



日本の宇宙科学

常田 佐久

(tsuneta.saku@jaxa.jp)

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙科学研究所 (ISAS)

2013年9月13日

宇宙政策セミナー(京都大学)

イプシロンロケット明日打上げ！ JAXA



SPRINT-A(ロケット上段部との結合の様子)

高性能と低コストの両立を目指す新時代の固体ロケット

初号機は**2013年9月14日**
13:45に惑星分光観測衛星「SPRINT-A」を載せて、内之浦宇宙空間観測所から打上



イプシロンロケット (打上げリハーサル時の様子)

惑星分光観測衛星 (SPRINT-A)

◎SPRINT-Aは地球を回る人工衛星軌道から金星や火星、木星などを遠隔観測する世界で最初の惑星観測用の宇宙望遠鏡です。

◎SPRINT-Aは、地上からでは観測できない極端紫外線の波長に特化した望遠鏡と分光装置、そして小型科学衛星標準バス部からなります。

◎極端紫外線の波長による観測から、金星・火星などの地球型惑星の大気が太陽のエネルギーにより宇宙空間にどのように剥ぎ取られているかを調べ、太陽系46億年の歴史の中で惑星大気がどのような変貌を遂げたのかを理解します。



惑星分光観測衛星 (SPRINT-A) 構成



【ミッション部】

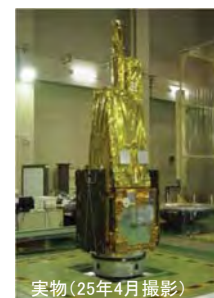
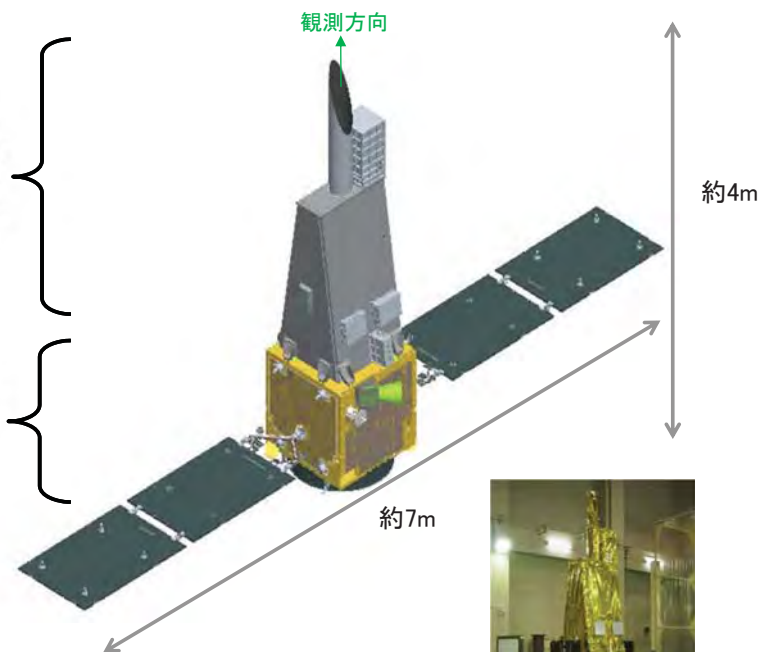
極端紫外線望遠鏡 (EXCEED)
⇒地球大気の外から、金星や火星の流出する希薄な大気や木星のプラズマ領域からの極端紫外線発光にあるスペクトル線を分光観測

【バス部】

小型科学衛星標準バス
⇒セミオーダメイド型の柔軟性を目指すとともに、今後の宇宙科学ミッションに適用可能なコンポーネントの共通性を考慮した開発

◎ 惑星分光観測衛星 諸元

衛星質量：340kg
発生電力：約900W
観測軌道：高度約950～1150km(楕円軌道)
姿勢制御：三軸姿勢制御(指向精度5秒角)
目標寿命：ミッション期間1年



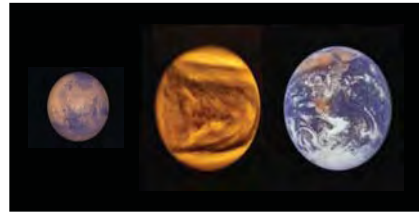
実物(25年4月撮影)

◎科学目的

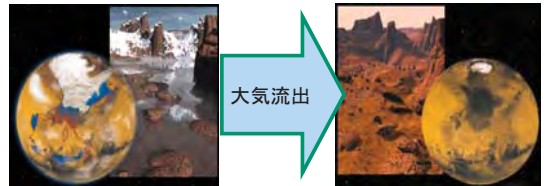
金星、火星、木星の観測を通じ、世界で初めて以下の2つの現象と太陽風の相関関係に関する観測を行う。

