

論文内容の要旨

論文題目 A study on the dynamics of the mesopause region using foil chaff technique

(フォイル・チャフを用いた中間圏界面領域の力学に関する研究)

小泉 宜子

地球大気中に存在する大気波動の中でも特に大気重力波は、大気に擾乱を与えることで不安定現象を引き起こして乱流を生成し、中間圏界面付近のダイナミクスに大きな影響を及ぼすことが知られている。しかしながら、中間圏界面付近における Kelvin-Helmholtz (KH) 不安定などの不安定現象については、理論的に予想されているものの、実際に観測されたことはほとんどない。

本研究では、不安定現象に伴う乱流の空間的な構造、特に鉛直構造を解明することを目的として、高精度の中性風観測が行えるフォイル・チャフ実験を実施した。複数の測定器と同時観測を行うために、観測ロケット搭載用チャフ放出機構を開発し、大気光波状構造の解明を目的とした WAVE2004 キャンペーンでの観測結果を利用して、大気不安定と鉛直風の関係について検証を行った。

フォイル・チャフ(以下、チャフ)による中性風測定は、観測手法が限られる中間圏界面付近で精度のよい測定を行うことができる。従来は小型ロケットによって単独で観測が行われていたが、複数の測定器と同時観測が行えるよう、観測ロケット搭載用チャフ放出機構としてバネ式(図 1)と差圧式(図 2)の 2 方式を開発した。観測ロケットでチャフ実験を行うにあたり、小型ロケットとは放出時のロケット速度が違ふことから、放出から終端速度に達するまでのチャフの運動をあらかじめ予測した。その結果、観測ロケットの場合、下降時の高度 100km 付近でチャフを放出するのが最適であることが分かった。

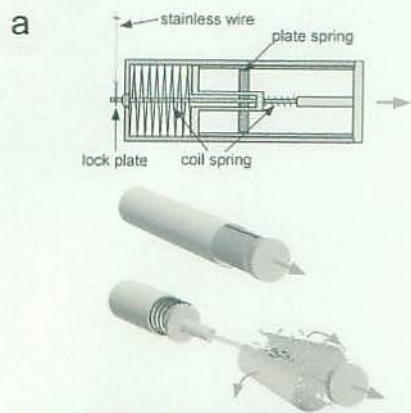


図1. 放出機構 (バネ式).

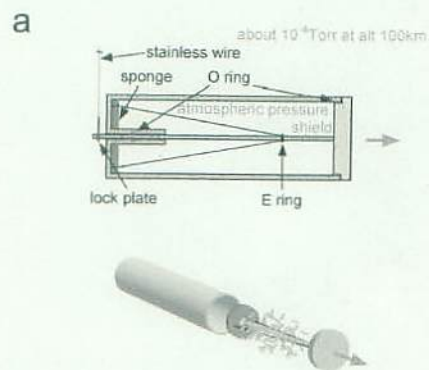


図2. 放出機構 (差圧式).

WAVE2004 キャンペーンの一環として行われた S-310-33 号機ロケット実験でのチャフの軌跡から、高度分解能 500m で算出した東西・南北風速の高度プロファイルを図3に示す。高度約 96-84km の中性風の情報が得られ、高度 89km 以上では 100m/s を超える北向きの風が、高度 89km 以下では東向き風が卓越しており、さらに強い鉛直シアが、高度 95km および 89km 付近で観測されている。

