

# KamLANDによる太陽フレア関連ニュートリノの探索

東北大学ニュートリノ科学研究中心

博士課程前期1年 川田七海

# もくじ

## 太陽フレア

磁気リコネクションモデル

太陽フレア関連ニュートリノ

## KamLAND検出器

KamLANDによる探索

ニュートリノの検出

## 解析(予測)

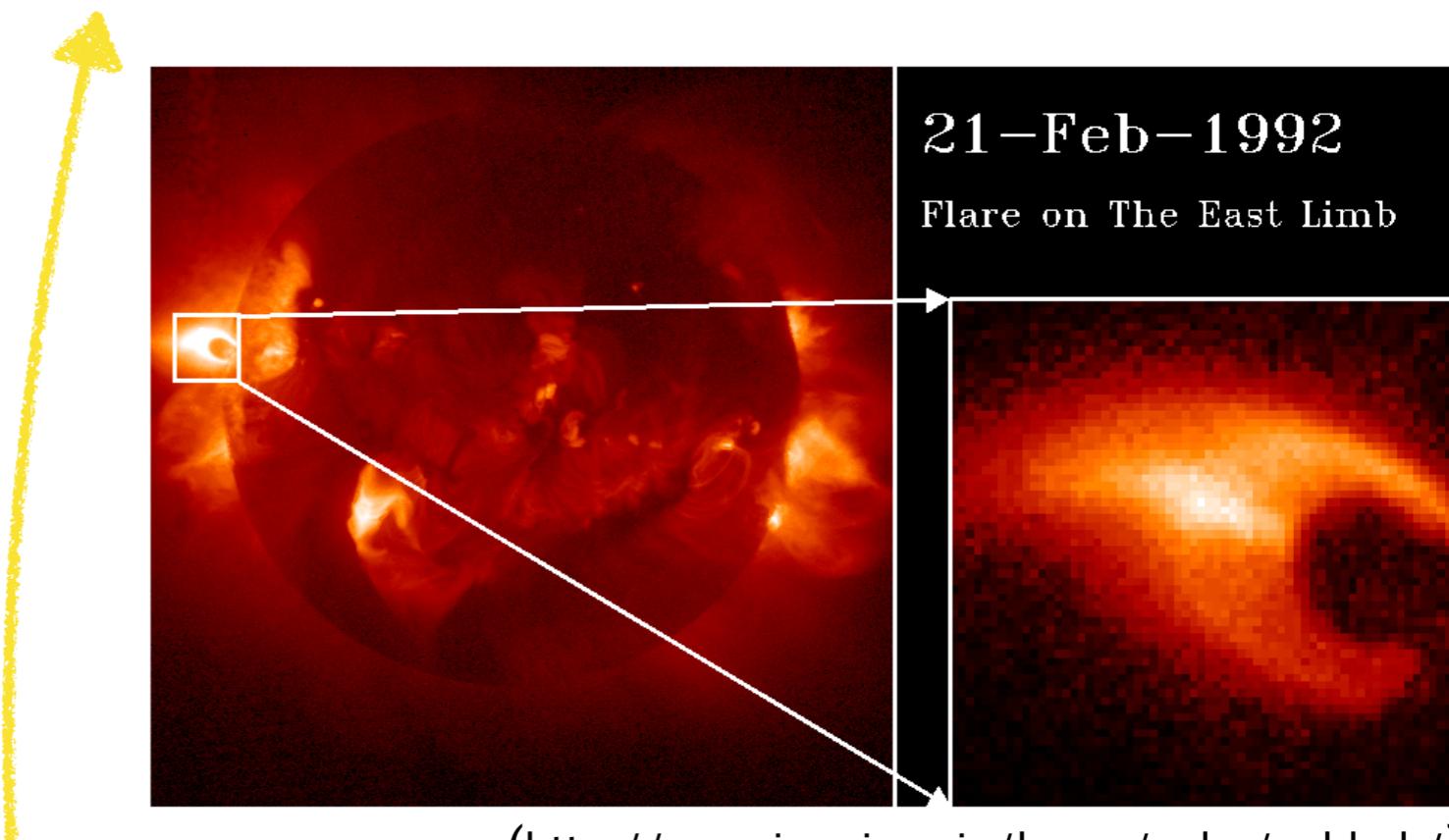
太陽フレア関連ニュートリノ流束量の上限値

# 1. 太陽フレアと磁気リコネクションモデル



太陽表面で起こる爆発現象

$10^2 \sim 10^3$  sec の間に  $10^{32} \sim 10^{33}$  erg のエネルギーを放出



太陽フレアの発生原理を説明する有力なモデル

太陽磁場中の反平行な磁力線のつなぎ替えにより磁場のエネルギーを解放

X線,γ線の観測が支持(カスプ構造)

