

平成 21 年 6 月 16 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：平成 19 年度～平成 20 年度
 課題番号：19710031
 研究課題名（和文） 地球温暖化による豪雨発生頻度の変化が長江河口・沿岸海域の水質・生態系に及ぼす影響
 研究課題名（英文） Impacts of Precipitation Changes Caused by Global Warming on the Water Environment and the Ecosystem in the Changjiang Estuary
 研究代表者
 東 博紀 (HIGASHI HIRONORI)
 独立行政法人国立環境研究所・アジア自然共生研究グループ・研究員
 研究者番号：60416398

研究成果の概要：

地球温暖化が長江流域の豪雨発生頻度及び長江河口・沿岸海域の水質・生態系に及ぼす影響を数値モデルを用いて検討した。地球温暖化によって長江流域の豪雨発生頻度は著しく増加し、2100 年における 100 年確率の洪水流量は現在気候の約 1.5 倍になることが明らかになった。海域の水質・生態系への影響については降水・河川流量の変化と同等以上に風向・風速による影響が大きいことが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000	0	3,000,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	150,000	3,650,000

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：陸圏・水圏・大気圏影響評価

1. 研究開始当初の背景

21 世紀世界人類が早急に取り組むべき環境問題の一つとして地球温暖化が挙げられる。人類社会の持続可能な発展には地球温暖化の緩和・適応を図ることが必要不可欠である。それに向けて現在、流域圏の自然・生態系を保全するとともに自然が有する炭素固定機能や生物資源などの生態系サービスを最大限活用して人間活動が気候・環境に及ぼす影響を可能な限り軽減する自然共生型流域圏の研究が進められている。自然共生型流域圏の形成を効果的に行うためには地球温暖化による気候変動の的確な将来予測およ

び流域圏における環境・生態系への影響を明確にする必要がある。これについてはわが国においても第 3 期科学技術基本計画の環境分野の重点研究課題として採択されている。

近年急速に開発が進み、今後も大幅な経済成長および人口の増加が予想されている東アジア地域においても地球温暖化は重要な問題として認識され、将来の流域圏における環境破壊や経済社会への影響が懸念されている。大陸の気候変動や環境変化に関する研究は、当該地域の持続可能な成長に貢献するだけでなく、わが国の経済・環境にも影響を及ぼすことが明白であるため、これまでに国

内外を問わず多数行われている。研究代表者が所属する国立環境研究所においても日中共同で観測研究を行っており、長江流域および東シナ海における水・熱・物質循環および食糧生産に関する数理モデルの開発や環境保全・水質改善に向けた施策・技術開発の研究に取り組んでいる。しかし、東アジア地域では流域の都市化や経済発展による汚濁負荷発生量の著しい増加を原因とする湖沼・内湾など閉鎖性水域の富栄養化が現在も深刻な状況であり、とくに長江河口・沿岸海域では鞭毛藻・渦鞭毛藻類による有害赤潮の頻発化やクラゲの大量増殖による生物資源の枯渇など当面解決すべき自然環境問題が残されているため、地球温暖化による長期の影響・対策を議論する段階には至っていない。とはいえ地球温暖化の対策は緊急性を要する国際環境問題であるため、現在直面している環境問題と並行して国際間協力のもとで地球・地域環境の保全に取り組むことが、日本およびアジア地域における持続可能な社会を形成するための必要条件と考えられる。

2. 研究の目的

将来の気候変動予測に関する研究については、現在世界の多数の機関が独自のモデルを構築し、IPCCで採択されたSRES(Special Report on Emission Scenarios)に基づいて行っている。その結果によると、地球温暖化により大気中の水蒸気量が増加するため一雨あたりの降水量が大きくなる、年降水量および豪雨頻度は増加する、平均海面水位が上昇するなど地球温暖化による気候への影響が報告されている。しかし、周知のように現在の気候モデルでは局地気候の定量的な再現性には限界があり、とくに異常高温・低温、台風や集中豪雨、長期少雨・乾燥といった短期間で局地的な現象ではあるが一旦生じると環境や生態系に対して長期間かつ広域にわたって深刻な影響をもたらす極端事象の再現性については多くの課題が残されている。現段階では、地域スケールの水資源、農業生産、生態系などの影響評価に用いることができる情報は限定されていると言わざるを得ず、地球温暖化の適応・緩和策の指針を得るためには、アンサンブル、マルチモデルアンサンブル手法のようにモデルの計算結果が有する不確実性を考慮して環境・生態系への影響を予測することが重要である。

