

## 一般 46 北方沖合海域の生物生産性の向上に関する基礎的研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 21～平 22

担当チーム：水産土木チーム、寒地技術推進室

研究担当者：山本潤、関口浩二、福田光男、渡辺光弘、佐藤仁、大井啓司、山之内順、片山勝、窪田康一、牧野昌史

### 【要旨】

北方沖合海域における漁場整備計画の検討に資する知見を得る事を目的に、水産土木チームでは日本海北部沖の武蔵堆周辺において現地観測等を開始した。平成 21 年度には夏季に観測を行い、密度成層に伴う表層の栄養塩枯渇と基礎生産量が低下していることを示した。また、平成 22 年度には秋季に観測を行い、表層冷却過程における物理環境や基礎生産の状況等を把握し、これらの現象を再現する数値モデルの骨格を構築した。

キーワード：基礎生産量、漁場開発、排他的経済水域、栄養塩枯渇、密度成層

### 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 2007 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。平成 19 年度には鳥取島根沖において、あかがい・ズワイガニを対象に保護育成礁の設置が行われ、また、平成 22 年度より五島西方沖においてもまあじ・まさば・まいわしを対象に事業が開始され、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 1990 年代前半をピークに減少しており、1997 年に TAC 対象種に指定され、漁獲が数量的に管理されている。北海道日本海北部沖にある武蔵堆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、北海道沖合海域において、将来事業が実施される場合の工法の検討に資する基礎的知見を得ることを目的に、この海域において調査を行っているため、その取り組み状況について報告する。

### 2. 漁場整備の工法に関する考え方

当海域において漁場整備が行われる場合、海域の肥沃化を目的とした湧昇流発生マウンドと、資源の減耗原因の解消を目的とした保護育成礁の二つの工法が考えられる。湧昇流発生マウンドは、夏季の密度成層により有光層内の栄養塩が枯渇した場合、底層の栄養塩を供給して基礎生産量を増加させ、対

象魚の成長を促すものである。湧昇流発生の外力となる流れ等があり、栄養塩の枯渇が広範囲にわたり一定期間継続する場合に有効な工法と言える。山本ら<sup>2)</sup>によると、2009 年の調査結果を基に算出されたこの海域における夏季の基礎生産量は 36.6(mg-C/m<sup>3</sup>/day)となっており、日本全国沿岸海洋誌<sup>3)</sup>に記載されている同月の噴火湾や伊勢湾等の値 300～1400(mg-C/m<sup>3</sup>/day)と比較すると、夏季の生産量が大幅に劣っていることが確認されている。この時期に栄養塩が枯渇している水深帯に栄養塩の豊富な水塊を湧昇させることが出来れば、生産性が向上する事が示唆された。

保護育成礁の場合、対象魚が生息する海底微地形の回復を図るとともに、対象魚の適正な資源管理を促すものである。漁場周辺に生息する対象魚を、捕食生物や違法操業等から保護する効果が期待される。

これらの工法に適した箇所の選定や工法の選択を行い、事業の基本方針を決定するためには、漁場周辺の物理環境、生物生息状況と餌料環境、基礎生産量の周年の傾向、海底微地形の状況等の判断材料が必要となる。そこで、当チームでは以下に示す研究を行う予定である。まず現地観測をもとに海域の現況について周年の傾向を把握する。これまで、夏季の栄養枯渇状況と、秋季の表層冷却に伴う鉛直混合を観測する事が出来た。今後は密度成層が完全に崩壊していると思われる冬季と、春季のブルーミングの状態について現地観測を行う。さらに、物理環境の再現モデルと低次生態系及びスケトウダラを対象とした高次生態系モデルの検討を行い、基礎生産と

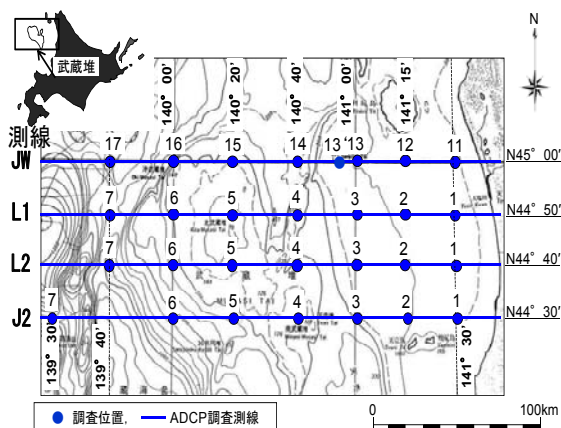


図-3.1 調査位置図（武蔵堆周辺）

個体群動態の再現を行う予定である。

### 3. 海域の基礎生産構造を把握する現地調査

#### 3.1 調査時期

現地調査は、夏季と秋季の状況を把握するため、2009年8月2～4日と2010年10月5～6日に行った。これにより、栄養塩の枯渇している夏季と回復途上と思われる秋季の試料を得る事が出来た。

