

STE研の太陽関連将来計画と目指すサイエンス

太陽地球環境研究所 増田 智

1. STE研における太陽関連研究の現状
2. STE研に期待されるサイエンス
3. 近い将来の計画
4. さらに先の計画

スライド提供、協力:
伊藤好孝、増田公明、徳丸宗利、
藤木謙一、さこ隆志、渡邊恭子

1.1 STE研の組織

大気圏研究部門

電磁気圏研究部門

太陽圏研究部門

宇宙線グループ

太陽中性子観測

放射性同位体を用いた過去の太陽活動

太陽風グループ

太陽風シンチレーション観測

総合解析部門

太陽衛星データ解析／シミュレーション

ジオスペース研究センター

シミュレーション

名大21世紀COEプログラム

「太陽・地球・生命圏
相互作用系の変動学」

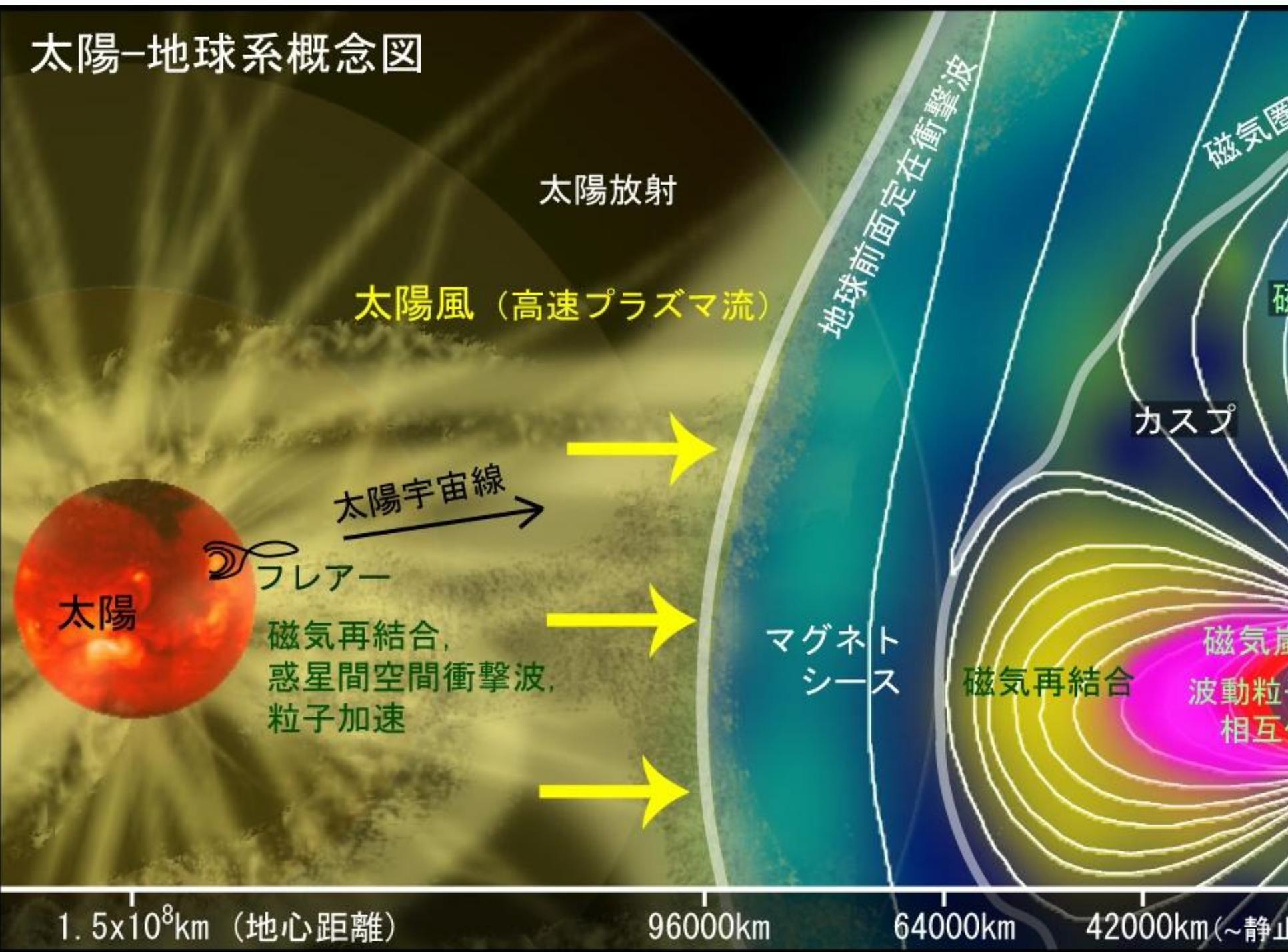
宇宙気候／宇宙天気研究

物理学会

SGEPSS

天文学会

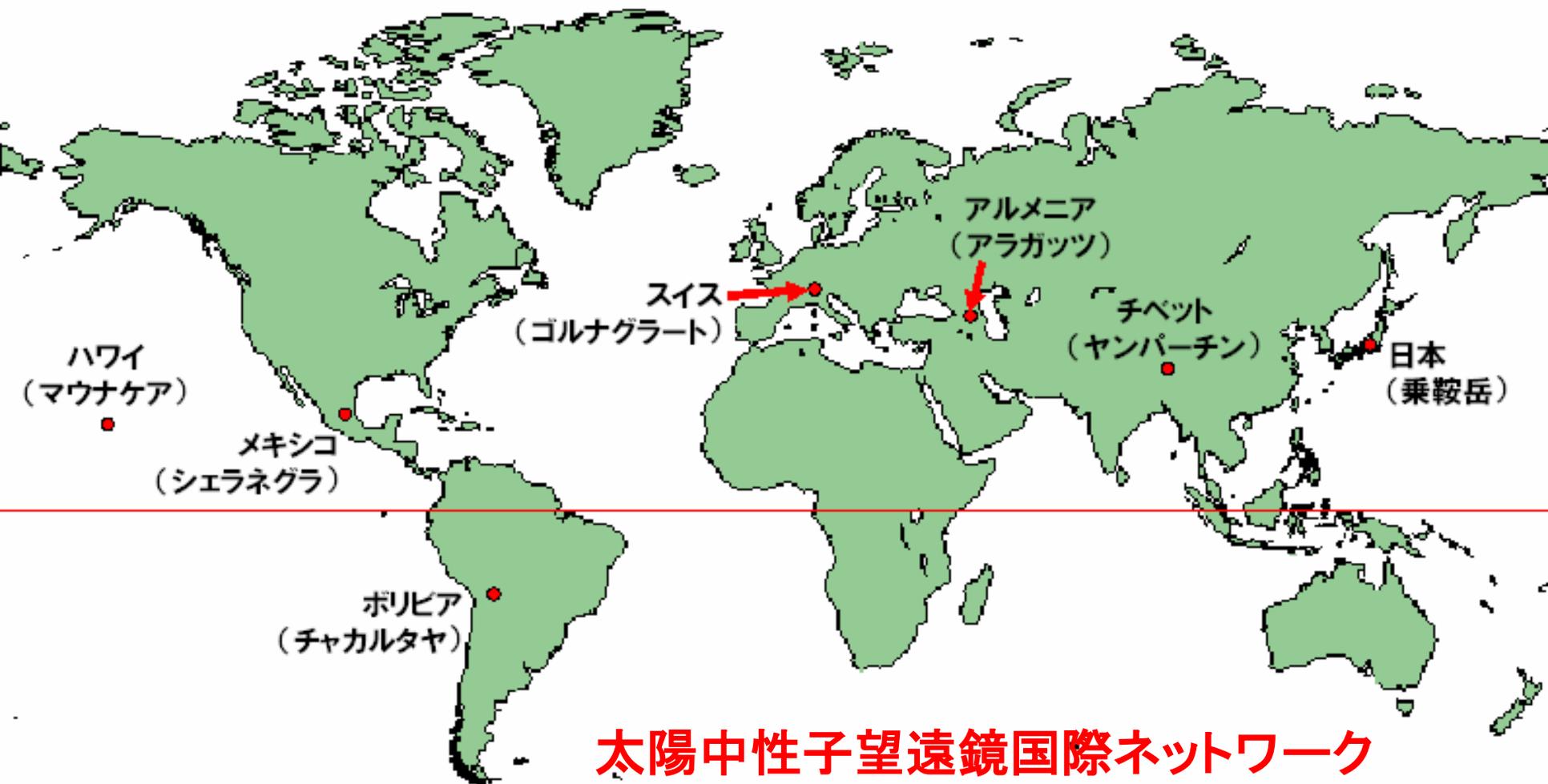
太陽-地球系概念図



1.2 研究内容

1.2.1 太陽中性子観測まとめ

目的： 太陽フレア現象におけるイオン加速機構の解明



太陽中性子イベント 観測例

