

スーパーカミオカンデにおける 太陽フレアニュートリノの探索

名古屋大学 M1 三宅正人
2010年8月2日
Summer School

目次

- 太陽フレアニュートリノ
- スーパーカミオカンデ(SK)について
- まとめ



太陽フレアニュートリノ

太陽フレアとは

太陽大気でおこる爆発現象

あらゆる波長（電波から γ 線まで）の電磁波が、数分から数時間にわたって増光する。

エネルギー

□ $10^{27} - 10^{33} \text{ erg}$

マグニチュード8の地震のエネルギーの10万倍から1億倍

□ (現在の)太陽系で最大規模の爆発現象

□ エネルギー源は磁場

フレアに伴って高エネルギー粒子を生成

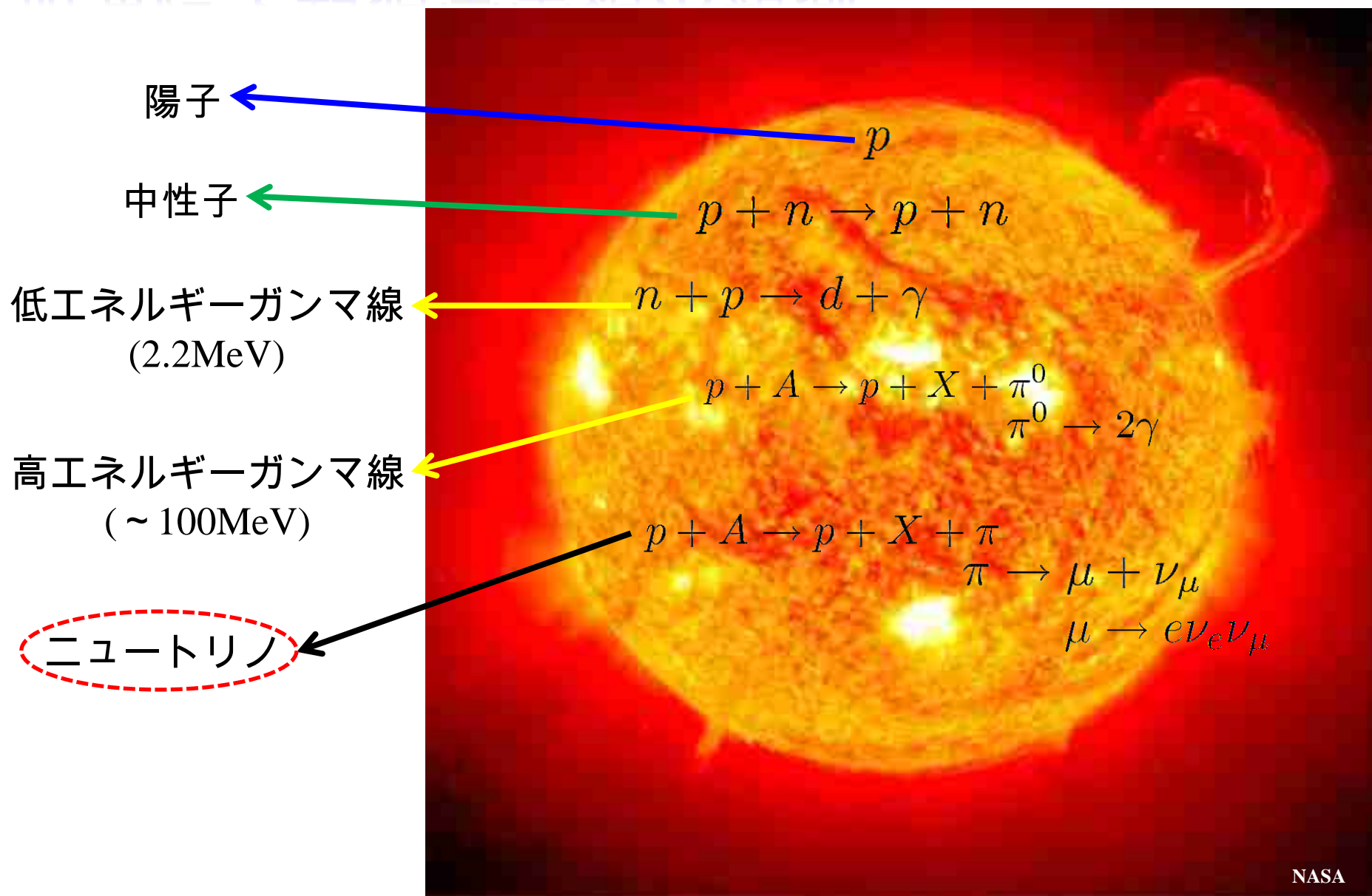
□ 最高エネルギー

イオン $10^9 - 10^{10} \text{ eV}$

電子 $10^7 - 10^8 \text{ eV}$

