



# 瀬戸内海における中小河川からの淡水流入量と流動シミュレーションの再現性への影響

東, 博紀 ; 佐藤, 嘉展 ; 吉成, 浩志 ; 牧, 秀明 ; 越川, 海 ; 金谷, 弦 ; 内山, 雄介

---

(Citation)

土木学会論文集B2, 74(2):I\_1135-I\_1140

(Issue Date)

2018

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

© 2018 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90006805>



# 瀬戸内海における中小河川からの淡水流入量と流動シミュレーションの再現性への影響

東 博紀<sup>1</sup>・佐藤 嘉展<sup>2</sup>・吉成 浩志<sup>3</sup>・牧 秀明<sup>3</sup>・越川 海<sup>3</sup>・金谷 弦<sup>3</sup>・内山 雄介<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立研究開発法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail:higashi@nies.go.jp

<sup>2</sup>愛媛大学大学院農学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市道後樋又10-13)

<sup>3</sup>国立研究開発法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

<sup>4</sup>正会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

瀬戸内海など閉鎖性海域の流動シミュレーションでは、陸域、とくに中小河川からの淡水流入量を如何に与えるかが常に問題となる。本研究では、瀬戸内海流域圏全体を対象とした陸域降水流出―海域流動モデルを構築し、2007～2015年の再現シミュレーションを通じて、一級水系・中小河川からの淡水流入量を明らかにするとともに、中小河川が海域流動シミュレーションの再現性に及ぼす影響を評価した。その結果、上記期間の陸域から瀬戸内海への年間淡水流入量は平均53.0km<sup>3</sup>/yr、その内訳は一級水系が68%、中小河川が32%と算定された。また、一級水系のみの河川流量を与えた海域流動シミュレーションは全体的に表層塩分を過大評価するが、全水系で与えた場合はその誤差が大きく軽減されることが確認された。

**Key Words** : freshwater discharge, hydrological model, coastal hydrodynamic model, Seto Inland Sea

## 1. 研究背景・目的

閉鎖性海域における環境・生態系の保全・再生を検討する上で、集水域からの淡水・汚濁負荷流入量およびそれらの変動を把握することは極めて重要である。日本では過去約100年間、年間降水量には明確な変化傾向が見られないが、日降水量100 mm以上の大雨や1 mm未満の無降水の日数は有意に増加しており、気候変動による降水の二極化が報告されている<sup>1)</sup>。最新の気候変動の予測結果によると、この二極化は将来さらに強化されると予想されており<sup>1)</sup>、これら気候変動による閉鎖性海域への影響の把握とそれを踏まえた適応案が求められている<sup>2)</sup>。

瀬戸内海は、本州、四国、九州に囲まれた我が国最大の閉鎖性海域である。瀬戸内海環境保全特別措置法の対象区域内における流入河川は、一級水系だけで21、二級水系も含めると658にもものぼり、これらの流入水量は年間約50km<sup>3</sup>と推定されている<sup>3)</sup>。閉鎖性海域の流動や水質等を対象としたモデルシミュレーションの研究では、これらの河川、とくに流量観測データの入手が容易でない二級水系以下の中小河川からの流入量を如何に与えるかが常に問題となる。例えば中山ら<sup>4)</sup>は、瀬戸内海全域を対象とした流動・低次生産モデルを開発し、21一級水系の流量データを与えて再現計算を行ったが、中小河川からの流入を考慮しなかったため、塩分が過大評価される

ことを課題に挙げている。それを踏まえて杉松ら<sup>5)</sup>は、近隣の一級水系の観測流量に流域面積比を乗じたものを中小河川の流量として与えることによって、塩分の再現性の向上を図っている。この方法は、観測点が河口から遠く離れている一級水系の流量を補正する際にも用いられる<sup>6)</sup>が、その妥当性については十分検討されていない。

そもそも上記の方法は、冒頭に述べた、気候変動影響の将来予測には活用できないという問題もある。GCMやRCMによる気候変動予測実験で出力された降水形態の変化、すなわち降水の二極化傾向を反映した淡水流入量を得るためには、流出モデルによる将来予測シミュレーションが最も有効であると考えられる。しかし、中小河川も含め、瀬戸内海の集水域全体の流出モデルを構築した研究事例は皆無である。

我々は、瀬戸内海における気候変動影響の将来予測に向けて、流域圏全体を3次メッシュ(約1km)で解析する陸域降水流出―海域流動モデルを構築した。本論文では、2007～2015年の再現シミュレーションを通じて、一級水系および中小河川からの淡水流入量をそれぞれ明らかにするとともに、中小河川が海域流動シミュレーションの表層水温・塩分の再現性に及ぼす影響を評価した。

