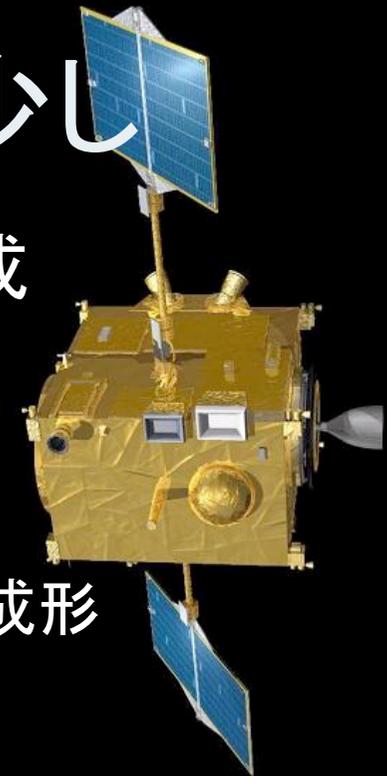


金星気象衛星PLANET-Cの データアーカイブと解析方針

今村剛(JAXA)、PLANET-Cチーム

打ち上げまであと1年と少し

- 検討開始より10年、ハードウェアはほぼ完成
- 最後の調整・試験が続く



完成形

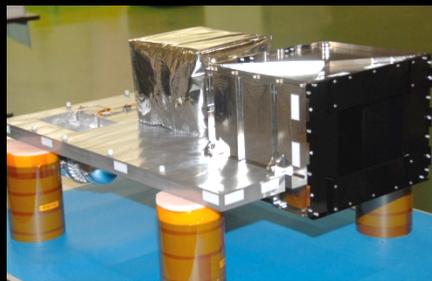


JAXA相模原キャンパスで実施中の一次噛み合わせ試験

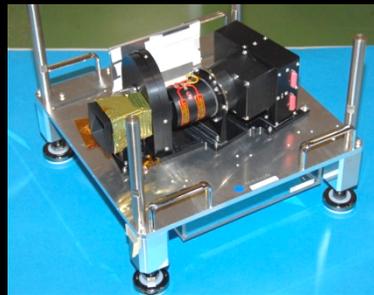
1 μ m Camera



2 μ m Camera

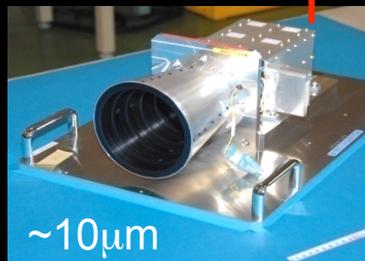


UVI

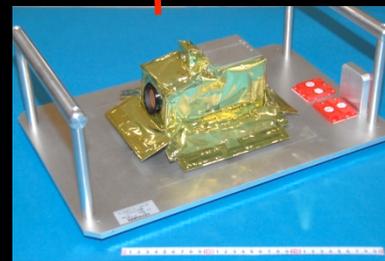


283,365nm

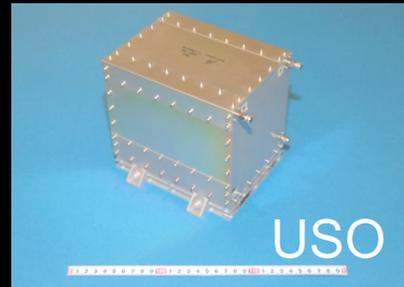
LIR



~10 μ m



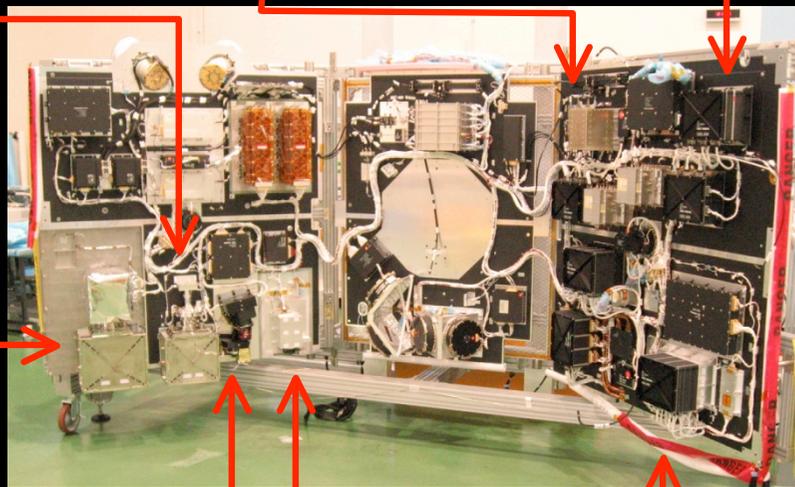
LAC
550~770nm



USO

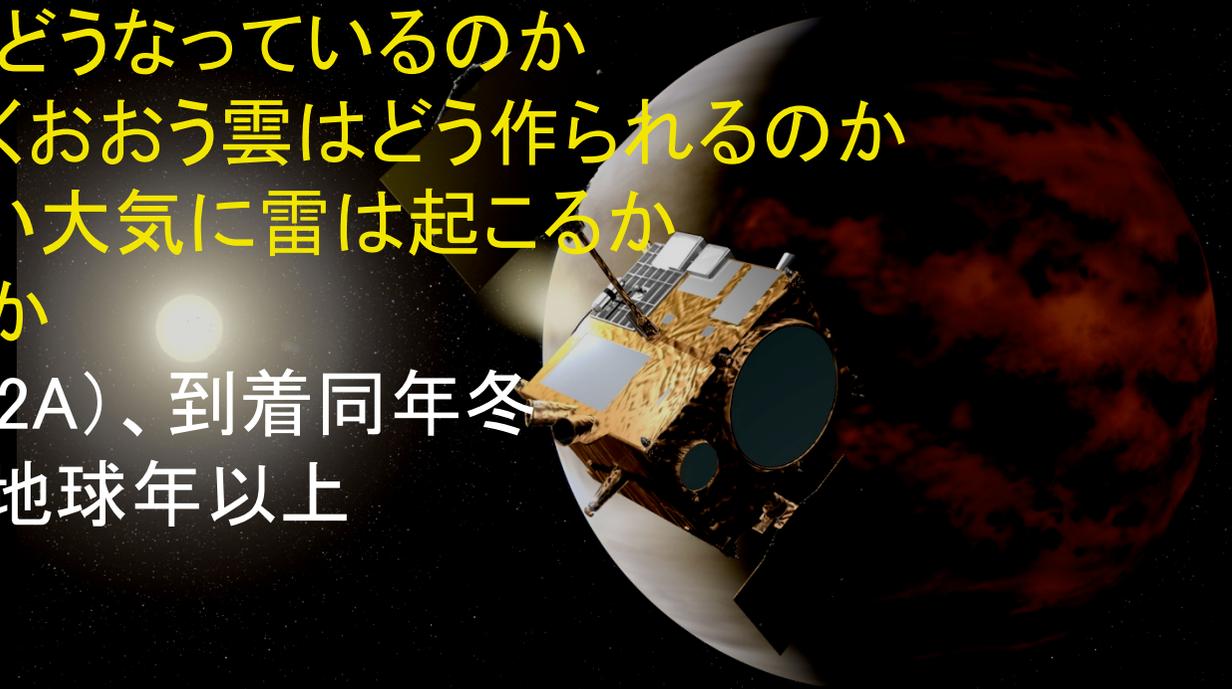


DE

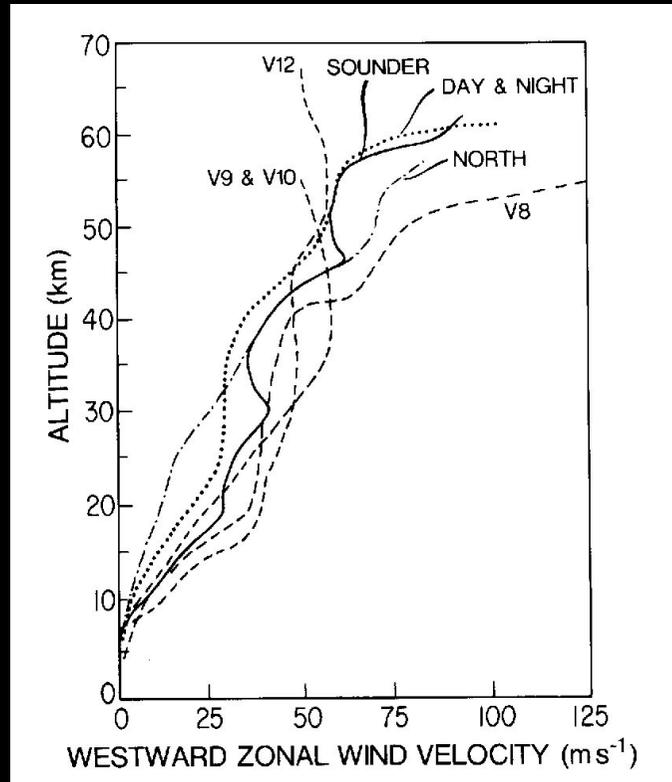


PLANET-C / Venus Climate Orbiter

- 金星周回軌道から雲の下まで透視するリモートセンシングによって地球の兄弟星の気候の成り立ちに迫る
 - 地球に無い高速大気循環「超回転」はなぜ起こるのか
 - 子午面循環はどうなっているのか
 - 全球を隙間無くおおう雲はどう作られるのか
 - 氷晶の生じない大気に雷は起こるか
 - 活火山はあるか
- 打上2010年夏(H2A)、到着同年冬
- ミッション期間 2地球年以上



金星大気の超回転(スーパーローテーション)

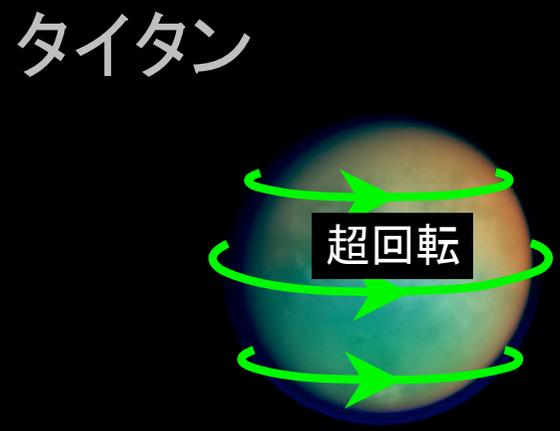
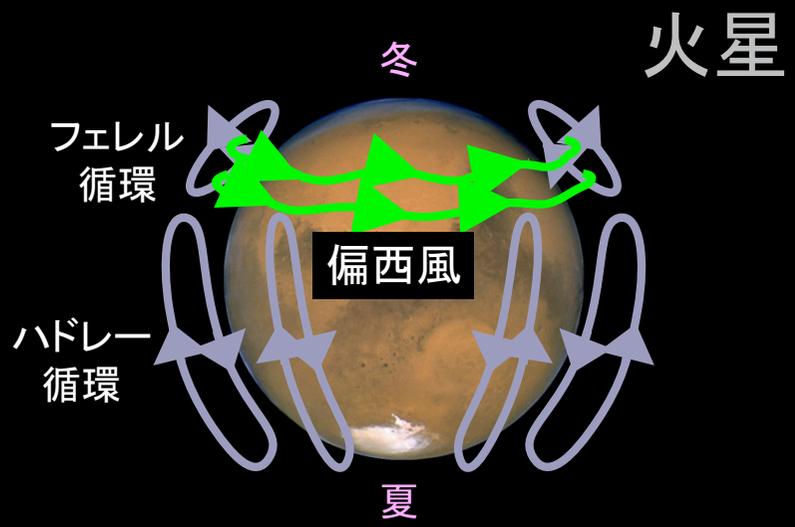
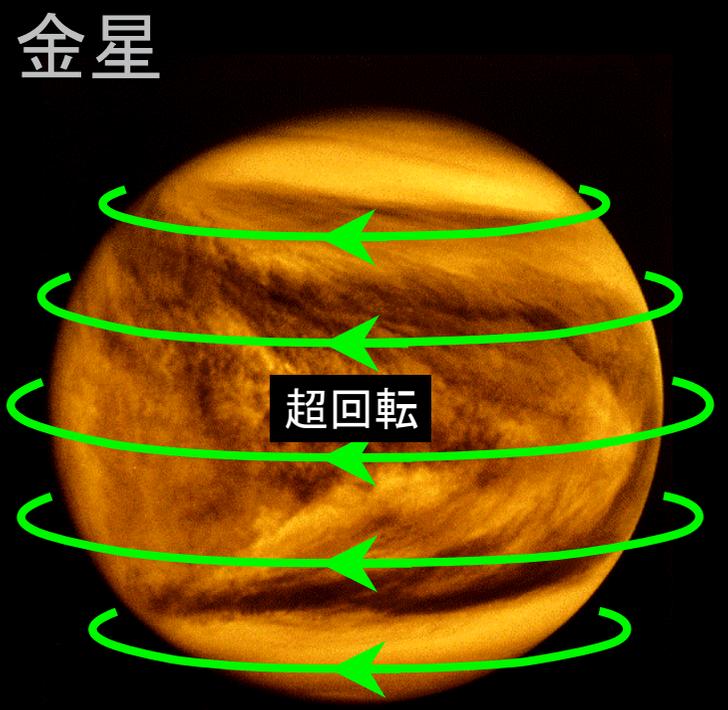
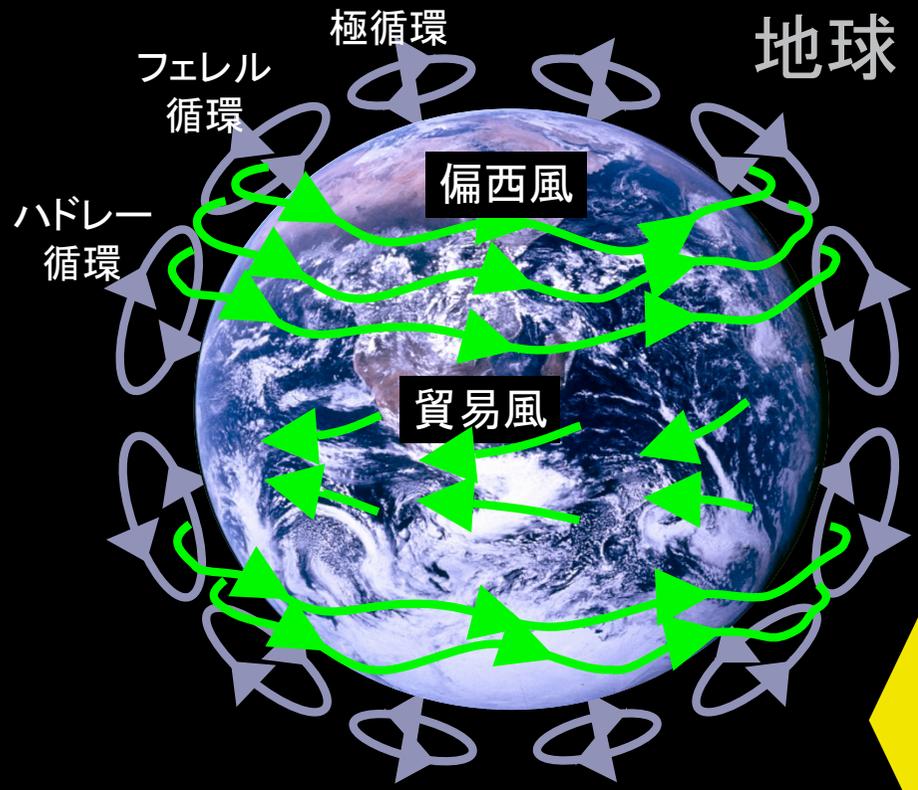


