

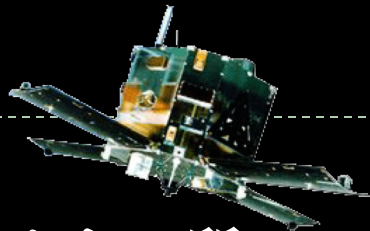


「はやぶさ2と情報通信技術」

山田学

千葉工業大学・惑星探査研究センター(PERC)

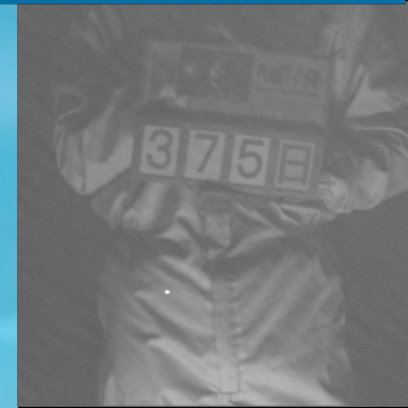
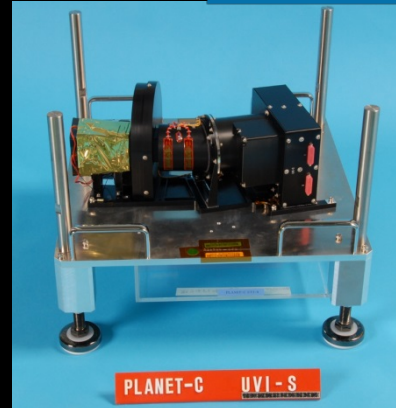
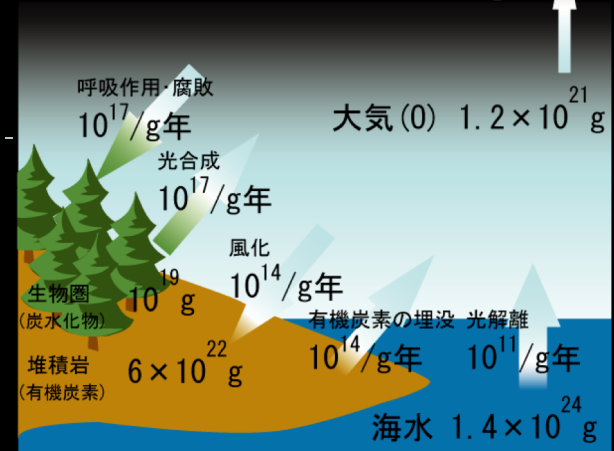
自己紹介



- ▶ 山田 学 (やまだ まなぶ)
- ▶ 「あけぼの衛星」非熱的イオン質量分析器
 - ▶ 地球電離大気散逸の研究
- ▶ 金星探査機「あかつき」
 - ▶ 紫外イメージャ (UVI) 開発
 - ▶ 地上サイエンスデータ処理系担当
 - ▶ 運用きりもり
- ▶ 小惑星探査機「はやぶさ2」
 - ▶ 多波長カメラ開発・撮像運用等
- ▶ ISS流星観測ミッション「メテオ」
 - ▶ 観測ソフトウェア開発

惑星間空間

O^+ イオン流出
 $10^8 \sim 10^{10} / \text{g年}$



杉山さんは大学学部1年からの同期

松江高専講

はじめに

- ▶ 近年、大学や企業レベルで小型衛星や搭載機器開発が行われており、宇宙機からのデータを使う機会が増えつつある。
- ▶ 本日の発表では、宇宙機搭載機器のデータがどのように取得され、公開されるかといった流れの例を紹介する。今後、このような宇宙機の開発やデータ解析などに関わる際に、なにかしらの理解の助けになれば幸いである。
- ▶ + はやぶさ2 の現状についても紹介する。

おしながき

- ▶ インTRODakション *
- ▶ 宇宙機についての概要
 - ▶ 宇宙機の分類等 *
 - ▶ 宇宙機特有の制約
- ▶ 探査機データ処理の例
 - ▶ 機上データ処理
 - ▶ 宇宙機からのデータ伝送と地上データ処理
- ▶ はやぶさ2 の現状紹介
 - ▶ * は時間の都合さらっと紹介程度で…



イントロダクション

なぜ惑星探査をするのか？
地球のことが知りたいから、自分の分身を送り込もう！

A. S. Saito

光学航法カメラ(ONC)

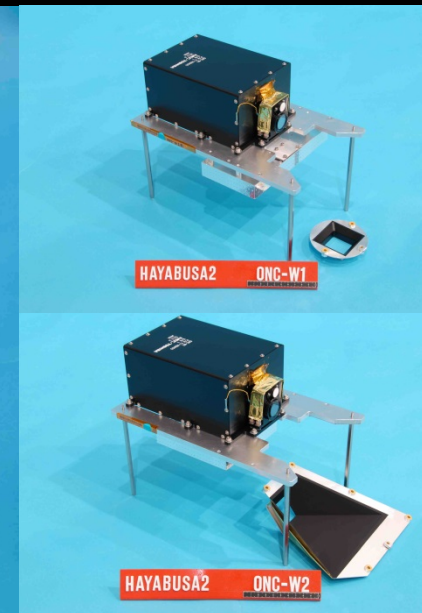
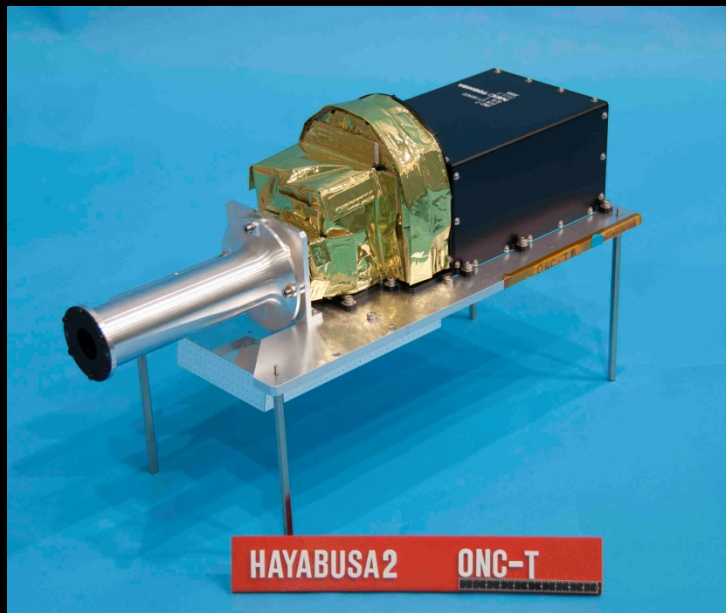
ONC: Optical Navigation Camera



目的: 探査機誘導と科学計測のために
恒星と探査小惑星を撮像する。

科学観測項目:

- 探査小惑星形状・運動の観測
直径、体積、慣性主軸方向、章動運動
- 表面地形の全球観測
クレーター、構造地形、礫、レゴリス分布
- 表面物質の分光特性の全球観測
含水鉱物分布、有機物分布、宇宙風化度
- 試料採取地点付近の高解像度撮像
表面粒子の大きさ、形状、結合度、不均一性
サンプラー弾痕や接地痕の観測



探査小惑星の素性解明

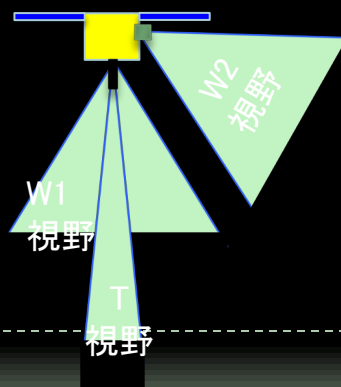
- 含水鉱物や有機物の分布、
宇宙風化、巨礫

サンプル採取地点選定

- 小惑星どこから試料採取すべきかの基本情報

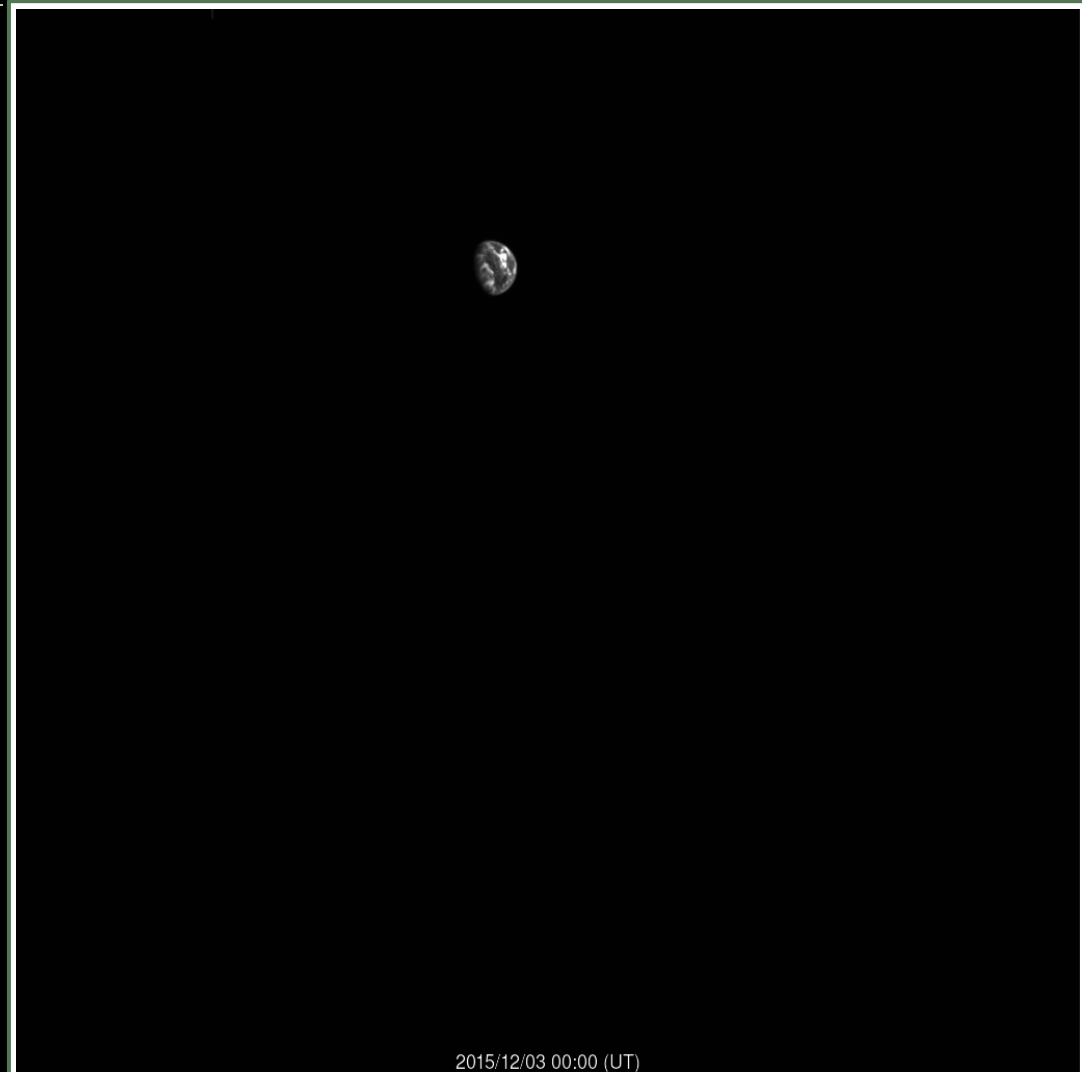
サンプルの産状把握

- 試料採取地点の高分解能の撮像



	ONC-T	ONC-W1	ONC-W2
検出器	二次元 Si-CCD (1024 × 1024 ピクセル)		
視野方向	直下 (望遠)	直下 (広角)	側方 (広角)
視野角	6.35° × 6.35°	65.24° × 65.24°	
焦点距離	100m ~ ∞	1m ~ ∞	
空間分解能	1m/pix @高度10km 1cm/pix @高度100m	10m/pix @高度10km 1mm/pix @高度1m	
観測波長	390, 480, 550, 700, 860, 950, 589.5nm, および Wide	485nm ~ 655nm	