$\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$ の放出を予言

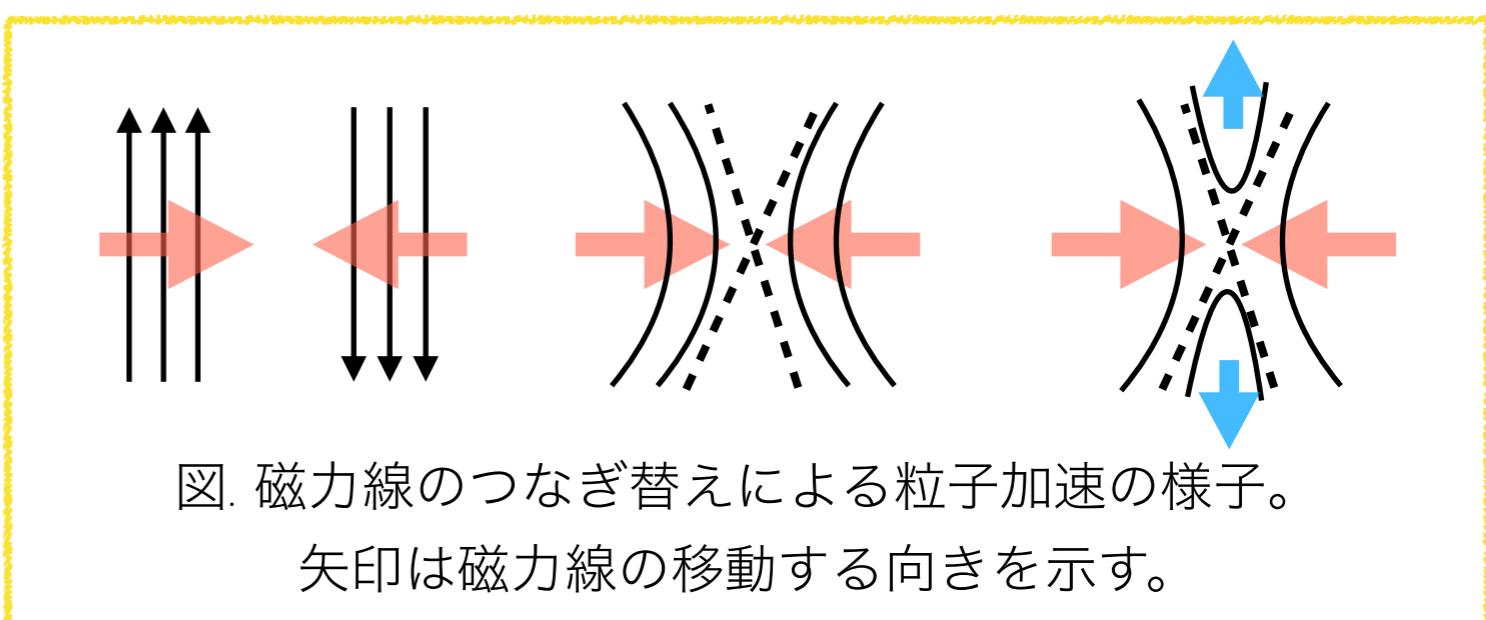
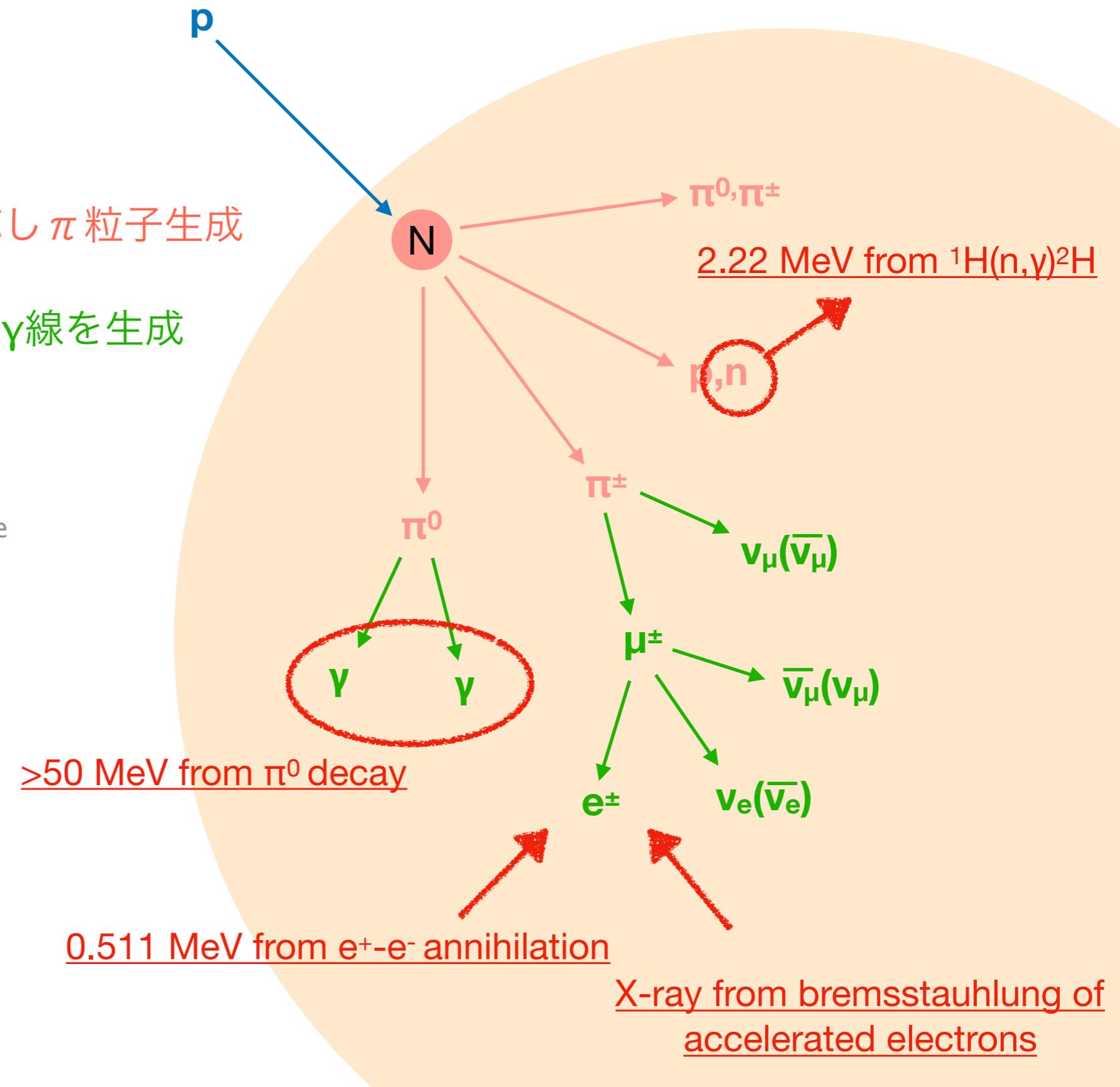
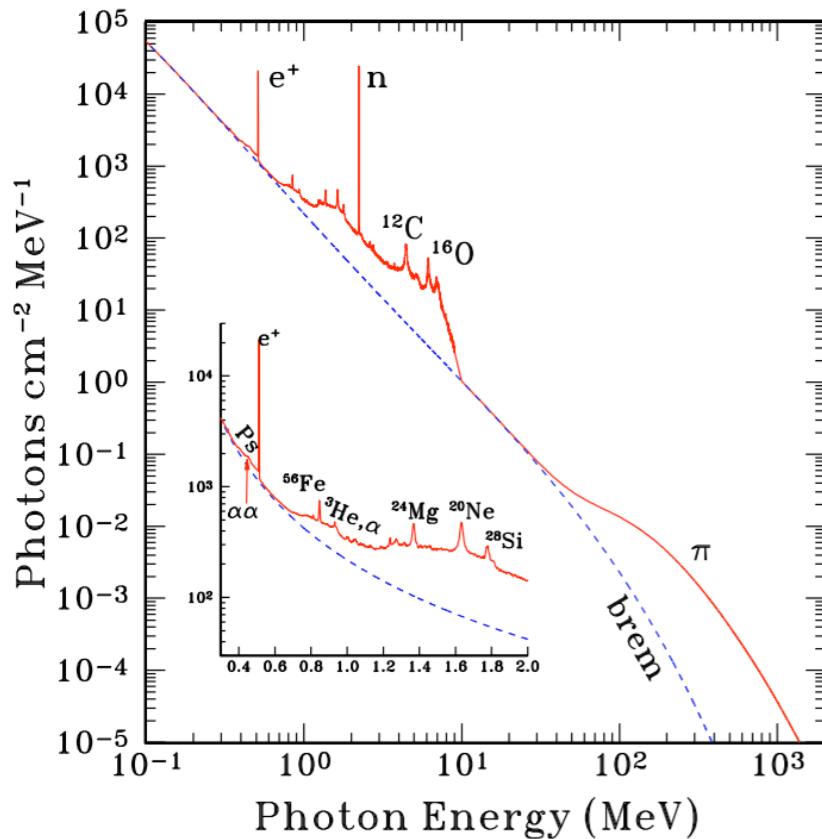


