

# ENDOCRINE DISRUPTER NEWS LETTER

February 2025  
Vol. 27 No.3

Japan Society of Endocrine Disruptors Research  
日本内分泌攪乱物質学会(旧 環境ホルモン学会)

<http://www.jsedr.org/>

## 目次

巻頭言.....	1	INFORMATION.....	10
研究最前線.....	4		

## 第3号

### 巻頭言

「第21回毒性評価国際シンポジウム (ISTA21)」特集号に寄せて



堀口敏宏 (国立環境研究所)

2024年8月25日～30日に福岡リーセントホテル（福岡県福岡市）で第21回毒性評価国際シンポジウム（21<sup>st</sup> International Symposium on Toxicity Assessment: ISTA21）が開催された（<https://ista21-fukuoka.jp/>）。ISTAは1983年にカナダ・バーリントンで開催されたことを皮切りに2年ごと（コロナ禍の2021年だけは例外）に世界各地で開催されてきた、毒性評価に関する国際学術集会である。2019年にテッサロニキで開催されたギリシャ大会において4年後の2023年に筆者をホストとして日本で開催することを要請された（コロナ禍のため、2021年にサスカトゥーンで開催予定であったカナダ大会が1年延期されたため、日本での開催も1年遅れの2024年となった）。筆者には国際会議のホストの経験はなかったため、文字通り、大役を任されたわけであるが、清水の舞台から飛び降りる心持でお引き受けした次第である。早速、旧知の研究者の方々に実行委員就任をお願いし、主要テーマをどうするか、エクスカージョンにはどこを訪ねるか、などを考え始めた。また、ISTAは、都度、実行委員会が組織され、開催資金は全て実行委員会によって賄う必要があったことから、資金集めも大きな課題であった。

素直に考えると、筆者の所属研究機関が所在する茨城県つくば市を主会場として開催することになったかもしれない。その場合、筆者の脳裏には福島第一原子力発電所とその周辺の帰還困難区域の訪問がエクスカージョンの第一候補として想定された。しかし、入域許可などの諸手続きに難航も予想された。一方、ISTAは2007年の富山市での開催以来、17年ぶりの日本開催であるから、公害の原点ともいわれる水俣市を訪れる意義も大きいと考えた。思案の末、エクスカージョンには水俣市を訪れ、胎児性患者の方に語り部をお願いして話を伺うことが、特に若手の環境研究者にとって得難い経験になると思い、福岡県福岡市を主会場に選んだ。筆者の脳裏に水俣病問題に長年取り組まれた宇井純先生や原田正純先生のお姿とご活動があったことは、読者の皆様のご想像の通りである。

人間は環境を構成する一員として、環境から様々な恩恵を受けながら、日々暮らしてきた。「人間は自然の循環の中に組み込まれた存在であって、人間と自然は一体であって、対峙や並列の関係にない存在である（原田正純先生）。」しかしながら、人間活動は時として自然環境の物理的な改変や化学的な変化（環境汚染≒公害問題）も引き起こし、その結果、人間だけでなく、共に暮らす生き物にも負の影響を与えてきた。そうであるからこそ、ISTA21では、こうした課題の解決に向けて、基礎研究に根差した応用研究としての毒性評価に焦点を当て、最新の研究成果を持ち寄り、議論したいと企画を練った。その結果、ISTA21では、毒性評価に関する複数テーマの一般セッションを設けて、水棲生物及び陸棲生物に対して様々な環境因子（化学因子及び物理因子）が及ぼす毒性影響を、遺伝子や細胞レベルから個体、個体群、さらに群集レベルで評価することに焦点を当て、最新の知見を世界各国から持ち寄り、論議した。同時に、生物学や化学の基礎知見の獲得と、その新奇毒性評価手法への応用にも挑戦を試みた。ISTA21には、日本を含む、16の国や地域（注1）から135名（国外63名、国内72名）の研究者が参加した。ISTA21では、将来の毒性評価・環境科学分野を担う若い研究者、すなわち、学生の参加を奨励すべく、学生の参加費を低く設定した（その一方、一般参加費をやや高めに設定した）。結果的に、49名の学生（参加者に占める割合は36.3%）の参加を得ることができた。また、ISTA21では6名の研究者（注2）を招聘し、基調講演並びに招待講演を行った。ISTA21における研究発表の総数は123題（基調講演並びに招待講演6題の他、口頭発表62題とポスター発表55題）であった。台風10号の九州への接近及び上陸のため、特に8月29日及び30日のプログラムに変更を余儀なくされたが、幸いにも大きな混乱はなく、ほぼ全てのプログラムを実施することができ、盛会裏に終了した。ISTA21参加者ととともにISTA21を支えてくださった全ての関係者の方々に謝意を申し上げます。

また、ISTA21では特別セッション「毒性評価とその環境／生態学的妥当性」を開催し、毒性評価分野における未解決の課題の克服に向けて議論し、新たな知見の獲得を目指した。具体的には、実験室で得られる知見と野外で観察される現象との間に時に乖離がみられる点（北九州市山田緑地で1997年～2000年に観察されたヤマアカガエルの過剰枝や福島第一原子力発電所南側（大熊町夫沢）で2017年4月以降に観察されているイボニシの通年成熟現象など）や、環境基準等を検討する際に必要となる、有害物質等が個体群あるいは群集レベルで及ぼす影響の評価方法に焦点を当てて、現実の問題（東京湾における1990～2000年代の底棲魚介類生物相の急変要因の推定など）に照らして論議した。なお、特別セッションにおける相馬明郎・大阪公立大学教授の招待講演"An assessment model of toxic chemicals integrating benthic-pelagic lower ecosystem and the lower-higher trophic food web"によって新たな視点が提供されたとして、複数の参加者から相馬教授に対して個体群及び群集レベルでの物質循環や生物影響の解析・評価のための共同研究の打診が寄せられており、ISTA21の発展的成果の一つである。

