

# 放射収支量, 風速および粗度定数を用いた Monin-Obukhov の長さの近似\*

安 達 隆 史\*\*

## 要 旨

接地境界層における大気環境の諸問題を解析する際に, 従来までに得られている, 境界層理論や経験式と過去の通年気象観測データ等を有効に活用する目的で, 通年観測が比較的容易である放射収支量と風速と粗度定数を組み合わせて, 大気の安定度パラメータである Monin-Obukhov の長さを近似できる次のような実験式を作成し理論的にも検討した。

$$(1) \text{ 安定状態: } L = 1.66 \times 10^4 u_*^3 n / (-R_n)^{1.5}$$

$$(2) \text{ 不安定状態: } -L = 1.3 \times 10^5 u_*^3 n / (R_n)^{1.5}$$

ただし, 両式ともある程度の誤差を許容すれば適用範囲は,  $1 < |L| < 400\text{m}$  である。

$L$ : Monin-Obukhov の長さ (m)  $R_n$ : 放射収支量 ( $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) (下向のフラックスを正とした。)  $u_* n$ :  $ku / \ln(z/z_0)$  (m/s)  $z_0$ : 粗度定数 (m)  $z$ : 高さ (m)  $u$ : 高さ  $z$  での風速 (m/s)  $k$ : カルマン定数 ( $=0.41$ )

## 1. 序 論

接地気層の研究において, 大気の安定度として Monin-Obukhov の長さが用いられることが多いが, これを得るためには, 超音波風速温度計等を用いて運動量や熱のフラックスを直接測定するか, あるいは数個の風速計と温度計を用いて風速と気温の鉛直勾配を測定して, 間接的に計算しなければならない。しかし, そのような観測を精度良く通年にわたって実施することは, 経費その他の理由で現時点では困難であると思われるので, 通年観測が比較的容易である放射収支量と風速を組み合わせて安定度パラメータを得る方法が考えられ, それに関連して, 安達 (1977), 千秋ら (1971, 1977), 川崎 (1977), 文字ら (1977), 水野ら (1978) の研究がある。

これらの研究では, 観測点を固定して安定度を相対的に表現するパラメータを見出しているが, 風速計の高さや粗度定数が異なる場合にも通用する式を決定するに至っていないので, その点を改良するために, 著者は, 風速の代わりに摩擦速度の近似値を使用したところ異なる観測点のデータでもひとつの式で表現することができた。ただし, ここで使用した摩擦速度の近似値というのは,

風速と高さや粗度定数を与えて風速の対数分布を仮定した時に得られるものであって, もし観測時点の安定度が中立状態でない時は真の摩擦速度の値とは異なるものであるが, 実験定数を導入することにより結果的に修正した。

なお, 本研究で使用したデータは Wangara と O'Neill の観測データブックによるものである。

## 2. 実験式

地上約10mの高さでの熱収支を考えると次のようになる。

$$H = R_n - LE \quad (1)$$

ここで,  $R_n$  は放射収支量,  $H$  は顕熱フラックスで,  $LE$  は潜熱フラックスである。そして, 気温 ( $T$ ) の変化が及ぼす影響は10%程度であるので無視すると Monin-Obukhov の長さ ( $L$ ) は次のように書ける。

$$\frac{1}{L} \propto \frac{H}{u_*^3} = \frac{H}{\{ku / (\ln(z/z_0) + \phi)\}^3} \quad (2)$$

