

# 国立環境研究所 ニュース

National Institute for Environmental Studies

Vol.39

No.6

令和3年(2021)2月



福島海域調査:福島第一原発の南側及び北側放水口付近での採水作業に臨む

## 特集 | 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

化学物質等に起因する生態影響を正しく把握する | 2

生態影響の包括的・効率的評価について | 3

多種多様な化学物質評価のための試験法開発について | 5

震災・原発事故後の福島県沿岸における魚介類群集の変遷 | 8

化学物質の複合影響をどう評価するか | 12

実験生物に頼らない21世紀の毒性評価システム(AOPとIATA) | 16

福島海域調査 | 19

三力国の環境研究機関の発展的協力に向けて:  
「第17回日韓中三力国環境研究機関長会合(TPM17)」の開催報告 | 23

令和3年度政府予算案における国立環境研究所関係予算の概要 | 26

## 化学物質等に起因する生態影響を正しく把握する

山本裕史

われわれは、衣服の繊維や洗剤、食品添加物や農薬、建材や燃料、電化製品、そして医薬品や化粧品など衣食住の様々な場面で化学物質を広く使用していて、これらは日常生活を豊かで便利なものにしてきています。その一方で、製造・使用される化学物質の種類は数十万～数百万種に上るとも言われていますが、一部は廃棄されて環境中に排出され、不適切・不十分に処理をされた場合は、我々の身近に生息する生物に対して有害な影響を及ぼす恐れがあります。そこで、野生生物に対する化学物質の有害な影響を未然に防止する観点から、一定の生物種に対する有害影響を実験室内での標準的な試験によって評価する手法が国内外で広く取られるようになってきました。典型的な方法として、1980年頃から植物（生産者）として藻類（通常は単細胞緑藻）、無脊椎動物（一次消費者）として甲殻類（通常はミジンコ）、魚類（二次消費者）としてメダカやゼブラフィッシュなどの小型魚を用いて、化学物質がこれらの生死にどのように影響するのかによって評価するシステムができていて、農薬や一般工業化学物質に適用されています。しかしながら、近年は化学物質が多種多様になり、試験が実施されて安全性が確認されている物質はかなり限られているほか、内分泌かく乱作用などの特殊な作用を有する物質もあります。そのため、これらの生物の生死だけでは、当該生物種の個体群の維持を評価するのが難しいことがわかってきました。また、内分泌かく乱作用を有する物質に加え、水に溶けにくい物質や凝集して拡散が難しいナノ粒子、農薬や医薬品の中でも特定の生物種に強い有害影響を及ぼす化学物質の存在も指摘され、これらの有害影響を正しく把握することが重要になってきています。

また一方で、1960年代の公害問題以降、当時の環境庁や国立環境研究所の前身である国立公害研究所の設立、各種の環境基準・排出基準の設定や事業場の自主的管理の促進などによって、野生生物の生息する河川や沿岸域の環境は大きく改善されてきました。しかしながら、1990年代後半から問題になって

きた船底防汚剤に含まれる有機スズ化合物による巻貝の生殖異常（環境儀 No. 17 参照）をはじめ、化学物質のみならず様々な人間活動の影響を受ける東京湾や、東日本大震災の影響を受ける福島県沿岸域など、野生生物への影響や生物相の変化も指摘されています。また、生物多様性や生態系サービスの観点からも、陸水生態系、沿岸生態系ともに改善が認められず、その一因として、人間活動や開発、気候変動などと合わせて化学物質汚染の影響が挙げられています。

以上の背景から、われわれは国立環境研究所の安全確保研究プログラムの4番目のプロジェクトとして「生態影響の包括的・効率的評価体系構築プロジェクト（PJ4）」を実施し、化学物質をはじめとした有害因子の生態系への影響を包括的かつ効率的にとらえるために、

- (1) 多種多様な化学物質の生態影響を正しく把握するための試験法や解析手法の充実
- (2) 実環境中での実態把握を目的とした沿岸生態系保全のための評価系の構築
- (3) 混合物や環境試料の生態影響評価

に関する研究を実施することで、安全確保社会の実現に貢献することを目指しました。

今回の特集では、研究プロジェクト全体の紹介として、「生態影響の包括的・効率的評価について」を、また、(1)については「多種多様な化学物質評価のための試験法開発について」、(2)については「震災・原発事故後の福島県沿岸における魚介類群集の変遷」、(3)については、「化学物質の複合影響をどう評価するか」をそれぞれ研究ノートとして各研究の詳細を紹介します。なお、生態影響の試験法や解析方法のうち、近年実際の生き物を利用しない手法として世界的に重要となっているインビトロ試験やインシリコ解析についてより詳細な説明を加えるために、環境問題基礎知識として「実験生物に頼らない21世紀の毒性評価システム（AOPとIATA）」について解説します。さらに、生態影響の評価における野外調査の重要性やその内容についてより深く理

解してもらうために、調査研究日誌「福島海域調査」もご用意しましたので、是非ご覧ください。

(やまもと ひろし、環境リスク・健康研究センター副センター長)

執筆者プロフィール：

ほぼ毎朝、犬の散歩で近所の公園をハシゴします。秋から冬に向かい、空気がひんやりしてきましたが、運動不足の解消にもなるし、少し考え事もできていいですね。



【研究プログラムの紹介：「安全確保研究プログラム」から】

生態影響の包括的・効率的評価について

山本裕史

化学物質の多種多様化が進むとともに化学物質等に起因する様々な環境要因によって生態系への有害な影響が懸念されていますが、これらを包括的・効率的に評価する体系が整備されていませんでした。そこで、このプロジェクトでは、安全確保研究プログラムの「生態影響の包括的・効率的評価体系構築プロジェクト」として、化学物質の生態系へ及ぼす影響指標を包括的に体系化するとともに、沿岸生態

系保全のための評価体系及び対策の提案を行うことを目的とし、環境リスク・健康研究センターのメンバーにより、3つのサブテーマについて共同して取り組んできました。図に示すように、サブテーマは(1)化学物質評価のための生態影響試験の充実化と体系化、(2)沿岸生態系保全のための評価体系及び対策、ならびに(3)化学物質の複合影響と実環境試料の生態影響の評価となっています。

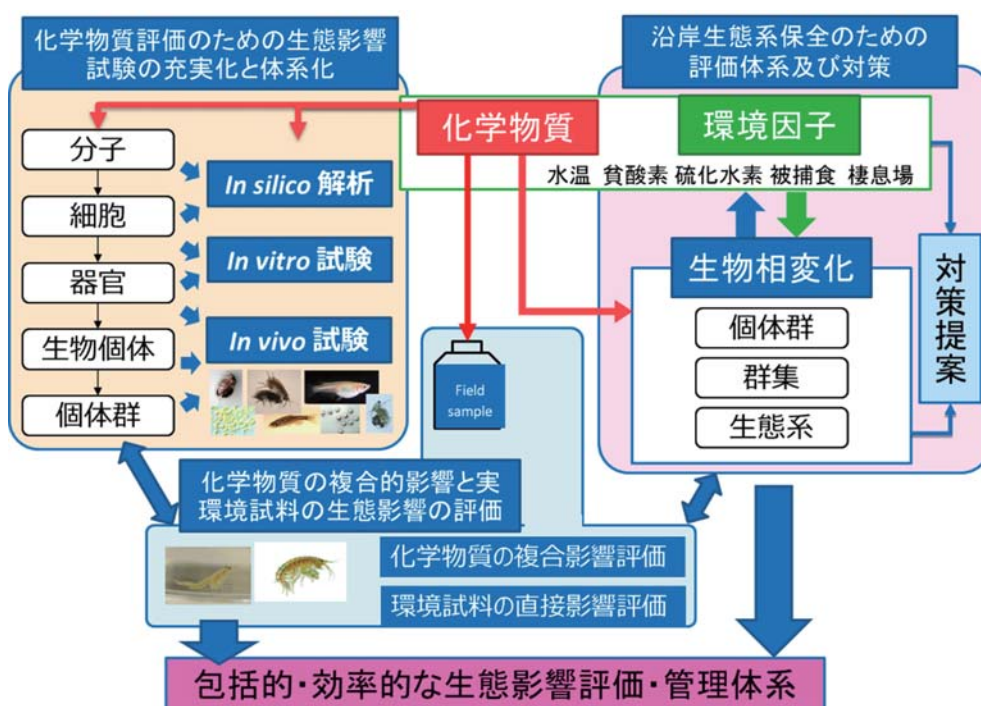


図 生態影響の包括的・効率的評価体系構築プロジェクトの概要

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

サブテーマ1 化学物質評価のための生態影響試験の充実化と体系化

ここでは、生き物を用いたインビボ (*in vivo*) の生態影響試験に加え、細胞など生物材料を用いた試験管内試験であるインビトロ (*in vitro*) 試験を充実させ、計算機を用いた(定量的)構造活性相関などのインシリコ (*in silico*) 解析等を加えて、AOP (Adverse Outcome Pathways) や IATA (Integrated Approaches to Testing and Assessment) (環境問題基礎知識を参照) などを視野に入れた包括的かつ効率的な化学物質管理のための体系の構築を目指してきました。

インビボの試験法の充実については、内分泌かく乱作用の検出試験やその応用に関する研究をおこない、メダカの多世代試験や抗アンドロゲン作用の検出試験法、ミジンコ幼若ホルモンの検出試験法の開発と検証などを行ってきました。また、試験実施による有害性評価が難しいナノ粒子の評価手法の検討や、難水溶性の化学物質の評価のための端脚類ヨコエビを用いた底質試験法の開発や体系的な底質リスク評価手法の確立、農業評価のためのウキクサやフサモ、ユスリカを用いた試験法の検証などを実施してきました。さらには、日本は海に囲まれているものの、化学物質や排水の評価・管理のための試験法として、海産・汽水生物を用いた試験法(特に短期の慢性毒性試験法)が十分に整備されていませんでした。そこで、海産藍藻や緑藻・珪藻、大型藻類といった植物、カイアシやアミといった無脊椎動物、そしてマダイやマミチョグ、ジャワメダカといった魚類を用いた試験法を開発し、標準物質を用いて複数機関(水産研究・教育機構水産技術研究所、海洋生物環境研究所、鹿児島大学と共同)で検証してきました。これらの成果の一部として、内分泌かく乱作用関係の試験法開発や、植物ホルモンかく乱物質の活性について、研究ノート「多種多様な化学物質評価のための試験法の開発について」において紹介します。

サブテーマ2 沿岸生態系保全のための評価体系及び対策

また、東京湾や福島沿岸のように人間活動に伴う環境負荷が懸念される沿岸生態系において、環境因子と生物相変化との関連性について、野外調査を中心に実験・数値モデル解析等を組み合わせて評価を

実施してきました。

東京湾と福島県沿岸の定点においては定期調査を行い、底棲の魚介類群集の変遷を追跡するとともに、水温や溶存酸素の濃度、栄養塩の濃度といった水質項目や、放射性核種などの環境因子の変動も調べました。

