

木星現象論: 木星大赤斑のモデル～How to make ‘Uzu-Uzu’？

地球流体電腦俱楽部

1996年5月24日

目次

1	テイラー柱	2
1.1	Hide (1961), Ingersoll (1969)	2
2	定常渦	3
2.1	Ingersoll (1973)	3
3	孤立ロスピー波	4
3.1	Maxworthy <i>et al.</i> (1976, 1978)	4
4	傾圧不安定	6
4.1	Williams (1979)	6
5	モドン	8
5.1	Ingersoll and Cuong (1981)	8
6	中間地衡流渦	10
6.1	Williams and Yamagata (1984)	10
7	室内実験	13
7.1	Read and Hide (1983)	13
8	参考文献	14

要旨

木星大赤斑のモデルについて代用的な例をあげる。

ここでは木星の大赤斑 (The Great Red Spot) のモデルを紹介する。全般的な解説は辻村 (1987), Hunt (1983, 1985), Williams (1985) を参考にした。

1 テイラー柱

1.1 Hide (1961), Ingersoll (1969)

大赤斑を木星の固体表面に起因するテイラー柱として説明を試みた。回転系での下面障害物のまわりの流れのパターンを求めて大赤斑のパターンと比較した(図1)。しかし、大赤斑が経度方向に移動すること、木星は固体表面を持っていないかも知れないことから、この説は現在では受け入れられていない。



図1. テイラー柱による木星大赤斑の説明 (Moore and Hunt 1983 より)

2 定常渦

2.1 Ingersoll (1973)

準地衡流ポテンシャル渦度保存則の定常解を数値的に計算し、流れのパターンが大赤斑とてていることを主張した（図2）。どのようにして定常解が形成されるか、あるいは選択されるかについては議論できなかった。

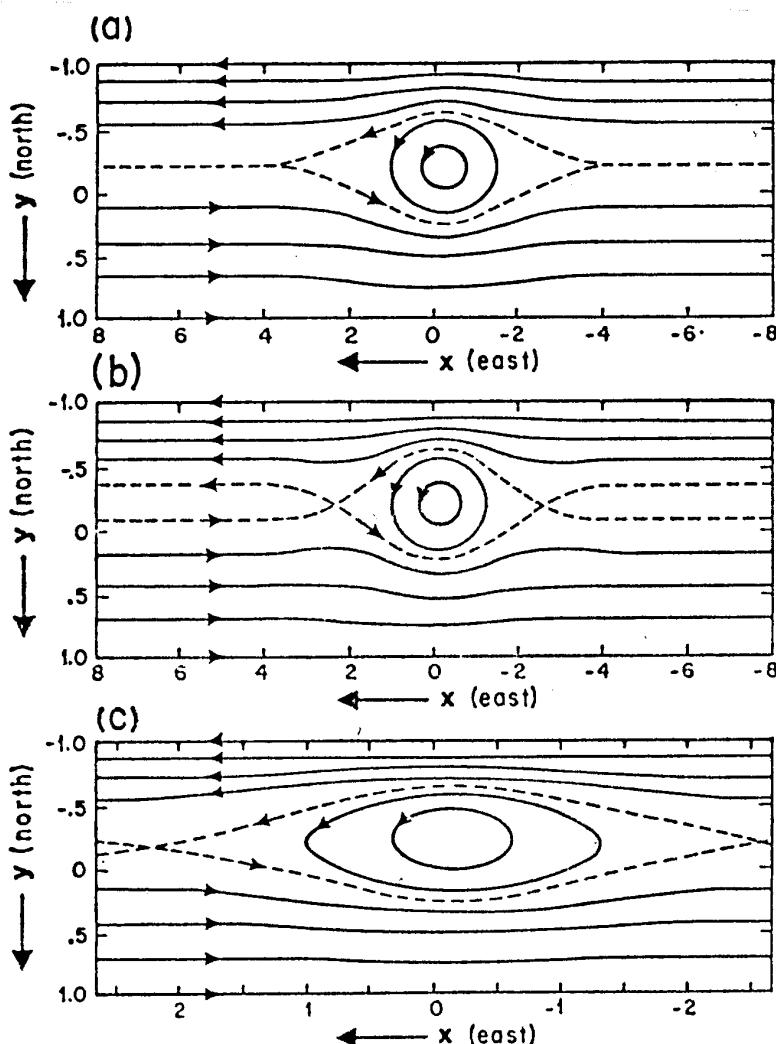


図2. 定常渦 (Ingersoll 1973)

