HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	秋季噴火湾における粒状タンパク質アミノ酸のフラックスについて
Author(s)	簗田, 満; 米田, 義昭
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 37(2), 134-143
Issue Date	1986-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23914
Type	departmental bulletin paper
File Information	37(2)_P134-143.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
37(2), 134-143. 1986.

秋季噴火湾における粒状タンパク質アミノ酸のフラックスについて†

簗田　満*・米田義昭**

Fluxes of Particulate Protein Amino Acids in Funka Bay in Autumn†

Mitsuru YANADA* and Yoshiaki MAITA**

Abstract

The fluxes of particulate protein amino acids were examined in three size fractions (>690 μm, 350~690 μm, and <350 μm) of sinking particles in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October.

The total flux of amino acids for this period was 135 $mg \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$. The fluxes of the amino acids in the three size fractions accounted for 50, 30 and 20% of the total flux, respectively.

In the coastal area, the organic materials excreted by zooplankton (e.g. fecal materials and larvacea houses) transported more than 80% of the protein amino acids into the trap at the depth of 74 m. The amino acid content in the three size fractions increased with larger sinking particles. The ratios of amino acid-carbon/total organic carbon and amino acid-nitrogen/total organic nitrogen indicated that the change of the contents in each fraction was caused by dilution of inorganic materials rather than by decomposition and sources organic matter.

緒　言

タンパク質の構成成分であるアミノ酸は海洋環境における有機窒素化合物の主要成分である。したがって，粒状アミノ酸の挙動，すなわちその生産過程，分解過程および沈降過程は水柱での窒素サイクルを明らかにするために重要な意味を持っている。近年のセジメント・トラップ実験から，トラップにつかまる大型の粒子が表層から深層への有機物質の鉛直輸送に大きな役割を演じていると考えられている[1-4]。しかし，セジメント・トラップによる有機物質に関する研究の多くは有機炭素を指標としており，有機窒素を指標とする研究例はきわめて数少ない（たとえば，Knauer ら[2]）。最近，大型粒状有機物の供給源や水柱でのその生物化学的分解過程を明らかにするための一つの重要な手段としてアミノ酸のフラックスに関する研究が行なわれるようになってい

† 北海道大学水産学部付属北洋水産研究施設業績第178号 (*Contribution No. 178 from the 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*)

** 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*)

るが[5-10]，その研究の多くは外洋域の生産層以深における研究であり，水深 100 m 以浅におけるアミノ酸フラックスに関する研究は，Lee と Cronin[5] の一例にすぎない。したがって，外洋域の生産層内あるいは生産性の高い沿岸域における大型粒状有機物の沈降過程についてはこれまでほとんど明らかにされていない。

本研究では，沈降粒子のサイズ別のアミノ酸フラックスを把握することによってそれらの寄与率，供給源および生物化学的分解過程を明らかにし，低生産時期の生産層における粒状アミノ酸の沈降過程を考察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，堆積物の舞い上りによる有機物の混入を極力さけるため海底直上 18 m の水深 74 m に設置された (図 1)。トラップの設置時期は，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～9 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

