

# 瀬戸内海および遠州灘沿岸域における 陸域起源物質分散の季節変動特性について

SEASONAL VARIABILITY OF LAND-DERIVED PASSIVE TRACER DISPERSAL  
IN THE SETO INLAND SEA AND THE ENSHU-NADA COAST

内山 雄介<sup>1</sup>・鈴江 洋太<sup>2</sup>・小畠 大地<sup>2</sup>  
Yusuke UCHIYAMA, Yota SUZUE and Taichi KOSAKO

<sup>1</sup>正会員 博(工) 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

<sup>2</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

Coastal marginal seas and estuaries are generally dumpsites for wastewater from sewage and power plants. For an urgent assessment of dilution and dispersal of toxic materials due to accidental leakage, we develop an offline passive tracer model by exploiting oceanic reanalysis products and analyze differences in spatiotemporal variability of the leaked tracers in an estuary and a continental shelf margin on the Pacific side of Japan. In the estuary, the northeastward through flow affects the dispersal, while the month-long transport is dominated rather by inter-seasonal variability of wind-driven Ekman flow and counter-clockwise local circulations associated with the *cold-dome* density structure. On the marginal coast, the Kuroshio and resultant secondary recirculation readily entrain the tracer, leading to immediate transport mostly in the alongshore direction. The seasonal difference in the tracer dispersal is apparent such as sporadic offshore tracer eruption episodes, depending on the locations of the Kuroshio path.

**Key Words :** ROMS, coastal dispersal, offline Eulerian passive tracer model, Kuroshio, Seto Inland Sea

## 1. はじめに

我が国では原子力発電所や下水処理場の多くが沿岸に設置されており、沿岸海域はそれらの施設からの排水の廃棄場となっている<sup>1)</sup>。不測の事態によってひとたび有害物質の漏洩が起これば<sup>2)</sup>、沿岸環境や生態系に重大な影響を与えることも予想されるため、事態を早急に予測するシステムを準備しておく必要がある。本研究では、原理的に無限に想定可能な漏洩シナリオや、突発的な事故に対してできるだけ迅速に対応するために、予め計算された海況予報や再解析による流動場を用いてtracer移流拡散方程式を解くoffline passive tracerモデル<sup>3)</sup>（以下、offlineモデルと呼称する）を用いる。offlineモデルは複数の点源からの湧き出しや吸い込みを同時に考慮し、任意の地点・時刻におけるtracerフラックスの流入などを取り扱うことができるよう設計・改良されている。また、海水流動とtracer輸送を同時に計算するonline計算と比べて数十倍の速さで計算可能であるという、緊急利用に対する大きな利点がある。本研究では、offlineモデルの適用性、物理環境の異なる海域ごとの分散範囲や輸送特性の季節変化、およびそれらのメカニズムを数値的に

検討・評価することを目的とする。tracerの仮想放出源としては、半閉鎖性海域である瀬戸内海西部の伊予灘に面する四国電力・伊方原子力発電所、黒潮の影響を強く受ける開放性海岸である太平洋沿岸遠州灘に面した中部電力・浜岡原子力発電所の2ヶ所を取り上げる。両原発における不慮の事故は、広島、神戸、大阪、東京などの大都市圏に多大な影響を及ぼす可能性があり<sup>2)</sup>、早急な事前アセスメントが望まれている。

## 2. モデルの概要

本研究では、JCOPE2海洋再解析データ<sup>4)</sup>（水平解像度約10 km）を最外側境界条件および初期条件とした、領域海洋循環モデルROMSをベースとする1-way offline 2段ネスティング海洋モデル出力<sup>5,7)</sup>を流動データとして用いる。対象海域の流動の再現性が良好であることは既に確認されている<sup>5,7)</sup>。瀬戸内海全域流動モデル<sup>5,6)</sup>では水平解像度2 kmのROMS-L1から同600 mのROMS-L2へ（図-1, 表-1），遠州灘沿岸域流動モデル<sup>7)</sup>ではROMS-L1（水平解像度3 km）からL2（同1 km）へとダウンスケーリングを行い（図-2, 表-2），それぞれROMS-L2領域を

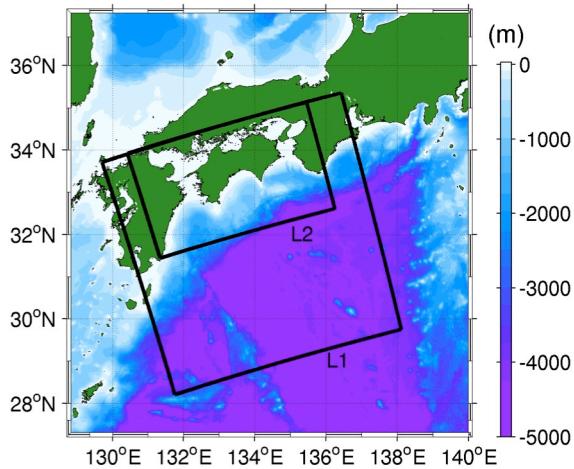


図-1 2段ネスト瀬戸内海全域モデル計算領域. 黒枠 : L1・L2領域, カラー : 水深 (m) .

