

創立 35 周年記念報告会
講演要旨集

平成 22 年 12 月 6 日

財団法人 海洋生物環境研究所

目 次

○成果報告会

1. 海生研 35 年の主な成果と今後の方向 1
(理事 清野 通康)
2. 発電所取放水
 - 2-1. 発電所取放水影響の解明と影響予測 9
(中央研究所 所長 原 猛也)
 - 2-2. 発電所放水の定着性生物への影響解明 17
(事務局 主任研究員 野村 浩貴)
3. 化学物質
 - 3-1. 海洋における化学物質の実態と生態毒性試験 21
(実証試験場 場長 中村 幸雄)
 - 3-2. 実用的な海産生物の生態毒性試験法の開発 27
(実証試験場 主任研究員 喜田 潤)
4. 海洋環境放射能
 - 4-1. 海洋環境放射能のモニタリング調査 31
(事務局 研究参与 御園生 淳)
 - 4-2. 同位体比によるプルトニウム発生起源の推定 39
(事務局 主査研究員 及川 真司)

- ポスター資料 45

成果報告会

海生研 35 年の主な成果と今後の方向

清野 通康

はじめに

火力・原子力発電所の大容量化・集中立地に伴い、温排水（発電所冷却用水の取放水）が海生生物の再生産や漁業へ与える影響が懸念され、欧米各国、また日本でも様々な研究調査活動が実施されてきた。

わが国で温排水影響に関する調査研究が本格的に行われるようになったのは昭和 40 年代半ばからである。昭和 49 年には日本水産学会春季大会で「温排水に関する討論会」が開催され、昭和 50 年 12 月に温排水に関連する課題を専門的に調査研究する機関として、当時の環境庁、農林省、通商産業省の共管のもと、財団法人海洋生物環境研究所（以下、海生研）が設立された。

海生研では、昭和 54 年に千葉県御宿町に中央研究所が、59 年に新潟県柏崎市に実証試験場が設置された。中央研究所では外房の清澄な海水が利用でき、実証試験場では隣接する東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所からの自然海水（取水される海水）と温排水を利用できる。その後、平成元年には実証試験場に温排水資料展示館が設置され、平成 12 年には微量化学物質影響解明のための実験施設が拡充されるなど調査実験や情報発信のための施設の一層の整備が図られた。実証試験場は平成 19 年 7 月の中越沖地震により大きな被害を受けたが、関係諸機関からのご支援により平成 22 年度末に復興作業が完了する見通しである。

海生研は、これらの施設などを活用し、「かけがえのない海を未来に」を目標に、実証試験場の復興計画策定時に海生研の役割を改めて見直し作成した「海生研ロードマップ」に基づき、国また電力・水産両業界のニーズに対応するための調査研究を推進してきた。

35 年間の主な成果

海生研は設立以来、発電所温排水（取放水）影響の予測評価に必要な科学的知見を得るため、関連諸機関のご支援を得て、発電所周辺海域などにおける現地調査や室内実験、野外実験を推進してきた。また、これらの調査研究活動で蓄積した知見と技術をもとに、その時々々の社会のニーズ・要請に応え、全国の原子力関連施設沖合海域における海洋環境放射能の調査、沿岸域における微量化学物質の実態把握や影響評価手法の開発をはじめ、発電所取水障害生物の防除対策、沿岸環境保全対策、藻場磯焼け発生状況の把握と原因解析、海域富栄養化、海域への流出土砂の影響、紫外線影響など海生生物と海域環境に関する幅広い課題に携わってきた。最近では、沿岸海域生態系の調査技術や影響予測手法の開発、地球温暖化対策の実施に係る環境管理手法の検討などに関する調査研究も鋭意推進している。

海生研の調査研究の特徴は、発電所周辺海域など多様な現場海域において環境と生物の実態把握調査を実施するとともに、目的に応じ開発した実験装置類を用いた実証的実験を様々

な生物種を対象に実施してきたことにある。これまでに調査を実施した海域は100地点以上、また、飼育した実験用水生生物は藻類、無脊椎動物、魚類など110種余りに達する。

以下に、これまでの主な成果を示す。35周年記念報告会では、これらの詳細を口頭発表およびポスター発表にて紹介する。

1. 取放水影響の解明と予測のための知見収集
 - 1-1 動植物プランクトン、魚卵・仔稚魚など微小生物の取水取り込み影響の解明
 - 1-2 遊泳動物の取水スクリーン衝突影響の把握
 - 1-3 海生生物の温度耐性、忌避・選好水温などの解明
 - 1-4 放水域における海藻分布や魚類行動の把握と影響予測手法の開発
 - 1-5 藻場と南方性植食性動物との関係の室内実験による解明
 - 1-6 沿岸海域生態系調査と影響予測手法（アセスメント手法）の開発
2. 沿岸海域における微量化学物質の実態把握と影響評価手法の開発
 - 2-1 化学物質の蓄積実態の把握
 - 2-2 化学物質の海生生物影響評価試験法とモニタリング手法（生物指標）の開発
3. 海洋環境放射能のモニタリング調査
 - 3-1 モニタリング調査による原子力関連施設沖合漁場などにおける環境放射能の把握
 - 3-2 漁場の安全・安心の確認と漁獲物の風評被害防止
4. 発電所における取水障害生物（付着生物とクラゲ類）の防除対策の支援
5. 発電所臨海施設と取放水の環境保全効果の把握
6. 藻場の変遷状況（磯焼け発生状況）の把握と原因解析
7. 海生生物に及ぼす高濃度CO₂の影響把握

今後の展開

事務局、中央研究所ならびに実証試験場の経営資源を活用し研究所運営の一層の効率化に努めるとともに、「かけがえのない海を未来に」を目標に、海生研ロードマップに示した「エネルギー生産と海域環境の調和」・「安心かつ安定的な食料生産への貢献」・「関連機関・社会との連携強化」を目指し、国など行政機関と電力・水産両業界のニーズに一層的確に対応できるように調査研究事業を推進する。

また、今般、社会のニーズ、海生研の技術的特徴とこれまでの事業成果などを勘案し、策定後3ヵ年が経過した海生研ロードマップの一部改訂を行った。以下その概要を紹介する。

発電所取放水、海域の微量化学物質、海洋環境放射能が今後とも当所の中核事業となることは変わらないが、沿岸の環境また漁場生態系の保全回復技術開発に従来以上力を傾注する。これらの実施に当たっては、社会的関心が高い気候変動、生物多様性と、海の生態系機能維持の基本となる物質循環の健全性に着目する。さらに、二酸化炭素の海底下貯留の影響予測

評価、海水に溶存する有用物質の捕集材評価など海におけるエネルギー・資源開発に係る新技術開発にも積極的に挑戦・参加する。また、成果を一層タイムリーに世の中に提供し幅広い活用を図るため、論文発表、シンポジウム開催などとともに、集積したデータのオンラインによる提供サービスを充実する。

以上、海生研の35年間における主な成果と今後の計画の概要をご紹介いたしました。これまでのご支援、ご鞭撻に厚くお礼申し上げます。今後とも、発電所と漁業と沿岸環境の一層の調和を図るなど社会のニーズに応え、より幅広い貢献ができるよう役職員一同努力する所存でございますので、変わらぬご指導、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

海生研創立35周年記念報告会

一かけがえのない海を未来へー



Copyright © 2010 MERI

2010年12月6日
海生研創立35周年記念報告会

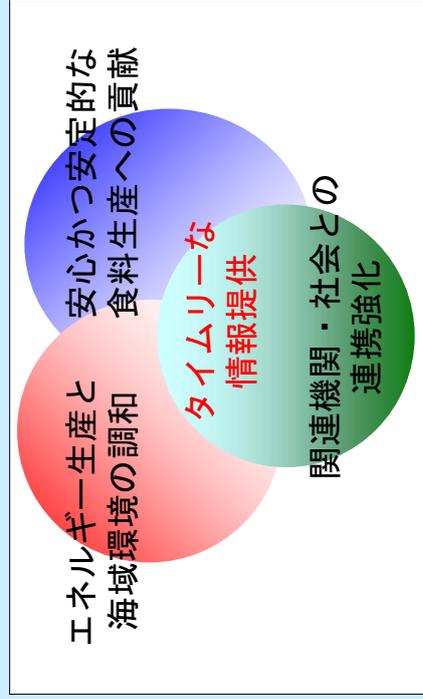
海生研35年の 主な成果と今後の方向

財団法人 海洋生物環境研究所
清野通康

Copyright © 2010 MERI

海生研が目指すもの

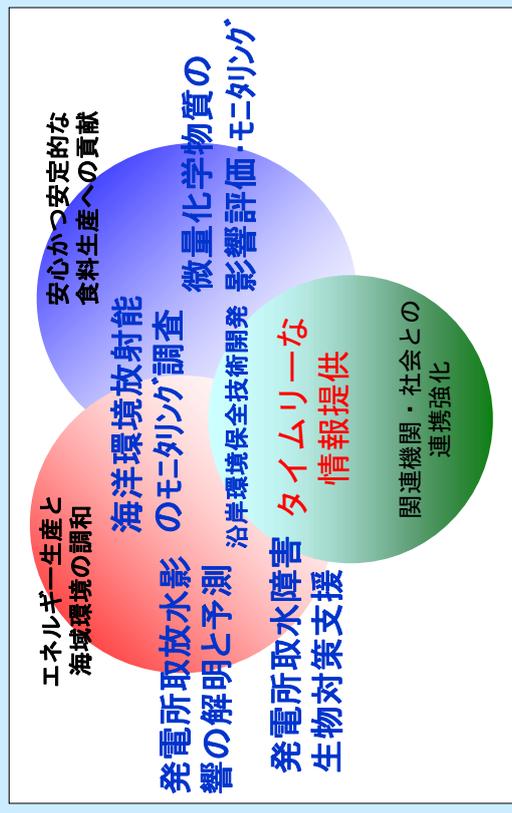
(海生研ロードマップ 2007年10月より)



これらを目指し、国などの公費調査研究、電力会社などからの受託調査研究に積極的に応募・提案し推進するとともに、所内研究を鋭意実施する。

Copyright © 2010 MERI

海生研の主な調査研究課題(～現在)



Copyright © 2010 MERI

海生研の調査研究の年度展開 (創立～現在)

課題名	年度 1975～	1980～	1990～	2000～2010
取放水	・放水影響 ・温度影響 ・漁業影響	・取放水影響 ・複合影響 ・漁業影響	・生態系調査手法 ・環境保全初案	・蒸場・群集影響 ・大型魚類影響
海域の 微々化学 物質		・試験魚 の選定 ・生産	・内分泌かく乱物質影響 ・付着防止剤影響 ・ダイオキシン実態把握 ・影響評価手法等の開発	
海洋環境 放射能		・原子力発電所などの沖合海域	・支操調査(拡散・底泥蓄積・同位体比 他)	・核燃料サイクル施設沖合海域
地球環境 発電支援 環境保全			・CO ₂ 影響 ・冷排水影響 ・富栄養化	・CCS環境管理 ・付着生物対策・クラゲ予測 ・磯焼け状況把握
備考	△創立	△中央研竣工 △実証試験竣工	△微量物質実験設備整備 △実証試験地震被災 △実証試験復興	

Copyright © 2010 MERI

海生研の調査研究の特徴

Copyright © 2010 MERI

1. 多様な現場における 実態の把握

これまでに100地点以上の
沿岸海域において調査を実施

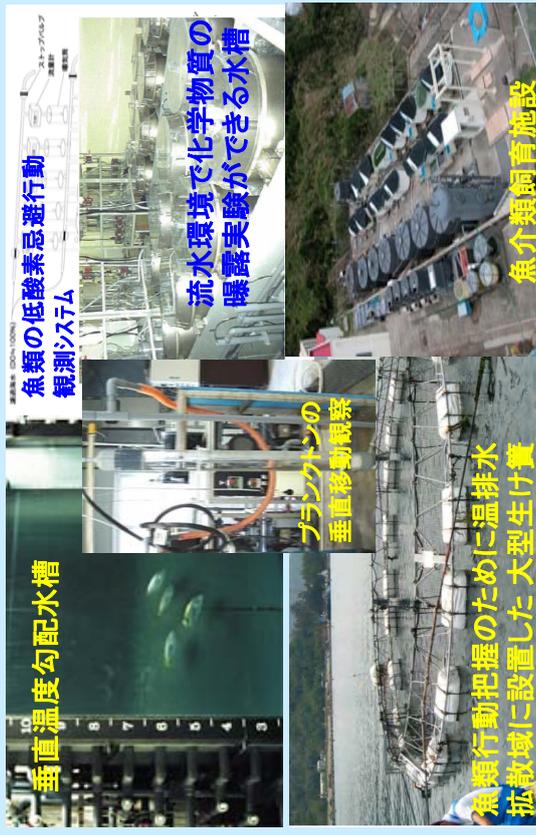
- : 取放水調査海域
- : 環境放射能調査海域
- : その他の調査



調査実施海域の位置図

Copyright © 2010 MERI

2. 特徴ある実験装置の開発



垂直温度勾配水槽

魚類の低酸素忌避行動
観測システム

流水環境で化学物質の
曝露実験ができる水槽

プランクトンの
垂直移動観察

魚類行動把握のために温排水
拡散域に設置した大型生け簀

魚介類飼育施設

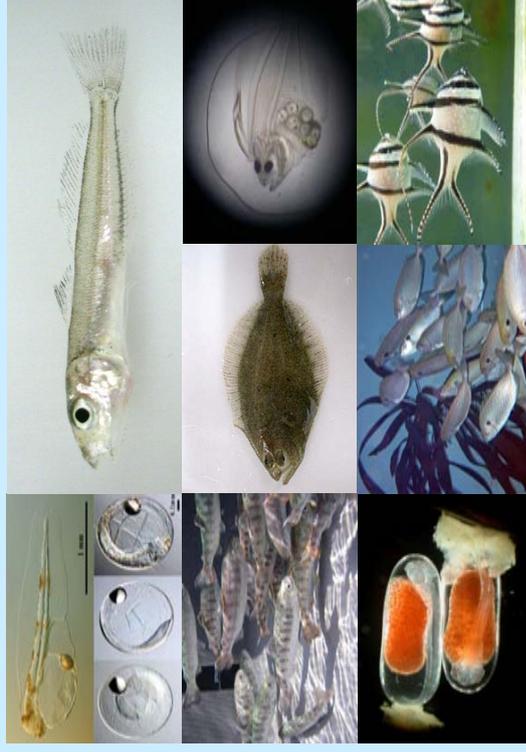
Copyright © 2010 MERI

3-1. 多様な実験生物



Copyright © 2010 MERI

3-2. 多様な実験生物



Copyright © 2010 MERI

海生研のこれまでの主な成果の概要

- ◇ 取放水影響の解明と予測のための知見収集
 - ・微小生物の取水取り込み影響などの解明
 - ・海生生物の温度耐性、忌避選好水温などの解明
 - ・放水域における海藻分布や魚類行動の把握と予測手法開発
 - ・藻場と南方性植食性動物との関係の実験による解明
 - ・沿岸海域生態系調査と影響予測(アセスメント)手法の開発
- ◇ 微量化学物質の実態把握と影響評価手法開発
 - ・化学物質の蓄積実態の把握
 - ・海生生物影響評価手法とモニタリング手法(生物指標)の開発
- ◇ モニタリング調査による海洋環境放射能の把握
 - ・原子力関連施設沖合漁場における環境放射能のモニタリング
 - ・漁場の安全・安心の確認と風評被害防止
- ◇ 発電所取水障害生物の防除対策の支援
- ◇ 臨海施設と取放水による環境保全効果の把握
- ◇ 藻場の変遷状況(磯焼け発生状況)の把握
- ◇ 海生生物に及ぼす高濃度CO₂の影響把握

Copyright © 2010 MERI

本日の発表内容

- ◆ 口頭発表
 - ◇ 発電所取放水影響の解明と影響予測
 - 中央研究所長 原 猛也
 - 事務局 研究企画グループ 野村 浩貴
 - ◇ 海洋における化学物質の実態と生態毒性試験
 - 実証試験場長 中村 幸雄
 - 実証試験場 応用生態グループ 喜田 潤
 - ◇ 海洋環境放射能のモニタリング調査
 - 事務局 研究参与 御園生 淳
 - 事務局 研究調査グループ 及川 真司
- ◆ ポスター発表

Copyright © 2010 MERI

各口頭発表のまとめ

発電所取放水影響の解明と影響予測

- ・事前の影響予測評価、環境配慮のための知見が蓄積されており、これまでのところ発電所近傍域を除くと海生生物への影響は報告・把握されていない。
- ・ただ、わが国周辺の海水温が上昇傾向にあること、評価対象が「漁業資源」から「生態系・生物多様性」と拡大するなど、新たな視点からの予測評価が求められており、そのためには**予測評価手法の一層の定量化(マニユアル作成)**が必要となる。

海洋における化学物質の実態と生態毒性試験

- ・漁業対象種について、環境ホルモンによる深刻な影響は顕在化していないことが確認されたが、新しい物質が次々に産生されている。様々な環境対策・配慮が実施されているが、海はそれら化学物質の最終的なシンクとなっており低濃度複合影響も懸念される。
- ・海産生物に関するリスク評価や効果的なモニタリング手法は発展途上であり、**実用的な生態毒性評価手法の開発**が必要である。

海洋環境放射能のモニタリング

- ・発電所沖合域の放射性核種濃度はチェルノブイリ事故の直後を除き漸減傾向にある。核燃サイクル沖合域の放射性核種濃度はトリウムを除き漸減傾向にある。トリウム濃度は過去の測定値を越す値も測定されたが、人体や環境に影響を及ぼすレベルではない。
- ・温暖化対策として原子力発電の重要性が増している。また、六ヶ所の核燃サイクル施設の本格的稼動を前に隣接地域などの懸念払拭のためには**継続した科学的なモニタリング**が必須である

Copyright © 2010 MERI

Copyright © 2010 MERI

発表のまとめと今後の展開

調査研究の今後の展開 ー 海生研ロードマップの改定 ー

社会のニーズ、海生研の技術的特徴とこれまでの事業成果などを勘案し、策定後3カ年経過した海生研ロードマップの一部改定(開発目標とマイルストーン見直しなど)を行った。

Copyright © 2010 MERI

ロードマップ改定の社会的背景

- ・気候変動・低炭素社会構築・原子力発電所増設
- ・持続可能社会の構築
- ・生態系・生物多様性の保全の重視
- ・海が多様な微量化学物質のシンクとなっている
- ・戦略的アセスメントの導入検討
- ・巨大技術に対する信頼性・安心感向上

Copyright © 2010 MERI

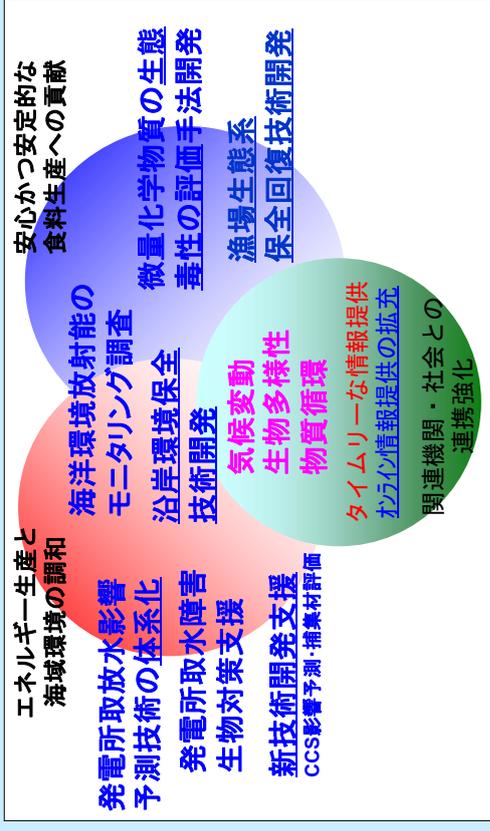
海生研の特徴・強味

- ・豊富な自然海水と温排水を利用可能
- ・多様な実験生物を生産可能
- ・海水流水環境で化学物質を扱える
- ・温度影響データの蓄積・提供
- ・海洋環境放射能データの蓄積・提供
- ・多様な地点における現場調査の実績
- ・環境調査と生物実験に経験豊富なスタッフ
- ・関連機関各位とのネットワーク