今号では、以上のISTA21発表演題の中から「研究最前線」として5題を紹介したい。一方、エクスカージョンでは、水俣市の百間排水口、坪段、茂道などの水俣病と関わりの深い歴史的な場所を訪ねた。参加者は、現地を実際に歩くことによって、海の豊かさの背景に山の豊かさの関係していることを知る機会を得ることができた。さらに、胎児性水俣病患者である坂本しのぶさんを語り部として迎えて話を伺い、これらを通じてその教訓を改めて学んだ。坂本しのぶさんの講演後、参加者からの「環境研究者に何を言いたいですか」との質問に対して坂本しのぶさんは「（公害や環境汚染の問題を）自分事として考えてほしい」と答えられた。その言葉が筆者の心に深く残った。

なお、プログラム及び要旨集はISTA21ウェブサイトからダウンロード可能であるため、適宜、ご参照いただけると幸いです（<https://ista21-fukuoka.jp/>）。

（注1）参加者の出身国・地域（参加者が所属する大学・研究機関の所在国名を基に参加国数を算定）：

アメリカ、エストニア、カナダ、韓国、ギリシャ、スペイン、台湾、中国、日本、ノルウェー、ブラジル、フランス、ポーランド、香港、リトアニア、ルクセンブルグ（五十音順）

（注2）招聘研究者：

Dr. Cinta PORTE (Institute of Environmental Assessment and Water Research, Spain)

Dr. Nathaniel SCHOLZ (NOAA Northwest Fisheries Science Center, U.S.A.)

Prof. Xuchun QIU (Institute of Environ. Health and Ecol. Security, Jiangsu University, China)

相馬明郎教授（大阪公立大学、日本）

Prof. Markus HECKER (University of Saskatchewan, Canada)

Prof. Ruth SOFIELD (Western Washington University, U.S.A.)

## Toxicity and endocrine disruption potential of water disinfection by-products

Cinta Porte

Environmental Chemistry Department, IDAEA -CSIC-, C/ Jordi Girona, 18-26, 08034 Barcelona, Spain

The disinfection of drinking water produces complex mixtures of disinfection by-products (DBPs), many of which remain poorly investigated. DBPs, including haloacetic acids (HAAs) and haloaromatic compounds, are formed during chlorination of water and other disinfection processes. Human exposure to DBPs occurs primarily through ingestion, but can also arise through dermal contact and inhalation, potentially leading to respiratory and systemic effects. So far, much of the existing research has focused on individual DBPs, leaving the toxicity of mixtures—representative of real-world exposure—largely unexplored. Please start to write from here.

Among the wide variety of DBPs, the haloaromatic ones have been frequently detected in chlorinated tap water at the ng/L level, but rarely quantitatively determined because of the complexity of their analysis and the lack of analytical standards for many of them. In vitro studies using human placental JEG-3 cells and alveolar A549 cells have revealed that DBPs disrupt cellular functions via diverse mechanisms, including oxidative stress, genotoxicity, and alterations in lipid metabolism<sup>1,2</sup>.

Among haloaromatic DBPs, halobenzoquinones, such as 2,6-dichloro-1,4-benzoquinone (DCBQ) and 2,6-dibromo-1,4-benzoquinone (DBBQ), have demonstrated the highest cytotoxicity (EC<sub>50</sub>: 18–26 µg/mL) in human placental cells. These compounds induced oxidative stress, depleting polyunsaturated lipid species (phosphatidyl-ethanolamines, phosphatidyl-inositols) from exposed cells, and upregulated key genes involved in estrogen synthesis (cyp19a1, hsd17b1)<sup>1</sup>. This suggests a disruption of steroidogenesis and potential adverse effects on reproductive health. Other haloaromatic DBPs, such as 2,4,6-trichlorophenol (TCP) and 2,4,6-tribromophenol (TBP), exhibited lower cytotoxicity but induced genotoxic effects, including micronuclei formation, at concentrations exceeding those typically found in water (≥100 µg/mL)<sup>1</sup>.

Haloacetic acids, a major class of DBPs, have also shown cytotoxic, genotoxic, and endocrine disruption effects. Iodoacetic acid (IAA) exhibited the highest toxicity in human placental cells (EC<sub>50</sub>: 7.5 µM), followed by bromoacetic acid (BAA, EC<sub>50</sub>: 20–25 µM), both of

which significantly increased reactive oxygen species (ROS) production and disrupted the expression of the steroidogenic gene hsd17b1<sup>2</sup>. In contrast, other HAAs, such as tribromoacetic acid (TBAA), diiodoacetic acid (DIAA), and chloroiodoacetic acid (CIAA), showed minimal cytotoxicity (EC<sub>50</sub> > 250 µM). Notably, IAA and BAA slightly inhibited aromatase activity at low concentrations (0.01–1 µM), further highlighting their potential as endocrine disruptors<sup>2</sup>.

While the study of individual DBPs provide valuable information, the study of mixtures is critical to better understand the additive, synergistic, or antagonistic interactions between components that occur in real-world scenarios. Exposure to a mixture of 10 DBPs, including HAAs and haloaromatics, led to oxidative stress (ROS increase up to 3.5-fold) and lipidome alterations in A549 lung cells. Exposure to the mixture lead to significant shifts in the lipid profiles of exposed cells, namely, triacylglyceride accumulation and decrease of diacylglycerides and phosphatidylcholines<sup>3</sup>. The results highlighted the potential of DBP mixtures to disrupt lipid homeostasis and contribute to respiratory effects<sup>3</sup>.

