

ンコクを含むタイの各地で大規模な洪水被害が発生した。数百人が死亡、200 万人を超える人が被災し、首都の一部でも避難勧告が出たと言われる。水道分野では 10 年ぶりの国際緊急援助隊の派遣が行われた。

3.1 洪水に伴う衛生状態に関する報告

洪水に伴う衛生状態の悪化が懸念されたものの、医療、衛生状況に関しては、下記のような報告状況³⁾であり、大量発生のおそれのある疾病(下痢症、食中毒、レプトスピラ症、デング出血熱、下部呼吸器感染症など)の例年以上の発生は見られていなかった。

「保健省は洪水被害が拡大した 10 月初旬から災害時の疾病監視(サーベイランス)システムを発動し大量発生のおそれのある疾病(下痢症、食中毒、レプトスピラ症、デング出血熱、下部呼吸器感染症、など)を監視したが、例年に比較して大きな発生数の増加は見られなかった。デング熱については、蚊の駆除の徹底やモニタリングは継続されている。洪水に起因する死亡(約 700 人)の大部分は感電および溺水であった。被災地に設置された避難所も 12 月中に一部を除き閉鎖され、洪水によって被害を受けた病院や保健所の復旧や被災地域の清掃活動に着手している。

表 2011 年 10～12 月の食中毒、レプトスピラ、水痘、化学物質中毒、結膜炎、麻疹件数

Diseases	1-9 Oct	10-16 Oct	17-23 Oct	24-30 Oct	1-6 Nov	7-13 Nov	14-20 Nov	21-27 Nov	28 Nov-4 Dec	Total
Food poisoning/diarrhea	1 {95}	3 {1, 37, 45}	3 {10, 21, 30}	3 {5, 25, 40}	6 {3, 6, 8, 11, 19, 26}	0	3 {5, 15, 19}	2 {14, 55}	2 {62, 15}	23 {704}
Leptospirosis	0	0	1 {1}	1 {1}	1 {7}	3 {1, 1, -}	1 {1}	0	0	7 {12}
Chicken pox	0	0	1 {3}	0	1 {3}	1 {1}	0	0	0	3 {7}
Chemical intoxication	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
Conjunctivitis	0	0	1 {21}	0	0	1 {15}	0	0	0	2 {36}
Measles	0	0	1 {2}	0	0	0	0	0	0	1 {2}

*Number of cases in each event is in parenthesis

Thailand Flood Crisis and Disease Control Situation Report, WHO Thailand
<http://www.ddc.moph.go.th/emg/flood/allddc.php> <文献5に同じ、表題は浅見補足>」

また、水と衛生の状況に関連しては、「日本から派遣された国際緊急援助隊上水道施設対応チーム(大阪広域水道企業団)が確認したところ、飲用に耐える状態にあるという結果を報告しています(色は鉄とマンガン、臭いは植物プランクトンで飲用の安全性には問題なし、洗濯の際には色が付着する可能性あり)。実際に飲用するかはともかくとして、飲用しても健康障害はないレベルであることは日本の専門家チームによって確認されていました。」との報告⁴⁾であった。(国際緊急援助隊上水道施設対応チームによるバンコクの水道水の水質の状況等に関する説明について(<浅見補足>平成 23 年 11 月 8 日、在タイ日本国大使館(http://www.th.emb-japan.go.jp/jp/news/flooding_mwa.htm)が引用されているが、2012 年 3 月時点で確認できず。)

3.2 公衆衛生省の報告

公衆衛生省の報告⁵⁾によれば、「Nonthaburiにおいて、10月31日～11月1日に450人中75人の集団下痢症が発生した。調査によれば、学校校舎の地下の水槽が洪水で汚染されていたことがわかった」とされている。洪水による衛生状態の悪化により観察された事例と考えられる。

3.3 タイ公衆衛生省の報告解析

3.1のように、大規模な感染症については全体的に例年と大幅に異なる傾向が見られていないと言うことであったが、タイ公衆衛生省の集計⁵⁾を解析したところ、若干の知見を得たので報告する。

タイにおいては、コレラ、インフルエンザ等の約100種の疾病の患者数の集計が地域、月毎、地域毎に集計されホームページ上で公開されている。報告⁵⁾にも述べられているように典型的な集団発生が懸念される疾病については、発生率の明らかな上昇などは見られなかったが、下痢症、コレラ、ヘビ咬みについて検討を行った。

これらのうち、タイ中央部における2008年～2012年3月の月毎下痢症患者数の推移を見たところ、図1（タイ公衆衛生省の中央地区に関する集計⁶⁾より作成）のようになった。毎年月毎に約3万から5万人の患者数が報告されているが、1月に高く7～9月に下がる傾向があった。年ごとの変動も大きく、2010年は7月に山が見られている。2011年の患者数を2008～2010年の平均と比較してみたところ、図2のような傾向が見られ、通年としてはおおむね1に近い値であったところ、10月11月のみ1.2程度の値を示していた。すなわち、タイ中央部の2011年の10月11月は、患者数が前3年の平均値の1.2倍であったことを示すものである。

(人)

