

温度強制力と風系に関する野外観測

長崎大学工学部 学員○内山秀史 正員 藤田広章
学員 赤城 誠 学員 内田 孝

1. はじめに

夏期の高気圧に覆われた一般風のほとんどない晴天日の地上風を観測すると、日中は海風、夜間は陸風が観察される。この海陸風系の風向は、日中と夜間とでは逆向きとなる。その風向の経時変化は、コリオリ力により北半球では風下に向かって時計回りに右へ右へと徐々に転向する。しかし、このような典型的な海陸風が観測されることは少なく、沿岸域の複雑な地形のために海陸風が歪められるのが普通である。さらに、観測地点によっては反時計回り回転が観察されることもある。長崎市においても、このような観測地点が存在し、方向が異なる熱的強制力に起因するものと思われる。上記のことを検証するために、風系および温度観測を行った。

2. 観測地点、風資料、温度資料および解析方法

風向・風速観測は長崎市中心部よりやや南に位置する小ヶ倉町の小ヶ倉中学校で1997年7月29日より8月31日までの約1ヶ月間行った。小ヶ倉町は東側には戸町岳等の山地が広がっており、西側は長崎湾に面している。また、北側には長崎市の市街地や工場があり、南側には漁村や住宅地があり人口や建物の密度は大きく異なっている。温度観測は稲佐山展望台より1997年9月13日(晴天)の午前9時より午後5時までの日中8時間、午前中は1時間おきに、午後からは30分おきにサーモトレーサーを用い表面温度観測を行った。観測方向は①長崎市中心街、②小ヶ倉町の東側の山地、③長崎湾の西側の海面の3方向である。以上の位置関係を図-1に示す。風速データは0.1m/s単位で、風向データは16方位でそれぞれ10分間隔で出力される。また、風速0.1m/s以下の風は静穏とする。風は方向と大きさをもつ量なのでベクトルとして取り扱い西から東へ向かう風をx方向の正の風、南から北へ向かう風をy方向の正の風とする。まず、風向・風速を用いて、風ベクトルの経時変化図を作成する。この図より交代系の風系を評価することができる。しかし、台風や低気圧などが接近すると、一般風の影響を強く受け、このような日は海陸風がうち消される(1997年8月は多数の台風が接近した)。このような日を除外して、上記の風資料をもとに風の日変化ホドグラフを作成する。一方、温度データは熱画像処理し、カラー画像により温度分布は表示される。これらのカラー画像より、各地点の温度変化を知ることができる。

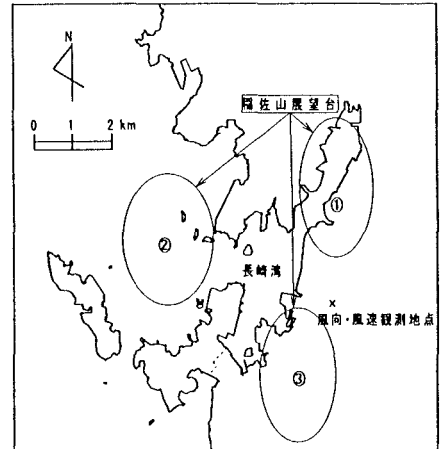


図-1 観測地点の位置関係

3. 線形理論

熱的強制力が2方向(x, y方向とは限らない)に働く線形モデルの運動方程式を導く。空気を非圧縮性流体とみなし、鉛直方向の風速および移流項は無視する。ただし、粘性項は速度に比例する摩擦力で表示する。

$$\frac{\partial u}{\partial t} - f v + k u = F_x + F_x(t) \cdots \cdots (1) \quad \frac{\partial v}{\partial t} + f u + k v = F_y + F_y(t) \cdots \cdots (2) \quad (F_x = -f V_y, F_y = f V_x)$$

u、vはそれぞれx、y方向の速度成分、fはコリオリパラメータ ($f = 2 \omega \sin \phi$: ω は地球の回転角速度、 ϕ は緯度)、kは摩擦係数である。 F_{mx} 、 F_{my} はマクロスケールの気圧傾度力 $F_x(t)$ 、 $F_y(t)$ は陸地と海との温度差によって生ずるメソスケールの気圧傾度力のそれぞれの方向の成分である。2方向の熱的強制力がx軸となす角度をそれぞれ α 、 β とすると $F_x(t)$ 、 $F_y(t)$ は次式で表される。

$$F_x(t) = \left\{ \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \cos \omega t \right\} \cos \alpha + \left\{ \frac{B}{\pi} + \frac{B}{2} \cos(\omega t - \theta) \right\} \cos \beta \cdots \cdots (3)$$

$$F_y(t) = \left\{ \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \cos \omega t \right\} \sin \alpha + \left\{ \frac{B}{\pi} + \frac{B}{2} \cos(\omega t - \theta) \right\} \sin \beta \cdots \cdots (4)$$

