

水理氾濫モデルと現地患者数を用いた 水系感染症リスクの定量化

THE QUANTITATIVE ANALYSIS OF WATERBORNE INFECTIOUS DISEASES RISK
USING THE HYDRAULIC INUNDATION SIMULATION AND DATA OF OUTPATIENT CASES

佐久間 太佑¹・風間 聡²

Taisuke SAKUMA and So KAZAMA

¹ 学生員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

² 正会員 東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

This study evaluated waterborne infectious diseases risk and incidence rate around Phnom Penh in Cambodia. We use the hydraulic flood simulation, coliform bacterium diffusion model, dose-response model and data of outpatient cases for quantitative analysis. The results obtained are as follows: 1. The incidence (incidence rate) of diarrhea as water borne diseases risk is 0.28 million people (21%) in the inundation area and 0.63 million people (17%) in the non-inundation area. 2. The inhabitant in the inundation area are exposed to drinking water polluted by coliform bacteria at 3.8CFU/ml on daily mean. However they are occasionally exposed to high risk because of seasonal variation.

Key Words : flood simulation, coliform bacteria, dose-response model, incidence rate

1. はじめに

水系感染症とは不衛生な水を介して細菌やウイルス、原虫が体内に侵入し増殖することで下痢や嘔吐、発熱などの症状を引き起こす感染症である。主に病原体に汚染された水を経口摂取することで感染し、世界では毎年 2 億 5000 万人以上の水系感染症患者が報告され、そのうち 1000 万人以上の人々が死亡している¹⁾。感染症例の約 75% は熱帯地域から報告され、死者の約 50%(480 万人)は熱帯地域の 5 歳未満児である¹⁾。5 歳未満児は全年代のうち感染症に対する抵抗力が最も低いため、他の年代よりも高い死亡率を示している。カンボジア国内では国家開発戦略において安全な飲料水供給率の向上を課題とし、徐々に衛生状況が改善しているものの、飲料水へ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²⁾ことから窺えるように、整備は遅れており、いまだ水系感染症等による下痢は幼児の主要な死亡原因である。

このように住民に多大な健康被害を及ぼす水系感染症は、洪水氾濫発生時に蔓延することが多々ある。1980 年・2000 年にスーダンとモザンビークで、1998 年にはインドで洪水時に下痢性疾患の集団発生が報告されている³⁾。カ

ンボジアはメコン河下流域に位置し、毎年雨季に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。

このような背景を踏まえて、洪水氾濫と住民の衛生状況がもつ関係性を明らかにするために種々の研究が行われている。その中でもマクロスケールでの解析は多数の法則によって水系感染症と洪水氾濫の関係性の傾向を把握するのに有効であるが、対象となる地域が広域になればなるほど時間的・空間的に連続なデータを得るのに多大な労力が必要となるため、モデルによって関係性を明らかにしようとする試みが行われている。例えば三浦ら⁴⁾はメコン河流域において飲料水の種類とその汚染状況および摂取量に関するデータを収集し、大腸菌群濃度を説明変数として種々の統計値に対して重回帰分析を行っている。その結果として得られた大腸菌群濃度の推定値に対して用量反応モデルを適用して水系感染症リスク評価モデルを構築している。しかし雨季と乾季に分類して大腸菌群濃度を推定しているものの、洪水氾濫による大腸菌群の輸送メカニズムとの関連性や、氾濫時系列に沿ったリスク変動については述べられていない。

相澤ら(2006)⁵⁾は Kazama ら⁶⁾によるメコン河下流域に位置するカンボジアの首都プノンペン周辺の洪水氾濫計算



図-1 対象領域 (四角)