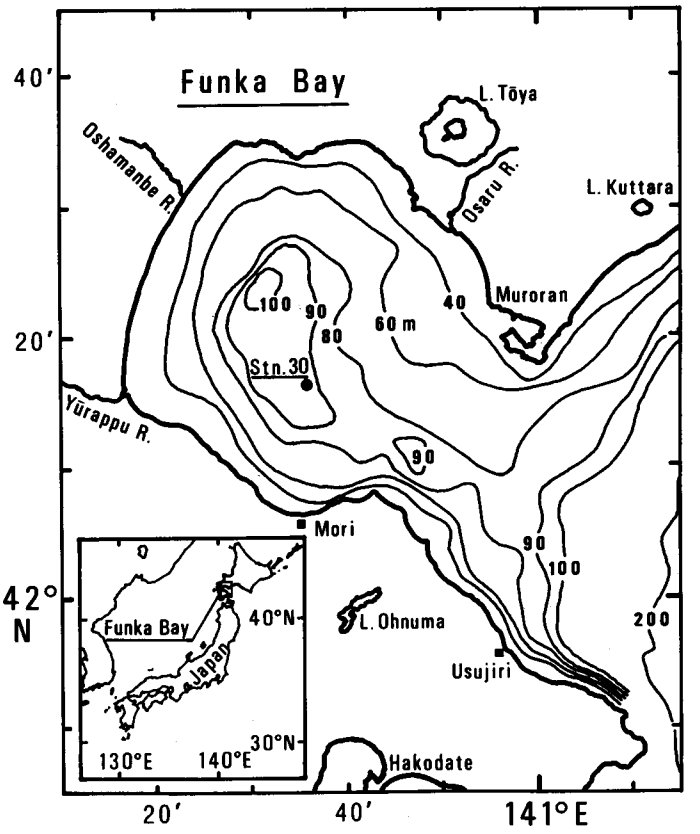

Fig. 1. Location of sampling station in Funka Bay.

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。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。各2本のトラップには，大型の動物プランクトンおよび植物プランクトンの混入を区分けするため目合 690 μm および目合 350 μm 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ジケーター中で吸引乾燥させた。約 20 mg の精秤した乾燥試料を 5 ml の 6 N-H Cl (和光純薬 kk SSG 試薬) と共にガラス管に入れ，窒素ガスを通気した後，密封した。ついで，109°C, 22 時間の加水分解を行ない，終了後，ロータリーエバポレーターを用い 50°C 以下で減圧乾固した。タンパク質構成アミノ酸量および組成は高速液体クロマトグラフを用いニンヒドリン法によって測定された。なお，アミノ酸総量は上述の各アミノ酸 (17 種類) を合計して求めた。

結　　果

1. アミノ酸のフラックス

秋季の3期間における各スクリーン条件によるアミノ酸フラックスとアミノ酸態炭素および窒素に換算したフラックスを表1に示す。スクリーンを着けないトラップに捕集されたアミノ酸 (アミノ酸フラックス) は，128～143 $mg \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ であり，相加平均値 (以下平均値) で 135 $mg \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ となる。一方，アミノ酸態炭素および窒素に換算した全アミノ酸フラックスは，平均値で，60.4 $mgC \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ および 17.1 $mgN \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ となる。各スクリーン条件によるアミノ酸フラックスは，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。そこで，各スクリーンのフラックスから計算される各粒子サイズ，

Table 1. Fluxes of particulate amino acid (PAA), amino acid carbon (PAA-C) and amino acid nitrogen (PAA-N) in the sediment trap samples fractionated *in situ* by screens at a depth of 74m in Funka Bay from August to October, 1984.

Periods	Duration (days)	Screen	PAA ($mg \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)	PAA-C ($mgC \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)	PAA-N ($mgN \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)
Periods I	13	No screen	128	59.1	17.6
1984.8.21		690 μm screen	63	27.9	8.7
～1984.9.3		350 μm screen	26	11.5	3.6
Periods II	17	No screen	143	63.3	16.2
1984.9.3		690 μm screen	80	35.5	9.2
～1984.9.20		350 μm screen	29	12.7	4.0
Periods III	10	No screen	130	57.1	18.1
1984.9.21		690 μm screen	55	24.3	7.7
～1984.10.1		350 μm screen	23	10.1	3.2
Integrated	40	No screen	135	60.4	17.1
average		690 μm screen	68	30.2	8.7
		350 μm screen	27	11.7	3.7

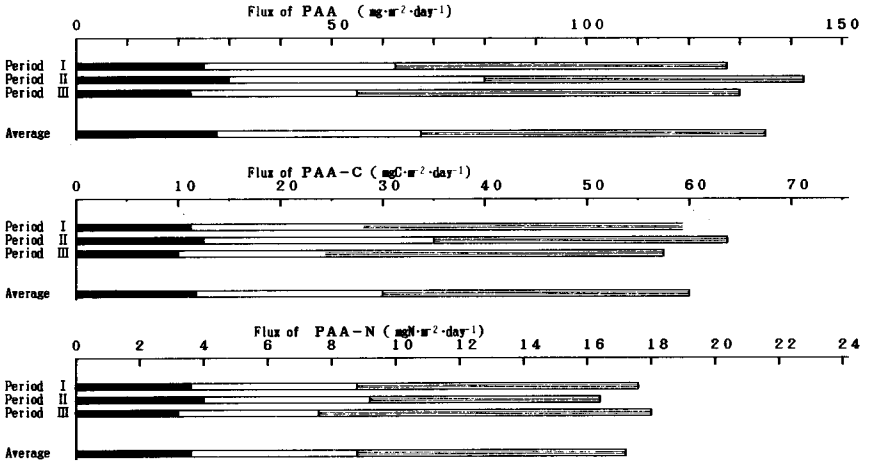

Fig. 2. Fluxes of particulate amino acid (PAA), amino acid carbon (PAA-C) and amino acid nitrogen (PAA-N) in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.
(<350 μm : ▤; 350～690 μm : ▬; >690 μm : ▤)

