

東海地方における海陸風の研究

川井睦夫（東海支部）

1、はじめに

東海地方で夏のよく晴れた日、下の積雲が、南から流れその直上の積雲が北から流れる時のあることに気付いた。また、雲が南から流れる時は、北の方にしっかりした雲のあることが多いことに気付いた。時間により雲の行き違う高度が変化することにも気付いた。局地気象現象、特に、海陸風と関連がないか、2012年に続き調べた。

2、海風の反流境界高度と海面気温と陸上気温との関係

海岸上空 Z 、温度 T (K) に反流境界層にある気塊を仮定し、温度と高度の関係を考える。

海風と反流がこの気塊を中心に回転していると考えられる。つまりこの場所では、鉛直方向の運動が少なく、この気塊のすぐ上下での気塊の水平方向での運動が卓越しているとみなすことが出来る。よって静水圧の仮定が適用出来、その結果、この気塊には、次の式が適用出来る。

$$P = \rho RT \dots \text{気体の状態方程式} \dots \text{①}$$

$$dp = -\rho g dz \dots \text{鉛直方向の静水圧の式} \dots \text{②}$$

$$dQ = Cp dT - \frac{dP}{\rho} \dots \text{熱力学第一法則} \dots \text{③}$$

(P は圧力、 ρ は密度、 g は重力加速度、 R は気体定数、 Cp は定圧比熱、 dQ は加えられたエネルギーとする。)

太陽、地面からの放射加熱、雲の発生を無視 ($dQ=0$) し解くと次式が得られた。

$$dZ = -\frac{Cp}{g} dT \quad \text{よって} \quad Z = -\frac{Cp}{g} T + C \dots \text{④}$$

$-\frac{g}{Cp}$ は、鉛直方向に dT を変化させた場合、乾燥断熱減率。

図のように、 Z_0 の高度にて海岸線を中心とした海上、陸上のある部分まで、等圧面が水平で、上下運動が無く、海面と陸面の実際の高度が等しい所の下層にて、一様な海風が吹いていると仮定すると、次の条件が成立していると考えられる

海風の上端 P_0, T_0, ρ_0, Z_0

Z_1, Z_2 は Z_0 からみた
気圧 P_1, P_2 の高度とする。

海面 P_1, T_1, ρ_1, Z_1 陸面 P_2, T_2, ρ_2, Z_2



$$P_1 > P_2, T_1 < T_2, \rho_1 > \rho_2, Z_1 < Z_2 \text{ となる}$$

$P_1 - P_2$ が海風を発生させる気圧差である。

これは、海面状態での気圧を考慮した海風の上端から距離 ($Z_0 - Z_1$) と、陸面状態での気圧を考慮した海風の上端から距離 ($Z_0 - Z_2$) との差が発生している為である。言い換えれば、海風

の上端からみた海面の気圧面高度、陸面の気圧面高度と、実際の高度に差が生じている為である。つまり $(Z_0 - Z_1) - (Z_0 - Z_2) = Z_2 - Z_1$ 分が実際には海面と陸面に高度差が無いにも関わらず、気圧差に対応した高度差が生じていることを示している。

$$\text{④より} \quad Z_0 - Z_1 = -\frac{Cp}{g} (T_0 - T_1) + C_{0-1} \dots Z_0 \text{ からみた気圧}$$

P_1 の高さ Z_1 までの高度差 C_{0-1} は定数

$$\text{また} \quad Z_0 - Z_2 = -\frac{Cp}{g} (T_0 - T_2) + C_{0-2} \dots Z_0 \text{ からみた気圧 } P_2$$

の高さ Z_2 までの高度差 C_{0-2} は定数

$$\text{よって、} \quad Z_2 - Z_1 = -\frac{Cp}{g} (T_1 - T_2) + C_{1-2} \dots C_{1-2} \text{ は定数} \dots \text{⑤}$$