X線は電子加速を見ている。では、陽子加速は？

加速陽子起源宇宙線の観測



ニュートリノでの観測

ニュートリノ

- 電荷を持たない(中性)
- 質量がほとんどない
- 弱い相互作用
- 崩壊することなく安定している
- 3種類(ν_μ, ν_e, ν_τ)ある

ニュートリノでの観測の特徴

- 電荷を持たない ⇒直接観測は無理
- 崩壊することなく安定しているのでニュートリノのみ考えればいい
- 太陽の裏側からの太陽フレアによるニュートリノをつかまえられる



スーパーカミオカンデ

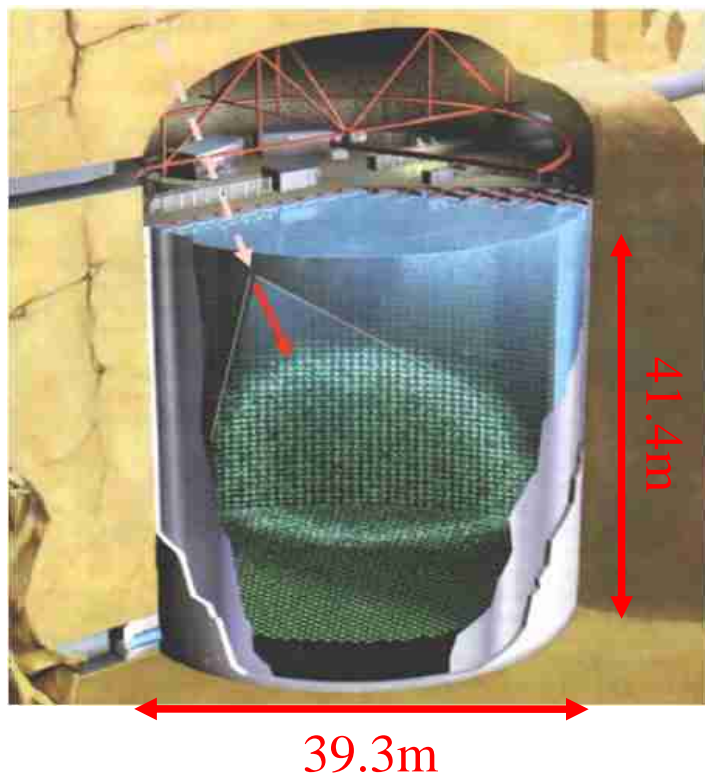
(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

SUPER-KAMIOKANDE (SK)

SUPER Kamioka Nucleon Decay Experiment SUPER Kamioka Neutrino Detection Experiment

