

宇宙空間科学への招待

西田篤弘

創造性の育成塾 2013年8月4日 於富士吉田

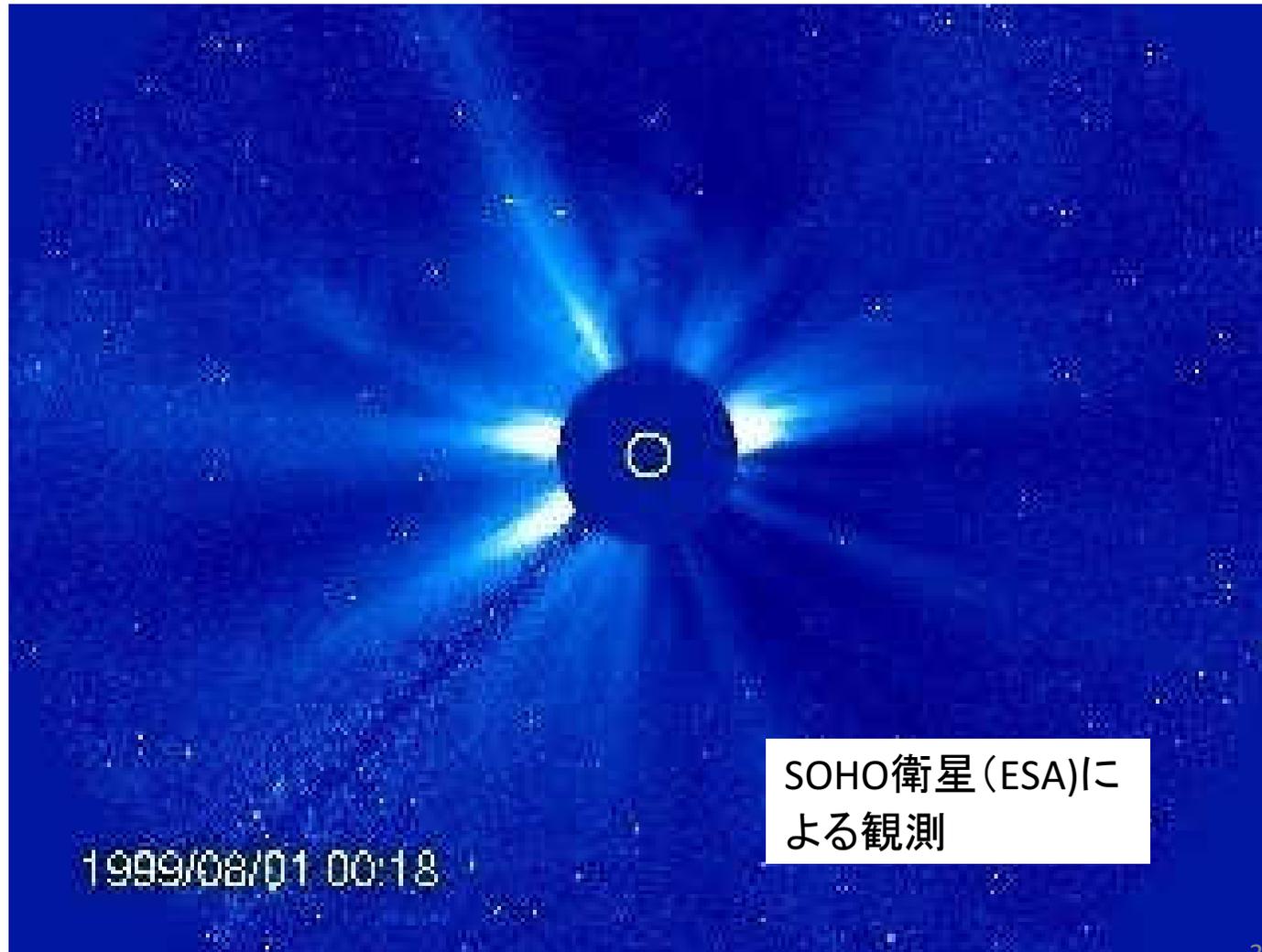
●宇宙空間(space)とは？



太陽のコロナから流れ出すプラズマ^注が 宇宙空間を満たしています。

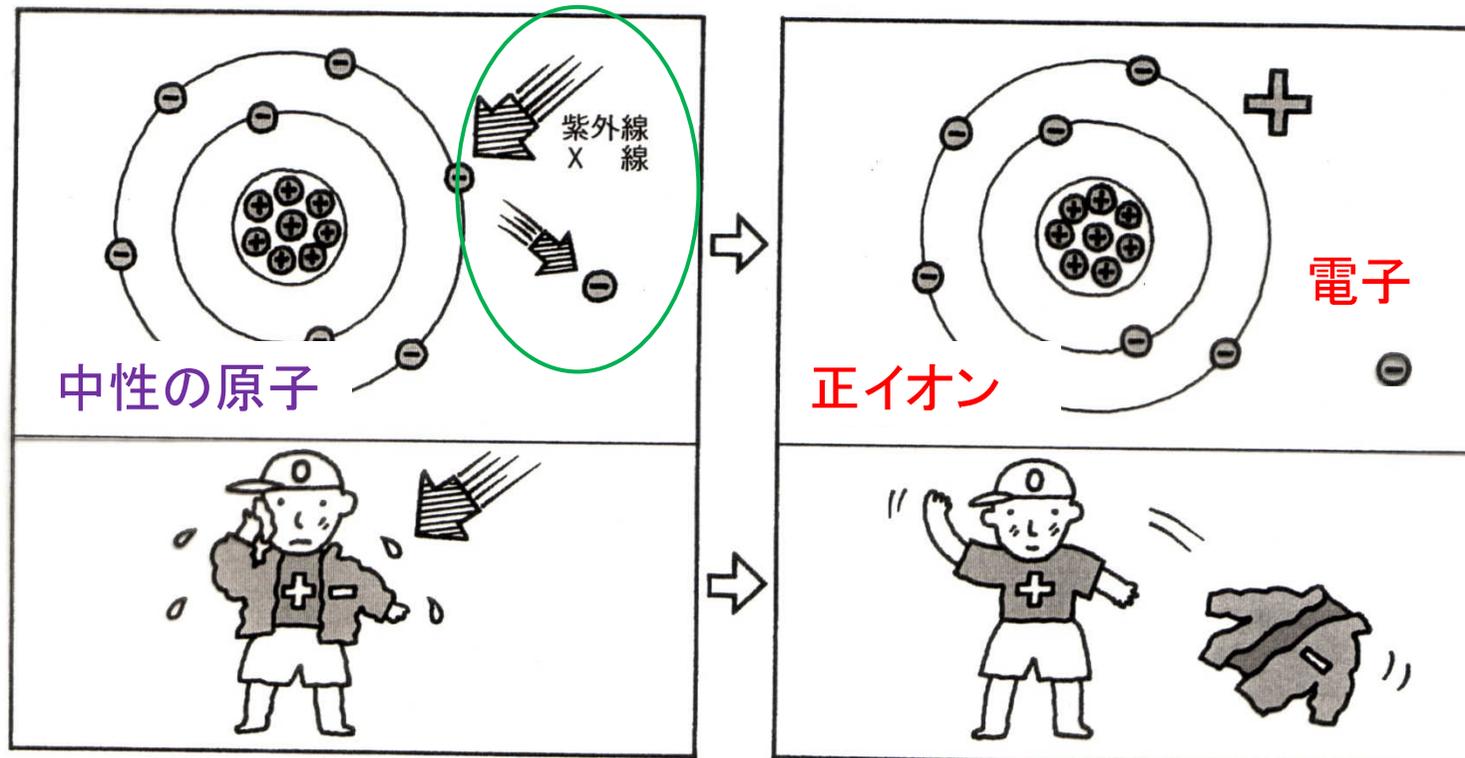
この
プラズマ
の流れを
太陽風
(solar
wind) と
いいます。

速度は数百
km/sであり、
温度は約百
万度です。

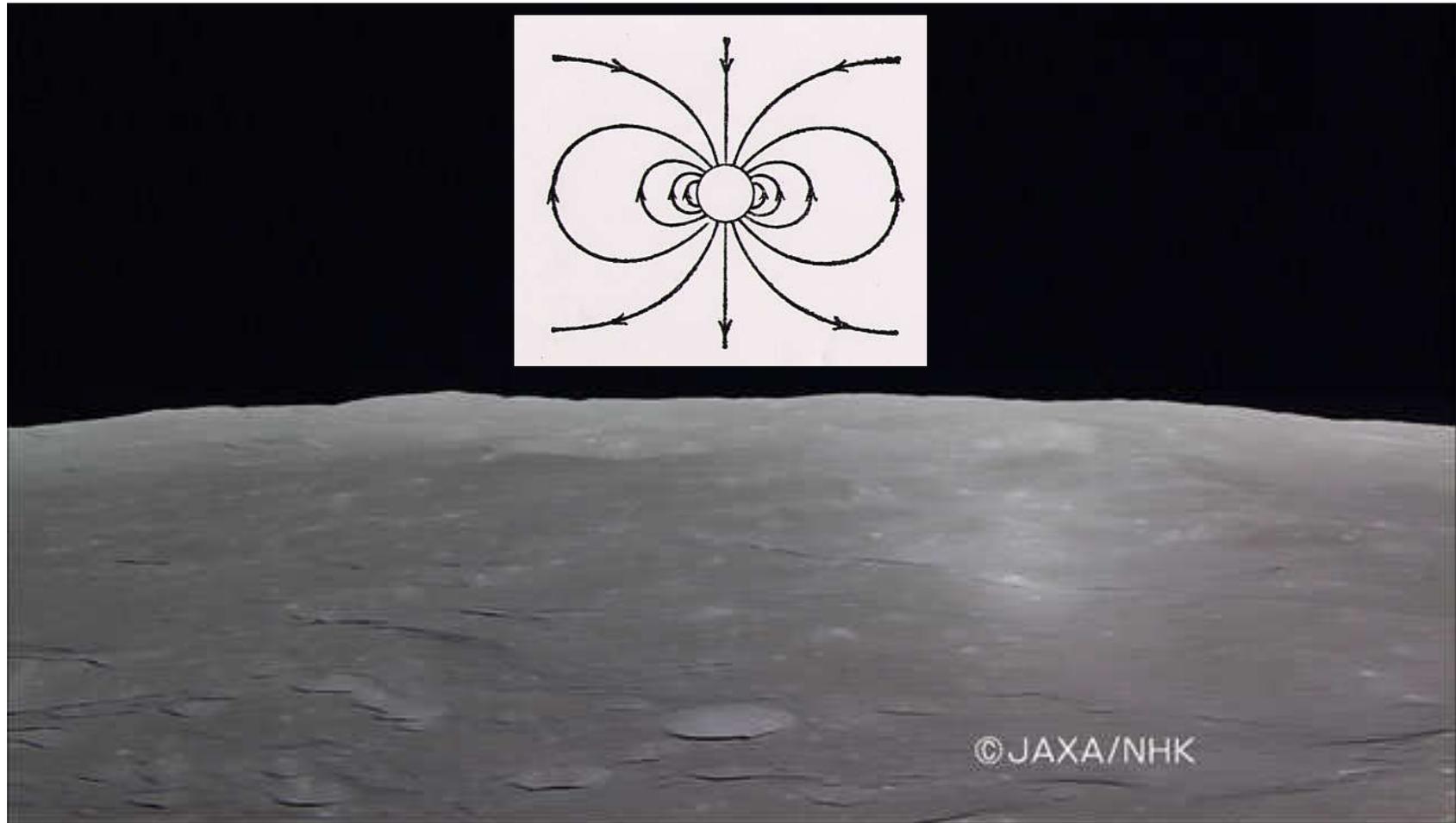


1999年8月1日—31日の観測を35秒で

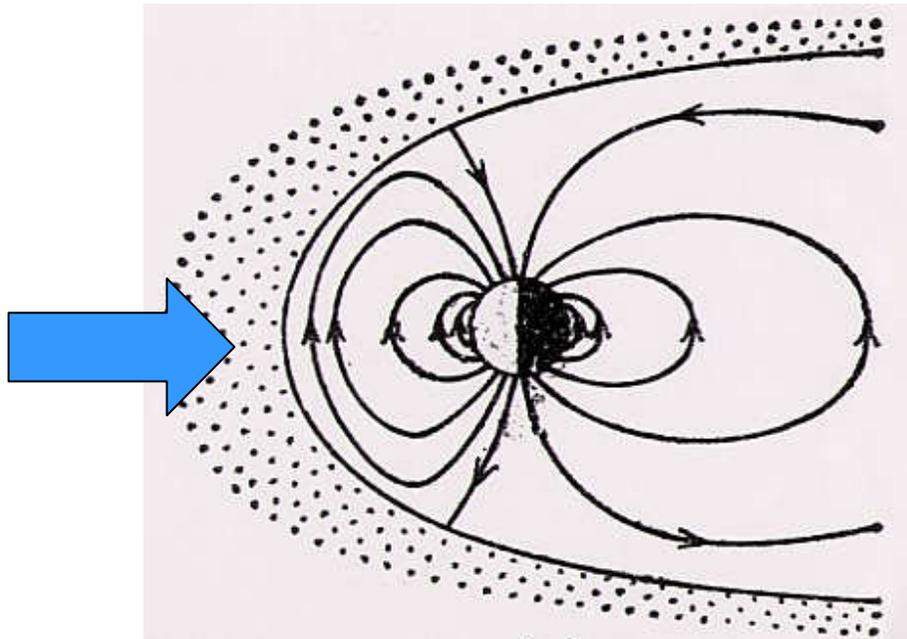
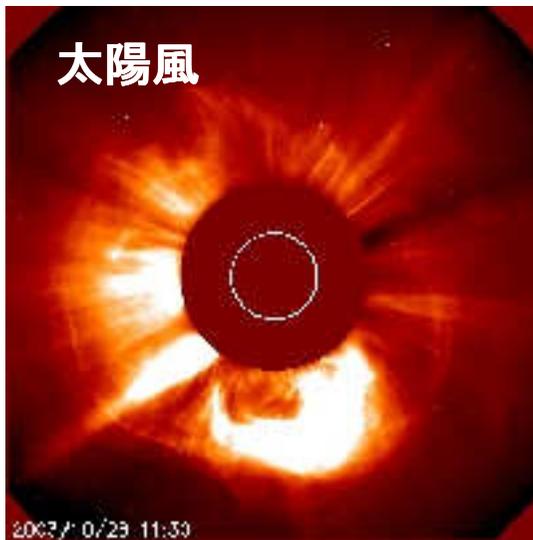
注**プラズマ**とは、原子や分子の中から電子が飛び出し、イオンと電子に分かれている状態のことです。



