

## 高緯度海域におけるノルパックネット標準採集の特性(2)

誌名	日本プランクトン学会報
ISSN	03878961
著者名	小達,恒夫 坂岡,桂一郎 梶原,善之 今井,圭理 小林,直人 目黒,敏美 福地,光男
発行元	日本プランクトン学会
巻/号	46巻2号
掲載ページ	p. 134-142
発行年月	1999年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 高緯度海域におけるノルパックネット標準採集の特性—その2. 荒天下に起こる過剰曳網とプランクトン現存量評価

小達恒夫<sup>1)</sup>・坂岡桂一郎<sup>2)</sup>・梶原善之<sup>2)</sup>・今井圭理<sup>2)</sup>・小林直人<sup>2)</sup>・目黒敏美<sup>2)</sup>・福地光男<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>国立極地研究所 〒173-8515 東京都板橋区加賀1-9-10

<sup>2)</sup>北海道大学水産学部 〒041-0821 北海道函館市港町3-1-1

### Characteristics of standard methods of Norpac net towing in the high latitude sea area II. Overtowing under rough sea conditions and estimation of zooplankton abundance

TSUNEO ODATE<sup>1)</sup>, KEI-ICHIRO SAKAOKA<sup>2)</sup>, YOSHIYUKI KAJIWARA<sup>2)</sup>, KEIRI IMAI<sup>2)</sup>, NAOTO KOBAYASHI<sup>2)</sup>, TOSHIMI MEGURO<sup>2)</sup> AND MITSUO FUKUCHI<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515

<sup>2)</sup>Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 3-1-1, Minato-cho, Hakodate, Hokkaido 041-8611

Corresponding author: Tsuneo Odate, e-mail odate@nipr.ac.jp

**Abstract** Underwater movement of a vertically towed Norpac net was investigated using a micro depth data logger at two stations during a cruise of the T/S *Hokusei Maru* (September 18-October 7, 1997). At one station in the Sea of Okhotsk off Shiretoko Peninsula, where wind stress was less than  $1 \text{ m s}^{-1}$  and wave height was less than 1 m, the net was lowered and raised. Coefficients of variation (CV) of the maximum depth the net reached revealed by the logger, the distance the net traveled estimated using flowmeters mounted outside of the net (FD) and the integrated upward distance estimated using the logger ( $\Sigma D$ ) were less than 1.3% in four trials. The FD and  $\Sigma D$  were each similar, indicating the high precision of net towing following the standard methods. The CV of plankton-sample wet weights caught by the net (GG54) was more than 10% even in calm seas. This variability seemed to result from the uneven distribution of plankton, not from the towing methods. At another station in the western North Pacific Ocean off Kushiro, wind stress was  $5.9 \text{ m s}^{-1}$  and wave height was 2.4 m. Logger tracks showed that the net fluctuated vertically during lowering of the net from the rolling platform, but rarely fluctuated from the pitching platform. The FD averaged about 10 m longer than wire length and  $\Sigma D$  was almost the same as wire length during net tows from the pitching platform. This suggests that the difference between FD and wire length, that is, overtowing, resulted from horizontal towing due to platform drifting by wind. During net tows from the rolling platform, overtowing averaged about 40 m. About half of the overtowing was explained by vertical fluctuation of the net, and the rest was due to drift of the platform. Seawater volume filtered by the net, which was estimated using a flowmeter attached inside of the net, was 15% larger from the rolling platform than the pitching platform. Wet weights of the collected plankton sample per haul were 18% less from the former than in the latter, although the difference was not significant ( $P > 0.05$ ). Based on unit volume, however, the difference became significant ( $P < 0.05$ ). It is considered that zooplankton are collected with the net and flowmeter works during the upward movement of the fluctuation, however most zooplankton seem to escape from the net during the downward movement. Consequently, there was no significant difference between the wet weights per haul collected from the pitching and rolling platforms. Downward movements of the net during net towing result in significant underestimation of plankton abundance.

**Key words:** net sampling, plankton abundance, sea conditions, micro depth data logger

ネットによるプランクトンの鉛直採集は比較的簡単にできることから、多くの海域、季節にわたり実施されている。日本の場合、多く研究機関で北太平洋標準ネット（ノルパックネット）（元田 1957）が用いられており、得られたデータは膨大な量に及ぶ（例えば、北海道大学 1997）。

ネットによるプランクトン採集には、いくつかのエラーがつきまとう。Wiebe & Holland (1968) は、そのエラーの原因について以下の3つに分けている。1) 採集器具からの能動的な生物の逃避 (Fleminger & Clutter 1965)。2) 用いる採集器具に特有な機械的な問題。これには、網目からの生物の逸脱、目詰まり、ネットのろ過水量測定の不完全さなどが挙げられる (Aron et al. 1965)。3) 生物の不均一分布 (Cushing 1962)。

