

SEDA-APによる高エネルギー中性子の計測

古賀清一, 五家建夫(PI), 松本晴久, 小原隆博(JAXA),
村木 綏, 山本常夏(甲南大学理工)

目次

- 1. 歴史的経緯 (1991-2009)
- 2. 宇宙での中性子計測の意義
- 3. 観測装置の紹介 : EM, FMの性能
- 4. データ取得法 : 2009年7月16日にシャトルにより暴露部に設置
- 5. 得られたデータの紹介
- 6. ISS環境の中性子のエネルギー分布
- 7. 太陽中性子の解析

2009年3月20日@日本物理学会

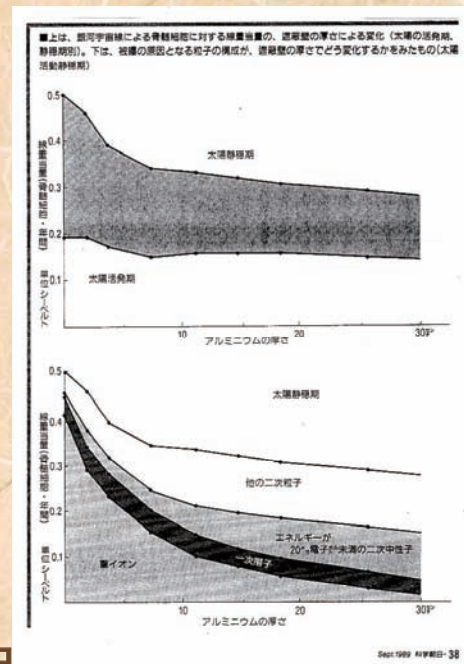
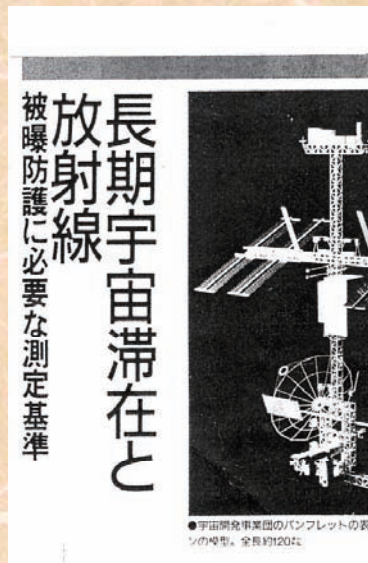
2010年10月19日@第7回宇宙環境シンポ

宇宙ステーションの課題に採択されるまでの経緯

- 1991年12月から1992年3月の間、宇宙環境計測装置の外部アドバイザーグループを設置し、JEM運用上必要な環境データ、宇宙実験に必要な環境データについて計測項目の洗い出し、計測の意義と特徴、計測対象の要求計測範囲と精度についてサーベイ研究を行い、20項目の計測項目をユーザ要求としてまとめた。
- 1994年度から産学官の19名によるフロンティア共同研究がスタート。(研究テーマは)
 - ①宇宙環境計測用検出器技術の研究
 - ②宇宙環境計測データ解析、地上試験、宇宙環境のモデル化等に関する技術の研究
 - ③部品・材料に対し宇宙環境が及ぼす影響に関する研究
- 20項目の内から11項目を観測項目として選択した。
特に日本独自の戦略的研究テーマ(いわゆる目玉ミッション)として中性子の計測テーマが優先順位1位に選考された。
提案書完成 → 公募採択委員会へ送付
- 1997年4月、「宇宙環境計測」が暴露部初期利用テーマとして公募課題の中から採択された。
- 1997年5～6月、予算とISSとのI/F設計上の制約から、11項目から8項目に絞り込みが行われた。
- 2001年フライトモジュール(FM)の完成。
- 2009年8月宇宙ステーションに搭載された。(通算で18年の時が流れた！)

宇宙ステーションにおける中性子計測の意義

- 宇宙ステーションの中性子放射環境の計測と被曝線量の導出
(放射線物理)
- 太陽フレアに伴う 大量放射線到来の事前予知
(宇宙天気予報)
- 太陽フレアに伴う 太陽からの中性子の検出と粒子加速機構の実証的説明
(太陽物理、宇宙線物理)



道家忠義・科学朝日
1989年9月号より

100MeV以下の太陽中性子は地球大気で強く減衰する 地上での受信は不可能

- (1) 太陽中性子は質量があるため光速で走れず、エネルギーにより地球への到達時刻が異なる。
- (2) 太陽中性子は飛行中に崩壊するが100MeVでは70%が崩壊するが1GeVになると27%となる。
- (3) 太陽中性子は地球大気で減衰する。100MeV以下では激しくなり地上観測は困難。理由は空気との衝突断面積が急激に低エネルギー側で増大するから。

右の図: 柴田祥一による計算結果
JGR 22 (1994) 6651p.

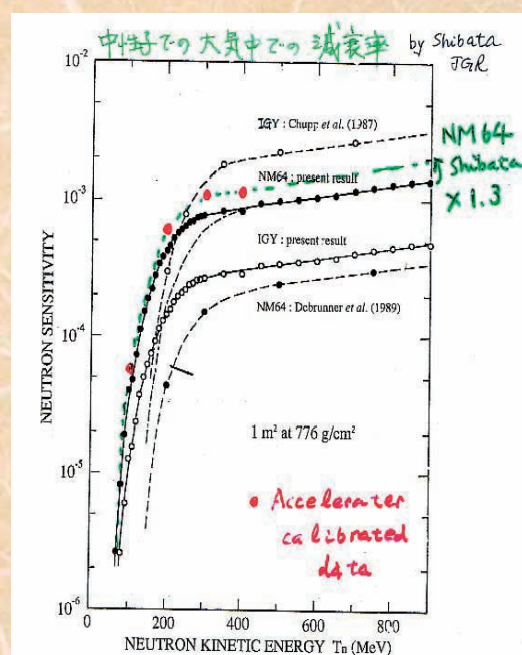


Figure 12. Sensitivity of neutron monitors normalized to 1-m² area. The abscissa indicates the kinetic energy of incident neutrons at the top of the atmosphere. Open circles indicate the IGY neutron monitor, and solid circles indicate the NM64 neutron monitor.

