

北海道における土壤水分の観測事例 - 寒冷気候帯における畑地、草地、森林、積雪下、凍結土壌地帯での土壤水分の長期観測 -

広田知良

Tomoyoshi Hirota

(北海道農業研究センター)

はじめに

2003年2月17日のTERCでの土壤水分workshopでは筆者のこれまでの土壤水分の観測経験について講演した。この稿では改めて、先の講演で述べた1.札幌市羊ヶ丘での亜寒帯気候条件下における森林、牧草地、畑地における土壤水分の長期観測例(観測期間1991年~1996年)、2.札幌市羊ヶ丘における土壤水分のルーチン気象観測化(観測期間、2000年10月~)、3.十勝地方芽室町における凍結土壌条件での土壤水分観測例(観測期間2001年10月~)の概要と講演では触れなかったが主張したい点を示すことにする。

札幌市羊ヶ丘での亜寒帯気候条件下における森林、牧草地、畑地における土壤水分の長期観測例

(Hasegawa and Kasubuchi, 1993; Hirota and Kasubuchi 1996; 廣田, 1999)

この研究はヒートプローブ法の開発者として有名な粕淵辰昭氏との共同研究で得られた結果である。1990年代の前半まで、日本国内において非破壊で手軽に自動連続観測が可能で比較的幅広い水分領域を測れる測器がほとんどなかったため、土壤水分の長期観測データは非常に少ないのが現状であった(例えば、広田, 2000)。この時代において、土壤水分を湿润状態から乾燥状態まで、しかも雪の下でも非破壊で連続測定でき、かつ気軽に使用することができるヒートプローブ法の開発は土壤水分の長期観測への道を切り開いた点でも大きな意義があったと考える。本研究結果の詳細については引用文献に譲るがここでその意義を示すと、1.同一の気象条件下で様々

な植生条件(森林、牧草地、畑)で、2.冬季の積雪下も含めて、3.長期・連続観測を実施し、土壤水分の季節変化、年々変動、植生による違いを明らかにした点にある。

ヒートプローブ法についてのコメント

ヒートプローブ自体は熱伝導率を迅速に測定するセンサーであり、ヒートプローブ法による土壤水分の測定とは、熱伝導率と土壤水分の相関関係を利用して、土壤水分を測定するものである(例えば、粕淵, 1992)。したがって、土壤毎でのキャリブレーションが欠かせない。私の観測経験では、現場で採取した土壌を用いて実験室でキャリブレーションを行うよりは、水分の異なる時期を選んで、センサーの埋設位置近くの土壌サンプルを採取し、含水比、体積含水率を求めたものと、現場で観測されている熱伝導率を用いてキャリブレーションをする方が容易であると感じた。また、ヒートプローブセンサーと土の微妙な密着具合が測定される熱伝導率に影響を与えるようであり、センサーが故障・交換した際に、全く同一の土に故障前と同じような状態でセンサーを埋設できるとは限らない。そのため、センサーが故障・交換した際はキャリブレーションをやり直す必要がある場合が多い。したがって筆者の実感としては、1.実験室よりは現場でのキャリブレーションが方法として妥当であり、2.不均一条件下では多くのサンプルを取る必要があるため、現場に頻繁に出向けられる人向きではないかと考えている。また、熱伝導率は水分ばかりでなく温度にも影響を受ける。そのため特に温度変化が激しい裸地面の表層数cmオーダーの観測は困難を伴うと考えている(温度補正を考慮すると観測可能かもしれないが)。したがっ

て、実用上は植生条件で深さ10cm以深の観測に適した方法ではないかと判断している。観測に当たっては以上のような特徴を把握することが大事ではないかと考える。

なお、熱伝導率は室内実験においては水分依存性が温度によって異なる影響を受けることも示されている。(粕淵, 1982)。しかし、本研究での結果では、フィールドレベルで日単位以上の時間スケールを対象とするなら、図1に示すような熱伝導率と土壤水分の関係のみでも十分高い相関は得られているので、熱伝導率 - 土壤水分関係の温度依存性についてはあまり神経質にならなくても良いと判断している。

札幌市羊ヶ丘における土壤水分のルーチン気象観測化 (観測期間、2000年10月～)

<http://ss.cryo.affrc.go.jp/seisan/meteo/data1.html>
<http://ss.cryo.affrc.go.jp/seisan/meteo/KISHOUKA ISETSU.html>