本研究では環境・生態系に著しいインパクトを与える極端事象の中で洪水を対象として、地球温暖化が長江河口・沿岸海域の環境・生態系に及ぼす影響を明らかにすることを最終目的とする。「豪雨発生」→「陸域からの水・栄養塩流出」→「沿岸海域の環境・生態系劣化」という一連の事象の発生頻度が地球温暖化によってどのように変化するか、

統計解析及び数値シミュレーションを用いて次の項目に着目して地球温暖化による影響評価を行った。

- a. 長江流域の豪雨発生頻度
- b. 長江流域における水・栄養塩流出量
- c. 長江河口・沿岸海域における流動・水質・生態系

3. 研究の方法

(1) 地球温暖化が長江流域の豪雨発生頻度に及ぼす影響評価

長江流域とその近傍における38地点の地上降水量観測値(Global Daily Climatology Network, version 1.0)とこれらの観測地点を含むPCMDIの12GCMsのグリッド降水量を統計資料とした。対象期間は、観測値については1978~1997年、GCMsについては1981~2000(以降、現在気候と呼称)、SRES A1Bの2046~2065(2050年)、2081~2100年(2100年)のそれぞれ20年間とした。

N 日降水量($N=1, 2, 4, 7, 14, 30$)を対象に、地点ごとに設定した閾値を超過する降水イベントの年生起回数と降水強度のPartial Duration Series (PDS)を作成した。閾値は、計算値についてはそれぞれのGCMの20世紀再現実験において平均年1回発生するよう(20年間の第20位)に、観測値についても同様に平均年1回発生するように設定した。確率分布について検討したところ、観測値と20世紀再現実験の計算値については閾値の大きさおよび1イベントあたりの降水強度の期待値は異なるものの降水強度には指数分布が、閾値超過降水の年生起回数にはPoisson分布がよく適合したため、それらを適用した。確率降水量は、閾値超過降水の年生起回数及び降水強度がPoisson分布及び指数分布に従うことから理論的に導かれるGumbel分布で算定した。

地球温暖化による豪雨発生頻度への影響は、Poisson分布と指数分布の分布母数、すなわち閾値超過降水の平均年生起回数と降水強度期待値が統計的に有意に変化するかどうかで評価した。有意性の検定には一般化線形モデルを用いた。

(2) 長江流域における水・栄養塩流出モデルの構築

地球温暖化による豪雨発生頻度の変化が長江流域からの汚濁負荷流出に及ぼす影響を明らかにするため、水・物質循環モデルの構築を検討した。

地形・標高データを参考に長江流域を宜昌より上流域と下流域に大別した。降水流出モデルについては、基底流出成分の解析にはUnit Hydrograph、直接流出量の解析には上流域ではKinematic runoff model、下流域で

は Dynamic wave model を用いた。有効降雨量の算定には保留量曲線を用いた。

収集した水文・水質データを基に長江流域の汚濁負荷流出モデルの検討を行った。長江流域からの汚濁負荷流出は、河口に位置する上海都市圏の点源負荷及びその周辺地域の農業由来による面源負荷が全負荷量の大半を占めていることが明らかになった。河口周辺域からの的確な汚濁負荷推定がモデルの精度向上には不可欠であると考えられたが、現在のところ十分に整備されておらず、長江流域の物質循環モデルの構築は今後の課題として残された。

(3) 長江河口・沿岸海域における流動・水質・生態系モデルの構築

陸域から流入した汚濁負荷物質量の変化が海域の水質・生態系に及ぼす影響を評価するため、海域の流動・水質・生態系モデルを構築した。

流動モデルは、ブシネスク近似・静水圧近似を用いたプリミティブ系方程式で構成された σ 座標系準3次元 FEM モデルである。移流スキームにはセミ・ラグランジュ解法の CIP 法を、鉛直混合スキームには海面から海底までの乱流場を統一的に取り扱える Mellor (2001)、海面フラックスの算定には Kondo (1975) を採用した。

水質・生態系モデルの解析対象物質は C, N, P, Si および DO であり、これらの輸送については移流拡散方程式を用いて計算される。各物質の内部生成・消滅項は図1に示した構造でモデル化した。