Copyright © 2010 MERI

海生研の調査研究課題

今後の展開案 2010年12月



これらを目標に、国などの公募調査研究、電力会社などからの受託調査研究に積極的に応募・提案し推進するとともに、所内研究を鋭意実施する。 Copyright © 2010 MERI

発電所取放水影響の解明と影響予測

原 猛也

はじめに

一般に、「温排水問題」といわれた課題が、学会で大々的に取り上げられたのは、1975年に発行された日本水産学会におけるシンポジウムの記録「温排水と環境問題」有賀編、恒星社厚生閣であろう。そこには、この問題に関して放射能汚染を含めるか否か、討論の冒頭から激しい議論が交わされた生々しい記録がある。しかし、それ以前にも1966年発行水産海洋研究会報9号「温排水に関する研究座談会」があり、また、「温排水」というキーワードで見れば、千葉、愛知、福井、茨城、兵庫、富山など県水産試験場事業報告などにも調査の記録が見られる。

ここにあげた福井、茨城の両県は、原子力発電の先進県であるが、千葉、愛知などはそうではないことから、火力発電所の温排水放出による影響を懸念する声があったことも事実であろう。日々漁業に携わるとき、気象、海象の変化はもとより、微妙な潮の変化が漁獲量を大きく左右する。このわずかな潮の変化を知るために、漁師は船底に取り付けた水温計の表示を常に見ている。温排水が排熱のみの目的でなされたものであっても、それによる漁の変化があるのではないかとの不安は当然のように生じたであろう。

また、過去には工場排水に混じる有害物質の河川への投棄が、流域の住民への健康被害を与えたばかりでなく、海域の漁業に対しても壊滅的な被害を与え、被害回復闘争・補償訴訟を繰り返した歴史もある。また、一方で原子力発電については、原爆投下による世界唯一の被爆国という事実がある。このようなことを考えると、「温排水問題」は、一種の公害問題として原発反対のイデオロギーと漁業者の素朴な不安感が合体した運動として、これまで綿々と存在してきたもことは否めない。

これに対し、海生研は原子力の問題と温排水の問題が、科学的には異なる課題としてそれぞれ解決されるべきという考えで設立されたのであろうと信ずる。それは、1975年3月に開催された原子力産業会議の年次大会で当時の全漁連及川会長が「温排水に反対ばかりするのではなく、科学的な決着を得るべし」との趣旨の発言をなされ、それが、海生研設立の契機となったと聞くからである。まさにイデオロギーと科学技術は別物であるという冷静な判断を、広く関係者に求めた発言と理解する。

本日のご報告の目的は、この課題を体系的に研究し課題の解決に資する目的で設立された海生研が、その与えられたミッションに対してどれだけの成果を上げてきたか、35年間の努力をご覧に入れ、評価を賜ることであろう。

1. いわゆる温排水問題とは？

温排水問題とは、何が発端でどんな影響があると考えられてきたか。調査・研究の端緒

として、学会、国・自治体・大学、団体の取り組み、過去に言われてきたことと当時の回答など、温排水問題を概観する。温排水がどのようなものであるかその実態を知らない人が多かった時代、ボイラーの温度が高温、高圧であると聞いて、温排水の温度も高温であろうと考えた人は、「金魚に熱湯を浴びせるようなものだ」との発言を行ったのであろう。一方で、海生研においても調査を開始したばかりでまだまだデータは整備されていない時期、このような発言に対しては「温排水はぬるい温泉のようなもので、魚は危険を感知すれば逃げることも出来る。」などのような推論で答えるしかなかった。

2. 海生研が取り組んできた分野

温排水問題へのアプローチと海生研の守備範囲として、生物の分類群と発電所取放水系の場所別のマトリックスに従い、どこに位置づけられる課題に取り組んで来たかについて述べる。海を漂うプランクトン、回遊する遊泳動物、岩に固着し海底を生活の場とする定着性生物に分けると、それぞれに発電所との関わりは異なる。また、微少なものは海水とともに取り込まれて、発電所の取放水系を通過してしまう。広義の「温排水問題」には、取り込み影響も含まれるとして調査・研究を行ってきた。

まず行われたのは温排水の拡散実態調査であった。温排水の拡散範囲全てが海生生物への影響範囲であるなどとの考えは毛頭無かったが、周辺の海水を巻き込み急速に温度が下がる領域と渦動拡散と大気への熱放出で冷却される領域が区別できた。前者は放水口のごく近傍であり、常に一定の範囲が温排水にさらされるので恒常域と名付け、定着性生物などへの影響が調査された。温排水が揺らぐ領域では、魚道の変化、流動による操業影響などがテーマだった。それに比べ最近では、影響そのものをプラス効果とマイナスの効果に分け双方を公平に評価するのがテーマである。隔世の感がある。

3. 取水の影響

取水口に設けられた除塵スクリーンの網目を通過するかしないかで、取り込み影響を2つに分けている。「スクリーン衝突」と「生物連行」について述べる。スクリーン衝突影響は、除塵スクリーンに掛かった魚介類が塵芥として処分されることが漁業資源に影響するのではないかとの懸念である。一方で、大量のクラゲ類がスクリーンを閉鎖し、発電に支障を与えるスクリーンブロックがある。スクリーンを通過する微小な生物は、復水器を通過し放水とともに放出されるので、「復水器通過影響」（次項）と呼ばれてきた。

4. 復水器通過影響

発電所に取り込まれた微小な生物が復水器を経由し放水されるまでの間に受ける影響、いわゆる「復水器通過影響」について述べる。動・植物プランクトン、魚卵・稚仔魚の別に、また、漁業資源への影響、付着生物による捕食現象について触れる。海外では、Entr

ainment Effect (生物連行) と呼ばれる現象は、機械的なショック、昇温への接触、注入塩素への暴露の影響を強く受けると思われていた。

5. 放水の影響

温排水拡散の例、生物の温度接触影響理論の紹介、魚類、定着性生物の反応について述べる。「最終選考温度」を室内実験で求めることにより、温排水に対する魚類の反応を説明できるようになった。定着性生物は移動能力が無いか劣るため、温排水に接触した場合の耐性がカギで、一部に種の交代が生ずること、それを群集として捉えれば予測も可能となる。

6. 残されている課題

多々ある残された課題の内、トピックスとして種の多様性の保全、定量データによる評価、アセスとモニタリングの3課題を取り上げる。調査、解析の手法は、パソコンの飛躍的普及、IT化により調査機器、解析ツールの発達にはめざましいものがある。一方で、地球温暖化の進行、個人のライフスタイルの変化、価値観の多様化、それに呼応する環境意識の多様性も生じている。我々が取り組むべき課題の多様性が増す中、それらを解決するデータの蓄積、解析手段の高度化のほか、成果の普及に知恵と工夫が要求される。

終わりに

限られた時間にお伝えできない成果については、ポスターセッションで補完している。また、詳しく触れ得なかった課題については、是非、後日お問い合わせいただきたい。これらお伝えする内容は、全て公表されたものに基づくよう配慮したつもりであるが、個々の引用元の文献名は省略させていただいた。

これまで長期にわたり「温排水問題」にかかる種々の調査・研究を行ってきたが、実に多くの関係各位に筆舌に尽くしがたいご支援、ご協力をいただいた。心より感謝申し上げますとともに、これらの成果をなおいっそう役立てていただけるよう、ご支援を賜りたくお願い申し上げます。

2. 発電所取放水影響の解明 と影響予測

中央研究所長 原 猛也

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

2

本日お話しすること

- いわゆる温排水問題とは？
 - 何が発端で、どんな影響をすると考えられてきたか
- 海生研が取り組んできた分野
 - この問題へのアプローチと守備範囲
- 取水の影響
- 復水器通過影響
- 放水の影響
- 残されている課題
 - 予測の高度化の方向とツール

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

いわゆる温排水問題とは？

調査・研究の端緒

- 学会
 - 水産海洋研究会 1966:「温排水に関する研究座談会」 会報第9号
 - 日本水産学会 1975:「温排水と環境問題」 恒星社厚生閣
- 国・自治体・大学
 - 県水産試験場(千葉、愛知、福井、茨城、兵庫、富山など) 1962頃
 - 水産庁水産研究所(海上保安庁水路部、東海大、東水大) 1966頃～
- 団体
 - (財)電力中央研究所 1966頃～
 - (社)日本水産資源保護協会 1970頃～ 「水産生物と温排水」 叢書25
 - (財)温水養魚開発協会
 - (財)海洋生物環境研究所 1975設立 3省庁の共管

電力需要の増大→規模拡大→沿岸漁業との競合

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

3

いわゆる温排水問題とは？

過去に言われていたこと

- 金魚に熱湯を浴びせるようなものだ。
温排水はぬるい温泉のようなもの？ ヒレものは、逃げる？
- フライパンの上で卵を転がすようなものだ。
温度はそんなに高くないはず？
- 人間でも体温が2℃あがったら具合が悪くなる。
恒温動物と変温動物は違う？
- プランクトンが死滅すれば、死の海になる。
温度が高ければむしろ細胞分裂を促進する？

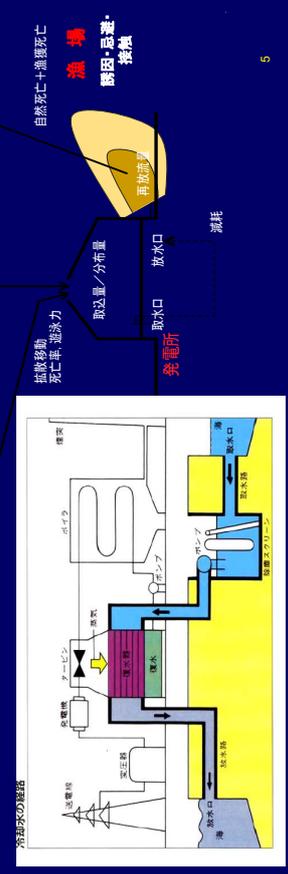
私見: 原発反対イデオロギーと漁業者の心配の産物。潮変わり(水温変化)すると、漁獲高が変わる。

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

4

【いわゆる温排水問題とは？ 温排水問題の概観図】

- 発電所は、取水し、熱交換して、放水する。
- 生物は、生まれ、食べ、育ち、(漁獲され)、産み、死ぬ。



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

【海生研が取り組んできた分野 生物と取放水系のマトリックス】

	取水口	復水器通過	放水口
プランクトン	生物連行影響 薬物注入 (迷惑生物)	復水器通過影響 生物連行影響 温度接触	生物連行 温度接触影響
遊泳動物	スクリーン衝突影響	—	温度接触影響
定着性生物	(迷惑生物)	(迷惑生物)	温度接触影響
物理環境・水質	流動・流速	(流速) 昇温幅・時間	拡散範囲・機構 流速分布 水質変化

■ その他、発電所構造物を設置することによる、生息場の造成効果などプラス面の評価に係わる種々の調査 → ポスター

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

【取水の影響 スクリーン衝突影響】

- 遊泳動物のスクリーン衝突
 - 魚は、巡航速度で体長の4倍(突進速度で10倍)で泳ぐ。←室内実験
 - 取水速度40cm/cmでは、10cm以下の小形の魚が多い。←野外調査
 - 取水管に被せるベロシティキャップは、流速と方向を変える。
 - 魚類反射システム(音、光、泡)は、有効なものはない？
- 迷惑生物のスクリーン・ブロッケージ → ポスター
 - クラゲ、サルパ、海藻、カタクチイワシ、ウマヅラハギ、イガイなど季節性が特徴。
- フィッシュリターンシステム(帰還路)
 - カニ・タコは強い。体長10cm以上の魚は、生残率が高い。

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

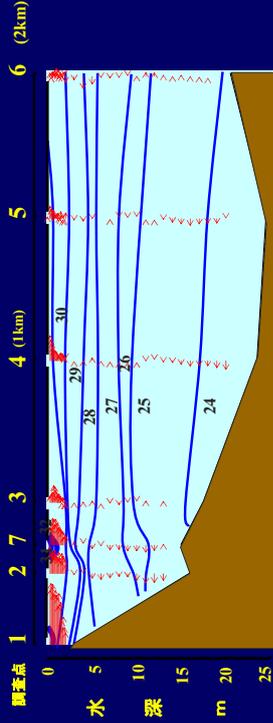
【取水の影響 生物連行影響】

- 魚卵・仔稚魚、動・植物プランクトン
 - いずれも遊泳能力が小さいため取り込まれる。どちらかというと「復水器通過影響」と呼ばれてきた。 → ポスター
- 機械的影響
 - ポンプによる乱流、剪断応力、キャビテーション、壁面への衝突など。
- 塩素注入影響
 - 防汚対策として電解液注入。水産用水基準:検出されないこと。
 - 低濃度連続注入、効果的運用には技術が必要。 → ポスター
- 昇温影響・温度接触影響 → ポスター

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

放水の影響

温排水拡散の例



■ 温排水の拡散・機構

- 放流直後、周辺海水を巻き込んで水温低下する(恒常域)。
- その後は、渦動拡散と大気への放熱で低下する(包絡線内)。

13

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

放水の影響

生物の温度接触影響

■ 生物の温度反応理論

- 温度刺激(勾配)が作用する。←感知能力の理論
 $\Delta T = (T - T_0) / t$ T: 温排水温 T_0 : 環境水温 t: 時間
 または $\Delta T = (T - T_0) / d$ d: 距離 ($d = v \cdot t$ v: 速度)
- 時間積算温度で作用する。←死亡理論
 $T \cdot t = \text{const.}$ T: 温度 t: 時間 (接触時間、通過時間)
- 閾値として作用する。←酵素反応系であれば積算、ショック死なら刺激
 $T > s$ (または $T < s$ 低温側) s: 閾値

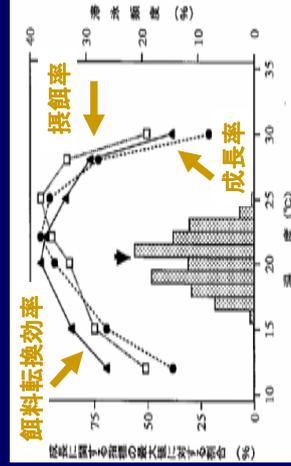
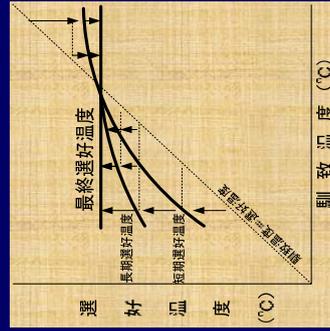
14

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

放水の影響

魚類の温度接触反応

- 室内実験によるアプローチ → ポスター
 - 最終選好温度 (FTP) が分かれば、行動が解釈できる。
 - 高温側致死温度と FTP の関係も求められている。
 - FTP は、最も餌料効率も良い温度 (腹八分目?) であった。



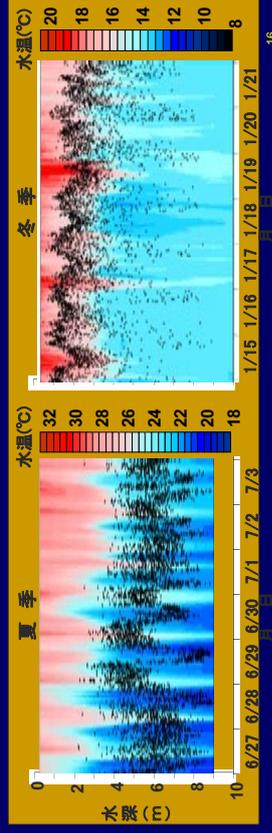
15

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

放水の影響

魚類の温度接触反応(2)

- 野外実験によるアプローチ
 - シロサケは、温排水の下を潜って母川に溯上した。
 - 放水域に設置した生け簀実験で、FTP が基準になることを裏付け? → ポスター



16

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

放水の影響

定着性生物の温度接触影響

- **温排水に接触(暴露)した場合の影響**
 - 固着生物(動物・植物)、低移動性動物など底物は逃げられない。
 - 放水路に付着生物が付いている。少ない。温度の影響？
 - 温排水は浮上する。どの程度の関わりがあるのか？
- このあと、野村がご報告します。→ **ポスター**

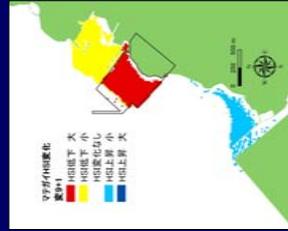
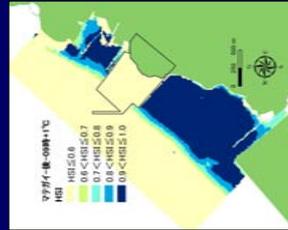
17

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

残されている課題2

定量データによる評価関係

- **予測の高度化の方向とツール** (他にもたくさんあるけれど...)
 - モンテカルロシミュレーション、GIS(地理情報システム)の活用、HSI法など、生物現象についてのコンピュータシミュレーションが容易になった。



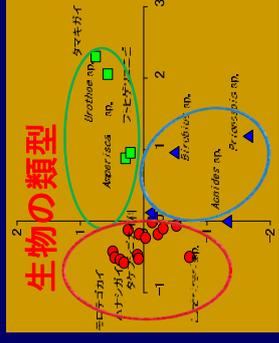
19

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

残されている課題

種の多様性の保全関係

- **生物多様性の表現法** (他にもたくさんあるけれど...)
 - 個々の種の変動予測→個体群生態学(なかなか困難)
 - 群集生態学の指標が、価値観の多様性に対応しない。
 - 環境と生物群集のビジュアル化→多変量解析(対応分析)



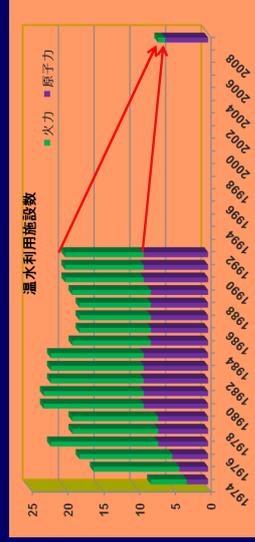
18

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

残されている課題3

アセスとモニタリング関係

- **発電所立地によるプラスの評価** (他にもたくさんあるけれど...)
 - 発電所構造物の生息場造成効果、取放水流動の水質改善効果などプラス効果に関する調査を行ってきた。
 - アセスの評価に組み込めないか？
 - 効果拡大策の検討、現場適用策の検討が必要？
 - 温水利用は、一種のモニタリング？
 - 無害性の証のために展示レベルで継続したらどうか？



20

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

発電所放水の定着性生物への影響解明

野村 浩貴

1. はじめに

これまでに海生研では、ビーカーレベルの室内試験や屋外の流水式回流水槽等を用いて、各種の海藻類に及ぼす水温の影響を明らかにしてきた。これらの結果から、一部の海藻類で夏の高水温期に生育への影響が見られる可能性を指摘した。しかし、実海域における影響を予測するためには、一定の条件下でなされた室内実験等の結果と、放水口周辺で実際に起こっている現象との比較検討が不可欠である。

そのため海生研では、発電所の温排水が放水口近傍域における定着性生物（海藻類、底生生物等）に与える影響の実態（温度上昇影響の程度と海藻類の影響範囲）を、現地実験や調査等により把握し、海域における定着性生物の温排水に対する影響の解明と予測の検討を行った。

2. 調査概要

モデル発電所（毎秒約 40 トンを表層放水する発電所 2 機と毎秒約 80 トンを深層放水する発電所 2 機）の放水口周辺海域において、16 測線の水深 0.5、1、1.5、2、3、4 m に調査点を設けて、ボタン型の水温計（ストアウェイティドビット TBI32-05+37）による水温連続測定とスキューバ潜水による定着性生物観察を実施した。

3. 結果と考察

現地調査における水温と定着性生物の出現状況から、①多年生である海藻類のアラメやイソモクや底生生物のサザエでは、温排水による水温上昇（8月の月間平均水温が2℃以上の昇温）が分布を制限する、②一年生である海藻類のワカメでは、春季に生育の上限である20℃が分布を制限する、③海藻類のモサズキ属や底生生物のムラサキウニ、イワフジツボでは測定された水温上昇の範囲内で分布は制限されない、と3つのタイプが考えられた。

生物には現地での目視観察ができない生活史段階があり（海藻類の遊走子や配偶体、底生生物の幼生等）、各生物の生活史を考慮した解析が必要となる。そのため、室内実験等の文献情報を基にして各生活史段階への影響を考察すると、アラメは、冬季に放水口にごく近い場所で温排水が配偶体の成熟を制限し、夏季にやや離れた場所で温排水が幼孢子体から成体の孢子体になることを制限することが分かった。

4. おわりに

ここで得られた結果および考察によって、現況調査及び影響予測の観点から発電所アセ

スメント等への活用が、調査手法及び評価の観点から定着性生物を対象とした事後調査への活用が考えられる。

本調査は経済産業省原子力安全保安院から委託された「平成 20 年度火力・原子力関係環境審査調査 大規模取放水温排水影響調査 一定着性生物温排水影響調査」の成果である。また、調査海域を提供していただいた電力会社および発電所に深謝申し上げる。

発電所放水の定着性生物への 影響解明

野村 浩貴

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

発電所放水影響の解明と影響予測

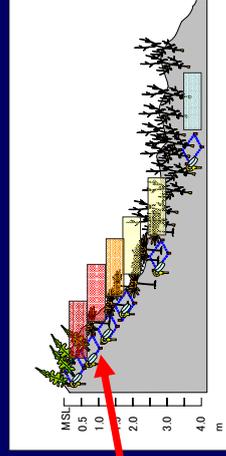
- 温排水に接触(暴露)した場合の影響
 - 固着生物(動物・植物)、低移動性動物など底物は逃げられない。
 - 放水路に付着生物が付いている。少ない。温度の影響?
 - 温排水は浮上する。どの程度の関わりがあるのか?

