

北大ピリカ望遠鏡による土星のスペクトル撮像

北海道大学 大学院理学院 宇宙理学専攻
濱本昂, 高橋幸弘, 尾崎彰士, 渡辺誠

1. はじめに

土星大気表層では積乱雲が定期的が発生することが知られている。通常の積乱雲(300 - 3,000 km)の約 10 倍以上の大きさのものは大白斑(Grate White Spots)と呼ばれており、土星での 1 年(29.5 地球年)に 1 度の割合で発生している。また発生する季節が土星北半球の初夏頃であることと合わせて、土星の季節性に関係している可能性が示唆されている。土星の季節性や周期的な現象を解明するためには、定期的且つ長期的な観測が重要である。

土星には主に NH_3 (0.5 - 2 bar), H_2O (2 - 9 bar)の 2 種類の雲があり、過去に観測された大白斑の雲頂高度は1933年: 0.25 bar, 1960年: 0.1 bar, 1990年: 0.2 - 0.3 bar と推定されている。これらの雲高度は Figure 1 のように、 CH_4 吸収波長帯(619, 727, 890 nm)での反射率の変化と雲構造を仮定した放射伝達計算から推定される。土星湿潤対流モデルを用いた積乱雲対流のシミュレーションから、過去に観測された大白斑の雲頂高度に到達するためには H_2O 雲層からの対流が必要であると考えられている[Hueso and Sanchez-Lavega, 2004]。ただし、この研究では平行凝縮モデルから得られた土星の雲構造[Atreya & Wong, 2004]を元にしており、対流状態では雲構造自体が異なっている可能性があることに留意する必要がある。

2010 年 12 月に大白斑($37.7 \pm 0.8^\circ \text{N}$)が発生しており、30 年周期で予想される時期より約 10 年早い、発生後約 2 ヶ月で土星を経度方向に 1 周する過去最大規模である、という 2 点の特徴としてあげられる。土星探査期 Cassini の Imaging Science Subsystem (ISS) による CH_4 吸収波長の観測画像と 3 層放射伝達モデル (gas/haze+gas/cloud) から雲頂高度が約 150 mbar であると推定されている [Sanchez-Lavega, et al., 2011, Nature]。ただし、現在は大白斑の成長過程における雲頂高度の推定しかされておらず、また大白斑のスペクトル情報は得られていなかった。

本研究では土星の定期的且つ長期的なモニタリング観測を視野に入れつつ、2010 年以降 2 度 (2011 年 5 月, 6 月) のスペクトル撮像を行った。

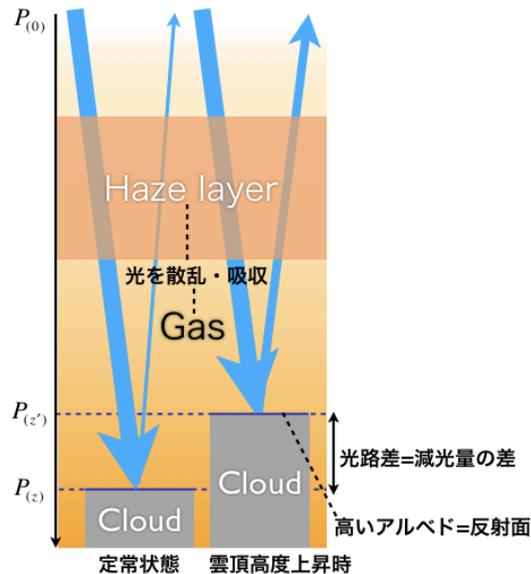


Fig. 1 CH_4 吸収波長における雲頂高度上昇の影響の概念図。雲頂高度が上昇すると入射した光の大気中の透過距離が短くなり、結果減光量が減って反射率が高くなる。この特性を用いて、 CH_4 吸収波長での放射伝達の計算結果が観測された反射率に近づくよう雲構造モデルを調整し、雲頂高度を推定する。

得られた画像をから土星の二次元スペクトルデータ(400 - 1100 nm)を得ることに成功した。そのスペクトルデータと土星雲構造放射伝達モデルから大白斑の減衰過程における雲頂高度を推定することを目標に解析を進めている。