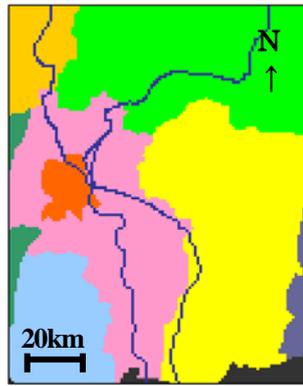


図-2 州分布図

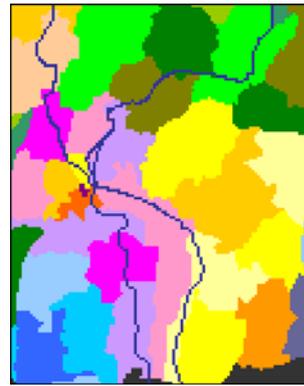


図-3 保健行政区分図



図-4 コミューン分布図

モデルをもとに、洪水氾濫時系列に沿った大腸菌群の移流計算モデルを構築した。その結果として得られた大腸菌群濃度の空間分布と5歳未満児死亡率との関係から、洪水氾濫によって水系感染症リスクが増加することを示した。また相澤ら(2007)⁷⁾は同様に得られた大腸菌群濃度分布とコンポンチャム州における下痢症患者数データを氾濫域・非氾濫域にそれぞれ位置する保健行政区域ごとに比較し、月毎の時系列に沿って洪水氾濫と水系感染症患者数の関係性を示している。その結果として、雨季には氾濫域の拡大により水系感染症患者が増加することが示されている。しかしながら相澤らのモデルでは大腸菌群が蔓延する様子は再現されているものの、保健行政区分は州衛生局が独自に管轄しており、人口などの種々のデータが整備されていないことを理由として、住民の曝露に対する感染機構が示されていない。このため衛生状況に大きく影響を及ぼす飲料水供給源の違いも考慮されおらず、また水系感染症リスクを下痢症罹患率や罹患患者数といった患者数データと明確につながる指標では評価していない。

そこで本研究では相澤ら⁵⁾⁷⁾の研究を基軸とした上で、まず保健行政区域ごとのデータを整備し、大腸菌群の感染機構を発生、氾濫による移流、水中での生残、住民への曝露、罹患と一貫した流れで考慮した上で、洪水氾濫時における水系感染症リスクが評価可能なモデルを構築している。またその過程で下水道や飲料水源などのインフラの影響もモデルに組み込まれている。本研究の目的はこのモデルで得られた結果と現地の下痢症患者数データを用いて、氾濫によるリスクと非氾濫によるリスクをそれぞれ評価し、領域内における水系感染症リスクを定量的に示すことである。

2. 対象領域

(1) 対象領域

計算対象領域(図1)はメコン河下流沿いの首都プノンペンをほぼ中心とした140km×110kmである。領域内には8つの州が含まれており(図2)、その中でほぼ全域が含ま

れているのはプノンペン特別市、カンダール州、プレイベン州の3州である。メコン河はプノンペンでトンレサップ川と合流し、バサック川と分流している。この領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。また平均年間降水量は約1600mmである。

州衛生局は州内を保健行政区域に分割して管理しており、保健行政区域はコミューンが集まって形成されている。州内の郡とは違う区分の仕方であるため、保健行政区域単位の患者数データと比較する統計データが整備されていない。そこで本研究ではまずコミューン単位の人口や5歳未満児数などの統計データを用い、作成した保健行政区分図とコミューン境界図を合わせることで保健行政区域ごとのデータを整備した。行政領域の境界はカンボジア保健省の行政地図より読み取った。図3に対象領域内の保健行政区域の分布を示す。また図4にコミューン分布図を示す。

(2) データセット

本研究では以下のデータセットを用いた。空間データの解像度は1km×1kmとした。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。水位およびSSデータとしてメコン河委員会が編集したデータ⁸⁾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の供給源割合はカンボジア統計局の2007年度CSES⁹⁾より得て、コミューンの都市農村区分に応じて適用した。保健行政区域ごとの下痢症外来患者数データは2005年度カンボジア保健省年次報告書¹⁰⁾より得た。

