

木星現象論： 木星大気大循環 ~ How to make ‘Shima-Shima’ ?

地球流体電脳倶楽部

1996 年 5 月 24 日

目次

1	浅いモデル ~ Rhines 効果	2
1.1	Williams (1978, 1979)	2
2	深いモデル ~ Taylor-Proudman の定理	4
2.1	Busse (1970)	4
2.2	Ingersoll and Pollard (1982)	5
2.3	Busse (1983)	5
2.4	Ingersoll and Miller (1986)	5
3	浅いモデルと深いモデル	5
3.1	Yano (1987)	5
4	参考文献	6

要旨

木星表層大気の縞縞構造に関する議論を概観する.

現在までに提唱された木星大気の大循環のモデルは‘浅いモデル’と‘深いモデル’の2種類に分けられる.

1 浅いモデル ~ Rhines 効果

木星大気の運動は主に表層の薄い層で生じている, という立場をとるのが‘浅いモデル’である. ‘浅いモデル’においては, ‘しましま’は 面上の2次元乱流の性質 ~ ‘Rhines 効果’によって説明される.

1.1 Williams (1978, 1979)

球面上のバロトロピック渦度方程式を用いて時間積分を行った. 地球あるいは木星のパラメーターのもとでさまざまな強制分布・散逸率を与えて計算している. ‘しましま’の巾は Rhines パラメーター $\left(\frac{\beta}{2U}\right)^{\frac{1}{2}}$ で定まる.

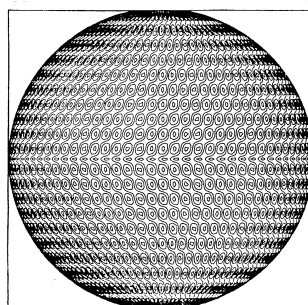


図1. 球面バロトロピックモデルで用いられた73.6日目の強制項の分布 (Williams 1978).

