

様式-2 平成24年度資源変動要因分析調査課題報告書（中課題）

課題番号 1000
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 スケトウダラ太平洋系群
担当機関 北海道区水産研究所資源管理部高次生産グループ
担当者名 山村織生

1. 調査・研究の目的

第I期において提案した仮説すなわち「産卵場周辺の流動条件により産卵期盛期の早生群が生残した場合、幼魚の着底体長が大きくなりサイズ依存的捕食を通じて加入までの生残が良好となる」を検証するため、実施が必要な調査を継続および新規に行う。継続する調査として、噴火湾周辺における卵仔魚の分布と餌料豊度の調査、着底前後の幼魚の日齢、体サイズと被食状況を解明する採集が挙げられる。また、新規調査として、仔魚および幼魚が分布する噴火湾における採集調査が挙げられる。これにより餌料転換期の幼仔魚と餌環境の把握が可能となる。また、道東海域養育場における幼魚の栄養摂取は第I期において生残への影響は少ないと結論されたが、2000年代以降当該海域に分布する幼魚の栄養状態が年々悪化しており、今後もその傾向が継続する場合生残に深刻な影響を及ぼす可能性がある。そのため、道東海域においても着底後越冬前後の幼魚の採集及び生理学的分析を実施する。以上の結果を総合して、第I期で構築した加入量変動シナリオを強化・検証することにより、資源変動要因の解明と加入量予測精度の向上に資することができ、資源管理現場でも漁業者に対する説明等で活用が可能となる。

2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) スケトウダラ卵・仔魚の栄養状態について、経年的な変動を整理したところ、年級強度や卓越発生との間に関連は見出されなかった。(1010)
- (2) 水槽内に躍層を再現し、孵化直後および開口期仔魚の水温嗜好性および低水温水塊に対する挙動を観察した。孵化直後仔魚は低い遊泳力を反映し水温変化に対して反応が乏しかったのに対し、開口期仔魚は高水温を忌避した。しかし1.5℃の水塊からは移動せず、低温下においては遊泳力が低下し、冷水塊を忌避する能力は乏しいことが窺われた。(1010)
- (3) 産卵場周辺海域の日高湾から道東生育場への受動輸送の可能性を評価するために、27年間の長期再解析値を使い粒子追跡実験を行った。その結果、着底期にあたる8月末に道東海域に輸送されるのは殆ど全てが3月末時点で道東または襟裳西海域に存在した粒子のみであったことから、幼魚期においては能動的な移動が重要であることが示された。(1020)
- (4) 道東海域におけるChl-aおよび各種栄養塩濃度の時系列資料を整備した(1020)
- (5) 餌生物転換期（5月）に稚魚が分布する物理環境および餌料環境を昼夜にわたり調べたところ、夜間のほうが昼間よりも高温な環境下に分布して摂餌量が多い傾向にあった。また、湾内で大型（FL>30mm）、湾外で小型稚魚が多く、前者は大型カイアシ類を比較的多く摂食した。6月以降に小型カイアシが減少するため、湾外は小型稚魚にとって劣悪な環境であったといえる。(1030)
- (6) 浮遊期および着底幼魚の日齢組成の比較から、高豊度年級で浮遊仔稚魚と着底幼魚のふ化時期が一致し、かつ着底幼魚のサイズが大きかったのに対して、低豊度年級群は遅生

まれの個体が着底期まで生残し、着底幼魚のサイズが小さかったことを明らかにしてきた。2011年級群は着底幼魚の平均ふ化日が浮遊仔稚魚よりも遅く、2012年級群は着底幼魚のサイズが小さかったことから、両年級ともに豊度は高くないと推測された。(1030)

