

I 調査課題名

沖合域漁場整備の手法開発

II 実施機関名

平成 22 年度～平成 24 年度 一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所
伊藤 靖、三浦 浩、松本卓也、田中浩生
平成 24 年度 株式会社アルファ水工コンサルタンツ
綿貫 啓、小池 哲、酒向章哲、中村知道、岩倉祐二

III 調査実施年度

平成 22 年度～平成 24 年度

IV 緒言

1 調査全体計画

1.1 目的

スケトウダラ（日本海北部系群）はこれまで沖合底びき網漁業、沿岸漁業ともに自主的な様々な資源管理の取組を行っているにもかかわらず、平成 2 年度をピークに資源量は減少を続け、産卵親魚量は過去最低の水準を更新するという厳しい状況となっている。

しかしながら、当該魚種の生態はほとんど明らかになっておらず、これまで漁場整備の対象となっていない。このため、当該魚種について、武蔵堆周辺海域においてフロンティア事業を実施することを想定した場合、どのような漁場整備を実施することが望ましいのか、必要な調査手法を検討したうえで、成長段階別の分布特性や摂餌状況などの生態を踏まえて明らかにすることを目的とした。

1.2 調査内容

既存知見から、スケトウダラ（日本海北部系群）の成長段階別の分布を整理して、武蔵堆周辺海域での生息状況等を取りまとめ、結果を踏まえてスケトウダラ日本海北部系群を対象とした場合の漁場整備の手法開発に必要なデータの把握を行った。

本調査は平成 22～24 年度の 3 ヶ年調査であり、最終年度は過年度の結果を踏まえ、漁場整備のターゲットとする成長段階を設定し、対象海域の水質、流況等の物理的環境を調査し結果を取りまとめた。

1) 研究開発事項

- ① スケトウダラ（日本海北部系群）の漁獲等既存資料整理
- ② スケトウダラ（日本海北部系群）の生態把握
- ③ スケトウダラ（日本海北部系群）を対象とした漁場整備手法の開発

2) 研究開発の方法

① スケトウダラ（日本海北部系群）の漁獲等既存資料整理

既往知見から、スケトウダラ日本海北部系群の成長段階別の分布を整理して、スケトウダラ日本海北部系群の成長段階に応じた武蔵堆周辺海域での漁場の利用状況についてとりまとめた。

② スケトウダラ（日本海北部系群）の生態把握

①の結果を踏まえ、武蔵堆周辺海域においてスケトウダラ（日本海北部系群）を対象とした漁場整備を検討するため、成長段階別の分布特性や摂餌状況等、生態把握を行った。項目は以下の通り。

(ア) 武蔵堆の周辺におけるスケトウダラの分布状況の確認

武蔵堆の天然礁においてROVを用いて幼稚魚および成魚の分布を確認した。

(イ) 幼稚魚および成魚の生息環境の分析

(ア)の観察地点において動物プランクトンの分布及び水質を調査し、幼稚魚および成魚の生息環境を分析した。

(ウ) 摂餌状況の把握

武蔵堆で操業する底曳船や調査船による漁獲物から幼魚および成魚の試料を入手し、胃内容物から摂餌状況を把握した。

③ スケトウダラ（日本海北部系群）を対象とした漁場整備手法の開発

上記①、②も含め、3ヵ年の調査結果を取りまとめ、スケトウダラを対象とした漁場整備手法の検討を行った。

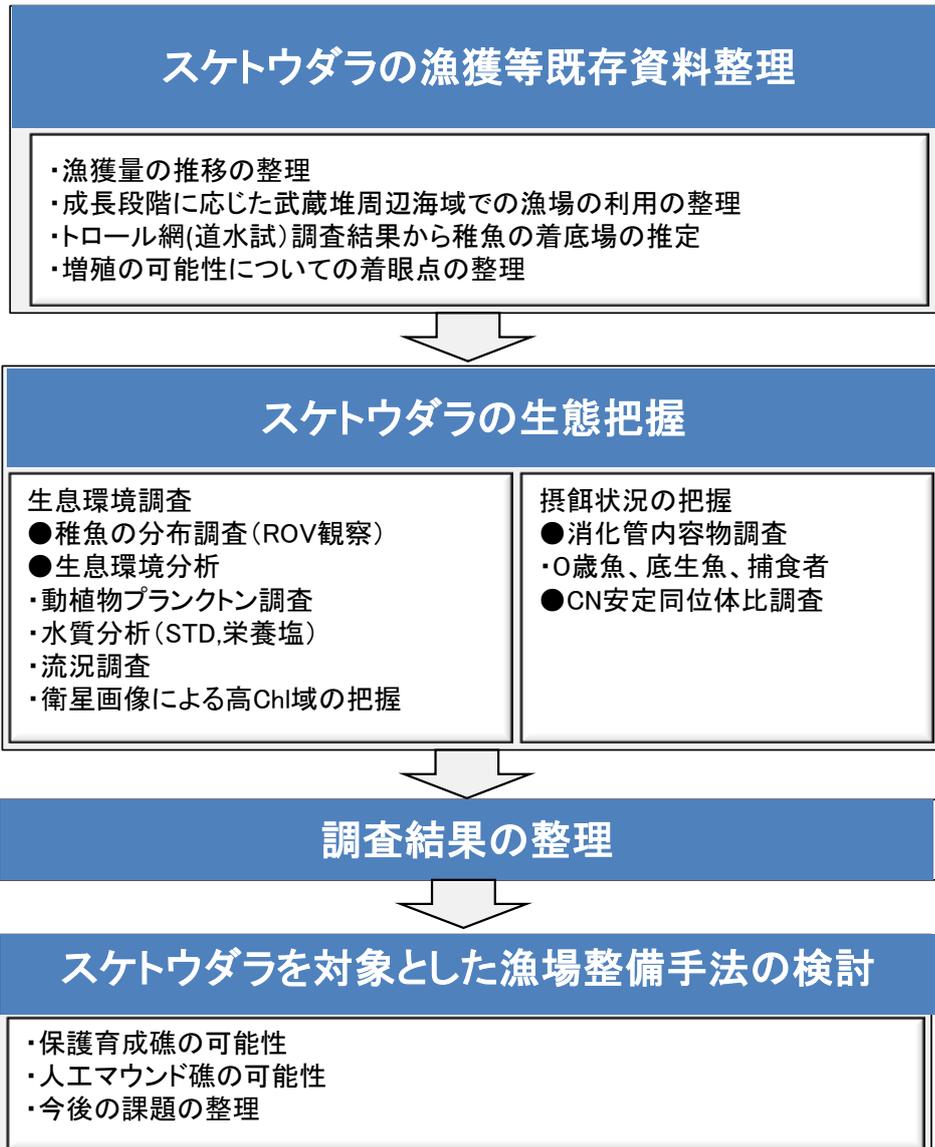


図 1.1 調査フロー図

3) ワーキンググループの設置

上記の検討を行うにあたり学識経験者等によるワーキンググループを設置し、調査結果について検討した。ワーキンググループ委員名簿を表 1.1 に示した。

表 1.1 ワーキンググループ委員名簿

	所 属	氏名
委員長	北海道大学大学院水産科学研究院海洋生物資源科学部門教授	桜井 泰憲
委員	東海大学生物理工学部 海洋生物科学科 教授	津村 憲
	独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部 中央水産試験場資源増殖部水産工学グループ 主査	桜井 泉
	独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部 中央水産試験場資源管理部資源管理グループ研究主幹	志田 修
	北海道水産林務部水産局水産振興課 主査	神田 譲治

4) その他

① 水産庁との協議

調査着手前、中間報告、調査終了後の計 3 回、水産庁漁港漁場整備部計画課調査班と協議を行った。

② 年度末報告会

水産基盤整備調査委託事業の広域漁場調査グループ（3 課題）の報告会で調査結果を発表し、有識者から意見を聞いた。

2 調査の概要

本調査の概要を以下にまとめた。

(1) 増殖にあたってのねらい

スケトウダラの生活史は、岩内沖等で冬季に産卵し、孵化後は表層付近を漂い、春のプランクトンブルームで成長し、夏季には体長 85mm 程度に育つと水深 150～250m（平均 200m 前後）に着底する。この水深帯でしばらく滞留し、成長につれてさらに深い水深帯へ移動する。スケトウダラの成魚の棲息水深は約 400m であり、人為的に保護や増殖は考えにくい。一方、着底期の水深 200m 前後までであれば人為的に保護や増殖が可能な水深帯であることから、本調査では 0 歳魚の着底するステージに着目した。

(2) 調査に当たっての仮説

調査に当たって、①当海域は対馬暖流の影響により、夏季には栄養塩が枯渇し、海域の生産量が低下し、餌料の不足が考えられる。②水温躍層の下には栄養塩の高い海水が分布しており、底層の流速が大きければ、海底地形の改変で湧昇流が起こす可能性が考えられる。③スケトウダラの捕食者は日本海側では明らかとなっていないが、捕食や漁獲による混獲から保護できれば減耗を防げる可能性がある、という仮説により、これを検証することとした。

(3) 調査方法

0 歳魚が着底する海域はトロール調査によりおおむね判明しているが、実際にその海底の状況は不明である。そこで、着底海域において、ROV 調査で 0 歳魚の分布状況の把握、さらに、水質や流況等の物理環境を把握することとした。また、生物環境としては、0 歳魚がどのような餌料を摂食し、どのような魚類に捕食されるかを調べるために、被食・捕食調査を実施した。

(4) 主要な結果

- ①底層の流速は 5～10cm/sec であった。
- ②夏季は表層の栄養塩が枯渇し、植物プランクトンが少なく、餌料である動物プランクトンも少なかった。
- ③スケトウダラは春には肥満度が高かったが、夏季には肥満度が低下した。
- ④スケトウダラ 0 歳魚の餌料は主に動物プランクトンで、時期や成長により多様な動物プランクトンを摂餌していた。
- ⑤スケトウダラ 0 歳魚の捕食者は、主にナガヅカやスケトウダラ成魚であったが、捕食圧は大きくなかった。

(5) スケトウダラの餌料培養礁

仮説①の餌料不足は確認されたが、仮説②の低層の流速が湧昇流を発生させられるほど速くなかったため、海域の基礎生産力を増大させることは難しいと考えられた。そのため、スケトウダラ 0 歳魚の餌料の増加による着底期の減耗を抑制する目的で、餌料培養礁を設置することにより、結果として捕食者や漁獲から保護できる可能性があるという結論に至った。

3 日本海北部系群の水産資源の状況

1) スケトウダラの資源量の状況

スケトウダラはわが国周辺海域において重要な底魚資源の一つである。現在の漁場は北海道周辺と本州北部の日本海側・太平洋側である。北海道周辺のスケトウダラは、根室海峡、オホーツク海南部の2つの海域、および太平洋系群、日本海北部系群の計4つの資源として管理されている（三宅，1991）。日本海北部系群の分布域はサハリン、北海道西側を経て本州新潟沖に達する（西村，2006）。日本海北部系群はかつて太平洋系群に次いで漁獲量の多い系群であった。1990年頃は140千トン前後の漁獲量があった（図 3.2）。この頃は韓国船による漁獲も行われていたが、新日韓漁業協定の発効にともない、1999年以降この海域での韓国によるスケトウダラ漁獲は行われていない。

日本海北部系群の漁獲量は1993年以降減少傾向を示しており、2007年度には20千トンを下回った。2011年度の漁獲量は11千トンとなっており（図 3.2）、スケトウダラ全体の漁獲量（238千トン）の1割を切るまでに減少しており、その回復が望まれている。



図 3.1 スケトウダラ日本海北部系群の分布域

出典；平成 24 年度資源評価票(ダイジェスト版)を一部改変

(<http://abchan.job.affrc.go.jp/index.html>)

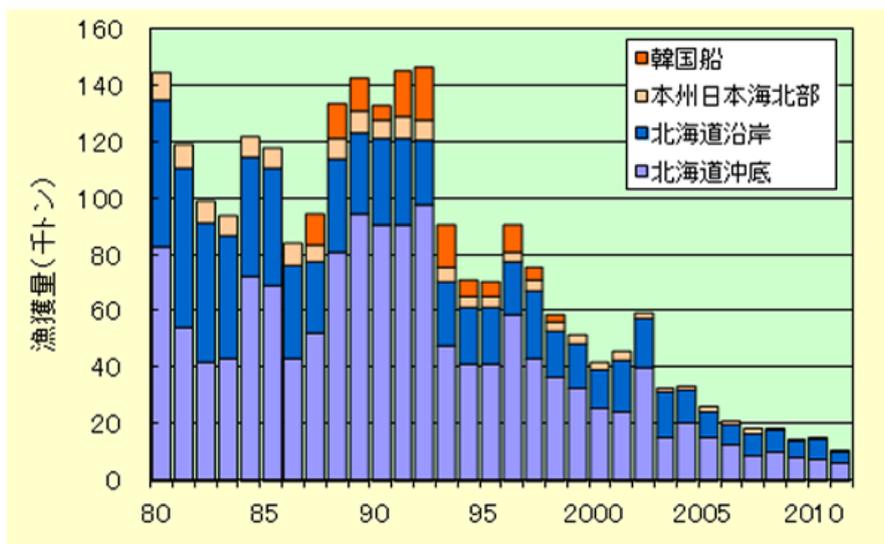


図 3.2 スケトウダラ日本海北部系群の漁獲量の推移

出典；平成 24 年度資源評価票(ダイジェスト版)

(<http://abchan.job.affrc.go.jp/index.html>)

2) 豊度の高い2006年級群

近年のスケトウダラ日本海北部系群では、漁獲量が減少しているが、2006年に比較的高い豊度を示した。道総研稚内水産試験場および中央水産試験場は2005年以降毎年8月に武蔵堆周辺海域でスケトウダラ0～2歳魚を対象とした計量魚探調査を実施している。その調査結果を図3.3に示す。0歳魚の現存量(尾数)は2006年が高い値を示したが、2007～2009年級群は低水準である。なお、2003年の0歳と1歳魚、2004年の0歳魚についてはデータを取得していない。

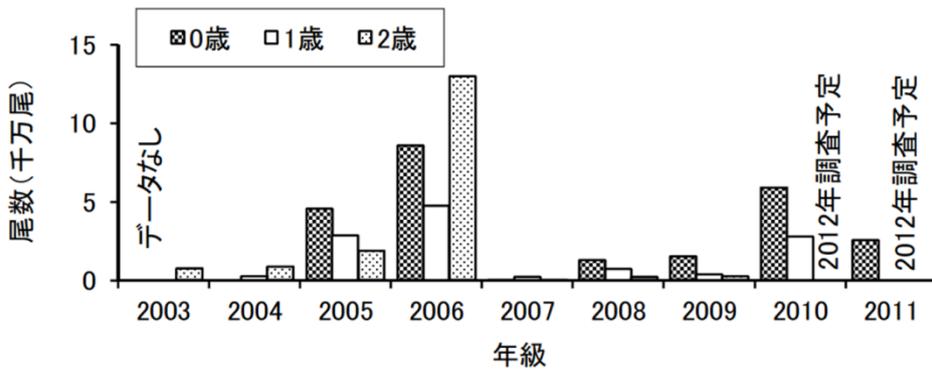


図 3.3 武蔵堆周辺海域におけるスケトウダラ0～2歳魚の現存量(尾数)の推移

出典；平成24年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価

(<http://abchan.job.affrc.go.jp/digests24/details/2410.pdf>)

3) 海域別のスケトウダラの分布量

北海道の日本海側におけるスケトウダラの分布量は、北海道水産試験場が定常的に実施している計量魚探調査とトロール調査によって整理されている(図3.4、図3.5)。2006年級群の成長にしたがい、北部海域では2008年以降2010年まで推定分布量が増加した(図3.4)。現在の漁獲物の多くは2006年級群(6歳；尾又長40cm前後)が主体と考えられているが、2010年以降は北部・南部海域とも資源量が減少しており、2006年級群の産卵による資源の嵩上げが期待されている。

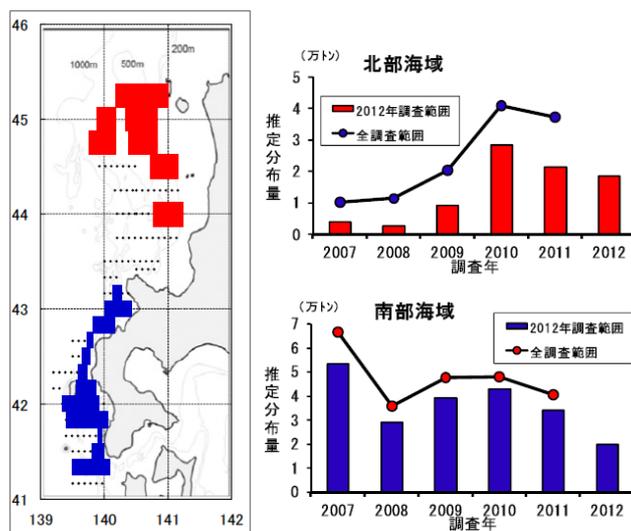
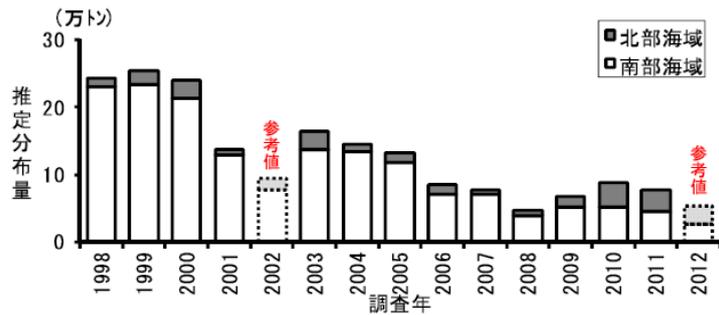


図 3.4 スケトウダラ海域別分布量 (青；南部海域、赤；北部海域)

出典；調査速報 日本海スケトウダラ資源調査結果—計量魚探—稚内水試ホームページ(2012.11)



参考図2 スケトウダラ分布量 (北部海域と南部海域の境界は北緯43度30分)

*) 2002年, 2012年は参考値

*) 2012年の推定法: 2012年調査範囲内の平均分布密度に調査予定範囲の面積を乗じて推定

図 3.5 スケトウダラ海域別分布量

出典; 調査速報 日本海スケトウダラ資源調査結果—計量魚探—稚内水試ホームページ(2012.11)

2002年と2012年(参考値)は、天候不良等により十分な調査面積を確保できていない。

4) スケトウダラとホッケの資源量の変遷

スケトウダラ日本海北部系群の資源の減少は日本海の漁業者には大きな影響を与えているが、スケトウダラの資源量の減少に伴い魚種の交替も見られた。スケトウダラ日本海北部系群が減少し、ホッケ道北系群の漁獲量が増大している。沖合底引き網漁業によるホッケの漁獲量およびCPUE(単位努力量当たり漁獲量)は1990年代に大きく増加し、1990年代後半～2000年代は高い水準で推移した(図3.6a)、スケトウダラは1990年代半ばに漁獲量が大きく減少したが、CPUEには大きな減少は見られなかった(図3.6b)。また、両種とも努力量は大きく減少した。努力量の減少は、減船やTACにともなう漁獲制限などが要因と考えられる。

1985年～2003年の沖合底引き網漁業による海区別漁獲量を図3.7に示すが、日本海北部海域からオホーツク海のスケトウダラが減少し、その代わりに日本海北部海域ではホッケが増加した。ホッケ道北系群の漁獲量は、1980年代後半以降増加し、1998年に20万トンを超えたが、2000～2005年は12～15万トンで推移していた。しかしながら、2009年以降は再び資源が減少し、2011年は5.3万トンとなった(図3.8)。

このように、近年では日本海北部海域ではホッケの資源量も減少傾向にあり、スケトウダラやホッケの早期の資源回復が緊急の課題とされている。

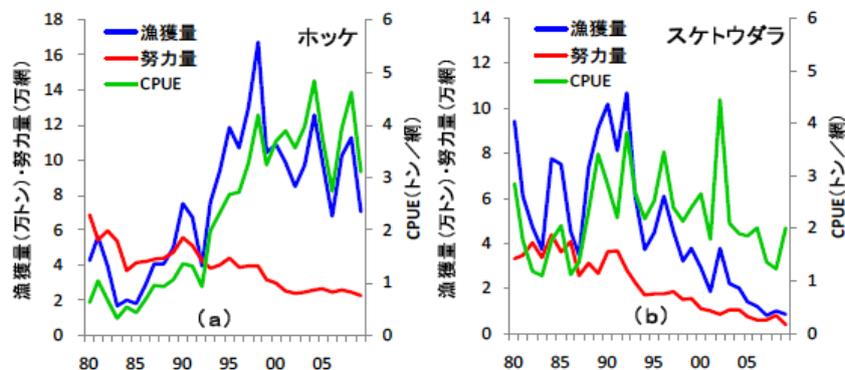


図 3.6 沖合底引き網漁業によるホッケ道北系群およびスケトウダラ日本海北部系群の漁獲量と努力量(有漁網数・標準化)、CPUEの経年変化(a:ホッケ, b:スケトウダラ)

出典; (森・山下, 2010)

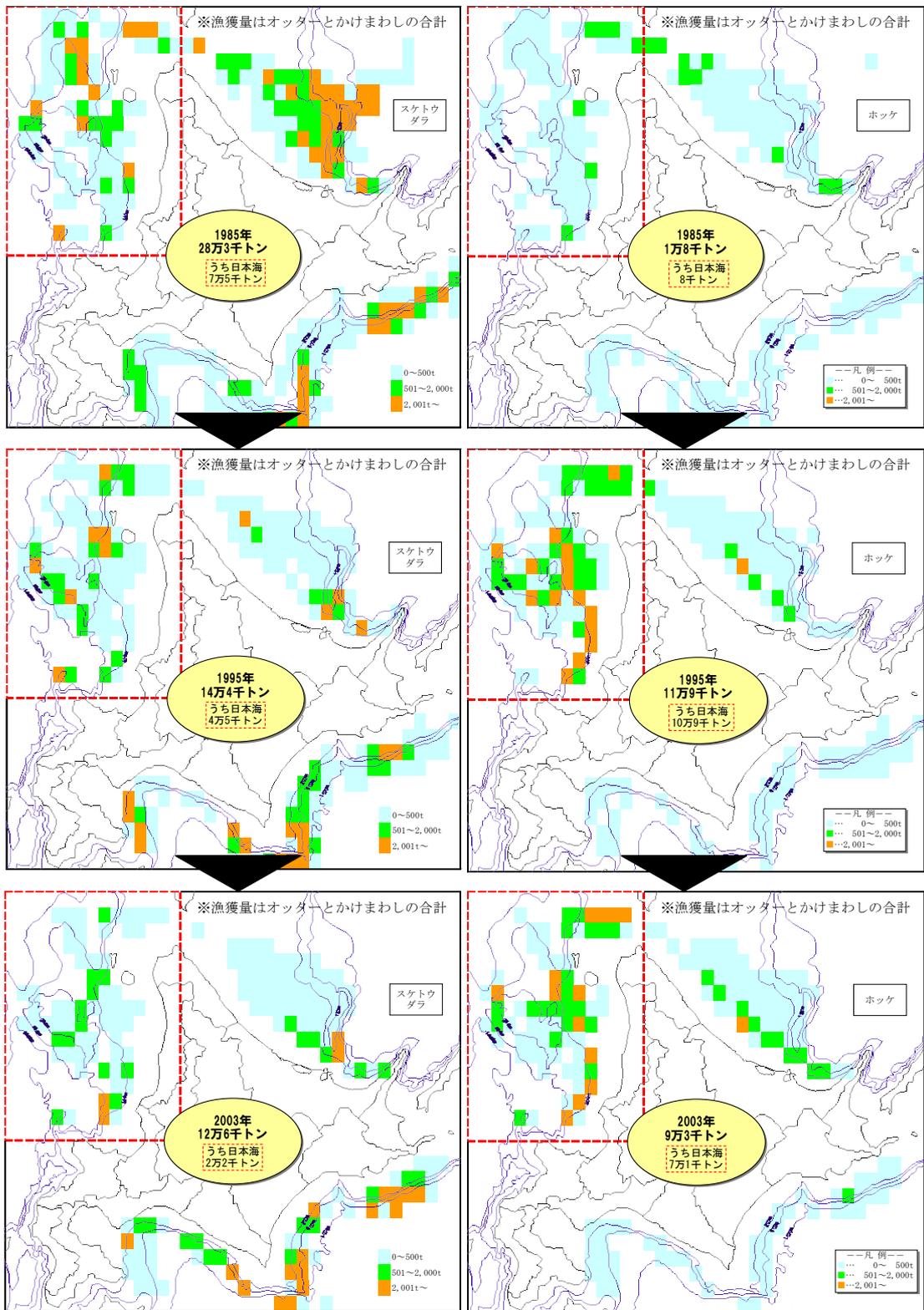


図 3.7 沖合底引き網漁業による海区別漁獲量の推移(左：スケトウダラ，右：ホッケ)

出典：平成 18 年度 広域漁場整備開発調査 北海道周辺海域における大規模漁場整備検討調査報告書

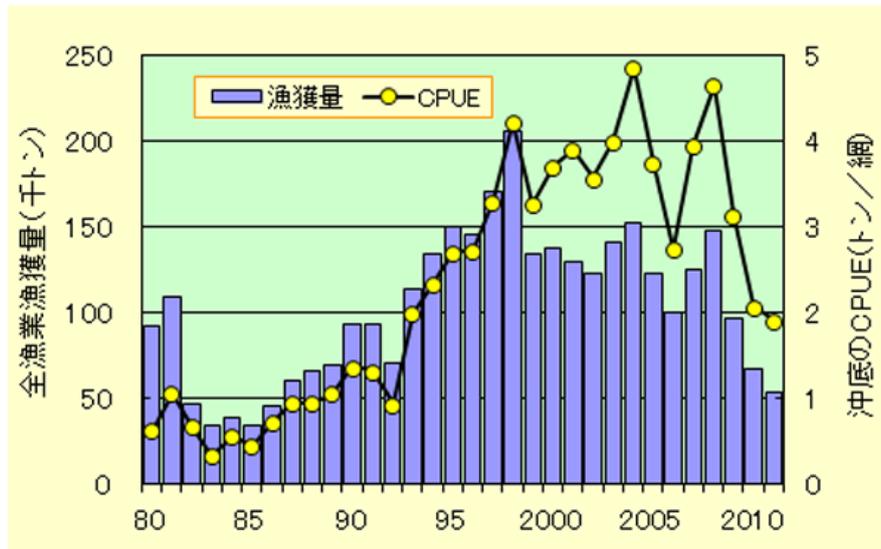


図 3.8 ホッケ道北系群の漁獲量の推移
 出典；平成 24 年度資源評価票(ダイジェスト版)

4 スケトウダラ日本海北部系群の生活史

スケトウダラの資源の回復には、漁獲制限を実施するだけでなく、その生活史を考慮した上で、実効のある保護・増殖施策を提案する必要がある。以下にスケトウダラの日本海北部系群の生活史をまとめる。

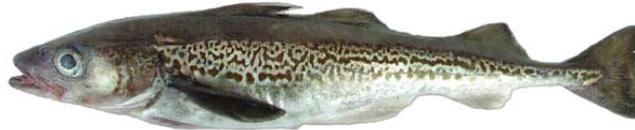


図 4.1 スケトウダラ (*Theragra chalcogramma* 英名: Alaska pollock)
出典; 平成 24 年度資源評価票(ダイジェスト版)

1) 産卵

日本海北部系群のスケトウダラの成熟は満 3 歳から始まり、満 6 歳でほぼ全ての個体が成熟する。産卵期は 12 月～3 月であり(前田ら, 1988)、産卵期のスケトウダラ分布水温は日本海檜山沖では 2～5℃とされている。かつては武蔵堆がスケトウダラの産卵場であったとの記録があるが、現在では、日本海北海道西岸で確認されている産卵場は、石狩湾、岩内湾、檜山沖の 3 カ所だけである(三宅ら, 2008)。

2) 浮遊生活から着底

水深約 200m で産卵し、産出された卵は、浮上し海流によって浮遊しながら大部分は北方へ輸送されながらふ化する(図 4.2, 図 4.3)。仔稚魚は石狩湾からオホーツク海沿岸に至る広い海域の表層に分布する(夏目・佐々木, 1995)。日本海に留まった稚魚は雄冬岬沖から礼文島周辺海域に至る大陸棚上の海域で底層生活に移行すると考えられている(佐々木・夏目 1990)。なお、既往の研究では、日本海北部系群における稚仔魚の食性は明らかになっていない。

3) 着底から分散

底層生活に移行する時のスケトウダラの全長は 85mm 以上とされる。過去のトロール調査によると、北海道側の陸棚斜面の水深約 200m 前後で全長 100mm 以下のスケトウダラが分布していた(図 4.3, 図 4.4)。底層生活に移行した後は、季節・日周的な鉛直移動を繰り返しながら武蔵堆周辺海域に分布を広げて成長する。成魚の生息水深帯は水深 400m 前後とされている。本系群の年齢と平均体長・体重の関係を図 4.5 に示す。また、本系群の成熟は満 3 歳から始まり、満 6 歳でほぼ全ての個体が成熟する(図 4.6)。寿命は不明だが 10 歳以上と考えられる。

4) 餌料および被捕食関係

日本海におけるスケトウダラ成魚の主要な餌料は端脚類やオキアミ類であるが(小岡ら 1997, Kooka et al. 2001)、イカ類、環形動物、小型魚類、底生甲殻類なども捕食している。口の形態は下あごが上あごよりも突き出ており、ベントスではなくプランクトン等を餌料とするのに適している。魚類による被食に関する情報は不明であるが、海獣類の餌料

として重要であると考えられており (Ohizumi et al. 2000)、キタオットセイやトドなどによる被食が知られている。太平洋系群ではスケトウダラ成魚による捕食が確認されているが、日本海北部系群では明らかになっていない。

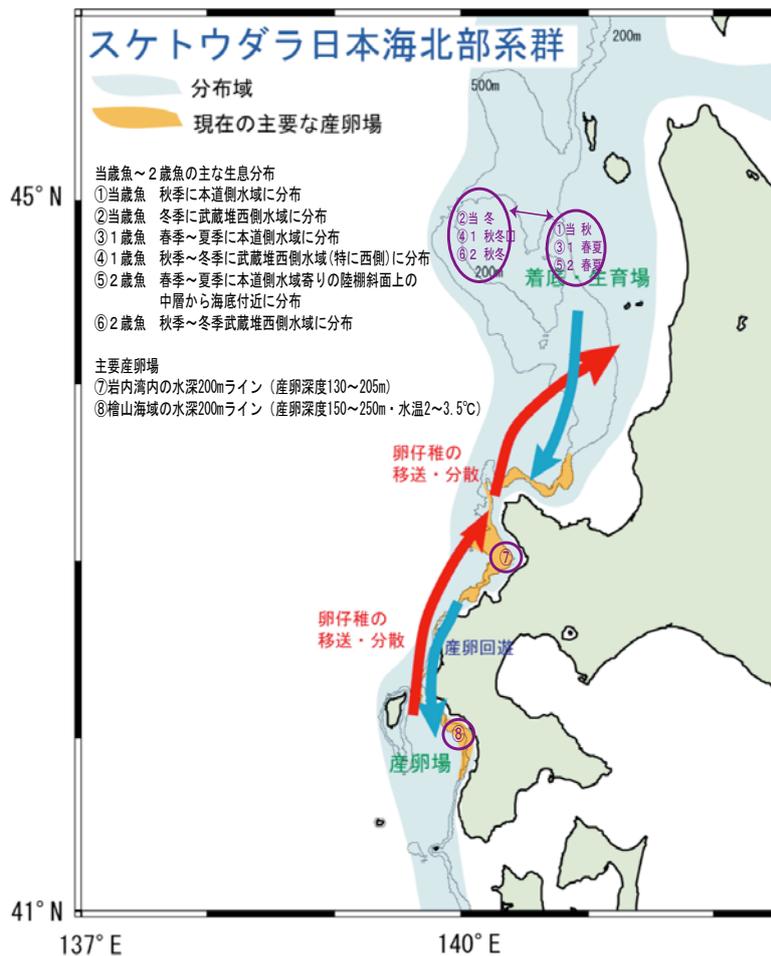
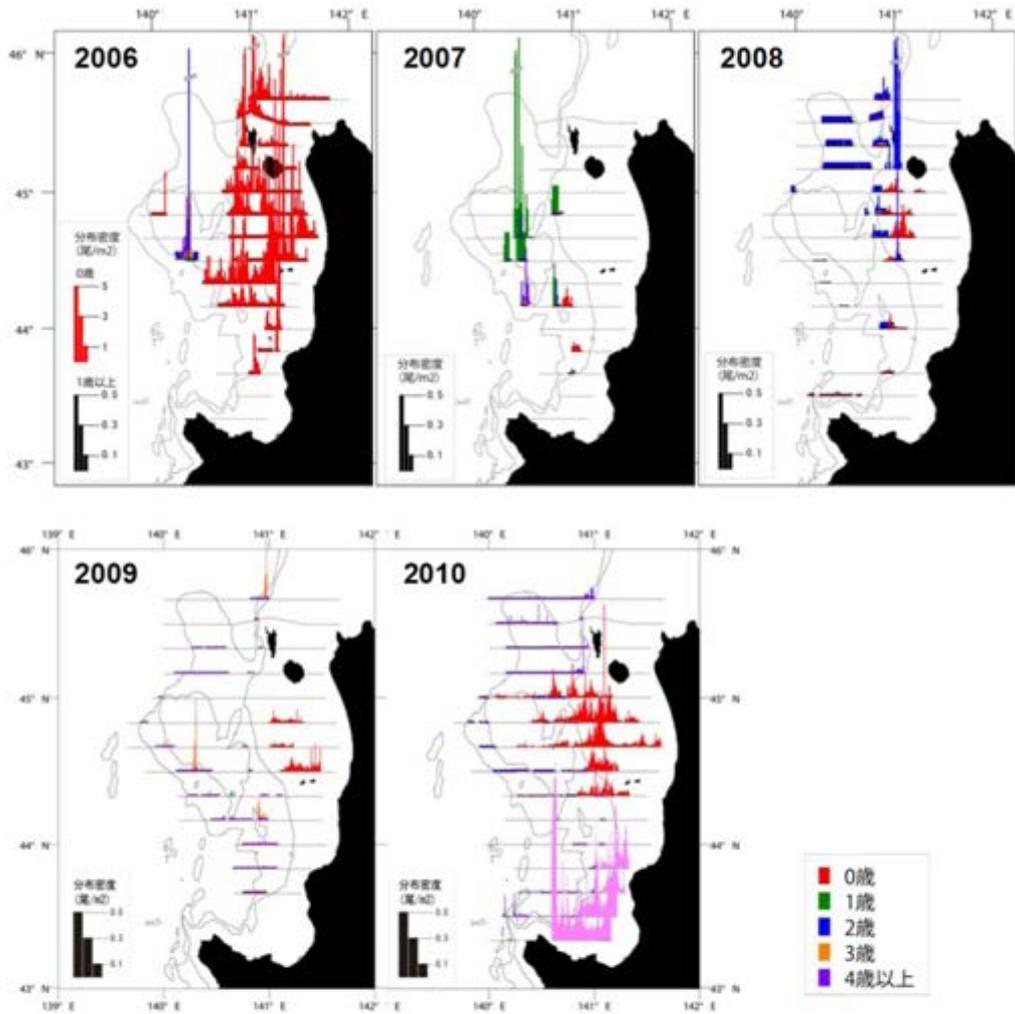


図 4.2 日本海北部系群スケトウダラの回遊

出典；水産庁 H19年度資源評価票(詳細版)を一部改変



補足図 3-5. 2006～2010年調査時（5月）の北海道西部日本海における計量魚探・トロール調査によるスケトウダラの年齢別分布パターン。バーの長さが0.1マイルごとの分布密度（尾/m²）、色が年齢（赤：0歳魚、緑：1歳魚、青：2歳魚、橙：3歳魚、紫：4歳以上）を示す。2010年は速報値。2010年の0歳魚のうち魚種確認ができていない分（南側4ライン分）は薄い赤で示す。

図 4.3 スケトウダラ日本海北部系群の年齢別分布パターン
出典；平成22年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価

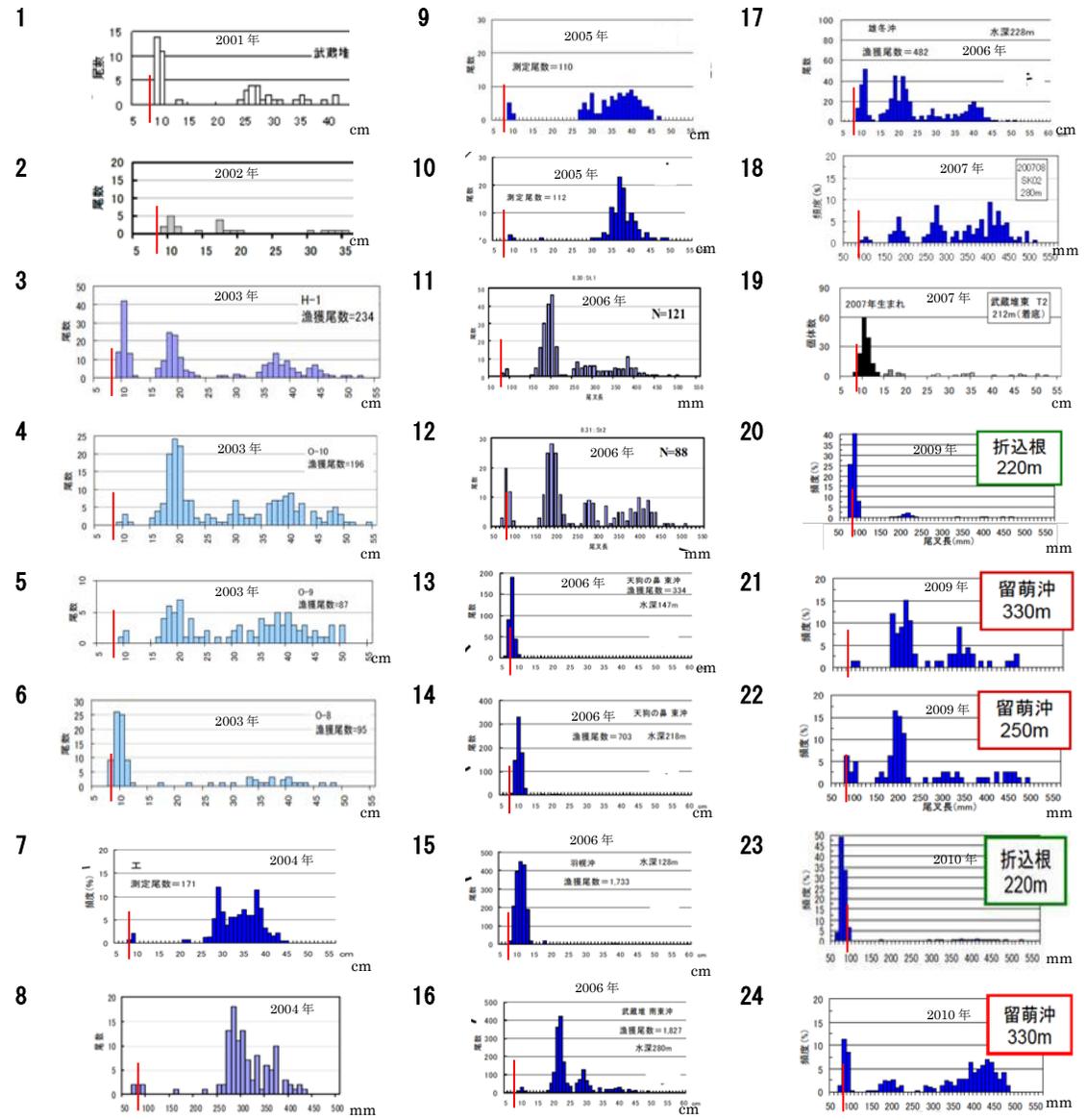
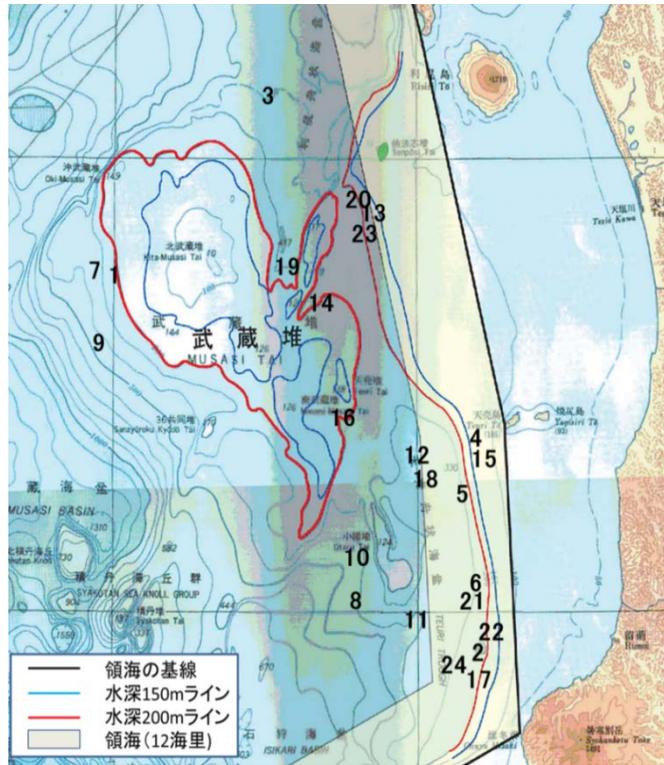


図 4.4 過去に着底期(85mm以上)のスケトウダラが分布していた箇所とその尾叉長のサイズ組成
 日本海スケトウダラ魚探調査結果速報(稚内水産試験場のホームページ)を加工して作成
 注) | : 85 mmのライン

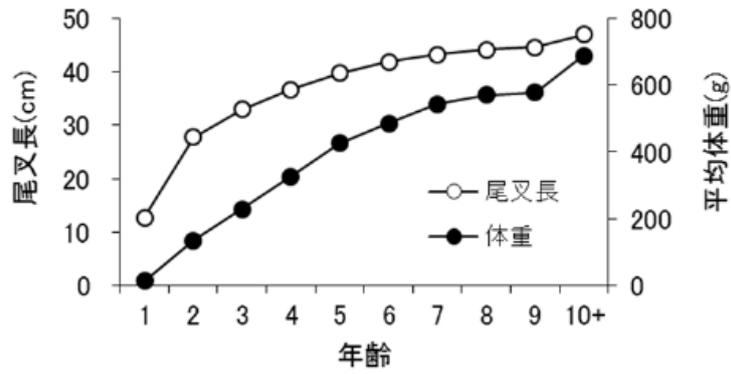


図 4.5 スケトウダラ日本海北部系群の成長
出典；平成 24 年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価

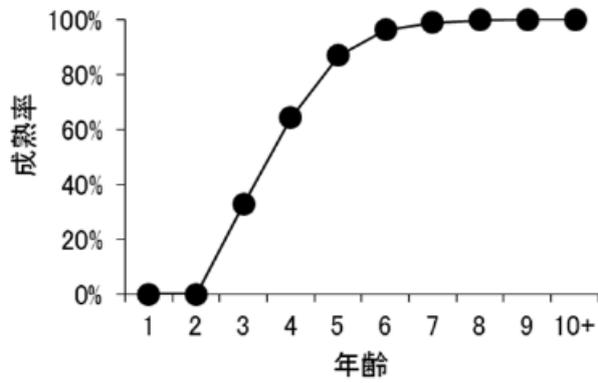


図 4.6 スケトウダラ日本海北部系群の年齢別成熟率
出典；平成 24 年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価

5) スケトウダラの生態的特徴の整理

スケトウダラの太平洋系群の生態的特徴に関する研究に比べ、日本海北部系群の生態に関する既往の研究成果は少ない。例えば、0歳魚が着底する海底の状況、餌料である動物プランクトンの分布や量などが不明のままである。既往の研究成果を整理して、日本海北部系群と太平洋系群の生態的特徴を下表に示す。本調査で判明した事項を以下の表に追加して、9章で整理する。

表 4.1 過去の調査報告によるスケトウダラの生態的特徴

	日本海北部系群	太平洋系群等
産卵場所と水深	岩内湾・檜山(乙部～相沼)沖の水深200m付近、水温2～5℃の範囲(八木・武藤 1993、三宅ら 2008)	噴火湾および周辺海域で、特に、湾口部から湾外陸棚水域に形成される(中谷ら 1987)。表層は氷点下になるので、卵は表面～水深50m層(KAMBA 1977)が多い。卵発生の適水温は0～7℃(中谷・前田 1984)
産卵期	12～3月で1～2月が最盛期(田中・及川 1968、Tsuji 1990、前田ら 1989、八木・武藤 1993)	12～3月(前田ら 1981、中谷ら 1987)
仔稚魚期の餌料	調査事例は無い	体長14mm以下ではカイアシ類のノープリウス幼生を餌とする(中谷・前田 1983)
着底水深	当歳魚は夏季～秋季にかけて増毛～稚内北西にかけての本道側の水域に着底する(佐々木・夏目 1990)。2009年8月のトロール調査では全長84～88mmの0歳魚が水深180～210mの海底に分布していた*1。	仔稚魚は7月上旬までは湾内の表中層域に分布するが、7月下旬には海底付近に移動する。噴火湾では体長の平均が68.7mmで底生生活に移行する(前田ら 1976)。着底水深は75～100mが多い(志田 2002)。
0歳魚期の餌料(着底時)	2009年8月の0歳魚の胃内容物調査では、体長60～95mmの0歳魚はカイアシ類とオキアミ類、十脚目を摂餌していた*1。	体長200mm以下では、春にはコペポータが多いが、夏以降ではオキアミが多くなる(中谷・前田 1983、前田ら 1980)。
成魚期の餌料	主要な餌料は端脚類、オキアミ類である(小岡ら 1997、Kooka et al. 2001)。その他、イカ類、環形動物、小型魚類、底生甲殻類などさまざまなものを捕食している。スケトウダラの0歳魚は摂食しないという指摘がある。	動物プランクトンのみでなく、魚類やイカ類の大型の餌料。スケトウダラの0歳魚や未成魚も餌料としている(前田ら 1981)。
被捕食関係	魚類による被食に関する情報は不明であるが、海獣類の餌料として重要であり(Ohizumi et al. 2000)、キタオットセイやトドなどによる被食が知られている。スルメイカ、オクカジカ、マダラ、ヒラメ等による被食の可能性はある。	道東海域における主要な捕食者は、マダラ、アブラガレイ、オクカジカだが、大型魚による共食いも行われている(Yamamura et al. 2001、Yamamura 2004)。日高湾ではスケトウダラ、ケムシカジカ、オクカジカ、アブラカレイ、ソウハチが当歳魚を捕食(山村 2011)。その他、トドなど。