金星着陸機が降下途中で測った風速の高度分布

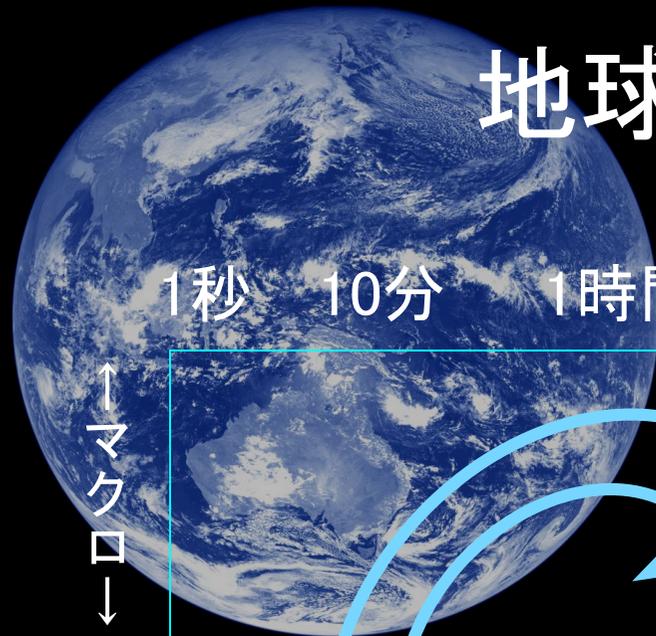


パイオニア・ビーナス探査機(米)による雲頂の紫外線連続画像

雲頂(65km)では大気が自転(周期243日)の60倍の速さで自転方向に循環

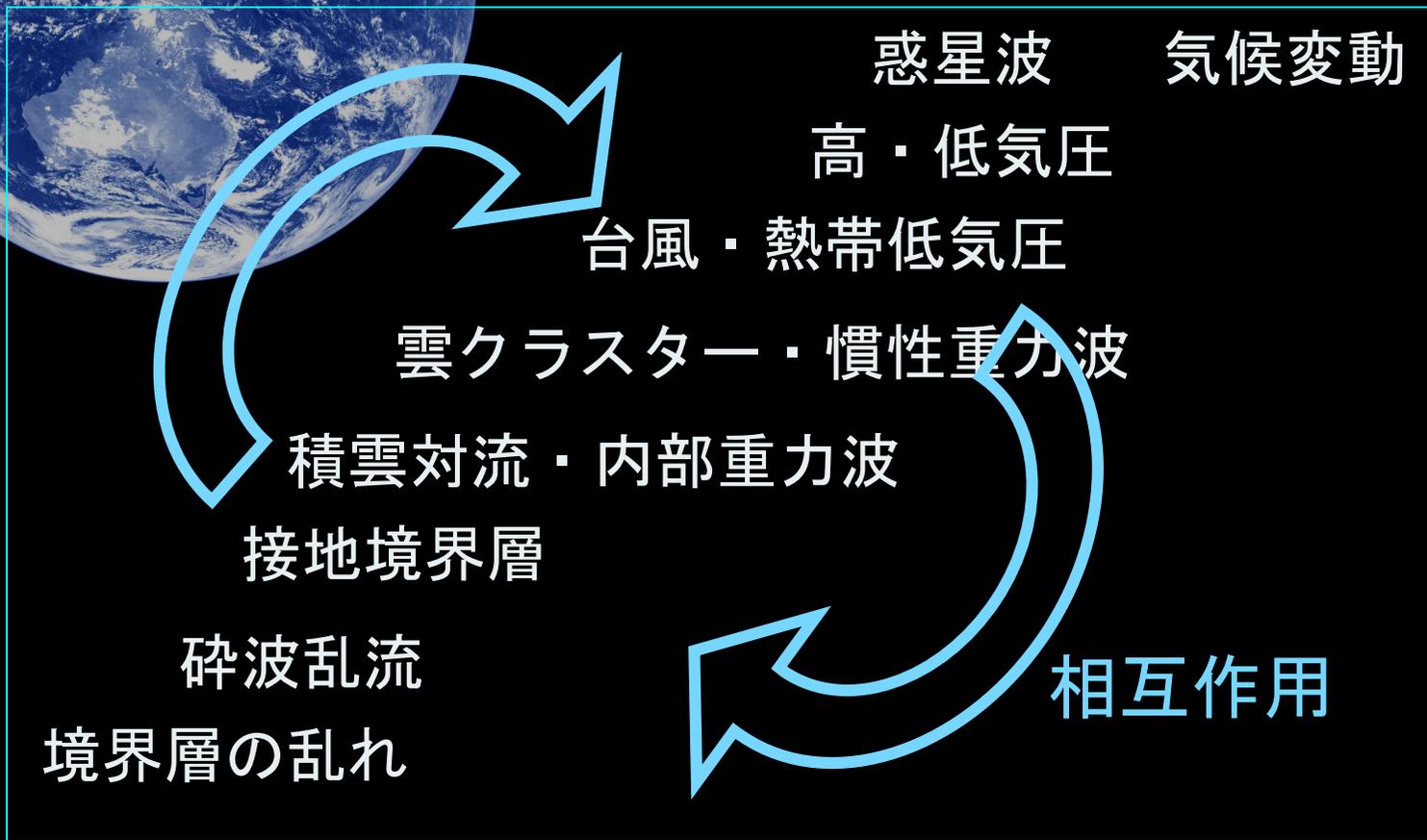


地球気象の階層構造



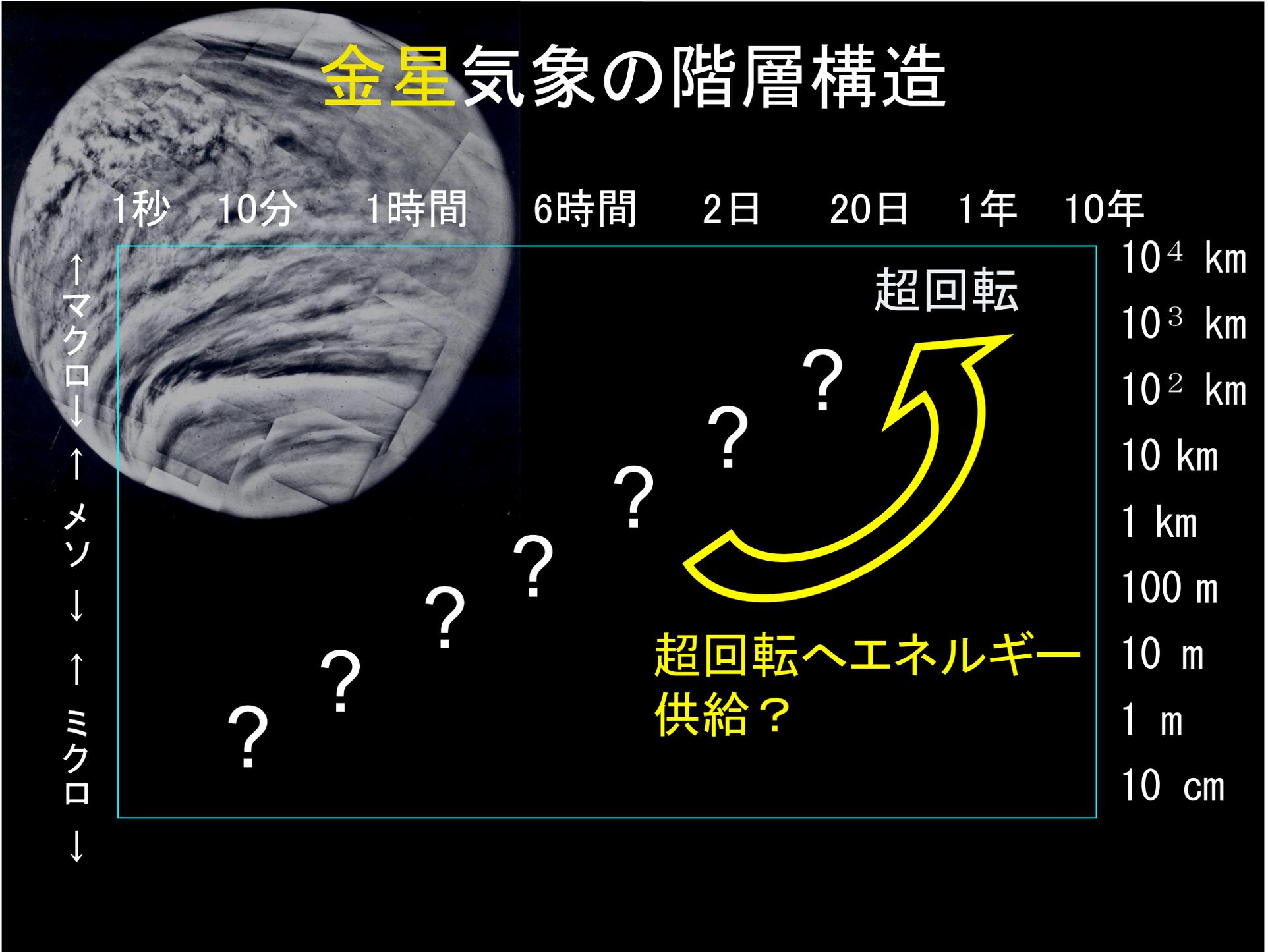
1秒 10分 1時間 6時間 2日 20日 1年 10年

↑マクロ
↓
↑メソ
↓
↑ミクロ
↓



10^4 km
 10^3 km
 10^2 km
10 km
1 km
100 m
10 m
1 m
10 cm

金星気象の階層構造



↑マクロ↓↑メソ↓↑ミクロ↓

1秒

10分

1時間

6時間

2日

20日

1年

10年

超回転

超回転へエネルギー供給?

