

スケトウダラの年級群豊度に与える噴火湾の環境要因

中谷敏邦[†], 杉本晃一, 高津哲也, 高橋豊美Environmental Factors in Funka Bay, Hokkaido, Affecting the Year Class Strength of Walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*Toshikuni NAKATANI[†], Koichi SUGIMOTO, Tetsuya TAKATSU, and Toyomi TAKAHASHI

The 1995-year-class of walleye pollock *Theragra chalcogramma* was dominant in and around Funka Bay. To understand the formation of dominant year classes of pollock in this area, annual changes in monthly fluctuation of density of pollock larvae, prey concentration at the initial feeding stage, and hydrographic conditions were investigated from 1991 to 1998. Pollock larvae occurred mainly from January to February. Warm water temperatures at 10 m depth in the bay, where pollock larvae were considered to be abundant, were observed from January to early February before the intrusion of the Oyashio Coastal Water (cold water). Thus the relatively warm water temperature in early winter appears to be necessary to produce the dominant year class of pollock in Funka Bay. From 1991 to 1998, no cold water temperature affecting the survival of larval pollock was observed. The densities of copepod nauplii as a primary food for larval pollock at the initial feeding stage were relatively high from January to February in 1991 (7.8–18.1 inds. · l⁻¹), 1994 (13.1–15.2 inds. · l⁻¹), 1995 (12.3–15.5 inds. · l⁻¹), and 1996 (13.8–17.2 inds. · l⁻¹), but the dominant year class occurred only in 1995. Therefore, the high density of copepod nauplii does not determine the year class strength of pollock in this area. These results suggest that the abundance of food for pollock larvae at the first feeding stage were enough to survival in early winter in this area. Pollock larvae and juveniles (7–30 mm in total length) mainly feed on small sized copepodites of *Pseudocalanus* spp., whose density was high from March to April and then decreases in early June. At that time, juveniles larger than 30 mm in total length initiate to feed on larger sized copepodites of *Neocalanus plumchrus*. It is considered that pollock larvae hatching in March do not grow enough to feed on *N. plumchrus* in June. From this information, it is inferred that the spawning strategy of pollock in this area is concerned with the food conditions for juveniles at a transition period of food organisms. In Funka Bay, water temperature in early winter and food conditions for juvenile pollock might control the year class strength of pollock in and around Funka Bay.

Key words: walleye pollock, year class strength, Funka Bay, environmental factors

はじめに

北海道南部に位置する噴火湾の湾口部から湾外東方陸棚海域は、北海道から東北までの太平洋に生活領域を持つスケトウダラ *Theragra chalcogramma* の主産卵場であり (中谷, 1994 など), 毎年, この海域では10月から翌年3月までの期間, 産卵群を対象にした底刺網漁業が行なわれている。当海域における漁獲量は, 1980年代前半にはおよそ46,000トンから66,000トンで推移してきたが, 1984年から1985年にかけて96,000トンから107,000トンに増加した。これは, 1980年級群が卓越年級群として資源に加入したこと

によるものと考えられている (中山ほか, 1988)。近年では, 1998年度 (1998年10月~1999年3月) に147,000トンの漁獲量を記録したが, これは1995年級群が卓越年級群として加入したためである (三原ほか, 2000)。磯田ほか (1998) は, 1974年から1994年までの噴火湾周辺の水温の経年変化を調べ, 1980年級群が卓越年級群となった原因として, 冬季間の高水温と北西風による湾内への卵輸送が多かったことを挙げている。本報告では, 卓越年級群が発生した1995年を含め, 1991年から1998年までに調査された噴火湾における冬季の仔魚の分布密度, 摂餌開始期仔魚の餌生物環境および水温環境を比較し, 当海域におけるスケトウダラの卓越年級群の発生機構について再検討した。

