

陸棚域の漁場整備における技術の現状と課題

A REVIEW ON DEVELOPING FISHING GROUNDS AT CONTINENTAL SHELF

中山 哲巖¹・新井 雅之¹・藤井 良昭²
Akiyoshi NAKAYAMA, Masayuki ARAI and Yoshiaki FUJII

¹正会員 独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)

²(財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-14-19)

Bio-productivity at the continental shelf is relatively high. Bio-productivity in this region should be maintained or improved for establishing sustainable fishery system. Authors reviewed methods for evaluating current structure and developing fishing grounds in this region. Three-dimensional current in the western of the Japan Sea was calculated by the hydrodynamic model. The performance of artificial reef for Upwelling nutrients from the bottom layer was estimated by the same numerical model. New measurement techniques were introduced, and importance of field survey, monitoring environment should be needed for maintaining and developing fishing grounds at the continental shelf.

Key Words : Continental shelf, fishing grounds, artificial reef, upwelling, hydrodynamic model, primary production

1. はじめに

世界の漁業の現状は現在非常に厳しい状況下にある。FAOによれば, 世界の17海域のうち14海域で, 少なくとも60%以上の資源が限界まで利用あるいは過剰漁獲されているとされている(図-1 参照)。近年の世界の漁業生産は1億4千万トンであり, 横ばい状態となっている。世界の人口増加に対応して魚介類に対する需要も急速に伸びてきた。このようなことから, 我が国においてもTAC制度をはじめとした資源管理や資源回復対策がなされ, 持続的な漁業生産システムの構築に向けての努力がなされている。これらの施策に加えて, 我が国排他経済水域における水産資源の保護育成を目的に平成19年度か

ら水産庁による直轄事業「フロンティア漁場整備」が開始された。これまで, 沿岸の漁場開発は, 浮魚礁を除いて, そのほとんどが水深150m程度まで領域, いわゆる沿岸域で行われており, 魚類の増集を目的にしたものが主であった(図-2 参照)。今後さらに

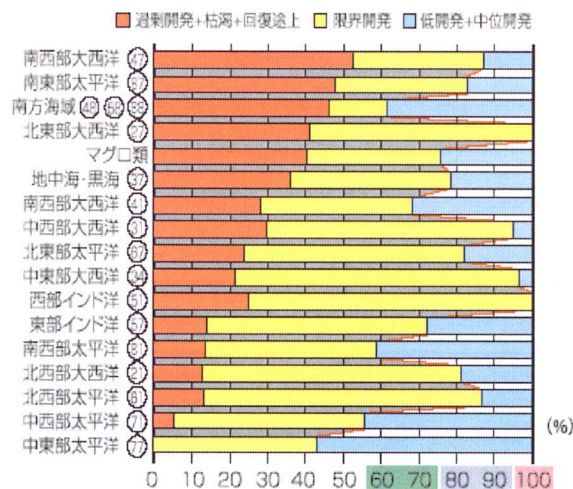


図-1 2004 年における FAO 統計海区ごとの資源利用状況別資源の割合

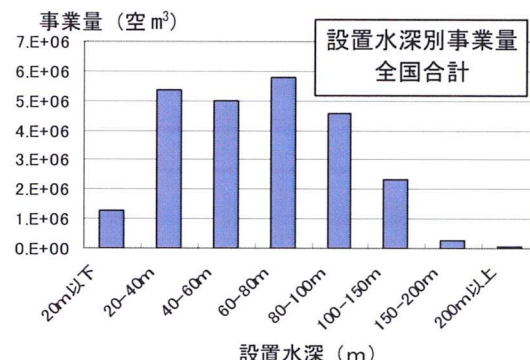


図-2 我が国における水深別魚礁設置量

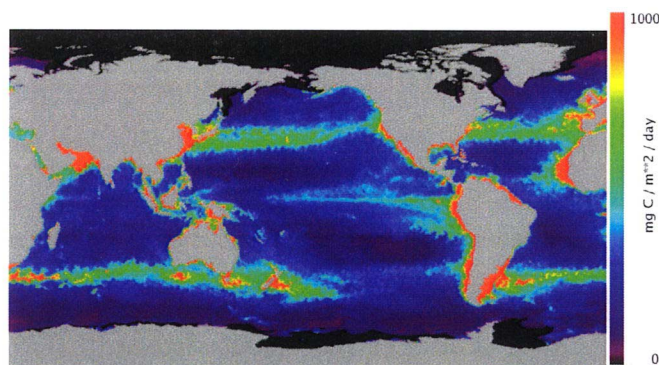


図-3 植物プランクトンによる生産量 2003 年 (MODIS, SeaWiFS データによる解析結果)