10⁴ km

10³ km

10² km

10 km

1 km

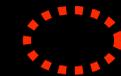
100 m

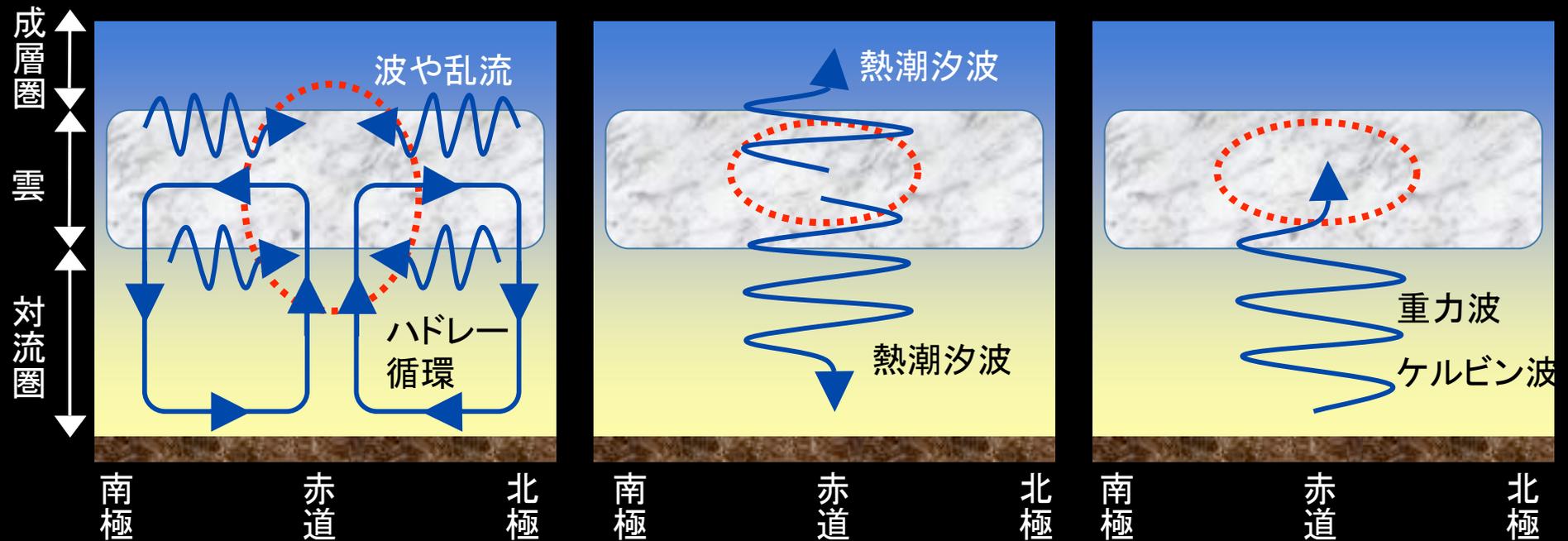
10 m

1 m

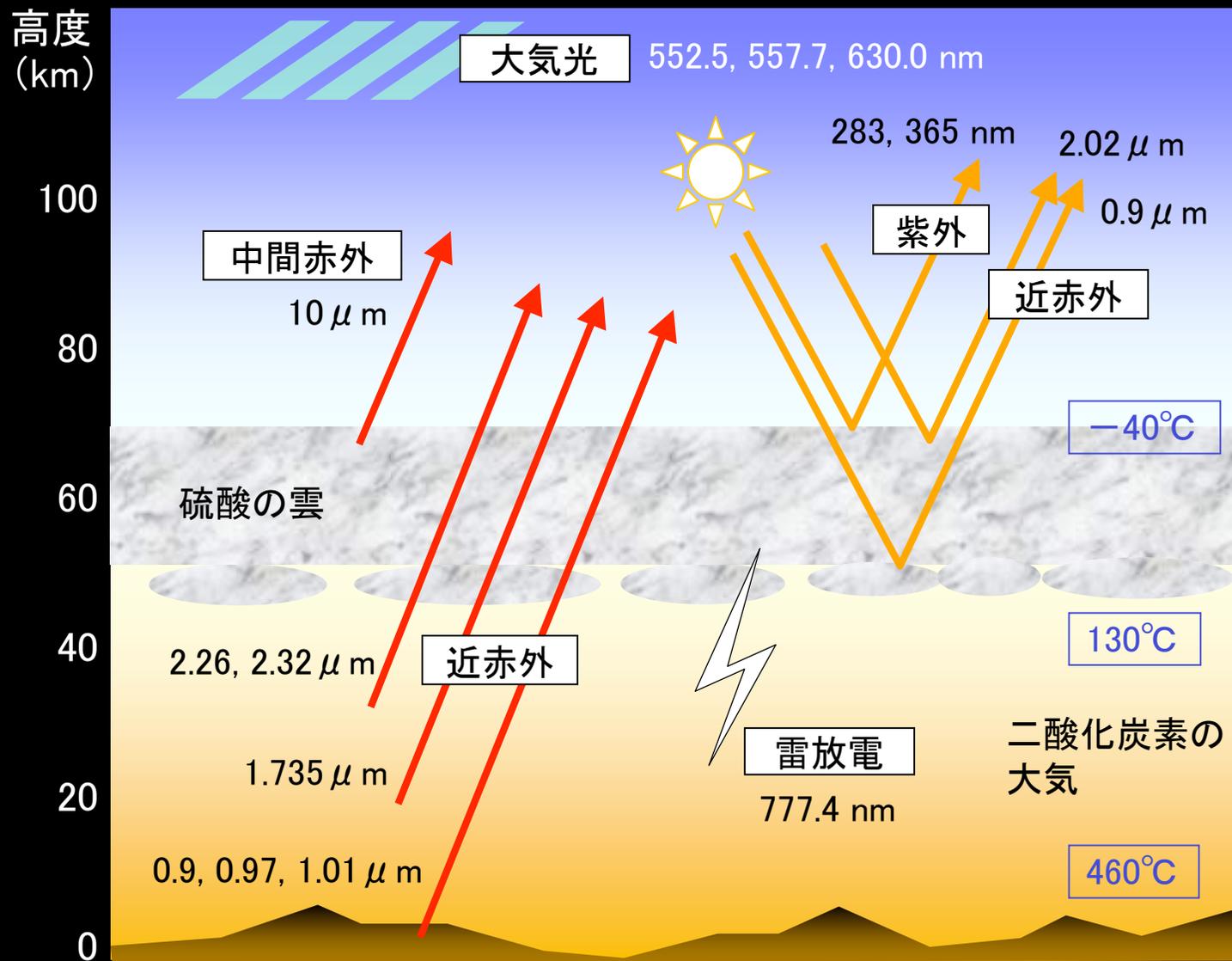
10 cm

超回転の様々な仮説

 加速域



惑星スケールの流体波動や循環の働きで固体惑星から大気上層へと角運動量が運び上げられるのに違いない

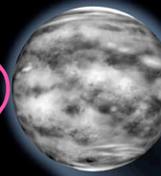


観測装置構成

全16波長

シーケンス制御
機上データ処理 DE
データ記録

中間赤外カメラ(LIR)



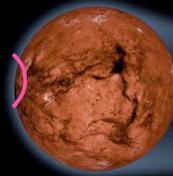
雲頂温度
雲頂高度
成層圏の循環

紫外イメージャ(UVI)



二酸化硫黄
未知化学物
質 成
層圏の循環
地表物質

1 μ mカメラ(IR1)



活火山
水蒸気

2 μ mカメラ(IR2)



下層雲
一酸化炭素
対流圏の
循環

雷・大気光カメラ(LAC)



雷発光
大気
光

地上局へ

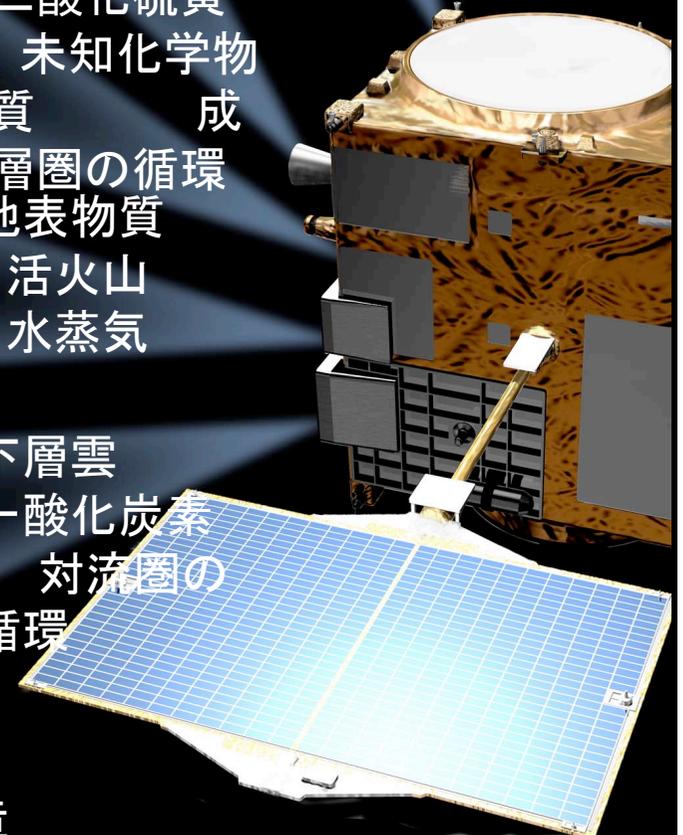
金星大気

電波

探査機
の運動

大気鉛直構造

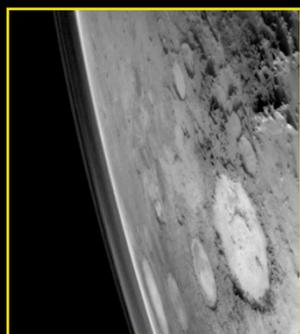
電波科学(RS)



観測機器と観測波長

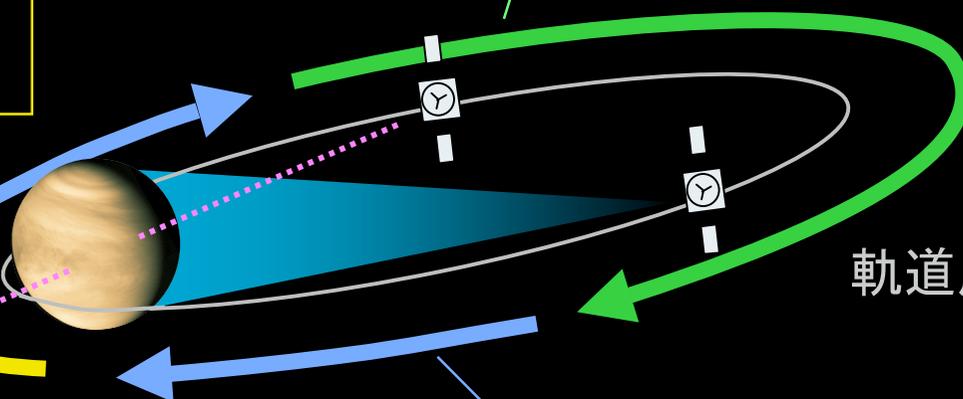
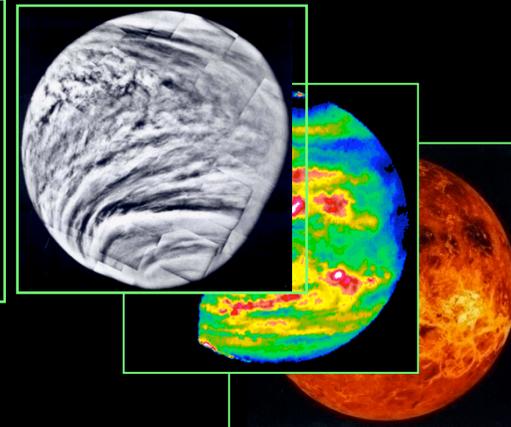
機器	視野	検出器	観測波長	波長幅	観測対象
1 μmカメラ (IR1)	12°	Si-CSD/CCD 1024 x 1024画素	1.01 μm (夜)	0.04 μm	地表面, 雲
			0.97 μm (夜)	0.04 μm	水蒸気
			0.90 μm (夜)	0.03 μm	地表面, 雲
			0.90 μm (昼)	0.01 μm	雲
2 μmカメラ (IR2)	12°	PtSi-CSD/CCD 1024 x 1024画素	1.735 μm (夜)	0.04 μm	雲, 粒径
			2.26 μm (夜)	0.06 μm	
			2.32 μm (夜)	0.04 μm	CO
			2.02 μm (昼)	0.04 μm	雲頂高度
			1.65 μm	0.3 μm	黄道光
紫外イメージャ (UVI)	12°	Si-CCD 1024 x 1024画素	283 nm (昼)	15 nm	雲頂SO ₂
			365 nm (昼)	15 nm	未同定吸収物質
中間赤外カメラ (LIR)	12°	非冷却bolometer 240 x 240 画素	10 μm (昼/夜)	4 μm	雲頂温度
雷・大気光カメラ (LAC)	16°	8 x 8 multi-anode APD (雷観測モードで は50-kHzサンプ リング)	777.4 nm (夜)	4.2 nm	OI 雷発光
			552.5 nm (夜)	4.7 nm	O ₂ Herzberg II大 気光
			557.7 nm (夜)	3.1 nm	OI大気光
			630.0 nm (夜)	3.5 nm	OI大気光
超高安定発振器 (USO)	-	-	38.225651Hz (送信周波数 8410.926MHz)	-	気温, 硫酸蒸 気, 電子密度の 電波掩蔽観測

観測計画



エアロゾル層
の鉛直構造を
横から見る

超回転に同期した衛星上から
グローバル画像を連続的に
取得 → 流体運動を動画と
して可視化 (~24時間)



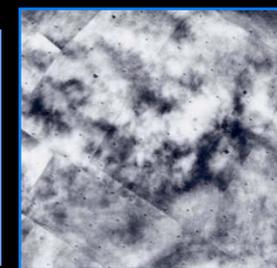
軌道周期: 30時間

地上局へ

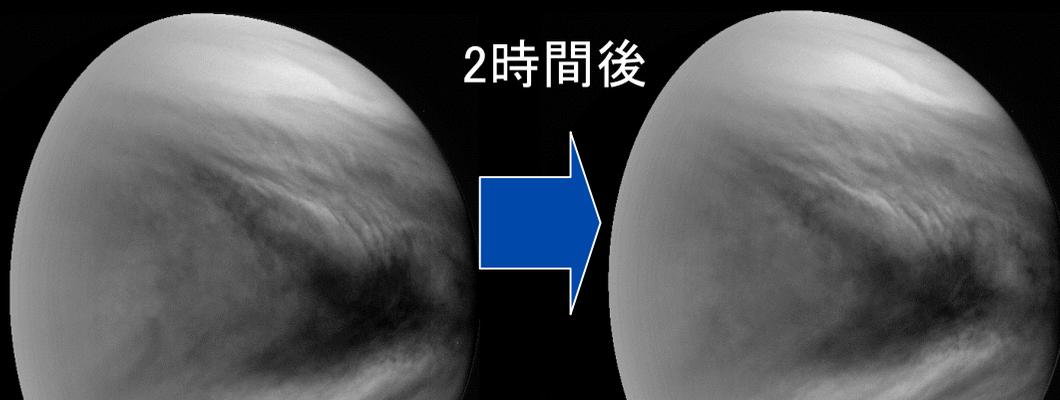


気温・硫酸蒸気・電
子密度の高度分布
を電波掩蔽観測

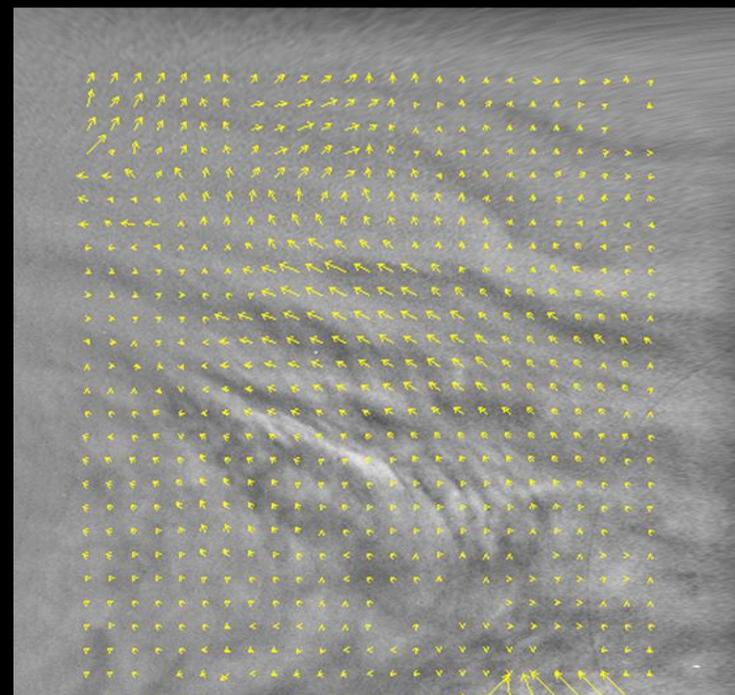
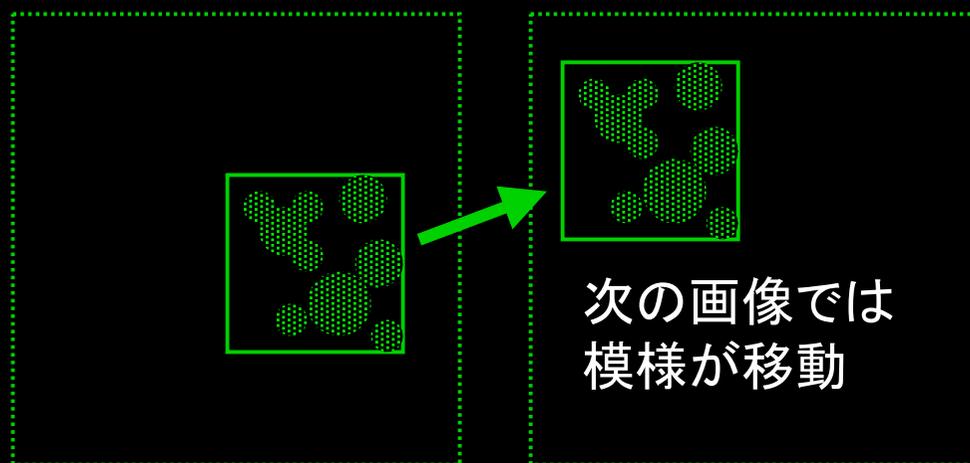
クローズアップ
立体視
雷・大気光観
測