→モデル発電所で定着性生物を対象として実施
★放水影響の範囲と程度の把握

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

調査概要

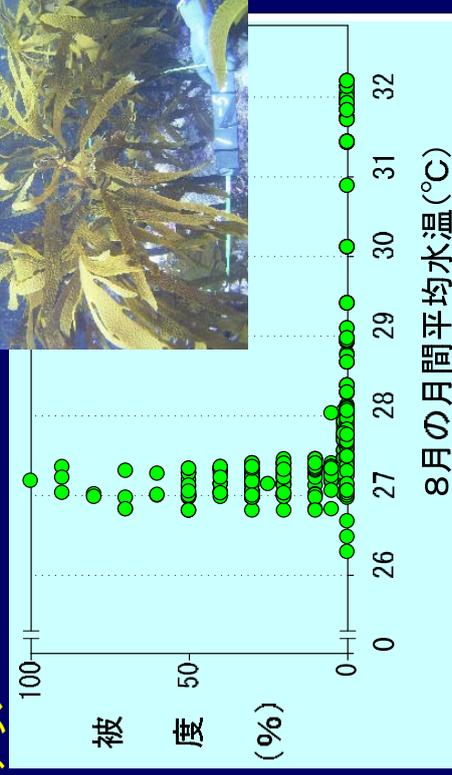
- モデル発電所の概要
 - 表層放水(毎秒約40トン)×2機
 - 水中放水(毎秒約80トン)×2機
- 水温連続測定
 - ボタン型水温計による周年測定
- 生物観察
 - 潜水による観察



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

現地調査結果

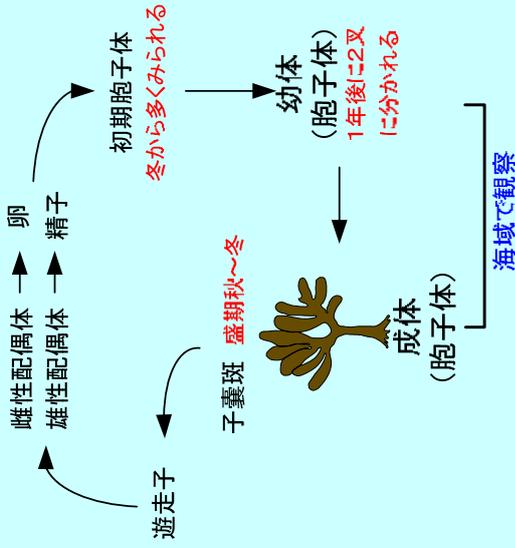
例) アラメ



◎8月の月間平均水温が約28°C(約2°C昇温)以上となる場所で見られなくなった。

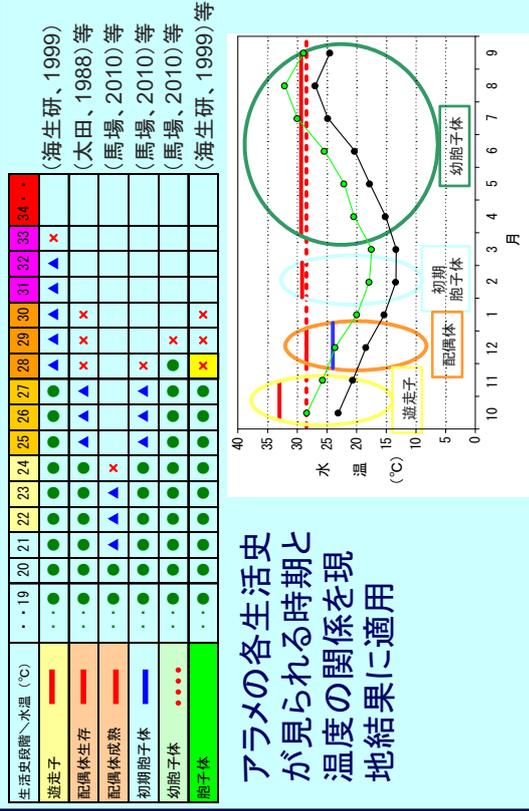
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

アラムの生活史



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

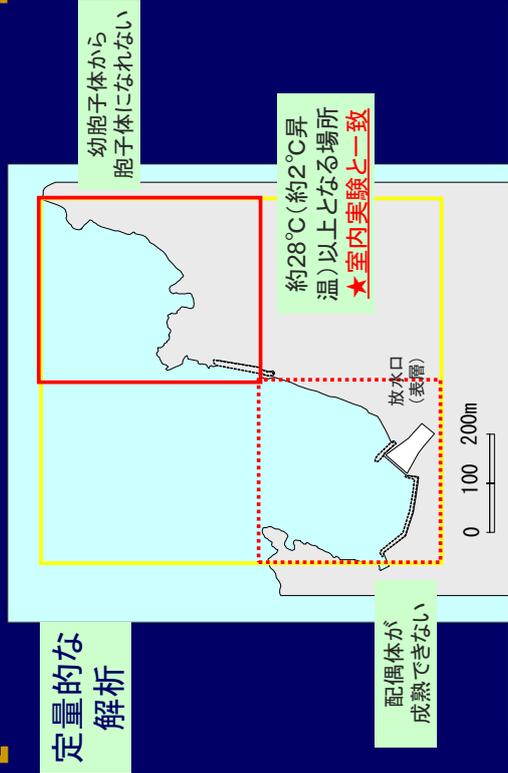
アラムの生活段階と水温の関係



アラムの各生活史が見られる時期と温度の関係を現地結果に適用

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

アラムと温排水の関係



◎その範囲は放水口から最大約800mの限定された範囲である。

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

結果の活用として

- 現況調査と影響予測の観点 (海生研で実施した室内実験結果も適用) → 発電所環境アセスメントへ活用
- 調査手法と評価の観点 → 事後調査への活用

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海洋における化学物質の実態と生態毒性試験

中村 幸雄

はじめに

様々な人間活動によって生産・使用される多種多様な化学物質の一部は、大気や河川などを経由して海洋に流れ込み、海水、底泥、生物などの中に蓄積する。近年、それら化学物質や分解物の中には微量であってもヒトや野生生物に対して有害性を示す物質が知られるようになった。

現在、国は食の安全・安心の確保、海産生物の保護、生態系保全などの観点から、それらの問題に対処するため、海洋における有害化学物質の蓄積状況を常時監視するための手法開発および、海産生物への有害性を評価するための試験法開発に着手しており、海生研もその業務の一端を担っている。本稿では、海生研発足から35年間、当所が実施してきた海洋における化学物質に関する現場・実験調査の成果と、現在、取り組んでいる課題の概要を紹介する。

1. 海生研における化学物質関連調査研究の概要

海生研ではこれまで、発電所取放水影響を解明するための調査研究の中で、海域の環境問題に迅速かつ的確に対応できるネットワーク作りを進めるとともに、現場・実験調査の技術、解析・評価法、環境・生物に関する情報、実験施設や実験生物の生産技術などを整備・開発してきた。それらは、化学物質問題を含む一般的な海域環境問題に取り組む際の大きな機動力となっている。

海生研における化学物質調査研究への取り組みは、1980年代後半に水産庁が進めていた海産魚を対象とした毒性試験法の開発事業の中で、試験魚の安定的な生産方法の開発に携わったことが端緒となっている。その後1990年代に入って、発電所取水設備系の迷惑生物である付着生物の防除剤や、超重質油である新燃料オリマルジョンの生物影響、農薬や防虫剤などの陸域からの汚染物質による生物影響の解明などを目的とした種々の実験調査を行ってきた。さらに海洋におけるダイオキシン類汚染と環境ホルモン影響に関する実海域での実態調査を実施するなど、海洋での本格的な化学物質調査研究に取り組んでいる。

2. 化学物質に関する実態調査研究の成果と現在の取り組み状況

1) 食の安全・安心への反映—ダイオキシン類に関する実態調査—

海生研では1999年から2007年までの8年間にわたり、水産有用種に蓄積しているダイオキシン類濃度を全国規模で調査し、このほどそれら成果をパンフレット(海生研、2010)としてまとめた。漁獲量や消費量の多い魚介藻類(天然、養殖、輸入魚介類)、延べ143種類を対象にダイオキシン類の蓄積状況では、ヒトのダイオキシン類摂取量は漸減傾向にある

ものの、水産物におけるダイオキシン類の濃度は、概ね横ばい傾向にある。また、魚類へのダイオキシン類の蓄積機構を解明するために、魚類を対象として底泥に含まれるダイオキシン類が体内にどの程度取り込まれ、蓄積するかを解明するための実験調査や、ダイオキシン類の削減技術に関する情報収集を行った。

現在、ダイオキシン類蓄積量が比較的多く、しかも水揚げ量や消費量の多い11種類（魚類10種、甲殻類1種）の魚介類を選定し、引き続きサーベイランス・モニタリング調査を実施している。

2) 海産生物の保護および生態系の保全のためにー環境ホルモンに関する実態調査ー

一方、ダイオキシン類調査の開始とほぼ同時期に環境ホルモン調査も開始した。化学物質による生殖異常、すなわち魚類においてはオスのメス化、貝類ではメスのオス化などの生殖異常の有無を、1999年から約7年間、わが国周辺の主要6海域で調べた。その結果、検出される環境ホルモン物質は限られ、それらの濃度も河川の場合に比べ、著しく低いことがわかった。また、生物調査においても魚類7種および貝類4種の生殖腺組織に異常が確認された個体数は極めて少なく、生殖周期にも異常はなかった。従って、本調査の範囲においては、水産生物において危急的かつ深刻な環境ホルモン影響は顕在化していないものと考えられた。

3) 現在の取り組み状況についてー化学物質のモニタリング手法開発ー

近年、海洋には有害であるにもかかわらず、直接の機器分析では多大な労力と時間を要する微量の化学物質が存在することがわかってきた。海生研はこのような化学物質の濃度を、特定の海産生物の体内に蓄積する性質、すなわち、生物濃縮機能を活用したバイオモニタリング手法で、海域の汚染状況を常時監視する方法を検討している。手法開発では、海水や底泥など環境中の化学物質濃度と生物における蓄積量との関係、マニュアル化するために必要なモニタリングに最も適切な生物の採集時期、大きさ、雌雄の別、適正の採集サンプル数などを調べている。

3. 海産生物と生態系を守るためにー試験法の開発ー

現在、水産庁および環境省からの委託調査として、藻類、シオダマリミジンコ、シロギス、マダイなどを対象とした急性および慢性毒性試験を実施中である。また、化学物質との関わりが大きい河口域や汽水域に生息するシジミ類、河川と海域を生息場とするアユを対象として、急性影響の試験法を検討している。

海産生物に対する化学物質の毒性データは、様々な海洋汚染における環境影響評価、生態リスク評価などに必須の情報であるとともに、新規化学物質の毒性の評価や、一般的な環境の水質基準および水産用水基準などの基準値の設定に重要である。現在、海生研では複数の海産生物を対象として、急性毒性試験法やリスク評価に必要な慢性毒性値および無影響濃度（NOEC : No Observed Effect Concentration）導出のための標準的な試験法を

検討しており、それらについては実証試験場応用生態グループの喜田潤主任研究員から紹介する。

4. 今後に向けて

海生研では今後も海域環境および海産生物における化学物質の蓄積状況のモニタリングや、海産生物の生残、再生産などへの影響を明らかにするための調査研究を推進してゆく。この中で、バイオモニタリング手法は、微量化学物質の汚染・蓄積状況を把握できる点で有用であり、開発した手法のマニュアル化と、その手法を広く現場で検証する調査研究にも取り組んでゆきたい。

さらに、海域において化学物質の海産生物に対するリスクの評価や予測を行ってゆくとともに、様々な化学物質の複合的な影響や海域の総合的な水質の評価を行うための手法開発、海水だけでなく底質毒性の評価手法の開発、各種毒性値に対する環境条件（水温上昇など）変化の影響解明などにも着手してゆきたい。

5. 参考資料

原猛也・藤澤俊郎・山田裕・青山善一・杉島英樹・小林努(2005)．二酸化塩素が海生生物に与える影響の予備的検討．海生研研究報告、No. 8:11-17.

伊藤康男・劉海金・高久浩・土田修二(2001)．オリマルジョンに対するサケ稚魚の忌避行動．海生研研究報告、No. 3:27-38.

海生研(2010)．「魚介類のダイオキシン類」パンフレット

環境省(2009)．関係省庁共通パンフレット「ダイオキシン類」

水産庁(2010)．「美しい海を監視するには？」

海洋における化学物質の 実態と生態毒性試験

実証試験場 中村幸雄

どのような方法で何を調べたか？

→ これまでの研究では

- 実験調査(毒性試験)を主体とした調査では
 - ・ 多くが単一物質に対して単一の海産生物を使用
 - ・ 数段階の化学物質濃度、所定時間の曝露
 - ・ 急性毒性(生残率、ふ化率、行動など)と濃度の関係
 - ・ 急性毒性値 × 安全係数の値を目安に評価
- 安全な使用・排出濃度を決定する際の基礎データとして活用
- 海水中に検出される濃度との比較による安全性の評価

● 現場調査(実態調査)を主体とした調査では？

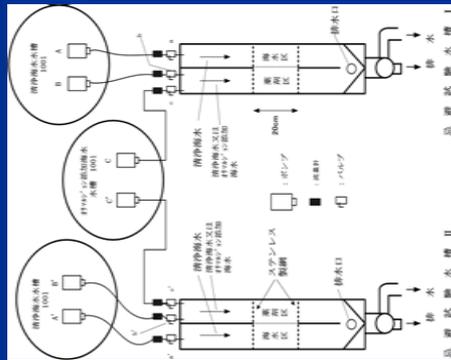
- ・ 化学物質(ダイオキシン類など)蓄積濃度のモニタリング
- 水産物としての食の安全・安心への寄与
- ・ 環境中の化学物質濃度と海産生物の繁殖生態の調査
- 海産生物の保護、生態系の保全

海生研における化学物質調査研究の概要

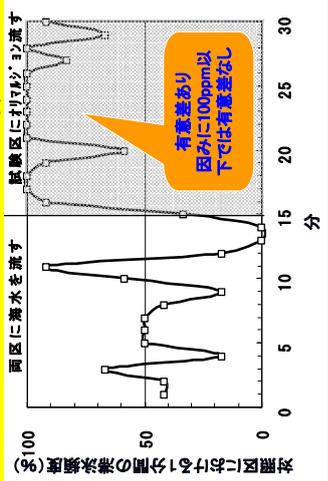
1980年代後半に実施した「毒性試験魚の生産技術の開発」が海生研の化学物質調査研究の取り組みの端緒となった。

調査の目的	化学物質の種類	対象生物	調査手段
電気事業および水産業に関連する化学物質研究	海水電解液、二酸化塩素、オゾン、ハイオクリン、フッ素系など ホウ素、ヒドラジン、オリマルジオンなど 有機スズ類など	植物プランクトン、甲殻類、貝類、魚類	実験調査(毒性試験)
防網剤、船底塗料の毒性評価	無機窒素3態など	ウニ類	実験調査(毒性試験) 現場調査(モニタリング調査)
富栄養化と水温上昇との複合影響の解明	ノニルフェノール、17β-エストラジオール、六価クロム、ニクロム、トリクロム、メチル水銀、クロルデン、有機フッ素化合物、γ-HCHなど ダイオキシン類、多環芳香族炭化水素など	植物プランクトン、甲殻類、貝類、魚類 各種水産物	実験調査(毒性試験) 現場調査(モニタリング調査)
一般海域の汚染問題の対象である化学物質研究	工場および河川経路の排水や殺虫剤、農薬などに含まれる汚染物質の毒性評価と蓄積量の把握 非意図的生成物の蓄積の監視	各種水産物	実験調査(毒性試験) 現場調査(モニタリング調査)

火力発電所の非石油系代替燃料の一つとして 超重質油オリマルジオンに対するサケ稚魚 の行動(伊藤ら、2001)

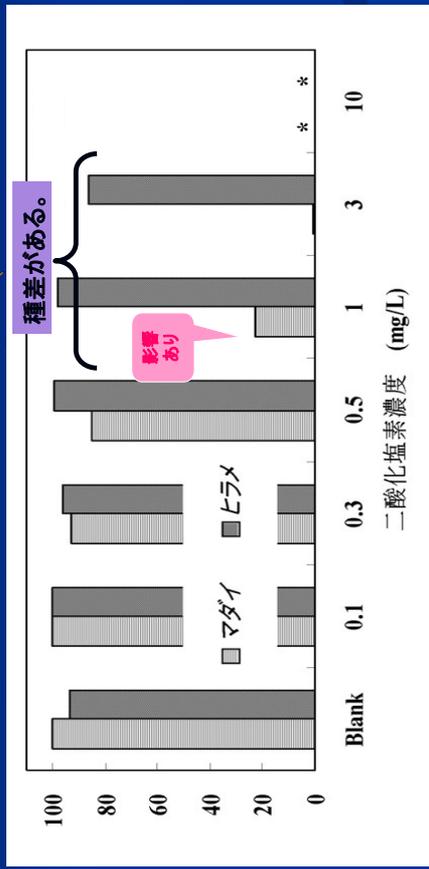


急性試験の一例(オリマルジオン178ppmの例)



新防汚剤としての二酸化塩素

アンモニアに分解されにくい、有機ハロゲンを生じない代替着防止剤として
海域での使用可能性の検討
海産魚類の受精卵を用いた曝露試験(原ら、2005)



魚類の受精卵を1リットル当たり数個回収し、15分間、濃度段階の二酸化塩素に曝露した後、清浄海水に戻し、3日後に孵化率を測定。*：測定不能。

海洋における環境ホルモン影響

一その実態は？(7年間、6水域の調査)一

環境ホルモン

- 生殖腺形態・組織の観察
- 生殖周期の観察
- 雄の雌化の指標ピテロジェニンの測定

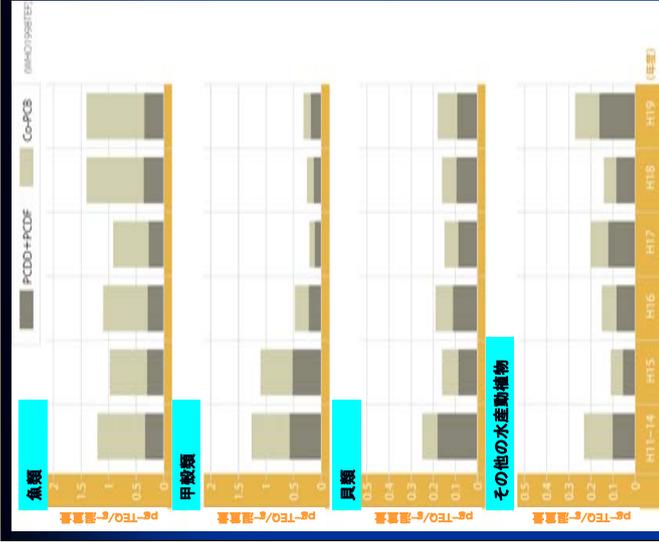
メスの体内に生成される卵黄タンパク質。通常、オスの血液中には存在せず、環境ホルモンによりオスの血液中に検出されることから、影響の指標として使われる。

1. 魚のオスのメス化の指標である血液中のピテロジェニン量は大都市周辺海域でやや高い傾向があった。
2. しかし、検出される環境ホルモン物質は限られ、濃度も河川の場合に比べ極めて低かった。
3. 7カ年、毎年採集した数百の魚貝類のうち、生殖腺の形態や組織に異常が認められた個体は数例であった。

本調査の範囲においては水産生物においては急速かつ深刻な環境ホルモン影響が顕在化している証拠は見当たらなかった。

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

魚介藻類中のダイオキシン類濃度の経年変化



ダイオキシン類(毒性がある29種類)は毒性がそれぞれ異なるため、合計量の評価には、最も毒性の強い2,3,7,8-TCDDを1として、他の中間の毒性の強さを導出した値(毒性等価係数:TEF, Toxic Equivalency Factor)を各ダイオキシン濃度に乘以、それらをすべて足し合わせた毒性等価量(TEQ: Toxic Equivalentsの略称)で表す。

平成21年度森林水産省補助事業で海産物が作成

漁場環境の保全のために！！

水産庁作成パンフレット「美しい海を監視するには？」を一部改変

モニタリング手法の開発(微量化学物質をいかに監視するか?)



