

電気抵抗式土壌水分計に関する基礎的検討

— キャリブレーション方法の再検討 —

矢 部 勝 彦*

Fundamental Investigations the Electrical Resistance Soil Moisture Meter

— Re-examination of calibration method —

Katsuhiko YABE*

Faculty of Agriculture, University of Osaka Prefecture

Abstract

The fundamental investigations on the calibration of electrical resistance soil moisture, namely glass filter block soil moisture meter, were conducted in order to clear the influences of drying speed, the apparent specific gravity, the soil volume, and the method of knowing soil moisture content each drying stage. The results observed were as follow.

Firstly, the soil in the metal net basket should be dried as slow as possible on account of being apt to appear the differences of soil moisture content.

Secondly, as the difference of apparent specific gravity of soil influences the relationships between soil moisture and the electrical resistance, the apparent specific gravity at the calibration should be nearly equal to it in the actual field.

Thirdly, soil moisture content both of soil surface and inside of soil each drying stage are influenced by the difference of soil volume, the speed of drying soil, and so on, so the calibration should be conducted over drying slowly after soil were packed much more.

Lastly, if the conventional method of method of measuring the basket weight is utilized to know soil moisture each drying stage. the correct should be necessary to get more accurate soil moisture on account of being different from the real.

1. ま え が き

野外で土壌水分の変化を正確にとらえることは非常に難しさを伴うが重要なことである。そのため、これまで種々の土壌水分計の開発、改良及びそれらの基礎的研究^{1), 2), 3), 4)} がなされてきたが、実用上、完全とは言えない点も多々残されている。そこで、筆者は野外でよく使用されてきた土壌水分計測法のうちから特に電気抵抗式土壌水分計に関して、計測値の誤差要因にキャリブレーション方法が十分でないことをつきとめ、より精度の高い計測ができるよう実験的に再検討を行った。

本研究では、キャリブレーションにおける土壌の温度変化の影響については海田ら⁴⁾ が報告済みのため、他の要因として、土壌の乾燥速度⁵⁾、乾燥密度⁶⁾ および土壌の各乾燥段階における水分の算出方法につき報告し、土壌溶液濃度の影響については別途報告させていただく

のとする。

2. 実 験 方 法

実験に使用した供試土壌は大府大ホ場表土で、その物理性は表-1のとおりである。またキャリブレーション時の土壌乾燥は図-1に示すファン付乾燥炉を用いた。土壌は金網製バスケット(内容積 $V=9.5 \times 9.5 \times 11.5$

表-1 大府大ホ場表土の物理性

項 目		機械的組織	%
真 比 重	2.60	(農学会法) レキ 2mm以上	2.9
液 性 限 界(%)	30.2	粗砂 2~0.25	17.4
塑 性 限 界(%)	23.8	細砂 0.25~0.05	30.1
ホ 場 容 水 量(%)	29.8	微砂 0.05~0.01	19.8
遠心水分当量(%)	19.3	粘土 0.01以下	26.8
土 性(農学会法)	壤土		

*大阪府立大学農学部

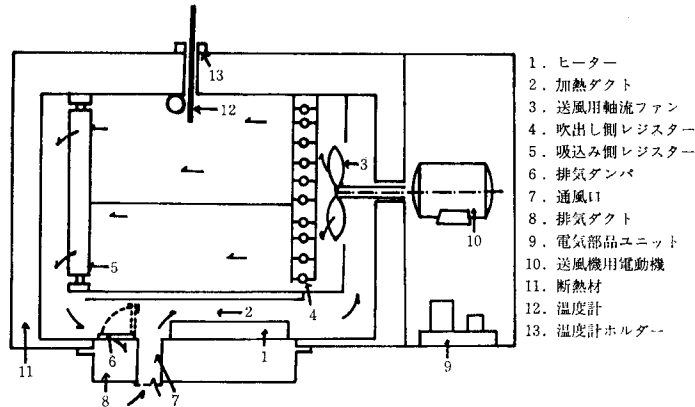


図-1 ファン付乾燥炉の模式図

(cm^3), $9.5 \times 9.5 \times 49.0$ (cm^3) に充てんし、一昼夜浸漬した。さらに、電気抵抗値は島津製作所製 S.M-3 A型 Soil Moisture Meter を使用し計測した。埋設した抵抗値検出部の吸収体はガラスフィルタ・ブロックであり、その数は、小さいバスケットには各2個を5バスケットに、大きいバスケットには10個埋設した。最後に電気抵抗値の計測時の土壌内温度は 25 ± 1 °Cと条件を一定にした。まず、土壌の乾燥速度の違いに関しては、

