

駿河湾における溶存態有機物のサイズ特性

辻 裕介¹・鈴木 款²

Size characteristics of dissolved organic matter in the Suruga Bay

Yuusuke TSUJI¹, Yoshimi SUZUKI²

Abstract Size distribution of dissolved organic matter (DOM) was studied in the Suruga Bay by using a tangential-flow ultrafiltration system. In this study, DOM was fractionated into three fractions, HMW (10 kDa to 0.1 μm), MMW (1 kDa to 10 kDa), and LMW (smaller than 1 kDa). Concentration of dissolved organic carbon (DOC) was highest in LMW (52.5-57.3 μM and 38.2-58.7 μM at 20 m and 800 m, respectively), followed by MMW (15.0-15.9 μM and 5.9-11.4 μM) and HMW DOM (2.1-2.7 μM and 0.5-0.7 μM). As for the samples taken at 20 m, C : N ratio of HMW DOM was lowest (9-11) among the three fractions, whereas that of LMW DOM marked the highest values (16-18). This result indicates that HMW DOM contains more amount of nitrogen enriched organic compounds compared to LMW DOM. On the other hand, C : N ratio of MMW DOM at 800 m was highest (19.3-22.5) among the three fractions as for the samples taken in September and November, suggesting an intensive remineralization of nitrogen enriched organic compounds contained in MMW DOM via its export from the surface to the mesopelagic zone. Concentration of dissolved organic phosphorous (DOP) at 20 m was 0.01 μM as for HMW DOM and the corresponding value was 0.10-0.11 μM as for the fraction of smaller than 10 kDa (MMW+LMW DOM). C : N : P ratio of HMW DOM was 183 : 17 : 1 and 192 : 18 : 1 in September and November, respectively, whereas that of MMW+LMW DOM was 610 : 41 : 1 (September) and 528 : 33 : 1 (November), indicating the relative enrichment of organic phosphorous in high molecular weight DOM.

Key word : DOM, tangential-flow ultrafiltration, C : N : P ratio, Suruga Bay.

はじめに

人間活動によって、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスが大気中に放出され、それによって生ずる地球温暖化が重要な地球環境問題の1つになっている。現在、大気中の二酸化炭素を削減するため、二酸化炭素をさまざまな形で固定するあらゆる取り組みが模索されはじめているが、そのためには、地球上の炭素循環を理解する必要がある。

海洋は地球表層で最大規模の炭素リザーバーの一つであり、およそ 39,000 Gt の炭素を無機態あるいは有機態として貯蔵している(鈴木ほか, 1997)。その内、有機態の炭素は 700 Gt に相当し、この量は大気中の二酸化炭素量(750 Gt)にほぼ匹敵する。海水中に存在する有機態炭素の 90% 以上は、孔径 0.2-1 μm のフィルターを通過する、主に非生物の有機物として存在しており(小川, 2001)、溶存態有

機物(dissolved organic matter, DOM)と呼ばれている。DOM は海洋中の有機物の重要なフラクションを担っているため、DOM の動態を正確に把握することは地球上の炭素循環を理解する上で重要である。

海洋に存在する有機物の大部分は、海産生物により生産された現地性の化合物群であり、その起源は主に植物プランクトンが光合成により同化した一次生産産物である。DOM は、植物プランクトンの光合成に伴う細胞外渗出として直接生産されるほか、動物プランクトンや原生動物などによる一次または二次生産者の捕食過程や、バクテリアによる粒子態有機物の分解、ウイルスによる細胞の溶解などさまざまな生物活動によって生成する。しかし、生化学的な分析手法や核磁気共鳴分光法により検出された炭水化物、たんぱく質、アミノ酸、脂質、有機酸などの主要な生物構成有機化合物群をすべて足し合わせても、DOM 全体の

¹ 静岡県立大学大学院生活健康科学研究科環境物質科学専攻, 〒422-8526 静岡市谷田 52 番 1 号

² Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Nutritional and Environmental Sciences, University of Shizuoka, 52-1 Yada, Shizuoka 422-8526, Japan

E-mail: p3212@mail.e.u-shizuoka-ken.ac.jp

² 静岡大学理学部地球科学教室, 〒422-8529 静岡市大谷 836

² Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka 422-8529, Japan

20%程度が説明されるのに留まり、DOMの大部分が未同定のままとなっている(小川, 2001)。一方、DOMの生分解性や年代については、高分子のDOMを脱塩しながら大量に濃縮することができるTangential-flow式の限外ろ過を用いてDOMを比較的大型の成分と小型の成分に分けて両者の性質を比較する手法により1990年代以降、新たな知見が蓄積している。Amon & Benner (1996)は分画分子量1,000でDOMを分け、微生物によるDOMの分解性を低分子成分と高分子成分で比較し、高分子成分が低分子成分に比べてバクテリアに利用されやすいことを示した。またGuo *et al.* (1996)は表層における高分子DOMの炭素同位体比から分画分子量10,000以上のDOMの年齢が40年以内であるのに対し、分画分子量1,000以上のDOMの年齢が380年~4500年であることを報告している。これらの知見からDOMの性質や動態がDOMのサイズに強く依存することが示唆されるが、限外ろ過によるこれまでの研究では分画分子量1,000でDOMを分けて両者の性質を比較した例が多く、DOMの性質とサイズの関係を正確に把握するためには、DOMをより細かくサイズ分画し、サイズごとの性質を比較する必要がある。

