

地球プラズマ圏の電子温度分布の把握及び熱構造の理解

Study of electron temperature distribution and thermal structure in the plasmasphere

山本 保[1], 阿部 琢美[1], 小山 孝一郎[1]

Tamotsu Yamamoto[1], Takumi Abe[1], Koh-ichiro Oyama[1]

[1] 宇宙研

[1] ISAS

地球プラズマ圏の熱構造を理解することを目的として、科学衛星「あけぼの」で観測された電子温度データを統計的に解析し、プラズマ圏の電子温度分布を把握するとともに、その温度構造を構成する物理現象の考察を行った。

その結果、プラズマ圏高度の電子温度分布は明確な磁気地方時(MLT)依存性があり、その領域はすくなくとも $L=2.0$ 付近にまで及んでいることが分かった。また太陽フレアに伴う地磁気活動に呼応し、電子温度が急激に増加することが観測により明らかになった。また、簡単なモデル計算と観測データを比較することで、プラズマ圏内におけるエネルギーの流れを定性的に考察した。

超高層大気における電子温度は、地球プラズマ圏のエネルギー収支を見る上での良いパラメータであり、観測・理論の両面において様々な研究がなされてきた。

そのため、1930年ごろからISレーダーを用いた地上観測が始まり、1960年代にはロケット・衛星を使っでの直接観測が行われるようになり、電離圏の熱構造や力学についても幅広く研究がなされている。

1986年にはKohnleinが6個の衛星(AE-C,D,E, ISIS-1,2, OGO-6)および5ヶ所のISレーダ観測所(Arecibo, Chatanika, Jicamarca, Millstone Hill, St Santin)の観測データをまとめ、高度50~4000kmにわたる電子及びイオン温度の時間・空間変化モデルを示し、400km付近でもっとも顕著に朝方の温度ピークが見られること、より高い高度では朝の温度上昇による高温状態が日中でもほぼ継続されることがわかった。

しかし現在のところ、4000kmを超える電子温度モデルはほとんど存在しない。原因としてはレーダー観測では出力するには高度が高すぎるし、衛星観測では測定器(Langmuir Probe)の精度や衛星高度との兼ね合いから、特に高高度(4000km~)での観測は困難を極めたことがあげられる。1976年には遠地点8046kmをもつS3-3衛星による電子温度観測が行われ、主に夕方の電子温度高度プロファイルを得ることが出来たが観測期間が2ヶ月間と短かったことから、上部プラズマ圏の電子温度モデルを形成するには至らなかった。

1989年2月に文部省宇宙科学研究所はオーロラ領域の精密観測を目的とした科学衛星「あけぼの」を打ち上げた。「あけぼの」は遠地点10400km、近地点275km(打ち上げ時)の長楕円軌道を描いており、プラズマ圏高度の観測に適した衛星といえる。あけぼのに搭載された熱的電子エネルギー分布測定器(TED)は、半円状の平板プローブを用いて表面に金メッキを施し、またプローブが常に太陽と垂直方向になるように姿勢制御する事によって極力二次電子の影響を排除することができた。これによってTEDは高度275~10400kmの高度領域を打ち上げ以来11年間にわたって観測し続け、プラズマ圏の電子温度分布の長・短期間変動の特徴を映し出すことができたようになった最初の衛星となった。

本研究では衛星「あけぼの」のTEDが観測した電子温度データの用いてプラズマ圏高度の電子温度分布をまず把握し、温度分布を形成する物理現象の考察を行った。

その結果、電子温度の鉛直方向のプロファイルは夜側が低く(約2000~3000K)、昼側が高い(4000~7000K)といった、太陽放射に強く影響されたLocal Time依存性を持っており、電離圏高度において生成された光電子による加熱がプラズマ圏での主熱源であることが示唆される。今回解析した領域($1.7 < L < 2.0$)においては、「あけぼの」が観測する前までは電離圏からのHeatingはそれほど大きくないものであると考えられてきた[Brace and Theis, 1981]。だが今回の解析結果によってプラズマ圏の熱電子が今まで考えられてきた以上の高度でも光電子による影響を受けていることが分かった。また昼側のプロファイルにおいて、平均値を大きく外れるようなプロットが多く見られた。これら高い電子温度データを調べたところ、太陽活動に伴う地磁気擾乱の最中もしくはその数日後に集中していることがわかった。従ってこの温度上昇は地磁気擾乱によって増大した赤道環電流によってより高いエネルギーの熱伝導が中緯度付近の熱電子に加熱を与えていることが示唆される。

次に、数値計算とTEDの観測結果との比較を行った。数値計算ではすべての熱は磁力線頂上で生成され(この全ての熱と言うのは、前述の光電子によるものの他に外部磁気圏から流入してくるものも含める)その熱の損失は高度400km以下の電離層でのみ起こるという仮定をしている。その結果夜側のfittingは比較的良い一致を示しているのに対し、昼側は最大で500K程の開きが見られるのがわかった。これは昼側の観測結果において高度方向に対する温度勾配が高い高度にまで維持されている事が原因であり、この形状は数値計算では表現できない。原因として考えられることは下向きのHeat flowの過程でプラズマ圏のMagnetic tube外へのEnergy Lossがある可能

性、もう一つは計算の際に使用した熱伝導係数の近似が実際のプラズマ圏において成り立たない可能性である。