岐阜県の神岡鉱山、地下1000mに設置された水チェレンコフ検出器。現在は、主にニュートリノ起源反応検出を通して、宇宙、素粒子に関する様々な研究が行われている。

5万トンの純水をたくわえた直径39.3m、高さ41.4mの円柱形の内水槽の壁面には1万本以上の光電子増倍管(PMT)が備え付けられている。



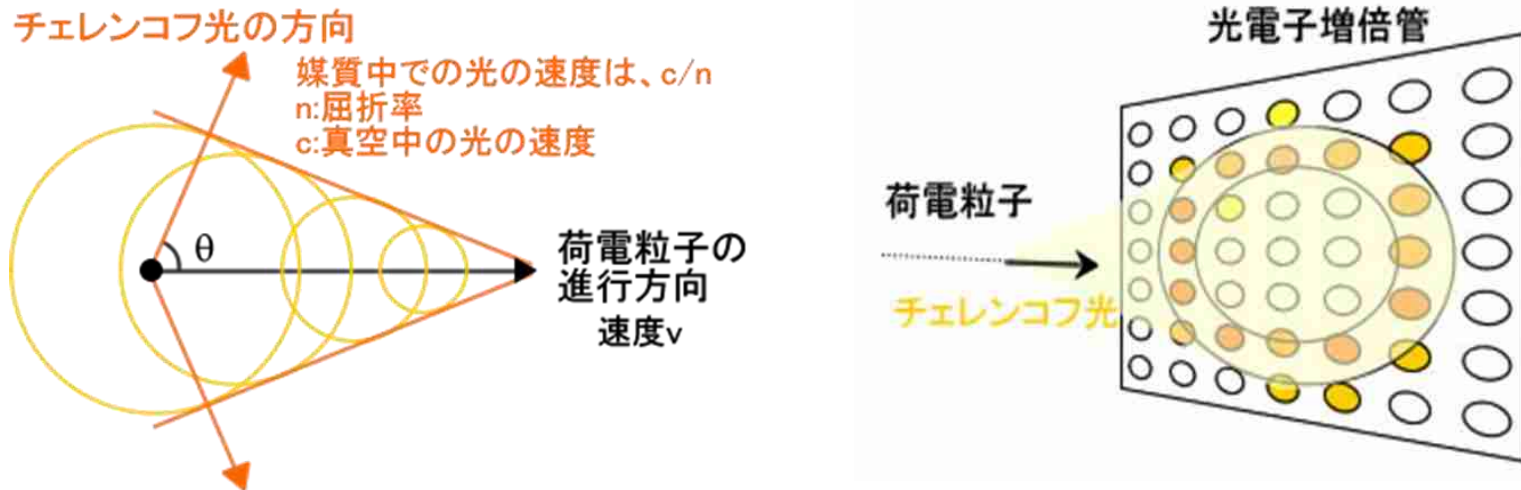
直径	39.3m
高さ	41.4m
全容積	純水:50,000t
総PMT数	13,014本

チェレンコフ光によるニュートリノ観測

□ 稀に起こるニュートリノと電子などとの散乱からでる荷電粒子を観測

チェレンコフ光

□ 物質中での粒子の速度がその物質中の光速度を超えた時に出す放射光



荷電粒子と放出光子の間には、

$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta}$$

が成り立つ。

荷電粒子がほぼ光速 $\beta \sim 1$ と仮定すると、
純水の屈折率は $n \sim 1.34$ であるので、
 $\theta \sim 42^\circ$ となる。 (@SK)