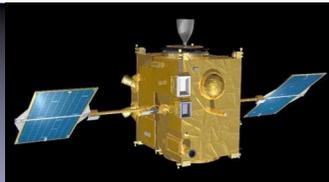
パターン追跡による風速場導出



Galileo探査機の金星フライバイ時に取得された金星の連続画像



得られた雲移動ベクトルの平均風からのずれ成分
(東大・神山による)



VCO

気温・硫酸蒸気の高度分布
(電波科学)

大気光
(雷・大気光カメラ)

二酸化硫黄
(紫外イメージャ)

雲の温度
(中間赤外カメラ)

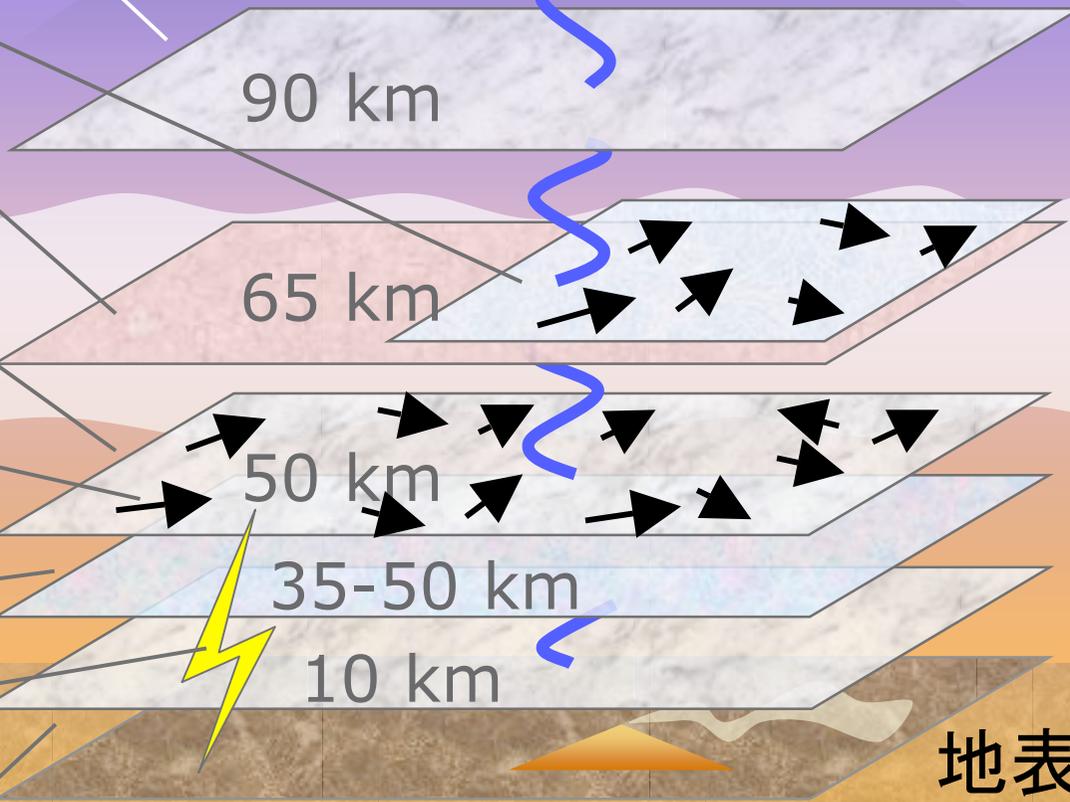
下層の雲
(1 μ m/2 μ mカメラ)

風速ベクトル
(雲の動きから)

一酸化炭素
(2 μ mカメラ)

雷放電
(雷・大気光カメラ)

水蒸気
(1 μ mカメラ)



成層圏

雲

対流圏

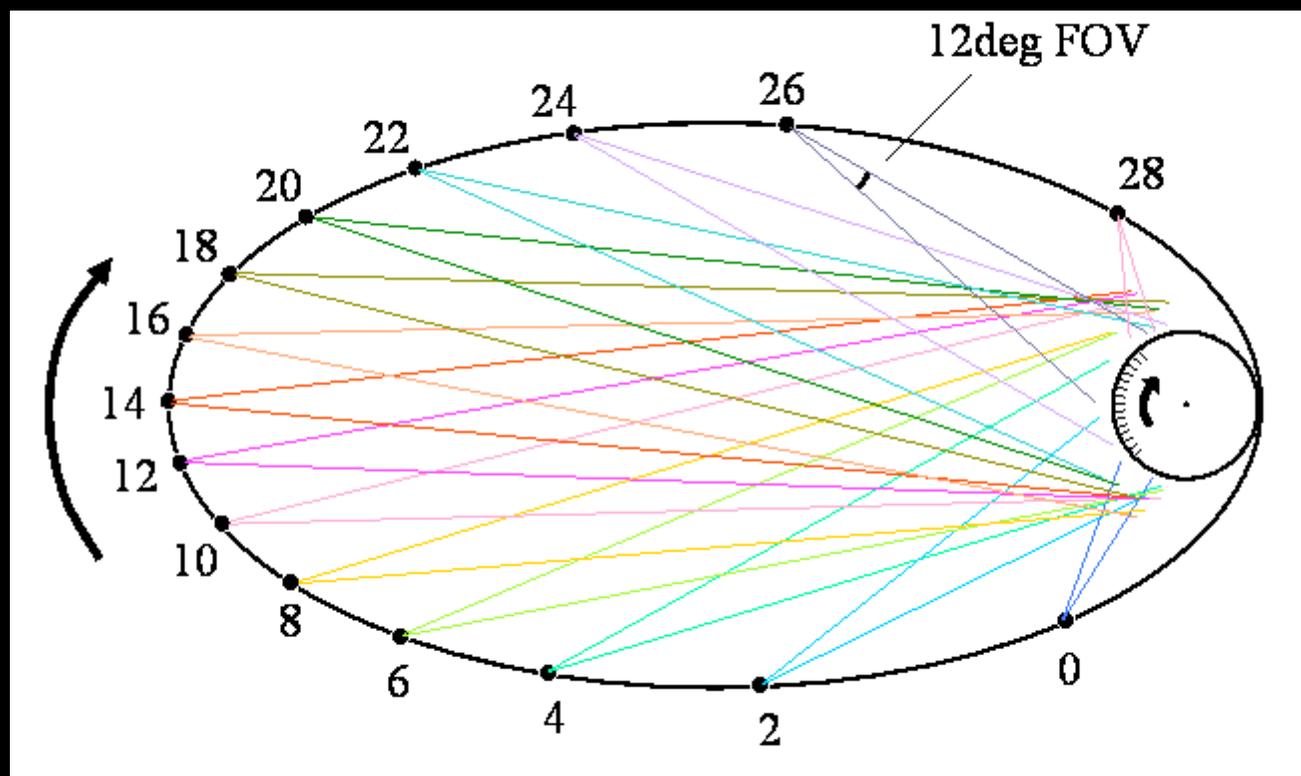
活火山・地表物質
(1 μ mカメラ)

観測モード

- 広域撮像 : 数金星半径以上離れたところから1~2時間おきに継続的に撮像し広域の時間変化をとらえる
- 雷・大気光観測 : 日陰時
- リム撮像 : 近金点付近から地平線方向を見てエアロゾルの層構造を撮影
- 近傍凝視 : 近傍から特定地域を一定時間追跡して雲の立体視や時間変化検出
- 恒星・地球観測 : 較正のために適宜
- 黄道光撮像 : クルージング中
- 電波掩蔽 : 衛星が地球からみて金星に隠れるとき

広域撮像：主観測モード

- 金星ディスクの差し渡しの半分程度以上が 12° のカメラ視野に収まる区間において、1~2時間おきに撮像観測を行って広域の大気構造の時間変化をとらえる



- 衛星が近金点を素早く通過して再び遠金点付近に来ると、雲層下部は超回転によって約 60° 、雲頂は約 100° 西向きに移動
 - 雲層下部については探査機が6周回(7.5地球日)するうちに東西1周カバー、雲頂については探査機が4周回(5地球日)するうちに東西1周カバー
 - データ量削減のために
 - 「デラックス」: 全観測波長の撮像を順次行い、全ての機上処理済みデータを可逆圧縮してデータレコーダに格納
 - 「ダイジェスト」: 雲追跡による風速ベクトル導出のために高頻度のサンプリングが必要とされる波長だけを抜き出したもの
 - 「低解像」: 全波長で撮像しつつ、ビニングなどにより解像度を落としてデータ容量を削減
- の3種類を用意
- 機上でHIREW or JPEG2000で圧縮

Galileo/SSI

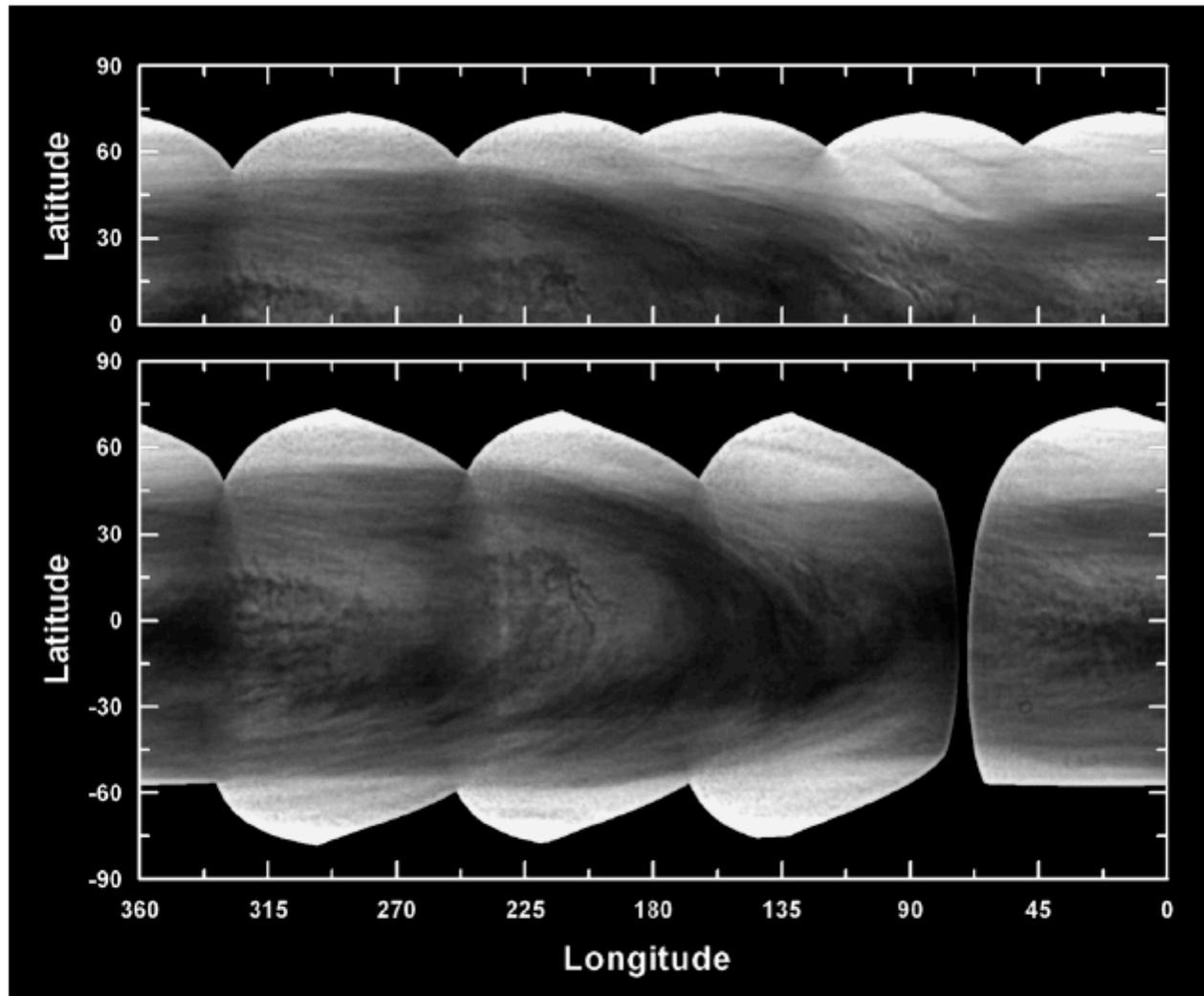
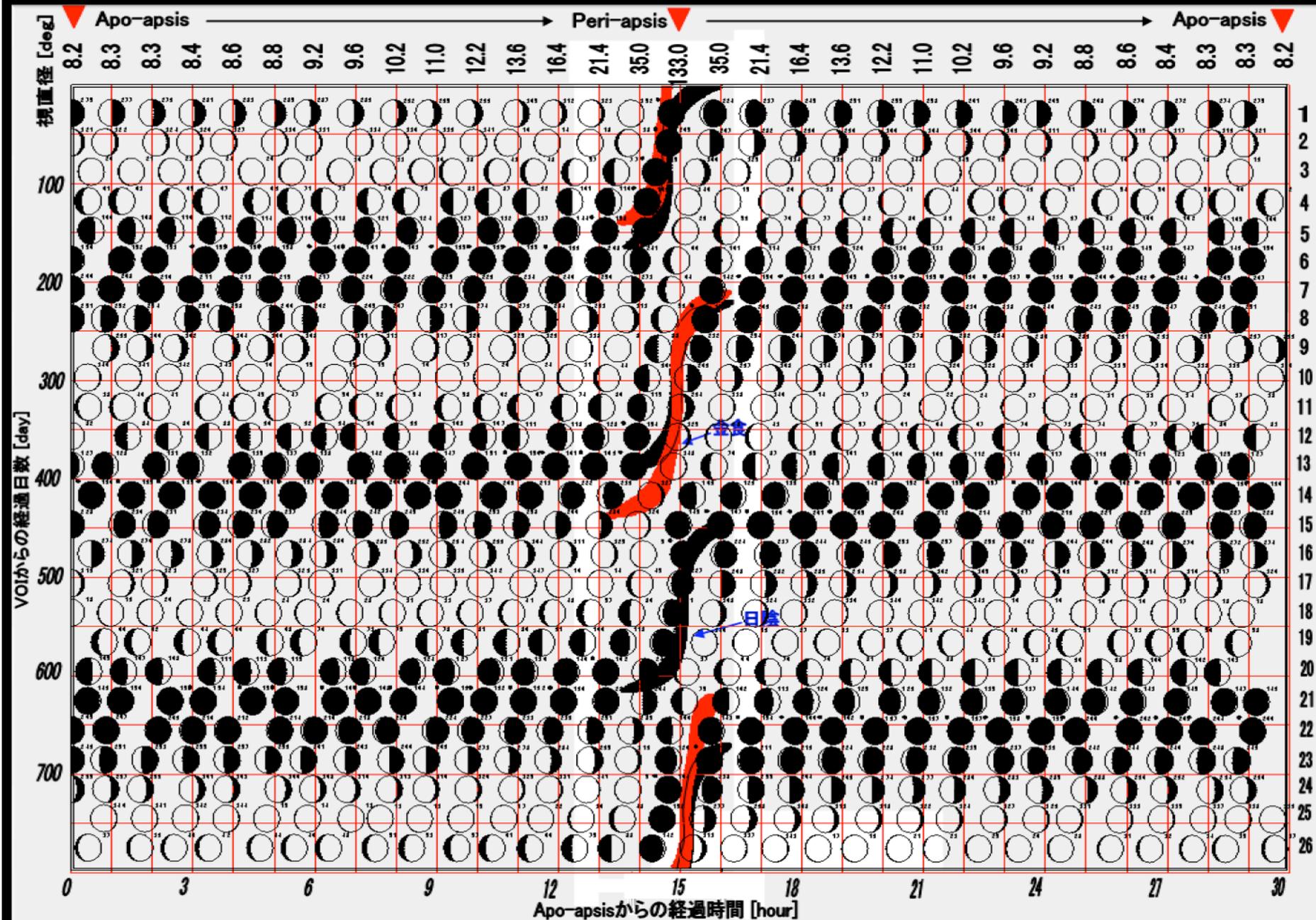


