

傾斜草地における表層土壌水分と土壌物理性の空間分布調査

諸泉利嗣*

Survey on Spatial Variability of Surface Soil Moisture and Soil Physical Properties in a Sloping Grassland Field

Toshitsugu MOROIZUMI*

(Received November 6, 2002)

Spatial variability of surface soil moisture, bulk density, saturated hydraulic conductivity, and penetration resistance (cone index) in a sloping grassland field were surveyed. The typical results were as follows: (1) The surface soil moisture and the bulk density were normally distributed at a significant level of 0.05. (2) The surface soil moistures were higher at low area than in high and slope area. The coefficients of variation were larger at slope area. (3) The coefficients of variation for bulk density were larger at slope area than in low area. (4) The distribution of saturated hydraulic conductivity can be considered to be log-normally distributed. (5) The cone index showed the normal distribution.

Key words: *Spatial variability, Surface soil moisture, Bulk density, Saturated hydraulic conductivity, Cone index*

1 はじめに

野外の土壌は、平坦地であれ傾斜地であれ、空間的に不均一である。特に傾斜地では、土壌浸食・再堆積作用の程度が地形上の位置によって異なるため土壌の空間変動が顕著になると考えられる。さらに、これらの影響に加えて、地形勾配のために傾斜方向に表面流出と土壌水分の側方流動が生じ、土壌水分分布の空間的不均一化が進む。

面的広がりを持つ圃場・農地土壌の物理性の変動特性を把握するために、これまでも数多くの調査・研究が行われてきた(例えば、長堀, 1971; 東山, 1971; 安中, 1986; 原口, 1990; 砂田ら, 1995; 岡部ら, 1996)。その結果として、乾燥密度と土壌水分量は正規分布し、飽和透水係数は対数正規分布することが明らかとなった。しかし、こうした研究例の多くは、平坦地を対象にしたものであって、傾斜地における調査例(例えば、Mohanty et al., 2000; 諸泉ら, 2002)はそれほど多くはない。特に、水田や畑地と異なり、草地は傾斜地に造成されることが多く、効果的な草地管理・保全を行うためには草地土壌の空間変動を的確に把握する必要がある。

そこで、傾斜地として草地を調査対象地として選び、

傾斜草地における表層土壌水分と、土壌物理性として乾燥密度、飽和透水係数および土壌の貫入抵抗値の空間分布調査を行った。本報告は、それらの調査結果を取りまとめたものである。なお、本研究は、表層土壌水分量の空間分布特性を把握するために行われた調査の一部であったことから、100m³ コアサンプラーを用いて測定された物理量に関しては表層部分のデータのみであることをあらかじめお断りしておく。

2 調査対象区と調査方法

2.1 調査対象区

調査は、青森県十和田市に位置する北里大学獣医畜産学部第2圃場内の傾斜草地で行った。図-1に調査圃場の概要を示す。調査圃場の地形は、あらかじめ地形測量と水準測量を行い、サンプリング地点の位置と標高を求めた。サンプリングはN-S方向の測点A1からA25の測線(測線N-S)上およびE-W方向のA25からP25の測線(測線E-W)上で行った。サンプリング地点の最高地点の標高は74.36m(測点A-5)、最低地点の標高は52.26m(測点K-25)で、両地点の標高差は22.13mであった。図-2に示すように、A1からA25の測線はN-S方向に傾斜しており、E-W方向のA25からP25の測線はほとんど平坦であった。調査圃場は十和田-八甲田火山の噴出物

*岡山大学環境理工学部環境管理工学科

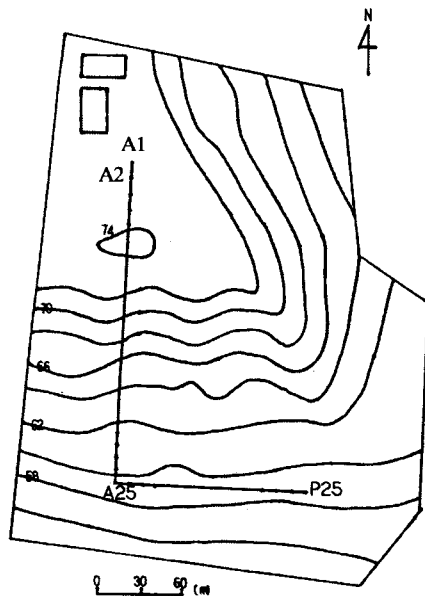


図-1 調査圃場の概要

に由来する火山灰砂質土壌（黒ボク土）からなり、草種はイネ科牧草であるオーチャードグラス、ペレニアルライグラス、チモシーなどが混在していた。

2.2 調査方法

サンプリングは測線に沿って 10m 間隔で行い、各測点 3 個のサンプリングを行った。サンプリングには直径 5cm、高さ 5.1cm の 100cm³ ステンレス製コアサンプラーを用い、表層部分の土壌を採取した。サンプリング調査は計 3 回行った。サンプリング日時、調査項目、サンプリング当日の気象概況などを表-1 に示す。

