

東シナ海における水質・流況環境特性

THE CHARACTERISTICS OF CURRENT CONDITION AND WATER QUALITY AT EAST CHINA SEA

伊藤靖¹・押谷美由紀²・大谷靖郎³

Yasushi ITO, Miyuki OSHITANI and Yasurou OTANI

¹正会員 (財)漁港漁場漁村技術研究所 漁場と海業研究室 (〒101-0047千代田区内神田1-14-10)

²(財)漁港漁場漁村技術研究所 漁場と海業研究室 (〒101-0047千代田区内神田1-14-10)

³正会員 (株) アルファ水工コンサルタンツ東京本部 (〒108-0073東京都港区三田4-15-35三田ビル8F)

The leading part of fishery infrastructure improvement project were local government, it benefits only coastal fishery. Recently, it is improving that technique of fishing ground creation. And request for creation of offshore fishery are increasing. In 2007, Frontier Fishing Ground Project was made formally, so creation of offshore fishing ground will be more propel. In this study, the purpose of obtaining fundamental data of mesopelagic zone, we operated field work in East China Sea. We compared result of current observation data and water quality data to past observation. Distribution of vertical nutrient salts and chlorophyll-a are consistence with past observation data. Exist of internal tide was conjectured during neap tide in St.2..

Key Words : East China Sea, current condition, water quality, Kuroshio current

1. はじめに

これまでの水産基盤整備事業は、地方公共団体によって行われてきた。このため、基盤整備による受益が複数の地方公共団体に跨る等、沖合域での基盤整備は殆ど行なわれず、沿岸の地先型の比較的小規模な整備が中心であった。

一方、平成19年度にフロンティア漁場整備事業が創設され、現在、日本海西部海域において、ズワイガニ・アカガレイを対象とした増殖場整備事業が進められている。この他にフロンティア漁場整備の事業対象として湧昇マウンド礁が有望視されているが、沖合海域における事業を実施するにあたっては、現地観測データが不足している。本研究は、沖合大水深域における漁場整備の基礎資料とするため、水産庁の水産基盤整備調査委託事業として、知見の少ない沖合の東シナ海において、水質調査・流況観測調査を実施したものであり、これについて報告する。

2. 調査の内容

湧昇マウンド礁漁場を想定し、東シナ海における流速の速い場所を調査地として2箇所を選定した。

この2箇所 (St.1: N32° 42' 30", E127° 39' 00", 水深147m, St.2: N31° 20' 00", E127° 55' 00", 水深145m, 図1) において、採水によ

る水質調査 (平成19年6月・8月・10月の3回), CSTDによる鉛直水質観測 (平成19年6月・8月・9月・10月の4回), 海底設置型 (TRBM) ADCP (超音波ドップラー流速計) による15昼夜流況観測 (8月15日~9月3日) を実施した。採水は調査日の水温躍層の状況から6または7層で実施し、各層で全窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素N、硝酸態窒素、全リン、リン酸態リン、珪酸態珪素の7項目を分析・計量した。

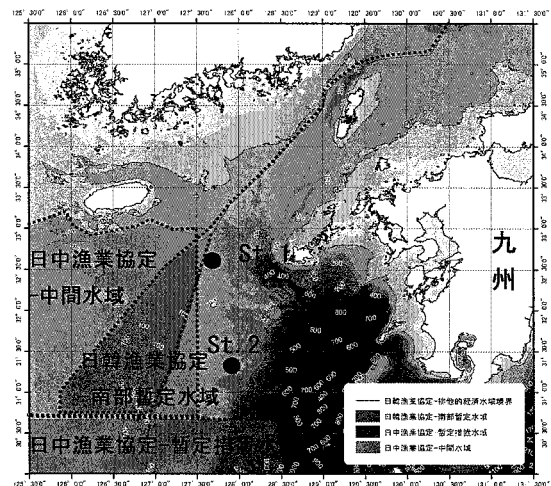


図-1 現地調査図

3. 採水による水質調査

(1) 調査の内容

採水による水質調査は、バンドン採水器を用い、成層期を想定して第1回(6月26日)、第2回(8月17・18日)、第3回(10月2日)の3回実施した。採水層は、表層と水温躍層の上・中・下層、躍層から最底層の中間層、最底層の6層を基本とし、躍層が2層になっている場合などには7層とした。採水した試料は、無機態窒素3態(アンモニア態、亜硝酸態、硝酸態)、リン酸態リン、珪酸態珪素、全窒素、全リンを分析した。