(注) *1 ; 「平成 21 年度沖合域底層環境把握調査 日本海北部海域(武蔵堆)における検討」

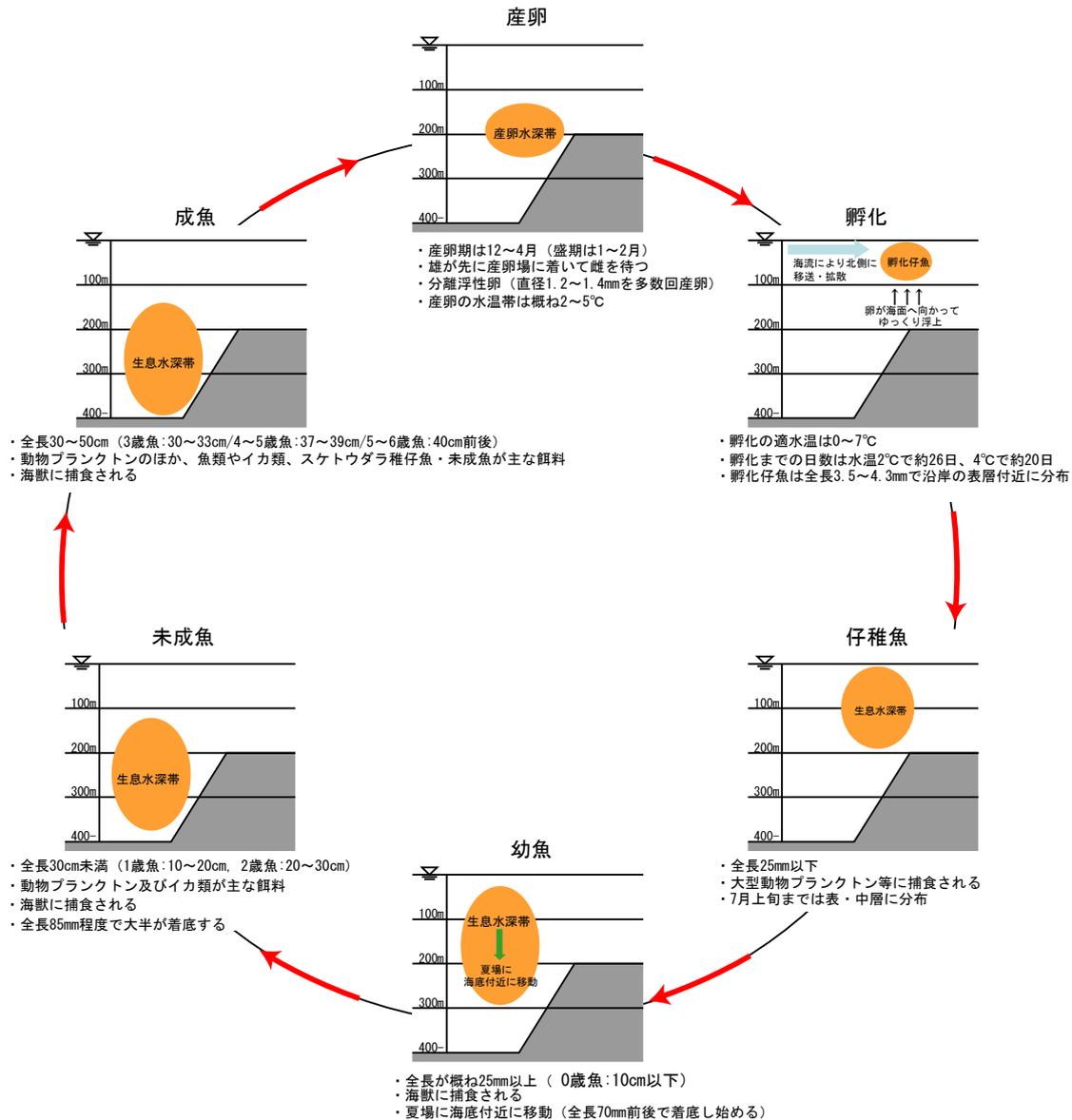


図 4.7 スケトウダラ日本海北部系群の生活史ならびに各成長段階における特性

表 4.1 や既往の研究成果をもとに上図にスケトウダラ日本海北部系群の生活史を整理した。スケトウダラは冬季に産卵し、孵化後は表層付近を漂流し、仔稚魚は図 4.2 に示すように北上する。夏季になり0歳魚が70mm前後で水深200m前後に着底し始める。その後、成長にしたがって、武蔵堆のより水深の深い海域へ移動する。餌料は0歳魚や成魚は動物プランクトンが多く、成長につれてイカ類や魚類を摂餌する。捕食者は海獣の報告がある。太平洋系群ではスケトウダラの成魚が0歳魚を捕食することが報告されているが、日本海では成魚による捕食は報じられていない。

5 スケトウダラ日本海北部系群の水産資源回復方策

5.1 フロンティア漁場整備事業として取り組むための課題

スケトウダラ日本海北部系群の資源量は著しく減少し、一時的にはホッケ資源が漁獲量を補っていたが、2009年以降はホッケ資源も減少した。そのため両魚種、特にスケトウダラの早期資源回復が緊急の課題となっている。

武蔵堆周辺海域は領海外で排他的経済水域 (EEZ) 内に位置する。0歳魚が着底する北海道側の陸棚斜面は領海の境界線に近く、一部の漁場は領海外で EEZ の範囲内となる。フロンティア漁場整備事業は領海外での漁場が対象となり、加えて対象魚種が TAC 対象種であることと増殖・保護が可能な種であることが必要である。

日本海北部系群のスケトウダラは TAC 対象種であるが、その保護施策は資源管理が中心であり、海域の基礎生産量増大や魚礁を設置するという視点の保護は検討されてきていない。そこで、フロンティア漁場整備事業として推進するには、スケトウダラ日本海北部系群の生態的特性および棲息環境に関する知見を集積して、増殖・保護が可能であるか判断する必要がある。

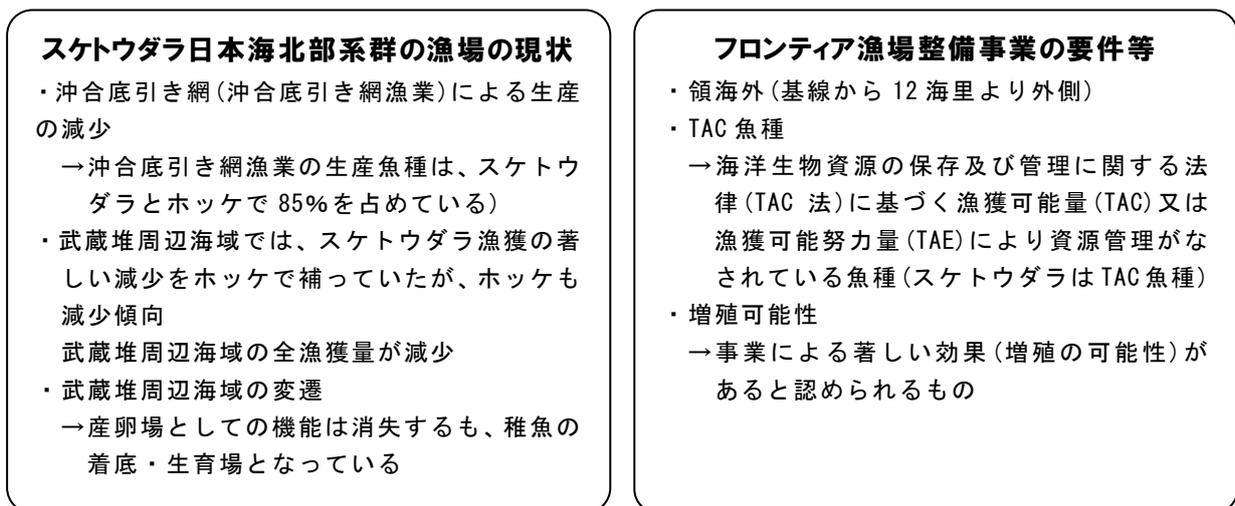


図 5.1 フロンティア漁場整備事業で推進するための要件

5.2 スケトウダラ等の資源を増殖するための基本的な考え方

前述のとおりスケトウダラの浮遊している仔魚期のステージは広域に分布すると考えられ、人為的な保護は難しい。また、成魚になると水深 400m 付近に分布するので、費用や施工の観点から保護や増殖の施策を講じることは困難である。しかし、水深 200m 前後での稚魚の着底時であれば、初期減耗を抑制する方法や費用・施工面の実現性の観点から検討の可能性がある。そこで、本調査では、スケトウダラが表層生活から底層生活に移行する着底期(夏季から秋季)における「餌料環境の向上」および「食害等による減耗の軽減」に着目し、以下のような仮説を設定した(図 5.2)。

1) 餌料環境の向上

<仮説 1>

着底期である夏季はプランクトンブルーム終了後であり、植物プランクトンが減少する時期である。その結果、海域の生産量が低下し、スケトウダラの餌料である動物プランクトンが減少する。

<仮説 2>

スケトウダラの未成魚は体の代謝を落とすかのように低温の深所に次第に移動する。太平洋側の調査結果によると、深所に分布する成魚や害敵による食害の遭遇を避けるため、水深約 200m で一時期を過ごすと考えられている。したがって、この成育段階において、餌料環境を向上させ成長が促進されれば、初期減耗が低下すると考えられる。

具体的には、漁場の海底地形の一部の改変により栄養塩の豊富な底層水を有光層に湧昇させることができれば、植物プランクトンおよび0歳魚や成魚の餌料である動物プランクトンを増殖させることも考えられる。また、これにより餌料環境の向上及び資源量の底上げが期待される。

2) 餌料培養礁の造成

<仮説 3>

未成魚期のスケトウダラの魚礁性は不明である。未成魚を捕食する魚類や海獣は明確ではないが、外敵の来襲を避けるべく魚礁の内部に逃げ込む可能性はある。もしスケトウダラに魚礁性があるなら、餌料培養のための魚礁は逃避場所になり、漁業による混獲や害敵からの保護機能も期待できる。

なお、魚礁性が強いホッケの生息水深帯はスケトウダラの生息水深帯よりやや浅いが、スケトウダラが分布する水深帯でもホッケが確認されているので、スケトウダラ餌料培養礁はホッケの資源量保全にも貢献する可能性がある。

上記の仮説を検証し、スケトウダラの0歳魚の減耗を低減できるか検討するには、まず、スケトウダラの0歳魚が夏季に着底する海域を特定し、その場の物理環境、生物環境(食物連鎖)を把握し、海域の生産性を向上させることが可能か、0歳魚を保護することが可能か検討する必要がある。具体的には、以下の調査を実施し、対策の可能性を検討することとした。

- ①0歳魚の着底海域の特定とその海底の概観の把握
- ②夏季の水質、栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトンの状態を把握
- ③湧昇流等鉛直混合を発生させる流速の把握
- ④魚礁性の有無、捕食・被食の関係の把握、保護の可能性の検討

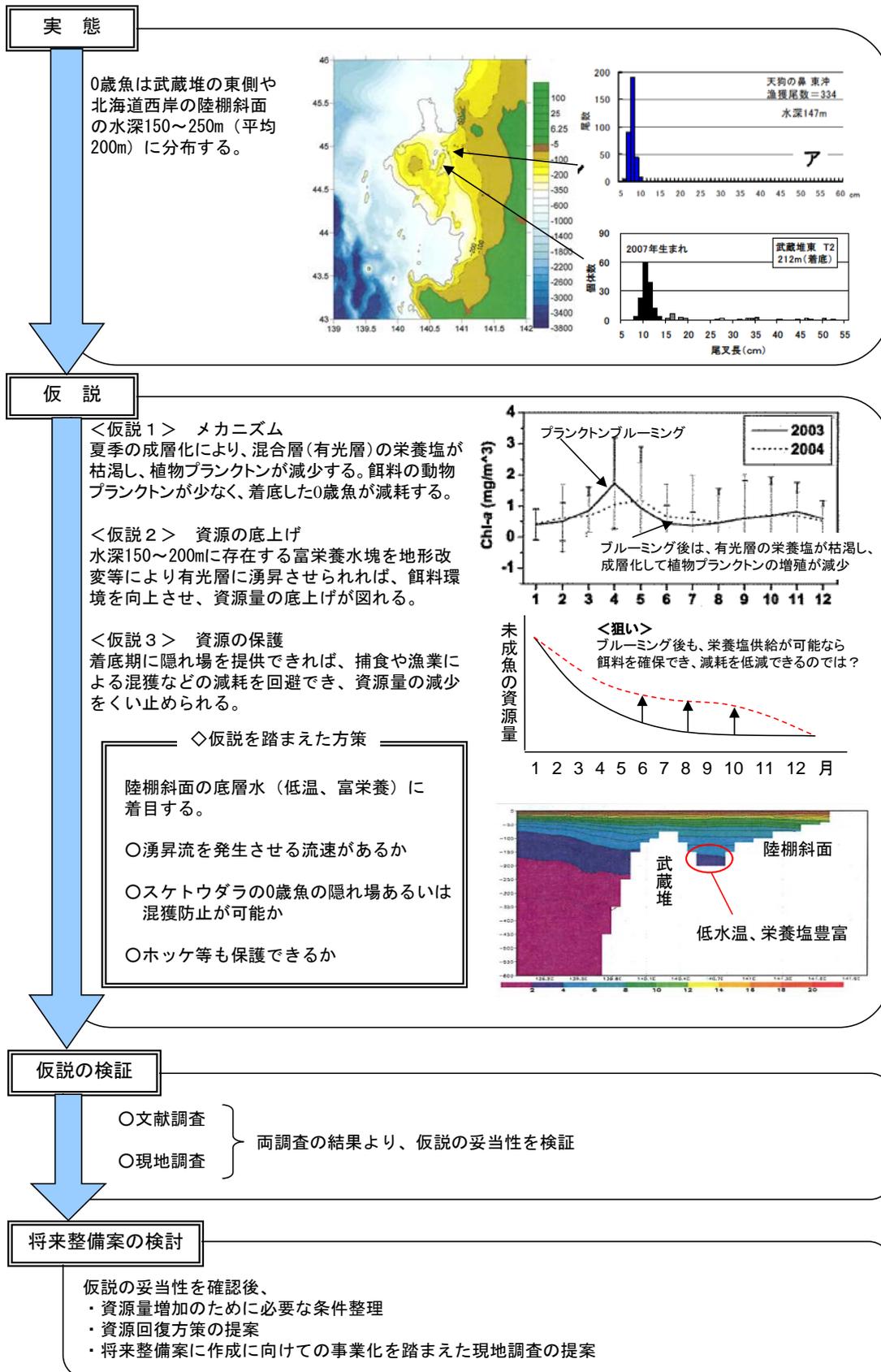


図 5.2 武蔵堆周辺海域における資源回復に向けての検討の流れ

V 調査方法

夏季における海域の生産力増大策やスケトウダラの0歳魚の保護礁を検討するには、以下に示すスケトウダラの生態に関する基礎的事項を把握することとした。

- ①着底後のスケトウダラ分布域の環境の把握
- ②スケトウダラの餌料種およびその量
- ③競合種や捕食者

本調査では、まずROV調査によって、0歳魚の分布している海域を特定し、その海域の水質や動物プランクトンおよび0歳魚の餌料を把握することとした。そして、3カ年調査の最終年にあたる平成24年度には栄養塩濃度、植物プランクトン、流動環境の調査、衛星画像を用いた高クロロフィル海域の選定方法の検討を追加し、着底したスケトウダラの生育環境を把握することとした。

各調査の目的を下表に示す。また、以下に項目毎に調査方法を整理した。

表1 各調査の目的と実施年度

項目	測定対象	調査目的	H22	H23	H24
ROV調査	海底状況の動画、静止画撮影	0歳魚の生息位置の特定と生息環境の把握	○	○	○
水質調査	STD;鉛直プロフィール	水塊構造の把握	○		○
	採水;6層(栄養塩)	海域の生産性を把握するための栄養塩濃度の把握			○
植物プランクトン調査	採水;6層;	基礎生産の状況の把握			○
動物プランクトン調査	鉛直曳き;3層	餌料生物の分布の把握	○		○
底層の流動環境調査	水深100m~200m ADCP(24層)による20昼夜の計測	0歳魚が着底している底層の流動環境の把握 湧昇流発生工のための基礎資料			○
衛星画像解析調査	クロロフィル画像解析	高クロロフィル海域の抽出 事業実施の適地選定手法の検討			○
0歳魚や底魚の食性調査	胃内容物調査	0歳魚の食性把握 スケトウダラを含む底生魚の食性の把握と捕食者の抽出	○	○	○
安定同位体比解析	魚体・胃内容物・動植物プランクトン	0歳魚を中心とした食物連鎖の把握、捕食者の抽出		○	○

1 調査地点の選定

スケトウダラの0歳魚が着底する海域は、トロール調査や計量魚探の既往の調査結果から、IV緒言の図 4.3 や図 4.4 に示される陸棚斜面の水深約 200m であると考えられた。しかし、対象海域が広大であることと年によっては分布が異なることもあり、スケトウダラの0歳魚を確認するには、より詳細に調査適地を選定せねばならない。そこで、過去の調査事例や有識者の助言を参考に調査適地を絞り込んだ。表 2、図 1 に各年の調査場所を示した。なお、図 1 には平成 23 年度に水産試験場が実施したトロール調査地点も示した。

表 2 調査場所一覧

調査年度	調査場所
平成 22 年度	天売西方沖、北武蔵堆北部、折込根沖
平成 23 年度	折込根沖
平成 24 年度	折込根沖、小樽堆沖

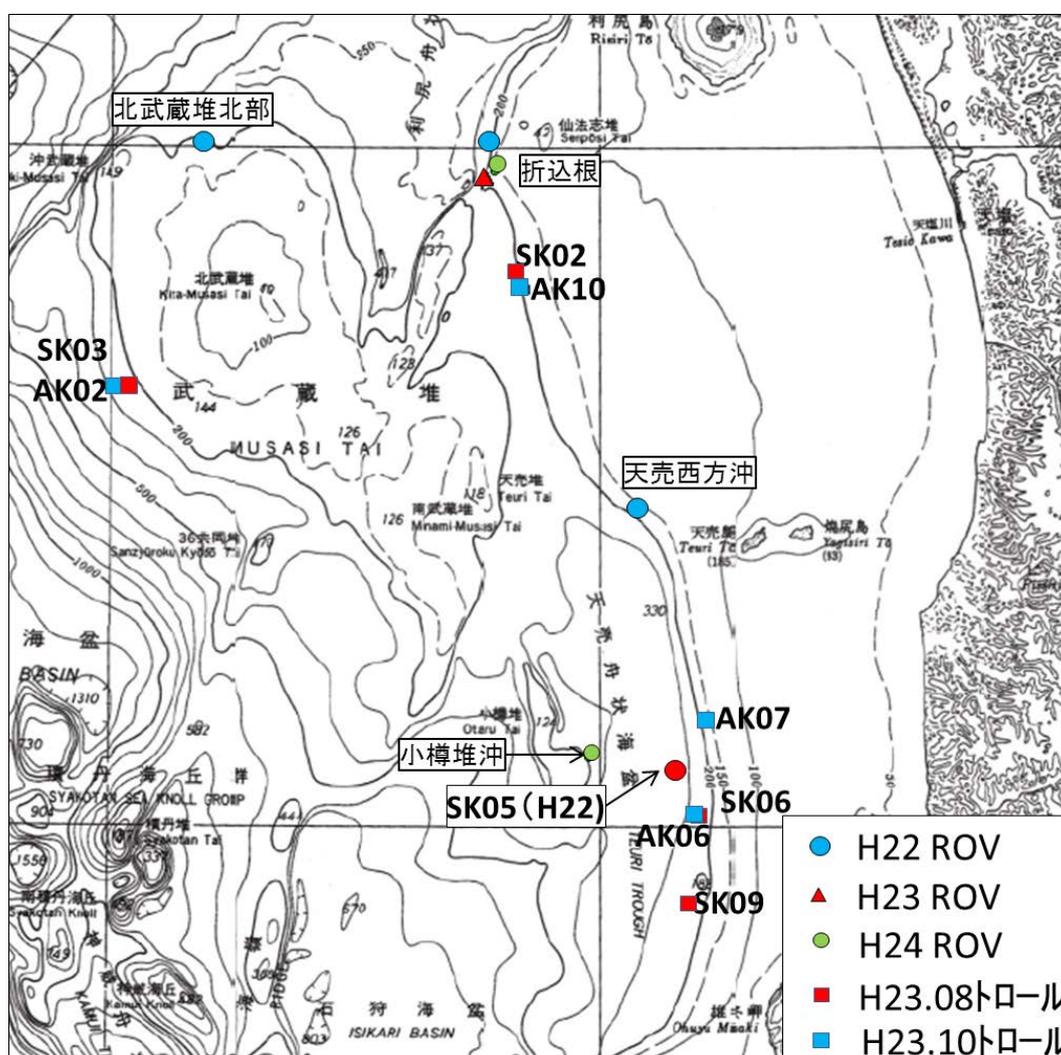


図 3 調査地点の位置図

2 ROV 調査

1) ROV の仕様

使用した ROV の仕様を図 2 に示した。調査水深は 200m 前後を想定しているため、水深 250m でも調査可能な機種 (RTV-200MK II EX) を選定した。GPS 装置および水中位置検出装置 (トランスポンダ) を用意し、ROV 本体の海底での位置を測定できるようにした。調査前に調査船に ROV 本体、ケーブルおよび制御・モニタリング装置を艀装し、港内水域にて正常に稼働することを確認した。なお、調査中に不測の事項で計測器が稼働しないことも想定し、代用品の ROV も準備した。

	<ul style="list-style-type: none">・水深 250m 以上対応 (トリムコントロール)・18 倍ズーム付 TV カメラ・スチールカメラ対応 (銀塩、デジタル)・後部低照度 TV カメラ (最低被写体照度 カラー : 0.1lux、白黒 : 0.006lux)・高解像度カラースキニングソナー・水中位置検出装置 (トランスポンダ)・水温・濁度計付き
RTV-200MK II EX (三井造船(株)製)	

図 4 使用した ROV の仕様

2) 観察方法

海底地形を参考に調査位置の座標を決定し、GPS を使用して調査海域に移動した。調査海域に到着すると調査船の音探映像によってスケトウダラの魚影を探索し、それらしい魚影が確認できた後に ROV を海底に着底させ、0 歳魚のスケトウダラの分布を確認することとした。0 歳魚を発見できれば、それを追尾しながら海底の状況を動画に撮影するとともに、静止画像も撮影した。1 潜航あたりの観察時間は、0 歳魚の出現や調査水深によって異なるが 20~90 分の範囲であった。

3) 各年度の調査海域の位置と調査の概要

調査位置 (図 1) の座標を表 3~表 5 に示した。また、各調査海域の概要を以下に示した。

(1) 平成 22 年度調査

着底したスケトウダラの 0 歳魚の分布を探索することを主眼に、天売西方沖の砂泥質底、北武蔵堆北部の転石、岩礁地形、折込根沖の砂泥質底で ROV 調査を行った。平成 22 年 8 月 19 日の早朝に天売、夕方に北武蔵堆の調査を実施した。翌日は折込根沖で調査準備をしたものの海況不良となり作業を中止した。そこで、折込根沖については、再度 9 月 5 日に調査を実施した。

(2) 平成 23 年度調査

平成 23 年 8 月 3, 4 日には、平成 22 年 9 月に折込根沖でスケトウダラの 0 歳魚を確認できたので、折込根沖の水深 180~200m を集中的に調査することとし、3 回の ROV 調査を実施した。

(3) 平成 24 年度調査

平成 24 年 8 月 4 日、平成 23 年度と同様な折込根沖の約 150m の水深帯と約 190m の水深帯において ROV 調査を実施した。また、8 月 21 日に小樽堆の水深約 190m の砂泥底において ROV 調査を実施した。

表 3 平成 22 年度の ROV 調査位置(世界測地系)

天売西方沖(平成 22 年 8 月 19 日)	
調査位置	N 44° 27.940' E 141° 04.260'
水深	173~175m
観察時間	約 25 分
北武蔵堆北部(平成 22 年 8 月 19 日)	
調査位置	N 45° 00.080' E 140° 11.391'
水深	175~183m
観察時間	約 30 分
折込根沖(平成 22 年 9 月 5 日)	
調査位置	N 45° 00.283' E 140° 46.307'
水深	192~206m
観察時間	約 32 分

表 4 平成 23 年度の ROV 調査位置(世界測地系)

折込根沖(平成 23 年 8 月)			
潜航回	1 回目(8/3)	2 回目(8/3)	3 回目(8/4)
調査位置	N 44° 56.809' E 140° 45.731'	N 44° 56.819' E 140° 45.734'	N 44° 56.730' E 140° 45.704'
水深	193~197m	182~186m	186~195m
観察時間	約 45 分	約 90 分	約 40 分

表 5 平成 24 年度の調査海域(世界測地系)

折込根沖(平成 24 年 8 月 4 日)		
潜航回	1 回目	2 回目
調査位置	N 44° 57.623' E 140° 46.787'	N 44° 56.826' E 140° 45.812'
水深	153~154m	185~195m
観察時間	約 39 分	約 21 分
小樽堆沖(平成 24 年 8 月 21 日)		
潜航回	1 回目	2 回目
調査位置	N 44° 05.709'	E 140° 58.305'
水深	184~190m	
観察時間	約 39 分	約 33 分

3 水質調査とプランクトン調査

ROV 調査を実施した海域（図 1、表 3）を対象に CTD(多項目水質計)にて水質の鉛直構造を測定し、動物プランクトン調査を実施した。また、平成 24 年度は折込根沖において 6 層から採水を行い、海水の栄養塩濃度および植物プランクトン調査を実施した。

表 6 水質調査とプランクトン調査の実施状況

調査年	調査海域	CTD 調査	栄養塩濃度	植物プランクトン	動物プランクトン
平成 22 年度	天売西方沖	○			○
	北武蔵堆北部	○			
	折込根沖	○			○
平成 24 年度	折込根沖	○	○	○	○

1) 水質調査の方法

CTD(多項目水質計)を用いて、海面から海底までの水温、塩分、クロロフィル a、溶存酸素等の鉛直分布を測定した（図 3）。測定間隔は水深 1m ピッチで行った。多項目水質計は JFE アドバンテック(株)製の RINKO-Profiler を使用した。機器の仕様を表 7 に示す。

なお、平成 24 年度では CTD 調査と同時に、有光層厚を把握するため、光量子計(JFE アレック製 COMPACT-LTD)による光量子鉛直分布を測定した。その際には光量子計(ウィジン社、UIZ-PAR)を船上にも 1 台設置し、水中と船上の光量子を同時に計測し、その割合を求めた。なお、水深が深いと光量子は測定できなくなるので、測定は水深 100m までとした。

表 7 多項目水質計(RINKO-Profiler)の仕様

測定項目	深度	水温	電導度	塩分	DO	クロロフィル	濁度
センサタイプ	半導体圧力センサ	サーミスタ	電極式	実用塩分式	熾光式	蛍光測定	後方散乱光式
測定範囲	0~600mm	-5~40°C	70mS/cm	0~40	0~20mg/l (0~200%)	0~400ppb (ウラニン基準)	0~1,000FTU (ホルマジン基準)
分解能	0.01m	0.001°C	0.001mS/cm	0.001	0.001mg/l-0.01%	0.01ppb	0.03FTU
精度	±0.3%FS	±0.01°C (0~35°C)	±0.01mS/cm(2~65mS/cm)	±0.01	±2%FS (±2%FS)	±1%FSゼロドリフト±0.1ppb	±0.3 FTUまたは測定値の±2%
時定数	0.2秒	0.2秒	0.2秒	0.2秒	0.4秒	0.2秒	0.2秒

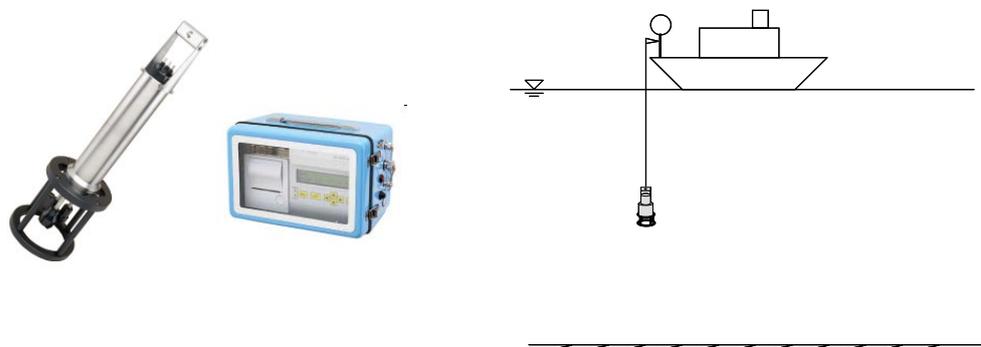


図 5 多項目水質計による測定状況図

2) 栄養塩濃度の測定と植物プランクトン調査の方法

平成 24 年度の折込根沖における調査において、流速計の設置および回収時にバンドン採水器で鉛直方向 6 層にて採水を行い、栄養塩の分析を行った（表 8～表 11）。6 層の選定方法は、調査地点の水深を概ね 6 等分するように採水深を設定し、さらに躍層を考慮して極力躍層の水深および躍層の上下層に合わせた。具体的には、表層(5m)、躍層上、躍層、躍層下（有光層下限）、100m 層、底層とした（図 5）。躍層の水深は CTD 調査の結果から判断した。水質の分析項目は、DIN(アンモニア態窒素 NH₄-N、亜硝酸態窒素 NO₂-N、硝酸態窒素 NO₃-N)、リン酸態リン P₀₄-P、珪酸態珪素 SiO₂-Si の計 5 項目とした。なお、バンドン採水器で採取した試料の一部(1～4 層)は植物プランクトンの分析に供した。

表 8 水質調査地点情報(平成 24 年 8 月 5 日)

調査日時	8/5 5:33～10:32	調査地点水深	204m
北緯	44° 56' 49.06"	東経	140° 45' 48.18"

表 9 採水時刻と水深(平成 24 年 8 月 5 日)

No.	計画水深 (m)	1 回目採取		2 回目採取	
		時刻	実水深(m)	時刻	実水深(m)
6. (底層)	190	6:55	195.0	-	-
5. (中層)	100	7:09	103.5	-	-
4. (躍層 下)	70	7:19	72.7	7:32	70.2
3. (躍層)	40	7:40	40.5	7:52	40.9
2. (躍層 上)	20	7:58	20.4	8:08	20.8
1. (表層)	5	8:14	5.3	8:23	4.9

表 10 水質調査点情報(平成 24 年 8 月 24 日)

調査日時	8/24 7:00～9:30	調査地点水深	194m
北緯	44° 56' 49.65"	東経	140° 45' 48.90"

表 11 採水時刻と水深(平成 24 年 8 月 24 日)

No.	計画水深 (m)	採取時刻	実水深(m)
6. (底層)	190	7:41	191.1
5. (中層)	100	7:55	101.0
4. (躍層 下)	70	8:04	69.7
3. (躍層)	40	8:15	41.0
2. (躍層 上)	20	8:22	20.6
1. (表層)	5	8:27	5.3

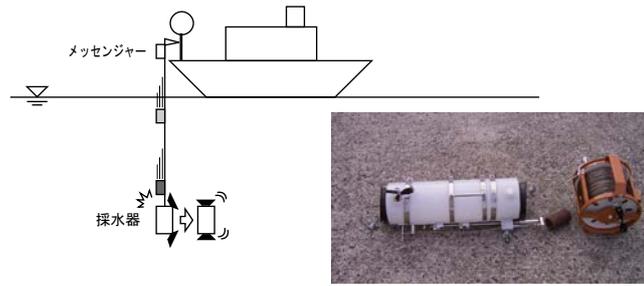


図 6 水質・植物プランクトン調査模式図

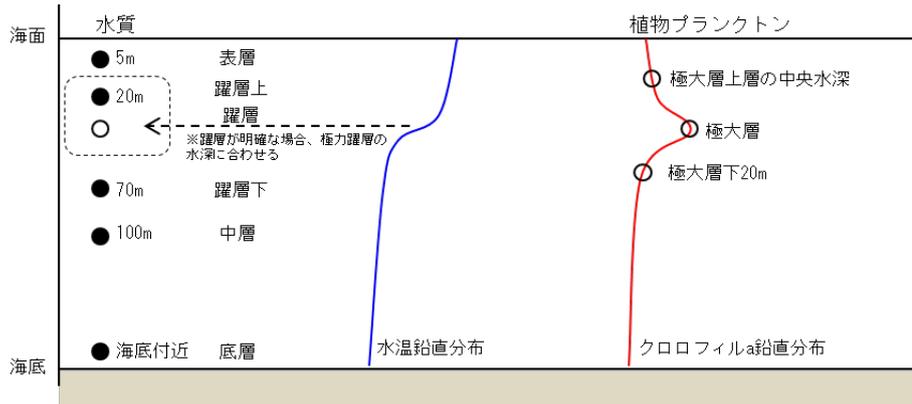


図 7 水質調査・植物プランクトン調査の採集層

3) 光量子の観測方法

海中の光量子の測定には、水中光量子計(JFE アレック製:COMPACT-LTD)、船上の光量子の測定には光量子計(uizin 製:UIZ-PAR)を用いた(写真1)。また、図6に調査(水中光量子)の模式図を示す。本調査では、船上の光を遮蔽しない場所に測器を設置して測定を行い、同時に海底付近まで測器を垂下して海中の光量子を測定した。



水中光量子計と吊り金具



船上測定用の光量子計

写真1 光量子計

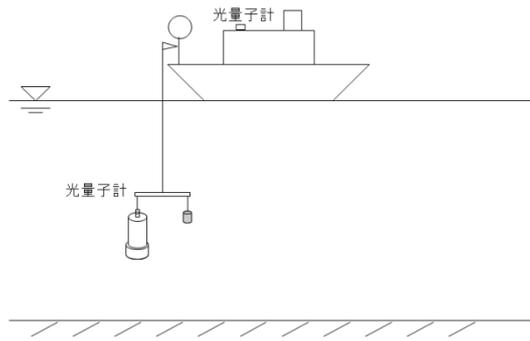


図 8 海中光量子の測定状況模式図

4 動物プランクトン調査

動物プランクトンの採取には、プランクトンネット(離合社製:北太平洋標準ネット 閉鎖型(口径 45cm・目合 0.1mm))を用いて、海面から海底面までを 3 層(上層、中層、下層)に分けてネットの鉛直曳きを行った(図 7)。採取した試料はホルマリン固定して実験室に搬入し、分類群ごとに個体数、湿重量を計測した。動物プランクトンの採取は平成 22 年度の天売沖と折込根沖の ROV 調査時、平成 24 年度は折込根沖で流速計の設置時、回収時に行った。

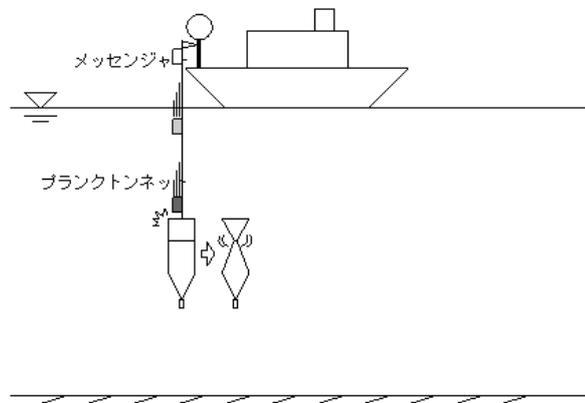


図 9 動物プランクトンの採取

5 流況調査

1) 流速計の設置

平成 24 年度の調査では折込根沖において、15 昼夜連続観測を実施した。流速計は ROV 調査で 0 歳魚を確認した後に、設置地点を決定し、ADCP 流速計を設置した。本海域ではカゴ漁業、刺し網漁業、底びき網漁業が輻輳することから、海底から流速計を突出させたり、ブイを設置して流速計を垂下させたりすることが難しい。そこで、流況調査には、ADCP (RD 社製ワークホース・センチネル 300kHz) を音響切り離し装置付架台 (フローテーション社製 : TRBM) に固定した海底設置型超音波式流速計 (TRBM-ADCP) を使用することとした (写真 2)。



写真 2 TRBM-ADCP の外観

2) 測定範囲および期間

計測に用いた ADCP300kHz では全層の流速は測定できないことから、本調査では 0 歳魚が分布する底層から海底面上 100m までの流速を測定した。測定期間は 15 昼夜以上とし、測定した結果は潮流調和解析を行うこととした。なお、ADCP 付属水温計にて併せて底層水温測定を行った。

表 12 ADCP 流速計の測定仕様

観測層	海底面から中層までの 24 層
観測層厚	4.0m
測定間隔	10 分
観測時間	2 分
ping 間隔	1 秒

6 人工衛星画像によるクロロフィル a 解析

1) 使用した人工衛星画像

日本海側は対馬暖流の影響で貧栄養であるが、スケトウダラの棲息域は餌料がその周辺よりも豊かであると推測される。日本海北部海域は広大だが、その中でも餌料環境が豊富な海域が判明すれば、餌料培養礁を造成する際の適地選定に役立つ。

そこで、人工衛星画像を用いて、日本海の北部海域の高濃度のクロロフィル a の分布域(基礎生産量が多い海域)を把握し、漁場との対応を見ることとした。

まず、2006年級群のスケトウダラは例年に比べ多いことから、2006年と2009年のクロロフィル a 濃度の分布を比較した。次に、両年の中で夏季の成層期で局所的に比較的高濃度のクロロフィル a が発生している画像を選定した。

クロロフィル a 濃度の衛星画像は、衛星 AQUA(アクア)に搭載された MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer)センサによる観測データから導出されたものである。この衛星は、アメリカ航空宇宙局(NASA)が管理・運用している極軌道衛星で、日本上空を午後1時30分(日本時)前後に通過し、観測を行う。MODISセンサは、可視光から赤外光の波長帯を観測する受動型の放射計である。MODISを利用した海色データは、東海大学情報技術センター(TRIC)および宇宙航空研究開発機構(JAXA 地球観測センター(EOC))がそれぞれの機関で輝度/幾何変換処理(Level 1B)を行い、さらに、その後、JAXA/地球観測研究センター(EORC)が準リアルタイム処理にてクロロフィル a 濃度(クロロフィル濃度)へ変換したものである。本調査では、登録制でインターネットを介して入手できる1km分解能のバイナリデータを使用した。

2) 解析方法

2006年と2009年を対象に武蔵堆海域において被雲の少ないデータを目視で選定した。次に、武蔵堆海域の画像を地理的に重畳し、雲域は黒色に変換した。そして、レイヤ毎の比較でクロロフィル濃度の高い箇所を選定した。そして、この2年分の衛星画像を観察し、クロロフィル濃度が高くなる海域、季節を抽出した。特に、2006年級群のスケトウダラ的大量発生とクロロフィル a の分布について考察を加えた。次に、武蔵堆周辺海域において、地形的に局所的にクロロフィル濃度が高くなる海域を抽出した。

7 胃内容物調査

1) 年度別の胃内容物調査の標本採集地点

胃内容物調査は平成 22 年度から毎年実施している。北海道立総合研究機構水産研究本部稚内水産試験場所属北洋丸および独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所所属北光丸によるトロールにて漁獲されたスケトウダラの供与を受け、それをサンプルとして胃内容物調査を行った。

平成 22 年と 23 年は 8 月と 10 月に成魚と 0 歳魚が分けて採集された。平成 23 年では同じく 8 月と 10 月に、スケトウダラの全サイズおよび競合種が採集された。平成 24 年は 1 歳魚を対象に 5 月、0 歳魚を対象として 8 月と 10 月に採取された。各調査地点の位置を図 8、図 9 に示す。

表 13 トロール調査の地点とサンプル採集月

調査年	サンプル採集地点と採集月
平成 22 年	成魚 ; SK05 (8 月)
	0 歳魚 ; SK02 (8 月)、SK08・SK09 (10 月)
平成 23 年	全サイズ ; SK02・SK03・SK06・SK09 (8 月)
	AK02・AK06・AK07・AK10 (10 月)
	0 歳魚 ; SK01・SK02・SK06・SK07・SK08、SK09 (8 月)
	AK05・AK06・AK07・AK09・AK10 (10 月)
平成 24 年	1 歳魚 ; T-4・T-7・T-11・T-15・T-21・T-25 (5 月)
	0 歳魚 ; SK01・SK02・SK05・SK06・SK09・SK08、SK09・SK10 (8 月)
	0 歳魚 ; AK01 (10 月)

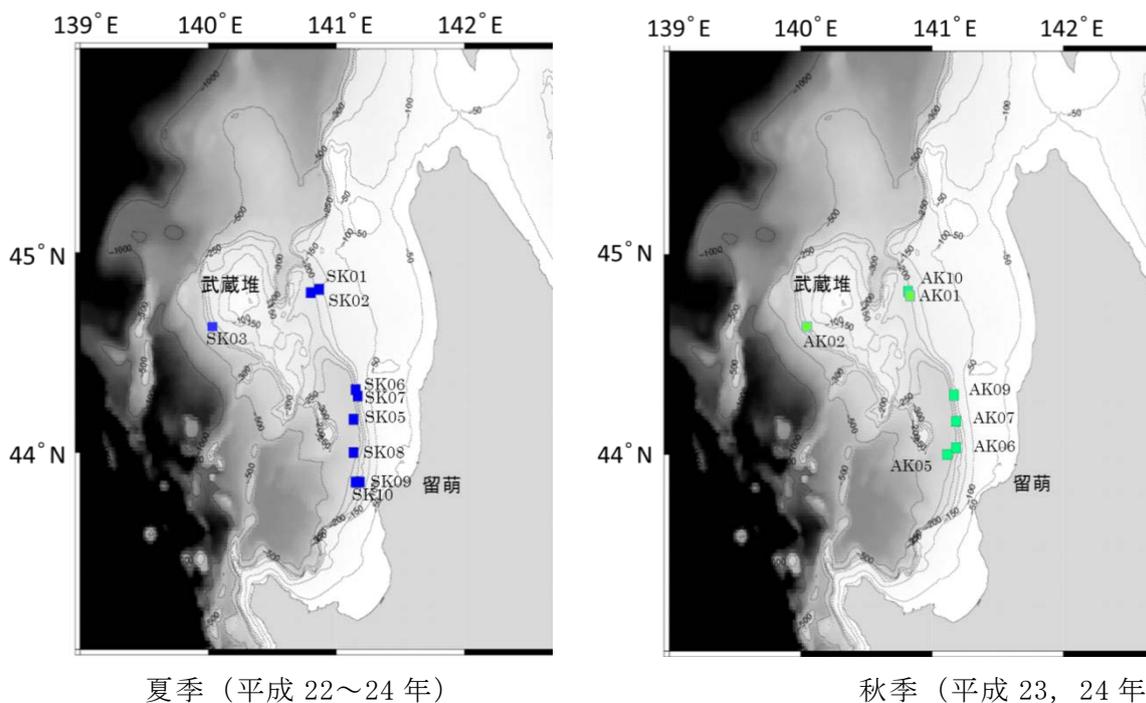
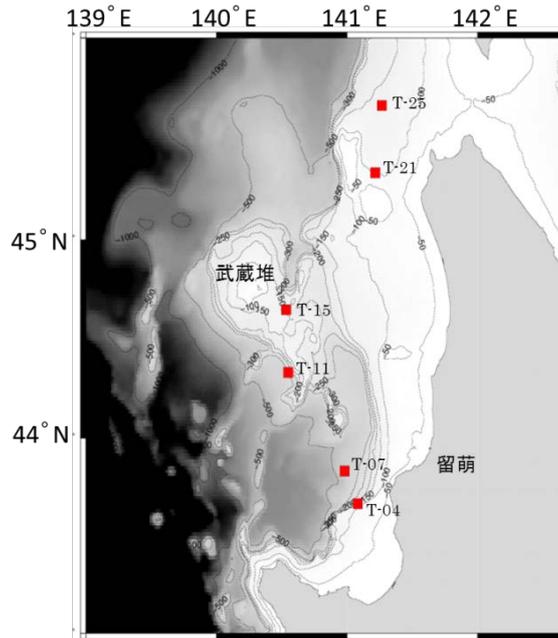


図 10 トロール調査地点(北洋丸)



春季（平成 24 年 5 月）

図 11 トロール調査地点(北光丸)

2) 標本採集と胃内容物調査の方法

魚類標本は北海道立総合研究機構水産研究本部稚内水産試験場の調査船北洋丸(総トン数 237 t)による着底オッタートロールネットで採集された。採集に用いたオッタートロールネットは、網口高さ 3.0m、袖先間隔 15m、コッドエンドの内網目合 15mm、中網目合い 43mm、外網目合 90mm であり、船速 1~4kt で 5~30 分間曳網した。採取した標本は船上にて同定を行い、個体数および重量を種毎に計数・計測した。その後、種ごとに標本として必要な個体数を無作為に抽出し、冷凍保存して研究室に持ち帰った。

なお、平成 24 年 5 月の 1 歳魚を対象にした調査の標本は、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所の調査船北光丸(総トン数 902 t)による着底オッタートロールネットで採集された。採集に用いたオッタートロールネットは、網口高さ 5.25m、袖先間隔 30m、コッドエンドの内網目合 20mm(上部)、11mm(下部)である。

