

あかつき IR2 が見つけた金星夜面における静穏領域

佐藤 毅彦 (ISAS)

佐藤 隆雄 (北海道情報大)

Vun Choon Wei (総研大)

堀之内 武 (北海道大)

「金星昼面からの漏れ光によるコンタミ」を効果的に取り除く手法 (Restoration by Simple Subtraction = RSS 法) を開発し、それにより処理されたあかつき IR2 データを解析した。第 24 および 25 周回軌道 (2016 年 8 月) の金星夜面データから、波長 2.26 μm および 1.735 μm の輝度を測定し、散布図にプロットした。Carlson et al. (1993) 以来用いられる通常のプロットでは特徴がはっきりせず、新しい座標系を考案した。この座標系は、モード 3 粒子の量が増減した際にデータ点がほぼ水平に移動するようにとっており、M3L (Mode 3 Leveled) と名付けた。この座標系にプロットしたところ特徴的なデータの並びが浮かび上がり、それを CALM (Clouds Aligned Linearly in M3L coordinates) と名付けた。CALM のデータ点を元の金星画像に再プロットすると、それらは中緯度の比較的明るくかつ乱れた構造の見えない領域に対応していた。さらに、Kashimura et al. (2019) が高解像度数値シミュレーションで「下降流領域」として再現したストリークは (同じように夜面で明るく見えるものの) CALM には含まれていなかった。このことから CALM は金星大気の静穏領域で、そこでは硫酸蒸気の量や対流の強さ・温度などの条件により粒子サイズ分布が整然と定まるような領域であろうと推測した。明るいストリークが CALM に含まれないということは、そこでは強制的な下降流がそうした秩序ある粒子サイズ分布を乱しているものと推測している。

Satoh, T., et al. (2021) *Icarus* 355, 114134.

Carlson, R.W., et al. (1993) *Planet Space Sci.* 41, 477-485.

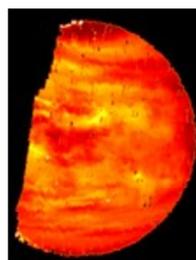
Kashimura, H., et al. (2019) *Nature Comm.* 10, 23.

あかつきIR2が見つけた金星夜面における静穏領域

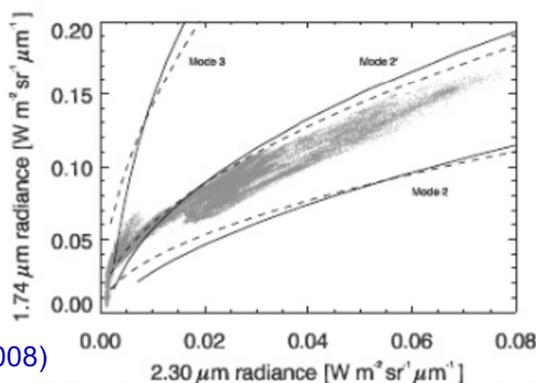
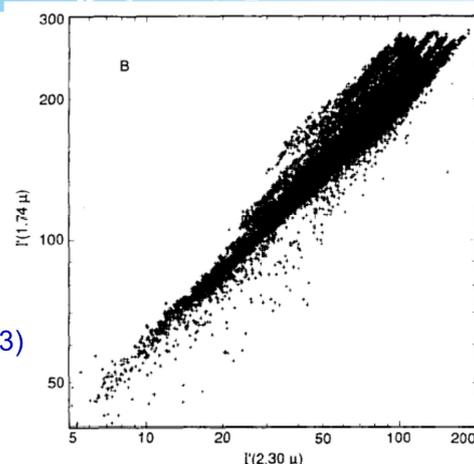
佐藤 毅彦 (ISAS)
佐藤 隆雄 (北海道情報大)
Vun Choon Wei (総研大)
堀之内 武 (北海道大)

