

ギニアサバンナ気候区における降雨および土壌水分時系列データの簡易モデル A Simple Model for Data Series of Rainfall and Soil Moisture in Guinea Savanna Climate Zone

○宇波耕一*・河地利彦*
Koichi Unami and Toshihiko Kawachi

1. はじめに 天水農業が行われている地域において、水管理手法の改善や洪水予測を行うためには、降雨に対する土壌水分の応答を把握することが必要である。一般に、土壌水分の時空間的分布は、飽和-不飽和浸透流に対するRichards式モデルによって記述されるが、設定すべきパラメータが多く、それらの値を直接測定、あるいは土壌水分の観測データから推定することは容易ではない。例えば、Xu *et al.* (2004)は、1次元Richards式を流出モデルとして用いる際に、線型システム概念を取り入れてパラメータの不確定性に対処している。ここでは、汎用性よりも現地への適用性を重視し、降雨と土壌水分の観測が行われている特定の地点を対象とする簡易な数理モデルを開発する。対象地点は、西アフリカのギニアサバンナ気候区に属するガーナ国内に設ける。この地域における水資源と土壌に関する諸問題は、Kranjac-Berisavljevic *et al.* (1998)によって報告されている。観測された時系列データからモデルパラメータの推定を行う。さらに、渇水に対して安全側となるように配慮しつつモデルを線型化する方法について言及する。

2. 対象地点の概要と観測システム 降雨と土壌水分の観測システムを、ガーナ国北部州Tolon/Kumbungu地区Gung集落から北北東へ約700m離れた北緯09度29分57.1秒、西経00度59分17.3秒の地点に、2005年9月1日より設置、運用している。近隣の都市Tamaleにおける平均年降雨量は1,050mm程度であり、年間降雨パターンはFigure 1に示すようにギニアサバンナ気候区の特徴を示し、年に一度の雨季に集中する。

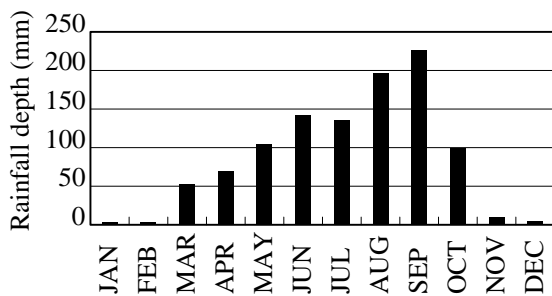


Figure 1: Tamale市の月別平均降水量

一方、土壌は世界土壌照合基準(WRB)によればHaplic lxisols(LXha)に分類されるものである(Agyare *et al.*, 2002)。地表面の勾配は1/100程度であり、洪水時の湛水域には含まれていない。また、2千万m³級の貯水容量を持つと思われるBontanga灌漑ダムの集水域に位置するが、同ダムからの利水はなされておらず、天水農業および自生するシェアの実の採集が主として営まれている。なお、国家プロジェクトにより、風力によって地下水を貯留タンクに揚水して乾季の灌漑を行うシステムが整備済であるが、稼働は確認できていない。

観測システムは、パルスロガーに接続した0.2mm転倒ます型雨量計、および1時間毎のデータを記録するロガーに接続したADR土壌水分計により構成されている。土壌水分計のセンサーは、地表より15cmの深さに位置している。2006年2月12日にロガーよりデータの回収を行ったが、最初期1か月分の土壌水分データについては不安定なものが見られたため、ここでは、2005年10月2日0時から2006年2月12日11時までのデータを用いるものとする。雨量データに関しては、1時間毎のパルス数を集計し、時間雨量に換算して取り扱う。

3. 簡易モデルとモデルパラメータの推定 センサー設置位置における土壌の体積含水率 θ は、有効降雨強度 r_e によって上昇し、また、重力や毛管力の作用および蒸発散による土壌水分の移動によっても変化する。特に前者は、体積含水率自身に依存する土壌の透水係数に影響される。よって、これらを考慮した数理モデルとして、時間 t に関する常微分方程式

$$\frac{d\theta}{dt} = k\theta r_e + f \quad (1)$$

を考える。ここに、 k は透水性を表すモデルパラメータで、 f は土壌水分の移動性を表す関数である。現地における関数 f を推定するため、観測された体積含水率 θ と数値微分によって計算した $d\theta/dt$ との関係を調べると、Figure 2に示すように区分的一次関数で近似できることがわかる。すなわち、

$$f = a\theta + b \quad (2)$$

*京都大学農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University, 降雨, 土壌水分, ギニアサバンナ

とすれば a と b もモデルパラメータとなり、それらの値はTable 1のように推定される。

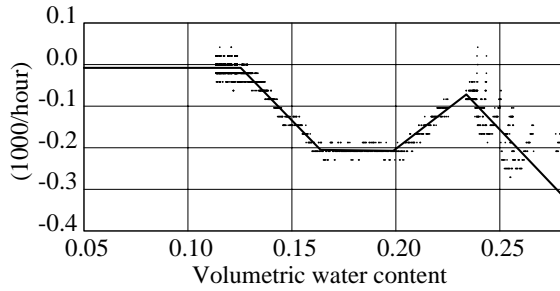


Figure 2: 観測データ時系列の数値微分による $d\theta/dt$ (点)および推定された f (折線)