魚類標本は、解凍後に性別の判別を行い、魚種に応じて標準体長または尾叉長、体重、内臓除去重量を計測した。その際に、胃袋を摘出し、10%中性ホルマリン溶液で固定した後、胃内容物分析を行った。胃内容物は、実体顕微鏡を用いて可能な限り種まで同定、計数し、湿重量を計量した。消化によってはっきりとした形態をとどめておらず、同定できないものについては消化物として扱い、胃内容物が全て消化物あるいは胃内容物が出現しない個体は空胃個体とし、分析から除外した。

3) トロール調査地点の概要と標本の状況

(1) 平成 22 年度のトロール調査

① 成魚の標本

平成 22 年度は成魚を SK05(水深 342m)において採集した。8 月の成魚調査では標本個体数は 30 個体で、平均尾叉長は 414mm、平均全体重は 494g、内臓を除去した平均体重は 418g、生殖腺重量は 19.4g、肝臓重量は 30.0g であった。成魚のサイズの平均値は 6 歳魚程度と

推察された。

② 0歳魚の標本

0歳魚については、SK02、05、08、09において採集した。漁獲日時と漁獲水深を表14、表15に示す。今回のサンプル(0歳魚)は2回に分けて漁獲した。SK02とSK05は8/25、27に漁獲したが、これは8月に実施したROV調査・プランクトン調査の約1週間後にあたっていた。SK08とSK09は10/21に漁獲した。10月の調査では採集水深は301mと219mである。この時期のサンプルは胃反転個体(胃袋が口から出た状態)が多く、分析可能な個体は24個体と27個体であった。0歳魚の平均尾叉長は8月では81.5mm、91.0mm、10月では101.4mm、98.9mmであり、約2ヶ月で尾叉長は平均で1.16倍に増加した。

表14 標本採集位置と採集日(平成22年8月,10月)

調査地点	SK02	SK05	SK08	SK09
日付	8/27	8/27	10/21	10/21
成魚		○		
0歳魚	○	○	○	○

表15 0歳魚の採集日・水深および標本数(平成22年8月,10月)

No.	採集日	採集水深 m	個体数	胃反転 個体数	解析した 個体数	胃内容物を 表示した個 体数	平均尾叉 長 mm
SK02	8.25	221	42	12	30	30	81.5
SK05	8.27	342	40	0	30	30	91.0
SK08	10.21	301	30	6	30	24	101.4
Sk09	10.21	219	40	13	40	27	98.9

(2) 平成23年度のトロール調査

平成23年度はスケトウダラの成魚を含む底生魚(全サイズ)の標本と0歳魚の標本が採集された。前者については、8月には4地点、10月も4地点で実施したトロール調査で得た魚を対象にした(表6.16)。0歳魚は8月では6地点から158個体、10月では5地点から121個体の標本を得て、胃内容物を分析した。

表16 平成23年度調査の標本採取一覧(平成23年8月,10月)

調査地点	8月調査							10月調査					
	SK01	SK02	SK03	SK06	SK07	SK08	SK09	AK02	AK05	AK06	AK07	AK09	AK10
底生魚全サイズ		○	○	○			○	○		○	○		○
0歳魚	○	○		○	○	○	○		○	○	○	○	○

① 底生魚の標本

各地点の概要を表17に示す。サンプルを採集した平均水深は199~284mであり、成魚や0歳魚が混在する水深帯であった。底層水温は1.5~5.1℃であった。同程度の水深でも

地点によっては水温が異なることがあった。底層塩分はほぼ一定であった。

各調査地点で出現した種を表 18 に示した。13 科 27 魚種で 5,961 個体が出現したが、食性解析ではこの内から 1,491 個体の胃内容物を分析した。

表 17 底生魚を採取したトロール調査地点の概要(平成 23 年 8 月, 10 月)

調査季節	夏季調査				秋季調査			
調査地点	SK02	SK03	SK06	SK09	AK02	AK06	AK07	AK10
日付	8/25	8/26	8/27	8/29	10/15	10/21	10/21	10/24
平均水深 m	208	257	270	250	259	284	199	200
底層水温℃	5.1	2.1	2.4	4.1	1.7	1.5	2.8	2.6
底層塩分	34.0	34.0	34.1	34.0	34.1	34.1	34.0	34.0

表 18 各調査地点で漁獲された魚種一覧

Family name	Scientific name	Japanese name	season							
			summer				autumn			
			SK02	SK03	SK06	SK09	AK02	AK06	AK07	AK10
Clupeidae (ニシン科)	<i>Clupea pallasii</i>	ニシン	○						○	○
Gadidae (タラ科)	<i>Theragra chalcogramma</i> <i>Gadus macrocephalus</i>	スケトウダラ マダラ	○	○	○	○	○	○	○	○
Scorpaenidae (フサカサゴ科)	<i>Sebastes steindachneri</i> <i>Sebastes owstoni</i> <i>Sebastes wakiyai</i>	ヤナギノマイ ハツメ ウスメバル	○	○	○	○	○	○		○
Hexagrammidae (アイナメ科)	<i>Pleurogrammus azonus</i>	ホッケ	○	○						○
Cottidae (カジカ科)	<i>Triglops scepticus</i> <i>Icelus cataphractus</i> <i>Enophrys diceraus</i> <i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i> <i>Gymnocanthus herzensteini</i>	ニラミカジカ コオリカジカ オニカジカ トゲカジカ ツマガロカジカ	○	○	○	○	○	○	○	○
Agonidae (トクビレ科)	<i>Leptagonus leptorhynchus</i> <i>Podothecus sachi</i> <i>Freemanichthys thompsoni</i> <i>Tilesina gibbosa</i>	テングトクビレ トクビレ ヤセトクビレ オニシャチウオ	○	○	○	○	○		○	○
Psychrolutidae (ウラナイカジカ科)	<i>Dasycottus setiger</i>	ガンコ	○		○	○		○	○	
Cyclopteridae (ダンゴウオ科)	<i>Eumicrotremus birulai</i>	コンベイトウ		○						
Oplegnathidae (インダイ科)	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	インダイ						○		
Zoarcidae (ゲンゲ科)	<i>Lycodapus microchir</i>	ヤワラゲンゲ			○					
Stichaeidae (タウエガジ科)	<i>Stichaeus grigorjewi</i> <i>Stichaeus nozawai</i>	ナガヅカ タウエガジ			○	○		○	○	○
Trichodontidae (ハタハタ科)	<i>Arctoscopus japonius</i>	ハタハタ			○	○	○	○	○	
Pleuronectidae (カレイ科)	<i>Hippoglossoides dubius</i> <i>Acanthopsetta nadeshnyi</i> <i>Cleisthenes pinetorum</i> <i>Glyptocephalus stelleri</i>	アカガレイ ウロコメガレイ ソウハチ ヒレグロ	○	○	○	○		○	○	○

夏季と秋季および各地点の平均豊度とその割合を表 19 と表 20 に示す。夏季は、スケトウダラとホッケの密度と生物量がともに大きく、この 2 種で個体数割合が 76.0%、生物量割合で 69.0%を占めた。その他の魚種は各々 4.5%、7.2%以下であった。秋季は、ニシンとスケトウダラの密度と生物量がともに大きく、この 2 種で個体数割合が 89.0%、生物量割合で 90.4%を占めた。その他の魚種は各々 2.1%、3.4%以下であった。

表 19 夏季調査の平均豊度

Scientific name	Japanese name	Density		Biomass	
		inds./km	%	kg/km	%
<i>Clupea pallasii</i>	ニシン	0.35	0.1	0.07	0.1
<i>Theragra chaloogramma</i>	スケトウダラ	155.72	53.5	11.96	24.8
<i>Gadus macrocephalus</i>	マダラ	1.77	0.6	3.46	7.2
<i>Sebastes steindaehneri</i>	ヤナギノマイ	0.24	<0.1	0.05	0.1
<i>Sebastes owstoni</i>	ハツメ	3.19	1.1	0.21	0.4
<i>Sebastes wakiyai</i>	ウスメバル	0.12	<0.1	0.01	<0.1
<i>Pleurogrammus azonus</i>	ホッケ	65.55	22.5	21.28	44.2
<i>Triglops scepticus</i>	ニラミカジカ	3.67	1.3	0.22	0.5
<i>Iceus cataphractus</i>	コオリカジカ	2.01	0.7	0.09	0.2
<i>Enophrys diceraus</i>	オニカジカ	5.80	2.0	1.90	3.9
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	トゲカジカ	0.35	0.1	0.57	1.2
<i>Gymnocanthus herzensteini</i>	ツマグロカジカ	3.90	1.3	1.03	2.1
<i>Leptagonus leptorhynchus</i>	テングトクビレ	0.71	0.2	0.01	<0.1
<i>Podotheus sachi</i>	トクビレ	7.57	2.6	1.00	2.1
<i>Freemanichthys thompsoni</i>	ヤセトクビレ	2.25	0.8	0.05	0.1
<i>Tilesina gibbosa</i>	オニシャチウオ	0.12	<0.1	0.01	<0.1
<i>Dasyattus setiger</i>	ガンコ	1.06	0.4	0.16	0.3
<i>Eumiarotremus birulai</i>	コンベイトウ	0.12	<0.1	0.00	<0.1
<i>Lyodapus microahir</i>	ヤワラゲンゲ	0.12	<0.1	0.01	<0.1
<i>Stichæus grigorjewi</i>	ナガヅカ	1.66	0.6	0.88	1.8
<i>Stichæus nozawai</i>	タウエガシ	1.06	0.4	0.46	0.9
<i>Arotoscopus japonius</i>	ハタハタ	5.44	1.9	0.18	0.4
<i>Hippoglossoides dubius</i>	アカガレイ	13.13	4.5	3.05	6.3
<i>Acanthopsetta nadeshnyi</i>	ウロコメガレイ	11.36	3.9	1.01	2.1
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	ヒレグロ	3.79	1.3	0.51	1.1
Total		291.09		48.18	
No. of tow		4			

表 20 秋季調査の平均豊度

Scientific name	Japanese name	Density		Biomass	
		inds./km	%	kg/km	%
<i>Clupea pallasii</i>	ニシン	181.28	41.3	43.24	37.5
<i>Theragra chaloogramma</i>	スケトウダラ	209.26	47.7	61.02	52.9
<i>Gadus macrocephalus</i>	マダラ	2.13	0.5	3.95	3.4
<i>Sebastes owstoni</i>	ハツメ	9.16	2.1	0.66	0.6
<i>Pleurogrammus azonus</i>	ホッケ	0.50	0.1	0.17	0.1
<i>Triglops scepticus</i>	ニラミカジカ	4.77	1.1	0.27	0.2
<i>Iceus cataphractus</i>	コオリカジカ	4.01	0.9	0.16	0.1
<i>Enophrys diceraus</i>	オニカジカ	0.25	<0.1	0.10	<0.1
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	トゲカジカ	0.63	0.1	1.32	1.1
<i>Gymnocanthus herzensteini</i>	ツマグロカジカ	4.89	1.1	0.95	0.8
<i>Leptagonus leptorhynchus</i>	テングトクビレ	0.13	<0.1	0.00	<0.1
<i>Podotheus sachi</i>	トクビレ	1.25	0.3	0.17	0.1
<i>Freemanichthys thompsoni</i>	ヤセトクビレ	2.38	0.5	0.05	<0.1
<i>Dasyattus setiger</i>	ガンコ	0.25	<0.1	0.05	<0.1
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	イシダイ	0.75	0.2	0.02	<0.1
<i>Stichæus grigorjewi</i>	ナガヅカ	2.63	0.6	1.37	1.2
<i>Stichæus nozawai</i>	タウエガシ	0.75	0.2	0.33	0.3
<i>Arotoscopus japonius</i>	ハタハタ	2.63	0.6	0.17	0.1
<i>Hippoglossoides dubius</i>	アカガレイ	3.89	0.9	0.93	0.8
<i>Acanthopsetta nadeshnyi</i>	ウロコメガレイ	5.02	1.1	0.26	0.2
<i>Cleisthenes pinetorum</i>	ソウハチ	1.00	0.2	0.08	<0.1
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	ヒレグロ	1.51	0.3	0.18	0.2
Total		439.09		115.46	
No. of tow		4			

② 0歳魚の標本

8月と10月の0歳魚の採集水深は173～334mであった。底層の水温は1～6.6℃であった。1km当たりの漁獲尾数は1.2～166.8尾であり、地点によって大きく異なった。標本の平均尾叉長は8月に86.6mm～102.5mm、10月に99.5mm～108.8mmであり、秋になると大型に成長していた。平均体重は8月に4.0g～6.4g、10月に5.9g～7.3gであり、秋では体重も増していた（表21、表22）。

表21 8月の調査地点の水深、水温、0歳魚のサイズ(平成23年)

地点	海域	採取水深(m)	底層水温(°C)	単位曳網距離あたりの漁獲尾数(尾/km)	平均尾叉長(mm)	平均体重(g)
SK01	武蔵堆東側	173	6.5	125.8	86.6±5.8	4.0±0.9
SK02	武蔵堆東側	208	5.1	112.6	90.0±6.0	4.5±0.9
SK06	留萌沖	270	2.4	130.1	102.5±5.7	6.4±1.3
SK07	留萌沖	205	6.6	80.7	98.4±9.0	5.6±1.9
SK08	留萌沖	316	1.7	6.8	94.8±7.0	5.2±1.1
SK09	留萌沖	250	4.1	87.9	97.6±5.9	5.5±1.1

表22 10月の調査地点の水深、水温、0歳魚のサイズ(平成23年)

地点	海域	採取水深(m)	底層水温(°C)	単位曳網距離あたりの漁獲尾数(尾/km)	平均尾叉長(mm)	平均体重(g)
AK05	留萌沖	334	1	1.2	108.8±4.1	7.0±0.8
AK06	留萌沖	284	1.5	26.4	107.5±7.1	7.3±1.4
AK07	留萌沖	199	2.7	166.8	103.7±9.5	6.8±2.0
AK09	留萌沖	183	5.6	107.5	99.5±10.7	5.9±2.1
AK10	武蔵堆東側	200	2.6	68.3	101.2±9.4	6.1±1.8

(3) 平成24年度のトロール調査

平成22年度、23年度の胃内容物調査では、0歳魚の着底直後の夏季、越冬前の秋季における0歳魚の餌料を調査した。一方、越冬後の春季の食性や海域の動物プランクトンの年変動に応じた0歳魚の食性の変化に関しては情報が少なかった。そこで、平成24年度は1歳魚の春季の食性および0歳魚の年変動に注目して胃内容物調査を実施することとした。また、0歳魚の胃内容物は北洋丸が採集した標本の胃内容物を分析した。

5月に採集した標本は1歳魚で平均尾叉長は144～176mm、体重は19～39.2g、8月に採集した標本は0歳魚であり、平均尾叉長は81～89mm、体重は2.9～3.9gであった。10月は尾叉長が変化していないが、体重が増えていた。

表 23 採集地点の水深、漁獲尾数、平均尾叉長・体重（平成 24 年 5, 8, 10 月）

月	地点	採集水深 m	漁獲尾数	CPUE N/min	平均尾叉長 mm	平均体重 g
5月	T-4	142	1	0.3	145	23.0
	T-7	339	1	0.0	144	19.0
	T-11	180	118	59.1	157	27.3
	T-15	158	790	79.0	150	24.4
	T-21	106	4	0.4	170	34.6
	T-25	136	176	17.6	176	39.2
8月	SK01	217	7,632	218.0	89	3.8
	SK02	173	54,655	1656.2	82	2.9
	SK05	168	9,090	606.1	85	3.0
	SK06	230	231	8.2	85	3.9
	SK07	327	11	0.4	81	3.3
	SK08	333	19	0.4	82	3.5
	SK09	208	5,471	182.4	87	3.3
	SK10	263	23	0.8	81	3.0
10月	AK01	219	10,881	361.6	81	5.3

8 炭素・窒素安定同位体比によるスケトウダラの食性解析

安定同位体比解析により、スケトウダラの0歳魚の食性タイプを分類するとともに、食物網の概容を明らかにした。

1) 分析対象の標本

平成23年度は、0歳魚のスケトウダラおよび胃内容物、スケトウダラ成魚を対象として炭素・窒素安定同位体比を測定した。

平成24年度は、さらに折込根沖において採集した植物プランクトンと動物プランクトン、スケトウダラ、マダラ、ナガヅカ、オニカジカ、ホッケの胃内容物について、炭素・窒素安定同位体比を測定した。

2) 分析方法

魚類および胃内容物は冷凍保存していたものを凍結乾燥後、粉末にしてから脱脂処理し(クロロフォルム・メタノール処理)、錫コンテナに入れた。

動物プランクトンについては平成24年8月5日に折込根沖において、ノルパックネット(閉鎖式 口径45cm、目合0.1mm)を用いて、海面から海底面を3層(上層、中層、下層)に分けて鉛直曳きを行い、採取した試料を船上で冷蔵保存した。

植物プランクトンについては、同日にバンドン採水器を用いて4層(表層、躍層の上部、躍層、躍層の下部)で採水し、この試料を1層ごとにXX13プランクトンネットで動物プランクトンを除去して、海水2000mlの試料を作製した。上陸後、海水をフィルター(ガラス繊維濾紙GF/F 直径47mm)で濾過し、フィルターを4つ折りとし凍結保存した。動物プランクトンおよび植物プランクトンは冷凍したまま分析協力機関である東北大学へ搬送した。

研究室では、凍結乾燥機を用いた場合、真空ポンプの吸引により、サンプルが逸散する危険性があるので、60℃で24時間乾燥した。動物プランクトンは実体顕微鏡下において種類別に分けて、錫コンテナに入れた。植物プランクトンは成形して錫コンテナに封入した。

これらの前処理を実施した後、Finnigan MAT社(ドイツ)の有機物C・N同位体比分析装置(DELUTA plus)を用いて炭素・窒素安定同位体比を分析した。本分析計の分析精度は±0.2‰である。

(参考) 安定同位体比について

安定同位体比について以下に解説する。

炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)とは、標準となる物質の炭素安定同位体の ^{12}C に対する ^{13}C の存在割合と、分析するサンプルの炭素安定同位体の ^{12}C に対する ^{13}C の存在割合が、どの程度のずれているかを示す値であり、千分率で示す。同様に窒素安定同位体 ^{14}N と ^{15}N の窒素安定同位体比を $\delta^{15}\text{N}$ と呼ぶ。具体的には、次式で炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)を算出する。

$$\delta^{13}\text{C} \text{ 試料} = \{ ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ 試料} \div {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ 標準物質}) - 1 \} \times 1000$$

まず基準となる物質を比較の為の基準点として、サンプルの重い同位体と軽い同位体の存在比率を、標準となる物質の数値と比較して、どの程度となるかという指標で比較する。例えば、窒素安定同位体比が+3‰と記載されている場合は、標準物質である空気中の窒素

の安定同位体の存在比とサンプルの安定同位体の存在比は、+3‰の違いがあることを示す。

これは、サンプルには、より重い窒素同位体が多く含まれている事を示す。逆に-10‰であれば、サンプルには、より軽い窒素同位体が多く含まれる事を示す。このように安定同位体の組成の偏差を比較することで、そのサンプルの環境の違いが判断できる。

食物連鎖の関係で、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が被食者-捕食者間であまり変わらず、一般的に $\delta^{15}\text{N}$ 値は捕食者で 3‰ほど高くなることが知られている。炭素・窒素安定同位体比との関係は捕食者の栄養段階（一次生産者からの距離）を推定するのに応用できる（吉岡，2006）。そこで、分析した炭素・窒素安定同位体比は図 10 のように整理し、食物連鎖の関係を把握することとした。

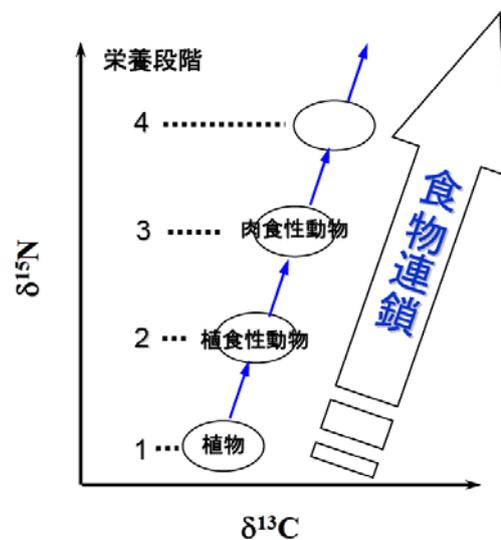


図 12 食物連鎖構造のマッピング 吉岡(2006)

VI 調査結果

1 ROV 調査結果

1) 調査結果の概要

スケトウダラの0歳魚が着底している海域は、稚内水産試験場や中央水産試験場が実施してきたトロール調査や計量魚探調査によると、陸棚斜面の水深約200mとされている。しかしながら、これまでスケトウダラの0歳魚の行動や生息している海底の環境は明かではなかった。本調査では、まず、0歳魚がどのような海域に分布するのか、ROVで実際に観察することとした。

平成22年度は天売西方沖、北武蔵堆の北部海域、折込根沖でROV調査を実施したところ、折込根沖でスケトウダラの0歳魚が初めてROVで確認された。そこで、平成23年に、折込根沖の水深約200mでROVを3回潜航させ、スケトウダラの0歳魚の小群を観察することに成功した。当海域はトロール調査や計量魚探調査でも高い頻度で0歳魚が確認されていたことから、平成24年8月にはROVでスケトウダラの0歳魚を確認後、水質や流況調査を実施し、0歳魚の生息環境を把握することとした。また、折込根沖のみならず小樽堆においてもROV調査を実施し、0歳魚の生息を確認した。

2) 平成 22 年度の ROV 調査結果

平成 22 年度の ROV 調査は平成 22 年 8 月 19 日に天売西方沖の水深 173～175m、北武蔵堆北部の水深 175～183m、9 月 5 日に改めて折込根沖(水深 192～206m)で実施した。調査位置は V 調査方法の図 1 と表 3 に示した。各地点の調査結果を以下に示す。

(1) 天売西方沖

海底は概ね平坦な泥質であったが、所々で 10～40 cm 程度の高さの波状の起伏が見られた。海底付近は自然光が届いておらず、透視度は ROV のライトの照射範囲の 2～3m 程度であった。観察された魚類はホッケ類が多くその他はカレイ類やカジカ類であった(表 1)。魚類のほかはクモヒトデが散見された。スケトウダラは観察できなかった。

表 1 天売西方沖で観察された魚類等(平成 22 年 8 月 19 日)

種 類	全長 (cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
ホッケ	25～35	22	海底面に定座
カレイ類	15～25	3	〃
ツマグロカジカ	15～20	6	〃
トゲカジカ	15～25	2	〃
ガヤモドキ	10～15	2	海底付近を遊泳
ミズダコ	80	1	泥中に定座
種不明幼魚	3～5	19 以上	海底付近を遊泳
合計 7 種			



ホッケ



カレイ類

写真 1 天売西方沖(水深 173～175m)で観察された魚類(平成 22 年 8 月 19 日)

(2) 北武蔵堆北部

海底は概ね岩盤に薄く砂泥が堆積した状況であったが、一部大規模な岩礁や転石帯も見られた。透視度はROVのライトの照射範囲の2~3m程度であった。魚類は岩礁域で多く観察される傾向が見られた。スケトウダラの成魚が岩礁域で確認された。海底面には、ウニ類やヒトデ類が多数生息していた。

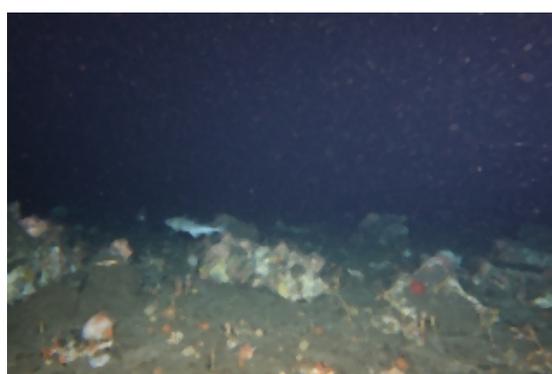
表2 北武蔵堆北部で観察された魚類等（平成22年8月19日）

種 類	全長 (cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ	30~40	5	岩礁域を遊泳
マダラ	40~50	1	〃
ホッケ	25~35	8	岩礁・砂泥域を遊泳
ガヤモドキ	5~10	54	海底付近を遊泳
種不明幼魚	3~5	15	〃
合計5種			

※ROV目視観察による推定尾数



マダラ



スケトウダラ成魚



ホッケ



ガヤモドキ

写真2 北武蔵堆北部 水深175~183mで観察された魚類（平成22年8月19日）

(3) 折込根沖

海底は砂泥質であり、岩礁や転石は見られなかった。海底付近は自然光が届いておらず、透視度はROVのライトの照射範囲の2~3m程度であった。海底面には、他地点に比べてエビ類とクモヒトデ類が多数生息し、ウニ類やイソギンチャク類も散見された。0歳魚と推察されるスケトウダラ0歳魚がデジタルスチール写真から1尾のみ同定された。

表3 折込根沖で観察された魚類等（平成22年9月5日）

種類	全長 (cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3~8	1	砂泥域を単独で遊泳
カレイ類	20~30	8	海底面に定座
ガヤモドキ	5~10	1	海底付近を遊泳
ツマグロカジカ	20~30	10	海底面に定座
トゲカジカ	25~35	1	〃
ミズダコ	-	1	海底面に定座
種不明幼魚	5~10	33	海底付近を遊泳
計7種			

※ROV目視観察による推定尾数



スケトウダラ 0 歳魚



スケトウダラ 0 歳魚



カレイ類



ツマグロカジカ

写真3 折込根の西部海域 水深192~206mで観察された魚類等（平成22年9月5日）
始めてROVでスケトウダラの0歳魚を確認した

3) 平成 23 年度の ROV 調査結果

平成 23 年度の ROV 調査の調査結果を以下に示す。調査位置は V 調査方法の図 1 と表 4 に示したとおりである。

各調査地点とも海底は泥分が多い砂泥質であり、所々で岩礁や転石が確認された。海底付近は自然光が届いておらず、透視度は ROV のライトの照射範囲の 2~3m 程度であった。海底には、エビ類、クモヒトデ類、ヤドカリ類等が生息していた。岩礁や転石表面にはウミシダ類の着生も確認された。スケトウダラの 0 歳魚は 2 日間で合計 300 尾程度観察され、特に、海底に起伏があるところで多く撮影された。

表 4 折込根沖の潜航 1 回目（水深 193~197m）の観察結果（平成 23 年 8 月 3 日）

種 類	全長 (cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3~8	1	海底付近を単独で遊泳
マダラ	30~40	2	海底付近を単独で遊泳
カレイ類	35	1	〃
ツマグロカジカ	20~30	2	海底面に定座
計 4 種			

表 5 折込根沖の潜航 2 回目（水深 182~186m）の観察結果（平成 23 年 8 月 3 日）

種 類	全長 (cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3~8	200	海底付近を単独または小群で遊泳
マダラ	30~50	5	海底付近を単独で遊泳
ホッケ	20~30	3	〃
カレイ類	30	1	〃
ツマグロカジカ	20~30	2	海底面に定座
ガヤモドキ	10~20	4	海底付近を単独で遊泳
計 6 種			

表 6 折込根沖の潜航 3 回目（水深 186~195m）の観察結果（平成 23 年 8 月 4 日）

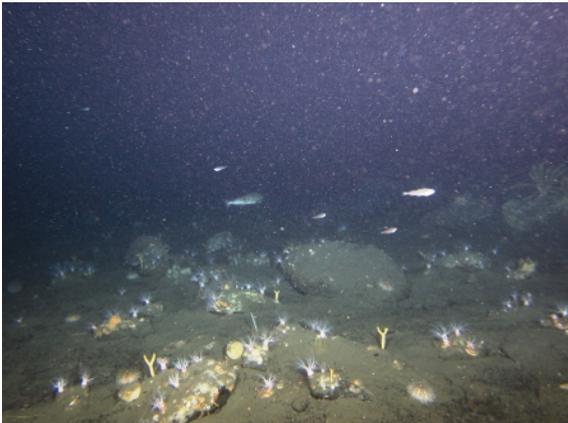
種 類	全長 (cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3~8	100	海底付近を単独または小群で遊泳
ホッケ	20~30	2	〃
アイナメ	20~30	2	
ケムシカジカ	35	1	海底面に定座
ツマグロカジカ	10~20	8	〃
計 5 種			



スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



マダラ



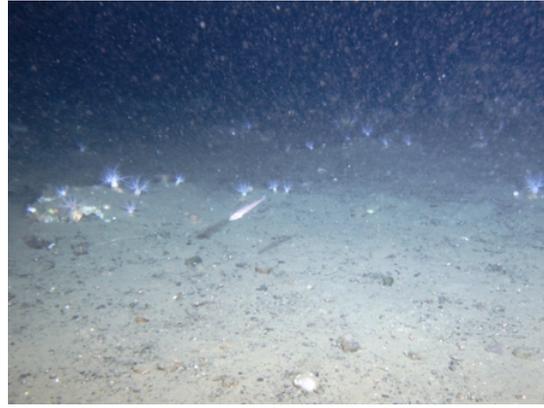
海底の様子(起伏に富んでいる)

写真4 折込根沖の水深182~186mの様子(平成23年8月3日)

スケトウダラの0歳魚が集団で分布していた



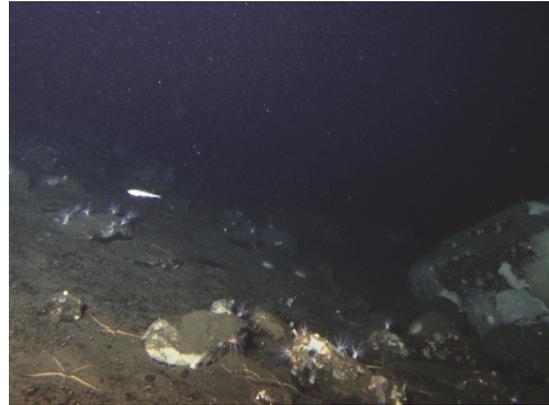
カジカ



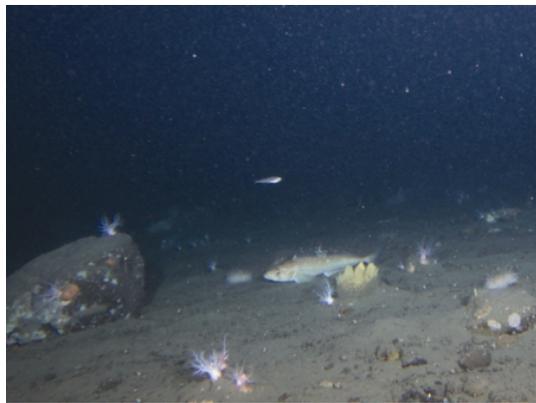
スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



ホッケ



海底の様子

写真5 折込根沖の西部海域の水深186~195mの様子(平成23年8月4日)
スケトウダラの0歳魚が集団で分布していた

4) 平成 24 年の ROV 調査結果

ROV 調査は平成 24 年 8 月 4 日に折込根沖で 2 回実施し、8 月 21 日に小樽堆沖で 2 回実施した。

(1) 折込根沖

観察した海底の概要を表 7 に示す。転石のある砂泥底でベントスが多い海底であった。観察された魚類は、水深約 150m ではスケトウダラの 0 歳魚、ガヤモドキ、ホッケの 3 種であった。スケトウダラの 0 歳魚は 4 尾確認され、海底付近を単独あるいは数尾で遊泳していた(表 8)。水深約 190m では、上記の種に加えカレイ類が観察された。スケトウダラ 0 歳魚が多く、約 60 尾が海底付近を単独または小群で遊泳していた(表 9)。なお、海底面上 5～6m にはスケトウダラ 0 歳魚の餌料であるヤムシが多数観察され、餌料環境が良い海域と考えられる。

表 7 折込根沖での ROV の観察概要 (平成 24 年 8 月 4 日)

観察項目	ROV での観察結果
底 質	各地点とも海底は砂泥質であり、所々で転石が確認された。
透 視 度	海底付近は自然光が届いておらず、透視度は ROV のライトの照射範囲の 2～3m 程度であった。
ベントス	海底面には、イソギンチャク類、ウニ類、クモヒトデ類等が生息していた他、岩礁や転石表面にはウミシダ類の着生も確認された。
主な魚類	スケトウダラの他には転石帯でガヤモドキが多数観察された。ガヤモドキは転石に寄り添うように滞泳しており、中には腹部の張り出した産仔前と思われる個体も確認された。
スケトウダラ 0 歳魚	合計 230 尾程度観察された。ただし、ROV のライトやストロボ光によって逸散している可能性が高い。
そ の 他	海底面や 5～6m 浮上した所でスケトウダラの餌料となるヤムシの遊泳が多数確認された。

表 8 折込根沖の ROV 潜航 1 回目(水深 153～154m)の観察結果(平成 24 年 8 月 4 日)

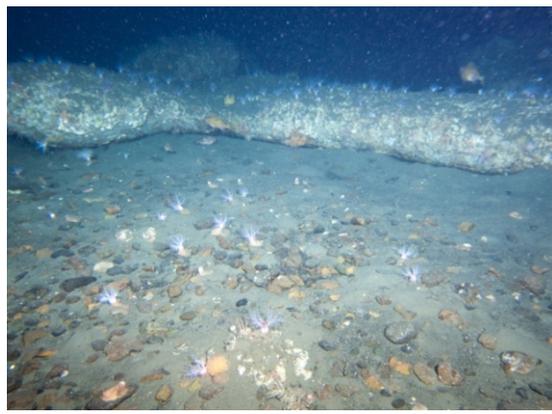
種 類	全長(cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3～8	4	海底付近を単独または数尾で遊泳
ガヤモドキ	10～20	170	〃
ホッケ	25～35	5	海底面に定座

表 9 折込根沖の ROV 潜航 2 回目(水深 185～195m)の観察結果(平成 24 年 8 月 4 日)

種 類	全長(cm)	個体数	主な蛸集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3～8	60	海底付近を単独または小群で遊泳
ガヤモドキ	10～20	1	海底付近を単独で遊泳
ホッケ	25～35	2	〃
カレイ類	15～25	1	海底面に定座



転石帯のガヤモドキ



転石帯のガヤモドキ



転石帯のスケトウダラの0歳魚



転石帯のスケトウダラの0歳魚

写真6 折込根沖の転石帯のガヤモドキとスケトウダラの0歳魚(平成24年8月4日)



転石帯のスケトウダラの0歳魚



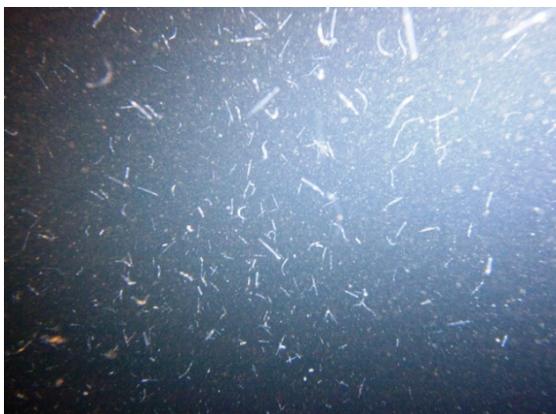
転石帯のスケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚



海底から5~6m上にヤムシが多い



海底面に定座するホッケ

写真7 折込根沖の転石帯と砂泥底のスケトウダラ0歳魚とホッケ(平成24年8月4日)

(2) 小樽堆沖

小樽堆沖では水深184~190mで2回潜航した。ROV調査で観察された魚類は、1回目の潜航で、スケトウダラの0歳魚、カレイ類、カジカ類の3種であった。スケトウダラの0歳魚は全長3~8cmが50尾確認され、海底付近を単独で遊泳していた。2回目の潜航では、上記の種に加えホッケが観察され、スケトウダラの0歳魚は45尾が海底付近を単独で遊泳していた。

表 10 小樽堆沖での ROV の観察概要(平成 24 年 8 月 21 日)

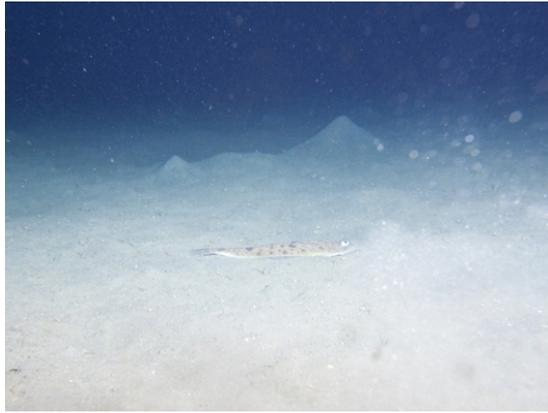
項目	ROV での観察結果
底質	各調査地点とも海底は泥質であり、ROV が着底すると泥分が舞い上がり、視界が遮られる状況であった。
透視度	海底付近は自然光が届いておらず、透視度は ROV のライトの照射範囲の 2~3m 程度であった。
ベントス	海底面には、3~5cm 程度のエビ類が多数観察された。その他にはイソギンチャク類、ウニ類、クモヒトデ類等が散見された。
主な魚類	魚類はスケトウダラの 0 歳魚の他、カレイ類、カジカ類、ホッケが少量観察されたのみであった。
スケトウダラ 0 歳魚	スケトウダラ 0 歳魚は合計 100 尾程度観察された。

表 11 小樽堆沖 ROV 潜航 1 回目(水深 184~190m)の観察結果(平成 24 年 8 月 21 日)

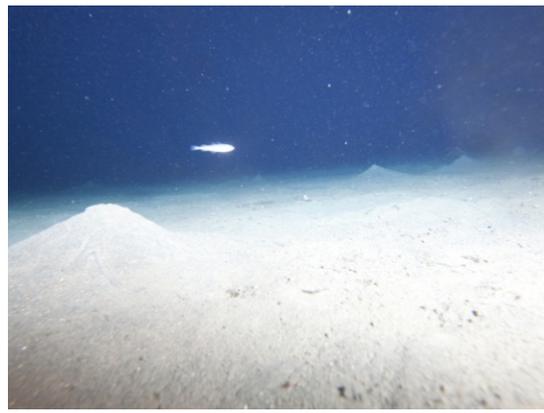
魚種	全長(cm)	尾数(尾)	主な蟻集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3~8	50	海底付近を単独で遊泳
カレイ類	10~20	2	海底面に定座
カジカ類	15~25	1	〃

表 12 小樽堆沖 ROV 潜航 2 回目(水深 184~190m)の観察結果(平成 24 年 8 月 21 日)

魚種	全長(cm)	尾数(尾)	主な蟻集場所および行動
スケトウダラ 0 歳魚	3~8	45	海底付近を単独で遊泳
ホッケ	25~35	2	海底付近を単独で遊泳
カレイ類	15~25	3	海底面に定座
カジカ類	25~35	3	〃



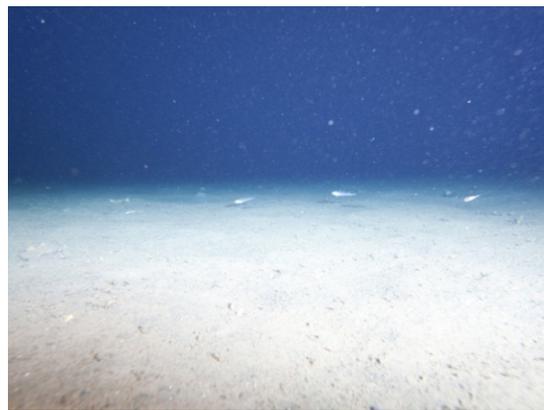
カレイ類



スケトウダラの0歳魚



スケトウダラの0歳魚とカニ類



スケトウダラの0歳魚

写真8 小樽堆沖（水深184～190m）のスケトウダラの0歳魚（平成24年8月21日）

5) ROV 調査の主要な結果

以上、3カ年のROV調査の結果、折込根沖および小樽堆の水深約200mの砂泥底および転石混じりの砂泥底にスケトウダラの0歳魚が単独もしくは小さな群れを作って遊泳している状況が観察できた。折込根沖では毎年0歳魚が確認されたことから、この海域には高い頻度でスケトウダラの0歳魚が分布しているものと推察される。

当該海域は、太平洋側に比べ貧栄養で生物生産は少ない海域ではあるもののエビ類やベントスが分布し、定性的ではあるが海底の生物は多いと考えられる。また、底層付近にはヤムシのスウォームを確認された。これら動物プランクトンの群れは0歳魚の好適な餌料になっている可能性がある。

2 水質調査結果

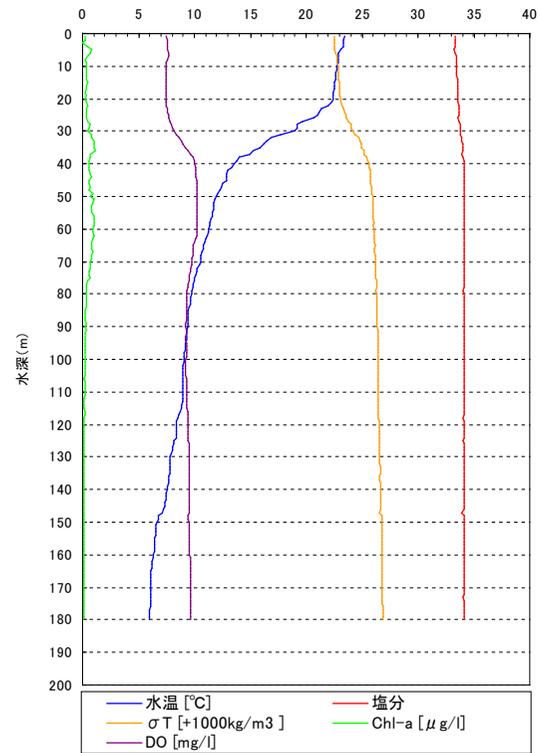
平成 22 年には 3 海域(天売西方沖、北武蔵堆北部、折込根沖)で、CTD(多項目水質計)を用いて水質鉛直分布を測定した。平成 24 年には CTD による水質の鉛直分布に加え、バンドン採水器による 6 層の採水を行い、栄養塩濃度の分析を実施した。以下に各年の結果を示す。

1) 天売西方沖、北武蔵堆北部、折込根沖の水質の鉛直分布

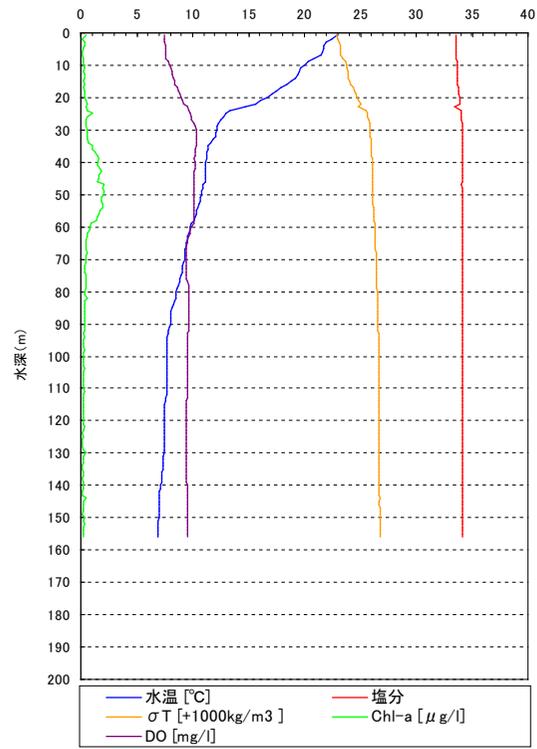
各観測位置において、CTD を船上から海底まで垂下して、水温、塩分、水深、クロロフィル a および溶存酸素を測定した。調査結果の概要を表 13 に示す。また、3 箇所の水質の測定結果を図 1 に示す。水深 20~40m において水温躍層が形成されており、上下層で水温差(密度差)が大きかった。折込根沖においては水深 160m においても水温躍層が見られた。このことから、スケトウダラの 0 歳魚が分布する水深帯には、より深所からの底層水の差し込みがあると推測された。

表 13 3 地区の CTD 調査結果の概要 (平成 22 年 8 月, 9 月)

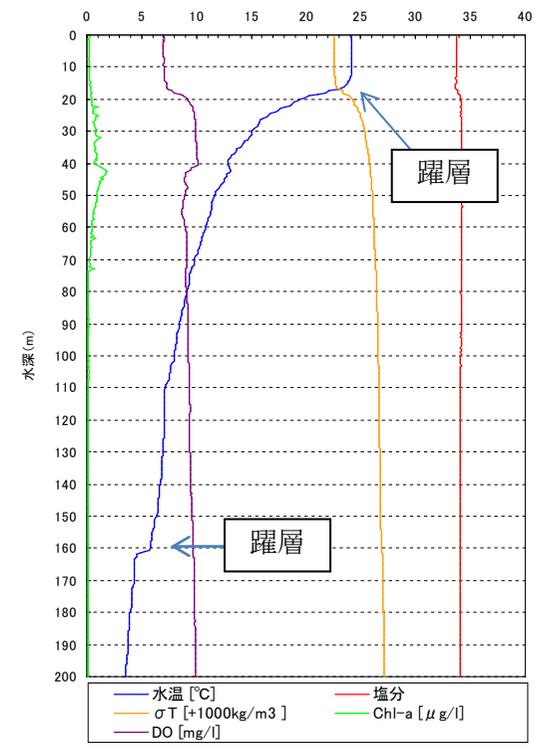
測定項目	調査結果の概要
水温	<p>水温は水深と共に大きな変化を示した。表層では 23~24℃と暖かいが、水深 30~40m 深くなると約 10℃降下した。強い温度躍層が水深 20~40m に形成されており、水深 40m 以深も水温は単調に減少し、水深 160~180m 以深では水温 5℃以下になった。</p> <p>スケトウダラの成魚が 8 月 19 日の北武蔵堆北部で観察されているが、水温は 5℃程度であった。また、9 月 5 日に折込根沖でスケトウダラの 0 歳魚が観察されているが、水温は 5℃以下であった。このことから、成魚も 0 歳魚も水温の低い水深帯に分布していることが判った。</p>
塩分	<p>水深 20~30m の混合層では若干塩分が小さいが、外洋であるため大きな塩分の変化はなく、ほぼ一様であった。</p>
クロロフィル a	<p>表層および底層でクロロフィル a 濃度が小さく、混合層の下端(水温躍層の下端で水深 30~50m)で濃度のピーク値を示す傾向は一般的な外洋の傾向と同じであった。ただし、クロロフィル a 濃度の最大値は 2~3 μg/L と比較的濃度が小さかった。</p> <p>8~9 月は表層の水温が暖かく、安定した躍層が形成されていることから上下混合がしにくく、有光層への栄養塩の供給が少ないことからクロロフィル a 濃度が小さいと考えられた。</p>
溶存酸素濃度	<p>水温が高い表層では溶存酸素濃度 DO は小さく、水深が深くなり水温が低下すると DO は高くなった。特に、水温躍層の下部でクロロフィル a 濃度が高い水深帯では DO が増大した。これは、植物プランクトンの光合成により、DO が増大しているものと見られた。</p>



