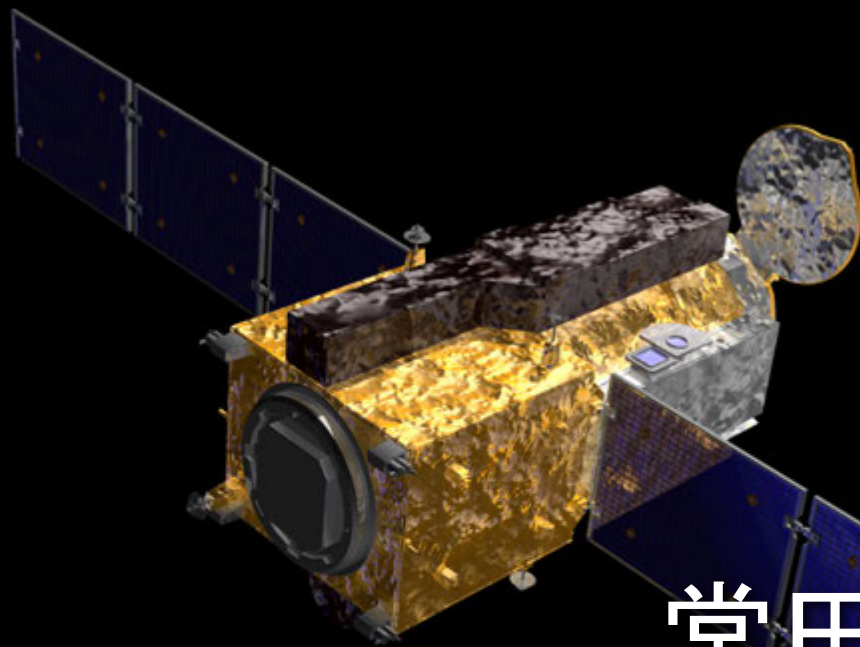


40年の研究生活と宇宙研



常田 佐久

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
退任記念講演会

平成30年3月22日(木)16:30~17:30

本日のお話の内容

- 40年間の研究概観
- 思い出は装置開発のみ
- 観測ロケット・気球、外部資金とフロントローデング
- 3種類の人材育成
- 宇宙研にて(2013~2018)
- Final Remarks



40年間 の研究概観

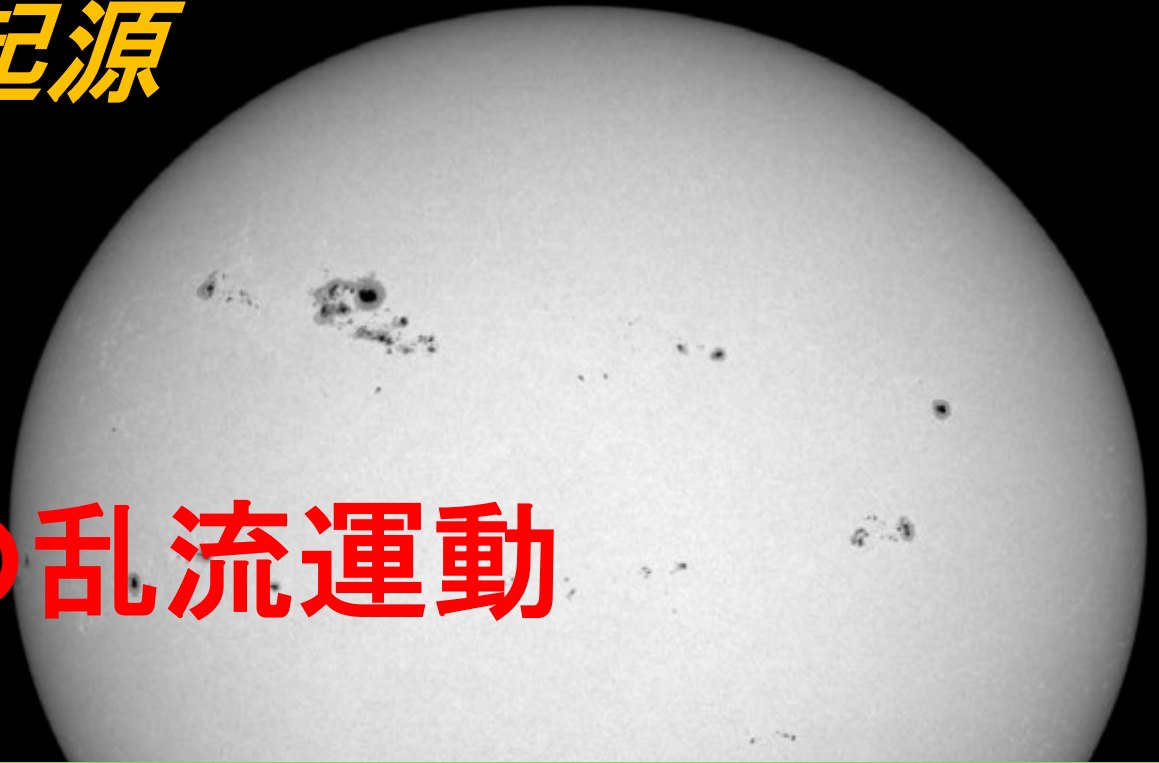
1980年の時代風景

- 1980年とはどういう時代か？アメリカは月に人を送っていたが、日本のロケットは失敗が続いた。ようやく失敗が減ってきた頃。。。
- 地上にも、野辺山の45m宇宙電波望遠鏡さえなく、世界と競争できるように先端的な観測機器はなかった。
- そのようなときに、天文学の大学院の1年生となった。
- 「他の恒星に比べれば近い」ということで、太陽の研究を始めた。初めは、理論を専攻したが、すぐ挫折。方向転換して、大学院の学生として、「ひのとり」開発チームに加わる。
- 天文の学生で飛翔体に関わる第一号となった：打ち上げが失敗したら学者の道は閉ざされるかもしれないが、その当時誰もやらなかったことにチャレンジ。衛星打上げは成功し博士論文を書くことができた。

星の磁場の起源

星の回転

太陽内部の乱流運動



星の内部の
運動エネルギー

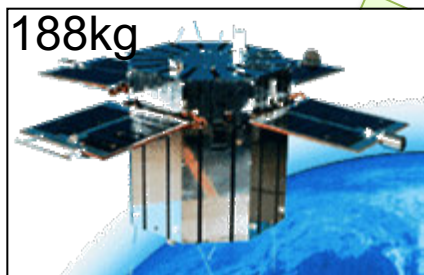
ダイナモ

磁場
エネルギー

リコネクション
波動

コロナ加熱
太陽フレア

太陽の研究と 装置開発を堪能 素晴らしく面白かった



Hinotori (ASTRO-A)
1981-1982

査読付論文1197編



Yohkoh (SOLAR-A)
1991-2001



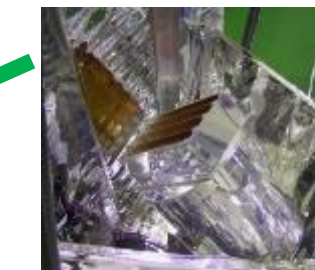
XDT: 観測ロケットによる
「ひので」の機器開発 1998



査読付論文
1133編



Hinode (SOLAR-B)
2006-



気球実験による
硬X線観測
2001, 2002



NASA rocket
CLASP 2015 & **CLASP2** 2019



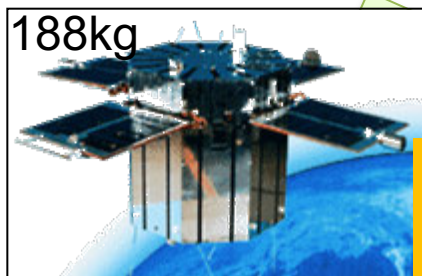
太陽の研究と 装置開発を堪能 素晴らしく面白かった



XDT: 観測ロケットによる
「ひので」の機器開発 1998



気球実験による
硬X線観測
2001, 2002



査読付論文1197編

軟X線観測による
磁気リコネクション
現象の発見

Hinotori (ASTRO-A)
1981-1982



390kg

Yohkoh (SOLAR-A)
1991-2001

ゼーマン効果偏光の
観測による磁気流体
波動の発見と水平磁場
の発見

査読付論文
1133編

900kg
Hinode (SOLAR-B)
2006-

NASA rocket

CLASP 2015 & **CLASP2** 2019



ハンレ効果による
新しい磁場計測法
の開拓



「ひので」・「ようこう」の成果



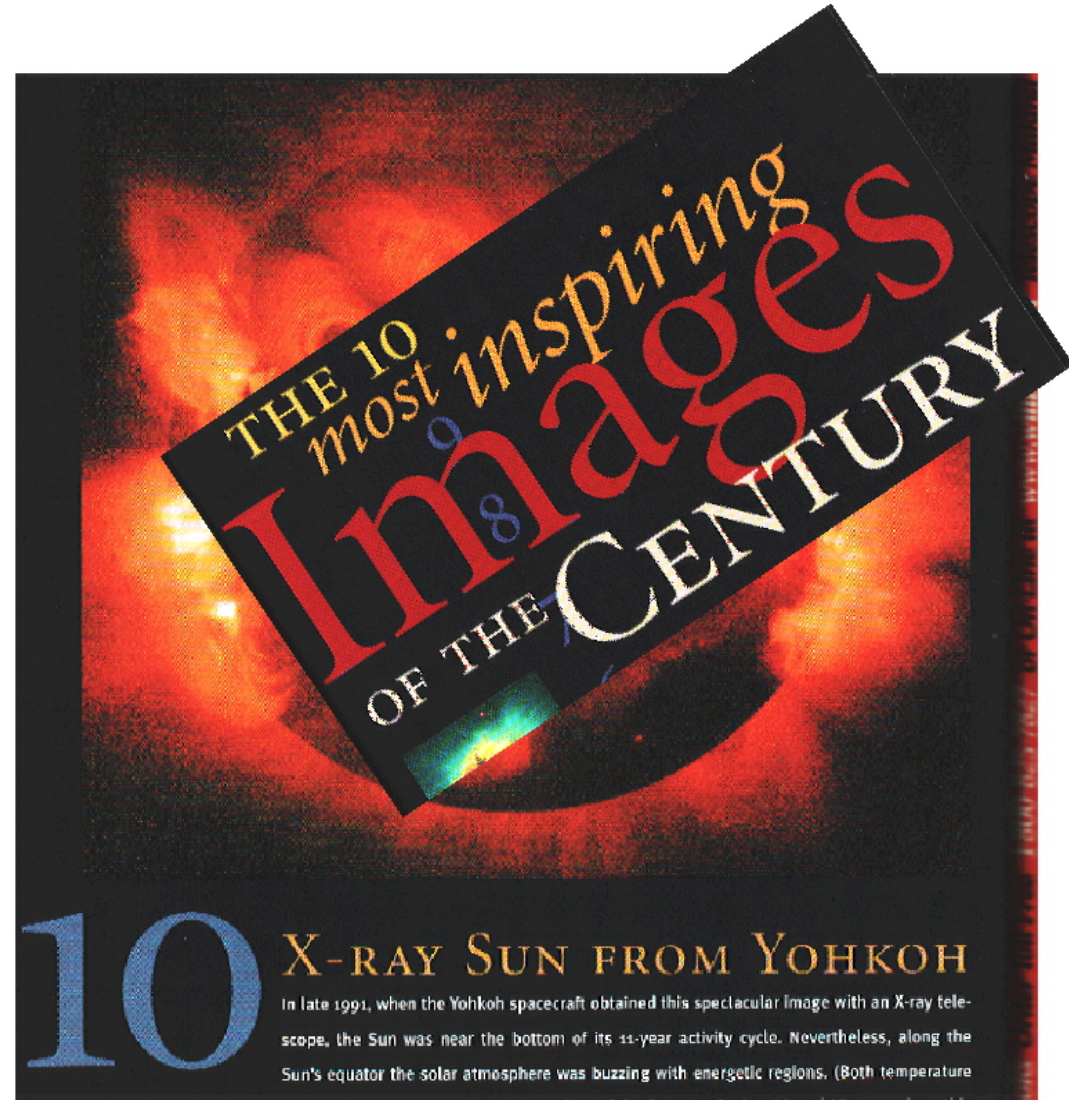
- 観測データは、解析ソフトウェア付で、世界3か所のデータセンターから、取得後即時公開
- 主著者は29か国に渡り、国別順位は、アメリカ、日本、イギリス、中国、ドイツの順
- 「ひので」
 - 査読論文：1133編 (アジア、米国、欧州が三分の一ずつの寄与)
 - うち、*Science*誌10本、*Nature*誌3本
 - 特集号
 - *Science*誌(2007)
 - *European Journal Astronomy & Astrophysics* (2008)
 - 日本天文学会欧文研究報告 (2007/14の2回) など
 - 博士学位取得者数：83名 (国内17名、国外66名)
- 「ようこう」
 - 査読論文：1197編
 - 博士学位取得者数：59名 (国内29名、国外30名)

