

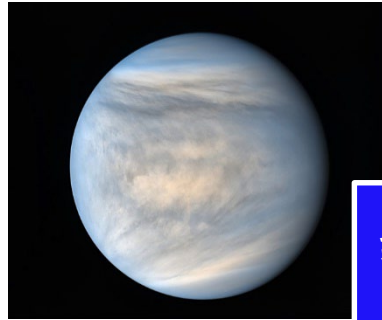


あかつきIR2で明かす、金星夜面における下層雲の運動

Javier Peralta (ハビエル・ペラルタ)

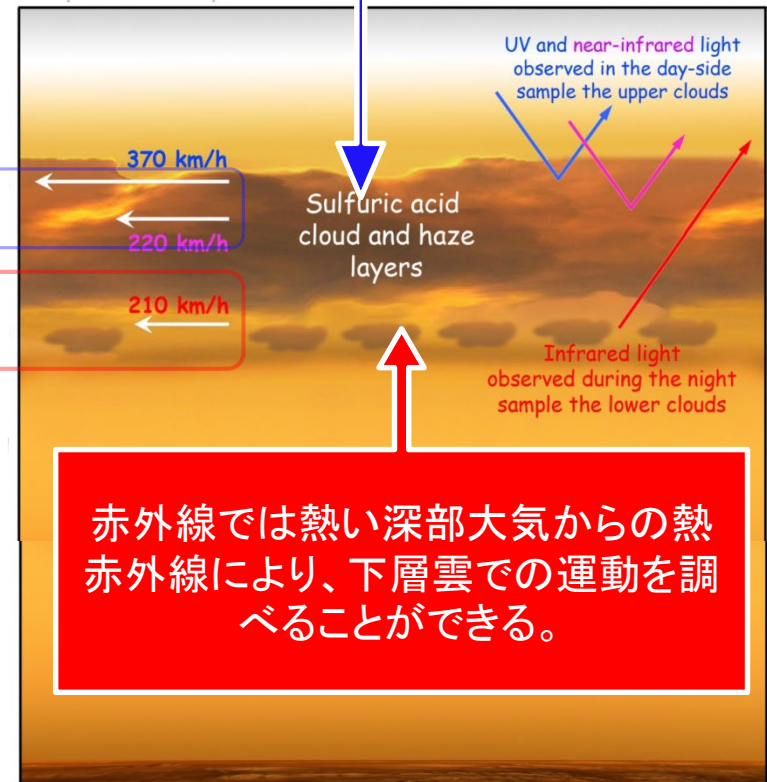
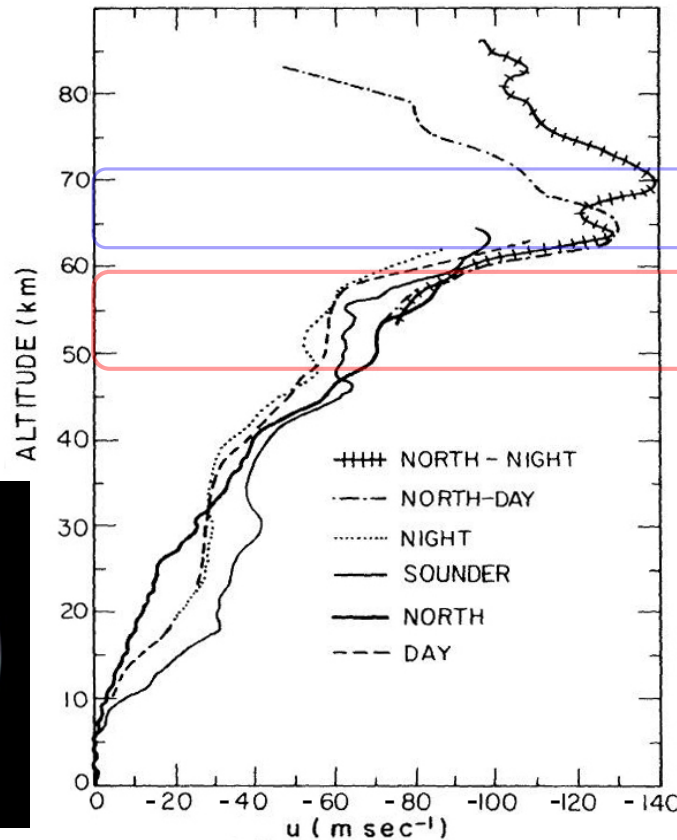
宇宙科学研究所インターナショナル・トップヤングフェロー (ITYF)

