

第19回理論懇シンポジウム 2006年12月27日(水) 於立教大学

**直接観測に基づく宇宙プラズマ物理学研究の現状：
超低～超高エネルギー粒子天文学の登場**

寺沢敏夫
(東工大・理)

第19回理論懇シンポジウム 2006年12月27日(水) 於立教大学

直接観測に基づく宇宙プラズマ物理学研究の現状：
超低～超高エネルギー**粒子天文学**の登場

寺沢敏夫
(東工大・理)

粒子天文学(Particle Astronomy/Astrophysics)とは?

普通のア天文学

...地球外から飛来する**光子**を用いた宇宙現象の認識
を対象とする学問

粒子天文学

地球外から飛来する**物質粒子**を用いた宇宙現象の認識
を対象とする学問

既存の名称: Astroparticle physics

「宇宙素粒子物理学」の意味で使われている。

ここでいう「粒子天文学」はそれも含むが、“素粒子”に限らず、
もっと通常の物質も考える。

‘粒子天文学’の発祥: どこまで遡るか?

流星: 地球外起源のダスト粒子が地球大気に突入して発光する現象

...天文現象としての認識 19世紀半ば以降

Schiaparelliによるしし座流星群とテンペル彗星の関連の確立

惑星間空間ダストの供給源としての彗星

追加的課題

...近年の進展: **流星の数%は太陽系外起源?**

守備範囲 荷電粒子の物理学 宇宙プラズマ物理学

宇宙線粒子の発見

... 大気の電離源としてHessにより同定された ...1912

主成分は陽子、10%程度の重粒子(He,CNO,Si,Mg,Fe,...)、1%程度の電子

10¹⁵eV程度まで: 超新星起源 ...1977-1978: 衝撃波起源論の確立

10¹⁵eV以上は未解明

太陽からの粒子放射の発見

高エネルギー太陽宇宙線の発見(~数GeV) ...1940年代

太陽風プラズマ(数十eV-数keV) ...1958 Parkerによる理論的予言

...1960年代初め: 観測による証明

太陽起源中性子の発見(数百MeV-数GeV) ...1980年代初め

太陽フレアに伴って加速された核子の核反応の産物

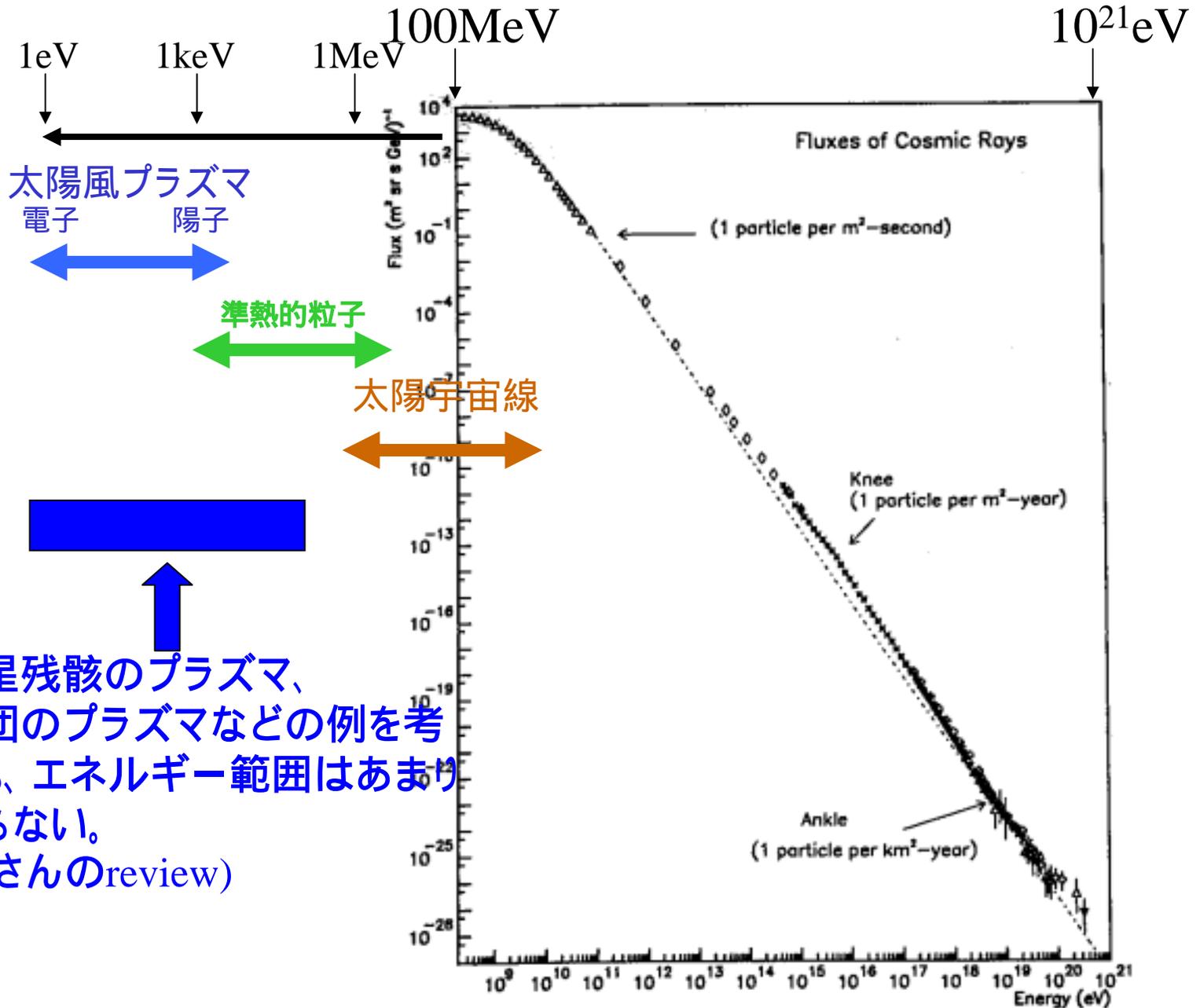
ニュートリノ天文学の開始

太陽ニュートリノ問題の発見(Davis)とその解決

超新星1987A

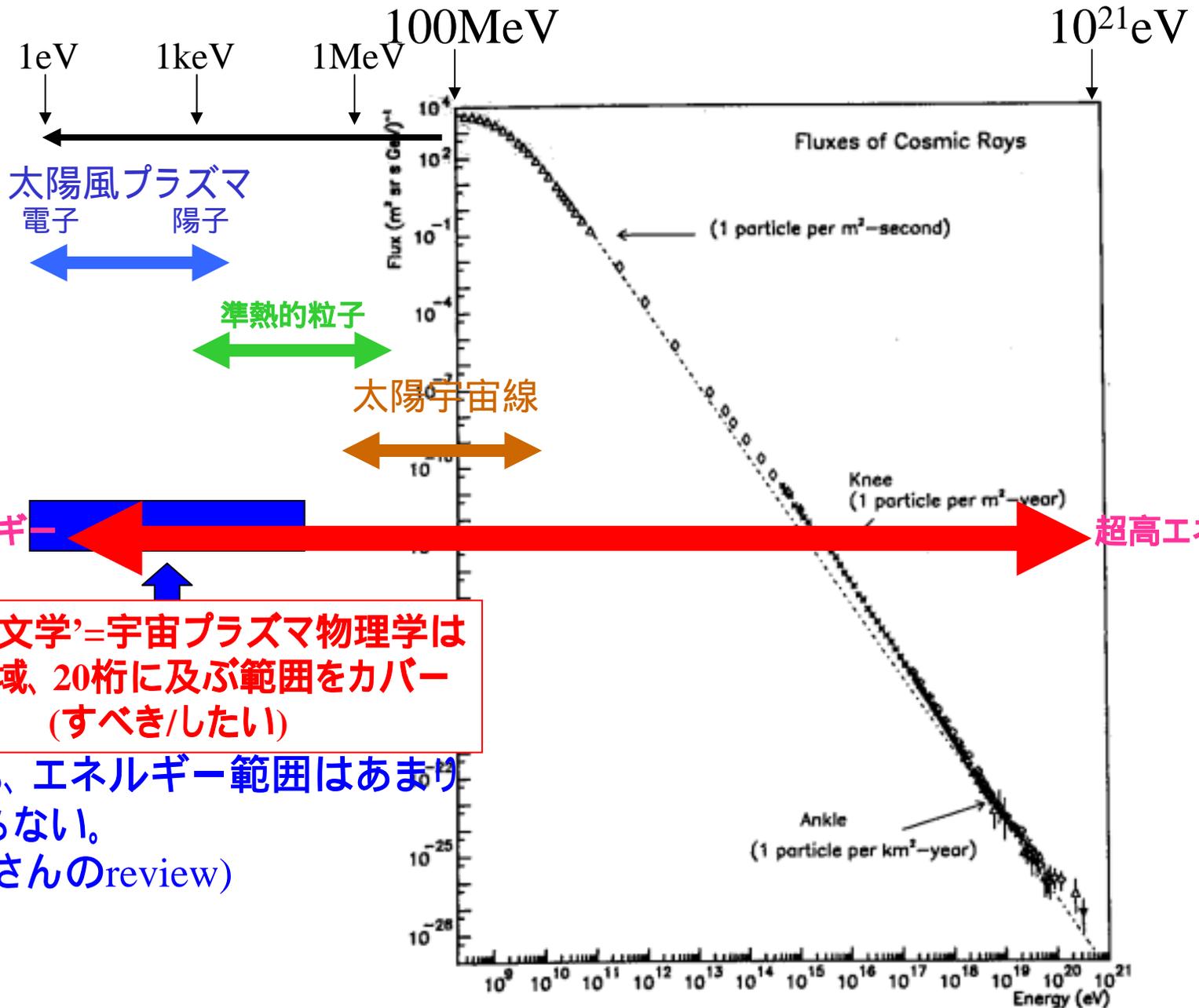
(太陽フレアでの一連の核反応で発生する筈のニュートリノも探索されているが未同定)