ようこうの成果

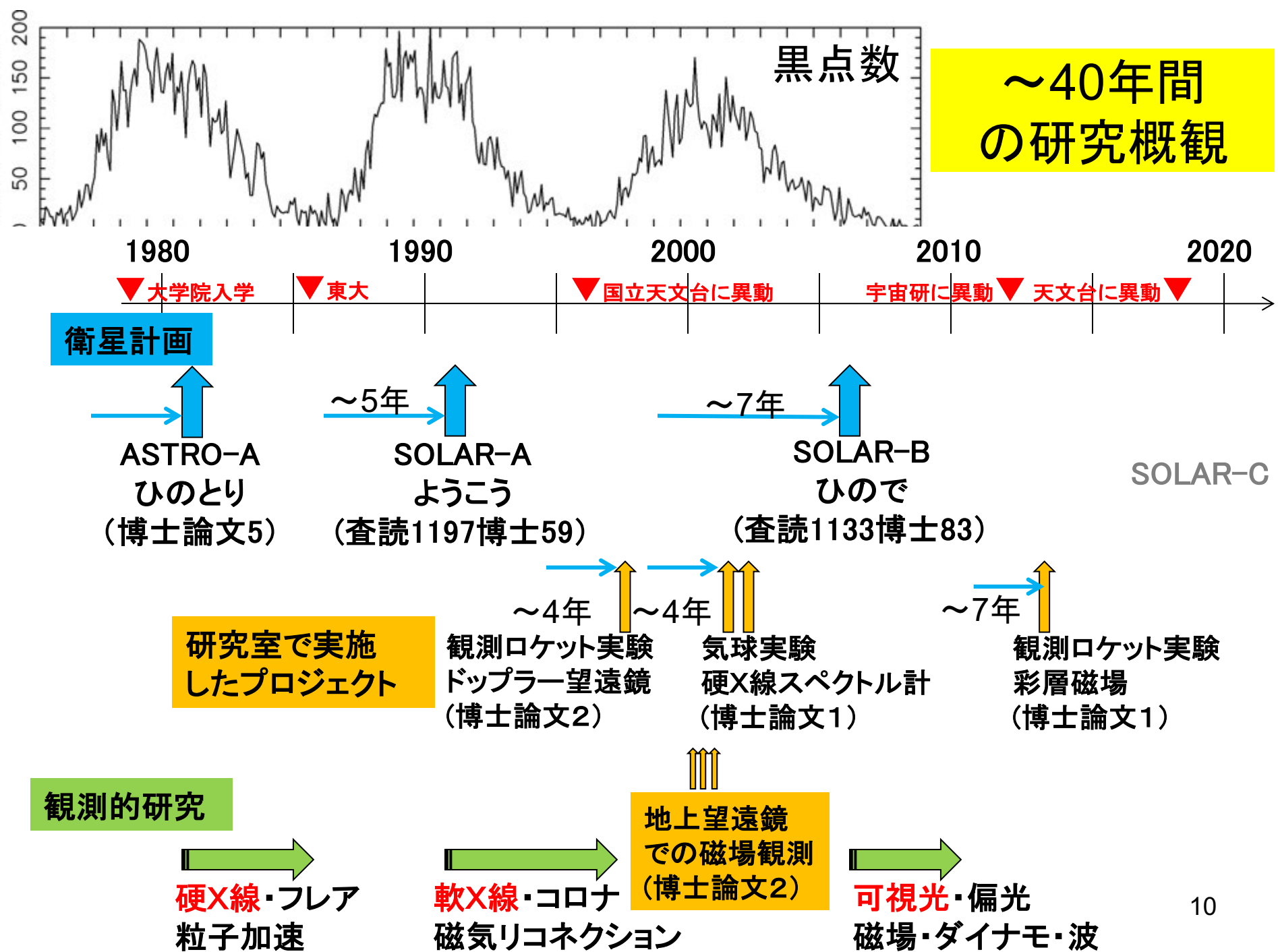
研究成果だけでなく、一般にも大きなインパクト

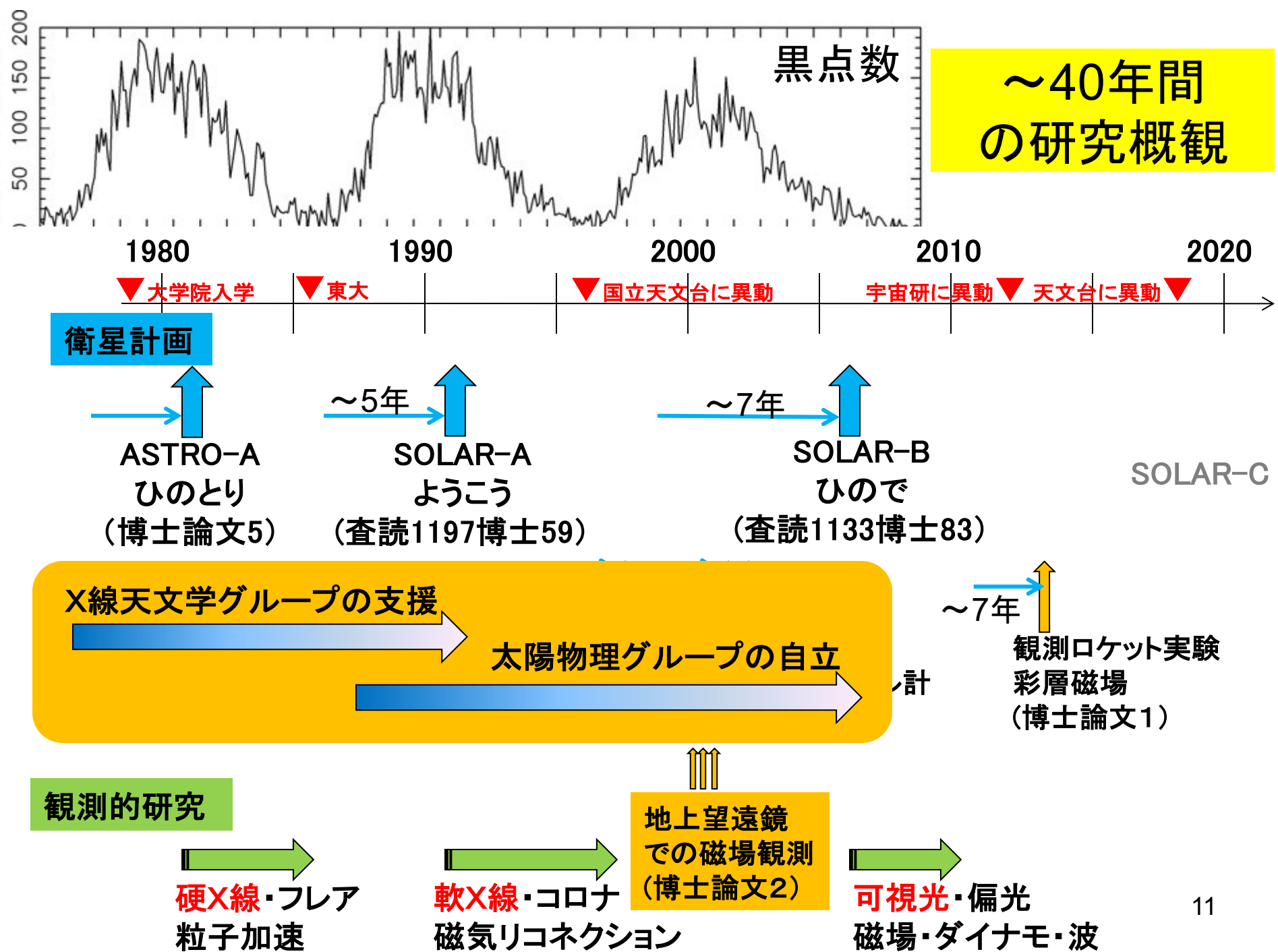


アエラの特集



Sky & Telescope 誌で20世紀の天体写真ベスト10に選ばれる





～40年間
の研究概観

黒点数

1980

1990

2000

2010

2020

▼ 大学院入学

▼ 東大

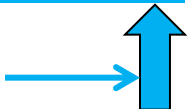
▼ 国立天文台に異動

宇宙研に異動

▼ 天文台に異動

▼

衛星計画



ASTRO-A
ひのとり
(博士論文5)



～5年

SOLAR-A
ようこう
(査読1197博士59)



～7年

SOLAR-B
ひので
(査読1133博士83)

SOLAR-C

X線天文学グループの支援



太陽物理グループの自立



計



～7年

観測ロケット実験
彩層磁場
(博士論文1)

観測的研究



硬X線・フレア
粒子加速



軟X線・コロナ
磁気リコネクション

地上望遠鏡
での磁場観測
(博士論文2)



可視光・偏光
磁場・ダイナモ・波

「ようこう」・「ひので」により、太陽の研究は激変、
世界的に研究が活性化

太陽極域に黒点並みの強さの磁場が多数存在を発見(「ひので」)

太陽面爆発現象(フレア)が磁力線再結合によって発生することを示した(「ようこう」)

磁場の生成と散逸

太陽の自転
と乱流運動

ダイナモ

磁気エネルギー

磁力線再結合
磁気流体波動

太陽フレア
コロナ・彩層加熱

短寿命水平
磁場の発見
(「ひので」)

ナノフレアによる
コロナ加熱(「よう
こう」)

アルフベン波の発
見(「ひので」)

対流崩壊現象による
強磁場の生成(「ひの
で」)

- ・速いMHD衝撃波と衝撃波粒子加速(「ようこう」)
- ・大規模磁気ロープの浮上の発見(「ひので」)

「日本の太陽観測衛星シリーズ」

新たなパラダイムを導入し研究分野を一新

NASA/ESAの衛星計画を先導

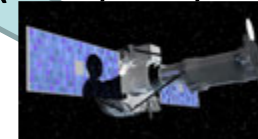


可視光・コロナ加熱
磁気流体波動・ダイナモ

ひので (2006)



NASA Interface Region
Imaging Spectrograph
(IRIS, UV, 2013)

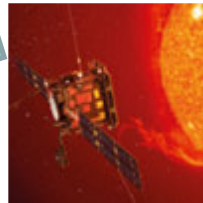


ようこう (1991)

軟X線・フレア
磁気リコネクション



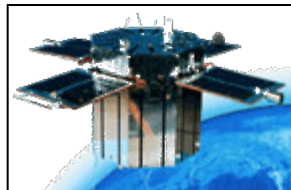
NASA TRACE(EUV, 1998)



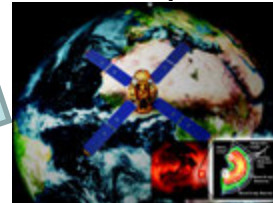
ESA Solar Orbiter
(可視、UV、2018)