2015年12月03日 小惑星探査機「はやぶさ2」 地球スイングバイ成功



2015年12月04日 小惑星探査機「はやぶさ2」 地球スイングバイ直後地球撮像

- ▶ 地球中心からの距離約34万km。
- ▶ 光学航法カメラONC-Tで6バンドで撮像した。
- ▶ 3バンドをR,G,Bに見たて合成した疑似カラー画像



小惑星“Ryugu”へ向け
順調に航行中

©JAXA

©JAXA

リュウグウ到着

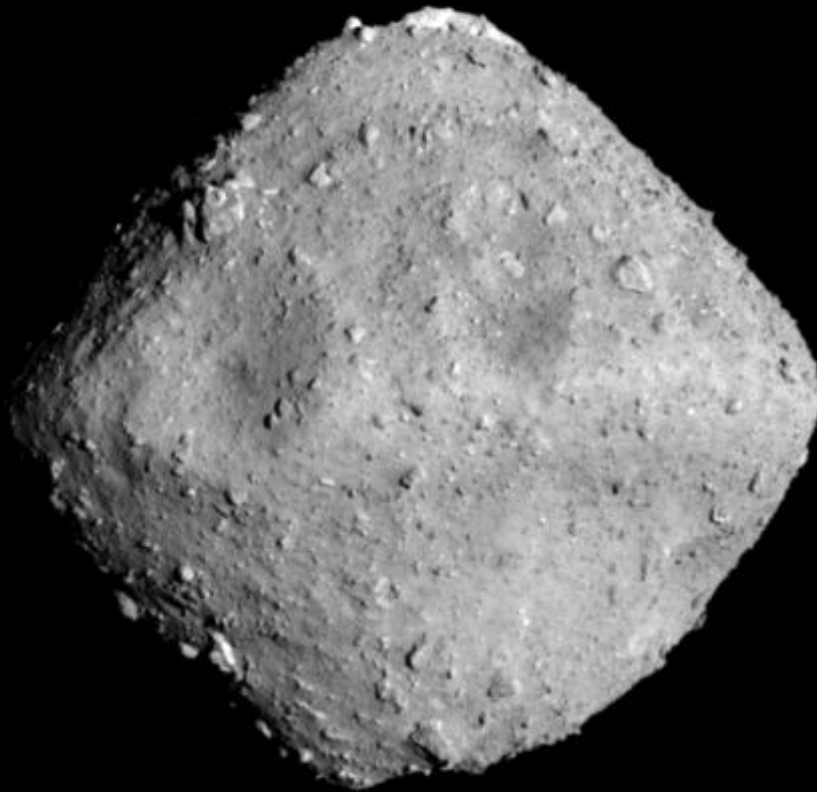


2018年6月27日 岡山高专講演 2018/12/07



リュウグウの最新画像

(距離約22km)



クレジット : JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研

松江高寿講演 2018年2月

合運用

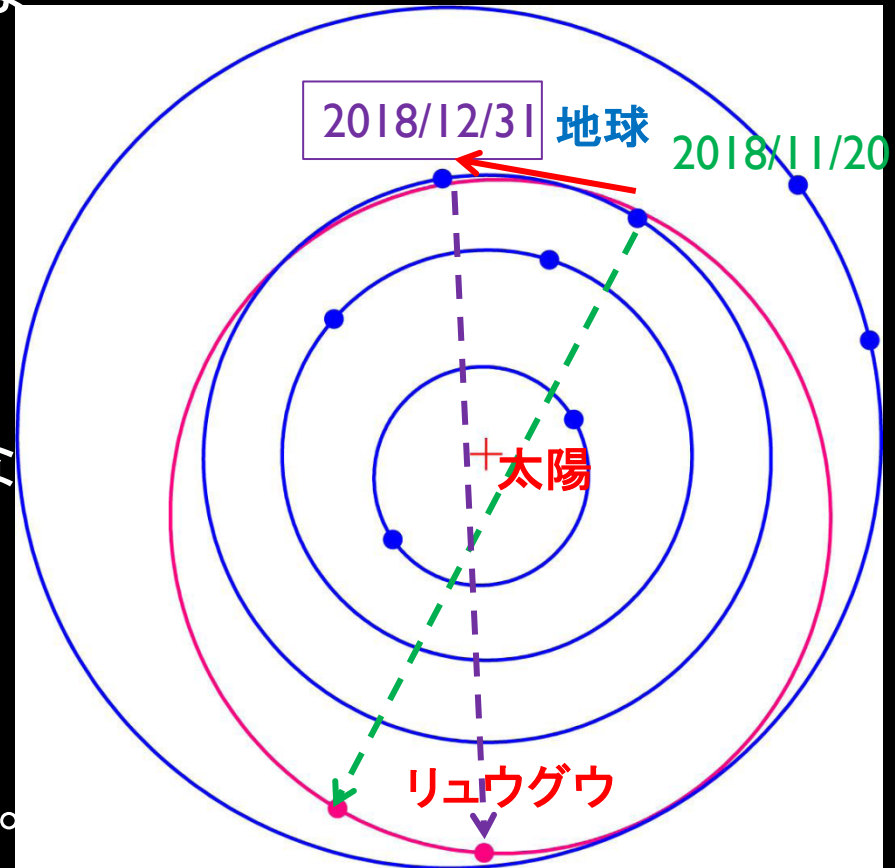
今「はやぶさ2」は地球から見てほぼ太陽の方向を通過している。

「外合」: 太陽の向こう側 (今回)

「内合」: 太陽と地球の間

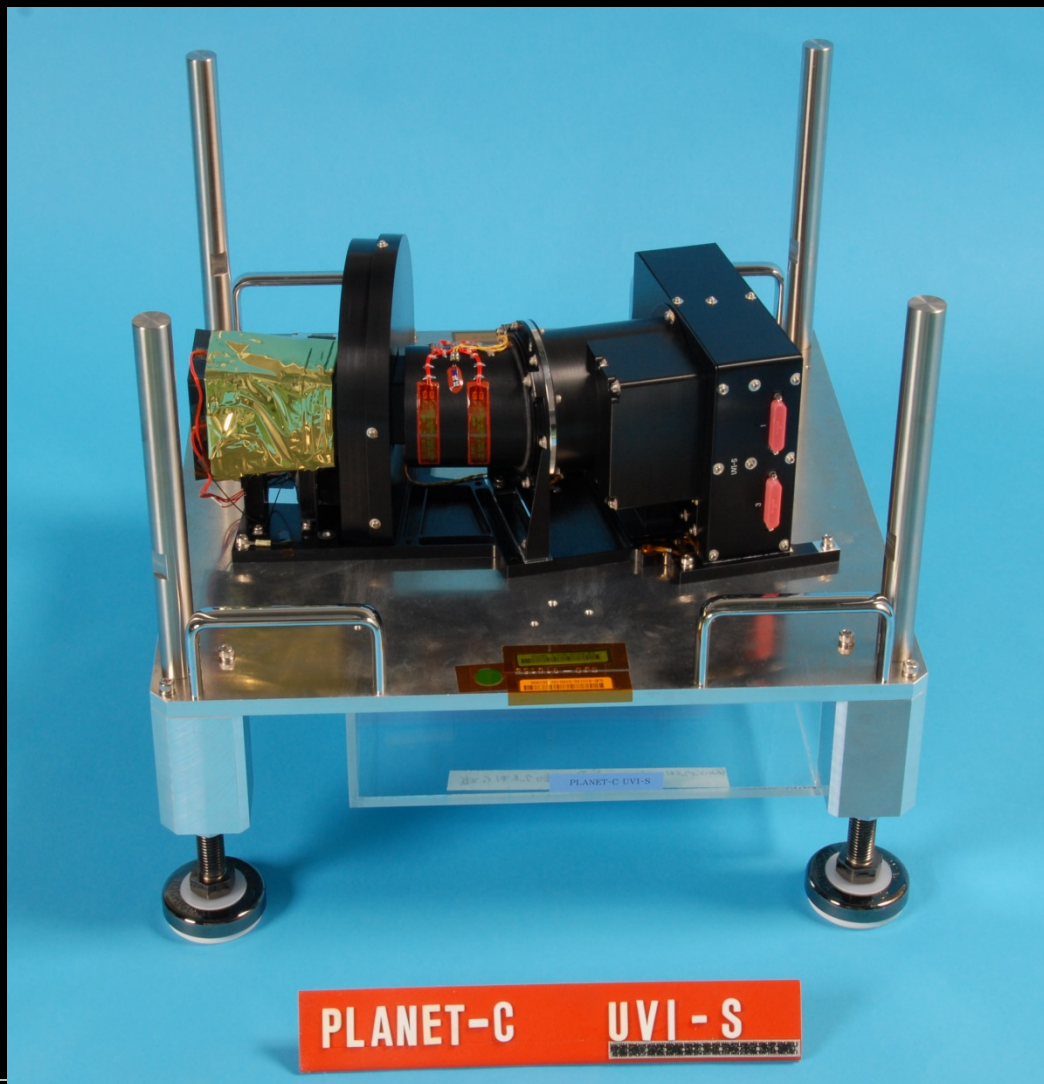
合の期間は、太陽由来の電波によって探査機との通信が困難となる。このためクリティカルな運用はおこなわない。

「はやぶさ2」の合運用期間は2018年11月下旬から12月末まで。

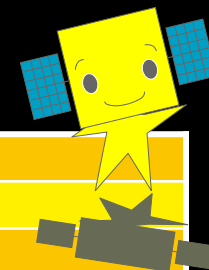


「あかつき」紫外イメージャ(UVI)

Ultra Violet Imager



雲の形成に関わる二酸化硫黄や、紫外波長で吸収をもつ未知の化学物質の分布を紫外線でとらえるとともに、その変動から雲頂高度での風速分布を求めます。



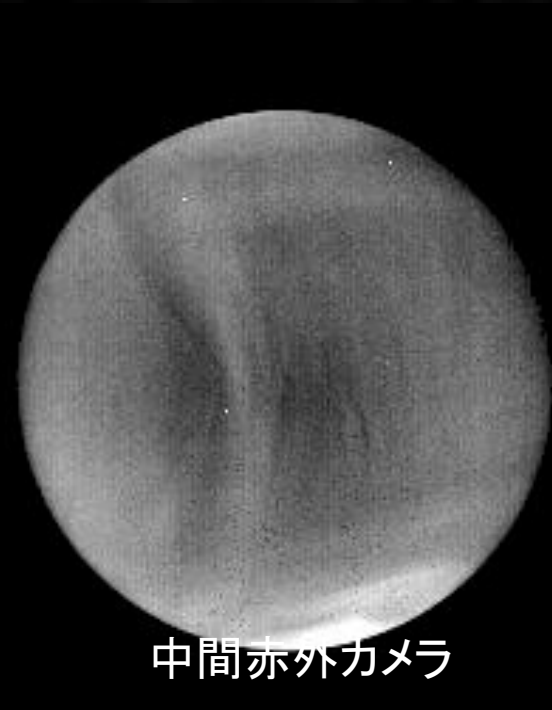
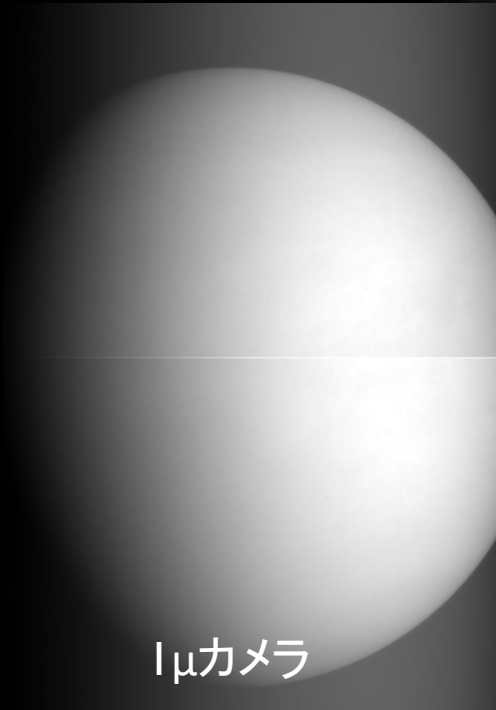
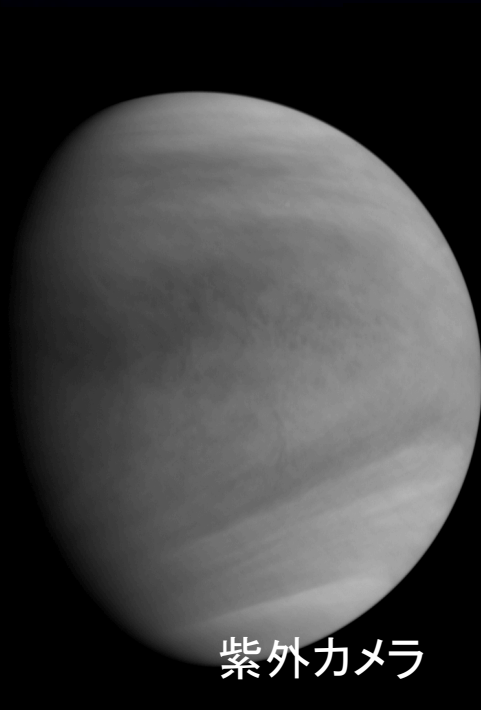
質量	約4.1kg
視野角	12°
検出器	Si-CCD (1024画素×1024画素)
観測波長 (観測対象)	283 nm (昼：雲頂の二酸化硫黄)
	365 nm (昼：未同定吸収物質)

