

液晶チューナブルフィルターを用いた木星雲構造の観測的研究II

佐藤 隆雄 [1]; 笠羽 康正 [2]; 高橋 幸弘 [3]; 村田 功 [4]; 宇野 健 [5]; 時政 典孝 [6]; 坂元 誠 [7]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地球物理; [4] 東北大・環境; [5] 東北大・理・地球物理; [6] 西はりま天文台; [7] 西はりま天文台

Observational study of Jupiter's cloud structure using liquid crystal tunable filter II

Takao Sato[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Yukihiro Takahashi[3]; Isao Murata[4]; Takeru Uno[5]; Noritaka Tokimasa[6]; makoto sakamoto[7]

[1] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.

; [2] Tohoku Univ.; [3] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Environmental Studies, Tohoku Univ.; [5] Dept. Geophysics, Tohoku University; [6] Nishi-Harima Astron. Obs.; [7] NHAO

<http://pat.geophys.tohoku.ac.jp/indexj.html>

Jupiter emits 1.67 times more radiation than it receives from the Sun, which indicates substantial internal heat source and hence presumably vigorous convection. It's important to understand the distribution and optical and physical properties of clouds and haze particles. They play major role in the radiative heat source and they can tell us about the atmospheric dynamics.

Sun light is reflected at NH_3 and/or NH_4SH cloud decks through multiple scattering in the troposphere according to the equilibrium cloud condensation model (ECCM). Methane is considered that its altitude distribution is nearly uniform through global scale because methane doesn't condense in the troposphere. Amount of methane absorption observed at 727 and 890nm indicates cloud top altitude. Using this principle, in many previous works, Jupiter's cloud structure has been derived using imaging data, obtained by ground-based telescopes, Hubble Space Telescope and spacecrafts.

The traditional observational method using interference filters for cloud structure estimation have been conducted using only a few wavelengths (at only two wavelengths in each methane absorption band: at the band center and adjacent continuum) and hence need many assumptions to derive atmospheric parameters of cloud structure because of low spectral-resolved information, resulting in large ambiguities.

To derive more realistic cloud structure by more spectral-resolved observation in each methane absorption band, we have advanced both observational method and model simulation. It's important to derive more spatial- and spectral-resolved images which are not contaminated by the atmospheric blurring. We have established observational method using LCTF (liquid crystal tunable filter) manufactured by CRI and Hamamatsu EM-CCD camera (C9100-12). LCTF can be tuned instantly and sequentially in 650-1100nm spectral ranges at 1nm intervals. Full width at half maximum of LCTF is narrower ($\sim 7\text{nm}$) than traditional interference filters. EM-CCD camera can obtain enough SNR in short exposure time using capability of electron multiplication.

To optimize the use of this advanced observational system, we installed this at the Cassegrain focus of the 2-m reflector optical telescope at Nishi-Harima astronomical observatory and observed Jupiter in late May, 2008. Because the large aperture of telescope can achieve sufficient light intensity of Jupiter in short exposure time in which atmospheric seeing doesn't change and this observatory is one of the best seeing sites, This observation for our study is feasible. As the result, we could acquire Jupiter's data cubes with high-spatial resolution (seeing size: ~ 1 arcsecond) and narrow band imaging in each methane absorption bands (700-757, 872-950nm at 3nm intervals) by summing a lot of Jupiter's images obtained in short exposure time (50ms).

After a series of image processing, we converted intensity to absolute reflectivity at each pixel using standard star. We extracted the center-limb profiles along a latitude line because in case of arguing the large-scale structure, we can assume that the cloud structure is uniform longitudinally. The shapes of these profiles are strongly affected by the vertical distribution of scattering and absorbing materials in the atmosphere. Therefore, we can give the cloud structure more constrained condition because we fit not traditional curved line but curved surface. We use both the radiative transfer code based on layer adding doubling algorithm to treat multiple scattering of solar light and the Marquardt algorithm which is one of the numerical solutions to the problem of minimizing nonlinear model. We made the several cloud structure models which were altered by with or without haze layer and number of cloud layers. We will derive the atmospheric parameters at each structure model.

In this presentation, we will show observational results, outline of our model and Jupiter's cloud structure based on our analysis.

