

土星現象論: 土星大気の水平温度構造

地球流体電腦俱樂部

1996 年 7 月 22 日

目 次

要旨

土星大気の温度構造について概観する.

1 水平温度構造

1.1 高度による水平温度構造の違い

図1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。

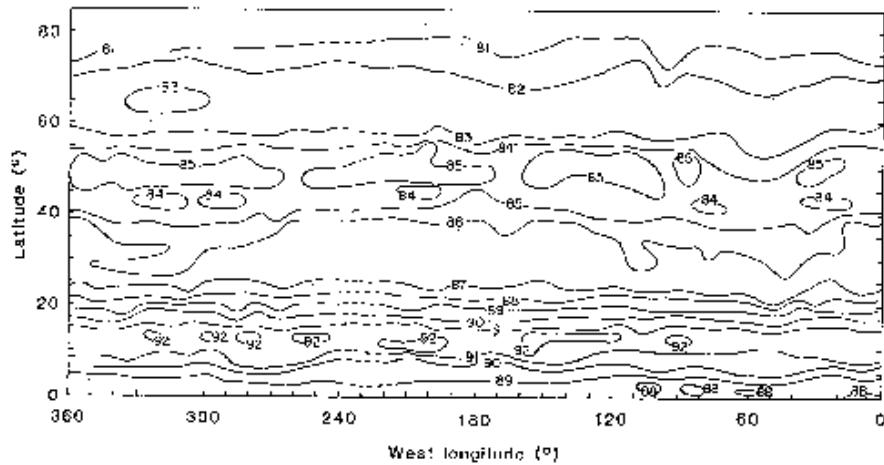


図1. ボイジャー2号の赤外放射観測による波数 $330\text{cm}^{-1} \sim 400\text{cm}^{-1}$ を平均して得られた土星の温度水平分布. 高度約 150 mb の温度を表していると考えられる. 空間解像度は約 8° である. 補間した経度帯は点線で示してある. (Hanel *et al.* 1982)

1.2 帯状平均温度分布

図2はボイジャーの赤外放射観測から得られたさまざまな高さでの帯状平均した温度分布である。土星の温度分布は南北非対称になっている¹。ボイジャーの観測期はちょうど南半球が春になったところ²にあたる。

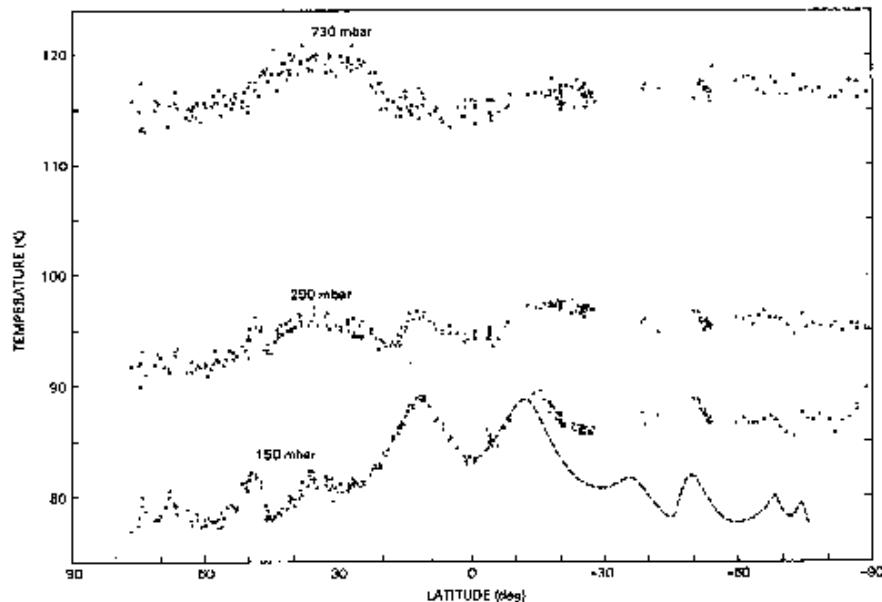


図2. ボイジャーの赤外放射観測から得られた帯状平均温度分布。ほぼスケールハイトの1.5倍の高さの平均値を示してある。150mbの北半球温度分布を赤道で折り返したものを点線で示してある。(Conrath *et al.* 1983)。