These findings evidence the diverse toxicity profiles of DBPs, and the ability of some of them to induce oxidative stress, genotoxicity, and endocrine disruption, even at low concentrations. The significant effects observed in placental cells highlight potential risks to reproductive health, while alterations in lung cell lipid homeostasis suggest implications for respiratory health. Most importantly, studying mixtures of DBPs, rather than isolated compounds, provides a more accurate representation of human exposure, revealing complex interactions and potential cumulative effects that may amplify toxicity. Further research on DBP mixtures is essential to better define thresholds for regulatory measures and to protect public health from these contaminants.

### References:

1. Pérez-Albaladejo, E., M. Casado, C. Postigo, C. Porte. 2024. Environ. Pollut. 342, 123092.
2. Pérez-Albaladejo, E., R. Pinteño, M.C. Aznar-Luque, M. Casado, C. Postigo, C. Porte. 2023. Sci. Total Environ. 879, 162981.
3. Hosseinzadeh, M., C. Postigo, C. Porte. 2024. Sci. Total Environ. 917, 170331.

## ネットワーク生物学で探るPFASの作用機序：ISTA21ポスター賞受賞の研究報告

九州工業大学大学院 情報工学研究院 物理情報工学研究系

飯田 緑

2024年8月25日から30日に福岡で開催された the 21st International Symposium on Toxicity Assessment (ISTA21)において、「Network-based Approach to Exploring Mechanisms of Action for PFAS (ネットワーク生物学の観点からPFASの作用機序 [MOA] を探索する)」というタイトルでポスター発表を行い、若手ポスター賞を受賞いたしました。本稿では、この研究課題について紹介させていただきます。

ペルフルオロアルキル化合物及びポリフルオロアルキル化合物 (PFAS) は分解性が低く、燃えにくいなどの性質を持つことから、生活用品や工業用品などさまざまな製品に使用されています。ペルフルオロオクタン酸 (PFOA) やペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) などの一部のPFASは、発がん性や内分泌攪乱作用を持つことが報告されており<sup>1</sup>、ヒト健康への影響や作用機序を解明することが喫緊の課題となっています。一方で、PFASには1万種以上の化合物が存在し、その一つ一つについて動物実験でそのアウトカムや作用機序を明らかにすることは困難です。

多くのタンパク質は単独で働くのではなく、結合やリン酸化といった相互作用によりその機能を発揮します。この相互作用により形成されるネットワークはタンパク質間相互作用ネットワークと呼ばれ、このネットワーク内で近接するタンパク質群は同様の機能や作用機序を有していると考えられます<sup>2</sup>。

そこで本研究では、PFOAやPFOSなどの45種類のPFASと約900種類の医薬品のヒトのタンパク質間相互作用ネットワーク上の距離を計算することにより、PFASの作用機序を探索しました (Fig.1)。

この結果、PFOA・PFOSともにエストロゲン受容体アゴニスト作用などを介して薬効を発揮する医薬品群と距離が近いことが明らかとなりました。このことから、PFOAやPFOSはこれらの作用機序を介して毒性を発現すると考えられます。実際に、ヒト細胞を用いた*in vitro*アッセイを用いた実験から、PFOAはエストロゲン受容体活性能を持つことが報告されています<sup>3</sup>。

さらに、医薬品とのネットワーク距離に基づき、45種のPFASは「ペルオキシソーム増殖剤活性化受容体 (PPAR) を介して作用し、内分泌療法に使用される医薬品と近いグループ」と「その他の作用機序をもち、免疫系の調整に使用される医薬品と近いグループ」の2つのグループに分けられることが明らかとなりました。

本研究の結果は、PFASの作用機序を推定するためのリードアクリロス手法として、タンパク質間相互作用ネットワーク上の化学物質間距離が有用であることを示しています。今後は、私たちが開発してきた機械学習のワークフローを用いて<sup>4</sup>、上記のグループを特徴づけるPFASの特徴を探索していく予定です。さらに、PFASのアウトカムの探索も進めています<sup>5</sup>。

## 【謝辞】

開催日程の後半には、開催地の福岡で台風の影響により公共交通機関が軒並み停止するという厳しい状況の中、大会実行委員の皆様が安全を第一に考えつつ、すべての発表者に発表の機会を与えてくださいました。大会実行・運営関係者の皆様に深く感謝いたします。この受賞を糧に、さらなる研究発展を目指して努力してまいります。

また、本研究を支えてくださった共同研究者である九州工業大学・竹本 和広 教授、同研究室・高橋 啓斗さんに感謝申し上げます。

本研究は、本研究はJSPS科研費 22K12265の助成を受けたものです。

## 【参考文献】

1. Brase RA, Mullin EJ, Spink DC. *Int J Mol Sci.* 22(3):995. (2021)
2. Yıldırım, M., Goh, KI., Cusick, M. et al. *Nat Biotechnol.* 25, 1119–1126 (2007).
3. Houck KA, Patlewicz G, Richard AM, et al. *Toxicology.* 457:152789. (2021)
4. Maeda K, Hirano M, Hayashi T et al., *Environ Sci Technol.* 58(1):488-497. (2024)
5. Takahashi K, Takemoto K, Iida M., ISTA21, O-25, 27 Aug, Fukuoka (2024)