小達ほか (1998) は、荒天下におけるノルパックネット採集時、うねり等による船の動揺が水中のネットに伝わり、ネットも水中で上下振動していることを明らかにした。また、振動の上方への動きの際には、ろ水計のプロペラが回転するため、プランクトンの現存量評価に大きな影響を与えるものと考えた。これは、上記エラー原因 (Wiebe & Holland 1968) の2) に相当するものと考えられる。また、荒天下の採集では、観測船が強風に流されてドリフトすることにより、ワイヤ繰り出し長（以下、ワイヤ長）以上に曳網する場合がある（元田ほか 1963）。本研究では、これらに起因するワイヤ長以上の曳網を過剰曳網と呼ぶ。小達ほか (1998) は、南極観測船「しらせ」で行ったろ水計の無網試験の際、ネットの上下振動は過剰曳網の約3分の1を説明し、残りの約3分の2はドリフトによる水平方向の曳網であると推定した。

高緯度海域においては、海況の厳しい条件の下でもしばしば海洋観測が行われている。従って、そこで得られたプランクトン試料は、小達ほか (1998) が示したようなネットの水中での振動、さらに強風による観測船のドリフトが起こっている状態で採集されたものも少なからず含まれているものと思われる。同海域におけるプランクトン現存量の推定にも影響を及ぼしているものと考えられる。近年、地球規模の気候変動に対する海洋生態系の応答を解析する上で、同ネットで採集された動物プランクトン量の結果は、基礎データとなってきた（例えば、Brodeur & Ware 1992）。ネットを用いて得られたプランクトン量を的確に評価することは、こうした解析を推進させるうえで重要である。

本研究では、小達ほか (1998) と同様にネットに小型水深データロガーを取り付け、水中でのネットの挙動を明らかにする。特に、小達ほか (1998) の研究では、各地点1回の採集であったため、同一地点においてネットが上下振動をする場合としない場合に得られる採集量の比較は出来なかった。しかしながら現実問題として、同

一地点において、海況が穏やかな場合と荒天の場合の比較を行うことは、両者の間で同じプランクトン群集が保たれているかという点を考えると、極めて困難である。そこで本研究では、船がうねりに対してとる向きが観測舷の動揺に違いをもたらす、水中でのネットの上下振動にも違いが出るものと考え、うねりに対する船位を変えて採集を行い採集量の違いを明らかにすることを目的とした。

## 方 法

1997年9月18日～10月7日に行われた北海道大学水産学部練習船「北星丸」(892.92トン, 62.32 m)の航海期間中、網走沖のオホーツク海における1測点(44° 31.77'N, 145° 01.54'E, 以下測点A) (1997年10月1日08:49～09:31) および釧路沖の西部北太平洋における1測点(41° 24.50' N, 145° 51.13'E, 以下測点B) (1997年10月5日17:44～19:21)において、ネット地GG54およびXX13を付けた双子型ノルパックネットを用い、プランクトンの採集を行った。使用した重錘は30kgである。ワイヤ先端に同ネットを装着し、海面でウインチのカウンタをリセットした後、水深150 mに到達するようにワイヤを繰り出した。風浪により傾角が生じた場合には、角度に応じてワイヤ長を調整し、水深150 mに到達するようにした(気象庁 1990)。また、ネット下降中に船の動揺によりワイヤに弛みが生じる場合には、ウインチとダビットの滑車間でワイヤを竹竿で押さえつけ、ワイヤが弛まないようにした。なお、「北星丸」の観測場所は左舷中央部に位置している。

GG54およびXX13のネット枠内部にはろ水計(離合社製)を取り付け、ネットのろ過水量を推定した。また、ネット枠のネット外側にもろ水計を取り付け、真の曳網距離(FD)を推定した。更に、ネットの水中での挙動を明らかにするため、小型水深データロガー(UWE200 DT, Little Reonardo社製)をネット枠に取り付け、1秒毎に水深データを記録した。また、同ロガーをCTD (Neil Brown MKⅢB)に取り付け更正を行った。

ロガーで得られる1秒間の鉛直移動距離、 $\Delta d = -(d_{t+1} - d_t)$ と傾角( $\theta$ )から、ロガーによる曳網距離(D)は、

$$D = \Delta d / \cos \theta = -(d_{t+1} - d_t) / \cos \theta$$

で見積もられた。ここで、 $d_t$ および $d_{t+1}$ は、それぞれ時間 $t$ および $t+1$ 秒における水深、 $\theta$ はワイヤ傾角である。 $\Delta d$ が正の場合のみを積算して上向きの総曳網距離( $\Sigma D$ )とした。