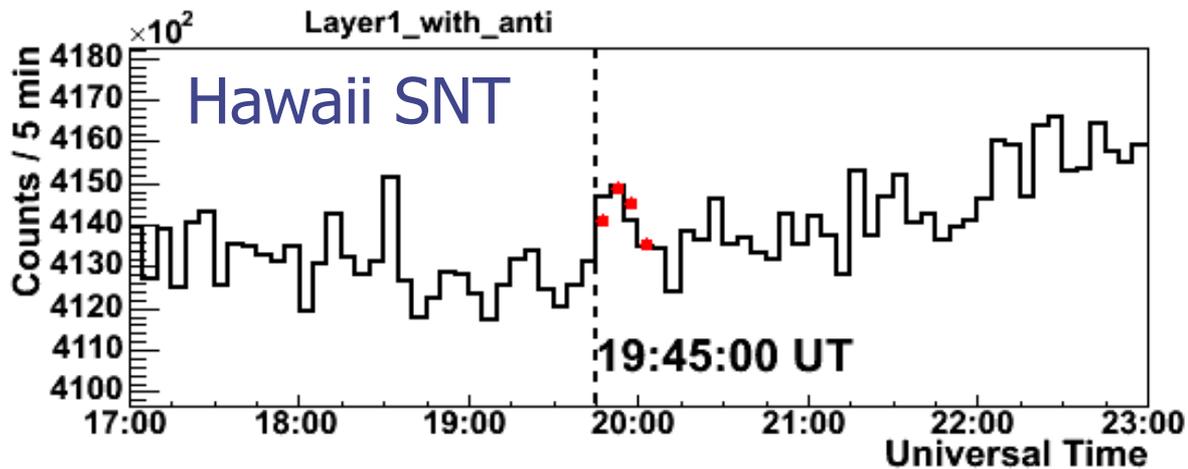
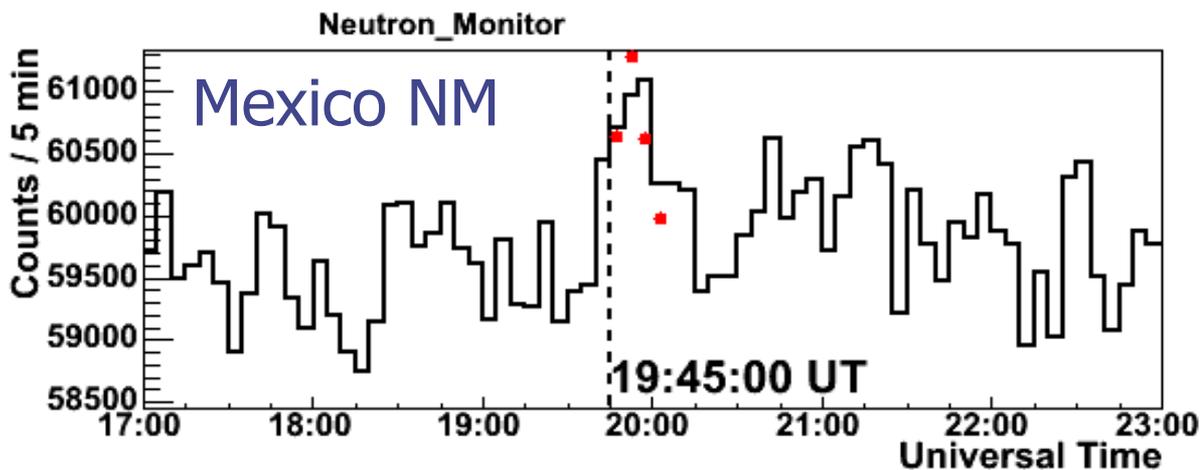
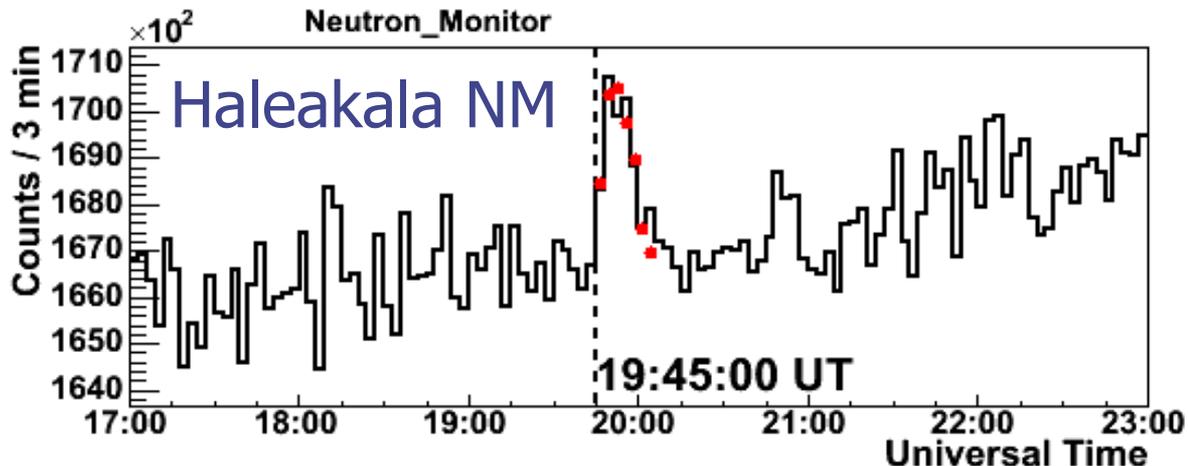
(2003年11月4日)

衛星で観測された
γ線のデータと比較



太陽中性子の
スペクトルを導出

- Power index
= -3.9 ± 0.5
- Flux at 100MeV
= $(1.5 \pm 0.6) \times 10^{28}$
[MeV/sr]



太陽中性子観測から分かったことと今後の課題

- 現在までに観測された太陽中性子イベント: 10例
 - ⇒ 観測例数を増やす
 - ⇒ 第24太陽活動期に向けて新しい検出器を開発
- 太陽中性子は γ 線と同時に発生していると考えられる
 - ⇒ この仮定で説明できないイベントがある
(2005年9月7日)
 - ⇒ 太陽中性子生成と核 γ 線生成の関係
- 太陽中性子(加速イオン)のスペクトル・流量
($a_n = -3.0 \sim -4.0, 10^{27} \sim 10^{30} \text{ erg}$)
 - ⇒ 角度分布・発生場所(加速場所)
- 太陽フレア現象におけるイオン加速機構は？

