

絶滅危惧種ニホンウナギの サンクチュアリづくりを通じた2つの地域創生 ～ニホンウナギの飼育から見てきた森里海連環の重要性について～

福岡県立伝習館高等学校 自然科学部

はじめに

私たちは、2014年に国際自然保護連合がニホンウナギを絶滅危惧IB類に指定したときから柳川掘割をニホンウナギのサンクチュアリにすることでニホンウナギの絶滅を回避するためにシラスウナギ（ニホンウナギの稚魚）の特別採捕と飼育および標識放流をはじめました。その後、2018年から山川町での講演会を始め、2019年からは福岡県南部を流れる飯江川でもニホンウナギ稚魚の特別採捕と地元の桜舞館小学校での総合的な学習の時間における講義や活動を行い、2020年に初めて飯江川で標識放流を実施し、2つの地域でのニホンウナギの保護活動を行っています（図1）。

柳川掘割では、人が造った人工物（柳川掘割）を使って人と絶滅危惧種との新たな繋がりを紡ぎ直し、絶滅危惧種の再生産を通して地域の人々が生き物に支えられることで自分たちが生きていることを再認識し、生命

の輝きを基盤とした地域を創生するという目的で歴史資産を活用する実験的な試みだと考えています。つまり、人と絶滅危惧種、さらに歴史資産を含めた文化との新たな繋がり価値観を創出することを目的としています。

飯江川のサンクチュアリづくりは、いわゆる「保全」と呼ばれる分野に含められ、自然を再生することで生物多様性を回復する取組です。現在飯江川は農業のための溜め池として人間が利用していますが、このことによって、魚道を持たない可動堰が至る所に造られ、海と川を行き来するような生物が姿を消してしまいました。生物多様性と農業との共存を実現するためには、農業用水が不足する夏期に豊富な水が森から流れ込むよう、飯江川上流域の森の腐植層を再生させる必要があります。現在の飯江川上流域では、密植されたスギとモウソウチク林が優占し、薄い粘土層がむき出しになり、保水力が乏しいために、大雨が降ると地滑りを起こす

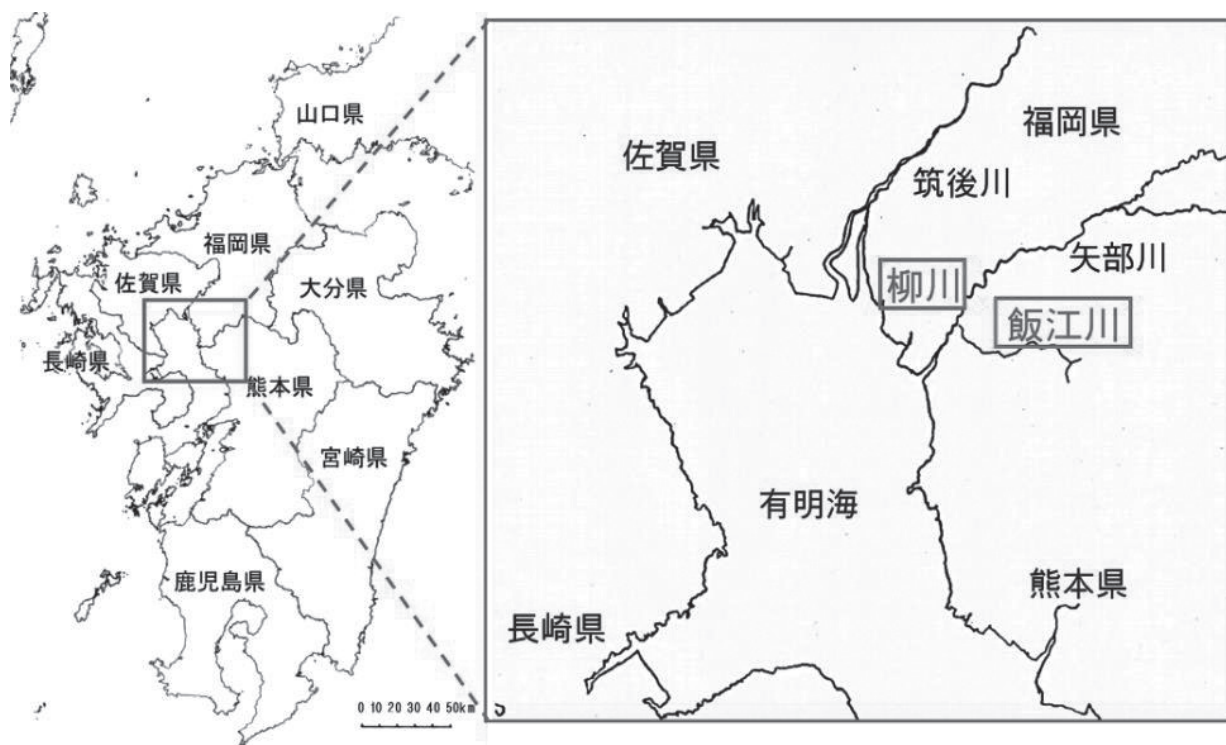


図1

危険を含んだ森が広がっています。もし広葉樹を飯江川上流に植林することができると、多量の落葉などの有機物が分解者に分解されて栄養塩類やその他の生物に必要な成分に富んだ腐植層が発達して団粒構造が形成され、たつぷりと水を含み分解者も住むことができるようになるため、生物多様性の維持に必要な様々な成分が供給されます。

