

東シナ海におけるペルフルオロ化合物 (PFCs) 分布及び起源推定

山尾 理^{*1}, 清水潤子^{*2}, 郭新 宇^{*3}, 田中周平^{*4}, クナチワチナガーン^{*4}, 藤井滋穂^{*4}

Distribution and Origin estimate of Perfluoro compounds (PFCs) in East China Sea

Satoshi YAMAOKA^{*1}, Junko SHIMIZU^{*2}, Xinyu GUO^{*3}, Shuhei TANAKA^{*4},
Kunacheva Chinagarn^{*4}, Shigeo FUJII^{*4}

Abstract

PFCs distribution in water and sediment as well as water mass structures were observed at the stations in the East China Sea and its adjacent continental shelf edge in December 2008. In surface water, the concentration of PFHxA, PFHpA, PFOA and PFOS were relatively higher in the southern area, while PFNA concentration was higher in the northern area. In sediment samples, three types of PFCs distribution were obtained: PFOS and PFHpA showed higher concentration in Kuroshio upstream area; peak concentration of PFNA and PFUnA were observed in Okinawa Trough; PFHxA and PFOA showed relatively high concentration in shallower side of the continental shelf edge. Based on the distributions of PFCs, sources of particulate PFCs inside the Kuroshio water were estimated. Particulate PFHpA and PFOS were loaded to the Kuroshio water mass from more upstream of Kuroshio Current than the study area suspended PFNA was from the East China Sea continental shelf, according to the particle transportation excess the continental shelf edge particulate PFHxA and PFOA were from both the upstream of Kuroshio Current and the continental shelf. Using PFHxA, PFHpA, PFOA and PFOS as tracers, the origin of suspended solid contained inside the Kuroshio water was examined with a mixing model. The result suggested that almost all of suspended solid loaded from upstream of the Kuroshio Current disappeared from the water column in the middle reach of the Kuroshio in the East China Sea while all of suspended solid found in the Tokara Strait were originated from the East China Sea continental shelf.

Key words : PFCs distribution, East China Sea, Kuroshio, origin of PFCs, origin of suspended solid

1 序論

環境汚染物質が長距離輸送され、国境を越えて汚染が広がる現象は越境汚染と呼ばれ、酸性雨など大気を経由して伝播する越境汚染が環境問題と

なって久しい。環境汚染物質は海洋を通じても越境輸送される。近年、日本の沿岸、特に東シナ海及び日本海の沿岸には、大量のゴミ、流木が漂着し社会問題となっており、漂着するゴミ、流木に

*1 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

*2 海洋汚染調査室 Marine Pollution Research Laboratory

*3 愛媛大学沿岸環境科学研究センター Ehime University CMES

*4 京都大学大学院地球環境学堂 Graduate School of Global Environmental Studies Kyoto University

は中国等近隣諸国から流出したのも含まれることが明らかになっている（東シナ海海ゴミプロジェクト HP）。また、日本海沿岸で大量に出現し、深刻な漁業被害につながっている大型のエチゼンクラゲ（Kawahara et al., 2006）は長江河口域周辺海域および黄海の沿岸海域で発生し、東シナ海北部を經由して日本沿岸へ到達する可能性が西内・種子田, 2005 によって示唆されている。

残留性有機汚染物質（POPs）は環境残留性や生物濃縮性が高く、環境中を長距離輸送される。この性質から、POPs が海洋を通じて越境汚染している可能性は高いと考えられる。特に東アジア諸国では急激な経済成長に伴って有害物質に起因する環境問題が顕在化しており（徐・他, 2001）、黒潮上流に位置するこれらの国から日本への越境汚染の蓋然性が高まっている。

この状況を受けて、低濃度 POPs 分析手法を開発し、沖合海域における POPs 分布及び挙動を把握するため、地球環境保全等試験研究費による「沖合海域における POPs の汚染実態解明に関する研究」を平成 20 年度より、海上保安庁、愛媛大学、京都大学の共同研究として実施している。調査の全体概要については本報別稿（清水・他, 2010）をご参照いただきたい。

ほとんどの POPs は沖合海域で非常に低濃度であり、その検出には 2000 L 程度の海水を船上にて処理する必要がある（Shimizu et al., 2009）。そのため、沖合海域における POPs 分布を解明するには非常に大規模な調査体制が必要となる。一方、ペルフルオロ化合物（以下 PFCs と呼ぶ）は他の POPs よりも少量の海水サンプル（4 L 程度）で沖合海域における濃度検出が可能であり、濃度分布、時間変化を把握することが比較的容易である。

PFCs のうちの 1 物質であるペルフルオロスルホン酸（PFOS）が、2009 年 5 月に開催された残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（POPs 条約）第 4 回締約国会合（COP 4）において、付属書 B 物質（一部用途を除いて製造・使用が禁止される物質）に追加されるなど、PFCs

の毒性、難分解性、生物蓄積性及び長距離移動性に注目が集まっている。しかし沖合海域における PFCs 濃度分布に関する研究事例は未だ少なく、日本周辺海域では内湾域及び南西諸島周辺におけるフッ素系 POPs 候補物質（PFOS, ペルフルオロアルカン酸：PFOA）等の濃度が報告されているのみである（Yamashita et al., 2005）。

そこで本研究では、東シナ海及びその周辺海域を対象に、POPs 分布を把握する前段として PFCs の分布調査を行い、黒潮水に負荷される PFCs の起源を推定した。また、PFCs が環境中において難分解であるという性質を利用し、懸濁態 PFCs をトレーサーとして黒潮に負荷される懸濁物の起源推定を試みた。

2 方法

(1) 試料採取

東シナ海及び陸棚縁辺部に設定した測点（Fig.1）において、2008 年 12 月 10 日～19 日に、海上保安庁海洋情報部所属の測量船「拓洋」（2,400 トン）により試料を採取した。

①各層採水及び CTD 観測

Fig.1 に示す 10 点において表層、50 m, (100 m, 500 m, 1000 m: 水深による)、底上の各層の採水をした。表層水採取にはポリバケツを用いた。表層以外の採水には離合社製ニスキン X 採水器（ポリ塩化ビニル製筒, ポリプロピレン製コック, 外バネ開閉方式）を用いた。採取した海水は、ポリエチレンバック, PET ボトル容器に一時保管後、船内の実験室において GF/B ろ紙（ADVANTEC 製, 孔径 1 μm ）でろ過し、コンセントレーター（Waters 製）を用いて試料 4 L を固相カートリッジ Presep-C Agri（和光純薬製, 220 mg）及び Oasis HLB（Waters 社製）に通水濃縮した。ろ紙, カートリッジは分析まで冷凍保管した。