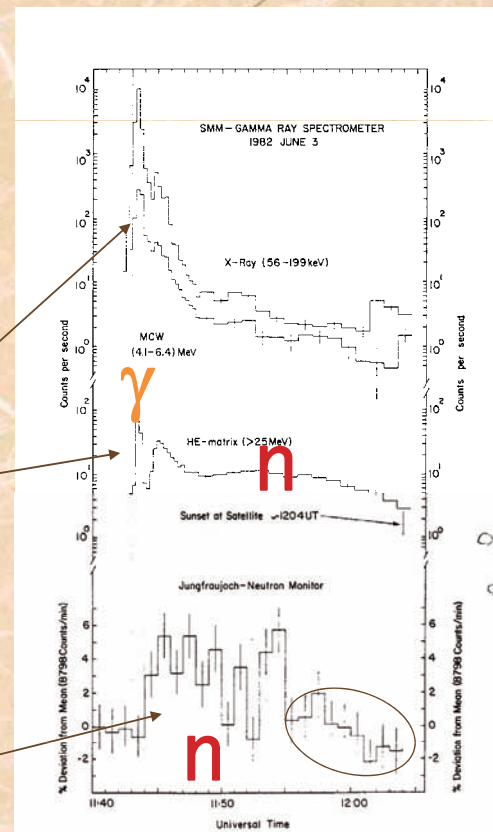
太陽中性子を宇宙で計測する意義

- 太陽中性子観測例(右図)
(1982.6.3に観測)
- 連続加速(shock加速)か?
- 瞬間加速(DC加速)か?
- 中性子のエネルギーを
計測することが肝要

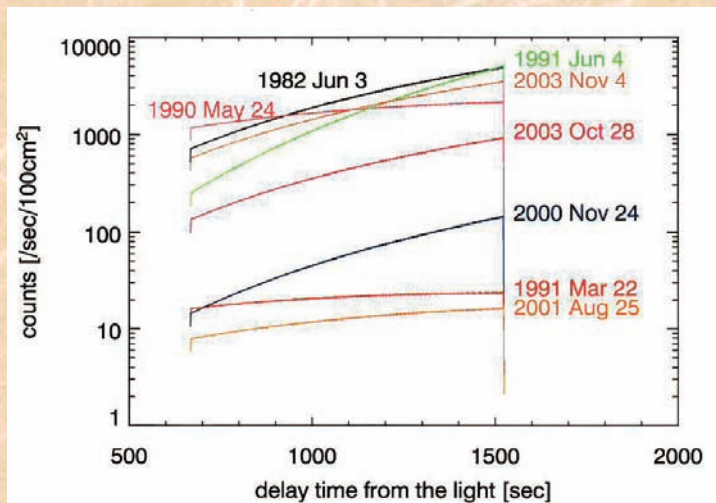
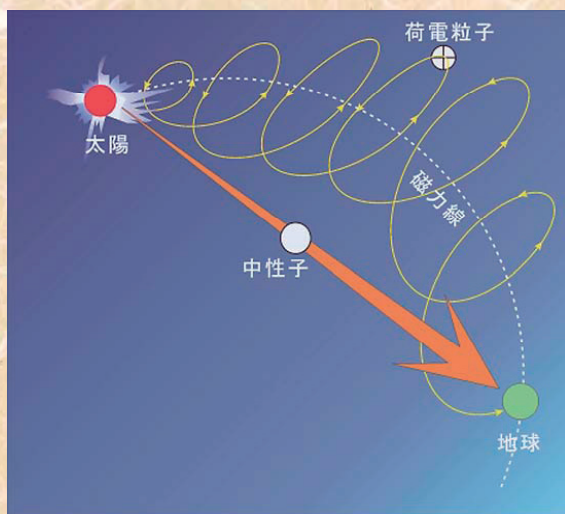
衛星データ

E_n delays
1 GeV → 1min
200MeV → 6min
100MeV → 11min
70MeV → 14min

山上データ



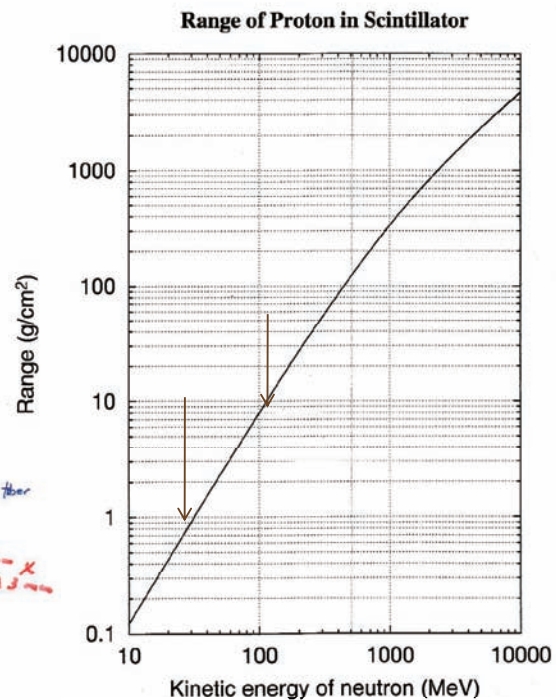
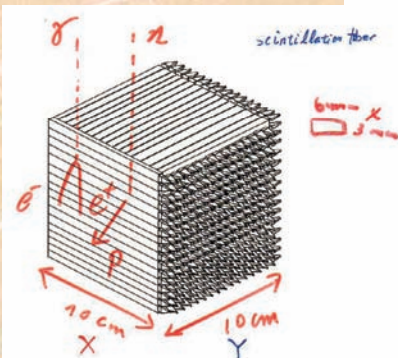
Expected flux of solar neutrons @ SEDA-AP



