

イオゾンデおよびファブリ・ペロー干渉計データを用いた

赤道横断熱圏風の研究

西岡未知[1]、津川卓也[1]、丸山隆[1]、石橋弘光[1]、
石井守[1]、大塚雄一[2]、塩川和夫[2]

[1] 情報通信研究機構 [2] 名古屋大学太陽地球環境研究所

1. 導入

熱圏風は電離圏において重要な役割を果たす。Fabry-Perot Interferometer (FPI) による熱圏風の観測は天気や月齢に左右され難いため、中低緯度電離圏ではイオゾンデを用いた熱圏風の推定が行われてきた[e.g., de Medeiros et al., 1997; Igi et al., 1995]。図1に示すように熱圏風が北向きの場合、北半球では電離気体が磁力線に沿って押し下げられるため、風下に位置するイオゾンデ観測点では電離圏高度が降下する。Igi et al., 1995 は信楽のイオゾンデデータを用い南北熱圏風の推定を行い、推定された熱圏風は MU レーダーによって観測された熱圏風と一致することを示した (図2)。

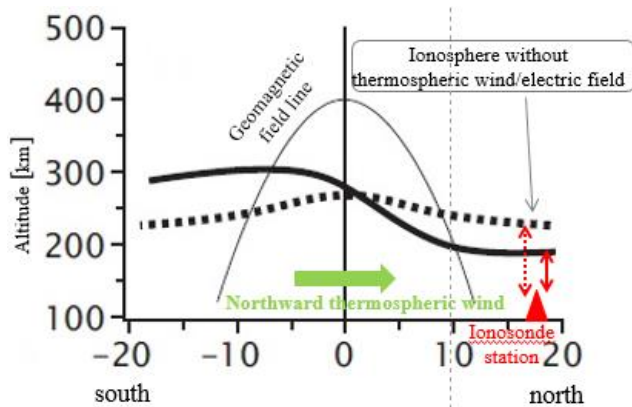


図 1. 中緯度イオゾンデ観測による北向き熱圏風の観測

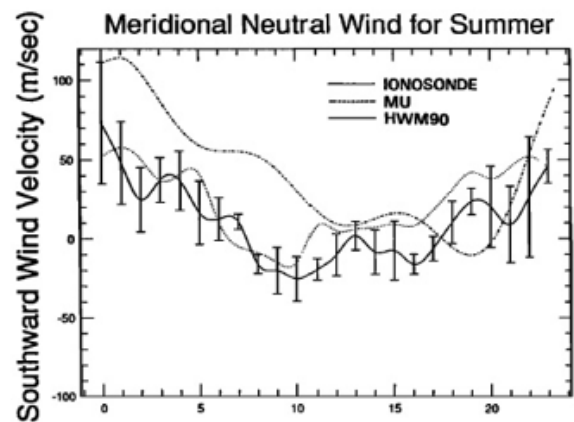


図 2. 信楽のイオゾンデおよび MU レーダーによって観測された熱圏風 [Igi et al., 1995]

中緯度の電離圏高度は主に南北熱圏風の影響を受ける一方、低緯度の電離圏高度は、南北熱圏風と東西電場の影響を受けるため、1点のイオゾンデ観測のみでは南北熱圏風を推定することは難しい。図3(a)には北向き熱圏風が電離圏高度に与える影響、図3(b)には東向電場が電離圏高度に与える影響が示されている。南半球に位置するイオゾンデ観測点では、どちらの場合も電離圏高度が上昇しており、1点のイオゾンデ観測のみでは両者の区別がつかない。南半球のイオゾンデ観測点に加え、磁気共役位置する北半球のイオゾンデ観測点があれば、両者を区別することができる。このような低緯度