イントロ: 夜面2波長データの使い方

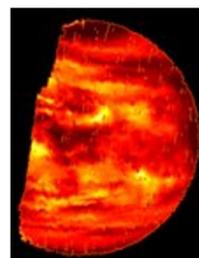
- 金星夜面では、いくつかの「窓」波長において、中下層の雲の濃淡をシルエットとして観測することができる (Allen and Crawford, 1984)。
- Galileo/NIMSデータ解析 (Carlson et al., 1993) 以来、 $2.3\mu\text{m}$ と $1.74\mu\text{m}$ の相関プロットが、異なる粒子サイズの雲の存在を示すものとして使われてきた。
- Venus Express搭載VIRTISでも同様の手法が適用されている (Wilson et al., 2008)。



Carlson et al. (1993)



Wilson et al. (2008)



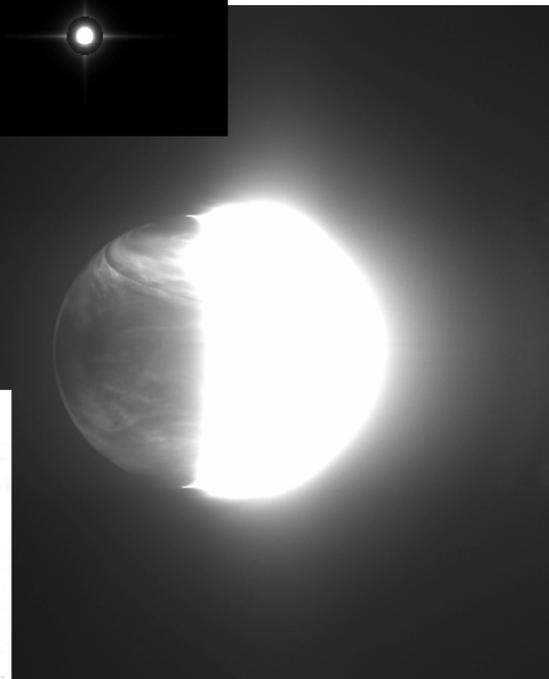
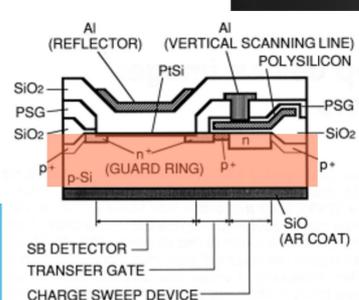
イントロ: あかつきIR2データの問題点

- 検出素子のSi基板内での多重反射に起因する「大きな点広が関数 (PSF)」が存在し、昼面からの影響が大きい (Sato et al., 2017)。
- そのために、運動の研究 (雲追跡) や形態の研究は成果を挙げてきたが、測光精度を要求される夜面研究 (雲やCO分布) は手つかずであった。
- 2.26 μm , 2.32 μm , 1.735 μm を組み合わせて昼面の影響を軽減する方法 (RSS法) を開発して、雲の性質を調べた。