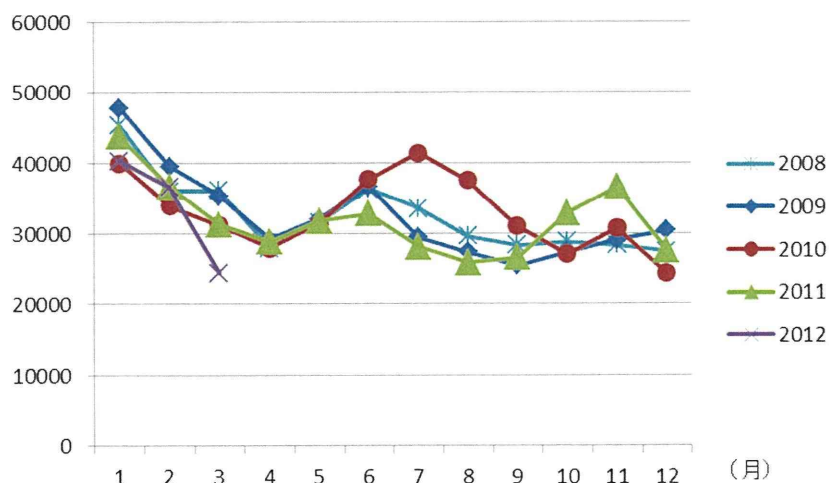


図1 タイ中央部における2008年～2012年3月の月毎下痢症患者数の推移

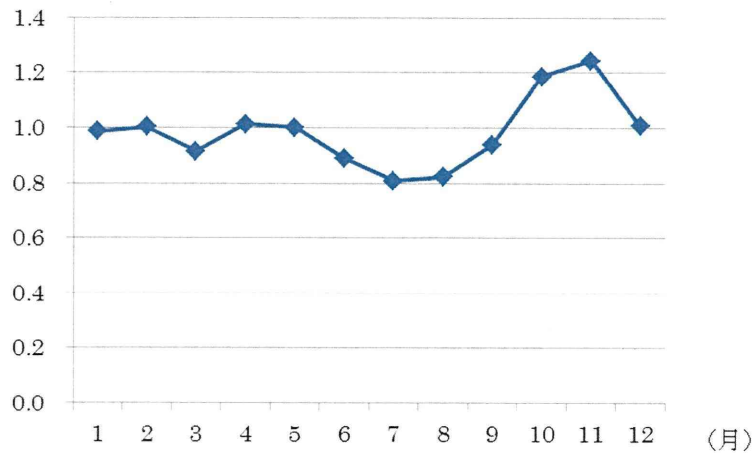


図2 タイ中央部における 2011 年の患者数比
(2011 年の月毎患者数と 2008～2010 年平均の比)

下痢症患者数の年齢構成を見ると、図3のようであった。2008年から比べると毎年1歳以下が年々減少し、45才以上が若干上昇を見せている。2011年においてもその傾向は変わっておらず、2011年のみに特徴的な年齢層の患者数の増加などは観察できなかった。

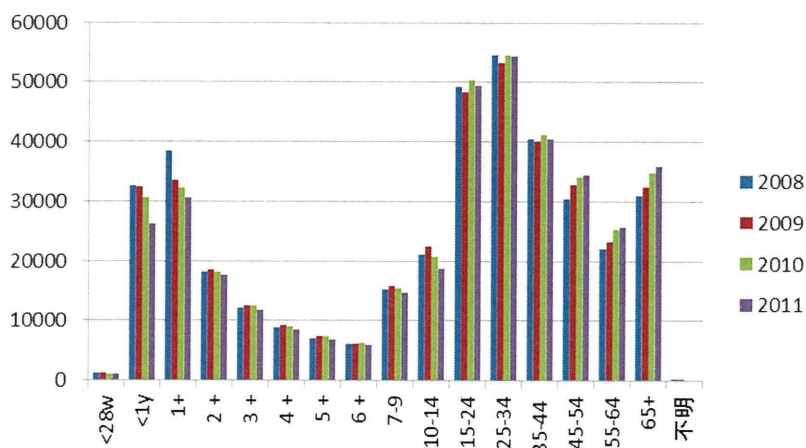


図3 2008～2011年の下痢症患者数の年齢構成

コレラについては、2011年（タイ暦 2554年）にタイ南部で集団発生が見られ、図4のような状況となっていたが、特段洪水に直接的及び間接的に起因するかどうかは確認できなかった。

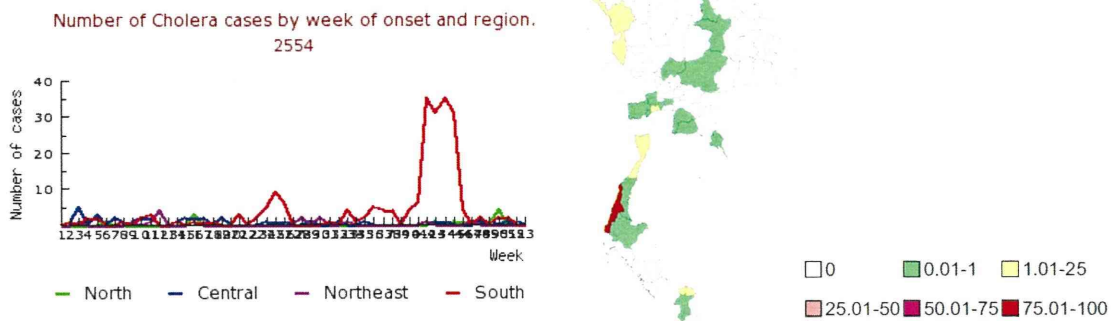


図4 タイにおけるコレラの地域毎患者数推移（2011年）と発生地域と発生状況

また、洪水時等に増加する可能性があるといわれるへび咬みの事例について見たところ、2011年の秋には前年より10～20%高いへび咬みが見られるようであった。へび咬みのHPには、この2年分のものしかなく、これ以上の解析ができないが、図5にホームページ⁶⁾上で公開されているへび咬み患者数の週毎推移と発生地域を示した地図を示すと、タイ中央部、南東部などの地域が含まれていた。ただし、地域は2011年、2010年いずれにおいてもほとんど差が見られていない。