北海道農業研究センターは1966年以来、ルーチン気象観測を行っており、私の所属している気象資源評価研究室がこの業務を担っている。このデータは現在、上記のURLで公開されており、内外の方に広く利用されている。2000年10月からはルーチン気象観測項目(温湿度、風向風速、短波・長波放射、地温、降水量、積雪深)に、さらにTDR水分計による土壤水分観測が加わることになった(裸地区を設定、深度、5, 10, 30, 50, 100cm TRIME-EZを使用)。一般の露場でのルーチン気象観測項目に土壤水分が加わっている例は非常に珍しいと思われる。

この導入の際の経験談を述べておきたい。筆者は個人的経験により、研究者ベースの個人的努力では長期観測データの蓄積は限界があるという問題意識を持つに至っていた(広田, 1999)。一方で国内では1990年代の中頃からTDR土壤水分計が出回りだし、筆者はこれを土壤水分計のルーチン観測化の到来を位置づけるものと考えた(広田, 2000)。そこで、2000年時のルーチン気象観測装置の更新時にTDR土壤水分計の導入を関係者に訴えた。しかし、土壤水分と

いう新たなルーチン気象観測への項目の追加について、研究所内のコンセンサスが初めから得られている訳ではなかった。この時にネックになったのは、土壤水分観測値の空間不均一性や空間代表性の問題である。すなわち、土壤水分の値は局所性が強すぎるため、観測露場で値をとっても意味があるのか、実際どれだけ利用者に便宜が図られるのかという疑問を多くの農学研究者から呈せられたのである。土壤水分の観測の問題を扱う時、必ず取り上げられる永遠のテーマであるが、専門家ばかりでなく周辺分野の人たちもこの問題は強く実感している。私もこの問題の重要性は重々承知しているつもりであるが、一方で、この土壤水分の狭い意味での厳密性に囚われすぎることは、逆に土壤水分のルーチン気象観測化の障害になりかねない面もあることも強調しておきたい。結局、筆者は関係者の皆様をどのように説得したかというルーチン気象観測データといった観点からの土壤水分の意義あるいは気候学的な意義を以下のように唱えることにより乗り越えた。少し引用は長くなるがご了承願いたい。つまり、空間代表制よりもデータが継続して取れるようになった意義を強く唱えたのである。

“多くの、農学の研究者や農業関係者は気象についてはメカニズムではなく比較という手法で検討することが多い。すなわち、平年と比べてどうである、昨年と比べてはどうか、異常年と比べてどうかといった具合にです。土壤水分はようやく、他の気象観測並にデータを継続して計測できるものとなりました。しばらく、観測すれば我々はこのデータの気候値を手に入れることができる訳です。そうすれば、少なくとも、このデータの蓄積が進めば羊ヶ丘のある時期の土壤の状態は昨年より湿っているあるいは乾いている、それは作物にとっては好都合あるいは悪条件だったということがデータから直接言えるようになるのです。ようするに、私の考えではルーチン気象観測データとは平均値あるいは平年値、または気候値を得る、長年のデータの蓄積を重ねることによって現況の状態を過去のある時期や平均値、極大値、極小値等との比較によって把握し、判断でき

るようにすることが大きな役割だろうと考えます。したがってまずは、この役割が果たせるような条件であれば十分だと私は考えます。土壌水分の観測条件は研究者や観測者によって異なりますし、すべての人を満足させることは不可能です。しかし、観測条件さえ明らかになっていて同じ条件で継続して測定していれば、多少周りとは条件は異なっていますが、その値は大きな価値を持つと考えます。

特に、私は最近農学研究者が土壌水分の狭い意味での厳密性に囚われるあまり、データを有効に活用しなかったのに対して、気象学者や水文学者が思い切った土壌水分のデータの活用、解析をすることを通して、天気予報や水循環の理解の進歩に大きく貢献したことを実感しました。これらの研究の進歩は結局、農業関係にも貢献することになります。”

すなわち、土壌水分観測の意義を空間軸で考えるのではなく、時間軸を考える重要性を強く唱えて関係者を説得したのである。土壌水分データのルーチン気象観測化により少なくとも札幌市羊ヶ丘の北海道農研において10年分の土壌水分観測データが蓄積される予定である。

北海道十勝地方芽室町における凍結土壌条件での土壌水分観測

国内での積雪・土壌凍結条件下での農地の微気象観測を詳細かつ総合的に行った例はほとんどない見あたらない。現在、着手している研究は、大気 - 積雪 - 土壌（凍結土壌）系の熱と水の動態の相互作用を総合的かつ詳細な観測を行い、凍結土壌条件での熱・水・物質移動の解明、さらに最近 Hirota et al(2002)が開発したモデルの拡張および検証を目的としている。土壌水分関係の観測では、1. TDR 水分計(Campbell CS615、5、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100cm に埋設)を土壌水分ばかりでなく土壌凍結観測にも応用し、2. 共同研究者の岩田幸良氏が凍らない工夫をしたテンシオメータを考案することにより、凍結土壌より下層の水分ポテンシャルも観測できるようにしたのが大きな特徴である。詳細

