

WINDAS を用いた下部対流圏の大気潮汐の研究

* 坂崎貴俊 (北大理)、藤原正智 (北大地球環境)

1 はじめに

下部対流圏における風の日変動は、海陸風や山谷風といった局地スケールの変動と、大気潮汐による全球スケールの変動の両者の影響を受けていると考えられる。後者の大気潮汐とは、対流圏の水蒸気・成層圏のオゾンによる太陽放射加熱や、熱帯積雲活動による潜熱放出などによって励起される大気波動である。なお、太陽の日周運動と同期して西進する成分は Migrating tide と呼ばれる。

局地スケールの風については各地で研究がなされてきたが、対流圏における大気潮汐に伴う風の観測例は少ない。近年、大気レーダー (ウィンドプロファイラ等) によって時間分解能の高いデータが得られるようになり、これを用いて対流圏から下部成層圏における潮汐風が調べられるようになった (Williams et al., 1992; Whiteman and Bian, 1996; Williams and Avery, 1996)。

しかしながら、中緯度における観測例はまだ少なく (Whiteman and Bian, 1996)、また従来の研究で用いられた大気レーダーのネットワークは、空間分解能が粗いため、検出された風が局地循環によるものなのか大気潮汐によるものなのかを判別するには不十分である。

そこで本研究では、日本における高密度なウィンドプロファイラネットワーク (通称: WINDAS) を用いて、下部対流圏の風の日変動を、局地風・大気潮汐の両視点から理解することを目的とする。

2 データと解析手法

使用した観測データは、(1) 気象庁 WINDAS 風向・風速の毎正時値 (10 分平均) [地点数:31; 期間:2002 年 4 月~2007 年 3 月; 高度:300-5000m]、(2) 気象庁 AMeDAS 風向・風速の毎正時値 [地点、期間は WINDAS と同じ; 高度:0m(地上)] である。図 1 に WINDAS の観測地点を示す。

まず、各月ごと前後 1 ヶ月で移動平均した風の一時間値を、各高度・時刻で全てのデータをコンポジットすることにより求めた。次に、各高度における日平均値を取り除いて、一時間ごとの日偏差成分を算出した。得られた日偏差成分に対して、最小二乗法を用いて調和解析を行い、一日周期成分、半日周期成分、・・・、1/11 日周期成分に分解した。このうち一日・半日周期成分の振幅と位相について議論する。位相は、各成分が最大値をとる時刻 (LST) とした。また、位相の地点平均値は、日偏差成分の地点平均を求め、その一日・半日周期成分の位相で表現した。

一方、観測で得られた一日・半日周期成分が大気潮汐によるものなのかどうかを判別するために、米国大気研究センター (NCAR) High Altitude Observatory の大気潮汐モデル Global Scale Wave Model (GSWM) のうち、GSWM-02 のアウトプットデータと比較した。GSWM-02 は、球面座標系の二次元線形定常モデルであり、潮汐成分は背景場からの摂動解として定義される。東西波数・時間周波数はア・プリオリに仮定して計算している。強制力としては、対流圏~下部熱圏の水蒸気、オゾン、酸素・窒素分子による太陽放射加熱に加えて、熱帯の対流活動による潜熱加熱を考慮にいれている。ただし、地形や地上からの顕熱フラックスは考慮されていない。

3 結果と考察

3.1 一日周期成分

まず、一日周期成分について考察する。振幅は、観測地点ごとの差が大きかった (図なし)。図 2 に 31 地点で平均した振幅の季節変化を示す。一日周期の振幅は下層付近で最も大きく (0.5-0.8 m/s)、特に 08-10 月にはその影響が高度 3km 程度まで及んでいることがわかる。これは境界層内で卓越する局地風の影響であると考えられる。境界層より上空の振幅は年間を通じて 0.4-0.6 m/s であり、GSWM の値はこれと整合的であった。

図 3 に 12-02 月平均と 06-08 月平均の、位相の鉛直プロファイルを示す。一日周期成分の位相は、東西・南北成分ともに下層では地点間のばらつきが大きい、上空ではばらつきが小さい。これは、上空では、境界層からの影響に加えて、より空間スケールの大きい風の日変動が存在することを示唆している。上空 4km 程度の地点平均値を見ると、12-02 月 (06-08 月) において、東西成分は 14 (12) LST、南北成分は 08 (04) LST となっており季節変化が大きい。特に南北成分では位相が 12-02 月と 06-08 月でほぼ反転しているのが興味深い。ただし、いずれの季節も南北成分の位相は東西成分の位相に比べて進んでいた。一方 GSWM の位相は、同高度において、東西成分が 18 LST、南北成分が 12 LST で、季節変化がほとんど見られない。これらは上の WINDAS の結果と差があり、観測で得られた一日周期成分の要因については今後検討が必要である。

