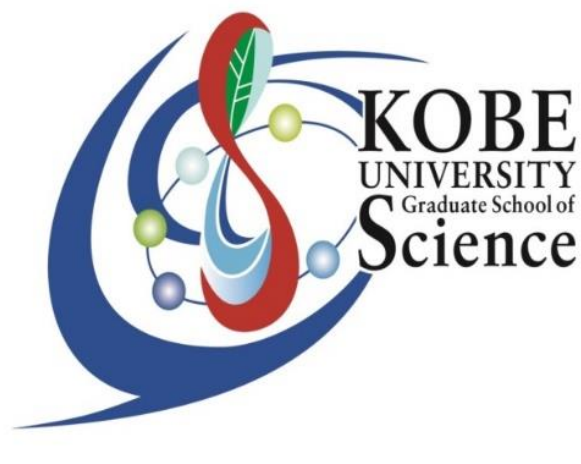




Search for neutrinos associated with solar flares in the Super-Kamiokande detector

科研費
KAKENHI

J17K17880, 18H05536,
20K03998, 21K13942
(中野に関連する科研費のみ)

Y. Nakano (Kobe University) and K. Okamoto (Kamioka observatory)

ynakano@phys.sci.kobe-u.ac.jp

本研究の一部は論文として出版されています
Solar Physics **295** (2020) 133

Poster番号 P08, 新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」2021年領域研究会 @Online 2021年5月19日-21日

Solar Phys (2020) 295:133
<https://doi.org/10.1007/s11207-020-01706-z>

Development of a Method for Determining the Search Window for Solar Flare Neutrinos

K. Okamoto¹ · Y. Nakano² · S. Masuda³ ·
Y. Ito^{3,4} · M. Miyake⁵ · T. Terasawa⁶ · S. Ito⁷ ·
M. Nakahata^{1,8}

○ 物理背景

- 太陽フレアは太陽表面での磁気エネルギーから運動(熱)エネルギーへの変換。
→ 典型的には 10^{29} - 10^{32} erg のエネルギーを 100-1000 秒程度で放出。
- 太陽フレア周辺では、太陽大気の荷電粒子 (電子, 陽子, イオン) が加速される。

○ 研究の目的

- 太陽フレア由来のニュートリノ探索を行うことで、
陽子加速の機構, 加速場所, 相対論的なエネルギーに達する時間スケールを解明する。

1. 背景と目的

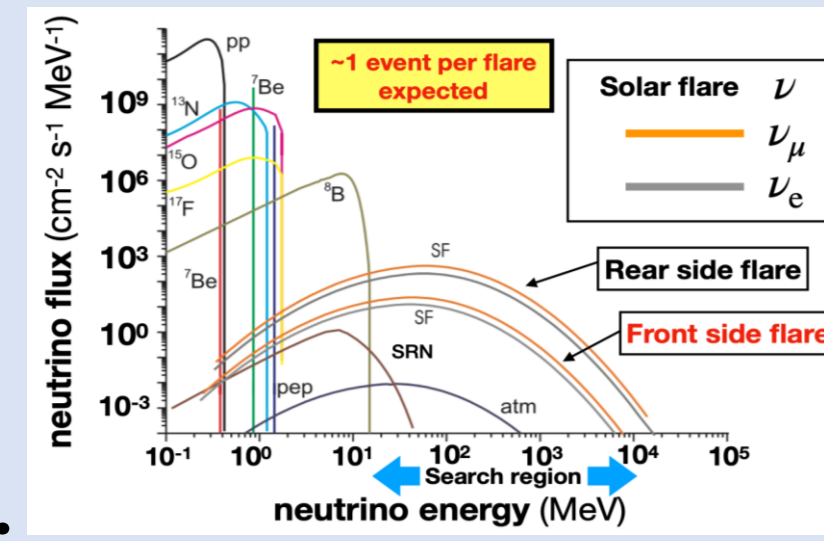
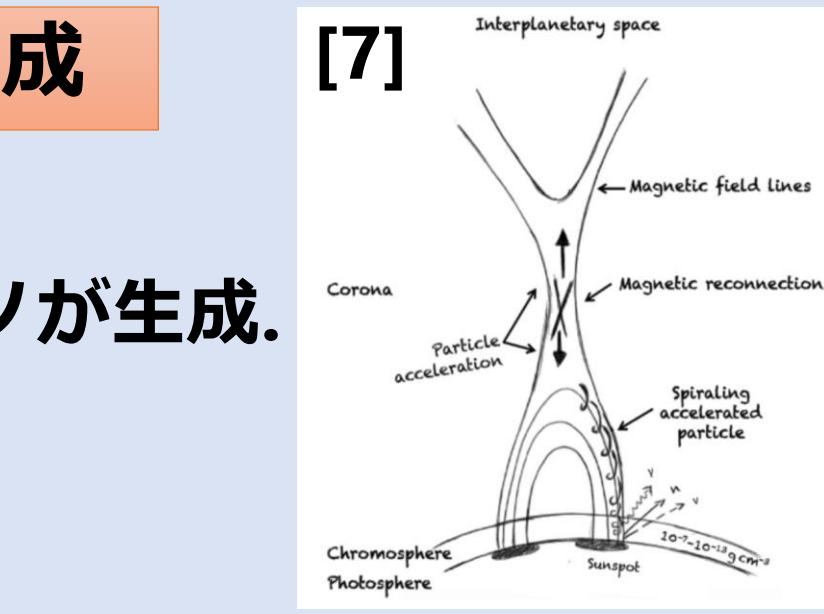
2. 太陽フレアとニュートリノ生成

