

北 水 試 研 報  
Sci . Rep .  
Hokkaido Fish Exp Stn .

CODEN:HSSHEE  
ISSN : 0914 6830

# 北海道立水産試験場研究報告

第 60 号

SCIENTIFIC REPORTS  
OF  
HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION  
No .60

北 海 道 立 中 央 水 産 試 験 場  
北 海 道 余 市 町  
2001年10月

Hokkaido Central Fisheries  
Experimental Station

Yoichi ,Hokkaido ,Japan

October 2001

北海道立水産試験場は、次の機関をもって構成されており、北海道立水産試験場研究報告は、これらの機関における研究業績を登載したものである。

## 北海道立水産試験場

北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station)	046 8555 余市郡余市町浜中町238 (Yoichi ,Hokkaido 046-8555 ,Japan )
北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)	042 0932 函館市湯川町1 2 66 ( Yunokawa ,Hakodate , Hokkaido 042-0932 ,Japan )
北海道立函館水産試験場室蘭支場 ( Muroran Branch ,Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station )	051 0013 室蘭市舟見町1 133 31 ( Funami-cho ,Muroran , Hokkaido 051-0013 ,Japan )
北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station)	085 0024 釧路市浜町2 6 ( Hama-cho ,Kushiro , Hokkaido 085-0024 ,Japan )
北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)	099 3119 網走市鱒浦31 ( Masuura ,Abashiri , Hokkaido 099-3119 ,Japan )
北海道立網走水産試験場紋別支場 ( Monbetsu Branch ,Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station )	094 0011 紋別市港町7 ( Minato-machi ,Monbetsu , Hokkaido 094-0011 ,Japan )
北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station)	097 0001 稚内市末広4 5 15 ( Suehiro ,Wakkanai , Hokkaido 097-0001 ,Japan )
北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture)	041 1404 茅部郡鹿部町字本別539 112 ( Shikabe ,Hokkaido 041-1404 ,Japan )

# 北海道立水産試験場研究報告

第60号

## 目 次

### 今井義弘，吉村圭三，清河 進

宗谷海域で標識放流されたヒラメ人工種苗の移動と成長 ..... 1

### 大崎正二

キタムラサキウニの呼吸代謝における温度に対する補償（英文） .....13

### 小岡孝治，和田昭彦，石田良太郎，武藤卓志，安部幸樹，三宅博哉

北部日本海北海道西岸沖に生息するスケトウダラ成魚の夏季・冬季における食性（英文）(短報) .....25

### 試験研究業績

外部刊行物への発表 平成12年度分 .....29

(2001年10月)

SCIENTIFIC REPORTS  
OF  
HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

60

CONTENTS

Yoshihiro IMAI , Keizo YOSHIMURA and Susumu KIYOKAWA  
Movement and growth of tagged hatchery-reared Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the  
Sohya waters off northern Hokkaido ..... 1

Syohji OHSAKI  
Compensation for temperature in the respiratory metabolism of the sea urchin , *Strongylocentrotus nudus*...13

Kouji KOOKA , Akihiko WADA , Ryotaro ISHIDA , Takashi MUTOH ,  
Kouki ABE and Hiroya MIYAKE  
Summer and winter feeding habits of adult walleye pollock in the offshore waters of western Hokkaido ,  
northern Japan Sea ( Short Paper ) .....25

Contribution from the Hokkaido Fisheries Experimental Station:  
Papers Presented in other journals or at scientific meetings in fiscal 2000 .....29

( October 2001 )

# 宗谷海域で標識放流されたヒラメ人工種苗の移動と成長

今井義弘<sup>\*1</sup>, 吉村圭三<sup>\*1</sup>, 清河 進<sup>\*2</sup>

Movement and growth of tagged hatchery-reared Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the Sohya waters off northern Hokkaido

Yoshihiro IMAI<sup>\*1</sup>, Keizo YOSHIMURA<sup>\*1</sup> and Susumu KIYOKAWA<sup>\*2</sup>

To examine movement and growth, 120,000 hatchery-reared Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* were tagged and released in the Sohya waters, the Sea of Japan and the Okhotsk Sea, off northern Hokkaido in September and October 1996-1999. Most recovery was recorded around the release locations within one year after release, and there the recovery continued over 3 years post-release. Also the area south of the release location one year or more after release. The distribution of flounder tended to expand toward the south. The flounder recovery concentrated from May to December, about 1.5 and 2.5 year after release, and the number of recaptured fish in 1996-1998 were 40-66% of the total number except in 1999, respectively. About 63-80% of each the total recovery in 1998 and 1999, under 2 years till return, were recaptured around the release locations. A few fish was recaptured off Ishikari, Shiribeshi, Hi-yama, Oshima subpref. and Aomori pref.. In both the Sohya and the northern Rumoi waters the flounder was recaptured mainly with the gill nets or the set nets. The flounder was thought to grow rapidly during June to November after 300 days post-release, and not to grow in other months. The tagged flounder released in 1998 was 4-6 cm larger in the total length than fish in 1996 and 1997 during the period 1-2 year after release. It was no appeared the growth of tagged flounder is associated with the release locations.

キーワード：ヒラメ，人工種苗，標識放流，移動，成長，道北日本海

## はじめに

ヒラメは栽培漁業の重要魚種に位置付けられ，全国各地で人工種苗が放流されている。北海道日本海でも1996年に始まった種苗放流事業により，積丹半島を境にして北部海域と南部海域でそれぞれ毎年110万尾余りのヒラメ人工種苗が放流されてきた。この放流事業を効率的に推進するためにはヒラメ人工種苗の適正な放流サイズ，放流時期および放流場所，ならびに移動や成長に関する知見の集積が望まれていた。

北海道日本海ではヒラメの標識放流調査が古くから実施されており，天然魚については1952年の積丹半島南側での調査<sup>1)</sup>に始まり，その後の調査によって生活史，移動，回遊および成長<sup>2-6)</sup>に関する知見が得られてきた。

一方，人工種苗については1980年に行われた噴火湾での調査<sup>7)</sup>が最初で，天然魚と同様に移動，回遊など<sup>5,8,9)</sup>が明らかになっている。しかしながら，日本海北部海域のなかでも特に宗谷海域での調査事例<sup>4)</sup>は少なく，人工種苗に関する知見がほとんど得られていない。

著者らは，人工種苗の大量放流が始まった1996年以降，種苗放流事業の一環として宗谷海域においてヒラメ人工種苗の標識放流を実施してきた。本報では，1996～1999年に放流されたヒラメ人工種苗の再捕結果により，移動と成長について検討した。

## 材料および方法

標識放流に用いたヒラメ人工種苗は北海道栽培漁業振興公社羽幌事業所で生産，育成された全長17.0cm以下の

報文番号 A332 (2001年7月10日受理)

\*1 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097 0001, Japan)

\*2 北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station, Masuura, Abashiri, Hokkaido 099 3119, Japan)

当歳魚で、背鰭基部付近には、放流年と放流地区を刻印したスパゲティチューブ型タグ（長さ30mm、柄の部分15mm）がタグガンによって貫通して装着された。標識が付されたヒラメは、羽幌事業所から各放流地区まで輸送され、小型漁船で運ばれて水深3～13mの地先に放流された。1996～1999年、9月中旬から10月上旬までに日本海またはオホーツク海の3地区から毎年3万尾、総数で12万尾が放流された。放流地区（放流群）は、日本海では稚内市声問（声問群）、勇知（勇知群）ならびに抜海（抜海群）、利尻町仙法志と利尻富士町鬼脇（利尻群）、および礼文町船泊と鉄府（礼文群）、オホーツク海では猿払村浜猿払（猿払群）である（Fig.1）。なお、放流されたヒラメの全長と体重は、標識装着の前にランダム抽出した100尾の測定によって求めた。

ヒラメの再捕はそのほとんどが漁業者によるもので、採集した年月日、場所、漁具ならびに水深、標識記号と色、および標識魚の全長と体重が報告された。移動、成長の解析には、Table 1 に示す放流データならびに2000年12月31日までに再捕されたヒラメ標識魚386尾の再捕報告データを用いた。

## 結 果

### 1. 再捕地点

ヒラメ標識魚の再捕地点を放流からの経過月数4ヵ月間隔で整理し、放流年ならびに放流地区別にFig 2 1～Fig 2 4に示した。

1996年9月25日に利尻および礼文地区、26日に声問地

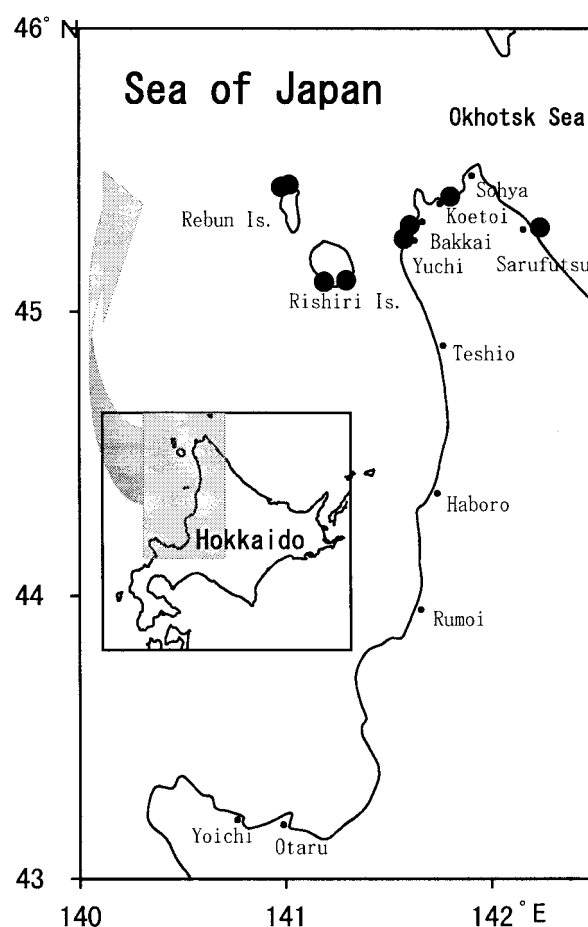


Fig.1 Release locations (solid circle) for tagged hatchery-reared Japanese flounder.

Table 1 Release year, date, location, number and total length of the hatchery-reared Japanese flounder tagged and released from 1996 to 1999 and number of fish recaptured. Data were collected until December 31, 2000.

Release year	Release date	Release location	No. of release	Total length(cm)		No. of recaptured
				Mean	Range	
1996	25 Sep.	Rebun	10,000	11.98	10.2-13.8	4
	25 Sep.	Rishiri	10,000	11.98	10.2-13.8	3
	26 Sep.	Koetoi	10,000	11.98	10.2-13.8	20
		subtotal	30,000			27
1997	30 Sep.	Koetoi	10,000	12.78	10.7-15.2	33
	30 Sep.	Yuchi	10,000	12.78	10.7-15.2	6
	1 Oct.	Sarufutsu	10,000	12.78	10.7-15.2	1
		subtotal	30,000			40
1998	29 Sep.	Koetoi	10,000	14.63	12.7-17.0	124
	29 Sep.	Rishiri	10,000	14.63	12.7-17.0	35
	30 Sep.	Yuchi	10,000	14.63	12.7-17.0	150
		subtotal	30,000			309
1999	17 Sep.	Koetoi	10,000	13.31	10.7-16.4	5
	17 Sep.	Bakkai	10,000	13.31	10.7-16.4	4
	18 Sep.	Rebun	10,000	13.31	10.7-16.7	1
		subtotal	30,000			10
		total	120,000			386

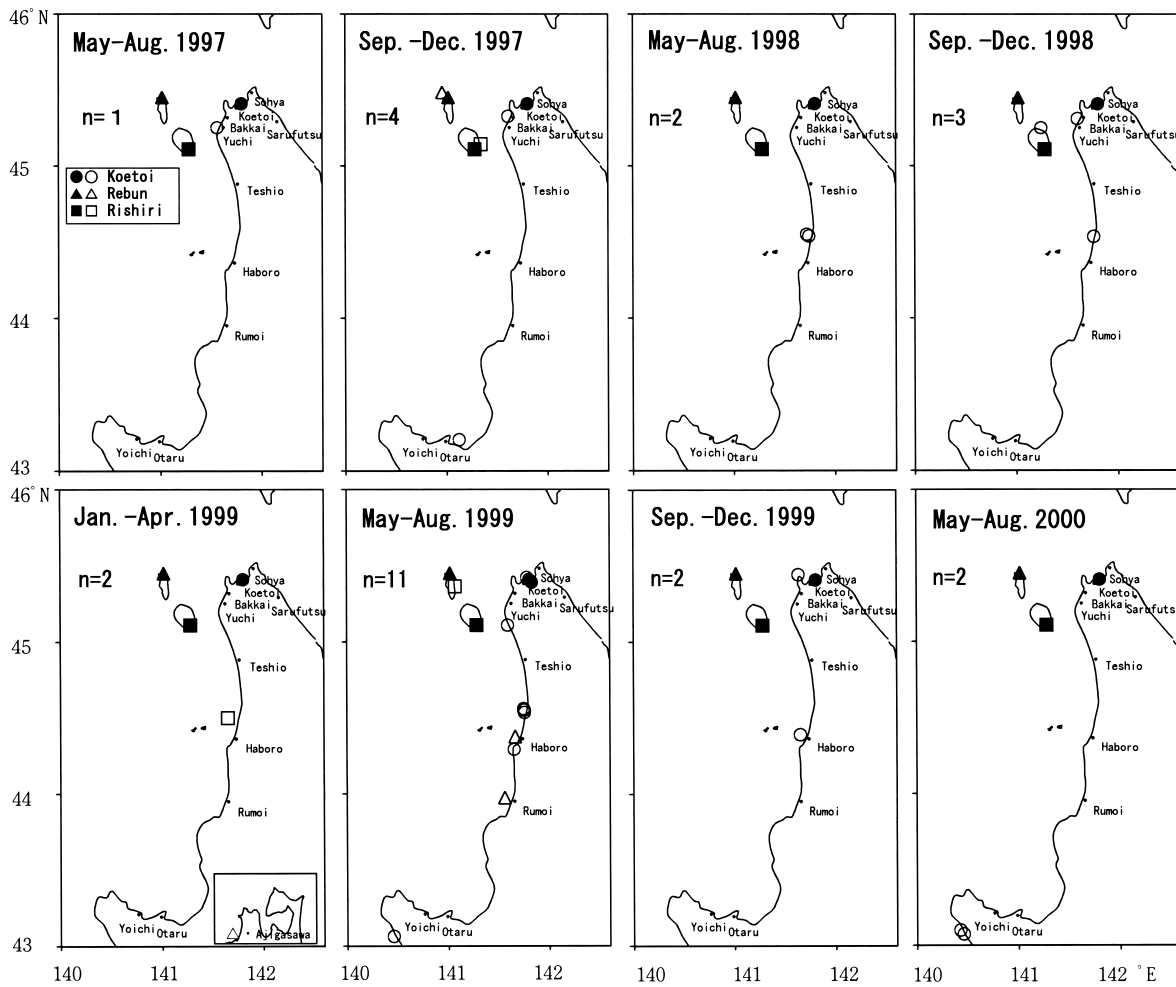


Fig 2-1 Recaptures (open marks) and releases (solid marks) of hatchery-reared Japanese flounder tagged and released at Koetoi, Rebun and Rishiri in 1996. Date represent the periods of recapture, and figures the number of fish recaptured.

