

木星現象論：木星大気の水平構造

地球流体電脳倶楽部

1996 年 5 月 24 日

目次

1	ボイジャーの可視画像	2
2	水平温度構造	3
2.1	高度による水平温度構造の違い	3
2.2	水平温度分布の時間変化	5
2.3	帯状平均温度分布	6
3	風速分布	7
3.1	可視画像と風速分布	9
3.2	ジェット的位置	10
4	参考文献	11

要旨

木星表層大気の水平温度・速度構造を概観する.

1 ボイジャーの可視画像

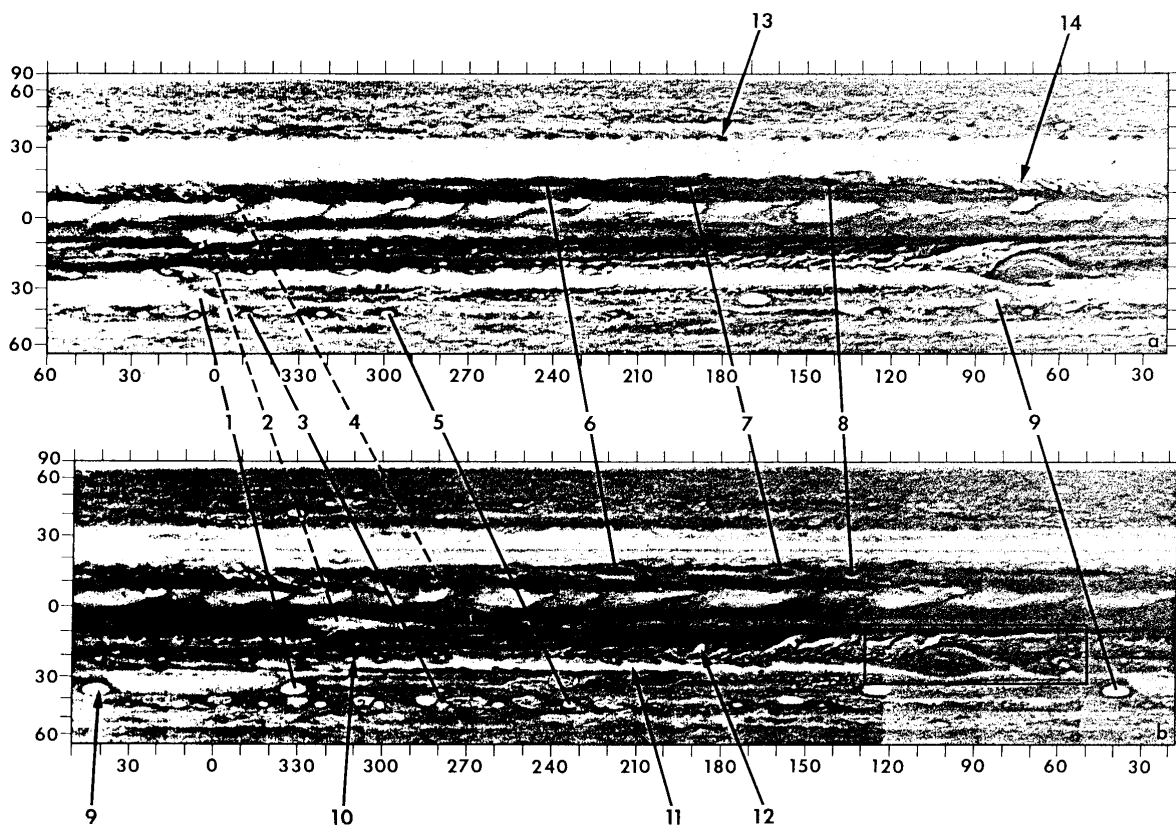


図 1. ボイジャー探査機から得られた木星の可視画像 (Smith *et al.* 1979). (a) はボイジャー 1 号 (rotation 65 : 1979 年 2 月 1 日) , (b) はボイジャー 2 号 (rotation 349 : 1979 年 5 月 23 日) による¹.

¹rotation とはボイジャー 1 号が最初に撮影を行った 1979 年 1 月 6 日からの自転数である.

2 水平温度構造

2.1 高度による水平温度構造の違い

図 2, 図 3 はボイジャー 2 号の赤外放射観測から得られた水平温度分布である. 空間解像度は約 8° である. これらの図では射出角の補正をしていない. 図 2 では極方向に暗くなって行く. 図 3 では縁辺部の明るさが穏やかである.

