

ISSN 2758-5042
CODEN:TDGHFG

筑波大学

技術報告 No.40

TECHNICAL REPORT, UNIVERSITY OF TSUKUBA

2022

目 次

技術報告書

ハリサンショウウニの継代飼育法の確立

柴田 大輔・小高 友実・谷口 俊介

筑波大学下田臨海実験センター..... 1

新型ドレッジの製作

柴田 大輔・大植 学・小高 友実・高野 治朗・佐藤 壽彦・中村 千華

筑波大学下田臨海実験センター

小川 祐生 筑波大学研究基盤総合センター..... 7

C.C4.0 に基づいた環境放射能データの DOI を付与しての出版と、PHP・PostgreSQL
を用いた出版データ検索サイトの構築

谷田 直子 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター..... 13

ハリサンショウウニの継代飼育法の確立

柴田 大輔^a、小高 友実、谷口 俊介

筑波大学下田臨海実験センター

〒415-0025 静岡県下田市 5-10-1

概要

棘皮動物門に属するウニ類は、実験生物学的利点により古くから発生学・細胞学等のモデル生物として活用されてきた。しかしながら、バフンウニをはじめ、現在材料として使われている多くのウニ類は生殖期が年に1回であり、また卵から性成熟までに1年以上かかるため、継続的な実験を突き詰めることは極めて困難である。これまで、著者らはハリサンショウウニの継代飼育を試みており、本種が卵から性成熟に至るまでの期間が約半年であることを明らかにし、年中配偶子を保持させることにも成功した。このように非常に優れた生物材料になる可能性を持つ本種において、安定した継代飼育法を確立したため報告する。

キーワード:ハリサンショウウニ、継代飼育、変態、性成熟

1. はじめに

棘皮動物門に属するウニ類は、配偶子の得やすさ・幼生の透明さ等の実験生物学的利点により、古くから発生学・細胞学等のモデル生物として活用されてきた。また、中学校・高校等の教育機関においても、その扱いやすさから生物学教育の優れた材料として利用されてきた。一方、バフンウニをはじめ、現在材料になっている多くのウニ類は生殖期が年に1回であり、通年で研究・教育に利用することはほとんどの施設で困難である。さらに、卵から性成熟までに1年以上かかるため、他のモデル生物のように遺伝子のノックアウトシステムを研究者個人が作製し、継続して実験を突き詰めることは極めて困難である。

海洋生物の研究・教育を行っている下田臨海実験センターでは、著者らが中心になりこれまでにハリサンショウウニ *Temnopleurus reevesii* の継代飼育を試みてきた。その結果、本種は卵から性成熟に要する期間が半年であり、他のウニ類に比べて非常に短いことが分かった。また、年中配偶子を保持させることにも成功した。これは、研究および教育の現場において、非常に優れた生物材料になる可能性を含んでいる。しかしながら、“安定して”そのライフサイクルを回すことは未だに困難である。

そこで、本研究ではハリサンショウウニをモデル生物化し、研究および教育に貢献するため、安定した継代飼育法を開発することを目的にする。

2. ハリサンショウウニ

ハリサンショウウニは北海道南部から九州、東シナ海に分布しており、成体は肉食性である(図1)。下

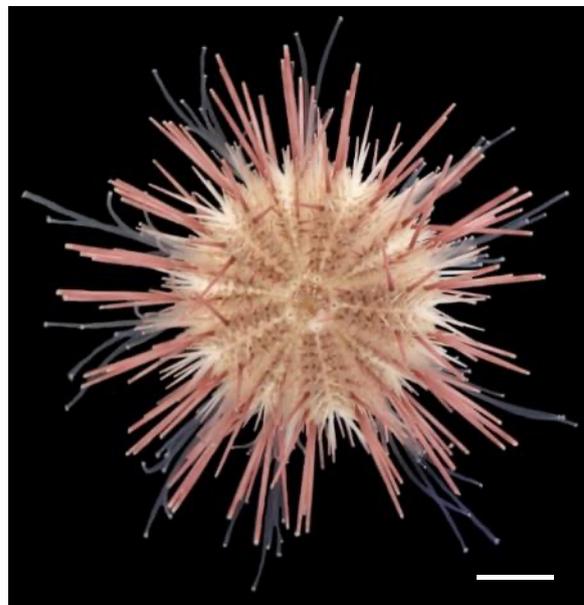


図1. ハリサンショウウニ成体. Scale bar = 10 mm.

田市周辺では野外で採集されることは稀であるが、2013年にセンター内の海水汲み上げシステムの一部である受水槽から採集された。これらの個体を用いて人工受精が行われ¹⁾、稚ウニから成体に至るまでの成長が速かったため、研究材料として適している可能性が示唆された。

一般的なウニ類の発生は、浮遊性のプルテウス幼生を経過し、摂食性の場合は単細胞藻類を与えることで飼育が可能である。幼生はその形態的特徴からプルテウス幼生と呼ばれ、2腕プルテウス、4腕プルテウス、6腕プルテウスを経て、8腕プルテウスへと成長する。8腕プルテウスで幼生の左側に成体の棘や水管系などの器官を含む成体原基が形成され、この成体原基が大きくなると変態して稚ウニになる(図2)。本種も同様の発生型であり、飼育条件にもよるが幼生期間は約1ヵ月である。

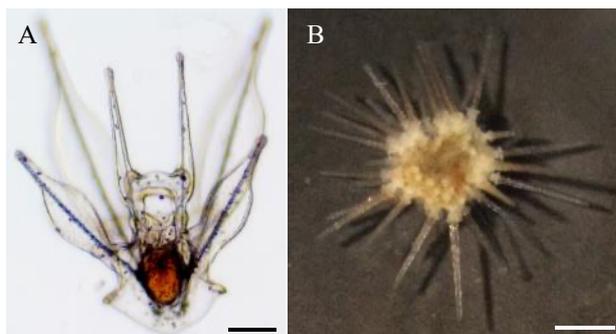


図2. 本種の6腕プルテウス幼生(A)、および稚ウニ(B). Scale bar = 300 μ m.

^a shibata@shimoda.tsukuba.ac.jp

3. これまでの問題点および改善方法

本種において、これまでに卵から性成熟した成体に至るまで飼育されており、継代飼育も可能である。しかしながら、幼生や稚ウニ、成体の飼育において問題点が残っており、それを改善することで“安定した”継代飼育が可能になると考えられる。

3.1 幼生飼育

ウニ類の幼生は、一般的にモーター(30 rpm)を用いて飼育海水を攪拌しながら飼育される(図3)。幼生の餌には単細胞藻類を用いるが、幼生の成長とともに体サイズが増大して餌量も増加する。そのため、幼生の成長には餌量の調整や幼生密度の調整が特に重要である。これまでの飼育結果から、幼生期では成長に伴って個体ごとの成長に差が出始め、形態的に異常な個体も生じる。この差は変態完了後の稚ウニの成長にも影響する。そのため、後期幼生期において成長の良い個体を選別することで、効率よく幼生を成長させることを目指した。幼生の形態を詳細に観察するために、簡易的に利用できる顕微鏡撮影システムを導入し、幼生の成長過程、変態時期の正確な判断、および継続した記録付けを行った。



図3. 幼生の飼育容器.

3.2 変態完了直後の稚ウニ

本種の変態完了直後の稚ウニは付着藻類を食べるため、これまでは天然海水をかけ流して35Lの大きな水槽に藻類が付着したプラスチック板を入れて飼育していた(図4)。しかし、変態完了直後の稚ウニは殻径が0.5 mm程度であり、水槽内で個体を見失ってしまうため、目視サイズになるまでの間は管理ができていない。また、かけ流し水槽であるため、付着する藻類や混入する生物種が毎回異なっており、死亡する個体が増加するなど、実施ごとに成長する個体数に差が生じてしまい、成体に至るまでの個体数が安定しない。そのため、飼育方法を改良し、目視サイズに移行するまでの期間も観察できるように、変態を終えた稚ウニを小さい容器で飼育した。また、

日本中どこでも飼育可能なモデル生物化を目指すため、濾過海水を用いた止水環境下での飼育を試みた。

3.3 稚ウニから成体まで

本種の稚ウニは、ある程度の体サイズになると草食性から肉食性へと移行する。肉食性に移行すると、複数個体での飼育環境下では共食いが生じて個体数が減少するという大きな問題がある。単独での飼育であれば共食いを避けることはできるが(図5)、その場合限りある飼育スペースでは飼育できる個体数が減少する。複数個体での飼育が可能になれば、多くの個体数を飼育・維持することができ、多くの研究・教育の現場で使用できると考えられる。そのため、これまでの飼育条件や餌を見直し、それらを改善することにより複数個体で飼育できる方法を検討した。

4. 結果

4.1 幼生飼育

顕微鏡撮影システムを用いて(図6A)、幼生の形態、および体サイズを中心に定期的に幼生を観察した。その結果、6腕ブルテウス幼生期には明確に体サイズに差が生じ、正常な個体以外に成長が遅く体サイズの小さな個体が確認された。そこで、6腕ブルテ

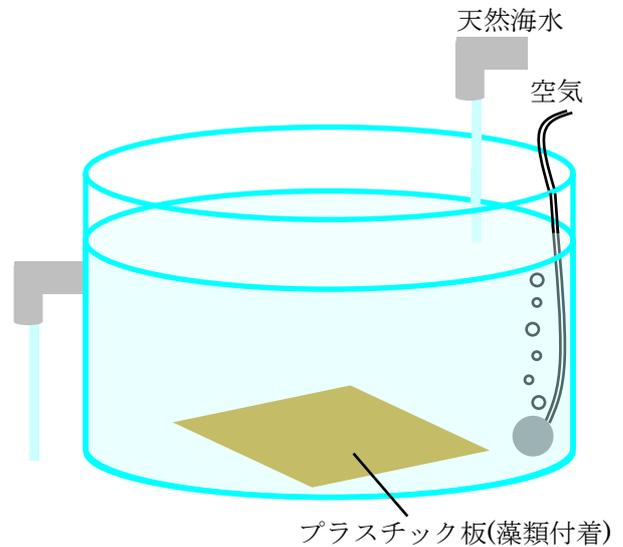


図4. これまでの稚ウニの飼育方法.