3 孤立ロスビー波

3.1 Maxworthy *et al.* (1976, 1978)

準地衡流ポテンシャル渦度保存則を漸近展開して、振幅に関する方程式が KdV 方程式となることを示した。ソリトン解と大赤斑の流れのパターンと比較した(図3)。また、ソリトン解の相互作用を調べて、南熱帯擾乱と大赤斑の衝突(図5)をソリトンの相互作用で説明を試みた。

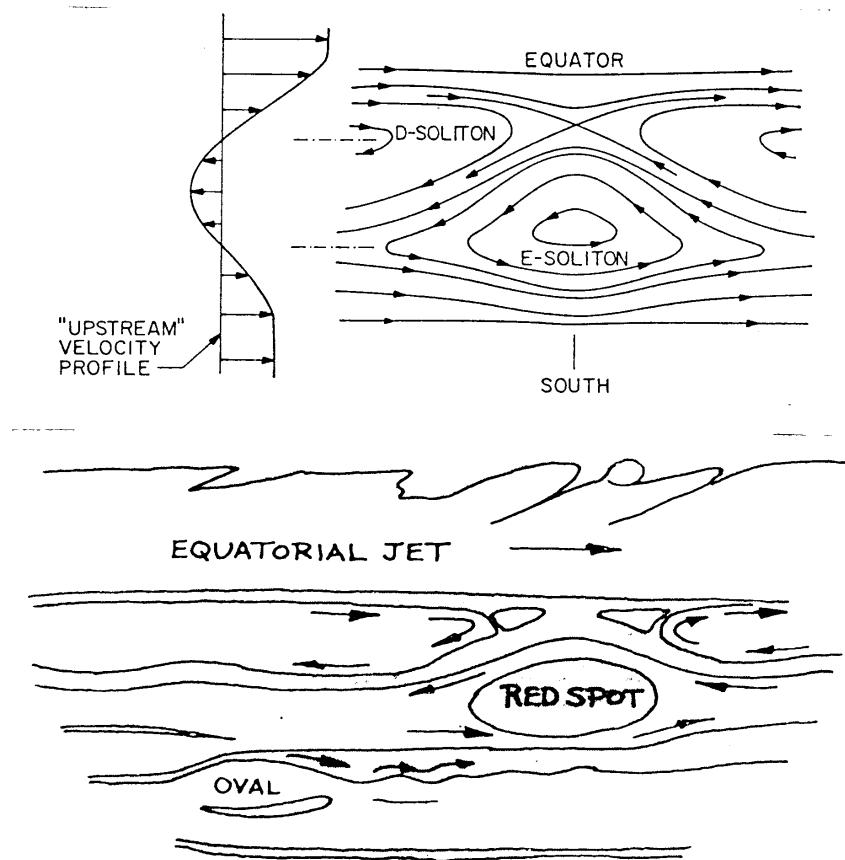


図3. ロスビー・ソリトン解と木星大赤斑模式図, Maxworthy *et al.* (1976, 1978)