(2) 調査結果

東シナ海は従来、基礎生産を考えた場合には窒素制限の海域であると言われている。3回の調査のうちSt.1の10月の結果を図-2に示す。表層では溶存態無機窒素(硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素の合計)の濃度が低くなっていた。特に亜硝酸態窒素は全層でほぼ検出限界値以下であり、底層付近でわずかに見られた。これらの傾向は2地

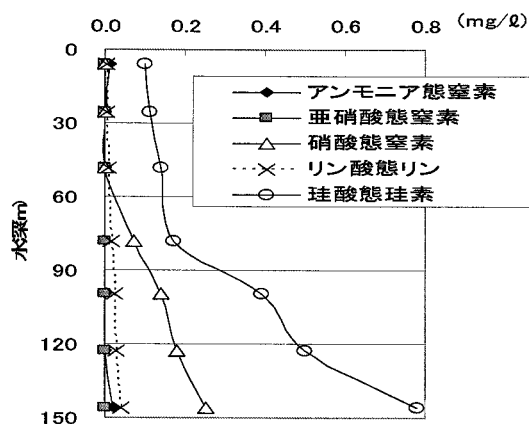


図-2 分析結果の例(St. 1, 10月2日)

点および3回の調査で共通していた。硝酸態窒素については、水深60m以深に豊富に存在していることがわかった。リン酸態リンは、表層ではやや少ないものの、ほぼ全層で観測された。珪酸態珪素については硝酸態窒素と同様水深60m以深で濃度が増加していた。

特に一次生産に重要であり、東シナ海で制限要因となっている無機態窒素について、3回の調査結果(a) St. 1, (b) St. 2 ならびに(c) 既存水質調査結果を図-3に示す。表層で栄養塩が少なく、底層では豊富に存在する傾向が明瞭になっている。成層期には表層では活発な一次生産が行なわれ、栄養塩が消費されることから、東シナ海のような外洋では一般的に表層を含む有光層以浅の栄養塩濃度は低い。しかし本調査では、一時的ではあるものの、St. 1, St. 2の両地点で最表層(6m)に0.050(mg/L)前後の無機態窒素が見られる。これはごく表層で見られることから、中国大陸からの陸水の影響によるものと考えられた。

また、水深30m前後では再び栄養塩は枯渇し、ほぼ検出限界値以下となる。さらに、その下の層の概ね水深50m付近から栄養塩が増加し始め、最底層でピークとなった。本調査では、水質調査時に光量子計により相対光量を得ており、これによると調査海域の有光層は水深60mであった。つまり、有光層の下限水深付近から下層にかけて栄養塩が存在していることとなる。栄養塩は、有光層の上層では一次生産によりほぼ消費される。さらに、調査期間中は成層が発達しており躍層上下の鉛直混合は活発でないと考えられる。そのため、栄養塩は豊富に存在する躍層下から躍層直上のみに、拡散などの効果により徐々に供給されると考えられ、このような栄養塩の分布は後述するクロロフィルaの鉛直分布とよく一致していた。