そこで本研究では、これまで多くの研究で用いられている限外ろ過を用いてDOMを大きさの異なる3つのフラクションに分け、各フラクションにおける有機物の量と元素組成の時空間的変動を駿河湾において調査し、分子量によるDOMの性質を調べることを目的とした。

方法

サンプリング

観測は2002年の7, 9, 11月に静岡県水産試験場所属の海洋調査船駿河丸で行った。観測点を図1に示す。採水は

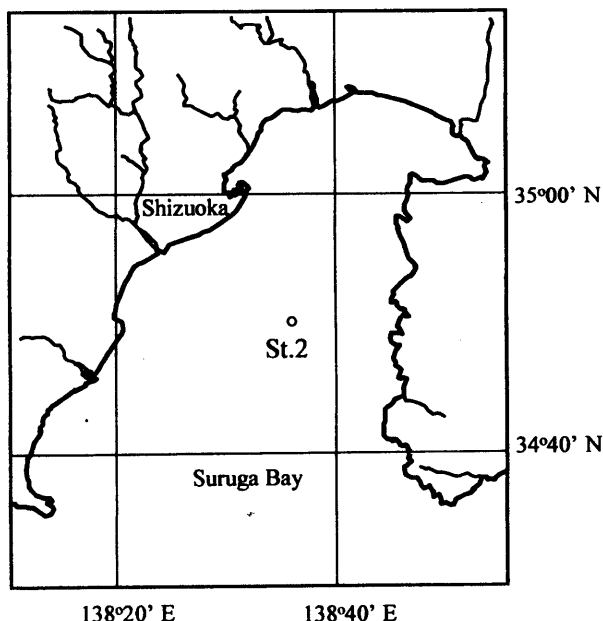


図1 駿河湾における観測点(St. 2)の位置。

Fig. 1 Location of the sampling point (St. 2) in the Suruga Bay.

駿河湾において、北緯34°51′、東経138°38′のSt. 2において10ℓのニスキンボトルを12本装着したCTD-キャセロールマルチサンプラーで行った。採水深度は20mおよび

800mで、それぞれの深度で約30ℓずつ採水した。これらのサンプルは、エクストランMA02、濃塩酸および超純水で洗浄した20ℓポリカーボネートボトルに保存して実験室に持ち帰った。ろ過処理はサンプルの採取から6~9時間以内に行った。

限外ろ過

ろ過の手順を図2に示す。採取した海水サンプルは、大きな粒子を除去するため、500℃で4時間燃焼処理を行ったGF/Fガラスファイバーフィルター(Whatman社製)で予め吸引ろ過し、さらに、そのろ液を孔径0.1μmのカートリッジフィルター(Amicon社製HIMP01-43)でろ過してバクテリアを除去した。このろ液20ℓについて分画分子量10,000(以降、10kDa)のフィルター(Millipore社製Prep/Scale UFカートリッジPTGC)を用いて限外ろ過を行い、さらに、そのろ液2ℓに対して分画分子量1,000(以降、1kDa)のフィルター(同PLAC)を用いて限外ろ過を行った(図2)。尚、分画分子量10kDaは孔径10nmに、同1kDaは孔径1nmに相当する。孔径0.1μmのカートリッジフィルターを用いたろ過と限外ろ過では、送液システムとしてProflux M12(Amicon社製)を用いた。このシステムは溶液をフィルター面に平行に流すTangential-flow方式になっており、フィルター上に保持された粒子でフィルターが目詰まりしにくいという利点を有し、コロイド粒子や高分子化合物を高濃度に濃縮するのに適している。本研究では、超純水を加えて脱塩、脱低分子化する処理を行わず、フィルター上に保持された成分を回収するために各フィルターを通過したろ過海水を使用したため、ろ過により濃縮した物質の海水中での実際の濃度(C)は次式によって求めた。

$$C = (C_2 - C_1) / f$$

$$f = V_1 / V_2$$

ここで、 C_1 、 C_2 はそれぞれ濃縮前と濃縮後の溶液の濃度であり、 V_1 、 V_2 は濃縮前と濃縮後の体積、 f は濃縮率である。限外ろ過によって得たサンプルは、溶存態有機炭素(DOC)分析用と溶存態有機窒素、リン(DON, DOP)分析用に分け、それぞれ10ml容量のガラスサンプルと125ml容量の高密度ポリエチレンボトルに分取し、冷凍庫で凍結保存した。Proflux M12とフィルターはサンプルをろ過する前に予め蒸留水および超純水で洗浄し、1サンプル処理するごとに0.1N-NaOH、蒸留水および超純水を循環させて洗浄した。ガラスサンプルは使用前に540℃で4時間燃焼処理を行い、ポリエチレンボトルはエクストランMA02、4N-HClで洗浄した。