地球は磁場を持っています。



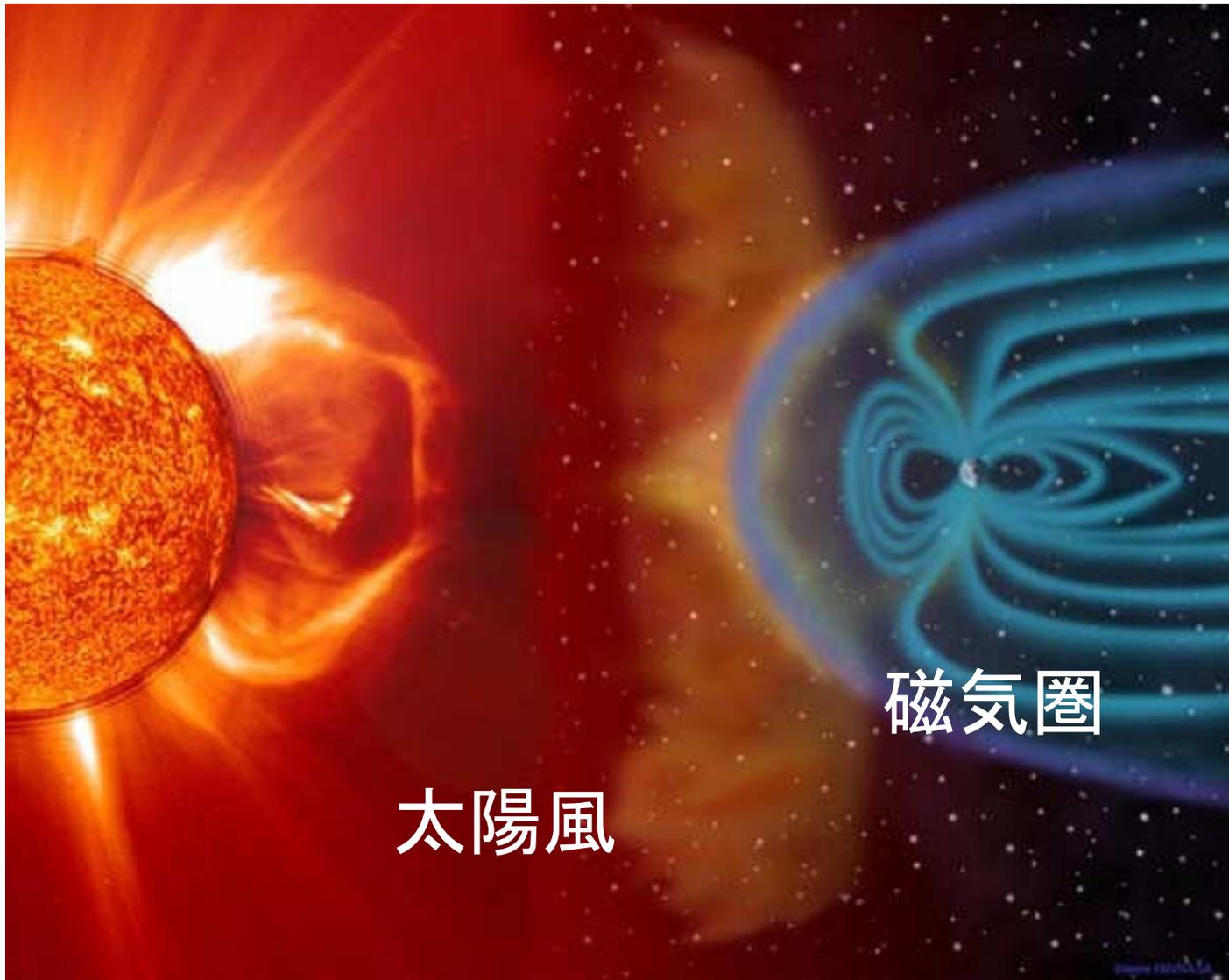
太陽風は、地球の磁場を閉じこめます。



地球は磁気圏(magnetosphere)で囲まれているのです。



もし、磁気圏が目に見えたら・・・

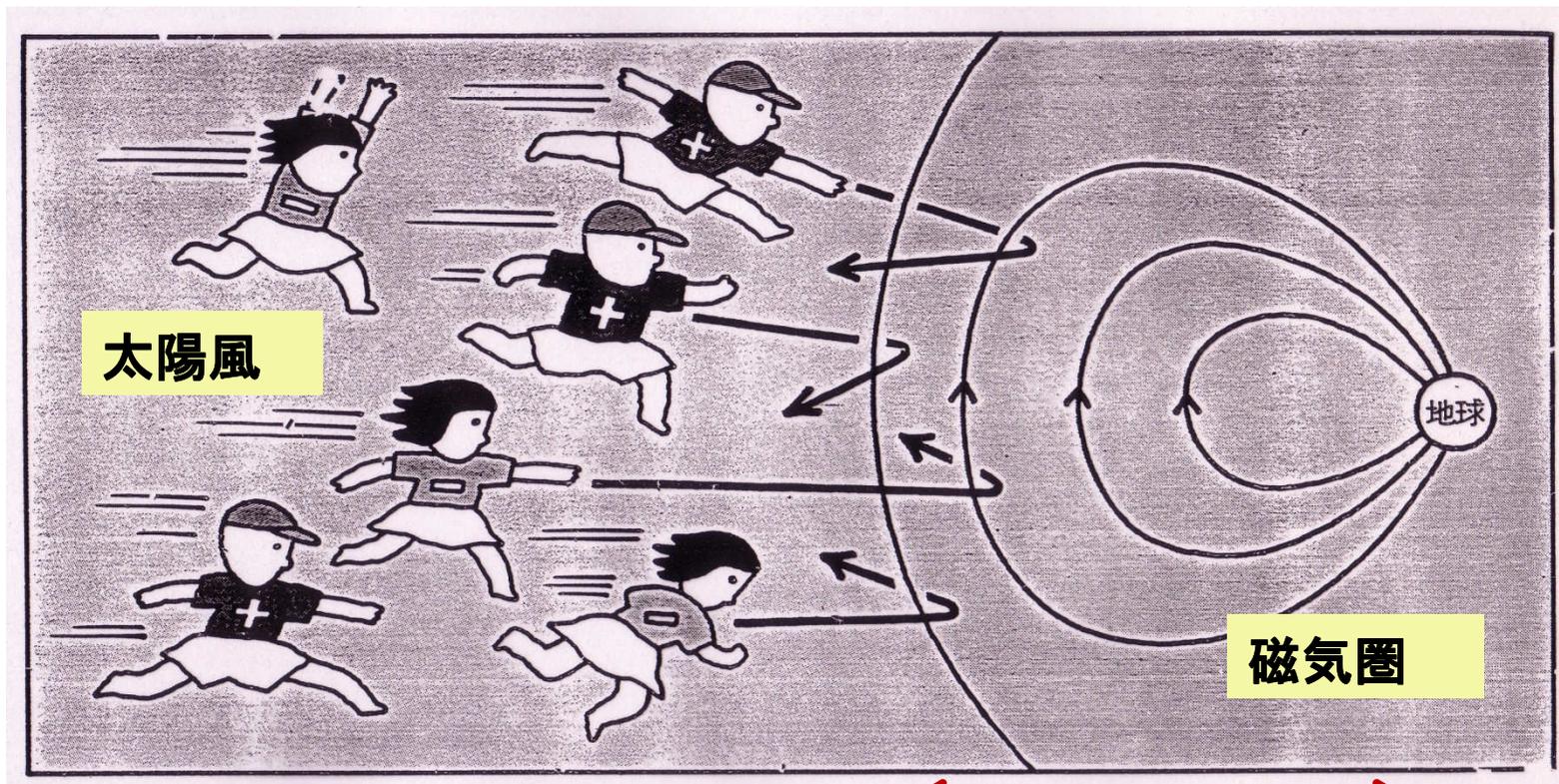


太陽風

磁気圏

地球の磁場が閉じ込められるのは・・・

- イオンや電子の流れは、磁場にぶつかると曲げられます。
- つまり、**太陽風**のイオンや電子は地球磁場に反射されます。
- 一方で、地球の磁場は太陽風の圧力で押し縮められます。
- こうして、**磁気圏**ができるのです。



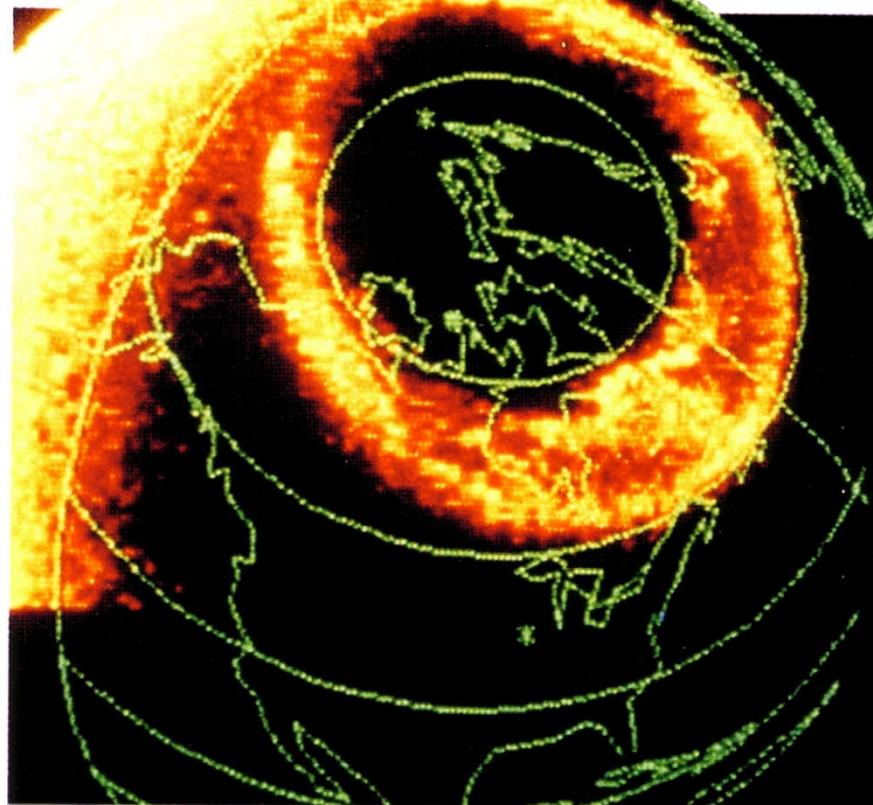
地球の半径の約10倍

磁気圏の中ではいろいろな現象が起きています。
オーロラはその一つです。

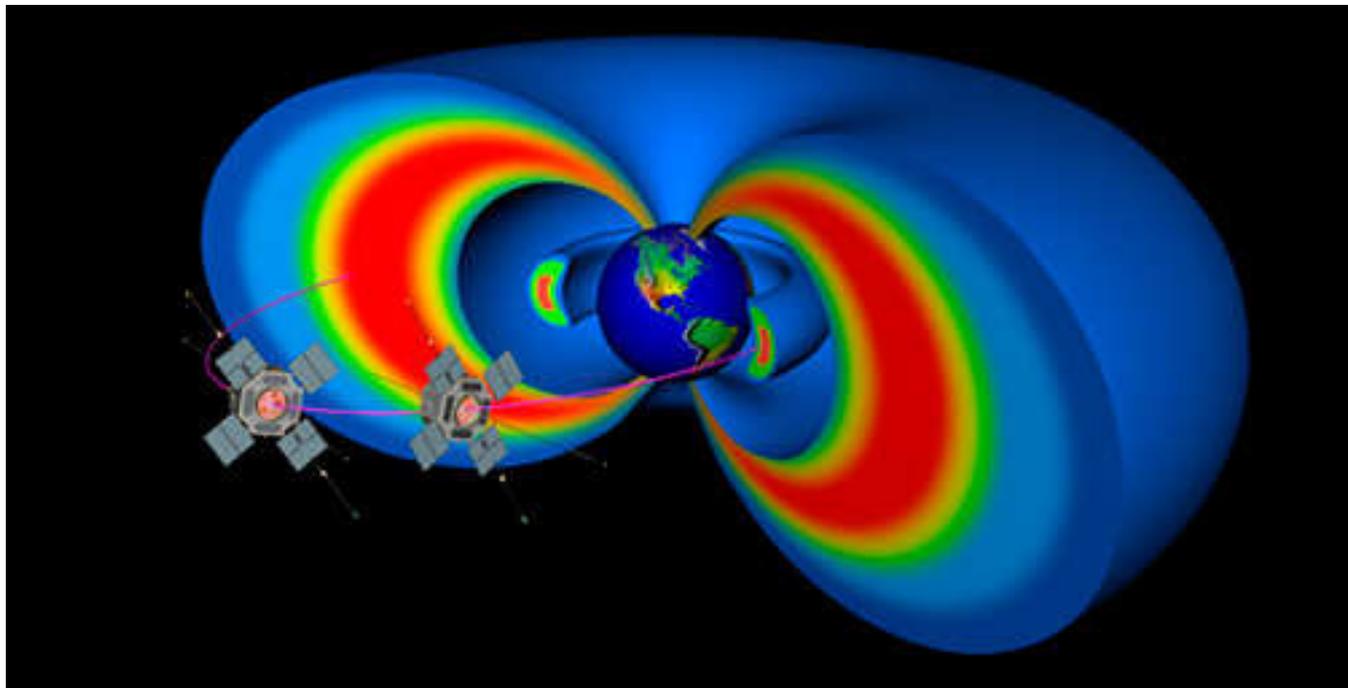
遠くから見ると
オーロラは磁極を
とりまく環の形に
分布しています。

オーロラを光らせる
のは、磁気圏か
ら降下する電子で
す。

太陽の向き



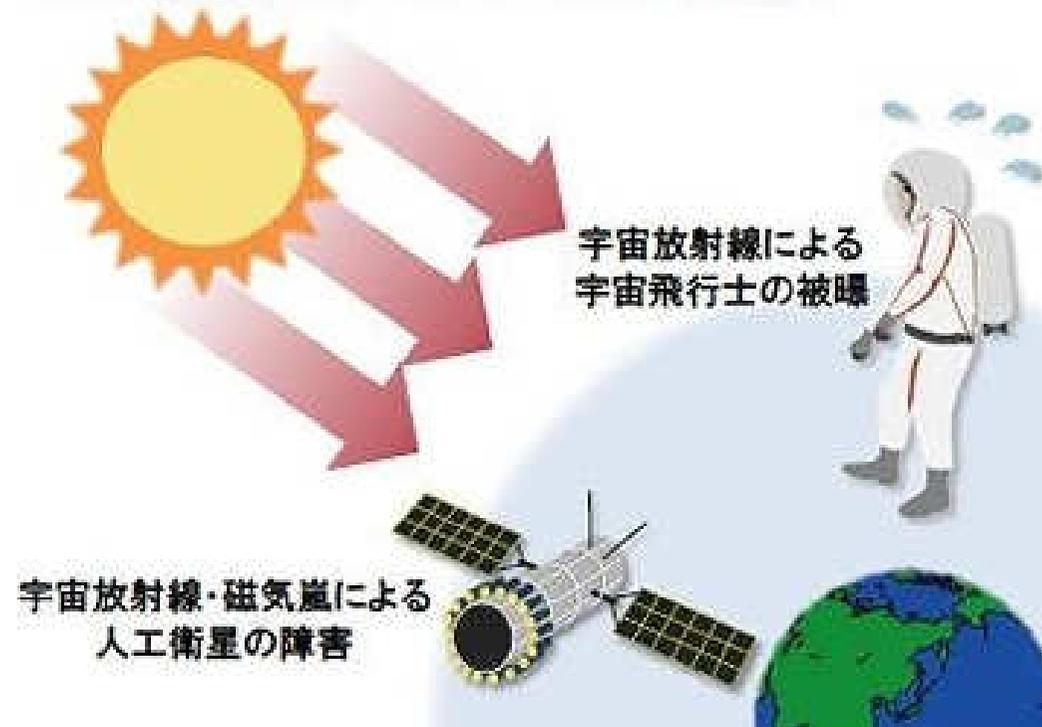
また、エネルギーの高いイオンや電子が
帯状に地球を取り巻いています。
放射線帯(ヴァンアレン帯)といいます。