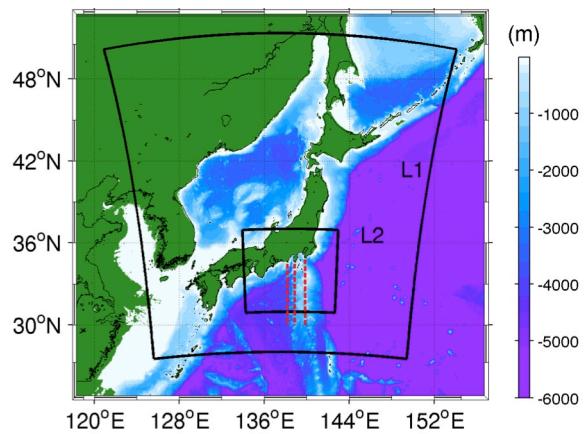


図-2 2段ネスト遠州灘沿岸モデル計算領域. 黒枠 : L1・L2領域, カラー : 水深 (m) . 赤点線 : 図-10で用いる検査線を示す.

対象に解析を行う. 解析期間は各季節に対応させた2013年2, 5, 8, 11月の各月1日0時UTCから31日間とし, 汚染物質を模したtracerの放出については, 福島第一原発事故の海洋への直接漏洩<sup>2)</sup>を簡略化したシナリオを試行的に与える. すなわち, 兩発電所位置に相当するグリッドにおいて, 各月頭から11日間にわたって一定流出フラックス $2.2 \times 10^{14}$  Bq/day (総量2.42 PBq) を鉛直一様に与え, それ以降は漏洩量ゼロとし, 31日間のtracer分散を解析する. なお, offline計算ではROMS-L2領域に対する流動場の再解析値の一時間 (瀬戸内海モデル) あるいは一日 (遠州灘モデル) 平均出力をofflineモデルの各タイムステップで時間的に線形内挿して与える.

offlineモデルの精度検証結果の一例として, 瀬戸内海におけるonline計算 (流動・tracerの同時計算) による2月 (冬) および5月 (春) の表層濃度 (各月放流開始後31日目の日平均値) を図-3に示す. 対応するoffline計算結果は図-5 (3章) に示されている. offline, online計算はともに沿岸方向, 特に5月はNE方向 (北東に向かう方

表-1 瀬戸内海全域ROMS-L2モデルの計算条件

計算期間	2012年1月1日～2014年1月31日
格子数	$800 \times 480 \times$ 鉛直32層, $\Delta x = 600$ m
海上風応力	JMA GPV-MSM (1時間値)
海面フラックス	COAMPS型バルク式 <sup>6)</sup>
潮汐	TPXO7 (主要10分潮)
一級河川流量	雨量・流量年表DB (月平均気候値)

表-2 遠州灘沿岸ROMS-L2モデルの計算条件

計算期間	2012年1月1日～2014年2月14日
格子数	$800 \times 672 \times$ 鉛直40層, $\Delta x = 1$ km
海上風応力	JMA GPV-MSM (1時間値)
海面フラックス	COADS (NOAA, 月平均気候値)

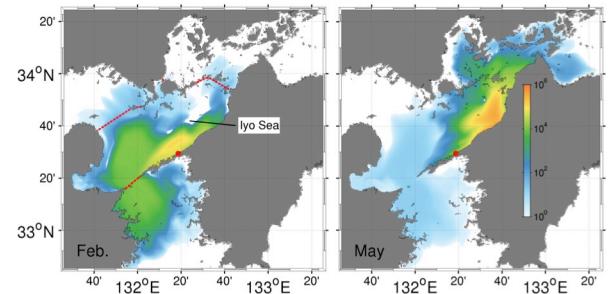


図-3 onlineモデルによる, 左 : 2013年2月 (冬) , 右 : 5月 (春) における漏洩開始後31日の表層tracer濃度の日平均値. 赤丸 : 放出源 (伊方発電所) 位置. 赤点線 : 伊予灘の領域を示す.

