

北大ピリカ望遠鏡による 木星極域ヘイズの観測

22080010

尾崎彰士

宇宙惑星グループ

指導教員：高橋幸弘

概要

木星極域には光を散乱させるガスとエアロゾルから成るヘイズが存在することが知られている。ヘイズは木星の雲よりも上層に位置しており、ヘイズが存在しない部分は太陽からの光が雲に反射されるまで散乱と吸収が多くなるため、メタンの吸収波長ではヘイズが明るく映し出される。

このヘイズの鉛直構造は先行研究で高度分布の推定がなされてきたが、水平構造についてはあまり議論されていない。この極域ヘイズの水平方向の構造には特徴があり、極域ヘイズが見られる赤道方面の境界に沿って波状構造が確認されているが、その構造の長期的な時間変動は確認されていない。今回、北大ピリカ望遠鏡を用いて木星極域ヘイズをメタンの吸収波長である 889nm で観測を行い、ヘイズの波構造を観測した。波が見られる緯度は過去と変わっていなかったが、波の位相は過去とは違っていた。

目次	
第一章 序論	2
1.1 木星の概要	2
1.2 木星の観測	2
1.3 木星のヘイズ	3
1.3.1 木星のヘイズの鉛直構造	3
1.3.2 木星の極域ヘイズの水平構造	4
1.4 本研究の目的	6
第二章 観測	7
2.1 北大ピリカ望遠鏡	7
2.2 MSI	8
2.3 観測概要	8
2.4 画像処理	9
2.4.1 画像の一次処理	9
2.4.2 画像の合成	10
第三章 解析	11
第四章 結果	14
第五章 考察	16
謝辞	19
参考文献	20

第一章 序 論

1.1 木星の概要

木星は太陽系で大きさ、質量ともに最も大きな惑星であり、内側から 5 番目の公転軌道を周回している。木星の天文学的パラメータを記した表を表 1.1 に示す。地球と比較してみると赤道半径で十倍以上大きい、密度は 1/5 程度しかないことが分かる。これは木星の大気のほとんどが H_2 と He で出来ているからである。木星大気は H_2 が 89 %、 He が 11 %をしめている。そのほかにも NH_3 と CH_4 が微量に存在する。

表 1.1 木星と地球のパラメータ比較

	木星	地球
赤道半径 (km)	71492	6378
自転周期 (地球日)	0.414	0.997
赤道の重力加速度 (m/s^2)	23.18	9.78
密度 (g/cm^3)	1.33	5.52
平均軌道半径 (AU)	5.2	1
アルベド	0.73	0.3

木星は地表面を持たないガス惑星であるため、自転の基準が地球を代表する個体惑星と異なっている。木星の赤道部の縞模様の自転周期を System I、高緯度の自転周期を System II、木星磁気圏から発せられる電波の周期を System III と呼び、その周期はそれぞれ 9 h 50 m 30 s、9 h 55 m 41 s、9 h 55 m 29 s である。本論文中での経度は System III を用いる。

1.2 木星の観測

木星の観測ははるか昔から行われており、木星は観測波長により見え方が違うことが昔から知られている。木星の大気組成から観測する波長を変えることにより見える外観が変化する。メタンの吸収波長 889 nm で見ると他の波長とは惑星表面の特徴が大きく違って見え

る。(図 1.1) このメタン吸収波長の画像で極域にはヘイズが明るく映っており、このヘイズの高度などが議論されてきた。



図 1.1 ピリカ望遠鏡により撮影された木星(左図:727 nm 中央図:750 nm 右図 889 nm)
727 nm ではメタンの弱い吸収があり、750 nm ではメタンの吸収がほとんどなく、889 nm
ではメタンの吸収が強い。

1.3 木星のヘイズ

木星極域には光を散乱させるガスとエアロゾルから成るヘイズが存在することが知られている。ヘイズは木星の雲よりも上層に位置しており、ヘイズが存在しない部分は太陽からの光が雲に反射されるまで散乱と吸収が多くなるため、メタンの吸収波長ではヘイズが明るく映し出される。