- (7) 日高湾における当歳魚の捕食者を調査した。捕食は平均深度101mで発生しており、ソウハチとアブラガレイが高い割合で当歳魚に依存した。マダラとスケトウダラは依存の割合は4~5% (重量比) と低かったものの、両者で底魚類バイオマスの80%以上を占めたことから捕食者としての重要性は極めて高かった。
- (8) 捕食者の餌料中でカタクチイワシの重要性が高かった襟裳岬近傍の3地点を除いて再計算したところ、当歳魚の割合は何れの魚種においても増加し、特に最重要魚種であったスケトウダラ (共食い) の寄与率は14倍の増加となった。このことは移行期幼魚の生残において代替餌料となるカタクチイワシの存在が鍵となる可能性を示している。(1040)

3. 調査・研究の課題

- (1) 当系群は四島周辺をはじめとするロシア水域と往来・交流している模様だが、共同調査の困難さからその実態の把握がきわめて困難である。
- (2) 着底幼魚の生物学的情報を限られた点数の試料に依拠せざるを得ない。今年度は北海道立釧路水産試験場の調査で得られた試料を援用することにより、標本数を確保することができた。
- (3) 第II期の主要課題であった「餌料転換期から着底期に至る間の生残プロセスの解明」に関しては順調に進捗しているといえる。今後1020課題における統合を可能ならしめるような、プロセスのより定量的な記述や定式化が望まれる。

4. 特筆すべき成果

- (1) 仔魚の水温嗜好性および低水温に対する反応行動を実験的に明らかにした。
- (2) 餌料転換期における稚魚の摂餌状況を調査し、噴火湾内が湾外に比して優れた餌料環境にあることを示した。
- (3) 移行期の幼魚の生残において、捕食者の代替餌料となるカタクチイワシの存在が鍵となる可能性を示した。

様式-1 平成 24 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 1010
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 スケトウダラ太平洋系群
小課題名 スケトウダラ卵仔稚魚の生残に影響する要因の解明
担当機関 北海道区水産研究所資源管理部
担当者名 濱津友紀（北水研）・中谷敏邦（北大、噴火湾におけるスケトウダラ仔稚魚の餌料系列の解明）・山本潤（北大、スケトウダラ仔魚の水中挙動と生残の解明）

1. 調査・研究の目的

スケトウダラの年級豊度は、生活史初期の生残の多寡により決定される部分が大いと考えられる。この時期の生残には、産卵親魚の年齢構成や栄養状態、卵仔稚魚が分布する海域の物理環境、及び仔稚魚の餌料環境などが影響を及ぼしている。一方で生残の舞台となる海域も、年あるいは年代により異なる可能性が指摘されている。時間的、空間的に大きな範囲をカバーしつつ、各発生段階にとって重要な海域については、物理環境のみならず種間関係を含めた分析が必要である。この様な観点から、本課題では、主産卵場である噴火湾周辺域、及びその他の産卵場における調査結果の分析を進めることにより、スケトウダラ卵仔稚魚の生残に影響する要因の解明を目的とする。

2. 調査・研究方法

- (1) スケトウダラ卵・仔魚の栄養状態について、経年的な変動を整理した。（北水研・濱津）
- (2) 実験用の仔魚は、噴火湾周辺で採集した親魚から産出卵を回収しふ化させた仔魚を用いて、1.5℃ 無給餌下で飼育した。温度選好の有無は、ふ化直後と開口期の仔魚について、上層と下層の水温調節可能な水槽内でアクリル製円筒の上層下層の温度を変え、仔魚の温度変化に対する挙動を以下の手順で調べた。①上下水槽の水温を飼育水温の 1.5℃ に設定し 10 個体を静かに上層に移した。1 時間後に上層水温を高温（15℃）まで上昇させ、仔魚の鉛直分布の変化から水温選好性の有無を調べた。②上記で仔魚の鉛直分布に変化が認められた場合は、上層 or 下層を 5℃ まで昇温させ、低温水塊 1.5℃ に対する挙動を調べた。（北大・山本）
- (3) 2012 年 1～3 月に噴火湾内部から湾口部にかけて調査した。水温・塩分は CTD を用いて観測した。仔魚は 80cm 口径、目合 0.33mm のプランクトンネットを用い海底直上～海面の垂直曳により採集した。カイアシ類ノープリウスは仔魚が集中する水深 15m において 6L 型バンドン採水器で海水を採取し、40μm 目合のハンドネットでろ過して採集した。（北大・中谷）

