

気圧と風が短周期で変動する現象

神田 豊*

1. はじめに

気圧がパルス状に突然変動する現象は比較的多く知られており、その成因として辻村 (1991) がソリトンとの関係で説明している。また、数分から数十分といった周期で変動する現象は、阿部 (1979) が南極昭和基地での観測事例を報告し、Kusunoki *et al.* (2000) も関東平野での観測事例を詳細に分析している。しかし、これらの変動は観測値を詳細に点検しないと見つけにくいことから、その場所や頻度の傾向は明らかにはなっていない。

近年、1分や10秒といった高頻度の観測値がデジタルデータとして入手できるようになったことから、気圧や風が短周期で変動する現象がひとつの観測点で顕著なものだけでも年に数十回発生し、それが比較的広範囲に移動しているような事例もあることが明らかになってきた。そして、これまで周辺の地形などの観測環境の影響と考えられてきた風の不規則な変動も、デジタルフィルタを使用した分析により、気圧と連動して周期的に変動している様子もわかってきた。

ここでは、気圧や風の短周期の変動事例と関係するような気象場について紹介する。

2. 低層の逆転層に関係したと思われる事例

2010年2月11日には千葉県館山で気圧と風に周期的変動が見られた (第1図)。しかも、気圧と風は約9分の周期で変動しており、西風成分の山から谷の幅は20 m/s に達する大きなものだった。

気圧と風の周期的変動成分に注目するため、一定時間間隔で遅れた信号を重み付け加算する有限インパルス応答タイプのデジタルフィルタを使用して分析す

る。ノイズと気象場の変化や一般風の影響を除外するため、フィルタの特性を変動周期が8分から16分までの帯域に設定して気圧と風の波形を処理し、両者の位相関係を図示 (第2図) すると、気圧最大のタイミングで風の西南西成分が最大となるよう同期しており、この軌跡が円を描かないことから両者の位相差はほとんどないことがわかる。また、風速の波形は正弦波に近いことなどから、稚内地方の事例 (村松 1971) で示された孤立峰によって発生したカルマン渦が通過した際の気圧や風の変動の様子とは異なる。

館山から比較的近い千葉県勝浦のウィンドプロファイラによる周期的変動が見られた時間帯の風観測結果 (第3図) によれば、高さ約1000 m に風の鉛直シアアがあり、その直上では約15 m/s の南西風が、その下では北北東の風が吹く逆転層を形成している。この変動の成因が岩井・阿部 (1997) が分析したような逆転層の境界付近を伝搬する内部重力波によるものとするれば、位相速度は(1)式により得られる。ここで、平均密度 ρ を 1.3 kgm^{-3} 、第1図から気圧変動偏差 p を1 hPa、風速変動偏差 v を8 m/s とすれば、位相速度 c はおよそ10 m/s となる。

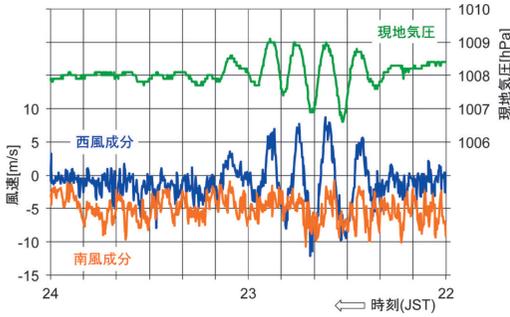
$$c = \frac{p}{v\rho} \quad (1)$$

また、その方向は気圧が最大のタイミングの風の成分となることから、前述の風とおおむね一致しており、地上風と気圧が大気の鉛直循環などにより同期して周期変動する状況と矛盾はない。また、この変動がケルビン・ヘルムホルツ波 (深尾ほか 2010) 又はそれに干渉した波動によるものとするれば、逆転層の温位傾度が大きいほど地上気圧が大きく変動し、(1)式から地上風の変動幅も大きくなる可能性がある。