図. 磁力線のつなぎ替えによる粒子加速の様子。  
矢印は磁力線の移動する向きを示す。

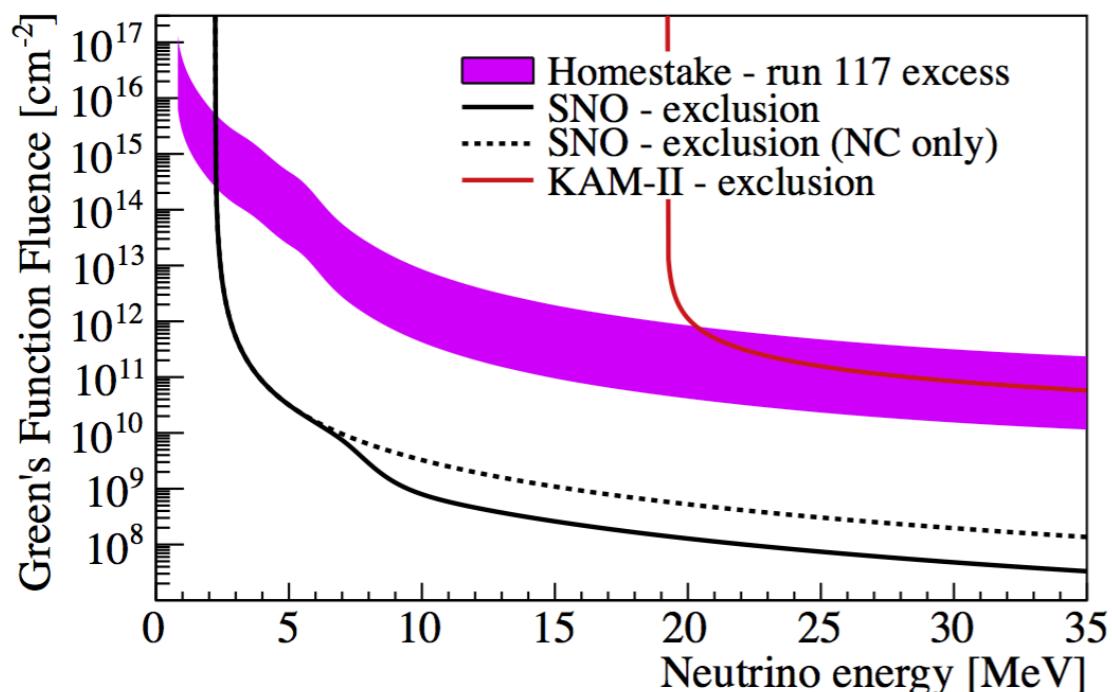
## 2. 太陽フレアに伴うニュートリノとX線/γ線

- 陽子が加速される
- 太陽大気中で原子核と反応し  $\pi$  粒子生成
- $\pi$  粒子の崩壊過程で  $\nu$ /X線/γ線を生成

Solar Flares: Gamma Rays  
Reuven Ramaty and Natalie Mandzhavidze



### 3. 太陽フレアに伴うニュートリノ探索の試み



#### KamLANDによるさらなる検証(本研究)

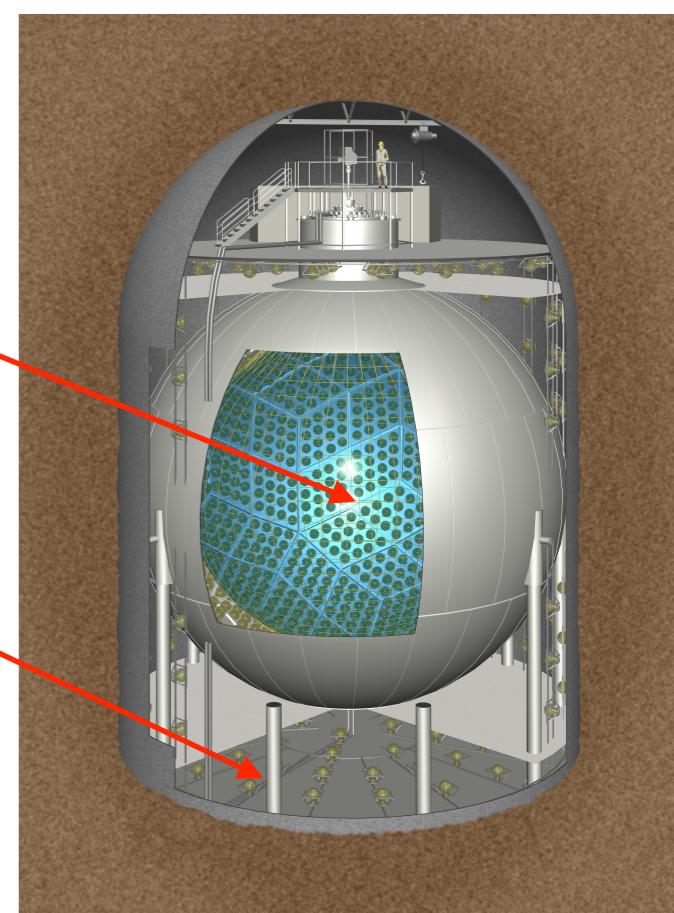
→ Kamioka Liquid scintillator Anti Neutrino Detector

世界最大の液体シンチレータを用いたニュートリノ検出器

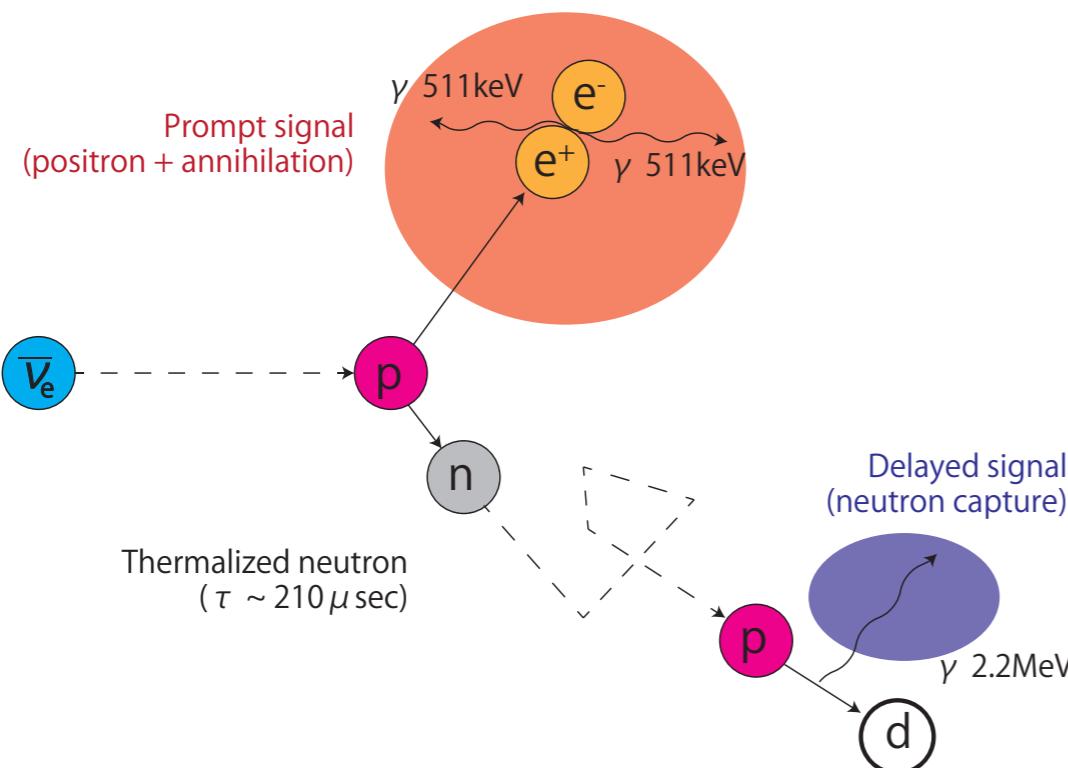
- 1 ktの液体シンチレータと逆β崩壊で  
よりfluenceの小さい領域を探索
- νによる電子散乱の解析で低energy領域含め  
Homestakeの主張を完全に棄却する