図5. 単独飼育された成体.

ウス幼生期までは 100 μm のメッシュでサイフォンによって換水していたが、体サイズに差が生じた時期に 315 μm のメッシュで換水を行い、体サイズの大きな個体のみが残るようにした。また、幼生の成長や密度によって必要な餌量は変化するため、6 腕プルテウス期以降の幼生密度は、3L、5L、および 10 L の飼育容器を用いて、1-15 個体/ml に調整した。特に、8 腕プルテウス幼生になると成体原基の形成とともに体サイズが増大する。そのため、顕微鏡によって毎回幼生の胃内を観察して十分な餌が胃に入っているかどうかを確認し(図 6B)、与える餌量を調整した。

また、幼生に与える餌は単細胞藻類(*Chaetoseros calcitrans*)であり、近年は高密度培養された *C. calcitrans* が市販されている。市販餌は密度が一定であり使用しやすいが、藻類の細胞同士が付着して塊ができるなど、餌の状態が時間経過とともに悪くなる場合がある。それらを餌として使用すると実際の餌量の減少や飼育海水の汚れなどが問題として生じ、幼生の個体数が減少することもあった。そのため、*C. calcitrans* の培養システムを立ち上げ安定した餌を供給できるようにした(図 7)。

これらの改善により、変態期まで発生段階が揃ったため同時期に幼生が変態して稚ウニが得られるようになった。また、顕微鏡撮影システムにより、発生段階の確認がスムーズになり、詳細な記録を残すことできた(図 6C、D)。

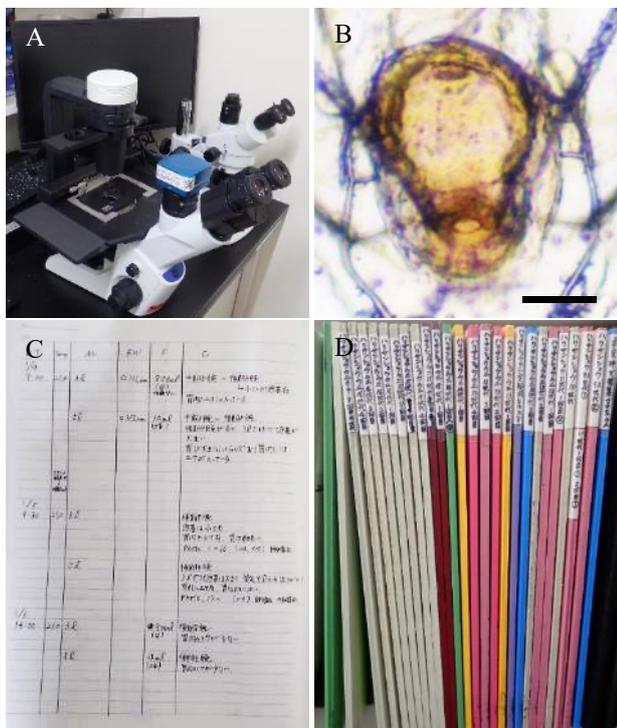


図 6. 顕微鏡撮影システムの導入。

A: 顕微鏡撮影システム. B: 幼生の胃. C: 飼育記録. D: これまでに記録されたノート.
Scale bar = 100 μm .

4.2 変態完了直後の稚ウニ

個体を管理して飼育できるように、1.5L 容器に藻類が付着したプラスチック板を入れ、エアレーションを行いながら止水環境で飼育した(図 8A)。稚ウニ

は藻類が付着したプラスチック板に付着すると目視しづらくなるが、小さい容器では探しやすく比較的に見つけることができる。換水は 3-5 日ごとに行い、稚ウニが流れていないことを確認しながら行った。止水環境で飼育したことで、かけ流し水槽のように不特定な生物や藻類の混入がなくなり、比較的安定して稚ウニを成長させることに成功した。しかしながら、プラスチック板にすでに付着している生物等が存在していたため、場合によって稚ウニの生存や成長に差が生じた。そのため、プラスチック板の影響を防ぐため、稚ウニの飼育が開始される前に、予め飼育容器に幼生用の餌を入れて容器内側表面に藻類を付着させた(図 8B)。この容器では稚ウニを目視することも容易であり、換水も行いやすかった。この方法により止水環境下でも安定的に稚ウニを成長させることに成功した。



図 7. 単細胞藻類の培養。

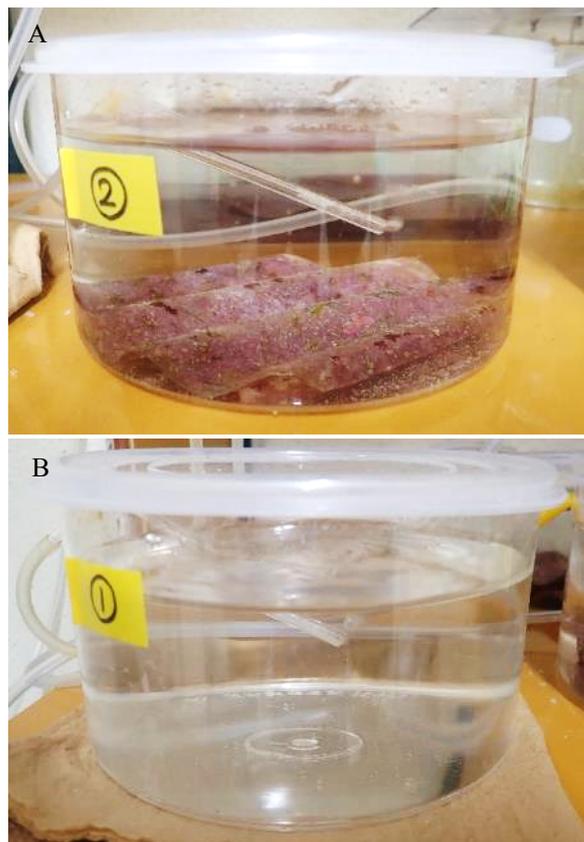


図 8. 稚ウニの飼育。

A: 藻類が付着したプラスチック板が入った容器. B: 藻類を直接付着させた容器.

4.3 稚ウニから成体まで

成体は、これまでかけ流し水槽内のカゴに入れて単独で飼育されていた。また、目視サイズになるまで管理できていなかったため不明であったが、殻径が2 mm から食性が肉食性へと移行し始め、これまでの飼育では殻径3 mm 以上の個体は他の小さい個体を食べる共食いが確認された。そのため、まず飼育環境の改善を試みた。トリカルネットのみで囲まれた区画では稚ウニが隠れる場所がないため、カゴ内が立体的になるように構造物を入れることを検討した。ウニ類は固い歯を持っており種によっては基質ごと食べる場合があるため、構造物にはカルシウムが豊富なカキ殻を用い、少しでも栄養価が高くなるようにした(図9)。これにより、区画内に隠れるスペースが作られるとともに、表面積が増加したことで個体同士が接触しにくくなった。

一方、従来の飼育方法では肉食性に移行した個体には淡水魚用の餌が与えられていた。淡水魚用の餌は、海産生物には必要不可欠な EPA および DHA がほとんど含まれていないため、海産生物の飼育には奇形が生じるなどの理由から適していない。ハリサンショウウニでも淡水魚用の餌で成長させた個体は、殻が脆いなどの症状が生じていた。また、多くの個体を飼育・維持することから、EPA、DHA、カルシウムなどの栄養価以外にも、入手しやすさ、コスト、および与える餌の状態も考慮して餌を選定した。餌は、イカ、アサリ、カキ、イワシ、およびシラスを候補として挙げた(表1)。イカおよびイワシはサイズが大きいことから与える部位によっても栄養価に差が生じる可能性があった。また、乾燥されたシラスは加熱処理の影響を受けており、自然条件下ではないため採用を避けた。アサリおよびカキは解凍ではあるがより自然条件下に近く、栄養価は他に比べて劣る部分もあるが、それぞれの栄養価のバランスが良い。そのため、まずはサイズが小さく容易に手に入るアサリが餌として用いられた。殻径3 mm の個体には、なるべくアサリの様々な部位が入るようにスライスして餌として与えた。その後、殻径が大きくなるにつれて餌も大きくし、殻径30 mm の個体ではアサリ1個を与えた。これにより、性成熟した個体でも共食いは観察されず、複数個体での飼育が可能になった。これにより、省スペースでも多くの個体を飼育できるようになった。

アサリで安定して飼育することは可能であるが、現在はアサリ以外にもセンター周辺で容易に採集可能なケガキも餌として用いられている。ケガキはサイズがアサリと同サイズであるため与えやすく、栄養価はアサリよりも高い。しかしながら、殻を割るなどの作業もあるため、現在はアサリと併用して与えている。

5. まとめ

本研究により、これまでの継代飼育法で課題であった幼生、稚ウニの飼育法が改善されたことで、“安定した”継代飼育法が確立された。また、成体を複数個体で飼育できるため、個体数が多い場合でも対応することが可能になった。

稚ウニ飼育において、止水環境での藻類が付着したプラスチック板を用いた飼育法でも稚ウニの生存



図9. 成体の飼育.

表1. 成体用餌の比較.