estimated by Kyoko Watanabe

中性子のエネルギーをどう測るのか？ シンチレーションファイバーで中性子を計測する

- np荷電交換反応を利用して中性子のエネルギーを計測する。
- 荷電交換反応は200MeV位で顕著になる。
- 中性子のエネルギーは陽子のエネルギーとして計測される。
- 陽子の走行距離(飛程 **range**)を測って求める。



理研のproton beamによるEMのエネルギー分解能の計測 1997年からEMの作成とその性能評価の実施



ELSEVIER

NIM A421 (1999) 99.

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 421 (1999) 99–112

NUCLEAR
INSTRUMENTS
& METHODS
IN PHYSICS
RESEARCH
Section A

A new tracking satellite-borne solar neutron detector

I. Imaida^a, Y. Muraki^{a,*}, Y. Matsubara^a, K. Masuda^a, H. Tsuchiya^a, T. Hoshida^a, T. Sako^a,
T. Koi^a, P.V. Ramanamurthy^a, T. Goka^b, H. Matsumoto^b, T. Omoto^b, A. Takase^c,
K. Taguchi^d, I. Tanaka^d, M. Nakazawa^d, M. Fujii^d, T. Kohno^e, H. Ikeda^f

^a Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

^b National Space Development Agency, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

^c Japan Space Utilization Promotion Center, Nishiwaseda, Tokyo 169, Japan

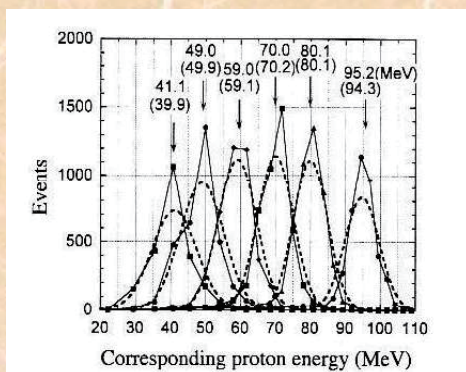
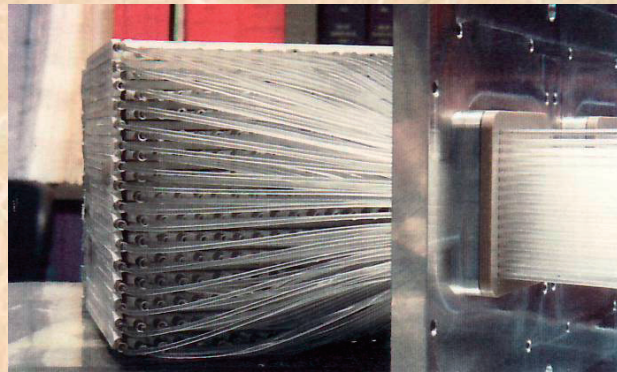
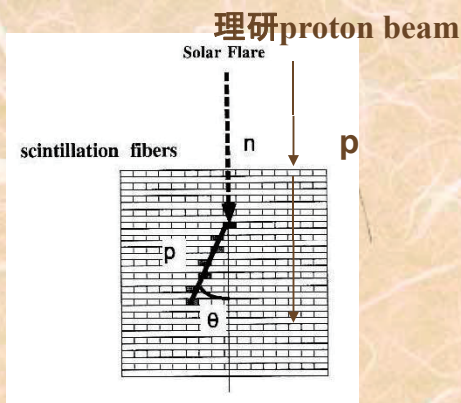
^d Meisei Electric Company, Moriya, Ibaraki 302, Japan

^e Institute of Physical and Chemical Research, Wako, Saitama 351-0198, Japan

^f High Energy Accelerator Research Center Organization, KEK, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

Received 12 June 1998; received in revised form 18 August 1998

Engineering Module のエネルギー分解能の計測結果

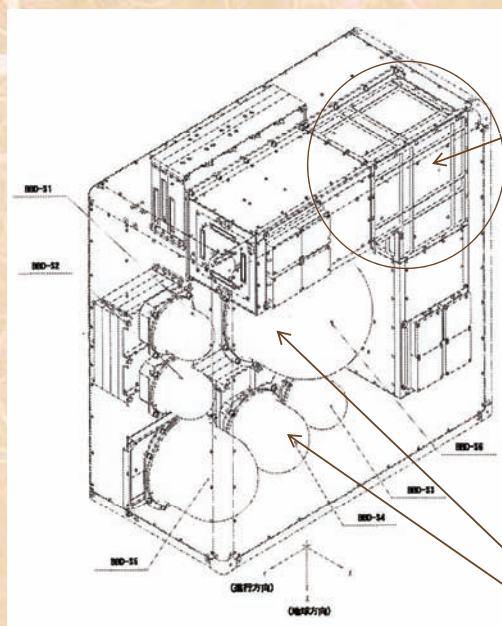


512本のscintillation fiberからの情報を読み取る。

Energy resolution of protons:

$$\Delta E/E = (14/\sqrt{E_p/100\text{MeV}} - 10.3)\%$$

観測装置の外観

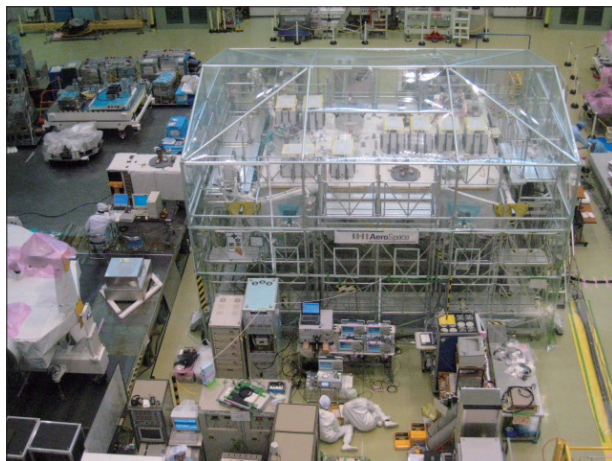


Fiber型測定器
高エネルギー中性子計測用
(30-100MeV)

6面をanti-counterで覆い荷電粒子を排除

256チャンネルのマルチアノード 光電子
増倍管2本からのアナログ信号を
デジタル化して記録

ボナー球測定器
低エネルギー中性子計測用
(0.25eV-10MeV)