表層土壌水分量、乾燥密度、飽和透水係数は 100cm³ コアサンプラーを実験室に持ち帰り、表層土壌水分量と乾燥密度は炉乾燥法で、飽和透水係数は変水位透水試験でそれぞれ測定した。

土壌の貫入抵抗を調べるために、静的コーン貫入試験を行った。貫入試験は、コーン・ペネトロメーター（丸東製作所製、SR44）を用いて貫入速度を 1cm s⁻¹ として貫入抵抗を 5cm ごとに測定し、ロッド貫入長が 50cm に達したところで測定を終了した。貫入試験は各測点に対して 3 回行った。測定された土壌抵抗はコーン断面積で除しコーン指数に換算した。

3 結果と考察

3.1 表層土壌水分量

各サンプリング地点における体積含水率を図-3 に示す。体積含水率の値は各地点でサンプリングされた 3 個の平均値である。全体的な傾向として体積含水率は、N-S 方向の高位部から傾斜部（測点 A1 から A18）にかけて低く、N-S 方向の低位部と E-W 方向においては高い

表-1 調査日時、調査項目および当日の気象概況

調査日	10/9/1997	10/23/1997	11/19/1997
時 間	10:00~17:00	10:00~17:00	10:00~15:00
調査項目	乾燥密度, 体積含水率, 土壌貫入値	乾燥密度, 体積含水率, 土壌貫入値	乾燥密度, 体積含水率, 飽和透水係数
天 候	晴れ	晴れ	晴れ
調査前 1 週間の降水量(mm)	13	1.5	31.5