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 卵径・仔魚肥満度と卓越発生年との間に、直接の関係は見られなかった（北水研・濱津）
- (2) ふ化直後の仔魚は卵黄が大きいため海水より密度が小さく遊泳力が小さかった。仔魚分布は上層を 15℃ に昇温させても変化しなかった（図 1a）。これに対し開口期仔魚は、上層の昇温につれ高温水塊を忌避する傾向がみられた（図 1b）。だが上/下層を 1.5/5.0℃（図 1c） or 5.0/1.5℃（図 1d）とした場合、仔魚分布は大きく変化せず低温 1.5℃ の水塊に対する忌避はみられなかった。低温でふ化した仔魚は開口期には水温の選好性を持

つが、低温に対する忌避能力は弱く、その後の生残に悪い影響を与える可能性が示された。(北大・山本)

- (3) VPA の 0 歳資源量は 1991、1994、2000、2005、2009 年級が大きい。湾内に仔魚が多い 1 月下旬の表層域海況は、1991、1994、2000 年には低温・低塩分で特徴づけられる沿岸親潮の湾内への流入時期が遅れていた。また、調査結果から、2005、2009 年も、沿岸親潮の流入が遅かったと推察される。本年度 (2012 年)、沿岸親潮は 1 月 25 日にはすでに湾内中央部まで流入していた (沿岸親潮の流入時期としては平均的な年ではないかと判断している)。仔魚は 3 回の調査では 1 月 25 日で最も多く採集された (218-1495 個体・m⁻²)。 (北大・中谷)

4. 具体的なデータ

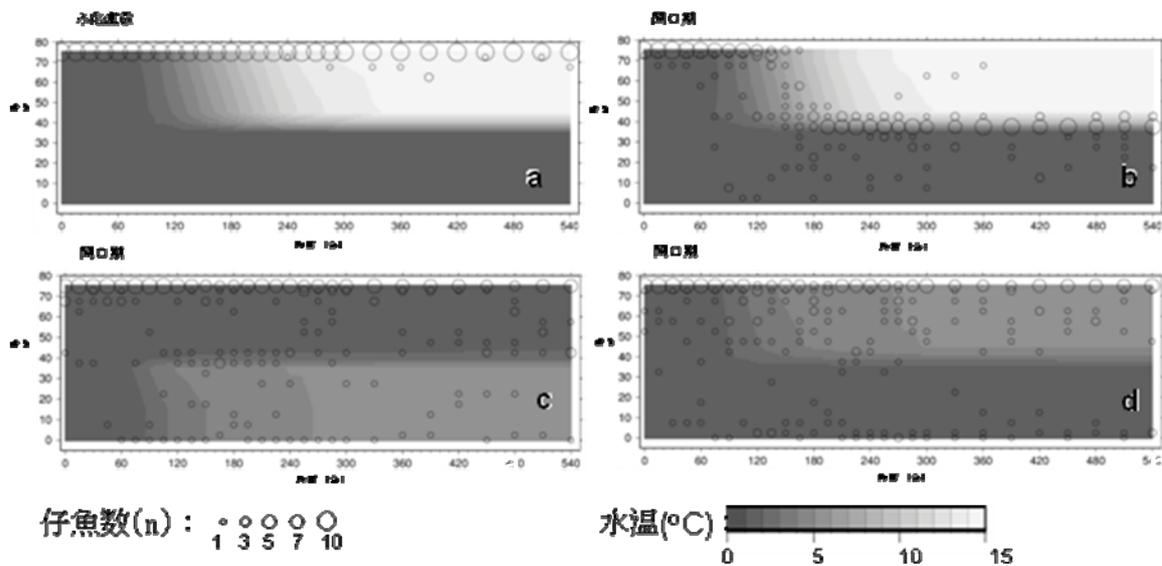


図 1. 無給餌仔魚の飼育実験結果 (北大・山本)