材料と方法

1991年から1998年までの1月, 2月および3月の各月に,

2002年6月15日受付, 2002年9月11日受理

北海道大学大学院水産科学研究科

Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 3-1-1

Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

[†] nakatani@fish.hokudai.ac.jp

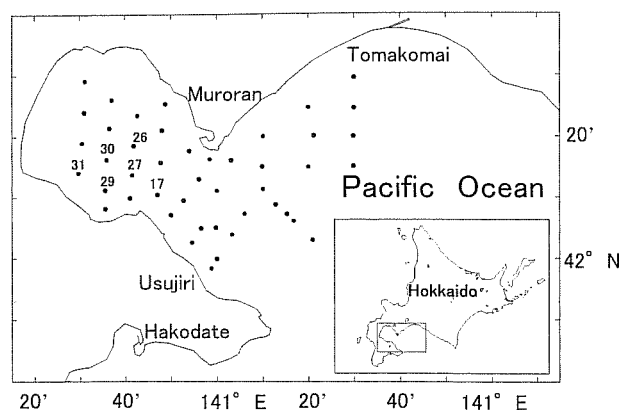


Figure 1. Position of sampling stations in and around Funka Bay.

Fig. 1に示す調査点において、北海道大学水産学部研究調査船うしお丸および同練習船おしよろ丸により、Norpac ネット（口径45 cm, 目合0.33 mm）または口径80 cmのプランクトンネット（目合0.33 mm）の海底（水深150 m以深の地点では水深150 m）から海面までの鉛直曳きによりスケトウダラ仔魚を採集した。ただし、荒天により必ずしもすべての調査点で採集が行なわれたわけではなく、1回の調査で6~27地点で採集を行なった。採集された標本は船上でただちに5%中性ホルマリン溶液で固定した。摂餌開始期の主要餌生物であるかいあし類ノープリウス（Kamba, 1977; 中谷・前田, 1983）の分布密度の年変動を検討するため、1991年（Nakatani, 1995）、1993~1995年（杉本, 未発表）および1996~1998年（Nakatani *et al.*, 2002）の1月から3月までの各月に、仔魚が主として分布する水深10~30 m（Kamba, 1977; Nakatani, 1988）の代表水深として、水深15 mで20 l型バンドン採水器と40 μm目合のハンドネットにより採集された結果を用いた。水温環境の年変動は、うしお丸が噴火湾内部森沖の Station 30 において1991年から1998年まで行った観測資料“The Ushio Maru Data Record of CTD Observations, Faculty of Fisheries, Hokkaido University (1991-1998)”を用いて検討した。

結果

スケトウダラ仔魚の分布密度の年変化

Table 1は、噴火湾内部から湾外東方陸棚水域で、1991年から1998年までの1月、2月および3月の各月に、Norpac ネットまたは口径80 cmのプランクトンネットの鉛直曳きにより採集されたスケトウダラ仔魚の分布密度の年変化を示している。仔魚の出現盛期には年による変化がみられ、1991年、1993年、1997年および1998年では1月に最も多く出現した。一方、1995年および1996年では2月に最も多く仔魚が採集された。1月から2月にかけてプランクトンネットで採集される仔魚の多くは、摂餌開始期前後の全

長7 mm未満の個体であり、たとえば、1995年の測定結果をみると、1月ではすべての個体が全長7 mm未満（3.8~6.8 mm）の個体であり、2月においても平均全長は5.4 mm（3.6~12.1 mm）であった。仔魚の分布密度の中央値では、1995年2月が最も高く（77.6個体・m⁻²）、次いで1991年1月が高かった（72.3個体・m⁻²）。

かいあし類ノープリウスの分布密度の年変化

ふ化後間もないスケトウダラ仔魚の主要餌生物であるかいあし類ノープリウスについて、1991年および1993年から1998年の1~3月、仔魚の分布が集中していた湾内中央部 Station 30付近（中谷, 1996など）で採集された結果を用いて、その年変化を調べた（Table 2）。ただし、1996年1月は、Station 17の結果を用いた。その結果、1月では1993年が最も低密度であった（3.9個体・l⁻¹）。一方、1994年から1996年にかけては、かいあし類ノープリウスの分布密度は高く、10個体・l⁻¹を超える値を示した（12.3~13.8個体・l⁻¹）。その後、2月あるいは3月にかいあし類ノープリウスの分布密度は増加するが、1997年は例外的に1月から3月にかけて減少した。