3.2 半日周期成分

次に半日周期成分について考察する。振幅の地点ごとの差は、一日周期の振幅と比べて小さかった (図なし)。図 2 によれば、半日周期成分の振幅は地上に比べて上空で値が大きい。高度 3-5km に着目すれば、半日周期の振幅は明瞭な季節変化を示し、冬期に最大 (~ 0.4 m/s)、夏期に最小 (~ 0.2 m/s) をとることがわかる。これは、地上気圧に見られる半日潮汐の振幅の季節変化 (Dai and Wang, 1999; 岩井と宮下, 2005) とも整合的である。GSWM にも同様の季節変化は見られるが、振幅は WINDAS の 1/2 程度しか再現されていなかった。

図 3 によれば、半日周期の位相は、境界層 (~ 1 km) の上空では地点ごとのばらつきは極めて小さい。また、季節変化もほとんど見られない。さらに、鉛直方向の変化も極めて小さく、鉛直波長が大きいことを示している。これらは半日周期潮の特徴と一致する (Chapman and Lindzen, 1970)。上空 4km 程度の地点平均値を見ると、東西成分、南北成分の位相はそれぞれ 03 LST、00 LST である。これらの値は、気圧の全球分布から予想される Migrating tide の値 (東西成分: 0344 LST、南北成分: 0044 LST) (Chapman and Lindzen, 1970) や、GSWM の結果 (東西成分: 03 LST、南北成分: 00 LST) とも一致する。以上から、境界層上空の半日周期成分は大気潮汐 (うち Migrating tide) で説明できることがわかった。

4 まとめと今後の課題

WINDAS を用いて下部対流圏における風の日変動の要因について考察した。一日周期成分は境界層内の局地風の影響を受けていると考えられ、そのため振幅・位相ともに地点間のばらつきが大きくなっている。先行研究においても、同成分は下部成層圏程度まで地表面の影響が及ぶことが指摘されている (Wallace and Tadd, 1974; Hsu and Hoskins, 1989)。ただし、上空では位

相の地点間のばらつきが小さくなっているようであり、潮汐波を含む空間スケールの大きい日変動の影響も受けていることが示唆された。しかしながら、位相の値は潮汐モデルの結果とは差があり、今後の検討課題である。半日周期成分は、局地風の影響は小さく、境界層より上空では大気潮汐 (うち Migrating tide) によるものでほぼ説明できる。

WINDAS ではレーダーの特性上、高度 5 km 程度までしかデータが得られない。そのため、特に一日周期成分については原因を特定することができなかった。今後は、MU レーダーを用いて、上部対流圏～下部成層圏まで含めた風の日変動について同様に解析し、今回の結果と合わせて考察を行いたいと考えている。

謝辞

GSWM-02 のデータは NCAR の Maura Hagan さんから提供していただきました。
(<http://www.hao.ucar.edu/modelling/gswm/gswm.html>)

参考文献

- Chapman, S., and R. S. Lindzen, *Atmospheric Tides*, D. Reidel, Norwell, Mass., 1970.
- Dai, A., and J. Wang, 1999: Diurnal and semidiurnal tides in global surface pressure fields. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 3874-3891.
- Hsu, H-H., and B. J. Hoskins, 1989: Tidal fluctuations as seen in ECMWF data. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **115**, 247-264.
- 岩井邦中, 宮下恵美子, 2005: 中部山岳地域の諸地点における気圧日変化, 天気, **52**, 831-836.
- Wallace, J. M., and R. F. Tadd, 1974: Some further results concerning vertical structure of atmospheric tidal motions within the lowest 30 kilometers. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 795-803.
- Whiteman, C. D., and X. Bian, 1996: Solar semidiurnal tides in the troposphere: Detection by radar profilers. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 529-542.
- Williams, C. R., S. K. Avery, J. R. McAfee, and K. S. Gage, 1992: Comparison of observed diurnal and semidiurnal tropospheric winds at Christmas Island with tidal theory. *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 1271-1474.
- Williams, C. R., S. K. Avery, 1996: Diurnal winds observed in the tropical troposphere using 50 MHz wind profilers, *J. Geophys. Res.*, **101**, 15,051-15,060.

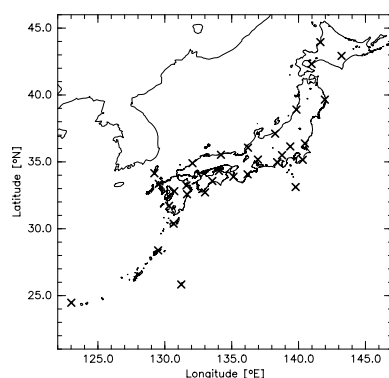


図1 WINDAS 観測地点 (31 地点)