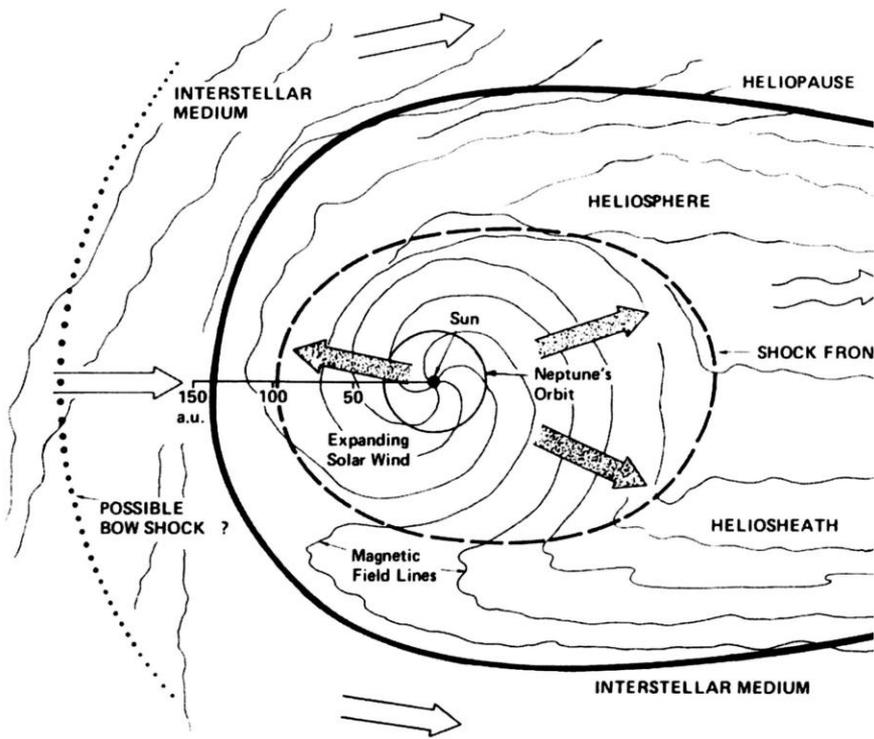
1.2 研究内容

1.2.2 放射性同位体による過去の太陽活動研究まとめ

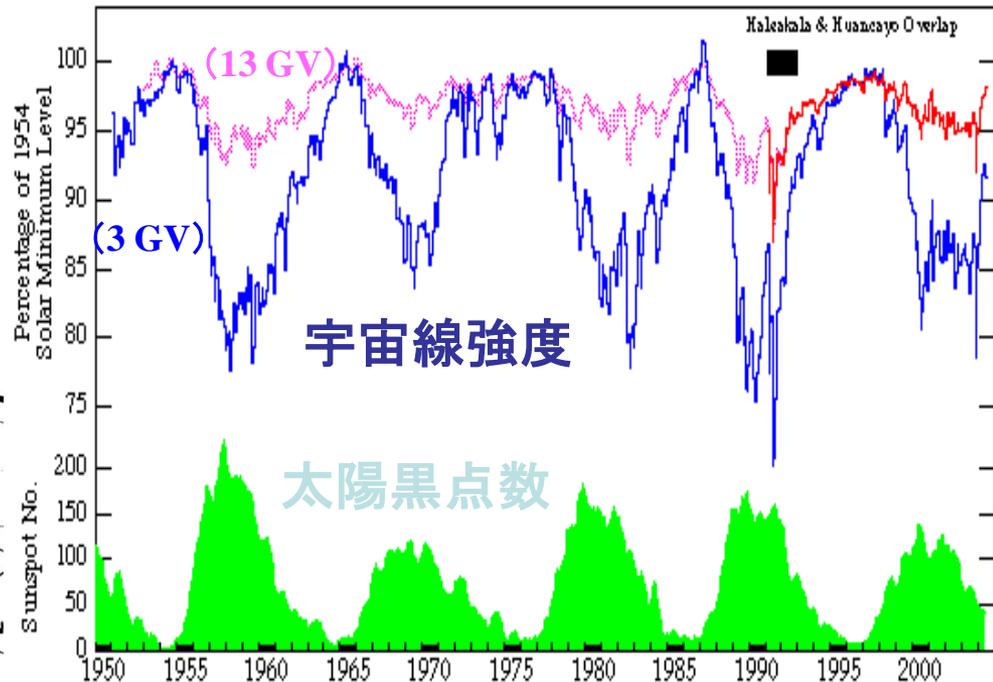
意義、目的

- 太陽の磁場活動は太陽圏に進入する宇宙線強度に影響する。宇宙線は地球大気中で放射性同位体 ^{14}C を生成する。その生成率は太陽活動と逆相関になる。樹木年輪などのアーカイブ中の ^{14}C 濃度から過去の太陽活動の変動を知ることができる。
- 過去から現在に至る太陽活動の長期変動のデータは、太陽磁場に関するダイナモ理論の発展に重要な知見を与える。
- 過去と現在の太陽活動を比較することにより、将来の太陽活動を予測する。

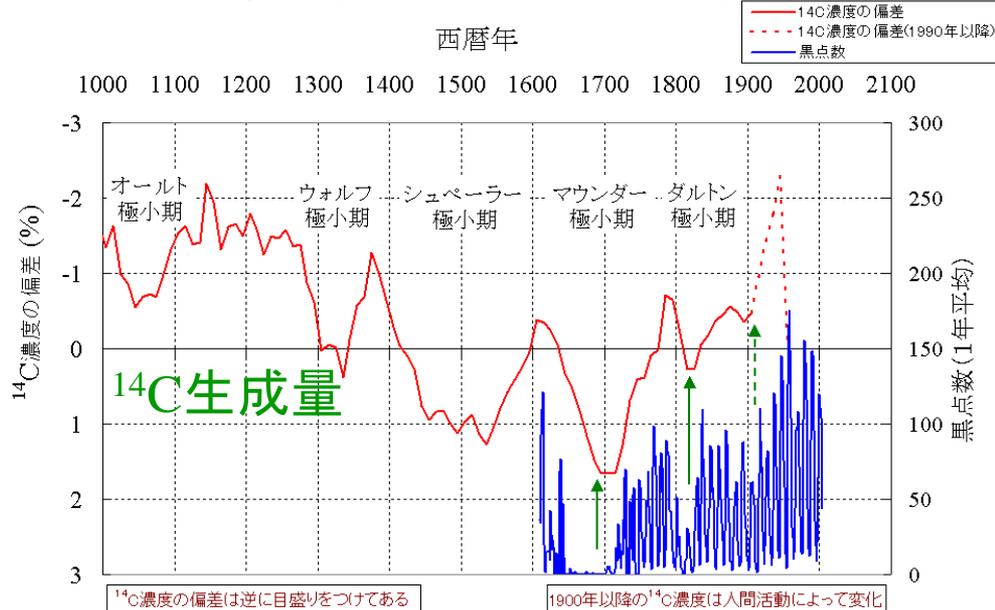
太陽圏に進入する 銀河宇宙線



宇宙線と大気(窒素, 酸素, アルゴンなど)の原子核反応によって ^{14}C (放射性炭素)や ^{10}Be などがつくれ, 植物・氷床などに蓄積する。

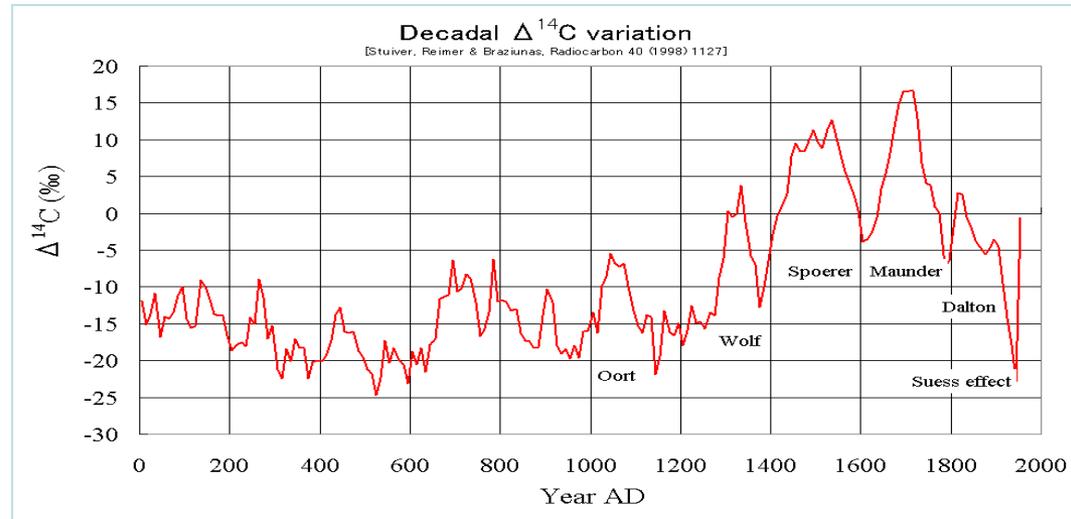


太陽活動の11年周期

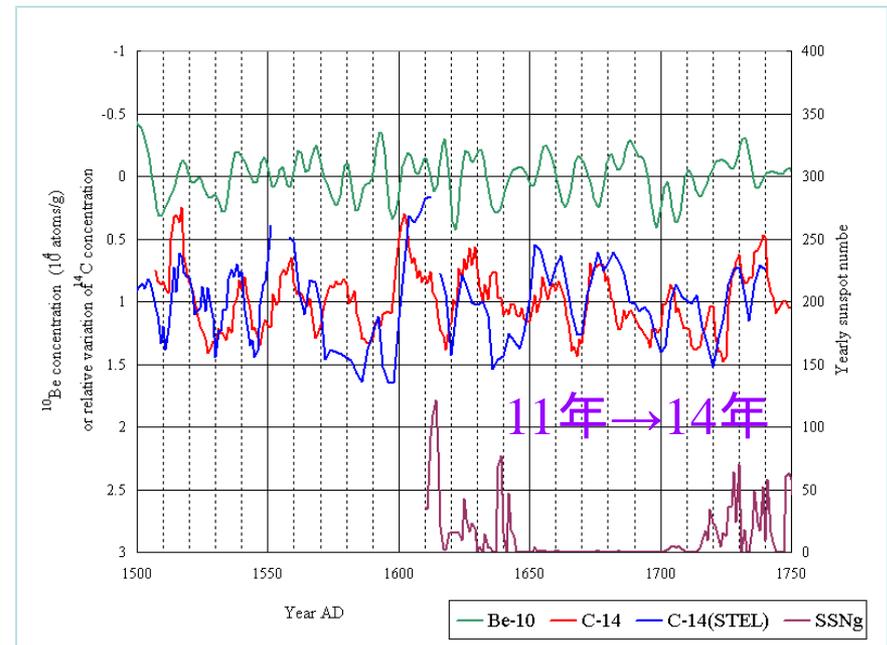


現在までの進捗状況 と分かったこと

- 1413-1745 ADの隔年
又は毎年の年輪中 ^{14}C
濃度を測定(名大・加速
器質量分析計)
- マウンダー極小期のような太陽活動が非常に弱かった時代でも、太陽ははっきりとした磁場活動をしていたことが明らかになった
- マウンダー極小期ではシュワーベ・サイクルの周期は11年ではなく、14年であった



マウンダー極小期における太陽活動



今後の課題と計画

- マウンダー極小期などの太陽活動極小期はなぜ起こるのか
- シュワーベ・サイクルの**周期長の変化**(11年→14年)
- すべての極小期で周期長が長くなるわけではない
- 樹齢二千年の屋久杉試料等を使って、極小期を中心に ^{14}C 濃度を精密測定し、周期長の変化を明らかにする
- 過去の ^{14}C や ^{10}Be 濃度の変動(太陽活動)と地球気候データを比較分析する。太陽活動と地球気候をつなぐメカニズムの解明を目指す



