

駿河湾における海水中の有機物の分解特性

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2008-01-25
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 日野, 守, 岩田, 樹哉, 篠村, 理子, 宗林, 留美, 鈴木,
	款
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000382

駿河湾における海水中の有機物の分解特性

日野 守¹•岩田樹哉²•篠村理子²•宗林留美³•鈴木 款³

Degradation of marine organic matter in seawater of the Suruga Bay

Mamoru HINO¹, Tatsuya IWATA², Yoshiko SHINOMURA², Rumi SOHRIN³ and Yoshimi SUZUKI³

Abstract Dissolved organic matter (DOM) plays an important role in biogeochemical cycling within marine environments. Recent studies have shown that DOM consists of three fractions with different turnover rates: Labile-DOM and semi-labile DOM is degraded by bacteria within several hours and days, respectively, while refractory DOM is not degraded over thousands of years. The purpose of this study is to estimate the amount of semi-labile DOM and to detect a seasonal variability of that through degradation experiments of organic matter. The experiments were conducted using filtered and raw seawater samples collected from the depths of 20 m and 800 m of the Suruga Bay in April, July and October. After 21 days-long-degradation, decrease of organic carbon in the 20 m raw seawater reached to 26.2% as for the July sample, whereas it was 16.8% and 13.6% as for the April and the October samples, respectively. On the other hand, the corresponding value of filtered 20 m seawater was accounted for 24.7% as for the July sample, whereas it was 9.4% as for the October sample. Primary production was highest in July and the surface water was well stratified in this period. These results suggest that semi-labile DOM was accumulated in the surface water in July rather than in April and October. No significant changes were found in filtered or raw seawater collected at 800 m, suggesting the low contribution of semi-labile DOM in the mesopelagic zone of the Suruga Bay.

Key Words: semi-labile DOM, microbial degradation, organic carbon, primary production.

緒言

地球表層上の炭素の最大のリザーバーは海洋である. その炭素の存在量は約39000GtCであると報告されている(気象庁編, 1995).また、その中でも非生物態の有機物で孔径約0.2-1 µmのフィルターを通過するものが約700 GtC存在している(Headges, 1992).そのほとんどは海洋表層の生物生産に起因するものであり、溶存態有機物(DOM)と定義されている(Meyers-Schulte et al., 1986). DOMは主に従属栄養の細菌群集により利用されるが、この過程を出発点とする生物による 有機物利用の流れを微生物ループと呼ぶ(Azam et al., 1983). 細菌が捕食されることにより、微生物ループは 高次の食物連鎖につながることから、海洋における食 物網において重要な役割を担っている.

海洋の溶存態有機炭素(DOC)の鉛直分布は,季節に よる変動はあるが,表層で60-90 µmolC/1 と濃度が 高く,深層に行くに従い約40 µmolC/1まで減少し、

¹静岡大学理学部生物地球環境科学科,〒422-8529 静岡市大谷836

¹Department of Biology and Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422-8529 Japan E-mail:r235019@ipc.shizuoka.ac.jp(M.H.)

²静岡大学大学院理工学研究科,〒422-8529 静岡市大谷836

²Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422-8529 Japan ³静岡大学理学部地球科学教室 〒422-8529 静岡市大谷836

³Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422-8529 Japan

その値は全海洋規模で極めて変動が小さい(小川, 2001). -方、北太平洋深層におけるDOCの年代測定では平均 として約4000-6000年という値が報告されている(Bauer et al., 1992), 海水の平均回転時間が約1500年(小川, 2001)であることを考えれば、その有機炭素は海洋の深 層から表層を有機物のまま何度も循環していると考え られる。つまり、この結果は、DOMの中に何千年もの 時間スケールで分解されない画分が存在することを意 味している。一般に、植物プランクトンによって表層 で生産された有機物は捕食者や微生物群集により速や かに分解されることが知られている。しかし、これら と何千年もの間分解されずに海水中に残存する有機物 の分解速度の違いを引き起こす要因ついては現在まで 明らかにされていない、その答えを導くためには、ど のような過程を経て細菌により有機物が分解されるか を知ることが必要である.

