

土星現象論: 土星の雲 ~ How to make ‘Moku-Moku’?

地球流体電腦俱楽部

1996 年 7 月 22 日

目 次

1 Weidenschilling and Lewis (1973) の雲モデル	2
2 Atreya and Romani (1985) の計算結果	2
3 参考文献	6

要旨

土星大気の温度構造について概観する。

ここでは Atreya and Romani (1985) による外惑星の雲構造モデルを簡単に紹介する。彼らは Weidenschilling and Lewis (1973) の雲モデルをボイジャーの観測結果に適用して外惑星の雲構造を計算した。

1 Weidenschilling and Lewis (1973) の雲モデル

Weidenschilling and Lewis (1973) の雲モデルの計算手順をおおざっぱに紹介する。

- ある高さで温度圧力組成を与える。この高さではまだどの組成も凝結していないとする。
- 静水圧平衡、乾燥断熱減率を用いて高さに関して積分していく。各組成の分圧は与えたモル比から計算する。
- 一方で各凝結物質の飽和蒸気圧を温度の関数として計算しておく。もしもある凝結物質の分圧が飽和蒸気圧を越えたらその物質は凝結するとして、以後温度分布はその凝結物質に関する（擬）湿潤断熱減率に従うとする。また、凝結物質は分圧が飽和蒸気圧に従うとする。
- 対流圈界面温度に到達するまで計算を続ける。

2 Atreya and Romani (1985) の計算結果

Atreya and Romani (1985) はボイジャーの観測結果から得られた温度圧力を積分の初期値として与えて先の手順で外惑星の対流圈大気構造（温度-圧力、Cloud Density）を計算した。

考慮する凝結物質は次のとおりである。

- NH₃-H₂O Solution
- H₂O Ice
- NH₄SH (solid)
- NH₃ (Ice)

Cloud Density D とは、ある高度幅 dZ の間で凝結している物質の質量の変化

$$D \equiv \frac{(m_k^i - m_k^j) \bar{M}}{dZ},$$

である。ここで m_k^i, m_k^j は考えている大気層の下層と上層の k 番目の物質の質量濃度であり、 \bar{M} は考えている大気層の平均質量である。

ボイジャーの観測より木星で 150K, 0.6 bar, 土星で 143 ± 6K, 1.2 bar が得られた。これらの値から次の関係を用いて、積分の初期値であるところの深いところの圧力と温度を求めた。

$$P = P_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^{\frac{1}{\beta}}, \quad \beta \equiv -\frac{k_B}{\bar{m} \bar{c}_p}$$

P, H は深いところでの圧力とスケールハイト、 P_0, H_0 は（既知の）対流圈上層での値である。 \bar{m} は平均分子量、 \bar{c}_p は平均の定圧比熱、 k_B はボルツマン定数である。

また、組成は Solar Composition を用いた。

		NH ₃ -H ₂ O Solution		H ₂ O Ice		NH ₄ SH(s)		NH ₃ Ice	
		Jupiter	Saturn	Jupiter	Saturn	Jupiter	Saturn	Jupiter	Saturn
Begin pressure (bars) End ⁺	Non existent	9.94	4.25	9.00	1.76	3.71	0.306	1.07	
	Non existent	9.18	1.45	2.99	1.19	2.43	0.299	0.629	
Begin Temperature (K) End [†]	Non existent	280	268	272	247	210	143	145	
	Non existent	274	196	197	185	185	122	124	
Density at cloud base (gm cm ⁻³)	Non existent	3.09x10 ⁻⁵	1.97x10 ⁻⁵	2.26x10 ⁻⁵	1.45x10 ⁻⁷	2.06x10 ⁻⁶	5.18x10 ⁻⁷	5.56x10 ⁻⁷	
Integrated cloud density (gm cm ⁻²)	Non existent	26.22	12.08	39.09	0.4537	1.661	0.1562	0.4726	

⁺and is defined to be where the cloud density is 10⁻⁵ gm/l, except for the NH₃-H₂O solution cloud where end is defined to be where it merges with the H₂O ice cloud.