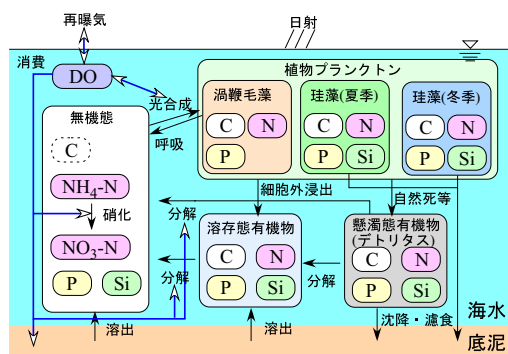
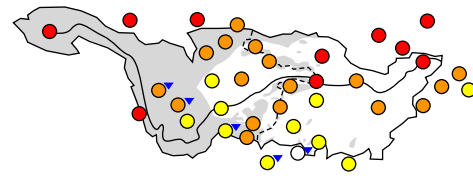


図1 水質・生態系モデルの構造

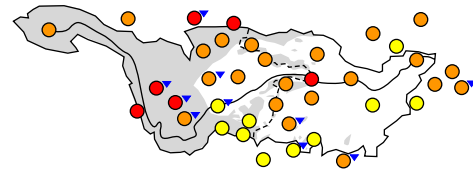
4. 研究成果

(1) 地球温暖化が長江流域の豪雨発生頻度に及ぼす影響

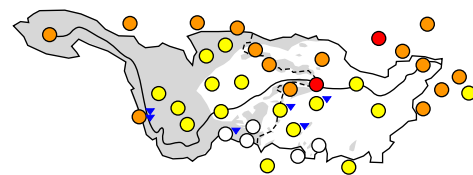
図2、3に閾値超過降水の平均年生起回数及び降水強度期待値が現在気候と比べて2100年に有意に増加したGCM数をそれぞれ示す。平均年生起回数については短期間(1、2、4日)降水ではほとんどの地点(とくに上流



(a) $N = 1$

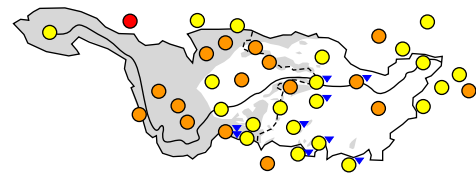


(b) $N = 4$

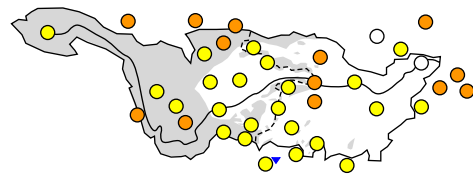


(c) $N = 14$

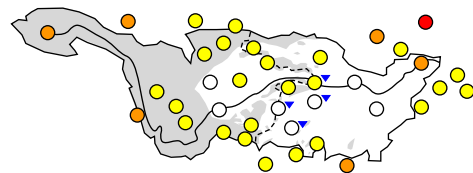
図2 現在気候と比べて2100年(SRES A1B)に閾値超過降水の平均年生起回数が有意に増加したGCM数(赤:12~9、橙:8~6、黄:5~3、白:2~0個。灰色領域は標高1000m以上。)



(a) $N = 1$



(b) $N = 4$



(c) $N = 14$

図3 図2と同じ。ただし、閾値超過降水の降水強度期待値。

域)で過半数の GCM が有意な増加を示し、14 日降水においてもとくに高緯度地域において増加傾向が認められた。降水強度期待値については、標高の高い上流域で増加傾向を示す GCM が多いことが分かった。

12GCMs のマルチモデルアンサンブル平均で求めた閾値超過降水の平均年生起回数及び降水強度期待値を用いて 100 年確率降水量を算定したところ、100 年確率降水量は現在気候と比べて 2050 年では 1.02~1.68(平均 1.28)倍、2100 年では 1.09~1.69(平均 1.37)倍に増加することが明らかになった。

(2) 地球温暖化が長江の洪水流量に及ぼす影響

流域平均降水の PDS を作成し、前節と同様の手法で 100 年確率降水量を求めたところ、表 1 の結果が得られた。100 年確率のハイトグラフを次のとおり作成し、降水流出モデルを用いてシミュレーションを行った。1978~1997 年の上位 20 個の 30 日降水量を対象とし、抽出した 30 日降水量およびその 30 (14, 7, 4, 2) 日降水の中で最大の 14 (7, 4, 2, 1) 日降水量が 100 年確率降水量と同じになるように一定比率で引き伸ばした。

表 1 上流域の 100 年確率面積雨量

	1-day (mm)	2-day (mm)	4-day (mm)	7-day (mm)	14-day (mm)	30-day (mm)
1981 - 2000	33 (100%)	47 (100%)	63 (100%)	97 (100%)	150 (100%)	271 (100%)
2046 - 2065	42 (130%)	56 (120%)	72 (114%)	117 (121%)	176 (117%)	324 (119%)
2081 - 2100	45 (139%)	62 (134%)	76 (120%)	124 (128%)	179 (120%)	323 (119%)

