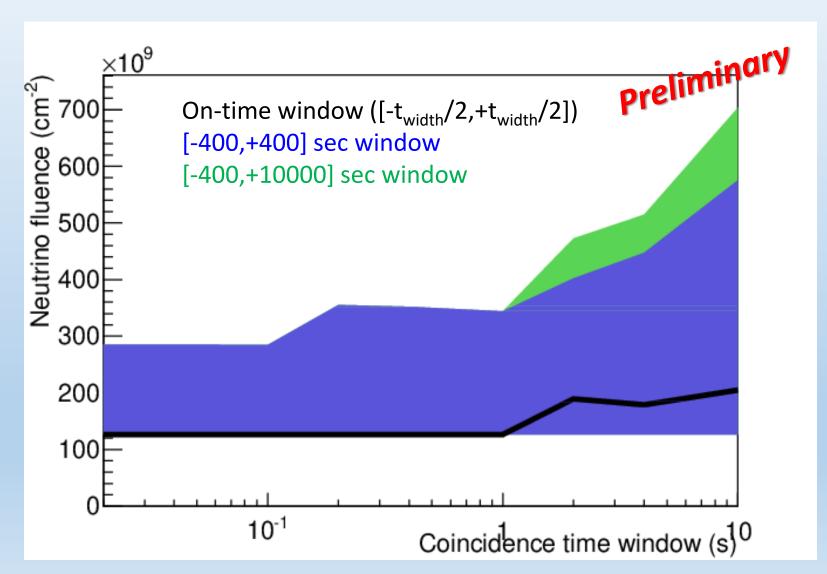
$$C = \left( \int_0^\infty \frac{x^2}{e^x + 1} \mathrm{d}x \right)^{-1}$$



XMASSで期待されるNPE分布とefficiency curve (<Ev>=20MeVの場合)

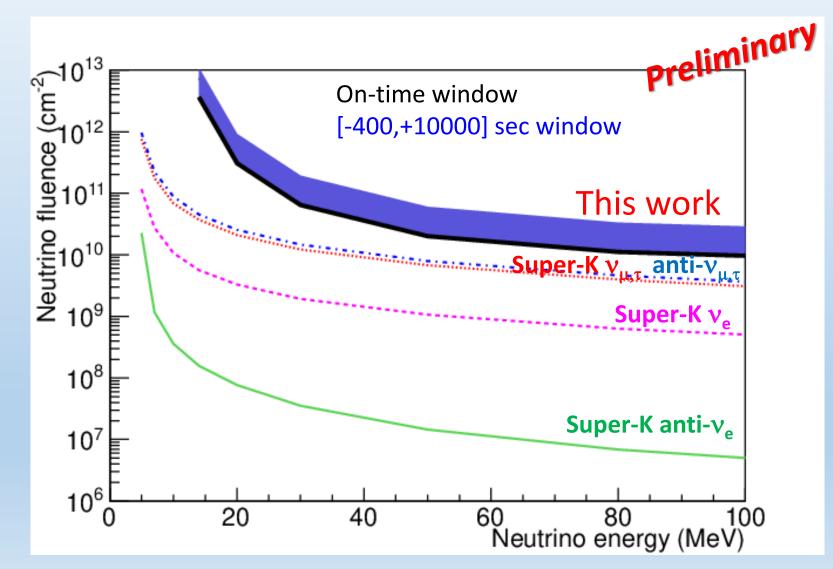


# Neutrino fluenceに対する制限 (1)



- 平均ニュートリノエネルギーが 20MeVのFermi-Dirac分布を仮定。
- コインシデンス時間幅に観測された イベント数からneutrino fluenceに 対する90%信頼度の制限をつけた。
- [-400,+400] sec, [-400,+10000] sec
  内での探索では、コインシデンス 領域をスキャンしていき、 最大と最小の上限値をバンドとして 表している。
- On-time windowでの90% CL上限 値は、(1.3-2.1)x10<sup>11</sup> cm<sup>-2</sup>

# Neutrino fluenceに対する制限 (2)



- 単色エネルギーのニュートリノ フラックスの場合を仮定して、 同様にneutrino fluenceに対する 上限値を求めた。
- XMASSの制限は、全フレーバーの ニュートリノの和。Super-Kの探索と 相補的。

### まとめ

- XMASS-I検出器では、大質量(832kg)かつ低エネルギー閾値(~0.5keVee)の特徴を活かして、コヒーレント弾性散乱を用いた銀河系内の超新星ニュートリノの観測が可能。
  - ☐ K. Abe et al. (XMASS Collaboration), Astropart. Phys. 89 (2017) 51-56
- 2013年11月より5年以上にわたり、安定したデータ収集を継続してきた。
- その他の天体起源の低エネルギー事象の探索も行ってきた。
  - □ 太陽Kaluza-Kleinアクシオンの探索: N. Oka et al. (XMASS Collaboration), PTEP 2017, 103C01
  - □ 重力波イベントに同期したバーストの探索: 論文執筆中