これらの現象は、太陽風の状態で支配されます。

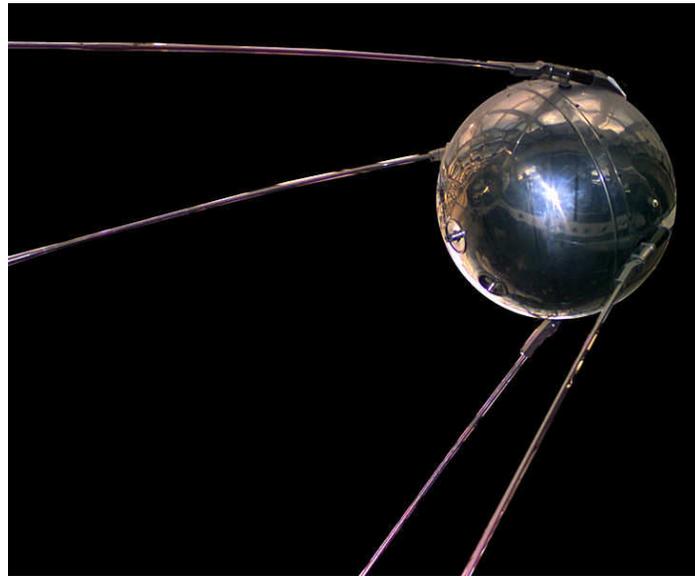
宇宙空間の利用が進むにつれ、磁気圏の状態を予報することが必要になってきました。

太陽風・太陽X線



これを宇宙天気(space weather)予報といいます。

●宇宙空間科学の研究者になつたのは・・・



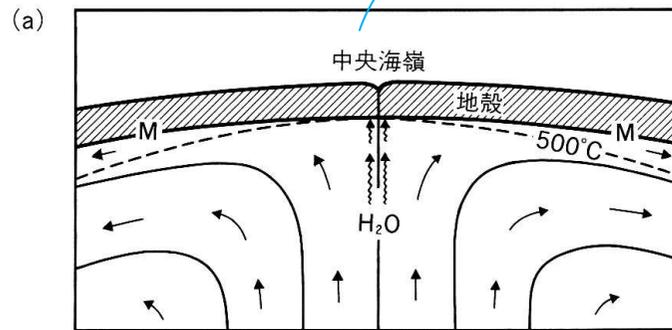
Why
and
How

1957年に打ち上げられた最初の人工衛星

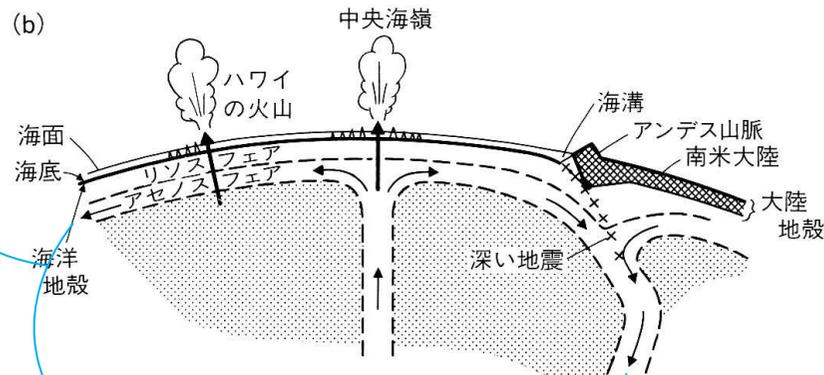
(1) 中学1年生の時(1948年)に地震や火山の本を
読んで、地球科学に興味を持ちました。



(2) 地球物理学科に進学したのですが(1956年)、プレートテクトニクスはまだ生まれていませんでした。



Hess, 1960

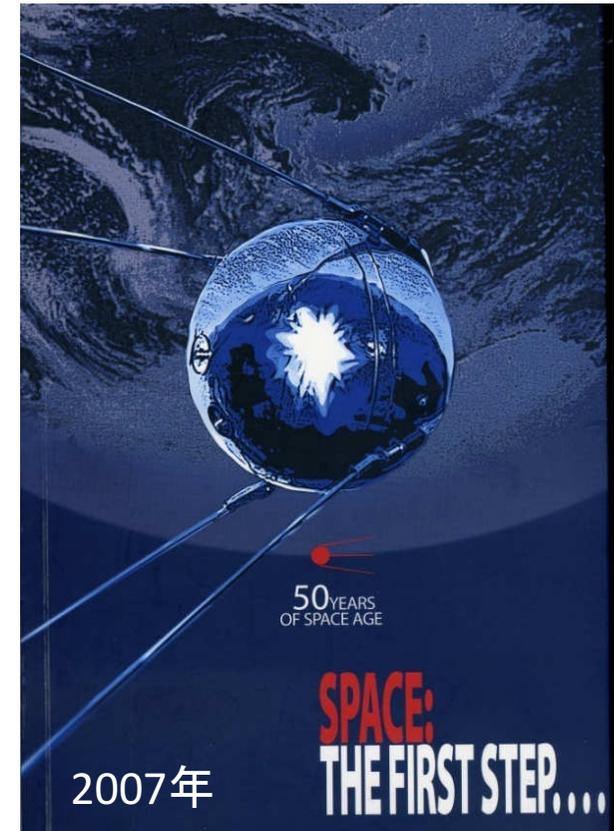


Wilson, 1963

(3) 大学4年生の時(1957年)、人工衛星が打ち上げに刺戟されて、宇宙空間科学(space science)を選びました。



1957年10月



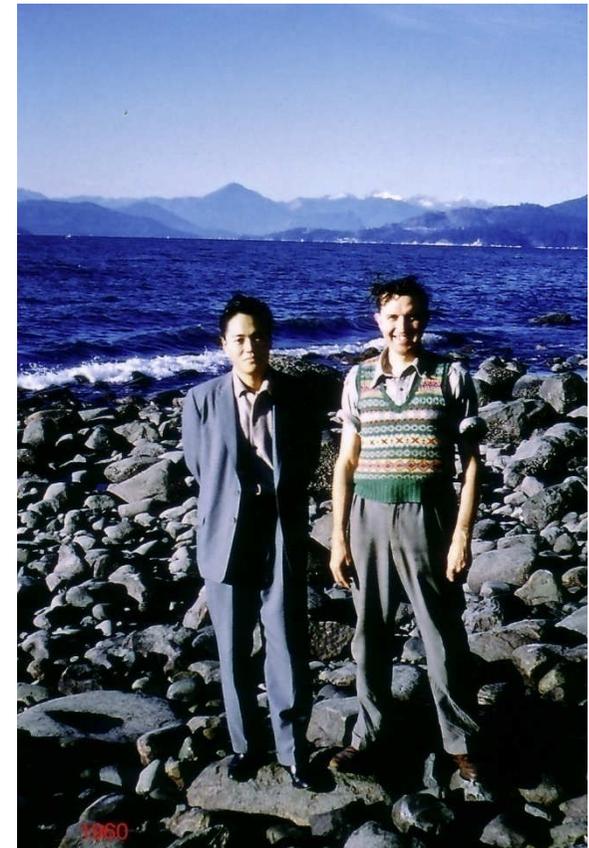
(モスクワで開催された
50周年記念シンポ
ジュームのプログラム)

(4) 修士課程を修了した後、カナダのUBCに留学する機会を得ました(1960年)。



外国の学生と共に学び、貴重な経験を得ました。

University of British Columbia, Vancouver, Canada



**Professor J. A. Jacobs
(UBC)**

続いてシカゴ大学で postdoctoral fellow になりました
(1962年)。



University of Chicago

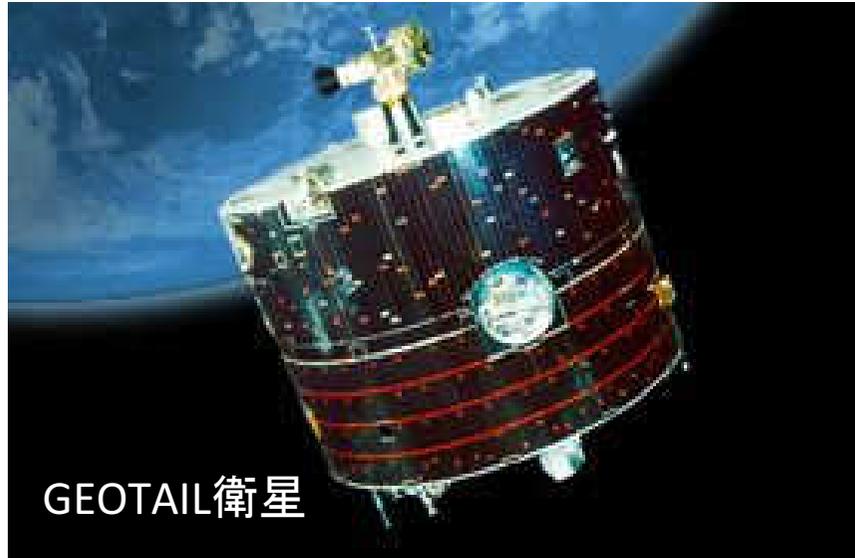


Professor C. O. Hines

(5) われわれは、Space Science という新しい分野の第一期生でした。



(6)のちに、NASAと協力して、ジオテイル衛星プロジェクトを実施しました(1992年)。

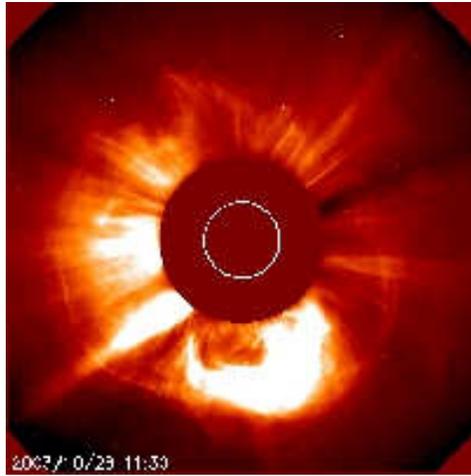


●磁気リコネクション

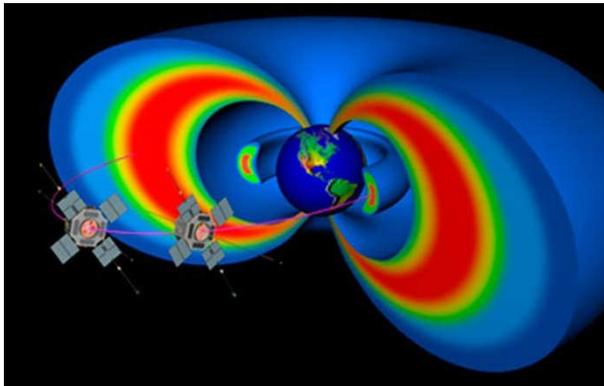
宇宙空間



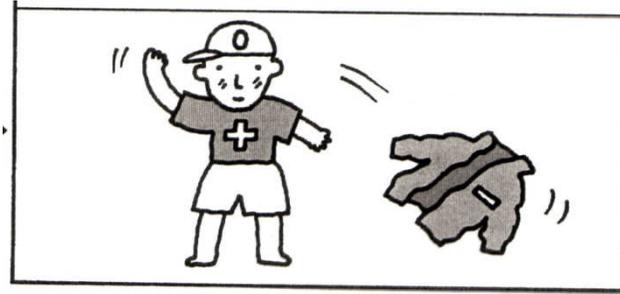
太陽風



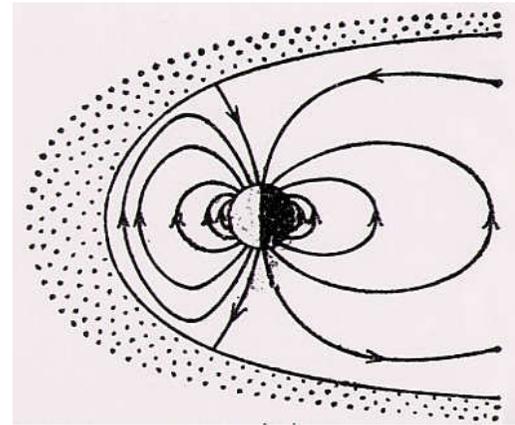
放射線帯



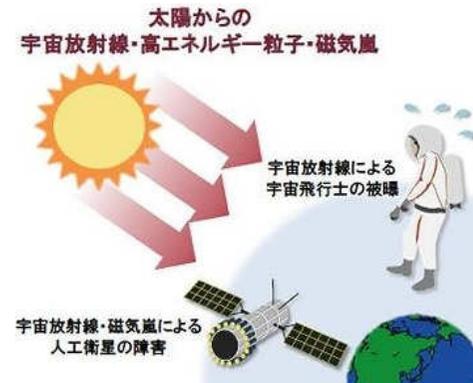
イオンと電子 (プラズマ)



磁気圏

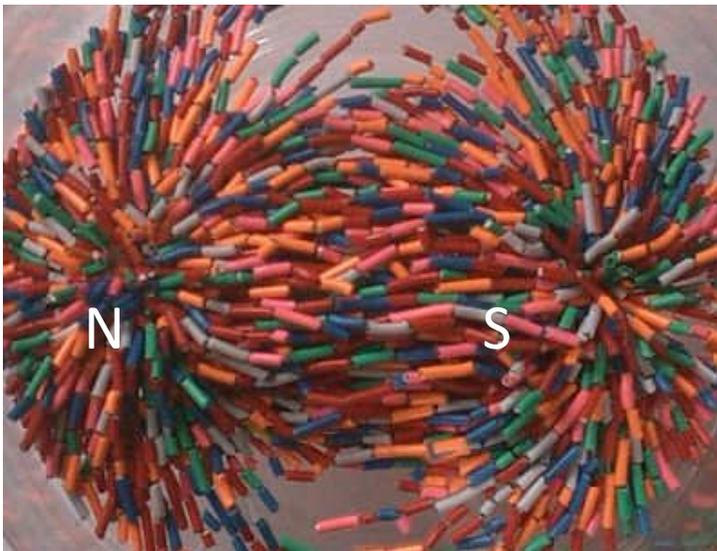


宇宙天気

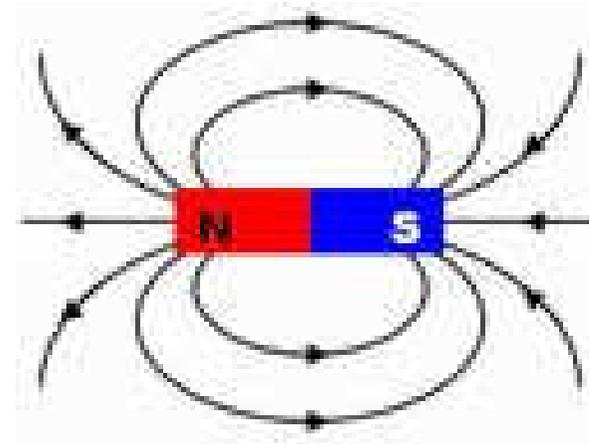


磁力線

小さな磁石は、大きな磁石の磁場の方向にそって並んでいます。



磁場の方向をつないだ曲線を磁力線といいます。

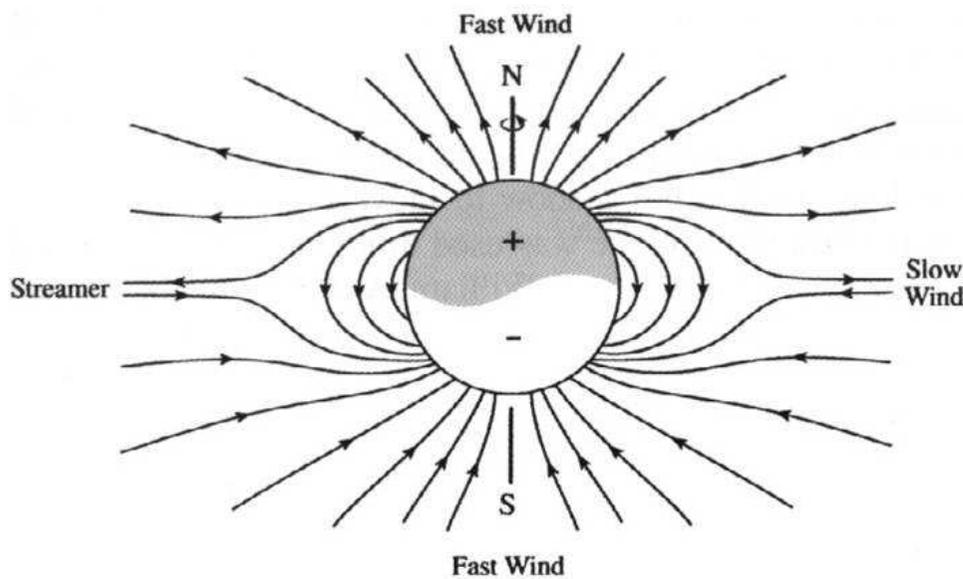
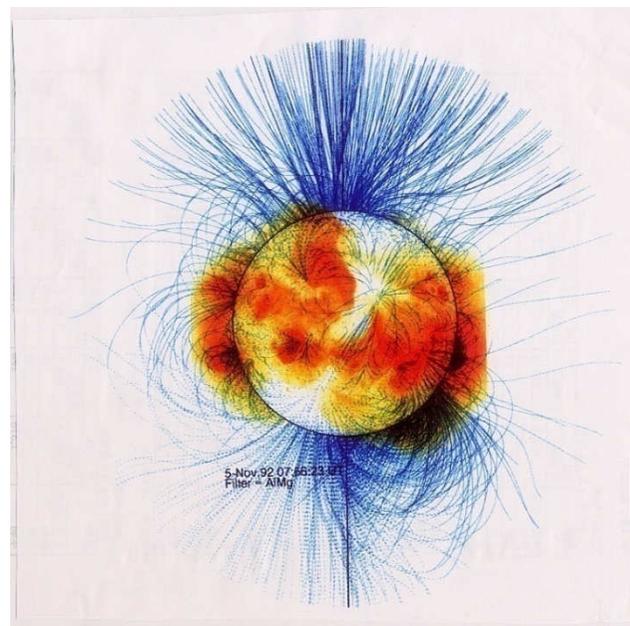


