



金星探査計画 (PLANET-C) の概要と紫外 イメージャ (UVI) 開発の現状

2005/10/20 DM2ゼミ

惑星物理学研究室 山田 学

http://www.stp.isas.jaxa.jp/venus/images/intro/vcoimage_large.jpg

Table Of Contents

- はじめ
- 金星探査計画 (Planet-C) の概要
- 紫外イメージャ (UVI) 開発状況

金星の大気大循環

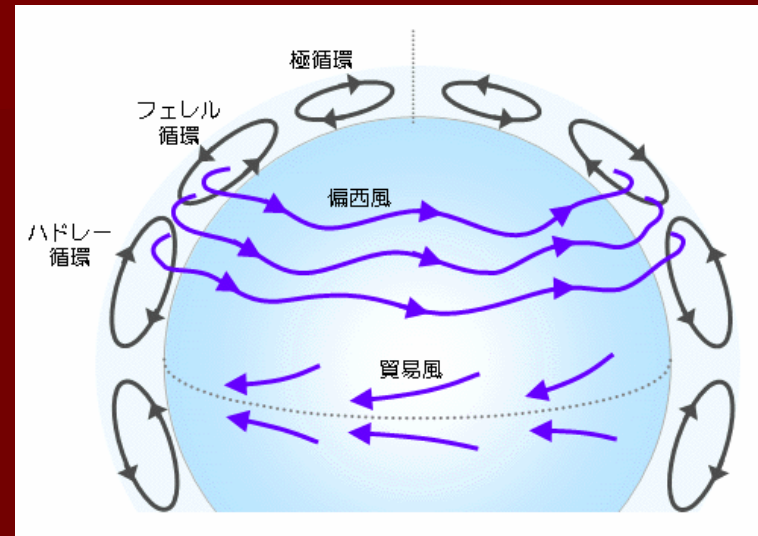
■ 地球大気大循環

- 自転の効果(コリオリ力)が重要

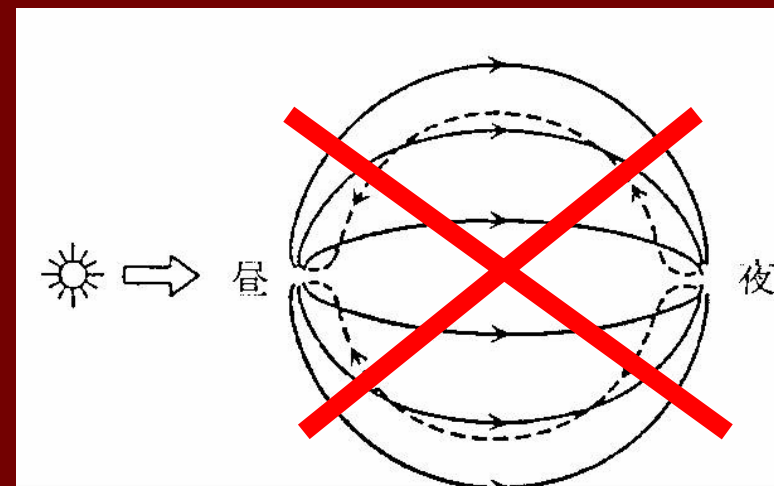
■ 金星は?

- 自転は非常に遅い(243地球日)
- 単純に考えると昼夜間対流

**実際は東西風が卓越
(自転速度の60倍!!)**



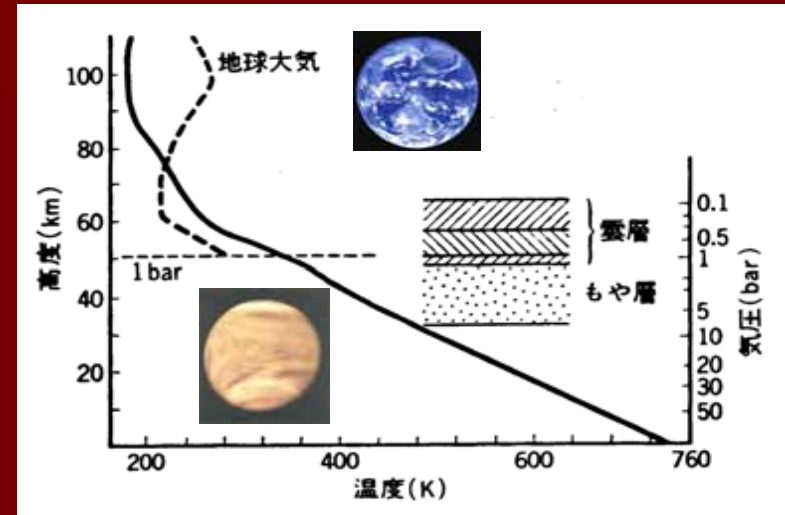
地球大気大循環模式図 (PLANET-C HP より)



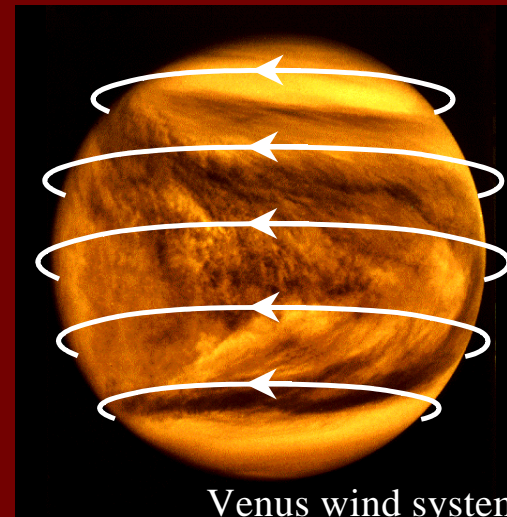
昼夜間対流模式図 (松田,2000)

金星大気の謎をとくには...

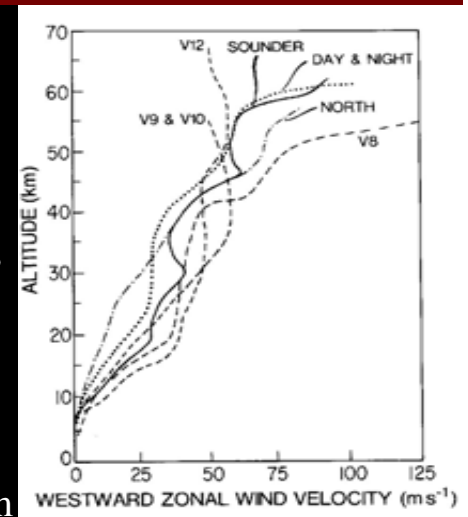
- どうやって角運動量を上層に運ぶかがポイント
- いろいろな理論・シミュレーションがあるが実証するデータが不足
 - 雲頂(70km)より下の情報が欠如
- “近赤外の窓”発見(1980)
 - 雲下層の観測が可能に



金星大気温度プロファイル。(松田, 松野, 1980)



Venus wind system



東西風鉛直プロファイル(Schubert et al.,1980)

金星探査計画 (Planet-C) の概要

科学目的

■ 大気力学

- スーパー・ローテーション
- 子午面循環
- メソスケール現象

→ 惑星気象学の普遍的な理解へ

■ 雷放電

■ 雲物理

■ 活火山の発見/地表物質

特徴

世界初の“惑星気象衛星”

- 3次元大規模構造を捉える
→ 多波長・広視野のカメラ群
- 広帯域をカバー
→ 時間的に密で連続的なサンプリング
- 每周回、広いローカルタイムをカバー
→ 赤道周回軌道
- 風速ベクトルを得る
→ 高解像度撮像で雲追跡

衛星概観

- 重量: 480kg (含燃料)

 - サイエンス: 34kg

- 姿勢系: 3軸制御

 - 絶対指向精度: 0.1度

 - 姿勢安定度: 0.01度

- 周回軌道

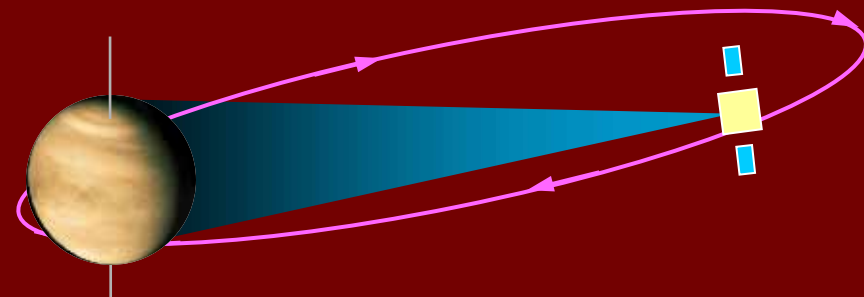
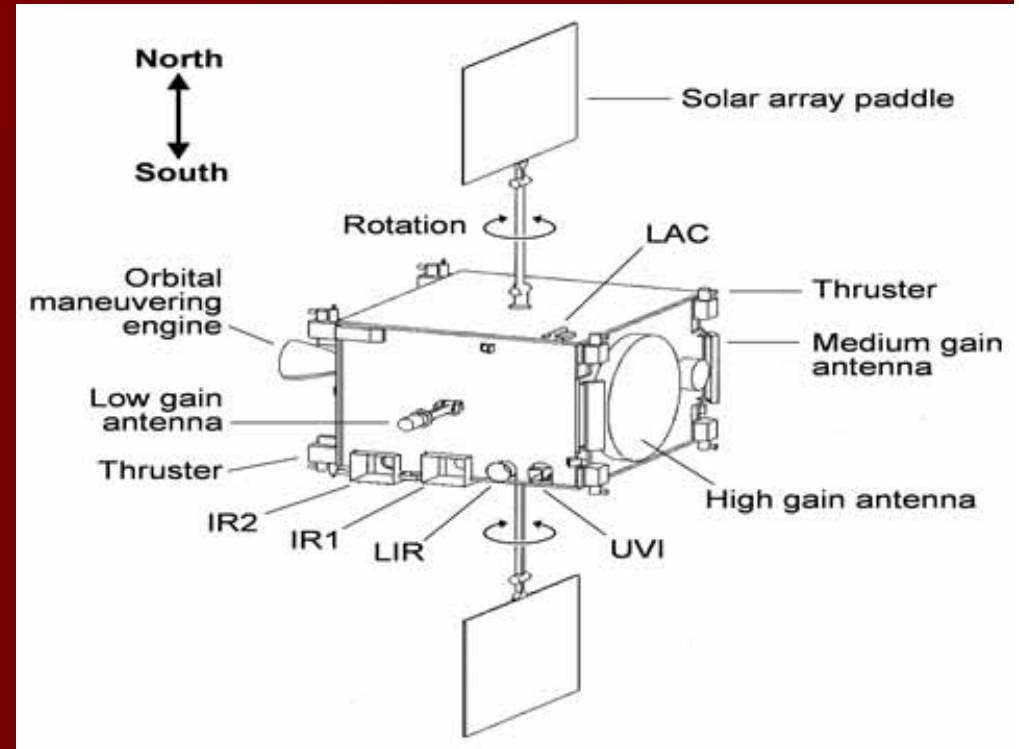
 - 傾斜角: 172 deg