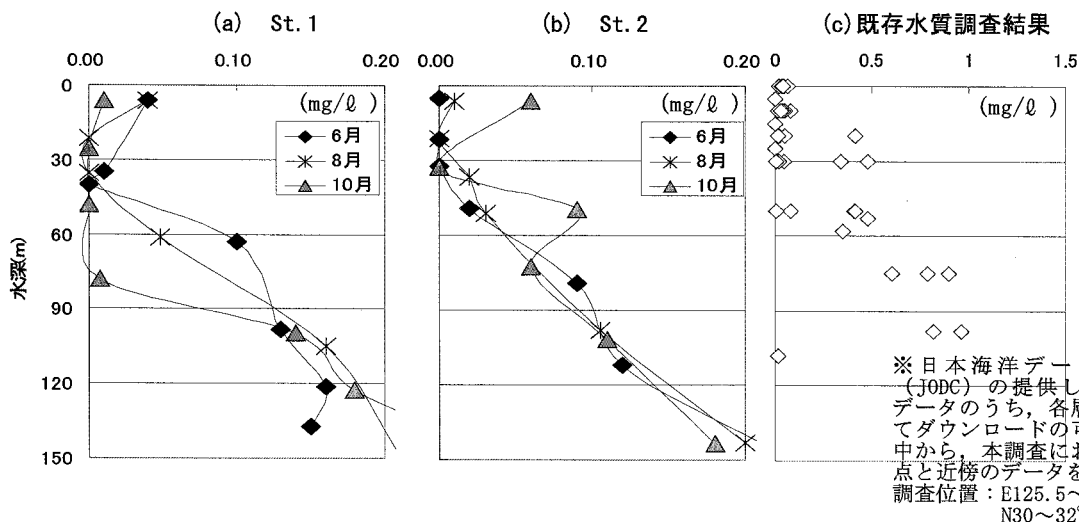


図-3 採水による栄養塩(無機態窒素)の分析結果

(a) St. 1, (b) St. 2, (c) 既存水質調査結果(JODCデータ)

無機態窒素はアンモニア態、亜硝酸態、硝酸態の合計量

4. 多項目水質計による鉛直水質観測

(1) 調査の内容

多項目水質計 (COMPACT-CSTD, アレック電子(株)) を用い、海水面下から海底面上まで水温、塩分、クロロフィル a の鉛直方向 0.5m 間隔で測定した。観測は第 1 回 (6 月 26・27 日), 第 2 回 (8 月 17・18 日), 第 3 回 (9 月 5 日), 第 4 回 (10 月 2 日) の 4 回実施した。

(2) 調査結果

結果を図-4 に示す。この 4 回の観測で概ね 4 ヶ月強の期間、躍層が形成されることを確認した。6 月調査の時点では弱い成層であったが、8 月には表層の水温が上昇し成層が強まり、もっとも表層と底層の温度差が広がったのは 9 月であった。

東シナ海には、長江や黄河など大陸の大河川から大量の淡水が供給さる。特に大陸棚上ではその影響を強く受けるため、春・夏の表層は低塩分水に覆わ

れる¹⁾。本調査の調査地点は大陸棚上に位置しており、2 地点の表層塩分も若干の季節変化を示しているが、St.1 では 30.3 (8 月) ~ 33.4 (10 月), St.2 では 32.7 (8 月) ~ 33.3 (10 月) であり、St.1 で塩分の変動が大きくなっていた。さらに、JODC のデータベースで整理されている過去の東シナ海夏季における観測結果と比較すると、近隣の調査地点の水質観測結果 (図-5) では表層 (水深 0~20m) の塩分濃度が 27.5 から 34 まで大きく変動していた。気象データから、本調査の水質調査日の前後に調査地点近辺の降雨がなかったことがわかっている。そのため大陸からの河川水以外に淡水の流入源は考えられず、St.1 は St.2 に比べ長江等から流入する淡水の影響をより強く受けていると考えられた。

さらに、クロロフィル a の鉛直分布について見ると、4 回の観測時とも表層では少なく、水深 40~60 m 付近で極大層が見られた。夏季の東シナ海表層中で栄養塩が枯渇し、一方底層には高濃度の栄養塩が存在することが報告されており²⁾、採水による水質