測点Aにおいては、採集を同一の方法で4回の繰り返した。測点Bにおける採集では、船首をうねりの進行方向と平行に船首を向け、ピッチングが卓越するようにし

て4回の採集を行った。その直後、うねりの進行方向に対し垂直になるように操船し、ローリングが卓越するようにして4回の採集を行った。

採集されたプランクトン試料のうち、ネット生地GG 54で採集されたものを湿重量の測定に用いた(大森・池田 1976)。

採集中の風向・風速および波高・波の周期は「北星丸」の記録によった。

## 結 果

測点Aにおける観測期間中の海況は、極めて穏やかであった。風は無風状態( $1 \text{ m s}^{-1}$ 以下で測定不能)で、波高(平均値 $\pm 1$ 標準偏差)は $0.8 \pm 0.03 \text{ m}$ (周期 $5.3 \pm 0.28$ 秒)であった。一方、測点Bにおいては、風速 $5.9 \pm 1.08 \text{ m s}^{-1}$ 、波高 $2.4 \pm 0.08 \text{ m}$ (周期約 $8.3 \pm 0.27$ 秒)で、風・波高とも測点Bの方が大きかった。こうした海況は、高緯度海域では普通に起こる海況であり、特に荒天というわけではなく普通にプランクトン採集が行われている。

測点Aにおいて得られたネット外側のろ水計のワイヤ長1 m当りの回転数は、 $10.1 \pm 0.24$  (#1333) および  $10.0 \pm 0.11$  (#1852) であった(Table 1)。これらの値は、海況が悪かった測点Bでの値に比べ有意に低かった(いずれも $P < 0.05$ )。測点Bの1~4回目および9~13回目は、船首をうねりの進行方向に対し平行に向け、ピッチングが卓越するよう操船した。ここで得られたワイヤ長1 m当りの回転数は、 $10.8 \pm 0.43$  および  $10.7 \pm 0.15$  (#1333)、 $10.7 \pm 0.24$  および  $10.6 \pm 0.11$  (#1852) であり、1~4回目および9~13回目の間で有意差はなかった( $P > 0.05$ )。また、5~8回目は、船首をうねりの進行方向に対し垂直に向け、ローリングが卓越するように操船した。この時のワイヤ長1 m当りの回転数は $13.1 \pm 0.76$  (#1333) および  $12.1 \pm 0.96$  (#1852) で、測点Aおよび測点Bの1~4回目および9~13回目に得られた値より高かった(いずれも $P < 0.05$ )。こうした違いが生じたのは、測点Bでは船のドリフトやネットの上下振動による過剰曳網が考えられるため、ろ水計#1333および1852の1 m当りの回転数として、測点Aで得られた値を採用した。また、ネット内側に付けたろ水計#2518については、ろ水計#1333および1852の測点Bにおける9~13回目の値が、測点Aよりも6%大きかったことから、測点Bの9~13回目に行った無網試験の値を1.06で除した値を採用した。

測点Aで行った4回の採集におけるワイヤ傾角は4~5度で、ワイヤ長の傾角補正の必要は無かった。この測点におけるロガーの記録をFig. 1に示す。いずれの採集でも上下振動は認められなかった。1回目の曳網は、190秒後に最深部へ到達した(平均下降速度、 $0.8 \text{ m s}^{-1}$ ) が、2~4回目はほぼ240秒後に最深部へ到達した(平均下降速

度、 $0.6 \text{ m s}^{-1}$ )。ネットの揚収は最深部へ到達してから約150秒後に水面に達しており、ほぼ $1 \text{ m s}^{-1}$ で曳網されていた。ネット外側に付けたろ水計の読取値による曳網距離(FD)は $150 \pm 1.94 \text{ m}$ (変動係数 $CV = 1.3\%$ )で、ワイヤ長と一致した(Table 2)。ロガーで得られた到達深度は $151 \pm 0.27 \text{ m}$ ( $CV = 0.2\%$ )で、標準の150 mとほぼ一致した。また、ロガーの記録から推定した曳網距離( $\Sigma D$ )は $152 \pm 0.44 \text{ m}$ ( $CV = 0.3\%$ )で、ワイヤ長およびFDとほぼ一致した。これらの結果から、測点Aでのノルパックネット採集は、標準法に準じて再現性高く行われたことが判る。

測点Bの1~4回目の曳網では、ワイヤ傾角が5~12度であり、傾角補正は3 m以内であった。Fig. 2は、この時のロガーの記録である。顕著な上下振動は認められないが、数秒間ネットが停止したような動きが見られた。ネットが最深部へ到達したのは、180~300秒後であった(平均下降速度、 $0.5 \sim 0.8 \text{ m s}^{-1}$ )。揚収は、最深部へ到達してから160~170秒後で、平均するとほぼ $0.9 \text{ m s}^{-1}$ で曳網されていた。FDは $162 \pm 6.26 \text{ m}$ ( $CV = 3.9\%$ )で、ワイヤ繰り出し長の $107 \pm 3.1\%$ に相当し、過剰曳網は約10~20 mと推定される(Table 2)。到達深度は $147 \pm 0.81 \text{ m}$ ( $CV = 0.6\%$ )で、標準の150 mの98%に相当した。 $\Sigma D$ は $149 \pm 1.08 \text{ m}$ ( $CV = 0.7\%$ )で、ワイヤ長と一致したが、FDの92%に相当した。ここで起こった過剰曳網は、ネットの上下振動によるものではなく、船のドリフトによるものであると思われる。