(a) IR2 H-band image

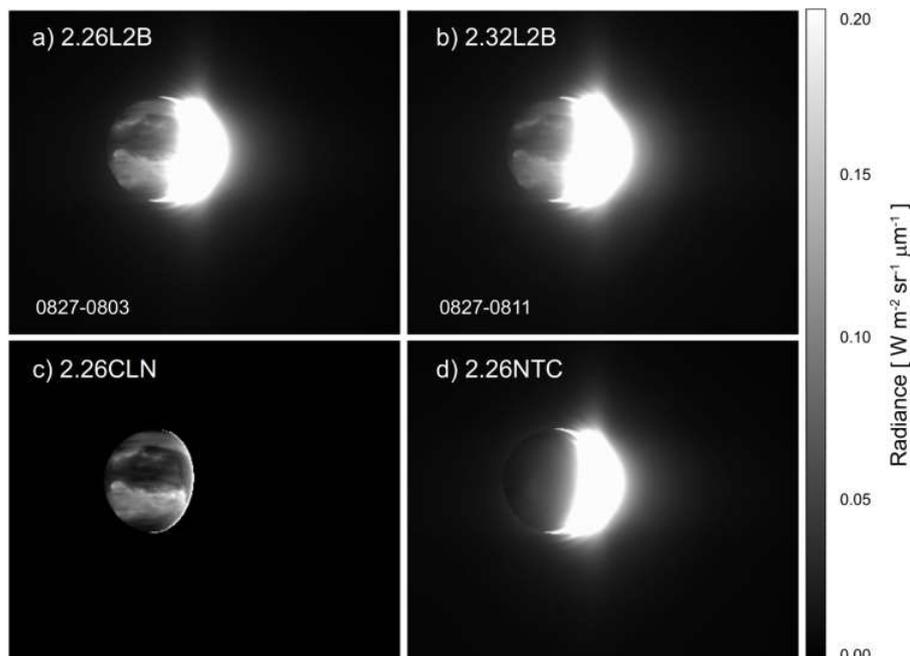


(b) Mathematical approximation of IR2 PSF

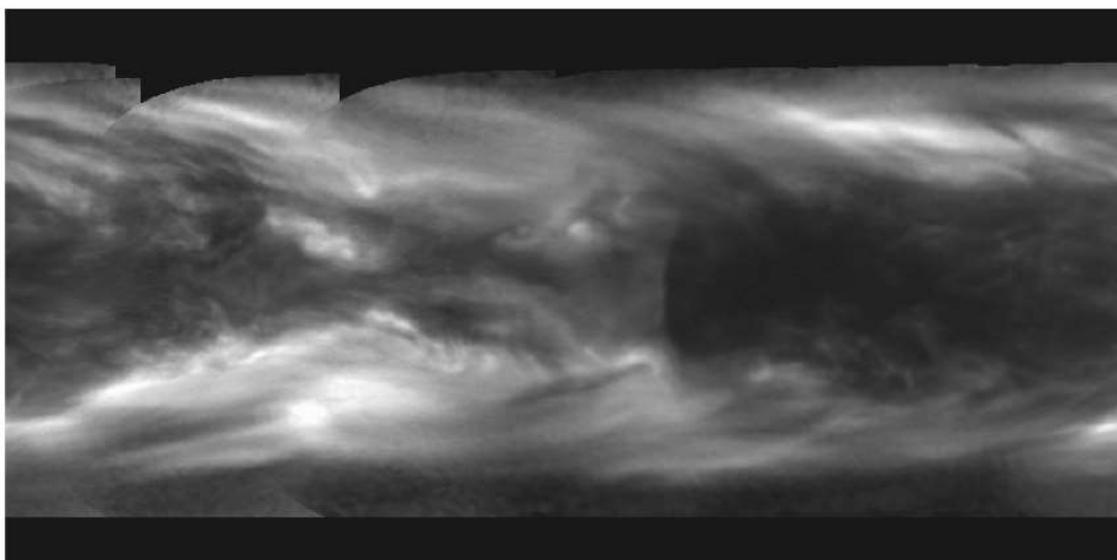


手法: Restoration by Simple Subtraction (RSS)