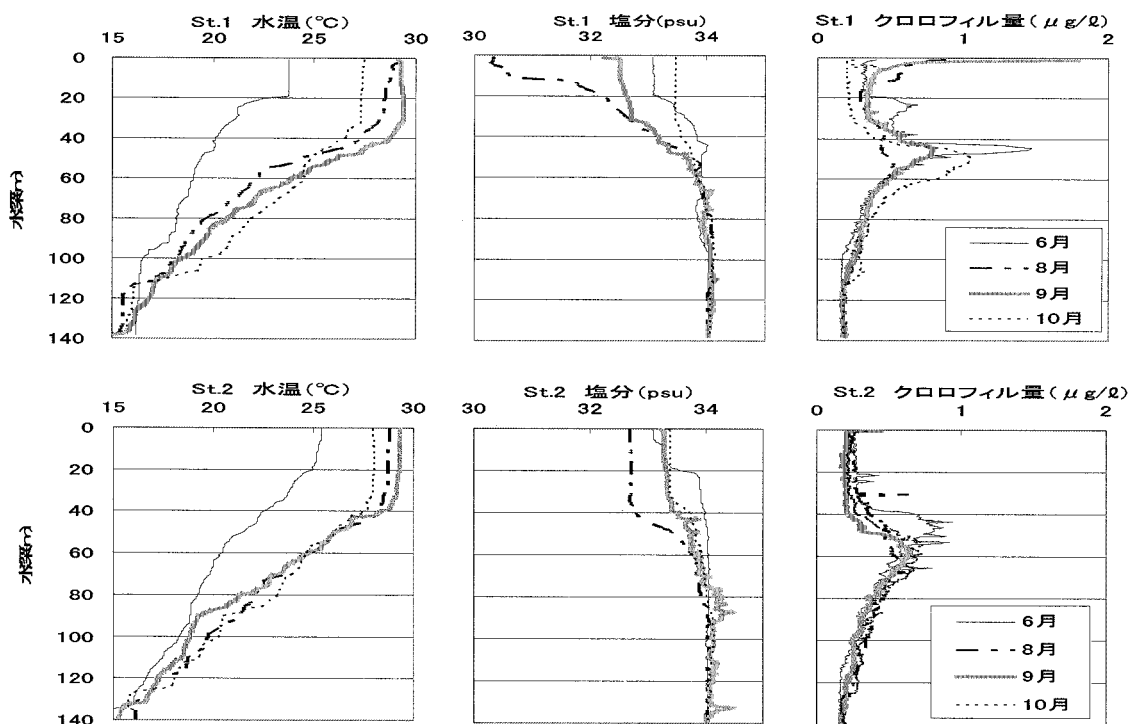


図-4 CSTDによる水質鉛直観測結果
(上段: St.1, 下段 St.2)

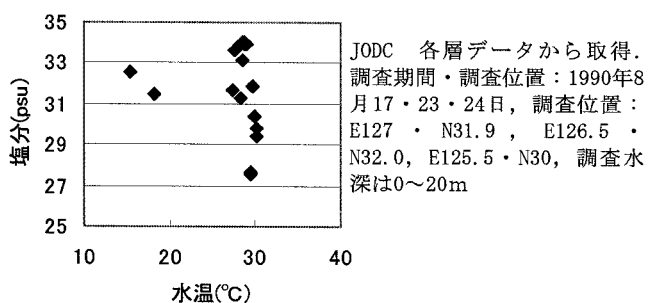


図-5 過去の近隣海域における観測結果
(T-Sダイアグラム)

調査結果もそれを裏付けている。表層ではわずかな栄養塩を一次生産により消費しつくすため、植物プランクトン量が小さく抑えられ、従ってクロロフィル a 濃度は低くなる。本調査の 4 回の観測時においては、成層が存在し上下層の混合が制限されていたと考えられることから、結果的に躍層下からの栄養塩の供給により植物プランクトンの鉛直分布が規定されていたと考えられた。