は岩田等(2002)、岩田・広田(2002)、広田など(2003)に譲るが、凍結土壌下の水分は降水と蒸発ではなく大気と積雪の熱の作用によって変動していることが図3より非常に良くわかる結果が得られた。つまり、積雪や土壌凍結の生じない暖候期の土壌水分の動態は降雨と蒸発によって変動するが、寒冷地帯の冬季では、大気と積雪の熱の条件が土壌凍結の発達ひいては土壌水分の動態に大きく影響を与えていることがわかった。すなわち、積雪・土壌凍結条件下での水分動態を解明するためには土壌ばかりを注目するのではなく、大気 - 積雪 - 土壌系の熱の動態・相互作用の詳細な解析を行うことが非常に重要であることを改めて強く認識した。現在も解析中であり、また、様々な気象条件でのデータを蓄積するため、少なくとも数年間、長期観測を継続する予定である。

引用文献

- Hasegawa, S. and Kasubuchi, T (1993): Water regimes in fields with vegetation. In: Tsuyoshi Miyazaki (Editors), Water flow in soils, Marcel Dekker, New York, pp.244-253.
- Hirota T, and T. Kasubuchi (1996): Soil moisture observations under different vegetations in a boreal humid climate. J. Jpn. Soc. Hydrol. Water. Resour. Res. 9(3), 233-239.
- 廣田知良(1999):農耕地における地温,土壌水分,熱収支の長期動態把握に関する基礎的研究.北海道農業試験場研究報告,169,87-145
- 広田知良(1999):陸面過程の研究に必要な観測フィールド条件とは - 札幌市羊ヶ丘でのフィールド環境と研究の紹介を通して - 気象研究ノート「陸面過程」第195号,日本気象学会,7-11.
- 広田知良(2000):地中温度,土壌水分.身近な気象・気候調査の基礎,牛山素行編.古今書院,28-44
- Hirota T., J.W Pomeroy, R.J. Granger, C.P. Maule(2002): An extension of the

force-restore method to estimating soil temperature at depth and evaluation for frozen soils under snow. J. Geophys. Res., 107, D24, 4767, 10. 1029/2001JD001280.

広田知良・岩田幸良・中川進平・濱寄孝弘・鮫島良次(2003):凍結土壌下の水分動態は降水と蒸発ではなく大気と積雪の熱の作用によって変動する. 日本気象学会 2003 年度春季大会講演予稿集.

岩田幸良・広田知良・奥野林太郎(2002):北海道土層凍結地帯の畑圃場における土壌水分移動の把握. 平成 14 年度農業土木学会講演要旨集,364-365(2002)

岩田幸良・広田知良:(2002)冬期間に土壌が凍結する地帯の土壌凍結と水移動のモニタリング.日本気象学会 2002 年度秋季大会講演予稿集,427.

粕淵辰昭(1982): 土壌の熱伝導に関する研究,農技研報告, 33, 1-54.

粕淵辰昭(1992):土壌肥料研究における新しい分析法 2 熱伝導式土壌水分計, 日本土壌肥科学雑誌 63(3), 359-363.

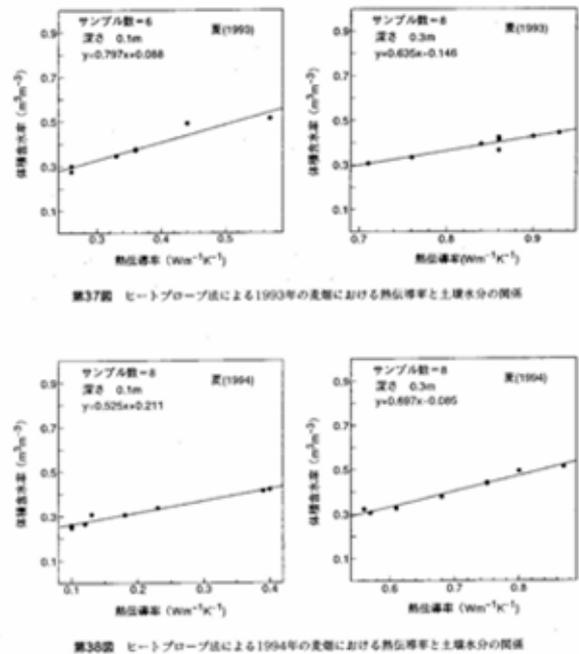


図1 ヒートプローブ法による熱伝導率と土壌水分の関係 (廣田,1999 より引用)