ID  
液体シンチレータ  
物理イベント解析

OD  
純水  
shield, veto



# 4. KamLANDにおけるニュートリノの検出



## 逆 $\beta$ 崩壊 (Inverse Beta Decay, IBD)

反電子ニュートリノにのみ感度あり

$e^+ - e^-$  対消滅, 中性子捕獲による  $\gamma$  線を液体シンチレータで捉える。

$E_{\text{threshold}} = 1.806 \text{ MeV}$

**positron-neutron の遅延同時計測**  
により極低BGを実現

現時点ではこちらのみ利用

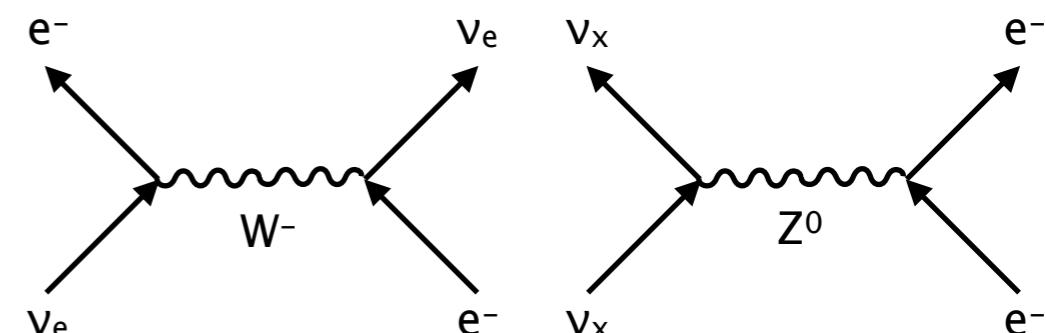
## 電子散乱 (Electron Scattering, ES)

反電子型以外も検出可能

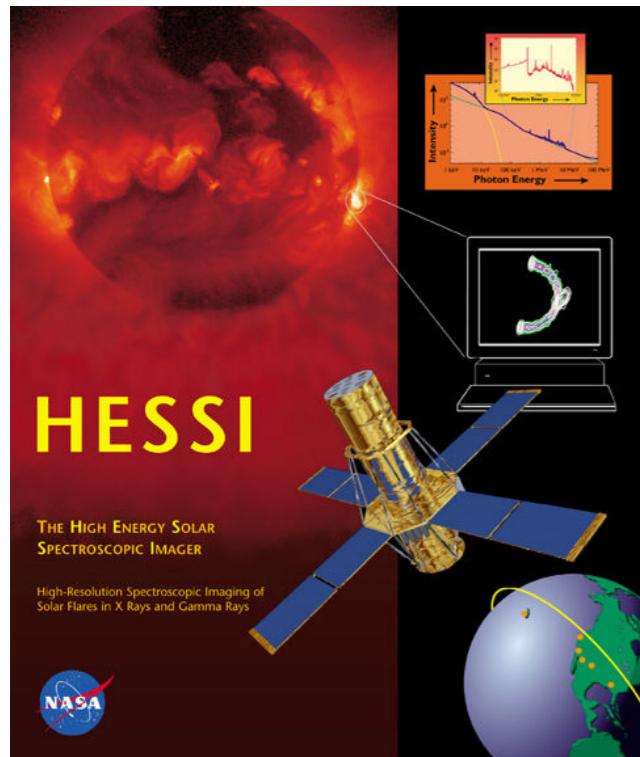
散乱された電子が液体シンチレータを発光させる

荷電力レント反応は電子ニュートリノのみ

中性カレント反応はすべてのニュートリノが起こしうる



# 5. 太陽フレアとニュートリノイベントのコインシデンス



## HESSI衛星

NASAにより運用されていた衛星 (2002 ~ 2018)

太陽から飛来するX線/γ線を高位置分解能で観測した。

太陽フレアにおける

**粒子加速機構**  
**エネルギー解放機構**

の解明を目的とされた。

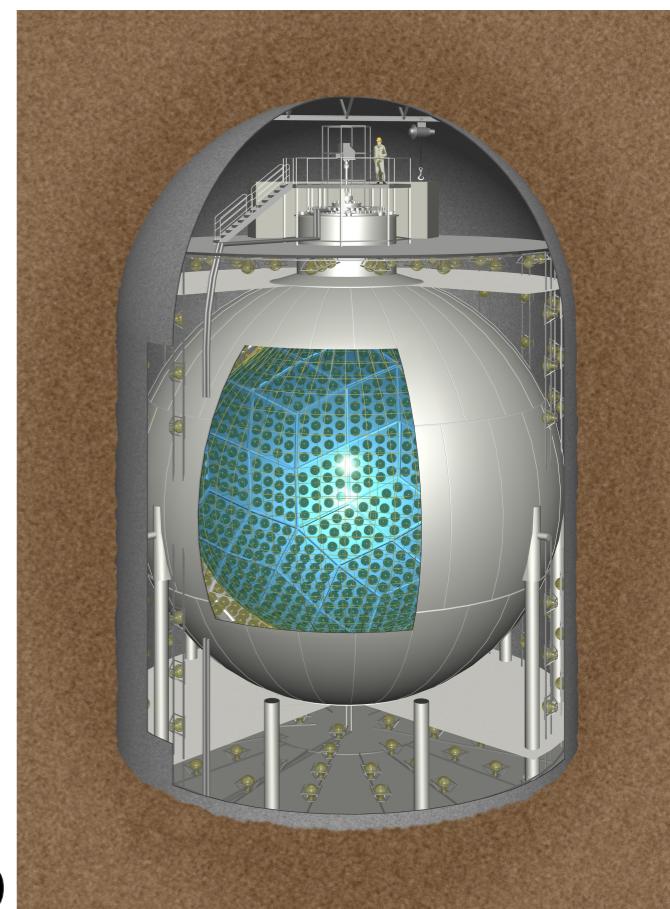
HESSIのevent listのうち"Intensity"が $10^6$ 以上のものを  
太陽フレアとみなし、それらのフレアを観測していた時間を  
太陽フレア時間と呼ぶ。

