

平成 28 年度苫小牧沖における秋季調査結果（詳細版）

1. 背景と目的

海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（昭和 45 年法律第 136 号）では、油、有害液体物質等又は廃棄物の海底下廃棄を原則禁止した上で、例外的に、特定二酸化炭素ガス¹については、許可基準を満たす場合にのみ、環境大臣の許可を受けた上で、海底下廃棄の実施が可能となっている。

平成 28 年 2 月 22 日に、経済産業省より苫小牧沖における特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄に係る許可の申請書が提出され、当該申請について許可基準を満たしていることが確認されたため、3 月 31 日に環境大臣の許可処分を行った。このため、平成 28 年 4 月から苫小牧沖において、経済産業省による海底下 CCS 実証試験事業が開始され、海底下への CO₂ の圧入が実施されている。

平成 28 年度から平成 30 年度において、国内第 1 号の海底下 CCS 事業である苫小牧沖海底下 CCS 実証試験事業について、規制当局である環境省として独自に、最新の科学的知見に基づくモニタリング技術を活用し、結果を検証していくことにより、海底下 CCS 事業における適正なモニタリング技術及びその適用方法の確立を図ることを目的として、苫小牧沖において海洋調査を実施した。

なお、環境省は、平成 23 年度から平成 27 年度までの 5 年間、「海底下 CCS 実施のための海洋調査事業（平成 23～25 年度）」及び「海底下 CCS 審査のための海洋環境把握等調査事業（平成 26～27 年度）」において、経済産業省から海底下 CCS 事業に係る許可申請がされた際の審査に活用することを目的として、苫小牧沖において平成 28 年度秋季調査と同様の海洋調査を実施しており、その結果との比較も行った。