近年、細菌による分解の受け易さにより海水中の有 機物を区分することが提唱され,分解を受けやすい順 に易分解性(Labile). 準易分解性(Semi-labile), 難分解 性(Refractory)有機物と命名された(Ogura, 1972). 各々 の有機物の回転時間は易分解性画分が数分-数時間, 準易分解性画分が数日 - 数年,難分解性が数千年と定 義されている(小川, 2001). 易分解性画分はアミノ酸 や単糖などであると報告されている(Amon et al., 2001)が、生産後に迅速な微生物代謝を受けるため、現 在の測定技術ではDOMのプール内のその現存量を見積 もることは不可能とされている (Kirchman et al., 1993, Carlson et al., 1995). 一方, 準易分解性有機 物はその回転時間の長さから海水中に蓄積・輸送され ることが可能なため、易分解性有機物に比べてより広 範囲で海洋の炭素循環に大きな影響を与えていると考 えられる.

そこで、本研究は沿岸域での準易分解性有機物の動 態を時空間的に明らかにすることを目的として、駿河 湾の表層および中層水に含まれる準易分解性有機物の 量と割合を求め、それらの季節変動を解析した。



図1 駿河湾における採水地点(St. 2).

方法

採水地点

採水は駿河湾において2001年の4月26日,7月12日, 10月16日の3回,静岡県水産試験場の駿河丸に乗船して 行った。図1に採水地点であるSt.2(34°51'N, 138°38'E,水深約1500m)の位置を示した。

駿河湾は開放性の湾で、水深が他の海湾に比べて非 常に深くその最深部は2245 mに達し、1000 m以深の 海底峡谷が湾口から湾奥部まで南北に連なり駿河トラ フを形成している、水塊は沿岸に近い海域の表層では 沿岸河川水系、湾の中央部から湾口にかけては外洋系 と沿岸系の混合水と外洋系表層水に分けられ、そして 水深100-200 mでは外洋系水主流部、200-1200 mで は亜寒帯系中層水、1200 m以深では大平洋深層水が流 入していると報告されている(日本海洋学会編、1985). また、表層水は黒潮系水の影響を強く受けているとい う特徴がある(日本海洋学会編、1985).

採水にはCTDキャセロールマルチサンプラー(Sea-Bird Electronics, INC.)に12ℓのニスキン採水器を取 り付けたものを使用した.試水はニスキンボトルから ポリカーボネート容器に分取した.なおポリカーボネー ト容器はエキストランMA-02(Merck Japan, LTD.)に8 時間以上つけた後よく水洗いをし、4N塩酸と純水で洗 浄したものを使用した.

海水中の有機物の分解実験

20 m, 800 mの海水を予め540 ℃, 4時間で燃焼処 理をしたガラス繊維フィルターGF - 75(Advantec MFS. INC.)でろ過したものとろ過しないものとに各々 2ℓずつに分け、ポリカーボネート容器に分注した.ろ 過海水と未ろ過海水とでは動物,植物プランクトン, 細菌数の存在量がろ過海水の方が少ないので、その分 解過程にも違いがあることが予想される。また採水し た深度の水温に近くなるようインキュベーター を20m の海水については20 ℃,800 mの海水については4 ℃ に設定し、ボトルを静置して暗条件下で現場微生物群 集により海水中の有機物分解実験を15日間(4月の20 m試料)または21日間(それ以外の試料)行った。実 験期間中. ボトルから定期的に有機態炭素(5 ml)と 全菌数用(50 ml)のサブサンプルを各々2本づつ採取 した.採取は実験開始から一週間は毎日,その後は-週間おきに行った. ただし, 全菌数用のサブサンプル の採取は7月と10月の試水においてのみ行った.