	淡水魚用の餌	イカ	アサリ	カキ	イワシ	シラス
カルシウム	-	0.014	0.066	0.088	0.7	0.52
不飽和脂肪酸	-	0.34	0.05	0.5	6.61	0.95
タンパク質	30	12.8	6.0	6.6	19.8	40.5
脂質	4	1.2	0.3	1.4	13.9	3.5
サイズ	小	大	小	中	中	小
コスト	低	低	低	中	高	中
状態	加工	解凍	解凍	解凍	解凍	乾燥

(g/100g)

率は改善されたが、容器に直接藻類を付着させた方がより安定していた。藻類を付着させるまでに1ヵ月ほど要するが、現在はこの方法で飼育を行っている。しかしながら、止水環境では換水等の作業が必要であるため、過剰に稚ウニが得られた場合は、かけ流し水槽での飼育も併用している。

本研究により、肉食性に移行した個体にアサリやケガキを餌として与えたことで共食いを防ぐことができた。これは、栄養価の高い餌を与えたことで各個体の殻や棘の強度が上がり、割れにくくなったためであると考えられる。

成長した個体は、止水環境下あるいはかけ流し水槽で飼育している。止水環境下では通年で水温が一定であるが、定期的な換水が必要であるため、飼育する個体数の増加に伴い、作業時間が必要である。一方、かけ流し水槽での飼育では、季節的な水温変化に晒されるが、基本的には換水等の作業が必要ない。そのため、多くの個体を飼育・維持するためには、両方の方法を用いることが有効であると考えられる。飼育水温の変化によって成長に差が出ることが分かっており、特に水温が低下する冬期には摂餌量が減少し、個体が弱ることも観察されている。そのため、今後はかけ流し水槽でも冬期に水温を低下させないシステムを構築する必要がある。この方法

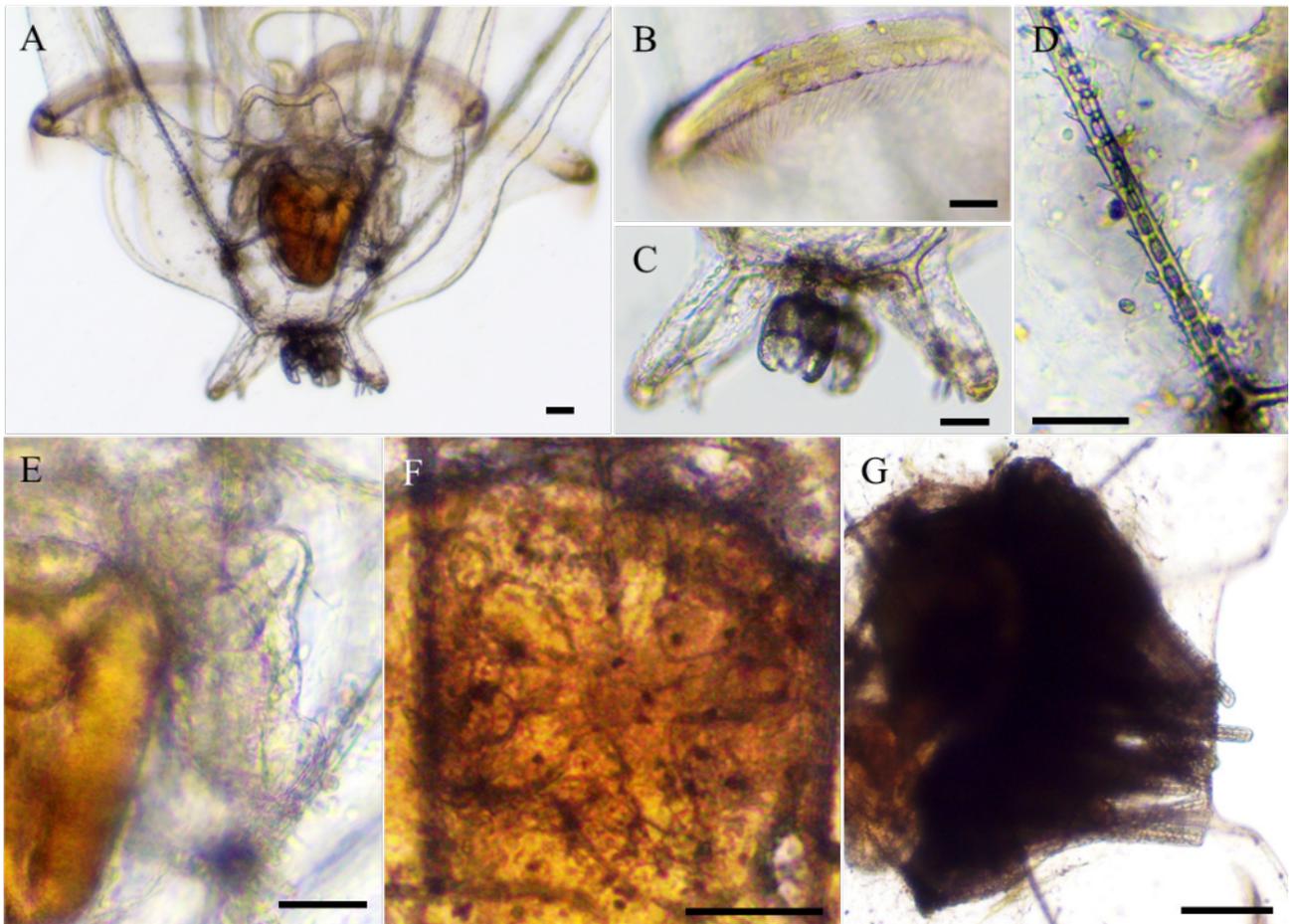


図 10. 顕微鏡撮影システムによる幼生の観察。

A: 8 腕プルテウス幼生. B: 繊毛帯. C: 叉棘. D: 骨片. E: 形成され始めた成体原基. F: 水管系が明確になった成体原基. G: 成体の棘などが形成された変態直前の成体原基. Scale bar = 100 μ m.

が確立できれば、研究・教育の使用目的に合わせて、より多くの個体を継続して飼育・維持することができるだろう。

これまでに 16 世代まで継代飼育することに成功しており、近年において実際に本種を利用した世界初のノックアウトウニ系統の作成が成功している^[2]。

本研究において、卵から成体に至るまで止水環境下で飼育することに成功しており、少ない海水でも飼育できる方法が確立された。さらに、顕微鏡撮影システムの導入により、幼生や稚ウニの詳細な記録を残すことが可能になった。これにより、これまで文字や図で幼生等の説明を行いながら飼育技術を教えていたが、現在は写真を用いて説明できるようになり(図 10)、簡単により詳細に飼育技術の引き継ぎが可能になった。これにより、海水が常に供給されない他の施設でも、飼育方法を引き継ぐことで本種を飼育することができるだろう。これは、今後の本種のモデル生物化に向けた大きな成果である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(21H04138、代表：柴田大輔)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] S. Yaguchi, A. Yamazaki, W. Wada, Y. Tsuchiya, T. Sato, H. Shinagawa, Y. Yamada, J. Yaguchi, Early development and neurogenesis of *Temnopleurus reevesii*, *Develop. Growth Differ.* 57 (2015) 242-250.
- [2] S. Yaguchi, J. Yaguchi, H. Suzuki, S. Kinjo, M. Kiyomoto, K. Ikeo, T. Yamamoto, Establishment of homozygous knock-out sea urchins, *Curr. Biol.* 30(10) (2020) 427-429.

Establishment of Successful Breeding and Rearing Methods for the Sea Urchin, *Temnopleurus reevesii* (Gray, 1855)

Daisuke Shibata, Tomomi Kodaka, Shunsuke Yaguchi

Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba,
5-10-1 Shimoda, Shizuoka, 415-0025 Japan

Sea urchins from the phylum Echinodermata have long been used as genetic model organisms for embryology and cytology. Conducting experiments on Echinoderms is difficult as they only have one reproductive season with time to sexual maturity taking more than one year. *Temnopleurus reevesii* is one species that has been shown to reach sexual maturity in only 6 months, with successful gamete retention observed throughout the year. As *T. reevesii* can be used as a genetic urchin model species, its importance in developmental biology requires replicability. Here, we report stable breeding and rearing methods for *T. reevesii*, which can be utilized for multiple developmental biological experiments, including trans-generational research.

