

# VEX/VMC-UV を用いた雲追跡

\*小郷原一智 (ISAS/JAXA)、神山徹 (東大理)、山本博基 (京大理)、佐藤尚毅(東京学芸大)、  
高木征弘 (東大理) 今村剛 (ISAS/JAXA)

## 1. はじめに

あかつきに搭載された 4 つのカメラによって複数高度における雲画像 (輝度値データ) を得ることができる。また、あかつきの周回軌道角速度は、多くの部分でスーパーローテーションとほぼ同期するように決定されているので、スーパーローテーションに重なっている多くの波動を検出することが期待される。さらに、雲追跡によって輝度値データから水平風速の 3 次元分布が求められる。このような輝度値や風速のデータを解析することにより、長らく議論されてきたスーパーローテーションの維持機構や子午面循環の有無などに対して、決定的な情報が得られると期待される。本稿では、あかつきを想定して作成されたデータ処理方法と、それを Venus Express 搭載の Venus Monitoring Camera (VEx/VMC) の紫外画像に適用した事例を紹介する。

## 2. 探査機の姿勢誤差修正

図 1 のような機器座標系  $(x,y,z)$  を考える。金星雲層の経度  $\lambda$ 、緯度  $\phi$  における点  $P(\lambda,\phi)$  は、SPICE toolkit を使うことで機器座標系の点  $P(x,y,z)$  に変換される。そして、 $P(x,y,z)$  が観測機器の CCD 面上の点  $P'(x,y,F)$  に投影される。点  $P'$  がピクセル中心になるとは限らないので、周囲のピクセルの値を線形内挿し、点  $P'$  の値とする。点  $P'$  の値はすなわち点  $P(\lambda,\phi)$  の輝度値に対応し、得たい格子点すべてについて同様のことを行えば、輝度値の緯度経度マップが得られる。ただ、衛星の姿勢情報に含まれる誤差が大きい場合は注意が必要である。図 1 の機器座標系における金星の位置は衛星の姿勢情報を用いて決定されている。衛星の姿勢誤差が大きいと一部の金星雲層の点が、CCD 面上で宇宙に対応してしまう (図 2a)。したがって、衛星の姿勢情報を修正することが必要になる。観測機器の視線ベクトルは一般には金星中心を通らず、金星を球と仮定すれば CCD 面上に金星は楕円として写る。この楕円の扁平率、大きさ、長軸の傾きは、衛星の姿勢と一対一に対応するので、高精度の楕円フィッティングによりこれらが決まれば、画像中の金星から原理的に衛星の姿勢を求め直すことが可能となる。

ここでは、*Ogohara et al. (2012)* の方法を用いて、金星像のリムに楕円フィッティングを施すことにより衛星の姿勢誤差を軽減する。図 2b は上記の方法で衛星の姿勢誤差を修正してから作成した金星の緯度経度マップである。図 2a でリム周辺に見えていた黒い部分 (誤って宇宙をマッピングした部分) がなくなっていることが分かる。

## 3. 雲追跡

雲追跡に用いるアルゴリズムは、基本的に *Rossow et al. (1990)* や *JMA (1980)* で用いられたものに基づいている。雲追跡処理は、基本的に 2 時間間隔の 2 枚の画像間の相互相関を計算する方法で自動的に行われる (*Evans 2000*)。第一画像のターゲットエリアと第 2 画像のサーチエリアは 30 グリッド×30 グリッド ( $7.5^\circ \times 7.5^\circ$ ) と 120 グリッド×90 グリッド ( $30^\circ \times 22.5^\circ$ ) とし、ターゲットエリアとの相互相関係数が最大となるような領域をサーチエリア内で探索し、その領域とターゲットエリアとの位置の

差を選択された雲ターゲットの変位ベクトルとする。このようにして求めた変位ベクトルから、各フィルターの波長に対応する高度における水平風が求められる。ターゲットエリアを緯度経度両方向に 15 グリッドずつずらしていくことで、 $3.75^\circ \times 3.75^\circ$ の解像度の風速分布が得られる。これは多くの金星大気大循環モデルの解像度と同じ程度である。

