

広島上空摩擦層内の風の日変化に対する若干の解析例について

太田 盛三** 前田 米造** 千葉 為利**

要 旨

広島地方気象台と気象研究所との協同研究によってなされた広島湾の海陸風特別観測結果の一部を用い、筆者らは広島上空摩擦層内の風の日変化に対して若干の解析を行った。まず実測風ベクトルは一般流成分とじょう乱成分との合成であると考へ、24時間観測資料より、これらの成分を定義して求め、さらに各高度のじょう乱成分に対して調和分解を行なった。その結果、海陸風における各現象がじょう乱成分によく現れていることがわかった。すなわち、各高度ともにじょう乱成分の1日周期成分は他の周期成分より卓越していること、摩擦層下部における1日周期楕円の形は特に地形の影響を敏感に反映しており、一方時計まわりの時間変化を示していること、海陸風の非対称性は一般流とじょう乱における1/2日周期や1/3日周期などの短周期成分との合成によって示されていることなど、いろいろな興味ある結果が得られた。

1. まえがき

昭和46年以来、夏になると測風気球などによる広島湾の海陸風特別観測が、広島地方気象台と気象研究所との協同研究によってなされている。そこで筆者らは、その観測結果の一部を用い広島上空摩擦層内の風の日変化に対して若干の解析調査を行なった。ただし、解析に用いた資料は昭和49年8月21日9時—22日9時、昭和48年8月21日21時—22日21時、昭和47年9月1日21時—2日21時における各高度の24時間内毎時観測値である。以下これらをA, B, Cと呼ぶことにする。

2. 計算した風の高度

気球の追跡は気象台屋上の一点だけによるものであり、屋上の高度が海拔約37mであることより、海拔高度37~137m, 137~237m, ……、837~937mにおける各層で計算された風の海拔高度を近似的に100m, 200m, 300m, ……、900mとした。(937m以上の高度は欠測が多かった。)

3. 調査の方法 (調和分解の方法)

まず、各高度の実測風ベクトル V を一般流とじょう乱成分に分解して次のようにおく。

$$V = \bar{V} + V' \quad (1)$$

ただし、 \bar{V} , V' はそれぞれ一般流, じょう乱成分を示

すベクトルである。そして、さらに V' の東分, 北分は次のような形で表わされるものとする。

$$\left. \begin{aligned} u' &= \sum_{n=1}^3 U_n \sin \left(\frac{2n\pi}{T} \tau + \alpha_n \right) \\ v' &= \sum_{n=1}^3 V_n \sin \left(\frac{2n\pi}{T} \tau + \beta_n \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 U_n , V_n は振幅, α_n , β_n は位相角を示す調和定数, T は基本周期 (24時間), τ は24時制で表わした日本標準時である。すなわち、(2)は1日から1/3日までの周期に対する調和分解の合成で、じょう乱成分全体を近似させているのである。

さらに一般流は直線的に時間的変化するものと仮定すると

$$\bar{V} = At + B \quad (3)$$

ただし、 A , B は定数ベクトル, t は観測開始時からの経過時間である。24時間のデータを用いて A を定めることは一般にむずかしいが、ここでは、じょう乱成分の中に1日周期成分およびその高周波成分以外はほとんど含まれないことを期待して

$$A = (V_E - V_B) / T \quad (4)$$

と定める。ただし、 V_B , V_E はそれぞれ観測開始時, 終了時の実測風ベクトルである。 A を定めれば B はデータの平均操作によって一意的に定まる。すなわち、

