

あかつきのための自動雲移動ベクトル導出システム

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。本発表では、気象研究を想定したあかつきデータの形式、アーカイブについて説明する。また、雲移動ベクトルを自動的に導出するパイプライン処理システムを、Vensu Express/Venus Monitoring Camera (VEx/VMC)の画像を用いて検証した結果も報告する。

2. 高次データプロダクト

もともと惑星探査データは撮像された画像(pixel×pixel)として配布されるのが一般的である。しかし、あかつきでは気象の研究を想定して、経度緯度座標に変換された格子点データとして公開する。物理量は各フィルターの輝度値とそれらを使って雲追跡で求められた水平風であり、ファイル形式はNetCDF形式である。金星-あかつき間距離がおよそ60000 kmの時、衛星直下点における解像度は約12 km/pixelであり、0.11°に対応する。そこで、輝度値データの解像度を、JRA-25のちょうど10倍の解像度である0.125°×0.125°に設定する。この輝度値データを用いて作成される風速データの解像度は3°×3°である。また、各格子点における太陽天頂角、衛星天頂角、地方時などのジオメトリ情報の経度緯度分布も付与される予定である。このようなジオメトリ情報の作成は、放射計算や雲物理の研究のためはもちろん、地球の気象研究に慣れたユーザが、地球とは大きく異なる金星大気データの解析で混乱しないようにするためでもある。

以下のようなデータカテゴリを準備する。

L3a 1ファイル1時間ステップの輝度値の緯度経度分布

L3b L3aを1軌道分(基本的に2時間間隔で約10回)まとめたもの

L3c L3aもしくはL3bから雲追跡を用いて求めた雲移動ベクトル

L3a/L3bは[4]に基づいて、衛星の姿勢誤差を修正したあとSPICE Toolkit (<http://naif.jpl.nasa.gov/naif/toolkit.html>)を用いて得られる。L3cを作成する際には、L3aもしくはL3bに太陽天頂角補正とパスフィルターを施したものをを用いる。これは、惑星規模の雲模様の濃淡(太陽天頂角に依存するものを含む)を追跡しないようにするためである。

3. 雲追跡

L3cを作成するための雲追跡に用いるアルゴリズムは、基本的に[5]や[2]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[1]。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60 grids × 60 grids (7.5° × 7.5°)と240 grids × 180 grids (30° × 22.5°)として、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30 grids ずつずらしていくことで、3.75° × 3.75°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。

自動的に雲追跡を行い風速分布を作成していく場合、誤ベクトル(周囲の風速ベクトルと比べて大きく逸脱したもの)が避けられない。本研究では先行研究[5, 3]と比べて大きなターゲットエリアをとっているため、誤ベクトルの発生は先行研究に比べれば避けられる。しかし、良質のデータセットを確実に作成するため、[6]によって提案されたRelaxation labelingを用いて、誤ベクトルを修正する。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

域をサーエリア内で探索する際、相関係数曲面は離散化されている。したがって、1格子に相当する距離の整数倍を各成分に持つ変位ベクトルしか得られない。時間間隔が2時間であることを考えれば、低緯度における変位ベクトルの1格子の誤差は、風速では 1.6 m s^{-1} の誤差となり、擾乱の振幅が小さい場合や南北風を求めたい場合は無視できない。そこで、離散化されている相関局面における最大値を与える格子と、その周囲の8格子の合計9格子に対して楕円放物面補間を行い、サブグリッドスケールの相関係数最大値の位置を求める。そうすることで、変位ベクトルの各成分は連続的になり、精度の向上が望める。