ニュートリノの検出

どうやって ν を検出するのか？

電子などとの散乱からでる荷電粒子が物質中を進む際に発生するチェレンコフ光を観測することにより、間接的に観測する。

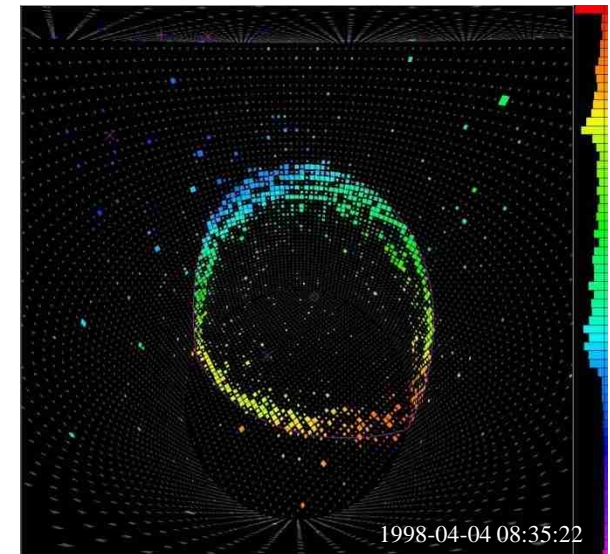
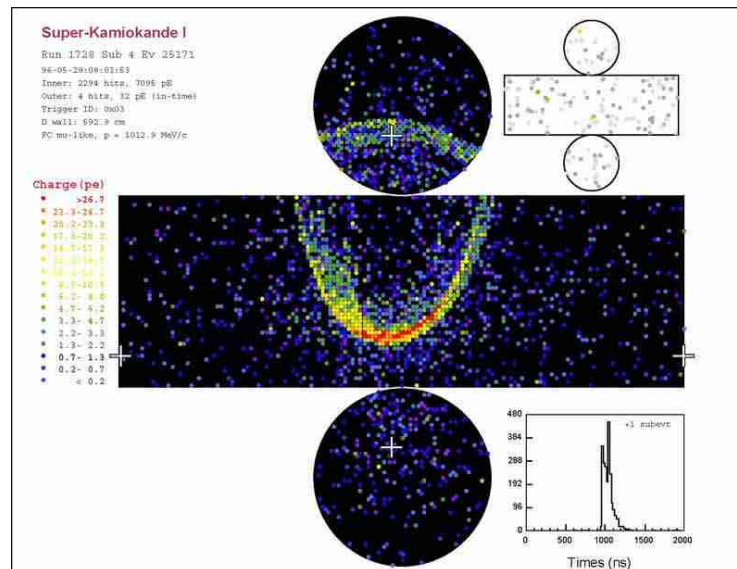
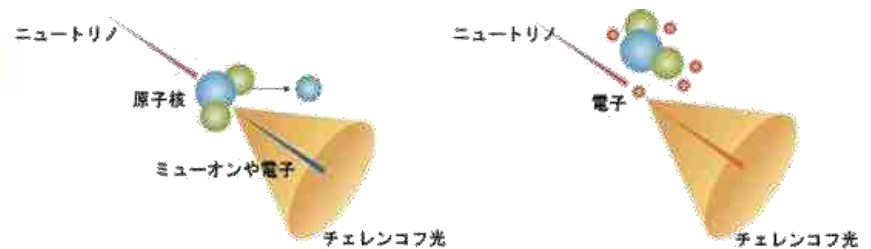
電子との散乱