天壳西方沖 平成 22 年 8 月 19 日



北武蔵堆の北部海域 平成 22 年 8 月 19 日



折込根沖 平成 22 年 9 月 5 日

図 1 各海域の水温、塩分、密度、クロロフィル a、溶存酸素の鉛直分布 (平成 22 年 8 月, 9 月)

2) 折込根沖の水質の鉛直分布

CTD 調査は流速計の設置時と回収時の 2 回実施した。8 月 5 日と 24 日の CTD 調査の結果の概要を表 14 と表 15 に示す。また、水質の鉛直分布図を図 2 に示す。この図には光量子の測定結果も示す。夏季の折込根沖の水塊構造は水深 20~40m に水温躍層があり、上下層で温度差が 9~10℃と大きく、安定した水温躍層が形成されていた。台風や低気圧の通過等で大きな波浪が発生しないと、このような躍層は破壊されないと考えられた。

水温躍層の下層では、光量がある水深帯(水深 60m 前後)でクロロフィル a が極大となった。これは下層からの栄養塩供給があることと、光量があることで植物プランクトンが増殖しているものと考えられた。

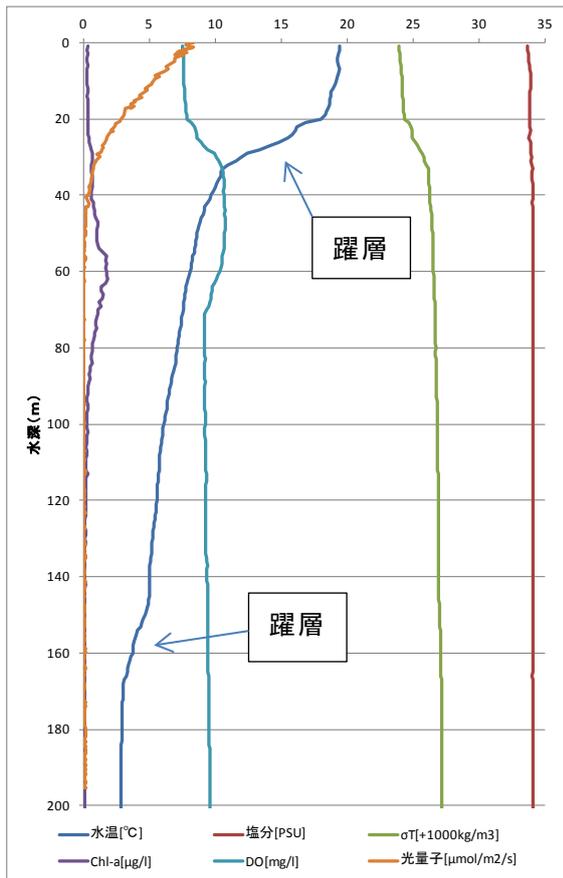
平成 22 年 9 月にも観察されたが、8 月 5 日の水深 160m 前後で水温躍層が見られた。ただし、8 月 24 日では観測されなかった。

表 14 折込根沖の CTD 調査結果の概要 (平成 24 年 8 月 5 日)

測定項目	調査結果の概要
水温	水深 20~30m にて躍層が認められた。上の混合層では 19℃前後で均一、水温躍層で約 10℃水温が低下した。安定した強い躍層構造であり、躍層下では緩やかに水温は低下した。水深 160m 付近にも、やや弱い水温躍層が見られ、最下層は 3℃未満の冷水塊であった。
塩分	表層での淡水の影響も少なく、全層において 34.0 前後である。
密度 σ_T	比較的に塩分が一様なため、水温躍層と同じ位置に密度躍層が認められた。
クロロフィル a	躍層下の水深 60m 付近に極大層 (1.8 $\mu\text{g/L}$) が見られた。
溶存酸素	躍層下の水深 30~60m にかけて、10mg/L を超える極大層が見られた。
光量子	有光層は概ね水深 40m 未満と推察された。

表 15 折込根沖の CTD 調査結果の概要 (平成 24 年 8 月 24 日)

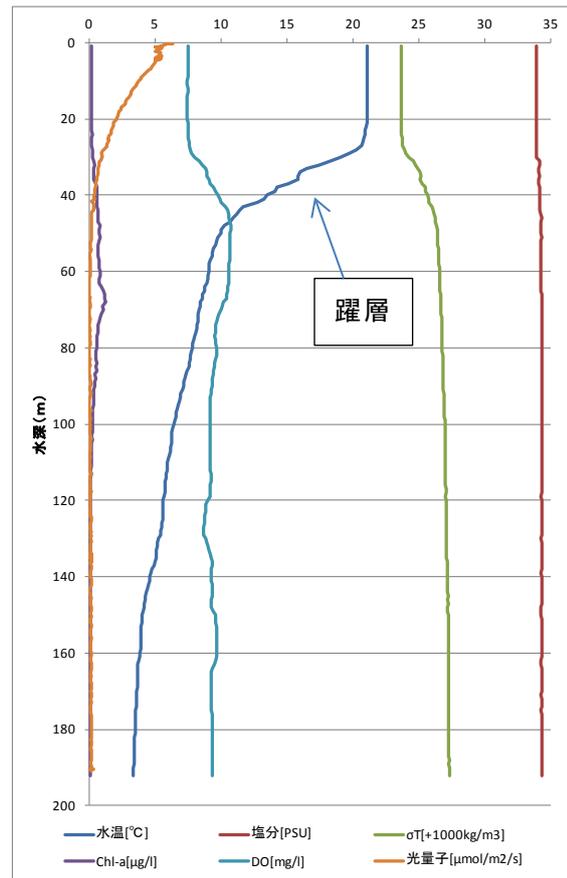
測定項目	調査結果の概要
水温	水深 30~40m にて躍層が認められた。上の混合層では 21℃前後で均一、躍層下では 10℃以上低下し、その後は緩やかに水温が低下した。水深 160m 付近の水温躍層は見られなくなった。最下層では 3.4℃であった。
塩分	表層での淡水の影響も少なく、全層において 34.2 前後であった。
密度 σ_T	塩分が一様なため、水温躍層と同じ位置に密度躍層が認められた。
クロロフィル a	躍層下の水深 70m 付近に極大層 (1.2 $\mu\text{g/L}$) が見られた。
溶存酸素	躍層下の水深 50~70m にかけて、10mg/L を超える極大層が見られた。
光量子	有光層は概ね水深 40m 未満と推察された。



水質計測の鉛直分布(8/5 5:38)

※水中光量子量のみ 9:29

船上光量子量は平均 $9.4 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$



水質計測の鉛直分布(8/24 7:05)

※水中光量子量のみ 8:56、

船上光量子量は平均 $6.3 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

図 2 折込根沖での CTD による水質調査結果 (平成 24 年 8 月)

3) 底層の水温変動

流況観測機器 (ADCP) には水温計が付属している。平成 24 年 8 月 5 日から 24 日まで流況観測期間に観測された水温の経時変化を図 3 に示す。当初、水温は 2.6°C であったが、上昇と下降を繰り返す、観測終了時は水温 3.2°C となった。緩やかな水温上昇は、上層からの熱伝導の影響と見られた。一方、急激な水温の上下降は、異なる水塊の移流や底層水の差し込みがあったと推察された。図 7.2 によると 8 月 5 日の水深 160m 前後に水温躍層があり、海底は冷水に覆われていた。この冷水がゆっくりと振動している可能性があると推察された。

観測期間中の最も大きな動きとしては、8/17~19 にかけて水温 3°C 近くから 1.7°C へと低下した。

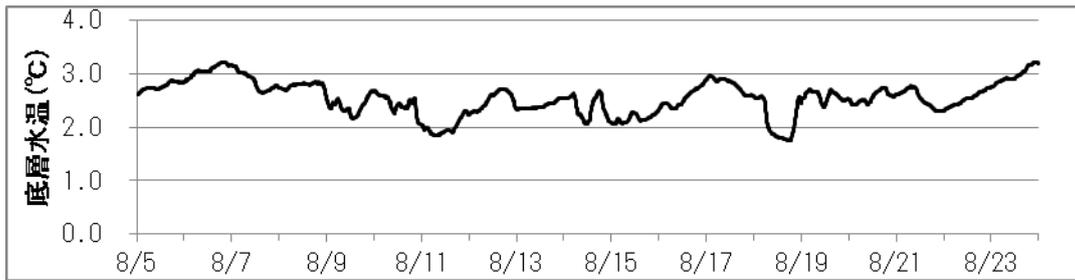


図3 海底水温(水深約200m)の経時変化(平成24年8月;折込根沖)

4) 栄養塩濃度の鉛直分布

8/5と8/24の2回、水深5m、20m、40m、70m、100m、190mから海水試料を採集し、水質分析を行った。分析項目は、アンモニア態窒素(NH₄-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、リン酸態リン(PO₄-P)、ケイ酸態ケイ素(SiO₂-Si)とした。分析結果を表16に示す。また、分析結果を図4、図5に示す。

アンモニア態(NH₄)と亜硝酸態(NO₂)は検出されなかった。硝酸態窒素(NO₃)は、水深40mまでは検出されず、水深70m以深では水深が深いほど濃度が高かった。リン酸態リン(PO₄)は、水深20mまで検出されず、水深40mで0.003mg/L、それ以深では深いほど濃度が高かった。ケイ酸態ケイ素(SiO₂)は、8/5には水深40mまでは0.02mg/L程度だが、それ以深は深いほど濃度が高く、底層では0.47mg/Lとなった。8/24では水深20mまで検出されなかった。

栄養塩類は、水深40m程度までは貧栄養な状況であった。CTDの結果でも、水深20~40mに水温躍層があり、上下層の混合が行われていないことが推測され、上層の栄養塩類は植物プランクトンの増殖に消費され、枯渇に近い状況にあると推察された。

躍層下の海水の栄養塩類の評価を行うため、栄養塩類の分析結果からN/P比とSi/P比を示した。レッドフィールド比(N/P=16)を目安に評価を行うと、リンに比して窒素が不足する状況であった。またケイ素は、底層ではリンに比べて豊富であった。

表16 採水試料の分析結果

単位: mg/L		アンモニア 態窒素	亜硝酸 態窒素	硝酸態 窒素	ケイ酸態 ケイ素	リン酸 態リン
採水日	水深	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	SiO ₂ -Si	PO ₄ -P
H24.8.5	5m	-	-	-	0.02	-
	20m	-	-	-	0.02	-
	40m	-	-	-	0.03	0.003
	70m	-	-	0.07	0.08	0.013
	100m	-	-	0.11	0.21	0.021
	190m	-	-	0.18	0.47	0.033
H24.8.24	5m	-	-	-	-	-
	20m	-	-	-	-	-
	40m	-	-	-	0.01	0.003
	70m	-	-	0.05	0.08	0.013
	100m	-	-	0.11	0.2	0.021
	190m	-	-	0.16	0.5	0.031
定量下限値		0.01	0.001	0.01	0.01	0.002

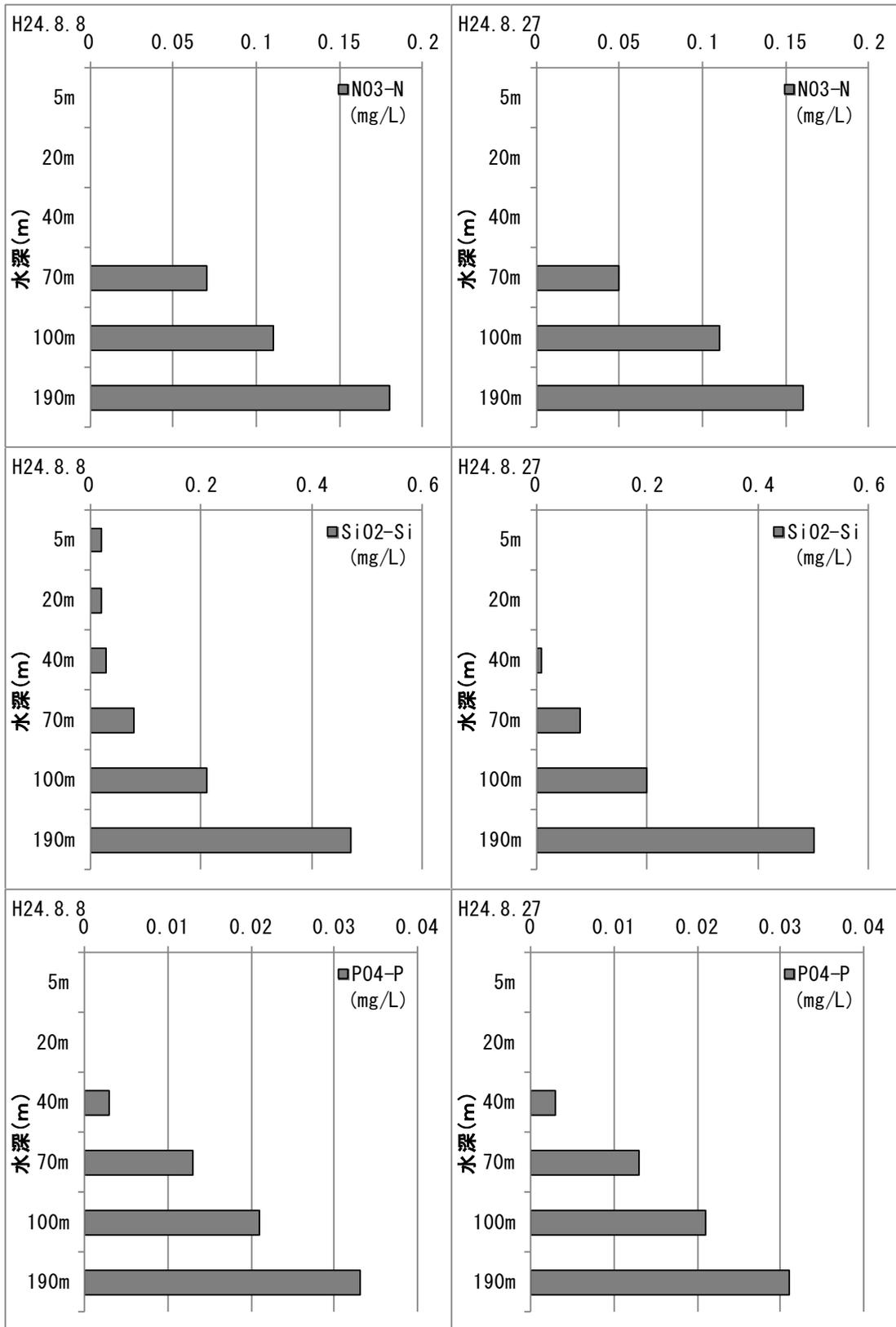


図4 栄養塩濃度の分析結果(平成24年度、折込根沖)

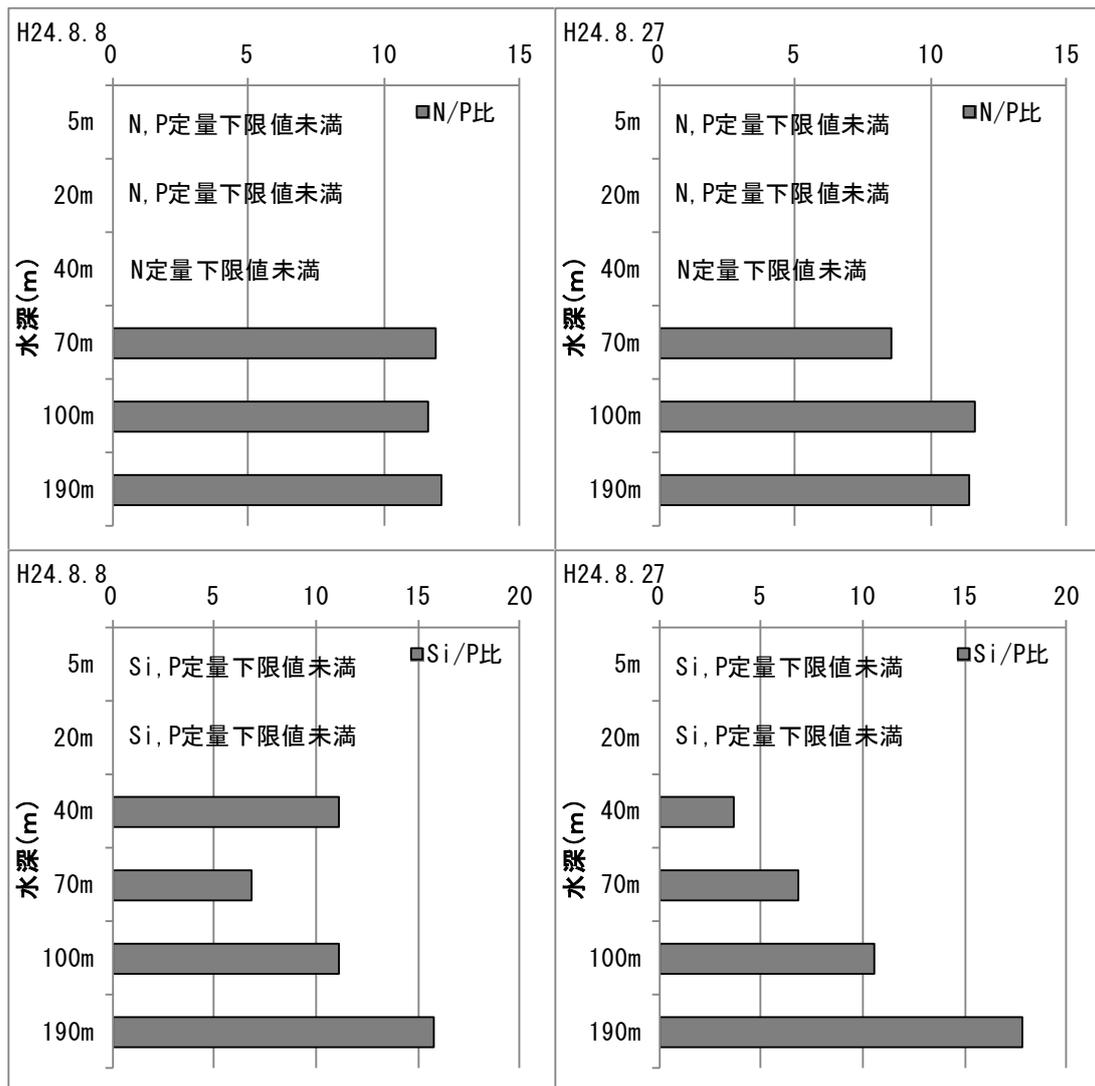


図5 採水試料のN/P比とSi/P比(平成24年度、折込根沖)

5) 水質調査結果のまとめ

- 以上のCTDによる水質の鉛直分布および6層から採水した栄養塩濃度の結果によると、スケトウダラの0歳魚が分布する折込根沖の水質はおおよそ以下のとおりと評価できた。
- ①水深20~40mに水温躍層があり、この躍層の下方でクロロフィルの極大値が見られた。
 - ②水温躍層の上下で水温差が9~10℃以上あり、成層構造が安定していた。
 - ③海底上の水温は安定せず、1.7℃~3.2℃の間で短期的な変動をしていた。
 - ④水深160m付近でも温度躍層が見られ、下層から低水温の海水が差し込んでいる可能性がある。特に、スケトウダラの0歳魚はこのような環境に分布していた。
 - ⑤水深が浅い混合層(躍層の上層)では、栄養塩のN、P、Si全て枯渇し貧栄養であった。
 - ⑥水温躍層以深ではN/P<16で窒素律則であった。

3 植物プランクトン調査結果

1) 植物プランクトンの分析結果

植物プランクトンの採集は折込根沖において平成24年8月5日と8月24日に実施した。分析結果を表17と表18に示す。植物プランクトンの細胞数は $10^3 \sim 10^4$ 細胞/Lの範囲であり、比較的少なかった。躍層より上の混合層では細胞数がやや多い傾向にあるが、珪藻類は優占種でも 10^3 細胞/Lと少なかった。出現種の特徴として、表17から、以下のような特徴が見られた。

- ①渦鞭毛藻ギムノディニウム *Gymnodinales* が表層から躍層まで多かった。
- ②珪藻のタラシオシーラ科 *Detonula confervacea* が水深20mで多く、同 *Thalassiosia* sp. は水深70mで多かった。

表18からは、以下のような特徴が見られた。

- ③渦鞭毛藻ギムノディニウム *Gymnodinales* が全層で多かった。
- ④珪藻ビドゥルフィア *Hemilius membranaceus* は表層から20mまで多かった。

優占種である渦鞭毛藻類は約半数の種が光合成を行い、残りは従属栄養性であることが知られている。表7.18によると全層でギムノディニウム科が分布し、光量が低い水深70mでも比較的多く分布していることから、光合成に依存しない渦鞭毛藻類の可能性が示唆された。

珪藻類は細胞数が優占種でも 10^3 細胞/Lと少なかった。種構成の変化から水塊移動が示唆された。すなわち、表17(1回目)で比較的多く出現がみられた上記②の *D. confervacea* は、細胞の長さ $15 \sim 30 \mu\text{m}$ 、幅 $6 \sim 20 \mu\text{m}$ の北方冷水性種である。これに対して、表18(2回目)で比較的多く出現した上記④の *H. membranaceus* は、細胞の長さ $30 \sim 97 \mu\text{m}$ 、幅は高さの5~6倍の暖海性種である。1回目と2回目で種の交代が見られたことから、1回目(冷水塊)と2回目(暖水塊)で水塊が移動・交替したことが示唆された。

なお、1回目の水深70mで珪藻タラシオシーラ *Thalassiosia* sp. が多く見られたが、有光層(40m)以深で出現した植物プランクトンは沈降途中であると考えられ、光合成は行っていないものと推察された。

2) 植物プランクトン調査の主な結果

植物プランクトンの調査結果から、以下のような特徴を得た。

- ①8/5と8/24に植物プランクトンを4層で採取した。細胞数は $10^3 \sim 10^4$ 細胞/Lの範囲にあり比較的少なかった。中でも珪藻類は優占種でも 10^3 細胞/Lと少なかった。
- ②渦鞭毛藻類の *Gymnodinales* が優占種として出現していた。
- ③1回目での珪藻は *D. confervacea* が優占し、2回目は *H. membranaceus* が優占した。
- ④ *D. confervacea* は冷水性種、*H. membranaceus* は暖海性種であることから、海水が短期間に入れ代わった可能性が示唆された。

表 17 折込根沖での植物プランクトン分析結果(平成 24 年 8 月 4 日)

単位：細胞/L

No.	門	綱	目	科	種名	5m	20m	40m	70m	
1	クリプト植物	クリプト藻	—	—	Cryptophyceae	480	1,260	1,980	60	
2	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻	プロロケントルム	プロロケントルム	Prorocentrum balticum	900	300	120		
3			ディノフィシス	ディノフィシス	Dinophysis mitra	30				
4			ギムノディニウム	ギムノディニウム	Gyrodinium sp.	360	120			
5				プロノクティルカ	Pronoctiluca spinifera			60	60	
6				—	—	Gymnodiniales	6,840	1,200	3,480	360
7			ペリディニウム	ケラチウム	ケラチウム	Ceratium fusus		60		30
8				ペリディニウム	ペリディニウム	Protoperidinium sp.			60	
9				カルキオディネラ	カルキオディネラ	Scrippsiella sp.	60			
10				—	—	Peridinales	600	120	2,220	240
11			黄色植物	珪藻	円心	タラシオシーラ	Detonula confervacea		1,920	
12		Thalassiosira sp.							780	
13		ヘリオペルタ				Actinoptychus senarius				60
14	リゾソレニア	リゾソレニア				Rhizosolenia alata	30			
15						Rhizosolenia fragilissima			240	
16						Rhizosolenia hebetata f. semispina	60	30		
17					Rhizosolenia phuketensis			240	180	
18		ビドゥルフィア			Hemiaulus membranaceus	120				
19	羽状	ナビキュラ			ナビキュラ	Navicula sp.		60		
20		ニツチア			ニツチア	Nitzschia spp.	180	120		
21	緑色植物	プラシノ藻	—	—	Prasinophyceae			420		
22	不明	不明	不明	不明	不明 (微細鞭毛藻)	2,160	780	3,900	600	
種類数						12	11	10	9	
細胞数 (細胞/L)						11,820	5,970	12,720	2,370	
沈殿量 (ml/L)						0.04	0.03	0.03	0.03	

表 18 折込根沖での植物プランクトン分析結果(平成 24 年 8 月 24 日)

単位：細胞/L

No.	門	綱	目	科	種名	5m	20m	40m	70m
1	クリプト植物	クリプト藻	—	—	Cryptophyceae			360	300
2	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻	プロロケントルム	プロロケントルム	Prorocentrum balticum	240	60	120	
3			ギムノディニウム	—	Gymnodiniales	1,500	1,440	600	720
4			ピロキスティス	ピロキスティス	Dissodinium pseudolunula	15	15		
5			ペリディニウム	ケラチウム	Ceratium furca	30			
6					Ceratium fusus			15	
7					Ceratium macroceros	30	15		
8			ペリディニウム	Protoperidinium sp.					60
9			カルキオディネラ	Scrippsiella sp.	300	120	60		
10			—	Peridinales	480	360	120		
11			黄色植物	珪藻	円心	タラシオシーラ	Thalassiosira sp.		
12	メロシーラ	Corethron hystrix							45
13	リゾソレニア	Guinardia flaccida					60		
14		Rhizosolenia alata				15	15		
15		Rhizosolenia hebetata					30	60	
16	ビドゥルフィア	Hemiaulus membranaceus				3,060	2,280	60	
17	キートケロス	Bacteriastrum varians				900	600		
18		Chaetoceros affine				180			
19		Chaetoceros danicum				150			
20		Chaetoceros lorenzianum				120			
21		Chaetoceros peruvianum				30			
22		Chaetoceros sp.					180		
23								180	
24	羽状	ニッチア			Fragilariopsis doliolus				60
25	ハプト植物	ハプト藻	—	—	Haptophyceae		480	300	
26	緑色植物	プラシノ藻	—	—	Prasinophyceae			60	60
27	不明	不明	不明	不明	不明 (微細鞭毛藻)	600	480	1,380	660
種類数						14	15	14	8
細胞数 (細胞/L)						7,620	6,045	3,525	2,565
沈殿量 (ml/L)						0.03	0.04	0.02	0.01

4 動物プランクトン調査結果

動物プランクトンの採集は、平成 22 年度では天売西方沖と折込根沖の ROV 調査時、平成 24 年度では折込根沖で ROV 調査後の流速計の設置時および流速計の回収時に行った。

1) 平成 22 年度の動物プランクトン調査結果

動物プランクトンの採取は天売西方沖(8月19日)と折込根沖(9月5日)で実施した。全水深を3層に分けて、鉛直方向60~70mの範囲毎にプランクトンネットを鉛直曳きした。表19に天売西方沖と折込根沖のデータを示す。

全体的な傾向として、上層で出現種数が多い傾向にあり、下層では種数が少なかった。天売西方沖では水深が浅い層ほど種数・個体数が多い傾向にあった。折込根沖では中層で個体数が多かった。

動物プランクトンで多く見られた種はカイアシ類でカラヌス目の *Metridia pacifica* やオイトナ科の *Oithona atlantica* であった。この時期は水温成層が発達し、上層の混合層では植物プランクトンに海水中の栄養塩が消費され、貧栄養になっていると推察される。その結果、動物プランクトンも少なかったと考えられる。

天売西方沖の上中層ではオタマボヤ科が多かった。天売西方沖の下層の沈澱量が個体数に比べて多くなっていたが、この原因はオタマボヤ類のハウスや同定困難なヒドロムシ類の破片が多く混入しており、これらは個体数の計数対象としなかったためである。

(参考)オタマボヤのハウス

オタマボヤの成体はハウスと呼ばれる構造物を表皮から分泌する。ハウスは餌となる植物プランクトンを収集する機能を持つ。餌の収集には、オタマボヤは尾を前後に振り、ハウスへの水流を作り出し、ハウスの中へと餌などの微粒子を含んだ海水を流入させる。ハウス内のフィルターを通過した海水は出水口から流出する。フィルターにトラップされた微粒子はオタマボヤの口へと運ばれる。

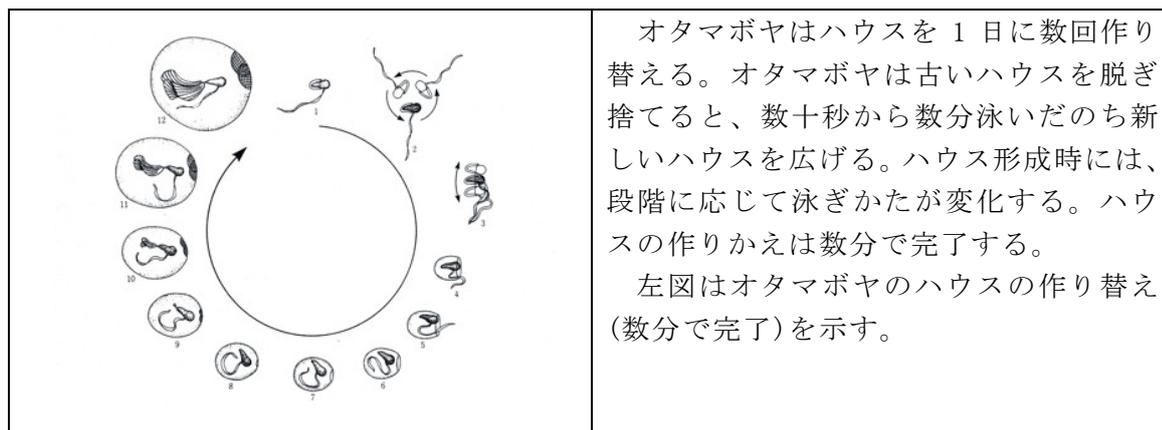


表 19 天売西方沖および折込根沖における動物プランクトンの分析結果 (平成 22 年 8 月, 9 月)

No.	門	綱 (亜綱)	目	科	種名	天売西方沖			折込根沖					
						0-60m	60-120m	120-180m	0-60m	60-130m	130-200m			
						単位 : 個体/m ³			単位 : 個体/m ³					
1	肉質鞭毛虫	根足虫	有孔虫	-	Foraminifera				+					
2	刺胞動物門	ヒドロムシ綱	ヒドロムシ目	ウミサカズキガヤ科	Obelia sp.	1								
3														
4														
5														
6	軟体動物門	マキガイ綱	-	-	Gastropoda (larva)						1			
7	環形動物門	甲殻綱 (鯧脚亜綱)	ミジンコ目	ウミオオメミジンコ科	Evadne nordmanni	3			+					
8														
9	節足動物門	甲殻綱 (介形亜綱)	カイクシ目	-	Ostracoda						+			
10	節足動物門	甲殻綱 (桡脚亜綱)	カラヌス目	カラヌス科	Calanus pacificus	2			+					
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40	毛がく動物門	ヤムシ綱	ヤムシ目	ヤムシ科	Sagitta elegans	3								
41														
42														
43	原索動物門	オタマボヤ綱	オタマボヤ目	オタマボヤ科	Oikopleura longicauda	40	34	1			+			
44	脊ついで動物門	硬骨魚綱	-	-	Osteichthyes (egg)	1			+					
種類数						27	21	15	24	16	18			
個体数合計 (個体/m ³)						232	100	75	26	64	33			
沈殿量 (ml/m ³)						0.45	0.48	1.67	0.25	1.16	0.29			

注) “+” は <1個体/m³ を示す。

2) 平成 24 年度の動物プランクトン調査結果

平成 24 年度は折込根沖で動物プランクトンを 2 回採集した。過年度の調査結果(表 20)と個体数の比較をすると、折込根沖は動物プランクトンが少ない傾向にあった。動物プランクトンの分析結果を表 21 に示す。個体数は 1 回目の調査では上層で 27 個体/m³、下層で 72 個体/m³であったが、1 回目の中層や 2 回目の全層で 10 個体/m³前後と少なかった。1 回目と 2 回目共に甲殻綱(橈脚亜綱)カラヌス目のメトリディア科 *Metridia pacifica* が多く、特にコペポダイト期が底層(水深 130m 以深)で多かった。また、橈脚亜綱キクロプス目のオイトナ科 *Oitona atlantica* がやや多く、1 回目は表層(水深 60m 以浅)で、2 回目は中層(水深 60~130m)で他の種より多かった。これらの 2 種は平成 22 年度の調査でも見られ、また、スケトウダラの 0 歳魚の胃内容物から *M. pacifica* が多く見られたことから、餌料となっている。

O. atlantica は冷水性で、*Themisto japonica* も北方冷水性種であり、日本近海の浮遊性ヨコエビ目のなかで量的に最も多く、魚類の餌生物として極めて重要な種である。出現種のほとんどは冷水性種であり、2 回の調査で鉛直的な組成が類似することから、日本海北部特有の冷水塊の影響を強く受けていると考えられる。

一方、先の植物プランクトン調査結果では、2 回目の表層に暖水性の珪藻類が多く見られた。冷水塊と暖水塊の混合過程にあり、遊泳力を持たない植物プランクトンは暖水性の種が移流し、鉛直移動する動物プランクトンは冷水塊の固有種が残ったと考えられる。

表 20 鉛直曳きによる動物プランクトンの個体数の比較(単位；個体/m³)

測定日	採水場所	0~60m	60~130m	130~190m
H22. 8	天売西方沖	232(27)	100(21)	75(15)
H22. 9	折込根沖	26(24)	64(16)	33(18)
H24. 8. 5	折込根沖	27(12)	9(14)	72(15)
H24. 8. 24	折込根沖	8(12)	10(17)	11(13)

(注)括弧内は出現種数を示す。

「優占種」

H22 の優占種 メトリディア科、オイトナ科、オタマボヤ科

H24. 8. 5 の優占種 メトリディア科、カラヌス科、オイトナ科

H24. 8. 24 の優占種 メトリディア科、カラヌス科、オイトナ科

3) 動物プランクトン調査の主な結果

以上の動物プランクトンの 3 層の鉛直曳き調査結果をまとめると以下ようになる。

- ①平成 22 年に実施した天売西方沖の動物プランクトンに比べ、折込根沖では個体数が少なかった。特に、平成 24 年の 8 月 24 日の調査では個体数が少なかった。
- ②平成 24 年 8 月 5 日の調査では、0 歳魚の餌料である冷水性の *Metridia pacifica* が優占した。
- ③冷水性のオイトナ科の *Oitona atlantica* が平成 24 年 8 月 5 日は上層で多く、8 月 24 日には中層でやや多く分布した。
- ③夏季は植物プランクトンが少ないことと、魚類の摂餌圧が強いためか、動物プランクトンが少なかった。特に、8 月後半はスケトウダラにとって餌料不足であると推察された。

④8月24日の調査では、暖海性の植物プランクトンが観察されたが、動物プランクトンは概ね冷水性種が優占していた。暖水塊と冷水塊の交換により植物プランクトンは種構成が変わっても、動物プランクトンの構成までは変化していなかった。

表 21 折込根沖の動物プランクトンの分析結果(平成 24 年 8 月)

No.	門	綱(亜綱)	目	科	種名	調査年月日：平成24年8月・1回目			調査年月日：平成24年8月・2回目				
						8/5 0-60m	8/5 60-130m	8/5 130-190m	8/24 0-60m	8/24 60-130m	8/24 130-190m		
1	刺胞動物門	ヒドロムシ綱	カタクラゲ目	イチメガサクラゲ	Aglantha digitale		+	+			+		
2			クダクラゲ目	—	Siphonophora		+			+			
3	軟体動物門	マキガイ綱	—	—	Gastropoda (larva)					1			
4	節足動物門	甲殻綱(橈脚亜綱)	カラヌス目	カラヌス科	Calanus pacificus	+			1				
5					Calanus pacificus (copepodite)	+		+	2				
6					Mesocalanus tenuicornis	3	+		1	1			
7					Mesocalanus tenuicornis (copepodite)	5			+	+			
8					Neocalanus cristatus (copepodite)	+	1	+		+	+		
9					Neocalanus spp. (copepodite)	8	1	1	2	1	1		
10					Pseudocalanus minutus (copepodite)		2	2		1	2		
11					Pseudocalanus newmani	+							
12					Pseudocalanus newmani (copepodite)			2					
13					ユウカラヌス科	Eucalanus sp. (copepodite)					+	1	
14				ユウキータ科	Euchaetidae (copepodite)					+	+		
15				メトリディア科	Metridia pacifica			+	2		+	2	
16					Metridia pacifica (copepodite)			2	56	+	2	5	
17				スコレスリックス科	Scolecithricella minor				+		1		
18					Scolecithricella minor (copepodite)			+	1			+	
19				キクロプス目	オイトナ科	Oithona atlantica		8	2	5	+	3	
20						Oithona atlantica (copepodite)		1	1				
21	甲殻綱(軟甲亜綱)	ヨコエビ目	ヘラウミノミ科	Vibilia australis				1					
22			クラゲノミ科	Themisto japonica		1	+	1		+			
23			—	Amphipoda					+				
24			オキアミ目	—	Euphausiacea (furcilia)				+				
25	毛がく動物門	ヤムシ綱	ヤムシ目	ヤムシ科	Sagitta elegans	1	+	2		+	+		
26					Sagitta sp. (juvenile)	+		+	+				
27	原索動物門	オタマボヤ綱	オタマボヤ目	オタマボヤ科	Oikopleura longicauda					+	+		
28					Oikopleura sp.			+	+		+		
29					サルバ綱	サルバ目	サルバ科	Cyclosalpa bakeri				1	
30	脊ついで動物門	硬骨魚綱	—	—	Osteichthyes (egg)						+		
種類数						12	14	15	12	17	13		
個体数合計(個体/m ³)						27	9	72	8	10	11		
沈殿量(ml/m ³)						0.19	0.12	0.17	0.57	0.05	0.19		
濾水量：濾水計回転数より算出(m ³)						20.3	21.8	21.3	28.0	27.5	25.9		

4) 水質環境の整理

以上の調査結果から、スケトウダラの0歳魚が生息する海域の特徴を整理する。岡市(1987)は、海域の栄養階級区分を表22のように示している。この指標を基に、0歳魚を確認した折込根沖の水質・プランクトンの範囲を区分する。水質は表層から水深70m、プランクトンは全層対象にして区分した結果を表23に示す。無機態窒素は水深70mの結果を示したので濃度が高いが、これを除けば明らかに貧栄養海域である。

表22 海域の栄養階級区分(7~9月の成層期)

特徴	腐水域	過栄養域		富栄養域	貧栄養域
		数m以深域	数m以浅域		
透明度[m]		3以下		3~10	10以上
水色	黒みをおびる	黄色、黄緑、赤褐色など着色		短期間、局部分に着色の見える場合がある	着色は見られない
COD[O ₂ mg/L]	10以上	3~10		1~3	1以下
BOD[O ₂ mg/L]	10以上	3~10		1~3	1以下
無機態窒素化合物 [μgat.N/L]	100以上	10~100		2~10	2以下
溶存酸素	表層近くまで低または無酸素状態(0~30%)	表層は過飽和、底層は無(低)酸素状態(0~30%)	表層は過飽和状態(100~200%)	表層、中層は飽和状態数m以深の底層は不飽和状態(30~80%)	表・中・底層とも飽和状態(80~100%)
硫化水素	表層近くまで認められる	底層に認められる	認められない	認められない	認められない
植物プランクトン 極大層	—	3m以浅、時には0.5m以浅になる。中層または低酸素域に形成される場合もある		数m~数十m層に形成	数十m層に形成
クロロフィル[mg/m ³]	—	10~200		1~10	1>
〃 [g/m ²]	—	0.1~1		0.05~0.1	0.05>
基礎生産量[mgC/m ³ /日]	—	10~200		1~10	1>
〃 [gC/m ² /日]	—	1~10		0.3~1.0	0.3>
泥色	黒色、表層に褐色の酸化層なし	黒色、酸化層なし	やや黒みをおび、酸化層あり	時に黒みをおび、酸化層あり	黒味なく、酸化層あり
硫化物[mg/g]	1.0<	0.3~3.0		0.03~0.3	0.03>
COD[mg/g]	—	30<		5~30	5>
微生物バクテリア* [細胞数/ml]	10 ⁶ 以上	10 ³ ~10 ⁶		10 ² ~10 ⁴	10 ² 以下
植物プランクトン [細胞数/ml]	10 ⁵ 以下、少種	10 ³ ~10 ⁶ 、少種		10 ¹ ~10 ² 、多種	10 ¹ 以上、多種
原生動物	多数	やや多数		少数	少数
動物プランクトン (甲殻類)	—	少数、少種 (多数見られる場合もある)		多数、多種	多数、多種
底生生物					
多毛類	少数、少種	少数、少種	もともと多数、多種	多数、多種	多数、多種
甲殻類	—	少数、少種		多数、多種	多数、多種
例	河口、汚水流入域	内湾奥部、汽水湖、湾口の非常に狭い内湾		内湾、水深30m以浅の沿岸海域、沖合の湧昇域	水深が30m以上ある沿岸海域、沖合海域**

注) * 生菌計数法による。 ** 水深が100m以深の層を除く(吉田陽一<1973>から)。
[出典:岡市:海洋大事典, p.420, 東京堂 1987]

表23 折込根沖の水質・プランクトンと栄養階級区分

	無機態窒素 (μg-at/l)	クロロフィルa 極大層(m)	クロロフィルa (mg/m ³)	植物プランクトン (細胞数/ml)	植物プランクトン (種数l)	植物プランクトン (甲殻類)
富栄養域	2~10	数m~数十m層に形成	1~10	10~100	多種	多数、多種
貧栄養域	2以下	数十mに形成	1以下	10以上	多種	多数、多種
8月5日	0~4.8(水深70m)	62	0.24~1.79	2~13	9~12	多数、10~11種
8月24日	0~3.3(水深70m)	68	0.18~1.22	3~8	8~15	少数、9~11種

5 底層の流動環境

1) 経時変化と出現頻度分布

折込根沖に平成 24 年 8 月 5 日に流速計 (ADCP) を設置し、8 月 24 日に回収した。観測された流況の経時変化を図 6 流速の経時変化流速ベクトルを図 7 に、海底上 6m と 66m 層の東方・北方成分経時変化を図 8 に示す。経時変化の特徴を以下に示す。

- ①8/7～10 では底上 40m～80m において、南下流 (流向 S) が卓越した。
- ②8/11～13 では底上 80m 以上において、南西流 (同 WSW) が卓越した。
- ③上記と重なるが、8/12～15 では底上 30～70m で北西流 (同 NW) が卓越した。
- ④8/20～22 では底上 30m 以上において、北西流 (流向 NW) が卓越した。最大値は 8/20 の 20 時ころ底上 50～78m 付近で大きく、底上 50m では 27cm/sec を記録した。なお同時期は高波浪時であった。

海底上 40m 以上で卓越流が、南下流や南西流と対照的な北西流であった理由は、天狗の鼻と呼ばれる NE 方向に突出した海底地形の影響と考えられる。また卓越流の不規則な出現は、イベントや大規模な海況変動に起因している可能性が有る。図 9 に流向別の流速出現頻度図を示す。潮流のような振動性の出現分布は取らず、各層に出現した卓越流方向に引っ張られた偏った分布を示した。

ほか上記②と③にて同時期に上下層で異なる流況が出現した点は、鉛直密度構造に何らかの違いがあった可能性がある。概して、底上 30m 以深 (水深 170 以深) では海水の動きは鈍かったが、北からの南下流が卓越していた。これは、設置時の鉛直観測にて、水温躍層下に冷水塊が確認された底層でもある。なお④の時化で比較的強い流況が見られたため、この冷水塊は回収時には解消された。