本研究では、ろ過に用いたフィルターにより、孔径0.1μmのフィルターを通過する溶存有機物(DOM)をサイズ別に3つのフラクションに分類した。すなわち、孔径10kDaのフィルターに保持されたものをhigh-molecular-weight(HMW)DOM、孔径10kDaのフィルターを通過し且つ孔径1kDaのフィルターに保持されたものをmiddle-molecular-weight(MMW)DOM、そして孔径1kDaのフィルターを通過したものをlow-molecular-weight(LMW)DOMとした。孔径0.1μmのフィルターを通過したものはbulk DOMと命名し、各フラクションの回収率はbulk DOMの量に対する割合として算出した。各フラクションの回収率は89-133%であった。また、HMW DOMとMMW DOMの濃縮率はそれぞれ40倍、4倍であった。

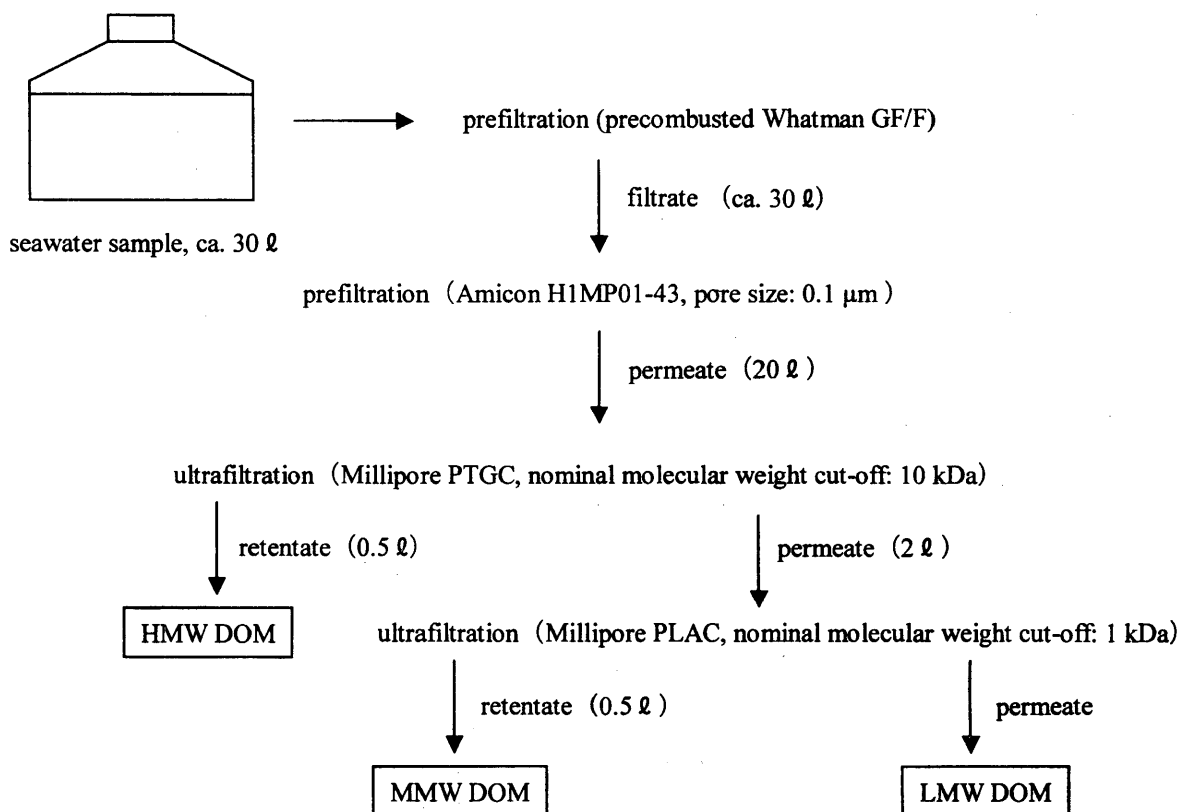


図2 溶存有機物のサイズ分画におけるろ過の操作手順。
Fig. 2 Flowchart of the filtration processes.