向, 海洋流動とtracer輸送の方向については以下同様に表記する) が卓越し, 2月はSW方向へのtracer輸送が生じている. これらの分散パターンはonline, offlineモデルで一致しており, 高濃度領域だけでなく, 低濃度領域の再現性も良好であることから, offlineモデルはonlineモデルと同程度の精度で評価できることが確認される. これらの結果などから, offlineモデルを用いたtracer輸送の評価は十分信頼できるものであると判断されたため, 以下の解析はすべてoffline計算の結果を用いて行う.

### 3. 瀬戸内海伊予灘近海におけるtracer分散特性

瀬戸内海全域の平均流動は, 年間を通じて豊後水道から紀伊水道方向の時計回り環流が卓越し, 秋季・冬季に増大, 春季・夏季に減少するように季節変動していることが明らかになっている<sup>8)</sup>. 一方, 瀬戸内海西部伊予灘における海上風は, 秋季・冬季では強い北寄りの風 (風向については吹いてくる方向, 以下同様) が, 春季・夏季ではそれぞれ弱い南寄りの風が卓越している (図-4) . つまり, 季節変動する時計回り環流と風に伴う吹送流の2つのメカニズムは, 本海域における季節的なtracerの輸送・分散傾向に影響を与えていていることが予想される.

offlineモデルによる2月 (冬), 5月 (春), 8月 (夏) ,

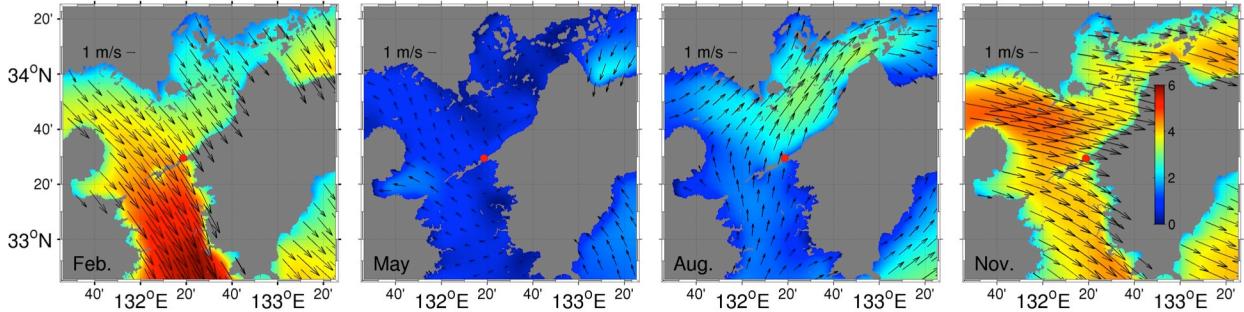


図-4 GPV-MSMによる瀬戸内海西部における海上風ベクトル（海面上10 m）の月平均値。カラー：海上風速絶対値（m/s），赤丸：伊方発電所の位置。左から2月（冬），5月（春），8月（夏），11月（秋）を表す。

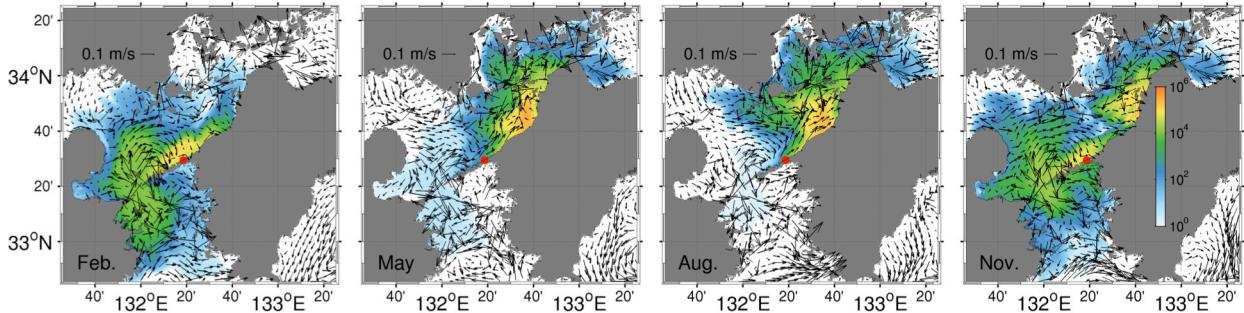


図-5 図-4と同じ。ただし、カラー：海洋表層における各月31日後の日平均tracer濃度（ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ），ベクトル：各月の月平均表層流速を表している。ベクトルの視認性向上のため、流速0.2 m/s以上は一律0.2 m/sに置き換えている。