3. 計算方法

(1) 洪水氾濫計算

洪水氾濫計算にはKazamaら⁶⁾と同様に河道には1次元Dynamic Waveモデル、氾濫原には2次元不定流モデルを用い、時間間隔は30秒で計算した。

a) 洪水計算

1次元Dynamic Waveモデルは本研究の対象領域のような河床勾配の小さい河川の洪水解析に適している。基礎方程式は次の運動方程式と連続式からなる。

運動方程式

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

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

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)を表している。 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。

b) 氾濫計算

二次元不定流モデルは、次の運動方程式と連続式からなる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(X方向)} \quad \frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad (3) \\ \text{(Y方向)} \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad (4) \end{array} \right.$$

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

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, ρ : 密度, H : 水位(m)を表す。

本来、このモデルの運動方程式には移流項が含まれるが、メコン河のように流れの変化が緩い場合にはその影響は小さく¹³⁾、誤差が大きくないため省略した。

c) 越流計算

本研究の対象領域には、堤防の一部を開き、農業用水として洪水の一部を氾濫原に引き入れるコルマタージュと呼ばれる農法がある。このコルマタージュ用水路の存在により対象領域では毎年雨季に必ず洪水氾濫が生じ、その洪水規模は河川水位に影響を受ける。コルマタージュによる氾濫原への越流量は次の越流公式を用いて求める。

完全越流
$$Q = 0.35Bh_1\sqrt{2gh_1} \quad (6)$$

もぐり越流
$$Q = 0.91Bh_2\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (7)$$

ここで、 Q : 流量(m³/s), B : コルマタージュ水路幅(=10m), h_1 : 越流水深(m), h_2 : 氾濫原の水深(m) である。

(2) 大腸菌群濃度計算

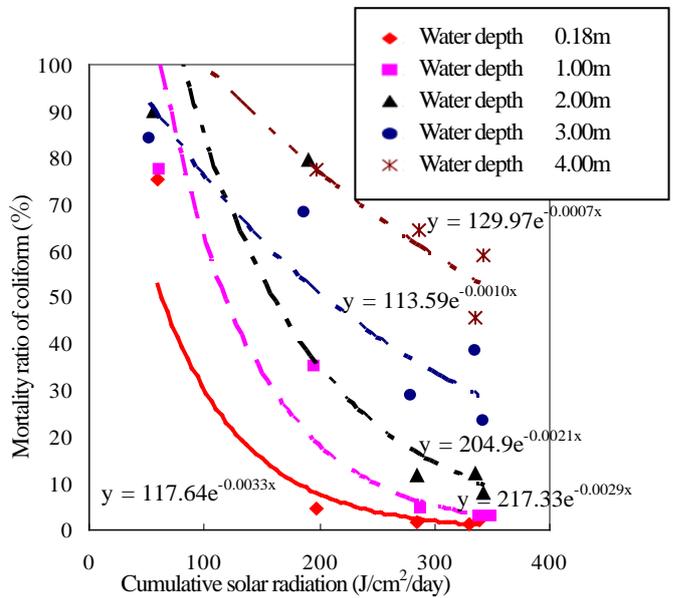


図5 照射熱量と大腸菌群生残率

(Gameson らの結果を用いて再描写)

大腸菌群濃度計算は、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0でない場合は全て氾濫水中に流れ込み、不定流式の流量フラックスを用いて計算する。時間間隔は30秒である。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。これは下水道普及箇所がブロンペンや郊外の都市域であり、浸水被害が小さいためである。

負荷量は領域内の人口分布と衛生施設普及率に合わせて決定する。日投入負荷量は式(8)で求められる。

$$L = n \times l \times (1 - s / 100) \quad (8)$$

ここで、 L : 大腸菌群投入負荷量(個/日), n : 人口(人), l : 一人が一日に排出する大腸菌群量(=2.0 × 10¹⁰ 個/人/日), s : 下水道普及率(%) である。また河道の大腸菌群濃度はアジア太平洋環境開発フォーラムの報告書¹²⁾から5.0個/mlとした。

