HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	木星対流圏の放射エネルギー収支に関する数値的研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	髙橋, 康人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13131号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69999
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yasuto_Takahashi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　氏　名　　髙　橋　康　人

学 位 論 文 題 名

木星対流圏の放射エネルギー収支に関する数値的研究

木星大気におけるエネルギー収支の理解は、巨大ガス惑星全般に関する基礎的な知見として、大気環境、大気循環、そして熱進化の理解につながることが期待される。これまでの研究では、木星外界からの放射量観測に基づいてエネルギー収支の大まかな全体像が推定された一方で、特に対流圏における雲をはじめとした粒子成分の分布や物性についての不定性のために、具体的なエネルギー収支の決まり方について体系的な説明は示されていない。

本研究では、物質分布についての最新の理論的・観測的知見を導入した木星表層大気の一次元放射対流平衡モデルを新たに構築し、木星における放射エネルギー収支が決まるまでの物理過程、そして放射過程と雲対流過程の相互作用について、理論的考察をおこなう。

放射対流平衡モデルの中心をなす鉛直一次元放射伝達モデルでは、成層圏から対流圏にまたがる高度領域(0.001−−100 bar)を対象に、日射と熱放射をほぼすべてカバーする波数範囲 1-35000 cm^{-1} について、波数解像度 1 cm^{-1}の放射計算を行う。このモデルでは、木星大気に含まれる主要な気体成分のほか、3層の雲や成層圏ヘイズ、および不定性の大きい紫外から可視にかけての吸収体(着色物質) も考慮し、これらの成分が持つ光学特性を取り込んだ。

構築した放射伝達モデルが、現実の木星大気を想定した大気構造において正しく放射計算が出来ることを確認するため、これまでにおこなわれた唯一の木星大気その場観測であるガリレオプローブの放射計観測データとの比較をおこなった。その結果、観測値の不確定性や種々の未制約要素を考慮したうえで、放射計が得た熱放射および日射フラックスデータの基本的な振る舞いはほぼ再現できることが確認された。

木星における平均的な大気構造を推定するため、放射対流平衡計算と観測スペクトルを参照した大気成分分布の最適化をおこなった。観測された熱放射スペクトルと最も整合的な温度構造は、168 Kを基準温位とした場合の放射対流平衡温度構造であることがわかった。また観測された反射スペクトルを最もよく説明できる雲と着色物質の分布を求めると、雲分布については雲対流シミュレーション(Sugiyama et al., 2014)が示した木星の統計的平衡状態にあるときの雲密度分布の3倍ほどの密度を持ち、かつ雲頂を形成する NH_3 雲有効粒径が 0.5 μmの場合であった。また着色物質は全体で 0.01 の光学的厚さを持つ場合であった。これにガリレオプローブによる探査から得られた大気深部重元素混合比を元として、熱化学平衡と光解離を考慮した鉛直分布を持つ気体分布と、光学的に非常に薄い成層圏ヘイズ層を加えたものを、本研究における標準大気モデルとした。

標準大気モデルにおける大気放射場計算をおこない、その結果を特に雲対流との関係に着目して解析した。この大気モデルにおいては、雲層は熱放射の中心波数帯では光学的に薄く、5μm帯を除いて、ほとんど熱放射を遮らない。他方、短波放射に対しては有効な散乱体としてはたらき、木星のアルベドを顕著に引き上げる効果を持つ。雲の無い成層圏ではH_2ガスによる放射冷却とCH_4ガスによる日射加熱により放射平衡が保たれるが、雲がある対流圏では雲頂付近においてH_2ガスに加えてNH_3ガスによる放射冷却も強く寄与し、CH_4ガス及び着色物質による日射加熱を卓越している。ここで放射冷却が卓越することで、対流不安定が励起され雲対流が駆動されると解釈でき

る。

本研究の結果を元に、Sugiyama et al., 2014 が示した放射冷却と潜熱加熱のバランスによる雲対流の間欠周期について再考すると約280日となり、これは Sugiyama らが推定した周期の7倍である。長周期化の主な原因は、深部 H_2O 量のモデル間の違いと、日射加熱による熱放射冷却の抑制である。本モデルの結果に基づくと、現実の木星において観測されている積雲形成の周期(2--3 年, Fletcher et al., 2011)を説明するには、太陽組成比の 10--20 倍程度の大気深部 H_2O 混合比が必要と見積もられる。

最後に、今回求めた放射対流平衡構造に基づき、木星表層大気におけるエネルギー収支を大局的に表す4 層モデルを新たに提案する。これは成層圏を、温度極小高度を境に上部成層圏と下部成層圏に、対流圏を放射冷却率の大きい上部対流圏とより深部の下部成層圏に分けるものである。ここまでに得られた大気の加熱・冷却の知見を用いて各大気層についてエネルギー収支を定量的にまとめることにより、先行研究では触れられてこなかった木星表層でのエネルギー収支の決まる物理プロセスが体系的に明らかになり、特に上部対流圏における雲対流・雲形成が重要な役割を果たすことが示された。