

異なるスケールによる水系感染症のリスク評価

東北大学 学生員 佐久間 太佑
 東北大学 学生員 菅野 立基
 東北大学 正会員 風間 聡

1. 背景と目的

研究対象とするカンボジアは熱帯モンスーン気候に属し、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。この洪水氾濫は農業用水などの多量の水供給システムとしての役割などの正の影響を持つ反面、農村部においてはほぼ全ての家庭で井戸や池、川などの表層水を飲料水や生活用水として利用しているため、衛生状況を悪化させることにより水系感染症を引き起こす。今回はカンボジアの首都プノンペンを中心とする110km×140kmとその領域内の250m×250mの両範囲で洪水氾濫、大腸菌移流、リスク評価の数値実験を行い、これらマクロとミクロの異なるスケールでのリスク特性について対照的に評価した。

2. 対象地域とデータセット

2.1 対象地域

計算対象地域(図-1)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140km×110kmの領域(左図)とその領域内のBaBaong集落に位置する250m×250m(右図)の領域である。

2.2 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

3.1 洪水氾濫計算

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(m²)、 Q : 流量(m³/s)、 q : 横流出量(m²/s)、 g : 重力加速度(m/s²)、 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、他の川からの流入が該当する。



図-1 対象領域

また氾濫原では二次元不定流モデルを用いた²⁾。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 方向の単位幅当たりの流量フラックス(m²/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/m²)、 ρ : 密度(kg/m³)、 H : 水位(m)とする。

3.2 大腸菌群滞留濃度

河川における大腸菌群滞留濃度は5.0個/mlで固定し、氾濫原に排出される条件を設定した。また、氾濫原の人口分布より生活に伴う大腸菌群の日負荷量を求める。大腸菌群は日光および衛生施設に影響して減少するとした。各メッシュに与える日照射熱量は250cal/cm²/日で固定し、各メッシュのSS濃度から反射率を導き照射熱量を求める。大腸菌群の減少率は照射熱量より求められ、存在する水深に従って導出式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州の衛生施設整備率より求めている。日負荷量、照射熱量と反射率の関係、SS濃度と反射率との関係は各々式(6)、(7)、(8)で表せる⁴⁾。

$$C = n \times c \times (1 - s/100) \quad (6)$$

$$S = (1 - R/100) S_{\max} \quad (7)$$

$$R = 0.0809 + 0.0146U \quad (8)$$

ここで、 C : 大腸菌群負荷量(個/日)、 n : 人口(人)、 c :

1人1日当たりの大腸菌群排出量(=2.0×10¹⁰個/人/日)⁴⁾,
 s : 下水道普及率(%), S : 太陽光線の照射熱量(J/m²/day),
 R : 反射率(%), S_{max} : 全照射熱量(J/m²/day), U : SS
濃度(mg/l)である. 負荷は住居位置から水路に直接行
われるものとした.

太陽の照射熱量と大腸菌群生存率との関係を式(4.8)
に示す水深ごとに異なる5つの式に指数近似して表す.

$$\left. \begin{aligned} \beta &= 117.64 \times e^{-0.00335S} & (0 \leq H < 0.3) \\ \beta &= 217.33 \times e^{-0.00295S} & (0.3 \leq H < 1.5) \\ \beta &= 204.90 \times e^{-0.00215S} & (1.5 \leq H < 2.5) \\ \beta &= 113.59 \times e^{-0.00105S} & (2.5 \leq H < 3.5) \\ \beta &= 129.97 \times e^{-0.00075S} & (3.5 \leq H) \end{aligned} \right\} (9)$$

ここで S : 太陽光線の照射熱量(J/cm²/day), t : 1日後
の大腸菌群生存率, H : 氾濫水深(m)とする.

3.5 リスク計算

村民は1日2Lの水を飲料すると仮定し, 用量反応
モデルを用いてリスク計算を行った. ここで実測値より
大腸菌群中の大腸菌の割合が7.5%とした. 大腸菌に
対する日感染確率を式(9)に示す.

$$P(D) = 1 - \left[1 + \frac{D}{\beta} \right]^{-\alpha} \quad (10)$$

ここで P : 1回の曝露で感染する確率, D : 曝露量(個
/ml)とする. また α は抗原の種類によるパラメー
タであり, 大腸菌の場合は $\alpha = 0.178$, $\beta = 1780000$ が与
えられている.