1.3.1 木星のヘイズの鉛直構造

木星のヘイズについては木星画像の反射強度をパラメータとしてヘイズの鉛直構造が求められてきた。図 1.3.1 は[Barrado-Izagirre et al., 2008]の木星の雲の鉛直構造モデルである。ヘイズは木星の雲の上部に位置しており、上部に成層圏のヘイズ、下部に対流圏のヘイズが存在している。構成粒子のサイズを仮定し放射伝達からヘイズ層の厚さが求められてきた。Barrado-Izagirre et al., 2008 のモデルでは成層圏のヘイズは極域では南北共に 1 mbar から 100 mbar に存在し、対流圏のヘイズは南極で 300 mbar から 600 mbar、北極では 500 mbar から 700 mbar に存在するとされている。

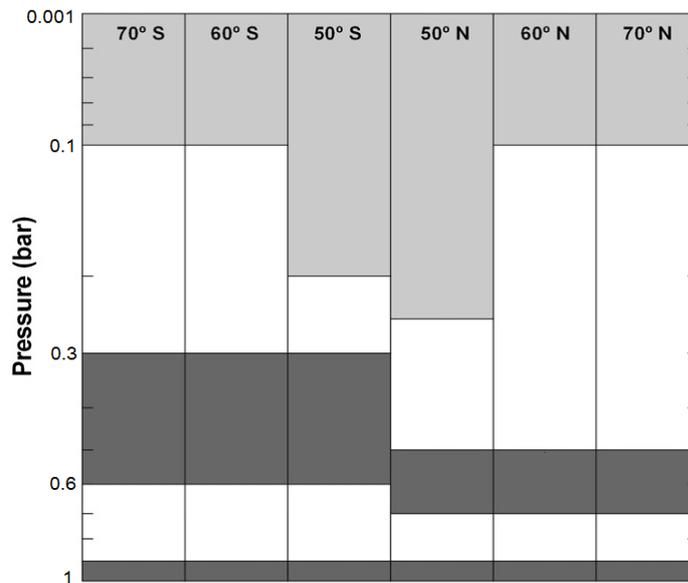


図 1.2 木星の雲の鉛直構造モデル[Barrado-Izagirre et al., 2008]より一部改変

1.3.2 木星の極域ヘイズの水平構造

木星の極域を 889 nm で観測すると、メタン吸収のない波長で観測した特徴と異なった特徴が見られる。889 nm で観測された木星の極域のヘイズには特徴があり、赤道側の境界には波状のパターンが見られる。Cassini が 2000 年 10 月から 2001 年 3 月に木星をフライバイする間に得られた木星画像を合成することにより木星の極上から見た画像が作成された。

[Barrado-Izagirre et al., 2008] 以下で示す図 1.3 は Cassini の観測の画像の 8 時間分 (20 – 60 分間隔) を使い、作られた極上から見た画像である。

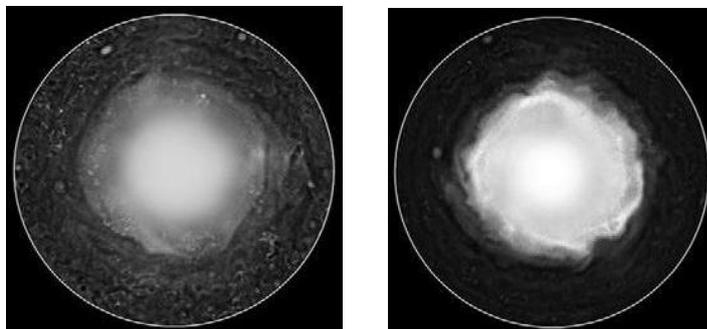


図 1.3 Cassini が 889 nm で撮影した木星の画像を合成して得られた極域の画像 (左図：北極 右図：南極) [Barrado-Izagirre et al., 2008]