宇宙プラズマ物理学



超新星残骸のプラズマ、
銀河団のプラズマなどの例を考
えても、エネルギー範囲はあまり
変わらない。
(井上さんのreview)

宇宙プラズマ物理学

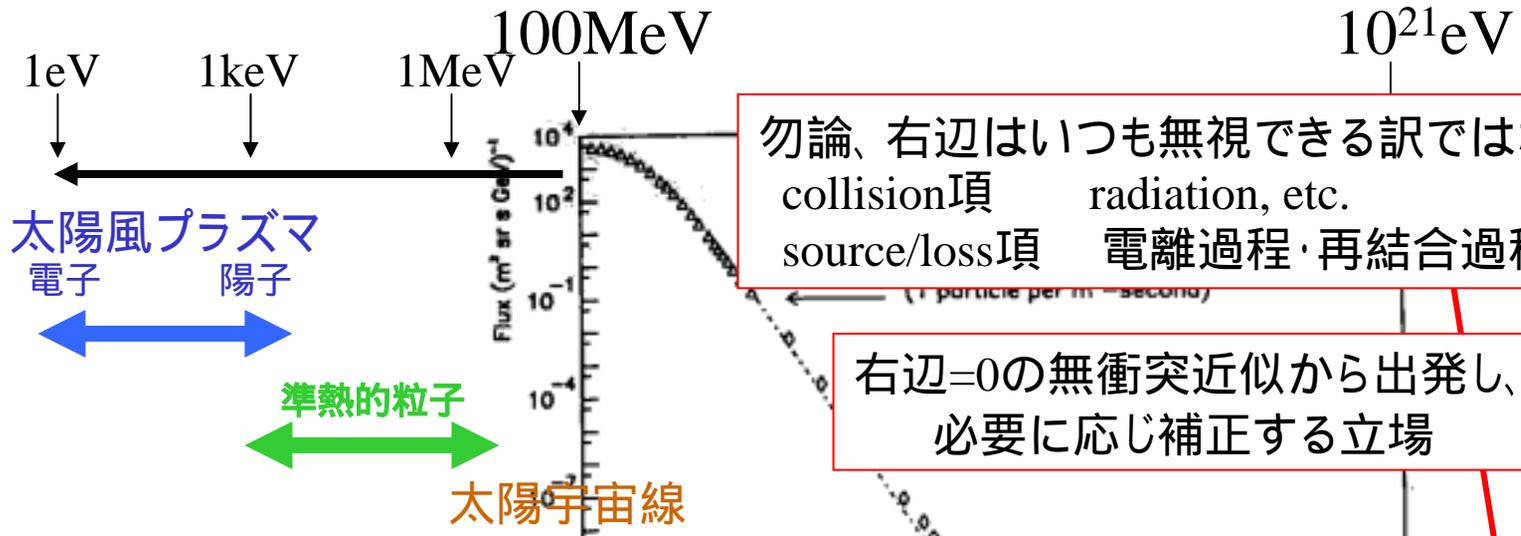


‘粒子天文学’=宇宙プラズマ物理学は
この全域、20桁に及ぶ範囲をカバー
(すべき/したい)

えても、エネルギー範囲はあまり
変わらない。
(井上さんのreview)

直接観測に基づく**宇宙プラズマ物理学**研究の現状：
超低～超高エネルギー粒子天文学の登場

宇宙プラズマ物理学



支配方程式: Vlasor

パルサー、オーロラ粒子加速

Collisionless Boltzmann eq.

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{r}} + \frac{q_j}{m_j} \left[\vec{E} + \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{B} \right] \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{v}} \right\} f_j(t, \vec{r}, \vec{v}) = 0$$

Maxwell eqs.

$$\text{div} \vec{B} = 0, \quad \text{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{c \partial t} = 0$$

サイクロトロン共鳴相互作用

$$\Omega_{cj} = q_j B / m_j c \gamma$$

衝撃波統計加速における散乱過程を支配

$$4\pi \sum_j q_j \int d^3 \vec{v} f_j(t, \vec{r}, \vec{v})$$

$$\frac{4\pi}{c} \sum_j q_j \int d^3 \vec{v} \vec{v} f_j(t, \vec{r}, \vec{v})$$

例: 熱的 ~ 準熱的粒子のエネルギー UHECRへ輸送(ボトムアップシナリオ)

Vlasov 方程式から出発。宇宙線粒子の分布関数に注目。
 移流・拡散方程式(Convection-Diffusion eq.)

$$\frac{\partial f_{cr}}{\partial t} + \vec{V}_{flow} \cdot \frac{\partial f_{cr}}{\partial \vec{r}} - \frac{1}{3} (\text{div} \vec{V}_{flow}) \frac{\partial f_{cr}}{\partial \ln p} = \text{div} \left(D \frac{\partial f_{cr}}{\partial \vec{r}} \right)$$

拡散係数 D はサイクロトロン共鳴条件 $\Omega_{cj} = q_j B / m_j c \gamma$ を満たすアルフェン波(MHD乱流)が決める。

支配方程式: Vlas **パルサー、オーロラ粒子加速**

Collisionless Boltzmann eq. $\left\{ \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{r}} + \frac{q_j}{m_j} \left[\vec{E} + \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{B} \right] \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{v}} \right\} f_j(t, \vec{r}, \vec{v}) = 0$

Maxwell eqs. $\text{div} \vec{B} = 0, \text{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{c \partial t} = 0$

サイクロトロン共鳴相互作用
 $\Omega_{cj} = q_j B / m_j c \gamma$
衝撃波統計加速における散乱過程を支配

$$4\pi \sum_j q_j \int d^3 \vec{v} f_j(t, \vec{r}, \vec{v})$$

$$\frac{4\pi}{c} \sum_j q_j \int d^3 \vec{v} \vec{v} f_j(t, \vec{r}, \vec{v})$$

例: 熱的 ~ 準熱的粒子のエネルギー UHECRへ輸送(ボトムアップシナリオ)

衝擊波統計加速: Blandford and Ostriker理論

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 221:L29-L32, 1978 April 1

PARTICLE ACCELERATION BY ASTROPHYSICAL SHOCKS

R. D. BLANDFORD

AND

J. P. OSTRIKER

California Institute of Technology

Princeton University Observatory

$$\frac{\partial f}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla)f - \nabla \cdot (D_{\parallel} n n \cdot \nabla f) = \frac{1}{3} [\nabla \cdot \mathbf{u}] \left[\frac{\partial f}{\partial \ln p} \right]$$

or

(1a)

$$u \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{\parallel} \cos^2 \theta \frac{\partial f}{\partial x} \right] = \frac{1}{3} (u_+ - u_-) \delta(x) \left[\frac{\partial f}{\partial \ln p} \right]$$

(1b)

This equation must be solved on either side of the shock and the solutions joined by imposing continuity [by $\delta(x)$] of the distribution function f and the particle energy flux, at a given energy, normal to the shock, $-u \partial f / \partial \ln p^3 - \kappa \nabla f$ [to 0 (u_-/v)], where $\kappa = D_{\parallel} \cos^2 \theta$.

In a stationary solution, the flux $u f - \kappa \nabla f$ must be constant on either side of the shock; f will approach asymptotic values $f_-(f_+)$ as the distance from the shock $x \rightarrow -\infty$ ($x \rightarrow +\infty$). As $\kappa > 0$, the solution behind the shock must be $f = f_+$, $x \geq 0$, whereas ahead of the shock

$$f = f_- + (f_+ - f_-) \exp \left[u_- \int_0^x dx' / \kappa_-(x') \right],$$

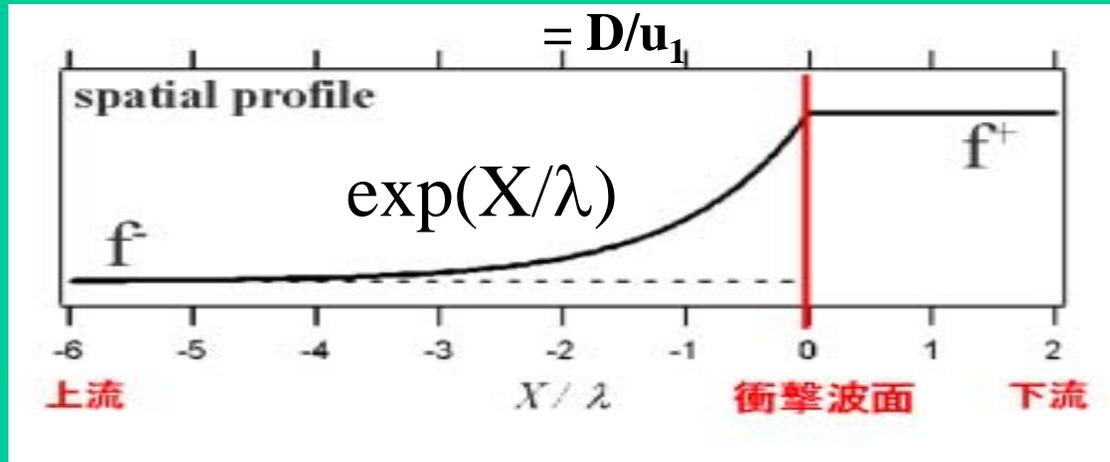
$x \leq 0$. However, independent of the variation of κ_- , we can relate f_+ , f_- , using the junction conditions to obtain $df_+/d \ln p^3 = (f_+ - f_-)u_-/(u_+ - u_-)$, of which the solution is

$$f_+(p) = q p^{-q} \int_0^p f_-(p') p'^{(q-1)} dp', \quad (2)$$

with $q = 3r/(r-1)$. That is to say, incident cosmic rays of space density n_- and momentum p_0 are Fermi accelerated by the shock to give a power-law distribution $f_+(p) = n_- p_0^{(q-3)} \Theta(p - p_0) / 4\pi(q-3)p^{-q}$. If $f_- \propto p^{-s}$ with $s < q$, then $f_+ = q/(q-s)f_- \propto p^{-s}$. However, if $s < q$, lower-energy particles will be accelerated to give $f_+ \propto p^{-q}$, where the coefficient is determined by the number of particles for which Fermi acceleration is more important than thermalization by collisionless processes behind the shock and ionization losses. For particles accelerated in this way, the mean energy gain is $3/(5-2r)$, $r < 2.5$ for nonrelativistic particles, and $3/(4-r)$, $r < 4$ for ultrarelativistic particles.