2. 調査内容

2. 1 調査海域

調査海域は北海道苫小牧海域における約 10km×8km の範囲とし、海水の化学的性状、底質及び海洋生態系の変化を把握できるように調査地点を配置した（図 1）。

① 海水の化学的性状調査

約 10km×8km の範囲の①～⑨の 9 地点において採水分析調査を実施した。

¹二酸化炭素濃度が大部分を占めるガスで、政令で定める基準に適合するもの（法第 18 条の 7 第 2 号）。

② 底質調査

海水の化学的性状調査を実施した 9 地点に加え、圧入井周辺の A、B、C の 3 地点において調査を実施した。

③ 海洋生態系把握調査

水中カメラによるメガベントス²生息分布調査地点は、約 10km×8km の範囲の 33 地点において調査を実施した。

ドレッジによるメガベントス採取調査地点は、海水の化学的性状調査を実施した 9 地点において調査を実施した。

ウバガイ（ホッキ貝）生態密度等調査地点は、沿岸部漁場の特別採捕許可範囲内の 2 地点において調査を実施した。

マクロベントス³及びメイオベントス⁴調査地点は、底質調査地点と同じ 12 地点において調査を実施した。

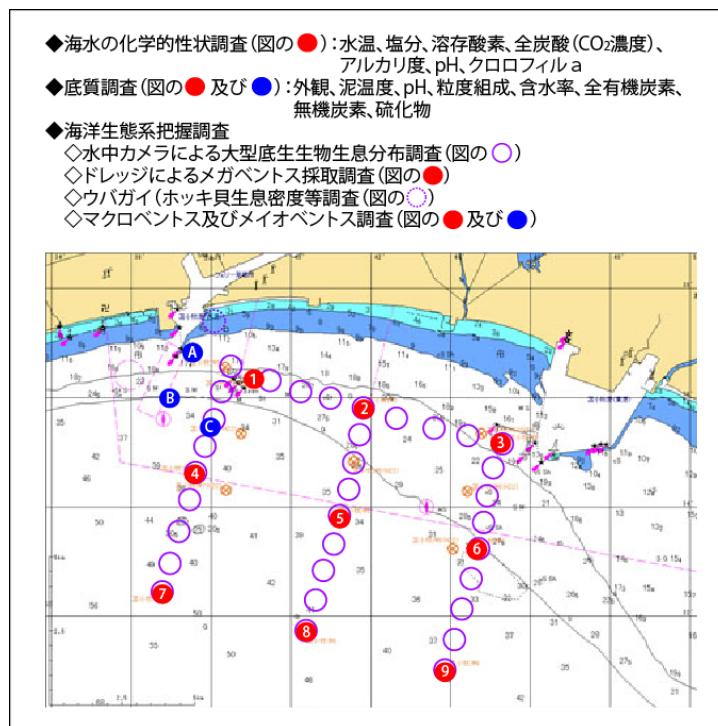


図 1 調査海域及び調査地点

² 肉眼で確認できるサイズで、ドレッジやトロール等の底引き網で採取できるような大型の底生生物

³ 目合い 1mm のふるいに残るサイズの底生生物

⁴ 目合い 1mm のふるいを通し、目合い 32 μm のふるいに残るサイズの底生生物

2. 2 調査時期

① 海水の化学的性状調査

海水の化学的性状調査は平成 28 年 11 月 20 日、21 日に実施した。

② 底質調査

底質調査は平成 28 年 11 月 22 日～24 日に実施した。

③ 海洋生態系把握調査

水中カメラによるメガベントス分布調査は、平成 28 年 11 月 17 日～26 日に実施した。

ドレッジによるメガベントス調査は、平成 28 年 11 月 14 日に実施した。

ウバガイ（ホッキ貝）生息密度等調査は、平成 28 年 11 月 25 日に実施した。

マクロベントス及びメイオベントス調査は、平成 28 年 11 月 22 日～24 日に実施した。

2. 3 調査項目及び調査方法

2. 3. 1 海水の化学的性状調査

海水中における二酸化炭素（ CO_2 ）の溶解・平衡反応を図 2 に示す。

海水に溶けた CO_2 の一部は溶存気体として存在し、その存在度は CO_2 分圧（ $p\text{CO}_2$ ）として算出あるいは計測される。 $p\text{CO}_2$ は海水に溶けた CO_2 が生物等に実質的に作用する CO_2 量の指標とされる。

水和して生じる炭酸（ H_2CO_3 ）は、海水中の過剰な塩基成分（アルカリ度といい、強酸イオンの Cl^- 、 SO_4^{2-} 等に対して過剰に存在する Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等のアルカリ金属及びアルカリ土類金属イオンの総和）に中和されて炭酸水素イオン（ HCO_3^- ）と炭酸イオン（ CO_3^{2-} ）に解離し、これらのイオンが海水に溶けた CO_2 の大部分を占める。またこれらのイオンは水素イオン（ H^+ ）と平衡状態にある。

海水に溶ける CO_2 が増えると $p\text{CO}_2$ が高くなるとともに、全炭酸（ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ の合計、Dissolved Inorganic Carbon。以下「DIC」という。）が増えることから、平衡状態を保つため（1）式及び（2）式は右向きに、（3）式は左向きに反応が進み、結果として海水中の H^+ が増加することで pH^5 は低下する。