ひのとり (1981)

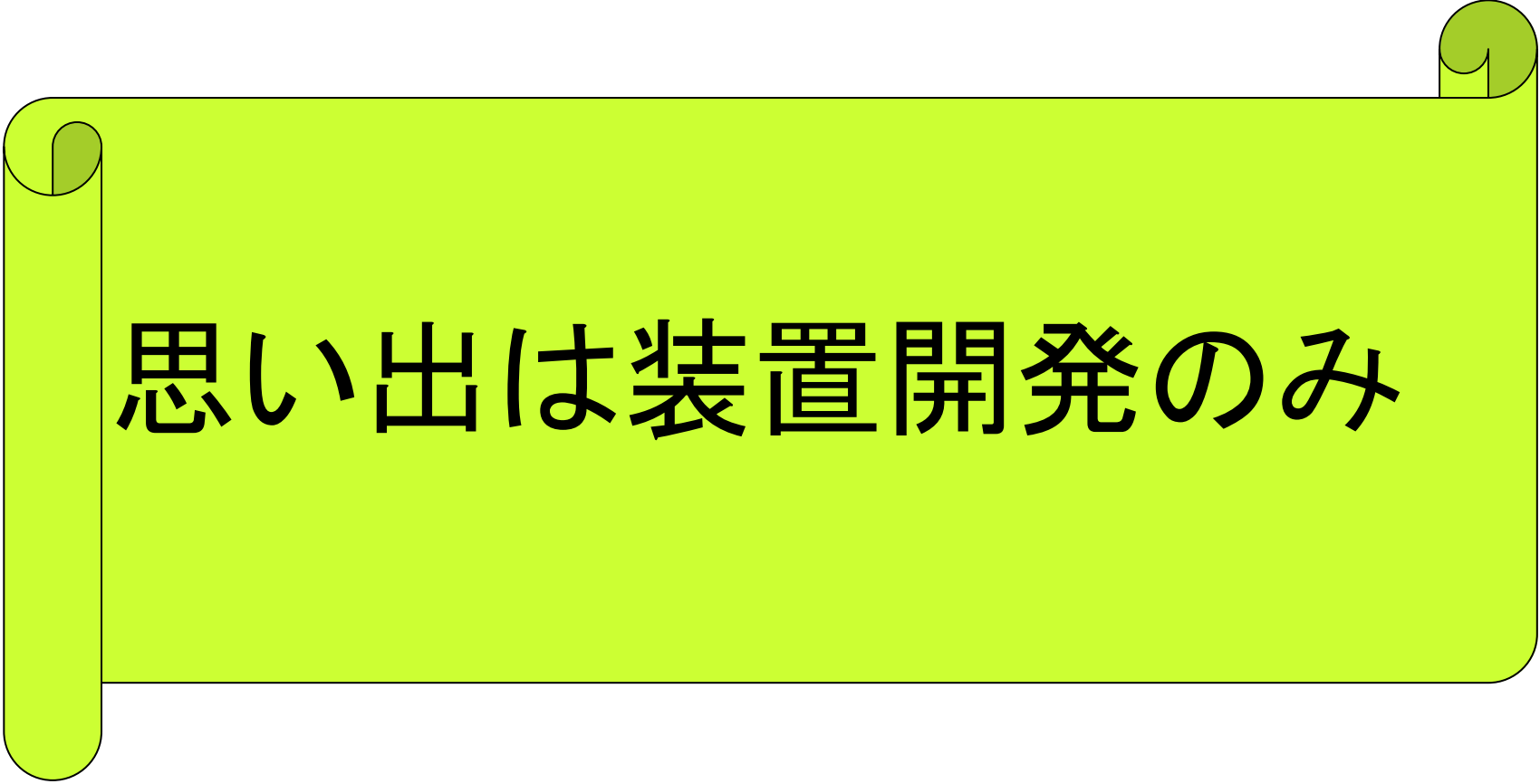
硬X線・フレア
粒子加速



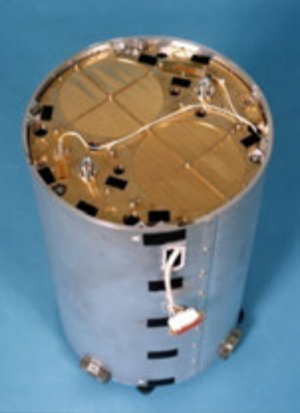
NASA RHESSI(2002)



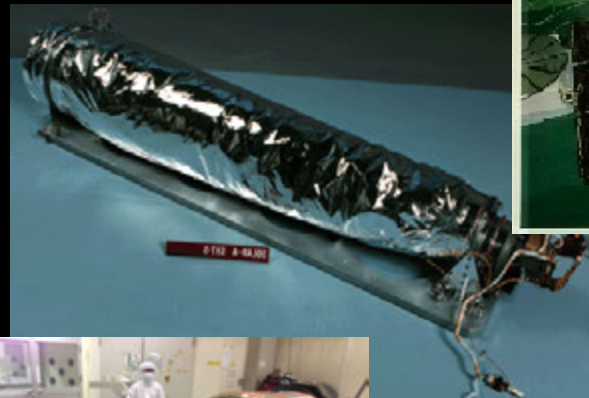
NASA Solar Dynamic
Observatory(UV, 2010)



思い出は装置開発のみ



1981「ひのとり」
硬X線望遠鏡



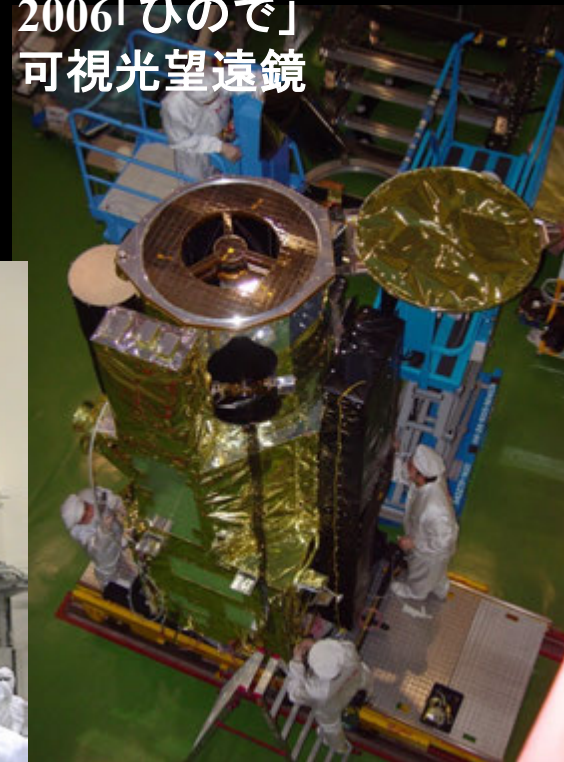
1991「ようこう」
軟X線望遠鏡

1997観測ロケット
ドップラー望遠鏡



2015 米国ロケット実験
CLASP

2006「ひので」
可視光望遠鏡



2001気球
硬X線スペクトル計



1980年後半からの10年は「ようこう」搭載 の軟X線望遠鏡に没頭



Dr. Loren Acton, former NASA astronaut, who has been my mentor and friend, received “*The Order of the Rising Sun, Gold Rays with Neck Ribbon*” (旭日中綬章) from the Government of Japan on 10 November 2017 for his significant contribution to US-Japan collaboration in space science.

パロアルト 1980年代末

1980年後半からの10年は「ようこう」搭載 の軟X線望遠鏡に没頭

一番影響を受けた
研究者の一人



Dr. Loren Acton, former NASA astronaut, who has been my mentor and friend, received “*The Order of the Rising Sun, Gold Rays with Neck Ribbon*” (旭日中綬章) from the Government of Japan on 10 November 2017 for his significant contribution to US-Japan collaboration in space science.

パロアルト 1980年代末

「ひので」衛星の開発

これまで不可能だった太陽熱の影響を受けない可視光
望遠鏡の開発により世界最高の解像度を実現

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

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宇宙機関、4か国11機関に
またがる国際協力で完成

「ひので」で お世話になった方々に深謝

- ・ 宇宙研で初めての三菱電機バス
- ・ ロケット: 森田さん、嶋田さん
- ・ 幹事: 曾根さん、太刀川さん、大西さん
- ・ 構造: 峯杉さん
- ・ DHU: 山田隆弘さん
- ・ AOCS: 橋本さん、坂井さん
- ・ RCS: 澤井さん
- ・ 電源: 広瀬さん、豊田さん
- ・ HKU: 石井さん
- ・ 追跡(USC): 山本さん、戸田さん
- ・ 姿勢決定: 竹内さん

「ひので」で お世話になった方々に深謝

- ・ 宇宙研で初めての三菱電機バス
- ・ ロケット: 森田さん、嶋田さん
- ・ 幹事: 曾根さん、太刀川さん、大西さん
- ・ 構造: 峯杉さん(衛星だけでなく望遠鏡も)
- ・ DHU: 山田隆弘さん
- ・ AOCS: 橋本さん、坂井さん
- ・ RCS: 澤井さん
- ・ 電源: 広瀬さん、豊田さん
- ・ HKU: 石井さん
- ・ 追跡(USC): 山本さん、戸田さん
- ・ 姿勢決定: 竹内さん



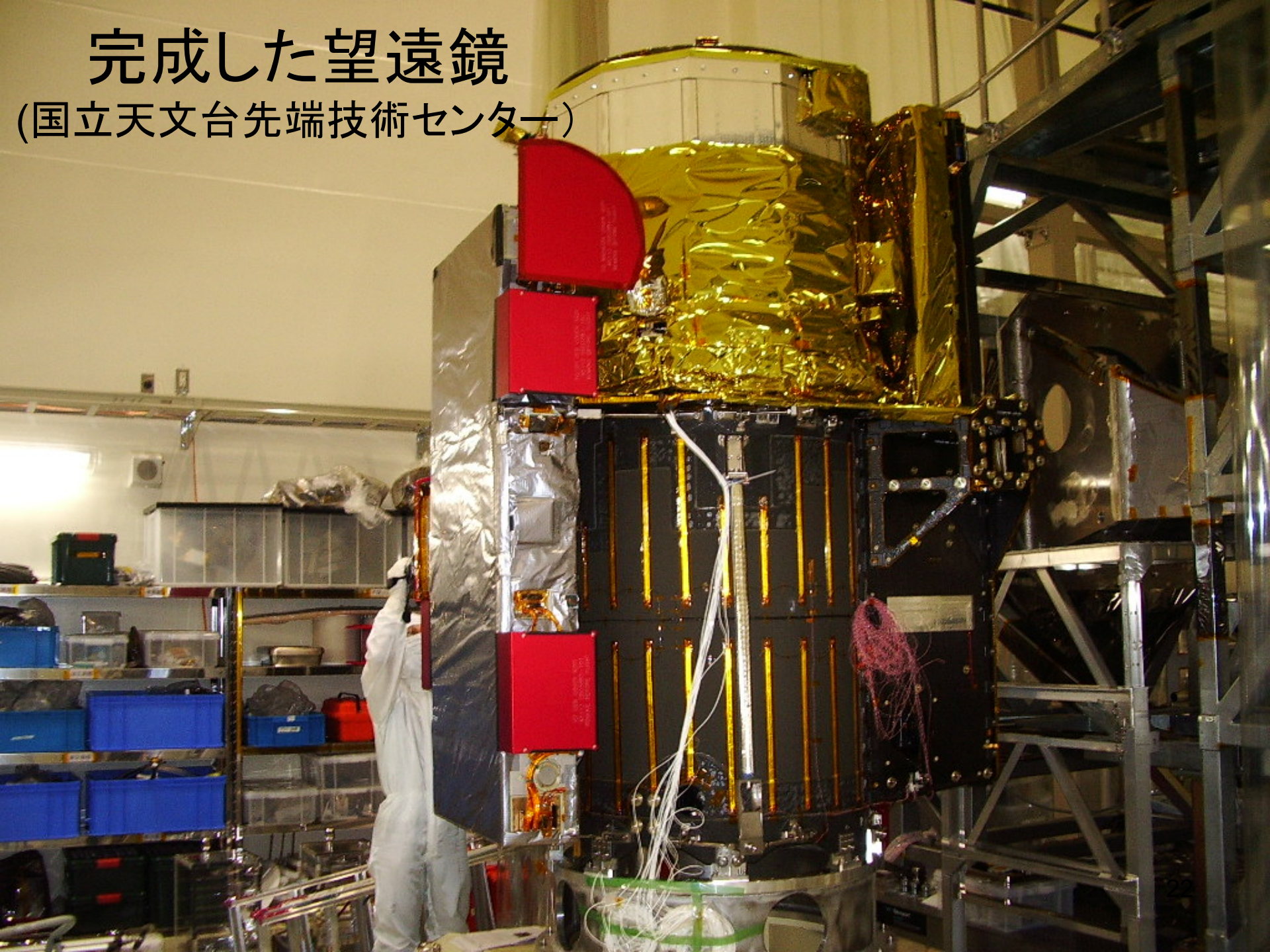
国立天文台でメーカーのエンジニアと宇宙望遠鏡の組立・調整作業



ALMAプロジェクトの理解を得て
クリーンルームの建設から始めた

完成した望遠鏡

(国立天文台先端技術センター)