 - 近金点: 300km

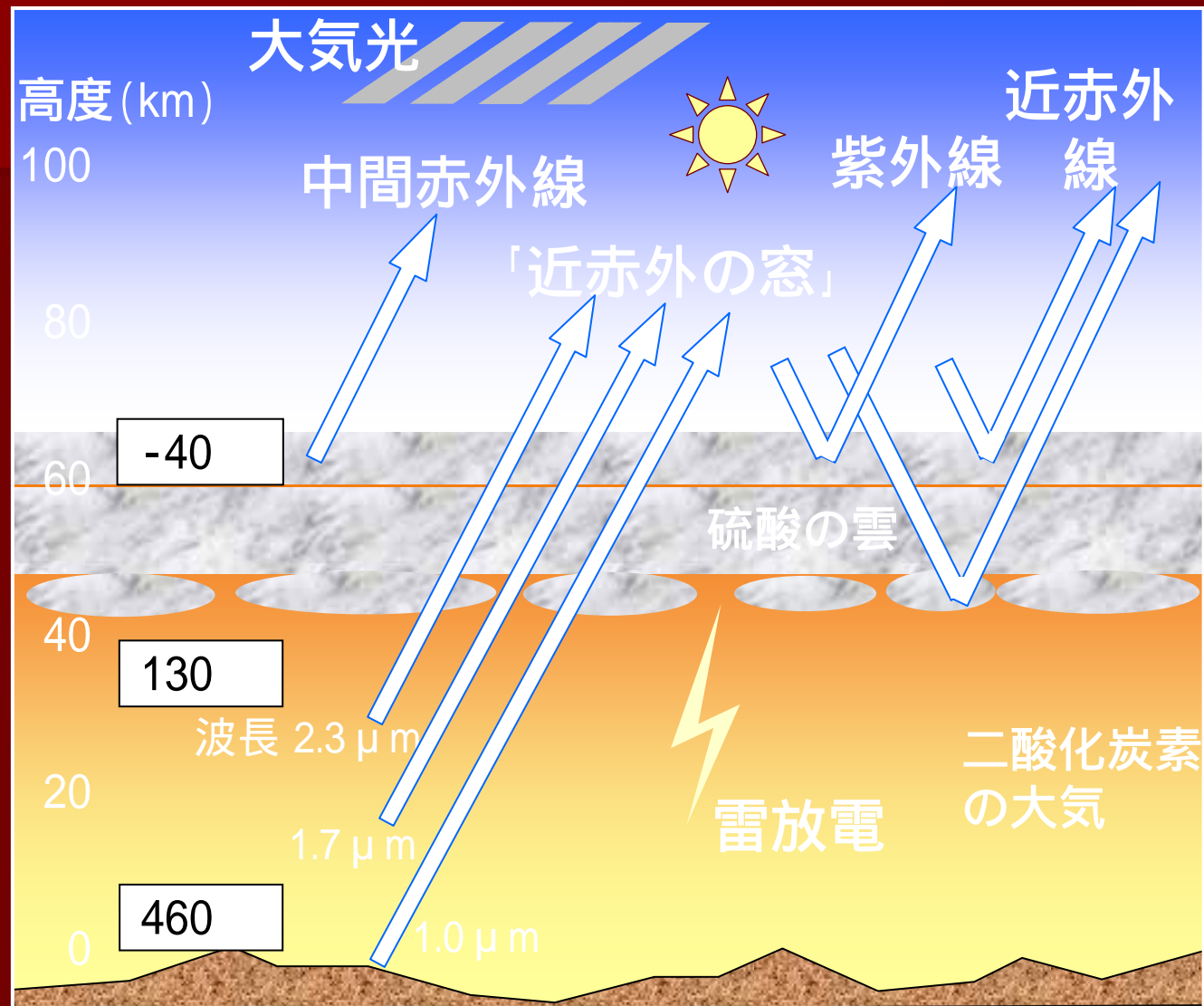
 - 遠金点: 13金星半径

 - 周期: 30時間

 - 日影: 最大90分程度



PLANET-C で観測する放射



科学観測機器 (1)

■ 1 μ カメラ IR1 (東京大学)

観測波長: = 1.01 μ m (近赤外の窓)

検出器: SiCCD (1024x1024画素)

ターゲット: 下層の雲, 活火山, 地表物質

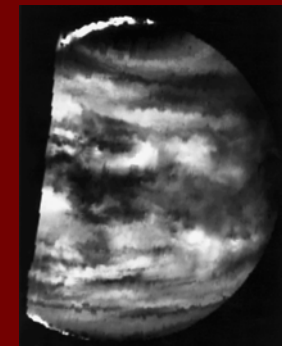


■ 2 μ カメラ IR2 (熊本大学・東京大学)

観測波長: = 1.73, 2.26, 2.32 μ m (近赤外の窓),
2.02 μ m(CO₂吸収), 1.65 μ m(黄道光)

検出器: PtSi (1024x1024画素)

ターゲット: 下層の雲, 粒形, 雲頂高度, 下層の一酸化炭素



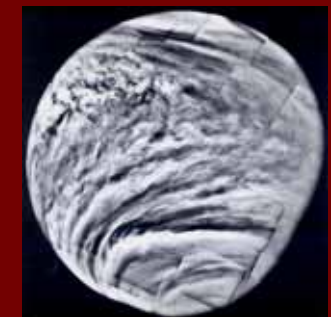
Galileo (2.3 μ m)

■ 紫外イメージャ UVI (北海道大学)

観測波長: = 283nm(SO₂), 365nm(未同定吸収物質)

検出器: SiCCD (1024x1024画素)

ターゲット: 雲頂での分布, 運動



PVO

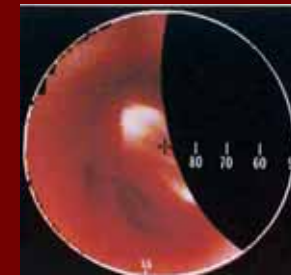
科学観測機器 (2)

- 中間赤外カメラ LIR (極地研・ISAS/JAXA)

観測波長: = 8 - 12 μm (近赤外の窓)

検出器: 非冷却bolometer (240x320画素)

ターゲット: 雲頂温度



- 雷・大気光カメラ LAC (東北大)

観測波長: = 777, 551, 558 nm

検出器: MCP (8x8画素, 10kHz sampling)

ターゲット: 雷放電, O_2/O 大気光

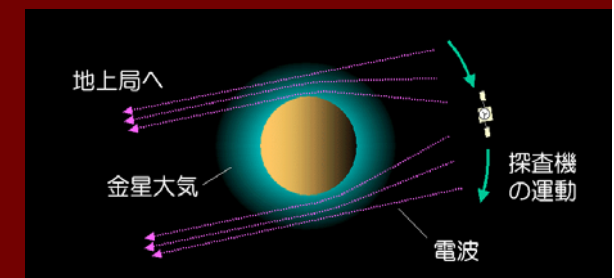


- 画像処理装置 DE (EORC/JAXA)

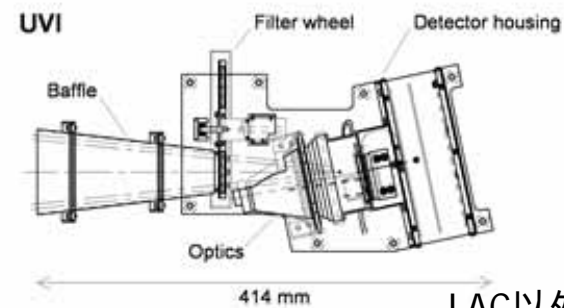
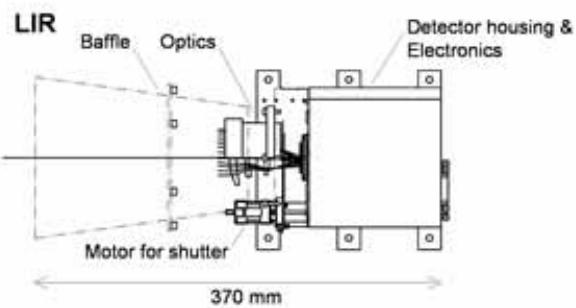
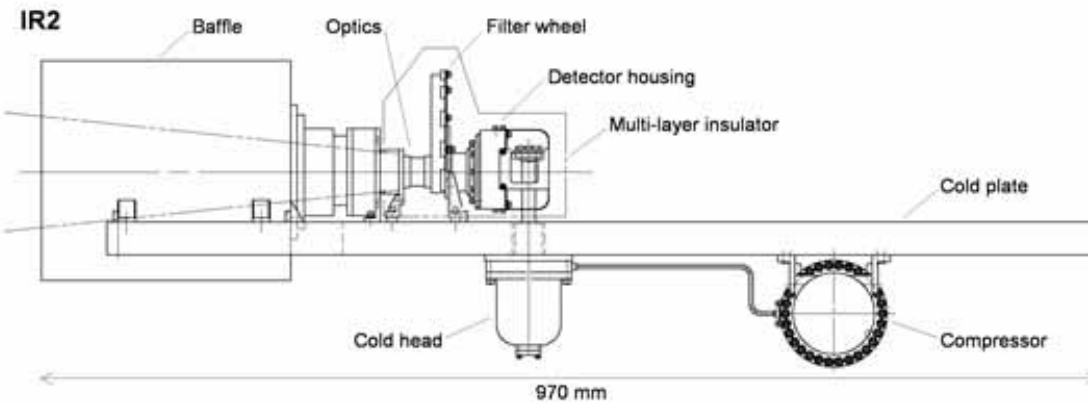
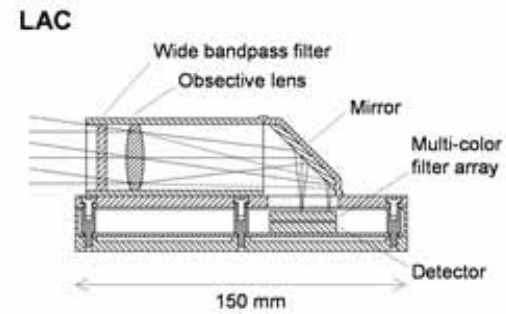
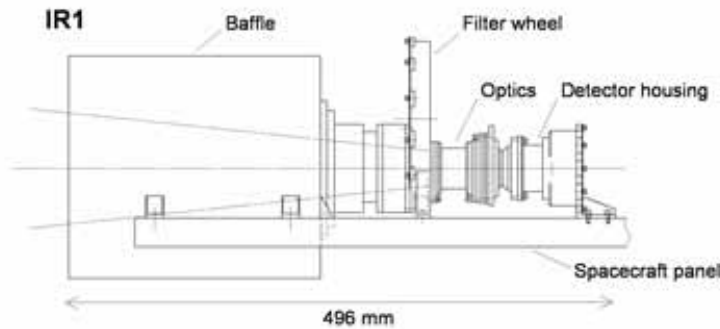
- 超高安定発振器 USO (ISAS/JAXA)