時間当たり的大腸菌群の生残率は、日光の強さと大腸菌群生残率との水深ごとの関係(図5)¹³⁾より求めた。また濁度による日光への影響を考慮するためにSS濃度と水面での日光の反射率の関係式¹⁴⁾を用いた。照射熱量と反射率の関係を簡略化して考えると式(9)のようになる。

$$S = (1 - R / 100) S_{\max} \quad (9)$$

ここで S : 照射熱量(J/cm²/day), S_{\max} : 全照射熱量(J/cm²/day), R : 反射率(%) である。沖らは、SS濃度と反射率との関係を式(10)のように表している¹⁴⁾。

$$R = 0.0809 + 0.0146U \quad (10)$$

ここで、 U : SS濃度(mg/l) である。この U は大腸菌群濃度計算と同様に不定流式の流量フラックスを用い、河道での1996年のSS濃度を境界条件として計算する。

(3) 氾濫による罹患リスク評価計算

本研究では下痢症を水系感染症として、下痢症年間罹患率を用いてリスクを評価している。氾濫による年間罹患率は曝露量を用いた用量反応モデルによって計算され、曝露量は接触する水の濃度とその機会が決まる。本研究のモデルでは氾濫によるリスクをポテンシャルとして表現できるように代表的なシナリオとして氾濫水の飲用を

考えている。氾濫域の住民は表 1 に示す氾濫水の影響を大きく受けると予想される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している。曝露量は式(11)で計算される。

$$D = aC_b(1-w)W \quad (11)$$

ここで D : 1 日当たり曝露量(個/ml・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)とする。

用量反応モデルはベータポアソンモデルを用いている。氾濫による下痢症日罹患率を式(12)に示す。

$$P_F(D) = 1 - \left[1 + \frac{D}{\beta} \right]^{-\alpha} \quad (12)$$

ここで P_F : 氾濫による下痢症日罹患率とする。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¹⁵⁾。

また大腸菌に対する年間罹患率を式(13)に示す。

$$R_F = 1 - \prod_{t=1}^{365} \{1 - P(D^t)\} \quad (13)$$

ここで R_F : 氾濫による年間罹患率, t : 曝露期間内での経過日数とする。

4. 結果および考察

(1) 計算結果

洪水氾濫計算および大腸菌群移流計算の結果をそれぞれ図 6 と図 7 に示す。洪水氾濫計算の計算結果は洪水の水位、氾濫域ともに Kazama ら⁹⁾によって良好な結果が得られたことが確かめられている。また大腸菌群濃度計算に関しては相澤ら¹⁰⁾によって実測値と計算値の比較が行われており、氾濫時の大腸菌群濃度に関して良好な結果が得られている。本研究では同様の条件で計算しているため、実際の氾濫および氾濫時における大腸菌群の移流現象を再現していると考えられる。

用量反応モデルを用いて計算された氾濫による下痢症年間罹患率を図 8 に示す。年間罹患率分布は人口分布に年間罹患率を乗じることで得られる。氾濫による下痢症年間罹患患者数を図 9 に示す。

(2) 患者数データを用いた下痢症年間罹患率の推定

下痢症外来患者数データを用いて下痢症年間罹患率を推定する。患者数データは下痢症罹患患者のうち病院に行っ

て治療された人数であり、実際の罹患患者数より少ないと考えられる。カンボジア保健省の CDHS2005¹⁶⁾より得たアンケートによると疾病の際に病院で治療する人の割合は都市部で 14.8%、農村部で 11.1%である。本研究で計算した罹患患者数と検証するため患者数を病院で治療する割合で除して罹患患者数を推定する必要がある。患者数データより推定された罹患患者数を州ごとの人口で除して下痢症年間罹患率とする。州ごとの下痢症年間罹患率を全年齢と 5 歳未満児のみを対象としてそれぞれ図 10 に示す。ここで 5 歳未満児のみの罹患率は全年齢層よりも高い傾向を示しており、5 歳未満児は下痢症に関して抵抗力がより小さいということが裏付けられる。また首都であるプノンペンとは他州に比べて罹患率が低い。プノンペン周辺は広域水道や衛生設備が他州に比べて整備されているため、下痢症罹患率が低く抑えられていると考えられる。

