

12.2 北方海域の物理環境改変による生物生産性の向上に関する研究

研究予算：運営費交付金(一般勘定)

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水産土木チーム

研究担当者：山本潤、岡元節雄、佐藤仁、河合浩、須藤賢哉、大橋正臣

【要旨】

本研究は、北方海域の生物生産性の向上を図るための漁場整備に必要な技術開発を行うものであり、当海域における基礎生産構造を解明し、適切な工法等の効果的な事業推進に向けた技術提案を行い、効果の評価手法を開発することとしている。これらの検討には、対象魚の資源状況に加えて、漁場周辺の物理環境、生物生息状況と餌料環境、基礎生産の周年の傾向等を把握する必要がある。春のブルーミング、夏の密度成層、秋の表層冷却、冬の完全混合といった各季節の代表的な現象を対象として現地観測を行う予定である。平成 23 年度には対象種の産卵・仔魚期である冬季の物理環境や生物量等を把握する現地観測を行い、海域の冬季の基礎生産構造や生物生息環境の評価を行った。平成 24 年度には対象種の幼魚期である春季に同様の現地観測を行い、幼魚の餌料環境としての視点から基礎生産構造の評価を行った。

キーワード：基礎生産量、漁場肥沃化、保護育成、生態系モデル、栄養塩枯渇、個体群動態モデル

1. はじめに

排他的経済水域における水産資源の生産力を向上させ、水産物の安定供給の確保を図ることを目的に平成 19 年より直轄漁場整備事業(フロンティア漁場整備事業)が開始された。まず、鳥取・島根県沖において、アカガレイ・ズワイガニを対象に保護育成礁の設置が行われ¹⁾、また、長崎県五島西方沖においてもマアジ・マサバ・マイワシを対象に事業が開始され¹⁾、さらに北海道周辺における実施の可能性についても検討されている。

北海道の主要な水産有用種の 1 つにスケトウダラがあるが、その漁獲量は著しく減少しており、平成 9 年に T A C 対象種に指定され、漁獲が数的に管理されている。北海道日本海北部沖はその優良な漁場として知られており、この魚種を対象とした直轄漁場整備事業の候補地として有望視されている。水産土木チームでは、当該海域周辺において、主にスケトウダラを対象とした事業実施に資する技術開発を行うことを目的に調査を開始した。

平成 21～22 年度には、一般研究として基礎的な知見の収集を行った。これまでに、夏季の密度成層に伴う表層の栄養塩枯渇と基礎生産量の抑制、秋季の表層冷却過程における暖流の影響といった物理環境や基礎生産の概況を把握した。平成 23 年度からはプロジェクト研究として基礎生産構造に関する周年の

傾向をより詳しく解明し、技術開発に向けた実践的な研究を開始した。本稿では、その取り組み状況と現時点までに得られた成果を報告する。

2. 生物生産性の向上のための技術開発に関する議論のポイント

当海域の漁場整備として考えられる工法に、湧昇流発生マウンドと保護育成礁があり、海域の肥沃化や資源の減耗原因の解消がそれぞれの直接の目的となる。前者は、夏季の密度成層によって有光層内の栄養塩が枯渇して基礎生産が抑制されている場合に、底層の栄養塩を供給して基礎生産量を増大させ、対象魚の増肉と減耗率の低下を図るものである。湧昇流発生の外力が存在し、栄養塩枯渇が広範囲で一定の期間継続していれば、この工法が選択される価値がある。この条件が満たされない場合には、後者の工法により、対象魚が生息する海底微地形の回復を図るとともに、親魚や未成魚等の適正な資源管理を促すことが考えられる。その場合、漁場周辺に保護すべき対象魚が分布し、補食生物や違法操業等からの保護効果が期待できることが条件である。これらを満たす適地の選定と工法選択等を行い事業の基本方針を決定するためには、対象魚の資源状況に加えて、漁場周辺の物理環境、生物生息状況と餌料環境、基礎生産の周年の傾向、海底の微地形の状況等の判

断材料が必要である。これらの主要な項目を今後数年間の調査で補完・追加するため、著者らの研究チームは調査を開始した。

3. 調査方法

事業実施前の基本的な海域環境を把握するため、スケトウダラの成育場となっている周辺の四季の調査、産卵場所と移動経路上の調査を行った。調査位置を図-3.1に示す。成育場となる武蔵堆周辺の調査は、四季の変動を調査するため、夏季(2009年8月)、秋季(2010年10月)、冬季(2012年2月)、春季(2012年5月)に地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部(以降、「道総研」と称する)が定期的に行っている調査箇所(JW, J2)に測線(L1, L2)を追加した地点(図-3.2)で実施した。また、スケトウダラの産卵場から成育場までの移動経路と移動時期に合わせて、産卵場である岩内湾(2011年1月)、移動経路上の茂津多岬沖(2012年3月)、雄冬岬沖(2012年4月)、稚魚が到達する天塩川沖(2012年6月)で実施した。

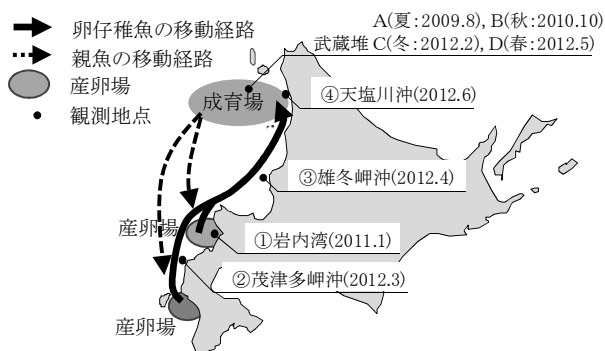


図-3.1 スケトウダラの移動経路と調査位置図

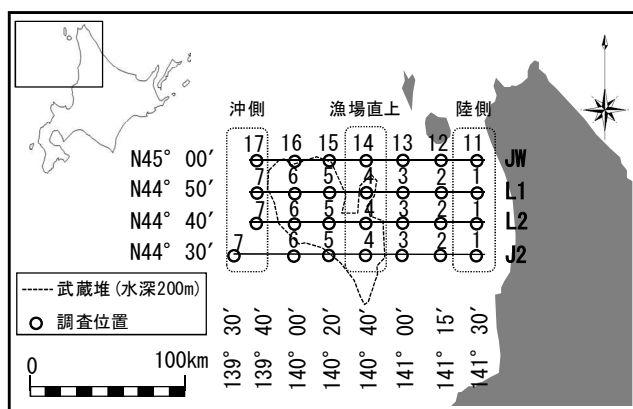


図-3.2 調査位置(日本海北部海域)

主な調査項目は、水温・塩分(密度成層の状況)やChl. *a*、流況等の観測、栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトンの分析を行った。また、基礎生産量算出に必要な光-光合成曲線のパラメータを求めるため、植物プランクトンの現地培養試験を行った。現地観測の詳細は山本ら²⁾³⁾を参照されたい。

4. 観測結果

4.1 光量子量

光量子量観測結果と補償深度を図-4.1に示す。光量子量は、夏季は162.7~403.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、秋季は35.0~466.5 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、冬季は45.1~457.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、春季は22.1~287.2 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ であった。

補償深度を表層の1%光量とすると、消散係数から、夏季と秋季では51m~66mであり、冬季は54m~66m、春季は35m~64mであった。夏季から冬季にかけては大きな違いは見られなかったが、春季は植物プランクトンの大増殖による自己遮蔽の影響が見られた。