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海域における化学物質影響の評価

— 今後に向けて —

現在進行中

- ・複数生物による試験
- ・慢性毒性試験

海生研におけるこれまでの化学物質影響評価の方法



化学物質曝露試験
これまでの多くの試験が単一化学物質に対して単一生物の急性毒性値を求めたものであった。

今後の課題
リスクの評価・予測

主として急性毒性値 × 安全係数の値によって評価

微量であっても分解しにくく、高い蓄積性を有し、しかも毒性が大きい化学物質が環境中に存在する。

今後の課題

- ・底質毒性の評価
- ・複合毒性の評価
- ・海域の総合評価
- ・軽減対策の検討

現在進行中

複数生物の慢性毒性値、無影響濃度 (NOEC: No Observed Effect Concentration)

今後に向けた海域における化学物質の影響評価 — その1

野生生物のリスク評価: OECDによるリスク評価法

PEC: 暴露される環境濃度
→ 現場調査、化学物質の動態モデルなどにより予測

PNEC: 環境中の生物に影響を及ぼさない濃度
→ 半数致死濃度、無影響濃度 (NOEC) をアセスメント係数 (不確実係数の10、100など) で除する。

PEC (予測環境濃度)
PNEC (予測無影響濃度)

- 1 > : 許容できる
- 1 ≤ : さらに詳細なリスク評価、管理が必要

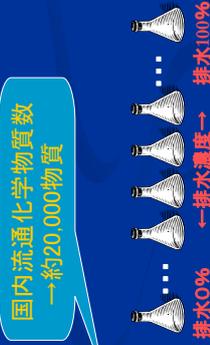
今後に向けた海域における化学物質の影響評価 — その2

- 排水あるいは水域の総合的な評価手法
全排水生物影響評価 WET (Whole Effluent Toxicity)
→ 排水 (環境水) の総合的な毒性を生物反応を用いて評価する手法。

- ・排水基準がない物質の毒性は? それらの複合毒性はないか? などへの対応
- ・個別の化学物質の影響を捉え、改善するには時間や予算がかかり過ぎる。



COD、BODなどのような総合指標としての活用



栄養段階に応じ、藻類、甲殻類、魚類など3種以上の生物について急性毒性、慢性毒性を試験

今後の課題

- 進行課題の発展型課題
 - 代表的な海域において、微量化学物質の蓄積状況を、新たに開発した手法でモニタリングの実証を行う。
 - 海産生物の生態毒性試験法 (複数生物) による急性・慢性毒性値 (NOEC などの) 蓄積 → 更なる試験生物の探索
- 新分野への取り組み課題
 - 底質毒性の評価手法の検討
 - 海域の汚染度の総合的評価 (例: WET)
 - 化学物質削減技術等の検討 (例: バイオレメディエーション)
 - 環境要因の変化に伴う毒性値データの変化予測

ご静聴ありがとうございました。

実用的な海産生物の生態毒性試験法の開発

喜田 潤

1. 海産生物毒性試験法の開発

近年、様々な目的のために新規化学物質が製造されているが、これらのうち海域で使用される船底防汚剤、バラスト水処理剤、油処理剤などの化学物質が長期間、低濃度で漁場環境中に留まることによって海産生物に影響を及ぼすことが懸念され、影響評価試験と毒性値導出の需要が増加している。これまでも化学物質の毒性値に基づいた環境基準の見直しが行われており、国際的に認証を得た毒性指針としては、OECD や米国 EPA の指針等があるが、これらは淡水域に主眼を置いたものであり、我が国沿岸海域における毒性評価に単純に適用されるものではない。

そこで海生研では、我が国沿岸海域の環境に即した新規化学物質等のリスク評価に必要な急性毒性値や慢性毒性値導出のための標準的な毒性試験法を検討している。

2. 海産生物毒性試験指針

水産庁は海産生物毒性試験指針（2010年3月）をとりまとめ、急性毒性試験法として植物プランクトン生長阻害試験、シオダマリミジンコ幼生の遊泳阻害試験、エビ類ゾエア幼生の遊泳阻害試験、稚エビの急性毒性試験、魚類急性毒性試験を、慢性毒性試験法としてシオダマリミジンコの繁殖阻害試験、マミチヨグの初期生活段階毒性試験、マミチヨグの成熟・再生産阻害試験、魚類全生活環毒性試験を示した。この試験指針刊行にあたっては、海生研がシオダマリミジンコを対象とした試験法開発を担当するとともに、全体的な指針とりまとめを行った。また、環境省は水生生物の保全に係る環境基準を設定するために海産魚類（マダイ）及び海産エビ類（クルマエビ）の急性毒性試験法(案)を公表（2005年11月）しており、海生研はこれに則った海産魚類の試験を実施している。

海産生物の毒性試験では淡水生物よりも一般的に供試生物の入手や飼育が困難であり、飼育および化学物質を扱える試験施設の整備が必要であるが、長年にわたり海生研が培ってきた海産生物の飼育技術および試験技術のノウハウと、整備されている施設を活用することによって実用的な海産生物毒性試験法を検討している。それら開発した試験法は、化学物質の毒性値の収集だけでなく、濁り、貧酸素、高CO₂など様々な海域の環境変化による海産生物への影響値導出において、今以上の応用が期待される。さらに、海産生物の次世代影響や生態系への影響のよりの確なりリスク評価を行うための基盤データの収集に寄与するものと考えられる。

3. 海産生物毒性試験の今後の課題

海産生物を対象とした毒性試験法が実用的であるためには、導出された毒性値が環境基

準の検討に際して妥当であるかどうかの検討が必要であり、このためには海産種の毒性値の蓄積が欠かせない。海生研は、このような地道なデータの蓄積にも取り組みたいと考えている。また、海域の生態系は、一般的に陸水域よりも複雑な系であり、かつ多様性に富んでいることから、藻類、甲殻類、魚類を用いた生態影響試験法だけでなく、他の動植物群による試験法も確立することが望まれる。そこで、生態影響試験が実施可能と予想される海産動物種についての基礎的な研究を推進していく。

海産生物毒性試験法の開発

背景

- 海域で使用される化学物質の影響試験の需要増加
i.e. 船底防汚剤, バラスト水, 油処理剤
- 海産生物の試験法が普及していない

実用的な海産生物毒性試験法

- 供試生物が安定して入手できる
- 試験設備が小型である
- 迅速に再現性のある結果が得られる
- 試験コストが妥当である

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

日本の海産生物生態影響試験

水産庁による取組み

- 海産生物毒性試験指針 (H22年3月水産庁)

急性毒性試験法

- 植物プランクトン生長阻害試験
- シオダマリミジンコ幼生の遊泳阻害試験
- エビ類ゾエア幼生の遊泳阻害試験
- 稚エビの急性毒性試験
- 魚類急性毒性試験

慢性毒性試験法

- シオダマリミジンコの繁殖阻害試験
- マミチヨグの初期生活段階毒性試験
- マミチヨグの成熟・再生産阻害試験
- 魚類全生活環毒性試験

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

日本の海産生物生態影響試験

環境省による取組み

- 背景
「水生生物の保全に係る環境基準の設定について(答申)」
(H15年9月 中央環境審議会)
- 亜鉛の環境基準を告知 (H15年11月)

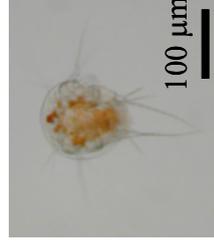
「海産生物テストガイドライン検討会」

国立環境研究所 化学物質環境リスク研究センター

- 海産魚類及び海産エビ類の急性毒性試験法(案) (H17年11月)
- 推奨種 マダイ(後期仔魚, 稚魚)
クルマエビ(ミンス期, ポストローバ期以降)

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

シオダマリミジンコ幼生の遊泳阻害試験(24h EC₅₀)



Tigriopus japonicus
ノープリウスI期

- 継代培養法はほぼ確立されている
- OECD Test No. 202 (*Daphnia*, 48h EC₅₀)
に準拠した試験法が確立されていない
- 感受性が低い可能性がある
- 実用的な試験法の検討がさらに必要

急性影響値の比較

	急性影響			
	C ₁ ⁶⁺ (mg/L)	TBT (ng/L)	γ-HCH	
植物プランクトン				
<i>Pavlova lutheri</i>	96h EC ₅₀	7.50	890	
<i>Chaetoceros gracilis</i>	96h EC ₅₀	6.00	2100	実施中
動物プランクトン	24h EC ₅₀	42.50	7400	
魚類	96h LC ₅₀	12.70	2400	

水産庁事業における海生研報告書より

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

シオダマリミジンコの繁殖阻害試験 (21d NOEC)



*Tigriopus japonicus*の成長

慢性影響値の比較 水産庁事業における海生研報告書より

慢性影響	C ₁₀ ⁰ (mg/L)	TBT (ng/L)	γ-HCH
植物プランクトン	96h NOEC	0.58	120
<i>Chaetoceros gracilis</i>	96h NOEC	0.58	410
動物プランクトン	8d NOEC	0.80	720

- 生物サイズが小さく、試験操作にある程度の熟練を要する
- 試験期間が長く、繰返し実験が難しい
- 実用的な試験法の検討がさらに必要

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海産生物毒性試験の今後の課題

- 海産生物を用いた化学物質の影響試験の需要が増加しているが、実用的な試験法が普及していない
- 藻類, 甲殻類, 魚類の急性影響試験法は実用的であり, データの蓄積が急務
- 実用的な慢性影響試験法の開発が必要
- 海域生態系の多様性を勘案し, 多種の生物による試験法の開発が望まれる

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海洋環境放射能のモニタリング調査 御園生 淳

はじめに

海洋環境放射能総合評価事業は、原子力施設周辺海域の主要漁場で放射能レベルを把握するために行われている海洋放射能調査であり、昭和 58 年度に、当時の科学技術庁が漁業界の要望に応じて開始した。以来、海洋放射能調査は、漁業者の御理解と御協力を受けて順調に実施されており、27 年目に入っている。

本日は、事業の内容を紹介するとともに、昭和 58 年度から平成 21 年度までの調査結果の概要と、海洋放射能調査を補完し、総合評価に資するために行われている支援調査のトピックスについてお話する。

海洋環境放射能総合評価事業発足の経緯

わが国の沿岸とそれに続く沖合の海は、古来、漁業者によって利用されて来た。一方、大量の冷却水を必要とする原子力発電所は、わが国においては、沿岸にしか立地点を求められない。原子力発電所の立地にともない、その周辺海域の漁場でとれる魚などが放射能の影響を受けていないことを確かめる必要がある。原子力発電所近傍の海域では、地方自治体と事業者によって放射能調査が行われているが、さらに沖合の海域ではほとんど調査が行われていなかった。

200 海里時代になって、わが国周辺の漁場はこれまで以上に重要性を増してきた。漁業界は、原子力発電所近傍の海域に加えて、周辺海域の主要漁場についても放射能調査をするよう国に求めてきた。国はこれをうけ、昭和 58 年度から原子力施設周辺海域の主要漁場で海洋放射能調査を行い、漁場環境の安全を確認する「海洋環境放射能総合評価事業」を開始した。

平成 2 年度からは、本事業の一環として、核燃料サイクル施設沖合の漁場でも海洋放射能調査を開始した。なお、隣接地域の懸念を払拭するため、平成 19 年度から対象海域を岩手県北部沖合まで拡張し、調査を継続している。

事業の仕組み

(財) 海洋生物環境研究所は、文部科学省の委託を受け、全国の原子力施設の周辺海域の主要漁場において、海産生物、海水および海底土の放射能調査を行い、海洋環境放射能総合評価のための基礎資料として文部科学省に報告している。

文部科学省は、学識経験者で構成される環境放射能評価検討会において調査結果を審議検討し、関係省庁、関係団体からなる海洋環境放射能総合評価事業連絡会に報告した後、公表している。

調査の目的と概要

本調査は、全国の原子力発電所等周辺海域（全 15 海域）及び核燃料サイクル施設沖合海域の主要漁場において、海産生物、海底土及び海水の放射能調査を実施し、調査海域等における海洋中放射能の移行挙動の定性的・定量的な把握・評価を行い、漁場の安全の確認及び風評被害防止に資することを目的としている。

分析対象とする放射性核種は、半減期が比較的長い放射性核種で、分析は文部科学省が定めた方法により、専門機関で行っている。

調査結果

これまで 27 年（核燃料サイクル施設沖合海域については 20 年）にわたって調査した海水試料、海産生物試料及び海底土試料からほぼ継続して検出された主な放射性核種はトリチウム、ストロンチウム-90、セシウム-137 及びプルトニウム-239+240 である。

昭和 61 年度の海水試料（表層水）、海産生物試料の一部で昭和 60 年度に比べてセシウム-137 が高い値を示したものがあるが、これはチェルノブイリ原子力発電所事故の影響と考えられる（図 1）。

海水試料のストロンチウム-90 及びプルトニウム 239+240 濃度についても、セシウム-137 と同様、長期漸減傾向が見られる。これを反映して、海産生物試料、海底土試料の放射性核種濃度にも緩やかな減少傾向が認められている。なお、アクティブ試験の開始にともない、平成 19、20 年度に核燃海域の海水試料の一部で過去 5 年間のトリチウム濃度の範囲を越すものがあったが、線量評価したところ、いずれもきわめて低い値で、人体や環境に影響を及ぼすものではなかった。

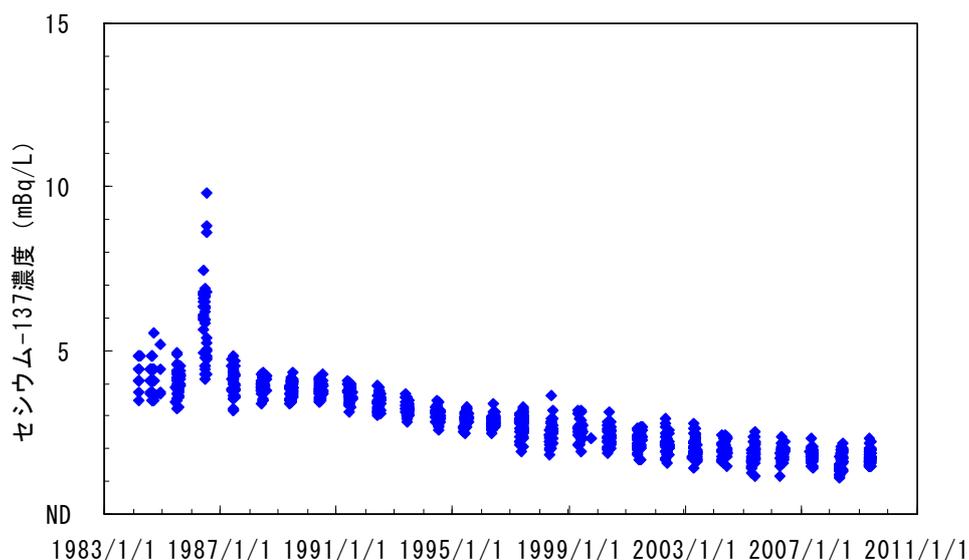
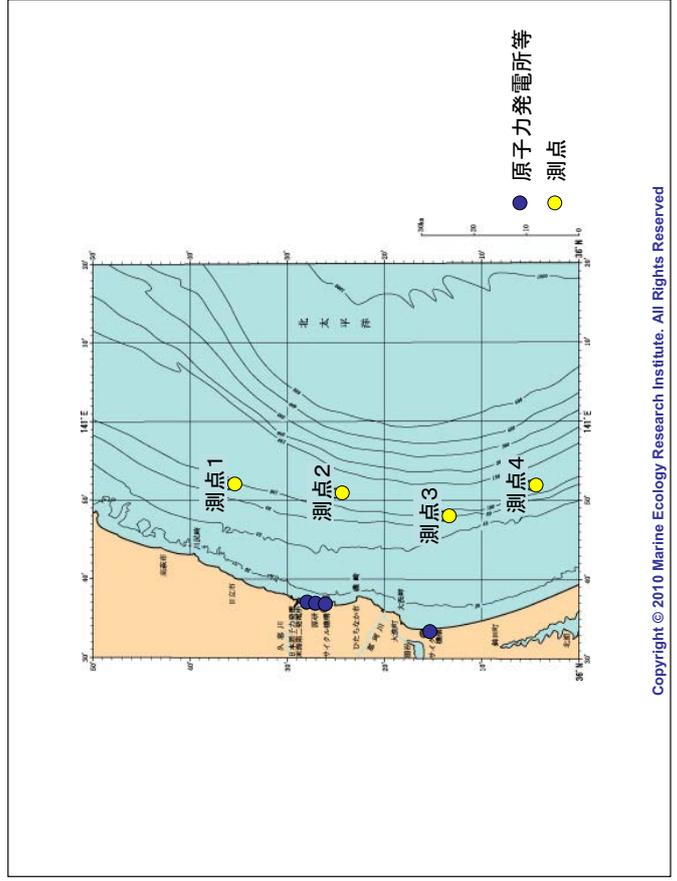
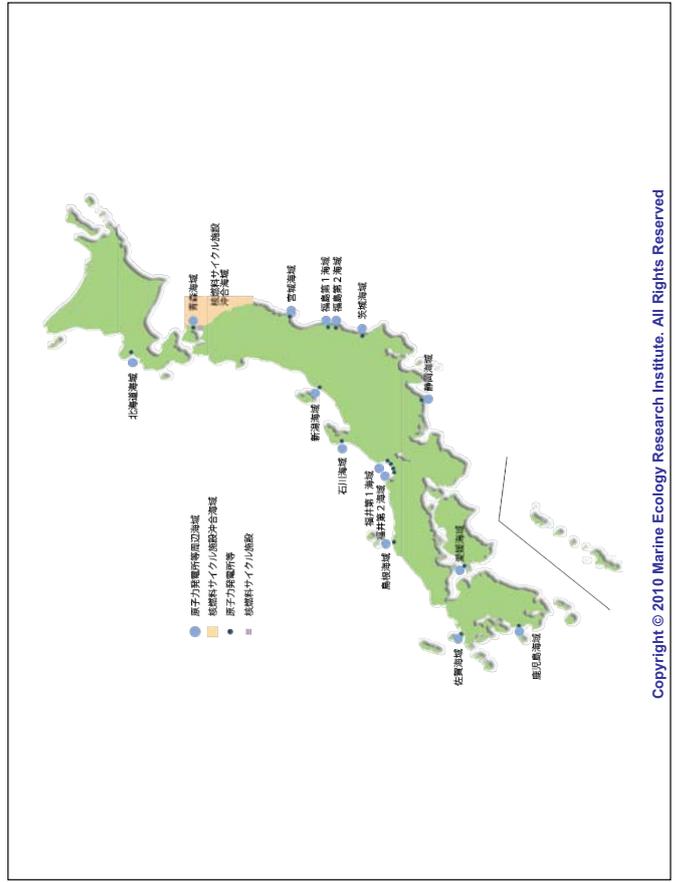
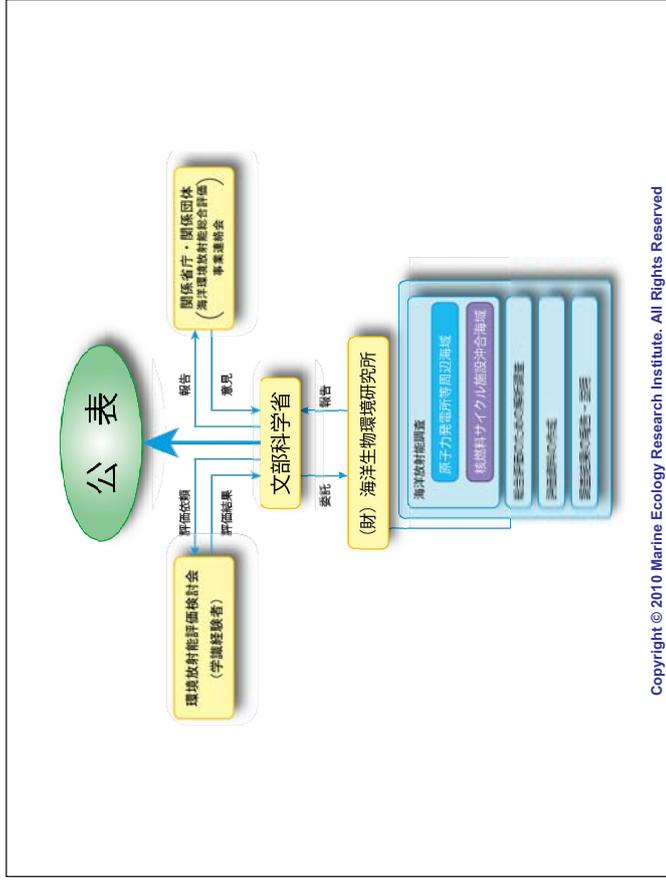


