

## 研究資料 Research Notes

## コナラ林黒ボク土壌における土壌水分センサの較正

芳賀弘和<sup>1\*</sup>Calibration of soil moisture sensors for andosol in a konara oak (*Quercus serrata*) forestHirokazu Haga<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 鳥取大学農学部生物資源環境学科 (〒680-8553 鳥取市湖山南 4-101)  
Department of Biological resource and environment, Faculty of Agriculture, Tottori University,  
Tottori, 680-8553, Japan

\* E-mail: haga@muses.tottori-u.ac.jp

## 要 旨

中国山地中央部に位置するコナラ林（鳥取大学・蒜山の森）の土壌表層にある黒ボク土壌に対して、土壌水分センサ（CS615, Campbell）の較正を行った。較正用の土壌試料は、2つの斜面（平方斜面と凹型斜面）において、それぞれ斜面下部から上部にかけて5地点で採取した。採取深は、地表面（リター層を除く）から深さ33 cmまでであり、円筒カラム（直径11 cm, 長さ33 cm）を用いてできる限り不攪乱に近い状態で採取した。実験室において、土壌試料へ注水した状態、底面から吸水によって飽和した状態、その後自由排水した状態、及び絶乾した状態を作り出し、それぞれの状態でのセンサの出力値と試料の体積含水率の関係を調べた。その結果、全ての地点においてセンサの出力値と体積含水率の関係は3次式で近似でき、地点ごとに土壌水分センサの較正式を得ることができた。今回用いたセンサは、野外での長期使用が可能であるため、斜面部位ごとの較正式は斜面スケールでの表層土壌水分モニタリングを行う上で重要な基礎情報となる。

キーワード：土壌水分センサ, 較正, 黒ボク土壌, 蒜山の森

## I . はじめに

森林における表層土壌の水分状態は、植物の生育、水や物質の循環、洪水流出の発生、斜面崩壊、水源涵養等、様々な現象と密接に関連している。このため、森林における表層土壌の水分量の時間的変化を精度よく、かつ長期にわたって観測することは極めて重要である。

一般に、表層土壌の水分状態の観測には、土壌の間隙水圧や比誘電率に対応する出力を持つタイプのセンサが用いられる。間隙水圧の観測にはテンシオメータ法が用いられることが多く、間隙水圧と体積含水率の関係に基づいて土壌水分量を把握できる。他方、土壌の比誘電率の測定にはTDR (time domain reflectometry) 法が用いられることが多く、比誘電率と体積含水率の関係に基づいて土壌水

分量を把握できる。特に近年、TDR法やそれに準ずる手法を応用した様々なセンサが開発され、土壌水分量のモニタリングに利用される場面が増えてきている。しかし、どのようなセンサを用いるにせよ、精度の良い観測を行うためには、観測対象となる地点の土壌に対して土壌水分センサの較正式を得ることが不可欠である。

現在、著者らは鳥取大学・蒜山の森の試験流域において、洪水流出機構の解明と河川水の栄養塩濃度の形成機構の解明に向けて、降水量、河川流量、栄養塩の負荷量についてモニタリングを行っている。このため、この試験流域における土壌水分量に関するデータは、降雨-流出応答を特徴付ける流域の湿潤状態を表す指標として、あるいは土壌中の栄養塩動態（例えば、硝酸態窒素の生成、消費、流亡）に影響を与える水文学的要因として扱われ、解析を

深めるために必要である。ただし、森林における土壌の保水性や透水性を調べたこれまでの研究によると、森林土壌は空間的不均質性が高いことが報告されており、土壌水分量の把握もこの空間的不均質性を考慮して行うことが重要であると思われる。

既報（芳賀ら，2011）でも指摘したように、中国山地ではナラ枯れの被害が拡大しており（日本海新聞，2010）、ナラ枯れに伴う水・物質循環の変化を把握することは下流域の水資源や水環境の保全を考える上で重要となる。このため、中国山地中央部に位置しナラ類が多く分布する蒜山の森において降水量や流量とともに土壌水分量をモニタリングすることは大きな意味がある。また、蒜山地域では、現在のところナラ枯れの被害は報告されておらず、これらの水文データは当該地域のバックグラウンドデータとしても重要な意味がある。

