

長岡技術科学大学環境・建設系

正員

浅沼 順*

正員

早川 典生

正員

陸 旻皎

1. はじめに

近年、蒸発散や地表面熱収支に関する研究は、従来のプロットスケールでの研究から、流域スケールやメソあるいはさらに大きなスケールにおいての、領域平均フラックスの算定や地表面状態の変化に応じたフラックスの分布といった、広いスケールでの現象の大気陸面過程解明に関する研究に重心が移ってきている。このような研究の推進においては、対象領域内の様々な地表面被覆上の多点においてのフラックスの観測が必要であり、乱流フラックスの簡便な計測方法に関する必要度は高い。

蒸発散(潜熱フラックス、 $E = L_e \rho \overline{w'q'}$)や顕熱フラックス($H = \rho C_p \overline{w'\theta'}$)は、レイノルズ的な意味での共分散であり、風速や温度、湿度の変動成分を 10Hz 以上の高周波数で計測して、渦相関法により直接に計測する事が可能である。しかしながら、その観測器材は一般に高価であり、また取り扱いに多大の手間を要し、自動観測を行う手法としては、理想的とはいえないのが実状である。そのため、これまでにボーエン比法やバルク法のような簡易な手法が、目的に応じてフラックス観測に用いられてきた。ボーエン比法は、温度と湿度の相似関係を用いて2高度の温度・湿度の計測からボーエン比を算定するものであり、またバルク法は共分散であるフラックスと平均量(乱流的な意味での)との関係、例えば $\overline{w'\theta'} \propto \overline{u(\theta_1 - \theta_2)}$ のような関係を用いてフラックスを算定する(近藤編, 1994 参照)。このようなフラックスの観測手法は、大気乱流の規則性を利用することによって、乱流の高周波成分を直接計測する事なしにフラックスの算定を可能としているものである。言い換えれば、大気境界層内の乱流は組織的な構造を持っており、その構造の一部を計測することによっても、フラックス量を得ることが可能である。

本研究では簡便でかつ常時自動観測可能な測器を用いたフラックスの計測手法として、近年注目を浴びている分散法を用いたフラックス算定手法の確立を目指すものである。

2. 分散法

分散法は、分散の計測値から、分散と共分散であるフラックスの関係を用いて、フラックスを算定する手法であり、Tillman(1972)によって始めて考案された。近年になって、Wesely(1988)によってその物理的根拠を詳しく調べられるとともに、計測手法としての可能性が見直され、様々な応用例を見るようになった(浅沼, 1997 参照)。ここでは、特に温度の分散値から顕熱フラックスを算定する手法を主に取り扱うものとする。

モニン=オブコフ相似則によれば、不安定条件下で u_* の影響が少なくなると、温度の分散値 $\sigma_\theta = \sqrt{\overline{\theta'\theta'}}$ は顕熱フラックスのみに依存し、その 1/3 乗に比例することが知られている。

$$\frac{\sigma_\theta u_*}{\overline{w'\theta'}} = C_\theta \left(-\frac{z}{L} \right)^{-1/3} \quad \text{あるいは} \quad \sigma_\theta = C_\theta \left(\overline{w'\theta'} \right)^{2/3} (\beta k z)^{-1/3} \quad (1)$$

ここで C_θ は経験定数であり、ここでは 1.8 を用いる。これを書き換えると、

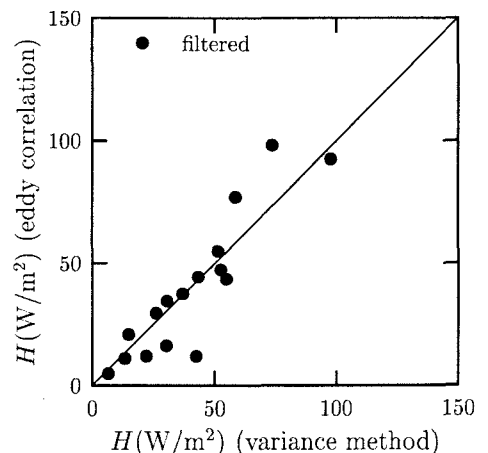


図1式(2)による顕熱フラックスの算定結果

キーワード：大気陸面過程、蒸発散、
連絡先：〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1、
e-mail: asanuma@vos.nagaokaut.ac.jp

$$H = \rho C_p \left(\frac{\sigma_\theta}{C_\theta} \right)^{3/2} \left(\frac{g}{T} kz \right)^{1/2} \quad (2)$$

