

論文審査の結果の要旨

氏名 伊 賀 晋 一

金星の上空、高度65-70km付近では風速100m/sにも達する強い帯状風が吹いている。この帯状流は約4日で金星を一周するため、「4日循環」と呼ばれている。これに対して、金星の自転周期は243日と非常にゆっくりとしているので、固体部分の回転に比して遥かに速い帯状風が一体どのようにして上空で作られているかは、惑星気象学の非常に興味深い問題の1つである。近年、大循環モデルを用いて、4日循環を再現したとする報告もいくつか為されてきてはいるが、大循環モデルの中では非常に多くの過程が働いているために、再現された4日循環がどのような機構で形成されたかは依然未解明のままである。

現在のところ、4日循環の成因を説明する機構として最も有力なもの1つはGierasch (1975) の説である。4日循環が見られる高度では極向きの流れがあることが観測されているが、これは赤道上空で上昇し、極へ向かい、そこで下降して、大気下層を赤道へ向かう子午面循環の一部と考えられている。Gieraschはこの子午面循環が金星固体部分から角運動量を得て上空に持ち上げることが、4日循環の源であると考えた。しかしながら、ただ子午面循環があっただけでは、上空にこれほど高速の帯状風の角運動量を蓄積することはできない。4日循環のような高速の帯状風を生ずるには、子午面循環に伴って角運動量の保存則により高緯度で加速された帯状風が、非常に大きな水平渦粘性の働きにより、低緯度の帯状流を加速し、その結果として、より大きな角運動量を持った空気が子午面循環により高緯度に運ばれることにより、更に帯状流を加速するという過程が必要である。Gierasch (1975) 自身は無限に大きな水平渦粘性を仮定しており、この考えを発展させたMatsuda (1980, 1982) でも非常に大きな水平渦粘性が仮定されているが、この大きな水平渦粘性がどのような物理過程により生じているかは現在も明らかとはなっていない。

論文提出者は、気象力学の研究者の中でも、一部の研究者にしか知られていない「浅水系のシア不安定」がこの大きな水平渦粘性を担うのでないかと考えた。通常の水平シア流の不安定(順圧不安定)は、古くから調べられてきており、不安定が生ずるためには風速分布に変曲点が存在しなければならないという制約があることが知られている。これに対して、「浅水系のシア不安定」は、水深の浅い一層流体に生ずる浅水重力波が水平シアからエネルギーを取り出せる構造を持つことにより生ずる不安定も含んでいるため、変曲点の存在は必要としない。従って、より多様な風速分布を持った水平シア流に対しても不安定が期待できる。鉛直シアのない大気では、大気中の波動擾乱を記述する方程式は「等価深さ」を変数分離の定数として、水平構造方程式と鉛直構造方程式に分離でき、このうち水平構造方程式は浅水系方程式に帰着されるため、「浅水系のシア不安定」を考えることは連続成層し

た大気に生ずる不安定のプロトタイプとして十分な意義がある。「浅水系のシア不安定」に関しては、1980年代に入って研究が始まったが、球面上の浅水系を対象にしたものは数えるほどしかなく、金星への応用を試みた研究は本研究が初めてである。また、球面上の浅水系における不安定の詳細な物理的な解釈を試みた研究もない。

基本場として考えた4つの帯状流の風速分布のうち3つは金星大気に対する観測に基づいたもので、60度より低緯度ではほぼ等速のもの(A)、中高緯度で弱いジェットがあるもの(B)、強いジェットがあるもの(C)である。不安定モードを求める固有値計算では、行列法により主要な固有値を漏れなく求め、更にこれらのモードに対してshooting法で精度良く求める方法を採用することにより、不安定の成因をモード間の共鳴として識別することが可能になった。順圧不安定・慣性不安定を持たない風速分布(A)と(B)については、(B)で発達率が大きいことを除いては、東西波数2のモードの発達率が最も大きい。モード間の相互作用の解析から、このモードは赤道ケルビン波と連続モードの共鳴により生じたものと解釈されることがわかった。順圧不安定・慣性不安定の条件を満たす風速分布(C)では東西波数1のモードが発達率最大のモードであり、このモードはロスビー波と連続モードの共鳴によって生じたものと解釈されることがわかった。これらのモードによる角運動量輸送は、いずれも、帯状流を剛体回転に近づける方向であり、Gieraschの提案した機構に好都合である。

これらの不安定が金星大気で実現するかどうかは、放射や鉛直渦粘性、重力波の碎波などのダンピングよりも発達率が大きいかどうかにかかっている。放射によるダンピングは高度と共に急激に大きくなるため、風速分布(A)(B)では高度60km以上では不安定モードは増幅できないが、風速分布(C)では70km以下であれば増幅可能である。鉛直渦粘性に関しては、未だ確かな観測値がなく、その効果の評価は不明である。本研究で見つかった不安定モードがGierasch機構に果たす真の役割は、現実的な子午面循環のもとにこれらのモードが非線形発展したときに、どのような帯状流分布が実現されるかを見なければ評価できないが、Gierasch機構に不可欠な大きな水平渦粘性を担う擾乱として、浅水系のシア不安定という新しい視点を提供し、金星における浅水系のシア不安定に関する基礎的な特性を明らかにした点は、今後の4日循環の研究に1つの手懸りを与えたものとして評価できる。また、球面上の浅水系のシア不安定の成因として、ケルビン波やロスビー波と連続モードとの共鳴という解釈を与えた点、本研究の主題ではないので詳しい説明は省くが、2つの不安定モードの共鳴に伴う発達率の波数依存性の変化の数学的モデルを提出した点も、不安定の物理的理解における新しい貢献として評価できる。

なお、本研究の成果は松田佳久氏との共著論文として近々投稿予定であるが、論文提出者が主体となって問題の設定、計算、解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、論文提出者に博士(理学)の学位を授与できると認める。