衝撃波統計加速: Blandford and Ostriker理論

spatial profile



differential momentum spectrum

$$f(p) \cdot p^2 \propto p^{-q}$$

with $q = (r+2)/(r-1)$,

r: compression ratio

宇宙線のエネルギースペクトル $E^{-2.7}$ が自然に説明された!

$$\frac{\partial f}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) f$$

or

$$u \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial f}{\partial x} \right]$$

This equation shock and the [by $\delta(x)$] of the energy flux, at $-u \partial f / \partial \ln p^3$

In a stationary constant on either asymptotic value shock $x \rightarrow -\infty$ behind the shock ahead of the shock

$$f = f_- + (f_+ - f_-) \exp \left[u_- \int_0^x dx' / \kappa_-(x') \right],$$

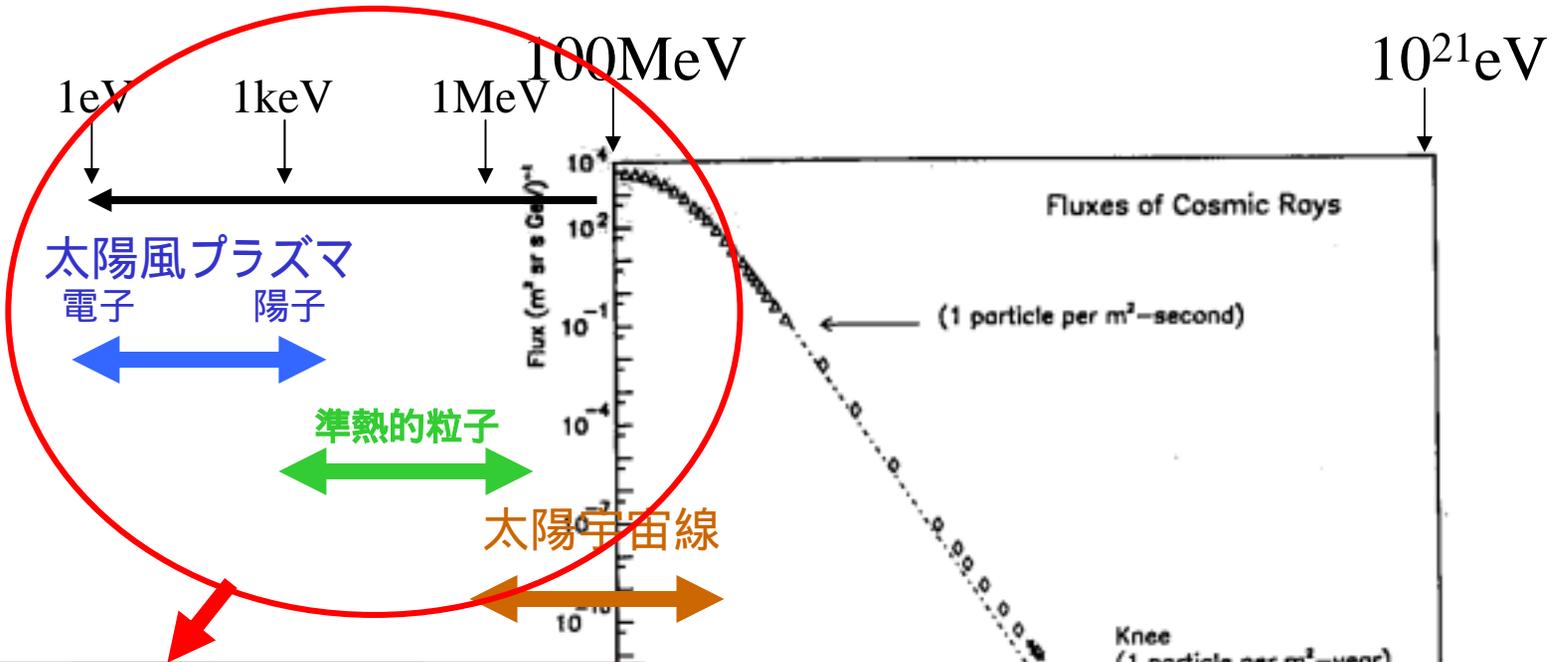
particles accelerated in this way, the mean energy gain is $3/(5 - 2r)$, $r < 2.5$ for nonrelativistic particles, and $3/(4 - r)$, $r < 4$ for ultrarelativistic particles.

tion of κ_- , conditions to of which

(2)

nt cosmic are Fermi y distribu-⁹. If $f_- \propto r^{-q}$. How-ccelerated determined acceleration collisionless losses. For

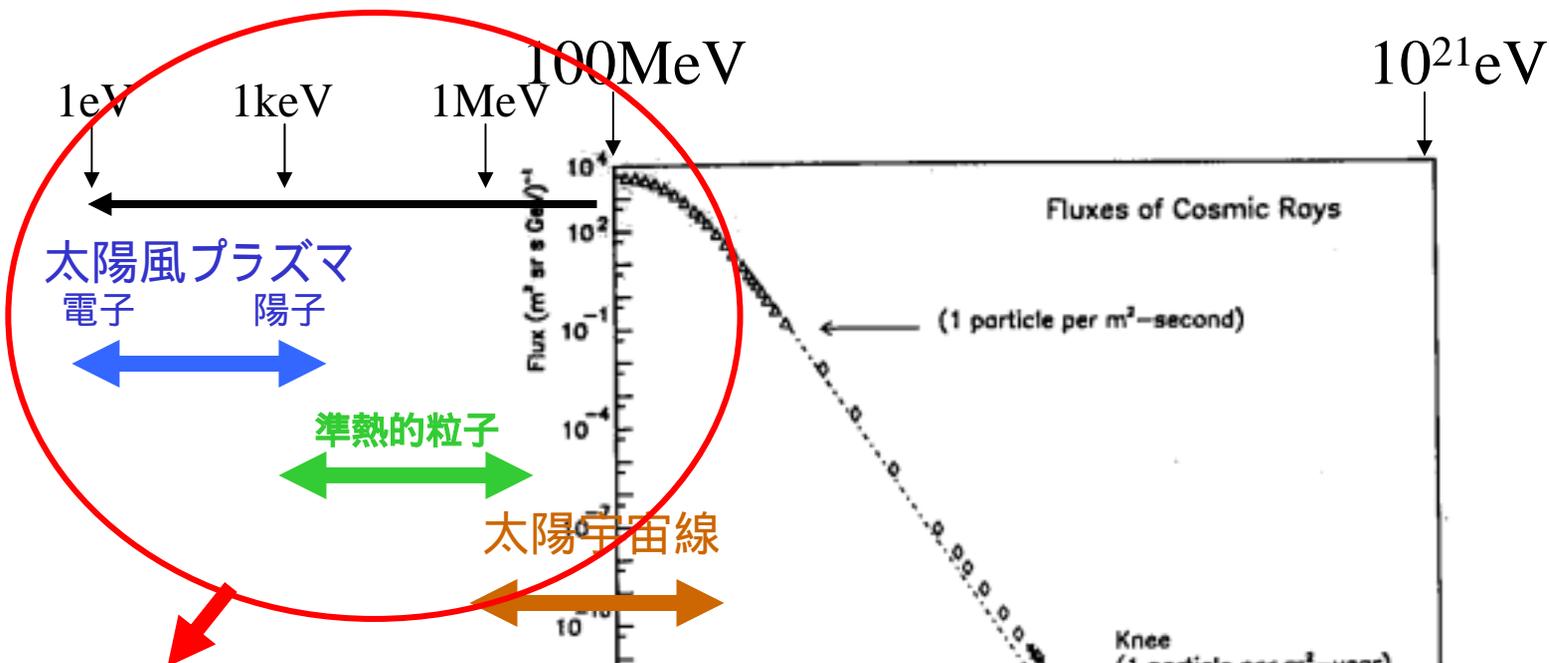
宇宙プラズマ物理学



直接観測可能:
衝撃波統計加速理論の
検証の舞台:
1970年代末 ~ 1980年代前半

最近の寄与:
非線形効果の観測的証拠
電子加速とイオン加速

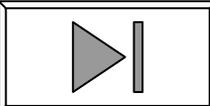
宇宙プラズマ物理学



直接観測可能:
衝撃波統計加速理論の
検証の舞台:
1970年代末 ~ 1980年代前半

最近の寄与:
非線形効果の観測的証拠
電子加速とイオン加速

衝撃波統計加速の観測的証拠



宇宙プラズマ物理学

支配方程式: Vlasov方程式系

$$\text{Collisionless Boltzmann eq. } \left\{ \frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{r}} + \frac{q_j}{m_j} \left[\vec{E} + \frac{1}{c} \vec{V} \times \vec{B} \right] \cdot \frac{\partial}{\partial \vec{V}} \right\} f_j(t, \vec{r}, \vec{V}) = 0$$

Maxwell eqs.

$$\text{div} \vec{B} = 0, \quad \text{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{c \partial t} = 0$$

$$\text{div} \vec{E} = 4\pi \sum_j q_j n_j \equiv 4\pi \sum_j q_j \int d^3 \vec{V} f_j(t, \vec{r}, \vec{V})$$

$$\text{rot} \vec{B} - \frac{\partial \vec{E}}{c \partial t} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} \equiv \frac{4\pi}{c} \sum_j q_j \int d^3 \vec{V} \vec{V} f_j(t, \vec{r}, \vec{V})$$

Vlasov方程式の
モーメント

1流体MHD方程式系

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\nabla \cdot (n \mathbf{u})$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \frac{\nabla P}{n} + \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{n}$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) P - \gamma P (\nabla \cdot \mathbf{u})$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \Delta \mathbf{B}, \quad \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{B}$$