現在までに私たちは、10,000尾以上のシラスウナギを特別採捕しました。このウナギは生物実験室で体長が70mm以上に成長するまで60cm水槽を並べて飼育しますが、水替えを一切行っていません。それは、水槽に大量に投入しているクスノキ落葉の効果によって水槽内の水環境が正常に維持されるようになったからです。その飼育水槽では魚類特有の臭いがしないばかりか、ウナギ稚魚が感染症に全く罹らなくなり、初期死亡率が激減しました。この水槽内の持続可能な水環境と健全な森の腐植層で起こっている環境が同じしくみで維持されているのではないかと、私たちは考えています。

1. 柳川掘割をニホンウナギのサンクチュアリにするために

(1) 柳川掘割とは

福岡県立伝習館高校が位置する柳川市は、江戸時代に造られた柳川掘割をめぐる川下り（図2）やうなぎの蒸籠蒸しを目玉とする観光の街です。上水道として柳川掘割が使われていたときは人々と水の関係がとても密接で、人々は掘割を大切に使っていましたが、昭和30年頃から柳川でも水道が整備されて人々と掘割の

関係が希薄になり、柳川掘割が汚れていったそうです。ちょうどその頃、河川の護岸がコンクリートで整備されるようになり、ウナギが掘割から少しずつ姿を消していきました。

柳川掘割の底は江戸時代に掘られた当時から現在まで有明粘土層になっており、そこには福岡県では珍しくなったセキシウモ、センニンモ、ホザキノフサモ、クロモ、オグラコウホネなどの沈水性植物やヨシやマコモなどが自生する自然度の高い護岸や、石積や板で作られた護岸があり（井口2018）、ニホンウナギのサンクチュアリとしての条件を満たしています。



図2



図3

(2) シラスウナギの特別採捕と標識放流

私たちは、九州大学の准教授である望岡典隆先生より福岡県の特別採捕許可証に採捕者として登録していただいたことで、本来は福岡県内水面漁業調整規則で禁じられている21cm以下のニホンウナギの採捕(図4)および飼育が2015年から可能になりました。そこで、毎年3月頃をピークに川を遡上してくるシラスウナギを特別採捕して生物実験室の60cm水槽で水温を25℃程度に保ちながら冷凍アカムシを与えて飼育し、体長70mm以上に育った個体は腹腔内にマイクロワイヤータグを挿入して(図5)掘割に放流する活動を2015年から行っています。ウナギが掘割の環境に適応できるよう、世界最小の大きさで放流しています。これまでに7,516尾のウナギを放流しました。また、2020年からは柳川市と隣接するみやま市を流れる飯江川でも放流を行い、これまでに691尾放流しました。2020年はシラスウナギの来遊数が多く、2020年だけで4,613尾特別採捕しました(図6、表1)。