考察

Figure 2に示すように、これまでの研究から湾外で産み出されたスケトウダラ卵は湾内表層域へ輸送されふ化するものと考えられている（Nakatani and Maeda, 1981, 1989）。この輸送は、冬季間卓越する北西季節風と放物線状の海底地形によって励起される渦対によってもたらされる（清水・磯田, 1997）。このため、冬季間の湾内表層域の海洋環境は、本種の生活史初期の生残に影響すると考えられる。近年、当海域におけるスケトウダラは1980年に卓越年級群が発生し、1984年から1987年までの豊漁を支えてきた（中山ほか, 1988）。前田（1984）は、1980年の産卵場が湾外東方に偏って形成されたことを明らかにした。中谷（1996）は、仔魚およびコペポダイト期のかいあし類の分布から、1980年は仔魚にとって好適な餌生物環境が湾口部から湾外東方の広い範囲に形成されたことにより生活史初期の減耗が低く抑えられたのではないかと推察した。先に述べたように、磯田ほか（1998）は1974年から1994年までの海洋環境の年変化を検討し、1980年は3月の北西風（吹送風）による湾内への卵の輸送が多く、4月まで低温の沿岸親潮（大谷, 1971）の影響のない高水温環境により卓越年級群が発生したと考察している。

一方、1995年に発生した卓越年級群の産卵期における水温環境は、1月から2月中旬まで比較的高水温が維持されていた（Fig. 3）。杉本（1997）は1995年夏季に湾内海底付近で採集された稚魚の耳石日周輪を解析し、1995年級群は1月から2月にかけてふ化した個体が多く生き残っていることを明らかにした。これに対し、1989年ではふ化日の盛期は3月であり、この時期には湾内表層はすでに2~3°Cの

スケトウダラ年級群豊度の変動要因

Table 1. Annual change in density (inds. · m⁻²) of walleye pollock larvae in and around Funka Bay from 1991 to 1998. N: number of sampling stations.

Year	Month	N	Larval density (inds. · m ⁻²)		
			25 percentile	Median	75 percentile
1991	January	14	45.6	72.3	183.9
	February	8	0.0	9.4	26.7
	March	19	0.0	6.3	12.6
1993	January	7	0.0	6.3	50.3
	February	13	0.0	0.0	0.0
	March	9	0.0	0.0	0.0
1994	January	12	4.7	15.7	77.0
	February	—	No Data	No Data	No Data
	March	11	6.3	25.2	53.4
1995	January	12	3.5	19.9	48.7
	February	18	46.8	77.6	101.5
	March	8	13.4	15.9	20.9
1996	January	7	1.0	6.0	12.9
	February	13	21.9	27.9	55.7
	March	27	0.0	4.0	9.0
1997	January	12	7.0	18.9	25.4
	February	6	4.0	10.9	14.9
	March	25	0.0	0.0	0.0
1998	January	6	11.4	24.9	41.3
	February	19	0.0	2.0	5.0
	March	19	0.0	0.0	0.0

Table 2. Densities of copepod nauplii collected at 15 m depth at Station 30 in Funka Bay in winter in 1991 and from 1993 to 1998.

Year	Naupliar density (inds. · l ⁻¹)			Reference
	January	February	March	
1991	7.8*	18.1*	12.9*	Nakatani (1995)
1993	3.9	5.9	7.7	Sugimoto, unpublished data
1994	13.1**	15.2	18.4–37.2	Sugimoto, unpublished data
1995	12.3	12.4–15.5	17.0–36.0	Sugimoto, unpublished data
1996	13.8***	17.2	22.4	Nakatani <i>et al.</i> , (2002)
1997	9.7	5.6	2.3	Nakatani <i>et al.</i> , (2002)
1998	6.1	4.3	14.4	Nakatani <i>et al.</i> , (2002)

*: data at Station 26, **: Station 27, ***: Station 17.