測定

DOC 測定

DOC は TOC-5000 (Shimadzu 社製) で測定した (日野ほか, 2002)。サンプルは、超音波洗浄器で解凍後、サンプル 5 ml に対して 2N-HCl を 0.5 ml 添加し、10 分間バブリングすることによって無機炭素を除いた。測定は、1 サンプルにつき 3~5 回行った。繰り返しの測定精度は $\pm 2\%$ 以下であった。また標準物質はフタル酸水素カリウムを用いた。

DON, DOP 測定

DON, DOP 測定は、アルカリ湿式酸化法により全溶存態窒素 (TDN) と全溶存態リン (TDP) 濃度を測定し、予め測定しておいた栄養塩の内、窒素成分 (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) を TDN から、リン成分 (PO_4^{3-}) を TDP から差し引いて計算によって求めた (名取ほか, 2002)。TDN, TDP, 栄養塩の測定はすべて TRAACS 2000 (BRAN+LUEBE 社製) で行った。栄養塩の分析精度は $\pm 0.5\%$ 程度であった。アルカリ湿式酸化では、エクストラン MA03 (無リン酸)、4N-HCl および純水で洗浄した 50 ml ポリプロピレン製耐圧ボトルに海水サンプル 30 ml を入れ、分解試薬を 3 ml 加えて、 120°C 30 分間オートクレーブする操作を行い、有機態成分を分解した。

結果

3 つのサイズフラクション (HMW, MMW, LMW) 中の DOC, DON の濃度を実際の海水中の濃度に換算した結果と、DOC と DON の濃度比 (C : N 比) を表 1 に示した。濃度については

図 3 に 20 m と 800 m の結果を対比して示した。また、リンについては、9 月と 11 月の 20 m の試水を用いて 10 kDa のフィルターで分画した結果を表 2 に示した。各サイズフラクションにおける DOC は、20 m では、HMW DOM で 2.1-2.5 μM 、MMW DOM で 15.0-15.9 μM 、LMW DOM で 52.5-57.3 μM であり、サイズが小型化するに従い濃度が増加する傾向にあった (表 1; 図 3)。また 800 m の試水では、HMW DOM で 0.5-0.7 μM 、MMW DOM で 5.9-11.4 μM 、LMW DOM で 38.2-58.7 μM であり、20 m の結果と同様、サイズが小型化するに従い濃度が増加する傾向にあった。DON は HMW DOM で 0.05-0.31 μM 、MMW DOM で 0.45-1.10 μM 、LMW DOM で 2.33-3.51 μM であり、DOC と同様サイズが小型化するに従い濃度が増加する傾向にあった (表 1, 図 3)。またリンは、HMW DOM で 0.01 μM であったのに対して、10 kDa 以下のフラクション (以降、MMW+LMW DOM) で 0.10-0.11 μM であり、リンについても低分子のものほど存在量が大きくなる傾向にあった (表 2)。

C : N 比の値は 20 m では、HMW DOM で 8.2-10.6、MMW DOM で 14.5-16.6、LMW DOM で 15.8-18.3 となり、7 月と 9 月の試水では分子量が小さくなるにつれて C : N 比が高くなる傾向があった (表 1)。また 11 月の試水では、C : N 比は HMW DOM で最も低く (10.6)、MMW DOM と LMW DOM でそれぞれ 16.6、16.2 となり、近い値を示した。一方 800 m における C : N 比は、7 月の試水では HMW DOM で 14.1、MMW DOM で 9.7、LMW DOM で 21.6 となり、MMW DOM で最も低い値を示した。これに対して 9 月と 11 月では、HMW DOM で 10.3-10.9、MMW DOM で 19.3-22.5、LMW DOM で 15.2-16.4 となり、MMW DOM が最も高い値を示した。

表 1 2002 年駿河湾試水中の各サイズフラクションにおける溶存態有機炭素 (DOC), 窒素 (DON) 濃度および両者の比 (C : N). 各フラクションのサイズは以下の通り. HMW DOM: 10 kDa - 0.1 μ m. MMW DOM: 1 - 10 kDa. LMW DOM: 1 kDa 以下.

Table 1 Organic carbon (DOC) and nitrogen (DON) concentration and C : N ratio in each size fraction of DOM taken in the Suruga Bay in 2002. Each fraction was defined as follows: HMW DOM, 10 kDa - 0.1 μ m; MMW DOM, 1 - 10 kDa; LMW DOM, <1 kDa.