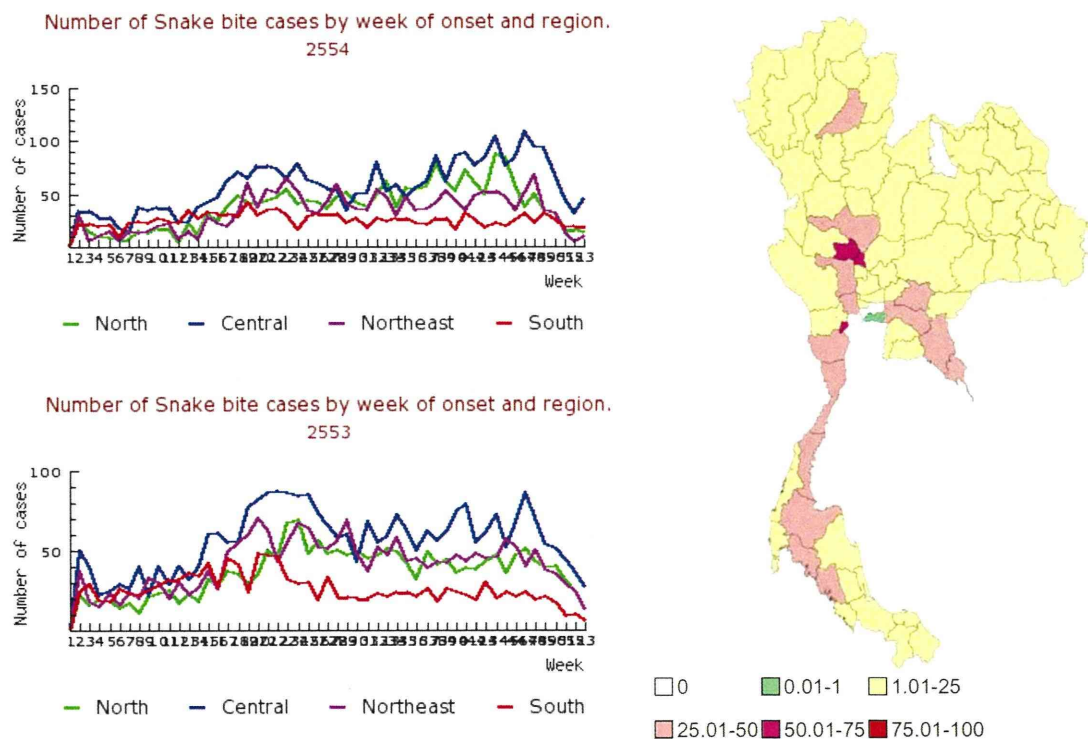


図5 タイにおけるへび咬みの地域毎患者数推移（2011年）と発生地域と発生状況

3.4 考察

水と衛生において、飲料水の確保のみならず衛生施設の普及や安全性の確保が重要となっていることを示した。また、タイの大洪水に関する事例では、タイ中央部の下痢症、ヘビ咬みの患者数を解析したところ、過去3年或いは前年に比べて、10～11月の患者数が若干増加している可能性があることが示された。しかしながら、通常の発生絶対数が多く、また、変動も大きいことから、通常の変動の範囲内である可能性もある。

災害時の衛生状況は、平常時よりも悪化することが懸念されるものの、国際的にも注目されるような大規模災害では、データの集積や避難施設の整備、医療体制の変化、物資の供給状況など平常時と良否両面で異なる場合がある。今回のタイの場合は、平常時から疫学情報収集システムが稼働し始めたところであり、かなり信頼性が高いと考えられる。

これまで、「バングラデシュの洪水災害では40万人以上の下痢症が出て400名以上が死亡している。他に、モザンビーク、ブラジル、ロシアで発生した洪水後に、マラリア、レプトスピラ症、肝炎などの流行があったとの報告がある。」しかしながら、スマトラ沖地震では発災後6ヶ月後の知見でも「(災害時の)マラリアやコレラなどの感染症流行の危険性はある、避難キャンプなどの衛生状態なども決して良くないが、感染症の流行が必ずしも起こるわけではない」状態であったとの国井⁷⁾の指摘もあり、必ずしも患者数などの大幅な増加が見られるとは限らない。今後とも両面の動きを注視する必要がある。

D. 結論

- ・ 水管理に関するガバナンスの向上やアセットマネジメント等は先進国、途上国を通じて重要な課題であり、これまで以上に効率的な水資源・水環境管理が求められている。地表水・地下水の汚染防止を強化するため、水部門のガバナンスを改善する必要性も高いことが指摘されている。日本からは、技術的なサポートのみならず、水管理に関するガバナンスの向上やアセットマネジメント等に関する知見の提供、協力などが求められているものと考えられる。
- ・ WHOにおいても、今後の大きな課題は、安全な水の供給に加えて、特に進捗の悪い地域の貧困層、地方の衛生施設へのアクセスを改善することであり、一層の努力が求められている。
- ・ タイの洪水の事例では、衛生状態の悪化による大規模な集団感染は、水槽の汚染によると見られる事例があった。また、中央部で2011年10～11月において、過去3年の同時期平均より下痢症の発生数が若干多い傾向が見られた。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

参考文献

- 1) 国連持続可能な開発会議（リオ+20）成果文書への日本政府インプット、2011年10月31日（http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/23/10/1031_05_02.pdf）
- 2) WHO ホームページプレスリリース（2012年3月6日）より翻訳、
http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/en/
- 3) タイ洪水に対する保健・公衆衛生調査団報告、2011年12月28日、JICA資料
- 4) タイ洪水災害に関する保健医療専門家向け状況報告書、2012年1月1日、JICA資料
- 5) Thailand Flood Crisis and Disease Control Situation Report: Updated 10 November 2011. Department of Disease Control.
<http://www.ddc.moph.go.th/emg/flood/showimgpic.php?id=583> (2012年3月アクセス)
- 6) タイ公衆衛生省ホームページ (<http://www.boe.moph.go.th/>) のそれぞれの疾病レポートより抜粋、2012年2月～3月アクセス)
- 7) 國井修、『国家救援医 私は破綻国家の医師になった』、2012年1月、角川書店

分担研究報告書 2

ダッカにおける河川水位変動とデング熱の流行：時系列研究

研究分担者 橋爪真弘

厚生労働科学研究費補助金（地球規模保健課題推進研究事業）
水供給分野の国際協力における総合援助手法に関する研究
分担研究報告書

ダッカにおける河川水位変動とデング熱の流行：時系列研究

研究分担者 橋爪真弘 長崎大学熱帯医学研究所

研究要旨 背景：洪水によりデング熱の伝染が拡大する可能性があるにも関わらず、デング熱の流行と洪水の関連を扱った研究はこれまでに数えるほどしかなかった。本研究では、ダッカ（バングラデシュ）の11の主要な病院において、河川水位と降雨量がデング熱入院患者数にどのように影響しているかを推定した。方法：季節変動、年間変動、祝日、気温の要因を調整したうえで一般線形ポアソン回帰モデルを使い、2005年から2009年までのデング熱入院患者数と河川水位との関連について時系列解析をおこなった。結果：河川の高水位とデング熱患者の増加との間に強い関連がみられた。河川の平均水位の閾値(3.9m)より0.1mずつ上がるごとに、0-5週間の遅れを伴って入院患者数が6.9%(95% CI: 3.2, 10.7)増加した。また、同じく河川の平均水位の閾値より0.1mずつ下がるごとに0-19週間の遅れを伴って入院患者数が29.6%(95% CI: 19.8, 40.2)増加した。結論：河川水位の上昇、低下の両方に関連する要因によりダッカのデング熱入院患者が増加しているということが実証された。水道のない世帯では、洪水により家屋内で水の貯め置きをすることにより水瓶で媒介蚊が繁殖し、デング熱罹患リスクが高まると考えられた。洪水など自然災害に脆弱な開発途上国における水供給においてはこれらの感染症リスクも考慮すべきことが示唆された。