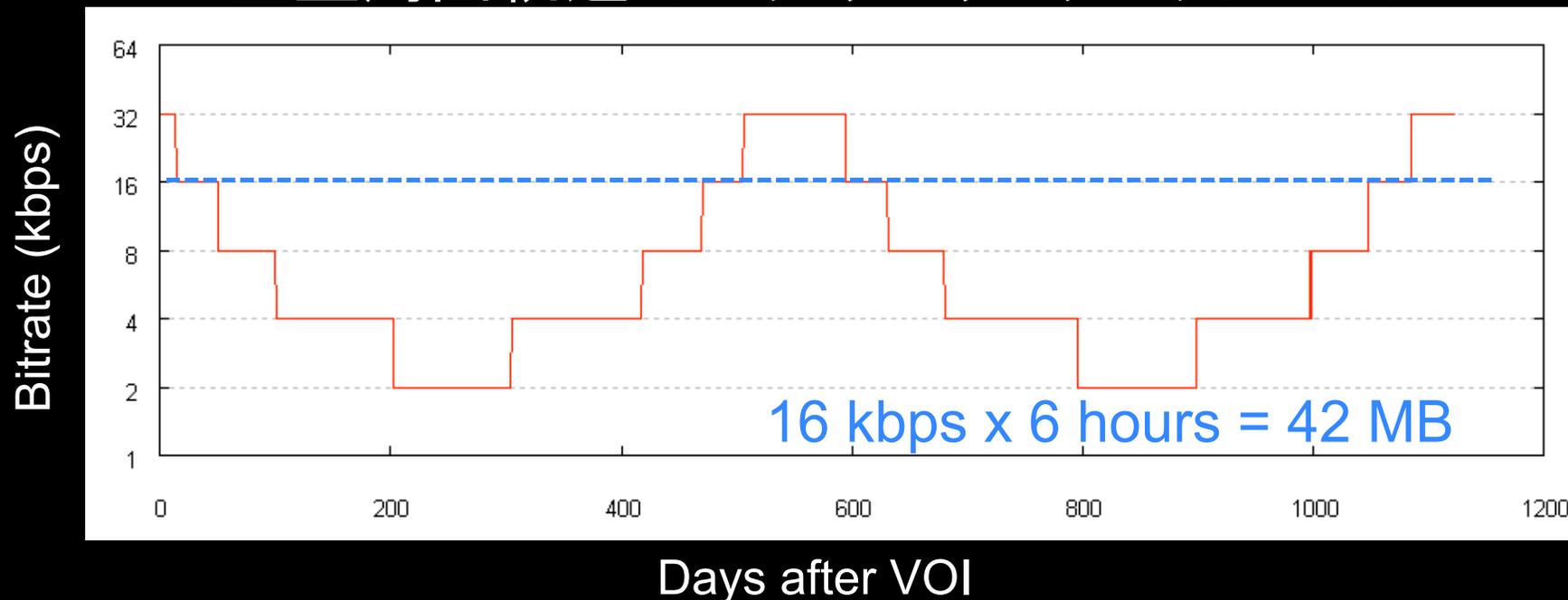
Fig. 1. Venus cylindrical map projections from Galileo images: A (up) and E (down). The first map extends 360° in longitude and covers the northern hemisphere from 0° to 50° N. The second map includes the southern hemisphere but has a small gap in longitude. Maps B, C, and D used in the study were similar to composite E. The maps are shown after contrast stretching to enhance the relative brightness of cloud features.

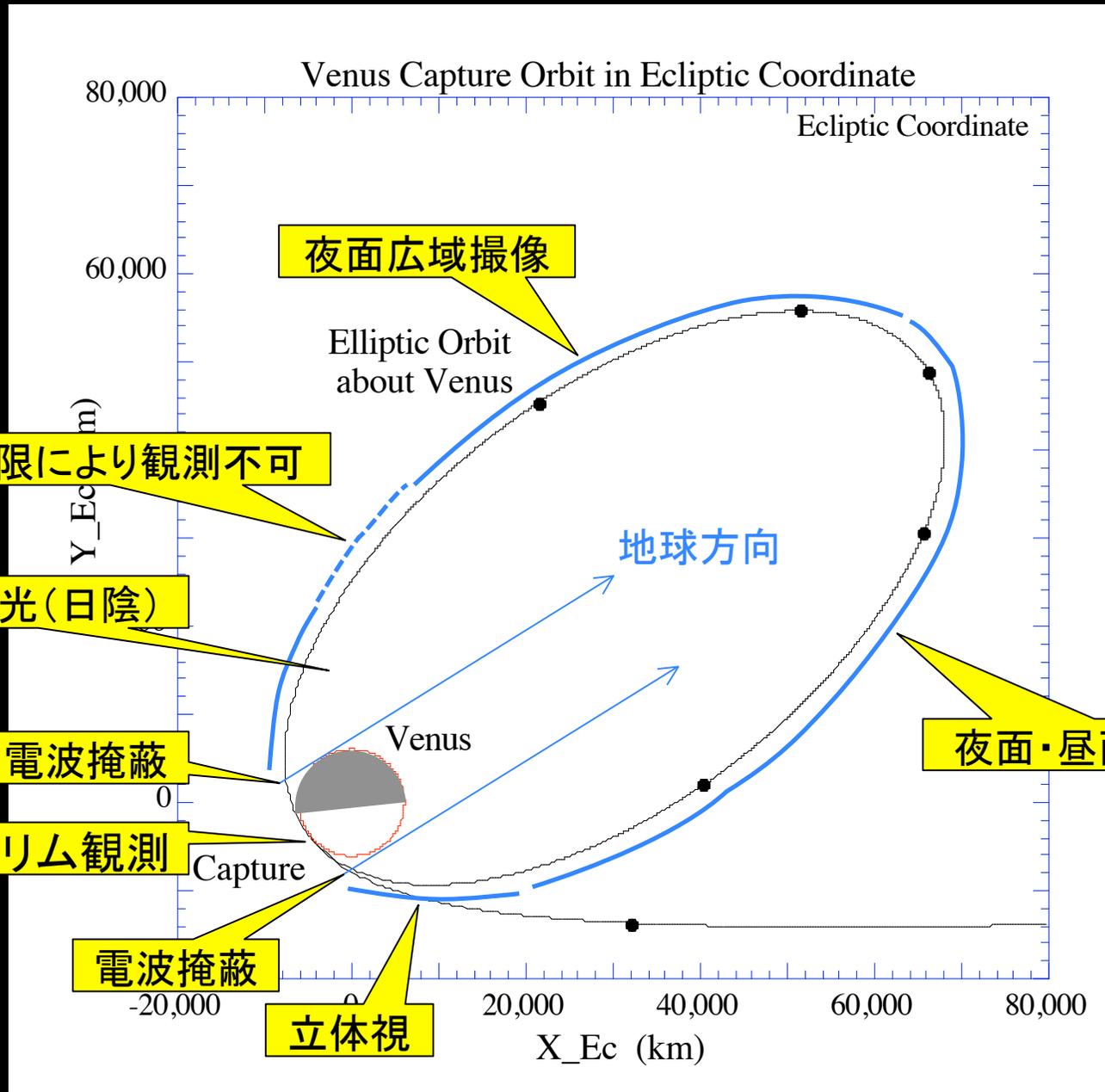


画像フォーマットと画像1枚あたりのデータ量

センサ	A/D bit数	ライン数	ピクセル数	データ量
IR1, IR2	16	1,024	1,024	2.00 MB
LIR	12	520	172	0.13 MB
UVI	12	1,024	1,024	1.50 MB

金星周回軌道でのダウンリンクビットレート





画像データの処理

- ・ 一次処理済みデータ
 - フィルター波長ごとに較正を施した輝度値
- ・ 二次処理済みデータ
 - 大気モデルに基づいて天頂角や太陽位相角について補正し、各地点での真上方向への放射輝度や反射率などに変換したもの
 - 大気の物理量、すなわち風速ベクトル、雲頂温度、雲量、微量ガス濃度など : 各画素で与えたデータファイルと、規則正しい緯度経度グリッドに落とし込んだものの、いずれか一方あるいは両方を用意
- ・ 画像ヘッダ
 - 観測装置のステータス・金星までの距離・探査機直下の金星の緯度経度・太陽との位置関係など。ジオメトリ情報はSPICEを用いて算出。
 - 衛星のテレメトリの姿勢情報の精度は1画素の精度でマッピングするには不十分であることがある。画像中の金星ディスクの縁を用いて視野方向をより正確に決定し、姿勢データを適宜アップデートする。
- ・ 緯度・経度ファイル
 - 画像中の各画素に対応する金星表面上の緯度・経度を収める。

惑星大気の画像解析の例

Venus Express/VMC & VIRTIS

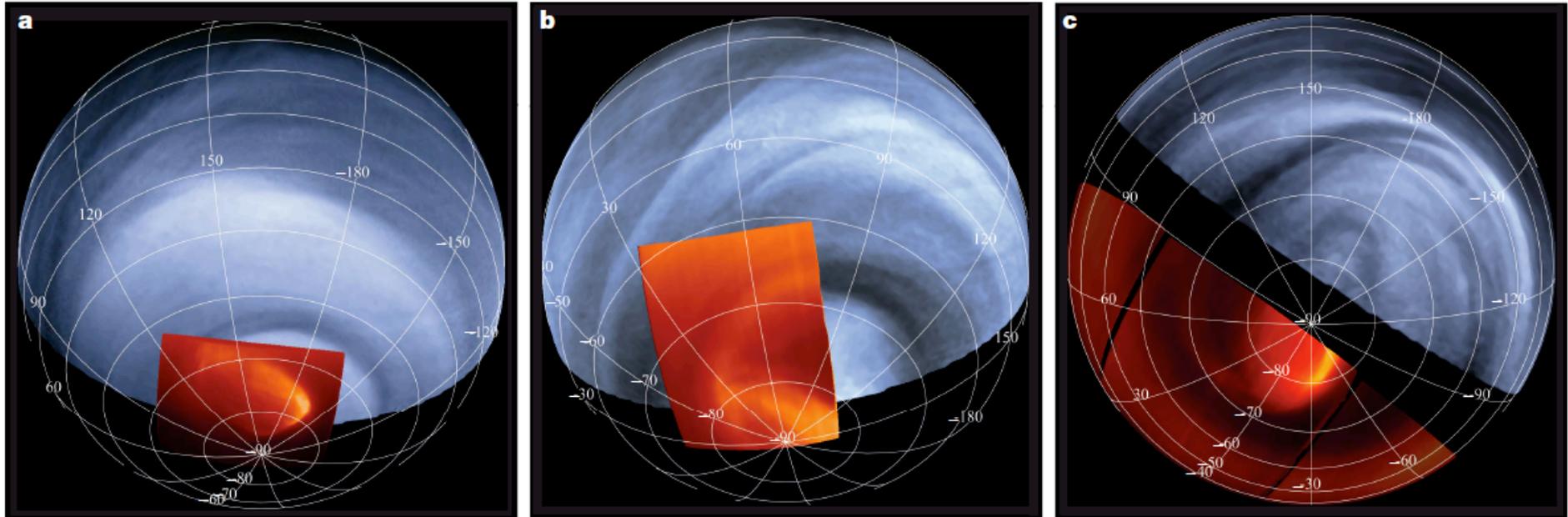


Figure 4 | Composite false colour views of the southern hemisphere. VIRTIS thermal infrared (5- μm) maps are shown as red inserts on top of simultaneously captured VMC ultraviolet (0.365- μm) images. Brightness in the thermal infrared images tracks the temperature of the cloud top. The oval feature in the inserts is the eye of the hemispheric vortex, a dynamical

structure $\sim 2,000$ km in size which is about 30 K warmer than its surroundings. The vortex eye is displaced from the south pole by about 1,000 km, has an irregular and strongly variable shape, and rotates around the pole in about 2.5 days. The atmosphere rotates anticlockwise in the figure.