電気抵抗:

2体衝突起源ではなく、
波動・粒子相互作用による
“異常抵抗”であるとする。

MHD過程の代表例:

磁気リコネクション

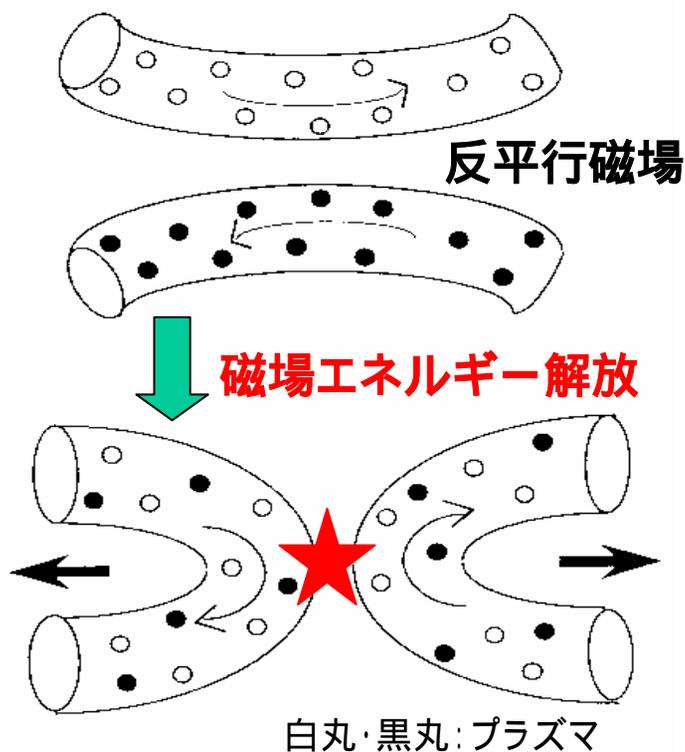
天体プラズマ

太陽コロナ・フレア

磁気圏

地上プラズマ

に共通する物理過程



University of Tokyo Symposium in 2000 on
Magnetic Reconnection
in
Space and Laboratory Plasmas

at Sanjo-Kaikan, University of Tokyo
Tokyo, Japan Feb. 29 - Mar. 4



Chairpersons:

Y. Ono, K. Shibata, T. Terasawa

Scientific Organizing Committee:

D. Biskamp, M. Katsurai, K. Makishima,
A. Nishida, E.R. Priest, T. Sato,
M. Scholer, R. Stenzel, S. Tsuneta,
M. Yamada

Local Organizing Committee:

M. Hoshino, R. Matsumoto, T. Yokoyama

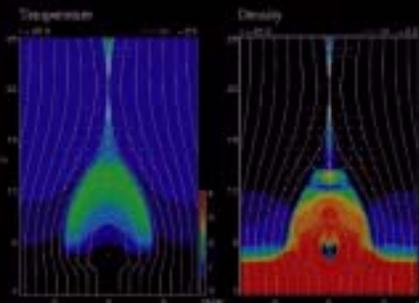
A. Ejiri, T. Itagaki, T. Kosugi,
H. Kurokawa, T. Mukai, T. Shimizu,
Y. Takase, M. Ugai, Z. Yoshida

Contact Address:

Y. Ono
High Temperature Plasma Center
University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-8656, JAPAN
fax: +81-3-5841-6790
email: mr2000@mr.nro.nao.ac.jp

Further Information:

web: <http://mr.nro.nao.ac.jp/mr2000/>



MHD過程の代表例:

磁気リコネクション

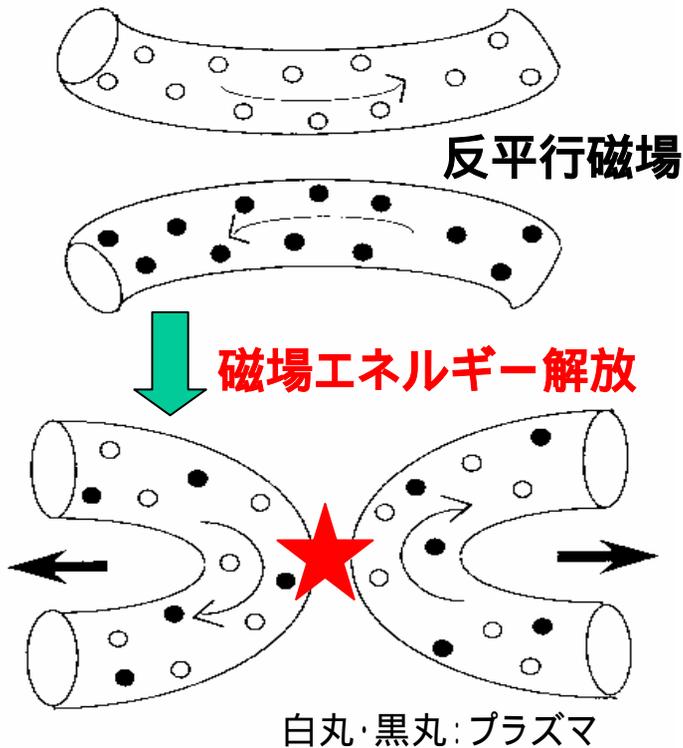
天体プラズマ

太陽コロナ・フレア

磁気圏

地上プラズマ

に共通する物理過程



University of Tokyo Symposium in 2000 on Magnetic Reconnection in Space and Laboratory Plasmas

at Sanjo-Kaikan, University of Tokyo
Tokyo, Japan Feb. 29 - Mar. 4



Chairpersons:

Y. Ono, K. Shibata, T. Terasawa

Scientific Organizing Committee:

D. Biskamp, M. Katsurai, K. Makishima,
A. Nishida, E.R. Priest, T. Sato,
M. Scholer, R. Stenzel, S. Tsuneta,
M. Yamada

太陽風中のリコネクション

リコネクションにおけるHall電流効果

KH不安定性とリコネクション

Contact Address

Y. Ono
High Temperature Plasma Center
University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku
Tokyo 113-8656,
fax: +81-3-5841-6790
email: mr2000@mr.nro.nao.ac.jp

Further Information:

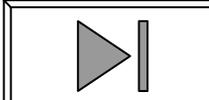
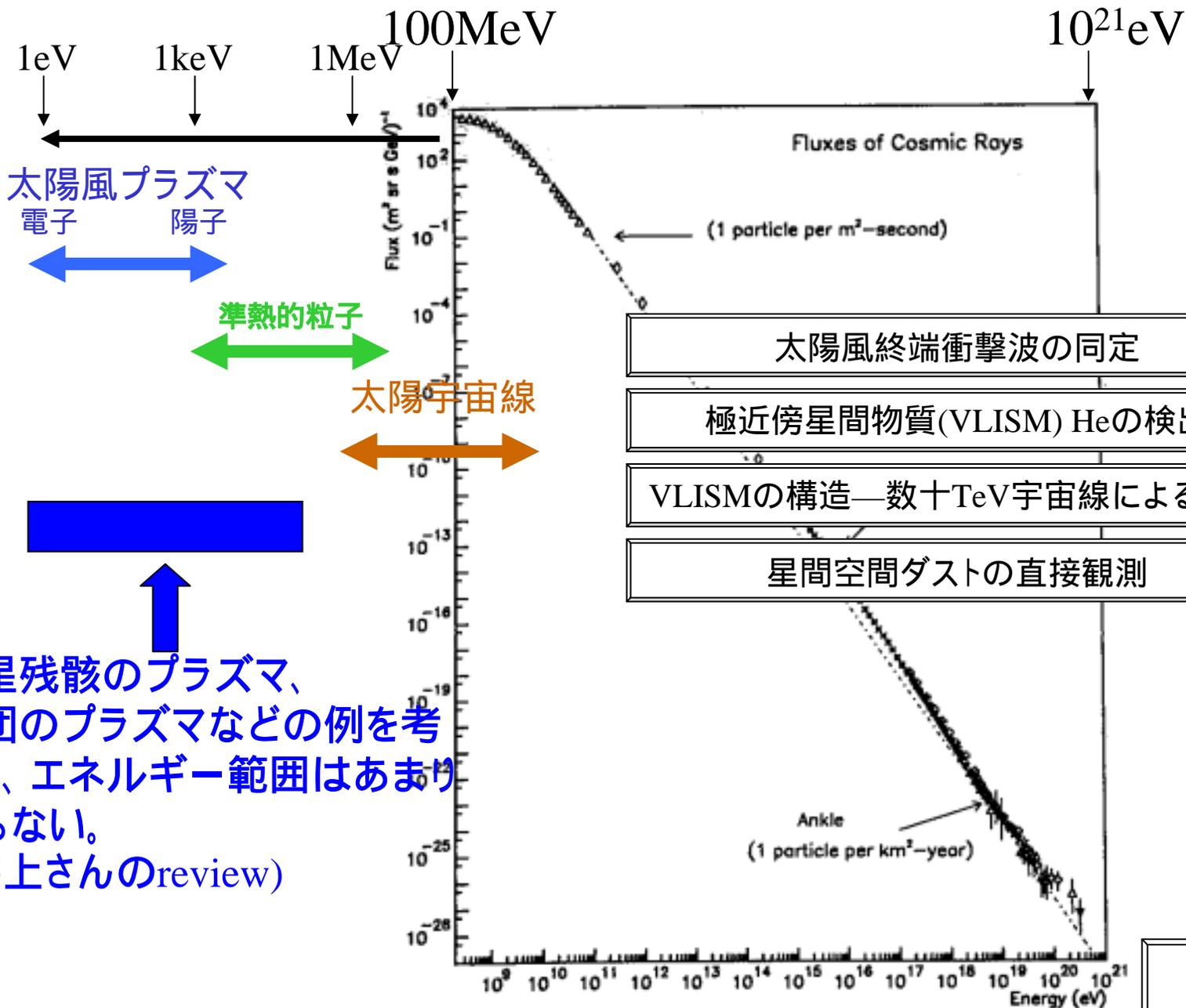
web: <http://mr.nro.nao.ac.jp/mr2000/>

