

気象データから地温を推定する際における 風速ベクトルの扱いについて (その 1)

How wind velocity vector should be taken into account in estimating soil temperature from meteorological data (Part 1)

○原 道宏*

○Michihiro Hara*

*岩手大学名誉教授 (元岩手大学農学部教授)・計測自動制御学会永年会員

*Professor Emeritus, Iwate University

キーワード： 地温 (soil temperature), 気象データ (meteorological data),
フーリエ級数解析 (Fourier series analysis), 風速・風向 (wind speed and wind direction),
熱伝達・伝導・移流・放射 (heat transfer, conduction, advection and radiation)

連絡先： 〒020-0111 盛岡市黒石野 1-32-11 原 道宏,
Tel & Fax: (019)662-8046, E-mail: mrhara2000@yahoo.co.jp

1. はじめに

はじめに申し上げるべきことは、本論文の論旨は「予報 (prediction)」ではなく「推定 (estimation)」だということです。すなわち、「将来の」ではなく「過去の」計測データにおける推論であるということです。

さて、ご承知のように、気温、湿度、日照、雲量、降水、風速・風向、積雪などの地上気象量は世界中の各所で定時に観測されているのに対し、地温や地中水分量などの地象量の定時観測例はきわめてわずかです。

しかるに、作物、樹木、地中に 7 年間も生き続けるセミ (蟬) の幼虫などの昆虫をはじめとする動物・植物・きのこなどの生きもの

は、その生育の基礎の、半分を気象に、半分を地象に頼っています。

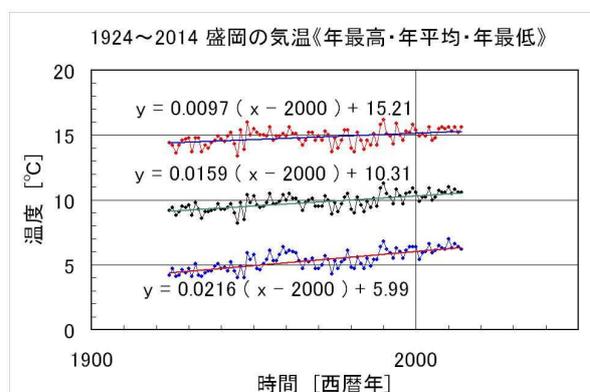


Fig. 1 盛岡の過去 90 年間の気温の
年最高値・年平均値・年最低値

上述のような計測データ取得体制における極端なアンバランスは、盛岡を例にとれば、少なくともこの90年間、今日に至るまで続いています。その気象観測データは、たとえば Fig.1⁴⁾ などのように地球の気温変化の測定例として提供することが可能でありましょう。ただし、その間の地温の推移を示すデータは、それを観測していないため、提示することができません。

しかし、たとえば、オーストラリアのシドニーにおいては深さ12メートルの地温計測データの数値が、過去ずっと一定不変であったのが、数年前から徐々に上昇し始めたという報告です (Knight, 20WCSS)。

さいわい、岩手には、かつて、日本専売公社 (現 JT) 盛岡たばこ試験場が盛岡市緑が丘二丁目にあり、全国のタバコ植物の生育を比較するためのバックグラウンドデータとして、1980年代の数間にわたり、全国の試験場に先駆けて、地上・地下の自然環境 (= 気象及び地象) データを30分間隔で自動計測していました。観測項目における気象庁盛岡地方气象台との決定的な相違は、日本専売公社盛岡たばこ試験場が地温をも含めた地象・気象の全般を観測していたことです。

本論文は、過去に SICE (計測自動制御学会) 東北支部研究集会で発表した同趣旨の論文をなぞり、さらに、風速ベクトルをどのように扱うべきかを論ずるものです。本論文の論旨はつぎの3つからなります。(1)積雪の影響、(2)年変化と日変化、(3)風速の影響。