図 1 海水のセシウム-137 濃度の経年変動傾向



海水及び海底土試料

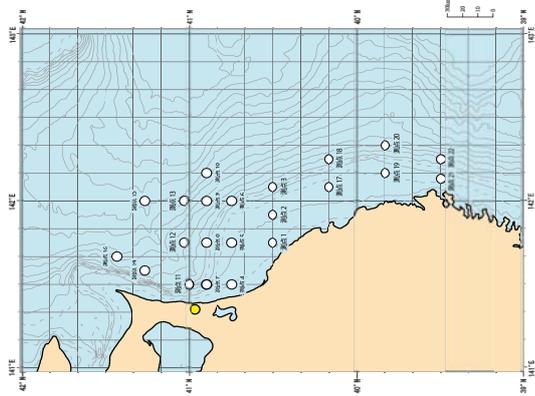
原子力発電所等周辺海域 (各海域4測点)

- 海水 表層・下層 各100ℓ 年1回
- 海底土 海底の表面から3cm 2kg(湿重) 年1回

核燃料サイクル沖合海域 (22測点)

- 海水 表層・下層 各260ℓ 年2回
- 海底土 海底の表面から3cm 2kg(湿重) 年1回

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

調査船



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved



海底土採取 (東日本海域)



下層水採取 (東日本海域)

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海産生物試料

選定

- ① 当該漁場における漁獲量が多い種である
- ② 当該漁場における生活期間が長い種である

▶ 原子力発電所等周辺海域

□ 各海域3魚種 20kg(生鮮物重量) 年2回

▶ 核燃料サイクル沖合海域

□ 15魚種 30kg(生鮮物重量) 年2回

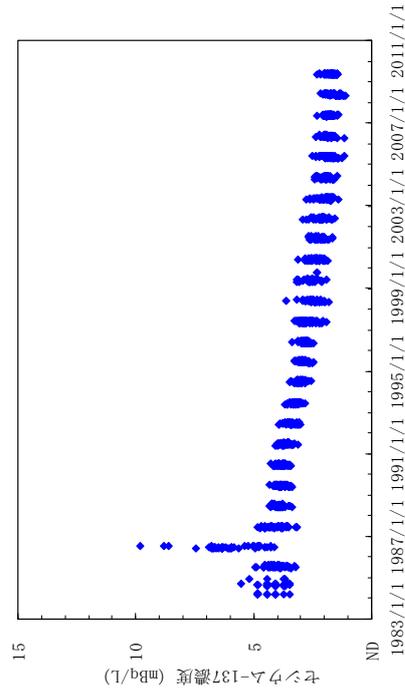
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

分析する放射性核種

放射性核種	原子力発電所等周辺海域		核燃料サイクル施設沖合海域	
	海水	海産生物	海水	海産生物
トリチウム	—	—	○	—
ストロンチウム-90	○	—	○	○
セシウム-137	○	○	○	○
プルトニウム-239+240	—	—	○	○

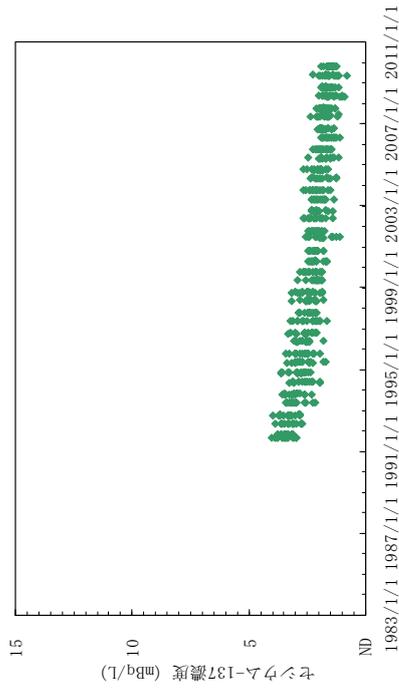
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

表層水のセシウム-137濃度 (発電所海域)



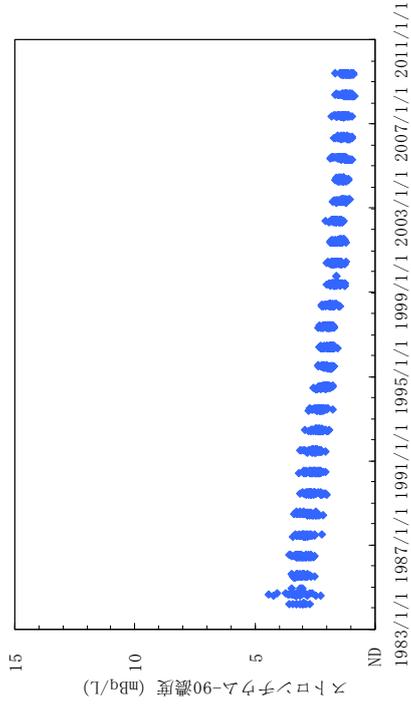
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

表層水のセシウム-137濃度 (核燃海域)



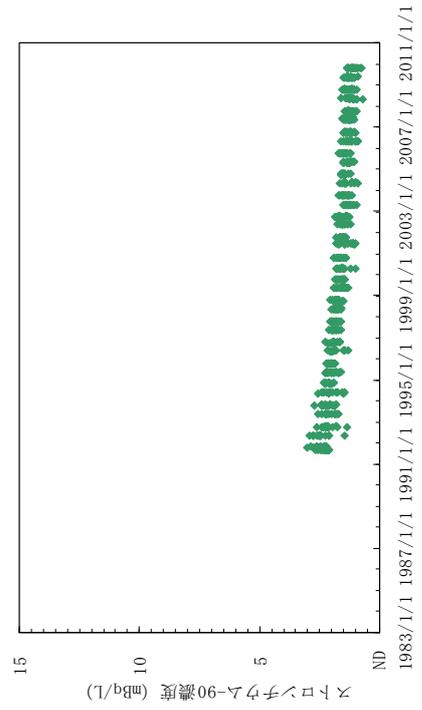
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

表層水のストロンチウム-90濃度 (発電所海域)



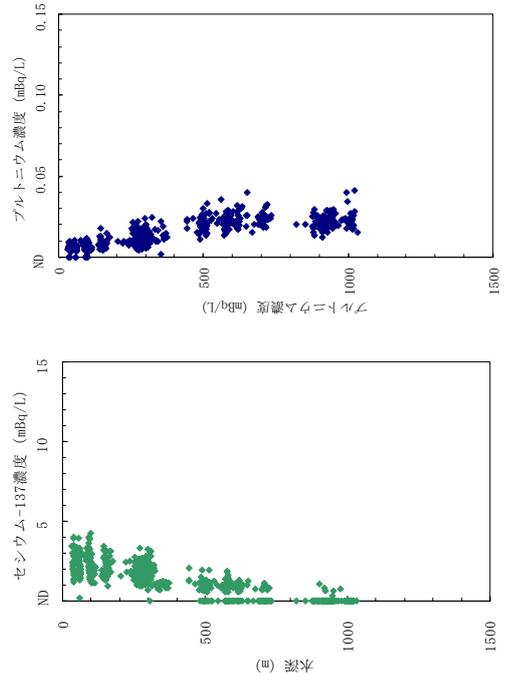
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

表層水のストロンチウム-90濃度 (核燃海域)



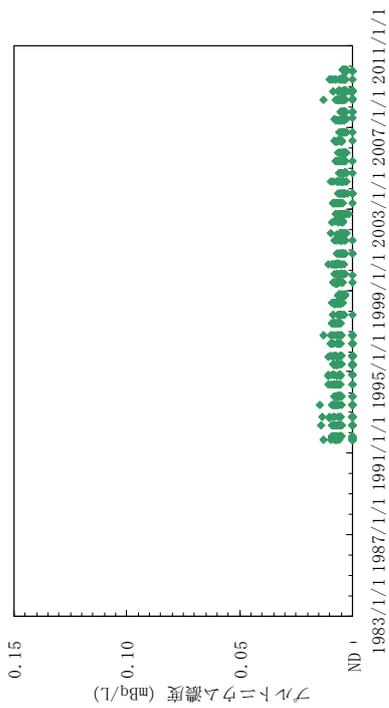
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

下層水の放射性核種濃度



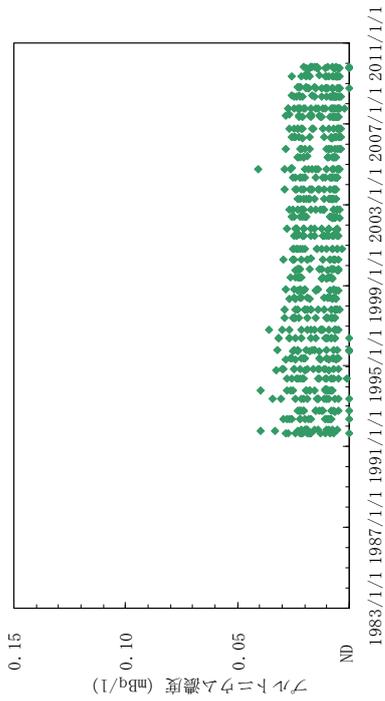
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

表層水のプルトニウム濃度



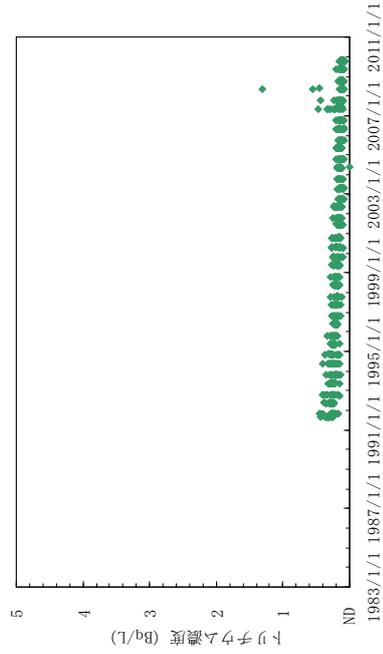
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

下層水のプルトニウム濃度



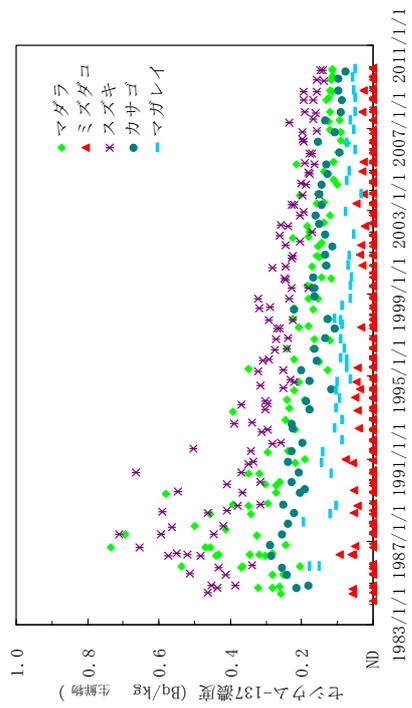
Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

表層水のトリチウム濃度



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海産生物のセシウム-137濃度



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

- ・平成19、20年度に、過去5年間の測定値の範囲を上回る試料が戻られました。これについて評価を行ったところ、いずれも人体や環境に影響を与えるものではないことがわかりました。

海産生物試料の放射性核種濃度範囲

原子力発電所等周辺海域(平成22年度)

(単位: Bq/kg-生鮮物)

試料名	試料数	¹³⁷ Cs
魚類	75	0.041 ~ 0.20
イカ・タコ類	12	ND ~ 0.041
エビ類	3	0.031 ~ 0.071

ND 検出下限値以下

核燃料サイクル施設沖合海域(平成22年度)

(単位: Bq/kg-生鮮物)

試料名	試料数	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
魚類	23	ND	ND ~ 0.15	ND ~ 0.0061
イカ・タコ類	7	ND	ND	ND

ND 検出下限値以下

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

まとめ

これまで原子力発電所等周辺海域及び核燃料サイクル施設沖合海域の主要な漁場において実施した海洋放射能調査の結果は、平成19、20年度に核燃料サイクル施設沖合海域で採取した海水試料の一部でトリチウム濃度が過去5年間の測定値の範囲を上回ったのを除き、海水、海産生物、海底土試料のいずれも過去5年間の測定値と同程度でした。

トリチウム濃度が過去5年間の測定値の範囲を超えた例について評価を行ったところ、人体や環境に影響を与えないことがわかりました。

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

同位体比によるプルトニウム発生起源の推定

及川 真司

1. はじめに

過去に人類は核兵器を開発するために 1945 年以降、北半球を中心に大気圏核爆発実験を盛んに実施してきた。その実験回数は 1030 回（米国）、715 回（旧ソ連）、75 回（中国）にも上り、その都度多量の放射性核種を「放射性降下物（Global Fallout）」として環境に付加してきた⁽¹⁾。放射性核種は一定の寿命（半減期）を持ち、時間の経過とともに放射線を出しつつ安定な原子核へ変化（壊変）する。一方、比較的長い半減期を持つ放射性核種については、継続的なモニタリングを通じ、科学的解釈を交えて安全評価を行う必要がある。

我が国の原子力発電所及び核燃料再処理施設は海に面して立地している。一方で日本は豊かな海に囲まれた水産国で、特に漁業は産業としての裾野が広く、さまざまな産業を支え、就業者数⁽²⁾は関連産業も含め 200 万人に達するなど、豊かな海洋環境に立地する我が国の原子力施設とその地域漁場環境は密接な関係を持っていると言える。財団法人海洋生物環境研究所（以下、「海生研」という）では、昭和 58 年度から文部科学省（当時、科学技術庁）の委託事業として海洋環境放射能調査を開始し、現在までの長きにわたり全国規模の調査研究を継続してきた（図 1）。

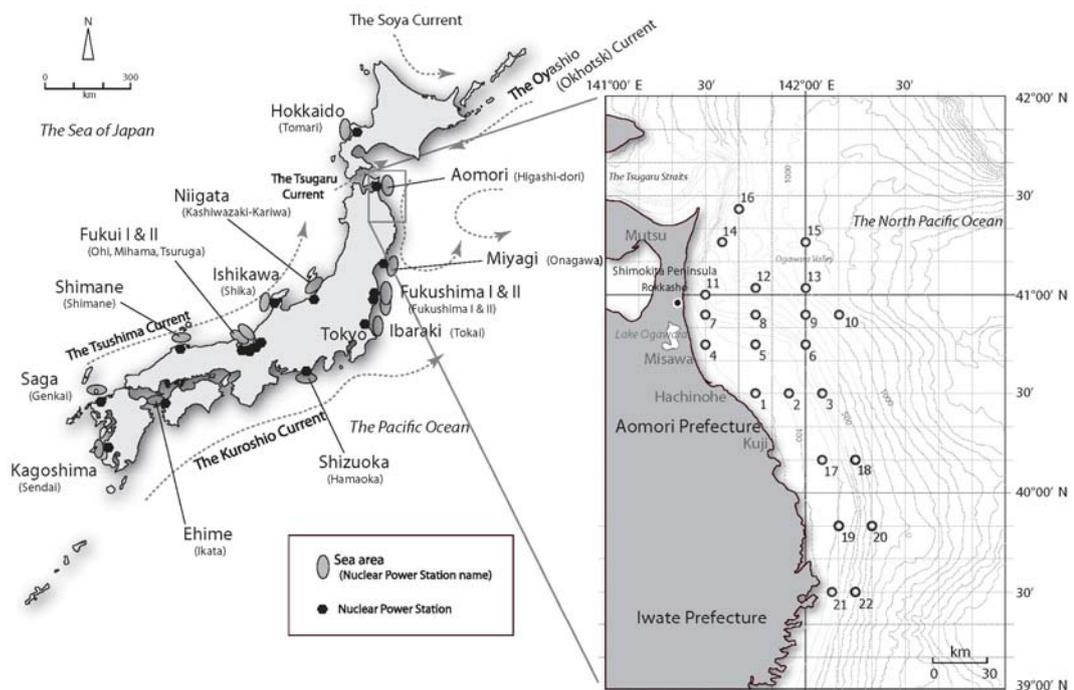


図 1 海洋環境放射能実施対象海域 ($^{239+240}\text{Pu}$ 濃度と $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比調査の対象海域)

このトピックでは特に海洋環境放射能調査の一環で得られたプルトニウム (Pu) 調査の結果について、全国を対象とした海洋環境における $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度や $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比の概略を取りまとめた。

2. 海生研での Pu 調査

海生研においては平成2年度から、核燃海域周辺の主要漁場において海水、海底土及び海産生物に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の調査体制を整えた。本稿では、定常的な調査研究を補完し一層の充実を図るために、平成20年度から核燃海域のみならず発電所海域を対象とした Pu 調査 (解析調査) に着手し、その規模を全国へ拡大するとともに、汚染源推定の手掛かりとなる $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比のバックグラウンド調査研究を新たに加えて実施した結果を記載した。一般環境で見出される核爆発実験由来の Pu には、238 から 241 までの4種の同位体があり、核爆弾の種類、燃焼度等によってその構成比は変化する。この中で半減期の長い ^{239}Pu (2.4万年) と ^{240}Pu (6560年) は放出するアルファ線のエネルギーが極めて近く、公定法では分割して分析・測定することができないため、その合算「 $^{239+240}\text{Pu}$ 」として扱われる。質量分析法を新たに適用し、 $^{239+240}\text{Pu}$ の構成比 ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比) を比較することにより、過去の核実験に由来するのか、原子力施設に関係するのか、など科学的解析が可能になる。

3. 結果と考察

平成2年度から核燃海域における $^{239+240}\text{Pu}$ 調査結果では、海水に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度について、表層水では長期漸減傾向が認められたが、下層水では測点の深度により濃度が異なり、深い測点で濃度が高くなる傾向で、表層とは異なった結果であった。