深い領域かつ広域での資源保護・増殖を目的とした漁場開発がなされようとしている。

陸棚域は、地球規模から見ても、生物生産性が高いことが知られており（図-3 参照）、この領域での生物生産力を利用して漁業生産の維持・増進を図ること極めて重要である。しかしながら、大水深域での流動や生態系に関する調査や知見は十分ではないと考えられ、大水深域での効果的な漁場整備を行うための種々の技術開発・調査研究が必要であると考ええる。ここでは、直轄事業の対象海域になっている日本海西部海域を対象にし、流動とズワイガニ等底棲生物分布の比較検討等を例に今後必要な技術と課題について述べる。

2. 日本海西部における流動構造とズワイガニ

分布等を例として

著者らは、開放性沿岸域における流動と低次生産に関する研究を行っている。開放性沿岸域（鹿島灘、新潟海域）においては、外洋影響を無視出来ない。そこで、外洋情報として、JCOPE データ（流れ、水温、塩分情報）と海洋データセンター（JODC）のデータベースによる栄養塩情報を利用しつつ、風を駆動力とした高分解能の流動・一時生産モデルにより、検討を行っている。このモデルを利用し、空間分解能 2km の流動計算を行い、日本海西部海域でのズワイガニ分布領域における流動構造について検討した。

図-4 に JCOPE データの流れ（表層）とズワイガニ漁場の分布を示す。ズワイガニ漁場では、沿岸東方向に比較的強い流れがあることがわかる。図-5 に地形図を示したが、図-4 と比較すると陸棚縁辺部に強い流れが生じていることがわかる。図-6 に JCOPE データを利用した空間分解能 2km の計算