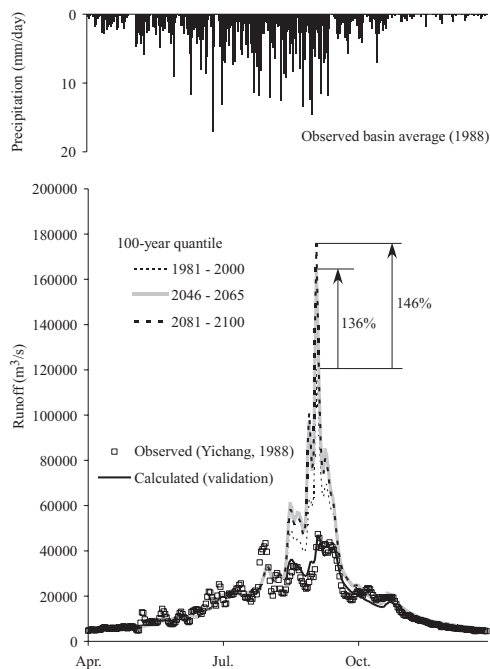


図 4 上流域の流出シミュレーション結果

図 4 に計算結果の一例として 1988 年のハイトグラフに適用した上流域の雨水流出解析結果を示す。現在気候の 100 年確率降水量を用いた計算結果のピーク流量と比較して 2050 年は平均 1.39 倍、2100 年は平均 1.47 倍となることが明らかになった。同様に下流域の河川流量の変化を検討したところ、100 年確率の洪水ピーク流量は 2050 年では現在気候の 1.46 倍、2100 年で 1.54 倍になり、上流域よりも洪水氾濫リスクの高まりが大きいことが明らかになった。地球温暖化によって長江流域の洪水リスクは著しく高まることが懸念された。

(3) 気候変動が海域の流動・水質・生態系に及ぼす影響

構築した海域の流動・水質・生態系モデルを東シナ海に適用したところ、黒潮や対馬海流などの流況や東シナ海陸棚域における表層塩分濃度の季節変化を概ね再現した(図 5)。

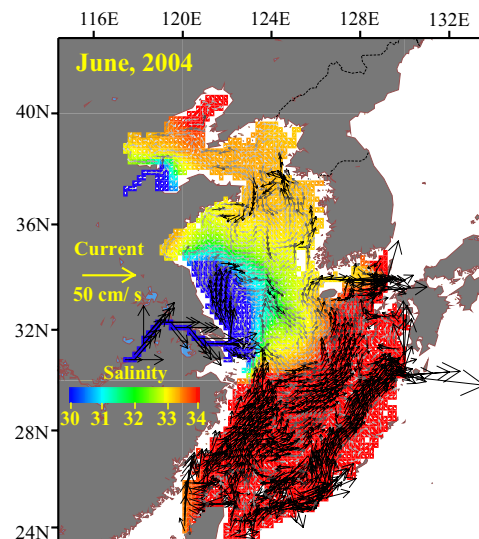


図 5 東シナ海の流動解析結果(2004 年 6 月)

長江流域の物質循環モデルの検証が不十分であるため、本モデルを水質データが蓄積されている伊勢湾に適用し、気候変動が湾内環境に及ぼす影響を検討した(申請書記載)。

伊勢湾の水質は、1981~2004 年の広域総合水質調査(環境省水環境部)の観測値を見ると、底層 COD は湾全域平均では経年変化はないものの、測点別にトレンド検定を行うと三重県側で有意な減少、愛知県側で増加のトレンドが認められた(図 6)。また、近年伊勢湾およびその周辺地域ではいわゆる「伊吹おろし」と呼ばれる北西風が弱まっていることが気象観測値より明らかになった。

流動・水質・生態系シミュレーションを行って両トレンドの関係を検討してところ、湾内底層の有機物濃度の長期変動傾向は風

向・風速の経年変化のみで概ね再現でき、風向・風速による湾内水質への影響は降水・河川流量の変化と同等以上であることが明らかになった(図 7)。地球温暖化による海域環境への影響を検討する際には河川流量・汚濁負荷量のみでなく、風向・風速の変化を考慮することが重要であることが示唆された。