以上を踏まえ、蒜山の森におけるコナラ林の土壌表層にある黒ボク土壌に対して TDR 法を応用した土壌水分センサの較正を行った。本報告では、斜面形状の異なる 2 つの斜面において、斜面部位を考慮しながら土壌試料を採取し、それぞれの地点での較正式を示し、今後の斜面スケールでの土壌水分モニタリングのための基礎資料を示すこととした。

## II. 土壌試料の採取地と採取方法

土壌試料は、鳥取大学・蒜山の森の 22 林班にある水文試験地内で採取した（芳賀ら，2011）。この

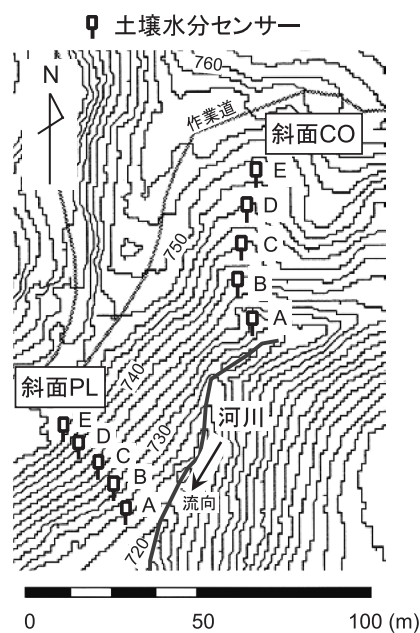


図1 調査対象とした斜面における土壌水分センサの配置  
地形図は長澤・大木場（2011）を参照した。

試験地の流域面積は、航空機 LiDAR データから作成した地形図（図1；長澤・大木場，2011）に基づく5.9haであった。地質は大山凝灰角礫岩層であり（田中ら，1981）、土壌は黒色火山灰土を母材とする黒ボク土であった。植生は林床がチマキザサに覆われたコナラ林を主とし、流域の下流部右岸側の一部は、ヒノキ人工林（約30年生）となっていた。この試験地の上流部において、斜面形状の異なる2つの斜面（PLとCO）を抽出し、それぞれ斜面下部から上部にかけて5地点（A～E）で表層の黒ボク土壌を採取した。斜面PLは地形図上で直線的な等高線が並ぶ形状（平型斜面）を呈しており、他方、斜面COは湾曲した等高線が並ぶ集水形状（凹型斜面）を呈していた。

各斜面の地点A～Eにおいて、地表面（リター層を除く）から深さ33cmまでの土壌を円筒カラムで採取した。円筒カラムは、ポリ塩化ビニルのパイプを切断し（内径10.7cm、厚さ0.31cm、長さ33cm）、土壌へ挿入しやすくするためにパイプの片側の厚みを薄くして土壌採取用とした。この円筒カラムを各地点につき1本ずつ用意し、各地点の地表面から鉛直に挿入し土壌を採取した。深さ約20cmまでは円筒カラムを手で押し込んで挿入することができたが、それ以上になると手の力では挿入が困難になる場合があった。このような場合には、円筒カラムの上に板を置き、その板をゴムハンマーで叩いて少しずつ挿入した。円筒カラムが完全に挿入されたら、カラムを土壌ごと取り出し、カラムの下端から飛び出した土壌を削って整形した。この土壌試料の入った円筒カラムを運搬する際には、カラムから土壌試料が抜け落ちないようにカラムの両端にビニルテープを巻き付けて土壌試料を固定した。円筒カラムの挿入と運搬の過程においては、円筒カラムと土壌試料の間に隙間ができたり、土壌試料が激しく動いたりしないように注意し、できる限り土壌試料を攪乱しないようにした。

## III. センサの較正方法

実験室に持ち帰った土壌試料の入った円筒カラムは、両端に巻き付けてあったビニルテープを外してカラム下側に濾紙を取り付けた後、バケツ（直径25cm、深さ30cm）に立てて置いた。土壌試料の上面から100mLの水を徐々に加えて馴染ませた後、土壌水分センサを挿入し、センサの出力値を読み取った。ここで使用した土壌水分センサは、TDR法を応用したもの（CS615, Campbell）であり、