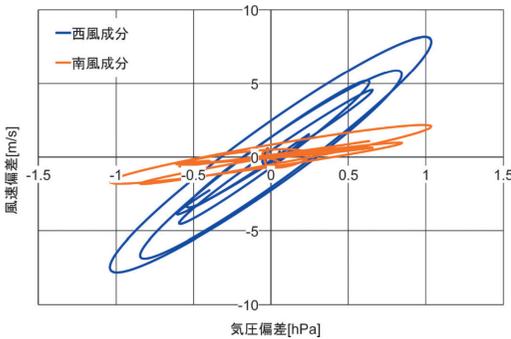
このような現象は香川県から千葉県までの広範囲で

* Yutaka KANDA, 気象庁予報部予報課。

© 2011 日本気象学会

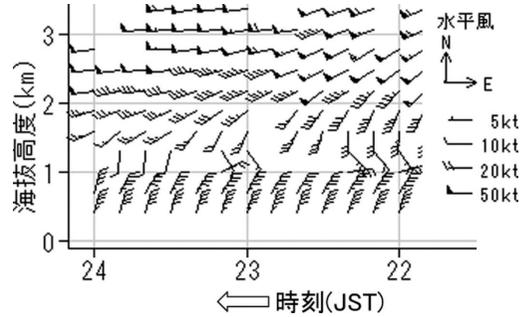


第1図 千葉県館山の気圧変動事例（2010年2月11日22時から24時）. 10秒ごとの現地気圧と10秒内の最大瞬間風速及びその風向から求めた西風成分と南風成分.

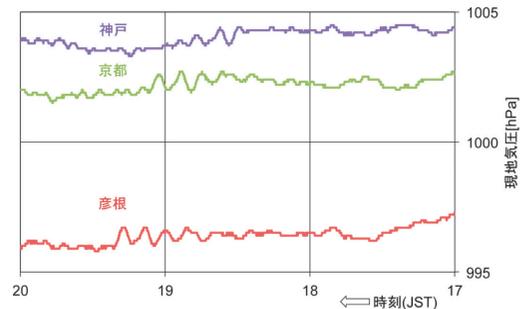


第2図 千葉県館山の気圧と風の関係（2010年2月11日22時から24時）. 現地気圧及び風の西風成分と南風成分について、8分から16分の帯域（デジタルフィルタの通過利得が1/2となる両端の周期）で取り出し、横軸に気圧の変動偏差を縦軸に風の変動偏差を示したもの。気圧と風の変動に位相差がなければ軌跡は直線となり、位相差が90度であれば円形になる。

観測されたが、気圧の変動周期は5分から20分程度とばらつきがあり、その期間は何れも短く発現時刻にも連続性がなかったことから、内部重力波そのものが長距離を伝搬したとは考えにくい。また、推定される波源の方向にもばらつきがあり、該当しそうな山を特定できなかったことから、ある山岳波が広範囲に影響を与えた可能性は小さい。しかし、この日には低気圧が本州南岸を東進しており、その移動に合わせるように約7時間かけて順次各地で気圧が変動したように見える。したがって、この変動は逆転層などの波動が生じやすい場が東進した結果であろう。



第3図 千葉県勝浦のウィンドプロファイルの風（2010年2月11日18時から24時）. 1 kt = 0.51 m/s.



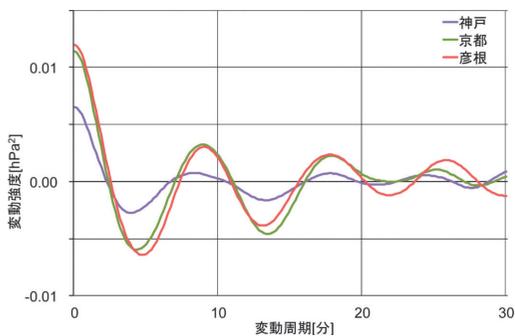
第4図 近畿地方における気圧変動事例（2010年1月12日17時から20時）. 神戸、京都及び彦根における10秒ごとの現地気圧.

3. 上層の波状雲に関係したと思われる事例

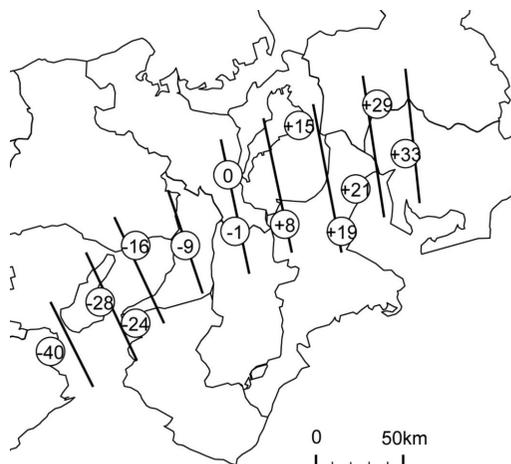
2010年1月12日にも近畿地方で気圧の周期的変動が見られた（第4図）。各観測点における気圧波形の卓越周期を見いだすため信号処理で使用する正規化しない自己相関関数を計算する。ただし、2項同様、あらかじめ変動周期が30分までの帯域に設定したフィルタを適用するので、平均気圧を元波形から引いた場合に相当し、おおむね(2)式で示す自己共分散関数を求めていることになる。ここで、 K は自己共分散関数、 τ は周期に相当するずらす時間、 T は適用する期間、 f は気圧、 μ は期間内の平均気圧、 t は時間である。

$$K_{ff}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T (f(t+\tau) - \mu)(f(t) - \mu) dt \quad (2)$$