2. 地温への積雪の影響について

盛岡には、毎冬、約2ヶ月ないし4ヶ月の積雪期間があります。たとえば、Fig.2 は1982年暮の根雪から翌年春の雪解けにかけ

ての約90日間の毎日の気温と地温の推移を示すものです。この Fig.2 に示されるように、気温がどのように変化しようとも、地温はびくともせず、地温がただたんたと低温に向かって単調減少していることがわかります。ただし、地表の温度 (淡青色のドット) はほぼ終始0°C (= 水氷の融点) 付近の一定温度で経過しているのがわかります。しかし、雪が融けると、Fig.3 のように、地表温度が気温など地上気象に誘われるかたちで変化し始めるすがたが見てとれます。

なお、ここには日射量など他の気象データ

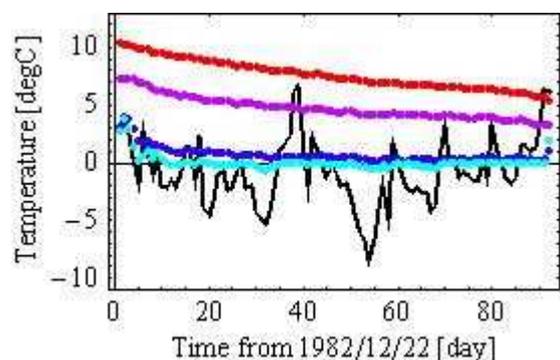


Fig. 2 積雪期の気温と地温の日平均値の例 (1982年12月22日からの推移)

黒線=気温, 以下は地温測定点の深さ: 淡青色=0.00m (地表面)、青色=0.10m、紫色=0.40m、赤色=1.00m.

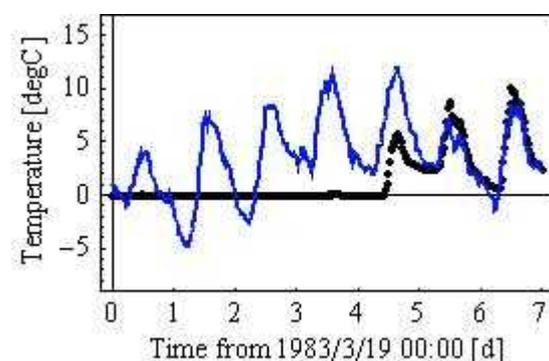


Fig. 3 雪解け直前・直後の気温と地温の例 (1983年春の7日間の30分間ごとの値)

青色線=気温, 黒点=地表面温度.

を示しませんが、それらが積雪期間中に地温に与える影響もほとんどありません。また、他年のデータもここに示しませんが、積雪期間中の地温の推移は、日数の長短こそあれ、毎冬大同小異です。

3. 地温の年変化について

盛岡のような積雪期を有する地域についての地温の解析は、解析どころか観測すらもですが、ほとんどなされていません。データがあるにもかかわらず解析が進んでいない理由の一つは積雪の影響をどのように解釈し、そしてそれをどう扱うべきなのかが不明であったからであろうと考えられます¹⁾。

筆者は、気象因子はつぎのように「トリミング」することにより、この難題を乗り越えようと思います。トリミングとは、**Fig. 4**のように、積雪期間中における気象量の最も尤らしい一定値に加工することです。

