

土壌水分サンプリングデータの空間代表性 Spatial representativeness of surface soil-moisture sampling data

東京大学大学院

○ 瀧上 吾郎*

仲江川敏之*

東京大学生産技術研究所

沖 大幹^{††}

虫明 功臣**

Goro FUCHIGAMI, Tosiuyuki NAKAEGAWA, Taikan OKI and Katumi MUSIAKE

The aquisition of spatial hydrological information is of great importance. Nowadays the satellite data provides the opportunity of having more information than before, especially with the inclusion of micro wave sensor. However the ground truth measurements reflect point data whereas satellite refers to spatial data. As such, the relation between these two types are studied using a statistical approach. The standard deviation of the ground truth data on a rainy day is found not much variable with the change of scale at the studied experimental sites.

Keywords: Spatial Distribution, Soil Moisture, Correlation Coefficient, Scale Effect.

1. はじめに

広域における水文情報を得ることは水文学的見地から非常に重要かつ必要な項目である。近年では、衛星を利用することによって、空間スケールの大きい面的なデータが得られるようになってきた。特に、マイクロ波センサーで取得できる水文情報への期待が大きい。衛星データの面的な情報が得られる一方で、実際に得られるグランドトルースデータである点情報との関係を調べる研究が必要となっている¹⁾。また、点情報を利用して、距離相関などの手法を用いた解析は従来より数多く行われてきている^{2,3,4,5)}。

本研究では、この一年マイクロ波搭載衛星 (J-ERS、E-ERS) との同期実験で得られた土壌水分サンプリングデータを基に、簡単な統計的手法を用いて解析を進め、どの程度のサンプリング間隔であれば、広域な場の代表値と見なせるのかを検討した。

2. 観測手法および観測サイト

2.1 観測手法

土壌水分量として体積含水率を解析の対象にした。試料採集には深さ 2.5cm の 50cc サンプラーを使用した。各観測サイトにおいて 10m 間隔のグリッドを作成し、そのポイントの土を採取して体積含水率を求めた。

2.2 観測地域

観測サイトとして、房総半島にある明治大学菅田農場 (以下、運動場とする) と千葉県立農業機械研修センター (以下、耕地とする) の 2 地点で観測を行った。運動場および耕地は、ともに裸地面である。前者は締固まった裸地面で、後者は農業機械が活動する耕作地である。各サイトのサイズと地理的情報を表 1 に示す。

表 1: 観測サイトの概要

観測サイト	広さ (m ²)	サンプル数	緯度	経度	対象
明治大学菅田農場	60 × 100	77	35°32'54"	140°12'26"	裸地面 (締固まり)
千葉県立農業機械化研修センター	60 × 90	70	35°32'34"	140°11'41"	裸地面 (耕作地)

2.3 観測実施日

観測日とそのときの天候、同期した衛星を表 2 に示す。

*学生会員 東京大学大学院工学系研究科 土工学専攻

^{††}正会員 工修 東京大学生産技術研究所助手 (〒106 港区六本木 7-22-1)

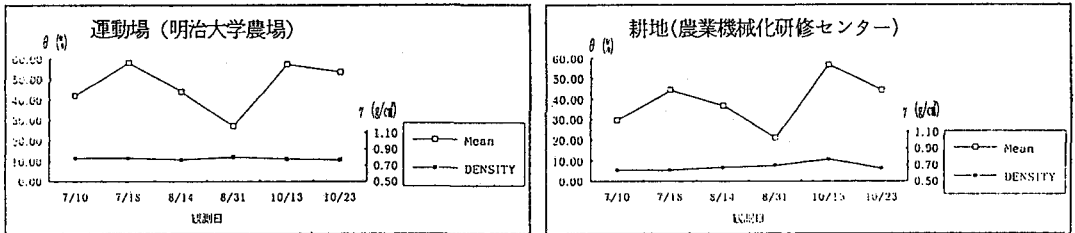
**正会員 工博 東京大学生産技術研究所教授 (〒106 港区六本木 7-22-1)

表 2: 観測日時と気象条件

観測実施日	7/10	7/18	8/14	8/31	10/13	10/23
当日の天候	晴	雨	快晴	快晴	雨	晴
通過衛星	EERS	JERS	EERS	JERS	JERS	EERS