More about reconnection 新田さんの講演



宇宙プラズマ物理学

“粒子天文学”的観点の話題

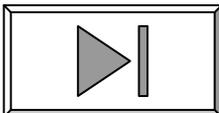


佐藤文隆氏の提唱：「地文台」によるサイエンス

宇宙観測はますます巨大な観測施設を必要としている。さらにハイテクの進歩で宇宙地球の観測技術が長足に進歩している。一方、社会的には気候変動のような環境問題に関心が高まりおおきな政治・国際・経済・文化問題になっている。この二つの課題を結びつけるのが地文台の構想である。地球を宇宙から詳細に観測することによって微弱な地球現象の観測が他の手段で不可能な宇宙の情報をえることが出来る。すなわち、地球全体を宇宙観測装置として使うという発想である。このようにして地球と宇宙への関心を結びつけることによって、環境への環境教育にも貢献できるものと考える。

宇宙観測の精密化(低バックグラウンド追求) 環境モニタ

地球環境観測の精密化:宇宙からのシグナル検出

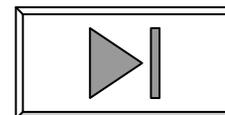


佐藤文隆氏の提唱：「地文台」によるサイエンス

宇宙観測はますます巨大な観測施設を必要としている。さらにハイテクの進歩で宇宙地球の観測技術が長足に進歩している。一方、社会的には気候変動のような環境問題に関心が高まりおおきな政治・国際・経済・文化問題になっている。この二つの課題を結びつけるのが地文台の構想である。地球を宇宙から詳細に観測することによって微弱な地球現象の観測が他の手段で不可能な宇宙の情報をえることが出来る。すなわち、地球全体を宇宙観測装置として使うという発想である。このようにして地球と宇宙への関心を結びつけることによって、環境への環境教育にも貢献できるものと考える。

宇宙観測の精密化(低バックグラウンド追求) 環境モニタ

地球環境観測の精密化：宇宙からのシグナル検出



宇宙観測の精密化(低バックグラウンド追求) 環境モニタ (昨日の北本さんのreview)

X線天文衛星「すざく」の太陽風重イオン(特性X線)観測 (9月の物理学会講演より。c.f. PASJ 2007)

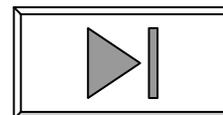
その1: 「すざく」衛星による 73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星の観測

江副 祐一郎 (宇宙研)、伊藤 真之 (神戸大)、浦田 裕司 (埼玉大)、菊池 温子 (神戸大)、Caroline Kilbourne (NASA/GSFC)、幸村 孝由 (工学院大)、常深 博 (大阪大)、坪井 陽子 (中央大)、濱口 健二 (NASA/GSFC)、半谷 雅志 (中央大)、Greg Brown (LLNL)、Scott Porter (NASA/GSFC)、前田 良知 (宇宙研)、他「すざく」チーム

その2: X線天文衛星「すざく」がとらえた太陽風の電荷交換反応による輝線放射 (accepted by PASJ, astroph/0609308)

藤本龍一¹, 満田和久¹, D. McCammon², 竹井洋¹, M. Bauer³, 石崎欣尚⁴, F. S. Porter⁵,
山口弘悦⁶, 林田清⁷, 山崎典子¹, 他, 「すざく」チーム

1: JAXA宇宙科学研究本部, 2: Wisconsin大, 3: MPE, 4: 首都大理, 5: NASA/GSFC, 6: 京大理, 7: 阪大理



宇宙観測の精密化(低バックグラウンド追求) 環境モニタ (昨日の北本さんのreview)

X線天文衛星「すざく」の太陽風重イオン(特性X線)観測 (9月の物理学会講演より。c.f. PASJ 2007)

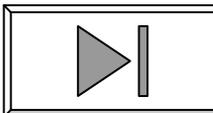
その1: 「すざく」衛星による 73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星の観測

江副 祐一郎 (宇宙研)、伊藤 真之 (神戸大)、浦田 裕司 (埼玉大)、菊池 温子 (神戸大)、Caroline Kilbourne (NASA/GSFC)、幸村 孝由 (工学院大)、常深 博 (大阪大)、坪井 陽子 (中央大)、濱口 健二 (NASA/GSFC)、半谷 雅志 (中央大)、Greg Brown (LLNL)、Scott Porter (NASA/GSFC)、前田 良知 (宇宙研)、他「すざく」チーム

その2: X線天文衛星「すざく」がとらえた太陽風の電荷交換反応による輝線放射 (accepted by PASJ, astroph/0609308)

藤本龍一¹、満田和久¹、D. McCammon²、竹井洋¹、M. Bauer³、石崎欣尚⁴、F. S. Porter⁵、山口弘悦⁶、林田清⁷、山崎典子¹、他、「すざく」チーム

1: JAXA宇宙科学研究本部, 2: Wisconsin大, 3: MPE, 4: 首都大理, 5: NASA/GSFC, 6: 京大理, 7: 阪大理



その2：X線天文衛星「すざく」がとらえた太陽風の電荷交換反応による輝線放射 (accepted by PASJ, astroph/0609308)

藤本龍一¹, 満田和久¹, D. McCammon², 竹井洋¹, M. Bauer³, 石崎欣尚⁴, F. S. Porter⁵,
山口弘悦⁶, 林田清⁷, 山崎典子¹, 他, 「すざく」チーム
1: JAXA宇宙科学研究本部, 2: Wisconsin大, 3: MPE, 4: 首都大理, 5: NASA/GSFC, 6: 京大理, 7: 阪大理

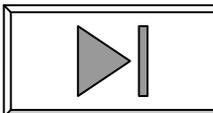
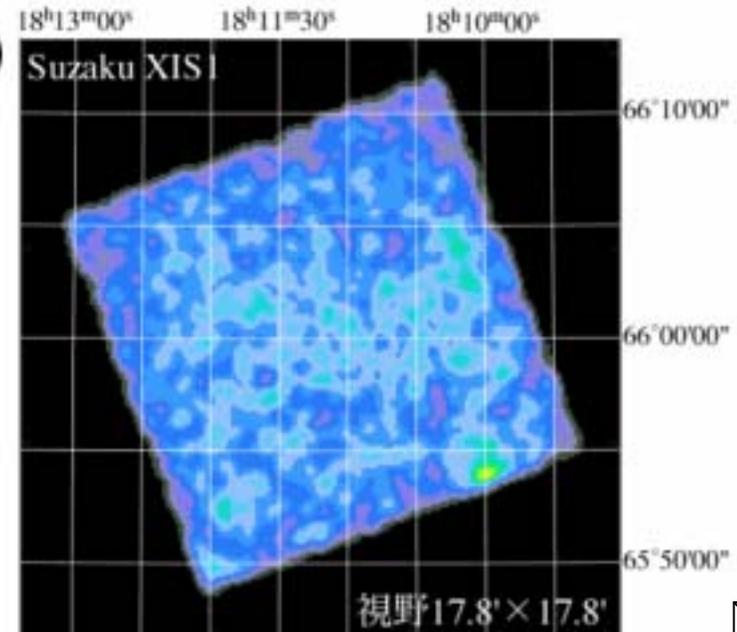
- NEP(黄道北極)領域

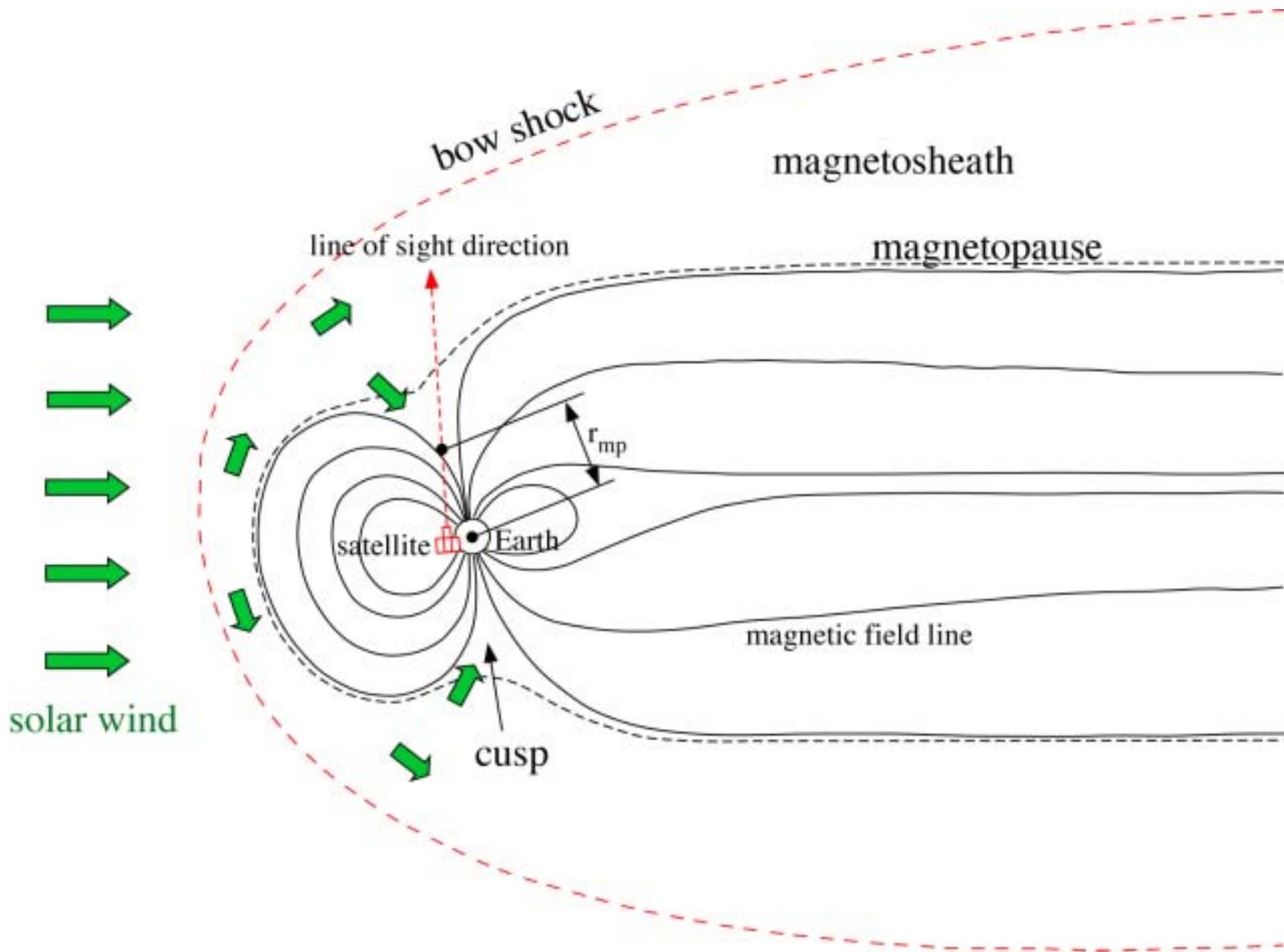
- $(\alpha, \delta) = (18^{\text{h}}11^{\text{m}}12.0^{\text{s}} \ 66^{\circ}00'00'')$
- $(l, b) = (95.7734^{\circ}, 28.6717^{\circ})$
- 明るい天体が存在しないblank sky領域