表 1. 木星と土星の雲構造 (Atreya and Romani 1985)

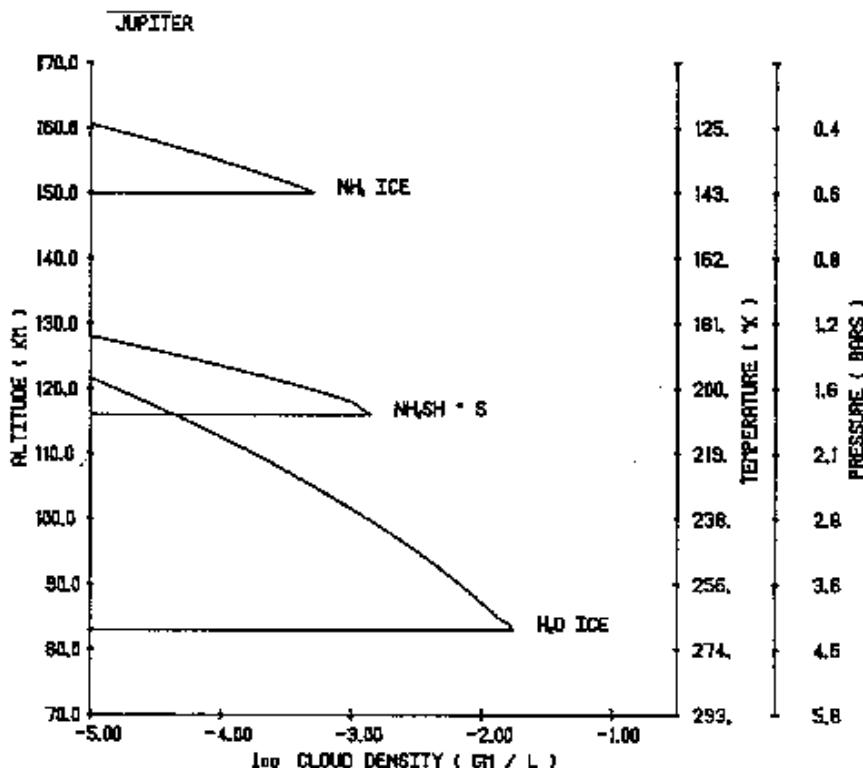


図1. 計算された木星の雲構造。高度は温度 $T = 425\text{K}$, 圧力 $P = 200\text{bar}$ からの高さを表す。Cloud Density は底が 10 の対数スケールであり, $g = 2325\text{cm sec}^{-2}$ である。平均的な温度減率は 1.9K Km^{-1} である (Atreya and Romani 1985)。

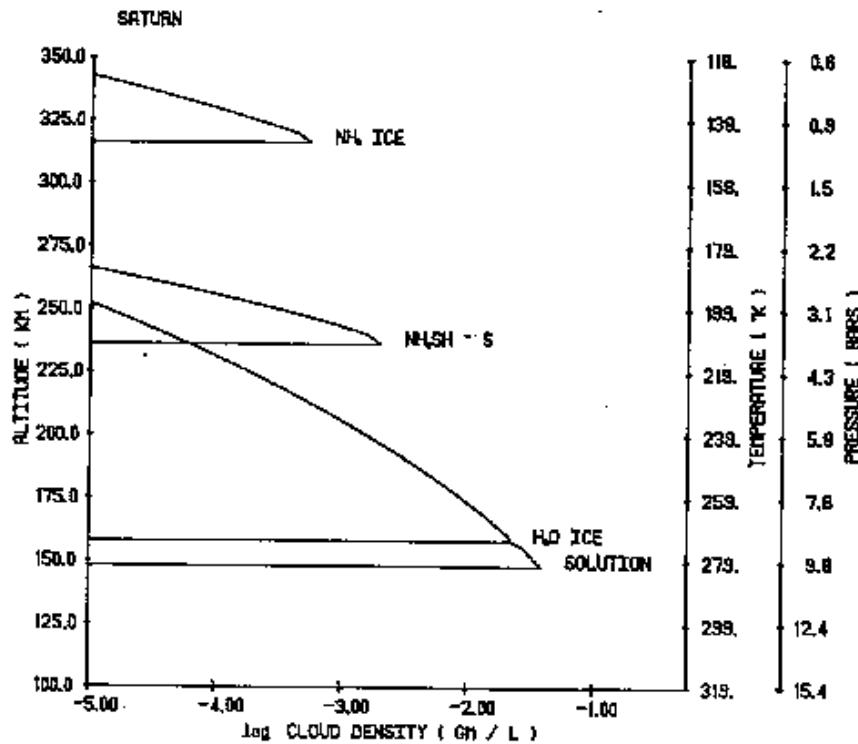


図2. 計算された土星の雲構造. 高度は温度 $T = 400\text{K}$, 圧力 $P = 330\text{bar}$ からの高さを表す. Cloud Density は底が10の対数スケールであり, $g = 1000\text{cm sec}^{-2}$ である. 平均的な温度減率は 0.81K Km^{-1} である (Atreya and Romani 1985).

3 参考文献

Atreya,S.K., Romani,P.N., 1985 : Photochemistry and clouds of Jupiter, Saturn and Uranus. *Recent Advances in Planetary Meteorology*, 17-68

Weidenschilling, S.J., Lewis, J.S., 1973 : Atmospheric and cloud structures of the Jovian planets. *Icarus*, **20**, 465-76

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「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.