過去の東シナ海における観測では、極大層の存在する亜表層の水深帯は、同じ東シナ海でも水深 15~80m と海域による変動が大きい³⁾。特に東シナ

海北部では大陸由来の河川水の影響により表層においてもクロロフィル濃度が高く、傾向として西高東低、北高南低の分布を示すとされている³⁾。本調査の St.1, St.2 におけるクロロフィル a の分布は、観測時期が若干異なるものの北側の調査地点である St.1 では 40~50m 内に分布しているのに対し、南側の St.2 では 40~65m と、極大層の水深が南でより深くなっていることから、西高東低、北高南低となっており、過去の観測結果と傾向が一致していると考えられた。

5. 設置型 ADCP による流況観測

(1) 調査の内容

流況観測は、底曳網対策のため海底設置型 (TRBM) ADCP (超音波式ドップラー流速計、図-6) を用いた。St.1 (水深 150m 地点) では、平成 19 年 8 月 18 日~9 月 5 日の約 18 日間、St.2 (水深 145m 地点) では、平成 19 年 8 月 17 日~9 月 5 日の約 19 日間実施した。観測の仕様は、観測層厚：2m、観測間隔 10 分、観測時間：2 分、サンプリング間

隔：0.5 秒とした。データ取得水深は、海底上約 133m である。

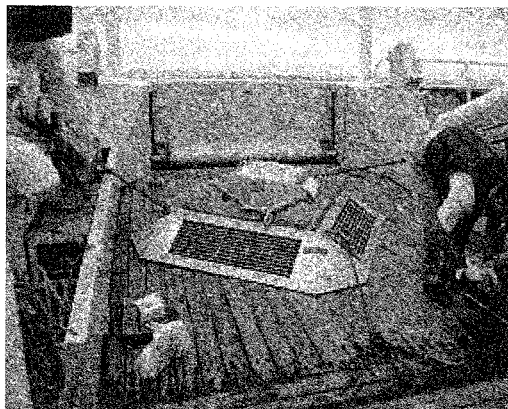


図-6 海底設置型 (TRBM) ADCP

(2) 調査結果