可視画像との対応

- もっとも暖かい部分は $15^\circ\text{S} \sim 15^\circ\text{N}$. 可視画像で見たときには暗い赤道バンドに対応する位置である.
- $20^\circ\text{N} \sim 35^\circ\text{N}$, $20^\circ\text{S} \sim 35^\circ\text{S}$ がまわりより相対的に温度が低い. 可視画像で見たときには明るいゾーンに対応する位置である.
- 大赤班
図 3 中 23°S , 105°W に冷たい領域が存在する. 可視画像の大赤班に対応する位置である. 図 2 では同じ位置に目立った構造は見られない¹.
- 13°N , 215°W に暖かい長細い領域が見られる. 可視画像での spot に対応する.

しかし, 他の多くの温度分布は可視画像との対応が見つからない.

水平温度傾度は赤道-極間で数 K 程度である. 世の中ではこれをもって木星は温度が一様であると思っているようである (例えば Flasar 1986).

¹なんとなくまわりより冷たいようにも見える.

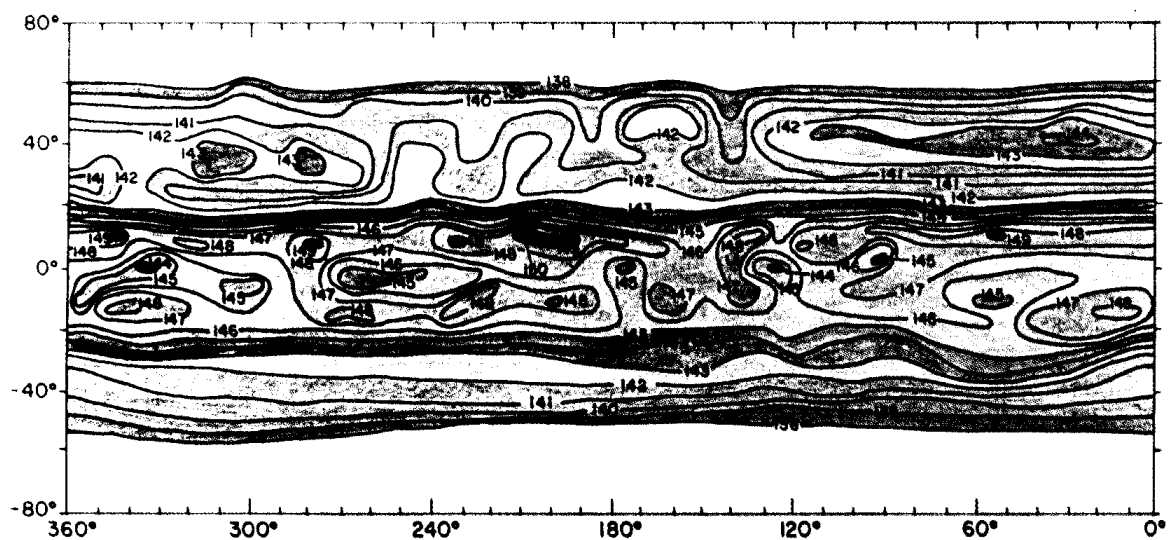


図 2. ボイジャー 2 号の赤外放射観測から得られた波数 226cm^{-1} の² 輝度温度の水平分布. 高度約 800 mb の温度を表していると考えられる. (Hanel *et al.* 1979)

