

水産庁委託

令和3年度ウナギ等資源回復推進事業のうち

「資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業」

成果報告書

令和4年3月

水産研究・教育機構

東京大学

宮城教育大学

青森県産業技術センター

静岡県水産・海洋技術研究所

鹿児島県水産技術開発センター

日本養鰻漁業協同組合連合会

目次

事業概要	1
参画機関及び担当者	2
要旨	3
各課題報告	
ア. 産卵場に向かうニホンウナギの由来判別	
東京大学大気海洋研究所、水産研究・教育機構	4
イ. 産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握	
青森県産業技術センター	10
静岡県水産・海洋技術研究所	13
鹿児島県水産技術開発センター	20
ウ. 産卵回遊が期待できるニホンウナギの作出	
日本養鰻漁業協同組合連合会	37
静岡県水産・海洋技術研究所	39
水産研究・教育機構	42
令和3年度計画検討会議事次第	53
令和3年度計画検討会出席者名簿	54
令和3年度計画検討会質疑・討論	55
令和3年度計画検討会講評	61
令和3年度成果報告会議事次第	64
令和3年度成果報告会出席者名簿	65
令和3年度成果報告会質疑・討論	66
令和3年度成果報告会講評	70

事業概要

1. 事業の位置づけ

近年、ニホンウナギの稚魚（シラスウナギ）の採捕量は低水準にあり、平成26年6月には国際自然保護連合（IUCN）のレッドリストに絶滅危惧IB類として掲載されるなど、ニホンウナギの資源の増大が急務となっている。こうした中、各地で資源増大を目的とした放流が行われ、漁獲量の増加及び漁業者の収入増加につながっている地域もある。しかしながら、ニホンウナギの生態には不明な点が多く、放流したニホンウナギがどの程度生き残っているのか、産卵に参加しているのかといった知見はほとんどない状況である。そのため、ニホンウナギの生態について得られた知見を順次取り入れていき、ウナギの資源管理を推進していく必要がある。本事業では、産卵回遊が期待できるニホンウナギの検討や放流したニホンウナギの産卵参加状況の把握を行うことで、産卵に寄与するニホンウナギの資源増大に資する種苗の育成及び放流手法の開発につなげ得る、種苗の育成及び放流手法を検討することを目的とする。

2. 課題構成と担当機関

本事業は、産卵場に向かうニホンウナギが天然加入個体又は放流個体であるかを判別し、放流個体が産卵に参加しているかを調査する。また産卵場に向かう個体の経験環境履歴を推定する手法を検討する。産卵親魚候補である銀ウナギ（下りウナギ）の実態を把握するため、産卵場に向かうニホンウナギの由来判別のためのサンプル採集と生物特性の調査・分析を行う。ニホンウナギの性分化と成熟の進行、回遊行動について調査を行うことにより、産卵に寄与する個体の作出手法について検討する。

課題ア. 産卵場に向かうニホンウナギの由来判別

担当：水産研究・教育機構、東京大学

課題イ. 産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握

担当：水産研究・教育機構、宮城教育大学、青森県産業技術センター
静岡県水産・海洋技術研究所、鹿児島県水産技術開発センター

課題ウ. 産卵回遊が期待できるニホンウナギの作出

担当：水産研究・教育機構、静岡県水産・海洋技術研究所
日本養鰻漁業協同組合連合会

課題エ. 運営委員会・検討委員会の開催、研究成果の取りまとめ

担当：水産研究・教育機構

参画機関及び担当者

- ・水産研究・教育機構
中村智幸, 矢田 崇, 阿部倫久
山本敏博, 横内一樹, 福田野歩人
- ・東京大学
白井厚太郎
- ・宮城教育大学
棟方有宗
- ・青森県産業技術センター
榊 昌文, 遠藤 赴寛
- ・静岡県水産・海洋技術研究所
吉川昌之, 倉石 祐
- ・鹿児島県水産技術開発センター
眞鍋美幸, 猪狩忠光, 市来拓海
- ・日本養鰻漁業協同組合連合会
長島大四郎

検討委員

- 望岡 典隆 (九州大学大学院・特任教授)
- 渡邊 壮一 (東京大学大学院・准教授)

要旨

課題ア：産卵回遊に参加する雌の放流个体がいること、それらの个体の成熟段階は天然个体と遜色ないことが確認できた。

課題イ：青森県小川原湖内及び高瀬川、静岡県浜名湖、鹿児島県花渡川で漁獲された天然ウナギについて、銀毛ステージ・生殖腺重量・血中性ホルモン等の解析を実施した。また海への移動についての調査体制を構築した。

