

F 層ダイナモによる 熱圏大気東西風と東西プラズマドリフト

近藤奨, 渡部重十
北海道大学 理学院 宇宙理学専攻

要旨

DE-2 衛星による熱圏大気風速度と電離圏プラズマドリフト速度の観測から、熱圏大気東西風速度は、地理赤道上ではなく磁気赤道上で大きく、磁気地方時 18MLT-21MLT では磁気緯度 $\pm 20^\circ$ 以内で特に大きいという結果を得た。この時間帯では、大きな熱圏大気東西風速度の領域を取り囲むように、電離圏 F 層下部の大きな東西プラズマドリフト速度の領域が磁力線に沿ったようなアーチ状 (プラズマドリフト異常) に分布する。したがって、電離圏 F 層では磁気赤道上でプラズマドリフト速度が極小となり、磁気緯度 $\pm 15^\circ$ 付近でプラズマドリフト速度の極大が形成される。電子密度は磁気地方時 18MLT-21MLT で赤道電子密度帯異常 (EIA) を形成し、EIA の密度の谷で熱圏大気東西風は速度の極大を形成する。熱圏大気東西風速度、東西プラズマドリフト異常、EIA が相互に密接に関係していることから、F 層ダイナモが熱圏大気東西風や東西プラズマドリフト異常の発達に深く関係していることが示唆される。

1 はじめに

熱圏大気と電離圏プラズマ間の運動量輸送や光化学反応等による相互作用は、熱圏大気や電離圏プラズマの構造・運動に大きな影響を与える。熱圏大気東西風速度は、地理赤道ではなく磁気赤道上で大きいことが明らかにされた [Liu et al., 2009]。Liu et al. (2009) により得られた CHAMP 衛星と DE-2 衛星がそれぞれ観測した熱圏大気東西風速度の日変化を図 1 に示す。熱圏大気東西風速度は磁気赤道を中心に対称的な分布を示している。日没後の東西プラズマドリフト速度は、高度方向に速度が変化していることが示唆されている [Kudeki et al., 1981; Fejer et al., 1985; Coley and Heelis., 1989]。Aggoston et al. (1987) は、高度 300km 付近で鉛直方向の電場が磁気赤道で極小、 $\pm 15^\circ$ で極大になることを報告している。Kudeki et al. (1981), Fejer et al. (1985),

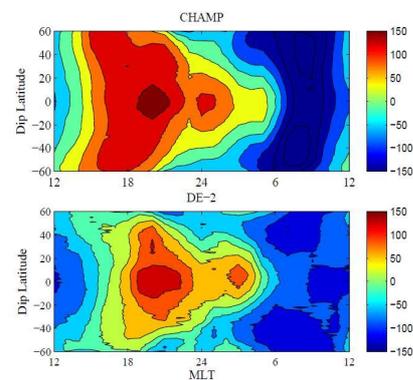


図 1 CHAMP 衛星と DE-2 衛星により観測された熱圏大気東西風の日変化 (単位は m/s) . [Liu et al., 2009]

Aggoston et al. (1987), Coley and Heelis. (1989) は東西プラズマドリフトに関するこれらの現象は F 層ダイナモが関係していると示唆している。しかし、その詳細な構造と物理過程は未だ理解されていない。本論文では Dynamic Explorer 2 (DE-2) 衛星が観測した熱圏大気とプラズマのデータを用いて、熱圏大気と電離圏プラズマの構造と運動から大気プラズマ相互作用過程を明らかにする。

2 DE-2 衛星データ

DE-2 衛星は 1981 年 8 月から 1983 年 2 月までの期間、極軌道で地球を周回した衛星である。近地点は約 250km で遠地点は約 1000km である。約 6 か月間で全ての地方時をカバーしている。WATS (Wind and Temperature Spectrometer), RPA (Retarding Potential Analyzer), LANG (Langmuir Probe) による熱圏大気東西風速度、東西プラズマドリフト速度、電子密度のデータを用いた。機器に関する詳細は Spencer et al.,

[1981], Hanson et al., [1981], Krehbiel et al., [1981] の論文に記載されている．高度 250km-800km の範囲のデータを用いた．DE-2 衛星の観測期間が短いため，季節，磁気活動 (Kp)，太陽活動 (F10.7) の依存性については考慮しない．DE-2 衛星の観測期間中の Kp の平均値は 2.9，F10.7 の平均値は 180 であった．