2015年12月07日 金星探査機「あかつき」 金星周回軌道投入成功



JAXA機関紙JAXA's 2016.4.1号

2015年12月07日 金星探査機「あかつき」 念願の金星昼面画像成功



- ▶ 万が一、周回軌道投入失敗した場合も想定して仕込んでおいた撮像計画だった。

高品質の金星画像を日々撮影中



ISS流星観測プロジェクトカメラ

ワイドアングルコンバージョンレンズ(ワイコン)

回折格子



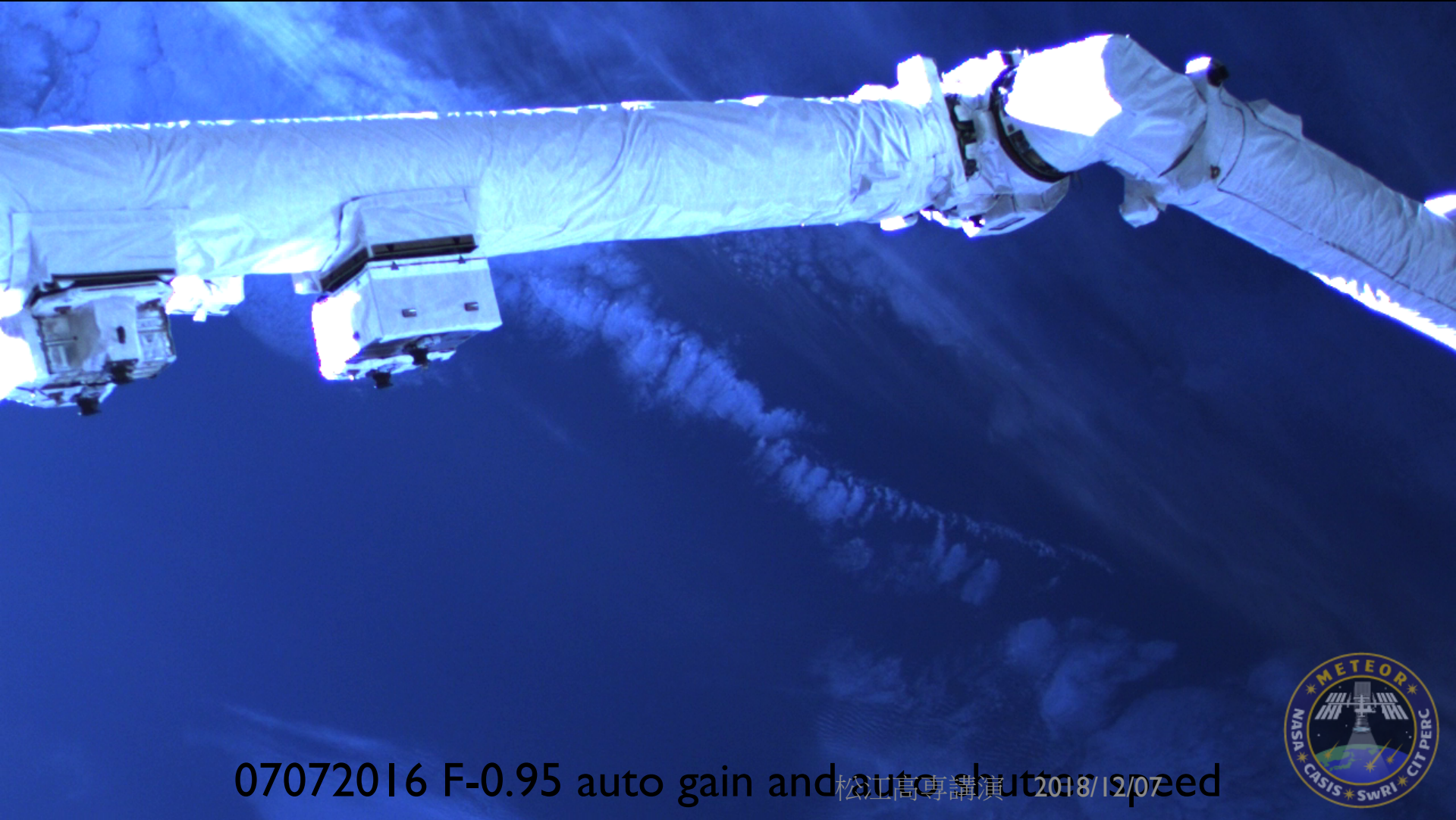
メテオ#1,#2

メテオ#3

回折格子ホルダーが組み込まれた
カスタムレンズ、ワイコン不要

	メテオ#3	メテオ#1 & #2
全長	25 cm	28.5 cm
質量	1.6 kg	1.7 kg
焦点距離	10.5 mm	17.5 mm
対角視野	57.8°(ワイコン無し)	52.4°(ワイコン有り)
F 値	0.95	0.95

2016年07月07日 ISS流星観測プロジェクト「METEOR」 ファーストライト



07072016 F-0.95 auto gain and auto shutter speed

松江高専講演

2018/12/07



2016年08月11日 22時57分(GMT) ペルセウス座流星群時期
ISS搭載METEORカメラ流星動画



三度目の正直で無事観測を開始した



宇宙機の分類

A. J. S. S. S.

宇宙にあがる人工物

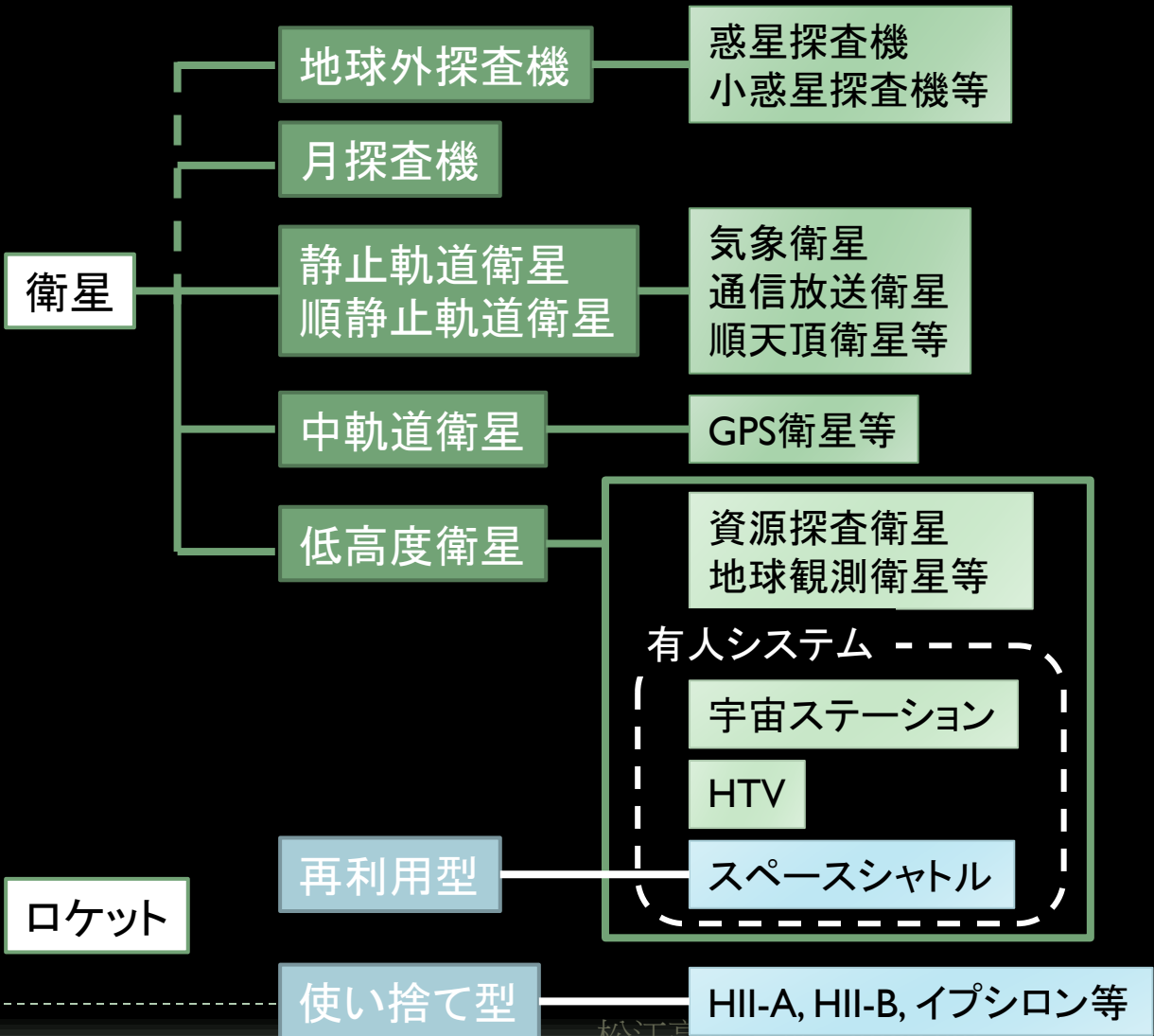
軌道高度

38万km

3万6千km

1400km

350km



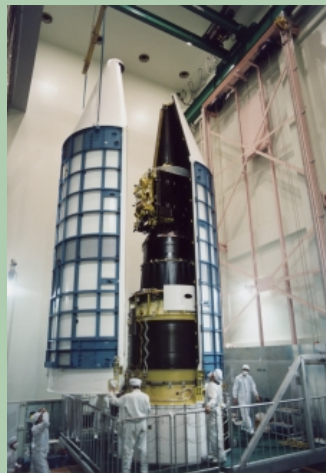
ロケットと衛星

▶ ロケット:

“荷物” (ペイロード) を宇宙へ打ち上げる

フェアリング内

探査機、人工衛星、補給機...



ロケット

- ▶ 宇宙機・探査機・衛星を軌道まで運ぶのがお仕事



ex. M-V 5号機:
「はやぶさ」打ち上げ
2003/05/09



ex. H-IIA 17号機:
「あかつき」、「イカロス」
打ち上げ 2010/05/21



ex. イプシロン 1号機: ©JAXA
「SPRINT-A」打ち上げ
打ち上げ 2013/09/14 (予定)

“観測ロケット”

脱線トピックス

▶ ロケット自身が観測を行うものもある

Ex. 「2013年7月20日観測ロケットS-310-42号機／S-520-27号機 打上げ」

http://www.isas.ac.jp/j/topics/topics/2013/0720_s-310-42.shtml



打上げ前のようす(左:S-520-27号機 右:S-310-42号機)



TMA(トリメチルアルミニウム)発光雲

通称「宇宙花火」実験

S-310-42号は高度60～140km付近でTMA(トリメチルアルミニウム)を放出。

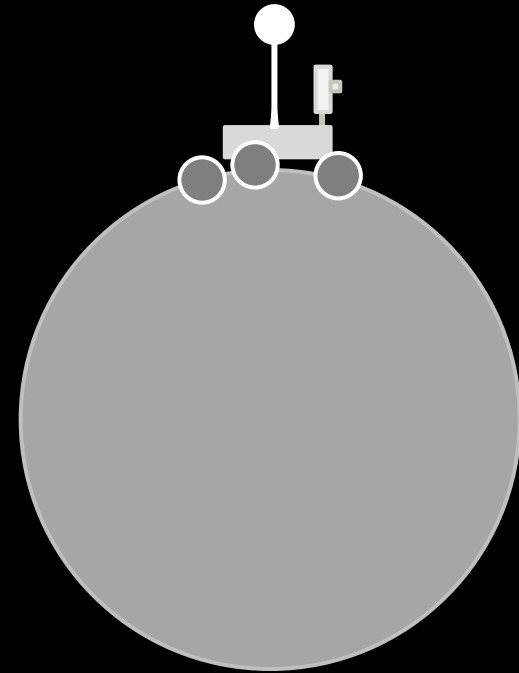
S-520-27号機は高度120～100km付近でリチウムを放出。

ロケットはその場の電場・磁場・電子密度を計測。
地上から放出物の発光を観測

高高度での大気の動きを知る

探査の分類

- ▶ 対象天体に対する位置・動きで分類すると
 - ▶ フライバイ (接近通過)
 - ▶ オービター (周回機)
 - ▶ ランダー (着陸機)
 - ▶ ローバー (探査車)
 - ▶ バルーン (気球)
 - ▶ サンプルリターン (試料採取帰還)



身近になりつつある宇宙開発・利用

▶ ピギーバック/あいのり衛星

- ▶ 主衛星打ち上げ時の余力を利用、低打ち上げコスト
- ▶ 主衛星の打ち上げが主目的のため、軌道に制約あり

▶ 日本のピギーバックによる小型衛星の例

- ▶ 1986年 アマチュア衛星「ふじ」(日本アマチュア無線連盟)
- ▶ 2002年 鯨生態観測衛星(千葉工大)
- ▶ 2005年 れいめい衛星(JAXA)
- ▶ 2009年 まいど衛星(東大阪宇宙開発共同組合)
- ▶ 2010年 UNITEC-1 (UNISEC) [大学宇宙工学コンソーシアム] 等々