課題ウ：雌性ホルモン投与への応答は体サイズに応じて変わると考えられ、選択的にバランスのとれた性比をもつ个体群を作出できる可能性が示唆された。水流による遊泳の有無よりも、水温変動が銀毛の維持に重要であることが示唆された。回遊のモチベーションを判断する行動実験系を構築した。成熟の進行に関する水温の影響を調べる飼育実験を、淡水と海水で開始した。

令和3年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告書

課題番号	ア	事業実施期間	令和3年度
課題名	産卵場に向かうニホンウナギの由来判別		
主担当者	白井厚太郎（東京大学大気海洋研究所）、矢田 崇、山本敏博、横内一樹、 福田野歩人（水産研究・教育機構）		

背景：近年、ニホンウナギの稚魚（シラスウナギ）の採捕量は低水準となっており、国際自然保護連合（IUCN）のレッドリストに絶滅危惧IB類として掲載されるなど、ニホンウナギの資源の増大が急務となっている。そのため、各地で資源増大を目的とした放流が行われ、漁獲量の増加及び漁業者の収入増加につながっている地域もある。

耳石安定同位体比を利用した放流ウナギと天然ウナギの判別法が中央大学、東京大学、水産研究・教育機構などにより開発された（Kaifu et al. 2018; Itakura et al. 2018）。耳石には酸素と炭素などが含まれており、酸素や炭素にはわずかに重さの異なる安定同位体が存在する。この手法により、放流個体と天然個体の経験環境の差異によって、これら安定同位体比の異なることを利用し、放流／天然を判別が可能となった。

しかしながら、ニホンウナギの生態には不明な点が多く、放流したニホンウナギがどの程度生き残っているのか、産卵に参加しているのかといった知見はほとんどない状況である。そのため、ニホンウナギの生態について得られた知見を順次取り入れていき、ニホンウナギの資源管理を推進していく必要がある。

目的：産卵場に向かうニホンウナギが、天然加入個体又は放流個体であるかを判別するための試料作成・分析を進め、放流個体が産卵回遊に参加しているかを調査する。あわせて、個体の経験環境履歴を推定する手法について検討する。

方法：課題イ)「産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握」において採集されたニホンウナギについて、天然加入個体又は放流個体であるかの判別を以下の方法によって行う。

ニホンウナギの耳石を研磨し薄片切片を作成する。切片のうち、沿岸来遊以前に形成された耳石の中心部位を除去する。放流個体については、耳石の沿岸来遊後の形成部位として、内側から順に、養殖場で形成された部位、放流後に自然環境下で形成された部位が存在することになる。このため、沿岸来遊後に相当する耳石部位をマイクロドリルで削り出し、酸素炭素安定同位体比分析を行うことで、放流個体の耳石酸素炭素安定同位体比は、養殖場の環境を反映したものとなり、天然個体で

あれば、自然環境を反映したものとなる。得られた酸素炭素安定同位体比は、機械学習のひとつであるニューラルネットワークを用いた判別モデル(Kaifu et al. 2018; Itakura et al. 2018)により、それぞれの個体について、判別確率により、個体毎に放流/天然/判別不可能として判別した。

当該年度計画：課題イ)「産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握」において採集されたニホンウナギ標本を用いた天然加入/放流の判別のため、安定同位体比分析試料の作成および分析を進める。あわせて、産卵回遊に参加している放流個体が確認された場合、その生物学的特性について、課題イ)「産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握」の天然個体のものと比較する。耳石微量元素分析等を行い、判別個体の経験環境履歴を推定する手法を検討する。

結果概要：産卵場に向かうニホンウナギが、天然加入個体又は放流個体であるかを判別するため、採集されたニホンウナギ標本を用いた耳石試料の作成および酸素炭素安定同位体分析を進めた。本年度は、昨年度11月～12月に採集された49個体、および過去の事業により全国各地で採集された149個体について分析・解析を実施し、昨年度のデータ(n=51)とあわせ、計249個体の耳石酸素・炭素安定同位体比データを得て、ランダムフォレストによる天然/放流判別分析(教師データ: Itakura et al. 2018)を行った(図1)。