図4

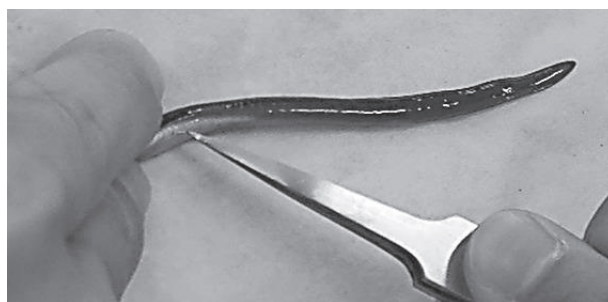


図5

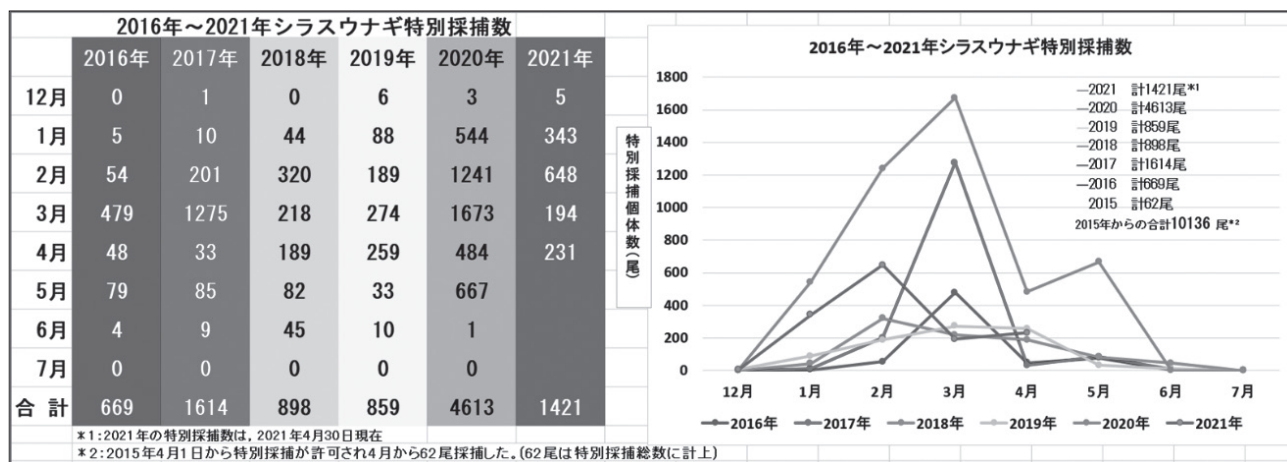


図6

表1

放流年	放流個体数計	特別採捕個体数	死亡率(%)	平均体長(mm)	平均湿重量(g)	備 考
2015年	52	62	16.1	92.8	0.81	2015年4月1日より許可
2016年	590	669	12.6	91.1	0.68	
2017年	956	1614	42.1	92.0	0.69	放流数は2016年継続飼育5尾を含む
2018年	667	898	27.5	87.9	0.65	放流数は2017年継続飼育26尾を含む
2019年	868	859	0.1	88.7	0.64	放流数は2018年継続飼育72尾を含む
2020年	4303	4613	5.3	80.0	0.49	放流数は2019年継続飼育62尾を含む
2021年	80	1421		88.7	0.73	放流数は2020年継続飼育63尾を含む
合 計	7516	10136	※平均体長と平均湿重量は放流個体の平均 ※2021年の特別採捕個体数は、2021年4月30日現在の採捕数			

(3) 柳川市と協働で行う掘割のサンクチュアリづくり

私たちは2018年まで、放流したニホンウナギが柳川掘割のどこで生息しているのかを把握することができていませんでした。そこで、広く柳川市民に情報を寄せていただくために、2018年10月号の柳川市報に「尋ねウナギ」の広告を掲載していただきました(図7)。このことによって、以後たくさんの情報を市民の方から寄せていただけるようになり、2019年2月には掘割の南部にある田園地帯の用水路で体長16cmにまで成長したニホンウナギが発見され、私たちが放流したウナギが柳川市内の様々な水路で元気に育っているという期待が膨らみました(図8)。このような形で市民の方々との間で関係が生まれたことは、絶滅危惧種の再生を通じ

て人と人、そして人と自然との繋がりを再構築するという私たちの目的の一つが具現化されたものであるとも考えています。

また、年に3回程度、柳川市立図書館前に設置した石倉かごのモニタリング調査を行い(図9)、データを分析することで生物多様性について調べるとともに、再捕獲したニホンウナギにはイラストマー蛍光標識で個体識別をして再放流しています。図10は、柳川掘割で実施した石倉かごモニタリングで再捕獲した個体の体長と湿重量の関係を示したものです。放流したウナギの平均体長が84.2mm、湿重量が0.56gであることを考えると、私たちの放流したウナギが柳川掘割で成長していることがわかります。