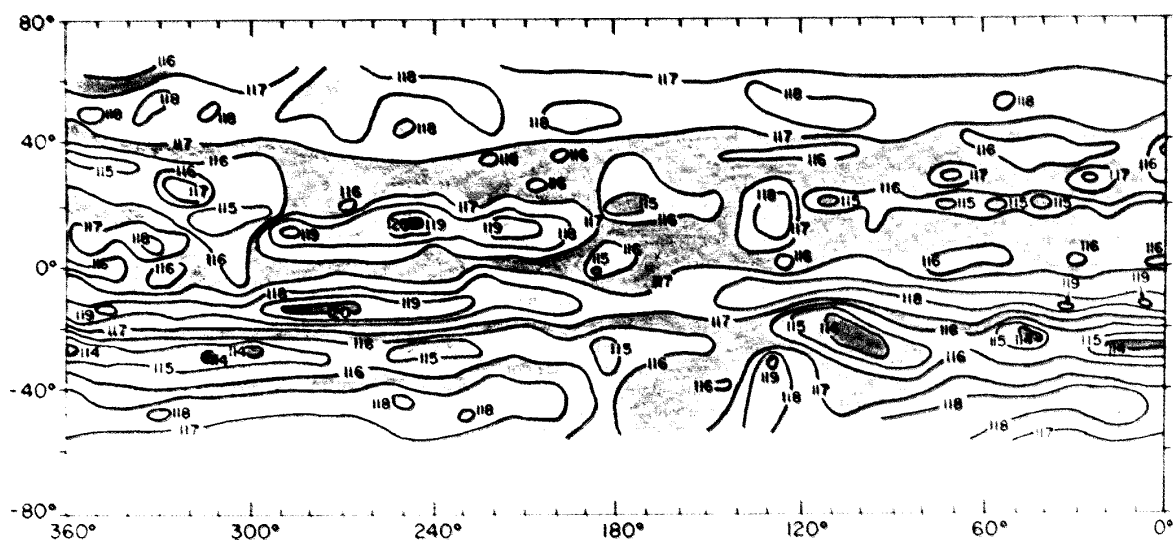


図 3. ボイジャー 2 号の赤外放射観測から得られた波数 602cm^{-1} の² 輝度温度分布. 高度約 150 mb の温度を表していると考えられる. (Hanel *et al.* 1979)

2.2 水平温度分布の時間変化

図4はボイジャー1号の赤外放射観測から得られた水平温度分布である (Hanel *et al.* 1979). 図3の約4ヵ月前の温度分布である.

大まかな温度分布は図3と変わっていない. 違いの見られる点を列挙する.

全体的に 1K 図3の方が温度が高い. これはボイジャー2号の温度補正誤差が原因と考えられる.

大赤班に対応する冷たい領域が図3と異なる.

赤道南側の局所的に暖かい領域に変化が見られる.

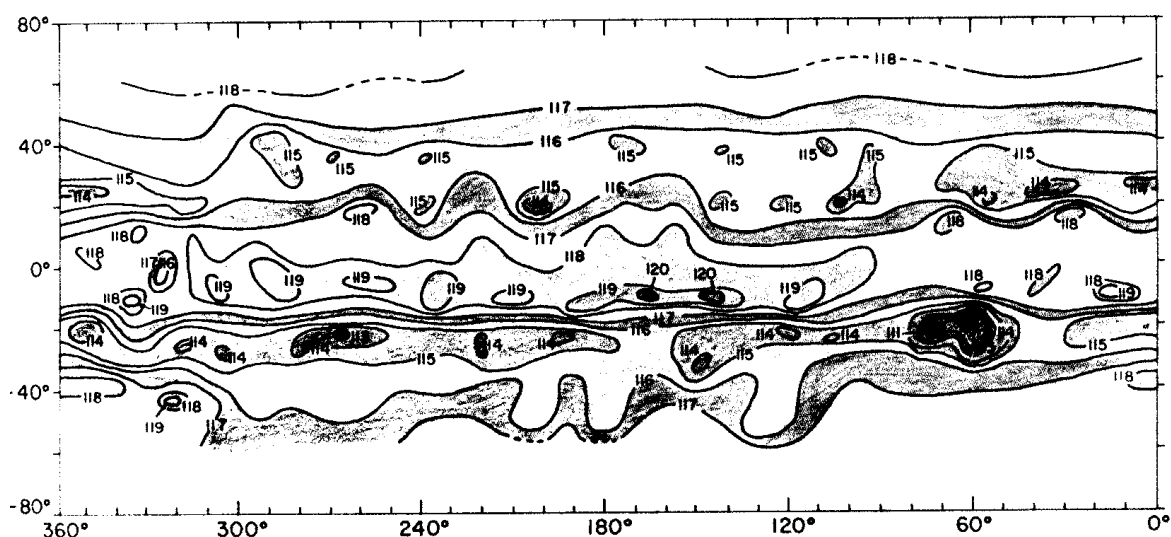


図4. ボイジャー1号の赤外放射観測から得られた波数 602cm^{-1} の輝度温度分布. 高度約 150 mb の温度を表していると考えられる. 図3の約4ヵ前にあたる. (Hanel *et al.* 1979)