⁵ 水溶液中の水素イオン（ H^+ ）濃度を表す指数。 H^+ が増えると pH は下がる（酸性化する）。

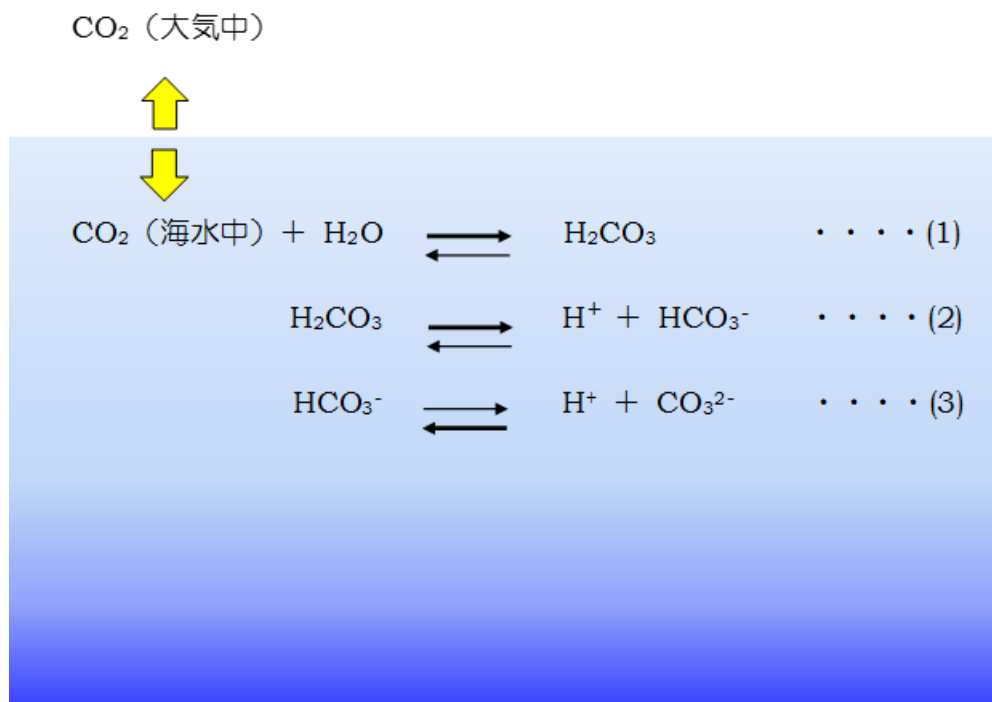


図2 海水中における二酸化炭素の溶解反応

海水の化学的性状調査では、これらの変化を検知するために、DIC、アルカリ度、pH を分析し $p\text{CO}_2$ を算出した。

海水中の CO_2 濃度は、 CO_2 漏出のような外的な要因だけでなく、例えば、海水の混合度合いや生物の呼吸・光合成などにより著しく変化する。これらの影響を把握するため、塩分、生物活動や有機物分解に関する溶存酸素 (Dissolved Oxygen。以下「DO」という) 及びクロロフィル a 濃度についても分析した。

DIC、アルカリ度、pH、塩分及び DO についてはニスキン採水器を、クロロフィル a 濃度についてはバンドーン採水器を用いて、表層 (水深 0.5m)、上層 (水深 5m)、下層 (底上 5m) 及び底層 (底上 2m) の 4 層において採水した。

DIC 及びアルカリ度の分析は「A Handbook of Methods for the Analysis of Carbon Dioxide Parameters in Sea Water」⁶ に準じて行い、その際、海水標準物質を使って分析の系統的誤差を補正した。 $p\text{CO}_2$ については、DIC、アルカリ度及び塩分の分析値を用い、Lewis & Wallace (1998)⁷ の方法に従い算出した。その他の項目の分析については海洋観測指針 (1999)⁸ に従った。

⁶ A. G. Dickson & C. Goyet, eds. ORNL/CDIAC-74 (1994)

⁷ E. Lewis and D. Wallace. ORNL/CDIAC-105 (1998)

⁸ 気象庁海洋部編 気象業務支援センター刊 (1999)

平成 26～27 年度に実施した「海底下 CCS 審査のための海洋環境把握等調査事業」において、海水中における CO₂ と O₂ の量的関係については、呼吸による O₂ 消費及び CO₂ 生成、光合成による O₂ 発生及び CO₂ 消費等が支配的である場合、pCO₂ と DO 飽和度は負の相関関係を示すことがわかった。

前述したように、海水中の CO₂ は漏出が起こらない場合においても、海域での光合成や呼吸（有機物の分解を含む）など生物的な要因によっても大きく変化する。光合成と呼吸は海水中の酸素の放出と消費を伴うことから、これら生物的な要因による変化分を pCO₂ と DO の関係から見積もることが可能であると考えられた。

平成 23 年度から平成 27 年度までの調査⁹（以下「過年度調査」という。）で得られたデータの解析により、調査海域の底層における pCO₂ と DO 飽和度には累乗近似の曲線関係があることが確認された。

ここでは、当該曲線の 95% 予測区間の上限を超過するデータが確認された場合、CO₂ 圧入開始前の過去の傾向から統計的に外れたとみなされることから、漏出を懸念することとした。ただし、統計学的には、漏出が発生していない場合においても、2.5% の確率で上限を超過するデータが確認される可能性がある。

また、調査海域の水塊構造を把握することを目的として多項目センサを用いた水温、塩分等の鉛直観測を行った。

2. 3. 2 底質調査

底泥の状況を把握するための基本項目として、泥色、泥臭、泥温、粒度組成及び含水率を分析した。

万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、底泥の間隙水に CO₂ が溶けて pH が下がることが予想されることから、採取した底質試料の pH を船上で測定した。また、炭酸カルシウムの指標として無機炭素を、有機物に係る項目として有機炭素、全窒素及び硫化物を併せて分析した。分析については底質調査方法¹⁰に従った。