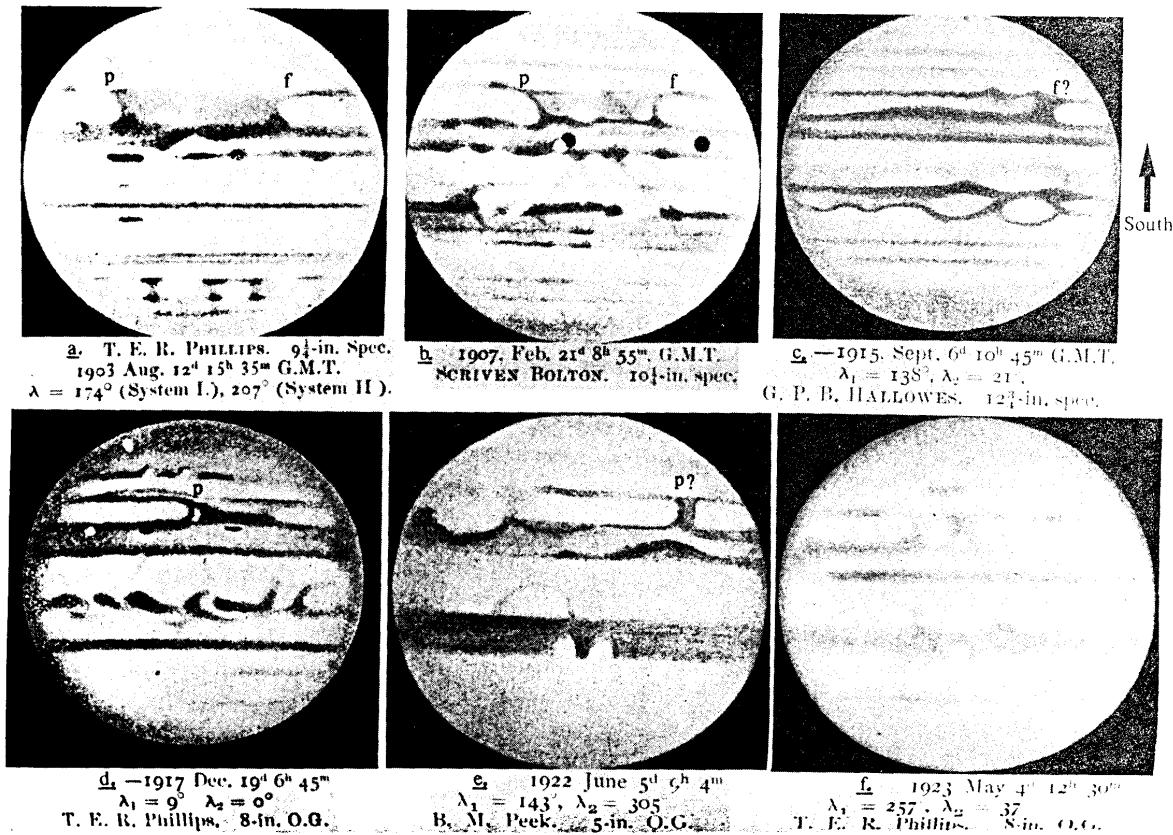
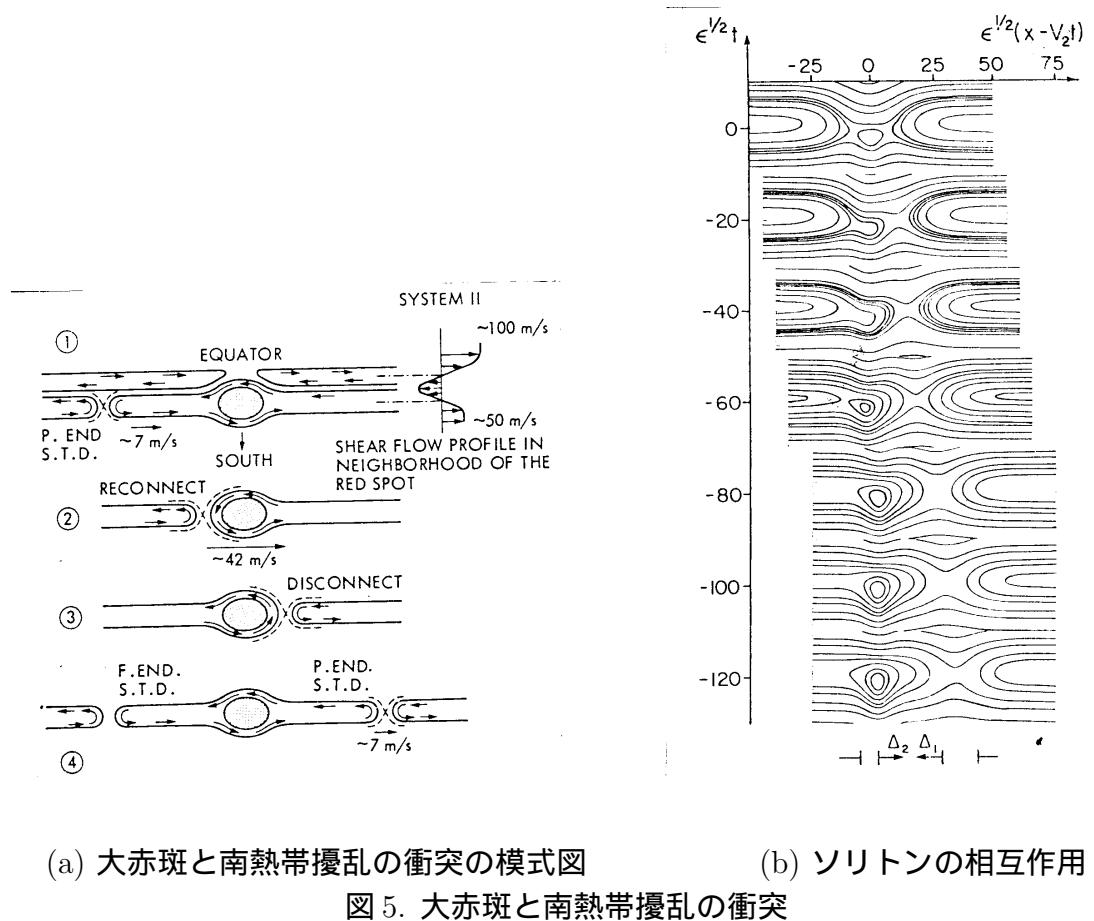