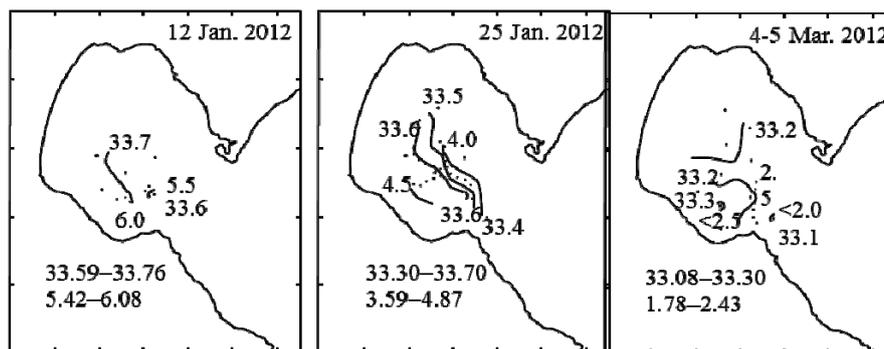


図 1. 水深 15m 層の水温・塩分の水平分布.

図 2. 水深 15m 層の水温(破線)・塩分(実線)の水平分布 (北大・中谷)

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 平成 24 年度と同様の日程、内容で各調査を継続実施する予定である。
- (2) 被食に関する免疫学的研究、飼育実験による水温と摂餌開始期仔魚の摂餌活性の関係解明、稚魚餌生物転換期の餌生物環境と稚魚生残の関係についての調査が必要である。

様式-1 平成 24 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 1020
大課題名 資源動向要因分析調査
中課題名 スケトウダラ太平洋系群
小課題名 卵仔魚の輸送・生残機構の解明
担当機関 北海道区水産研究所生産環境部生産変動グループ
担当者名 東屋知範

1. 調査・研究の目的

冬季スケトウダラ太平洋系群の卵仔魚は流れによって受動的に輸送され、噴火湾に春季まで滞留した仔稚魚が、スケトウダラ太平洋系群の加入に影響するとされる。ところが、近年の稚魚の成長履歴と加入量を調べると、噴火湾から道東養育場まで回遊する間の成長も、加入量に影響すると考えられるようになった。そこで、噴火湾から道東養育場までの海洋環境をモデルで再現するとともに生態系モデルとスケトウダラ成長モデルを用いて、海洋環境がスケトウダラ稚魚の成長に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。平成 24 年度は噴火湾から道東養育場までの流れ環境の経年変化から、噴火湾から道東海域まで稚魚が受動的に移動する可能性について調べた。

2. 調査・研究方法

- (1) 1985年～2011年までの長期再解析値を用い、産卵・養育場である噴火湾から道東海域までのスケトウダラ稚魚を模した粒子追跡実験を行った。粒子は再解析値の水平解像度と同じ1/10度格子間隔で噴火湾から道東海域の水深400m以浅の海域に設置し、3月～5月までの期間を5日間隔で放出した。計算は各年について3月～8月まで行い、8月末の東経143度以東、北緯42度以北の道東海域に存在する粒子数をカウントした。
- (2) 道東海域に位置するAラインA01における表層のChl-a濃度・栄養塩濃度の経年変化（1990年～2011年）について調べた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 1985年～2011年までの年毎の粒子の軌跡を調べると、襟裳岬付近の海域に置いた粒子が陸棚上を東へ輸送される年（図1に示した2000年など）はあるが、噴火湾内から道東海域まで輸送される粒子はほとんど無かった。噴火湾・日高湾に置いた粒子は日高湾に留まるか、南へ輸送され東北沿岸域まで広がる。
- (2) 東経143度以東、北緯42以北の道東海域に存在する粒子数の経年変化は、1980年代後半から1990年代前半が少なく、その後2001年まで相対的に多かった（図2）。
- (3) A01における冬季のChl-a濃度の経年変化は、1990年代後半から2000年代前半に相対的に高い。一方、春季のChl-a濃度は1990年代前半、2000年代前半、2010年代に約10年周期で相対的に低くなっていた。硝酸塩・リン酸塩・ケイ酸塩濃度は同期して変動しており、冬季の栄養塩濃度は1990年代後半に相対的に低く、その後は増加傾向であった。春季の栄養塩濃度は年々の変動はあるものの、1990年代前半から近年まで増加傾向であった。