その結果、東京湾ではシャコやマコガレイなど中・小型魚介類の棲息密度が、1980年代末以降、低いまま推移し、大型魚類(スズキやサメ・エイ類)の密度が、2000年代以降、比較的高いまま安定する一方、2010年代に急増したコベルトフネガイ(二枚貝)の密度は、近年、経年的に減少してきたことがわかりました。魚介類の種組成や密度は水温、溶存酸素、栄養塩濃度及び動物プランクトン密度などの環境因子と相関が認められたほか、1990年代半ば以降、東京湾では砂から軟泥へと底質組成の変化が顕著で、底質の変化と生物相変化との関連性の解析・究明が今後必要となります。

一方、福島県沿岸での2013年以降の底棲魚介類の群集構造解析では、サメ・エイ類、フグ類、二枚貝類等を除く、魚類、甲殻類、巻貝類、頭足類および棘皮類の多くの種で減少傾向が認められました。震災・原発事故以降、福島県沿岸では、総じて、魚類を含む複数の底棲魚介類の繁殖・再生産が阻害されている可能性があります。さらに、定点や調査頻度を増やしたフィールド調査を2018年から実施し、より詳細な生物群別の分布特性が明らかになりました。成果の一部は研究ノート「震災・原発事故後の福島県沿岸における魚介類群集の変遷」においてご紹介します。

サブテーマ3 化学物質の複合影響と実環境試料の生態影響の評価

最後のサブテーマでは、実環境での化学物質の生態影響を想定して、化学物質同士の複合影響評価や実環境試料を用いた試験を実施しました。複合的影響試験としては、環境中でリスクが高いと考えられる金属類、界面活性剤、殺虫剤、医薬品、抗菌剤、プラスチック添加剤などを対象に、2種類の相加・相乗・相殺作用の検討のほか、3種以上の組合せでの魚類・ミジンコ・藻類について環境中での平均的な濃度比で組み合わせて影響を調べる検討を行いました。

した。また、関東近辺を中心に河川水をのべ80カ所程度採取し、3種の短期慢性毒性試験（ゼブラフィッシュを用いた胚・仔魚期短期毒性試験、ニセネコゼミジンコを用いた繁殖試験、ムレミカヅキモを用いた藻類生長阻害試験）に基づいて実施し、一部の地点では有害影響が検出され、金属濃度などの化学分析値との比較による毒性原因調査や影響指向型の解析を行いました。成果の一部は研究ノート「化学物質の複合影響をどう評価するか」において紹介します。

（やまもと ひろし、環境リスク・健康研究センター副センター長）

執筆者プロフィール：

新型コロナウイルスの関連で、多くの国際会議や国内学会、環境省会議などがWebでの開催となっています。顔の見えないWeb会議での合意形成にも苦労がありましたが、だんだん慣れてきました。また対面で堂々とできる日が早く戻ってくるといいですね。



## 【研究ノート】

### 多種多様な化学物質評価のための試験法開発について

山 岸 隆 博

#### はじめに

世界で最も利用されている化学物質データベースのChemical Abstracts Service (CAS) は、2015年にその登録件数が1億に達したことを報告しています。2019年にはその件数は1億5千万に達し、この間、1分に約24件のスピードで新たな化学物質が登録された計算になります。今、多種多様な化学物質の開発に伴い、これらの化学物質が環境中に放出された際の安全性評価を目的とした多岐にわたる化学物質の作用解明と、それらを検出・評価するための新たな試験法開発が求められています。例えば、ホルモン（生体の器官でつくられ、代謝や発生、恒常性の維持に関与する生理活性物質）様の作用を有する化学物質は、それが水環境中に放出されると水生生物の内分泌系をかく乱し、個々の生物や生態系に有害な影響を及ぼすことはよく知られた事実です。中でも女性ホルモンの一種、エストロゲンや合成女性ホルモンは、生活排水を介して水生生物のメス化を引き起こすことが知られています。環境中において個体や個体群に有害な影響を及ぼすであろうこれらの化学物質は「内分泌かく乱物質」あるいは「環境ホルモン」と呼ばれ、これまでに様々な観点から科学的な検証がなされると同時に、メダカやカエル、ミジンコなどのモデル生物を利用した内分泌かく乱物

質の検出・評価系が複数開発されてきました。例えば、化学物質やその混合物の安全性に関する知見を得るための国際的に合意された試験法コレクションの1つであるOECD（経済協力開発機構）テストガイドラインには、魚類を用いた内分泌かく乱物質の検出試験として、肝臓中ピテロジェニン（女性ホルモンにより誘導される卵黄タンパク質）量と生殖腺の病理を指標とした魚類21日間スクリーニング試験（OECD TG230）や産卵数を指標とした21日間魚類短期繁殖試験（OECD TG229）などがあります。一方で、TG230やTG229は試験の原理上、テストステロンなどの男性ホルモンの働きを阻害する抗男性ホルモン作用を検出できないことから、近年我々のグループでは、その形成に男性ホルモンが密接に関与している乳頭状小突起（雄のメダカの尻ビレに形成される突起：図1）の形成を指標とした抗男性ホルモン物質のスクリーニング試験を新たに開発してきました。さらに、節足動物に特異的な内分泌かく乱として、ミジンコのオス化を引き起こす幼若ホルモン（昆虫の成長および変態を調節するホルモン）作用を有する物質や脱皮ホルモンをかく乱する物質のスクリーニング試験などを新たに開発しています。また、化学物質種の急速な増加により、種間の感受性差を考慮する必要性は一段と増しており、生態系

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

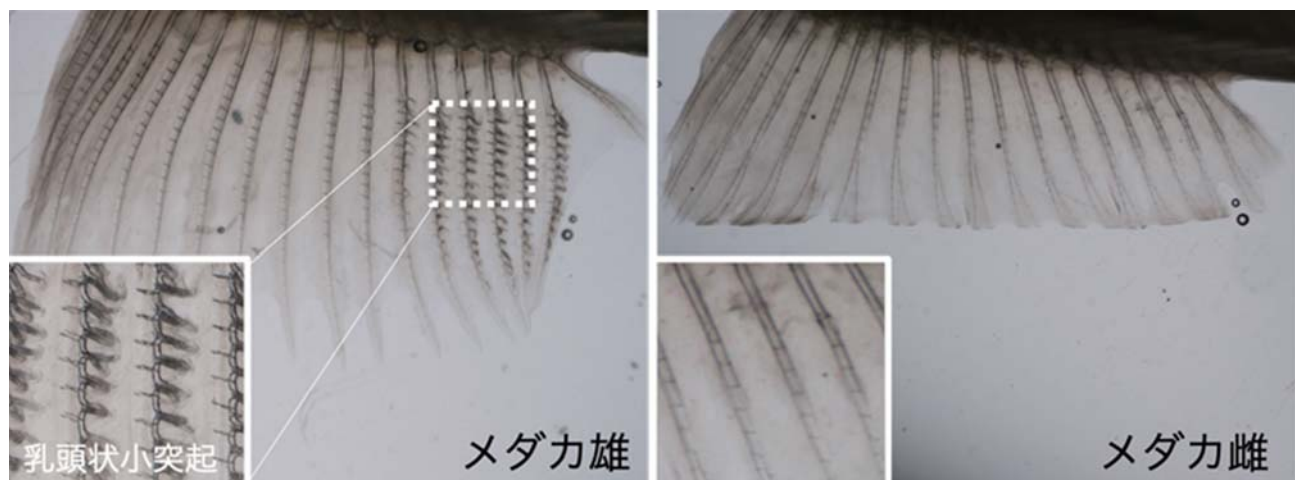


図1 メダカ雄雌の尻ビレの比較

全体を考慮した信頼性の高いリスク評価のためには、モデル生物のみならず幅広い生物種を用いた試験法の開発も求められています。一方で、安全性評価を目的とした試験を膨大な数の化学物質すべてに実施することは非常に難しいという問題もあり、試験法開発においては試験期間の短縮化や簡易化が求められるのはもちろん、スクリーニング試験の重要性も増しています。

植物ホルモンかく乱作用物質のスクリーニング法の開発

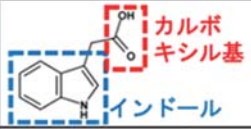
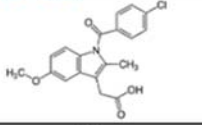
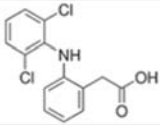
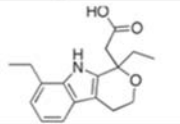
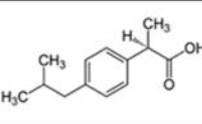
「ホルモン」とは一般的に動物（無脊椎動物および脊椎動物）の体内で生成・分泌され、特定の臓器や細胞で作用する生理活性物質を指しますが、実は植物にも「ホルモン」は存在します。それは「植物ホルモン」と呼ばれ、動物に相当する分泌器官や標的器官が存在しないこと、輸送メカニズムが動物のものとは異なること、同一のホルモンであっても作用部域や濃度の違いにより著しく作用が異なることなどから動物における「ホルモン」とは区別されていますが、「植物ホルモン」も、植物の機能調節に重要な役割を果たす生理活性物質です。これまで、オーキシシン、ジベレリン、サイトカイニン、アブシジン酸、エチレンなどの「植物ホルモン」が発見されており、これらはそれぞれが相互作用しながら形態形成や成長、分化を制御しています。中でもオーキシシンは細胞伸長や細胞分裂の制御に関与する「植物ホルモン」であり、アゴニスト（類似作用を示す物質）やアン

タゴニスト（拮抗物質）によるオーキシシンのかく乱は、動物で問題視されている内分泌かく乱と同様に、植物においても有害作用として重大なインパクトになると考えています。実際、2,4-DやMCPAなどのオーキシシンアナログはホルモン（オーキシシン）型除草剤として利用されていますし、その作用は明らかになっていないものの、オーキシシンと類似構造を有する化学物質は多数存在しています。

オーキシシンは、二重結合を有する環構造とそれから1または2個の炭素原子を隔てたカルボキシル基をもつ構造が特徴で、環構造およびそれに隣接した側鎖の存在がオーキシシンの活性中心であることが報告されています（表1）。最近、我々は複数の非ステロイド性抗炎症薬（NSAIDs）が陸上植物の発芽・発根を阻害することを明らかにしました。NSAIDsは体内で痛みや炎症などを引き起こすプロスタグランジン（PG）の生成を抑えるよう作用するもので、近年、処方薬から市販薬まで幅広く活用されています。実は、NSAIDsの中にはインドール構造（ベンゼン環とピロール環の縮合構造）をはじめ、オーキシシンと類似構造を有するものが多数存在しています（表1）。阻害作用が認められたNSAIDsは側鎖にカルボキシル基をもつなどオーキシシンと何らかの類似構造を有しており、NSAIDsの発芽・発根に対する阻害作用はそれらが有するオーキシシンかく乱作用によるものであると推測されました。