プラズマが動くと、磁力線も一緒に動きます。

太陽風の中には磁場があります。

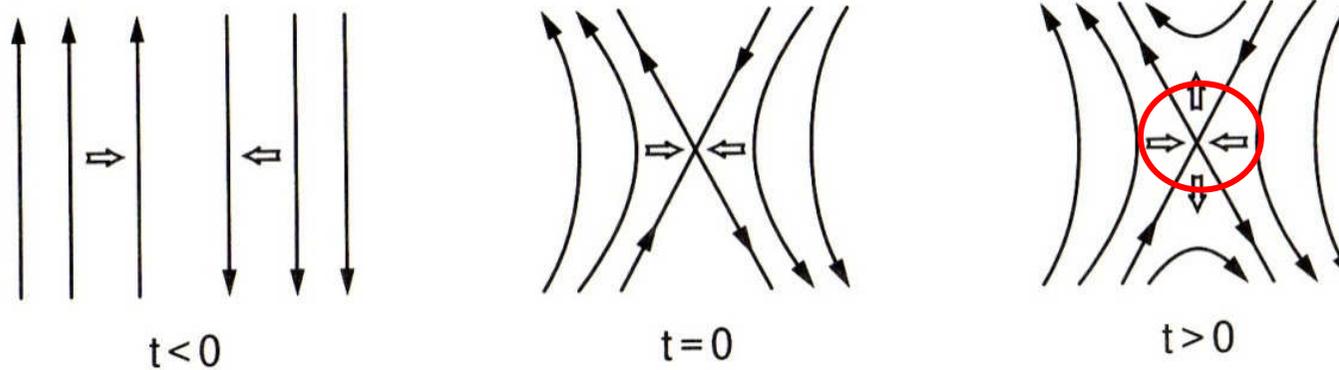
コロナの磁力線が太陽風によって引っ張り出されるからです。

惑星間空間磁場 (Interplanetary Magnetic Field)と呼んでいます。



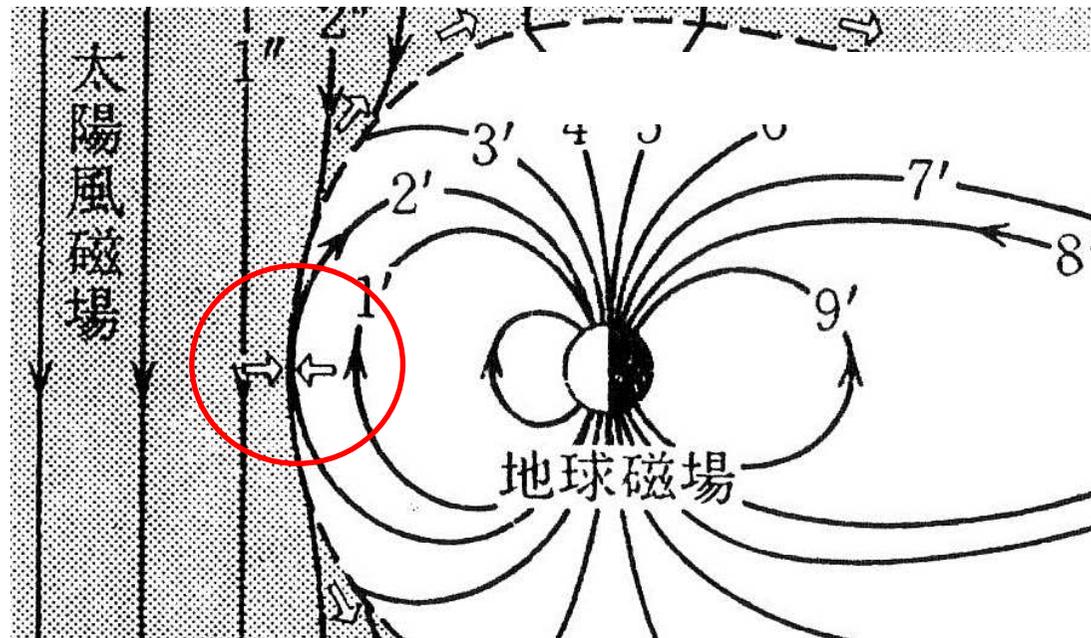
磁気リコネクション

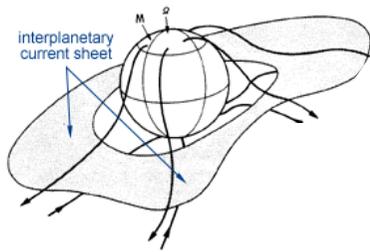
— 磁力線のつなぎ換え —



起源の異なる磁力線が繋がることを、**磁力線のつなぎ換え (reconnection)**とといいます。

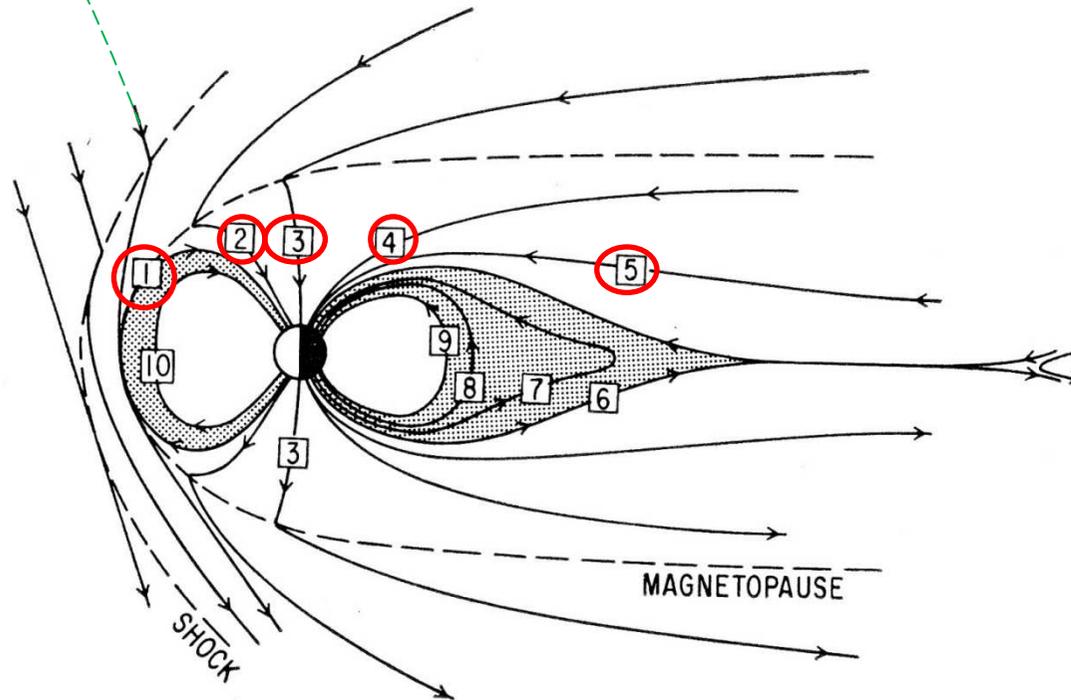
- ① 太陽風磁場が南向きだと、磁気圏の境界面で、地球磁場の磁力線と太陽風の磁力線が繋がります。

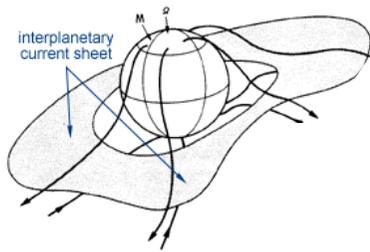




太陽からの磁
力線

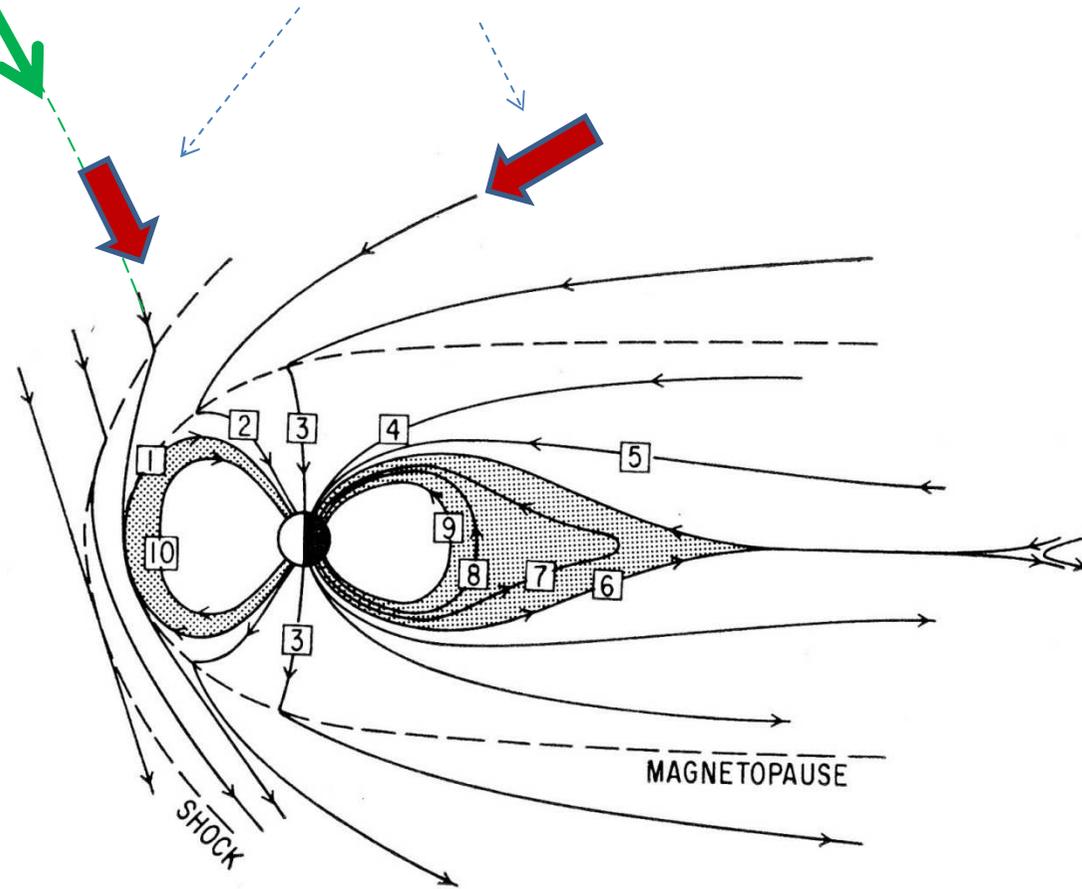
② つながった磁力線
を、開いた磁力線
(open field lines) とい
います。





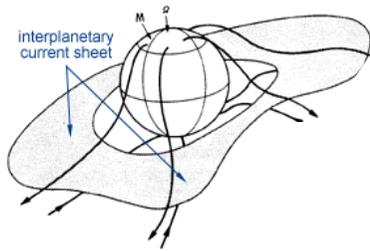
太陽からの磁
力線

③ 開いた磁力線に沿って、
太陽風のプラズマやエネルギー
が磁気圏に注入されます。



エネルギー
の供給

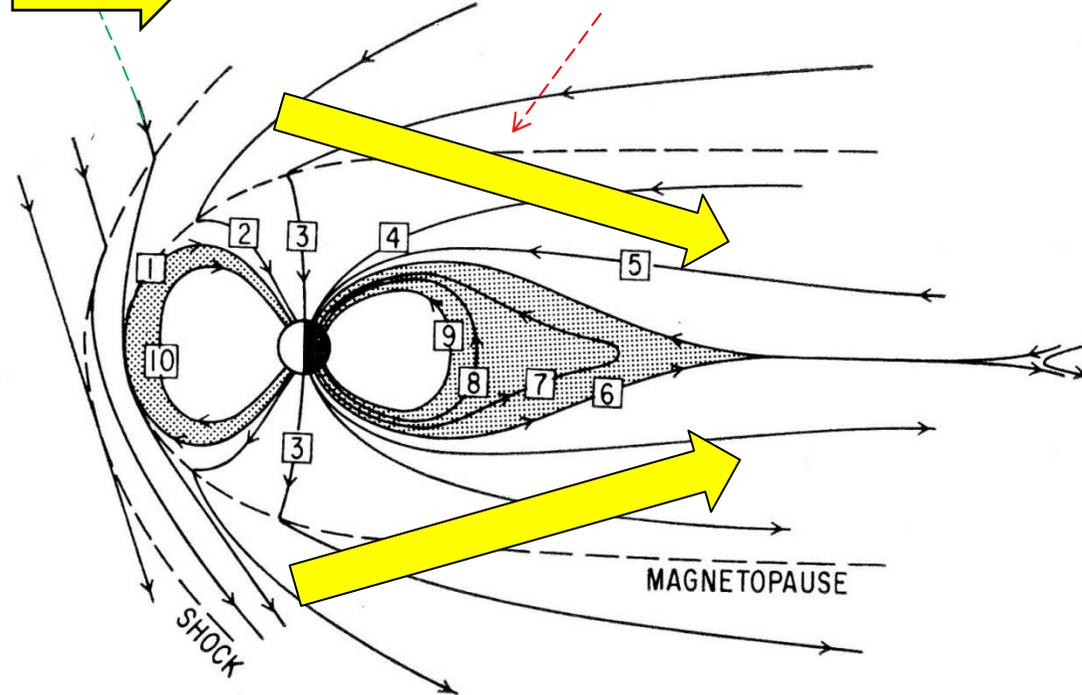
④ 開いた磁力線は、太陽風によって夜側に引き伸ばされて、磁気圏の尻尾を作ります。