▶ キューブサット

- ▶ 10cm立方を1ユニットとした規格ができ、ピギーバックやISSから放出することが可能になった。



宇宙機特有の制約

「宇宙機そのものや搭載機器への制約の概要」
宇宙は過酷なところ

A. Sasaki

宇宙機特有の制約 重力に立ち向かう

- ▶ 地球から脱出しなくてはならない
 - ▶ 打ち上げ時の強い
音響・振動・衝撃・加速がある

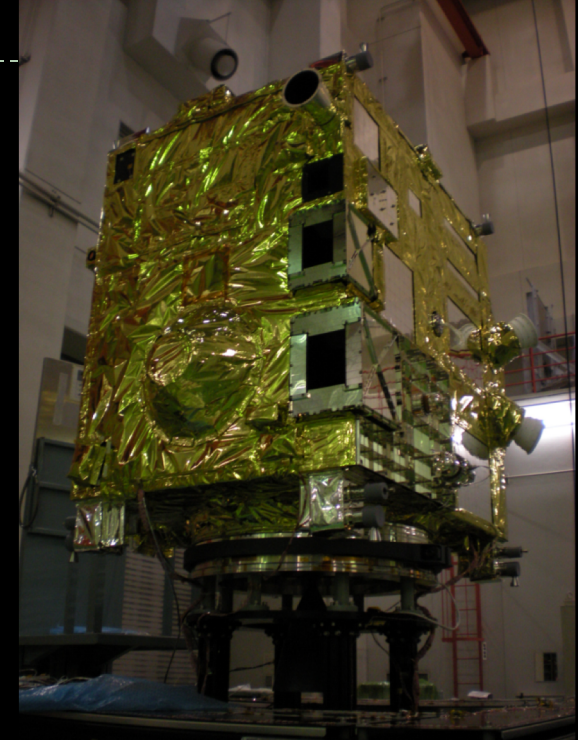


横方向の加振器に固定された「あかつき」

- ▶ 他の惑星に向かう場合太陽重力も振り切る必要有
 - ▶ 天体重力を利用 (スイングバイ) するなら高精度の軌道決定ができる機能必要
 - ▶ エンジンによる軌道変更
 - ▶ 化学推進による短時間の大きな加速・減速
 - ▶ 電気推進による長時間の小さな加速・減速
- ▶ 打ち上げロケットや、搭載エンジンの能力からくる運べる**質量の制限**がある

宇宙機特有の制約 熱・真空環境

- ▶ 対流が無い。放射と熱伝導だけの世界
- ▶ 各コンポーネントを適切な温度に維持する必要がある
 - ▶ 外部からの熱入力をできるだけ遮断 (サーマルブランケットで覆う)
 - ▶ 内部の発熱はラジエーターで逃がす
 - ▶ 特殊な観測機器は低温にするためにクーラーをつけたりもする



金色: MLI (多層の断熱材)
銀色: OSR(放熱材)
太陽電池パネルと直行する面は放熱面となり、OSRが多く取り付けられている

宇宙機特有の制約 電力・推進薬・通信

宇宙機は複雑かつ直しに行けない「ラジコン」

▶ 電力

- ▶ 太陽電池パネルの大きさ・太陽距離で制限
- ▶ 太陽が当たらない間は搭載バッテリーで維持できる設計

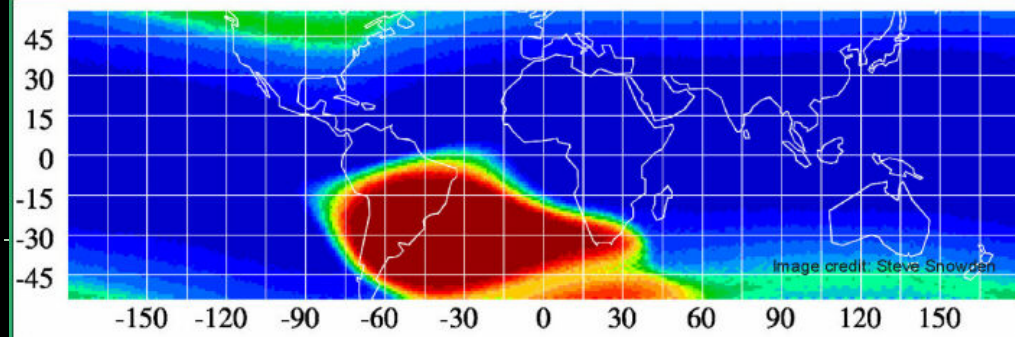
▶ 通信

- ▶ 地上と通信できる能力のアンテナが必須
- ▶ 通信速度が潤沢とは限らない
 - ▶ 「あかつき」「はやぶさ2」では最大で32Kbps程度
 - ▶ 本当に必要なデータの吟味

▶ 推進薬

- ▶ 補給できない。使える量に限りがある。

宇宙機特有の制約 強い放射線環境



南大西洋異常帯

(<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/rosat/gallery/display/saa.html>)

▶ 地球放射線帯粒子

- ▶ 地球磁気圏にトラップされている高エネルギー粒子
- ▶ 内帯: MeV陽子, 下限高度 300km~1200km 程度
 - ▶ 南大西洋異常帯
- ▶ 外帯: KeV電子, 下限高度 10,000km 程度

※磁場のある惑星には同様の構造あり

▶ 太陽からの高エネルギー粒子 (太陽風)

- ▶ 太陽コロナから流れ出すプラズマの流れ
- ▶ 静止軌道衛星、惑星探査機などに影響あり

▶ 銀河宇宙線

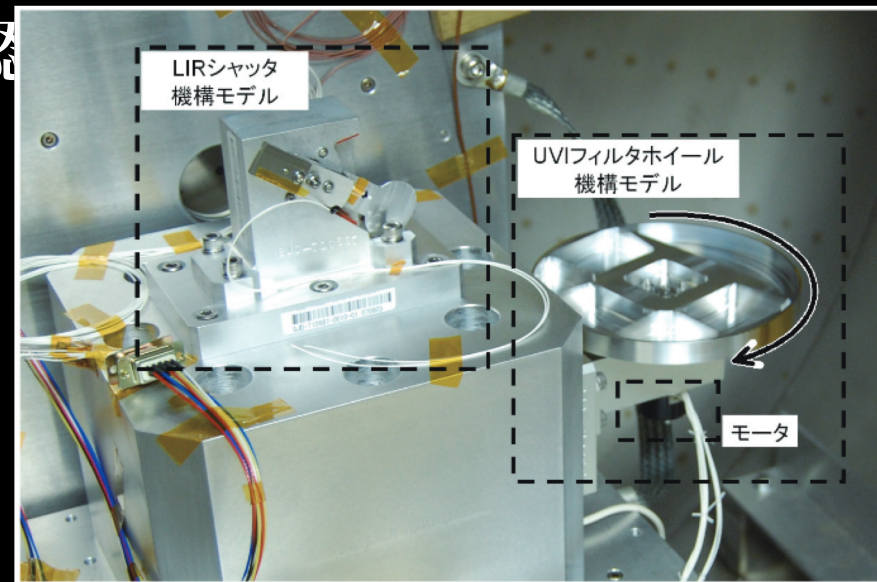
- ▶ 強度は太陽風活動によって変化。

南大西洋異常帯の放射線： METEORカメラ南アメリカ上空



宇宙機特有の制約 直しに行けない

- ▶ 信頼性のある部品を使用する
 - ▶ コスト高
 - ▶ CPUなどは数(もっと?)世代古い
- ▶ 実証試験を行い耐久性を確認する
- ▶ 可動部を避ける



あかつきカメラ可動部耐久試験の様子。

開発・運用タイムスケール

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Planet-C	概念設計・放射線試験等		BBM製作	PM設計			PM製作・試験			2010/05/21 打ち上げ ↓	2010/12/07 ↓ VOI-R					2015/12/07 ↓ VOI-R					
							FM設計	FM製作	単体・噛合	総合試験	クルージング					金星周回軌道	(探査機の状態次第...)				
HAYA BUSA2												2014/12/03 打ち上げ ↓			↓ 2015/12/03 SWBY						
										FM設計	FM製作単体・噛合	総合試験			クルージング				Ryugut 探査	帰還	
METEOR												検討	作成・試験			ISSからの観測					

- ▶ 一から開発する場合打ち上げまで10年程度かかる
- ▶ 既存の機器を用いるなどして時間短縮をはかることも
- ▶ 約3年で開発・打ち上げた「はやぶさ2」は異常。(初号機の設計をベースにした)
- ▶ ISS与圧実験棟に設置したメテオカメラは、民生品を中心とした機器であり、2年程度で打ち上げ。

開発・運用タイムスケール例：

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Planet-C	概念設計・放射線試験等		BBM製作	PM設計			PM製作・試験		2010/05/21 打ち上げ ↓		2010/12/07 ↓ VOI-R					2015/12/07 ↓ VOI-R					
							FM設計	FM製作	単体・噛合	総合試験	クルージング					金星周回軌道	(探査機の状態次第...)				
HAYA BUSA2											2014/12/03 打ち上げ ↓	FM設計	FM製作単体・噛合	総合試験	↓ 2015/12/03 SWBY	クルージング		Ryugut探査	帰還		
METEOR												検討	作成・試験			ISSからの観測					

- ▶ 他の要因でスケジュールが大幅にずれることもある
 - ▶ Planet-C：2000年頃のロケット打ち上げ失敗の影響で打ち上げスケジュール変更(2007年打ち上げ→2010年打ち上げ)
 - ▶ メテオカメラ：2014年10月、2015年6月と二度のロケット打ち上げ失敗。
- ▶ 惑星探査等の場合、対象天体と地球の位置関係で打ち上げ時期(ウィンドウ)に制約あり。間にあわないと次のウィンドウまで待たなくてはならない

A detailed illustration of a satellite in orbit around the planet Mars. The satellite is shown from a perspective that highlights its various instruments and solar panels. The sun is visible on the left side of the frame, creating a bright glow and casting light on the satellite and the planet. The background is a dark, starry space.

機上データ処理

「あかつき」紫外イメージャの例

A. Yoshida

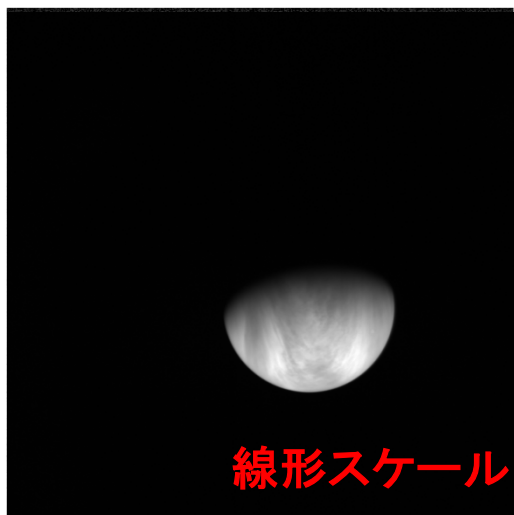
「あかつき」紫外イメージャの例

- ▶ 機上で取得したデータは本来「生」のままが一番よい。
- ▶ 完全に決まった処理であれば、機上で実施してしまうことで、地上に下すデータ量を少なくする。
 - ▶ 「決まった処理」といいつついざ観測を始めると考えていた通りに行かないものなので、処理内容を変更できる仕組みがあるとよい。また生のままのデータを下せるようにもしておく。
- ▶ 機上でおこなう処理としてはメジアン処理、ダークカウント処理、スミア補正、バットピクセル処理、切り出し等がある。これらを行った後、圧縮しデータ量を削減する。

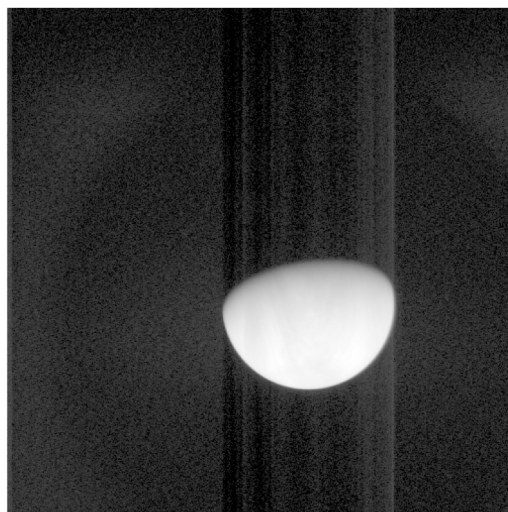
スミア補正

ファイル	編集	表示	フレーム	ピンまとめ	ズーム	スケール	色	領域	wcs	ヘルプ
線形	対数	背景	平方根	平方	asinh	sinh	ヒストグラム	最大・最小	zscale	

