



Title	秋季噴火湾における粒状有機炭素および窒素のフラックスについて
Author(s)	米田, 義昭; 築田, 満; 塩本, 明弘
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 37(2), 124-133
Issue Date	1986-05
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/23913">http://hdl.handle.net/2115/23913</a>
Type	bulletin (article)
File Information	37(2)_P124-133.pdf



[Instructions for use](#)

秋季噴火湾における粒状有機炭素および窒素の  
フラックスについて<sup>†</sup>

米田 義昭\*・築田 満\*\*・塩本 明弘\*

Fluxes of Particulate Organic Carbon and Nitrogen  
in Funka Bay in Autumn<sup>†</sup>

Yoshiaki MAITA\*, Mitsuru YANADA\*\*  
and Akihiro SHIOMOTO\*

Abstract

The fluxes of particulate organic carbon and organic nitrogen were examined in three size fractions ( $>690 \mu\text{m}$ ,  $350\sim690 \mu\text{m}$ ,  $<350 \mu\text{m}$ ) of sinking particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October.

The total fluxes of organic carbon and organic nitrogen for this period were  $242 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  and  $27.1 \text{ mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ . The fluxes of organic carbon in the three size fractions accounted for 50, 30 and 20% of the total flux, respectively. On the other hand, the organic nitrogen accounted for 39, 27 and 24% of the total flux, respectively. In the coastal area, amounts of more than 80% of the organic carbon or 76% of the organic nitrogen were transported by fecal materials and larvacea houses excreted by zooplankton into the trap at the depth of 74 m.

結 言

海洋中における粒状有機物は、大別して、その生産過程、分解過程および沈降過程によって支配されている。従来、水柱での粒状有機物の分布を含めたこれらの研究の多くは採水法によって行なわれていたが、近年のセジメント・トラップによる結果は水柱での粒状有機物の分解過程、沈降過程、海底への供給および有機物組成などに関する従来の考え方を大きく変化させている。たとえば、トラップにつかまる粒子は、主に、動物プランクトンの糞粒と海洋生物起源の炭酸塩およびケイ酸塩質の遺骸群から成り<sup>1-4)</sup>、比較的大型で大きな沈降速度をもつものと考えられている<sup>3,5,6)</sup>。さらに、これらの大型の沈降粒子は、従来の採水法では採取されにくく、採水法により集められた粒子とは異質なものであるといわれている<sup>1,7)</sup>。したがって、採水法による有機物の沈降過程にはこの大型粒子の部分が見積りに含まれていない可能性がある<sup>7)</sup>。これらの大型の沈降粒

\* 北海道大学水産学部付属北洋水産研究施設業績第177号 (Contribution No. 177 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 (Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

\*\* 北海道大学水産学部海洋化学講座 (Laboratory of Marine Chemistry, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

子が表層から深層への有機物あるいは無機物の輸送に大きく貢献していることも考えられている<sup>1,3,4,8)</sup>。しかし、これまでのセジメント・トラップの研究ではこの大型沈降粒子のもつサイズ、化学的性質および生態的意味について不明確な点が多い。また、浅層に設置したトラップにつかまる有機粒子は微細な植物プランクトンから大型の動物プランクトンまでを起源とするサイズスペクトルであると予想されるが、そのスペクトルの中でどのようなサイズのものが全有機物フラックスに寄与しているのかについてほとんど明らかにされていない。

そこで、本研究は、低生産時期である秋季噴火湾において、実際に沈降する粒子をメッシュサイズの異なるスクリーンで分画し、それぞれのサイズ別の沈降粒子の性質と全有機炭素および全有機窒素フラックスに対する各粒子の寄与率を明らかにすることを目的とした。

### 試料および方法

セジメント・トラップは、噴火湾のほぼ中央に位置する St. 30 (水深 92 m) に設置され、堆積物粒子の舞い上りによる有機物の混入を極力さけるため海底から 18 m 上方の水深 74 m に設置された (図 1)。トラップの設置期間は 1984 年 8 月 21 日から 1984 年 10 月 1 日までの 40 日間である。なお、トラップ試料はこの期間を 3 期間 (期間 I: 8 月 21 日~9 月 3 日; 期間 II: 9 月 3 日~