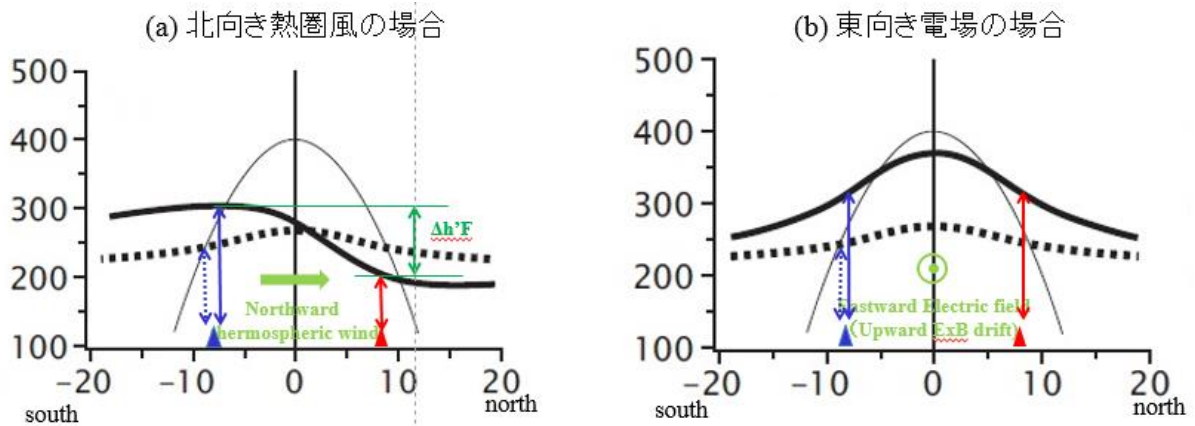


図 3. 低緯度イオノゾンデ観測による(a)北向き熱圏風観測および(b)東向き電場観測

におけるイオノゾンデの磁気共役観測を用いた熱圏風の測定はこれまでに行われてきており [e.g., Bittencourt and Sahai, 1978, Maruyama et al., 2008]、モデルを用いた研究では、50km の $\Delta h' F$ が 50m/s の南北横断風に対応すると報告されている [Maruyama et al., 2008]。しかし、このように推定された熱圏風が FPI によって直接観測された熱圏風とどれくらい一致するのかは未だ調べられていない。本研究では、東南アジアにおけるタイ・チェンマイとインドネシア・コトタバンのイオノゾンデの磁気共役観測によって得られた熱圏風と FPI によって直接観測された熱圏風の比較を行った。

2. 使用データと解析期間

本研究では、概ね磁気共役点に位置するタイのチェンマイ [98.9E, 13.0Mlat] とインドネシアのコトタバンの [100.3E, -10.0Mlat] の 2 観測点のデータを用いた。これらの観測点では、2004 年からイオノゾンデの磁気共役観測が実施されている [Maruyama et al., 2007] チェンマイとコトタバンそれぞれで 15 分毎に得られるイオノゾンデ (FM-CW) のデータを用いた。それぞれのイオノグラムから読み取られる foF2 と M3000 指数を用い、Shimazaki [1955] の式を用いて電離圏の電子密度が最大になる高度 (hmF2) を算出した。hmF2 の時間分解能は 15 分である。南北熱圏風がない場合、コトタバンの hmF2 は等しい一方、南北熱圏風がある場合、両者の間に差が生まれる。本研究では、南北方向の熱圏風の推定にあたり、コトタバンの hmF2 からチェンマイの hmF2 を引いた値を $\Delta hmF2$ として記述した。 $\Delta hmF2$ が正の場合、チェンマイとコトタバンの間約 2,000km において熱圏風が一様だという仮定をすると、熱圏風が北向きであると解釈される。北向きの熱圏風はコトタバン (チェンマイ) において、南北熱圏風がプラズマを磁力線に沿って高高度へ押し上げる (磁力線に沿って低高度に押し下げる) と考えられるからである。

また、タイ・チェンマイには 2010 年 2 月に、インドネシア・コトタバンの 2010 年 6 月に、名古屋大学太陽地球環境研究所により FPI が設置され、それぞれ熱圏風の観測が開始されている [Shiokawa et al., 2012]。本 FPI の観測では、東西南北の 4 方向の 630nm 大気光を撮影し、東西と南北それぞれのフリンジのドップラーシフトの差からそれぞれ東西風と南北風を導出した。本研究ではこのように観測された南北風のデータを用いた。