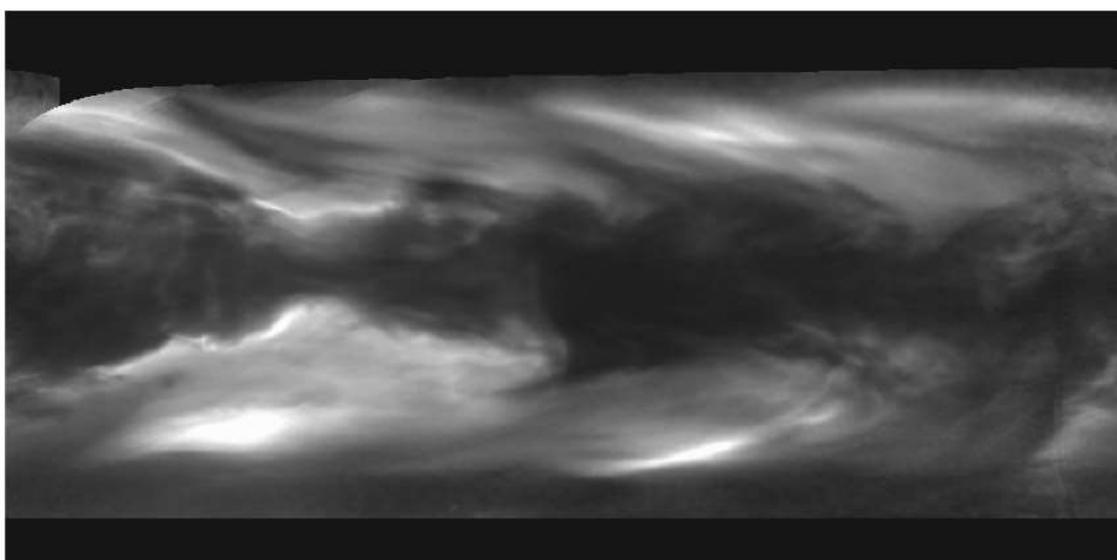
- 2.26 μm と2.32 μm では昼面の明るさはほぼ同じ、夜面は後者が「CO吸収の分だけ暗い」ことを利用し、引き算により昼面の影響を除去する。
- 引き算の結果を、本来の2.26 μm の明るさに復元し (2.26CLN)、もと画像から引くと、「昼面からの被り成分」だけ (2.26NTC) を得られる。
- 2.26NTCを係数倍して1.735 μm 画像から引くことで、1.735 μm データも復元 (1.735CLN) できる。



データ処理 : Orbit 24 (16 – 20 Aug 2016)

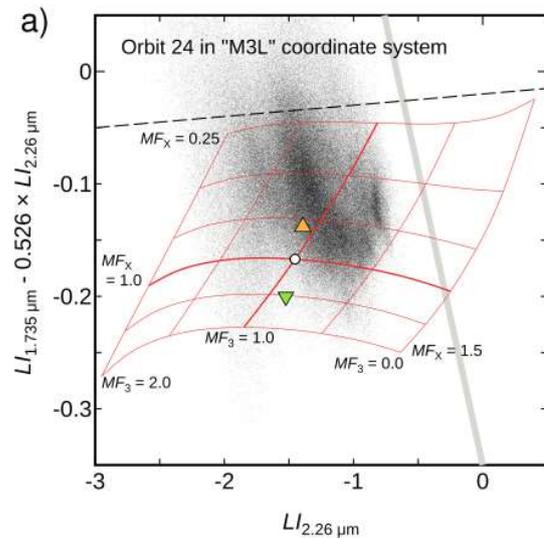
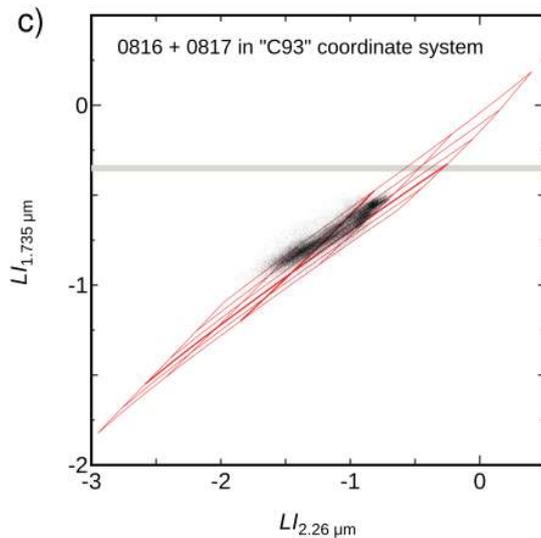