## 2. 研究手法

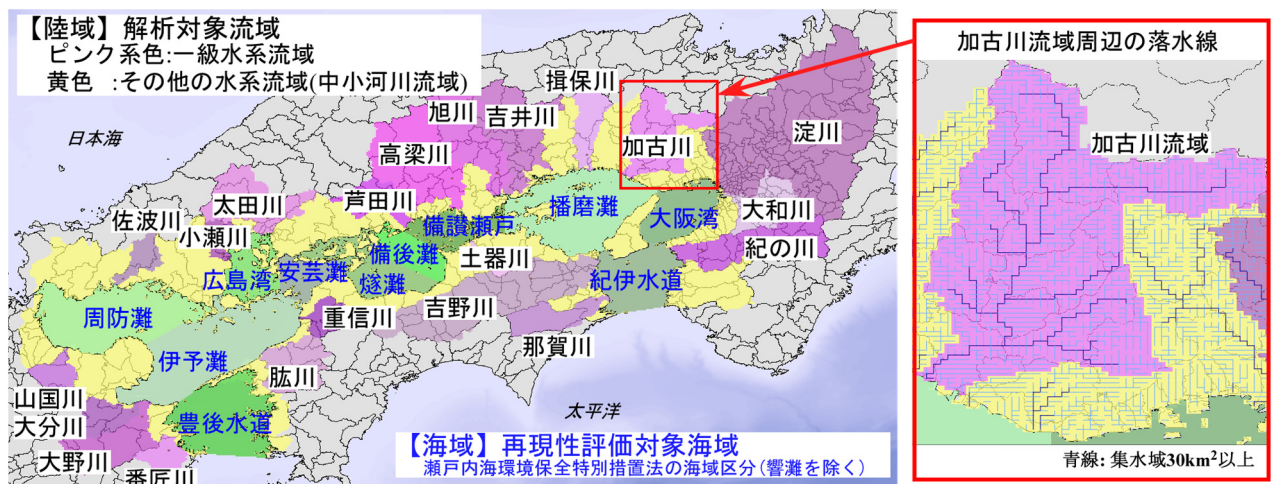


図-1 陸域降水流出シミュレーションの対象流域と海域流動シミュレーションの再現性評価対象海域

## (1) 陸域降水流出シミュレーション

### a) モデルの概要

降水流出シミュレーションには、小尻ら<sup>7)</sup>のHydro-BEAMを改良した分布型流出モデルを用いた。モデルの概要、解析条件、使用データの一覧を表-1に記す。主な改良点は、降水の土壌浸透過程をタンクモデルから、鉛直1次元のRichards式を直接解析する、不飽和浸透流モデルに変更したことである。これは佐山ら<sup>8)</sup>および菅原ら<sup>9)</sup>の山体地下水モデルを参考にしている。不飽和浸透流の計算は細かい時空間分解能を必要とするため、それを格子数が多い分布型流出に組込むと計算負荷が大きくなる問題が指摘されている<sup>9)</sup>が、本研究では、大型計算機を用いてベクトル・並列処理を行うことで対処した。

落水線(擬河道網)については、瀬戸内海の全集水域(5.29×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>)を対象に3次メッシュ単位で構築した(図-1)。標高データのみで全域一括に落水線の自動生成を行うと、

表-1 陸域降水流出モデルの概要・解析条件・使用データ

解析対象期間	2007～2015年(助走期間1年)
解析対象流域	瀬戸内海の全集水域(5.29×10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )
水平解像度	3次メッシュ(東西45秒,南北30秒)
斜面流モデル	土地利用 森林, 水田, 畑地・果樹園, 水域, 市街地 ※国土数値情報 土地利用細分メッシュ 平成26年度(国交省)を用いて再分類
	表面流 水田: タンクモデル その他: Kinematic wave model
	土壌内浸透流 鉛直流: 1次元不飽和浸透流モデル 鉛直14層(層厚:5～200cm) 表層土壌, 基岩, 地下水の3層構造 <sup>8),9)</sup> 土壌物理特性: Brooks and Corey式 ※土地利用ごとにパラメータ設定可 側方流: Darcy則(動水勾配≒斜面勾配)
河道流モデル	Kinematic wave model
降水量データ	解析雨量(気象業務支援センター)
蒸発散算定式	Hamon式×蒸発散係数(≒1.5) ※GPV-MSM(気象庁)の地上気温より算定
落水線作成に使用したGISデータ	標高: 数値地図50mメッシュ(標高)(国土地理院) 所属水系: 国土数値情報 流域メッシュ(国交省) 河道: 国土数値情報 河川(国交省)

