

極域電離圏の力学

松浦延夫*

Dynamics on Polar Ionosphere

Nobuo MATUURA*

Abstract: Future projects for the Antarctic rocket observations are discussed with regard to two dynamical problems on polar upper atmosphere and polar ionosphere. One is the dynamical effects on the seasonal variations of the structure of the polar upper atmosphere and polar ionosphere, and the other is the upper atmospheric motions associated with polar substorms.

1. 序

上層大気の研究にとって極地域は重要な物理条件を与えている。極域の上層大気および電離圏の力学に関する研究観測上今後に望むものとして、次の二点に注目する。

一つは極地特有の sunlit summer と dark winter が存在する点である。ことに dark winter においては、太陽電磁波輻射の照射が少ないことによる諸諸の影響が予想される。しかし実際にはこの予想に適合しないような幾つかの事柄が知られており、極域の上層大気および電離圏には太陽電磁波輻射に代わる要因が働いていることになる。この点については今後の研究が必要であるが、大気運動の効果が注目される。

他は、極じょう乱現象である。極じょう乱の際には多量のエネルギーが太陽風から磁気圏を経て極域上層大気に加えられ、加熱、電離、解離、励起等の諸過程を通して様々なじょう乱現象が引き起こされる。極じょう乱に関連した力学の問題には、大気力学、電気力学、プラズマ力学に関するものがあるが、後二者についてはこのシンポジウムで他の諸氏が触れられると思うので、ここでは特に大気力学に注目する。

2. 極域上層大気構造の季節変化と力学

Mesopause 付近の大気温度は特に高緯度で夏季よりも冬季で高温となっている (MURG-

* 郵政省電波研究所. Radio Research Laboratories, Nukui-kitamachi, Koganei-shi, Tokyo.

ATROYD, 1957; STROUD *et al.*, 1960; THEON and SMITH, 1970). このような大気温度の季節異常は高度範囲 70~100 km に現われるようである (THEON and SMITH, 1970; WALDTEUFEL, 1970). 放射熱収支の理論的考察の結果によると, 輻射非平衡の状態にあり, 特に Mesopause 付近では約 $10^{\circ}\text{K}/\text{day}$ の冬極の冷却, 夏極の加熱が残ることになる (MURGATROYD and GOODY, 1958; 山本・田中, 1970). このような熱的非平衡を補うためには, 冬極への熱源と夏極の冷却源が必要となるが, これを説明するための機構として夏極から冬極に向う大気循環の効果が挙げられている (KELLOGG, 1961; YOUNG and EPSTEIN, 1962).

極地域の dark winter においては太陽紫外線による O_2 の光解離が期待できないので, 酸素原子の分布は著しい影響を受けることになる. 極地域の O の分布についての観測はあまりなされていないが, O が主成分をなしている高度 500 km 付近での大気密度の観測 (KEATING *et al.*, 1970) および冬極で F_2 層の成分がみられることから, 中低緯度と同程度の O が dark winter においても存在するものと思われる. この原因としては, 熱圏における夏極から冬極に向う大気循環による O の輸送が注目される.

冬の高緯度で He の密度が大きくなっていることが観測から知られている (KEATING and PRIOR, 1968; REBER *et al.*, 1970).

電離圏 D 領域での電波の吸収が冬季に異常に高くなる冬季吸収異常の現象が知られている. 電波の吸収には D 領域における, 電子密度および電子の衝突回数が寄与するが, 電子密度は大気組成や大気温度に依存し, 衝突回数は大気の圧力に依存する. 従って, 大気構造を変化させる力学的効果が注目される. 電離圏 F 領域の電子密度が夏よりも冬において高くなっている季節異常が知られているが, 大気運動に基づく組成変化等の力学的効果が考えられる.

これら一連の高緯度における上層大気および電離圏の季節的な構造をつくり出している機構として, 中間圏から熱圏にかけての汎世界的な規模での大気運動の効果が注目される. 個別の問題については, 別の解釈もなされてはいるが, 統一的な機構として力学的効果を取り上げることが必要と思われる.