Keywords: *Temnopleurus reevesii*, trans-generation, rearing, sexual maturity

新型ドレッジの製作

柴田大輔^a、小川祐生^b、大植学^c、小高友実^c、高野治朗^c、佐藤壽彦^c、中村千華^c

^a筑波大学下田臨海実験センター、^b筑波大学研究基盤総合センター

^a〒415-0025 静岡県下田市 5-10-1

^b〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

ドレッジとは船からワイヤーで海底まで降ろし、海底を曳いて生物を採集する器具のひとつであり、下田臨海実験センターでも研究調査船「つくばⅡ」を用いて使用されている。目的の生物のみを採集することはできないが、深部での生物採集で活躍している。しかしながら、ドレッジ採集では海底を曳くため、岩場等に引っ掛かってドレッジを失う可能性がある。これまで使用していたドレッジは岩の間に挟まって切れてしまった。そのため、新しいドレッジを研究基盤総合センターと共同で開発した。これまでの使用経験から改良を加えたドレッジは、交換可能な歯部、網枠を備えており、これまでにない特徴を持つ。そこで、作製された新型ドレッジの特徴や運用について報告する。

キーワード：ドレッジ、底生生物、海底、ステンレス

1. はじめに

海底を曳いて生物を採集する器具のひとつであるドレッジは、下田臨海実験センターでも研究・実習等の生物採集のために、研究調査船「つくばⅡ」を用いて水深 10–400 m でよく使用されている(図 1)。ドレッジは一般的にはカゴ型で歯が付属しており、泥や砂等の基質と一緒に底生生物等を採集することができる(図 2A)。生物は船上あるいは施設に戻ってから、泥や砂などの中から取り出され、研究・実習に用いられる(図 2B、C)。ドレッジは市販されているが、臨海実験施設によってその形状は様々で下田臨海実験センターでも以前より特徴的な形のドレッジが用いられている。

これまで使用されていたドレッジが水深 200 m の底生生物採集中に岩に引っ掛かり、切れてしまったため新しいドレッジの製作を検討した。その際、様々な研究機器等の製作を手掛けている研究基盤総合センターと共同でのドレッジ開発の構想に至った。これまでの使用経験および製作技術のノウハウを活かし、より幅広く活躍できるドレッジの開発を目的にする。

2. これまでのドレッジ

下田臨海実験センターで使用されていたドレッジはステンレス製で、両側面が半楕円状の板で構成されており、一般的なドレッジに比べて重く、特徴的な形である(図 1A)¹⁾。歯部は直径 5 mm で長さ 35 mm の棒が楯状に並んだ構造をしており、海底を掘りな

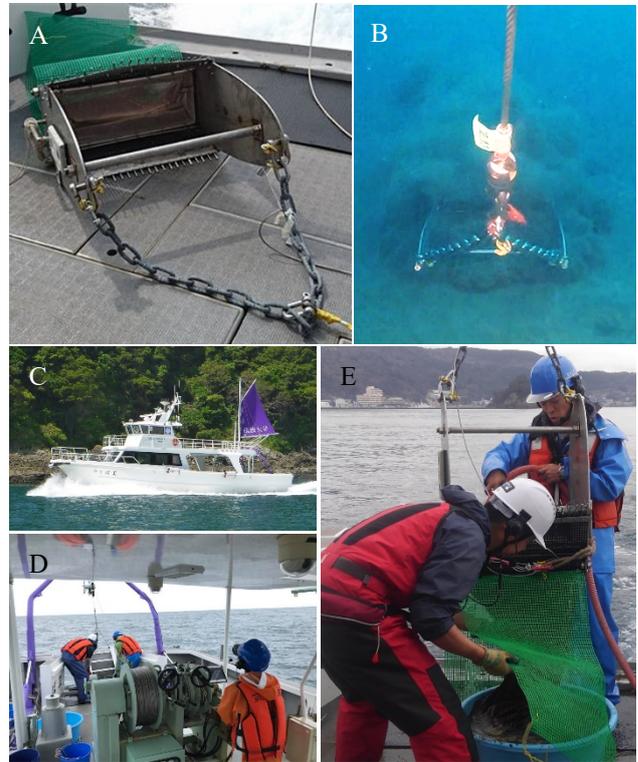


図 1.ドレッジでの調査.

A: これまで使用されていたドレッジ. B: 採集の様子. C: 研究調査船「つくばⅡ」. D: ウィンチ. E: 引き揚げられたドレッジ.

がら進んで基質ごと生物が採集される(図 1B)。しかしながら、岩などに衝突した際には、歯が曲がるあるいは折れることがあり、その都度修理が必要である。また、網部は柔らかい素材でできており、メッシュサイズは 5 mm であるが、網目の形が変わりやすいことで砂などの小さい粒子も採集される。船からドレッジまではワイヤー(破断強度 2 t)で繋がっているが、岩場に引っ掛かった際に外れるようにヒューズワイヤー(破断強度 1 t)が前後に各 1 本ずつ取り付けられており(図 3A)、引っ掛かった際に大きな力が加わると前部のヒューズワイヤーが切れ、後部からドレッジを起こして引き上げることができる(図 3B)。しかしながら、それでも岩場から外れない場合は、後部のヒューズワイヤーが切れて、ドレッジを切り捨てることになる。

下田臨海実験センターでは同型の 2 台のドレッジが使用されていたが、そのうち 1 台が水深 200 m の底生生物採集中に岩に挟まり、船で曳航方向とは反対方向に曳くなどの引き揚げ方法を試みたが外す

^a shibata@shimoda.tsukuba.ac.jp



図2.ドレッジでの採集物.

A: 採集物. B: ソーティングされた生物. C: 生物写真.

ことができず切れてしまった。残っている1台のドレッジを用いて調査・実習は実施可能であるが、再度切れる可能性も十分に考えられることから、新しいドレッジの作製が必要不可欠であった。

3. 新型ドレッジの開発

3.1 見学・打ち合わせ

ドレッジ製作のため、下田臨海実験センターの使用者、および研究基盤総合センターの製作者で実際のドレッジの見学、必要な部分や改善したい部分の説明が行われた。これまでのドレッジで採集には問題がないことから、形状は以前のドレッジと同様にしたが、全長(750 mm)が長く A フレームクレーンで吊るした際に下部にスペースがないため(図 1E)、船上での取り扱いを考慮して全長が短く設計された。また、岩場等で歯が欠けやすいことから、歯の形が検討された。さらに、これまでの経験から網目のサイズによって、異なる生物種が採集されることが分かっているため、網部を交換できるようなシステムが組み込まれた。

その後、構想をもとにポンチ絵が作成され、ドレッジ製作の方向性が確認された。その後も打ち合わせを繰り返し、歯部は部分的に脱着可能な構造にし、従来の棒状の歯以外に山型の歯も作製されることになった。また、網部は網を取り付けたフレームごと交換する構造が採用され、複数のフレームを製作することが計画された。使用者、および製作者で方向性が決定され、使用者からドレッジ製作の依頼書が研究基盤総合センターに提出された。

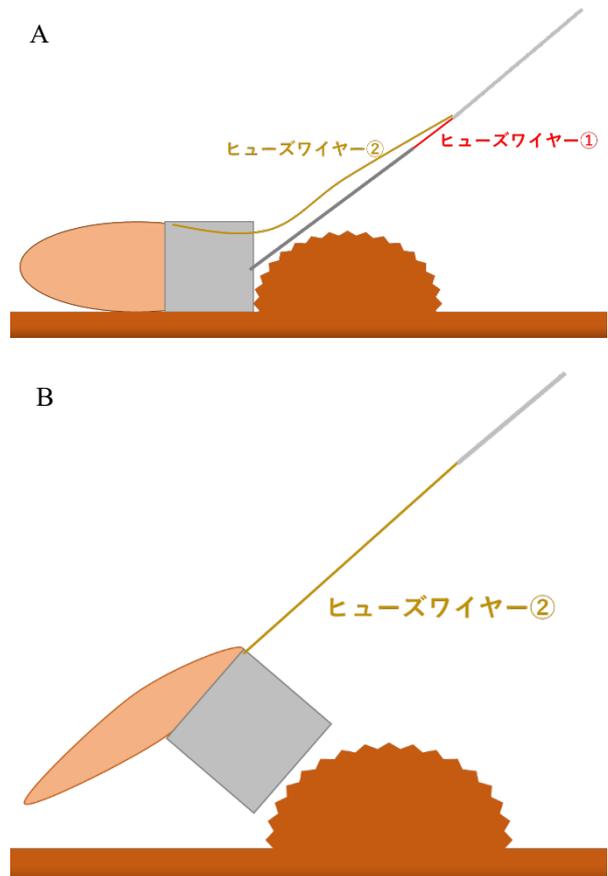


図3.ドレッジが岩場に引っ掛かった場合.

A: ヒューズワイヤー. B: 後部のヒューズワイヤーでの引き揚げ.

3.2 設計・製作

依頼書を提出後に図面が作製され、追加の要望や修正案を出すなどの細部の調整が行われた(図 4A)。その際、全長を短くしたことで電蝕防止用の亜鉛板がこれまでの向きでは入らなくなったため、取り付け位置が調整された。また、海水による腐食への耐久性、海底を曳くための十分な強度、および溶接の利便性から材料はステンレスに決定された。

製作は筑波大学筑波キャンパスの研究基盤総合センターで行われ、製作者と使用者の場所が離れており直接製作過程を確認できないことから、製作開始後にも進行度合いの報告など細かな確認も行われた。

ドレッジは組立式を採用し、組み立てやすいように両側のプレートとの接続シャフトは位置決め形状に加工され、組み立て後に同じ幅になるように調整された(図 4B、C)。消耗品である歯部は、多くの数量を揃える必要があること、今後追加で作製する可能性があることを考慮し、治具を作製して溶接作業の効率化が図られた(図 4D - F)。歯部は部分的に交換できるように、土台、歯部、固定プレートに分かれており、土台がドレッジ本体に取り付けられ、そこに固定プレートで挟むようにして歯部がボルトで固定された(図 4G)。また、4つ作製された網部のフレームはドレッジ本体に収めて取り付けられるため、幅を調節して4つを同じサイズで製作する必要があった。そのため、コーナーバイスを用いて直角を出し、フレーム内に内寸法に合わせて切った棒を入れ