流域界や河道の位置が実際と整合しない恐れがある。そこで、一級水系と比較的大規模な二級水系については、国土数値情報(国交省)の流域メッシュと河川を用いて各3次メッシュの所属水系と河口の位置をあらかじめ定め、それらを制約条件として落水線を生成した。落水線より抽出される本川の整合性をGIS上で確認し、必要に応じて手作業で落水線を修正した。残りの小規模水系については、上記の一・二級水系に流出しないことを制約条件に海岸メッシュに到達する落水線を一括で生成した。

### b) 再現性評価・パラメータ調整

モデルの再現性評価とパラメータ調整は、流量年表(日本河川協会)および水文水質データベース(国土交通省)で公開されている、2007～2015年における21一級水系の流量観測所(各水系1つ,計21地点)の日平均流量(以降,日流量)を用いて行った。流出モデルのパラメータ調整については、何を基準に行うかはその目的・用途によって様々であるが、ここでは、瀬戸内海への総流入量の再現性を、一級水系のみではあるが、確保することを目的とした。具体的には、21観測所・108ヶ月間の月平均流量(以降,月流量)の計算値と観測値の平均誤差(ME: Mean Error, バイアス)を0に近づけるように蒸発散係数等をまず調整した。次に、斜面の等価粗度や土壌の透水係数などの流出波形に関わるパラメータを、Nash-Sutcliffe係数(NS)を向上させるように、太田川流域と吉野川流域において調整した。なお、観測値の月流量は、欠測日を除いて月別に日流量を平均して求めたが、その際、欠測日が3日以内のものを有効データと見なした。

上記のパラメータは、本来は個々の流域で調整すべきものであるが、流量観測データが乏しい中小河川ではそれが困難であるため、本研究では全流域一様に同じ値を適用した。

## (2) 海域流動シミュレーション・再現性評価

海域流動シミュレーションには、先行研究<sup>10)</sup>で使用し



た、静水圧・Boussinesq 近似の3次元コロケート格子・レベル座標系モデルを用いた。水平方向の解析格子は、陸域降水流出モデルと同様、3次メッシュに合わせた。解析条件および使用データの一覧を表-2に示す。

中小河川からの流入が海域流動シミュレーションの再現性に及ぼす影響については、2007～2015年の陸域降水流出モデルの計算結果を活用して、一級水系のみのとき(case 1)と、全水系の河川流量を与えたとき(case 2)の流動計算をそれぞれ実施し、水温・塩分の観測値に対するスコアを算定・比較することにより評価した。スコアは平均誤差MEと二乗平均平方根誤差(RMSE: Root Mean Square Error)の2指標とし、観測値には環境省の広域総合水質調査(1, 5, 7, 10月の年4回)を用いた。対象領域における同調査の測点数は121にのぼるため、スコアの算定は図-1に示す瀬戸内海環境保全特別措置法に基づく海域<sup>3)</sup>ごとにまとめて行った。なお、スコア算定の際、一級水系や比較的大きい二級水系の河口直下にある5つの測点において表層塩分の計算値と観測値に顕著な差が確認され、1つの測点の誤差が所属海域のRMSEの半分以上を占めるものもあった(例えば、後に示す図-4(b)大阪湾の測点2)。杉松ら<sup>9)</sup>も同様の報告をしており、本モデルの水平解像度(約1km)では河口と測点の位置関係を十分に表現できていないことが原因と考えられる。これら5測点は、後の考察の支障となるため、スコア算定の対象外とした。

表-2 海域流動シミュレーションの解析条件・使用データ

解析対象期間	2007～2015年(助走期間13カ月)
解析領域	東経130度57分00秒～136度53分15秒 北緯 31度38分00秒～ 34度47分00秒
水平解像度	3次メッシュ (東西45秒, 南北30秒)
鉛直解像度	1～500m (海面～5000m深まで42層)
海底地形	ArcGIS Geo Suite 地形 (ESRI ジャパン)
鉛直混合モデル	NNFスキーム <sup>11)</sup>
海上気象	短波・長波放射: JRA-55(気象庁) その他: GPV-MSM(気象庁)
外洋境界	水温・塩分: FRA-JCOPE2 <sup>12)</sup> , 潮位: NAO99Jb <sup>13)</sup> , 流速: Flather式 <sup>14)</sup> (潮流)+FRA-JCOPE2 <sup>12)</sup> (残差流)
水温・塩分同化	FRA-JCOPE2 <sup>12)</sup> (外洋でのみ3次元ナッジング)
河川流量	陸域降水流出モデルによる計算値