図 4. 南熱帯擾乱

1900 年～1940 年の間、南熱帯 (STrZ) の中に観測された暗い部分を南熱帯擾乱という。この擾乱は大赤斑よりも西向きに速く進み、大赤斑に衝突すると同時に大赤斑を飛び越した (図 5.a.)。



4 傾圧不安定

4.1 Williams (1979)

2層の β 平面準地衡流方程式を木星のパラメターを与えて計算した。できた渦は傾圧不安定として解釈されるらしい。

図 6.(次ページ)

2層の β 面準地衡流方程式を長時間積分した結果。(a) 上層の流線関数 (b) 上層のポテンシャル渦度 (c) eddy 流線関数 (d) 鉛直速度 (e) 流線関数の差 (f) 渦度。影の部分は負の値をとる。添え字は鉛直レベルを表す (1-4) (Williams 1979)。

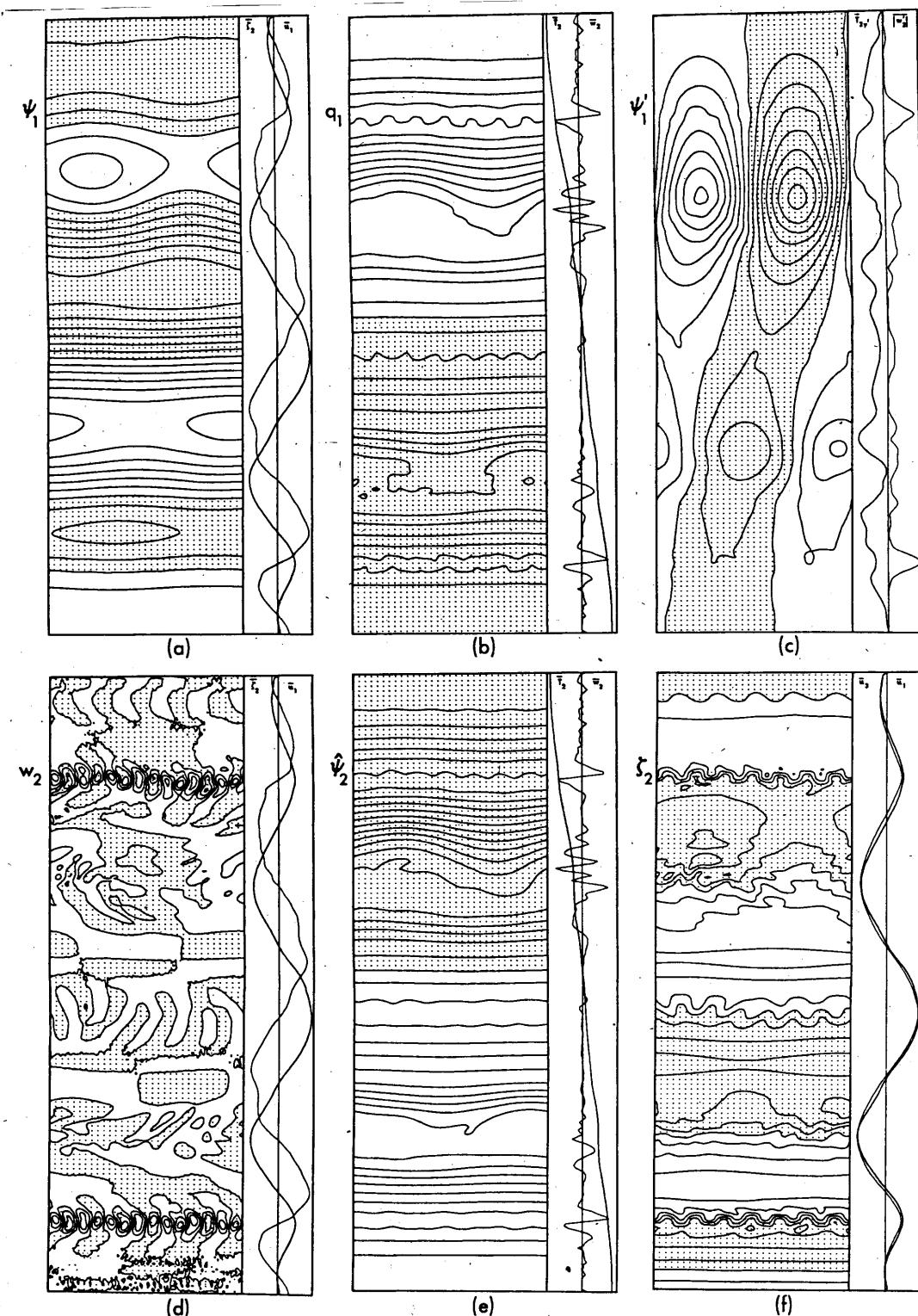


図 6.

