

論文審査の結果の要旨

氏名 安藤 紘基

地球大気中には様々な時空間スケールの現象が存在している。1970年代終りごろからの観測技術の進歩により、メソスケール(水平数十km～数千km、鉛直数百m～数km)の高解像連続観測が可能となり、スペクトルの構造という視点から盛んに議論がなされてきた。これによれば、風や温度のスペクトルの形状は普遍的であり、異なる物理量のスペクトルの形状や振幅の違いは大気重力波の偏波関係式からほぼ理解できる。また、特に鉛直波数スペクトルは波数の-3乗～-4乗の冪則に従う特徴的な形状をしており、その定量的な理論解釈として、対流不安定あるいは力学的不安定となるぎりぎりの振幅を持つ「飽和重力波」という仮想的な概念が持ち込まれた。最近では計算機技術の進歩によって重力波砕波のシミュレーションが行えるようになり、「飽和」という概念の是非に関する議論もなされている。本論文では、このような一連の大気重力波スペクトルの研究の流れの中で、地球以外の惑星大気でもメソスケールのスペクトルが普遍であるかという視点で研究を行った。すなわち、探査機による金星と火星の電波掩蔽観測データを使用し、特に金星については、オリジナルデータからスペクトル推定に耐える良質の鉛直高解像気温データを作成し、スペクトルの緯度依存性とそのメカニズムについての議論を行ったものである。また、スペクトルの形状から推定された卓越鉛直波数を用いて、波の飽和を仮定して推定される乱流拡散係数を高度別に求め、惑星間の比較も行っている。本論文は7章から構成される。

第1章は、本論文のイントロダクションであり、目的と背景を述べている。

第2章は、本論文で使用する電波掩蔽観測の技術と、データの精度を上げるために本研究で行ったデータ処理法について述べられ、その有効性が議論されている。

第3章では、金星および火星のそれぞれのデータの記述（期間、鉛直プロファイル数、高度分解能など）が詳しくなされている。使用したデータは、金星については、2005年に打ち上げられたVenus Expressからの電波掩蔽観測による約250の鉛直プロファイル、火星については、Mars Global Surveyorの約10年強にわたる約18,000の鉛直プロファイルである。ここで、第2章で記述された一次データ処理で用いられる仮定が鉛直波数スペクトルにほとんど影響しないことなどを確認している。また、それぞれの惑星大気について、2つの高度領域における緯度別のデータ数、および、スペクトルの議論に必要な大気安定度がまとめら

れている。火星についてはデータ数が多いことから、4つの季節に分けてデータが整理されている。

第4章においては、金星の鉛直波数スペクトルの特徴が述べられている。いずれの緯度帯、高度帯においても、スペクトルが、高波数側において鉛直波数の-3~-3.8乗に比例する形状を示しており、地球大気の普遍スペクトルとよく似た構造であることが明らかとなった。また、地球大気と異なりスペクトル密度が高緯度で大きく、低緯度で小さいことも示された。この違いは、主要な重力波発生源である山岳地形の分布に起因することが示唆される。

第5章では、火星の鉛直波数スペクトルの特徴が述べられている。火星の場合も高波数側で鉛直波数の-3~-3.6乗に比例しており、地球大気の普遍スペクトルとよく似た構造であることが示された。また、いずれの季節においても、スペクトル密度は赤道域で最大となっており、地球大気とよく似た緯度依存性があることもわかった。

第6章では、波の飽和と乱流生成についての議論が行われている。まず、電波掩蔽観測では約200km以下の水平波長をもつ重力波は検出できないため、これに起因するスペクトル密度の過小評価について定量的に議論がなされている。また、冪乗則に乗る最低波数を卓越する鉛直波数とし、飽和重力波の仮定に基づく乱流拡散係数の推定を行っている。そして乱流拡散係数の惑星間の違いを明確化することに成功している。

第7章では論文全体のまとめが述べられている。

以上、本論文提出者は、金星と火星の探査機による電波掩蔽観測データをもとに、気温の鉛直波数スペクトルの統計解析を行い、波数の-3~-4乗に比例するスペクトルが、地球だけでなく地球型惑星に普遍的であることを明らかにした。また惑星大気大循環モデル等に必要となる乱流拡散係数を飽和重力波の仮定のもと推定した。これらの成果は、惑星大気科学に大きく貢献するものである。本論文の第3章および第5章の研究内容は、今村剛氏、津田敏隆氏との共著であり、第3章および第4章は今村剛氏、Bernd Haeusler氏との共著の論文であるが、本論文提出者が主体となって考えデータ処理および解析をしたもので、本論文提出者の寄与が極めて大きいと判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。