分析

有機炭素全有機炭素(TOC)濃度の測定は高温触媒酸 化法(Suzuki et al., 1992)によりTOC-5000 (Shimadzu Co.)を使用して行った. 凍結保存していた試料5 mlを 室温により溶解した後, 2N塩酸を0.5 ml加えて酸性に し,海水中に含まれる無機炭素を超高純度空気で10分 間通気することにより除去した後,測定した. 検量線 はフタル酸水素カリウム標準溶液を用いて作成し,そ の傾きとブランクから有機炭素濃度を算出した. ブラ ンクの値は純水を同様に処理して得たものを使用し, ブランクの測定は分析中に繰り返し行った. 試料の分 析の繰り返し精度は3回から5回の測定で2%以内であっ た.

Fig. 1 Sampling point of the Suruga Bay (St. 2).



図2 駿河湾St. 2におけるSigma-θ(a), クロロフィルa (Chl. a) (b), 基礎生産速度(PP) (c)の鉛直分布の季節による比較. Fig. 2 Seasonal variation of distribution of sigma-θ (Fig. 1a), concentration of chlorophyll-a (Fig. 1b) and primary production (PP) (Fig. 1c) in Suruga Bay (St.2).

全菌数

全菌数のサンプルは25%glutaraldehyde solutionで 固定し、1 μ g/mlの4'、6-diamidino-2-phenylindole (DAPL) 水溶液で染色を行った後、ろ過により孔径0.2 μ mのメンブレンフィルター上に細菌を捕集して蛍光 顕微鏡で計数を行った(Hobbie *et al.*, 1977).

クロロフィルa (Chl. a)および基礎生産速度(PP)

Chl. aとPPの測定は海水試料を採取した際に行った. Chl. a用の試水は表層0 mから水深200 mまでの7層 から採取し,船上で直ちに試水300 mlを予め540 ℃,4 時間で燃焼処理をした直径25 mmのGF - 75フィルター にろ過して捕集された粒子を*N*,*N*-ジメチルホルムアミ ドで抽出した後、蛍光光度計RF-5300PC(Shimadzu Co.) を使用して測定した.

PP測定用の試水は光量が表層に対し100%,50%,20 %,10%,5%,1%の深度の全6層から採取した.試 水は遮光した状態で実験室に持ち帰り,ポリカーボネー ト容器に500 ml分注し,トレーサーとして99.9%¹³Cの NaHCO₃100 mg(昭光通商社)を純水10 mlで溶解した溶 液を1 ml添加した.0時間のサンプルはトレーサー添加 後すぐにGF-75フィルターでろ過し,測定まで冷凍保 存した.残りの試料は容器を採水した深度の光量に調 節した遮光材で包み,表層水を常に流した水槽に入れ て太陽光下で24時間培養した.培養後,試料をGF-75 フィルターでろ過した.ろ過したフィルターは錫カプ セルに入れて圧縮機で圧縮し、液体窒素で凍結した後 凍結乾燥機で一晩乾燥させた後に安定同位体比を測定 した.安定同位体比の測定は昭光通商社に依頼した.

結果

現場環境パラメーターの季節変動

図2に4月、7月,10月における海水密度(Sigma-θ) とChl. a, および7月と10月におけるPPの鉛直分布を示 した. Sigma-θの分布 (図2a) から4月は7月と10月に 比べて混合層が約50 mと厚く、水の鉛直混合による下 からの栄養塩の供給が活発であったと考えられる. 方.7月と10月はそれぞれ水深約50 mと100 mに密度 躍層が存在し、発達した成層構造により4月に比べて深 層からの栄養塩の供給量が少ないことが示唆された. Chl. aの最大濃度は4月で1.26 µg/l, 7月で0.70 µg/l, 10月で1.75 µg/lであり(図2b), 10月が最も高くなっ た.この結果はPPの季節変化とも一致し、表層のPPは 10月で34.0 µg/l/dayを示し、7月の0.53 µg/l/dayに 比べて約60倍高かった(図2c),この原因として、日 射の強い夏季には強光阻害により表層の植物プランク トンの存在量が少なくなること、また、7月には混合層 が特に浅く(図2a)表層で栄養塩の枯渇が生じていた ことが考えられる.この考えは、7月にPPの値が下に行 くほど高くなる傾向を示し(図2c), 49mで最大の34. 4 μg/l/dayを示したことからも支持される. 一方. 10 月のPPは16 m以深で0.44-0.09 µg/l/dayと低い値(図 2c)だったことから、10月は表層でのみ活発な一次 生産が行われていたことが明らかになった. 10月のChl. a濃度は4月と7月に比べ100 m以浅で高い傾向を示した が (図2b), PPの鉛直分布から10月の16 m以深のChl. aは活動していない植物プランクトンまたは植物プラン クトンの死骸に主に起因していることが示唆された.