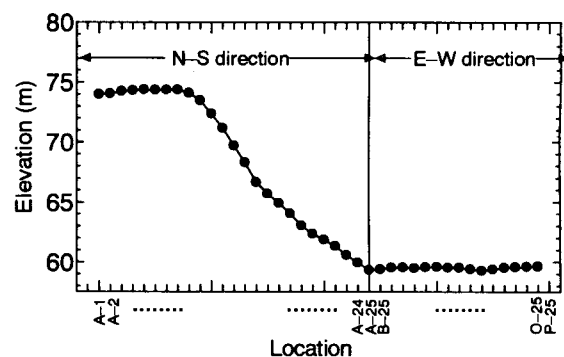


図-2 各サンプリング地点における標高

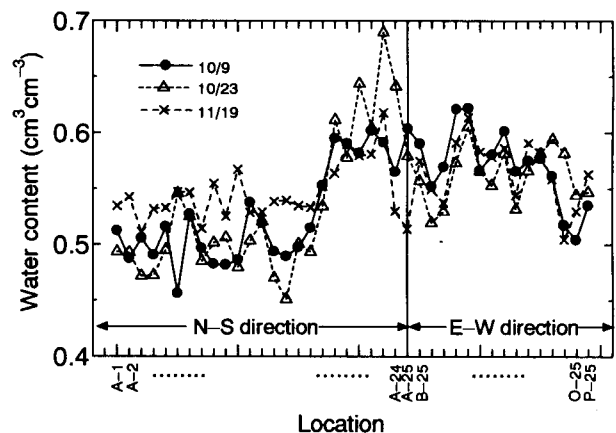


図-3 各サンプリング地点における体積含水率

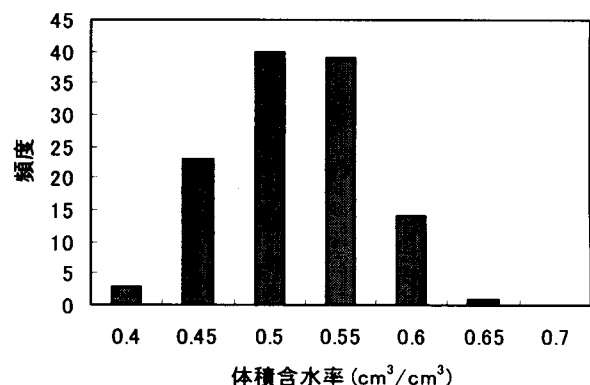


図-4 体積含水率の頻度分布（1997 年 10 月 9 日）

表-2 表層土壤水分量の基本統計量

日付	調査区域	標本数	標本平均 ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	不偏分散	標準偏差	変動係数 (%)	分布の 正規性*
10月9日	全 体	120	0.543	0.00236	0.0486	9.0	○
	N-S	75	0.527	0.00228	0.0477	9.1	○
	E-W	48	0.571	0.00141	0.0375	6.6	○
10月23日	全 体	120	0.543	0.00322	0.0568	10.5	○
	N-S	75	0.531	0.00426	0.0652	12.3	○
	E-W	48	0.563	0.00093	0.0305	5.4	○
11月19日	全 体	120	0.553	0.00110	0.0331	6.0	○
	N-S	75	0.545	0.00109	0.0330	6.0	○
	E-W	48	0.562	0.00102	0.0319	5.7	○

*Kolmogorov-Smirnov 検定を行い、有意水準 5%を基準に有意差なしを○、有意差ありを×とした。

傾向を示した。

図-4に体積含水率の頻度分布の一例(1997年10月9日)を示す。分布は左右対称になっており、Kolmogorov-Smirnov 検定の結果、正規分布とみなすことができた。他の調査日の測定値に関しても同様の分布を示した(表-2)。このことは、既往の研究結果と一致した。

各調査日における測線全体と測線別の基本統計量を表-2に示す。全測線の平均体積含水率は、11月19日が $0.553\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ と最も高く、10月9日と10月23日はともに $0.543\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ と同じ値になった。変動係数は、平均体積含水率が高かった11月19日が6.0%と最も小さかった。

測線別では、いずれの調査日においても高位部と傾斜部を含む測線N-Sよりも低位部である測線E-W上の体積含水率が $0.02\sim 0.04\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ 程度大きくなった。これは、土壤水分が傾斜地形により低位部に移動し、そのため低位部の土壤水分が高位部や傾斜部よりも湿潤状態になるという従来からの知見を支持する結果となった変動係数は、地形変化の少ない測線E-Wよりも傾斜部を含む測線N-Sで大きかった。

3.2 乾燥密度

各サンプリング地点における乾燥密度を図-5に示す。乾燥密度の値は各地点でサンプリングされた3個の平均値である。乾燥密度は、表層土壤水分量とは反対の傾向を示し、高位部から傾斜部にかけて大きく、低位部で小さくなる傾向がみられた。この傾向は、乾燥密度の平均値にも現れている。表-3に乾燥密度の基本統計量を示す。いずれの調査日においても、乾燥密度の平均値は高位部と傾斜部を含む測線N-Sで大きく、低位部の測線E-Wで小さかった。これは、低位部では土壤水分が湿潤状態にあり低位部より土壤水分の少ない高位部及び傾斜部よりも膨潤状態にあるからと推察される。両測線全体の平均乾燥密度は、0.78前後であった。

変動係数は、いずれの調査日においても測線N-Sが測線E-Wよりも大きかった。これは、傾斜地では土壤浸食・再堆積作用の程度が平坦地より大きいため土壤の不

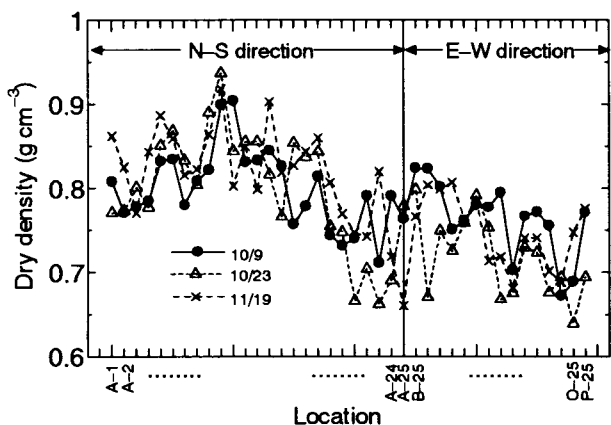


図-5 各サンプリング地点における乾燥密度

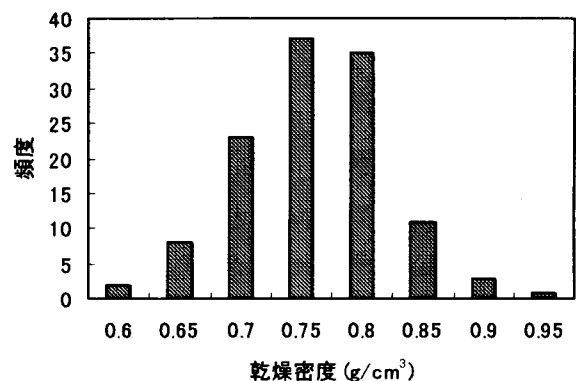


図-6 各サンプリング地点における乾燥密度

均一化が進行しやすかったためであると考える。

図-6に乾燥密度の頻度分布の一例(1997年10月9日)を示す。分布は左右対称になっており、Kolmogorov-Smirnov 検定の結果、正規分布とみなすことができた。他の調査日の測定値に関しても同様の分布を示した(表-3)。このことは、既往の研究結果と一致している。