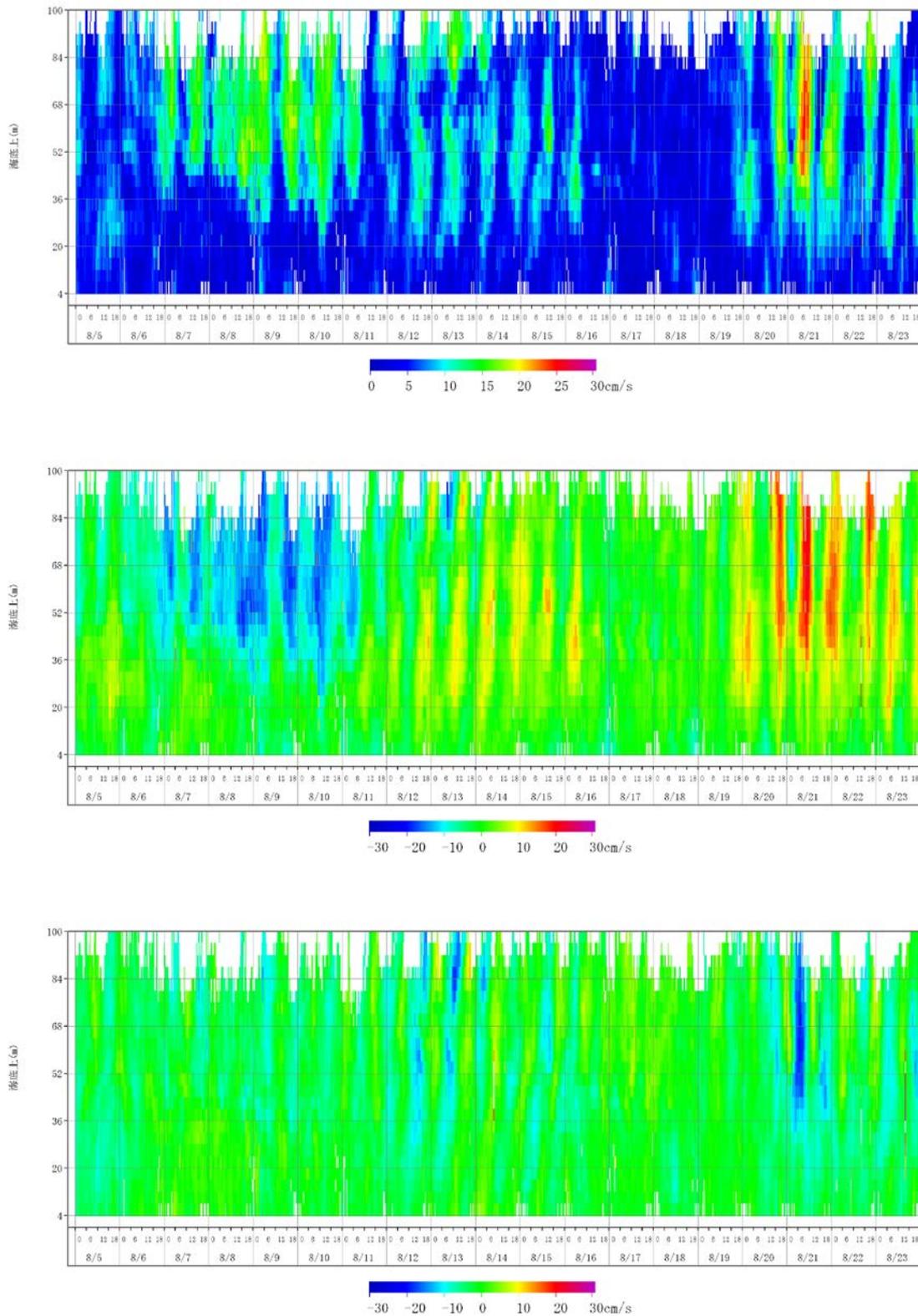


図6 流速の経時変化（平成24年8月5日～8月23日）
（上；流速値、中；北方成分、下；東方成分）

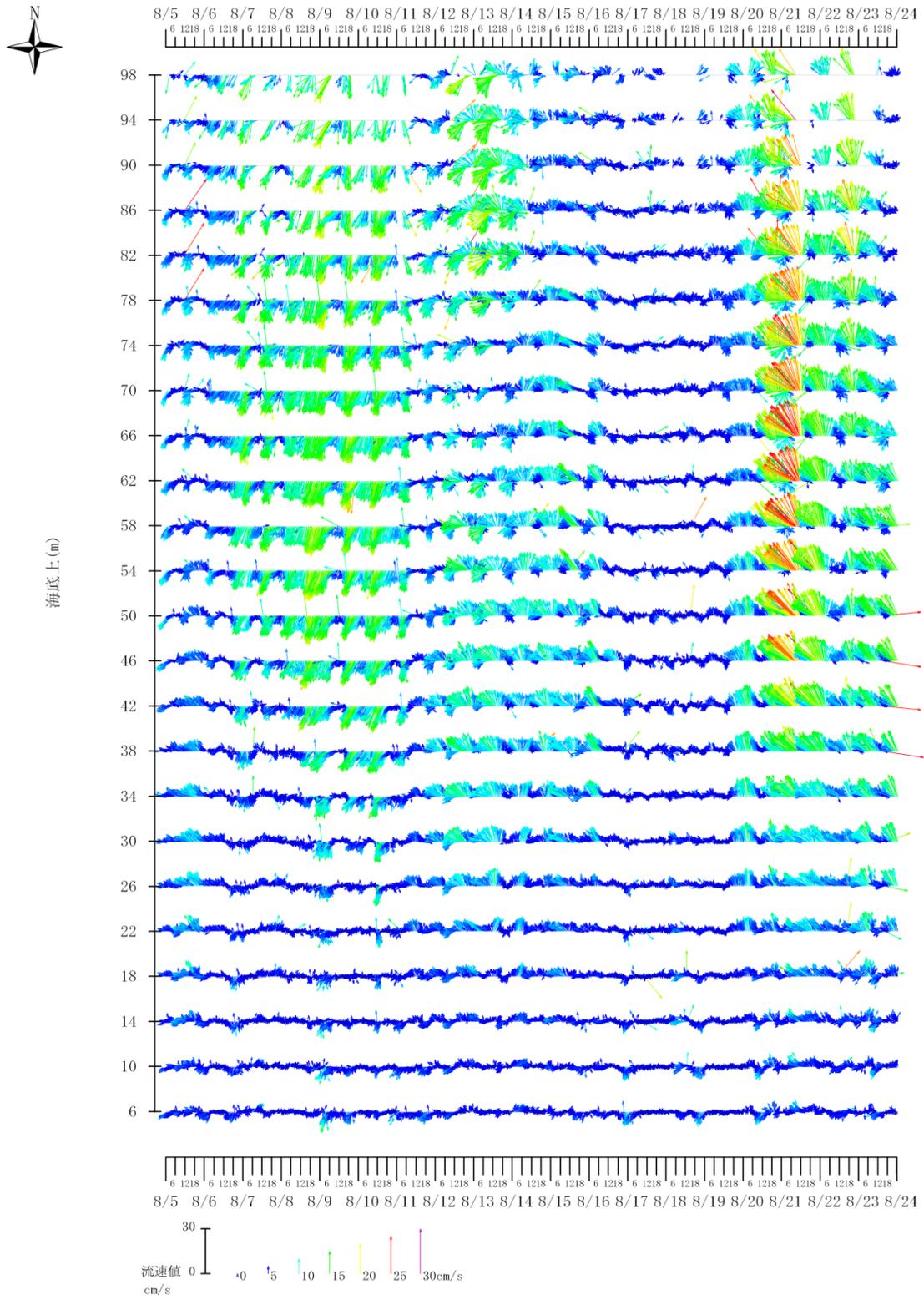


図7 流速ベクトルの経時変化 (平成24年8月5日~23日)

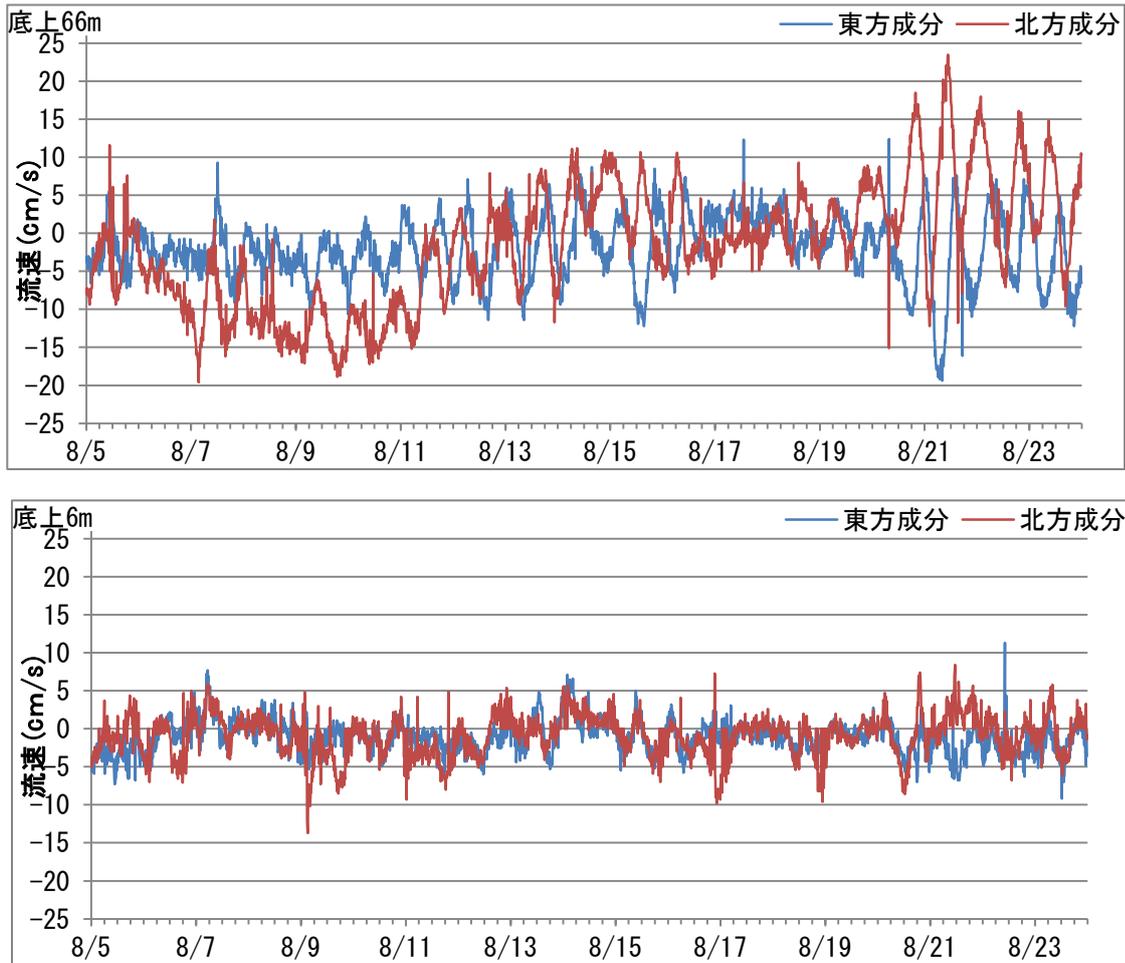


図8 海底上6mと66m層の流速の経時変化の例（平成24年8月5日～23日）

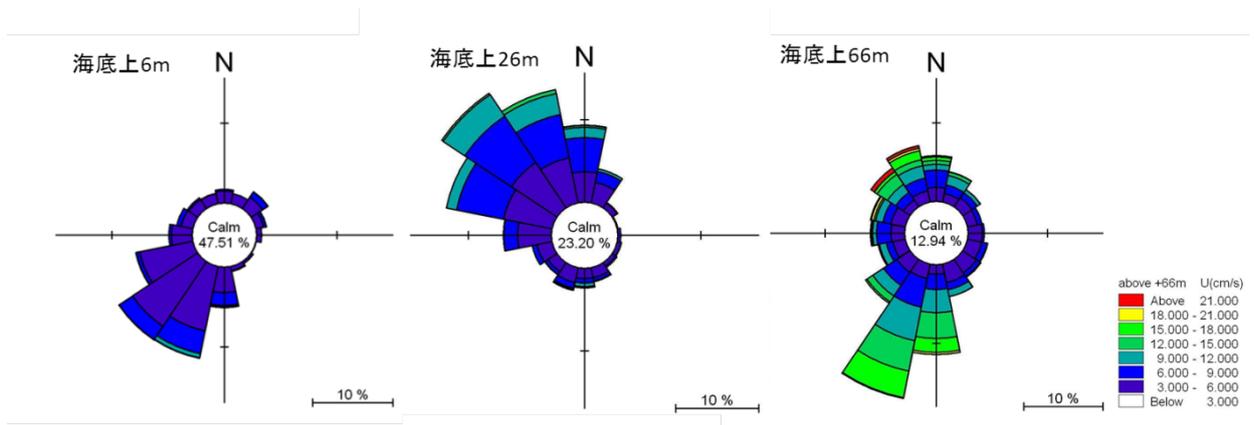


図9 流向別流速出現頻度図

2) 調和分解の結果

流況観測結果から、フーリエ法による調和分解を行い、主要 4 分潮成分を算出した。主要 4 分潮とは、日月合成周潮(K1、周期:23.93 時間)、主太陰日周期(O1、周期:25.82 時間)、主太陰半日周期(M2、周期:12.42 時間)、主太陽半日周期(S2、周期:12.00 時間)を指す。解析対象期間は 8/5~19 の 15 昼夜とした。

調和分解結果から得られた平均流成分と卓越分潮成分を表 24 に整理する。このうち、各層での流速と流向を図 10 に示す。また、図 11 に平均流が最も大きくなる底上 66m の調和分析結果を示す。各図からは潮流の特徴をまとめると、おおよそ以下のとおりとなる。

【平均流】

- ①底上 50~90m では安定した SSW 方向(202.5°)の平均流が見られた。平均流の最大は底上 70m くらいで、流速約 4cm/sec であった。
- ②底上 30m 付近では NW 方向(315°)の約 2.5cm/sec の平均流が見られた。
- ③底上 20m 未満や底上 90~100m では平均流成分は約 1.0cm/sec と小さかった。
- ④流速の経時変化では 20~30cm/sec の流速が発生しているが、潮流成分の流速は小さく、潮流の影響は小さいと考えられる。

表 24 調和分解結果による平均流と卓越分潮(期間;平成 24 年 8 月 5 日~19 日)

層 No.	底上 (m)	平均流		卓越分潮			
		流速(cm/s)	流向(°)	分潮名	周期(時間)	振幅(cm/s)	長軸方向(°)
24	98	1.20	228.7	S2	12.00	0.95	227.2
23	94	1.44	227.0	M2	12.42	1.08	182.6
22	90	2.01	215.9	M2	12.42	1.63	185.9
21	86	2.59	211.7	M2	12.42	1.86	345.6
20	82	3.22	207.8	M2	12.42	2.04	334.6
19	78	3.64	206.6	M2	12.42	2.04	320.7
18	74	3.93	205.8	M2	12.42	1.92	315.5
17	70	4.03	203.8	M2	12.42	1.76	324.1
16	66	4.05	203.3	M2	12.42	1.88	338.2
15	62	3.94	207.5	M2	12.42	2.02	343.0
14	58	3.93	210.4	M2	12.42	1.91	346.1
13	54	3.70	212.7	M2	12.42	1.93	351.9
12	50	3.20	221.3	M2	12.42	1.83	359.8
11	46	2.73	241.3	M2	12.42	1.59	357.3
10	42	2.53	277.7	M2	12.42	1.26	352.4
9	38	2.42	279.5	M2	12.42	0.97	342.0
8	34	2.37	295.7	O1	25.82	0.96	350.3
7	30	2.41	307.9	K1	23.93	0.82	282.2
6	26	2.50	312.6	K1	23.93	0.77	264.4
5	22	2.30	311.5	O1	25.82	0.82	336.4
4	18	1.81	301.9	O1	25.82	0.79	336.5
3	14	1.33	282.2	M2	12.42	0.91	202.3
2	10	1.22	244.3	M2	12.42	0.96	204.5
1	6	1.42	216.4	M2	12.42	0.89	205.4

【卓越分潮】

- ①底上 40～90m では、主太陰半日周期 (M2、周期:12.42 時間) が卓越した。流速振幅は約 2cm/s、往復方向は NNW-SSE 方向であった。
- ②上記以外での卓越成分は、S2 や K1 や O1 が出現した。しかし、何れも流速振幅が 1.0cm/s 未満と微小のため、精度良く分離できていない可能性もある。

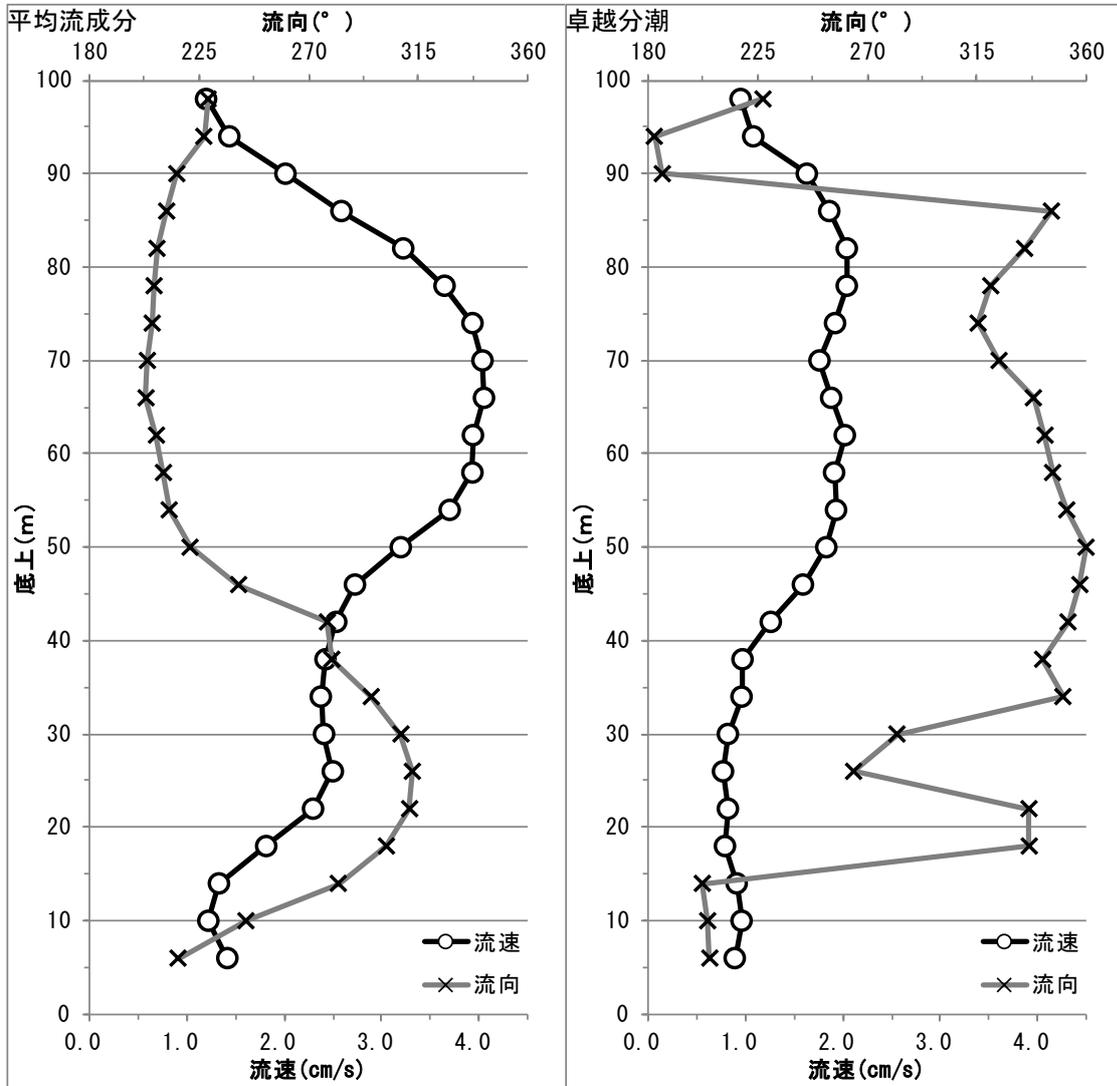


図 10 平均流成分と卓越分潮成分の流速と流向(期間；平成 24 年 8 月 5 日～19 日)

スペクトル解析を行った結果を図 12 に示す。周期 12 時間程度に見られる弱いピークは半日周潮成分である。その他に明瞭なピークは見られず、周期特性を持った変動は無いと見られる。周期 100 時間以上のエネルギー量は多いが、周期変動というよりは長期的かつ大規模な海況変動によると考えられる。

主要4分潮		M2	S2	K1	O1
周期(時間)		12.42	12.00	23.93	25.82
東方成分	振幅 cm/s	1.38	0.49	0.45	0.65
	遅角 °	341.3	334.9	337.9	247.4
北方成分	振幅 cm/s	1.81	0.48	0.40	0.11
	遅角 °	236.2	250.2	77.8	184.9
長軸方向	方向 °	338.2	51.8	298.7	85.4
	振幅 cm/s	1.88	0.50	0.46	0.65
短軸方向	方向 °	68.2	321.8	28.7	355.4
	振幅 cm/s	1.28	0.46	0.38	0.10
恒流 (cm/s)		U= -1.60		V= -3.72	

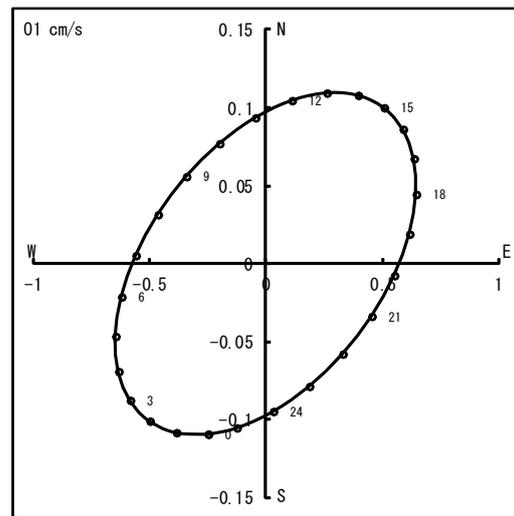
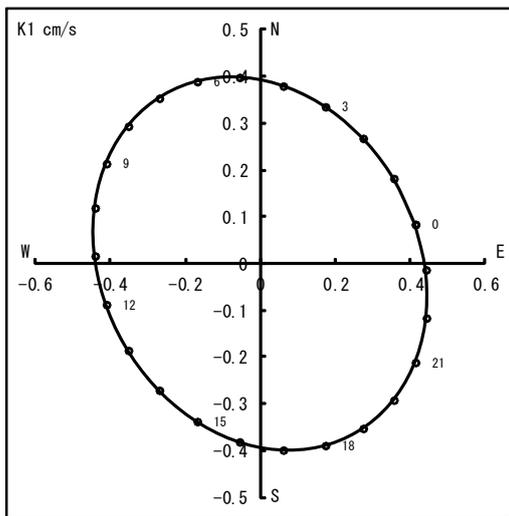
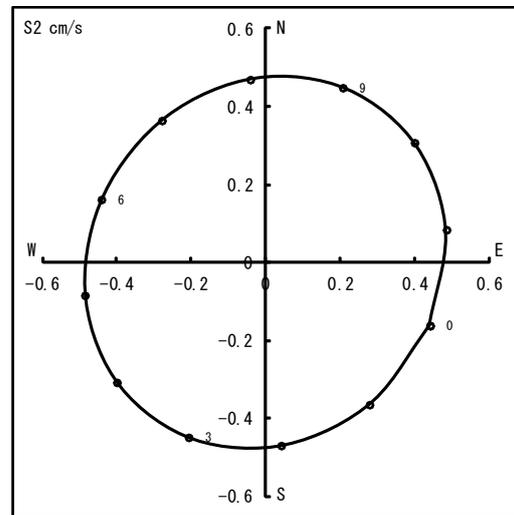
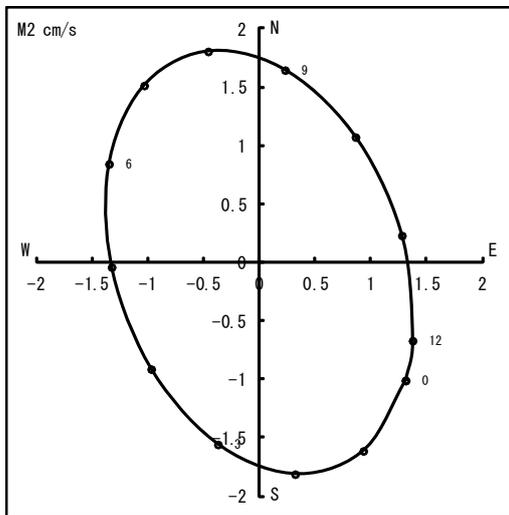
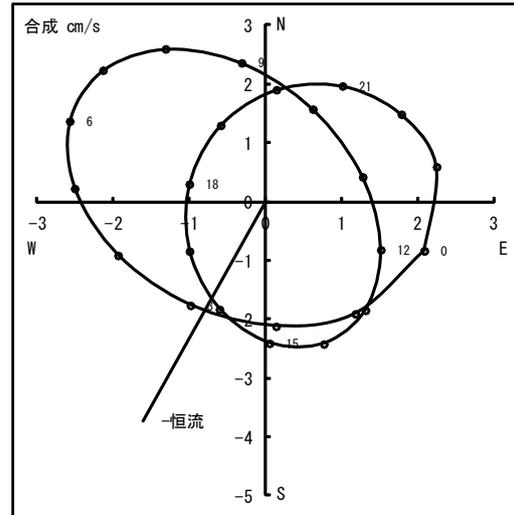


図 11 調和分解結果(底上 66m) (期間; 平成 24 年 8 月 5 日~19 日)

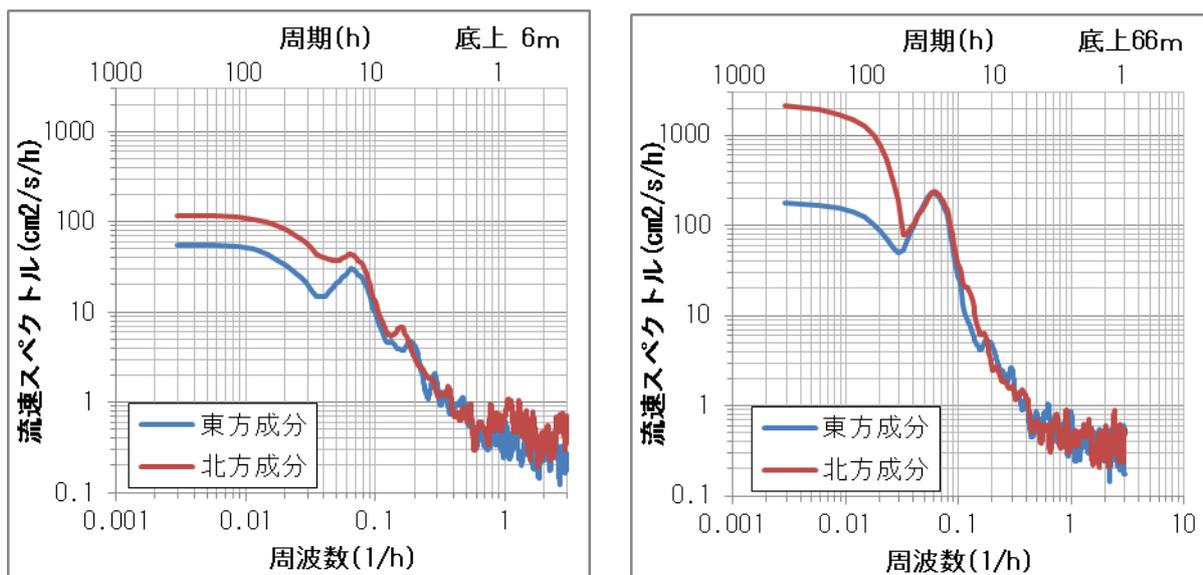


図 12 海底面上 6m と 66m での流れのパワースペクトルの計算結果

3) 調査時の潮位変動

日本海北部沿岸の代表的な地点として、気象庁で計測した深浦、小樽、稚内での実測潮位を図 13 に示す。天文潮での大潮期は 8/1～4、8/16～19、8/31～9/3、小潮期は 8/9～11、8/24～26 であった。今回の流況の連続観測を行った 8/5～24 は、大潮期が開けて、次の大潮期を挟んでの小潮期までの調査となっている。3 地点の実測潮位を比較すると、道内 2 地点に比べ本州北端の深浦の潮位が高い。これは対馬暖流の本流が津軽海峡を抜けて流出するため、北上する分枝流が弱いからである。

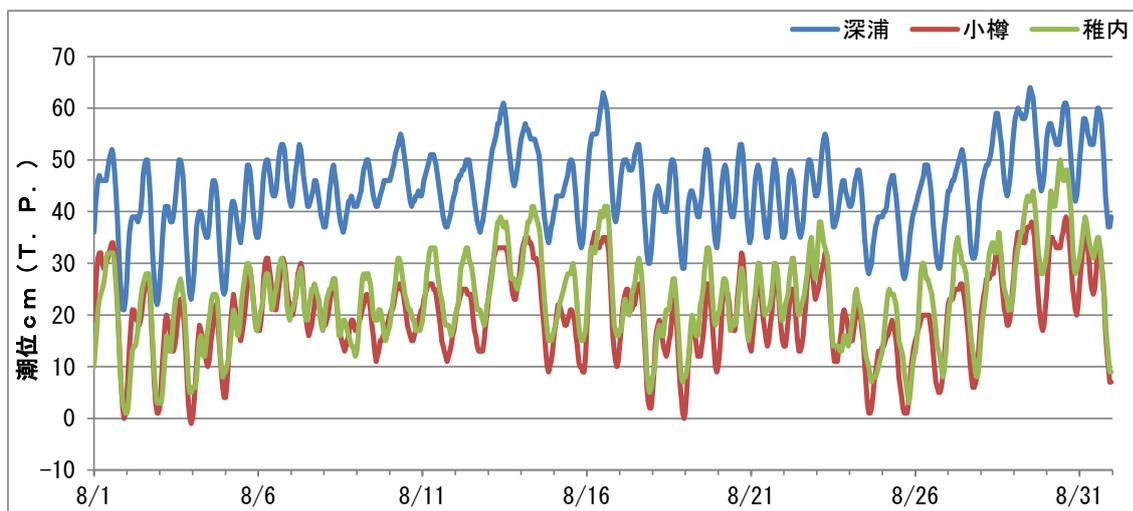


図 13 日本海北部沿岸での実測潮位

4) 調査時の気象概況

流況調査時の天気図を資料編に示した。北海道西岸の気象概況では、8 月前半は特筆すべき規模の気象擾乱はなかった。8 月後半では 8/16～22 にかけて、北海道西岸の沖合では停滞前線があり、その後通過している。風況の弱い停滞前線であり、底層の流動に大きな

影響を与えるような擾乱はないと推察された。

5) 調査時の海況

北海道立総合研究機構水産研究本部からの海況速報より、平成 24 年夏季の北海道日本海側の海況を図 14 に示した。

8 月期の速報によると、「岩内湾のはるか西方に暖水渦（指標：100m 層水温 7℃以上）、松前沖と雄冬岬沖に冷水域（指標：100m 層水温 4℃以下）が分布していた。このため、松前沖では岸寄りを流れる対馬暖流（指標：100m 層水温 6℃以上）は、瀬棚沖から分岐し、1 つは本道沿岸を、もう 1 つは暖水渦の西方を迂回し北上した。」としている。礼文島付近には冷水域が維持されており、積丹半島先端で離岸した沿岸分岐流は、北上途中で勢力を失っていたものと推察された。図 15 に気象庁が発表した 2012 年 8 月中旬の海流図を示した。この図には岩内沖の暖水渦が明瞭に見られ、武蔵堆周辺海域では対馬暖流は武蔵堆の西岸を北上しているが、北上する沿岸分岐流は確認できなかった。

北海道立総合研究機構水産研究本部によれば、2012 年の対馬暖流の流量は、6 月より 8 月にかけては例年の半分程度の弱勢が続いたとのことである。津軽海峡より北への流入にもよるが、上記の瀬棚沖での分岐が影響している可能性もある。なお、その後 8 月過ぎから強勢に転じ例年よりも多くなっているとのことである。

対馬暖流の参考指標として、余市における旬平均水温の平年値からの偏差比を図 16 に示した。余市における旬平均水温は、6 月中旬から 8 月中旬にかけて、「平年並み」から「やや低い」で推移した。対馬暖流の勢力が弱いため、例年より低く水温が推移したと推察された。一方、9 月上旬から 10 月中旬にかけて水温は「非常に高い」で推移しており、対馬暖流が強勢に転じたためと考えられた。

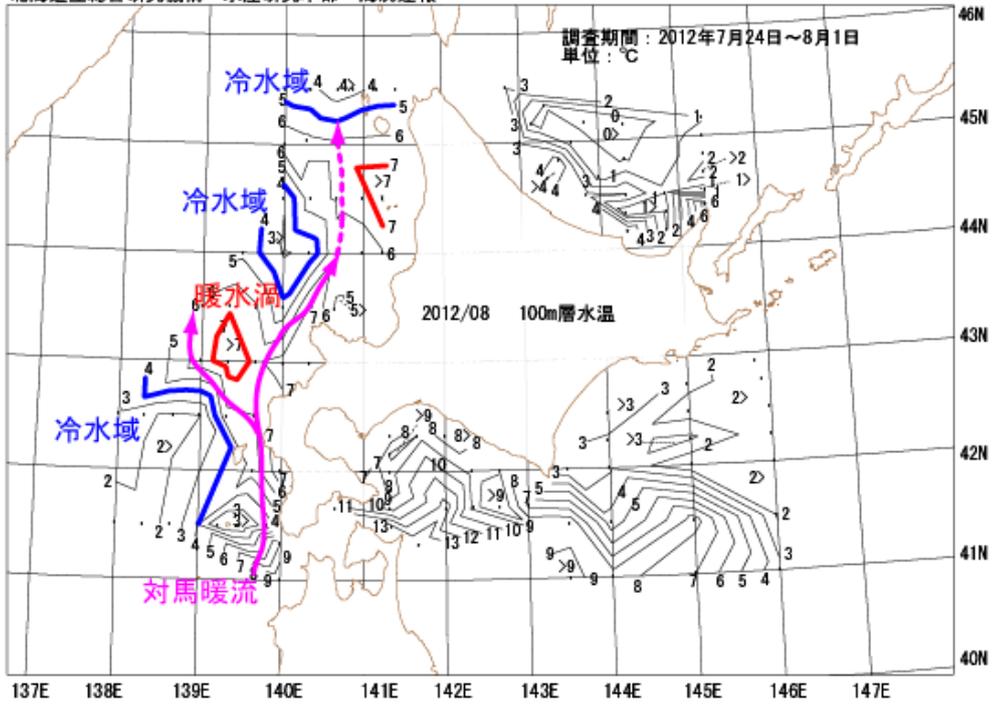


図14 平成24年8月(上)と10月(下)の水深100mの海況速報(一部改変)

出典；北海道立総合研究機構水産研究本部、海況速報、平成24年度第3号(平成24年8月8日)、平成24年度第4号(平成24年11月8日)

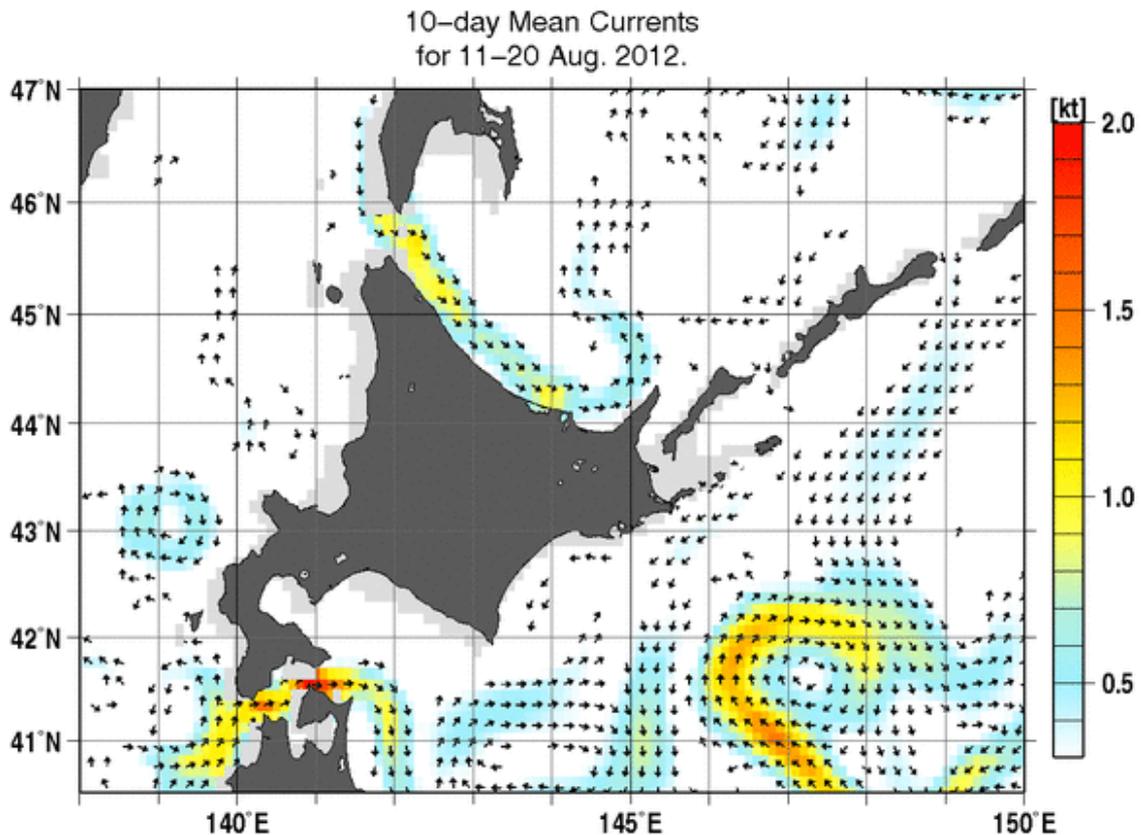


図15 2012年8月の北海道周辺海域の旬平均海流図

出典；気象庁ホームページ

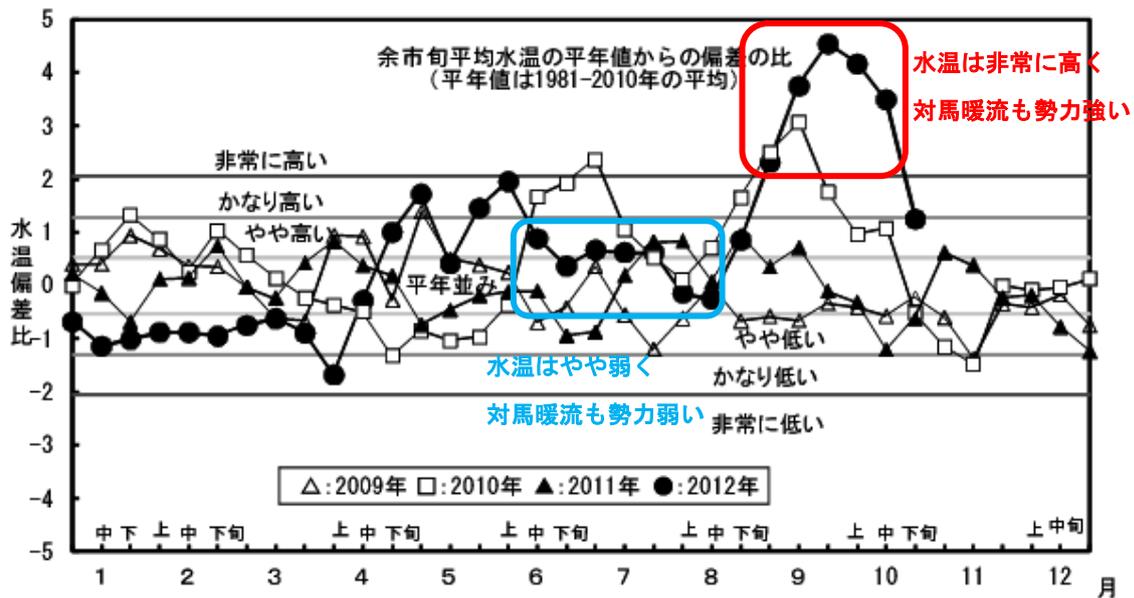


図 16 余市旬平均水温の平年値からの偏差比（一部改変）

出典；北海道立総合研究機構水産研究本部、余市前浜における 2012 年の水温の状況）

6) 表層流速と底層流速の関係

ADCP 流況観測データは 0 歳魚の棲息環境を把握するために水深 100~200m の間の流況を測定した。表層流速は測定していないので、水産総合研究センターが提供している日本海海況予測システム (JADE) による表層流速と比較した。ADCP 流況観測データでは、2012 年 8 月 8 日に水深 120~160m で SSW 方向、8 月 21 日には NW 方向の流速 20~25cm/s が観察された。図 17 によると、8 月 8 日は NNW 方向、8 月 21 日は E 方向であり、各々表層流速と流向が異なっていた。これから、本海域の流れは表層の流れと底層の流れは一致していなく、表層流速の分布から底層流速を推定できないと推察された。

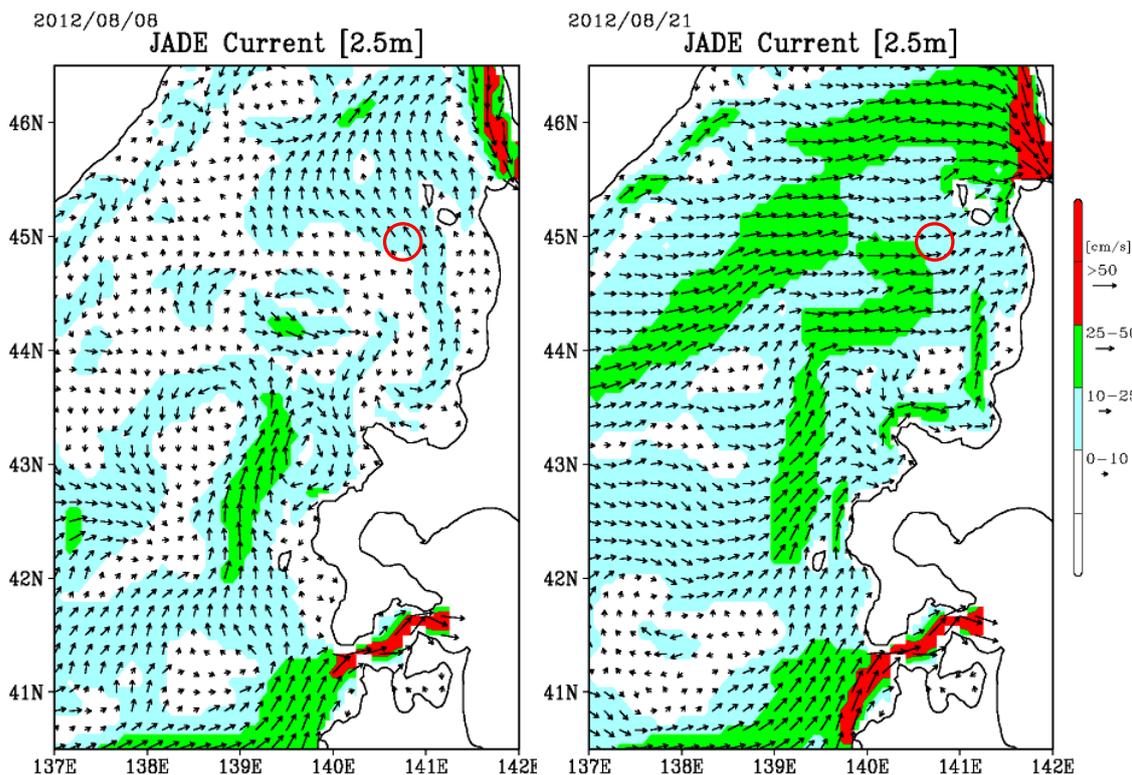


図 17 日本海海況予測システム (JADE) による表層の流速分布
(注) 赤丸印 ; ADCP 流況観測地点 (折込根)

7) 流況観測データと海況との関係

ADCP 流況観測データでは、8月上旬から中旬にかけて(8/5~8/20)、弱いながらも水深 160m くらいまで SSW 方向の南下流の出現頻度が高かった。上記の 5)に示した海況速報に照らし合わせると、対馬暖流の勢力が弱い時期に当る。この時期に利尻、礼文周辺海域は冷水域にあり、沿岸域に沿った対馬暖流は勢力を失い、同時期の植物プランクトンは冷水種が多い結果となった。

一方、8月下旬(8/20~8/24)の ADCP 流況観測データでは、水深 150m くらいまで NW 方向への強い北上流の出現が見られた。海況速報と比較すると、対馬暖流の勢力が弱勢から強勢へ転じた時期でもある。勢力を回復した対馬暖流を北上流として捉えたものと考えられた。

概況として、ADCP 流速データや STD データから判断して、2012 年の調査地点は水深 150m 程度までは対馬暖流の勢力に大きく影響され、対馬暖流の勢力が強いと北上、弱いと南下流になった。また、対馬暖流によって励起されたと考えられる暖水渦や冷水渦の分布が流況に影響を与えている。一方、水深 150m 程度に弱いながらも水温躍層が存在し、躍層より下では日本海固有冷水塊もしくは冬季形成と見られる 3℃未満の冷水層が夏季においても保持されていた。この水深 150m の水温躍層から海底までの底層は、非常に微弱であったが、短期間で 2~3℃での水温変動を繰り返していた。なお、3℃程度の冷水層はスケトウダラ幼魚の生息には適水温であり、0 歳魚はこのような環境に分布していた。

8) 流動環境調査の主な結果

以上の流況調査の結果から、流動の特徴を以下にまとめる。

- ①水深 100m 以深では、海底上 6m の流速は 5~10cm/sec と小さかった。海底上 50~78m 付近で流速は大きかったものの、底上 50m でも最大で 27cm/sec と小さい結果であった。
- ②実際の測得流速は 20cm/sec 以上の流れが発生していたが、調和解析によると潮流成分の流速は数 cm/sec であったことから、潮汐の寄与は小さいといえる。
- ③潮流のような振動性は取らず、海域全体の卓越流に引っ張られた偏った流向を示した。
- ④海底上 50m 付近で流速が大きくなり、計測期間中の前半は南下、後半は北上する流れが支配的になった。
- ⑤底層の流速は小さく、海底地形を改変し、上下層の混合を促進することは難しいと考えられた。
- ⑥この海域の流れを支配しているのは潮流ではなく、暖水渦の影響や海流の支流、冷水域の停滞など、北からの南下流が複雑に影響しているものと推察された。
- ⑦南下流と北上流はこの海域の生物相(植物プランクトン)に大きく影響を与えている。すなわち、北上する流れが強いと暖海性の植物プランクトンが優占し、南下する流れが強いと寒海性の植物プランクトンが優占する可能性がある。
- ⑧底層は水温の変動が大きいですが、流速は非常に小さかった。これから水深 150~160m に形成されている水温躍層がゆっくりと動き、底層の冷水が陸棚にゆっくりと差し込んでいくと推察される。水深 200m の海底でも、水温変動があり、スケトウダラの 0 歳魚はこのような環境に分布していた。

6 人工衛星画像を用いたクロロフィル a 解析

0 歳魚が着底する海域は現地調査結果からは貧栄養海域と判断された。しかし、0 歳魚が着底するという事は、動物プランクトンなどの餌料が少ないながらも、一定量存在しているはずである。よって、一次生産者である植物プランクトンも周辺海域よりある程度多く分布している可能性がある。そこで、0 歳魚の生息分布を人工衛星画像から得たクロロフィル a 濃度の分布と比較し検討した。