本研究では、2010 年の 1 年間についての解析を行った。チェンマイとコトタバンの両観測点で、

同時に FPI によって熱圏風が観測された日はなかった。チェンマイもしくはコトタバンのうちいずれかで熱圏風の観測が出来た日は約 40 日あり、そのうち、両観測点でイオノゾンデ観測が行われた日は約 30 日あった。本研究では、事例的研究として、チェンマイが晴れて FPI の熱圏風観測に成功した 2010 年 3 月 8 日と、コトタバンが晴れて FPI の熱圏風の観測に成功した 2010 年 12 月 2 日についての事例的解析を行った。また、チェンマイもしくはコトタバンのいずれかで熱圏風の観測ができ、両地点でイオノゾンデの観測が出来た日の 30 日間について統計的解析を行った。

3. 結果と考察

図 4 に、2010 年 3 月 8 日のチェンマイでの FPI 観測およびイオノゾンデ共役観測による熱圏風観測の結果を示す。チェンマイの FPI で観測された熱圏風は、LT 22 までは北向き、LT 22 以降は南向きであった。LT22 まで (以降) の北 (南) 向きの風に対応して、チェンマイの hmF2 は降下 (上昇) している。これは北 (南) 向きの熱圏風が北半球において電離気体を磁力線沿いに押し下げる (持ち上げる) ためであると考えられる。また、FPI で観測された熱圏風と Δ hmF2 には良い相関があり、50m/s の熱圏風が 50km の Δ hmF2 に対応している。 Δ hmF2 の変動は FPI の変動よりも約 1 時間遅れる。

図 5 に、2012 年 12 月 2 日のコトタバンの FPI 観測およびイオノゾンデ共役観測による熱圏風観測の結果を示す。コトタバンの FPI で観測された熱圏風は一晩中北向きであり、LT22 にいったん弱まった北向き風が真夜中ごろ極大を迎えた。真夜中に極大となる北向きの熱圏風に対応して、コトタバンの hmF2 は真夜中前に上昇した。これは、北向き熱圏風が南半球において電離気体を磁力線沿いに持ち上げるためであると考えられる。一方 Δ hmF2 によって推定される熱圏風は真夜中以降は南向きであり、両者の相関は悪かった。これは、南北風が transequatorial な成分に加え、convergence/divergence の成分が強かったことが原因と考えられる。

2010 年 1 年間で図 4 および図 5 の比較が可能であった約 30 日間について、統計的に解析を行った結果を図 6 に示す。両者の比較には、チェンマイもしくはコトタバンの FPI によって観測された熱圏風と、イオノゾンデ共役観測によって推定された熱圏

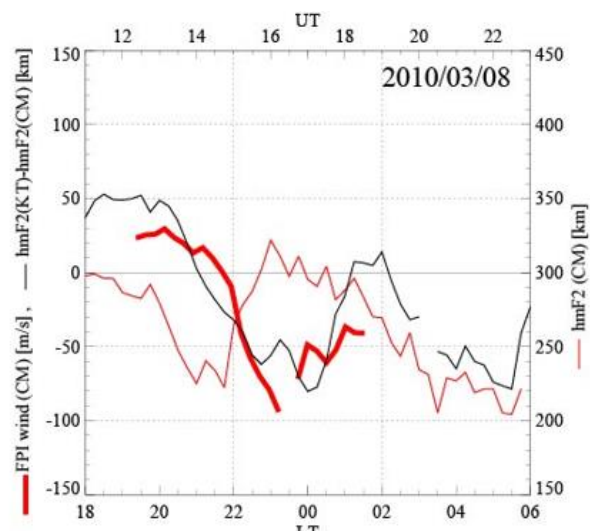


図 4. 2010 年 3 月 8 日チェンマイで観測された FPI 北向き熱圏風 (赤太線)、hmF2 (赤線)、および Δ hmF2 (黒線)