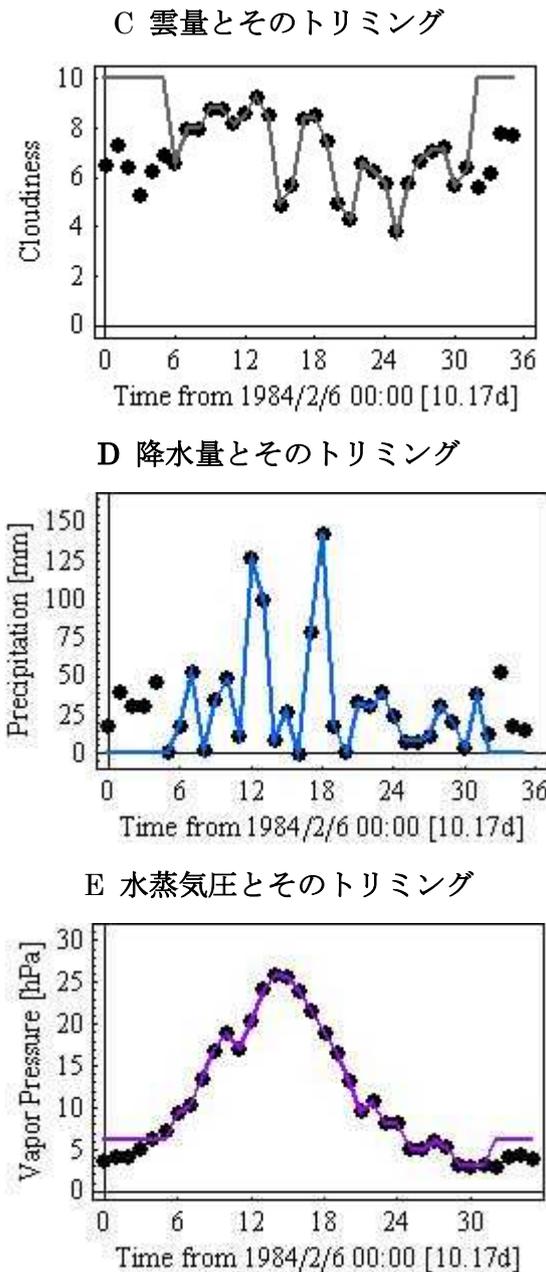
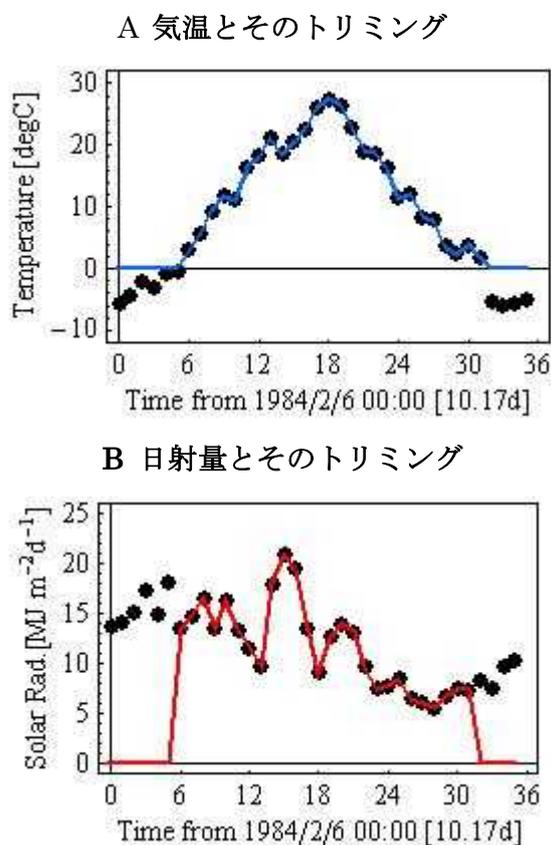


Fig. 4 1984年2月1日からの各旬(10日、10日、9日ないし11日)における気温(A)、日射量(B)、雲量(C)、降水量(D)、および水蒸気圧(E)の平均値(ドット)およびそれらのトリミング値(折れ線)。

トリミングの数値は本文に記載。

トリミング加工することの根拠は、第2章に述べたように、積雪期間中は、地上の気温、日射、雲量、降水量、水蒸気圧は、地表温度に対して、なんの影響力も持たないか

らです。それら無力な気象因子の、積雪期における最も尤もらしい値は、気温 0°C、日射量 0、雲量 10、降水量 0、水蒸気圧 6.1hPa(=0°Cの飽和水蒸気圧³⁾)です。それらを Fig.4 の折れ線に示しました。さて、上記のようにトリミング加工が施された5個の地上気象値を基にしてフーリエ級数展開方式により得られる地表面温度はいかかなものなのでしょうか？ その解が Fig.5 の折れ線(赤色)です。そして、その測定値が同図のドット(黒色)です。