○ ニュートリノ

- 太陽フレア (磁気リコネクション)により、陽子が加速。
→ (300MeV 以上で)パイオンの発生 → 崩壊からニュートリノが生成。
- MeV領域でニュートリノは生成されている (はず) [1]。

○ 過去の探索結果と問題点

- 異なる太陽フレアを選択. ニュートリノの観測例はない。
→ Homestake, LSD, Kamiokande, SNO, Borexino, IceCube, KamLAND [2-8].
- 問題点: S/N比が悪い. 探索用の時間幅の選択が共通でない。
→ SNO: soft X-rayの増光時を選択 (電子由来の放射)
→ IceCube: 中性パイオンの観測時刻 (例が少ない)
- ニュートリノの生成時刻 (陽子の加速) を選択する必要がある。

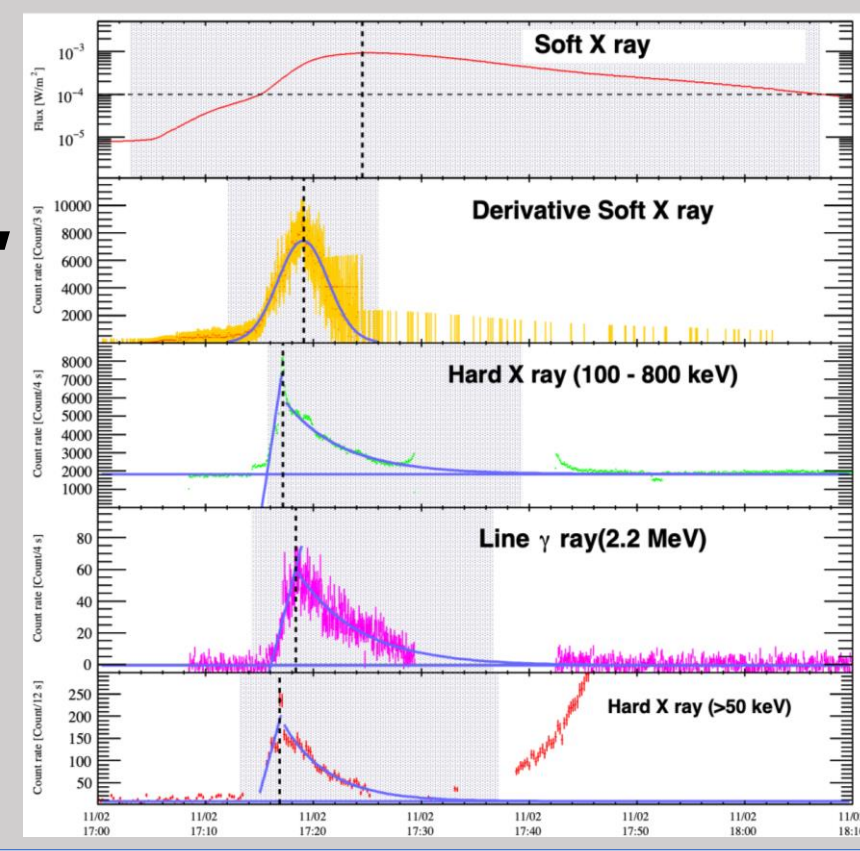


3. ニュートリノ探索用の時間設定

○ 宇宙衛星

- GOES (soft X-ray), RHESSI (Hard X-ray, Line gamma-ray), Geotail (soft gamma-ray) を利用。
→ 光度曲線から、電子や陽子の加速時刻を推測。