1) 惑星大気の流出に関わるメカニズム

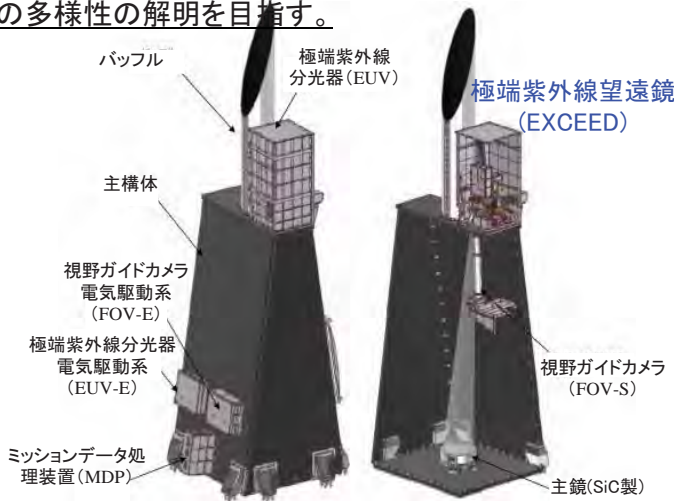
火星では惑星大気の大半が失われ、大気による温暖化効果が働かないため非常に寒冷化した状態となった。金星では水蒸気が流出した結果、炭酸ガスが大気の主成分となり、惑星の温暖化が究極的な形で進行している。SPRINT-Aの観測により、太陽系が形成された初期には相互に類似した環境であった3つの惑星(火星・地球・金星)の大気の時間的な変化の多様性の解明を目指す。



火星 大気喪失 金星 厚い雲 地球 水惑星



大気流出



2) 磁気圏内部と太陽風の相互作用の研究

「木星や地球などの磁場を持つ惑星は、その磁気圏によって外界からの高エネルギー現象から守られているという現在の科学的な理解は正しいのか？」

SPRINT-A の観測により、太陽から届く高エネルギー粒子の流量(太陽風の強度)の変化と磁気圏内部と外部の物質・エネルギー輸送の変化の関係を調べ、これまでの磁気圏物理の常識に挑戦する。

✓ 小型衛星による機動的かつ多様なミッションの実現に向けて有効な手段

✓ イプシロンロケットで検討している最終形態(高性能・低コスト版イプシロン)についても早期実現が望まれる。

イプシロンロケットの概要

■ 将来の小型衛星打上げの要求に対応

液体推進系による投入精度向上、環境条件緩和等

■ 高性能化と低コスト化を同時に達成

自律点検システム、管制システムモバイル化、M-V技術の継承等

■ 即応性、自在性

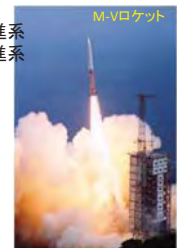
(初号機の基本仕様)

	仕様
打上げ能力	SSO(500km): 450kg
実機コスト	約38億円
開発費	205億円
打上げ年度	2013夏



モバイル点検・管制システム

・上段固体推進系
・固体補助推進系



M-Vロケット



共有技術
・SRB-Aモータ



H-IIA/Bロケット

イプシロンロケット

計画の背景と目的:

太陽面の爆発によって宇宙嵐がおこると、地球のまわりの宇宙空間(ジオスペース)では、放射線帯(バンアレン帯)中のエネルギーの高い電子が急激に増加。

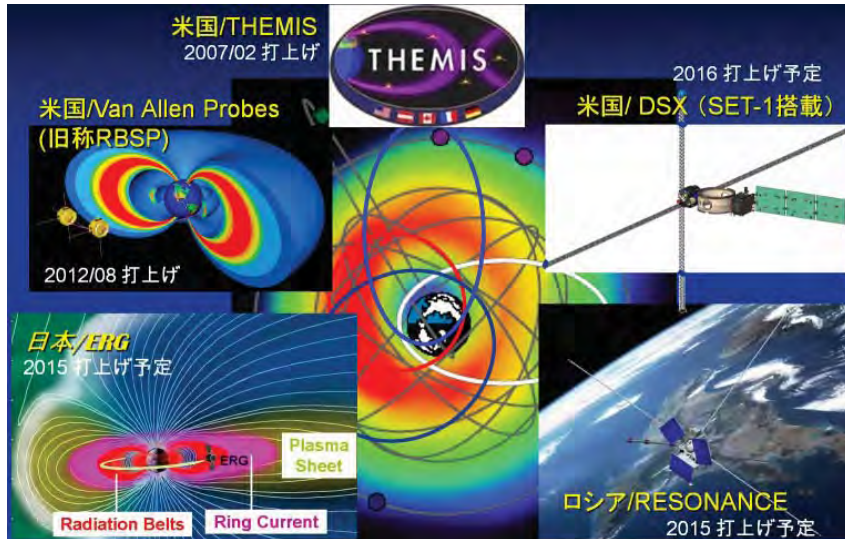
いつ、なぜ、どのようにして放射線帯の高エネルギー電子は増えるのか?

