

木星現象論: 木星大赤斑 (The Great Red Spot)

地球流体電腦俱楽部

1996 年 5 月 24 日

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 1 大赤斑に関する数字 | 2 |
| 2 大赤斑の温度構造 | 3 |
| 2.1 東西, 南北断面温度分布 | 3 |
| 2.2 波長による輝度温度の違い | 4 |
| 2.3 可視画像と温度分布, アルベド | 5 |
| 3 大赤斑の風分布 | 6 |
| 3.1 雲の動きから求めた風分布 | 6 |
| 3.2 温度風バランスによる計算 | 8 |
| 4 力学的無次元数 | 9 |
| 5 参考文献 | 10 |

要旨

木星大赤斑の構造についてボイジャーの観測を中心にして概観する。

大赤斑は 1664 年の Hooke, 1665 年の Cassini の観測以来, 300 年にわたって存在していることが知られている。

1 大赤斑に関する数字

- 長径 12.08×10^6 m, 短径 5.58×10^6 m, 離心率 0.887
- 移動速度 流れに対して西向きに約 $0.5^\circ/\text{day}$ (Hunt 1983) ¹
- 平均風速 約 $110 \sim 120 \text{ms}^{-1}$
- 最大相対渦度 $6.1 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 中心での惑星渦度 $-13.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,
- 力学的無次元数 (ロスピ一数 max 0.36)

(Mitchell et al. 1981)

¹60 年代の地上観測によると, 大赤斑は経度方向に 90 日振動しているそうである (Solberg 1969). しかし, ボイジャー探査機の観測結果には, このことに対する議論が全く見られないでここでは紹介しなかった.

2 大赤斑の温度構造

2.1 東西, 南北断面温度分布

図1はボイジャー1号の赤外放射観測より得られた、大赤斑付近の東西・南北断面温度分布である。可視画像での大赤斑の中心位置は 23°S , 77°W である。

対流圏上部、成層圏下部でまわりより冷たい(対流圏界面は約100mb)。成層圏上部でまわりより暖かい。

成層圏上部の温度分布は東西方向は対称、南北方向には非対称

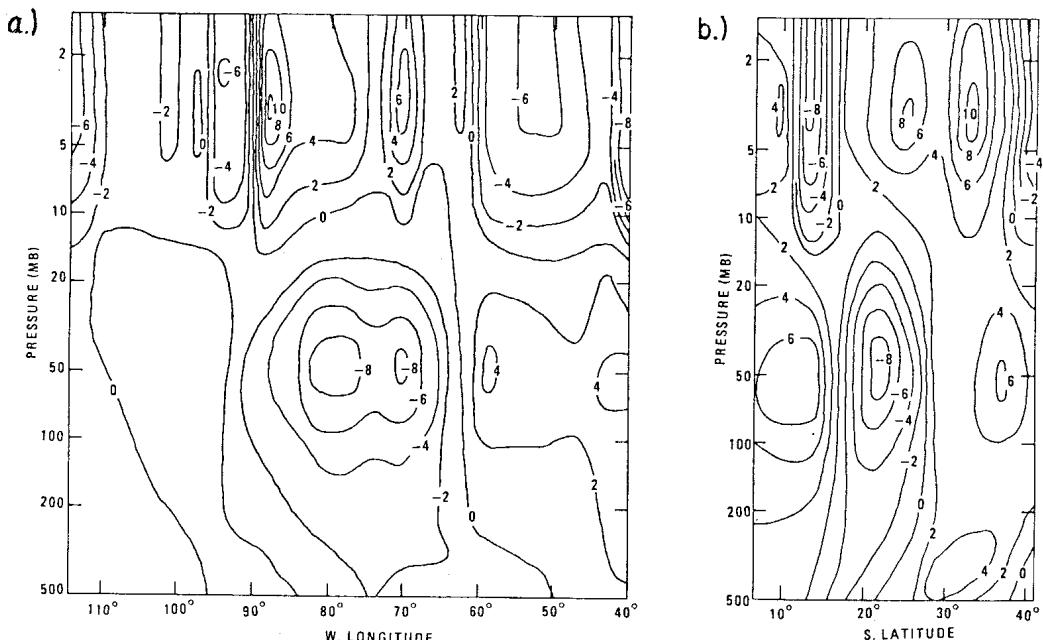


図1. 大赤斑の温度構造。左図は東西断面、右図は南北断面での平均温度分布からの差を図示してある (Flaser *et al.* 1981)。

2.2 波長による輝度温度の違い

図2は二つの異なる波長帯で大赤斑を見たときの輝度温度分布である。上図は波長 602cm^{-1} の輝度温度であり、対流圏界面付近の温度分布に対応する。下図は波長 $5\mu\text{m}$ の輝度温度であり、500mb以下の温度構造を反映している。

