

海とデンマークと日本と 第四回、大いなるウナギの謎

小栗 一将

皆さんこんにちは。南デンマーク大学の定するもの小栗です。私の住むオーデンセでは、クリで、ウナギはスマス市が毎年11月下旬から12月中旬の週末に開かれます。様々なお店が出てとても賑やかですが、そのなかに魚屋さんがいたり、鮭、ニシン、サバの燻製に加えて、ウナギの燻製も沢山並んでいます。私はデンマークに来て初めて、こちらではウナギを燻製にすることを知った次第ですが、実はまだ食べたことがありません。お勤めの調理方法を是非お教えください。というわけで今回は、クリスマス市を見に行った時に思いついたトピック、デンマークと日本の研究者達が明らかにしたウナギの生活史、そしてウナギに関する最先端の研究を紹介しましょう。

ウナギは川や湖などに住み、かつては普遍的に見られた魚でした。しかし、お腹に卵巣や精巣を持った個体を見かけることが無いため、生活史は謎に包まれていました。古代ギリシアの哲人で自然科学者のアリストテレスは、著書『動物誌』のなかリ、ウナギは泥の中から自然発生するといいう記述を残しましたが、この2200年以上にわたる謎を解明したのが、ヨハネス・シュミット (1877-1933) というデンマークの魚類学者なのです。シュミットは、1904年にアイルランドとフェロー諸島の間の海域から、偶然ウナギの幼体を探取、これがきっかけでウナギの研究に一生を捧げることになりました。ウナギの幼体はレプトセアルスと呼ばれ、透明な柳の葉のような形をしています(図1)。1897年に地中海で偶然にもレプトセアルスからシラスウナギ(成体になる手前のウナギの幼魚で、半透明なのでこう呼ばれる)に至る試料が採取され、レプトセアルスがウナギになるまでの過程が明らかになりました。この結果から、ウナギは地中海の沿岸の海底で生まれる、という説が提唱されました。しかし、1904年のシュミットの発見はこれを否



図2:ダナ号 (二世)。Schmidt (1931a)より引用。

皆さんこんにちは。南デンマーク大学の定するもの小栗です。私の住むオーデンセでは、クリで、ウナギはスマス市が毎年11月下旬から12月中旬の週末に開かれます。様々なお店が出てとても賑やかですが、そのなかに魚屋さんがいたり、鮭、ニシン、サバの燻製に加えて、ウナギの燻製も沢山並んでいます。私はデンマークに来て初めて、こちらではウナギを燻製にすることを知った次第ですが、実はまだ食べたことがありません。お勤めの調理方法を是非お教えください。というわけで今回は、クリスマス市を見に行った時に思いついたトピック、デンマークと日本の研究者達が明らかにしたウナギの生活史、そしてウナギに関する最先端の研究を紹介しましょう。

西インド諸島のバミューダ海域において、ついに10ミリ未満のレプトセアルスを発見しました。さらに、バミューダ海域では、欧州に生息するヨーロッパウナギだけでなく、北米に生息する別種のアメリカウナギも産卵するを明らかにしました(図3)。また、アメリカウナギは1年かけて北米大陸に戻るのに対し、ヨーロッパウナギはメキシコ湾流に乗って、3年かけて欧州に戻ることも分かったのです (Schmidt, 1923)。バミューダ海域は、飛行機や船が遭難するという都市伝説で有名ですが、実際にはそのような事は何の海域でも起き得る(あるいは起きている)ことで、この話の裏には誇張や恣意的な話題の操作があるように思われます。実際のバミューダ海域は、ハリケーンが来ない時期は風が少なく穏やかで、海面にはサルガッソーという藻類が繁茂しています。気温が高く蒸発量が多いため、表層の海水温も塩分も高い場所でもあります。ダナ号の調査によって、欧州からこの海域まではるばるやって来たウナギは、水深500mという深海で産卵するらしいことも報告されました^注。