海水中の有機物の分解過程

海水中の有機物を現場微生物群集に分解させた実験



図3 7月の海水中有機物分解実験における有機炭素濃度の経 時変化.

Fig. 3 Time-dependant response of organic carbon in seawater from decomposition experiment for July.





の結果の代表として、7月に採取した試水を用いた実 験中の有機炭素濃度と細菌数の経時変化を図3と図4 にそれぞれ示した.また、表1に20 mの試水を用いた 各実験における有機炭素の初期濃度と、実験初期(0日 目から3日目または4日目まで)と全期間(0日目から15 日目または21日目まで)における有機炭素の減少量お よび両者の比と全期間における減少分が初期濃度に占 める割合をまとめて示した。20 mの試水中の有機炭素 濃度は分解開始直後の2日目以内に大きく減少し,そ の後は緩やかに減少した(図3).未ろ過海水の場合、 最初の4日間における有機炭素濃度の減少量は14.3±1.5 μmolC/1であり、これは21日間における減少量23.7±2. 3 μmolC/lに対して60%を占めた(表1). 一方, 実験 前にGF-75フィルターでろ過をして有機物をDOMの みにした海水中では最初の4日間に9.9±3.0 μ molC/1 が、21日間では20.6±2.7 µ molC/lが減少し、最初の4 日間の減少量は21日間の減少量の48%を占め、未ろ過 海水の場合に比べてその減少量は小さかった(表1). この傾向は10月の試水についても見られ、最初の3日間 における有機炭素の減少量が21日間の減少量に占める 割合は未ろ過試料で83%、ろ過試料の72%に比べて高 くなった(表1). 4月の試水では未ろ過試料でのみ実 験を行ったが、最初の4日目までで9.3±2.7µmol/lが 減少し、これは15日間における減少量の10.6±2.7µmo l/lに対して82%を占めた(表1). 分解初期における 有機炭素の減少量が全期間の減少量に対する割合を20 mの未ろ過海水の場合に季節で比較すると、7月が60% と最も低く、次いで4月の82%、10月の83% となった (表1). 一方、全期間で減少した有機炭素が初期濃度 に占める割合は未ろ過海水の場合に7月で最も高く26 %に相当し、4月と7月はそれぞれ17%、14%と低く なった(表1). この傾向はろ過海水でも見られ、7月 の25%に対して10月は9%と低くなった(表1). また、 この割合は分解初期の減少量が全期間を通じての減少 量に占める割合と同様、未ろ過試料の方がろ過試料よ り高くなる傾向が認められた。