二つの波長帯の輝度温度分布は相関がある

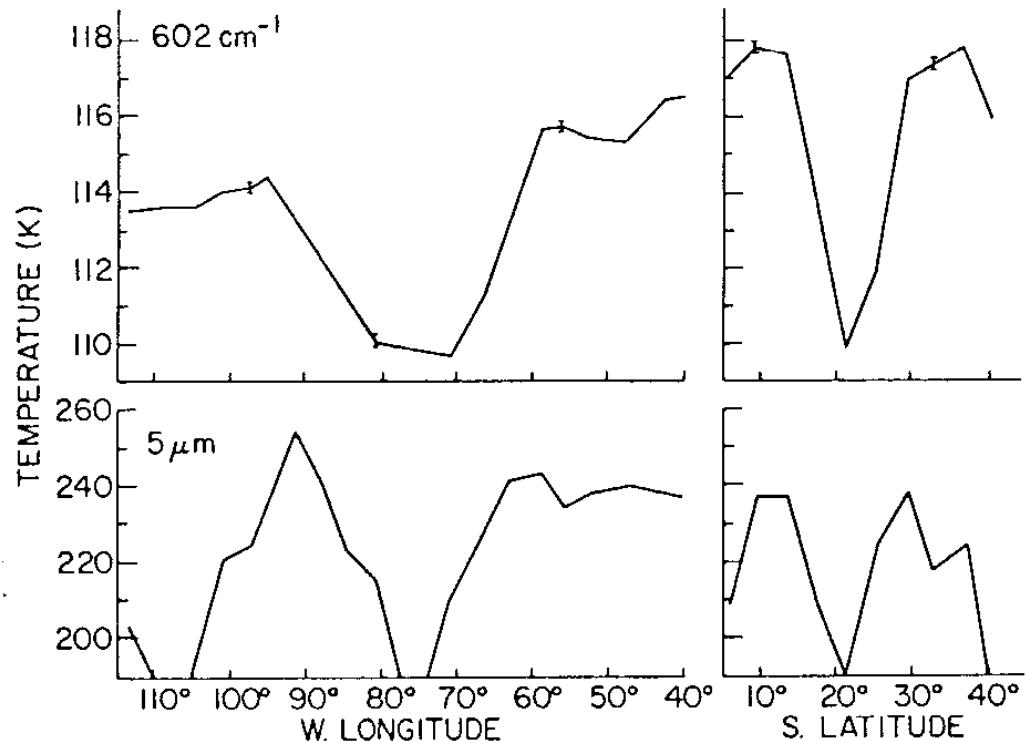


図2. 異なる波長帯での大赤斑の輝度温度分布。上図は波長 $581-619\text{cm}^{-1}$ 、下図は波長 $2001-2050\text{cm}^{-1}$ の平均輝度温度分布である。(Flaser *et al.* 1981)。