シュミットは世界中のウナギの生活史を明らかにするべく、1928年から30年にか

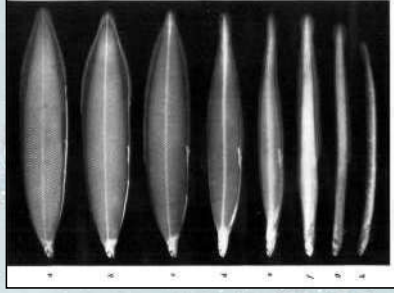


図1:レプトセアルスからシラスウナギまで。若い個体から順に上から下に並べて撮影。Schmidt (1912) より引用。

そして、調査を行いました。そして、1920年から22年の間に、地中海からバナム沖に至る広大な海域で調査を行い、西インド諸島のバミューダ海域において、ついに10ミリ未満のレプトセアルスを発見しました。さらに、バミューダ海域では、欧州に生息するヨーロッパウナギだけでなく、北米に生息する別種のアメリカウナギも産卵するを明らかにしました(図3)。また、アメリカウナギは1年かけて北米大陸に戻るのに対し、ヨーロッパウナギはメキシコ湾流に乗って、3年かけて欧州に戻ることも分かったのです (Schmidt, 1923)。バミューダ海域は、飛行機や船が遭難するという都市伝説で有名ですが、実際にはそのような事は何の海域でも起き得る(あるいは起きている)ことで、この話の裏には誇張や恣意的な話題の操作があるように思われます。実際のバミューダ海域は、ハリケーンが来ない時期は風が少なく穏やかで、海面にはサルガッソーという藻類が繁茂しています。気温が高く蒸発量が多いため、表層の海水温も塩分も高い場所でもあります。ダナ号の調査によって、欧州からこの海域まではるばるやって来たウナギは、水深500mという深海で産卵するらしいことも報告されました^注。

シュミットは世界中のウナギの生活史を明らかにするべく、1928年から30年にかけてダナ号二世 (図2) による世界一周航海を行い、インド洋や太平洋でもウナギの幼体を調査しました (Schmidt, 1931a,b)。このとき、シュミットは現在世界中の観測船が行っている、水温、塩分、溶存酸素といった海水分析のルーチン化を初めて確立しました。ここに、生物の生態と海洋化学

シュミットは現在も財団に受け継

がれ、民間企業でありながら長年にわたり

デンマークの基礎科学に助成を行っています。その額は2023年に総額8億DKKという莫大なもので、すぐには社会の役に立たないことも、社会の根底を構築する基礎研究を重んじる大局面に則り、デンマークの基礎科学を一貫して支援し続けているカールスベア財団の姿勢には恐れ入る次第です。

日本には、二ホンウナギという種が生息

の関係をリンクさせたシュミットの先見性を見て取れます。蛇足になりますが、この航海に参加した若き魚類学者の一人が、前回ご紹介したガラテア号の世界一周航海と超深海調査を主導した、アントン・ブルウンでした。ガラテア号の航海ルートは、1928-30年のダナ号航海に近いものだったことから、ブルウンが、ダナ号航海から強い影響を受けていることが窺えます。

航海には多額のお金がかかります。たとえば日本の場合、数百トンクラスの観測船を運用した場合でも、燃料費や船員さんの人件費などで、一日に100万円以上の費用が生じます。ダナ号のような船を長期間使用すれば、途方もない額を用意する必要があったはずですが、このようなお金は誰が出資したのでしょうか? シュミットのダナ号

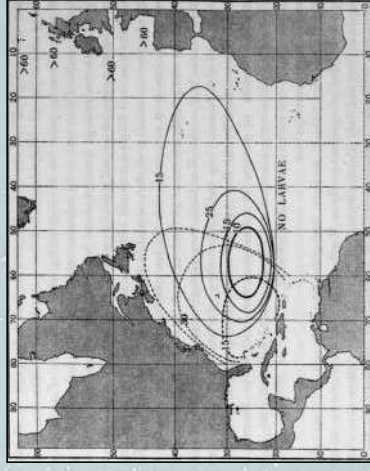


図3: ヨーロッパウナギ (集卵) とアメリカウナギ (破線) の幼体の分布。図中の数字は捕獲された幼体の全長(mm)で、小さいほど産卵場所に近いことを示す。Schmidt (1923) より引用。