この問題に関して, 南極でのロケット観測に望まれる点は,

- (i) 上層大気温度・圧力の高度分布の季節的な変化を観測する.
- (ii) 上層大気組成 (N_2 , O_2 , O_3 , O , NO , He , H) の高度分布の季節的な変化を観測する.
- (iii) 上層大気の微少成分の分布を支配する要因として, 化学反応, 乱流拡散の効果, 大

気運動の効果がある。このうち、化学反応については室内実験も重要である。乱流拡散および大気運動の効果については、例えば発光雲を用いて観測を行なう。

3. 極じょう乱と力学

極域の上層大気は地球磁力線に沿って侵入してくる荷電粒子や磁力線に沿った電場・波動の伝搬等によって磁気圏を通して太陽風の影響を受けている。ことに極じょう乱の際には多量のエネルギーが上層大気に侵入してくる。極光粒子による加熱 (STOLARSKI, 1968; WALKER and REES, 1968) あるいはジュール加熱 (COLE, 1971) によって極域の上層大気は加熱される。極じょう乱に伴う急激な加熱によって生ずる圧力こう配および強い電流に伴う $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ の力によって上層大気の鉛直ならびに水平方向の対流運動が励起され、また大気波動が励起されると考えられる。これらの大気運動は大気組成や電離圏の電子密度分布にも影響を及ぼし、また電磁気効果をも生ずるであろう。

極じょう乱に伴う上層大気の運動に関して南極ロケット観測で望まれる点は、

(i) 極じょう乱に伴う大気温度、密度および電子密度、イオン・電子の温度の変化を観測する。

(ii) 上層大気組成の変化を観測する。極じょう乱の際に NO の密度が E 領域で著しく増加していることが見出されている (ZIPF *et al.*, 1970)。同時にイオン組成の変化を観測する。

(iii) 極じょう乱に伴う上層大気運動を観測する。例えば、著しく密度の増加した NO 分布を追跡するとか、発光雲を用いて中性大気と荷電粒子の運動を観測する。

4. 結 論

上層大気ならびに電離圏の密度、温度、組成の季節変化および極じょう乱に伴う変化を観測し、同時に中性大気ならびに荷電粒子の運動を観測することが望まれる。観測対象となる高度範囲は中間圏上部から熱圏にかけてであり、少なくとも高度 300 km に達することが望ましい。

文 献

- COLE, K. D. (1971): Electrodynamic heating and movement of the thermosphere. *Planet. Space Sci.*, 19, 59-75.
- KEATING, G. M. and E. J. PRIOR (1968): The winter helium bulge. *Space Research*, 8, 982-992.

- KEATING, G. M., J. A. MULLINS and E. J. PRIOR (1970): Simultaneous measurements of exospheric densities near opposite poles. Tenth International Space Science Symposium of COSPAR, Leningrad.
- KELLOGG, W. W. (1961): Chemical heating above the polar mesopause in winter. *J. Meteorology*, **18**, 373-381.
- MURGATROYD, R. J. (1957): Winds and temperatures between 20 km and 100 km—a review. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **83**, 417-458.
- MURGATROYD, R. J. and R. M. GOODY (1958): Sources and sinks of radiative energy from 30 to 90 km. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **84**, 225-234.
- REBER, C. A., H. G. MAYR and P. B. HAYS (1970): Thermospheric wind effects on the global distribution of helium (abstract). *EOS, Trans. AGU*, **51**, 379.
- STOLARSKI, R. S. (1968): Calculation of auroral emission rates and heating effects. *Planet. Space Sci.*, **16**, 1265-1276.
- STROUD, W. G., W. NORDBERG, W. R. BANDEEN, F. L. BARTMAN and P. TITUS (1960): Rocket-grenade measurements of temperatures and winds in the mesosphere over Churchill, Canada. *J. Geophys. Res.*, **65**, 2307-2323.
- THEON, J. S. and W. S. SMITH (1970): Seasonal transitions in the thermal structure of the mesosphere at high latitudes. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 173-176.
- WALDTEUFEL, P. (1970): A study of seasonal changes in the lower thermosphere and their implications. *Planet. Space Sci.*, **18**, 741-748.
- WALKER, J. C. G. and M. H. REES (1968): Ionospheric electron densities and temperatures in aurora. *Planet. Space Sci.*, **16**, 459-475.
- 山本義一・田中正之 (1970): 中間圏付近の放射熱収支. 中間圏・電離圏大気力学とエネルギー収支に関するシンポジウム報告, 88-108.
- YOUNG, C. and E. S. EPSTEIN (1962): Atomic oxygen in the polar winter mesosphere. *J. Atmos. Sci.*, **19**, 435-443.
- ZIPF, E. C., W. L. BORST and T. M. DONAHUE (1970): A mass spectrometer observation of NO in an auroral arc. *J. Geophys. Res.*, **75**, 6371-6376.

(1971年11月20日受理)