



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	噴火湾における溶存有機物の周年変動
Author(s)	吉田, 秀見; YOSHIDA, Hidemi; 米田, 義昭 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 35(4), 254-270
Issue Date	1984-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23867
Type	departmental bulletin paper
File Information	35(4)_P254-270.pdf



噴火湾における溶存有機物の周年変動*

吉田 秀見**・米田 義昭**・塩本 明弘**

Seasonal Variation of Dissolved Organic Matter in Funka Bay*

Hidemi YOSHIDA**, Yoshiaki MAITA**, and Akihiro SHIOMOTO**

Abstract

The seasonal variation of dissolved organic matter (DOM), i.e., total dissolved lipids (DL), total dissolved polysaccharides (DPS), total dissolved monosaccharides (DMS), total dissolved combined amino acids (DCAA), and total dissolved free amino acids (DFAA), was investigated in Funka Bay from January 1983 to January 1984 using R/V Ushio Maru.

Each component of DOM changed drastically in relation to time and space. The concentration ranges and the mean values of DL, DPS, DMS, DCAA and DFAA in station 30, were 11-200 (76, n=134), 33-2800 (220, n=155), 28-1200 (120, n=156), 37-3700 (240, n=156) and 1.5-400 (30, n=156) as $\mu\text{g C l}^{-1}$, respectively.

Concentrations of DOM increased during the periods when diatom bloomed in the spring and when water temperature rose in the summer. Standing stocks of DOM throughout the water column (from surface to 92 m in depth) were estimated at 9.7 g C m⁻² for DL, 64.0 g C m⁻² for DPS, 21.6 g C m⁻² for DMS, 54.1 g C m⁻² for DCAA and 3.6 g C m⁻² for DFAA in the spring, and at 8.0 g C m⁻² for DL, 22.0 g C m⁻² for DPS, 20.1 g C m⁻² for DMS, 46.7 g C m⁻² for DCAA and 6.3 g C m⁻² for DFAA in the summer. In the fall, carbohydrates and amino acids also increased in response to the higher concentration of chlorophyll *a*. Standing stocks of DOM throughout the water column were estimated at 25.2 g C m⁻² for DPS, 10.6 g C m⁻² for DMS, 16.6 g C m⁻² for DCAA and 2.3 g C m⁻² for DFAA during this period.

The water depth in which higher concentrations of DOM were formed differed both vertically and temporally. It is presumed that these results reflected increases and decreases in the DOM components.

結 言

海水中に含まれている溶存有機物 (DOM) は平均 1.5 mg C l⁻¹ 程度 (Sharp, 1973; Gordon と Sutcliffe, 1973), 海洋全体で炭素にして 2×10^{17} g あり, これは粒状有機物 (POM) の 10 倍の量である (Cauwet, 1981)。DOM は海水中に存在する有機物の中で最大の現存量を占めている。

海洋における DOM の挙動については最近のいくつかの総説にまとめられている (例えば, Williams, 1975; Wangersky, 1978; Gagosian と Lee, 1981)。DOM は主に植物プランクトンの光合成産物を起源としている。それらの DOM はプランクトンから正常な代謝過程で排出されたり,

* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設業績第 161 号
(*Contribution No. 161 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

** 北海道大学水産学部北洋水産研究施設海洋生産学部門
(*Division of Marine Biochemical Science, Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

また、プランクトン自身が老衰・死滅により溶解・分解していく過程で生成する。一方、浮遊細菌やペン毛藻(虫)、繊毛虫などの従属栄養微生物によってエネルギー源として摂取されることにより、DOMは減少する。

海水中のDOM濃度の変化を調べることは、光合成によって蓄えられたエネルギーの海洋における流れを明らかにしていくうえで重要であると考えられる。また、それは海洋における低次生産の維持機構を解明していくうえでも基礎的な情報を与えてくれる。さらに、海洋環境保全の見地からもこの種の研究が必要であると考えられる。

最近、簡便な分析法が開発されたり、自動分析機器類が発達することによって、脂質及び糖質、タンパク様物質などのDOMの主要成分が、環境変動及びそれに伴う生物活動の変化(特に、植物プランクトンの大増殖の期間を含む変化)の中で、どのように挙動し、また、どのような役割を果たしているのかについて詳細に明らかにされつつある(Eberleinら, 1983; Harvey, 1983; Kattnerら, 1983; Laakeら, 1983)。しかし、それらのDOM成分のうち、2成分以上を同時に扱って総合的な議論を試みた例は少ない(Ittekkot, 1982)。

著者らは、DOMのそれぞれの有機成分の分子量分画及び組成変動、未同定成分の挙動、各成分の生物生産に果たす役割などに関する研究を総合的に追求する必要があると考える。

その研究の一環として、まず、本研究では北方沿岸域の一例としてこれまでに多様なデータが蓄積されている噴火湾海域(角皆, 1978, 1983; 大谷, 1981; 米田, 1982)をとりあげ、特に、植物プランクトン(珪藻類)の大増殖の時期を含む周年におけるDOMの主要成分の変動を明らかにした。同一の海水試料を用いてDOM中の脂質及び糖質、タンパク様物質を測定した報告は、ほかにほとんど例を見ない。

試料及び方法

試料

採水は、主に噴火湾のほぼ中央に位置するステーション(以下Stn.) 30(水深92 m)において、1983年1月から約1年間にわたり、春季の珪藻類大増殖期である2月と3月にそれぞれ2回と3回、そのほかは月1回の間隔で、北大うしお丸(108t)によって行われた(図1)。ほかに湾口部のStn. 17(水深94 m)及び湾外のStn. 13(水深87 m)からも採水された。

海水試料は表面については塩酸処理したポリバケツを用い、それ以深はほぼ10 m間隔でナンゼン型採水器あるいは一部20 lパンドン型採水器から得られた。溶存脂質分析用の試水は充分洗浄した500 mlポリエチレンビンに、また、溶存炭水化物及び溶存アミノ酸分析用の試水は、0.1 N NaOH溶液で前処理(>12 h)した100 mlポリエチレンビンに採られた。これらの試料はクーラーに入れて実験室に持ち帰り、直ちに、Whatman GF/Cフィルター(25 mmφ, 450°Cで24 h強熱処理済み)でろ過された。ろ液はすぐに分析しない場合、-20°Cで保存された。凍結試料は分析直前に解凍されたのち、数分間超音波をかけて再懸濁物が壊された。

方法

溶存全脂質(DL)は、Pandeら(1963)の吸光法を応用した米田ら(1984)のクロロホルム抽出物を重クロム酸カリウム・硫酸で酸化する方法により定量された。溶存全単糖(DMS)及び多糖(DPS)は、Johnsonら(1981)の糖から生成するホルムアルデヒドを3-methyl-2-benzothiazolinon hydrazon hydrochloride(MBTH)により測定する吸光法を一部改良した吉田ら(1983a)の方法により定量された。また、溶存全遊離アミノ酸(DFAA)及び結合アミノ酸(DCAA)は、Josefssonら(1977)のo-phthalaldehydeによるケイ光を測定する方法を一部修正した吉田ら