区で放流されたヒラメは、放流後1年以内の1997年8月までに、声問群の1尾が放流地区に近い勇知沖で再捕された (Fig 2 1)。放流から1年が経過した1997年9月から2年未満の1998年8月の間には、放流地区周辺で各放流群が1尾ずつ再捕され、放流地区より南側の羽幌沖と小樽沖で声問群2尾と1尾が再捕された。放流から2年後の1998年9月から3年未満の1999年8月の間には、放流地区周辺で継続して再捕され、また、南側では羽幌～留萌沖で再捕されて再捕地点がより南に拡散する傾向を示した。この時期 積丹半島南側の泊村沖で声問群1尾、さらに津軽海峡を越えた青森県鯉ヶ沢沖で礼文群1尾が再捕された。放流後3年が経過した1999年9月から4年未満の2000年8月の間には、放流地区周辺で1尾が再捕され、南側でも羽幌沖で1尾、泊沖で2尾が再捕された。放流後3年以降の再捕魚はいずれも声問群であった。

1997年9月30日に声問および勇知地区、10月1日に猿払地区で放流されたヒラメは、放流後1年以内の1998年

8月までに、放流地区周辺で声問群4尾が再捕された (Fig 2 2)。放流から1年後の1998年9月から2年未満の1999年8月の間には、放流地区周辺で声問群1尾が再捕されており、南側の羽幌～留萌沖では声問群4尾、余市沖でも勇知群1尾が再捕された。さらに遠方の青森県佐井沖で声問群1尾が再捕された。また、宗谷海峡を越えたオホーツク海側の猿払村浜猿払沖では声問群1尾が再捕された。放流から2年後の1999年9月から3年未満の2000年8月の間には、放流地区周辺で再捕が続いており、この再捕魚を含めて留萌以北では声問群と勇知群の計15尾が再捕された。また、余市および岩内沖で声問群3尾、上ノ国沖でも声問群1尾が再捕された。一方、羽幌沖では、宗谷海峡を越えて猿払群1尾が再捕された。放流後3年が経過した2000年9月から12月の間には、依然として放流海域周辺で再捕が続いており、羽幌沖で1尾、余市沖で1尾、さらに津軽海峡に面した福島沖で1尾が再捕された。これらの再捕魚は全て声問群であっ

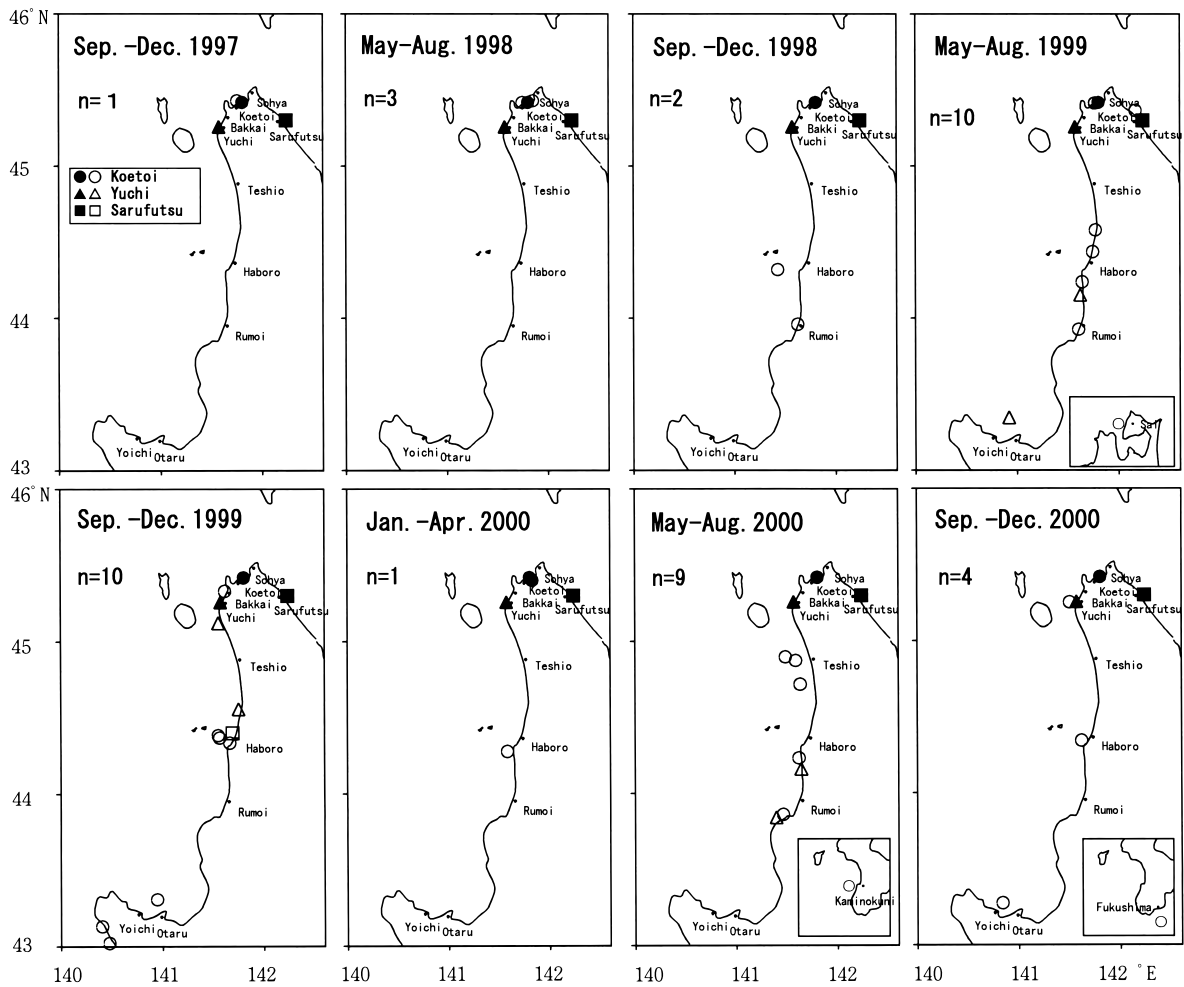


Fig 2-2 Recaptures (open marks) and releases (solid marks) of hatchery-reared Japanese flounder tagged and released at Koetoi, Yuchi and Sarufutsu in 1997. Dates and figures are the same as those in Fig. 2 1.

た。

1998年9月29日に声問および利尻地区、30日に勇知地区で放流されたヒラメは全再捕数が放流4か年のなかで最も多く、1996年および1997年の放流群に認められた移動、分散の傾向がより明瞭に現れた。すなわち、ヒラメの再捕地点は放流後1年以内には放流地区周辺に集中し、そこでは放流から2年が経過しても再捕が継続した。一方、放流後1年が経過すると放流海域の南側でも再捕されるようになり、その後、年を追うごとに再捕地点が南側へ拡散し、遠方では津軽海峡を越えた青森県沿岸でも再捕された。また、北側では宗谷海域の日本海側とオホーツク海側で放流された標識魚がそれぞれ宗谷海峡を挟んで両海域で再捕された。

1998年放流群の再捕データを見ると、放流から1年以内の1999年8月までは、放流地区周辺で声問群15尾が再捕され、やや南側の天塩沖で勇知群1尾が再捕された (Fig 2 3)。放流から1年後の1999年9月から2年未満

の2000年8月の間には、放流地区周辺で再捕が続くとともに南側の天塩沖から留萌沖にかけて再捕が多くなった。特に、期間後半の5～8月には放流地区周辺で85尾 (声問, 勇知および利尻群がそれぞれ39尾, 39尾, 7尾) が再捕され、天塩沖から留萌沖にかけて46尾 (声問, 勇知および利尻群がそれぞれ12尾, 26尾, 8尾) が再捕された。また、オホーツク海側の浜猿払沖では勇知群2尾と利尻群1尾がそれぞれ再捕された。放流後2年が経過した2000年9月から12月の間には、さらに南側の浜益沖と余市沖で声問群, 勇知群がそれぞれ1尾ずつ再捕された以外は、前の1年間と同様に、放流地区周辺で再捕が続き、また、天塩沖から留萌沖にかけても再捕が多かった。再捕尾数は放流地区周辺では声問, 勇知および利尻群がそれぞれ17尾, 24尾, 7尾, 天塩沖から留萌沖では同じく12尾, 34尾, 1尾であった。一方、オホーツク海側の宗谷村時前沖ならびに浜猿払沖では勇知群が1尾ずつ再捕された。



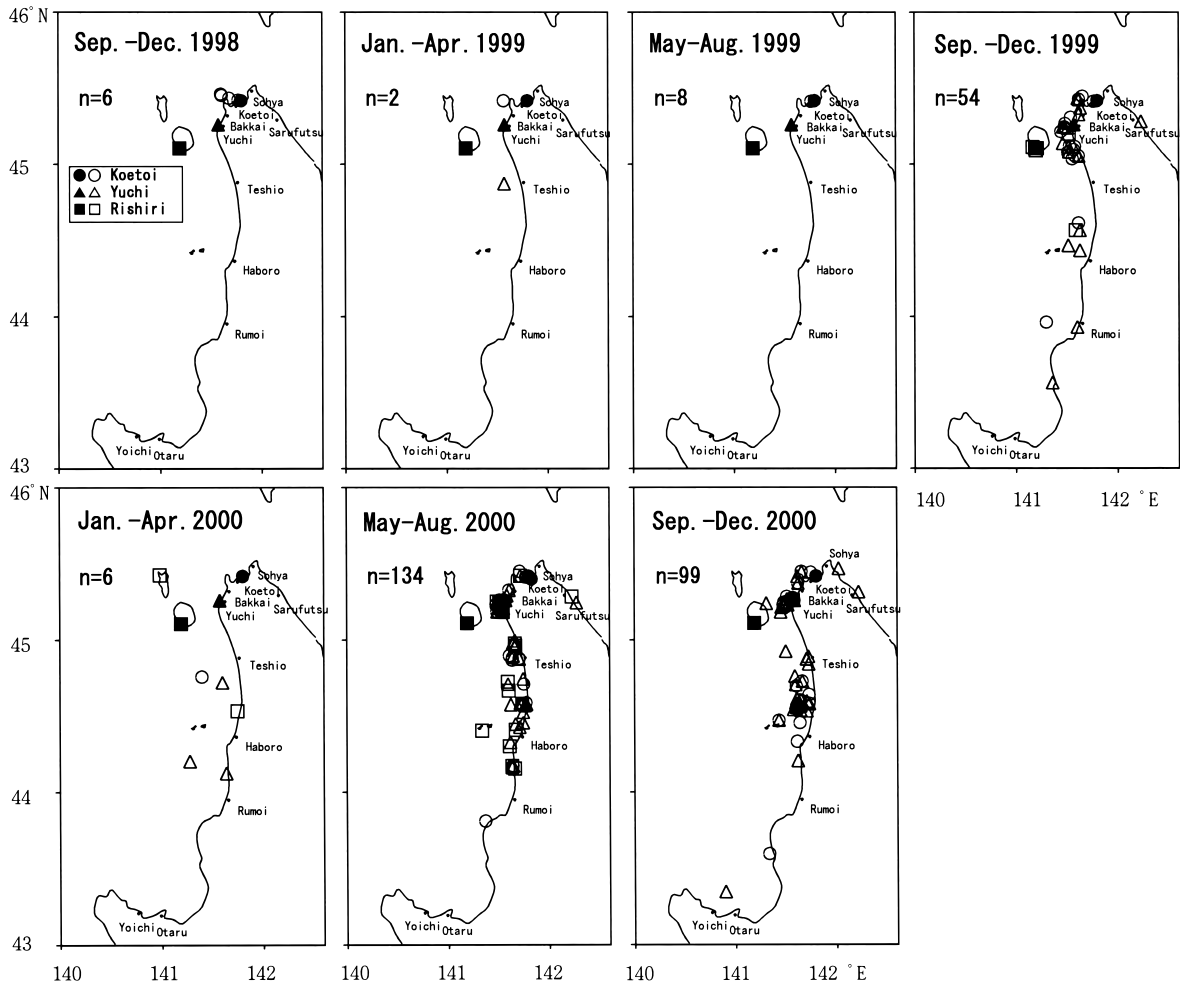


Fig 2-3 Recaptures ( open marks ) and releases ( solid marks ) of hatchery-reared Japanese flounder tagged and released at Koetoi , Yuchi and Rishiri in 1998 . Dates and figures are the same as those in Fig. 2 1 .

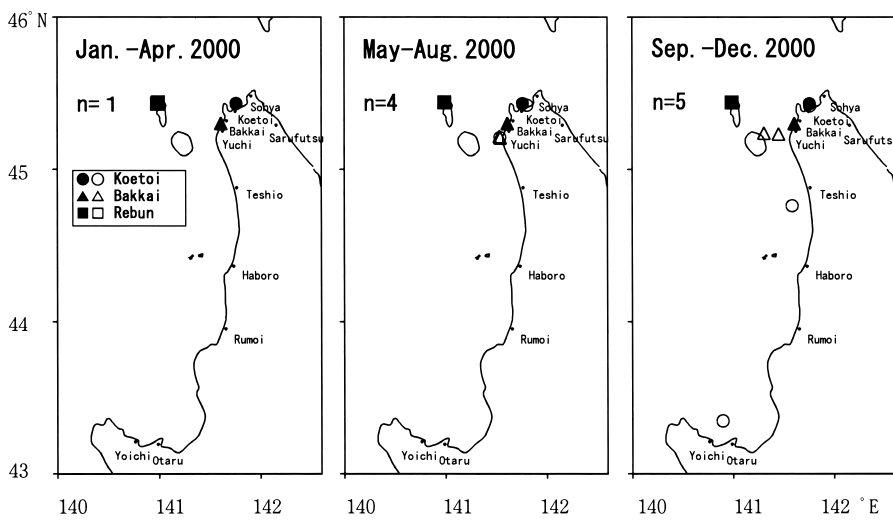


Fig 2-4 Recaptures ( open marks ) and releases ( solid marks ) of hatchery-reared Japanese flounder tagged and released at Koetoi , Bakkai and Reibun in 1999 . Dates and figures are the same as those in Fig. 2 1 .

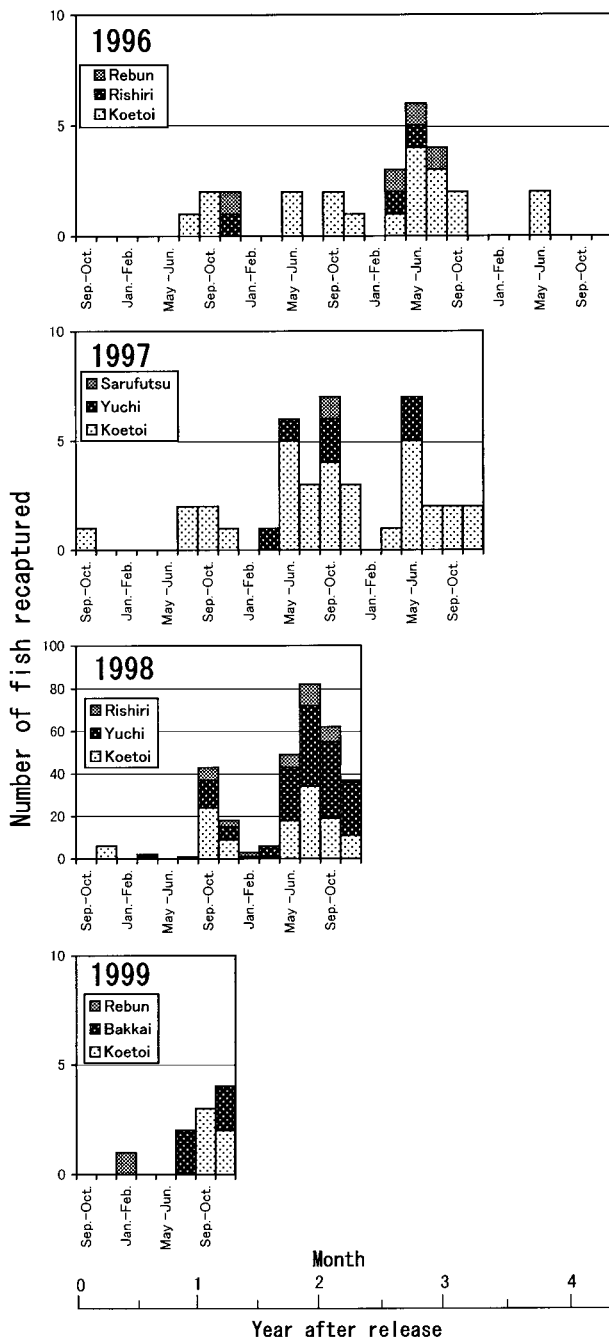


Fig 3 Recovery number of tagged hatchery-reared Japanese flounder during every two months, by release location and release year.

1999年9月17日に声問および抜海地区、18日に礼文地区で放流されたヒラメは、再捕尾数が少なかったが、再捕地点の変化には前3カ年と同じ傾向がみられた。放流から1年以内の2000年8月までは、放流地区周辺のみで再捕され、再捕数は声問群2尾、勇知群2尾および礼文群1尾であった (Fig 2.4)。放流から1年後の2000年9月から12月の間には、放流地区周辺で声問群1尾、勇知

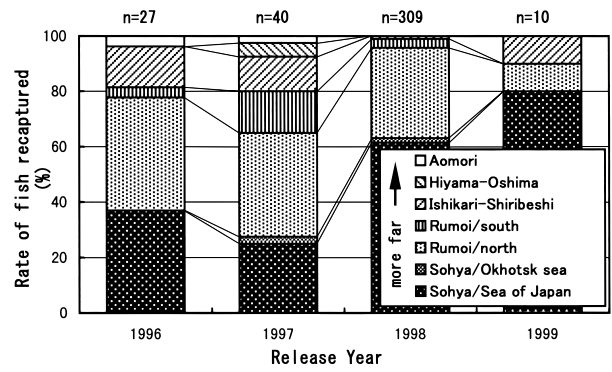


Fig 4 Percentage of recovery number of tagged hatchery-reared Japanese flounder recaptured in each area. Figures represent the total number of fish recaptured for each release year. Data from different release locations were combined.

群2尾が再捕され、また、南側の天塩沖および余市沖でも声問群が1尾ずつ再捕された。

## 2. 月別再捕尾数

各放流地区の再捕尾数を放流から再捕までの経過月数2ヵ月間隔で整理し、放流年別にFig. 3に示した。

放流を実施した9月あるいは10月から翌年6月頃までに、再捕尾数は1996年が0尾、1997年が2尾、1998年が9尾および1999年が2尾と、各放流年とも極めて少なかった。7月になると再捕尾数は徐々に増え始め、さらに放流後1.5年頃から急増して5~10月にピークがみられるようになった。1996年では放流から約2.5~3年後の5~10月に再捕が多く、この期間の再捕尾数は、全再捕数27尾に対して12尾(44.4%)であった。1997年では1996年より1年早い放流後1.5~2年頃にピークがみられ、全再捕数40尾に対して16尾(40.0%)の再捕があった。1998年では、データ収集期間が放流から約2年間と短いものの、放流後1.5~2年の5~10月に、全再捕数309尾に対して205尾(66.3%)が再捕された。また、1996年と1997年の再捕尾数は放流後3年頃から徐々に減少した。なお、再捕までの経過日数の最長は、1996年に放流された声問群の1,342日であった。

## 3. 海域別再捕頻度

再捕海域を宗谷海域の日本海(宗谷~稚味内沖)ならびにオホーツク海(宗谷~猿払沖)、留萌北部(天塩~苫前沖)、留萌南部(苫前~雄冬沖)、石狩・後志および松山・渡島、さらに青森県の7海域に大別し、放流年ごとに海域別再捕頻度(全再捕尾数に対する各海域の再捕尾数の割合)をFig. 4に示した。

1996年および1997年では、再捕頻度は留萌北部海域が最も高くそれぞれ40.7%、37.5%を示し、次いで放流地区周辺の宗谷日本海海域が37.0%、25.0%を示した。ま

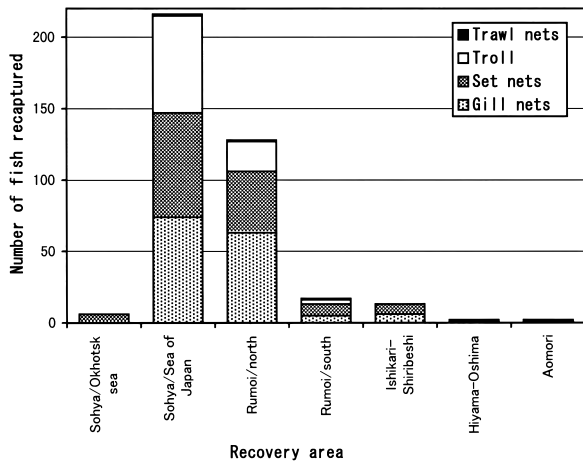


Fig 5 Recovery number of tagged hatchery-reared Japanese flounder, recaptured with each gear in recovery areas. Data from different release years were combined.