このメカニズムを明らかにするために、**ERG**衛星は放射線帯の中心部で、広いエネルギー帯のプラズマ粒子と、電磁場・プラズマ波動を直接観測し、ジオスペースにおける相対論的電子加速過程を明らかにする。



科学的・国際的な位置付け: 「国際ジオスペース探査計画」として国際協力と競争で実施

- ・各国衛星 (Van Allen Probes他: 詳細下図) との協調観測によって、ジオスペース多点観測を実施 = 科学成果の拡大
- ・ERGならではのユニークな観測装置 (ソフトウェア型波動・粒子相互作用解析装置: S-WPIA) = 日本が競争力を持った科学成果を創出
- ・地球周辺の放射線環境の把握・モデル構築を通じて、宇宙天気研究や宇宙機(静止軌道上の利用衛星等)の安全な運用へ貢献
- ・日本は小型科学衛星による機動的な計画 = 米Van Allen Probes計画と比べて数分の1の開発経費
- ・太陽活動極大付近での成果創出のため、平成27年度中の打上げが必須



衛星主要諸元

打ち上げ: 平成27(2015)年度
 観測期間: 1年以上
 軌道: 遠地点地心距離 5-6 Re、
 希望投入軌道傾斜角 31度以下
 姿勢: 太陽指向スピン
 重量: 約350kg

スケジュール

平成24-25年度: 衛星試作
 平成25-27年度: 衛星製作
 平成27年度: 総合試験/打上げ

実施体制

国内に約200名の研究コミュニティ。衛星観測だけでなく、地上観測、データ解析、シミュレーションを専門とする研究者もプロジェクトに参加。ERG衛星観測を軸に、互いの手法の特徴を活かした統合研究体制を準備。

安全・安心な社会への貢献

地球観測衛星

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)



第一期水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W1)

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)



通信・航法衛星



超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)



準天頂衛星「みちびき」

ヒューマンフロンティアへの拡張

国際宇宙ステーション (ISS)



宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)



ISS/日本宇宙実験棟「きぼう」(Kibo)



宇宙科学



太陽観測衛星「ひので」(SOLAR-B)



月周回衛星「かぐや」(SELENE)



小惑星探査機「はやぶさ」(MUSES-C)

宇宙探査

先進技術の開発

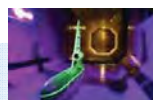
宇宙輸送



H-IIロケット



イプシロンロケット



国産旅客機技術の研究

航空



環境にやさしい低公害エンジン技術の研究



JAXAにおけるISASの位置付け



【根拠法：独立行政法人宇宙航空研究開発機構法(JAXA法)】

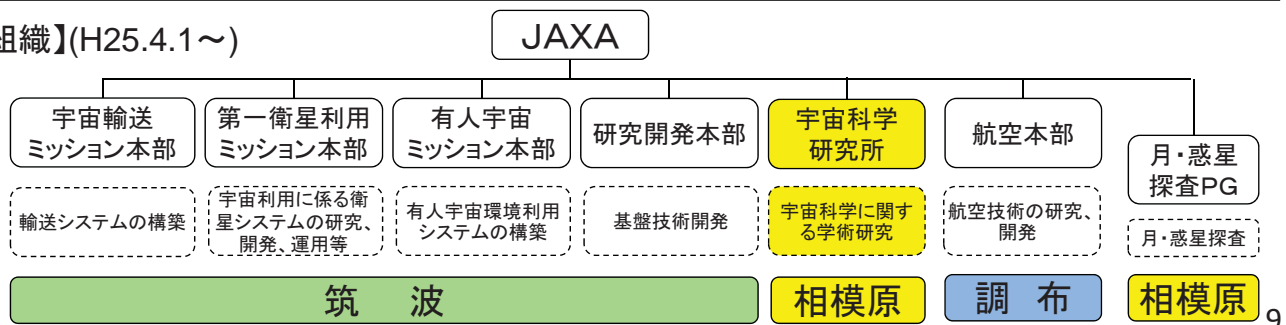
第四条(機構の目的)

機構は、**大学との共同等による宇宙科学に関する学術研究、宇宙科学技術に関する基礎研究**及び宇宙に関する基盤的研究開発並びに人工衛星等の開発、打上げ、追跡及び運用並びにこれらに関連する業務を、宇宙基本法(平成二十年法律第四十三号)第二条の宇宙の平和的利用に関する基本理念のっとり、総合的かつ計画的に行うとともに、航空科学技術に関する基礎研究及び航空に関する基盤的研究開発並びにこれらに関連する業務を総合的に行うことにより、**大学等における学術研究の発展、宇宙科学技術及び航空科学技術の水準の向上**並びに宇宙の開発及び利用の促進を図ることを目的とする。

第十八条(機構の業務)

- 一 **大学との共同その他の方法による宇宙科学に関する学術研究を行うこと。**
- 二 宇宙科学技術及び航空科学技術に関する基礎研究並びに宇宙及び航空に関する基盤的研究開発を行うこと。
- 三 人工衛星等の開発並びにこれに必要な施設及び設備の開発を行うこと。
- 四 人工衛星等の打上げ、追跡及び運用並びにこれらに必要な方法、施設及び設備の開発を行うこと。
- 五 前各号に掲げる業務に係る**成果を普及し、及びその活用を促進すること。**
- 六 第三号及び第四号に掲げる業務に関し、民間事業者の求めに応じて援助及び助言を行うこと。
- 七 機構の施設及び設備を**学術研究**、科学技術に関する研究開発並びに宇宙の開発及び利用を行う者の利用に供すること。
- 八 **宇宙科学並びに宇宙科学技術及び航空科学技術に関する研究者及び技術者を養成し、及びその資質の向上を図ること。**
- 九 **大学の要請に応じ、大学院における教育その他その大学における教育に協力すること。**
- 十 前各号の業務に附帯する業務を行うこと。大学との共同その他の方法による宇宙科学に関する学術研究を行うこと。

【組織】(H25.4.1～)



宇宙科学研究所 (ISAS) とは?