A. 研究目的

デング熱は、デング出血熱（DHF）やデングショック症候群などの致命的な合併症を引き起こす可能性のある、蚊を媒介とした感染症である。過去数十年にわたってデング熱患者の発生は著しく増加している。熱帯・亜熱帯地方の都市近郊に居住する25億人の人々がデング熱感染の危険にさらされており、年間5千万人のデング熱患者数が推定されている[1]。アジアのいくつかの国々では、デング出血熱が子供の入院や死亡の主な原因となっている[2]。

1964年から1999年までの期間、バングラディッシュではデング熱の散発的な発生が記録されている。ダッカで最初のデング出血熱の大発生が2000年[3]に発生し、それ以来毎年、症例が報告されている。これには、明らかに季節性の影響がみられ、天候要因が直接的または間接的に影響している可能性があるという示唆されている。

気候条件は、媒介蚊であるネッタイシマカ (*Aedes aegypti*) やヒトスジシマカ (*Aedes albopictus*) の生態に直接的な影響を及ぼす[4-6]。降雨量や気温が高いと、これらの蚊の産卵しやすい状況が生まれ、孵化や成長を促進し、蚊のウィルスの生殖期間が短くなる[4-6]。これまでに数多くの研究が、様々な地域における気候とデング熱の関連を扱ってきた。高温とデング熱の関連はブラジル[7]、中国[8]、インドネシア[9]、メキシコ[10]、プエルトリコ[11]、シンガポール[12]、台湾[13]、タイ[14]で報告されており、降雨量の多さとデング熱との関連は、バルバドス[15]、インドネシア[16]、メキシコ[10]、プエルトリコ[11]、台湾[13]、タイ[17]、トリニダード[18]、ベネズエラ[19]で報告されている。デング熱の症状と気温や降雨量との短期での関連の空間的不均一性は、気候の不均一性に起因するものである可能性がある[11]。また、デング熱の流行とエルニーニョの関連性を示唆した研究もある[20-22]。

洪水によりデング熱の伝染が拡大する可能性もある。河川の氾濫により淀んだ水が、蚊の繁殖場となるため、洪水の被害にあった人々はデング熱の危険にさらされる可能性が高まることになる[23]。しかし、これまでにデング熱の流行と洪水の関連を扱った研究はほとんどない。プエルトリコでの1998年のハリケーン・Georgesの後の救援スタッフによる報告以降、デング熱感染例は報告されていない[24, 25]。ハイチでの2004年のハリケーン・Jeanneの後にデング熱は大発生していない[26]。マレーシアの洪水の被害を受けた地域でデング熱の低い発生率が確認されたのみである[27]。タイでの洪水の後、急性の発熱患者が増加し、そのうち29%がデング熱で、27%がレプトスピラ症であったと報告されている[28]。

バングラディッシュの国土は低地であるため、その水域は洪水の被害を受けやすくなっている。河川の水位と天候のデング熱伝染との関連を明らかにすることにより、デング熱の季節的な流行の経路を解明し、疾病対策の改善につながる可能性がある。本研究は、他の季節的決定因子を制御しつつ、ダッカにおいて河川の水位と降雨量がデング熱発生にどのように影響しているかを推定することを目的とした。

B. 研究方法

病院データ 本研究のアウトカムは、ダッカ大都市圏の主要な 11 病院での Dengue 熱、および DHF であると診断された週毎の患者数である。これら 11 の病院の所在地を図 1 に示した。これらの病院は、ダッカ大都市圏における主要な病院であることから、本研究の対象として選んだ。2005 年 1 月から 2009 年 12 月までの期間に入院した患者データは、病院の入院記録から入手した。入院日を含めた患者データを記録するデータベースを作成した。Dengue 熱の診断は病院の医師により下されたもの以外に、検査によるものもある。

河川水位と気象データ ダッカに位置する 4 つの観測所 (図 1) (Mill Barrack の Buriganga 川、Tongi の Tongi Khal 川、Mirpur の Turag 川、Demra の Balu 川) における河川水位データは、Bangladesh Water Development Board (バングラデシュ水資源開発庁) から入手したものである。4 つの観測所での一日の最高水位の平均を分析に使用した。また、この 4 つの観測所における一日の降雨量と気温の平均データを Bangladesh Meteorological Department (バングラデシュ気象局) から入手した。毎日の記録から、4 つの観測所における毎日の最高水位と毎日の平均気温をもとにそれらの 1 週間の平均を、また毎日の降雨量をもとに 1 週間の全降雨量をそれぞれ計算した。

統計的分析 過分散を考慮に入れ、一般線形ポアソン回帰モデルを使い、1 週間単位の Dengue 熱患者数と河川の水位や天候変数 (気温と降雨量) との関連を解析した [29]。河川の水位や天候に直接関連していない Dengue 熱の季節的要因を考慮に入れるため、第 5 次調波までフーリエ級数をモデルに導入した。フーリエ項は、波長が変動するサイン波とコサイン波の組み合わせさせた周期的パターン (例: 季節性) をとらえることができる [30]。Akaike Information Criteria (AIC) が最小となる波長数を選択した。数年間の長期的な傾向や他の変動を考慮に入れるため、データ期間の年の指標変数をモデルに取り入れた。祝祭日の病院訪問者数への影響によって生じるバイアスを制御するため、祝祭日の指標変数を取り入れた。さらに自己相関を考慮するために 1 次の自己回帰係数もモデルに取り入れた [31]。