2 風速分布

図3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。温度分布が南北非対称であるのに対して風速分布は南北対称な分布である。

¹別シリーズ‘木星の水平構造’図5と比較せよ。

²土星の春は約7年間続く。

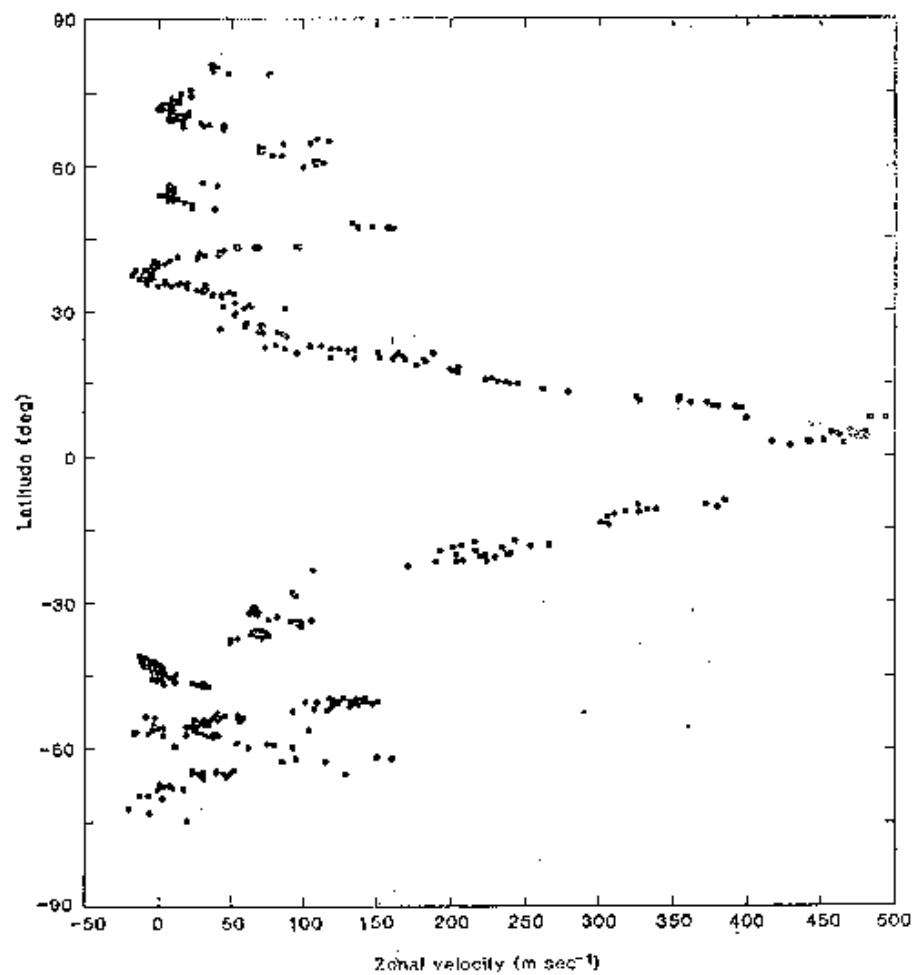


図 3. ボイジャー画像の雲の動きから得られた平均帯状流の緯度分布. 一つの点が一つの雲のデータに対応する. (Smith *et al.* 1981)

練習問題: 図2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¹

図2の150mb面での温度分布より中緯度(20°), 緯度幅20°で温度差10Kとして温度風バランスの式に当てはめると, 鉛直シアーハイドリックの強さは

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial y} &= \frac{9.29}{2 \times 1.638 \times 10^{-4} \sin 20^\circ \times 80} \cdot \frac{10}{2\pi \times 20/360 \times 6.0 \times 10^7} \\ &= 4.98 \times 10^{-4} (\text{sec}^{-1})\end{aligned}$$