$$\nu_e + e \rightarrow \nu_e + e, (\nu_\mu + e \rightarrow \nu_\mu + e)$$

陽子、原子核との散乱

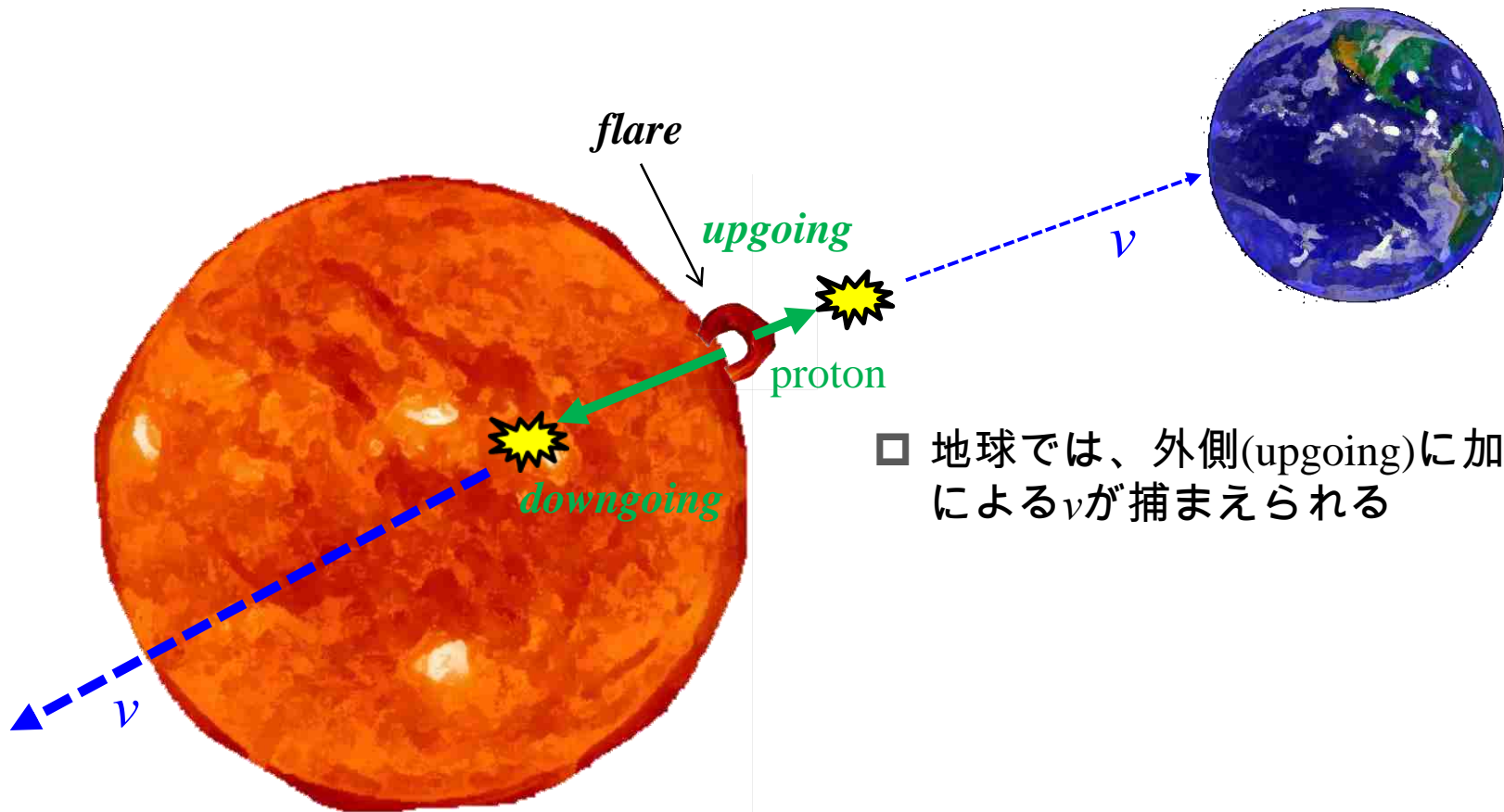
$$\nu_e + p \rightarrow e^+ + n$$