となり、温度の分散から顕熱フラックスの算定が可能となる。また、 u_* の乱流場への影響度が無視できないときは、不安定条件下で以下のような経験式が成り立つ。

$$\frac{\sigma_\theta u_*}{w' \theta'} = C_\theta \left(C_2 - \frac{z}{L} \right)^{-1/3} \quad (3)$$

C_1, C_2 は経験定数であり、ここでは、それぞれ 0.94、0.11 を用いる。式(3)は、 u_* と $w' \theta'$ を未知数として含んでいるため、単独では解くことができない。そこでここでは、3次モーメント $\overline{\theta' \theta' \theta'}$ に関する情報を用いることとする。すなわち、歪度 $S_\theta = \overline{\theta' \theta' \theta'} / \sigma_\theta^3$ について以下の経験式が提案されている。

$$\frac{z}{L} = -A \exp(BS_\theta) \quad (4)$$

式(3)と(4)より、以下の2式が導かれ、温度の二次、三次モーメントから顕熱フラックスと u_* が求まる。

$$H = \rho C_p \left[\left(\frac{\sigma_\theta}{C_1} \right)^3 \frac{g}{T} kz \frac{C_2 + A \exp(BS_\theta)}{A \exp(BS_T)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$u_* = \left[\frac{\sigma_\theta}{C_1} \frac{g}{T} kz \frac{(C_2 + A \exp(BS_\theta))^{1/3}}{A \exp(BS_T)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

明らかに、式(5)は式(2)に補正項を加えた形となっている。

3. 観測概要と解析対象データ

琵琶湖プロジェクトの一環として、1996年7月30日に水田上において行った乱流観測結果を解析対象とする。観測地点は、琵琶湖北東岸から約3km陸側、滋賀県伊香郡木之本町内、約1km四方の水田地帯のほぼ真ん中である。高所作業車を用いて測定高度を2,4,8,16mの4高度に変え、各高度毎に10分間の計測を行った。各測定を開始時刻は、5,7,9,12,14,16,18時であり、計7回4高度の測定で計28Runのうち、早朝と日没近く(5時、18時)をのぞいた20Runが解析対象である。この10分間の時系列データに、時定数2.5分の回帰型ハイパスフィルターを用いてトレンド成分を除去した後、平均値、分散値などの統計値を求めた。

4. 解析結果

式(2)による顕熱フラックスの算定結果を図1に、また式(5)、式(6)を用いた顕熱フラックス、摩擦速度の算定結果をそれぞれ図2、図3に示す。それぞれよい一致を示している。図1と図2の違いは、三次モーメントに関する情報が、かえってフラックスの算定精度を落としていることを示している。

参考文献

Wesely, M. (1988): Use of variance techniques to measure dry air-surface exchange rates, *Boundary-Layer Meteorol.*, **44**; Tillman, J. (1972): The indirect determination of stability, heat and momentum fluxes in the atmospheric boundary layer from simple scalar variables during dry unstable conditions, *J. Appl. Meteorol.*, **11**; 近藤純正編著(1994):水循環の気象学; 浅沼 and W.Brutsaert(1997):平坦で非一様な森林上の接地層内における乱流分散値の特性と分散法を用いた地表面フラックスの算定, 水門水資源学会誌, 10巻6号

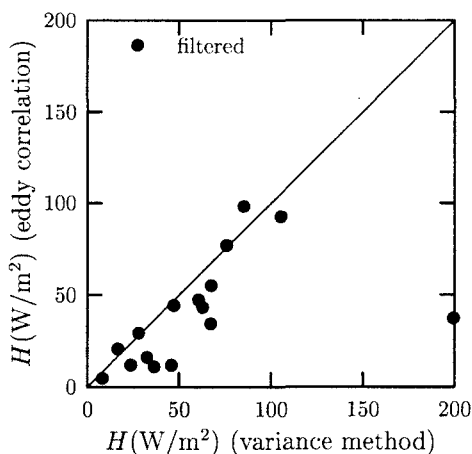


図2式(5)による顕熱フラックスの算定結果

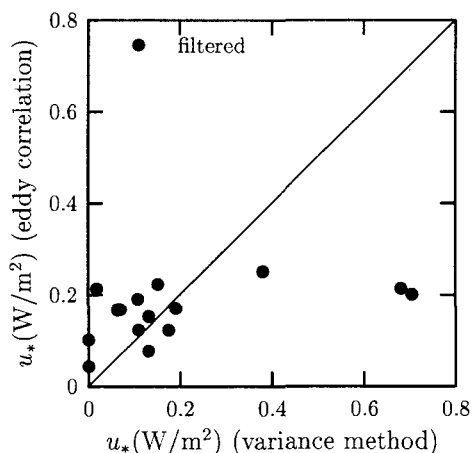


図3 式(6)による摩擦速度の算定結果