

1992年～1994年の南極大陸沿岸定着水域における
沈降粒子フラックスの変動鈴木英勝¹・佐々木 洋¹・谷村 篤²・福地光男³Variability of Export Fluxes of Sinking Particles under the
Antarctic Fast Ice (1992–1994)Hidekatsu SUZUKI¹, Hiroshi SASAKI¹, Atsushi TANIMURA² and
Mitsuo FUKUCHI³

Abstract: Sediment trap experiments were done to investigate variability flux of sinking particles from eight stations under fast ice near Syowa Station, Antarctica, from January 1992 to January 1994. The fluxes in the shallow water column (\leq ca. 50 m) showed marked seasonality ranging from 0 (<0.1) $\text{mgDW m}^{-2} \text{d}^{-1}$ in winter 1993 to 2765 $\text{mgDW m}^{-2} \text{d}^{-1}$ in summer 1993–1994. They were high in summer, low in winter and variable in the transitional season (spring and fall). The flux in the deep water column ($>$ ca. 50 m) not showed marked seasonality. The annual flux in 1993 ($159 \text{ gDW m}^{-2} \text{y}^{-1}$) was larger than that in 1992 ($25 \text{ gDW m}^{-2} \text{y}^{-1}$) in \leq ca. 50 m. A marked variation in the flux among sampling stations was found during summer in 1992. The flux of zooplankton swimmers, which changed with season and depth, greatly contributed to the net flux (maximum 167%) under fast ice.

要旨: 1992年の1月から1994年の1月までの間、南極昭和基地周辺の定着水域の8観測点において、沈降粒子フラックスの変動を観測するためにセディメントトラップ吊下実験を行った。表層付近 (\leq 約50 m) のフラックスは顕著な季節変化を示し、0 (<0.1) $\text{mgDW m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (1993年冬季) から 2765 $\text{mgDW m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (1993–1994年夏季) の間で変動した。夏季にはフラックスは高く、冬季には低く、中間期 (春季及び秋季) においては不規則な変動が見られた。深層 ($>$ 約50 m) のフラックスに季節変化は観察されなかった。50 m 以浅のフラックスから周年変化を概観すると、1992年 ($25 \text{ gDW m}^{-2} \text{y}^{-1}$) と 1993年 ($159 \text{ gDW m}^{-2} \text{y}^{-1}$) では明らかに1993年において年間積算乾燥重量フラックスが高いと見積もられた。また複数観測点間のフラックスの変動及び、遊泳性動物プランクトンの混入による正味のフラックスに対する過大評価 (最大167%) も認められ、これらがフラックス推定の誤差を生じさせる原因となる可能性を示した。

1. はじめに

海水圏生物の総合研究調査の一貫として、第33, 34次南極地域観測隊海洋生物部門は昭

¹石巻専修大学理工学部. Faculty of Science and Technology, Senshu University of Ishinomaki, Ishinomaki 986-8580.

²三重大学生物資源学部. Faculty of Bioresources, Mie University, 1515 Kamihara, Tsu 514-8507.

³国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

和基地周辺沿岸定着氷下の低次生産者の物質循環過程を調べるために、表層の低次生産者の生物活動を間接的に反映する沈降粒子に注目し、簡易型セディメントトラップを吊下してそれを採集した。本報告は1992年1月から1994年1月の間の2年間に亘って経時的に採集された沈降粒子の乾燥重量 (Dry Weight: DW) 及び粒状有機炭素 (Particulate Organic Carbon: POC) フラックスの結果を報告し、沿岸定着氷下における低次生産者の変動機構を理解するための基礎資料を提供することを目的としたものである。併せて定着氷下において氷厚が異なる複数測点のフラックス変動、及び正味のフラックスに対して過大評価の危険性がある遊泳性動物プランクトンのフラックスも報告する。

2. 試料の採集と分析

沈降粒子の採集は1992年の1月6日から1994年の1月28日にかけて、昭和基地周辺の定着氷域に設定された8測点において行われた(図1, 表1)。セディメントトラップ吊下期間は、夏季には比較的短期間、冬季には長期間に設定した。ただし夏季には氷の状態が悪化したため、いずれの測点においても継続的に沈降粒子を採集することはできなかった。使用したセディメントトラップは口部内径14 cm、長さ50 cmの円筒型(SASAKI and HOSHIAI, 1986)で、吊下中の生物学的な分解を抑えるため、数例の短期吊下を除いてホルマリン