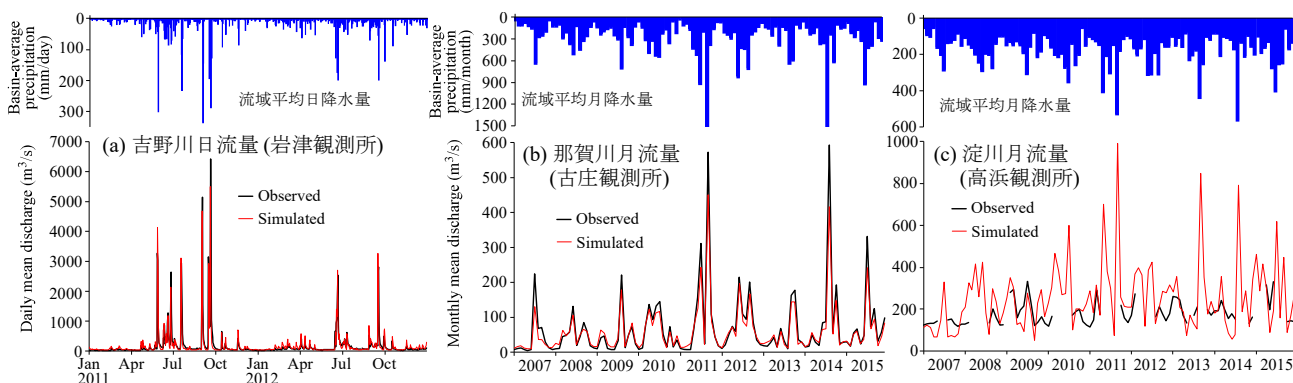


図-2 吉野川(岩津観測所)の日流量、那賀川(古庄観測所)の月流量、淀川(高浜観測所)の月流量の計算値と観測値の比較

### 3. 結果と考察

#### (1) 陸域降水流出シミュレーションの再現性

図-2(a), (b)に2011～2012年の吉野川における日流量、2007～2015年の那賀川における月流量の観測値と計算値の比較をそれぞれ示す。日流量、月流量ともに、流量ピーク時に観測値と計算値の誤差が大きいつきが見られるものの、全体的に計算値は観測値をよく再現している。

表-3に21一級水系の2007～2015年における月流量のスコアを示す。なお、同表の観測値の平均流量は有効データである月流量の平均値であり、計算値の平均流量もそれと同じ月を対象に算定している。全水系の結果を見ると、計算値と観測値の平均流量はほぼ一致し、MEは微小であるが、これは前述のパラメータ調整によるものである。流域規模が異なる水系の流量誤差を同一指標で評価するため、観測値の平均流量に対するMEの割合NME (Normalized Mean Error)を求めたところ、図-2(a), (b)に示した吉野川、那賀川においてそれぞれ14.0、-12.2 %となった(表-3)。これらの絶対値を基準として他の水系のNMEを見ると、概ねそれらの値付近に留まっているが、重信川、土器川、番匠川においてはそれぞれ53.1、22.3、23.4 %と再現性が比較的良好でないことが分かる。しかし、これら3水系の平均流量は他と比べて少なく、吉野川や淀川などの大河川よりもMEは良好である。

NSは、一般的に0.5が再現性の閾値とされ、0.7～1.0では再現性が高い、負値では再現性が悪いと評価される。

表-3のNSを見ると、淀川では負値となっているものの、15水系で0.7以上、残りの5水系も0.6以上と全体的に再現性は良好であるといえる。NSが低い淀川については、図-2(c)にハイドログラフを併示してあるが、洪水期の流量データが概ね欠測となっており、NSでの評価の信頼性が低い。他の観測所についても調べたが、解析対象期間において高浜よりも欠測が少ない淀川の観測データは入手できなかった。とはいえ、平水時のNSが低いことは事実である。現時点では本モデルに貯水池や湖沼が考慮されていないため、琵琶湖と多数の大規模ダムを有する淀川では、それらの影響が無視できないと推察される。

表-3 陸域降水流出シミュレーションのスコア

水系	流量 観測所	有効デ ータ数	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)		ME (m <sup>3</sup> /s)	NME (%)	NS
			観測値	計算値			
紀の川	船戸	57	61.1	67.4	6.4	10.4	0.956
大和川	柏原	105	26.5	28.5	2.0	7.6	0.642
淀川	高浜	77	180.5	191.3	10.8	6.0	-1.067
加古川	大島	71	47.4	42.5	-4.9	-10.3	0.878
揖保川	龍野	96	23.5	23.6	0.0	0.1	0.752
吉井川	津瀬	105	62.1	50.4	-11.6	-18.7	0.698
旭川	牧山	108	47.9	43.4	-4.5	-9.4	0.664
高梁川	日羽	108	54.1	49.9	-4.2	-7.8	0.732
芦田川	府中	96	10.3	8.5	-1.8	-17.8	0.617
太田川	矢口	106	62.9	57.7	-5.2	-8.3	0.787
小瀬川	両国橋	101	11.6	13.1	1.4	12.3	0.734
佐波川	新橋	108	15.5	16.2	0.6	4.1	0.843
山国川	下唐原	108	19.6	16.4	-3.1	-16.0	0.821
大分川	府内大橋	108	27.3	24.5	-2.7	-10.0	0.879
大野川	白滝橋	108	54.5	59.9	5.4	10.0	0.845
番匠川	番匠橋	108	10.6	13.1	2.5	23.4	0.903
肱川	大洲	108	35.6	34.2	-1.4	-4.0	0.829
重信川	出合	106	10.1	15.5	5.4	53.1	0.692
土器川	祓川	108	2.3	2.8	0.5	22.3	0.817
吉野川	岩津	108	135.5	154.4	18.9	14.0	0.934
那賀川	古庄	106	69.7	61.2	-8.5	-12.2	0.909
全水系		2106	44.2	44.3	0.1	0.2	