図7



図9

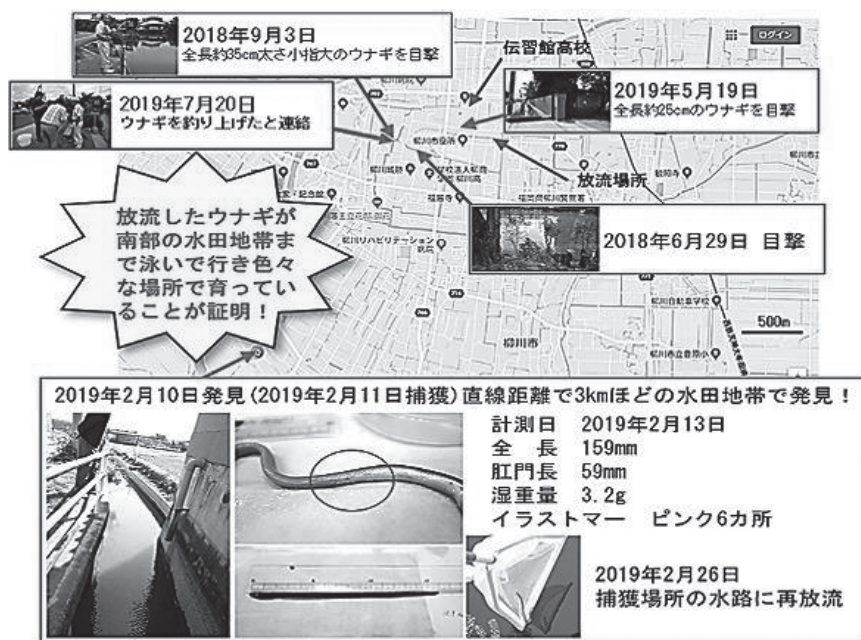


図8

柳川掘割モニタリング再捕獲ウナギの全長と湿重量の関係

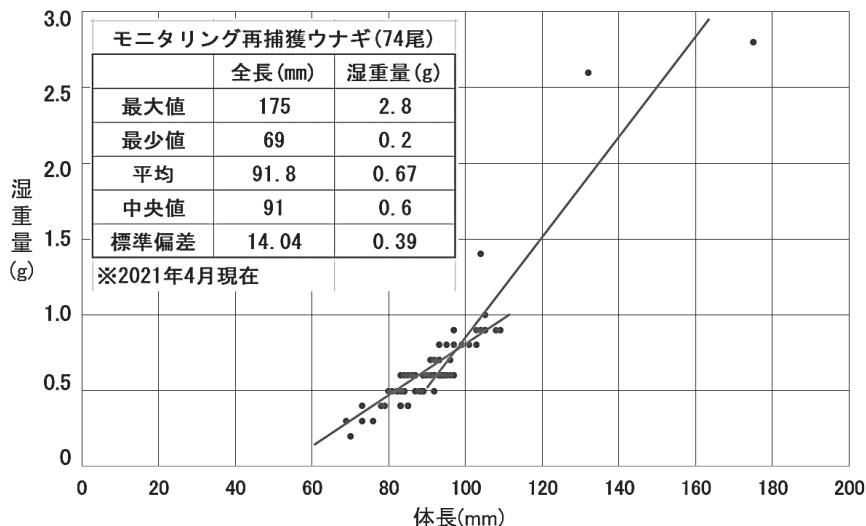


図10

2. 飯江川をニホンウナギが育つ川にするために

(1) 飯江川の現状

福岡県南部を流れる飯江川は、柳川市と隣接するみやま市を流れて矢部川に合流し、有明海へと注ぐ自然の河川です。40年ほど前まではこの川でもニホンウナギをはじめ様々な生き物が生息していましたが、現在では生物多様性が乏しい河川になっています。魚道を持たない可動堰が至る所に造られ(図11)、夏の渇水期に農業のための溜め池として飯江川を利用するようになったためです。飯江川には魚道を持たない農業用の可動堰と不完全ながら魚道を持っている堰が混在しています。

飯江川に多くの可動堰が設置されたもう一つの理由に、大雨が降った際に堰を開放することで水位の急激な上昇を抑えることがあります。飯江川の生物多様性と農業を共存させるためには、一年を通じて上流からの安定した水の供給が必要不可欠です。そのためには、森の腐植層が山に降った雨水を蓄えて、上流から少しずつ下流へと流していく機能が働かなければなりません。ところが、現在の飯江川上流域には植林されたスギ林とモウソウチク林が優占する森が広がっており、このような植生の土壌は腐植層がほとんど発達しておらず、粘土層がむき出しになっています。したがって、保水力に乏しく、上流に雨が降ると一気に下流まで流れきってしまうような構造になっているのです。



図11

(2) 飯江川での標識放流と石倉かごモニタリング

私たちは2020年に611尾のニホンウナギを飯江川に放流しました(表2)。飯江川での放流は、地元の桜舞館小学校の児童と山川ほたる保存会の方と一緒にを行いました。飯江川で地域の小学生と共に活動を展開することには大きな意義があります。私たちは、未来の社会を担う子どもたちが高校生とともに自然と触れあう機会を設けることによって、河川の環境に対する子どもたちの意識を醸成し、ふるさとの美しい自然を次世代に渡って守り抜くことで、生命の輝きを基盤とした地域創生を試みています(図12)。

2020年10月10日、舞鶴ふれあい公園内に石倉かごを1基設置しました(図13)。

そして半年ほど経過した2021年4月17日に、新型コロナウイルス感染拡大防止のため小学生の参加はありませんでしたが、九州大学と協働で舞鶴ふれあい公園

表2

2020年飯江川放流数	放流個体数	平均湿重量(g)	平均体長(mm)
飯江川7月4日放流	67	0.54	81.0
飯江川8月22日放流	323	0.40	74.9
飯江川10月10日放流	221	0.51	80.4
合 計 (平 均)	611	0.45	77.3



図12



図13

の石倉かごに入った魚類のモニタリングと電気ショッカーによる生物相の調査を行いました。この調査では、最大20cmのニホンウナギ稚魚6尾と、オイカワ、ドンコ、ナマズなどを捕獲しました。ニホンウナギは2020年に611尾を飯江川に放流していましたので、その放流個体が成長して再捕獲されたものと考えられます。放流前に全個体の腹腔内に直径0.2mm、長さ2mmのマイクロワイヤータグを入れていたため、6尾とも鉄片探知機の反応が確認できました。図14は飯江川での放流個体と再捕獲個体の体長と湿重量の関係を示したのですが、自然本来の環境にめぐまれた飯江川では図10で示した柳川掘割での放流個体に比べてより大きく成長していることがわかります。

しかしながら、今回捕獲できたウナギがいずれも私たちの放流した個体であったということによって、実際に海から遡上^{そじょう}してきて飯江川で育った天然のウナギはいなかったことがわかりました。

(3) 魚道が機能していない飯江川の可動堰

私たちは2020年10月10日、ニホンウナギが飯江川の可動堰^{とうはん}を登攀し、飯江川の上流へ遡上することができるのかどうかを確かめるため、舞鶴ふれあい公園から約2km下流の、ウナギ稚魚が登攀できないだろうと思われる堰の上流側でマイクロワイヤータグとピンク色のイラストマー蛍光標識を施したウナギの稚魚50尾を放流しま

