

カンボジアにおける洪水規模毎の地下水涵養量変動とリスク評価

東北大学大学院 学生員 ○相澤 寿樹
東北大学大学院 正会員 風間 聡
東北大学大学院 正会員 渡部 徹
東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

1. はじめに

メコン河下流域は、毎年雨季になると洪水氾濫が生じ、広範囲において浸水する。カンボジアは上下水道普及率が低く、ほとんどの家庭は井戸や池、川などの表層水を水源として利用している¹⁾。そのため、氾濫時に水系感染症が各地で発生・蔓延する。以上からカンボジアにおける各水源量の把握とそれらが持つ水系感染症のリスク評価を行う必要性が指摘されている。

本研究では、洪水規模と地下水変動の関係を地下水モデルを用いて考察し、対象領域における地下水利用時の水系感染症リスク評価を行う。

2. 対象領域およびデータセット

洪水氾濫および地下水計算モデルにおける計算対象領域(図 1)はメコン河下流沿いのプノンベンをほぼ中心とした 140km×110km である。この流域は他のメコン河下流域と同様に熱帯モンスーン気候であり、5 月～11 月が雨季、12 月～4 月が乾季である。

データセットには以下を用いた。対象地域の標高に USGS(アメリカ地質調査所)の GTOPO30 を用い、河道の位置もこのデータから得た。河道の境界条件としてメコン河委員会が編集した水位データ²⁾を用いた。

3. 計算手法

洪水計算には一次元の Dynamic wave モデル、氾濫計算には二次元不定流モデルを用いた。地下水位の変動は洪水氾濫計算の結果を地表面の水位として、連続式とダルシー則から求めた。この地下水モデルは飽和領域の水収支に注目したものであり、不飽和領域については省略した簡易的なモデルである。この手法によって求めた結果は萩原ら³⁾によって良好な結果を与えることが確かめられている。

この手法を用いて、洪水の規模が異なる 3 つの年において洪水氾濫の再現計算を行い、地下水涵養量の空間分布を求める。用いたのは 1998 年(洪水規模:小)、1993 年(洪水規模:中)、2000 年(洪水規模:大)の



図 1 対象領域(図中点線枠内)

3 つの年の氾濫計算の結果である。地下水涵養量は雨季の最大水位－乾季の最小水位で求めた。

4. 計算結果

図 2 に各洪水規模における地下水涵養量の空間分布を示す。図 2 において領域中央の左端において地下水涵養量が少ない地域(図 2 の左下図中の円内)が確認された。この地域は標高が高く雨季においても氾濫しない。また小河川が流れているため地下水が乾季に流出するためであると考えられる。

地下水涵養量が最も少ない地域における平均生活用水使用量は、JICA のカンボジアにおける計画生活用水使用量の原単位(100L/日/人)⁴⁾とこの地域が属するカンダル州の人口密度が 304 人/km²、プノンベン市が 3441 人/km²である⁵⁾ので必要な水量はそれぞれ 3040m³、34410 m³となる。1km²当たりの地下水涵養量の最低値は 40000m³、平均すると 500000m³であった。このことから、対象領域全域において、地下水を生活用水として持続的に利用することが可能であると言える。

5. リスク評価

リスク評価には用量反応モデルを用いる。用量反応モデルは曝露評価と反応評価からなり、反応評価には以下のベータモデルを用いて評価する。

$$P(D) = 1 - \left[1 + \frac{D}{\beta} \right]^{-\alpha}$$

ここで $P(D)$: 疾病に感染する確率, D : 曝露量, α , β : 抗原の種類で決まるパラメーターである. パラメーターは大腸菌における $\alpha=0.175$, $\beta=16100^9$ を用いた.

次に, 地下水を利用する際の曝露評価を行うために対象領域内において実測を行った. 実測は乾季の2006年1月10~12日と雨季の2006年9月26~28日に合計24地点で行われ, 大腸菌群, 大腸菌共を10ml定量試験(MPN 最確数法試験)によって測定した. 実測から井戸水中に含まれる大腸菌濃度は平均で367MPN/100ml, 大腸菌群中に含まれる大腸菌の割合は8.9%という結果が得られた.

WHOは一日に人が最低必要とする飲料水は2Lとしている. このことと以上の結果から対象領域中の井戸水のリスク評価を行った(表1). リスクは感染確率で38.7%となった. 飲料水に用いても危険性が低いとされる値が大腸菌群数で10MPN/100mlである⁷⁾. 実測結果から大腸菌数が0.89MPN/mlであると仮定した場合と比較すると, その差は約57倍となる. これは対象領域では洪水氾濫により汚染された表流水が広範囲に広がるため, 直接汚染されるか, もしくは十分なる過効果が得られないまま地下水源まで浸透してしまうためであると考えられる.