電波オカルテーション観測用

ターゲット: 気温・硫酸蒸気高度分布



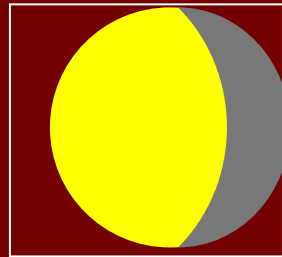
カメラ形状



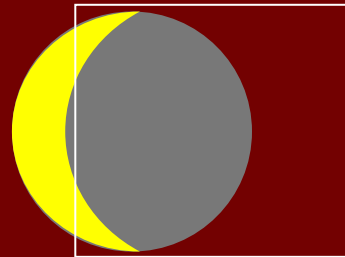
LAC以外は同縮尺

カメラの視野

12 deg FOV



- 近赤外 (昼側)
- 紫外
- 中間赤外



- 近赤外 (夜側)
- 雷・大気光

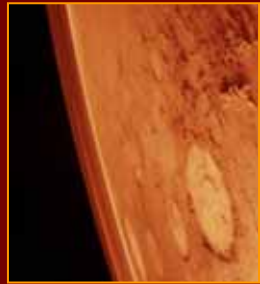
観測シーケンス

300km x 13 R_{Venus}
Period: 30 hours
Inclination: 172 deg

解像度: 10-20 km

2時間おきにグローバル撮像
(~20時間)

電波掩蔽による気温
/ H_2SO_4 蒸気分布

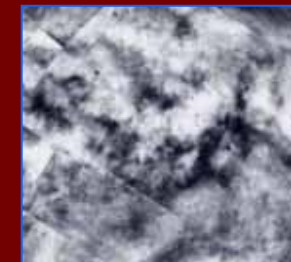
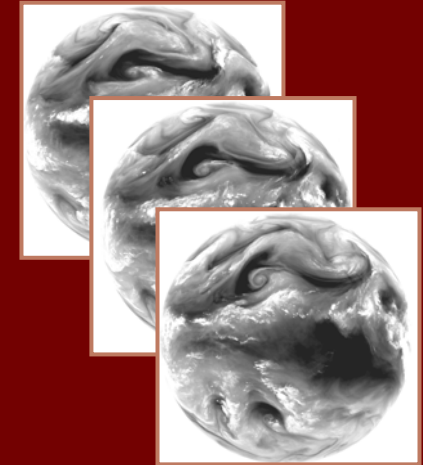


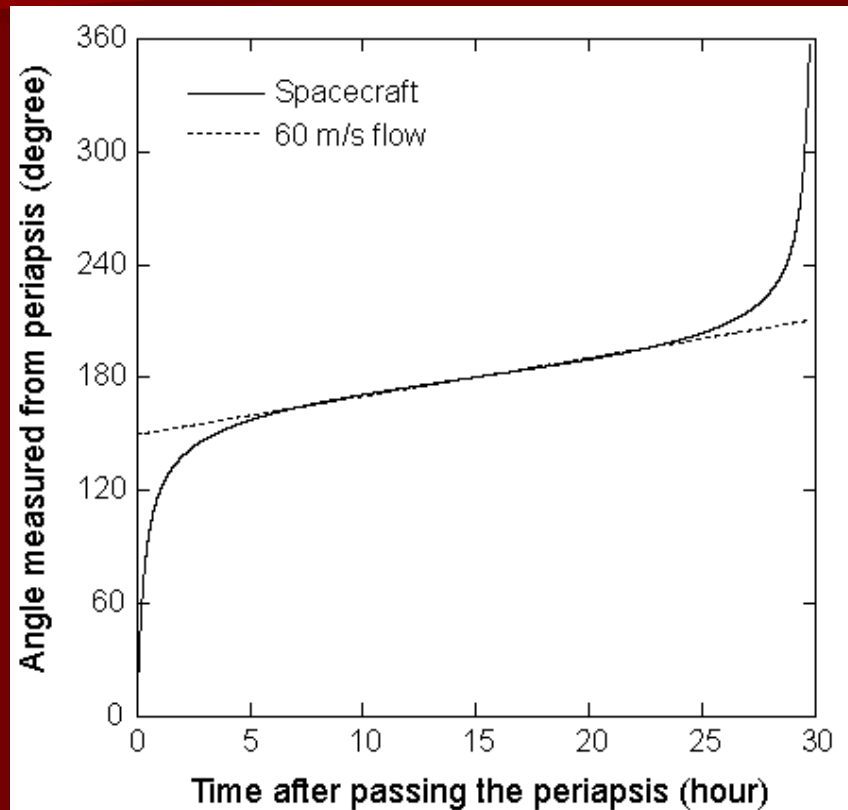
大気周縁画像
(1時間)

解像度: 0.2-1 km

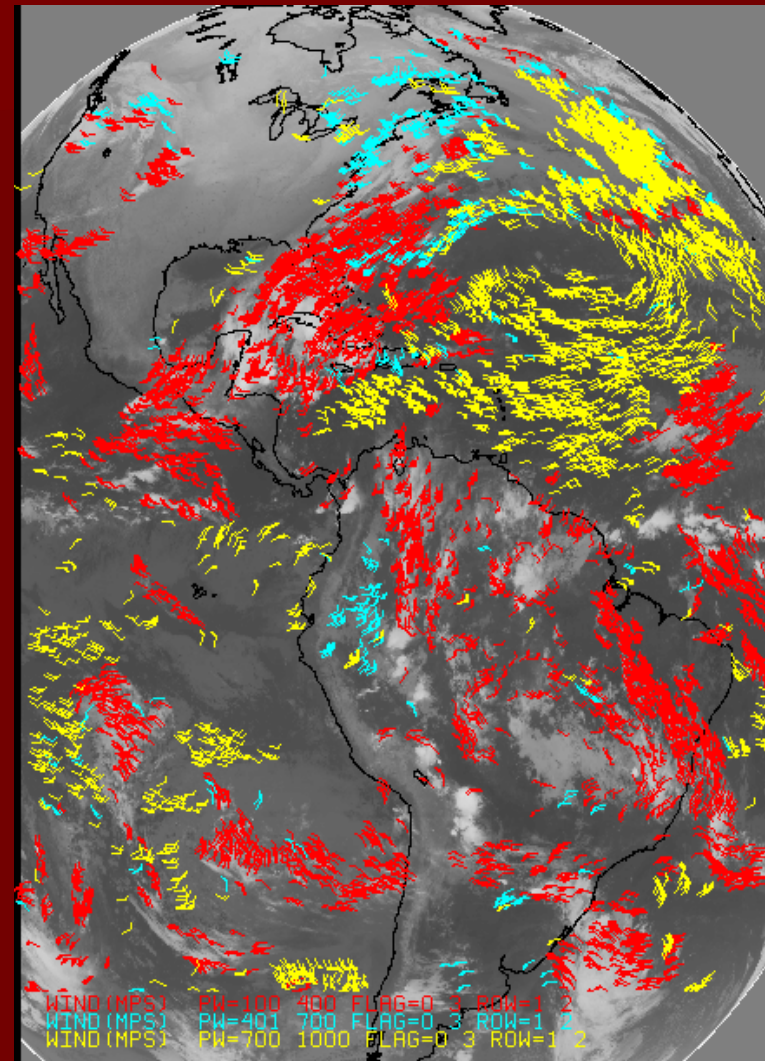
クローズアップ
日陰時に雷・大気光

解像度: 1-10 km





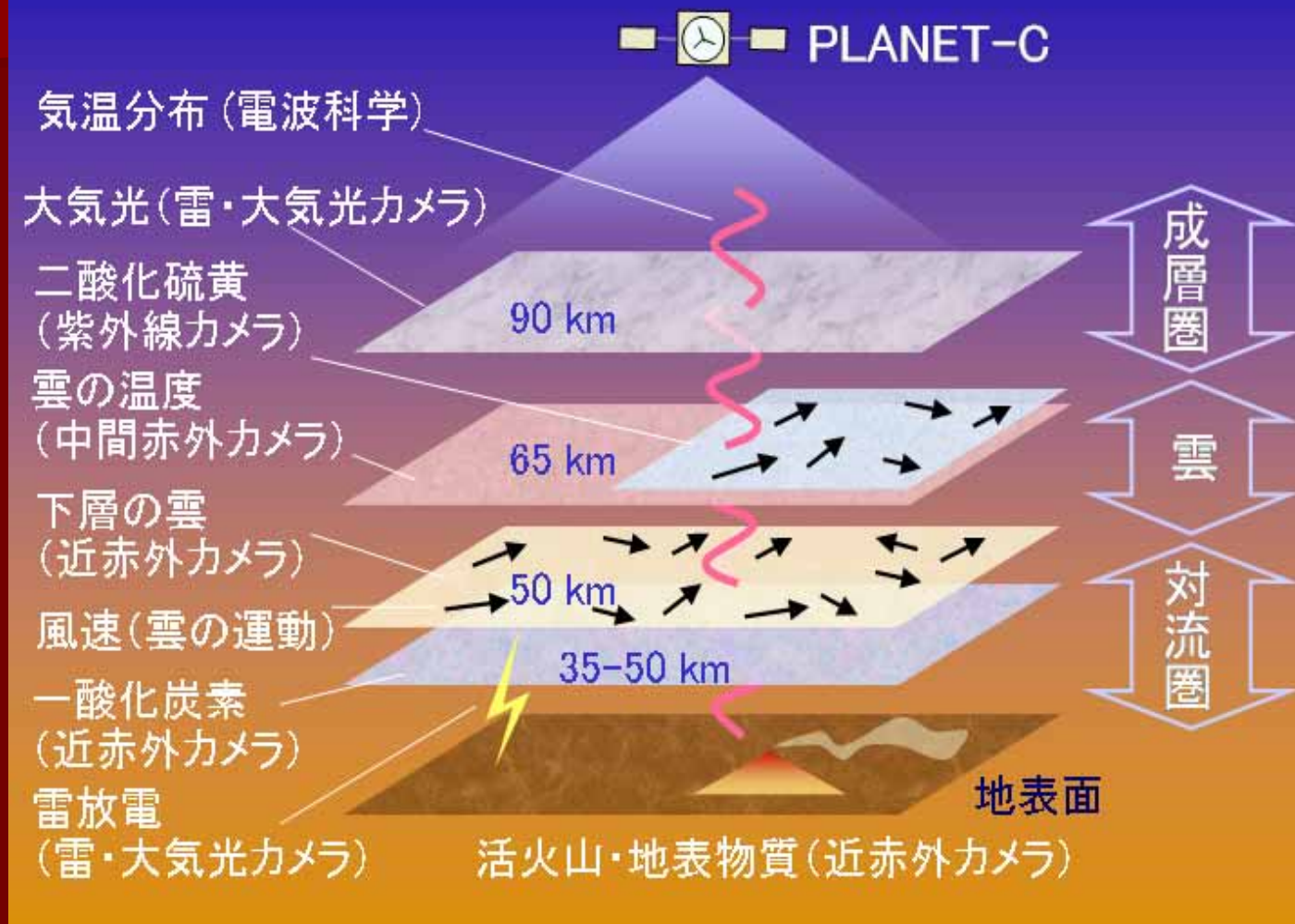
西向き帯状風と同期させた軌道運動



雲追跡による風ベクトル(米国気象衛星)