また、河川水位の Dengue 熱の症例への影響の遅れを説明するため、河川水位のラグ変数をモデルに組み込んだ。最長で 26 週間 (6 ヶ月) 後までのラグ (影響の遅れ) を考慮した。この際、最適なラグ期間を明確にするため、各ラグ (0、1、2、…26 週間) の水位の線形項をモデルに取り入れた。なお、このモデルには、年および祝祭日の指標変数、フーリエ項 (天候変数の制御がないモデル) を含んだ。1 週間毎にラグを追加し、影響があるとみなした週まで続けた [32]。5 週間のラグにいたるまで、各ラグの追加ごとに直線的な増加がみられ、影響が確認された (その週とその週から遡った 5 週間との 6 週間)。一方、6~19 週後の間のラグに直線的な影響の減少がみられた。河川高水位の最

適なラグは0週間から5週間の間で影響が最大であったときに選択され(その週とその週から遡った5週間の河川水位の平均)、河川低水位の最適なラグは0週間から19週間の間で影響が最小であったときに選択された。

第1段階の分析では、いかなる関連をも確認できるよう意図して、同一モデルで(a)河川の平均水位の0~19週のラグ、(b)河川の平均水位の0~5週、6-19週のラグを別々に分けて3次自然スプライン(3 df) [33]に適合させた。交絡を調整するため、全てのモデルで気温、降雨を河川水位と同じラグ期間で3次自然スプライン(3 df)として含めた。最終モデルについては補足資料で詳述した。

第1段階の分析で対数線形関連を示唆していたため、河川水位の線形項で構成された線形閾値モデルを適合させた。スプライン分析に基づいて、河川の高水位と低水位項は、それぞれ0~19週と0~5週の平均を基準とした。閾値の選択は、河川水位とデング熱と関連グラフの範囲に示される各小数点第1位の値すべての河川水位の最尤推定値に基づいている。解釈可能性を制限し、非制限の推定で $\eta_l > \eta_h$ となる場合、低い閾値(η_l)=高い閾値(CIs)とした。モデルの閾値の逸脱が最小値より3.84多かった場合は、閾値の尤度プロファイル信頼区間(CI; confidence interval)を計算した。患者数の増加や減少は、本研究の水位測定法で確認された0.1mの増加や減少と関連がみられた。回帰分析により係数が推定され、変化率として報告した。簡単な閾値モデルを使って、河川の低水位と高水位の項で構成された線形で非制限のラグの分布モデルを適合させ、19週前からの各ラグの影響をより詳細に検討した[32]。

C. 研究結果

2005年から2009年の間に11の病院で3130名のデング熱患者の入院が確認された。患者数と天候変数の記述的統計を表1に示した。水位がピークに達してから0~13週後、モンスーン(29~40週目)の終わり頃にデング熱の患者数は一度ピーク期を迎えている(図2)。また、季節、年間の変動、祝祭日、気温、降雨などの要因を調整した上での、デング熱の患者数と河川水位との関連を図3に示した。デング熱患者数の増加は、河川の高水位が記録された後0~5週間遅れで、河川が低水位の場合は6~19週間遅れでそれぞれ確認された。河川が低水位の場合は、0~19週間遅れでデング熱患者数の増加が確認された。2層閾値モデルを使用して計算したところ、0~5週間後と0~19週間後の高水位と低水位の閾値の最尤推定値は、河川の平均水位の3.9m(95% CI: 3.7-4.0)で一致している。閾値より0.1メートルの上昇で、デング熱患者数が、6.9%(95% CI: 3.2-10.7)増加した。3.9mの平均水位より0.1メートルの低下から0~19週間後に患者数は29.6%(95% CI: 19.8-40.2)増加した。

ラグの分布モデルでは、「河川の高水位」の患者数への影響が6週間後という短いラグ（訳者注：影響の遅れ）の後で最高推定が確認され、より低い推定がより後のラグで確認された（図4A）。対照的に、河川の低水位の場合は、患者数への影響がより長いラグで確認された。5週間のラグの推定が最低で、その後の19週間のラグまで患者数が増加した（図4B）。

季節的要因、年間変動、祝祭日、河川水位、気温などを考慮に入れた上で、デング熱患者と降雨の関連を図5に示した。0~5週後の期間に明らかな関連性はみられなかったが、高い降雨量を記録した0~19週後に右上がり勾配がみられた。約60~80ミリメートルが可能な閾値として分析された。推定閾値は70ミリメートル（95% CI: 59-79）であった。閾値を10mm越えると患者数は29.0%（95% CI: 14.0-46.0）増加した。デング熱患者と気温の関連も検討したが、統計的に有意な関連は確認されなかった。独立変数の組み合わせによるモデルAICとデビアンスを表S1に示した。

4つの観測所の河川水位で別々に分析を繰り返したところ、河川の高水位と低水位による影響で類似したパターンが確認された。4つの観測所それぞれで、河川の高水位は同一閾値（3.9m）から2.8%~7.9%高い間で推移し、河川の低水位は閾値から6.7%~25.3%低い間で推移した。

感度解析において、季節的要因による影響の程度が2~10高調波だったときは、河川の高水位と低水位の影響の推定はほとんど変わらず、季節的要因がモデルに取り入れられていないとき推定は減少した（図S1）。

D. 考察および結論

本研究によりダッカ（バングラデシュ）においてデング熱による入院と、河川の高水位との間に短いラグ期間（0~5週間）、河川の低水位との間に長いラグ期間（6~19週間）でそれぞれ有意な関連があることが分かった。この結論は、河川水位が低い期間が長く続いた後に河川水位が高くなったときにデング熱の患者が増加したことを示唆している。この結果は、長期にわたる干ばつの後の雨季にDHFの患者数が高かった報告結果と一致するものである[34]。

これまでの報告では、洪水やハリケーンのような水災害の後にデング熱の症例の増加はほとんどみられないとされている[24-27]。洪水により水溜りができたり、すでにあった容器などに水が溜まる可能性はある。しかし、滞留した水溜りは容器に生息するヤブカの幼虫にとって一般的な生息場所ではないため、河川の氾濫による洪水で発生した水溜りはヤブカの幼虫が成長するには最適ではないかもしれない。しかしダッカの洪水は

鉄砲水によって引き起こされるものではない。ダッカに点在する湖や池の水位は毎年モンスーンの時期に徐々に上昇し、河川水位は、主要河川の氾濫があるかないかにかかわらず、その地域の湖や池の水位を示すよい指標となりうる。プラスチック容器などを含む何千もの廃棄物が水域に散らばっている。水位が下がった後で、水が廃棄物の容器に留まると、デング熱の蔓延のもととなるヤブカが繁殖する状況が生まれている可能性もある。