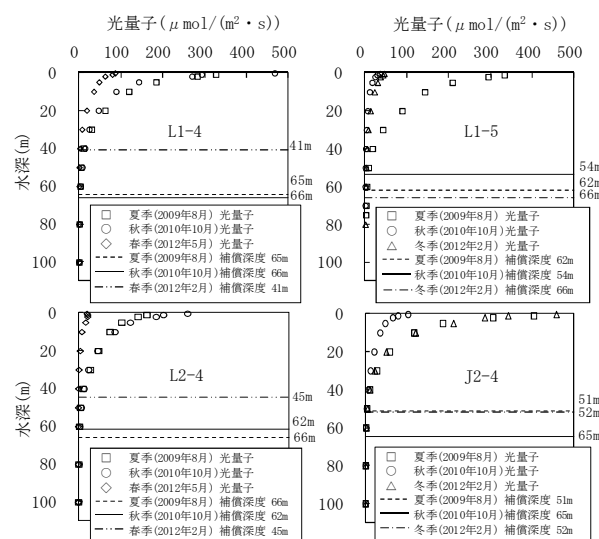


図-4.1 光量子量観測結果と補償深度

4.2 栄養塩

栄養塩分析の結果を図-4.2に示す。植物プランクトンが光合成に必要な一般的な硝酸塩濃度を0.014mg/L、リン酸塩濃度を0.003mg/L、ケイ酸塩を0.056mg/Lとする⁴⁾と、夏季と秋季の密度成層期では、表層から水深50m付近までの水温15.5℃以上となる水域で硝酸塩が不足する状況が確認された。当海域の基礎生産は、表層での硝酸塩不足が制限要因となっており、硝酸塩の分布が基礎生産に影響を

与えていると考えられる。一方、冬季は、水温と塩分が全層にわたりほぼ一定値となり、表層冷却に伴う鉛直混合により栄養塩の枯渇が回復していることが確認された。春季では増加した植物プランクトンにより消費され、表層から補償深度まで硝酸塩とリン酸塩が枯渇したと考えられる。

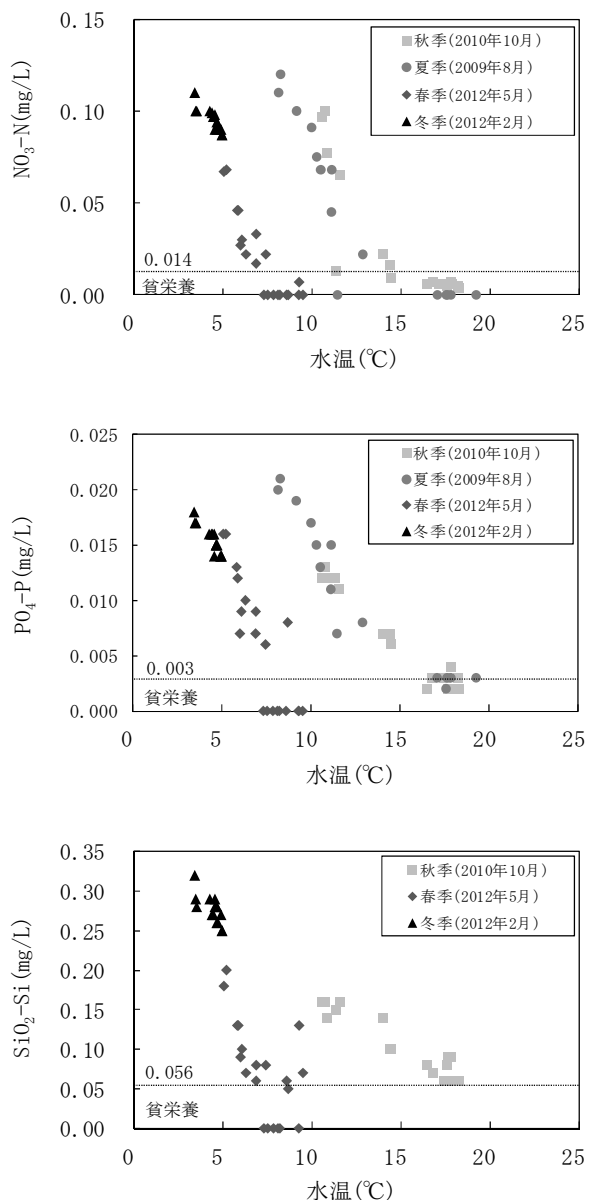


図-4.2 栄養塩と水温の関係

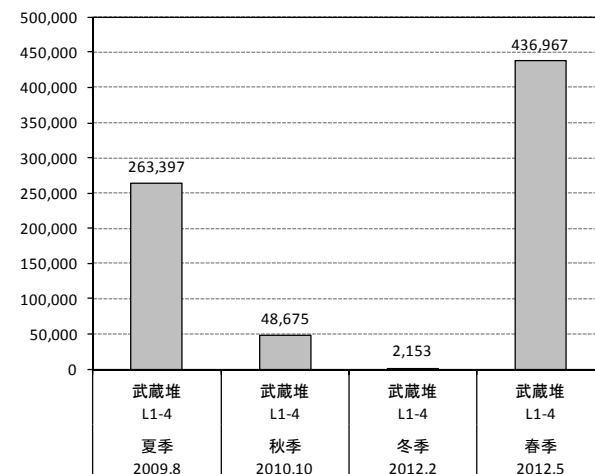
4.3 生物量

(1) 植物プランクトン

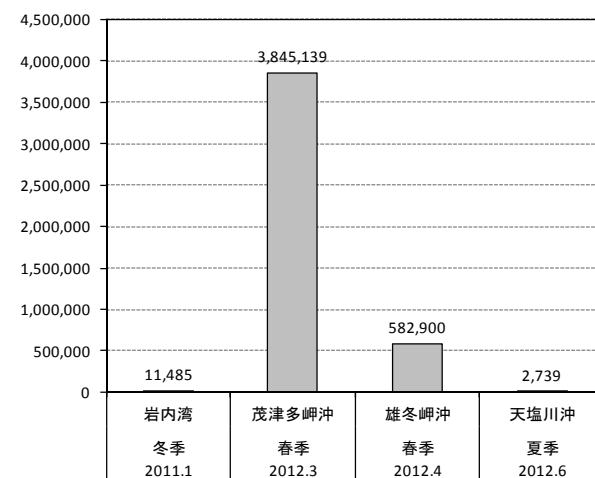
武蔵堆の主要漁場となっている L1-4 と移動経路上において、植物プランクトンの出現量を図-4.3.1 に示す。植物プランクトン量は、武蔵堆においては春季に最も多く、以降は徐々に減少して冬季に最も少な

かった。移動経路上では3月の茂津多沖で最も多く徐々に減少していた。

種組成を図-4.3.2, 図-4.3.3 に示す。武蔵堆において夏季の主な出現種は、*Nitzschia pungens*(珪藻綱)が第1層(組成比率97.2%)と第2層(組成比率98.3%)で優占していた。これを除く主な出現種としては *Nephroselmis* sp. (ユーグレナ珪藻綱)、*Prorocentrum balticum*(渦鞭毛藻綱)となっていた。秋季は *Hemiaulus hauckii*(珪藻綱)が第4層(組成比率64.8%)と第5層(組成比率63.7%)で優占していた。続いて *Chaetoceros compressum*(珪藻綱)、*Bacteriastrum hyalinum*(珪藻綱)、*Chaetoceros curvisetum*(珪藻綱)が主に出現していた。



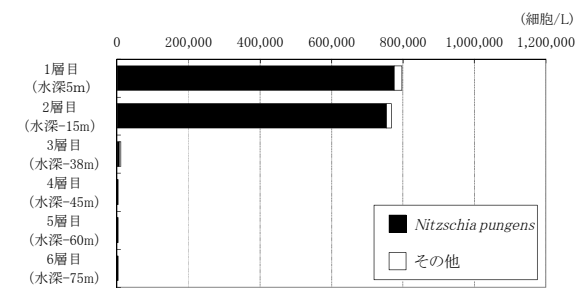
植物プランクトン細胞数 (成育場：武蔵堆)