シャトルによる打ち上げ

2009年

7月16日 シャトルで打ち上げ

7月25日 暴露部にとりつけ

8月7日 機能点検開始

8月25日 data取得開始

event rate \approx /sec

- 上: end to end test
筑波宇宙センター
(JAXA)での調整

2008年秋

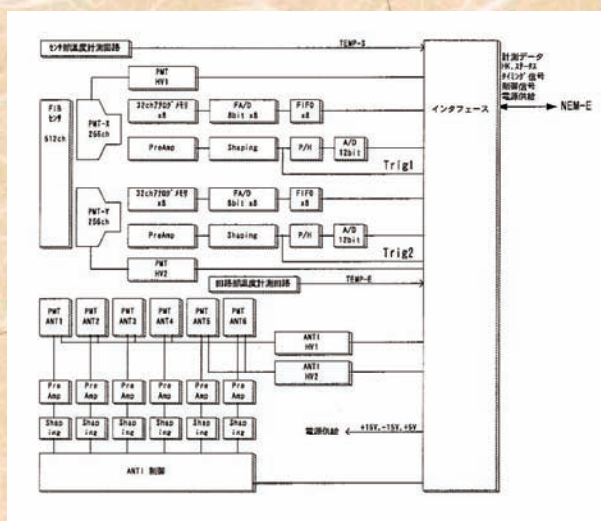
- 右: ISSに搭載
2009年夏



S127E009998

Data taking の実際

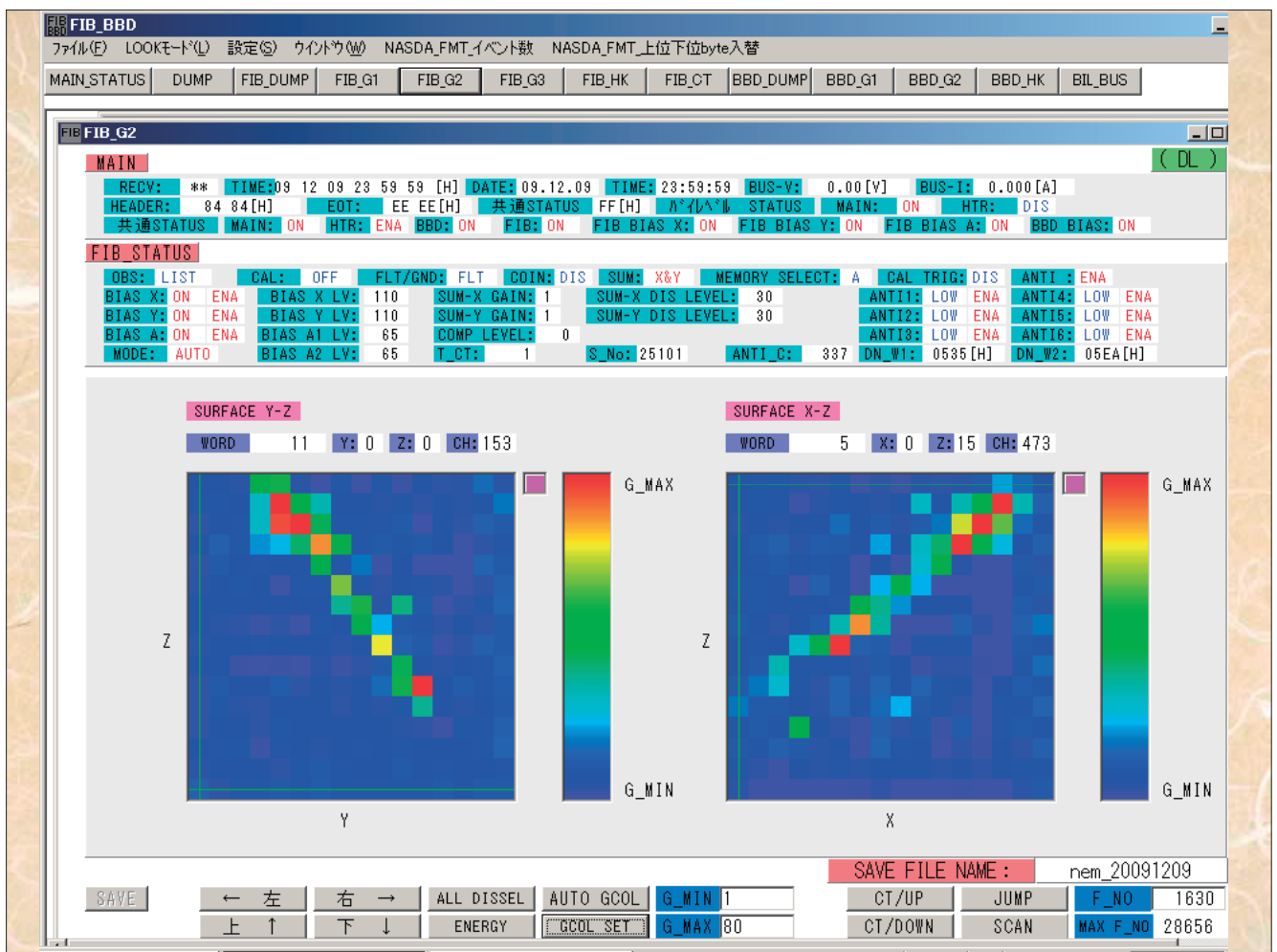
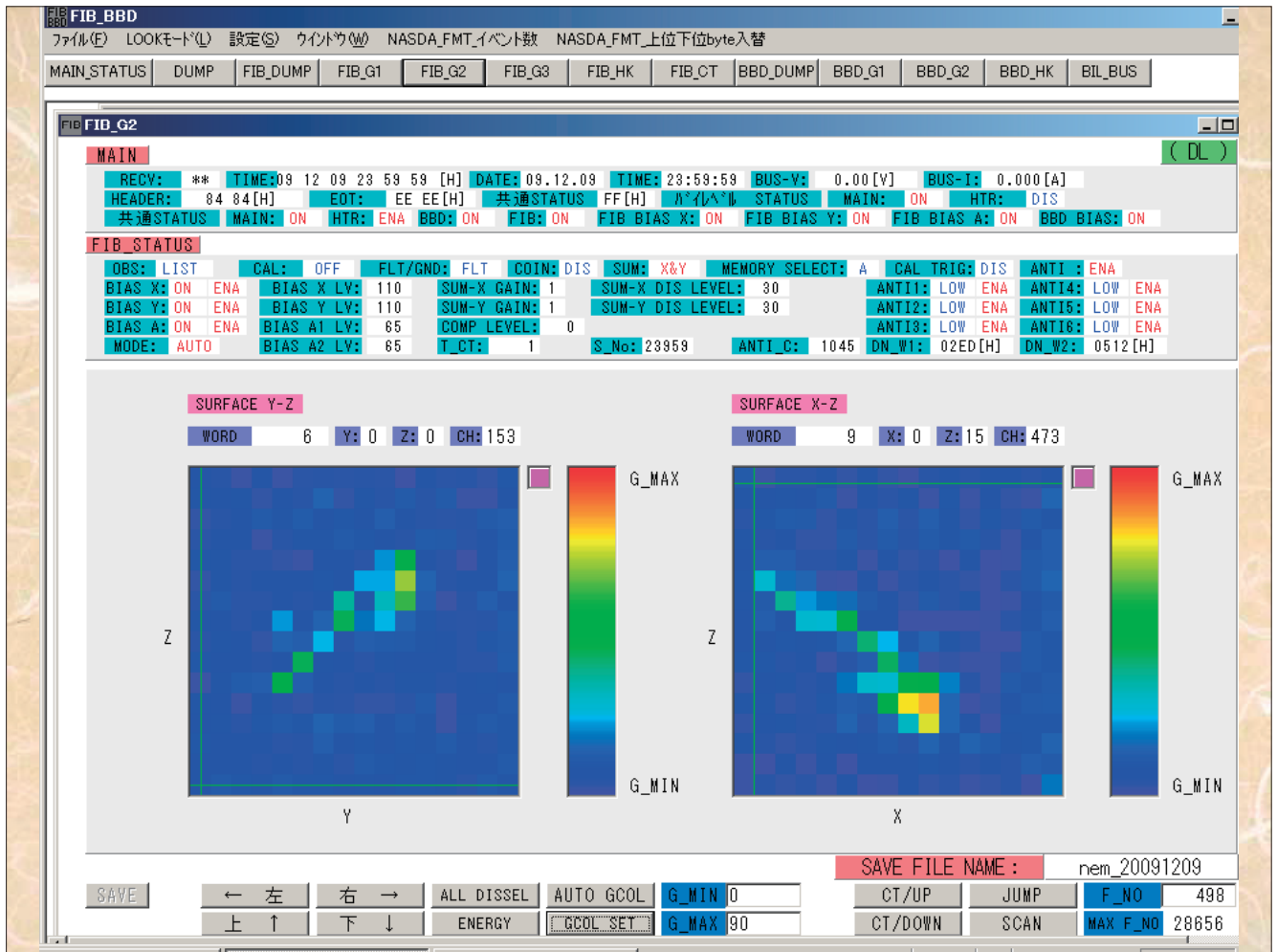
読みだし回路ブロック図



