

GPS のマルチパス信号を利用した土壌水分推定の可能性検討

Possibility study of soil moisture estimation using GPS multipath signals

○齊藤忠臣*・足立 望**・河合隆行***・藤巻晴行***・猪迫耕二*・登尾 浩助****・森 也寸志*****

○Tadaomi Saito*, Nozomi Adachi**, Takayuki Kawai***, Haruyuki Fujimaki**,

Koji Inosako*, Kosuke Noborio**** and Yasushi Mori*****

1. はじめに

土壌水分は地表の環境要素の中で最も重要な要素の一つであり、農業分野においてはもちろんのこと、水資源・水循環、陸域生態系、地球気候システムにおける重要なパラメータの一つでもある。今日では誘電率水分計をはじめとした数多くの土壌水分測定法が存在しており、これらは「点」的な水分モニタリングとしては簡便かつ十分に精度の高いものである。しかし、土壌水分は空間変動性を持つパラメータであるため、近年ではより実用性の高い「面」での広域モニタリング手法について様々な検討がなされている。Larsonら(2008)はGPS衛星から地球へと飛来する電波のマルチパス信号を用いて広域土壌水分が推定できる可能性を示した。理論としては、GPS衛星が発信する信号は受信機に直接届く直接波と地表面で反射した間接派の複合(マルチパス)信号であり、地表面浅層の土壌水分によってマルチパス信号内に生ずる位相のずれを解析することにより、土壌水分の推定が可能となるというものである。本研究では、圃場に市販の安価なGPS受信機を設置し、水分計を用いたモニタリング結果との比較などを通じ、GPS信号を利用した広域の土壌水分推定の可能性を検討することを目的としている。

2. 研究方法

2.1 圃場における観測：鳥取大学乾燥地研究センターの砂地圃場(100×40m)の中央にGPSアンテナ、データ取得装置、誘電率土壌水分計を設置した観測区を作成した(図1)。GPSアンテナには安価なGPS受信機(SiRF STAR IV, GROBALSAT社)を用いた。アンテナの設置高は地表1.8mである。GPSアンテナのデータは接続されたデータ取得機(匠技術研究所)を用いて回収した。また、静電容量式の誘電率水分計5TM(Meter社)を、圃場を中心とした東西南北4か所の約1.5m離れた地点に設置した。GPS電波の周波数帯の地面への侵入深度は5cm程度であるため、水分計の設置深度を表層5cmに設定し、後述する解析結果の検証に利用した。

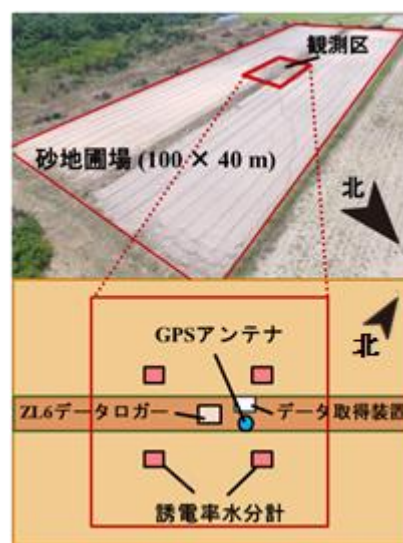


図1 圃場と観測区
Field and measurement area

2.2 GPSデータの解析方法：軌道が安定しており水分モニタリングに適した衛星のデータから、土壌水分測定と特に関係の深い衛星の仰角、そしてマルチパスが影響する信号対雑音比(Signal to Noise Ratio: SNR)等のデータを抽出し、解析を行った。まず、整数値で出力される仰角を時間と仰角の多項式近似式を元に平滑化(以降 E_{dp} と表記)した。続いて、

*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori Univ., **内外エンジニアリング, Naigai Engineering, ***鳥取大学乾燥地研究センター, Arid Land Research Center, Tottori Univ., ****明治大学農学部, Meiji Univ., *****岡山大学環境生命科学研究科, Okayama Univ. キーワード: GPS, 広域土壌水分, マルチパス

SNR の波形の基準化・明瞭化のため，単位変換や E_{dp} との関係を利用したトレンド除去を行なった．トレンド除去後の SNR (SNR_t) と仰角 E_{dp} の関係の一例を図 2 に示す．この関係を非線形最小二乗法によって式 (1) に当てはめた．

$$SNR_t = A \cos\left(\frac{4\pi H}{\lambda} \sin E_{dp} + \varphi\right) \quad (1)$$