11月（秋）における各月の計算開始から1ヶ月（31日目）における日平均表層tracer濃度と、各月の月平均表層流速を図-5に示す。伊予灘における1ヶ月間のtracer輸送は、各月ともに分散距離は放出源を中心に高々70 km程度に留まっているものの、そのパターンには明確な季節差が見られる。大別すると、春夏はNE方向、秋冬はSW方向へのtracer輸送が卓越するが、これは秋冬に強化される時計回り（NE方向）環流<sup>8)</sup>の傾向とは反対である。秋冬に卓越するSW方向輸送の原因是、この期間に強化される北寄りの風（図-4）に伴うSW方向へのエクマン輸送である。ただし、秋冬では卓越風向は若干異なっており、秋は西北西風、冬は北西風によって特徴付けられる。これに伴い、秋（11月）における松山沖（伊方よりNE方向に約30 km地点）の表層流にはNE、SW方向への分岐流が発生しており、濃度分布にも同様の分岐が見られるが、冬（2月）にはNE方向への輸送は低減している。そこで、本海域における風応力カール（curl  $\tau_s$ ,  $\tau_s$ ：風応力ベクトル [Pa]）の月平均値を求めたところ、明確な分岐流が生じる11月では松山沖でのカール符号に変化が見られた（図-6）。正（負）のカールがエクマン境界層内の海水流動に対して半反時計回り（時計回り）トルクを惹起するので、11月の濃度分岐をもたらすような表層分岐流の原因是、風応力およびそのカールの空間分布に伴うものであると考えられる。

秋冬とは異なり、時計回りの環流が弱化する春夏ではtracerは主にNE方向に輸送されている（図-4）。春夏は環流、吹送流の両者の寄与が相対的に小さいことから、

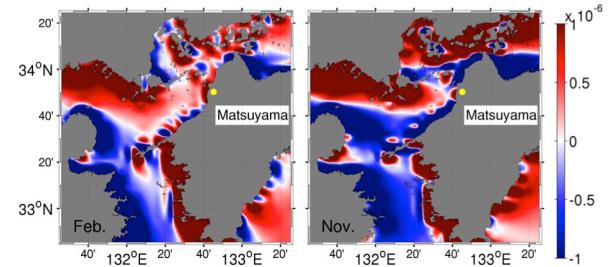


図-6 2月（左），11月（右）の瀬戸内海西部海域における風応力カールの月平均値の分布（単位： $\text{N}/\text{m}^3$ ）。黄色丸：愛媛県松山の位置を示す。

別のメカニズムの存在が予想される。そこで、各月における水深20 mでの水温を比較すると（図-7），春夏（5月，8月）に伊予灘東部に周囲より水温が低い冷水部が存在することが分かる。反対に、SW方向のtracer輸送が卓越する秋冬では、むしろ周囲より水温の高い水塊が豊予海峡から伊予灘西部にかけて発達しており、それに伴いSW輸送を促進するような時計回りの渦が形成されている。このとき、図-7の赤線で示す検査断面における春秋における水温の鉛直分布構造を見ると（図-8左），いずれの月も伊方寄りの沿岸域において海底から表層付近にかけて釣鐘状の冷水塊が存在していることがわかる。この構造は、伊予灘や播磨灘において冬季に発達し、春季・夏季まで維持される底部冷水<sup>9)</sup>（cold dome）に対応する。底部冷水に伴う高密度水塊による圧力勾配とバランスするように低温域を中心とした反時計回りの地衡流が形成されており（図-8右），その影響は海表面近傍で大きくなっている。すなわち、この地衡流のうち、伊方