金星と大気のスーパーローテーション

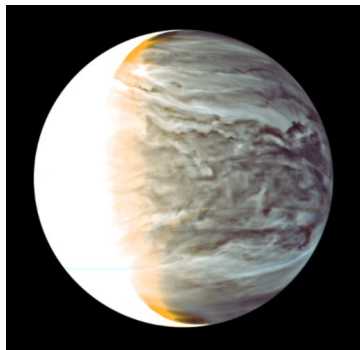


© JAXA / ISAS / DARTS / Damia Bouic

紫外線から近赤外線にかけては、太陽反射光により上層雲での運動を調べることができる。



赤外線では熱い深部大気からの熱赤外線により、下層雲での運動を調べることができる。



©PLANET-C Project

Steven W. Bougher, Donald M. Hunten, Roger J. Phillips(1997).
Venus II, The University of Arizona Pressより

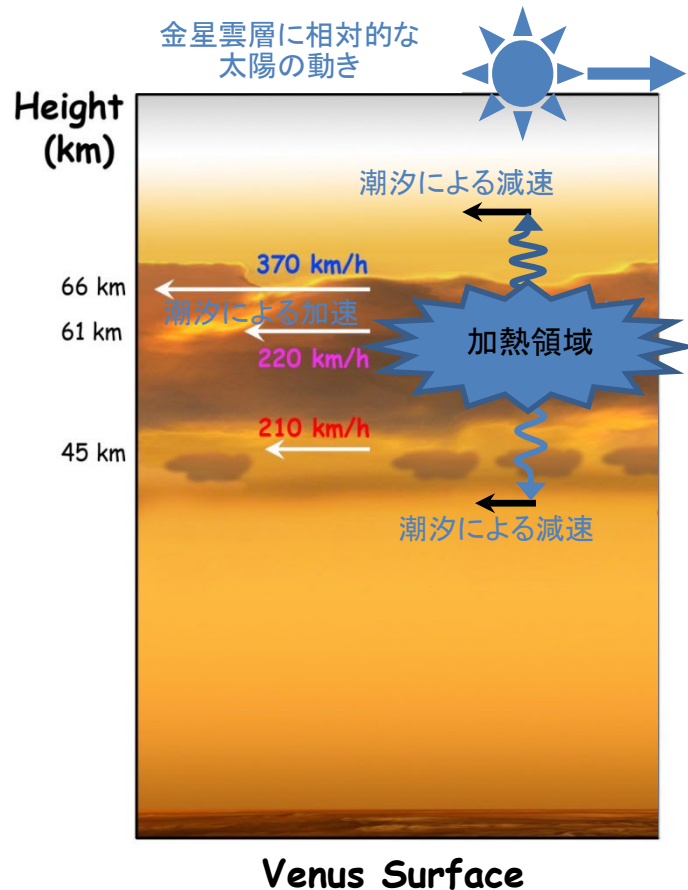
Venus Surface

©Astronomy Online

スーパーローテーションの原因に関する主な仮説

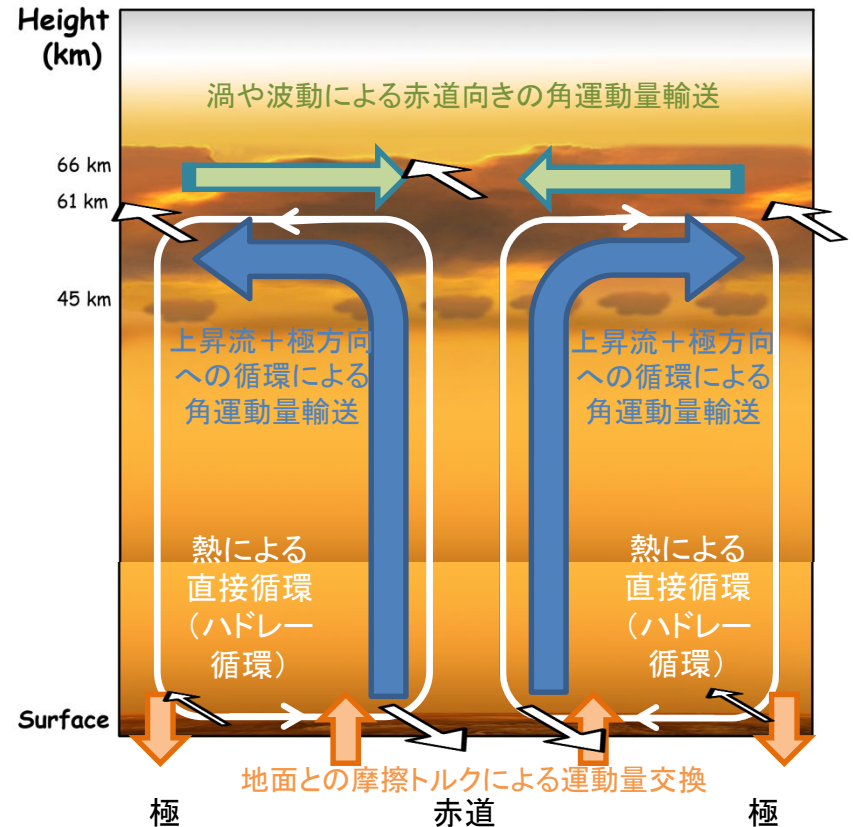
熱潮汐波説:

- ・ 太陽による上層雲の加熱が、東向きに伝播する熱潮汐波を発生させる。
- ・ 波は雲層を西向きに加速。
- ・ 雲層の上や下へ伝わる波は、大気を減速させる。



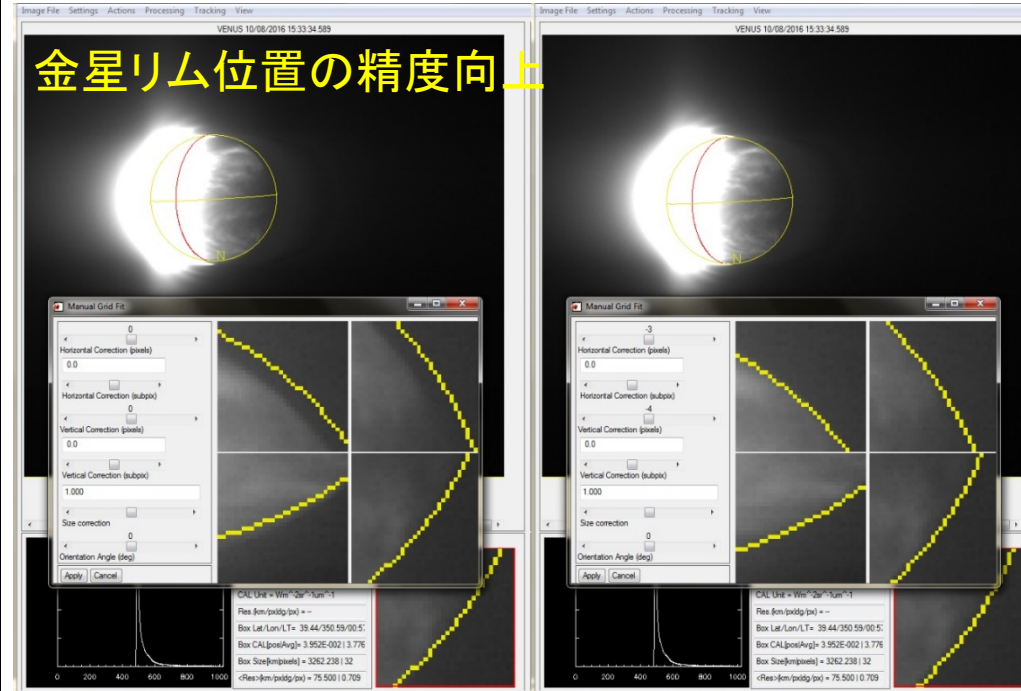
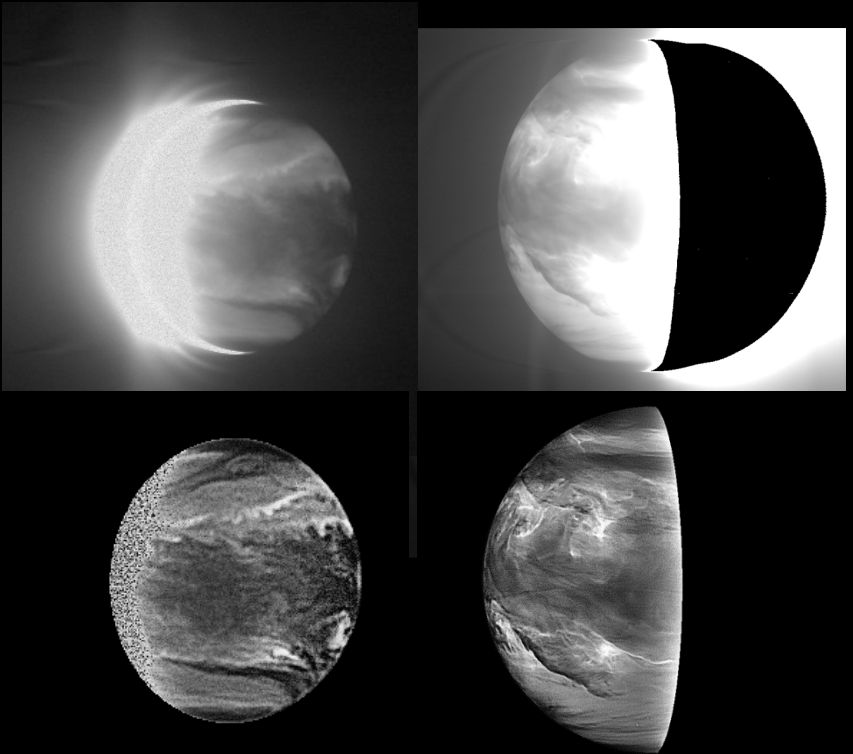
ギーラッシュラによる仮説:

- ・ 赤道と極の温度差により、上昇流と下降流を伴うハドレー循環が発生。
- ・ 渦や波動による赤道向きの角運動量輸送が、ハドレー循環（極向き）とバランスする。



画像処理と、模様的位置測定精度の向上

画像処理の例



- あかつきIR2の全データセットを解析:
 - 2016年3月から11月まで、全466枚の金星夜面画像.
 - 波長 $2.26\text{-}\mu\text{m}$ の画像を用い、模様を測定しやすくするために、昼面から広がっている光を除去.
- インタラクティブ測定ツールでリムを決定し、模様的位置測定精度を向上.

われわれが見出したこと

1. マニュアル方式での雲追跡により、赤道に繰り返し現れるジェット
の存在を再確認した。
2. 金星夜面の詳細な風速測定により、下層雲にまで熱潮汐（太陽加熱
による）が及んでいる可能性を初めて示唆した。
3. 緯度 30°N ～ 30°S 範囲における下層雲運動の長期変動を初めて
まとめ、最大 ~ 30 m/s もの風速変化があることを明らかにした。

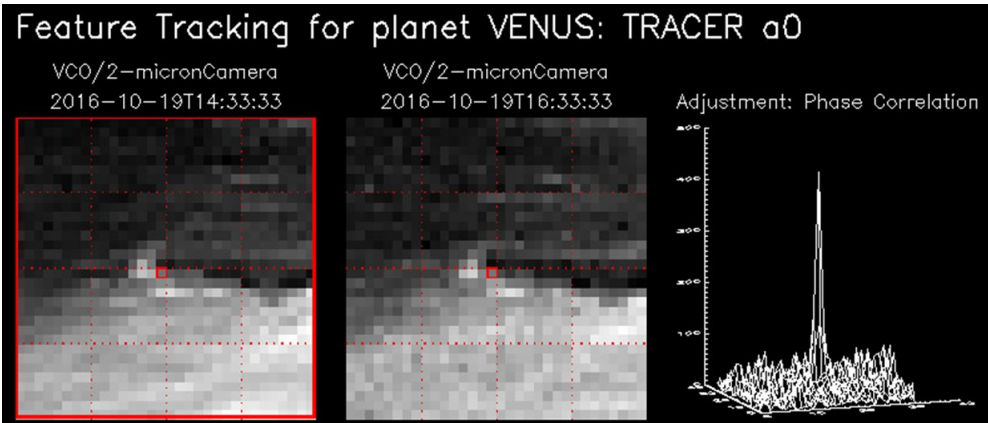
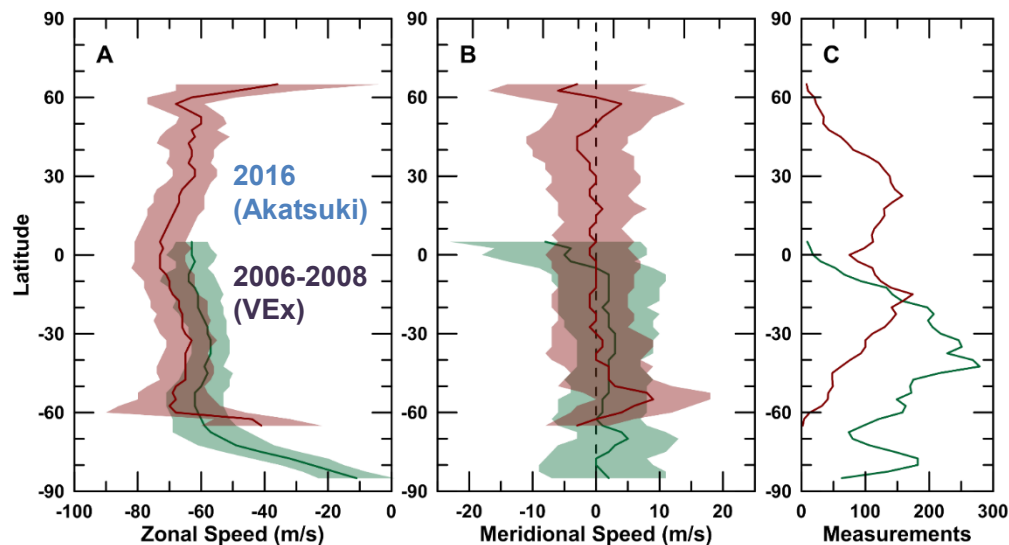
(1/3): 赤道ジェットの確認