## (2) 中小河川からの淡水流入量

流出先の海域ごとに集計した一級水系と全水系の流域面積、およびそれぞれの2007～2015年の平均年間流量(計算値)を表-4に示す。同表の全水系と一級水系の差が中小河川に相当する。瀬戸内海全体では、流域面積は一級水系が63%を占めており、年間流量の占める割合もそれにほぼ対応するものとなっている。全水系からの平均年間流量は既報とほぼ同じ値の53.0 km<sup>3</sup>/yrと算定されているが、同表に記載されていない2007～2015年の年々変動については、渇水年(2007年)では25.3、洪水年(2011年)では71.7 km<sup>3</sup>/yrと無視できない幅を有している。

海域別の年間流量を見ると、伊予灘、備讃瀬戸、大阪湾、紀伊水道では一級水系の割合が80%以上であるのに対し、周防灘、安芸灘、燧灘、備後灘では中小河川から80%以上を占めている。後者の4海域では中小河川からの淡水流入が海域の流動に大きな影響を及ぼす可能性があることが示唆された。

## (3) 中小河川からの淡水流入量が海域流動シミュレーションの水温・塩分再現性に及ぼす影響

シミュレーション結果の一例として、図-3に2011年10月におけるcase 1と2の表層塩分の空間分布を観測値と併せて示す。なお、同図の計算値は月平均値で示してあること、観測値は、同一年月内の調査データではあるものの、調査日が測点ごとに異なることに留意する必要がある。ゆえに、同図の計算値と観測値の比較によって再現性を論じることが厳密性に欠けるが、この図を見る限りにおいても、瀬戸内海中央部の備後灘・燧灘や西部の伊

予灘・周防灘において、表層塩分の再現性はcase 1よりも2の方が高い様子が垣間見える。

図-4(a)に周防灘における表層水温・塩分の計算値と観測値の比較を示す。なお、同図の計算値は観測日の日平均値であり、測点ごとにプロットの形状・色を変えてある。表層水温については、case 1と2の変化は微小であり、両者のスコア(RMSE・ME)・再現性はほぼ同じといえる。一方、表層塩分には顕著な差が見られ、RMSEは1.48から0.88へ、MEは1.12から-0.08へと、明らかにcase 1よりcase 2のスコアが高い。これは周防灘における一級水系の河川流量が全水系の20%しかないため(表-4)であり、全水系からの淡水流入を考慮したcase 2の再現性が高くなることは当然の結果といえる。

表-4に全ての海域におけるcase 1・2の表層水温・塩分のスコアを併示する。まず、case 1の表層塩分については、MEがいずれの海域も正の値となっており、全体的に過大評価のバイアスを有していることが分かる。上記の周防灘と同様に、全水系からの河川流量に対して一級水系の占める割合が低い安芸灘、燧灘、備後灘では、case 2のスコアがcase 1よりも顕著に高く、case 1のバイアスが大きく軽減されている。しかし、一級水系の河川流入量の割合が高い伊予灘、備讃瀬戸、大阪湾、紀伊水道においても、表層塩分のスコアは明らかに向上していることが確認できる。図-4(b)には大阪湾における表層水温・塩分の計算値と観測値の比較が示してある。一見すると、同図のcase 1と2の表層塩分の再現性は大差ないが、case 2の表層塩分は全体的にcase 1よりも若干低いことが見て取れる。この傾向は一級水系の流量が多い上記4海域すべてで見られた。その原因は、大阪湾では播磨灘、伊予灘では周防灘・安芸灘など、中小河川からの流入量が多い隣接海域との海水交換により、当該海域の塩分が全体的に下がったためである(図-3)。それによってcase 1の過大評価のバイアスが緩和され、RMSEも向上したものと考えられる。中小河川からの淡水流入は、流入先の海域に留まらず、隣接海域、ひいては瀬戸内海全体の塩分の再現性を左右するほど重要であることが示唆された。