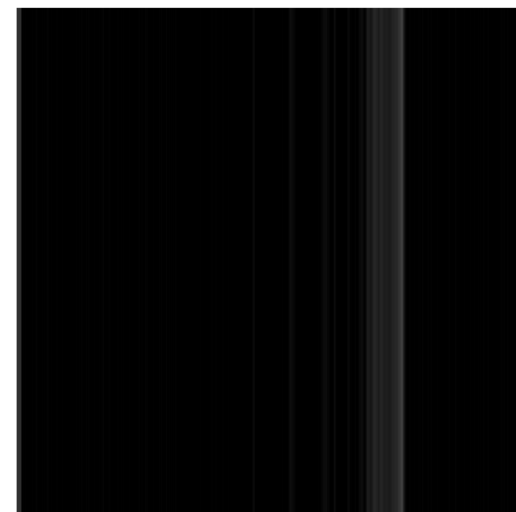
スミア補正後



N秒露出



0秒露出(スミア画像)



- ▶ フルフレームトランスファークＣＣＤ特有のスミア(転送時にも露出してしまふ)ノイズを除去する。ＣＣＤ転送のみのデータを引けばよい。

メジアン処理

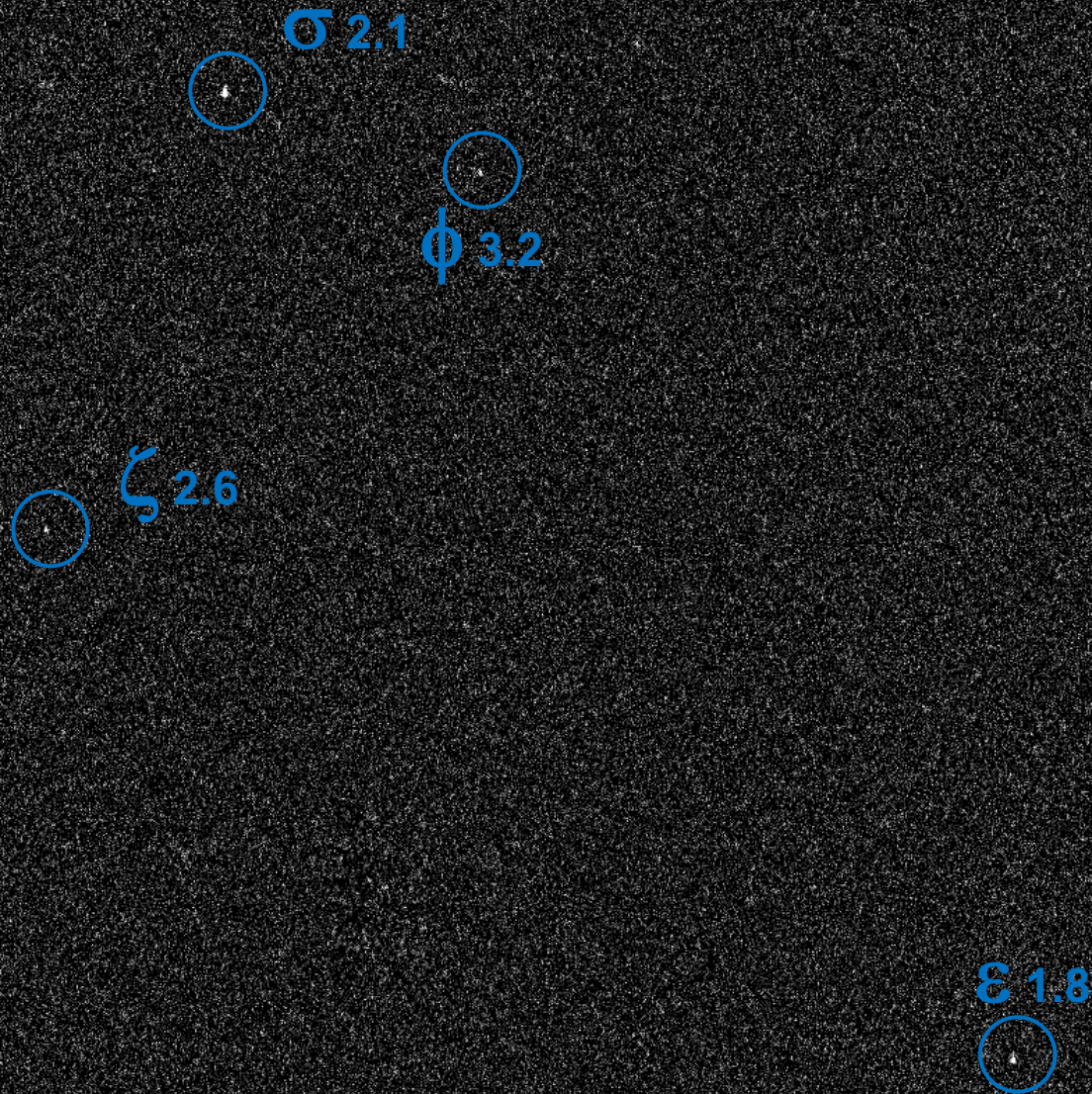
- ▶ 放射線対策として実施
- ▶ 複数枚の撮像データの間接値をとることで、放射線ノイズを除去

2016/02/24
15:30UT
いて座付近
UVI(365nm)
画像
11秒露出

2016/02/24
17:30UT
いて座付近
UVI(365nm)
画像
11秒露出

2016/02/24
19:30UT
いて座付近
UVI(365nm)
画像
11秒露出

2016/02/24
3枚メジアン
いて座付近
UVI(365nm)
画像
11秒露出

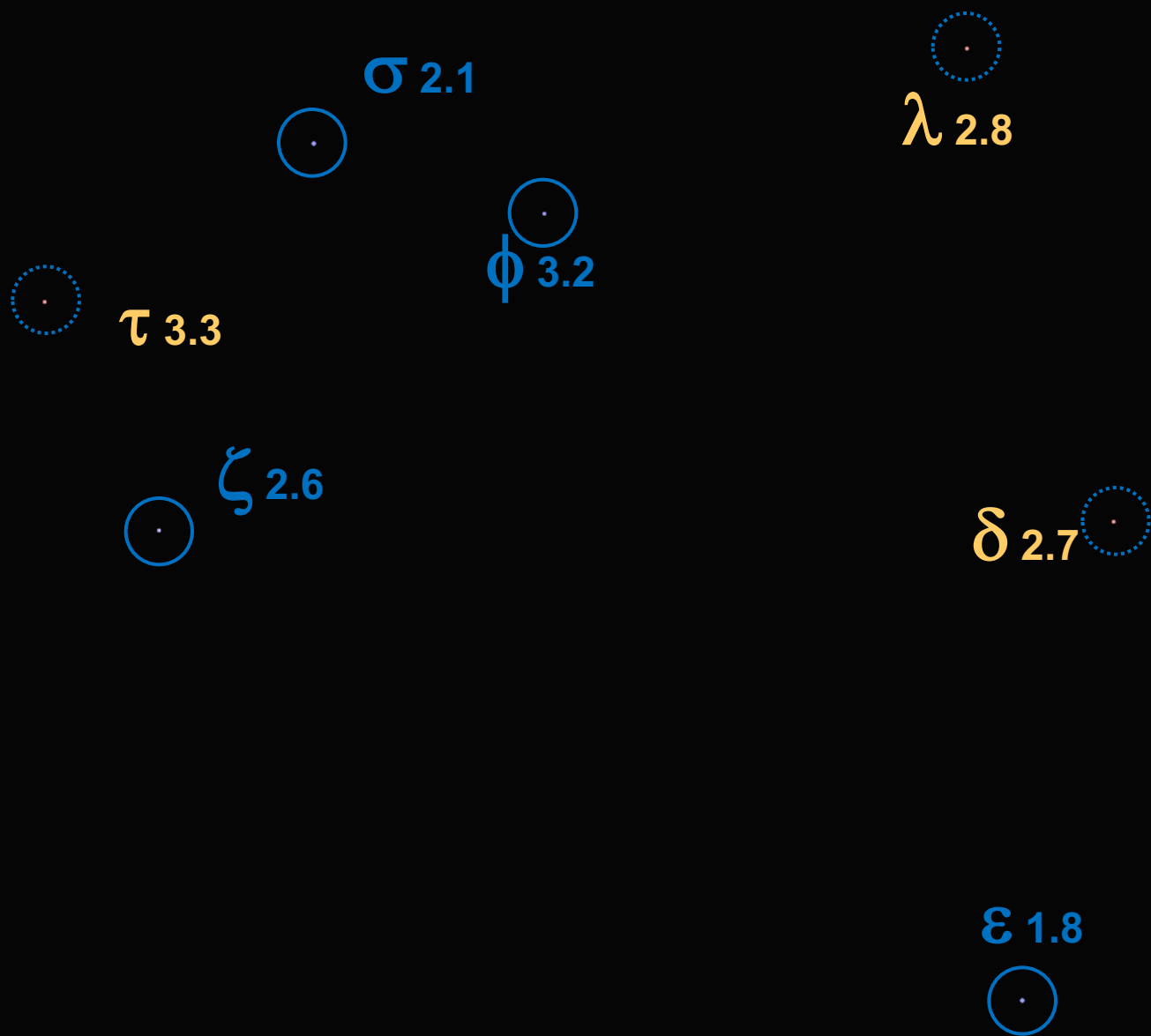


2010年と同じ
恒星を検知で
きた

実績の姿勢
情報を用い
たいて座付
近模擬画像

青丸: 2010年に検
知できた恒星

青点線丸: 2010年
撮像検知できな
かった恒星(赤い
星)



データ圧縮

- ▶ データ圧縮が必要となるのは主に理学データ
 - ▶ 圧縮する場合
 - ▶ 可逆圧縮が好ましい。
 - ▶ データの内容 (利用方法) によっては非可逆でも
 - ▶ 搭載計算機の処理速度は決して早くないので計算が軽く圧縮が効くものがよい
 - ▶ 「あかつき」、「はやぶさ2」ではNEC社「StarPixel」を利用。可逆圧縮はJPEG2000 と比較して一桁早い処理時間で同程度の圧縮率。
 - ▶ 宇宙機ではパケットロスの可能性が常にある。データ再生時はダウンリンクの転送レートを下げ確実におろす必要あり。



宇宙機からのデータ伝送と 地上データ処理

A. Yoshida

宇宙機との通信

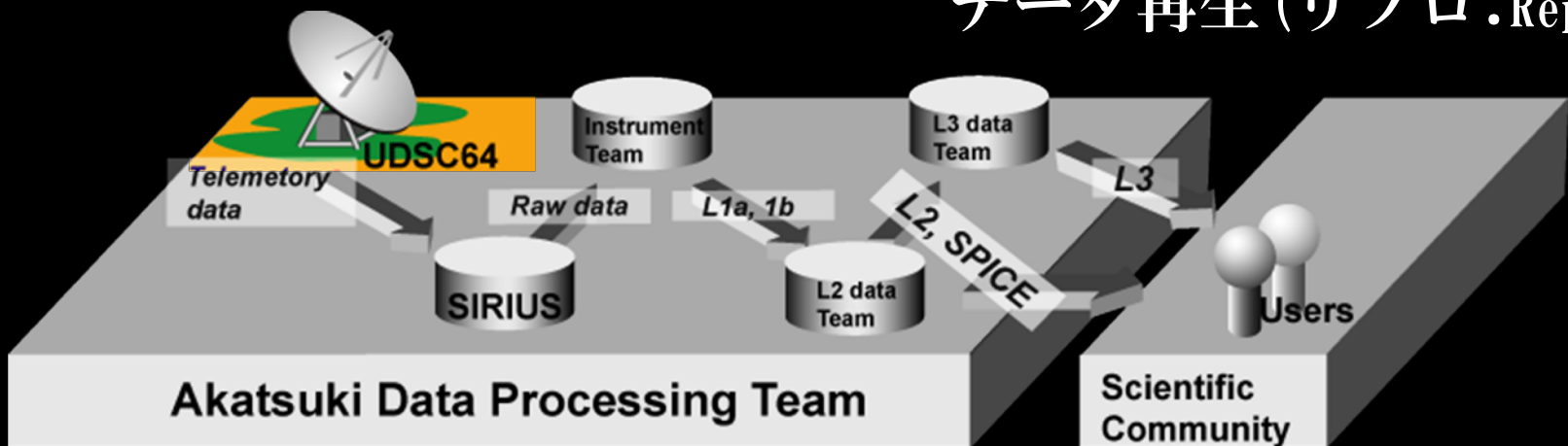
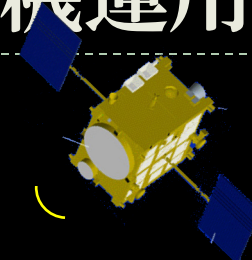
- ▶ 伝播遅延時間が生じ得る
 - ▶ 月で片道1秒程度
 - ▶ 惑星になると分オーダー以上
- ▶ 通信が時間的に不連続となる可能性
 - ▶ 運用局から宇宙機が連続して見える一続きの運用中でもアンテナパターンや天気の影響等で不通となりうる
 - ▶ 台風・雷・地震…
 - ▶ 大きなデータは複数の運用にまたいで再生
 - ▶ 一つのデータを再生するのに一か月近くかかるようなこともある。タイムラグを持って細切れに分割されたデータがくるような場合も想定してプログラムする必要がある。