た, 1998年および1999年では, 再捕頻度は宗谷日本海海域が最も高く, それぞれ61.5%, 80.0%を示し, 留萌北部海域がこれに次いでいた。このように放流地区周辺では, 放流から再捕までの期間が約2年以内と短い放流年には全再捕数の6~8割が再捕され, 再捕までの期間が長くなると2~4割となった。また, 放流海域から離れるにしたがって再捕頻度が低下する傾向も示された。松山および渡島海域, 青森県沿岸でも再捕されたが, その頻度は10%以下であった。

4. 漁具種類別の再捕尾数

再捕漁具を刺網類(かれい刺網, その他刺網), 定置網類(さけ定置網, 小定置網, 底建網など), 釣り具類(へら曳き)および曳き網類(桁曳網, 底曳網など)の4種類に分類し, 各漁具種類による再捕尾数を再捕海域別にFig. 5に示した。放流年および放流地区は込みにした。

放流4カ年の全再捕数が216尾と最も多かった宗谷日本海海域では, 刺網類による再捕が74尾(34.3%), 定置網類が73尾(33.8%)とほぼ同数で多く, 釣り具類が68尾(31.5%)であった。再捕尾数が128尾と次いで多かった留萌北部海域では, 刺網類による再捕が63尾(49.2%), 定置網類が43尾(33.6%)であった。一方, 留萌南部および石狩・後志海域では全再捕数がそれぞれ17尾と13尾で, 主に定置網類で再捕された。なお, 宗谷日本海および留萌北部海域で再捕数が多かった刺網類ならびに定置網類は, かれい刺網とさけ定置網であった。

5. 再捕の経過日数と全長との関係

ヒラメ標識魚の再捕時の全長を経過日数の時系列で放流年別にFig. 6に示した。

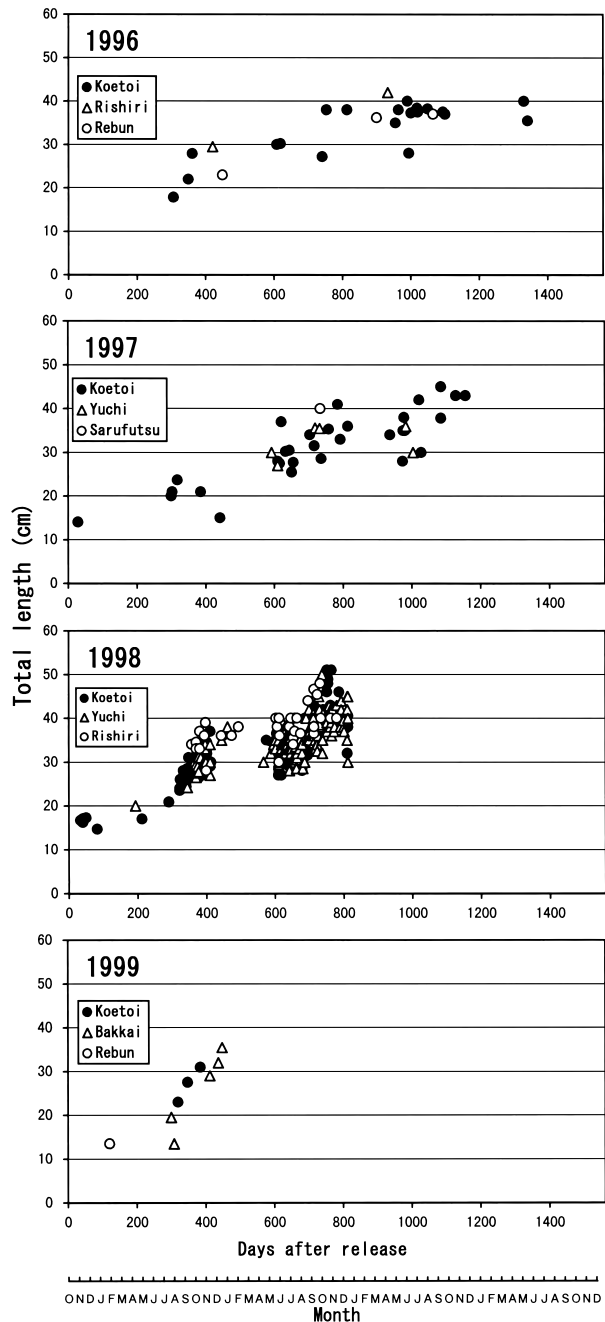


Fig 6 Relationships between days and total length of the recovery specimens of tagged hatchery-reared Japanese flounder, by release location and release year.

いずれの放流年にも再捕時の全長が急激に増大する期間が存在した。1996年ではデータ数が少ないためその期間がやや不明瞭であるが, 1997年では放流後600~800日および950~1,150日の期間, いずれも6~11月頃に大型の再捕魚が急増した。この傾向は1998年でさらに明瞭に現れ, この放流年では放流後300~450日の7~11月頃にも再捕魚のサイズが急激に増大した。また, 1999年では再捕期間が短いものの, 1998年と同様に放流後300~450

日に増大する傾向が認められた。この結果は、ヒラメ人工種苗が放流の翌年6月以降、夏季から秋季にかけて成長が進み、冬季から春季にかけてはほとんど成長しないことを示唆している。また、9月から10月に宗谷海域で放流された全長10~17cmのヒラメ人工種苗は、約1年が経過すると30~40cm、約2年後には40~50cmにまで成長することが明らかになった。

6. 放流年別、放流地区別の再捕時の全長

放流年および放流地区によるヒラメ標識魚の成長の違いを検討するため、放流からの経過年数1年間隔で再捕時の全長をFig. 7に示した。

放流年による成長の違いでは、1996~1998年の声問群ならびに1997年と1998年の勇知群の再捕時の全長を、それぞれ放流後1年および2年の期間で比較した。1996年と1997年のデータ数がやや少なかったものの、声問および勇知群とも1998年に放流した再捕魚の全長が他の放流年を明らかに上回った。声問群の再捕時の平均全長は、1998年で放流後1年が31.6cm、2年が41.0cmと大きく、1996年および1997年では放流後1年、2年の順にそれぞれ27.5cm、36.0cm、および26.9cm、34.6cmと小さかった。一方、勇知群の平均全長は、1998年では放流後1年、2年が32.6cm、39.0cm、1997年では28.5cm、34.3cmであった。

放流地区による違いでは、データが十分に得られた1998年の放流後1年および2年について各放流地区の再捕魚の全長を比較した結果、声問群は放流後1年では利尻群よりも小さく ( $t = 6.56$   $P < 0.05$ )、勇知群との間には有意差がなかった。また、放流後2年では声問群が勇知群よりも大きく ( $t = 2.81$   $P < 0.05$ )、利尻群との間に有意差がなかった。このように放流地区と再捕時の全長との間には、放流から再捕までの期間全体を通して一定した関係がみられず、放流地区による標識魚の成長の良否は判断できなかった。

考 察

1986年に焼尻島沖で放流されたヒラメ人工魚は放流海域の北側の利尻島や稚内沖でも再捕されるものの、全体的には南側で多く再捕され<sup>5,10)</sup>、1988年に北海道日本海の石狩湾で放流されたヒラメ人工魚には顕著な南下移動の傾向がみられている<sup>7)</sup>。一方、放流後の南下移動の傾向はヒラメ天然魚にも現れており、1965年と1966年に羽幌海域で放流された若齢魚が南方の石狩湾厚田沖まで移動した再捕例がある<sup>3)</sup>。今回、宗谷海域で放流したヒラメ人工種苗は、放流後1年が経過すると放流海域の南側でも再捕され、その後、再捕地点が南側へ拡散する傾向にあったことから、羽幌沖から石狩湾にかけて放流され

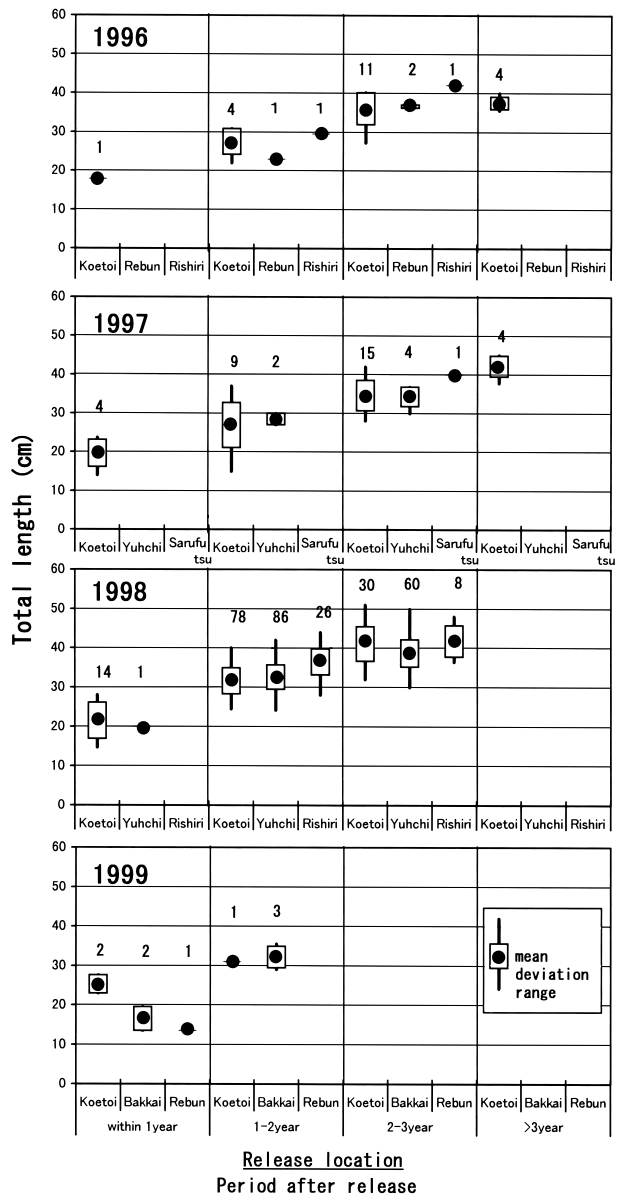


Fig 7 Total length of the recovery specimens of tagged hatchery-reared Japanese flounder, by release location and period after release. Figures represent the number of fish recaptured.

たヒラメと同様に、年を追うごとに放流海域から南側へ移動するものと考えられる。

福田他<sup>4)</sup>は、1967~1969年に抜海沖および天塩沖で標識放流したヒラメ成魚と未成魚の南限が、積丹半島にあることを報告している。加藤他<sup>11)</sup>は日本海の標識放流結果を整理し、少なくとも積丹半島以南から新潟県南部海域までのヒラメは、連続した分布と移動を示すとしている。また、草刈<sup>12)</sup>、石戸<sup>13)</sup>は、東北海区北部と日本海のヒラメ天然魚は津軽海峡を通じて相互に交流していると推定している。宗谷海域で放流したヒラメ人工魚は、福

田他<sup>4</sup>が南限と指摘した積丹半島を通過し、北海道日本海南部の上ノ国沖や福島沖、さらに津軽海峡を越えて青森県沿岸で再捕された。この再捕結果から、天然魚の移動と直接比較することはできないが、宗谷海域のヒラメは北海道日本海南部あるいは青森県沿岸域のヒラメと連続して分布していることも考えられた。

一方、宗谷海域の日本海側とオホーツク海側で放流したヒラメ人工魚は、宗谷海峡を挟んでそれぞれ両海域で再捕された。ヒラメ天然魚について、日本海での北方向への広がり宗谷海峡付近で制限されている可能性が指摘されており<sup>5)</sup>、その一方で、抜海および天塩沖で放流されたヒラメ成魚と未成魚は一部が翌年オホーツク海まで回遊すること<sup>4)</sup>や積丹半島以北とオホーツク海に分布するヒラメが同じ道北日本海群であると推定されている<sup>9)</sup>。今回まとめたヒラメ人工魚の再捕結果から考えると、宗谷海域では宗谷海峡を横切って日本海とオホーツク海のヒラメが交流している可能性が強い。

さらに、宗谷海域で放流したヒラメ人工魚は、放流から3年が経過しても放流地区周辺で継続して再捕される傾向がみられた。焼尻島沖や石狩湾で放流されたヒラメ人工魚は、放流後少なくとも2年間は放流海域近辺に留まっており<sup>5,7)</sup>、また、1988年から数年にわたって松山海域で放流されたヒラメ人工魚のほとんどは、放流から4年近く経過しても放流水域周辺から移動しない<sup>8)</sup>。一方、福島県<sup>14)</sup>や瀬戸内海<sup>15)</sup>でも、市場調査の結果からヒラメ人工魚の水揚げが放流場所付近で多いことが報告されている。したがって、宗谷海域のヒラメ人工魚も長期間あまり移動せず、放流海域に留まっていた可能性はある。これについては、放流地点付近で再捕されたヒラメ若齢魚がそこに滞留していたか、あるいは移動した後に回帰したものか標識放流結果では判断できないことが指摘されている<sup>13)</sup>ことから、今後、回遊経路を含め改めて検討する必要がある。

9～10月に宗谷海域で放流したヒラメ人工魚の再捕尾数は、放流から翌年6月頃までは極めて少なく、7月頃から徐々に増えて15年が経過した頃に急増した。この結果は、1981～1984年に実施された北海道、福島県、宮城県および青森県の、ヒラメ人工魚の再捕率が放流当年で高く、1年経過するごとに低下することを示した標識再捕結果<sup>16)</sup>とは異なっていた。標識魚の再捕率に与える影響として、放流年、漁獲方法、漁獲水深および標識種類などがあり、なかでも放流サイズが最も大きく影響すること<sup>17)</sup>、小型魚ほど漁獲されても投棄あるいは再放流されやすく、漁獲による再捕報告が少ないこと<sup>15)</sup>が指摘されている。宗谷海域のヒラメ人工魚は放流から1年以内の再捕時には全長が28cm以下を示しており、サイズが

小さいために報告されにくくなっていたことが、放流から翌年6月までの再捕尾数の少なかった原因の1つと考えた。

ヒラメ人工魚の再捕は5～10月に集中し、全再捕数に対して40～66%と再捕頻度が高かった。これには、ヒラメの各発育段階の分布特性や漁業の操業形態が影響していたと考えられる。5～10月はヒラメの産卵期および産卵後期で、沿岸の産卵域に來遊する時期<sup>2)</sup>に相当する。一方、漁具種類別の再捕尾数を比較した結果で約7割以上を占めた刺網類と定置網類、なかでも再捕尾数が多かったかれい刺網およびさけ定置網漁業の操業期間は、1998年の場合、宗谷海域では刺網と定置網でそれぞれ3～12月（盛漁期：5～6月、10～11月）ならびに9～11月（盛漁期：9～11月）であった<sup>18)</sup>。また、留萌海域では1～8月と11～12月、ならびに9～10月に刺網と定置網漁業が操業されており<sup>19)</sup>、これらのことが再捕尾数の違いとなって現れたものと考えた。

ヒラメの成長時期について、石狩湾で放流されたヒラメ人工魚は冬季間にはほとんど成長せず、6月頃から10月頃にかけて急激に成長すること<sup>7,20)</sup>、厚田以南の日本海、津軽海峡ならびに長万部以南の道南太平洋でのヒラメ人工魚は12月から5月にかけてほとんど成長しないこと<sup>9)</sup>が報告されている。また、留萌海域での放流では、天然魚は冬季間の成長が夏季から秋季に比べてかなり低下し、人工魚は冬季間の成長が極めて小さいと推定されている<sup>5)</sup>。本報告でも、宗谷海域で放流したヒラメ人工魚の再捕時の全長と経過日数との関係から、おおよそ6～11月の夏季から秋季にかけて成長が進み、冬季から春季にかけてほとんど成長しないと推定された。なお、東北太平洋海域<sup>21)</sup>や新潟県<sup>11)</sup>のヒラメ天然魚では7月から11月までに急激に増大して冬季間にほとんど成長がみられず、また、富山県<sup>22)</sup>ではヒラメ人工魚が12～7月にほとんど成長が認められていないように、成長時期については、道外でも同様な結果が得られている。

石田他<sup>23)</sup>は標識の脱落率は魚体が大きくなるにつれて直線的に高くなり、その理由として成長が速いことにより標識が物理的に持ちこたえられずに脱落し、さらに全長50cm台を超えると、体内への埋没が影響すると考えた。宗谷海域で放流したヒラメ人工魚は放流後1年で全長30～40cm、2年後には40～50cm近くで再捕されたことから、放流3年後には50cmを超えた標識魚が多数いた可能性がある。したがって、ヒラメ人工魚の再捕尾数が放流後3年が経過する頃から徐々に減少した結果は、成長に伴う標識の脱落や埋没なども関係していたと言える。ただし、アンカータグの脱落や埋没についてはヒラメの体重が約1kg（全長45cm前後）になるまでは標識として

有効であることも報告されており<sup>24)</sup>、再捕尾数が減少した理由については1997年以降に放流した標識魚の再捕データを蓄積し、さらに検討が必要である。

放流年および放流地区別に再捕時の全長を比較した結果、放流地区による成長の良否は確認できなかった。しかし、放流年の比較では1998年に放流した声問群および勇知群の再捕時の全長が、放流から1～2年後には1996年や1997年に放流された群よりも平均4～6cmほど大きい結果を得た。この原因として放流年による水温や餌料などの生育環境の違いなどが考えられるが、1998年の放流時の全長が1996年および1997年に比べて平均で2cmほど大きかったことが最大の理由であろう。