樹齢二千年の屋久杉

1.2 研究内容

1.2.3 太陽風観測まとめ

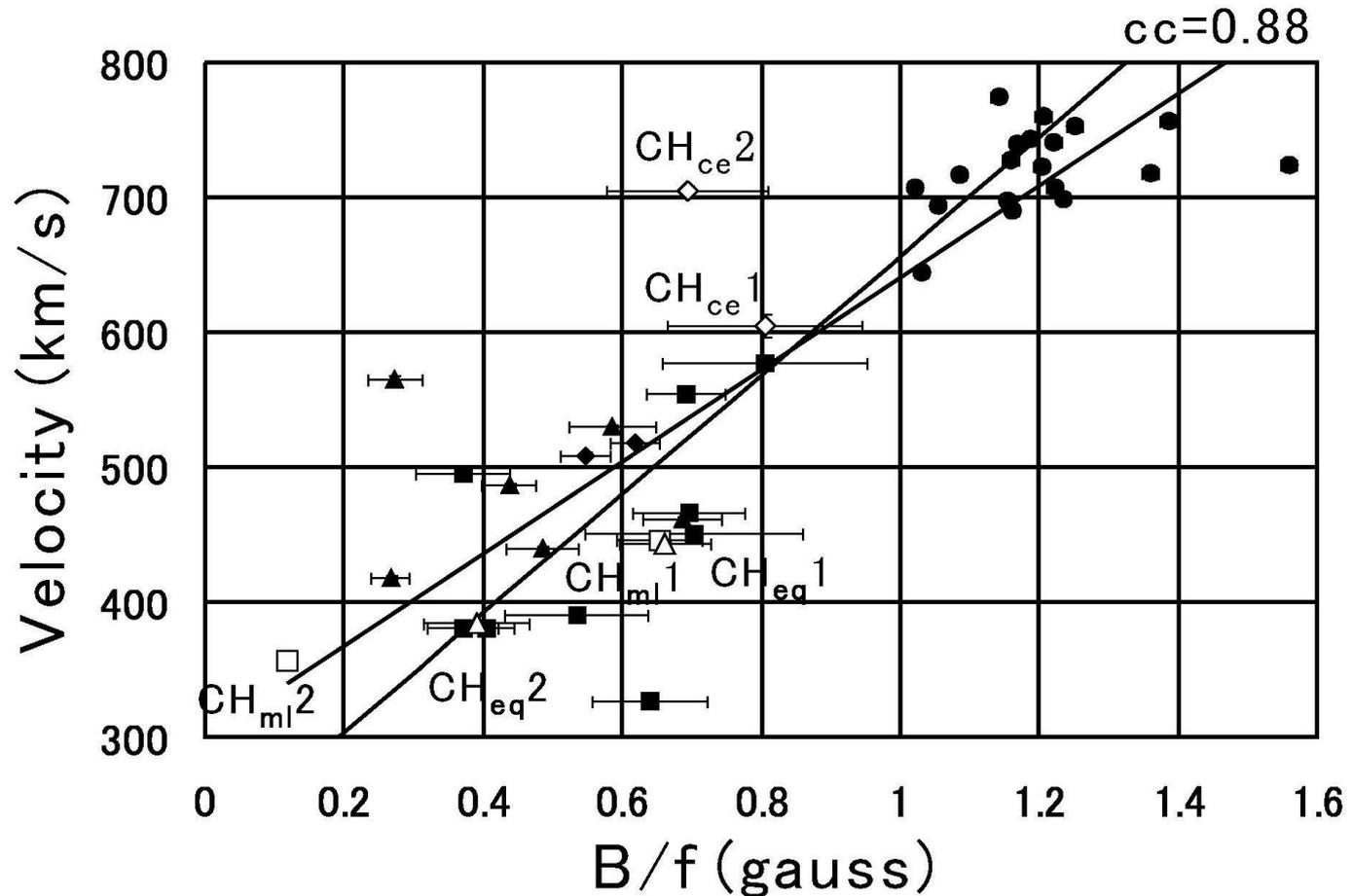
太陽風加速、太陽風速度

- ・トモグラフィ法を用いた3次元空間での太陽風速度情報を得ることが可能になった。
- ・コロナホールからの高速風に関して、表面磁場強度と磁場の開き度の二つの変数と速度によい関係が見られることを発見。
 - 鈴木氏のAlfven波による加速モデルで説明可？
- ・2-3日後の地球周辺での太陽風速度を予測。

擾乱現象

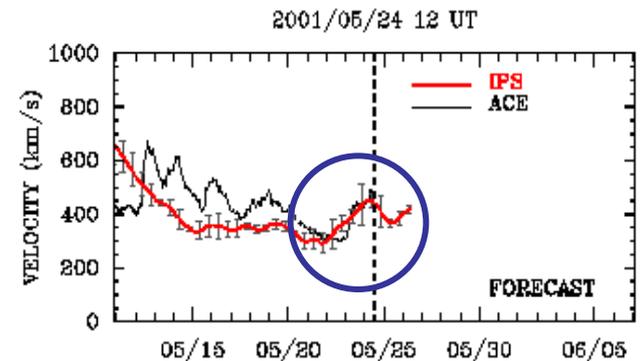
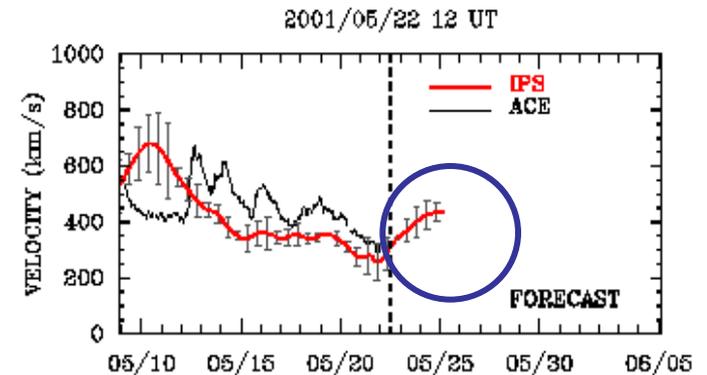
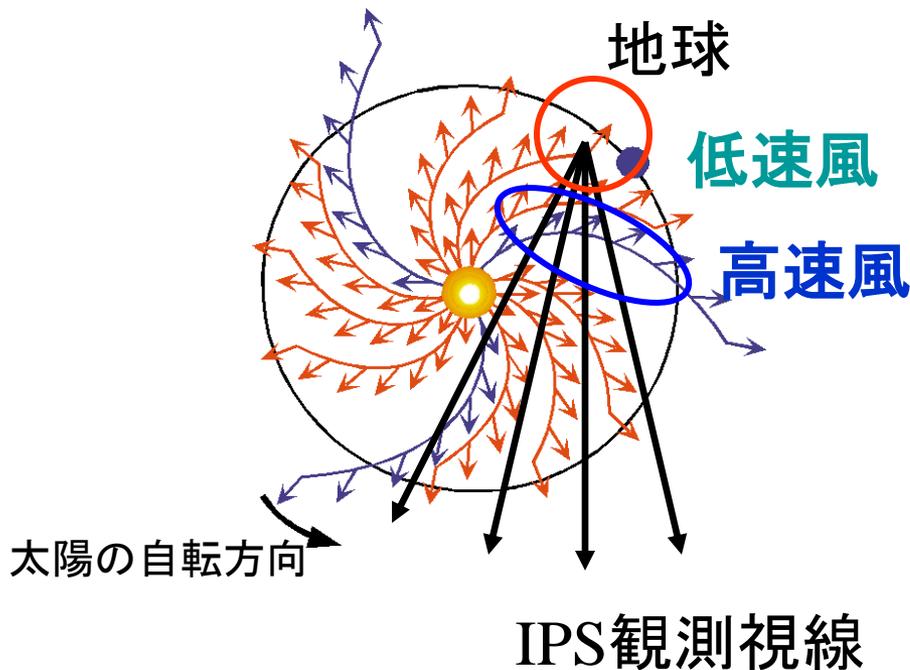
- ・シンチレーションの大小(g-value)を使って、惑星間空間の密度構造(CMEの構造)をモデルフィッティングで求める。
- ・CMEの伝播(減速)についての情報を得る。

B/f as a factor to control solar wind velocity (1)