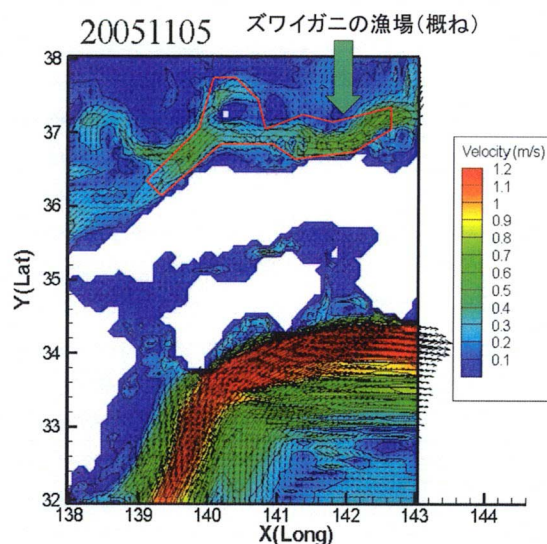


図-4 ズワイガニ漁場と流れ（JCOPE データ）との関係

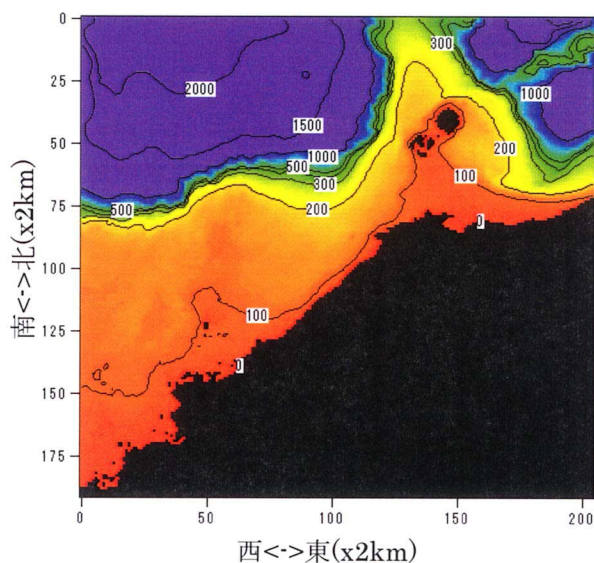


図-5 ズワイガニ漁場周辺の地形

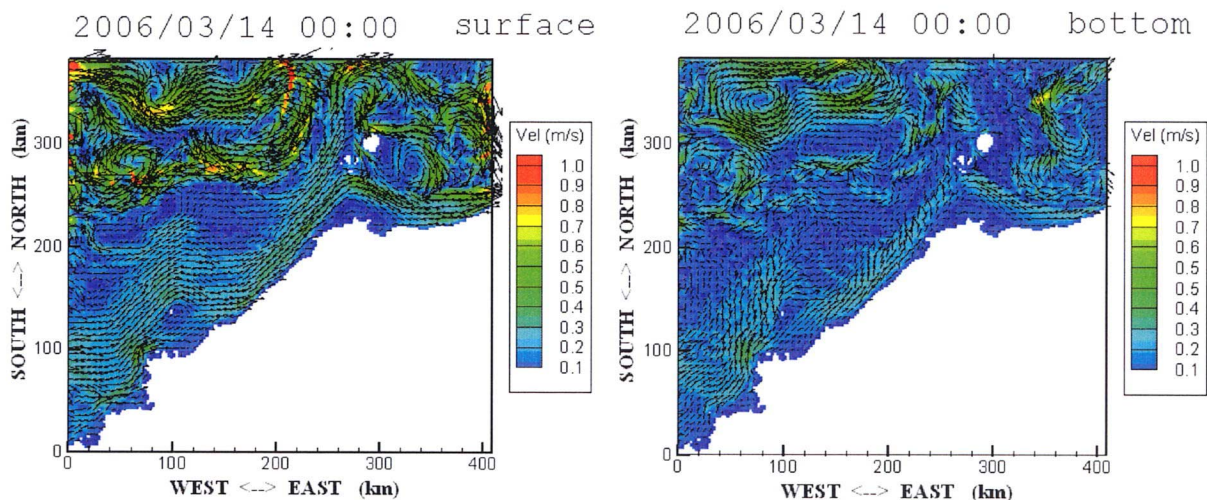


図-6 JCOPE データを利用して空間分解能 2km の流動計算結果例（左；表層，右；底層）

結果の例を示す。(a), (b)それぞれ, 表層, 底層の流れを示す。やはり陸棚縁辺部に強い流れが存在していることが示されている。また, 陸棚縁辺部に沿って, 強い渦構造が現れている。これらの渦はこの計算例のみではなく, 定常的に見られた。この強い流れと密度構造により生じる陸棚縁辺部での混合・湧昇現象等のため, 動・植物プランクトンの生産量あるいは集積が多いと考えられるが, 当海域を含めて陸棚における底層環境の観測がほとんど無いため, 詳細な検討は今後の調査・研究を待たねばならない。なお, 本モデルは低次生産を計算出来るようになっているが, 本ケースでは計算していない。(財) 漁港漁場漁村技術研究所が調査した結果, ズワイガニ分布領域における底層はデトリタスの沈降等有機物が多く, 生産性が高いことが推察され, 前述したものと合致している。陸棚域において, 流動や一次生産過程と密接に関連する底層生態系・環境の解明等が今後必要と考えられる。さらに対象生物の生活史(浮遊期から着底・成長・産卵過程)に対応した漁場整備手法の開発が重要である。

3. 湧昇マウンド

沿岸域域の生産性を高めるために, 人工的に海底山脈のようなものを造成し, 底層にある栄養塩を植物プランクトンが増殖可能な水深帯(有光層)に輸送することは, 以前から考えられていた。1990年代から実際に整備され, 観測等が行われていた。2000年代に長崎県沖合や鹿児島県沖合に幾つか整備され, 現在も観測が行われている。このような構造物は湧昇マウンドと呼ばれている。既設の湧昇マウンドは陸に近く, 水深も100m以浅である。既設湧昇マウ

