

メコン河流域の洪水氾濫に伴う水系感染症リスクの地域解析

東北大学 学生員 佐久間 太佑
東北大学 正会員 風間 聡
東北大学 フェロー 沢本 正樹

1. 背景と目的

メコン河流域では毎年雨季に大規模な洪水氾濫が発生する。この洪水氾濫は農地の肥沃化や地下水の涵養などの正の影響を持つ反面、衛生状況の悪化という負の影響も併せ持つ。この衛生状況の悪化により、各地で水系感染症が発生しているという問題を有する。本研究の目的はこの洪水氾濫による衛生面への影響を評価することである。メコン河下流域のカンボジアの首都プノンペンを中心とする範囲で洪水氾濫計算と大腸菌群滞留濃度分布のシミュレーションを行った。また、リスク解析から地域間の差と現象について解析した。

2. 対象地域とデータセット

(1) 対象地域

計算対象地域(図1参照)はメコン河下流に位置するカンボジアの首都プノンペンを中心とした 110km×140km の領域である。

(2) データセット

洪水氾濫計算には以下のデータセットを用いた。対象年度は 1995 年で 対象地域の標高および河川の位置にはUSGS(アメリカ地質調査所)のGTOPO30 を用いた。また、水位、SSおよび日降水量はメコン河委員会が編集したデータ¹⁾を用いた。空間データの解像度は 1km×1kmである。

3. 計算方法

(1) 洪水氾濫計算

(a)洪水計算

河道での洪水流の計算は河床勾配の小さい河川の洪水解析に適している 1 次元 Dynamic Wave モデルを用いた。基礎方程式は式(1)の運動方程式と式(2)の連続式からなる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial v^2}{\partial x} + S + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v| v}{h^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (2)$$

ここで、 A : 断面積(m^2)、 Q : 流量(m^3/s)、 q : 横流出量(m^2/s)、 g : 重力加速度(m/s^2)、 v : 流速(m/s)、 S : 河床勾配、 n : マニングの粗度係数、 h : 水深(m)とする。 q は単位幅当たりの横からの流出入量で、他の川からの流出入が該当する。

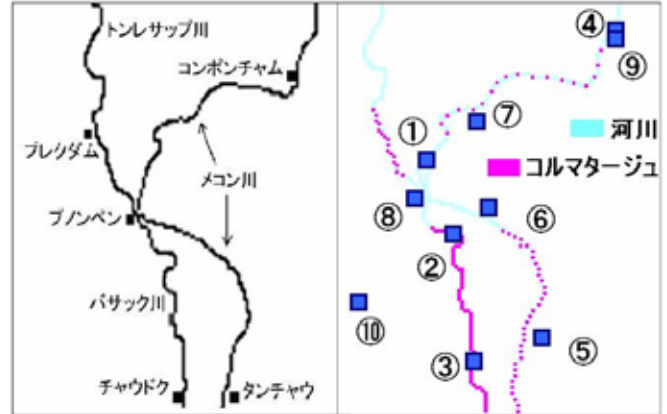


図1 対象領域と地域番号

(b)氾濫計算

氾濫原では二次元不定流モデルを用いた。二次元不定流モデルは、式(3)、式(4)の運動方程式と式(5)の連続式からなる。

$$(x \text{ 方向}) \quad \frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad (3)$$

$$(y \text{ 方向}) \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad (4)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

ここで、 h : 水深(m)、 M 、 N : x 、 y 方向の単位幅当りの流量フラックス(m^2/s)、 $M=uh$ 、 $N=vh$ 、 u 、 v : x 、 y 方向の流速(m/s)、 τ_{xb} 、 τ_{yb} : x 、 y 方向のせん断力(N/m^2)、 ρ : 密度(kg/m^3)、 H : 水位(m)を表す。

(c)越流計算

本研究の対象領域には、堤防の一部を開削して設けられたコルマタージュと呼ばれる農業水路が存在する。コルマタージュは洪水流の一部を氾濫原に引き入れる機能を持つ。そのため毎年雨季に洪水氾濫が生じることとなる。コルマタージュの設けられた箇所(図1参照)は越流公式を用いることで実現象を再現した。

(d)SS 滞留濃度

SS 滞留濃度は大腸菌群濃度計算において日光の反射率を求めるために使用される。河川における SS 滞留濃度はメコン河委員会により示された実測値に準ずることとした。SS 粒子の沈降速度は粒径分布より 0.45(mm/s)とした。

(f)大腸菌群滞留濃度

河川における大腸菌群滞留濃度は 10^{13} (個/メッシュ)で固定し氾濫原に排出される条件を設定した。また、氾濫原の人口分布にしたがい生活に伴う大腸菌群の排出量を導く条件とした。大腸菌は日光および衛生施設に影響して減少する。そこで各メッシュに与える日射量は $250(\text{cal}/\text{cm}^2/\text{日})$ で固定し、大腸菌群の存在する水深に従って減少率を変化させることとした。また衛生施設による大腸菌減少率は各県の衛生施設整備率より求めている。