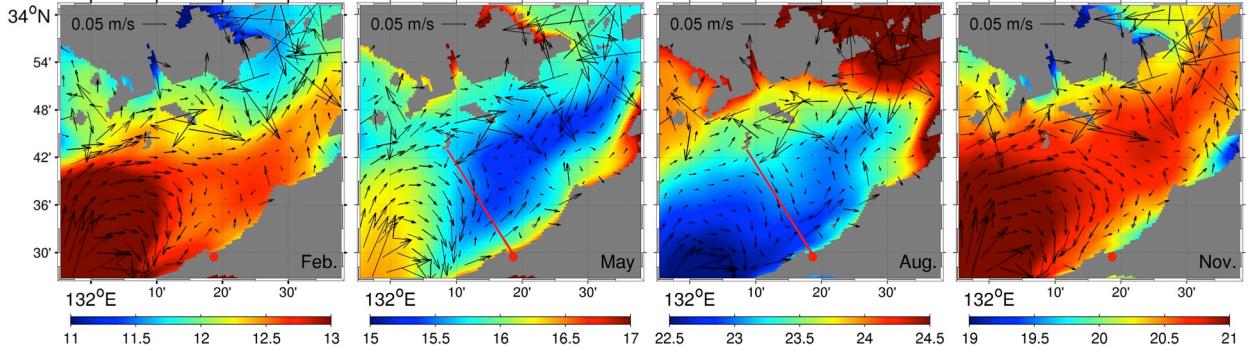


図-7 図-4と同じ。ただし、伊方発電所（赤丸）周辺の拡大図。カラー：水温（°C）、ベクトル：流速（m/s）であり、いずれも水深20mでの月平均値を表している。赤実線：図-8に用いる伊方沖検査断面を表す。

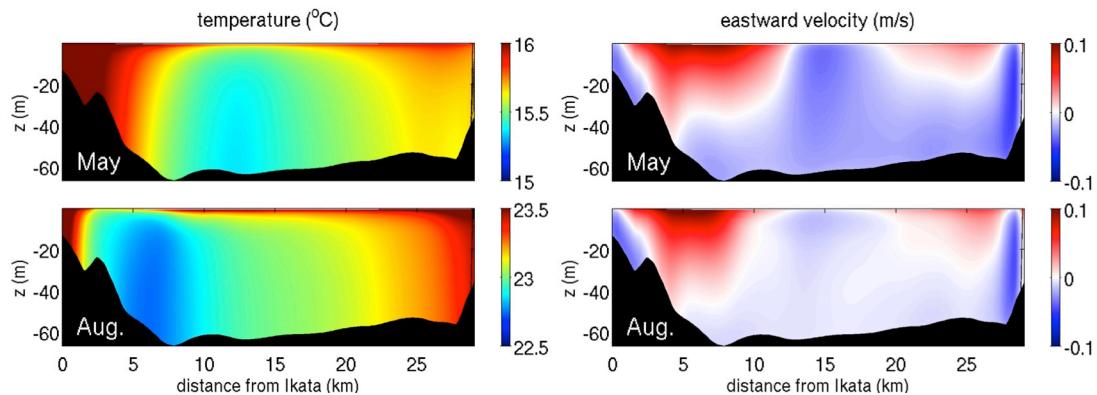


図-8 図-3左に示す検査断面内の水温分布（左）および流速分布（右）。いずれも上段：5月（春）、下段：8月（夏）における月平均値、流速は断面直交方向成分であり、E方向を正と定義している。横軸は伊方からの沖方向距離。

沿岸の沖合10~15 kmの範囲に発達するE方向流速によってtracerはNE方向に輸送されたものと考察される。

#### 4. 遠州灘沿岸域におけるtracer分散特性

##### (1) 表層濃度・流動の季節変動

図-9に、開放性海岸である太平洋岸の遠州灘・御前崎近傍に位置する浜岡発電所をソースとするtracer輸送パターン（31日目の表層日平均値）および月平均表層流速分布を各月について示す。瀬戸内海伊方モデル（3章）と同時期に対する計算結果であるが、その分散パターンは伊方のケースとは大きく異なり、黒潮流動の影響を強く受けていることが分かる。本海域では、東進する黒潮（33~35°Nの範囲で周囲よりも流速の大きな領域）は紀伊半島先端を通過したのち、北上・南下しながら遠州灘、伊豆海嶺、房総半島を経て犬吠埼沖へと至る。遠州灘の黒潮流路近傍ではtracerが黒潮に連行され、流下方向（EからENE方向）に300 km以上輸送される一方で、紀伊半島から伊豆半島、房総半島にかけての沿岸域（黒潮流路の北側）では反時計回りの渦（ここでは黒潮反流と呼称）の影響によって西方向への輸送が生じている。この黒潮反流の下流方向への輸送は、東進する黒潮の移流効果のため、紀伊半島先端の潮岬よりも西側へは拡大しない。黒潮反流によって西方へ輸送されたtracerの大部分はそ