データ処理 : Orbit 25 (26 – 30 Aug 2016)



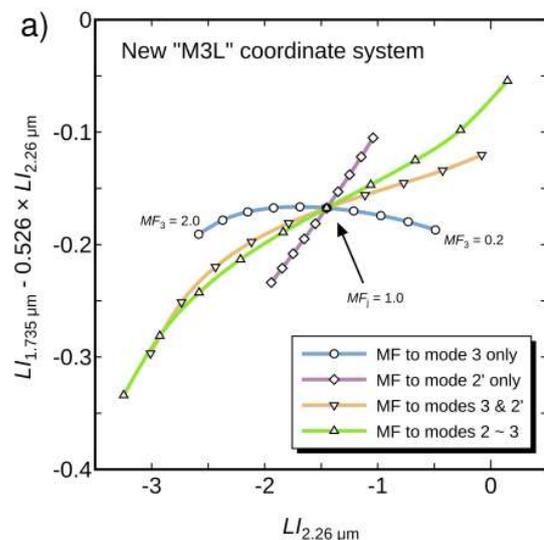
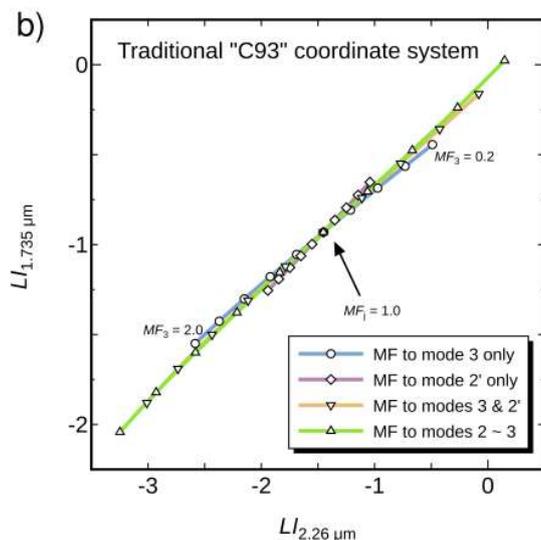
結果: IR2データの2波長相関プロット

- 従来座標 (Carlson et al., 1993) にプロットしたのでは、よく分からない。新しい座標 M3L (次ページでその意味を説明) にプロットすると、何かが見え始める。



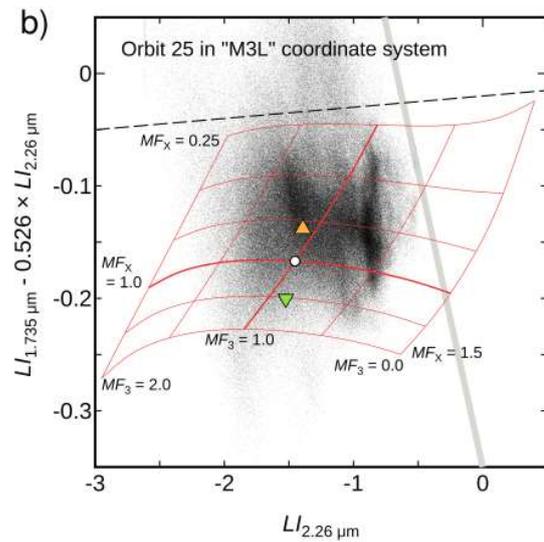
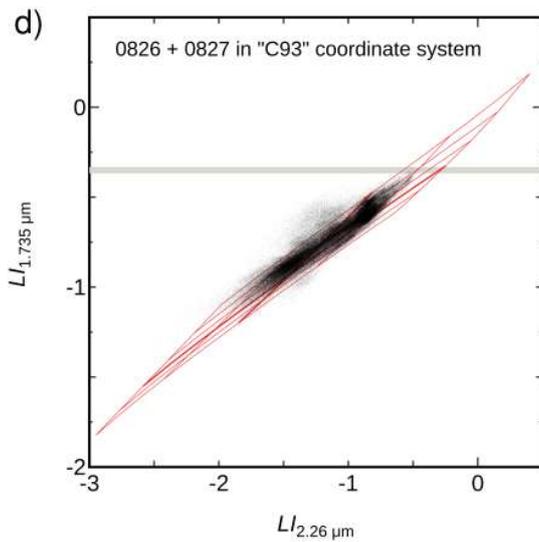
注釈: M3L座標系とは何か