こうして得られた画像の南緯 67° が作る円にそって反射強度をはかったグラフが以下の図 1.4 である。

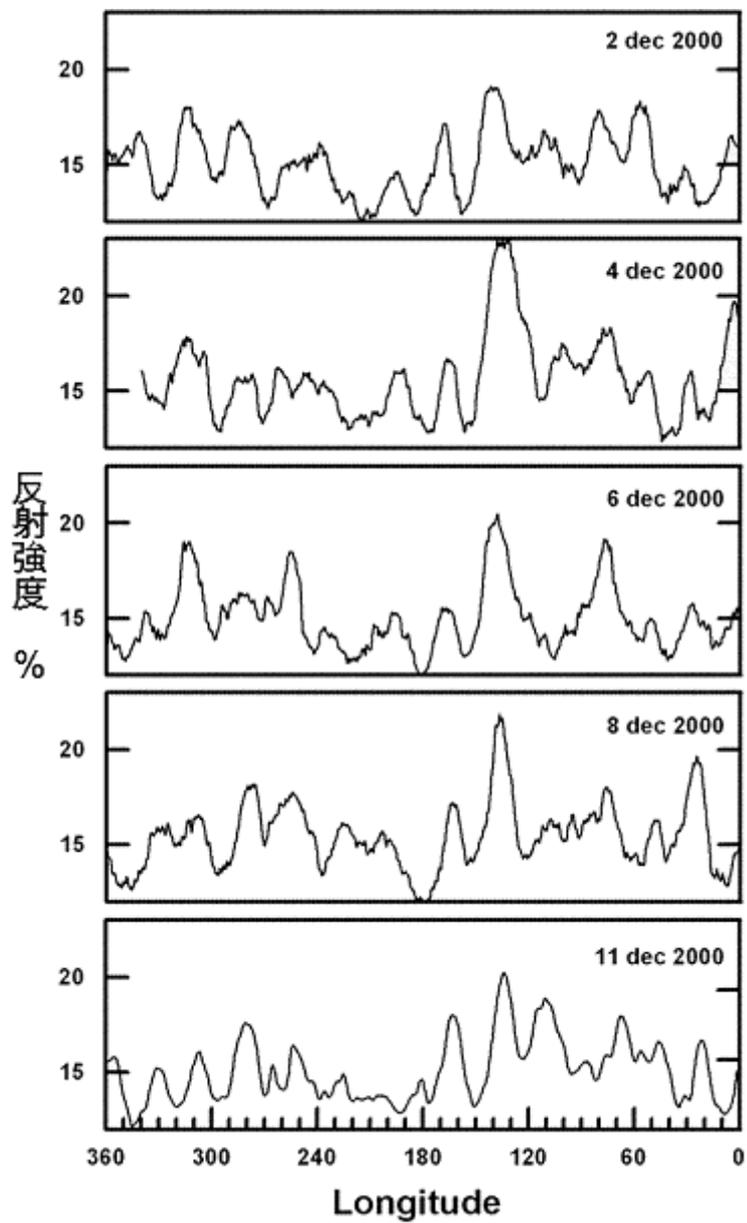


図 1.4 2000 年 12 月 2 日から 11 日までの極域の波。縦軸は反射強度 12 - 23%、横軸は経度 [Barrado-Izagirre et al., 2008]

現段階では北極で波の数約 5 個、南極で 12–14 個出現するとされている。このようにヘイズは緯度 67° 前後に境界を持ち、その境界では波形が観測されているが、先行研究では観測から得られたデータが 2 週間であったので、この波形の長期的な時間変化は確認されていない。

1.4 本研究の目的

木星の極域にはヘイズが存在し、鉛直構造についてはモデル計算が行われてきたが、水平構造について長期的な変動についてはまだ明らかになっていない。

本研究では木星の極域ヘイズの水平構造を調べるために、北海道大学理学研究院附属天文台にあるピリカ望遠鏡を用いて木星を観測し、ヘイズの水平構造を調べた。

第二章 観測

本章では、観測に用いた装置、観測手法、解析手法について述べる。

2.1 北大ピリカ望遠鏡

ピリカ望遠鏡は口径 1.6 m の光学望遠鏡で北海道名寄市の北大附属天文台に設置されており、東経 142° 北緯 44° 標高 151 m に位置している。

北大附属天文台のシーイングは 2010 年 1 月から 6 月に行われたシーイング観測の結果より平均 1.77 秒角である。



図 2.1 正面から見たピリカ望遠鏡 カセグレン焦点には望遠鏡に近い側に MSI、その後ろに近赤外エッセル分光器 NICE がついている。

2.2 観測装置 MSI

今回我々は可視マルチスペクトル撮像装置(MSI)を用いて観測を行った。MSIはピリカ望遠鏡のカセグレン焦点に設置されている。ピクセルスケールは 512×512 pixel、視野は 3.3 分角 \times 3.3 分角 (0.39 秒角/pixel) でフィルターは液晶可変フィルターが 2 枚、狭帯域フィルターが 6 枚、広帯域フィルターが 5 枚搭載されている。今回の観測では 1 nm おきに画像を得ることができる液晶可変フィルター SNIR (650 nm – 1100 nm) を用いて 889 nm で観測を行った。