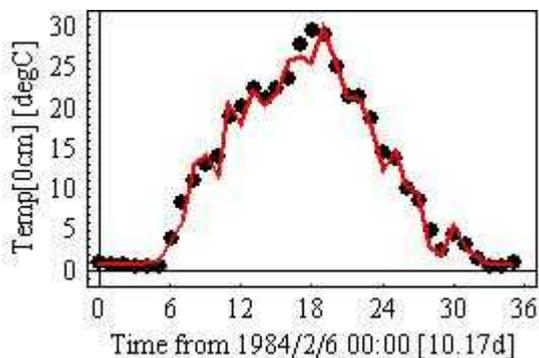


Fig. 5 1984年2月1日からの各旬の地表面温度の測定値(ドット)と推定値(直線)

3.1 地温年変化の推定

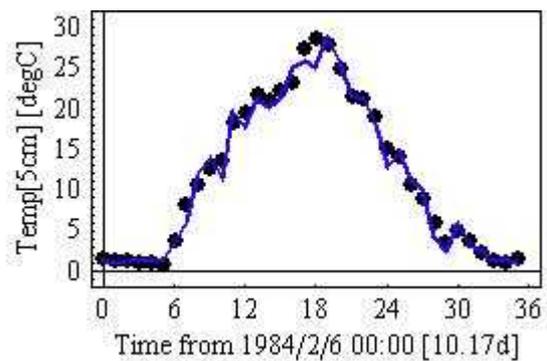
地表面温度が分かったので深さ x 、時刻 t における地中温度 $\theta(x,t)$ を Fig.5 の赤色実線を基に Eq.(1)²⁾ により計算しその結果を Fig.6 の青色実線で、また、測定値を黒点で示します。

$$\theta(x,t) = A(\omega) \cdot \exp(-kx) \cdot \sin(\omega t + \varepsilon - kx) \quad (1)$$

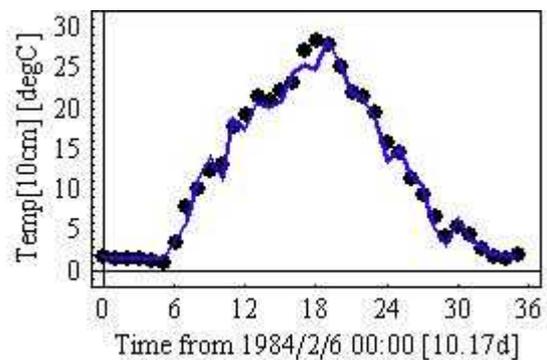
$A(\omega)$ =地表面($x=0$)における温度の振幅[°C],
 $k = \sqrt{(\omega/(2\kappa))}$, $\omega = 2\pi/T$, T =周期[s],
 κ =温度伝導率=熱拡散係数[m²/s],
 x =深さ[m], t =時間[s], ε =位相[rad]