- 日本の宇宙科学研究の中心となる組織。
- 宇宙科学ミッション(科学衛星・観測ロケット・大気球・国際宇宙ステーション)の立案・開発・飛翔実験・運用を一貫して行う。
- 国内の大学・研究所、諸外国の宇宙機関と協力して、上記ミッションを推進。
- 宇宙科学ミッションは、国内の大学や研究機関に所属する宇宙理学委員会と宇宙工学委員会の研究者により提案実現。



●「宇宙基本計画」(H25.1.25宇宙戦略本部決定)

➤ 3つの重点課題の1つ に位置づけ

安全保障・防災

産業振興

宇宙科学等の
フロンティア

「宇宙科学・探査は、人類共通の知的資産の蓄積、学術成果を目指すもの」

宇宙科学・宇宙探査プログラムの推進についての整理(抜粋)

- 「一定規模の資金を確保し、世界最先端の成果を目指す」
- 「事業実施に当たっては、ISASを中心とする理学・工学双方の学術コミュニティの英知を集結し、本コミュニティによるボトムアップの活力をそぐこと無く実施できるように、JAXA内で緊密に連携」
- 「一定の資金確保に当たっては、科学の発展や衛星開発のスケジュールに柔軟な対応が必要」



最近の成果(はやぶさ&イカロス)



はやぶさミッションの目的:

サンプルリターンの技術実証

イオンエンジンの低推力航行による惑星間飛行

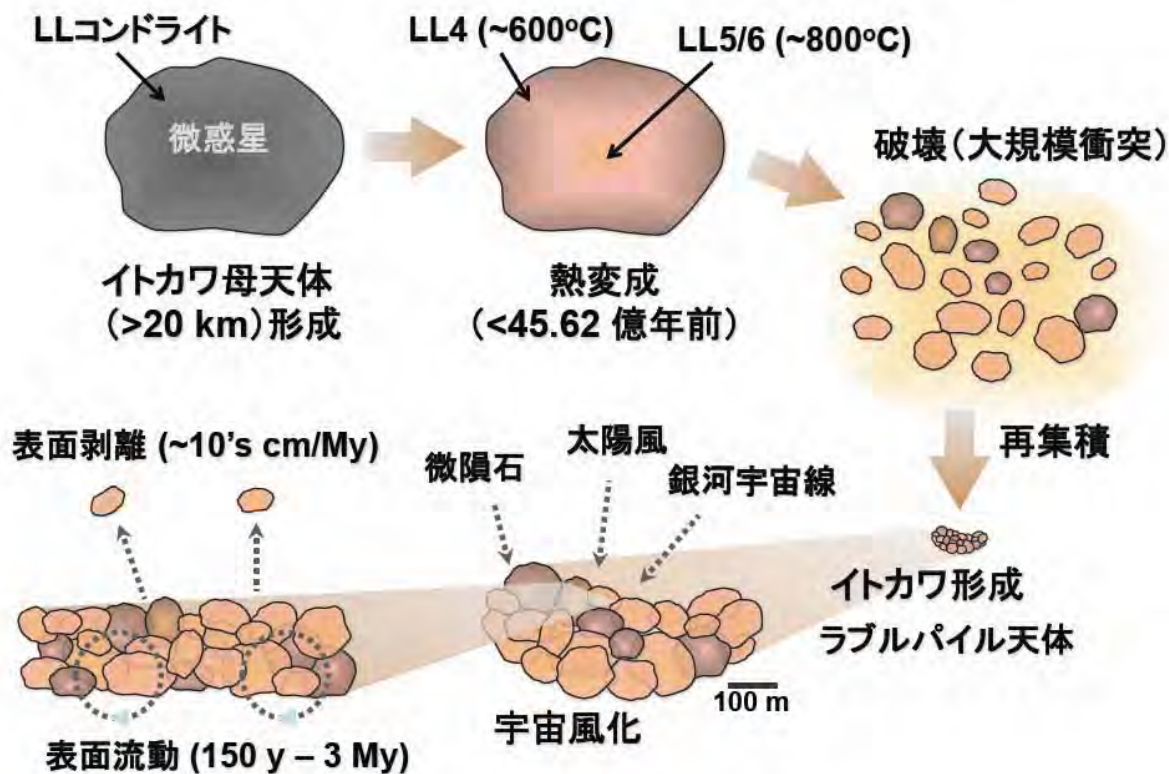
天体近傍での自立制御による航法誘導

弾丸射出によるサンプル採集及び収納

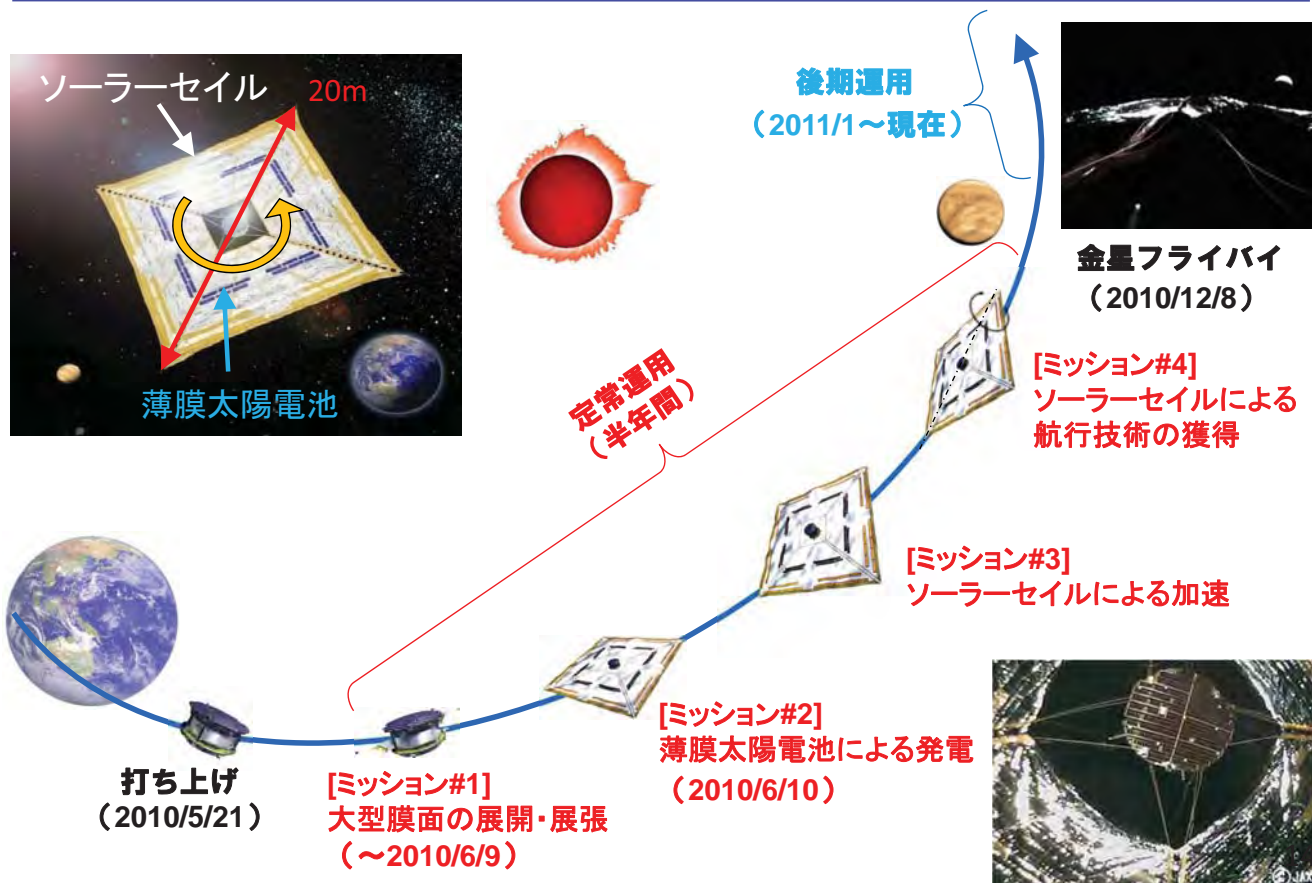
高速度大気突入による地球再突入飛行及び回収の実証



はやぶさサンプル初期分析の成果



IKAROS: 世界初のソーラーセイル&ソーラー電力セイルの実証



「ひので」衛星:世界最高の解像度 日本の独創技術と国際協力

可視光・磁場望遠鏡 (SOT)

0.2-0.3秒角という超高空間分解能で、
太陽表面の磁場ベクトルを精密計測

極端紫外線撮像分光装置 (EIS)

コロナの物質が出す極端紫外線を撮像・分光し、
コロナ物質の密度・温度・流れの状態を診断

総開発費

約210億円 [日本]

約100億円 [海外]

X線望遠鏡 (XRT)

