

II-361

ラジオゾンデによる地表面粗度, 蒸発散量, 摩擦速度算定の試み

長岡技術科学大学環境・建設系 正員 浅沼 順

コーネル大学土木環境工学科

W. Brutsaert

1. はじめに

10^1 – 10^2 km スケールの広域での大気-陸面相互作用に関する研究は主に、a) 広域・領域代表フラックスの計測、b) 主に LES などの計算シミュレーションを用いた大気境界層内物理過程の把握、c) 流域・領域スケール現象のパラメタライゼーション・集約化、という3つのカテゴリーにおいてそれぞれ進められているのが現状である。本研究では、ラジオゾンデによって観測された大気境界層内での風速・湿度の鉛直分布を用いて、広域を代表する地表面粗度と摩擦速度、蒸発散量を求めるものであり、広域での大気-地表面過程の物理的な性質を利用して領域代表フラックスの計測を目指しており、上記のカテゴリーの a) と b) を同時に狙うものである。

一般に不均一な地表面上での大気境界層内において、大気乱流の混合によりある高さ以上では、個々の地表面被覆タイプによる大気への影響が判別できなくなり、大気の特徴がその風上約 1–10km の地表面の平均的な性質に依存するようになると言われている。このような高さのことを blending height (近年の文献は Bünzli and Schmid, 1998, などを参照) と呼ぶが、この blending height 以上の高さでは、広域を代表した蒸発散 E 、摩擦速度 u_* に対して、モニン=オブコフ相似則の以下の式が成り立つと言われている。

$$V = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z-d_0}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z-d_0}{L} \right) \right] \quad q - q_r = -\frac{E}{ku_*\rho} \left[\ln \left(\frac{z-d_0}{z_r-d_0} \right) - \psi_v \left(\frac{z-d_0}{L} \right) + \psi_v \left(\frac{z_r-d_0}{L} \right) \right] \quad (1)$$

ここで、 $L \equiv -\rho c_p T q u_*^3 / (kgH)$ はオブコフの安定度長さ、 ψ_m, ψ_v は大気の安定度、 $(z-d)/L$ の関数である。すなわち原理的には、blending height 上の接地層内において風速 $V(z)$ 、比湿 $q(z)$ のプロファイルが得られれば、式 (1) を用いて、広域代表値としての E, u_* を算定することができることになる。そこで本研究では、ラジオゾンデによって得られた風速と比湿のプロファイルを用いた解析を行った。

2. 使用データ

解析には、1992 年 6 月初旬にオクラホマ州のリトルワシタ流域で行われた “Washita'92” (Jackson and Schiebe, 1993) において、ラジオゾンデを用いて得られた風速・湿度の鉛直プロファイルを用いた。この Washita'92 は、衛星リモートセンシングの水文学への応用を目的とした大規模野外観測プロジェクトの一つであり、この期間中ラジオゾンデによる大気鉛直プロファイル観測は 6 月 10 日からの 9 日間、1 日 5 回、計 48 回行われた。また、地上での 4 個所の熱収支観測点 (MS001–MS004) (Kustas et al., 1996) でのボーエン比法による顕熱・潜熱フラックスの観測値を用いた。

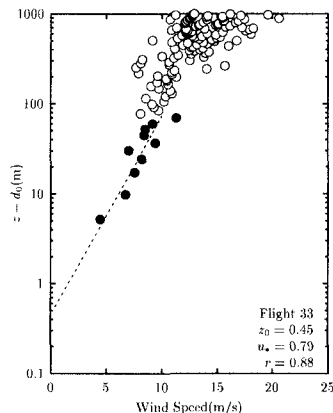
3. 解析

i) 広域地表面粗度の算定 式 (1) 左式を用いて地表面粗度を算定する。まず未知数を減らすため、ゼロ面変位 $d_0 = C_0 z_0$ と定式化し式 (1) 左式を書き換えると、

$$V = a \left[\ln(z - C_0 z_0) - \psi_m \left(\frac{z - C_0 z_0}{L} \right) \right] + b \quad (2)$$

ここで、 $a = u_*/k$ 、 $b = -u_* \ln z_0$ である。観測点付近の地形の解析から $C_0 = 20$ とする。 $L(H$ と u_*) および z_0 の初期値を与えると、式 (2) による線形相関から新たな (u_*, z_0) の組が求まり、繰り返し計算を行う事によって、最終的な (u_*, z_0) を得る。

上記の回帰計算を行うにあたって、風速プロファイルの内、どの高さの範囲の計測値 $(z, V(z))$ を用いるかを決定する必要がある。これは、地上約 200m までのすべり軸との交点が粗度に相当する。と、b) 観測点付近の最大樹高である 10m 以下の計測は含まない、c) 合理的な範囲の粗度 (0.2–2m) が算定されること、d) 最大の r (相関係数) が得られること、の条件を満たす 3 点以上のできるだけ広い高さの範囲をそれぞれのプロファイルに対して決定した。このような過程を経て、広域を代表する粗度として $z_0 = 0.64\text{m}$ ($d_0 = 12.8\text{m}$) とした。図 1 は解析の一例である。



キーワード：広域蒸発散量, 大気-陸面相互作用, 大気境界層, モニン=オブコフ相似則, blending height
〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学環境建設系 Tel:0258-47-9674

ii) 広域摩擦速度の算定 粗度 z_0 と d_0 が求まると、式 (1) 左式からより確実な値としての u_* を求めることができる。すなわち、

$$V = a' \left[\ln \left(\frac{z - d_0}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z - d_0}{L} \right) \right] \quad (3)$$

