

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510024

研究課題名(和文) 洪水氾濫による水系感染リスクを評価する統合モデルの提案

研究課題名(英文) Analysis and modelling for assessment of water borne health risk by inundation

研究代表者

西田 継 (NISHIDA KEI)

山梨大学・医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：70293438

研究成果の概要(和文)：アジアモンスーン域の洪水氾濫地域において、水系微生物汚染の実態を把握し、輸送機構と感染機構を考慮した暴露モデルでその健康影響を検証することを目指し、河川の微生物輸送モデルの開発、地下水の微生物汚染機構の推定、より正確な水中微生物の定量法の開発、下痢発症の自然因子と社会因子の抽出に成功した。

研究成果の概要(英文)：We aimed to outline microbial water pollution in flood inundation areas of Asian monsoon region and assess the health risk by analysing diffusion processes and infection processes then achieved developing a model of microbial transport in river system, detailing pollution processes in groundwater, developing a new method for detection of microbes and extracting natural and social factors impacting on incidence of diarrhoea.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：洪水氾濫、大腸菌、健康影響評価

1. 研究開始当初の背景

アジアでは現在も安全な飲み水を入手できる人は限られており、水に関わる健康影響を減らすことは最優先課題であるといえる。世界各国が定めたミレニアム開発目標では、2015年までに「安全な飲料水及び衛生施設を継続的に利用できない人の比率を半減」させ、「5歳未満児の死亡率を1/3」にするとしている。それに対し、例えば、雨季に国土の半分以上が浸水するバングラデシュでは、5歳未満児死亡率は7.3%（日本は0.4%）、その原因の30%が下痢であり、下痢発病原因の

88%を占める水系感染症の対策は急務である（UNICEF, 2007）。また、観光都市で名高いネパールのカトマンズ市内では、表流水と灌漑水道のほぼ全て、井戸水の多くが深刻な糞便汚染の影響を受けていることが確認されている。一方、先進国でも微生物汚染問題の本質的な解決からは遠い状況にあることを見逃してはならない。農畜産業や野外レクリエーション活動の拡大により、世界各地の水系で糞便汚染指標が指針値を超過したという報告は後を絶たない。病原体で汚染された河川水は、住民や観光客の利水による感染

と親水による感染の危険を同時に高める。近年の急速な分子生物学の進展は、汚染原因の検出・同定精度を飛躍的に向上させ、環境微生物学に革命をもたらすと期待される。ところが、水環境中の微生物の暴露経路を予測する手法については圧倒的に研究例が少なく、信頼性の高いモデルが提案されないまま、現在でも試行錯誤の段階である。また、疫学データ自体に十分な精度があると言えない場合も多い。そのため、諸因子と水系感染症の良好な関係を見出せぬまま回帰分析が失敗に終わるケースも珍しくない。このような状況の中、申請者は数年前から自然水域における糞便汚染指標微生物の動態に注目して研究を進めてきた。プロセス研究に基づく予測の重要性を国際水学会等で提言してきており、当初は基礎的な河川流出モデルの開発に着手している。さらに、バングラデシュで水源汚染と健康影響を関連付ける調査研究も進めていた。

2. 研究の目的

上記で指摘した問題は、大部分は総合的リスク評価の科学的な基盤、特に、病原微生物や化学物質による水質汚染の可能性を評価するための「効果的な曝露解析手法」が確立していないことによる。そこで本研究では、世界各地で安全な水源と適切な衛生設備の不足により引き起こされる問題の解決のため、水系の微生物汚染に対して輸送機構と感染機構を統合した予測モデルを確立し、アジアモンスーン域の洪水氾濫地域において汚染影響の実態を検証することを目的とした。そして、ここでの成果を通して、環境微生物学、疫学、水文学の分野を横断する研究環境を創出し、地域の総合的な健康リスク管理の基盤を作ることも狙いとされた。

3. 研究の方法

水系感染による下痢発病リスクを高い精度で予測するため、新たに糞便汚染拡散と感染様式のモデルの構築を目指した。具体的に次の3段階、すなわち、(1) 環境因子を考慮した陸水域の微生物輸送モデルと、(2) 疫学的な社会因子を考慮した水系感染モデルを並行して作成することで、糞便汚染の暴露メカニズムを明らかにし、(3) 洪水氾濫が下痢発病リスクに深刻な影響を与えるという仮説を統合モデルで検証することとした。