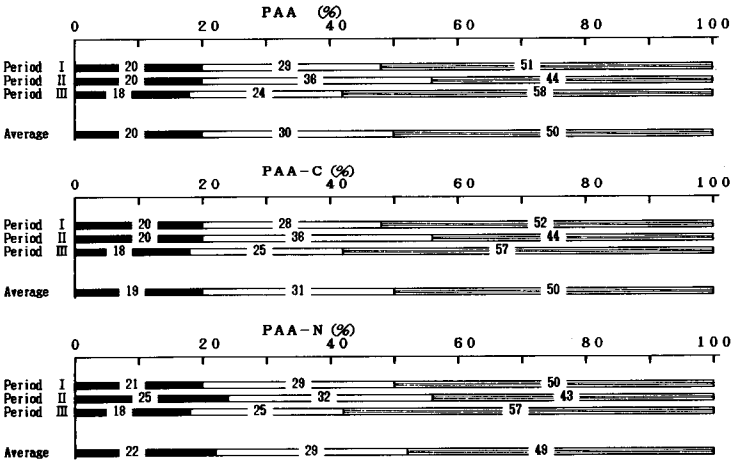

Fig. 3. Percent contributions of three size fractions to total fluxes of particulate amino acid (PAA), amino acid carbon (PAA-C) and amino acid nitrogen (PAA-N) at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.
(<350 μm : ▤; 350～690 μm : ▬; >690 μm : ▤)

すなわち 690 μm 以上，350～690 μm および 350 μm 以下のアミノ酸フラックスを図 2 に，全フラックスに対する各粒子の寄与率を図 3 に示す。

各粒子サイズにおけるアミノ酸フラックスは，いずれの期間においても 690 μm 以上>350～690 μm>350 μm 以下の量的関係にあり，期間内の平均値で示すと，それぞれ，67, 41 および 27 mg•m^{-2}•day^{-1} である。すなわち，全フラックスに対する各粒子の寄与率は，690 μm 以上が 50%，

350～690 μm が 30%, そして 350 μm 以下が 20% を占めている。このように各粒子の寄与率は粒子サイズが大きくなるにしたがって高い値を占めている。一方, アミノ酸炭素でみると, 全フラックスに対する各粒子の寄与率は, 690 μm 以上が 50%, 350～690 μm が 31%, そして 350 μm 以下が 19% を占めており, アミノ酸フラックスの場合と一致している。また, アミノ酸態窒素でみると, その寄与率は, 690 μm 以上が 49%, 350～690 μm が 29%, そして 350 μm 以下が 22% であり, アミノ酸フラックスの場合とほぼ一致しているといえるが, 期間 II における 350～690 μm および 350 μm 以下の寄与率はアミノ酸態炭素の場合とやや異なる印象を与えている。

Table 2. Concentrations of particulate amino acid (PAA), amino acid carbon (PAA-C) and amino acid nitrogen (PAA-N) in the sediment trap samples fractionated *in situ* by screens at a depth of 74m in Funka Bay from August to October, 1984.

Periods	Duration (days)	Screen	Concentration of AA ($mg \cdot g^{-1}$)	Concentration of AA-C ($mgC \cdot g^{-1}$)	Concentration of AA-N ($mgN \cdot g^{-1}$)
Periods I	13	No screen	69.6	32.1	9.6
1984.8.21		690 μm screen	42.6	18.9	5.9
～1984.9.3		350 μm screen	36.6	16.2	5.1
Periods II	17	No screen	58.1	25.7	6.6
1984.9.3		690 μm screen	46.5	20.6	5.3
～1984.9.20		350 μm screen	41.4	18.1	5.7
Periods III	10	No screen	62.8	27.6	8.7
1984.9.21		690 μm screen	52.4	23.1	7.3
～1984.10.1		350 μm screen	51.1	22.4	7.1
Integrated	40	No screen	62.5	28.0	7.9
average		690 μm screen	46.3	20.5	5.9
		350 μm screen	42.2	18.3	5.8

