

## GNSS 干渉反射法による土壌水分量計測に関する計測範囲の基礎実験 Basic experiments on measurement ranges of soil moisture content with GNSS interferometric reflectometry

○小林大樹\*, 青木伸輔\*\*, 小平俊介\*\*\*, 丸尾裕一\*\*\*, 櫻田洋介\*, 荒武淳\*, 佐藤直人\*\*\*\*,  
登尾浩助\*\*\*\*

KOBAYASHI Daiki, AOKI Shinsuke, KODAIRA Shunsuke, MARUO Yuichi, SAKURADA Yosuke,  
ARATAKE Atsushi, SATO Naoto, NOBORIO Kosuke

### 1. 背景

日本では洪水や土砂災害を引き起こす大雨や短時間強雨の回数が増加しており、それに伴い風水害、土砂災害の発生回数も増加傾向にある。これらの防災・減災に向けて発生予測を高精度化することが喫緊の課題となっている。現在、土砂災害の発生危険度は降雨量をベースに予測されているが、土砂災害の指標となる土壌水分量を直接計測できれば、予測精度をより向上できる可能性がある。

近年では GPS (Global positioning system) に代表される全球測位衛星システム GNSS (Global navigation satellite system) による干渉反射法が、広範囲の土壌水分量を非接触計測する手法として注目されている。GNSS 干渉反射法は GNSS 衛星から直接地上の受信機に到達する直接波と地表面からの反射波によって生じる干渉パターンを利用して、対象物の特性を計測する技術である(Larson et al., 2010)。この方法は、広範囲の土壌水分量をモニタリングする手法として実用が期待されるが、精度や計測範囲に検討の余地がある。特に仰角と方位から計算される電波の反射点付近の水分量が検出されると想定されるものの、定量的な検証はなされていない。そこで、グリッド状に敷き詰めた水槽を用いて面的な水分分布パターンを用意し、注水パターンと GNSS 干渉反射法の計測結果から計測範囲を見出すことを目指した。本検討ではすべての水槽の状態を一律に水が有り無しとの極端な 2 パターンで実験することで、本実験の有効性を確認することを目的とする。

### 2. 方法

GNSS レシーバ (Trimble Alloy) とチョークリングアンテナ (高さ 1.8 m) を設置し、その南側に 14 m×12 m の領域にてグリッド状に水槽を並べて GPS の信号を測定した (図 1)。実験場所は茨城県つくば市、実験日は 2022 年 2 月中の 8 日間とし、前半 4 日間をすべての水槽を空、後半 4 日間をすべての水槽を水深 100 mm まで満たして測定した。対象の GPS 衛星は衛星番号 PRN で表現される PRN 9, PRN 12 の 2 機、

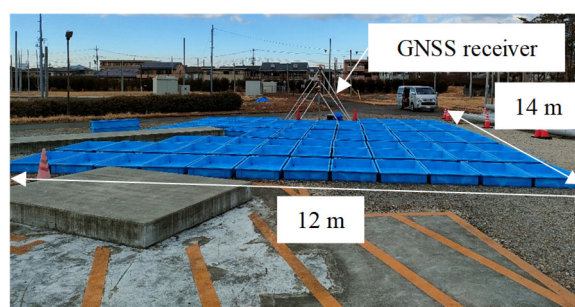


図 1 実験環境の様子

Fig. 1 Experimental environment.

\*NTT アクセスサービスシステム研究所, NTT Access Network Service Systems Laboratories

\*\*明治大学研究・知財戦略機構, Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University

\*\*\*明治大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Meiji University

\*\*\*\*明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 土壌水分計測, GNSS 干渉反射法, GPS 干渉反射法

信号周波数は L1 とした.

一連の GNSS の信号処理は Larson et al. (2010) にならった. 具体的には信号雑音比 SNR (signal-noise ratio) を連続計測して, 衛星仰角  $E$  が  $5^\circ$  から  $25^\circ$  の範囲を切り出した. 次に, 2 次回帰式によるトレンド除去の後, 式(1)に示す余弦波の曲線回帰により SNR 位相  $\phi$  を求めた.

$$SNR = A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin E + \phi\right) \quad (1)$$

ここで,  $A$  は振幅,  $h$  は地表面からのアンテナ高さ,  $\lambda$  は信号周波数である. そして, SNR 位相  $\phi$  より土壌水分量の値が推定される.

### 3. 結果

図 2 に信号処理前の SNR 計測結果の一例を示す. 図 2 の通り周期的な SNR の強弱, すなわち干渉波が観測された. 次に, 表 1 に今回観測した GPS 信号からの SNR 位相  $\phi$  の計測結果を示す. 水槽内の水の有無による位相差の最小値は PRN 9 で  $52^\circ$ , PRN 12 で  $74^\circ$  と大きな差を示しており, 水槽内の水の有無に応じて位相差が生じていた.

### 4. 考察と今後の課題

本実験では, すべての水槽が空もしくは水有りの両極端なパターンで GNSS 干渉反射法による水の検出可否を実験した. その結果, 水槽の水の有無に反応して SNR 位相  $\phi$  が変化した. すなわち, 本実験系で水槽内の水の有無パターンを変えながら, SNR を計測することで, 水平方向の計測範囲を検証できることを確認できた. 加えて, 本研究によりアンテナを高さ 1.8 m に設置した場合, 最大で  $14 \text{ m} \times 12 \text{ m}$  の領域の土壌水分を検出しているといえる. アンテナ高さ等の関連要因も考慮しながら, 本実験系により水平方向の計測範囲を定量的に検証していくことが今後の課題である.

#### 参考文献

Larson, K. M., Braun, J. J., Small, E. E., Zavorotny, V. U., Gutmann, E. D. & Bilich, A. L. (2010) GPS Multipath and Its Relation to Near-Surface Soil Moisture Content. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3, 91-99.

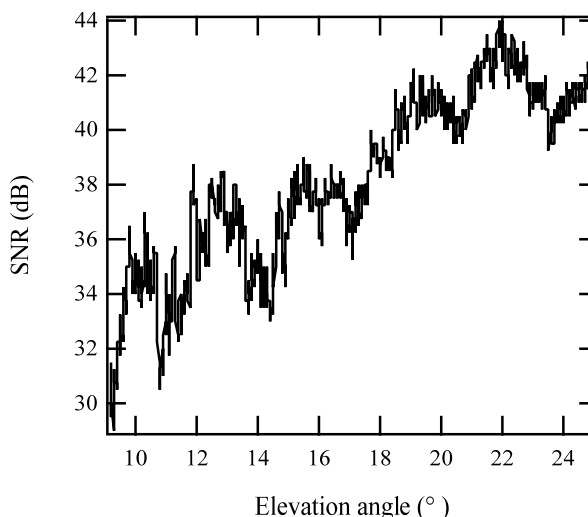


図 2 SNR 計測 (PRN12) の例

Fig. 2 Example of SNR measurement (PRN12).

表 1 GPS 信号からの SNR 位相の計測結果  
位相は計測回数  $N=4$  による値

Table 1 Measurement results of SNR phase from GPS signals. Phase is calculated by number of measurements  $N=4$ .

No. GPS	Water in tank	Phase $\phi$ ( $^\circ$ )		
		Average	Max	Min
PRN 9	Available	0	0	0
	Not available	66	81	52
PRN 12	Available	0	0	0
	Not available	82	101	74