² どの物質の吸収帯であるかは調べていない

2.3 帯状平均温度分布

図5はボイジャーの赤外放射観測から得られた高さ150mbでの帯状平均した温度分布である。

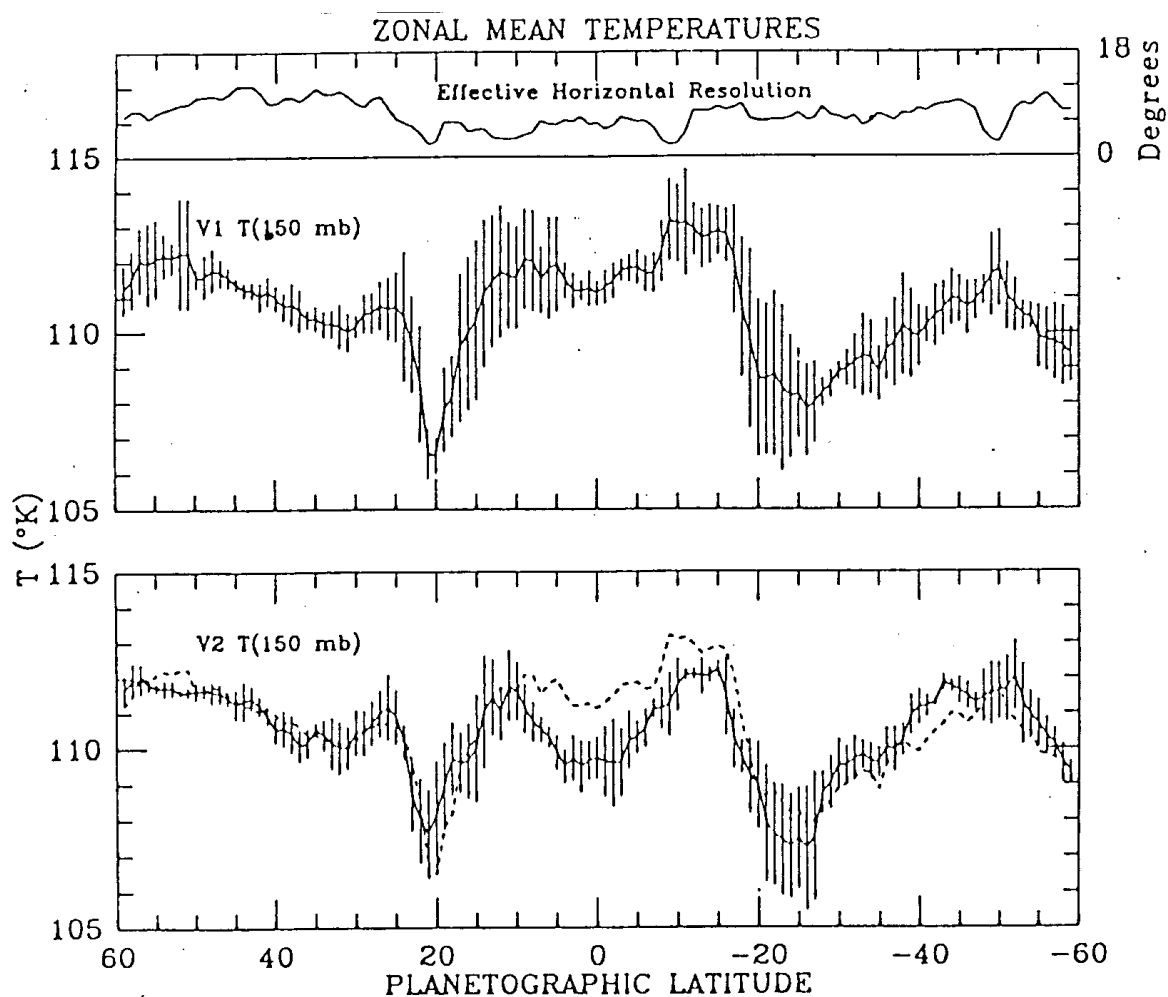


図5. ボイジャーの赤外放射観測から得られた帯状平均温度分布. 上はボイジャー1号(1979年3月), 下はボイジャー2号(1979年7月)のデータである(Flassr 1986).

3 風速分布

図6 はボイジャー画像の雲の動きを追って得られた平均風速である¹.