→ 2013-2015 (第24太陽周期) で

2313 flares / 12.74 days

太陽フレア時間とそれ以外の時間でKamLANDで  
観測される $\bar{\nu}_e$ の個数を比較する。

**KamLAND**



## 6. 予測される太陽フレア関連ニュートリノ流測量の上限値 ( Fluence Upper Limit, UL )

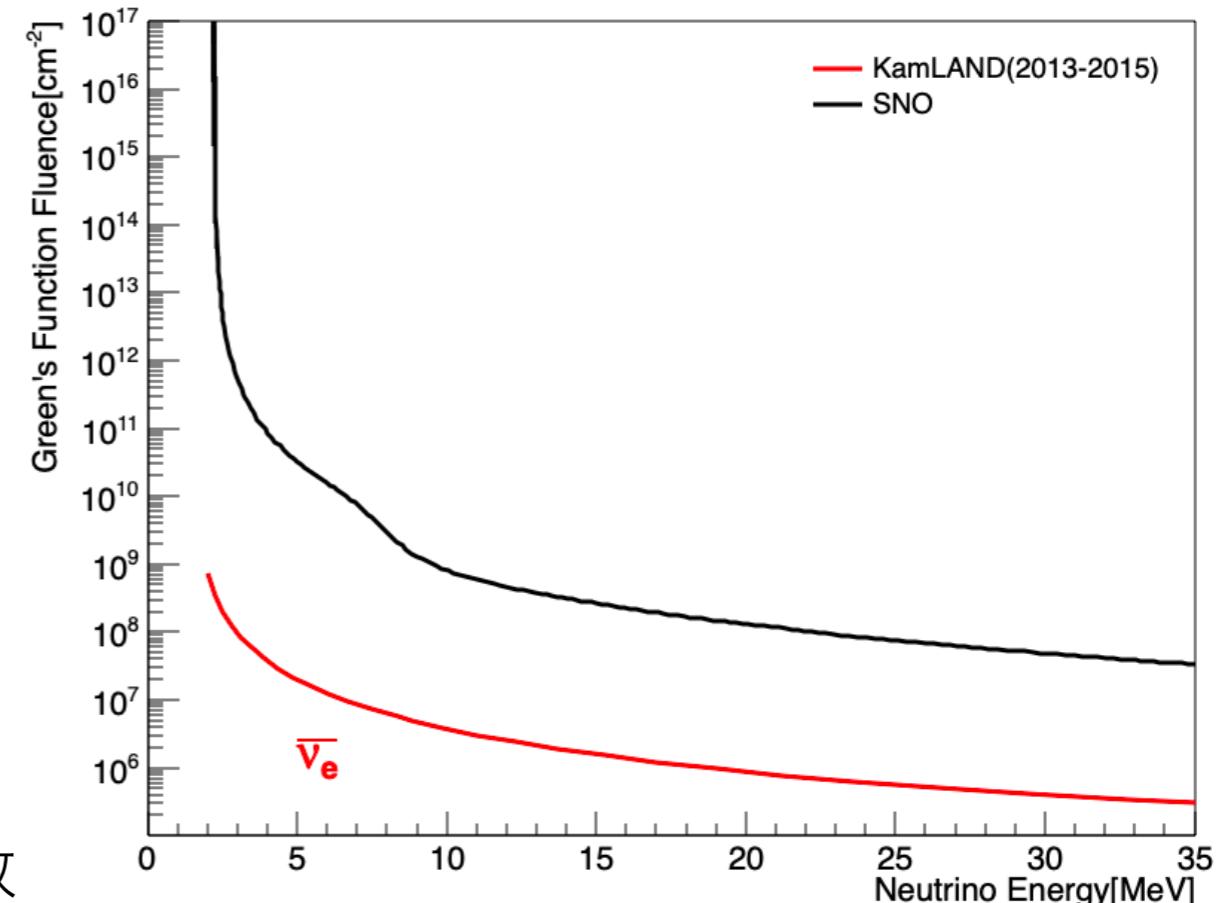
KamLANDによるGRB ν探索の論文(2015)より、2011.9~2013.6の  
ν IBD rateは  $0.9 < E_{\text{vis}} < 100 \text{ MeV}$  で  $2.3 \times 10^{-6} \text{ [event/sec]}$

**2013-2015の期間(第24太陽周期)で  
KamLAND ν IBD rateは上の値で一定**  
(  $N_{\text{BG}} = 2.3 \times 10^{-6} \text{ [event/sec]} \times 12.74 \text{ [day]}$  )

**太陽フレア時間内でも ν IBD rateは  
BGとconsistentでexcessなし**  
(  $N_{\text{observed}} = N_{\text{BG}}$  )

を仮定すると、Feldman&Cousinsの方法により  
観測された太陽フレア1回あたりの関連 ν の個数  
の上限値 ( C.I. 90% )  $N_{90}$  は

$$N_{90} = 1.48 \times 10^{-3}$$



と見積もることができる。

# 6. 予測される太陽フレア関連ニュートリノ流測量の上限値 (Fluence Upper Limit, UL)

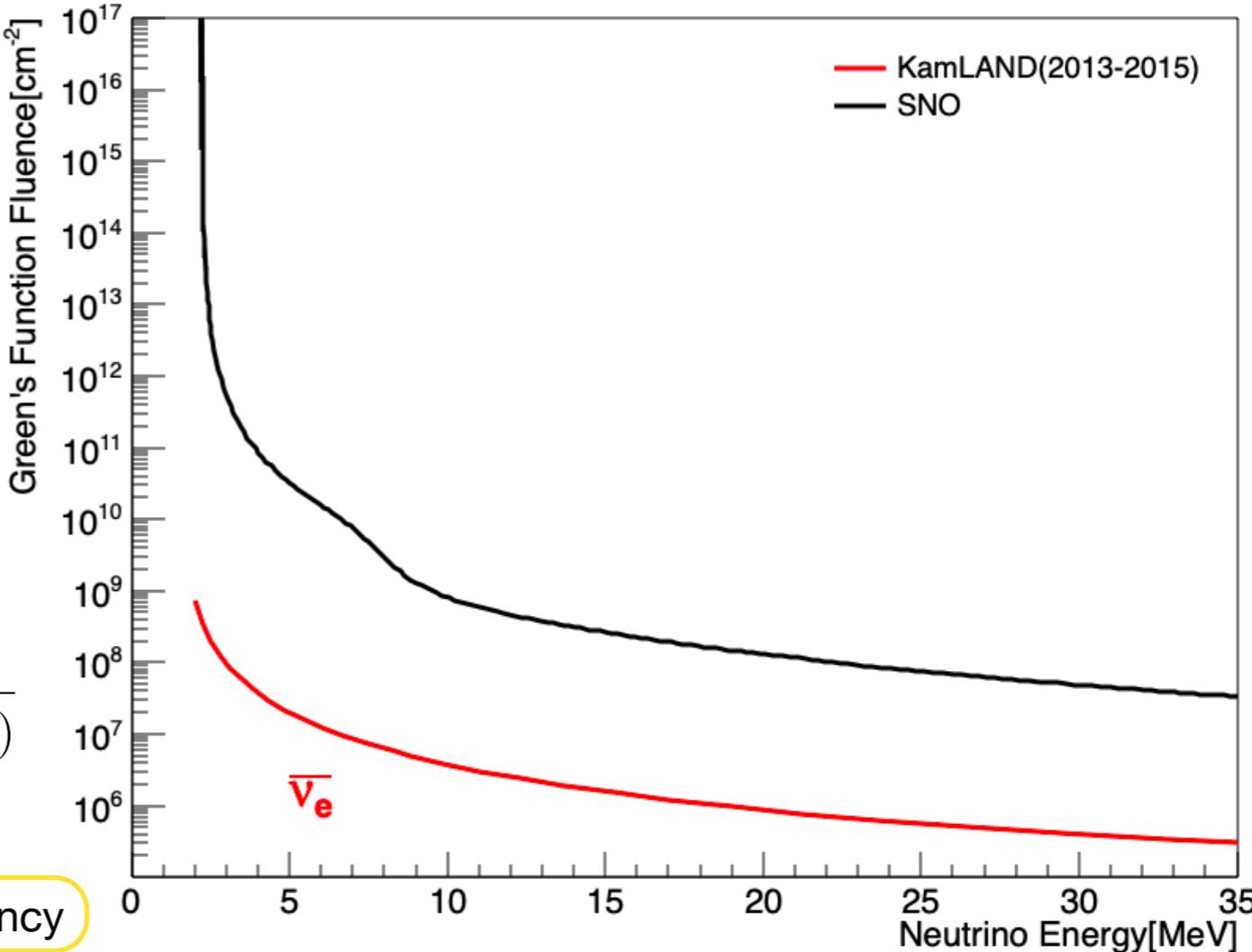
太陽フレア関連ニュートリノのenergy分布が Monochromaticであると仮定すると、

Green関数により右のようなULが得られる  
と予測される。

$$\Phi_\nu(E_\nu) = \frac{N_{90}}{N_{\text{target}} \int_{E_{\text{prompt}}^{\text{vis}}=0.9}^{100} dE'_\nu \sigma(E'_\nu) \varepsilon(E'_\nu) \delta(E_\nu - E'_\nu)}$$