約1秒角の高解像度で、コロナの構造や
そのダイナミックな変動を観測



3望遠鏡の同時観測により、
太陽コロナ活動や加熱機構のメカニズムを探る

15

「ひので」 望遠鏡

可視光
望遠鏡

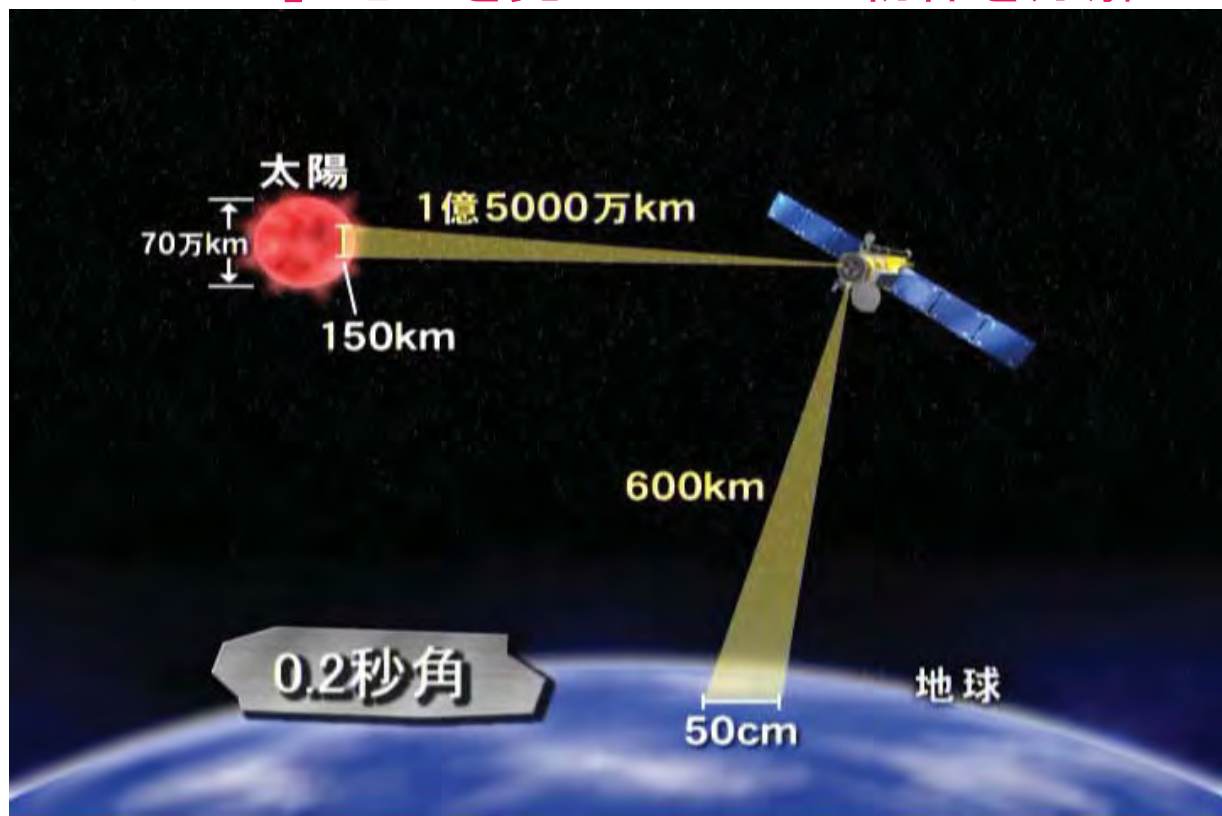


国立天文台
三菱電機他

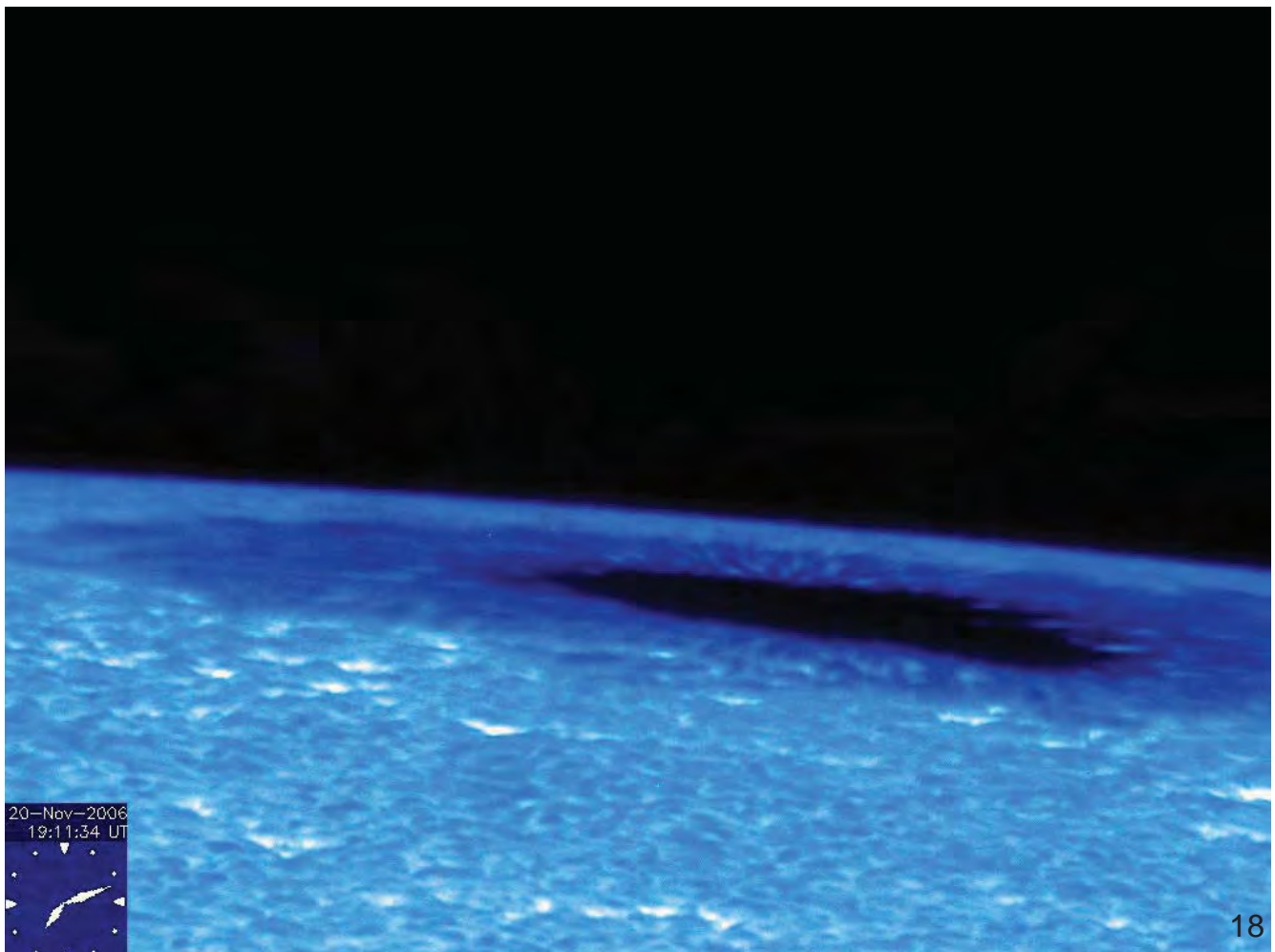
焦点面観
測装置

16

「ひので」:地上を見たら50cmの物体を分解



17



X線天文衛星「すざく」 ASTRO-E II	太陽観測衛星「ひので」SOLAR-B	磁気圏観測衛星「あけぼの」 EXOS-D	磁気圏尾部観測衛星 GEOTAIL	小型高機能科学衛星「れいめい」 INDEX	金星探査機「あかつき」 PLANET-C
					
<p>ミッション目的: X線天文衛星「すざく」は、様々なX線天体について、従来の衛星に比べ広いエネルギー領域とより高いエネルギー分解能かつ高感度で観測することで、宇宙の構造と進化の解明(宇宙最大の規模を持つ銀河団が衝突・合体した時のガス運動の挙動、ブラックホール直近領域の探査等)に挑む。</p> <p>打上げ年度: 平成17年</p> <p>成果: 世界に開かれたX線軌道天文台として観測運用を継続しており、銀河団外縁部に至るX線スペクトルを世界で初めて測定する等、新たな成果を継続して生み出している。</p>	<p>ミッション目的: 世界に開かれた軌道上太陽天文台として、太陽表面や太陽コロナで起こるさまざまな爆発現象や加熱現象を観測する。太陽大気中で発生する磁気エネルギーの変動現象を捉え、太陽の外層大気であるコロナの成因、および光球での磁気構造の変動とコロナでのダイナミックな現象の関係などの宇宙プラズマ物理学の基本的諸問題を解明する。</p> <p>打上げ年度: 平成18年</p> <p>成果: 搭載された3つの観測器は全て所定の機能・性能を達成しており、現在も観測運用を継続している。また、太陽極域にパッチ状に分布する強磁場の存在を発見するなど新たな成果を生み出している。