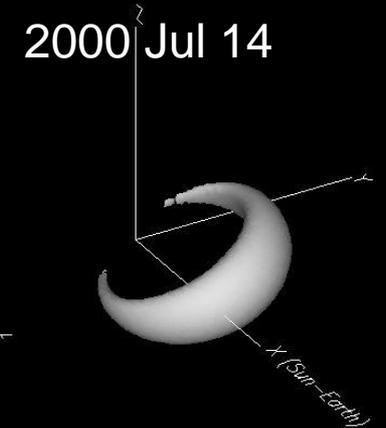
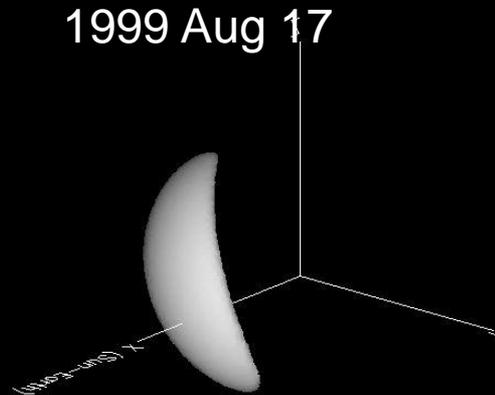
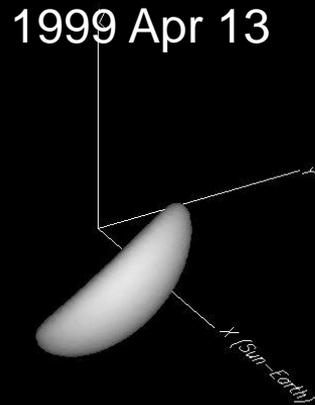
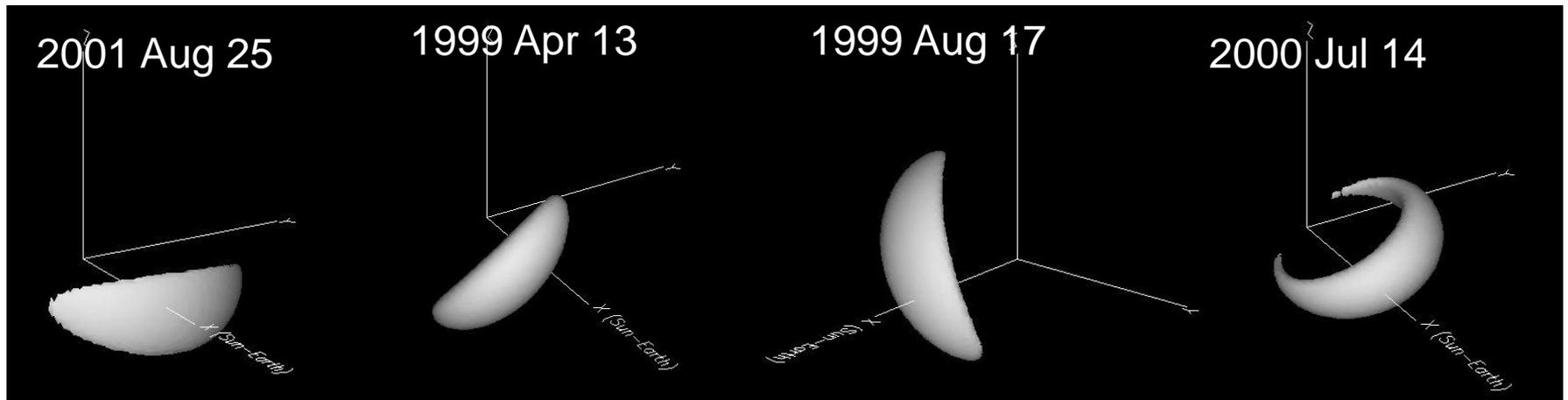
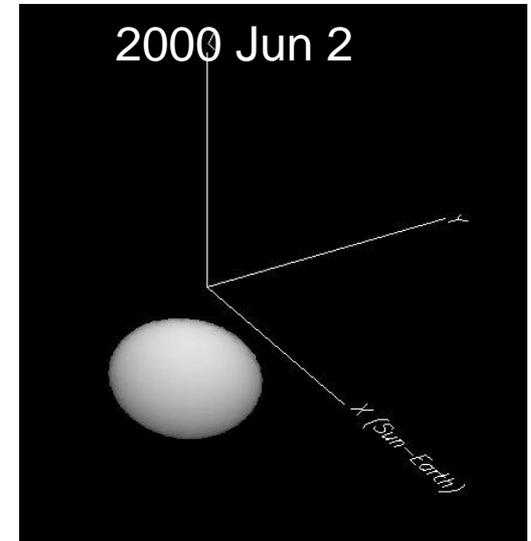
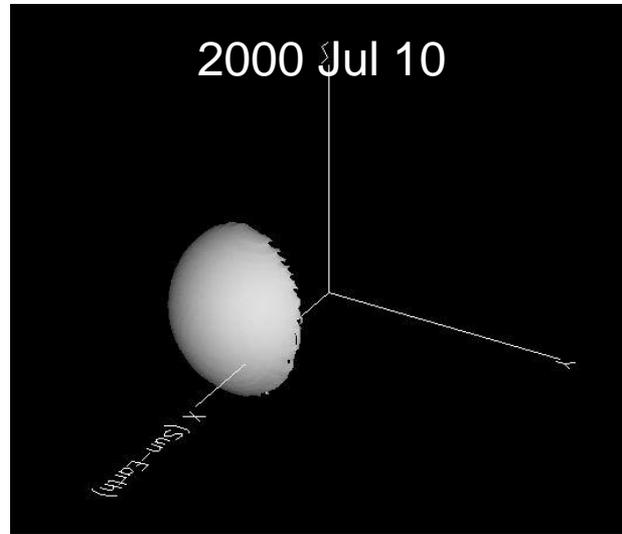
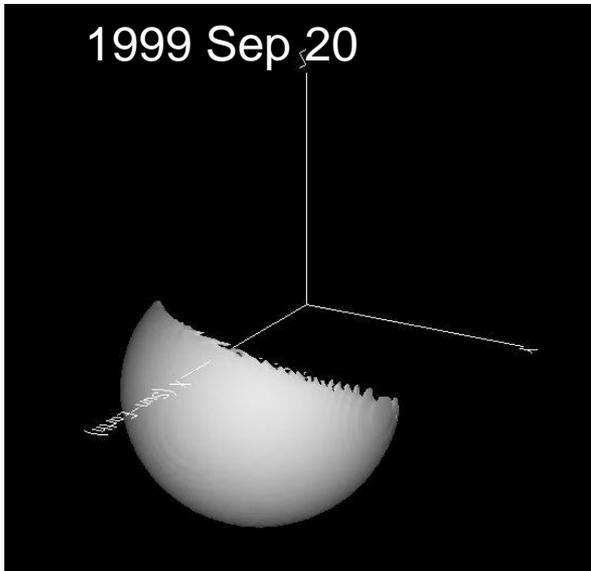
IPS観測による太陽風予報

