

ギニアサバンナ気候区の内陸谷に対する水理的解析手法

Hydraulic Analysis Methods for Inland Valleys of Guinea Savanna Climate Zone

○ 宮内 彩子 ・ 宇波 耕一 ・ 河地 利彦

○ Ayako Miyauchi, Koichi Unami, and Toshihiko Kawachi

1 はじめに

西アフリカのギニアサバンナ気候区は、年に一度ずつ訪れる雨季と乾季に特徴づけられ、雨季にのみ集中する降雨は年間 1,000mm 前後に達する。内陸谷 (inland valley) と称される、基盤岩の深度が浅くて起伏のゆるやかな地形が多い (Andriessse, 1998)。その中でも、ボルタ川水系の中流域を占めるガーナ国北部州は、地形が非常に平坦であるためそのほとんどが農用地として利用されているにもかかわらず、様々な要因により貧困問題が解決できていない。とくに、水資源の開発と管理は、治水、生活用水や農業用水の確保の他、ギニアワームなどの水を媒介とする感染症の抑止の観点から、最も重視すべき課題の一つである (Bierlich, 1995)。

ここでは、ガーナ国北部州、白ボルタ川の支流である Bontanga 川の一流域を対象地区に選び、小規模なダム開発がおよぼす影響について水理的解析手法により評価する方法論について検討する。

2 内陸谷対象地区の概要

ガーナ国北部州においては、大規模な灌漑プロジェクトの受益地を除くと、内陸谷の自然環境条件に即した天水農業が営まれている。図 1 に、ガーナ国北部州の州都 Tamale の月別平均降雨量分布を示すが、3月から10月の雨季と11月から2月の乾季が明瞭に区別される。

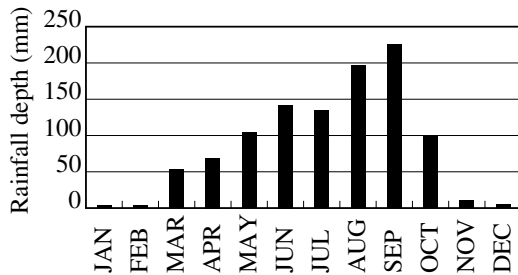


図 1: Tamale の月別平均降雨量

Figure 1: Average monthly rainfall in Tamale

対象地区は、北緯 09 度 26 分 08 秒から 09 度 29 分 29 秒、西経 001 度 00 分 41 秒から 001 度 03 分 45 秒の範囲に位置する。Bontanga 川の上流域に相当し、

恒常的な地表流路は形成されていない。したがって、内陸谷の水文環境としては、地表付近の土壌が常に不飽和状態にある高地、および、雨季には地下水の滲出面となり一時的湿地帯が現れる低地に二分することができる。この低地においては、雨季には一時的湿地帯となることを利用し、ほぼ全域で天水による稲作が行われている。一方、1990 年代に、低地を横断する形で地下水涵養目的の小ダムが 6 基建設されており、近隣の井戸から人力で汲み上げられた自由地下水は、専ら生活用水に利用されている。

3 水理的解析手法

低地に一時的湿地帯が現れている場合、高地に降って地下へ浸透した雨水が水平移動を経て低地へ滲出している定常状態を仮定すれば、流域の三次元飽和自由地下水領域における水収支式

$$\int_{\Gamma} K \nabla h \cdot \mathbf{n} d\Gamma = 0 \quad (1)$$

から

$$\int_{\Omega_{US}} r_e dx dy = \int_{\Omega_S} k_H S^2 dx dy \quad (2)$$

が導かれる (宮内ら, 2006)。ここに、 Γ は領域の境界、 ∇ は z 軸を鉛直上向きに取った 3 次元 x - y - z -領域におけるデル演算子、 K は透水係数テンソル、 h はピエゾ水頭、 \mathbf{n} は Γ 上の外向き単位法線ベクトル、 Ω_{US} は地下自由水面の x - y -平面への射影、 Ω_S は地表滲出面の x - y -平面への射影、 r_e は地下水涵養有効降雨強度、 k_H は水平方向の透水係数、 S は地表面勾配である。地下水涵養有効降雨強度 r_e は、宇波ら (2006) により 5mm/hour 程度と推定されており、標高データと併せて透水係数を同定することも可能である。

式 (2) で表される水文過程を前提とすれば、雨季の洪水時には低地においてのみ非定常地表流が発生する。したがって、洪水を対象とした解析は、領域を低地に限定し、地下からの滲出量と直接降雨を連続式の湧出項に与えた地表流モデルによって行えばよい。

このようにして水平方向に発生する非定常 2 次元地表流は、水深 h 、 x 方向と y 方向の単位幅流量 p

と q を成分とする状態ベクトル $\mathbf{U} = (h, p, q)^T$ を未知変数とし、浅水方程式

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} = \mathbf{S} \quad (3)$$

によって支配される．ここに、 t は時間、 $\mathbf{F} = \left(p, \frac{p^2}{h} + \frac{gh^2}{2}, \frac{pq}{h} \right)^T$ と $\mathbf{G} = \left(q, \frac{pq}{h}, \frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right)^T$ はそれぞれ x 方向と y 方向のフラックスベクトル、 $\mathbf{S} = \left(r + k_H \bar{S}^2, -gh \frac{\partial Z}{\partial x} - gh S_{f_x}, -gh \frac{\partial Z}{\partial y} - gh S_{f_y} \right)^T$ は湧出ベクトルであり、 g は重力加速度、 r は降雨強度、 \bar{S} は地表水面勾配、 Z は地表面の標高、 S_{f_x} と S_{f_y} はそれぞれ x 方向と y 方向の摩擦勾配である．