図 2.2 ピリカ望遠鏡のカセグレン焦点に取り付けられた MSI

2.3 観測概要

2011年10月29日から2011年10月31日にかけて木星の観測を行った。木星の極域へイズの水平構造を調べるためにMSIの液晶可変フィルターを用いて 889 nm で観測を行った。表 2.1 に観測概要を示す。観測は露光時間 0.03 s で 1000 枚撮影し、得られた 1000 枚の画像に対して位置を合わせて足し合わせるにより大気による木星の像の揺らぎが軽減された木星の像を得た。

表 2.1 観測概要

観測日時(JST)	観測波長(nm)	露光時間(s)	撮影回数	平均シーイング
2011/10/29 23:06 - 28:00	889	0.03	63	2.7
2011/10/31 19:30 - 23:55	889	0.03	60	1.6

2.4 データ処理

観測で得られた生データには、目標天体からのシグナル以外に、信号読み出し時に付加されるバイアスやピクセルごとの感度むらが存在する。以下ではノイズの除去方法について述べたのち、得られた木星画像の合成手法を記載する。画像処理には IRAF を用いた。

2.4.1 画像の一次処理

バイアス差し引き

CCD カメラから電荷を読み出す際に付加されるカウント値はバイアスと呼ばれる。バイアスは観測により得た画像上にあるため、画像からバイアスを差し引く必要がある。バイアスだけを検出したバイアスフレームは、CCD に光を与えず、露光時間を 0 にして作成される。しかし、MSI の CCD カメラでは露光時間を 0 にすることは出来ないため、CCD に光を与えず、露光時間を最短にしてバイアスフレームを得る。ランダムなばらつきを少なくするためにバイアスフレームを複数枚作成し、平均化して生データからバイアスを引くためのバイアスフレームを作成する。得られたフレームを観測画像から引くことでバイアスを差し引いた画像を得ることができる。

フラットフィールドニング

CCD カメラの各ピクセルには感度のむらがあり、検出されるカウント値に偏りが生じる。この感度むらと補正するためにフラットフレームを作成する。ドームの中にあるスクリーンに白熱灯を当てることにより一様光源を作り出し、この一様光源から得られた画像からバイアスを引くことにより各ピクセルのレスポンスを示した画像を得ることができる。ここで得られたフラットフレームは天体画像を割って感度むらを取り除くときに天体画像のカウント値が小さくなるのを防ぐために規格化を行う。バイアスが差し引かれた天体画像から規格化を行った後のフラットフレームで割ることによりバイアスを取り除き感度むらを補正した天体画像を得ることができる。

2.4.2 画像の合成

長時間の露光では大気の揺らぎで画像の分解能が下がってしまう。この効果を減らすために短い露光で大量に画像を習得し、その画像を足し合わせるという手法を用いた。観測で得られた木星画像は一度の撮影の中で露光時間0.03 sの画像を1000枚習得している。本研究ではこの1000枚のそれぞれの画像のカウント値の重心を求め、その重心の位置を重ね合わせるにより解像度の上がった画像を習得している。

第三章 解析

ヘイズの波の構造を明らかにするために、得られた全木星画像の南緯 67° 付近での画像上のカウント値を画像処理ソフト ImageJ を用いることにより求めた。切り取った 50 ピクセルの中心と中央子午線経度を一致させている。南緯 67° 付近をプロットすることによりヘイズの波の構造を見ることができる。図 3.1 は得られた木星画像のプロットする位置を示したものであり、図の 3.2 はプロットした結果である。この画像からヘイズの波の谷が出現する経度を特定することができる。