Galileo/NIMS

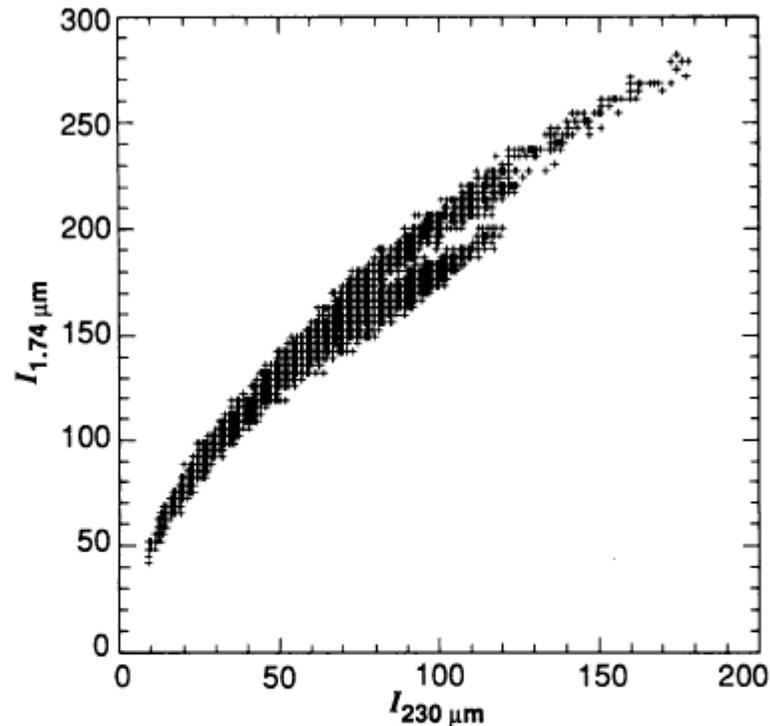


Fig. 4. Intensity scatter plots that relate the VPDIN-1 radiances at 2.30 and 1.74 μm . Intensities are in units of $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{ster}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$. We show data for the central area of Fig. 2, corresponding to emission angles less than $\sim 40^\circ$. Two distinct branches, suggesting different cloud types, are indicated in these data, a trend that persists over the entire data set.

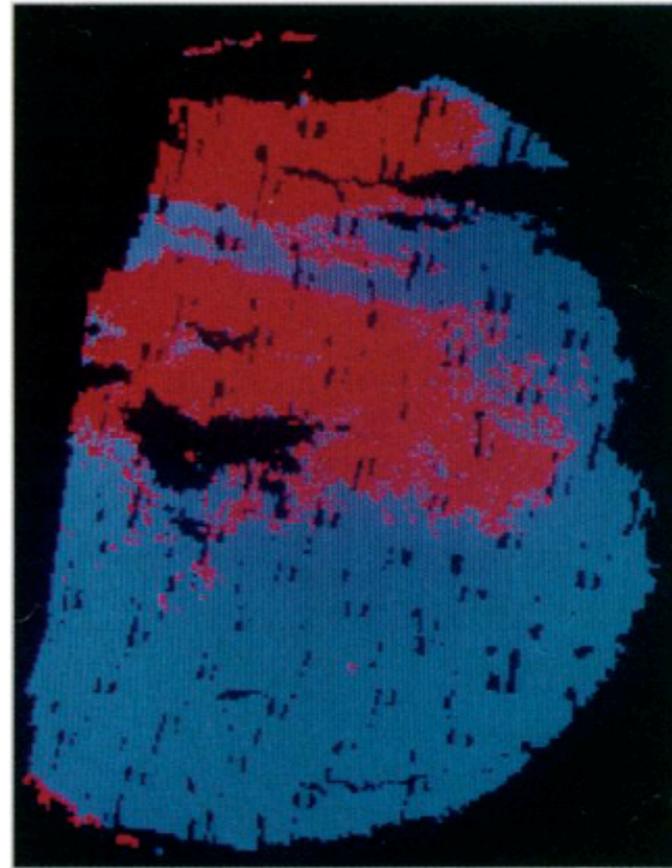
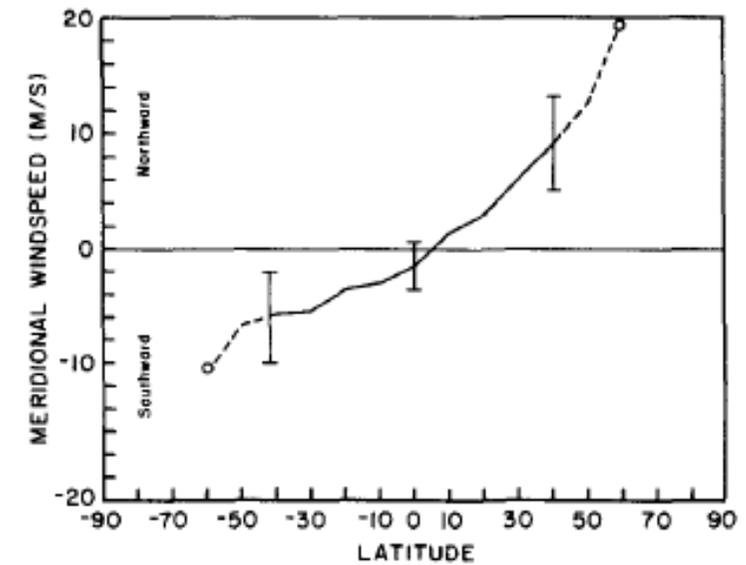
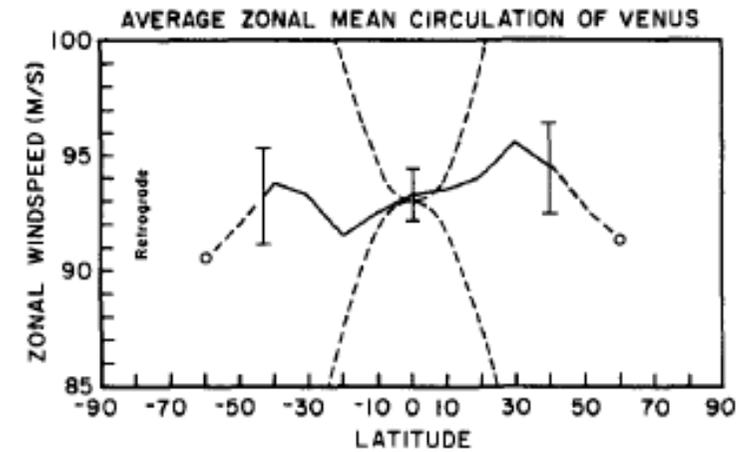


Fig. 5. A map of the two different cloud types, corresponding to the two branches indicated in Fig. 4. The upper branch of Fig. 4 is shown in red, the lower branch in blue. Low-intensity areas, for which the distinction is uncertain, are shown as dark areas. A hemispherical difference is seen, and a linear feature at $\sim 45^\circ\text{N}$ is suggested.

Pioneer Venus/OCPP



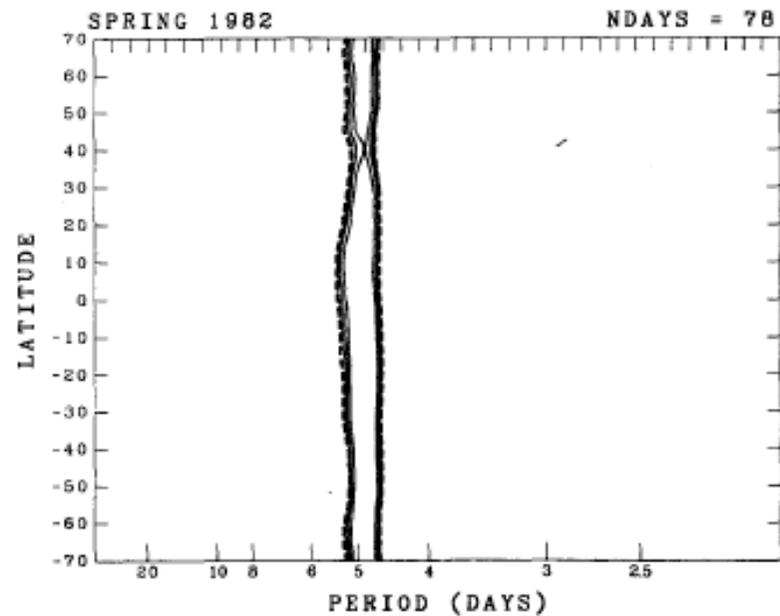
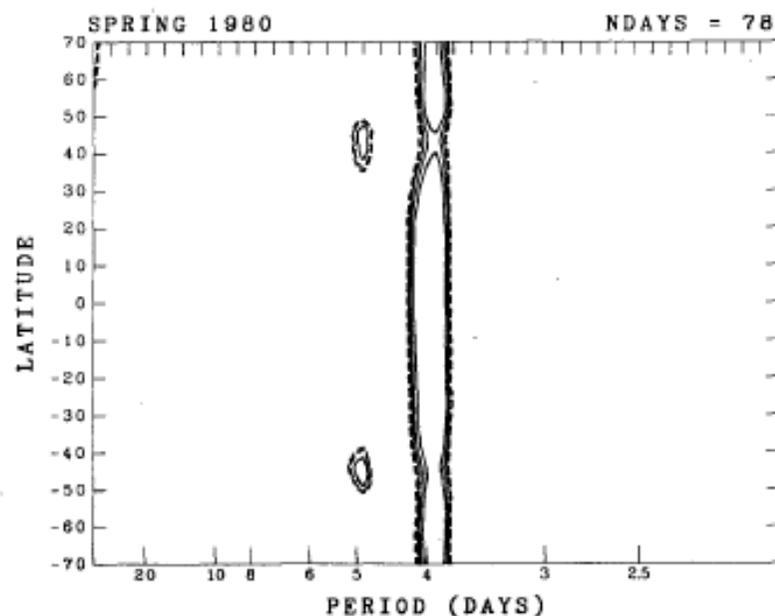
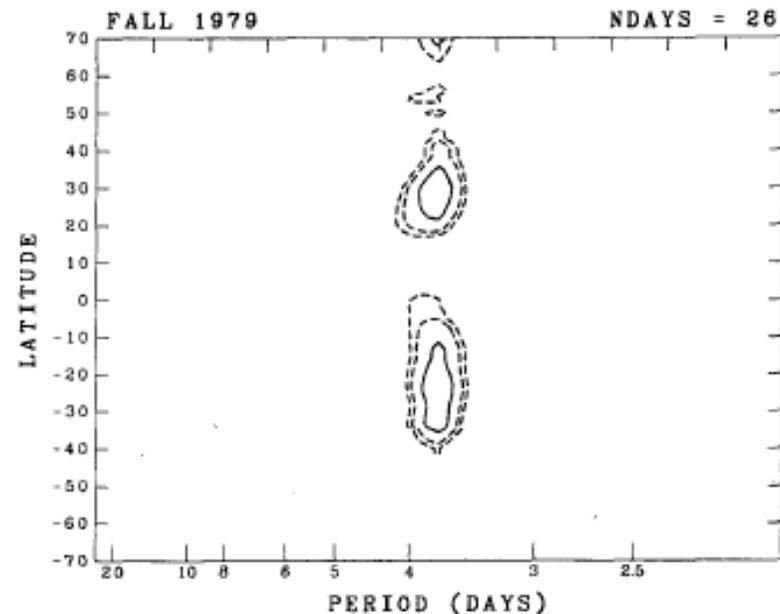
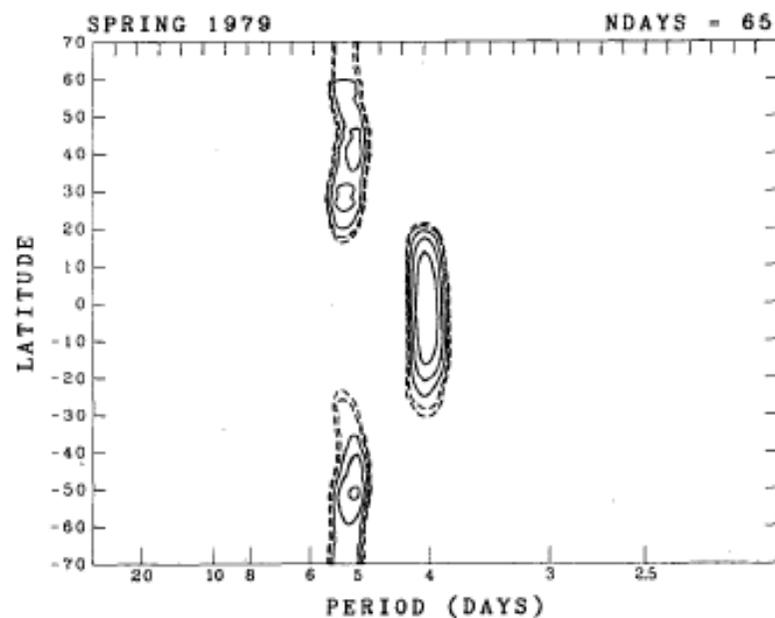


FIG. 1. Time series power spectra of UV brightness fluctuations as a function of latitude and wave period. The contours represent constant statistical significance at the 75% and 85% levels (dashed) and the 95%, 99%, and 99.9% levels (solid) with respect to a white noise spectrum for 2.6 degrees of freedom (Del Genio and Rossow 1982). Tickmarks at top indicate resolved frequencies in cycles/NDAYS. NDAYS is 1 less than the values given in Table 1 because of the Fourier analysis procedure (Rossow et al. 1980). Upper left: spring 1979; upper right: fall 1979; lower left: spring 1980; lower right: spring 1982.