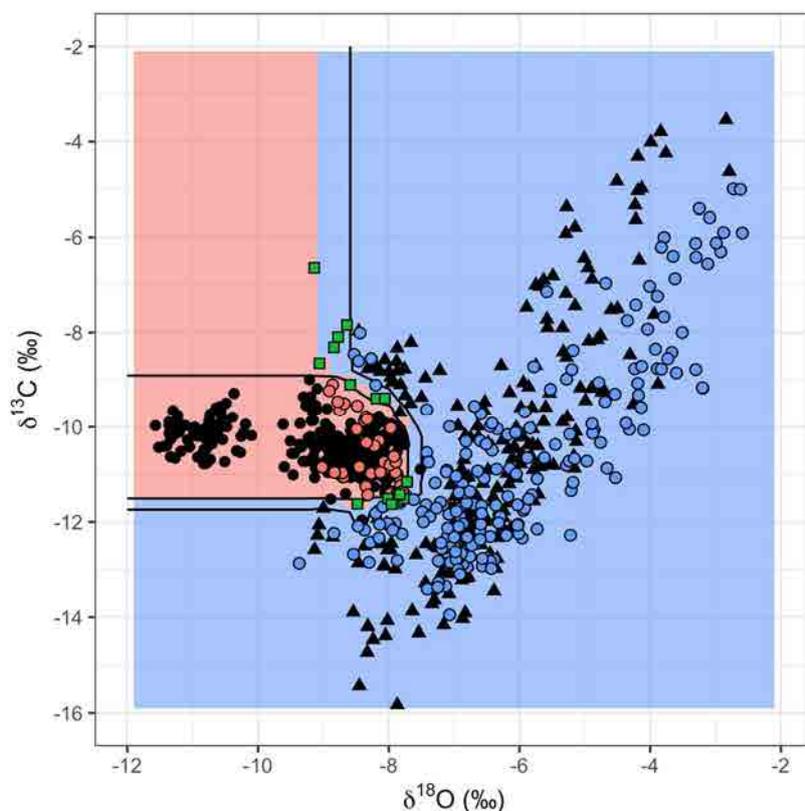


図1. 耳石酸素・炭素同位体比の教師データ：(●) 養殖個体、(▲) 天然個体と全分析データ：(○) 天然個体、(■) 判別不可(判別確率<70%)、(○) 放流由来個体のプロット、(—) 判別確率70%以上の境界。赤のエリアは放流の判別確率50%以上、青のエリアは天然の判別確率が50%以上。

昨年度、本事業の調査対象水域において採集された放流由来の産卵回遊開始個体（判別確率 90% 以上）を新たに 1 個体（計 3 個体）確認することができた（表 1）。

表 1. 本事業の調査対象水域における 2020 年度の産卵回遊開始個体の放流判別結果

県	採集地	採集月	ID	個体数	ステージ	全長 (mm)	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	判別確率	判別結果
青森県	高瀬川	10月	A Oct 1	-	S2	689	-8.78	-8.09	60.6%	判別不可
		10月	A Oct 2	-	S2	875	-8.64	-7.84	68.2%	判別不可
		11月	A Nov 4	-	S2	745	-8.84	-12.24	94.4%	天然
静岡県	雄踏・新川	10月	Y Oct 1	-	S2	565	-8.69	-11.05	99.4%	放流
		10月	Y Oct 4	-	S1	545	-8.35	-11.25	99.6%	放流
		10月	-	9	Y2~S2	574.2	-5.80	-11.35	100%	天然
		11月	-	27	Y2~S2	609.9	-4.82	-9.21	99.7%	天然
	鷺津	12月	W Dec 9	-	S2	725	-8.49	-10.05	100%	放流
		8月	-	15	Y2~S1	556.5	-5.05	-9.51	99.8%	天然
		10月	-	20	Y2~S2	620.9	-6.46	-11.47	99.9%	天然
		12月	-	19	S1~S2	661.9	-6.04	-10.95	99.0%	天然
(黄ウナギ:Y1)	8~10月	-	3	Y1	530.7	-5.24	-11.07	99.7%	天然	
鹿児島県	花渡川	12月	K Dec 1	-	S1	487	-7.42	-10.54	86.8%	判別不可