一般的に井戸水は細菌等の汚染は少なく, 未処理で飲用として用いることが出来るとされている. しかし上の結果より対象領域では感染症のリスクが高く, 短期的には井戸水であっても煮沸を行って飲用するなどの教育の徹底, 長期的には処理施設を持った上水道の整備などが必要である.

6. 結論

本研究より以下の結論が得られた.

- ・1km²当たりの地下水涵養量の最低値は40000m³, 平均すると500000m³であり, 対象領域全域において, 地下水を生活用水として持続的に利用可能である.
- ・井戸水利用時は感染確率で許容値の約57倍となり煮沸の徹底や上水道整備等の対策が必要である.

この研究結果から洪水氾濫が持つ地下水資源に対する正の効果や, 上水道整備による衛生向上効果を定量的に評価することが可能である.

謝辞

本研究は科学研究費基盤B(代表者: 風間聡)ならびに文部

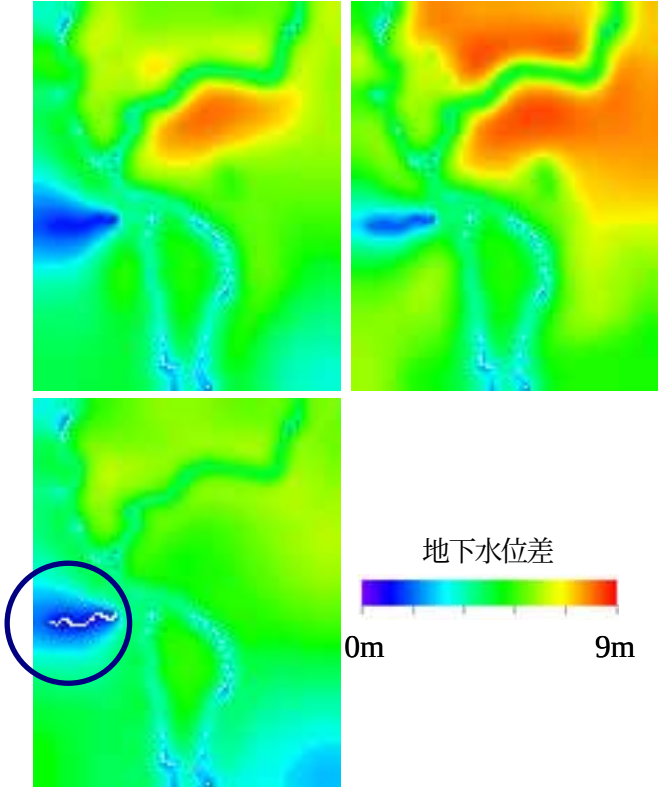


図2 地下水涵養量分布図

(左上: 中規模洪水, 右上: 大規模洪水, 左下: 小規模洪水)

表1 大腸菌による感染リスクの計算結果と許容値の比較

	大腸菌数	年間曝露量	感染確率(%)
対象領域	367	2679100	0.387
許容値	0.89	6497	0.0067
対象領域/許容値		412	57.6

科学省人・自然・地球共生プロジェクト「アジア・モンスーン地域における水資源の安全性に関わるリスクマネジメントシステムの構築」(平成15~18年度, 代表: 大村達夫)から援助を受けた. ここに深甚なる謝意を表します.

参考文献

1) JICA, カンボディア国別援助研究会報告書, 2001.
2) Mekong River Commission, LOWER MEKONG HYDROLOGIC YEARBOOK.
3) 萩原照通, 風間聡, 沢本正樹: 洪水制御によるメコン河下流域の氾濫農業と地下水涵養への影響, 水文・水資源学会誌, Vol.16, No.6, pp.618-630, 2003.
4) JICA, シェムリアップ上水道整備計画, 2004.
5) Cambodia Ministry of Health, National Health Statistics Report 2002, 2003.
6) Rose, J.B., Hass, C.N. and Gerba, C.P., Linking microbiological criteria for foods with quantitative risk assessment. J. Food Safety, 15, 121-132., 1995.
7) B. J. Lloyd and J. K. Bartram, Surveillance solutions to microbiological problems in developing countries, Water Science Technology, Vol. 24, No. 2, pp. 61-75, 1991.