移動プローブによる地表面付近の 気象要素のプロファイルの測定

文字信貴・鱧谷 憲・小元敬男

(大阪府立大学農学部)

Profile Measurements of Meteorological Elements using a Moving Probe

Nobutaka MONJI, Ken HAMOTANI and Yukio OMOTO

(College of Agriculture, University of Osaka Prefecture,)
Sakai 591, Japan

1. はじめに

風速、温度、湿度の鉛直プロファイルの測定には複数の計測器を配置して行う場合と、1組の計測器を移動させて行う場合とがある。前者はポールや鉄塔のいくつかの高度に同種類のセンサーを配置して一定時間の平均値からプロファイルを求める方法であり、微気象観測において一般的に用いられている。この方法では各高度に設置する測器の間の器差を正確に知るための精密な検定が必要である。ところが、たとえば乾湿計の湿球のように、センサー間の特性を高い精度で一致させる事が容易ではない場合がある。また多数配置すると測器のどれかが故障する事があつたりするため、どこかの高度に疑わしい値が生じる事はしばしば経験するところである。平坦な裸地上など単純な地形上の測定であればよいが、複雑な地形上や、群落内などの測定の場合にはデータの質についての判断が困難なことが多い。

この様な器差の問題を解決する方法として移動観測法がある。この場合は器差に伴う誤差は生じないが、ある時刻には1箇所の測定しか行っていないので状態の変化に伴う誤差が発生する。この誤差を最小限にするためには上下移動を多数回繰り返して行う必要があることは当然であるが、変動の状況によってはそれだけでは不十分な場合がある。すなわち、基準となるべき定点を設けて変動を連続記録しておいて、それに基づいて補正する必要

が生じる。ただし、変動の状態は場所によって異なるため単純に基準点の変動を加算するだけでは一般には充分とはいえない。以下に合理的と思われる補正法を紹介し、その方法が地表面近くのプロファイル観測においてどの程度有効であるのかについて検討する。

2. 移動法とその補正

ここで用いた移動法は、移動プラットフォームがある一定の時間間隔で、あらかじめ決められた各高度で一定時間ずつ停止して測定を行うものである。図1に4高度を n 回繰り返して測定する場合のプラットフォームの移動とサンプリングの順序を示す。1つのサイクルは最上点から始まり、順次降下して最下点での測定を終えると最上点へ戻る。そしてこのサイクルによる測定が繰り返されるものである。基準となる連続観測点は観測高度のどれかに一致させるように設ける必要があるが、どの高度を選ぶかは任意であり、その時の状況に応じて決めることができる。

ある高度の風速、温度または湿度の補正は次の式を用いて行う。

$$X_c = X_s - \frac{\sigma_X}{\sigma_Y} \cdot (Y_s - Y)$$

ここで、 X_c はある高度の補正後の風速、温度または湿度の値、 X_s はその高度における移動観測による観測値(図1の高さ z_1 の場合、 $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$)の平均値、 σ_X はその高度における移動観測の各観測値(同じく $X_{11},$

図1 1つのプロファイルを得るためのプラットホームの移動とサンプリングの順序を示すダイアグラム

添え字の1番目は高さを、2番目は何番目のサイクルかを意味する

$X_{12}, \dots, X_{1n}$ の標準偏差, σ_Y はそれと同時刻の基準観測点の各観測値 ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}$) の標準偏差, Y_s は同時刻の基準観測点の観測値 (同じく, $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}$) の平均値, Y は基準観測点の全観測値 ($Y_{11}, Y_{21}, Y_{31}, Y_{41}, Y_{12}, \dots, Y_{4n}$) の平均値である。標準偏差の比を用いる理由は、基準としている高度における変動の大きさが、求めたい高度における変動の大きさと一致しないために生じる誤差の補正を行うためである。またこの方法は基準点の測器の検定値が移動点のものと異なっても結果には影響しないという利点をもつ。この補正法は Paulson (1967) によって海洋上のプロファイルのブイによる観測に用いられたものである。この方法の接地層観測への適用について以下に述べる。

3. 地表面付近のプロファイル測定への応用

一般に接地層の観測において、平均値を求めるための観測時間は10分から1時間の間に取られるのが普通である。移動測定を適用する場合、移動プラットホームはその観測時間内に少なくとも3回程度以上は各観測点でのサンプリングを行わなければならないから、観測時間もそれを可能とするだけ長くなければならない。また、測定高度の数については、接地層では、目的によっても異なるが、最低3高度は必要であると考えられる。これらの点などを考慮すると、1つのプロファイルデータを得るのに30分程度の時間は必要となる。

ここに示す測定では高さを2.5, 8.0, 20.0, 50.0 cm という地表面に近接した4高度にとり、1高度の1回の観測時間(図1の1つの X_{ij} , Y_{ij} を得る時間)は90秒とした。ただしこれには装置の都合で移動に要する時間(最も長い区間では24秒, 最も短い区間で2秒)が含まれている。1つのプロファイルデータの長さは、移動プラット