航海をサポートしたのは、ビールのカールスベア社が設立したカールスベア財団でした。この財団法人は、同社の創業者であるヤコブ・クリスチャン・ヤコブセン (1811-1887) が、基礎科学への支援が社会に長期的な価値をもたらすと確信し、醸造で得た利益の一部を社会に還元するため、1876年に設立されました。この財団は研究所も擁しており、基礎科学の世界的な成果をいくつも創出しています。

ヤコブセンの思想は現在も財団に受け継がれ、民間企業でありながら長年にわたりデンマークの基礎科学に助成を行っています。その額は2023年に総額8億DKKという莫大なもので、すぐには社会の役に立たないことも、社会の根底を構築する基礎研究を重んじる大局面に則り、デンマークの基礎科学を一貫して支援し続けているカールスベア財団の姿勢には恐れ入る次第です。

日本には、二ホンウナギという種が生息



小栗 一将

しています。二ホンウナギの生活史の研究が始まったのは、シュミットによる研究のずっと後になってからでした。二ホンウナギのレプトセファルスが最初に見つかったのは1967年で、その海域は沖縄の南方でした。1973年からは、東京大学の海洋研究所（現・大気海洋研究所）によって二ホンウナギの産卵場所探しが始まりました。そして、調査が進むに連れ、より小型のレプトセファルスの発見場所は台湾沖、フィリピン沖、そしてグアム島の北西部へと、黒潮を遡るかのように移動してきました。1991年、東京大学海洋研究所の塚本勝巳教授は、マリアナ諸島の西方で、10mm前後のレプトセファルスを大量に発見しました（Tsukamoto, 1992）。塚本教授はこの発見の前に、二ホンウナギは夏に産卵するという仮説を立てていました。魚の頭の中には、炭酸カルシウムでできた耳石というものが存在します。これを輪切りにすると毎日の成長を示す年輪ならぬ日輪が現れます（図4）。二ホンウナギの耳石の存在は、夏に生まれ、冬に産卵したことを示唆しています。そこで調査航海を夏に行ったところ、レプトセファルスが発見されたのです。これよりさらに小さい幼体（ブレプトセファルス）の発見まで、さらに14年間にわたる苦闘がありました。この間に行われた地道な研究や調査から、産卵海域は西マリアナ海盆に存在する海山の近くであること、産卵のために日本からやってきた親ウナギは、北緯15度付近で、海水の塩分が顕著に変わることを知り、産卵すること、産卵は新月の日の近くで行われる、という推定がなされました。果たして推定通り、2005年6月7日の新月の日、海山の付近で生まれて数日しか経っていないブレプトセファルスが採取されました（Tsukamoto, 2006）。そしてついには、2009年5月の新月の2日前には、予想通りの場所である、西マリアナ海嶺の海山付近で、卵の採取に成功しました（Tsukamoto et al., 2010）。2008-2009年には、水産庁の水産総合研究センター（現、国立研究開