4. 具体的なデータ

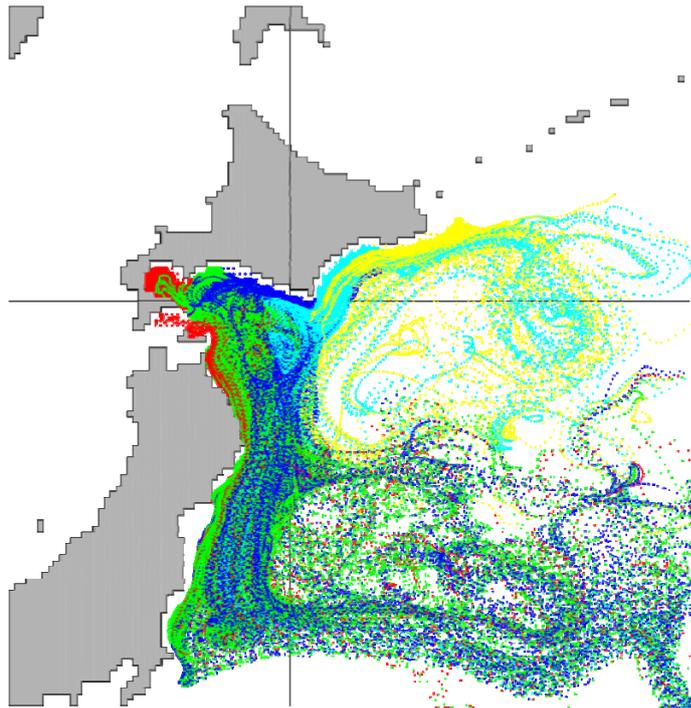


図1. 2000年の再解析データによる粒子追跡実験で再現した3月1日～8月31日までの粒子の軌跡を示す。赤色：噴火湾、緑色：日高湾、青色：襟裳西、水色：襟裳東、黄色：道東周辺海域から放出された粒子。

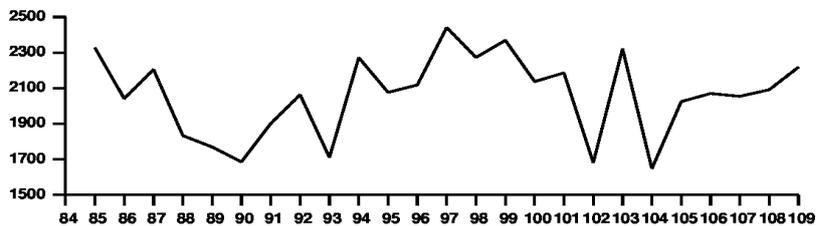


図2. 8月末に東経143度以東、北緯42以北の道東海域（図1の黒直線の右上部分）に存在する粒子数の経年変化。

5. 調査・研究推進上の課題

なし。

6. 調査・研究発表

なし。

様式-1 平成 24 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号	1030
大課題名	資源動向要因分析調査
中課題名	スケトウダラ太平洋系群
小課題名	幼稚魚の生残と餌料環境
担当機関	北海道区水産研究所資源管理部底魚資源グループ・東北区水産研究所資源海洋部生態系動態グループ・北海道立総合研究機構栽培水産試験場・北海道立総合研究機構函館水産試験場・北海道立総合研究機構釧路水産試験場
担当者名	千村昌之（北水研）・田所和明（東北水研）・宮下和士（北大）・武藤卓志（栽培水試）・渡野邊雅道（函館水試）・石田宏一（釧路水試）