まず、2006 年にはスケトウダラの豊度が高く、卓越年級群になっているので、2006 年の状況と衛星画像のクロロフィル a 濃度の分布と照合し、この海域で高クロロフィルとなる海域を検索した。以下に結果を示す。

1) 2006 年と 2009 年のプランクトンブルームの比較

プランクトンブルームが発生した 2006 年 4 月と、対照としての 2009 年 4 月の衛星画像を図 18 に示す。2006 年の方が武蔵堆や利尻島南部に高い濃度分布が見られた(2009 年が黄緑、2006 年が黄色)。図の白丸で示した海域は武蔵堆の南部から北海道の大陸棚斜面の海域であるが、丸印の部分は 2006 年の方で濃度が高く出ていた。

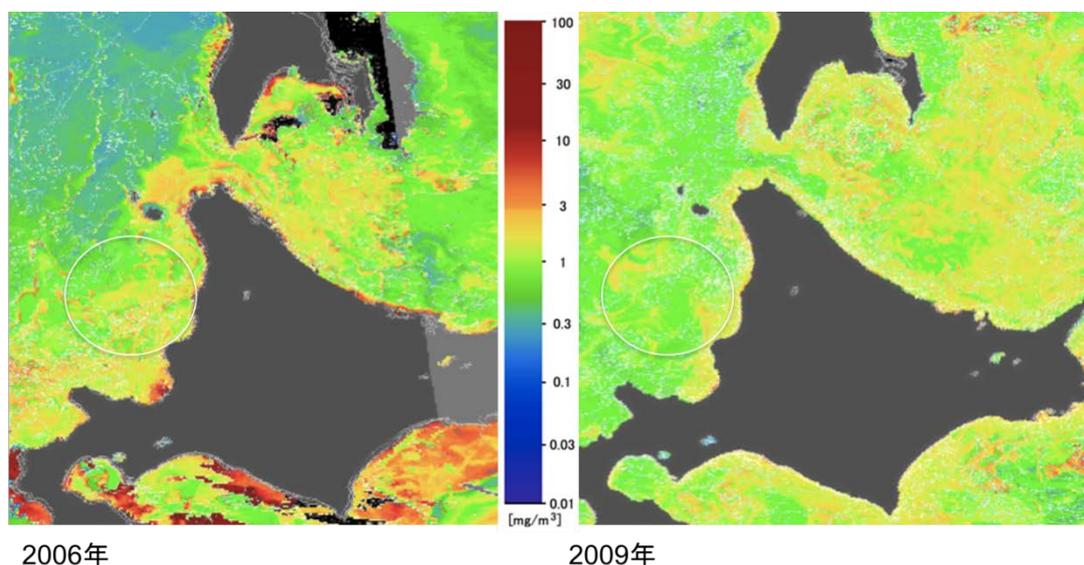


図 18 4 月のクロロフィル a 濃度の分布

図 19 に 5 月のクロロフィル a 濃度の分布を比較する。武蔵堆周辺海域のみならず、日本海側全域のクロロフィル a 濃度が 2006 年は 2009 年と比して高かった。以上から、2006 年はプランクトンブルームによるクロロフィル濃度が例年になく増大し、広範囲に及んだと判断できた。5 月頃はスケトウダラの 0 歳魚の摂餌強度 (SCI) が高く、肥満度も増加する時期であることから(後述)、日本海側に植物プランクトンが例年になく多く、その結果、餌料となる動物プランクトンが増加し、着底前後のスケトウダラの生残率を向上させたものと推察された。

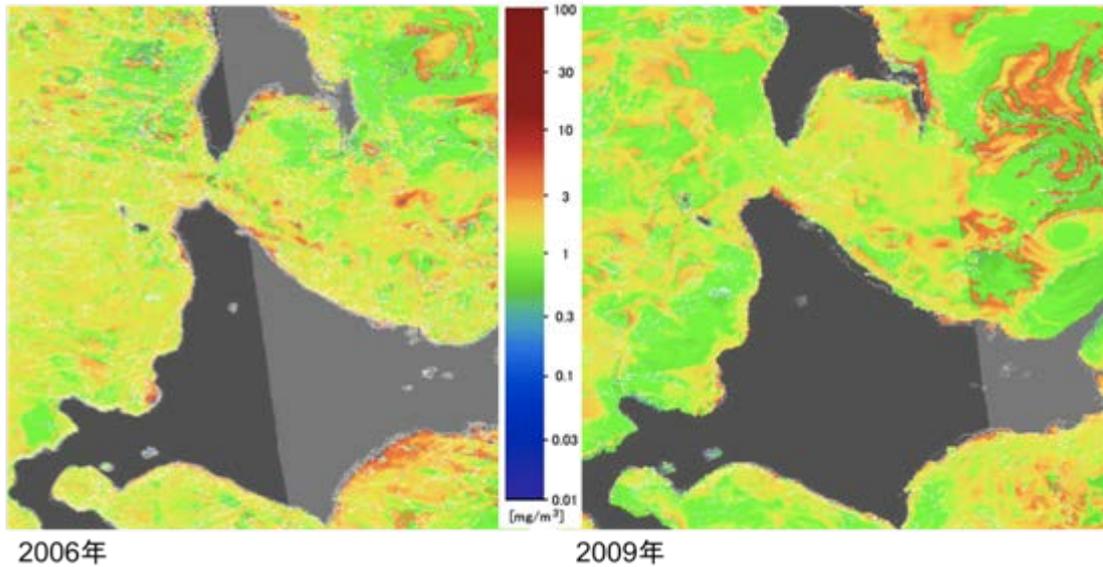


図 19 5月のクロロフィル a の分布

図 20 に 2006 年の余市の海水温を示す。衛星画像で示した 4 月と 5 月の水温は例年に比べて 1℃以上低く推移していた。水温が低いと鉛直混合が促進されるので、下層の栄養塩が上層と混合され、植物プランクトンが増殖してクロロフィル a が高くなったものと推測される。広域にわたって植物プランクトンが多いことは、これらを餌料とする動物プランクトンも多いと推察された。

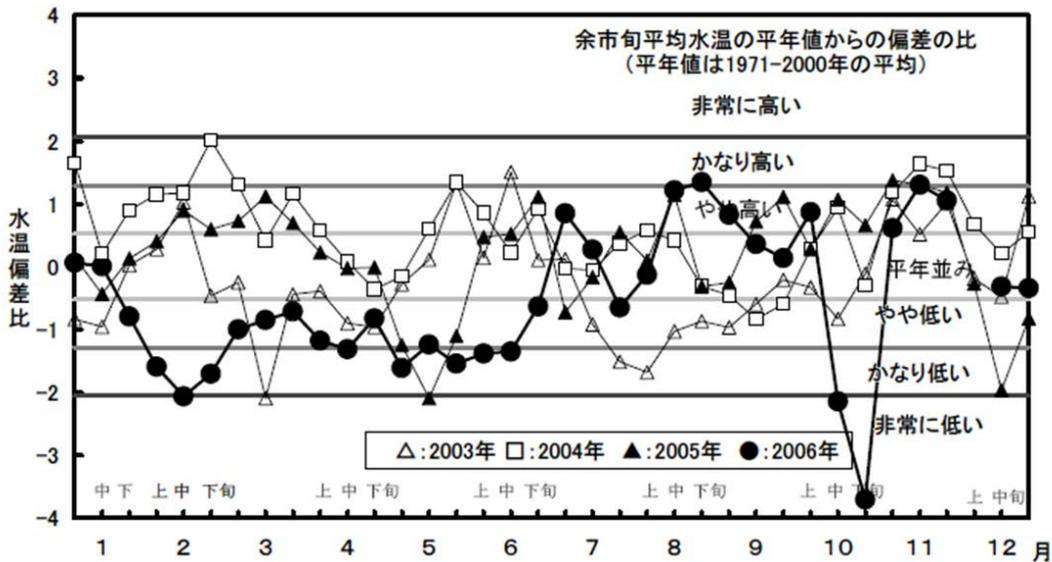


図 20 余市旬平均水温の平年値からの偏差の比(中央水産試験場 HP より)

2) 局所的な高濃度分布が明瞭なパターン

8月の画像の中で局所的に高濃度の範囲が見られたものを抽出した。2006年では武蔵堆南部に高い局所的な濃度分布が見られた。これは、暖水渦によるクロロフィル a 濃度の高い海水の集積、局所的な湧昇流の発生、対馬暖流の波及、あるいは沿岸域の高栄養塩濃度の表層水が風等の影響で沖合に輸送された可能性がある。

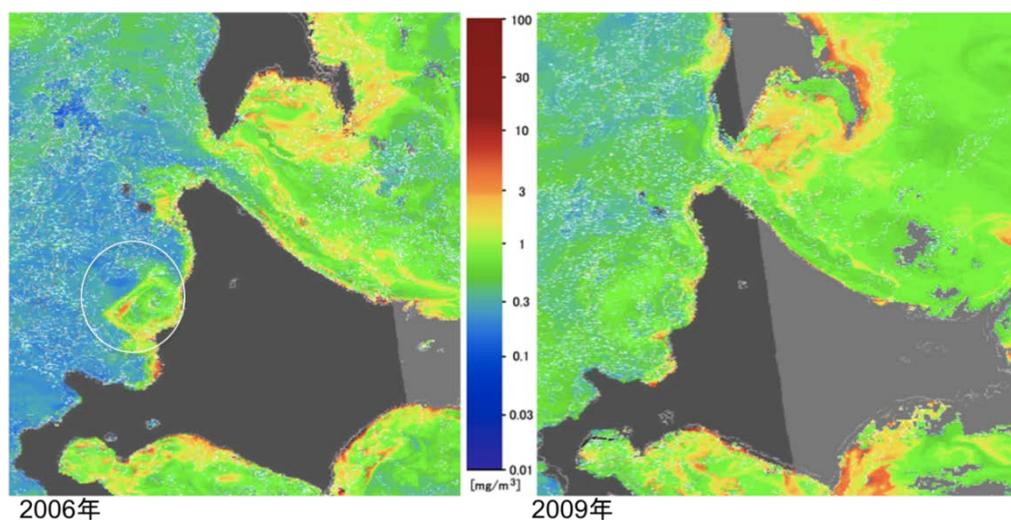


図 21 8月の衛星画像で局所的に高濃度域が見られたパターン

3) 武蔵堆周辺海域の局所的な高濃度海域

図 22 に各年の画像から、武蔵堆周辺海域で高濃度のクロロフィル a 濃度を示したものを示す。2006年の高濃度域は小樽堆周辺海域、2009年は武蔵堆周辺海域で発生していた。

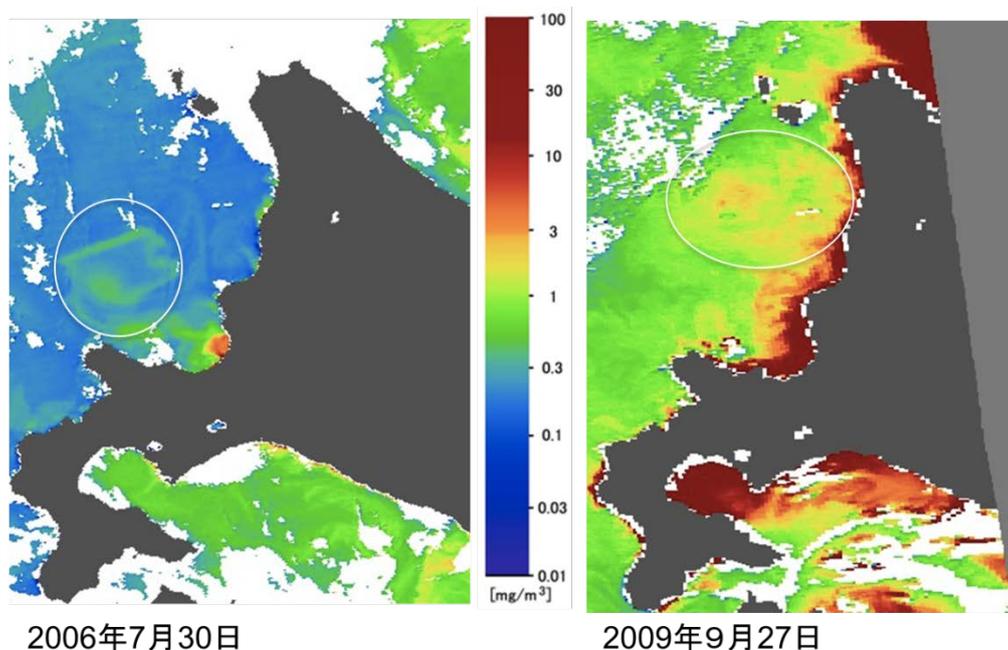


図 22 武蔵堆周辺海域の局所的なクロロフィルの高濃度域

2006年7月後半は台風や低気圧、前線の通過等はなく、特に大きな気象の擾乱はなかった。海況は図23に示すように、岩内沖に暖水渦があり、北海道立総合研究機構水産研究本部によると、暖水渦は西方へ移動し、対馬暖流は岩内西方沖の暖水渦の西側を回って礼文島西方へ流れると予想している。図22の2006年7月30日の積丹半島北部の四角状の高クロロフィルaの現象は暖水渦の影響もあるが、暖水渦そのものの周辺にできた高クロロフィルaの分布とは位置的にやや異なっており、これらの情報のみでは判断できなかった。

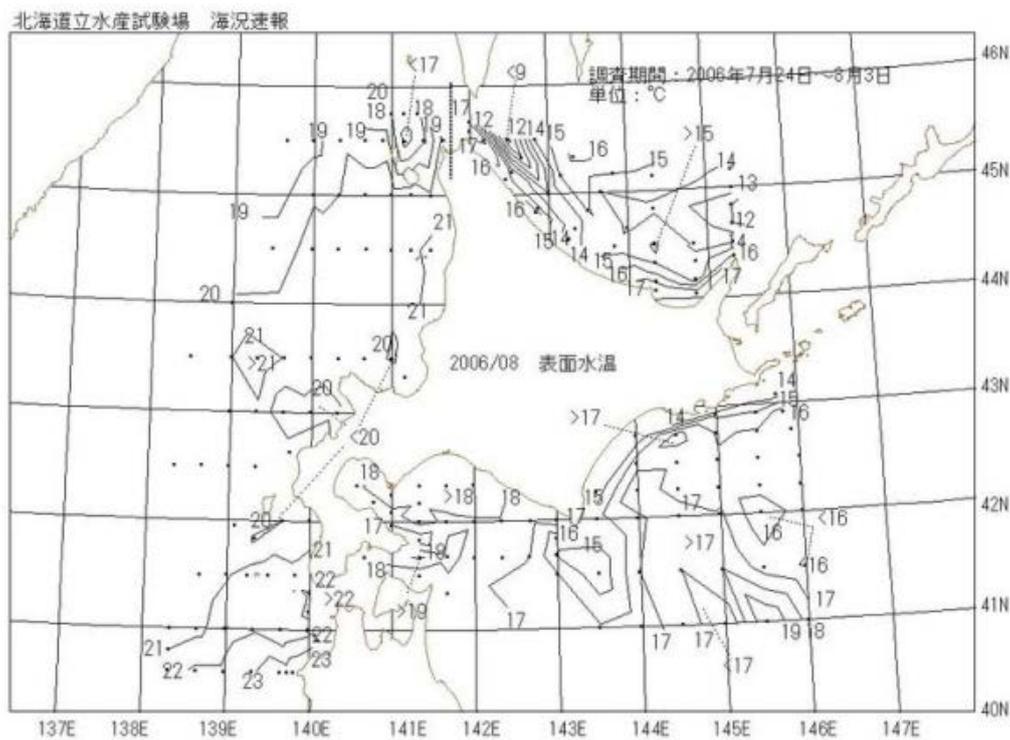


図23 2006年8月の表面水温

出典；北海道立総合研究機構水産研究本部、海況速報、平成18年度第3号(平成18年8月17日)

2009年の9月は台風15号が22日に岩手沖で温帯帯低気圧に変わり、23日に各地で冷え込んだが、25日以降は北海道の日本海側では大きな気象擾乱はない。一方、海況については、岩内湾西方沖に暖水渦、積丹半島北西沖に冷水渦、羽幌西方沖に暖水渦が分布した(図24)。対馬暖流は、これらの渦の西方を流れており、本道から大きく離岸した流路になった。このように、武蔵堆周辺海域には暖水渦や冷水渦が複雑に分布し、対馬暖流がそれらを避けるように離岸したことで、武蔵堆周辺海域全体がクロロフィルaの高濃度域になった。

9月27日の衛星画像はスケトウダラの0歳魚の増殖域(図25)に一致していた。暖水渦や冷水渦およびそれらによって生起された局所的な流れの増大による地形性湧昇流等が武蔵堆周辺海域で上下層の混合を促進し、植物プランクトンが増殖したことによると考えられる。

クロロフィルaの高濃度域がスケトウダラ等の生産に大きく寄与すると考えられるが、衛星画像のみでは、物理的メカニズムは不明であるので、この物理現象の要因解明が課題である。前述した流動環境では上下混合を促進するような速い潮流は検出されないことか

ら、暖水渦、冷水渦、台風島の風の影響が大きいと推察された。

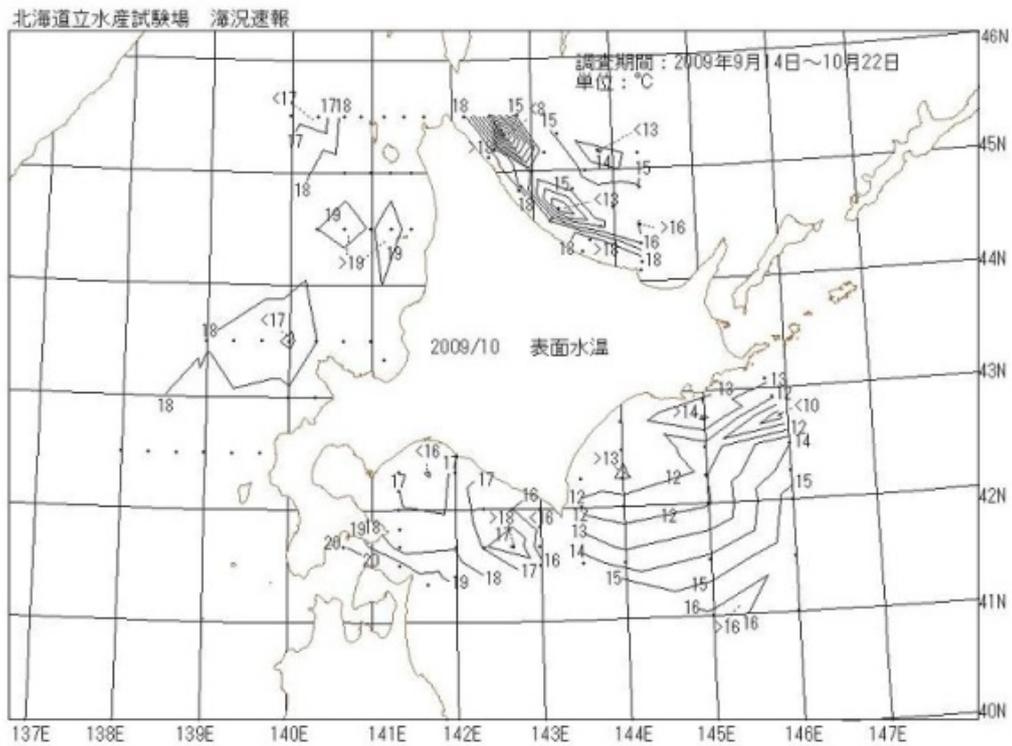


図 24 2009 年 10 月の表面水温

出典；北海道立総合研究機構水産研究本部、海況速報、平成 21 年度第 4 号(平成 21 年 10 月 27 日)

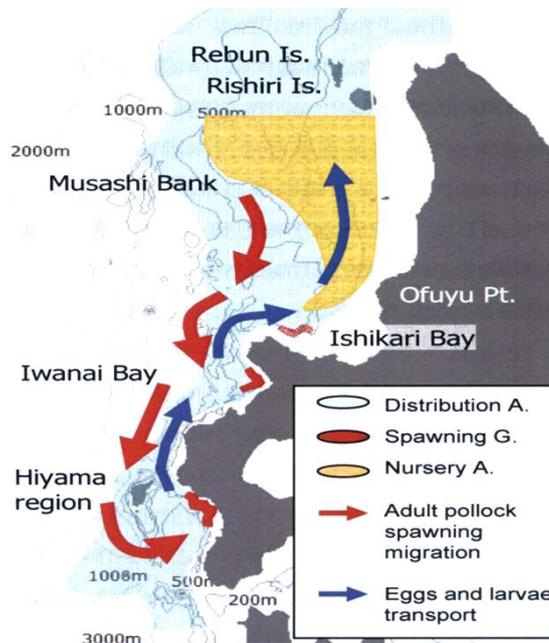


図 25 スケトウダラの回遊経路と増殖域(三宅, 2008)

4) 人工衛星画像解析の主な結果

以上の検討から人工衛星画像解析の結果をまとめると以下のとおりとなる。

- ①2006年級群が発生した春は、衛星画像でもクロロフィル a が高濃度に全域にわたって高く、海域の生産性の高さを確認できた。
- ②武蔵堆周辺海域で局所的にクロロフィル濃度の高い場所があることが衛星画像から確認できた。
- ③武蔵堆周辺海域のクロロフィル濃度の高い海域は、スケトウダラが育つ海域とおおむね一致する傾向にあった。
- ④クロロフィル濃度の高い海域は暖水渦や冷水渦の影響を大きく受ける。
- ⑤衛星画像からクロロフィル a 濃度が高くなる海域が武蔵堆周辺海域に見られるが、より局所的にクロロフィル a 濃度が高くなる頻度の高い地形までは明らかにならなかった。施設設置の適地選定手法としては、さらに解像度が高いセンサによる衛星画像の解析が必要と考えられる。また、海面の水温情報を加えて考察を進める必要がある。

7 スケトウダラ 0 歳魚の胃内容物調査結果

スケトウダラの 0 歳魚の胃内容物調査は平成 22 年～24 年に実施した。初年度には、8 月と 10 月に実施したトロール調査で収集した標本の胃内容物を分析した。平成 23 年も同様に、武蔵堆周辺海域と留萌沖（図 6.8, 図 6.9）において、8 月と 10 月にトロール調査で採集した標本を対象に胃内容物を分析した。平成 24 年では越冬した 1 歳魚の 5 月における食性を把握することと、例年の 0 歳魚の胃内容物と照らし合わせて、経年変化を把握するための胃内容物調査を実施した。ここでは、各年の 0 歳魚の胃内容物調査を示し、この調査の結果を整理した。

1) 平成 22 年度の 0 歳魚の胃内容物調査

① 採集した 0 歳魚の特徴(平成 22 年度)

胃内容物の分析に供した標本は、V 調査方法の表 15 に採集位置、尾叉長等を示した。ここでは、採集した 0 歳魚のサイズを明らかにするため、図 26 に尾叉長と体重あるいは肥満度の関係を示した。

0 歳魚の採集場所が離れているが、同じような生活環境と仮定すれば、この 2 ヶ月で尾叉長は 2 割程度増加していた。また、図 26 において、水深と 0 歳魚のサイズを比較すると、水深約 220m で漁獲された 0 歳魚よりも同時期に水深 300m 以上で採取された 0 歳魚の方がわずかに大きい傾向にあった。しかし、本調査の結果だけでは、尾叉長の大きい個体群が水深の深い場所へ移動できるのか、深い方に移動した魚群の成長が良いのか判断できない。

図 27 にスケトウダラ 0 歳魚の尾叉長と肥満度 CF の関係を示した。この図から、肥満度 CF は 0.5～0.7 の範囲で概ね一定であり、尾叉長の大きさによる差はほとんど無かった。

図 28 にスケトウダラ 0 歳魚の尾叉長と胃内容物指数 SCI の関係を示した。胃内容物指数は体重に対する胃内容物重量を指数で示したものである。この図によると、水深が浅いと SCI が小さい傾向が見られた。

なお、CF と SCI の定義を以下に示す。

$$\text{魚体全体の肥満度} \quad CF = BW / \text{体長}^3 \times 100$$

$$\text{胃内容物量指数} \quad SCI = SCW \times 10^2 / BW$$

ここで、SCW ; 胃の内容物量 g、BW ; 体重 g

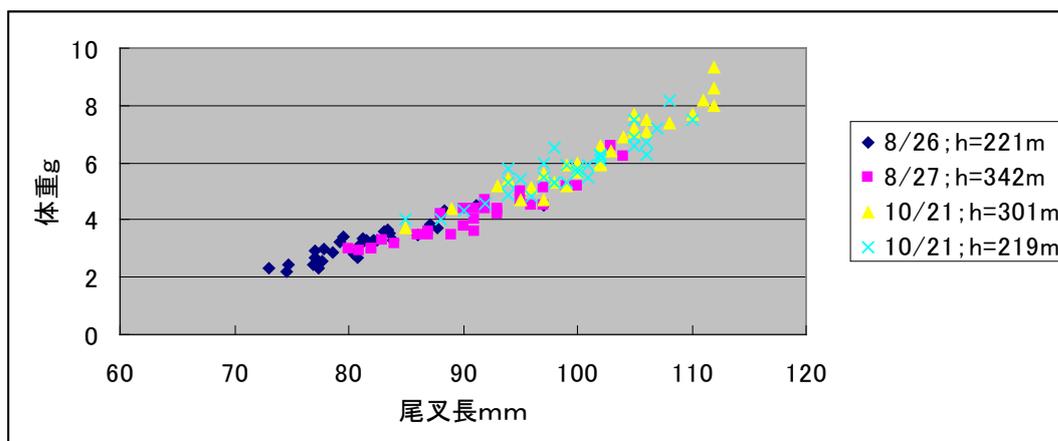


図 26 スケトウダラ 0 歳魚の尾叉長と体重の関係（平成 22 年 8 月，10 月）

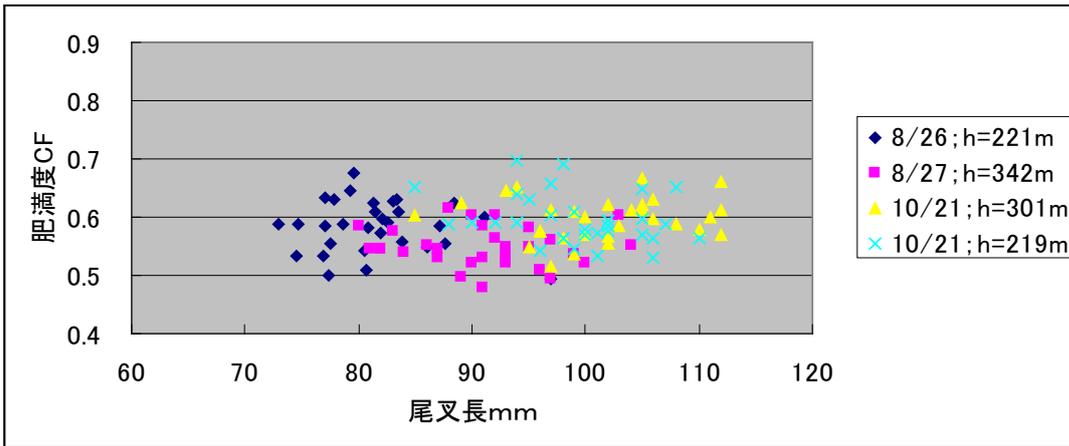


図 27 スケトウダラ 0 歳魚の尾叉長と肥満度 C F の関係 (平成 22 年 8 月, 10 月)

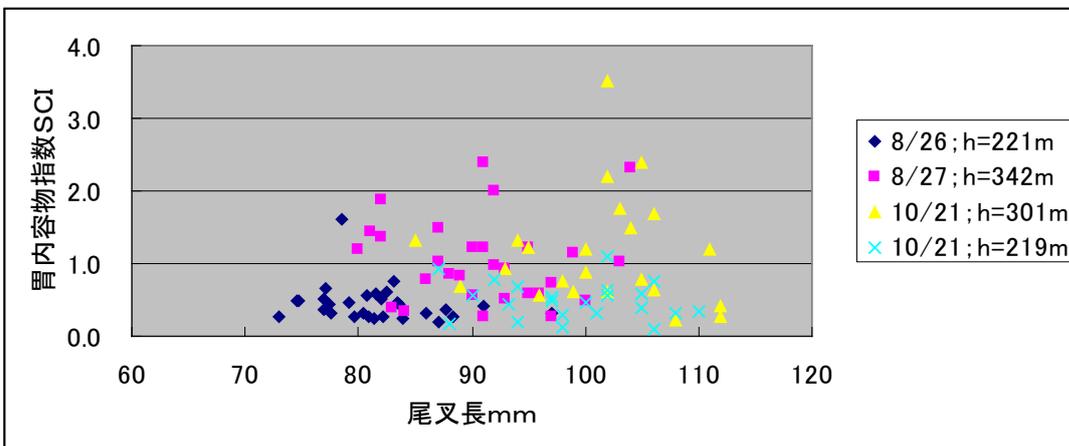


図 28 スケトウダラ 0 歳魚の尾叉長と胃内容物指数 SCI の関係 (平成 22 年 8 月, 10 月)

② 0歳魚の胃内容物の分析結果(平成22年度)

表26に平成22年8月と10月にトロールで漁獲された0歳魚の胃内容物分析結果を示した。出現種数は10～15種であった。0歳魚の胃内容物ではカラヌス目で *Metridia pacifica* が多く、特に水深300m以深(SK05, SK08)で漁獲されたサンプルで多く見られた。また、次に個体数が多いのは、成魚の胃内容物でも観察された端脚目のニホンウミノミ *T. japonica* であり、これは水深300m以深で漁獲されたサンプルのみで観察された。

表25に示す胃内容物湿重量では、8、10月とも水深が深い方で胃内容物の湿重量が大きかった。また、8月に比べ10月に漁獲された0歳魚の方で湿重量が大きかった。1尾当たりの胃内容物量は、8月は0.028g/尾、10月は0.036g/尾となり、約1.3倍の差があった。これは、10月では端脚目、オキアミ目、ヤムシ科など重量の大きな生物が餌料になっていたことによる。

表25 0歳魚の胃内容物湿重量

	8月の胃内容物湿重量 g	10月の胃内容物湿重量 g
水深221、219m	0.409	0.588
水深342、301m	1.297	1.656
胃内容物湿重量合計①	1.706	2.244
検査尾数(胃反転含む) ②	60尾	63尾
1尾当たり(①/②)	0.028	0.036

③ 水質環境と0歳魚の胃内容物(平成22年度)

8、9月の夏季の水質調査結果では、図1に示したように、水深20～40mで温度躍層が形成され、クロロフィルa濃度は最大でも1.2～1.8μg/lと低かった。動物プランクトンでは表7.19に示したように少なく、特に水深120～200mでは動物プランクトンの個体数が少なかった。このようなことから、8月は成層状態で上中層は貧栄養となり、生物生産量は小さく0歳魚の胃内容物も少なかったものと判断される。

一方、10月末になると海表面が冷却されて温度成層が壊れ、上下混合が促進される。その結果、0歳魚のスケトウダラの胃内容物には動物プランクトンが多く、餌料は増えたと考えられる。

このことから、夏季の低クロロフィルを底上げできれば、水深200m程度に定位する0歳魚の餌料環境を向上させ、生残率の向上に寄与できる可能性がある。

表 26 スケトウダラ 0 歳魚の胃内容物分析結果 (平成 22 年 8 月、10 月)

単 位 : 個体数:個体/全量
 湿重量:g/全量

						測点	SK02	SK05	8月採取合計	SK08	SK09	10月採取合計	合計							
						個体数	30	30	60	30	33	63	183							
						平均尾叉長(mm)	81.5	91.0	86.3	101.4	98.9	100.2	91.8							
						平均体重(g)	3.20	4.20	3.70	6.32	5.78	6.05	4.64							
						採取水深(m)	221	342		301	219									
No.	門	綱	目	科	学名	和名	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量		
1	節足動物	甲殻	カイム	ハロキプリス	Halocyprididae	ハロキプリス科			3	+	3		17	0.006			17	0.006		
2			カラヌス	アエティデウス	<i>Aetideopsis rostrata</i>				40	0.005	40	0.005	1	0.003	2	0.002	3	0.005		
3					<i>Chiridium</i> sp.		3	0.004			3	0.004					3	0.004		
4					Aetideidae	アエティデウス科							39	0.014	39	0.014	39	0.014		
5				カラヌス	<i>Neocalanus</i> sp.				16	0.025	16	0.025	2	0.003	2	0.003	18	0.028		
6					Calanidae	カラヌス科			1	+	1	+					1	+		
7				クラウカラス	<i>Pseudocalanus</i> sp.		1	+			1	+					1	+		
8				ユウカラス	<i>Eucalanus bungii</i>								1	0.007	1	0.007	1	0.007		
9				ユウキータ	<i>Paraeuchaeta</i> sp.				1	+	1	+	2	0.012	2	0.012	3	0.012		
10				メトリデイ	<i>Metridia pacifica</i>		7	0.010	498	0.435	505	0.445	530	0.437	10	0.008	540	0.445		
11				スコレスリックス	<i>Scolecithricella minor</i>								2	+	2	+	2	+		
12				—	Calanoidea	カラヌス目	4	0.005	3	+	7	0.005	2	+	2	+	9	0.005		
13				キクオプス	—	Cyclopoida	キクオプス目	1	0.001			1	0.001					1	0.001	
14				アミ		<i>Inusitatomysis insolita</i>							1	0.041	1	0.041	1	0.041		
15						<i>Pseudomma</i> sp.			5	0.049	5	0.049					5	0.049		
16						Mysidae	アミ科	1	0.014			1	0.014			2	0.030	2	0.030	
17				クマ	—	Cumacea	クマ目						3	0.032	3	0.032	3	0.032		
18				タナイス	—	Tanaidacea	タナイス目						1	+	1	+	1	+		
19				端脚	クラゲノミ	<i>Themisto japonica</i>	ニホクミノミ			73	0.567	73	0.567	97	0.525			97	0.525	
20					マクオオノミ	<i>Primno macropa</i>	トゲクオノミ			1	0.001	1	0.001	3	0.055			3	0.055	
21					クチバシノコエビ	<i>Monoculodes</i> sp.	クチバシノコエビ属			1	0.007	1	0.007					1	0.007	
22					—	Gammaridea	ヨコエビ目	1	0.002			1	0.002			5	0.031	5	0.031	
23					—	Amphipoda	端脚目	4	0.027	—	0.017	4	0.044	2	0.010	1	0.012	3	0.022	
24				オキアミ	オキアミ	<i>Thysanoessa</i> sp.							1	0.069			1	0.069		
25						Euphausiidae	オキアミ科	1	0.014			1	0.014	7	0.122			7	0.122	
26				十脚	—	Decapoda	十脚目 (消化物)	1	0.004			1	0.004					1	0.004	
27				—	—	CRUSTACEA	甲殻綱 (消化物)	—	0.199	—	0.145	—	0.344	—	0.204	—	0.109	—	0.313	
28	毛がく動物	ヤムシ	ヤムシ	ヤムシ	Sagittidae	ヤムシ科							18	0.116	18	0.116	18	0.116		
29	その他					消化物	(起源不明)	—	0.129	—	0.046	—	0.175	—	0.215	—	0.151	—	0.366	
30						寄生虫?	(未消化)						2	0.010	2	0.020	4	0.030		
出現種数							10		12		10		15							
合計個体数・湿重量							24	0.409	642	1.297	666	1.706	662	1.656	91	0.588	753	2.244	1419	3.950

注) 個体数欄の「-」は計測不能を、湿重量欄の「+」は0.001g未満を表す。

寄生虫は真正条虫綱、線虫綱等に類似し、全く消化されていない。

SK08では6個体が「胃反転」、SK09では12個体が「胃反転」。「胃反転」は胃内側中央部が食道方向に突出し、内容物は確認できなかった。

2) 平成 23 年の 0 歳魚の胃内容物調査結果

① 0 歳魚の採集地点の状況と尾又長

平成 23 年度では、V 調査方法の図 8 表 13 表 16 に示す調査地点でスケトウダラの 0 歳魚を採集した。採集水深は 173~334m であった。その際の水温は 1~6.6℃であった。1km 当たりの漁獲尾数は 1.2~166.8 尾であり、地点によって大きく異なった。標本の平均尾又長と平均体重の関係を図 29 に示した。平成 22 年度の 8 月の標本は尾又長が 72~104mm であったが、平成 23 年度の標本は 85mm~104mm とやや大きい。10 月の標本も平成 22 年度よりやや大型である傾向であった。

図 30 に漁獲水深と 1km 当たりの漁獲尾数との関係を示した。これによると、0 歳魚が多く生息する水深帯は 170~250m であり、水深 300m 以深ではほとんど生息していないと考えられる。

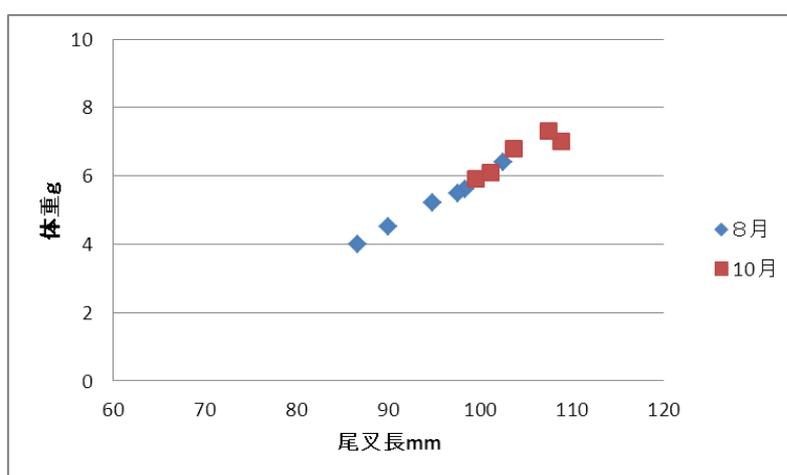


図 29 採集したスケトウダラの平均尾又長と平均体重の関係（平成 23 年 8 月, 10 月）

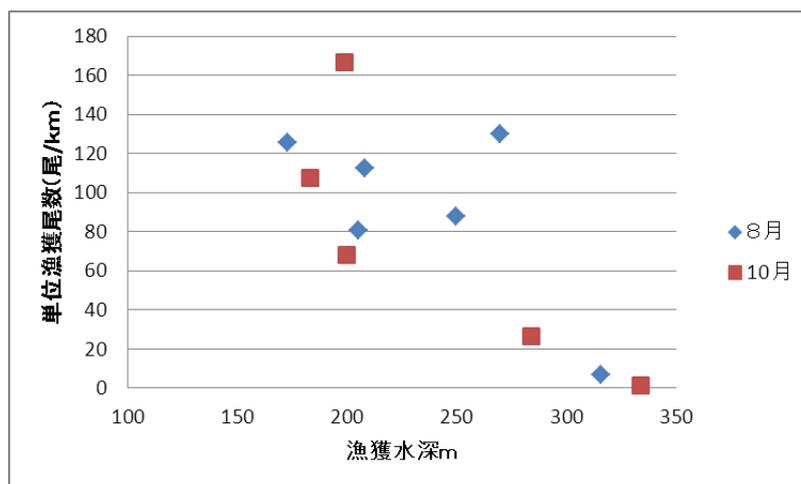


図 30 漁獲水深と単位漁獲尾数との関係（平成 23 年 8 月, 10 月）

② スケトウダラの0歳魚の胃内容物調査結果

平成23年8月のトロール調査で採集された0歳魚158尾、10月のトロール調査で採集された0歳魚121尾の胃内容物分析を行った。確認した生物の一覧を下表に示した。また、図31に0歳魚の胃内容物の重要度指数(%IRI)を示した。ここで、重要度指数とは、次式に示すように、各餌項目の重量を出現頻度、個体数によって重みづけした指数である。

$$IRI_i = (\%Ni + \%Wi) \cdot \%Fi$$

ここで、%Fi = 餌生物 i の出現頻度

%Ni = 餌生物 i の個体数組成

%Wi = 餌生物 i の重量組成

$\%IRI_i = IRI_i / \sum IRI_i \times 100$ (重要度指数)

図31からわかるように、スケトウダラの0歳魚の胃内容物はカラヌス目の *Metridia pacifica* およびクラゲノミ科の *Themisto japonica* が多く観察された。この傾向は平成22年度の成果と変わらなかった。調査地点別では、SK01でカラヌス目の *Neocalanus* spp.、アミ科の *I. insolita*、AK06、AK07でツノナシオキアミ *E. pacifica*、AK10でヤムシ *S. elegans* が高い割合を占めていた。

北海道の太平洋沿岸(十勝海域)におけるスケトウダラ0歳魚の分布と胃内容物調査の結果(志田ら, 1999)によると、0歳魚は水深30~80m、底層水温7~13°Cの範囲で漁獲され、尾叉長は69~153mmで胃内容物は、橈脚類(カイアシ類)、アミ類、端脚類およびオキアミ類であり、その組成は調査点毎に異なると報告している。今回の調査結果でも、小型のカイアシ類であるカラヌス目の *Metridia pacifica* が多く、やや大型のクラゲノミやツノナシオキアミを餌料としていた。日本海の0歳魚は生息水深が約200mと深い、胃内容物としては、北海道の太平洋側と同様な傾向であった。

表27 0歳魚の胃内容物調査で確認された生物(平成23年8月, 10月)

門	綱	目	科	学名	和名	
節足動物	甲殻	カラヌス	アエティデウス	<i>Aetideidae</i>	アエティデウス科	
			カラヌス	<i>Neocalanus cristatus</i>		
				<i>Neocalanus plumchrus</i>		
				<i>Neocalanus spp.</i>		
			クラウソカラヌス	<i>Pseudocalanus minutus</i>		
				<i>Pseudocalanus sp.</i>		
			ユウカラヌス	<i>Eucalanus bungii</i>		
			ユウキータ	<i>Paraeuchaeta sp.</i>		
			メトリディア	<i>Metridia pacifica</i>		
			スコレシスリックス	<i>Scolecithricella minor</i>		
		—	<i>Calanoida</i>	カラヌス目		
		アミ	アミ	<i>Inusitatomysis insolita</i>		
				<i>Mysidae</i>	アミ科	
		クーマ	—	<i>Cumacea</i>	クーマ目	
		タナイス	—	<i>Tanaidacea</i>	タナイス目	
		端脚	クラゲノミ		<i>Themisto japonica</i>	ニホンウミノミ
					<i>Physocephalata</i>	クラゲノミ亜目オオガシラ下目
マルオウオノミ	<i>Primno macropa</i>			トゲウミノミ		
—	<i>Gammaridae</i>			ヨコエビ亜目		
—	—	<i>Amphipoda</i>	端脚目			
オキアミ	オキアミ		<i>Euphausia pacifica</i>	ツノナシオキアミ		
			<i>Euphausiidae</i>	オキアミ科		
—	—	CRUSTACEA	甲殻綱			
毛がく動物	ヤムシ	ヤムシ	ヤムシ	<i>Sagitta elegans</i>		

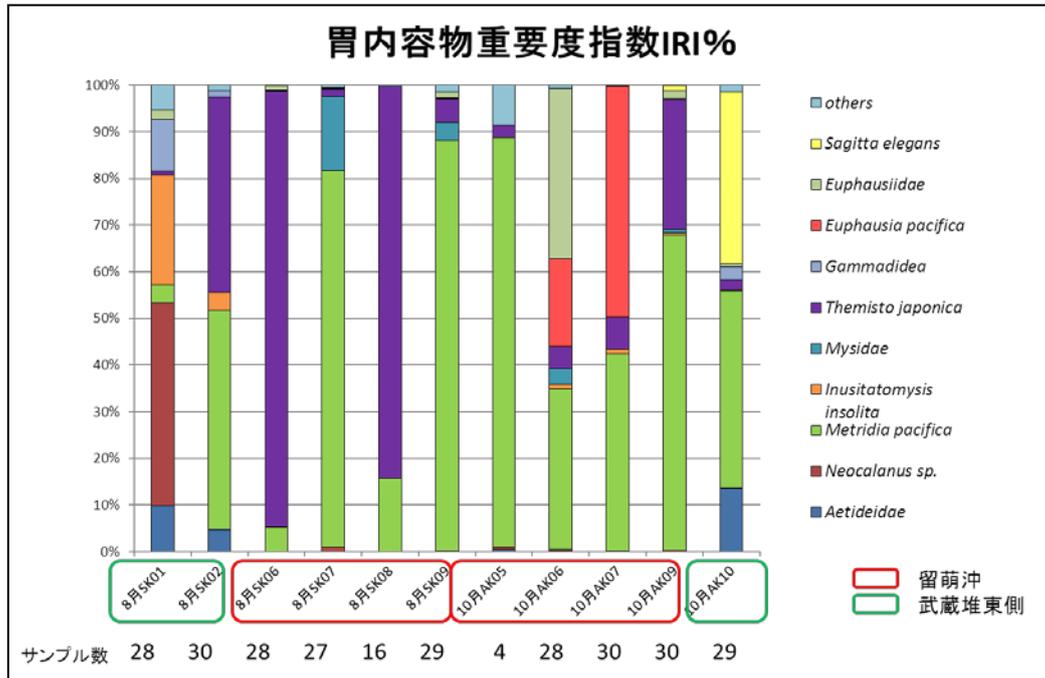


図 31 スケトウダラ 0 歳魚の胃内容物の重要度指数%IRI (平成 23 年 8 月, 10 月)

仙台湾で実施された 0 歳魚の胃内容物調査結果(服部ら, 1998)によると、スケトウダラの 0 歳魚は 1997 年にはカラヌス目の *Paracalanus parvus* や *Centropages abdominalis*、1998 年には *Neocalanus plumchtus*、*Paracalanus newman* を主に摂餌しており、特に、1998 年の餌生物は北海道側で知られている種の組成と類似していた。



Metridia pacifica
メトリディア

Themisto japonica
クラゲノミ

参考

写真(出典 ; インターネット)

図 32、図 33 に平成 22 年度の結果と比較した胃内容物の個体数組成および重量組成を示す。個体数組成ではカラヌス目が優占であることは同様であった。重量組成では平成 23 年では消化物が多く検出されたが、消化されていない胃内容物の構成比は平成 22 年度と似ており、カラヌス目や端脚目が多い傾向であった。なお、10 月ではヤムシの重量が多い結果であった。