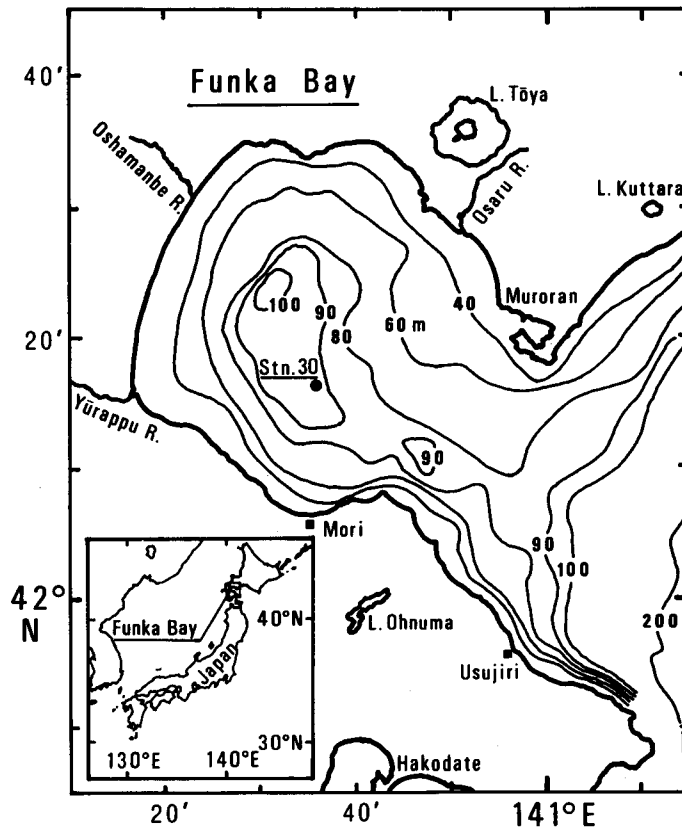


Fig. 1. Location of sampling station in Funka Bay.

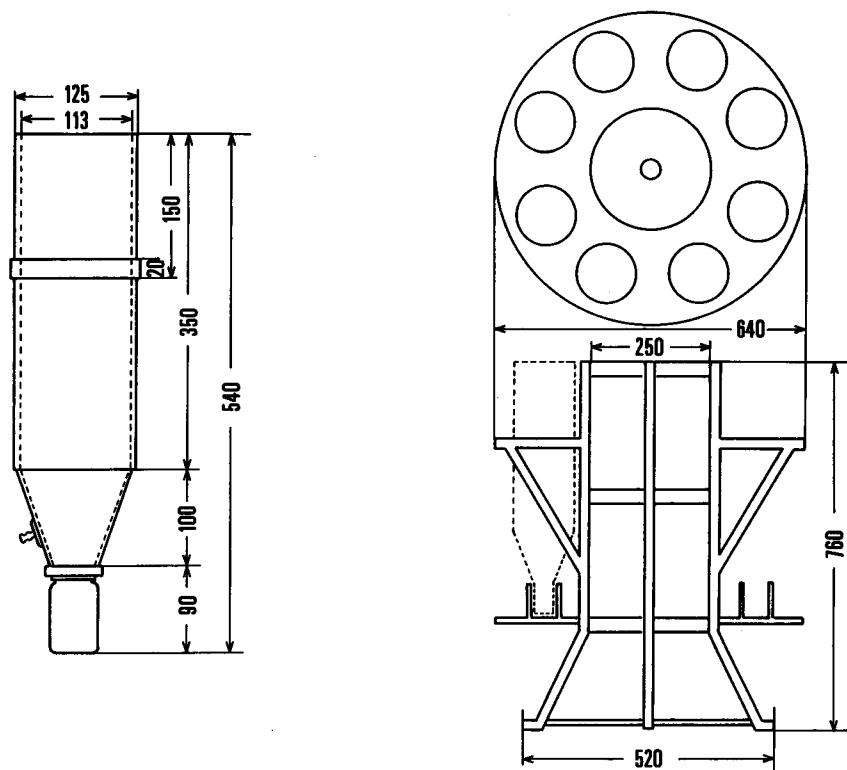


Fig. 2. Diagram of the sediment trap used in this study. unit: mm

月 21 日；期間 III：9 月 21 日～10 月 1 日）に分けて採取された。

トラップの形状は円筒型（直径 12 cm，側長 45 cm，塩化ビニール製）で下部 10 cm が円錐形となっており，トラップの最下部にサンプルを収容するポリエチレンビン（100 ml）がねじ込み式で着脱できるようになっている。このトラップはジンバルで水平を保つように設計された本体に 8 本取り付けられている（図 2）。各 2 本のトラップには，目合  $690 \mu\text{m}$  と目合  $350 \mu\text{m}$  のポリエチレン製のスクリーンをかぶせた。また，他の 4 本のトラップは全フラックスを求めるためオープンとした。各トラップには，設置期間内での有機物の分解をおさえるために，ホルマリン 1% を含む 1.5 M の塩化ナトリウム溶液 4 l を加えた。

トラップ回収後，試料をすばやくミリポアフィルター（HA type, 47 mm）でろ過し，ろ紙上に残った試料は分析に供するまでデシケーター中で吸引乾燥させた。粒状物質量は，恒量になった後，乾重量を測定し求めた。有機炭素量および有機窒素量は C・H・N 元素分析計（日立 026 型）で測定された。