温度伝導率 κ の盛岡における 1981~1984年の平均値は、181.3cm²/day = 2.10×10^{-7} m² s⁻¹です。

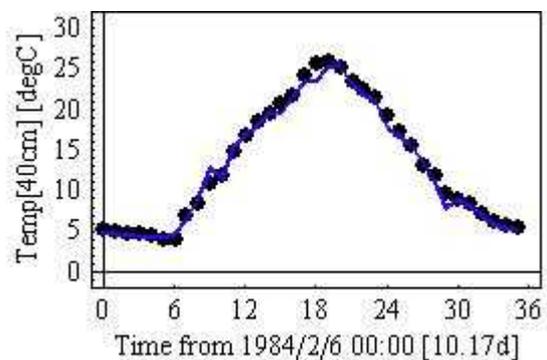
F 深さ 0.05m の地温



G 深さ 0.10m の地温



H 深さ 0.40m の地温



I 深さ 1.00m の地温

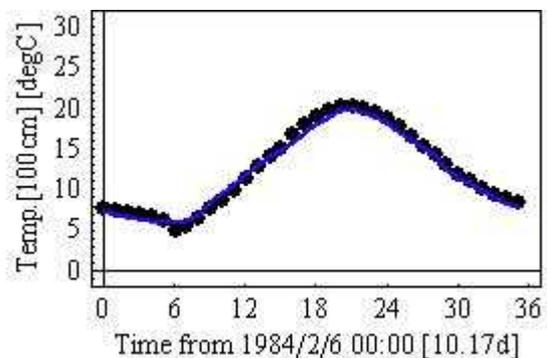


Fig.6 各深さにおける1984年2月1日からの旬平均地温の測定値と推定値。

4. 地表面温度の日変化について

つぎに地表面温度の日変化についてです。地温の日変化についても多くの関心が寄せられています^{5), 6), 7), 8)}。

第3章に示した年変化の推定手順を日変化の推定手順に同様に適用して得られた計算結果の例を測定値と共に、Fig.7~10に示します。ただし、この例に選んだ日は快晴ないしそれに極めて近い、降水の無い日々です。論文のページ数の関係で同年(1984年)の4, 6, 8, 11月の例のみを示しました。

Fig.7~10においては、いずれも、

上図： 測定値。

気温(紫色折れ線)、
地表面温度(黒色折れ線)、および
日射量(赤色折れ線)、

中図： 地表面温度。

測定値(黒色折れ線)、および、
本方法による推定値(赤色折れ線)、

下図： 温度測定値の統計量。

0, 5, 10, 40, 100cmの各深さにおける
日最低値(淡青色)、
日平均値(黒色)、
日最高値(赤色)、

です。

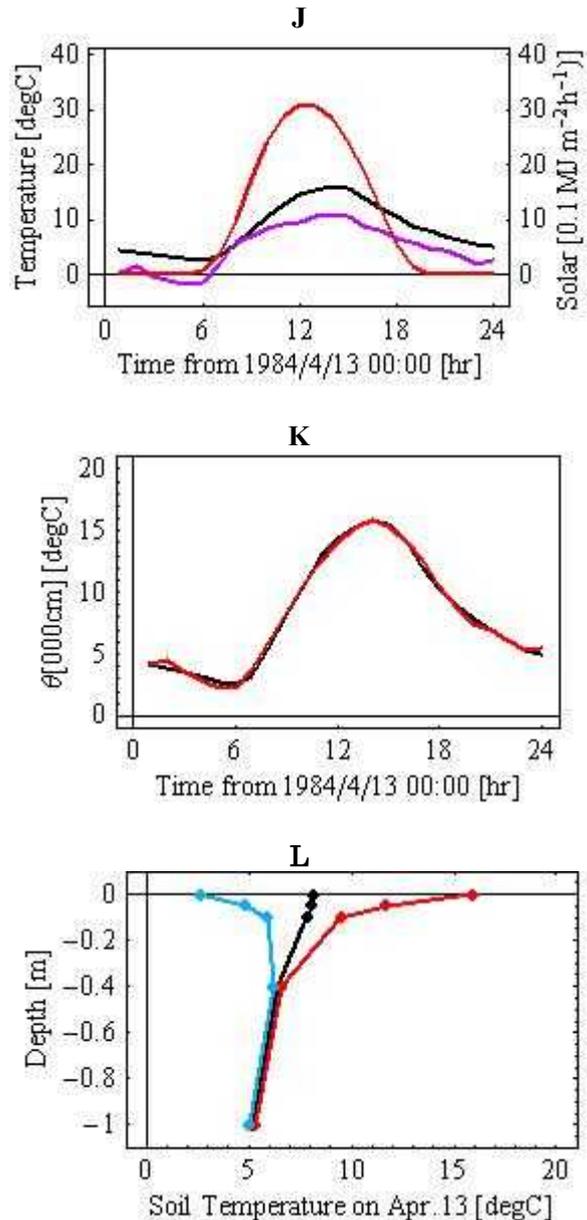


Fig.7 1984年4月13日の温度と日射量の毎1時間平均値

- J: 測定値。気温(紫色折れ線)、地表面温度(黒色折れ線)、日射量(赤色折れ線)
- K: 地表面温度の測定値(黒色折れ線)と本方法による推定値(赤色折れ線)。
- L: 当日の地温(深さ0, 5, 10, 40, 100 cm)の各深さにおける最低値(淡青色)、平均値(黒色)、最高値(赤色)。