また各観測点における水温塩分の鉛直分布を、メモリ式 CTD（SBE 製 SEACAT Profiler SBE-19）を用いて測定した。

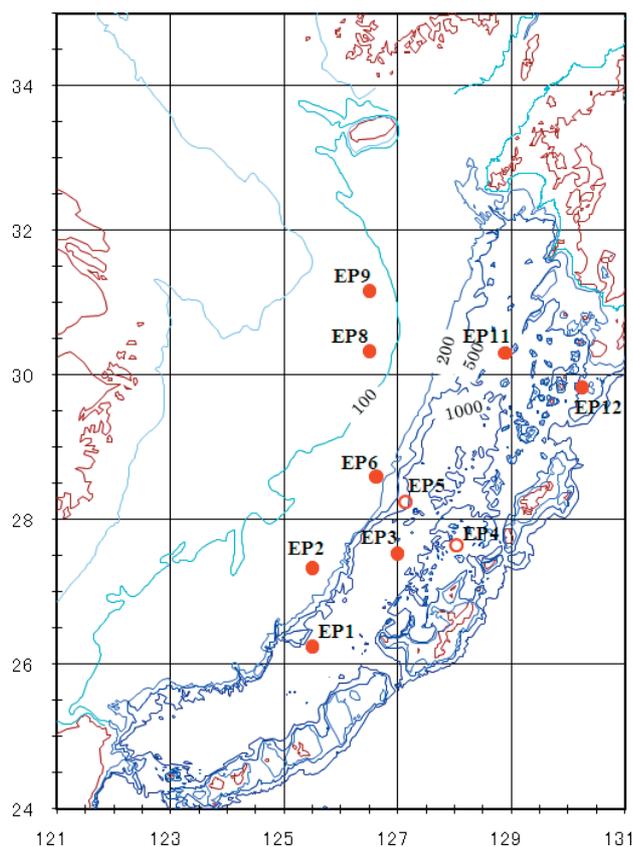


Figure 1 Location of the observational station and bottom topography. Red circle shows the water sampling station and filled circle means the sediment sampling station.

②表層採泥

Fig. 1 に示す 8 点においてスミスマッキンタイヤ型採泥器で堆積物サンプルを採取した。採取された堆積物サンプルの表面 0-2 cm を分取し、褐色ガラス瓶またはポリエチレンバックに採取

し、分析まで冷凍保管した。

(2) 試料分析

PFOA, PFOS 等 PFCs を懸濁態と溶存態の別に分析した。

105℃ で 2 時間乾燥し、デシケーターで放冷した GF/B ろ紙を、電子天秤で秤量しろ紙上に捕捉された SS を算出した。溶存態 PFCs については、4 L の海水を処理し、1 mL に濃縮したのち測定を実施した。懸濁態及び堆積物中の PFCs については、高速溶媒抽出法による抽出液を 1 L の超純水に溶解後、溶存態試料と同様に処理した。定量は HPLC-ESI-MS/MS 法とし、1200-SL (Agilent technologies 製), G 6410 A Triple Quad (Agilent technologies 製) を用いて定量した。定量した全ての PFCs について、ブランクの値、定量下限、検出下限を Table 1 に示す。

3 結果

(1) 水塊構造と観測位置との関係

海上保安庁海洋情報部では、

1. 実測された流速が概ね 2 ノットを越える海域、
2. 一般船舶や気象衛星の海面水温データから得られた表面水温水平分布図において等温線の幅が周辺より狭い海域、
3. 衛星海面高度計データで海面勾配が急変する海域、

Table 1 Blank, LOD and LOQ of PFCs detected in this study.

		PFBA(213)C4	PFPeA(263)C5	PFHxA(313)C6	PFHpA(363)C7	PFOA(413)C8	PFNA(463)C9
Liquid&SS (pg L ⁻¹)	Blank	ND	ND	ND	ND	13.250	ND
	LOD	16.345	2.061	0.878	1.133	1.190	0.629
	LOQ	54.485	6.871	2.926	3.777	3.966	2.096
Sediment (ng g ⁻¹)	Blank	ND	ND	ND	ND	0.053	ND
	LOD	6.538	0.825	0.351	0.453	0.476	0.252
	LOQ	21.794	2.748	1.170	1.511	1.587	0.838
		PFDA(513)C10	PFUnA(563)C11	PFDaDA(613)C12	PFBuS(299)C4	PFHS(399)C6	PFOS(499)C8
Liquid&SS (pg L ⁻¹)	Blank	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	LOD	1.417	8.245	8.358	4.124	1.060	1.595
	LOQ	4.724	27.485	27.859	13.746	3.532	5.317
Sediment (ng g ⁻¹)	Blank	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	LOD	0.567	3.298	3.343	1.650	0.424	0.638
	LOQ	1.890	10.994	11.143	5.498	1.413	2.127

Table 1 Distance to each observational station from Kuroshio axis. Shaded cells shows the stations on Kuroshio current.

station	EP-1	EP-2	EP-3	EP-4	EP-5	EP-6	EP-8	EP-9	EP-11	EP-12
distance from Kuroshio axis(km)	3.77	86.05	37.24	122.10	8.37	54.13	204.71	276.51	52.55	33.57

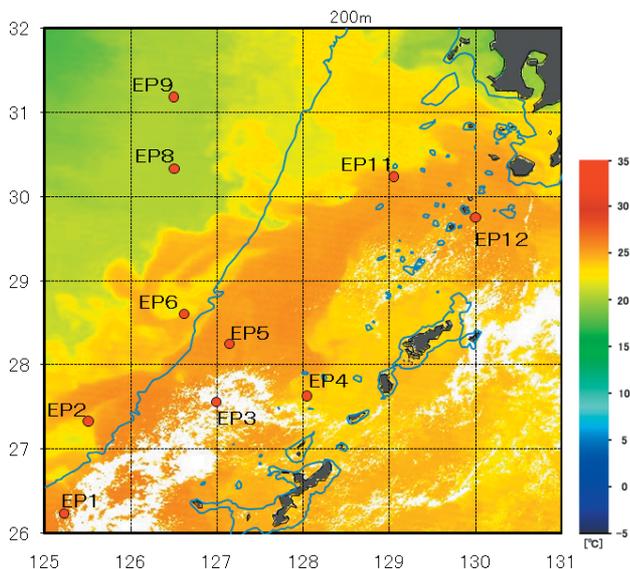


Figure 2 Observational station and satellite image of SST observed on 10 th December, 2008.