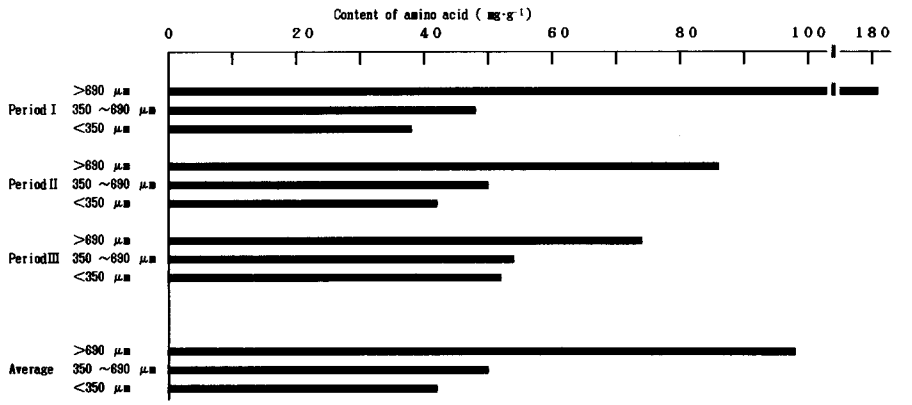

Fig. 4. Contents of amino acid in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

Table 3. Ratios of AA-C/TOC and AA-N/TON in the sediment trap samples fractionated *in situ* by screens at a depth of 74m in Funka Bay from August to October, 1984.

Periods	Duration(days)	Screen	Ratio of AA-C/TOC (%)	Ratio of AA-N/TON (%)
Periods I	13	No screen	26	73
1984.8.21～1984.9.3		690 μm screen	22	60
		350 μm screen	22	55
Periods II	17	No screen	25	58
1984.9.3～1984.9.20		690 μm screen	26	47
		350 μm screen	24	54
Periods III	10	No screen	24	61
1984.9.21～1984.10.1		690 μm screen	22	55
		350 μm screen	25	67
Integrated average	40	No screen	25	63
		690 μm screen	24	53
		350 μm screen	23	57

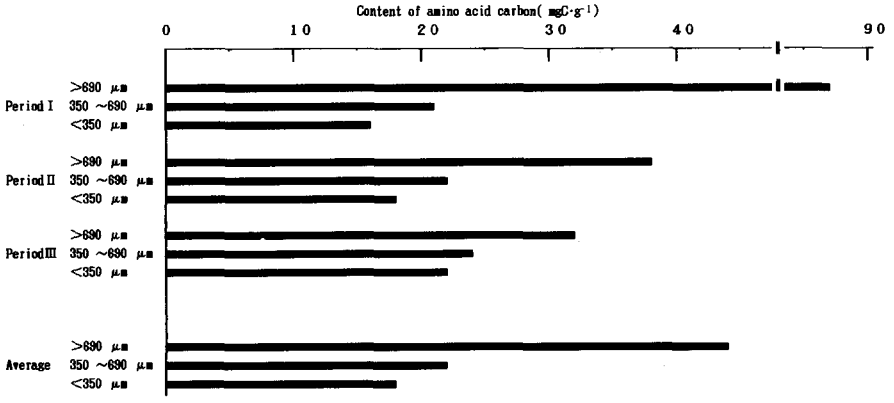

Fig. 5. Contents of amino acid carbon in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

2. アミノ酸含有率

各スクリーン条件によるトラップ試料中のアミノ酸含有率を表2に示す。それらのアミノ酸含有率は，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り，この期間の平均値で，それぞれ，62.5, 46.3 および 42.2 mg•g^{-1} である。この結果は，より大型の粒子中に比較的高濃度のアミノ酸が含まれていることを意味している。そこで，各粒子サイズ，すなわち 690 μm 以上，350～690 μm および 350 μm 以下の粒状物質およびアミノ酸のフラックスから計算されるアミノ酸含有率をみると (図4)，それらのアミノ酸含有率は，いずれの期間においても，690 μm 以上＞350～690 μm＞350 μm 以下の量的関係にあり，この期間の平均値で，それぞれ，97, 49 および 42 mg•g^{-1} である。