マニュアル方式の雲追跡では:

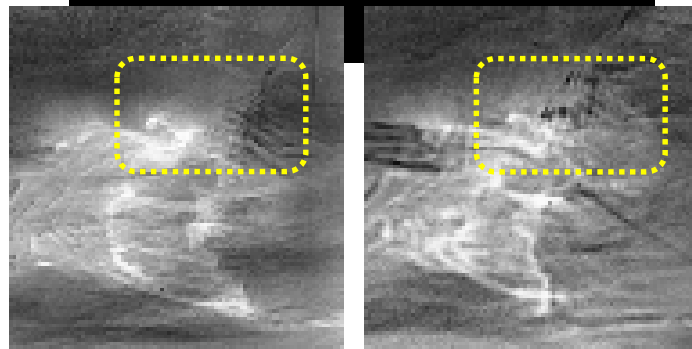
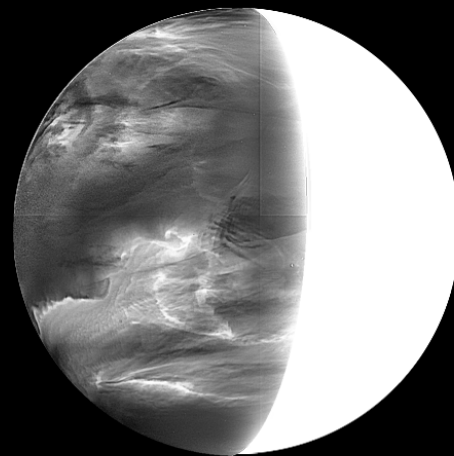
1. 「位相相関」により雲のパターンマッチ
2. 目視により「波動」に起因する測定を排除

マニュアル方式の雲追跡により、全部で2,947 個の風速測定を得た (Peralta & Muto)。これは堀之内らによる自動追跡 (149,000以上) よりは少ないが、上記のメリットを有する。