太陽からの磁力線

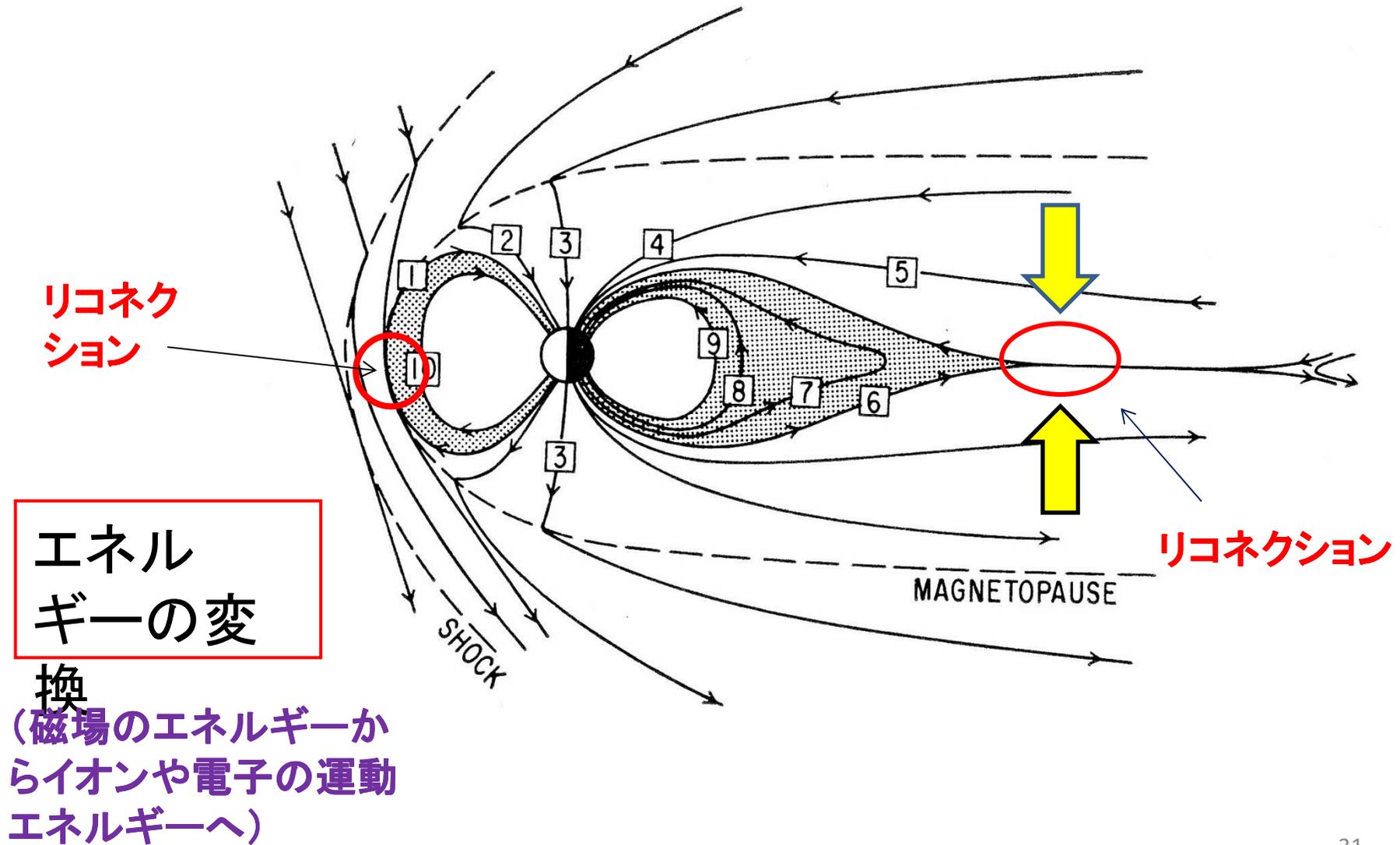


「開いた磁力線」の動き



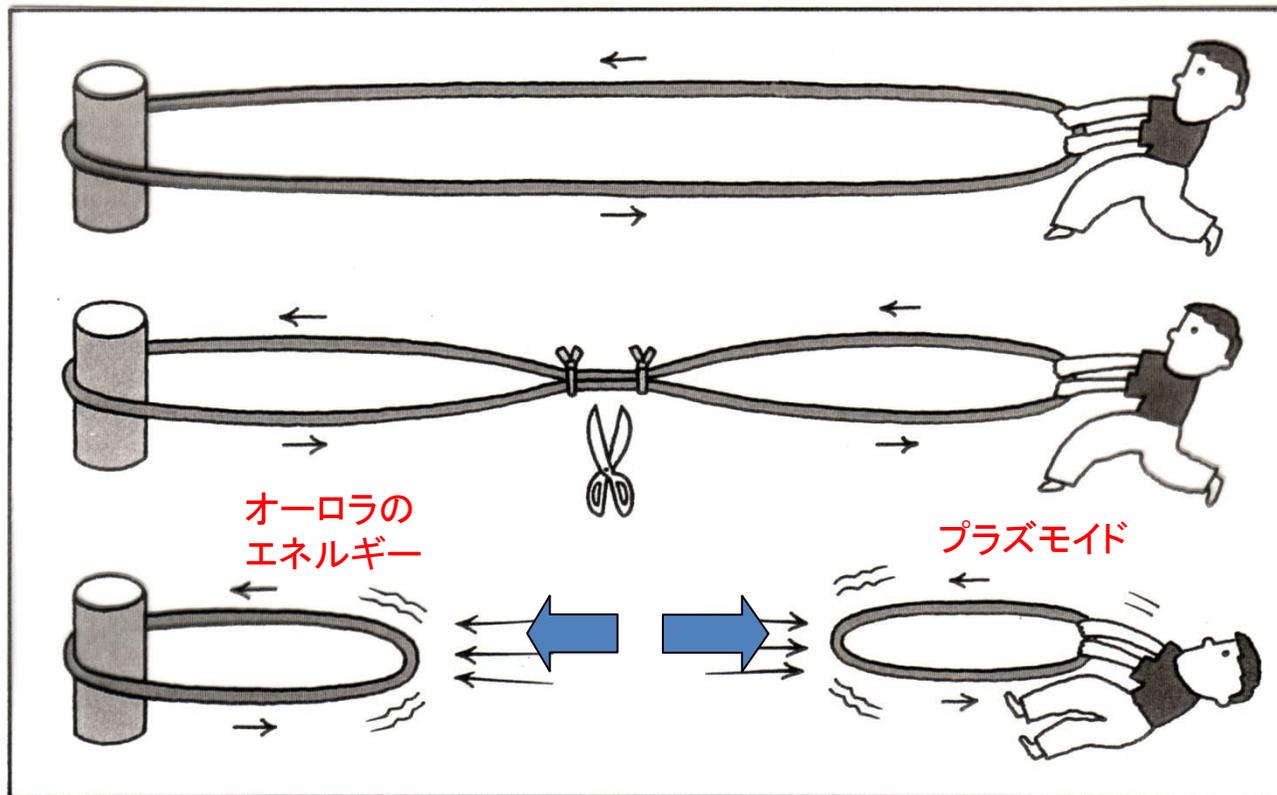
エネルギーの貯蔵

⑤ 尻尾の中でもリコネクションが起きます。

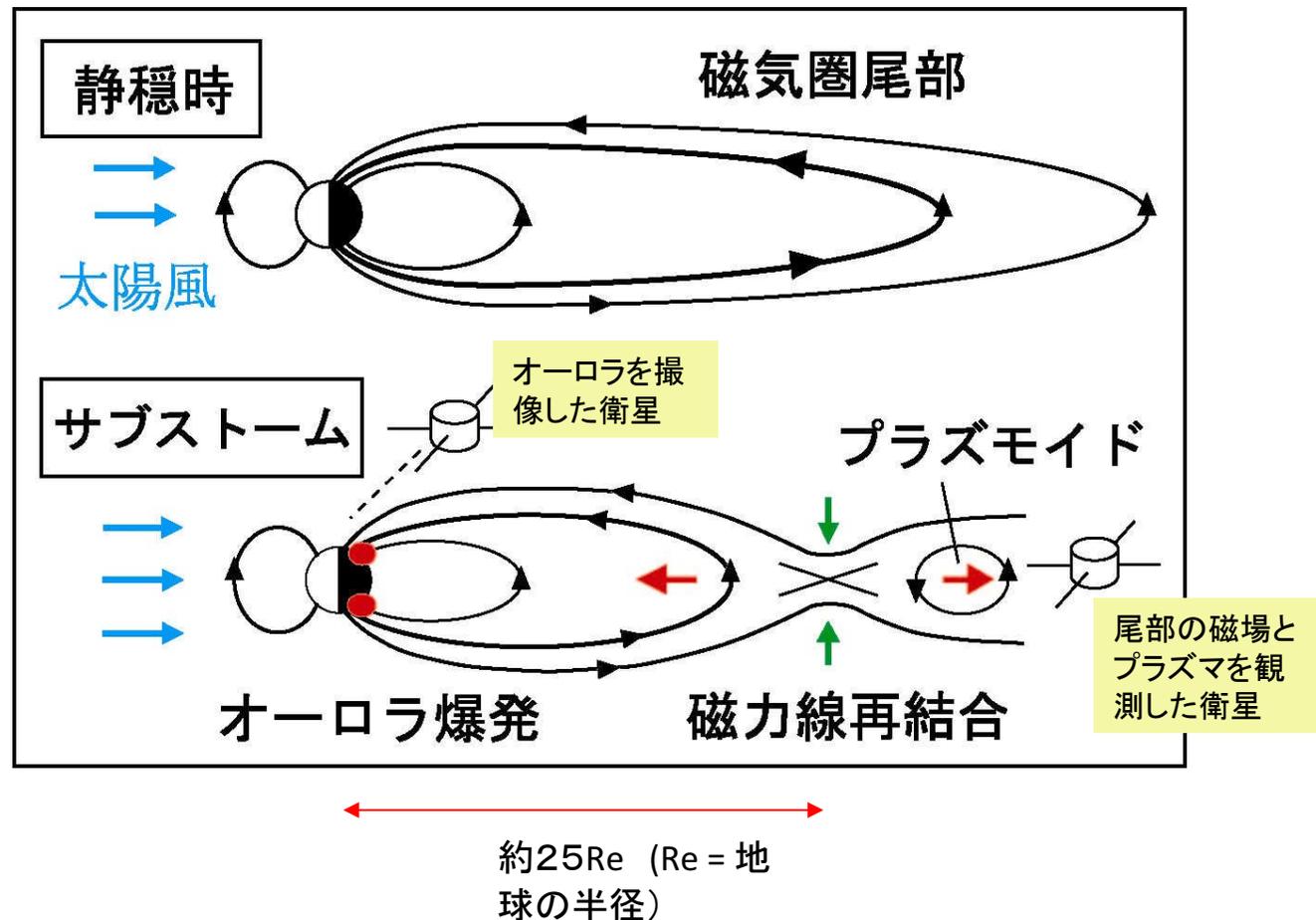


⑥ 磁力線はゴムひものように張力をもっています。

ゴムひもが切れると、引き伸ばしたときに蓄えられたエネルギーが解放されます。

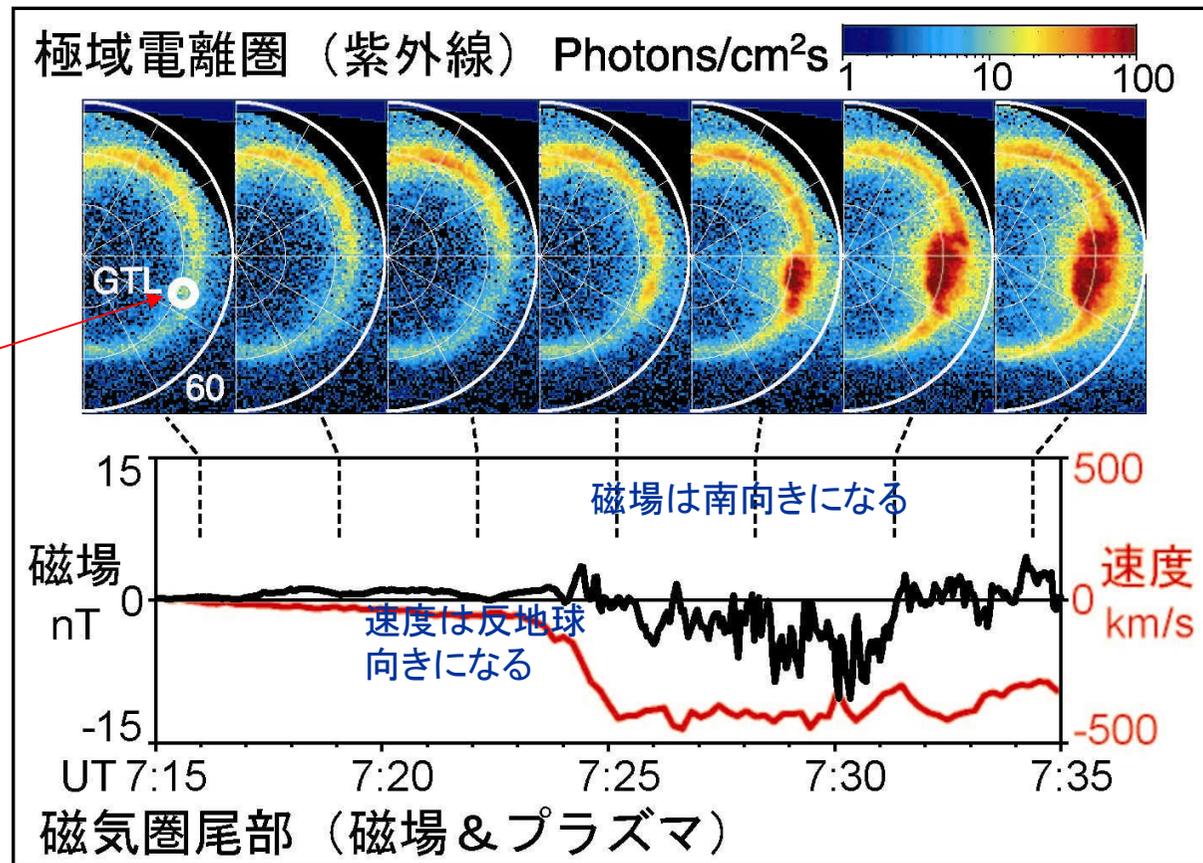


⑦ これと同じように、磁気圏の尻尾の中でリコネクションが起きると磁力線が縮み、プラズマの加速が起きます。



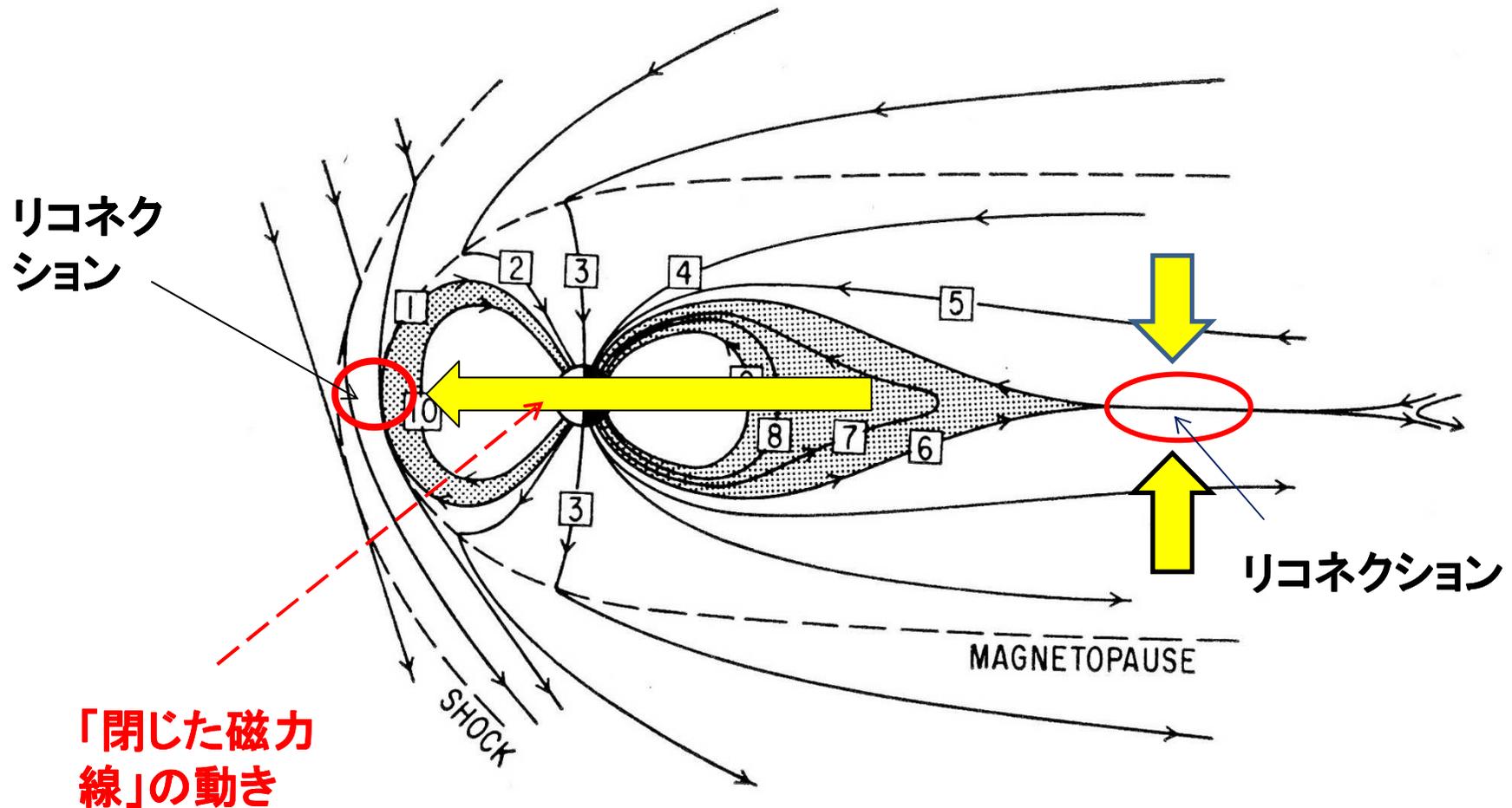
⑧ 観測の例: 磁気圏尾部で磁力線リコネクションが発生し、オーロラが急に明るくなりました。