取得したデータから代表水深の最上層である水深 100m より上層ではデータ欠損が見られたが、そのほかはおおむね良好なデータを得られた。

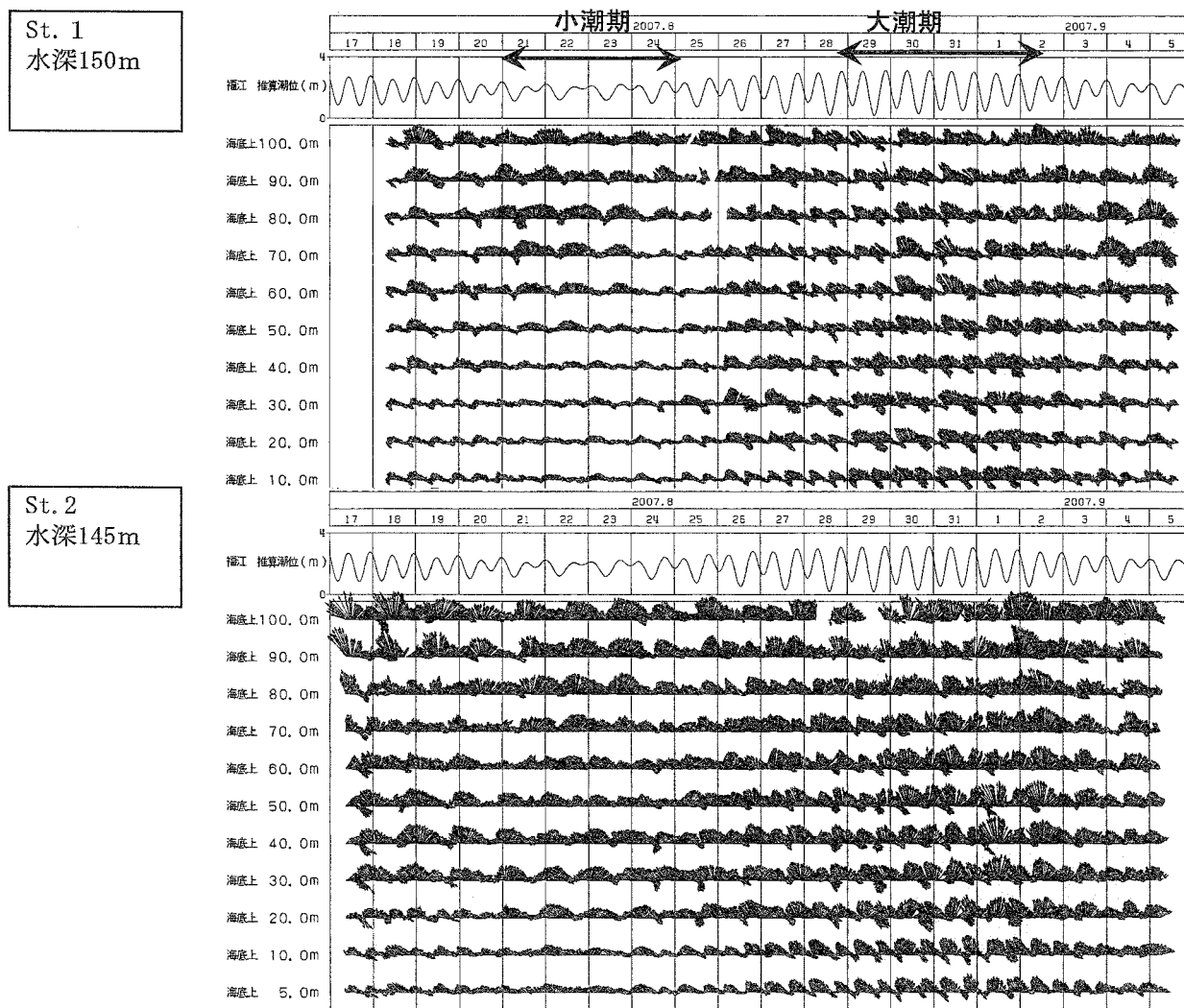


図-7 代表水深の流速ベクトルの経時変化

15 昼夜連続観測中、前半は小潮期、後半が大潮期であった。大潮期にはデータ取得した最表層から底層まで流速が速まり、特に最底層では小潮期と大潮期の変化が顕著であった。ベクトルの向きを見ると、半日周期または1日周期で転向しており、図-7からも判るように調査期間中、2地点とも概ね北方流速が卓越していた。また St.1 よりも St.2 で全体的に流速が速い傾向が見られた。

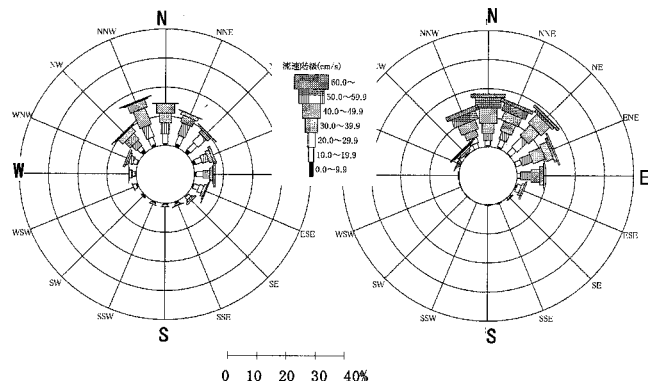


図-8 海底上 90mにおける流速流向の出現分布

図-7 で示す最上層である海底上 100.0m は、概ね水深 50m に該当する。St.2 の小潮期において、その下層である海底上 70m・60m と比較すると、流速ベクトルはやや小さくなっている。しかしそのさらに下層の海底上 50m・40m・30m の流速は、70m・60m よりも大きくなっており、その下層（海底上 20~5m）で再び小さくなっていた。また、海底上 100m~80m 程度までは潮汐周期と同調して流速が変化しているが、海底上 60~30m では 12 時間程度の位相のズレも見られた。位相は海底上 20m 以深で再び潮汐と同調していた。