(3) 洪水氾濫による罹患患者数と患者数データの関係

本研究によって推定された洪水氾濫による下痢症年間罹患患者数と全年齢層における現地患者数データの相関図を図 11 に示す。図より両者は正の相関をもち、決定係数も 0.56 と有意であることから、洪水氾濫によって下痢症が増加することが裏付けられる。この結果は本モデルの氾濫による罹患リスクが全体の罹患リスクのポテンシャルとして有効であることを示している。また回帰直線の傾きは本研究でのシナリオで説明できる割合を示し 0.1 程度である。切片は州単位で比較した場合に本モデルがポテンシャルとして説明できない罹患患者数を示している。また同様に 5 歳未満児のみの現地患者数データとの相関を図 12 に示す。正の相関をもつ傾向は同様であるが、決定係数は 0.47 と全年齢層に比して小さくなる。このことから 5 歳未満児は、洪水氾濫によって下痢症になりやすくなることは変わらないが、他の年齢層に比べて非洪水氾濫時の影響も大きく、そのため相関係数が小さくなった。

表-1 安全な飲料水の供給率

	保護されている水(%)	保護されていない水(%)
プノンペン	98	2
その他都市部	82	18
農村部	74	26

注：保護された水とは水道水や雨水、深井戸などであり、必ずしも水質が良好であることを意味しない

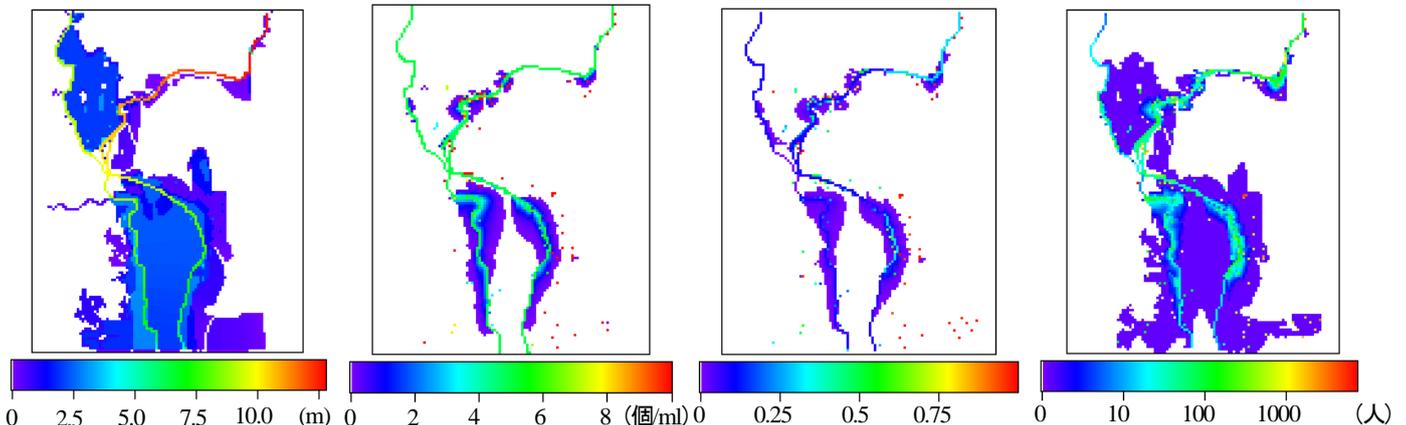


図-6 氾濫水深 9/30

図-7 大腸菌群濃度 9/30

図-8 氾濫による年間罹患率

図-9 氾濫による年間罹患患者数

ていると考えられる。ただし本論文のモデルでは5歳未満児のデータを取り入れておらず、改良の余地がある。

(4) 非洪水氾濫による下痢症罹患率

現地患者数データとの定量的な比較を行うため、また統合した罹患リスク分布を示すためには、氾濫モデルによって示された氾濫による罹患リスクを除いた非氾濫による罹患リスクを導く必要がある。都市化が進んでいるほど衛生状況が良いと考えられるため、非洪水氾濫による下痢症罹患率は都市化率に応じて小さくなると考えられる。しかし衛生状況を示すデータに関して、飲料水の供給源割合は都市農村別のみであるなど、データの整備状況は必ずしも良くない。また複合的に様々な要素が絡むことを考えると多くのデータが必要となり効率が悪い。そこで本研究では、簡便であるが人口密度を用いて都市化率を代表するデータとしている。