#### 3.2 調査位置及び調査方法

調査位置は、図-3.1に示す様に武蔵堆の通称天狗の鼻と呼ばれる箇所を主とし、北緯45°から北緯44°30'、東経139°40'から東経141°30'までの区間で、北海道水産試験場が定期的に行っている調査箇所（JW,J2）に2測線（L1,L2）追加し、28地点において各種計測を行った。調査箇所は海象条件が厳しく、通常の測量船では作業が不可能であることから、海洋観測船を所有している北海道中央水産試験場との共同研究により調査を行った。

#### 3.3 調査項目

調査項目は、船舶に搭載されたCTDによる塩分、水温観測およびADCPによる層別流況観測3層（10,50,100m）を全観測点で行い、バンドーン型採水器による採水及び北原式ネットによるプランクトン採取を2009年にL1-4, L1-5, L2-4, J2-4の4地点、2010年にはJW-13'を加えた5地点で行い、ノルパックネットによる動物プランクトン採取を2009年2010年ともL1-4, J2-4の2地点で行った。水質については栄養塩を中心に分析を行い、プランクトンについては種別に分析を行った。また、光量子量の測定、COMPACT-CTDによる水質観測、ADCP

による層別流況観測、スミスマッキンタイヤー採泥器による採泥、粒度分布及び含有物の分析を行った。

その他、この海域における基礎生産量を算出する際に必要な光合成量の測定を行うため、安定同位体（<sup>13</sup>C）を用いた現地培養試験を行った。

## 4. 現地観測結果と考察

### 4.1 栄養塩調査結果

栄養塩分析の結果を図-4.1に示す。栄養塩は水温と負の相関があり、プランクトンの増殖に必要な硝酸塩濃度を0.014mg/L、リン酸塩濃度を0.003mg/Lとすると、後者は表層でも概ね条件を満たしているが、前者ではそれを満たす水温が2009年8月では15.5℃程度、2010年10月では16.1℃程度とほぼ同様の値が算出され、躍層以浅での硝酸塩の枯渇が夏だけではなく、秋でも確認された。また、2010年度はケイ酸態ケイ素についても分析を行ったが、その値は、0.06～0.16mg/Lとなっており、珪藻類の増殖の閾値と思われる0.06mg/Lをほぼ満たしており、珪藻類増殖の限定要因とはなっていない。当海域の生産性は、硝酸塩不足が制限要素となっていると思われる。

### 4.2 光量子量

2010年10月の光量子量観測結果を図-4.2に示す。表層の光量子量は2009年の観測では162.7～403.0(μmol/(m<sup>2</sup>・S))で、2010年では35.0～466.5(μmol/(m<sup>2</sup>・S))であった。補償深度を表層の1%光量とすると、2009年では51m～66mであったが、2010年でも57m～64mとなっており、有効層の季節による大きな違いは見られなかった。

### 4.3 水温・塩分・クロロフィルの鉛直構造

水温・塩分・クロロフィルの代表的な観測結果を図-4.3に示す。水温と塩分の鉛直分布を2009年の沖側(d)と陸側(f)と比較して見ると、沖側では躍層が比較的浅い位置にあり、陸側付近では深い位置にあることがわかる。表層の水温は、2009年8月では武蔵堆の沖側(d)・陸側(f)とも20℃に近い値となっていたが、2010年10月では沖側(c)の表層水温が16.1℃まで低下しており、表層冷却の影響が見られる。水温・塩分とも2009年8月(b),(f)では緩やかに変化しているが、2010年10月(a),(e)では躍層までの温度勾配が小さくなっており、躍層位置が深くなっている。これは、表層の水温低下に伴い鉛直混合が下層まで