POLARによる観測

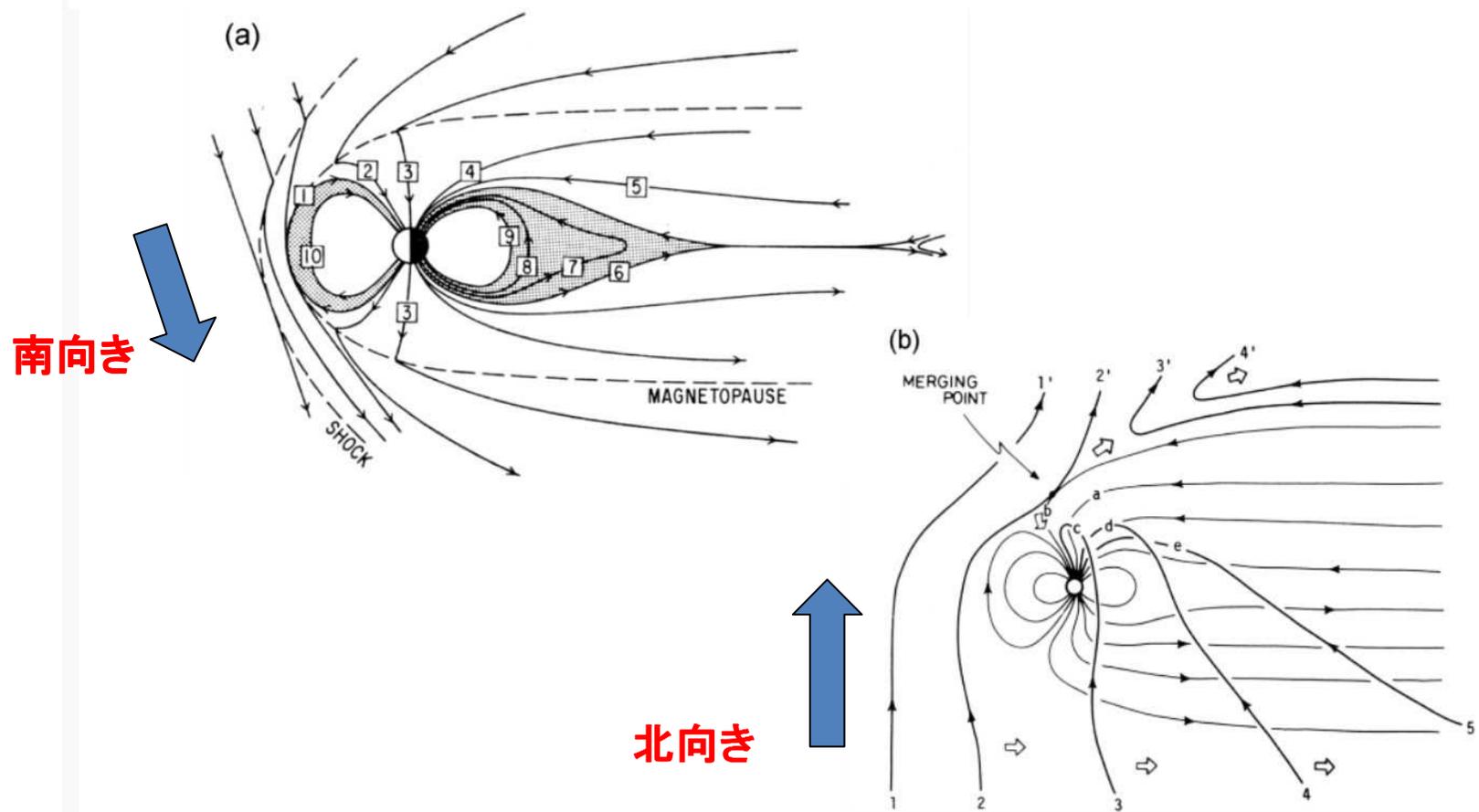


GEOTAIL
による観
測

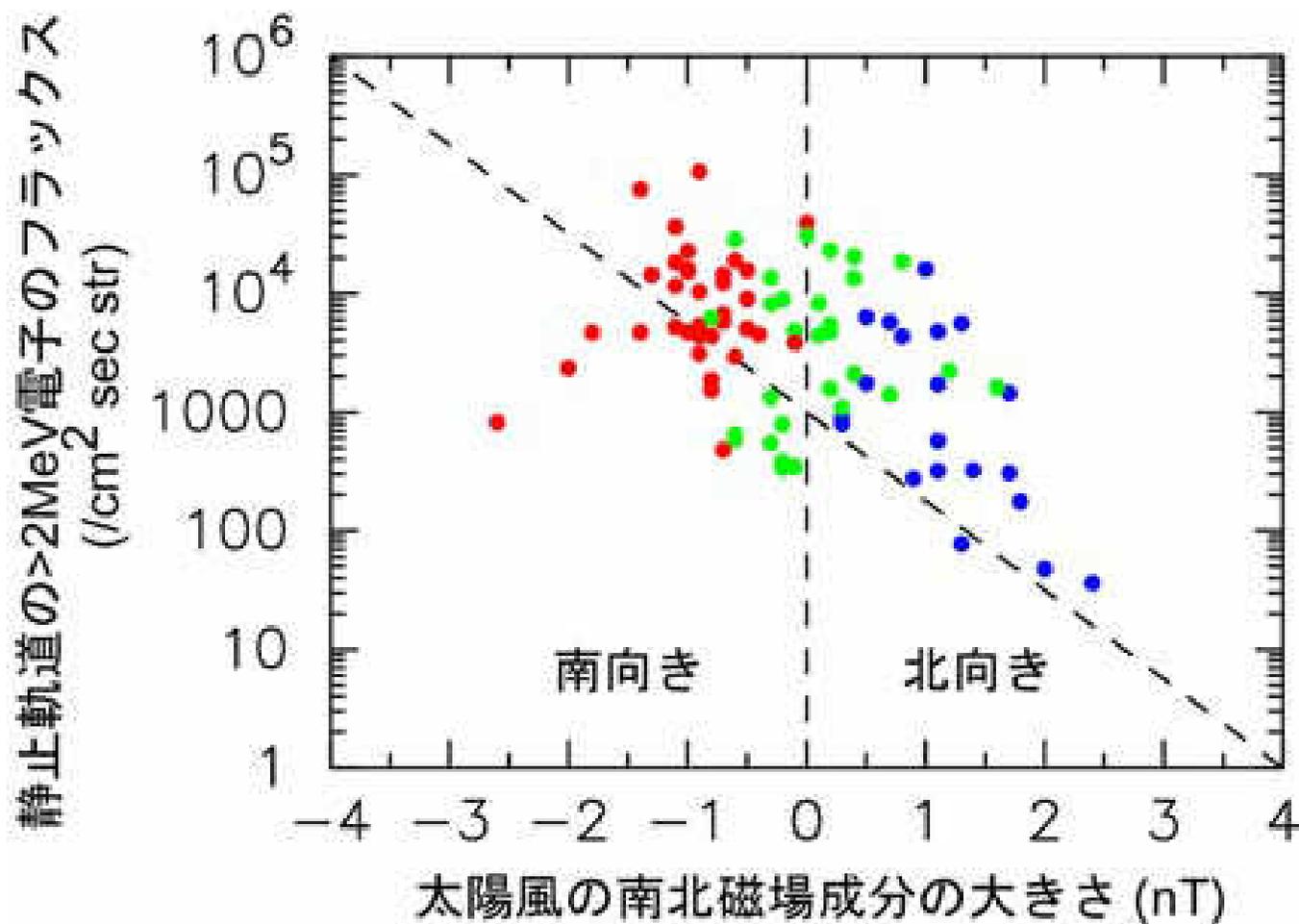
- ⑨ 尾部でのリコネクションで閉じられた磁力線は、
昼間側の磁気圏境界面に向います。
磁力線は、大規模な対流運動をしているのです。



⑩ 太陽風の磁場が北向きだと、リコネクションは高緯度でおき、影響は大きくありません。



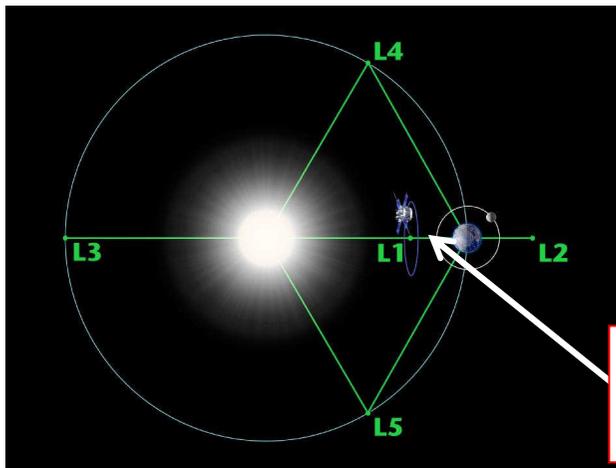
- ⑪ 放射線帯に含まれる高エネルギー電子は、太陽風磁場が南向きの時が北向きの時より多いのです。



宇宙天気予報

NICT SWC で検索してください。

NICT=情報通信研究機構
SWC=宇宙天気情報センター



太陽風データはL1点に置かれた衛星で取得中。

The screenshot shows the NICT SWC website interface. At the top, it says "SWC宇宙天気情報センター Japan Space Weather Information Center". The main content area displays various solar activity metrics, including a solar image, flare data (e.g., 5/17 04:16 C4.8 0.77), and geomagnetic activity. A news article on the right is titled "臨時情報" (Emergency Information) and reports on a solar flare event on May 15, 2013, at 13:25 UT, which caused a proton event. The article text includes: "活動領域1745、1748などでCクラスフレアが数回発生し、太陽活動はやや活発でした。" and "15日2時(UT)頃に発生したCME(コロナ質量放出)の余波が17日から18日頃にかけて到来し、地磁気はやや乱れる可能性があります。"