ここで、流れの南北成分を抽出し流速の経時変化を示したのが図-9 である。

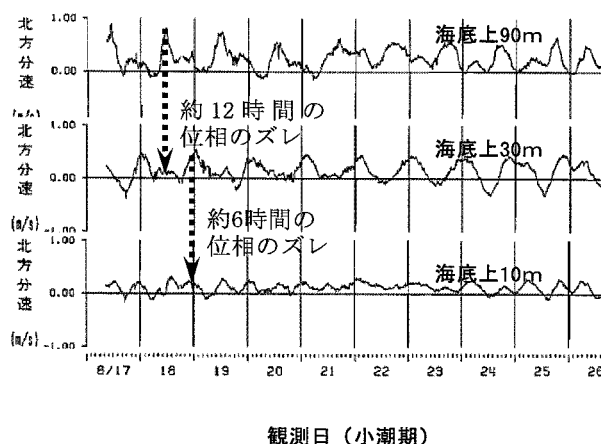


図-9 成分流速の経時変化 (St.2, 小潮期)

St.2 における、海底上 90m, 30m, 10m における小潮期の流速を示している。海底上 90m と 30m では約 12 時間の、海底上 30m と 10m とでは約 6 時

間の位相差が生じ、流向は逆向きとなっていた。

次に観測結果の代表水深における調和分析結果から代表水深における主要 4 分潮の長軸流速を表-1 に示す。

表-1 代表水深における主要 4 分潮の長軸流速

St.2	K1	O1	M2	S2
海底上 100m	11.0	4.4	16.9	8.8
海底上 90m	12.2	4.3	18.8	6.1
海底上 80m	10.6	7.4	17.3	6.0
海底上 70m	7.6	6.6	18.3	6.4
海底上 60m	3.4	4.6	20.4	8.3
海底上 50m	5.4	6.9	23.8	11.3
海底上 40m	9.9	9.8	22.5	10.8
海底上 30m	14.0	10.7	22.0	10.9
海底上 20m	13.8	8.2	22.6	11.6
海底上 10m	4.3	3.0	20.3	12.6
海底上 5m	3.2	2.5	17.9	10.9

(単位: cm/s)

東シナ海は M_2 分潮が卓越する海域として知られており、東シナ海沿岸部ではその振幅が S_2 分潮の約 2.5 倍、ほとんどの範囲で K_1 と O_1 分潮の 3 倍以上である¹⁾。本調査結果でも M_2 分潮が全観測水深を通じてもっとも卓越していた。また、海底上 70m~40m の観測水深において、この沿岸潮汐と比較的近い分潮比が見られた。

この M_2 分潮を含む主要 4 分潮の水深ごとの変化率を、海底上 100m の分潮長軸流速 (cm/s) を 1 とし、100 分率で示したのが図-10 である。

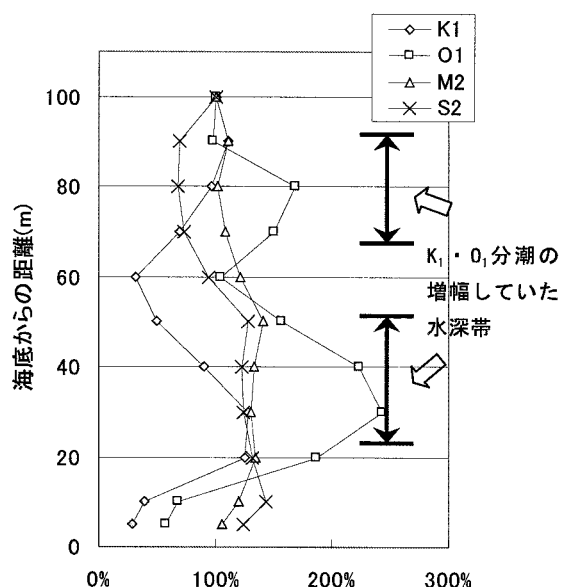


図-10 主要 4 分潮長軸流速の代表水深別比率 (海底上 100m の値を 1 とした場合)

