

学 位 論 文 題 名

An Observational Study of Inertial Instability in the Equatorial Middle Atmosphere

（赤道中層大気中の慣性不安定に関する観測的研究）

学位論文内容の要旨

流体力学における不安定現象の一つに、慣性不安定がある。これは、回転流体中における角運動量分布のしかたに起因する不安定で、回転軸に近づくほど角運動量が大きくなっているような場合に実現され、不安定を解消するために動経方向の流れが生じることが知られている。地球大気では、極に近づくほど角運動量が大きくなっている領域で、子午面内に不安定循環が発生すると考えられる。

地球大気中での慣性不安定に関して、Dunkerton (1981) は東西一様という理想化された条件のもと、不安定によって誘起される擾乱場についての理論的な研究を行い、最も現れやすいと予想される循環構造を示した。これ以降、理論的な研究もしくは数値モデルを利用した研究は多く行われているが、その一方で、観測データを用いた研究は非常に少なく、現実大気における慣性不安定に関する知識は、事実上 Hitchman et al. (1987) のみに依存していると言ってよい。Hitchman らは、人工衛星による観測データを用い、赤道下部中間圏に特徴的な温度構造（“パンケーキ構造”と呼ばれる）を見出した。それは、背景場の様子などから、慣性不安定循環によって不安定領域の境界に作られた温度擾乱であると考えられた。しかし、彼らの研究は、使用したデータの制約により北半球冬季に限られているなど、このパンケーキ構造に関してはまだ研究すべき問題点が多く残されている。さらに、慣性不安定の作り出す風速擾乱については、これまで信頼できるような研究報告はなされていない。そこで本研究では、衛星観測、地上観測および客観解析データを総合的に用いて、慣性不安定が誘起する温度場や風速場に関して、その擾乱の構造や性質などについて明らかにし、Hitchman et al. (1987) 以降の新たな知識を得ることを目的とした。

まず、人工衛星 UARS に搭載された測器 Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer (CLAES) が観測した温度データを解析することにより、慣性不安定によって作られる温度擾乱（パンケーキ構造）に関する研究を行った。その結果、赤道成層圏界面付近において、約 10 km の鉛直スケールを持つパンケーキ構造が、南北両半球の冬季間に数回出現していることが確かめられた。それは経度方向に非常に局所的な構造をしていて、約一週間持続していた。また、簡単な鉛直方向のハイパス・フィルターを用いることで、Dunkerton の研究で理論的に予想されたように、赤道とは逆位相のパンケーキ構造が中緯度域 (30°-40°) に存在していることを発見した。このことは、パンケーキ構造が慣性不

安定に伴う現象であるということを強く裏付けている。一方、イギリス気象局から提供された成層圏解析データを利用して、慣性不安定の指標になると考えられているポテンシャル渦度を計算し、パンケーキ構造が観測される時期の背景場の様子について調べた。その結果、冬半球中緯度のプラネタリー波の活動性が大きくなり、その影響が赤道域まで及ぶこと、つまり、プラネタリー波の砕波が原因で、赤道付近の慣性不安定な領域が局所的に中緯度付近まで引き延ばされることがわかった。また、その局所的に大きくなった不安定領域は、CLAES で見つかったパンケーキ構造と出現時期・場所がほぼ一致していることも確認された。

次に、Kwajalein(8.7N,167.7E)におけるロケットゾンデの観測データと人工衛星 Nimbus 7 に搭載された測器 Limb Infrared Monitor of the Stratosphere (LIMS) の観測データを組み合わせて、慣性不安定が引き起こす風速擾乱に関する研究を行った。LIMS 観測期間(1978/10-1979/5)におけるロケットゾンデの水平風速データを、成層圏界面付近の高度で詳しく解析したところ、Dunkerton の理論から期待されるような、東西風と南北風の擾乱が逆位相の関係を示すケースが見つかった。その時の LIMS 温度データを調べると、風速擾乱と同様の鉛直スケール(約 10 km)を持つパンケーキ構造が、Kwajalein の位置する経度付近で、赤道上と中緯度域の両方に現れていることがわかった。また、水平風擾乱とパンケーキ構造の間には約 90 度の位相差が見られたが、このことは Dunkerton の理論的な予想とよく一致しており、この水平風擾乱が慣性不安定によって誘起されたものである可能性は非常に高い。このように東西風擾乱と南北風擾乱が逆位相を示すケースは、LIMS 観測期間以外でも確認されており、それは明らかに北半球の冬季に偏っていることがわかった。しかし、Kwajalein 以外の観測地点におけるロケットゾンデデータを解析すると、同様の水平風擾乱が見つかることは非常に少なく、季節性もはっきりしない。このような慣性不安定循環の出現に関する季節性および地域性は、中緯度プラネタリー波の砕波が冬季間にある特定の経度帯で発生しやすいことに起因していると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 塩 谷 雅 人