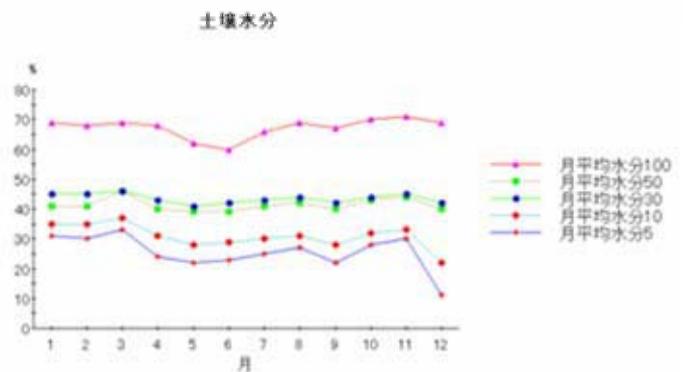


図2 札幌市羊ヶ丘(気象観測露場)での土壌水分の年変化(2002年 値はTDR出力値)

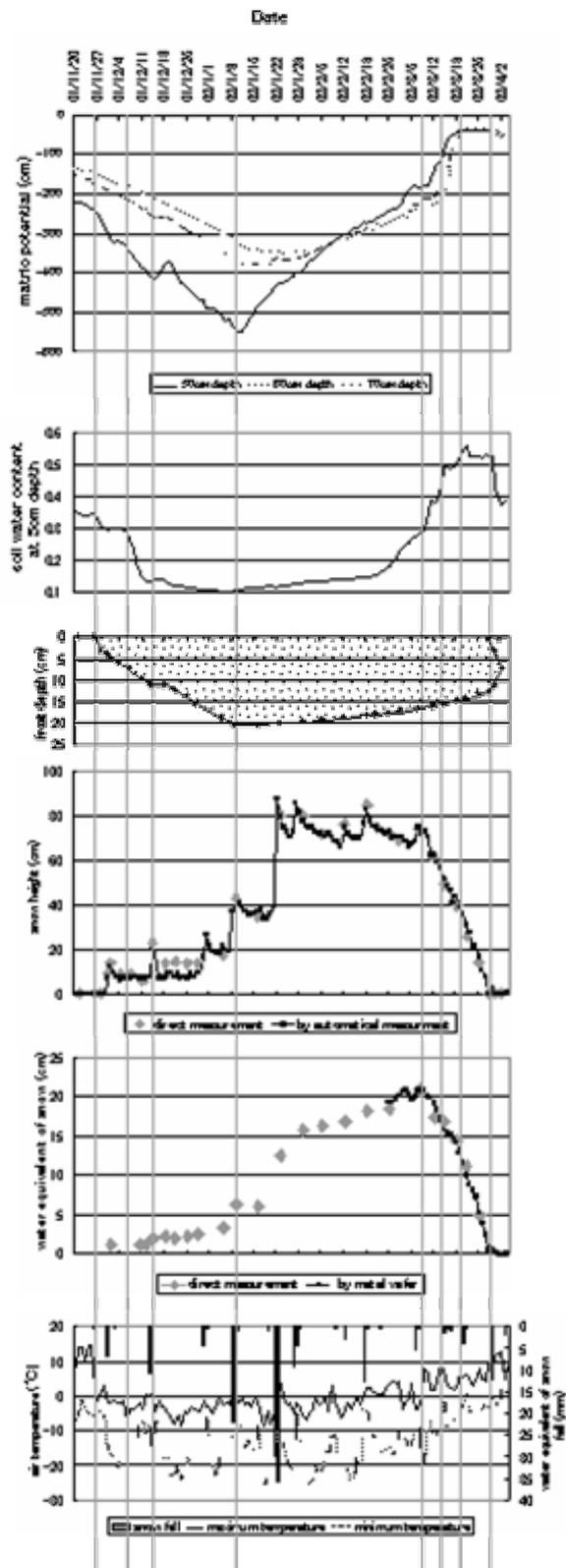


図3 2001-2002年度十勝での冬季の観測結果
 (広田ら2003より引用 一部改変)

- 1 段目 凍結土層より下層の水分ポテンシャル
 (— は水分フラックスの方向を示す)
- 2 段目 表層5 cmのTDR土壌水分計観測値
- 3 段目 積雪深と土壌凍結深
- 4 段目 積雪相当水量
- 5 段目 気温と降水量