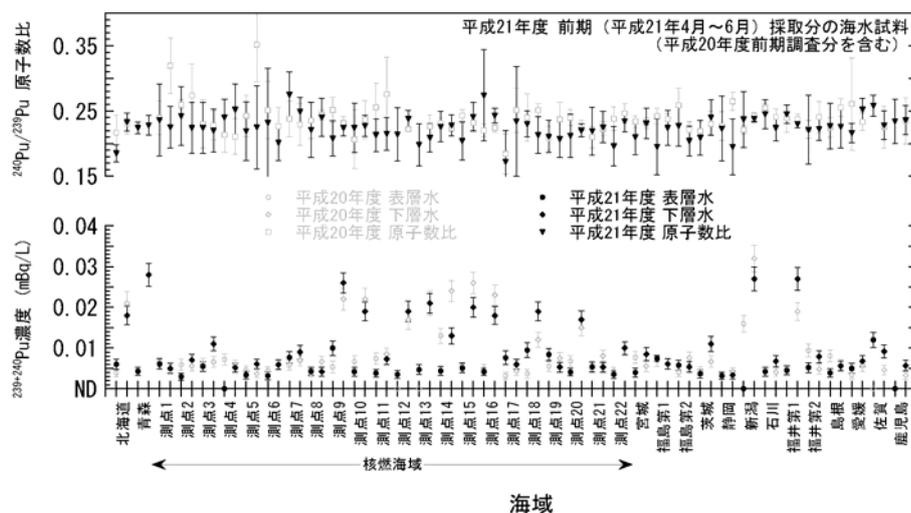


図2 海水中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度と $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比 (平成20年度および平成21年度調査の結果)

図 2 に、平成 20、21 年度に調査した発電所及び核燃海域での海水、図 3 には海底土に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度（下段）及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比（上段）を示した。海域や場所によって $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の変動が顕著であり、海水においては深度（深いほど高い傾向）、海底土においては泥質（泥質のほうが砂質に比べて高い傾向）に関係が認められる。一方、その $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比はほぼ一定（約 0.25）であることから、全国で検出された Pu は同じ由来であると考えられる。

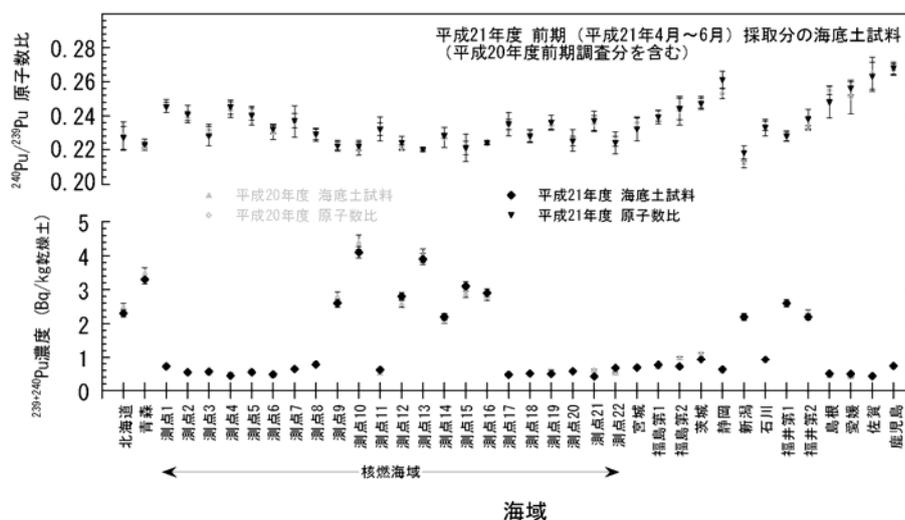


図 3 海底土中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度と $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比（平成 20 年度および平成 21 年度調査の結果）

仮に事故等で Pu が付加された場合、濃度異常に加え、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比も大きく変化することが予想される。現時点において見出された Pu は $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の観点においては、バックグラウンドレベルを推移しており、また $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比の観点においては、過去の大気圏核爆発実験の負の遺産であって、原子力施設等に由来するものではないと考えられる。

謝辞：本調査研究について、長きに渡り多くの関係機関等よりご協力を賜りましたこと、深く感謝いたします。今後も「漁場」と「放射能」を結ぶ重要な調査研究を推進するよう、努力を重ねてまいります。

参考文献等

- (1) UNSCEAR、2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York、USA.
- (2) 全漁連ホームページ参照（平成 22 年 11 月アクセス）
<http://www.zengyoren.or.jp/torikumi/tamenkinou/tamen02.html#koyou>



海洋環境放射能のモニタリング トピック

同位体比によるプルトニウム発生起源の推定

財団法人 海洋生物環境研究所
事務局 研究調査グループ

及川 真司

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

プルトニウムは・・・

原子番号：94番
単体での状態：銀白色の金属
密度：19.8 g/cm³
融点：639.5℃
沸点：3200℃
酸化状態：+III～+VI

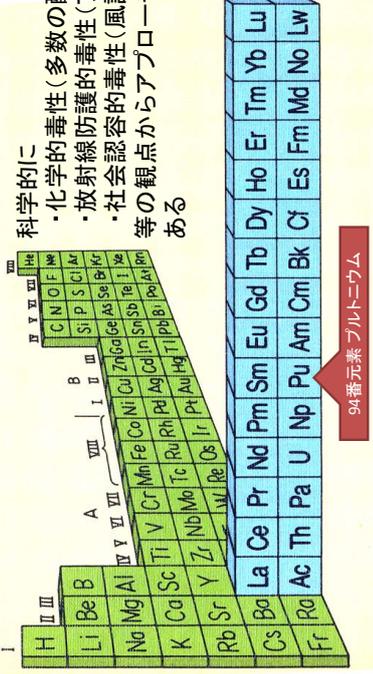
Puほど、物質としての性格が宣伝され、誇張(こちょう)され、誤解されている元素はない

「悪」の代名詞、テロ行為、核武装...

一方、「夢の新燃料」としての期待
(プルサーマル、高速増殖炉...)

科学的に

- ・化学的毒性(多数の酸化状態)
 - ・放射線防護的毒性(アルファ核種)
 - ・社会認容的毒性(風評被害)
- 等の観点からアプローチする必要がある



Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

プルトニウムは・・・

1940年(昭和15年)、カリフォルニア大学バークレイ校において、ウランへの重陽子(²Hの原子核)照射により生成したネプツニウムの壊変生成物として²³⁸Puを発見(シーボーグ博士ら)

当時、第二次世界大戦のさなかであったことから軍事機密とされたため、論文化され公表されたのは1946年であった

1944年末から軍事目的のため原子炉を利用した大規模なPuの生産を開始

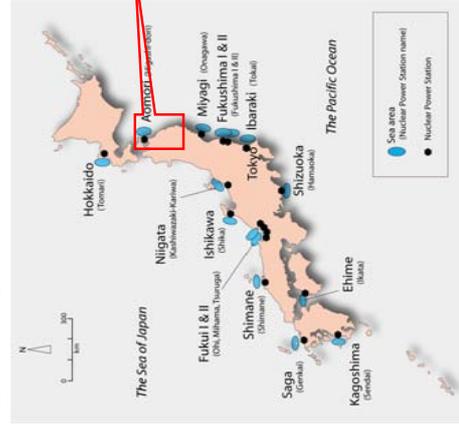
1945年8月9日、Pu型原爆「ファットマン」長崎に投下

以後、アメリカ、旧ソ連、中国などで大気圏核爆発実験が北半球を中心に実施され、核分裂生成物等の多量の放射性核種を環境に付加し、地球規模の汚染を与えた

⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、Puなど比較的半減期の長いものが現在でも環境に見出される

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

海生研での調査研究対象フィールド



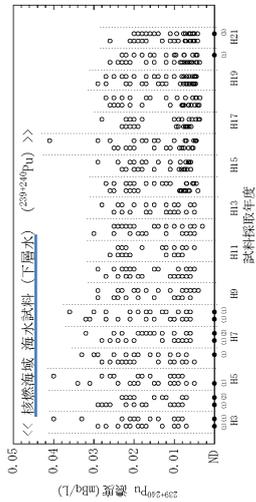
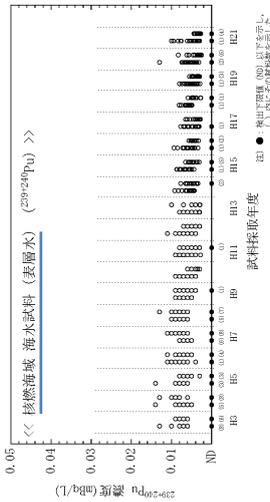
発電所海域(計 15測点)

核燃海域(計 22測点)

Puと対象とするのは核燃海域のみ(定常調査)

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

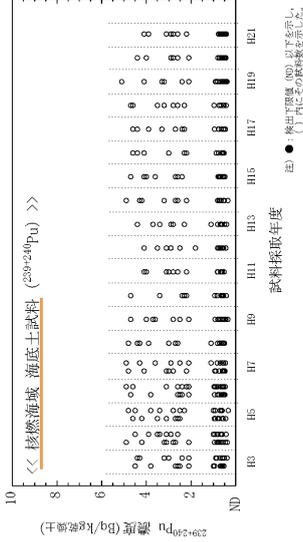
これまでのPu調査では・・・(経年変化)



平成2年度～平成18年度
 : 16測点 (1～16)
 平成19年度～
 : 22測点 (1～22)

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

これまでのPu調査では・・・(経年変化(海底土))

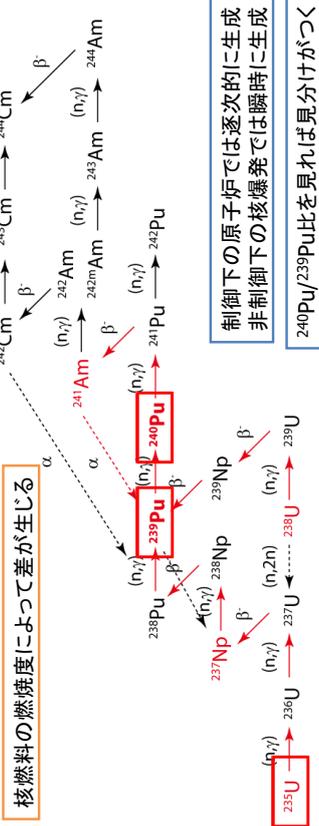


海洋環境において、Puは海底土に移行する性質をもつ

- 海底土はPuの重要な指標のひとつ(海水よりも濃度は高くなる)
- ・泥質のほうが砂質よりも高い傾向
- ・深いところ(泥質が発達)に比較的高い濃度を見出す

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

なぜ、原子炉(原子力発電)でプルトニウムができる？



核燃料の燃焼度によって差が生じる

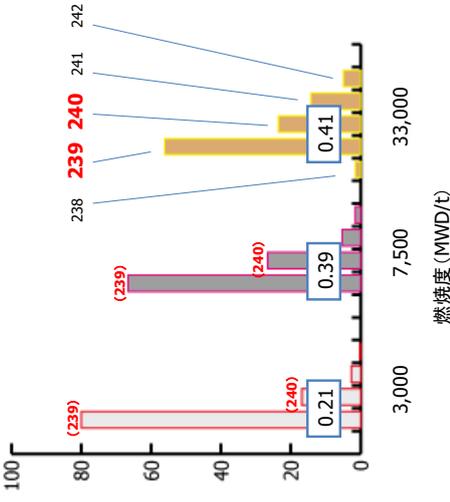
制御下の原子炉では逐次的に生成
 非制御下の核爆発では同時に生成

240Pu/239Pu比を見れば見分けがつく

大規模核実験(1945-1963)の結果・・・
 ・大気圏: 350kg 地下: 100kg の 239+240Puが環境に付加
 ・同時に、241Pu(14.4y, β, 約10¹⁷Bq)が出たが、241Amへ壊変
 事故関係・・・
 ・1964年 SNAP (Systems for Nuclear Auxiliary Power) 搭載衛星事故0.63PBqの 238Pu
 ・セラフェールド(イギリス)、ラ・アーク(フランス)再処理工場
 ・チエルノブイリ(1984)、TMI(1979)事故など

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

燃焼度 (MWD/t) が上がると、240/239比は変化する



環境中に見出される
 Puの240/239比は、
 土壌: 0.178程度
 海水: 0.220程度
 である。

Copyright © 2010 Marine Ecology Research Institute. All Rights Reserved

ポスター資料

ポスタータイトル

- ・海生研の調査研究概要 その1
- ・海生研の調査研究概要 その2
- ・微小生物の取水取り込み影響
- ・発電所取水障害生物の防除を目指して
- ・放水が及ぼす海生生物影響
- ・温度影響データ集
- ・海域生態系調査（アセスメント）手法開発
- ・藻場の変遷と植食性動物の関係
- ・臨海施設と取放水の効果
- ・海洋生物に及ぼす二酸化炭素（CO₂）の影響
- ・化学物質の生物試験法と影響評価法の開発
- ・化学物質のモニタリング手法の開発
- ・原子力施設の沖合漁場における海洋放射能調査 その1
- ・原子力施設の沖合漁場における海洋放射能調査 その2

海生研の調査研究概要

海生研は昭和50年12月に水産業界と電力業界の要請を受けて誕生しました。以来、発電所取放水の環境影響の解明を基本として環境放射能調査や化学物質の影響実態など沿岸環境の保全に役立つ調査を行ってきました。

野外調査

海生研では100を超える沿岸域を研究フィールドとしてきました。



：発電所関係



：環境放射能調査海域



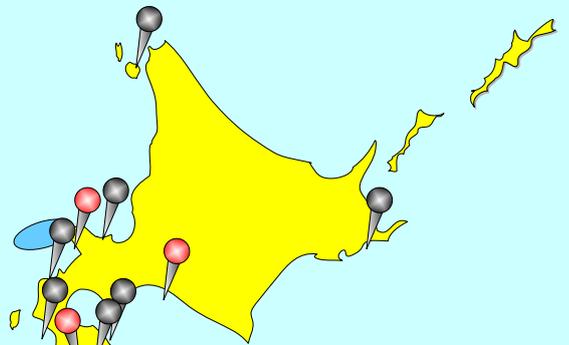
：その他の海域



島根県にある原子力発電所で、消波施設の人エリーフに海藻が入植していく様子を潜水調査で追跡しています。



若狭湾にある原子力発電所で、試験場の協力を得て、生簀を使って大型魚類の温排水行動反応試験を行っています。



多くの発電所で、付着生物対策の支援業務を行っています。



大分県豊後高田干潟をフィールドとして、干潟生態系の捉え方について検討を行っています。

実証試験場
(新潟県柏崎市)

中央研究所
(千葉県御宿町)

事務局
(東京都)



全国の原子力施設沖合いの環境放射能を昭和58年度から継続して調査し、漁場や漁獲物の安全性を示すデータを積み重ねています。



伊勢湾におけるクラゲの発生予測の基礎的検討を行っています。

室内実験

海生生物を対象とした温度影響、CO₂影響、貧酸素耐性、塩素影響、有害化学物質影響等を精緻な条件下で試験することができます。



飼育技術

動植物プランクトン、甲殻類、貝類、魚類に至るまで、**110種類以上**の生物を飼育した技術と設備を保有してます。



中央研究所の設備

- ・ **海水供給設備**
取水能力：75m³/h
濾過能力：25m³/h × 2系統
- ・ **温度調節設備**
32°Cの温海水：6m³/h
8°Cの冷海水：3m³/h
- ・ **屋外飼育スペース**
1～10m³容の親魚養成産卵水槽
- ・ **飼育実験棟**
種苗生産用水槽、光制御装置付き産卵水槽、温度馴致水槽、温度・塩分馴致水槽など



室内水槽
(温度馴致水槽)

実証試験場の設備

- ・ **海水供給設備**
取水能力
自然海水200m³/h
温排水 200m³/h
(発電所温排水)
- ・ **海水濾過供給設備**
自然海水濾過能力：20m³/h × 2系統
温排水濾過能力：20m³/h × 1系統
10～35°Cの海水：7m³/h (海生生物飼育試験施設)
- ・ **屋外飼育スペース**
3～10m³の水槽

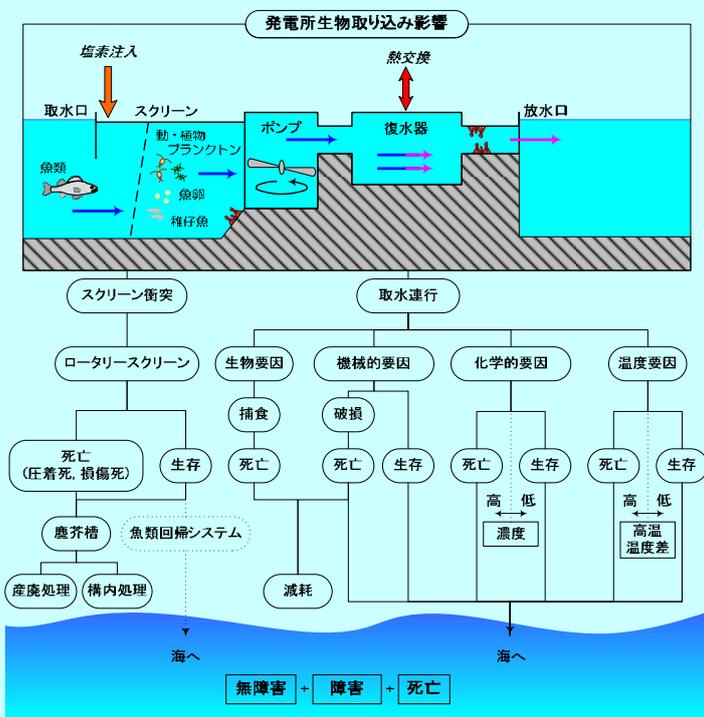


応用生態試験施設 (手前) と
海生生物飼育試験施設 (左後方)

微小生物の取水取り込み影響

発電所の冷却水系に海水と共に取り込まれる微小生物（動・植物プランクトン）について調査した結果、植物プランクトンの死亡率は塩素注入時に大きくなること、動物プランクトンの死亡率はわずか数%であること、等が解りました。

全国沿岸を北方、中部、南方の3海域に分け、それぞれの海域ごとに1カ所の代表発電所を選定し、運転条件の異なる時（発電の有無や塩素注入の有無）に、取水口、取水ピット（取水ポンプ手前）及び放水口において標本を採集し、比較しました。



取り込み影響の概念図

標本採集時の発電所の運転状況の違い（発電（昇温）の有無、塩素注入の有無）から、ハンドリングを含む自然死亡等、ポンプ等による機械的影響、塩素注入による化学的影響及び復水器通過に伴う昇温影響の4つの要因ごとに影響度を解析しました。その結果、植物プランクトンでは、化学的影響が他の影響要因に比べ影響度が高いこと、動物プランクトンでは、いずれの影響要因も影響度が数%と極わずかであることが解りました（左下表）。

一方、放水口では動・植物プランクトンの減耗が確認され、その減耗量は、水路が長ければ大きく、また水温が高ければ大きく、海域や季節、発電所の構造によって程度が異なります。さらに放水口では付着生物の糞（右下写真）がしばしば採集されていることから、この様な減耗の主要因は、付着生物による捕食であると考えられます。

要因別に求めた植物プランクトンへの影響度 (%)

要因	自然死亡等	機械的影響	化学的影響	昇温影響
北方海域	9	0	32	-1 ~ 1
中部海域	11	0	36	7
南方海域	12	1 ~ 5	24 ~ 27	0 ~ 7

要因別に求めた動物プランクトンへの影響度 (%)

要因	自然死亡等	機械的影響	化学的影響	昇温影響
北方海域	3	2 ~ 3	0 ~ 1	-1 ~ 1
中部海域	2	1 ~ 2	0 ~ 1	1 ~ 3
南方海域	1	1	1	1



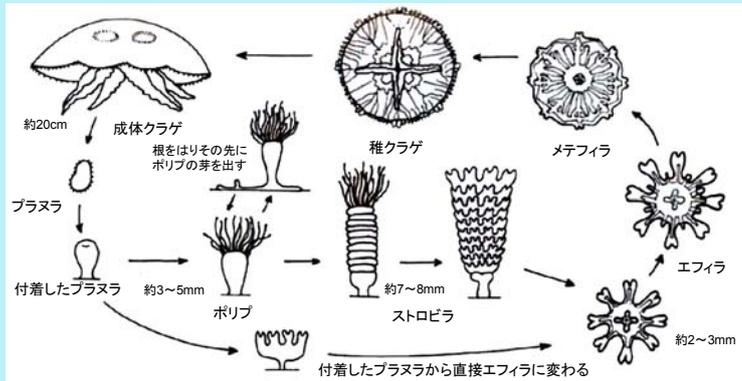
放水口でみられたフジツボ類の糞

発電所取水障害生物の防除を目指して

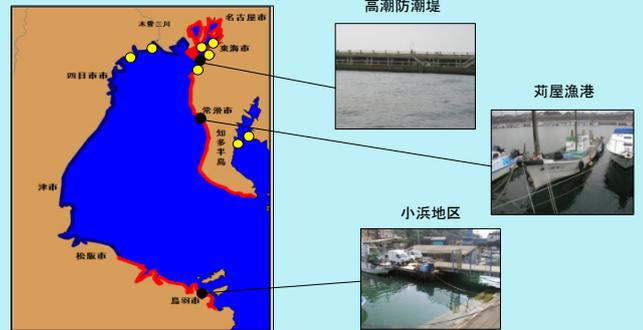
クラゲ等の流入により取水口の海水除塵装置が目詰まりしたり、冷却水系路にフジツボ類やイガイ類等が付着・成長・脱落して系路が狭窄したりすると、復水器冷却水の不足による発電機出力低下や運転停止、復水器の熱交換効率低下等という事態におちいります。そこで、これら取水障害生物の防除について検討を実施しています。