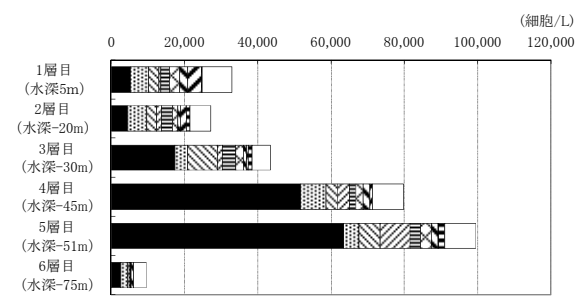
植物プランクトン細胞数 (移動経路)

図-4.3.1 植物プランクトンの出現量

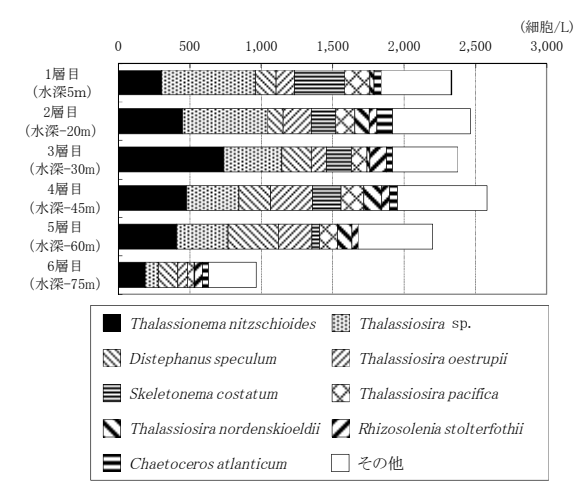
12.2 北方海域の物理環境変化による生物生産性の向上に関する研究



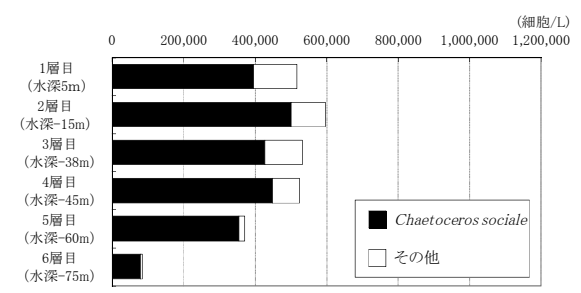
A 武蔵堆：夏季（2009年8月）⁵⁾



B 武蔵堆：秋季（2010年10月）⁵⁾

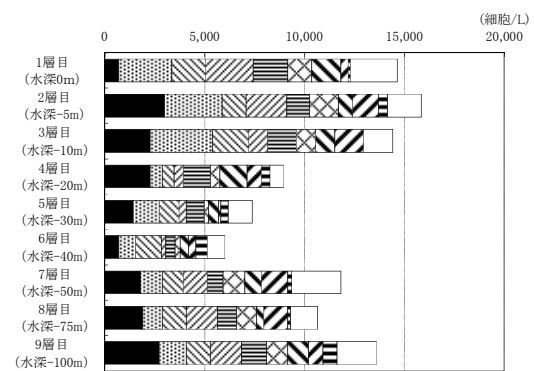


C 武蔵堆：冬季（2012年2月）⁵⁾

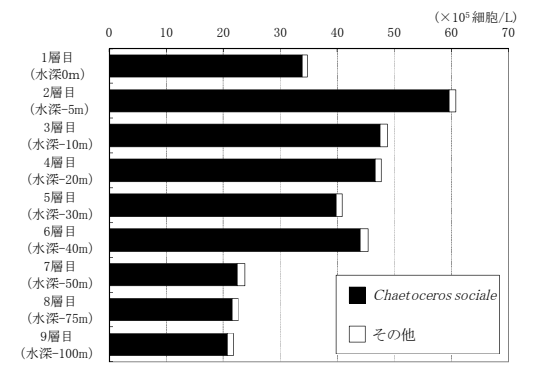


D 武蔵堆：春季（2012年5月）

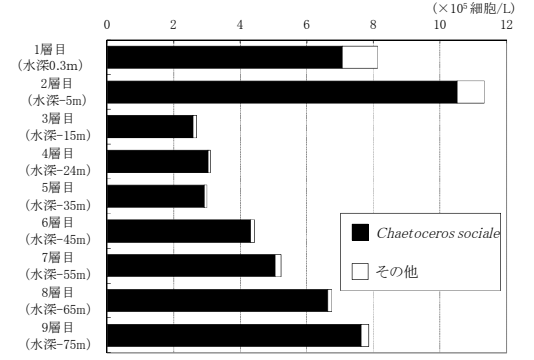
図-4.3.2 植物プランクトンの種組成（武蔵堆:L1-4）



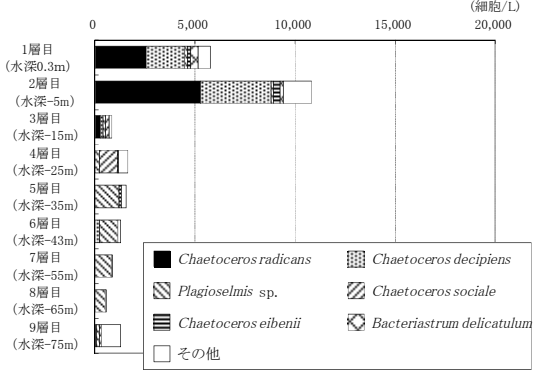
①岩内湾：冬季（2011年1月）



②茂津多岬沖：春季（2012年3月）



③雄冬岬沖：春季（2012年4月）



④天塩川沖：春季（2012年6月）

図-4.3.3 植物プランクトンの種組成（移動経路）

冬季は *Thalassionema nitzschioides*(珪藻綱)、*Thalassiosira* sp. (珪藻綱)、*Distephanus speculum*(黄金色藻綱)が主に出現していた。冬季の出現種は、各層の最大となる組成比率でも 31.2%以下であり、優占種は見られなかった。また、第1層から第6層までに出現した種は、各層での種組成にあまり変化がないものとなっていた。このことは鉛直混合が全層に渡り行われている考察を裏付けているものと考えられる。春季は、春の代表種と言われている *Chaetoceros sociale*(珪藻綱)が76.5~95.8%で最も組成比率が高かった。

移動経路上では1月の岩内湾は2月の武蔵堆のように各層とも種類数に大きな違いはなく珪藻類が50%以上を占めていた。3月の茂津多岬沖では *Chaetoceros sociale*(珪藻綱)が90%以上を占め、4月の雄冬岬沖においても *Chaetoceros sociale*(珪藻綱)が80%以上を占めていた。6月の天塩川沖では、第1~2層で *Chaetoceros radicans*(珪藻綱)と *Chaetoceros decipiens*(珪藻綱)が多く出現し、合わせて70%以上を占めた。3層では *Chaetoceros radicans*(珪藻綱)、4層では *Chaetoceros sociale*(珪藻綱)、5~8層では *Plagioselmis* sp.(クリプト藻綱)、9層では *Skeletonema costatum*(珪藻綱)が多く出現した。

これらの調査結果では、季節変化に伴い種組成や細胞数が異なり、特にブルーム(3月~5月)は *Chaetoceros sociale*(珪藻綱)が9割方を優先していたことから、本種が当海域の基礎生産を支えていると考えられる。

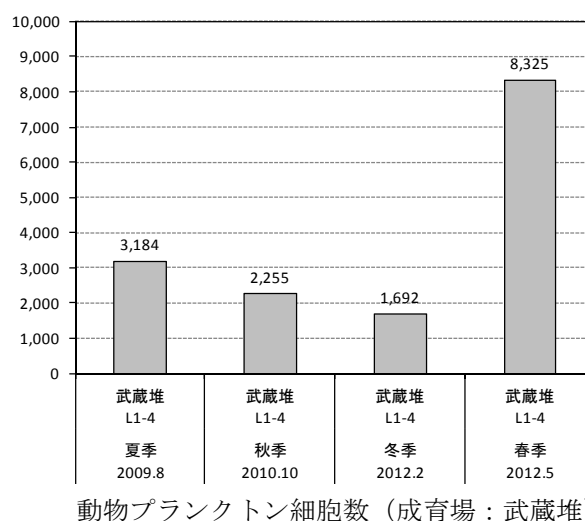
(2) 動物プランクトン

北原式ネットで採取した動物プランクトンの出現量を図-4.3.4に示す。季節別の動物プランクトン量は植物プランクトンと同様に、春季に多く、冬季に最も少なかった。移動経路上においては、4月の雄冬岬沖で最も多かった。