一方，アミノ酸態炭素含有率は，アミノ酸含有率の場合と同様な傾向を示している (図5)。しかし，アミノ酸態窒素含有率は，アミノ酸含有率やアミノ酸態炭素含有率の場合とやや異なっている。たとえば，期間IIにおいて，350～690 μmのアミノ酸含有率およびアミノ酸態炭素含有率が350 μm以下よりも高い値を示すのに対して，アミノ酸態窒素含有率は350 μm以下の粒子の方が高い値を示している。

考　　察

秋季噴火湾における各粒子サイズ，すなわち690 μm以上，350～690 μmおよび350 μm以下の粒状物質フラックスがほぼ等しくトラップに捕集されることが明らかにされている[11]。しかし，アミノ酸に関していえば，690 μm以上の粒子の全アミノ酸フラックスに対する寄与が大きい。このことは，690 μm以上の粒子のアミノ酸含有率が他の粒子に比べて2倍以上の値を示していることによる。このようにアミノ酸含有率が各粒子によって異なる理由として，有機物含有率を低下させる因子，たとえば粘土鉱物などの無機粒子の存在，供給源とされる有機物粒子中のアミノ酸含有率の相違およびそれぞれのサイズ区分に関与する生物化学的分解過程の相違が考えられる。

秋季噴火湾における沈降有機粒子の種類が粒子サイズによって異なっていることは，前報[11]において詳しく述べた。すなわち，690 μm以上の主な有機粒子の種類は尾虫類の“ハウス”，350～690 μmの粒子は糞粒，そして350 μm以下の粒子は，小型の糞粒，植物プランクトンおよび懸濁有機物から成ると考えられた。動物プランクトンが排泄する大型の粒状物質 (糞粒および“ハウス”) のタンパク質の含有率は13%程度である[12]。この事実より，690 μm以上のアミノ酸含有率 (約10%) は“ハウス”などの動物プランクトンが排泄する大型の粒状物質のもつ性質を反映しているものと考えられる。一方，糞粒のアミノ酸含有率は，Alldredge[12]が報告している大型の粒状物質と同程度であるか，あるいは，糞粒の有機炭素および有機窒素の含有率がそれを排泄する動物プランクトンの含有率と同程度である[13]ことを考えると，動物プランクトンのアミノ酸含有率 (30～83%)[14,15]に近い値であると予想される。いずれにしても，350～690 μmの粒子のアミノ酸含有率 (5%) は，上述の値よりもはるかに低い。さらに，350 μm以下の粒子のアミノ酸含有率 (4%) は供給源である糞粒，植物プランクトン (14～25%)[14,16]および懸濁有機物 (17%)[12]よ

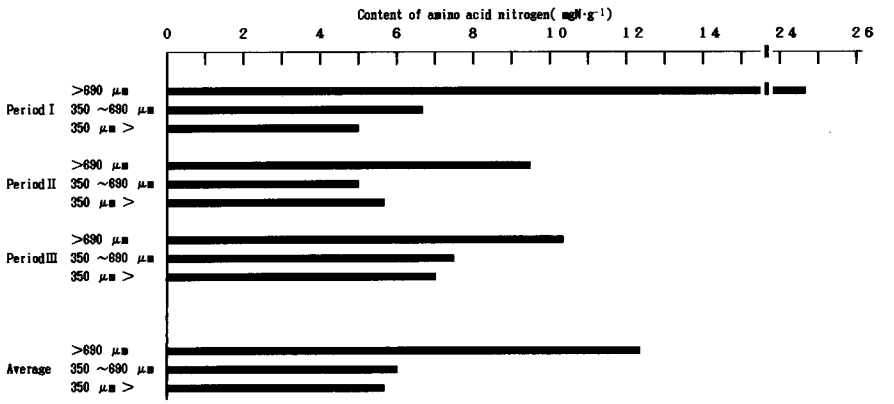

Fig. 6. Contents of amino acid nitrogen in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