フィッティングパラメータは A : 振幅， H : アンテナ高，位相のずれ： φ であり， λ は

L1 バンドの GPS 波長 (0.19029 m) である．この推定された φ が土壌水分変動と関係があるパラメーターとされているため，誘電率水分計 4 本で測定された水分量の日平均値と φ との相関を調べた．なお，図 2 で示すように仰角 $\sin E_{dp}$ が 0.31 以上では波形が不明瞭であり，式 (1) とのあてはめがうまくいかなかったため，本研究では仰角 $\sin E_{dp}$ が 0.31 以上の高仰角 (約 $18 \sim 30^\circ$ の範囲) は解析に使用しなかった．また，低仰角についても樹木などの障害物の影響が考えられたため，衛星軌道方向の樹木の位置と平均樹高から割り出した影響範囲 (仰角 $5 \sim 8^\circ$) のデータも解析から除外した．

3. 結果・考察

衛星の軌道を解析した結果，PRN7, 21, 23, 30 の衛星は各日で基本的に軌道が変化しなかった．そこで安定して同じ軌道を通るこれら 4 つの衛星を，土壌水分との比較に適した衛星として水分推定の解析に用いた．図 3 に解析によって推定された位相のずれ φ と日平均土壌水分との関係を示す．これらは高仰角と低仰角の影響を排除した，仰角 $9 \sim 18^\circ$ での狭い範囲での解析結果であるが，いずれの衛星についても土壌水分と正の相関があるという結果を得た．特に PRN7 では $R = 0.83$ と強い正の相関があり，比較的高い精度で位相のずれ φ を用いて土壌水分が推定できる可能性が示された．なお低仰角についての除外を行わなかった場合，この相関は $R = 0.39$ まで低下した．以上の結果から，植生のない砂地の圃場において，安価な GPS 受信機を用いた場合，高仰角・低仰角を排除する，つまり限られた範囲で地表面から GPS 受信機へと反射してくる信号を解析することで，ある程度の精度での土壌水分の推定値が可能であることが分かった．

参考文献

Larson *et al.*, (2008) : Use of GPS Receivers as a Soil Moisture Network for Water Cycle Studies. *Geophysical Research Letters*, 35

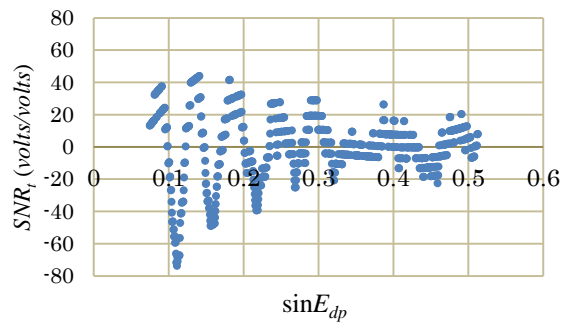


図 2 トレンド除去後の SNR_t と仰角 E_{dp} Relationship between SNR_t after removing its trend and E_{dp}

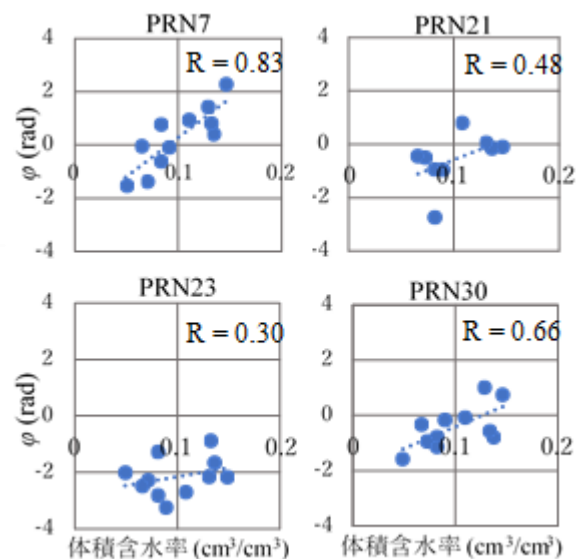


図 3 位相のずれ φ と日平均土壌水分の関係 Relationship between φ and daily mean soil water content