3. 解析結果

まず最初に体積含水率の平均値 (θ) と乾燥密度 (γ) の変動について検討する。その結果を図 1 に示す。両サイトとも体積含水率は天候条件によって大きく値が変化している。乾燥密度に着目すると締め固まった運動場では変動は殆ど無かった。従って、このサイトにおいて、土壌物理特性は、この観測期間を通じて一様であったと考えて良い。これに対して、耕地の乾燥密度は変動が大きい。これは、観測期間中、農業機械の運転演習として、耕耘が行なわれるなどの影響があったためと考えられる。

図 1: 体積含水率 (%) と乾燥密度 (g/cm^3) の関係

次に、各サイトの体積含水率の平均値 (θ) と標準偏差 (SD) の関係を図 2 に示す。運動場についてみると、雨天の日には標準偏差が小さくなり、晴天時には逆に大きくなる。これは、次のように、考えることができる。先の体積含水率と乾燥密度の関係から、この観測期間中、このサイトは乱されていない。そこに、雨が降ると全体に湿って、表層土壌水分量は飽和量に近づく。そのため、場所による変動が消されてしまい、表層では、土壌水分量がほぼ一様に分布するようになる。しかも、この観測では、サンプラーが表層部分 (2.5cm) の土壌水分だけを観測していることから、ばらつきが小さくなっていると考えられる。ところが、耕地には、そのような傾向はみられなかった。これには、2つの理由が考えられる。1つは、観測日と観測日の間に機械が入ったためであり、もう1つは耕作された土壌は地点ごとに特に密度にばらつきがあるためである。

標準偏差と自己相関係数との関係は、一般に標準偏差が高いほど自己相関係数が低くなる傾向がある。そこで、自己相関係数を指標として相対距離に対する影響について検討する。晴天時および雨天時とも自己相関係数は相対距離が離れるにつれて、低くなり、独立の関係に近づいていく。その代表的な結果を図 3 に示す。運動場については、晴天時と雨天時でほとんど差がみられないが、耕地では雨天時には相関係数の下がりかたが緩やかである。しかし、運動場、耕地ともに 20m 以上、相対距離が離れるとその値は独立と考えて良いことがわかる。

運動場および耕地の体積含水率と変動係数との関係を図 4 に示す。運動場と耕地とを比較してみると、概して後者の方がばらつきが多い。これは、土壌物理特性やサイトの条件に起因しているものと思われる。ところが、体積含水率がある値以上になると、運動場、耕地ともに変動係数がかなり小さくなっている。土壌の乾湿状態によって、同じサンプリング観測をしても、平均値の精度は異なる。言い換えれば、平均値に所要の精度を得るためには、サイトの土壌特性および乾湿状態に応じて適切なサンプリング個数と間隔を選ばなければならない。しかも、衛星検証などでは同時に多くのサイトでサンプリングをする必要があり、極めて多くのサンプラーが必要であるし、多くの人手も要する。従って、いかに少ないサンプル数