5 モドン

1

5.1 Ingersoll and Cuong (1981)

鉛直2層の準地衡流ポテンシャル渦度保存則の定常孤立渦解(モドン)を数値的に求めた(図7).二つの渦が衝突して一つの渦になることを数値計算で表現した(図8.b).このことが木星の渦が結合する現象(図8.a)に対応すると主張した.また、大赤斑は小さい渦を吸収して自分を維持することができる、といった.

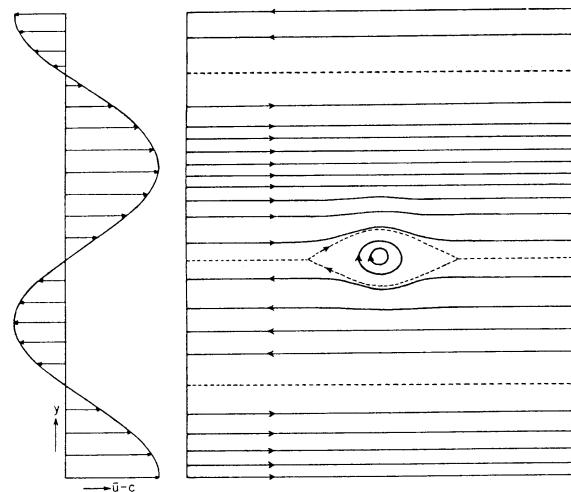
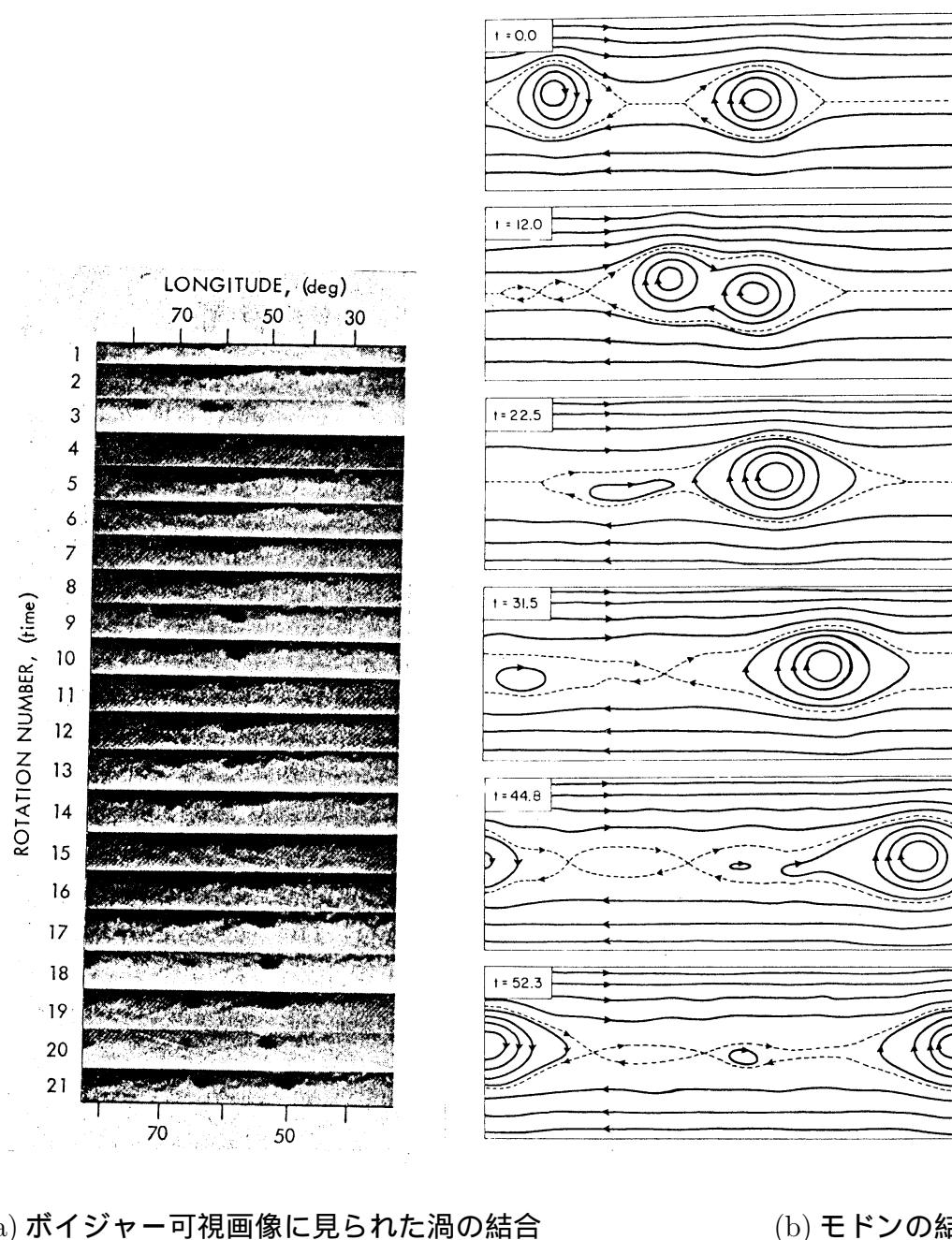


図7. モドン解

左図は基本流の形、右図は定常解の流線関数である(Ingersoll and Cuong 1981).