大気大循環の3次元可視化

各カメラを連携させ3次元的に大気を観測する



紫外イメージャ (UVI) 開発状況

UVI 開発体制

- PI: 渡部重人(北大)
- Co-I: 山田学(北大)
 - 岡野章一(東北大/PPARC)
 - 今村剛, 中村正人(ISAS/JAXA)
 - 岩上直幹(東京大学)
 - H.U. Keller, W.J. Markiewicz, D. Titov
(Max Planck Institute)
- エレキ: NEC東芝スペース
- 光学系: Nikon

観測対象

- Cloud/Haze Physics
 - Largescale (10³ ~ 10⁵km)
 - ~
 - Mesoscale (1 ~ 10³km) Structures
 - Interaction between Lower and Middle Atmospheres
- Atmosphere Dynamics
 - Super-rotation
 - Largescale/Mesoscale Wind Distribution
 - Planetary Waves/Gravity Waves
- Distribution of Unidentified Ultraviolet Absorber
- Photochemical Processes of SO₂ and H₂SO₄

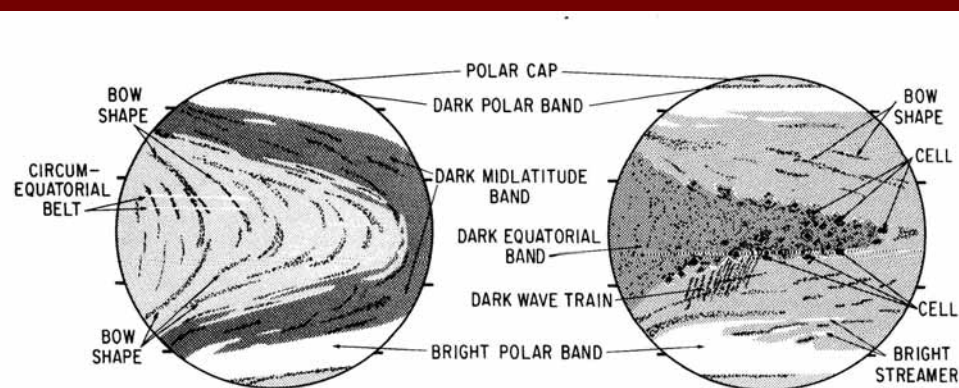
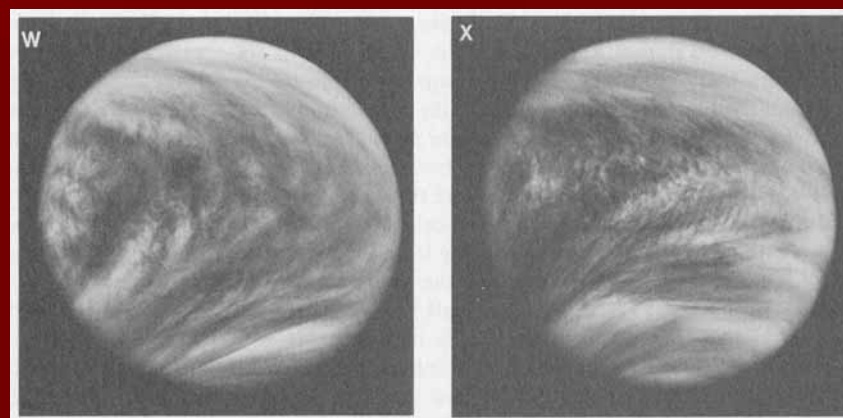


Fig. 4. Schematic diagram defining the basic types of cloud features observed in Venus ultraviolet images. The two views depicted here typically occur 2 days apart and represent the maximum and minimum tilt configurations, respectively. The tick marks on each circle indicate 20° and 50° of latitude in each hemisphere.

PVO/OCPP

Rossow et al., 1980

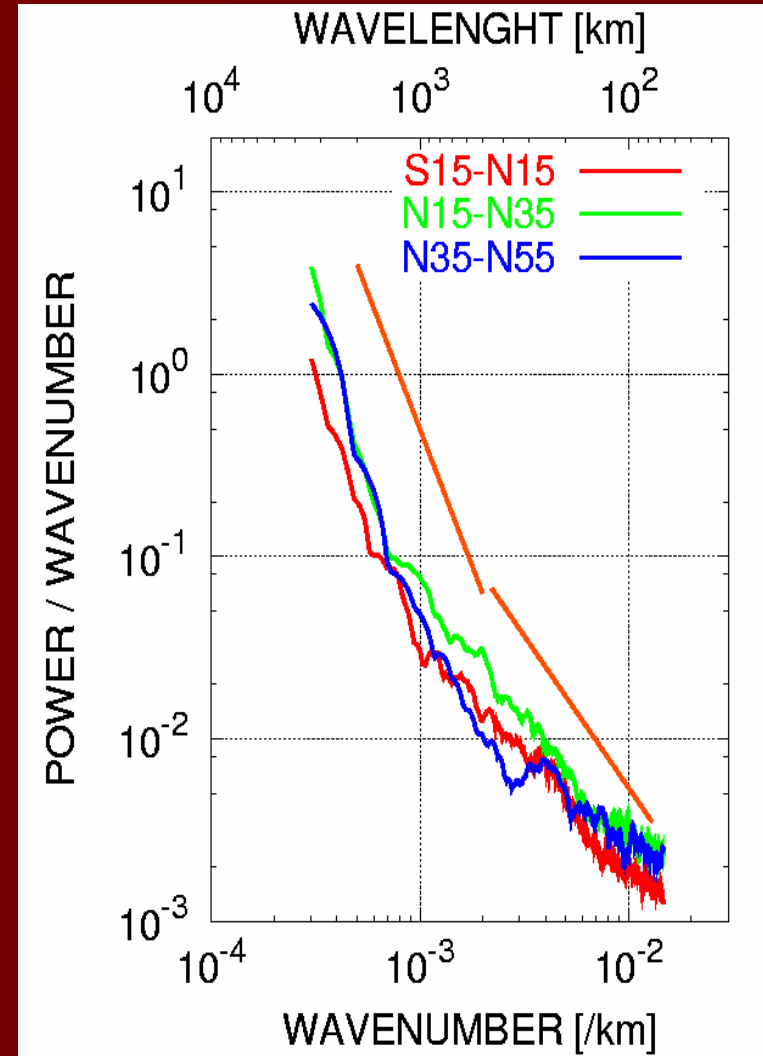
UVI要求性能

- 紫外コントラスト
5%~10%
(PVOより.常に30%以下)

SNR100以上

- メソスケール以下の現象を捉えたい

空間分解能 10 km程度

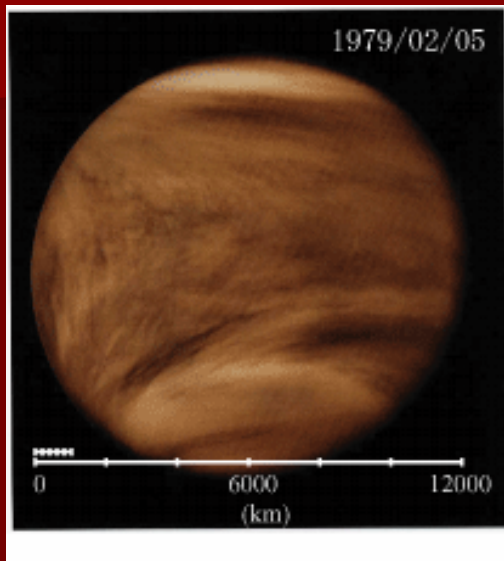


Shimoyama and Imamura

UVI 諸元

Wave length		283 nm, 365 nm
FOV		12°
Resolution		0.011°
S/N		130
Optics	F number	16
	Focal length	63.3 mm
	Effective aperture	3.96 mm
	MTF	0.82 (center), 0.80 (edge)
	Spot size	1 μ m
	Glass	Zero-dur + Al + MgF ₂
Detector	Type	Si-CCD (1024x1024)
	Exposure time	0.1 sec
	Full well	10 ⁵
Filter	Filter wheel	At the front of lens
	Size	38.5 Φ
	Band width	15 nm
Weight		3.4 kg
Power	Operation	9.4 W
	Stand-by	4.4 W

過去のUV撮像との比較



Name: Pioneer Venus Orbiter
Detector Photodiode (Spin-scan mapping)
Exp.Time 3.5hour
Resolution ~ 500km, ~ 30km
Filter 300 ~ 390nm
S/N ~ 100

撮像枚数が長期間にわたる撮像

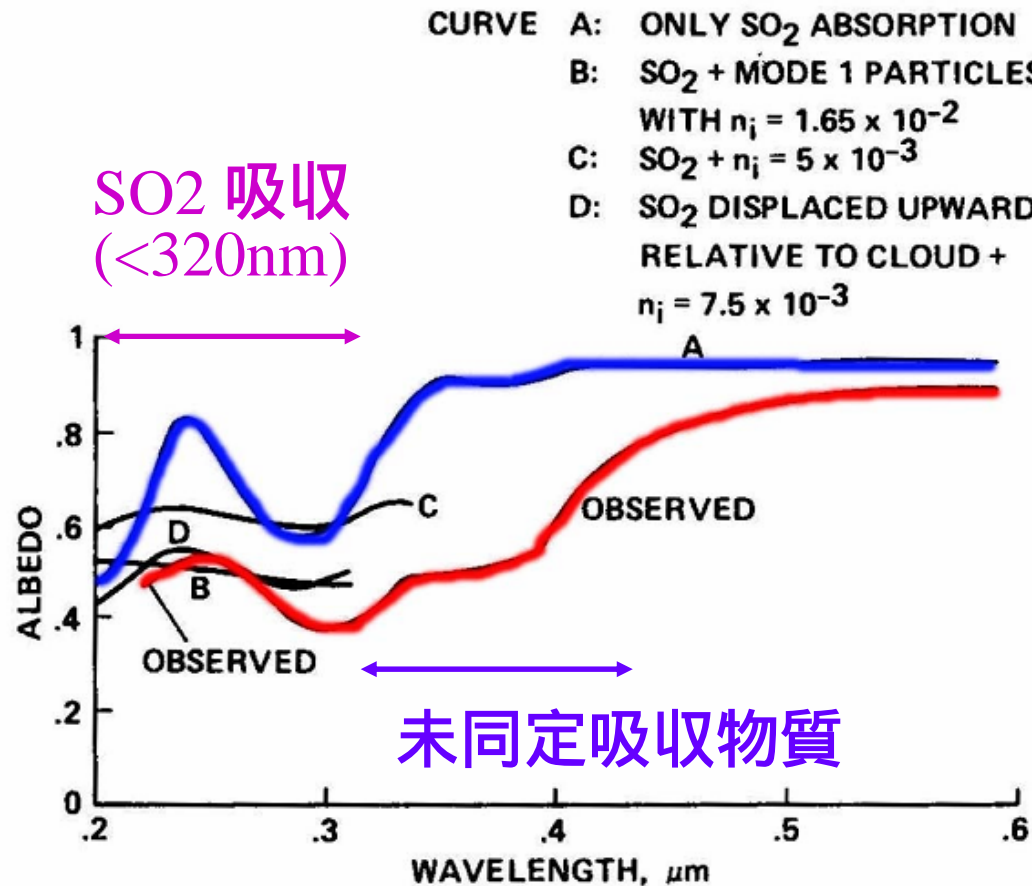
Galileo
SiCCD (800x800)
25msec
nm
?(depth: 8bit)