欧州研究者による「ひので」 空間分解能の第3者検証論文

A&A 487, 399-412 (2008)

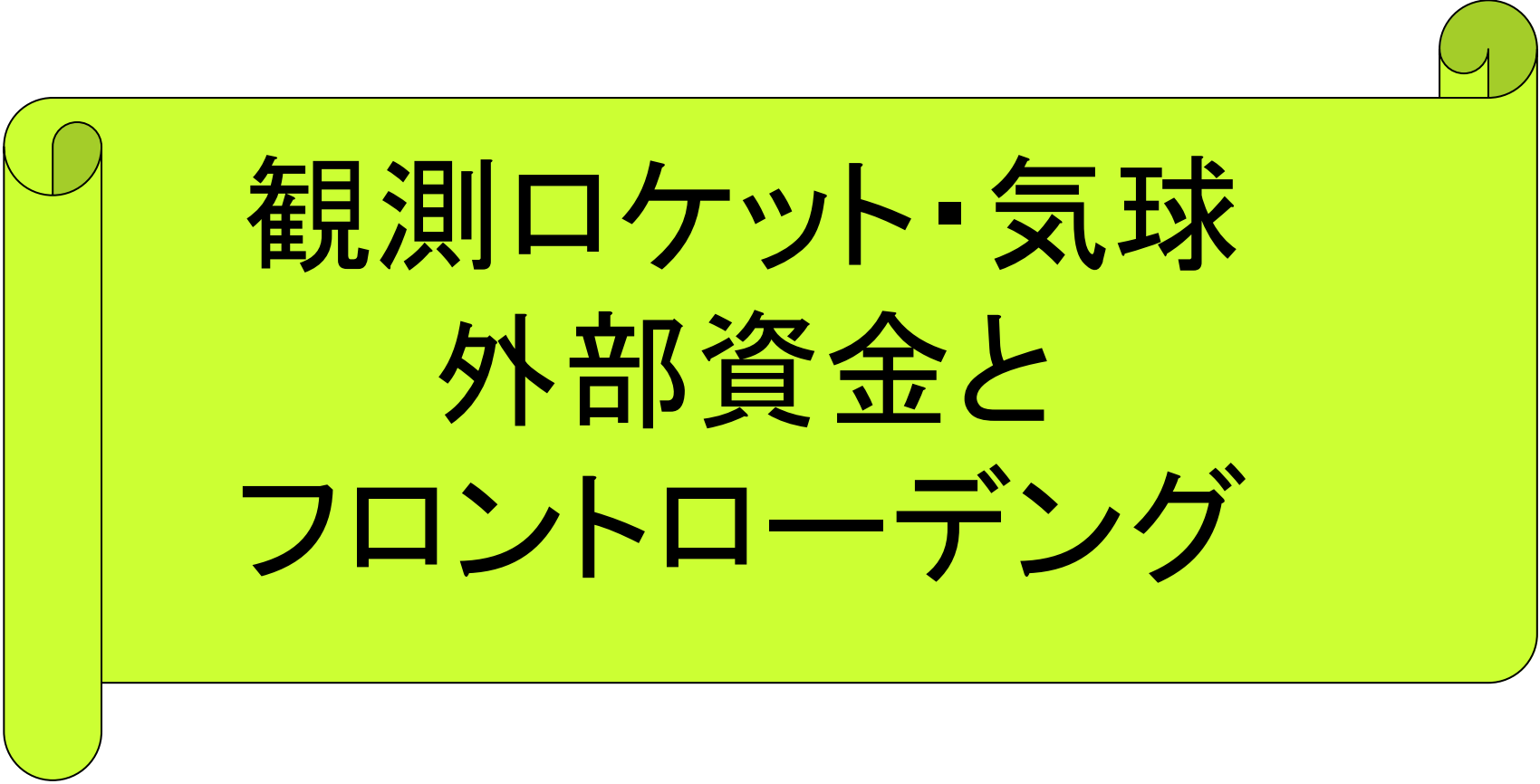
Point spread functions for the Solar optical telescope onboard Hinode

S. Wedemeyer-Böhm

Received 20 March 2008 / Accepted 1 May 2008

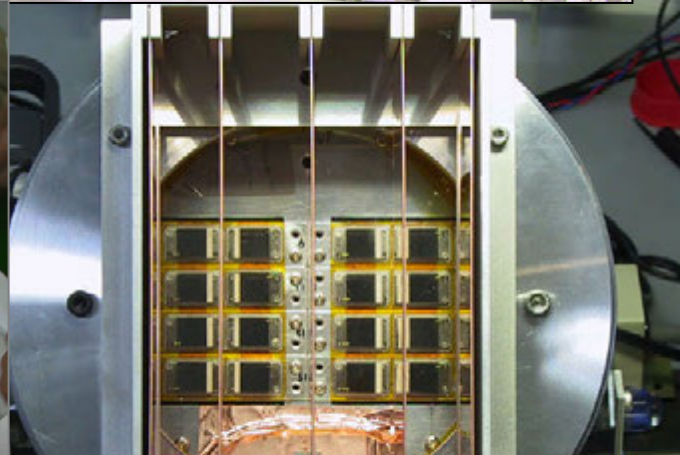
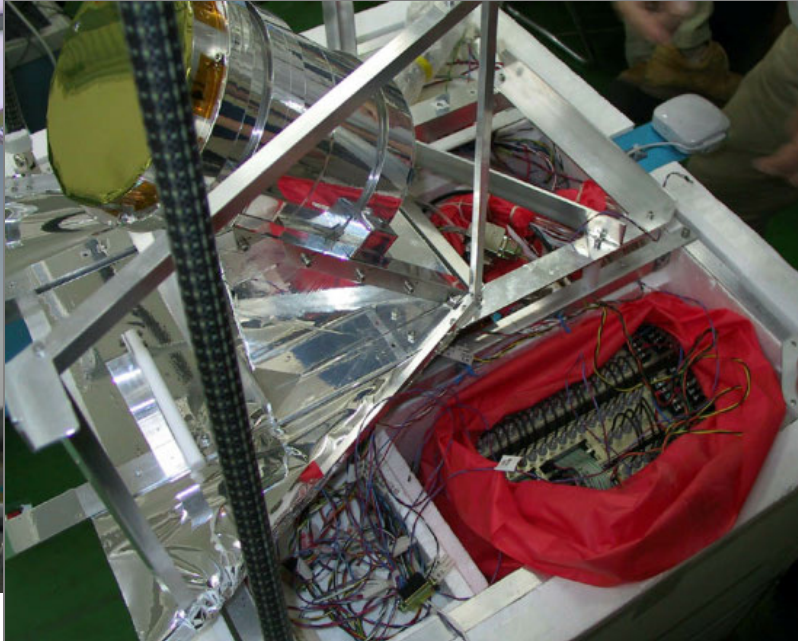
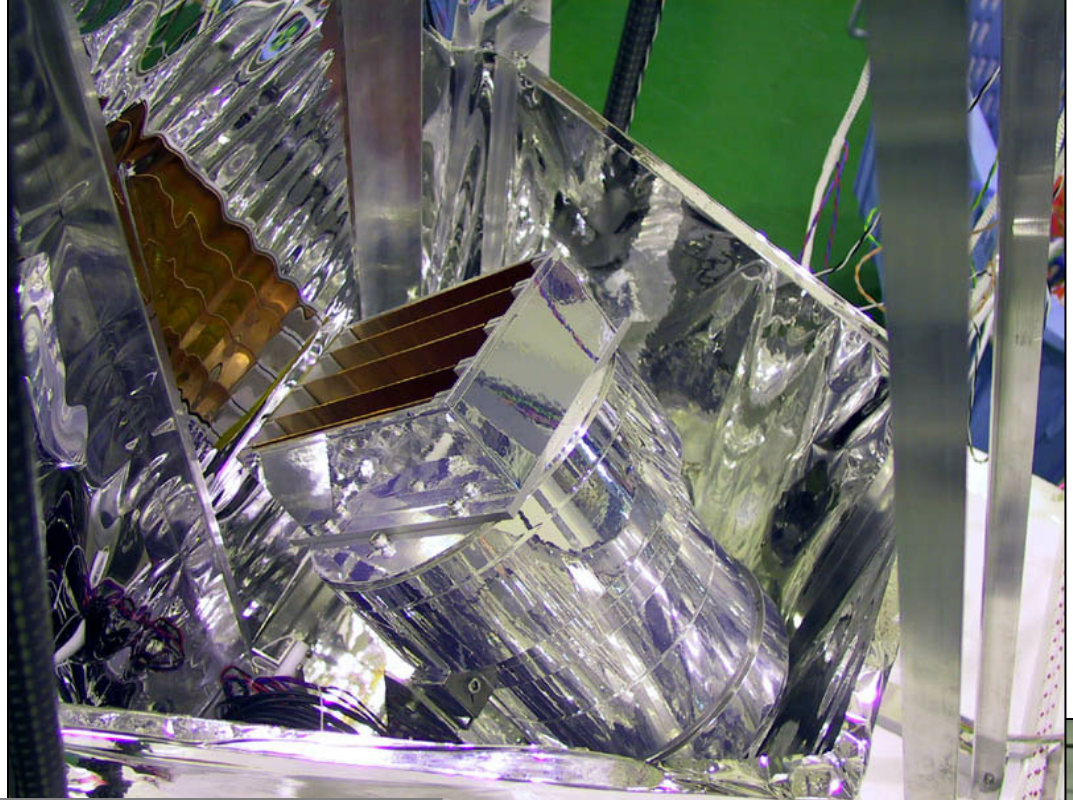
Conclusions. The BFI/SOT operate **close to the diffraction limit** and have only a rather small stray-light contribution. The *FWHM* of the **PSF is broadened by only ~1% with respect to the diffraction-limited case, while the overall Strehl ratio is ~0.8.** In view of the large variations - best seen in the residual intensities of eclipse images - and the dependence on the overall light level and position in the FOV, a range of PSFs should be considered instead of a single PSF per wavelength. The individual PSFs of that range allow then the determination of error margins for the quantity under investigation. Nevertheless, the stray-light contributions are found to be best matched with Voigt functions with the parameters = 0 008 and = 0 004, 0 005, and 0 006 for the blue, green, and red continuum channels, respectively.

ITT World-viewより高性能

A yellow scroll graphic with a black outline, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both with rounded ends and a small circular detail at the top-left and top-right corners respectively.