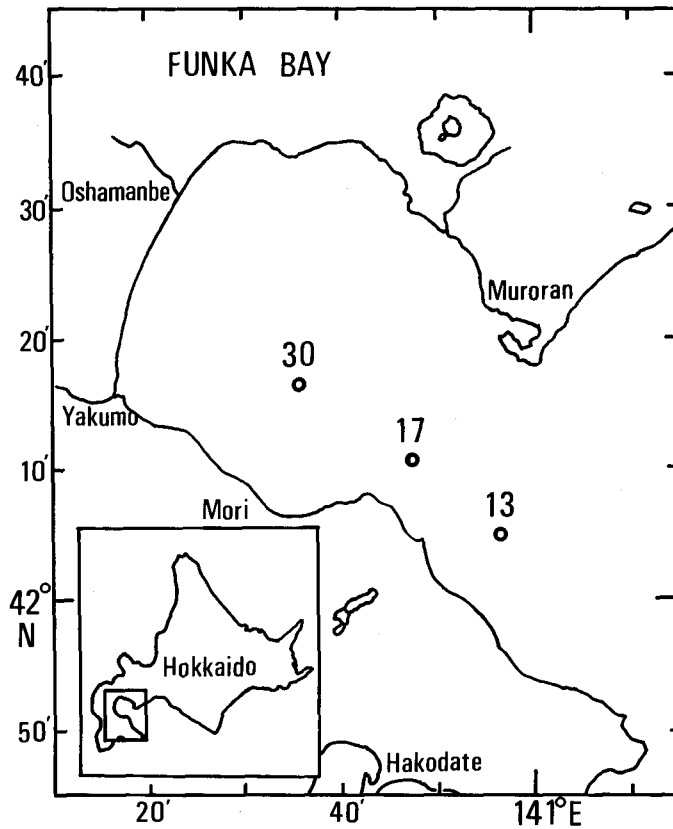


Fig. 1. Location of sampling stations in Funka Bay (Station 30: 42° 16.2'N, 140° 36.0'E; Station 17: 42° 10.4'N, 140° 47.2'E; Station 13: 42° 04.9'N, 140° 56.6'E).

(1983b)の方法に従って定量された。定量には Hitachi 100-40 型分光光度計及び Hitachi 650-10S 型ケイ光分光光度計が用いられた。測定上の変動係数は、DL が $71 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 13\%$ ($n=8$), DMS が $720 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 1.9\%$ ($n=10$) 及び $22 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 8.5\%$ ($n=10$), DPS が $65 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 16\%$ ($n=10$), そして、DFAA が $720 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 1.9\%$ ($n=10$) 及び $72 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 0.64\%$ ($n=3$), $7.2 \mu\text{g C l}^{-1} \pm 12\%$ ($n=3$) であった。

基礎生産力は、Steemann Nielsen (1952) の方法を応用し、100 及び 30, 15, 2% 水面照度に相当する深度の海水について、4 時間以内の培養を行うタンク法により測定された。

クロロフィル *a* (以下 Chl. *a*) は、Yentsch と Menzel (1963) が確立し、Holm-Hansen ら (1965) が改良した 90% アセトン抽出物のケイ光を測定する方法により定量された。

水温はナンゼン型採水器に装着した転倒温度計により測定された。塩分はサリノメーターにより測定された。溶存酸素は Winkler 法により測定された。

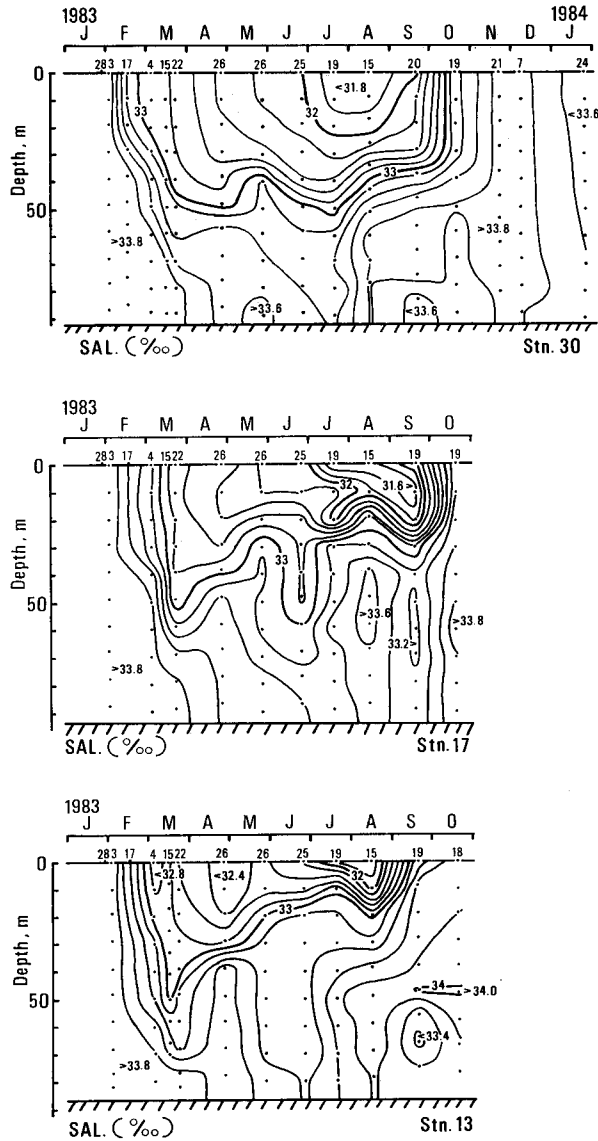


Fig. 2. Seasonal variations in salinity (‰) at stations 30, 17 and 13.

結果及び考察

海況

噴火湾における1年を通じての海洋構造は、既に大谷ら(1970, 1971)の研究報告で指摘されているように、春秋2回の水塊交替を示している。春-夏期は塩分33.3‰以下の親潮系水、秋-冬期は塩分33.6‰以上の津軽暖流水が噴火湾海域をほぼ占めつくしている(図2)。水温及び塩分躍

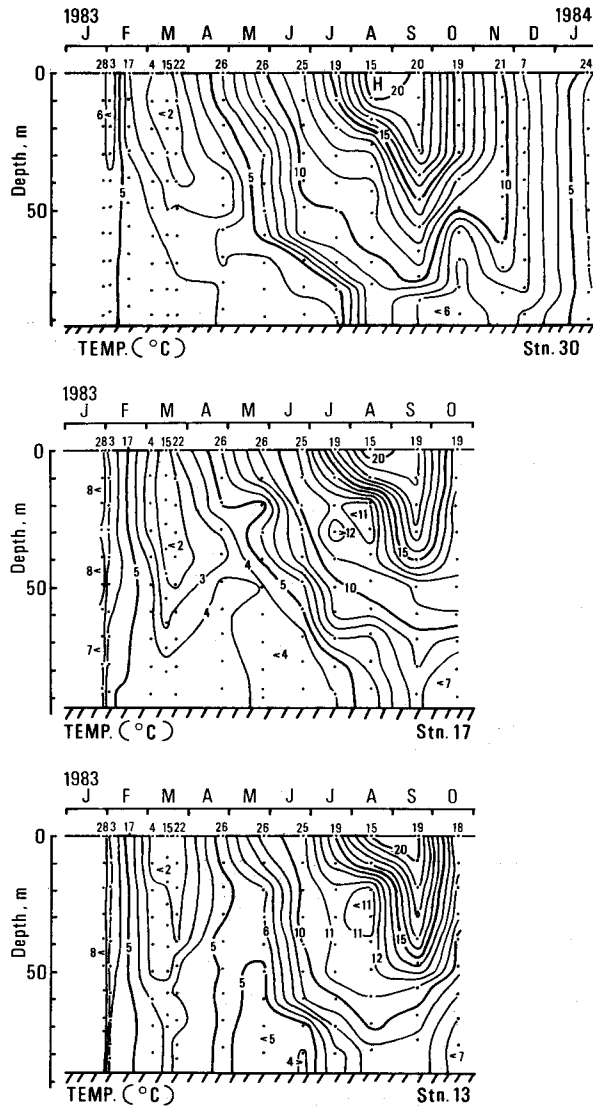


Fig. 3. Seasonal variations in temperature ($^{\circ}\text{C}$) at stations 30, 17 and 13.