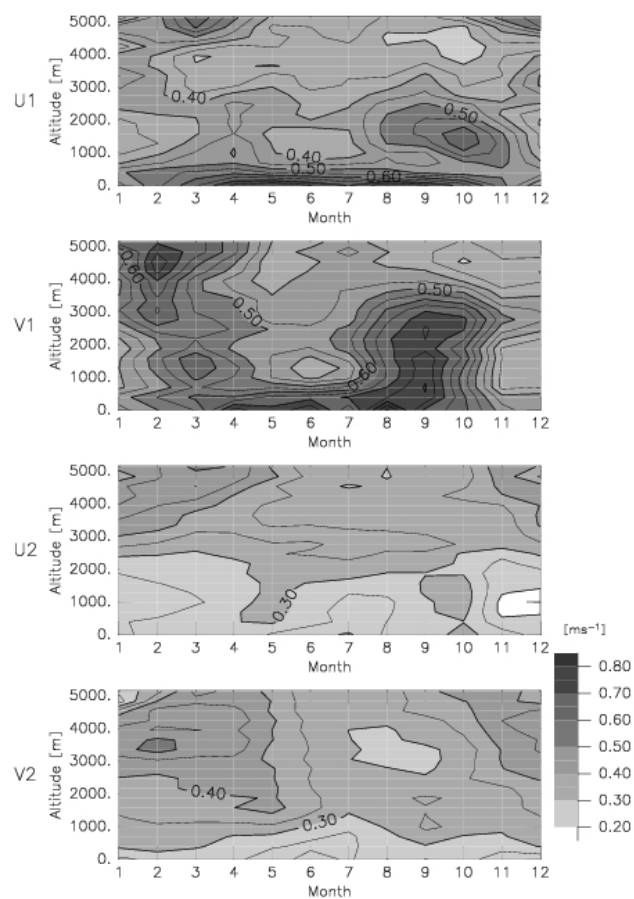


図 2 一日・半日周期成分の振幅の季節変化。上から順に、一日周期・東西成分、一日周期・南北成分、半日周期・東西成分、半日周期・南北成分を示す。横軸は月、縦軸は高度 (m) である。

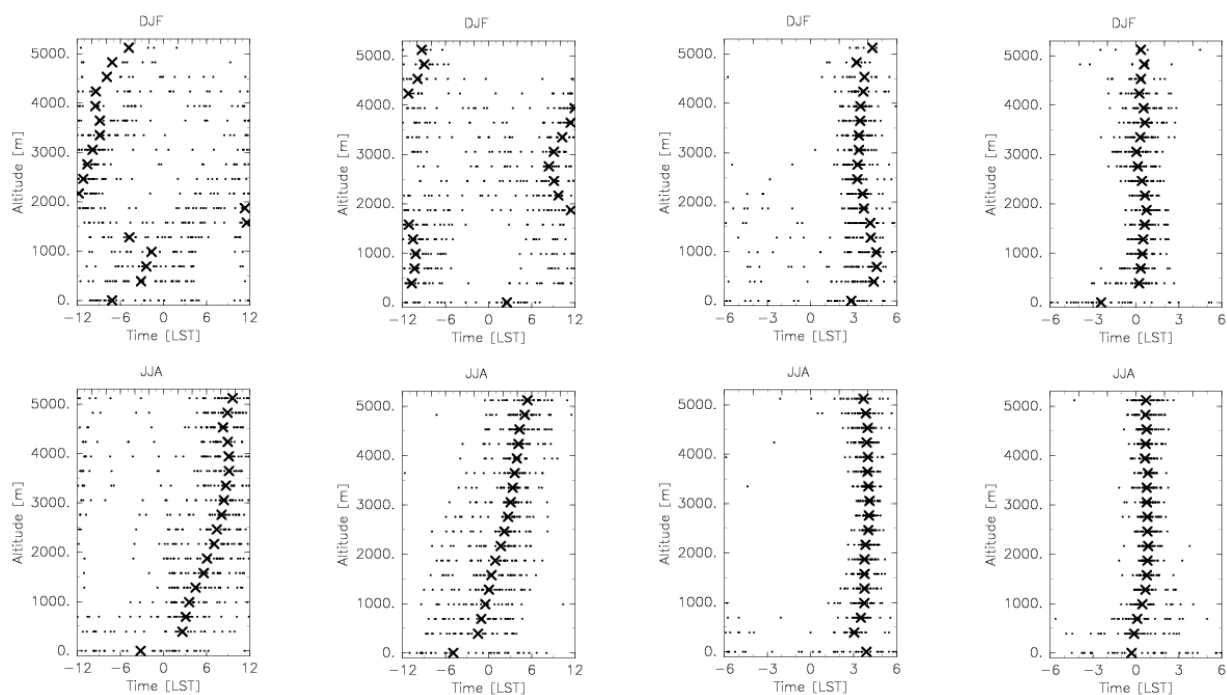


図 3 一日・半日周期成分の位相 (LST)。位相は最大値をとる時刻で表現している。左列から順に、一日周期・東西成分、一日周期・南北成分、半日周期・東西成分、半日周期・南北成分を表す。上段は 12-02 月、下段は 06-08 月の平均値を示す。黒点は各地点 (31 地点) における値、×印は 31 地点平均値。