event rateが 15 events/sec以下のときは
512全チャンネルのアナログ量を記録

event rateが 15 events/sec以上のときは
one layerのどこに信号があるかのみを
記録する。

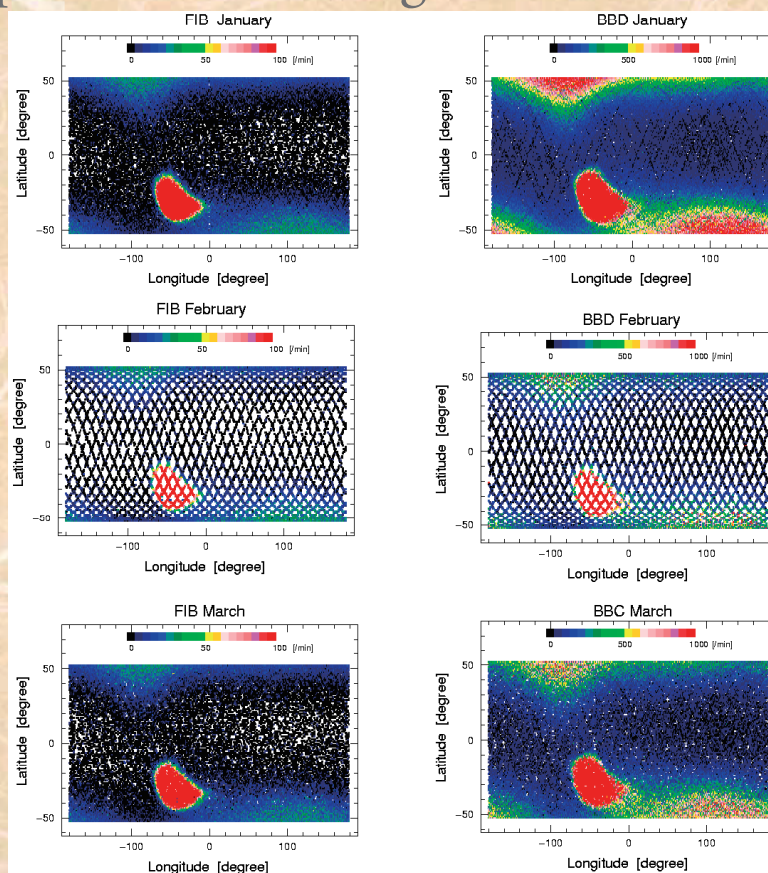
event rateが 64 events/sec以上のときは6
フォトマル全体のdeposit energyのみを
記録する。



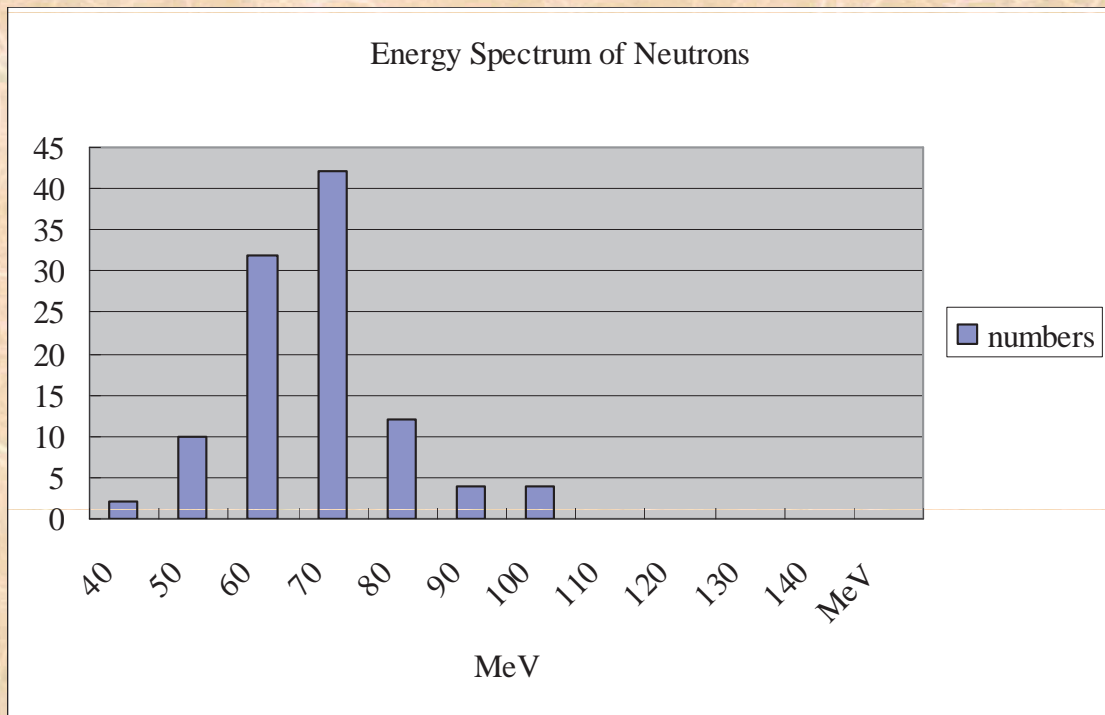
解析したこと

- Background中性子のエネルギー分布を測定した。
主としてそれらは宇宙ステーションの600tの物質に銀河宇宙線が衝突して作りだした2次粒子である。
- また南米上空の異常増加領域の中性子も測定した。
- 2010年2月6-8日に発生したM-class のflareに伴って太陽中性子が生成されたかどうかの検証を行った。