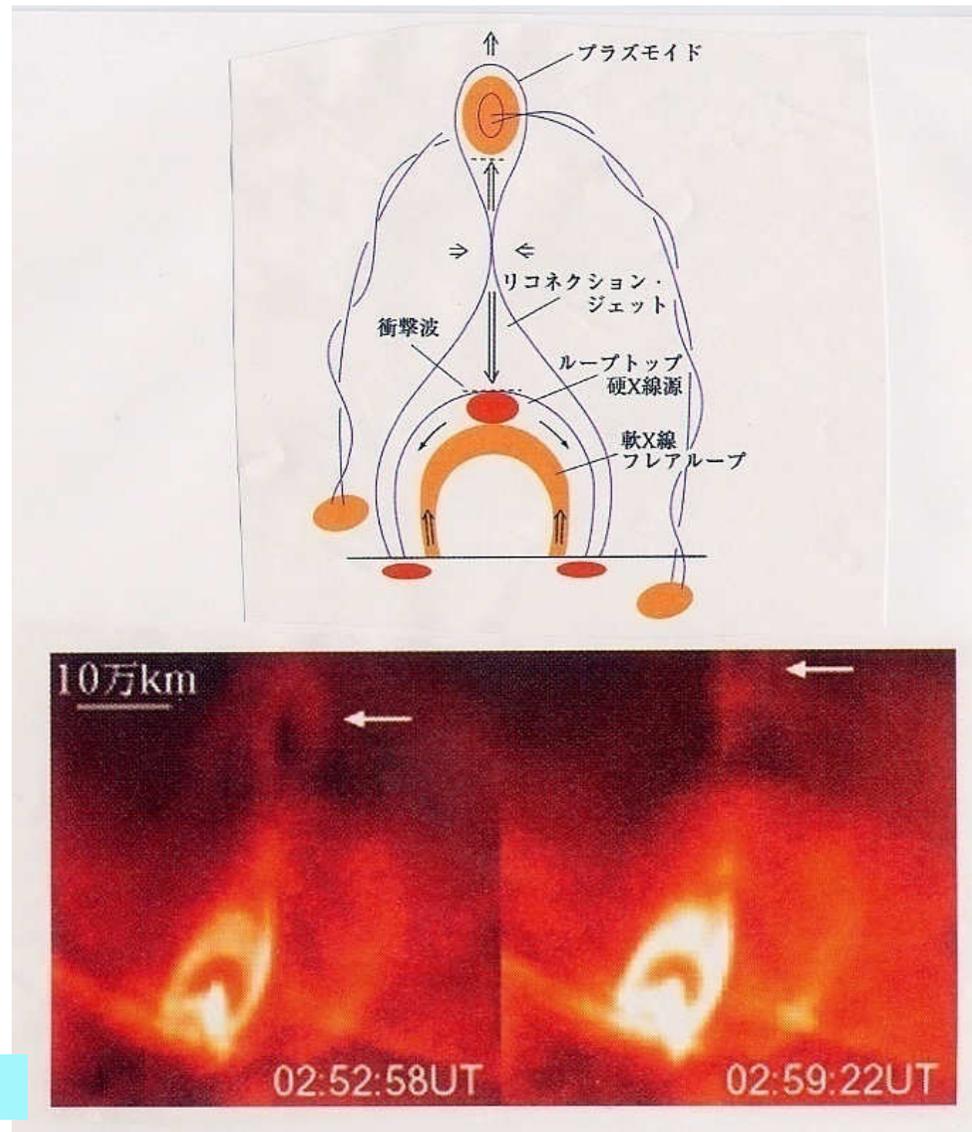
太陽風の速度と磁場
フレアや嵐の予報

太陽フレアー

太陽フレアーも
コロナ磁場のリ
コネクションで
発生しています。

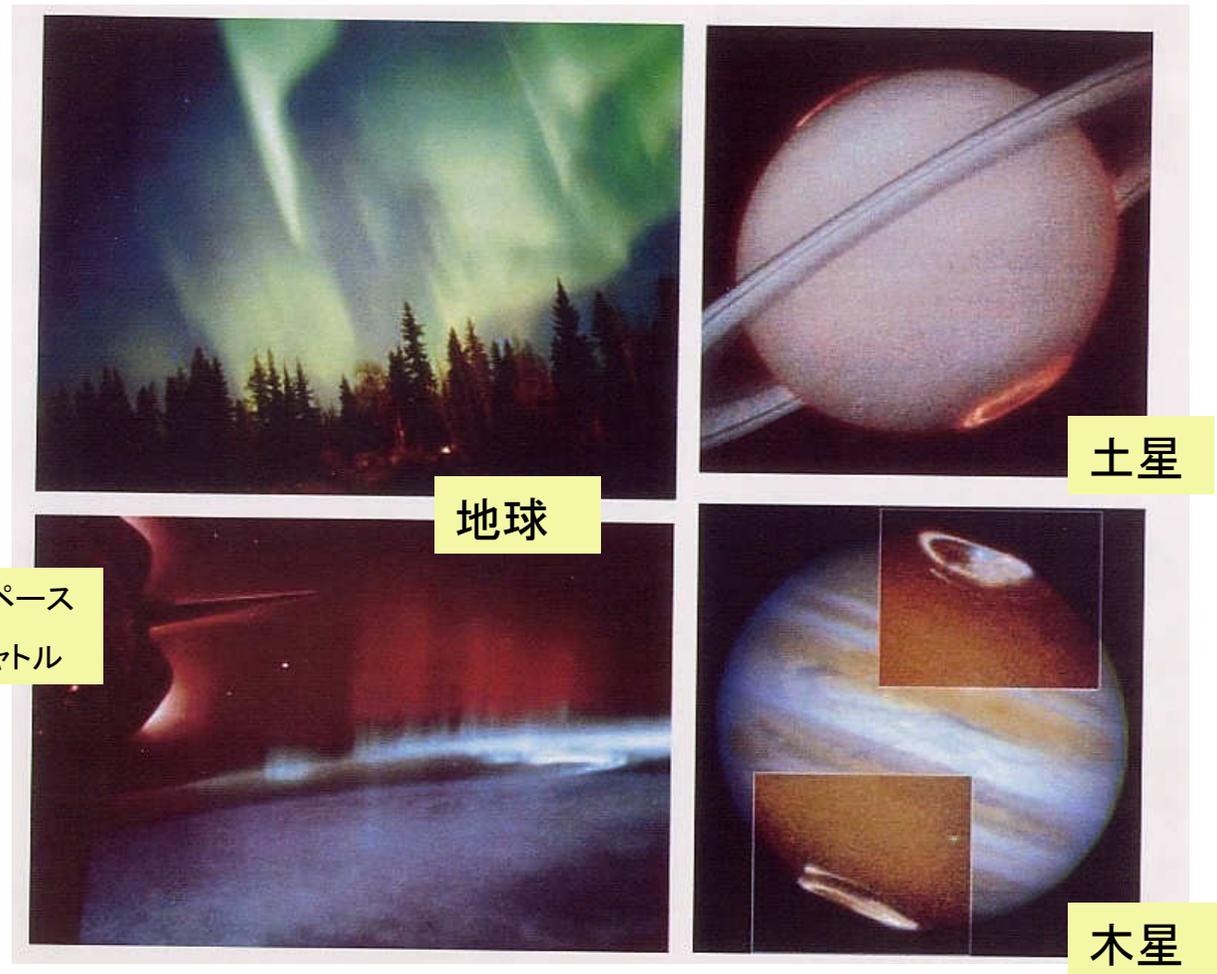
矢印は、プラズマ
の塊が放出される
ことを示していま
す。

「ようこう」による撮像



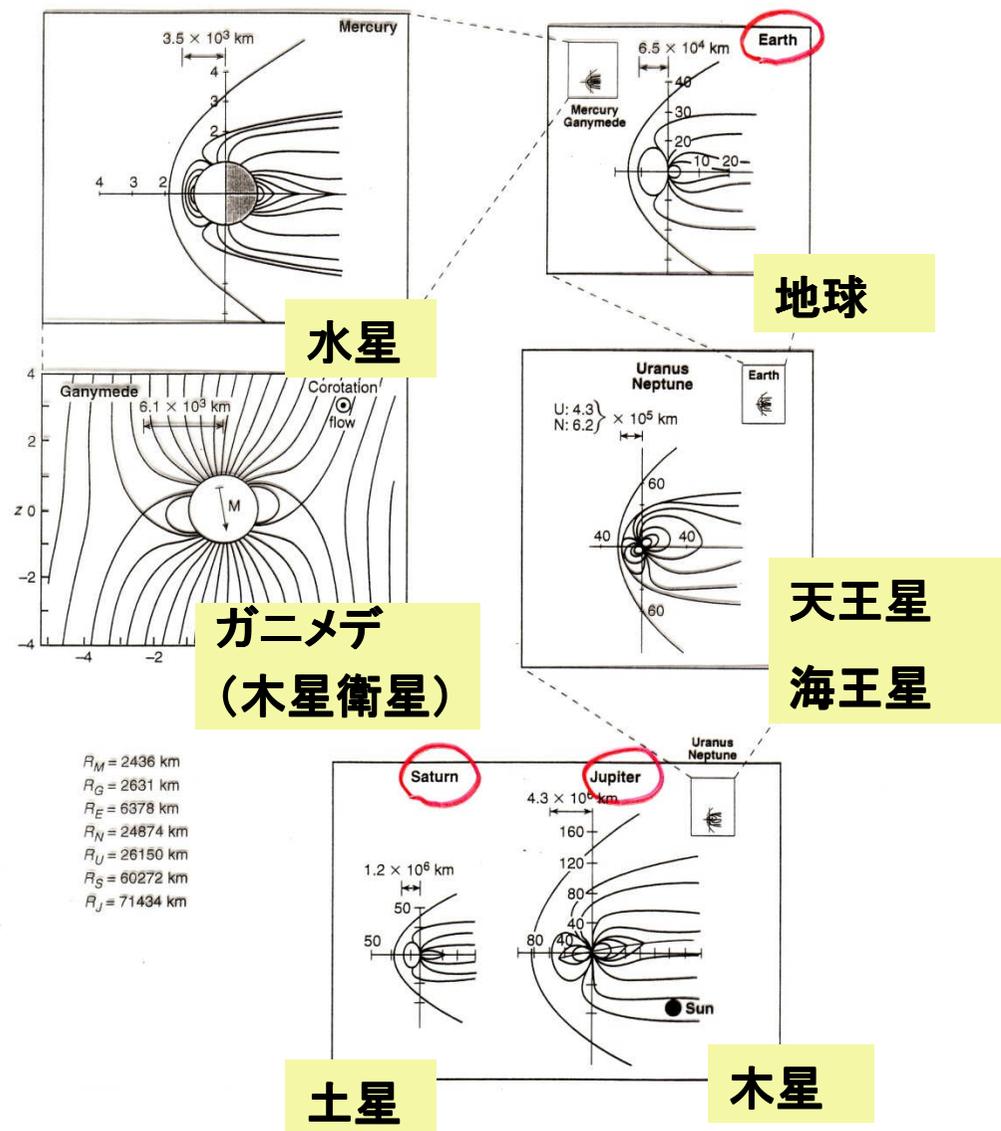
●惑星の磁気圏、太陽の磁気圏

オーロラは、地球だけでなく、木星、土星、天王星、ガニメデ(木星の衛星)でも観測されています。



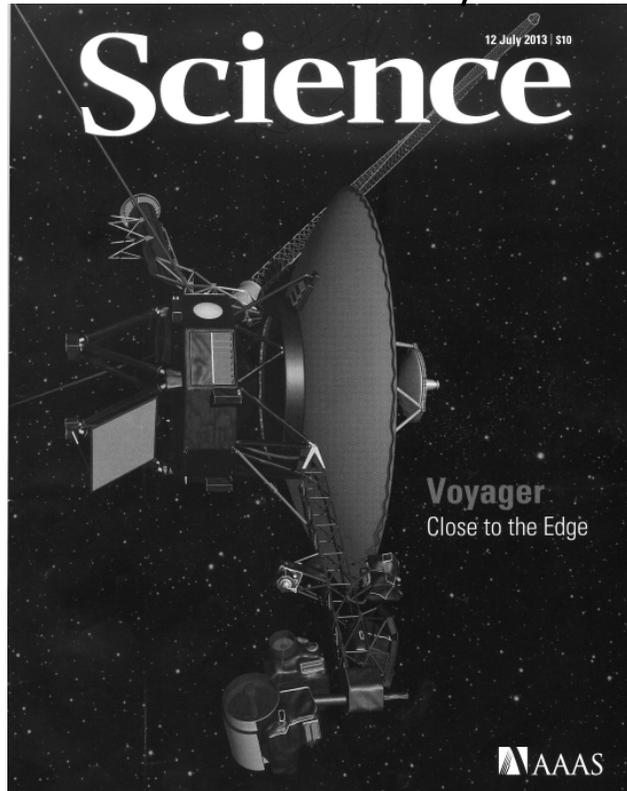
磁気圏に囲まれているのは地球だけではなく、磁場を持つ惑星のすべてが磁気圏を持っています。

水星、木星と土星の磁気圏では、リコネクションも観測されています。

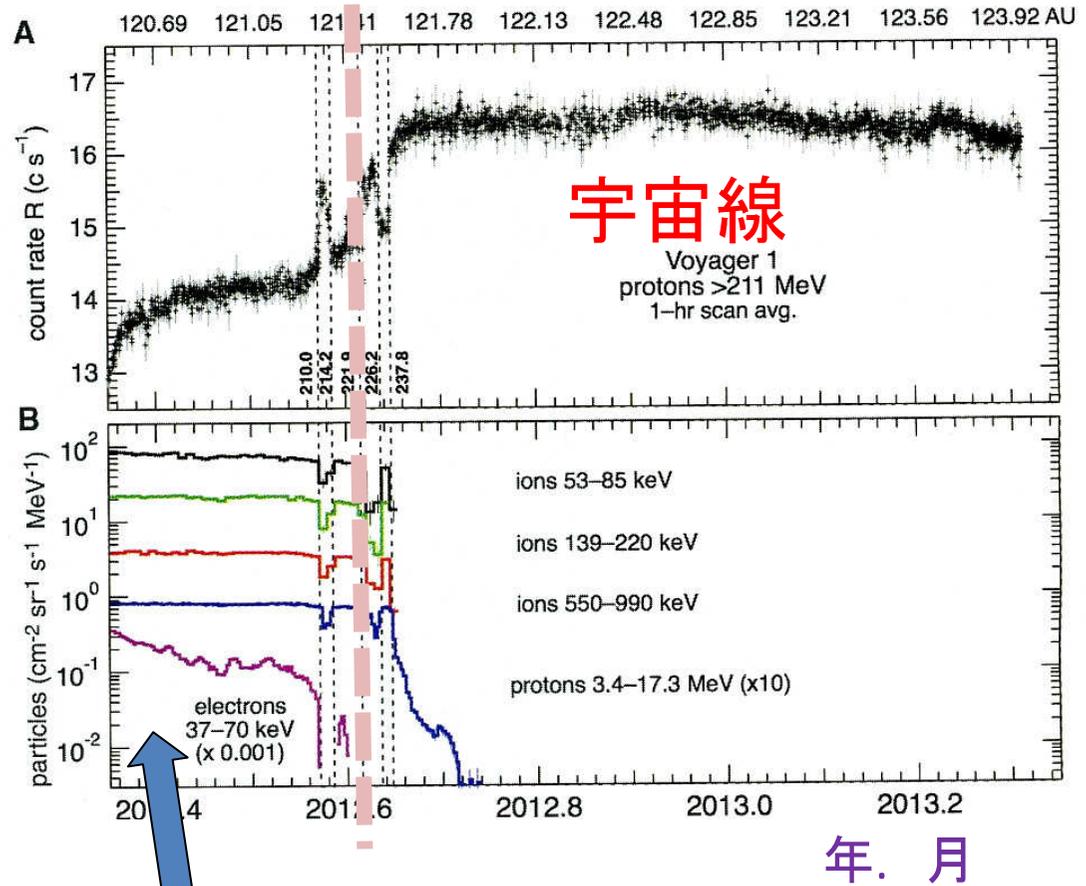


Voyager-1は太陽
圏の境界を越えて、
銀河系の空間に入
りました。

12 July 2013

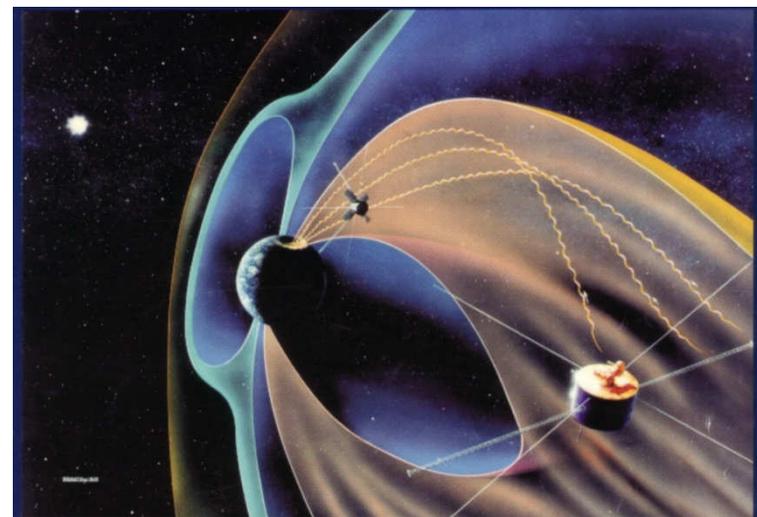


太陽からの距離

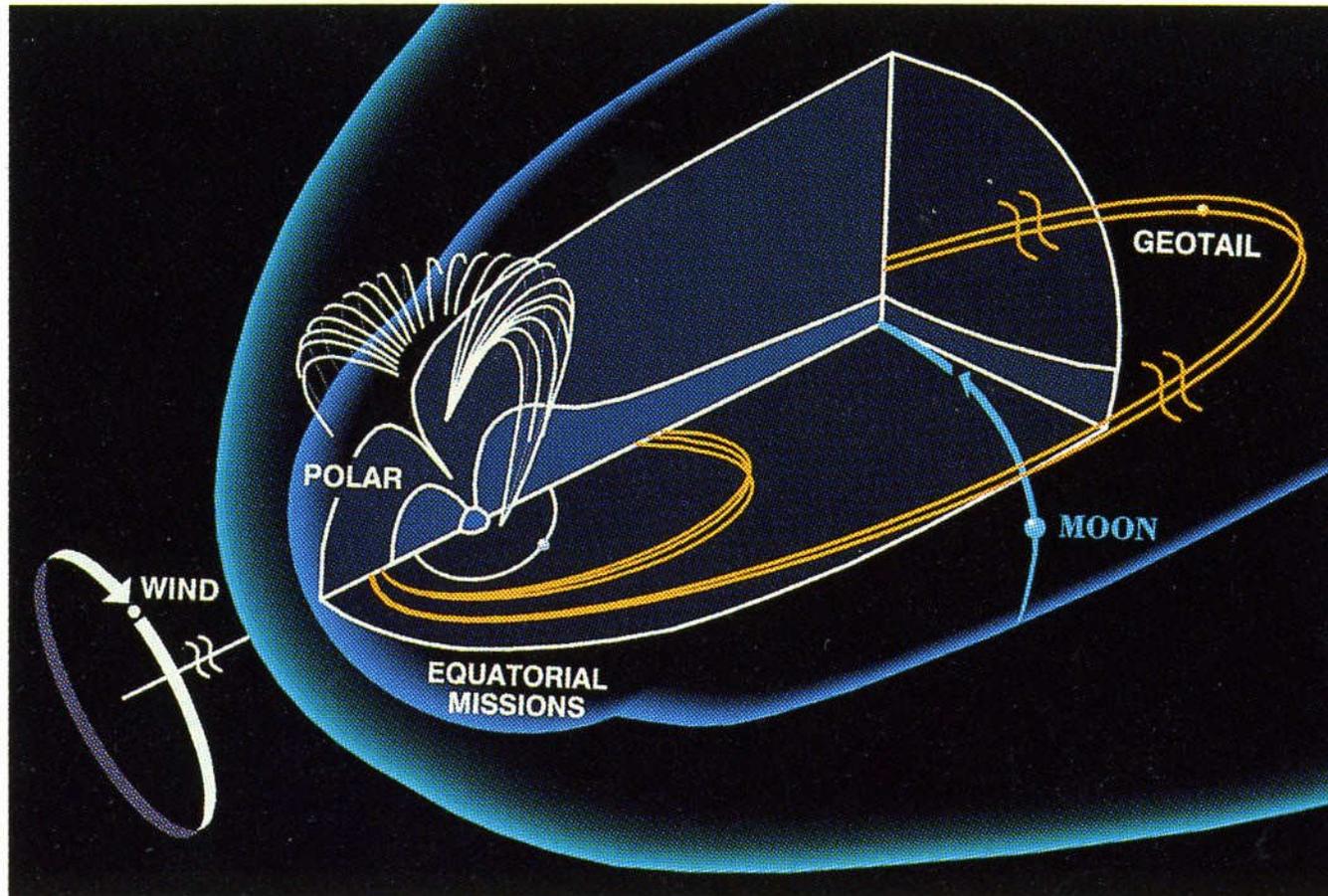


太陽及び太陽圏
内部で加速され
た粒子

● GEOTAIL 衛星計画

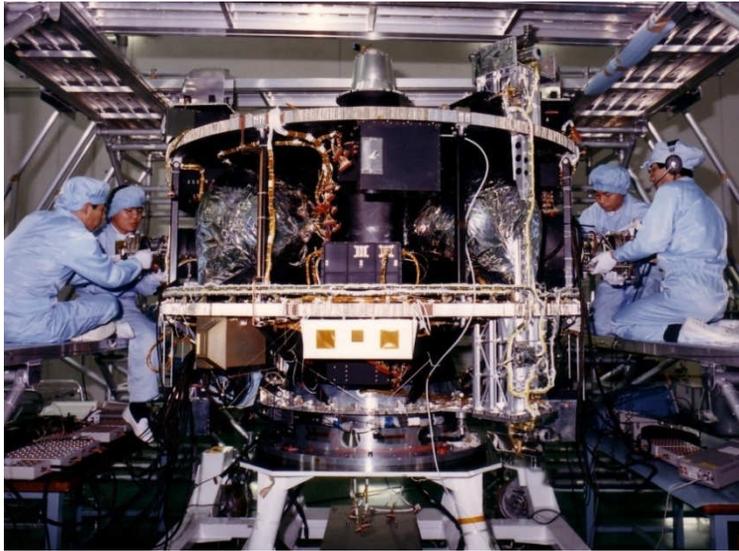


1990年代に、日 (ISAS), 米 (NASA), 欧 (ESA) は力をあわせて、磁気圏に科学衛星のネットワークを張り巡らせ、総合的に観測するプロジェクトを実施しました。