地球へ到来する太陽風を事前に知ることが可能

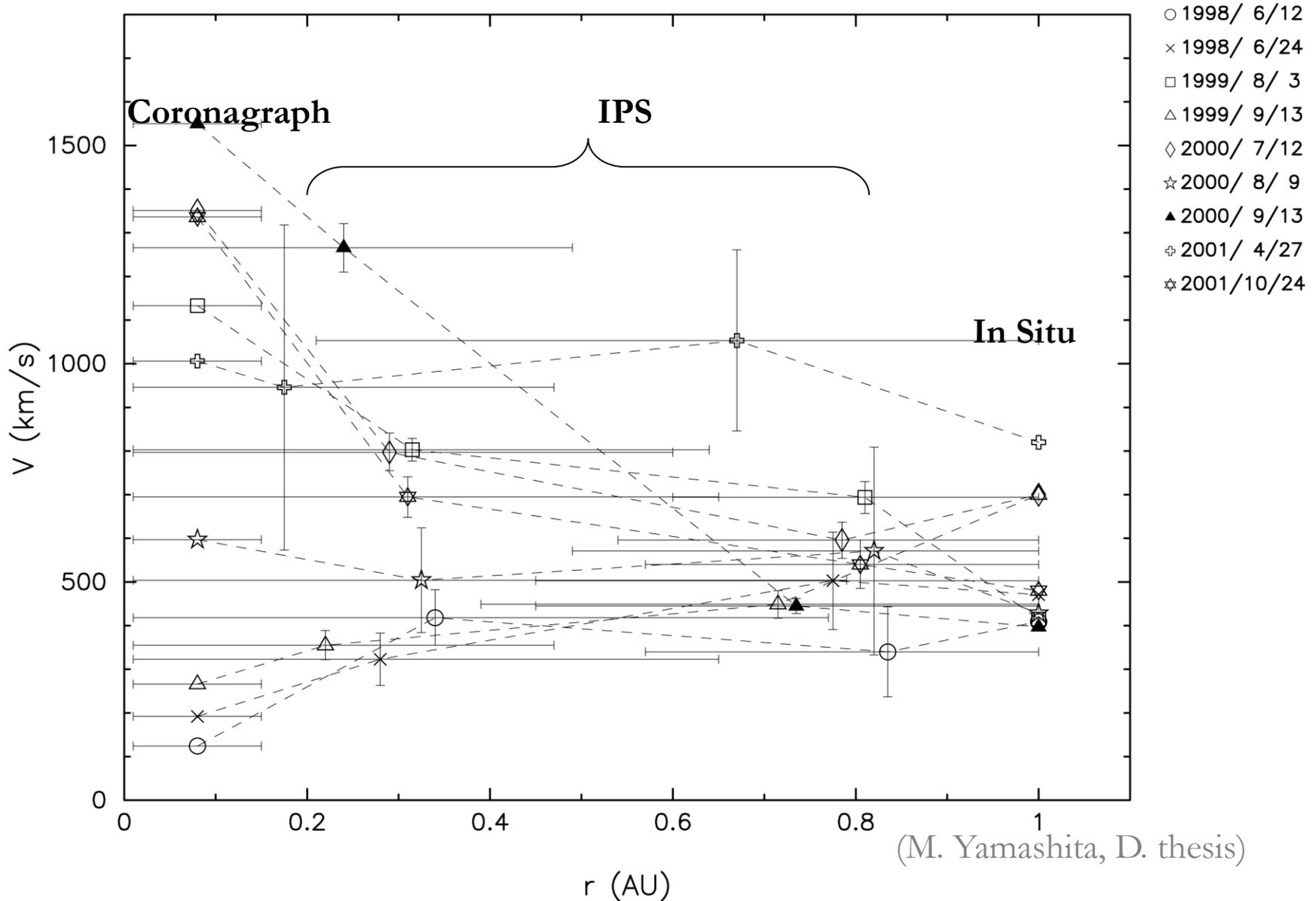


予報例

Global Feature of CMEs in the Solar Wind



Radial Variation of CME Speeds



1.2 研究内容

1.2.4 衛星データ解析まとめ

太陽フレア(高エネルギー現象)

さまざまな硬X線源の特徴を明らかにした。

- Double footpoint sources
- Looptop impulsive source (above the looptop source)
- Looptop gradual source

粒子加速について

場所: ループトップ上空 (and 複数のループの衝突領域)

方向(ピッチ角分布):

磁場に直交方向が支配的か？

(直接降り込む成分とトラップ成分の分離が重要)

カットオフエネルギー: 30keV以上か？

エネルギー収支

非熱的 vs. 熱 vs. 運動

太陽フレア(高エネルギー現象)に関する残された課題

粒子加速機構 (footpoint source):

空間的に分解された詳細な硬X線スペクトル

lower-cutoff energy, 100keV付近の折れ曲がり

ピッチ角分布

硬X線、電波の共同観測

フォッカープランク方程式によるモデル計算

放射機構 (looptop impulsive source):

熱的 vs 非熱的

空間的に分解された詳細な硬X線スペクトル

硬X線、軟X線、紫外線の共同観測

加熱機構 (looptop gradual source):

硬X線撮像観測に基づく温度マップ・時間変化

2. STE研に期待されるサイエンス

STE研とは:

太陽からのエネルギー放射によっておこる“**太陽地球環境**”の**変動と予測**に関する研究を行う、この分野では全国でただ1つの共同利用研究所

ミッション:

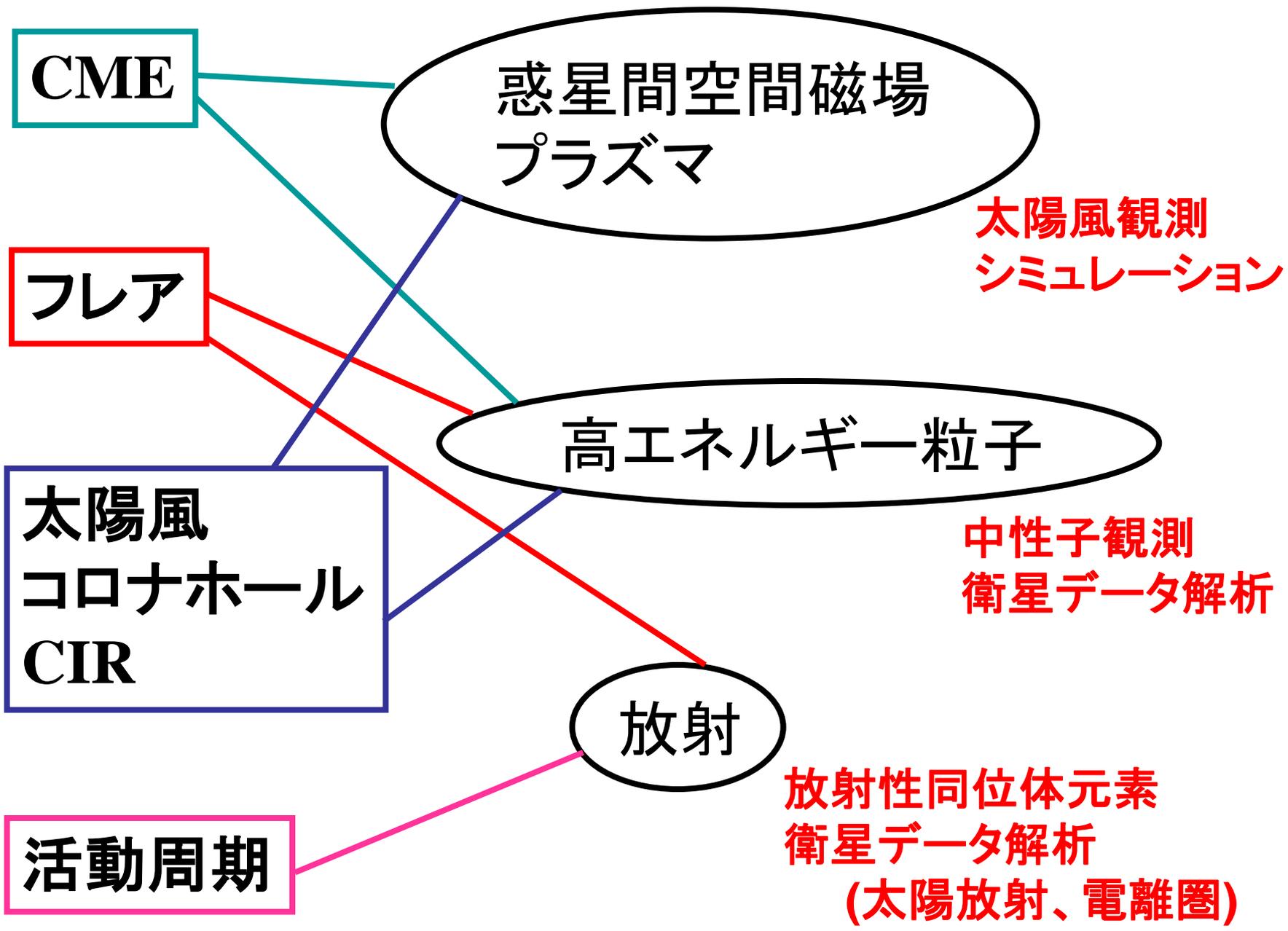
- ・太陽から地球までを一つの系(複合系)として理解すること
- ・その中で基本的な物理・化学素過程を、様々な時間・空間スケールで理解すること

キーワード:

宇宙天気 (space weather)

宇宙気候 (space climate)

CAWSES (Space And Weather of the Sun-Earth System)



STE研に期待されるサイエンス

宇宙天気 (short time-scale)

現実的な予報に向けた基礎研究

高エネルギー粒子生成／伝播過程

惑星間空間磁場の供給／伝播過程

放射変動予測

宇宙気候 (long time-scale)

太陽活動周期 (11年、22年、longer)の解明(と地球への影響)
ダイナモ機構

3. 近い将来の計画

3.1 太陽中性子新検出器

3.2 新太陽風アンテナ (SWIFT)

3.3 実証型ジオスペース環境モデリングシステム GEMSIS (Geospace Environment Modeling System for Integrated Studies)

3.4 その他

3.1 太陽中性子観測将来計画 for the cycle 24

from space

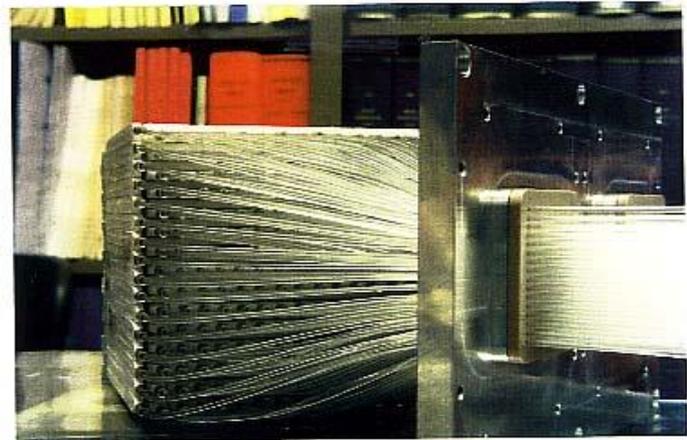
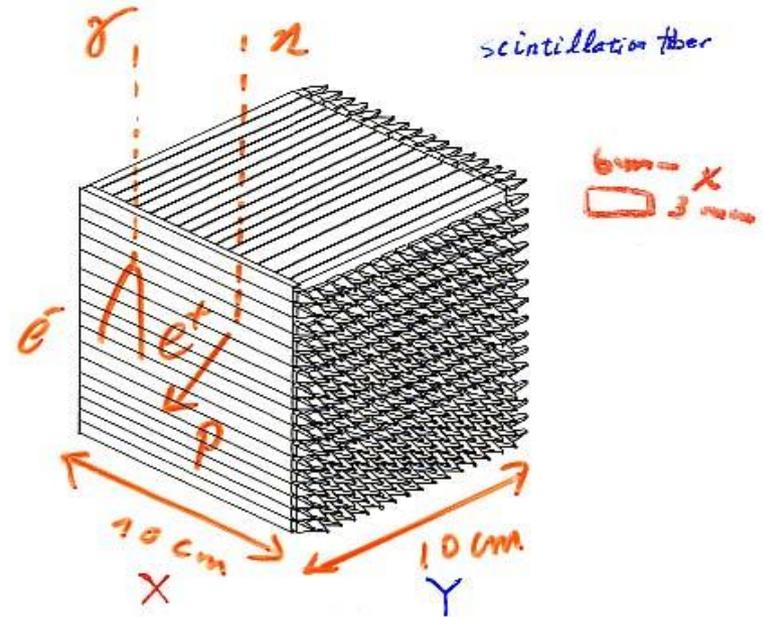
Recoil proton tracker
on ISS from 2007 (?)