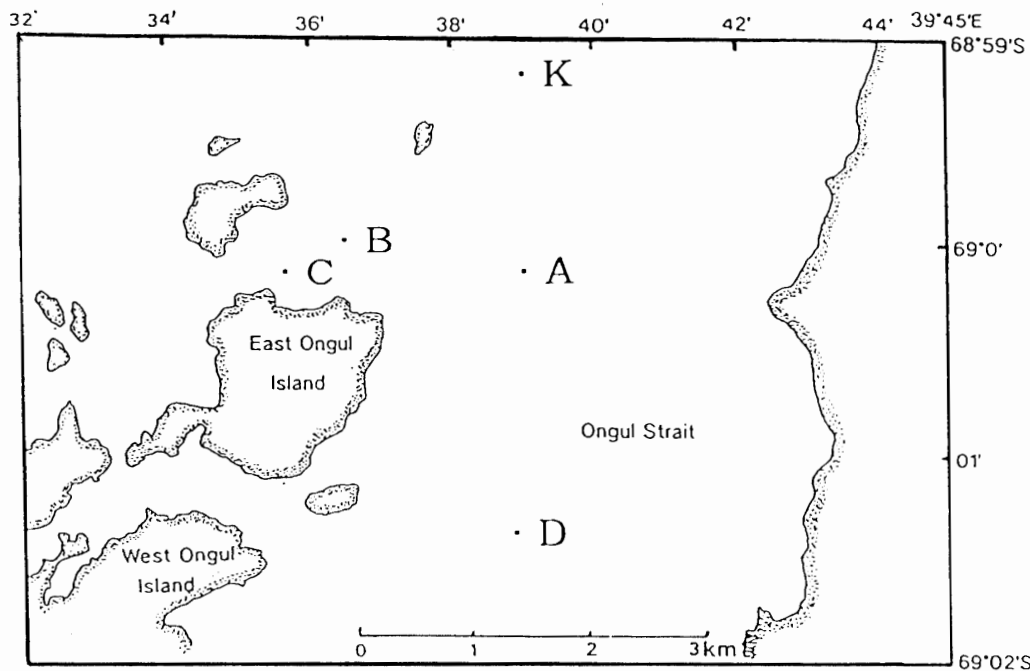


図1 1992年～1994年、南極昭和基地周辺の沿岸定着氷下における、セディメントトラップ吊下地点。St. A', A-2とA-5はSt. Aとほぼ同位置。

Fig. 1. Location of stations for sediment trap experiments made near Syowa Station, Antarctica, from January 1992 to January 1994. The locations of St. A', A-2 and A-5 were approximately the same as St. A.

表1 セディメントトラップ吊下位置, 吊下層, 現場水深及び吊下期間
 Table 1. List of sampling stations where sediment traps were deployed.

Station	Latitude	Longitude	Trap depth (m)	Sea depth (m)	Duration
A	69° 00.23'S	39° 38.18'E	10, 50, 200	219	6 Jan-1 Feb 1992
A'	approximately the same as St. A		10, 50, 150		8 Feb-25 Apr 1992
B	69° 00.10'S	39° 36.50'E	10, 30	34	9 Jan-6 Feb 1992
C	69° 00.18'S	39° 35.75'E	10, 20	29	7 Jan-4 Feb 1992
D	69° 01.41'S	39° 06.00'E	10, 50, 150	232	21 May-20 Dec 1992
A-5	approximately the same as St. A		50, 200, 400		5 June-2 Jan 1992/1993
A-2	approximately the same as St. A		10, 50, 150		9 Jan-4 Mar 1993
K	68° 59.42'S	39° 36.06'E	5, 10, 17, 32	33	9 Apr-28 Jan 1993/1994

(10% v/v) 入り濾過海水を入れて吊下した。セディメントトラップは、定着氷に約 1×2 m の穴を開け、そこからロープに装着して吊下した。吊下水深層は最浅層は 5 m, 最深層は 400 m であった。採集した沈降粒子試料は、保存用サンプル瓶に入れ替え中性ホルマリン添加後冷蔵保存した。

実験室に持ち帰った沈降粒子試料は初めに実体顕微鏡下で約 0.1 mm 以上の遊泳性の動物プランクトン (swimmers) を除去した後、予め 450°C で熱処理した秤量済みのガラス繊維濾紙 (Whatmann GF/F) 上に濾過捕集した。粒状炭酸カルシウム除去のために塩酸の蒸気に 12 時間以上燻化後、80°C で約 12 時間乾燥し、濾過捕集された試料の DW を測定した。次に CHN 分析計 (YANAKO MT-5) を用いて POC の測定を行った。また沈降粒子試料から除去された動物プランクトンの一部は上記と同様の方法で DW 測定後に、POC の測定に用いた。