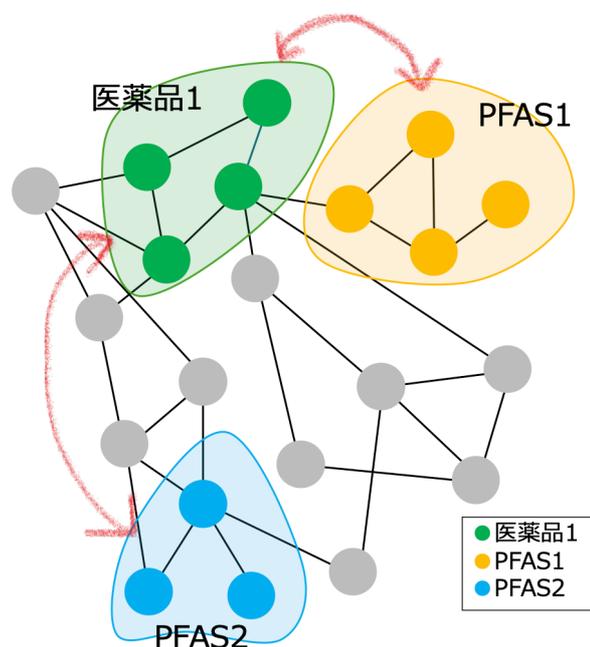


Fig.1 タンパク質間相互作用ネットワークにおけるPFASと医薬品の距離関係

点はタンパク質を、線は相互作用を示す。緑色の点は医薬品1に関連するタンパク質、黄色の点はPFAS1に関連するタンパク質、青色の点はPFAS2に関連するタンパク質を示す。医薬品1に近いPFAS1は、医薬品1と類似した作用機序を有すると考えられる。本研究では医薬品とPFAS間の距離（赤い矢印）を計算した。

**Peek-A-Booテスト：視覚刺激を用いたメダカ为天敵応答能評価手法：**  
**ISTA21口頭発表賞受賞の研究報告**  
 九州大学大学院 農学研究院  
 高井 優生

釈迦に説法，孔子に論語，河童に水練であることは重々承知であるが，私は「ヒトの生活」と「環境の保全」のバランス調整という環境科学の目的において，毒性試験では「流出した汚染物質によって生物が影響を受ける最低濃度」を探ることが重要であると考えている。ここでいう「影響」の指標として，水生生物の行動（生態学的な死）が注目されている。これまで，メダカやゼブラフィッシュなどのモデル生物を対象とした様々な行動試験手法が開発されてきた。しかし，生物の社会性や天敵応答能などの行動特性を評価指標とする場合，特殊な水槽や観察装置が必要になることが多く，算出された毒性値を他の研究機関で検証することが難しい。そのため，汎用的な行動試験手法の開発が求められている。この背景のもと，私はメダカを対象生物として汎用的な行動試験手法を考案・検討している。その一つがPeek-A-Booテストである。

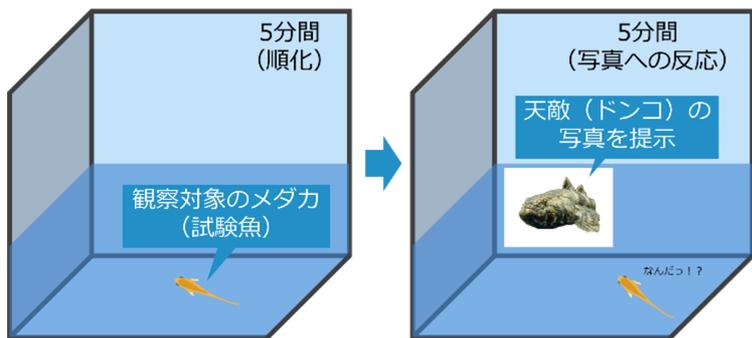


図1. Peek-A-Booテストの概要

近年，行動生物学では視覚刺激（画像や映像）を活用した実験が盛んに実施されている。本研究では視覚刺激を利用し，メダカ为天敵応答能を簡易的に評価する手法を検討した。観察用水槽はガラス水槽（19×19×19 cm）の四方を白画用紙で覆い，その一部到天敵（ドング）や同所性の他魚種の画像を貼り付けた。初期状態では画像が白画用紙で隠されており，試験魚が水槽に順化した後，その白画用紙を外すことで試験魚から画像が見えるようになる仕掛けを作成した（図1）。この水槽に試験魚を1尾入れてその遊泳行動を録画・解析した。なお，実験を行っている様子が「いないいないばあ」に見えることから本試験手法をPeek-A-Booテストと名付けた。

各種画像刺激への応答性を評価した結果，試験魚が画像に近づくまでの時間はドングの画像が最も長く，メダカがドングの画像を警戒している様子が観察された。そのため，メダカ为天敵応答能をPeek-A-Booテストで簡易的に評価できる可能性が考えられた。毒性試験におけるPeek-A-Booテストの使用可能性を検証するため，抗不安薬ジアゼパムの96時間曝露試験（0，0.8，4，20，100 µg/L）を行った。その結果，ジアゼパムに曝露されたメダカはドングの画像に近づくまでの時間が全ての曝露区で

0.22–0.65倍早くなり（図2），写真付近で滞在した時間は1.8–2.7倍長くなった<sup>2</sup>。これらの結果より，ジアゼパム曝露によってメダカ为天敵応答能が低下したことが考えられた。また，本試験で使用した0.8 µg/Lは実際に環境中で検出されたこともあるジアゼパムの濃度であるため<sup>3</sup>，Peek-A-Booテストは高感度で抗不安薬によるメダカへの行動影響を評価できると考えられた。Peek-A-Booテストは市販の水槽および画用紙，ウェブカメラなどの身近な備品のみで実施可能であり，その検出力も高い。そのため，Peek-A-Booテストは汎用的かつ高感度な行動実験手法として今後の毒性試験に活用できると考えられる。今後，Peek-A-Booテストを活用して毒性評価を行うだけでなく，他のモデル魚種においても同様の行動試験手法を開発し，行動影響評価を通して環境科学に貢献したいと考えている。