- すざくによる観測(SWG)

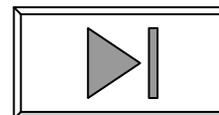
- 2005年9月2日14:30
~9月4日15:00(UT)
- net exposure: 110ks
- X線背景放射

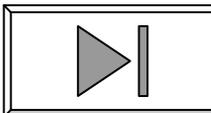
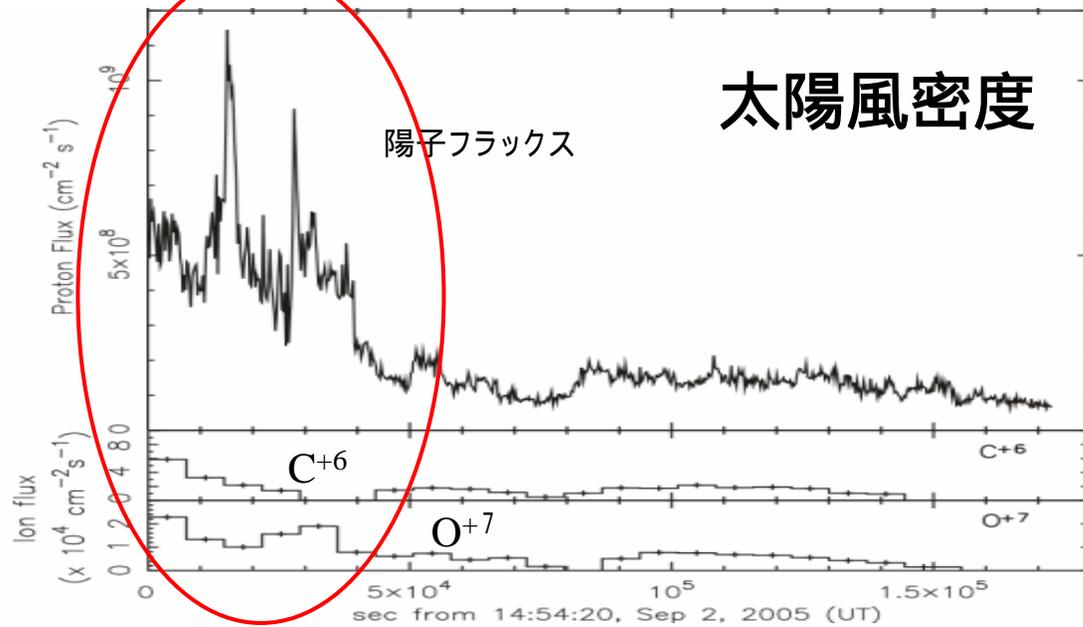
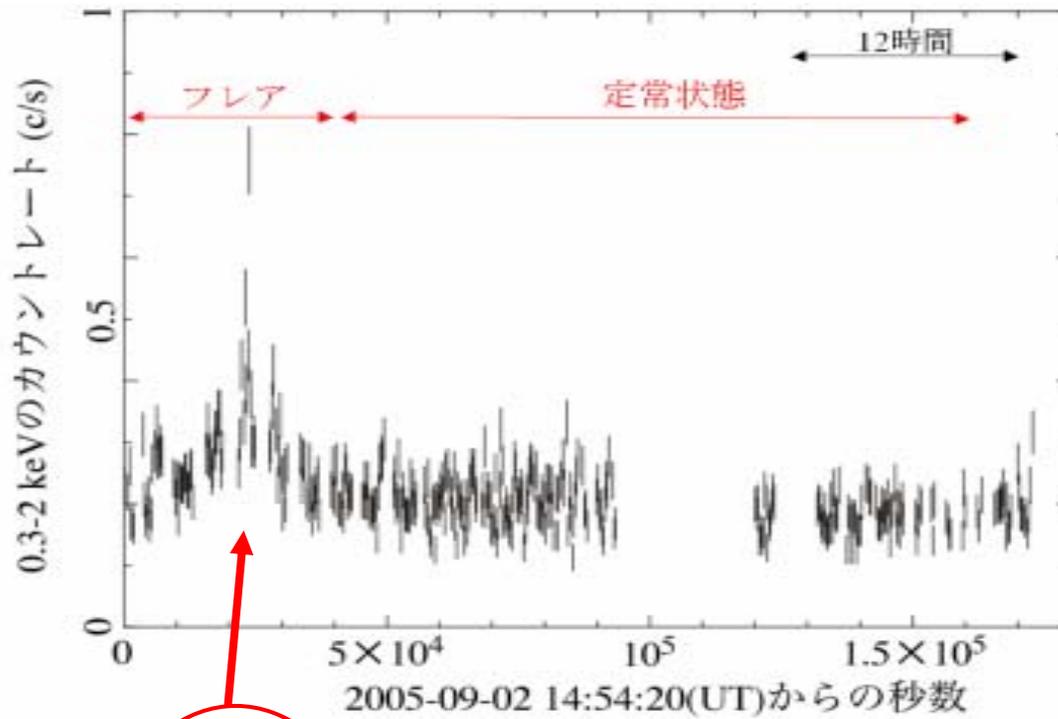
すざくによる観測中に
X線強度の変動が見られた





すざくが見た「北天」は磁気圏カスプを通してのもの



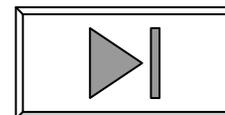


佐藤文隆氏の提唱：「地文台」によるサイエンス

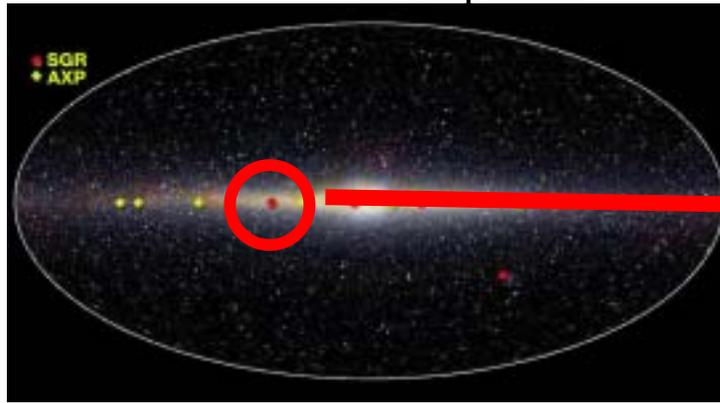
宇宙観測はますます巨大な観測施設を必要としている。さらにハイテクの進歩で宇宙地球の観測技術が長足に進歩している。一方、社会的には気候変動のような環境問題に関心が高まりおおきな政治・国際・経済・文化問題になっている。この二つの課題を結びつけるのが地文台の構想である。地球を宇宙から詳細に観測することによって微弱な地球現象の観測が他の手段で不可能な宇宙の情報をえることが出来る。すなわち、地球全体を宇宙観測装置として使うという発想である。このようにして地球と宇宙への関心を結びつけることによって、環境への環境教育にも貢献できるものと考ええる。

宇宙観測の精密化(低バックグラウンド追求) 環境モニタ

地球環境観測の精密化:宇宙からのシグナル検出

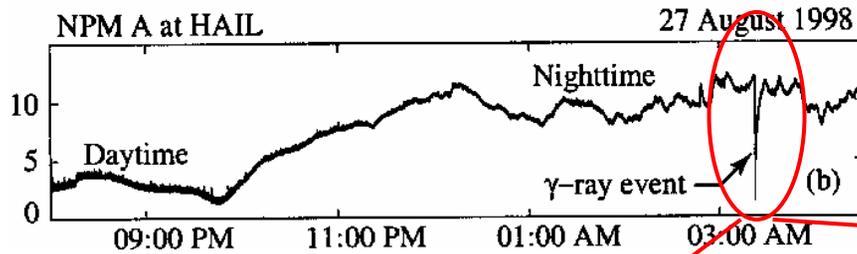
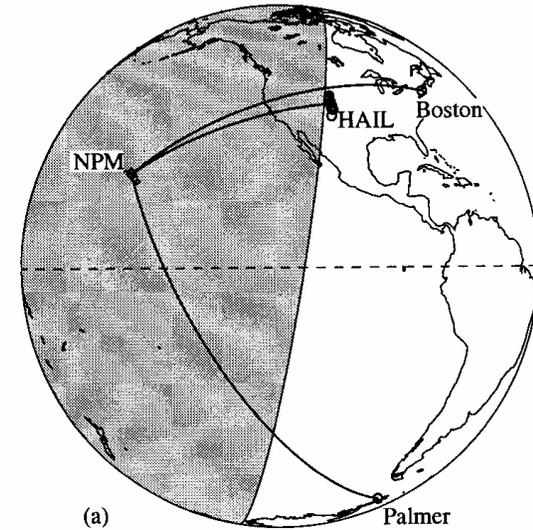