ンドには, 大型の魚類が蟄集し, 魚礁としての機能は高い。湧昇の効果はどうであろうか。観測結果からは湧昇(有光層での水温低下, 塩分上昇など)を示す結果を示す場合もあれば, はっきりしない場合もあるようである。これは観測手法にも問題があると考えられるが, 周辺の海洋構造の影響が大きいことによるものと考えられる。マウンドによる湧昇や混合という現象を検討するためには数値計算による検討が有効である。マウンド周辺の流れの数値的検

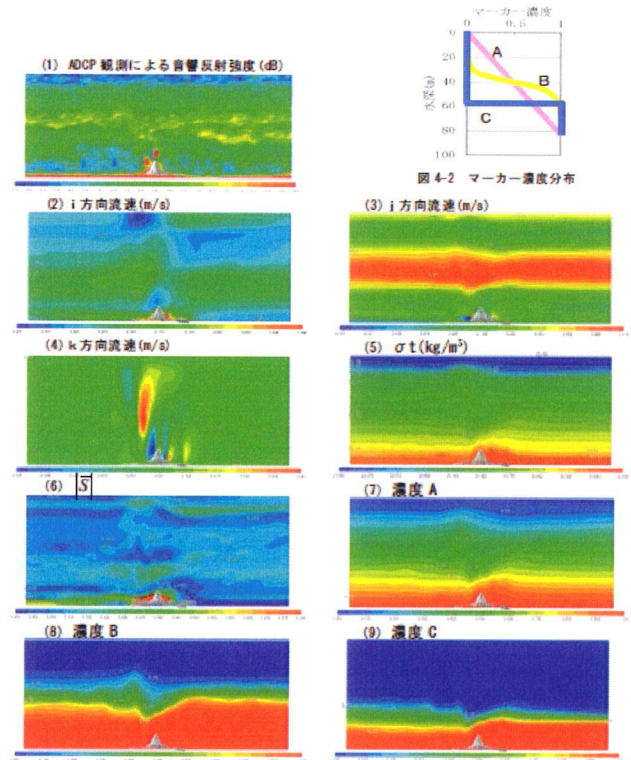


図 4-2 マーカー濃度分布

図-7 湧昇マウンド周辺の流速分布
(1)は観測結果, (2)以降は計算結果,
(7)~(9)マーカー濃度分布 (RITE 報告書)

生態系モデルによる検討

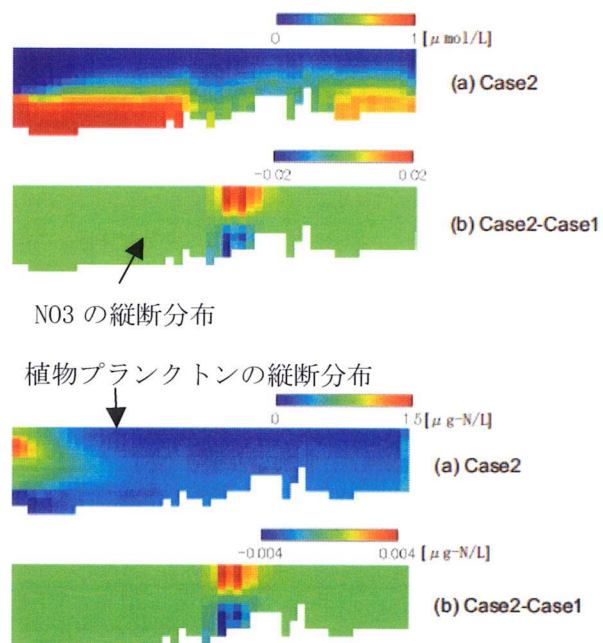
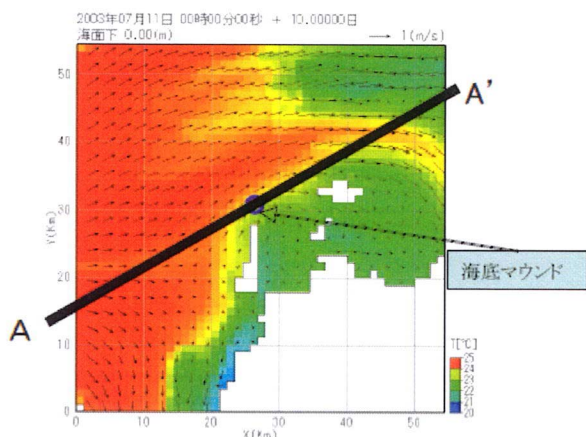


