気温時間変化の半階微分特性と一点ボーエン比法への応用

Characteristics of semi-derivatives of air temperature variation and its application to “one-point Bowen ratio method”

清沢秀樹*,　〇野田昌道**

Hideki Kiyosawa,　Masamichi Noda

1. はじめに

接地気層内の顕熱フラックスは、温度勾配と乱流拡散率から求められるが、それらを高精度で計るには大がかりな装置を要する。近年 Wang ら [1] は、一測点の気温時間変化から温度勾配を推定し、風速プロファイルから得た乱流拡散率を援用して顕熱フラックスを求めている。これは、係数一定の熱伝導方程式において、温度の半階時間微分と高さ方向の温度勾配とが線形関係にあることを利用しており、比例定数から拡散率も求められる [2]。しかし、拡散率が地上高さで変化する接地気層において、定係数での関係がそのまま成立するかは疑問の残るところである。本研究では、三重大学構内やシベリアツンドラ帯で測定した気温変化の半階微分を求め、拡散率や温度勾配との関係を検討した。また、比湿変化の半階微分も用いて、一測点のみによるボーエン比法の可能性を検討した。

2. 気温時間変化の半階微分の性質

（1）　温度勾配と温度半階微分の関係

定係数熱伝導方程式の解 $T(t, z)$の温度勾配と時間微分との間には、次の関係が成り立つ [2]。

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\int_0^t g(t-s)\cdot\frac{\partial T}{\partial s}\,ds + A \qquad \text{---- (1)}$$

ここに、 $g(t)=1\big/\sqrt{\pi\kappa t}$，$A$：長周期成分による温度勾配の影響を表す定数、κ：拡散率（大気では、乱流拡散係数 K_H）。(1)式の右辺第 1 項でκを除いた積分は、T の半階微分を表す。すなわち、温度勾配と半階微分の間に線形関係が成立し、一次の係数からκが求められる。

（2）測定値による検証　**Fig.1** は、シベリアツンドラ平原（Tiksi, 71N,129E）で得られた二高度（2m,10m）の気温変化を表す。この温度差を基に対数プロファイルをなすものとして温度勾配を求めた。また、(1)式の数値積分は地温解析の報告 [2] で示した方法によった。**Table 1** は、１時間間隔のデータを抽出し、１日毎に(1)式両辺の差の二乗和が最小となるよう定めた係

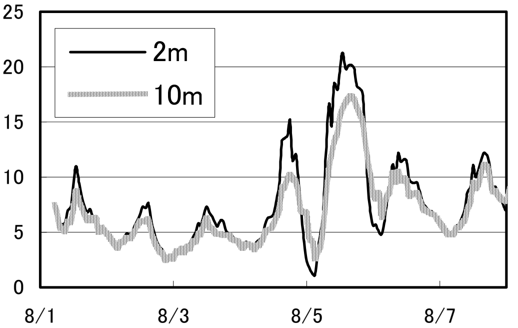

Fig.1 気温変化（Tiksi, 2000年8月）

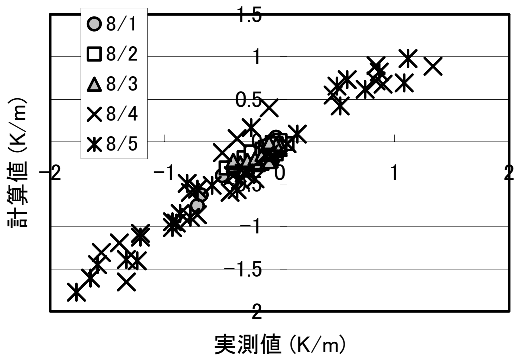

Fig.2 温度勾配の実測値と計算値

*三重大学生物資源学部、Faculty of Bioresources, Mie University
**三重大学生物資源学研究科、Graduate School of Bioresources, Mie University
顕熱フラックス、気温変化、ボーエン比

数の値であり、Fig.2 はこのときの両辺の線形関係を表している。

Table 1　(1)式の係数の計算値

	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7
K_H (m^2/h)	56	287	311	14	28	310	1147
A (K/m)	−0.30	−0.32	−0.40	−1.21	−3.02	−0.38	−0.43