スミス・マッキンタイヤ型採泥器を用い、調査地点①、A、B 及び C については 4 回、それ以外の調査地点については 1 回、底質を採取した。

2. 3. 3 海洋生態系把握調査

海洋生態系の状況を把握するため、底生生物（マクロベントス、メイオベントス、メガベントス）の分布状況を調査した。

⁹ 平成 23～25 年度に実施した海底下 CCS 実施のための海洋調査事業及び平成 26～27 年度に実施した海底下 CCS 審査のための海洋環境把握等調査事業において実施した調査結果

¹⁰ 環境省水・大気環境局（平成 13 年 3 月）

(1) 水中カメラによるメガベントス生息分布調査

万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、分布状況が変化する可能性があるメガベントスの生息分布状況を観察した(図3)。遠隔操作無人探査機 (Remotely Operated Vehicle。以下「ROV」という。) に搭載した水中カメラにより、1測点あたり 0.8m (水中カメラの画像の横幅) × 200m (ROV の調査距離) の範囲の海底を撮影した。

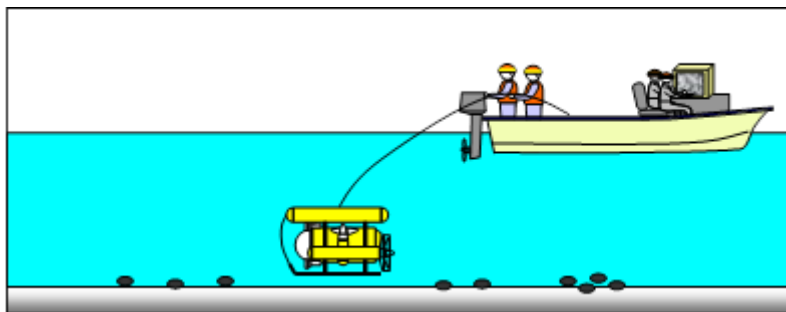


図3 水中カメラによるメガベントス生息分布調査 (模式図)

また、万が一、CO₂ が漏出した場合、海底面から気泡が発生すると考えられるため、海底面の状況についても併せて観察した。

(2) ドレヅジによるメガベントス採取調査

水中カメラによる目視観察では、生物種を正確には把握できないことから、ドレヅジによるメガベントス採取調査を行った。

開口 0.5m、内袋目合い 5mm の簡易ドレヅジを用いてメガベントスを採取し、生物同定、出現数及び湿重量を計測した (図4)。

簡易ドレヅジの曳網距離及び面積については図表集 表-1 に示す。

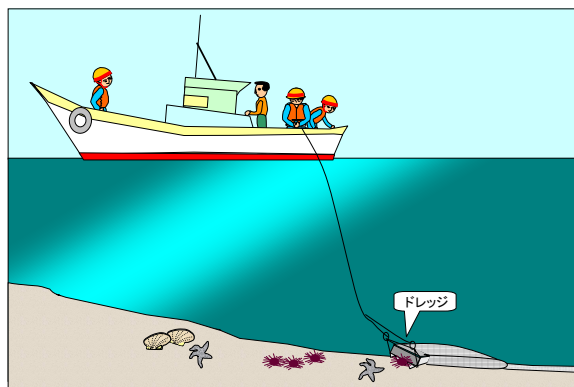


図4 簡易ドレヅジによるメガベントス採取調査 (模式図)

(3) ウバガイ（ホッキ貝）生息密度等調査

メガベントスの中でもウバガイ（ホッキ貝）は苫小牧地域における水産重要種であることから、桁網を用いてウバガイの生息密度等を調査した。

また、万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、底質の pH 低下の影響が比較的大きいと考えられる炭酸カルシウムの殻を持つ生物でもあるため、採取したウバガイの個体重量に対する貝殻重量の割合、貝殻の厚さ等を計測した。

(4) マクロベントス及びメイオベントス調査

万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、底質の pH 低下の影響が比較的大きいと考えられるマクロベントス及びメイオベントスについて調査を行った。

スミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて底質を採取し、マクロベントスは 2 回分の試料を合わせた全量を、また、メイオベントスは底質表面から深さ 3cm までを採取試料として、それぞれ生物同定し、出現数を計測した。

3. 調査結果

調査結果は、以下のとおりである。

3. 1 海水の化学的性状調査結果

3. 1. 1 採水分析調査結果

水温は 10.13～11.24 °C（図表集 図-2 及び表-3）、塩分は 32.96～33.98（図表集 図-4 及び表-3）、アルカリ度は 2,215～2,263 μmol/kg（図表集 図-8 及び表-3）、DIC は 2,042～2,094 μmol/kg（図表集 図-10 及び表-3）、pH は 7.98～8.02（図表集 図-12 及び表-3）、pCO₂（計算値）は 346～440 μatm（図表集 図-14 及び表-3）、DO は 254～275 μmol/kg（図表集 表-3）、DO 飽和度（計算値）は 93.5～98.7 %（図表集 図-16）、クロロフィル a 濃度は 0.3～0.8 μg/L（図表集 図-18 及び表-3）の範囲であった。

平成 28 年度秋季における水塊構造の特徴は、水温、塩分とも表層から底層にかけて一様な分布を示しており、鉛直混合が盛んであったことが示唆された（図表集 図-2 及び図 4）。海水の化学的性状では、DIC、DO 飽和度及び pCO₂ とも表層から底層にかけてほぼ一様な分布で、過年度調査と比較して大きな変化は見られなかった（図表集 図-10、図-14 及び図-16）。

平成 23 年度から平成 27 年度までの海水の化学的性状調査及び平成 28 年度秋季の調査結果は図 5 のとおりであり、平成 28 年度秋季の調査結果は、これまでの調査結果と同様の傾向を示し、95%予測区間の上限を超過するデータはなく、CO₂ 漏出が懸念されるデータはなかった。

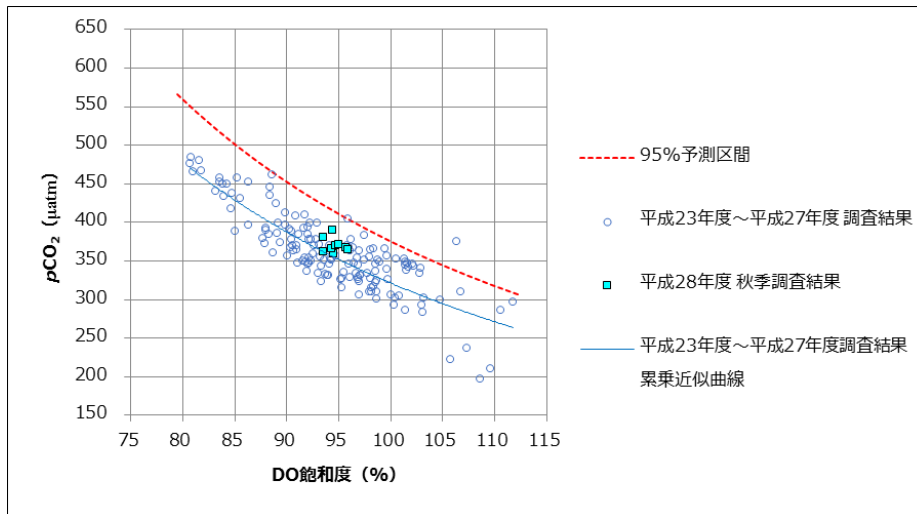


図5 $p\text{CO}_2$ と DO 飽和度との関係

3. 2 底質調査結果

底質調査結果を図表集 表-4 に示す。

pH は 6.89～7.92、含水率は 17.8～33.2 %、有機炭素は 0.7～9.6 mg/g-dry、無機炭素は定量下限値未満～0.4 mg/g-dry、全窒素は 0.13～1.14 mg/g-dry の範囲であった。硫化物は調査地点 3、B 及び C で検出され 0.1～0.3 mg/g-dry の範囲であった。