全菌数は7月の20mの試水の場合(図4),未ろ過海 水の系で実験開始時に6.0×10⁶ cells/mlであり、有機炭 素濃度の減少につれて2日目に1.2×10^e cells/mlまで増 加したものの3日目には8.3×10⁶ cells/mlまで急激に減 少し、それ以降の変動は比較的小さかった、この傾向 はろ過試料についても見られ、実験開始時に2.5×10⁶ cells/mlであったのが2日目に1.5×10^e cells/mlまで増加 し、3日目には4.7×10⁶ cells/mlまで減少した(図4). 実験開始時の全菌数がろ過試料に比べて未ろ過の試料 の方で約2倍多かったのに対して、最大時の値はその逆 の値をとり、ろ過海水中の方が高い値を示した(図4). その要因として、ろ過試料では実験前にGF-75フィルター でろ過したことにより細菌群集の一部が捕集され実験 開始時の全菌数が抑えられたが、同時に従属栄養性微 少鞭毛虫(HNF)も捕集されたため、未ろ過の試料に比 べて細菌に対する捕食圧が低かった可能性が考えられ た. それに対して、10月の20 mの試水を用いた実験で は、ろ過海水の系で全菌数が5日目に最大となりその後 7月と同じように減少する傾向を示したのに対し,未ろ 過の海水の系では実験開始時の全菌数が4日目まで減少 していき、7月よりも捕食圧が高かったことを示唆した. 800 mの試水を用いた実験では全3回の実験で有機炭 素の初期濃度は40 µmol/1-46 µmol/1の範囲であり、 何れの実験でも有機炭素濃度の顕著な変化は確認でき なかった(図3).7月の800 mの試水を用いた実験に おける全菌数の値はろ過海水を用いた場合で1.5-3.4× 10⁴ cells/ml, 未ろ過海水を用いた場合で3.8-10×10⁴

cells/mlを示し、20 mの海水と比べると1/10 - 1/100程 度の値であり、顕著な時間変化は見られなかった。 10 月の800 mの試料においても全菌数には顕著な経時変 化が見られなかった。

考察

駿河湾の800 mの海水を用いた分解実験では有機炭 素濃度,全菌数共に21日間の分解期間中に顕著な変化 が見られなかった(図3,図4).この結果は,駿河湾 の800 mの海水中に存在する有機物群において細菌が 利用できる画分が年間を通して極めて低いことを示唆 している.また駿河湾・St.2の水深800 mにおける海 水中の無機炭素の年代を"Cの量から測定した結果,平 均値として1300 - 1500年という値が報告されている (土屋,2002MS).この報告値と本研究の結果から,駿 河湾の800 mの海水中には準易分解性有機物がほとん ど存在せず,難分解性の有機物が大部分を占めている ことが考えられる.

表1 分解実験における有機炭素濃度の初期値と減少量の季節による比較(20m).

 Table 1 Seasonal variation of initial concentration of organic carbon and decreased organic carbon during 21 days decomposition experiment (20m).

	Apl. 26, '01	Jul. 12, '01		Oct. 16, '01	
Sample	filtered	non filtered	filtered	non filtered	filtered
Initial concentration of organic carbon	67.5	90.5	83.4	76.7	73.2
①Decerease of organic carbon ($0 \sim 4 \text{ days}$)	9.3	14.3	[~] 9.9	6.0	4.1 ¹⁾
②Decerease of organic carbon (0~21days)	11.4 ²⁾	23.7	20.6	7.2	5.7
Avg. SD ³⁾	±0.9	±1.2	±1.2	±1.1	±0.9
①/②×100(%)	82	60	48	83	72
②/Initial conc×100(%)	17	26	25	14	9
①/Initial conc×100(%)	14	16	12	8	6

1) 0~3days decrease (μ molC/l)

2) 0~15days decrease (μ molC/l)

3) Average standard deviation for organic carbon (μ molC/l)

表2 駿河湾における現場データ(クロロフィルa,基礎生産速度,全菌数,全有機炭素の初期濃度)と21日間の分解実験で減少し た有機炭素濃度の季節による比較(20m).

 Table 2
 Comparison of in situ date (Chl. a, PP, Bacteria and initial concentration of TOC) and decrease of organic carbon from decomposition experiment (20m).

	seawater				experiment	
Date	Phytoplankton		Bacteria	TOC	Decrease of organic carbon(%C)	
	Chl. a(µg/l)	PP(µg/I day)	(10 ⁵ cells/ml)	(µmolC/I)	non filtered	filtered
Apr. 26, '01	1.15	-	-	67.5±1.8(SD)	16.8	-
Jul. 12, '01	0.70	13.2	$6.0 \pm 2.6(SD)$	90.5±1.3(SD)	26.2	24.7
Oct. 16, '01	1.57	0.35	9.4±1.5(SD)	76.7±2.8(SD)	13.6	9.4

一方, 駿河湾の20 mの海水を用いた分解実験では, 分解開始から2-4日目において有機炭素濃度の著し い減少が見られ,全菌数を計数した4つの実験系の内 3回で同時期における全菌数の増加が確認された(図 3,4)、この結果は,分解期間中の有機炭素濃度の減 少が容器内壁への吸着などの非生物的な過程によるも のではなく,細菌群集による無機化の結果生じたこと を強く示唆している.