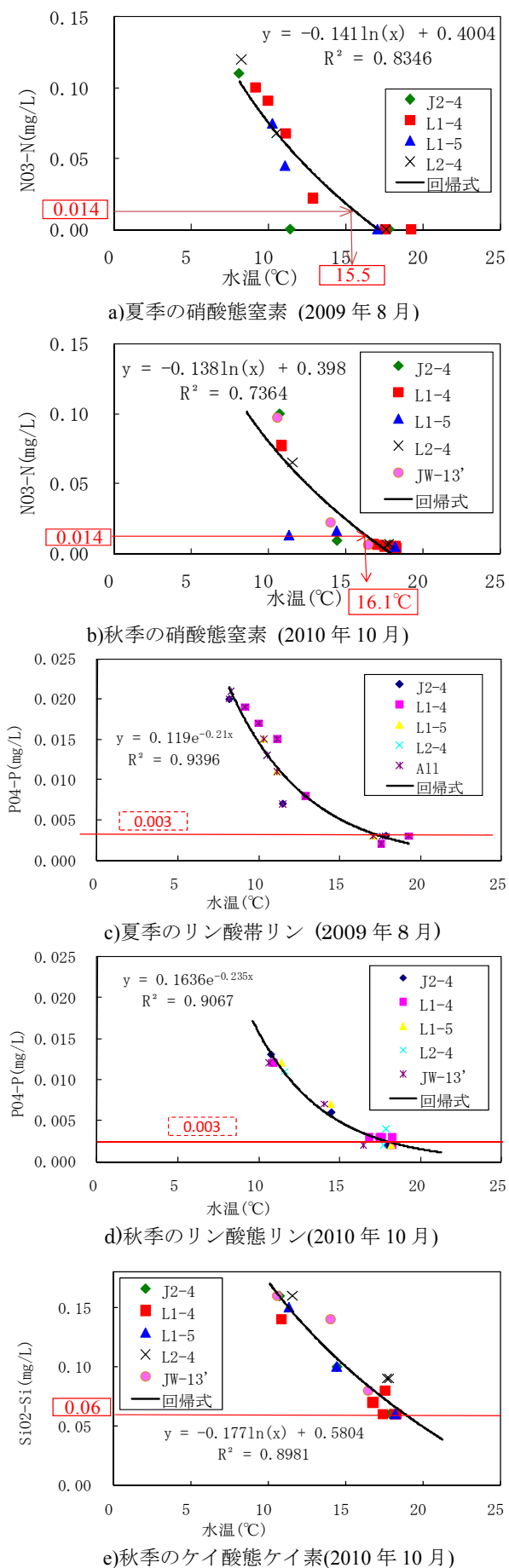


図-4.1 水温と栄養塩の関係

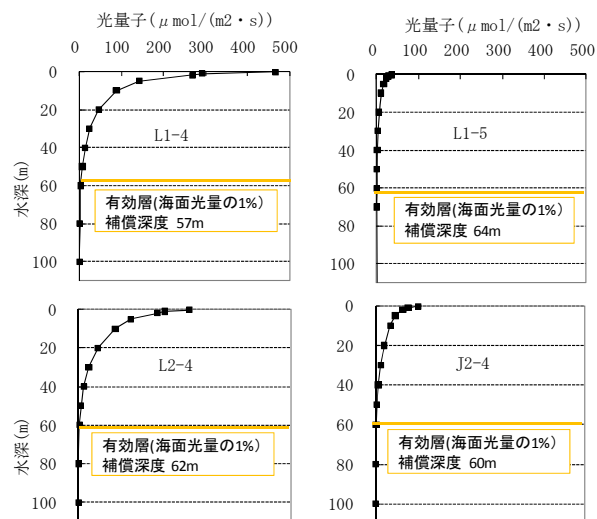


図-4.2 光量子量観測結果 (2010年10月)