2.3 可視画像と温度分布, アルベド

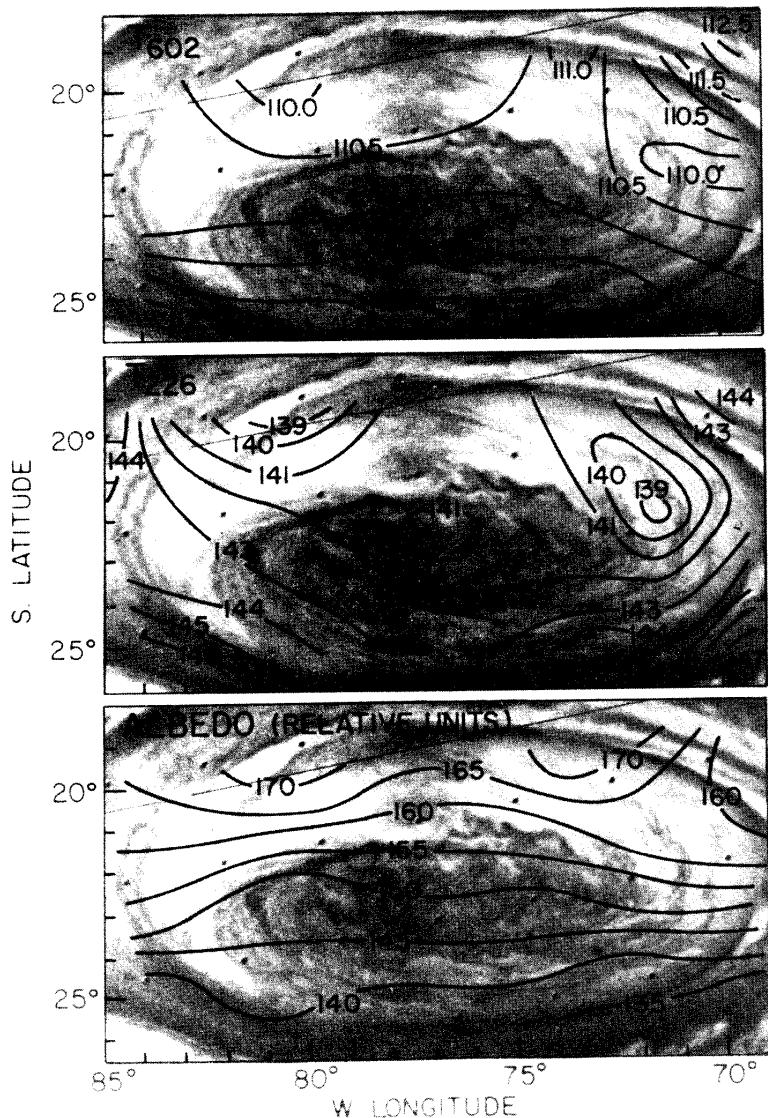


図 3. 可視画像と放射強度分布 (Flaser *et al.* 1981).

- 上図 : 602cm^{-1} の輝度温度分布. 150mb の温度分布に対応する.
 - 中図 : 226cm^{-1} の輝度温度分布. 雲がないときには 800mb の温度分布に対応する. 実際には雲があるので 500mb 以下の高さを反映していると考えられる.
 - 下図 : 相対的な太陽反射 ($5000 \sim 25000\text{cm}^{-1}$) の強度

3 大赤斑の風分布

3.1 雲の動きから求めた風分布

図4,5はボイジャー1号の可視画像の雲の動きから求められた大赤斑付近の風分布である。図6は図5の風分布から計算された渦度分布である。流線は同心、同離心率の橢円形であるとして計算した。