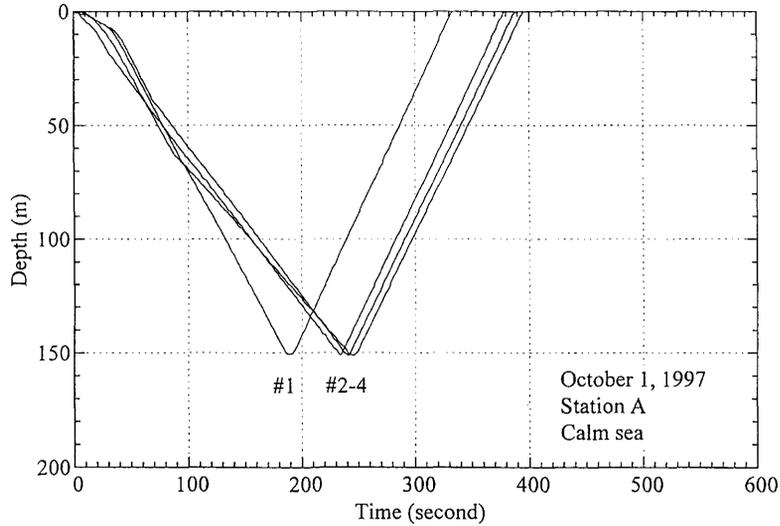
測点Bの5~8回目の曳網において、ワイヤの傾角は2~24度で、ワイヤ長の傾角補正は14 m以内であった。この時のロガーの記録を見ると、ネットが水中で上下振動をしているのが判る(Fig. 3)。特に、ネットを降ろしている間に顕著に見られた。ネットが最深部へ到達したのは、360~420秒後であった(平均下降速度、 $0.4 \text{ m s}^{-1}$ )。揚収は、最深部へ到達してから約170秒後で、平均するとほぼ $0.9 \text{ m s}^{-1}$ で曳網されていたことになる。FDは $192 \pm 7.09 \text{ m}$ ( $CV = 3.7\%$ )で、ワイヤ長の125%に相当した(Table 2)。これは1~4回目の119%であった。過剰曳網は約30~50 mで、平均すると1~4回目の3倍程度大きくなった。到達深度は $152 \pm 4.88 \text{ m}$ ( $CV = 3.2\%$ )で、標準の150 mの101%に相当した。特に到達深度が深かった5回目を除けば、標準法の150 mとよく一致していた。 $\Sigma D$ は $173 \pm 11.5 \text{ m}$ ( $CV = 6.6\%$ )で、ワイヤ繰り出し長およびFDのそれぞれ113, 90%に相当した。これは1~4回目の116%であった。過剰曳網距離の平均は40 mで、その半分はネットの上下振動によるもので、残りの半分は風による観測船のドリフトと推定された。

測点Aにおいて採集されたプランクトン量は、一網当り $0.47 \pm 0.05 \text{ g}$ で、 $1 \text{ m}^3$ 当りでは $21.6 \pm 2.41 \text{ mg}$ であった。CVは、それぞれ11.2, 11.1%であった。測点Bの1~4回

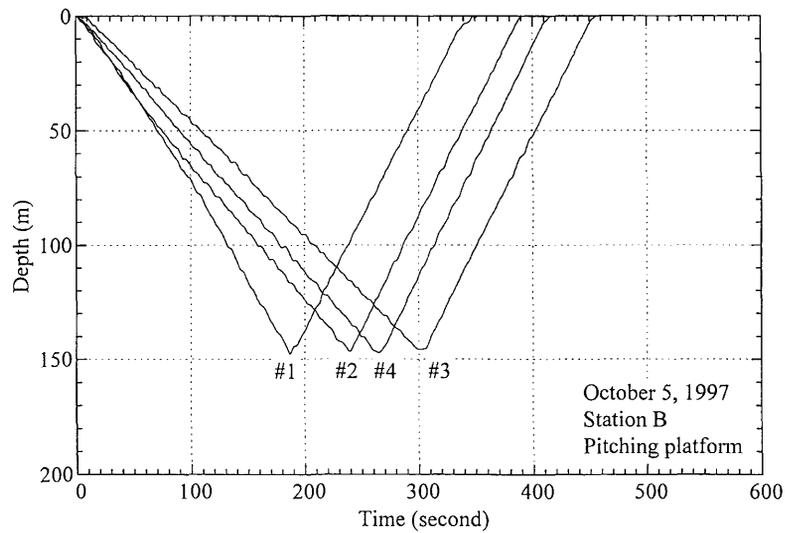
**Table 1.** Flowmeter revolution without net cloth during the Cruise of T/S *Hokusei Maru*.