- 大粒子(モード3)の量を増減させ放射をモデル計算したとき、その振る舞いがほぼ水平になるように座標系にシアリングを与えたもの (Mode 3 Leveled)。



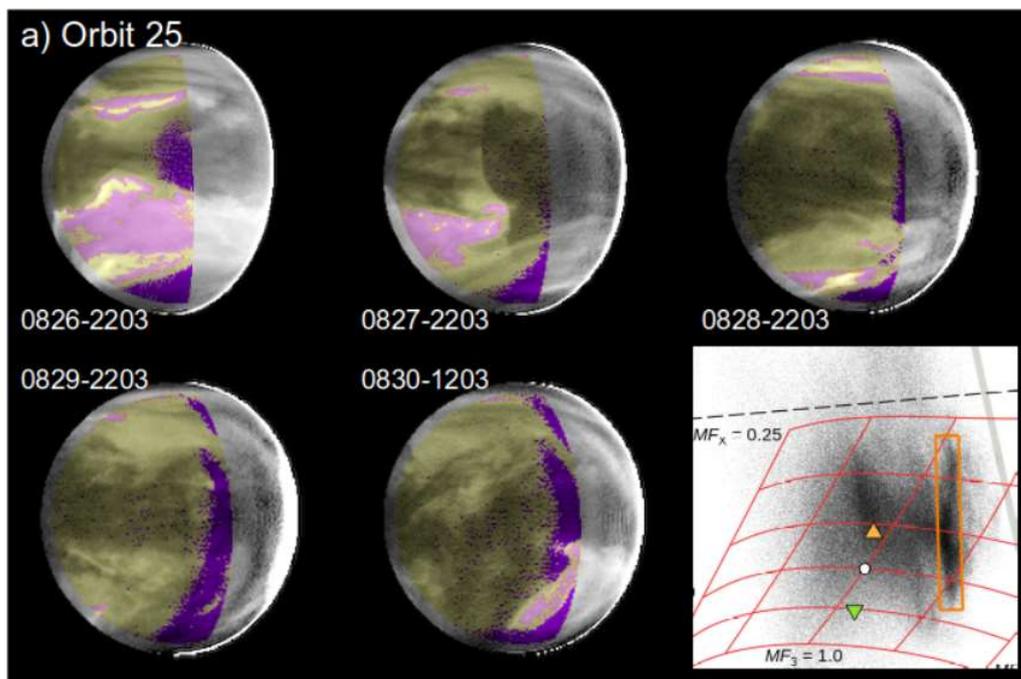
結果: IR2データの2波長相関プロット

- 従来座標 (Carlson et al., 1993) にプロットしたのでは、よく分からない。新しい座標 M3L にプロットすると、特徴的な集団 (パネルbの縦筋) が見えた。