1. 調査・研究の目的

スケトウダラの年級群豊度決定には、主産卵場である噴火湾周辺海域における初期生残のみならず、その後の稚魚の餌生物転換過程や成育場である道東海域に移動・着底し、越冬する過程の生き残りが大きな影響を与えていると考えられている。本課題では浮遊仔稚魚および着底幼魚の耳石日周輪や胃内容物分析結果、主要餌生物の分布密度や親潮域からの供給量の調査結果などを合わせて解析することにより、浮遊期から着底期までの生残過程、餌料環境が餌生物転換期の稚魚や着底幼魚の成長、生残に与える影響を把握することを目的とする。

2. 調査・研究方法

- (1) 餌生物転換期（5月）に噴火湾海域で音響トロール調査および餌料環境調査を行い、稚魚が分布する物理環境および餌料環境を昼夜にわたり調べた。
- (2) 浮遊仔稚魚（5月）と着底幼魚（9月）の耳石日周輪を解析し、両者のふ化時期を比較して噴火湾における浮遊期から道東着底期にかけての生残過程を検討した。
- (3) 餌生物転換後の稚魚および着底幼魚の主要餌生物である大型カイアシ類およびオキアミ類の沿岸への供給源である親潮域での現存量について、A-line 調査などの標本を調べて餌生物転換期（5月）および着底期（10月）における経年変動を明らかにした。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 稚魚は、夜間のほうが昼間よりも高温な環境下に分布して摂餌量が多い傾向にあったことから（図1）、昼間は代謝の抑制、夜間は摂餌を優先させていた可能性がある。湾内には30 mm以上の大型稚魚が多く、大型カイアシ類を比較的多く摂食していた。一方、湾外には大型カイアシ類を摂食できない小型稚魚が多かった。6月初旬以降に小型カイアシが減少することを考慮すると、湾外に分布していた小型稚魚のその後の成長・生残は悪かった可能性がある。
- (2) 2005～2010年級群についてみると、高豊度だった2005年級群は浮遊仔稚魚と着底幼魚のふ化時期が一致し、かつ着底幼魚のサイズが大きかったのに対して、低豊度年級群は遅生まれの個体が着底期まで生残し、着底幼魚のサイズが小さかった。2011年級群は着底幼魚の平均ふ化日が浮遊仔稚魚よりも遅く、2012年級群は着底幼魚のサイズが小さかったことから、両年級群ともに豊度は高くないと推測される。
- (4) 大型のカイアシ類である *Neocalanus* 3種 (*N. cristatus*, *N. flemingeri*, *N. plumchrus*) と *E. bungii*、カリプトピス期の *E. pacifica* の親潮域における現存量はいずれも5月の方が10月よりも高かった（図2）。*Neocalanus* 3種および *E. bungii* は春～夏に表層で

成長し、それ以外の季節は大半の個体が中深層で休眠するため、現存量の季節的な差異は生活史に起因すると考えられた。5月の *E. pacifica* 現存量は2001、2007、2010年に、*Neocalanus* 属（3種合計）の現存量は1995、1998、2001、2006、2008、2010年に高い値を示した。10月はデータが少ないが、*Neocalanus* 3種の現存量は2001年に高い値を示した。

4. 具体的なデータ

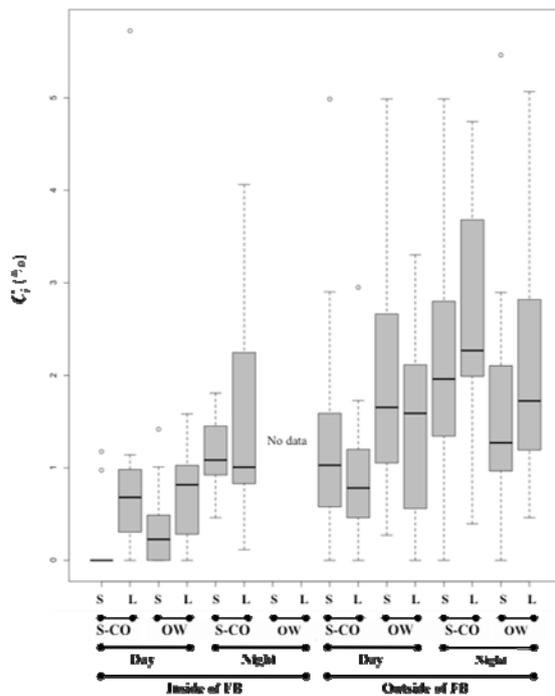


図1. 噴火湾内外，昼夜，水塊間における稚魚の体重に対する胃内容物の割合 (C_p)。横軸のSは小型稚魚 (30mm未満)，Lは大型稚魚 (30mm以上)を示す。S-COは表-中層の沿岸親潮表層水を，OWは中-底層の親潮水を示す。