図 3 は衛星の姿勢誤差を修正せずに雲追跡を行った結果と修正してから雲追跡を行った結果を示している。いずれも雲移動ベクトルの東西成分と南北成分である。東西成分に関する姿勢誤差修正の有り無しの差は  $10 \text{ m s}^{-1}$ ほどであり、スーパーローテーションがおおよそ  $100 \text{ m s}^{-1}$ であることを考えれば、無視できないとはいえない。しかし、南北風に関する差はおおよそ  $5 \text{ m s}^{-1}$ で、南北成分が数  $\text{m s}^{-1}$ ~十数  $\text{m s}^{-1}$ であることを考えればまったく無視できない。南北成分の正負まで異なっていることは重大である。何個かの雲移動ベクトルデータを平均すれば誤差が小さくなるわけではない。したがって、雲移動ベクトルを用いて解析するとき、特に低緯度に注目するときは、必ず衛星の姿勢誤差を修正してから雲追跡を行うことが必須であるといえる。

#### 引用文献

Evans, A.N., 2000. Glacier surface motion computation from digital image sequences. *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.* 38, 1064-1072.

JMA, 1980. The GMS Users' Guide, Issue 1. *Tech. Rep., Meteorological Satellite Center, Japanese Meteorological Agency, Tokyo.*

Ogohara, K., T. Kouyama, H. Yamamoto, N. Sato, M. Takagi, T. Imamura, 2012, Automated cloud tracking system for the Akatsuki Venus Climate Orbiter data, *Icarus*, 217, 661—668.

Rossow, W.B., Del Genio, A.D., Eichler, T., 1990. Cloud-tracked winds from Pioneer Venus OCPP images. *J. Atmos. Res.* 46, 2053-2084.