Sample	DOC (μ M)			DON (μ M)			C : N			
	HMW	MMW	LMW	HMW	MMW	LMW	HMW	MMW	LMW	
20m	July	2.5	15.9	57.3	0.31	1.10	3.13	8.2	14.5	18.3
	Sep.	2.6	15.6	55.6	0.25	1.08	3.51	10.5	14.5	15.8
	Nov.	2.1	15.0	52.5	0.20	0.91	3.24	10.6	16.6	16.2
800m	July	0.7	5.9	58.7	0.05	0.61	2.71	14.1	9.7	21.6
	Sep.	0.6	11.4	38.2	0.06	0.59	2.33	10.9	19.3	16.4
	Nov.	0.5	10.2	44.6	0.05	0.45	2.94	10.3	22.5	15.2

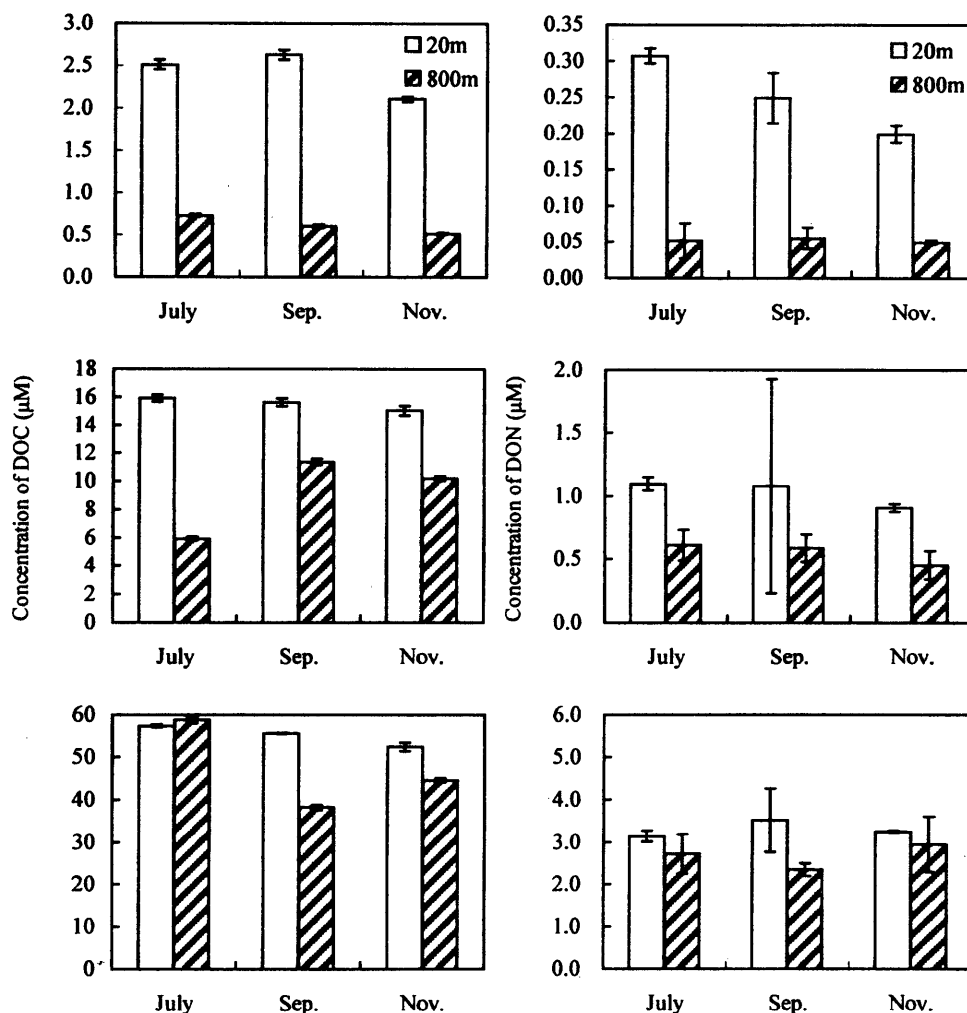


図 3 2002 年駿河湾試水中の各サイズフラクションにおける溶存態有機炭素 (DOC), 窒素 (DON) 濃度および両者の比 (C : N). (a) HMW DOM (10kDa - 0.1 μ m), (b) MMW DOM (1 - 10kDa), (c) LMW DOM (1kDa 以下). エラーバーは 3-5 回の繰り返し測定に対する標準偏差.

Fig. 3 Organic carbon (DOC) and nitrogen (DON) concentration and C : N ratio in each size fraction of DOM taken in the Suruga Bay in 2002: (a) HMW DOM (10kDa - 0.1 μ m), (b) MMW DOM (1 - 10kDa), (c) LMW DOM (<1kDa). Error bars represent standard deviation of replicated analysis (n = 3-5).

DOC と DOP の比 (C : P 比) は, 20 m において HMW DOM で 183 : 1 (9 月), 192 : 1 (11 月) であった (表 2). また,

分画分子量 10 kDa 以下のフラクションである MMW+LMW DOM では, 610 : 1 (9 月), 548 : 1 (11 月) であり, C : P 比

表2 2002年駿河湾試水におけるサイズフラクション別の溶存態有機リン(DOP)濃度と溶存態有機炭素,窒素,リン比(C:N:P).