図-9 湧昇マウンド周辺での生態系モデルによる検討(RITE)

討は幾つか行われている。最近の検討では（財）地球環境産業技術研究機構による「人工湧昇流海域における CO₂ 吸収量の評価技術の開発」（通称 RITE）が代表的である。このほか最近では（財）漁港漁場漁村技術研究所、（社）水産土木建設技術センターが検討を行っている。図-7、図-8 は RITE 報告書から引用したものである。同図から、湧昇マウンド周辺で流れが変化していることがわかるが、強い渦がマウンド周辺で発生しているようではなく、むしろ流下方向側で混合が大きくなっているといったほうが適当だと考えられる。また、同報告書では生態系モデルを用いた検討も行われている。湧昇マウンドの空間スケールが小さいので、マウンド位置での拡散係数を大きくすることにより検討している。この図によれば、湧昇マウンドがある場合には、無い場合よりマウンド上層の栄養塩、植物プランクトンが増加する結果となっている。栄養塩増加は別として、植物プランクトンは増殖に数日要することから、植物プランクトンの増加は湧昇マウンド周辺（計算上は拡散係数の増加）の流れによる集積によるものと考えられる。

著者らも、湧昇マウンド周辺の流れ等に関して数値計算による検討を行った。使用したモデルは先に述べた流動一次生産モデルであり、ネスティング手法（領域区分を4とした）を用いてマウンド周辺の20km四方について検討した。考慮したのは潮汐、恒流、吹送流である。なお、コリオリ力を考慮している。表-1 に計算条件を示す。恒流、潮汐、水温、塩分、栄養塩分布等は長崎県沖合で整備されているマウンドでの観測結果を参考にした。図-9～図-11 に計算例を示す。なお、この計算例は恒流、潮汐を考慮し、風は考慮していないケースである。低次生産への影響も同モデルにより検討した。

図-9 に流速の縦断分布を示す（上げ潮最強時）。この図からマウンド斜面部で上昇流、マウンド頂部で下降流が生じていることがわかる。図-10 に有光層下部での栄養塩、植物プランクトン濃度の平面分布を示す。両者ともにマウンド周辺で増加しているのがわかる。特に栄養塩は流下方向の領域で栄養塩が増加している。これはマウンド下流での混合現象によって増加したことによる。植物プランクトンは下流側での増加は顕著ではなく、マウンドによる流れの変化により、植物プランクトンが集積し、増加したものである。植物プランクトンの増殖は栄養塩の増加に遅れて反応するので、栄養塩の増加があってもすぐには増加しないことから、両者の相違が現れたと考えられる。ちなみに（社）水産土木建設技術センターの観測で恒流軸方向にクロロフィルの分布を計測したところマウンド周辺でクロロフィルが有意に高いことという結果が出ており、先の記述を裏

表-1 湧昇マウンド計算諸元

項目	内容
水深	100m
格子間隔	540m, 180m, 60m, 20m
層分割	21層（層厚は概ね4m～5m）
境界条件	開境界で潮汐と海流（恒流）を与えた 潮汐（M2分潮、振幅=0.75m） 恒流（0.3m/s） 水温・塩分及び物質濃度は平成18年の 対馬東地区における夏季調査結果*から設定 風：a) 風無し b) 南からの風10m 全天日射量、気温、相対湿度、気圧、雲量は 長崎県厳原候所の観測結果から設定 コリオリ係数 $f=8 \times 10^{-5}$ 計算時間 30日間