</p>	<p>ミッション目的: オーロラに関連した磁気圏の物理現象(オーロラ粒子の加速のメカニズムとオーロラ発光現象の観測)の解明</p> <p>打上げ年度: 昭和63年</p> <p>成果: 打ち上げ以来23年にわたり、順調に科学観測を続け、太陽活動の完全な1サイクル(11年)の観測を達成。オーロラ粒子の加速メカニズムと発光現象の観測し、オーロラに関連した磁気圏の物理現象を解明。平成22年度末には、運用延長申請の審査が行われ、3年間の運用延長が認められた。</p>	<p>ミッション目的: 地球磁気圏尾部の構造とダイナミクスの研究、ISTP(太陽地球系物理学国際共同観測計画)への参加</p> <p>打上げ年度: 平成4年</p> <p>成果: オーロラや放射線帯の元である磁気圏尾部を詳細に観測。磁気リコネクションの起こる場所や、起こるタイミングについて多くの新しい事実を発見した。現在も衛星の状態は良好であり、経年劣化によって観測を終了した一部機器を除いて搭載科学観測機器は順調に観測を続けている。</p>	<p>ミッション目的: 次世代の先進的な衛星技術の軌道上での実証 小規模、高頻度の科学観測ミッションの実現</p> <p>打上げ年度: 平成17年</p> <p>成果: 全ての搭載機器は軌道上で正常な動作状態であり、工学的ミッションである薄膜反射器を用いた太陽集光パドル、超小型のGPS受信機などの先進的な衛星搭載機器技術の軌道上実証が成功裏にされた。</p> <p>理学観測終了</p>	<p>ミッション目的: 惑星を取り巻く大気の運動のしくみを本格的に調べる世界初のミッションとして、金星の雲の下に隠された気象現象を、新開発の赤外線観測装置等を用いて周回軌道から精密観測する。これにより、従来の気象学では説明できない金星の大気力学(惑星規模の高速風)のメカニズムを解明し、惑星における気象現象の包括的な理解を得る。</p> <p>打上げ年度: 平成22年</p> <p>成果: 金星周回軌道投入に失敗し、現在は平成27年以降の金星周回軌道再投入に向けた運用を継続中。</p>