# of proton in KamLAND      Calculated p-v cross section      detection efficiency

$$E_{\text{prompt}}^{\text{vis}} \simeq E_\nu - 0.782 \text{ [MeV]}$$

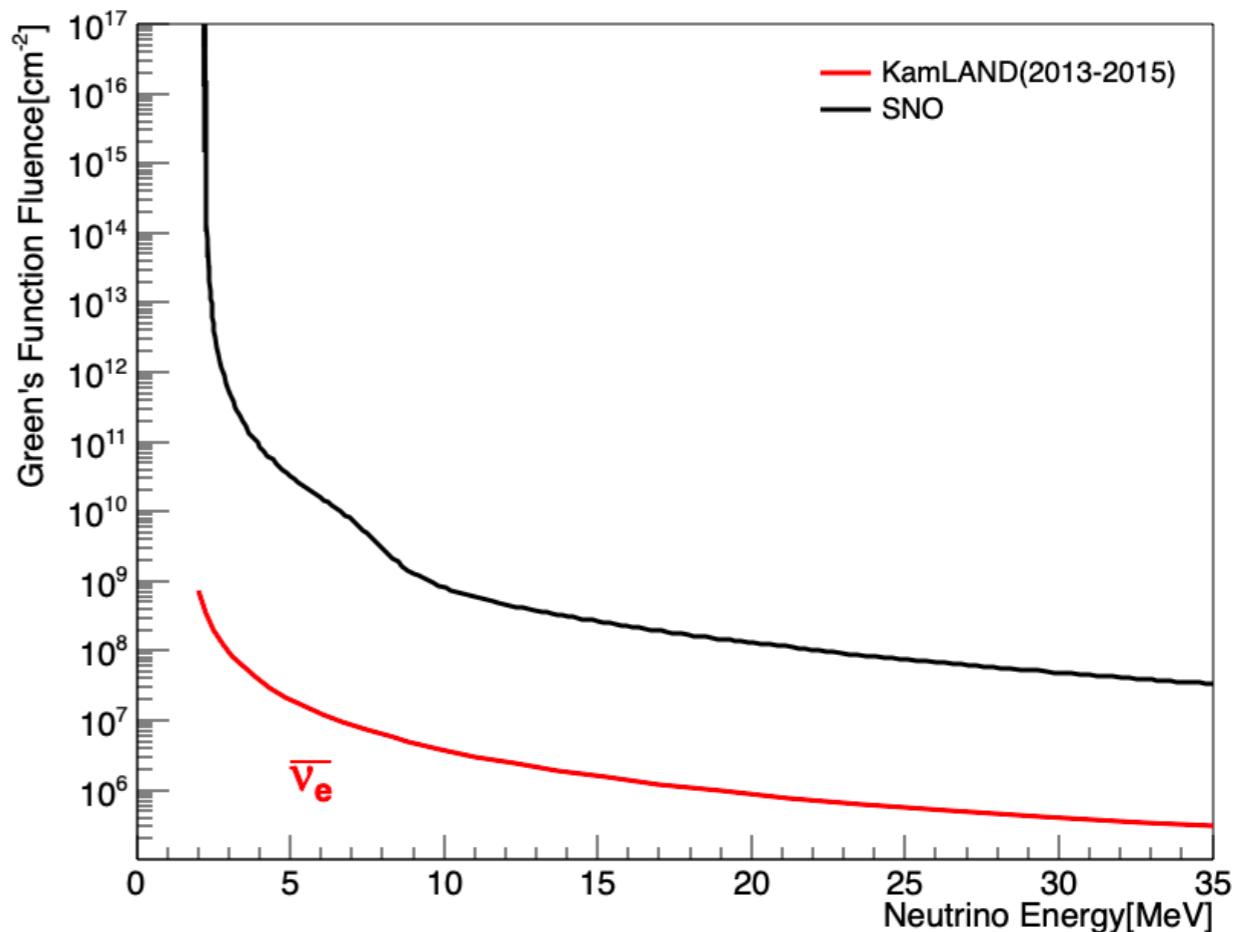
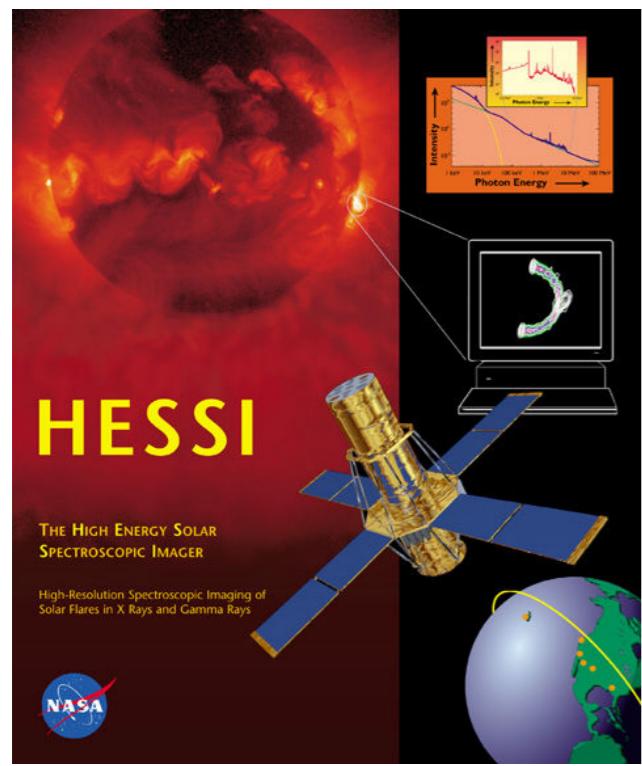
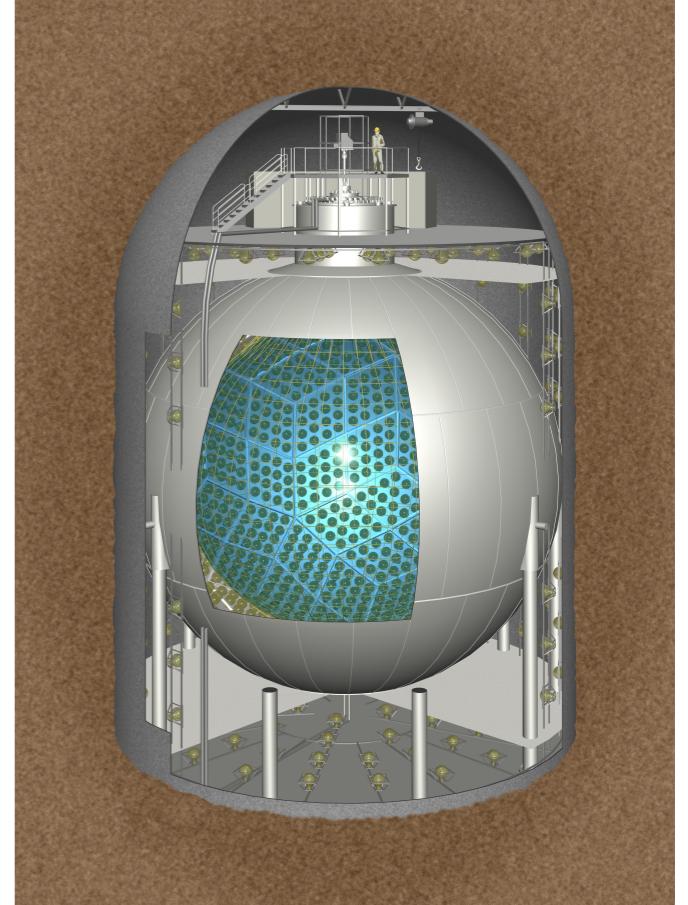