層の発達する夏季(図2及び3)を中心に底層付近で見かけの酸素消費量(AOU)が2ないし4 ml l^{-1} 以上へと高まる(図4)。

夏季の躍層は湾奥に向かって深くなり、AOUの最大値は湾奥に向かって高くなる。これについては、湾の奥側ほど有機物無機化後の状態が保存されやすいことが考えられる。

基礎生産と植物色素

ここでは Stn. 30 について述べる。

基礎生産力は3月15日に最大値(表面水で $14 \text{ mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$, 水柱あたり $0.97 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$)を示

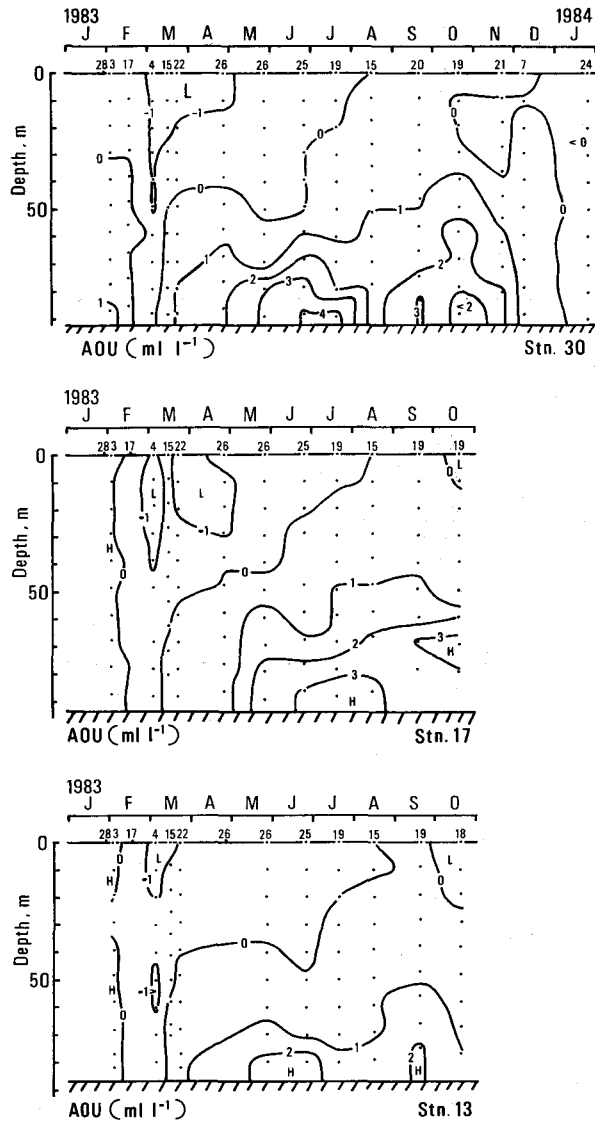


Fig. 4. Seasonal variations in apparent oxygen utilization (ml l^{-1}) at stations 30, 17 and 13.

す(図5)。この春季大增殖の優占種は、例年、珪藻類であることが知られている(西浜ら, 1976; 中田, 1982)。6月25日にも相対的に小規模な生産力の高まり(表面水で $3.3 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 水柱あたり $0.38 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)が見られる。

3月と6月の生産力の2つのピークは、Chl. *a*の分布によく反映している(図5)。3月のChl. *a*濃度の最大値は22日水深40mの $15 \mu\text{g l}^{-1}$ であり、6月のそれは9mの $3.4 \mu\text{g l}^{-1}$ である。

また、11月21日にはChl. *a*について水深20mで $7.4 \mu\text{g l}^{-1}$ にも達する最大ピークが形成されている。このことは、秋季にも春季大增殖時に次ぐ基礎生産が起こっていることを示している。

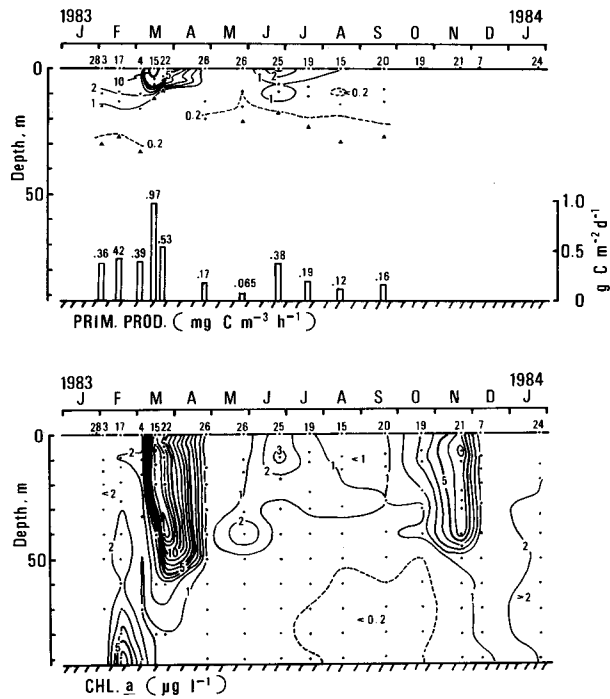


Fig. 5. Seasonal variations in primary productivity ($\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$ and $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) and chlorophyll *a* ($\mu\text{g l}^{-1}$) at station 30 from 1983 to 1984.