ここで、 Z_1 (海面の高さ) を $=0$ とすると、陸面と海面の温度差に対応した Z_2 の実際の高さまで、水平方向での気圧差が生じていることを示している。

上空で水平方向での気圧差が生じていない高さの下端は、海風の上端=反流境界層であるので、⑤式の $(T_1 - T_2)$ に陸上と海面気温の気温差を入れ、 Z_1 (海面の高さ) を $=0$ とした場合、反流境界層の高度 Z を示す式となる。

実際には、太陽、地面からの放射加熱、雲の発生がある為、

⑤の $-\frac{Cp}{g}$ に対して、大きな値 (つまり乾燥断熱減率 $9.8 \times 10^{-3} \text{K/m}$ より小さな値) が入る。

また、 C はその観測地点固有の値 (初期値) が入る。

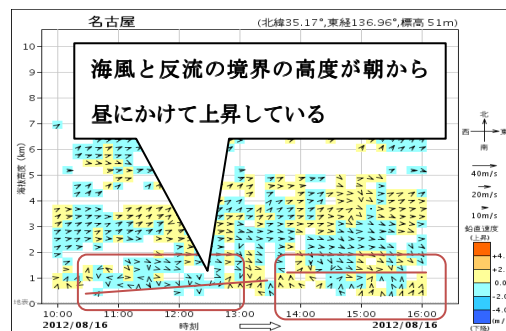
よって、断熱減率を $-\Gamma$ とすると⑤は

$$Z = -\frac{1}{\Gamma} T + C \dots T \text{ は陸上と海面気温の気温差、} C$$

その地点の定数と表現出来る。

3、ウィンドプロファイラ、アメダスデータ考察

名古屋ウィンドプロファイラ (2012年8月16日) 海風と反流の境界の高度が朝から昼にかけて上昇している。



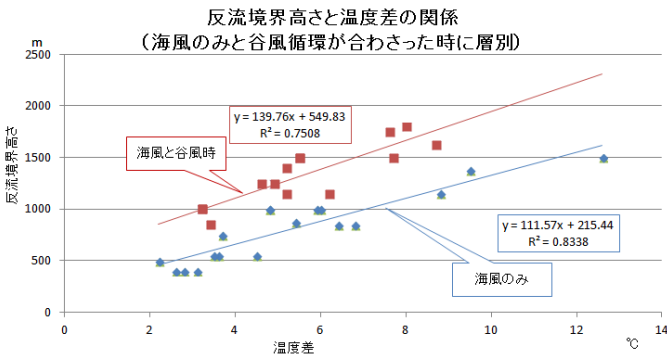
次に、'12年8月16日~10月9日、'13年5月14日~9月19日の名古屋ウィンドプロファイラアメダス、海面水温データを用い解析した。海水面気温と名古屋の地上気温との差と、ウィンドプロファイラで海風反流の境界高度の読み取りやすい点の

読み取り値との相関を求めた。その結果、正の相関のあることが分かった。

4、観測事例に基づく考察

海風と反流の境界の高度が朝から昼にかけて上昇している。また、名古屋の地上気温との海側の温度の差の最大値と、海風反流の境界高度との相関が、正の相関であることより、反流の境界高度は、地上気温との海側の温度の差に関係し、推定することが出来る。

決定係数が少し小さい値であるため、14時～15時とそれより前の10時～13時に層別し解析した。その結果、データが層別出来ることが分かった。名古屋とアルプスのふもとの岐阜県美濃加茂市までの距離が約30kmであり、アルプスの上の(谷風の吹いている上空)と名古屋の距離を約60km地点、谷風の反流(南風)の速度を3m/sと仮定すると、この地点のアルプスから谷風の反流として流れてきた気塊は5.5時間後に到達する。朝9時30分に流れ始めた気塊とすると、14時頃、名古屋を通過することになる。よって気塊の暖められかたと場所に差のある、谷風反流の気塊が到達し、谷風循環と海風循環が一緒になったためと考えられる。そこで、海風循環だけの時と、谷風循環と海風循環が一緒になった時に再度データを層別した。