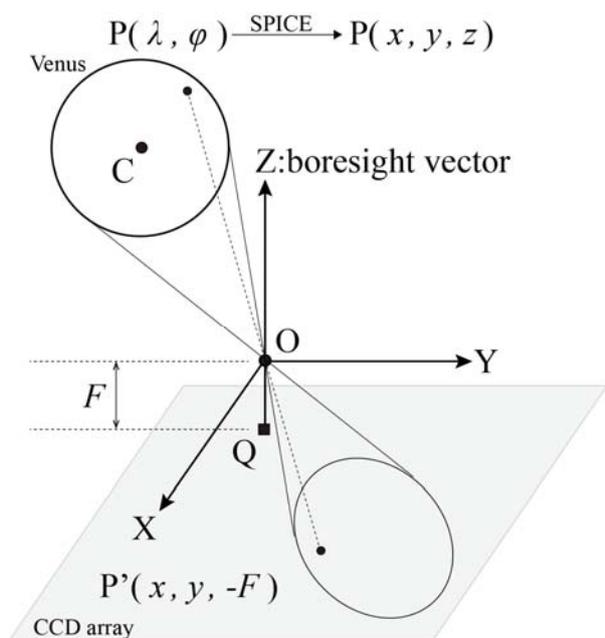


図 1. 緯度経度展開の概念図。O は測器の焦点、C は金星中心、Q は視線ベクトルが CCD 面と交わる点である。

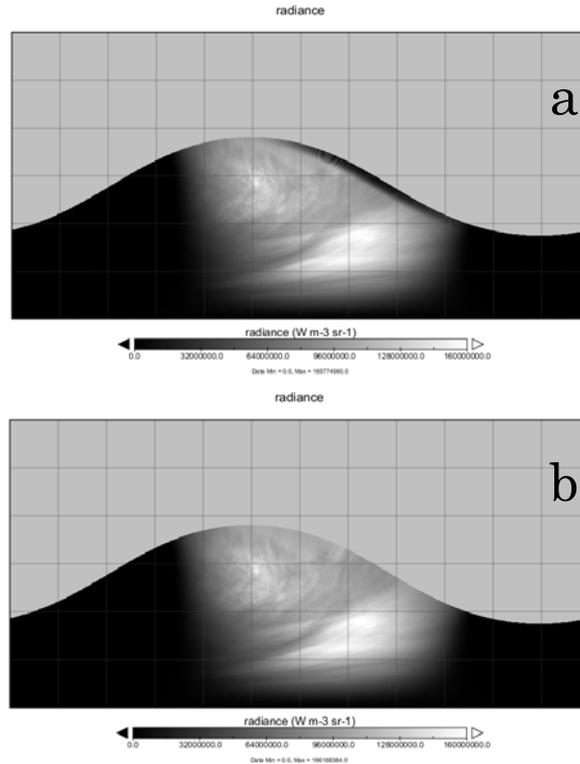


図 2. (a)衛星の姿勢情報を修正していない緯度経度マップ。(b)衛星の姿勢情報を修正した緯度経度マップ。いずれも VEx/VMC-UV の V0265\_0003 を用いている。

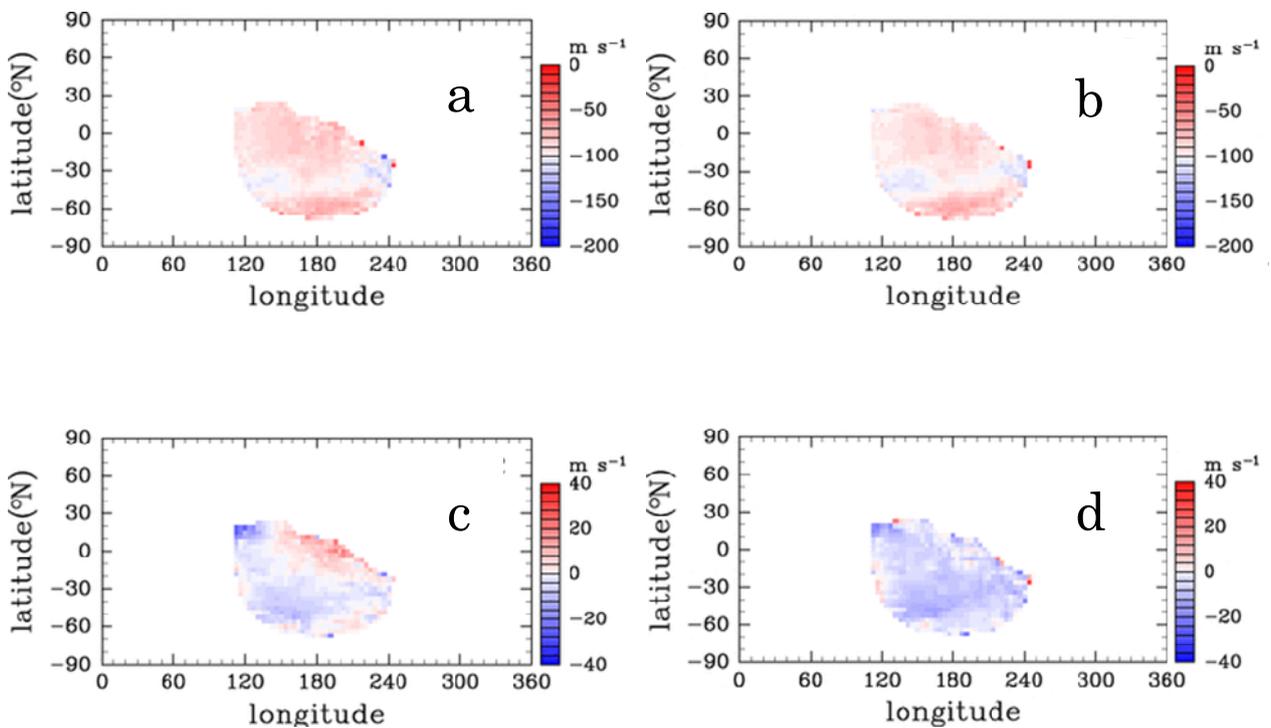


図 3. VEx/VMC の軌道 0030~0061 までを使って求めた雲移動ベクトルの東西成分と、南北成分の水平分布。(a)衛星の姿勢情報を修正せずに求めた東西成分。(b)修正して求めた東西成分。(c)修正せずに求めた南北成分。(d)修正して求めた南北成分。