$$\nu_e + A \rightarrow \nu_e + A'$$



太陽フレアニュートリノ

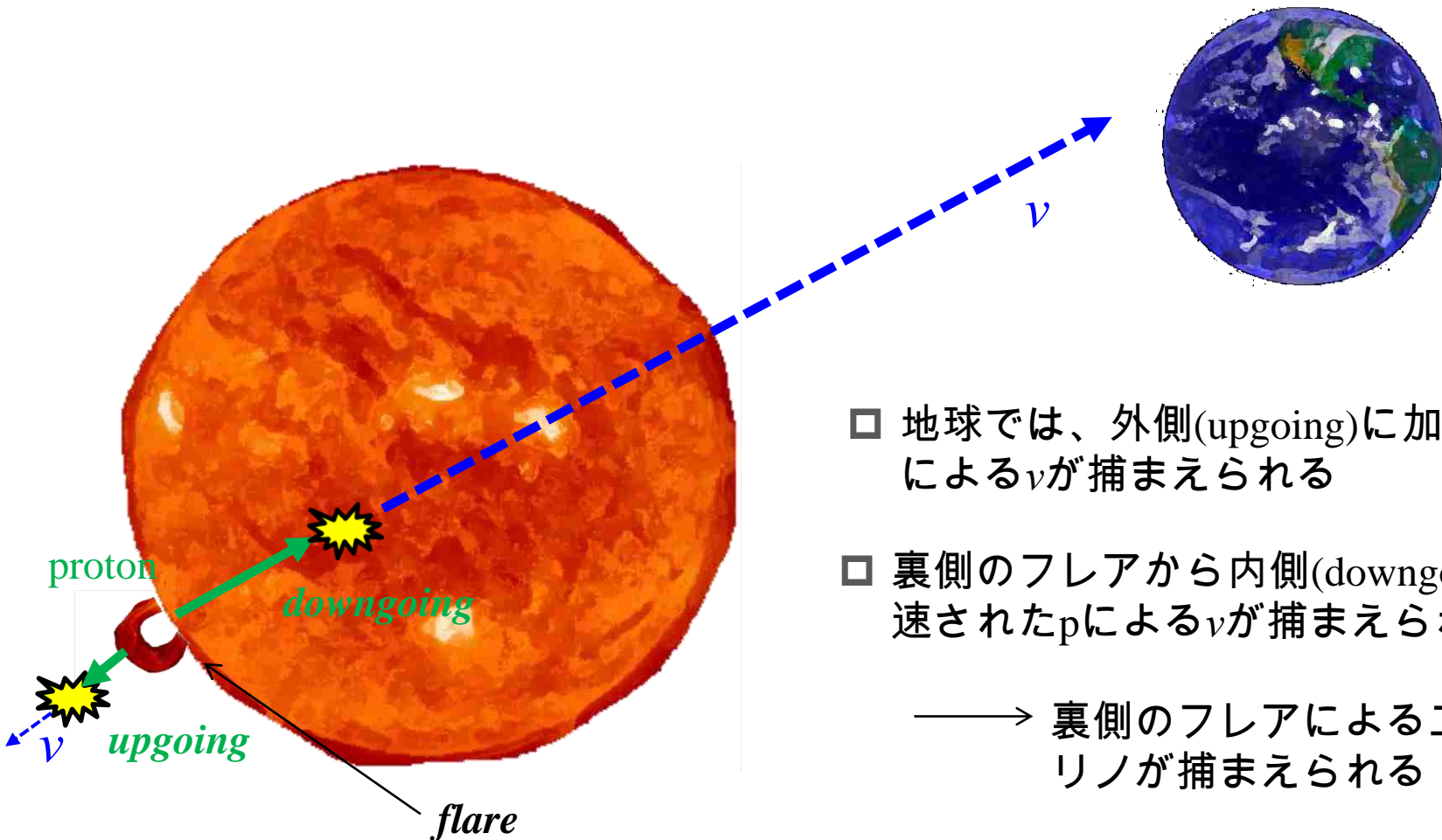
太陽フレアによってプロトンが加速されるとき、
プロトンは内側(downgoing)と、外側(upgoing)に加速される。