観測ロケット・気球 外部資金と フロントローディング

大学院生による 手作りの観測装置



高橋忠幸(現IPMU)さんらの
開発したCdTe検出器を使用

基礎開発実験の重要性

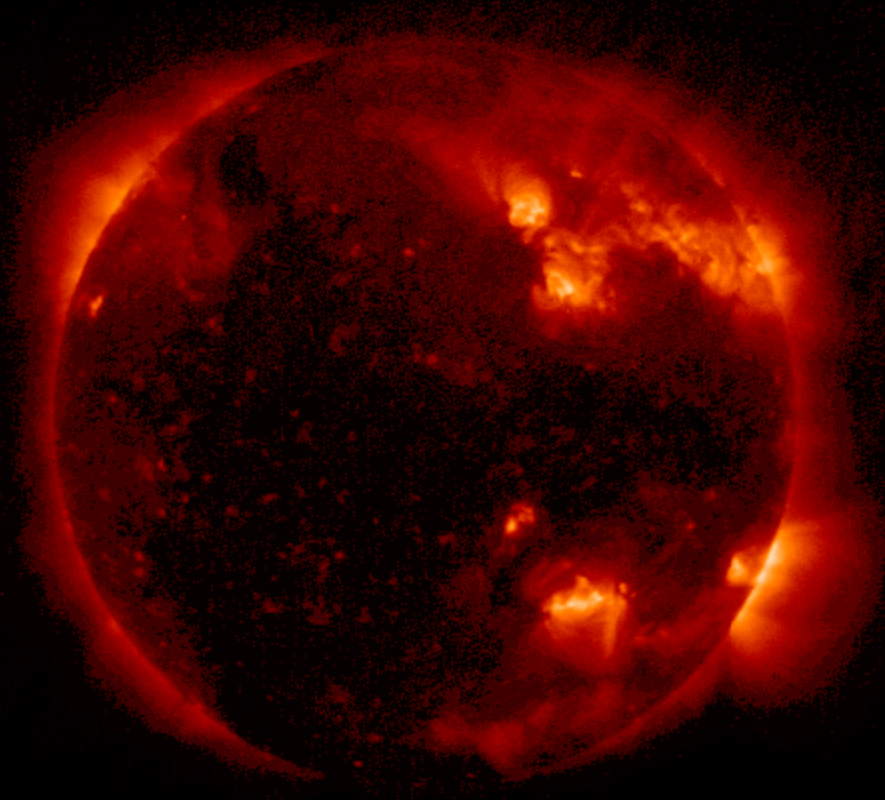
1998 Jan. 31

ISAS-S520観測ロケット搭載

ドップラーX望遠鏡

211A(1.8MK)コロナ

ようこうに近い解像度



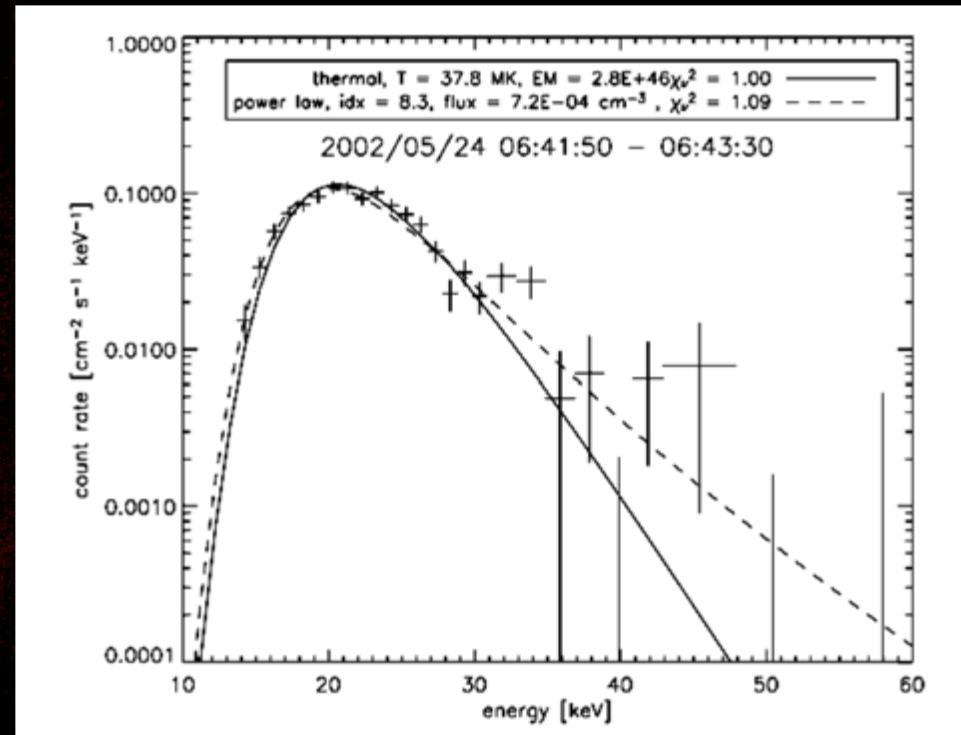
Nagata+03, ApJ

2002 May 24

ISAS高高度気球搭載

CdTe硬X線スペクトル計

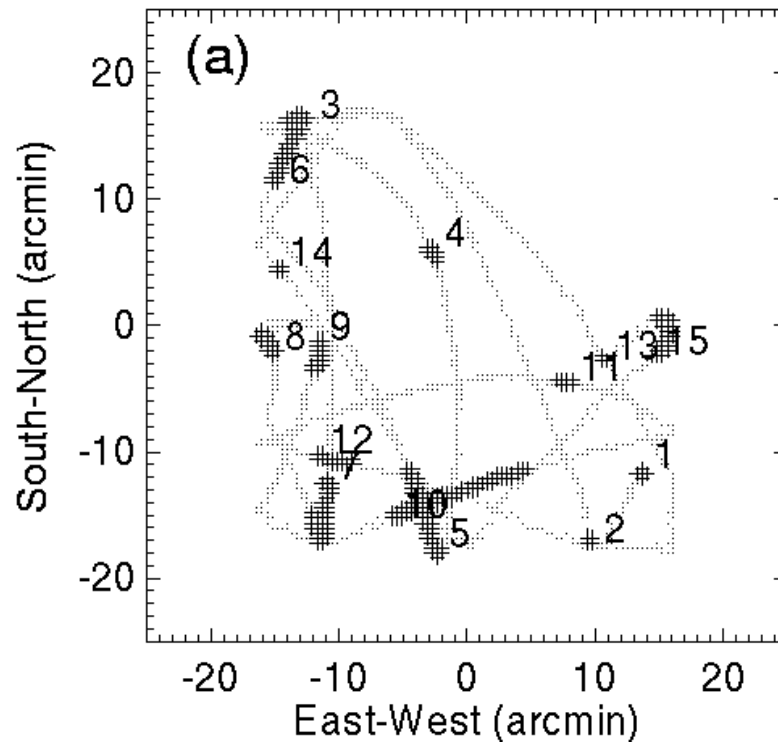
RHESSIに近い分解能



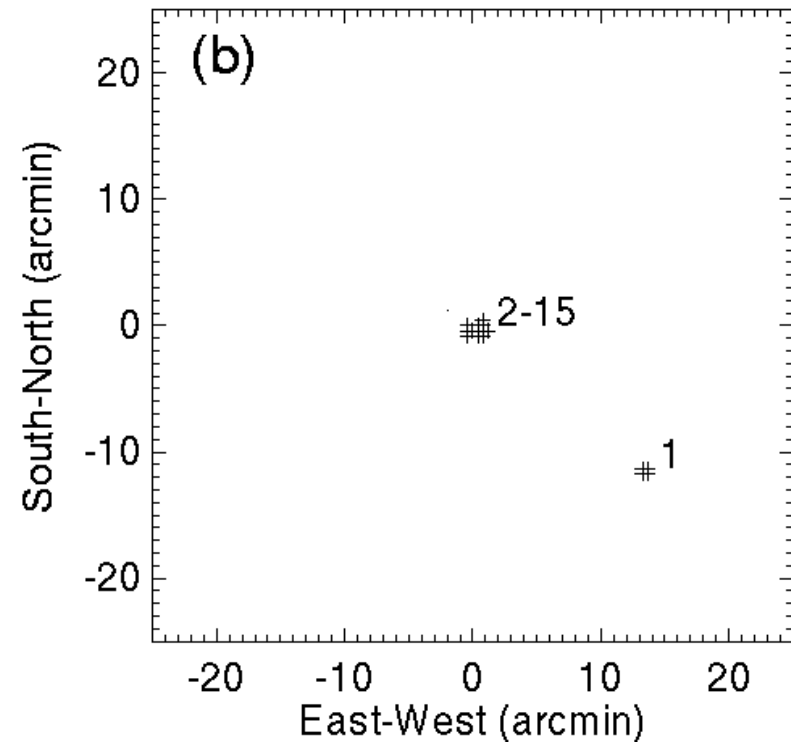
Kobayashi+06, ApJ

1998年

揺れるS-520からぶれない像を撮る 要素技術を確認し大型衛星に使用



望遠鏡からの信号による
スラスタ制御

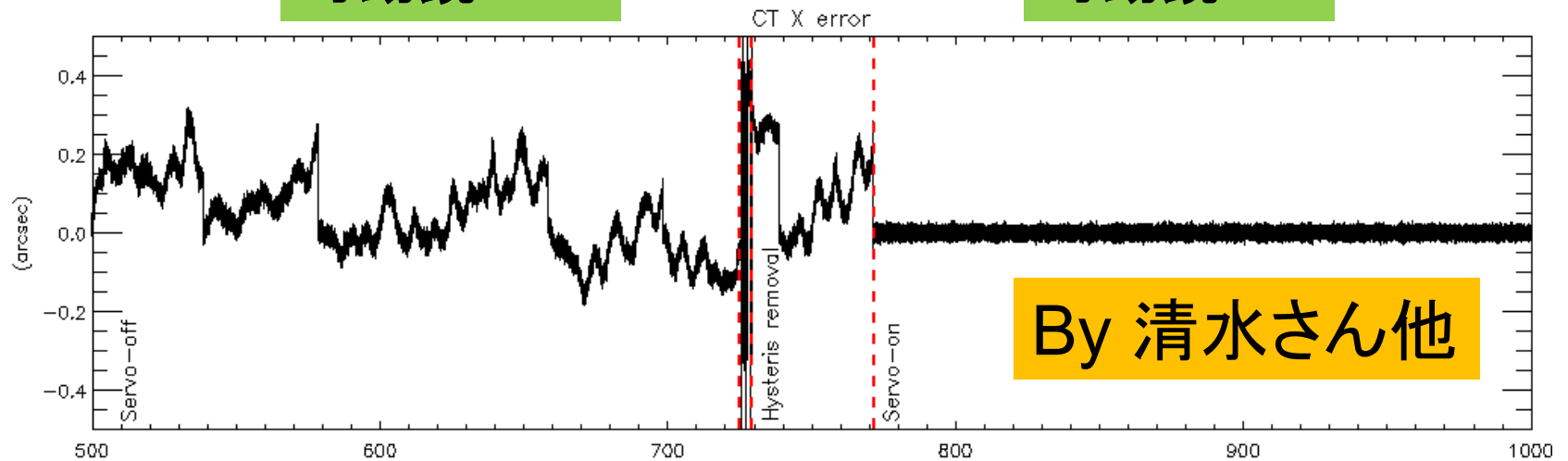


チップチルト鏡による
X線画像安定化