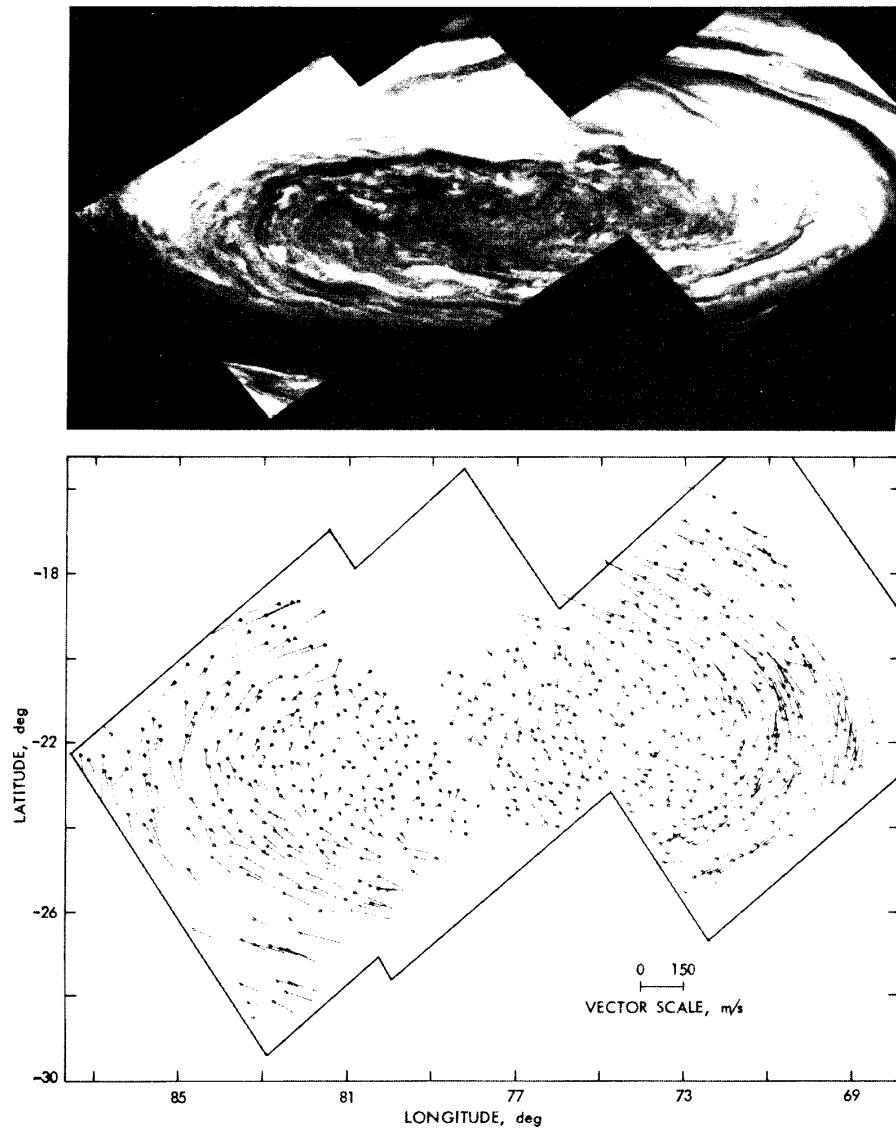


図4. ボイジャー1号による大赤斑の写真と風分布 (Mitchell et al. 1981).

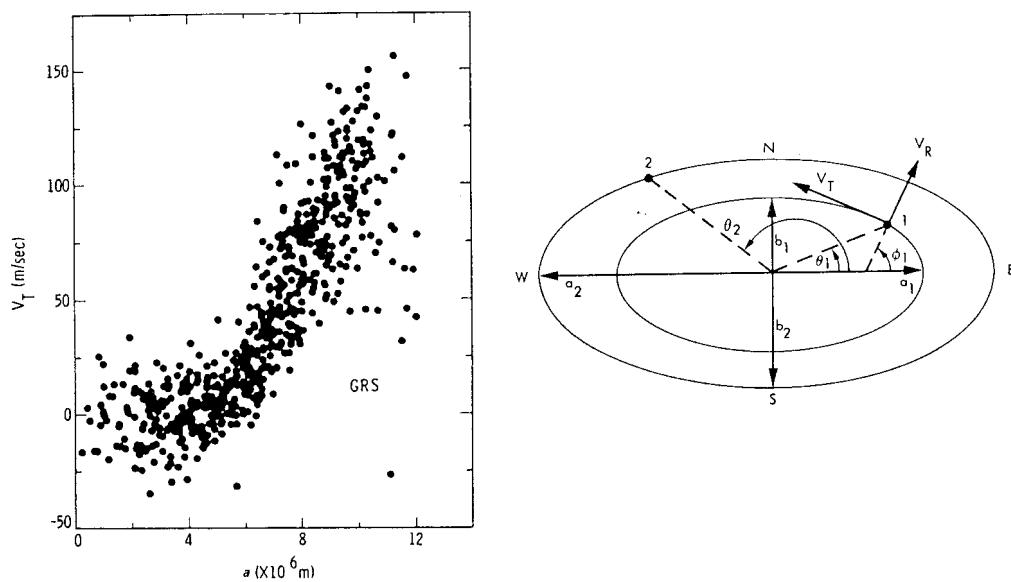


図5. 大赤斑の接線方向風速分布. a は大赤斑中心からの距離, V_T は接線方向の風速である. (Mitchell et al. 1981).

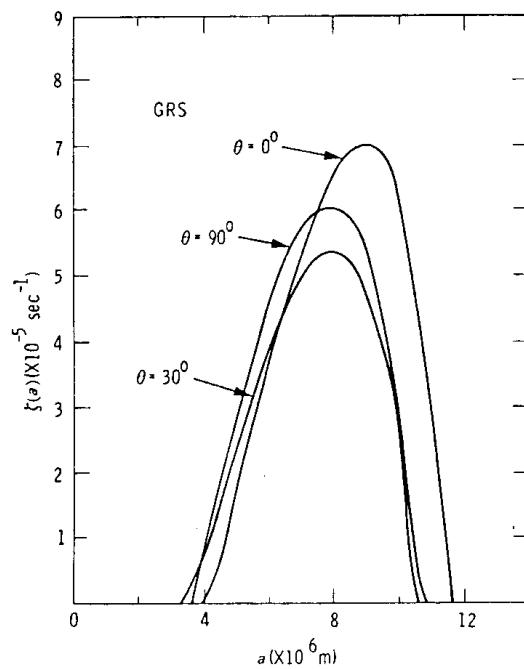


図6. 大赤斑の相対渦度分布. a は大赤斑中心からの距離, ζ は相対渦度である. (Mitchell et al. 1981).