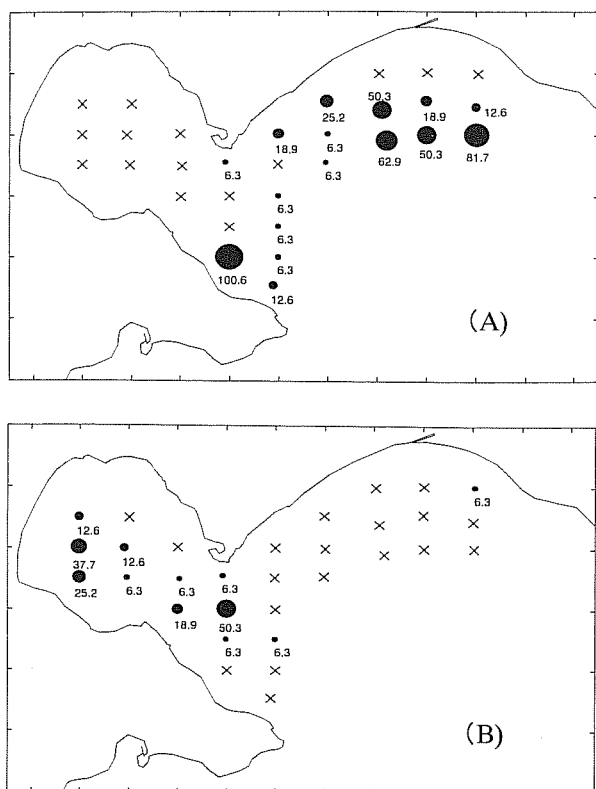


Figure 2. Distribution of walleye pollock eggs (fertilization—early blastula stage: A) and larvae (B) on 21–25 February 1988 in and around Funka Bay (from Nakatani and Maeda, 1989).

寒冷な沿岸親潮が流入していた (Nakatani, 1991). このように、湾内で夏季まで生き残る個体のふ化時期には年変動が認められる。Paul (1983) は飼育実験の結果から、摂餌開始期のスケトウダラ仔魚が摂餌を開始する割合を決定するうえで、水温が相対的に重要であると述べている。また、Bailey (2000) はスケトウダラ仔魚の瞬間死亡率が摂餌開始期において表面水温と逆相関すると述べている。それゆえ、噴火湾において1995年に卓越年級群が発生したのは、ひとつには摂餌開始期の比較的暖かな水温が生活史初期のスケトウダラの減耗を低く抑えた要因ではないかと推察される。調査期間中、1月においてふ化後間もない仔魚の生残に影響するような低水温は観測されなかった。また、卵発生の適水温範囲が0~7°Cと広く (中谷・前田, 1984)、水温による死亡率が低いと予想される (中谷, 1988) ことなどから、近年、生活史初期のスケトウダラにとって噴火湾では好適な水温環境が確保されていたものと考えられる。しかし、1991年の1月から2月にかけては1995年よりもさらに高い水温が記録されていることから (Fig. 3; 6.3~6.7°C)、スケトウダラのふ化時期の高水温のみでは生活史初期の高い生残につながらないと考えられる。

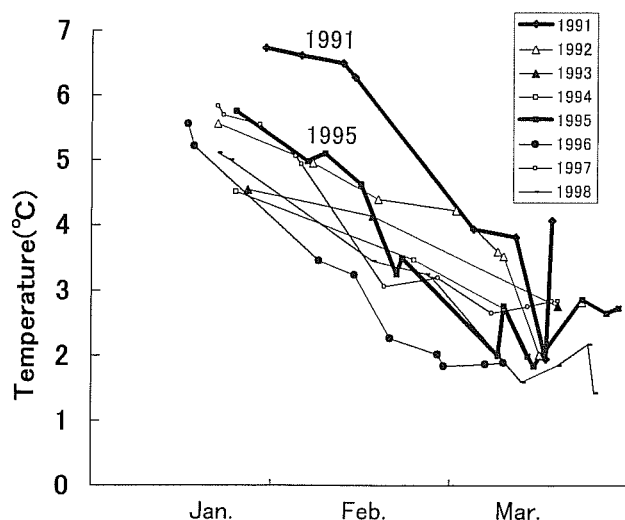


Figure 3. Winter water temperature at a depth of 10 m at Station 30 (Station 27 on 24 January 1998; Station 31 on 31 January 1990) from 1991 to 1998 (from the Ushio Maru Data Record of CTD Observations, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 1991–1998).