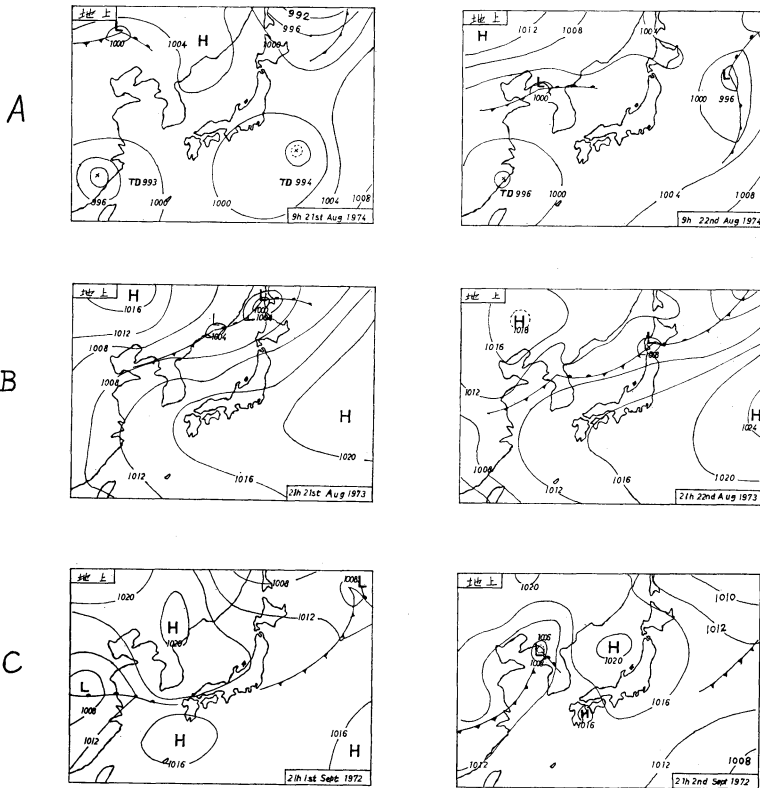
$$B = \frac{1}{T} \int_0^T (V - At) dt \quad (5)$$

* On Some Examples of Diurnal Variation Analysis of the Observed Wind Structure in the Friction Layer above Hiroshima

** M. Ota, Y. Maeda, T. Chiba, 広島地方気象台
—1975年5月8日受理—

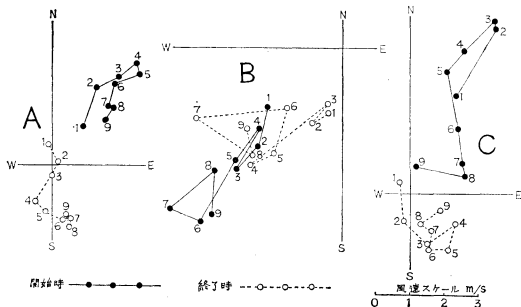
開始時

終了時



第1図 観測開始時と終了時における地上気圧配置

注：A：昭和49年8月21日9時—22日9時，B：昭和48年8月21日21時—22日21時，C：昭和47年9月1日21時—2日21時。なお、実線の等圧線は4mbごとに引かれている。



第2図 観測開始時と終了時における \vec{V} hodグラフ

注：A, B, Cの意味は第1図の場合と同じ。プロットした各点に対する数字は100m単位の高度を示す。なお、ベクトルの方向はプロットの点より原点に向うものとした。

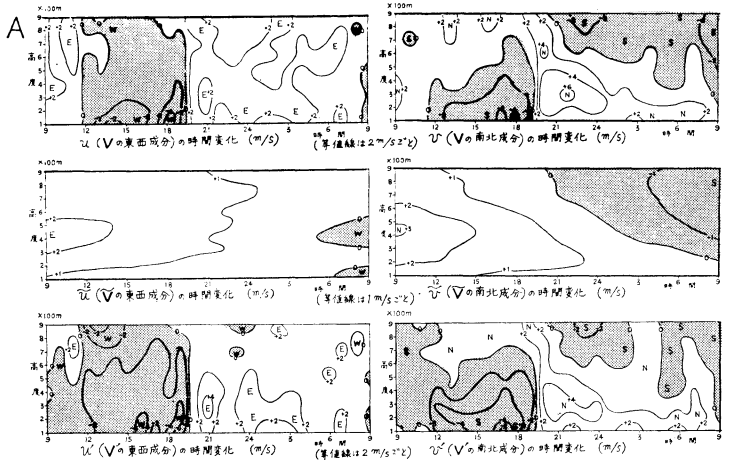
4. 地上気圧配置

調査対象期間内の観測開始時と終了時に対する地上気圧配置をA, B, Cの場合について示すと第1図のようになった。Aの場合は南側の二つの熱低、北側を通る高低気圧系の動きに注目を要する。地衡風向は最初 ENEであったが、終りには気圧傾度が非常に小さくなり、地衡風向もぼやけている。Bの場合は終始太平洋高気圧の張り出しが強く地衡風向はSWないしWSWであった。Cの場合では、最初西日本は南北にならぶ高気圧にはさまれる鞍状部の前面に位置し、NENないしNEの弱い地衡風場となっている。一方華中東部ではサイクロゲネシスが現れている。そして、ここに発生した低気圧は北東に進み、終りの時期には北朝鮮西岸沖に達し、西日本はS-lyの地衡風場に変まっている。