ヤブカの卵は、乾燥に強く、一般に木の穴、タイヤや空洞などにたまった水の水面の上に産卵する[35]。したがって、乾燥により空洞内の水位が徐々に下がり続けている間に産卵が複数回にわたって異なる時期に行われるため、卵は水位線の上の様々な位置に留まる。その結果、異なるメスの蚊の卵は、水位が下がると同時に空洞に蓄積されていく。水位が上昇すると、水に浸され、卵が孵化する[36]。本研究の仮説は、多数のヒトスジシマカが洪水域で確認されたという先行研究により裏付けられる[37]。ヒトスジシマカはネタイシマカより戸外で繁殖しやすく[36]、ダッカにおいてデング熱を伝染させる主な媒介蚊である[38]。しかし、昆虫学的証拠がない限り、この仮説を裏付けることはできない。ダッカは低地であり池や水溜りが豊富に存在する独特な地形的特徴を有しているため、河川水位とデング熱の発生が関係しているのかもしれない。しかし、これら因果関係を明確にするには、今後さらなる環境学的、昆虫学的研究を行う必要がある。

発生源を減少させるための広範囲にわたる統合的な管理、化学的管理(幼虫・成虫駆除)、健康増進などが洪水による悪影響を最小限に抑える効果があると報告されている[27]。エアコンをつけた部屋で就寝する、長袖の服を着るなど、個人レベルでの予防行為も蚊に刺される割合を減少させるとの報告もある[25]。したがって、適切な公衆衛生の介入により、洪水災害の後でもデング熱患者数を最小限に抑えることができる。発生源の減少、殺虫剤スプレーの使用、健康増進が不十分だと、洪水に起因するデング熱患者の増加を促してしまう可能性もある。さらに、特にダッカのスラム地域では都市化や人口増加が進んでおり、洪水関連のデング熱の増加の恐れも指摘されている。

本研究にはいくつかの限界がある。まず、11の病院から入手したデング熱の患者総数を使用し、ダッカ市の周囲の4河川の平均水位をこの地域の水位の指標として使用した。このため、居住地域と浸水地域との間に違いが存在する可能性がある。これは無作為の誤分類であるため、本研究での推定値が真の値よりも低い可能性はある。デング熱患者が発生する居住地域に最も近い観測所での河川水位を基に、デング熱が発生する可能性を測定する方がより正確に影響の推定ができると思われる。次に、入院データは、ダッカの主な病院のものを使用した。本研究の対象とした病院は、市内の全居住者が利用しているとは限らないが、それらは市の主な病院であり、ほとんどの重症患者が含まれて

いると考えられる。次に、デング熱の診断は、医師によって下されたものであり、すべての診断が実験室で確認されたものではない。デング熱とレプトスピラ症の症状は似ているため、レプトスピラ症との鑑別診断は特に重要である[39]。2000年におけるデング熱の最初の大発生の後、本研究で対象とした病院の医師は一般に鑑別診断の訓練を受けているが[40]、診断のバイアスがある可能性は否めない。最後に、本研究では、免疫の影響を考慮に入れなかった。フラビウイルス属の血清型には4種類（DEN-1、DEN-2、DEN-3、DEN-4）あり、感染したウイルスの血清型に対する終生免疫を獲得するが、交差免疫は実証されていない[35]。しかし、本研究では、住民の免疫状態は調査結果に大きな変化をもたらさないであろうと判断した。なぜなら再感染への免疫力は時間を経ても変わらないため、今回の短期間（6ヶ月未満）の調査では、住民の免疫状態が研究対象とした要因とデング熱との関連を不明確なものにするとは思われないからである。

現在でもデング熱のワクチンは開発されておらず、特定の治療法もない。そのためデング熱へ対策は媒介蚊のコントロールに頼るしかない。したがって、早期警報システムを発展させることが重要な公衆衛生の目標となる。気候や水文学的データをデング熱の予測モデルに統合することは未だ実現していない。本研究は、デング熱流行の早期予測の基盤を提供するものであり、疾患対策を改善する可能性を秘めている。

本研究領域で活用できる系統的な蚊のデータがなかったため、本研究成果では、その因果関係を立証するものではない。しかし、本研究はダッカのデング熱発生を予測するにあたって、河川水位が重要な要因となり得ることを示唆している。今後は昆虫学的研究を取り入れる必要があるであろう。

E. 研究発表

Hashizume M, Dewan AM, Sunahara T, Rahman MZ, Yamamoto T.

Hydroclimatological variability and dengue transmission in Dhaka, Bangladesh: a time-series study. *BMC Infectious Diseases* (submitted).

F. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし

引用文献

1. **Dengue and dengue haemorrhagic fever. Fact Sheet No. 117**
[<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>]
2. **Dengue haemorrhagic fever: diagnosis, treatment, prevention and control.**
[<http://www.who.int/csr/resources/publications/dengue/Denguepublication/en/index.html>]
3. Rahman M, Rahman K, Siddque AK, Shoma S, Kamal AH, Ali KS, Nisaluk A, Breiman RF: **First outbreak of dengue hemorrhagic fever, Bangladesh.** *Emerg Infect Dis* 2002, **8**:738-740.
4. Focks DA, Haile DG, Daniels E, Mount GA: **Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): analysis of the literature and model development.** *J Med Entomol* 1993, **30**:1003-1017.
5. Scott TW, Amerasinghe PH, Morrison AC, Lorenz LH, Clark GG, Strickman D, Kittayapong P, Edman JD: **Longitudinal studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand and Puerto Rico: blood feeding frequency.** *J Med Entomol* 2000, **37**:89-101.
6. Tun-Lin W, Burkot TR, Kay BH: **Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland, Australia.** *Med Vet Entomol* 2000, **14**:31-37.
7. Luz PM, Mendes BV, Codeco CT, Struchiner CJ, Galvani AP: **Time series analysis of dengue incidence in Rio de Janeiro, Brazil.** *Am J Trop Med Hyg* 2008, **79**:933-939.
8. Lu L, Lin H, Tian L, Yang W, Sun J, Liu Q: **Time series analysis of dengue fever and weather in Guangzhou, China.** *BMC Public Health* 2009, **9**:395.
9. Bangs MJ, Larasati RP, Corwin AL, Wuryadi S: **Climatic factors associated with epidemic dengue in Palembang, Indonesia: implications of short-term meteorological events on virus transmission.** *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2006, **37**:1103-1116.
10. Chowell G, Sanchez F: **Climate-based descriptive models of dengue fever: the 2002 epidemic in Colima, Mexico.** *Journal of Environment and Health* 2006, **68**:40-44, 55.
11. Johansson MA, Dominici F, Glass GE: **Local and global effects of climate on dengue transmission in Puerto Rico.** *PLoS Negl Trop Dis* 2009, **3**:e382.
12. Burattini MN, Chen M, Chow A, Coutinho FA, Goh KT, Lopez LF, Ma S, Massad E: **Modelling the control strategies against dengue in Singapore.** *Epidemiol Infect* 2008, **136**:309-319.