Cushing (1973) および Cushing and Dickson (1976) は、仔魚の発生とその餌生物の分布の重なりが年級群強度を決定するとしたマッチ・ミスマッチ仮説を提唱した。そこで、ふ化後間もないスケトウダラ仔魚の主要餌生物であるかいあし類ノープリウスの分布密度の冬季間における経年変化を検討した (Table 2)。その結果、卓越年級群が発生した1995年冬季の値は比較的高いが、その前後の年 (1994年、1996年) においても同程度の値が記録されていることから、当海域において摂餌開始期のスケトウダラ仔魚の餌生物環境は卓越年級群発生に影響しているとは考えられない。

全長7mmから30mmまでの仔稚魚の主要餌生物であるコペポダイト期の *Pseudocalanus* 属 (中谷・前田, 1983) は6月上旬に減少し、その後全長30mmを超える稚魚が捕食する *Neocalanus plumchrus* (中谷・前田, 1987) は、6月に湾内の中・底層に高密度に分布する (Table 3; Nakatani, 1988)。Nishimura and Yamada (1984) が野外で採集したスケトウダラ稚魚の耳石日周輪から求めた成長式によると、全長30mmに達するためにはふ化からおよそ82日必要である。このことから、ふ化が遅れて3月に孵出した個体は、6月までにより大型の *N. plumchrus* を捕食することが可能な全長30mmに達することが出来ない可能性がある。噴火湾内部のかいあし類群集は植物プランクトンブルームを起点とする微生物食物連鎖 (Azam *et al.*, 1983) と関係し、植物プランクトンが排出する有機物をバクテリアが消費し、これらが有鐘類、繊毛虫類などの原生動物を経て *Pseudocalanus* 属や *Neocalanus* 属を含むかいあし類の生物生産を

Table 3. Individual number per cubic meter of *Pseudocalanus* spp. and *Neocalanus plumchrus* collected by horizontal hauls with MTD nets at Station 30 in 1982 (Nakatani, 1988).

<i>Pseudocalanus</i> spp.					<i>Neocalanus plumchrus</i>				
Depth (m)	Mar.	Apr.*	June	July	Depth (m)	Mar.	Apr.*	June	July
10	1146.0	432.1	0.8	153.4	10	0.0	4.6	0	0
20	374.9	666.2	0.5	61.9	20	3.9	4.0	0.0	0.1
30	278.1	807.0	14.8	7.7	30	46.0	51.6	0.5	10.8
40	118.3	246.9	2.1	140.0	40	29.2	57.2	1.2	29.5
60	211.0	352.4**	239.1	63.1	60	4.5	18.5**	20.1	5.9
80	188.3	1103.4***	249.2	39.3	80	0.3	27.5***	90.0	25.8

*: Station 29, **: 50 m, ***: 70 m.

支えているのではないかと予想されている (伴, 2000). 1994年および卓越年級群が発生した1995年の湾内station 30の表層(水深15~20m)における冬季間のクロロフィルaの濃度は、1994年の極大値が $7.1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であるのに対し、1995年は3月上旬から中旬にかけて $10 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ を越える高い値となっており、3月7日に極大値 $12.1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ が観測された(築田, 未発表). また、2000年冬季では、極大値は3月にみられ、その値は $8.6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、1995年と比較して低い値であった(井出, 2001). 一方、冬季に高水温であった1991年の沿岸親潮の流入時期は遅く(Nakatani, 1995)、春季植物プランクトンブルームの時期も遅れており、湾口部に近い臼尻沖では3月下旬に発生したクロロフィルa濃度の極大値は、およそ $4.0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と低い値であった(橋本, 1992). このことは、噴火湾における春季ブルームの程度が稚魚期の餌生物環境に影響していることを示唆するものである.