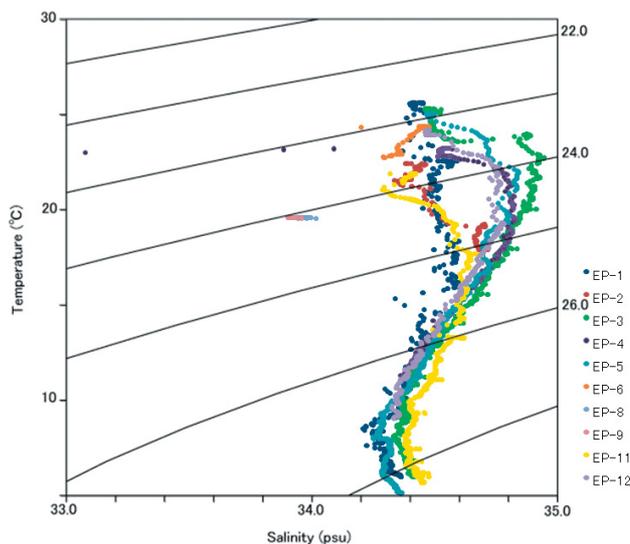


Figure 3 TS diagram of whole data derived from this study.

4. 海面下 200 m 層の水温水平分布図において、概ね 15~16°C の等値線が周辺より狭い海域、
 を総合的に勘案することにより、海洋速報における黒潮の北縁を決定し、その北縁から黒潮流軸までの距離を 13 海里と定義している (海洋速報 HP)。この流軸位置は、緯度毎の流軸通過経度情報として毎日海洋情報部ホームページにおいて公開されている。また、黒潮の幅は概ね 40 海里と定義されている。各測点の緯度経度を観測日の緯度毎の流軸通過経度情報と比較することで、各測点から黒潮までの距離を算出した (Table 2)。海洋速報における定義では、黒潮流軸から黒潮南縁までの距離は 27 海里 (約 50 km) であり、この定義にあてはめると、表中に網掛けで示した、EP-1, EP-3, EP-5, EP-12 が黒潮上の測点であったと考えられる。

また、観測を開始した 12 月 10 日に人工衛星 Terra に搭載された中分解能撮像分光放射計

(MODIS) によって得られた SST 画像と観測点位置を比較した (Fig. 2) ところ、EP-1, EP-3, EP-5, EP-12 は全て高水温帯に存在し、黒潮上の測点として妥当であったと考えられる。

観測された全ての測点における水温塩分の散布図を Fig. 3 に示す。

万田ら、2001 による黒潮前線周辺の水塊分類にあてはめると、EP-8, EP-9 の水塊は黒潮水と東シナ海陸棚水との混合水塊であり、この 2 測点以外の全ての点で観測された水塊は黒潮水であった。

(2) PFCs 分布

分析から得られた PFCs のうち、PFOS, PFOA, ペルフルオロノナン酸 (PFNA) の表層における分布を Fig. 4 に示す。PFOS, PFOA は南側の測点ほど高濃度であり、観測点のうち黒潮の最下流にあたる EP 12 の表層では PFOS は検出限界以下であった。一方、PFNA は北側の測点

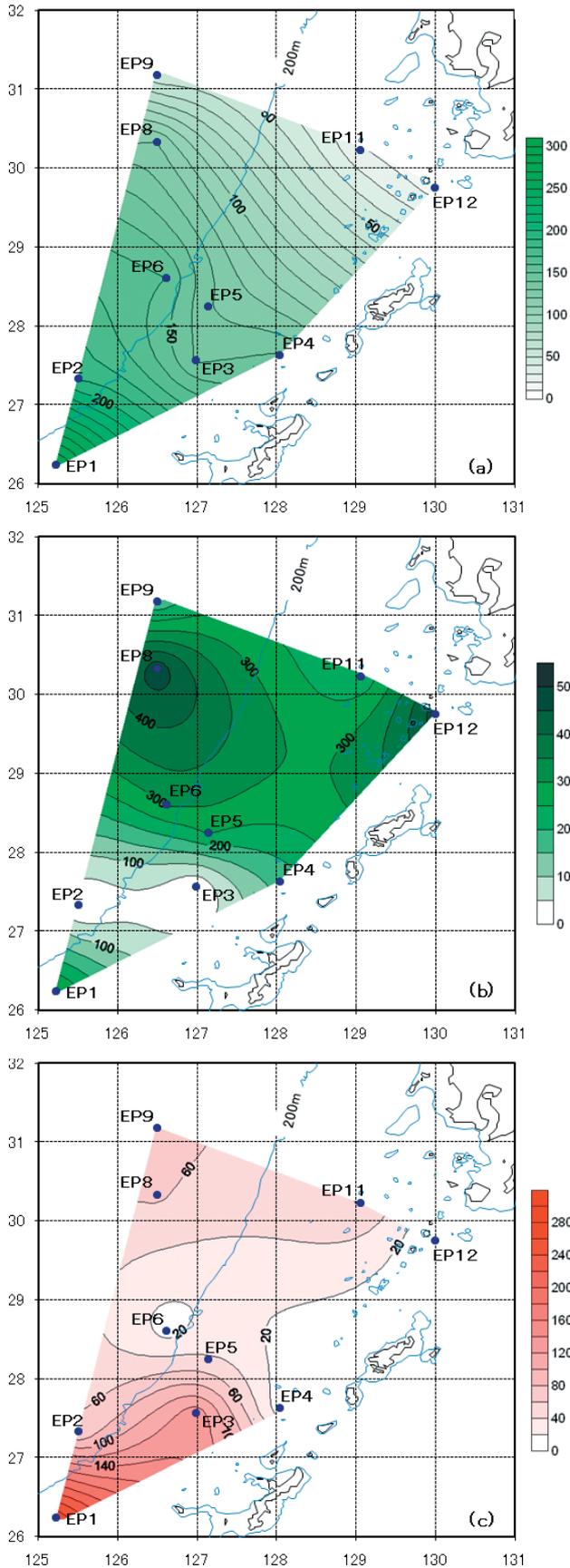


Figure 4 Horizontal distribution of PFCs in the surface layer of water column. (a)PFOA, (b)PFNA, (c)PFOS

ほど高濃度の傾向を示し、EP 2では定量限界以下であった。なお、分析を行ったPFCsのうち、ペルフルオロヘキサ酸 (PFHxA) 及びペルフルオロヘプタン酸 (PFHpA) はPFOS,PFOAと同様に南側の測点ほど高濃度の傾向を示した。PFBA,PFPA, ペルフルオロデカン酸 (PFDA), ペルフルオロウンデカン酸 (PFUnA) は全ての採水試料において定量限界以下の値しか得られなかった。

堆積物中のPFCs濃度分布をFig.5に示す。PFOS, PFHpAは表層水中における濃度分布と同じく堆積物中においても南側の測点ほど高濃度であった。PFNA及び水中では定量限界以下であったPFUnAはEP3を中心に沖縄トラフ内の堆積物中で検出された。しかし、PFOAが最高で1,012 ng g⁻¹, PFOSが最高で9,177 ng g⁻¹ 検出されたのに対し、PFNA,PFUnAの最高値はそれぞれ79 ng g⁻¹, 169 ng g⁻¹であり、比較的低濃度であった。PFHxA,PFOAは陸棚斜面付近の陸棚上 (EP2もしくはEP6) に濃度極大が存在し、極大におけるPFHxA濃度は376 ng g⁻¹, PFOA濃度は1012 ng g⁻¹であった。EP2, EP6以外の測点におけるPFHxA濃度は2~6 ng g⁻¹, PFOA濃度は35~101 ng g⁻¹といずれも極大値よりも1オーダー以上低い値であった。

(3) PFCsの溶存/懸濁比

黒潮上測点の各深度におけるPFCsの溶存態、懸濁態別濃度をFig.6に示す。PFOA, PFOSは黒潮上流のEP1, EP3で濃度が高く、黒潮下流の測点ほど濃度が低い。黒潮上の各測点、各層間で、溶存態PFOA,PFOSには、有意な差は見られなかったが、懸濁態のPFOA及びPFOSの濃度は黒潮下流の測点ほど低い。一方、EP1ではいずれの層においても懸濁態PFNAは検出されずPFNAは全て溶存態であったが、EP3からEP12までの3測点では全ての採水試料においてPFNAは懸濁態であり、懸濁態PFNAは黒潮下流の測点ほど高濃度であった。3物質とも、表層において下層よりも高濃度である測点は散見されるもの

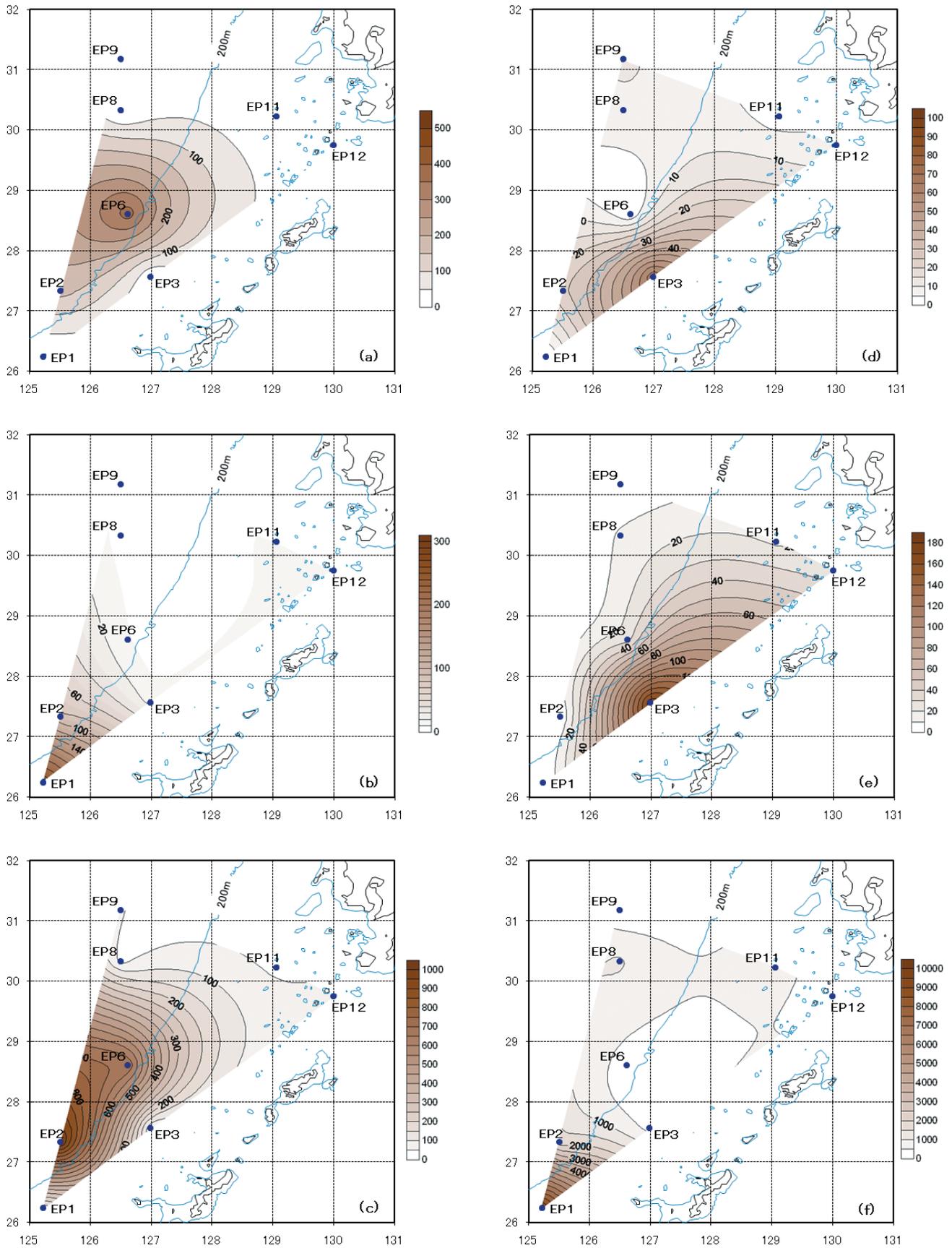


Figure 5 Horizontal distribution of PFCs in the surface layer of sediment. (a) PFHxA, (b) PFHpA, (c) PFOA, (d) PFNA, (e) PFUnA, (f) PFOS

Distribution and Origin estimate of Perfluoro compounds (PFCs) in East China Sea

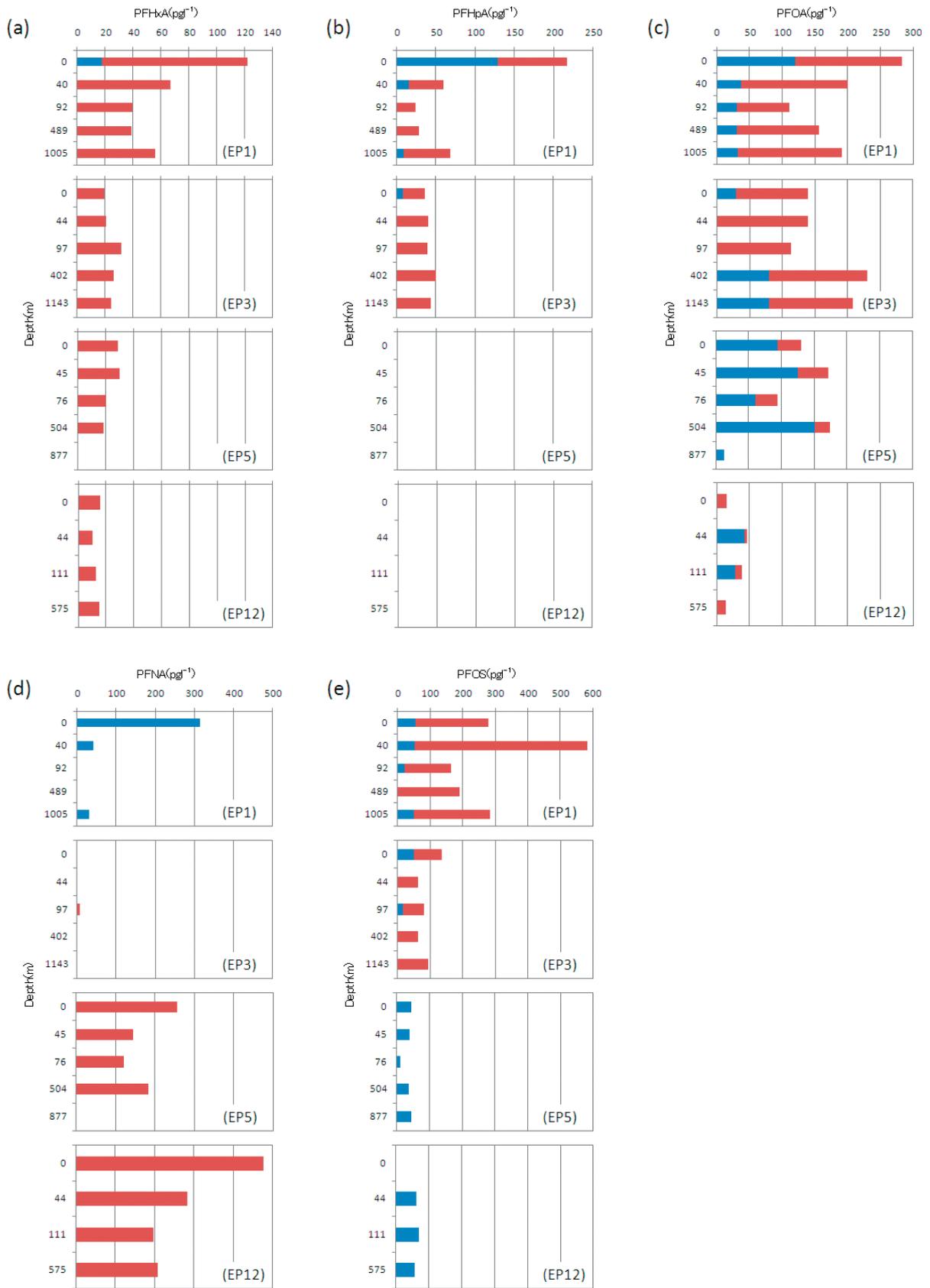


Figure 6 PFCs concentration in the water column at the station on Kuroshio. Blue column shows dissolved PFCs and red column shows particulate one. (a) PFHxA, (b) PFHpA, (c) PFOA, (d) PFNA, (f) PFOS

の、黒潮上の測点に共通した鉛直分布の傾向は見られなかった。

4 考察

(1) PFCs 起源推定

黒潮上の観測点ごとに鉛直平均したSS重量あたりの懸濁態PFCs濃度をFig.7に示す。鉛直平均値の算出にあたっては、測点別に、一旦深さ1mごとのSS重量あたりの懸濁態PFCs濃度を鉛直方向の線形補間によって求め、これらの値全てを用いて鉛直平均値を求めた。

懸濁態PFHpA及びPFOSは最上流のEP1で高濃度であり、黒潮下流の測点に向かうに連れて濃度が低下し、EP5、EP12では全ての採水サンプルにおいて検出されなかった。またこれら2物質は大陸棚上のEP8、EP9においても検出されなかった。つまり今回の観測結果から考える限り懸濁態PFHpA及びPFOSは全て観測範囲よりも黒潮上流において黒潮水に負荷され、陸棚上の水塊には存在しないことが明らかになった。

懸濁態PFHxA及びPFOAについて、EP1で高濃度であり、黒潮下流の測点に向かうに連れて濃度が低下するという傾向はPFHpA及びPFOSと同様であったが、今回設定した中では黒潮最下流の測点であるEP12においても低濃度ではあるもののPFHxA及びPFOAが検出されており、大陸棚上のEP8及びEP9においても検出されている。しかし、EP8及びEP9へのPFHpA、PFOSの負荷源は今回の調査のみでは不明であり、EP12において検出された低濃度のPFHxA、PFOAも黒潮上流から流下したものが希釈等を受けた残渣であるのか、大陸棚から新たに負荷されたものであるのか不明である。

堆積物中におけるPFHxA及びPFOAの濃度極大は陸棚斜面近傍の陸棚上であるEP2もしくはEP6に存在し沖縄トラフ内(EP1、EP3)では低濃度であった。(Fig.5(a),(c))また、堆積物中におけるPFHpA及びPFOSの濃度極大は沖縄トラフ内に存在した。PFHxA、PFHpA、PFOA及びPFOSが常に黒潮上流から負荷され、流下す

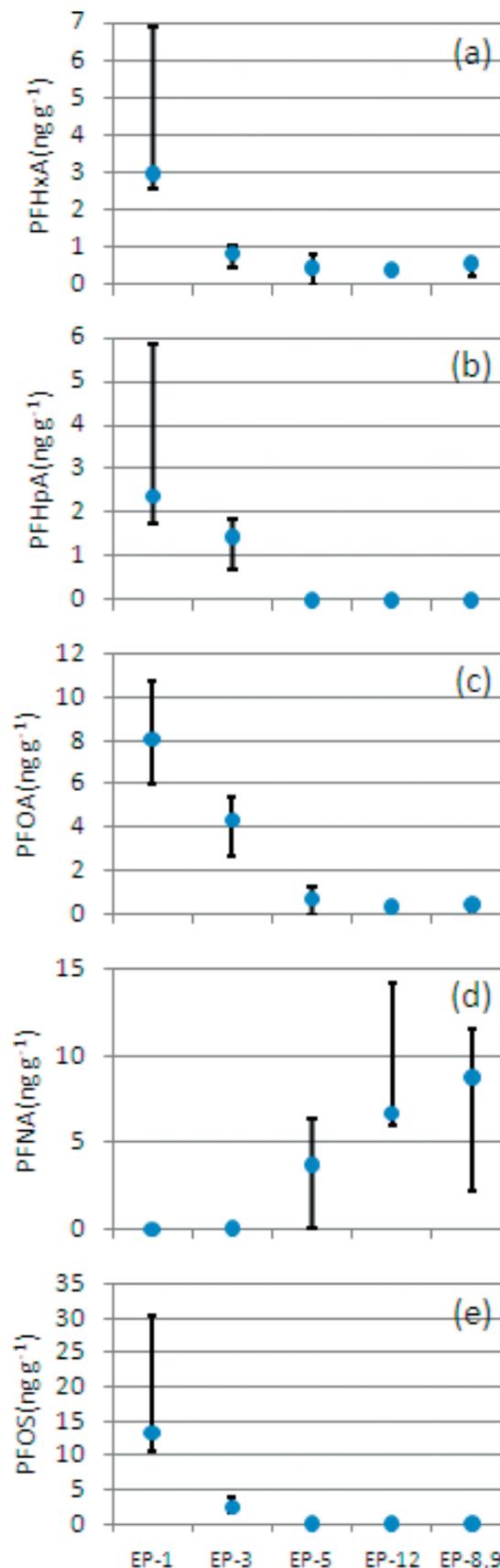


Figure 7 Vertically averaged PFCs at each stations. (a) PFHxA, (b) PFHpA, (c) PFOA, (d) PFNA, (e) PFOS

る過程で沈降、堆積するのであれば、これら4物質の堆積物中分布は同じ傾向を示すと考えられることから、PFHxA及びPFOAとPFHpA及びPFOSとでは輸送メカニズム、負荷源、負荷量の時間変化等が異なる可能性がある。

上記4物質にみられた傾向とは異なり、懸濁態PFNAはEP1では検出されず、黒潮下流の測点ほど高濃度になる傾向を示した。また陸棚上のEP8及びEP9においては値のばらつきは大きいものの、 2 pg L^{-1} から 12 pg L^{-1} の範囲で懸濁態のPFNAが検出されている。

つまり、観測を実施した2008年12月の時期には、黒潮上流には懸濁態PFNAの負荷源が存在せず、東シナ海大陸棚から陸棚斜面を越える懸濁物輸送が、黒潮水への懸濁態PFNAの主な負荷源であることが示唆された。一方で堆積物中におけるPFNA極大は沖縄トラフ中のEP6に存在し、陸棚上のEP8、EP9において堆積物中PFNAは低濃度であった。つまり、本航海においては黒潮水へのPFNA負荷源が陸棚であると推定されたが、今回の推定結果は、水中における観測時の瞬間値であり、最終的に堆積物に蓄積されるまでの輸送メカニズム、負荷源、負荷量の時間変化等については未だ不明である。また、本研究において水中では検出されなかったPFUnAが沖縄トラフ内EP6を中心に堆積物中では検出されたことから、PFUnAについても本研究では明らかにできなかった負荷源が過去に存在していたと示唆される。

黒潮水における植物プランクトンによる生物生産の過程において溶存態のPFCsが生物体内に取り込まれることによる、現地性の懸濁態PFCsの発生が、黒潮上流、陸棚水以外の懸濁態PFCsの起源となる可能性がある。

しかし、黒潮上測点におけるクロロフィルaは低濃度であり、クロロフィルaとSSの間に相関関係もみられない(Fig.8)ことから、2008年12月の黒潮水内では、生物生産による現地性懸濁物

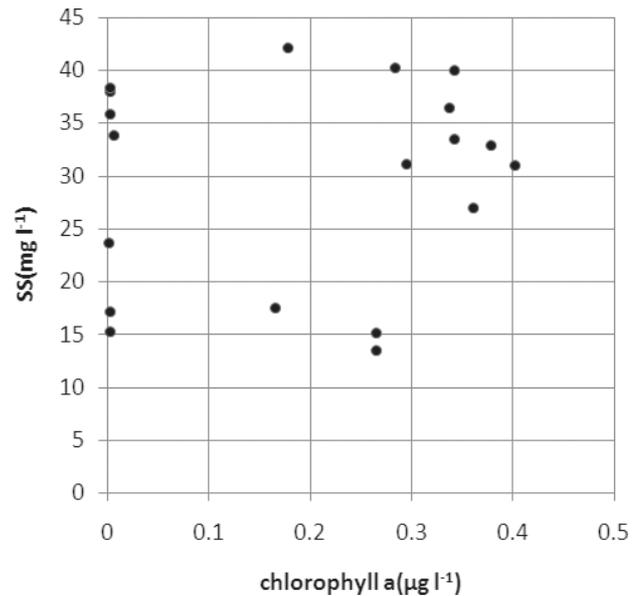


Figure 8 Scattering plot of SS and chlorophyll a derived from the station on Kuroshio (EP 1, EP 3, EP 5 and EP 12).

の懸濁物に占める割合は小さいと考えられ、同時に黒潮水内において溶存態から懸濁態へ変換されるPFCsの量も少ないと考えられる。

(2) 懸濁物負荷源の推定

2008年12月の本航海において、黒潮上の測点におけるSS濃度は黒潮下流の測点ほど高濃度であり(Fig.9(a)),黒潮を横切る断面では陸棚上でSS濃度が高い(Fig.9(b)).このことから、黒潮上流以外に黒潮水への懸濁物の負荷源が存在し、その負荷源が陸棚上の水塊である可能性がある。

そこで、黒潮水中に存在する懸濁物の起源を、黒潮上流及び陸棚の2か所のみであると仮定し、黒潮上測点各層における懸濁物のそれぞれの起源からの負荷割合をPFCs濃度を用いて推定した。

SSの起源推定には、本研究において起源推定が可能であった懸濁態PFCsのうち、PFHpA及びPFOSの2物質を用いた。EP1表層2層の平均濃度を黒潮上流水塊のエンドメンバー、EP8、9における濃度を陸棚水塊のエンドメンバーと設定し、黒潮上測点各層におけるPFCs濃度が、これらエンドメンバーの混合のみによって