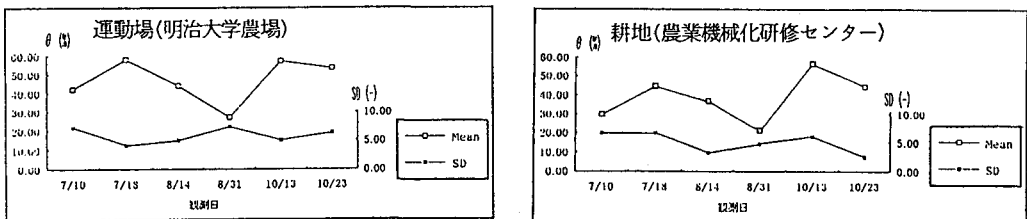
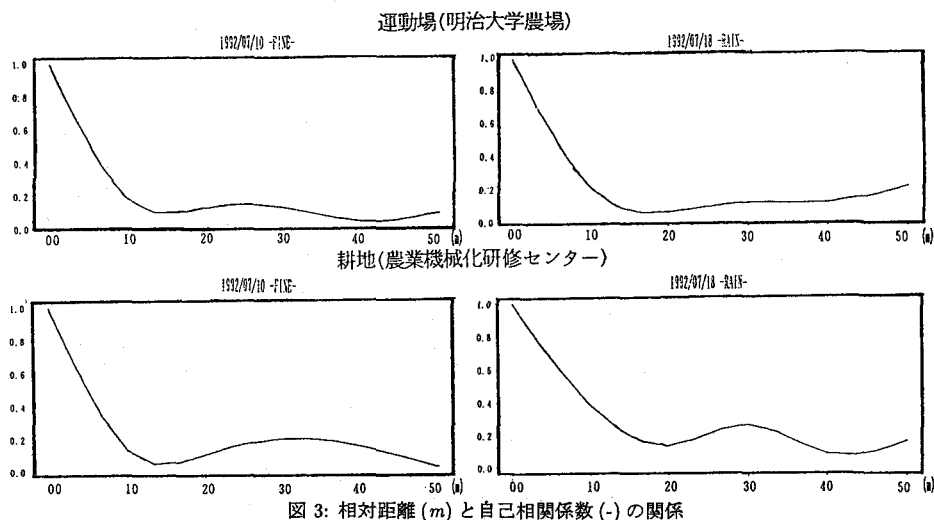
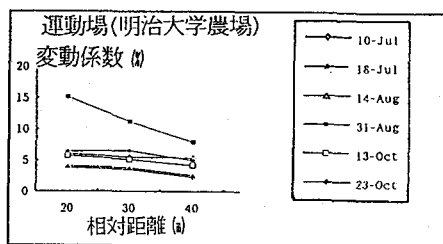
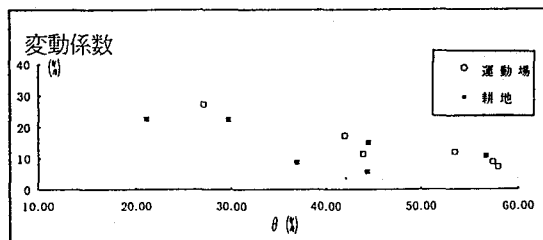


図 2: 体積含水率 (%) と標準偏差 (-) の関係



で空間平均値をうまく見積もるかが重要な問題となる。

そこで、サンプル数を 4 個と固定した場合、どのくらいの相対距離で観測を行なうとその場の平均値が精度良く推定されるかを検討した。4 点を正方形の 4 角として、そのスケールを 20, 30, 40m へと変化させた時の 4 点の平均値がどの様に変動するかを計算した結果を図 5 に示す。このとき正方形をどこに選ぶかは大きな自由度をもつので、図中では可能な限りのパターンの平均値とその変動係数を示してある。



この図を見ると、平均値、変動係数共に空間スケールを大きくするほど精度が向上していることが分かる。これは、図 3 の検討結果に示されるように近い距離では相関があり、近距離の平均値は領域全体の平均値をうまく推定し得ないことと符合している。従って、サンプリング数が固定されている場合、なるべく距離を離してサンプリングを行なうと良いことが分かる。今述べた問題は、平均値における議論である。

次に、どのくらいのグリッド間隔でサンプリングをすれば精度良く推定できるかを考える。観測で得たデータ結果を真の値と考えて、各グリッド間隔から求められた平均値からの誤差を変動係数で表現した。その変動係数とグリッド間隔との関係を図 6 に示す。図 6 をみるように、天気に関わらず、運動場、耕地共にグリッド間隔が長くなるほど、変動係数も上昇する傾向にある。但し、運動場について見ると、一様に変化するのではなく、グリッド間隔 40 m のところで、全体的に値が低くなっている。これは、この運動場自体の土壌水分のバイアスが、このグリッド間隔の時にうまく取り除かれたものと思われる。7/10 日や、8/31 日の観測結果に、この傾向が見られていないのは土壌があまりにも乾燥してしまい、このバイアスがなくなったからではないかと推測される。

ここで、平均土壌水分量推定の許容範囲を変動係数 5 % 以内にすれば、運動場では、20m 間隔で観測を行っても良いと考えられる。さらに、許容範囲を変動係数 10 % 以内までにするならば、8/31 日のように非常に乾燥している時を除けば、40 m で観測しても良いことになる。