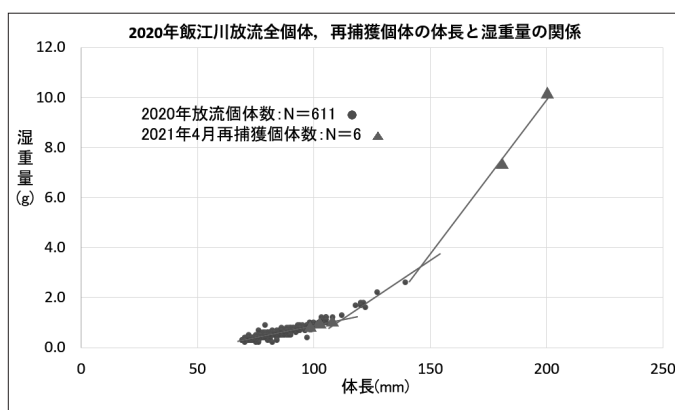


図14

した。

放流場所は上の図15の⑤の堰から50m上流で、放流地点から舞鶴ふれあい公園までには4つの堰があります。

これらの堰はどれも魚道が設置されていますが、実際にその様子を観察してみると、魚道に堆積した泥に雑草が繁茂するなどしてほとんど水が流れていない場所（図16）も多く、本来の魚道としての役割を果たしている自然度の高い魚道は1つしかありません（図17）。その後の調査でこれらのイラストマー標識が施されたウナギを再捕獲できれば、可動堰を登攀して飯江川を遡上することができると考えられますが、舞鶴ふれあい公園内に設置した石倉かごを2021年4月17日に調査した結果、これらのイラストマー標識が施されたウナギを再捕獲することはありませんでした。飯江川の堰はウナギの移動にとって非常に大きな障害となっていることが考えられます。



図15



図16 (図15の①)



図17 (図15の②)



図18 (図15の④)

(4) 飯江川上流域の広葉樹の植樹を通して

生物多様性と農業との共生

夏場の渇水期でも飯江川流域で農業用水を安定的に確保し、生物多様性との共存を図るためには、山に広葉樹を植えなければなりません。私たちは、令和3年4月18日に「ウナギとホタルを人がつなぐ広葉樹植林祭」と題して、飯江川中流に位置する田尻うるおい公園内にアジサイとイロハモミジを植樹しました(図19)。また、現在、山川中学校の皆さんにもご協力をいただき、ドングリを植える活動を行うために苗を育てていただいています。



図19

3. クスノキ落葉と微生物がつくる持続可能なニホンウナギの水槽

(1) ウナギの死亡率を低下させたクスノキ落葉の効果

私たちは2015年からシラスウナギを特別採捕し、生態実験も含めた飼育と標識放流を行ってきましたが、2017年までは水替えが十分にできなかったことによってたくさんのウナギ稚魚を感染症で死なせてしまいました。そこで私たちは2018年から現在に至るまで、水質の悪化を防ぐために何か工夫できないかと試行錯誤しながら生態実験を行って来ました。

そこで、クスノキの落葉をウナギ水槽に投入してみると、ウナギの稚魚が感染症に罹らなくなり、2017年には

40%を超えていたシラスウナギの初期死亡率が2018年には27%、2019年には1%未満にまで低下させることができました。同時に、クスノキ落葉を入れた水槽では水替えをしなくても魚類飼育水槽特有の刺激臭が感じられなくなり、森のような香りがするようになりました。

私たちはAQUALYTIC社のAL800分光光度計を用いてクスノキ落葉を投入したウナギ水槽のアンモニア濃度を測定してみたところ、落葉を入れた直後からアンモニア濃度が低下し始めました(図20)。また、落葉を入れてから半日ほどで水槽の中が白濁するようになったため、クスノキ落葉を入れると何らかの細菌が増殖してウナギの窒素排出物である有害なアンモニウムイオンを分解しているのではないかと考えました。さらに、水槽