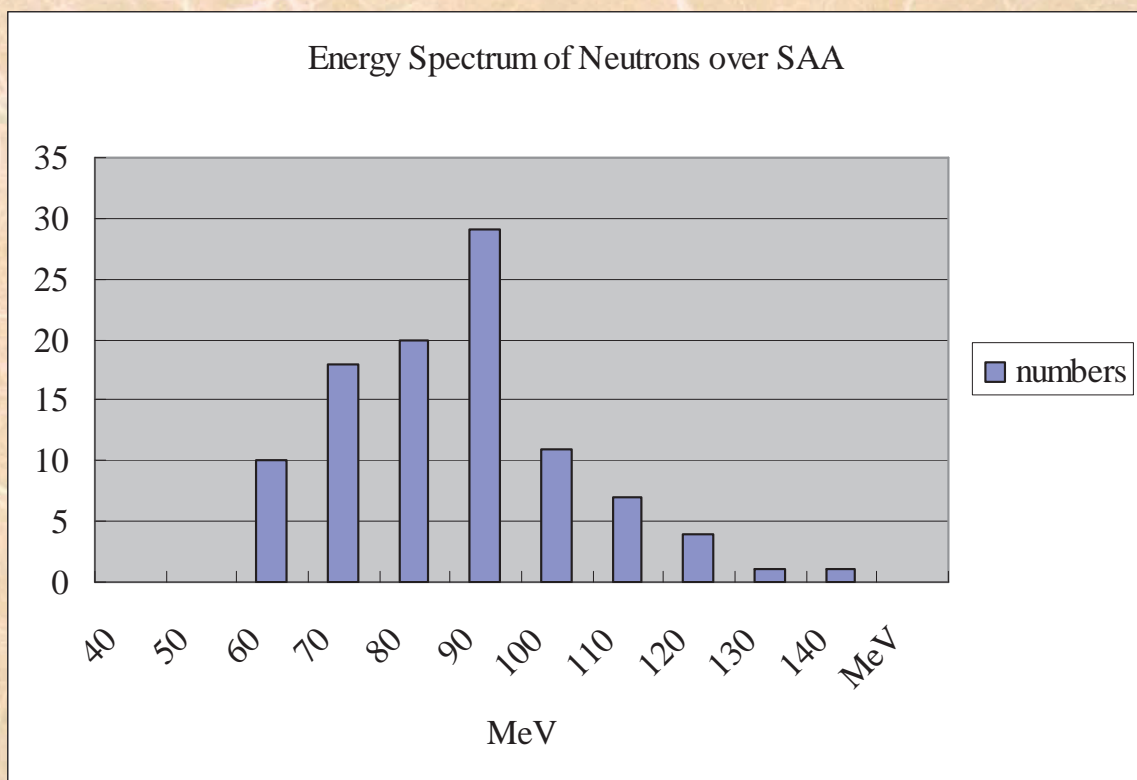
A sample of the counting rate for three months



Neutron energy spectrum from ISS main body.
They were induced by GCR ~ 0.047Hz

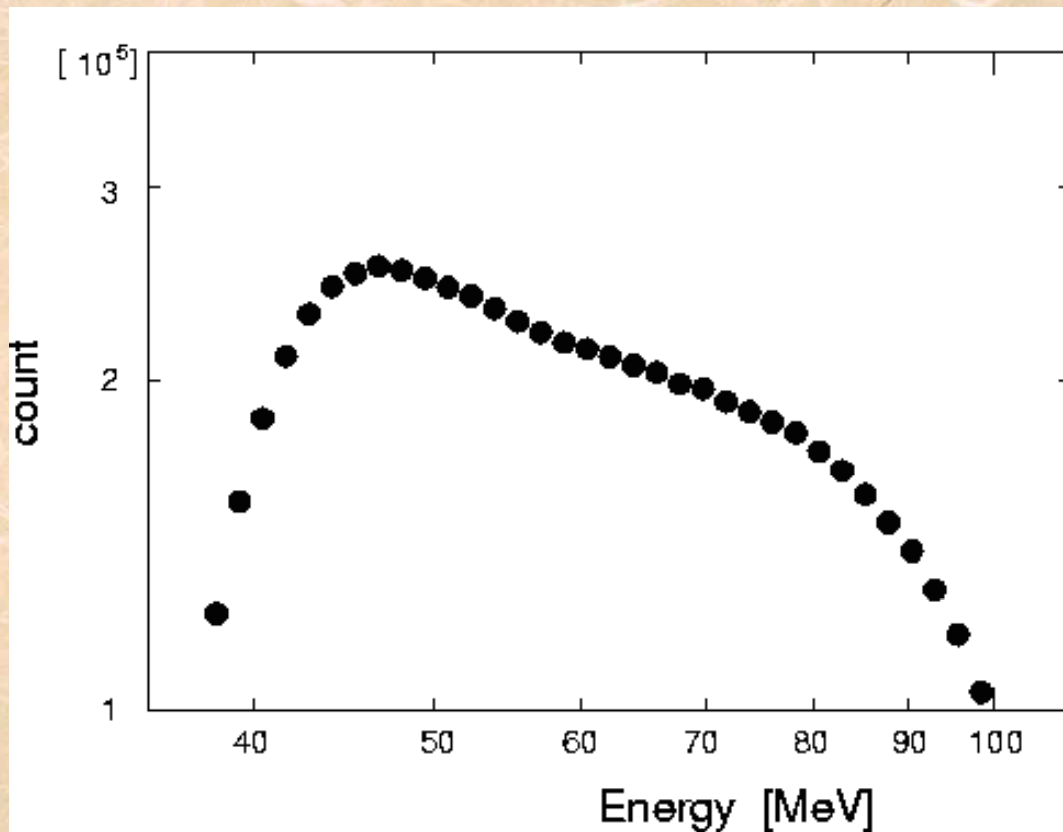


The energy spectrum of neutrons induced
over SAA observed by the FIB detector ~1.7Hz