3. 観測結果

1) フラックスの季節変動

すべての測点で得られた DW と POC フラックスを表 2 に示した。50 m 以浅において、夏季 (およそ 1 月から 2 月) に高く、冬季 (およそ 5 月から 9 月) に低い傾向を示した。観測された DW フラックスの最大値は 1993 年 12 月 31 日~1994 年 1 月 28 日, St. K の 32 m 層における $2765 \text{ mgDW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。最小値は 1993 年 8 月 10 日~9 月 6 日, St. K において 5 m 層と 32 m 層から得られた $0 (<0.1) \text{ mgDW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。また POC フラックスの最大値は 1992 年 1 月 23~30 日, St. B の 10 m 層における $60 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。最小値は 1993 年 8 月 10 日~9 月 6 日, St. K において 5 m 層と 32 m 層から得られた $0 (<0.1) \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。

夏季から冬季への移行期である秋季 (およそ 3 月から 4 月) において、両年ともフラックスは $69\sim 240 \text{ mgDW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ の範囲で変動した。冬季から夏季への移行期である春季 (お

表 2 1992 年 1 月から 1994 年 1 月の定着氷下における粒子フラックス
 Table 2. Particulate fluxes under fast ice observed from January 1992 to January 1994.

site	year	date	DW flux ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)			POC flux ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$)				
			trap depth			trap depth				
			10m	50m	200m	10m	50m	200m		
A	1992	6-12 Jan	196	175	231	14	10	12		
	"	12-19 Jan	250	201	274	23	24	14		
	"	19-26 Jan	261	186	231	19	7	9		
	"	26 Jan-1 Feb	325	138	312	30	7	16		
			10m	30m		10m	30m			
B	1992	9-16 Jan	293	275		16	4			
	"	16-23 Jan	303	331		24	15			
	"	23-30 Jan	592	444		60	11			
	"	30 Jan-6 Feb	111	115		32	21			
			10m	20m		10m	20m			
C	1992	7-14 Jan		348			4			
	"	14-21 Jan	410	321		12	7			
	"	21-28 Jan	387	339		22	19			
	"	28 Jan-4 Feb	154	136		47	35			
			10m	50m	150m					
A'	1992	8-22 Feb	91	93	146					
	"	22-29 Feb	119	163	110					
	"	29 Feb-7 Mar	76	105	118					
	"	7-24 Mar	93	92	215					
	"	24 Mar-11 Apr	75	125	303					
	"	11-25 Apr	240	69	200					
			10m	50m	150m					
D	1992	21 May-14 Aug	31	30	55					
	"	17 Aug-12 Nov	20	14	43					
	"	12 Nov-20 Dec	13	24	70					
			50m	200m	400m					
A-5	1992	5 Jun-18 Aug	9	122	416					
	"	27 Aug-5 Oct	9	58	531					
	1992/1993	10 Dec-2 Jan	40	130	6					
			10m	50m	150m					
A-2	1993	9-20 Jan	51	21	266					
	"	27 Jan-4 Mar	52	55	57					
			5m	10m	17m	32m	5m	10m	17m	32m
K	1993	9-17 Apr	80		117	134	8		22	22
	"	17 May-10 Aug		21	22	21		5	4	4
	"	10 Aug-6 Sep	0		2	0	0		1	0
	"	6 Sep-12 Oct	28		31	70	6		4	20
	"	12 Oct-7 Nov	364		123	1316	25		7	10
	"	7 Nov-31 Dec	148		2304	705	10		8	11
	1993/1994	31 Dec-28 Jan	659		2086	2765	28		33	47

よそ 10 月から 12 月) においては, 1992 年のフラックスは ($9-40 \text{ mgDW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), 1993 年の春季と比較して ($123-2765 \text{ mgDW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) 明らかに低かった

表 3 1992年1月から1993年12月の南極昭和基地周辺の沿岸定着水下、50 m以浅の月別平均の乾燥重量フラックスの経時変化と年間積算された乾燥重量フラックス。

Table 3. Seasonal variation of monthly averaged DW flux and integrated DW flux at the depth of ≤ 50 m in the ice-covered coastal stations near Syowa Station, Antarctica from December 1992 to January 1993.