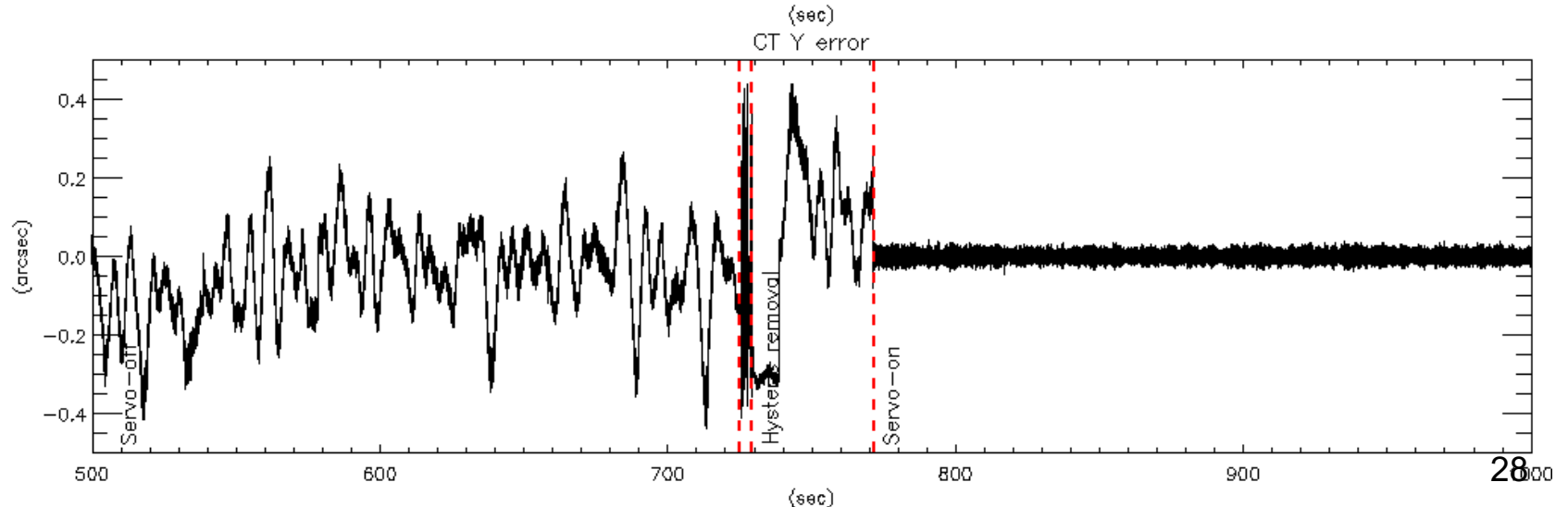
「ひので」可視光望遠鏡 フロントローディングは科研費で実施 「ひので」画像安定度 ~ 0.007 秒角 ($0.03\mu\text{rad}$)

可動鏡OFF

可動鏡ON

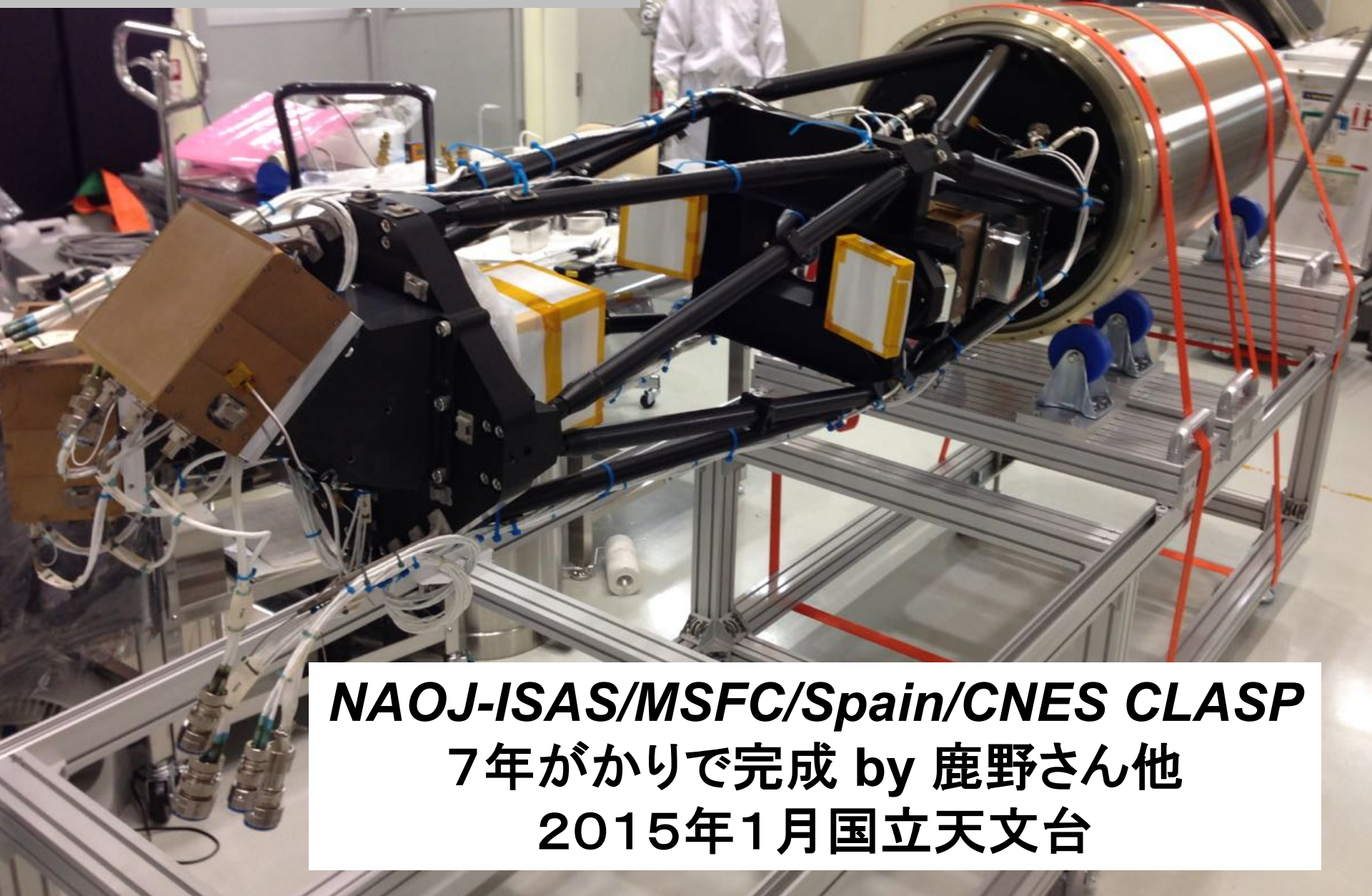


By 清水さん他



CLASP 科研費Sで実施

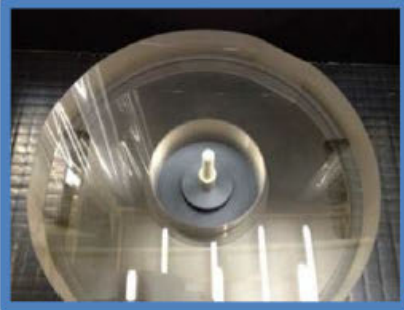
(国立天文台先端技術センター)



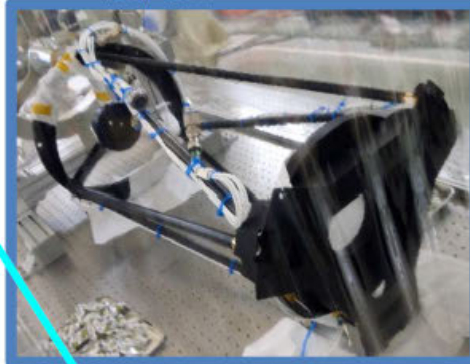
NAOJ-ISAS/MSFC/Spain/CNES CLASP
7年がかりで完成 by 鹿野さん他
2015年1月国立天文台

観測ロケットフライト品開発

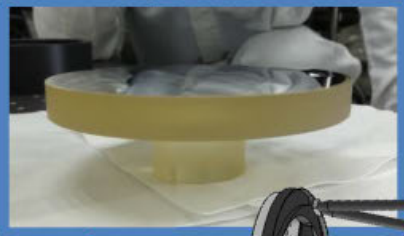
望遠鏡/主鏡



望遠鏡/構造

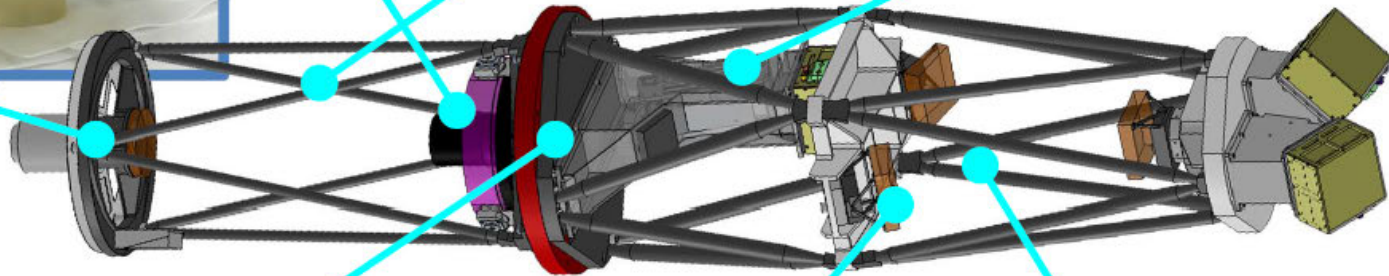
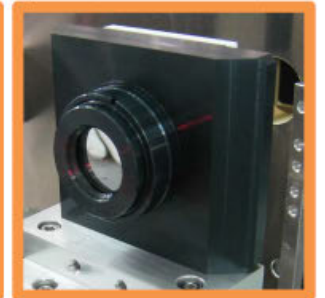


望遠鏡/副鏡



モニター光学系:

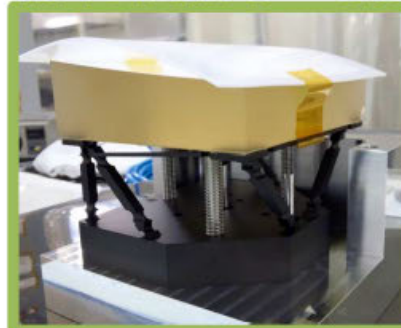
ミラーユニット & フィルターユニット



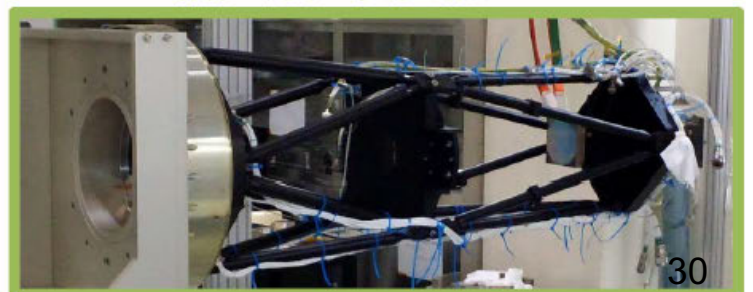
波長板モーター & 駆動回路



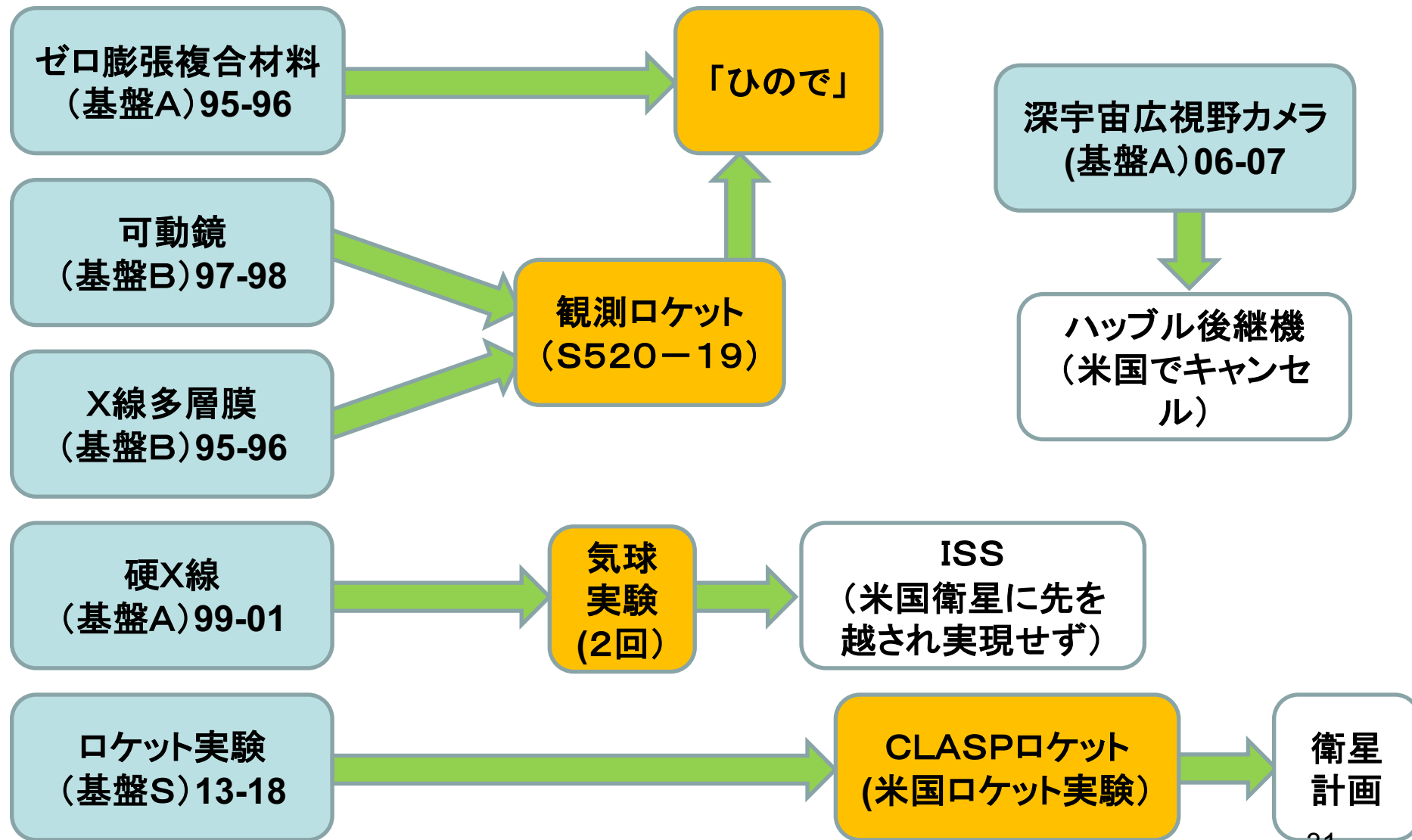
軸外し放物面カメラ鏡

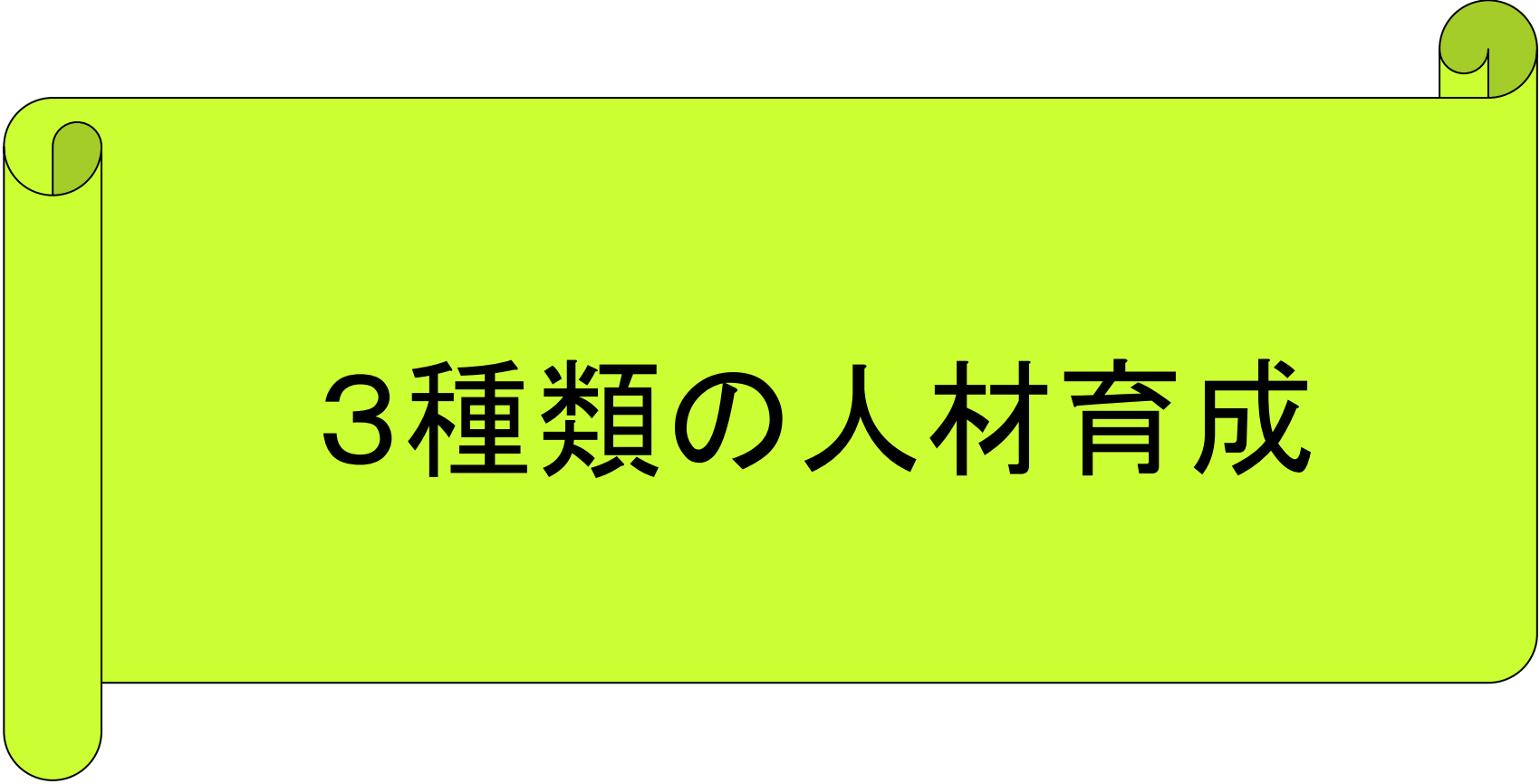


偏光分光装置構造



科研費とフロントローディング





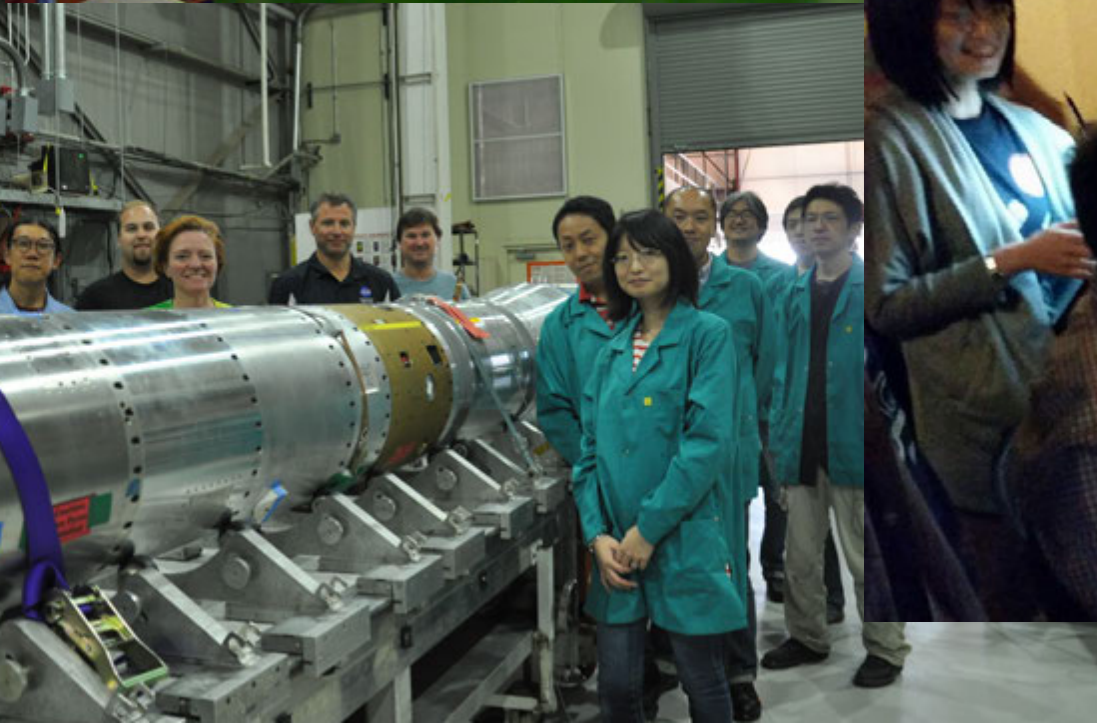
3種類の人材育成

気球やロケット実験の開発は若者が中心

1998



2002



2015 CLAP

研究者の人材育成(~2013)

- ・ モットー
 - 装置開発と論文の両立
 - もっとも良い研究テーマを学生に取り組んでもらう
- ・ 博士論文等を指導した大学院生：約20名
- ・ うち、フランス1名、インド1名（総研大）
- ・ テニユア職9名：准教授4名、助教4名、NASA1名（米国国籍取得）
- ・ 受賞9件：COSPARゼロドビッチ賞1名、宇宙科学奨励賞2名、自然科学研究機構若手研究者賞2名、東京大学研究奨励賞3名、宇宙科学研究所賞1名