5. 一般流の時間変化

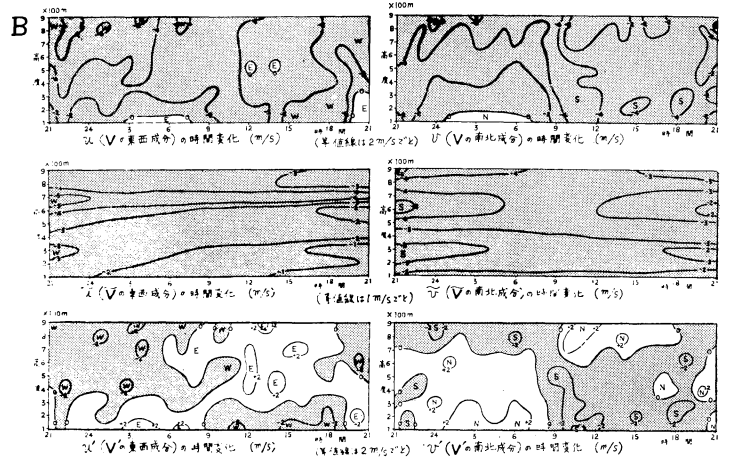
第3図(a). 各高度における V, \bar{V}, V' の東西成分, 南北成分の時間変化図 (昭和49年8月21日9時-22日9時)

注: 上段 V , 中段 \bar{V} , 下段 V'
 左側: 東西成分
 右側: 南北成分



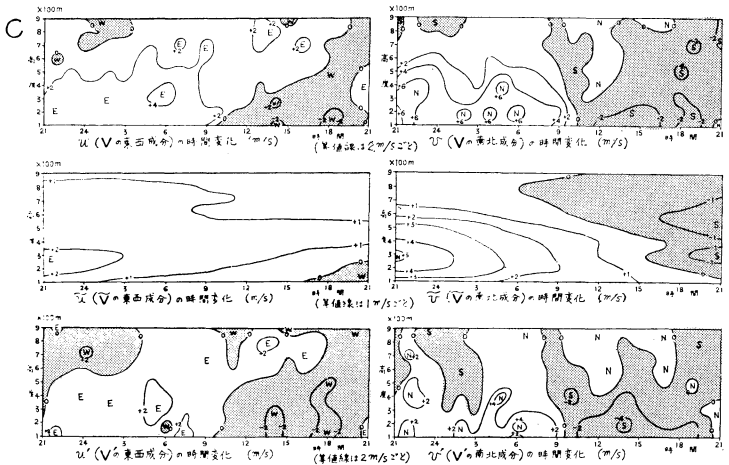
第3図(b). 各高度における V, \bar{V}, V' の東西成分, 南北成分の時間変化図 (昭和48年8月21日21時-22日21時)