(g)リスク計算

用量反応モデルを用いてリスク計算を行った。氾濫水深により段階的に表流水と井戸水の摂取比率を変化させ、大腸菌曝露濃度を計算した。1回の曝露で感染する確率Pは曝露量をD(個/ml)として式(6)に示される。

$$P(D) = 1 - \left[1 + \frac{D}{\beta} \right]^{-\alpha} \quad (6)$$

ここで α と β は抗原の種類によるパラメータであり、今回の大腸菌の場合は $\alpha=0.178$ 、 $\beta=178000$ を与えた。また井戸水の曝露量Dは367(MPN/100ml)を用い、大腸菌群の中の大腸菌比率は7.5%とした。これらは相澤²⁾らの実測により得られた結果を参考にしている。

4. 計算結果及び考察

氾濫水深、大腸菌群濃度の各分布の計算結果をそれぞれ図2、図3に示す。図から首都であるプノンペンの周辺は氾濫水深も浅く、大腸菌群濃度も小さいことが見て取れる。それに対してコルマターージュがある上下流側の地域は氾濫水深と大腸菌群濃度が大きくなるという結果が得られた。

次に浸水日数、大腸菌群濃度と感染リスクの相関を検討するために、図1に示す5km×5kmの10の特色ある地域において地域解析を行った。その結果を表1に示す。浸水日数が少なくなるにしたがい感染リスクが大きくなる傾向を示す。この原因として1)、2)が考えられる。

- 1) 計算した表面水の大腸菌濃度の平均より井戸水の大腸菌濃度が上回っていて、なおかつ氾濫水深が小さくなるにつれて井戸水の摂取比率が大きくなった
- 2) 氾濫水深が小さい場合に、局所的に投入した生活に伴う大腸菌群により大腸菌濃度が飛躍的に高まり感染リスクが大きくなったためと考えられる。この過程を示すのが地点の検証結果であり、また地点のプノンペン周辺は高い人口比率を示すことが影響していると推測される。

これらの結果に対して実際には井戸水の大腸菌濃度が小さい可能性もある。また今回の解析では大腸菌群は堆積せず氾濫により流出する条件を用いて計算した

が、大腸菌群が堆積するモデルでは浸水日数により感染リスクが高まるとも考えられる。これらを踏まえて今後の追跡調査を行う必要がある。

5. 結論

地形特性およびコルマターージュの有無によって氾濫水深および大腸菌群濃度において異なる結果を得た。しかしながら井戸水や生活による大腸菌群濃度の感染リスクへの影響が大きく、浸水時間の短い地域のほうが感染リスクが高まるという結果も得たため、今後検証が必要がある。

謝辞

本研究は科学研究費(代表者;風間聡)から援助を受けた。ここに深甚なる敬意を表します。

参考文献

- 1) MEKONG RIVER COMMISSION; LOWER MEKONG HYDROLOGIC YEARBOOK
- 2) 相澤寿樹, 風間聡, 沢本正樹; 水理氾濫モデルを用いた水系感染症患者数の季節変動解析, 土木学会水工学論文集 第51巻, PP1189-1194, 2007.

表 1.地域解析による浸水とリスクの相関

地域 NO.	年間浸水日数 (日)	年間感染リスク	年平均大腸菌群濃度(個/ml)	特徴
	215	0.117	74.20	浸水日数最大
	204	0.090	1.07	感染リスク最小
	169	0.125	4.87	
	103	0.186	214.40	大腸菌群濃度最大
	75	0.174	0.01	
	58	0.186	2.29	大腸菌群濃度平均
	38	0.210	5.00	浸水日数平均
	26	0.197	0.22	首都プノンペン周辺
	9	0.234	110.50	感染リスク最大
	0	0.213	0.00	浸水日数0

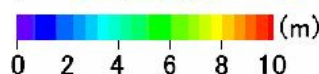
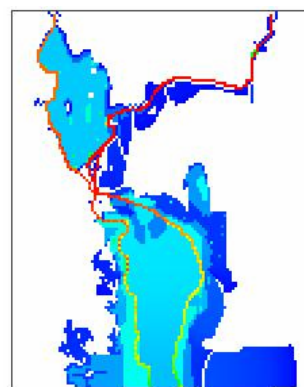


図 2. 氾濫水深 9/30

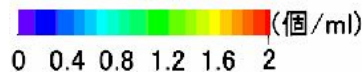
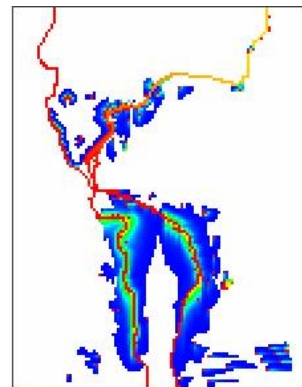


図 3. 大腸菌群濃度 9/30