地上データ処理の流れ

「あかつき」の例: 1) 探査機運用

- ▶ 毎日の運用時間は7時間程度
 - ▶ 内惑星なので昼の健康的な時間
- ▶ 運用開始直後と終了前に
健全性確認のためのステータス
チェック
 - ▶ 問題あれば措置

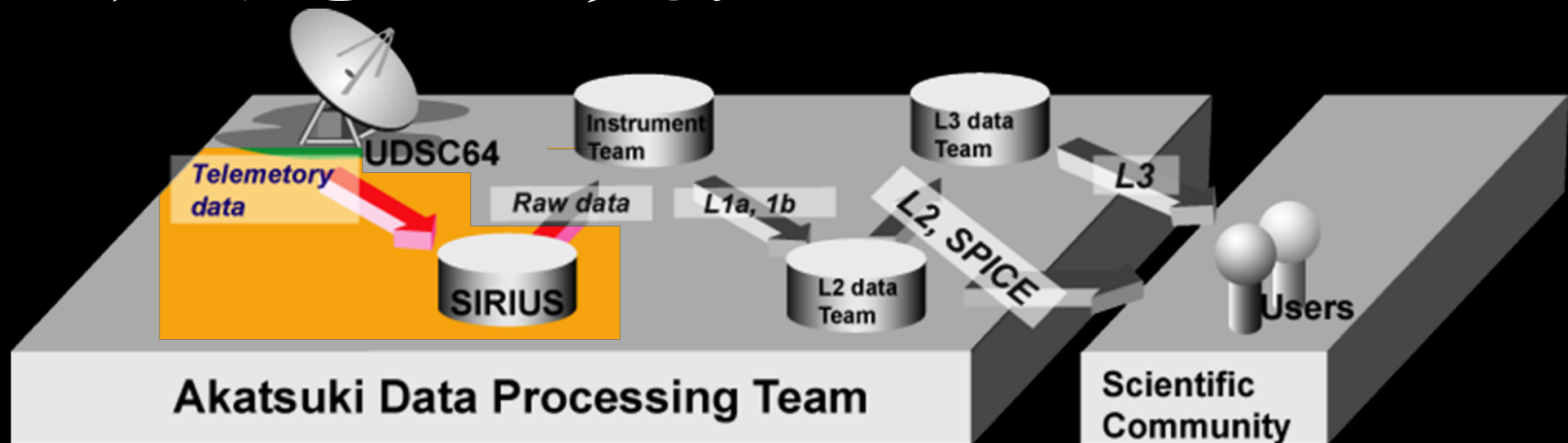
- ▶ あれば特殊運用項目実施
- ▶ 測距 (ranging) と
データ再生 (リプロ: Reproduce)



地上データ処理の流れ

「あかつき」の例: 2) データ登録

- ▶ リアルデータと再生データをデータサーバ (SIRIUS) に登録
- ▶ データサーバでは **CCSDS パケット** に記載されている機上時刻やデータ種別をもとに、パケット欠損のために複数回再生したデータや、複数局で受信した同一データをマージする。



CCSDS パケット

- ▶ 世界の宇宙機関で使用されているデータパケット化の規格
- ▶ 宇宙データシステム諮問委員会 (CCSDS: Consultative Committee for Space Data Systems) が制定
- ▶ 機上のバス系内から地上までのコマンド・テレメトリ通信に使用

CCSDS Layer

Table. 4.1-1 ネットワーク構成要素とCCSDS Layer (Telemetry)

Application Proce ss	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>
System Management	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>
Packetization	<input type="checkbox"/> ←	← <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/> ←	← <input type="checkbox"/>
Segmentation		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Transfer		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Coding		<input type="checkbox"/> ←	← <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> ←	← <input type="checkbox"/>	
Physical			<input type="checkbox"/> ←	← <input type="checkbox"/>		
Layer	ユーザ	衛星管制	局運用	通信系	DHU	機器

ユーザ(機器担当)としては、パケット化されたデータ構造より上位さえ理解していればよい。

CCSDS packet の中身

- ▶ Primary Header: 6octets
- ▶ Secondary Header: 7octets (ADU分割なし) or 12octets (ADU分割時)
- ▶ User Data: 可変長 ~1011octets (ADU分割なし) or ~1006octets (ADU分割時)

規定されているのはPrimary, Secondary ヘッダのたかだか13~18bytes の簡素なフォーマット。

User Data は何をいれてもよい (例えば HK テレメトリ、画像データ等々) 。



CCSDS Packet	Primary Header (6 octets)	Secondary Header (7 or 12 octets)	User Data (ADU Segment Data) (1~1024 octets)
--------------	------------------------------	--------------------------------------	---



40

M PDU	M_PDU header (2 octets)	M_PDU Packet Zone (432 octets)
-------	----------------------------	-----------------------------------

VCDU	VCDU Primary Header (6 octets)	VCDU Data Unit Zone (434 octets)	VCDU Trailer (CLCW) (4 octets)	Reed-Solomon Check Symbols (64 octets)
------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--

Randomization

PCA PDU	-----	Sync Marker (4 octets)	CVCDU (508 octets)	Sync Marker (4 octets)	CVCDU (508 octets)	-----
---------	-------	---------------------------	-----------------------	---------------------------	-----------------------	-------

CCSDS パケット構造

CCSDS Packet Primary Header (6 octets)							Secondary Header	User Data
Version	Type	Sec. Header Flag	Application Process ID	Sequence Flag	Sequence Count	Packet Length		
3 bits	1 bit	1 bit	11 bits	2 bits	14 bits	16 bits	7 octets (*1) 12 octets (*2)	Up to 1011 octets (*1) Up to 1006 octets (*2)

1024 bytesMAX

(*1) ADU channel is not used.

(*2) ADU channel is used.

Figure 4.2-1 CCSDS Packet Structure

CCSDS Packet: Primary Header 内容

Table 4.2-1 CCSDS Packet Primary Header

Field	Number of bits	Value (binary)	Note
Version No.	3	000 (FIX)	Version -1 CCSDS Packet
Type	1	0 (FIX)	Not used within CCSDS AOS
Secondary Header Flag	1	1 (FIX)	Secondary Header is present.
Application process ID	11	Refer to Table 4.2-2	
Packet Sequence Flag	2	11 (FIX) 00: a continuation segment of User Data 01: the first segment of User Data 10: the last segment of User Data 11: unsegmented User Data	In the case of some S/C, the information about the division of an ADU is included in the CCSDS Packet Secondary Header.
Packet Sequence Count	14	variable (incremental)	Modulo 16384
Packet Length	16	variable (Value = the number of remaining octets minus one)	
Secondary Header	56 or 72 or 96	To be defined in Table 4.2-3	

- ▶ APID: APID (Application Process ID) : 機器のID + データの種類 (Report Packet, HK (House Keeping) データ, Userデータ...)

ADU: Application Data Unit (1)

- ▶ テレメトリの意味のあるデータ単位
- ▶ データ発生イベントごとにつくられると思えばよい
- ▶ テレメトリ内容に依存した処理を、機上あるいは地上系で行えるようにするために定義
- ▶ これらの情報は、Dataを発生する機器で、ADU の先頭に、CCSDS PacketのSecondary Headerとして付加する。

ADU: Application Data Unit (2)

- ▶ 各ADUには、次の情報が関連づけられる。
 - ▶ 発生時刻： 機器内のクロックのカウント値 (通称： TI)
 - ▶ Packet識別ID (Packet Identifier) :
 - ▶ APIDと本Packet識別IDによりPacketのFormatが規定される。APIDごとに独立に定義可。User側で定義すること。なお、APIDのみでFormatが一意に決まる場合には、**00H固定**
 - ▶ Category： 蓄積伝送の優先順位に関連。機上では、データレコーダのどの領域に保存するかを決めている。
 - ▶ ADU カウント： 各機器がデータ発生毎にカウントアップさせる値 (同じADUに属するデータは同じ値)
 - ▶ Packet Sequence Flag for each ADU： 分割されたADUの順番についての情報

ADU分割なしの場合(For the packet includes whole ADU) :

CCSDS Packet Secondary Header (ADU Header) : 7octets				
Time (32 bits)	Category (8bits)	Packet Identifier (8bits)	Packet Sequence Flag for each ADU (2bits)	ADU Count (6bits)

ADU分割時の最初のPacketの場合(For the first packet of the divided ADU) :

CCSDS Packet Secondary Header (ADU Header) : 12octets						
Time (32 bits)	Category (8bits)	Packet Identifier (8bits)	Packet Sequence Flag for each ADU (2bits)	ADU Count (6bits)	Packet Sequence Count for each ADU (16 bits)	ADU Length (24 bits)

ADU分割の2番目以降のPacketの場合(For the second or later packet of the divided ADU) :

CCSDS Packet Secondary Header (ADU Header) : 12octets						
Time (32 bits)	Category (8bits)	Packet Identifier (8bits)	Packet Sequence Flag for each ADU (2bits)	ADU Count (6bits)	Packet Sequence Count for each ADU (16 bits)	ADU Length (24 bits)

Figure 4.2-2 CCSDS Packet Secondary Header (ADU Header) Format

CCSDS Packet: Secondary Header 内容

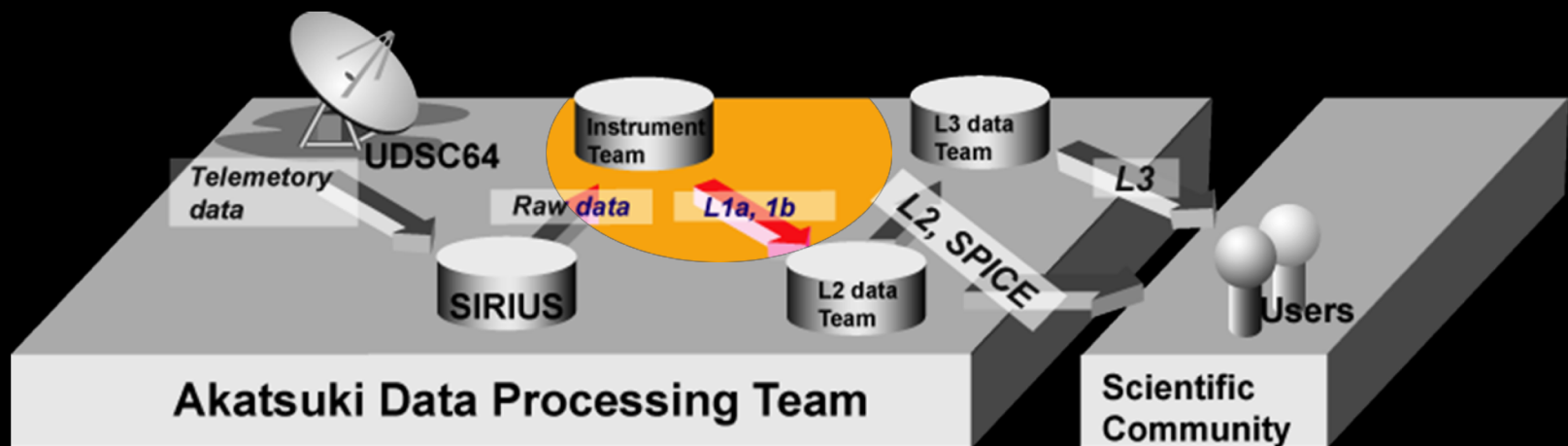
Table 4.2-3 CCSDS Packet Secondary Header

Field	Number of bits	Value (binary)	Note
Time	32	variable (LSB : 31.25ms)	
Category	8	Refer to Table 7.1-1 ~7.1-2	
Packet Identifier	8	Defined by each component side. This field can be defined independently for each APID. This field and APID define the packet format.	If this field is not used, this field shall be 0000B.
Packet Sequence Flag for each ADU	2	00:a continuation segment of User Data 01:the first segment of User Data 10:the last segment of User Data 11:unsegmented User Data	
ADU Count	6	variable (incremental)	Modulo 64
Packet Sequence Count for each ADU	16	variable	Modulo 65,536
ADU Length	24	variable (Value = the amount of whole data generated as ADU(Primary/Secondary Header is not included) - 1)	16M-1=16,777,215MAX

地上データ処理の流れ

「あかつき」の例: 3) 機器チームData処理

- ▶ SDTP を用いて特定の機器の観測データやステータスデータを取得する。
- ▶ 必用に応じ圧縮解凍などを行った後、使いやすい形式のファイルに変換。
- ▶ フラット補正や物理値変換などを実施。
- ▶ 探査機位置・姿勢データはSPICEカーネルに変換。