Calm sea							Rough sea								
		Flowmeter number							Flowmeter number						
		Wire	# 1333		# 1852				Wire	# 1333		# 1852		# 2518	
Station	Trial	Length A(m)	rev/A (rev)	rev/A (rev m <sup>-1</sup> )	rev/A (rev)	rev/A (rev m <sup>-1</sup> )	Station	Trial	Length A(m)	rev/A (rev)	rev/A (rev m <sup>-1</sup> )	rev/A (rev)	rev/A (rev m <sup>-1</sup> )	rev/A (rev)	rev/A (rev m <sup>-1</sup> )
A	# 1	150	1479	9.9	1482	9.9	B	# 1	150	1564	10.4	1608	10.7		
A	# 2	150	nd	nd	1485	9.9	B	# 2	153	1748	11.4	1684	11.0		
A	# 3	150	1523	10.2	1517	10.1	B	# 3	150	1630	10.9	1572	10.5		
A	# 4	150	1551	10.3	1491	9.9	B	# 4	150	1592	10.6	1579	10.5		
Mean				10.1		10.0	Mean				10.8		10.7		
SD				0.24		0.11	SD				0.43		0.24		
CV				2.4%		1.1%	CV				4.0%		2.2%		
							B	# 5	164	2050	12.5	1759	10.7		
							B	# 6	150	2120	14.1	1946	13.0		
							B	# 7	150	1972	13.1	1866	12.4		
							B	# 8	151	1893	12.5	1843	12.2		
							Mean				13.1		12.1		
							SD				0.76		0.96		
							CV				5.8%		8.0%		
							B	# 9	100	1078	10.8	1068	10.7	1115	11.2
							B	# 10	100	1080	10.8	1078	10.8	1118	11.2
							B	# 11	100	1051	10.5	1055	10.6	1085	10.9
							B	# 12	100	1050	10.5	1050	10.5	1048	10.5
							B	# 13	100	1078	10.8	1062	10.6	1095	11.0
							Mean				10.7		10.6		10.9
							SD				0.15		0.11		0.28
							CV				1.4%		1.0%		2.6%

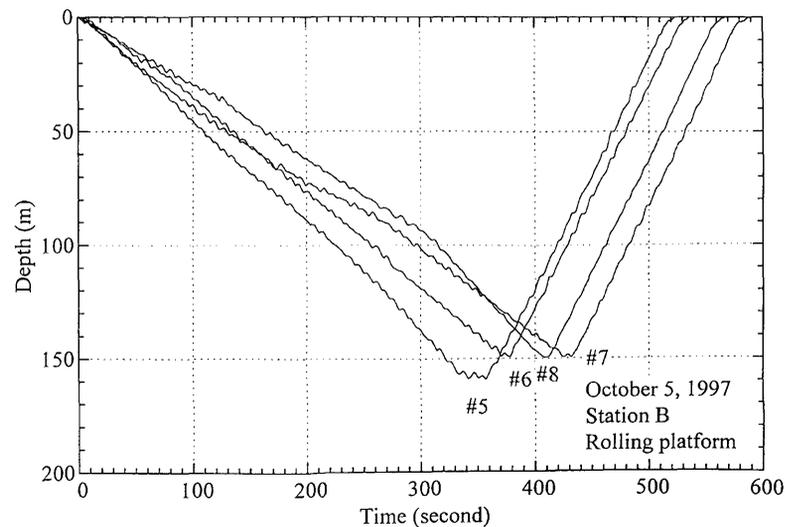
nd, no data.



**Fig. 1.** Tracks of the micro depth data logger during the Norpac net samplings at Station A ( $44^{\circ} 31.77'N$ ,  $145^{\circ} 01.54'E$ , 1st October, 1997). The net tows were conducted in calm sea.



**Fig. 2.** Tracks of the micro depth data logger during the Norpac net samplings at Station B ( $41^{\circ} 24.50'N$ ,  $145^{\circ} 51.13'E$ , 5th October, 1997). The net tows were conducted from pitching platform (Trial #1-4).



**Fig. 3.** Tracks of the micro depth data logger during the Norpac net samplings at Station B ( $41^{\circ} 24.50'N$ ,  $145^{\circ} 51.13'E$ , 5th October, 1997). The net tows were conducted from rolling platform (Trial #5-8).