13. Chen SC, Liao CM, Chio CP, Chou HH, You SH, Cheng YH: **Lagged temperature effect with mosquito transmission potential explains dengue variability in southern Taiwan: insights from a statistical analysis.** *Sci Total Environ* 2010, **408**:4069-4075.
14. Nakhapakorn K, Tripathi NK: **An information value based analysis of physical and climatic factors affecting dengue fever and dengue haemorrhagic fever incidence.** *Int J Health Geogr* 2005, **4**:13.
15. Depradine C, Lovell E: **Climatological variables and the incidence of Dengue fever in Barbados.** *Int J Environ Health Res* 2004, **14**:429-441.
16. Corwin AL, Larasati RP, Bangs MJ, Wuryadi S, Arjoso S, Sukri N, Listyaningsih E, Hartati S, Namursa R, Anwar Z *et al*: **Epidemic dengue transmission in southern Sumatra, Indonesia.** *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2001, **95**:257-265.
17. Wiwanitkit V: **An observation on correlation between rainfall and the prevalence of clinical cases of dengue in Thailand.** *J Vector Dis* 2006, **43**:73-76.
18. Chadee DD, Shivnauth B, Rawlins SC, Chen AA: **Climate, mosquito indices and the epidemiology of dengue fever in Trinidad (2002-2004).** *Ann Trop Med Parasitol* 2007, **101**:69-77.
19. Barrera R, Delgado N, Jimenez M, Valero S: **Eco-epidemiological factors associated with hyperendemic dengue haemorrhagic fever in Maracay City, Venezuela.** *Dengue Bulletin* 2002, **26**:84-95.
20. Cazelles B, Chavez M, McMichael AJ, Hales S: **Nonstationary influence of El Nino on the synchronous dengue epidemics in Thailand.** *PLoS Med* 2005, **2**:e106.
21. Hales S, Weinstein P, Woodward A: **Dengue fever epidemics in the South Pacific: driven by El Nino Southern Oscillation?** *Lancet* 1996, **348**:1664-1665.
22. Johansson MA, Cummings DA, Glass GE: **Multiyear climate variability and dengue--El Nino southern oscillation, weather, and dengue incidence in Puerto Rico, Mexico, and Thailand: a longitudinal data analysis.** *PLoS Med* 2009, **6**:e1000168.
23. **Flooding and communicable diseases fact sheet**
[<http://www.who.int/hac/techguidance/ems/FloodingandCommunicableDiseasesfactsheet.pdf>]
24. Rigau-Perez JG, Ayala-Lopez A, Garcia-Rivera EJ, Hudson SM, Vorndam V, Reiter P, Cano MP, Clark GG: **The reappearance of dengue-3 and a subsequent dengue-4 and dengue-1 epidemic in Puerto Rico in 1998.** *Am J Trop Med Hyg* 2002, **67**:355-362.
25. O'Leary DR, Rigau-Perez JG, Hayes EB, Vorndam AV, Clark GG, Gubler DJ: **Assessment of dengue risk in relief workers in Puerto Rico after Hurricane Georges, 1998.** *Am J Trop Med Hyg* 2002, **66**:35-39.

26. Beatty ME, Hunsperger E, Long E, Schurch J, Jain S, Colindres R, Lerebours G, Bernard YM, Dobbins JG, Brown M *et al*: **Mosquitoborne infections after Hurricane Jeanne, Haiti, 2004.** *Emerg Infect Dis* 2007, **13**:308-310.
27. Shaharom NA, Nyamah MA, Norashikin M, Zaharah MS, Zuhaida AJ, Norb H, Daud A.R.: **Dengue control during flood disaster in Johore, Malaysia.** *Malaysian Journal of Community Health* 2009, **15**:104-110.
28. Pradutkanchana J, Pradutkanchana S, Kemapanmanus M, Wuthipum N, Silpapojakul K: **The etiology of acute pyrexia of unknown origin in children after a flood.** *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2003, **34**:175-178.
29. McCullagh P, Nelder J: **Generalized linear models.** London: Chapman and Hall; 1989.
30. Stolwijk AM, Straatman H, Zielhuis GA: **Studying seasonality by using sine and cosine functions in regression analysis.** *J Epidemiol Community Health* 1999, **53**:235-238.
31. Brumback B, Burge HA, Neas LM, Ryan LM, Schwartz JD, Stark PC: **Transitional regression models, with application to environmental time series.** *Journal of American Statistical Association* 2000, **95**:16-27.
32. Armstrong B: **Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality.** *Epidemiology* 2006, **17**:624-631.
33. Durrleman S, Simon R: **Flexible regression models with cubic splines.** *Stat Med* 1989, **8**:551-561.
34. Gagnon A, Bush A, Smoyer-Tomic K: **Dengue epidemics and the El Niño Southern Oscillation.** *Clim Res* 2001, **19**:35-43.
35. Gubler D, Kuno G: **Dengue and dengue hemorrhagic fever.** Oxford, UK: CABI Publishing; 1997.
36. Hawley WA: **The biology of Aedes albopictus.** *J Am Mosq Control Assoc* 1988, **Suppl. 1**:1-39.
37. Harrison BA, Whitt PB, Roberts LF, Lehman JA, Lindsey NP, Nasci RS, Hansen GR: **Rapid assessment of mosquitoes and arbovirus activity after floods in southeastern Kansas, 2007.** *J Am Mosq Control Assoc* 2009, **25**:265-271.
38. Ali M, Wagatsuma Y, Emch M, Breiman RF: **Use of a geographic information system for defining spatial risk for dengue transmission in Bangladesh: role for Aedes albopictus in an urban outbreak.** *Am J Trop Med Hyg* 2003, **69**:634-640.
39. Libraty DH, Myint KS, Murray CK, Gibbons RV, Mammen MP, Endy TP, Li W, Vaughn DW, Nisalak A, Kalayanaroj S *et al*: **A comparative study of leptospirosis and dengue in Thai children.** *PLoS Negl Trop Dis* 2007, **1**:e111.