木星は、固体表面が無く、太陽からの輻射熱と同等以上の熱源を抱えている。その大気への理解には、放射熱量に関する雲・ヘイズの分布、及びその光学的・物理的特性の理解が必要である。これらは、東西に延びる「縞構造」や大赤斑など「斑構造」といった対流圏気象の大気ダイナミクスを解明する上でも基本的なパラメータである。

熱平衡雲凝結モデル (ECCM) から、木星対流圏には上方から NH_3 、 NH_4SH 、 H_2O の雲層があると推定される。太陽光は、これらのうち上2層の雲によって多重散乱を受けた後に反射される、と考えられている。微量成分であるメタンは大気中で凝結しないため、全球で「高度分布がほぼ様」と考えることができる。このため、近赤外線域にあるメタン吸収帯 (727,890nm) で観測される柱密度は、「雲頂高度」を示すことになる。

この原理を用いて、地上望遠鏡、ハッブル宇宙望遠鏡、Galileo 探査機などによる先行研究では、メタン吸収帯の中心と連続帯 (750,950nm) の撮像データを比較することで雲構造の導出を行ってきた。木星の雲粒子の散乱位相関数にお

る波長依存性などの基本的なパラメータの不足に加え、観測波長が数波長しかないために、観測結果を満たす雲構造の大気パラメータの解は本来無数に存在しうる。これを回避するため、先行研究では、例えば異なる成分である雲同士でも物理的・光学的特性を同一と仮定せざるをえず、モデル単純化によって大気パラメータの数を減らしたり、最初から雲構造を単一モデルに固定するなどしてきた。示された結果のモデル依存性や単純化による影響については、ほとんど言及されておらず、相互の結果は単純比較ができない。

本研究では、こうした問題意識のもと、より現実的な雲構造を導出することを目的とし、観測手法およびモデル双方の改良を図った。まず観測においては、「波長分解能をあげた分光観測」と「空間分解能の高い撮像観測」の両立、および地上観測の最大の弱点である、「大気の揺らぎ」を極力抑えた画像の取得を目指し、CRI社製の液晶チューナブルフィルター(LCTF)と浜松ホトニクス社のEM-CCDカメラ(C9100-12)を用いた観測手法の確立を行ってきた。LCTFは波長範囲が650-1100nmで波長を高速かつ連続的(1nm間隔)に変更することが可能である。また、通常の干渉フィルターに比べて半値幅(7nm)が狭い。また、EM-CCDカメラの電子増倍機能を用いることで、短時間露出画像で十分なS/Nを得ることを可能とした。

我々は、2008年5月下旬に、兵庫県立西はりま天文台の協力のもと、シーイングが比較的良くかつ短時間露出画像でも十分光量を得ることのできる「なゆた望遠鏡」(口径2m)のカセグレン焦点(F/12)に本観測装置を取り付け、木星の高速分光撮像観測を行った。シーイングが時間変動しない短時間露出(50ms)画像を、メタンの吸収帯中心から連続帯にかけての波長領域(700-757,872-950nm)を3nm間隔で取得し、重ね合わせることによって、同時・狭帯域・高空間分解(シーイングサイズ:約1秒)のデータ・キューブ(空間2次元+波長1次元)を得ることに成功した。

このデータ・キューブにより、絶対反射率分布の評価を行った。次いで外惑星では緯度毎に類似した雲構造の様相を示すとみなせるため、経度方向に沿って周辺減光曲線を抽出した。これは周辺減光曲線がエアロゾル層の鉛直分布をよく反映するためである。さらに、木星の経度方向の輝度分布を入射角と反射角だけに依存した「Minnaert経験則」で仮定し、入射角と反射角の余弦が両方とも1となる理想的な反射率(Minnaert albedo)を定め、これを用いて規格化を行った。これにより各緯度においてスペクトル空間と実空間(経度)方向の双方に対するフィッティングをかけることとなり、より厳しい制約条件を課すことが可能となった。モデル計算においては、太陽反射光の多重散乱を考慮するため、Adding Doubling法による放射伝達計算を行い、観測結果とモデル結果のフィッティングにはMarquardt法を利用している。雲構造モデルには、ヘイズの有無、雲層の数を変化させるなどしたモデルを数個作成し、各雲構造モデルに応じた大気パラメータ(雲やヘイズの高度分布、光学的・物理的特性)を導出し、最終的にはモデルへの依存性も評価する予定である。

本発表では、これらの観測結果、モデル計算の概要、及び本解析に基づく木星雲構造を示す予定である。