**Table 2.** Performance on NORPAC net samplings during the Cruise of T/S *Hokusei Maru*.

Station	Trial	Flowmeter (outside of the net)										Over towing* <sup>3</sup>			
		Wire		# 1333		# 1852		Mean		Logger		Total	Fluctuation	Drift of platform	
		Length	Angle	(10.1 rev m <sup>-1</sup> )	FD* <sup>1</sup>	(10.0 rev m <sup>-1</sup> )	FD* <sup>1</sup>	FD	FD/A	Depth	Σ D* <sup>2</sup>	Σ D/A	FD/A	Σ D/A	FD-Σ D
		A(m)	(deg)	(rev)	(m)	(rev)	(m)	(m)	(%)	(m)	(m)	(%)	(m)	(m)	(m)
A	# 1	150	5	1479	146	1482	149	147	98%	151	151	101%	0	0	0
A	# 2	150	4	nd	nd	1485	149	149	99%	151	152	101%	0	0	0
A	# 3	150	5	1523	151	1517	152	151	101%	151	152	102%	0	0	0
A	# 4	150	5	1551	153	1491	150	152	101%	151	152	101%	0	0	0
Mean								150	100%	151	152	101%	0	0	0
SD								1.94	1.3%	0.27	0.44	0.3%			
CV								1.3%	1.3%	0.2%	0.3%	0.3%			
B	# 1	150	5	1564	155	1608	161	158	105%	148	149	99%	10	0	10
B	# 2	153	12	1748	173	1684	169	171	112%	147	150	98%	20	0	20
B	# 3	150	6	1630	161	1572	158	159	106%	146	148	99%	10	0	10
B	# 4	150	5	1592	157	1579	159	158	105%	147	148	99%	10	0	10
Mean								162	107%	147	149	99%	13	0	13
SD								6.26	3.1%	0.81	1.08	0.4%	5		5
CV								3.9%	2.9%	0.6%	0.7%	0.4%			
B	# 5	164	24	2050	203	1759	177	190	116%	159	189	115%	30	30	0
B	# 6	150	2	2120	210	1946	195	202	135%	149	165	110%	50	10	40
B	# 7	150	3	1972	195	1866	187	191	127%	150	174	116%	40	20	20
B	# 8	151	7	1893	187	1843	185	186	123%	150	165	109%	40	10	20
Mean								192	125%	152	173	113%	40	18	20
SD								7.09	8.1%	4.88	11.51	3.5%	8	10	16
CV								3.7%	6.5%	3.2%	6.6%	3.1%			
Comparison between #1-4 and #5-8 at Station B								# 1-4	100%	100%	100%	100%	100%		100%
								# 5-8	119%	117%	103%	116%	114%	320%	160%

\*1 Estimated distance based on the outside flowmeter revolution.  $FD = (\text{flowmeter revolution}) / (\text{flowmeter revolution per meter})$ .

\*2 Estimated distance based on the micro depth data logger record.  $\Sigma D = -\Sigma (d_{i+1} - d_i) / \cos \theta$ . See text.

\*3 Rounded at order of one.

nd, no data.

目では、一網当り $2.74 \pm 0.48$  g (CV=17.4%)で、 $1 \text{ m}^3$ 当りでは $118.0 \pm 22.1$  mg (CV=18.7%)であった。また、5~8回目の採集では、一網当り $2.24 \pm 0.35$  gで、 $1 \text{ m}^3$ 当りでは $83.6 \pm 13.1$  mgであった。CVは、それぞれ15.5、15.6%であった。5~8回目の一網当り採集量は、1~4回目の採集量の82%に相当したが、有意差はなかった ( $P > 0.05$ )。しかしながら、5~8回目の $1 \text{ m}^3$ 当りの採集量は、1~4回目の71%に相当し、有意に少なかった ( $P < 0.05$ )。

## 考 察

小達ほか(1998)は、荒天下では海面のうねり等による観測船の動揺が水中のネットに伝わり、ネットが上下振動することを明らかにした。本研究では、測点Aのような無風状態・波高1 m以下の穏やかな海況では、ノルパックネットによる採集が標準法に準じて、再現性高く行われ、過剰曳網が起こっていないことが判った。しかしながら、プランクトンの採集量の変動係数は10%程度であった。これはプランクトンが不均一に分布していることに起因すると考えられる(Cushing 1962, Wiebe 1970)。従って、採集方法の精度を向上させたとしても、プランクトンの分布特性上、10%程度のばらつきは起こり得る範囲と思われる。

穏やかな海況であった測点Aに比べ、海況の悪かった測点Bでは、FD、 $\Sigma D$ および最大到達深度の変動係数が大きくなっており、プランクトン採集のパフォーマンスは、低下しているものと考えられる。また、船首をうねりに対しどのように向けるかによってもパフォーマンスの低下が見られることが判った。ローリングが卓越するように船首をうねりの進行方向と垂直に向けたとき(5~8回目)には、ネット降下中に上下振動が見られた(Fig. 3)が、ピッチングが卓越するように船首をうねりの進行方向に向けたとき(1~4回目)にはあまり認められなかった(Fig. 2)。これは、本研究で用いた「北星丸」では観測が左舷で行われているので、ローリングが卓越する場合、船の動揺が顕著に伝わり、水中でのネットの振動に大きく現れたためと考えられる。さらに、風による船のドリフトが、1回の曳網当り10数m程度起こっていた。こうした、水中でのネットの上下振動による曳網あるいは船のドリフトによる曳網は、プランクトンの現存量評価にバイアスをもたらすことになる場合がある。