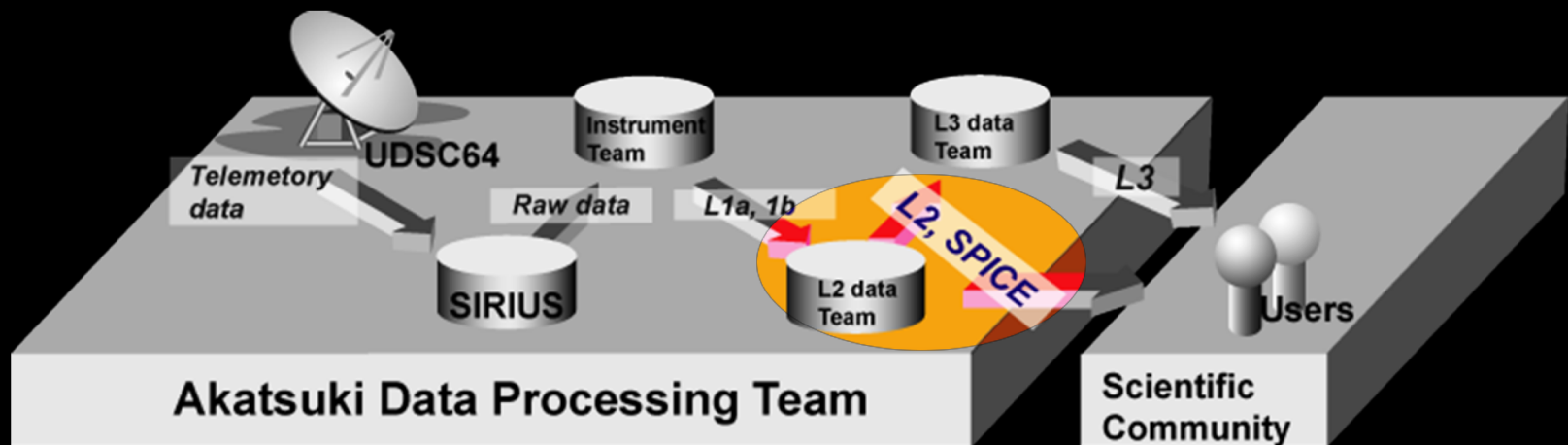
SDTP (Space Data Transfer Protocol)

- ▶ 火星探査機「のぞみ」以降
- ▶ ユーザが欲しい特定のデータ，例えばある機器がある期間に観測したデータというような問い合わせが可能になった

地上データ処理の流れ

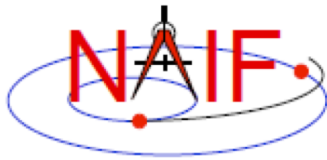
「あかつき」の例: 4) 補助データ付加

- ▶ SPICE カーネルと機器観測データの観測時刻を用い、観測時の探査機位置や惑星位置などを計算。観測データに付加。
- ▶ 「あかつき」プロジェクトではSPICEカーネルを公開するだけでなく、画像データ自体にジオメトリ情報を付加することで多くのユーザが利用しやすいようなデータ整備を試みている。



SPICE

- ▶ NASA のJPL が公開しているデータハンドリングツール
- ▶ ある時刻の惑星・衛星、宇宙機の位置や速度といった値を計算することができる
- ▶ 探査機データ公開側では、決まったフォーマットのデータ (kernel という) で探査機の時刻・位置・姿勢等のデータを公開すればよい



Logical versus Physical View

Navigation and Ancillary Information Facility

Logical View

S
Spacecraft

P
Planet

I
Instrument

C
Camera-matrix

E
Events

S
Software

Physical View

SPK

PcK

IK

CK

EK
ESP ESQ

Others

SPICE Toolkit

Content

Space vehicle or target body trajectory (ephemeris)

Target body size, shape and orientation

Instrument field-of-view size, shape and orientation

Orientation of space vehicle or any articulating structure on it

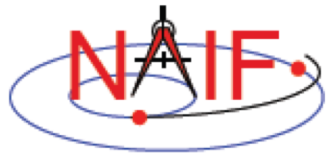
Events information:
 - Science Plan (ESP)
 - Sequence of events (ESQ)
 - Experimenter's Notebook (ENB)

Reference frame specifications
 Leapseconds tabulation
 Spacecraft clock coefficients

API libraries, some application and utility programs, software documentation

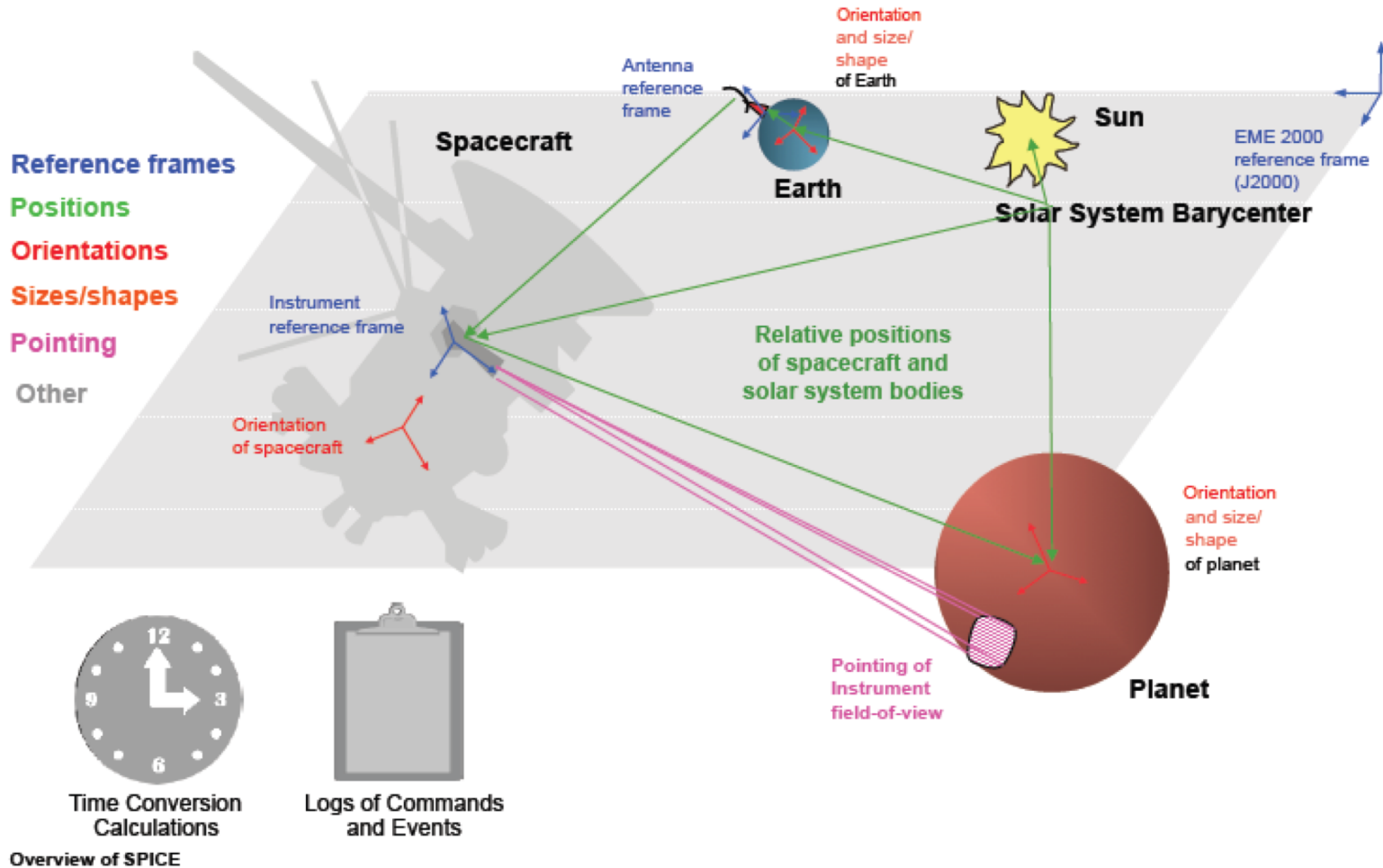
FK
LSK
SCLK

Overview of SPICE



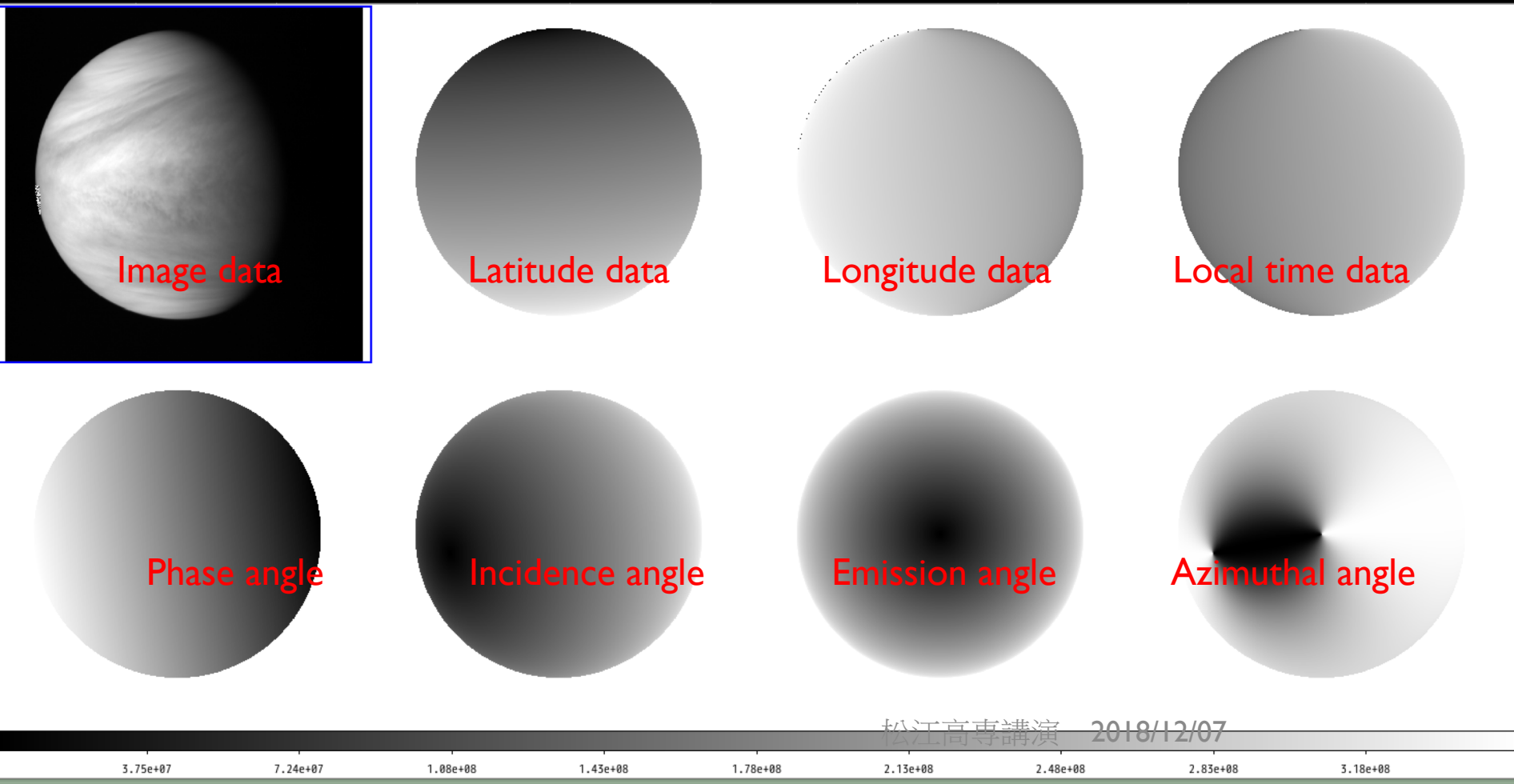
What are “Ancillary Data?”