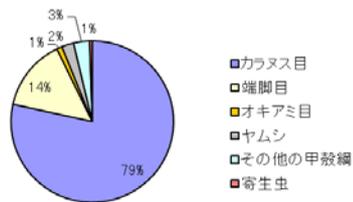
個体数組成

2010年

8月採取0歳魚胃内容物個体数(合計666個体/60尾)

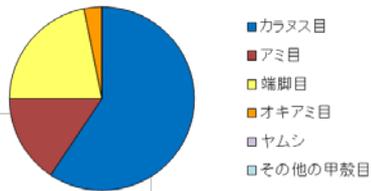


10月採取0歳魚胃内容物個体数(合計753個体/64尾)

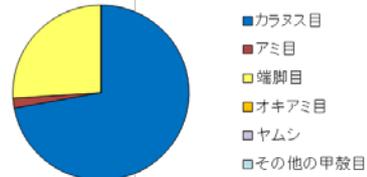


2011年

8月SK01



8月SK02



10月AK10

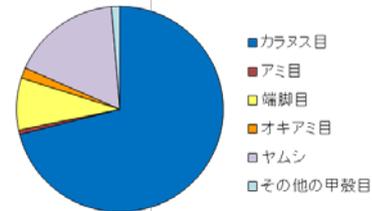


図 32 0歳魚の胃内容物の個体数組成 (左;平成22年度、右;平成23年度)

重量組成

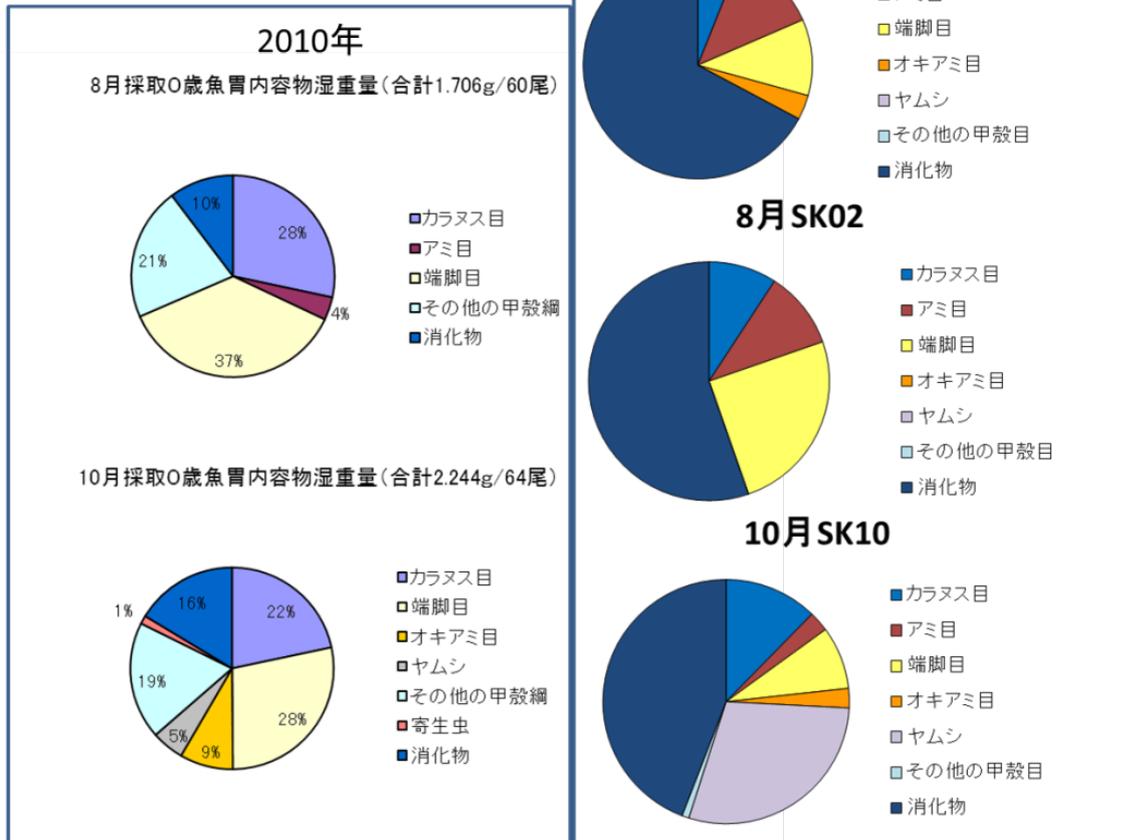


図 33 0歳魚の胃内容物の重量組成 (左 ; 平成 22 年度、右 ; 平成 23 年度)

3) 平成 24 年の 1 歳魚および 0 歳魚の胃内容物調査結果

① 標本の特徴

平成 24 年に採集したスケトウダラの尾叉長は 85mm が多く、平成 23 年度の標本は尾叉長は 95mm が多く、平成 24 年のスケトウダラの 0 歳魚はやや小型であった。標本のうち、5 月に採集したスケトウダラは 1 歳魚である。

② 肥満度、胃内容物重量指数

採集したスケトウダラの肥満度 CF および胃内容物重量指数 SCI を算出した。これらの指標はともに 1 歳魚の 5 月に採集した標本で高かった。年齢差があるが、春のプランクトンブルームで動物プランクトンも増え、それらを餌料とするスケトウダラの 0 歳魚が摂餌して成長していることが推定された。一方、動物プランクトンが減少する 8 月は餌料不足で肥満度や SCI が低下した。秋には海水の上下混合によってプランクトンブルームが起きるが、10 月の肥満度や SCI はそれほど高くはなかった。

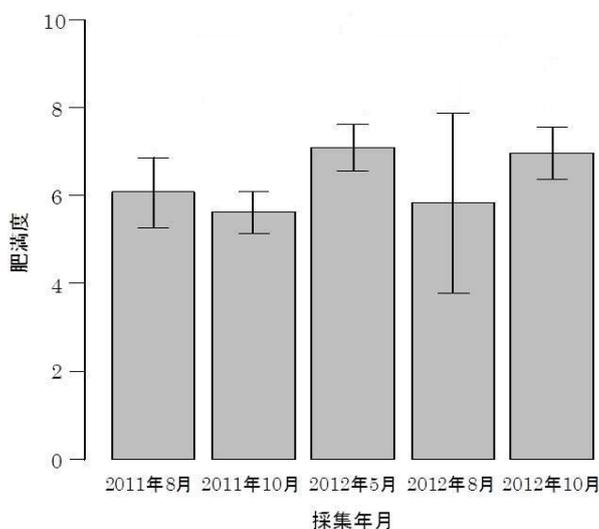


図 34 採取したスケトウダラの肥満度 (平成 23 年, 24 年)

*エラーバーは標準偏差

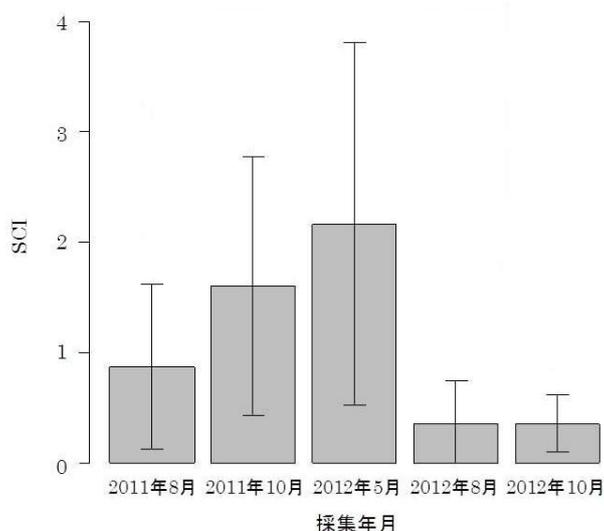


図 35 採取したスケトウダラの胃内容物重量指数 SCI (平成 23 年, 24 年)

*エラーバーは標準偏差

③ 胃内容物調査結果

平成 24 年 5 月の標本は 1 歳魚(93 個体)であるが、胃内容物は大型カイアシ類の *Neocalanus* 属が多く、次に Euphausiidae のツノナシオキアミ *E. pacifica* が多く出現した。0 歳魚の 8 月に採集した標本では、*Themisto* spp. や *Metridia pacifica*、10 月ではこれらに加えてオキアミ類 *E. pacifica* が摂餌されていた。オキアミ類は春と秋に多く摂餌されていた。

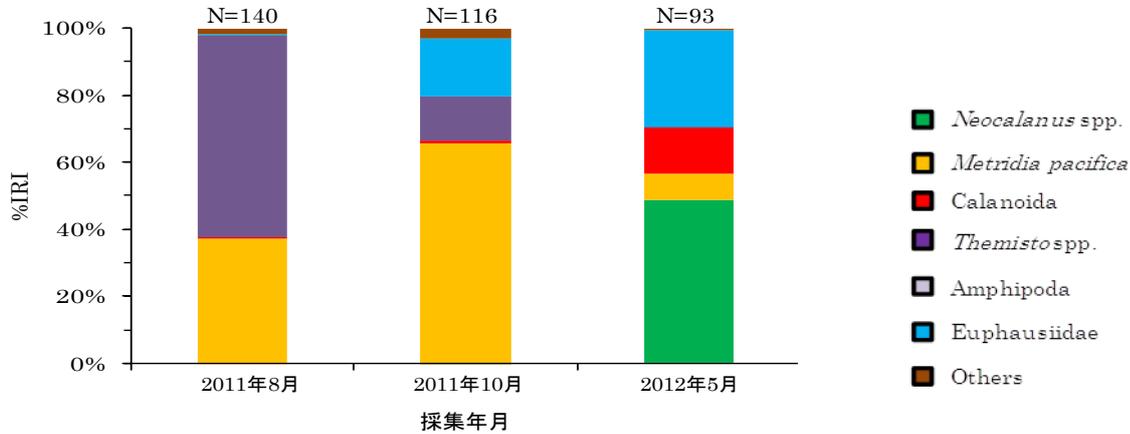


図 36 季節別胃内容物組成 N;個体数 (平成 23,24 年)

8 月のサンプルを、0 歳魚の尾叉長ごとに分類して図 37 に示した。カイアシ類 *Neocalanus* 属の *Metridia pacifica* が多かったが、尾叉長が大きい 0 歳魚は、クラゲノミ類ニホンウミノミ *Themisto japonica* が主な餌料であった。なお、水深別に整理した図を図 38 に示した。標本の採集水深を 250m で区分すると、水深が 250m 以浅の標本の胃内容物は *M. pacifica* が多かったが、250m 以深の標本ではクラゲノミ類のニホンウミノミ *Themisto japonica* が多かった。

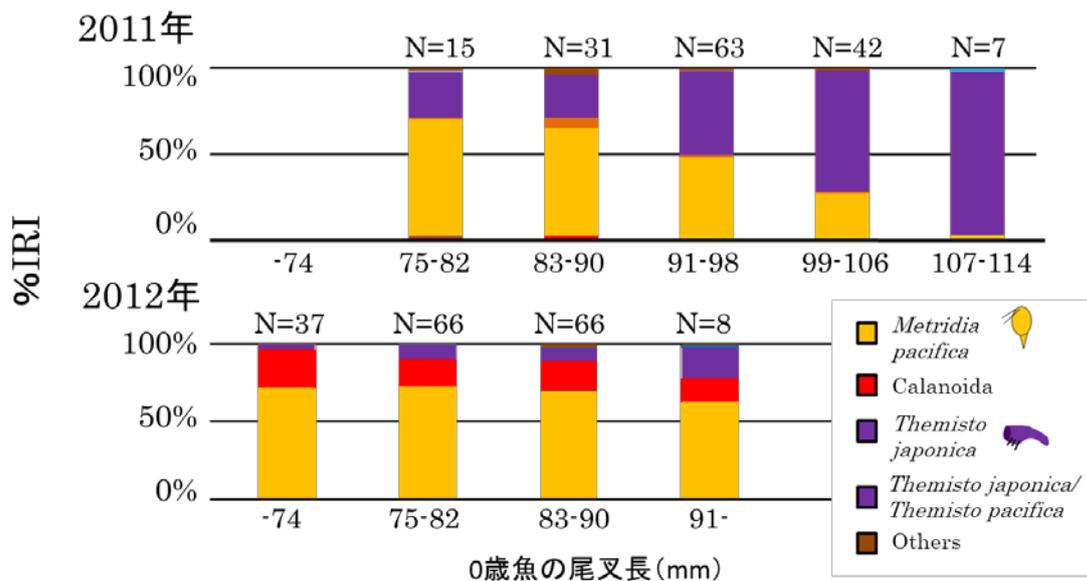


図 37 0 歳魚の胃内容物の分析結果 (平成 23,24 年)

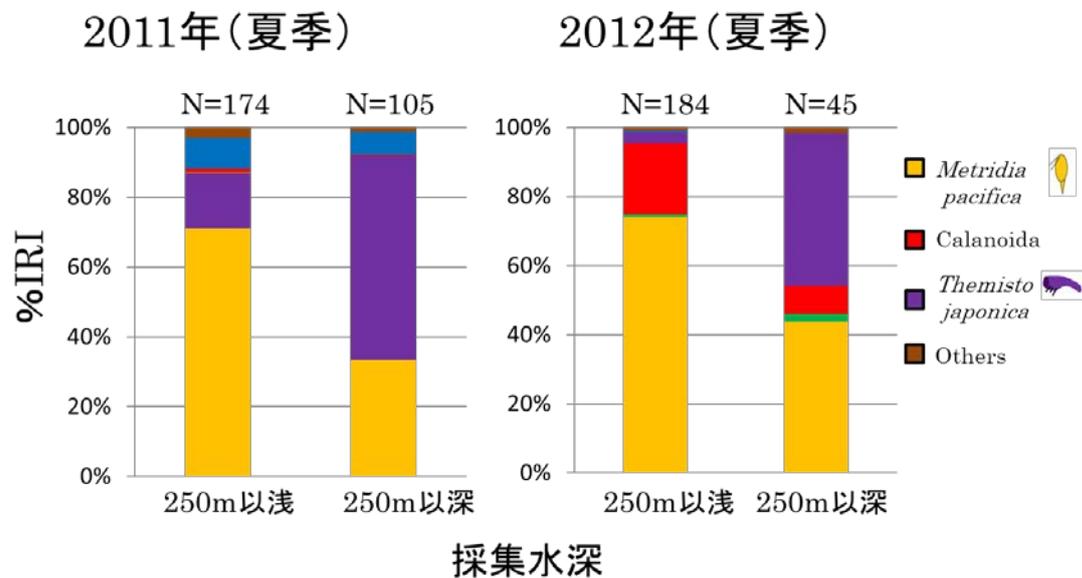


図 38 水深別に整理した 0 歳魚の胃内容物の分析結果 (平成 23, 24 年)

4) 0 歳魚の胃内容物分析の主な結果

以上、0 歳魚の胃内容物調査の結果を以下にまとめた。

- ① 0 歳魚の胃内容物ではカイアシ類の *Metridia pacifica* とクラゲノミが多かった。
- ② 5 月の 0 歳魚の肥満度、SCI が大きかった。
- ③ 8 月の 0 歳魚では、小型の個体は *Metridia pacifica* を主な餌料にしていたが、大型の個体ではクラゲノミ類の *Themisto japonica* を主な餌料にしていた。
- ④ 春のプランクトンブルームで動物プランクトンが増え、0 歳魚の肥満度や SCI が増大し、大きく成長したが、夏季や秋季では餌料不足のためか、肥満度が小さかった。
- ⑤ 大型の 0 歳魚になると *Metridia pacifica* から、クラゲノミ類のニホンウミノミ *Themisto japonica* に餌料が変わる傾向があった。これは、選択的に餌料を代えたのか、周辺に分布する動物プランクトンを摂餌したのか不明であり、今後の検討課題である。

7 スケトウダラ成魚の胃内容物調査結果

スケトウダラの成魚の胃内容物調査は平成 22 年に実施した。なお、底生魚の食物関係の調査(平成 23、24 年度)の中でも、成魚の胃内容物調査を実施しているが、整理方法が異なるので分けて記載した。

平成 22 年 8 月に SK05 で採集した成魚は、尾叉長や平均体重から 6 歳魚程度と推察された。その胃内容物の分析結果を表 28 に示した。最も多く出現した種は端脚類の *Themisto japonica*(ニホンウミノミ)であり、次いで Euphausiidae(オキアミ科)であった。この 2 種の他には、湿重量が大きな *Pandalus eous*(ホッコクアカエビ)、エビジャコ属が観察された。消化されて種の同定ができない甲殻類も多かった。成魚の胃内容物重量指数 SCI の平均値は 0.62 であった。

小岡ら(1997)は日本海(江差～青森沖)においてスケトウダラ成魚の胃内容物調査を実施し、春季では、オキアミ類の *Thysanoessa longipes*、毛顎類、および端脚類のニホンウミノミ *T. japonica* が主餌料で、10 月でも端脚類の *T. japonica* であるとしている。今回の調査では端脚類のニホンウミノミ *T. japonica* が主餌料になっていることから、小岡らと同様な結果であった。

他の胃内容物として硬骨魚類は確認できたが、消化が進んでおり種は同定できなかった。よって、スケトウダラ成魚が 0 歳魚を摂餌する可能性は確認できなかった。

なお、動物プランクトン調査(表 19)では、8 月の調査時に、*T. japonica* が天売沖の各水深帯で僅かに採取されていた。また、前述の 0 歳魚の胃内容物でも *T. japonica* は優占種となっていた。

8 底生魚類の食物関係

平成 23 年のトロール調査によって得た標本で底生魚類の食性解析を行った。標本は V 調査方法の図 1、表 16、表 17 に示す調査地点で得られたものである。

食性分析のために、1,491 個体を抽出して胃内容物を調べた。出現した餌生物は、144 項目に分けられた(表 29、表 30)。なお、個体数が十分に得られた魚種については体長区分し、それぞれの胃内容物組成を求めた。

ここでは、スケトウダラ、ホッケおよびスケトウダラの 0 歳魚を補食していたナガヅカの夏季と秋季の標本を対象に体長区分ごとに分け、重要度指数%IRI を求めて評価した。さらに、他の底生魚の季節別の食性の食位置を整理し、食物関係の図を作成した。

表 29 全ての魚種の胃内容物一覧(その1) (平成 23 年)

Diet categories		
腹足類	腹足綱 エソバイ科 ウスイロタマツメタガイ キシビキカミオボラ	GASTROPODA Buccinidae <i>Lunatia pallida</i> <i>Lusivolutopsis furukawai</i>
二枚貝類	二枚貝綱 ロウバイガイ科 マルスタレガイ科 ツキガイ科 エソシラオガイ科 クルマミガイ科 クルマミガイ キビソデガイ キタノフリソデガイ キザミガイ テングシヤクシガイ アツシヤクシガイ	BIVALVIA Nuculanidae Veneridae Lucinidae Astartidae Nuculidae <i>Ennucula niponica</i> <i>Yoldiella philippiana</i> <i>Yoldia excavata</i> <i>Arvella manshurica</i> <i>Cardiomya behringensis</i> <i>Cuspidaria trosaetes</i>
頭足類	頭足綱 ダンコイカ科 ダンコイカ ホタルイカ タコイカ属 スルメイカ ヤナギダコ	CEPHALOPODA Sepiidae <i>Sepiola birostrata</i> <i>Watasenia scintillans</i> <i>Gonatopsis</i> spp. <i>Todarodes pacificus</i> <i>Octopus conispadiceus</i>
フクロホシムシ類	フクロホシムシ科	Golfingidae
多毛類	多毛綱 ウミイサコムシ科 ウロコムシ科 カギゴカイ科 ギボシイソメ科 タケフソコカイ科 チロリ	POLYCHAETE Pectinariidae Polynoidae Pilargidae Lumbrineridae Maldanidae <i>Glycera chirori</i>
貝形虫類	<i>Vargula</i> 属	Cylindroleberididae <i>Vargula</i> spp.
カイアシ類	カラヌス目 ユウキータ科 ガエタヌス属 <i>Neocalanus</i> 属 <i>Metridia</i> 属 オンケア属	Calanoida Euchaetidae <i>Paraeuchaeta elongata</i> <i>Aetideopsis rostrata</i> <i>Aetideus pacificus</i> <i>Gaetanus</i> spp. <i>Neocalanus cristatus</i> <i>Neocalanus flemingeri</i> <i>Neocalanus plumchrus</i> <i>Neocalanus</i> spp. <i>Eucalanus bungii</i> <i>Lucicutia ovalis</i> <i>Metridia okhotensis</i> <i>Metridia pacifica</i> <i>Metridia</i> spp. <i>Oncaea</i> spp.
薄甲類	コノハエビ コノハエビ属	<i>Nebalia bipes</i> <i>Nebalia</i> spp.
アミ類	アミ科 プセウドンマ属 ハマアミ属	Mysidacea <i>Pseudomma</i> spp. <i>Meterythrois picta</i> <i>Meterythrois microphthalma</i> <i>Inusitatomysis insolita</i> <i>Hemiacanthomysis dimorpha</i> <i>Acanthomysis</i> spp. <i>Paracanthomysis shikhotaniensis</i>
クーマ類	フリソデクーマ科 クツガタクーマ属 サイズチクーマ属 サルスガリクーマ ヨツスジカザリクーマ カザリクーマ属 ヨツスジクーマ アラスカクーマ ドーンホソナガクーマ トウヨウサザナミクーマ	Ginodiatylidae <i>Eudorella</i> spp. <i>Campylaspis</i> spp. <i>Lamprops sarsi</i> <i>Lamprops quadriplicatus</i> <i>Lamprops</i> spp. <i>Diastylis dalli</i> <i>Diastylis alaskensis</i> <i>Diastylopsis dawsoni</i> <i>Dimorphostylis asiatica</i> <i>Mesolamprops bacescui</i>

表 30 全ての魚種の胃内容物一覧(その2) (平成23年)

Diet categories		
タナイス類	メタアプセウデス科 イトウホソツメタナイス	Metapseudidae <i>Leptocheilia itoi</i>
等脚類	ウミクワガタ科 コツブムシ科 <i>Janiropsis</i> 属 ヘラムシ属	Gnathidae Sphacromidae <i>Janiropsis</i> spp. <i>Idotea</i> spp.
クラゲノミ類	ニホンウミノミ アシナガクラゲノミ属 トゲウミノミ	<i>Themisto japonica</i> <i>Themisto</i> spp. <i>Primo abyssalis</i>
ヨコエビ類	ヨコエビ亜目 クチバシノコエビ科 フトヒゲノコエビ科 ヒダエラノコエビ フトヒゲノコエビ ゴクソウヨコエビ属	Gammaridea Oedicerotidae Lysianassidae <i>Anonyx ampulloides</i> <i>Orchomenella pinguis</i> <i>Parandania boccki</i> <i>Percionotus</i> spp.
ワレカラ類	ワレカラ属	<i>Caprella</i> spp.
オキアミ類	オキアミ科 ツノナシオキアミ <i>Euphausia</i> 属 <i>Thysanoessa</i> 属	Euphausiidae <i>Euphausia pacifica</i> <i>Euphausia</i> spp. <i>Thysanoessa longipes</i> <i>Thysanoessa inermis</i> <i>Thysanoessa</i> spp.
エビ類	タラバエビ科 モエビ科 ホッコクアカエビ トヤマエビ クラタモエビ キタツノモエビ ヨコヤツノモエビ	Pandalidae Hippolytidae <i>Pandanus eous</i> <i>Pandanus hypsinotus</i> <i>Eualus kuratai</i> <i>Eualus middendorffi</i> <i>Eualus spathulirostris</i>
エビジャコ類	エビジャコ科 ミゾエビジャコ <i>Crangon</i> 属 フタゲエビジャコ ヒメクロザコエビ クロザコエビ <i>Argis</i> 属	Crangonidae <i>Crangon dalli</i> <i>Crangon</i> spp. <i>Neocrangon communis</i> <i>Argis horowai</i> <i>Argis lar</i> <i>Argis</i> spp.
カニ類	クモガニ科 ケガニ ズワイガニ <i>Chionoecetes</i> 属 メガロバ幼生	Macridae <i>Erimacrus isenbeckii</i> <i>Chionoecetes opilio</i> <i>Chionoecetes</i> spp. megalopa
昆虫類	カメムシ目	Hemiptera
ヤムシ類	ヤムシ科 キタヤムシ	Sagittidae <i>Sagitta elegans</i>
ギボシムシ類	ギボシムシ綱	ENTEROPNEUSTA
ヒトデ類	アカモミジヒトデ	<i>Pseudarchaster parellii</i>
クモヒトデ類	クモヒトデ科 イバラクモヒトデ ジュズアシクモヒトデ キタクシノハクモヒトデ <i>Ophiura</i> 属	Ophiuridae <i>Ophiacantha omoplata</i> <i>Ophiacantha levispina</i> <i>Ophiura sarsii</i> <i>Ophiura</i> spp.
ナマコ類	ナマコ綱	HOLOTHUROIDEA
魚類	硬骨魚綱 メバル科 タウエガシ科 カレイ科 マイワシ ニシン キュウリエソ スケトウダラ マダラ ハツメ ツマグロカジカ ガンコ ノロゲンゲ メダマギンボ ハタハタ ヒラメ ソウハチ マコガレイ ヒレグロ	OSTEICHTHYES Sebastinae Stichaeidae Pleuronectidae <i>Sardinops melanostictus</i> <i>Clupea pallasii</i> <i>Maurolicus japonicus</i> <i>Theragra chalcogramma</i> <i>Gadus macrocephalus</i> <i>Sebastes owstoni</i> <i>Gymnocanthus herzensteini</i> <i>Dasycottu setiger</i> <i>Bothrocara hollandi</i> <i>Anisarchus macrops</i> <i>Arctoscopus japonicus</i> <i>Paralichthys olivaceus</i> <i>Hippoglossoides pinctorum</i> <i>Pleuronectes yokohamae</i> <i>Glyptocephalus stelleri</i>
卵塊		egg batch
不明種		Unidentified organism

1) 夏季のスケトウダラの食性

平成 23 年 8 月に採集されたスケトウダラの標本数は 207 個体であり、平均体長 (FL±SD mm) は、269.3±160.9 mm (min-max:75-593mm) であった。図 39 に体長ごとの胃内容物の重要度指数を示した。どの体長区分でも重要度指数はクラゲノミ類 (ニホンウミノミ *Themisto japonica*) が高く、小型の個体はカイアシ類が高かった。

【体長が ≤100 mm】

%IRI がカイアシ類、クラゲノミ類の順に高かった。カイアシ類では *Metridia pacifica*、クラゲノミ類はすべてニホンウミノミ *Themisto japonica* であった。

【体長が 101-200 mm】

%IRI がクラゲノミ類、カイアシ類の順に高かった。クラゲノミ類ではニホンウミノミ *T. japonica*、カイアシ類では *M. pacifica* であった。

【体長が 301-400 mm】

%IRI がクラゲノミ類、アミ類の順に高かった。クラゲノミ類ではニホンウミノミ *T. japonica*、*Themisto spp.*、アミ類では *Hemiacanthomysis dimorpha* であった。

【体長が >400 mm】

%IRI がクラゲノミ類が高く、その他、2%程度であるが昆虫類、エビジャコ類、アミ類が分析された。クラゲノミ類ではニホンウミノミ *T. japonica*、*Themisto spp.* であった。

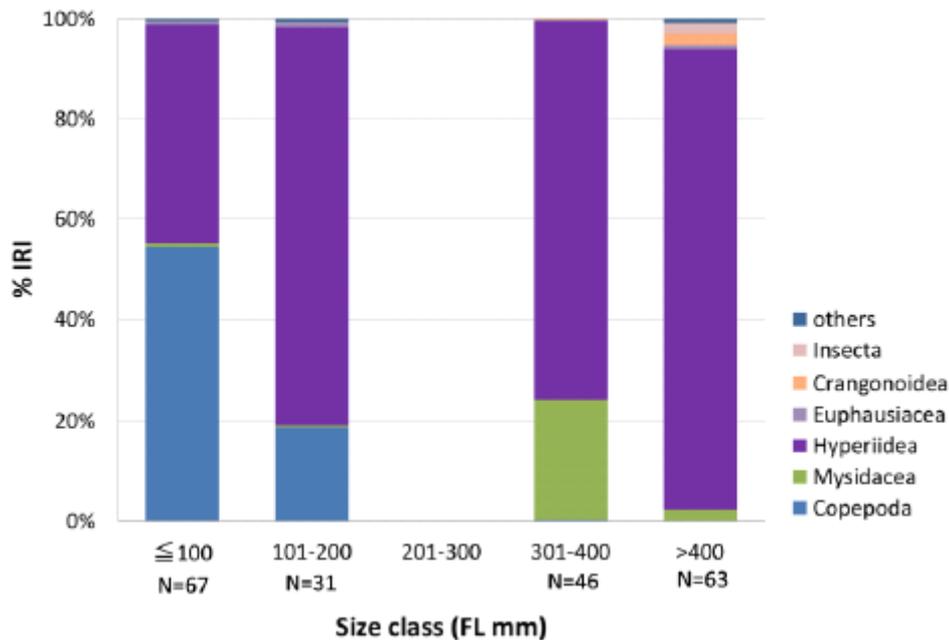


図 39 夏季のスケトウダラの胃内容物 (平成 23 年 8 月)

2) 夏季のホッケの食性

平成 23 年 8 月に採集されたホッケの標本数は 55 個体であり、平均体長 (SL±SD mm) は、 277.3 ± 10.1 mm (min-max : 249-298 mm) であり、比較的大型の個体が多かった。図 40 に体長ごとの胃内容物の重要度指数を示した。各体長群間で食性に差がなく、%IRI はクラゲノミ類が 97.5~99.9% と高く、その他、カイアシ類が数%であった。クラゲノミ類では *Themisto* spp. やニホンウミノミ *T. japonica* であった。

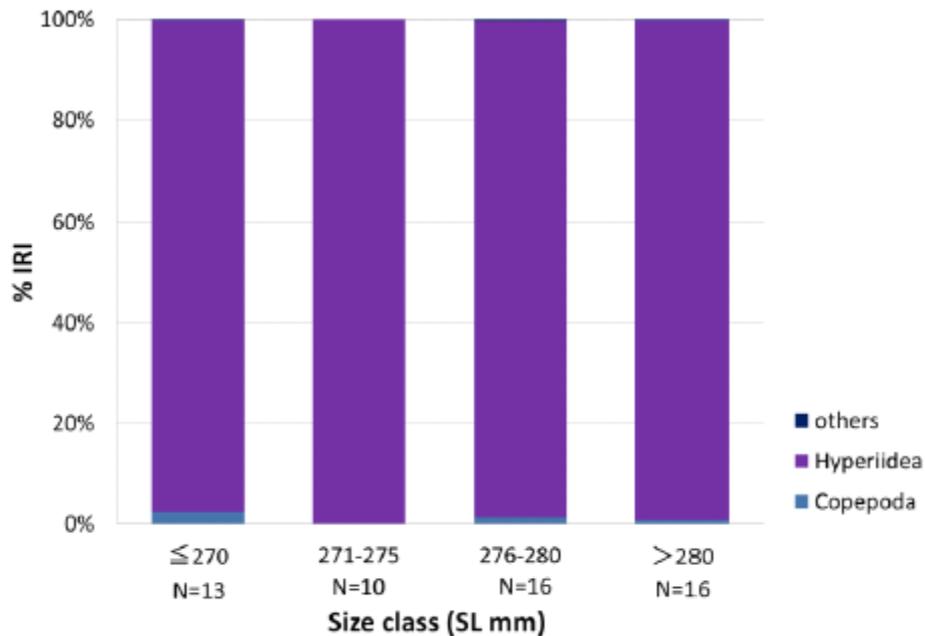


図 40 夏季のホッケの胃内容物 (平成 23 年 8 月)

3) 秋季のスケトウダラの食性

平成 23 年 10 月に採集されたスケトウダラの標本数は 273 個体であり、平均体長 (FL±SD mm) は、258.6±137.9 mm (min-max : 78-535 mm) であった。図 41 にスケトウダラの体長ごとの胃内容物の重要度指数を示した。秋季のスケトウダラは小型個体ではカイアシ類とオキアミ類が高く、大きな個体になるほどオキアミ類とクラゲノミ類が高くなった。

【体長が ≤100mm】

%IRI はカイアシ類、オキアミ類が大半であり、クラゲノミ類とヤムシ類が数%であった。カイアシ類ではほとんど *M. pacifica*、オキアミ類ではほとんどツノナシオキアミ *E. pacifica* であった。

【体長が 101-200mm】

%IRI はオキアミ類、カイアシ類が大半であり、クラゲノミ類、アミ類が数%であった。オキアミ類ではツノナシオキアミ *E. pacifica*、カイアシ類では *M. pacifica* であった。

【体長が 201-300mm】

%IRI はオキアミ類、カイアシ類が大半であり、クラゲノミ類が数%であった。オキアミ類ではツノナシオキアミ *E. pacifica* であった。

【体長が 301-400mm】

%IRI はオキアミ類、クラゲノミ類が大半であり、カイアシ類が数%であった。オキアミ類ではツノナシオキアミ *E. pacifica*、クラゲノミ類ではニホンウミノミ *T. japonica* であった。

【体長が >400mm】

%IRI はオキアミ類、クラゲノミ類が大半であり、エビジャコ類、エビ類、魚類が数%であった。オキアミ類ではツノナシオキアミ *E. pacifica*、クラゲノミ類ではニホンウミノミ *T. japonica*、エビジャコ類ではミゾエビジャコ *C. dalli* であった。

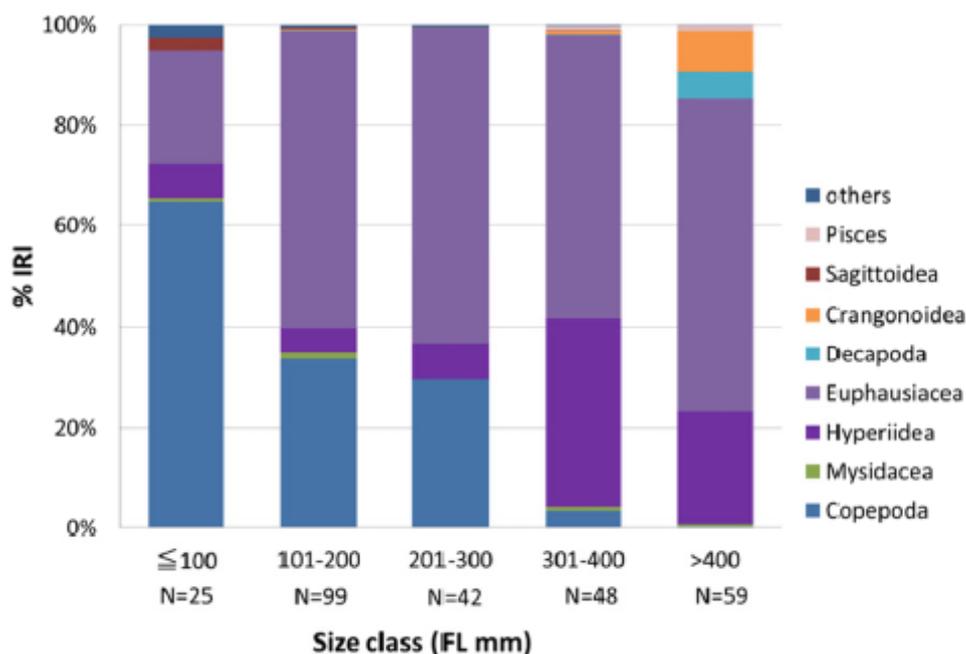


図 41 秋季のスケトウダラの胃内容物組成 (平成 23 年 10 月)

4) 秋季のナガヅカの食性

平成 23 年 10 月に採集されたナガヅカの標本数は 10 個体であったが、平均体長 (SL±SD mm) は、405.6±55.5 mm (min-max : 326-482 mm) であり、大型個体が多かった。図 42 に体長ごとのナガヅカの胃内容物の重要度指数を示した。%IRI は魚類、オキアミ類が高く、二枚貝類、エビジャコ類、クラゲノミ類、エビ類、頭足類、ヨコエビ類が分析された。

魚類ではスケトウダラ *T. chalcogramma* (34.6%)、その他の魚類 (25.3%) が多く、その他、ヒレグロ *Glyptocephalus stelleri*、オキアミ類ではツノナシオキアミ *E. pacifica* であった。

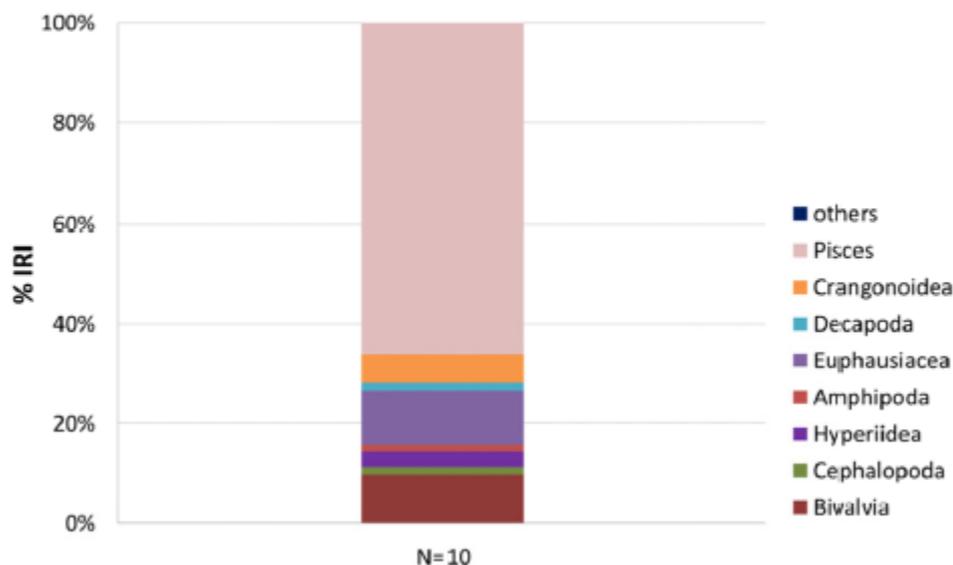


図 42 秋季のナガヅカの胃内容物組成 (平成 23 年 10 月)

5) プランクトン食性の底生魚類の食性のまとめ

スケトウダラなどのプランクトン食性の底生魚類では、夏季と秋季で主要餌生物が変化していた。夏季はクラゲノミ類のニホンウミノミを多く捕食していたのに対し、秋季はオキアミ類のツノナシオキアミを多く捕食していた。両餌種は、日本海では季節的な生物量の変化があることが知られており、ニホンウミノミの生物量は夏季に最大となり、その後、冬季にかけて減少するとされている。また、ツノナシオキアミは、表層の水温が上昇する夏季には表層への移動が抑制され、冬季になるにつれて移動が可能となる。

また、本海域では秋季にも植物プランクトンのブルームが起きることが知られている。このため、植食性であるツノナシオキアミの環境中の豊度は、秋季にも高くなると推定され、それがスケトウダラの食性に反映したと考えられた。

6) 食物関係

季節別、調査地点別に算出した食性と食地位の結果にもとづき、それぞれの季節、調査地点別における食物関係の図を示した。食物関係の図は、食地位を各餌生物の位置で示し、矢印の太さで餌生物の依存度を示すようにした。なお、図が過度に複雑化することを防ぐために、胃内容物の重要度指数 (%IRI) が 5%未満の餌生物は除外した。

① 夏季の食物関係

平成 23 年 8 月に採集した各魚類の食性と栄養段階をもとに、夏季の食物関係を作成した(図 43)。図中において、体長群間で食性に重複がみられたホッケ、ニラミカジカ、オニカジカ、トクビレ、ハタハタ、アカガレイ、ヒレグロはまとめて扱い、スケトウダラについては尾叉長が 200mm 以下のものと、300mm より大きいものとの 2 群にまとめた。

夏季において栄養段階の高かった魚種は、魚食性魚類のマダラとツマグロカジカであった。生物量の大きかったホッケやスケトウダラは、クラゲノミ類への依存度が大きく、中でも *Themisto* spp. やニホンウミノミ *T. japonica* を捕食していた。オニカジカとアカガレイ(SL: >300mm)は、クモヒトデ類への依存度が大きく、キタクシノハクモヒトデ *O. sarsii* を主に捕食していた。

図 43 の結果から、高次栄養段階にはマダラやツマグロが上げられるが、ほとんどの種は栄養段階が 3 であった。高次捕食者が少ないのは日本海の特徴と考えられた。

② 秋季の食物関係

平成 23 年 10 月に採集した各魚類の食性と栄養段階をもとに、秋季の食物関係をさくせいでした(図 44)。図中において、体長群間で食性に重複がみられたニシン、コオリカジカ、ツマグロカジカはまとめて扱い、スケトウダラについては尾叉長が 100mm 以下のものと、100mm より大きいものとの 2 群にまとめた。

秋季において栄養段階の高かった魚種は、魚食性のみられたマダラ、ナガヅカであった。生物量の大きかったニシン、スケトウダラ(FL: >100mm)は、オキアミ類への依存度が大きく、中でもツノナシオキアミ *E. pacifica* を捕食していた。

7) スケトウダラ 0 歳魚の捕食者

スケトウダラの太平洋系群や東部ベーリング海では、スケトウダラの 0 歳魚は、スケトウダラ成魚や魚食性魚類の主要餌種となることが知られている(e.g. 水戸, 1979 ; Yamamura, 2002)。

本調査により、ナガヅカとスケトウダラ成魚によるスケトウダラ 0 歳魚の捕食が確認された。秋季のトロール調査において、ナガヅカは 10 個体採集され、スケトウダラの 0 歳魚を捕食していたが、ナガヅカはこのトロール調査で採集した全底生魚類の漁獲量の 1.2% と少なく、スケトウダラ 0 歳魚以外の餌料も摂餌していたので、0 歳魚の被捕食量は少ないと判断された。また、この秋季のトロール調査ではスケトウダラが 273 個体採集された。そのうち、V 調査方法の AK06 地点(図 8 参照)で採集された体長 301-400mm の 17 個体中の胃内容物からスケトウダラ 0 歳魚が確認されたが、相対重要度指数割合% IRI は 2% と非常に少なかった。

以上のように、太平洋系群や東部ベーリング海とは異なり、スケトウダラの 0 歳魚は魚食性魚類の主要餌種としては出現しなかったことから、本調査海域では、スケトウダラの 0 歳魚への捕食圧は、他海域と比べて低いと判断された。

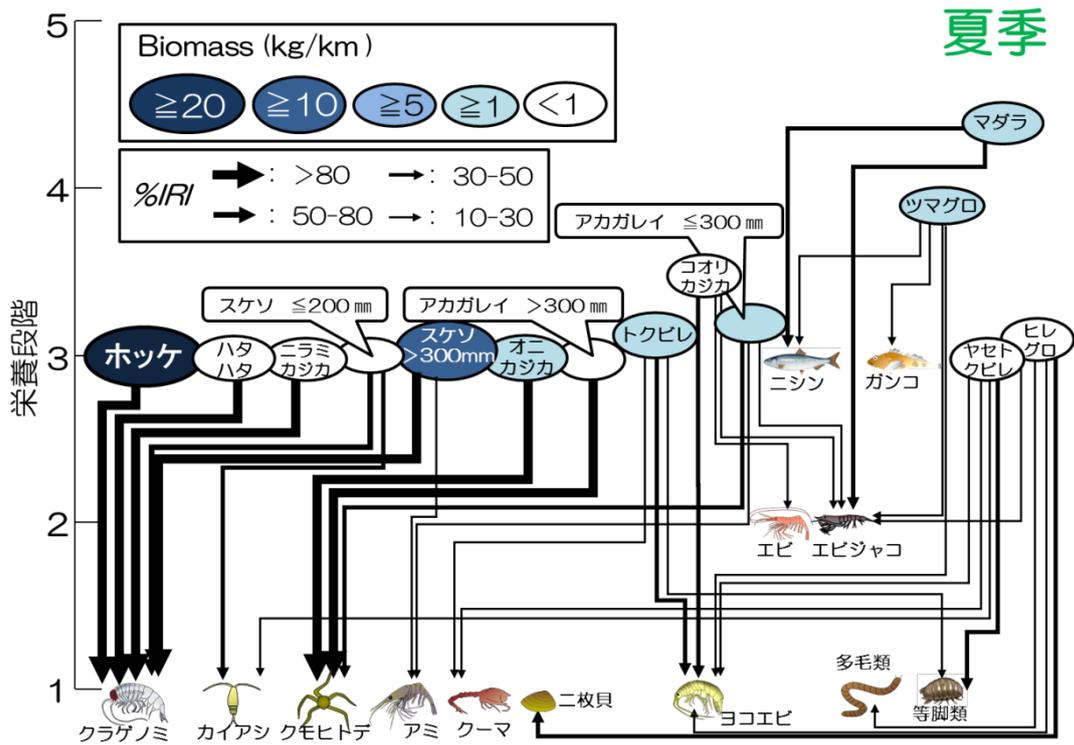


図 43 夏季の食物関係

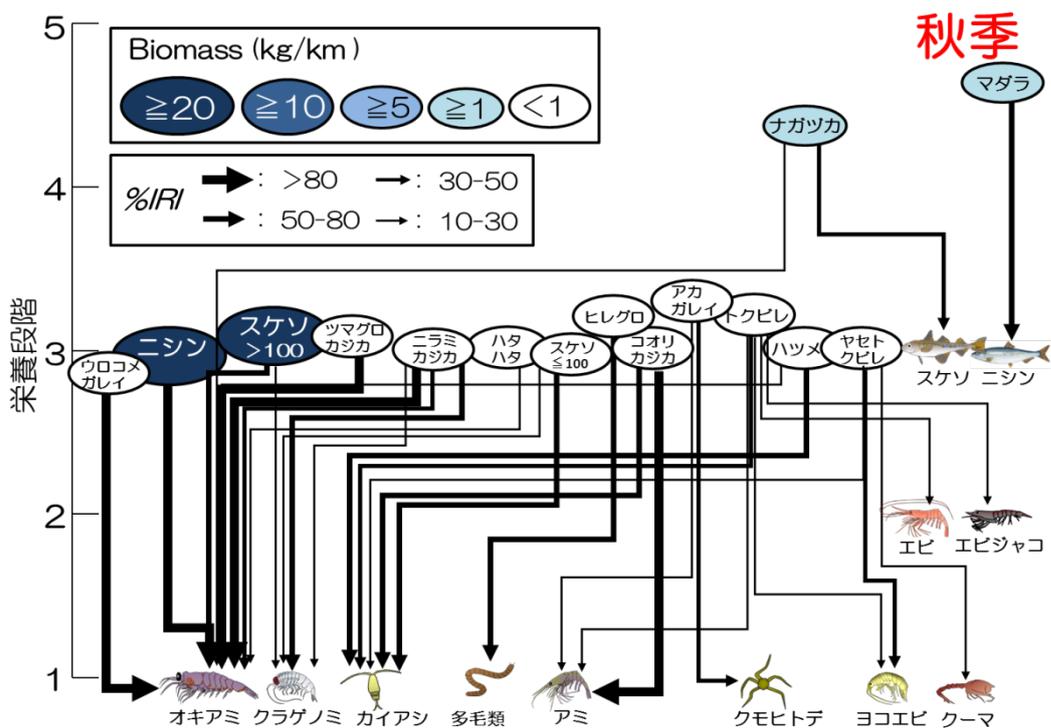


図 44 秋季の食物関係

8) 成魚の胃内容物および食物関係の主な結果

スケトウダラを含めて、この海域に分布する主な底魚の食物関係を明らかにした。結果を以下に取りまとめた。

- ①夏季では、スケトウダラ0歳魚ではカイアシ類、クラゲノミを主な餌料とするが、体長の大きなスケトウダラはクラゲノミを主餌料としていた。カイアシ類では *Metridia pacifica* が多く、クラゲノミではニホンウミノミ *Themisto japonica* が多かった。
- ②秋季では、小型個体ではカイアシ類、大型個体ではオキアミ類やクラゲノミを主餌料としていた。カイアシ類では *M. pacifica* が多く、オキアミ類ではツノナシオキアミ *E. pacifica* が、クラゲノミではニホンウミノミ *T. japonica* が多かった。
- ③スケトウダラ0歳魚はナガヅカやスケトウダラ成魚に捕食されていた。しかし、ナガヅカはトロール調査で採集された全サンプルの重量のわずか1.2%と少なく、スケトウダラ成魚はトロール調査で273個体採集したが、その中の17個体の成魚で捕食した0歳魚の%IRIは2%とわずかである。これから、スケトウダラの0歳魚に対する捕食圧はそれほど強くないと推察された。
- ④日本海北部海域では栄養段階3の魚種が多く、高次の魚種はマダラ、ツマグロ、ナガヅカのみであった。