まず、土壌の乾燥速度の違いに関しては、 $1.0 \pm 0.3\%$ hourと $1.5 \pm 0.3\%$ hourについて比較検討をし、土壌の乾燥密度 ($\gamma_d = \text{仮比重}$) に関しては、 $\gamma_d = 1.34 \pm 0.02$ と 1.27 ± 0.02 との比較および $\gamma_d = 1.27 \pm 0.02$ と 1.13 ± 0.02 について比較検討をし、土壌水分量の算出方法に関しては、従来の方法 (予め乾土重を知っておき、各乾燥段階の水分量を算出) と吸収体埋設地点の水分をサンプリングにより算出する方法との比較検討を行った。

なお、土壌水分量の算出方法以外の実験結果は吸収体

10個のうち代表的なものを示すことにする。また、各実験条件の違いには、キャリブレーション・カーブより土壌水分値の差を3%前後以上ある場合、キャリブレーションを行う際に注意しなければならないという考え方をとることとした。

3. 実験結果および若干の考察

まず、土壌の乾燥速度の違いに関して、土壌容積 $9.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.26 \pm 0.02$ と $6.0 \times 9.5 \times 49.0$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.27 \pm 0.02$ については図-2、土壌容積 $4.5 \times 9.5 \times 11.5$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.28 \pm 0.02$ と $6.5 \times 9.5 \times 1.15$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.43 \pm 0.02$ については図-3、土壌容積 $9.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.33 \pm 0.02$ と $6.5 \times 9.5 \times 11.5$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.26 \pm 0.02$ については図-4のとおりである。

図-2に関して、 $V = 9.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm^3) で $\gamma_d = 1.26 \pm 0.02$ の場合の乾燥速度の違いについて電気抵抗値