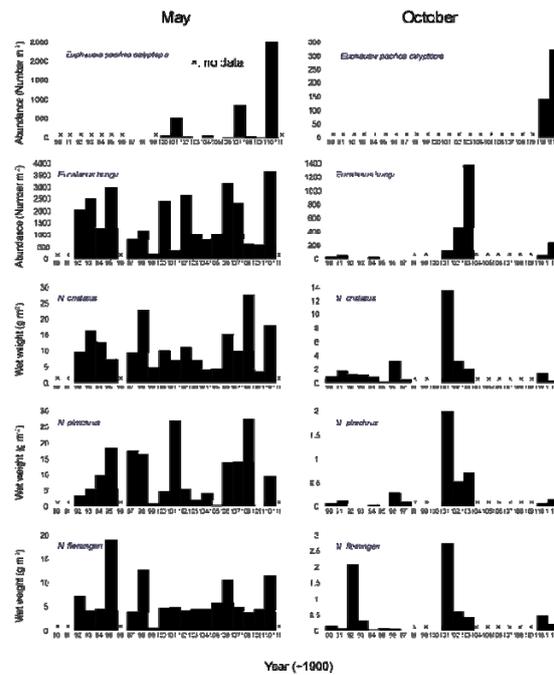


図2. 親潮域におけるカイアシ類4種 (*Neocalanus cristatus*, *N. flemingeri*, *N. plumchrus*, *Eucalanus bungii*) およびオキアミ類 (*Euphausia pacifica*) の現存量の5月(左)と10月(右)の経年変動。*Neocalanus*3種はコペポダイト期の現存量(湿重量)、*E. bungii*は成体とコペポダイト5期を合計した個体数、*E. pacifica*はカリプトピス期の個体数である。

5. 調査・研究推進上の課題

なし

6. 調査・研究発表

- (1) 川内陽平ほか(2012)：餌生物転換期におけるスケトウダラ稚魚の分布に影響を与える環境要因. 平成24年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 29p.
- (2) 川内陽平ほか(2012)：E The effect of environmental factors on the distributions of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) juveniles in Funka Bay, and vicinity, Hokkaido, Japan. PICES-2012 Annual Meeting Program and Abstracts, 74p.
- (3) 田所和明 (2012)：地球環境変動の影響，最新水産ハンドブック，講談社.

様式-1 平成 24 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 1040
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 スケトウダラ太平洋系群
小課題名 幼稚魚の被食減耗過程
担当機関 北海道区水産研究所亜寒帯漁業資源部生態系研究室
担当者名 山村織生

1. 調査・研究の目的

近年の当系群の加入量変動は着底後被食によるところが大きいこと、生命表の分析では加入量に大きな変動をもたらすのは当歳の5月以降翌春までであることが指摘された。従って道東養育場に着底する以前の日高湾における遊泳生活期においても加入変動をもたらす捕食が発生する可能性がある。本課題では、継続的に採集した捕食者の試料分析によって、水塊構造等の環境変動と魚食性捕食者に由来する捕食圧変動の関連を把握するとともに、共食いによる被食減耗の変化を把握し、環境変動がトップダウン・コントロールに及ぼす変化を定量化する。