9 炭素・窒素安定同位体比解析を用いた食性解析結果

安定同位体解析を利用した食性解析は平成 23 年度と平成 24 年度に実施した。平成 23 年度はスケトウダラの胃内容物、0 歳魚、成魚の炭素・窒素安定同位体比を計測した。平成 24 年度は植物プランクトン、動物プランクトン、0 歳魚およびその胃内容物、成魚や他の底魚の胃内容物について、成魚の炭素・窒素安定同位体比を計測した。

1) スケトウダラの成魚と 0 歳魚および 0 歳魚の餌料の関係(平成 23 年度の結果)

スケトウダラの成魚、0 歳魚、胃内容物のオキアミの分析結果を図 45 に示した。窒素安定同位体比についてみると、成魚と 0 歳魚との差異が大きかった。成魚では、 $\delta^{15}\text{N}$ が 12 ~14‰、平均は 13.23‰であり、0 歳魚では 10~13‰、平均 11.57‰となっており、平均で約 2‰の差異があった。最大値でみると、栄養段階が一つ異なるレベルの差異であった。これは、0 歳魚から成魚に成長するにつれて、より高次の食物を多く摂取して栄養段階が上昇してゆくことを示している。一方、炭素安定同位体比についてみると、成魚と稚魚における差異はほとんど認められず、-19~-21‰の範囲であった。

これより、食物連鎖の出発点である一次生産者は同じであり、どちらも植物プランクトンを基点とする食物連鎖系列にあると考えられた。スケトウダラの 0 歳魚の胃内容物として取り出したオキアミは、窒素安定同位体比が 7~8‰と約 4‰低い値であった。一般則として用いられている濃縮計数の 3.4‰よりやや高かった。

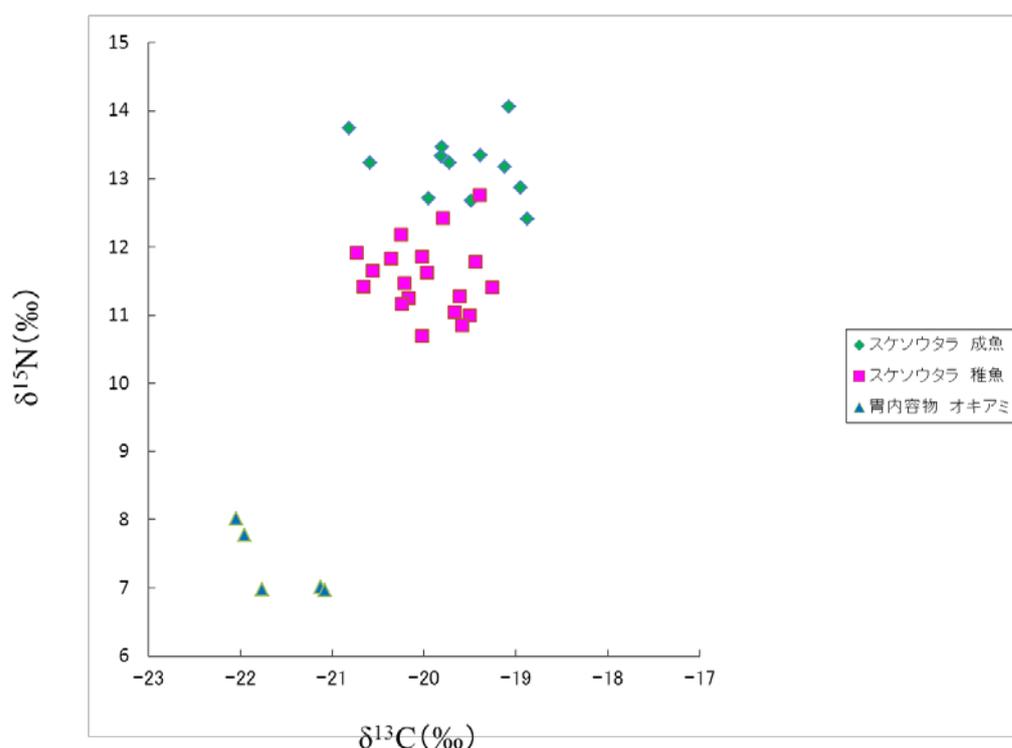


図 45 スケソウダラの炭素・窒素安定同位体比マップ(平成 23 年度)

2) スケトウダラの成魚と0歳魚および餌料の安定同位体比マップ（平成24年度の結果）

スケトウダラの成魚と0歳魚の安定同位体比マップを図46示した。窒素安定同位体比についてみると、成魚と0歳魚との差異が大きかった。成魚では、8月採集も10月採集魚でも大きな差異はなく、 $\delta^{15}\text{N}$ が12~13.5‰にあり、8月採集の平均値は12.8‰、10月採集の平均値は12.7‰であった。0歳魚では10~12‰の範囲にあり、8月採集魚の平均値は11.4‰、10月採集の平均値は10.7‰であり、8月採集の方が大きい値であった。成魚の最大値と0歳魚の最小値でみた場合、栄養段階が一つ異なるレベルであるが、成魚と0歳魚の $\delta^{15}\text{N}$ の平均値の差は1.7程度であり差は小さかった。

一方、炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ についてみると、成魚と0歳魚における差異はほとんど認められず、-19~-21‰の範囲であった。これより、食物連鎖の出発点である一次生産者（栄養段階1）は同じで、どちらも植物プランクトン（浮遊性）を基点とする食物連鎖系列にあると考えられた。

スケトウダラの成魚の胃内容物として取り出した動物プランクトンは、窒素安定同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ が7~10‰の範囲にあり、種類による変異が大きかったが、平均値は9.1であり、一般則として用いられている濃縮計数の範囲内であった。

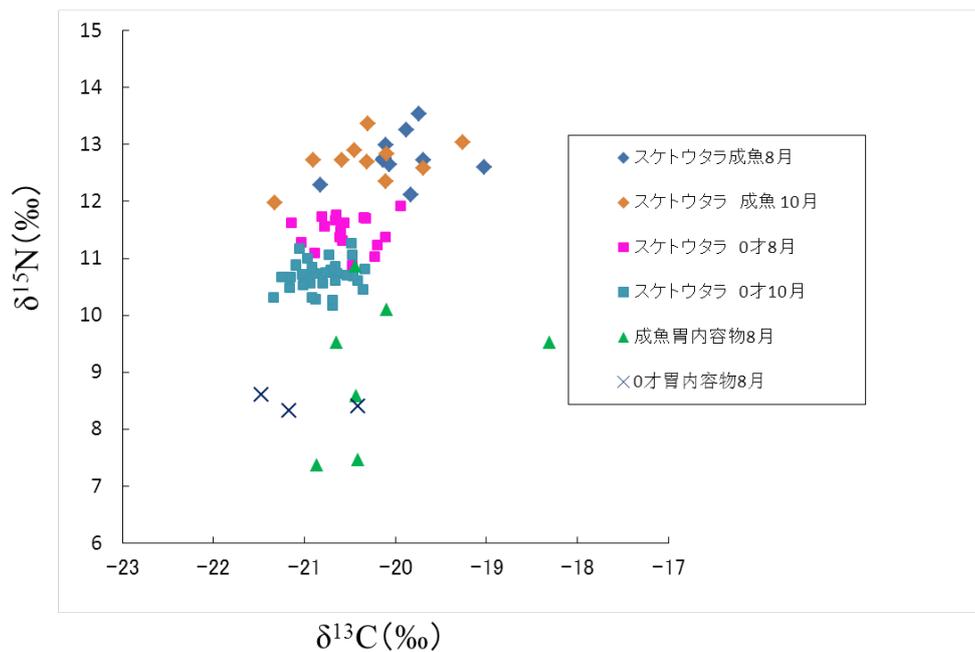


図46 スケトウダラの炭素・窒素安定同位体比マップ（平成24年度）

3) スケトウダラの0歳魚及び成魚の体長と窒素安定同位体比

スケトウダラの0歳魚及び成魚の体長と窒素安定同位体比との関係を図47に示した。一般的には成長に伴い栄養段階が上昇するので、体長と窒素安定同位体比は比例関係にある。ところが、図47に示すように、0歳魚も成魚も、体長との相関は明確ではなく、個体による変異が大きかった。これは、食物環境が単純な構成にはなっていないこと、そして、0歳魚の食物摂取パターンにも個体差があることを示唆している。

窒素安定同位体比の幅があるということは、栄養段階の幅があるということである。たとえば、動物プランクトンのなかでも高次のものと低次のものがあり、捕食者であるスケトウダラ0歳魚はそれら両方を摂食していると考えられた。したがって、それぞれに対する摂食比率の偏りが窒素安定同位体比に反映していると考えられた。

このように、食物環境とスケトウダラの摂食状況との関係は、一定の対応関係として捉えるのではなく、個体による変異が大きく、食物生物の側の変異・多様性があると考えられる。

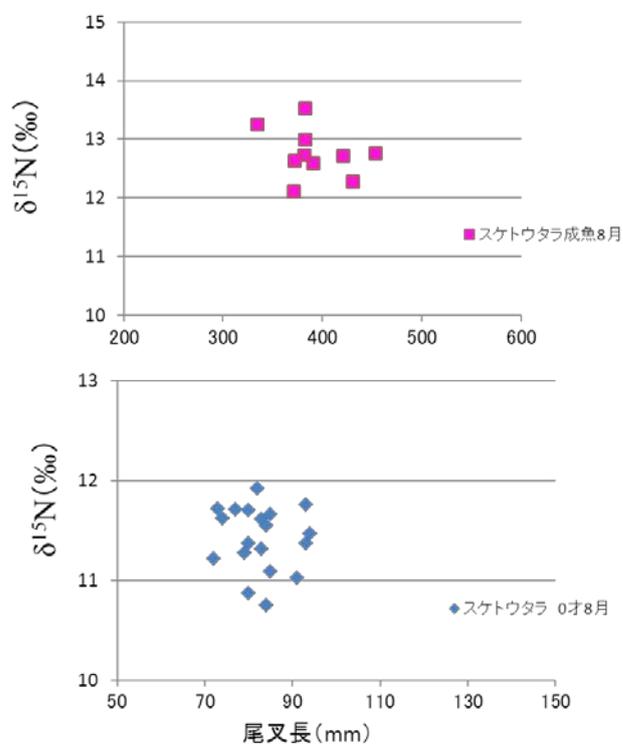


図47 スケトウダラの体長(尾叉長)に対する窒素安定同位体比の関係

4) スケトウダラとナガヅカおよび胃内容物の炭素・窒素安定同位体比

平成 24 年の標本では、ナガヅカの胃内容物からスケトウダラ 0 歳魚がほぼ完全な形で取り出された。3 個体はほぼ完全で、他の個体でも、消化されて少々崩れているが、スケトウダラの 0 歳魚が検出された。

スケトウダラとナガヅカおよび胃内容物の炭素・窒素安定同位体比マップを図 48 に示した。ナガヅカの窒素安定同位体比はスケトウダラ成魚とほぼ同じで、栄養段階が同じであると推測された。しかし、炭素安定同位体比はナガヅカの方が、やや高い方にシフトしているのが、食物連鎖の系列が異なることが示唆された。

ナガヅカの胃内容物はスケトウダラ 0 歳魚のところにプロットされるものがあり、ナガヅカはスケトウダラ 0 歳魚の捕食者であると推定される。なお、スケトウダラ成魚の胃内容物にはスケトウダラの 0 歳魚はみられなかった。

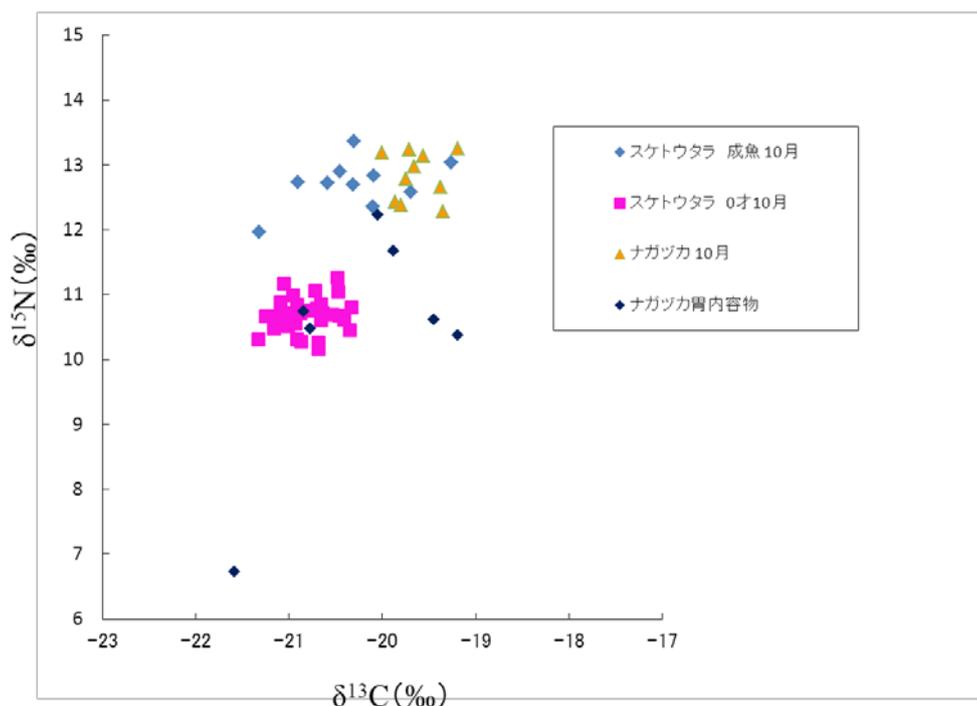


図 48 スケトウダラとナガヅカおよび胃内容物の炭素・窒素安定同位体比マップ

5) スケトウダラを中心とした食物連鎖

基礎生産者や食物生物も含めた安定同位体比マップを図 49 に示した。植物プランクトン、動物プランクトンともに、サンプルによる変異が大きく、上層、中層、下層での一定の傾向はみられなく、一般的な食物連鎖の勾配 1:3.4 には当てはまらなかった。

これは食物連鎖の基点、および一次消費者の段階には、多様な生物群が混在したためと考えられた。そのことが、スケトウダラの安定同位体比が個体によって変異が非常に大きかったという事実に反映されている。つまり、この海域では、食物連鎖系列として単純に直線で描けるような構造ではなく、多様な生物群が複雑に組み合わせることにより、魚類の生産構造が支えられていると考えられた。

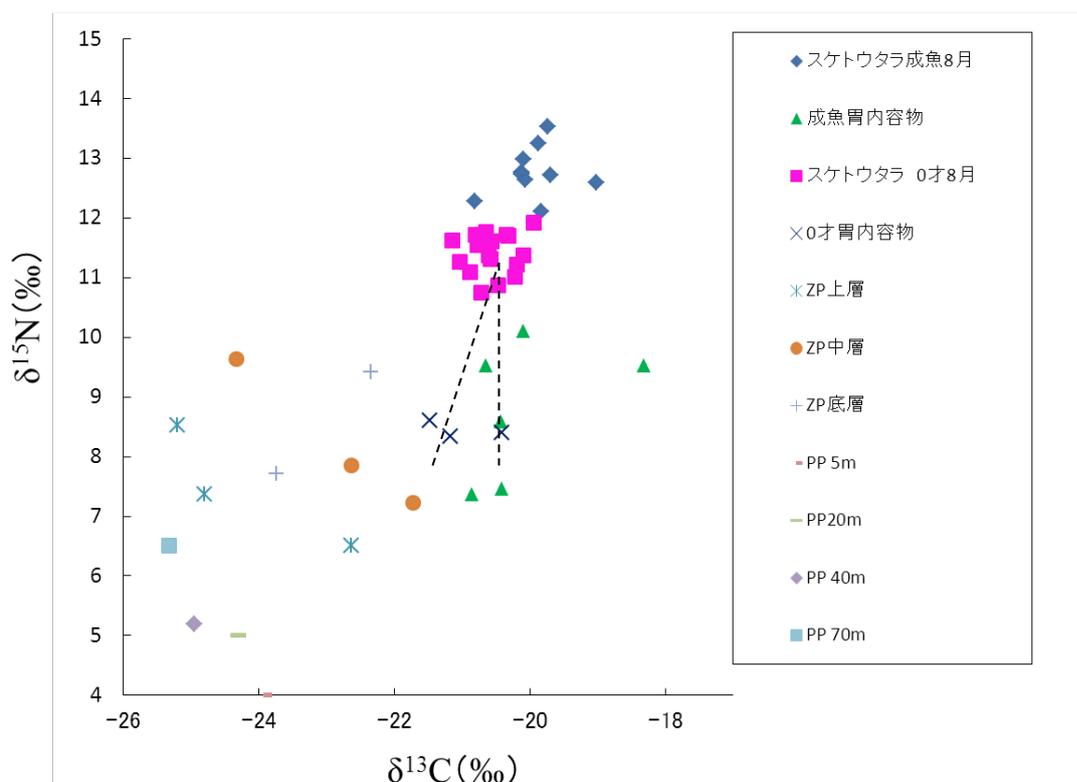


図 49 スケトウダラ・動物プランクトン・植物プランクトンの安定同位体比マップ
破線は一般的な濃縮係数 1:3.4 の勾配

6) 安定同位体解析による主な結果

- ①スケトウダラの成魚と0歳魚の窒素安定同位体比は異なっていた。スケトウダラの尾叉長と窒素安定同位体比は明確な関係は見られなかった。これから、スケトウダラは多様な餌料を摂餌していることが想定された。すなわち、餌料の選択性があまり無く、海域に分布する餌料があれば摂餌するということが推測された。
- ②10月の標本では、スケトウダラの0歳魚とナガヅカの胃内容物の炭素・窒素安定同位体比がほぼ同じ位置にプロットされた。また、ナガヅカとスケトウダラの成魚はほぼ同じ位置にプロットされた。ナガヅカはスケトウダラの0歳魚の捕食者であったことから、スケトウダラ成魚はスケトウダラ0歳魚の捕食者になる可能性が示唆された。
- ③8月のスケトウダラのサンプルを対象に、植物プランクトンと動物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比マップを作成したが、1:3.4の勾配に一致しなかった。特に、低次の生物のバラツキが大きかった。
- ④スケトウダラの体長の大小は餌料の選択性に差はなく、むしろ個体差が大きく影響していると考えられた。

VII 考察

本調査業務によって以下の点が考えられた。

- ①スケトウダラの0歳魚は砂泥底や転石混じりの砂泥底に着底し、餌料の少ない環境ではあるが、動物プランクトンや沈降する有機物を捕食しており、様々な餌料を摂餌していると考えられた。
- ②折込根は植物プランクトンの細胞数が $10^3\sim 10^4$ 細胞/Lの範囲にあり、比較的少ない海域である。また、躍層より上層の混合層では栄養塩が枯渇していた。
- ③夏季の水温躍層は水深20~40mに形成され、躍層の上下の水温差が 10°C 以上と大きな差があり、安定な躍層で上下混合しにくい水塊構造であった。
- ④折込根では水深160m付近にも水温差は小さいが水温躍層が形成されていた。
- ⑤海域全体では、夏季は餌料不足であったが、ROVによる調査ではエビ類、クモヒトデ類、ヤドカリ類、ウニ類、イソギンチャク類などが、転石のある海域で散見された。また、底層付近ではスケトウダラの餌料であるヤムシのプランクトンスウォームが確認された。
- ⑥海底上は5~10cm/secの弱い流れがあったが、湧昇流を励起させるのに十分な速さではなかった。
- ⑦水深100m以深の底層流では潮汐による流れへの寄与は小さく、海流等の流れの影響が強いことが判明した。
- ⑧海底から50~60mを中心に、数日間で南下流と北上流が交替し、植物プランクトンの種組成が冷水性と暖水性に交替したが、動物プランクトンは冷水性の種が優占した。植物プランクトンは水塊移動に応じて種組成が変化するが、動物プランクトンは多少ながらも遊泳性があるためか、大きな種の交替はないと推察された。
- ⑨水深200m付近の底層の水温は一定ではなく、短期間に $1.7\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ の変動があり、冷水塊が震動しているような挙動を示した。この水深200m付近は、スケトウダラ0歳魚が分布していた水深帯である。
- ⑩スケトウダラ0歳魚ではカイアシ類、クラゲノミを主な餌料とするが、体長の大きなスケトウダラはクラゲノミを主餌料としていた。カイアシ類では *Metridia pacifica* が多く、クラゲノミではニホンウミノミ *Themisto japonica* が多かった。秋には端脚目、オキアミ目、ヤムシ科など重量の大きな生物も摂餌していた。
- ⑪5月のスケトウダラの0歳魚の肥満度や胃内容物重量指数SCIが高いが、8月はこれらの値が低く、夏季は餌料不足になっていた可能性が高い。プランクトンブルーミングで動物プランクトンが増えると、スケトウダラの肥満度が増大し、夏季の餌料不足時には肥満度等が低下したと考えられる。
- ⑫スケトウダラの太平洋系群や東部ベーリング海では、スケトウダラの0歳魚は、スケトウダラ成魚や魚食性魚類の主要餌種となっている。本調査により、ナガヅカとスケトウダラ成魚によるスケトウダラ0歳魚の捕食が確認された。ただし、ナガヅカはトロール調査で採集した全底生魚類の漁獲量の1.2%と少ない。また、採集されたスケトウダラ273個体のうち、体長301-400mmの17個体中の胃内容物からスケトウダラ0歳魚が確認されたが、相対重要度指数割合%IRIは2%と非常に少なかった。この結果から、本調査海域では、スケトウダラの0歳魚への捕食圧は、他海域と比べて低いと判断された。
- ⑬夏季はスケトウダラの餌料が少ないためか、食性は多様であり、安定同位体比では食物連鎖の関係が通常の傾向(1:3.4の直線)に乗らなかった。これは、餌料の選択性の余地

が少なく、遭遇した動物プランクトンに嗜好性を持たずに摂食していると考えられた。

上記の点を踏まえ、水産基盤整備事業として沖合漁場整備を実施していく上での手法開発の展開は以下の通りである。

1 スケトウダラ日本海北部系群の0歳魚の生態と生息環境

本調査により、スケトウダラ日本海北部系群の0歳魚の生態や生息環境が明らかになってきた。これまでに明らかになった生態・生息環境を太平洋系群と比較して、表1に整理する。また、スケトウダラの0歳魚と成魚の生息環境に関する知見を表2に示し、陸棚斜面に分布する0歳魚を中心にした生息場の回遊イメージを図1に示す。

表 31 日本海北部系群と太平洋系群のスケトウダラの生息環境の比較

	日本海北部系群	太平洋系群等
産卵場所と水深	岩内湾・檜山(乙部～相沼)沖の水深200m付近、水温2～5℃の範囲(八木・武藤 1993、三宅ら 2008)	噴火湾および周辺海域で、特に、湾口部から湾外陸棚水域に形成される(中谷ら 1987)。表層は水点下になるので、卵は表面～水深50m層(KAMBA 1977)で多い。卵発生の適水温は0～7℃(中谷・前田 1984)。
産卵期	12～3月で1～2月が最盛期(田中・及川 1968、Tsuji 1990、前田ら 1989、八木・武藤 1993)	12～3月(前田ら 1981、中谷ら 1987)
稚仔魚期の餌料	調査事例は無い	体長14mm以下ではカイアシ類のノープリウス幼生を餌とする(中谷・前田 1983)。
着底水深	当歳魚は夏季～秋季にかけて増毛～稚内北西にかけての本道側の水域に着底する(佐々木・夏目 1990)。 2009年8月のトロール調査では全長84～88mmの幼魚が水深180～210mの海底に分布していた*1。 2010年8、10月の調査では、0歳魚は水深190～342mで確認された。 2011年8、10月の調査では、0歳魚は水深170～250mで多い。留萌沖～仙法志の折込根の斜面で観察された。小樽堆沖でも水深190mで確認された。	仔稚魚は7月上旬までは湾内の表中层域に分布するが、7月下旬には海底付近に移動する。噴火湾では体長の平均が68.7mmで底生生活に移行する(前田ら 1976)。着底水深は75～100mが多い(志田 2002)。
幼魚期の餌料	2009年8月の0歳魚の胃内容物調査では、体長60～95mmの幼魚はカイアシ類とオキアミ類、十脚目を摂餌していた*1。 0歳魚の胃内容物はカイアシ類の <i>Metridia pacifica</i> や端脚類のニホンウミノミが優占していた。夏季には餌料が少なく、10月には餌料が多くなる。 2011年では <i>M. pacifica</i> や <i>Themisto japonica</i> (クラゲミ科) が餌料であり、その他、 <i>Neocalanus</i> spp.、 <i>Linsolita</i> 、 <i>E. pacifica</i> 、 <i>S. elegans</i> の重要度指数が高い。0歳魚の尾叉長が大きいと <i>M. pacifica</i> から <i>T. japonica</i> に餌料が変化する。 夏季は餌料不足であり、多様な餌料を摂餌している。成魚と同じような餌料を摂餌している。	体長200mm以下では、春にはコペポダが多いが、夏以降ではオキアミが多くなる(中谷・前田 1983、前田ら 1980)。
幼魚期の棲息環境	着底期(8月)の水深約200mの海底付近の流速は5cm/s程度で小さい。水深140m付近の水塊は数日周期で北上、南下を繰り返す。 夏季の水温躍層は水深30m付近と水深160m付近で見られ、水深200mの水温は2～3℃で、周期的に変動する。 表層の混合層ではN,P,Siとも定量下限で貧栄養。底層では栄養塩濃度は高いがN律則。植物プランクトンは渦鞭毛藻のギムノディニウム目や珪藻が優占種。動物プランクトンはカイアシ類のカラスコ、メトリディア科、オイトナ科が出現し、幼魚の餌料になっている。 砂泥底の散在する転石上にはイソギンチャク類など比較的イベントが多い。	0歳魚は襟裳以西海域の水深60～150m、道東水域の150～250mに分布し、水温は3～9℃。
成魚期の餌料	主要な餌料は端脚類、オキアミ類である(小岡ら1997、Kooka et al.2001)。その他、イカ類、環形動物、小型魚類、底生甲殻類などさまざまなものを捕食している。スケトウダラの幼魚は摂食しないという指摘がある。 2010年8月の水深340mで採取された成魚の胃内容物にはスケトウダラの0歳魚は確認できなかった。窒素の安定同位体比が成魚と幼魚で異なり、成魚はより高次の食物を摂取しており、栄養段階は4～5のレベル。	動物プランクトンのみでなく、魚類やイカ類の大型の餌料。スケトウダラの幼魚や未成魚も餌料としている(前田ら1981)。
被捕食関係	魚類による被食に関する情報は不明であるが、海獣類の餌料として重要であり(Ohizumi et al. 2000)、キタオットセイやトドなどによる被食が知られている。スルメイカ、オクカジカ、マダラ、ヒラメ等による被食の可能性もある。 スケトウダラの成魚やナガツカはスケトウダラの幼魚を捕食する。しかし、摂餌率は高くない。	道東海域における主要な捕食者は、マダラ、アブラガレイ、オクカジカだが、大型魚による共食いも行われている(Yamamura et al. 2001、Yamamura 2004)。日高湾ではスケトウダラ、ケムシカジカ、オクカジカ、アブラカレイ、ソウハチが当歳魚を捕食(山村 2011)。その他、トドなど。

(注)*1:【出典】平成21年度沖合域底層環境把握調査 日本海北部海域(武蔵堆)における検討

※青字は本事業で明らかになった成果

表 32 スケトウダラの 0 歳魚と成魚の生息環境に関する知見

項目	スケトウダラ：日本海北部系群	
	着底後の 0 歳魚	成 魚
体 長	<ul style="list-style-type: none"> ・ 85mm 以上(当歳魚) ・ 1 歳魚：10～20cm 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 30～50cm の範囲 ・ 日本海では他の海域より成長が悪い。 ・ 体長 25cm(満 3 歳)から成熟し、体長 31cm 前後の 4 歳で全てが成熟
分布域	<ul style="list-style-type: none"> ・ 当歳魚 秋季→本道側水域(武蔵堆東側～苫前) ・ 当歳魚 冬季→武蔵堆西側水域 ・ 1 歳魚 春～夏→本道側水域 ・ 1 歳魚 秋～冬→武蔵堆西側水域 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 産卵を終えた魚群の一部は底生生活に移行するが、他の一部は中層生活に移行 ・ 夏～秋には餌をとるために分散し、産卵期に再び沿岸に回遊 ・ 産卵場は岩内湾・乙部沖(檜山)海域
水深帯	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水深 200m 以浅(北水研) ・ 水深 170m～250m に多く、本土側の 200m が分布中心 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水深 400～500m に多く分布(10 月) ・ 成熟すると冬から春にかけて沿岸に集群し産卵 ・ 産卵場は檜山～岩内湾で、水深 200m の等深線が入り組んだ海底地形
水 温	<ul style="list-style-type: none"> ・ 折込根沖周辺(2010.8)：水深 200m で 5.8℃ ・ 武蔵堆西側(2010.8)：水深 200m で 3.3℃ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 産卵後の 4 月：0.5～6℃(水深 80～400m 層) ・ 10 月：0.4～0.5℃(水深 400m～500m 層)
餌 料	<ul style="list-style-type: none"> ・ カイアシ類、オキアミ類、十脚目、端脚目(ニホンウミノミ) ・ 5 月の餌としてカイアシ類(<i>Neocalanus</i> 及び <i>Metridia</i> 属)が重要：<i>Metridia</i> は体長 2～6mm で、顕著な日周鉛直移動(0～300m)をする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春季の主要餌料はオキアミ、毛顎類、端脚類(ニホンウミノミ)、秋季は端脚類(ニホンウミノミ) ・ 共食いが確認された ・ 胃内容物にイカ類や魚類は少ない
魚礁性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 魚礁への蠕集性は不明 ・ 北武蔵堆ではやや岩礁性の起伏のある場所に分布する可能性が指摘された(志田氏) ・ ROV 調査では、砂泥底に分布する転石周辺でベントスがが多く、海底に 0 歳魚がみられた 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 魚礁への蠕集性は不明 ・ 太平洋側(苫小牧～えりも等)で対象魚種をスケトウダラ・ホッケ・カレイ類とした魚礁設置事業があるが、効果は不明
漁 法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 漁獲しないが、オッタートロール沖底引き網で混獲 ・ 一般に、底引き網から網抜けした未成魚は死滅するとされている 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖底船：100 トン以上のかけまわし船とオッタートロール船で漁獲 ・ 漁場は、武蔵堆西部、武蔵堆東部、武蔵堆南部、小樽堆、岩内沖、乙部沖、奥尻堆
捕食者	<ul style="list-style-type: none"> ・ ナガヅカによる捕食 ・ スルメイカ、オクカジカ、マダラ、ヒラメ等(未確認) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成魚やナガヅカによる 0 歳魚の食害を確認

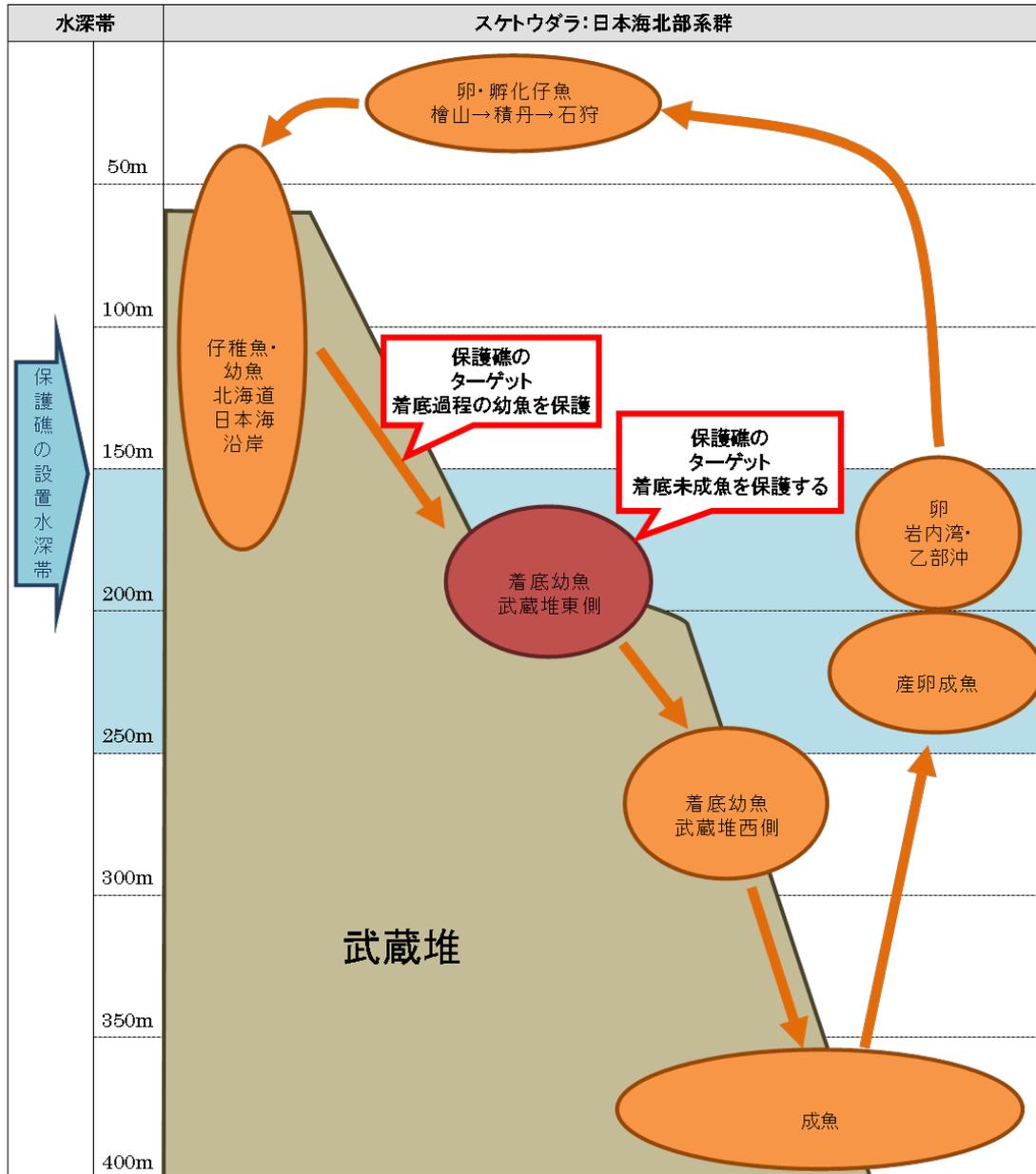


図 50 スケトウダラ成長過程と利用水深帯の模式図

2 仮説に対する結論

本調査を実施するに当たって、武蔵堆周辺海域におけるスケトウダラの0歳魚の棲息環境に関して3つの仮説を設定し、それらを検証するように調査を実施した。本調査で得られた知見をもとに、これらの仮説について、現時点での結論をまとめる。

1) 仮説1；メカニズム

夏季の成層化により、混合層(有光層)の栄養塩が枯渇し、植物プランクトンが減少する。餌料の動物プランクトンが減少して若年魚が減耗する。

【本調査からの結論】

- ・夏季は安定した成層が発達し、上下混合ができなく、混合層は栄養塩が枯渇し、海域の植物プランクトンが少なく、結果として、餌料である動物プランクトンが少なかった。

- ・春の0歳魚の肥満度や胃内容物量指数(SCI)が高いが、夏はこれらが低下した。

2) 仮説2；資源の嵩上げ

水深150～200mに存在する富栄養水塊を地形改変等により浅場に湧昇させられれば、餌料環境を向上させ、資源量の底上げが図れる。

【本調査からの結論】

- ・混合層以下の成層構造が安定しており、上下層の水温差が10℃もあり、密度差が大きく、上下混合しにくい水塊構造であった。
- ・底層の流速は5～10cm/secと小さい。
- ・以上から、海底マウンド礁等の湧昇流発生工による基礎生産の向上と資源量の嵩上げは難しいと考えられる。

3) 仮説3；資源の保護

着底ステージの隠れ場を提供できれば、捕食や漁業による混獲などによる減耗を回避し、資源量を増大できる。

【本調査からの結論】

- ・日本海北部系群のスケトウダラの0歳魚はナガヅカやスケトウダラの成魚の捕食対象になっていた。摂餌圧は低いと推測されたが、より多くの個体を残すためには捕食者から逃避できる場所が必要である。
- ・スケトウダラの0歳魚に魚礁性があるか不明であるが、砂泥底に転石が分布している海域で、0歳魚の小群が確認されている。
- ・貧栄養海域であるが海底の転石周辺にはイソギンチャクやカニが分布し、ベントスは多い傾向にあった。
- ・海底上5～6mにヤムシのスウォームが確認された。スケトウダラは沈降してくる餌料を摂餌する。このような動物プランクトンのスウォームが構造物等の近傍に形成できれば、スケトウダラが摂餌のために餌料培養礁に集まり、結果として捕食者や漁獲から保護できる可能性がある。

VIII 摘要

本調査で日本海北部系群のスケトウダラの0歳魚を対象に分布特性や摂餌状況を把握した。しかし、0歳魚は武蔵堆周辺海域の水深200m前後に必ず分布するとは限らない。スケトウダラの0歳魚の生息条件は何が重要なのか、漁場の好適な機能を抽出する必要がある。その一つの手段として、スケトウダラの0歳魚が着底する海域と同じ水深で着底しない海域（対照区）を選定し、両者の環境因子を比較検討することで、漁場整備の適地選定方法の検討を行うことが考えられる。調査内容としては、以下の事項を実施することが望ましい。

1) スケトウダラ着底0歳魚の分布の把握

計量魚探を使用して0歳魚の着底海域において、0歳魚の面的な分布を把握する。確認のため、魚群はROVで観察する。

2) 餌料生物の把握

0歳魚の着底海域と対照区で動物プランクトン調査とCTD調査を実施し、両海域の比較を行うことで、0歳魚が好む着底海域の餌料環境条件や特性を把握する。

3) 底層環境の把握

底質は海中を沈降する有機物が堆積する場でもある。0歳魚の着底海域と対照区において底質を採取し、粒度分析とマクロベントス調査を実施する。また、強熱減量等で有機物の含有量を把握する。0歳魚の着底海域と対照区での底質やベントスの差から、0歳魚の着底海域の特性を把握する。

これらの調査結果を踏まえて、スケトウダラの着底場の適地選定、餌料培養礁の可能性を検討する。

IX 引用文献

Kamba, M.(1977). Feeding habits and vertical distribution on walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in early life stage in Uchiura Bay, Hokkaido. *Res. Int. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ.*, Spec. Vol.,175-197.

小岡孝治, 高津哲也, 亀井佳彦, 中谷敏邦, 高橋豊美. (1997) 北部日本海中層に生息するスケトウダラの春季と秋季の食性. 日水誌, 63 (4), 537-541.

Kooka, K., Wada, A., Ishida, R., Mutoh, T., Abe, K. and Miyake, H..(2001) Summer and winter feeding habits of adult walleye pollock in the offshore waters of western Hokkaido, northern Japan Sea (Short Paper). *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* 60, 25-27.

前田辰昭, 高橋豊美, 伊地知誠. (1976) 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究－Ⅱ 産卵期. 日水誌, 42, 1213-1222.

前田辰昭, 高橋豊美, 上野元一. (1980) 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラの漁場学的研究－Ⅳ 餌料としての動物プランクトン分布の季節変化. 日水誌, 46, 671-674.

前田辰昭, 高橋豊美, 上野元一. (1981) 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ成魚群の生活年周期. 日本水産学会誌, 47(6), 741-746.

前田辰昭, 高橋豊美, 中谷敏邦. (1988) 北海道桧山沖合におけるスケトウダラ成魚群の分布回遊と産卵場について. 北大水産彙報, 39, 216-229.

前田辰昭, 中谷敏邦, 高橋豊美, 高木省吾, 梶原善之, 日黒敏美. (1989) 北海道南西部の日本海岸におけるスケトウダラの回遊について. 水産海洋研究, 53, 38-43.

水戸啓一. (1979) ベーリング海底魚群集における食物関係：Ⅱ. 群集構成種の体長組成. 北大水産彙報, 30(2), 144-162.

三宅博哉. (1991) 北海道西岸日本海におけるスケトウダラ漁獲量の多変量解析と系群構造. 日水誌, 57(11), 1991-1995.

三宅博哉. (2008) 音響学的手法を用いたスケトウダラ北部日本海系群の資源動態評価と産卵場形成に関する研究. 北海道大学博士論文

三宅博哉, 板谷和彦, 浅見大樹, 嶋田 宏, 渡野邊雅道, 武藤卓志, 中谷敏邦. (2008) 卵分布からみた北海道西部日本海におけるスケトウダラ産卵場形成の現状. 水産海洋研究, 72 (4), 265-272.

森 賢・山下夕帆(2010); 沖底データの資源量指数としての利用, 東京大学大気海洋研究所

共同利用研究集会、漁業情報を用いた水産資源の評価と管理, 14-18.

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. 日水誌, 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. 日水誌, 50 (6), 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. 日水誌, 53, 1585-1591.

夏目雅史, 佐々木正義. (1995) 北海道北部海域のスケトウダラ仔稚魚の分布. 北水試研報, 47, 33-40.

西村明. (2006) 59 スケトウダラ総説. 水産庁 HP, 平成 18 年度国際漁業資源の現況, (<http://kokushi.job.affrc.go.jp/H18/H18/H18%2059.htm>).

Ohizumi, H., Kuramochi, T., Amano, M. and Miyazaki, N. (2000) Prey switching of Dall's porpoise, *Phocoenoides dalli*, with population decline of Japanese pilchard, *Sardinops melanostictus*, around Hokkaido, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200, 265-275.

岡市友利(1987); 海洋大事典, P.420.東京堂

佐々木正義, 夏目雅史. (1990) 武蔵堆およびその周辺水域におけるスケトウダラ若年魚の分布. 日本水産学会誌, 56 (7), 1063-1068.

志田修. (2002) 北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラの年齢別分布水深. 北水試研報, 63, 9-19.

志田修, 山村織生, 三宅博哉. (1999) 道東太平洋沿岸におけるスケトウダラ 0 歳魚の分布と成長に伴う移動について. 北水試研報, 54, 1-7.

田中富重. (1968) 北部日本海におけるスケトウダラ産卵群の生活-1-移動回遊についての知見. 北水試月報, 25(6), 268-307.

田中富重, 及川久一. (1971) 昭和 45 年度 岩内漁場のスケトウダラ調査について 産卵群の分布様式. 北水試月報, 28 (6), 2-8. 年が違いますがこれですか?

Tsuji, S. (1990) Alaska pollack population, *Theragra chalcogramma*, of Japan and its adjacent waters, II: Reproductive ecology and problems in population studies. *Mar. behav. Physiol.*, 16 (2), 61-107.

八木宏樹, 武藤卓志. (1993) 1990-91~91-92年の岩内湾におけるスケトウダラ *Theragra chalcogramma* (Pallas) 卵稚仔の分布動向と最近の特徴. 北水試研報, 42, 91-100.

Yamamura, O., Honda, S., Shida, O. and Hamatsu, T. (2002) Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan: Ontogenetic and seasonal variations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 238, 187-198.

Yamamura, O. (2004) Trophodynamic modeling of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the Doto area, northern Japan: model description and baseline simulations. *Fisheries oceanography*, 13, 138-154.

山村織生(2011); 幼稚魚の被食が加入に及ぼす影響, 平成23年度資源変動要因分析調査課題報告書(中課題)

吉岡崇仁. (2006) 水圏生態系の安定同位体解析. 環境循環系診断のための同位体トレーサ技術, 山中勤(編), 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ No.2, pp.28-38.