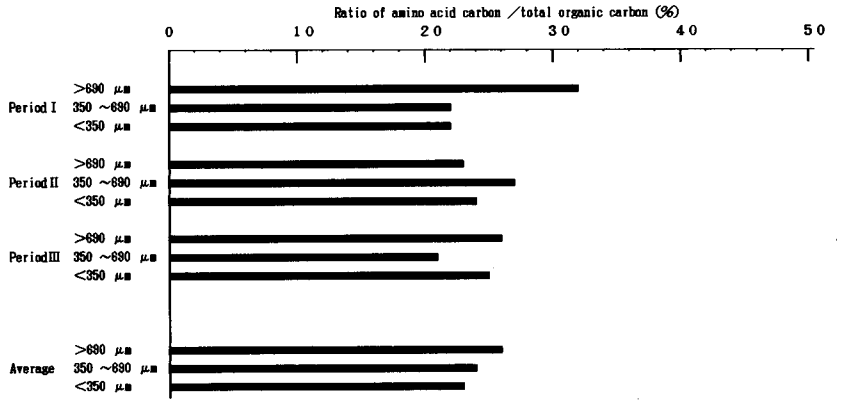

Fig. 7. Ratio of amino acid carbon/total organic carbon in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

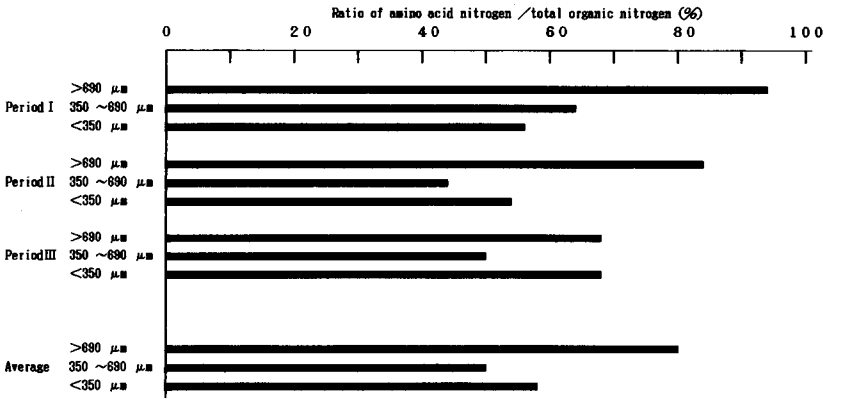

Fig. 8. Ratio of amino acid nitrogen/total organic nitrogen in three size fractions of particles collected in a sediment trap deployed at a depth of 74 m in Funka Bay from August to October, 1984.

りもはるかに低い。

次に，各粒子サイズにおける有機物の分解過程の相違について考えてみる。粒状有機物の分解過程において，それを構成するタンパク質が炭水化物や脂質よりも早く分解されることが知られている[5,7-10,17,18]。したがって，全有機炭素に対するアミノ酸態炭素の割合は有機物分解の程度によって変動することが予想される。そこで，各粒子のアミノ酸態炭素/全有機炭素をみると（図7），各粒子のその値は，平均で，690 μm 以上が 26%，350～690 μm が 24%，そして 350 μm 以下が 23% であり，ほぼ同じである。この結果からは，各粒子間に選択的な分解が認められない。一方，各粒子のアミノ酸態窒素/全有機窒素をみると（図8），各粒子のその値は，690 μm 以上が 79%，350～690 μm が 50%，そして 350 μm 以下が 57% であり，350～690 μm のタンパク質アミノ酸が他の粒子よりも少ない。このことは，350～690 μm の粒子がより微生物的分解を受けた有機物粒子として供給されていることを意味しているかもしれない。しかし，全有機炭素に対するアミノ酸

態炭素の割合から判断すると，各粒子間における分解の相違がそのままアミノ酸含有率に認められた相違に反映されているとは考え難い。したがって，350～690 μm および 350 μm 以下の粒子のアミノ酸含有率が予想されたそれぞれの供給源の有機粒子の値よりもはるかに低い値を示す理由は，各粒子間における供給源とされる有機物粒子中のアミノ酸含有率の相違あるいは微生物的分解の相違よりもむしろ糞粒と会合した無機粒子あるいは単独で沈降する無機粒子による希釈の結果と考えられる。