このことを検証する目的で、ニンジン（学名：*Daucus carota* L.）のカルス（未分化細胞塊）を利用

表1 オーキシシンと NSAIDs の構造比較

| 医薬品                               | 分類                  | 構造  |
|-----------------------------------|---------------------|---|
| インドール酢酸<br>$C_{10}H_9NO_2$        | 天然オーキシシン            |   |
| インドメタシン<br>$C_{19}H_{16}ClNO_4$   | NSAIDs,<br>インドール酢酸系 |   |
| ジクロフェナク<br>$C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$ | NSAIDs,<br>フェニル酢酸系  |   |
| エトドラク<br>$C_{17}H_{21}NO_3$       | NSAIDs,<br>酢酸系抗     |   |
| イブプロフェン<br>$C_{13}H_{18}O_2$      | NSAIDs,<br>プロピオン酸系  |  |

した組織誘導試験とタバコ（学名：*Nicotiana tabacum* L.）BY-2 培養細胞を用いた増殖試験を開発しました。ニンジンカルスは、オーキシシン存在下でのみ増殖するのですが、外部のオーキシシン濃度低下はシュート（植物の地上部）や根への分化を誘導します。したがって、カルスにおける被験物質の組織誘導作用を見ればオーキシシンのかく乱作用を検証できると考えました。結果は、オーキシシンと類似構造を有する NSAIDs は、ニンジンカルスの組織誘導を大きく促進するというものであり、つまり、NSAIDs のオーキシシン拮抗物質としての作用が示唆されました。また、タバコ BY-2 細胞は、オーキシシン合成能を失った細胞で、外部オーキシシンの存在下でのみ増殖できるという特殊な細胞です。オーキシシン無添加培地への NSAIDs の添加が BY-2 細胞の成長を促進しないことや、オーキシシン添加培地への NSAIDs の添加が BY-2 細胞の成長を抑制したことなどの結果から、組織誘導試験と同様に NSAIDs のオーキシシン拮抗物質としての作用が示唆されました。

#### まとめ

インドール構造は、天然オーキシシンの基本構造ですが、2003 年以降、インドール構造を有する

化学物質は医薬品で 400 種以上、さらにその誘導体を含めると数千の記載があります。植物ホルモンのかく乱作用は、花芽の形成や結実、形態の異常などに現れる場合が多く、その影響評価には世代をまたぐ長期試験が必要となります。本試験で開発した 2 つの試験法は、短期間かつ省スペースで行えることから、植物ホルモンかく乱物質のスクリーニング試験として非常に有用であると考えています。また、カルス細胞の植物ホルモンに対する反応性は非常に高く、今後、オーキシシンのみならず他の植物ホルモンかく乱物質のスクリーニング法としても利用できると考えています。

（やまぎし たかひろ、環境リスク・健康研究センター  
生態毒性研究室 主任研究員）

執筆者プロフィール：

戦後の高度経済成長期に深刻化した日本の環境汚染問題も、法整備や行政機関の様々な取り組みにより大きく改善しました。しかし本当にそうでしょうか。今、真に環境で何が起きているのかを知り、後世に豊かな環境を引き継ぐための研究を進めています。



【研究ノート】

震災・原発事故後の福島県沿岸における魚介類群集の変遷

児玉圭太

はじめに～震災・原発事故が福島県沿岸にもたらした影響～

我が国に甚大な被害をもたらした東日本大震災、および福島第一原子力発電所（福島第一原発：図1）事故の発生から10年が経過しようとしています。地震発生後の大津波襲来によって、東北地方沿岸の広い範囲において、陸域および浅海域の著しい環境改変が起きました。また、福島第一原発の事故に伴って、多量の放射性物質が環境中に漏出しました。海域への放射性物質の流出・拡散に関しては、原発近傍に留まらず、はるか遠方のアメリカ西岸でも原発事故由来の放射性物質が観測されるなど、その影響は世界規模に及びました。

また、福島県沿岸の海産生物から国の基準値（水産物の放射性セシウムの基準値：2012年3月31日までは暫定的に500Bq/kg、2012年4月1日以降は100Bq/kg）を上回る放射性セシウムが検出され、食の安全の観点から人々の不安が広がりました。こうした事態を受けて、福島県の漁業は自粛を余儀なくされました。その後、海産生物の体内に蓄積された放射性物質濃度のモニタリングが精力的に実施されてきました。幸いなことに、魚体内の蓄積濃度は時

間の経過とともに減少して、現在ではほとんどの魚種で国の基準値を下回ることが明らかとなりました。国の基準値を安定的に下回る魚種については、段階的に試験操業（「福島県における試験操業の取組」<http://www.fsgyoren.jf-net.ne.jp/siso/sisotop.html>）が行われており、福島県漁業の本格的な再開に向けて着実に前進しています。食の安全の観点では希望の光が見えてきた、と行うことができるでしょう。

一方で、別の懸念もあります。それは、震災、津波および原発事故に伴う環境改変によって、海産生物の生態にどのような影響が及んだのだろうか、という点についてです。例えば、震災や津波による海底環境の変化によって、従来の生態系バランスが変化し、種によって個体数が増えたり、減ったりする可能性があります。また、原発事故の流出水に含まれていた放射性物質や、その他の有害物質に曝されることによって、短期的には斃死してしまったり、また、中長期的には、繁殖能力に異常が生じて次世代の再生産が滞ってしまうかもしれません。しかし、こうした観点からの調査は、震災・原発事故直後の当時には福島県沿岸域で行われていない状況でした。



図1 福島第一原子力発電所



## 福島県の海を調べる～底棲魚介類群集に何が起きたのか?～

震災・原発事故が、福島県沿岸の底棲魚介類の生態に及ぼす影響を明らかにするため、私たちは2012年10月から生物・環境調査を開始し、年間2～3回の定期調査を継続して実施してきました(調査の詳細は今号の「調査研究日誌：福島海域調査」をご参照ください)。この調査では、福島第一原発近傍(福島県中部)、松川浦沖合(同北部)およびいわき沖合(同南部)の3海域において、それぞれ水深10m、20mおよび30mに定点を設け、各定点において餌料板びき網と呼ばれる漁具による底曳調査を行い、底棲魚介類を採集しています(図2)。また、環境状態を把握するため、水温、塩分および溶存酸素濃度の測定、海水と底泥に含まれる放射性物質濃度の測定を行っています。そして、海水中の動植物プランクトンと、底泥に棲息するゴカイなどのベントス類も採集しています。このように、環境と生物の包括的な調査を継続して実施することにより、福島県沿岸の生態系の長期的な変遷をとらえることを目的としています。今回は、この調査の中から底棲魚介類に焦点を当て

て、個体数や種の構成がどのような変化を辿ってきたのかについて明らかにした調査結果をご紹介します。

図3に福島県沿岸の10～30m水深に棲息する底棲魚介類の個体数密度と重量密度の経年変化を示しました。この結果を見ると、2013年から2016年にかけて、個体数密度は減少傾向を示しました。特に甲殻類(主にエビジャコ、キシエビおよびサルエビ)と棘皮類(主にツガルウニ、マヒトデ、スナヒトデおよびニッポンヒトデ)の減少が目立ちます。魚類と頭足類は2014年に増加しましたが、それ以降は減少傾向にあります。

一方で、重量密度では魚類が大きな比率を占めていました。これには、体のサイズが大きい板鰓類(サメ・エイの仲間)や異体類(カレイ・ヒラメの仲間)、そして、しばしば多獲されるフグ類が大きく寄与しています。体のサイズの小さい甲殻類、貝類および頭足類は、全体に対する重量密度の比率が小さいため、2014年に貝類と頭足類(主にツメタガイとジンドウイカ)が増加したことを除いて、明瞭な重量密度の増減はみられませんでした。棘皮類の重量密度