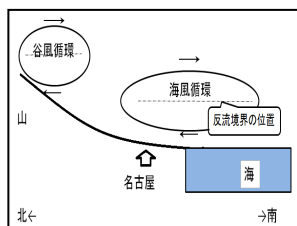
・海風のみでの名古屋上空での反流の境界高度の推定式は、
”反流の境界高度(m)=111x(陸地気温-海面温度)(K)+215 “

ここでこの式と⑤の式を比較する

係数“111”に $-\frac{C_p}{g}$ が対応、“215”に C が対応している。

“111”の逆数は、 $9.0 \times 10^{-3} \text{K/m}$ で、乾燥断熱減率 $9.8 \times 10^{-3} \text{K/m}$ より少し小さな値となった。

・海風と谷風が合わさった時では、
”反流の境界高度(m)=139 x (陸地気温-海面温度)+549 “、係数“139”の逆数は $7.1 \times 10^{-3} \text{K/m}$ で、標準大気の気温減率 $6.5 \times 10^{-3} \text{K/m}$ より少し大きい。模式図で示すと、次のようになる。

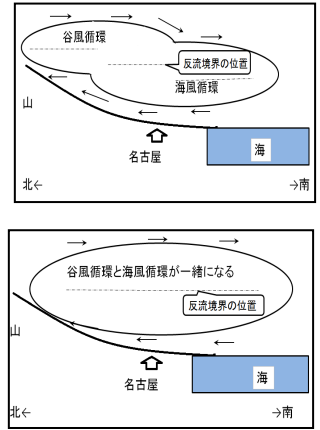


朝、谷風循環と海風循環は独立している。

陸、山の気温の上昇とともに、谷風循環の範囲が海側へ広がり、また海風循環が山側へ広がり合体する。それに伴い、名古屋上空での反流境界の位置は、海風循環によるものから、谷風循環の影響を受け上方へ急変する。

(13時～14時頃)

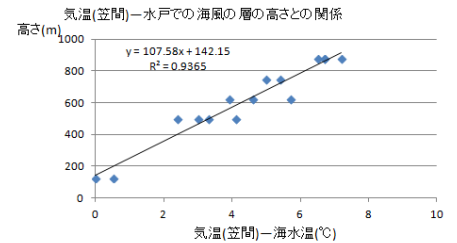
谷風循環と海風循環が大きな循環となる。



5、2013年、関東地方のデータ解析

基本式が他地域で適用出来ないか検証のため、名古屋の事例と同様の手法で、2013年5月25日～9月17日の水戸沖の太平洋の海面水温、笠間の地上気温と、水戸ウィンドプロファイラで海風反流の境界高度

の読み取りやすい点の読み取り値との相関を求めた。その結果、名古屋と同様の正の相関のあることが分かった。



・水戸上空での反流の境界高度の推定式は、
”反流の境界高度(m)=107x(陸地気温-海面温度)(K)+142 “
“107”の逆数は、 $9.3 \times 10^{-3} \text{K/m}$ で、乾燥断熱減率 $9.8 \times 10^{-3} \text{K/m}$ より少し小さな値となった。

6、結論

海風と反流の境界の高度は、海側の温度と陸地の温度差の関数の次式で表現できる。

$$\text{高度 } Z \text{ (m)} = -\frac{1}{\Gamma} T + C \dots C \text{ その地点の定数}$$

名古屋上空に谷風循環の反流の気塊が流入した時としない時で推定式に差が出る。

茨城県水戸市でも適用出来ることより、この式は他の地域でも使用できると考えられる。

7、今後の課題

東海地方だけでなく、他の地域で実測から求めた推定式および定数がどのようなになるか、更に調査にしたい。

8、謝辞

本文を作成するにあたり、日本気象予報士会東海支部のご協力に感謝いたします。

9、参考文献

川井睦夫, 2013, 日本気象予報士会研究成果発表会講演予稿集