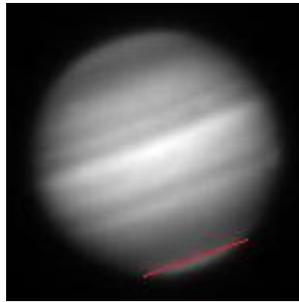


図 3.1 木星の南緯 67° 付近を赤線で示した図（画像は上が北、右が西である）

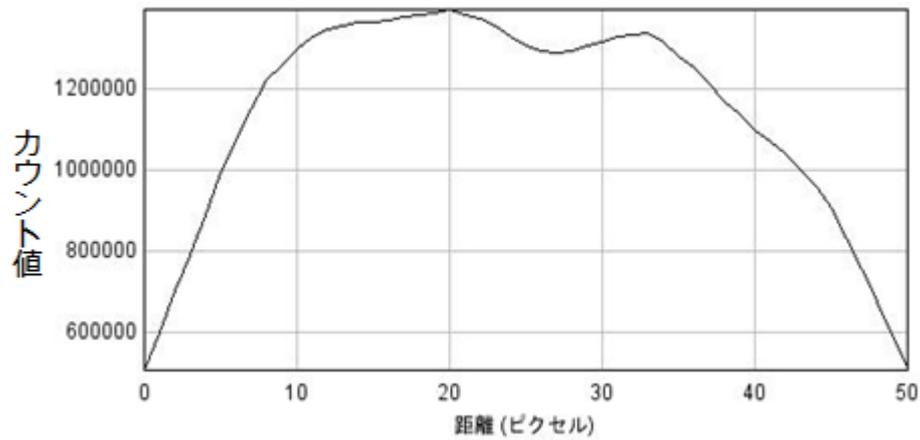


図 3.2 木星画像の南緯 67° 付近で縦軸カウント値、横軸ピクセルでプロットしたもの。横軸は数値が大きい側が西側であり、中央の 25 ピクセルの位置が中央子午線の位置と対応させている。

また、得られたグラフの周辺減光の効果を打ち消すために観測から得られたグラフを全て足し合わせることで周辺減光を打ち消すためのカーブを作成した。

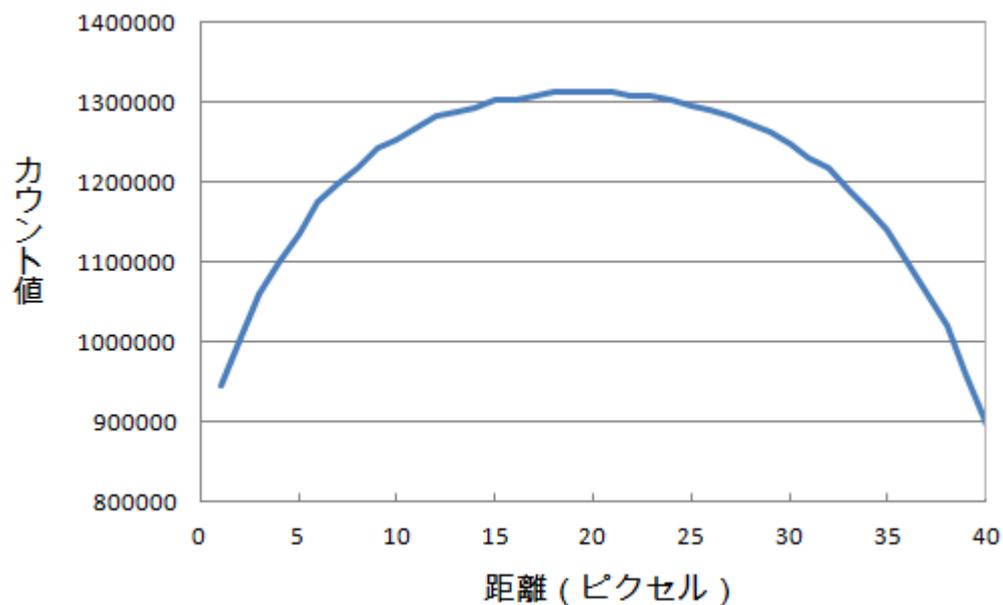


図 3.3 2010/10/31 の観測から得たデータを足し合わせることで得た周辺減光補正のためのカーブ

こうして得られた周辺減光補正のカーブを観測で得られたグラフをから割ることでヘイズの波の構造をとらえた。以下の図 3.4 は 10/31 の前観測データに対し周辺減光の補正を行い、横軸を経度にとり、データを時間ごとにならべたものである。