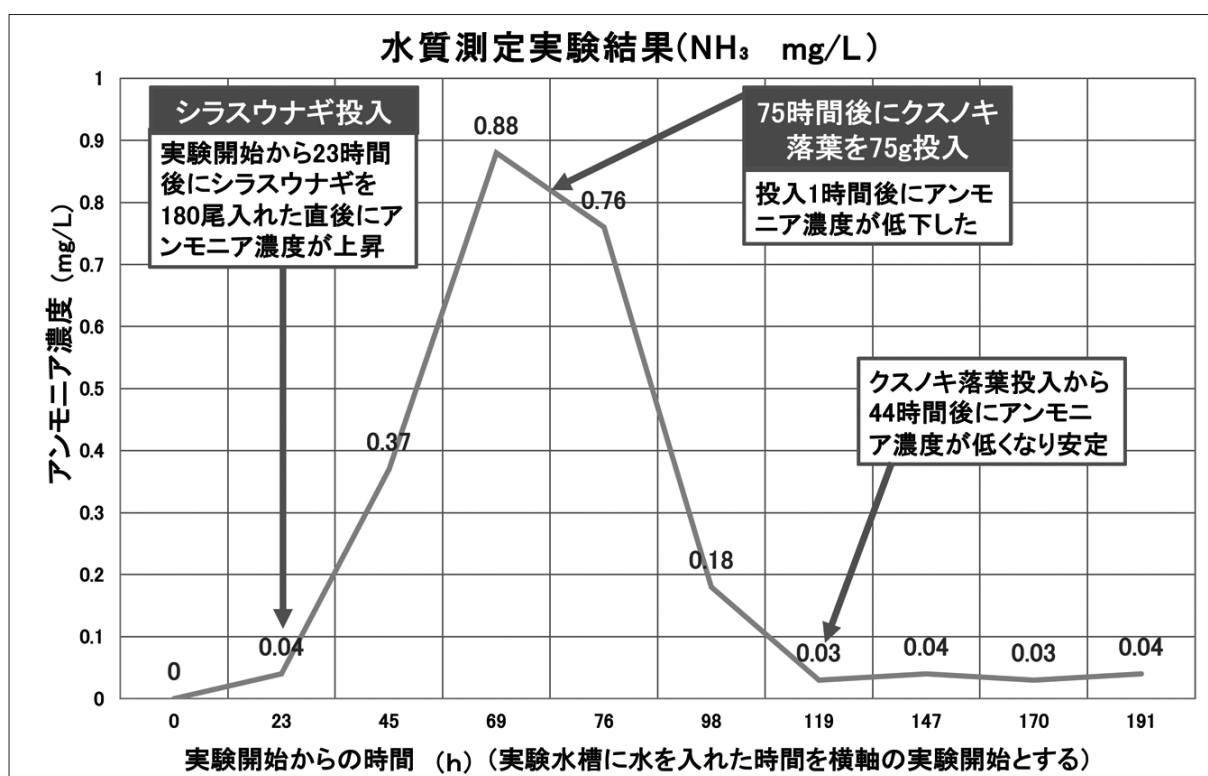


図20

内ではエアレーションによって酸素を十分に供給しているため、酸素を使ってアンモニウムイオンを硝酸イオンに変える硝化作用が起こっていると考えました。図21は、その化学変化を表したものです。

さらに2020年3月に行った実験で、ウナギ50尾を入れた水槽では実験開始から2週間ほど経過すると植物性プランクトンが増殖し始めましたが、ウナギ50尾とクスノキ落葉75gを入れた水槽では2週間ほど経っても植物性プランクトンが増殖しませんでした(図22)。落葉を入れた水槽で硝化作用が起こっているとするならば、水槽内には硝酸イオンが多く存在することが考えられるため、これを栄養源とする植物プランクトンが落葉を入れた水槽でも増殖するはずですが、実際に落葉を入れた水槽で硝酸イオンを測定してみると、ほとんど硝酸イオンの値は検出されませんでした。このことから、クスノキの落葉を水槽に入れると、硝化作用だけでなく脱窒が起こり、空气中に窒素が放出されていたことがわかりました(図23)。

そこで、クスノキ落葉を入れた水槽に存在する微生物を詳しく調べるために、2019年、京都大学の吉田天士教授に依頼して細菌叢の解析を行いました。このデータからは、落葉を入れた水槽から採水したサンプルからは脱窒を行う細菌が含まれる *Pseudomonas* 属のバクテリアが見つかったため、これらの細菌が水槽内で脱窒を行った可能性が考えられます。

さらに、私たちは白濁した水槽の水を顕微鏡で観察し、どのような微生物が存在するかを確かめる実験も行いました。その結果、三日月型の胞子を持つフザリウム属のカビ(図24)が繁殖していたことがわかりました。文献を調査すると、フザリウム属のカビも脱窒菌と同様に脱窒を行うことが確かめられており、この菌類が脱窒に関わった可能性も考えられます。

(2) ウナギの成長率にも効果をもたらすクスノキ落葉

私たちは2018年8月25日から11月4日まで、クスノキ落葉を投入した水槽と投入しない水槽にウナギを50尾ずつ入れ、同量のエサを与えて飼育し、ウナギの湿重量の違いを調べる実験を行いました。その結果、クスノキ落葉を投入した水槽のウナギのほうが湿重量の増加が全体的に大きく、成長率が高いというデータを得ることができました(図25)。この成果は、柳川の養鰻業の再発展に大きく寄与することので