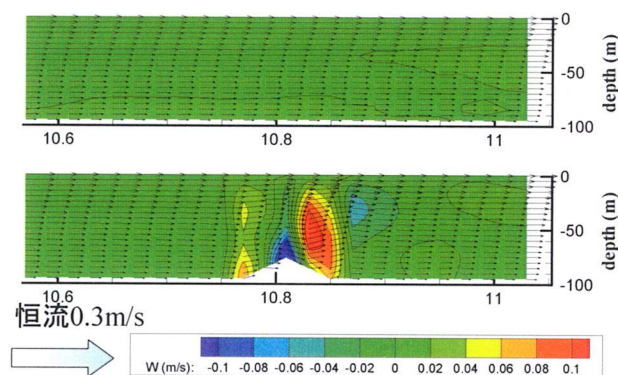


図-9 湧昇マウンド周辺の流速分布
（縦断分布、赤い領域上昇、青い領域下降）

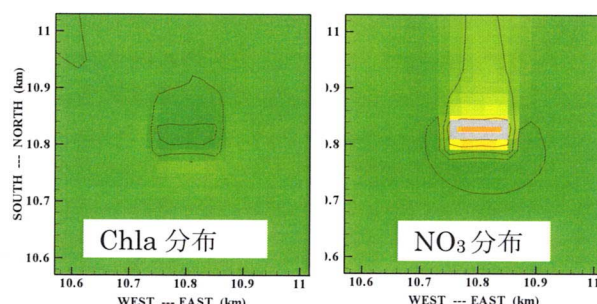


図-10 有光層下部（水深 60m）での Chla, NO₃ 平面分布
（小領域）

付けるものと考えられる。

図-11 に植物プランクトン及び有機懸濁態の底層への沈降量分布を示す。なお、この図は、マウンドがある場合と無い場合の沈降量の差を示している。図の中心にマウンドが設置されている。差は非常に小さいが、両者ともにマウンド周辺で沈降量が増加している。植物プランクトンではマウンド下流領域（図では上半分の領域）で明確な増加が見られる。これは、マウンドによる流れの変化も含まれるが、有光層での栄養塩増加に伴う植物プランクトンの増加も含まれていると考えられる。本計算結果から同じ有機物の沈降でもその形態によって異なることが示唆された。

今年度は長崎沖合での湧昇マウンドを対象として、実際の地形を用い、広領域を対象にした検討を行う予定である。

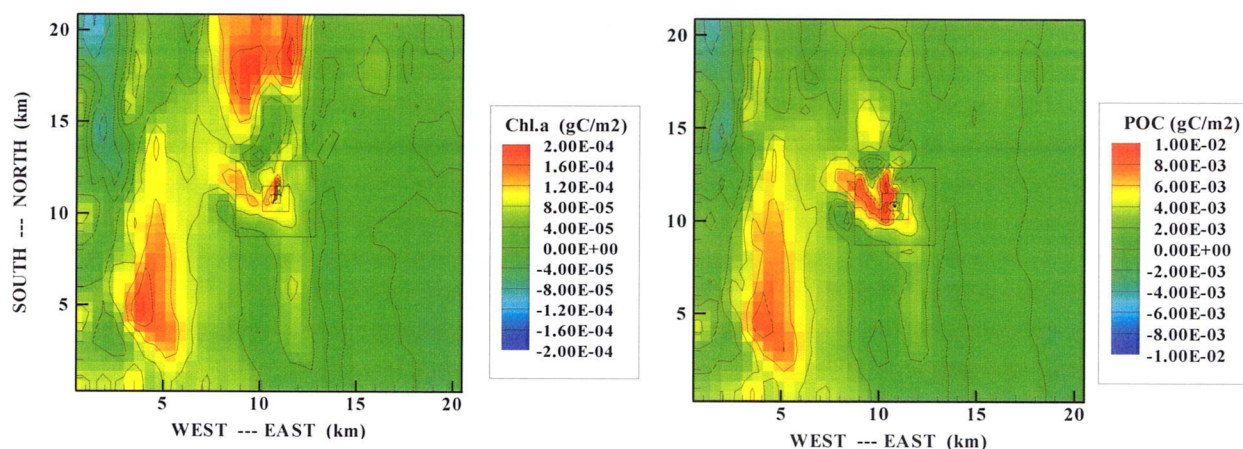


図-11 底層に沈降する植物プランクトン (左), 有機懸濁物 (右): 全領域

このような数値的検討手法は、陸棚域での湧昇マウンドの適地選定やその規模、配置、構造の検討及び効果評価のための現地調査計画策定に有効であると考えられる。

4. 必要な技術及び課題 (特に観測技術)