Stn. 30における基礎生産力は、欠測の10月以降を、3月4日から4月26日までの春季大増殖を含む期間 ($25 \text{ g C m}^{-1} (53\text{d})^{-1}$: 塩本ら, 1984)を除く平均値 ($0.21_2 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)で補って見積ると少くも $91 \text{ g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$ となる。この値は、周年変動のパターンは異なっているも Maita と Yanada (1978) の $100 \text{ g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$ に近似するものである。

DOM (溶存有機物)

1. DL (溶存全脂質)

Stn. 30におけるDL濃度の範囲と平均値は観測期間を通じて $11\text{--}200 (76, n=134) \mu\text{g C l}^{-1}$ である。3月から4月にかけての80m以深、及び、8月の水深20-30m付近を中心に $150 \mu\text{g C l}^{-1}$ 以上のDL濃度の分布がある(図6-DL)。8月から10月にかけての40m以深の $100 \mu\text{g C l}^{-1}$ 以上の分布も合わせてみると、Chl. *a*濃度の高い層の下方に、しかも、時間的に遅れてDLの高濃度層が出現している。このことは、DLがある程度沈降・分解過程を経たプランクトンやデトリタスを起源としていることを想像させる。

Kattnerら(1983)は1976年4月から5月にかけての北部北海における春季植物プランクトン大増殖の期間のDL(クロロホルム抽出画分)の増加について報告している。それによると、海水中の全脂肪酸濃度が大増殖前には平均 $13.8 \mu\text{g C l}^{-1}$ (炭素含量を76%として μmol を $\mu\text{g C}$ に換算した)だったのが、大増殖中に約 $60 \mu\text{g C l}^{-1}$ の最大値にまで増加する。また、150mの水柱を鉛直的に見ると、4月と5月の2回の大増殖とも80m以深から海底付近において全脂肪酸濃度が

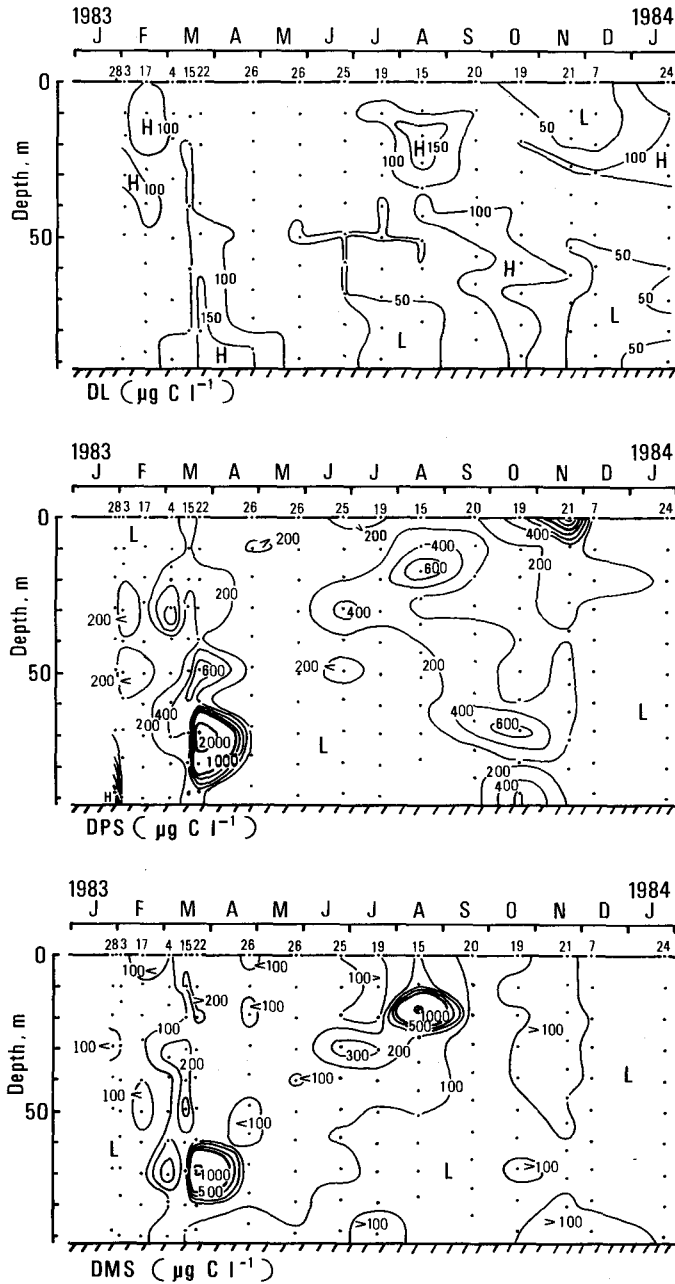


Fig. 6. Seasonal variations in total dissolved lipids (DL), total dissolved polysaccharides (DPS), total dissolved monosaccharides (DMS), total dissolved combined amino acids (DCAA) and total dissolved free amino acids (DFAA) expressed as $\mu\text{g C l}^{-1}$ at station 30 from 1983 to 1984.

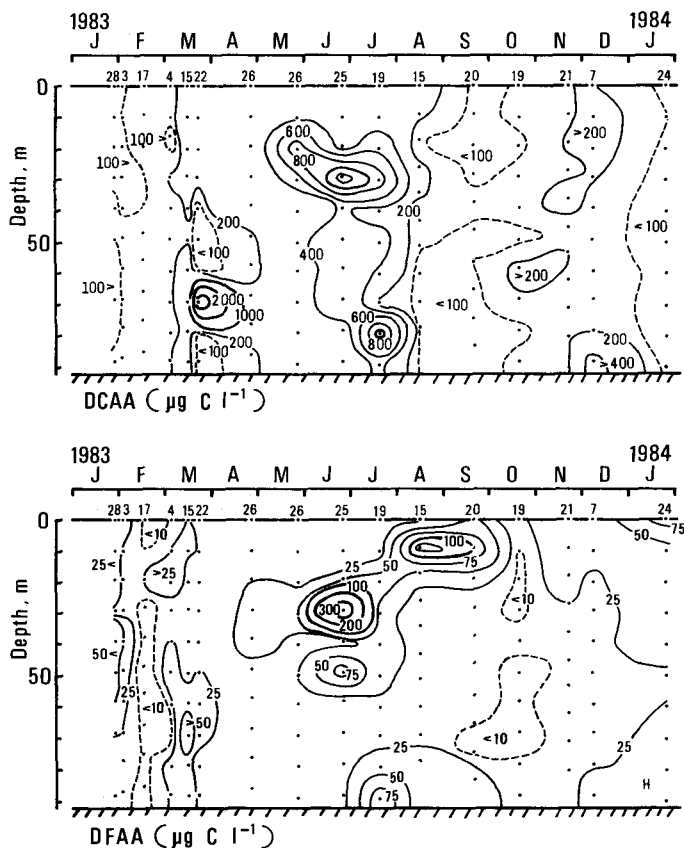


Fig. 6. Continued.

最大値を示している。このことについて彼らは、全脂肪酸の増加が DFAA 中のグルタミン酸の増加と良く一致していることから、植物プランクトン大増殖中に既に堆積・分解過程が起こり、それが底層における脂肪酸を含む DL の増加を引起すものと考えている。

本研究の結果のうち、8月から10月にかけての DL 増加のパターンが春季のものと異なり、より浅い層に最大値をもつことについては、水温上昇による浅層における従属栄養活性(分解力)の増加(吉田ら, 1982), 又は、プランクトンの排出機能の高進による影響が考えられる。

2. DPS (溶存全多糖)

DPS 濃度の範囲と平均値は、観測期間を通じ Stn. 30 において、33-2800 (220, n=155) µg C l⁻¹ である。この変動幅及び平均値は 5 有機成分中 DCAA に次いで大きい。