## 結 果

### 1. 粒状物質，有機炭素および有機窒素のフラックス

スクリーンによって分画された粒状物質，有機炭素および有機窒素のフラックスを表 1 に示す。全有機炭素フラックスおよび全有機窒素フラックス（スクリーンなし）は  $224\sim 258 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot$

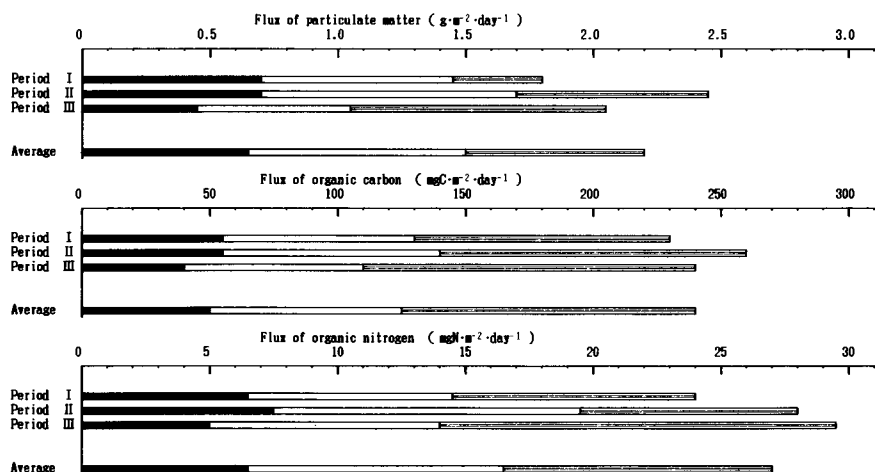


Fig. 3. Fluxes of particulate matter, particulate organic carbon and nitrogen in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October 1984.

( $<350 \mu\text{m}$ : ;  $350\sim690 \mu\text{m}$ : ;  $>690 \mu\text{m}$ : )

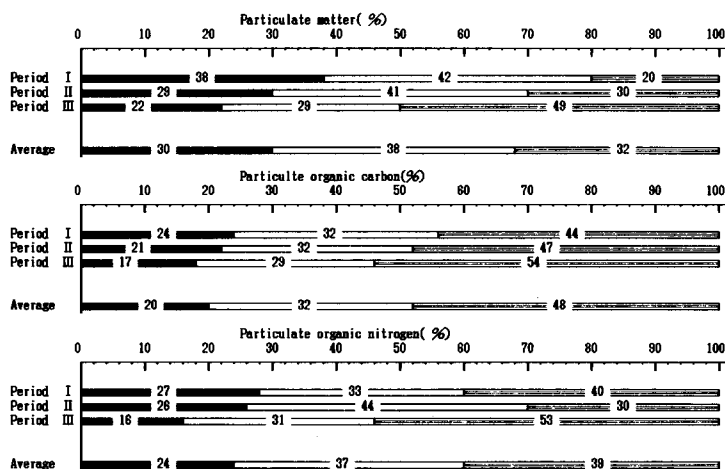


Fig. 4. Percent contributions of three size fractions to total fluxes of particulate matter, particulate organic carbon and nitrogen at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

( $<350 \mu\text{m}$ : ;  $350\sim690 \mu\text{m}$ : ;  $>690 \mu\text{m}$ : )

day<sup>-1</sup> および 24.1~29.6 mgN·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> であり、この全期間における相加平均値 (以下平均値) は 242 mgC·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> および 27.1 mgN·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> となる。一方、全粒状物質フラックスは 1.84~2.46 g·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> であり、平均値は 2.16 g·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> となる。各スクリーン条件における粒状物質、有機炭素および有機窒素のフラックスは、期待されるように、いずれの期間もスクリーンなし>690 μm スクリーン>350 μm スクリーンの量的関係にある。これらの測定結果から、粒子

Table 1. Fluxes of particulate matter, particulate organic carbon and nitrogen in the sediment trap samples fractionated *in situ* by screens at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

Periods	Duration (days)	Screen	Particulate matter ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ )	Particulate organic matter ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ )	Particulate organic nitrogen ( $\text{mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ )
Period I 1984.8.21 ~ 1984.9.3	13	No screen	1.84	224	24.1
		690 $\mu\text{m}$ screen	1.48	126	14.5
		350 $\mu\text{m}$ screen	0.71	53	6.5
Period II 1984.9.3 ~ 1984.9.20	17	No screen	2.46	258	28.0
		690 $\mu\text{m}$ screen	1.72	138	19.6
		350 $\mu\text{m}$ screen	0.70	54	7.4
Period III 1984.9.21 ~ 1984.10.1	10	No screen	2.07	238	29.6
		690 $\mu\text{m}$ screen	1.05	110	14.0
		350 $\mu\text{m}$ screen	0.45	41	4.8
Integrated average	40	No screen	2.16	242	27.1
		690 $\mu\text{m}$ screen	1.47	127	16.5
		350 $\mu\text{m}$ screen	0.64	50	6.5