現地患者数データより得た下痢症推定罹患患者数から洪水氾濫による推定罹患患者数を差し引き、これを非洪水氾濫による下痢症罹患患者数として、非洪水氾濫による年間罹患率を推定した。さらに図13に示すように人口密度と非洪水氾濫による年間罹患率の関係をサンプル数が少ないものばらつきの小さい州単位でまとめ、指数近似を用いて式(14)に示す関係式を導いた。

$$R_{nF} = 0.3235e^{-0.0004PD} \quad (14)$$

ここで PD : 人口密度, R_{nF} : 非氾濫による年間罹患率である。

(5) 水系感染症リスクの定量化

これまでの計算より得られた洪水氾濫による下痢症年間罹患率と非洪水氾濫による年間罹患率を次の式で統合した。

$$R_Y = R_F w + R_{nF} (1 - w) \quad (15)$$

ここで R_Y : 統合された下痢症年間罹患率とする。

統合された下痢症年間罹患率を図14に示す。本研究ではこの下痢症年間罹患率を領域内における水系感染症リスクとしている。三浦ら⁴⁾の結果における年間罹患率は、首都プノンペンでは一部の都市域で 10^4 から周辺部で0.1までの範囲である。また農村部では0.1から1の範囲であることに加え、河川域で特に高い値を示している。本研究と三浦らと比較すると罹患率の高低傾向とオーダー単位の値で近い結果が得られていることがわかる。ただし本研究モデルでは氾濫域で氾濫水を飲料水として考慮しているのに対し、三浦らのモデルでは河道が位置するメッシュのみで河川水を使用するモデルとなっている。このため、河川周辺部では本研究では0.5程度の罹患率でやや広域に分布することと比して、三浦らのモデルでは河川に位置するメッシュの罹患率のみが1に近い値となっている点で異なる。

図14に示す統合された年間罹患率分布について州ごとに整理し、図15において現地患者数データとの比較を行った。本研究モデルによって導かれた年間罹患率は患者数データをもとに得られた年間罹患率に対して良好な近似を与えていることがわかる。この年間罹患率を用いて推定された下痢症年間罹患患者数は、氾濫域住民135万人に対して28.5万人(21%)、非氾濫域住民373万人に対して63.4万人(17%)である。またこの年間罹患率を基にして、用量反応モデルを用いて飲料水中に含まれる大腸菌群濃

