可搬型観測プラットフォームを用いた夏季仙台湾沿岸域における水塊構造計測の試み

Measurements of vertical distributions of velocities and water qualities in Sendai sound in summer using a mobile oceanographical observation platform

八木 宏¹・上原伸二²・中山哲巖³・小川浩史⁴・中村哲也⁵・足立久美子⁶

Hiroshi YAGI, Shinji UEHARA, Akiyoshi NAKAYAMA, Hiroshi OGAWA
Tetsuya NAKAMURA and Kumiko ADACHI

A mobile oceanographical observation platform, which can measure vertical distributions of water qualities of coastal water and velocities, has been developed in this study. This system was deployed 12 km off Abukuma river mouth in Sendai sound in summer of 2010. The observation results have shown the characteristic three layer structures; the surface layer with low salinity and high water temperature, the middle layer with the salinity maximum, high DO concentration and large mean diameter of SPM and the bottom layer with stable lower temperature and relative high Chlorophyll a. The comparisons of these vertical distributions with the results of water quality survey around Sendai sound and Jyoban coast have suggested that the three layer structure was generated by the intrusion of offshore saline water into the middle layer of Sendai sound.

1. はじめに

大陸棚海域は、排他的経済水域の貴重な再生産資源である水産資源を持続的に利用して行くために重要な海域であり、現在、国の施策として人工海底山脈、保護育成礁等の整備が進められつつあるが、陸棚海域の海洋環境については未解明な点が多く、生産性の高い海域環境創出のためのボトルネックとなっている。東京湾などの内湾域では流速及び水質等の鉛直分布まで自動計測する体制（モニタリングポスト）が整備されつつあるが、開放的な沿岸域や陸棚海域ではこのような高度な計測システムやモニタリング体制がない。今後、海域環境の実態を把握していくためには、水温・塩分等の詳細な鉛直分布構造や近年現場型センサーで計測が可能となりつつある栄養塩や懸濁物粒度組成など高度な情報を集積した形で計測していくことが重要と考えられる。

そこで、本研究では、多項目水質量の鉛直分布の自動計測が可能な可搬型観測プラットフォームを製作し、それを夏季仙台湾沿岸域に適用することで開放性沿岸域、陸棚海域の水塊空間構造の把握を試みた。仙台湾は、開放

的な湾域であるが生産性が高く魚介類の豊富な海域として知られ、また最近では貧酸素水塊の発生が指摘（岩井,2004）されているものの、海況や沿岸環境構造に関する知見が少なく（海洋学会沿岸海洋部会：1985, 白石ら, 2008）、流動を含めた沿岸環境モニタリングの重要性が指摘されている（上原・南, 2008）。

2. 可搬型観測プラットフォーム及び現地観測の概要

(1) 可搬型観測プラットフォーム

本研究では多項目水質量の鉛直分布計測が可能である可搬型の観測プラットフォームを製作した（図-1）。本装置は各種水質計を搭載した降昇部が海中を一定時間間隔で上下移動し、また海底着底部にADCPや水質計を装着することで、流速や水質量の鉛直分布、底層水質量の時間変動を計測することができる構造となっている。また本装置は、船舶等を用いて実海域に比較的容易に設置・回収ができるため観測タワーなど専用施設がない海域でも多

図-1 可搬型観測プラットフォーム（左：設置概念図，右：調査船による機器設置作業）

1 正会員	博(工)	(独法)水産総合研究センター水産工学研究所 水産土木工学部水産基盤グループ長
2	博(農)	(独法)水産総合研究センター日本海区水産研究所 資源管理部沿岸資源グループ長
3 正会員	工修	(独法)水産総合研究センター水産工学研究所 水産土木工学部長
4	博(農)	東京大学大気海洋研究所 准教授 海洋地球 システム系海洋化学部門生元素動態分野
5	水修	日油技研工業(株)
6	水修	(独法)水産総合研究センター経営企画部 評価企画課 評価コーディネーター

表-1 可搬型観測プラットフォームの基本性能

項目	内容
サイズ(着底部)	縦120cm × 横120cm × 高150cm
重量(着底部)	空中150kg 水中40kgf
降昇速度	上昇時: 15m/分, 下降時: 9m/分
総降昇距離	40,000m 1回100mの降昇距離の場合200回降昇可
降昇時間間隔	任意設定