Ionization of the Lower Ionosphere by γ -rays from a Magnetar: Detection of a Low Energy (3–10 keV) Component

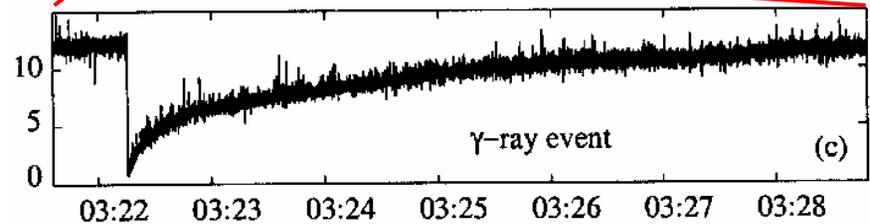


10kpc (~ 3万光年) 離れた SGR (soft gamma repeater) の巨大フレア*で発生した X ~ 線の照射

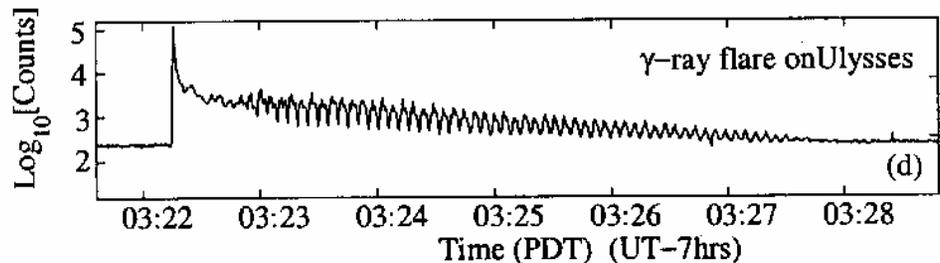
*正体は超強磁場中性子星における磁場エネルギー解放 (磁気嵐!) と考えられている

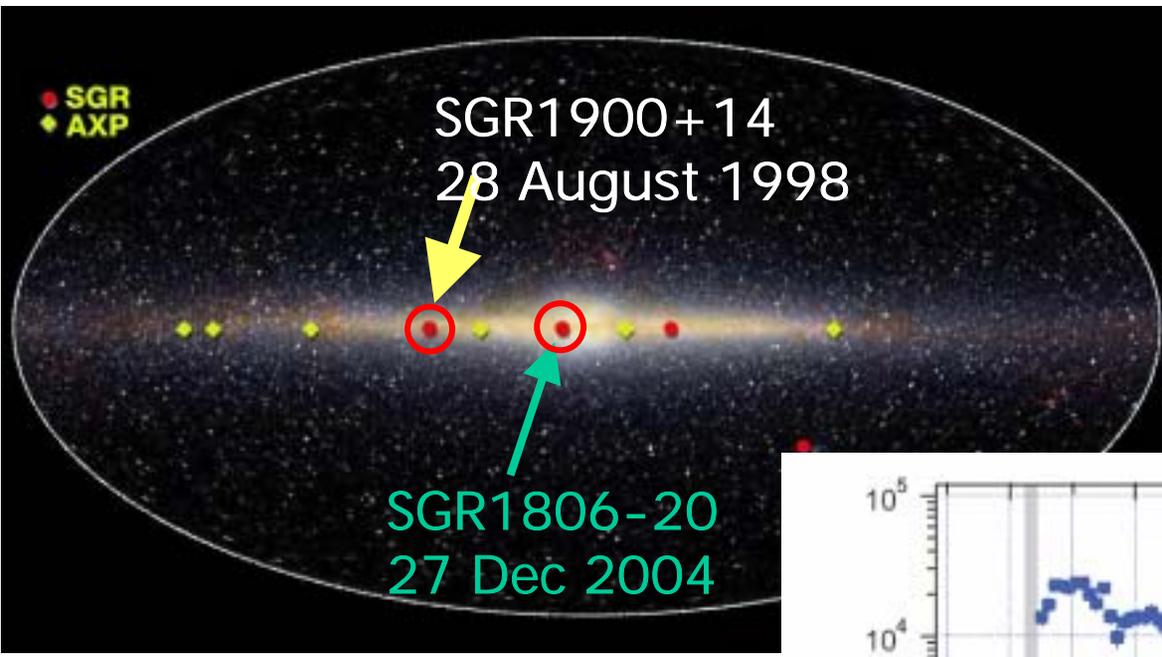


低周波電波回線 (~ 20kHz, ハワイ 北米) の異常吸収増加

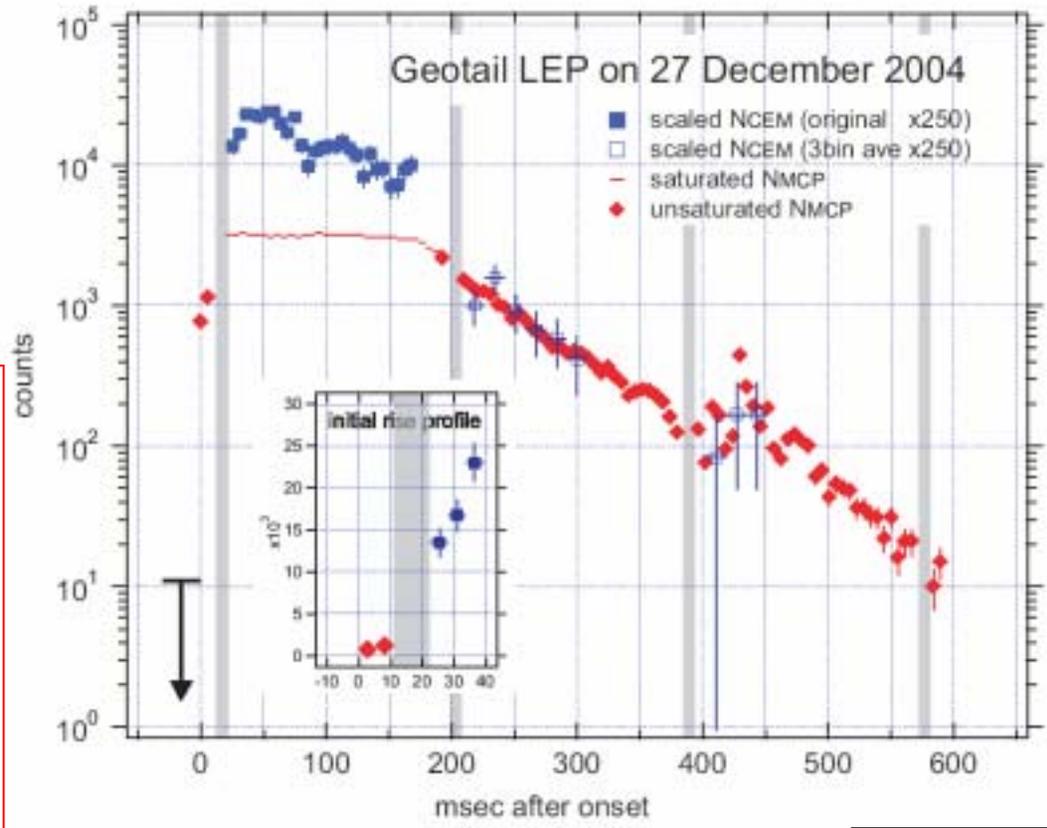


電離層吸収パターンは大気圏外で観測された X ~ 線のプロフィールと瓜二つ (裏返し) である



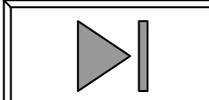


Terasawa et al., 2005



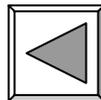
2004年のイベントは1998年のイベントの約100倍程度強かった
 (ピーク約10倍、継続時間約10倍)

天文衛星のX線観測器は軒並みサチった。一方、Geotailプラズマ計測器は硬X線に対する感度が低く(10万分の1以下!)、ピーク波形の観測に成功。

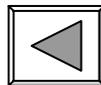


直接観測に基づく宇宙プラズマ物理学研究の現状： 超低～超高エネルギー粒子天文学の登場

衝撃波統計加速の観測的証拠



宇宙プラズマ物理学の観点から

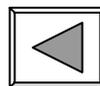


太陽風中のリコネクション

リコネクションにおけるHall電流効果

KH不安定性とリコネクション

粒子天文学の観点から



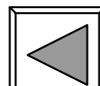
太陽風終端衝撃波の同定

極近傍星間物質(VLISM) Heの検出

VLISMの構造—数十TeV宇宙線による観測

星間空間ダストの直接観測

付録: 「地文台」によるサイエンス



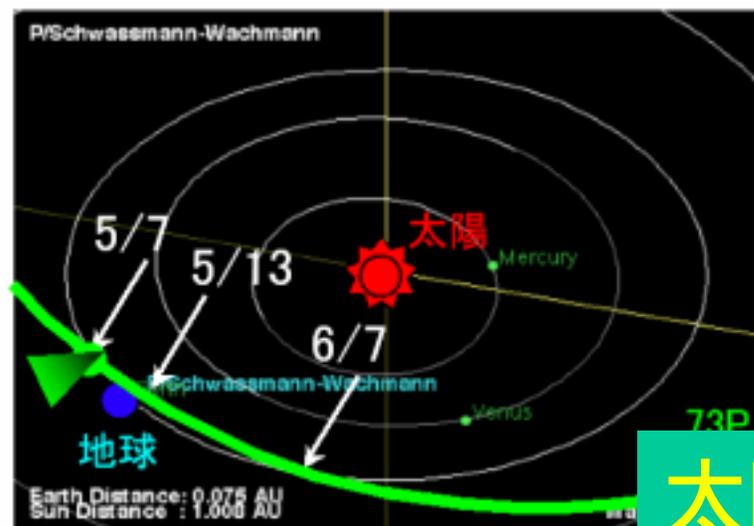
1996年 ROSAT衛星 百武彗星からの軟X線 (Lisse et al. 1996)