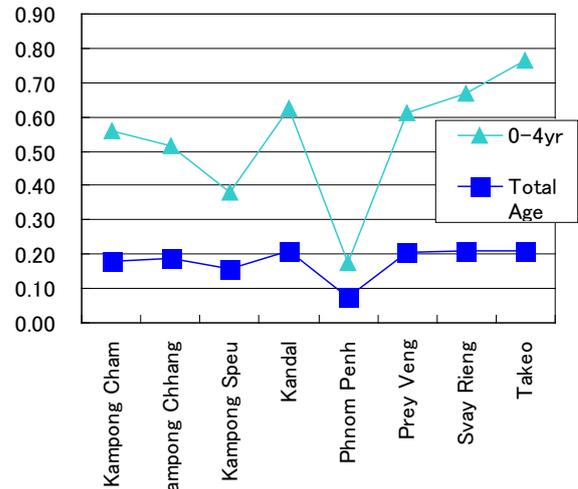


図-10 患者数データより推定した州ごとの下痢症年間罹患率

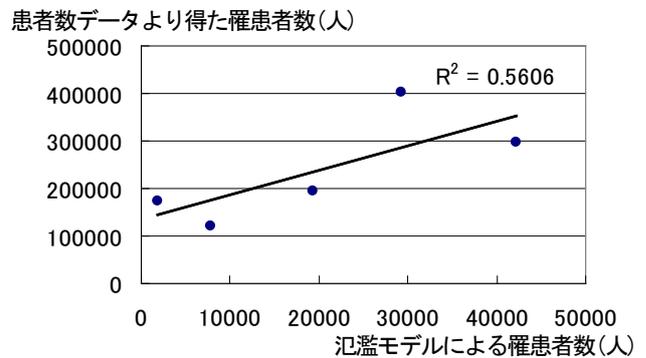


図-11 州ごとの全年齢患者数データと氾濫による下痢症罹患患者数の関係

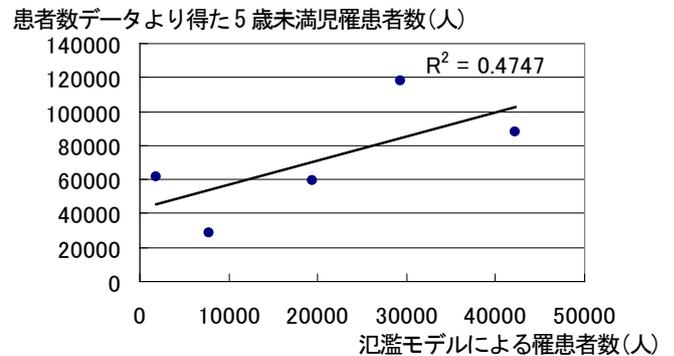


図-12 州ごとの5歳児未満患者数データと氾濫による下痢症罹患患者数の関係

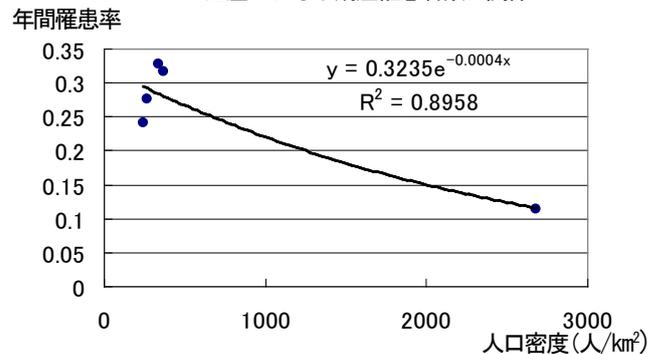


図-13 州ごとの人口密度と非洪水氾濫による下痢症年間罹患率の関係

度を求めると、氾濫域住民は平均1日当たり3.8個/mlで曝露すると計算されるが、氾濫水の大腸菌群濃度は季節変動を見せる⁷⁾ため、住民は日々の曝露に加えて時折大きく曝露し感染すると考えられる。

5. 結論

本研究において以下のような成果が得られた。

- ・大腸菌群の感染機構やインフラの影響を組み込んだモデルを用いて、氾濫による水系感染症リスクを下痢症年間罹患率や罹患患者数といった指標で定量的に示した。
- ・氾濫による罹患患者数を差し引いた患者数データをもとに人口密度との関係式を導き、非氾濫による下痢症罹患率を示した。
- ・氾濫と非氾濫による年間罹患率を統合し、水系感染症リスクを評価した結果、患者数データより導かれた下痢症罹患率に良好な近似を与えた。
- ・本研究によって推定された氾濫域の下痢症年間罹患患者数は28.5万人であり、曝露する大腸菌群量は日平均で3.8個/mlであるが、住民は時折大きく曝露し感染する。今後はこのモデルを用いることにより効果的なリスク低減対策を示すことが可能となると考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費(代表者：風間聡)と文部科学省の科学技術振興調整費戦略的研究拠点育成事業「サステナビリティ学連携研究機構構想」の助成を受けた。三浦氏を始めとして東北大学工学研究科環境水質工学研究室の方々には実測に関して多くの助言を頂いた。またカンボジア保健省には患者数データを提供していただいた。ここに併せて深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) Gordon A. McFeters 編, 金子光美 監訳: 飲料水の微生物学, 技報堂出版, 1992.
- 2) 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.
- 3) WHO: Weekly epidemiological record, No.3, pp.21-28, 2005.
- 4) 三浦尚之, 渡部徹, 中村哲, 大村達夫: GISを用いたメコン流域における飲用水起因下痢症リスク評価, 水環境学会誌, 第30巻, No.11, pp.611-616, 2007.
- 5) 相澤寿樹, 風間聡, 渡部徹, 沢本正樹: メコン河における洪水規模による水系感染症のリスク変動, 水工学論文集, 第50巻, pp.625-630, 2006.
- 6) 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, No.3-4, pp.233-243, 2007.
- 7) 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, pp.1189-1194, 2007.
- 8) Mekong River Commission: LOWER MEKONG HYDROLOGIC YEARBOOK.