Harvey (1983) は 1978 年 5 月から 8 月にかけてニューヨーク湾の 18 点における DPS 濃度(改良前の MBTH 法による)の変動を表面水と底層水についてのみ報告している。それによると、表面水と底層水には一定の関係はなく、それらにおける DPS 濃度の範囲及び平均値は、炭素含量を 40% として換算すると、10-360 (72, n=62) µg C l⁻¹ である。噴火湾の方がニューヨーク湾に比べ、同じ期間に限って比較しても 40-800 (180, n=40) µg C l⁻¹ と、範囲・平均値ともに大きい。もし、ニューヨーク湾において噴火湾のように有光層内で DPS 濃度が増加していても、ニュー

ヨーク湾では表面水及び底層水以外のデータを得ておらず、DPS濃度の増加が見過ごされている可能性がある。

Stn. 30においては、DLで高濃度を示した層に加えて、3月及び6月、11月のいずれも基礎生産の活発な有光層内においてもDPSは高濃度を示す(図6-DPS)。この有光層内における分布は増殖中のプランクトンからの排出を反映しているものと推察される。

Eberleinら(1983)は、1979年3月から5月にかけて南部ノルウェー・フィヨルドにおいて、直径1m、深さ20mのプラスチック製タンクを海中に浮かべ、珪藻 *Skeletonema costatum* を接種して、この単一種の増殖に伴う溶存全炭水化物(L-トリプトファン・硫酸法を用いているので本研究のDPS+DMSに相当すると思われる)濃度の変化を極めて詳細に追跡している。それによると、実験開始から1週間後、珪藻の対数増殖に伴って細菌が急激に増加し、炭水化物濃度を $80 \mu\text{g C l}^{-1}$ 以下に減少させる。その濃度水準が約1週間続いたのち、珪藻が定常期に入り、細菌がnanoflagellatesの捕食を受けて実験開始時と同程度($10^5 \text{ counts ml}^{-1}$)にまで減少し、このとき炭水化物濃度は10m以浅において特に正午と午後3時に $300 \mu\text{g C l}^{-1}$ 程度の高濃度のパルスを示し始める。同時に、パルス以外のときのベースラインの濃度も増加し始める。これについて彼らは、昼間の高濃度のパルスについては、最大細胞数に達した珪藻細胞からの過剰生産物の排出であり、それ以外のベースラインの濃度増加については、一部の珪藻細胞の老衰及び分解によって、細胞内の貯蔵性多糖より安定な炭水化物が細胞壁から離れることによると考察している。

彼らの結果及び考察が、季節及び生物種、海域を問わず、そして、天然の開放系でも当てはまるかどうかについて、本研究の結果からは検証しつくせないが、少なくとも溶存炭水化物の増加及び減少の理由に関しては、本研究、すなわち天然開放系の場合にも、閉鎖系実験の場合と同一の機構が働いているものと推察される。

3. DMS (溶存全単糖)

DMS濃度の範囲と平均値はStn. 30において28-1200 ($120, n=156$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ である。Harvey(1983)によると、1978年5月から8月にかけてのニューヨーク湾において、DMS濃度の範囲及び平均値は10-230 ($66, n=86$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ である。同時期の噴火湾での値は45-1050 ($150, n=40$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ と、ニューヨーク湾の値より範囲・平均値ともに大きく、DPSで述べたことがここでも言える。

DPSに比べDMSは全体的に低濃度である。DMSの分布傾向はDPSに似ている(図6-DMS)。しかし、DMSは8月から10月にかけての40m以深においてはDPSのような高濃度を見せない。DMSはDPSに比べて速やかに従属栄養微生物により摂取されているものと考えられる。

Lancelot(1984)は1979年4-6月と1982年4-5月にベルギー沖からイギリス海峡にかけての水深3mの海水を用いて、分子量500d(ドルトン)を境にして分けた植物プランクトン細胞外排出物の従属栄養微生物による取込みを比較している。それによると、低分子(<500d)の排出物は $0.02-0.24 \text{ h}^{-1}$ という急速な回転率で従属栄養微生物に利用されているが、高分子(>500d)の排出物は菌体外酵素による加水分解を受けて低分子になれば直接利用されず、海中での滞留時間も長いという。

本研究では、測定の上、単糖とそれ以外の多糖という分け方をしているが、単糖濃度が多糖濃度に比べて全体的に低いという噴火湾の結果には、Lancelot(1984)が指摘している従属栄養微生物によるDOM摂取におけるサイズ選択性が働いていると考えられる。

4. DCAA (溶存全結合アミノ酸)

DCAA濃度の範囲と平均値はStn. 30において37-3700 ($240, n=156$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ である。この成

分は測定した5成分中、範囲・平均値とも最大である。

DCAA も春及び夏、秋の3回高濃度を形成している(図6-DCAA)。DL及びDPS, DMSと異なるのは、夏季のピークが6月の30m層と7月の80m層を中心として、より速やかに形成されることである。終息も相対的に速く、8月には表面から底層までにおいてピーク形成前の400 $\mu\text{g C l}^{-1}$ 以下の濃度になっている。

Ittekkot (1982) は1976年3月から6月にかけて北部北海の150mの水柱におけるプランクトン大増殖期間中の溶存糖(本研究におけるDPS+DMSに相当すると思われる)及び溶存アミノ酸(本研究におけるDCAA+DFAAに相当すると思われる)の変動について報告している。それによると、この大増殖は、まず、珪藻 *Chaetoceros* sp. のブルーム、次いで、ペン毛藻及び微小珪藻のブルームの2回から成っている。そして、*Chaetoceros* ブルームの絶頂から終息に向かって溶存糖が上層で最大値160 $\mu\text{g C l}^{-1}$ に達し、このブルームの終息後、溶存全糖は減少して次のペン毛藻ブルーム時には下層で20 $\mu\text{g C l}^{-1}$ 以下の最小値になっている。一方、溶存アミノ酸は、*Chaetoceros* ブルームの終息に向かって濃度が上層で、炭素含量を55%として換算すると、80 $\mu\text{g C l}^{-1}$ 以下の最小値に減少し、次のペン毛藻ブルーム時に fecal pellets の数の増加とともに中層で急激に増加しているという。

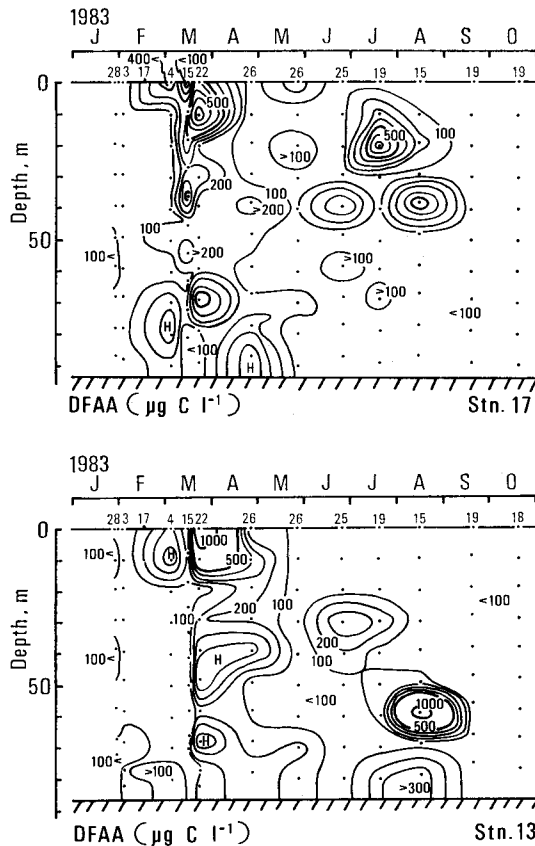


Fig. 7. Seasonal variations in total dissolved free amino acids (DFAA) expressed as $\mu\text{g C l}^{-1}$ at stations 17 and 13.