■クラゲ来遊予測法の開発

内湾域で優占するミズクラゲについて、その初期形態であるポリプ(付着生活)およびエフィラ(浮遊生活)の生息状況を調べ、発電所でのクラゲ処理量との関係、それらの遺伝子解析等により、長期的な来遊予測法の開発・実用化について検討しています。
(中部電力株式会社 委託研究)



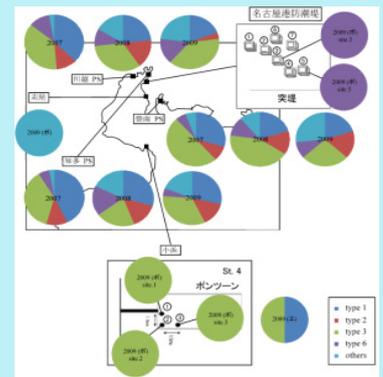
ミズクラゲの生活史(稗田・大塚、1992 一部改変)



クラゲが発生していると推測される海域(■)、モニター地点(●)および発電所(●)の位置

ポリプ個体数とクラゲ処理量との関係(平成14~21年度)

発生海域 (ポリプ個体数)	高潮防潮堤 刈屋漁港 小浜地区	発電所(クラゲ処理量)		
		名古屋港	伊勢湾	三河湾
		0.92	0.76	0.30
		-0.12	-0.29	0.76
		0.21	-0.24	0.64

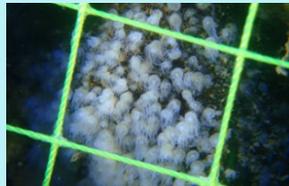


CO1遺伝子領域におけるハプロタイプの出現頻度



(拡大)

ポリプの生息状況



クラゲの発生状況

■汚損生物の付着防止対策

その一つである海水系統への塩素注入については

- ・低濃度の残留塩素で生物付着防止に有効
 - ・海水電気分解により安全かつ容易に運用可能
- 一方、昨今の環境問題への意識の高まりに伴い
- ・環境・生物影響への配慮が重要

そこで海生研では、塩素注入の影響や効果、運用上の問題等について長年にわたり検討を重ね、以下の事実等を明らかにしてきました。

- 通常の運用濃度では海生生物への影響はごく少ない
- 水道水の1/3以下の低濃度の連続注入により十分な防汚効果あり

また、これまで技術的、社会的問題から導入に慎重であった地点で

- ・海域特性や生物特性を踏まえた影響検討、評価
- ・モニタリングの計画策定、実施、評価

等について協力してきました。



発電所取水管内に付着した汚損生物



特殊ポンプを用いた
プランクトン採集



FDA染色による植物プランクトンの活性判定



FDA染色による植物プランクトンの活性判定



方形枠を用いた汚損生物調査

放水が及ぼす海生生物影響

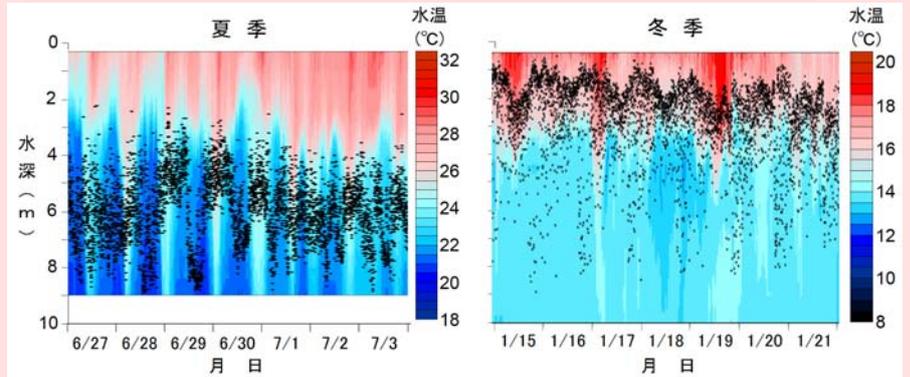
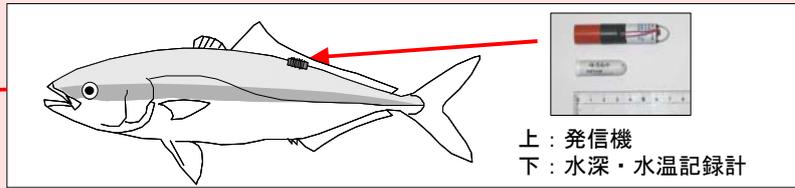
発電所の温排水放水による海藻類の分布や大型魚類の行動への影響を解明するため、実際の発前面海域において野外調査や現地実験を行っています。

～大型魚類への影響～

発電所前面海域に設置した生け簀を用いて、大型の水産有用魚類の温排水に対する反応行動を確かめたところ、ブリでは、夏季には表層の温排水を避けて、より深く水温の低い層を主に遊泳しますが、冬季には、逆に温排水によって水温が上昇している表層を主に遊泳することが分かりました。



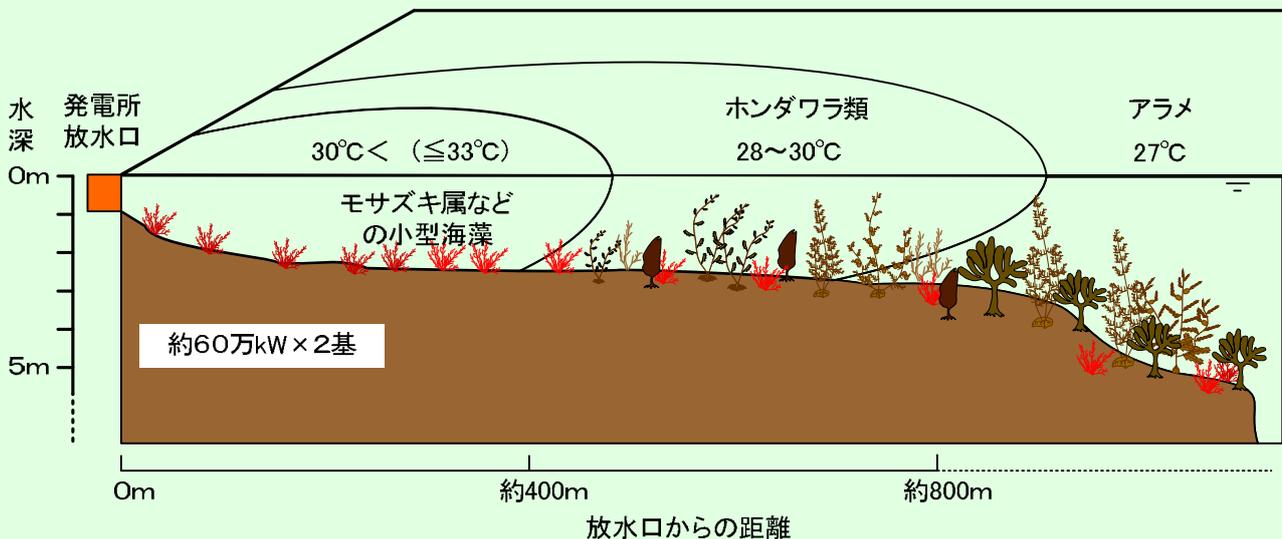
発電所前面海域の試験生け簀



生け簀内の水温鉛直分布とブリの遊泳水深（黒点）

～海藻類への影響～

アラメやホンダワラ類が生育し、表層放水を行っている発電所前面海域の水深が浅い場所では、夏季の平均水温が28°C以上でアラメが、30°C以上でホンダワラ類がそれぞれ見られなくなり、高い温度に強いモサズキ属などの海藻が見られるようになりました。

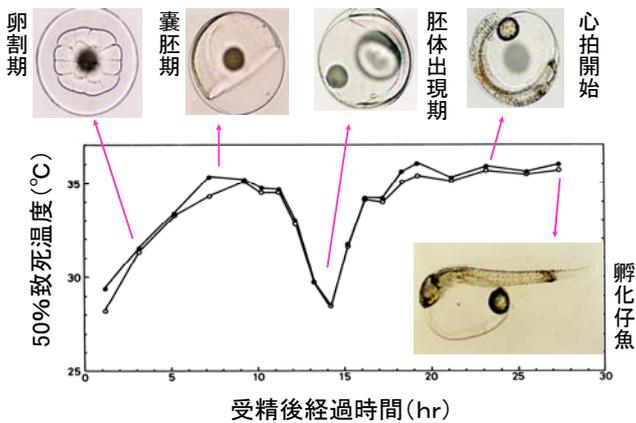


温度影響データ集

発電所の復水器通過や温排水拡散域内における温度上昇に伴う海生生物への影響予測・評価に必要となる、温度耐性、選好温度、成長適温などの温度特性について、発生段階・発育段階別に集積してきました。

これまでに、魚類42種、貝類15種、エビカニ類等5種、ウニ類4種、動植物プランクトン14種、海藻類32種についてのデータが得られています。

マダイの発生に伴う高温耐性の変化



ワカメの生活史

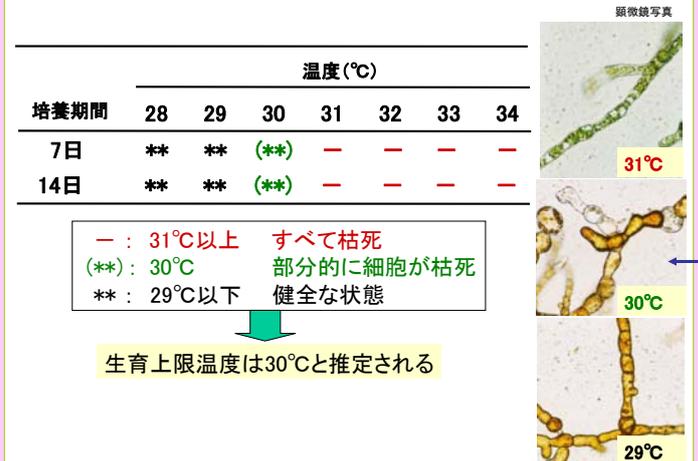


魚類の選好温度(●)と平衡喪失温度(▲)

魚種	水温 (°C)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
マダラ		●				▲				
サケ			●				▲			
ニシン			●				▲			
アユ	▲			●			▲			
カタクチイワシ	▲			●			▲			
アイナメ				○			▲			
マイワシ				●			▲			
マコガレイ	▲			○			▲			
クロソイ	▲			●			▲			
カサゴ		▲		●			▲			
メバル	▲			●			▲			
シマアジ		▲		●			▲			
ニベ				○			▲			
マアジ		▲		●			▲			
チダイ		▲		●			▲			
マダイ				●			▲			
ヒラメ	▲			○			▲			
アイゴ				○			▲			
シロギス		▲		●			▲			
クロメジナ		▲		●			▲			
ヘダイ				●			▲			
オニオコゼ		▲		○			▲			
イサキ		▲		●			▲			
ブリ				●			▲			
ボラ	▲			●			▲			
トラフグ				●			▲			
イシダイ		▲		●			▲			
カワハギ				●			▲			
ハマフエフキ			▲		●		▲			
アオギス		▲		●			▲			
ホシギス		▲		●			▲			
クロダイ	▲			●			▲			
スズキ		▲		●			▲			
キチヌ		▲		●			▲			
コトヒキ				●			▲			
ミナミクロダイ		▲		●			▲			
マハゼ				○			▲			
ウナギ	▲						▲			

○：平衡喪失温度から推定した選好温度

アラメ配偶体の生育上限温度



発育段階	ワカメ	クロメ	アラメ
・配偶体			
生育適温	20~24°C (♂, ♀)	22~24°C (♀)	24°C (♀)
生育上限温度	28°C	28°C	30°C
成熟適温	15~22°C	15~20°C	18~22°C
成熟上限温度	24~26°C	22~24°C	24°C
・幼孢子体			
生育適温	15°C	15°C	10~20°C
生育上限温度	26°C	26°C	29°C

環境影響評価法が制定され、環境アセスメントでは生態系に及ぼす影響を予測する必要があります。当所では海域の生態系調査・予測の手法について検討しており、調査・予測に係る基本的な考え方を整理するとともに、手法の妥当性を検証するケーススタディを実施しています。

海域生態系調査・予測の基本的な考え方(骨子)(案)

海域生態系影響を予測する際には、対象となる海域生態系の構造・機能の概略的な整理をした上で、その生態系の特徴をよく表し、影響を受けると想定される生物種・群集に着目して、他の調査・予測項目の結果を最大限利用し、注目生物の分布等に与える影響を予測することを第一義とする。

藻場のある海域のケーススタディ

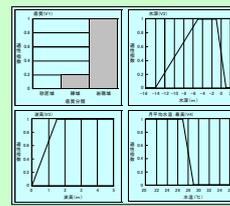
注目種として、藻場を構成する主要な海藻草類、岩礁域を生息場とするメバル、砂泥域を生息場とするマダイ稚魚に着目しました。ここでは藻場への影響を予測した例を示しました。藻場によっては、温度耐性等が異なる海藻種が混在していることに注意が必要です。



藻場分布の把握: オレンジ色は岩礁性藻場(アrame、ホンダワラ類)、緑色は砂泥性の藻場(アマモ)。



海藻種の把握: 潜水調査等で藻場の海藻種を調べます。



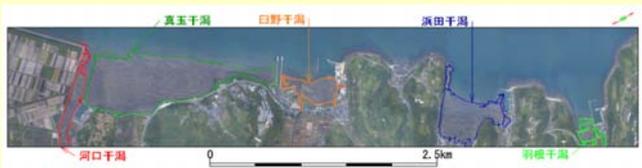
予測モデルの作成: 文献調査、現地調査の結果から、予測モデル(HSIモデル)を作ります。



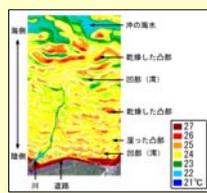
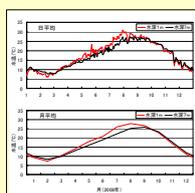
影響の予測: 予測モデルと地理情報システムを用いて、影響を予測します。

干潟のある海域のケーススタディ

注目種として、干潟域を生息場とするマテガイ、岩礁域に生育するオゴノリ、干潟域を餌場として利用するアオギス等に着目しました。また干潟の機能として注目される浄化能力にも着目しました。ここでは注目種(アオギス)に与える影響を予測した例を示しましたが、干潟域は潮位変化や水温変化も大きいため、予測の前提条件にも注意する必要があります。



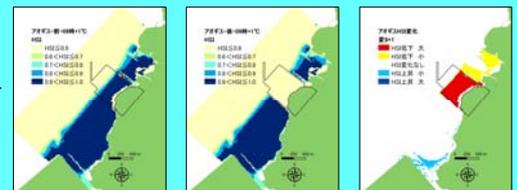
対象海域には、岬や防波堤で分けられた大小の干潟が存在します。



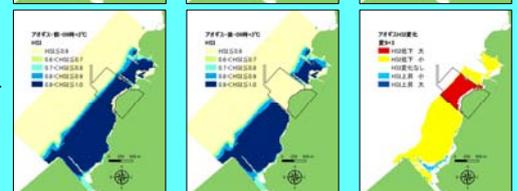
短期的な水温変化も大きく(左)、マテガイ等が生息する干潟は場所によっても温度が異なります(右)。

アオギスへの影響予測結果(満潮時)

水温の前提条件
月平均の最高



水温の前提条件
日平均の最高



立地前

立地後

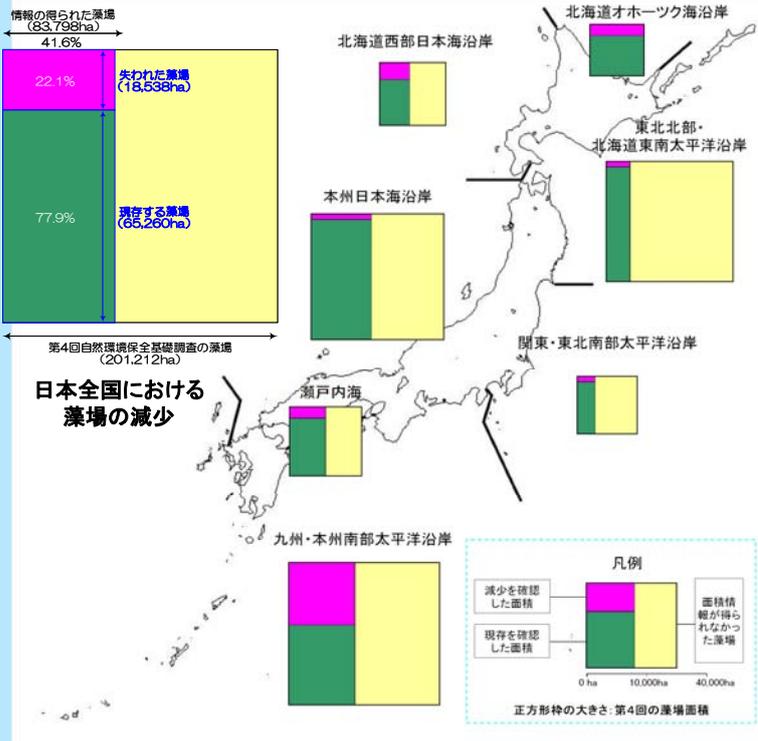
差分(後-前)

藻場の変遷と植食性動物の関係

沿岸の生物生産を支える藻場は現在どのような状態にあるのか、また、沿岸水温が上昇しているといわれているが、水温が上昇すると海藻とそれを食べる動物との関係が変化することで、藻場は今後どうなるのかを定量的に検討しています。

■藻場の減少とその要因

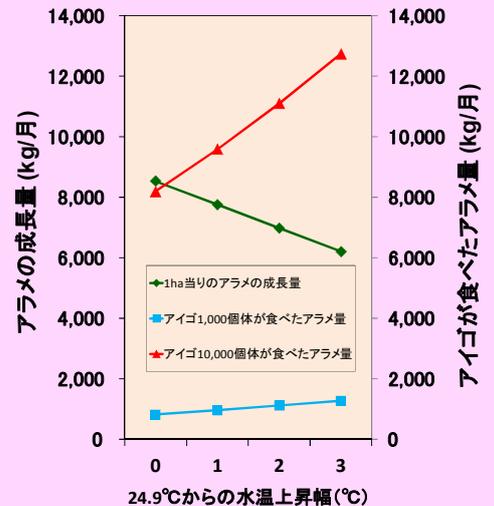
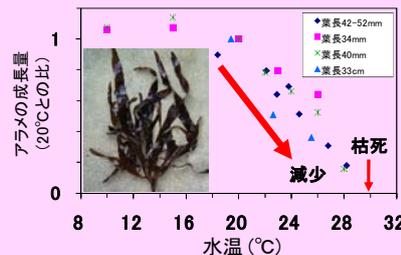
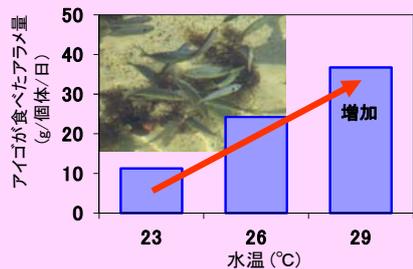
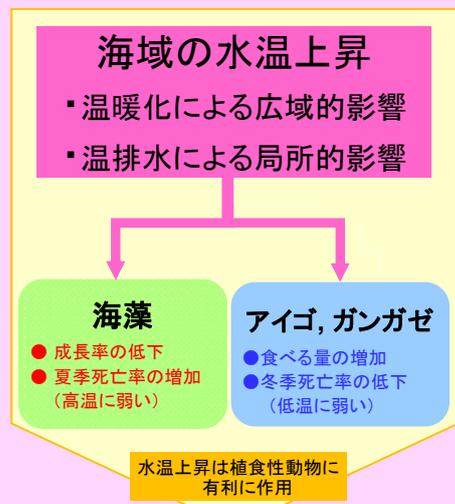
環境省の第4回自然環境保全基礎調査結果（1989—1991年度に調査）と2000年以降の資料を比較すると、**藻場面積は日本全国で2割ほど減少**していました。