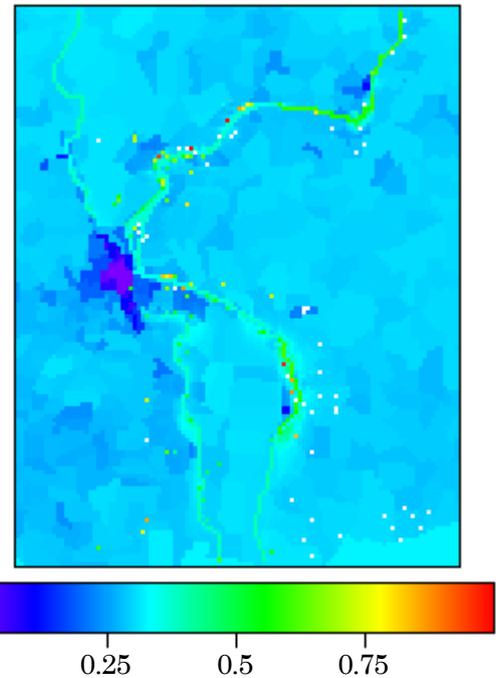


図-14 統合された下痢症年間罹患率

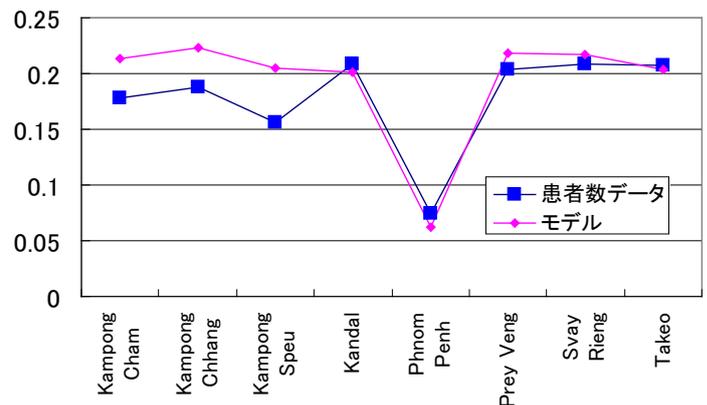


図-15 患者数データと本研究モデルに対する州ごとの年間罹患率による検証

- 9) カンボジア計画省統計局: Cambodia Socio Economic Survey, 2007.
- 10) カンボジア保健省: National Health Statistics, 2005.
- 11) 土木学会編: 水理公式集平成11年版, 1999.
- 12) APFED 事務局: APEFD 最終報告書ゼロドラフト, 2003.
- 13) A.L.H.Gameson and J.R.Saxon: Field studies on effect of daylight on mortality of coliform bacteria, Water Research, Vol.1, pp.279-295, 1967.
- 14) 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.
- 15) Haas, CN., Rose, JB. and Gerba, CP.: Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley & Sons, 1999.
- 16) カンボジア保健省: Cambodia Demographic and Health Survey, 2005.

(2009.9.30 受付)