

カンボジアにおける水系感染症のリスク時空間分布評価

○東北大学 学生員 佐久間 太佑
東北大学 正会員 風間 聡

1. 背景と目的

カンボジアはメコン河下流域に位置し、毎年雨季に大規模な洪水氾濫が発生するため、この洪水氾濫によって感染症被害が拡大している恐れがある。衛生指標として用いられる乳幼児に対する死亡率は改善の傾向が見られるものの、飲料水のアクセス率に対するカンボジアミレニアム開発目標(CMDGs)が2008年に下方修正されている¹⁾ことから窺えるように、整備は遅れており、いまだ水系感染症による下痢は乳幼児の主な死亡原因である。

本論では広域と集落の数値計算モデルによって、広域および集落周辺でのリスクの時空間分布の考察を行う。また、モデル中の大腸菌群の生残率計算過程において、太陽光の放射照度と環境中の大腸菌群の生残率について既往研究を基に新たに定式化した。

2. 対象地域とデータセット

計算対象地域(図-1)はメコン河下流域に位置するカンボジア国首都プノンペンを中心とした140km×110kmの領域(以下「広域」と)、領域内の集落を対象とした1km×1kmの領域(以下「生活域」)である。標高にUSGS(アメリカ地質調査所)のGTOPO30を用い、河川の位置もこのデータから得た。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を用いた。カンボジア国内の人口分布および州境をカンボジア保健省ホームページのGISデータよりコミューン(郡と村の間にある行政区分)ごとに得た。都市農村別の衛生施設(下水道、浄化槽、ピット)普及率および飲料水供給源の割合はカンボジア統計局の2007年度CSESより得て、コミューンごとの都市農村区分に応じて適用した。

3. 計算方法

洪水氾濫計算はKazamaら²⁾の計算方法を基にしている。簡略に説明すると、河道に対し1次元Dynamic Waveモデル、氾濫原に対し二次元不定流モデルを用い、越流公式によって接続する。また、大腸菌群濃度計算およびリスク評価は相澤ら³⁾の計算方法を基軸として、生残率の計算式は本研究において開発されたものを用いた。空間解像度は広域計算において1km×1kmおよび生活域計算において31.5m×31.5mである。計算時間間隔は広域において30秒および生活域において0.5秒である。生活域での計算は広域計算で得られた結果を境界条件として同様に行う。

3.1. 大腸菌群濃度計算

大腸菌群濃度は以下の流れで計算する。まず大腸菌群負荷量および時間当たり的大腸菌群生残率を決定し、その発生負荷は水深が存在する場合は全て氾濫水中に流れ



図-1 対象領域(四角)

込み、氾濫計算における不定流式の流量フラックスを基に移流する。投入箇所は大腸菌群の発生箇所である居住地とし、下水からの逆流は考慮しない。濃度は鉛直一様分布である。大腸菌群は太陽光によって不活化される。

領域内の人口分布と衛生施設普及率より負荷量を決定する。日投入負荷量は式(1)で求められ、一日6回に分けて4時間ごとに投入される。

$$L = n \times l \times (1 - s / 100) \quad (1)$$

ここで、 L : 大腸菌群日投入負荷量(個/日), n : 人口(人), l : 一人当たりの日大腸菌群排出量($=2.0 \times 10^{10}$ 個/人/日), s : 衛生施設普及率(m/s²)とする。

太陽光スペクトルおよび波長別の相対殺菌効果⁴⁾より太陽光の有効殺菌線量を求め、Luckiesh⁵⁾らの実験結果を基に大腸菌群の生残率を決定する。SS濃度および水深による有効殺菌線量の減衰については宮崎ら⁶⁾によるfour-fluxモデルによる拡散放射理論に基づく解法を簡略化して計算する。大腸菌群の生残率を式(2)に示す。

$$\log_{10} S_{bac}(z, t) = - \frac{t}{a_{bac}} \int_{280}^{320} E_{ef}(\lambda, C_{SS}, z) d\lambda \quad (2)$$

ここで S_{bac} : 水深 z における t 秒後の大腸菌群の生残率, a_{bac} : 大腸菌が90%不活化するために必要な殺菌線量(J/m^2)⁷⁾, λ : 波長(nm), $E_{ef}(\lambda, C_{SS}, z)$: 有効放射照度(W/m^2), C_{SS} : SS濃度(mg/l)である。

3.2 氾濫による罹患リスク計算

本研究では下痢症を水系感染症として、下痢症年間罹患確率を用いてリスクを評価している。氾濫域の住民は安全でない供給源の割合に応じて、1日2Lの氾濫水を氾濫期間中において毎日飲用することで曝露し、大腸菌に関する感染症に罹患するとしている。用量反応モデルはベータモデルを用いている。曝露量を式(3)に、氾濫による下痢症日罹患確率を式(4)にそれぞれ示す。

$$D = aC_b(1-w)W \quad (3)$$

$$P_F(D) = 1 - [1 + D / \beta]^{-\alpha} \quad (4)$$

ここで D : 一日当たり曝露量(個/日), C_b : 大腸菌群濃度(個/ml), w : 安全な飲料水の割合, W : 1日に飲料する水の量(=2L), a : 糞便中の大腸菌群に対する大腸菌の割合(=0.9), P_F : 下痢症日罹患確率とする. また α と β 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

広域で計算された雨季の氾濫ピーク時(9月)および乾季初旬(12月)のリスクの分布を年間罹患確率でそれぞれ図2に示す. 雨季は洪水氾濫の影響により広範囲にリスクが広がり, 乾季は水深が低下することにより局所的にリスクが高まる. 生活域における罹患リスクの時空間分布を図3に示す. 投入負荷は広域計算において1km四方の格子に投入されるが, 生活域計算において居住域は実スケールに近い250m四方としているため面積当たりの投入負荷が大きくなり, そのためリスクは大きく計算される. しかしながら集落から距離を置くとリスクは広域計算よりもわずかながら減少する. また時系列に沿って流下方向にリスク分布は比較的早く移動する. さらに生活域における罹患リスクに対する日変動を図4に示す. 明らかに投入直後にリスクが高まり, その後終息する様子が見て取れる.