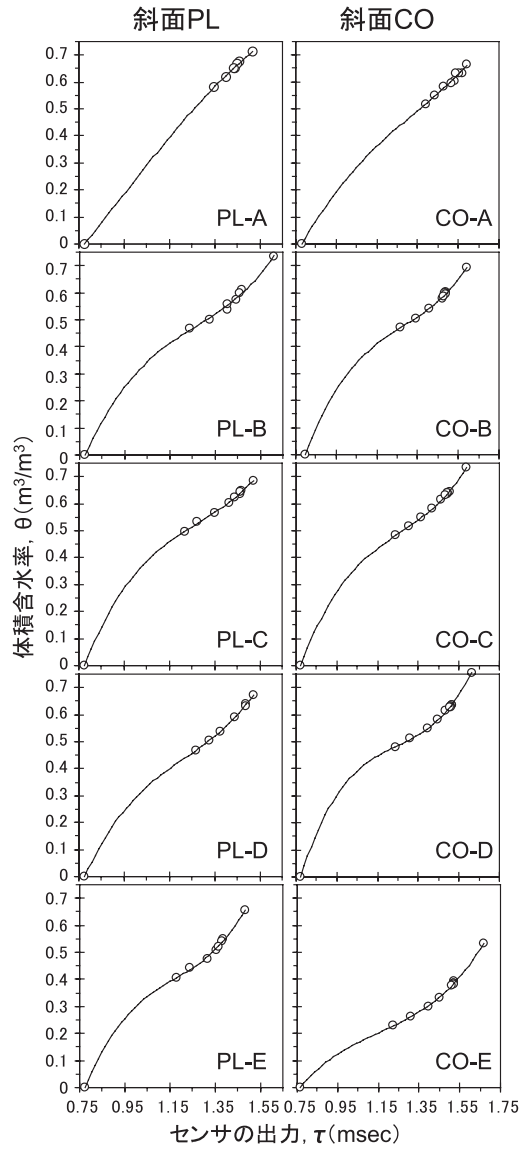


図2 各地点の表層土壌に対する土壌水分センサの較正式

表1 斜面PLとCOでの各地点における較正式の係数と $r^2$ 値.

	斜面PL					斜面CO				
	PL-A	PL-B	PL-C	PL-D	PL-E	CO-A	CO-B	CO-C	CO-D	CO-E
a	-0.351	1.907	2.130	2.140	3.371	0.742	2.258	2.132	2.989	1.143
b	0.954	-7.218	-8.165	-7.827	-11.839	-3.007	-8.662	-8.064	-11.179	-3.967
c	0.206	9.630	10.948	10.115	14.351	4.695	11.551	10.670	14.288	4.931
d	-0.570	-4.016	-4.572	-4.136	-5.583	-2.190	-4.853	-4.414	-5.745	-1.962
$r^2$ 値	1.000	0.998	1.000	1.000	0.999	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000

2本のステンレスロッド（直径0.32 cm，長さ30 cm，ロッド間隔3.2 cm），エポキシ樹脂で覆われたプリント回路板（11.0 cm × 6.3 cm × 2.0 cm），及びケーブル（電源供給用，起動用，出力用）で構成されていた。土壌水分センサは，ノートパソコンに連結したデータロガー（CR10X，Campbell）に

接続し，センサの出力値をノートパソコンの画面にリアルタイムに表示させた。この後，土壌水分センサを挿したまま，100 mLの水を加えてセンサの出力値を読み取る作業を円筒カラムの底面から排水が確認されるまで繰り返した（最大で3回）。

排水が確認された後は，土壌試料に直接注水する

ことはせず、バケツの方に注水してカラム下端から土壌に吸水させることによりカラム内の土壌試料を飽和状態にし、センサの出力値を読み取った。同時に、バケツから電子天秤の上に移し、飽和状態での土壌試料と円筒カラムの総重量を測定した。

次いで、土壌試料から自由排水させることにより、水分量を減じた状態でのセンサの出力値を読み取り、土壌試料と円筒カラムの総重量を測定した。実験遂行上の都合により、自由排水の時間は、斜面 PL の試料で 8 時間、斜面 CO の試料で 24 時間とした。

その後、土壌試料を円筒カラムからバットへと移し替え、乾燥機内 (105°C, 24 時間) で絶乾状態にした。円筒カラムの重要と絶乾状態の土壌試料の重量を測定した後、土壌試料を円筒カラムに戻し、土壌水分センサを再度挿入して出力値を読み取った。