3 解析結果

図 2 は高度 250km-600km における東西プラズマドリフト速度の日変化の分布である．磁気緯度と磁気地方時 (MLT) について $1^\circ \times 1$ MLT で平均した．正は東向き東西プラズマドリフト速度を示している．東西プラズマドリフト速度は図 1 の熱圏大気東西風速度の分布と同様な日変化を示す．磁気地方時 18MLT-21MLT の磁気赤道上で東西プラズマドリフト速度は極小となり， $\pm 15^\circ$ で極大を示す速度異常が存在する．東西プラズマドリフト速度が西向きから東向きに変化する 18MLT 付近で，磁気赤道では速度が約 0m/s であるのに対し，約 $\pm 15^\circ$ の極大域では速度が ~ 50 m/s である．このような傾向は 21MLT 付近まで存在する．

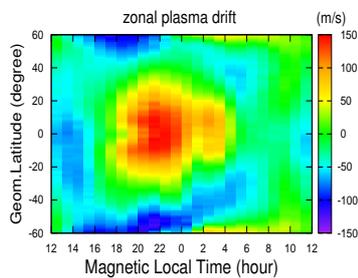


図 2 高度 250km-600km における東西プラズマドリフトの日変化

図 3 は，東西プラズマドリフト速度異常が存在する磁気地方時 18MLT-21MLT で，熱圏大気東西風速度，東西プラズマドリフト速度，電子密度の緯度変化を異なる高度，250km-300km，300km-400km，400km-500km，500km-600km で示している．熱圏大気東西風速度と東西プラズマドリフト速度は高度が高くなるにつれ大きくなっている．熱圏大気東西風速度は，高度 300km-600km において，磁気緯度 $\pm 20^\circ$ 以内で速度が大きく上昇し磁気赤道で極大を示す．しかし高度 250km-300km ではその傾向は見られない．高度 250km-500km の磁気赤道上で東西プラズマドリフト速度の極小， $\pm 15^\circ$ で極大を示すような東西プラズマドリフト速度異常が存在す

る．高度 500km-600km では速度異常は存在せず，磁気赤道で速度の極大を示す．電子密度は全ての高度で赤道電子密度異常帯 (EIA) が存在し，磁気緯度 $\pm 20^\circ$ 付近で密度の極大を示す．EIA の密度の谷で熱圏大気東西風速度の極大が存在する．

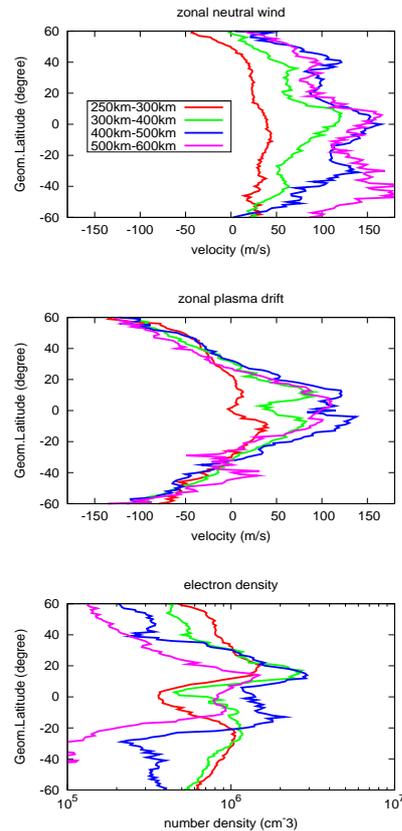


図 3 磁気地方時 18MLT-21MLT における熱圏大気東西風 (上)，東西プラズマドリフト (中)，電子密度 (下) の緯度分布．異なる高度，250km-300km，300km-400km，400km-500km，500km-600km で示している．