Venus Express (VEx) 測定よりも速い風速が多く、これらは赤道ジェットの存在を示す (再確認できた) と考えられる。



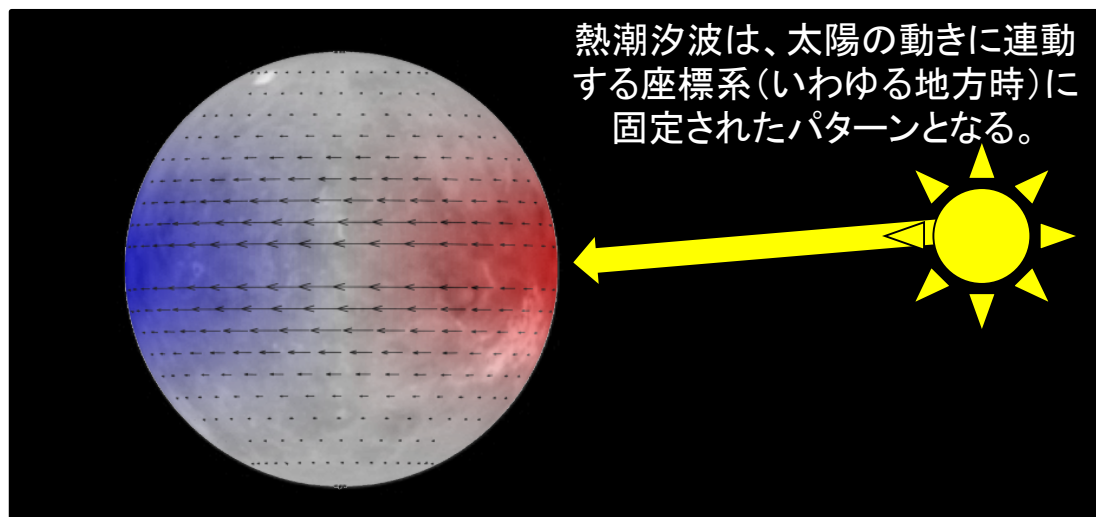
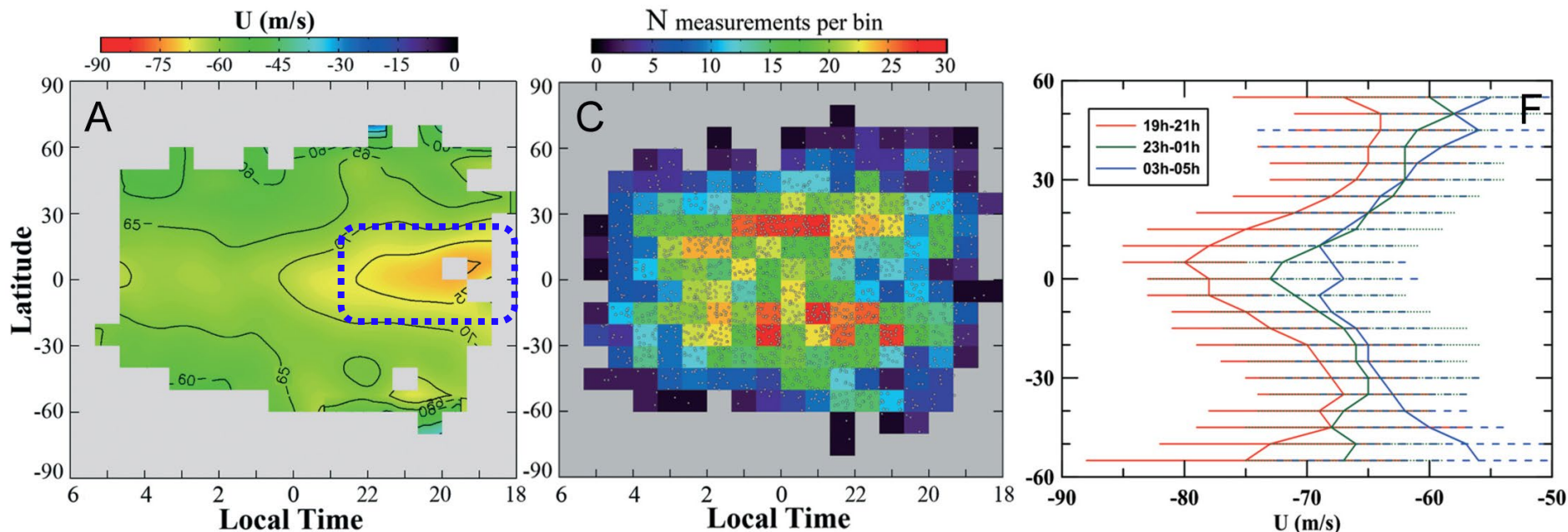
IR2-2.26 μm 2016-09-05 04:33:33