ヒラメ標識魚の再捕報告では雌雄を判別していないため、データはすべて雌雄込みで解析した。ヒラメは成長に伴って雌雄による差が顕著になることが知られており、三陸北部沿岸のヒラメ天然魚では2歳程度(全長37～38cm)までは雌雄による成長差がなく<sup>25)</sup>、2歳ないし3歳からその差が顕著になって雌の成長が雄を上回る<sup>26)</sup>。宗谷海域のヒラメ人工魚は放流から2年が経過した時点で全長40～50cm近くに達しているものも多く、雌雄による成長差が解析結果に影響していたとも考えられる。ヒラメは高価な魚種のため標本測定やデータ収集が容易ではないが、今後、特に成長については雌雄による違いを考慮した解析が必要である。

## 謝 辞

ヒラメの標識放流に際しては、北海道栽培漁業振興公社、宗谷管内栽培漁業推進協議会、宗谷支庁、宗谷管内の各地区水産技術普及指導所、ならびに関係市町村および漁業協同組合に多大なご協力を賜った。また道外も含め、北海道日本海沿岸各地区の漁業関係者の方々には貴重な再捕報告をいただいた。ここに、各位に対して厚くお礼申し上げる。

## 要 約

1996～1999年の9月から10月に宗谷海域で標識放流されたヒラメ人工種苗の再捕結果により、移動と成長を検討した。

1. 再捕地点は放流後1年以内には放流地区周辺に集中し、3年が経過しても再捕が継続した。一方、放流後1年頃から放流地区より南側でも再捕され、再捕地点は年を追うごとに南側へ拡散していった。ヒラメ人工魚は津軽海峡を渡って青森県沿岸まで移動範囲を広げ、北部では宗谷海峡を横切って移動していることが示唆された。
2. 再捕尾数は放流から翌年6月までは9尾以下と少な

く、7月頃から徐々に増加し始めた。なかでも、放流から約1.5～2年、2.5～3年後の5～10月に再捕が集中し、1999年放流群を除いて各年とも全再捕数の40～66%が再捕された。

3. 再捕頻度は1996年および1997年の放流群では留萌北部海域が40.7%、37.5%と高かった。再捕まで約2年以内の1998年および1999年の放流群では宗谷日本海海域が61.5%、80.0%を示し、放流地区周辺で高頻度の再捕があった。桧山および渡島海域、青森県沿岸では10%以下であった。
4. 再捕尾数が最も多かった宗谷日本海海域では刺網類による再捕が74尾(34%)、定置網類が73尾(33%)と、2種類の漁具で約6割を示した。次いで多かった留萌北部海域では刺網類が63尾(49%)、定置網類が43尾(33%)、他の海域では定置網類による再捕が多かった。
5. 放流後300～450日、600～800日および950～1,150日には再捕魚が大型化し、おおよそ6～11月の夏季から秋季にかけて成長が進み、冬季から春季にはほとんど成長しないことが示唆された。また、全長10～17cmの標識魚は放流から約1年後に30～40cm、2年後には40～50cmにまで成長していた。
6. 1998年の声問および勇知放流群は、放流から1～2年後の再捕時には1996年や1997年の同放流群よりも平均で4～6cmほど大きかったが、これは放流サイズの違いに起因すると考えた。放流地区の違いによる標識魚の成長の良否は判断できなかった。

## 文 献

- 1) 北海道水産孵化場：鯉類増殖事業・昭和27年度事業成績報告書、29-34(1953)
- 2) 三上正一、田村真樹：北海道日本海海域におけるヒラメの系統群について 1. 1964年に実施したヒラメの標識放流試験結果・北水試研報、(6)33-55(1966)
- 3) 田村真樹、三上正一、富木保夫：昭和40・41年に羽幌海域で実施したヒラメの若齢魚についての標識放流試験結果・北水試月報、27(3)2-5(1970)
- 4) 福田敏光、小野田豊、彦坂義英：利尻水道および天塩海域で実施したヒラメの標識放流試験結果・北水試月報、28(7)2-9(1971)
- 5) 富永 修、馬淵正裕、石黒 等：北海道北部日本海で標識放流された天然ヒラメと人工種苗ヒラメの移動と成長・水産増殖、42(4)593-600(1994)
- 6) 坂本喜三男、中道克夫：ヒラメ標識放流試験結果・北水試月報、31(11)、1-22(1974)

- 7) 富永 修：北海道における人工種苗ヒラメの放流について．育てる漁業，北海道栽培漁業振興公社，(212)2 (1990)
- 8) 石野健吾：ヒラメの種苗放流で経済効果をあげるために 放流後の収穫サイズを考える．北水試だより，(22)21 24(1993)
- 9) 草刈宗晴，田村真樹：北海道におけるヒラメ漁業の実態と種苗放流．日本栽培漁業協会研究資料，(36)，137 15(1987)
- 10) 富永 修：北海道におけるヒラメ栽培漁業の基礎知識 1 標識放流結果と小型種苗の標識方法．育てる漁業，北海道栽培漁業振興公社，(252)2 1(1994)
- 11) 加藤和範，安沢弥，梨田一也：新潟県北部沿岸域におけるヒラメの資源生物学的研究．標識放流結果からみたヒラメ未成魚の移動およびヒラメの成熟と成長．新潟水試研報，(12)，42 5(1987)
- 12) 草刈宗晴：ヒラメの栽培漁業をめぐる今後の課題について．平成6年度育てる漁業研究会講演要旨，北海道栽培漁業振興公社，1 3(1994)
- 13) 石戸芳男：東北海区北部におけるヒラメ若齢魚の分布と移動．東北水研研報，(52)，33 4(1990)
- 14) 北田修一，岸野洋久，多賀保志：2段抽出の市場調査による種苗放流効果の推定．日水誌，5(1)67 73(1993)
- 15) 柴田玲奈：瀬戸内海におけるヒラメの標識放流試験の経過について．漁業資源研究会議底魚部会報(3)，39 4(2000)
- 16) 二平 章：北海道・東北沿岸海域における人工種苗ヒラメの標識放流．茨城水試研報，(28)97 111(1990)
- 17) Fowler ,G .M ., and W .T .Stobo : Effects of release parameters on recovery rates of tagged groundfish species . *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* , 56 , 1732 1751(1999)
- 18) 北海道宗谷支庁経済部水産課：主要漁業の状況．宗谷の水産(平成10年度版)，北海道宗谷支庁，1999，14 22
- 19) 北海道留萌支庁経済部水産課：主要漁業の動向．留萌の水産(平成10年度)，北海道留萌支庁，1999，23 28
- 20) 富永 修：北海道におけるヒラメ栽培漁業の基礎知識 2 放流後の野外調査法と得られる情報 その1．育てる漁業，北海道栽培漁業振興公社，(255)，2 8(1994)
- 21) 佐藤祐二：仙台湾を中心としたヒラメ*Paralichthys olivaceus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) の生活史について．東北水研研報，(35)，15 3(1975)
- 22) 堀田和夫，藤田大介：富山湾東部で放流されたヒラメの再捕と移動．富山水試研報(11)47 5(1999)
- 23) 石田 修，伊藤光正，佐藤 新：ヒラメ標識放流魚の脱落率の推定．千葉水試研報，(45)，9 1(1987)
- 24) 里森 修：ヒラメの標識比較試験．栽培技研，11(1)，17 2(1982)
- 25) 北川大二，石戸芳男，桜井泰憲・福永辰広：三陸北部沿岸におけるヒラメの年齢，成長，成熟．東北水研研報，(56)69 7(1994)
- 26) 南 卓志：“1．生活史特性”．ヒラメの生物学と資源培養(南 卓志，田中 克 編)，水産学シリーズ112，東京，恒星社厚生閣，1997，9 24





# Compensation for temperature in the respiratory metabolism of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus*<sup>\*1</sup>

Syohji OHSAKI<sup>\*2</sup>

As a preliminary approach to the bioenergetics of the sea urchin, *Strongylocentrotus nudus*, oxygen consumption measurement with special emphasis on thermal adaptation of the species was carried out with 30 individuals at a time in a mildly aerated free-surface water. The respirometric method secured statistically stable data as well as the respiration independent ambient oxygen tension zone of the animals. A prominent compensatory thermal adjustment was emerged in the respiratory metabolism of *S. nudus* with laboratory acclimation to 10, 15, and 20 °C for at least thirty days. No clear indication of thermal adjustment was found in the respiratory metabolism of the 10 °C-acclimated urchins under the subsequent subjection to nine days' stepwise temperature increasing from 10 to 26 °C. Neither the 10 °C-acclimated urchins nor the 20 °C-acclimated ones showed substantial thermal adjustment in respiratory metabolism during the subsequent acclimation to 20 °C and 10 °C respectively for six days. The rate-temperature relationships, together with an ordinary allometric relationship between oxygen consumption and body weight, were expressed by a multiple regression model as an attempt to predict the oxygen consumption of field acclimatized *S. nudus*, and several factors affecting it were discussed to evaluate the model.<sup>3</sup>

Key words: Sea urchin; *Strongylocentrotus nudus*; Oxygen consumption; Metabolic rate; Temperature acclimation; Respirometry; Echinoderm physiology; Bioenergetics

## 1 Introduction

Compensation for temperature in the metabolism of poikilotherms, although it has some exceptions, is now a well accepted physiological conception. It is generally assumed that, within a certain range of temperature, the metabolic rate of a poikilotherm increases (or decreases) as ambient temperature increases (or decreases). When the temperature change is slow enough, however, the poikilotherm will maintain a relatively moderate metabolism,

although, still, the rate will be higher in the higher temperature regime. This is called "partial compensation"<sup>2)</sup>. In intraspecific comparison, when measured at some intermediate temperature, a poikilotherm which has long enough inhabited in the lower temperature regime will generally exhibit a higher metabolic rate than a poikilotherm which has long enough inhabited in the higher temperature regime. Because, the poikilotherm in each of the

---

Accepted : July 10, 2001. Contribution A333 from the Hokkaido Fisheries Experimental Station.

(報文番号 A333 (2001年7月10日受理))

\*1 キタムラサキウニの呼吸代謝における温度に対する補償

\*2 Hokkaido Nuclear Energy Environmental Research Center, 261, Miyaoka, Kyowa Iwanai, Hokkaido 045-0123, Japan(大崎正二, 北海道原子力環境センター)

\*3 In usages of the "terms acclimation", "acclimatization", and "adaptation"; this paper follows the precedent of Percy<sup>1)</sup>: "acclimation" refers to "the compensatory change in an organism under maintained deviations of a single environmental factor (usually in laboratory)" (Prosser and Brown 1961); "acclimatization" refers to "those compensatory changes in an organism undergoing multiple natural deviations of milieu climatic, physical and biotic" (ibid); and the term "adaptation" encompasses these two terms.

regimes has achieved adaptation to the ambient temperature to acquire a certain moderate metabolism, but can not maintain it in the new temperature regime due to the acuteness of the temperature change. This is sometimes applicable also in interspecific comparison: the comparison between similar species with the difference in habitat. Since reviewed by Bullock<sup>3)</sup> in 1955, the conception has been introduced into marine ecology on teleosts<sup>4-6)</sup>. As for regular echinoids, we can find relevant works on *Strongylocentrotus droebachiensis*<sup>1,7)</sup>, *S. purpuratus*<sup>8-10)</sup>, *S. franciscanus*<sup>10)</sup>, *Allocentrotus fragilis*<sup>10)</sup>, and *Eucidaris tribuloides*<sup>11)</sup>.

“Efficient utilization of marine resources requires knowledge of the bioenergetics of the major communities of the sea. Measurement of respiratory metabolism of plants and animals constituting these communities is an important aspect of bioenergetic studies<sup>11)</sup>. As for regular echinoids, an attempt was made by Miller and Mann<sup>12)</sup> to apply the bioenergetics of *Strongylocentrotus droebachiensis* to efficient utilization of seaweed zone resources. A few works can be found in respect to the respiratory metabolism of the regular echinoids of Japan (*Strongylocentrotus nudus*<sup>13),14)</sup>, *S. intermedius*<sup>13)</sup>, *Hemicentrotus pulcherrimum*<sup>15)</sup>, *Anthocidaris crassispina*<sup>15)</sup>, and *Toxopneustes pileolus*<sup>16)</sup>), however none of these works are concerned with thermal adaptation in the respiratory metabolism. The northern sea urchin, *Strongylocentrotus nudus* is the most important benthic herbivore of the rocky shores on southwestern Hokkaido's Japan Sea coast, where it is both the subject of fisheries and an influential factor in coralline flats called “isoyake<sup>17),18)</sup>. The present author thus undertook a preliminary study on the compensatory adjustment for temperature in the respiratory metabolism of the species with laboratory acclimation.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Respirometry

Oxygen consumption by 30 individual urchins ca. 75 g in mean wet weight was measured in a 30 ℓ water with its surface freed. Moro-oka's method<sup>19)</sup> was applied, but with some modification. To

encourage diffusion of dissolved oxygen, the water was mildly aerated by an air pump through a V shaped nozzle, with the flow rate of air regulated at 1 ℓ/min by a flow meter with a needle valve (Fig.1). A water depth was 15 cm. On the assumption that the water depth is shallow enough to neglect the difference in the oxygen partial pressure between the atmosphere and the bubbles and that the rate of oxygen consumption ( $QO_2$ ) is constant, oxygen deficiency  $D (= 1 - \text{saturation rate})$  at time  $T$  (hr) is given by an equation:

$$D = (K_f/K)(K_f/K D_o) \cdot \text{Exp}(-K \cdot T) \quad (1),$$

where  $K_f$ ,  $K$ , and  $D_o$  are constants representing the oxygen consumption coefficient; the over-all diffusion coefficient; and the initial oxygen deficiency respectively. Values of these three parameters can be determined in such a way that the theoretical curve expressed by Equation 1 will be best fitted to values of  $T$   $D$  by actual measurement at regular time intervals (described later). Then, the  $QO_2$  is obtained from the following equation:

$$M = 1000 \cdot (K_f \cdot V \cdot C_s) / \sum W_i,$$

where  $M$  is the  $QO_2$  per unit wet weight ( $\mu \ell / g / hr$ ),  $V$  is the volume of water ( $\ell$ ),  $C_s$  is oxygen concentration at saturation ( $m\ell / \ell$ ), and  $W_i$  is the wet weight of an individual ( $g$ ).

Figure 1 shows a six-chambered tank and its water circulating systems employed for the respirometry. YSI model 58 DO (dissolved oxygen) meter and its electrode with a submersible stirrer were used for DO measurement. The procedure for the respirometry was as follows:

- (1) All water circulations were turned on for a few days prior to measurement, and urchins were placed in a respiration chamber the day before the measurement was conducted.
- (2) The DO concentration of nearly saturated water in a calibration chamber was previously determined by the Winkler method.
- (3) The DO meter was calibrated in the calibration chamber.
- (4) The water circulation for the respiration chamber was turned off, and the DO saturation rate of water in the respiration chamber was determined at 5-min intervals for 2 hours.
- (5) After the measurement, the circulation was

- turned back on for a few minutes.
- (6) Then, with the circulation turned off, water in a filter tank for the respiration chamber was fully changed for water in a reservoir.
  - (7) And the circulation was kept running for at least 1 hour until the next measurement was conducted.
  - (8) Step number (3)-(7) were repeated several times on the same experimental condition.

The apparatus enabled two series of measurements simultaneously to be made. The water temperature of each circulating system was independently regulated by a thermoregulator within an accuracy of  $\pm 0.1$ . The temperature change of water in the respiration chamber for the duration of a measurement was within  $\pm 1.0$ , and the DO saturation rate of the water never fell below 75% (a partial pressure of 120mmHg).

2.2 Calculation

An iterative least-squares technique was employed for fitting the theoretical curve expressed by

Equation 1 to the T D data obtained from the actual measurement. The procedure was as follows:

Equation 1 represents a modified exponential curve,  

$$D = A - B \cdot C^t,$$

where

$$A = K_f / K; \quad B = K_f / K D_0; \quad C = \text{Exp} ( K \cdot 60 / t );$$

$$n = 60 \cdot T / t;$$

and  $t$  is a time interval in min (= 5). Thus, approximate values for the parameters A, B, and C are given by a three-points estimation method. Then, approximate values for  $K_f$ , K, and  $D_0$  are also given. The true or best values for  $K_f$ , K, and  $D_0$  are calculated by means of trial and error, with the approximate values as the initial ones, so as to yield the maximum value of the correlation coefficient on the T D data.

The calculation was performed automatically on a personal computer<sup>20</sup>. Figure 2 shows an example of the oxygen depletion curve obtained from the respirometry. In all cases, the correlation coefficient exceeded 0.998 (N=25).