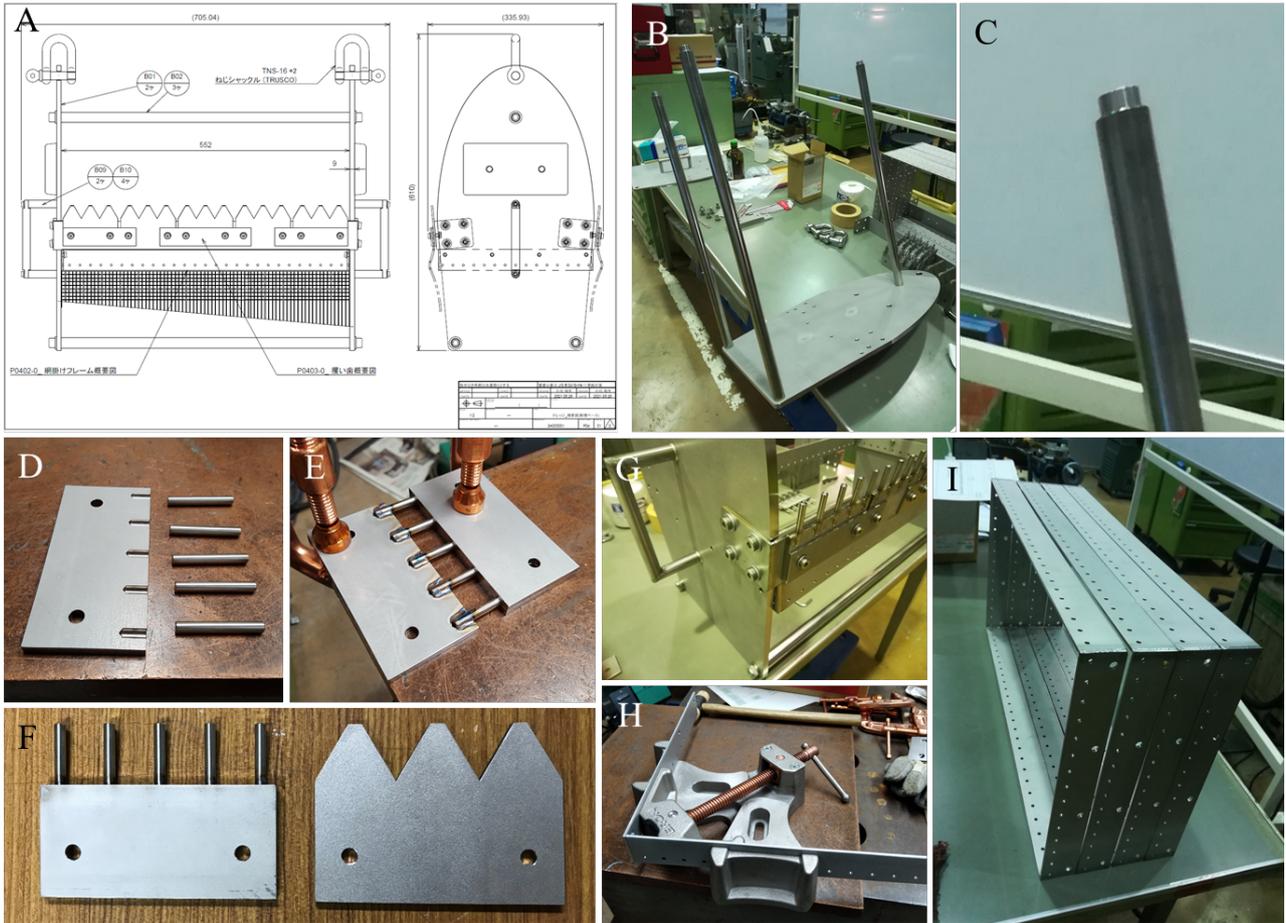


図4.新型ドレッジの製作.

A: 図面. B: 側面プレートと接続シャフト. C: 接続シャフトの先端. D: 溶接前の棒状の歯. E: 溶接後の棒状の歯. F: 完成した2種類の歯. G: 歯部の取り付け. H: 網枠の溶接. I: 完成した網枠.



図5. 新型ドレッジの組立説明書.

て、正確な寸法で製作できるように工夫された(図4H, I)。また、初めてでも組み立てがスムーズに行えるように組立方法や部品の確認を簡便化するため、組立説明書が作成された(図5)。

3.3 組み立て・運用

ドレッジは、完成後に下田臨海実験センターに運ばれて説明書に従って組み立てられ、歯部には耐久性が高い山型の歯が取り付けられた。また、3つの網フレームにはメッシュサイズの異なる網が取り付けられた。メッシュサイズは素材によっても変化する

ため、これまでのドレッジと同様の柔らかく形状が変化しやすい5mm、形状が固定されている2mm、5mmの3種類が用意され(図6A-C)、まずはこれまでと同様の網が取り付けられた。組み立てられた新型ドレッジは、従来のドレッジに比べて全長(550mm)が短くなったが、外観は似ている(図6D、E)。

新旧のドレッジで能力を比較するため、同じ場所で試験が行われ、その際曳航するワイヤーにカメラを取り付けて海底でのドレッジの挙動が確認された¹²⁾。その結果、新型ドレッジでもしっかりと基質に食い込んでいることが観察され(図6F)、引き揚げられた採集物等にも差がないことが分かった(図6G)。撮影された動画は、実際にどのように動いて使用されているのかを再確認するために、使用者と製作者間で共有された。

3.4 破損・修理・改良

その後、実際に調査・実習でも使用されていたが、生物採集調査において水深約100mの礫を含む海底を曳いていた際に、ドレッジが岩に衝突して500kg以上の力が加わった。その際、岩に引っ掛からず衝撃のみであり、ヒューズワイヤーは前後とも切れなかった。しかしながら、引き揚げられたドレッジは歯部、および網部が破損していた(図7)。歯部の土台は溶接部である角から破断しており、これは土台の強度が衝撃に耐えられなかったためであると考えら

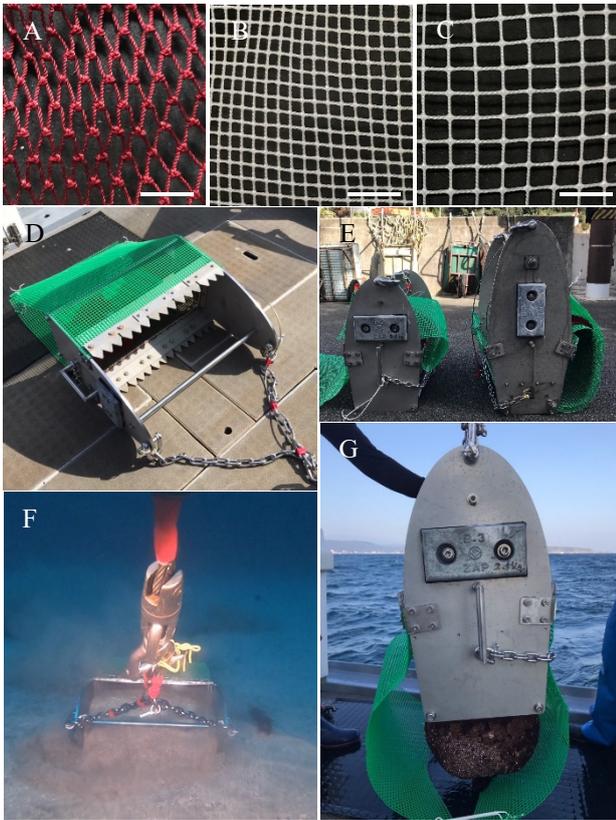


図 6. 新型ドレッジ.

A: 形状が変化しやすい網(メッシュサイズ: 5 mm). B: 形状が固定された網(メッシュサイズ: 2 mm). C: 形状が固定された網(メッシュサイズ: 5 mm). D: 完成した新型ドレッジ. E: 新旧ドレッジの比較. F: 海底でのドレッジの様子. G: 引き揚げられた新型ドレッジ. Scale bar = 10 mm.

れた。また、岩が多い場所では、歯が基質に食い込みすぎること、引っ掛かりやすくなっている可能性があった。これにより、再度旧ドレッジと歯部を比較したところ、旧ドレッジの歯部は厚さ 5 mm であったが、新型ドレッジの歯部土台の厚みは 3 mm であった。そのため、土台を厚さ 5 mm に変更するとともに、失った歯部の追加製作が依頼された。また、土台を厚くすることでより歯部が突出して基質に食い込みやすくなるため、土台と固定プレートで歯部を挟む構造が再検討され、歯部を直接土台に取り付ける構造に変更された(図 8A)。これにより、海底の状況に合わせて土台の内側と外側に使い分けて歯部を取り付けられるようになった。これは歯部を土台の内側に取り付けることで、側面のプレートで歯部が半分ほど隠れて歯の突出が減少されるためである(図 8B)。また、棒状および山形の歯部以外に、岩場での調査等で従来の歯よりも食い込みにくくなると考えられる 1 枚のブレード状の歯部が追加で製作された(図 8C)。

4. 新しく製作されたカゴ型のドレッジ

岩場での採集を目的としたドレッジの作製について、下田臨海実験センター在籍の研究者から相談があり、新型ドレッジを製作した実績から下田臨海実

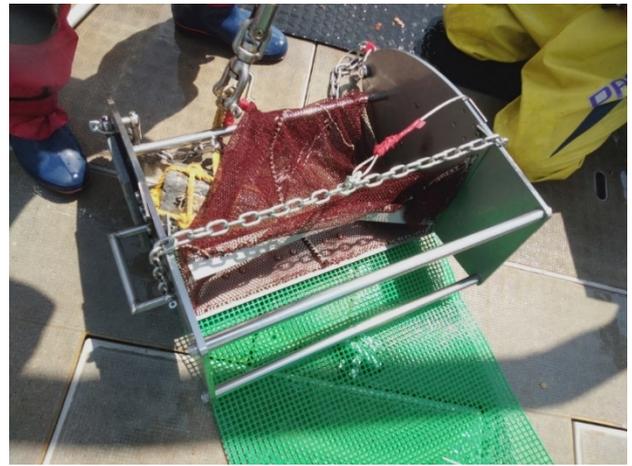


図 7. 破損した新型ドレッジ.