われわれが見出したこと

1. マニュアル方式での雲追跡により、赤道に繰り返し現れるジェット
の存在を再確認した。
2. 金星夜面の詳細な風速測定により、下層雲にまで熱潮汐（太陽加熱
による）が及んでいる可能性を初めて示唆した。
3. 緯度 30°N ～ 30°S 範囲における下層雲運動の長期変動を初めて
まとめ、最大 ~ 30 m/s もの風速変化があることを明らかにした。

(2/3): 太陽加熱による熱潮汐波の影響



地方時の18時から23時にかけて赤道付近に弱い加速があることを初めて検出！

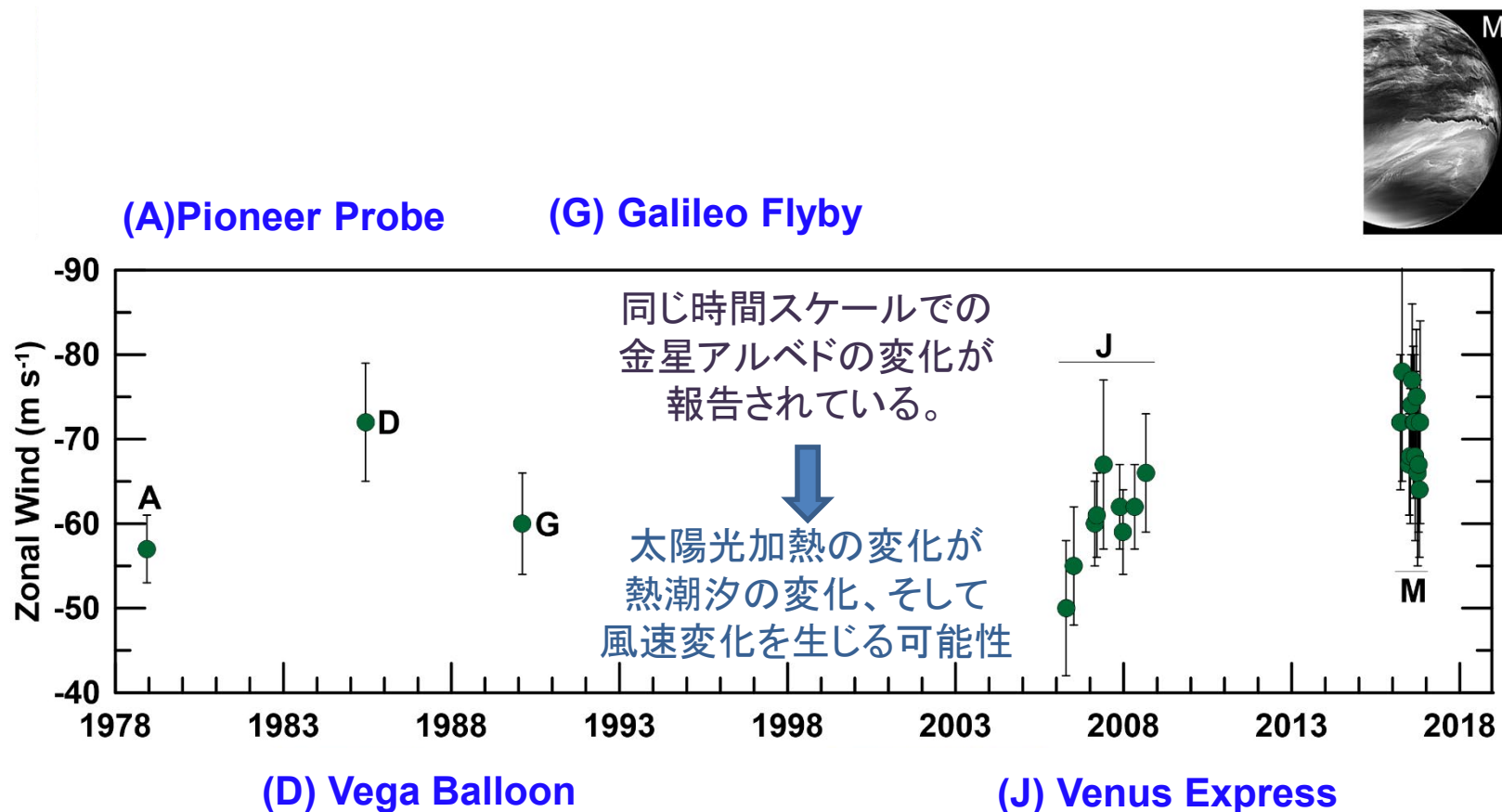


太陽加熱による熱潮汐波(上層雲で発生)が下層雲まで及んでいることを示すか？

われわれが見出したこと

1. マニュアル方式での雲追跡により、赤道に繰り返し現れるジェット
の存在を再確認した。
2. 金星夜面の詳細な風速測定により、下層雲にまで熱潮汐（太陽加熱
による）が及んでいる可能性を初めて示唆した。
3. 緯度 30°N ～ 30°S 範囲における下層雲運動の長期変動を初めて
まとめ、最大 ~ 30 m/s もの風速変化があることを明らかにした。

(3/3): 下層雲領域の風速の年変化



発見を成し遂げられた要因

1. マニュアル方式での雲追跡により、赤道に繰り返し現れるジェットの存在を再確認した。
 - 人間が行うマニュアル方式の雲追跡(位相相関法)では、大気波動に由来する「速い風速」を効果的に排除できるから。
2. 金星夜面の詳細な風速測定により、下層雲にまで熱潮汐(太陽加熱による)が及んでいる可能性を初めて示唆した。
 - 「あかつき」は金星赤道に近い周回軌道で観測しており、その恩恵を受けたIR2の高画質2.26- μm 画像(460枚を超す)から2,900以上の風速測定を達成したから。
3. 緯度 30°N ~ 30°S 範囲における下層雲運動の長期変動を初めてまとめ、最大~30 m/s もの風速変化があることを明らかにした。
 - 「あかつき」だけでなく、過去の地上観測およびミッション(Pioneer Venus, VEGAバルーン, Galileoフライバイ、Venus Express)からのデータを組み合わせたおかげである。