（3）　顕熱フラックス

Table 1 の拡散率と温度勾配の積に、大気の容積比熱をかけて顕熱フラックスを求め、Fig.3 に示した。これらの値は、一般的なボーエン比法で得られる値の 3 分の 1 程度のこともあり、(1)式の関係では妥当な乱流拡散率が得られないことが推測された。

（4）考察　　接地気層では乱流拡散係数 K_H は高さ z の関数となり、伝熱の基礎式は

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K_H \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{dK_H}{dz}\frac{\partial T}{\partial z} \qquad \text{-----(2)}$$

と表される。中立の温度プロファイルを想定すると、K_H は z に、$\partial T / \partial z$ は z^{-1} に比例するので、(2)式の第一項と第二項は､大きさが等しく符号が反対となる。このことから（1）式で得られた K_H は、(2)式第二項の効果を差し引いた値であり、真値より小さくなったと考えられる。

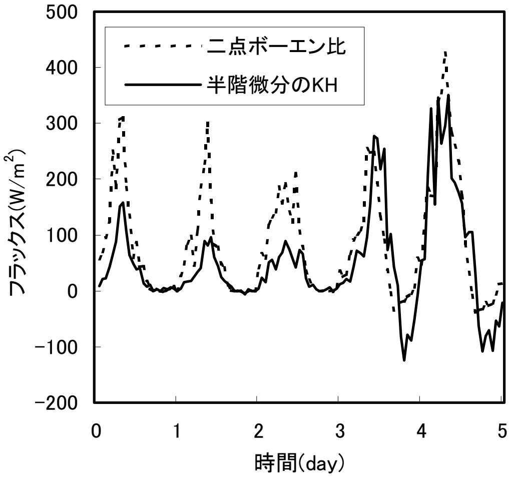

Fig.3　顕熱フラックスの比較
（Tiksi　00年8月1日～8月5日）

3.　一点ボーエン比法の検討

純放射量が既知のとき、熱フラックスは二点間の温度差ΔT と比湿差Δq を用いて、ボーエン比法で求められる。しかし、ΔT とΔq の測定には大きな誤差を伴いがちである。ここでは、一点の温度と比湿の経時変化から、それぞれの半階微分を求め、それらの比を用いてボーエン比を計算した。Fig.4 には、一点ボーエン比法により得られた顕熱フラックスを示す。一点法では、二点法よりも簡易な装置で、同程度の精度の熱フラックスが求められた。

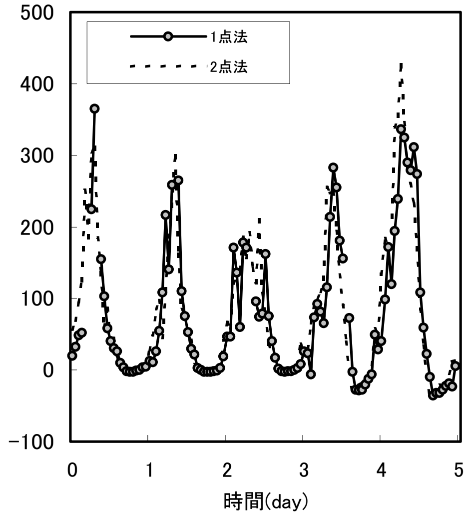

Fig.4　ボーエン法によるフラックス算定
（Tiksi　00年8月1日～8月5日）

4.　まとめ

気温の半階時間微分は高さ方向の温度勾配に比例するが、比例関係から得られる乱流拡散率は従来値の数分の一程度であった。この原因として、乱流拡散率が高さとともに増大することをあげた。現在のところ、温度のみの測定によって顕熱フラックスを求めるのは困難であるが、比湿変化の半階微分も用いると、一点のみの気温・湿度測定によるボーエン比が求められることを指摘した。

引用文献 1) Wang, J. and R.L.Bras, 1998: Water Resour. Research 34, 2281-2288

2)　清沢, 村西, 2004: 平成 16 年度農業土木学会大会要旨集