のまま反時計回りに沖へと分散し、黒潮にトラップされて東方向に輸送されるという傾向が共通して見られる。一方で、季節間の分散特性の差異は顕著であり、表層tracerは冬春（2月、5月）には比較的沿岸に張り付いているのに対し、夏秋（8月、11月）では伊豆海嶺付近で蛇行する黒潮流路に対応して大きく南下している。この南北方向への分散距離の季節差は、黒潮反流に伴う渦のサイズや数に依存しているようである。また、春夏（5月、8月）は遠州灘沿岸に接岸して西進するtracerが多く、一部は三河湾、伊勢湾へと流入していることが確認できる。浜岡発電所のすぐ北東に広がる駿河湾へのtracer流入はいずれの季節においても明確に生じている一方で、相模湾への流入や東京湾口域への接近は夏秋に顕著になる。なお、東京湾内へのtracer流入については、本モデルの結果からは全ての季節において観認できない。

黒潮流路の季節変動特性を定量的に評価するために、御前崎（浜岡発電所近傍）、石廊崎（伊豆半島先端）、野島崎（房総半島先端）から黒潮流軸までの南方向距離の時系列を求めた（図-10）。ただし、黒潮流軸位置は、黒潮の主流部が位置する水深50 mにおいて流速が最大値となる場所と定義している。2013年の黒潮流路は、全体的には1月初頭から6月上旬までの前半では接岸傾向であったものが、それ以降の後半では徐々に離岸・蛇行状態へと遷移していたことが分かる。また、潮岬通過直後

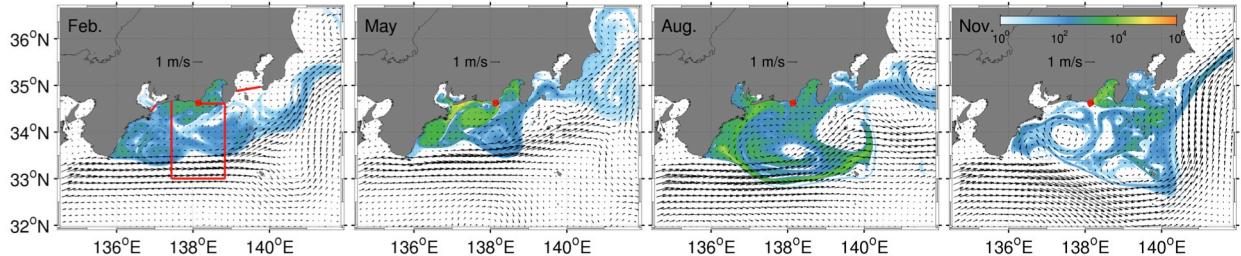


図-9 遠州灘沖における各月31日後の日平均表層tracer濃度 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ , カラー), 月平均表層流速ベクトル. 赤丸: 浜岡発電所の位置, 左図内赤線: フラックス収支解析で用いる各検査断面. 左から2月(冬), 5月(春), 8月(夏), 11月(秋).

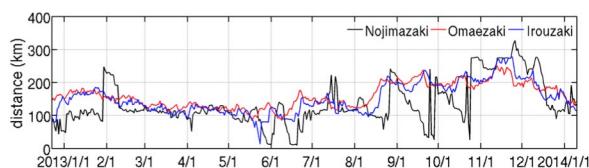


図-10 ROMS-L2による、黒: 野島崎(房総半島先端), 赤: 御前崎(浜岡近傍), 青: 石廊崎(伊豆半島先端)から黒潮流軸までの距離の時系列(2013年).

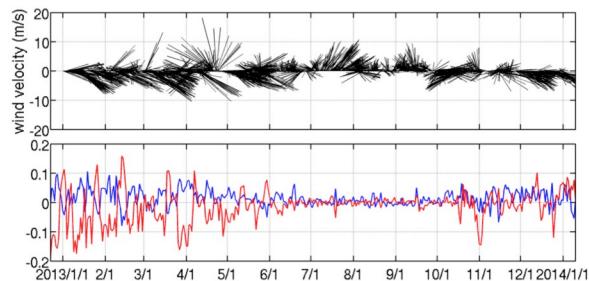


図-11 2013年における浜岡発電所から南方に10 km地点での4時間毎のGPV-MSM海上風(上)およびROMS-L2による日平均海洋表層流速(下). 青線:E方向成分, 赤線:N方向成分(単位:m/s).

の御前崎, 石廊崎沖における流軸距離は比較的安定しているのに対し, より下流の野島崎沖では間欠的に大きく変化している. この流軸距離の時間変化に対応して, 黒潮は冬春(2月, 5月)には相対的に接岸傾向かつ安定流路, 夏秋(8月, 11月)では離岸・蛇行傾向となっていることが理解される(図-9). なお, 黒潮以外の主要な外力である海上風の時系列を見ると, 年間を通じて海洋表層流速との間に明確な相関は確認できない(図-11). したがって, tracer輸送や表層流の形成に対する海上風の直接影響は限定的であり, 特にtracer輸送に対しては黒潮流路変動の影響が支配的であると考えられる.