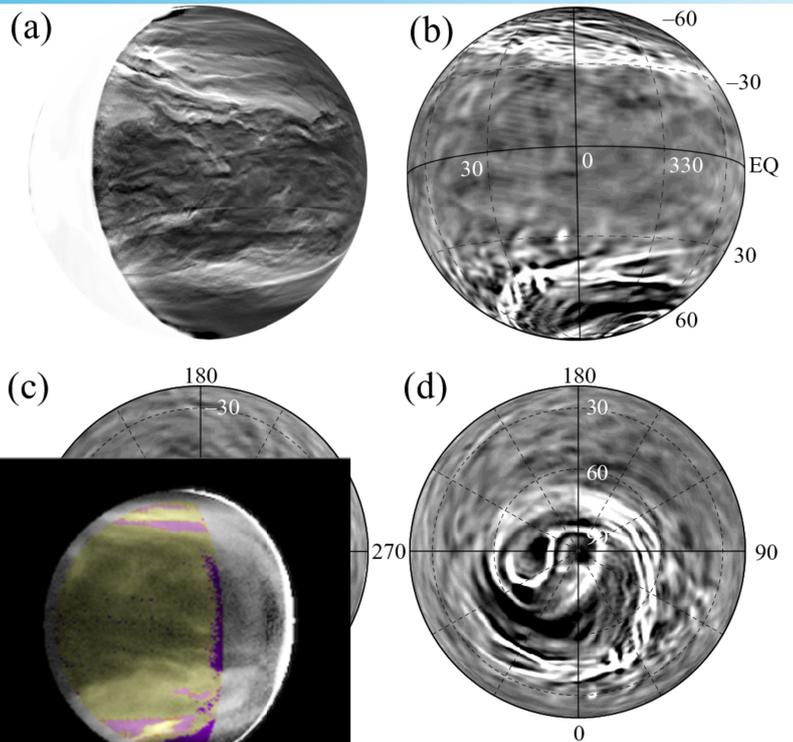
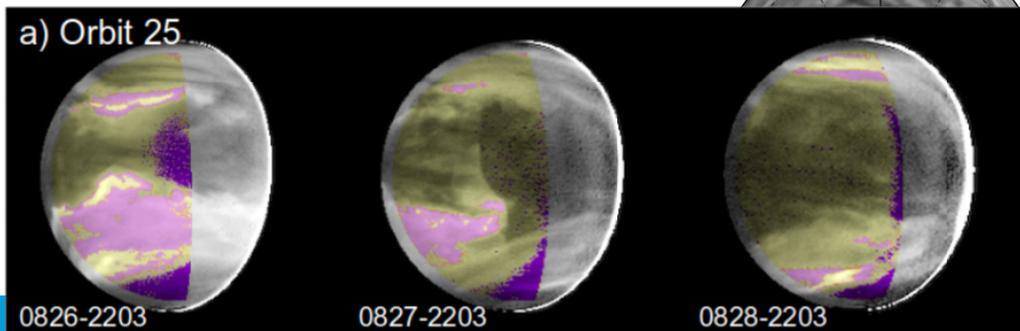
命名 CALM (= Clouds Aligned Linearly in M3L coordinates)

考察: CALMとはどのような領域か



考察: CALM「ではない」場所

- 数値流体シミュレーションによって、中高緯度の明るいストリークが「下降流の領域」であることが見出されている (Kashimura et al., 2019)。
- ストリークはCALMからはずれた領域であり、非静穏領域であることを観測的に初めて示唆したものである。



まとめ

- データ処理を工夫 (RSS法の開発) することによりついに、あかつきIR2夜面データを測光可能な品質へと高めることができた。
- 新しいM3L座標系を導入して $2.26\mu\text{m}$ vs $1.735\mu\text{m}$ の相関プロットを作成したところ、特徴的な領域CALMを発見することができた。
- CALMの「狭さ」は、そこが静穏な領域で、モード3やその他のサイズの粒子、さらには H_2SO_4 蒸気との間の変化が平衡に近い状態で起きていると考えられる。
- 中高緯度のストリークはCALMからはずれており、そこは「非静穏」な領域であることが予想され、これは数値シミュレーションで示された「下降流」領域であることに整合的である。
- 本研究で得られた結果は、(1)雲微物理に対する新しい制約条件を与えるとともに、(2)リモートセンシングにより大気の状態を推測する新たな可能性を与えるものである。
- Satoh et al., *Icarus* **355**, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114134>, 2021.