Table 2. Concentrations of organic carbon, nitrogen, and the atomic ratio in the sediment trap samples fractionated *in situ* by screens at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

Periods	Duration (days)	Screen	Concentration of organic carbon ( $\text{mgC}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Concentration of organic nitrogen ( $\text{mgN}\cdot\text{m}^{-1}$ )	Atomic ratio of C/N
Period I 1984.8.21 ~ 1984.9.3	13	No screen	122	13.1	10.9
		690 $\mu\text{m}$ screen	85	9.8	10.1
		350 $\mu\text{m}$ screen	75	9.2	9.5
Period II 1984.9.3 ~ 1984.9.20	17	No screen	105	11.4	10.7
		690 $\mu\text{m}$ screen	80	11.4	8.2
		350 $\mu\text{m}$ screen	77	10.5	8.6
Period III 1984.9.21 ~ 1984.10.1	10	No screen	115	14.3	9.4
		690 $\mu\text{m}$ screen	105	13.3	9.2
		350 $\mu\text{m}$ screen	90	10.6	9.9
Integrated average	40	No screen	112	12.5	10.4
		690 $\mu\text{m}$ screen	86	11.2	9.0
		350 $\mu\text{m}$ screen	78	10.2	8.9

サイズ別、すなわち  $690 \mu\text{m}$  以上、 $350\sim 690 \mu\text{m}$  および  $350 \mu\text{m}$  以下の粒状物質、有機炭素および有機窒素のフラックスを計算することができる。計算された粒子サイズ別の粒状物質、有機炭素および有機窒素のフラックスを図3に示し、また、それぞれの全フラックスに対する各粒子の寄与率を図4に示す。

粒状物質フラックスは  $690 \mu\text{m}$  以上、 $350\sim 690 \mu\text{m}$  および  $350 \mu\text{m}$  以下の順に、平均値で  $0.69$ 、 $0.83$  および  $0.64 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  となり、全フラックスに対する各粒子の寄与率は、それぞれ、 $32\%$ 、 $38\%$  および  $30\%$  となる。すなわち、中間の粒子 ( $350\sim 690 \mu\text{m}$ ) の寄与率が、他の粒子サイズと比べてやや高い。それに対して、有機炭素フラックスは、粒径の大きな順に、それぞれ、平均値で  $115$ 、 $77$  および  $50 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  となり、各粒子のフラックスは、粒子サイズが大きくなるにしたがって高い値を示している。すなわち、全フラックスに対する各粒子の寄与率は、 $690 \mu\text{m}$  以上が  $48\%$ 、 $350\sim 690 \mu\text{m}$  が  $32\%$ 、そして  $350 \mu\text{m}$  以下が  $20\%$  である。一方、有機窒素のフラックスは、平均値で  $690 \mu\text{m}$  以上が  $10.6$ 、 $350\sim 690 \mu\text{m}$  が  $10.0$ 、そして  $350 \mu\text{m}$  以下が  $6.5 \text{ mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  であり、各粒子の寄与率は、それぞれ、全フラックスの  $39\%$ 、 $37\%$  および  $24\%$  を占めている。このように有機窒素フラックスにおける各粒子の寄与率は、有機炭素の場合と同様に粒子サイズが大きくなるにしたがって高い値を示しているが、有機炭素における寄与率と異なっている。すなわち、炭素と比較すると、 $690 \mu\text{m}$  以上の寄与率が低く、 $350\sim 690 \mu\text{m}$  および  $350 \mu\text{m}$  以下の寄与率が高い。

## 2. 有機炭素含有率、有機窒素含有率および C/N 原子比

スクリーン条件の異なるトラップ試料中の有機炭素含有率、有機窒素含有率および C/N 原子比を表2に示す。各スクリーンの有機炭素および有機窒素含有率はいずれの期間においてもスクリーンなし  $> 690 \mu\text{m}$  スクリーン  $> 350 \mu\text{m}$  スクリーンの順である。このことは、より大型の粒子ほどそれらの含有率が高くなることを意味している。すなわち、各粒子の有機炭素含有率は、平均値で、 $690 \mu\text{m}$  以上が  $167$ 、 $350\sim 690 \mu\text{m}$  が  $93$ 、そして  $350 \mu\text{m}$  以下が  $78 \text{ mgC}\cdot\text{g}^{-1}$  となり (図5)、粒子サイズが大きいかほど有機炭素の含有率が高い。また、有機窒素についても、それらの窒素含有率は、それぞれ、平均値で  $15.4$ 、 $12.0$  および  $10.2 \text{ mgN}\cdot\text{g}^{-1}$  であり、有機炭素の場合と同様の傾向が認められる (図6)。それに対して、各スクリーン条件における C/N 原子比は、期間によ