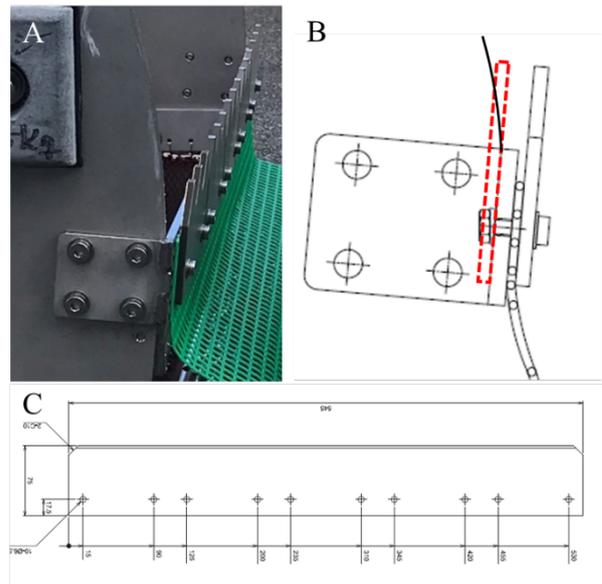


図 8. 改良された歯部.

A: 土台に直接取り付けられた歯部. B: 歯の突出部(赤破線は歯が内側に取り付けられた場合). C: ブレード状の歯の設計図.

験センターと研究基盤総合センターが共同で開発を行った。今回のドレッジは岩場を曳くため、岩に衝突するリスクを考慮する必要があった。通常ドレッジでは、岩に引っ掛かって外れない場合はヒューズワイヤーが切れる。この場合、後部のヒューズワイヤーから引き揚げられるため、ほとんどの採集物が網から出てしまう。そのため、岩に引っ掛かって採集物が得られるように、構造を検討した。形状はカゴ型にして簡易化され、歯部は食い込まないようブレード状が採用された。

新型ドレッジが破損した際には網に採集物が入っていたことから、この状況を参考にしてドレッジ下部は前後 2 枚のプレートで構成され、前部のプレートは後部よりも細いボルトで取り付け、前後のプレートで強度差をつけた(図 9A、B)。これは、岩に引っ掛かった場合にヒューズワイヤーが切れる前に前部のプレートが外れて岩場から脱出できることを想定している。前部のプレートは予備を用意し、壊れた場合でも取り換えることで採集を継続できるように設計された。

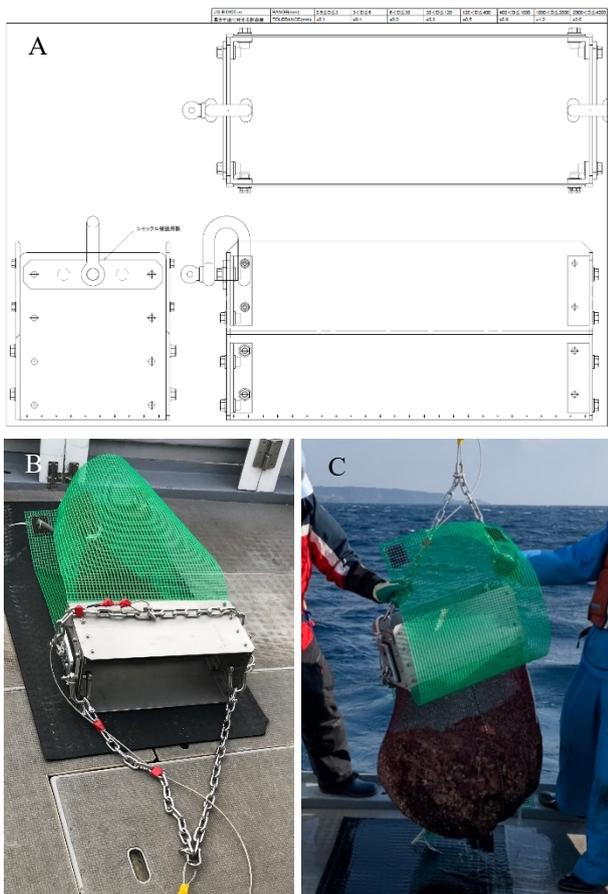


図9. カゴ型のドレッジ.

A: 設計図. B: 完成したカゴ型のドレッジ.
C: 引き揚げられたドレッジ.

礫が多い場所での調査において、これまでのドレッジでは礫の下で砂まで歯が食い込んでいたが(図10A)、このドレッジでは基質に食い込まず表面の礫を採集するような挙動であった(図9C、図10B)。

5. まとめ

下田臨海実験センターおよび研究基盤総合センターの協同により、筑波大学オリジナルの2台のドレッジが製作された。新型のドレッジは、歯部および網部が取り換え可能であり、これまでにない構造を持つ特徴的なドレッジである。これまで歯の形状や網サイズを変更するためには、別のドレッジを船舶に積み込む必要があった。今回開発されたドレッジでは、調査地点の状況に合わせて1台のみでそれらを変更することが可能である。また、もう一方のカゴ型のドレッジもドレッジの破損という経験から生み出された斬新な設計である。一般的にドレッジが破損した場合、調査を続行することは不可能である。今回のカゴ型のドレッジは弱い部分を作ることで、壊れる箇所を予測して予備部品を準備した。これにより、その部分が破損してもその場で修理することで調査を継続することができる。ドレッジでの調査は船舶で長距離を移動して行われる場合もあり、こ

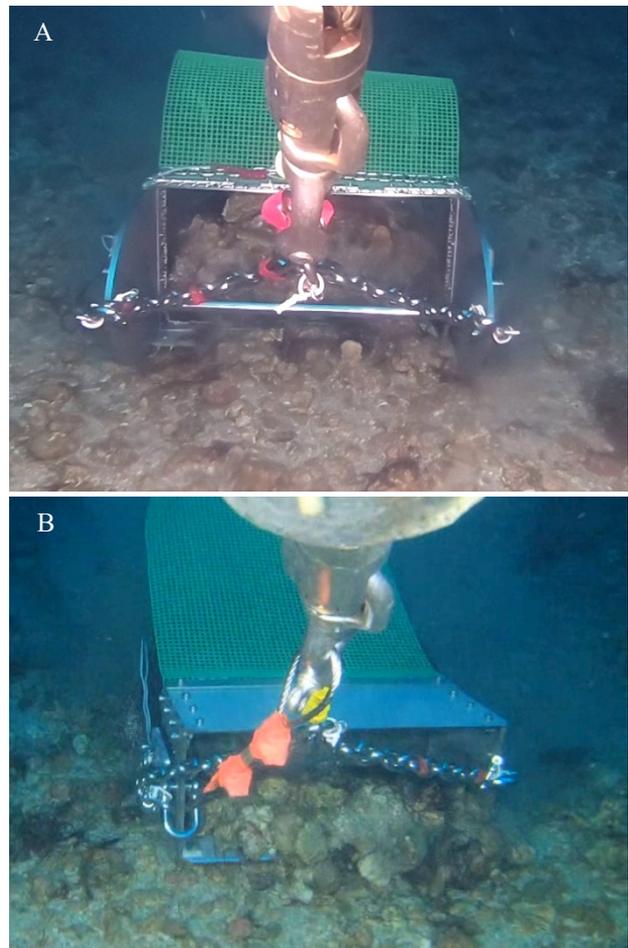


図10. 礫が多い場所でのドレッジの挙動.

A: 旧ドレッジ. B: カゴ型のドレッジ.

これらの2台の特徴はそのような環境での調査に最適であると考えられる。

共同での開発において、使用者および製作者が時間をかけて常に意見交換を行い、細かい調整や方向性を確認しながら製作できたことは、極めて大きなメリットであった。また、お互いに場所が離れており、それぞれの業務を見学・把握することは容易ではない環境での今回の共同開発は、それぞれの業務を知るうえで非常に有意義であった。特に、使用者はドレッジの製作過程を確認でき、製作者は作製したドレッジがどのように使用されているのかを把握できたことは、それぞれの技術・経験の蓄積に繋がった。さらに、異なる分野の視点が加わることで、これまで気付かなかったことなど新しい発見も見出された。今回のような異分野の技術職員が協力し合うことは互いの技術・知識の向上に繋がるだろう。

参考文献

- [1] 植田一二三, 組立式新型ドレッジの製作, 臨海・臨湖 2 (1984) 2-9.
- [2] 小高友実, 柴田大輔, 大植学, 高野治朗, 佐藤壽彦, アクションカメラを使用した海底撮影装置の開発. 第38回筑波大学技術報告 (2018) 6-10.

Development of the New Dredge

Daisuke Shibata^{a)}, Yuki Ogawa^{b)}, Manabu Ooue^{a)}, Tomomi Kodaka^{a)},
Jiro Takano^{a)}, Toshihiko Sato^{a)}, Chika Nakamura^{a)}

^{a)} Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba,
5-10-1 Shimoda, Shizuoka, 415-0025 Japan

^{b)} Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

A dredge is a device used for benthic sediment collection from vessels by lowering the device to the seabed and towed for sediment collection. At the Shimoda Marine Research Center (SMRC), dredges are utilized using the research vessel 'Tsukuba II' for benthic sample collection, allowing for sampling of organisms unreachable through SCUBA methods. However, dredges are prone to damage as they can come into contact with boulders and rocks scattered along the seafloor. The previous dredge at the SMRC was lost recently after being caught between rocks during sampling. To amend the problems of the previous dredge, a new dredge was designed in order to reduce rock collision damage and improve chances of retrieval. This paper reports on the design methods used and the specific operation of the dredge, which is also equipped with replaceable teeth and a mesh frame.