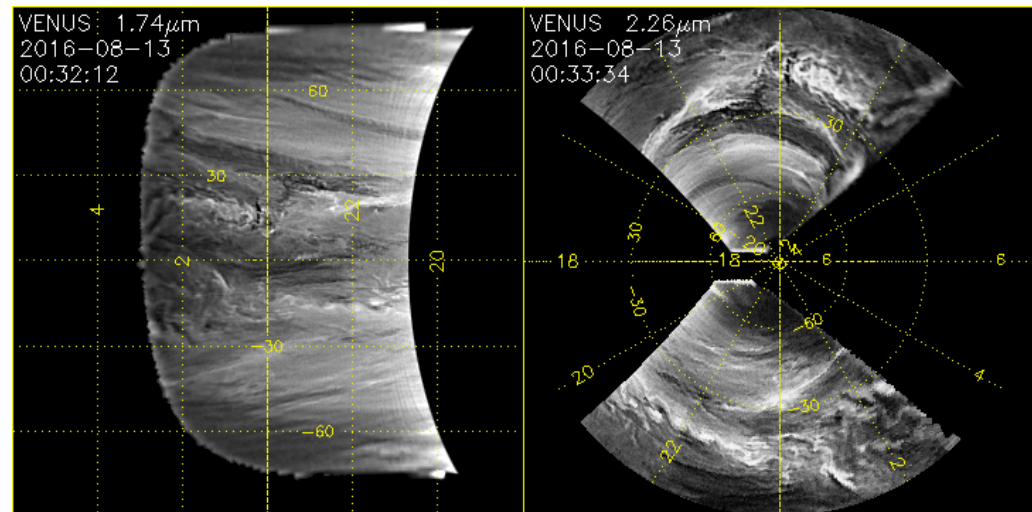
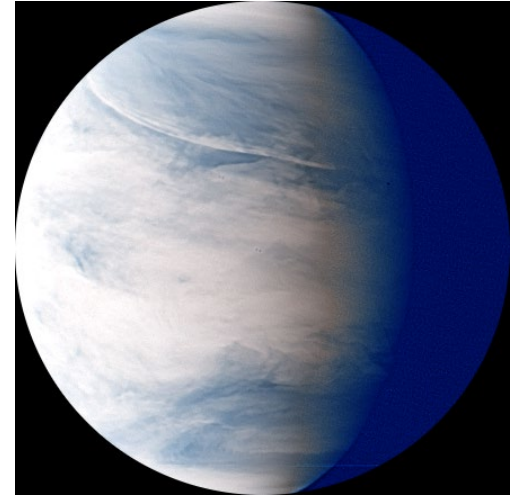
これらの発見の意義

1. マニュアル方式での雲追跡により、赤道に繰り返し現れるジェットが存在を再確認した。
 - 先行する「あかつき」による発見を補強するとともに、下層雲において不安定や渦が重要であることを確認した。
2. 金星夜面の詳細な風速測定により、下層雲にまで熱潮汐（太陽加熱による）が及んでいる可能性を初めて示唆した。
 - 金星大気スーパーローテーションの仮説を絞り込むヒントとなるかも知れない。大気の数値計算モデルを改良してゆく上でも、重要なデータとなる。
3. 緯度 30°N ～ 30°S 範囲における下層雲運動の長期変動を初めてまとめ、最大 ~ 30 m/s もの風速変化があることを明らかにした。
 - スーパーローテーションの維持における熱潮汐のが寄与が大きく時間変化すること、おそらく太陽光吸収の変化がそれを引き起こしていることを示唆した。

おわりに:「あかつき」は世界のオープンサイエンスに貢献しています。

われわれの結果は世界に共有されます:

- 2,947個、すべての風速測定が位置情報(経度、緯度、地方時)、測定に使った雲模様のサイズや明るさ、観測の角度情報、その他の付帯情報とともに、世界の研究者に提供されます。
- 雲が動いてゆく様子を捉えた90ものアニメーションも共有されます。
- 追跡に使った雲の位置を示す100以上の画像。
- 2,000もの雲の形態学を示す画像。



謝辞

18 co-Authors from 4 countries and 13 institutions:

- ISAS/JAXA (Japan), the University of Tokyo (Japan), University of the Basque Country (Spain), Hokkaido University (Japan), Institute of Astrophysics and Space Sciences (Portugal), Southwest Research Institute (CO, USA), AIST (Japan), Kyoto Sangyo University (Japan), University of Colorado Boulder (CO, USA), School of Physical Sciences (Japan), University of Wisconsin-Madison (WI, USA), Hokkaido Information University (Japan) and University of Shiga Prefecture (Japan).

Dr. Takehiko Satoh (PI of IR2) and the Akatsuki team.

Technical support for observations performed at:

- NASA's Infrared Telescope Facility (IRTF).
- Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

And Funding from:

- JAXA's International Top Young Fellowship (ITYF).
- Spanish MINECO project AYA2015-65041-P.
- Grupos Gobierno Vasco IT-765-13.



Image (false colour) of lower clouds at the nightside of Venus, taken by IR2 at 1.74 μm (Credits: JAXA / ISAS / DARTS / Damien Bouic).

The results are published in:

Astrophysical Journal Supplement Series (2018)

DOI: 10.3847/1538-4365/aae844

Javier Peralta, Keishiro Muto, Ricardo Hueso, Takeshi Horinouchi, Agustín Sánchez-Lavega, Shin-ya Murakami, Pedro Machado, Eliot F. Young, Yeon Joo Lee, Toru Kouyama, Hideo Sagawa, Kevin McGouldrick, Takehiko Satoh, Takeshi Imamura, Sanjay S. Limaye, Takao M. Sato, Kazunori Ogohara, Masato Nakamura and David Luz.

どうもありがとうございます!