副 査 教 授 久保川 厚

副 査 助教授 向 川 均

副 査 教 授 林 祥 介 (大学院理学研究科)

学 位 論 文 題 名

An Observational Study of Inertial Instability in the Equatorial Middle Atmosphere

(赤道中層大気中の慣性不安定に関する観測的研究)

流体力学における不安定現象の一つに慣性不安定がある。これは、回転流体中における角運動量分布のしかたに起因する不安定で、回転軸に近づくほど角運動量が大きくなっているような場合に実現され、不安定を解消するために動経方向の流れが生じることが知られている。地球大気中での慣性不安定に関しては、Dunkerton (1981) 以降、さまざまな理論的な研究がおこなわれてきたが、実際にそのような不安定現象が現実大気中に存在するのかについての観測的な研究は非常に少なく、Hitchman et al. (1987) がほとんど唯一のものである。彼らは、衛星観測データを用い、赤道下部中間圏に慣性不安定によって作られたと考えられる特徴的な温度構造(“パンケーキ構造”と呼ばれる)を見出した。しかし、彼らの研究は使用したデータの制約により北半球冬季に限られているなど、このパンケーキ構造に関しては研究すべき問題点がまだ多く残されている。さらに、慣性不安定の作り出す風速擾乱については、これまで信頼できるような研究報告はなされていない。

本研究では、衛星観測、地上観測および客観解析データを総合的に用いて、慣性不安定が誘起する温度場や風速場に関して、その擾乱の構造や性質などについて明らかにし、Hitchman et al. (1987) 以降の新たな知識を得ることを目的とした。

まず、人工衛星 UARS に搭載された測器 Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer (CLAES) が観測した温度データを解析することにより、慣性不安定によって作られる温度擾乱(パンケーキ構造)に関する研究を行った。その結果、赤道成層圏界面付近において、約 10 km の鉛直スケールを持つパンケーキ構造が、南北両半球の冬季間に数回出現していることが確かめられた。それは経度方向に非常に局所的な構造をしていて、約一週間持続していた。また、簡単な鉛直方向のハイパス・フィルターを用いることで、Dunkerton の研究で理論的に予想されたように、赤道とは逆位相のパンケーキ構造が中緯度域 (30°-40°) に存在していることを発見した。このことは、パンケーキ構造が慣性不安定にともなう現象であるということを強く裏付けている。一方、イギリス気象局から提供された成層圏解

析データを利用して、慣性不安定の指標になると考えられているポテンシャル渦度を計算し、パンケーキ構造が観測される時期の背景場の様子について調べた。その結果、冬半球中緯度のプラネタリー波の活動性が大きくなり、その影響が赤道域まで及ぶこと、つまり、プラネタリー波の碎波が原因で、赤道付近の慣性不安定な領域が局所的に中緯度付近まで引き延ばされることがわかった。また、その局所的に大きくなった不安定領域は、CLAESで見つかったパンケーキ構造と出現時期・場所がほぼ一致していることも確認された。

次に、Kwajalein (8.7N,167.7E) におけるロケットゾンデの観測データと人工衛星 Nimbus 7 に搭載された測器 Limb Infrared Monitor of the Stratosphere (LIMS) の観測データを組み合わせて、慣性不安定が引き起こす風速擾乱に関する研究を行った。LIMS 観測期間 (1978/10-1979/5) におけるロケットゾンデの水平風速データを、成層圏界面付近の高度で詳しく解析したところ、Dunkerton の理論から期待されるような、東西風と南北風の擾乱が逆位相の関係を示すケースが見つかった。その時の LIMS 温度データを調べると、風速擾乱と同様の鉛直スケール (約 10 km) を持つパンケーキ構造が、Kwajalein の位置する経度付近で、赤道上と中緯度域の両方に現れていることがわかった。また、水平風擾乱とパンケーキ構造の間には約 90 度の位相差が見られたが、このことは Dunkerton の理論的な予想とよく一致しており、この水平風擾乱が慣性不安定によって誘起されたものである可能性は非常に高い。このように東西風擾乱と南北風擾乱が逆位相を示すケースは、LIMS 観測期間以外でも確認されており、それは明らかに北半球の冬季に偏っていることがわかった。しかし、Kwajalein 以外の観測地点におけるロケットゾンデデータを解析すると、同様の水平風擾乱が見つかることは非常に少なく、季節性もはっきりしない。このような慣性不安定循環の出現に関する季節性および地域性は、中緯度プラネタリー波の碎波が冬季間にある特定の経度帯で発生しやすいことに起因していると考えられる。

申請者がおこなったデータ解析は緻密かつ巧みであり、結果の解釈の明解さとあいまってその研究成果は高く評価できる。また、誠実かつ粘り強く研究に取り組む姿勢を持っており、今後、独立した研究者として能力を発揮していくことが期待できる。よって審査員一同は申請者が博士 (地球環境学) の学位を受けるのに十分な資質を有するものと判定した。