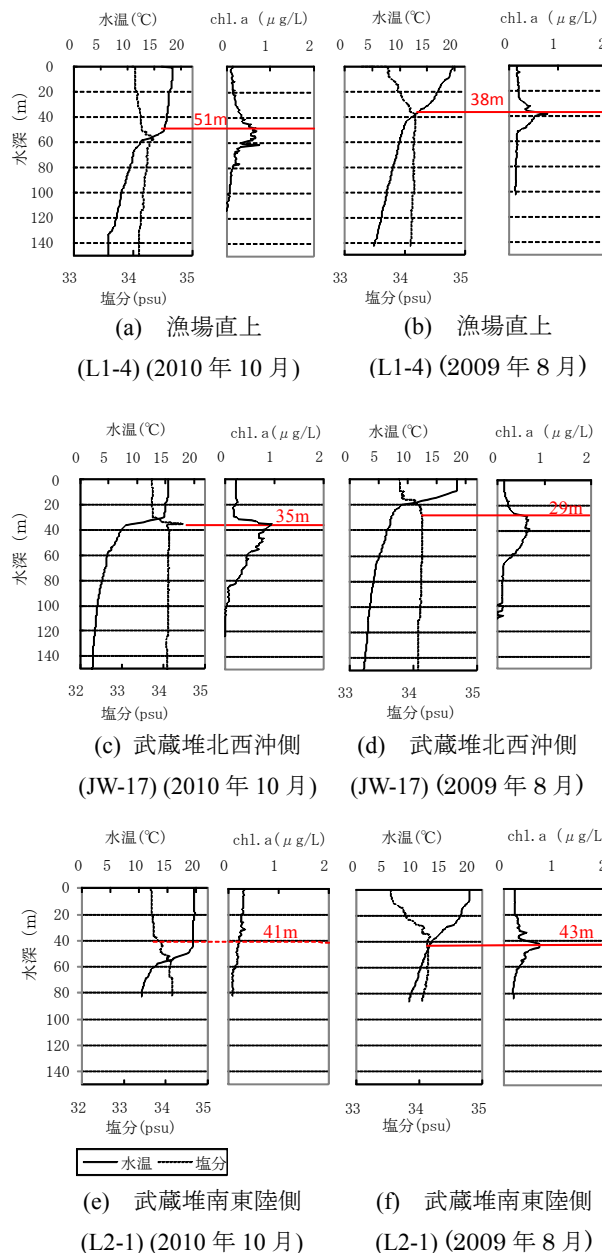


図-4.3 水温・塩分・Chl-aの鉛直分布

進んでいるためであり、冬季には鉛直混合がさらに進むと思われる。一方、陸側では水深数十メートル付近の水温が沖側と比較して高く、さらに 2010 年 10 月(e)では、2009 年 8 月(f)と比較してもその領域の水温が 20℃程度で維持されている。これは、対馬暖流が陸側に影響しているためと考えられる。

クロロフィル a は、密度成層およびその直下にピークがあり、その位置において基礎生産が集中して行われている。また、2010 年陸側(e)では、クロロフィルのピークが見られなくなっており、基礎生産が回復せず、さらに低下していることがわかる。

#### 4.4 武蔵堆周辺の水塊構造

T-S ダイアグラムを図-4.4 に示す。(a),(b)いずれも陸側と沖側で異なる密度分布を示し、2009 年(a)の陸側では、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た。2010 年(b)では、沖側については水温の低下が見られるが、陸側では高水温が維持されており、対馬暖流の影響がより顕著に現れている。

#### 4.5 底質の調査結果

底質の分析結果を表-4.1 と図-4.5 に示す。細砂分 40.2%、シルト分 21.7%、0.005mm 以下の粘土分は 10.6%となっており、礫も含まれていた。Murray & Renard<sup>4)</sup>の分類によると、「砂・礫が含まれる堆積物は泥だけの遠洋性堆積物ではなく、陸域堆積物に分類される」とあることから、この海域の底質は陸域由来のものと思われる。また、含水比で見ると、外洋の表層堆積物の含水比は 50~60%程度といわれており、今回の調査結果の 43%とほぼ同程度となっていた。有機態炭素では、Romankevich(1970)によると、海底堆積物表層中の有機性炭素量は、日本海北部海域で 0.5~1.0%となっており、調査結果の 6.9mg/g=0.69%はこの範囲内となっていた。また、外洋の体積物の有機炭素含有量は一般に 1%以下で、ペルー沖のような湧昇の起こっている海域等では 10%を超えている<sup>5)</sup>ことから、今回の値は、外洋の含有量に相当するといえる。全リンについては、門谷ら<sup>6)</sup>によると、大阪湾や播磨灘などの内湾で 0.5mg/g 程度となっており、今回の観測結果 0.57mg/g とほぼ同程度であることがわかった。