Keywords: dredge, benthos, stainless steel

C. C4.0 に基づいた環境放射能データの DOI を付与しての出版と、 PHP・PostgreSQL を用いた出版データ検索サイトの構築

谷田直子^a

筑波大学アイソトープ環境動態研究センター(契約技術職員)

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

各科学者が手元に持つ環境放射能データにデジタルオブジェクト識別子(DOI)を付与し出版を開始した。さらにそのデータセットを串刺し検索できるシステムを構築し公開している。

本報告書では、筆者が取り組んだ内容を「DOI 登録出版」、「データベースの構築とプログラミング」に分けて解説する。また当該ワークフローを学外研究機関との協業プロジェクトにおいて横展開する取り組みについても触れる。

キーワード: 環境放射能、データベース、東京電力福島第一原子力発電所、Web サイト構築

1. はじめに

東日本大震災から 10 年が経ち、その記憶が薄れつつある。そのような情勢において、東京電力福島第一原子力発電所の事故(以降福島事故)により環境中に放出された放射能についてのデータを収集し、できる限り 1 か所に集めた状態で自由に利用できる形で後世に残し伝えることは、学術的観点において意義深いことである。

従来、実験や調査などの研究過程で得られるデータは科学者自身が手元に保存し、論文執筆に利用した後は埋もれてしまいがちであった。筑波大学など 3 大学 3 研究機関が参加する放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点・共同研究(ERAN)の事業のひとつとして、福島事故に由来する環境試料のカタログやデータをアーカイブし出版する事業が 2019 年から始まった。この事業を担う筑波大学アイソトープ環境動態研究センターでは、これらのデータを広く活用できるような体制を整えることを喫緊の課題のひとつと認識し、データアーカイブワーキンググループを立ち上げた。

ワーキンググループは以下の 2 つを進めることとした。ひとつは、複数の同じタイプのデータをまとめたデータセットに DOI を付与して出版し、クリエイティブコモンズ 4.0¹のライセンスのもとに永続的に公開することだ。もうひとつは ERAN の当初目標

には無かったが、当センターで出版したデータセットに加え、国内外の研究施設や省庁の持つデータセットも合わせて、時間空間情報と試料の種類・核種などをキーとしてすべてのデータを串刺し検索できる仕組みを構築し、世界中どこからでも誰でも検索してその結果を使うことができるようにすることである。

筆者は当該ワーキンググループを率いる青山道夫客員教授の指導の下、未経験ながらもプログラミングやデータベース構築などを含む全工程に携わることとなった。

2. DOI 登録出版

2.1 DOI とは

DOI とは Digital Object Identifier の頭文字を並べたもので、その名の通り、インターネット上にあるコンテンツに与えられた識別子であり、ブラウザで入力して検索すると、URI に変換され、DOI に紐づけられたコンテンツに移動することができる。URL と似ているが、URL は可変であり消滅することもある。しかし DOI は不変であり、コンテンツへの永続的なアクセスを提供する。また出版者にはコンテンツへの永続的なアクセスを提供する義務が課せられている²。

2.2 DOI の構造

DOI は出版者(この場合は当センター)に特有の「プレフィクス」と、個々のコンテンツに与えられた「サフィックス」で構成される。

プレフィクス サフィックス
10.34355/CRiED.U.Tsukuba.00001

図 1. DOI 例

プレフィクスである「10.34355」は DOI の登録機関(Registration Agency)であるジャパンリンクセンター(JaLC)から付与された、当センターに特有の識別子である。また、当センターではデータセットの主要著者の所属機関あるいはデータ提供機関に応じてサ

^a otani.naoko.fu@un.tsukuba.ac.jp

¹ <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

²

https://www.doi.org/doi_handbook/translations/japanese/doi_handbook/1_Introduction.html

フィックスの前半部分を用意し、下5桁はすべてのデータセットを連番で管理をしている。

いくつかの例を示す。

10.34355/Forest.Agency.00049
林野庁のプロジェクトのデータ

10.34355/Fukushima.NIES.00023
国立環境研究所福島支所所属研究者が投稿したデータ

10.34355/IAEA.RAS5084.00091
IAEA の地域プロジェクトの参加研究者が投稿したデータ

これにはデータの投稿者に敬意を表する意味合いと、一見しただけでどこのデータかがわかる利点もある。

2.3 DOI 出版までの流れ

学会発表等での周知や直接の呼びかけに応じた科学者に情報の提供を依頼し、集まったデータを点検する。データの形式や内容については著者の意向を最優先とするが、串刺し検索に必要ないくつかの情報(時間情報、位置情報など)が必須項目として欠けている場合は提供を促す。また、使用される単位は国際単位系 SI³とし、これが使用されていない場合は使用と数値の換算を依頼し、国際単位系に合わせたデータセット構成としている。

また、出版されるデータセットには、データそのもののほかに、ris ファイル、metadata ファイル、format_description ファイルも含まれる。ris ファイルとは書誌情報を含んだ標準化されたテキストファイルで、多くの書誌情報引用プログラム、ソフトウェアが採用している。metadata ファイルには ris ファイルに含まれる情報のほか、位置情報などのデータセットの全容が記されている。format_description ファイルには、data ファイルの各カラムの説明が記されている。

いずれも国内外で広く活用されることを念頭に置き、すべて英語で情報提供している。

2.4 データセットの Web ページ

DOI 出版が完了し DOI を管理するサーバーに登録されると、DOI を検索窓から入力することで、登録時に指定したデータセットをダウンロード可能な Web サイトへ飛ぶことができるようになる。Web サイトは先述の metadata ファイルの内容に加え、図表(Graphical Abstract)の掲載を推奨している。

また、データが多く必要とされる人の手により届きやすくなるよう、Web サイトのソースコードには「仕掛け」が施されている。ソースコードに Google 構造化データ⁴を埋め込むことで、Google が提供する Dataset Search⁵の検索対象となるため、これを利用している。metadata ファイルに含まれる情報を JSON 形式でマークアップし、html ファイルの header タグ内に記載している。このマークアップは Google のマークアップ支援ツールで生成することもできるが、テキストエディタで書くこともできる。

2.5 DOI 出版後の動向

出版後のデータセット利用状況の把握のために、ダウンロード数記録プログラムを利用している。このプログラムは Web 上で配布されている php で書かれた無償プログラムをダウンロードしカスタマイズしたものをサーバーにアップロードした。データセットがダウンロードされるたびに、カウントする仕組みになっている。これを月初めに確認しダウンロードし、月次の統計を取っている。

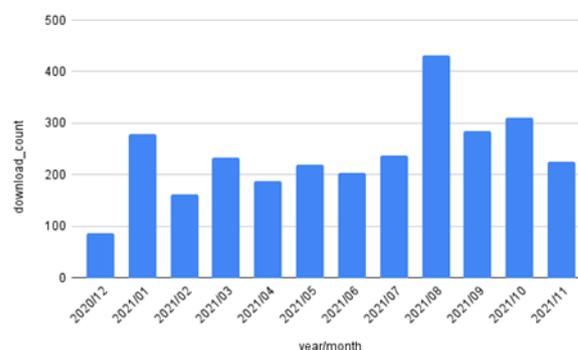


図2. データセットダウンロード数の推移

データセット出版数の増加に伴い、図2に示されるように、ダウンロード数も増加する傾向にある。

また、データセットリリース直後はアクセス数が多い傾向にあり、ダウンロード数と比例する。内容別に見ると、福島事故の影響が強い海域で採取された魚についてのデータセットは、関心度の高さを反映してかコンスタントにダウンロードがある。福島事故について書かれた論文の情報を集めたデータセットもダウンロード数が多く、利便性が評価されている傾向が見える。

またデータセット1件当たりの月ごとのダウンロード数をみると、どのデータセットも増減はあるが継続的にダウンロードされていて、本データセットのサイトの認知度が上がっていると言える。

³ <https://unit.aist.go.jp/nmij/library/units/si/>

⁴ <https://developers.google.com/search/docs/advanced/structured-data/intro-structured-data?hl=ja>

⁵ <https://datasetsearch.research.google.com/>

3. データベースの構築とプログラミング

3.1 データベースとは

データベースとは、検索と蓄積を整然と行うことができるように整理された情報の集まりを示す。身近なところでは、銀行の口座情報などが挙げられる。ここでは、個々の情報を「レコード」、固有の目的のもと収集されたレコードの集まりを「データセット」とし、データベースにはデータセットの枠を取り除いたレコードを格納する。これによりデータセットの枠を超えて、レコードを検索することができるようになる。このデータセットの枠を超えた検索を、特に「串刺し検索」と呼ぶことが多い。

3.2 データベースを扱う技術

データベースを扱うソフトウェアとして PostgreSQL を採用した。このソフトウェアはリレーショナル型データベースソフトのひとつで、無償で利用できることもあり 30 年以上にわたり世界中で広く利用されている。

PostgreSQL を動かすサーバーは筑波大学の専用レンタルサーバーを利用しており、サーバー OS は使用事例がネットで多く見られることから CentOS8 を選択した。

3.3 Web サイトの技術

データベースへのアクセス窓口となる Web サイトも PostgreSQL と同じサーバーに設置している。HTTP サーバーは Apache をインストールした。Web ページはユーザーの入力に応じてデータベースを検索し、そして出力結果を表示するために、動的に生成することが必要となる。このためのプログラミング言語は PHP を選択した。ネットワーク監視システムは Zabbix を導入している。

いずれも、オープンソースであったり GPLv2 ライセンスで提供されていたりなどして、無償で利用できるソフトウェアを使用している。

3.4 Web サイトの構築と運用

Web サイトは 2 本立てで運営している。ひとつは個々にデータセットをダウンロードできるサイトであり、こちらはアイソトープ環境動態研究センターの公式ウェブサイトが置かれているサーバーに置いている。もうひとつの検索サイトを前述の専用レンタルサーバーに置いている。

いずれの Web サイトもトップページ以外は、エディターで html を手書きして作成している。これはシンプルな構造にすることで、素早く動作することを目的としている。またブラウザに依存しない基本