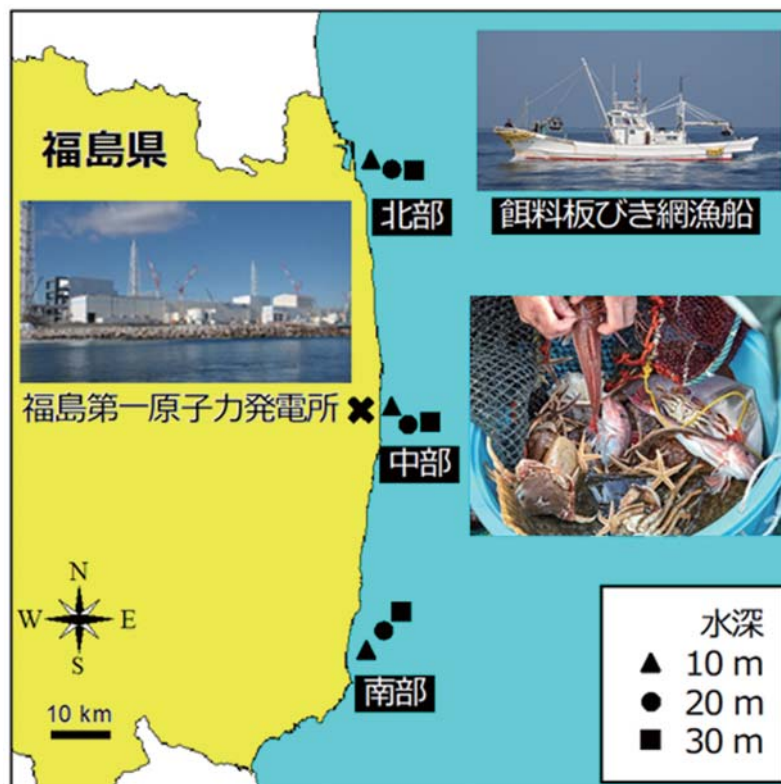


図2 福島海域調査位置

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

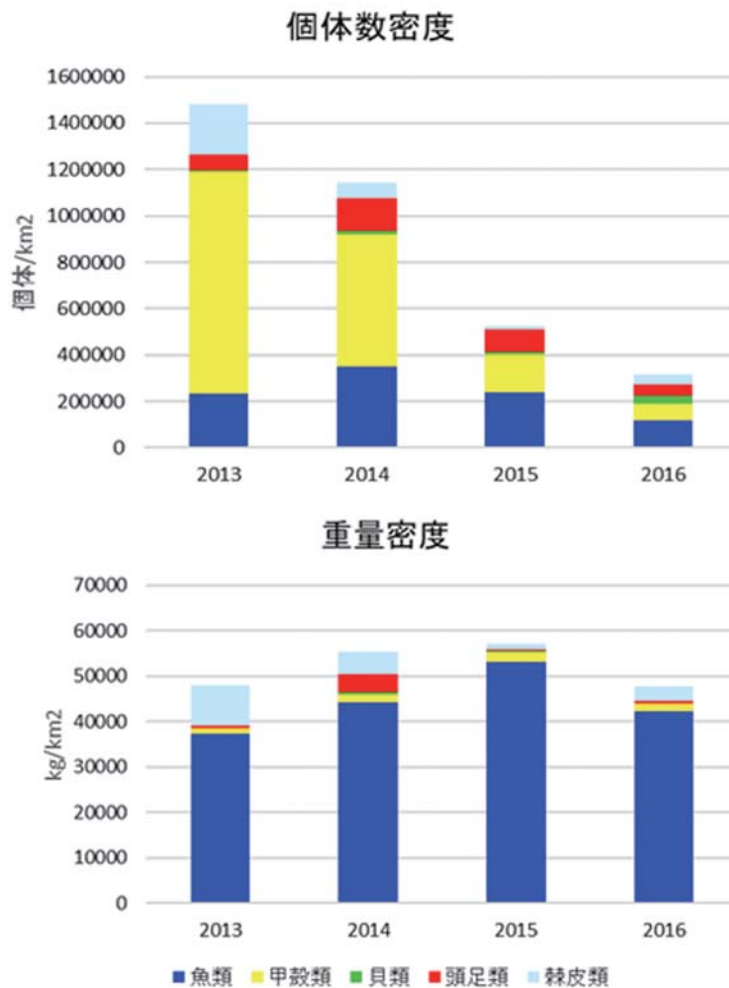


図3 福島県沿岸における底棲魚介類の密度の経年変化

は、個体数密度と同様に2013年に最も高く、それ以降は減少傾向を示しました。魚類の重量密度は2015年まで増加しましたが、2016年には減少傾向を示しました。一方、魚類の個体数密度は2014年以降に減少しました。原発事故以降、福島県の沿岸漁業は操業自粛を行ってきました。このため、漁獲圧力（棲息する水産生物資源を漁獲する行為の程度）が低減したことにより、魚類資源の増加が期待されました。しかし、私たちの調査結果からは福島県沿岸域の底棲魚介類は概して減少傾向を示しています。調査現場の船上で魚介類を採集している中で、次世代の資源を担う若齢個体が少ないのでは、ということも気にかかっています。何らかの要因で繁殖が滞っている可能性もあり、今後詳細な検証が必要です。

次に、水域別にまとめた結果を図4に示しました。この結果を見ると、各水域に特徴的な変動パターン

が見えてきます。例えば、原発直近の中部10mでは小型の甲殻類（主にエビジャコ）や頭足類（主にジンドウイカおよびダンゴイカ）が優占していましたが、2016年に著しく減少したことが分かりました。また、先に棘皮類が減少したことを述べましたが、特に北部20~30m水深で減少が顕著であったことが分かりました。その他に、中部から南部の沖合、特に南部30m水深において、甲殻類（エビ類、カニ類、ヤドカリ類およびシャコ類）が非常に少ないことも分かりました。この水域では、甲殻類の密度がその他の水域に比べて比較的低い状態です。漁業者から聞くところによると、大震災以前には南部水域においても甲殻類は一定量棲息したが近年減少したように見える、とのことでした。大震災以前の調査データが存在せず確かなことが分かりませんが、もし、大震災以降に甲殻類が減少して、その後回復がみ

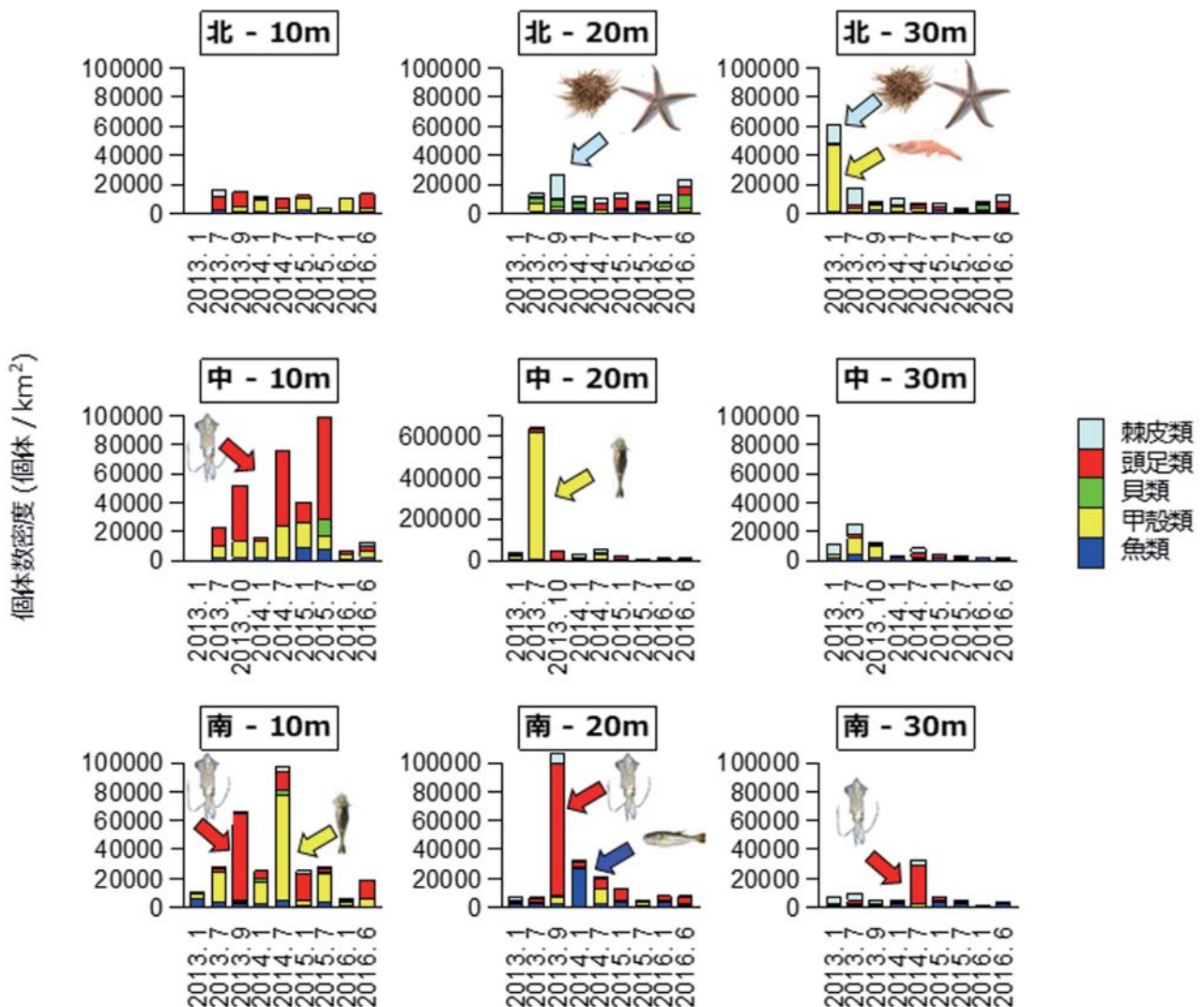


図4 定点・調査回別の個体数密度の時系列変化

られないとすれば、次世代の再生産（性成熟、産卵、孵化および幼若個体の生残）に異常が生じている可能性があります。この疑問点を明らかにするため、現在、甲殻類の幼生（卵から孵化して、海中を浮遊生活している生活史初期段階の個体）が、いつ、どの水域にどのくらいの密度で存在するかを調査しています。この調査結果から、甲殻類の再生産が正常に行われているかについての手がかりが得られることが期待されます。

おわりに～調査結果が示唆するものと、今後の課題～

調査結果から分かったことは、福島県沿岸の魚介類は、全体としては増加傾向にはない、ということです。漁業自粛による漁獲圧力の低下にも関わらず

魚介類の増加がみられない、という事実は、漁業以外に魚介類の増加を妨げる要因が存在することを示唆しています。この要因を特定することは容易ではありません。本調査は大震災および原発事故から1年以上経過してから開始したもので、原発事故前および事故直後のデータが無い場合、放射性物質の流出が底棲魚介類群集に及ぼした影響は残念ながら特定できません。また、水温等の自然環境要因や、生物種間の相互関係（食う食われるの関係）も群集構造の変化に影響する可能性があります。複数の要因の中で、底棲魚介類群集の変化を引き起こす主要因が何なのかを解析するためには、長期的なデータが必要です。さらに、現在、福島県第一原子力発電所に蓄積された放射性物質を含む処理排水を海洋放出

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

することが検討されています。もし、処理排水の海洋放出が実施されることになった場合、沿岸に棲息する生物に影響が及ぶ懸念があります。過去の変動要因解析に加えて、将来に生じる環境変化の生態影響評価を行うためには、本調査を継続して、環境因子および底棲魚介類群集の長期的な変動を記録し続けなければなりません。

(こだま けいた、環境リスク・健康研究センター  
生態系影響評価研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

20年以上慣れ親しんだ東京湾と異なり、福島県沿岸では外海特有の大きなうねりで船酔いしてしまいます。加えて、深夜からの始動、夏の酷暑、冬の酷寒も身に応えますが、美しい日の出と下船後の美味しい食事が心の支えになっています。



【研究ノート】

化学物質の複合影響をどう評価するか

渡部 春奈

1. はじめに

これまで化学物質の有害性評価は個別物質毎に行われてきましたが、実環境中には様々な用途で使われた多種多様な化学物質が同時に存在しています。そうすると、1つ1つは影響がなくても足し合わせていくと有害な影響を引き起こす可能性があります。ときには物質Aと物質Bに同時にばく露されることで、物質Aと物質Bの個別の影響を足した場合（相加作用）より、大きな影響（相乗作用）を示したり、反対に打ち消しあって小さな影響（相殺作用）を示したりすることもあります。このような複数の化学物質による影響を複合影響といい、大別すると図1

に示す2つの評価アプローチがあります。1つ目は「組み合わせ評価（Component-based approach）」で、色々な化学物質を組み合わせたとき、どのような複合影響が起きるか、複合影響は個別物質の影響からモデルによって予測できるか評価します。2つ目は「混合物直接評価（Whole mixture approach）」で、複数の化学物質が含まれている環境試料（混合物）を直接評価することで、実環境中でどのような複合影響が起きているか、そして原因となっている化学物質は何かを調べるものです。本稿ではそれぞれのアプローチによる研究についてご紹介します。

2. 色々な化学物質を組み合わせると複合影響を予測してみる

組み合わせ評価において、個別物質の影響から複合影響を予測するモデルとして代表的なのが、「濃度加算法（CA: Concentration Addition）」と「独立作用法（IA: Independent Action）」の2つです（図2）。CAモデルでは、各物質の濃度をその物質の毒性値（図2ではX%の影響を引き起こす濃度EC<sub>xi</sub>のこと）で割った毒性単位TU（Toxic Unit）を足し算したものが混合物（Mix）のTUになると仮定します。TUが同じならどの物質でも同じ強さの影響を示すとするもので、同じような作用メカニズムを示す物質群に適用されます。一方、IA法は各物質の影響は互いに