- 地球では、外側(upgoing)に加速されたpによる ν が捕まえられる

太陽フレアニュートリノ

太陽フレアによってプロトンが加速されるとき、
プロトンは内側(downgoing)と、外側(upgoing)に加速される。

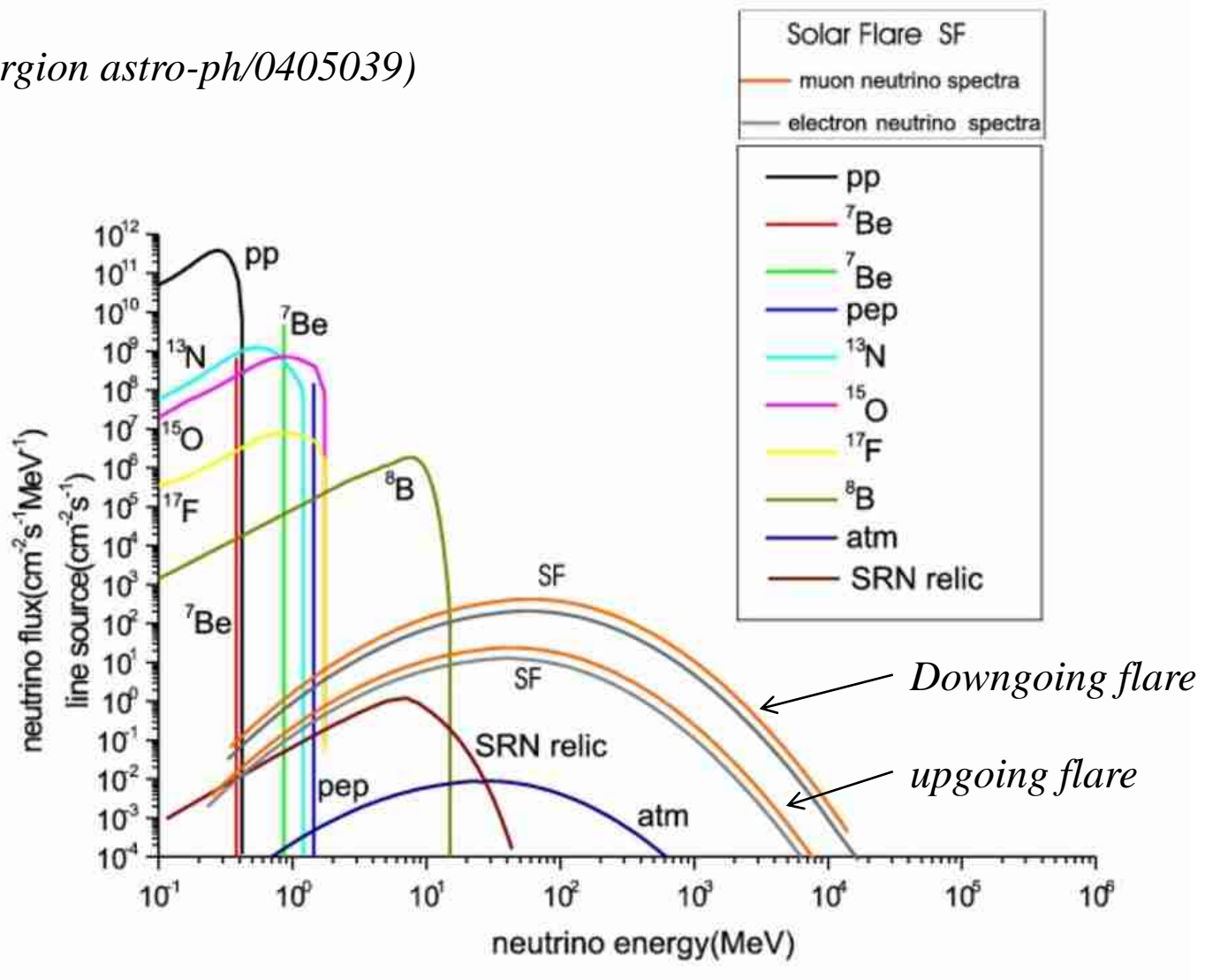


- 地球では、外側(upgoing)に加速されたpによる ν が捕まえられる
- 裏側のフレアから内側(downgoing)に加速されたpによる ν が捕まえられる