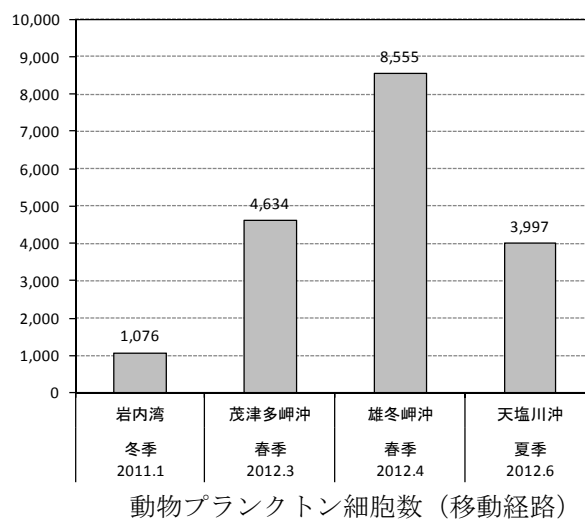
動物プランクトン種組成を図-4.3.5、図-4.3.6に示す。夏季は *Paracalanus parvus*(節足動物甲殻綱)、*Oikopleura longicauda*(脊索動物尾虫綱)、Nauplius of COPEPODA(節足動物幼生)、*Oithona similis*(節足動物甲殻綱)が主に出現していた。個体数は第1層で最も多く第2層も多かった。秋季は Nauplius of COPEPODA(節足動物幼生)、*Paracalanus parvus*(節足動物甲殻綱)、*Oithona similis*(節足動物甲殻綱)、*Oncaea media*(節足動物甲殻綱)、*Oikopleura*

longicauda(脊索動物尾虫綱)が主に出現し、個体数は第1層で最も多かった。冬季は、Nauplius of COPEPODA(節足動物幼生)、*Triconia borealis*(節足動物甲殻綱)、*Oithona similis*(節足動物甲殻綱)が主に出現し、個体数は第1層で最も多かった。春季は全ての層で Nauplius of COPEPODA(節足動物幼生)が組成率44.2~75.3%で多かった。その他としては *Oithona similis*(節足動物甲殻綱)、*Pseudocalanus newmani*(節足動物甲殻綱)、*Metridia pacifica*(節足動物甲殻綱)が出現した。

動物プランクトンの個体数は上層ほど多い傾向であったが、餌となる植物プランクトンは夏季で上層、秋季で中層に多く、冬季は鉛直的にほぼ一様の分布となっていたことから、餌生物以外の要因でこの鉛直分布が形成されていると推察され、その要因としては動物プランクトンの日周鉛直運動や水温などが考えられる。



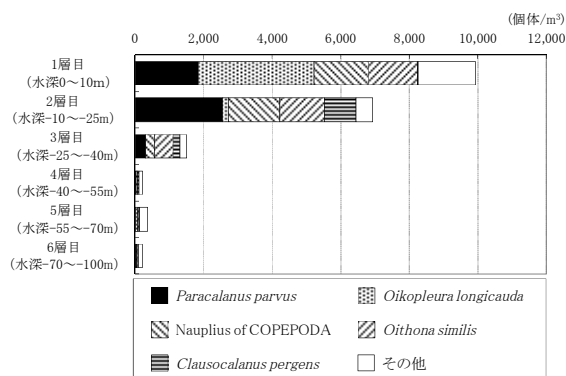
動物プランクトン細胞数 (成育場：武蔵堆)



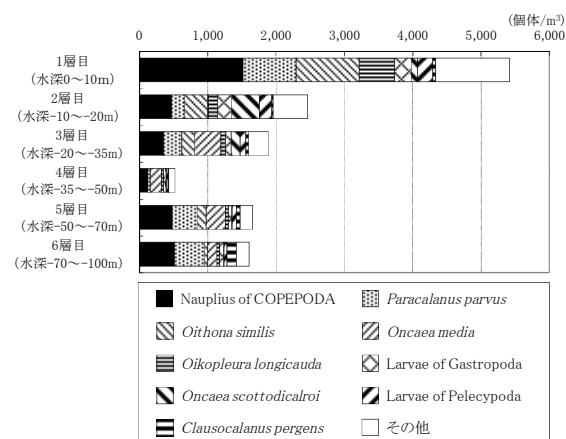
動物プランクトン細胞数 (移動経路)