①組み合わせ評価（Component-based approach）

Q：個別物質の影響から複合影響を予測できるか？



②混合物直接評価（Whole mixture approach）

Q：複数の化学物質を含む環境試料（混合物）の影響は？

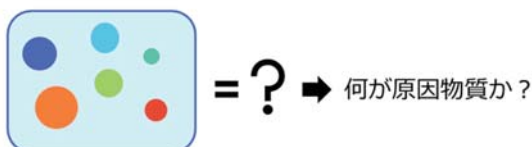


図1 複合影響評価の2つのアプローチ

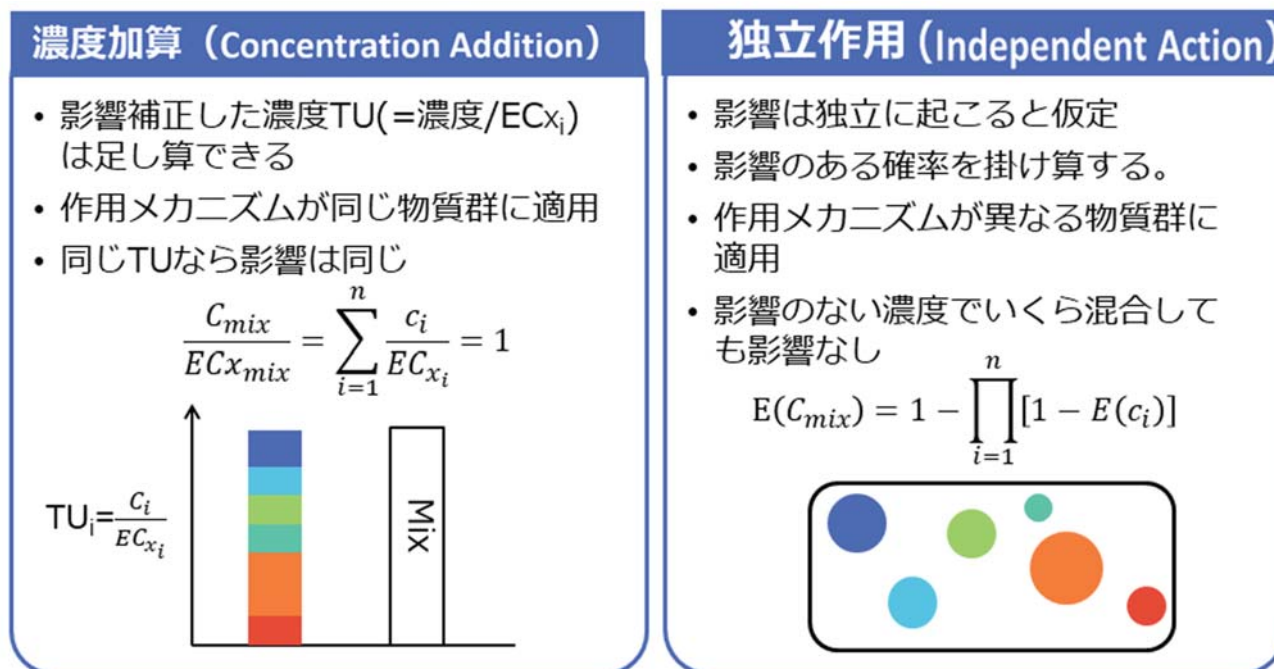


図2 複合影響予測モデル：濃度加算法 (CA: Concentration Addition) と独立作用法 (IA: Independent Action)

$C_{mix}$ :  $i$  個の物質の合計濃度、 $EC_{x_{mix}}$ : 混合溶液が  $X\%$  の影響を及ぼす濃度、 $C_i$ : 混合溶液中の物質  $i$  の濃度、 $EC_{x_i}$ : 物質  $i$  単独で  $X\%$  の影響を及ぼす濃度、 $E(C_{mix})$ : 濃度  $C_{mix}$  における混合溶液の影響 %、 $E(C_i)$ : 混合溶液中の物質  $i$  の、濃度  $C_i$  における単独影響 %

独立して起きると仮定し、作用メカニズムが異なる物質群に適用されます。CA法では、各物質は影響を示す濃度ではなくても、TUの総和が1を超えると影響を示しますが、IA法では互いに独立なので、影響がない濃度でいくら混ぜても影響は示さないとします。どちらも物質間に相互作用がないと仮定しているため、相乗作用や相殺作用といった相互作用があると、モデルの予測値より大きい又は小さい影響が示されるはずですが、そこで実際に混合物を試験して得られた実測値とモデルによる予測値を比較してみます。

では膨大な化学物質の中からどの物質を組み合わせで評価するべきでしょうか？組み合わせは無限に存在するのですべて評価することは不可能です。そこで「水生生物へのリスクが高いと考えられる物質」について「環境中であり得る組み合わせ」を考えてみます。例えば金属類からは、水生生物保全のための水質基準が設定されている亜鉛、基準策定の候補となっている銅とカドミウムの3つを環境中検出濃度比の中央値（亜鉛：銅：カドミウム＝167:35:1）に基づいて混合し、藻類（ムレミカヅキモ）、ミ

ジンコ（ニセネコゼミジンコ）、魚類（ゼブラフィッシュ）を用いた短期慢性毒性試験（「生物応答を用いた排水試験法（検討案）、環境省」に準拠、以下、生物応答試験）を実施しました。図3(a)に示した藻類の生長阻害率の濃度反応曲線のように、実測の曲線（Mixture）はCA法またはIA法による予測曲線と近似しており、これらの金属の複合影響は個別物質の影響から予測可能な範囲であることが分かりました。詳細をみると藻類とミジンコに対しては銅と亜鉛、魚類に対しては銅が主に関与していたと推定されました。同様に、魚類へのリスクが懸念される物質として水生生物保全基準のあるノニルフェノールおよび直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム（LAS）、ミジンコへのリスクが懸念される物質として殺虫剤のマラチオンとクロルピリホス、藻類へのリスクが懸念される物質として抗菌剤のトリクロサンと抗生物質のクラリスロマイシンを選定し、計6物質を環境中検出濃度の中央値に基づいて混合して試験したところ、ミジンコへの影響は主に2つの殺虫剤に由来し、CA法による予測とほぼ一致したのに対し（図3(b))、藻類と魚類では予測値より実測

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

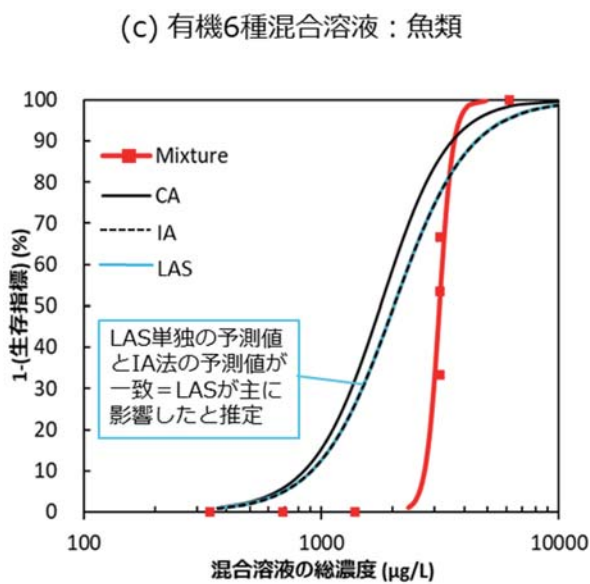
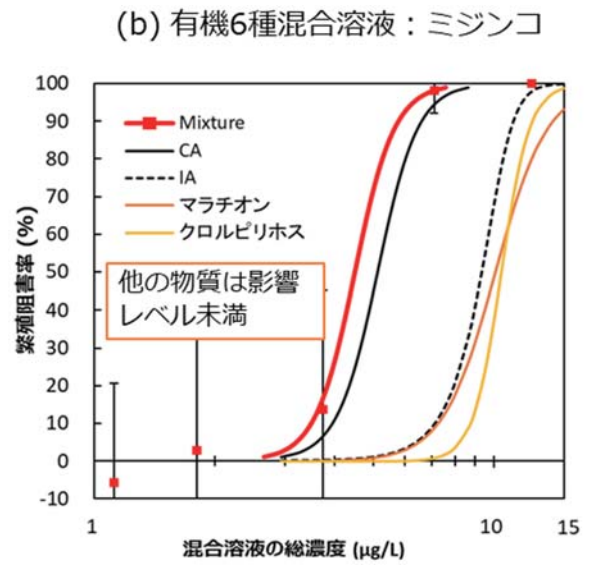
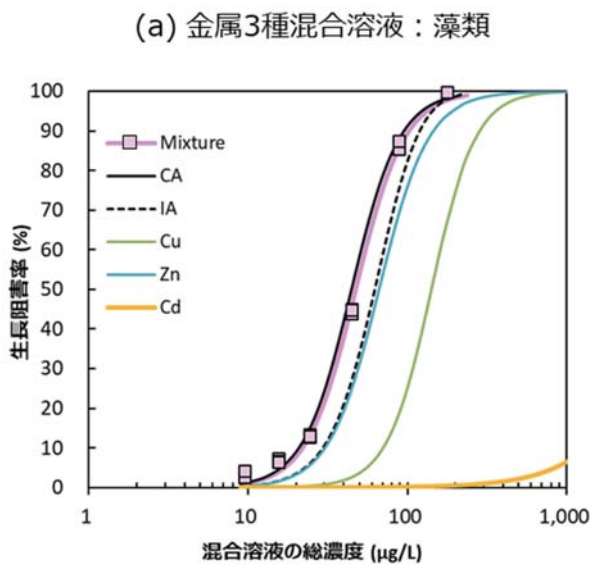


図3 金属3種または有機化学物質6種の混合溶液の濃度反応曲線とCAおよびIA法による予測

- (a) 金属3種混合溶液：藻類生長阻害試験
- (b) 有機6種混合溶液：ミジンコ繁殖阻害試験
- (c) 有機6種混合溶液：魚類胚仔魚短期毒性試験（生存指標はふ化率とふ化後生存率の積、Mixtureは混合溶液の実測値、CAおよびIAは各モデルによる予測値、各物質の曲線は混合溶液中で各物質単独で及ぼす影響の予測値）

値が低く（図3(c)）、やや相殺傾向が示されました。

他にも、構造が似ている物質群は類似の作用を持つ物質群としてCA法に従うのかどうか、アクリル酸エステル類やフタル酸エステル類についてそれぞれ評価したり、生物内での代謝反応から相乗作用が懸念される組み合わせを調べたりしています。

### 3. 色々な化学物質が含まれている環境試料を評価してみる

次に混合物直接評価として、実際の混合物である河川試料から遡って原因物質を探索するアプローチを見てみます。公共用水域調査やPRTR（化学物質

排出移動量届出制度）情報等からニッケル濃度が高いと予測された18河川44地点から採取した河川水をミジンコ試験に供したところ（図4）、約半分の24地点で繁殖影響が示されました。この調査ではニッケル濃度が高いと予測される地点を選定したこともあり、影響が示された地点ではニッケル濃度と影響は高い相関を示し、ニッケルが主な原因物質であると推定されました。さらに全国28河川31地点から採取した河川水について、藻類及びミジンコを用いた生物応答試験を実施した結果、藻類に対し12地点、ミジンコに対し6地点で影響が示され、いずれかの生物に影響があったのは約半分の16地点でした。河