表2に観測時の20 mにおけるChl. a濃度, PP, 全菌 数およびTOC濃度の値と、20 mの海水を21日間インキュ ベートしてその間に減少した有機炭素の濃度(表1) が分解開始時の有機炭素濃度(表1,2)に占める割 合を季節毎にまとめて示した. 準易分解性有機物の回 転時間が数十日と定義される(Kirchman et al., 1993) ことから、表2に示した割合は準易分解性有機物の割 合を示す、準易分解性有機物の割合は未ろ過の海水の 場合7月が26.2%と最も高く、次いで4月の16.8%、10月 の13.6%となった(表2).また、ろ過した海水につい ても7月の24.7%という値は10月の9.4%に比べて高かっ た. Chl. a濃度は7月は0.7 $\mu g/l$ で、4月(1.15 $\mu g/l$) と10月(1.57 µg/l)に比べて低かったが、PPの値は7 月が13.2 µg/l/dayで10月 (0.35 µg/l/day) に比べて 約40倍高かった. また, TOC濃度は7月が90.5±1.3 µ mol C/lで4月(67.5±1.8 µmol C/l)と10月(76.7± 2.8 µmol C/1) に比べて高かった. Chl. aとPPおよび TOCの結果は、7月には植物プランクトンの現存量が少 ないものの活発な一次生産に伴い溶存有機物が多く生 産されてTOCが表層に蓄積したことを意味している. それに加えて、分解実験の結果から7月に4月と10月に 比べて準易分解性有機物がより多く蓄積したことが明 らかになった、Carlson et al., (1994) はDOCの鉛直 分布の季節変化から春から夏にかけて生じる植物プラ ンクトンのブルームにより、表層に準易分解性有機物 が蓄積されることを示唆したが、本研究では分解実験 を季節毎に行うことで初めて準易分解性有機物の割合 が夏に高くなることを証明した. Carlson et al., (1994)は同様にDOCの鉛直分布から夏季の表層に蓄積 した溶存有機物が細菌にゆっくりと分解され、残りが 冬季の海水の鉛直混合により深層に輸送される可能性 を示した。10月の準易分解性有機物の割合が7月の約 50%に相当する(表2)という本研究の結果は、7月に 蓄積した準易分解性有機物のかなりの量が10月までに 細菌により分解されたことを示唆している.この考え は10月の全菌数が7月に比べて高いことからも支持され る. また, 7月と10月の実験でろ過試料(48%および72 %)に比べて未ろ過試料(60%および83%)で準易分 解性有機物の割合が高くなった(表1,2)ことは、未 ろ過の試料に含まれる懸濁態有機物が溶存有機物より 分解され易いことを示している.一方,準易分解性有 機物の内,分解実験開始後3,4日の内に分解される ものが15日間または21日間の内に分解されるものに対 する割合は7月で48 - 60%であり、4月(82%)と10月 (72-83%)に比べて低くなった.この結果から,4月 と10月の表層水に含まれる準易分解有機物の割合は7月

に比べて低かったものの,細菌群集の現存量および活 性が7月に比べて高かった可能性が考えられる(表2) が,データの数が少ないため今後さらに実験と観測を 行う必要がある.