これらの結果は、過年度調査結果と比較して大きな変化は見られなかった。

3. 3 海洋生態系把握調査結果

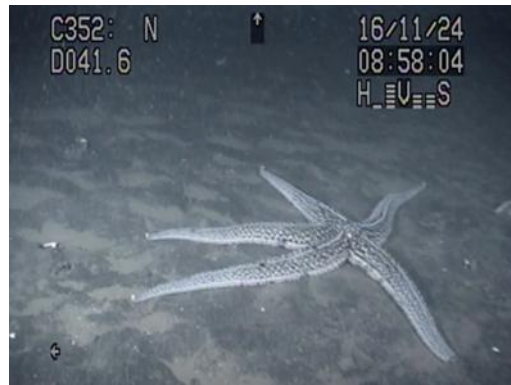
(1) 水中カメラによるメガベントス生息分布調査結果

水中カメラによるメガベントス生息分布調査結果を図表集 図-19～23 に示す。

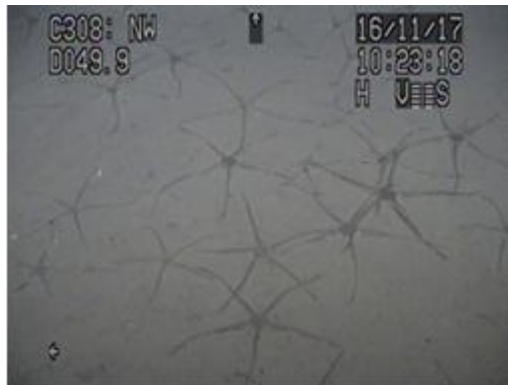
以下に示す種類が代表的なものとして確認されており、平成 27 年度秋季調査以降、ほとんど観察されなかった大型のヒトデ（キヒトデ、ニッポンヒトデ）を春季調査、夏季調査に引き続き、一部で確認することができた。



キヒトデ



ニッポンヒトデ



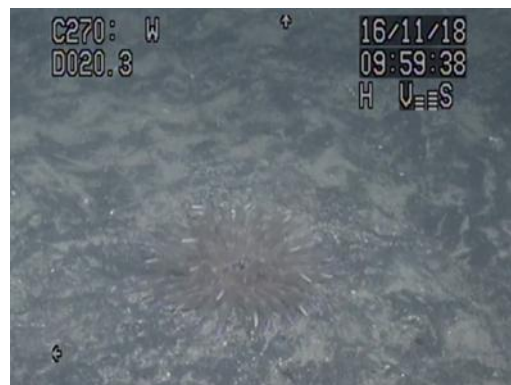
クモヒトデ綱



スナヒトデ



ヒダベリイソギンチャク



イソギンチャク目



ホタテガイ



カレイ目

(2) ドレッジによるメガベントス採取調査結果

ドレッジによるメガベントス採取調査結果を図表集 図-26 及び 27 に示す。

メガベントスの出現数はゴカイの仲間が多数を占めた環形動物門、二枚貝の仲間が多数を占めた軟体動物門、ヒトデの仲間が多数を占めた棘皮動物門の順に多かった。また、湿重量は軟体動物門、環形動物門、棘皮動物門の順に多かった。出現数の上位3種はチマキゴカイ、*Ophiura* 属 (クモヒトデの仲間)、フミガイ属であった。



チマキゴカイ



Ophiura 属の一種



フミガイ属の一種

万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、底質の pH 低下の影響を受けやすいと考えられる炭酸カルシウムの殻等を持つもので出現数が多かったのは *Ophiura* 属、フミガイ属、エゾハマグリであった。

これらの結果は、過年度調査結果と比較して大きな変化は見られなかった。

(3) ウバガイ（ホッキ貝）生息密度等調査結果

ウバガイ（ホッキ貝）生息密度等調査結果を図表集 表-2 に示す。

生息密度は 534 及び 1,034 個体/100m²、湿重量は 178.8 及び 183.5 kg-wet/100m² であった。また、個体重量に対する貝殻重量の割合は 70% であった。

これらの結果は、過年度調査結果と比較すると生息密度についてはやや増加していたが、個体重量に対する貝殻重量の割合については大きな変化は見られなかった。

(4) マクロベントス及びメイオベントス調査結果

マクロベントス及びメイオベントス調査結果を図表集 図-29 及び図-31 に示す。

マクロベントスは多毛綱（ゴカイの仲間）、二枚貝綱の順に出現数が多く、優占種¹¹はカタマガリギボシイソメ、クルミガイ、チマキゴカイであった。

¹¹ 総個体数に対して 5%以上出現した種



カタマ加里ギボシイソメ



クルミガイ



チマキゴカイ

万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、底質の pH 低下の影響を受けやすいと考えられる炭酸カルシウムの殻等を持つもので出現数が多かったのは、クルミガイ、フクロスガメ（ヨコエビの仲間）、ユキヤナギガイであった。

これらの結果は、過年度調査結果と比較して大きな変化は見られなかった。

メイオベントスは線形動物門（線虫の仲間）、有孔虫目（有孔虫の仲間）の順で出現数が多かった。



線虫の一種



有孔虫の一種

万が一、圧入された CO₂ が漏出した場合、底質の pH 低下の影響を受けやすいと考えられる炭酸カルシウムの殻等を持つもので出現数が多かったのは、有孔虫であった。

これらの結果は、過年度調査結果と比較して大きな変化は見られなかった。