Table 2 DOP concentration and C:N:P ratio in the different size fractions of DOM taken in the Suruga Bay in 2002.

Fraction ^b	DOP (μM) ^a		C:N:P	
	Sep.	Nov.	Sep.	Nov.
HMW DOM	0.01 \pm 0.00	0.01 \pm 0.00	183:17:1	192:18:1
MMW+LMW DOM	0.10 \pm 0.01	0.11 \pm 0.00	610:41:1	548:33:1

^a Average \pm standard deviation of replicated analyses including the process of wet oxidation ($n=3$).

^b Size range of each fraction was defined as follows; HMW DOM: 10 kDa to 0.1 μm , MMW+LMW DOM: smaller than 10 kDa.

は9月, 11月とも HMW DOM に比べて MMW+LMW DOM 17-18 で高い値を示した. 一方 DON と DOP の比 (N:P 比) は, HMW DOM で 17-18:1, MMW+LMW DOM で 33-41:1 であり, HMW DOM に比べて MMW+LMW DOM で高い値を示した (表 2). これらの結果から, 分子量の小さい有機物ほど炭素と窒素に対し相対的にリンが不足していることが示された.

考 察

駿河湾におけるサイズフラクションごとの DOM の性質

本研究では Tangential-flow 式の限外ろ過装置を用いて駿河湾表層 (20 m) 海水と中層 (800 m) 海水に含まれる DOM を 3 つのフラクションに分子量分画し, それぞれのフラクションにおける有機物中の炭素, 窒素, リンの存在量とそれらの元素比について 7 月から 11 月まで傾向を調べた. リンについては 9 月と 11 月の 20 m の試水における分画分子量 10 kDa 以上と以下の 2 画分のデータしか得られなかったが, 炭素と窒素は測定を行ったすべての試料で定量可能であった (表 1). 核磁気共鳴分光法による分画分子量 1 kDa 以上の高分子 DOM の官能基分析では, 炭素のおよそ 50% が炭水化物骨格であること (Benner *et al.*, 1992), また窒素, リンについてはその大部分がアミド基, リン酸エステルであること (McCarthy *et al.*, 1997; Clark *et al.*, 1998) が示されており, 比較的一次生産が高い駿河湾表層 (日野ほか, 2000) でも高分子 DOM の炭素, 窒素, リンは生体構成成分の特長を有するこれらの化合物が卓越している可能性が考えられる.

海水中の DOM について, bulk DOC 濃度と 1 kDa または 10 kDa 以上の高分子画分の割合および高分子画分の C:N 比を調べた既存の報告例を表 3 に示した. 本研究による駿河湾表層 (20 m) の DOC 濃度は 57.7-65.1 μM であり, 春から秋の一次生産が高い時期 (日野ほか, 2000) の結果を含んでいるにも関わらず, 他の沿岸表層水中の DOC 濃度 (68-98 μM) に比べて低い傾向が見られた. これに対して, 駿河湾中層 (800 m) の DOC 濃度は 41.5-43.4 μM であり, 他の海域における 750 m の DOC 濃度 (40-50 μM) の範囲に入っている. この要因として, 駿河湾が開放性の湾であり貧栄養の黒潮水の流入により表層の DOM 濃度が希釈されている可能性が考えられる. 1 kDa 以上の DOM が bulk DOM に占める割合を炭素量から算出した値 (以降, HMW%) は駿河湾表層で 28.2-29.7% であり, 太平洋における報告値 (22-38%) と一致した. HMW% はチェサピーク湾で 52-65% と高い値を示し, この海域では bulk DOM 中の炭素濃度が高い (118-215 μM) ことから, 1 kDa 以上の高分子生産が重要な役割を担って洋,

大西洋, 北海において, サイズの異なる有機物の C: いることが示唆される. 一方, 中層以深における HMW% の値は本研究の結果を含めて 13-30% であり, 深度別に定量を行った 5 つの研究例ではどれも表層に比べて中層の HMW% が低くなる傾向を示した. 以上の結果は, 1 kDa 以上の高分子 DOM が一次生産の活発な時に多く生産され, 拡散や水の混合により中層以深に輸送される過程で海水中から除去され易いことを示唆している. Amon & Benner (1994, 1996) は 1 kDa 以上の高分子 DOM が 1 kDa 以下の低分子 DOM よりもバクテリアに無機化される速度が速いことを実験的に示したが, HMW% の空間的変動パターン (表 3) は Amon & Benner (1994, 1996) の結果と一致し, 1 kDa 以上の高分子 DOM が低分子 DOM に比べてバクテリアにより無機化されやすいことを示唆している. また, 本研究では 20 m の試水中の HMW DOM と MMW DOM の両者に対して季節による DOC 濃度の顕著な違いは見られなかった (表 1, 図 3). この結果は, bulk DOM 中の DOC 濃度が 57.7-65.1 μM と常に比較的 low, 貧栄養の外洋水の影響を受けている可能性があることに起因していると考えられる.