播磨灘では、表層塩分のスコアがcase 1よりもcase 2の方が逆に低くなっている。また、広島湾においては、case 1・2ともにRMSEが突出して大きく、比較的再現性が低い。杉松ら<sup>9)</sup>は、広島湾の再現性が良くない主な理由として、当海域には島嶼が多く、1kmの格子サイズでは狭路を十分表現できないことを挙げている。播磨灘では鳴門海峡がそれに該当すると考えられ、比較的高塩分の紀伊水道との海水交換が過小評価されていることが再現性を低くした原因の一つと推察される。これらの狭路をモデルで如何に取扱うかが今後の課題といえる。

## 4. 結論

表-4 海域ごとに集計した年間河川流量(陸域降水流出モデルの計算値)と海域流動シミュレーションのスコア

			豊後水道		伊予灘		周防灘		広島湾		安芸灘		燈灘		備後灘		備讃瀬戸		播磨灘		大阪湾		紀伊水道		全海域	
			一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系		一級水系	
			水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系	水系	全水系
陸域	流域面積	千km <sup>2</sup>	0.5	1.5	3.8	5.0	1.0	5.2	2.1	3.8	0.0	0.6	0.0	2.3	0.0	0.5	3.8	4.9	6.6	10.4	9.4	11.0	6.4	7.5	33.5	52.9
	(%)	(%)	(31)	(3)	(77)	(9)	(19)	(10)	(54)	(7)	(0)	(1)	(0)	(4)	(0)	(1)	(76)	(9)	(63)	(20)	(86)	(21)	(84)	(14)	(63)	(100)
海域	年間流量	km <sup>3</sup> /yr	0.6	1.7	4.4	5.3	1.1	5.4	2.3	4.2	0.0	0.4	0.0	2.0	0.0	0.3	2.4	3.0	5.4	8.1	9.8	11.2	9.8	11.4	35.9	53.0
	(%)	(%)	(38)	(3)	(83)	(10)	(20)	(10)	(55)	(8)	(0)	(1)	(0)	(4)	(0)	(1)	(80)	(6)	(67)	(15)	(88)	(21)	(86)	(21)	(68)	(100)
海域	表層水温	RMSE	1.87	1.90	1.53	1.41	1.54	1.45	1.44	1.38	1.58	1.51	1.69	1.68	1.65	1.59	2.00	1.97	1.55	1.51	1.59	1.62	1.74	1.74	1.63	1.59
		ME	-1.16	-1.21	0.52	0.52	1.04	0.97	0.85	0.79	1.21	1.16	1.27	1.26	1.08	1.05	1.76	1.73	1.09	1.10	0.40	0.37	-0.51	-0.51	0.64	0.61
	表層塩分	RMSE	0.54	0.45	0.84	0.62	1.48	0.88	2.98	2.62	1.67	1.32	1.42	1.05	1.65	1.14	1.20	0.65	1.40	1.51	1.73	1.61	1.41	1.31	1.54	1.28
		ME	0.20	-0.04	0.54	0.10	1.12	-0.08	1.13	0.19	0.82	0.19	0.96	0.02	1.19	-0.02	0.98	-0.03	0.37	-0.62	0.38	-0.04	0.74	0.43	0.74	-0.04
海域	使用測点数		12		15		21		9		4		9		7		6		16		9		8		116	
	データ数N		372		465		651		293		124		279		217		186		496		297		248		3628	

\*「一級水系」列の値は海域内で占める割合,「全水系」列の値(赤字)は全海域に対する割合

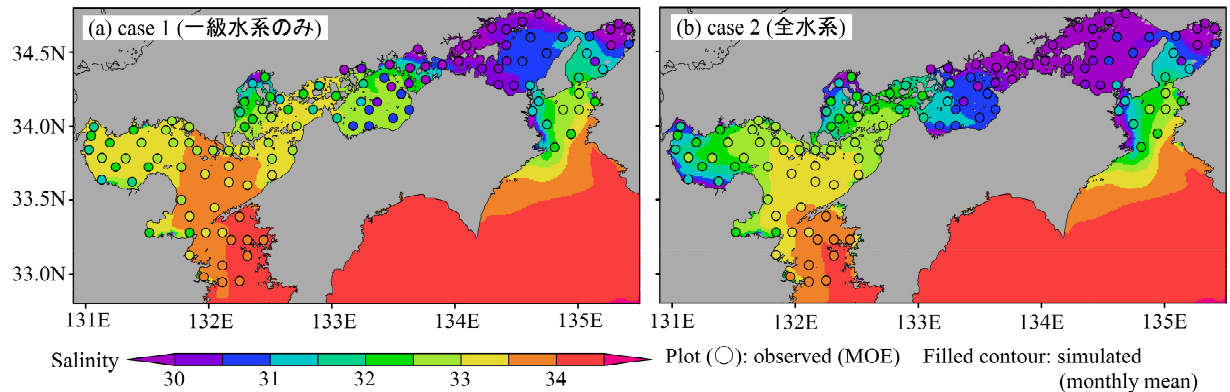


図-3 2011年10月における case1・2の表層塩分の空間分布(月平均値)と観測値(環境省広域総合水質調査)