磁気地方時 18MLT-21MLT における熱圏大気東西風速度，東西プラズマドリフト速度，電子密度の高度と緯度の分布を図 4 に示す．また，図中の黒線はダイポール磁場を仮定した磁力線である．東西プラズマドリフト速度は磁力線に沿ってアーチ状を描いて分布している．磁気赤道では速度の高度依存性を示し，高度 500km 付近以上ではドリフト速度はほぼ一定になる．高度 500km 付近は磁気赤道上の電子密度が極大を示す高度である．F 層下部では磁気赤道から離れたところで東西プラズマドリフト速度が大きくなるという速度異常領域が見られる．EIA の谷で熱圏大気東西風速度は大きく，F 層下

部で顕著に見られる．F 層上部の熱圏大気東西風速度は F 層下部より大きいが，EIA との関係は顕著ではない．

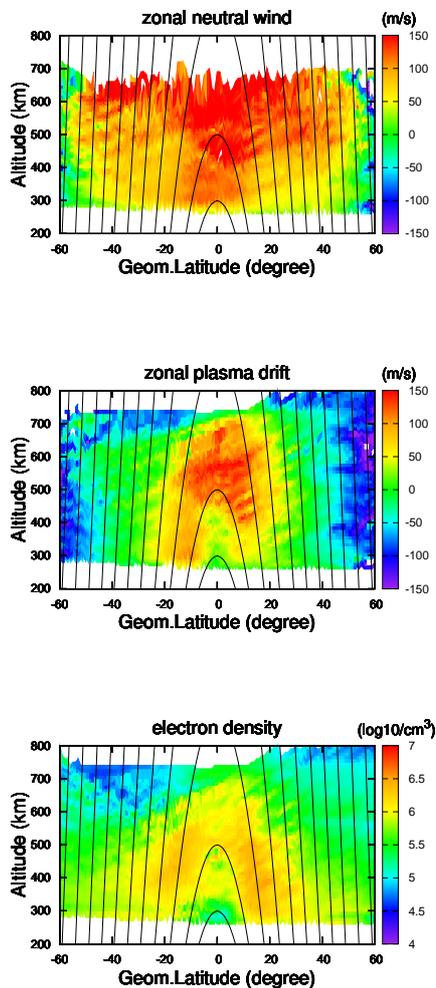


図 4 磁気地方時 18MLT-21MLT における熱圏大気東西風 (上)，東西プラズマドリフト (中)，対数で表した電子密度 (下) の高度緯度分布．黒線は磁力線を示している．

4 議論

F 層の東西プラズマドリフトに関する研究は数多くなされているが，東西プラズマドリフトの緯度分布に関する報告は少ない．日没後の東西プラズマドリフト速度は，高度方向に速度が変化していることが示唆されている [eg: Fejer et al., 1985]. Fejer et al., [1985] は日没後の F 層下部において高度方向の速度が大きく変化して

いることを報告している．東西プラズマドリフト速度は磁気赤道上の高度 500km 付近以上では高度によらず一定の速度であるが，それ以下の高度ではドリフト速度が小さい (図 4 参照)．この結果は Fejer et al., [1985] の結果と一致している．

日没直後は E 層の電気伝導率が下がり，F 層ダイナモが E 層ダイナモと比較し重要になってくる [Kelley, 1989]．F 層ダイナモにより F 層内の東向き電場が強くなり赤道電子密度帯異常 (EIA) が発達する [Farley et al, 1986]．EIA の発達に伴い，磁力線方向に積分した電気伝導率は磁力線により異なり，ダイナモ電場も緯度とともに変化していることが示唆される．したがって，図 4 に示す東西プラズマドリフト速度の分布は F 層ダイナモ電場の分布を反映していると考えられる．

熱圏大気東西風は 18LT-21MLT にかけて，高度 300km-600km の磁気緯度 $\pm 20^\circ$ 以内で速度が ~ 50 m/s 上昇している (図 3 参照)．またこの時間帯，EIA 構造が発達しており，東西風の速度頂点と EIA の密度の谷の位置は一致している．これは Raghavarao et al., [1991] の結果と一致している．Raghavarao et al., [1991] は高度 300km 付近において夕方の東西風が磁気赤道で速度の極大をとり，速度の極大は EIA の密度の谷と一致，また，磁気緯度 $\pm 25^\circ$ で東西風が極小をとる構造を報告している．図 3 において，高度 300km-600km でそのような傾向が見られる．したがって，Raghavarao et al., [1991] が指摘した高度 300km 付近の熱圏大気東西風の緯度分布は高度 300km-600km の範囲でも同様の分布になっていると考えられる．