注：静岡県の天然個体は平均値

水域ごとにみると、青森県では、高瀬川で採集された産卵回遊開始個体は 1 個体が天然、2 個体が判別不可となった（図 2）。静岡県では、放流実績のある新川下流周辺（雄踏）で採集された回遊個体のうち 7%（2 個体）が放流個体と判別された一方、浜名湖本湖（浜名湖・鷺津）では、採集された回遊個体のうち 2%（1 個体）が放流個体と判別された（図 2）。鹿児島県による花渡川の標識再捕調査により放流・再採捕個体が銀化して採集された個体については、判別確率 86.8%となった（図 2）。これは、分析のために掘削した部位に放流後の耳石成長部分が混入した可能性が排除できないと推察されるが、他方、耳石酸素炭素同位体比プロット上の天然と放流の境界領域では、どちらとも判別できないという手法上の制約を考慮する必要があるものと考えられる。そのため、教師データや経験環境履歴情報の蓄積が重要であるものと考えられた。

また、過去の事業により全国各地で採集された 149 個体のうち、放流由来の個体を計 27 個体確認することができた（図 2）。水域ごとにみると、青森県では小川原湖で採集された成長期の黄ウナギ 30 個体のうち 17 個体（57%）が放流個体と判別され、残りはすべて判別不可となった（図 2）。大沼では、採集された 5 個体の黄ウナギのうち、1 個体が放流、1 個体が判別不可、2 個体が天然と判別された（図 2）。静岡県では、浜名湖に流入する主要河川である都田川で採集された 40 個体の黄ウナギから放流個体は出現しなかった（図 2）。愛媛県の肱川で採集された黄ウナギ 33 個体のうち 5 個体（15%）が放流個体と判別された（図 2）。鹿児島県では、網掛川では採集された銀ウナギ 16 個体からは放流個体は出現しなかった（図 2）。一方、川内川で採集された成長期の黄ウナギ 25 個体のうち 1 個体（4%）が放流個体と判別された（図 2）。