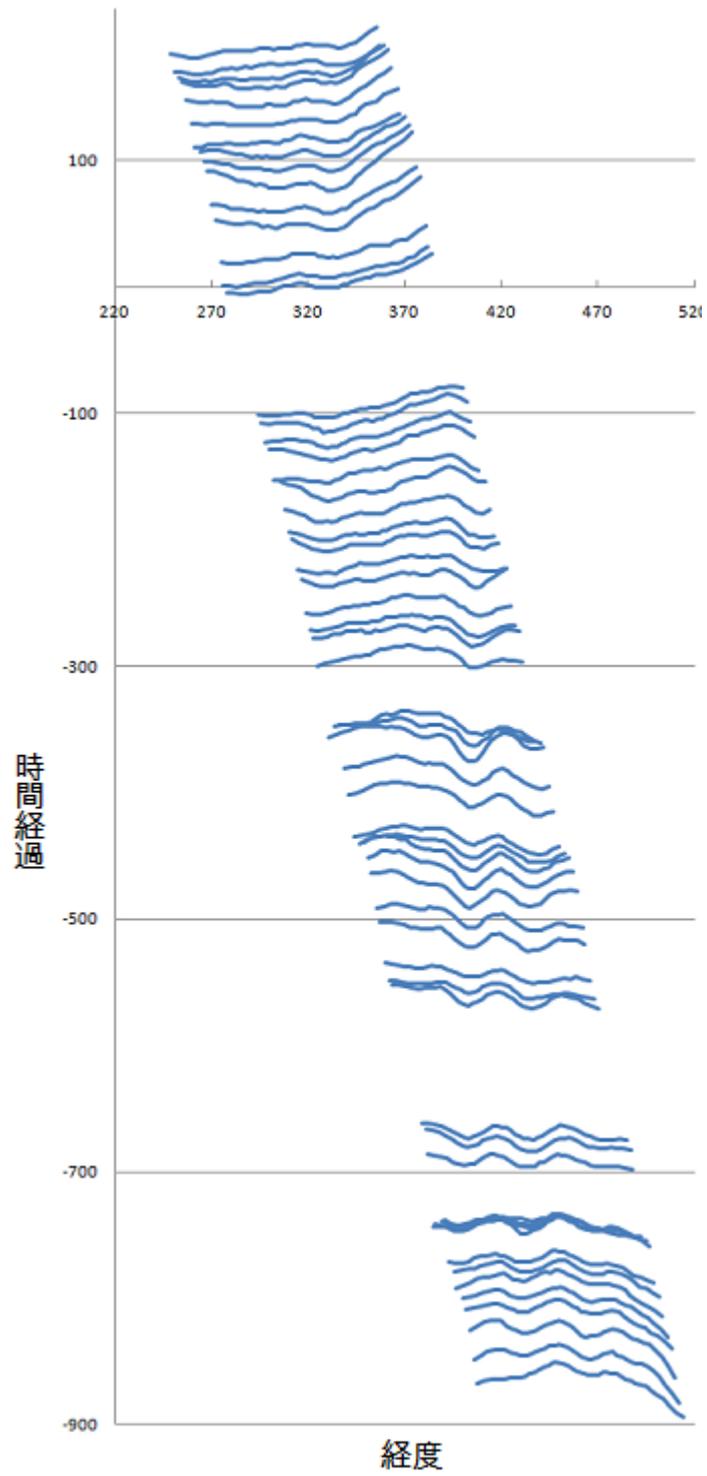


図 3.4 10/31 の観測データに対し周辺減光を補正したグラフ

得られた全ての波を足し合わせ平均をとることで、観測を行った 2010/10/31 でのヘイズの波状構造を得た。波の足し合わせは 60 個の波のデータを線形一次補間により 1 度ごとに値を求め、その値の平均をとることにより求めた。以下に得られた南緯 67° でのヘイズの波状構造の図を示す。図の縦軸には画像上のカウント値を周辺減光補正用の曲線で割ったもの、横軸は経度で記してある。