探索時間に関する議論は
質問をお願いします。



○ 時間設定の結果

- SK稼働以降 (1996-2018)に発生したX5.0を超える
23の太陽フレアに関して探索時間幅を決定 [右上の論文]。

4. Super-Kamiokande実験による探索結果

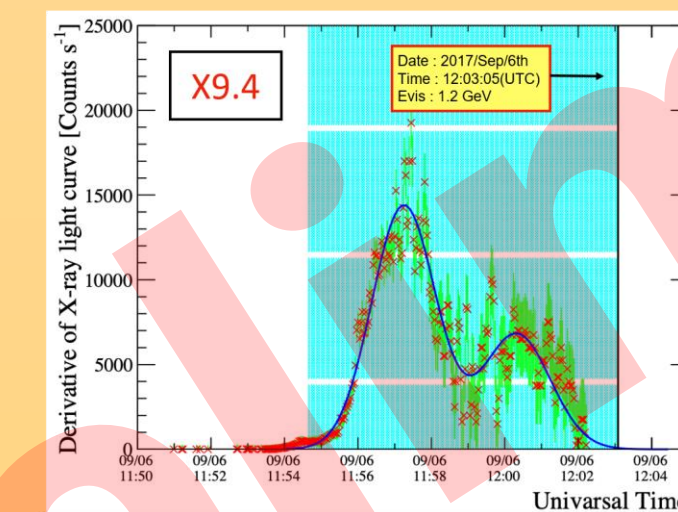
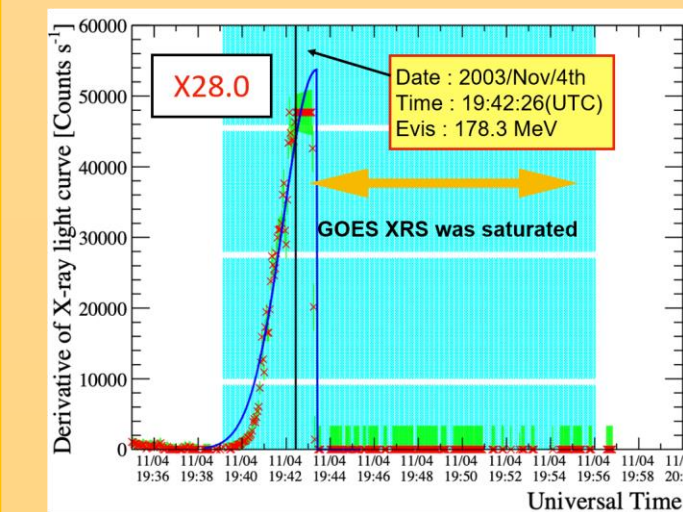
○ SK実験

- 5万トンの水チェレンコフ検出器で、MeV-GeV の相互作用を観測対象 [9,10].
- 太陽フレア由来のニュートリノ検出は、本質的に大気ニュートリノと区別がつかない。