The relationship between body weight  $W(g)$

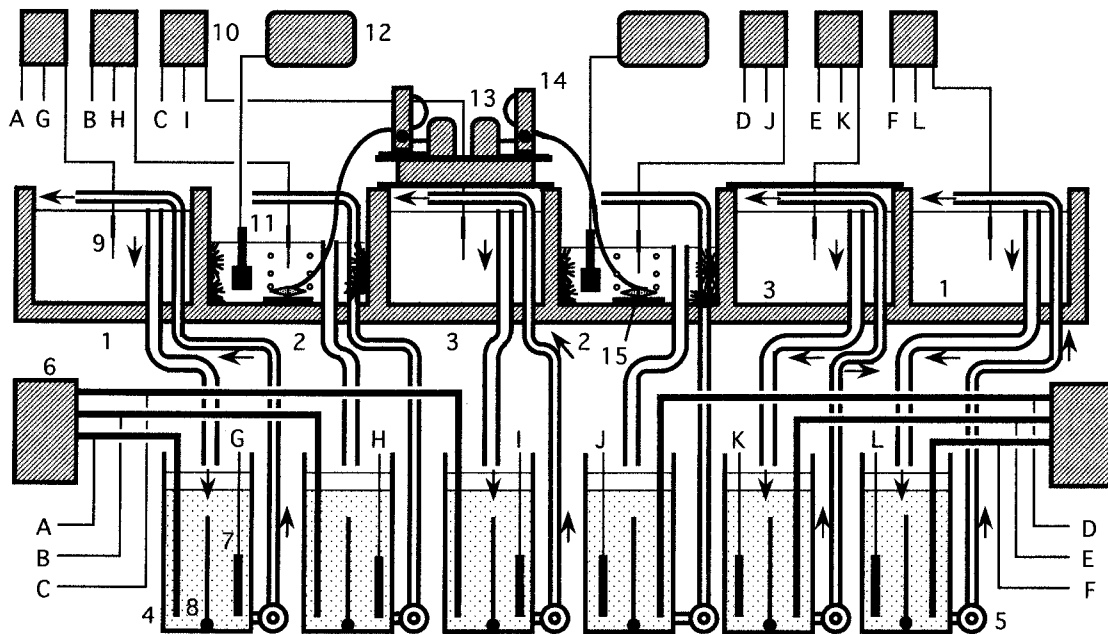


Fig. 1 Schematic diagram of the respirometry of *Strongylocentrotus nudus* in a mildly aerated free surface-water, with a six-chambered tank and its water circulating systems: 1. calibration chamber; 2. respiration chamber; 3. water reservoir; 4. filter tank; 5. magnetpump; 6. cooling unit; 7. heater; 8. air diffuser; 9. thermosensor; 10. thermoregulator; 11. oxygen electrode with a submersible stirrer; 12. DO meter; 13. air pump; 14. flow meter with a needle valve; 15. V-shaped nozzle. Arrows indicate the direction of water flow. Two line edges indicated by the same letter are connected to each other.

and  $QO_2$  per individual  $M \cdot W$  ( $\mu\ell/hr$ ) is generally expressed by an allometric equation:

$$M \cdot W = A_2 \cdot W^r,$$

where  $A_2$  and  $r$  are constants<sup>2,6,21</sup>. On the assumption that this relationship is applicable, resulting values of the  $QO_2$  were adjusted to that of a 75 g urchin:

$$M_o = 75^{(r-1)} \cdot (\sum W_i / \sum W_i^r) \cdot M \quad (2),$$

where  $M_o$  is the  $QO_2$  of a 75 g urchin per unit wet weight ( $\mu\ell/g/hr$ ). The value of the weight exponent  $r$  for *S. nudus* was given by Ryabshko<sup>22</sup>) as 0.560 0.736, so that an approximate mean of 0.65 was adopted.

### 2.3 Experimental conditions

Experimental specimens were collected by SCUBA at a depth of 7–10 m off the coast of Iwanai. They were kept in perforated containers held in circulating water tanks 1 or 2 t in bulk, and were acclimated to 10, 15 and 20 °C for at least thirty days. A quarter of the water in each tank was changed daily, and with feces removed, dried *Laminaria angustata* was provided ad libitum. The deviation of water temperature in the tanks during the acclimation was within  $\pm 1$  °C, with the water salinity  $33 \pm 1$  (PSU), and no urchins died. The urchins were starved for four days prior to use. After respirometry, they were placed on paper towels for a few minutes to drain, and the test

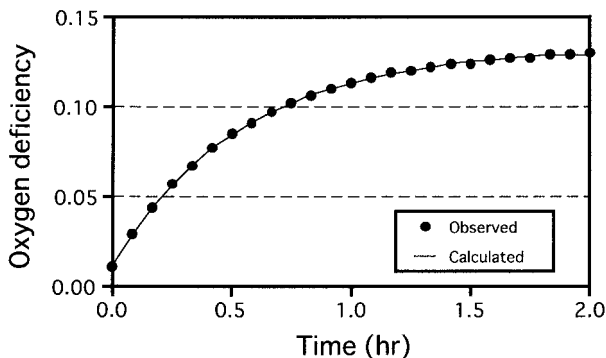


Fig. 2 Example of raw data obtained from the respirometry of *Strongylocentrotus nudus* with 30 individuals at a time in a mildly aerated free-surface water and the theoretical oxygen depletion curve best fitted to the data with an iterative least-squares technique. In all cases,  $R > 0.998$  ( $N = 25$ ).

diameter and weight for each individual were measured. In this study, seasonal factors other than temperature were obliged to be neglected (discussed later), and some of the urchins were reused after complete acclimation.

The measurement of  $QO_2$  for the specimens, with particular reference to thermal adaptation, was conducted under four temperature conditions: acclimation; acute temperature-change; stepwise temperature-increasing; and short term acclimation.

#### 2.3.1. Acclimation and acute temperature-change

The  $QO_2$  of two 10 °C-acclimated groups, one 15 °C-acclimated group, and two 20 °C-acclimated groups were measured at their acclimation temperatures. Each group comprised 30 individuals, which were measured at a time. Six to nine measurements were conducted for each of the groups during the daytime for two or three days.

For the two 10 °C-acclimated groups and the two 20 °C-acclimated groups, the  $QO_2$  at acutely changed temperatures was subsequently measured; in the two 10 °C-acclimated groups, one was measured at 15 °C, and the other was measured at 20 °C, while in the two 20 °C-acclimated groups one was measured at 15 °C, and the other was measured at 10 °C. Temperature was started to change at night (23:00) when the experiment on acclimation temperature had ended, and the experiment on acutely changed temperature commenced the next morning (9:00). The thermoregulator was allowed to achieve the temperature change of  $\pm 5$  °C in 1.5 hours and the temperature change of  $\pm 10$  °C in 3.5 hours. Six measurements were conducted for each of the groups during the daytime for two days.

The experimental conditions are summarized in Table 1. The experiments extended over a rather long period April–July 1998, thus, seasonal factors such as the reproductive state of the animals and photo period may have affected the results. To examine the effect, another experiment on acclimation temperature was conducted during the following January with one group for each of acclimation temperatures 10, 15, and 20 °C. The urchins used in all experiments ranged 50–110 g in

wet weight (45–70mm in test diameter), and group mean wet weight was 70 to 80 g (50 to 60mm in test diameter). Although no statistical analysis was made to identify the difference in size composition among the groups, the  $QO_2$  values were corrected to an approximate group mean wet weight of 75 g by Equation 2.

### 2.3.2 Stepwise temperature-increasing

Prior to the above experiments, the respirometry was tested with 30 individual 10 °C-acclimated urchins in March 1997. The  $QO_2$  of the urchins was measured at ca. 2 °C intervals from 10 °C to 26 °C for nine days. Two or three measurements were conducted at each temperature during the daytime, and the temperature was altered at night (23:00). Owing to the trouble of cooling units, the temperature intervals were obliged to be made irregular. The urchins used were of  $74 \pm 17$  g in wet weight, and  $56 \pm 8$  mm in test diameter (mean  $\pm$  SD). The  $QO_2$  values were corrected to 75 g in wet weight by Equation 2.

### 2.3.3 Short term acclimation

In the above experiment on acutely changed temperature, the measurement for the one 10 °C-acclimated group and for the one 20 °C-acclimated group at 20 °C and 10 °C respectively were continued for another four days to examine thermal adaptation in the respiratory metabolism of the animals within a short term of six days.

## 3 Results

### 3.1 Acclimation and acute temperature-change

$QO_2$  values for all of the experimental conditions are presented in Fig.3. In each measurement temperature, the  $QO_2$  values of two experimental groups acclimated to the same temperature were identical in all cases (Mann-Whitney's U-test,  $P > 0.05$ ), while the  $QO_2$  of a group acclimated to the lower temperature was significantly higher than the  $QO_2$  of that acclimated to the higher temperature in all cases ( $P < 0.01$ ). In each acclimation temperature, on the other hand, a  $QO_2$  measured at the higher temperature was significantly higher than a  $QO_2$

Table 1 Summary of experimental conditions on the oxygen consumption measurement of *Strongylocentrotus nudus* at acclimation and acutely changed temperatures. Experiments were carried out from April to July 1998 at first, and additionally in January 1999 to examine the effects of seasonal factors. Each group comprised 30 individuals.

Acclimation temperature( °C )	Measurement temperature( °C )	Date of measurement	Test diameter ( mean $\pm$ SDmm )	Wet weight ( mean $\pm$ SD g )
10	10	May 30 ~ Jun .1 ,1998	54.5 $\pm$ 5.5	74.2 $\pm$ 9.6
	15	Jun . 2 ~ 3 ,1998		
10	10	May 30 ~ Jun ,1998	56.0 $\pm$ 2.8	78.9 $\pm$ 11.3
	20	Jun . 2 ~ 3 ,1998		
15	15	Apr . 21 ~ 23 ,1998	59.2 $\pm$ 8.2	79.4 $\pm$ 11.7
20	20	Jul . 1 ~ 3 ,1998	55.8 $\pm$ 2.8	79.0 $\pm$ 11.8
	10	Jul . 4 ~ 5 ,1998		
20	20	Jul . 25 ~ 27 ,1998	50.3 $\pm$ 4.3	69.6 $\pm$ 15.5
	15	Jul . 28 ~ 29 ,1998		
10	10	Jan . 18 ~ 19 ,1999	53.5 $\pm$ 3.9	70.4 $\pm$ 14.7
15	15	Jan . 21 ~ 23 ,1999	50.8 $\pm$ 4.9	69.8 $\pm$ 14.8
20	20	Jan . 21 ~ 23 ,1999	53.4 $\pm$ 2.1	74.0 $\pm$ 9.3

measured at the lower temperature in all cases ( $P < 0.01$ ).

These rate-temperature relationships were expressed by a multiple regression model<sup>5</sup>:

$$\log M_o = A_1 + B_1 \cdot (\theta - \theta_a) + B_2 \cdot \theta_a \quad (3)$$

where  $\theta$  is the measurement temperature (°C),  $\theta_a$  is the acclimation temperature (°C) and  $A_1$ ,  $B_1$  and  $B_2$  are constants. In making the analysis, data obtained from the same temperature conditions were pooled. The result is depicted in Fig. 4, where  $A_1 = 0.7014$ ;  $B_1 = 0.0410$ ; and  $B_2 = 0.0250$  ( $R = 0.9992$ ,  $N = 7$ ). Further, for a given body weight  $W$  (g), the

model of this form can be used:

$$\log M = A_1 + B_1 \cdot (\theta - \theta_a) + B_2 \cdot \theta_a + (1 - r) \cdot \log(75/W) \quad (4)$$

A temperature coefficient for the acutely changed temperature  $Q_{10}$  and that for the acclimation temperature  $Q_{10}'$  here are given by equations:

$$\log Q_{10} = 10 \cdot B_1 \quad (5) \text{ and } \log Q_{10}' = 10 \cdot B_2 \quad (6)$$

Then, the  $Q_{10}$  value 2.570 and the  $Q_{10}'$  value 1.780 were obtained.

### 3.2 Stepwise temperature-increasing

The relationship between the  $QO_2$  of the 10°C-acclimated group under subjection to the stepwise temperature-increasing and the temperature of subjection is shown in Fig. 5. The data are plotted on the theoretical curves given by Equation 3 expressing the rate-temperature relationships in acclimation and acute temperature-change. The curves are extrapolated over a measurement temperature range 20-26°C. At any temperature of subjection within the range 10-24°C for eight days, the  $QO_2$  under subjection was near to that

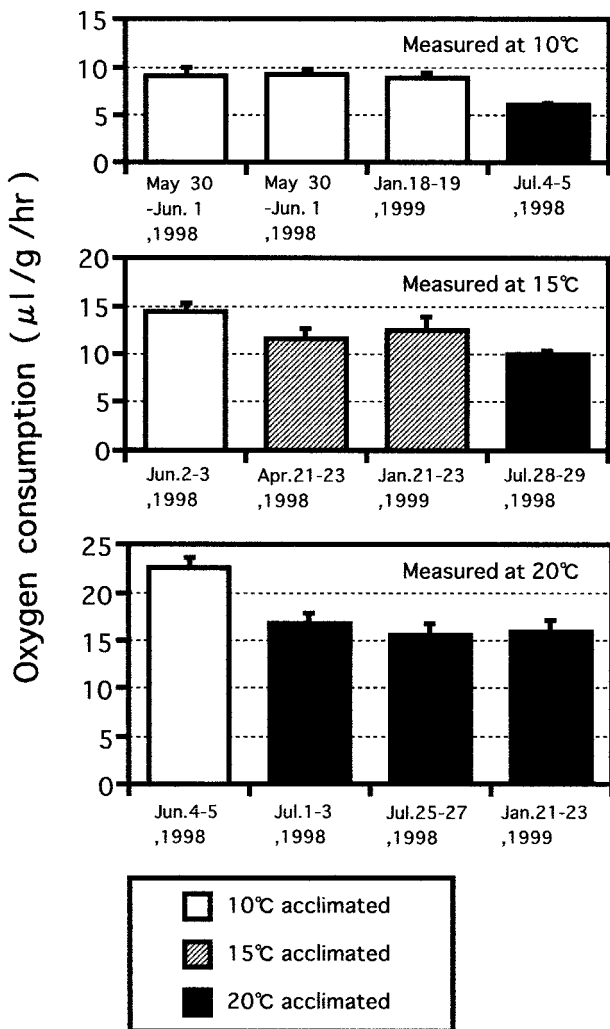


Fig. 3 Results of the oxygen consumption ( $QO_2$ ) measurement of *Strongylocentrotus nudus* at acclimation and acutely changed temperatures. Each column indicates a mean group  $QO_2$  in 6 to 9 measurements with 30 individuals at a time; vertical bars indicate  $\pm$ SD. All values are adjusted to represent rates for 75-g urchins.

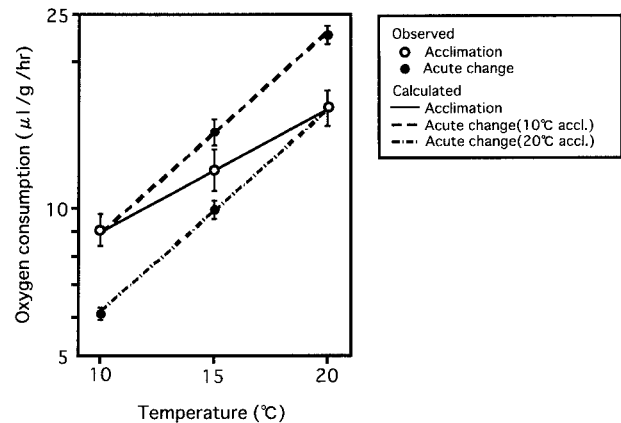


Fig. 4 Rate-temperature relationships expressed by a multiple regression model derived from the results of the respirometry of *Strongylocentrotus nudus* at acclimation and acutely changed temperatures. Each open circle represents a mean  $QO_2$  at the acclimation temperature in 2 or 3 series of measurements 16 to 23 in total; each closed circle represents a  $QO_2$  at the acutely changed temperature in a series of 6 measurements; vertical bars indicate  $\pm$ SD. For each series, 30 urchins were used. All values are adjusted to represent rates for 75-g urchins.

predicted for 10 °C-acclimated urchins in acute temperature-change, while at a subjection temperature of 26 °C on the ninth day, the former was far lower than the latter.

### 3.3 Short term acclimation

In Fig. 6, the  $QO_2$  values of both the 10 °C-acclimated group and the 20 °C-acclimated one measured at the acclimation temperatures for three days and at acutely changed temperatures of 20 °C and 10 °C respectively for the subsequent six days are plotted against time in day. For each of the groups, predicted values for the  $QO_2$  in the acute temperature-change (at 20 °C in 10 °C-acclimation or at 10 °C in 20 °C-acclimation), the  $QO_2$  at 10 °C in 10 °C-acclimation; and the  $QO_2$  at 20 °C in 20 °C-acclimation given by Equation 3 each are indicated as horizontal bars.

During the first three days of measurement at the acclimation temperatures, both the 10 °C-acclimated one and the 20 °C-acclimated one maintained similar  $QO_2$  values to those predicted

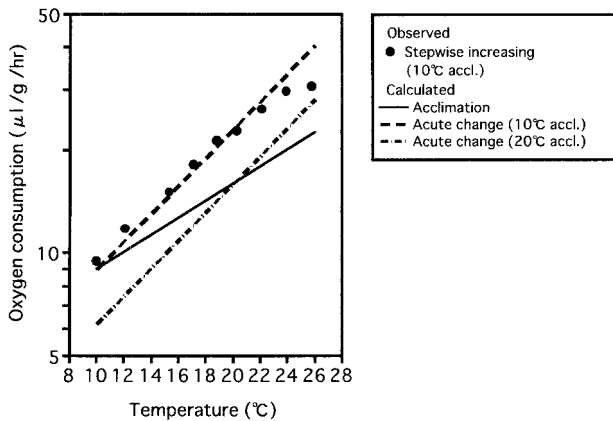


Fig. 5 The relationship between the  $QO_2$  of 10 °C-acclimated *Strongylocentrotus nudus* under subjection to stepwise temperature-increasing at ca. 2 °C intervals from 10 to 26 for 9 days and the subjection temperatures, plotted on theoretical curves expressing the rate-temperature relationships in acclimation and acute temperature-change. The curves are extrapolated over a measurement temperature range 20-26 °C. Each data point represents a mean group  $QO_2$  in 2 or 3 measurements, where the group comprised of 30 individuals. All of the  $QO_2$  values were corrected to 75g in wet weight.

viz. the predicted  $QO_2$  at 10 °C in 10 °C-acclimation and that at 20 °C in 20 °C-acclimation respectively. After the acute temperature-increasing to 20 °C, the  $QO_2$  of the 10 °C-acclimated group was near to the predicted  $QO_2$  at 20 °C in 10 °C-acclimation, and much higher than that at 20 °C in 20 °C-acclimation throughout the subsequent six days. On the other hand, for four days after the acute temperature-decreasing to 10 °C, the  $QO_2$  of the 20 °C-acclimated group was near to the predicted  $QO_2$  at 10 °C in 20 °C-acclimation, and much lower than that at 10 °C in 10 °C-acclimation. Then for the following two days,

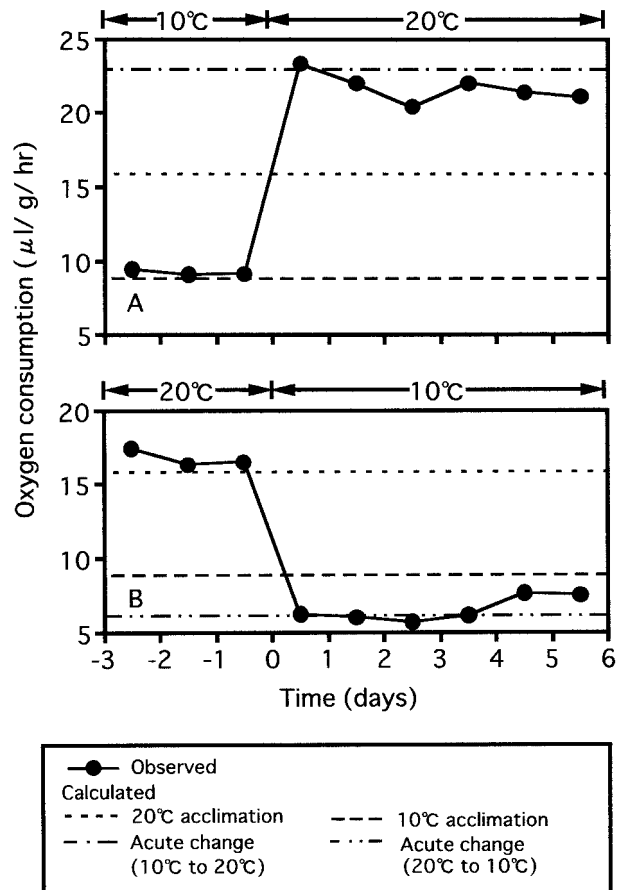


Fig. 6  $QO_2$  of both 10 °C-acclimated individuals (A) and 20 °C-acclimated individuals (B) of *Strongylocentrotus nudus* measured at the acclimation temperatures for 3 days and at acutely changed temperatures of 20 °C and 10 °C respectively for the subsequent 6 days plotted against time in day. Each data point represents a mean group  $QO_2$  in 2 or 3 measurements. All values are adjusted to represent rates for 75g urchins.

it was intermediate between the two.