サイズフラクションごとの DOM の C:N:P 比

本研究により駿河湾の DOM をサイズ分画して C:N 比を比較した結果, 1 kDa 以上の高分子 DOM の C:N 比の値は 10-21 であり, 既存の報告値 (11-36) の範囲に入った (表 3). また, 1 kDa 以上の高分子 DOM の C:N 比における鉛直方向の変化について, 既存の研究結果には統一した傾向が見られなかった (表 1). 本研究では, 9 月と 11 月の試水において 20 m と 800 m で C:N 比が HMW DOM で 10.3-10.9, LMW DOM で 15.2-16.4 となり, 2 つの深度で極めて近い値を示した. しかし, MMW DOM では 20 m で 14.5-16.6, 800 m で 19.3-22.5 となり, 800 m で 10 近く高い値を示した (表 1). この結果は, 表層から中層に有機物が輸送される過程で MMW DOM ではタンパク質などの窒素に富んだ化合物群がバクテリアなどにより優先的に無機化されて海水中から除去されている可能性を示している. Fukuda (2000MS) は, 日本沿岸の表層海水中の 10 kDa 以上の高分子 DOM と 10 kDa 以下の低分子 DOM をバクテリアに分解させた結果, 結合態アミノ酸については 10 kDa 以下の低分子 DOM で減少量が大きかったことを報告しており, 本研究の結果と一致する.

一方, DOM 中のリンについてはこれまでサイズごとに分けて議論した研究例が少なく, 特に分画分子量 10 kDa で DOM を分けて DOP を定量した報告例はほとんどない. 子 DOM の濃度に対して一次 Kolowith *et al.* (2001) は, 太平 N:

表3 海洋におけるDOC濃度と高分子DOMの存在比(HMW%)およびそのC:N比に関する報告値の比較。

Table 3 Concentration of bulk DOC, and relative abundance (HMW%) and C:N ratio of high molecular weight DOM in marine environments.

Fraction and habitat		Prefilter ^a	Depth	Bulk DOC (μM)	HMW% ^b	C:N	Reference		
>1kDa									
Coastal Water	Chesapeake Bay	0.2 μm	surface	118-215	52-65	19-23	Guo & Santschi (1996)		
	Gulf of Mexico	0.2 μm	10 m	95	30	17	Benner <i>et al.</i> (1997)		
750 m			48	24	15.8				
	Suruga Bay ^c	0.1 μm	20 m	57.7-65.1	28.2-29.7	13-15	This study		
			800 m	41.5-43.4	15.7-27.6	10-21			
Oceanic Water	Middle Atrantic Bight	0.2 μm	2-250 m	54-98	28-42	14-24	Guo & Santschi (1996)		
			3 m	72-209	10-23	12-21	Alwihare <i>et al.</i> (2002)		
				300 m	40	16		16	
				750 m	40-50	13-16		13-16	
	0.2 μm	750-2,600 m	48-49	28-30	12-21	Guo & Santschi (1996)			
			Sargasso Sea	0.2 μm	2 m	72	23	17.1	Benner <i>et al.</i> (1997)
					900 m	47	18	15.6	
	2400 m	46	23	18.1					
	Pacific Ocean	0.1 μm	2-100 m	68-87	22-38	15.3-17.5	Benner <i>et al.</i> (1997)		
				200-765 m	38-57	19-26		16.2-22.5	
4,000 m				41-45	20-22	18.4-19.6			
>10kDa									
Coastal Water	Chesapeake Bay	0.2 μm	Surface	118-215	11-16	13-24	Guo & Santschi (1996)		
	Suruga Bay	0.1 μm	20 m	57.7-65.1	3.7-4.3	8.2-10.6	This study		
800 m			41.5-43.4	1.2-1.7	10.3-14.1				
Oceanic Water	Middle Atrantic Bight	0.2 μm	2-250 m	54-98	4-11	15-25	Guo & Santschi (1996)		
			750-2,600 m	48-49	3-4	17-36			

^a Pore size of the filter used for prefiltration.^b Percentage of DOC concentration in HMW DOM to that in bulk DOM.^c HMW DOM fraction was calculated as sum of the fractions of 1-10 kDa and >10 kDa.