Stn. 30において7月に80 m層を中心として40 m以深のDCAAが増加するのも、nanoflagellatesあるいはfecal pelletsのような沈降粒子の影響があったのかもしれない。しかし、このDCAAの増加は8月から10月にかけてのDL及びDPSのパターンと一致しない。この点については、今後、各サイズ画分ごとの生物及びデトリタス、fecal pelletsの密度分布における変動が明らかにされれば説明されていくであろう。

5. DFAA (溶存全遊離アミノ酸)

Stn. 30におけるDFAA濃度の範囲と平均値は $1.5-400$ (30, $n=156$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ と、5成分中、範囲・平均値ともに最小である。

DFAAの周年変動のパターンはDMSに似ていたが、夏季の高濃度層の形成については5成分中最も速く、4月からその兆しを見せ始めている(図6-DFAA)。

DFAAは、春季大増殖時に、DLを除く他成分と同様、有光層及び分解層の両方においてやや高濃度を示す。しかし、春・夏のバランスという点でみると、特に3月の70 m層付近において、DPS及びDMS、DCAAが夏季と同程度か、むしろ、春季の方が高濃度であるのに対し、DFAAの春季の増加は夏季のその20%以下に過ぎない。また、DFAAは6月から7月にかけての60 m以深において、DCAAと異なり高濃度を示さない。

以上の結果に対して、DMSで述べたような従属栄養微生物の利用選択性が反映していると仮定すれば、DFAAは従属栄養微生物にとって最も利用価値の高い成分、すなわち最も不安定な成分ということになる。

DFAAについては、湾口部のStn. 17及び湾外のStn. 13における10月までの結果を図7に示す。春・夏の増加という大まかなパターンは湾内のStn. 30と同じであるが、細部に以下のようないくつかの相違点が認められる。

まず、湾内に比べて湾口及び湾外の方が全体的にDFAA濃度が高い。しかも、それは有光層において著しい。観測期間を通じてのDFAA濃度の範囲と平均値は、Stn. 17において $5.1-980$ (120, $n=120$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ 、Stn. 13において $3.6-1500$ (130, $n=110$) $\mu\text{g C l}^{-1}$ である。このことは、特に春季において、無機窒素(DIN)、中でも硝酸態窒素が湾内で最も速やかに $1 \mu\text{g-at l}^{-1}$ 以下に減少すること(塩本ら, 1984)と関連していることが示唆される。すなわち、植物プランクトンの窒素栄養源としてのDINがStn. 30のように速やかに枯渇してしまう環境下においては、条件的従属栄養植物の窒素欠乏細胞によるDFAAの摂取が起こっている(Hellebust, 1970; NorthとStephens, 1971, 1972; Wheelerら, 1974)、あるいは、プランクトンからのDFAAの排出が抑制されている可能性がある。

第2に、DFAA濃度における春と夏のバランスの点で、湾口及び湾外においては湾内とは逆に春季の最大値の方が夏季のそれよりもやや高い。また、湾口及び湾外の春季においては有光層における濃度の方がそれ以深の濃度より2倍ないし3倍ほど高い。

第3に、夏季のDFAAの増加について、場所によって高濃度を形成する層の深さが異なっている。すなわち、湾内から湾外に向かってDFAAの高濃度の層がやや深くなっている。それらの高濃度層は8月Stn. 30の10 m層の水温が 20.21°C であることを除けば、すべて $8-12^{\circ}\text{C}$ の水温範囲にある。このことは、この水溫範囲を最適条件として、活発にDFAAを増加させている供給源の存在を想像させる。

以上のような場所によるDFAAの挙動の相違は 1 m^2 の水柱あたりの積算値でみると、よりわかりやすい(表1)。特に、春・夏ともに現存量のピークが湾外に向かって遅れながら出現し、しかも、その量を増していくことが注目される。春季においては、親潮系水の流入に伴って形成される冬季噴火湾水との前線の移動方向(大谷, 1981)が、本研究の観測ラインの湾内から湾外へ

Table 1. Standing stocks of total dissolved free amino acids (DFAA) in the water column at stations 30, 17 and 13 from 1983 to 1984.

Date (1983-4)	DFAA (g C m ⁻²)		
	Stn. 30 (0-92 m)	Stn. 17 (0-94 m)	Stn. 13 (0-87 m)
Jan. 28	4.9	7.3	8.3
Feb. 3	2.5	3.3	3.8
Feb. 17	0.57	-	-
Mar. 4	2.2	14.3	10.9
Mar. 15	3.6	22.2	5.8
Mar. 22	1.8	29.6	33.8
Apr. 26	2.1	14.7	19.4
May 26	2.1	7.8	6.7
June 25	6.3	10.1	7.9
July 19	3.4	20.2	11.2
Aug. 15	3.3	12.0	20.6
Sept. 19	3.0*	10.0	1.1
Oct. 19	0.74	2.2	2.6**
Nov. 21	2.3	-	-
Dec. 7	1.9	-	-
Jan. 24	4.1	-	-

Dashes indicate no data.

* Sept. 20

** Oct. 18

の方向と重なっているためと考えられる。夏季についても、津軽暖流水の接近に伴う湾水の流出方向(大谷, 1981)と一致する水塊の移動が、現存量ピークの移動に影響しているものと考えられる。

総論

噴火湾海域において DOM 成分の濃度が鉛直的及び経時的に、また、場所によっても、2ケタの幅で大きく変動することが明らかにされた。いずれの有機物も珪藻類の大増殖の起こる春季と成層構造の発達する夏季を中心に高濃度が形成され、現存量の増加をもたらしている(図6及び表2)。また、秋季にも Chl. *a* の分布と対応する糖質及びタンパク様物質の増加が見られる(図6)。

もっと正確に述べると、春季において DFAA を除く DOM は、珪藻類の大増殖の前や大増殖のピークのときではなく、むしろ、大増殖が終息に向かったときに最も増加する。このことは、基礎生産力のピークが過ぎたのちに Chl. *a* 現存量のピークや各 DOM 成分の現存量のピークが出現することからもわかる(表2)。

このときの DOM 現存量の構成は、5成分の合計 151 g C m⁻² を 100% とすると、DL が 6%、DPS が 43%、DMS が 14%、DCAA が 36%、そして、DFAA が 1% と、糖質が 57% で最も多い(表

Table 2. Amounts of primary productivity (Prim. Prod.), chlorophyll *a* (Chl. *a*) and the components of dissolved organic matter (DOM), i.e., total dissolved lipids (DL), total dissolved polysaccharides (DPS), total dissolved monosaccharides (DMS), total dissolved combined amino acids (DCAA) and total dissolved free amino acids (DFAA) in the water column (0-92 m) at station 30 from 1983 to 1984.