## (2) フラックス収支解析

次に, tracerの移流特性を定量的に評価するために, tracerフラックス収支解析を行う. 図-9左の赤線で示すように, まず, 静岡県豊橋市( $137.44^\circ\text{E}$ )および石廊崎( $138.84^\circ\text{E}$ )から真南向きに2本, それらを閉じるように $33.0^\circ\text{N}$ に沿った東西方向に1本の計3本の検査線により,

表-3 各検査断面での通過tracerフラックス累積値 (TBq, 最下段除く), ND: 0.01TBq未満, monthly: 各月31日後の値, max, mean: 期間最大値と平均値.

Transect	flux	Feb.	May	Aug.	Nov.
West 137.44°E	monthly	768	1263	1214	54.6
	max	908	1310	1820	63.9
	mean	264	312	717	10.7
East 138.84°E	monthly	313	39.3	411	734
	max	313	39.3	411	755
	mean	31.4	9.21	28.6	184
South 33.0°N	monthly	ND	ND	445	662
	max	ND	ND	640	662
	mean	ND	ND	48.4	191
Suruga Bay	monthly	372	222	57.0	1291
	max	1258	2029	108	1831
	mean	367	666	27.3	1159
Ise/ Mikawa	monthly	0.15	43.9	56.4	ND
	max	0.15	43.9	56.4	ND
	mean	0.02	5.45	14.0	ND
Sagami/ Tokyo	monthly	0.02	4.41	4.38	13.4
	max	0.02	4.41	4.38	13.7
	mean	ND	0.24	0.68	3.01
residual	monthly	1339	1118	350	969
in the box	rate (%)	55.3%	46.2%	14.5%	40.0%

浜岡発電所を内包する検査領域(浜岡ボックスと呼称)を定義する. さらに, 内湾域へのtracer流入量を評価するために, 伊勢・三河湾, 駿河湾, 相模・東京湾の各湾口に検査線を3本設定する. ここでは, 水平流速およびtracer濃度の日平均値から各日の検査線断面直交方向の通過tracerフラックス(日平均値)を求め, それらを断面積分し, 任意の時刻まで時間積分した累積値を用いて評価する(表-3). なお, 西・東・南断面では浜岡ボックスからの流出を正, 湾口断面では内湾方向への流入を正と定義する. まず, 31日後の西・東・南断面での累積値を見ると, 黒潮流軸が安定的に岸寄りに位置していた冬春(2, 5月)および伊勢湾への流入が顕著となる夏(8月)では西方向輸送が卓越し, 黒潮流下方向である東方向輸送量はその1/2~1/3程度であること, さらに春(5月)はボックス内での反時計回り黒潮反流が強化されて東方向輸送量が他の季節より一桁小さくなること, 黒潮流路

が蛇行する夏秋（8, 11月）は南方向への輸送が著しく大きくなることなど、図-9に見られた傾向が定量的に評価されている。西・東・南各断面における31日目累積値と期間内最大値は概ね同程度であるが、これは主に通過ボックス累積値が1ヶ月にわたって徐々に増加していたことを表している。

一方、湾口断面での通過量を見ると、3断面の中では放流源直近の駿河湾への輸送が圧倒的に大きく、11月には総漏洩量2.42 PBqの半分に匹敵する1.29 PBqもの累積流入が生じたことが分かる。この駿河湾口断面での期間内最大値は31日後累積値の2~9倍程度に達しているが、これは他の検査断面には明瞭に見られない特徴である。この傾向は、駿河湾内には大量のtracerが一旦流入するものの、湾口での活発な海水交換に伴って時間経過とともに湾内のtracerが外洋へ再流出し、濃度が減少することを反映したものである。海水交換促進の原因としては、黒潮反流、中規模渦、サブメソスケール渦等（注：遠州灘モデルでは潮汐は考慮していない）による短周期流動変化に伴う水塊混合が考えられる。他方、伊勢湾への流入量は西方向輸送が特に顕著な5、8月に大きく、44~56 TBqに達するのに対し、相模湾への流入量は相対的に小さく、最大値を取る11月でも14 TBq程度であり、これらの値は総漏洩量2.42 PBqの約0.6~2.3%に相当する。

**表-3**最下部には浜岡ボックスへの残留量（31日後の累積値）および総漏洩量に対する割合を示している。伊予灘のケースよりも広範囲へのtracer分散が生じているにも関わらず、8月を除いて1ヶ月経過後も40~55%のtracerが放出源直近海域に滞留していることが分かる。8月はボックス領域を構成する駿河湾の残留率が他の季節と比較して著しく小さく、また西・南・東断面からも満遍なく流出が生じた結果、ボックスへのtracer残留量が14.5%にまで大きく低下したものと考察される。