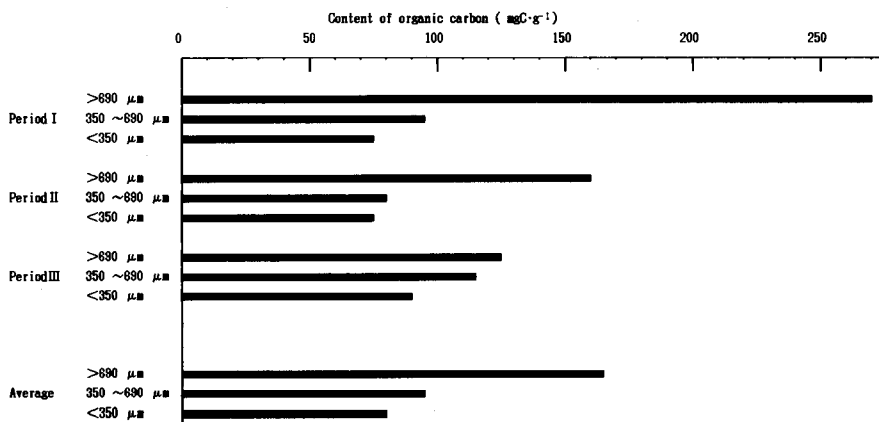


Fig. 5. Contents of organic carbon in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

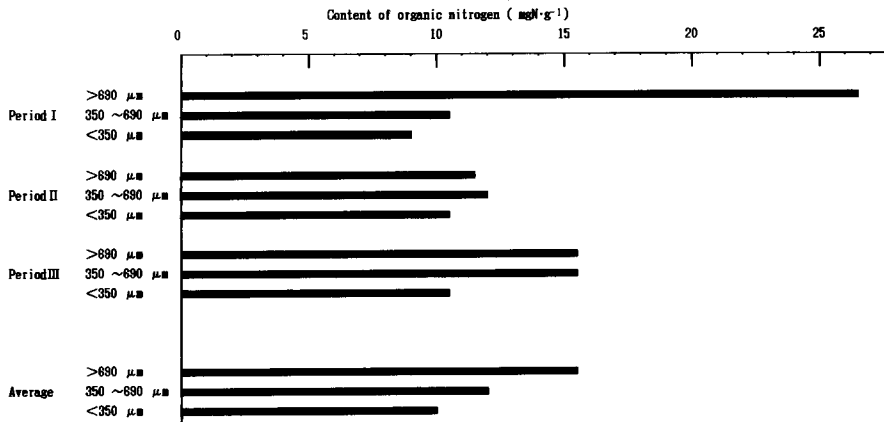


Fig. 6. Contents of organic nitrogen in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

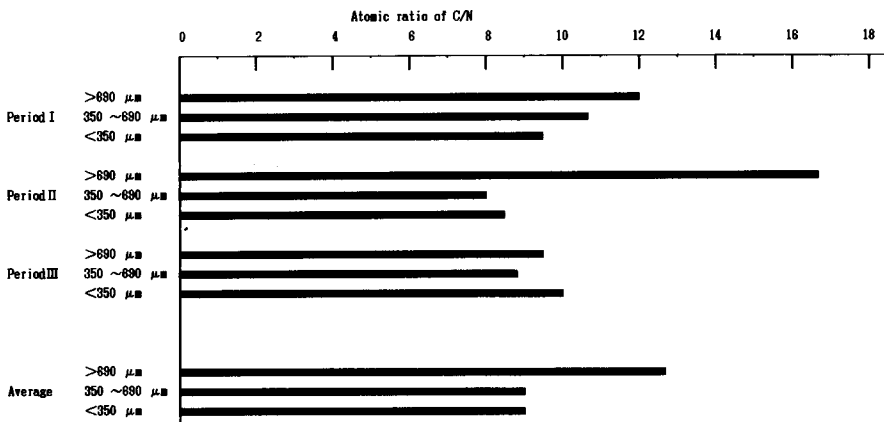


Fig. 7. Atomic ratio of C/N in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

て変動するが、平均値でスクリーンなし>690 μm スクリーン=350 μm スクリーンの関係にある。すなわち、各粒子サイズの C/N 原子比は、平均値で、690 μm 以上が 12.7、350~690 μm が 9.0、そして 350 μm 以下が 8.9 であり、690 μm 以上の粒子の C/N 原子比が他の粒子に比べて高い値を示し、350~690 μm と 350 μm 以下では大きな差がないことを示している (図 7)。