図-2 観測点の位置 (左: 観測プラットフォーム設置点, 右: 若鷹丸広域水質観測点)

項目水質量の連続的な鉛直分布計測が可能である。本観測プラットフォームの基本性能を表-1に示す。

(2) 現地観測の概要

本観測プラットフォームを用いた現地計測を仙台湾阿武隈川河口沖12.5kmの地点(水深31m, 図-2参照)において実施した。観測プラットフォームの設置回収は、東北区水産研究所若鷹丸(平成22年度若鷹丸第7次航海ヒラメ卵・仔稚魚調査, 2010年7月29日～8月7日)によって行い, 7月31日に設置, 8月7日に回収し, その間の7日間の連続計測を行った。観測項目は, 降昇部による鉛直分布計測については塩分・水温・DO・濁度・クロロフィル蛍光光度・懸濁物粒径分布・照度, 着底部における底層連続計測では, 塩分・水温・DO・濁度・クロロフィル蛍光光度であり, ADCPによる流速鉛直分布, 波高・波向計測を合わせて行った。ここで, 懸濁物粒度分布は LISST-100X (Sequoia Scientific), 波高・波向を含めた流速鉛直分布計測には WH-ADCP センチネル 600KHz-WAVE (RD-Instruments) をそれぞれ用いている。なお, 降昇観測については, 船の航行等による安全性を考慮して海表面近傍を避け, 海底上1.2m～27m(水深30m～5m程度)を計測範囲として1時間に1回の頻度で観測を行ったが, 7日間の設置期間中のうち降昇部が安定して上下移動をした7月31日13:00～8月3日8:00までの3日間程度を解析対象とした。

また本観測期間中には若鷹丸によって, 図-2に示した仙台湾～常磐海域の計35地点の観測点(観測線C～J)

図-3 観測期間中の気象条件(風速南北成分: 上段, 気温・気圧: 中段, 降水量: 下段, 仙台地方気象台)

において広域水質観測を実施しており, 観測プラットフォームの観測結果と合わせて水塊の空間構造特性の把握に用いた。さらに, 観測プラットフォーム設置時, 撤収時, 観測点I1～I5の観測時には, 各層採水(各地点5層程度)によるクロロフィルa量, SS, 栄養塩等(NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4 , TP, TN), 懸濁物質の炭素, 窒素の安定同位体比等の計測も行った。

(3) 現地観測期間中の気象概況

図-3に, 仙台管区地方気象台の観測記録から観測期間前後を含む7月20日から8月20日までの風速(南北成分), 気温, 気圧, 降水量の時系列を示す。観測プラットフォームの設置期間は梅雨明け後の時期にあたり, 設置期間前から期間前半にかけては低気圧や気圧の谷の影響により天候がやや不安定であったが, 期間後半は本州付近が高気圧に覆われたため晴天となった。風系は, 7月29日に強い南風が吹き, その後も海陸風による日変動を伴いながらも南風が卓越していた。

3. 現地観測結果と考察

(1) 観測プラットフォーム

a) 底層水質量及び流速, 波高, 水深の計測結果

着底部に搭載した計測機器による観測結果を図-4に示す。まず, 水深及び波高の計測結果から観測期間は小潮期から日潮不等の大きい大潮期に向かう時期であり, 有義波高は1m程度と比較的静穏であったことがわかる。一方, 底層(海底上1～1.2m)の水温・塩分は, 前半の相対的に低温・低塩分の状態から8月4日前後で高温・高塩分化しており, さらに底層のクロロフィルa量についても日スケールの変動を伴いながら8月4日以降は低下傾向を示している。このような底層水の変化は, 相対

(d) 残差流南北成分時空間コンター (南向き流速のみグレースケール)

図-4 観測プラットフォームによる計測結果Ⅰ
(着底部搭載センサーによる計測)