Year	DW flux ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ($\text{mg m}^{-2} \text{mo}^{-1}$)		DW flux ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ($\text{mg m}^{-2} \text{mo}^{-1}$)	
	1992		1993	
January	240	7440	36	1116
February	169	4901	55	1540
March	81	2511	95	2945
April	132	3960	97	2910
May	30	930	22	682
June	30	900	22	660
July	30	930	22	682
August	23	713	12	372
September	20	600	36	1080
October	20	630	690	21390
November	22	660	1810	54300
December	38	1178	2304	71424
Total	25 ($\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$)		160 ($\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$)	

50 mより深い層においては、1992年2月22~29日、St. A'の150 m層及び、1992年12月10日~1993年1月2日、St. A-5の400 m層を除いて、同採集期間の50 m以浅のフラックスより多量であった。しかしこれらは明瞭な季節変動は観測されなかった。

2) フラックスの年変動

継続的に同一測点において沈降粒子を採集することはできなかった。そのため1992年と1993年のフラックスの年変動を概観するために、時期ごとに測点を選択した。なるべく測点の違いによる差を生じさせないように、オングル海峡中央部の測点を選び、それぞれ1992年1月のSt. A、1992年2月から4月のSt. A、1992年5月から12月のSt. D、1993年1月から3月のSt. A-2、1993年4月から1993年12月のSt. KのDWフラックスのデータを解析した。それらの測点において得られた50 m層以浅の水柱の最大DWフラックスを各月毎に平均した。沈降粒子の採集が行われなかった時期は、その後に採集されたDWフラックスを便宜的に代用し、月別平均DWフラックス($\text{mg m}^{-2} \text{mo}^{-1}$)の経時変化を求め、年間の積算DWフラックス($\text{mg m}^{-2} \text{y}^{-1}$)と共に表3に示した。

1992年($25 \text{ gDW}^{-2} \text{ y}^{-1}$)よりも、1993年($159 \text{ gDW m}^{-2} \text{ y}^{-1}$)の年間積算DWフラックスが明らかに高く、特に10月~12月のフラックスに多大な差異が認められた。

3) 複数測点間のフラックスの変動

海水下面や海氷中に生息するアイスアルジーの生産量や現存量は、その氷の厚さや氷上の積雪量に左右されると言われている(WATANABE and SATOH, 1987; SMITH *et al.*, 1988; SMITH

表 4 1992 年 1 月の 3 測点 (St. A, St. B, St. C), 10 m 層におけるフラックスの変動。N は試料数, MEAN は平均 POC フラックス, SD は平均 POC フラックスの標準偏差, CV は変動係数を示す。

Table 4. Horizontal variation of POC flux at 10 m among stations A, B and C in January 1992. N, MEAN, SD and CV are the number of samples, averaged POC flux, standard deviation of averaged POC flux and coefficient of variation, respectively.

Week	N	Flux		
		MEAN	SD	CV
(2nd wk)	2	15	1	6
(3rd wk)	3	19	5	28
(4th wk)	3	34	19	55
(5th wk)	3	36	8	21

表 5 正味のフラックスに対する混入動物プランクトンの割合

Table 5. Contribution of swimmers to net POC flux. (%: swimmer POC flux to net POC flux).

St. A	depth 10 m	St. B	depth 10 m	St. C	depth 10 m
Date	(%)	Date	(%)	Date	(%)
6-12 Jan	83	9-16 Jan	106	14-21 Jan	63
12-19 Jan	74	16-23 Jan	38	21-28 Jan	81
19-26 Jan	152	23-30 Jan	20		
26 Jan-1 Feb	55				

Stn. K	depth 5 m	17 m	32 m
Date	(%)	(%)	(%)
9-17 Apr	3	5	0
17 May-10 Aug (10 m)	29	42	22
10 Aug-6 Sep	163	86	167
6 Sep-12 Oct	29	42	10
12 Oct-7 Nov	1	6	5
7 Nov-31 Dec	3	3	1
31 Dec-28 Jan	11	8	1

and SAKSHAUG, 1990 など)。これらの藻類群集が主要な沈降粒子を構成する場合も、そのフラックスは同様に氷厚や積雪量の影響を受けて変動するものと予想される。そこでほぼ同一時期に複数測点において行われた実測フラックスを比較し、測点間の変動を求めてみた(表 4)。使用したデータは 1992 年 1 月の 2 週目 (St. A の 1 月 6~12 日, St. B の 1 月 9~16 日), 3 週目 (St. A の 1 月 12~19 日, St. B の 1 月 16~23 日, St. C の 1 月 14~21 日), 4 週目 (St. A の 1 月 19~26 日, St. B の 1 月 23~30 日, St. C の 1 月 21~28 日) 及び 5 週目 (St. A の 1 月 26 日~2 月 1 日, St. B の 1 月 30 日~2 月 6 日, St. C の 1 月 28~2 月 4 日) において実施された 3 測点における水深 10 m 層の POC フラックスである。これらの測点