$$= \frac{(R_n - LE)(\ln(z/z_0) + \phi)^3}{k^3 u_*^3} \quad (3)$$

ここで,  $\phi$  は風速鉛直分布における安定度効果を示す項である。(3)式において次のような近似を仮定して,

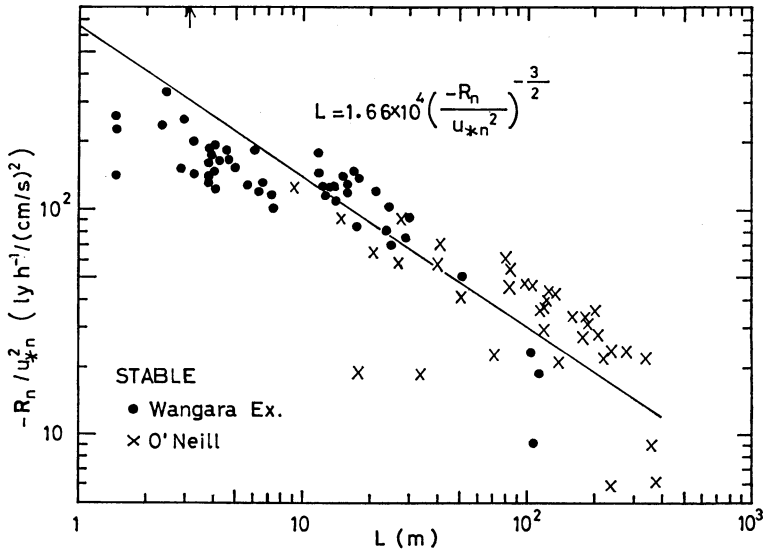
$$(R_n - LE)(\ln(z/z_0) + \phi)^3 \propto R_n^b (\ln(z/z_0))^3 \quad (4)$$

$b$  という定数を導入すると  $L$  は次のように書ける。

$$L = a \frac{u_*^3 n^3}{R_n^b} \quad (5)$$

\* Approximation of Monin-Obukhov length by means of Net Radiation, Wind Velocity and Roughness parameters.

\*\* T. Adachi, 日本気象協会・研究所  
—1978年5月23日 受領—  
—1978年8月5日 受理—

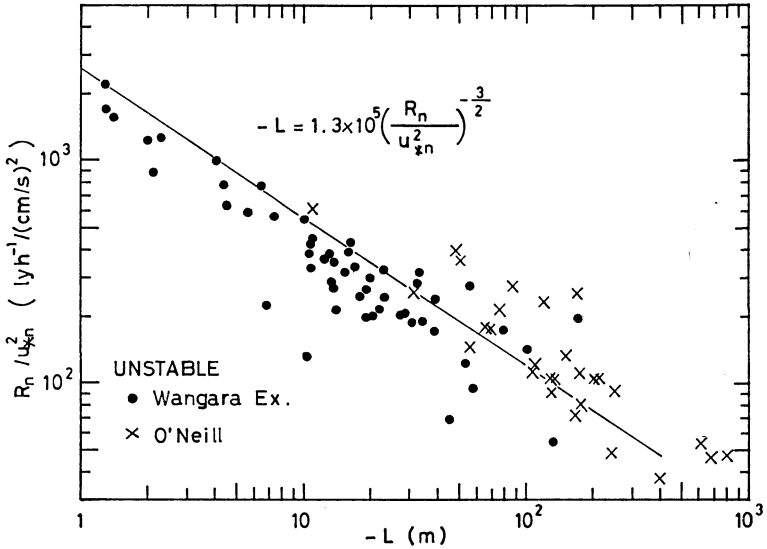


第1図 実測データと実験式 (安定状態)

$L$  : Monin-Obukhov length

$R_n$  : Net Radiation

$u_{*n} = ku / \ln(z/z_0)$



第2図 実測データと実験式 (不安定状態)

$L$  : Monin-Obukhov length

$R_n$  : Net Radiation

$u_{*n} = ku / \ln(z/z_0)$

ただし,  $a$  と  $b$  は実測値から決定する定数で,  $u_{*n}$  は次式で定義する.

$$u_{*n} = ku / \ln(z/z_0) \quad (6)$$

( $k=0.41$ )

すなわち, 定数  $a$ ,  $b$  には  $\phi$  や  $IE$  等を見捨てたため影響が含まれることになる.

### 3. 実測データ

解析に使用した実測データの一つは O'Neill で測定されたもので, Lettau *et al.* (1957) が作成したデータブックによる. この場合に, 風速は 8 m 高の値を使用し粗度定数は約 0.8 cm であり, 8 m 高のリチャードソン数が既に得られているので, 次式 (たとえば Golder, 1972) により Monin-Obukhov の長さを計算した.

$$\text{安定状態: } \frac{z}{L} = \frac{R_i}{1-4.7R_i} \quad (7)$$

$$\text{不安定状態: } \frac{z}{L} = R_i \quad (8)$$

そして, 放射収支量は 2 台の Gier and Dunkle radiometer を用いて測定しており, これらの sampling duration はいずれも表示した時刻を中心とした 1 時間である.