4. 計算結果及び考察

140km×110km, 250m×250mの各計算領域で計算さ
れた大腸菌群濃度のメッシュ内平均値と, 現地での実
測値をそれぞれ図1に示す. ここで実測値は村民が生
活している河岸の値を採用している. 図を見ると250m
四方のマイクロ領域で計算された値と実測値は対数值で
ほぼ等しいが, 140km×110kmのマクロ領域で計算
された値とは10²~10³ほどの違いが見られる. ここで表
1に示す大腸菌群濃度の計算要素を細かく比較すると,
まず単位面積当たり的大腸菌群負荷投入量で15倍ほ
どの差が見られる. これは集落が点在しているために
マイクロスケールでは集落の周りで局所的に負荷量が増
加する一方, マクロスケールでは人口分布がならされ
てしまうためであると考えられる. またマクロスケール
では水深を広く平均化しているため, ミクロスケール
よりも平均水深は小さい. 平均水深が減少すると大
腸菌群生存率に影響を与えるため, 表1に示すように
マクロスケールでの生存率20%に対して, ミクロスケ
ールでの雨季生存率は35%と大きくなっているこ
とが分かる. 生活地域での大腸菌群濃度をより詳細に
計算するためにマイクロ領域での計算結果をマクロ領域
での計算に簡便に反映させることができるようなモデ
ルが必要である.

大腸菌群濃度(個/ml)

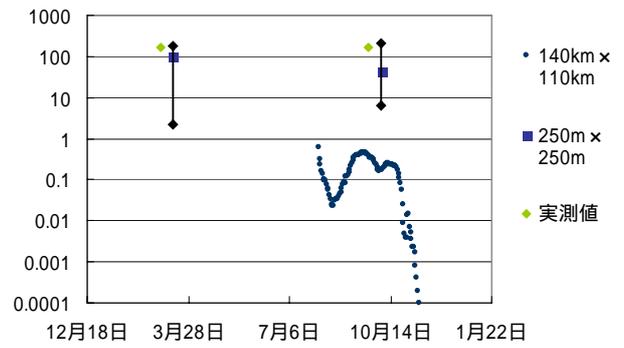


図2. 大腸菌群濃度の計算値と実測値

表1. 大腸菌群濃度の計算要素の比較

	マイクロスケール平均	マクロスケール平均
雨季大腸菌群濃度(個/ml)	44.01	0.3848
乾季大腸菌群濃度(個/ml)	102.21	0
大腸菌群投入量(個/day/m ²)	5.E+07	1.E+06
雨季水位(m)	2.55	1.965
乾季水位(m)	1.72	0
雨季1日当り大腸菌群生存率	35	20
乾季1日当り大腸菌群生存率	20	NA

表2. 年間感染確率

モデル	140km×110km	250m×250m	実測値
リスク	24.50%	99.59%	99.49%

また表2を見るとマクロ領域での年間感染リスクは
24.5%となっているが, ミクロおよび実測値での年間
感染確率は99%となりほぼ全ての住民が感染する結果
を得た. しかしながら実際, カンボジアにおいて下痢
症の罹患率は全人口の2%, 5歳未満児の19%³⁾ であり,
マイクロ領域および実測値より得られたリスクは農村部
であることを加味しても過大であると考えられる. 実
際の住民が行っているリスク緩和のメカニズムや効果
を調査しモデルに反映させることでリスク緩和措置の
相対的な評価が行えると考えられる.

5. 結論

140km×110kmのマクロ領域, 250m×250mのミクロ領
域で計算を行い, 実測値と比較した. マクロ領域での計
算値は実際に住民が生活している河岸域での大腸菌群
濃度の高まりを反映していない. ミクロ領域, 実測値よ
り計算された年間感染確率は過大である.

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.
- 3) Country Health Information Profile 2004, WHOホー
ムページ (<http://www.wpro.who.int/chips/default>)