ホームが5回ずつ各高度の測定を行う長さ、すなわち30分間とした。直径1.8 cm, ピッチ0.4 cmのスクリュ軸を鉛直に設置し、長さ2 cmの軸受けを組み合わせてプラットホームを移動させた。スクリュ軸の回転はバルスモーターを用いて駆動し、その制御はマイコンによった。風速の測定には熱線風速計 (KANOMAX Model 6071), 乾湿球温度の測定には直径0.1 mmの銅・コンスタンタン熱電対を無通風で用い、その出力は遮断周波数0.1 Hzのフィルターで平滑化したものを収録した。基準点である50 cmの高さには同一のセンサーを1組、約30 cm離して設置した。測定は比較的滑らかな裸地上で1988年10月14日から15日にかけての快晴日に連続24時間行った。風速は50 cmの高さで昼間は約1.4 m/s, 夜間は0.3 m/s程度であった。風速分布の解析から得られる粗度長は0.058 cmであった。この実験地は、この時の風上約100 mにわたって平坦であるが、粗度には少し変化があり、一様性が保証されるのは測定ボールの周辺直径約30 mの範囲である。この場合、最大測定高さ50 cmは一様な平面上の内部境界層の中に入っているものと推定される。

風速、温度、比湿のプロファイルの補正前と補正後の比較とをそれぞれ図2, 図3, 図4に示す。一つの測定時間は30分間であり測定は連続して行ったが、これらの図には約2時間に1つの間隔で抜粋したものを示した。

これらの測定は非常に地面に近い所で行われており、従って対数法則に極めて近いプロファイルが得られることが予想される点を考慮すれば、補正の効果は顕著に現れており、一部を除いてほぼ満足できる結果が得られているといえる。これらの図から、風速の移動式観測は補正無しでは正しいプロファイルが得られないが、温度、湿度については補正無しでもプロファイルの概要を知るには不

図2 移動法による土壌表面近くの風速のプロフィル
実線は補正後の、破線は補正前のものを示す

図3 図2と同じ。ただし、気温のプロフィル

図4 図2と同じ。ただし、比湿のプロフィル

都合はない程度であるように見える。どのプロフィルも昼間は誤差が大きいが夜間から早朝にかけては極めて小さな誤差を示すのみとなっている。

補正後の値を正しい値と仮定して、補正を行わない場合にどの程度の RMS 誤差が生じるかを計算してみた。それによると、1 日分の 48 個のプロフィルについて風速は 9.4 cm/s (最上と最下の風速差の 46%)、温度は 0.11°C (同じく 27%) 比湿は 0.07 g/kg (同じく 11%) で

ある。これらは全高度の平均値を示したものであるが、高さ方向には上層の誤差が大きかった。括弧内の値は RMS 誤差を上下の値の差で割った値であり、これらの値はプロフィルから傾度法を用いて輸送量を求めるときの誤差となって現れる。すなわち、補正を行わない場合には摩擦速度については 50% 程度の誤差が、顕熱および潜熱輸送量の計算においては、温湿度の誤差に風速の誤差が加算されるので 60% を越える誤差が発生するこ

となる。ここに示したのはあくまで一つの例であり、これらの誤差を全ての種類のプロファイル観測に当てはめる事はできない。誤差の大きさはその観測の高さ、地表の状態などに応じて変化する。

4. おわりに

移動式のプロファイル観測を接地層内の風速、温度、湿度に適用する場合の補正について実測に基づいた検討を行った。その結果として、風速については基準点を設けて補正を行う必要があること、温度と湿度についても補正により精度の向上が見られるが、その効果は比較的少ないことを示した。ここで述べたのは、地表面のごく近傍の測定についての結果であるが、さらに高い高度における観測では大きな渦に伴う変動が含まれるため誤差の大きさもこの実験結果とは異なるものになると考えられる。すなわち現象の時間スケールに応じてプラットフォームの1高度における観測時間は異なることが考えられ、最適のサンプリングの決定は今後の課題として残る。安

定度については、より安定なほど補正はより小さなものとなることが予想される。また、植物群落においては変動が大きい層が裸地上と異なる位置に来ると考えられるので、裸地上で無視できた補正が重要となる可能性がある。

この補正法は、接地層のプロファイルのみでなく、その他の移動観測、例えば係留気球による境界層観測、都市のヒートアイランドの車や徒歩による水平方向の移動観測などにも原理的には適用可能である。すなわち、基準観測点を設けて時間補正を行う必要がある場合などに利用することができ、特に連続して繰り返し測定ができる時は高い精度が期待できるものと考えられる。

引用文献

Paulson, C. A., 1967: Profiles of wind, temperature and humidity over the sea. *Ph. D. Thesis, Univ. of Washington, Seattle, Washington*, 128 pp.