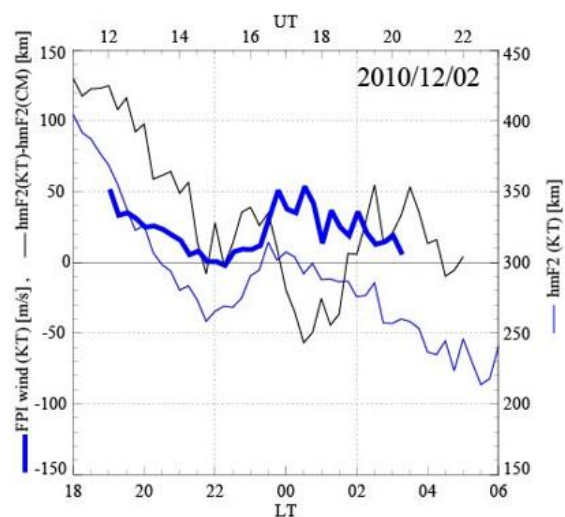
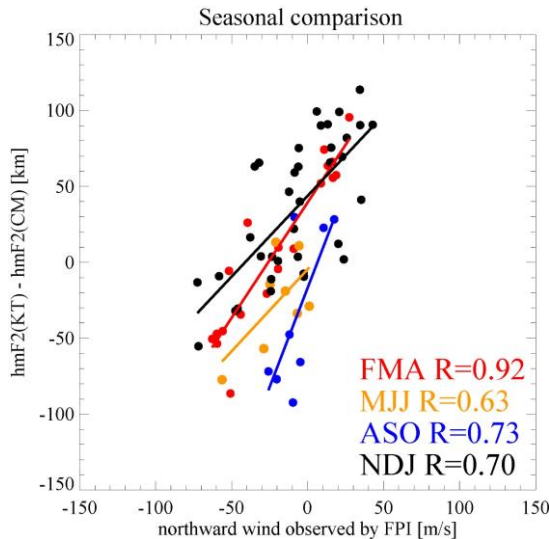


図 5. 2010 年 12 月 2 日チェンマイで観測された FPI 北向き熱圏風 (青太線)、hmF2 (赤線)、および Δ hmF2 (黒線)



風の3時間平均を用いた。図6に両者の比較を季節別に示す。両者の相関係数は0.6-0.9で、概ね良い相関にあった。2月-4月において両者の対応が良く、5月-7月において両者の対応がもっとも悪い。相関が悪いのは、**transequatorial** な成分に加え、**convergence/divergence** の成分が無視できないからであろう。5-7月は熱圏風の**convergence/divergence** の成分が強いというMaruyama et al [2008]の結果と一致する。

図6. FPI観測の熱圏風とイオノゾンデ共役観測による熱圏風3時間平均値の比較

4. まとめ

- タイ・チェンマイとインドネシア・コタバンのイオノゾンデデータおよびFPIデータを用い、イオノゾンデの磁気共役点観測により推定された南北方向の熱圏風（推定熱圏風）と、ファブリ・ペロー干渉計（FPI）観測により直接測定された南北方向の熱圏風との相関を調べた。
- 2012年3月8日の例では、FPIで観測された熱圏風とイオノゾンデの共役観測により推定されて熱圏風の相関が良く、熱圏風の**transequatorial** の成分が大きかったことが示唆された。
- 2012年12月2日の例では両者の相関が悪く、熱圏風の**convergence/divergence** の成分が大きかったことが示唆された。
- **Transequatorial** の熱圏風が卓越する場合、「熱圏風50m/sが磁気共役点で電離圏高度差50kmに対応する」というモデル計算はおおむね正しいことが観測的に示された。
- 大規模熱圏風とローカル風の相関は、2-4月の観測が良く、5-7月の観測が悪かった。これは、5-7月の夜間に**convergence/divergence** の風が卓越することを示唆している