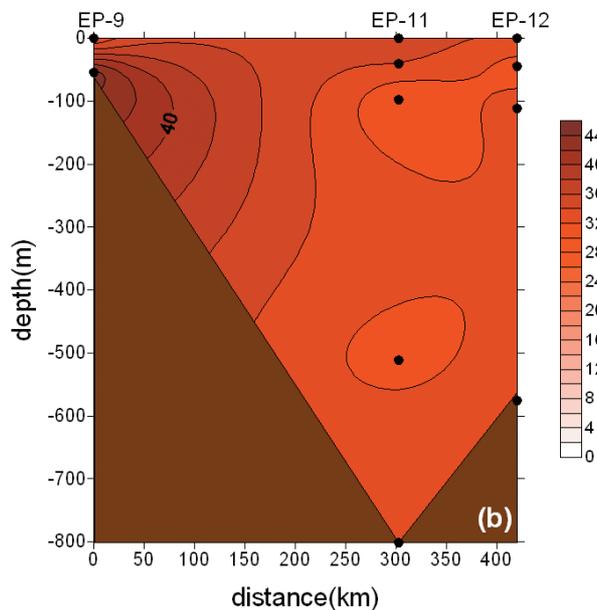
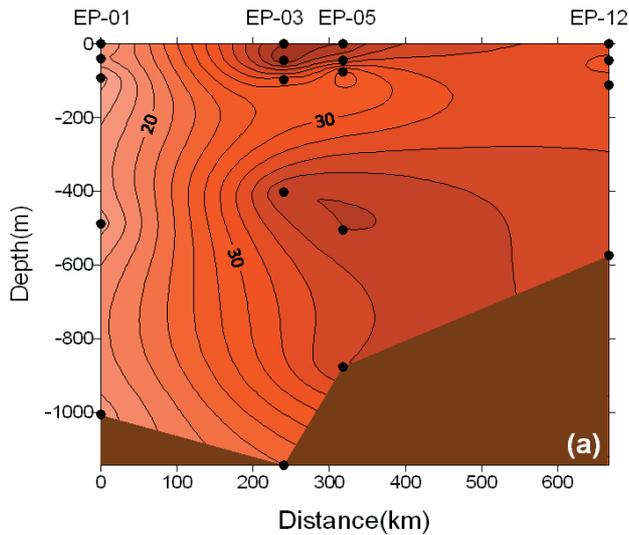


Figure 9 Vertical distribution of SS (mg l^{-1}) in the section (a) along and (b) across the Kuroshio.

説明されるとの仮定の下で、黒潮上測点各層における黒潮上流起源 SS と陸棚水起源 SS の混合割合を求めた。なお、PFNA は陸棚水塊中の濃度にばらつきが大きかったため、これを用いなかった。PFCs 2 物質を用いて推定した、黒潮上測点各層における SS に占める黒潮上流起源 SS の割合の平均値を Fig. 10 に示す。表層では黒潮下流測点ほど上流起源 SS の割合が低くなり、EP 5, EP 12 では SS は全て陸棚起源であった。また、EP 1 底層にも黒潮上流起源 SS の極大値があり、黒潮上流起源 SS の割合は中層で低い傾向を示した。この傾向から、黒潮上流起源 SS は黒潮の流

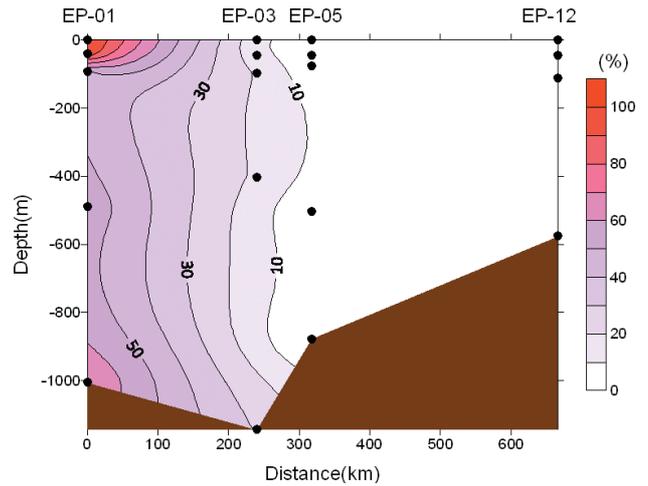


Figure 10 Contribution of the SS originated from the upper stream of Kuroshio.

下につれて沈降し、沖縄トラフ内底層水中に滞留している可能性が示唆された。また、本研究における黒潮最下流の測点 EP 12 を設定したトカラ海峡ではいずれの層においても全ての SS が陸棚起源であった。

東シナ海における懸濁物輸送について井関ら、1998 はセディメントトラップ調査の結果から、陸棚斜面を横切る方向に懸濁物が輸送されることを示している。Isobe et al, 2004 は 1998 年から 2001 年各年の 5 月に陸棚斜面を横断する観測線において実施した観測の結果及び、数値シミュレーション等から、黒潮前線渦が陸棚上の低塩分水を捉えたときに、波動の谷部分において塩分の鉛直構造に逆転が生じ、これが陸棚由来低塩分水塊の黒潮域への輸送につながることを示している。本航海の結果においても、黒潮前線渦の谷にあたる EP 6 (Fig. 2) において海底付近に低塩分水塊が存在し (Fig. 11), 塩分逆転が生じている。つまり、このメカニズムによる陸棚水塊の黒潮域への輸送が本観測の期間にも起こっていた可能性がある。

しかし、陸棚上から黒潮水への懸濁物負荷量のうちの程度がこのメカニズムで輸送されるのか、その量的なバランスは不明である。

Yanagi et al, 1996 は PN 線における懸濁物濃度観測及び数値シミュレーションの結果から、季節風の影響で秋から春にかけて陸棚斜面において

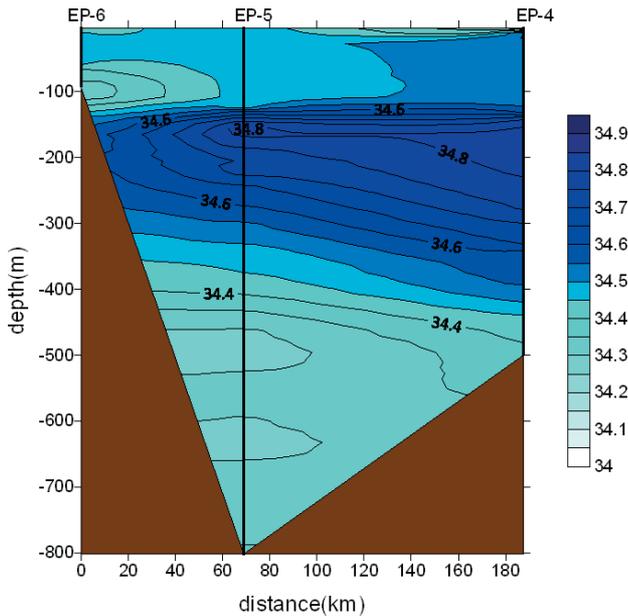


Figure 11 Vertical distribution of salinity in the section across the Kuroshio.