表1に広域計算および生活域計算の結果の数値比較を示す. 両計算結果の1km四方における大腸菌群濃度およびリスクに対する平均値はほぼ等しいが, 大腸菌群濃度の最大値は生活域計算のほうが5倍ほど大きく, 付随して住民の年間罹患リスクは生活域計算のほうが最大値でおよそ4倍大きい. 平均値が等しいことから計算の接続は良好に行われており, 集落スケールが同様である他の農村部においても, 年間罹患リスクの最大値は広域計算結果に対しおよそ4倍高まると考えられる. 一方で最低値に対して生活域計算結果は広域計算結果よりもわずかながら減少する.

これらの生活域計算の結果を考慮すると, 住民が飲料水を取水する時間帯および場所を選択することにより, 罹患リスクは抑えることが可能である. さらに広域計算において示されるリスクは住民が従来の生活を踏襲しつつ賢い選択をした場合に低減されるリスクを示しているとも言える.

5. 結論

雨季において罹患リスクが広範囲に分布し, 乾季において局所的に高まる. 生活域においてリスクの最大値は広域計算結果の4倍にも高まるが, リスクの低い時間帯と場所が存在し, 正しい対策によってリスク低減の可能性がある.

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) 厚生労働省健康局水道課: 平成20年度水道国際貢献推進調査業務報告書, 2009.

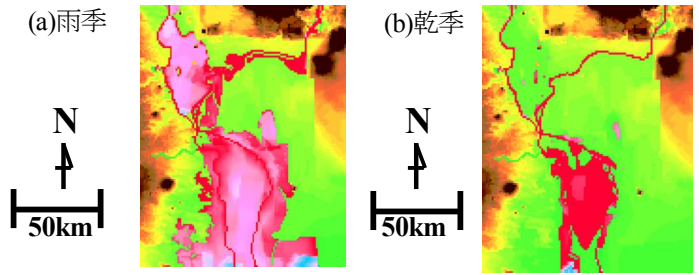


図2. 広域における雨季最大氾濫時(a)と乾季(b)の罹患リスク

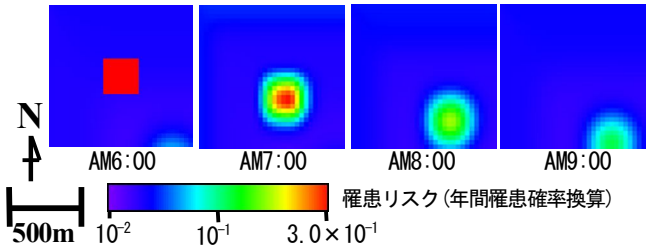


図3. 生活域における罹患リスク時空間分布

表1. 広域計算と生活域計算の比較

		大腸菌群濃度 (個/ml)	曝露量(個)	日罹患確率	年間罹患確率
広域	日最大値	1.3	2.5E+03	2.5E-04	8.8E-02
	日最小値	0.9	1.9E+03	1.9E-04	6.5E-02
	日平均値	1.1	2.2E+03	2.2E-04	7.7E-02
生活域	日最大値	6.8	1.4E+04	1.3E-03	3.9E-01
	日最小値	0.8	1.6E+03	1.6E-04	5.5E-02
	日平均値	1.2	2.3E+03	2.3E-04	8.2E-02

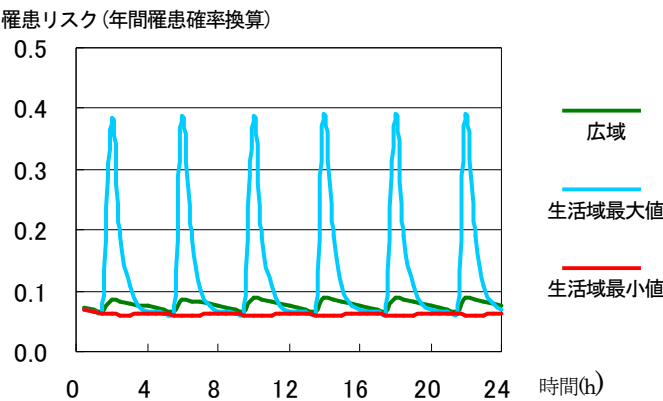


図4. 生活域における罹患リスクの日変動

2) So Kazama, Terumichi Hagiwara, Priyantha Ranjan and Masaki Sawamoto, Evaluation of groundwater resources in wide inundation areas of the Mekong River basin, Journal of Hydrology, Vol.340, No3-4, pp.233-243, 2007.

3) 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.

4) JIS-Z-8811

5) Luckiesh, M : Application of Germicidal, Erythemat and Infrared Energy, 1946.

6) 宮崎早苗, 灘岡和夫: 光学理論に基づく海域内複数物質濃度の逆推定法, 日本リモートセンシング学会誌, vol.19, No.2, pp.50-63, 1999.