的に高温・高塩分・低クロロフィルa量の水塊が観測海域に侵入したことを示唆している。図-4(d)には、ADCPの計測結果から残差流南北成分(25時間移動平均値)の時空間コンターを表示しているが、観測期間中盤から後半にかけて中層以深で南向きの流れの残差流が卓越しており、このような残差流と高温・高塩分水の侵入との関係がうかがわれる。なお、本研究では相対的に低塩分・低温であった前半期間(図-4矢印)について、次節以降で降昇観測及び若鷹丸による広域観測結果も合わせ水塊特性の詳細な検討を行った。

b) 降昇観測による鉛直分布計測結果

図-5に、降昇観測による水温、塩分、クロロフィルa量、DO、懸濁物質平均粒径の鉛直分布の時間変化を示す。ここで懸濁物質の平均粒径は、レーザー粒度計(LISST-100X)の計測結果から分画された各粒径サイズをそれぞれの体積濃度で重み付き平均し算出している。まず、水温・塩分については、表層が高温・低塩分となっており海底から20~25m(水深7~12m)付近に比較的に鋭い躍層が形成され、それが鉛直方向に振動している様子がわかる。振動の原因については、今後詳細

図-5 観測プラットフォーム計測結果Ⅱ (降昇観測による各種水質の鉛直分布計測, 7月31日13:00~8月3日8:00)

な検討が必要だが、周期が半日程度であることから、仙台湾陸棚縁辺に発生し沿岸に向かって伝播する半日周潮の内部潮汐の影響が示唆される。さらに中層(海底上8~18m程度)では高塩分のピークが生じその直下で塩分が低下する塩分逆転が生じており、底層(海底上0~8m程度)では低温で塩分が比較的一様な水塊が分布する構造となっている。

植物プランクトンの指標となるクロロフィルa量については、底層(海底上0~10m程度)で相対的に大きくなっており、ここでは結果は示さないが採水観測から得られた栄養塩鉛直分布の傾向(底層でDIN, PO_4 が増大)と整合したものとなっている。一方、DOについては全体的に飽和度90%以上であり貧酸素状態は見られないが、特徴として中層(海底上8~22m程度)でDOレベルが高い(過飽和状態)ことが挙げられ、中層上端でピークを示すような構造となっている。さらに懸濁物質の平均粒径についても中層、特に中層上部で平均粒径が大き

図-6 観測線Iにおける塩分、クロロフィルa量、DOの東西断面分布

く鉛直分布の傾向はDOと似ている。このようなDOと懸濁物質粒度組成の鉛直分布の傾向やその関係については今後検討が必要であるが何らかの中層水の特徴を示唆しているものと考えられる。

以上の計測結果から仙台湾阿武隈川河口沖の水塊鉛直構造をまとめると、①高温・低塩分の表層、②高塩分ピークとその直下の塩分低下及び相対的に高DOで懸濁物平均粒径が大きい中層、③低温で塩分が比較的一様であり、クロロフィルa量が大きい底層の3層構造となっており、それが内部潮汐により周期的に上下に振動しているものと推定される。

(2) 若鷹丸による広域水質観測

a) 断面分布

図-5に示した仙台湾阿武隈川河口沖の水塊鉛直構造と広域の水塊分布との関係を把握するために、若鷹丸による広域水質観測の結果との関係を調べた。図-6は、観測プラットフォーム設置点に近い広域水質観測の観測線I (図-2参照) に沿った塩分、クロロフィルa量、DOの東西断面分布である。これを見ると、塩分は沖側の陸棚縁辺部で高く、陸棚域では表層で低塩分、中層にはパッチ状に塩分の高い水塊が薄く分布している。クロロフィルa量は陸棚底層で相対的に高く、またDOは中層に濃度レベルの高い水塊が陸棚縁辺に近い海域から沿岸部まで広く分布している。このような塩分、クロロフィルa量、

図-7 広域水質観測 (若鷹丸) による10m深及び30m深の塩分 (左)・水温 (右) の平面分布

DOの断面構造は、先に示した観測プラットフォーム設置点での水塊鉛直構造とも整合している。

b) 平面分布

次に、平面的な水塊構造との関係を把握するために仙台湾～常磐海域における10m深及び30m深 (観測プラットフォーム設置点の底層水深に相当) の水温及び塩分の平面分布を図-7に示す。基本的な特徴として、沖側 (東側)、南側で黒潮系水の影響と思われる高塩分・高温の傾向が現れている。観測プラットフォームを設置した仙台湾周辺については、10m深には阿武隈川から流出したと思われる低塩分水が拡がっており (図-7矢印A)、また30m深では沖側より低温の水塊が仙台湾南部を中心に分布している (図-7矢印B)。これらは、観測プラットフォームで計測された水塊鉛直構造のうち表層の低塩分水塊と底層の低温水塊にそれぞれ相当するものと考えられる。

c) 水塊特性

次に、水塊特性を調べるために、プラットフォーム設置点近傍の観測点I2 (水深31m)、その沖側で陸棚縁辺部の観測点I5 (水深130m)、やはり陸棚縁辺部でI5よりも南側で相馬沖の観測点H5 (180m) について塩分水温特性を図-8に示した。図中には、参考としてHanawa & Mitsudera (1987) による三陸海域における水塊区分を点