今回得られた秋季噴火湾における全アミノ酸態炭素フラックス (60 $mgC \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$) は，Lee と Cronin[5] によるペルー沖 (50 m) のアミノ酸態炭素フラックス (70 $mgC \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$) とほぼ一致している。また，外洋域におけるアミノ酸のフラックスは深度とともに減少することがいわれている[7-9]。そこで，Suess[19] によって提案された深度と有機炭素フラックスに関する関係式をアミノ酸フラックスにも適用できるものと仮定すると，噴火湾におけるアミノ酸フラックスは，外洋域の深層の値[7-9] を同深度 (74 m) に修正した値と同程度の値となる。この結果は噴火湾におけるアミノ酸フラックスが外洋域の表層 100 m とそれほど相違がないことを意味している。一方，噴火湾におけるトラップ試料中のアミノ酸含有率についてみると，いずれの分画粒子においても外洋域の深層の値[8,9] よりも高い結果が得られた。このことは，生物化学的な分解過程の大小あるいは無機粒子の希釈量によることを示唆している。しかし，噴火湾における全有機炭素および窒素フラックスに対する全アミノ酸態炭素および全有機窒素のフラックスは，平均値で，25 および 63% であり (表 3)，外洋域の深層におけるそれぞれの値[7-9] とほぼ等しい。このことは，粒状有機物が 100 m 以浅で著しい分解を受け，100 m 層から深層の間に行なわれる有機物の分解過程がそれほどでないことを意味するかもしれない。それにもかかわらず，外洋域の深層におけるアミノ酸含有率が噴火湾と比較して低いということは，多分，噴火湾では量的に少ない炭酸塩質やケイ酸塩質から成る無機粒子，すなわち海洋生物の遺骸群によって希釈されている結果によるものと考えられる。

謝　　辞

この研究を行なうにあたり，試料採取の御協力を賜わりました本学部所属研究船うしお丸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) 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.
3) 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.
4) 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.
5) Lee, C. and Cronin, C. (1982). The vertical flux of particulate organic nitrogen in the sea: decomposition of amino acids in the Peru upwelling area and the equatorial Atlantic. *J. Mar. Res.* **40**, 227-251.
6) Lee, C. and Cronin, C. (1984). Particulate amino acids in the sea: Effects of primary produc-

tivity and biological decomposition. *J. Mar. Res.* **42**, 1075-1097.
7) Lee, C., Wakeham, S.G. and Farrington, J.W. (1983). Variations in the composition of particulate organic matter in a time-series sediment trap. *Mar. Chem.* **13**, 181-194.
8) 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**, 1057-1069.
9) 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.
10) Wakeham, S.G., Lee, C. Farrington, J.W. and Gagosian, R.B. (1984). Biogeochemistry of pariculate organic matter in the oceans: results from sediment trap experiments. *Deep-Sea Res.* **31**, 509-528.
11) 米田義昭・簗田 満・塩本明弘 (1986). 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. 北大水産彙報 **37**, 128-137.
12) Alldredge, A.L. (1979). The chemical composition of macroscopic aggregates in two neritic seas. *Limnol. Oceanogr.* **24**, 855-866.
13) 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.
14) Degens, E.T. (1970). Molecular nature of nitrogenous compounds in seawater and recent marine sediments. p. 77-106. In Hood, D.W. (ed), *Organic matter in natural waters*. 625 p. Univ. of Alaska, Fairbanks,
15) Raymont, J.E.G. (1983). *Plankton and productivity in the oceans*. 2nd Ed, 809 p. Pergamon Press.
16) Corner, C.B. and Cowey, E.D.S. (1966). The amino-acid composition of certain uni-cellular algae and of the fecal pellets produced by *Calanus finmarchicus* when feeding on them. p. 225-231. In Farnes, H. (ed), *Some contemporary studies in marine science*. George Allen & Unwin, London.
17) Siezen, R.J. and Mague, T.H. (1978). Amino acids in suspended particulate matter from oceanic and coastal waters of the Pacific. *Mar. Chem.* **6**, 215-231.
18) Wefer, G.F., Suess, E., Balzer, W., Liebezeit, G., Muller, P.J., Ungerer, C.A. and Zenk, W. (1982). Fluxes of biogenic components from sediment trap deployment in circumpolar waters of the Drake Passege. *Nature* **299**, 145-147.
19) Suess, E. (1980). Particulate organic carbon flux in the oceans-surface productivity and oxygen utilization. *Nature* **288**, 260-263.