一般に、プランクトンの現存量を評価する場合、曳網距離として、ワイヤ繰り出し長を用いている。同時に、ネット内側に装着したろ水計の回転数から、ろ過効率を推定する(大森・池田 1976, 気象庁 1990)。荒天下におけるネット採集では、ネット内側に取り付けられたろ水計による海水ろ過量が、ワイヤ繰り出し長ネット開口面積

から求められる海水ろ過量を超過する場合がしばしばみられる(元田ほか 1963)。本研究でも、測点Bでローリングが卓越する場合の観測では、ネットのろ過海水量は、ワイヤ繰り出し長を150 mとした場合の $23.8 \text{ m}^3$ を超している。こうしたことは、上述のような過剰曳網が原因と考えられる。ネット外側にろ水計を装着し、曳網距離を見積もり、内側と外側の回転数とから、ろ過効率を推定することは、簡単で有効な方法である(Fraser 1966)。

プランクトンが水中に均一に分布しており、過剰曳網の際もプランクトンを採集し、ネット内に蓄積されているものとしたら、過剰曳網が起こってもその分プランクトン採集量が多くなるので、単位体積当りの現存量する場合には問題が少ないであろう。しかしながら本研究では、ネットの上下振動による過剰曳網が起こる時の方が、それによる過剰曳網がなかった場合に比べ、単位水量あたりのプランクトン量は有意に少なくなった。過剰曳網によりろ過水量が多く見積もられたにもかかわらず、一網当りの採集量に有意差が無く、逆に、少ない傾向があったためである(Table 3)。これは水中での上下振動が、主に、ネットを降ろしているときに見られ、最深部に達してからの曳網中にはあまり見られなかったことによるものと思われる。すなわち、ネットを降ろしている間の上下振動での、上向き運動の際には、確かにプランクトンを採集するろ水計のプロペラも回るであろうが、次に起こる下向き運動の際[ネットは下降中であるので下向きの移動距離の方が大きい(Fig. 3)]に、採集されたプランクトンはネットの外に出ているためであると考えられる(Nishizawa & Anraku 1956)。上下振動を行ってネットが下降しても、最深部については、ネット内のプランクトンはネットの外に出ているので、最深部から表面までの曳網の際、上下振動がなければ、一網当りの採集量には違いがなくなるものと考えられる。逆に言えば、正規の曳網の際に上下振動が起こると、それまでに採集されたプランクトンがネットの外に出てしまい、現存量の評価の際には、過小評価になる可能性が指摘される(Nishizawa & Anraku 1956)。小型水深データロガーを装着して、こうした上下振動を明らかにすることは重要である。

ネットを降ろしている間の上方への運動は、ネットの下降速度が海表面の上向きの変化速度より小さいために起こる。本研究では、測点Bでローリングが卓越するように操船した場合の平均下降速度は $0.3 \sim 0.4 \text{ m s}^{-1}$ で、波高(2.4 m)・周期(約8.3秒)から見積もられる海表面の上向きの変化速度[(波高)/(周期/2) =  $0.6 \text{ m s}^{-1}$ ]よりも小さかった。一方、ピッチングが卓越するように操船した場合の平均下降速度は $0.5 \sim 0.8 \text{ m s}^{-1}$ で、海表面の上向きの変化速度と比べ同程度かやや大きかった。このことにより、ネット下降中の上下振動が、前者の方で顕

**Table 3.** Variation of wet weight collected with NORPAC net during the Cruise of T/S *Hokusei Maru*.

Station	Trial	Date and Time	Flowmeter (inside of the net)		Wet weight	
			# 2518 (10.2 rev m <sup>-1</sup> )		(g haul <sup>-1</sup> )	(mg m <sup>-3</sup> )
			(rev)	SW* <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> )		
A	#1	1st Oct. 08:49-08:55	1372	21.3	0.40	18.8
A	#2	1st Oct. 09:01-09:08	1375	21.3	0.52	24.4
A	#3	1st Oct. 09:13-09:20	1403	21.8	0.49	22.5
A	#4	1st Oct. 09:25-09:31	1406	21.8	0.45	20.6
Mean			1389	21.5	0.47	21.6
SD			18.0	0.28	0.05	2.41
CV			1.3%		11.2%	11.1%
B	#1	5th Oct. 17:44-17:50	1506	23.4	2.05	87.8
B	#2	5th Oct. 17:55-18:02	1590	24.7	2.91	118.0
B	#3	5th Oct. 18:06-18:14	1450	22.5	3.15	140.1
B	#4	5th Oct. 18:19-18:26	1453	22.5	2.84	126.0
Mean			1500	23.3	2.74	118.0
SD			65.4	1.01	0.48	22.10
CV			4.4%		17.4%	18.7%
B	#5	5th Oct. 18:31-18:40	1738	27.0	1.81	67.1
B	#6	5th Oct. 18:44-18:53	1780	27.6	2.25	81.5
B	#7	5th Oct. 18:57-19:07	1742	27.0	2.66	98.4
B	#8	5th Oct. 19:12-19:21	1651	25.6	2.24	87.5
Mean			1728	26.8	2.24	83.6
SD			54.6	0.85	0.35	13.05
CV			3.2%		15.5%	15.6%
Comparison between #1-4 and #5-8 at Station B			# 1-4 # 5-8	100% 115%	100% 82%	100% 71%