¹ モドンとは何だろうか? 今のところ明解な定義は知らない. 準地衡流ポテンシャル渦度保存則の式では、ポテンシャル渦度が流線関数の関数であるような解が許される. このような解のうち、局所的な渦の解をモドンと呼ぶ?



(a) ポイジャーカ可視画像に見られた渦の結合

(b) モドンの結合

図 8. 渦の結合 (Smith *et al.* 1979, Ingersoll and Cuong 1981)

6 中間地衡流渦

6.1 Williams and Yamagata (1984)

浅水波方程式から中間地衡流方程式(IG)を導出し、渦の性質を議論した。西向きの流れの中では、高気圧性の渦が低気圧性の渦に比べて安定であることを示した。このことと、木星に存在する大きい渦には高気圧性のものが多いことを結び付けている。球面浅水波方程式を数値積分して、IGスケールの渦が長時間存在できること、IGスケールの渦ができる様子(図10)を示した。

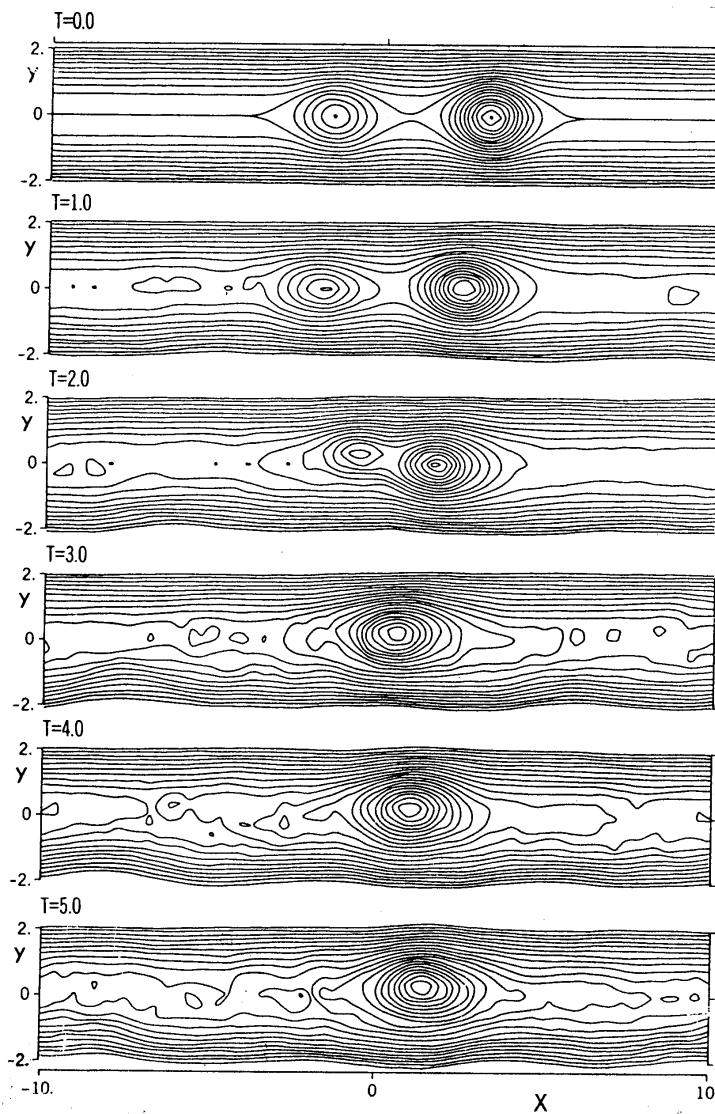


図9. 中間地衡流渦の結合

中間地衡流方程式を時間積分して得られた高気圧性のシアー流中の高気圧性の渦の時間変化の様子(Williams and Yamagata 1984)。

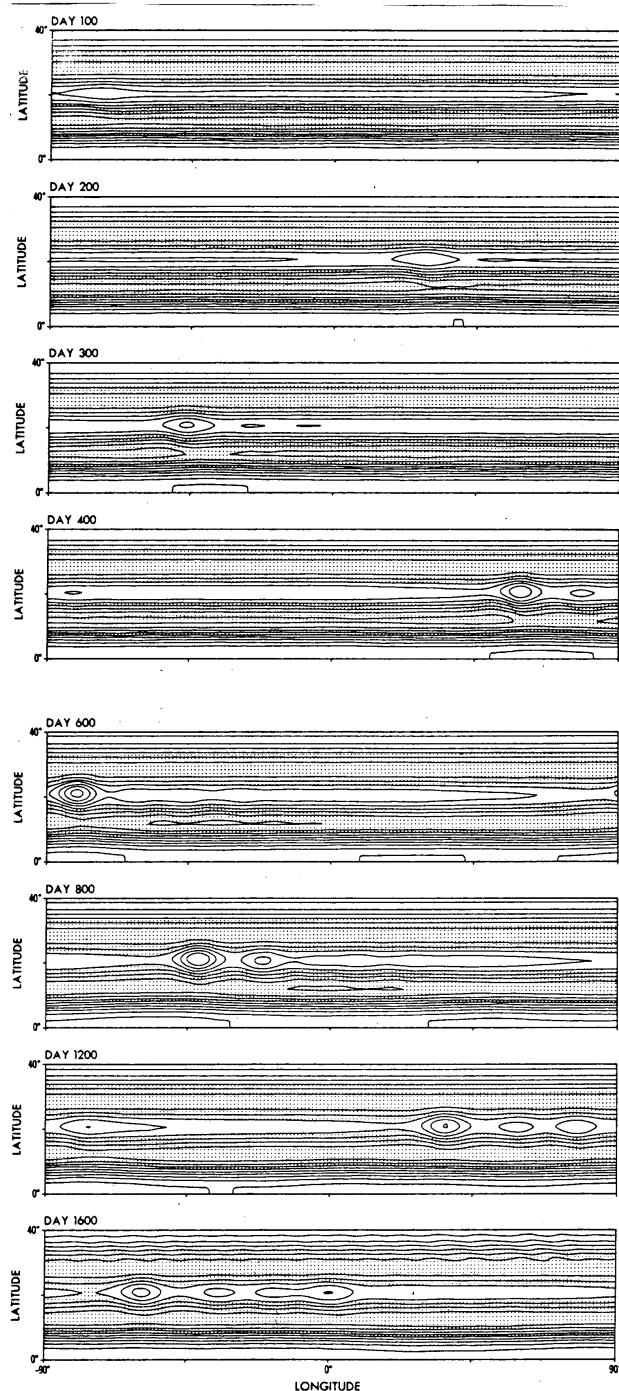


図 10. 浅水波方程式を時間積分して得られた高気圧性の渦の形成の様子。弱い順圧不安定なシアー流中で擾乱の発達が発達していく。(Williams and Yamagata 1984).