	SNO ( $\nu_e$ -d ...)	KamLAND ( $\nu_e$ -p)
$N_{90}$	0.022	$\times \sim 10^{-1.2}$ $\rightarrow 1.48 \times 10^{-3}$
$N_{\text{target}}$	$\sim 6 \times 10^{31}$	$5.96 \times 10^{31}$
$\sigma (E_\nu = 10 \text{ [MeV]})$	$\sim 10^{-42} \text{ [cm}^2]$	$\times \sim 10 \rightarrow \sim 10^{-41} \text{ [cm}^2]$

# 7. まとめ

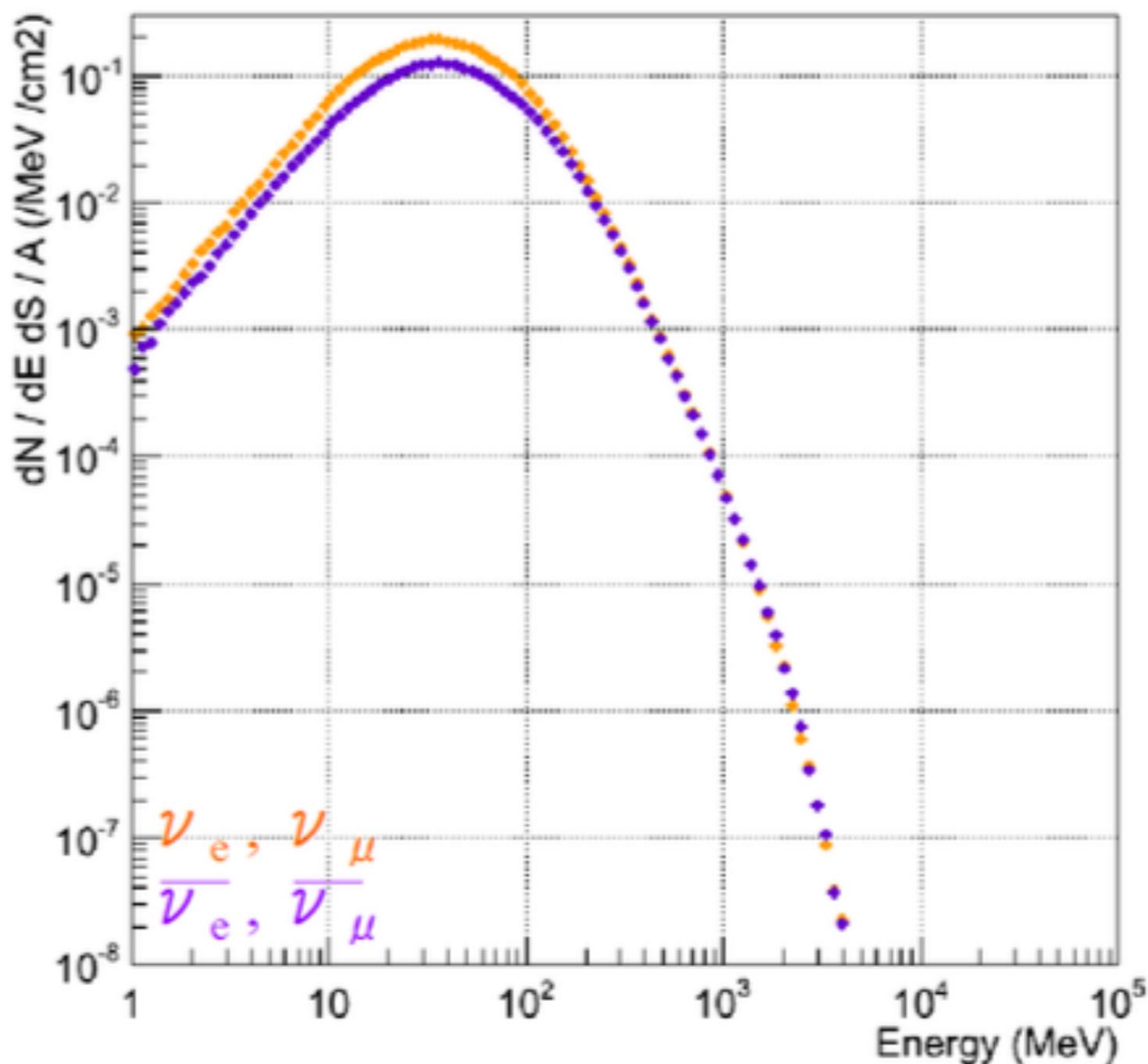
太陽観測衛星HESSIの観測データとKamLANDでの  
ニュートリノ逆 $\beta$ 崩壊イベントレートから

第24太陽周期(2013-2025)でKamLANDで太陽フレア  
に伴うニュートリノイベント超過を確認できなかった  
場合に得られる太陽フレア関連ニュートリノ流束量の  
上限値を試算した。



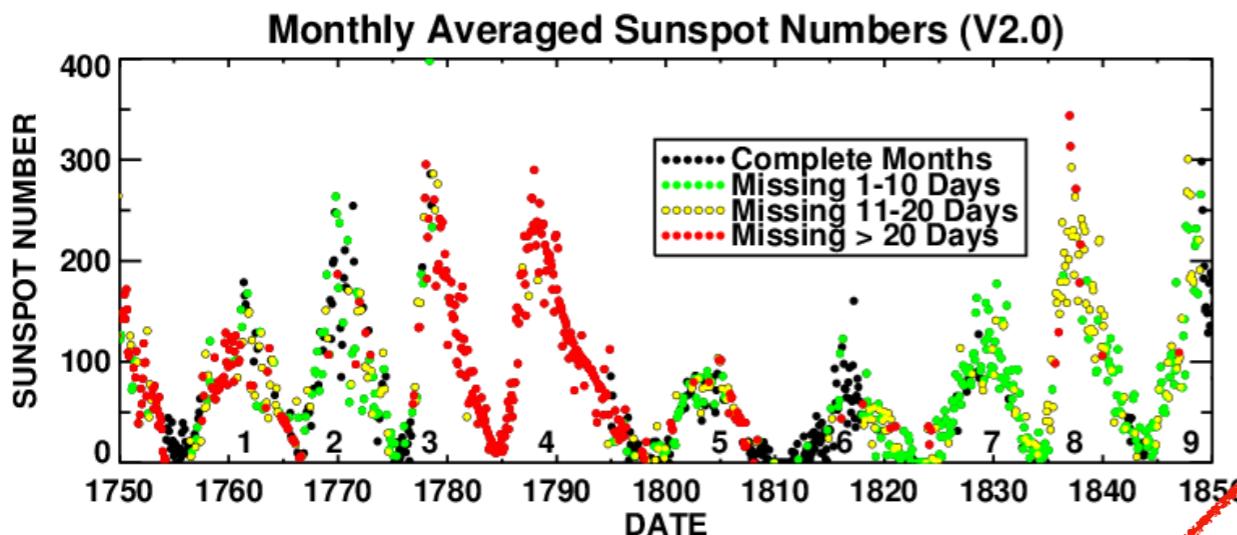


# Neutrino flux from Solar Flare



estimated  $\nu$  flux from **solar flare**  
(by Takeishi,ICRR)