図4 試験生物（ムレミカヅキモ、ニセネコゼミジンコ、ゼブラフィッシュ）と河川水サンプリング風景

川水中の金属類を分析した結果、一部の地点ではニッケルや亜鉛、銅が原因候補物質として挙げられましたが、金属類では影響が説明できない地点もいくつかみられました。これらの地点においてさらに有機化学物質を対象とした網羅的の化学分析などを実施し、原因物質の探索を行うことが今後の課題です。

#### 4. おわりに

今回ご紹介した「色々な化学物質の組み合わせ」はおおむね個別物質の影響から予測することができましたが、これは1つか2つの物質によって混合物の影響がほとんど説明できたことが理由として挙げられます。では従来の個別物質管理でも十分かという、現在、環境中で検出されている化学物質がすべて管理対象となっているわけではありません。環

境中で実際、生物に影響のある物質は何なのか調べるには混合物から調べる「混合物直接評価」が必要です。1つ1つは影響がなくても環境中で合算されると影響があるかどうか事前に予測し管理していくためには、個別物質から調べる「組み合わせ評価」が必要です。今後も2つのアプローチを用いながら複合影響の実態を調べていきたいと思えます。

(わたなべ はるな、環境リスク・健康研究センター  
生態毒性研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

実験室で飼育に用いる水のちょっとした変化でミジンコの状態が変わるのを見てきました。なので利き酒はできませんが、利き水は得意です。



【環境問題基礎知識】

## 実験生物に頼らない 21 世紀の毒性評価システム (AOP と IATA)

山本 裕史

### 1. 実験生物を用いた試験と、実験生物に頼らない手法

化学物質が人や野生生物に及ぼす有害な影響を調べる方法として、生きた実験生物（哺乳類から無脊椎動物、植物まで）を用いて急性・慢性毒性、変異原性・発がん性、神経・免疫・内分泌作用、行動異常、次世代影響などを直接調べる手法が長年にわたって使われてきました。これらは生き物を用いた試験、つまり *in vivo* (インビボ) 試験と呼ばれています。しかしながら、近年は実験生物に頼らず、代わりに培養細胞などの生物材料を用いた試験管内の *in vitro* (インビトロ) 試験、さらには既存のデータを利用して化学構造や各種物理化学的な性質からコンピュータを用いて有害性を予測計算する *in silico* (インシリコ) 解析などが普及し、少しずつ移行が進んでいます。この背景としてあるのが、動物愛護や動物福祉の観点に基づく、動物実験の 3R (使用動物数の削減 : Reduction, 動物の苦痛軽減 : Refinement, 動物を用いない代替法の利用 : Replacement) の機運の高まりです。特に欧州では、2003 年頃から、化粧品動物実験への規制強化が進んで、2013 年には原則禁止になりました。

### 2. 21 世紀の毒性学 (Tox21) プロジェクトから Adverse Outcome Pathway (AOP) へ

米国でも、2008 年頃から環境保護庁 (USEPA)、環境健康科学研究所 (NIEHS)、食品医薬品庁 (FDA)

などが共同で、21 世紀の毒性学 (Tox21) プロジェクトに取り組んでいます。この Tox21 では、毒性を有する化学物質と生体内分子 (タンパク質など) の最初の相互作用から動物個体の毒性発現にいたる Toxicity Pathway (毒性経路) の解明と、これに沿った一連のインビトロ試験によって、実験動物に頼らない毒性試験法の確立が目標とされています<sup>(1)</sup>。こういった中で、2010 年に USEPA の Ankley ら<sup>(2)</sup> が提唱したのが、図に示す Adverse Outcome Pathway (有害性帰結経路 : AOP) の考え方です。この AOP は、化学物質が生体内の DNA やタンパクといった分子と反応を引き起こす Molecular initiating event (分子レベルでの初期イベント : MIE) から、標的細胞、器官までの毒性経路を Key Event (KE) で繋ぎ合わせるだけでなく、最終的な個体ならびに集団や生態系への有害影響 (Adverse Outcome: AO) との関連性を繋げるもので、作用メカニズム (化学物質が生き物に何らかの作用を引き起こすしくみ) ごとに整理することができます。たとえば、ビスフェノール-A やノニルフェノールのような女性ホルモン様作用を示す化学物質の場合では、まず女性ホルモン受容体に結合し (MIE)、細胞や組織レベルで女性ホルモンによって制御されている様々な機能の変化を引き起こすことで (KE)、産卵数の減少や性比の変化、最終的には個体群の減少という影響 (AO) が現れる一連の毒性経路の流れを AOP として整理することができます。この AOP を多く考案・検証して、動物試験に

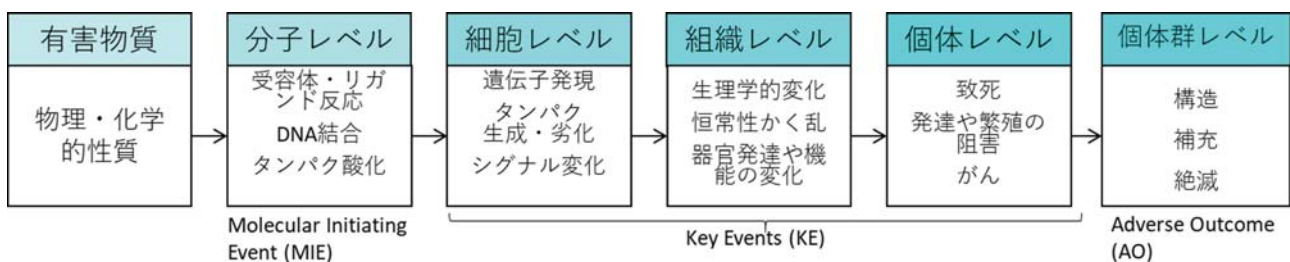


図 Adverse Outcome Pathway (AOP) の概要 (Ankleyら<sup>(2)</sup>から著者改変)



よらない化学物質の評価・管理への積極的な利用を考え、USEPA や経済協力開発機構 (OECD) などは AOP のデータベースである AOP Wiki<sup>(3)</sup> のシステムを構築していて、200 以上の AOP が提案され、その査読・確認が実施されています。

### 3. Integrated Approach to Testing and Assessment (IATA) での AOP の活用へ

OECD では、AOP を化学物質・評価管理に積極的に利用する手法として、必ずしもインビボ試験の結果に頼らずにインビトロ試験やインシリコ解析とも組み合わせる Integrated Approach to Testing and Assessment (試験と評価の統合的アプローチ：IATA) の考え方が提唱され、ケーススタディ<sup>(4)</sup> を評価するプロジェクトが進行中です。AOP では、化学物質の生体内分子 (あるいは細胞、器官) との反応性をインシリコ解析やインビトロ試験で確認することにより、最終的な個体への影響が予測できるという視点に立ちます。そのため、化学物質の構造類似性や定量的構造活性相関 (QSAR：化学的性質から毒性をコンピュータで予測する手法) 等のインシリコの解析手法の活用、インビトロ試験結果や類似構造物質のインビボ試験データを統合することで、必ずしも新たなインビボ試験によらずに有害影響を評価できるという考え方です。人健康リスクの評価では、欧州での化粧品の動物実験の禁止の流れを受けて、皮膚感作性の分野で、多くの IATA ケーススタディが実施・報告

されています。一方、本プロジェクトの主眼である生態影響評価の場合はどうでしょうか。

### 4. 生態影響への AOP と IATA の利用可能性

化学物質の生態影響評価では、その効果・効率の観点から、通常は生産者で植物である藻類、一次消費者で無脊椎動物・節足動物である甲殻類、高次消費者で脊椎動物である魚類を典型的なバッテリー (組合せ) として利用することが世界標準になっています。この生態系を構成する生物の多様性の単純化には多くの批判はあるものの、欧米や日本をはじめとした世界各国において、化学物質に起因する人ではない野生生物への有害影響を未然に防止するための化学物質の審査・規制、基準値や指針値設定に大きな役割を果たしてきました。たとえば、日本において一般工業化学物質や農薬の評価・管理に利用されるのは表に示す急性毒性試験法です。ムレミカヅキモなどの淡水性の単細胞の緑藻類、オオミジンコなどの枝角目、メダカなどの小型魚類に対しての 2～4 日間程度の比較的短期の試験が用いられることが多いです。それでは、この枠組みにおける AOP や IATA の利用可能性はどうでしょうか。

AOP は、化学物質の毒性作用機序に基づいて整理されていますが、表の通り、生態影響を調べる試験方法では、観察項目は生死や生長速度などであり、特定の作用機序を十分に考えた観察がされるわけではないために、人健康に比べて極端に少ないのが現

表 典型的な生態影響評価のための水生生物を用いた急性毒性試験法

|         | 藻類生長阻害試験   | ミジンコ遊泳阻害試験  | 魚類急性毒性試験  |
|---------|--|---|---|
| 試験法     | OECD TG No. 201  | OECD TG No.202  | OECD TG No. 203   |
| 生物種     | ムレミカヅキモ<br> | オオミジンコ<br> | メダカ、ゼブラフィッシュほか<br> |
| エンドポイント | 生長速度   | 遊泳阻害  | 致死  |
| 時間      | 72 時間  | 48 時間   | 96 時間   |

OECD TG: OECD テストガイドラインのことで、化学物質の物性や毒性評価のための国際標準試験法として広く知られている

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

状です。ただ、内分泌かく乱を引き起こす化学物質（「環境ホルモン」と呼ばれることもあります）の場合は、事情が異なります。核内の受容体への結合からホルモン濃度の上昇（あるいは下降）、標的臓器の作用から、個体レベルでの影響まで、詳細に調べられているケースもあり、AOPがいくつか開発・提案されています。実際のところ、本プロジェクトでも、ミジンコの幼若ホルモン活性をはじめとしたAOPの開発・検証に大きく寄与してきました。

一方、IATAについても、上記の通り人健康の分野では皮膚感作性のほか、肝臓などの特異的な部位への毒性、発がん性などの分野で、インシリコ解析、インビトロ試験、インビボ試験を効率的に組み合わせたケーススタディが実施され、各国の化学物質管理での活用が進められています。他方で、生態影響については、AOPとして提案されている数が少なく、今のところ内分泌かく乱などに限定的です。カナダが実施したIATAケーススタディにおいて、内分泌かく乱作用や生態毒性予測のQSAR等の活用により、より詳細な生態リスク評価をすべき化学物質の絞り込みに利用されています。また、ノルウェーが提案中のケーススタディでは、本プロジェクトとも関連が深いミジンコ幼若ホルモンや脱皮ホルモンに関するAOPに基づき、バイオインフォマティクスを活用した無脊椎動物の内分泌かく乱作用の評価を実施していて、必要な情報提供を行っています。さらに、本プロジェクトで実施した魚類の慢性毒性予測に係るQSAR開発は、高コスト・長時間であることから不足しているインビボ試験データを補完し、日本国内の化学物質のリスク評価・管理におけるIATAの考え方の導入の一助となることが期待されます。