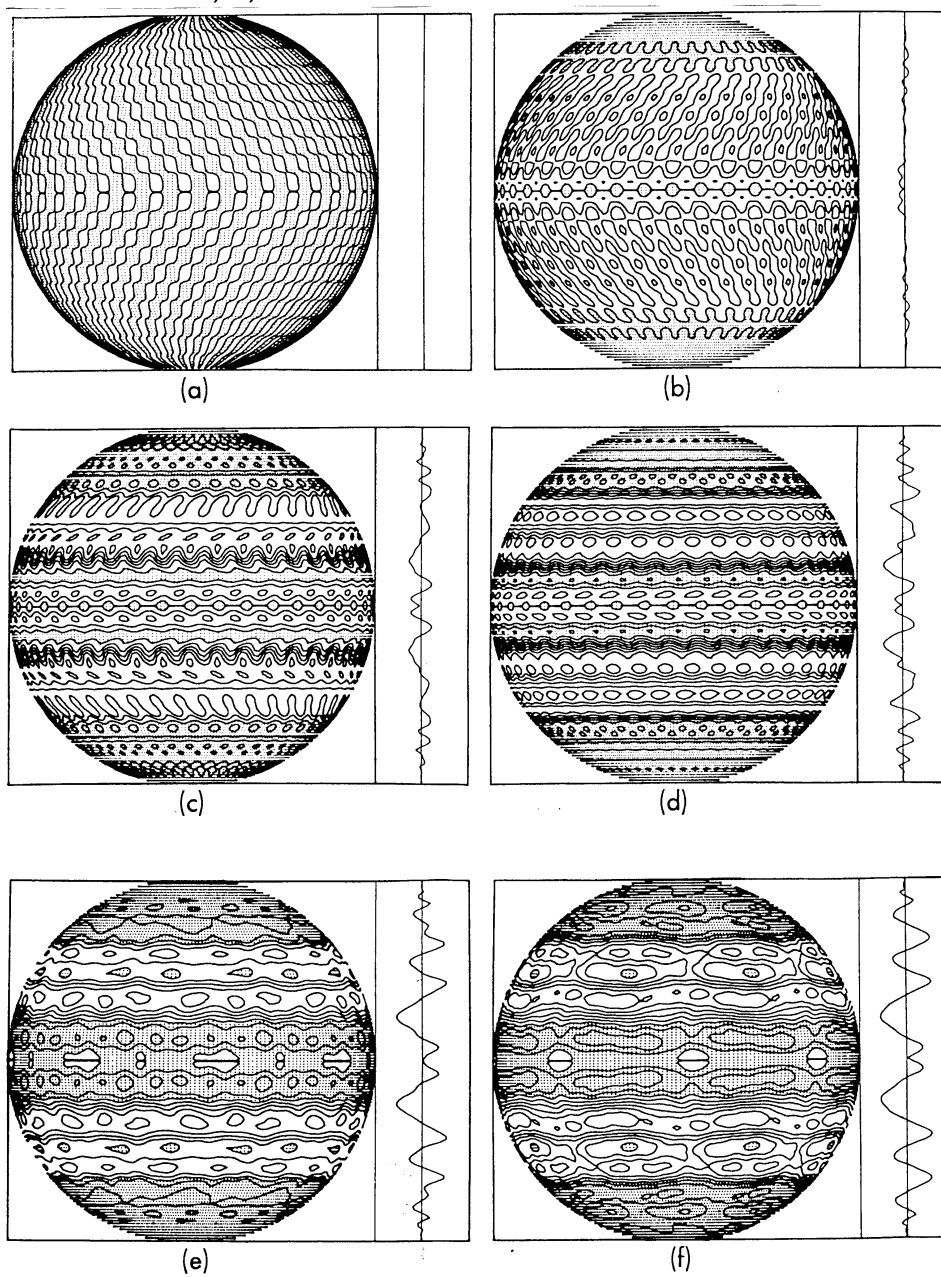


図 2. 球面バロトロピックモデルで表現される木星の‘しましま’. (a)4.6 (b)23.0 (c)46.0 (d)73.3 (e)161 (f)294.4 日目の流線関数と帯状平均流 \bar{u} . 帯状平均流のスケールは 100ms^{-1} (Williams 1978).

2 深いモデル ~ Taylor-Proudman の定理

木星大気は内部深くまで運動している, という立場をとるのが‘深いモデル’である. ‘深いモデル’においては, ‘しましま’は惑星内部の対流運動として説明される.

‘しましま’のパターンが南北対称になることが説明できる.

極で‘しましま’が不明瞭になる理由を内部固体核で説明する.

木星大赤斑が説明できない.

2.1 Busse (1970)

球殻流体対流の線型安定論. 内部からあつためた時の成長率最大のモードは軸対称なパターンになる.

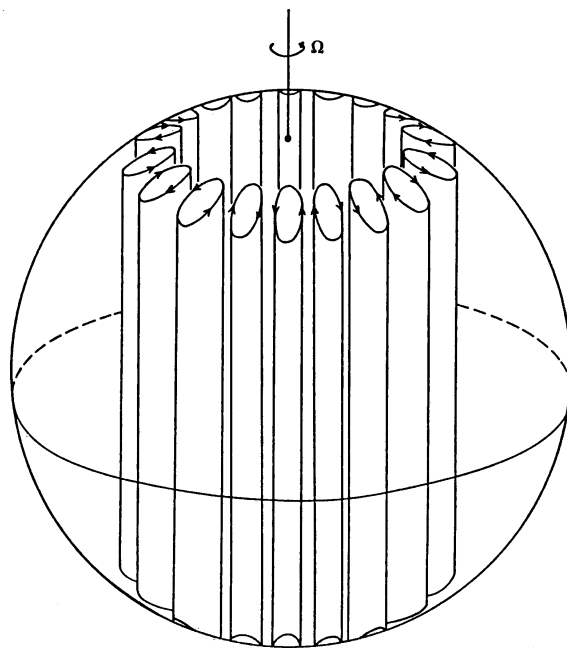


図 3. 内部から熱せられた回転球流体の臨界不安定状態での定性的な運動の模式図, Busse (1983).