撮像枚数が少ない

Venus Climate Orbiter
SiCCD (1024x1024)
80 msec
~ 10km @ 9.5 R_V
283nm, 365nm (FWHM 15nm)
~ 130

他波長カメラと共に
長期の観測を目指す

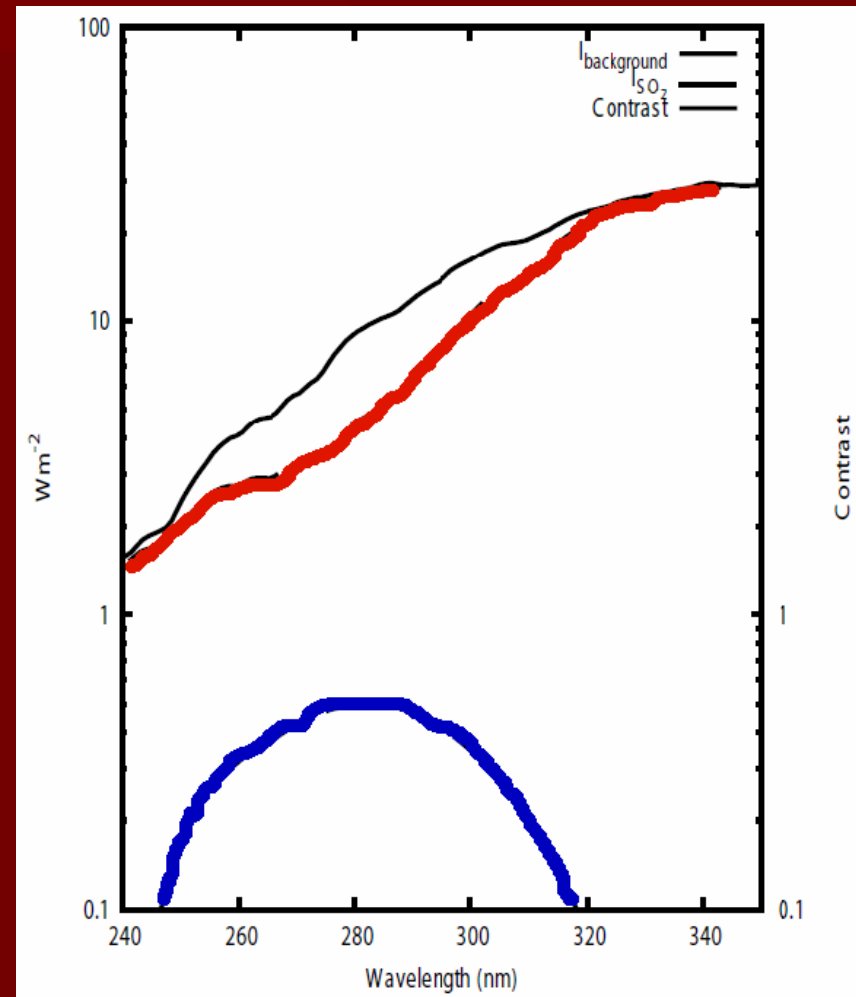
観測波長について



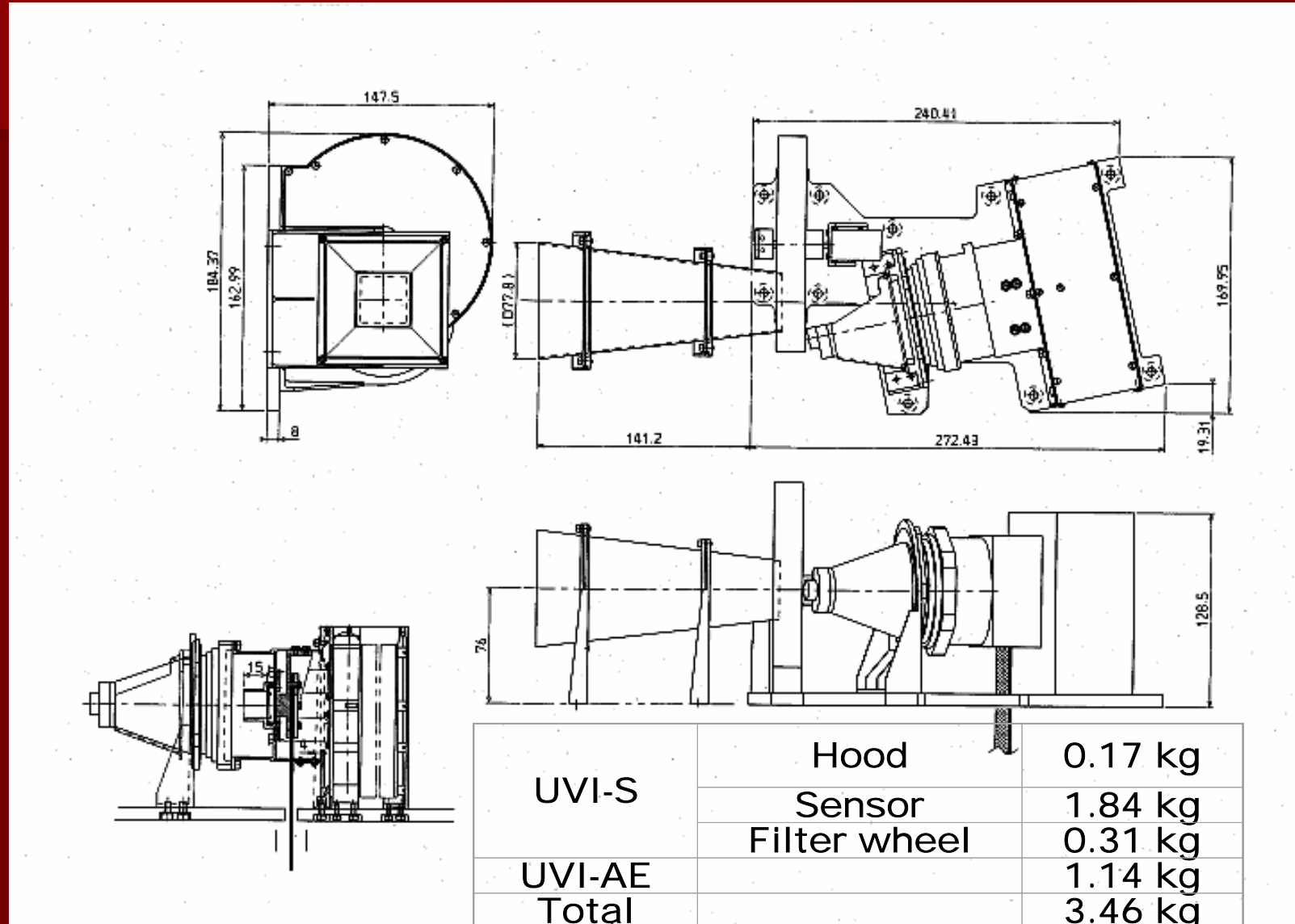
Comparison between the measured spherical albedo of Venus as a function of wavelength and the predictions of several models.

フィルタ波長選定

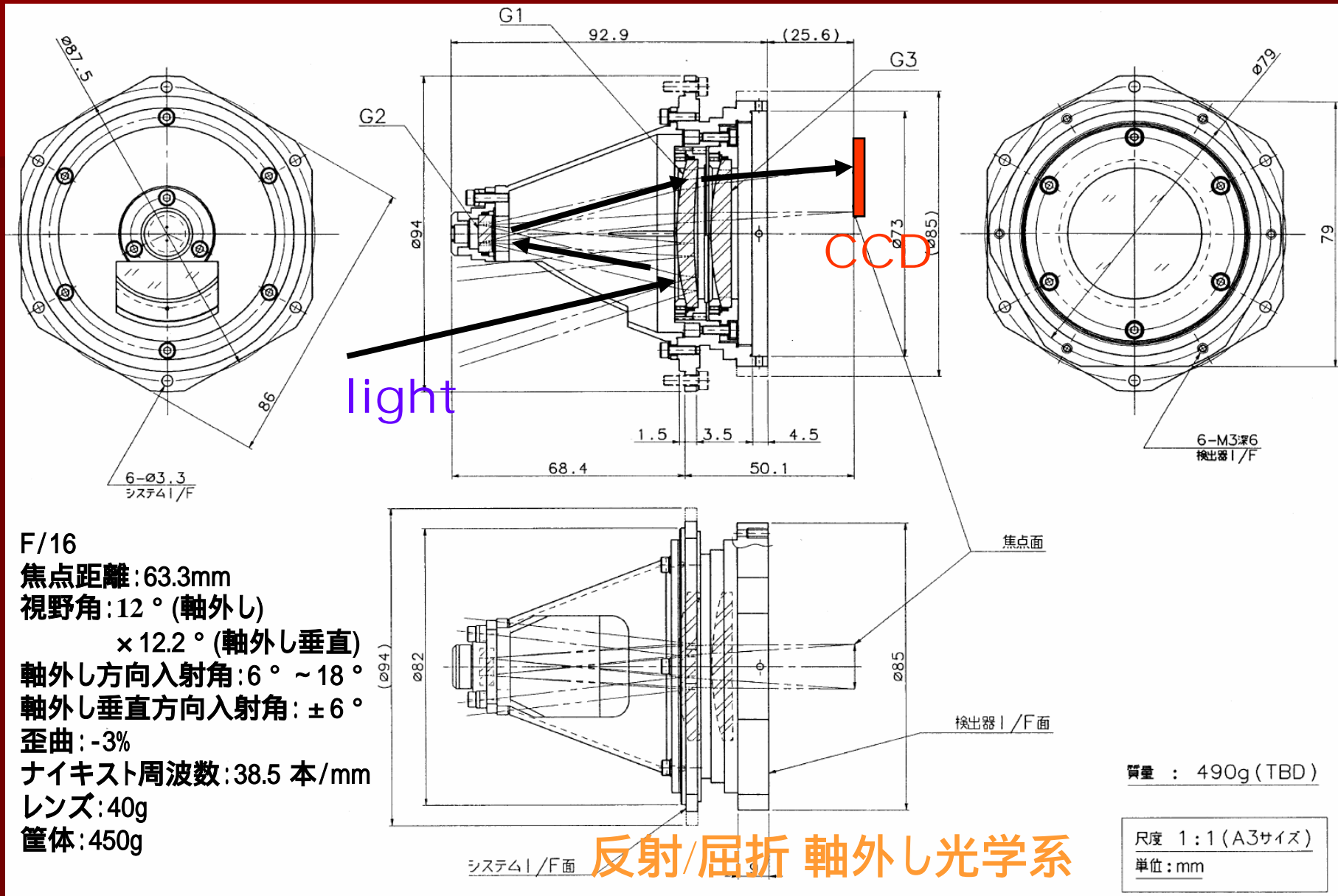
- 365 nm(未同定吸収物質):
 - 比較のため PVO/OCPP と同じ波長を採用
- 283 nm(SO₂ 吸収):
 - 太陽放射, SO₂ 吸収データから最大コントラストとなる中心波長を見積もった結果.