各観測点について求めた結果（第5図）によれば、隣接する神戸、京都及び彦根では卓越周期が約9分で一致し、京都と彦根の変動強度は同じ程度であった。また、このように気圧が変動した観測点は帯状に東北



第5図 近畿地方における気圧の自己相関関数(2010年1月12日17時から20時)。神戸、京都及び彦根における10秒ごとの現地気圧の自己相関関数で、横軸は変動周期(ずれの時間)、縦軸は変動強度(振幅の2乗に相当する値)。その山が卓越周期を示すが、その性質から2倍や3倍の周期にも山ができる。

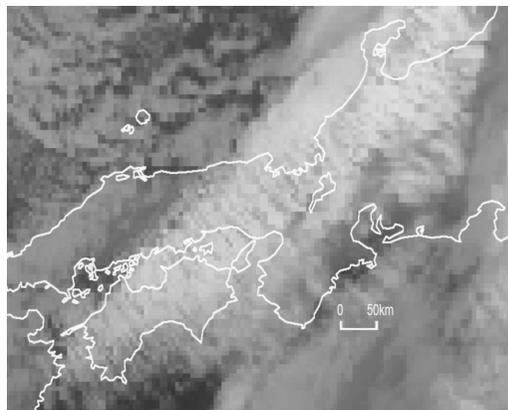


第6図 気圧の周期的変動の分布(2010年1月12日)。現地気圧について隣接観測点間の相互相関関数の値が最も高い時間差[分]を、京都を基準にして地図上にプロットしたものを、図に描いた直線は9分間隔の等時間差線。

地方まで連続的に追跡できたことから、なんらかの波動がこの地域を通過した可能性がある。

次に、変動した時刻の観測点間のずれを調べるため、気圧波形の相互相関関数の値が最大となる時間差を計算する。ただし、自己相関関数で使ったものと同じデータを使う。気圧が変動した時刻や周期にはばらつきはあるが、北東方向の隣接観測点間の相関は比較的高い傾向にあった。その時間差について京都を基準にプロットした図(第6図)から、たとえば、京都と彦根の時間差15分と距離約55 kmから、気圧変動の波が約60 m/sで北東方向に移動し、周期が9分としてその波長は約30 kmと推定できる。

一方、気象衛星赤外画像(第7図)によれば、気圧が変動した観測点付近ではその発現時刻頃に波状雲が上空を通過しており、その波長は前述の波長とほぼ同程度であった。また、雲の輝度温度やウィンドプロファイラによる上空の風の観測結果から推定した波状雲の高度は約7000 mであり、数値予報資料などからこの高さの風は前述の移動方向・速度ともほぼ一致している。この高度では風のシアが水平・鉛直共に顕著だったことから、その付近の大気の波動が地上気圧にも影響した可能性がある。しかし、この事例では地上風も気圧に同期して周期的に変動してはいるもののその振幅は小さく、地上気温や湿度の変化もほとんどなかったことから、2項の事例のような鉛直循環は小さかったものと推測できる。



第7図 気象衛星赤外画像に見られた波状雲(2010年1月12日19時)。

4. 気圧の周期的変動発生状況の傾向

山岳や海洋による気圧への影響を避けるため、周囲に高い山のない内陸にある京都の気圧について、その振幅が0.5 hPa程度以上変動した波数がおおむね2以上の顕著な事例を1年間にわたって抽出したところ、次のようなことがわかった。

