

超音波風速・温度計により測定された 乱れの顕熱フラックス*

岡 本 雅 典**

1. はしがき

パルス時間差方式による超音波風速・温度計は光田・水間(1964), 光田(1966)によって開発され, これとは別に位相差方式によるもの(奥田・当舎・根本その他, 1965)も開発されて来ており, 今後各方面で盛んに利用される気運にある. この種の測器によつて始めて変動法による乱れの顕熱フラックスが容易にしかも安定して測定できるようになったといえる. しかし超音波風速・温度計によつて得られる温度は水蒸気量を含むある種の仮温度であり, 一般には実際の気温との差は小さいとされているが, ここでは測定によつて得られる顕熱フラックスの中に入る水蒸気量の影響の大きさはボーエン比 β によつて推定できることを示すと共に, 海上のように β の値が小さい所ではこの種の影響はかなり大きく無視できないことを示す.

2. 測定された顕熱フラックス H_{ob}

超音波風速・温度計ではある種の仮温度 T_{sv} を測定する. T_{sv} と気温 T との間には

$$T_{sv} = T(1 + 0.32e/p) \quad (1)$$

の関係がある(光田, 1966). e は水蒸気圧, p は気圧で両者とも同じ単位で測定する. 比湿 $q = 0.622 \frac{e}{p}$ を用いて(1)式を書きなおせば

$$T_{sv} = T(1 + 0.52q) \quad (2)$$

となる.

いま T_{sv} , T , q をそれぞれ平均値と変動成分に分け

$$T_{sv} = \bar{T}_{sv} + T'_{sv}, \quad T = \bar{T} + T', \quad q = \bar{q} + q' \quad (3)$$

として, これらを(2)に代入し(2)の平均を引けば $T'_{sv} = 0.52\bar{T}q' + T' + 0.52T'\bar{q} + 0.52T'q' - 0.52\bar{T}'q'$

$$(4)$$

となる. したがって3次以上の変動項を省略すれば

$$w' T'_{sv} \approx T' w' + 0.52 \bar{T} w' q' \quad (5)$$

ここに w' は風速の鉛直成分の変動部分である.

次に超音波風速・温度計によつて得られた顕熱フラックスを H_{ob} で表わすと

$$H_{ob} = c_p \rho w_{ob}' T'_{sv} \quad (6)$$

で与えられる. 風速成分については平均温度 20°C に対して目盛を線型にするための補正 K_T が必要で(光田, 1966), w' は

$$w' = K_T w_{ob}' \quad (7)$$

で与えられる. K_T は仮温度 T_{sv} によつて定まるが, 一般に小さく $T_{sv} = -10 \sim 35^\circ\text{C}$ で $K_T = 0.90 \sim 1.05$ の範囲で変わる程度である. いずれにしても(5), (6), (7)より $H = c_p \rho \bar{w}' T'$ に注意して

$$H_{ob} = K_T^{-1} \{ H + 0.52(c_p/L) \bar{T} \cdot LE \} \quad (8)$$

となる. ここで LE は潜熱フラックスである. 観測した顕熱フラックスと真の顕熱フラックスとの比を見るに, ボーエン比 $\beta = \frac{H}{LE}$ を用いると

$$\frac{H_{ob}}{H} = K_T^{-1} \left\{ 1 + 0.52 \frac{c_p}{L} \frac{\bar{T}}{\beta} \right\} \quad (9)$$