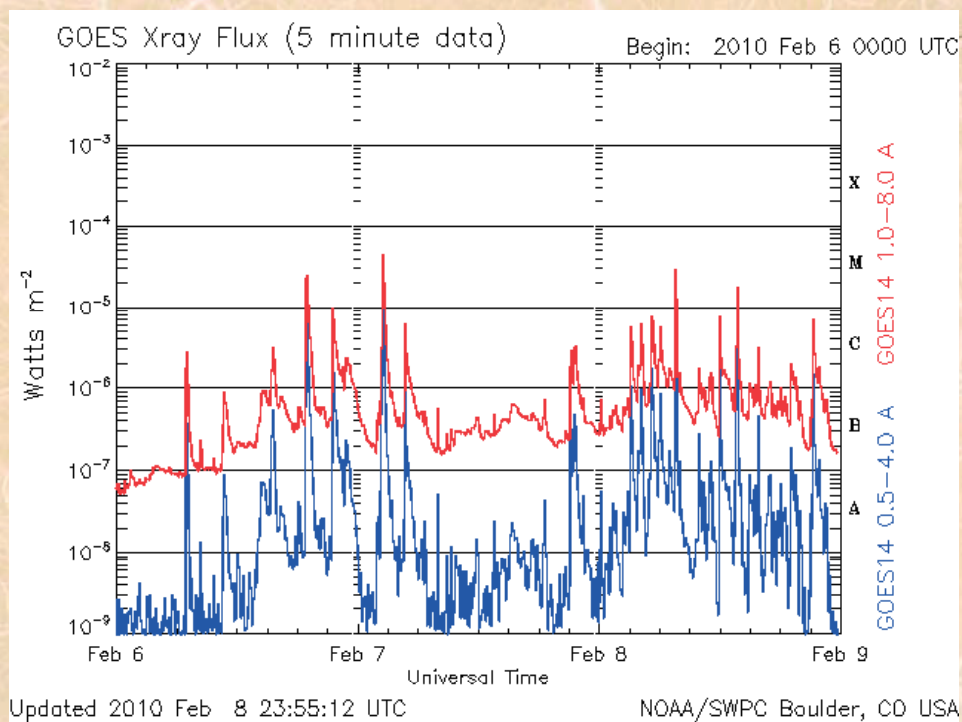


New FIB results: 2010.1.1 - 7.31

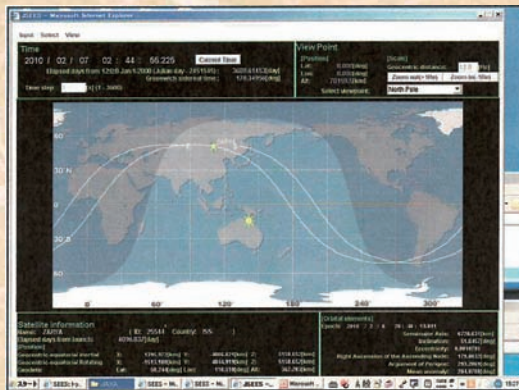
エネルギースペクトル about 700,000 events



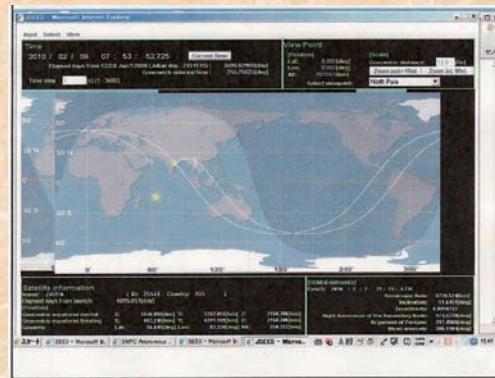
太陽中性子の探索 太陽フレア February 6-8th of 2010



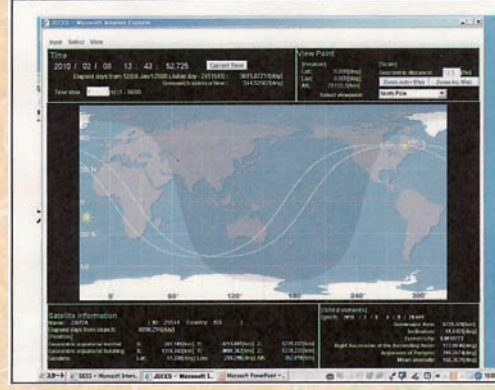
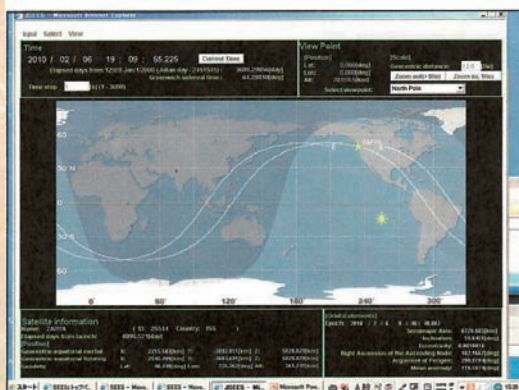
フレアの際のISSの軌道



Up 2010.2.7 2:44UT
Down 2010.2.6 16:09UT



Up 2010.2.8 7:53UT
Down 2010.2.8 13:43UT



解析結果

- 特にこのMクラスのフレアでは太陽中性子を検出できなかった。
on February 6th – 8th, 2010.
- We have also measured the background neutrons at ISS from the main body of ISS at normal region and over SAA.

今後の展望

- 太陽が静かな間はISS暴露部の中性子線量計測
方向判別能力を使用し発生点を押さえる。ソフトの改良
方向別のenergy spectraを出す。CRANDのspectrumの導出
(cosmic ray albedo neutron decay) 内帯の陽子の成因
- 太陽フレアに同期した太陽中性子スペクトルの導出。
(まだM5class - X1-10classの大型フレアが無い。)
- フレアのときはX線衛星(NOAA)や太陽衛星「ひので」との同期を取る。
- γ 線burstが測れるかの検討中。(SGR)
- on-lineで高E荷電粒子飛来警報の確立。
- 太陽活動の一周期11年は測定するべきである。その準備と提案。

Neutron flight time from the Sun