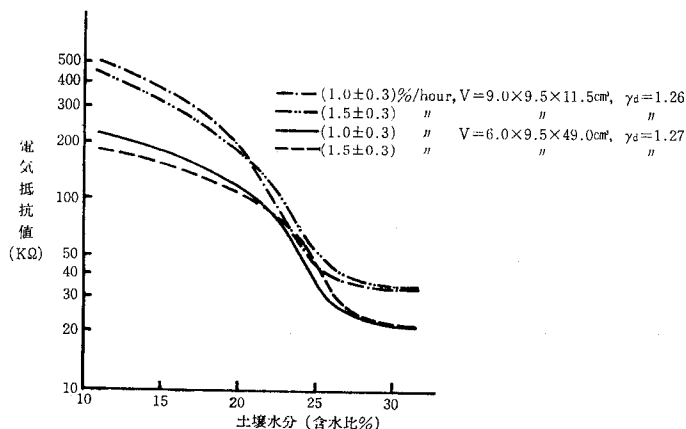


図-2 土壌の乾燥速度の違いによる土壌水分—電気抵抗の関係

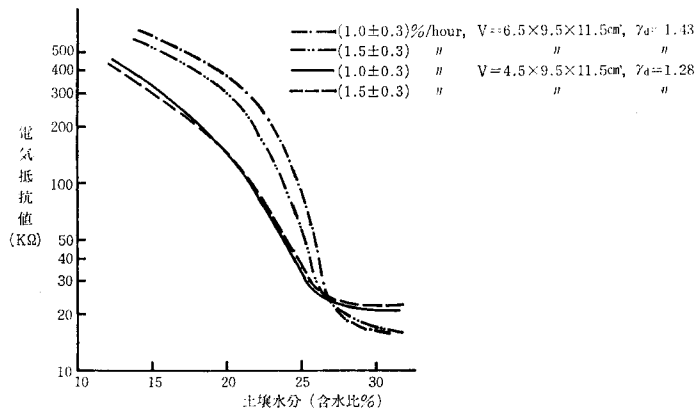


図-3 土壤の乾燥速度の違いによる土壌水分—電気抵抗の関係

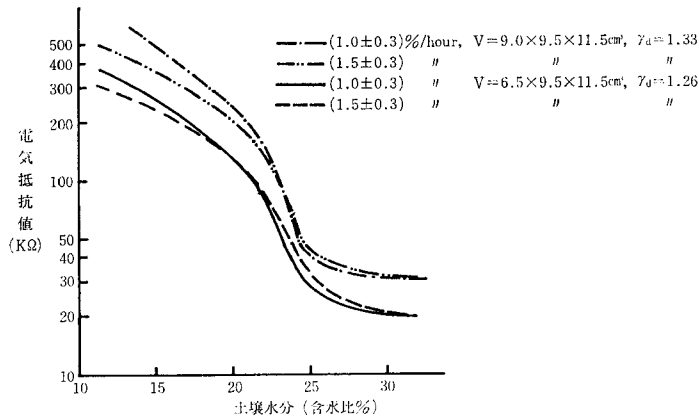


図-4 土壤の乾燥速度の違いによる土壌水分—電気抵抗の関係

一水分量曲線において、高い土壌水分領域の約30%までは 1.0 ± 0.3 %/hour と 1.5 ± 0.3 %/hour 両曲線間に抵抗値の差は見られないが、土壌水分が約27.0~30.0%間で両曲線間に差違が見られる。すなわち、27.0、28.0%の地点を境に両曲線間に一時的に差異を生じ、そして約21.0%地点で両曲線が交差する。その後は、低い土壌水分領域になるに従い乾燥速度の遅い方が同じ土壌水分量に対して大きな電気抵抗値を示し、その差は約3~4%も生じる。一方、 $V = 6.0 \times 9.5 \times 49.0$ (cm³) で $\gamma_d = 1.27 \pm 0.02$ の場合の乾燥速度の違いについてみると、同様に約26%以上の高い土壌水分領域では両曲線はほとんど同じ水分量の値に対し同じ電気抵抗値を示しているが、約26.0%付近の地点を境に両曲線は一度は離れるものの、約23.0%付近の地点で両曲線は交差し、その後、低い土壌水分領域に進むに従い両曲線間に差を生じ、乾燥速度の遅い方が同じ電気抵抗値に対して高い土壌水分値を示している。

図-3 に関しては、 $V = 6.5 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) で $\gamma_d = 1.43 \pm 0.02$ の場合、図-2 の場合と同様高い土壌水分領域では、乾燥速度の違いによる両曲線間の電気抵抗値にはほとんど差が見られないが約27.0%付近で両曲線が交差して、その後は同じ土壌水分量に対する電気抵抗値に差を生じ、同じ電気抵抗値に対して約2%の土壌水分の差が示される。一方、 $V = 4.5 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) で $\gamma_d = 1.28 \pm 0.02$ の場合も同様に高い土壌水分領域ではほとんど差は見られないが、低い土壌水分領域に進むに従い同じ電気抵抗値に対して土壌水分量に差が生じる傾向を示している。

図-4 に関しても、 $V = 9.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) で $\gamma_d = 1.33 \pm 0.02$ の場合、図-2、3と同様高い土壌水分領域ではほぼ同じ電気抵抗値—土壌水分量の関係を示しているが、約23.0%付近で両曲線が交差し、その後両曲線は低い土壌水分領域に進むに従い離れて行き約4~5%の土壌水分量の差が認められ、乾燥速度の遅い方が同じ

電気抵抗値に対して大きな土壌水分値を示す。一方、 $V=6.5 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) で $\gamma_a=1.26 \pm 0.02$ の場合も同様に、約18%付近で両曲線が交差し、その後低い土壌水分領域に進むに従い乾燥速度の遅い方が同じ電気抵抗値に対して高い土壌水分量を示すことがわかる。

以上の乾燥速度の違いに関する実験結果から検討して、土壌水分の高い領域では土壌の乾燥速度の違いによる影響は小さいと言えよう。しかし、高い土壌水分領域から土壌水分の低い領域へと土壌が乾燥してゆくに従い乾燥速度の違いによる影響が生じ、土壌の乾燥速度の遅い方が同じ電気抵抗値に対して高い土壌水分値を示す傾向があると言える。この事は、高い土壌水分領域では比較的土壌水分の移動がスムーズに行われるが低い土壌水分領域になるに従いバスケット内の土壌の乾燥が内部と外部で速度は異なり、そのため土壌内に水分勾配を生じその影響で土壌の乾燥速度の違いによる電気抵抗値—土壌水分量の関係が異なってくるものと考えられる。