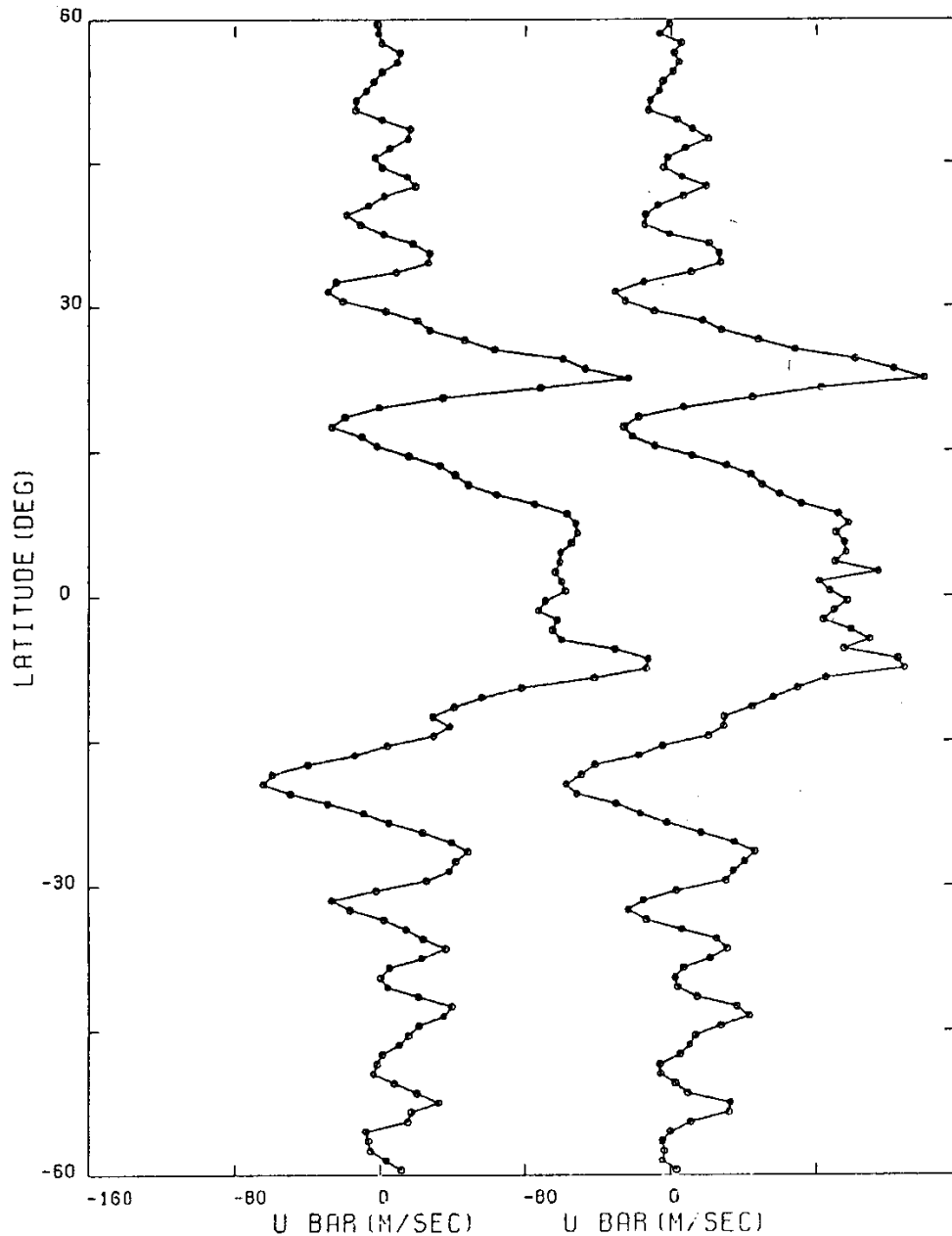


図 6. ボイジャー画像の雲の動きから得られた平均帯状流の緯度分布. 左側のグラフは 1979 年 2 月末 (ボイジャー 1 号), 右側のグラフは 1979 年 7 月初め (ボイジャー 2 号) の画像による. 両グラフの相関係数は 0.986 である. (Ingersoll *et al.* 1981)

¹図 5 の温度分布と比較してみよ

練習問題: 図5の温度分布から計算される風速とどの程度数字があうか? 温度風バランスの式を用いて計算してみよ. また, ロスビー数 $\varepsilon = \frac{U}{fL}$, Rhines parameter (乱流の空間スケール) $l^{-1} = \sqrt{\frac{\beta}{2U}}$ はどの程度か?