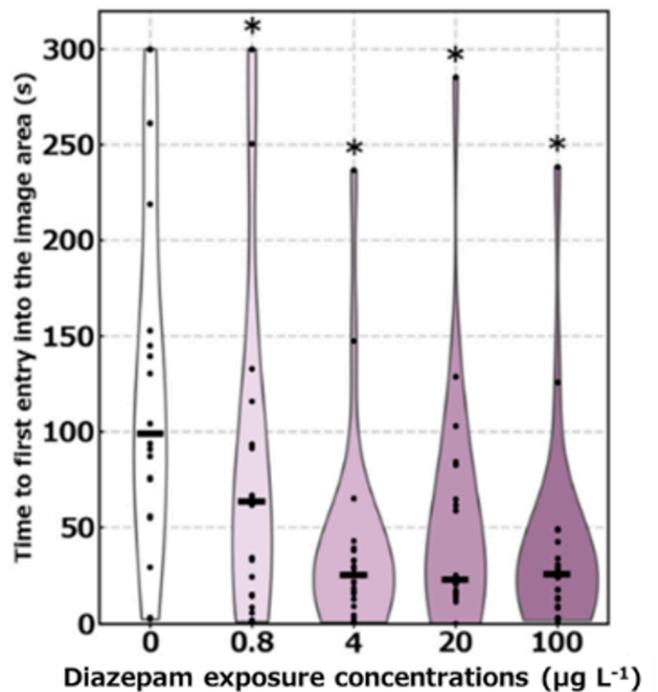


図2. ジアゼパム曝露試験の結果概要 (Takai et al., 2023)

【参考文献】

1. Scott and Sloman, *Aquatic Toxicology* 68, 369–392 (2004).
2. Takai et al., *Environmental Toxicology and Chemistry* 42, 2358–2363 (2023).
3. Böger et al., *Revista Ambiente and Água* 13, e2196 (2018).

## 福島第一原子力発電所近傍のイボニシ個体群で観察される通年成熟現象

国立環境研究所

堀口 敏宏

2011年3月11日に発生した東日本大震災と、それに付随して起きた東京電力福島第一原子力発電所(1F)における炉心溶融事故の後、筆者らは1F近傍及び周辺の潮間帯と福島県沿岸で環境・生物調査を続けてきた。現在までに、1F近傍及び周辺の潮間帯の無脊椎動物と水深30 m以浅の浅海域の底棲魚介類において複数の奇異な現象が観察されてきた。その概略は、以下のとおりである： 2011年12月から開始した、福島県を中心とする潮間帯調査の結果、①1F近傍の潮間帯で無脊椎動物の種数と個体数密度の減少<sup>1)</sup>、②その回復の遅延(回復の兆し観察に4~5年を要した)<sup>2)</sup>、③肉食性巻貝イボニシの通年成熟現象(通常は年1回夏季に性成熟するが、ほぼ周年性成熟が持続)が観察されてきた<sup>3)</sup>。また、沿岸域(水深30m以浅)で2012年10月以降、試験底曳き調査を続けてきた結果、底棲魚介類(魚類、甲殻類、軟体類及び棘皮類)の総個体数密度が減少傾向にあり、特にカレイ類やエビ・カニ類、ウニ・ヒトデ類等で減少傾向が顕著であった。福島県沿岸では震災・1F事故後に漁業が停止し、試験操業が2012年6月に始まり、2021年3月末で終了した。それでも、水揚げ量は震災前の2割程度である。このように、震災・1F事故前と比べれば、その操業規模は小さいため、漁獲圧により魚介類が減少したとは考えにくい。したがって、底棲魚介類の再生産機構(親の性成熟や産卵から仔稚(初期生活史の個体)の生残や成長までの過程)に何らかの障害が生じている可能性がある<sup>4)</sup>。

1F近傍の潮間帯の無脊椎動物にみられる、上記の3つの奇異な現象/異常のうち、③イボニシの通年成熟現象に注目する。筆者らは2021年に初めて当該論文を公表し<sup>3)</sup>、原因の究明とメカニズムの解析を進めてきた。原因究明に関連し、海水中の放射性セシウム<sup>5)</sup>、放射性ストロンチウム<sup>6)</sup>及びトリチウム(Aramaki et al., in preparation)の分析・定量を進めてきたが、いずれも概して低濃度であり、通年成熟現象との関連性は低いとみられる。また、海水中の化学物質を対象とした分析をガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)及び液体クロマトグラフ質量分析計(LC-QToFMS)を用いて進めてきたが、現在までに候補物質の選定に至っていない(Nakajima et al., in preparation)。一方、通年成熟のメカニズム解析に関して、Morishita et al. (2023)<sup>7)</sup>は、生殖腺の働きを調節するペプチド(神経ペプチド)の中から88個の神経ペプチド遺伝子を同定し、イボニシの脳におけるそれらの発現レベルを調べた結果、通年成熟個体では同定した88個の神経ペプチド遺伝子のほぼ全てが対照個体より発現低下していることが明らかになった。また、遺伝子発現調節機構の一つであるエピゲノムに関わる酵素遺伝子の発現が上昇しており、神経ペプチド遺伝子の発現低下への関与が示唆された<sup>7)</sup>。こうした神経ペプチド遺伝子発現の乱れが通年成熟という生殖異常を発現させる可能性がある。