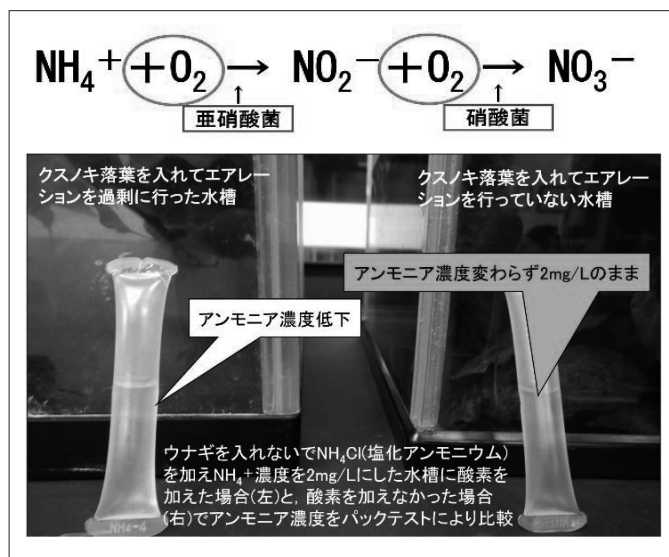


図21



図22

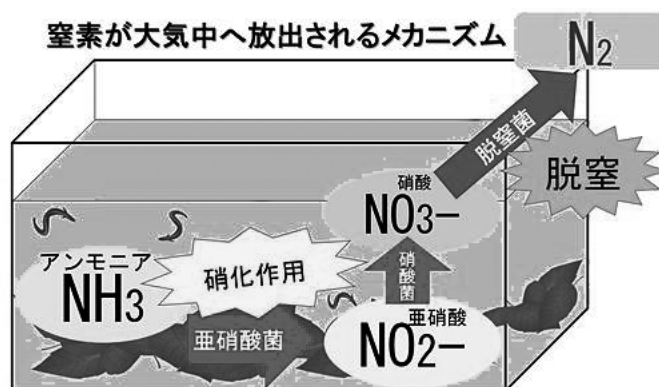


図23

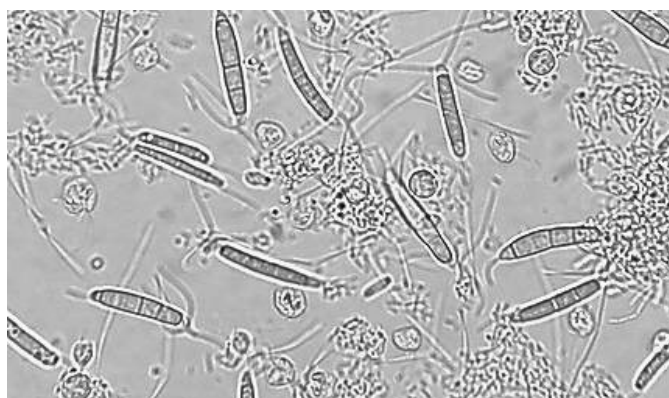


図24

きるものだと考えており、現在は柳川養鰻組合組合長の宮川さんの養鰻池でもクスノキ落葉を使っていたいでいます。

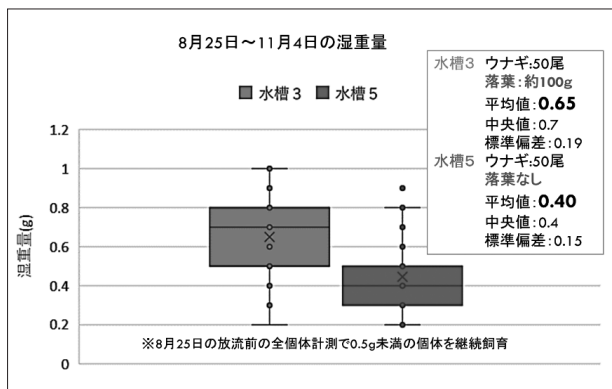


図25

(3) 微生物が支える持続可能な水環境

宮川さんは、「クスノキ落葉を入れるようになってから、掃除の手間が省けた上に水替えの回数が減ったので水の節約ができた。冬は水温を上げるために灯油も大量に使っていたが、水替えが減ってからは灯油の使用量も大幅に削減できた。ウナギの様子も活発で、クスノキ落葉の効果は抜群だ」と話しています。そして、他の養鰻組合の方々にもクスノキ落葉の効果について広めてもらっており、2021年に入ってから若手の養鰻家の方もクスノキ落葉をウナギの養殖に活用されているそうです。

また、私たちが2021年4月26日に特別採捕したシラスウナギのうち、ミズカビ病に感染したシラスウナギが1尾いました。私たちは、その感染したウナギ1尾と健康なウナギを2尾、計3尾を特別に用意した水槽で、通常の2倍以上である300gのクスノキ落葉を入れて集中治療を行いました。その結果、当初は尾部に白いミズカビが付着しており泳ぎ方がぎこちなかったシラスウナギが、

水槽から引き揚げた2021年5月3日には尾部のミズカビが消失し、痕跡すらなく完全に治癒していました(図26)。以前は、ミズカビ病などに感染したウナギは市販の薬で治療していましたが、結果的に治すことはできず死亡させてしまっていました。ところが、自然のクスノキ落葉ではこれを治すことができたのです。このことについて、①強心剤として利用された経緯を持つクスノキのカンフルの効能でウナギが本来持っている免疫力が向上した、②クスノキの樟脳としての成分によってミズカビの増殖が抑制された、③クスノキ落葉を入れると以前から確かめていたようにウナギが活動的になり、落葉の間を泳ぎ回るときにミズカビが剥がれ落ちた、などの要因が考察できますが、いずれにしても、クスノキ落葉がこれらの感染症を抑制し、ウナギを健康な状態に保つための効果を持っていることは確実です。