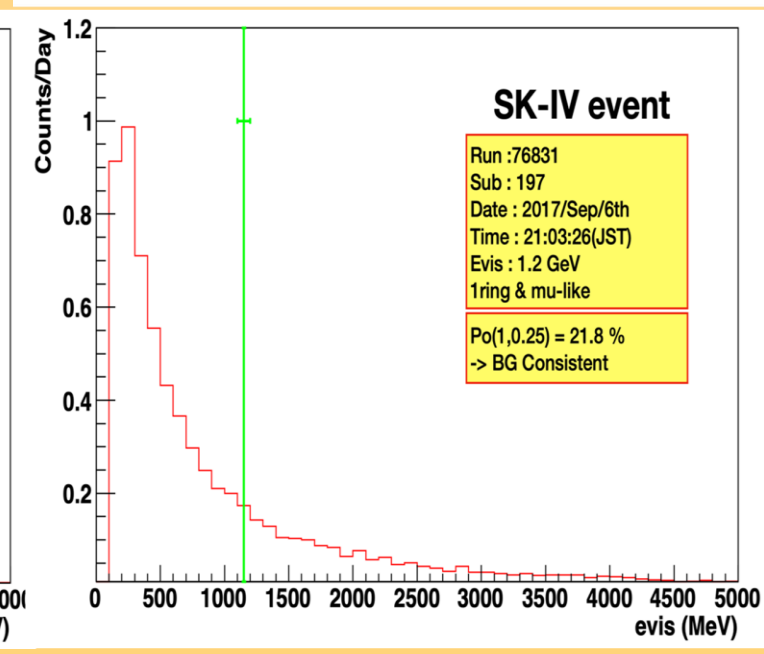
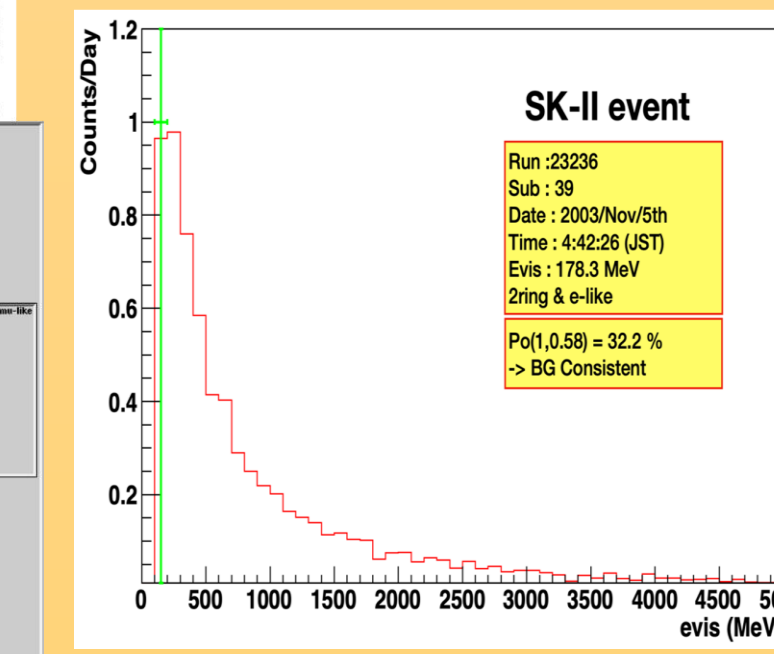
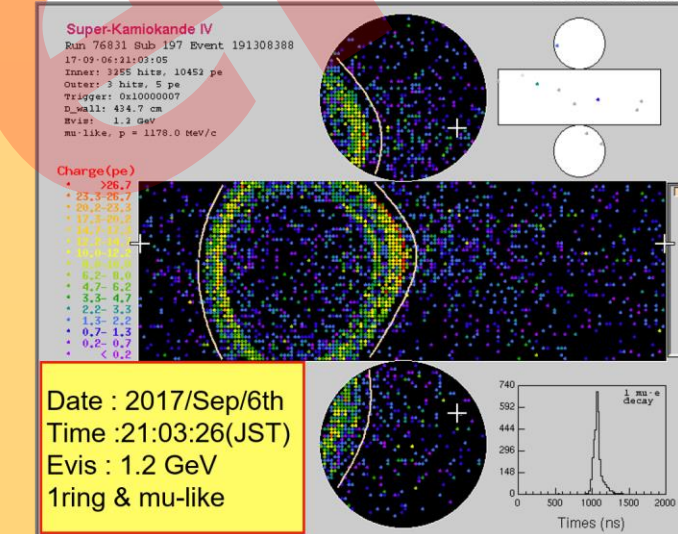
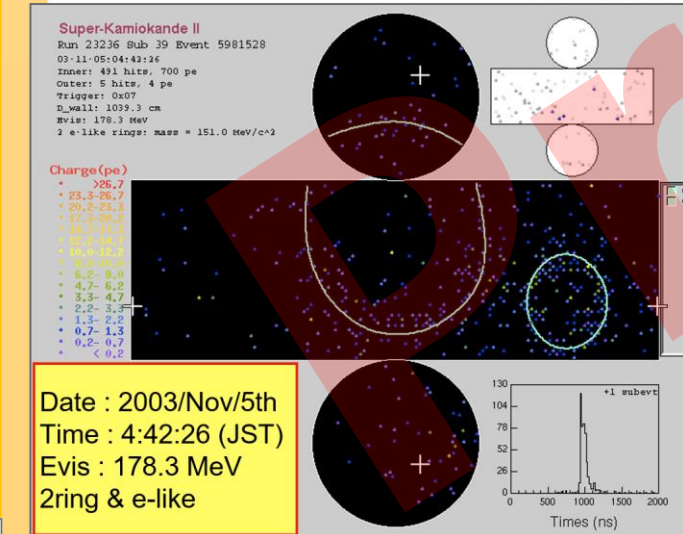
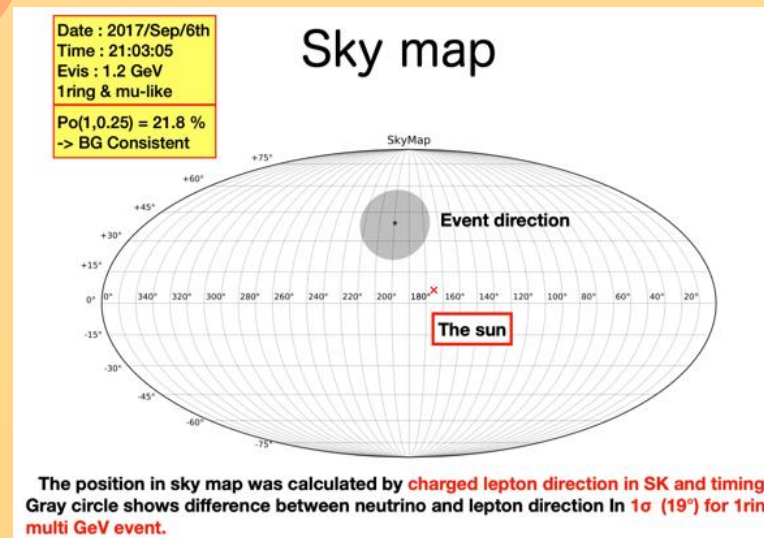
Period	BG event during flare (16 MeV ~ 100MeV)	BG event during flare (100MeV ~ 10 GeV)
SK I	0.08 event / 3391 sec	0.29 event / 3391sec
SK II	0.02 event / 6786 sec	0.58 event / 6786 sec
SK III	0.02 event / 1020 sec	0.09 event / 1020 sec
SK IV	0.007 event / 3105 sec	0.25 event / 3105 sec