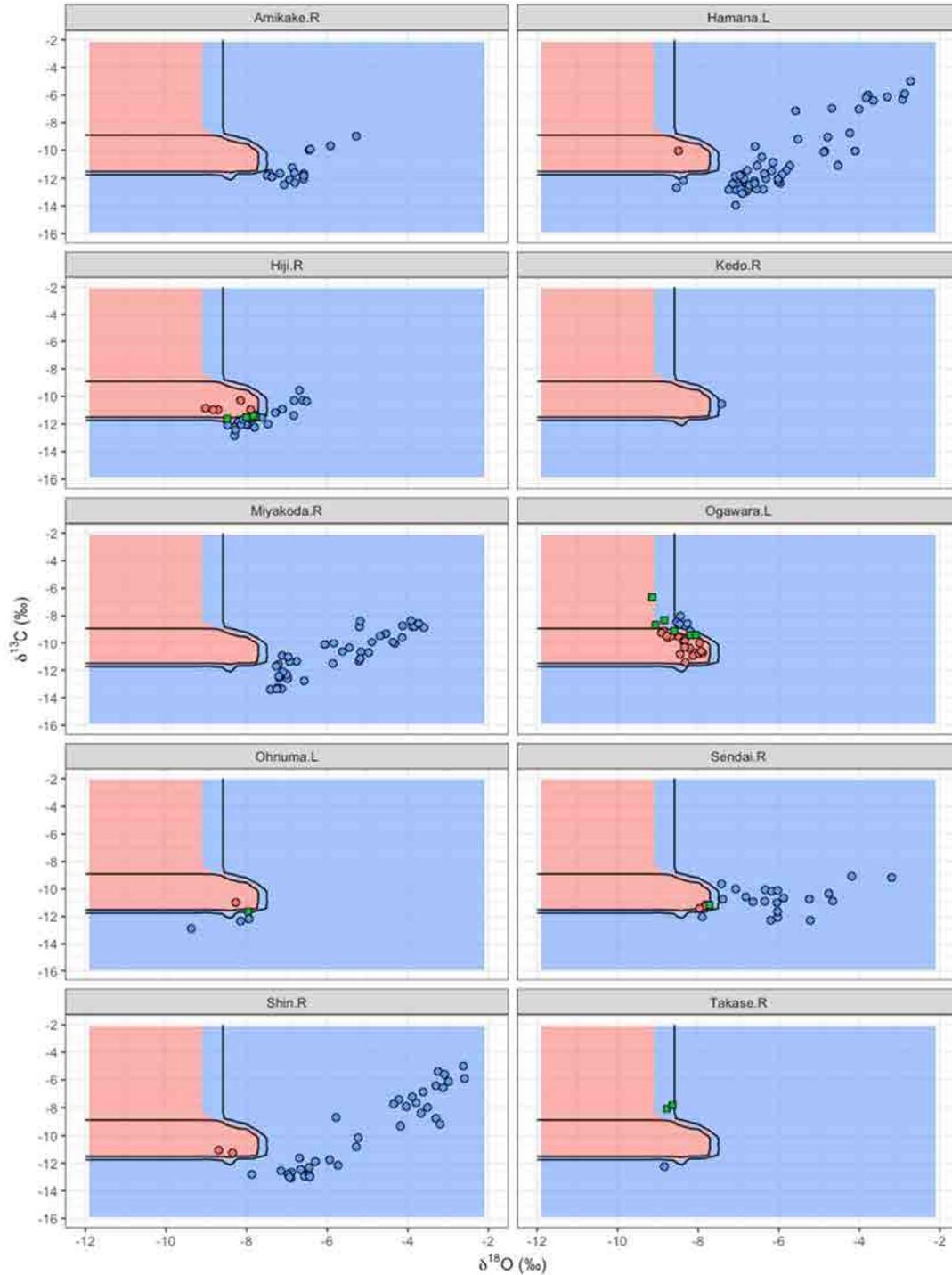


図2. 耳石酸素・炭素同位体比による採集地点ごとの放流判別結果. (○) 天然、(□) 判別不可、(△) 放流. (—) 判別確率70%以上の境界. 赤のエリアは放流の判別確率50%以上、青のエリアは天然の判別確率が50%以上.

酸素炭素同位体比による天然／放流判別済み62個体について、さらに利用生息域の履歴推定のため耳石Sr/Ca比分析を行ったところ、天然個体(n=60)では河口・内湾域を育成場として利用しているものが63%と優占したが、浜名湖の雄踏・新川で採集された放流に由来する産卵回遊開始個体

(n=2) は、全て河川淡水域を成育場として利用していたことがわかった (図 3)。それら 2 個体はともに、耳石中の Sr/Ca 比が来遊 (耳石核から約 150 μm) ~ 採集時 (耳石縁辺) まで低値で推移したことから、黄ウナギ期を通じて河川を利用していたことが示唆された (図 3)。

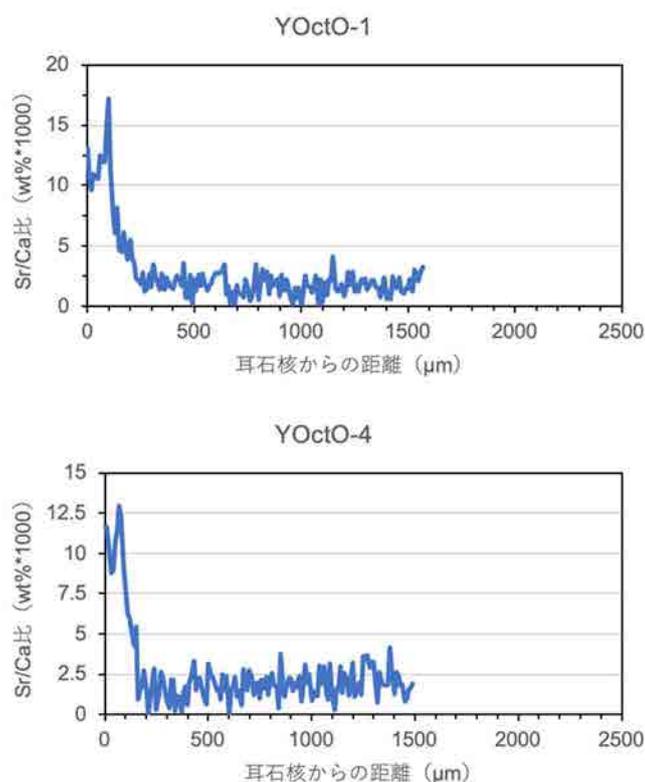


図 3. 耳石酸素・炭素同位体比による放流由来と判別された産卵回遊個体の耳石 Sr/Ca 比のプロファイル。

産卵回遊に参加している放流個体の生物学的特性について同時期・同地域の天然個体のものと比較した結果、放流由来の産卵回遊個体の性別はすべて雌で、外部形態は銀ウナギとして通常どおり発達しており、生殖腺体指数から、成熟が順調に開始されていることが明らかとなった (表 2)。