的な技術のみを使うことで、どのような環境に置いても、想定した動作をすることが期待できる。

3.5 個々にデータセットをダウンロードできるサイト

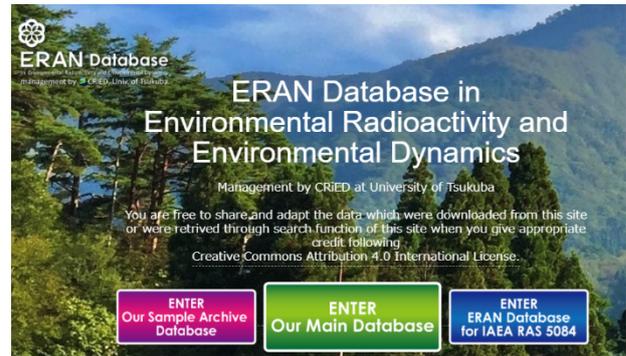
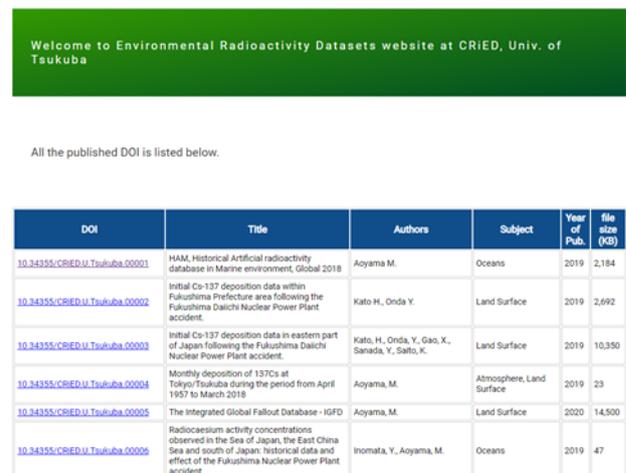


図 3. データベース Web サイト(抜粋)

図 3 の Web サイトが入口となり、現在運用している 3 つのデータベースへ誘導している。中央の「Main Database」は環境放射能のデータを扱うデータセットのトップページ⁷に導く。左の「Sample Archive Database」は、ERAN に所属する機関が保有する環境試料データセット出版のトップページ⁸に導く。右の「ERAN Database for IAEA RAS 5084」は国際原子力機関(IAEA)のプロジェクトである RAS5084 (Assessing and Improving Soil and Water Quality to Minimize Land Degradation and Enhance Crop Productivity Using Nuclear Techniques)に関連するデータセット出版のトップページ⁹に導く。

いずれも、データセットの DOI、タイトル、著者、分野、出版年、データセットのサイズが表形式で一覧できる。



DOI	Title	Authors	Subject	Year of Pub.	file size (KB)
10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00001	HAM, Historical Artificial radioactivity database in Marine environment, Global 2018	Aoyama M.	Oceans	2019	2,184
10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00002	Initial Co-137 deposition data within Fukushima Prefecture area following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident.	Kato H., Onda Y.	Land Surface	2019	2,692
10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00003	Initial Co-137 deposition data in eastern part of Japan following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident.	Kato, H., Onda, Y., Gao, X., Sanada, Y., Saito, K.	Land Surface	2019	10,350
10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00004	Monthly deposition of 137Cs at Tokyo/Tsukuba during the period from April 1957 to March 2018.	Aoyama, M.	Atmosphere, Land Surface	2019	23
10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00005	The Integrated Global Fallout Database - IGFD	Aoyama, M.	Land Surface	2020	14,500
10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00006	Radiocaesium activity concentrations observed in the Sea of Japan, the East China Sea and south of Japan: historical data and effect of the Fukushima Nuclear Power Plant accident	Inomata, Y., Aoyama, M.	Oceans	2019	47

図 4. リスト表示されたデータセット

図 4 の「DOI」の項目をクリックすると図 5 のように個別のページが表示される。

⁶ <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/database/index.html>

⁷ <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/database/databaselist.html>

⁸ <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/database/sampledb.html>

⁹ <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/database/iaeadb>

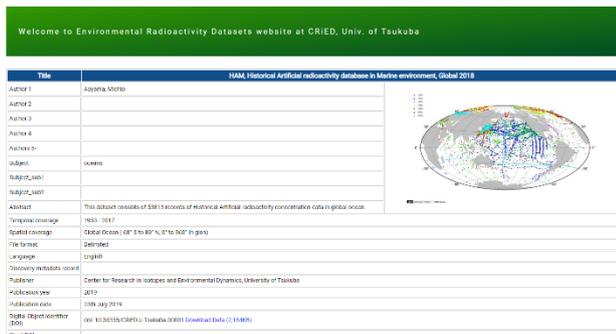


図 5. データセット個別ページの一例

「Download Data」をクリックするとデータセット一式がダウンロードされる。

3.6 データ検索サイト

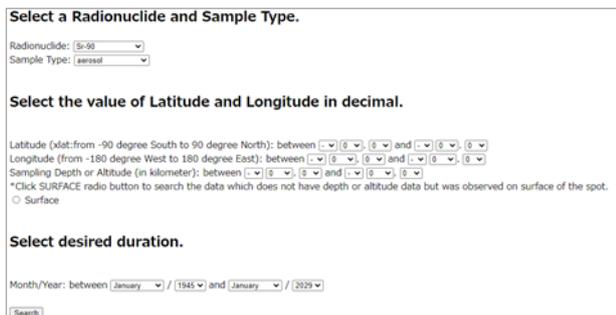


図 6. データ検索サイト

「Main Database」をクリックすると表示されるリストページ⁷には、緯度経度情報の入力方法が異なる 2 つの方法によるデータ検索システムへのリンクが張られている。そのひとつである「Selecting latitude and longitude by drop down list」をクリックすると図 6 のようなデータ検索サイトに導かれる。ここで、検索したい核種、対象となる試料タイプ(Water、Soil、Aerosol など)、緯度経度、高度(深度)、期間をリストから選択し、「Search」から検索する。すると図 7 のような画面が表示される。もう一方は、緯度経度は地図上で場所を選択することで検索できるようになっている。

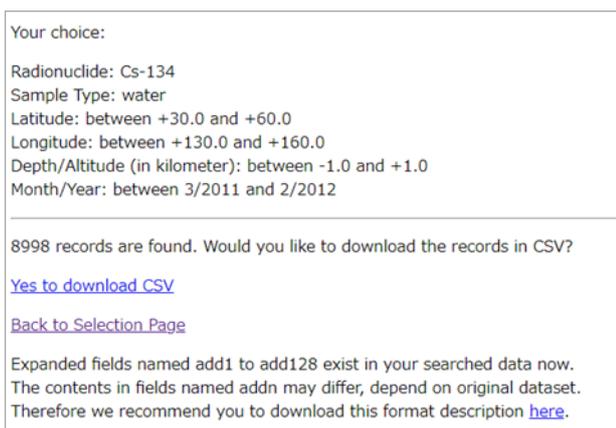


図 7. データ検索結果表示

検索結果画面では、検索条件に加えて、何件のデータがヒットしたかが示される。検索結果は CSV ファイルでダウンロードができる。

4. 今後の展望

データベース事業を開始してから 3 年が経ち、扱うデータセットが広がりを見せている。

IAEA の海洋に関する放射能データを扱うデータベース「MARIS」¹⁰ のデータも取り込み、串刺し検索ができるように組み込んでいる。また、国内の省庁、研究機関、企業(東京電力など)が Web で公開している環境放射能データについても有用であると認識したため、当データベースに情報を取り込むこととした。これらの放射能データは日本語であったり、PDF であったりして、汎用性が低い状態であり、著作権の法律と当該 Web ページに記載されている使用の条件に従って、必要に応じて個別に利用許可を得て、出版にこぎつけた。これらの情報のデジタル化と出版については、「データ内に「公開済みのデータを、許可を得て DOI を付与して出版した」旨を書き添えている。

さらに、林野庁や IAEA のプロジェクトに関わるデータ出版の取り扱いが始まるなど、開始当時の取り組みが横展開を見せている。

2021 年よりモデル計算データについても出版を検討していたが、データセットによっては数テラバイトのデータサイズとなることから、どのようにデータを提供するかなど検討すべき事項が多くあった。しかし、出版して残すことは必要との判断からモデル計算データを持っている研究者等との議論を開始し、本格的にデータ出版を進めることとした。

データの配布は他のデータと同様に Web 経由で配布することとし、データの受付は申し出を受け、物理 HDD を送付し、送り返してもらう方法を想定している。データの配布については専用のデータサーバーを立ち上げ、実用的な速度が出るかのテストを並行して進めており、実用的であれば、オンラインでの配布を開始する予定である。

¹⁰ <https://maris.iaea.org/home>

Publication of environmental radioactivity data with DOI under C.C4.0 licence, and development of data retrieval Web service system using PHP / PostgreSQL

Naoko TANITA^{a)}

Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

Our project started providing the digital object identifier (DOI) to the environmental radioactivity data that each scientist had. Furthermore, we have developed and released a Web system that allows people to cross-search the data set. In this report, the contents of the author's efforts are divided into "DOI registration and publication" and "database development and programming". It also touches on efforts to expand this workflow in collaborative projects with other research institutes.

Keywords: Environmental radioactivity, database, TEPCO FDNPP1 accident, Website development

^{a)} otani.naoko.fu@un.tsukuba.ac.jp

筑波大学技術報告 No.40

令和4年3月 発行

編集・発行 筑波大学技術職員技術交流実行委員会
〒305-8577
茨城県つくば市天王台 1-1-1
E-mail: kouryu@tech.tsukuba.ac.jp