- 日本(宇宙科学研究所、ISAS)は米(NASA)と共にGEOTAIL衛星を担当しました。
- GEOTAIL衛星の目的は磁気圏尾部の探査です。
- 磁気圏尾部は、太陽風のエネルギーが貯蔵され、爆発的に解放される場所です。
- このエネルギーがオーロラや放射線帯などを作りだします。

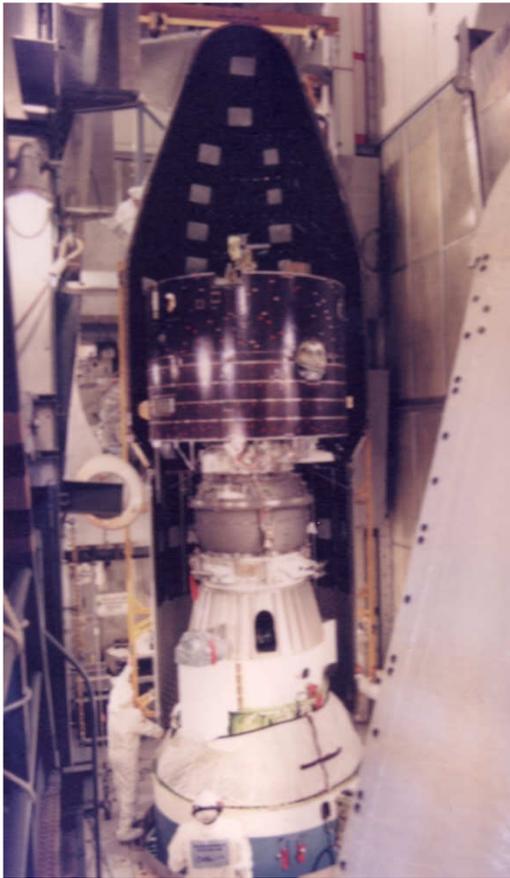
日本は、衛星の開発、軌道制御と運用等を担当



(直径 2.2 m、高さ 1.6 m)



1985年4月に開発を開始しました。



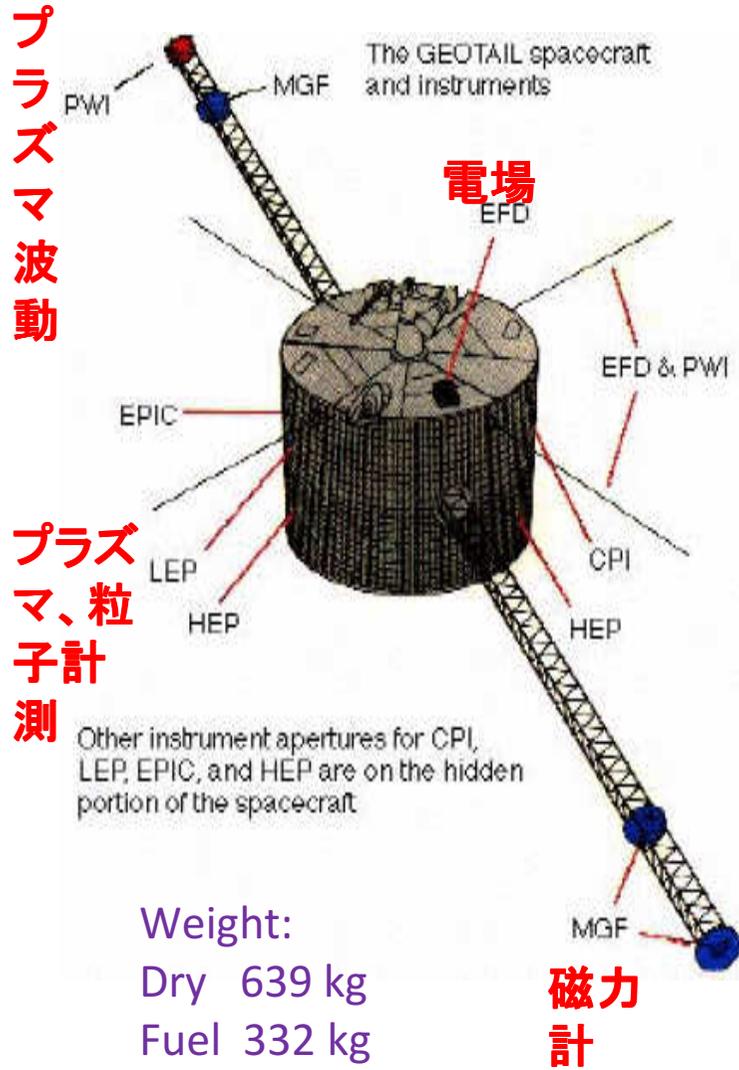
アメリカは、ロケット
(delta-II)開発と
打ち上げ等を担当



1992年7月
に打ち上げ
ました。

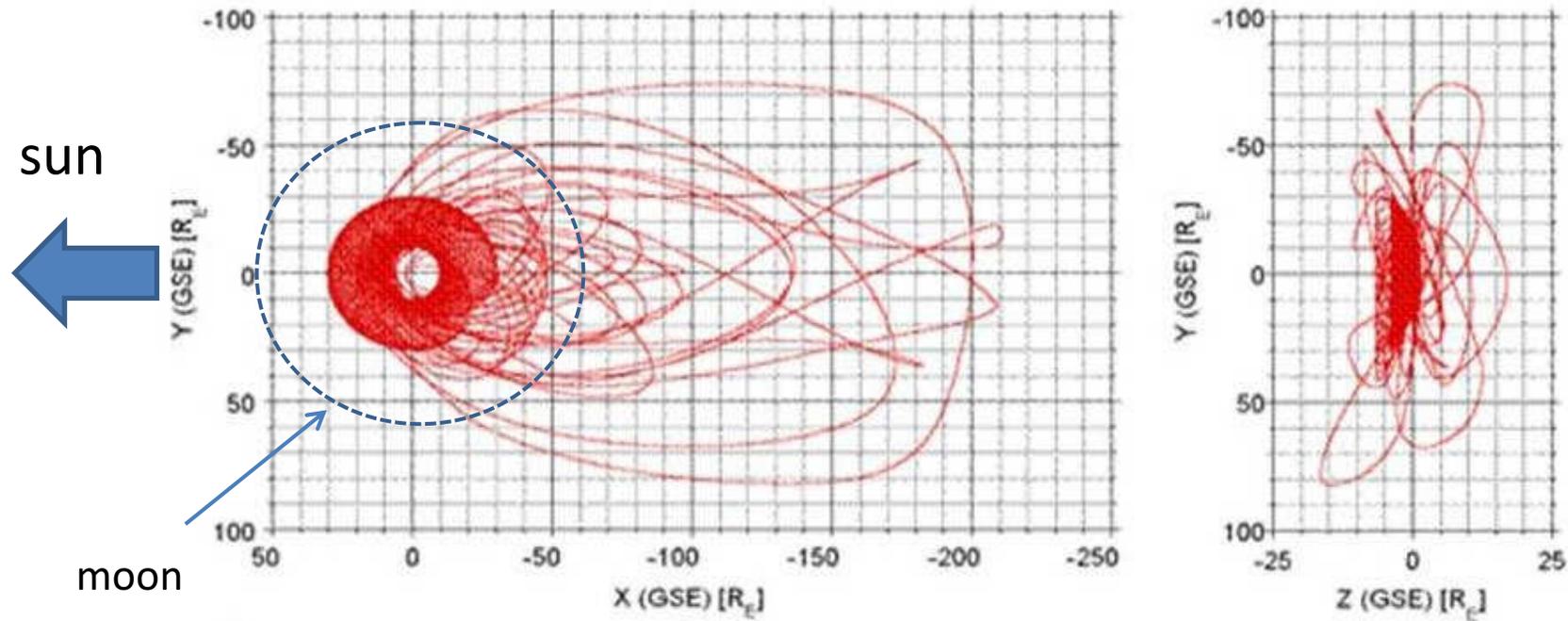
(Kennedy Space
Center)

観測機器は分担（主担当は、日本5機器、米2機器）



Target	Instrument
Electric Field ●	Electric Field Experiment (EFD) -Double-Probe Experiment -Electron Boomerang Experiment
Magnetic Field ● 	Magnetic Field Measurement (MGF) -Fluxgate Magnetometer -Search Coil Magnetometer
Plasma ●	Low Energy Particle Experiment (LEP) -Ion/electron 3D velocity distribution analyzer -Solar Wind Analyzer -Ion Mass Spectrometer
Plasma 	Comprehensive Plasma Instrument (CPI) -Hot Plasma Analyzer -Solar Wind Ion Analyzer -Ion Mass Spectrometer
High Energy Particle ●  	High Energy Particle Experiment (HEP) -low energy particle detector -ion/electron burst detector -medium and high energy ion analyzer
High Energy Particle 	Energetic Particle and Ion Composition Instrument (EPIC) -Supra-Thermal Ion Composition Spectrometer -Ion Composition Subsystem
Plasma Wave ● 	Plasma Wave Instrument (PWI) -Sweep Frequency Analyzer -Multi-Channel Analyzer -Wave Form Capture

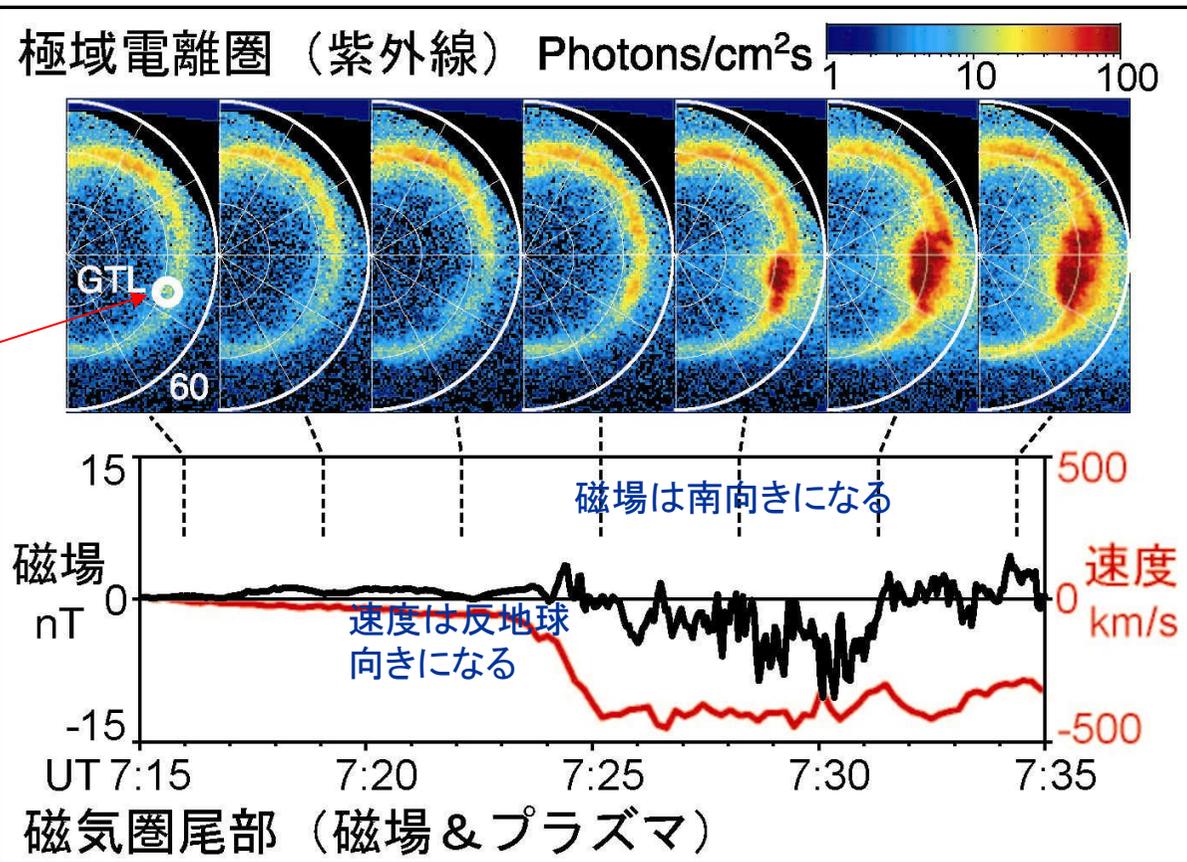
Geotail衛星の軌道



最初の2年間は、220 R_E に至る遠尾部を探查し、その後は8 ~ 50 R_E の近尾部を探查しました。前者においては、月スイングバイの技術を用いました。(R_E は地球の半径)

観測の例: 磁気圏尾部で磁力線リコネクションが発生すると、オーロラが急に明るくなりました。

POLARによる観測



尾部にあった
GEOTAIL衛星の
位置を磁力線
にそって投影し
た位置

GEOTAIL
による観
測

共同計画の成功から得られた教訓

Development of a mutual trust relationship between the partners was the most critical element of all for success.

相互の信頼関係が育まれたことが、成功に導いた最も決定的な要因であった。

The most important one word in international project is definitely “TRUST”. That means we should deserve “trust”, in other words, we should be sincere, honest and open minded.

国際プロジェクトにおいて最も重要な言葉は「信頼」である。そのためには、参加者が心を開き、誠実であり、正直で、信頼に値する者でなければならない。

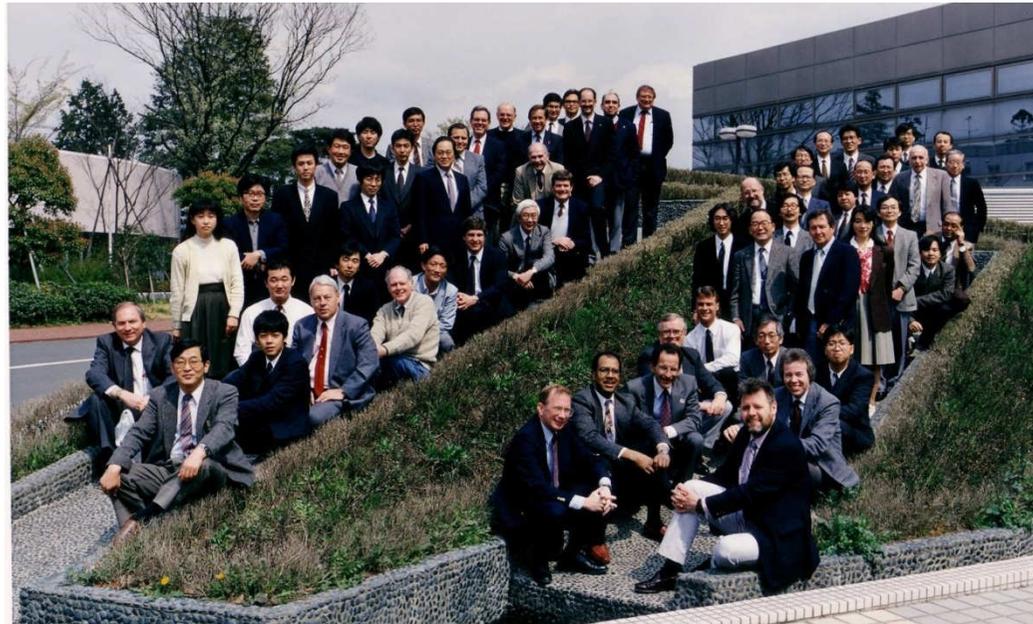


Mario Acuna
NASA側project
scientist



向井利典
ISAS側
project
scientist

国際協力事業の成功の鍵は
「信頼関係」の樹立である。



信頼を得るには、プロの科学者・技術者
として評価され尊敬されることが前提です。