例えば対流圈界面(100mb)で風速が0であると仮定としてスケールハイドリック($H_p \sim 33\text{km}$)程度低い所での風速を見積もると

$$u = \frac{\partial u}{\partial z} \times H_p = 4.98 \times 10^{-4} \times 33 \times 10^3 = 16.434 (\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}).$$

ロスビー数は中緯度(30°), 土星半径 R を長さのスケールに選ぶと

$$\varepsilon = \frac{U}{2\Omega \sin 30^\circ R} = \frac{100 (\text{m} \cdot \text{sec}^{-1})}{2 \times 1.638 \times 10^{-4} (\text{sec}^{-1}) \sin 30^\circ \times 6 \times 10^7 (\text{m})} = 0.010$$

Rhines Parameterは中緯度(30°)で

$$\begin{aligned}l^{-1} &= \sqrt{\frac{2\Omega \cos 30^\circ}{R} \frac{1}{2U}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 1.638 \times 10^{-4} \cos 30^\circ}{6.0 \times 10^7} \frac{1}{2 \times 100}} \\ &= 9.63 \times 10^{-8} \text{m}^{-1} \\ &= \frac{1}{1.0 \times 10^7 \text{m}} = \frac{1}{1.0 \times 10^4 \text{km}}\end{aligned}$$

$1.0 \times 10^4 \text{km}$ は緯度にして約10°に相当する.

¹シリーズ‘土星大気の子午面構造’も参考にせよ.

2.1 可視画像と風速分布

図4はボイジャー画像の雲の動きを追って得られた平均帯状流を可視画像と重ねて描いたものである。参考のため木星の可視画像・平均帯状流分布をのせておく。赤道付近では 500ms^{-1} の大風が吹いている。可視画像のBelt-Zoneパターンと風速分布はあまり関係がなさそうに見える。

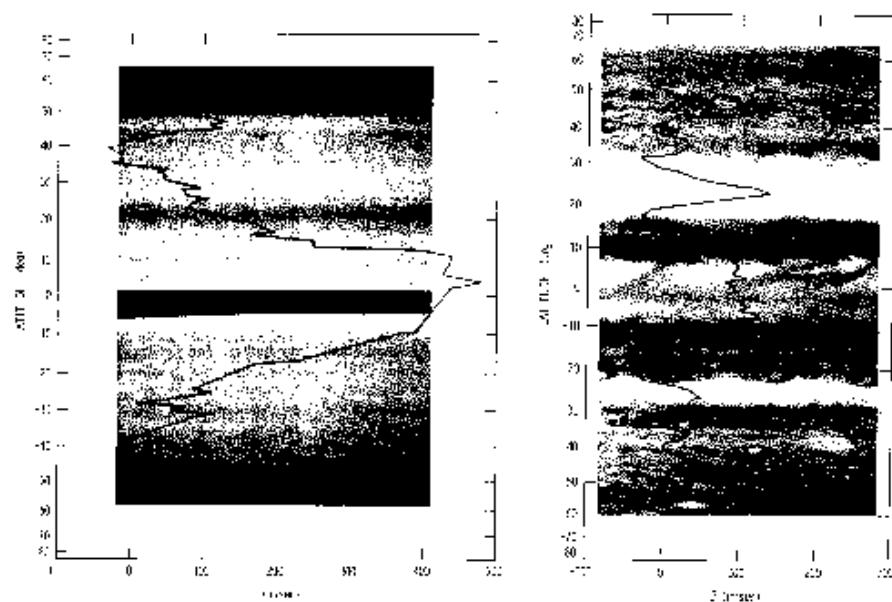


図4. (左図) ボイジャー画像の雲の動きから得られた土星赤道付近の平均帯状流分布と可視画像. (右図) 木星の平均帯状流分布と可視画像 (Smith *et al.* 1981).