Date (1983-4)	Prim. Prod. (mg C m ⁻² d ⁻¹)	Chl. <i>a</i> (mg m ⁻²)	DOM (g C m ⁻²)					Total
			DL	DPS	DMS	DCAA	DFAA	
Jan. 28	-	-	-	20.9	4.8	8.9	4.9	-
Feb. 3	359	111	7.2(17)	17.8(41)	5.7(13)	9.9(23)	2.5(6)	43
Feb. 17	417	132	7.3(17)	13.0(31)	8.2(20)	13.0(31)	0.57(1)	42
Mar. 4	387	147	7.1(12)	23.3(38)	14.0(23)	14.1(23)	2.2(4)	61
Mar. 15	968	559	8.2(10)	24.3(31)	16.9(22)	25.4(32)	3.6(5)	78
Mar. 22	531	724	9.7(6)	64.0(43)	21.6(14)	54.1(36)	1.8(1)	151
Apr. 26	173	41	6.6(13)	11.2(22)	9.6(19)	21.7(42)	2.1(4)	51
May 26	65	73	6.6(10)	10.9(16)	11.7(18)	35.2(53)	2.1(3)	67
June 25	376	86	5.9(7)	16.6(19)	12.1(14)	46.3(53)	6.3(7)	87
July 19	190	69	6.0(7)	15.3(19)	10.6(13)	46.7(57)	3.4(4)	82
Aug. 15	115	48	8.0(12)	22.0(33)	20.1(30)	12.8(19)	3.3(5)	66
Sept. 20	161	47	7.9(18)	21.3(49)	3.9(9)	7.2(17)	3.0(7)	43
Oct. 19	-	97	8.5(16)	25.2(45)	8.6(16)	11.8(22)	0.74(1)	55
Nov. 21	-	340	4.9(8)	26.3(44)	10.6(17)	16.6(27)	2.3(4)	61
Dec. 7	-	129	4.0(9)	12.0(26)	8.0(17)	20.4(44)	1.9(4)	46
Jan. 24	-	217	7.4(22)	10.5(32)	5.9(17)	5.9(17)	4.1(12)	34

Dashes indicate no data. Parentheses indicate percentages of each component.

2)。

ところが夏季における DOM 現存量の最大値 87 g C m^{-2} のときには、DL が 7%、DPS が 19%、DMS が 14%、DCAA が 53%、そして、DFAA が 7% と、タンパク様物質が 60% を占め、最も多くなっている。さらに、秋季の Chl. *a* 増加のときの DOM の構成は、DL が 8%、DPS が 44%、DMS が 17%、DCAA が 27%、そして、DFAA が 4% と、再び糖質が 61% を占め最多成分となる。

以上のことから、噴火湾における DOM の構成の季節変化について、秋季は春季の珪藻類と同様に植物性の起源の影響が大きいこと、一方、夏季は動物性の起源の影響が大きいことが推察される。動・植物プランクトンの有機成分については、一般に、動物プランクトンに比べ植物プランクトンの方が糖質に富む (Parsons ら, 1961; Raymont と Conover, 1961; Raymont ら, 1969; Handa, 1969)。

平川 (1976) は 1974 年 8 月から 1975 年 8 月にかけて噴火湾の内外において動物プランクトン生物量の重要な構成種となる北方外洋性橈脚類 *Eucalanus bungii bungii* の季節的消長について報告している。それによると、この大型動物プランクトンは、水域によって多少の違いは見せながらも、植物プランクトンが春季大増殖を終えたのちに増殖を始め、11 月下旬には湾全域で消失する。また、網目 $330 \mu\text{m}$ の北太平洋型標準ネットを用いる水平及び鉛直びきによって採集されたこの動物プランクトンのノープリウスから成体雌雄を含めた出現個体数は、6 月にはほぼ湾全域において急激に増加 (最大値 230 個体 m^{-3} 程度) し、優占するという。

西浜ら (1976) によると、1974 年を中心に鹿部沖水深 18 m の地点において動・植物プランクトンを調べたところ、有色ペン毛藻が春季の珪藻類の大増殖後に多く出現し、夜光虫が春から初夏及び初秋に多く出現し、さらに、繊毛虫では *Amphorella* sp. が 9 月に植物プランクトン全体に対して 20% を占めている。また、5 月から 9 月にかけて動物プランクトンの出現種類数が増加しているという。

ところで、春季において、有光層以深の分解層ばかりでなく有光層内でも糖質及びタンパク様物質が高濃度を示すのに対し、脂質は分解層の、特に、底層において高濃度を示す (図 6)。また、夏季のそれぞれの DOM 成分の現れ方、すなわち、高濃度層の形成開始時期に少しずつ差が見られる。最も速いのが DFAA、次いで、DCAA、さらに、DMS、DPS、最後に DL という順序である (図 6)。増加前の濃度水準への減少の時期については、最も速いのが DCAA、次いで、DMS、そして DFAA、最後に DPS 及び DL の順である。

もし、一つの季節内においてこれらの DOM の起源とする生物やデトリタスなどの POM が均質であるとすれば、DOM の濃度増加の速い順に排出あるいは溶解されやすいことを示す。一方、DOM の濃度減少の速い順に細菌などの従属栄養微生物により摂取され無機化されやすいことを示す。もちろん、起源とする POM が生物群集の遷移や住み分け、沈降などにより変化し、それぞれの DOM 成分にも変化をもたらすので、DOM の変化の様相はさらに複雑なものであろう。しかし、噴火湾水中における ^{14}C 標識珪藻体の分解過程では、タンパク様物質、糖質、そして、脂質の順で分解されやすいという結果を得ている (吉田ら, 1983c)。

以上のような事実より、噴火湾海域におけるそれぞれの DOM 成分の周年変動に現われる特徴は、このような各有機物固有の安定性、言い換えると、それらを摂取する従属栄養微生物にとっての各有機物の有用性をも反映していると推察される。

謝 辞

この研究の一部は海洋化学講座において行われたものであり、遂行上の便宜をはかっていただいた深瀬茂博士(前教授)、並びに松永勝彦助教授、築田満博士に感謝いたします。脂質の分析に

御協力いただいた大坪秀昭氏に感謝いたします。水温・塩分の測定にあたって御指導いただいた海洋学気象学講座助手村上敬氏に感謝いたします。試料の採取にあたって御援助いただいた海洋化学講座諸氏、並びにうしお丸乗組員一同に深く感謝いたします。