UVI 装置形状



UVI 光学系



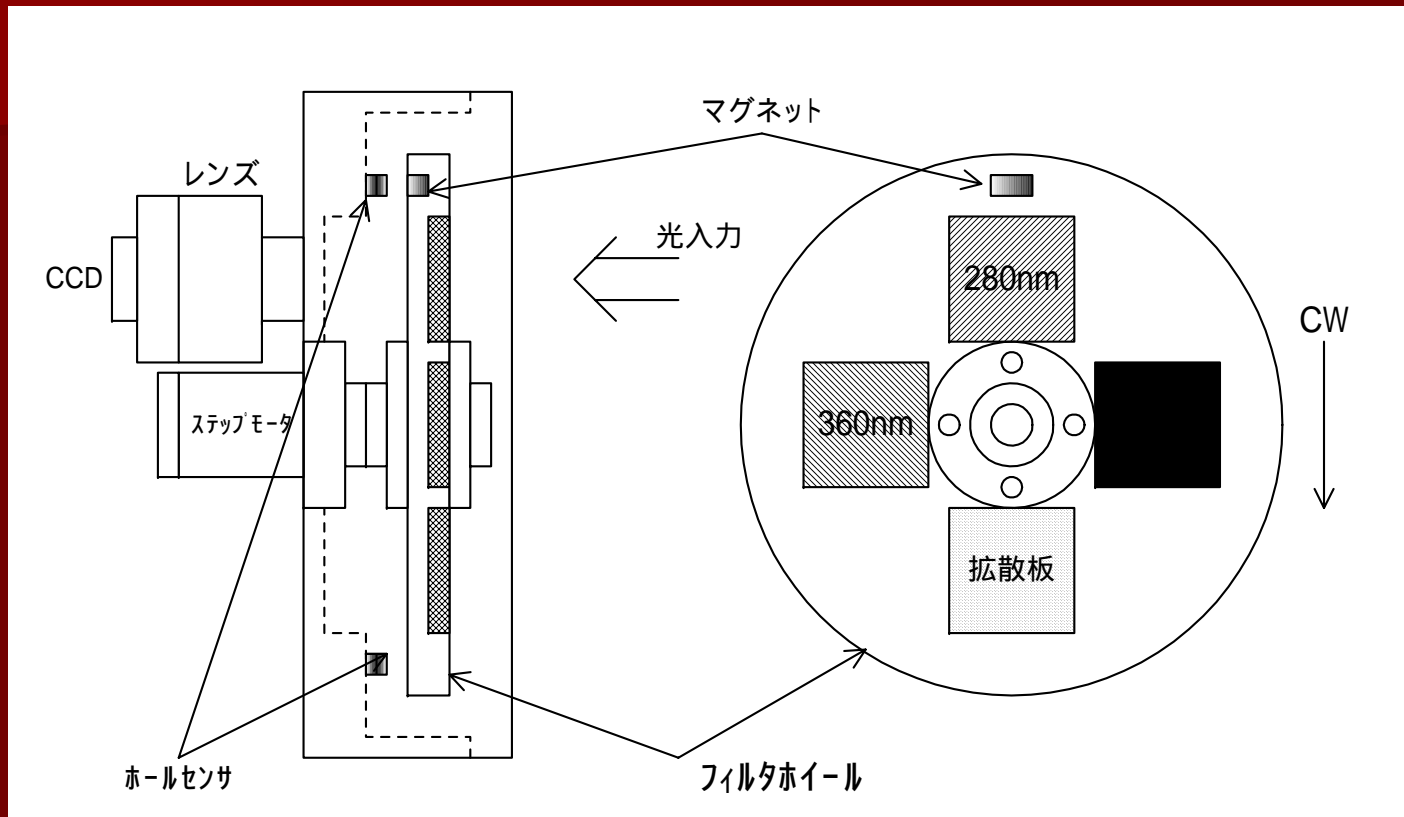
F/16
焦点距離: 63.3mm
視野角: 12° (軸外し)
 × 12.2° (軸外し垂直)
軸外し方向入射角: 6° ~ 18°
軸外し垂直方向入射角: ±6°
歪曲: -3%
ナイキスト周波数: 38.5 本/mm
レンズ: 40g
筐体: 450g

システムI/F面 **反射/屈折 軸外し光学系**

質量 : 490g (TBD)

尺度 1:1 (A3サイズ)
 単位: mm

フィルタホイール



ステップモータ駆動パルス周波数: 100Hz (暫定)

90° : $90^\circ / 1.8^\circ \times 0.01s \times 4step = 2.0s$

180° : $180^\circ / 1.8^\circ \times 0.01s \times 4step = 4.0s$

270° : $270^\circ / 1.8^\circ \times 0.01s \times 4step = 6.0s$

360° : $360^\circ / 1.8^\circ \times 0.01s \times 4step = 8.0s$

フィルタホイールの駆動時間は、一回転するのに8s

検出器への要求

検出器への要求

- 素子ピッチは13 μm 程度, 素子数は1024 \times 1024
- 量子効率が大きい
- 暗電流が小さい
- Full well が大きい
- スミアが小さい
- 乾燥窒素(あるいは真空)パッケージが可能, 窓材が付属している
- 窓材にはARコートを実施すること
- 耐放射線

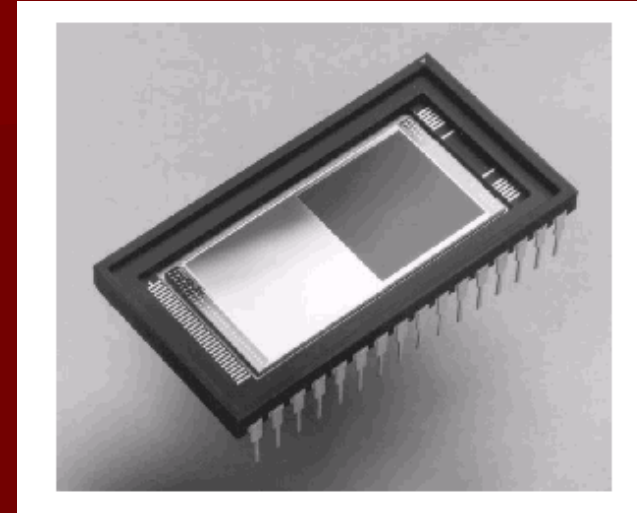
e2v CCD47-20 NIMO

- 製造性 容易
- 全素子読み出し時間が小さい (小さいほどスミア小: 2msec)
- 暗電流 20000 e/pix/sec(20)
- SN=130を達成するのに必要な検出器冷却温度: 273K
- ペルチェなし
- 耐放射線(ガンマ線)は評価済み (10krad)
- 衛星搭載実績がある

CCD47-20 NIMO

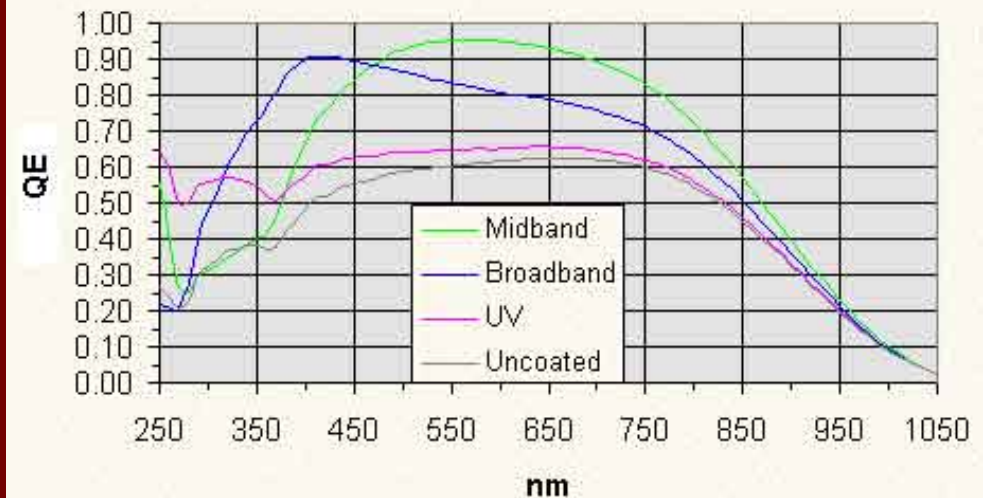
■ CCD47-20 NIMO

- Normal Inverted Mode Operation
- Back Illuminated CCD47-20
- Frame-transfer imaging device
- 13 μm square active elements