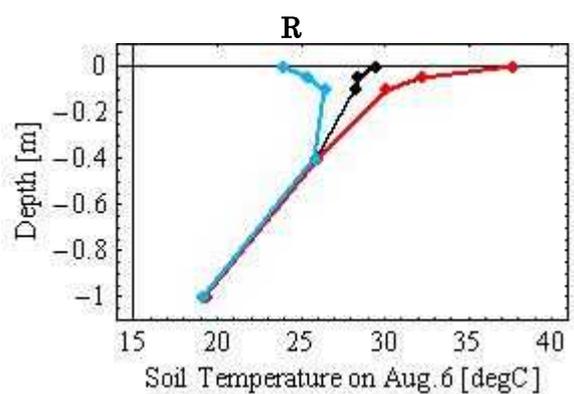
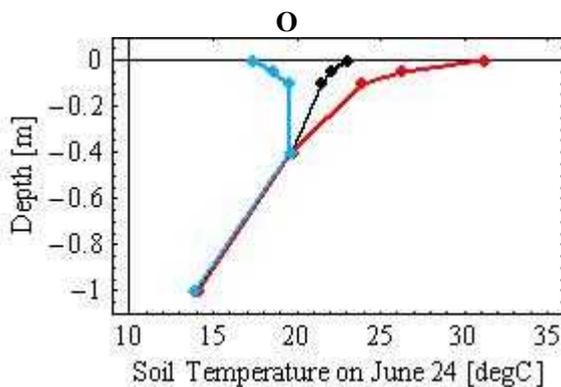
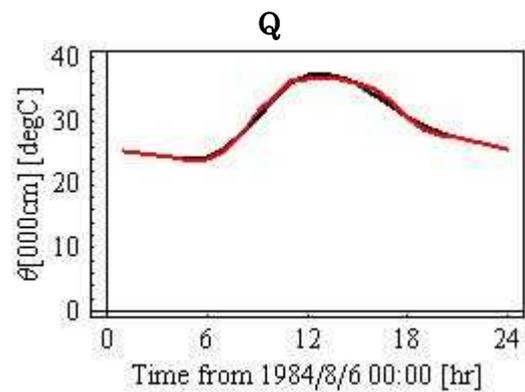
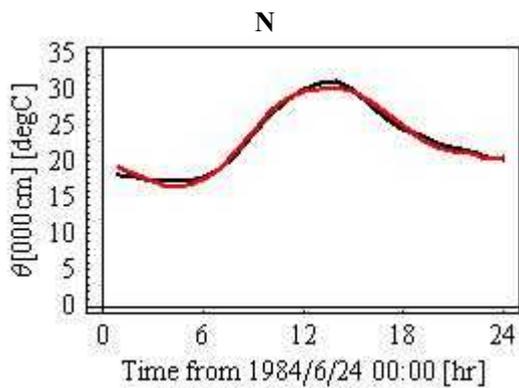
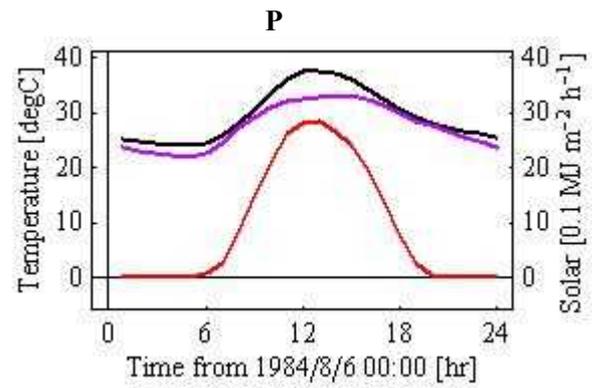
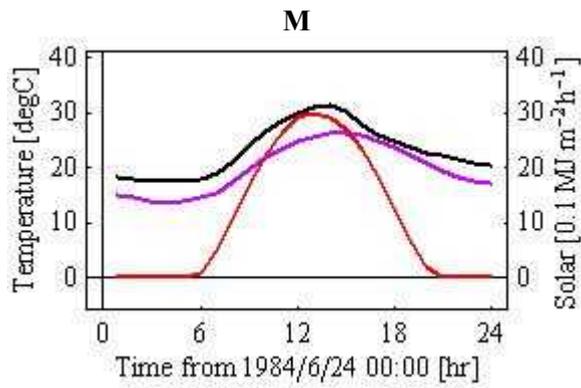