アラスカ州南東部オーク湾では、摂餌開始期の主要餌生物であるかいあし類の豊度が最も高くなる時期とスケトウダラ仔魚の出現時期が一致することが知られている(Haldorson *et al.*, 1993). これに対して、噴火湾ではスケトウダラの産卵が1月あるいはそれ以前に行なわれており、ふ化仔魚は主として1月から2月にかけて湾内に出現し(Table 1)、摂餌開始期の餌生物であるかいあし類ノープリウスは、3月下旬の沿岸親潮の流入に続く植物プランクトンのブルームが終了した後に急激に増加することから、両者の出現時期は一致しない(杉本, 1997; 中谷・杉本, 1998; Nakatani and Sugimoto, 1998). このような現象は、卓越年級群が発生した1995年冬季においても同様であった. これらのことから、当海域のスケトウダラの産卵期は摂餌開始期の餌生物環境ではなく、全長30 mm前後に成長した餌生物転換時期における稚魚の餌生物とのマッチ・ミスマッチと密接に関係している可能性がある. 今後は、このようなブルームの規模と餌生物転換期のスケトウダラ稚魚期の餌生物環境との関係を検討する必要がある. また、産卵

雌の栄養状態や年齢が卵サイズ等に与える母系効果、卵・仔魚期の肉食プランクトンによる捕食(Bailey *et al.*, 1993)、さらには底層生活に移行する稚魚期における底生魚による捕食の影響などを検討しなければならないと考えている.

謝 辞

本研究に用いた材料は、北海道大学水産学部研究調査船うしお丸および同練習船おしよる丸により得られた. 両船船長はじめ乗組員の方々にお礼申し上げる. また、冬季間のスケトウダラ仔魚の採集および海洋観測には学内プロジェクトHUBEC (Hokkaido University, sub-arctic Ecosystem dynamics & Climate)のメンバーの協力を願った.

引用文献

- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil, and F. Thingstad (1983) The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**, 257-263.
- Bailey, K.M., R.D. Brodeur, N. Merati, and M.M. Yoklavich (1993) Predation on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs and yolk-sac larvae by pelagic crustacean invertebrates in the western Gulf of Alaska. *Fish. Oceanogr.*, **2**, 30-39.
- Bailey, K.M. (2000) Shifting control of walleye pollock *Theragra chalcogramma* after a major climatic and ecosystem change. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **198**, 215-224.
- 伴 修平 (2000) シンポジウム「噴火湾の物質循環における春季珪藻ブルームの役割」のまとめ. *沿岸海洋研究*, **38**, 1-2.
- Cushing, D.H. (1973) The natural regulation of fish populations. In: *Sea Fisheries Research*, ed. F.R.H. Jones, pp. 399-411.
- Cushing, D.H. and R.R. Dickson (1976) The biological response in the sea to climatic changes. *Adv. Mar. Biol.*, **14**, 1-122.
- Haldorson, L., M. Pritchett, D. Sterritt, and J. Watts (1993) Abundance patterns of marine fish larvae during spring in a southeastern Alaskan bay. *Fish. Bull.*, **91**, 36-44.
- 橋本慎治 (1992) 沿岸域における沈降粒子中の有機物、特にアミノ酸の挙動に関する研究. 北海道大学大学院水産学研究科修士論文, 34 pp.
- 井出さやか (2001) 北海道噴火湾における *Oithona* 属かいあし類の個体群構造の季節変化—スケトウダラ仔魚の餌生物としての役割. 北海道大学大学院水産学研究科修士論文, 45 pp.
- 磯田 豊・清水 学・上岡 敦・松岡康弘・大谷清隆・中谷敏邦 (1998)