### 考 察

外洋域におけるトラップ実験の結果によると、捕集された沈降粒子は、主に、動物プランクトンの糞粒と海洋生物起源の炭酸塩質およびケイ酸塩質の殻物質であるといわれている<sup>1~4,6)</sup>。噴火湾において、スクリーンを着けないトラップに捕集された粒子の種類は、顕微鏡的観察の結果によると<sup>9)</sup>、植物プランクトン(ケイ藻、渦鞭毛藻、ケイ質鞭毛藻など)および動物プランクトン(橈



脚類、放散虫、昆虫類、多毛類、有鐘織毛虫)の遺骸と破片、糞粒、有機凝集物質および微細な無機粒子である。しかし、起源を確認できる植・動物プランクトンの遺骸と破片および糞粒などの有機粒子は量的に少なく、多くの粒子は起源を確認することが困難な不定形の有機凝集物質である<sup>9)</sup>。

秋季噴火湾において690  $\mu\text{m}$ 以上の粒子が全有機炭素および全有機窒素のフラックスに大きく寄与している。この粒子の化学的特徴は、他の粒子に比べて、有機炭素および有機窒素の含有率が高く、そしてC/N原子比も高いことである。この粒子サイズから予想される有機粒子の種類として、橈脚類、放散虫および昆虫類などの大型動物プランクトンの遺骸や大型の糞粒あるいは大型の有機凝集物質が挙げられる。しかし、顕微鏡的観察の結果から、トラップ中で確認された糞粒の多くは690  $\mu\text{m}$ 以下であるため、この区分において糞粒の寄与率はかなり小さい<sup>9)</sup>。690  $\mu\text{m}$ 以上の粒子の有機炭素および有機窒素含有率は、それぞれ13~27%および1.1~2.7%であり、これまでに報告されている動物プランクトンの有機炭素および有機窒素の含有率(32~66%および5~13%)<sup>10-12)</sup>よりも低い。また、この粒子のC/N原子比はRedfieldら<sup>13)</sup>あるいはLawrenceら<sup>12)</sup>が求めた動物プランクトンのC/N原子比(5~7)に比べてはるかに高い。したがって、この粒子の種類は、動物プランクトンよりもむしろ不定形の大型有機凝集物質であることが予想される。Allredge<sup>14)</sup>は大型有機凝集物質が主に昆虫類から放出される“ハウス”であることを指摘している。また、KarlとKnauer<sup>15)</sup>は、外洋域のトラップ中に“ハウス”が存在することを指摘している。実際に、トラップの顕微鏡観察で不定形の大型有機凝集物質中にハウス様凝集物が認められている(小達、私信)。昆虫類の“ハウス”は、その網の中に植物プランクトンや粘土鉱物のような細かい無機粒子を付着させる能力をもっている。この“ハウス”のC/N原子比は、それらの粒子の付着状態によって異なるが、16~250とさまざまに広い範囲でしかも高い<sup>14)</sup>。すなわち、690  $\mu\text{m}$ 以上の粒子の有機炭素および有機窒素含有率が動物プランクトンの値より低く、C/N原子比が動物プランクトンよりも高いことを考慮すると、この粒子の主要な供給源が昆虫類の“ハウス”に由来すると推察される。

次に、350~690  $\mu\text{m}$ 粒子の特徴は、690  $\mu\text{m}$ 以上と比較して、有機炭素および有機窒素の含有率が小さく、C/N原子比も小さいことである。この粒子の種類は大型動物プランクトンから排泄される糞粒であることが顕微鏡的観察から明らかにされている<sup>9)</sup>。これまでの報告によると、糞粒のC/N原子比は、それを排泄する動物プランクトンのC/N原子比よりも高く<sup>12)</sup>、10~15であるとされている<sup>16,17)</sup>。また、糞粒を主成分とするトラップ試料中のC/N原子比は約10であることが報告されている<sup>9)</sup>。すなわち、350~690  $\mu\text{m}$ 粒子のC/N原子比(8.8~10.7)は、糞粒のC/N原子比に近い値を示しているといえる。しかし、350~690  $\mu\text{m}$ の粒子の有機炭素の含有率(8~12%)は、供給源と思われる糞粒のその値(20%)<sup>18)</sup>よりもかなり低い値である。この区分の有機物の含有率を低下させる原因として、無機粒子たとえば粘土鉱物などの希釈によるかもしれない。ただし、無機粒子自体は、350  $\mu\text{m}$ 以下の微細な粒子であると考えられるため、単独に沈降して350~690  $\mu\text{m}$ の粒子のサイズに入ることは考えにくい。Deuserら<sup>8)</sup>が述べているように、この無機粒子は大型の糞粒と会合した状態で沈降しているものと推測される。大型の糞粒と微細な無機粒子との会合状態は顕微鏡的観察によっても見出されていることから(小達、私信)、この結果は上述の推測をうらづけている。