文 献

- Cauwet, G. (1981). Non-living particulate matter. p. 71-89. In Duursma, E.K. and Dawson, R. (eds.), *Marine Organic Chemistry*. 521p. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Eberlein, K., Brockmann, U.H., Hammer, K.D., Kattner, G. and Laake, M. (1983). Total dissolved carbohydrates in an enclosure experiment with unialgal *Skeletonema costatum* culture. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **14**, 45-58.
- Gagosian, R.B. and Lee, C. (1981). Processes controlling the distribution of biogenic organic compounds in seawater. p. 91-123. In Duursma, E.K. and Dawson, R. (eds.), *Marine Organic Chemistry*. 521p. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Gordon Jr, D.C. and Sutcliffe Jr, W.H. (1973). A new dry combustion method for the simultaneous determination of total organic carbon and nitrogen in seawater. *Mar. Chem.*, **1**, 231-244.
- Handa, N. (1969). Carbohydrate metabolism in the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Mar. Biol.*, **4**, 208-214.
- Harvey, G.R. (1983). Dissolved carbohydrates in the New York Bight and the variability of marine organic matter. *Mar. Chem.* **12**, 333-339.
- Hellebust, J.A. (1970). The uptake and utilization of organic substances by marine phytoplankters. p. 225-256. In Hood, D.W. (ed.), *Organic Matter in Natural Waters*. 625p. Institute of Marine Science, Occasional Publication, No. 1., Alaska.
- 平川和正 (1976). 北海道噴火湾における北方外洋性橈脚類 *Eucalanus bungii bungii* Johnson の個体群構造の季節的推移. 北大水産彙報, **27**, 71-77.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W. and Strickland, J.D.H. (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **30**, 3-15.
- Ittekkot, V. (1982). Variations of dissolved organic matter during a plankton bloom: qualitative aspects, based on sugar and amino acid analyses. *Mar. Chem.*, **11**, 143-158.
- Johnson, K.M., Burney, C.M. and Sieburth, J.M. (1981). Doubling production and precision of the MBTH spectrophotometric assay for dissolved carbohydrates in seawater. *Ibid.*, **10**, 467-473.
- Josefsson, B.J., Lindroth, P. and Östling, G. (1977). An automated fluorescence method for the determination of total amino acids in natural waters. *Anal. Chim. Acta.*, **89**, 21-28.
- Kattner, G., Gercken, G. and Hammer, K.D. (1983). Development of lipids during a spring plankton bloom in the northern North Sea. II. Dissolved lipids and fatty acids. *Mar. Chem.*, **14**, 163-173.
- Laake, M., Dahle, A.B., Eberlein, K. and Rein, K. (1983). A modelling approach to the interplay of carbohydrates, bacteria and non-pigmented flagellates in a controlled ecosystem experiment with *Skeletonema costatum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **14**, 71-79.
- Lancelot, C. (1984). Extracellular release of small and large molecules by phytoplankton in the Southern Bight of the North Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **18**, 65-77.
- Maita, Y. and Yanada, M. (1978). Particulate protein in coastal waters, special reference to seasonal variation. *Mar. Biol.*, **44**, 329-336.
- 米田義昭 (1982). 日本沿岸海洋誌, その 22: 噴火湾(II). 噴火湾の化学環境. 沿岸海洋研究ノート, **19**, 183-192.
- 米田義昭・吉田秀見・大坪秀昭 (1984). 海水中の全脂質の分析法について, 1984年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 198-199.
- 中田 薫 (1982). 北海道噴火湾の 1981 年春季増殖期における植物プランクトンの組成, 水産海洋研究会報, **41**, 27-32.
- 西浜雄二・岩崎良教・金子 実・広海十郎 (1976). 噴火湾鹿部沖における海洋条件および動植物プランクトンの季節変化, 特に栄養塩類と植物プランクトンの増殖との関係, 北水試月報, **33**,

1-22.

- North, B.B. and Stephens, G.C. (1971). Uptake and assimilation of amino acids by *Platymonas*. II. Increased uptake in nitrogen-deficient cells. *Biol. Bull.*, **140**, 242-254.
- North, B.B. and Stephens, G.C. (1972). Amino acid transport in *Nitzschia ovalis* Arnott. *J. Phycol.*, **8**, 64-68.
- 大谷清隆・秋葉芳雄 (1970). 噴火湾の海況変動の研究 I, 湾水の周年変化. 北大水産彙報, **20**, 303-312.
- 大谷清隆 (1971). 同上 II, 噴火湾に流入・滞留する水の特異性. 同誌, **22**, 58-66.
- 大谷清隆・秋葉芳雄・吉田賢二・大槻知寛 (1971). 同上 III, 親潮系水の流入・滞留期の海況. 同誌, **22**, 129-142.
- 大谷清隆・秋葉芳雄・伊藤悦郎・小野田勝 (1971). 同上 IV, 津軽暖流水の流入・滞留期の海況. 同誌, **22**, 221-230.
- 大谷清隆 (1981). 日本沿岸海洋誌, その 22: 噴火湾 (I). 噴火湾の物理環境. 沿岸海洋研究ノート, **19**, 68-80.
- Pande, S.V., Parvin-Khan, R. and Venkitasubramanian, T.A. (1963). Microdetermination of lipids and serum total fatty acids. *Anal. Biochem.*, **6**, 415-423.
- Parsons, T.R., Stephens, K. and Strickland, J.D.H. (1961). On the Chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **18**, 1001-1016.
- Raymont, J.E.G. and Conover, R.J. (1961). Further investigations on the carbohydrate content of marine zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **6**, 154-164.
- Raymont, J.E.G., Srinivasagam, R.T. and Raymont, J.K.B. (1969). Biochemical studies on marine zooplankton. VI. Investigations on *Meganyctiphanes norvegica* (M. Sars). *Deep-Sea Res.*, **16**, 141-156.
- Sharp, J.H. (1973). Total organic carbon in seawater—Comparison of measurements using persulfate oxidation and high temperature combustion. *Mar. Chem.*, **1**, 211-229.
- 塩本明弘・吉田秀見・米田義昭 (1984). 噴火湾における春季ブルーミング時の生産量の見積りと環境について. 1984 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 209-210.
- Steemann Nielsen, E. (1952). The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **18**, 117-140.
- 角皆静男 (1978). 沿岸域における物質収支——噴火湾を実験水域として——p. 169-190. 日本地球化学会編, 水汚染の機構と解析. 292p. 産業図書, 東京.
- 角皆静男 (1983). 化学的手法による沿岸域の研究. 沿岸海洋研究ノート, **20**, 118-124.
- Wangersky, P.J. (1978). Production of dissolved organic matter. p. 115-220. In Kinne, O. (ed.), *Marine Ecology*. Vol. IV. 746p. John Wiley & Sons, Chichester.
- Wheeler, P.A., North, B.B. and Stephens, C.C. (1974). Amino acid uptake by marine phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, **19**, 249-259.
- Williams, P.J. LeB. (1975). Biological and chemical aspects of dissolved organic material in seawater. p. 310-363. In Riley, J.P. and Skirrow, G. (eds.), *Chemical Oceanography*. Vol. II, 2nd Ed., 647p. Academic Press, London.
- Yentsch, C.S. and Menzel, D.W. (1963). A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.*, **10**, 221-231.
- 吉田秀見・米田義昭・深瀬 茂 (1982). 沿岸海域における天然有機物の分解について. 1982 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 150-151.
- 吉田秀見・米田義昭・深瀬 茂 (1983a). MBTH 比色法による海水中的各態全炭水化合物の分析法について. 1983 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 213-214.
- 吉田秀見・大坪秀昭・戸屋健治・米田義昭・深瀬 茂 (1983b). 秋季東シナ海における各態全炭水化合物およびアミノ酸について. 1983 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 208-209.
- 吉田秀見・米田義昭・深瀬 茂 (1983c). ^{14}C -標識珪藻 (*Skeletonema costatum*) を用いての粒状有機物の分解過程について. 北大水産彙報, **34**, 148-167.