- 北海道南部太平洋海域におけるスケトウダラの資源量変動に係わる海洋環境の経年変化. 水産海洋研究, **62**, 1-11.
- Kamba, M. (1977) Feeding habits and vertical distribution on walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in early life stage in Uchiura Bay, Hokkaido. Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ., Spec. Vol., 175-197.
- 前田辰昭 (1984) 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ成魚の生態に関する研究. 北海道大学水産学研究科学位論文, 148 pp.
- 三原行雄・前田圭司・三原栄次・武藤卓志 (2000) 道南太平洋海域のスケトウダラ漁況について. 北海道立函館水産試験場室蘭支場, 1-16.
- Nakatani, T. (1988) Studies on the early life history of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in Funka Bay and vicinity, Hokkaido. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ., **35**, 1-46.
- 中谷敏邦 (1988) スケトウダラの再生産機構の解明. 水産海洋研究会25周年記念誌「21世紀の漁業と水産海洋研究」, 水産海洋研究会編, 118-126.
- Nakatani, T. (1991) Copepod nauplii as food of walleye pollock larvae (Pisces:Gadidae) in Funka Bay, Japan. Proc. Fourth Int. Conf. Copepoda; Bull. Plankton Soc. Japan, Spec. Vol., 515-525.
- Nakatani, T. (1995) Monthly changes in density and size structure of copepod nauplii as the primary food for fish larvae in winter in Funka Bay and surrounding vicinity in Hokkaido. Fish. Sci., **61**, 382-386.
- 中谷敏邦 (1994) 噴火湾におけるスケトウダラ. 魚類の初期減耗研究. 田中克・渡邊良朗編, 恒星社厚生閣, 東京, 122-133.
- 中谷敏邦 (1996) 北海道南部太平洋海域におけるスケトウダラの資源量変動. 月刊海洋, **28**, 86-91.
- Nakatani, T. and T. Maeda (1981) Transport process of the Alaska pollack eggs in Funka Bay and the adjacent waters, Hokkaido. Nippon Suisan Gakkaishi, **47**, 1115-1118.
- 中谷敏邦・前田辰昭 (1983) 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ仔魚の分布と餌生物環境. 日本誌, **49**, 183-187.
- 中谷敏邦・前田辰昭 (1984) スケトウダラ卵の発生に対する水温の影響およびその浮上速度について. 日本誌, **50**, 937-942.
- 中谷敏邦・前田辰昭 (1987) 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ稚魚の分布と移動. 日本誌, **53**, 1585-1591.
- Nakatani, T. and T. Maeda (1989) Distribution of copepod nauplii during the early life stage of walleye pollock in Funka Bay and vicinity, Hokkaido. Alaska Sea Grant Report, 89-1, Univ. Alaska, 217-240.
- 中谷敏邦・杉本晃一 (1998) 北海道南部太平洋海域におけるスケトウダラの繁殖戦略と環境. 月刊海洋, **13**, 182-186.
- Nakatani, T. and K. Sugimoto (1998) Survival of walleye pollock in early life stages in Funka Bay and the surrounding vicinity in Hokkaido. In: Oyashio region and Bering Sea ecosystems, ed. Ohtani *et al.*, Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ., **45**, 64-70.
- Nakatani, T., T. Maeda, K. Sugimoto, T. Takatsu, and T. Takahashi (2002) Possible causes of annual change in the year class strength of flathead flounder *Hippoglossoides dubius* (Pisces, Pleuronectiformes) in Funka Bay, Hokkaido. Bull. Japan. Fish. Oceanogr., **66**, 216-223.
- 中山信之・渡辺安広・田中伸幸・小池幹雄・中道克夫 (1988) 道南太平洋海域のスケトウダラ漁況について. 北海道立函館水産試験場室蘭支場, 1-12.
- Nishimura, A. and J. Yamada (1984) Age and growth of larval and juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas), as determined by otolith daily growth increments. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **82**, 191-205.
- 大谷清隆 (1971) 噴火湾の海況変動の研究 II 噴火湾に流入・滞留する水の特性. 北海道大学水産学部研究彙報, **20**, 58-66.
- Paul, A. J. (1983) Light, temperature, nauplii concentrations, and prey capture by first feeding pollock larvae *Theragra chalcogramma*. Mar. Ecol. Prog. Ser., **13**, 175-179.
- 清水 学・磯田 豊 (1997) 冬季噴火湾におけるスケトウダラ卵の輸送過程. 水産海洋研究, **61**, 134-143.
- 杉本晃一 (1997) 北海道噴火湾におけるスケトウダラ *Theragra chalcogramma* の初期生残過程とその餌生物環境. 北海道大学大学院水産学研究科修士論文, 43 pp.
- The Ushio Maru Data Record of CTD Observations (1991-1998) Faculty of Fisheries, Hokkaido University.