

カンボジアの川沿い集落における水系感染症リスクの季節特性

東北大学大学院 学生員 菅野 立基
東北大学大学院 正会員 風間 聡

1. はじめに

メコン河下流域では毎年雨季になると洪水氾濫が発生する。特に農村部では、洪水氾濫に伴い衛生状況が悪化し、水系感染症が各地で蔓延している。本研究では、メコン河下流域を対象に、集落レベルにおける大腸菌群の移流現象の解明を目指す。今回は河川水を生活用水とする人々の水系感染症リスクが季節別にどのような特性を持つかについて評価した。

2. 計算対象領域及びデータセット

対象領域はカンボジア南部のプレイベン州の川沿い集落である。図1はGPS測位を用いて作成した計算対象領域である。計算条件として、人口は一世帯6人とし、住居を現地と同様に図1の～の間に密集し、の周辺に点在するように片岸にのみ25戸配置することで与えた。計算の時間間隔は0.5秒、 $S_{max}=250$ とし、マニングの粗度係数は0.05とした。河道の上流端水位 H_0 (m)およびSS濃度 U (mg/l)については、メコン河委員会が発表するデータ¹⁾を用いた相澤らによる計算の結果²⁾から、雨季は $H_0=3.88$ 、 $U=86.02$ 乾季は $H_0=2.52$ m、 $U=2.16$ とした。ここで、上流部にある集落から負荷され、流入する大腸菌群を考慮するために、境界条件として計算対象領域の上流端部に初期値を与えた。大腸菌群濃度の初期値は実測値を基準に設定し、領域の左端を $j=0$ として式(1)で与えた。

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= 2.0j + 10.0 && \text{(雨季)} \\ E_0 &= 3.8j + 50.0 && \text{(乾季)} \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、 E_0 :大腸菌群濃度の初期値 j :格子番号である。

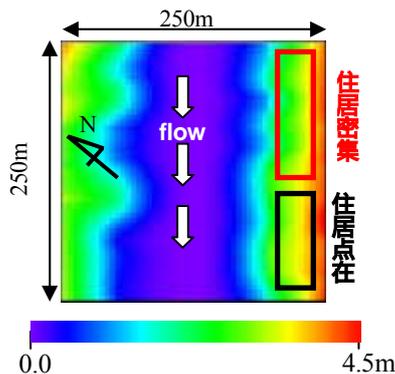


図1 計算対象領域

3. 方法

(1) 洪水氾濫計算

洪水氾濫計算は、二次元不定流モデルを用いた。このモデルは次の運動方程式と連続式からなる。

$$\text{運動方程式} \begin{cases} (X \text{方向}) \frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} & (2) \\ (Y \text{方向}) \frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} & (3) \end{cases}$$

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

ここで h :水深(m)、 H :水位(m)、 ρ :密度(kg/m³)、 M, N : X, Y 方向の単位幅あ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)である。

(2) 大腸菌群濃度計算

大腸菌群濃度は次式で表される。

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -u \frac{\partial E}{\partial x} - v \frac{\partial E}{\partial y} + D \left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

ここで、 E :大腸菌群濃度(個/ml)、 u, v : X, Y 方向の流速(m/s)、 D :拡散係数(m²/s)であり、実測値と合うように $D=0.3$ とした。日負荷量は式(6)で求められ、負荷は住居から河川に直接行われるものとする。照射量と反射率の関係は式(7)のようになる。またSS濃度と反射率との関係は式(8)で表される³⁾。

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

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

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

ここで C :大腸菌群負荷量(個/日)、 n :人口(人)、 c :一人一日当たり的大腸菌群排出量(=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(%), U :SS濃度(mg/l)、 S_{max} :全照射熱量(J/m²/day)である。

4. 結果及び考察

図2, 図3に水位および大腸菌群濃度の計算結果を示す。図2より、住居のない対岸側は雨季に浸水し、乾季には浸水しないことがわかる。現地も実際にこのような状態であることから、よく再現できていると言える。

キーワード: メコン河, カンボジア, 水系感染症, 大腸菌群, リスク評価

連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻水環境システム学研究室

図3より、雨季の大腸菌群濃度は対岸側ではほぼ0/mLとなっている。これは流速が大きく、大腸菌群は横方向へ拡散せずに川の流れて下流へ流れていくためと考えられる。逆に乾季は住居のない対岸側にも大腸菌群が分布している。これは雨季に比べ流速が小さいため大腸菌群の拡散が起こり、対岸方向にも移動するためであると考えられる。ここで、以下の式を用いてモデルの精度の検証を行う。

$$r = \frac{\sum_{i,j} (f - \bar{f})(g - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i,j} (f - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{i,j} (g - \bar{g})^2}} \quad (9)$$