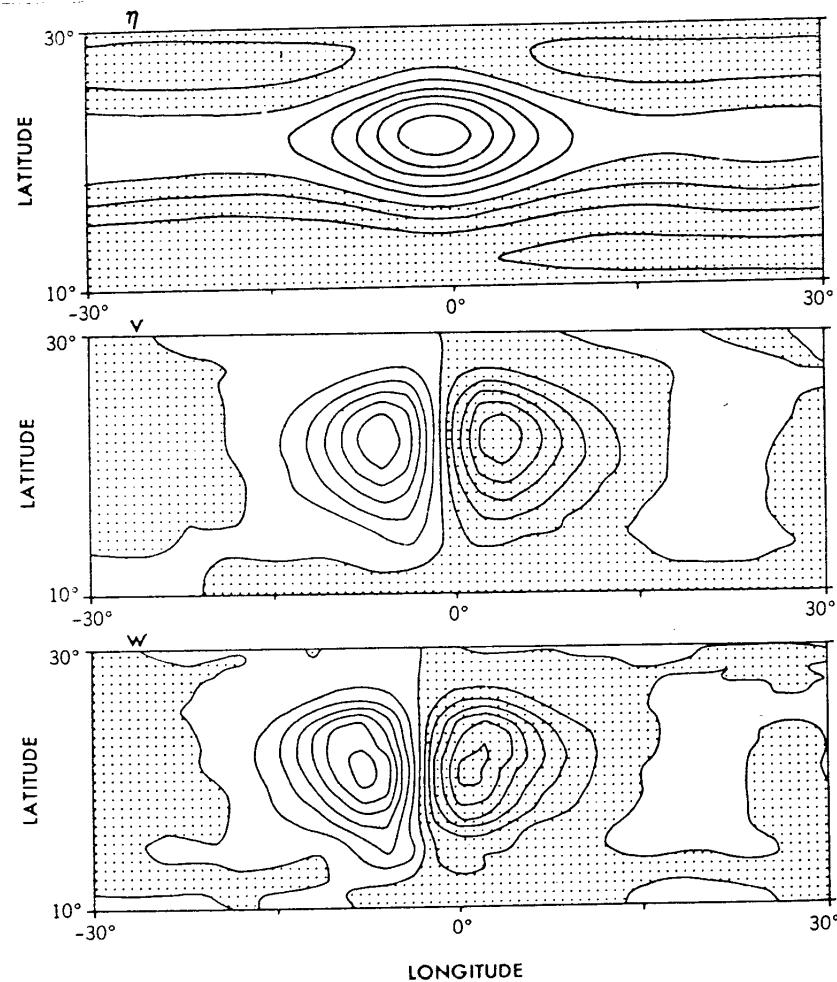


図 11. 浅水波方程式を時間積分して得られた‘大赤斑のような’高気圧性の渦. 上段の図は表面変位, 中段は速度の南北成分, 下段は鉛直速度を表す. 負の値の領域には影がつけてある. (Williams and Yamagata 1984).

7 室内実験

7.1 Read and Hide (1983)

回転水槽、数値実験により、流体内部に熱源（冷源）、横壁を冷却（加熱）したときの流れのパターンを求めた。軸対称流から周期的流れに移り変わるときに大赤斑のような定常な渦が生じる。

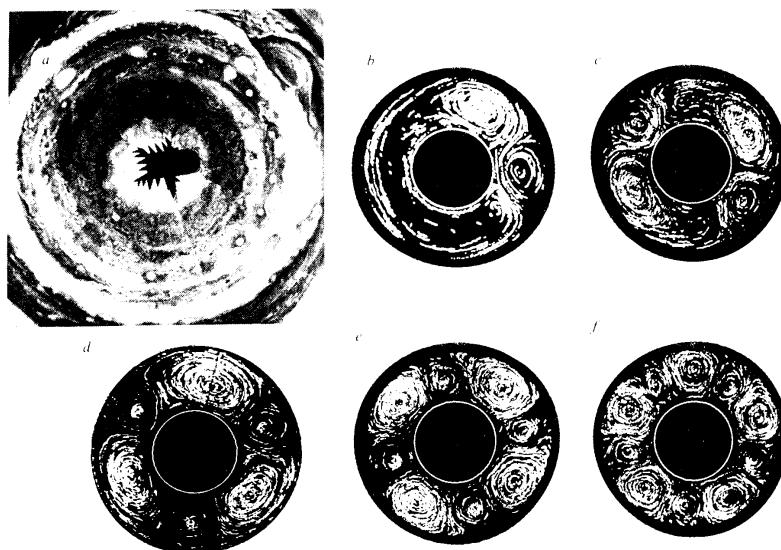


図 12. 回転水槽実験と木星 (Read and Hide 1983)

8 参考文献

- Hide, R., 1961 : Origin of Great Red Spot. *Nature*, **190**, 895-6
- Ingersoll, A.P., Cuong, P.G., 1981 : Numerical model of long-lived Jovian vortices. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2067-76
- Ingersoll,A.P., 1969 : Inertial Taylor columns and Jupiter's Great Red Spot. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 744-752
- Ingersoll,A.P., 1973 : Jupiter's Great Red Spot : a free atmospheric vortex? *Science*, **182**, 1346-8
- Maxworthy,T.,Redekopp,L.G., 1976 : A solitary wave theory of the Great Red Spot and other obserbed feature in the Jovian atmosphere. *Icarus*, **29**, 261-271
- Maxworthy,T.,Redekopp,L.G.,Weidman,P.D., 1978 : On the production and interaction of planetary solitary waves : applications to the Jovian atmosphere. *Icarus*, **33**, 388-409
- Read,P.L.,Hide,R., 1983 : Long-lived eddies in the laboratory and in the atmospheres of Jupiter and Saturn. *Nature*, **302**, 126-9
- Read,P.L.,Hide,R., 1984 : An isolated baroclinic eddy as a laboratory analogue of the Great Red Spot on Jupiter. *Nature*, **308**, 45-48
- Williams, G.P., 1985 : Jovian and comparative atmospheric modelling. *Advances in Geophys.*, **28**, 381-429
- Williams, G.P., Yamagata, T., 1984 : Geostrophic regimes, intermediate solitary vortices and Jovian eddies.. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 453-78
- Williams,G.P., 1979 : Planetary circulations : 2. The Jovian quasi-geostrophic regime. *J.Atmos.Sci.*, **36**, 932-968
- 辻村 豊, 1987 : 孤立斑とソリトン. 気象研究ノート, **155**, 86-111

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.