図-4.3.4 動物プランクトンの季節別出現量

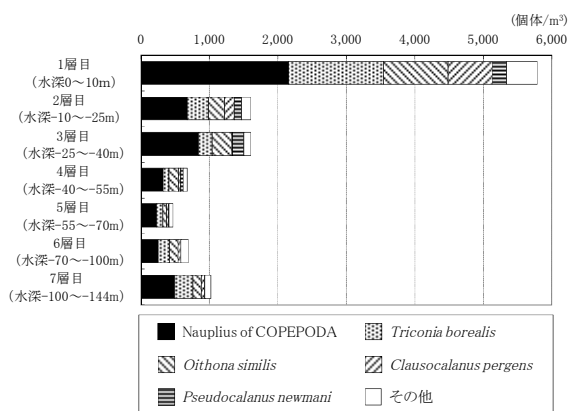
12.2 北方海域の物理環境変化による生物生産性の向上に関する研究



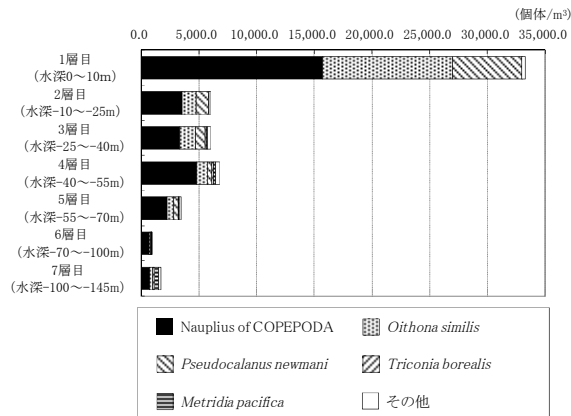
A 武蔵堆：夏季（2009年8月）⁵⁾



B 武蔵堆：秋季（2010年10月）⁵⁾

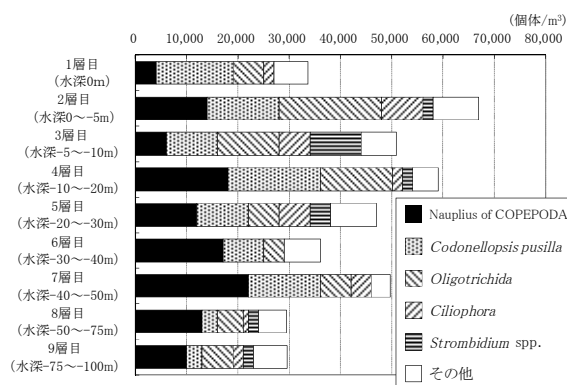


C 武蔵堆：冬季（2012年2月）⁵⁾

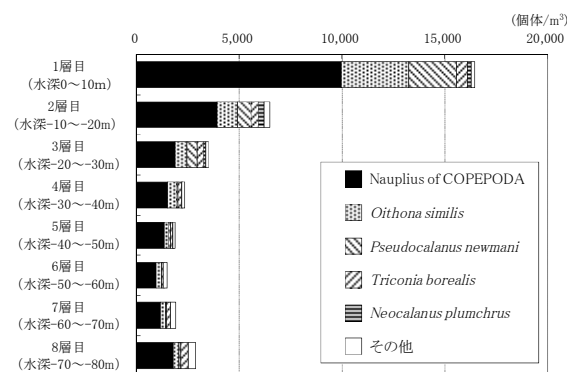


D 武蔵堆：春季（2012年5月）

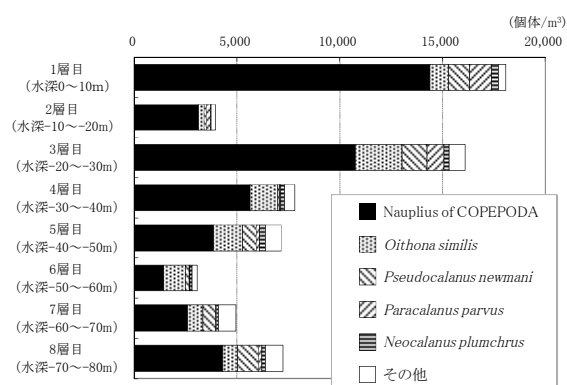
図-4.3.5 動物プランクトンの種組成（武蔵堆:L1-4）



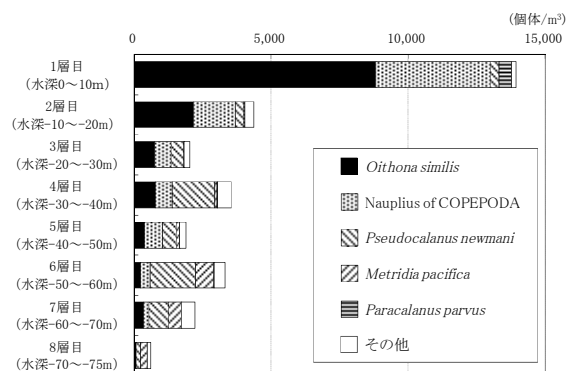
①岩内湾：冬季（2011年1月）



②茂津多岬沖：春季（2012年3月）



③雄冬岬沖：春季（2012年4月）



④天塩川沖：春季（2012年6月）

図-4.3.6 動物プランクトンの種組成（移動経路）

4.4 水温・塩分・Chl. a の鉛直分布

T-S ダイアグラムについて、観測結果を沖側、漁場直上、陸側に分けて図-4.4.1 に示す。(A) 沖側では夏季に比べて秋季では表層冷却の初期の状況が見られる。(C) 陸側の夏季では降水による表層の塩分低下と対馬暖流の特徴である中層高塩分の傾向が見られ^{6) 7)}、秋季では対馬暖流の影響がより顕著に現れて水温が上昇している。その中間の(B) 漁場直上付近では沖側の表層冷却の影響と陸側の対馬暖流の影響の両方の特徴が伺える。冬季の観測では、表層から水深約100mまで水温、塩分ともほぼ同値を示し、その値は夏季と秋季の底層部にほぼ等しい。春季は冬季から夏季への移行する途中の過程が観測されている。また、(C) 陸側では天塩川からの融雪出水と思われる塩分の低下が観測された。表層に陸域からの栄養塩が供給され、植物プランクトンの増殖に融雪出水も貢献していると考えられる。

水温・塩分・栄養塩・Chl. a の鉛直分布を図-4.4.2、図-4.4.3 に示す。夏季の武蔵堆(8月)の水温・塩分から水深40m付近に躍層が見られ、秋季には水深60m付近に躍層が低下していた。これは対馬暖流の影響で水温が上昇したことによると考えられる。また、有光層は補償深度を表層の1%光量とすると、夏季と秋季は水深60m程度であった。夏季のChl. a のピークは表層混合層直下にあり、その位置において基礎生産が集中していた。秋季の武蔵堆(10月)は沿岸で対馬暖流によって水温が上昇し、表層冷却が阻害されている状況が見られた。

冬季の武蔵堆(2月)や岩内湾(1月)は、表層冷却による鉛直混合によって観測した深度までほぼ一定の水温を示し、夏季と秋季の下層部にほぼ等しい値であった。これは対馬暖流の勢力が弱まるとともに、表層冷却によって密度が増加した水塊が同じ密度となる水深帯までの水塊と混合したものである。この鉛直混合は夏に形成された密度成層を崩壊し、下層の水塊を表層へ汲み上げる原動力となっていると考えられる。この鉛直混合は春季の茂津多岬沖(3月)や雄冬岬沖(4月)でも継続されていた。

次に栄養塩について述べる。夏季・秋季の密度成層期の武蔵堆(8月、10月)では、躍層以浅で硝酸塩が不足する状況が確認された。一方、冬季の武蔵堆(2月)と岩内湾(1月)は、水温と塩分が全層にわたりほぼ一定値となり、表層冷却に伴う鉛直混合により貧栄養が改善していることが確認された。

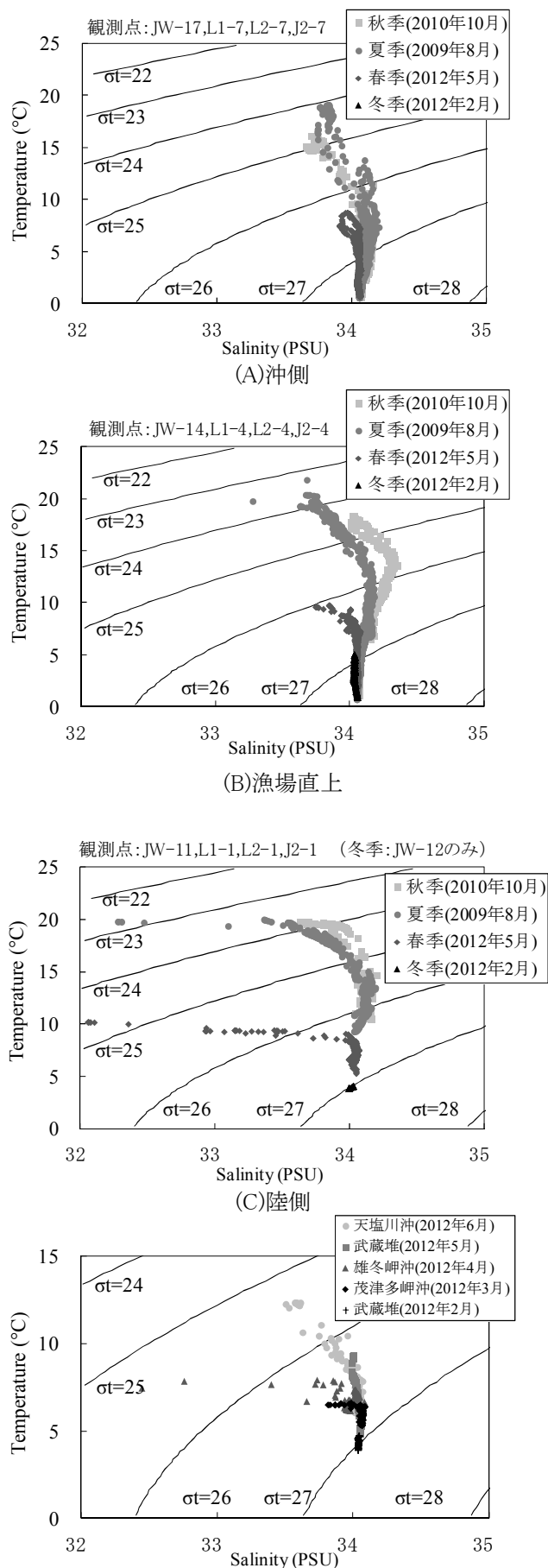
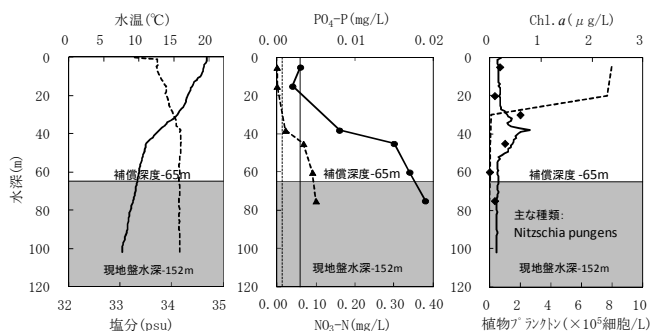
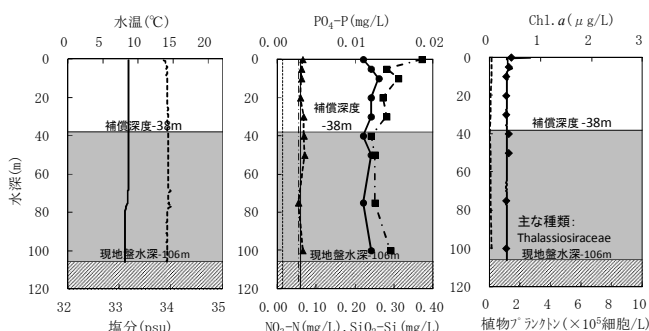