3.2 温度風バランスによる計算

図7は図1の温度分布から温度風バランスの式を用いて計算した大赤斑の接線方向風速分布である。

r を大赤斑中心からの距離, u を大赤斑中心を反時計まわりに回転する方向の風速とするとき, 温度風バランスの式は

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \ln p} \right)_r = - \frac{R}{f} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_p ,$$

ただし T は温度, R は木星大気の気体定数, p は圧力である。22mb での風速を 0 として計算した。

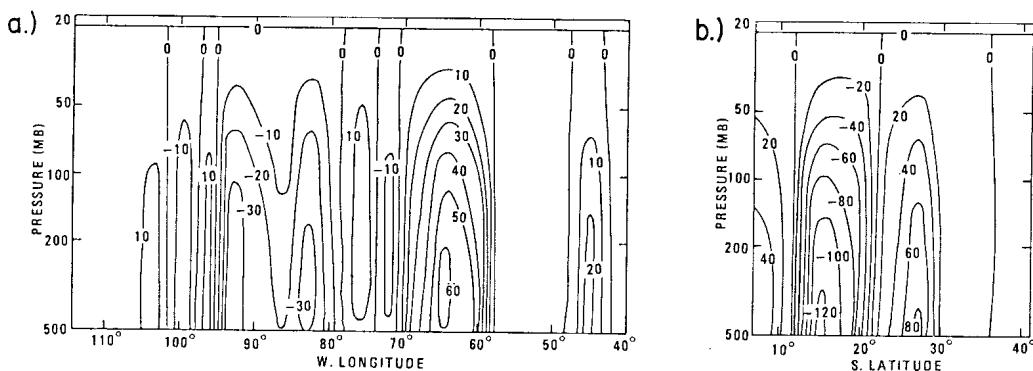


図7. 温度風バランスから計算された大赤斑の風速分布。左図は東西断面での南北流分布である（北向きの流れが正）。右図は南北断面での東西流分布である（東向きの流れが正）。22mb での風速を 0 として計算した (Flaser *et al.* 1981)。

4 力学的無次元数

表1は大赤斑の運動に対応する無次元数を計算したものである。比較のため地球の台風についての数字をのせてある。

練習問題：実際に下の無次元数を計算してみよ

TABLE 1. Dynamical Properties of the GRS and Tropical Cyclones

| Tropopause Level, mbar | Tropical Cyclone, 100 | GRS, 150 |
|--|------------------------------|--------------|
| $T_{\text{center}} - T_{\text{environment}} (K)$ | -2 | -10 |
| Horizontal dimension: L (km) | 10^3 | 10^4 |
| Vertical scale: D (km) | 6 | 25 |
| Tangential velocity: U (m s^{-1}) | -10 | -50 |
| Rossby number: $Ro = U(fL)^{-1}$ | 0.5 | 10^{-1} |
| Burger number: $\epsilon = [(N/f)(D/L)]^2$ | 7 | 1 |
| Richardson number: $Ri = \epsilon Ro^{-2}$ | 30 | 10^2 |
| Lower Troposphere, mbar | Tropical Cyclone, 980–200 | GRS, >500 |
| $T_{\text{center}} - T_{\text{environment}} (K)$ (max) | 15 | 6 |
| Horizontal dimension: L (km) | 10^2 | $10^4(?)$ |
| Vertical scale: D (km) | 8 | 100 |
| Tangential velocity: U (m s^{-1}) | 90 | -100 |
| Rossby number: Ro | 20 | 10^{-1} |
| Burger number: ϵ | 300 | ≤ 1 |
| Richardson number: Ri | 1 | $\leq 10^2$ |

表1. 大赤斑の力学的無次元数 (Flaser *et al.* 1981).

5 参考文献

- Flasar,F.M.,Conrath,B.J.,Pirraglia,J.A.,Clark,P.C., French,R.G.,Gierasch,P.J., 1981
: Thermal structure and dynamics of the Jovian atmosphere. I. The Great
Red Spot. *J. Geophys. Res.*, **86**, 8759-67
- Mitchell,J.L.,Beebe,R.F.,Ingersoll,A.P.,Garneau,G.W.,1981 : Flow fields within
Jupiter's Great Red Spot and White Oval BC. *J. Geophys. Res.*, **86**, 8751-7

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腦俱楽部版「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。