まとめ

駿河湾の海水を用いて海水中の有機物の分解実験を 行い、有機炭素濃度の減少量から準易分解性有機物の 量と割合を見積もった結果、4月の未ろ過海水では15 日間で11.4±2.7 µmol/l (16.8%), 7月の未ろ過海水 と10月の未ろ過海水では21日間にそれぞれ23.7±2.3 µ mol/l (26.2%), 7.2±3.8 µmol/l (13.6%)となり, 7 月が最も高い割合を示した.この傾向はろ過海水でも 見られ、7月の海水では20.6±2.7 µmol/1 (24.7%)、10 月の海水では5.7±4.3 µmol/1 (9.4%)となった. 本研 究のこの結果により、準易分解性の有機物の量と割合 が季節的に変動することが分解実験から初めて示され た.7月は表層の一次生産が4月と10月に比べて高く. また、発達した成層構造が見られたことから、植物プ ランクトンにより生産された比較的新鮮な有機物が鉛 直的に輸送されずに表層に高濃度で蓄積したと考えら れる.一方で,800 mの海水中の有機炭素濃度は21日 間の分解で変化しなかったことから、駿河湾の中層水 中の準易分解性有機物濃度が極めて低いことがわかっ た.

謝辞

本研究を進めるにあたり,静岡県水産試験場の萩原 快次さん,五十嵐保正さん,駿河丸の船員の皆さんに 御協力していただきました.また,土屋理恵さんには 年代測定のデータを提供していただきました.心より 感謝いたします.

引用文献

- Amon R. M. W., Fitznar H. P. & Bennr R. (2001), Linkage among the bioreactivity, chemical composition, and diagenetic state of marine dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, 46, 287-297.
- Azam F., Fenchel T., Field J. G., Gray J. S., Meyer-Reil L. A. & Thingstad F. (1983), The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, **10**, 257-263.

- Bauer J. E., Williams P. M. & Druffel E. R. M. (1992), "C activity of dissolved organic carbon fractions in the north-central Pasific and Sargasso Sea. Nature, 357, 667-670.
- Beers J. R. (1986), Plankton dynamics of the Southern California Bight. In: Eppley R. W (ed.) Lecture Note on Coastal and Estuarine Studies, Springer-Verlag, New York,
- Carlson C. A., Ducklow H. W. & Michaels A. F. (1994), Annual flux of dissolved organic carbon from the euphoticzone in the northwestern Sargasso Sea. *Nature*, **371**, 405-408.
- Hedges J. I. (1992), Global biogeochemical cycles: Progress and problems. Marine chemistry, 39, 67-93.
- Hobbie J. E., Daley R. J. & Jasper S. (1977), Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Applied and Environmental Microbiorogy*, **33**, 1225-1228.
- Kirchman D. L., Lancelot C., Fasham M., Legendre L., Radach G. & Scott M. (1993), Dissolved organic matter in biogeochemical models of the ocean. In: Ecans G. T. & Facham J. R. (eds) Towards a model of ocean biogeochemical process, Springer, Berlin, 209-225.
- 気象庁編(1995),地球温暖化の実態と見通し(IPCC第二次 報告書). 大蔵省印刷局,東京,598p.
- Meyers-Schulte K. H. & Hedges J. I. (1986), Molecu lar evidence for a terrestrial component of organic matter dissolved in ocean water. *Nature*, **321**, 61-63.
- 日本海洋学会編(1985), 駿河湾, 日本全国沿岸海洋誌, 東 海大学出版会, 429-472
- 小川浩史. (2001), 難分解性有機物. 海洋号外, 25, 204-209.
- Ogura N. (1972), Rate and extent of decomposition of dissolved organic matter in surface seawater. Marine Biology, **13**, 89-93.
- Suzuki Y., Sugimura Y. & Ito T. (1992), A hightemprature catalytic oxidation method for the determination of dissolved organic carbon in seawater: analysis and improvement. *Deep-Sea Research*, 39, 185-198.
- 土屋理恵 (2002MS), 駿河湾の水塊構造一¹⁴C濃度からの検 討一.静岡大学理学部,卒業論文,42p.
- Williams P. M. & Druffel E. R. M. (1988), Dissolved organic matter in the ocean: Comments on a controversy. Oceanography, 1, 14-17.