————→ 裏側のフレアによるニュートリノが捕まえられる

太陽フレアで期待されるニュートリノフラックス

(Fargion astro-ph/0405039)



まとめ

太陽フレアニュートリノ

- ニュートリノと π は太陽フレアでの陽子加速時に必ず出ているはずである

——→ 陽子加速を知ることができる

- 太陽の裏側からくるニュートリノが観測できれば太陽の裏側のフレアが観測可能になる

今後、

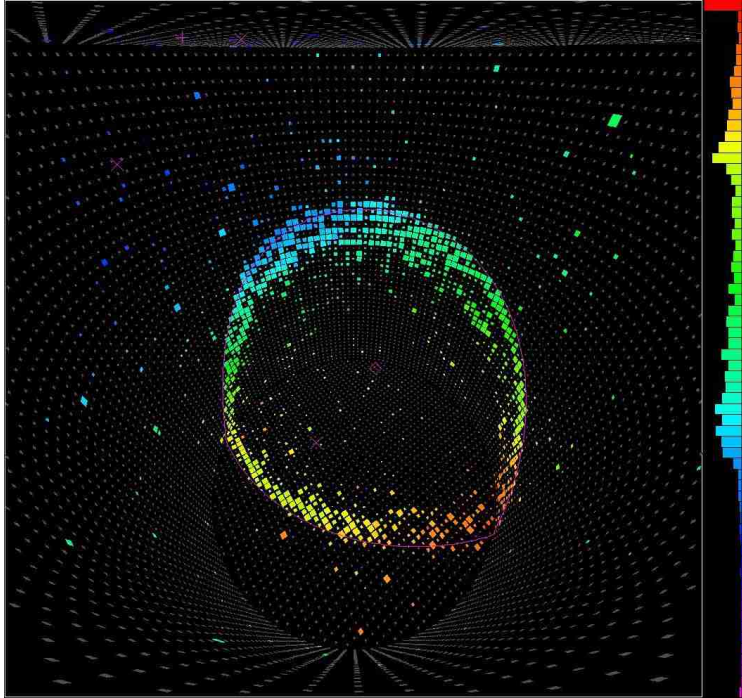
スーパーカミオカンデでの太陽フレアニュートリノの探索

- 太陽フレアの放出時間を他の情報で限定した解析が必要

——→ 核ガンマ線のデータから加速の起こった時間のみを解析する

- フレア継続時間中に起こったニュートリノ頻度と通常の場合との差を見る

μ -like ring



This event occurred at 1998-04-04 08:35:22. It was reconstructed as a muon with momentum of 603 MeV. The time scale width is 162 ns. This event was followed by another event (not shown) 4 μ s later which was caused by an electron produced by the decay of the stopped muon. This gives us an additional confirmation that this is a muon.

地球上のニュートリノ

- 太陽ニュートリノ($\sim 10\text{MeV}$)660億/($\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
- 大気ニュートリノ($\sim 100\text{MeV} \sim \text{TeV}$)($\sim \text{GeV}?$)1個/($\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$)
宇宙線と大気分子との反応で生成されるニュートリノ
- 地球(原子炉)ニュートリノ($\sim 3\text{MeV}$)400万個/($\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$)
- 超新星ニュートリノ($\sim 20\text{MeV}$)660億個/($\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$)
- 宇宙背景ニュートリノ($\sim \text{MeV}$)10兆個/($\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$)

太陽フレアと粒子加速

フレアのエネルギー源は何か？
黒点周辺（「活動領域」）でよくおこる
黒点数とフレア数とはよい相関
エネルギー源は磁場

近年の「ようこう」, 「ひので」といった太陽衛星観測により、太陽フレアや太陽ジェットの基本性質と磁気リコネクションの証拠が明らかになりつつある。しかしながら磁気リコネクションと太陽粒子加速との関係は今だに未解決問題の1つである。

加速流域はループ上空

磁気リコネクション？ MHD乱流？ 衝撃波？

