

木星現象論：木星の内部構造

地球流体電腦俱楽部

1996年5月24日

目次

| | |
|---------------------|---|
| 1 木星の内部構造の推定法 | 2 |
| 1.1 モデルの制約条件 | 2 |
| 1.2 モデルの構成 | 3 |
| 2 モデルの計算結果～密度と圧力の関係 | 4 |
| 3 モデルの計算結果～密度分布 | 5 |
| 4 参考：水素の相転移曲線 | 6 |
| 5 参考文献 | 7 |

要旨

Hubbard and Marley, 1989 の木星内部構造モデルを紹介する。

ここでは Hubbard and Marley, 1989 の木星内部構造モデルを紹介する.

1 木星の内部構造の推定法

1.1 モデルの制約条件

木星の内部構造を定めるための制約条件とその値を記す.

- 惑星半径 a
- 重力ポテンシャルの球面調和関数展開した各成分 J_2, J_4 ¹
- 無次元化した回転角速度 $q \equiv \frac{\omega^2 a^3}{GM}$ ただし ω は惑星の回転角速度, G は万有引力定数, M は惑星質量である².

PRIMARY CONSTRAINTS ON STRUCTURE OF JOVIAN PLANETS

| Planet | a (km) | $J_2 \times 10^6$ | $J_4 \times 10^6$ | $J_6 \times 10^6$ | $q \times 10^6$ |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Jupiter | $71,492 \pm 4$ | $14,697 \pm 1$ | -584 ± 5 | 31 ± 20 | $89,180 \pm 15$ |
| Saturn | $60,268 \pm 4$ | $16,331 \pm 18$ | -914 ± 61 | 108 ± 50 | $154,766 \pm 31$ |
| Uranus | $25,559 \pm 4$ | $3,516 \pm 3$ | -31.9 ± 0.5 | 0^a | $29,513 \pm 48$ |
| Neptune | $24,992 \pm 30$ | $4,000 \pm 300$ | | 0^a | $28,960 \pm 450$ |

^a Assumed.

表 1. 内部構造推定に用いる制約条件

¹惑星外部の重力ポテンシャル $U(r)$ は惑星中心を原点とする球座標系で

$$U(r) = \frac{GM}{r} \left[1 - \sum_{l=1}^{\infty} J_{2l} \left(\frac{a}{r} \right)^{2l} P_{2l}(\cos \theta) \right]$$

と表される. ここで r は中心からの距離, θ は余緯度, P_{2l} はルジャンドル多項式を表す.

²惑星全質量の値についてはシリーズ‘木星に関する基本的数字’を参照せよ.

1.2 モデルの構成

木星内部を核とその外側に分ける。

核より外側では、領域を 3 つに分ける ($0 < p < p_1, p_1 < p < p_2, p_2 < p$) 全領域へリウムと水素の一定混合物であり、エントロピーを一定とする。

$0 < p < p_1$: 水素分子とヘリウムの混合、状態方程式がわかっている。

$p_2 < p$: 金属水素とヘリウムの混合、状態方程式がわかっている。

$p_1 < p < p_2$ の間の密度-圧力関係と核の質量を未知数として上記制約条件を用いてインバージョンを行う。

2 モデルの計算結果～密度と圧力の関係

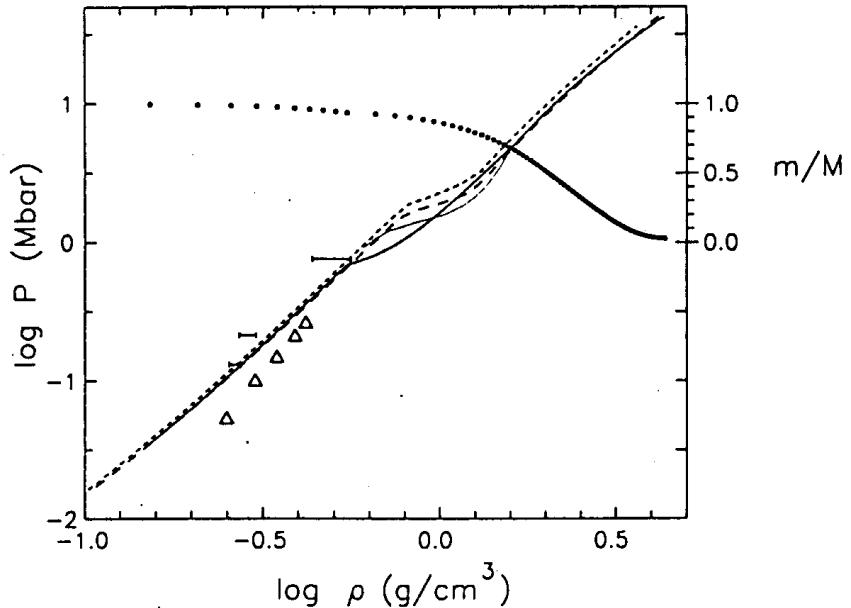


図1. 木星内部の圧力-密度分布(太い実線). ヘリウム-水素質量比 $Y = 0.25$ の断熱線にしたがっている. 2本の細い実線は J_4 を誤差の値だけ小さくしたときの結果である. J_4 を誤差の値だけ大きくしたときは解が収束しなかった. 破線は $Y = 0.18$ (上側) と $Y = 0.27$ (下側) である. 点線はそのレベルの下側にある質量である. 対数の底は以下全て 10 である. 三角形は純粋な H_2 の室温における実験結果を表す. 短い横線は純粋な D_2 での衝撃高圧実験の結果である.