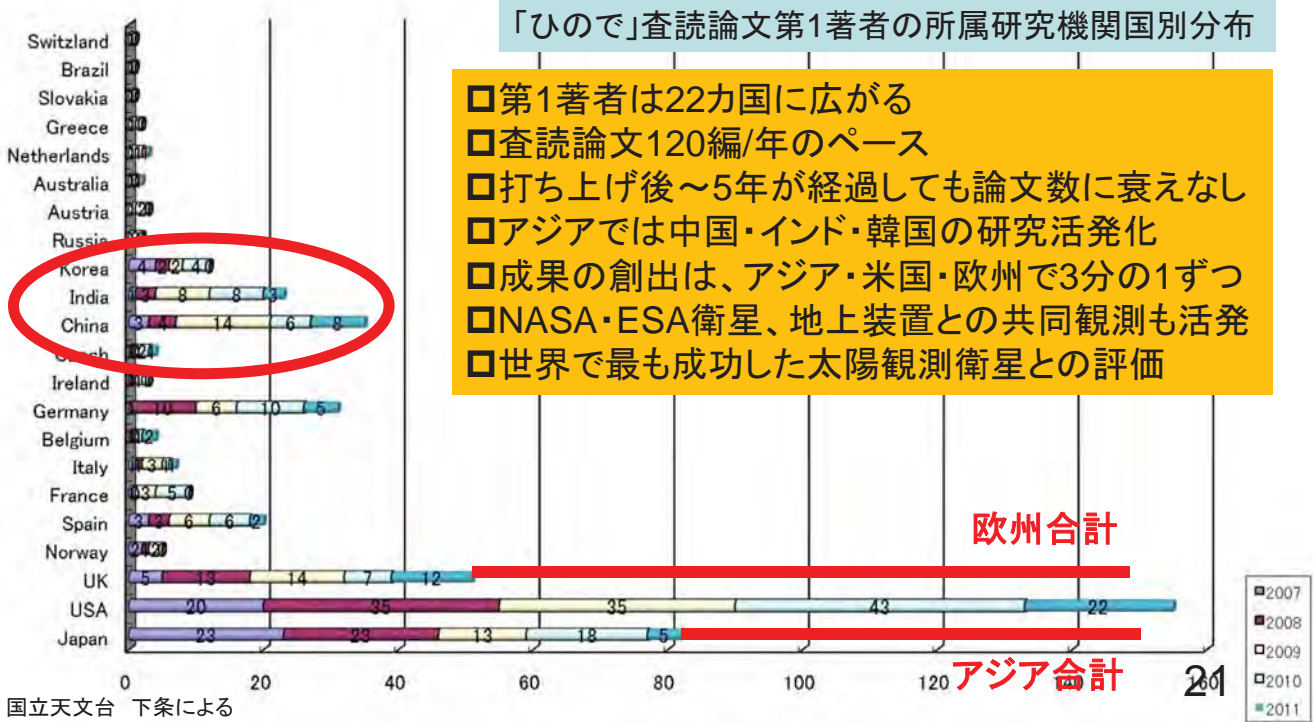
宇宙科学における論文創出数

1991年以降に打上げた科学衛星・探査機に係る、査読付き学術誌への論文掲載数

衛星名	目的	打上げ/ 運用開始	運用終了	論文集計 期間	論文数 ※
あかつき	金星大気観測	2010	運用中	2011-2012	8
かぐや	月探査	2007	2009	2008-2012	190
ひので	太陽観測	2006	運用中	2007-2012	844
あかり	赤外線天文観測	2006	2011	2007-2012	222
すざく	X線天文観測	2005	運用中	2006-2012	681
はやぶさ	小惑星サンプルリターン	2003	2010	2004-2012	129
のぞみ	火星総合科学観測	1998	2003	1999-2012	26
はるか	スペースVLBI	1997	2005	1998-2012	44
あすか	X線天文観測	1993	2002	1994-2012	2287
GEOTAIL	地球磁気圏観測	1992	運用中	1993-2012	1236
ようこう	太陽観測	1991	2000	1992-2012	1089
(参考)					
すばる	地上光赤外天文台	1999	運用中	2000-2012	1031

※論文数について: トムソン・ロイター社による“Web of Science”データベースを基に、ISASで集計したもの(調査日: 平成25年6月28日)。検索条件として、トピックを衛星英名、同名テーマによる宇宙科学と無関係の研究を除外し、査読付論文(ARTICLE)のみとした。なお、より厳密に行うためには論文の内容を読んで研究者の手で判定を行う必要があるため、実数としてはやや修正があり得る。

世界中の研究者に使われる「ひので」データ 「ひので」の査読論文6年間で600編 観測データは解析ソフトウェア付きで即時公開



宇宙物理学の方向性

宇宙物理学:宇宙の大規模構造から惑星系に至る宇宙の構造と成り立ちを解明し、なぜ今かくあるかを知る。また、宇宙の極限状態(超高重力、超高エネルギーなど)を探る。

太陽系科学:太陽系天体と太陽系空間環境、その起源と進化を明らかにし、「奇跡の水惑星」地球をよりよく知る。

観測・探査の大目標

宇宙・物質・空間
はなぜできたのか

我々の太陽系は
どうなっているか
どのようにして
生まれてきたのか

詳細な科学目標

- 宇宙の成り立ちを解明し、暗黒物質・暗黒エネルギーを探る
- 初期宇宙の極限状態を探る
- 太陽系外惑星の形成過程を探る
- 生命の起源、地球外生命の探求
- 太陽系諸天体の構造と起源を探る
- 太陽と惑星環境を探る
- 地球の環境の成り立ち、将来を知る

具体的な観測手法

- X線観測
- 赤外線観測
- 電波観測
- 太陽観測
- 惑星磁気圏
大気プラズマ
観測
- 月・惑星
無人観測



世界でも稀有な宇宙物理学と太陽系科学の両方の部門を持つ
これから始まる世界的な相互作用の深化に好位置