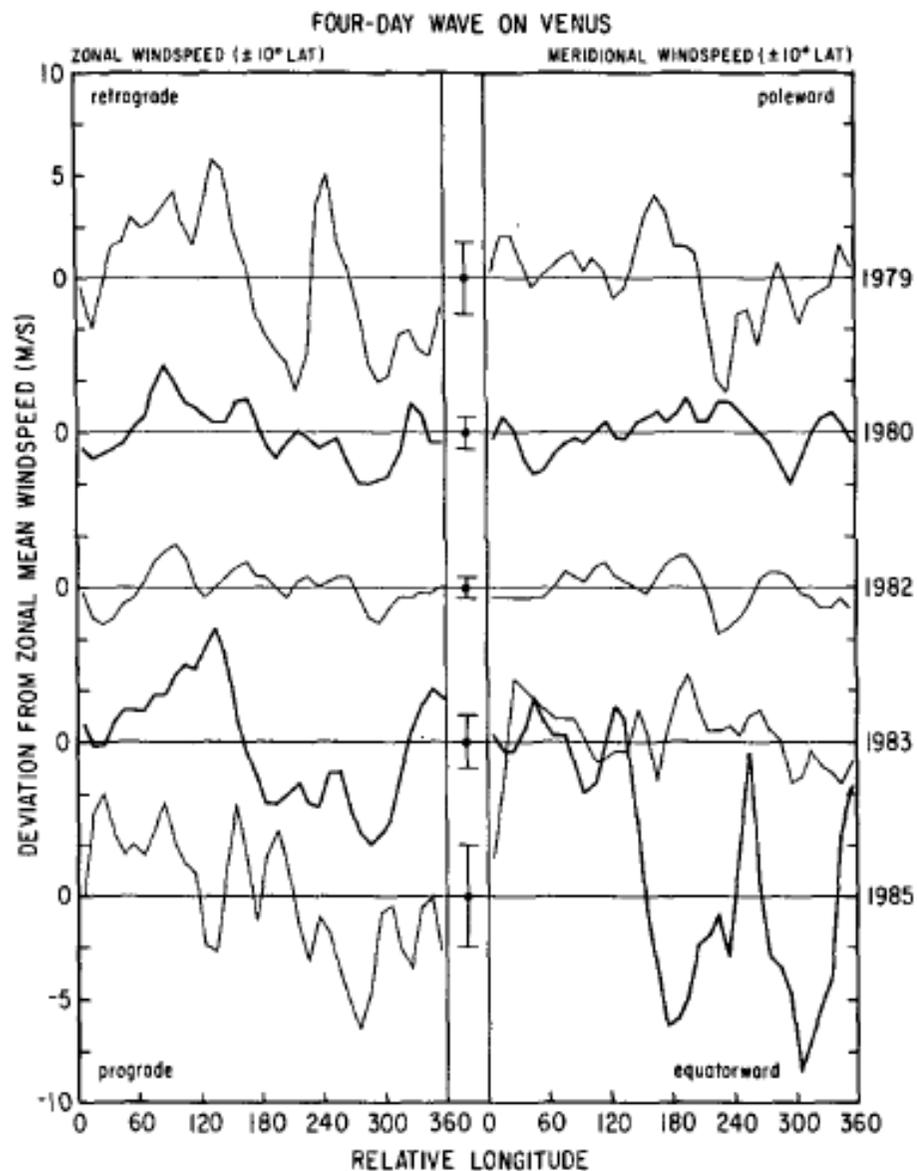


FIG. 18. Deviations of the zonal and meridional windspeeds at the equator from their respective zonal means as a function of relative longitude in a coordinate frame rotating with a 4-day period for each imaging period. See caption to Fig. 14 for other details.

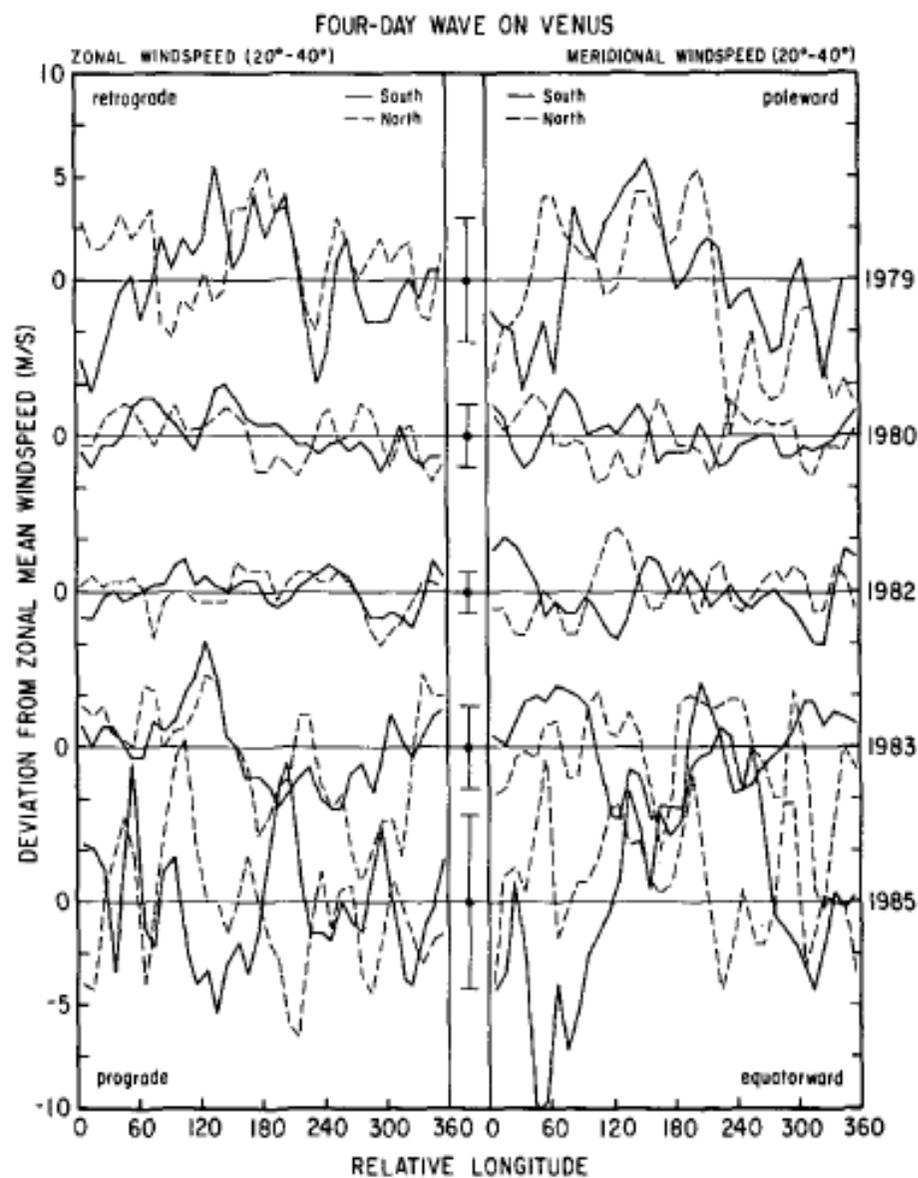


FIG. 19. Deviations of the zonal and meridional windspeeds at midlatitudes from their respective zonal means as a function of relative longitude in a coordinate frame rotating with a 4-day period for each imaging period. The solid lines show the values for the southern hemisphere and the dashed lines show them for the northern hemisphere. See caption to Fig. 14 for other details.

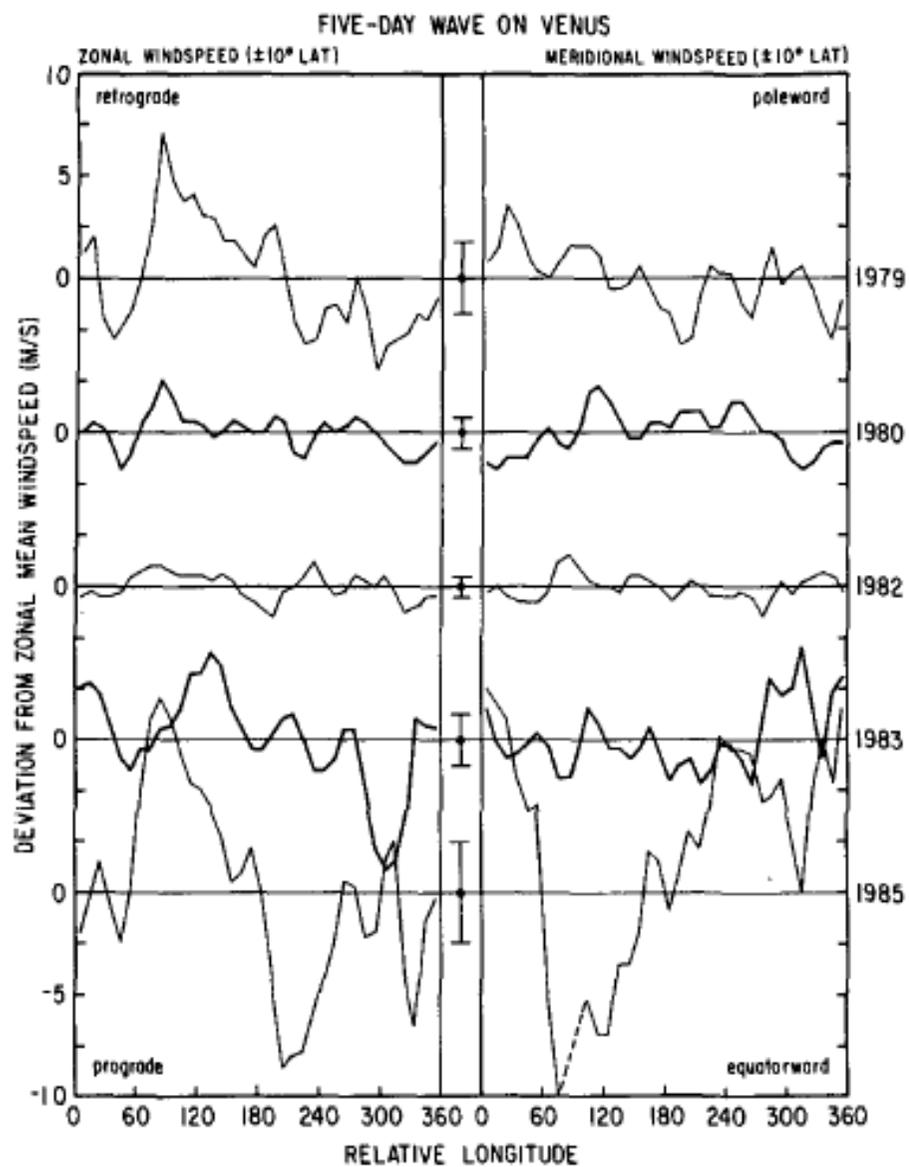


FIG. 20. As in Fig. 18 but for a coordinate frame rotating with a 5-day period.

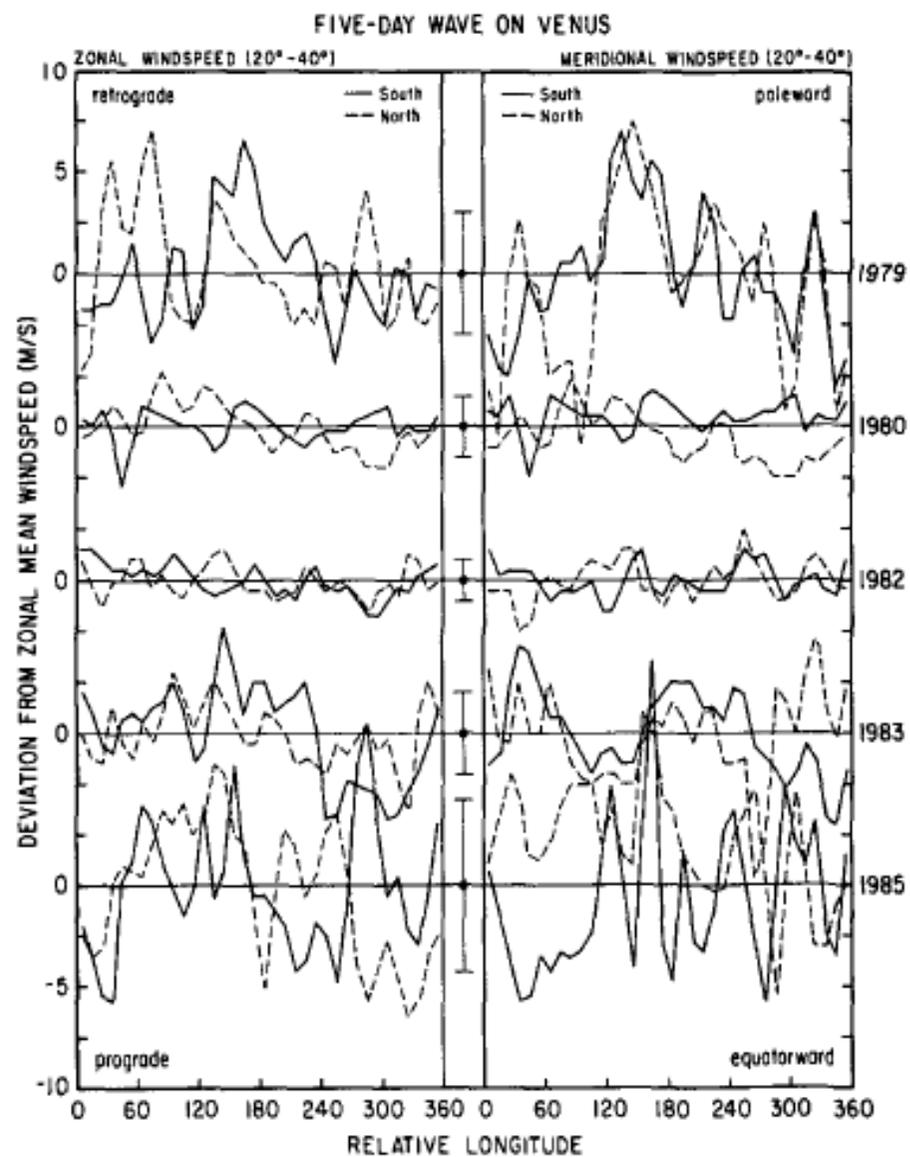


FIG. 21. As in Fig. 19 but for a coordinate frame rotating with a 5-day period.