表-3 乾燥密度の基本統計量

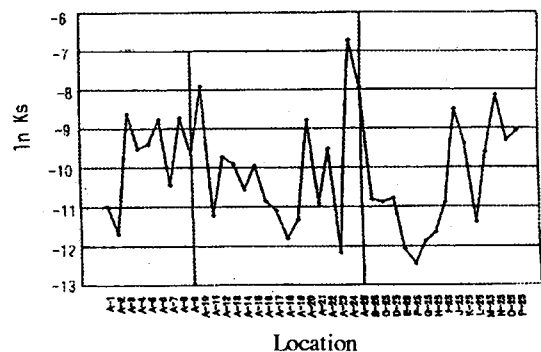
日付	調査区域	標本数	標本平均 (g cm^{-3})	不偏分散	標準偏差	変動係数 (%)	分布の 正規性*
10月9日	全 体	120	0.786	0.00401	0.0633	8.1	○
	N-S	75	0.799	0.00399	0.0632	7.9	○
	E-W	48	0.763	0.00314	0.0561	7.3	○
10月23日	全 体	120	0.768	0.00671	0.0819	10.6	○
	N-S	75	0.799	0.00586	0.0766	9.6	○
	E-W	48	0.720	0.00392	0.0626	8.7	○
11月19日	全 体	120	0.791	0.00460	0.0678	8.6	○
	N-S	75	0.819	0.00440	0.0663	8.1	○
	E-W	48	0.743	0.00244	0.0494	6.6	○

*Kolmogorov-Smirnov 検定を行い、有意水準5%を基準に有意差なしを○、有意差ありを×とした。

3.3 飽和透水係数

各サンプリング地点における飽和透水係数を図-7に示す。表層土壌水分量や乾燥密度とは異なり、飽和透水係数は測線によって異なる傾向を示さなかった。

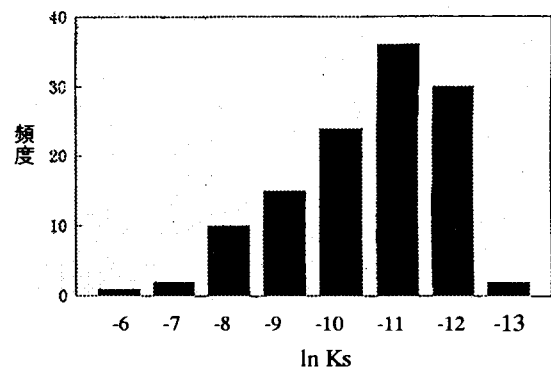
対数変換された飽和透水係数の頻度分布を図-8に示す。この図より、飽和透水係数は対数正規分布となる傾向にあることが伺え、既往の研究結果と一致した。飽和透水係数の標本平均は $9.60 \times 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$ 、標準偏差は $2.27 \times 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$ 、変動係数は 42.4 % となり、従来の知見と同様にバラツキが大きくなっている。

図-7 各サンプリング地点における $\ln K_s$

3.4 コーン指数 (土壌の貫入抵抗値)

深さとコーン指数 q_c (kgf cm^{-2}) の関係を表-4に示す。いずれの調査日においても、 q_c 値は表層の 5cm と 10cm で大きくなる傾向があった。測線別では、測線 N-S よりも測線 E-W での値が小さくなる傾向がある。これは、測線 E-W では土壌水分が多く乾燥密度が小さいことによるものと考えられ、 q_c 値と乾燥密度や土壌水分量との間にはある種の相関関係が成り立つものと推察する。

図-9にコーン指数 q_c の頻度分布の一例 (1997年10月9日) を示す。図より、12 (kgf cm^{-2}) を中心に左右対称の分布をしており、 q_c 値の分布は正規性を示すことが分かった。この傾向は10月23日の調査結果においても見られた。

図-8 対数変換された飽和透水係数 K_s の頻度分布 (1997年11月19日)

4 おわりに

本報告では、傾斜草地における表層土壌水分、乾燥密度、飽和透水係数および土壌の貫入抵抗値の空間分布の実態を把握するために、 100cm^3 コアサンプラーを用いた土壌サンプリング調査とコーン・ペネトロメータ試験を行った。主な結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 表層土壌水分量と乾燥密度は正規分布し、飽和透水係数は対数正規分布を示した。これらの結果は、既往の研究成果と一致した。
- (2) 表層土壌水分は高位部と傾斜部よりも低位部で高くなる傾向があった。また、その変動係数は、傾斜部を含