#### 4 Discussion

In the results of the experiment on acclimation and acute temperature-change, no evidence of seasonal and/or size related influence was seen ( Fig. 3 ) although the data are inadequate to conclude that these factors had entirely no effect on the respiratory metabolism of the animals. On the assumption that these factors are negligible (discussed later), however, the results indicate that the animals showed a prominent compensatory adjustment of respiratory metabolism to the acclimation temperatures at the measurement temperatures after the acclimation for at least thirty days ( Fig. 4 )

Although no statistical analysis was made, the result of the experiment on stepwise temperature-increasing suggest that the animals showed no thermal adaptation of respiratory metabolism during the eight days' stepwise temperature-increasing from 10 to 24 ( Fig. 5 ). A temperature coefficient between 10 and 20 for the stepwise temperature-increasing was 2.370, which was much the same as that for the acute temperature-change. The stagnation of respiratory metabolism at the subjection temperature of 26 on the ninth day is considered to have occurred owing to physiological limitation rather than to achievement of thermal adjustment ( discussed later ).

In the experiment on short-term acclimation, the results imply that both the 10 -acclimated and the 20 -acclimated urchins could not completely improve adaptation of respiratory metabolism to the new temperatures of 20 and 10 respectively within the six days of the exposing period ( Fig. 6 ). The 20 -acclimated urchins seemed to have exhibited some compensation on the fifth day and the sixth day of the subjection period; however, the statistical significance of it is obscure, and the incidents of both the 10 -acclimated and the 20 -acclimated ones in this period contradict a common belief that acclimation to low temperatures takes longer than acclimation to high temperatures<sup>5,6)</sup>.

As Barcroft stated, " nature has learned to so to exploit the biochemical situation as to escape from

the tyranny of a single application of the Arrhenius equation<sup>7)</sup>. Jobling<sup>6)</sup>, in this regard, emphasized a distinction between " acute responses " and acclimation responses<sup>8)</sup>. " acute responses " refer to " those resulting from rapid daily fluctuations " in environmental temperature, and " acclimation responses " refer to " responses to be expected with long-term or seasonal changes " in environmental temperature.

Figure 7 shows seasonal changes in 10m-temperature off the coast of Tomari in Iwanai Bay. Environmental temperature experienced by the *S. nudus* varies from 6 in February to 23 in August in a year. Monthly changes in the temperature are 0.5 of the minimum in January and February; 4 of the maximum in May, June, and October; and 2.3 in the other months.

These temperature changes are so slow that laboratory acclimation for at least thirty days can be considered as approximating to the seasonal environmental temperature condition. Tamura<sup>13)</sup> and Ryabushko et. Al<sup>14)</sup> measured oxygen consumption rates for field acclimatized *S. nudus* at the ambient temperatures, and presented values of them in terms of wet weight:  $6.4 \mu\ell / g / hr$  for a 103 g urchin at 5 in Mutsu Bay in February and  $12.16 \mu\ell / g / hr$  for a 66 g urchin at 21 in Vostok Bay in August respectively each of them was measured in a closed respirometer by the Winkler method. Based on the above approximation, theoretical values equivalent to these are given by the substitution of "  $\theta = \theta_a$  " into Equation 4 :

$$\log M = A_1 + B_2 \cdot \theta_a + (1 - r) \cdot \log(75/W)$$

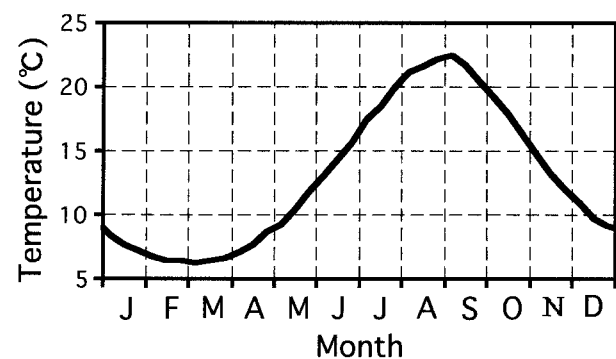


Fig. 7 Seasonal changes in 10m temperature at the site of Tomari Offshore Monitor, 1990-1999 mean (Hokkaido Electric Power Co., Inc.).



Then the theoretical values are  $7.5 \mu\ell / g / hr$  and  $16.1 \mu\ell / g / hr$  respectively, both of which are similar to the actual values.

This approximation, however, is a mere extrapolation from the results of acclimation and measurement conducted in a narrow temperature range 10–20 °C each, and the multiple regression model Equation 3 or 4 is based on the assumption that the temperature coefficient for acutely changed temperature  $Q_{10}$  is constant regardless of acclimation temperature or measurement temperature (Equation 5) thus, the temperature coefficient for acclimation temperature  $Q_{10}'$  is also constant (Equation 6). In fact, in ordinary cases,  $Q_{10}$  is lower in the higher range of measurement temperature<sup>2)</sup>, and the results of the experiment on stepwise temperature-increasing, in view of the wider measurement temperature range 10–26 °C, suggests such a tendency; the slope of the actual rate-temperature relationship of the 10 °C-acclimated urchins is steeper in low temperature ranges than in high temperature ranges (Fig. 5). Furthermore, generally, individuals adapted to the higher temperature exhibit the higher  $Q_{10}$ <sup>3,5)</sup>, although such a tendency was not found so far as this study was conducted; if the  $Q_{10}$  of the 20 °C-acclimated urchins were higher than that of the 10 °C-acclimated urchins, the rate-temperature relationship of the 20 °C-acclimated urchins would have a steeper slope than that of the 10 °C-acclimated urchins (Fig. 4). In addition, the acute temperature-change in this study can not be necessarily considered as approximating to rapid daily fluctuations in environmental temperature. This is due to the fact that the measurements were conducted in 32 hours from 10 hours after commencing the temperature-change, and there lies a possibility of rapid adaptation having occurred in the respiratory metabolism of the animals before the measurements<sup>6)</sup>.

The data analyses in this study are based on the assumption that the weight exponent  $r$  is constant regardless of acclimation temperature or measurement temperature, and is 0.65 of the value (Equation 2). This value is, as stated before, an approximate mean between  $r$  values 0.560 and 0.736 in allometric equations given by Ryabushko<sup>22)</sup>,

whose data, in fact, are expressed in terms of dry weight, whereas no more information on the data (e.g. adaptation temperature; measurement temperature; and the range of body weight) was available, and percentage water of *S. nudus* (ca. 65%) varies with the individual. Jobling<sup>5)</sup> reported that, in plaice (*pleuronectes platessa*) 5 to 50 g in wet weight,  $r$  is constant (=0.63) regardless of acclimation temperature or measurement temperature in the range 10–20 °C each. Percy<sup>1)</sup>, on the other hand, pointed out that, in green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) 5 to 70 g in wet weight, small individuals adapt to temperature better than large individuals; as a result, the  $r$  of summer (15 °C) acclimatized urchins was significantly higher than that of winter (0 °C) acclimatized urchins, although, in each of the seasons, the  $r$  was substantially constant (ca. 0.7 in summer and ca. 0.6 in winter) regardless of measurement temperature in the range 0–15 °C with exception of the highest  $r$  value (=0.8) of the winter acclimatized ones measured at the summer temperature 15 °C. At any rate, the majority of the estimates of  $r$  for regular echinoids lie within the range 0.5–0.8.

The experiments as a whole were carried out from January to July. The experimental animals were well fed under the maintained laboratory conditions for a month or more before being used, nonetheless the reproductive state of the animals in use was still considered to vary with the individual as well as with the experimental period. Several authors, in this regard, coincidentally reported that neither the indication of the significant effect of gonadal condition (and sex) on  $QO_2$  nor a significant correlation between  $QO_2$  and gonad index was found in regular echinoids (*Eucidaris tribuloides*<sup>11)</sup> and *Strongylocentrotus purpuratus*<sup>23)24)</sup>). Giese et. al.<sup>23)</sup> attributed the result to the following facts: the specific gravity of gonads is near to that of perivisceral fluid, and as gonads increase in volume inside the test of an urchin, they displace perivisceral fluid which consumes only a small amount of oxygen (the raw weight of the urchin thus remains constant), whereas, the gonads containing organic matter nonetheless also consume

only a small amount of oxygen (the  $QO_2$  per individual thus also remains constant), although the excised tissues of them consume a considerable amount of oxygen *in vitro* due to the increment of respiratory surface (this implies the limitation of oxygen supply inside the test); thus, the  $QO_2$  per unit nitrogen content was found to fall with rise in the gonad index. These facts are in agreement with the result of the present study: at least when measured at the acclimation temperatures, the  $QO_2$  values of the urchins acclimated at the same temperature were statistically identical regardless of the experimental period (Fig. 3).

It is generally accepted that the resting (or routine)  $QO_2$  of an aquatic poikilotherm under subjection to diminishing ambient oxygen tension ( $AO_2$ ) will remain relatively constant at least within a certain high  $AO_2$  range, but will decrease with decrease in  $AO_2$  below the range<sup>25)26)</sup>. Ryabushko et. Al<sup>14)</sup> reported that *S. nudus* showed the respiratory independence of DO concentration down to 3  $m\ell/l$  at 21 (55% saturation). The respirometric method applied to the present study (Fig. 1) allowed the measurement within the high  $AO_2$  range (75-100% saturation) to secure the oxygen adaptation of the animal, with an equilibrium point between oxygen absorption and oxygen depletion in the water raised by the mild aeration (Fig. 2) which simultaneously encouraged the oxygen diffusion in the water. The double film theory on gas-liquid interface<sup>27)</sup>, the theoretical basis of Moro-oka's method, is applicable only when the water is well mixed; otherwise accumulated oxygen in the surface layer of the water will avoid further absorption of oxygen into the water<sup>28)</sup>. Although formation of bubbles varies in cycle, this phenomenon as a whole is statistically stable at a constant air flow rate<sup>29)</sup>.

Ryabushko et. Al<sup>14)</sup> also pointed out that the  $QO_2$  of *S. nudus* was found to vary considerably with the individual in a high  $AO_2$  range (up to oxygen saturated tension) due to difference in motility with the individual; according to their notion, the  $QO_2$  in the high  $AO_2$  range is "the sum of both basal and active metabolism", and true "basal metabolism" is a stable  $QO_2$  which lies within the lower  $AO_2$  range. The respirometric method in the present study

allowed the measurement for 30 individuals at a time to secure statistically stable data, eliminating variance among individuals and the influence of occasional changes in  $QO_2$ , both of which might be caused by the random motility of the animal in the high  $AO_2$  range. The resulting data were well fitted to the theoretical curve ( $R>0.998$ ,  $N=25$ ); the assumption that  $QO_2$  is constant thus appears to be appropriate in practice (Equation 1). The  $QO_2$  values here are to be routine rates, because environmental oxygen tensions experienced by the animals in field are ordinarily nearly oxygen saturated tensions, and the activity of the animals in measurement is spontaneous without stress<sup>30)</sup>.

All measurements in the present study were carried out in the daytime (9:00-17:00), and no indication of the significant effect of time of day on the  $QO_2$  was found. The result is in agreement with reports of several authors; no clear indication of rhythms associated with a particular time of day or tidal cycle was found in the  $QO_2$  of *S. purpuratus*<sup>24)31)</sup>, and moreover, the difference between day and night in the  $QO_2$ -size relationship was not found to be significant in *Diadema antillarum*<sup>32)</sup>. Another factor, feeding, however, affects the  $QO_2$  of *Eucidaris tribuloides*<sup>11)</sup>, *S. droebachiensis*<sup>33)</sup>, and *S. purpuratus*<sup>34)</sup>, while measurement in present study aimed at minimal metabolism after fasting. More data are then considered to be required to predict the oxygen consumption of *S. nudus* under field conditions.

## 5 Summary

- (1) As a preliminary approach to the bioenergetics of *Stroglyocentrotus nudus*, oxygen consumption ( $QO_2$ ) measurement with particular reference to thermal adaptation of the species was carried out.
- (2) The measurement was made with 30 individuals at a time in a 30  $\ell$  mildly aerated free-surface water. An iterative least squares technique was employed for the analysis of oxygen depletion curves.
- (3) The respirometric method secured both the respiration independent ambient oxygen tension zone of the animals and statistically stable data. The resulting  $QO_2$  values are to be routine rates.
- (4) A prominent compensatory thermal adjustment

emerged in the respiratory metabolism of *S. nudus* with laboratory acclimation to 10, 15, and 20 for at least thirty days in a measurement temperature range of 10–20.

- (5) The 10 °C-acclimated urchins under the subsequent subjection to stepwise temperature-increasing at ca. 2 °C intervals from 10 to 26 for nine days showed no clear indication of thermal adjustment in respiratory metabolism.
- (6) Both the 10 °C-acclimated urchins and the 20 °C-acclimated urchins under the subsequent acclimation to 20 °C and 10 °C respectively could not completely achieve thermal adjustment in respiratory metabolism within the six days of the acclimation period.
- (7) As an attempt to predict the  $QO_2$  of field acclimatized *S. nudus*, the rate-temperature relationships were expressed by a multiple regression model of the form:
- $$\log M = 0.7014 + 0.0410 \cdot (\theta - \theta_a) + 0.0250 \cdot \theta_a + (1 - r) \cdot \log(75/W)$$
- where M is the  $QO_2$  per unit wet weight ( $\mu\text{ l/g/hr}$ ),  $\theta$  is ambient temperature (°C),  $\theta_a$  is adaptation temperature (°C), W is body weight (g), and r is the weight exponent, to which 0.65 was adopted.

## 6 Acknowledgements

I am deeply grateful to my colleagues Shoichi Akaïke and Fujinori Tsuda for collecting the specimens of *Strongylocentrotus nudus*, Iwanai Fishermen's Cooperative Association for permission to collect them, Dr. Keiji Matsuyama of Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station for providing valuable comment on earlier drafts of this manuscript, and many anonymous reviewers for their advice. Special thanks are due to Teruyasu Sakurai former Director of Hokkaido Nuclear Energy Environmental Research Center and Terumoto Sasaki present Director of the Center for affording me an opportunity to undertake and pursue this study.