## 5. おわりに

本研究では、沿岸域に敷設された原子力発電所や下水処理場などに万が一の不測の事態が起こり、偶発的に汚染物質（tracer）の海洋漏洩が生じたときに、迅速かつ正確にその分散パターンを予測・推定するシステムのプロトタイプを構築した。テストケースとして瀬戸内海伊予灘沿岸の伊方原発、太平洋・遠州灘沿岸の浜岡原発を仮想放出源として取り上げ、2013年の1年間にわたるtracerの移流分散再解析を行い、それぞれの季節変動特性について検討した。前者は閉鎖性が強く、潮汐流が卓越する内湾域に、後者は海流（黒潮）の影響が支配的な外洋域に立地しており、異なる海洋環境下にある2つのケースを比較する形で解析を実施した。瀬戸内海ではtracerの分散速度は70 [km/月] 以下程度と緩慢であり、秋冬は季節的な時計回り環流の強化<sup>8)</sup>を上回る海上風によるエクマン輸送、春夏は伊予灘に形成される底部冷水<sup>9)</sup>

に伴う反時計回り地衡流がtracer分散を支配していた。遠州灘沿岸では各月の分散距離は瀬戸内海の場合の4倍以上にも及び、東進する黒潮の影響を強く受けるため、東方向への分散距離が長くなる傾向にあった。同時に、黒潮流路変動とその結果引き起こされる黒潮反流の動態変化に大きく依存することが示された。黒潮流軸が接岸傾向にある冬春は、tracerは反時計回りの黒潮反流によって西方向へ輸送されたのち、沖合の黒潮本流にトラップされて東方向へ輸送される。一方で、黒潮流路が蛇行する夏秋には沿岸域に形成された渦によって南方向に輸送されたあと、東方向に輸送されることが示された。

**謝辞：**本研究の遂行にあたり、升本順夫（東大）、郭新宇（愛媛大）、津旨大輔・坪野考樹・三角和弘（電研）、宮澤泰正・池田元美（JAMSTEC）の各氏を始めとする住友財団プロジェクトメンバーとの議論は極めて有用であった。本研究は科研費25110508, 24560622, 15H04049, 15H00977, 港湾空港総合技術センター研究開発助成（いずれも代表：内山雄介）および住友財団環境研究助成（代表：升本順夫）の援助を受けた。ここに記し、深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) Uchiyama, Y., Idica, E., McWilliams, J.C. and Stolzenbach, K.D.: Wastewater effluent dispersal in Southern California Bays, *Cont. Shelf Res.*, No. 76, pp. 36-52, 2014.
- 2) 内山雄介、石井倫生、津旨大輔、宮澤泰正：福島第一原子力発電所を放出源とする放射性セシウム137の沿岸域での分散特性、土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.68, No. 2, pp. I\_931-I\_935, 2012.
- 3) Idica, E. Y.: Contaminant Transport in the Southern California Bight, Ph.D. Dissertation, UCLA, 154 p., 2010.
- 4) Miyazawa, Y. and coauthors: 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.
- 5) 内山雄介、栗山貴生、宮崎泰正：外洋影響を考慮した瀬戸内海周辺海域の流動再現と黒潮流路変動の効果について、土木学会論文集B2（海岸工学），No. 68, Vol. 2, pp. I\_441-I\_445, 2012.
- 6) 内山雄介、西井達也：瀬戸内海周辺海域を対象とした台風通過時の広域海洋熱収支解析、土木学会論文集B3（海洋開発），Vol. 71, No. 2, pp. I\_383-I\_388, 2015.
- 7) 内山雄介、神吉亮佑、高野祥子、山崎秀勝、宮澤泰正：海面高度計およびArgoデータに基づく3次元密度推定値を同化させた海洋流動モデルの再現精度について、土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.71, No.2, pp. I\_365-I\_370, 2015.
- 8) 小畠大地、内山雄介、御手洗哲司：黒潮流路変動が瀬戸内海全域の幼稚仔分散過程に及ぼす影響、土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.71, No.2, pp. I\_1231-I\_1236, 2015.
- 9) Chang, P.-H., Guo, X., and Takeoka, H.: A numerical study on the seasonal circulation in the Seto Inland Sea, Japan. *J. Oceanogr.*, Vol. 65, pp. 721-736, 2009.

（2015.9.30受付）