Navigation and Ancillary Information Facility



「あかつき」金星ジオメトリ画像データ

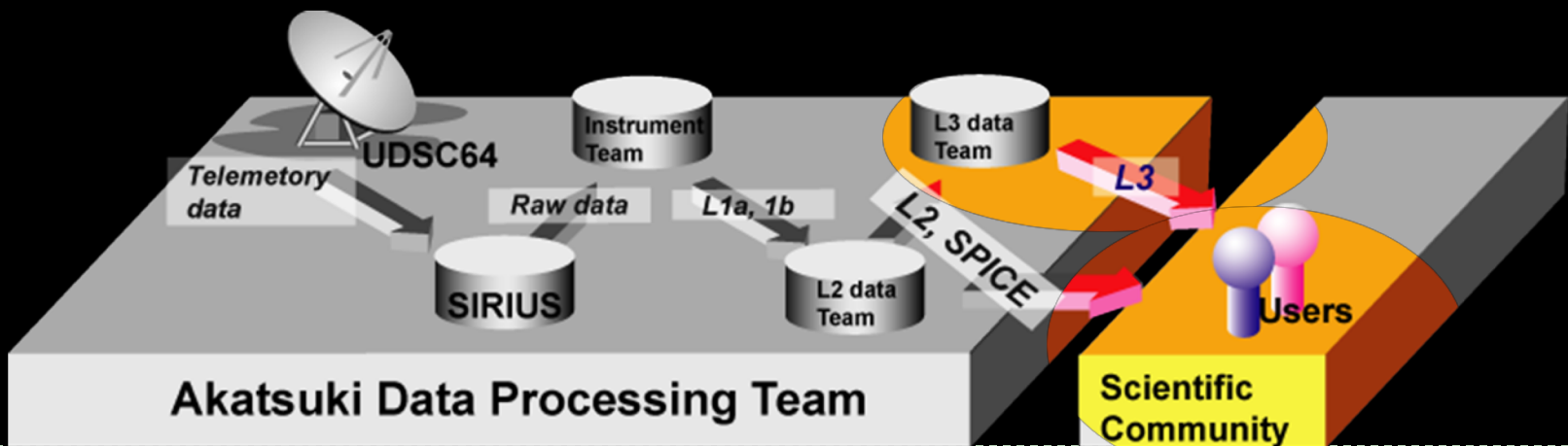
- ▶ 撮像時刻と探査機・金星の位置関係、カメラの視野をSPICEライブラリを用いて計算し、模擬画像を生成



地上データ処理の流れ

「あかつき」の例: 5) 高次データ処理

- ▶ 高次データ処理
 - ▶ 雲速度ベクトル導出等
 - ▶ サイエンスコミュニティのユーザの手元へ
- ▶ 惑星探査データはデータ取得後約一年程度で世界へ公開するのが通例



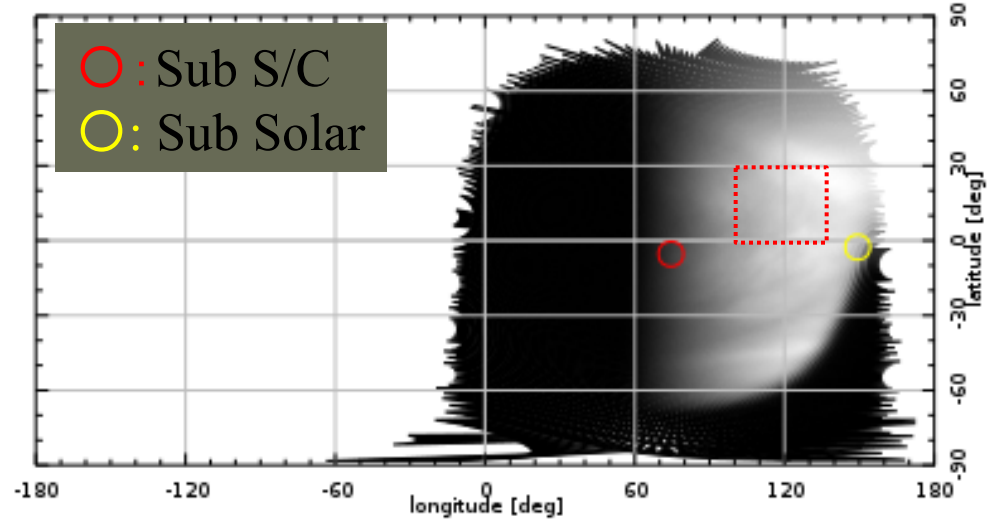
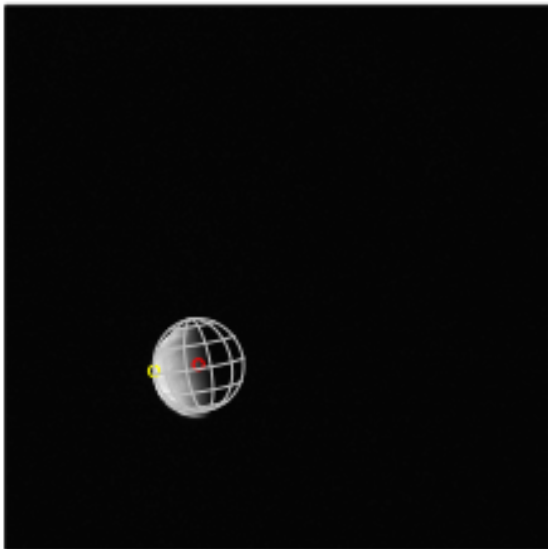
DARTS

(Data ARchives and Transmission System)

- ▶ 日本の宇宙科学データのアーカイブサーバ。「あかつき」、「はやぶさ2」のデータもここで公開される。

The screenshot shows the DARTS website interface. At the top, there is a navigation bar with the DARTS logo and the text "Data Archives and Transmission System". Below this, there are logos for SODA, ISAS, and JAXA, along with a search bar. A left sidebar contains a menu for "研究者向け (英語)" with sub-items like "データ", "宇宙物理学", and "太陽系科学". The main content area features a "お知らせ" (Notice) section with a sub-heading "サービス停止 情報" (Service Suspension Information), dated August 19, 2016, stating a 5-6 minute service interruption for maintenance. Below this is a "最近のトピックス" (Recent Topics) section with a sub-heading "「ひさき」搭載極端紫外分光分光器(EXCEED)データ公開" (Data Release of EXCEED Instrument on Hisaki Satellite). The article text describes the release of data from the EXCEED instrument on the Hisaki satellite, used for joint observations with the Juno spacecraft and Hubble Space Telescope. At the bottom right, there is a spectral plot showing "Angle of View (arcsec)" on the y-axis and "Wavelength (Angstrom)" on the x-axis, with a title "1401010000-1401012359 exp time 0624(min)".

ata/00/00001/UVI 20151209T180947 30 L2B 00.FIT



UVI 20151209T180947 30 L2B 00.FIT

```

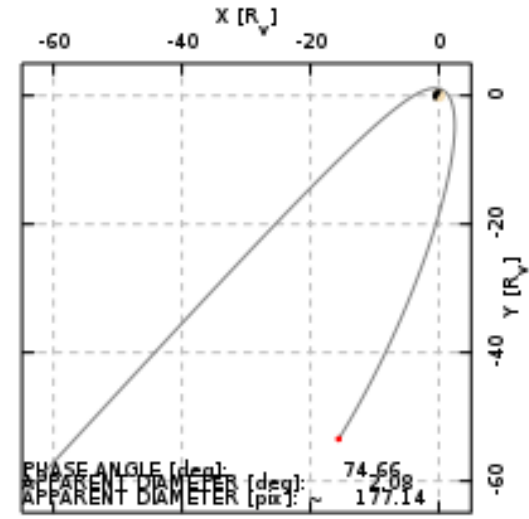
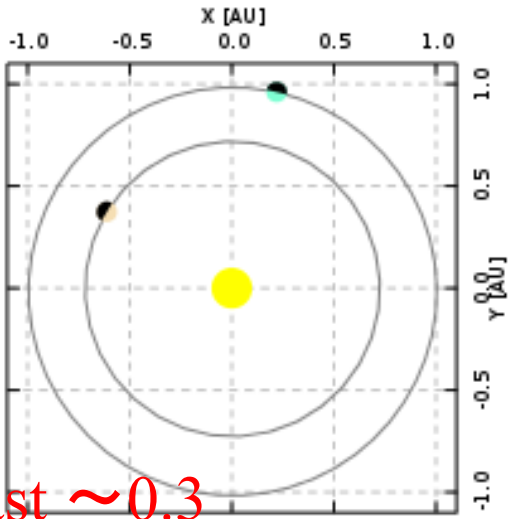
DATE-OBS      : 2015-12-09T18:09:47.021Z
OBJECT        : VENUS
FILTER        : 365nm
EXPD_SURE     : 0.0460
EXTNAME       : UVI-LEVEL2b
UV_OBAR       : NORMAL
UV_CCDT       : 1.74
UV_FILT       : 10.99
UV_05V        : 4.90
UV_15V        : 14.63
UV_30V        : 29.35

P_CMPSTY     : LOSSLES
P_CMPTYP      : HIREW
P_CMPPAR      : 0x04
P_IMGERR      : NORMAL END
P_SCCSC       : 21351176685
P_SCCCEC      : 21351176736

ORBITN       : 1
DIST          : -99.4223
NPVAZIM      : -2.63788
SO_LLAT       : 149.334
SO_LLO_N      : -5.33668
SSCLAT        : 74.5072
SSCLON        : 16.9885
    
```

```

Apparent Diameter[deg]: 2.08
Apparent Diameter[px]: 177.14
Phase angle [deg]: 74.66
Solar incidence angle limit: 90.00
L_m ax: 314335680.00
L_m ln: -391247.84
(L_m ax-L_m ln)/(L_m ax+L_m ln):
    1.00
L_m ln/L_m ax      : -0.00
RMS Contrast       : 0.31
    
```




RMS Contrast ~ 0.3



まとめ

- ▶ 近年宇宙利用が進み、大学・企業レベルで宇宙機を作ったりデータを利用できるようになった。
 - ▶ 千葉工大でもISS流星観測プロジェクト「メテオ」を開始。
- ▶ 日本から惑星・小惑星データを世界へ発信できるようになった。
 - ▶ 「あかつき」、「はやぶさ2」と今後の活躍にご期待を。
- ▶ 宇宙でのデータ取得にはいろいろな困難があるが、地上に転送されたデータはユーザが使いやすい形で広く公開されている。
 - ▶ 皆さんもご興味あれば是非。

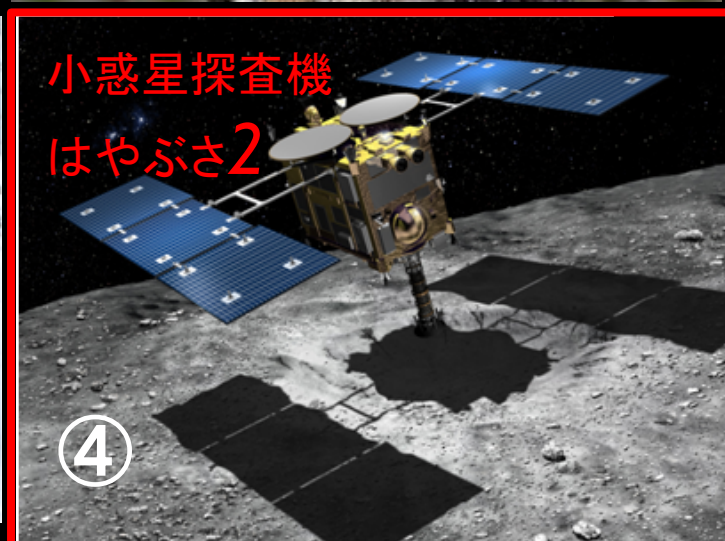


ご清聴ありがとうございました
時間があるかな??
あれば「はやぶさ2の現状」へ

※ 注意書き

- ▶ 「はやぶさ2」の現状についての(プロジェクトからもらったものなどの多くの)パワポ資料は、二次配布禁止の為削除しました。ご容赦ください。
- ▶ なお、いくつかの資料は JAXA TV
<http://fanfun.jaxa.jp/jaxatv/probe/>
の「はやぶさ2」記者説明会番組ページに、説明会資料(pdf版)としておかれているものを利用させていただきましたので、参考になるかと思えます。

質問：どれが「はやぶさ2」でしょう？



はやぶさ2の大きさはどれくらい？

① 2L ペットボトル
ぐらい



② 軽自動車
ぐらい



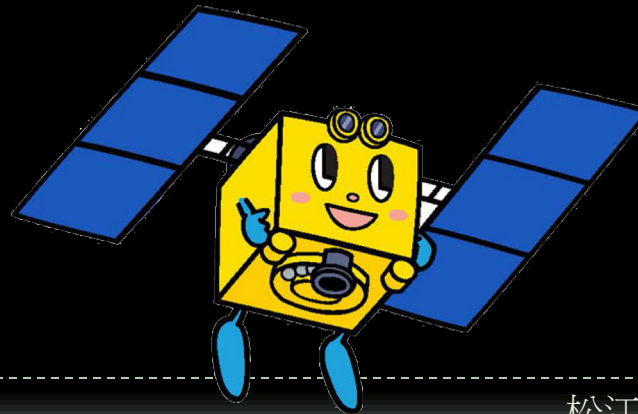
③ サッカーグラウンド
ぐらい



松江市営補助競技場@松江市HPより



3U キューブサット



国際宇宙ステーション(ISS)

小惑星リュウグウの大きさ(直径)は どれくらい？

①松江城本丸の高さ
(30m)ぐらい



② 松江大橋の長さ
(134m)ぐらい



③ 松江高専キャンパス
対角の2倍(1km)弱
ぐらい



松江市とリュウグウの大きさ比較