図-8 観測点I2,I5,H5における水塊特性

線で記入している。但し、Hanawa & Mitsudera (1987)で津軽暖水系に区分される水塊については、本研究で対象としている仙台湾～常磐海域には津軽暖水系の直接的な影響は少なく、むしろ黒潮系と親潮系もしくは表層水との混合水が中心と考えられることから(白石ら,2008),ここではこれをまとめて沿岸水系として表示している。

まず、沖合南側に位置する相馬沖の観測点H5では、表層を除くと全体的に高塩分・高温の傾向があり黒潮系水の影響を強く受けていることがわかる。一方、観測プラットフォーム設置点近傍の観測点I2では、上層では表層水系、底層でも観測点H5と比較すると低塩分、同じ水深帯で比べると低温の傾向があり、これは図-7に示した仙台湾南部の30m深帯(観測プラットフォーム設置位置では底層)に分布する低温・低塩分の沿岸水に相当する。これに対し、観測プラットフォーム設置点沖の観測点I5では、黒潮系水と沿岸水が上下に分布するような傾向があり、両者が混在した特性となっている。さらに、図-9には、観測線Iよりも南側に位置する相馬沖観測線H、そのさらに南側の観測線Gに沿った塩分の東西断面分布を示す。これを見ると、沖側から高塩分水が層状に陸棚域に浸入し一部パッチ状に分布しており、これは観測線Iの中層に見られた塩分分布と似た傾向である。

これらの観測結果は、仙台湾～常磐沿岸に分布する沿岸水とその沖側の黒潮系水が接する本海域では水平方向に両水塊が層状の浸入を活発に生じさせていることを示唆しており、図-5の仙台湾阿武隈川河口沖の水塊鉛直構造に現れた中層の特徴(塩分ピークと塩分逆転)は、このような黒潮系水の浸入及びその後の沿岸水との混合によって形成されたものと推定され、それが3層の鉛直構造が形成された原因と考えられる。

図-9 観測線H,Gに沿った塩分の東西断面分布

4. まとめ

水質量の鉛直分布計測を可能とする可搬型の観測プラットフォームを製作し、それを夏季仙台湾沿岸域の水塊構造計測に適用した。その結果、多項目水質量の連続的鉛直分布計測に成功し、観測期間中の仙台湾沿岸域の水塊鉛直構造の基本的な特徴とその内部潮汐による変動を示した。また若鷹丸による広域水質観測結果から観測プラットフォームで計測された水塊の鉛直3層構造が、阿武隈川河口からの低塩分表層水と陸棚下層に分布する低温水の間に外海側から水塊が浸入・混合したことにより形成された可能性を示した。

謝辞：本研究は科研費基盤研究(B)「境界層計測プラットフォームを用いた陸棚海底環境の実態計測とモデル化」(代表者：八木宏)等により行われた。また観測を実施するにあたっては、独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所若鷹丸の本間盛一前船長をはじめスタッフの方にご協力頂いたことをここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 岩井拓郎(2004):近年の仙台湾における貧酸素水発生状況と発生要因の検討,宮城水産技報,第4号,pp.1-12.
- 上原伸二・南卓志(2008):仙台湾の環境と漁業—沿岸域の底魚資源を中心として—浮遊期仔魚調査から,水産環境研究,第72巻,第1号,pp.55-56.
- 海洋学会沿岸海洋部会(1985):第7章仙台湾 II 物理,全国沿岸海洋誌,pp.263-271.
- 白石一成・水島 宏・箕 茂穂(2008):仙台湾の環境と漁業—沿岸域の底魚資源を中心として—定線海洋観測調査から,水産環境研究,第72巻,第1号,pp.53-55.
- Hanawa, K. and Mitsudera, H.(1987): Variation of water system distribution in the Sanriku coastal area, Journal of Oceanography Society Japan, 42, pp.435-446.