モデル化に必要なデータは現地調査により取得した。輸送モデルには、山梨県における水質水文観測、バングラデシュ・ダッカ市における洪水氾濫解析、およびネパール・カトマンズ市における雨季の地下水汚染解析の結果を、感染モデルには、ダッカ市内スラム地域の疫学調査の結果を使用した。

4. 研究成果

平成 20 年度は、上記(1)の微生物輸送モデルと(2)の水系感染モデルの作成を開始し、特に輸送モデルで扱われる微生物データを正當に評価するため、環境試料に分布する大腸菌等の遺伝子レベルでの検出・定量法を検討した。その結果、輸送モデルでは、汚染影響の変動を無視できる自然河川流域で微生物流出の基礎データを取得し、これを基に微生物の河川流出を表現する 1 次元河道内輸送モデル ver.1 を作成した。基礎的レベルではあるが、大腸菌と浮遊粒子の吸脱着関係および水中一河床間の移動過程を含んでおり、定常流での大腸菌の輸送については十分な再現結果を得た。感染モデルでは、ダッカ市のスラム地区で下痢症の発生、洪水氾濫規模、社会環境要因、生活用水・環境水質のデータを蓄積し汚染機構を解析した。水系感染の下痢を発症させる要因のうち、自然因子としては氾濫タイプと期間、社会因子としては上下水等の衛生設備が強く影響している可能性を示すことができた。また、水系感染症のリスクを評価する指標として損失余命 (DALYs) の有効性を提案した。遺伝子レベルの検出法では、Internal standard cell (大腸菌のトランスポゾン変異株) とリアルタイム PCR 法を組み合わせた DNA 抽出効率算出法を開発し、この方法が複数の土壌、河川水試料中の総細菌の定量に有効であることを示した。

平成 21 年度は、輸送モデルの精緻化と、感染モデルにおいて社会因子と衛生行動が下痢発症に及ぼす影響の疫学解析を集中的に実施した。輸送モデルでは、昨年までに開発した大腸菌の 1 次元河道内輸送モデル ver.1 の計算精度を検証するため、洪水期間中に河川水試料を経時的に採取し、浮遊粒子吸着型と非吸着型の大腸菌を分別定量した。その結果、大腸菌の吸着率は過去の報告と異なっており極めて非定常的であり、今後、微生物拡散の予測モデルを提案する上で構造上不可欠な因子であることを示した。疫学解析では、昨年に行ったダッカ市スラム 10 地区の小児下痢症の解析を進展させた。全ての浸水地区での下痢発症率は非浸水地区に比べて有意に高く、特に恒常的かつ滞留型/排水不良型の浸水地区で雨季後に健康影響が深刻になる傾向がみられた。また、乾季には社会経済的要因が自然的要因に比べてより健康リスクを増大させており、雨季およびそれ以降は逆に自然的要因の影響が増大することを示した。同時に、小児の下痢発症の抑制には世帯レベルの衛生行動、即ち水処理や排便後の手洗いが効果的であることも明らかにした。

平成 22 年度は、輸送モデルと疫学解析の結果をさらに発展させるため、アジア地域の河川水と地下水に含まれる細菌以外の原虫、

ウイルス等の微生物の調査を実施した。その結果、細菌と同様に原虫やウイルスも洪水期間に極めて高濃度で検出されることがわかり、ヒトと家畜由来の微生物を区別できるような遺伝子工学的検出法を用いることで、より正確な暴露解析につながる可能性を示した。また、人口集中が著しいネパール・カトマンズ盆地で雨季に現地調査を行い、都市洪水が地下水涵養に影響していること、その影響は開放井戸から採取された地下水で顕著であること、極度に汚染された河川の影響は浅層の地下水水質に対してさえも明確でないこと示した。さらに、過去のデータと地形情報を元に、ダッカ市における洪水氾濫を再現する計算フレームを作成した。以上は、将来、河川と地下水を連動させた、より実用的な汚染解析を行う上での貴重な成果となった。一方で、現地調査の計画変更を余儀なくされたことなどの理由から、同一地域で微生物データと疫学データを取得できず、両者を数値モデルの中で統合的に検証することは今後の課題となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件、全て査読有)