熱圏大気東西風は，圧力勾配，コリオリ力，イオンドラッグ，粘性により決定される．Liu et al., [2009] は EIA の発生時間と熱圏大気東西風が磁気赤道上で強まる時間帯がほぼ一致していることから，熱圏大気東西風が磁気赤道で大きくなる要因としてイオンドラッグを指摘している．図 3 と図 4 から，F 層下部の中低緯度において，EIA の谷で熱圏大気東西風速度は大きくなる結果が得られた．この結果は，Liu et al., [2009] と同様にイオンドラッグが熱圏大気東西風の運動に大きく寄与していることを示唆している．EIA の発達により，磁気赤道では高緯度側に比べ密度が低い領域が形成されるため，イオンドラッグの影響が磁気赤道上で弱い．これが，熱圏大気風速度が EIA の赤道域で大きくなることの原因であると考えられる．

5 まとめ

DE-2 衛星に搭載された WATS (Wind and Temperature Spectrometer), RPA (Retarding Potential Analyzer), LANG (Langmuir Probe) による 1981 年 8 月から 1983 年 2 月までのデータを用いて, 高度約 250km から 800km の熱圏大気東西風速度, 東西プラズマドリフト速度, 電子密度分布を調べた. 磁気地方時 18MLT-21MLT の時間において, 東西プラズマドリフト速度が磁力線に沿ってアーチ状に分布していること, 熱圏大気東西風速度は磁気赤道上で大きいこと, F 層下部では EIA の密度の谷で熱圏大気東西風速度が大きくなること, が明らかになった. これらの結果は, 低緯度の熱圏大気と電離圏プラズマは強く相互作用し, 熱圏大気と電離圏の構造と運動に大きな影響を与えていることを示している.

参考文献

Aggson, T. L., N. C. Maynard, F. A. Herrero, H. G. Mayr, L. H. Brace and M. C. Liebrecht, 1987, Geomagnetic Equatorial Anomaly in Zonal Plasma Flow, *J.Geophys.Res.*, 92, 311-315, 1987

Coley, W. R. and R. A. Heelis, Low-Latitude Zonal and Vertical Ion Drifts Seen by DE-2, *J.Geophys.Res.*, 94, 6751-6761, 1989

Fejer, B. G., E. Kudeki and D. T. Farley., Equatorial F Region Zonal Plasma Drifts, *J.Geophys.Res.*, 90, 12249-12255, 1985

Hanson, W.B., R.A. Heelis, R.A. Power, C.R. Lippincott, D.R. Zucarro, B.J. Holt, L.H. Harmon and S. Sanatani, The retarding potential analyzer for Dynamics Explorer-B. *SpaceSci.Instrum.*, 5, 503, 1981

Kelley, M. C., The Earth's ionosphere: Plasma physics and electrodynamics. International Geophysics Series, vol 43. San Diego: Academic Press., 1989

Krehbiel, J. P., L. H. Brace, R. F. Theis, W. H. Pinkus, and R. B. Kaplan, The Dynamic Explorer Langmuir Probe Instrument, *SpaceSci.Instrum.*, 5,

493, 1981

Kudeki, E., B. G. Fejer, D. T. Farley, and H. M. Ierick, Interferometer studies of equatorial F region Irregularities and drift. *Geophys.Res.Lett.*, 8, 377-380, 1981

Liu, H., S. Watanabe and T. Kondo, Fast thermospheric wind jet at the Earth's dip equator, *Geophys.Res.Lett.*, 36, L08103, doi:10.1029/2009GL037377, 2009

Raghavarao, R., L. E. Wharton, N. W. Spencer, H. G. Mayr and L. H. Brace, An Equatorial Temperature and Wind Anomaly (EWTA), *Geophys.Res.Lett.*, 18, 1193-1196, 1991

Spencer, N. W., L. E. Wharton, H. B. Niemann, A. E. Hedin, G. R. Carignan, and J. C. Maurer, The Dynamic Explorer Wind and Temperature Spectrometer, *SpaceScienceInstrum.*, 5, 417, 1981