M_2 分潮・ S_2 分潮は、観測水深帯で 100~140% と海底上 40~20m で若干増大する傾向を示したが、流速としては大きな変化はなかった。しかし、 K_1 分潮について見ると、30%~125% と、弱まった時と強まった時を比較すると 4 倍以上の増減を示した。

また O_1 分潮についても変化の度合いは異なるが、同様の傾向を示した。

特に 1 日周期の潮流楕円の長軸流速が小さくなっていたのは海底上 60m (水深約 90m 付近) であった。この層を中心に上下層約 30m 程度の水深帯において、1 日周期の潮汐成分が小さくなり、その上層・下層で再び増幅するという傾向が見られた。この水深による潮汐成分の変化は図-7 の流速ベクトルの経時変化に現れている流速変化と対応しており、1 日周期の潮流速の変化により、水深による流速の強弱が生じていると考えられた。

東シナ海では、しばしば大陸棚の辺縁部で内部波が発生し、それが大陸棚上を伝播していくことが指摘されている¹⁾。また、内部潮汐を考えたとき、表面潮汐と同様に M_2 分潮と同じ周期の内部潮汐がもっとも卓越していると考えられている¹⁾⁴⁾。本調査では、鉛直水温連続観測のような内部界面の上下変動を間接的に把握できるような調査は実施していないため、内部潮汐の存在を直接的に論じることは困難である。さらに、表層の流速についても把握していないため、表面潮汐の潮流との比較はできない。しかし、特に St. 2 小潮期に見られる、水深約 100m 以深の水深帯 (海底上 40~20m) で流れが増大していることや、位相が異なっていることなどから、内部潮汐が生じている可能性があるのではないかと考えられる。

一方、流況観測結果のスペクトル解析を行なうと、流況の強まった海底上 40~20m の水深帯において、12 時間および 20 時間周期にピークが現れた。特に 20 時間周期のピークはその他の水深帯に比べて大きく、コリオリ力の慣性周期 (22.6 時間) に近いことから、これが大陸棚で発生すると言われる内部波ではないかと考えられた。

また、沿岸では潮流楕円の長軸は摩擦の影響により海面から海底に向かうにつれて短くなる⁴⁾⁵⁾が、 M_2 潮流楕円の長軸流速を見ると (表-1)、鉛直的な変

化は顕著に表れていない。これは海流に見られる地衡流的な特徴が現れているものと考えられた。

6. 終わりに

本調査では、これまで漁場整備の対象でなかった東シナ海のような沖合海域において、フロンティア漁場整備事業の湧昇マウンド礁事業を念頭に置き、基礎的物理データを収集することを目的として現地観測調査を行ったものである。湧昇マウンド礁事業は、湧昇流を効率的に発生させるため駆動力として流れの速く、かつ栄養塩豊富な海域を選定する必要がある。本調査で水質と流況について把握し、どちらの環境情報についても有用な基礎データが得られた。特に季節的な栄養塩の鉛直分布や成層状況を把握したほか、中層で内部潮汐ではないかと考えられる現象が認められた。

今後湧昇マウンド礁の事業を推進するためには、流れの特性を生かした事業の考え方等の課題について、今後よりいっそうの検討が必要である。

参考文献

- 1) 前田明夫, 東シナ海の海水の運動に関する研究のレビュー, 水産海洋研究 第 53 巻第 3 号, pp.319-330, 1989.
- 2) 横内ら, 東北海域におけるクロロフィル a の鉛直分布の季節変化, 東北水研報, 58, pp. 11-26.
- 3) 横内ら, 九州西方~南西諸島周辺海域におけるクロロフィル分布に関する研究, 平成 8-10 年度環境省地球環境研究総合推進費研究成果報告書, pp.46-59, 2000.
- 4) 宇野木早苗, 沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会, pp.100-101, 1994.
- 5) 柳ら, 潮流楕円の鉛直構造, 第 30 回海岸工学講演論文集, pp. 495-499. 1983.