筆者らは、1F近傍に棲息するイボニシの通年成熟現象につ

いてその後も調査を継続し、2023年6月までに下記の4点が明らかとなってきた。

- ・1F近傍のイボニシ個体群で通年成熟現象が2017年4月以降、6年以上継続；原因となる因子がこの水域に継続して存在する可能性
- ・通年成熟現象は1F北側のイボニシでは観察されず、1F南側3 kmまでの地点に棲息するイボニシに限定的に観察され、その程度は夫沢(1F南側1 km) > 小入野(1F南側3 km)；通年成熟現象の発症/発現に1F由来の因子が関与している可能性
- ・1F近傍の通年成熟イボニシを環境研の実験室で飼育しても(イボニシの棲息環境を変えても)通年成熟の症状は改善せず持続；通年成熟現象は不可逆的である可能性
- ・1F近傍の通年成熟イボニシを環境研の実験室で飼育中に高い斃死率(3年間で5割以上)を観察；寿命短縮の可能性

なお、熱帯や亜熱帯に生息する貝類(二枚貝及び巻貝)では周年産卵が可能であるとして、通年成熟現象と類似とみられる事例が報告されている<sup>8,9)</sup>。しかし、それらは増養殖に係る種苗生産現場における経験的事例であり、本研究のように生殖腺(卵巣及び精巣)を組織学的に精査した結果に基づいていない。したがって、これらが上述の1F近傍におけるイボニシの通年成熟現象と同様の現象かどうか、即断できない。また、温帯域に生息する海産生物では、通年成熟現象の報告が見当たらない。これより、1F近傍のイボニシにみられる通年成熟現象は稀有な現象と考えられる。また、既知の環境汚染によって海産生物等の性成熟など繁殖に影響する事例は、概して、それが抑制される方向で作用するものであった。これに対して、通年成熟現象は、それらとは逆に、性成熟が亢進する現象とみられる。こうした点においても、通年成熟現象は注目に値する。

したがって、筆者らは、通年成熟現象の原因を追究し、そのメカニズムとともに二次的な影響(寿命の変化や個体群の増大への寄与など)を明らかにする一連の本研究には、学術的意義と社会的意義があると考えている。

## 【参考文献】

- 1) Horiguchi et al. *Sci Rep* 6, 20416 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep20416>
- 2) Horiguchi et al. In: 'Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems' (2019). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8218-5\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8218-5_6)
- 3) Horiguchi et al. *Sci Rep* 11, 560 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80686-3>
- 4) Kodama et al. *Mar. Environ. Res.* (2018). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.07.005>
- 5) Horiguchi et al. *Mar. Environ. Res.* (2018). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.03.014>
- 6) Kintsu et al. *J. Environ. Radioactivity* (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107055>
- 7) Morishita et al. *Front. Endocrinol.* 14:1129666 (2023). <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1129666>
- 8) Yamaguchi, M. *Green Snail. FFA Report* 92/61 (1993). [https://spccfstore1.blob.core.windows.net/digitalibrary-docs/files/af/af471a899f87b7444000345d543c5256.pdf?sv=2015-12-11&sr=b&sig=OnBkmmCqrC9v1tQ9n1DBU94EVEIjgzzyHNxHIZABo%3D&se=2025-08-06T10%3A16%3A34Z&sp=r&rsc=public%2C%20max-age%3D864000%2C%20max-stale%3D86400&rsct=application%2Fpdf&rsct=inline%3B%20filename%3D%22FFA\\_1992\\_061.pdf%22](https://spccfstore1.blob.core.windows.net/digitalibrary-docs/files/af/af471a899f87b7444000345d543c5256.pdf?sv=2015-12-11&sr=b&sig=OnBkmmCqrC9v1tQ9n1DBU94EVEIjgzzyHNxHIZABo%3D&se=2025-08-06T10%3A16%3A34Z&sp=r&rsc=public%2C%20max-age%3D864000%2C%20max-stale%3D86400&rsct=application%2Fpdf&rsct=inline%3B%20filename%3D%22FFA_1992_061.pdf%22)
- 9) Heslinga et al. *Mass culture of giant clams (F. Tridacnidae) in Palau. Aquaculture*, 39, 197-215 (1984).

## 生物毒性と個体群・機能群・生態系の繋がり—研究開発の展望—

相馬 明郎

大阪公立大学大学院工学研究科

## 1. はじめに

生物毒性(Biototoxicity)とは、生物および生態系が、特定の物質や現象から受ける悪影響の程度を評価する際に用いられる概念である。ここで、沿岸域における特定の物質や現象(有害物質・現象)には、狭義には化学物質、放射性物質、広義には、貧酸素化、赤潮、海洋酸性化なども含まれるであろう。生物毒性を評価し、管理・制御する際は、有害物質・現象に対する(1)生物個体レベル、(2)個体群・機能群レベル、さらには(3)生態系レベルでの応答を評価することが重要である(機能群とは、「種は異なるものの、生態系における機能・役割が同一である生物群」を意味する)。こうした中、生物個体に対する有害物質・現象の影響の解明に向けた研究進展は目覚ましい。一方、個体レベルの知見を生態系レベルの知見に繋げるためには、有害物質・現象が、個体から個体群、個体群から機能群、機能群から生態系全体へと波及する仕組み、さらには、波及によりもたらされた生態系全体の変化が、個体へとフィードバックされる仕組みを理解する必要がある。すなわち、レベル間、レベル内での繋がり(Multi Levels Connectivity)(**図-1**)を探求する必要がある。こうした中、本稿ではMulti Levels Connectivityに配慮した、化学物質濃縮評価システムと生物多様性評価システム(現在開発中)の考え方を紹介する。

## 2. 化学物質濃縮評価システム

トリブチルスズ(TBT)等の有害化学物質の生物濃縮を評価するには、堆積物-水に渡るTBTの挙動、低次栄養段階から高次栄養段階に渡る食物網、食物網を介したTBTの生物濃縮の様相を理解することが重要である。本研究では、東京湾をフィールドとして、(a)流体力学モデル、(b)底生系-浮遊系の低次生態系を表現する生態系モデル