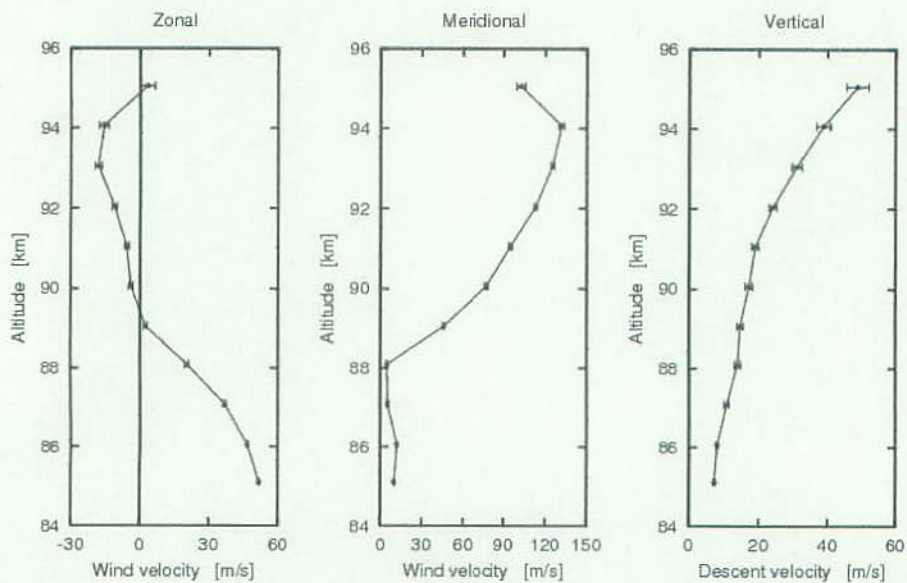


図3. 高度分解能 1km で算出した東西風速(左)、南北風速(中)、落下速度(右).

大気的不安定性を検証する上で、温度構造は重要なパラメータであるが、観測手段が限られるため、今回のキャンペーンでも観測が行われていない。そこで、チャフの落下速度を利用して運動方程式から大気密度を導出し、さらに密度から静水圧平衡を仮定することで大気温度を導出した。その結果、高度 88km および 91.5km 付近で急激な密度変動および 80K 以上の温度変動をもつプロファイルが算出された。ところが、この温度勾配は断熱減率と比べて傾きが急であり、温度算出に用いた静水圧平衡の仮定と矛盾していることがわかった。このことから、チャフの落下速度の変動分には密度変動の他に、大気波動や乱流によって生じる鉛直風が含まれていると考えられる。そこで、観測されたチャフの落下速度に含まれる鉛直風について、5 次多項式でのフィッティングから図 4 のように鉛直風を推定した。

この鉛直風の成因を調べるために、まず同時に行われていた Na ライダー観測から大気重力波による鉛直風の見積りを行った。チャフの観測時に卓越していた鉛直波長約 6km の大気重力波について、Na 密度変動率から大気密度変動率を求め、さらに大気密度変動率から大気重力波による鉛直風を求めたところ、風速は 10cm/s 以下と推定された。したがって、チャフで観測された鉛直風は、大気重力波以外の要因によるものと考えられる。

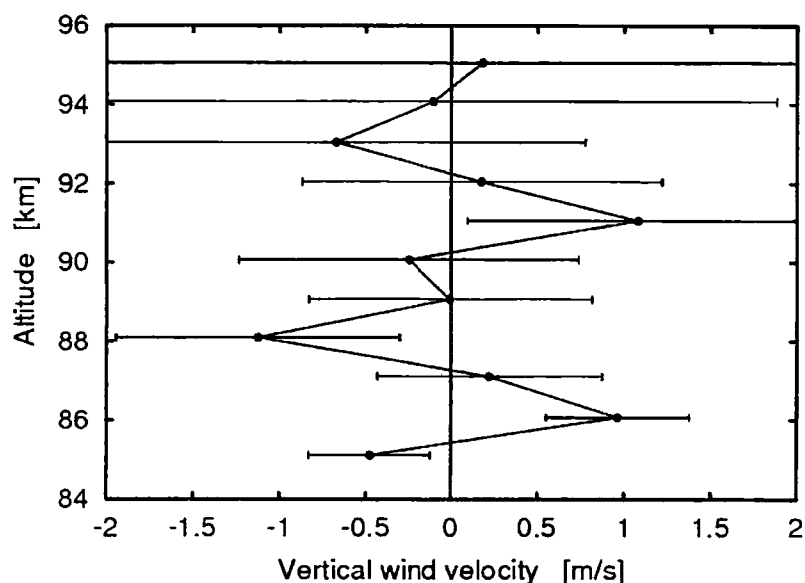


図 4. 推定される鉛直風.

前述したように今回の観測では、水平風に強い鉛直シアーが観測されている。そこで KH 不安定の可能性を調べるため、力学的な安定性を示すリチャードソン数 Ri を、チャフで観測された水平風と MSISE-90 モデルの温度から算出した。図 5 より鉛直シアーの強い高度 95km 付近と 89km 付近では $Ri < 1/4$ であり、KH 不安定の存在を示唆している。KH 不安定のシミュレーション研究から、KH の渦構造の鉛直スケールは数 km で、その渦の中では数 m/s の鉛直風が存在すると予測されており、チャフで観測された鉛直風は、KH 不安定によ

る可能性が高い。高度 95km 付近については、大気光イメージャーによるリップル構造の観測からも KH 不安定が示唆されている。前回の WAVE2000 キャンペーンでも、KH 不安定が示唆される領域で局所的なチャフの東西・鉛直方向の変動が観測されており、大気光発光層高度や電子密度観測など各観測結果とも整合する。このように 2 回のみでの観測ではあるが、KH 不安定と示唆される領域で鉛直方向の運動が観測されており、鉛直風速は約 1m/s と見積もられた。本研究は、理論的に予想されている不安定現象に伴う鉛直風を観測として明らかにしたものである。この結果は、不安定現象に伴って中間圏界面領域で鉛直方向の混合や輸送が頻繁に行われていることを示唆している。不安定現象の証拠として鉛直風の存在を用いれば、将来的には鉛直風の計測を可能とする高精度のライダーによって定常的な観測を行なうことで、不安定現象の季節変化とそれに対する大気重力波の碎波の寄与などが分かり、中間圏界面領域のダイナミクスの理解に大きく貢献すると期待される。

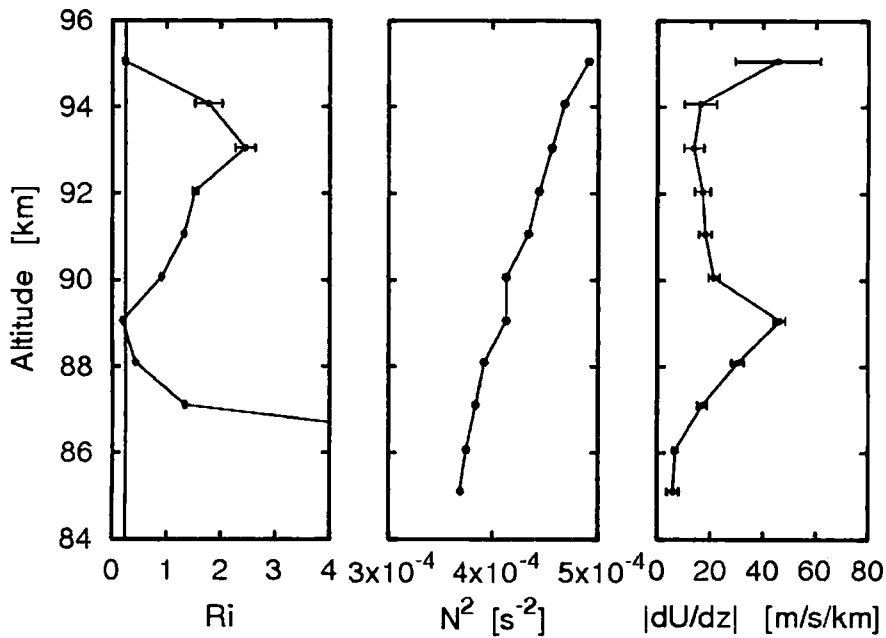


図5. 観測された水平風と大気温度モデルより算出したリチャードソン数(左)、
 ブラント・バイサラ振動数(中)、水平風鉛直シア(右).