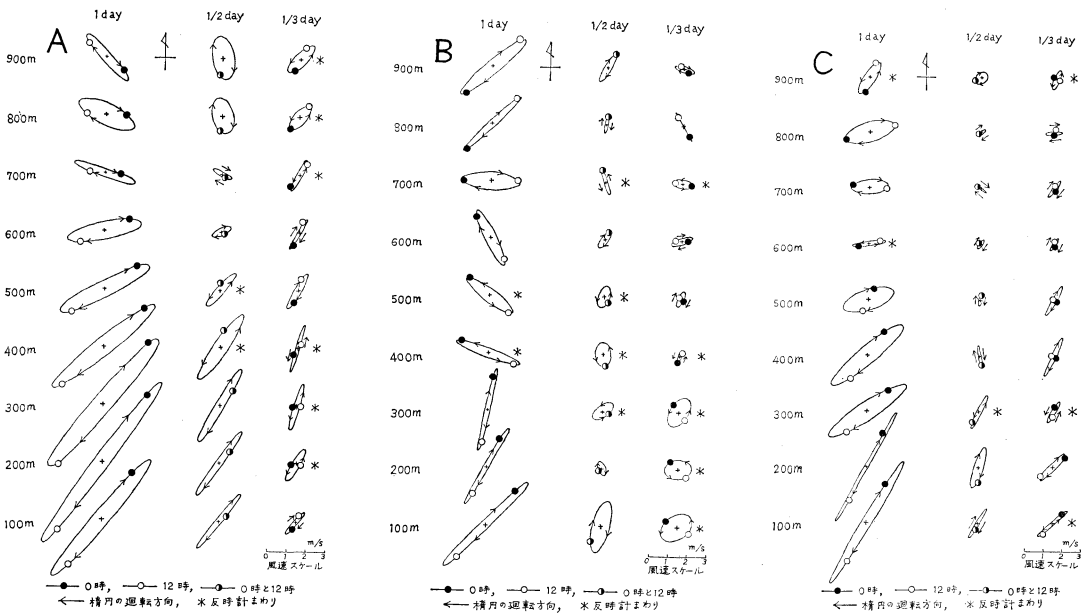
注: 上段 V , 中段 \bar{V} , 下段 V'
 左側: 東西成分
 右側: 南北成分



第3図(c). 各高度における V, \bar{V}, V' の東西成分, 南北成分の時間変化図 (昭和47年9月1日21時-2日21時)

注: 上段 V , 中段 \bar{V} , 下段 V'
 左側: 東西成分
 右側: 南北成分





第4図(a). 摩擦層内各高度の風の日変化に対する調和分解の結果 (昭和49年8月21日9時—22日9時)

第4図(b). 摩擦層内各高度の風の日変化に対する調和分解の結果 (昭和48年8月21日21時—2日21時)

第4図(c). 摩擦層内各高度の風の日変化に対する調和分解の結果 (昭和47年9月1日21時—2日21時)

観測開始時と終了時における \vec{V} の Hodグラフを三者について示すと、第2図のようになった。これらによるとAとCの場合はよく似た傾向をもっており、平均的に両者の一般流は弱い。しかしBの場合は各高度ともに終始 SW-ly の一般流を伴ない、その強さも他の二者に比べ強くなっている。

6. V , \vec{V} , V' の東分, 北分の時間変化

各高度における V , \vec{V} , V' の東西成分, 南北成分の時間変化を三者について調べると第3図で示されるような各種のイソプレット図が得られた。これらより V , V' の東分, 北分の変化図で海陸風の朝夕における交替現象や海陸風最盛期における摩擦層内下層風と上層風との補償的關係などが最もよく現われているのはAの場合であり、Cの場合もこれに次いで比較的よく現われている。一方Bの場合では SW-ly の一般流が強過ぎたために V に関する図では、海陸風の現象は \vec{V} の中に埋没して不明瞭となっている。しかし、 V' に関する図では、かなりはっきり現れている。なお、 \vec{V} の東分, 北分の時間変化図は第2図の \vec{V} の Hodグラフに対応するものであ

る。

7. 調和分解の結果

第4図は摩擦層内各高度の風の日変化に対する調和分解の結果を楕円であらわしたものである。まず、A, B, C三者の共通点について述べると次のようになる。

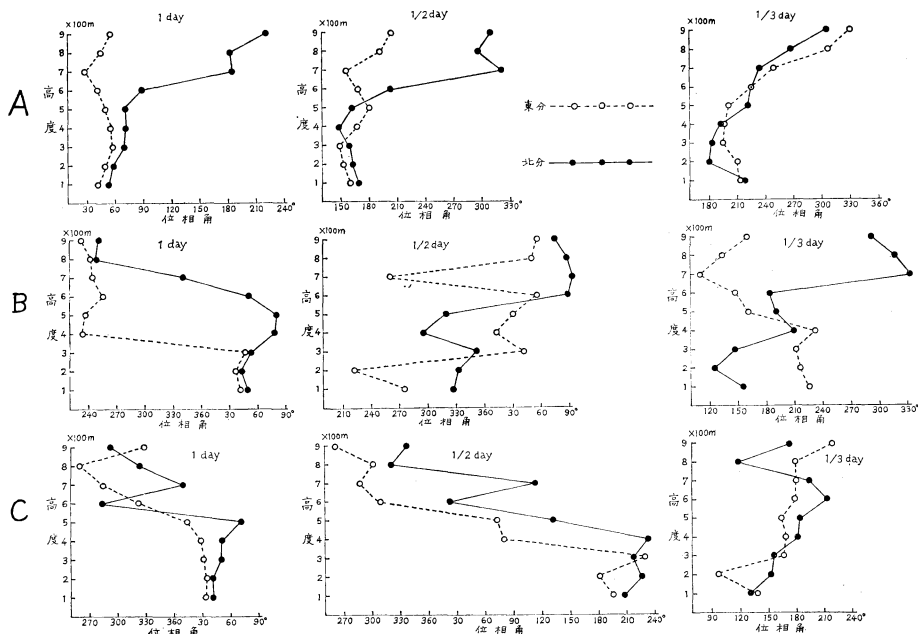
(i) 各高度ともに1日周期の楕円が最も大きい。これは熱的原因などによる1日周期が、広島の高緯度ぐらいいでは地球自転による慣性周期とほぼ同程度となり、両者の共振作用が大きくなるためと思われる。

(ii) 下層 (300m以下) における1日楕円の長軸の方向は海岸線とほぼ直交し太田川下流に沿っている。

(iii) 1日楕円における時間変化の方向は、大部分が時計まわりとなっている。これは地球自転による偏向力の影響と考えられる。

(iv) 風の日変化における非対称性は1日周期成分, 1/2日周期成分, 一般流の合成で大部分は説明されるが、さらに1/3日周期成分を加えるとほとんど実測値に収束する。

三者の相違点では次のようなことが考えられる。



第5図. 調和分解における0時基点の位相角の垂直分布

注: A, B, Cの意味は前と同じ。なお、ここで位相角とは $\alpha_1, \beta_1; \alpha_2, \beta_2; \alpha_3, \beta_3$ の値を示すものである。ただし、添字 1, 2, 3 はそれぞれ、1日、1/2日、1/3日の周期に対する値を示す。

(i) 1日楕円はAでは、下層から上層に向けて規則正しく小さくなりながら長軸の方向が時計まわりに廻転しており、600m ぐらいの高度ではほぼ東西方向となっている。しかし、Bの場合はかなり複雑であり一見不規則である。Cの場合はAの場合にかなり似ているが、Aの場合よりもやや不規則である。

(ii) 1日楕円の時間変化の方向はBでは400mと500mの高度、Cでは600mと900mの高度で例外的に反時計まわりとなっている。1/2日楕円の場合でもAとCでは、ほとんど時計まわりだが、Bの場合は中層の大部分が反時計まわりとなっている。1/3日楕円ではCの場合において大部分時計まわりだが、AとBの場合では反時計まわりになっている高度の方が多い。

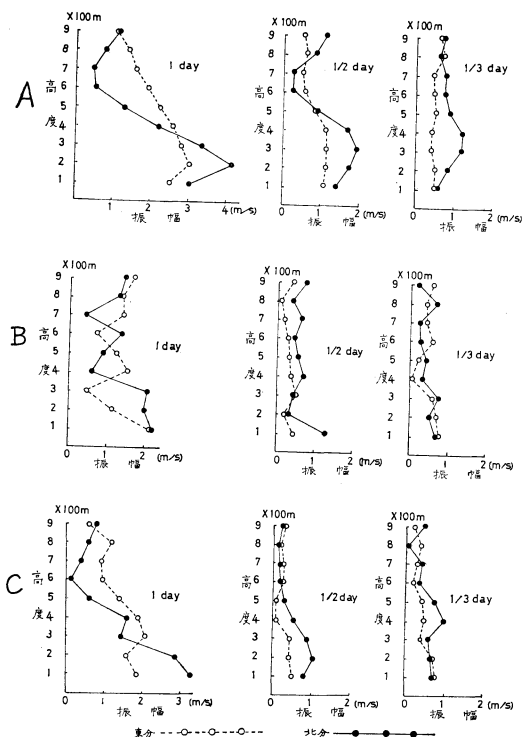
さて、第5図は調和分解における0時基点の位相角の垂直分布をA, B, Cの場合について示したものである。これらより見て、条件によりいろいろな形をとることがわかる。比較的単純なのはAの場合である。すなわち、1日周期と1/2日周期では下層から中層にかけて東分、北分ともに同位相であり、上層ではほぼ逆位相となっているが、1/3日周期では全層を通じてほぼ同位相となっ

ている。なおBの場合の1日周期において上層と下層で東分と北分がほぼ同位相となり、中層ではほぼ逆位相となっていることも興味のある現象である。

第6図は調和分解における振幅の垂直分布を三者について示したものである。これらも条件によりいろいろな形をとっている。共通点としては、1日周期の東分、北分がともに下層から上層に向けて小さくなっており、細かく見れば100mないし200mの高度で極大が現れ、600mないし700mの高度で極小が現れていることなどが挙げられる。

8. 結び

以上より摩擦層内の一般流がやや強い場合でも、これを差し引けば海陸風の成分が、かなりはっきり現れるということなど、いろいろな興味ある事実がわかった。しかし、以上の記述はまだ現象論的な段階に留まっており、細かい物理的意義の解釈には、あまり触れていない。読者のうちで、この点についてお気付きの方があれば、御教示下さるようお願いする。なお1/2日周期や1/3日周期などの成分に対しては、拡散係数の日変化や移流項など(運動方程式中の非線形項)昼と夜の長さの違



第6図 調和解における振幅の垂直分布

注：A, B, Cの意味は前と同じ。なお、ここで振幅とは $U_1, V_1; U_2, V_2; U_3, V_3$ の値を示すものである。

い、地形の影響などが主な原因となっているように思われる。機会があれば、これらについても考えて見たい。最後に資料を提供して下さった海陸風観測グループの方に深く謝意を表す。

文献

浅井富雄, 吉門 洋, 1973: 海陸風に関する理論モデルとその問題点, 天気, 20, 119-129.

荒井隆夫, 渡辺次雄, 1960: 天気学, 技報堂全書, 10, 82-84.
 荒川秀俊, 宇津木政雄, 1937: 海陸風の理論, 気象集誌, 第2輯, 第15巻, 第5号, 189-193.
 Arakawa, H. and Utsugi, M., 1937: Theoretical investigation on land and sea breezes, Geophys. Mag., Tokyo, 11, 97-104.
 Defant, F., 1951: Local winds, in Compendium of meteorology, Amer. Meteor. Soc., Boston 655-672.
 Haurwitz, B., 1947: Comments on the sea breeze circulation, J. Meteor. 4, 1-8.
 井野英雄, 根山芳雄, 1972: 海陸風の研究, 天気, 19, 299-310.
 井野英雄, 根山芳晴, 1973: 広島湾の海陸風について, (その1) 海陸風循環特性, 天気, 20, 547-555.
 川鍋安次, 1967: 海陸風, 神戸海洋気象台彙報, 177 (瀬戸内海の家象と気象, 改訂版), 127-132.
 岸田和博, 1974: 広島における海陸風循環の経月特性, 天気, 21, 579-586.
 宮田賢二, 岡本雅典, 1972: 瀬戸内海の家陸風に関する研究 (I), 広島女子大学家政学部記要, 7, 71-88.
 Okada, T. and Yamada, T., 1928: On the effect of topography on the diurnal variation of wind direction, Geophys. Mag., Tokyo, 1, 105-129.
 小野英雄, 1934: 神戸における風の日変化, 海と空, 14, 342-349.
 大阪管区気象台, 1972: 瀬戸内海の家陸風, 大阪管区気象台特別調査報告第2号.
 Terada, T. and Kobayashi, T., 1922: On the diurnal variation of winds in different coastal stations of Japan, Report of the Aeronautical Research Institute, 1, 35-38.
 渡辺次雄, 1958: 近代気象調査法, 技報堂全書, 6, 84-85.
 山本和三, 1974: 広島付近における海陸風の地域特性, 天気, 21, 575-578.

= 関西支部だより =

昭和50年度第4回例会案内

開催日時: 昭和51年1月27日13時-17時
 開催場所: 神戸海洋気象台, 会議室
 神戸市生田区中山手通り7丁目

講演題目: 海上気象, 乱流, 測器, 総観気象
 担当: 舞鶴海洋気象台, 坂根教闊 (近畿理事)