もう一つのデータは, Wangara Ex. のもので, Clarke *et al.* (1971) が作成したデータブックとそのデータを利用して Yamada (1976) が計算した Monin-Obukhov の長さを使用した. そして, 放射収支量の測定には, Funk radiometer が使用されており, 風速は 16 m 高のものを解析に使用し, 粗度定数は約 0.12 cm であり, sampling duration は 30 分である.

これらの実測データを安定状態と不安定状態に分けてプロットしたのが第 1 図と第 2 図である. これらを見ると, 観測地点と高さが異なるデータであるにもかかわらず, 次式

$$|L| \propto \left( \frac{|R_n|}{u_{*n}^2} \right)^{-3/2} \quad (9)$$

の関係がおおよそ  $1 < |L| < 400 \text{ m}$  の範囲で成立することが明瞭であるので, データに平均的に一致するように (5) 式の定数  $a$ ,  $b$  を決定して書き直すと次のようになる.

$$\text{安定状態: } L = 1.66 \times 10^4 \frac{u_{*n}^3}{R_n^{1.5}} \quad (10)$$

$$\text{不安定状態: } -L = 1.3 \times 10^5 \frac{u_{*n}^3}{R_n^{1.5}} \quad (11)$$

これらの式中の文字の単位は,  $L$  (m),  $u_{*n}$  (m/s),  $R_n$  (ly/h) である.

### 4. 結語

環境アセスメントにおいて, これまでに得られている

境界層に関する研究成果を活用することを考えたが, 接地気層の理論式や経験式の中には, Monin-Obukhov の長さがパラメータとして用いられていることが多く, 一方では, 環境アセスメントに関する従来のほとんどの通年または季節別気象観測では, Monin-Obukhov の長さは得られていなかった. そのために, 理論式や経験式を即座に利用できない不便があった.

この不便を (10) (11) 式を利用することによりある程度は解消できるであろう. しかし, これらの実験式は平坦な草原における観測データをもとにしていることに留意する必要がある.

### 謝辞

当研究に際し, Wangara Ex. のデータブックの入手に便宜をはかって下さった日本気象協会研究所長の 大田正次博士と, 有益な助言をいただいた, 東北大学理学部の近藤純正助教授, 気象研究所の安田延寿博士, 通産省公害資源研究所の林正康氏, 高知大学理学部の千葉修氏に感謝いたします.

### 文献

- 安達隆史, 1977: 放射収支量と風速の中乗の比とモーン・オブコフ長との関係, 1977年春季大会講演予稿集, 日本気象学会, 33.
- Clarke, R.H., A.J. Dyer, R.R. Brook, D.G. Reid and A.J. Troup, 1971: The Wangara experiment: Boundary layer data, Tech. paper, 19, Div. Met. Phys. CSIRO, Australia.
- Golder, D., 1972: Relations among Stability Parameters in the Surface Layer, Boundary-Layer Meteorology, 3, 47-58.
- 川崎秀行, 1977: パスキル安定度分類について, 1977年秋季大会講演予稿集, 日本気象学会.
- Lettau, H. H. and Davidson, B., 1957: Exploring the Atmosphere's First Mile, 1, Pergamon Press, Inc., N.Y., 376 pp.; 2, 202 pp.
- 水野建樹, 林 正康, 1978: 風向変幅の推定方法について (その 1), 公害, 13, 31-39.
- 文字信貴, 伊藤昭三, 水間満郎, 1977: 顕熱輸送について, 1977年春季大会講演予稿集, 日本気象学会, 32.
- 千秋銘夫, 西宮 昌, 赤井幸夫, 1971: 地表付近の気温の銘直分布と Pasquill 安定度との関係について, 電力中央研究所技術第一研究所報告, 71048.
- 千秋銘夫, 西宮 昌, 1977: Pasquill 安定度について, 1977年春季大会講演予稿集, 日本気象学会, 35.
- Yamada, T., 1976: On the Similarity Functions A, B and C of the Planetary Boundary Layer, J. Atmos. Sciences, 33, 781-793.