Fig.8 1984年6月24日の温度と日射量の毎1時間平均値

- M:** 測定値。気温(紫色折れ線)、地表面温度(黒色折れ線)、日射量(赤色折れ線)
- N:** 地表面温度の測定値(黒色折れ線)と本方法による推定値(赤色折れ線)。
- O:** 当日の地温(深さ0,5,10,40,100 cm)の各深さにおける最低値(淡青色)、平均値(黒色)、最高値(赤色)。

Fig.9 1984年8月6日の温度と日射量の毎1時間平均値

- P:** 測定値。気温(紫色折れ線)、地表面温度(黒色折れ線)、日射量(赤色折れ線)
- Q:** 地表面温度の測定値(黒色折れ線)と本方法による推定値(赤色折れ線)。
- R:** 当日の地温(深さ0,5,10,40,100 cm)の各深さにおける最低値(淡青色)、平均値(黒色)、最高値(赤色)。

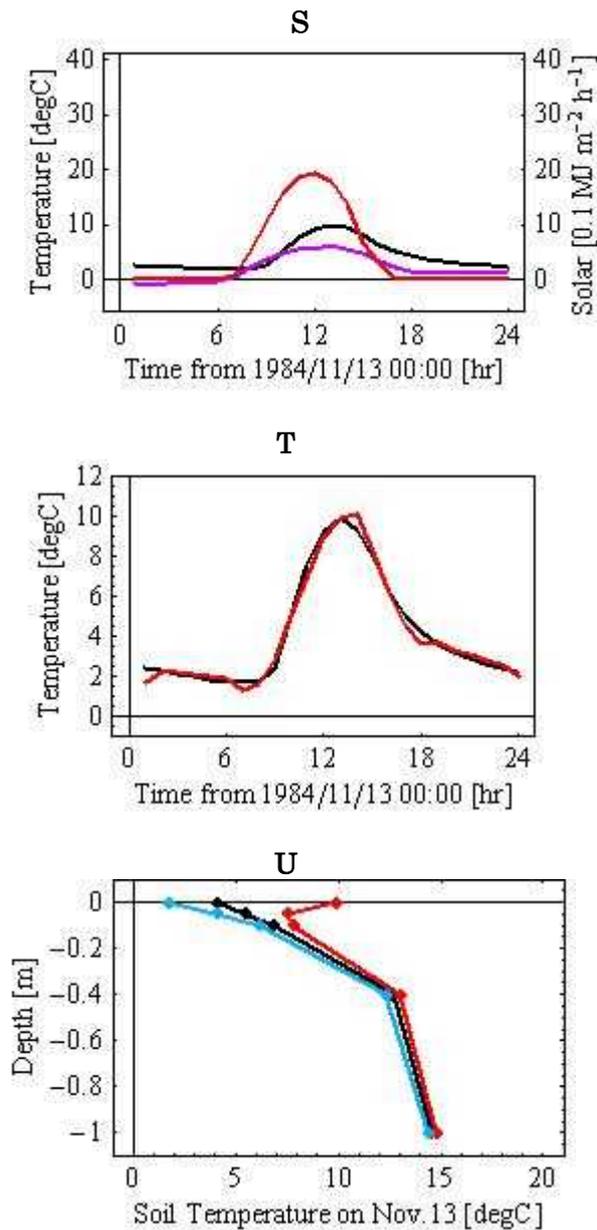


Fig.10 1984年11月13日の温度と日射量の毎1時間平均値

- S: 測定値。気温(紫色折れ線)、地表面温度(黒色折れ線)、日射量(赤色折れ線)
- T: 地表面温度の測定値(黒色折れ線)と本方法による推定値(赤色折れ線)。
- U: 当日の地温(深さ0, 5, 10, 40, 100 cm)の各深さにおける最低値(淡青色)、平均値(黒色)、最高値(赤色)。