図-4.4.1 T-S ダイアグラム

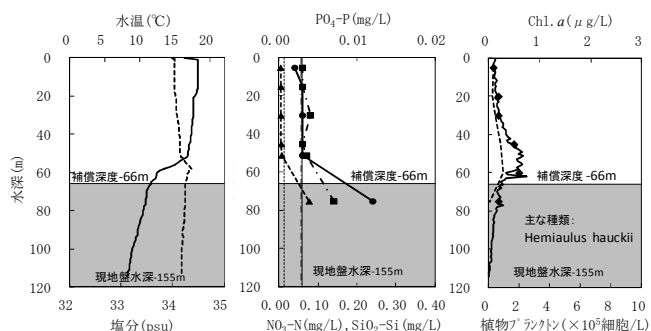
12.2 北方海域の物理環境変化による生物生産性の向上に関する研究



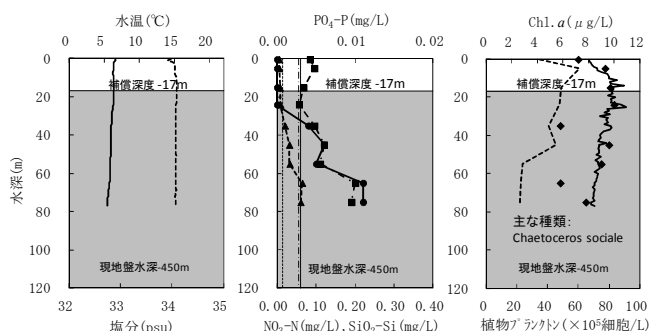
A 武蔵堆：夏季（2009年8月）⁵⁾



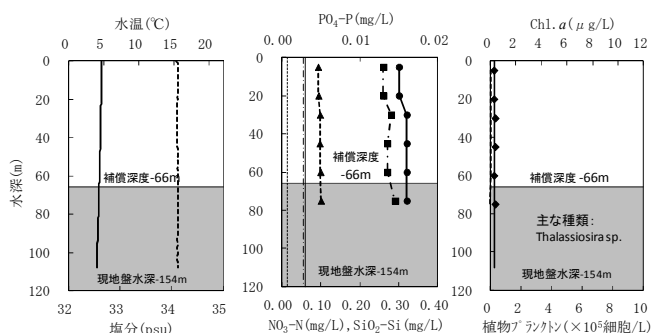
①岩内湾：冬季（2011年1月）⁹⁾



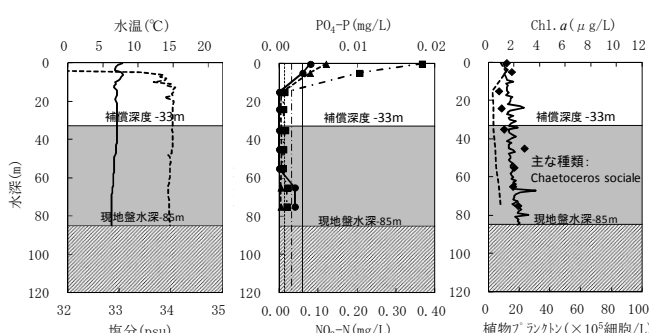
B 武蔵堆：秋季（2010年10月）⁵⁾



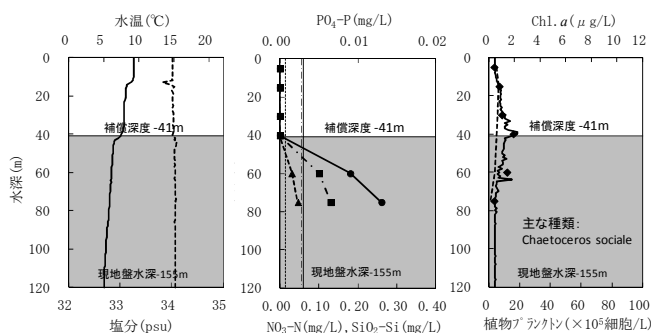
②茂津多岬沖：春季（2012年3月）⁹⁾



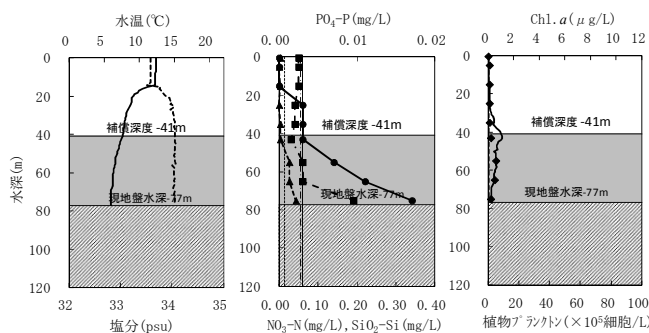
C 武蔵堆：冬季（2012年2月）⁵⁾



③雄冬岬沖：春季（2012年4月）⁹⁾



D 武蔵堆：春季（2012年5月）⁸⁾



④天塩川沖：春季（2012年6月）⁸⁾

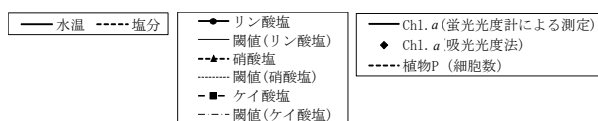
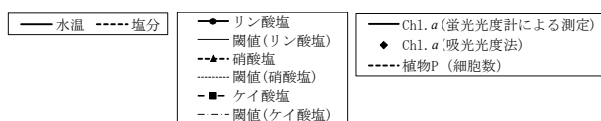


図- 4.4.2 武蔵堆の水質鉛直分布の周年変化 (L1-4)

図- 4.4.3 対象魚の成長段階に応じた移動経路上の水質鉛直分布

Chl. *a* については、冬季は栄養塩が十分あるにもかかわらず Chl. *a* が低位であった。これは、水温が低く日射量が少ないことが光合成の制限要因になっていると考えられる。岩内湾(1月)と茂津多岬沖(3月)で1オーダー違う数値となっており、茂津多岬沖でブルームが発生している状況が観測された。補償深度は、武蔵堆海域の観測結果に比べ、沿岸域の観測地点ではこれより浅い。特に茂津多岬沖(3月)は、約40m浅くなっている。これはブルームによる自己遮蔽の影響と考えられる。茂津多岬沖(3月)では増加した植物プランクトンにより栄養塩が消費され、表層から補償深度まで硝酸塩とリン酸塩が枯渇したと考えられる。雄冬岬沖(4月)の表層に塩分低下と融雪出水による陸域からの栄養塩の供給が見られ、それ以外は全ての栄養塩が海底まで枯渇する状況が見られた。これは、冬季の鉛直混合期から春季への移行過程で、ブルームが発生すると共に、同時に表層冷却に伴う鉛直混合が生じることで、栄養塩が下層から供給され、生産性が向上したためと示唆される。また、春季は陸域からの融雪出水により表層に栄養塩が供給され、植物プランクトンの増殖に貢献していると考えられる。雄冬岬沖(4月)以降は経過とともに Chl. *a* は減少し、武蔵堆(5月)でブルーム末期であり、天塩川沖(6月)は密度成層の初期の段階となっていた。