- ① 原本英司、小田切美希栄、北島正章、西田 継、坂本康、F 特異 RNA 大腸菌フェージを用いた水環境中のふん便汚染源の解析、用水と廃水、52 巻、8 号、pp.640-646、2010
- ② Sun W., H. Ishidaira and S. Bastola: Towards improving river discharge estimation in ungauged basins: calibration of rainfall-runoff models based on satellite observations of river flow width at basin outlet, Hydrology and Earth System Sciences, Vol.14, pp.2011-2022, 2010
- ③ Matsuzawa H., Y. Tanaka, H. Tamaki, Y. Kamagata and K. Mori: Culture- dependent and independent Analyses of the Microbial Communities Inhabiting the Giant Duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) rhizoplane and Isolation of a Variety of Rarely Cultivated Organisms within the Phylum Verrucomicrobia, Microbes and Environments, Vol.25, No.4, pp.302-308, 2010
- ④ Wang G., P.H. Hapuarachchi, K. Takeuchi and H. Ishidaira, Grid-based distributed model for simulating runoff and soil erosion from a large-scale river basin, Hydrological Processes, Vol.24, pp.641-653, 2010
- ⑤ Sun W., H. Ishidaira and S. Bastola, An Integrated Approach Incorporating River Cross-Sectional Geometry Derived From High Resolution DSM for River Discharge Estimation, Annual Journal of Hydraulic Engineering, Vol.54, pp.1-6, 2010
- ⑥ Malla R., N. Nagao, K. Maezono, Y. Tanaka and K. Mori, Formulation of a Simple Mathematical Biomass Model for Selected Floating and Emergent Macrophytes, Japanese Journal of Water Treatment Biology, Vol.46, No.1, pp.1-16, 2010
- ⑦ Mollah K., Nishida K., Kondo N. and Yamagata Z., Children's Health Deficits due to Diarrhoea: Effects of Water Supply and Sanitation in Slums with Different Water Logging Conditions, Journal of Water Environment Technology, Vol.7, No.4, pp.277-291, 2009
- ⑧ Wang G., P. Hapuarachchi, H. Ishidaira, A. Kiem and K. Takeuchi, Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield During Individual Rainstorms at Catchment Scale, Water Resources Management, Vo.23, pp.1447-1465, 2009
- ⑨ Bastola S., H. Ishidaira and K. Takeuchi, Regionalisation of Joint Distribution of Model Parameters: Prediction on Ungauged Basins, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol.27, No.2, pp.1-15, 2009
- ⑩ 坂本康、西田 継、風間ふたば、今泉勇太、平賀由紀、中村高志、Saroj K. Chapagain、カトマンズ盆地の井戸水の大腸菌汚染の解析、水工学論文集、53 巻、pp.535-540、2009
- ⑪ Ao J., Nishida K., Sakamoto Y., Modelling sediment-associated *Escherichia coli* in a natural river: comparison of the reversible and irreversible adsorption, Annual Journal of Hydraulic Engineering, Vol.53, pp.187-192, 2009
- ⑫ Sun,W., Ishidaira, H., Bastola, S., Estimating discharge by calibrating hydrological model against water surface width measured from satellites in large ungauged basins, Annual Journal of Hydraulic Engineering, Vol.53, pp.49-54, 2009
- ⑬ Kiem A.S., Ishidaira H., Hapuarachchi P.H., Zhou M.C., Hirabayashi, Y., Takeuchi, K., Future hydroclimatology of the Mekong River basin simulated using the high-resolution Japan Meteorological Agency (JMA) AGCM, Hydrological Processes, Vol.22, pp.1382-1394, 2008
- ⑭ Hapuarachchi P.H., Takeuchi, K., Zhou, M.C., Kiem, A.S., Georgievski, M., Magome, J., Ishidaira, H., Investigation of the Mekong River basin hydrology for 1980-2000 using

the YHyM, Hydrological Processes, Vo.22, pp.1246-1256, 2008

〔学会発表〕(計 15 件)