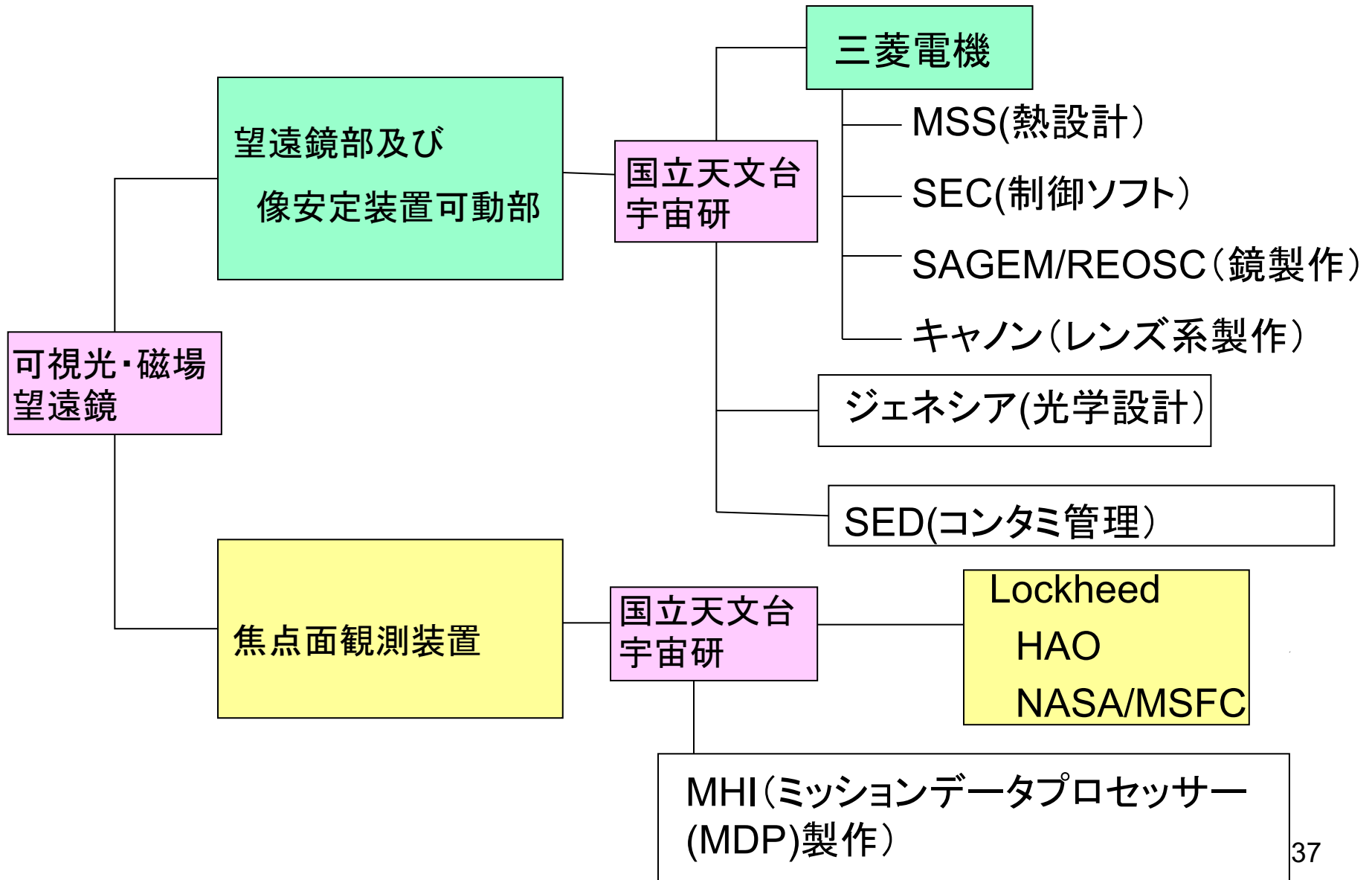
人材育成(その2)
現場での技術者・マネジャー育成

米国ホワイトサンズ・ミサイル実験場 2015年



人材育成(その3)

ひので: 多数のメーカーの連携を構築



The Team

人材育成(その3): メーカー技術者の人材育成
すばる⇒ひので⇒ALMA⇒深宇宙アンテナ⇒TMT



宇宙研にて
(2013~2018)

毎年、大変だった

- | | | |
|----------|------------|------|
| • 2013年度 | 「ひさき」 | 成功 |
| • 2014年度 | 「はやぶさ2」 | 成功 |
| • 2015年度 | 「あかつき」軌道投入 | 成功 |
| • 2016年度 | ASTRO-H | 運用断念 |
| • 2016年度 | 「あらせ」 | 成功 |
| • 2016年度 | SS-520-4 | 失敗 |
| • 2017年度 | SS-520-5 | 成功 |

それぞれのプロジェクトに関わるチャンスが極端に少ない中、
弱点はどこか、自分に何が出来るかを考えていた

やったこと

- JAXA全体の総合力を活用して、宇宙科学・探査に取り組む環境作り
- 理工委員会、内閣府宇宙科学探査部会と協力して宇宙科学ロードマップと宇宙基本計画工程表(の該当部分)を作上げたこと
- NASAやESAとの戦略対話による新規ミッションの創出
- 理工一体による探査ミッションの推進
- SLIM, MMX, DESTINY+, ASTRO-H代替機の短期開始、CAESARの立上、SPICAの見直しにより実現性を高めたこと
- 宇宙研の良い部分を生かすことができるようにプロジェクトのやり方の改善を行ったこと(いわゆる「業務改革」)
- 深宇宙追跡技術、惑星探査データ解析、先端工作技術、地球外物質研究の各グループの設立
- 宇宙科学探査交流棟の建設



Grunsfeldさん(内之浦にて、1981)

常田 先生

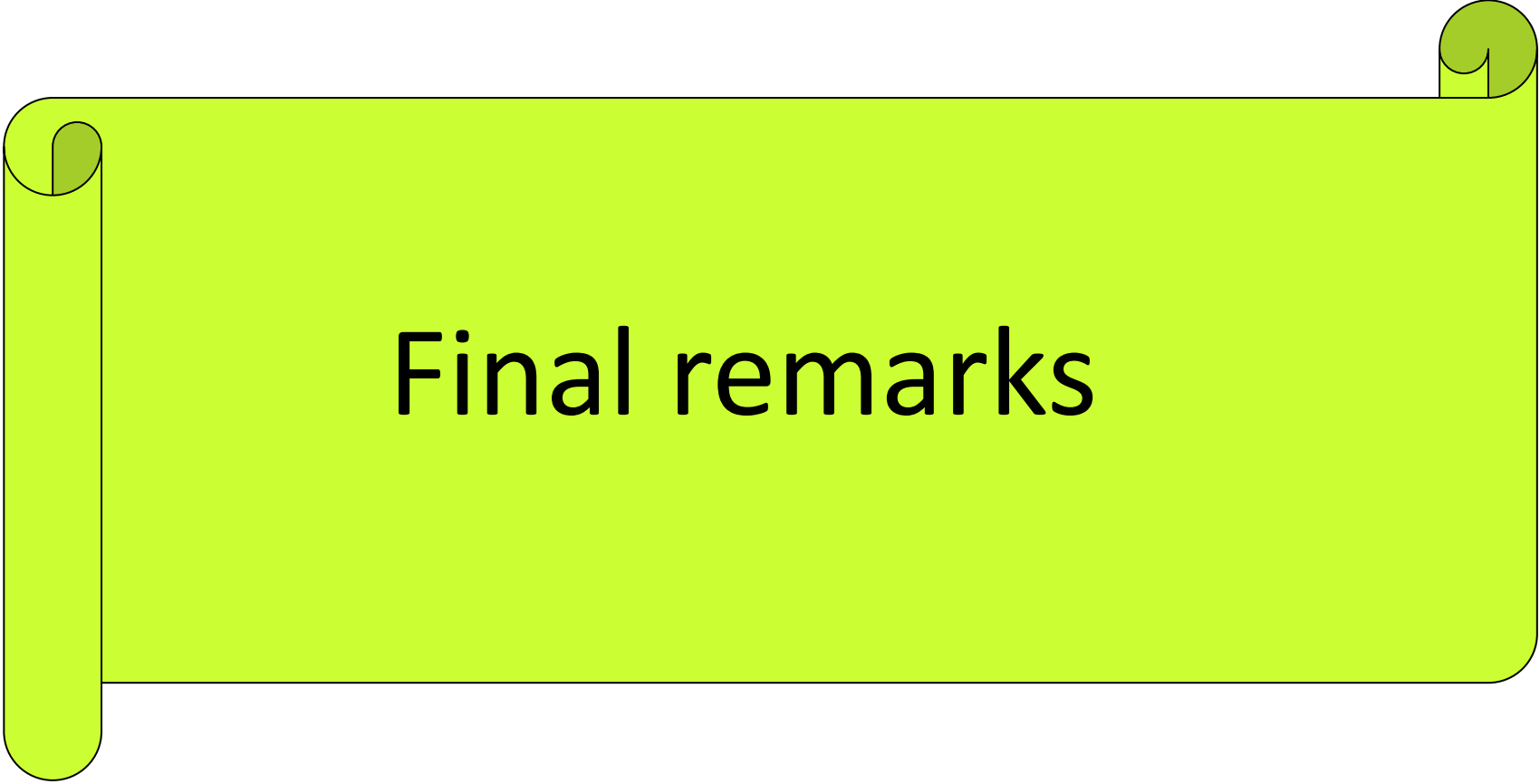
I look forward to
great cooperation and
exciting science with
JAXA / ISAS & NASA.

Jim M. Grunsfeld
STS 67, 81
103, 109, 125
Hubble

Grunsfeld NASA前科学局長自筆：
X線天文衛星代替機およびMMXへの
NASAの参加を決定して退任

やれなかった事

- 大学・外部の研究所との協力関係の拡大
 - 宇宙研の成果は大学や外部の研究所なしではありえない。宇宙研の課題や改革には、多くの人の関心が集まるが、大学等外部の機関の抱える課題については置き去りにされているという思いがある
- 大型天文ミッションへの組織的対応
 - 探査ミッションは宇宙研とJAXA全体が協力して対応できる体制が構築できた。
 - 現在計画されているSPICA、LiteBIRDなど難度の高い大型天文ミッションの実現性を高めるための構造改革、他機関との協力が必要
- 縦系(プロジェクト)・横系(要素技術等)の構造の中で、横系の組織的明確化(一部は4グループの発足で実現)
- フロントヘビーにより実現可能なプロジェクト計画を立案するため、JAXA版のCDF(Concurrent Design Facility)の整備



Final remarks

まとめ

- 40年間、宇宙研のボトムアップをフルに享受して研究成果を出した
- 宇宙科学は格闘技
 - フロントローディングが十分でない時代に、ミッションを提案するには相当の勇気を要した。開始時が一番つらく、「恐怖感」が支配
 - ミッションを一旦始めたら諦めない。とことん粘る。
 - 決して失敗しない。失敗しないためにあらゆることをする
- リーダーシップの重要性⇒次のスライド
- 新しい研究分野に興味を持ち支援すること
 - X線天文学から太陽への支援がいかに大きな効果をもたらしたか
- 誰が一番偉いか？
 - 所長や局長ではない。研究やプロジェクトで汗を流している人が一番偉い(「我々はサービス業」by ヒメネスESA科学局長)

ESA-JAXA Space Science Collaboration



プロジェクトマネジメントの問題

• リーダシップと経験の重要性

- 無限のリソースのあるプロジェクトのリーダーは誰でも務まる。しかし常に、リソースは極端に制約され、問題も発生する。
- リソース(コスト、人、技術)の制約、あるいは必要な情報が不足する状態で適切な判断・行動がとれるか？
- 新たな問題発生時に適切な対応がとれるか？ 必要の場合、トップマネジャーは、現場にすみやかに降りて「同調」できるか？(自分の目で直接見ることの重要性)
- リスクを回避するため常にコンサーバチブなアプローチだけをとると、プロジェクトは成立しない。
- 技術は複雑高度化: 専門家のアドバイスは尊重しつつも、プロジェクト判断はありえるのか？
- 大局のみならずDetailの重要性。
- 飛翔体プロジェクトを教科書で学ぶことはできない。気球実験やロケット実験といった小プロジェクトでのOJTが極めて有効。

• プロジェクトチーム

- ブレークスルーをもたらし、外からは知れない困難の克服をするのは少数のすぐれた個人の場合が多い。
- それとモチベーションに富んだプロジェクトチームの集団力の組み合わせの重要性(「臨界質量」問題)
- 技術的不具合の根源をたどると、しばしば、人間関係や組織・体制の問題に行き当たる。

1987 ようこう



1991 ようこう



成功しー安心のXDT開発チーム一同。



1998 観測ロケット



NASA GSFCでの歓送会(2018)



2006 ひので



オフィスアワーでの対話で 多くの方とお話できました

年度	開催回数	来訪人数	重複無し人数
2014	37	53	43
2015	21	21	15
2016	21	24	14
2017	11	11	6
合計	90	109	78

Final Remarks

I am leaving the agency after stormy yet fruitful five years that were full of drama. The experience at ISAS has been both challenging and rewarding. I am grateful to my international and domestic colleagues for their support throughout the course of my tenure. I believe that without the commitment and efforts of the good people across the world, my work would not have met with the accomplishment it has. Thank you again from the bottom of my heart.

My future for your information

I will assume the position of Director General of National Astronomical Observatory of Japan, which responsibility includes Thirty Meter Telescope (TMT), ALMA, and Subaru. I will miss space science, but at the same time, am looking forward to the new challenge to build TMT and to expand the capabilities of ALMA and Subaru etc.