沖向きに懸濁物が輸送され、その輸送量は秋に最も多くなることを示している。こうした過去の研究からも、東シナ海陸棚から黒潮水への懸濁物輸送量を解明するためには、陸棚斜面付近において懸濁物輸送量の時間変化を明らかにする必要があると考えられる。

5 まとめ

本報では2008年12月に東シナ海水中及び堆積物中におけるPFCs分布及び水塊構造を調査し、この時期の、

- ・PFCs分布傾向、
- ・水中における懸濁物分布傾向、

を明らかにした。また、これら分布傾向から、観測期間において黒潮水に負荷されるPFCsについて、

- ・PFHpA及びPFOSの負荷源が黒潮上流のみである、
- ・PFHxA及びPFOAについては、黒潮上流が主な負荷源であるが陸棚水が寄与している可能性も否定できない、
- ・PFNAの負荷源が大陸棚から陸棚斜面を越える懸濁物輸送である、
- ・PFNA及びPFUnAの負荷源が時間変化してい

る、可能性を示した。

またPFHpA及びPFOSをトレーサーに黒潮水に負荷される懸濁物の起源推定を行い、黒潮上流から負荷された懸濁物はそのほぼ全てがEP5より上流で水柱から失われ、トカラ海峡に到達する懸濁物は全て陸棚起源であることが推察された。

本報は、東シナ海におけるPFCs分布に関する観測結果について述べた速報であり、PFCs起源の時間変化、その妥当性を確認したわけではない。また、東シナ海陸棚域におけるPFCs分布も依然として不明である。当該海域におけるPFCsの分布に関する知見は未だ乏しいことから、PFCs起源の特定に至るには、現場及び周辺におけるPFCs濃度のさらなる観測値の蓄積、シミュレーションによるPFCsの輸送メカニズム、輸送量の解明を行ったうえで、慎重な議論を進める必要がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、海上保安庁海洋情報部所属測量船「拓洋」船長を始め乗組員の皆さまにお世話になりました。ここに記して謝意を表します。本研究に対して有益な助言を下さった、愛媛大学の小野純 GCOE 研究員を始め、海上保安庁、愛媛大学、京都大学の関係者各位に感謝します。また、本研究が地球環境保全等試験研究費による研究課題「沖合海域における POPs の汚染実態解明に関する研究」の一環であることをここに示します。

参考文献

- 井関和夫, 岡村和磨, 清本容子 (1998), 東シナ海における粒状懸濁物の分布と輸送過程, 沿岸海洋研究, 36, 1, 29-37
- 海洋速報 HP: <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/index.html>
- 徐開欽, 張 繼群, 渡辺 正孝 (2001), 中国における水環境の現状—2000年「中国環境状況公報」より—, 用水と廃水, 43, 9, 781-

西内 耕・種子田 雄 (2005), 東シナ海におけるエチゼンクラゲの分布特性, 西海区水産研究所主要研究成果集, 10, 6-7

東シナ海海ゴミプロジェクト HP: <http://www.umigomi.com/outline/>

万田敦昌, 磯辺 篤彦, 松野 健, 柳 哲雄, 韓 仁盛, 神尾 光一郎 (2001), 東シナ海における黒潮前線周辺の水塊分布及び流動構造の時空間変動, 沿岸海洋研究, 39, 1, 57-67

References

Isobe A., Fujiwara E., Pil-Hun Chang, Sugimatsu K., Shimizu M., Matsuno T. and Manda A. (2004), Intrusion of Less Saline Shelf Water into the Kuroshio Subsurface Layer in the East China Sea, *Journal of Oceanography*, 60, 5, 853-863

Kawahara M., Uye S., Ohtsu K., Iizumi H. (2006), Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 307, 161-173

Shimizu J., Takahashi S., Isobe T., S. Annamalai, K. Chinagarn, Hukaumi M., Uchida K., Matsu-mura T., Toju H., Tanaka S., Fujii S., Tanabe S. (2009), Development of Monitoring System for Persistent Organic Pollutants in Offshore Waters around Japan: Results from the First Investigation in the East China Sea, *Organohalogen Compounds*, 79, 1823-1828

Yanagi T., Takahashi S., Hoshika A. and Tanimoto T. (1996), Seasonal Variation in the Transport of Suspended Matter in the East China Sea, *Journal of Oceanography*, 52, 5, 539-552

Yamashita N., K. Kannan, Taniyasu S., Horii Y., G. Petrick and Gamo T. (2005), A global survey of perfluorinated acids in oceans, *Marine Pollution Bulletin*, 51, 8-12, 658-668

東シナ海及び陸棚縁辺部に設定した測点において2008年12月に水中及び堆積物中におけるPFCs分布及び水塊構造を調査した。表層水中において、PFHxA, PFHpA, PFOA, 及びPFOSは南側の測点ほど高濃度である一方、PFNAは北側の測点ほど高濃度であった。堆積物中では、PFOS及びPFHpAが黒潮上流測点で高濃度、PFNA及びPFUnAが沖縄トラフ内測点で高濃度、PFHxA及びPFOAが陸棚縁辺部の浅海域で高濃度であるという3種のPFCs分布傾向が得られた。このPFCs分布から、観測期間における黒潮水への懸濁態PFCs負荷源を推定した。懸濁態PFHpA及びPFOSは観測範囲よりも黒潮上流から負荷されていた。懸濁態PFNAは陸棚上から陸棚斜面を越える懸濁物輸送によって黒潮に負荷されていた。懸濁態PFHxA及びPFOA黒潮上流と陸棚の両方から黒潮水へ負荷されていることが推察された。

またPFHxA, PFHpA, PFOA及びPFOSをトレーサーとして、黒潮水に含まれる懸濁物の起源推定を行った。黒潮上流から負荷された懸濁物はそのほぼ全てがEP5より上流で水柱から失われ、トカラ海峡に到達する懸濁物は全て陸棚起源であることが推察された。