Laplaceの 潮汐方程式の解 (の一部)

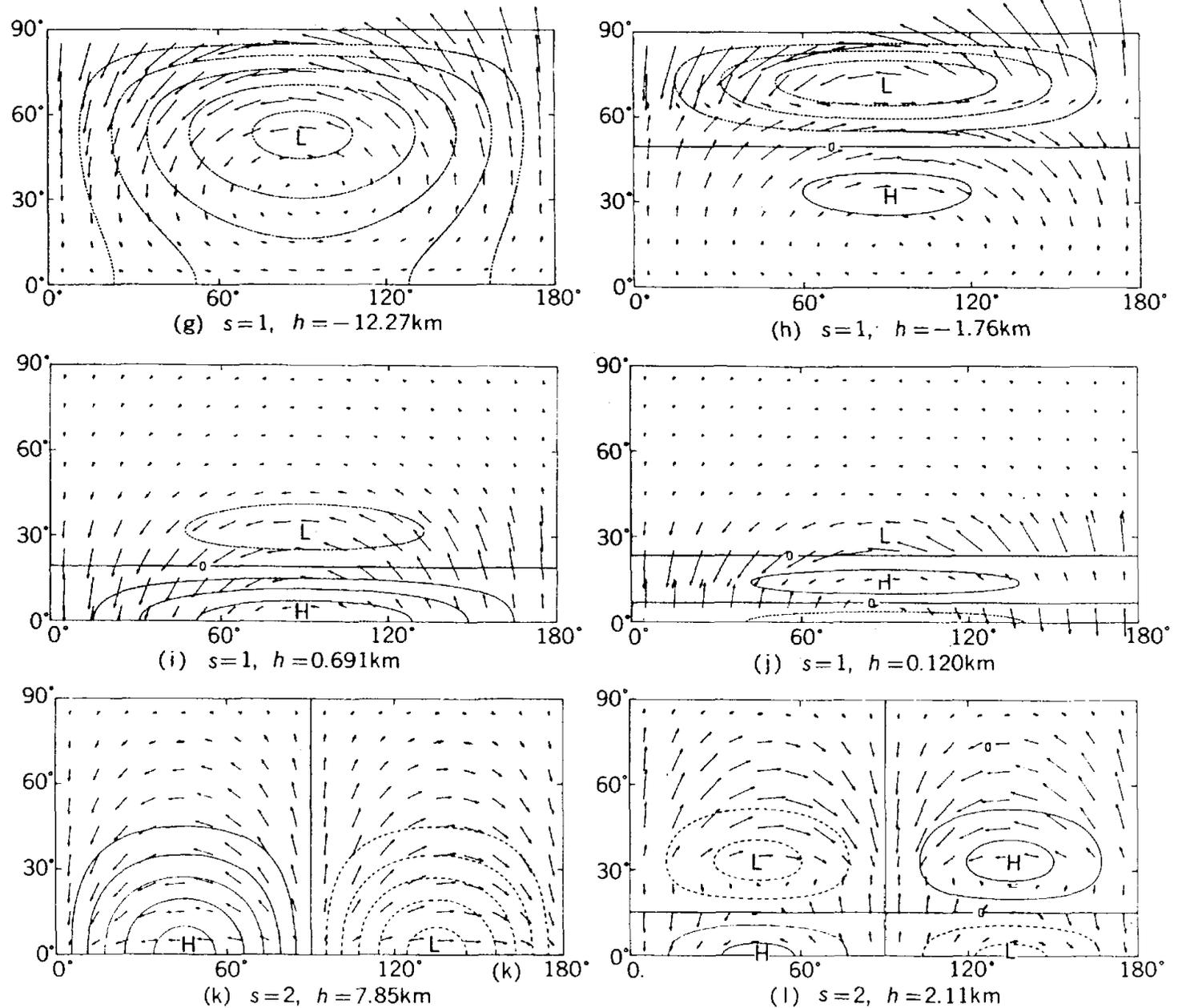


図 5.12 (g) 1日潮, 負の h をもつ基底モード.
 (i) 1日潮, 正の h をもつ基底モード.
 (k) 半日潮, $s=2$, 基底モード.

(h) 1日潮, 負の h をもつ次のモード.
 (j) 1日潮, 正の h をもつ次のモード.
 (l) 半日潮, $s=2$, 次のモード.

Galileo/SSI

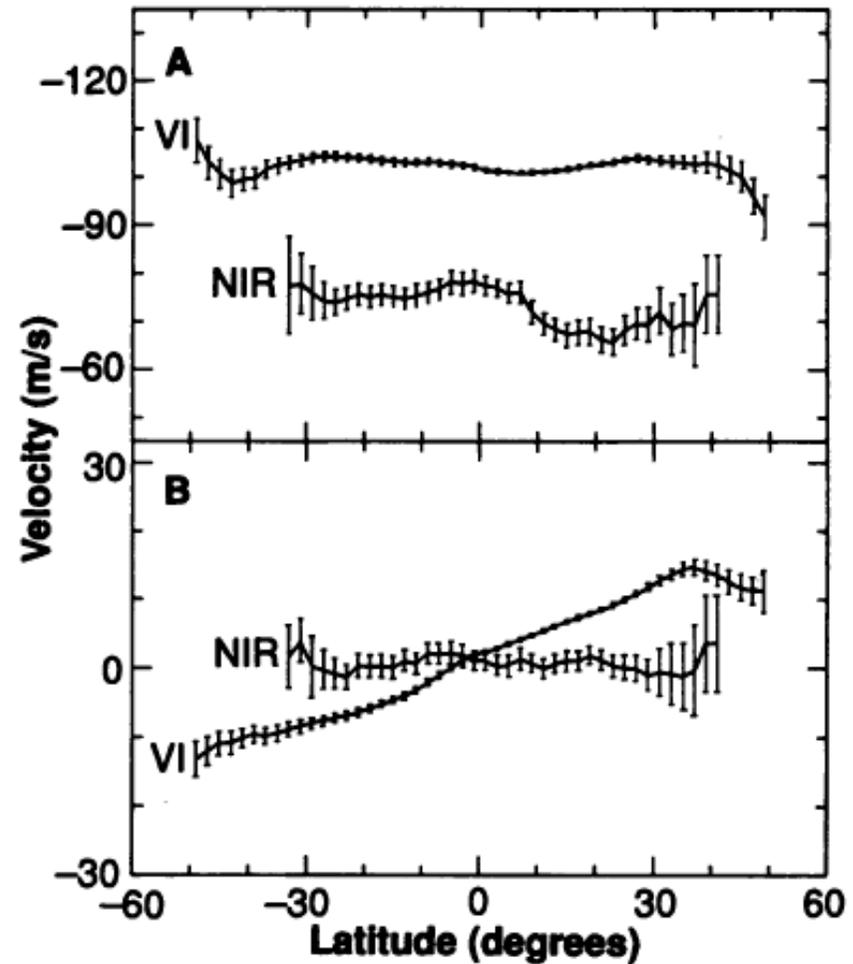
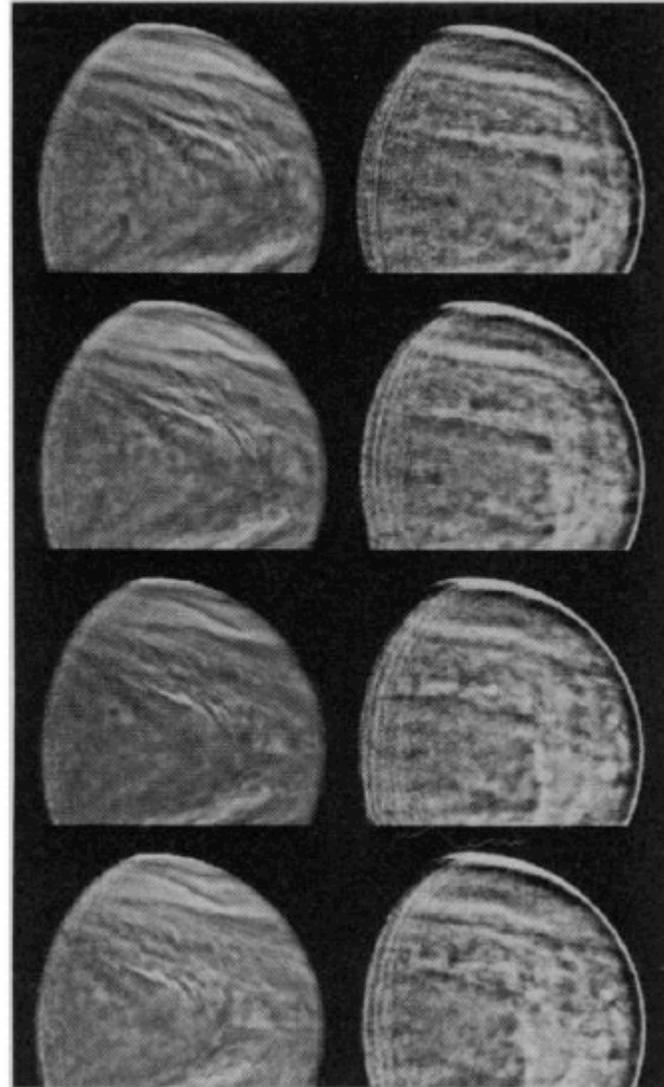
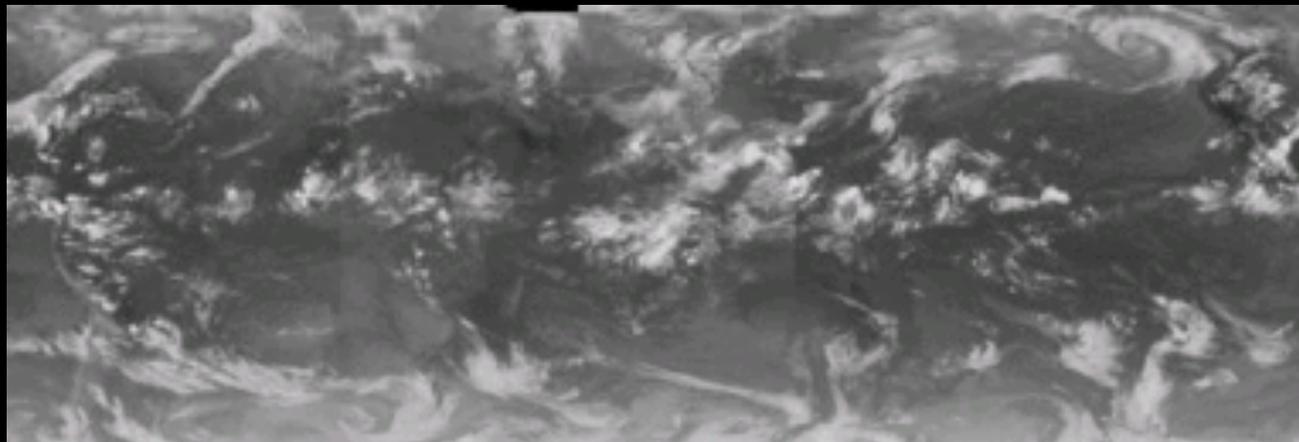
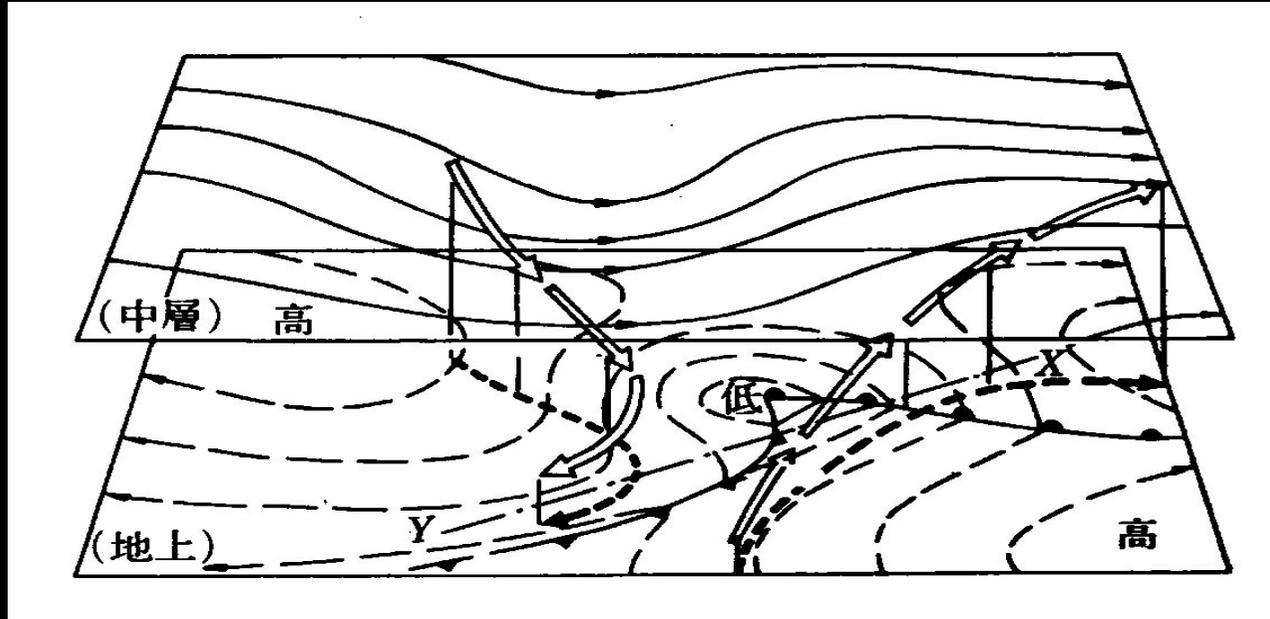


Fig. 5. Velocities of NIR and violet (VI) features as a function of latitude; **(A)** eastward, **(B)** northward. The vertical bars indicate the estimated error, based on the sample standard deviations within each 15° latitude averaging bin.

地球の傾圧不安定波の立体構造



研究体制

- ・ 機器開発チーム
 - 近赤外カメラ1 (PI: 東大 岩上)
 - 近赤外カメラ2 (PI: JAXA 佐藤)
 - 中間赤外カメラ (PI: 極地研 田口)
 - 紫外イメージャ (PI: 北大 渡部)
 - 雷・大気光カメラ (PI: 東北大 高橋)
 - 観測センサ統合制御装置 (PI: JAXA 鈴木)
 - 電波科学 (PI: JAXA 今村)
- ・ サイエンスチーム: 特定の観測装置に帰属せずミッション全体のデータ解析・理論・データアーカイブを主導
- ・ 海外研究者: 現在は個人レベルで数人。今後NASAと協定を結んで米国から組織的に参加する予定。
- ・ 研究テーマを整理中: 80件ほど提案あり
- ・ データ公開
 - 取得後1年程度で公開
 - 画像データから、緯度経度にマッピングした各種物理量 (風速ベクトル等)まで、何段階か用意

金星到着まであと2年弱

引き続きご協力をお願いします