4.5 窒素及び炭素の安定同位体比分析

当海域における食物連鎖の解明には、窒素及び炭素の安定同位体比分析が有効である。プランクトン(植物・動物)とスケトウダラ幼魚の筋肉・消化管・胃内容物で行った分析結果がある¹⁰⁾(図-4.5.1)。一般的に「捕食-被捕食」関係を通して栄養段階が上昇すると、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が1.0‰、3.4‰上昇するとされ¹¹⁾、 $\delta^{15}\text{N}$ に着目すれば植物プランクトン、動物プランクトン、胃内容物、消化管、筋肉の順に高くなっており、定性的な関係が示されている。底泥の値は植物プランクトンと動物プランクトンの中間に位置していたため、その起源が両方であると考えられる。また、スケトウダラ幼魚が捕食した胃内容物は動物プランクトンだけでなく、動物プランクトンを捕食するオキアミなども見られたため一段階高い値も計測されている。スケトウダラの生活史を勘案すれば、産卵場から成育場へ移動する経路上の基礎生産がスケトウダラの摂取するエネルギー源であり、資源の増減に大きく関わっていることがわかる。

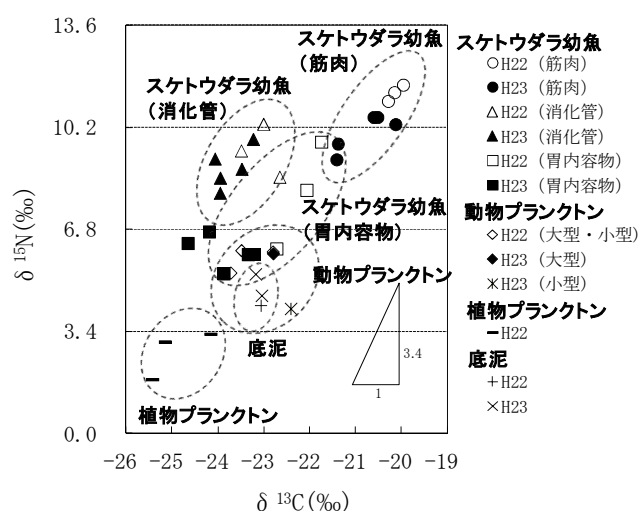


図- 4.5.1 安定同位体比分析結果¹⁰⁾

4.6 基礎生産量

培養試験によって得られた低次生態系計算用パラメータを表-4.6.1に示す。パラメータ取得の詳細は林田ら¹²⁾の報告による。低次生態系モデル¹³⁾を用いて、本海域の基礎生産量を算出した結果を表-4.6.2に示す。また、硝酸塩濃度と基礎生産量の鉛直分布を図-4.6.1に示す。夏季はChl. *a*のピークのある水深25~55mで基礎生産が集中的に行われ、硝酸塩の枯渇する水深0~25mと有光層外の55m以深では低い値を示し、全体の基礎生産量は36.65(mg-C/m²/day)であった。秋季は対馬暖流によって躍層以浅の水温が上昇した影響のため、水深25~55mの基礎生産量が低下し、全体では29.04(mg-C/m²/day)まで低下した。日本全国沿岸海洋誌¹⁴⁾に記載されている夏季の噴火湾や伊勢湾の値300~1400(mg-C/m²/day)に比べるとその値は大幅に劣っている。冬季は鉛直混合によって表層付近の栄養塩が増加し、水深0~25mの基礎生産量が増加して、全体で63.21(mg-C/m²/day)に

表-4.6.1 低次生態系計算用パラメータ(培養試験)

| 地点, 採取時期 採取水深, 水温 | 培養水温での 最大成長速度 | 0℃に換算した 最大成長速度 | 最適光強度 |
|----------------------------|------------------|-------------------|------------------------|
| A 武蔵堆, 8月 (38m, 20.5℃) | 0.78(1/day) | 0.21(1/day) | 59 (W/m ²) |
| B 武蔵堆, 10月 (51m, 16.8℃) | 0.73(1/day) | 0.25(1/day) | 74 (W/m ²) |
| C 武蔵堆, 2月 (20m, 2.2℃) | 0.48(1/day) | 0.42(1/day) | 43 (W/m ²) |
| D 武蔵堆, 5月 (40m, 10.0℃) | 0.37(1/day) | 0.77(1/day) | 59 (W/m ²) |
| ① 岩内湾, 1月 (5m, 8.0℃) | 0.79(1/day) | 0.48(1/day) | 35 (W/m ²) |
| ② 茂津多岬沖, 3月 (24m, 6.4℃) | 1.17(1/day) | 2.44(1/day) | 45 (W/m ²) |
| ③ 雄冬岬沖, 4月 (24m, 9.7℃) | 0.94(1/day) | 1.96(1/day) | 38 (W/m ²) |
| ④ 天塩川沖, 6月 (43m, 13.8℃) | 3.48(1/day) | 7.25(1/day) | 36 (W/m ²) |

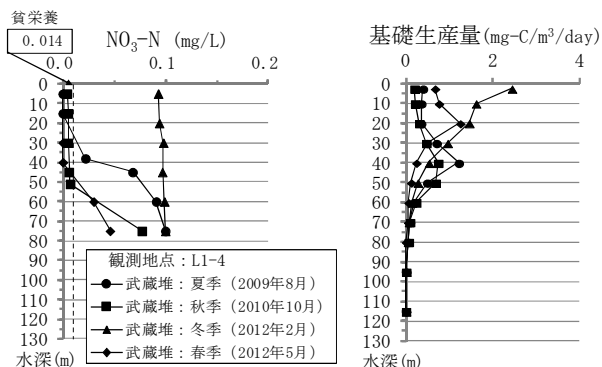


図-4.6.1 硝酸塩濃度と基礎生産量の鉛直分布

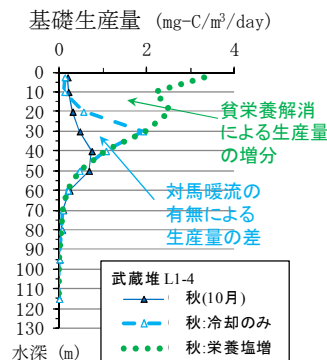


図-4.6.2 秋季における基礎生産量の数値実験

表-4.6.2 基礎生産量算出結果

| 地点, 時期 | 基礎生産量(mg-C/m ² /day) | | | | |
|------------|---------------------------------|--------|-------|-------|--------|
| | 水深(m) | 0~25 | 25~55 | 55~ | 全層 |
| A 武蔵堆, 8月 | | 8.97 | 24.10 | 3.58 | 36.65 |
| B 武蔵堆, 10月 | | 6.12 | 18.90 | 4.02 | 29.04 |
| C 武蔵堆, 2月 | | 42.95 | 17.62 | 2.64 | 63.21 |
| D 武蔵堆, 5月 | | 23.46 | 22.97 | 2.32 | 48.75 |
| ①岩内湾, 1月 | | 62.52 | 28.74 | 4.21 | 95.47 |
| ②茂津多岬沖, 3月 | | 125.36 | 0.08 | 0.00 | 125.43 |
| ③雄冬岬沖, 4月 | | 105.35 | 12.31 | 0.28 | 117.94 |
| ④天塩川沖, 6月 | | 2.50 | 13.43 | 16.61 | 32.54 |

表-4.6.3 基礎生産量算出結果(仮想計算)

| 地点, 時期 | 基礎生産量(mg-C/m ² /day) | | | | |
|-------------|---------------------------------|-------|-------|------|--------|
| | 水深(m) | 0~25 | 25~55 | 55~ | 全層 |
| 秋: 表層冷却のみ仮定 | | 7.36 | 34.47 | 3.50 | 45.33 |
| 秋: 貧栄養解消を仮定 | | 63.81 | 34.99 | 3.49 | 102.29 |