2.2 Ingersoll and Pollard (1982)

スケーリングによる内部運動の見積りと非弾性方程式系の導出を行った.

2.3 Busse (1983)

Busse (1970) の延長. 弱非線型効果を考慮すると‘しましま’に伴う流れを再現できる

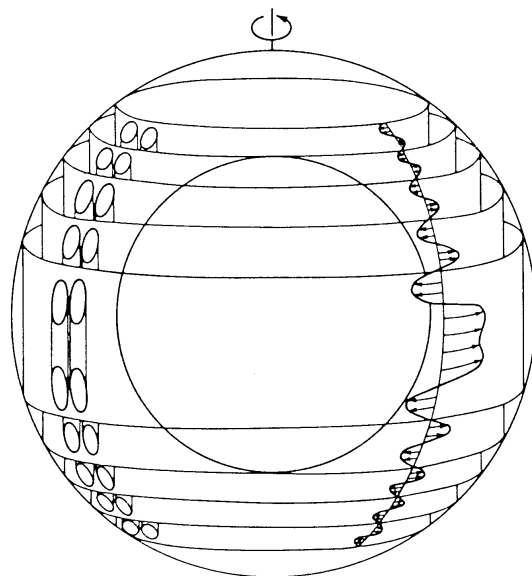


図 4. 深い対流モデルで予想される木星大気大循環の模式図 (Busse 1983)

2.4 Ingersoll and Miller (1986)

同軸円筒の流れが安定に存在可能かどうか, 線型安定論で解析した. 観測されている帯状流はぎりぎり安定であった.

3 浅いモデルと深いモデル

3.1 Yano (1987)

木星大気の運動の深さとエネルギー源についての考察. Taylor-Proudman の定理の拡張~密度分布が球対称, 定常運動, ロスビー数が小さい時には軸対称流だけであることを示した. 逆にほぼ地衡流バランスしている非弾性流体は鉛直構造が baroclinic でなければならないことを示した. 帯状流は内部深く延びている可能性があるが, 大赤斑に伴う運動は大気上部に限られている, と結論した.

4 参考文献

- Busse, F.H., 1970 : Thermal instabilities in rapidly rotating systems.. *J. Fluid Mech.*, **44**, 441-460
- Busse, F.H., 1976 : A simple model of convection in the Jovian atmosphere.. *Icarus*, **29**, 255-60
- Busse, F.H., 1983 : A model of mean zonal flows in the major planets. *Geophys. & Astrophys. Fluid Dyn.*, **23**, 153-74
- Busse, F.H., 1983 : Convection-driven zonal flows in the major planets. *Pure & Appl. Geophys.*, **121**, 375-90
- Ingersoll, A.P., Miller, R.L., 1986 : Motion in the interiors and atmospheres of Jupiter and Saturn. II. Barotropic instabilities and normal modes of an adiabatic planet. *Icarus*, **65**, 370-82
- Ingersoll, A.P., Pollard, D., 1982 : Motion in the interiors and atmospheres of Jupiter and Saturn. Scale analysis, anelastic equations, barotropic stability criterion.. *Icarus*, **52**, 62-80
- Williams, G.P., 1978 : Planetary circulations. I. Barotropic representation of Jovian and terrestrial turbulence. *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1399-426
- Yano, J.-I., 1987 : Rudimentary Considerations on the dynamics of the Jovian atmospheres Part I : The depth of motions and the energetics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 313-327
- Yano, J.-I., 1987 : Rudimentary Considerations on the dynamics of the Jovian atmospheres Part II : dynamics of the atmospheric layer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 329-340

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。