(Sohma et al., 2008)、(c)低次から高次栄養段階に渡る食物網を表現した高次食物網モデル、(d)化学物質の生物濃縮モデル、からなる化学物質濃縮評価システム(**図-2**)の開発を試みた(相馬ら, 2008, 2009)。(b)では堆積有機物、植物プランクトン、動物プランクトン、底生動物、微生物の動態を解析する。これらの代謝は、栄養塩、水温、光量などによって定式化され、流入負荷削減や気候変動に対する生態系応答を解析できる。(c),(d)では、主要生物群の間の食

物網を安定同位対比等から推定し、本食物網によって生物に蓄積する有害物質について解析する。本システムは、(a),(b),(c),(d)を統合することで、環境政策に対する水質-低次-高次生物の応答性能と、有害化学物質の生物濃縮を解析するものである。

## 3. 生物多様性評価システム

貧酸素化、海洋酸性化、水温上昇といった現象が生物多様性に与える影響の評価には、生物多様性の評価指標を定めつつ、多様性の保全・復興の鍵となる機構解明や、外部環境や環境施策に対する生態系応答を予測・評価することが重要である。本研究では、水質-低次生物群-高次生物群に渡る生態系網全体の動態と、生態系網を構成する1つ1つの素過程を探求し、両者の関係性を解明することは有効な手段と考え、生物多様性の保全・再生の評価に必要となる「水質(栄養塩・酸素・水温)-低次生物(植物プランクトン群、動物プランクトン群)-高次生物(魚類・貝類・甲殻類)」に渡る包括的な生態系網(低次-高次生態系網)の関係性を紐解きつつ、生態系全体の動態を解析する低次-高次生態系網モデルを開発する(**図-3**)。なお、本研究では、生物多様性がもたらす価値を「種の存続性:種の形質の多様性により種は存続する」、「機能の冗長性:ある種が滅亡しても同等機能を有する代替種が機能を持続する」、「系の頑健性:何かしらの種あるいは機能が消滅しても生態系ピラミッドを維持する」と想定し(相馬, 2025)、これらを実証するため、低次から高次にわたる生態系ピラミッドの変化のモデル化に挑戦している。

**謝辞:**本稿で紹介した研究の一部は、環境省(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF24S12312)の支援を受けたものである。

## 参考文献

1. Sohma, A., Y. Sekiguchi, T. Kuwae and Y. Nakamura: A benthic-pelagic coupled ecosystem model to estimate the hypoxic estuary including tidal flats—Model description and validation of seasonal/daily dynamics. Ecological Modelling, Vol. 215, pp. 10-39, 2008.
2. 相馬明郎, 小林元, 中村由行:平成20年度・21年度東京湾表層堆積物を起源とした化学物質の生物体内濃度の解析,みずほ情報総研(株)(港湾空港技術研究所委託業務報告書),2008,2009.
3. 相馬明郎:沿岸生態系モデルの変遷と展望—貧酸素・貧栄養・気候変動・生物多様性の捉え方—,海洋理工学会誌,2025(印刷中)

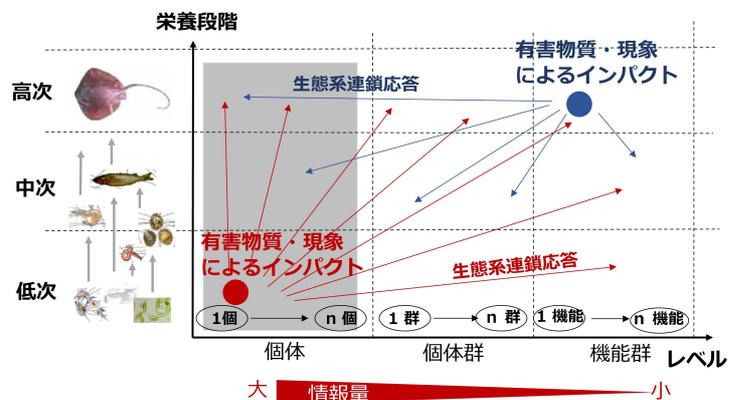


図-1 有害物質・現象によるインパクトが固体・  
 個体群・機能群に与える影響のイメージ  
 (相馬, 2025を改変)