回復した。太平洋北東部亜寒帯域の観測地点 (St. Papa) での冬季の光合成量観測値は 100 (mg-C/m²/day)程度であり¹⁵⁾、これに近い値となっている。0°Cに換算した最大成長速度は、夏季と秋季に比べて冬季では約2倍となっているが、基礎生産量の水準は低いものとなった。春季は茂津多岬沖(3月)で最も高い値であった。水深0~25mに基礎生産が集中し、これ以深は低位であった。これは春に大増殖したプランクトンの自己遮蔽により有光層が浅くなり、下層は生産が行われない状況であったと考えられる。この状況は雄冬岬沖(4月)でも観測された。武蔵堆(5月)ではブルーミングの末期で徐々に基礎生産量が低下していた。これに伴い光環境が改善されて水深0~25mと水深25~55mは同程度の値となった。6月になると基礎生産が低下した。なお、今回行った基礎生産の計算は準定常状態であり、ブルーム以前の栄養塩の状態(冬季の栄養塩状態)から爆発的に増殖して栄養塩が枯渇した状況を考慮すると、ブルーム時の基礎生産量はさらに高かったものと推測される。

上記により構築した生態系モデルにより、2つのケースの数値実験を試みた(図-4.6.2、図-4.6.3)。秋季から冬季の表層冷却のみの影響を把握するため、対馬暖流を考慮せず、夏季の水温塩分を初期値とし

て表層熱収支計算を実施し、算出された各層の水温に図-4.2の硝酸塩と水温の関係から得られた硝酸塩濃度の鉛直分布を求めて、この条件で基礎生産量を算出した。結果は、観測された秋季の値よりも水深20~30m付近の基礎生産が高い値となり対馬暖流の影響によって基礎生産量が低下したことが示された。また、秋季に硝酸塩の制限がかからない仮想的な実験として、硝酸のみを冬季(1月の岩内湾)の観測値に置き換えて基礎生産を算出した。結果は表層から水深30m付近までの基礎生産が増加し、秋季の現況よりも約3倍程度に増加させるポテンシャルがあることを示した。ただし、これは理想的な栄養塩の回復を前提にしたものである。

5. まとめ

平成23年度は、対象種の産卵・仔魚期である冬季に、24年度は稚魚・幼魚期である春季に物理環境や水質、生物量等を対象とした現地観測を行い、低次生態系モデルを用いた考察により基礎生産構造について明らかにした。本研究により得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- ①夏季は成層化して表層で栄養塩が枯渇し、表層混合層直下に基礎生産のピークが見られた。
- ②秋季では表層冷却による栄養塩の回復が期待されたが、対馬暖流による水温上昇により、表層混合層の水深が補償深度を下回り、光合成が期待できなくなって、基礎生産量は夏季以下となった。
- ③冬季には暖流の影響が弱まり、表層冷却による鉛直混合が生じて貧

12.2 北方海域の物理環境変化による生物生産性の向上に関する研究

栄養状態の解消が確認できた。しかし、植物プランクトンの光合成速度が小さく、細胞数の絶対量も少ないため、基礎生産は低位であることがわかった。

④春季には全日日射量の増大に伴いブルームが発生し、表層冷却による循環によって底層からの栄養塩が供給され基礎生産が持続する。やがて表層冷却が弱まると表層の成層化と栄養塩の枯渇が進行し、夏季へと移行する。

これにスケトウダラ的生活史を当てはめると、孵化後に春のブルームが生じ、対馬暖流に乗って移動する過程で稚魚期を迎え、その頃には餌料である動物プランクトンが増殖する。これが浮遊期の成長に大きく寄与していると考えられる。夏季以降には表層の栄養塩の枯渇により餌料が少なくなる。この時期の対策も重要であることが示唆される。

以上により周年の基礎生産構造を解明することができた。また、数値実験により、栄養塩が枯渇する時期で、硝酸塩濃度の制限がない場合の基礎生産量のポテンシャルを示すことができた。これらの知見は、対象魚種の生息環境の評価、工法選択や適地選定等の事業計画立案の上で重要である。今後は、漁場周辺の流動環境をより詳細に捉えるとともに、効果的な事業推進に向けた技術的提案を行い、北方海域の生物生産性の向上を図るための漁場整備に必要な技術開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 水産庁HP：国が施行する特定漁港漁場整備事業計画（漁場）
- 2) 山本潤・渡辺光弘・林田健志・峰寛明・坂本和佳・西田芳則・田中仁（2010）：日本海北部海域での漁場整備の実現に向けた観測の試み，海岸工学論文集，第66巻，pp1291-1295.
- 3) 山本潤・渡辺光弘・林田健志・峰寛明・坂本和佳・西田芳則・田中仁（2011）：日本海北部漁場における表層冷却期の基礎生産構造に関する現地観測，海岸工学論文集，第67巻，pp1026-1030.
- 4) J. k. Egge, D. L. Aksnes: Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition, MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES, vol. 83, 1992.
- 5) 河合浩・大橋正臣・岡元節雄・山本潤：北方海域における生物生産性の把握に向けた試み（第3報），寒地土木研究所月報，pp145-147, 2013.
- 6) 檜垣直幸・磯田豊・本田聡（2009）：北海道西方の武蔵堆周辺海域で観測されたモード水．海の研究，18(6)，p. 335-350.
- 7) 檜垣直幸・磯田豊・磯貝安洋：北海道西岸沖における水系分布と流れパターンの季節変化，海の研究，17(4)，pp. 223-240, 2008.
- 8) 河合浩・山本潤・大橋正臣：北海道開発局管内の漁場整備に資する水域環境のバックグラウンド調査－沖合漁場における物理環境や基礎生産の現況について－，北海道開発局技術研究発表会，2012
- 9) 河合浩・大橋正臣・山本潤・伊藤哲也・林田健志：スケトウダラ日本海北部系群の産卵期を対象とした水域環境に関する現地観測，第49回環境工学研究フォーラム講演集，pp145-147, 2012.
- 10) 河合浩・大橋正臣・山本潤・林田健志・村上俊哉・西田芳則：武蔵堆周辺海域におけるスケトウダラ当歳魚の餌料環境に関する一考察，日本水産工学会学術講演論文集，pp217-220, 2012.
- 11) 富永修，高井則之：安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態，恒星社厚生閣，2008.
- 12) 林田健志，峰寛明，坂本和佳，山本潤，渡辺光弘，西田芳則，工藤勲：北方沖合海域における水質予測モデル構築のための生物パラメータ取得の一実験，日本水産工学会学術講演会講演論文集，22，pp. 49-52, 2010.
- 13) 中田喜三郎(1993)：生態系モデル-定式化と未知のパラメータ推定法-，Journal of Advanced Marine Technology Conference, Vol. 8, pp. 99-138.
- 14) 海洋学会沿岸海洋部会（1985）：日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会，1106p.
- 15) Kawamiya, M. Kishi, M. Yamanaka, Y. and Suginoara, N.: An ecological-physical coupled model applied to Station Papa, J. Oceanogr., Vol. 51, pp. 635-664, 1995.

RESEARCH ON DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR IMPROVED BIOLOGICAL PRODUCTIVITY BY PHYSICAL METHODS IN THE NORTHERN OCEAN AREA

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Fisheries Engineering
Research Team

Author : YAMAMOTO Jun

OKAMOTO Setsuo

SATO Jin

KAWAI Hiroshi

SUDO Kenya

OHASHI Masami

Abstract : This research tries to elucidate the primary productivity in the northern ocean area, to develop technologies for improved biological productivity such as fertilization of the ocean and protecting young fish. Ecosystem and population dynamics models will be developed to predict and evaluate effects. In 2012, field observations such as currents, water quality, plankton and the primary productivity have executed in the exclusive economic zone around Hokkaido. As a result, the primary production rate of this sea area was estimated.

Key words : primary productivity, fertilization of the ocean, protection of resources, ecosystem model, lack of the nutrient salt, population dynamics model