## 7 References

- 1) Percy, J. A.: Thermal adaptation in the boreo-arctic echinoid, *Strongylocentrotus droebachiensis*

- (O. F. MÜLLER, 1776). Seasonal acclimatization of respiration. *Physiol. Zool.* 45(4), 277–289 (1972)
- 2) Jobling, M.: "Respiration and metabolism". Fish bioenergetics. London, Chapman & Hall, 1994, 121–128.
- 3) Bullock, T. H.: Compensation for temperature in the respiratory metabolism and activity of poikilotherms. *Biol. Rev.* 30(3), 311–342 (1955)
- 4) Edwards, R. R. C., Blaxter, J. H. S., Gopalan, U. K. and Mathew, C. V.: A comparison of standard oxygen consumption of temperate and tropical bottom-living marine fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 34, 491–495 (1970)
- 5) Boehlert, G. W.: Changes in the oxygen consumption of prejuvenile rockfish, *Sebastes diploproa*, prior to migration from the surface to deep water. *Physiol. Zool.* 51, 56–67 (1978)
- 6) Jobling, M.: A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish. Biol.* 20, 510–516 (1982)
- 7) Percy, J. A.: Thermal adaptation in the boreo-arctic echinoid, *Strongylocentrotus droebachiensis* (O. F. MÜLLER, 1776). Acclimation in the laboratory. *Physiol. Zool.* 47(3), 163–171 (1974)
- 8) Farmanfarmanian, A. and Giese, A. C.: Thermal tolerance and acclimation in the western purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. *Physiol. Zool.* 36(3), 237–243 (1963)
- 9) Ulbricht, R. J.: The influence of temperature acclimation upon the metabolic rate of the purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*: alternate interpretations. *Comp. Biochem. Physiol.* 45A, 677–681 (1973)
- 10) Ulbricht, R. J.: Effect of temperature acclimation on the metabolic rate of sea urchins. *Mar. Biol.* 19(4), 273–277 (1973)
- 11) McPherson, B. F.: Feeding and oxygen uptake of the tropical sea urchin *Eucidaris tribuloides* (Lamarck). *Biol. Bull.* 135, 308–321 (1968)
- 12) Miller, R. J. and Mann, K. H.: Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. Energy transformations by sea urchins. *Mar. Biol.* 18(2), 99–144 (1973)
- 13) Tamura, T.: On the oxygen consumption of several species of marine invertebrates in winter

- ( in Japanese : Tohki ni okeru kakusyu kaisan-musekitsui-dohbutsu no sanso-shyohhi-ryoh ni tusite ) *Suisangaku-zasshi* 38, 33 38( 1935 )
- 14 ) Ryabushko, V. I., Zhuchikhina, A. A. and Lutsik, N. V. : Effects of environmental oxygen concentrations on the level of metabolism of some echinoderms from the Sea of Japan. *Comp. Biochem. Physiol.* 67B, 171 174( 1980 )
- 15 ) Matsuyama, K. and Yokohama, Y. : Measuring respiration in two species of sea urchins by a simplified gas-volumeter ( in Japanese ) *Hokusuishi-geppoh* 41( 5 ), 207 214( 1984 )
- 16 ) Yokohama, Y. and Maegawa, M. : Measurements of photosynthesis and respiration of large samples by "Productmeter", a differential gas-volumeter ( in Japanese ) *Jpn. J. Phycol.* 36, 29 36( 1988 )
- 17 ) Agatsuma, Y., Nakata, A. and Matsuyama, K. : Feeding and assimilation of the sea urchin, *Strongylocentrotus nudus* for *Laminaria religiosa* ( in Japanese ) *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* 40, 21 29( 1993 )
- 18 ) Agatsuma, Y., Matsuyama, K. and Nakata, A. : Seasonal changes in feeding activity of the sea urchin in *Strongylocentrotus nudus* in Oshoro Bay, southwestern Hokkaido ( in Japanese ). *Nippon Suisan Gakkaishi* 62( 4 ), 592 597( 1996 )
- 19 ) Moro-oka, H. : On the oxygen consumption measurement of fish( in Japanese: Gyorui no sanso-shyohhi-ryoh no sokutei ni tsuite ) *Suisan-doboku* 2( 2 ), 13 18 ( 1966 )
- 20 ) Orvis, W. J. : 1 2 3 for Scientists & engineers ( in Japanese translation: Katsuyoh-hen ). Tokyo, Keigaku Pub. Co., 1990, 193p.
- 21 ) Glass, N. R. : Discussion of calculation of power function with special reference to respiratory metabolism in fish. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 26 ( 10 ), 2643 2650( 1969 )
- 22 ) Ryabushko, V. I. In: "The utilization of nutrients by post-metamorphic echinoderms" by Lawrence, J. M. and Lane, J. M.. In: Jangoux, M. and Lawrence, J. M., Ed., Echinoderm nutrition. Rotterdam, A. A. Balkema, 1982, 331 371.
- 23 ) Giese, A. C., Farmanfarmaian, A., Hilden, S. and Doezeema, P. : Repiration during the reproductive cycle in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. *Biol. Bull.* 130( 2 ), 192 201( 1966 )
- 24 ) Webster, S. K. and Giese, A. C. : Oxygen consumption of the purple sea urchin with special reference to the reproductive cycle. *Biol. Bull.* 148, 165 180( 1975 )
- 25 ) Tang, P. : On the rate of oxygen consumption by tissues and lower organisms as a function of oxygen tension. *Quart. Rev. Biol.* 8( 3 ), 260 274 ( 1933 )
- 26 ) Herreid , C., F. : Hypoxia in invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.* 67A( 3 ), 311 320( 1980 )
- 27 ) Lewis, W. K. and Whitman, W. G. : Principles of gas absorption. *Ind. Eng. Chem.* 16( 12 ), 1215 1220 ( 1924 )
- 28 ) Becker, H. G. : Mechanism of absorption of moderately soluble gases in water. *Ind. Eng. Chem.* 16(12), 1220 1224( 1924 )
- 29 ) Ohsawa, T. : The science of marvelous bubbles ( in Japanese: Awa no omoshiro kagaku ) Tokyo, Shokabo, 1996, 119p.
- 30 ) Itazawa, Y. : Respiration. In: Kawamoto, N., Fish physiology ( in Japanese ). Tokyo, Kosesha-koseikaku, 1970, 45 88.
- 31 ) Ulbricht, R. J. and Pritchard, A. W. : Effect of temperature on the metabolic rate of sea urchins. *Biol. Bull.* 142, 178 185( 1972 )
- 32 ) Lewis, J. B. : Respiration in the tropical sea urchin *Diadema antillarum* Philippi. *Physiol. Zool.* 41 ( 4 ), 476 480( 1968 )
- 33 ) Lilly, G. R. : The influence of diet on the oxygen uptake of the sea urchins, *Tripneustes ventricosus* and *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Comp. Biochem. Physiol.* 62A, 463 470( 1979 )
- 34 ) Farmanfarmaian, A. : The respiratory physiology of echinoderms. In: Booltian, R. A., Ed., Physiology of echinodermata. Interscience Publishers, 1966, 245 265.

# Summer and winter feeding habits of adult walleye pollock in the offshore waters of western Hokkaido, northern Japan Sea (Short Paper)\*<sup>1</sup>

Kouji KOOKA\*<sup>2</sup>, Akihiko WADA\*<sup>3</sup>, Ryotaro ISHIDA\*<sup>4</sup>, Takashi MUTOH\*<sup>5</sup>,  
Kouki ABE\*<sup>2</sup> and Hiroya MIYAKE\*<sup>3</sup>

Key words: feeding habits, Japan Sea, walleye pollock, *Theragra japonica*

Walleye pollock *Theragra chalcogramma* occurs in North Pacific, including the Japan Sea, and is largely exploited by commercial fisheries.<sup>1)</sup> It is also one of the dominant components of fish assemblages in the northern Japan Sea.<sup>2)</sup> In the northern Japan Sea, adults ingest large zooplankton in spring and autumn.<sup>3,4)</sup> However, feeding habits during other seasons are not known. In this study, we report on the summer and winter feeding habits of adult walleye pollock collected in the offshore waters of western Hokkaido, northern Japan Sea.

Summer sampling was conducted aboard the RV "Hokuyo Maru" of the Wakkanai Fisheries Experimental Station off western Hokkaido from 24 August to 1 September 1999. Fish samples were collected with a bottom trawl net (head rope: 26.6 m; ground rope: 31.0 m; net mouth: 2.8 x 12.5 m) with a 43-mm mesh codend, and were immediately frozen on board. When target fish observed with echo sounder (see below) were above the bottom, the trawl net was towed away from the bottom. Seven trawling (at depths of 343-653 m) and an acoustic survey were made between Hiyama and Musashi

Bank. Winter samples were obtained from longline fishing at Hiyama, which is near the spawning ground,<sup>5)</sup> on 20 December 1999. An acoustic survey was not made in winter. All samples were collected during the daytime.

In the laboratory, summer samples were thawed, and the fork length (FL) and body weight (BW) were measured to the nearest mm and g, respectively. Dissected stomachs were fixed in 10% formaldehyde. Food items were sorted to the lowest possible taxon, and the wet weight of each item was measured to the nearest mg. Fishes with everted stomachs or regurgitated stomach contents were excluded from the analysis. The relative importance of a prey item was expressed as a percentage of the total wet weight of all the items present in the samples (%W). The percentage frequency of occurrence (%F) was also calculated. A stomach-content index (SCI) was calculated as the percentage of the stomach contents weight (g) to the fish body weight (g). Stomach-content data were weighted using the mean of SA (area backscattering coefficient) which is proportional to the fish density.

---

Accepted : July 10, 2001. Contribution A334 from the Hokkaido Fisheries Experimental station .

( 報文番号 A334 (2001年7月10日受理) )

\*1 北部日本海北海道西岸沖に生息するスケトウダラ成魚の夏季・冬季における食性

\*2 Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan  
(小岡孝治, 安部幸樹, 北海道大学大学院水産科学研究科)

\*3 Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Hourai, Wakkanai, Hokkaido 097-0024, Japan  
(和田昭彦, 三宅博哉, 北海道立稚内水産試験場)

\*4 Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Hamanaka, Yoichi, Hokkaido 046-0021, Japan  
(石田良太郎, 北海道立中央水産試験場)

\*5 Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan  
(武籐卓志, 北海道立函館水産試験場)

Acoustical data were recorded with a calibrated echo sounder (Simrad EK 500) at 38 kHz and processed using BI 500 software. SA-values for 0.1-nautical-mile intervals were averaged by 10-minute square blocks. Echo-integration data of adult pollock were extracted by means of length frequency distributions and the relationship between target strength and fish length ( $TS = 20 \log(FL) - 66^3$ ). Winter samples, which were not frozen, were measured, fixed, and analyzed in the same method as the summer samples. In winter, saury bait of longline fishing found in the stomachs was omitted from the analysis.

In summer, adult fish is abundant in the southern part of the study area and concentrate at 400-500 m depth (Miyake *et al.*, unpubl. data). The mean stomach-content index was 1.28% BW in summer and 0.11% BW in winter. The percentage of empty stomachs was 1.9% in summer and 47.0% in winter. The sampling method used in winter might selectively catch hungry fish, resulting in a bias. However feeding activity generally decreases in the spawning period<sup>7)</sup>. So it is obvious that feeding of adult pollock is inactive in winter. The mean stomach-content index was about 0.4-0.5% BW in spring and 0.1-0.3% BW in autumn.<sup>3,4)</sup> These results are consistent with the annual feeding cycle in Toyama Bay, southern Japan Sea.<sup>8)</sup> Therefore, it is suggested that the feeding activity of adult pollock is high in summer. The overall diet composition is given in Table 1. In summer, the hyperiid amphipod *Themisto japonica* made up 84.8% of the diet by weight and was followed in abundance by Cephalopoda. In winter, *T. japonica* also dominated the diet (89.9%).

The great importance of *T. japonica* in the diet of walleye pollock has been previously reported in the southern Japan Sea.<sup>8,9)</sup> Although the data in this study is limited, it might be possible that walleye pollock and *T. japonica* play important roles through the prey-predator relationship in the pelagic food web of the Japan Sea ecosystem. Further research is needed to discuss the spatial and inter-annual variations of the diet.

We wish to thank the captain and crew of the RV "Hokuyo Maru" for their help; S. Takayanagi,

Table1 Summer and winter diet of walleye pollock in the offshore waters of western Hokkaido, northern Japan Sea

Prey item	August		December	
	%F	%W	%F	%W
<b>CRUSTACEA</b>				
Amphipoda				
<i>Themisto japonica</i>	96.2	84.8	96.2	89.9
<i>Primno abyssalis</i>	36.8	0.8	13.2	1.6
Euphausiacea				
<i>Euphausia pacifica</i>	10.0	0.2	9.4	1.9
<i>Thysanoessa longipes</i>	31.8	1.4	3.8	3.3
<i>Thysanoessa inermis</i>	1.0	+		
Unidentified euphausiids	13.8	+		
Mysidacea				
<i>Metyrthrops microphthalma</i>	32.4	1.5		
Copepoda				
<i>Neocalanus cristatus</i>	18.4	+	3.8	0.2
<i>Paraeuchaeta elongata</i>	50.0	0.5	7.6	0.6
<i>Metridia pacifica</i>	4.5	+		
Unidentified copepods	4.8	+		
Decapoda	5.4	1.3		
CHAETOGNATHA	15.9	+	1.9	0.2
CEPHALOPODA	39.3	12.4	5.7	2.2
Other prey items	3.0	+		
Fork length (mm, mean $\pm$ SD)	395 $\pm$ 27.0		397 $\pm$ 39.1	
Number of fish examined	107		100	
% empty stomachs	1.9		47.0	
SCI (%BW)*	1.28 $\pm$ 0.13		0.11 $\pm$ 0.13	
Total wet weight of stomach contents (g)	355.2		10.9	

%F: Percentage frequency of occurrence.

%W: Percentage of the total wet weight of all the items present in the samples.

+ : < 0.1

\*Weighted mean  $\pm$  deviation around the weighted mean.

Hokkaido Central Fisheries Experimental Station for assistance of summer sample measurement; K. Konishi, Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University for assistance of winter sample measurement; and J. R. Bower, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University for correcting the English of the manuscript

## REFERENCES

- 1) Wespestad, V. G.: The status of Bering Sea pollock and the effect of the "donut hole" fishery. *Fisheries*. 18(3) 18-24 (1993)
- 2) Nishimura, S.: The zoogeographical aspects of the Japan Sea, Part III. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* 13(5) 365-384 (1966)
- 3) Kooka, K., Takatsu, T., Kamei, Y., Nakatani, T.

- and Takahashi, T.: Food habits of walleye pollock inhabiting the mesopelagic zone in the northern Japan Sea in spring and autumn. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 63(4) 537-541 (1997)
- 4) Kooka, K., Takatsu, T., Kamei, Y., Nakatani, T. and Takahashi, T.: Vertical distribution and prey of walleye pollock in the northern Japan Sea. *Fisheries Sci.* 64(5) 686-693 (1998)
- 5) Maeda, T., Takahashi, T. and Nakatani, T.: Distribution, migration and spawning grounds of adult walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the coastal waters of Hiyama Subprefecture, Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 39(4) 216-229 (1988) (in Japanese)
- 6) Foote, K. G. and Traynor, J. J.: Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. *J. Acoust. Soc. Am.* 83(1) 9-17 (1988)
- 7) Maeda, T.: Fishing grounds of the Alaska pollock. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 38(4) 362-371 (1972) (in Japanese)
- 8) Uchiyama, I.: Composition of stomach content of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in Toyama Bay. *Bull. Toyama Pref. Fish. Res. Inst.* 11, 9-18 (1999) (in Japanese)
- 9) Sugisaki, H.: Ecology of the pelagic amphipod *Themisto japonica* in the Oyashio region and the Sea of Japan. PhD Thesis, University of Tokyo, Tokyo, 1991, 141p.





## 試験研究業績

外部刊行物への発表 平成12年度分

### 海洋環境部門

Recently observed delay in the occurrence of spring zooplankton biomass maximum in Ishikari Bay , western Hokkaido : 小鳥守之(中央水試), 平野和夫(釧路水試) PICES Abstracts 84 2000 .10

北海道忍路湾における春季ブルーム期のネット植物プランクトン群集の経年変化 : 鹿又一良(函館水試), 小鳥守之(中央水試) 日本プランクトン学会報 47(2) 93 100 2000 8

噴火湾における植物プランクトン組成の季節変化 : 嶋田 宏(中央水試) 沿岸海洋研究 38(1) 15 22 2000 8

珪藻ブルーム後に出現する渦鞭毛藻増殖と環境要因 : 宮園 章(函館水試), 嶋田 宏(中央水試) 沿岸海洋研究 38(1) 29 38 2000 8

北海道周辺の麻痺性貝毒プランクトンシストの水平分布 : 嶋田 宏(中央水試), 宮園 章(函館水試) 2001年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 202 2001 3

網走湖におけるカイアシ類 *Sinocalanus Tenellus* の季節消長 : 浅見大樹(中央水試) 2001年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 73 2001 3

網走湖産ワカサギ仔魚の食性 : 浅見大樹(中央水試) 北海道立水産孵化場研究報告 55 19 25 2001 3

北海道西岸における深海係留結果 : 中多章文(中央水試), 安永倫明(釧路水試), 田中伊織(中央水試) 東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター研究報告 25 56 57 2000 4

宗谷暖流の流量について : 田中伊織, 中多章文(中央水試) 東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター研究報告 25 57 2000 4

北海道周辺の海(2)オホーツク海 : 田中伊織(中央水試) 育てる漁業 333 3 8 2001 2

宗谷海峡を通過する海流の残差流量を水位差から推定する方法 : 田中伊織(中央水試) 日本海沿岸域における海峡モニタリングと波浪計測に関する研究集会 研究集会報告 238 246 九州大学応用力学研究所 2001 2

噴火湾におけるホタテガイ毒化(麻痺性貝毒)の長期変化 : 西浜雄二(栽培センター), 西田芳則(函館水試室蘭支場) 平成12年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集 2000 .12

### 資源管理部門

ニシンの資源と気候について ; 高柳志朗(中央水試) 北海道水産土木協会会報 79 5 2000 4

北海道後志西部海域におけるイカナゴ漁獲物の体長組成と時期的変化 : 高柳志朗, 石田良太郎(中央水試), 林 浩之(釧路東部地区水指) 平成12年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 38 2000 9

北海道後志西部におけるイカナゴ仔稚魚の成長 : 石田良太郎, 高柳志朗(中央水試), 林 浩之(釧路東部地区水指)

平成12年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 37 2000.9

石狩湾ニシンの生態と資源変動：高柳志朗，石田良太郎，佐々木正義（中央水試） 東大海洋研共同利用シンポジウム「ニシン科魚類の繁殖生態と資源変動」講演要旨集 9 2000.11

石狩湾に出現するヒラメ天然稚魚のふ化時期および着底時期：藤岡 崇，山口幹人（中央水試），田中 克（京大院農） 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 2000.4

北海道東部太平洋海域ケガニ資源の甲長コホート解析による資源量推定：山口宏史（中央水試），上田祐司，菅野泰次，松石 隆（北大院水） 日本水産学会誌 66(5) 833-839 2000.9

Population assesment using a length-based population analysis for eastern Hokkaido hair crab : 山口宏史（中央水試），上田祐司，菅野泰次，松石 隆（北大院水） 19th Lowell Wakefield Symposium CRAB2001 2001.1

比較操業実験法とSELECTモデル：西内修一（中央水試） 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 230 2000.4

Size selectivity of hair crab pots : 西内修一（中央水試） Reviews in Fisheries Science 9(1) 13-26 2001.1