4. アルゴリズムの基本性能

今回開発したデータ処理システムの性能を検証するため、以下では2種類のテストを行う。ひとつは、緯度経度分布に変換されたある雲画像 (image A) と、それを単に数ピクセル平行移動した画像 (image B) を用いて雲追跡を行い、正しく変位ベクトルを求められるかどうかを検証するテスト (test 1) である。もう一つは、image A と image B にノイズを付加したもの (image C) を用いて雲追跡を行い、正しく変位ベクトルを求められるかを検証するテスト (test 2) である。今回は、image A として Figure 1 を緯度経度展開したものを用いた。test 2 において、image B から image C を作成する際のノイズは輝度値に対して1%の標準偏差を有する正規分布として与える。いずれの image も太陽天頂角補正とハイパスフィルターを施してから雲追跡を行う。Figure 2a と b は、image B として image A と全く同じものを用いた場合の test 1 と 2 の結果であり、雲追跡によって求められた東西方向と南北方向の変位量のヒストグラムを示している。test 1 では、両方向とも平均値はおよそ0であり標準偏差も十分小さいので、良い精度で変位量を求められている。test 2 でも、ノイズによって標準偏差が大きくなっているが、両方向とも十分な精度を有している。Figure 2c と d は、image B として image A を西に60.5 grids、南に5.5 grids 平行移動したものをを用いた場合の test 1 と 2 の結果である。Figure 2a と b と同様に、test 1 と 2 において、雲の特徴の変位ベクトルを正しく求めることができている。これは前節で述べられたように、相関曲面の最大値の位置をサブグリッドスケールで求めたからこそその結果である。このような雲追跡の高精度は、筋状構造の多い中緯度においても、低緯度と同様に達成されている。

以上のように、我々が開発した雲追跡システムはアルゴリズムレベルでは十分な精度を有し

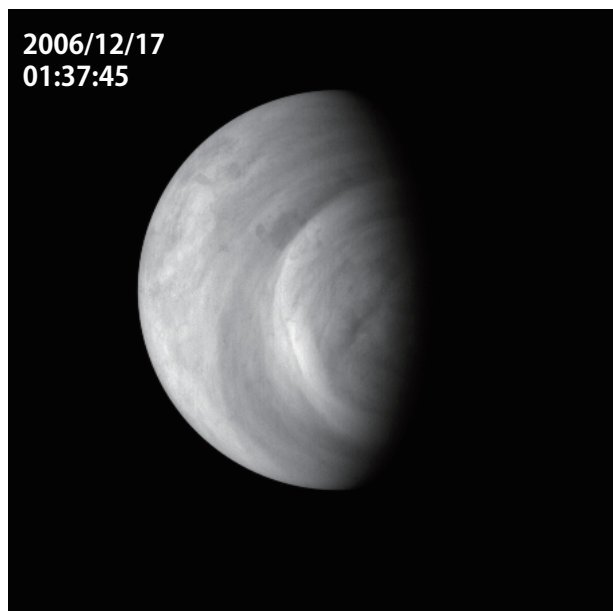


Fig. 1. 本研究で用いたサンプル画像。軌道0240において、2006/12/17 01:37:45にVEx/VMCによって取得された画像である。

ていることが示された。今後は、実際の連続画像を用いて、雲追跡がどのような場合に成功し、どのような場合に失敗するのかを入念に調査しなければならない。その結果に応じて、雲追跡システムを最適化する必要がある。また、雲追跡を行う時間間隔(2枚の画像の時間間隔)はどれくらいがよいのかも検討する必要がある。

5. 最後に

あかつきのデータアーカイブは特に気象分野の研究を行うにあたって利便性が高くなるように計画されている。できるだけ、既存の再解析データと同じようにアクセスし解析できるようにしたいと考えている。処理に用いられるソースプログラムも公開予定であるので、興味のあるユーザは自分で経度緯度座標への返還や雲追跡を行うことも可能である。格子点データでの風速や輝度値データの公開は、惑星探査データとしてはおそらく初の試みである。これまで惑星大気のデータにふれたことのない人々が、あかつきのデータ公開によって惑星気象研究に興味を抱いてくれればこの上ない喜びである。

参考文献

- [1] Evans, A. N., 2000, IEEE T. Geosci. Remote., 38, 1064.
- [2] JMA, 1980, The GMS Users' Guide, Issue 1, Meteorological Satellite Center, Tokyo

Fig. 2. image A と image B を用いて雲追跡を行い、求められた変位と格子点数の関係を示すヒストグラム。(a) と (b) image B として image A と全く同じ分布を用いた場合の、それぞれ東西方向の変位と南北方向の変位。(c) と (d) image B として image A を西に 60.5 grids、南に 5.5 grids 平行移動したものをを用いた場合の、それぞれ東西方向の変位と南北方向の変位。すべてのパネルにおいて、実線は test 1、点線は test 2 の結果を示している。

- [3] Moissl et al., 2009, J. Geophys. Res., 114, E00B31, doi:10.1029/2008JE003117.
- [4] Ogohara et al., 2011, Icarus, Submitted.
- [5] Rossow et al., 1990, J. Atmos. Sci., 47, 2053.
- [6] Wu, Q. X., 1995, IEEE T. Pattern Anal., 17, 843.