化学物質の生態影響を効率的に最小化するためには、このようなAOPやIATAは有効である場合もあり、化学物質のグルーピングによる複合影響評

価への活用、効率的な生態毒性試験実施、さらにはカナダが実施しているような絞り込みへの利用はわが国でも積極的な活用が期待されます。しかし、忘れてはならないのは、生態影響のAOPのAdverse Outcomeは個体群の維持への影響ですが、原因となる分子レベルでの初期イベントであるMIEからAdverse Outcomeに至るまでをKEでつなぐ際には、多くの不確実性が存在することです。また、実際の生態系影響の評価には、個体への影響を評価するインビボ試験による評価には限界があり、生態系における生物同士の相互作用の評価、他の有害因子との関係性も明らかにする必要があります。

（やまもと ひろし、環境リスク・健康研究センター副センター長）

参考文献

- 1 Toxicology in the 21st Century, <https://tox21.gov/> (2020年11月9日アクセス)
- 2 Ankley GT, et al. Environ Toxicol Chem 29:730-741, 2010.
- 3 AOP Wiki, <https://aopwiki.org/> (2020年11月9日アクセス)
- 4 OECD IATA Case Study, <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/iata-integrated-approaches-to-testing-and-assessment.htm> (2020年11月9日アクセス)

執筆者プロフィール：

人工知能(AI)なども活用したインシリコ解析が期待されています。コスト削減の観点に集中するのではなく、化学物質の人健康や生態影響を最小化するために、主に魚類胚、無脊椎動物や植物を用いた「生き物のものさし」が広く活用されればいいですね。



## 【調査研究日誌】

## 福島海域調査

堀 口 敏 宏

## はじめに～調査を始めた経緯～

「1F（イチエフ）」と呼ばれる福島第一原子力発電所。その周辺海域でわれわれの研究チームが調査を始めてから、丸9年が過ぎました。1F周辺海域における調査とは、潮間帯調査と沿岸調査の2つに分けられますが、今回は沿岸調査としての福島海域調査についてご紹介します。

まず、1F周辺海域における調査を始めた経緯について。ご承知のように、2011年3月11日の東日本大震災に付随して、1Fで事故が起きました。3基の原子炉でほぼ同時に炉心溶融が起き、建屋の爆発などにより、大量の放射性核種が環境中に放出されました。その8割以上が海洋に沈着し、大部分は1F周辺海域に沈着したという推定結果があります。では、そこでどのような汚染が生じ、生き物に何らかの悪影響が生じたのか否か。その点を明らかにせねばな

らないというのが、最初の動機でした。とはいえ、当時、1Fの半径20 km圏内（陸域）と周辺海域は警戒区域とされ、立ち入るには許可を得る必要があり、調査を行うことは容易ではありませんでした。苦慮する中、2011年9月に放射線医学総合研究所から筆者に対する研究協力要請があり、2011年12月14日に1日だけ警戒区域（1Fの半径20 km圏内のうち、楡葉町～南相馬市に至る約40 kmの海岸線）に立ち入って潮間帯調査を行う機会を得ました。この時に見た光景や空間線量率は筆者にとってかなりの衝撃でした（2012年度31巻2号参照）。そのことをきっかけに沿岸調査の必要性も痛感し、福島県や福島県漁業協同組合連合会、いわき市漁業協同組合並びに相馬双葉漁業協同組合、そして漁業者の皆さんのご協力を得て、3隻の漁船（長さ約12～13 m、総トン数4.4～6.4トン）を備船し、2012年10月から福島

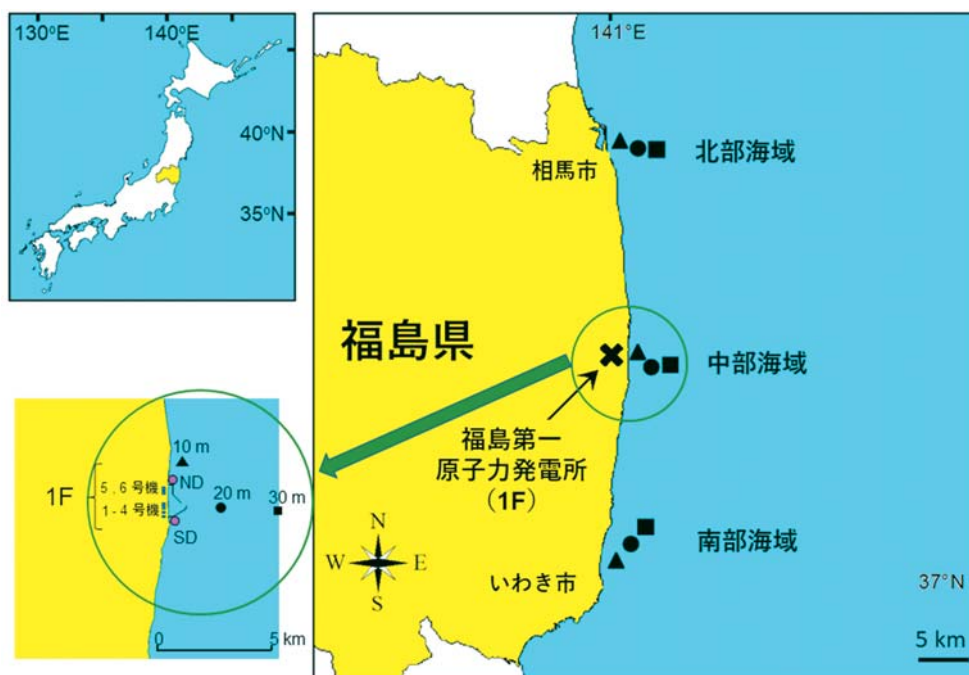


図1 調査地点図

1F：福島第一原子力発電所、ND：北放水口付近、SD：南放水口付近、  
▲：水深10 mの観測点、●：水深20 mの観測点、■：水深30 mの観測点

特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

海域調査を始め、現在に至っています。福島海域調査は、漁船に調査機材を積み込み、漁船・漁具は漁業者が操作し、調査機材はわれわれが操作する、いわば、漁業者との共同調査です。

福島県沿岸の環境と魚介類の現状を知る～「蓄積」と「影響」を分けて調べる～

有害物質による環境汚染を調べる場合、一般に、環境汚染の程度（例えば、生物体内における当該物質の蓄積量）と生物への悪影響の有無・程度を別々に分けて調べる必要があります。原発事故による放射能汚染が対象の場合も同様です。そこで、福島海域調査では、福島県沿岸北部（相馬市沖）、中部（1F近傍及び沖合）及び南部（いわき市沖）の水深10m、20m及び30mに設定した、計9定点（図1）で、水温、塩分及び溶存酸素量の観測の後、餌料板曳き網

という、一種の底曳き網を15～20分間曳網し、底棲魚介類（魚類、甲殻類、軟体類及び棘皮類）を採集しています（図2）。なぜ、水深30m以浅に着目したかということ、上述のように、1F事故で放出された放射性核種のかなりの部分が1F周辺海域に沈着したとみられることに加え、沿岸は魚介類の繁殖（再生産）の場として重要であるためです。さらに、福島県の漁業者から「（沖の調査は比較的多くなされているから）灘（なだ：浅海域）を調べてもらう方が有難い」と言われたことも関係しています。一方、北部、中部及び南部の水深30mの定点で採水と採泥、1F近傍の南放水口付近と北放水口付近で採水を行っています（図3～図5）。北部、中部及び南部の水深30mの定点では動植物プランクトンとベントス（底棲動物）の採集も行っています（図6及び図7）。採集した生物（魚介類とプランクトン、底棲動物）試



図2 餌料板曳き網により採集された底棲魚介類の選別（2020年1月北部海域）



図3 表層水（海面下0.5m）及び底層水（海底直上1m）の採水（2020年1月北部海域）



図4 底質の採取（2020年1月北部海域）試料採取の前に表面線量率を測定します。



図5 南放水口付近での採水（2019年1月中部海域）背後に1～4号機が見えます。



図6 大型動物プランクトンの採集（2019年1月中部海域）

料は、種別に個体数と重量などを調べ、水質、底質及び魚介類試料は化学分析に供しています。化学分析では、放射性セシウム（ $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ ）の分析・定量のほか、2014年以降は海水中トリチウム（ $^3\text{H}$ ）濃度の分析・定量も始め、2020年から、遅ればせながら、放射性ストロンチウム（ $^{90}\text{Sr}$ ）分析も始めました。これまでに採集された魚介類試料は全て冷凍保存されているので、過去の試料に遡って $^{90}\text{Sr}$ 分析を進めています。こうした調査を年に2~3回継続しています。調査結果のうち、餌料板曳き調査の結果概要を今号の「研究ノート」（震災・原発事故後の福島県沿岸における魚介類群集の変遷）で紹介していますので、是非、ご一読ください。福島県沿岸・沖合では1F事故後、漁業の操業が停止し、試験操業が行われているだけですので、いわゆる、漁獲圧力（棲息する水産生物資源を漁獲する行為の程度）は震災前に比べてかなり低減しているのですが、不思議なことに、底棲魚介類の個体数密度（ $1\text{ km}^2$ 当りの個体数）が年々、減少傾向にあります（上述の「研究ノート」参照）。調査の精度を高めるため、もっと多くの定点で、且つ頻度を増して（例えば、年4回の季節調査として）福島海域調査を実施したいのですが、予算と人員に制約があるため、現実には難しいです。とはいえ、少しでも多くの情報を得たいと考え、観測点を福島県沿岸の16定点に増やし、2018年10月から隔月で1年間、餌料板曳き調査を行いました。その結果は、これまでに得た傾向とほとんど変わりませんでした。また、特に減少傾向が顕著である生物



図7 マクロベントスの採集（2019年1月中部海域）  
採泥器で底質を採取後、目合い0.5 mmの篩でふるい、篩上に残ったものを試料とします。

群のうち、甲殻類に着目して、なぜ減少したのかを調べるため、2020年7月~9月に毎月1回、エビ類等幼生調査を行いました。南北に広がる福島県海域全体をカバーするため、水深20m、50m及び80mの観測点、計27定点において、マル稚ネットと呼ばれるプランクトンネットを用い、エビ類やカニ類等の浮遊幼生を採集しました。その結果は現在解析中ですが、エビ・カニ類の幼生が福島県沿岸・沖合のどこにどの程度分布しているか／いないか、その繁殖（再生産）過程に何らかの懸念があるか否か、に関する情報が得られると期待しています。

#### おわりに~船酔いと冬の寒さに耐えて~

福島海域調査を実施する中で難儀とを感じる点があります。それは、体調管理の難しさと船酔い、冬の寒さです。漁業者から「（魚介類を獲るなら）日の出に合わせて網を曳かなきゃ獲れないぞ」と言われたことから、日の出とともに網を曳くことにこだわっています。結果、夏季調査では宿を出るのが午前2時過ぎとなり、睡眠時間の確保が難しいと感じています。筆者の場合、宿を出る2時間前に起床して体調を整えるようにしているので、なおさらです。睡眠不足だと船酔いしやすいのですが、加えて、福島沖の波に体がまだ十分慣れていません。東京湾では随分鍛えられました（？）が、外海の福島沖では東京湾よりも波長が長く、しかもうねりがある場合には前後左右に揺られます。そのようなわけで、体調と海象によって今でも気持ち悪くなる時があります。