- ① 原本英司、中村高志、尾坂兼一、西田継、ネパール・カトマンズ盆地の水環境中における病原微生物の存在実態調査, 第 45 回日本水環境学会年会, 2011. 3. 11 (北海道大学)
- ② 坂本明子、Chapagain S.K., Shrestha S, 尾坂兼一、中村高志、原本英司、坂本康、西田継、ネパール・カトマンズ盆地における浅層地下水の涵養と大腸菌濃度パターンの関係, 第 45 回日本水環境学会年会, 2011. 3. 20 (北海道大学)
- ③ 光田大悟、田中靖浩、遠山忠、湯岳琴、呉曉磊、鎌形洋一、森一博、浮遊性水生植物根圏からの有機リン系農薬分解菌の分離, 日本農芸化学会大会, 2011. 3. 26 (京都女子大学)
- ④ Nishida K., Shrestha S., Tanaka Y., Haramoto E, Nakamura T., Osaka K., Chapagain S.K., Presence of faecal indicator bacteria in groundwaters in Kathmandu Valley, Nepal, American Geophysical Union Fall Meeting 2010, 2010.12.17 (Moscone Convention Centre, San Francisco)
- ⑤ Otagiri M., Haramoto E., Nishida K., Sakamoto Y., Genogrouping of F-specific RNA bacteriophages in wastewater and river water, Water and Environment Technology Conference 2010, 2010.6.25 (Yokohama National University, Yokohama)
- ⑥ Sun W., Ishidaira H., Bastola S., Calibration of rainfall-runoff models based on satellite observations of river width at the basin outlet, Remote Sensing and Hydrology 2010 Symposium, 2010.9.27 (Snow King Resort, Wyoming)
- ⑦ 向山洋平、敖静、原本英司、西田継、自然河川中の懸濁粒子に対する大腸菌吸着状態の解析, 第 44 回日本水環境学会年会, 2010.3.15 (福岡大学)
- ⑧ 小田切美希栄、原本英司、西田継、坂本康、F 特異 RNA 大腸菌フェージを用いた甲府盆地の水環境中の人獣由来汚染の解析, 第 44 回日本水環境学会年会, 2010.3.17 (福岡大学)
- ⑨ 山田馨、坂本明子、田中靖浩、原本英司、坂本康、西田継、ネパール・カトマンズ盆地の地下水における微生物群集の解析, 第 44 回日本水環境学会年会, 2010.3.15 (福岡大学)
- ⑩ Kondo N., Mollah K.A., Nishida K., Yamagata Z., Climate, community environment, household socio-economic status, and individual behaviors - multilevel

diarrhea risks among children residing in the slums of Dhaka, Bangladesh: A prospective study, The Joint Scientific Meeting of IEA Western Pacific Region and Japan Epidemiological Association, 2010.1.9 (Univ. of Saitama Pref.)

- ⑪ Sun W. and H. Ishidaira, Prospects for Extracting River Cross-sectional Information From High Resolution DSM Generated from ALOS PRISM Data, 第 22 回水文・水資源学会総会・研究発表会, 2009.8.19 (石川県文教会館)
- ⑫ Malla, R., N. Nagao, K. Maezono, Y. Tanaka and K. Mori, Formulation of biomass production model using equations of primary growth factors and environmental database for selected groups of aquatic macrophytes, 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, 2009.4.9 (Belo Horizonte, Brazil)
- ⑬ 向山洋平、敖静、原本英司、西田継、自然河川における大腸菌と懸濁粒子の吸着関係の時間変化, 第 43 回日本水環境学会年会, 2009.3.18 (山口大学)
- ⑭ 山田馨、坂本明子、原本英司、坂本康、西田継、カトマンズ盆地における地下水の微生物汚染の解析, 第 43 回日本水環境学会年会, 2009.3.18 (山口大学)
- ⑮ 田中靖浩ら、ウキクサ-微生物共培養法を用いた未分離・難培養性微生物の分離培養, 第 60 回日本生物工学会年次大会, 2008.8.28 (仙台市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 継 (NISHIDA KEI)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：70293438

(2) 研究分担者

田中 靖浩 (TANAKA YASUHIRO)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・助教

研究者番号：50377587

石平 博 (ISHIDAIRA HIROSHI)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：80293439

(3) 連携研究者

松本 嘉孝 (MATSUMOTO YOSHITAKA)

豊田工業高等専門学校

研究者番号：40413786