次に、金網バスケットに充てんされた土壌の乾燥密度(仮比重 = γ_a)の違いに関する実験結果は図-5のとおりである。

図-5に関して、土壌容積が $V=6.5 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) と同じ容積の場合、 $\gamma_a=1.27 \pm 0.02$ と $\gamma_a=1.42 \pm 0.02$ とを比較検討すると、図より明らかなように、両曲線は高い土壌水分領域ではほとんど等しい状態にあるが、約26%付近で両曲線は線交差し、その後低い土壌水分領域に土壌の乾燥が進むに従い両曲線は離れてゆく。その時の差は土壌水分量が約15~20%の間で同じ電気抵抗値に対して γ_a の大きい方が約4~5%も高い土壌水分値を示している。また、土壌容積 $V=9.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³)

の場合、 $\gamma_a=1.34 \pm 0.02$ と $\gamma_a=1.27 \pm 0.02$ とを比較検討すると高い土壌水分領域ではほとんど等しい電気抵抗値—土壌水分量の関係を示しているが、この場合も約26%付近で両曲線は交差し、その後低い土壌水分領域へと土壌の乾燥が進むに従い両曲線は離れてゆく。その差は γ_a の大きい方が小さい方に比較して約5%も同じ電気抵抗値に対して高い土壌水分量を示している。さらに、土壌容積 $V=6.0 \times 9.5 \times 49.0$ (cm³) の場合、 $\gamma_a=1.27 \pm 0.02$ と $\gamma_a=1.13 \pm 0.02$ とを比較検討すると、前2例と同様の傾向を示している。すなわち高い土壌水分領域では両曲線はほとんど同じ電気抵抗値—土壌水分量の関係にあるが、土壌の乾燥が進むにしたがい両曲線は離れて行く。その差は γ_a の大きい方が同じ電気抵抗値に対して約4%ほど土壌水分量が高くなっている。

以上の γ_a の違いによる影響に関する実験結果から判断して、高い土壌水分領域ではほとんど γ_a の違いに関係なく、電気抵抗値—土壌水分量の関係は同様の傾向を示すが、一方、土壌の乾燥が進むにしたがい γ_a の大小によって同じ電気抵抗値に対して、 γ_a の大きい方が小さい方に比較して高い土壌水分量を示すことが明らかとなった。この理由としては、土壌水分の高い領域では土壌の乾燥に対して水分移動が容易に行われるからと推測される。しかし、土壌の乾燥がさらに進み、土壌水分の低い領域では土壌の間隙を移動する水の移動に影響が生じ、バスケット内の土壌に関して内部と外表面との間に乾燥に伴う水分勾配が生じるため γ_a の大小によって両キャリブレーション・カーブが異なるものと推測される。

