

ホットスーパーアースの大気構造

伊藤 祐一

(東京工業大学大学院 理工学研究科)

Abstract

現在までに 800 個以上の系外惑星が観測されている。そのなかでも質量が地球の数倍から数十倍程度、半径が地球の数倍程度の惑星はスーパーアースと呼ばれており、岩石が主成分と考えられる惑星も発見されている。岩石主成分のスーパーアースである CoRot-7b(4.8Me,1.7Re,0.017AU) は、潮汐加熱や強烈な恒星輻射により、表面が高温下になりマグマオーシャンに覆われ、シリケイト大気を形成すると推測されている (Valencia et al.(2010))。またシリケイト大気の揮発性元素の有無について特定することができれば CoRot-7b の組成の起源について制約ができることが期待されている。現在、このようなシリケイト大気の大気構造、透過スペクトルは明らかになっていない。本研究では CoRot-7b のような高密度ホットスーパーアースの大気構造、組成、起源を特定するため、大気組成の主要成分 Na , O_2 , SiO の吸収断面積を明らかにした。この吸収断面積を用いて大気モデルから温度構造、透過スペクトルを推定することが可能となる。

1 Introduction

現在までに 800 個以上の系外惑星が観測されている。そのなかでも質量が地球の数倍から数十倍程度、半径が地球の数倍程度の惑星はスーパーアースと呼ばれ、現在観測数は少ないが宇宙望遠鏡ケプラーによって多くのスーパーアースサイズの候補天体が報告されている。こうした惑星はトランジット法から惑星半径と惑星大気スペクトル、視線速度法から惑星質量がわかるため、惑星の大気構造や内部構造が推定されている。推定された大気構造、内部構造は現在の惑星の状態をあらわしており、進化計算を行うことで惑星の起源と進化トラックについても観測量から推定できる可能性がある。

岩石を主成分とした高密度なスーパーアースである CoRot-7b(4.8Me,1.7Re,0.017AU) は、中心星近傍にあるため潮汐加熱や強烈な恒星輻射を受け高温な環境におかれている。その表面温度は岩石の融点を超えているため、表面はマグマオーシャンに覆われ、惑星大気はシリケイト大気を形成すると推測されている。Valencia et al.(2010) では CoRot-7b に質量散逸を考慮した内部構造計算を行い、鉄の枯渇した岩石惑星であると示唆した。ただし、CoRot-7b の起源については特定されていない。観測により揮発性元素の有無を特定することができれば、ドライな岩石

惑星もしくは過去に軌道移動を経た揮発性元素に富む惑星が起源であるか制約可能であることが期待される。しかし、シリケイト大気の揮発性元素の有無について特定することができモデルスペクトルは現在確立していない。

Schaefer and Fegley(2009),Miguel et al.(2011), Schaefer et al.(2012) ではシリケイト大気的气体の化学平衡を計算することで、ある表面温度におけるシリケイト大気の組成が推定されている。質量散逸により揮発性元素 (C,H,N,S,Cl) がすべて散逸した大気では Na , O_2 , O , SiO のガスが主成分となる (表 1)。そして揮発性元素 (C,H,N,S,Cl) が存在する場合、 H_2O , CO_2 が主成分となる。しかし、シリケイト大気の熱力学平衡な温度構造については明らかになっていない。

2 Aims

CoRot-7b のような岩石主成分のホットスーパーアースの大気構造を特定するため、大気モデルから温度構造、透過スペクトルを推定する。本講演では、ホットスーパーアースの大気組成が揮発性元素を含まないガスメルト平衡組成を考え、 Na , O_2 , SiO を想定する。大気構造を理解するため各組成の吸収スペ

クトル線を求め、温度構造推定を行う。

3 Methods

大気の温度構造を決めるうえで重要なパラメータである吸収係数は主要な大気成分である Na, O₂, SiO について Piskunov and Kupka(2001) と Unsold(1955) の方法を用い計算した。これらはドップラー半値幅、自然幅、ファンデルワールス効果による半値幅を考慮したフォークト関数を各線で計算する方法である。