Factors affecting the occurrence of early maturing males in the protandrous shrimp *Pandalus latirostris* : 千葉晋，五嶋聖治（北大水），水島敏博（中央水試），Mar Ecol Prog Ser , 203 215-224 2000

北海道エリモ以西太平洋海域におけるソウハチの資源解析：三原行雄（函館水試室蘭支場） 第35回資源管理懇談会会議要旨 2000.11

Pisces , Pleuronectiformes : Flatfishes from New Caledonia and adjacent waters ・ Genus *Arnoglossus* . : 三原栄次（函館水試室蘭支場） Resultats des Campagnes MUSORSTOM 21(184) 783-813 2000.8

根室海峡で漁獲されたスルメイカの発生時期について：佐藤 充（釧路水試） 平成12年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集 2000.12

1999年に道東沿岸に出現した成熟雌スルメイカについて：佐藤 充（釧路水試） 平成13年度日本水産学会春季大会講演要旨集 2001.4

スケトウダラ未成魚の日周鉛直移動パターンの季節変化と音響資源調査：志田 修（釧路水試），山村織生（北水研） 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 9 2000.4

Seasonal differences in diel vertical migration patterns of young walleye pollock , *Theragra chalcogramma* , and their impact on acoustic biomass estimation : 志田 修（釧路水試） ABSTRACTS BOOK International Symposium on Advanced Techniques of Sampling Gear and Acoustical Surveys for Estimation of Fish Abundance and Behavior 25 2000.10

スケトウダラ太平洋系群の資源変動と海洋環境との関連：志田 修（釧路水試） 平成12年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集 47 （ミニシンポジウム「北海道周辺の海洋環境と水産資源の変動」4 . 沖合魚類資源の生産特性の変化） 2000.12

- 胃内容物からみたケガニの食性：**佐々木 潤（網走水試）** 日本甲殻類学会第38回大会講演要旨集 32 2000 .11
- アリアケモドキ（スナガニ科）に見られる特異な交尾様式：**佐々木 潤（網走水試）**, 小西光一（養殖研） 日本甲殻類学会第38回大会講演要旨集 33 2000 .11
- Sex pheromones of the crab *Erimacrus isenbeckii* Part 1. Isolation and structures of the novel ceramides .: **佐々木 潤（網走水試）**他2名 Tetrahedron 65(51) 9895 2000 .12
- オホーツク海におけるスルメイカの漁獲と海洋構造：**中田 淳（稚内水試）** イカ類資源研究会議報告(平成12年度)印刷中
- 懸垂した活スルメイカのスプリットビーム法によるTS測定：**中田 淳（稚内水試）**他3名 イカ類資源研究会議報告(平成12年度)印刷中
- 何でこんなに獲れた,スルメイカ!?:**中田 淳（稚内水試）** 流水国際シンポジウム公開講座要旨 2001 .2
- Techniques for Identification of Patches Based on Data from Echo Sounder Surveys : **三宅博哉（稚内水試）**  
ABSTRACTS BOOK International Symposium on Advanced Techniques of Sampling Gear and Acoustical Surveys for Estimation of Fish Abundance and Behavior 30 2000 .10
- オホーツク海南部におけるアザラシ類の分布と生息数：**和田昭彦（稚内水試）**他5名 日本哺乳類学会講演要旨 2000 .9
- 北部日本海スケトウダラの夏季における食性：**和田昭彦（稚内水試）**他2名 日本水産学会春季大会講演要旨集 2000 .4
- 大型ホッケの年齢査定：**高嶋孝寛（稚内水試）** 平成11年度ブラザ関連調査研究事業報告書 93 103 2001 .3
- ホッケの産卵生態：**高嶋孝寛（稚内水試）** 育てる漁業 323 3 8 2000 .4
- 道北産マガレイの管理技術について：**星野 昇（稚内水試）** 日本鯨類研究所資源管理談話会講演要旨 2000 .11
- 道北産マガレイの漁獲体長制限について：**星野 昇（稚内水試）** 日本水産学会春季大会講演要旨集 2000 .4

## 資源増殖部門

- 無症状シロサケとIHNウイルス接種魚および接種株化細胞におけるIHNウイルスM2遺伝子のDNA型：**鈴木邦夫（中央水試）** 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 2001 .3
- 伝染性造血器壊死症(IHN)ウイルスに対する遺伝子読み枠ワクチン,その製法及び投与方法：**鈴木邦夫(中央水試)**  
国際特許 特願 2000 320013
- 市場調査は栽培漁業成功への第1歩 寿都町のクロソイ放流事業を例にして：**佐々木正義（中央水試）** 育てる漁業 331 2000 .12
- 北海道沿岸における増養殖ホタテガイの成長と季節パターンと餌料環境と経年変化：**宮園 章（函館水試）** 平成12

年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集 46 2000 .12

Changes in year-class strength of red halibut , *Hippoglossoides dubius* , in Funka Bay : 石野健吾 (函館水試)  
PICES Abstracts 2000 .10

マツカワ人工種苗の飢餓耐性 : 高谷義幸 (函館水試室蘭支場) , 川真田憲治 (稚内水試) 水産増殖 48(3) 517 522  
2000 9

ヤマセとホタテガイ浮遊幼生の分布変動 : 西田芳則 (函館水試室蘭支場) 北洋シンポ講演要旨集 2000 9

北海道沿岸産エゾホラ相の予報 : 栗原康裕 (網走水試) 日本貝類学会平成13年度大会研究発表要旨集 2001 .1

網走湖におけるヤマトシジミ浮遊幼生発生量の評価 : 田村亮一 (網走水試) 北日本ベントス談話会講演要旨集 5  
2000 .12

宗谷海域で実施しているヒラメ人工種苗の標識放流 : 今井義弘 (稚内水試) 育てる漁業 327 3 8 2000 8

バカガイの人工種苗生産について : 中島幹二 (稚内水試) 育てる漁業 324 3 8 2000 5

北海道鹿部産マナマコの成熟と性転換について : 酒井勇一 (栽培センター) , 下野 学 , 全先清通 (渡島東部水指)  
平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 110 2000 4

人工光の利用による餌料用微小藻類 *Pavlova lutheri* の培養器大型化に関する考察 : 中島幹二 (稚内水試) , 奥村裕弥  
(栽培センター) 照明学会誌 84 8A 502 506 2000 8

水産業における人工光の有効利用 : 奥村裕弥 (栽培センター) , 村上克介 (大阪府大) 電気四学会関西支部会「光  
環境と人, 動物, 水産」講演論文集 18 23 2000 9

Efficient culture method of *Pavlova lutheri* by light intensity control : 奥村裕弥 (栽培センター) , 中島幹二 (稚  
内水試) , 増田篤稔 (ヤンマーディゼル) , 高橋光男 (ヤンマー造船) , 向坂信一 (松下電工) , 洞口公俊 (松下電産) ,  
松山恵二 (栽培センター) , 村上克介 (大阪府大) BIO-ROBOTICS 2nd IFAC/CIGR international Workshop  
121 125 2000 .11

*Pavlova lutheri*の大量培養における光強度と細胞密度の関係について : 奥村裕弥 (栽培センター) , 中島幹二 (稚  
内水試) , 増田篤稔 (ヤンマーディゼル) , 高橋光男 (ヤンマー造船) , 向坂信一 (松下電工) , 洞口公俊 (松下電産) ,  
松山恵二 (栽培センター) , 村上克介 (大阪府大) 植物工場学会誌 12 4 45 51 2000 9

魚介類餌料用微小藻類の光合成活性に関する考察 : 村上克介 (大阪府大) , 奥村裕弥 (栽培センター) , 鎌田基司 ,  
原納 究 , 松本隆仁 , 村瀬治比古 (大阪府大) , 洞口公俊 (松下電産) 植物工場学会平成12年度講演要旨集 11 12  
2000 7

Stock enhancement of short-spined sea urchin , *Strongylocentrotus intermedius* and its effect on *Laminaria*  
Fishery in Eastern Hokkaido , Japan : 酒井勇一 (栽培センター) Aquaculture2001 Book of Abstracts 563 2001 .1

Effects of temperature on sex determination in marbled sole *Limanda yokohama* : 後藤理恵 (北大水) , 萱場隆昭  
(栽培センター) , 足立伸次 , 山内皓平 (北大水) Fisheries Science 66 400 402 2000 4

マツカワの初期卵形成過程の組織学的研究：東野敏及，三浦猛，三浦智恵美（北大水），萱場隆昭（栽培センター），山内皓平（北大水） 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 98 2000 4

Efforts to Understand Stock Structure of Summer Flounder (*Paralichthys dentatus*) in North Carolina ,USA: John S. Burke (NOAA, NOS, Center for Coastal Fisheries and Habitat Research), James P. Monaghan Jr. (NC Division of Marine Fisheries), 横山信一（栽培センター） Journal of Sea Research 44 111 122 2000 5

## 加工利用部門

最近の加工技術と分析技術～エクストルージョン・クッキング技術：北川雅彦（中央水試） 水産食品の事典 竹内昌昭，藤井建夫，山澤正勝 編 326 331 (株)朝倉書店 2000 5 25

機能成分の食品素材化～組織化技術：北川雅彦（中央水試） 水産食品の健康性機能 山澤正勝，関 伸夫，奥田拓道，竹内昭晶，福家道也 編 202 219 (株)恒星社厚生閣 2001 3 20

海洋生物由来DNAの抽出，分離技術に関する研究：北川雅彦，麻生真悟，蛭谷幸司，西 紘平（中央水試） 海洋生物由来DNAの新機能材料化に関する研究 平成11年度研究成果報告書 30 41 2000 3 (財)北海道科学産業技術振興財団

小型ホッケの高次加工新食品素材開発：蛭谷幸司，金子博実（中央水試） 地域水産加工技術高度化事業年度末報告会 印刷中

キタムラサキウニ肥育用飼料開発試験：菅原 玲，北川雅彦，麻生真悟（中央水試） 日本水産学会秋季大会講演要旨集 2000 9 28

ホッケの高次加工新食品開発試験：蛭谷幸司，金子博実（中央水試） 平成11年度地域水産加工技術高度化事業成果報告書 4 7 2000 3

こんぶ麺の保蔵性に関する研究：信太茂春（釧路水試）他2名 平成12年度 水産利用加工研究推進全国会議資料 198 201 2000

サケ鼻軟骨由来コンドロイチン硫酸のラットに対する抗肥満作用について：武田忠明（釧路水試）他9名 第21回日本肥満学会講演要旨集 116 2000 .10

サケ鼻軟骨由来コンドロイチン硫酸の開発と機能性：武田忠明，今村琢磨（釧路水試） 食品と開発 36(3) 54 55 2001 3

未利用海藻類の食品素材化技術開発：宮崎亜希子（釧路水試）他2名 平成8 - 12年度特定研究開発促進事業「低・未利用水産物を用いた新規食品素材の開発」総括報告書 1 15 2001 3

道東産アサリ貝の付加価値向上試験：船岡輝幸，飯田訓之，信太茂春（釧路水試） 平成12年度水産利用加工研究推進全国会議資料 194 197 2000 6

ガス置換包装によるホタテガイ生鮮貝柱の高品質保持：木村 稔，成田正直（網走水試紋別支場），今村琢磨（釧路水産試験場），潮 秀樹，山中英明（東水大） 日本水産学会誌 66(3) 2000 5

塩蔵品加工：阪本正博（網走水試紋別支場） 水産食品の事典（朝倉書店） 2000 5

ホタテガイ生鮮貝柱の硬化発現の季節変化：成田正直（網走水試紋別支場） 日本水産学会誌 67(2) 2001 3

二枚貝下痢性貝毒の地域的多様性：福士暁彦（網走水試紋別支場）他 9 名 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 42 2000 4

## 水産工学部門

一様流におけるホソメコンブ遊走子の付着機構：金田友紀（中央水試） 平成12年度日本水産工学会学術講演会講演論文集 77 78 2000 6

磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成機構とそれに基づく対策：桑原久実，金田友紀，川井唯史（中央水試） 平成12年度日本水産工学会学術講演会講演論文集 73 76 2000 6

一様流下における流速とホソメコンブ配偶体生長の関係：川井唯史，金田友紀，桑原久実（中央水試） 平成12年度日本水産工学会学術講演会講演論文集 79 80 2000 6

北海道南西部磯焼け地帯の囲い礁によるホソメコンブ群落の形成条件：桑原久実，金田友紀，川井唯史（中央水試） 海岸工学論文集 47 1181 1185 2000 .10

バカガイの潜砂行動に及ぼす流れの影響：櫻井 泉（中央水試） 平成12年度日本水産学会春季大会講演要旨集 78 2000 4

底質の理化学的性状とマクロベントスの群集構造に基づいたバカガイ漁場の環境評価に関する研究：櫻井 泉（中央水試）他 5 名 平成12年度日本水産工学会学術講演会講演論文集 131 134 2000 6

北海道島牧村沿岸のバカガイ漁場における底質環境とマクロベントス群集：櫻井 泉（中央水試）他 2 名 平成12年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集 26 2000 .12

北海道石狩湾新港周辺におけるマクロベントスの群集構造：櫻井 泉（中央水試），山下俊彦（北大院工），中尾 繁（北大水） 水産工学 37(2) 143 149 2000 .12

石狩湾周辺海域における内部波の形成と湧昇流の発生機構：瀬戸雅文（中央水試）他3名 海洋開発論文集 16 285 289 2000 6

大型藻類のゾーネーションに関する研究 アラメ，カジメ幼体に作用する流体力と流動環境：菅原顕人，小松洋久（東大海洋研），瀬戸雅文（中央水試） 海洋開発論文集 16 351 355 2000 6

深層水湧昇利用に向けた内部波エネルギー調査：瀬戸雅文（中央水試）他 2 名 海洋深層水研究 1(1) 23 26 2000 .9

北海道西岸海域の内部波の挙動に関する研究：奥野充一，大竹臣哉，上北征男（福井県大），瀬戸雅文（中央水試） 水産工学 37(1) 19 28 2000 7

沿岸海域における収束性残差流の発生機構に関する研究：瀬戸雅文（中央水試）他2名 平成12年度日本水産工学会  
学術講演会論文集 103 104 2000.6

振動流場における平板後流域の発達特性：瀬戸雅文（中央水試） 平成12年度日本水産工学会学術講演会論文集  
105 108 2000.6

結氷海域におけるアサリ漁場の形成条件：瀬戸雅文（中央水試）他3名 平成12年度日本水産工学会学術講演会論文  
集 139 142 2000.6

北海道における海洋深層水の利用の可能性：瀬戸雅文（中央水試） 月刊海洋号外 22 200 203 2000.9

北海道南西部磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の造成方法：桑原 久実，川井 唯史（中央水試） 育てる漁業  
325 2000.6

## 宗谷海域で標識放流されたヒラメ人工種苗の移動と成長

今井義弘・吉村圭三・清河 進

1996～1999年の9, 10月に宗谷海域で標識放流された総数120,000尾のヒラメ人工種苗の再捕結果により, 移動と成長を検討した。放流地区周辺では再捕が継続し, 放流後1年頃から再捕地点が南側に拡散した。再捕数は放流から約1.5～2年, 2.5～3年後の5～10月に多く, 1999年放流群を除いて, 各年とも全再捕数の40～66%が再捕された。1998年と1999年放流群の再捕頻度は, 放流地区周辺では全再捕数の60～80%, 石狩・後志海域, 桧山・渡島海域および青森県沿岸では10%以下と低かった。再捕数が多い宗谷日本海側と留萌北部海域では主に刺網や定置網で再捕された。一方, 放流魚は放流後300日以降, 6～11月の夏季から秋季に成長することが示唆された。1998年放流群の再捕時の全長は, 放流から1～2年後には他の放流年より平均4～6cmほど大きかった。放流地区の違いによる放流魚の成長の良否は判断できなかった。

A332 北水試研報 60 1-11

キタムラサキウニの呼吸代謝における温度に対する補償  
(英文)

大崎正二

キタムラサキウニの生物エネルギー論的研究の予備試験として, 水温への馴致条件を重視して本種の酸素消費量を測定し, 次の結果を得た。本種を実験室内で水温10, 15, 20 に30日以上馴致したところ, 測定水温10～20の範囲で, その呼吸代謝に水温への顕著な順応が現れた。10 馴致群を, 10～26 の範囲, 2 間隔で階段状に9日間水温を上昇させる条件に置いた場合, その間の本種の呼吸代謝には水温への明白な順応は現れなかった。また, 10 及び20 馴致群を, それぞれ20 及び10 で6日間再馴致した場合, その間の本種の呼吸代謝にも水温への実質的順応は見られなかった。本種のフィールドでの酸素消費量推定のため, 得られた酸素消費量と水温の関係を, 多重回帰モデルで表した。

A333 北水試研報 60 13-24

北部日本海北海道西岸沖に生息するスケトウダラ成魚の  
夏季・冬季における食性 (英文) 短報小岡孝治, 和田昭彦, 石田良太郎, 武籐卓志  
安部幸樹, 三宅博哉

夏季および冬季に北海道西岸沖で採集したスケトウダラ成魚の胃内容物を調べた。夏季, 冬季ともに浮遊性端脚類*Themisto japonica* が湿重量組成で胃内容物の大部分を占めていた(それぞれ84.8%, 89.9%)。スケトウダラの摂餌活動は夏季に最も活発であると思われる。以上より, 日本海亜寒帯水域においてスケトウダラと端脚類*T.japonica* は捕食-被食関係を通じた食物網の構成要素として重要な役割を果している可能性が示唆された。

A334 北水試研報 60 25-27



北海道立水産試験場研究報告 第60号

---

2001年10月1日発行

編集兼  
発行者

北海道立中央水産試験場

〒046 8555 北海道余市郡余市町浜中町238

電話 総合案内 0135(23)7451(総務課)

図書案内 0135(23)8705(企画情報室)

FAX 0135(23)3141

Hamanaka-cho 238 ,Yoichi-cho ,Hokkaido 046 8555 ,Japan

印刷所

(株)北海道機関紙印刷所

〒060 0806 札幌市北区北6条西7丁目

電話(011)716 6141

---