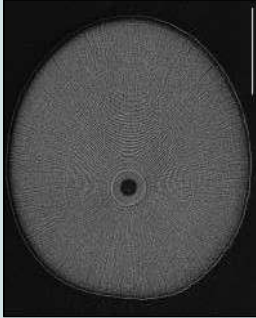


図4: 二ホンウナギのレプトセファルスの耳石の走査電子顕微鏡写真。右下の白バーの長さは50μm。塚本（2013）より引用。

発法人水産研究・教育機構）による調査によって、同じ海域で精巣が発達した二ホンウナギのオス、そして卵巣が発達したメスの個体の採取に成功しました。これにより、二ホンウナギが産卵する場所と時間、シラスウナギが日本に到達するまでの経路が解明されました（図5）。さらに、日本を離れるウナギは太陽の高度を目印に産卵場所に戻っていること、昼と夜で遊泳する水深を変えていること、この温度差の繰り返しでウナギの体を成熟することも明らかになりました（Fukuda et al., 2022）。しかし、ウナギの生活史の研究はまだ終わっていません。なぜウナギはこのように不思議な生態を持っているのか？産卵場所でオスとメスはどのように出会っているのか？これらは未だ謎なのです。日本で食べられているウナギの99%は、遠い海から河口にやって来たシラスウナギを捕まえ、養鰻池で成体になるまで育てるものです。このため、二ホンウナギは個体数の減少が懸念されています。2007年には国際自然保護連合によって、ヨーロッパウナギが、ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高い種である絶滅危惧1A類に指定され、2009年以降、シラスウナギの輸出が厳しく規制されるようになりました。2014年には、二ホンウナギとアメリカウナギが、近い将来における野生での絶滅の危険性が高い種として、絶滅危惧IB類に指定されました。このままシラスウナギの捕獲が進めば、世界のウナギは絶滅する恐れがあります。しかし、ウナギを人工的に産卵、孵化させてシラスウナギまで育てることができれば、親ウナギの保護につながります。ホルモン注射によって人工的にウナギに産卵をさせる研究は1960年代に始まりましたが、孵化からレプトセファルスまでの飼育に成功したのは1999年と、実に40年近い歳月がかかりました。レプトセファルスの食性は長い間不明でしたが、近年、腸内の残留物の化学的な分析や遺伝子解析などによって、主な餌は前回ご紹介したマリンスノーであること（Miller et al.,

発法人水産研究・教育機構）による調査によって、同じ海域で精巣が発達した二ホンウナギのオス、そして卵巣が発達したメスの個体の採取に成功しました。これにより、二ホンウナギが産卵する場所と時間、シラスウナギが日本に到達するまでの経路が解明されました（図5）。さらに、日本を離れるウナギは太陽の高度を目印に産卵場所に戻っていること、昼と夜で遊泳する水深を変えていること、この温度差の繰り返しでウナギの体を成熟することも明らかになりました（Fukuda et al., 2022）。しかし、ウナギの生活史の研究はまだ終わっていません。なぜウナギはこのように不思議な生態を持っているのか？産卵場所でオスとメスはどのように出会っているのか？これらは未だ謎なのです。

日本で食べられているウナギの99%は、遠い海から河口にやって来たシラスウナギを捕まえ、養鰻池で成体になるまで育てるものです。このため、二ホンウナギは個体数の減少が懸念されています。2007年には国際自然保護連合によって、ヨーロッパウナギが、ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高い種である絶滅危惧1A類に指定され、2009年以降、シラスウナギの輸出が厳しく規制されるようになりました。2014年には、二ホンウナギとアメリカウナギが、近い将来における野生での絶滅の危険性が高い種として、絶滅危惧IB類に指定されました。このままシラスウナギの捕獲が進めば、世界のウナギは絶滅する恐れがあります。しかし、ウナギを人工的に産卵、孵化させてシラスウナギまで育てることができれば、親ウナギの保護につながります。ホルモン注射によって人工的にウナギに産卵をさせる研究は1960年代に始まりましたが、孵化からレプトセファルスまでの飼育に成功したのは1999年と、実に40年近い歳月がかかりました。レプトセファルスの食性は長い間不明でしたが、近年、腸内の残留物の化学的な分析や遺伝子解析などによって、主な餌は前回ご紹介したマリンスノーであること（Miller et al.,