温度構造計算の手法として Toon et al.(1989) の輻射輸送計算法を用いたモデルを扱う。Toon et al. (1989) のモデルは振動数依存性のある輻射に 2 流近似を用いて、フラックス分布をもとめ大気鉛直温度構造を求める。Toon et al. (1989) は多くの系外惑星大気の温度構造計算に応用されている。

4 Results

ホットスーパーアースの大気の光学的厚さについては主要成分である Na, O₂, SiO の線吸収を考慮した (表 1)。振動数依存性のある吸収断面積について HITRAN, Atomic spectral line database from CD-ROM 23 of R. L. Kurucz. のデータベースから半値幅、線吸収強度を計算した。(図 1, 図 2)

5 Discussion・Conclusion

本研究では Schaefer and Fegley (2009) で導かれた大気組成の主要成分 Na, O₂, SiO の吸収断面積を明らかにした。この吸収断面積から大気的光学的厚さや大気構造を計算することが可能となる。また透過スペクトルの推定に応用することも可能となる。

表 1: 地表面温度と大気組成分率

表面温度	Na	O ₂	O	SiO
1800K	0.79	0.20	0.013	0.000057
2500K	0.47	0.12	0.054	0.054

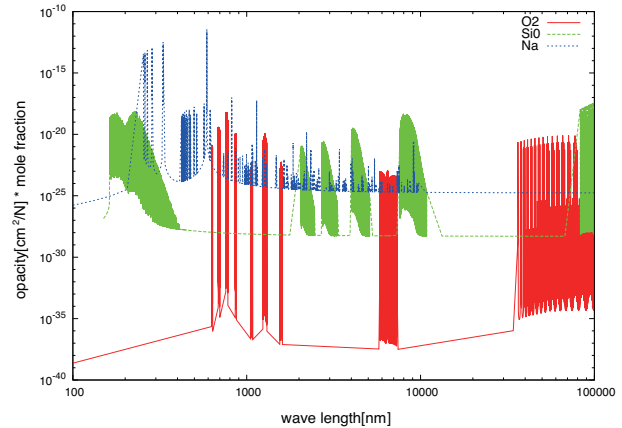


図 1: 1800K における波長とモル分率×吸収断面積

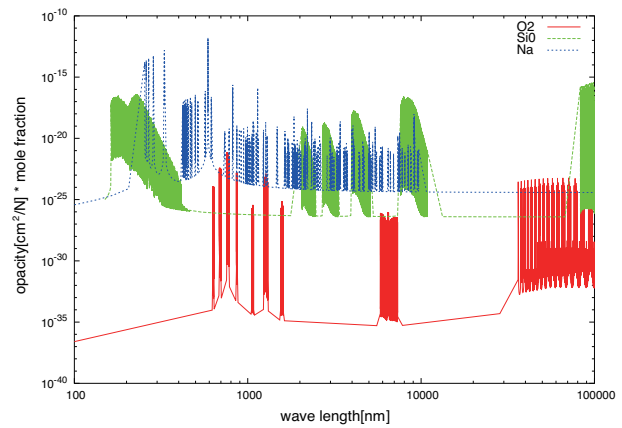


図 2: 2500K における波長とモル分率×吸収断面積

Reference

Toon, O. B., McKay, C. P., Ackerman, T. P., & Sathanam, K. 1989, *JGR*, 94, 16287

Miguel, Y., Kaltenecker, L., Fegley, B., & Schaefer, L. 2011, *ApJL*, 742, L19

Piskunov, N., & Kupka, F. 2001, *ApJ*, 547, 1040

Schaefer, L., & Fegley, B. 2009, *ApJL*, 703, L113

Schaefer, L., Lodders, K., & Fegley, B. 2012, *ApJ*, 755, 41

Valencia, D., Ikoma, M., Guillot, T., & Nettelmann, N. 2010, *A&P*, 516, A20