の海底水深は異なるが水平距離はほぼ 3 km 以内に位置し、氷厚（同年 1 月 4~7 日現在）はそれぞれ 192 cm, 265 cm, 255 cm であった。St. A と St. B 及び C の氷厚には約 70 cm ほどの差があり、1 月下旬では St. B 及び C におけるフラックスがやや高かった（表 2）。2 週目の St. A と St. B 間の標準偏差、変動係数は共に低いが、フラックスが上昇する 1 月の 4 週目に測点間の標準偏差、変動係数共に大きくなり、測点間での変動係数が 55% になった。

4) 混入動物プランクトンの割合

セディメントトラップ試料にはしばしば遊泳性の動物プランクトンが混入するため、これらを適切に除去しない場合はフラックスの見積りに大きな誤差を生じる危険性がある (LEE *et al.*, 1988)。そこで 1992 年 1 月 (10 m 層のみ) の、St. A 及び 1993 年 4 月~1994 年 1 月の、St. K で得られた結果から、正味のフラックス（混入動物プランクトンを含まない粒子のみのフラックス）に対する混入動物プランクトンの割合を表 5 に示した。その割合は 0~167% の間を変動しており、これらがフラックスを過大評価する原因となる危険性がある。特に 1992 年 1 月 19 日~26 日の St. A における 10 m 層と 1993 年 8 月 10 日~9 月 6 日、St. K のにおける 5 m 層と 32 m 層の割合が高かった。

5. おわりに

周年を通した沿岸定着氷下の沈降粒子フラックスの報告は限られているが、夏季にフラックスが高く、冬季に低い傾向は過去の報告例 (*e.g.* MATSUEDA *et al.*, 1987) と同様であった。またフラックスの大幅な年変動が観察されたが、この結果はフラックスを左右する海水下における生物生産が大きく年変動していたことを予想させるものである。しかしその原因はここでは特定されてはいない。それを解明するためには、他の多くの環境要因（例えば光の透過量、日射量、平均気温、氷厚、積雪量など）と共にフラックスの長期的観測が必要であろう。

本報告ではフラックス実測において測点間の変動や混入する動物プランクトンの影響が無視できないことを指摘することができた。そのため定着氷の複数測点におけるセディメントトラップの設置及びセディメントトラップに混入する動物プランクトンの除去など、方法論的な問題点に留意した上で、今後の海水下の調査を行っていく必要がある。

謝 辞

本報告は、第 33 次及び 34 次日本南極地域観測隊の海洋生物部門によって得られた沈降粒子試料を基にまとめたものである。試料採集をご支援いただいた第 34 次越冬隊長佐藤夏雄博士、第 33 次夏隊員原田尚美博士、小達恒夫博士、また試料の処理、分析の補助をしていただいた石巻専修大学理工学部生物生産工学科佐藤憲嗣氏、小熊洋之氏、高山 眞氏に感謝する。

文 献

- LEE, C., WAKEHAM, S.G. and HEDGES, J. I. (1988): The measurement of oceanic particle flux-are "swimmers" a problem? *Oceanogr. Mag.*, **1**, 34-36.
- MATSUDA, O., ISHIKAWA, S. and KAWAGUCHI, K. (1987): Seasonal variation of downward flux of particulate organic matter under the Antarctic fast ice. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, **1**, 23-34.
- SASAKI, H. and HOSHIAI, T. (1986): Sedimentation of microalgae under the Antarctic fast ice in summer. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **40**, 45-55.
- SMITH, R. E. H., ANNING, J., CLEMENT, P. and COTA, G. (1988): Abundance and production of ice algae in Resolute Passage, Canadian Arctic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **48**, 251-263.
- SMITH, W. O., Jr. and SAKSHAUG, E. (1990): Polar phytoplankton. *Polar Oceanography, Part B*, ed by W. O. SMITH, Jr. San Diego, Academic Press, 477-526.
- WATANABE, K. and SATOH, H. (1987): Seasonal variations of ice algal standing crop near Syowa Station, East Antarctica, in 1983/84. *Bull. Plankton Soc. Jpn.*, **34**, 143-164.

(1998年8月13日受付; 1998年9月22日改訂稿受理)