む領域で大きくなる傾向があった。

- (3) 乾燥密度は低位部よりも高位部と傾斜部で大きくなる傾向があった。変動係数は、傾斜部を含む測線 N-S が測線 E-W よりも大きかった。
- (4) 飽和透水係数の分布は、対数正規性を示した。また、変動係数は表層土壌水分や乾燥密度と比べて非常に大きな値となった。
- (5) コーン指数は、土壌水分と乾燥密度の影響を受けて、測線 N-S よりも測線 E-W での値が小さくなる傾向があった。また、その分布は正規性を示した。

表-4 深さとコーン指数 q_c (kgf cm^{-2})

深さ(cm)	10月9日		10月23日		各深さの 平均値
	測線 N-S	測線 E-W	測線 N-S	測線 E-W	
5	12.14	11.10	13.68	11.41	12.08
10	13.28	12.42	13.83	12.48	13.00
15	11.91	11.12	12.73	11.20	11.74
20	10.97	9.59	12.48	9.98	10.76
25	11.04	10.47	12.17	9.62	10.83
30	10.58	10.67	11.54	9.80	10.65
35	10.39	11.0	11.62	10.16	10.79
40	10.35	11.05	11.11	10.51	10.76
45	10.76	11.43	11.32	10.92	11.11
50	11.96	12.01	12.17	12.02	12.04
全層平均	11.34	11.09	12.27	10.81	

謝辞：本研究を進めるにあたり，北里大学獣医畜産学部
の佐藤裕一教授と佐藤幸一助教授からは有益な助言をい
ただきました。サンプリング調査には北里大学獣医畜産
学部畜産土木工学科飼料農地造成学研究室の平成9年度
専攻生（梅田嘉明君，笠島亮太君，杉山 大君，中村康
幸君）の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表し
ます。

参考文献

- 安中武幸 (1986)：転換畑圃場内における土壌物理性の変
動，土壌の物理性，**53**，pp.58-64.
- 原口暢朗 (1990)：土壌管理作業による土壌水分・乾燥密
度の空間分布および空間構造の変化について，農土論
集，**150**，pp.27-35.
- 東山 勇 (1971)：農地土壌のサンプリングに関する基礎
研究 (Ⅶ)，農土論集，**36**，pp.74-77.
- Mohanty, B. P., Skaggs, T. H., and Famiglietti, J. S. (2000) :
Analysis and mapping of field scale soil moisture
variability using high-resolution, ground-based data during
the Southern Great Plains 1997 (SGP97) Hydrology
Experiment, Water Resour. Res., **36**, 1023-1031.
- 諸泉利嗣・佐藤裕一・佐藤幸一 (2002)：傾斜草地におけ
る表層土壌水分の空間分布特性と領域平均を示す代
表地点の探索，農土論集，**220**，pp.9-17.
- 長堀金造 (1971)：児島湾干拓地水田の含水比と乾燥密度
の不均一性，農土論集，**36**，pp.1-8.
- 岡部和典・原口暢朗・安中武幸 (1996)：飽和透水係数お
よび乾燥密度の面的な平均値推定のためのサンプリ
ング要素の設定条件に関する事例的検討，農土論集，**184**，
pp.175-183.
- 砂田憲吾・伊藤 強・宮野裕二 (1995)：裸地表層土壌水
分の空間分布特性，水文・水資源学会誌，**8**(2)，
pp.210-216.

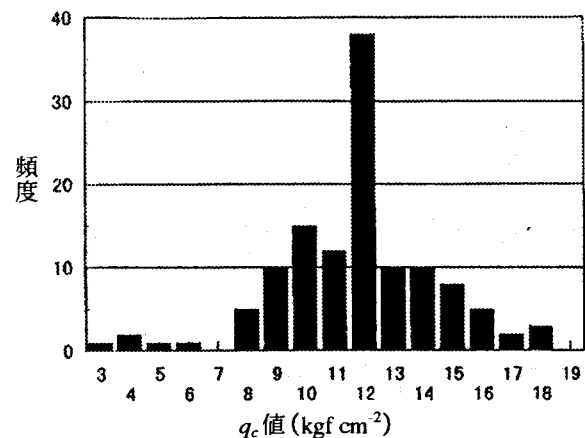


図-9 標準貫入値 (q_c) の頻度分布
(1997年10月9日)