本海域の底質は、粒度分布から言うと陸域の影響を大きく受けており、天塩川の影響が考えられる。特に、底質の全リンは内湾と同程度の値を示してい

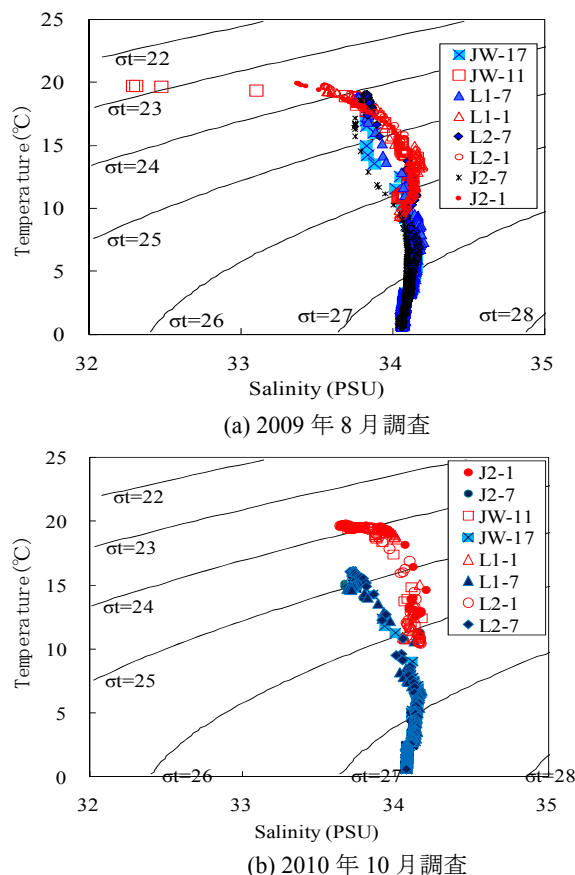


図-4.4 武蔵堆周辺の T-S ダイアグラム

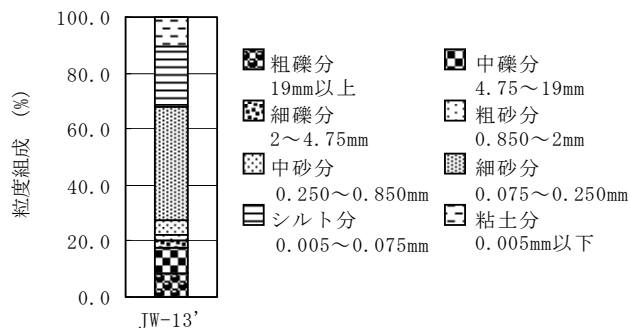


図-4.5 底質粒度分布 (JW-13')

表-4.1 底質分析結果 (JW-13')

全窒素(T-N)	mg/g	0.80
硫化物	mg/g	0.04
全リン(T-P)	mg/g	0.57
有機態炭素	mg/g	6.9
比重	g/cm <sup>3</sup>	2.672
含水率	%	43.0
化学的酸素要求量(COD)	mg/g	6.4

る。これは、春季の生産量が高く、それによりこの時期でもリンの値が高レベルで維持されている事を示していることが考えられる。また、それ以外の可能性として、周辺海域での基礎生産の影響が当海域に集積されたことも考えられる。