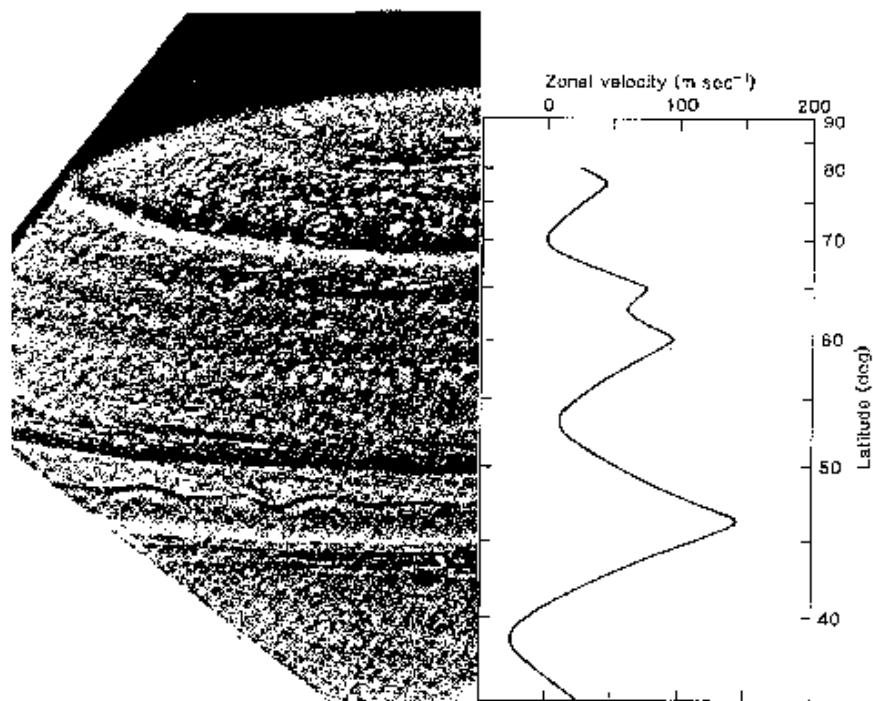


図5. ボイジャー画像の雲の動きから得られた土星北半球の平均帯状流分布と可視画像

(Smith *et al.* 1982).

2.2 木星との比較

図6は木星および土星の平均帯状流分布である。木星の最大風速は 100ms^{-1} に対して土星の最大風速は 500ms^{-1} と大きい。ジェットの本数は、木星に比べて土星の方がすくない。