一方、耕地ではグリッド間隔 20 m で変動係数がすでに 10 % を越えている。したがって、許容範囲を 10 % 以下に抑える

ためには、より詳細な観測を行う必要がある。

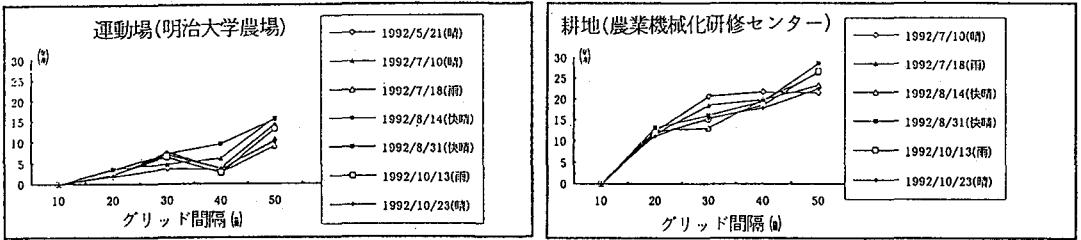


図 6 : グリッド間隔 (m) と変動係数 (-)

4. まとめ

運動場と耕地を対象として、どのようにサンプリングすれば衛星などのリモートセンシング広域データと突き合わせるときの代表値と見なしかを検討してきた。本研究で得られた成果をまとめると次の通りである。

- (i) 土壌物理特性は、運動場では観測期間中一様であったが、耕地では変動が見られた。
- (ii) 運動場では雨天時にはサンプリング地点間の土壌水分のばらつきが小さくなるが、耕地ではその傾向が見られなかった。
- (iii) 相対距離と自己相関係数の関係から、ある程度の距離が離れば天候に関わらず、運動場、耕地ともに独立の値を持つ。
- (iv) 体積含水率と変動係数の関係から、ある体積含水率以上になると、運動場、耕地ともに変動係数の値がある程度まで抑えられる。
- (v) 土壌水分量の所要な精度を得るためには、サイトの土壌物理特性および乾湿状態に応じた適切なサンプリング個数と間隔を選ばなくてはならない。
- (vi) サンプリング個数を固定した観測は、距離を離してサンプリングを行なったほうが全体の場を良く表現している。
- (vii) 許容範囲を満たすためのグリッド間隔について検討した結果、運動場ではグリッド間隔を大きくすることができるが、耕地ではより詳細な観測が望ましいと思われる。

ここでの結果を基に今後はもう少し大きな観測地域における検討とともに、衛星データとの突き合わせを行いながら、点情報と面情報との比較検討を重ねていきたい。

謝辞

この論文で用いたデータは ERS-1 衛星同期実験で得られたものである。共同観測を行った京都大学農学部林学科砂防研究室、長岡技術科学大学小池研究室、山梨大学砂田研究室、日本大学長谷部研究室、郵政省通信総合研究所電波応用部 水津 武さん、建設省土木研究所水文研究室深見和彦さんから ERS-1 土壌水分検証グループの皆様方および快く観測地域を提供して下さいました明治大学、千葉県農業試験場、同農業機械化研修センターの関係者の皆様方に対して、この場を借りて深謝致します。

参考文献

- 1) 例えば、砂田憲吾、木村真章：水文学評価のための最適空間スケールに関する基礎的研究、第 35 回水理講演会論文集、pp675-678、1991
- 2) Rafael L. Bras, Ignacio Rodriguez-Iturbe : Random Functions and Hydrology, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1984
- 3) 岡 明夫、宝 肇：豪雨極値の地域総合化に関する研究、第 46 回年次学術講演会 論文集、pp168-169, 1992
- 4) 原田守博、高木不折：地点観測値に基づく地下水分分布の統計的推定と観測網の評価、第 32 回水理講演会論文集、pp377-382、1988
- 5) J.D.Creutin, C.Obled : Objective Analyses and Mapping Techniques for Rainfall Fields: An Objective Comparison, WATER RESOURCES RESEARCH, Vol.18, No.2, pp413-431, 1982