一方、350  $\mu\text{m}$ 以下の粒子の化学的特徴として、粒状物質、有機炭素および有機窒素のフラックスが最も小さく、有機炭素および有機窒素の含有率も小さい。しかし、C/N原子比は、350~690  $\mu\text{m}$ の粒子のそれとほとんど変わらない。このサイズから予想される粒子は、微細な動物プランクトン、植物プランクトン、小型の糞粒、有機凝集物、懸濁有機物および鉱物粒子である。

トラップ試料の顕微鏡観察によると<sup>9)</sup>、植物プランクトンとしては渦鞭毛藻およびケイ質鞭毛

藻が優占する。一般に、渦鞭毛藻の C/N 原子比は、他の植物プランクトンのその比よりやや高く、9.0 程度である<sup>19)</sup>。また、糞粒や有機凝集物の C/N 原子比は、前述したように、10 程度と予想される。さらに、懸濁有機物の C/N 原子比は、外洋域の生産層では一般に 5~8 程度と言われている<sup>1,20~22)</sup>。350  $\mu\text{m}$  以下の粒子の C/N 原子比 (8.6~9.9) は懸濁有機物よりやや高い値を示すものの供給源と予想される渦鞭毛藻、糞粒および有機凝集物の有機粒子の値とほぼ一致する。したがって、C/N 原子比からは、この粒子の供給源を植物プランクトン、糞粒および有機凝集物と考えても矛盾はないが、いずれの有機粒子が主なる供給源であるかを定めることがむずかしい。しかし、この粒子の有機炭素および有機窒素含有率は糞粒あるいは有機凝集物よりもかなり低い値を示している。微細な無機粒子が 350~690  $\mu\text{m}$  粒子の場合と同様に糞粒と会合してあるいは単独で沈降することによってこの区分の有機成分の含有率を低下させているものと思われる。

秋季噴火湾においてトラップに捕集された粒状有機物質は、690  $\mu\text{m}$  以上の粒径をもつ昆虫類の“ハウス”などの動物プランクトンの破片および動物プランクトンが排泄する 350~690  $\mu\text{m}$  の粒径をもつ糞粒が主なる起源である。これらの動物プランクトンを起源とする粒状有機物質は、調査期間を通じて、全有機炭素フラックスの 80% および窒素の 76% を占める。さらに 350  $\mu\text{m}$  以下の微細な糞粒を含めると、動物プランクトン起源の粒状有機物質の寄与率は、80% を越える値になる。したがって、植物プランクトンおよびそれを起源とする懸濁有機物の寄与は、きわめて低いものと考えられる。すなわち、秋季噴火湾における粒状有機物の上層から下層への輸送は上述の動物プランクトン起源とする大型の粒子によると考えられる。

外洋域における全有機炭素フラックスに関しては Suess<sup>23)</sup> および Wakeham<sup>24)</sup> によってまとめられている。水深 50~100 m に設置されたトラップのデータを引用すると、そのフラックスは、トラップの設置時期および設置場所によってかなり変動するが、平均値で 300  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  程度とみなせる。秋季噴火湾における全有機炭素フラックス (平均; 242  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ) は外洋域の 50~100 m 層でのフラックスとほぼ同程度であると考えられる。一方、噴火湾においてトラップで採取された試料中の C/N 原子比が Knauer<sup>25)</sup> あるいは Ittekkoto<sup>25,26)</sup> による外洋域のそれらの値とほぼ一致することから、秋季噴火湾における全有機窒素のフラックスも外洋域の 100 m 層とそれほど大きな相違が認められないものと考えられる。ただし、秋季噴火湾におけるトラップ試料中の有機炭素 (11%) および有機窒素含有率 (1.3%) は半田と田上<sup>27)</sup> による外洋域の 100 m の層の値 (炭素: 6~7%, 窒素 0.8~0.9%) と比較してやや高い値を示す。その理由は、外洋域で主要な供給源となっている海洋生物の炭酸塩質およびケイ酸塩質の遺骸群が秋季の噴火湾では少ないことによるものかもしれない。

## 謝 辞

この研究を行なうにあたり、試料採取の御協力を賜りました本学部所属研究船うしお丸乗船員一同に深く感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Bishop, J.K.B., Edmond, J.M., Ketten, D.R., Bacon, M.P. and Silker, W.B. (1977). The chemistry, biology and vertical flux of particulate matter from the upper 400 m of the equatorial Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.* 24, 511-548.
- 2) Honjo, S. (1978). Sedimentation of materials in the Sargasso Sea at 5367 m deep station. *J. Mar. Res.* 36, 469-492.
- 3) Knauer, G.A., Martin, J.H. and Bruland, K.W. (1979). Fluxes of particulate carbon, nitrogen,