CCD47-20NIMO

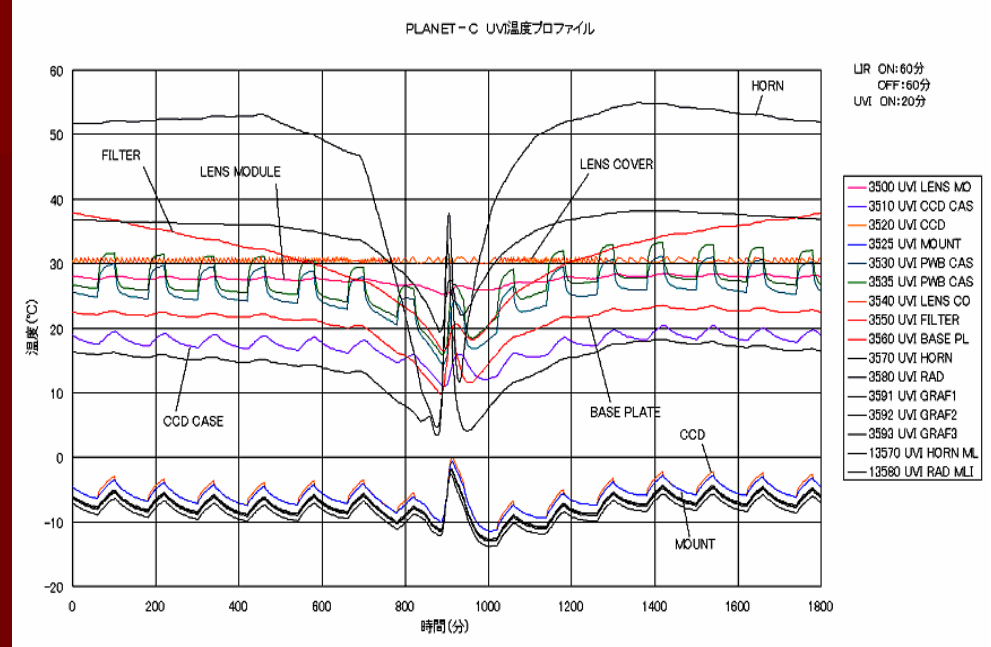
Typical spectral response
enhanced -20C



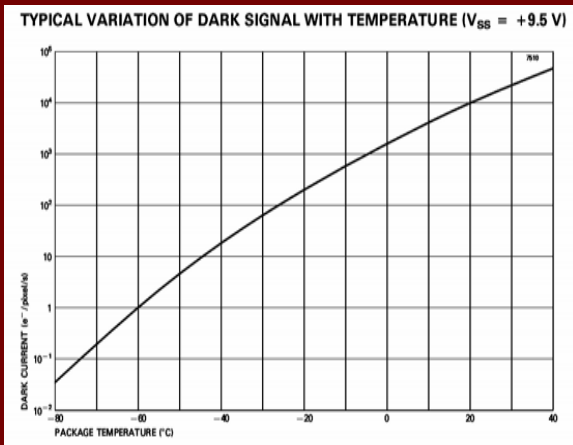
CCD47-20NIMO
量子効率

熱解析

- AI: 金星近くでの温度がCCD許容温度を逸脱する。
- 対策:
 - 放熱板をつけることでCCD温度要求を満たすことが可能
 - 放熱板分の重量増

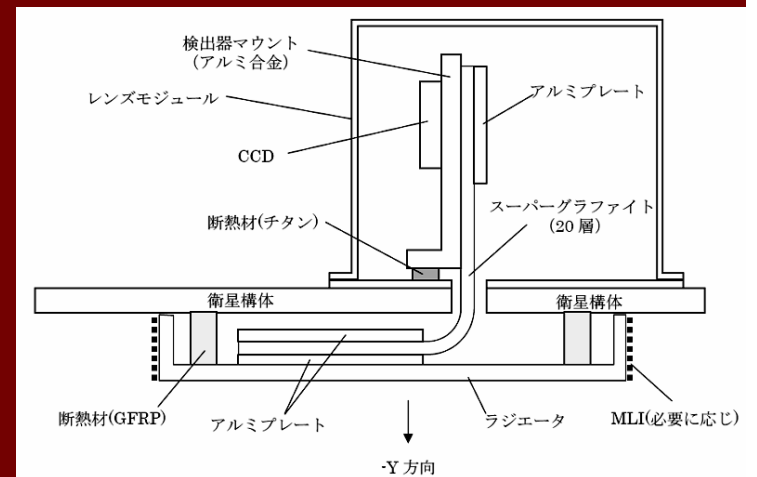


UVI 熱解析結果の一例



2005/10/20

放熱板取り付け概要図



DM2ゼミ

30

放射線対策

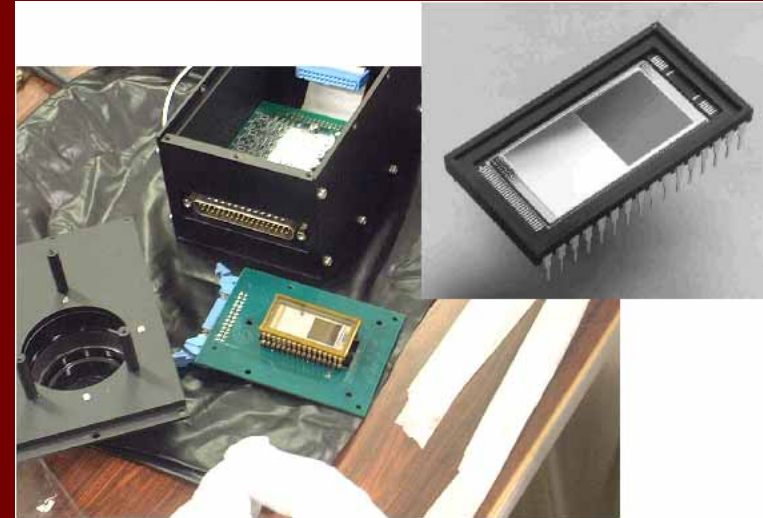
CCDの弱点: 放射線

CCD40-20 NIMO についての耐プロトン性能を知る必要あり

- CCDの耐放射線性能を実験/検証
- 金星放射線環境(直に太陽風にさらされる)の見積もり
- 必要な対策を検討

プロトン照射実験

- 放射線医学研究所
HIMAC を用いた
100MeVプロトン照射試
験を実施.



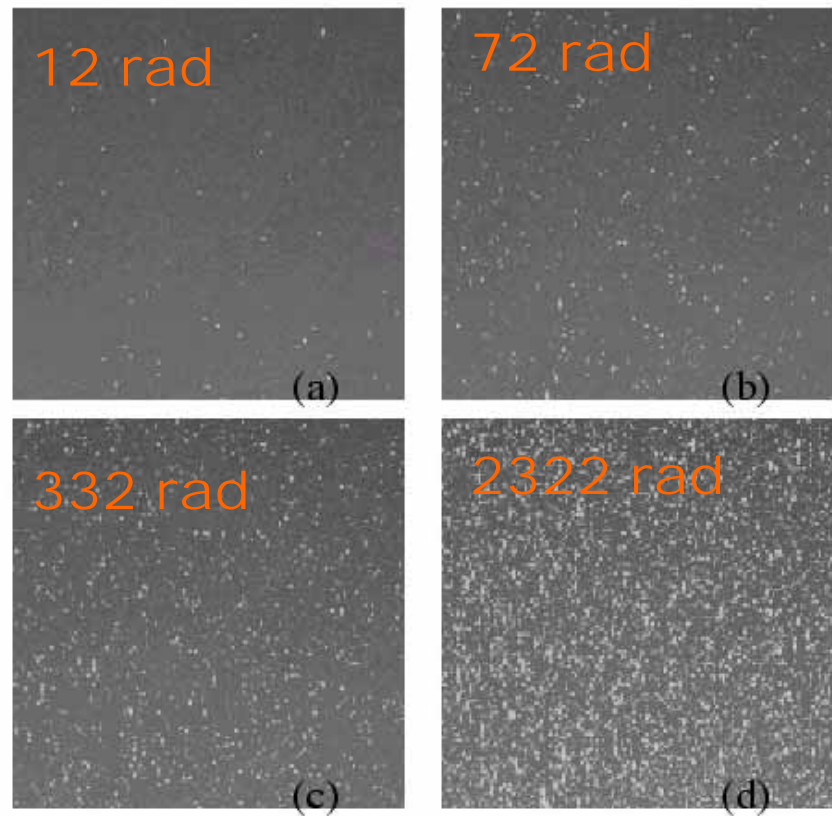
E2V CCD47-20 NIMO



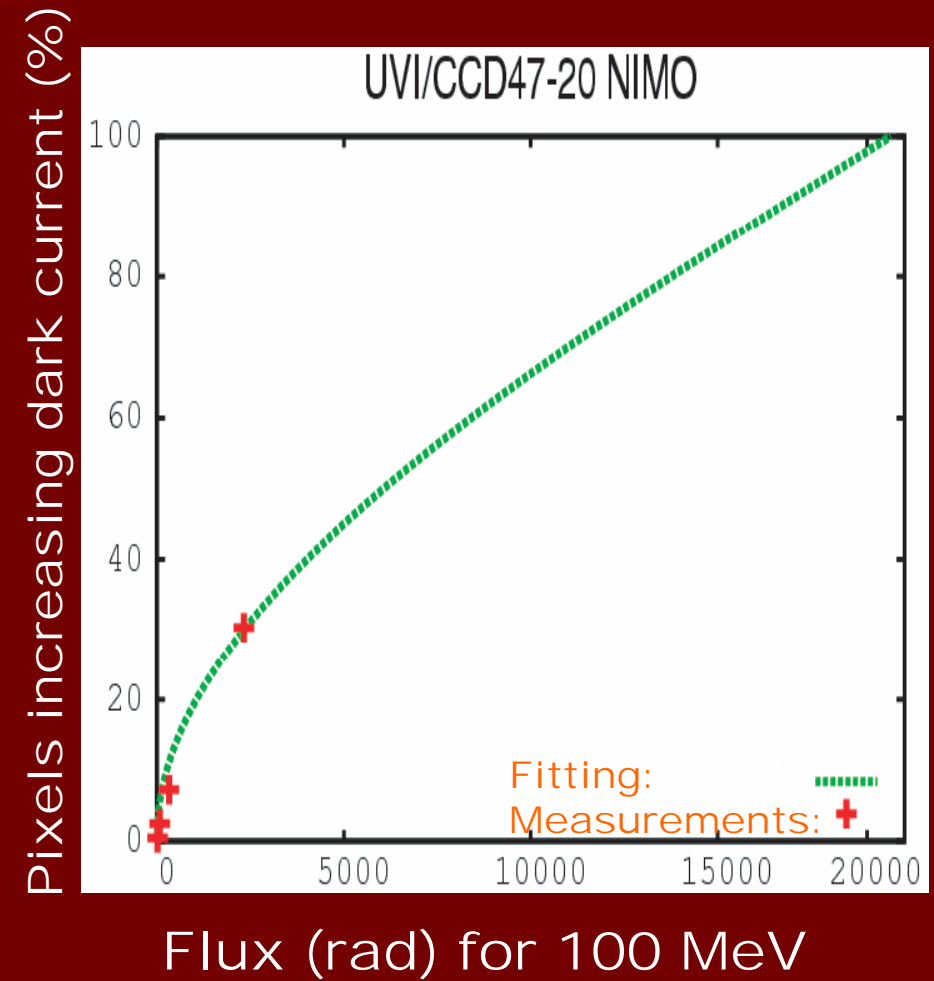
放射線試験時CCD設置模様

HIMAC(Heavy Ion Medical
Accelerator in Chiba) での照射試験の様

照射実験結果



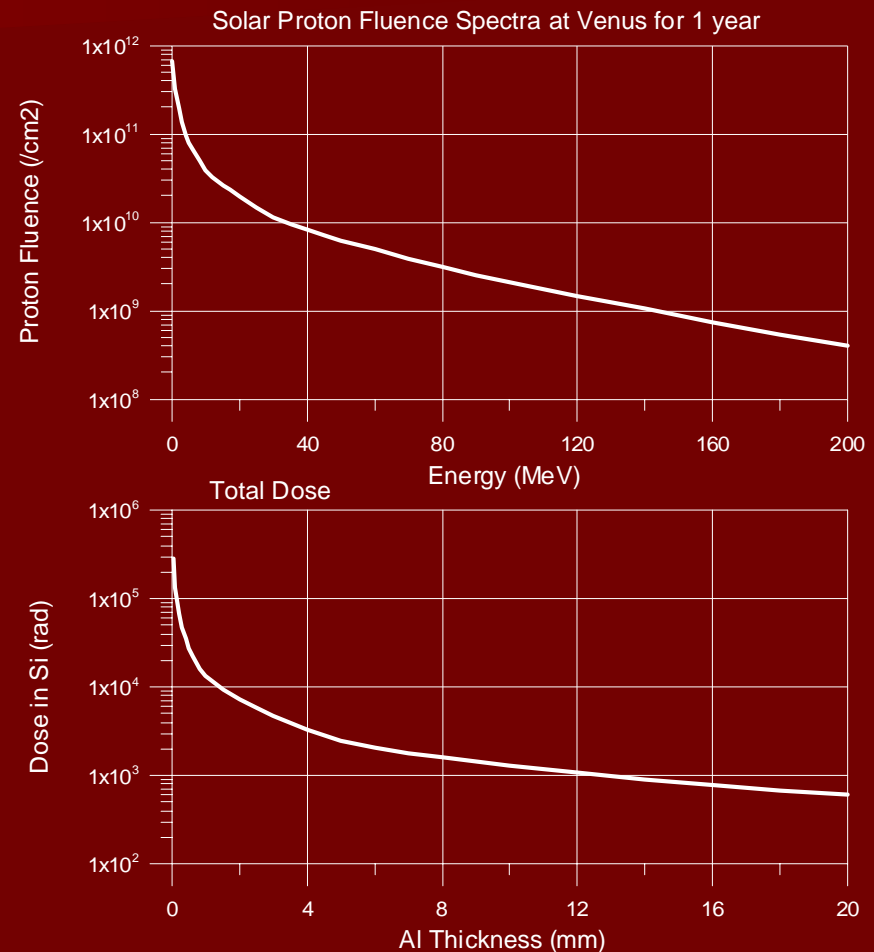
各照射量でのダークイメージの一部 (50×50 pixel). 推定吸収線量はそれぞれ (a):12.8, (b): 72.8, (c): 332.8, (d): 2322.8 rad.