3 モデルの計算結果～密度分布

図2が計算された木星内部の密度分布である。比較のため他の外惑星の結果ものせてある。

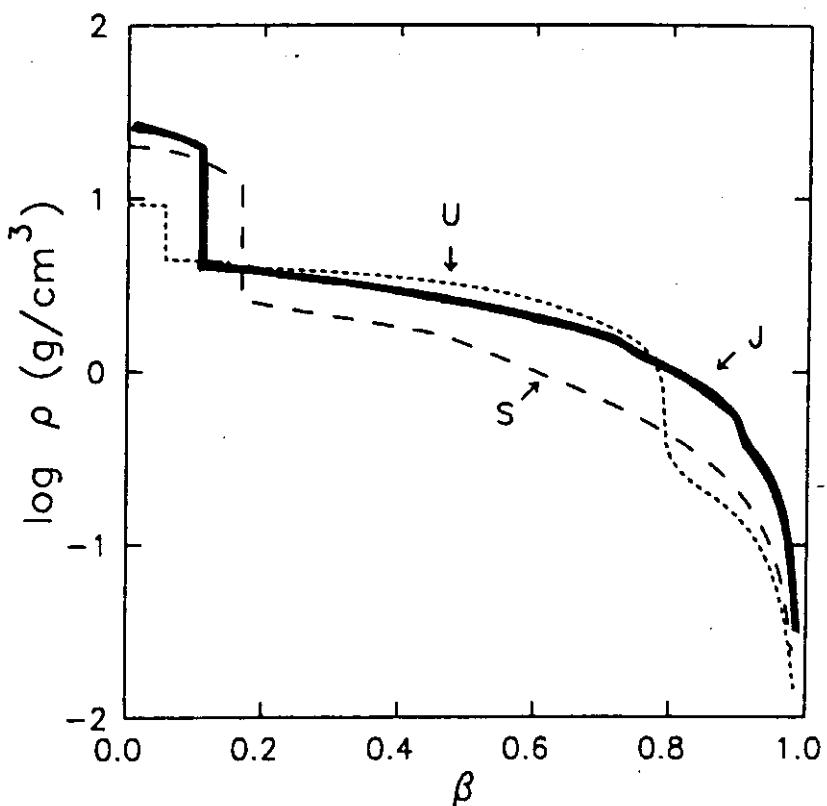


図2. 木星の内部の密度分布。横軸 β は中心からの相対的な距離を表す。J,S,U はそれぞれ木星, 土星, 天王星の内部密度分布である。

4 参考：水素の相転移曲線

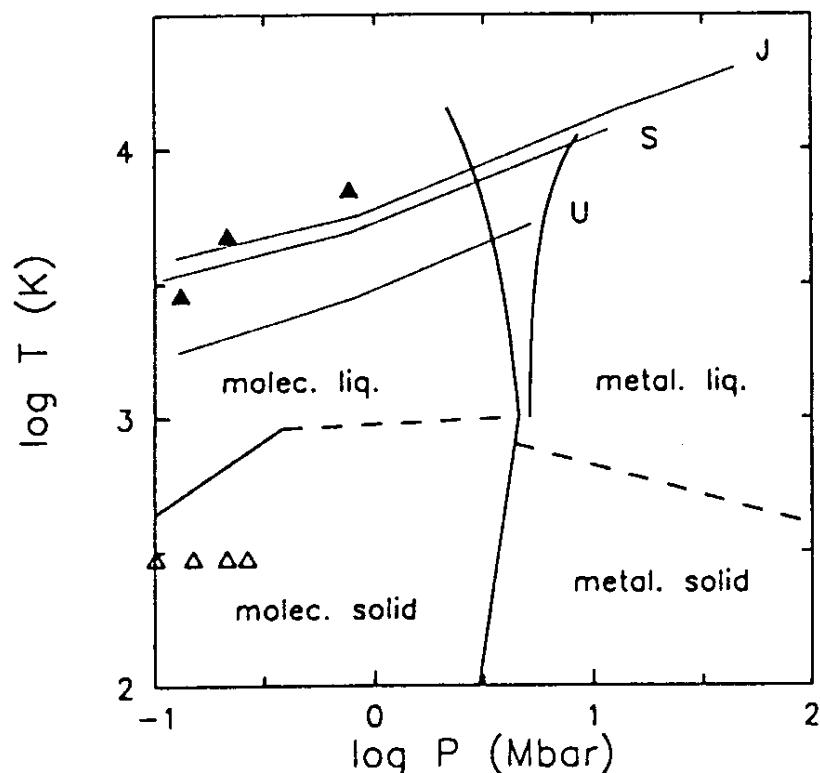


図 3. 水素の相転移曲線. J,S,U はそれぞれ木星, 土星, 天王星内部での断熱線である. 点線ははっきりしない相境界線を表す. 金属-分子水素間の相境界は 2 通り示してある¹. また黒い三角形は衝撃により高圧にしたときの実験結果, 白い三角形は純粋な H_2 の室温における実験結果を表す.

¹ 金属-分子水素間は 1 次の相転移ではない.

5 参考文献

Hubbard,W.B.,Horedt,G.P.,1983 : Computation of Jupiter interior models from gravitational inversion theory. *Icarus*, **54**, 456-465

Hubbard,W.B.,Marley,M.S.,1989 : Optimized Jupiter, Saturn, and Uranus interior Models. *Icarus*, **78**, 102-118

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、流体力学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力学部「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。