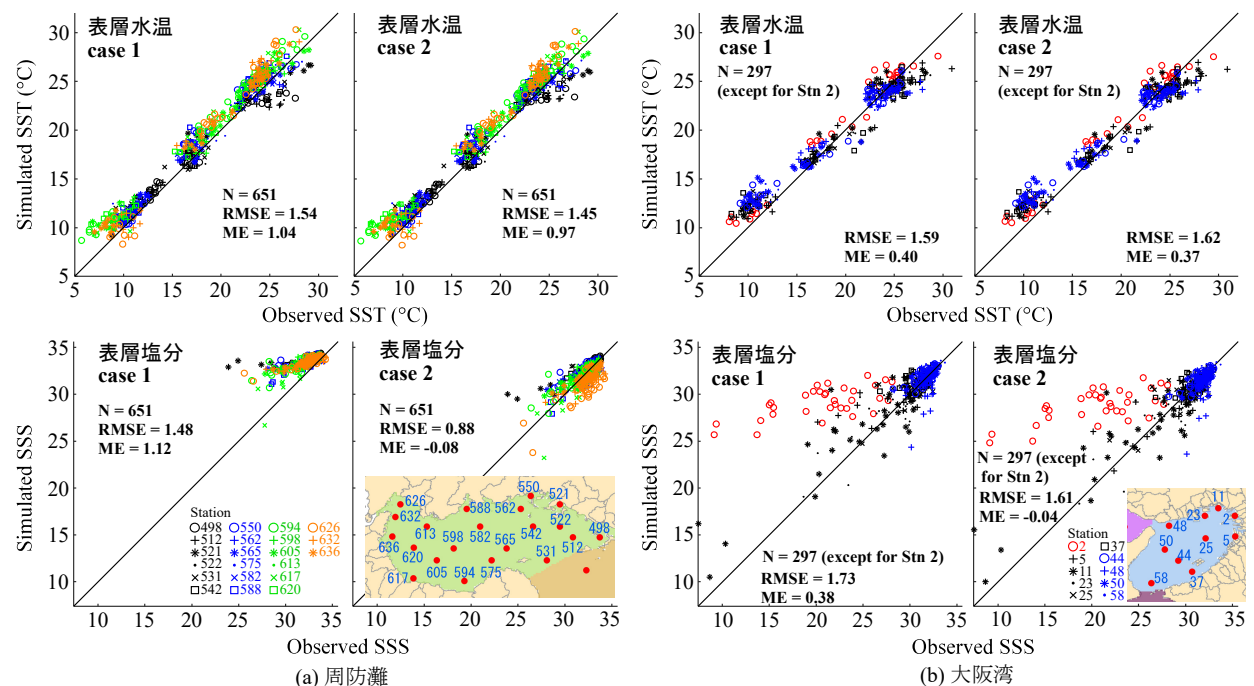


図-4 周防灘・大阪湾の表層水温・塩分の観測値(環境省広域総合水質調査)と case1・2の計算値(観測日の日平均値)の比較

本研究では、瀬戸内海流域圏全体を水平解像度約1kmで解析する陸域降水流出-海域流動モデルを構築し、2007~2015年の再現シミュレーションを通じて、一級水系・中小河川からの淡水流入量を海域別に明らかにするとともに、中小河川が海域流動シミュレーションの表層水温・塩分の再現性に及ぼす影響を評価した。得られた

結論は次のとおりである。

- 1) 陸域降水流出モデルで算定された月流量は、淀川水系を除く、20一級水系において、Nash-Sutcliffe係数が0.6以上の高い再現性を有することが確認された。
- 2) 2007~2015年における全水系から瀬戸内海への年間流量は平均53.0(変動幅25.3~71.7) km<sup>3</sup>/yr, その内訳は

一級水系が68%, 中小河川が32%と算定された。

- 3) 周防灘, 安芸灘, 燧灘, 備後灘では, 中小河川からの淡水流入量が80%以上を占め, 海域の流動に大きな影響を及ぼす可能性があることが示唆された。
- 4) 一級水系のみの河川流量を与えた流動シミュレーションは全体的に表層塩分を過大評価する(全海域の平均誤差0.74)が, 全水系で与えた場合はその誤差が大きく軽減された(全海域の平均誤差 -0.04)。
- 5) 中小河川を考慮したことによる表層塩分の再現性の向上は, 3)に記した4海域において顕著であるが, 一級水系の淡水流入量が支配的な伊予灘, 備讃瀬戸, 大阪湾, 紀伊水道においてもその効果が認められた。

