

## MUレーダーによる中間圏エコー散乱特性の研究

### Study on mesospheric scattered echoes with the MU radar

# 久保 幸司 [1], 杉山 卓也 [2], 中村 卓司 [1], 山本 衛 [1], 村岡 良和 [3], 深尾 昌一郎 [1]

# Koji Kubo [1], Takuya Sugiyama [2], Takuji Nakamura [1], Mamoru Yamamoto [1], Yoshikazu Muraoka [3], Shoichiro Fukao [1]

[1] 京大・超高層, [2] 京大超高層, [3] 兵庫医大・物理

[1] RASC, Kyoto Univ., [2] RASC, Kyoto Univ., [3] Dept. of Phys., Hyogo Col. Med.

<http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/~kubo>

京都大学超高層電波研究センターではMUレーダーを用いて中間圏界面付近のドップラー観測を継続的に行っている。電子密度の揺らぎの存在だけでは中間圏界面より上の高度90 km付近でのエコーの発生や、季節によるエコー発生の変化は説明できない。我々は電子密度分布と中性大気乱流の双方が存在することによって散乱エコーが発生すると考え、電子密度変動スペクトルを乱流理論と同様に仮定したときの散乱強度を見積もった。その結果、高度70~80 kmにおいて体積散乱率が大きくなること、高度80 km以上では体積散乱率が高度とともに急激に減少することなどを再現し、乱流の最小スケールが散乱に大きく関与していることを示した。

京都大学超高層電波研究センターでは1986年以来、MUレーダーを用いて高度60~98 kmの中間圏界面付近の標準ドップラー観測 (GRATMAC) を継続的に行っている。これまでの研究で、中間圏からの大気散乱によるエコーは夏季に高度70~85 km付近で最も強くなる1年周期の変動が存在することなどが明らかになった。中間圏界面付近でのレーダー電波散乱には、電子密度の揺らぎが大きく影響を及ぼすと考えられている。しかし、電子密度の揺らぎが存在するだけでは中間圏界面より上の高度90 km付近でエコーが発生しないことや、季節によるエコー発生の変化は説明できない。我々は電子密度分布と中性大気乱流の双方が存在することによって散乱エコーが発生すると考え、電子密度変動スペクトルを乱流理論と同様に仮定したときの散乱強度 (体積散乱率) を見積もる。それをもとに中間圏エコー強度に対する電子密度と中性大気乱流の寄与を定量的に評価する。

電波散乱をもたらす屈折率揺らぎは電子密度揺らぎによって引き起こされると考えられる。電子密度勾配の存在する中間圏界面付近では、中性大気の乱流によって気塊が鉛直方向に運動しそれに付随した自由電子の鉛直変位が起こって電子密度に疎密の分布が生じると仮定する。気塊の鉛直変位量は乱流の最大スケールに比例するものとし、ドップラースペクトル幅とプラントパイサラ周期の積で表されるものとする。また、ロケットによる電子密度分布の観測結果から、風速場のスペクトル密度で示されている波数に対する関数形が電子密度揺らぎのスペクトル密度関数にも適用できることがわかっている。すなわち、分子粘性の効かず等方性乱流が生じる慣性小領域では電子密度変動スペクトル密度は波数の $-5/3$ 乗に比例し、分子粘性が大気の運動に影響を及ぼし等方的な乱流が生じにくくなる粘性小領域ではスペクトル密度は波数の $-7$ 乗に比例するものとする。このような仮定のもとで大気密度、温度、電子密度などの経験的数値モデルを用いて散乱電波強度を示す体積散乱率 (単位体積当たりの散乱断面積) の推定を行った。大気温度などはMSISE90、電子密度はIRI95から取得したデータを用い、ドップラースペクトル幅はMUレーダー観測で得られた値を用いた。スペクトル関数の冪指数の変化する境界は、乱流の最小スケールがちょうどBragg波長 (レーダー送信波長の半分) になるスケールに対応する波数で表される。乱流の最小スケールもMSISE90、MUレーダー観測の結果を用いて推定した。

以上のような推定法にしたがって乱流の最大、最小スケールおよび体積散乱率を求めた。その結果は、高度70~80 kmにおいて体積散乱率が大きくなること、高度80 km以上では体積散乱率が高度とともに急激に減少すること、夏季に散乱強度が強くなることなどを示した。これらは、MUレーダーで観測されている散乱エコーの季節変化や高度分布と類似しており、推定方法は電波散乱に対する電子密度、大気乱流の寄与を表現したものになっていると考えられる。また、高度70~80 kmにおける散乱強度が極大となる領域では乱流の最小スケールがBragg波長になりこの高度の下層では慣性小領域、上層では粘性小領域になる。計算結果からほとんどの場合、この境界付近で散乱強度が極大になることがわかった。中間圏において観測される散乱エコーは、分子粘性が効かない領域で電子密度が増加しておりしかも中性大気乱流が生じたとき起こるものであるという相乗効果によって説明されると考えられる。しかし、乱流の最小スケールが示す境界と散乱強度が極大になる高度は厳密には一致しない。また、電子密度の変化だけでは説明できない散乱強度の季節変動をこの推定方法では再現していない。本講演では乱流強度の推定、乱流のスケールの検討などを詳細に行った結果について議論し、これらの問題点を検討していく。