解答例²

中緯度 (20°), 緯度幅 5° で温度差 5K として温度風バランスの式に当てはめると, 鉛直シアの強さは

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial z} &= \frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{23.2}{2 \times 1.758 \times 10^{-4} \sin 20^\circ \times 110} \cdot \frac{5}{2\pi \times 5/360 \times 7.13 \times 10^7} \\ &= 1.42 \times 10^{-3} (\text{sec}^{-1}) \end{aligned}$$

例えば対流圏界面 (100mb) で風速が0であると仮定としてスケールハイト ($H_p \sim 18\text{km}$) 程度低い所での風速を見積もると

$$u = \frac{\partial u}{\partial z} \times H_p = 1.42 \times 10^{-3} \times 18 \times 10^3 = 25.56 (\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}).$$

ロスビー数は中緯度 (30°), 木星半径 R を長さのスケールに選ぶと

$$\varepsilon = \frac{U}{2\Omega \sin 30^\circ R} = \frac{100 (\text{m} \cdot \text{sec}^{-1})}{2 \times 1.758 \times 10^{-4} (\text{sec}^{-1}) \sin 30^\circ \times 7 \times 10^7 (\text{m})} = 0.0081$$

Rhines Parameter は中緯度 (30°) で

$$\begin{aligned} l^{-1} &= \sqrt{\frac{2\Omega \cos 30^\circ}{R} \frac{1}{2U}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 1.758 \times 10^{-4} \cos 30^\circ}{7.1 \times 10^7} \frac{1}{2 \times 100}} \\ &= 1.46 \times 10^{-7} \text{m}^{-1} \\ &= \frac{1}{6.85 \times 10^6 \text{m}} = \frac{1}{6.85 \times 10^3 \text{km}} \end{aligned}$$

$6.85 \times 10^3 \text{km}$ は緯度にして約 5° に相当する.

²シリーズ ‘木星大気の子午面構造’ も参考にせよ.

3.1 可視画像と風速分布

図 7 はボイジャー画像の雲の動きを追って得られた平均風速¹, およびそれに関する諸量を可視画像と重ねて描いたものである.

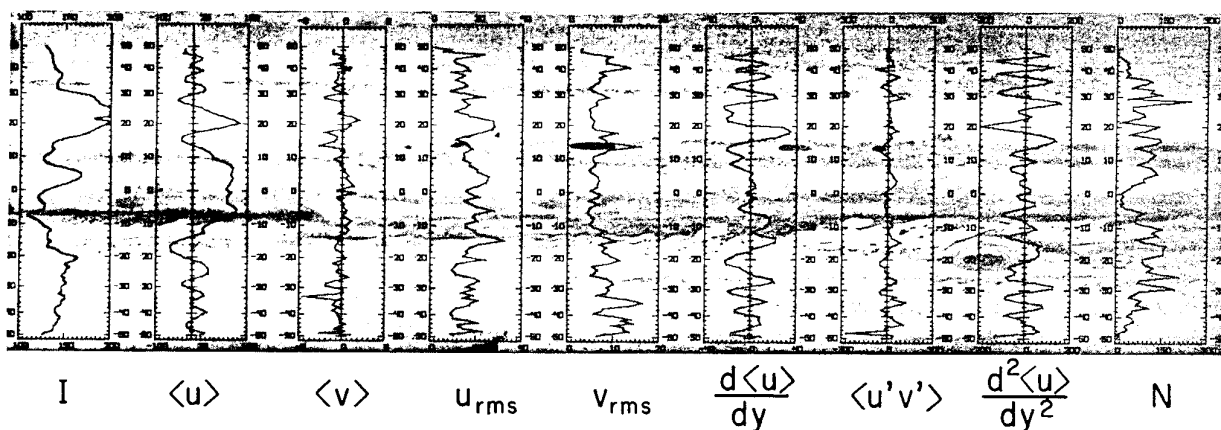


図 7. ボイジャー画像の雲の動きから得られた平均風速分布. 画像は rotation 357 のものである. I は相対的な輝度分布, N はベクトル (データ) の数である. (Limaye *et al.* 1982)

¹Limaye *et al.* 1982 は Ingersoll *et al.* 1981 の結果が雲の動きの追いかた, 雲の選び方などを変えると結果がどう変化するかを調べた.