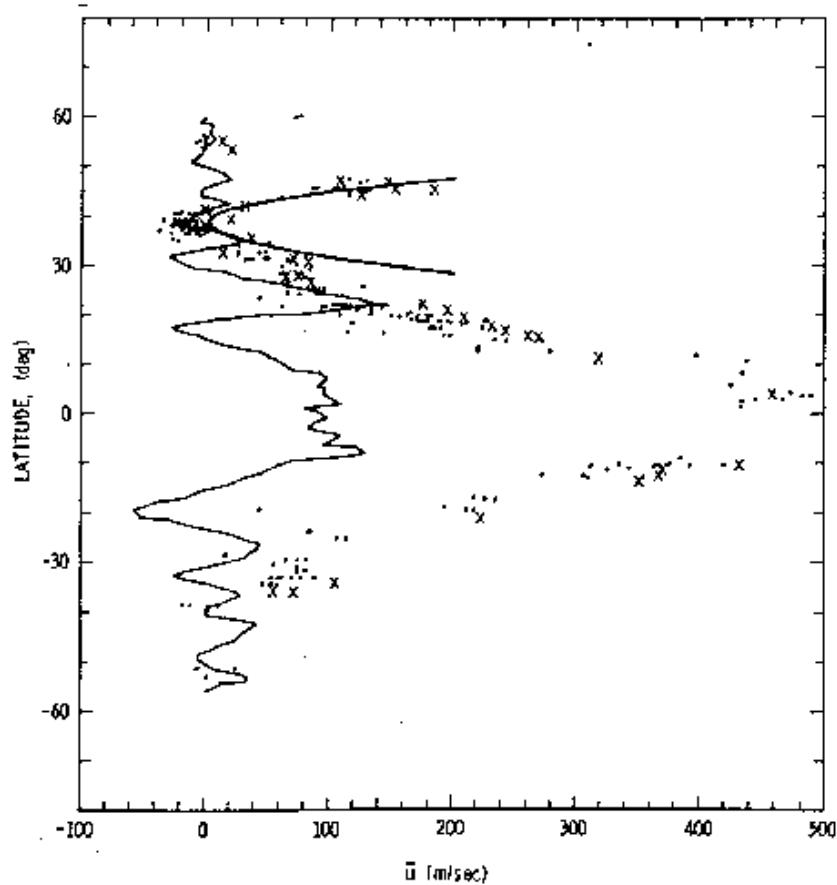


図6. 木星と土星の平均帯状流分布。各点が土星の雲の動きから得られた風速である。実線はボイジャーの観測から得られた木星の風速分布である。38°Nあたりの太い実線で記された放物線は絶対渦度の緯度傾度 $\beta - \frac{d^2U}{dy^2}$ が0となる分布である。この曲線より曲率が大きければ $\beta - \frac{d^2U}{dy^2}$ がこのあたりで負の値をとる。このとき絶対渦度傾度が符号を変えるので、流れが順圧不安定である可能性がある (Rayleigh-Kuo の定理)。² (Smith *et al.* 1981)

3 参考文献

Conrath,B.J., Pirraglia,J.A., 1983 : Thermal structure of Saturn from Voyager infrared measurements : implications for atmospheric dynamics. *Icarus*, **53**, 286-292

Hanel,R.A., Conrath,B.J., Flasar,F.M., Kunde,V., Maguire,W., Pearl,J., Pirraglia,J., Samuelson,R., Cruikshank,D., Gautier, D., Gerasch,P., Horn,L., Ponnampерuma,C., 1982 : Infrared observations of the Saturnian systems from Voyager 2. *Science*, **215**, 544-548

Hanel,R.A., Conrath,B.J., Flasar,F.M., Kunde,V., Maguire,W., Pearl,J., Pirraglia,J., Samuelson,R., Herath,L., Allison,M., Cruikshank,D., Gautier,D., Gerasch,P., Horn,L., Koppany,R., Ponnampерuma,C., 1981 : Infrared observations of the Saturnian systems from Voyager 1. *Science*, **212**, 192-200

Smith,B.A., Soderblom,L., Beebe,R., Boyce,J., Briggs,G., Bunker,A., Collins,S.A., Hansen,C.J., Johnson,T.V., Mitchell,J.L., Terrile,R.J., Carr,M., Cook,A.F., II, Cuzzi,J., Pollack,J.B., Danielson,G.E., Ingersoll,A., Davies,M.E., Hunt,G.E., Masursky,H., Shoemaker,E., Morrison,D., Owen,T., Sagan,C., Veverka,J., Strom,R., Suomi,V.E., 1981 : Encounter with Saturn: Voyager 1 imaging science results. *Science*, **212**, 163-91

Smith,B.A., Soderblom,L., Batson,R., Bridges,P., Inge,J., Masursky,H., Shoemaker,E., Beebe,R., Boyce,J., Briggs,G., Bunke,A., Collins,S.A., Hansen,C.J., Johnson,T.V., Mitchell,J.C., Terriell,R.J., Cook,A.F., II, Cuzzi,J.C., Pollack,J.B., Danielson,G.E., Ingersoll,A.P., Davies,M.E., Hunt,G.E., Morrison,D., Owen,T., Sagan,C., Veverka,J., Strom,R., Suomi,V.E., 1982 : A new look at the Saturn system: the Voyager 2 images. *Science*, **215**, 504-37

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、流体力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「土星現象論」(90/07/23) であり、林祥介・豊田英司によって地球流体電腦俱楽部版「木星現象論」として書き直された(96/07/22)。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。

²意味不明。Rayleigh-Fjørtoft の定理からいえるか?