○ 観測結果

- SK-IからSK-IVまでの観測データからニュートリノを探索 → 2つの観測例。
→ 2003年11月4日 (X28, SK-II), 2017年9月6日 (X9.4, SK-IV).
- BGである確率は 32.2%, 21.8% (BG consistent).



探索結果に関する議論は
質問をお願いします。



5. まとめ

- 太陽フレア由来のニュートリノは、陽子加速の機構を明らかにするが、観測例が無い。
- S/N比向上のため、ニュートリノが生成される時刻の特定が必須。
- 宇宙衛星の観測データから、陽子が加速された痕跡を調査し、探索時間を設定した。
- Super-Kamiokande検出器を用いて、ニュートリノ探索を実施した。
→ 観測例が2つあったが、BGで説明できる確率が 32.2%と21.8%だった。
- 現在、エネルギースペクトルや粒子の流束 (Fluence) に関する研究を進めている。

Reference: [1] Chin. J. Astron. Astrophys. **3** (2003) 75. [2] Prog. Part. Nucl. Phys. **32** (1994) 13-32. [3] Astrophys. J. **382** (1991) 344. [4] Phys. Rev. Lett. **61** (1998) 2653. [5] Astropart. Phys. **55** (2014) 1-7. [6] Astropart. Phys. **125** (2021) 102509. [7] Phys. Rev. D **103** (2021) 102001. [8] [astro-ph] arXiv:2105.02458. [9] Nucl. Instrum. Meth. A **501** (2003) 418-462. [10] Phys. Rev. D **94** (2016) 052001.