\*1 Seawater volume filtered with the net.

$$SW = (\text{surface area}) \times (\text{flowmeter revolution}) / (\text{flowmeter revolution per meter}).$$

著に表れたものと考えられる。逆に、ネット曳網中の下方への運動は、ネットの曳網速度が海表面の下向きの変化速度より小さいために起こる。本研究では、いずれの場合でもネットの平均巻き上げ速度は波の下向きの変化速度よりも大きかったため、ネット曳網中には上下振幅が認められなかったものと考えられる。曳網中の下方運動を防ぐためには、巻き上げ速度を大きくすることが一つの方法と考えられる。しかしながら、曳網速度を大きくした場合、通常の方法では採集されない遊泳速度の大きなプランクトンが採集されたり (Fleminger & Clutter 1965)、網目逸脱が起こったり (Saville 1958)、採集されたプランクトンの損傷が著しくなる懸念がある。一方では、標準法である巻き上げ速度 (1 m s<sup>-1</sup>) を保ったとしても、うねり・風浪が大きい場合、海面の上昇に

伴い、対水の曳網速度は一時的に1 m s<sup>-1</sup>以上になる事がある。本研究では、船がローリングした場合の方が一網当りのプランクトン採集量が少なくなる傾向があった。これはネットの対水速度が急激に上がった際に、網目逸脱が起こった結果なのかもしれない。今後、曳網速度と採集されたプランクトン量および群集組成の関係を明らかにしてゆく必要がある。

現在のところ、ネット採集において、いかなる海況でも対応できる方法はない。また、プランクトン自体が不均一に分布しているため、完全な方法を用いて採集したとしても、得られるプランクトン量は同じになることはない。しかしながら、ネット採集がどのような海況のもとで、どのような船の位置をとって行われたものかという情報は、得られたプランクトン量を的確に解釈する上

で重要なものになるであろう。また、船のドリフトは使用する観測船の大きさや形状に依存するものと思われるため、その特性を十分把握しておく必要がある。

### 謝 辞

本研究を行うに当たり、三重大学生物資源学部河村章人教授には、プランクトン採集に関する多くの有益な助言を得た。また、小型水深データロガーの使用に関しては、国立極地研究所加藤明子博士に適切な助言を得た。ここで深く感謝する次第である。また、試料採集に際しては、北海道大学水産学部練習船「北星丸」の乗組員の皆様に多大なる協力を得た。あわせて深く感謝する。本研究の一部は文部省科学研究費補助金（課題番号08660215）を用いて行われた。

### 引 用 文 献

- Aron, W., E. H. Ahlstrom, B. M. Bary, A. W. H. Be & W. D. Clarke 1965. Towing characteristics of plankton sampling gear. *Limnol. Oceanogr.* 10: 333-340.
- Brodeur, R. D. & D. M. Ware 1992. Long-term variability in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.* 1: 32-38.
- Cushing, D. H. 1962. Patchiness. *Proces-Verbaux Reunions, Conseil Perm. Intern. Exploration Mer* 153: 152-163.
- Fleminger, A. & R. I. Clutter 1965. Avoidance of towed nets by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 10: 96-104.
- Fraser, J. H. 1966. Zooplankton sampling. *Nature* 211: 915-916.
- 北海道大学 1997. 海洋調査漁業試験要報 第40号. 北海道大学水産学部, 函館, 327 pp.
- 気象庁 1990. 海洋観測指針. 日本気象協会, 東京, 428 pp.
- 元田 茂 1957. 北太平洋標準プランクトンネットについて. 日本プランクトン研連報 No.4: 13-15.
- 元田 茂・今野健次郎・河村章人・大沢圭介 1963. 垂直採集ネット濾水量の一推定法並にその応用によって描いた東インド洋の動物プランクトン・バイオマス分布. 日本プランクトン研連報 No.10: 22-28.
- Nishizawa, S. & M. Anraku 1956. A note on measuring of the volume of water filtered by plankton net by means of a flow-meter. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 6: 298-309.
- 小達恒夫・今井圭理・福地光男 1998. 高緯度海域におけるノルバックネット標準採集の特性. プランクトン学会報 45: 1-8.
- 大森 信・池田 勉 1976. 動物プランクトン生態研究法. 共立出版, 東京, 229 pp.
- Saville, A. 1958. Mesh selection in plankton nets. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 23: 192-201.
- Wiebe, P. H. 1970. A computer model study of zooplankton patchiness and its effects on sampling error. *Limnol. Oceanogr.* 16: 29-38.
- Wiebe, P. H. & W. R. Holland 1968. Plankton patchiness: effects on repeated net tows. *Limnol. Oceanogr.* 13: 315-321.