2. 観測概要

北海道大学では継続的に惑星の観測を行うため、北海道名寄市に 1.6m 光学望遠鏡(ピリカ望遠鏡)を有する北海道大学・大学院理学研究院・附属天文台を建設した。ピリカ望遠鏡には複数の観測装置が設置されており、その中の 1 つとして北海道大学が開発した可視マルチスペクトル撮像装置(MSI)がある。MSI は液晶波長可変フィルター(Liquid Crystal Tunable Filter; LCTF) と EM-CCD を用いており、分光と撮像を短時間で同時に行うことが可能である。本研究では 2011 年 5 月 5 日, 6 月

6日にMSIを用いてスペクトル撮像観測を行った。観測の情報についてはTable 1に示す。

Table. 1

	2011年5月5日	2011年6月6日
波長領域 (nm)	400 - 1100	500 - 975
波長間隔 (nm)	7 - 20	3 - 10
波長数	180	86
シーイング (")	3.5	3
System III longitude (°)	37.9-57.6	335.3-347.6

また、本研究では次項で述べる反射率の補正のため土星を観測した直後にスペクトル情報が既知の標準星も観測している。

3. 解析手法

今回の解析では、まず標準星の観測データを用いて地球大気の吸収と太陽光スペクトルの影響を取り除き、波長毎に各ピクセル毎の反射率を求めた。補正は以下の式で表される。

$$\frac{I}{F}(abs) = \frac{C_{saturn} \cdot F_{star}}{C_{star} \cdot F_{sun}}$$

それぞれ、 C_{saturn} ：土星の観測値、 C_{star} ：標準星の観測値、 F_{star} ：標準星のフラックス、 F_{sun} ：太陽のフラックスである。反射強度に変換した画像において、土星の地球直下点と大白斑の発生緯度(37.7

°N)のスペクトルをそれぞれの観測日についてプロットした。

4. 結果

Figure 2 と Figure 3 で示されるスペクトルからはCH₄吸収(619、727、890 nm)が確認でき、各吸収の深さとスペクトル全体の概形は過去の観測で得られたもの[Karkoschka, 1994]と一致している。また5月と6月共通して、地球直下点における連続帯の反射率は1994年の値とほぼ一致しているのに対して、CH₄吸収帯(赤丸部分、727 nm、890 nm)の反射率は1994年の値と比べて高いことが分かる。このことから1994年に比べて土星低緯度域において、雲頂高度が上昇している可能性が考えられる。一方、Figure 2 の 450 - 650 nm で1994年の値とずれが見られる。これは、6月の観測では全波長のスキャンが約15分で完了したのに対し、5月の観測は全波長のスキャンに30分かかっていたため天候の変化影響が強く出てしまったためと考えられる。ただ、同一画像内での地球直下点と大白斑発生緯度の相対的な比較は可能である。そこで、大白斑発生緯度のスペクトルを地球直下点のスペクトルで割ることによってFigure 4が得られた。Figure 4 からCH₄吸収帯(727、890 nm)において、5月と6月で反射率の割合はほぼ一致している。このことから、この1ヶ月間の間で大白斑の雲頂高度に大きな変化が出ていない可能性が考えられる。