**謝辞:** 本研究は平成28・29年度環境省請負業務「閉鎖性海域における気候変動による影響把握等検討業務」の補助を受けた。京都大学防災研究所水資源研究センター地域水環境システム研究領域よりHydro-BEAMをご提供頂いた。本研究の数値計算は国立環境研究所のスーパーコンピュータ (NEC SX-ACE) を使用した。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省, 気象庁, 環境省編: 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート, 「日本の気候変動とその影響」(2012年度版), 85p, 2013.
- 2) 環境省: 瀬戸内海環境保全基本計画, [www.env.go.jp/water/heisa/law.html](http://www.env.go.jp/water/heisa/law.html), 参照 2018-05-24.
- 3) 環境省: 瀬戸内海の環境情報, [www.env.go.jp/water/heisa/heisa\\_net/setouchiNet/seto/kankyojoho/index.html](http://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/seto/kankyojoho/index.html), 参照 2018-05-24.
- 4) 中山哲蔵, 八木宏, 藤井良昭, 伊藤靖, 三浦浩, 安信秀樹, 杉野博之, 山田達夫: 瀬戸内海全域を対象とした流動・低次生産モデルの開発及びマコガレイ幼稚仔分散過程への適用, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.65, No.2, pp.1126–1130, 2009.
- 5) 杉松宏一, 中山哲蔵, 八木宏, 佐野朝昭, 藤井良昭, 清水学: 数値モデルにおける瀬戸内海へ進入する外洋性水塊の再現性, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.1\_841–1\_845, 2011.
- 6) 東博紀, 古市尚基, 牧秀明: 東京湾の現地乱流観測データに基づく鉛直混合スキームの基礎的検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.1\_1066–1\_1070, 2013.
- 7) 小尻利治, 東海明宏, 木内陽一: シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発, 京都大学防災研究所年報, 第41号 B-2, pp.119–134, 1998.
- 8) 佐山敬洋, 小杉賢一朗, 岩見洋一: 山体地下水の流動を表現する分布型降雨流出モデルの開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp. 331–336, 2015.
- 9) 菅原快斗, 佐山敬洋, 寶馨: 地下水面を有する土壌におけるリチャーズ式の解析解, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, 1\_1–1\_6, 2018.
- 10) 東博紀, 古島靖夫, 古市尚基, 福原達雄: 相模灘の深海底乱流を対象とした現場観測と鉛直混合スキームの性能評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.73, No.2, pp.1\_79–1\_84, 2017.
- 11) Furuichi, N., Hibiya T. and Niwa Y.: Assessment of turbulence closure models for resonant inertial response in the oceanic mixed layer using a large eddy simulation model, *J. Oceanogr.*, Vol.68, pp.285–294, 2012.
- 12) Miyazawa, Y., Zhang, R., Guo, X., Tamura, H., Ambe, D., Lee, J.S., Okuno, A., Yoshinari, H., Setou, T. and Komatsu K.: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *J. Oceanogr.*, Vol.65, pp.737–756, 2009.
- 13) Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M.: Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan, *J. Oceanogr.*, Vol.56, pp.567–581, 2000.
- 14) Flather, R.A.: A storm surge prediction model for the Northern Bay of Bengal with application to the cyclone disaster in April 1991, *J. Phys. Oceanogr.* Vol.24, pp.172–190, 1994.

(2018.3.15 受付)

## FRESHWATER DISCHARGE FROM SMALL RIVER BASINS AND ITS IMPACTS ON REPRODUCIBILITY OF COASTAL HYDRODYNAMIC SIMULATION IN SETO INLAND SEA

Hironori HIGASHI, Yoshinobu SATO, Hiroshi YOSHINARI, Hideaki MAKI,  
Hiroshi KOSHIKAWA, Gen KANAYA and Yusuke UCHIYAMA

Freshwater discharge from watersheds is one of the important boundary conditions for coastal hydrodynamic simulations, but its available observations are very limited at small rivers. The present study developed a hydrological discharge and coastal hydrodynamic model with high resolution for Seto Inland Sea and its all river basins. Using this model, we evaluated freshwater discharge to the sea for the period of 2007–2015 and investigated impacts of small rivers on reproducibility of coastal hydrodynamic simulation. The hydrological simulation indicated that total annual amount of freshwater discharge to the sea was 53.0 km<sup>3</sup>/yr; 68% was from 21 major rivers and 32% was from small rivers. The coastal hydrodynamic simulation overestimated sea surface salinity if the freshwater discharge only from the major rivers was given; reproduced well if all rivers were considered.