5. 風速の影響について

さて本題です。第4章に示した地表面温度を例示月に限らず当該年(1984年)の4月から11月までの各月について、解析日における気温と日射量の重み係数の絶対値の比 r を当該日の平均風速 w をパラメータとして Fig.11 に示します。点が上記の計算結果からの各月(1984年4月~11月)の値、また、直線が比 r の線形再尤値(さいゆうち)であり、その数式は Eq.(2)です。

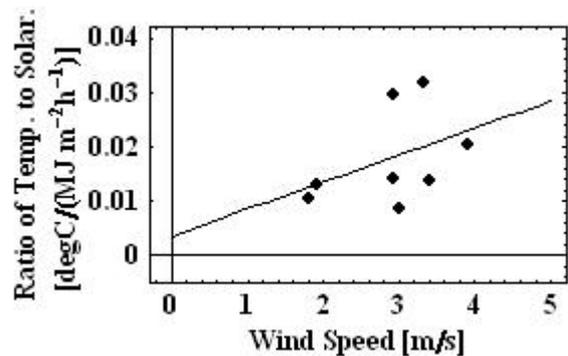


Fig.11 風速 w (横軸) が1984年4月~11月の晴天・無降雨の各日の気温と日射量が地表面温度に与える影響の重み係数の絶対値の比 r (縦軸)

$$r / [^{\circ}\text{C}/(\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1})] = 0.003616w [\text{m/s}] + 0.004957 \quad (2)$$

6. 考察

種々の気象要素が地温に与える影響をフーリエ級数解析により示してきました。そして、そこにおいて風速がどのように関わるのかを、8点というわずかな例ではありますが、Fig.11 に示しました。すなわち、風速が大きくなると日射量に対する気温の影響が高まるという、いわば常識的な結論です。

しかし、本論文の価値は、Eq.(2)による定

量表現にあります。

しかし、風速の影響は解析したもの、風向の影響の解析は未着手です。それゆえ本報告の表題に「その1、Part 1」を付しました。

7. 結論

7.1 風速以外の気象要因(=気温、日射量、雲量、降水量、水蒸気圧)が地表温の年変化(Fig.5~6)および日変化(Fig.7~10)に及ぼす影響を明らかにし、フーリエ級数による解析が有用であることを示しました。

7.2 その上で、そこにおける風速の役割をFig.11のように解析し、「風速が大きくなると日射量に対する気温の影響が高まる」という、いわば常識的な、しかし、「定量的な結果」をEq.(2)に得ました。

7.3 ただし、風速ベクトルの「風速」のもう一方である「風向」に関する解析が未着手です。これは今後において解析なされるべき課題であると認識いたします。

謝辞

筆者は、地温データを含む観測データを取得しその使用を許可くださった木村亨博士(日本専売公社[現 JT]盛岡たばこ試験場第1研究室長、当時)に深甚の謝意を表します。

参考文献

1) Hara, M., An attempt to estimate soil temperature from above-ground environmental factors with the procedure on the frequency domain, (submitted to SICE2015, 2015)

- 2) Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C.: "Conduction of Heat in Solids 2nd ed.", Oxford at the Clarendon Press, p74, p81, 1959.
- 3) Hara, M. and Nishiyama, Y., Mathematical expressions of moist air conditions, J. Faculty of Agriculture, Iwate University, **16**(2), p107-121, 1983 (with Japanese summary).
- 4) Japan Meteorological Agency, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 5) P. Hosseinzadeh Talaei, Daily soil temperature modeling using neuro-fuzzy approach, Theoretical and Applied Climatology, **118**(3), 481-489, 2014.
- 6) Thomas R. H. Holmes, Thomas J. Jackson, Rolf H. Reichle, and Jeffrey B. Basara, An assessment of surface soil temperature products from numerical weather prediction models using ground-based measurements, Water Resources Research, **48**, W02531, 2012.
- 7) Hossein Tabari, Ali-Akbar Sabziparvar, Mohammad Ahmadi, Comparison of artificial neural network and multivariate linear regression methods for estimation of daily soil temperature in an arid region, Meteorology and Atmospheric Physics, **110**, 135-142, 2011.
- 8) Hara, M., New Estimation Trial for the Soil Temperature of Morioka from the Meteorological Data of Morioka. (submitted to ICSSE 2015, 2015)