最後に、上で測定した土壌試料と円筒カラムの重量に加え、円筒カラムに付けた濾紙の重量と土壌水分センサの重量も考慮して、注水した状態、飽和状態、自由排水させた状態、及び絶乾状態での体積含水率を算出した。さらに、各状態でのセンサの出力値と体積含水率を散布図にプロットし両者の関係を調べ、当該の土壌試料に対する土壌水分センサの較正式を得ることとした。この一連の作業を斜面 PL と CO の各地点 A ~ E の土壌試料に対して行った。

#### IV. 較正式

2009 年 11 月に、斜面 PL と CO の各地点において土壌試料を採取し、同年 12 月に土壌水分センサを較正した。各地点の土壌試料に対する土壌水分センサの出力値と体積含水率のデータをプロットした結果、3 次式でうまく近似することができた (図 2)。較正式を次のように表すと、各地点における係数  $a \sim d$  は表 1 のようになった。

$$\theta = a\tau^3 + b\tau^2 + c\tau + d \quad (1)$$

ここで、 $\theta$  は体積含水率 (単位:  $\text{m}^3/\text{m}^3$ )、 $\tau$  はセンサの出力値としての電磁波の伝達周期 (単位: msec) である。

釣田ら (2009) は、茨木県の火山灰由来の土壌が分布する斜面の 2 地点 (斜面上部と下部における深さ 90 cm の地点) の土壌に対して本報告と同型の土壌水分センサ (CS615, Campbell) の較正を行った。その結果、センサの出力値と体積含水率

の関係は 3 次式で近似できることを報告しており、今回の結果と一致する。この点と較正式の決定係数の高さを考慮すると、今回の実験ではデータが得られなかった範囲 (絶乾状態と自然排水状態の間) は較正式による内挿が十分に可能であると考えられる。また、斜面 PL と CO の各地点 A ~ E において 2009 年 8 ~ 12 月に行った土壌水分の観測 (計測間隔は 10 分) では、センサの出力値が 1.1 ~ 1.5 msec の範囲にあった。この期間は、1 年で最も乾燥する時期と台風時の大雨に伴う湿潤な時期を含んでいた。また、この出力値の範囲においては、較正式はほぼ直線であった。したがって、1 年を通じて土壌水分量をモニタリングするには今回示した較正式で十分であると考えられる。

#### V. おわりに

今回用いた土壌水分センサ (CS615, Campbell 社製) は、メンテナンスがほとんど必要ないため野外での長期使用が可能である。このため斜面部位ごとの較正式は、斜面スケールでの表層土壌水分のモニタリングを行う上で重要な基礎情報になると思われる。このモニタリングが可能になれば、植物の生育環境の評価のみならず、流域の湿潤状態を表す指標として先行土壌水分指数 (ASI) の把握ができるため、降雨流出過程や土壌中の栄養塩動態をより詳しく解析することが可能になる。また、今回は斜面形状の異なる 2 つの斜面 (平型斜面と凹型斜面) での較正式を得ており、今後は表層土壌の水分状態を評価しながら水や物質の流出に果たす斜面の役割について分析できる可能性がある。

#### 謝 辞

調査に際し、蒜山の森のスタッフである松原研一さん、小谷好正さん、福富昭吾さん、楨本小百合さんに大変お世話になった。土壌試料の採取においては、米原朱音さんを始め鳥取大学農学部環境共生科学コースの多くの学生に協力していただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 引用文献

- (1) 芳賀弘和・米原朱音・清水笑子・山中貴裕・辻本佳奈 (2011) 蒜山の森・W1 量水堰堤における水位-流量曲線. 広葉樹研究 14: 21-24.
- (2) 長澤良太・大木場紫 (2011) 高分解能衛星画像

- と航空機 LiDAR を用いた森林情報の抽出. (広葉樹資源の管理と活用. 鳥取大学広葉樹研究刊行会編, 242pp, 海青社, 大津), 191-208.
- (3) 田中一夫・奥村武信・井上昌・下野清 (1981) 広葉樹林における水源かん養機能に関する研究 (I). 鳥取大学農学部演習林報告 13: 37-48.
- (4) 釣田竜也・吉永秀一郎・阿部俊夫 (2009) Buckingham-Darcy 式を適用した森林土壌下層部の鉛直水フラックス推定. 日林誌 91: 151-158.