放射線対策

- ミッション期間(2年)でのTotal Dose を20k Rad 以下にするためには Al 10 mm 相当
- CCD 厚み, 内部構成も考慮すると数MeV以下のエネルギーは完全に遮蔽すべき.

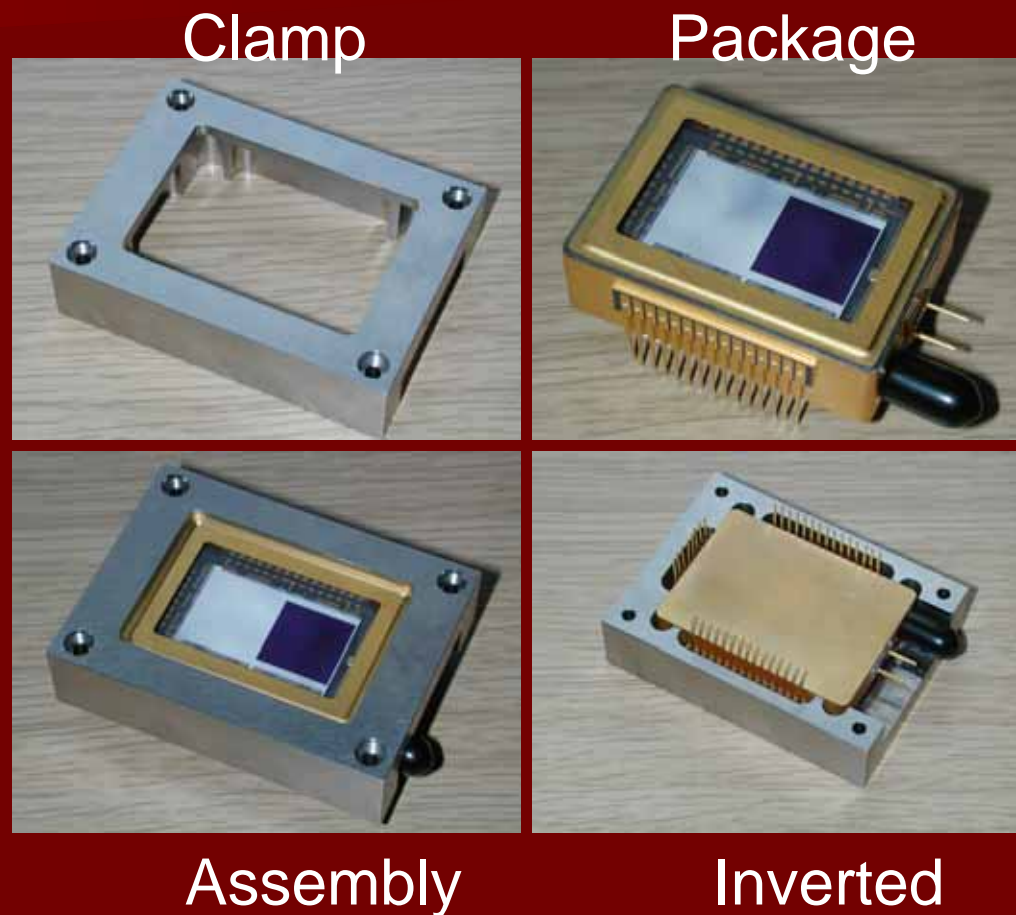
最低Al 3mm 相当厚以上の遮蔽が必要.



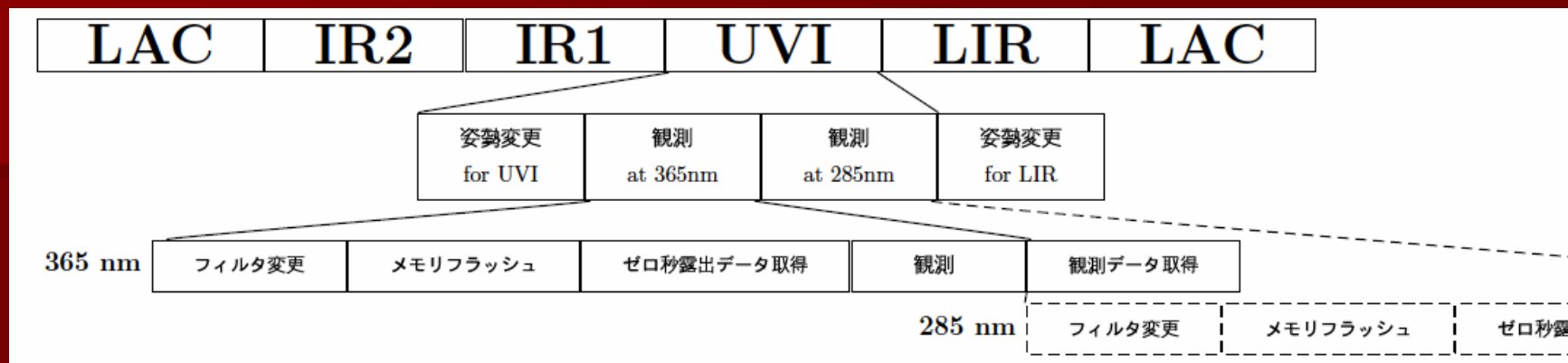
Space Environment Information System

水蒸気・ゴミ対策

- AI: 地上での運搬/組み立て時の水蒸気がCCDの感度を落としてしまう. 受光面に直接ゴミがつくとその画素は使えない.
- 対策
 - 扱いやすくするために真空パックを施す
 - 重量増だが耐放射線の役割も果たせる



観測シーケンス



- ノミナルシーケンスの検討中. SNをあげるため複数露出をすることを検討中.

データ長 (HEX)	名称	機能
00	UVI_SHUTTER_AUTO	露出時間を自動設定とする
00	UVI_SHUTTER_MAN	露出時間を手動設定とする
02	UVI_MODE_SET	露出時間, ビニング設定の一括指定
01	UVI_SHUTTER_SET	露出時間を設定する
01	UVI_BINNING_SET	ビニング設定を行う.
00	UVI_FW_ORG_FWD	フィルタホイールをホイールセンサを使用して原点復帰させる (正回転方向)
00	UVI_FW_ORG_REV	フィルタホイールをホイールセンサを使用して原点復帰させる (逆回転方向)
01	UVI_FW_MOVE	フィルタホイールを所定の位置に移動させる (仮) 0 = 原点, 1 = 282nm, 2 = 365nm, 3 = 拡散板
01	UVI_FW_FWD_MOVE	フィルタホイールの正回転方向駆動パルスを出力させる. ステップ数を引数に取る.
01	UVI_FW_REV_MOVE	フィルタホイールの逆回転方向駆動パルスを出力させる. ステップ数を引数に取る.
00	UVI_FW_STOP	フィルタホイールの駆動停止パルスを出力させる

データ量削減

- PLANET-C/地球間のダウンリンクに合わせたデータ量削減シナリオが必要となる。

- 取得画像を減らす

- 撮像回数を減らす
- 波長を一方に限る
- ビニングをする

- 衛星で前処理をした後非可逆圧縮を施す

Usuda Deep Space Station 64 m

- 32Kbps: ~ 0.5AU
- 16Kbps: ~ 0.7AU
- 8Kbps: ~ 1.1AU
- 4Kbps: ~ 1.5AU
- 2Kbps: ~ 2.2AU

主要部品調達計画

■ CCD:

- e2V社 CCD47-20 NIMO 発注済み
- FM品: 2006年9月に完成

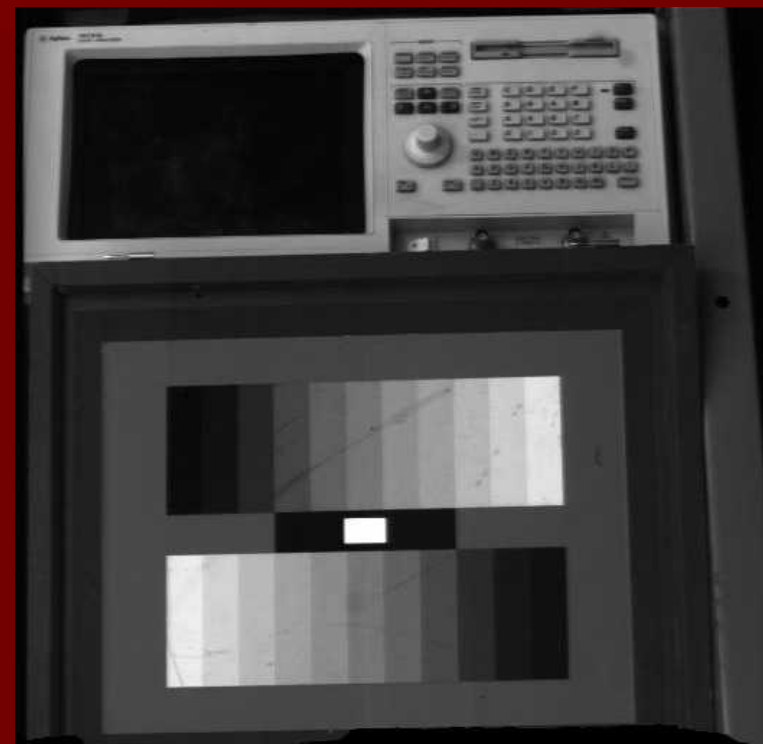
■ フィルター

- 米国Barr社特注品.
- 画像積算の可能性を検討後, 仕様をFIX

■ 多摩川精機製フィルター駆動モーター.

- ホイール振動レベル60G 再検討が必要.

UVI イメージャ部試作



2005年6月には使える状態. 現在SNをあげるための微調整中

試作イメージャ部性能評価

- 印刷基板は、形寸法、パターン共に、PFMに適用する
- 暗時のノイズレベルは良好
- SNR100は達成
- 詳細な評価(今年度)
 - － 回路系ノイズ
 - － ショットノイズ
 - － 蓄積時間と暗電流ノイズの関係
 - － 0秒露出によるスミア除去機能確認

まとめ

- 衛星計画に手をだすのは...という方
これからの金星ミッションに合わせ

(Planet-C, Venus Express 2005/10/26, VEXAG[米])

是非今のうちに理論研究を！！

– どういう解析・どういうデータがあるとうれしいのか？

- PLANET-C: 人手が不足！！

ex. UVI の場合...

- 金星用衛星風自動解析手法の確立
- CCD耐放射線解析(INDEX/MAC データの解析)
- 詳細な観測シーケンス案/ドライバプログラム作成
- 各種環境試験 etc.