for 30-100MeV neutrons

energy and direction
measurement for each particle

particle ID

Proposed & Accepted Neutron Sensor



completed sensor
optical fiber

for the cycle 24

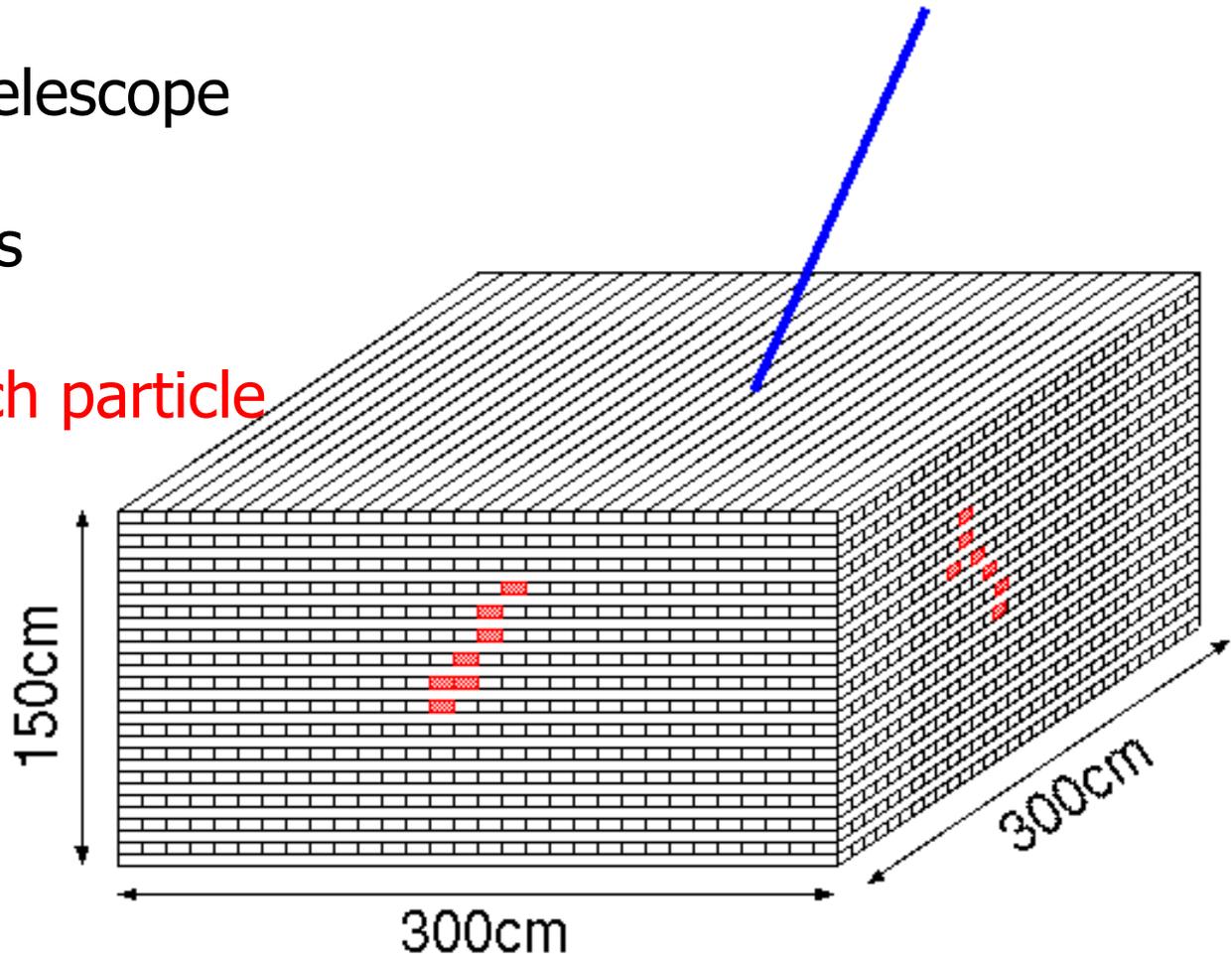
from ground

Recoil proton tracker
Super Solar Neutron Telescope
Copy of SciBar (K2K)
for $>100\text{MeV}$ neutrons

Energy and direction
measurement for each particle

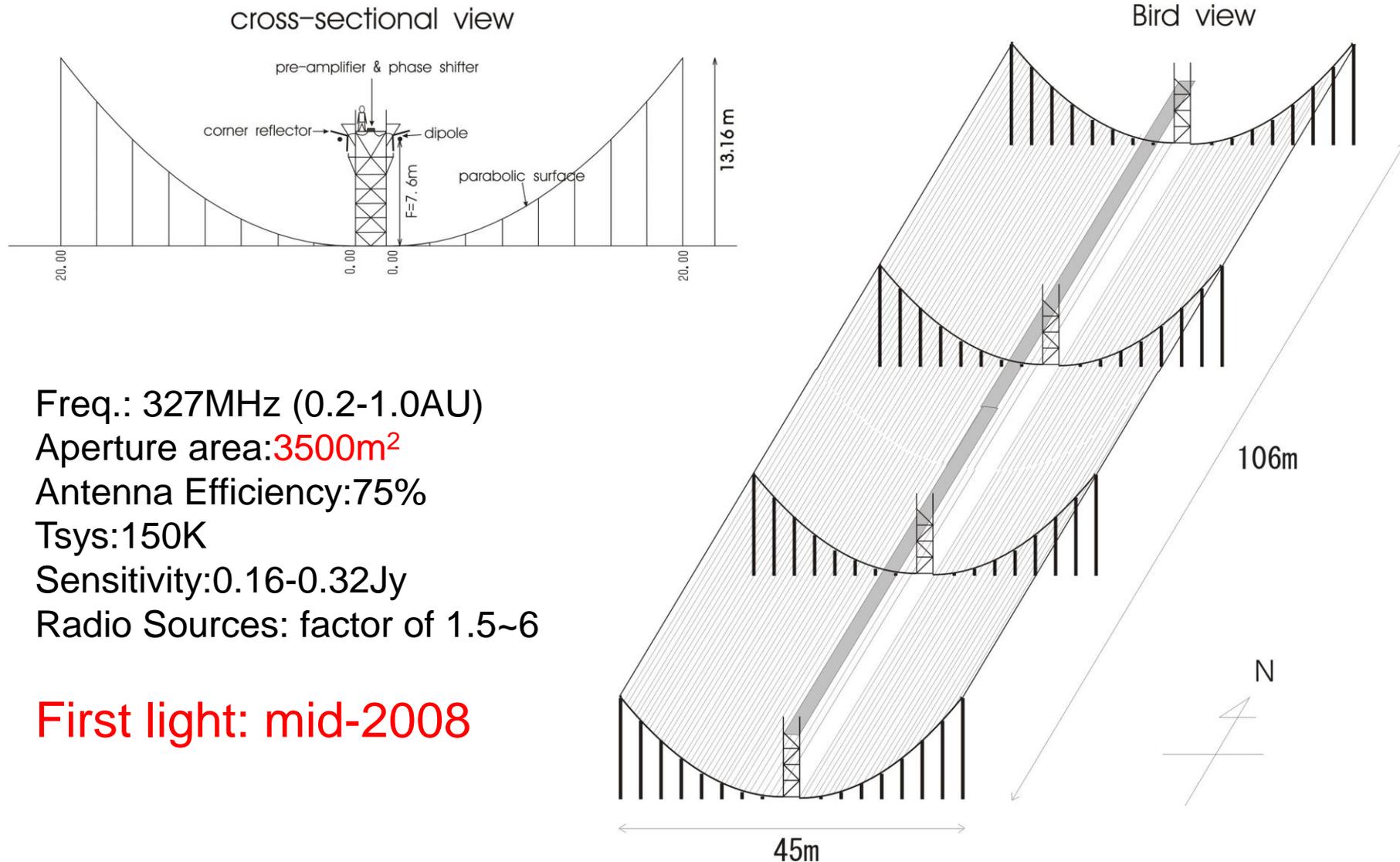
Particle ID

Improvement of the
current detectors



3.2 新太陽風アンテナ

Solar Wind Imaging Facility: SWIFT



Freq.: 327MHz (0.2-1.0AU)