また、金網バスケット内の土壌容積の違いに関する実験結果は図-6のとおりである。

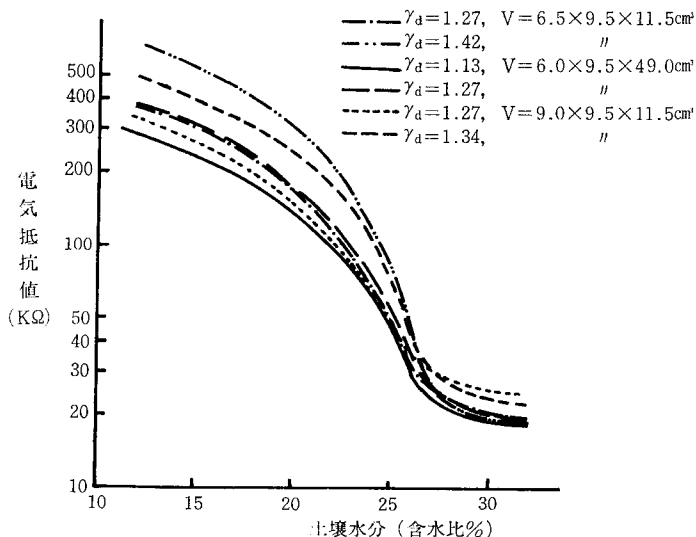


図-5 土壌の仮比重の違いによる土壌水分—電気抵抗の関係

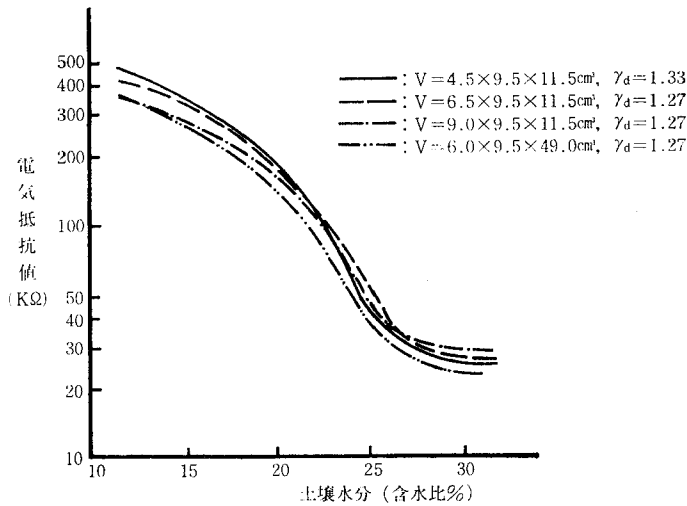


図-6 土壌容積の違いによる土壌水分-電気抵抗の関係

図-6に関して、土壌容積としては9.0×9.5×11.5 (cm³), 6.5×9.5×11.5 (cm³)と4.5×9.5×11.5 (cm³)の場合と6.5×9.5×11.5 (cm³)と6.0×9.5×49.0 (cm³)の2種の容積について検討した。この結果、まず、前者の場合と同容積の金網バスケットに土壌深さを変えた条件の結果であるが、明らかに容積の大小の違いに関して湿度状態では中の場合に抵抗値は大きい。大小では小の方が電気抵抗値は小さい。一方、低水分状態になるに従って、小の電気抵抗値は同じ土壌水分量に対して大きくなる傾向を示す。同様には中は大よりも電気抵抗値は大きい。次に土壌容器の大小に関しては土壌容器の小さい場合における吸収体の電気抵抗値が大きい。

以上の結果から、土壌容積が異なれば、キャリブレーション・カーブが異なるので注意が必要となる。この理由については土壌を浸漬する際の塩類濃度や土壌の乾燥に伴う水分勾配の発生により異なった曲線が得られるものと推測される。

なお、以上の実験結果は他の吸収体についても同様の傾向を示していた。

最後に、上述の結果において土壌の乾燥に伴う土壌内

の水分分布について若干ふれたので、ここではバスケット法によるキャリブレーション時における土壌水分量の算出方法に関して、検討を行い、実態についてその結果を表-2、表-3に示す。

土壌水分量の算出方法に関しては、バスケット重秤量法(従来法)、吸収体埋設地点の土壌サンプリングによる補正法(吸収体地点サンプリング法)および土壌サンプリングによる平均土壌水分からの補正法(平均土壌水分法)の3方法によって各乾燥段階の土壌水分量を算出することにした。また、土壌容積はV=4.5×9.5×11.5 (cm³)の場合についてのみ検討した。その結果は土壌が約10%、20%および27%付近まで乾燥した状態で算出した。まず、土壌が約27%付近まで乾燥した状態に対して、従来法と他の算出法との間には僅かであるが差が認められ、従来法は他の算出法よりもやや大き目に土壌水分量を算出する傾向がある。つぎに土壌が約20%付近まで乾燥した状態に対して、従来法は他の算出法よりも小さい目の土壌水分量を算出している。これを分散分析した結果、有意差が認められ、さらに最小有意差の推定値(=l.s.d.)を計算するとl.s.d.=1.43であり、従来法は

表-2 乾燥過程における土壌水分算出結果

土壌水分* バスケット 水分算出法	10% 近傍					20% 近傍					27% 近傍							
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	平均	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	平均	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	平均
バスケット重秤量法	8.8	9.0	9.4	10.2	8.9	9.3	20.2	19.2	17.6	17.6	18.9	18.7	28.3	27.4	27.2	28.6	27.4	27.8
吸収体地点 サンプリング法	12.2	12.9	13.2	12.4	11.0	12.3	20.8	19.9	19.9	20.3	19.1	20.0	27.8	27.2	26.8	27.5	27.4	27.3
平均土壌水分量法	11.2	10.1	11.3	10.5	9.2	10.5	20.7	19.7	18.9	19.2	18.9	19.5	27.3	27.1	26.8	28.0	26.9	27.1

* 土壌水分は重量パーセント表示

表-3 乾燥土壌の土壌水分算出結果 (10%近傍)

土壌体積 バスケット 番号	6.0×9.5×11.5 (cm ³)						9.0×9.5×11.5 (cm ³)					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	平均
水分算出法												
バスケット重秤量法	10.7	9.7	8.7	9.4	9.3	9.4	10.0	9.1	9.2	9.1	10.0	9.5
吸収体地点サンプリング法	12.1	11.2	10.8	11.5	11.9	11.5	11.0	10.5	9.8	10.0	11.2	10.5
平均土壌水分量法	10.9	10.2	9.7	10.1	10.9	10.4	10.5	9.4	9.0	9.2	10.5	9.7