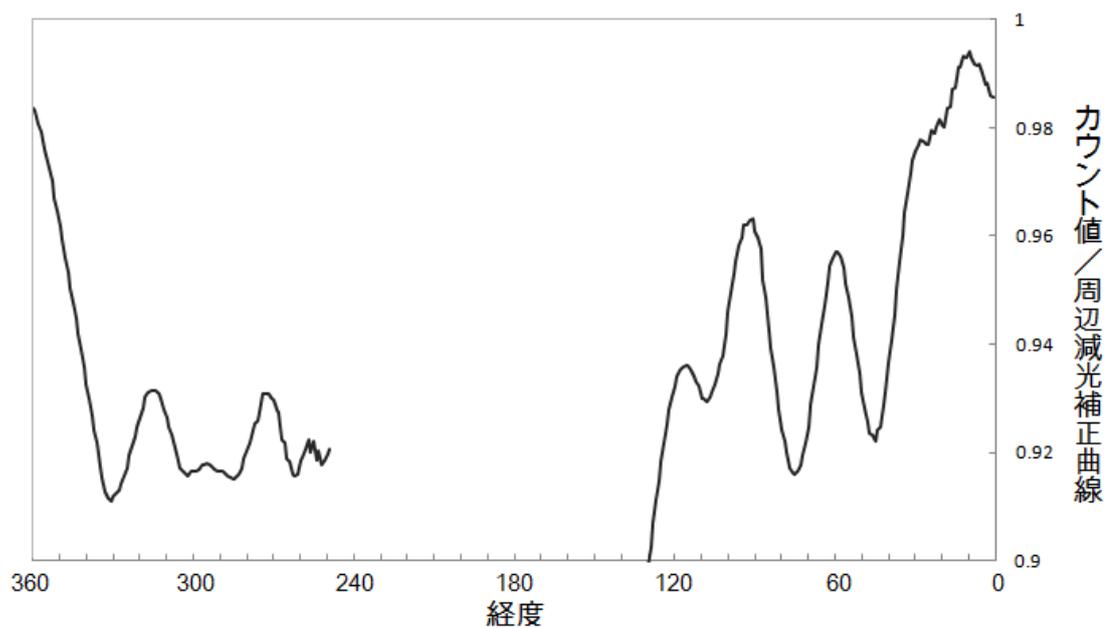


図 4.5 南緯 67° でのヘイズの波状構造

第四章 結果

今回の観測で得られたヘイズの波構造と過去の観測での波構造の画像を載せる。

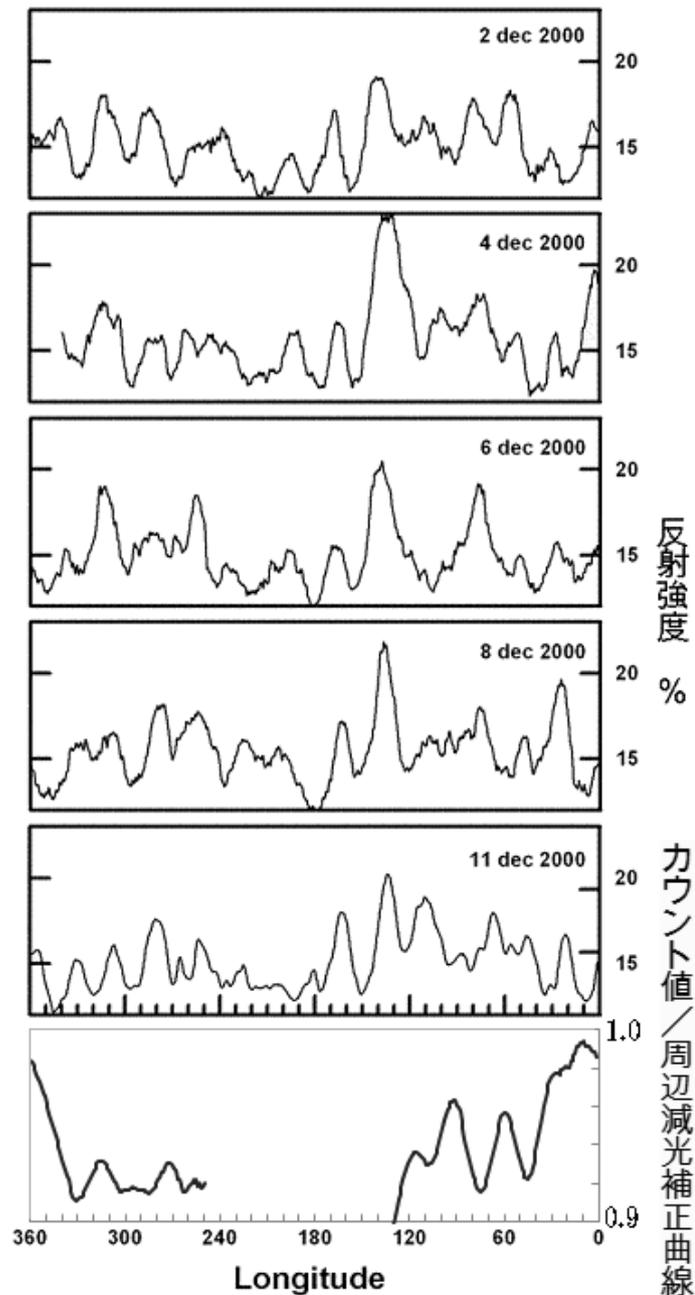


図 4.1 *Barrado-Izagirre et al., 2008* の 2000 年 12 月 2 日から 11 日の南緯 67° でのグラフと今回の 2010 年 10 月 31 日の観測で得られた南緯 67 度でのグラフ

2000年12月2日から11日に観測された南緯 67° でのヘイズの波と今回2010年10月31日に観測した南緯 67° でのヘイズの波を比較した。ヘイズの波の山と谷の位置は過去に観測された山と谷の位置とは違った位置で見られた。

また、今回の観測で得られたヘイズの波数は経度が 240° の間で6と過去の観測では波数が 360° で12-14であったのに対して少なくなっていた。

第五章 考 察

木星のヘイズについて鉛直構造については議論されてきていたが、水平構造についてはあまり議論されてきていなかった。そこで木星の極域ヘイズの構造の時間変化を調べるために 2011/10/29 と 10/31 に木星の観測を行った。今回観測から見ることでできた波は 2000 年の観測で見られた波と出現する緯度は同じであったが、波の山と谷の位置は違っていた。今後はヘイズの波の谷の出現経度に変動が起きるかどうかを調べるために、長期的で連続的な木星のヘイズの観測が必要とされる。

また、観測手法や画像処理を変えることにより空間解像度をあげ、ヘイズの波の振幅の大きさの偏りなども見ることにより、極域ヘイズの水平構造をさらに明らかにしていきたい。

謝 辞

この論文を作成するにあたり、高橋幸弘教授には基本的な論文の書き方から研究アイデアまで多くのことをご指導していただき、深く感謝いたします。

渡辺誠助教授には望遠鏡操作から画像解析に至るまで多くのことを丁寧に教えていただきました。

惑星宇宙グループの皆様には助言や励ましのお言葉をいただきました。

ご協力いただいた皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

Barrado-Izagirre, N., A. Sánchez-Lavega, S. Pérez-Hoyos, and R. Hueso(2008),
Jupiter's polar clouds and waves from Cassini and HST images: 1993–2006
Icarus, **194**, 173–185.

Sánchez-Lavega, A., R. Hueso, and J. R. Acarreta(1998),
A system of circumpolar waves in Jupiter's stratosphere.
Geophys. Res. Lett., **25**, 4043–4046.

Strycker, Paul D., Chanover, J. Nancy, Simon-Miller, A. Amy , Banfield, Don,
Gierasch, and J.Peter(2011),
Jovian chromophore characteristics from multispectral HST images
Icarus ,**215**, 552–583.

Vincent, M.B., and 18 colleagues(2000),
Jupiter's polar regions in the ultraviolet as imaged by HST/WFPC2:
Auroral-aligned features and zonal motions.
Icarus,**143**, 205–222.

West, R.(1979.),
Spatially resolved methane band photometry of Jupiter. I. Absolute
reflectivity and center to limb variations in the 6190, 7250, and 8900 Å bands.
Icarus, **10**, 245–259.