Table 1: 推定された a と b の値

	$a \times 1,000$	$b \times 1,000$
$\theta < 0.1254$	0.0000	-0.0079
$0.1254 \leq \theta < 0.1638$	-5.1332	0.6357
$0.1638 \leq \theta < 0.1988$	-0.0541	-0.1965
$0.1988 \leq \theta < 0.2339$	3.8624	-0.9752
$0.2339 \leq \theta$	-5.2647	1.1601

一方、モデルパラメータ k および有効降雨強度 r_e については、上記の関数 f を固定した上で試行錯誤的に推定を行えば、 $k = 4.0$ ならびに $r = \min(r, 5.0)$ が良好な結果を与えることがわかる。

観測された時系列データ、および推定されたモデルパラメータを用いて行ったシミュレーションの結果をFigure 3に示す。

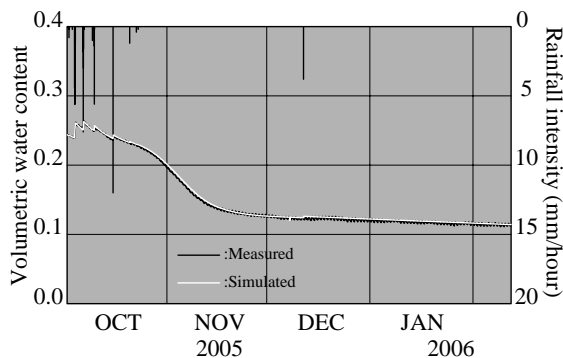


Figure 3: 体積含水率の計算値と実測値、および降雨強度

4. 考察 月間総降雨量としては、9月168.6mm、10月60.0mm、12月3.8mmが観測され、11月と1月と2月(12日まで)は無降雨である。これらはいずれもTamale市の平均値を下回っている。土壌は、期間全体にわたって不飽和状態である。雨季の終わりにあたる10月中は、降雨後の土壌水は重力によって下方へ移動するため、透水係数

の増加を反映して体積含水率が大きいほど関数 f の絶対値は大きくなる。乾季に入ると、地表面の乾燥による動水勾配の逆転、土壌中の毛管水の連続性が途切れることによる透水係数の低下が相反して作用し、関数 f はFigure 2のように増減する。一方、時間降雨が5.0mmを越えるような大雨の際には、地表流出が発生し、Bontanga灌漑ダムへの流入、下流地区の湛水が発生することになる。

有効降雨量および観測地点における土壌水分に関し、前者を入力、後者を出力としたシステムとして考える場合、モデルを線型化することが有効である。この地点においては、排水が良好であるので、極度の乾燥を最悪状態として設定し、 $r_e = 0$ および $\theta = 0$ を基準値にとる。式(1)に代えて

$$\frac{d\theta}{dt} = -\alpha\theta + \beta r_e \quad (3)$$

とすれば、 r_e から θ までの伝達関数は $\beta/(s + \alpha)$ となる。無降雨時には、

$$0.062 \times 10^{-3} \leq \alpha \leq 1.4 \times 10^{-3} \quad (4)$$

を想定すれば、 $0.01 \leq \theta \leq 0.30$ の範囲で推定された f を包括する。また、 $0.10 \leq \theta$ を仮定すれば $\beta \geq 0.04$ (5)

とすれば十分である。したがって、補給灌漑を計画する際には、式(4)と(5)の範囲における係数値の不確実性を考慮した式(3)のモデルを用いればよいことになる。

5. おわりに 雨季から乾季へ移行する時期のギニアサバンナにおける降雨および土壌水分のデータを用い、簡易モデルにおけるモデルパラメータの推定を行った。各モデルパラメータは固有の意味を持つ物理パラメータではないが、観測地点の特性を踏まえた上である程度の解釈を行い、線型化モデルを導出することができた。今後、乾季から雨季にかけてのデータを取得してこのモデルの検証を行い、流域規模における利水、治水、環境に関する解析を、地表水流解析モデルとの連成を中心に進めていく予定である。

引用文献 [1] Agyare WA, Kombiok JM, Karbo N, Larbi A. (2002) Management of pigeon pea in short fallows for crop-livestock production systems in the Guinea savanna zone of northern Ghana. *Agroforestry Systems*, 54, pp.197-202. [2] Kranjac-Berisavljevic G, Bayorbor TB, Abdulai AS, Obeng F, Blench RM, Turton CN, Boyd C, Drake E. (1998) Rethinking natural resource degradation in semi-arid sub-Saharan Africa: The case of semi-arid Ghana. Faculty of Agriculture, University for Development Studies in collaboration with Overseas Development Institute, London, UK, 63p. [3] Xu YQ, Unami K, Kawachi T, Yoshimoto S. (2004) Hybrid runoff model using 1-D Richards equation and linear output generator. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(2), pp.21-24.