4 解析手法の適用

式 (3) を非構造三角形格子上で数値的に解くには、空間方向には有限体積法を、時間方向には4次精度の Runge-Kutta 法を用いて離散化することが有効である (Unami *et al.*, 2006)．図2に、Bontanga 川 (水色)、集落 (橙色)、小ダム堤体 (青色)、高地 (黄土色)、低地 (緑色) とその離散化格子を示す．

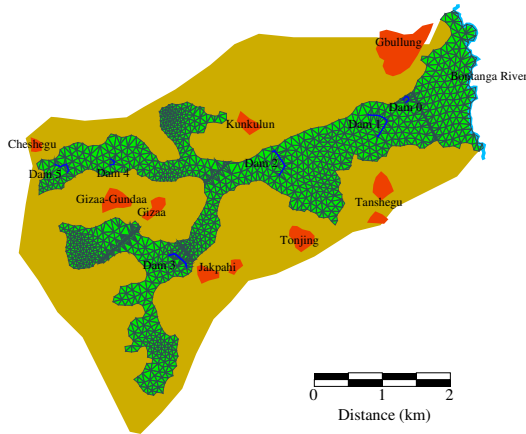


図2: 対象地区のモデル化

Figure 2: Modeling of study area

洪水に対する数値解析は、入力となる降雨強度の時空間分布を適切に設定して実行することが必要である．対象地区近傍の、北緯09度29分57秒西経000度59分17秒 (GU)、北緯09度24分50秒西経000度59分21秒 (NW)、北緯09度24分42秒西経000度58分55秒 (NE) の3地点において、局所的対流性の豪雨が実測されており、降雨強度が一様とは見なせないことが明らかとなっている (Unami *et al.*, 2007)．図3に、2006年9月27日8時50分から10時56分に実測された降雨強度を示す．なお、地点NWとNEの間の距離は824m、NEとGU、GUとNWについてはそれぞれ9,693mと9,445mである．

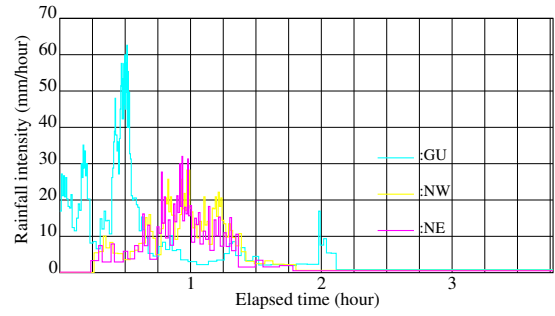


図3: 降雨強度の時空間分布

Figure 3: Spatio-temporal distribution of rainfall

対象地区における小ダムの効果を適切に評価するため、ここに提示した地表流モデルを適用する．様々な降雨の入力条件で数値解析を実行することにより、小ダムへの雨水貯留過程の再現、小ダムの洪水緩和機能評価、小ダム決壊時の被害予測を行うことができる．また、対象地区においては小ダムの適地はすでに開発し尽くされているといえるが、周辺の他地区では未開発地が数多く残されているので、解析結果を他地区における新規開発の是非を判断する上で活用することが重要である．

5 おわりに

今後、小ダムに水位計を設置し、地表流モデルの検証データを取得する予定である．一方、小ダムの貯留水を直接利用せず井戸から生活用水を確保することは、感染症を抑止するために有効であるとされる．さらに、小ダムへの貯水が稲の生育環境としての一時的湿地帯に対して与える影響も少なくないと考えられる．これらについて年間を通じた検討を行うため、地下水流動解析ならびに蒸発散解析を同時に行うことも予定している．

引用文献

- [1] Andriessse, W. (1998): Mapping and characterizing inland valley agro-ecosystems: The case of West Africa. *Wetland characterization and classification for sustainable agricultural development*, FAO, SAFR, <http://www.fao.org/DOCREP/003/X6611E/x6611e03a.htm>.
- [2] Bierlich, B. (1995): Notions and treatment of guinea worm in northern Ghana. *Social Science & Medicine*, 41(4), 501-9.
- [3] 宮内彩子・宇波耕一・河地利彦 (2006): サバンナ流域における広域透水係数の推定. 平成18年度農業土木学会応用水理研究部会講演集, 17-18.
- [4] 宇波耕一・河地利彦 (2006): 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. 平成18年度農業土木学会大会講演要旨, 6-47.
- [5] Unami, K., Kawachi, T., and K. Ishida, K. (2006): A finite volume schemes for simulation of rain water harvesting *The second IASTER International Conference on Advanced Technology in the Environmental Fields*, 124-129.
- [6] Unami, K., M. Yangyuoru, T. Kawachi, S.G.K. Adiku, and M. Iwaki (2007): Identification of drifting rainfall distribution, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(2), 23-28.