ここで、 r ：相関係数、 f ：計算値、 \bar{f} ：計算値の平均値、 g ：理想値、 \bar{g} ：理想値の平均値、 i, j ：格子番号である。上式から計算結果と図4に示す理想値との相関係数を求めたところ、雨季は $r=0.91$ 、乾季は $r=0.93$ という非常に高い値が得られた。よって計算結果の信頼性は高いといえる。

5. リスク評価

リスク評価は曝露評価と反応評価からなる用量反応モデルを用いる。反応評価は以下のベータモデルを用いる。

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

ここで $P(D)$ ：感染確率、 $D(=2L)$ ：曝露量、 α, β ：抗原の種類で決まるパラメータ($\alpha=0.175, \beta=16100^5$)である。計算結果から対象領域中の河川水のリスクを評価期間30日間として評価した(表1)。表1より感染リスクは最大で68%となり、これはタイにおける下痢症の罹患率が0.2%⁶⁾であることと比較すると極めて大きな値である。そのため、煮沸の徹底や上水道整備、雨水や地下水を利用する、集落の人口を制限する、糞便を河川に投棄せずに地面に埋める等の対策を講じる必要がある。

6. 結論

本研究より以下の知見が得られた。

- 雨季は流速が大きいため大腸菌群は拡散しない。
- 乾季は大腸菌群が拡散し広範囲に分布する。
- 対象領域における感染リスクは雨季乾季ともに高く、煮沸の徹底や上水道整備等の対策が必要である。

謝辞

本研究は科学研究費(基盤研究B)(代表者：風間聡)と科学振興調整費(IR3S)の助成を受けた。ここに併せて謝意を表する次第である。

表1 大腸菌群による感染リスクの計算結果

地点番号					
雨季大腸菌群濃度(/mL)	89.3	94.2	102	0	12.3
乾季大腸菌群濃度(/mL)	172	158	214	20.6	33.5
雨季感染リスク	0.4	0.42	0.44	0	0.07
乾季感染リスク	0.61	0.58	0.68	0.11	0.18

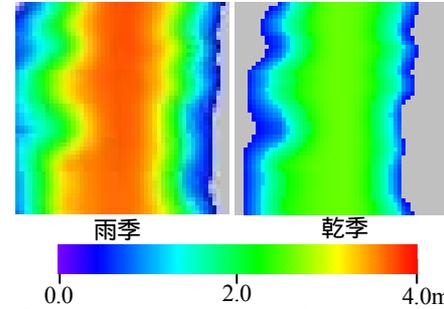


図2 河道水位の計算結果(雨季・乾季)

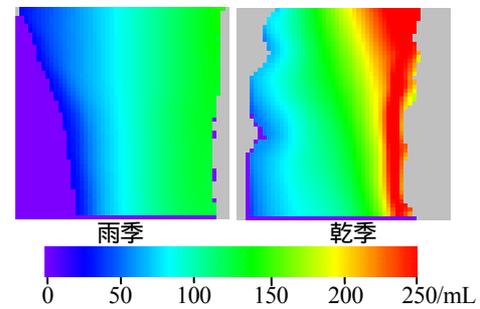


図3 大腸菌群濃度の計算結果(雨季・乾季)

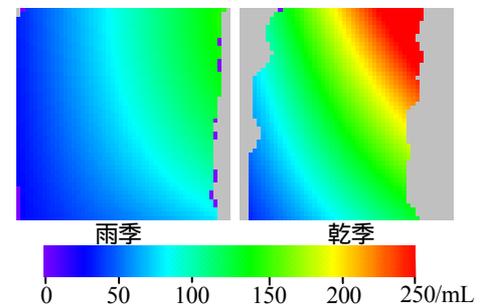


図4 大腸菌群濃度の理想値(雨季・乾季)

参考文献

- 1) MRC : Lower Mekong Hydrologic Yearbook .
- 2) 相澤寿樹, 風間聡, 渡部徹, 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, 水工学論文集, 第51巻, p1189-1194, 2007 .
- 3) 沖一雄, 安岡善文, 田村正行 : 高濃度水域における水質リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 21, No. 5, pp. 449-457, 2001 .
- 4) 金子光美 : 水の消毒, (財)日本環境整備教育センター, 1997 .
- 5) J. B. Rose, Haas, C. N. and C. P. Gerba : Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley & Sons, 1999.
- 6) 2000Country Health Information Profile 2004, WHO ホームページ . (<http://www.wpro.who.int/chips/default.asp>)