## 特集 生態影響の包括的・効率的な評価体系の構築を目指して

そんなとき脳裏をよぎるのが「船酔いで死んだ人はいない」という恩師の言葉。東京湾における調査研究（2009年度28巻1号参照）の中でもご紹介しましたが、船酔いしてもしなくても、自分がやるべきことはやる、それに尽きます。冬季調査では日の出が遅い分、睡眠時間は多めに確保できますが、外気温が低くて寒い。これまでに経験した最低気温は-8℃…頬が痛く感じられました。福島海域調査を始めた頃は1Fに近い漁港を使用できなかったため、相馬市の松川浦漁港から1F近傍へ向かったのですが、片道1時間半ほどかかり、その間、寒風にさらされるため、辛い時間でした。最近、浪江町の請戸漁港から1F近傍へ向かえるようになったので、15分ほどで現場へ到着します。随分楽になりました。調査

を通じて、現在もなお、海に心身を鍛えてもらっています。有難いことです。

（ほりぐち としひろ、環境リスク・健康研究センター  
生態系影響評価研究室 室長）

執筆者プロフィール：

強くなりたくて学生時代に近所の空手道場に通い、その後は一人で稽古を続けてきました。最近読んだ黒崎健師範の著書に「武とは強さを競うものではない」、「いったん武道を始めたならば、稽古に打ち込み、鍛えることの最終目的を、心の錬磨に定めるべきだ」とありました。遅まきながら、何を求めて稽古するかという、心の引っ掛かりが取れた想いです。今後さらに精進します。



## 【行事報告】

## 三カ国の環境研究機関の発展的協力に向けて： 「第17回日韓中三カ国環境研究機関長会合（TPM17）」の開催報告

芦名 秀一

国立環境研究所（NIES）は、韓国の国立環境科学院（NIER）及び中国環境科学研究院（CRAES）と共に「日韓中三カ国環境研究機関長会合（TPM）」を2004年から毎年開催しており、北東アジア地域をはじめとした様々な環境問題の解決に向けた研究協力の推進と、新たな協力の姿の議論を行っており、本年度は12月16日（水）に第17回のTPM（TPM17）を開催しました。当初は日本に各機関の代表者が集まっての開催を予定していましたが、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響を受けて史上初めてのオンライン会議方式で実施することとなりました。



写真1 本会議の様子（NIES会議室）

会議では始めに、NIESの渡辺知保理事長、NIERのChang Yoon Seok院長、CRAESの李海生（Li Haisheng）院長が開会挨拶を行い、いずれの機関長もCOVID-19の影響が引き続き中でもTPMが開催できたことを喜び

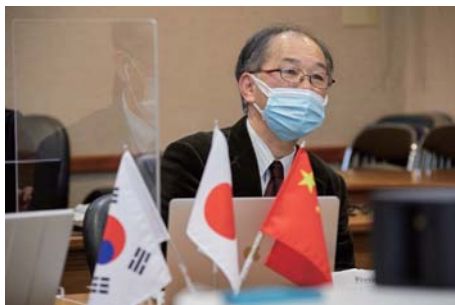


写真2 議論する渡辺理事長

とともに、各国の環境研究の観点でのCOVID-19に関する取り組みを紹介し、環境研究分野における三機関間協力の着実な進展や強化など今後のさらなる友好関係継続への期待を示しました。加えて、渡辺理事長はコロナ後のグリーンリカバリー（Green Recovery）や菅総理による2050年カーボンニュートラル宣言について言及し、さらに2021年度から開始するNIESの第5期中長期目標期間での新たな研究展開についても紹介しました。引き続き行われた各機関のTPM16以降の研究活動の概況報告では、NIESからは森口理事が報告を行い、課題解決型研究プログラムの成果など、本年度の研究活動

とその成果について報告をしました。

本年度の会合では、三機関による新たな共同研究のシーズを探るために、CRAESが主導して各機関の研究の進めかたや管理（マネジメント）システムに関する比較調査を実施した成果が報告され、今後のさらなる連携強化に向けた方向性として論文特集号の検討や研究者の相互訪問などが挙げられました。また、三機関の具体的な共同研究の可能性を有する分野として設定している潜在協力研究分野（Potential Research Area、PRA）の4つの分野（大気、水、気候変動及び環境保健）に加え

て、新たな共同研究分野としてAIが提議され、現行PRAも含めてオンラインによる定期的なワークショップやフォーラムの開催を通して、交流を進展させていくことで合意されました。その後、これらの発表や議論を踏まえた共同声明へ渡辺理事長、Chang院長及び李院長がつくば、仁川、北京でそれぞれ署名しました。

なお、本会合については、国立環境研究所ホームページのお知らせにも掲載しております。

(<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20210204/20210204.html>)



写真3 署名を終えた三機関長  
(上段左：Chang院長、上段右：渡辺理事長、下段右：李院長)

(あしな しゅういち、企画部国際室 室長)



「受賞のひとこと」など、詳しくはホームページもご覧ください。 <https://www.nies.go.jp/index.html#tab5>

**(一社) 室内環境学会 室内環境学会査読者賞**

受賞者：中島 大介 (環境リスク・健康研究センター)

受賞対象：「室内環境」誌の査読に関する貢献

**一般財団法人茨城県科学技術振興財団 つくばサイエンス・アカデミー**

**SAT テクノロジーショーケース 2020 ベスト産業実用化賞**

受賞者：中田 聡史 (地域環境研究センター)

受賞対象：四胴ロボット船が収集したビッグデータを活用する海洋予測技術開発

**日本水処理生物学会 第 22 回日本水処理生物学会論文賞**

受賞者：徐 開欽 (資源循環・廃棄物研究センター)

受賞対象：Advanced water treatment and power reduction in a multiple-reactor activated sludge process with automatic oxygen supply device system installation, Japanese Journal of Water Treatment Biology, 54 (1), 13-27, 2018

**環境放射能除染学会 優秀ポスター発表賞**

受賞者：有馬 謙一、大迫 政浩、倉持 秀敏 (資源循環・廃棄物研究センター)、山田一夫 (福島支部)

受賞対象：最終処分に向けた熱処理を含む減容化プロセスの検討, 環境放射能除染学会, 第 8 回環境放射能除染研究発表会 要旨集, 63, 2019

**日本藻類学会 第 16 回日本藻類学会研究奨励賞**

受賞者：鈴木 重勝 (生物・生態系環境研究センター)

受賞対象：二次共生成立過程における共生者ゲノム縮退進化の研究

**日本プランクトン学会 日本プランクトン学会奨励賞**

受賞者：土屋 健司 (地域環境研究センター)

受賞対象：水圏生態系における細菌生産生態に関する研究

**(一社) 日本環境化学会 第 29 回環境化学学術賞**

受賞者：中島 大介 (環境リスク・健康研究センター)

受賞対象：化学物質曝露評価の高度化に関する研究

**Geriatrics & Gerontology International Best Article Award 2019**

受賞者：谷口 優 (環境リスク・健康研究センター)

受賞対象：Association of Trajectories of Cognitive Function with Cause-Specific Mortality and Medical and Long-Term Care Costs, Geriatrics & Gerontology International, 19 (12), 1236-1242, 2019

**一般社団法人廃棄物資源循環学会 奨励賞**

受賞者：河井 紘輔 (資源循環・廃棄物研究センター)

受賞対象：アジアにおける廃棄物の発生と分別、管理



**日本水環境学会 論文奨励賞 (廣瀬賞)**

受賞者：小野寺 崇 (地域環境研究センター)

受賞対象：Evaluation of trophic transfer in the microbial food web during sludge degradation based on  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  natural abundance, *Water Research*, 146, 30-36, 2018

**日本植物学会 2020年度日本植物学会若手奨励賞**

受賞者：鈴木 重勝 (生物・生態系環境研究センター)

受賞対象：多様な系統の真核藻類を中心とした栄養様式の変化に伴うゲノム進化に関する研究

**(公社)大気環境学会 論文賞 (AJAE部門)**

受賞者：岡 和孝 (気候変動適応センター)

受賞対象：Potential Diversified Transportation Energy Mix Solutions for the ASEAN Countries, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 13 (1), 45-61, 2019

**公益社団法人日本気象学会 正野賞**

受賞者：梅澤 拓 (環境計測研究センター)

受賞対象：メタン等の長寿命大気微量気体の動態解明に関する観測的研究

※所属は受賞当時のものとなります。

## 新刊紹介

**国立環境研究所研究プロジェクト報告 第136号**

「人が去ったそのあとに～人口減少時代の国土デザインに向けた生物多様性広域評価～平成28～30年度」

本報告書は、長期間無居住化した景観における生物多様性や景観の変化を調べ、それに基づく生物多様性の広域評価や将来シナリオについて取りまとめたものです。研究の結果、農地の放棄後40年程度で植生高が高木林と草原に二極化することや、無居住化がチョウ類の分布に与える影響が広域的に明らかになりました。また、人口減少に伴う将来の土地被覆の予測を行い、Web上での予測値の公開も行いました。

○<https://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/setsumei/sr-136-2020b.html>



## 令和3年度政府予算案等における 国立環境研究所関係予算の概要

企画部企画室

令和3年度政府予算案（12月21日閣議決定）においては、運営費交付金165億1千万円、施設整備費補助金3億2千万円が計上されました。令和3年度の運営費交付金は対前年度比101.3%となっています。

研究所の運営費交付金の業務費は、算定ルールにより引き続き毎年度一定の割合で削減が求められており、また、コロナ禍での厳しい財政状況の中ですが、ほぼ前年並みの予算が確保されました。また、人件費についても、衛星観測、エコチル調査への対応として若干名の人員増が認められています。

施設整備費補助金については、老朽化施設等更新工事のための経費が引き続き計上されています。

なお、12月15日に閣議決定された令和2年度第3次政府補正予算案においては、エコチル調査経費が計上されています。

令和3年度は、第5期中長期計画の初年度にあたり、環境大臣の指示する中長期目標に沿って中長期計画の検討を進めているところです。国立環境研究所では、運営費交付金とともに競争的研究資金をはじめとした外部資金も活用して、国内外の環境政策への貢献を担う環境研究の中核的研究機関として、新中長期の目標達成に向けてさらなる研究展開を図っていきます。

### 編 集 後 記

本号では、我々の身の回りに存在する化学物質等による生態系への影響を実験室レベルで評価することや、実際の野外調査を介して実態を把握する研究をご紹介します。様々な動植物が生息する地球の豊かな生態系との共存は、我々人

類が生きていく上でも必要不可欠です。こうした生態系を未来に残し、我々の将来世代に継承するためにも、化学物質をいかにコントロールしていくか、地道な科学的知見の蓄積が重要であることを再認識させられました。(T.I.)

#### 国立環境研究所ニュース Vol. 39 No. 6 (令和3年2月発行)

編 集 国立環境研究所 編集分科会  
ニュース編集小委員会

発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所  
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

●バックナンバーは、ホームページからご覧になれます。

<https://www.nies.go.jp/kanko/news/>

無断転載を禁じます



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。