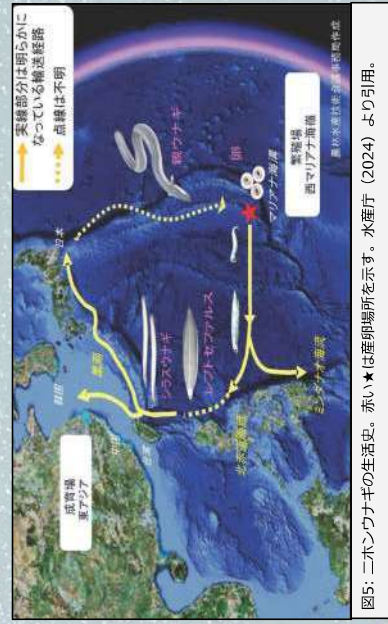


図5: 二ホンウナギの生活史。赤い★は産卵場所を示す。水産庁（2024）より引用。

2012）、レプトセファルスは積極的な摂食行動を取らず、マリンスノーを海水と同時に取り込みながら成長することが判明しました（Kenzaki et al., 2022）。これらの地道な研究が実り、2002年には、水産研究・教育機構の研究チームが、人工的な産卵と孵化を効率よく行える技術の確立と餌の開発に成功し、レプトセファルスをシラスウナギまで育てられるようになりました。そして2010年には、この研究チームによって、ついに卵の孵化から成体までの飼育、人口産卵を経て二世代目の誕生に世界で初めて成功しました（国立研究開発法人 水産研究・教育機構, 2017）。ウナギの生活史の解明や繁殖の研究が、数十年にわたる膨大な研究の積み重ねによって成立したことは、基礎研究の継続がいかに重要を示す好例であると言えますが、ウナギの完全養殖を商業ベースに乗せるには、より大量のシラスウナギの安定供給や飼育コストの削減といった課題をクリアしなければなりません。現在、水産研究・教育機構、公立の水産研究所、日本の大学や民間企業が、ウナギの完全養殖を実用化する研究を進めています。将来、完全養殖のウナギを食べられる日が来ることでしょ。その時には、かつてのように沢山のウナギが河川や湖に戻れるようになって欲しいものです。

引用文献

Chang, Y.-K., K. et al. (2022) No new evidence for an Atlantic eels spawning area outside the Sargasso Sea. Scientific Reports, (2022) 12:11794. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14685-5>

Fukuda, N. et al. (2022) Active swimming and transport by currents observed in Japanese eels (*Anguilla japonica*) reared in the western North Pacific. Scientific Reports, (2022) 12:3490. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05880-y>

Kenzaki, S., et al. (2022) Observation of the feeding behaviour of reared Japanese eel *Anguilla japonica* leptocephali fed picocyanobacteria *Synechococcus* spp. Journal of Fish Biology, 100(3), 727-737. <https://doi.org/10.1111/jfb.14986>

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 (2017) プラニニウス ウナギ特報号, 2017年3月号. https://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/news/fnews_una01.pdf

Miller, M. J., et al. (2012) A low trophic position of Japanese eel larvae indicates feeding on marine snow. Biology Letters, 9(1), 20120826. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0826>

Schmidt, J. (1912) Danish Researches in the Atlantic and Mediterranean on the Life-History of the Freshwater-Eel (*Anguilla vulgaris*, Trut.). Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 5, 317-332.

Schmidt, J. (1923) The breeding places of the eel. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, ser. B, 211, 179-208. <https://doi.org/10.1098/rstb.1923.0004>

Schmidt, J. (1931a) Oceanographical expedition of the Danne, 1928-1930. Nature, 127, 444-446. <https://doi.org/10.1038/127444a0>

Schmidt, J. (1931b) Oceanographical expedition of the Danne, 1928-1930. Nature, 127, 487-489. <https://doi.org/10.1038/127487a0>

水産庁 (2024) ウナギをめぐるとの状況と対策について. <https://www.fra.maff.go.jp/seisaku/attach/pdf/unaqi-221.pdf>

Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. Nature, 356, 789-791. <https://doi.org/10.1038/356789a0>

Tsukamoto, K. (2006) Spawning of eels near a seamount. Nature, 439, 926. <https://doi.org/10.1038/439929a>

Tsukamoto, K. et al. (2010) Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. Nature Communications, 1(1), 1-5. <https://doi.org/10.1038/ncomms1174>

塚本勝巳 (2013) 海の研究と読書: 比較的分類学, 39(149), 130-134. <https://doi.org/10.5963/jt.00039sec.39.130>

著者紹介

小栗一将（おぐり かずまさ） oguri@biology.sdu.dk
南アフリカ大学自然科学部生物学科・准教授、同学科で超深海の研究を専門とするDanish Center for Hadal Research (HADAL)と、地球環境と微生物の関わりなどを研究するNordceelに勤務。国立研究開発法人海洋研究開発機構・招聘主任研究員。