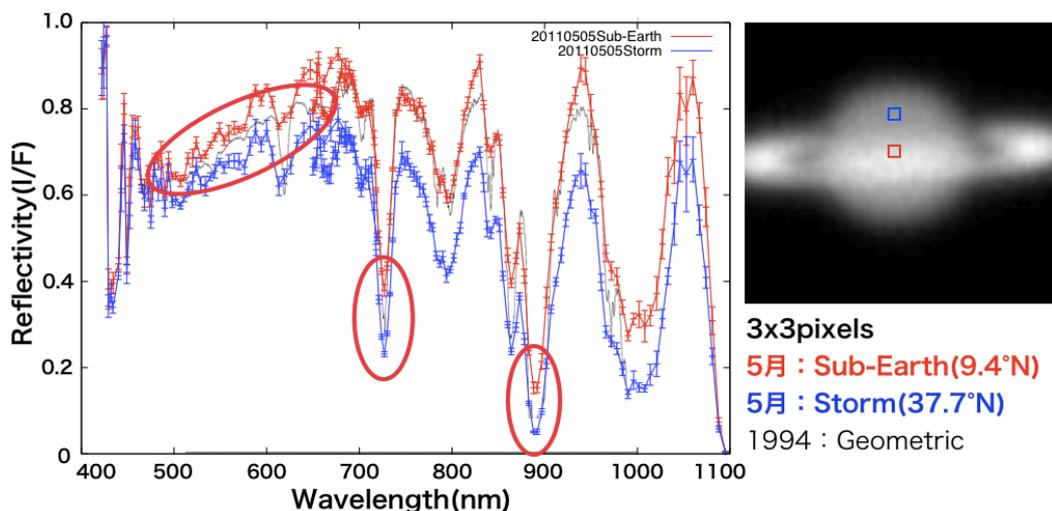


Fig. 2 2011年5月5日の土星スペクトル(400 - 1100 nm)。赤線が地球直下点(9.4°N)、青線が大白斑発生緯度(37.7°N)、黒線は1994年の土星全体の反射率[Karkoschka,1994]を示す。

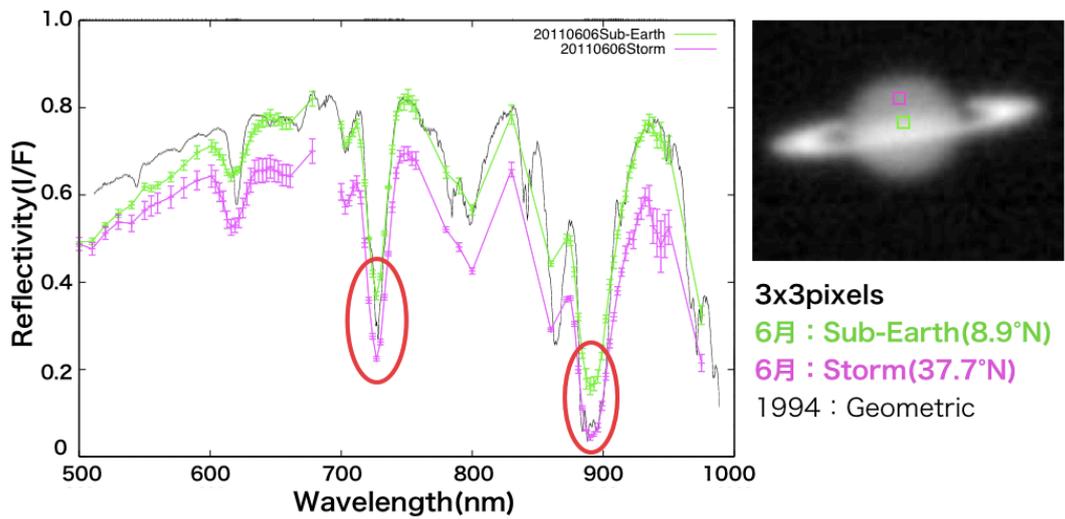


Fig. 3 2011年6月6日の土星スペクトル(500 - 975 nm). Fig 1 と同様に, 緑線が地球直下点(8.9 °N), 紫線が大白斑発生緯度(37.7 °N), 黒線は1994年の土星全体の反射率[Karkoschka,1994]を示す.