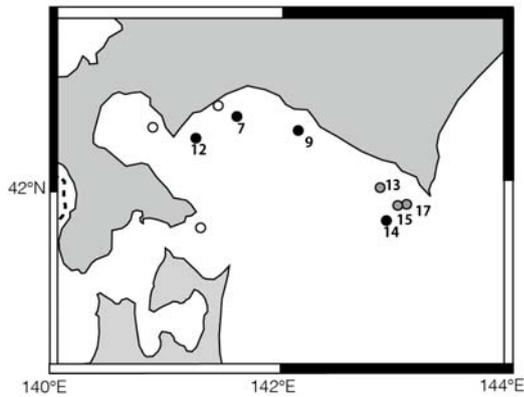
2. 調査・研究方法

- (1) 襟裳以西海域においてスケトウダラ幼魚の潜在的捕食者の食性を分析し、幼魚の捕食状況を明らかにするため、噴火湾周辺から道東海域への移動期にあたる2011年6月に、日高湾の13地点において底魚類の採集を行った。底魚類の胃内容物分析により捕食者を明らかにすると共に、捕食事例が多数発生した地点の特徴を明らかにした。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 海底水深37～206mの範囲の13地点で採集を行い、潜在的捕食者15魚種515個体の胃試料を採取した。そのうちスケトウダラ当歳魚の捕食者は11魚種の173個体に上った。2011年には捕食事例の95%が水深70m以浅の地点で認められたのに対し、当年の捕食者平均採集水深（個体数で加重）は101mと深かった。
- (2) 餌に占める幼魚の割合が高く、かつ生物量の多かった魚種はソウハチおよびアブラガレイで、両種とも全餌料の40%程度を幼魚に依存した。また、スケトウダラ（4%）およびマダラ（5%）は餌に占める幼魚の割合は低かったものの（各4および5%）、全バイオマスに占める割合が圧倒的に高かったため（各々74および9%）、捕食者としての重要性は高い。マダラにおける捕食頻度の低さは魚食性の低い体長40cm以下の個体が大部分を占めたためであり、次年度以降も本種が分布した場合の捕食圧は一層高まるものと推察される。
- (3) 幼魚が餌料として重要でなかった地点でカタクチイワシが主要餌料であった。これら地点を除いて再計算したところ、スケトウダラ食性に占める幼魚割合は14倍に増加した。代替餌料であるカタクチイワシの存在が移動期幼魚の生残に大きく関与することが明らかとなった。

4. 具体的データ



	全地点	カタクチ 地点除く
マダラ	4.7%	18.3%
スケトウダラ	3.8%	53.4%
ソウハチ	39.8%	67.9%
アブラガレイ	40.7%	57.7%

	N	F/O	W
マダラ	46	34	4.7
スケトウダラ	166	19	3.8
ナガツカ	5	40	2.1
タウエガジ	5	-	-
ケムシカジカ	7	71	10.1
オクカジカ	5	20	12.7
コオリカジカ	3	100	65.1
オニカジカ	9	-	-
ヨコスジカジ	13	-	-
ツマグロカジ	28	11	11.4
アブラガレイ	88	41	40.7
アカガレイ	11	25	24.8
ソウハチ	61	40	39.8
トゲカジカ	1	-	-
ハタハタ	21	43	16.5

↑図1. トロール採集地点のうち幼魚が多数捕食された地点（黒）およびカタクチイワシが重量であった地点（灰色）。

→表1. スケトウダラ潜在的捕食者の食性における出現頻度(F/O:%)および当歳の湿重量割合(W:%)。

↑表2. 主要捕食者について、カタクチイワシが多数出現した地点を除いて再計算した幼魚の割合。特に最優占種スケトウダラで増加著しく、カタクチイワシの代替餌料としての重要性が窺われる。

5. 調査・研究推進上の問題点

特になし。

6. 調査・研究発表

- (1) Kooka K & Yamamura O (2012) Winter energy allocation and deficit of juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan. *Env J Fish Biol.* 113: 35-44.
- (2) Yamamura O et al. (2012) Monitoring demersal fish community containing predators of walleye pollock using a small fishing boat. 2012 PICES annual Meeting. Hiroshima.
- (3) Kooka K & Yamamura O (2013) Winter feeding and nutritional condition of juvenile walleye pollock in the Doto area, northern Japan. ESSAS open science meeting. Hakodate.