- ① 気圧が数分から数十分の周期で明瞭に変動する現象は年に20回程度は観測されている。

- ② 変動する期間はせいぜい1時間程度で、その時間帯に昼・夜といった特徴的な傾向はない。
- ③ 台風や雷雨といった激しい気象状態や安定した晴れの日には見られず、季節には大きな偏りはない。
- ④ 南側に地上前線があり逆転層が形成されやすい気象状態の事例が多く、その上端の風は推定される伝搬方向や速度に近いものが多い。
- ⑤ 気圧の変動に風が連動している事例が多く、その位相差はほとんどない。なお、調査した京都の風速計と気圧計は数百m離れており風圧が気圧の測定に影響している可能性は小さい。
- ⑥ 気温や湿度には連動した変動は見られない。
- ⑦ 卓越する変動周期が連続的に変化することはなく、ある周期の振幅が大きくなるとそれ以外の周期の振幅は抑圧される。
- ⑧ 推定される波動の伝搬方向や速度は事例ごとに異なり、影響する地形は特定できなかった。

渡辺(1976)は羽田に発生する気圧波動の70%以上が局地的な収束帯を伴うと分析しているが、上記④から、それが地域によらない一般的な成因になっているものと考えられる。

5. まとめ

調査した気圧と風の周期的変動事例に共通の成因は明らかにできなかったが、それらが相互に関係しながら広範囲に分布していることがわかった。一見してノイズと区別がつかない風の不規則な変動は、周囲の環境や乱流が複雑に関係していると考えられてきたが、比較的スケールの大きな気象場に支配されている可能性もうかがえる。

風の変動周期が短くその幅が大きければ、航空機の離着陸に支障をきたすおそれもあり、牧田(2010)は気圧変動と潮位変動の関係にも注目している。防災上の観点からも、その成因を解明した上で予測に反映させる必要がある。

気圧の周期的変動とその他の観測要素の変動との関係やその背景となる気象状態に関するさらなる調査・研究が期待される。

謝辞

本調査にあたり、貴重なコメントをいただいた気象庁の辻村 豊氏に深く感謝いたします。また、本稿をまとめるにあたり有益なアドバイスをいただいた天気

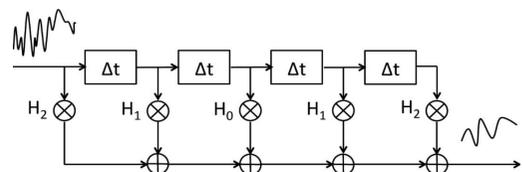
編集委員の藤部文昭氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 阿部豊雄, 1979: 南極昭和基地で観測された風の周期的急変動. 天気, 26, 688-692.
- 深尾昌一郎, H. Luce, 妻鹿友昭, 山本真之, 橋口浩之, 山本 衛, 2010: MU レーダーによる対流圏・下部成層圏ケルビン・ヘルムホルツ不安定波の形態学的研究. 第24回大気圏シンポジウム講演集. http://www.isas.ac.jp/j/researchers/symp/2010/image/0218_proc/3-4.pdf (2011.1.7閲覧).
- 岩井邦中, 阿部豊雄, 1997: 南極昭和基地で観測された風と気圧の短周期で大きい振幅の変動. 天気, 44, 7-17.
- Kusunoki, K., H. Eito and K. Akaeda, 2000: A case study of low-level internal gravity waves using Doppler radar and ACARS. J. Meteor. Soc. Japan, 78, 511-525.
- 牧田広道, 2010: 2009年11月24日に発生した副振動の特徴. 日本気象学会関西支部・海洋気象学会例会講演要旨集, (120), 15-18.
- 村松照男, 1971: 稚内地方における地上風の周期的変化について. 天気, 18, 307-313.
- 辻村 豊, 1991: ソリトンと気象現象. 天気, 38, 519-525.
- 渡辺 明, 1976: 羽田に発生する気圧波動の研究. 天気, 23, 23-34.

付録

ここで使用したデジタルフィルタについて補足する。気象データの周波数領域での数学的な取り扱いにはフーリエ変換が使用されるが、音声信号のトーンコントロールのような実時間処理では、第A1図に示す有限インパルス応答タイプのデジタルフィルタで簡便に処理することが多い。一定時間遅延した信号を加算する際の重み係数 H の与え方により、特定周波数帯域



第A1図 有限インパルス応答タイプのデジタルフィルタ。左から信号波形を入力し、時間 Δt で遅延させた波形のそれぞれ H の重み付け加算により、通過周波数帯域を調整して右から出力する。

のみ通過するようなフィルタを容易に構成できる。ここで H_0 のみに 1 を与えると元の波形どおり出力され、全ての H に同じ値を与えると移動平均したと同様に

低周波数のみ通過させることができる。ただし、遅延時間の総和に相当する周波数より低い帯域は調整できない。