陸棚域での生産性を高めることを目的として漁場整備を行うためには、以下の問題を明らかにしなければならない。

- (1) 陸棚域の流動構造
- (2) 栄養塩等水質及び底質
- (3) 生態系 (表・中・底層での低次・高次生態系)

これらの問題を定量的に明らかにし、適切な漁場整備を行う必要がある。このためには、数値モデルによる検討はもとより、地形、流動、水質、生物群集の基礎的データが必要であるが、残念ながらこれらのデータは陸棚域では非常に少ないと言わざるを得ない。特に底層での物理環境や生態系に関する情報はほとんど無いと言って良い。したがって、これらのデータの集積を効率よく行いながら、漁場整備を行われなければならないのが現状である。

このために、諸データ取得の技術を開発し、システム化することが必要になっていると考えられる。水深数千メートルの海洋及び海洋底観測技術は現在でも盛んに行われているが、数百メートルから数十

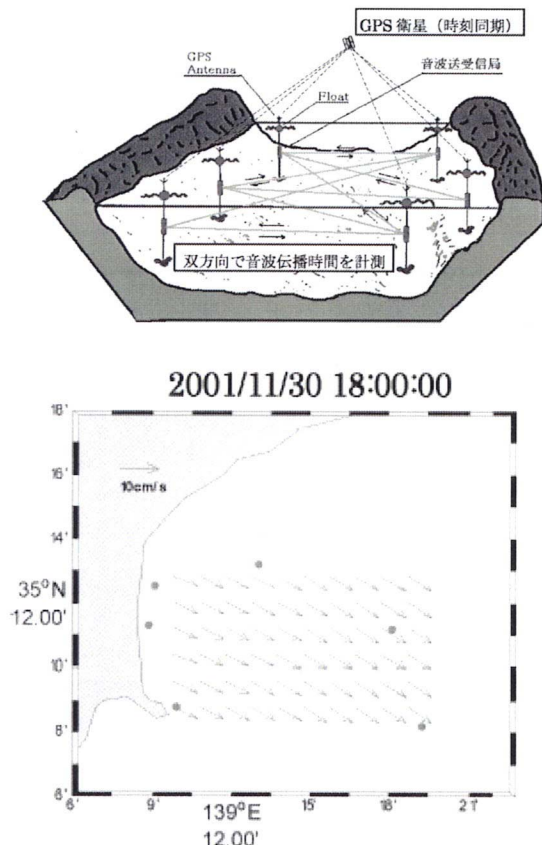


図-12 音響トモグラフィーの概念図及び観測結果例



機体	全長	10 m
	幅	1.3 m
	高さ	1.5 m
	質量	10 tons
航続距離	300 km (燃料電池)	
最大深度	3,500 m	
巡航速度	3 kn. (Maximum 4 kn)	
測位システム	慣性航法装置 ドップラ速度計 SSBL測位システム	
運用形態	自律制御モード 遠隔制御モード (音響, 光)	
観測機器	サイドスキャンソナー マルチビーム音響測深機 デジタルカメラ 前方監視ソナー 電気伝導度、温度、溶存酸素量	

図-13 深海巡航探査機及びその仕様

電気通信大学紀要 19 巻 1・2 合併号 pp. 7-17 (2006)