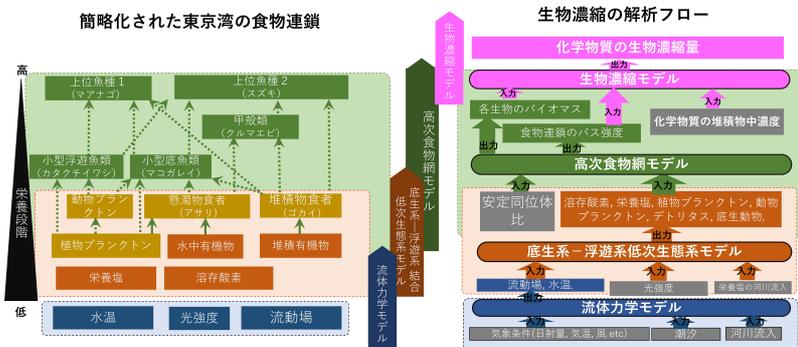


図-2 化学物質濃縮評価システムの構成

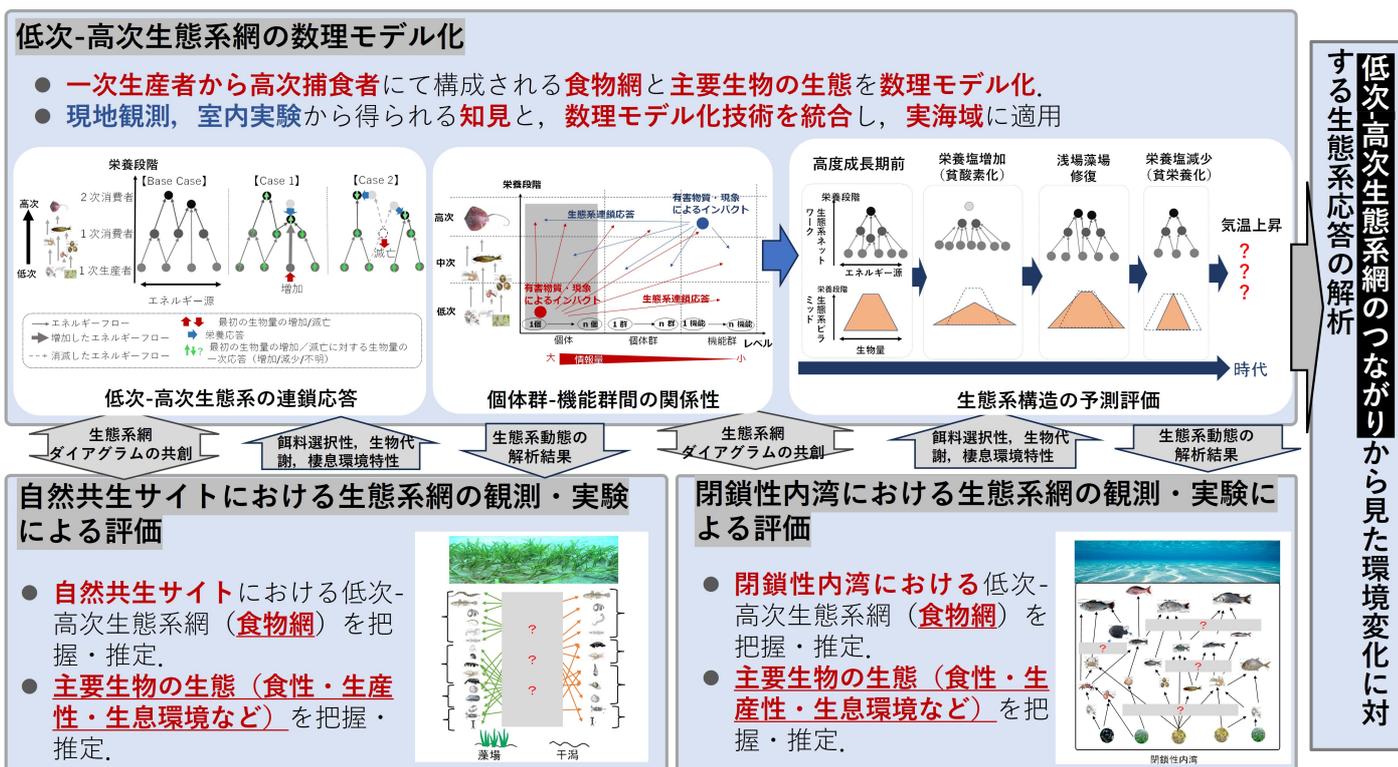


図-3 生物多様性評価システムの開発 (環境研究総合推進費S-23テーマ4: 「自然共生  
 サイト・内湾における低次-高次生態系網モデルの開発」の研究構成)

# Information

## 第27回日本内分泌攪乱物質学会研究発表会

開催日時 2025年12月11日(木)12日(金)

開催会場 つくば市(予定)

実行委員長 久保和彦(千鳥橋病院 副院長)

松島 綾美(九州大学大学院理学研究院)

## 第4回環境化学物質合同大会 (第33回環境化学討論会/ 第29回日本環境毒性学会研究発表会)

開催日時 2025年7月15日(火)~18日(金)

開催会場 山形テルサ・やまぎん県民ホール(山形市)

詳しくはこちら: <https://j-ec.smartcore.jp/M022/forum/touron33?jpn>

## 第52回日本毒性学会学術年会

開催日時 2025年7月2日(水)~4日(金)

開催会場 沖縄コンベンションセンター

年会長 黄 基旭(東北医科薬科大学)

詳しくはこちら <https://www.jsot2025.jp/>

## ■日本内分泌攪乱物質学会『賛助会員』募集

現在、本学会の活動をご支援して下さる賛助会員(企業)を募集しております。

一社当たり年間8万円になります。自薦、他薦問いません。

お心あたりありましたら是非本学会事務局までご一報ください。

## 編集後記

ISTA21は、参加者総数が国内と国外を合わせて135名と、比較的小規模な国際学術集会であった。筆者の知る範囲では、参加者総数が2,000名前後に上る、かなり規模の大きなものもあることから、規模の点で物足りなさを感じられる方もおいでかもしれない。ISTA21開催前の時点では筆者もその一人であったが、主催者として臨むと、比較的小規模であるがゆえに、参加者同士の距離が近く、リピーターも多く、一堂に会して様々な角度から議論ができたとの印象を持った。社会プログラムを含む人的交流の点でも、このくらいの人数規模が、多過ぎず、また少な過ぎず、参加者同士の結びつきをより緊密に、あるいは密接にするうえで有効であるとも感じられた。実質こそが重要との立場に立てば、今後、招聘研究者/招待講演者を含む参加者の間で、ISTA21を契機とした、複数の共同研究の進展が期待される。

堀口敏宏(国立環境研究所)

日本内分泌攪乱物質学会(旧 環境ホルモン学会)  
〒141-0022 東京都品川区東五反田1-10-4  
エムアイビル4F 株式会社プライムインターナショナル内  
Tel: 03-6277-0095 Fax: 03-6277-0118 E-mail: secretariat@jsedr.org