40. Yunus EB, Bangali AM, Mahmood MAH, Rahman MM, Chowdhury AR, Talukder KR: **Dengue outbreak 2000 in Bangladesh: From speculation to reality and exercises** *Dengue Bulletin* 2001, **25**:15-20.

表1 2005～2009年のダッカにおける、一日あたりの11の病院へのデング熱入院患者数と気象データと河川水位の平均の分布

変数 (単位)	平均	SD	最低	最高
デング熱	12.0	15.9	0	72
河川水位 (m)				
最高	3.16	1.27	1.51	6.33
最低	2.90	1.39	1.13	6.28
降雨 (mm)	45.1	71.5	0	497
気温 (° C)				
平均	26.6	3.8	16.5	32.4
最高	31.0	3.3	21.0	37.6
最低	22.3	4.6	11.1	28.8

図の説明

図1 本研究の対象としたダッカ（バングラデシュ）の11の病院と河川水位の観測所の所在地

図2 2005～2009年のダッカにおける1週間単位のデング熱患者数、河川水位、気温、降雨にみられる季節変動

図3 デング熱患者と河川の平均水位の関連。(A)0～5週、(B)6～19週、(C)0～19週前の平均水位（3次自然スプラインとして表示）。季節変動、年間変動、祝祭日、気温、降雨の要因を調整。RRはデング熱のリスク比を示す。各グラフの中央の線は点推定値を、上部と下部の線は95%の信頼限界を示している。

図4 デング熱患者数の割合の変化（及び95%の信頼区間）。各ラグにおける（非制限のラグの分布モデル）、(A)河川高水位（閾値より0.1mごとの上昇）と(B)河川低水位（閾値より0.1mごとの低下）での推移である。示された結果は季節変動、年間変動、祝祭日の要因を考慮に入れて調整したモデルによるものである。

図5 デング患者数と降雨量の関係。(A)0～5週、(B)6～19週、(C)0～19週前の平均降雨量（3次自然スプラインとして表示）。季節変動、年間変動、祝祭日、気温、河川水位の要因を調整。RRはデング熱のリスク比を示す。各グラフの中央の線は、点推定値を、上部と下部の線は、95%の信頼限界を示している。

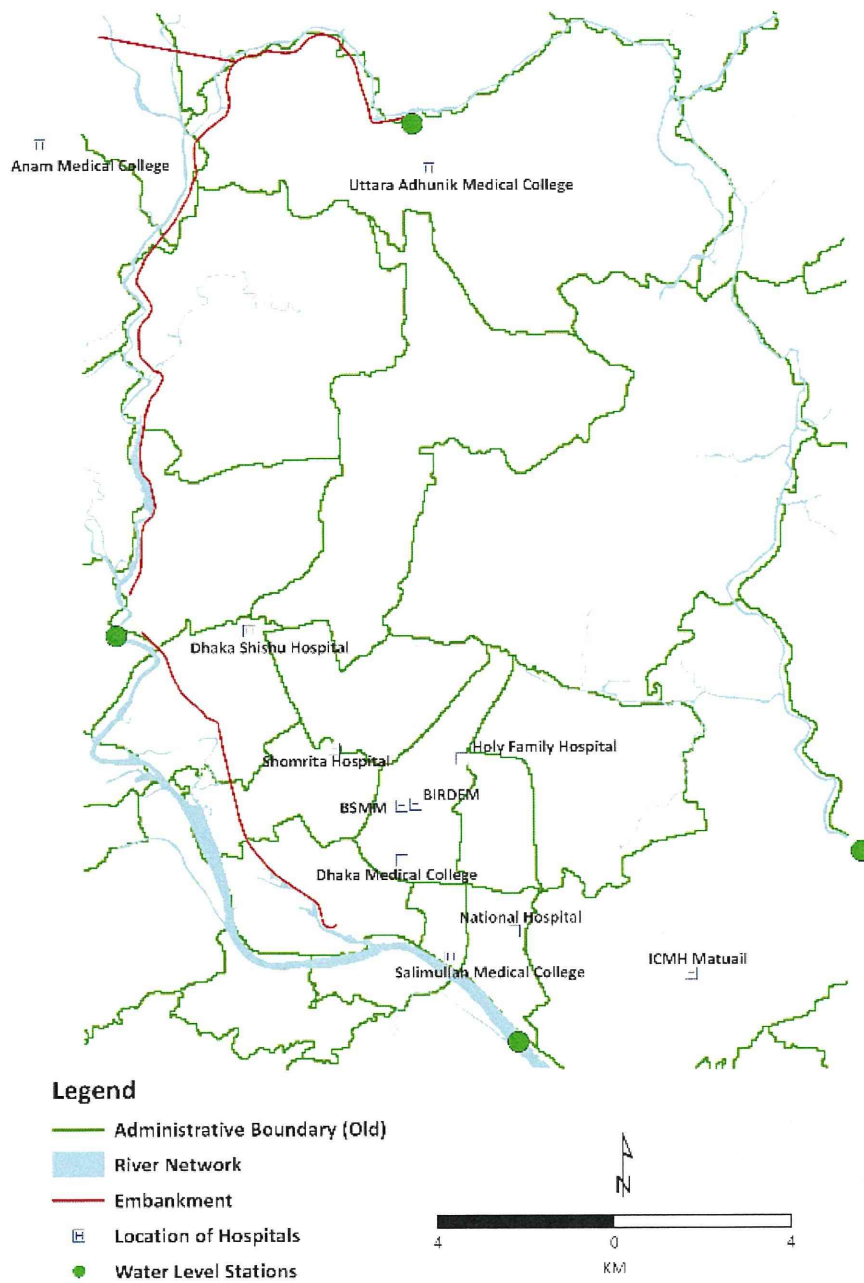


Figure 1