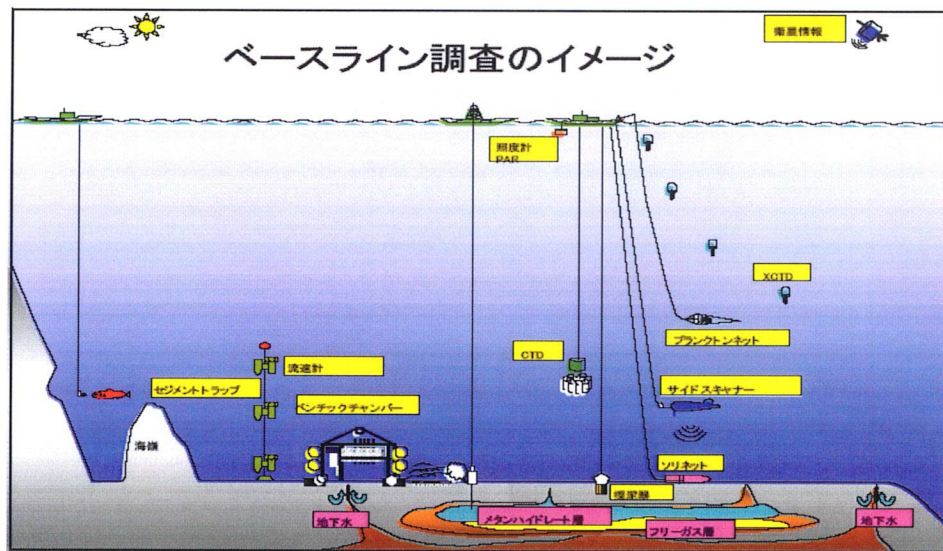


図-14 メタンハイドレートのための調査・観測システム
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (H15 報告会資料)

メートルの観測技術開発はあまり行われていないというか、これまでの観測機器をどうにか利用しているのが現状である。陸棚域は生物生産性が高く、重要な領域であるのにもかかわらず、情報空白地帯とも言える。現実には漁船等を用船し、バンドン採水器等による採水分析、スミスマッキンタイヤによる採泥、STD による水質観測、ADCP による流動観測が行われている。観測に多大な時間と手間をかけている。さらにこれらの観測は非定期的であり、回数も少なく、詳細な検討を行うには十分な情報とは言えない。流速分布、水質（塩分、水温等）分布の常時モニタリング技術の開発、運用が急務と考える。

大水深域かつ広域の漁場整備に必要な技術として、HF レーダー、GPS プイ、音響トモグラフィ、ROV、リモートセンシング（衛星、航空機、音響）などの観測技術、これらと連動した JCOPE・JADE・FRA、JCOPE などをはじめとした数値計算技術による海洋及び資源予測・漁場整備効果評価手法開発（高分解能、高精度、高次生態系を含む生態系モデル）、種々のモニタリングのネットワーク化などが望まれる。今なお技術開発途上であるが、特に著者らが望んでいる観測技術の一例を図-12、図-13 に掲載した。また、観測技術のシステム化に関してはメタンハイドレートに関する調査のイメージ図が参考になると考えられる（図-14 参照）。

5. 終わりに

陸棚域での検討事例や必要とされる観測技術について紹介してきた。陸棚域の重要性は皆様十分御承知のことと思う。まさにこの領域での漁場整備が始まろうとしている。持続的漁業生産システム構築の

ために重要なことと考えるが、特に陸棚域での生態系に関しては学問分野としても非常に興味のある領域である。このようなことから、この分野での産官学一体となった研究開発がいつそう重要性を持つてくると考える。

著者らも微力ながら、その一端を担いたいと考えており、努力していく所存であります。

なお、日本海西部海域の計算に際しては JCOPE データ、日本海洋データセンターのデータベースを利用したことを付記します。

参考文献

- 1) 新井雅之, 中山哲蔵, 足立久美子, 斎藤肇, 奥西武: 黒潮・親潮続流の影響が強い開放性沿岸域での一時生産に及ぼす河川水の影響: 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 1176-1180, 2007.
- 2) 青木太郎: 深海巡航探査機の研究開発, 電気通信大学紀要 19 巻 1・2 合併号, pp. 7-17, 2006.
- 3) 新井雅之, 中山哲蔵, 足立久美子, 斎藤肇, 奥西武: 鹿島灘・九十九里沿岸での一次生産に及ぼす利根川・那珂川の影響について, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 1101-1105, 2006.
- 4) 栗原明夫, 佐々木洋之, 中川良文, 青野利夫, 岡安章夫: 人工海底山脈による湧昇栄養塩量の非定常数値解析, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 1306-1310, 2006.
- 5) (財) 地球環境産業技術研究機構: 「人工湧昇流海域における CO2 吸収量の評価技術の開発」報告書, 集, pp. 117, 2005.
- 6) 大関 真一: メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成 15 年度成果報告会「環境への課題報告書」発表資料, 2003.
- 7) 高野忠, 石川暢博, 金子新, 石戸谷博範, 中田尚宏, 江田憲彰, 山口圭介, 市橋理: 沿岸音響トモグラフィを利用した急潮観測・予報システムの研究, (財) 日本測量協会, APA No. 82-18, 2002.