3.2 ジェットの位置

表 1 はボイジャーの画像から得られたジェットの位置と過去の観測により得られているジェットの位置を比較したものである。

図 6, 表 1 よりジェットの位置は時間的に変化が小さいとされている。

Name of Current	Latitude (deg)*				$u(m/s)†$
	1	2	3	4	
North polar region				56.6	10
North polar region				51.0	-13
North polar region				47.5	20
North polar region				45.0	-4
N.N.N. temperate current	43	44-46	42.8-45.9	43.0	19
N.N. temperate current <i>A</i>	36-40	35-41	37.3-40.6	39.0	-19
N.N. temperate current <i>B</i>	35	...‡	35.1-35.8	35.0	27
N. temperate current <i>A</i>	29-33	28-32	30.2-31.4	31.5	-31
N. temperate current <i>C</i>	23	...‡	23.8-24.2	23.0	138
N. tropical current <i>A</i>	14-22	14-21	15.6-19.6	17.5	-26
N. equatorial current	3-10	4-8	6.6-8.6	7.0	102
Central equatorial current				0.0	95
S. equatorial current	3-10	6-8	5.8-7.6	7.0	137
S. edge SEB ₁	19	18-22	20.3-21.7	19.5	-61
N. edge STB	27	26	25.2-26.2	26.5	47
S. temperate current	29	32-35	33.6-33.7	32.0	-25
				36.5	34
S.S. temperate current	38-445	39-45	38.8-41.3	39.5	1
				43.0	41
				49.0	-3
South polar region				49.0	-3
South polar region				52.5	33
South polar region				56.5	-6

*Columns 1, 2, 3 are from *Smith and Hunt* [1976] and cover the years 1898-1948, 1946-1964, 1962-1970, respectively. Column 4 is from *Voyager* (this work), and covers the first half of 1979.

†Magnitude of the zonal velocity u is from *Voyager* (this work).

‡Indicates that the current was not observed during the time interval.

表 1. 過去の観測によるジェットの位置とボイジャー画像によるジェットの位置の比較. 1 は 1898 ~ 1948, 2 は 1946 ~ 1964, 3 は 1962 ~ 1970 の観測結果による. 4 と風速の値はボイジャーの結果による. (*Ingersoll et al.* 1981).

4 参考文献

- Flasar, F.M., 1986 : Global dynamics and thermal structure of Jupiter's atmosphere. *Icarus*, **65**, 280-303
- Hanel, R., Conrath, B., Flasar, M., Herath, L., Kunde, V., Lowman, P., Maguire, W., Pearl, J., Pirraglia, J., Samuelson, R., Gauter, D., Gierasch, P., Horn, L., Kumar, S., Ponnamperna, C., 1979 : Infrared observations of the Jovian system from Voyager 2. *Science*, **206**, 952-956
- Ingersoll, A.P., Beebe, R.F., Mitchell, J.L., Garneau, G.W., Yagi, G.M., Muller, J.-P., 1981 : Interaction of eddies and mean zonal flow on Jupiter as inferred from Voyager 1 and 2 images. *J. Geophys. Res.*, **86**, 8733-43
- Limaye, S.S., Revercomb, H.E., Sromovsky, L.A., Krauss, R.J., Santek, D.A., Suomi, V.E., Collins, S.A., Avis, C.C., 1982 : Jovian winds from Voyager 2. I. Zonal mean circulation. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1413-32
- Smith, B.A., Soderblom, L.A., Beebe, R., Boyce, J., Briggs, G., Carr, M., Collins, S., Cook, A.F.II, Danielson, G.E., Davies, M.E., Hunt, G.E., Ingersoll, A., Johnson, T.V., Masursky, H., McCauley, J., Morrison, D., Owen, T., Sagan, C., Shoemaker, E.M., Strom, R., Suomi, V.E., 1979 : The Galilean satellites and Jupiter : Voyager II imaging science results. *Science*, **206**, 927-950

謝辞

本稿は 1989 年から 1993 年に東京大学地球惑星物理学科で行われていた、流体理論セミナーでのセミナーノートがもとになっている。原作版は竹広真一による「木星現象論」(90/05/01)であり、林祥介によって地球流体電脳倶楽部版「木星現象論」として書き直された(96/06/23)。構成とデバッグに協力してくれたセミナー参加者のすべてにも感謝しなければならない。