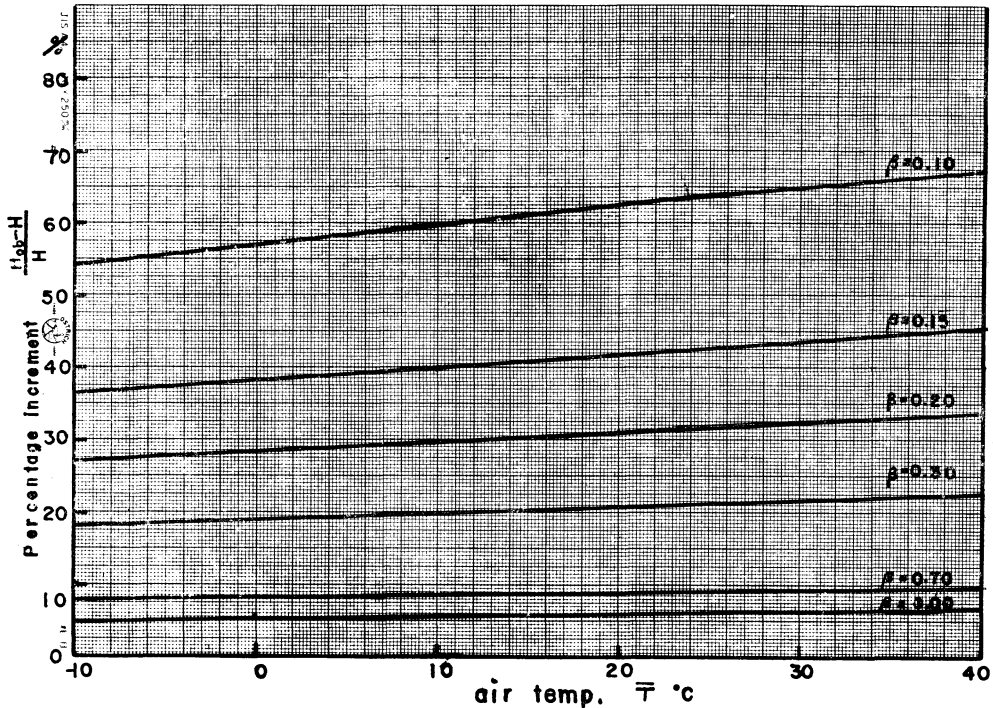
となる. 観測した顕熱フラックスの相対的増加率 $(H_{ob} - H)/H$ と平均気温 \bar{T} との関係, $K_T = 1.00$ として(9)により各ボーエン比 ($\beta < 0$ の場合は相対的減少率)について示したものが第1図である.

海上ではボーエン比 β の平均値は約0.1であるという(Sverdrup, 1942)から, もし平均気温 \bar{T} が 20°C ならば β の正負によつて約63%位, 真の顕熱フラックスより大きくあるいは小さく出ることになる. また湖面上のボーエン比の平均値としては $+0.19$ から $+0.38$ という実測値(Webb, 1960)もあり, 夏では日中は負, 夜間では正になる傾向がある. いずれにしても湖面上で測定したときは平均として30%あるいはそれ以上の違いが起り得ると思はれる. ボーエン比 β が小さいときは陸上でも同様なことが起る. しかし乱れによる水蒸気量のフラックス E が別の方法で正確に測定できれば, 海上のようにボーエン比 β が小さいところでも真の顕熱フラックスを推定することができる.

* The Sensible Heat Flux obtained by the Sonic Anemometer-thermometer in the Turbulent Flow Field.

** Masanori Okamoto 気象大学校

—1966年6月8日受理—



第 1 図

あるいはまた気温の変動を別の方法で測定し、(8)式を用いれば、ボーエン比 β が小さいところでは逆に H_{ob} と H から潜熱フラックス LE 、したがって水蒸気量のフラックス E をも推定できると思われる。陸上ならばボーエン比 β が著しく小さいと思われる時期に(9)式を実測値によって検証することが必要であり、これは今後の課題であるが、岡本・村上(1966)はその研究の一部で敷わらで地表面からの水蒸気輸送を遮断したところと十分に湿った裸地の上で、しかも非常に不安定なとき H_{ob} を測定し、両者を比較して潜熱フラックス LE の影響を見ようと試みた。しかし超音波風速計・温度計の設置高度、それに相対的な敷わらの広さにも問題があり、十分信頼し得るデータを得られなかった。

3. 結論

(9)式あるいは第1図に示した超音波風速・温度計によって測定して得られた乱れによる顕熱フラックス H_{ob} は一般には真の顕熱フラックスとは異なり、その違いはボーエン比 β が小さいときはとくに著しい。その大きさはボーエン比 β によって推定される。

終りに小倉義光博士、井上栄一博士、坂上治郎博士、竹内清秀博士を始め日頃御指導を頂く乱流グループの皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) 光田 寧・水間満郎, 1964: 超音波風速計とその試作, 天気 **11**, 2, 33-40.
- 2) Mitsuta, Y., 1966: Sonic anemometer-thermometer for general use, J. meteor. Soc. Japan, Ser. II, **44**, 12-24.
- 3) 奥田 穰・当舎万寿夫・根本その他, 1965: 位相差方式による超音波風速温度計について(日本気象学会, 昭和40年秋季大会発表)
- 4) Sverdrup, H.U., 1942: Oceanography for meteorologists, Prentice-Hall, New York.
- 5) Webb, E.K., 1960: An investigation of the evaporation from lake Eucumbene. Div. Met. Phys. Tech. paper, No. 10, CSIRO, Australia.
- 6) 岡本雅典・村上律雄, 1966: 超音波風速・温度計と熱収支法により推定した熱フラックス(日本気象学会, 昭和41年春季大会発表)