15の彗星からのX線検出 $L_x \sim 10^{14-16}$ erg/s (<1 keV)

太陽風の重イオン(C,N,Oなど)の電荷交換説が有力

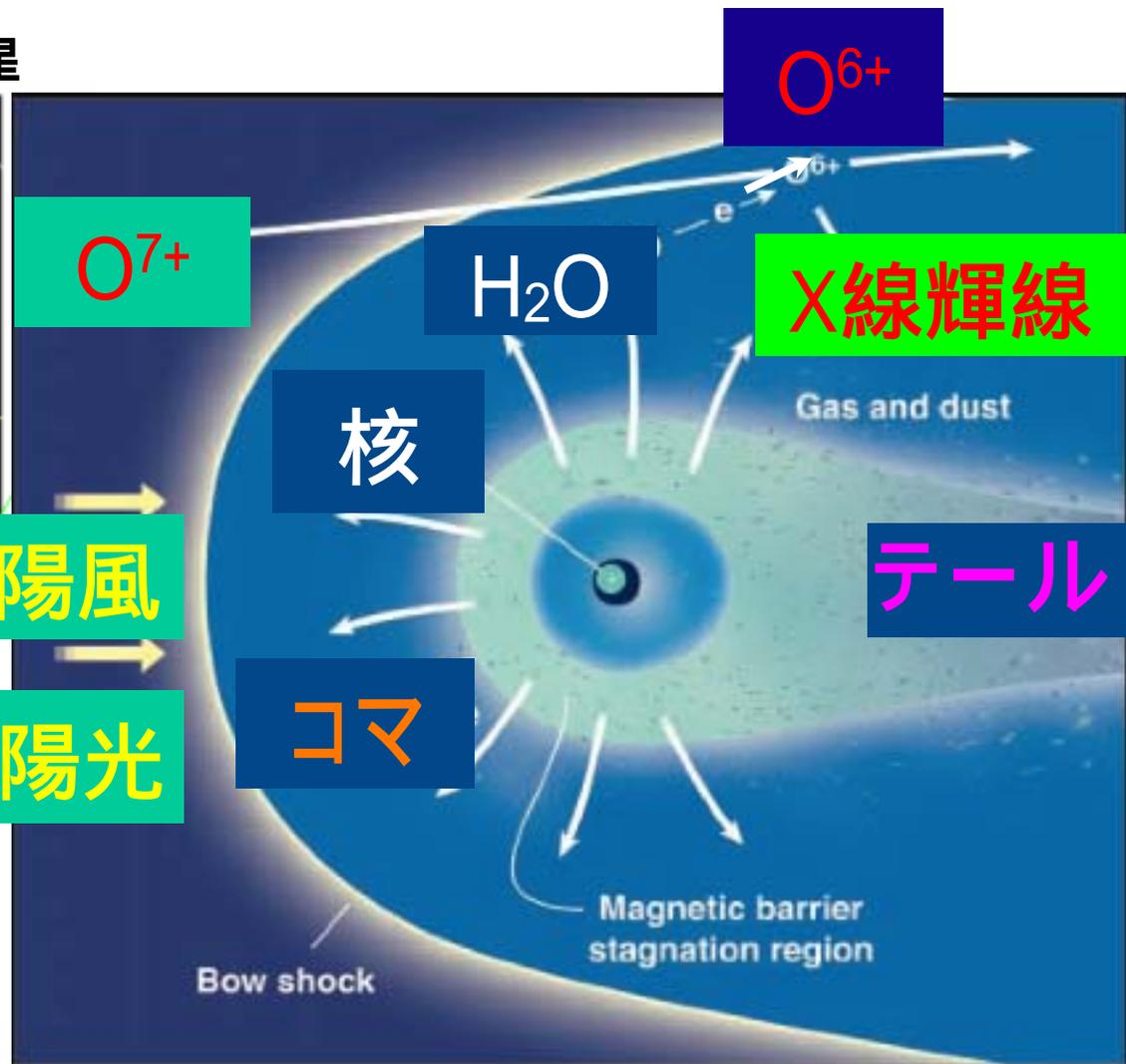
軟X線の高精度分光で検証 「すざく」衛星搭載裏面照射型 X線CCD XIS1

73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星

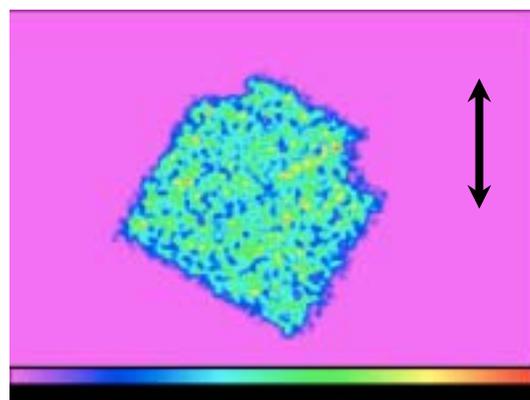
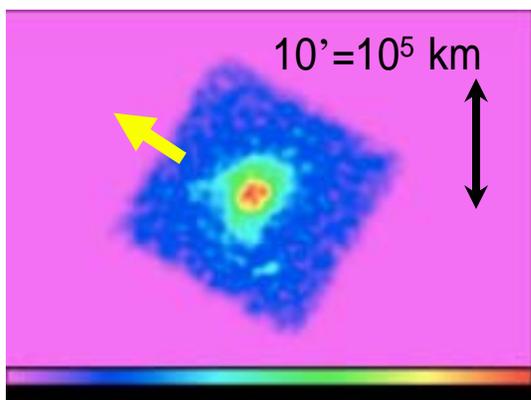
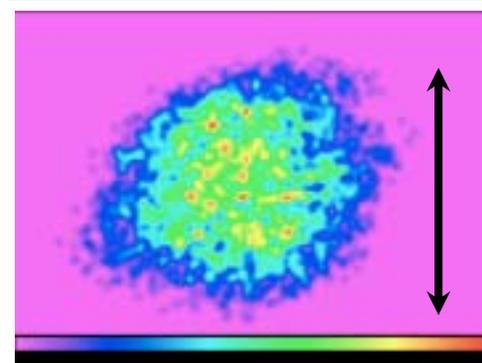
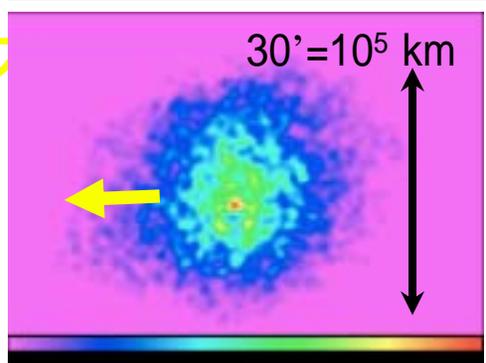
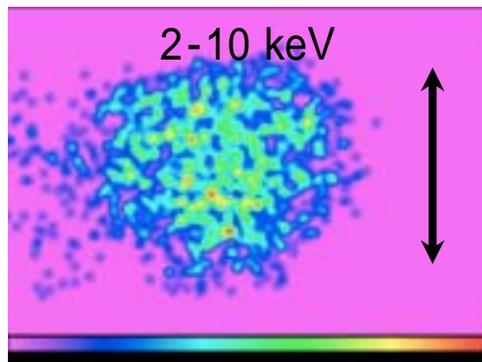
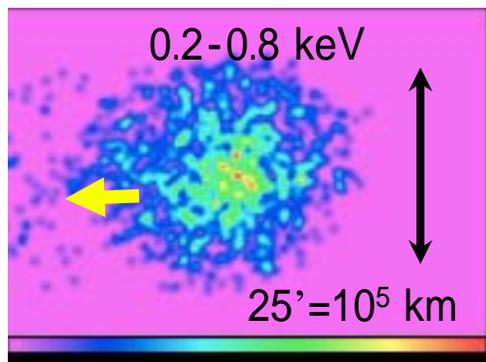


太陽風

太陽光



73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星

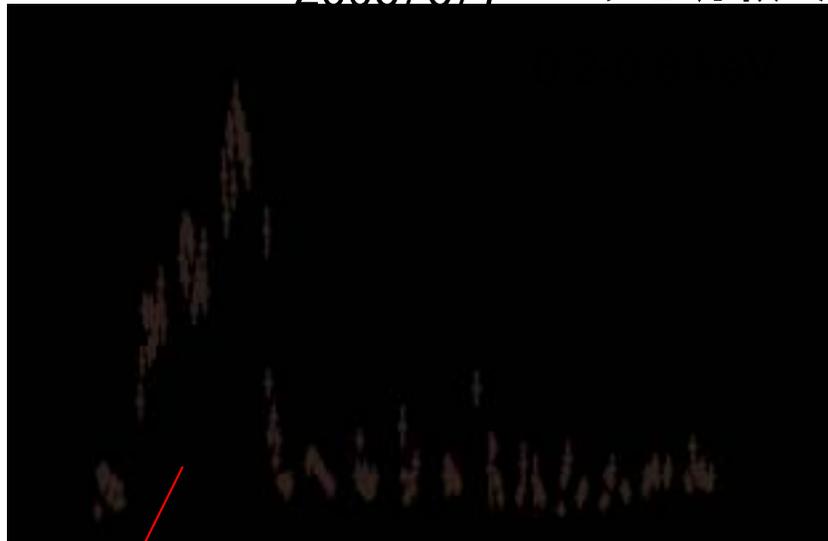


「イベント時刻、CCD位置
から座標を計算 (日大 根来さん
dynsky プログラム)」

5/7, 5 ksec
5/13, 25 ksec
<1 keV バンドと
2-10 keV で違い

6/7, 33 ksec
<1 keV バンドに
広がった天体 10'

重イオンのラインX線のある低エネルギー部分にのみ顕著



ACE

0 20 40 60 80 100

時間 [ksec]

共回転構造によるdelayで説明