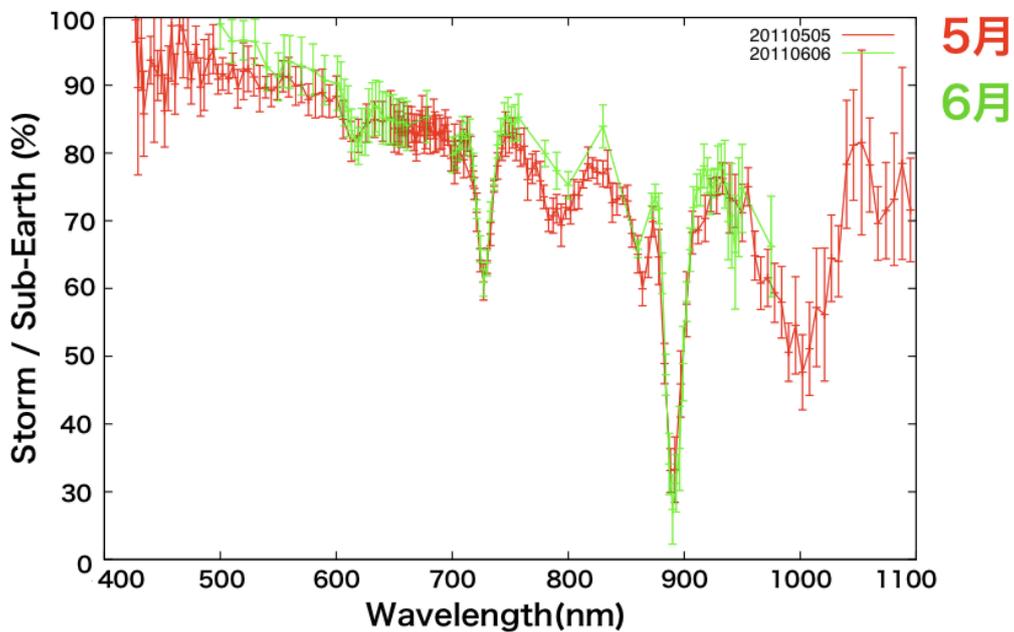


Fig. 4 土星における地球直下点の反射率に対する大白斑発生緯度の反射率の割合. 赤線が5月, 緑線が6月のデータを示す.

5. まとめ

本研究では2011年5月と6月にピリカ望遠鏡とMSIを用いて, 土星大白斑のスペクトル観測を行った. 得られた画像を反射率に変換し, 地球直下点と大白斑発生緯度のスペクトルを比較した. その結果, 5月と6月の間では大白斑の雲頂高度が大きく変化していない可能性が示唆された. 一方で1994年の観測値と比較すると, 低緯度(地球直下点)において, CH₄ 吸収帯(727, 890 nm)での反射率が高くなっており, 1994年と比べて雲頂高度が上昇している可能性があることが分かった.

今後は大白斑が見られなくなった時期に同様の観測を行い, 反射率の比較から雲頂高度の変化を

調べ, また観測データと土星雲モデルの放射伝達計算を用いて定量的な雲頂高度を導出していく.

6. 参考文献

Acarreta, J. R., and A. Sanchez-Lavega (1999), Vertical Cloud Structure in Saturn's 1990 Equatorial Storm, *Icarus* 137, 24-33.

Atreya, S.K., and A. Wong (2004), Coupled clouds and chemistry of the giant planets a case for multiprobes, *Space Science Reviews*. 116: 121-136.

Fischer, G., W. S. Kurth, D. A. Gurnett, P. Zarka, U. A. Dyudina, A. P. Ingersoll, S. P. Ewald, C. C. Porco, A. Wesley, C. Go, M. Delcroix (2011), A giant thunderstorm on Saturn, *Nature* doi:10.1038/nature10205.

Hueso, R., and A. Sanchez-Lavega (2004), A three-dimensional model of moist convection for the giant planets II: Saturn's water and ammonia moist convective storms, *Icarus* 172, 255-271.

Karkoschka, E. (1994), Spectrophotometry of the Jovian Planets and Titan at 300- to 1000-nm Wavelength: The Methane Spectrum, *Icarus* 111, 174-192.

Karkoschka, E., and M. Tomasko(2005), Saturn's vertical and latitudinal cloud structure 1991-2004 from HST imaging in 30 filters, *Icarus* 179, 195-221.

Sanchez-Lavega, A., T. del Rio-Gaztelurrutia, R. Hueso, J. M. Gomez-Forrellad, J. F. Sanz-Requena, J. Legarreta, E. Garcia-Melendo, F. Colas, J. Lecacheux, L. N. Fletcher, D. Barrado-Navascues, D. Parker, the International Outer Planet Watch Team(2011), Deep winds beneath Saturn's upper clouds from a seasonal long-lived planetary-scale storm, *Nature* doi: 10.1038/nature10203.

Temma, T., N. J. Chanover, A. A. Simon-Miller, D. A. Glenar, J. J. Hillman, D. M. Kuehn (2005), Vertical structure modeling of Saturn's equatorial region using high spectral resolution imaging, *Icarus* 175, 464-489.