(注) 単位は重量パーセント表示

実際の吸収体埋設地点の水分を少な目に算出する傾向にあると言える。さらに、土壌が約10%付近まで乾燥した状態に対して、従来法による土壌水分量の算出値が最も少な目になっており、他の2方法と比較し、最大で約4%の差が認められる。これらを分散分析すると有意差が認められ、最小有意差の推定値を求めると $t.s.d.=1.06$ であり、明らかに従来法と他の2方法間には有意差が認められる。次に、土壌容積を $V=6.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) と $9.0 \times 9.5 \times 11.5$ (cm³) に大きくした場合について検討を行った。その結果、土壌容積が大きくなるにしたがい従来法と他の2方法間の土壌水分量の算出法法に対しては差が小さくなる傾向が認められる。この理由としては土壌容積が小さい場合周辺の乾燥の影響を受け易いため少水分側に従来法では算出されるが、土壌容積が大きいと周辺の土壌の乾燥に対する影響が全体に対して小さくなるため従来法と他の2方法間における土壌水分量の算出値に差が少なくなるものと推測される。

4. 考察およびまとめ

一般に野外で土壌水分を計測するにあたっては、現場の土壌水分をできる限り精度を上げた方法で計測することが必であり、そのため種々の工夫がなされるが複雑な要素が多く存在する。したがってキャリブレーションにおいては直接現地で行うのがよいが、種々の制約条件も加わり、非常に困難なため室内で行うことが多い。それ故に、室内でキャリブレーションを行うにあたってはでき得る限りキャリブレーション誤差を小さくするよう留意しなければならない。ここでは、キャリブレーションを行う際に留意すべき問題点として、土壌の乾燥速度、仮比重、土壌容量の問題、さらに土壌水分量の算出法について検討を加えたので、その結果をまとめ、若干の提案を行うことにする。以上の問題の他にも土壌中の塩類の影響もあるが、これははじめに述べたように別の機会に報告する。

まず、キャリブレーションにおいて、土壌の乾燥速度に関しては、土壌の乾燥速度の違いからみて、乾燥むら、すなわち不均一な乾燥状態を避けるためでき得る限りゆっくりと土壌を乾燥する必要があると考える。

次に、土壌の乾燥密度、すなわち仮比重に関しては、前項で述べたように高い土壌水分領域では仮比重の違いによる影響は小さいが、乾燥が進み低い土壌水分領域になると仮比重の違いによる影響が認められるので、現地の仮比重を十分知った上でキャリブレーションを行う必要がある。したがってキャリブレーションはできる限り現地の状態を再現する仮比重のもとで行わなければならないだろう。

また、土壌容積の大小に関しては、土壌容積が小さいと周辺の影響が全体に対して占める割合が大きくなるため、土壌水分量の算出法でも明らかにされたように、実際の土壌水分量よりも少な目に算出されるが、大きい場合は周辺の影響が全体に対して占める割合が小さくなるため土壌容積はあまり小さくしない方が良好と考えられる。

さらに、土壌水分量の算出に関しては、従来法を採用する場合は若干の補正が必要と考えられる。

5. あとがき

本実験結果の検討では、土壌温度に関しては既に報告されているので省略した。今回はキャリブレーションの重要性を提案するにとどめた。

最後に、今回の電気抵抗法による土壌水分計測に関する基礎的検討を遂行するにあたり、いろいろとご教示と助言をいただきました大阪府立大学農学部、手島三三教授に心から謝意を表する。

引用文献

- 1) 小野本光司・小林一 (1956) : 畑地土壌水分の電気的測定法に関する研究, 岐阜農紀要 6, 7.
- 2) 小林一 (1957~1961) 畑地土壌水分の電気的測定法に関する研究, 岐阜大農紀要(3), (4), (5), (6).
- 3) 富士岡義一・西出勤 (1964) : 土壌水分測定用ガラス・フィルターブロックとその自記記録計について, 農土研別 9.
- 4) 富士岡義一・海田能宏 (1968) : 圃場で使用する土壌水分計に対する温度の影響について, 農土学会大会講演要旨.
- 5) 矢部勝彦 (1972) : 土壌水分の測定方法, 農土学誌40巻12号.

[1979. 9. 27. 受稿]