Aperture area: 3500m^2

Antenna Efficiency: 75%

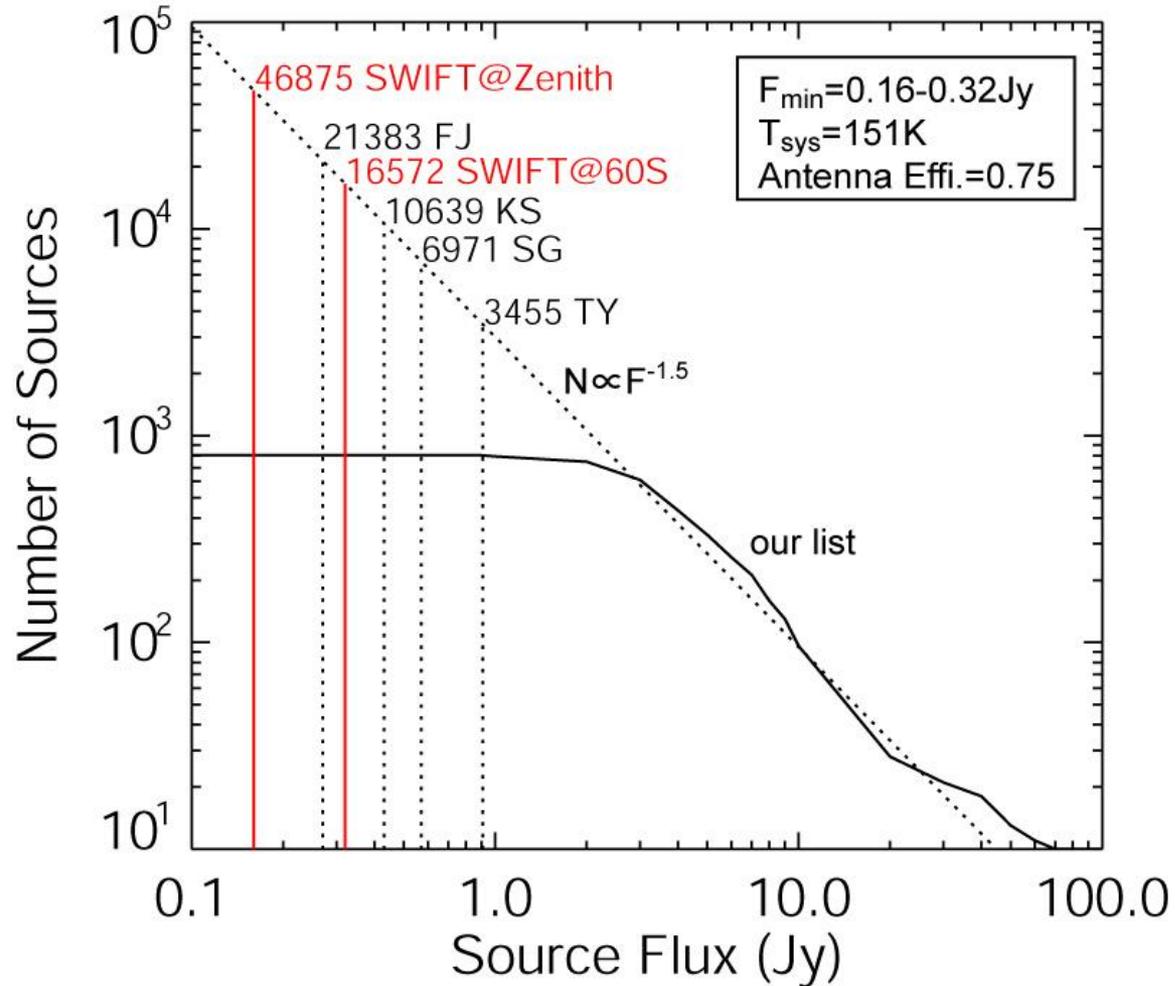
T_{sys} : 150K

Sensitivity: 0.16-0.32Jy

Radio Sources: factor of 1.5~6

First light: mid-2008

Sensitivity



3.3 実証型ジオスペース環境モデリングシステム

GEMSIS (Geospace Environment Modelling System for Integrated Studies)

目的

ジオスペースで生起するダイナミックなエネルギー輸送機構を理解するために、太陽風から内部磁気圏にいたるジオスペースをシームレスに記述する、観測事実に根ざした実証型ジオスペース環境モデルの構築をおこなう。

方法

衛星観測、地上観測データ解析に基づいた経験モデルの確立と、観測をインプットし、数値シミュレーションした予測値にもとづく物理モデルの開発をおこなう。これらのモデル間の矛盾を解消する方向で物理モデルの改良をおこなう。

GEMSIS Phase-1の計画

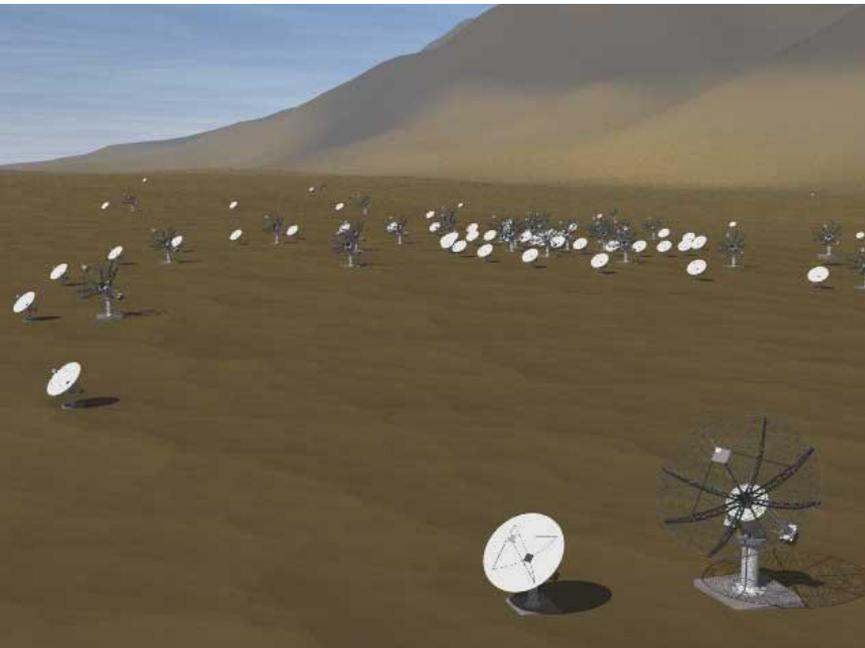
内部磁気圏の数値モデルの基本概念設計と、高エネルギー粒子環境の把握に力点を置き、次の研究を推進する。

- ミクロとマクロの結合シミュレーション手法の開発
- データ同化型宇宙天気図(逐次観測に基づく電離圏グローバル諸量の導出)
- 電磁的・物質的な磁気圏—電離圏結合
- 太陽およびジオスペースにおける高エネルギー粒子の生成過程

3.4 その他 (太陽フレアが多波長観測データの総合解析)

FASR (Frequency Agile Solar Radiotelescope)

2002-2004 Phase A Study
2005-2006 Phase B Study
2007-2010 Construction
2009-2010 First Science



Angular resolution	$20/\nu_{\text{GHz}}$ arcsec
Frequency range	30 MHz – 30 GHz
Number channel pairs	2-4
Total instantaneous BW	2 GHz
Frequency resolution	0.3-3 GHz: 0.1% <0.3,>3 GHz: 1%
Time resolution	0.3-3 GHz: 10 ms <0.3,>3 GHz: 100 ms
Polarization	IQ/UV
Absolute positions	1 arcsec
Number antennas	3-30 GHz: 100 0.3-3 GHz: 80 <0.3 GHz: 60
Size antennas	3-30 GHz: 2 m 0.3-3 GHz: 6 m <0.3 GHz: LPDA
Maximum antenna spacing	6 km
Absolute flux calibration	<5%

4. さらに先の計画

全く新しいサイエンスは考えにくい。
今までのサイエンスの延長が基本。

高エネルギー粒子

宇宙空間での粒子観測(中性子、重元素など)、ガンマ線？

太陽ニュートリノ観測

詳細な電波撮像スペクトル観測

精密な計算機コードの開発

CME、CIR

詳細な電波撮像スペクトル観測

太陽-1AU(-太陽圏)のプラズマ・磁場輸送モデル

放射変動

紫外線高時間分解能スペクトルデータ – 地球大気モデル

太陽活動(長期)

放射線同位体元素: 過去へ過去へ

地磁気変動

ダイナモ理論