ここに、A、Bはそれぞれの方向の海陸間気温差の最大値である。また、 θ は2方向の熱的強制力の位相差である。運動方程式(1)、(2)は線形の連立微分方程式のため解は容易に求めることができる。ここでは、紙面の都合で解は省略する。

4. 解析結果

まず、晴天日の平均ホドグラフ (図-2) を見ると12時頃から長崎湾の入口方向(西北北西)より海風が吹き始める。その後、海風は徐々に風速を増し、18時に海風の最大風速1.6m/s程度に達し、風向を反時計回りに変えつつ弱まっていく。23時には海風は消滅し西向きの陸風が吹き始める。しかし、0時から4時までは0.2m/s程度の微風である。5時になると少し風速を増し0.5m/s程度になり、7時に陸風の最大風速に達し10時頃まで吹き続ける。その後、風速は弱まり再び海風が吹き始める。

次に、温度観測結果をみると、長崎中心部は2時から2時半にかけて約36℃、小ヶ倉町の東側の山地は3時から3時半にかけて約28℃の最高気温を記録した。長崎中心部は10℃近くの温度変化があった、が小ヶ倉町の東側の山地は3℃程度であった。長崎湾の西側の海面は25℃から27℃でほぼ一定であったが、ピークは3時頃であった。これらの温度変化を図-3に示す。

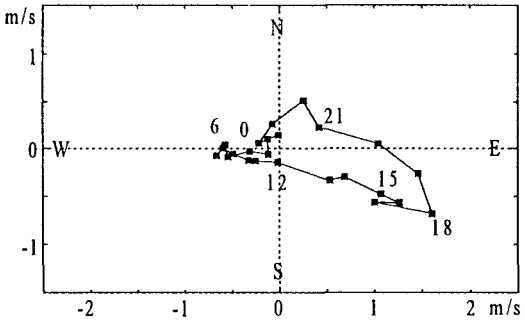


図-2 晴天日の平均ホドグラフ

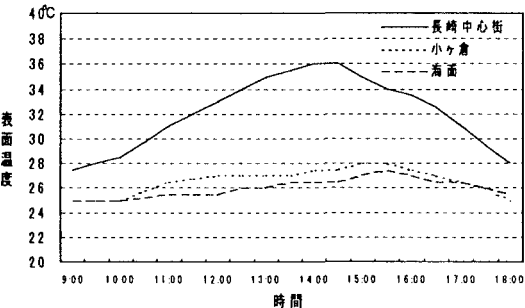


図-3 温度変化

5. 実測と数値計算の比較

上記の数値計算において、 $k = 0.8 \times 10^{-4} (1/s)$ および2方向の熱的強制力(3)、(4)式のパラメータが以下の値、 $A = B = 0.4 \times 10^{-3} (m/s^2)$ 、 $\alpha = 0^\circ$ 、 $\beta = 75^\circ$ のときに、実測を近似する日楕円になる。この場合、位相 $\theta = 60^\circ$ となる。このことは、東西方向の熱的強制力がピークに達する時刻より遅れて、南南西から北北東にかけての熱的強制力がピークに達する必要がある。また、遅れ時間は位相 $\theta = 60^\circ$ となることより、4時間程度となる。しかし、サーモトレーサーで観測した温度変化をみると、表面温度を観測したため大気温度とは多少の誤差があると思われるが、熱的強制力の振幅A、Bや位相 θ は大きく実測とは異なり、線形理論では説明することはできない。上空の大気温度をサーモトレーサーで類推したこと起因したのか、もしくは運動方程式の移流項を無視したために生じたものか不明である。今後、観測を継続し詳細に検討をする必要がある。