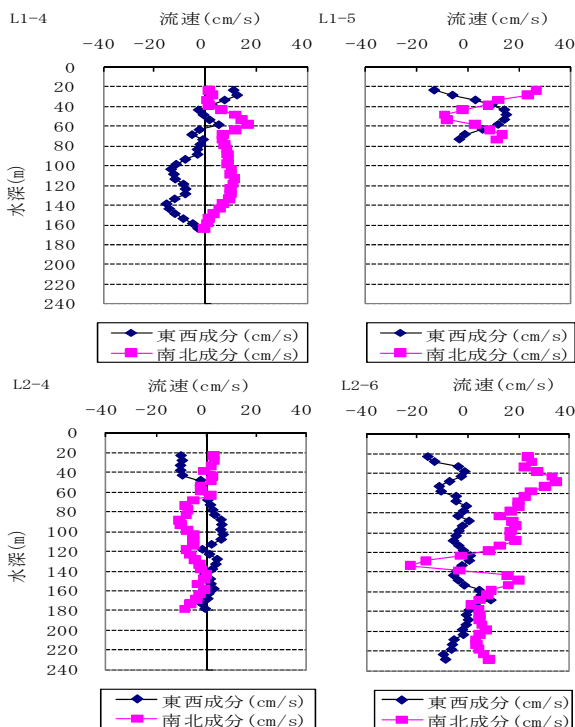


図-4.6 底層までの層別成分流速観測結果

#### 4.6 流速観測結果

L1-4, L1-5, L2-4, L2-6 の4点について、ADCP(75Hz)による底層までの層別流速の成分別観測結果を図-4.6に示す。水深40m~60m付近で流れの向きが急激に変化しているが、図-4.3に示す躍層が生じている水深帯と一致しており、その影響により、流れの向きが変化しているものと思われる。表層の流れについて見ると、東向きのL1-4以外は北西に向かう流れとなっており、水平渦の影響が考えられる。このことは、周辺からの有機物の集積効果を示唆している。L2-6では、上層で北上する流れが大きく、南北成分が強くなっている。一方、水深140m前後では南北成分の大幅な逆転が見られるが、この水深帯には躍層等が存在しないため、次期計画では観測数を増やし、引き続き流速観測を行い、データの信頼性について確認する予定である。

#### 5. 当該海域の基礎生産の現状の評価

この海域では、前章で述べたような基礎生産量の低い状態が続いているが、その期間は図-5.1に示す当該海域の表層水温から推察すると約3.5ヶ月となる。2010年10月調査で得られた表層水温も、図-4.3のように、陸側(L2-1)は19.7℃と高いものの、漁場直上(L1-4)や沖側(JW-17)では16.4℃、15.4℃と、図-5.1

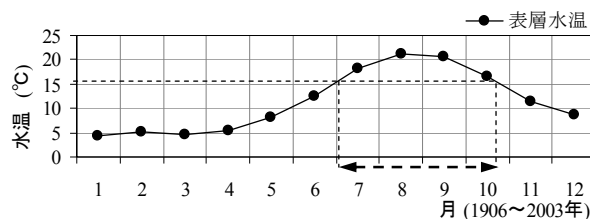


図-5.1 武蔵堆周辺の表層水温  
(日本海洋データセンター)

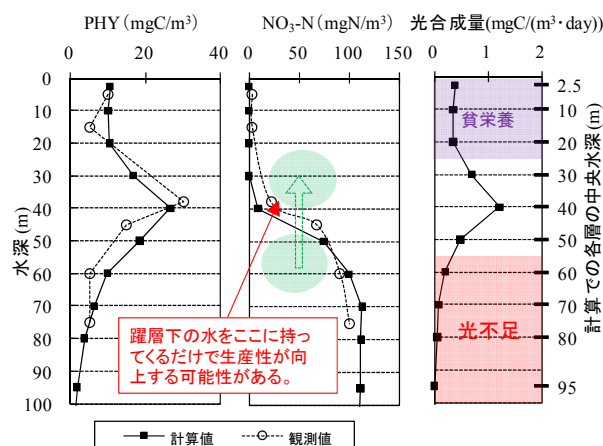


図-5.2 当該海域の夏季の基礎生産構造

に示す同時期の表層水温と同等となっている。また、図-4.1に示されているように、秋季においても、躍層より上層の栄養塩が枯渇していることから、この時期においても基礎生産量は低レベルにある。表層への栄養塩供給は、それなりの効果があると推定され、図-5.2に示すように、躍層下の栄養塩の有効層への供給が特に効果的である。ただし、その外力ポテンシャルは不明であり、今後の課題である。2010年調査も同様の傾向にあると思われるが、今後は、より詳細に基礎生産量を算出していきたい。

#### 6. おわりに

2009年、2010年の調査で夏季及び秋季のデータを得る事が出来た。現段階では、一般研究課題として基礎的な研究を進めてきたが、今後はプロジェクト研究個別課題「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」として本格的に実施することとしており、引き続き調査を実施し、当該海域の物理環境及び基礎生産の周年の傾向についてまとめていきたい。

## 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（2009）：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) 日本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.
- 4) 海洋科学基礎講座 12 三宅泰雄（1972）：堆積物の化学, 東海大学出版会, 357p.
- 5) 高橋正征・古谷研・石丸隆（1996）：生物海洋学 4 ベントス, 東海大学出版会, 54p.
- 6) 門谷茂・多田邦尚・岡市友利（1987）：播磨灘体積物中の有機態炭素・窒素, 全リン及びフィオフィチンの水平分布, La mer 25, pp67-72.