P比を求め、その結果、0.1 μm -60 μm の粒子態有機物のC:N:P比が90-134:11-16:1、また1 kDa-0.1 μm のDOMのC:N:P比が307-314:17-20:1であることを報告している。この結果は、粒子態有機物に比べてDOMでは相対的にC:P比とN:P比が高いことを示唆している。本研究はDOMを分画分子量10 kDaでサイズ分画し、10 kDa以上または以下のDOMのC:N:P比を明らかにした。その結果、C:N:P比は10 kDa以上のHMW DOMに比べて10 kDa以下のMMW+LMW DOMで高い値を示し(表2)、有機物のサイズが小さくなるほどC:N:P比が高くなるという傾向がDOMの範囲内まで拡張されることが確認された。

まとめ

Tangential-flow 式限外ろ過を行って駿河湾 St. 2 の水深20 mと800 mの海水に含まれるDOMを3つのフラクションにサイズ分画し、フラクションごとの有機物の存在量と元素比を定量し、DOMのサイズ特性について考察した。フラクションごとの存在量は、炭素、窒素ともHMW DOMで最も少なかったのに対して、LMW DOMで最も多くなり、分子量が小さくなるほど存在量が大きくなる傾向があった。また、HMW DOMとMMW DOMのbulkDOMに対する割合は、20 mよりも800 mのほうが低くなり、中層では高分子のものほど海水中に存在しにくいことを示唆した。20 mにおけるフラクションごとのC:N比は、HMW DOMで最低、LMW DOMで最大となり、分子量が大きくなるほど相対的に窒素に富む傾向があった。一方800 mでは9月と11月に

HMW DOMとLMW DOMのC:N比が20 mの値とほぼ同じ値を示したのに対し、MMW DOMのC:N比は20 mにおける同時期の値に比べて800 mで著しく高い値を示し、同時期のHMW DOMとLMW DOMと比べても高い値を示した。

一方リンは9月と11月の20 mの試水において、HMW DOMで、0.01 μM 、MMW+LMW DOMで0.10-0.11 μM であり、リンについても低分子ほど存在量が多いという結果となった。この結果をもとにしたC:P比、N:P比はHMW DOMに比べてMMW+LMW DOMで高く、低分子DOMでは炭素と窒素に比べて相対的にリンが不足していることが示された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、静岡県水産試験場の五十嵐保正さん、萩原快次さん、花井孝之さんほか、駿河丸乗組員の方々には大変お世話になりました。静岡大学理学部の宗林留美先生、同理工学研究科岩田樹哉さん、篠村理子さん、日野守さん、名取雄太さんには、多くのご助言をいただきました。ここに深くお礼申し上げます。

引用文献

- Alwihare L. I., Repeta D. J. & Chen R. F. (2002), Chemical composition and cycling of dissolved organic matter in the Mid-Atlantic Bight. *Deep-Sea Research II*, **49**, 4421-4437.
- Amon R. M. W. & Benner R. (1994), Rapid cycling of

- high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean. *Nature*, **369**, 549-552.
- Amon R. M. W. & Benner R. (1996), Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, **41**, 41-51.
- Benner R., Biddanda B., Black B. & McCarthy M. (1997), Abundance, size distribution, and isotopic composition of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration. *Marine Chemistry*, **57**, 243-263.
- Benner R., Pakulsky J. D., McCarthy M., Hedges J. I. & Hatcher, P. G. (1992), Bulk chemical characteristics of dissolved organic matter in the ocean. *Science*, **255**, 1561-1564.
- Clark L. L., Ingal E. D. & Benner R. (1998), Marine phosphorus is selectively remineralized. *Nature*, **393**, 426
- Fukuda R. (2000MS), Microbial degradation of proteinaceous organic matter in marine environments. Ph.D thesis, University of Tokyo, 142p.
- Guo L., Santschi P. H., Cifuentes L. A., Trumbore S. E. & Southon J. (1996), Cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the Middle Atlantic Bight as revealed by carbon isotopes (^{13}C and ^{14}C) signatures. *Limnology and Oceanography*, **41**, 1242-1252.
- 日野 守・岩田樹哉・篠村理子・宗林留美・鈴木 款 (2002), 駿河湾における海水中の有機物の分解特性. 静岡大学地球科学研究報告, **29**, 23-28.
- Kolowith L. C., Ingal E. D. & Benner R. (2001), Composition and cycling of marine organic phosphorus. *Limnology and Oceanography*, **46**, 309-320.
- McCarthy M., Pratum T., Hedges J. & Benner R. (1997), Chemical composition of dissolved organic nitrogen in the ocean. *Nature*, **390**, 150-154.
- 名取雄太・岩田樹哉・篠村理子・鈴木 款 (2002), 駿河湾における窒素及びリンの季節変動. 静岡大学地球科学研究報告, **29**, 29-36.
- 小川浩史 (2001), 難分解性溶存有機物. 月刊海洋, 号外, **25**, 204-209.
- 鈴木 款 (1997), 海洋生物と炭素循環. 東京大学出版会, 193p.