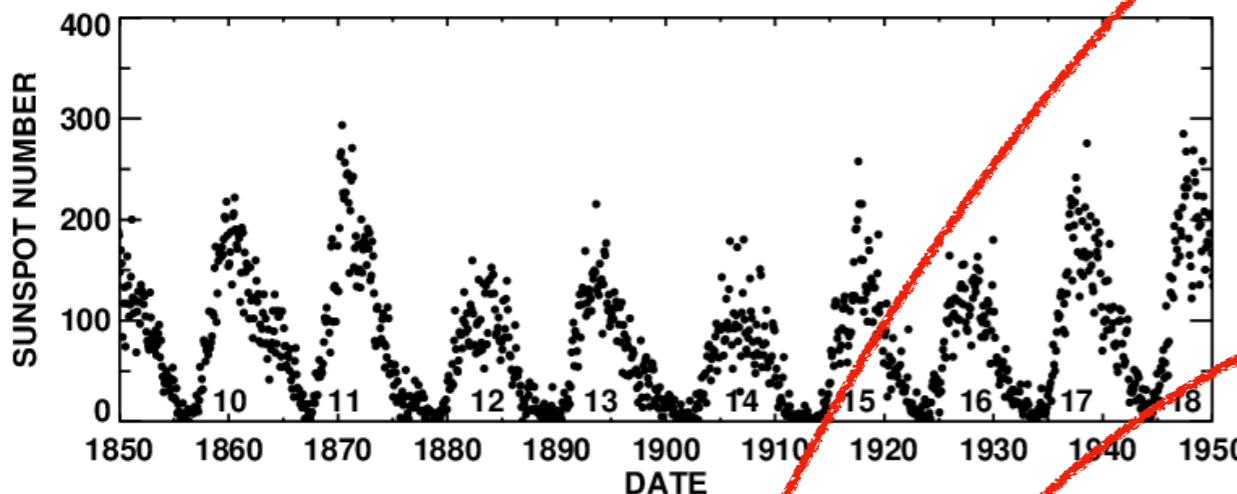
# Solar cycle and analysis period



1st choice

23rd solar cycle

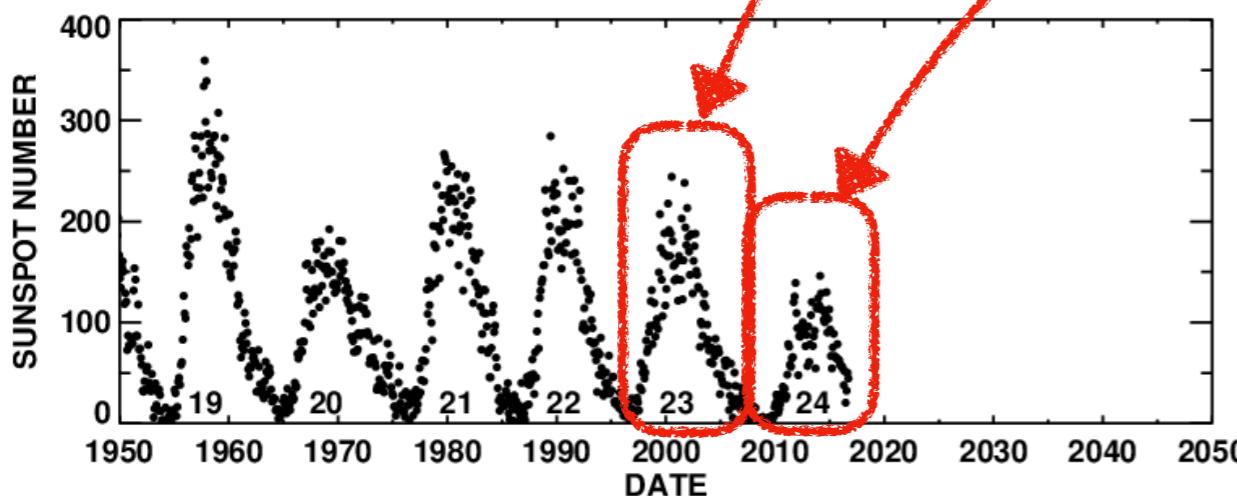
analysis period : 2002 ~ 2004

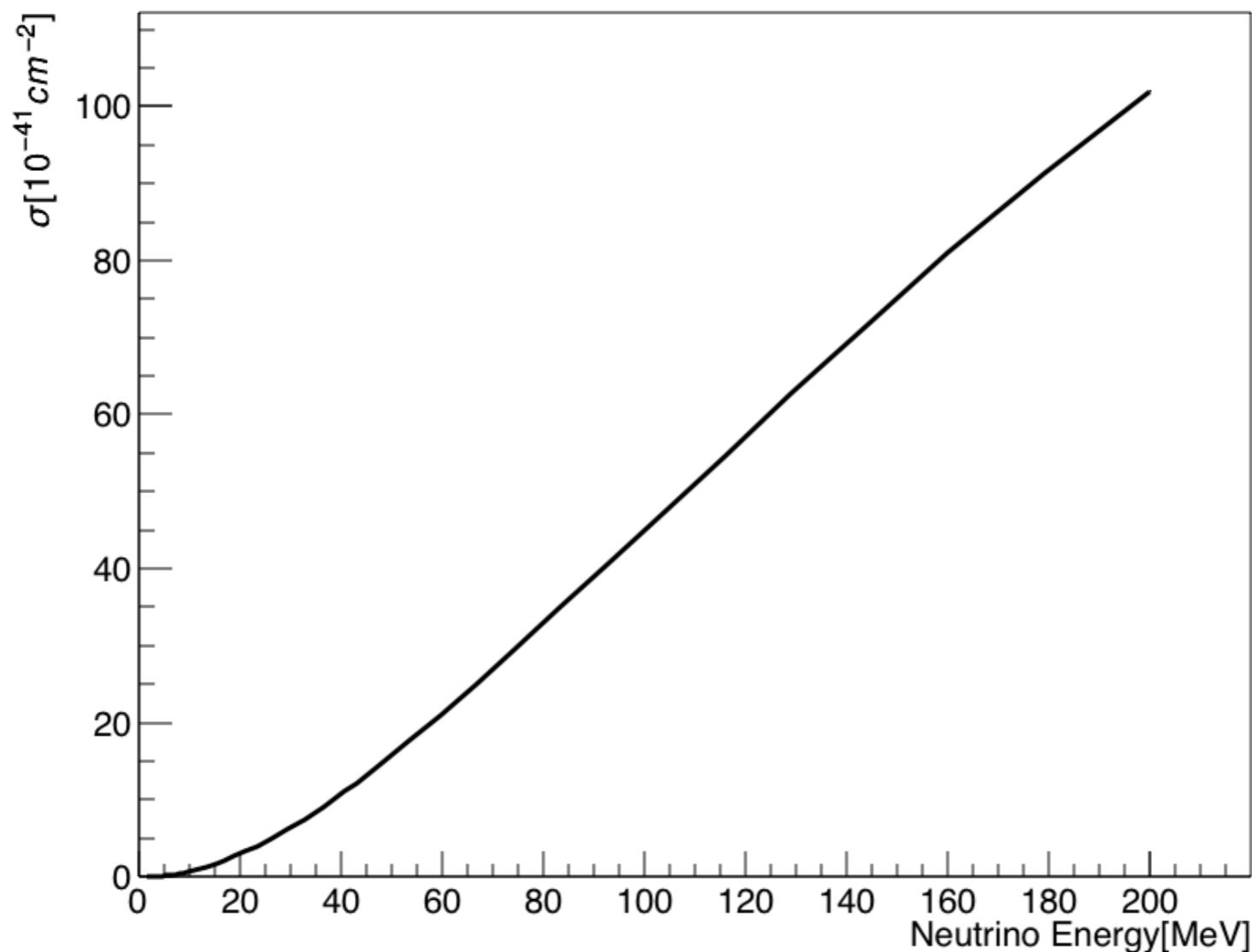


2nd choice

24th solar cycle

analysis period : 2013 ~ 2015





“Precise quasielastic neutrino/nucleon cross-section”  
Alessandro Strumia , Francesco Vissani