

## 熱圏嵐と電離圏嵐

### Thermospheric and ionospheric storms

# 渡部 重十[1]

# Shigeto Watanabe[1]

[1] 北大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ

高度約 100km 以上の熱圏では、太陽からの極紫外線や紫外線を吸収した分子は光解離し、分子を主成分とする大気から原子を主成分とする大気へと変わる。熱圏大気の主要な熱源は分子の光解離に伴い発生したエネルギーである。また、オーロラに伴うジュール加熱も重要な熱源となる。

太陽からの極紫外線により、大気の一部は光電離し、電離圏が形成される。生成されたイオンと電子は、地球磁場の影響を受けた運動を開始し、電場・電流・磁場が生成される。光電離によって生成した平均エネルギー約 10eV の光電子は、電離圏プラズマの主たる熱源である。光電子は、クーロン散乱により周囲の電子を加熱しエネルギーを失う。加熱された電子はイオンを加熱し、イオンのエネルギーは最終的に熱圏大気へ移行する。光電子はその場の電子を加熱するだけではない。平均自由行程が大きいために磁力線に沿って運動し、光電子が生成した領域とは異なる領域の電子を加熱する。非局所加熱は地球磁力線の傾斜角が小さい赤道・中緯度域で顕著である。

大気加熱に要する時間と地球自転のために、赤道域の地方時 15 時付近に最大大気温度領域が現れる。下層大気ではロスビー数が小さいために地衡風平衡が良い近似で成り立っているが、ロスビー数の大きい熱圏大気では圧力勾配に沿って温度の高い領域から低い領域へと風が駆動される。しかし、分子粘性、プラズマとの衝突による摩擦力、極域でのオーロラによる加熱により、熱圏大気大循環は大きく変化する。

高度 100km~120km の領域に、E 層ダイナモによる電流層が形成される。ダイナモ領域で生成された電場は、再び電子やイオンの運動に影響を与える。しかも、磁力線方向の電気伝導度は非常に大きいために電場は磁力線に沿って異なる領域に投影される。夕方では、E 層の電子密度が下がり電気伝導度も下がるので F 層でのダイナモ効果が重要になってくる。熱圏・電離圏結合では、大気とプラズマの衝突や光化学過程による運動量やエネルギーの交換だけでなく、電流層で生成される電場や磁力線に沿った電場の投影も重要である。したがって、熱圏・電離圏結合は必然的に全球 3 次元として捉える必要がある。その一つの結果として、人工衛星の軌道傾斜角の変化から熱圏大気が東向きに ~100m/s で運動していることが発見された、熱圏大気のスーパーローテーションがある。その原因は、夕方に発生した強い電場によるプラズマの運動によって大気が東向きに駆動される結果であると考えられている。

レーダー、GPS、光学機器を用いた熱圏・電離圏の総合観測は、従来から理解されているよりもダイナミックで、かつ対流圏や磁気圏の影響を大気・プラズマは強く受けていることを明らかにした。熱圏大気とプラズマの相互作用は非線形かつ非局所的かつ全地球的であり、限られた領域で取得した観測結果から、物理・光化学過程の本質を理解するのは簡単ではない。

ストーム、サブストームが発生すると磁気圏電場が変化し、極域電離圏のプラズマの運動は大きな影響を受ける。ジュール加熱はその一例である。オーロラによる直接加熱も重要である。極域での大気・プラズマ加熱は、熱圏大気大循環を変えるだけでなく、大気波動の発生・伝播を引き起こし、熱圏嵐へと発展する。また、電離圏プラズマの変動やプラズマ不安定も誘起され、電離圏嵐へと発展する。

熱圏嵐や電離圏嵐は、人工衛星の軌道を変え、通信障害や GPS 誤差など多くの問題を引き起こす。社会的なリスクを抑えるために、熱圏・電離圏における大気・プラズマの物理・光化学過程を理解し、予測可能な宇宙天気へと発展させることは研究の必然的な流れである。