として、原点を通る直線回帰を行い、 $a' = u_*/k$ より u_* を求める。

iii) 広域蒸発散量の算定 式 (1) 右式を書き換えると、

$$q = c \left[\ln(z - d_0) - \psi_v \left(\frac{z - d_0}{L} \right) \right] + d \quad (4)$$

ここで $c = -E/(ku_*\rho)$ および $d = q_r - a[\ln(z_r - d_0) - \psi_v((z_r - d_0)/L)]$ であり、比湿のプロファイル $(z, q(z))$ に線形相関を適用することにより c, d が得られ、ii) によって求められた u_* を用いて E を求める。

ここでも i) と同様に、どの高さ範囲の $(z, q(z))$ を相関に用いるかを事前に決定する必要があるが、これはすべての組み合わせの中から、a) 明らかな不連続を含まないこと、b) i) での風速の相関に用いた高さの範囲内であること、c) 算定される蒸発散量が正(上向き)でかつ正味放射よりも小さいこと、の3条件を満たす3点以上のできるだけ広い高さの範囲を、それぞれのプロファイルに対して決定した。図2は、比湿プロファイルの解析の一例である。

4. 考察

図3によれば、4つの地上での熱収支観測点で観測された蒸発散量のうち、ラジオゾンデ打ち上げ地点の南西約12kmに位置するMS003が、ラジオゾンデによる蒸発散量と最も良い一致が得られた。一方、ラジオゾンデの打ち上げ地点の近傍にあるMS002は、MS003程良い一致は示さなかった。観測期間中の主風向が南西であったことを考慮すると、ラジオゾンデにより観測された接地層内の鉛直プロファイルは、風上側の約10¹kmの地表面の特性を反映していると考えられる。

また、相関解析に用いた観測値の高さの範囲は、式(1)が成立する範囲、すなわち接地層の範囲であり、特にその下端は blending height と考えられる。今回の解析では、風速については、 $37.0(\pm 21.9)\text{m} \leq z \leq 162.1(\pm 60.5)\text{m}$ (かつこ内は標準偏差)、比湿に関しては $58.1(\pm 28.1)\text{m} \leq z \leq 126.0(\pm 53.0)\text{m}$ が得られた。これらを z_0 で無次元化し、既往の研究と比較したのが表1であるが、ばらつきはあるもののオーダーとしては一致を見ている。

なお、Washita'92に関する情報は

<http://hydrolab.arsusda.gov/washita92/wash92.htm> より得られる。

本研究の一部は文部省科学研究費(奨励研究、課題番号10750386)の援助を受けた

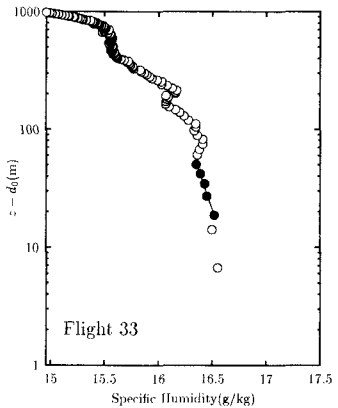


図2: 比湿プロファイルの解析の例 (Flight33)。曲線は黒丸のデータによる式(1)右式への当てはめを示す。

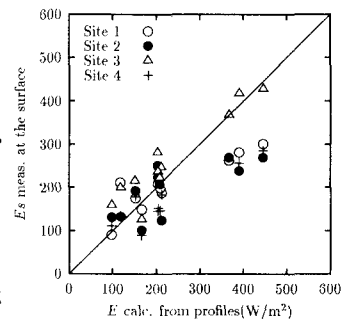


図3: ラジオゾンデプロファイルによる蒸発散量(横軸)と地上観測による蒸発散量の比較(縦軸)。

表1: 既往の研究での地表面粗度と風速に対する接地層範囲(かつこ内は標準偏差)

研究	地表面状況	粗度 z_0 , m	ゼロ面変位 d_0 , m	接地層範囲 $(z - d_0)/z_0$	同上限 $(z - d_0)/h_i$
HAPEX-Mobilhy(France) ^a	平坦な松林	1.2 (±0.4)	6.0 (±2.0)	67 (±18) - 128 (±32)	0.33 (±0.18)
FIFE(Kansas, USA) ^b	丘陵地帯	1.05 (±0.51)	26.9 (±12.4)	48 (±18) - 192 (±96)	0.36 (±0.26)
Tsukuba'92(筑波, 日本) ^c	平坦で複雑な土地被覆	0.98 (±0.08)	6.7 (±2.6)	18 (±5) - 91 (±13)	
Washita'92(Oklahoma, USA)	なだらかな丘陵	0.64 (±0.44)	12.8 (±8.8)	35 (±28) - 253 (±154)	0.17 (±0.14)

文献: ^a Parlange and Brutsaert (1989); ^b Sugita and Brutsaert (1990); ^c Hiyama et al. (1996)

参考文献

- Bünzli D. and Schmid H.P. (1998): J. Atmos. Sci., **55**(6), pp. 961-972
 Hiyama T., Sugita M. and Kotoda K. (1996): J. Appl. Meteorol., **35**(12), pp. 336-347
 Jackson T.J. and Schiebe F.R. (1993): Technical Report NAWQL 93-1, National Agricultural Water Quality Lab., U.S. Dept. of Agri., Agri. Res. Serv., Durant, Oklahoma
 Kustas W., Stannard D. and Allwine K. (1996): Agricultural and Forest Meteorology, **82**, pp. 171-193
 Parlange M.B. and Brutsaert W. (1989): Boundary-Layer Meteorol., **48**, pp. 69-81
 Sugita M. and Brutsaert W. (1990): J. Geophys. Res., **95**(D6), pp. 7617-7624