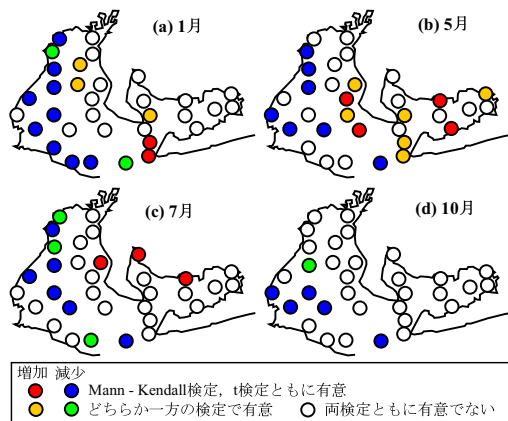


図 5 伊勢湾の底層 COD トレンド

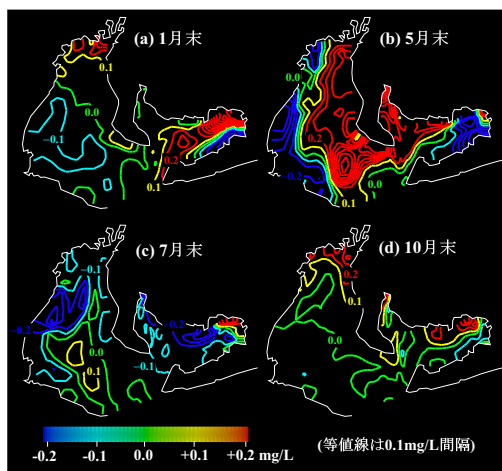


図 6 2003 年と 1988 年の風向・風速の違いによる底層 TOC の差(シミュレーション結果)

(4) 得られた成果の国内外の位置付け・インパクト及び今後の展望

研究成果(1)と(2)については、研究代表者が所属する国立環境研究所と中国長江・淮河水利委員会の研究交流会(第三回「水循環と健康河川」に関する日中学術交流会)で発表したところ、中国では華北の水問題が深刻であり、南水北調の巨大プロジェクトが動き出していることなどから、多くの関心が寄せられた。また、(3)の海域の数理モデルについても国立環境研究所と中国浙江海洋学院の研究交流会で発表したところ、近年長江河

口・沿岸域において赤潮・貧酸素水塊による漁業被害が深刻化しているため、陸域からの流出負荷量の管理方法について活発な議論が行われた。

近年、日本海や黄海、東シナ海等の東アジア地域内の海洋汚染が顕在化しており、地域内協力の強化が求められている。UNEP、NOWPAP 等の国際機関等においては、既存の対策手法に、土地利用管理を含む河川の流域管理や沿岸域の浄化能力も考慮した沿岸域・流域統合管理(Integrated Coastal Area and River Basin Management: ICARM)による新たな海洋環境保全のための政策手法が注目を集めている。本研究は今後も中国の研究者との交流会を活発に行い、残された課題である陸域における物質循環モデルの構築を共同で進め、最終目標である「豪雨発生」→「陸域からの水・栄養塩流出」→「沿岸海域の環境・生態系劣化」の地球温暖化による影響評価を遂行する予定であり、本研究の成果が ICARM の基礎として貢献することを目指したい。

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 3 件)

- ① 東博紀、越川海、木幡邦男、村上正吾、水落元之、伊勢湾における水質の長期変動傾向と風向・風速の経年変化の関係に関する数値解析、水工学論文集、53、1483-1488、2009、査読有。
- ② Dairaku, K., Emori, S., Higashi, H., Potential Changes in Extreme Events Under Global Climate Change, Journal of Disaster Research, 3(1), 39-50, 2008, 査読有。
- ③ 東博紀、牧秀明、CIP-FEMを用いた準 3 次元内湾流動モデルによる東京湾の循環流に関する基礎研究、水工学論文集、52、巻、1405-1410、2008、査読有。

〔学会発表〕(計 1 件)

- ① 東博紀、林誠二、大楽浩司、水文・水資源学会研究発表会要旨集、88-89、2007。

〔その他〕

アウトリーチ活動

- ① 地球温暖化による長江流域の豪雨発生頻度と洪水リスクへの影響について、研究代表者が所属する国立環境研究所と中国長江・淮河水利委員会の研究交流会で発表。
- ② 海域環境評価モデルについて、研究代表者が所属する国立環境研究所と中国浙江

海洋学院の研究交流会で発表。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東 博紀 (HIGASHI HIRONORI)
独立行政法人国立環境研究所・アジア自然
共生研究グループ・研究員
研究者番号：60414398

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし