

後退する海風前線の移動速度

岩井 宏徳¹, 青木 誠¹

¹情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Propagation speeds of retrograding sea-breeze fronts

Hironori IWAI¹ and Makoto AOKI¹

¹ National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuiikita, Koganei, Tokyo 184-8795

NICT installed a fast-scanning phased array weather radar and a 1.54- μm coherent Doppler lidar in Kobe in March 2014 mainly to detect hazardous weather phenomena such as localized heavy rainfall. The Doppler lidar is located about 5 km north of Seto Inland Sea and sometimes observes sea-breeze fronts (SBFs) penetrating from Seto Inland Sea. The Doppler lidar rarely observed the retrograding SBFs with maintaining the spatial structure of density current fronts. This study shows that density current theory may be applicable to the observed retrograding SBFs.

Key Words: Doppler lidar, sea-breeze front

1. はじめに

情報通信研究機構 (NICT) では, 未来 ICT 研究所 (神戸市西区) にフェーズドアレイ気象レーダとドップラーライダーを融合させた PANDA (Phased Array weather radar and Doppler Lidar Network fusion DATA system) を整備し, 2014 年より観測を継続している. PANDA のドップラーライダーは LEOSPHERE 社の WINDCUBE400S (波長 1.54 μm) であり, フェーズドアレイ気象レーダや各種気象観測装置と共に鉄塔に設置されている. ドップラーライダーは瀬戸内海から北に約 5km の地点に位置しており, 播磨灘および明石海峡から内陸に侵入する海風前線が観測される. また, しばしば典型的な密度流の構造を示す. 時折, 密度流の形状を保ったまま, 前線前方の向い風によって後退する海風前線が観測される.

密度 ρ_1 の向い風 (風速 V_{wind}) に対して密度 ρ_2 ($\rho_2 > \rho_1$) で厚さ d の密度流が前進する速度 (V_{front}) は, 実験室での実験および海風前線やガストフロントなどの観測結果から

$$V_{front} = k \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} g d} - 0.62 V_{wind} \quad (1)$$

の関係が得られている¹⁾. ここで k はフルード数, g は重力加速度である. 海風前線の場合, フルード数は 0.5 から 1.0 (平均 0.7) の値を示すことが報告されている²⁾. 過去の研究において, ドップラーライダーで観測された相模湾から内陸に侵入する海風前線に対して式 1 が適応可能であることを示した³⁾. 本研究では, 後退する海風前線の速度 (V_{back}) の式 1 に対する適応可能性について検証した.

2. 観測方法および解析方法

本観測で用いたドップラーライダーは地上高 15m の位置に設置されている. 方位角 5 度から 270 度の低仰角の水平 (PPI) スキャン, および, 北東・南東・南西方向の鉛直 (RHI) スキャンを繰り返す観測を実施した. 温湿度計 (英弘精機

MH-120) および風向風速計 (英弘精機 USA-1) はドップラーライダーと同じ高さ (地上高 15m) に設置されている. 気圧計 (英弘精機 MY-021) は鉄塔に隣接している観測コンテナ内の地上高約 2m の位置に設置されている. 温湿度計, 風向風速計, 気圧計とも 10Hz で計測値をサンプリングしており, 本研究では, 1 分平均した値を用いた.

海風前線の位置, 移動速度, 伝播方向および向い風の速度はドップラーライダーの水平スキャンによる観測データ (ドップラー速度または SN 比) から, 密度流の厚さは鉛直スキャンの SN 比の高度プロファイルから求めた.

海風前線内部および向い風の空気密度 (ρ_1, ρ_2) は気圧, 気温, 湿度のデータを用い, Mayor (2011)⁴⁾ の Appendix A に記述されている計算式から求め, 海風前線通過前後の 30 分平均値を用いた. なお, 気圧は温湿度計の高さに補正した値を用いた.

前進する海風前線が観測地点を通過した後に同じ海風前線が後退しながら観測地点を通過した事例を抽出した. 事例抽出には, ドップラーライダーの水平・鉛直スキャンによる視覚的な情報および大気密度低下と気温上昇を判断基準に用いた.

3. 観測結果

図 1 に海風前線が観測地点を前進および後退しながら通過した 2016 年 7 月 20 日の風向風速, 空気密度と気温の時間変化を示す. 15 時 41 分から 16 時 36 分まで南西風と相対的な空気密度の上昇および気温の低下が確認でき, 観測地点が海風に覆われていたことを示している. 海風前線が観測地点から後退した 16 時 36 分以降, 北東風に変わり, 大気密度が低下し, 気温が上昇した. 図 2 は海風前線が後退しながら観測地点を通過した直後のドップラーライダーのドップラー速度の水平・鉛直断面図である. 海風前線は海岸線に概ね平行であり (図 2a), 厚さは 200m と非常に薄い (図 2b). 密度流の構造を維持しながら (図 2b)

南西方向に後退していった。

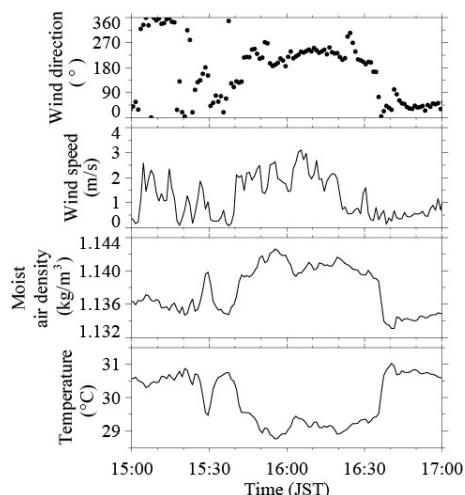


Fig. 1. Time series of (a) wind direction ($^{\circ}$), (b) wind speed (m s^{-1}), (c) moist air density (kg m^{-3}), and temperature ($^{\circ}\text{C}$) between 1500 and 1700 JST on 20 July 2016.

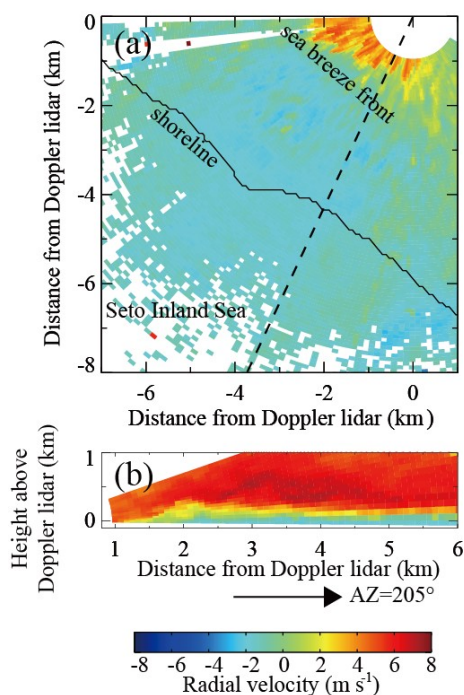


Fig. 2. Example of the retrograding sea breeze front on 20 July 2016 as depicted in Doppler lidar (a) 0° -elevation sector PPI scan and (b) 205° -azimuth sector RHI scan of radial velocity (color bar in m s^{-1}). (a) 1711 and (b) 1712 JST.

表 1 に抽出した 7 事例の後退する海風前線の速度の実測値と理論値を示す. 実測値と理論値は良い一致を示している. なお, NICT 未来 ICT 研究所で観測された前進する海風前線の速度は 67 事例の観測結果から 0.3 から 3.0 m s^{-1} (平均 1.4 m s^{-1}) であり, 前進の速度と後退の速度は同程度である.

Table 1. Observational and theoretical values of propagation speed of retrograding sea breeze fronts.

Date	Observational values (m s^{-1})	Theoretical values (m s^{-1})
2016/3/15	-2.4	-2.8
2016/5/21	-2.0	-1.8
2016/7/19	-2.0	-2.1
2016/7/20	-0.8	-0.6
2017/6/5	-1.1	-1.3
2017/6/16	-2.2	-2.1
2017/6/26	-1.4	-1.6

4. まとめ

播磨灘および明石海峡から内陸に侵入する海風前線が後退する際の移動速度の実測値と理論値をドップラーライダーおよび地上気象観測装置を用いて求め, 比較した. 後退する海風前線の速度の実測値と理論値は良い一致を示し, 式 1 は適応可能であることが示された. また, 海風前線の前進と後退の速度は同程度であることも明らかになった.

参考文献

- 1) J. E. Simpson and R. E. Britter: Quart. J. R. Met. Soc. 106 (1980) 485.
- 2) N. T. Atkins and R. M. Wakimoto: Mon. Wea. Rev. 125 (1997) 2112.
- 3) H. Iwai, Y. Murayama, S. Ishii, K. Mizutani, Y. Ohno, and T. Hashiguci: Bound.-Layer Meteor. 141 (2011) 117.
- 4) S. D. Mayor: Mon. Wea. Rev. 139 (2011) 1338.