日本の南部と北部で藻場の減少が大きく、これらの海域では**魚類やウニ類など植食性動物による食害**が大きな要因となっています。

海域区分	タイプ	変遷状況	主な減少要因
北海道 オホーツク海沿岸	コンブ場 ガラモ場	やや減少	・流水沿岸離岸状況→海藻バランス (雑海藻との競合)の変化
北海道 日本海沿岸	コンブ場 ガラモ場	藻場の衰退が長期的に継続	・海流流量、 水温の変化 →海藻生育量の変化 → ウニ類による食害
東北北部・北海道 太平洋沿岸	コンブ場 ガラモ場	親潮の接岸状況によって 自然変動大きい	・ 水温変化 →海藻生育量の変化 ・ ウニ類・貝類による食害
本州 日本海沿岸	アラム場 ガラモ場	一部では衰退、回復もみられるが、顕著な変動はない	・物理条件(時化や波浪)の変化 →透明度、底質の変化
関東・東北部 太平洋沿岸	アラム場 ガラモ場	局所に衰退がみられ、減少傾向	・ 水温変化 →海藻生育量の変化 ・ ウニ類・貝類による食害
瀬戸内海沿岸	アラム場 ガラモ場	局所的に衰退、あるいは出現	・水質変化→透明度の変化 ・波浪、 水温の変化 → ウニ類による食害
アママ場		1930年代までに広域に衰退、一部海域で回復	・埋立浚渫等→浮泥の巻上げ ・水質変化→透明度の変化 ・漁業活動
九州・本州南部 太平洋沿岸	アラム場 ガラモ場	広域な衰退箇所あり 植生の亜熱帯化	・ 水温変化 →藻類バランス (種組成や競合関係)の変化 ・ 魚類・ウニ類による食害
アママ場		大きな減少はみられず	・埋立→生育場の消失または出現 ・赤土の流入→透明度の変化

■水温上昇が海藻と植食性動物との関係を通じて藻場に及ぼす影響



海藻の成長 < 動物の食べる量

藻場の衰退・消失の可能性

アイゴが食べるアラム量とアラムの成長に及ぼす水温上昇の影響

アラム藻場に対する影響の試算例条件

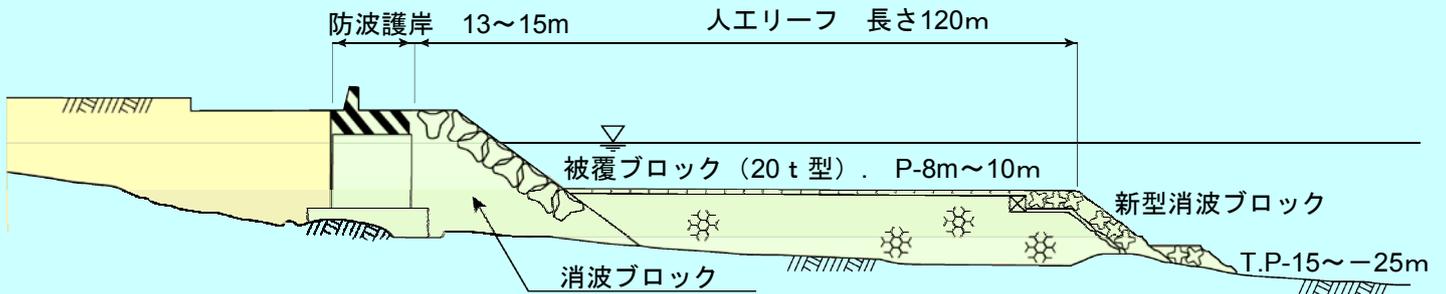
- 神奈川県三浦半島西岸水深3m、8~9月における1ha当たりのアラム群落の成長量
- 藻場に來遊する体重100gのアイゴの群れ数を1,000または10,000個体と仮定
- 現場水温24.9°Cから1~3°C上昇したと仮定

海岸構造物と取放水の効果

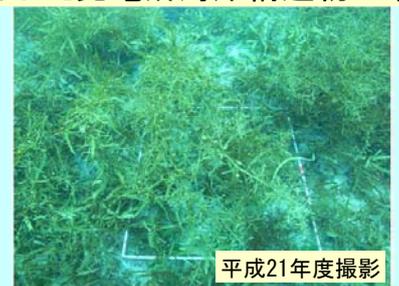
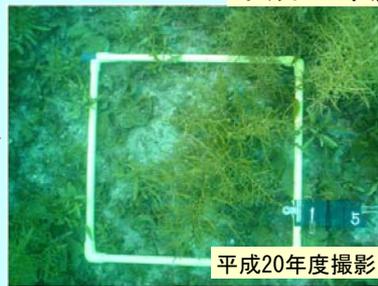
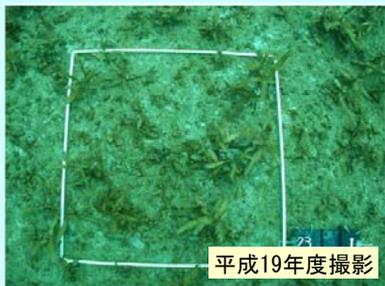
発電所の海岸構造物と取放水には、環境改善的な効果が知られています。これについて、現地事例調査と環境保全への活用手法の検討を行っています。

～海岸構造物の効果～

発電所立地に伴う海岸工事によって藻場の消失が懸念されますが、完成後の護岸等海岸構造物には新たに藻場が形成され、環境が修復されることがあります。藻場形成の事前予測と効果検証の手法を検討しています。

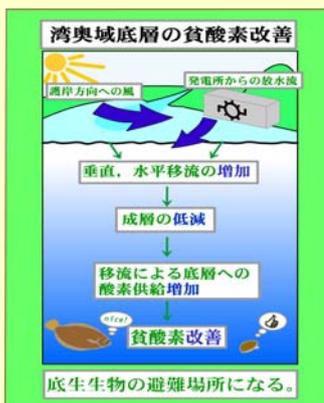


平成18年度に完成した発電所海岸構造物の事例

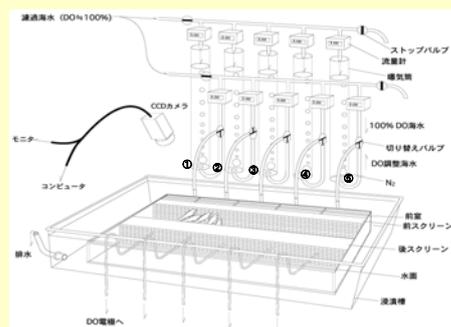


～取放水の効果～

東京湾などの内湾奥域では、夏場になると底層に貧酸素水塊が形成されるため、多くの魚貝類が死滅します。そのような内湾の沿岸には、冷却用海水を大量に取放水している発電所が集中立地しており、取放水流動による底層酸素環境の改善効果（貧酸素からの一時的な避難場所の形成）が期待されます。そこで、貧酸素からの忌避行動を把握するための試験システムを開発し、有用魚介類の避難場所として必要な酸素量について集積を行っています。



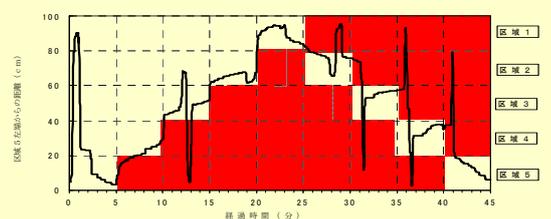
貧酸素改善のための取放水有効利用の概念



低酸素忌避反応行動システムの概要



←水槽内の整流状況
* 中央区画に着色海水を供給し、
その他の区画には無着色海水を供給



試験経過時間に伴う区域内の溶存酸素量、および試験魚（マハゼ）の移動
* 赤：低酸素（飽和度30%以下） 無色：高酸素（飽和度100%）

海洋生物に及ぼす二酸化炭素(CO₂)の影響

大気中のCO₂濃度増大を回避する手段として、CO₂を海底に貯留する方が検討されています。CO₂が海底から漏洩した際などに懸念される生物影響を予測するため、海生研では基礎的な実験を行っています。

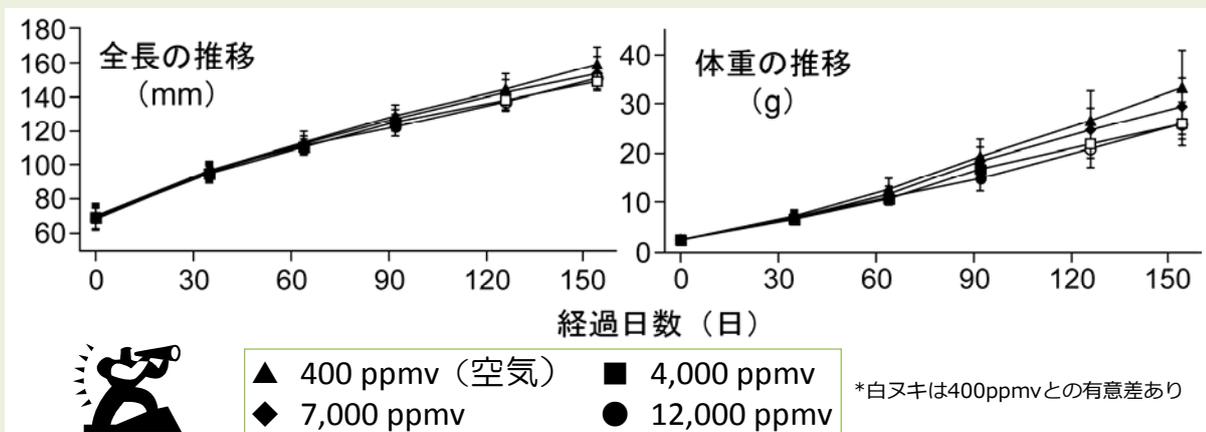


● 生残への影響 (急性) … 魚卵、仔稚魚、エビ、イカなど



生物種や発育段階によって感受性が違います。

● 成長への影響 (慢性) … 魚類 (シロギス)



実験後半になってから影響が現れる。

● その他 … 遊泳障害 (クラゲ)、繁殖障害 (甲殻類・巻貝)、次世代影響 (巻貝)

化学物質の生物試験法と影響評価法の開発

水域における化学物質の有害性評価に関する公定法は主として淡水生物を対象としたものであり、海産生物へ適用するには課題が指摘されてきました。当所では、海産生物を用いた化学物質の有害性評価手法の開発を検討しています。

試験の結果から、淡水生物に対する既存の手法において有害性評価に用いられている予測無影響濃度などの導出を海産生物に適用した場合の適合性や問題点を検討するための基盤データの収集と整理を行っています。

☆試験生物として検討している海産生物の例



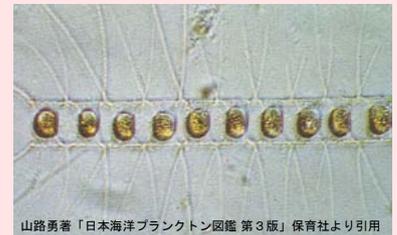
シロギス

試験には孵化後32～42日程度の稚魚を用いています。



シオダマリミジンコ

幼生から成体になるまでの期間に試験を実施しています。



植物プランクトン

試験には *Pavlova lutheri* と *Chaetoceros gracilis* を用いています。

☆化学物質に対する毒性試験の実施例



魚類急性毒性試験

化学物質に96時間暴露した後、暴露濃度と生死への影響の関係を調べます。



甲殻類繁殖試験

化学物質に最大21日間暴露した後、暴露濃度と幼生生産数などへの影響の関係を調べます。



藻類生長阻害試験

化学物質に最大96時間暴露した後、暴露濃度と増殖速度への影響の関係を調べます。

化学物質のモニタリング手法の開発

干潟域、内湾域、沿岸および沖合域など様々なタイプの漁場に生息する魚介類を用いて、微量な化学物質の蓄積状況を把握するための、簡便なモニタリング手法を開発することを目的とした調査を行っています。

★このような魚介類を調べています

干潟域



アサリ



シロギス

内湾域



コウイカ



マコガレイ

沿岸・沖合域



スルメイカ



スズキ

★調査の方法

試料の入手

各漁場で魚、イカ、二枚貝などを採取します。同時に、その場所の海水や海底泥も採取します。



海水の採取

化学物質濃度の測定

試料中の化学物質[ポリ塩化ビフェニル(PCBs)、有機スズ化合物、クロルデン類など]の濃度を測定します。



分析用試料の前処理

データの解析

分析結果から、どんな生物をどのくらいの大きさでいつ、何個体採集すればよいのか解析し、簡便かつ有用なモニタリング手法を開発します。

化学物質	本調査と既往知見の測定値の比較		
PCB		<	
PBDE	本調査の	≒	既往知見の
PAH	アサリの	≒	二枚貝の
PFOS/A	測定値	≒	測定値
TBT		>	

取りまとめの一例

原子力施設の沖合漁場における海洋放射能調査

200海里時代になって、我が国周辺の漁場はこれまで以上に重要性を増すとともに、原子力発電が重要な位置を占めるようになってきたことから、漁業界は、原子力施設周辺の主要漁場について放射能調査を充実するよう国に要請しました。科学技術庁（現文部科学省）はこれを受け、漁場環境の安全の確認および風評被害の防止に資することを目的として、昭和58年度から原子力発電所等周辺の主要漁場における海洋環境放射能調査を開始し、さらに平成2年度から核燃料サイクル施設沖合での調査を開始しました。

漁場を見守る



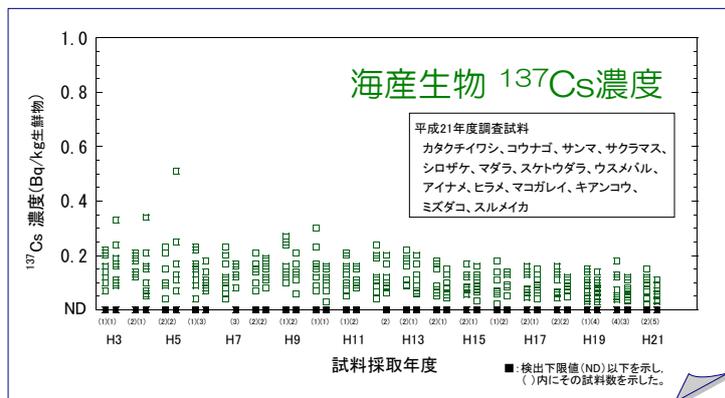
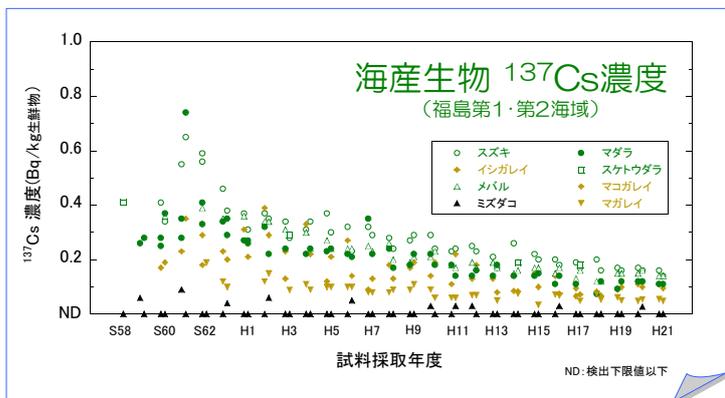
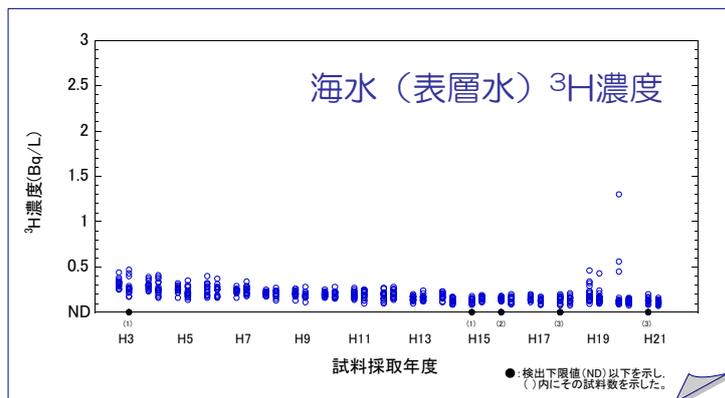
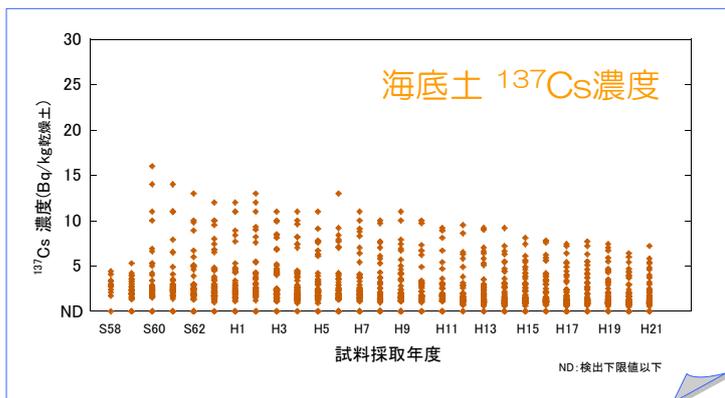
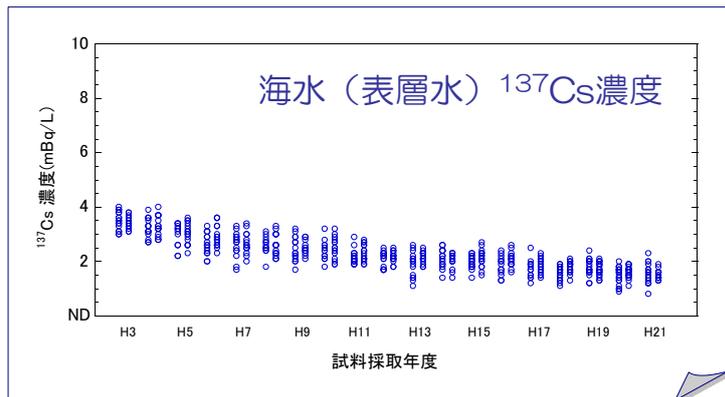
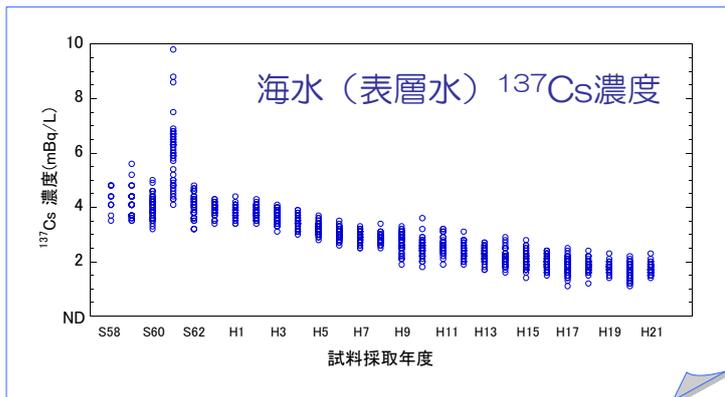
海水試料



海底土試料



海産生物試料



注) Cs : セシウム、³H : トリチウム

海洋放射能調査の結果

平成21年度に原子力発電所等周辺海域及び核燃料サイクル施設沖合海域の主要な漁場において実施した海洋放射能調査の結果によると、海水試料、海産生物試料および海底土試料の人工放射性核種濃度は、いずれも過去5年間の測定値と同程度でした。

なお、検出された人工放射性核種による環境や人への影響はないと考えられます。

創立 35 周年記念報告会講演要旨集

平成 22 年 12 月 6 日

財団法人 海洋生物環境研究所

〒162-0801 東京都新宿区山吹町 347

藤和江戸川橋ビル 7 階

TEL 03-5225-1161

本書の無断複写・複製・転載を禁じます。