- and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific. *Deep-Sea Res.* **26**, 97-108.
- 4) Urrere, M.A. and Knauer, G.A. (1981). Zooplankton fecal pellet fluxes and vertical transport of particulate organic material in the pelagic environment. *J. Plank. Res.* **3**, 369-387.
  - 5) Wiebe, P.H., Boyd, S.H. and Winget, C. (1976). Particulate matter sinking to the deep-sea floor at 2000 m in the Tongue of the ocean, with a description of a new sedimentation trap. *J. Mar. Res.* **34**, 341-354.
  - 6) Honjo, S. (1980). Material fluxes and modes of sedimentation in the mesopelagic and bathypelagic zones. *J. Mar. Res.* **38**, 53-97.
  - 7) McCave, I.N. (1975). Vertical flux of particles in the ocean. *Deep-Sea Res.* **22**, 491-502.
  - 8) Deuser, W.G., Ross, E.H. and Anderson, R.F. (1981). Seasonality in the supply of sediment to the deep Sargasso Sea and implications for the rapid transfer of matter to the deep ocean. *Deep-Sea Res.* **28**, 495-505.
  - 9) 小達恒夫 (1986). 海洋における動・植物プランクトンのサイズ構造とそれらの動態に関する研究, 昭和60年度北海道大学水産学部修士論文, p. 55.
  - 10) Curl, J.H. (1962). Analyses of carbon in marine plankton organisms. *J. Mar. Res.* **20**, 181-188.
  - 11) Beers, J.R. (1966). Studies on the chemical composition of the major zooplankton groups in the Sargasso Sea off Bermuda. *Limnol. Oceanogr.* **11**, 520-528.
  - 12) Lawrence, F.S., Fowler, S.W., Moore, S.A. and LaRosa, J. (1983). Dissolved and fecal pellet carbon and nitrogen release by zooplankton in tropical waters. *Deep-Sea Res.* **30**, 1199-1220.
  - 13) Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards F.A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea water. p. 26-77. In Hill, M.N. (ed), *The sea*. 2nd. 554 p. John Wiley & Sons, New York.
  - 14) Alldredge, A.L. (1976). Discarded appendicularian houses as sources of food, surface habitats, and particulate organic matter in planktonic environments. *Limnol. Oceanogr.* **21**, 14-23.
  - 15) Karl, D.M. and Knauer, G.A. (1984). Vertical distribution, transport, and exchange of carbon in the northeast Pacific Ocean: evidence for multiple zone of biological activity. *Deep-Sea Res.* **31**, 221-243.
  - 16) Honjo, S. and Roman, M.R. (1978). Marine copepod fecal pellet: production, preservation and sedimentation. *J. Mar. Res.* **36**, 45-57.
  - 17) Paffenhöfer, G.A. and Knowles, S.C. (1979). Ecological implications of fecal pellet size production and consumption by copepods. *J. Mar. Res.* **37**, 35-49.
  - 18) Johannes, R.E. and Satomi, M. (1966). Composition and nutritive value of fecal pellets of a marine crustacean. *Limnol. Oceanogr.* **11**, 191-197.
  - 19) Parsons, T.R., Stephens, K. and Strickland, J.D.H. (1961). On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Board of Canada* **18**, 1001-1016.
  - 20) Parsons, T.R. (1975). Particulate organic carbon in the sea. p. 365-383. In Riley, J.P. and Skirrow, G. (ed), *Chemical Oceanography*. 2nd. 647 p. Academic Press.
  - 21) Gordon, D.C. (1971). Distribution of particulate organic carbon and nitrogen at an oceanic station in the central Pacific. *Deep-Sea Res.* **18**, 1127-1134.
  - 22) Copin-Montequet, C. and Copin-Montequet, G. (1983). Stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in marine particulate matter. *Deep-Sea Res.* **30**, 311-323.
  - 23) Suess, E. (1980). Particulate organic carbon flux in the oceans-surface productivity and oxygen utilization. *Nature* **288**, 260-263.
  - 24) Wakeham, S.G., Lee, C., Farrington, J.W. and Gagosian, R.B. (1984). Biogeochemistry of particulate organic matter in the oceans: results from sediment trap experiments. *Deep-Sea Res.* **31**, 509-528.
  - 25) Ittekkot, V., Deuser, W.G. and Degens, E.T. (1984a). Seasonality in the fluxes of sugars, amino acids, and amino sugars to the deep ocean: Sargasso Sea. *Deep-Sea Res.* **31**, 1057-1068.
  - 26) Ittekkot, V., Degens, E.T. and Honjo, S. (1984b). Seasonality in the fluxes of sugars, amino acids, and amino sugars to the deep ocean: Panama Basin. *Deep-Sea Res.* **31**, 1071-1083.
  - 27) 半田暢彦・田上英一郎 (1979). 海洋における沈降する粒子による有機物の鉛直輸送, 月刊海洋科学 **11**, 978-984.