さらに、ウナギ飼育水槽にクスノキ落葉を入れるようになる以前は3日に1回、水槽の半分を水替えしていましたが、クスノキ落葉の効果で水替えの必要がなくなり、2020年だけで54,000Lもの水道水を節約することができました。このように、微生物が生態系に与える重要な役割を再認識し、地球規模の課題の解決に繋げるために、SDGsの新しい18番目のゴールに「多様な生物のニッチに微生物も入れよう」を提唱しました(図27)。



図27

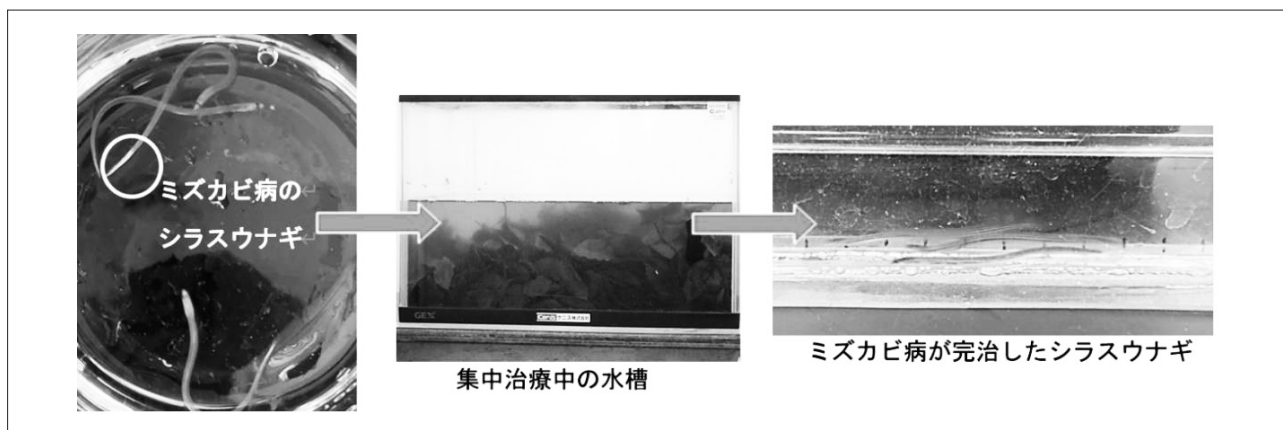


図26

4. 参考文献

- 1) 祥雲弘文 (筑波大学応用生物化学系):
カビも脱窒するーシトクロムP-450norの奇妙な性質と機能ー,『蛋白質 核酸 酵素 Vol. 39 No. 3 (1994)』より
- 2) 松本真生 (海洋分子微生物学分野):
次世代シーケンサーによるウナギ飼育槽の菌叢比較:吉田天士先生 (京都大学) より拝領
- 3) 広報やながわ2018年10月1日号
- 4) 振興出版社 文部科学省検定済教科書 啓林館『高等学校 生物基礎』
- 5) 水産庁「国際漁業資源の現況 77 ニホンウナギ」
- 6) 福岡県内水面漁業調整規則 第36条:1968年
- 7) 日本SDGs協会ホームページ
www.japansdgs.net
- 8) メタボローム解析のデータ:
岸野重信先生 (京都大学) より拝領

5. 謝辞

- 田中克先生 (京都大学名誉教授) からは、私たちの研究全般においてアドバイスをいただきました。
- 山下洋先生 (京都大学フィールド科学教育研究センター) からは、水質分析やウナギの生態についてたくさんのご助言をいただきました。
- 吉田天士先生 (京都大学海洋分子微生物学研究室) および、松本真生博士には細菌叢の解析を行っていただきました。
- 向昌宏先生 (京都大学舞鶴水産実験所) には、栄養塩の分析を行っていただきました。

- 岸野重信先生 (京都大学農学研究科) には、メタボローム解析を行っていただきました。
- 徳地直子先生 (京都大学フィールド科学教育研究センター長) には、ウナギ水槽の水質分析を行っていただきました。
- 望岡典隆先生 (九州大学農学部) からは、ニホンウナギの特別採捕を含めて研究全般のご指導をいただき、飯江川の石倉かごの寄贈をしていただきました。
- (株) パルシステムからは、柳川掘割の石倉かごを寄贈していただきました。
- みやま市の山内医院からは、マイクロワイヤータグ挿入に使用する注射針を提供していただきました。
- 山川はたる保存会の皆様からは、飯江川での取組全般にわたってご尽力をいただきました。
- NPO法人SPERA森里海の皆様からお世話になりました。

私たちの活動は、(一社) 北部九州河川利用協会の助成を受けています。

分光光度計AQUALYTIC社製AL800は (公財) 藤原ナチュラルヒストリー振興財団の助成で購入させていただきました。

私たちの研究を支えていただいた皆様に心から感謝しています。

福岡県立伝習館高等学校 自然科学部