表 2. 放流由来の産卵回遊開始個体の生物学的特性の天然個体との比較

県	採集地	採集月	ID	個体数	肥満度	FI	EI	HSI	GI	性別	GSI*	判別結果
青森県	高瀬川	10月	A Oct 1	-	0.17	4.87	0.07	1.45	0.92	雌	2.51	判別不可
		10月	A Oct 2	-	0.19	5.58	0.08	1.36	0.90	雌	3.22	判別不可
		11月	A Nov 4	-	0.14	4.75	0.05	1.56	0.60	雌	2.78	天然
静岡県	雄踏・新川	10月	Y Oct 1	-	0.17	5.07	0.07	1.45	0.77	雌	2.29	放流
		10月	Y Oct 4	-	0.15	6.32	0.07	1.05	1.07	雌	2.08	放流
		10月	-	9	0.15	5.29	0.05	0.83	1.20	100%雌	1.40	天然
		12月	W Dec 9	-	0.15	5.79	0.08	1.19	0.56	雌	3.32	放流
(黄ウナギ:Y1)	8~10月	12月	-	19	0.15	5.61	0.07	1.12	0.63	100%雌	3.28	天然
		8~10月	-	3	0.13	4.36	0.03	1.00	1.77	66%雌	0.26	天然

課題と対応策：計画通りに順調に実施されると共に、着実な成果を得た。

耳石の掘削作業は継続して実施中で、分析試料の作成次第、酸素炭素同位体分析を行う予定である。青森では引き続き、教師データ等の蓄積の必要性が高いことから、データの積み上げを継続することが重要であると考えられた。また、分析した個体について、より詳細に検討・考察を行うためには、調査対象水域および接続河川等の環境等についての情報が重要であるため、課題イ)「産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握」とさらに連携し、現地状況の把握を進める必要がある。

次年度計画：引き続き、試料の作成、分析を継続し、産卵場に向かうニホンウナギが天然加入個体又は放流個体であるかを判別し、放流個体が産卵に参加しているかを調査する。また産卵場に向かう個体の経験環境履歴を推定する手法の検討についても継続する。

令和3年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告書

課題番号	イ	事業実施期間	令和3年度
課題名	産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握		
主担当者	遠藤 赳寛（青森県産業技術センター内水面研究所）		

背景：青森県の太平洋側に位置する小川原湖は、長さ約7 kmの高瀬川によって海と接続する汽水湖であり、大規模なニホンウナギ漁場としては北限にあたる。小川原湖では毎年、漁協によるニホンウナギの義務放流が行われている他、高瀬川にシラスウナギが来遊することが確認されており、湖内には放流個体と天然個体が存在すると考えられる。過去の標識調査の結果から、放流後のニホンウナギは湖内で良好に成長し、漁獲に直接寄与していることが示唆される一方、放流個体が再生産に寄与しているかは不明である。近年、耳石の酸素・炭素安定同位体比からニホンウナギの由来水域の判別が可能となったが、判別精度を担保するには教師データの十分な蓄積が必要であり、青森県においては特に天然由来個体の耳石サンプルの確保が課題となっている。

また、小川原湖内のニホンウナギに特有の現象として、メスが優占することが確認されているが、産卵のため高瀬川を經由して海に下る銀ウナギについて、オスの出現状況は明らかになっていない。

北限の漁場である小川原湖のニホンウナギの実態を把握することは、小川原湖、ひいては我が国のウナギ資源管理手法を検討する上で重要である。

目的：青森県小川原湖におけるニホンウナギの放流及び漁獲実態を把握する。また、産卵親魚候補である銀ウナギ（下りウナギ）の実態を把握する。放流由来個体が銀ウナギに含まれているか把握する。

方法：小川原湖漁協で放流種苗の魚体測定と漁獲物の荷受け伝票調査を実施する。産卵場に向かうニホンウナギの由来判別（天然/放流）のためのサンプル収集と生物特性の調査・分析を行う。小川原湖内で天然由来個体のサンプル収集を行う。

当該年度計画：青森県小川原湖におけるウナギ漁業及び種苗放流の状況について把握するとともに、小川原湖内及び高瀬川で漁獲される銀ウナギの実態を把握する。また、由来判別に供する銀ウナギ及び天然個体の耳石サンプルを収集する。

結果概要：

(i) 漁獲・種苗放流実態の把握

小川原湖漁協の荷受け伝票を基に算出した令和3年度のニホンウナギ漁獲量は1,281kgであった(相対取引された漁獲物は含まない)。令和2年度の漁獲量688kgから1.9倍に増加した。

漁期は6月1日から9月30日の4か月間で、6月の漁獲が最も多く、8月は操業者数、漁獲量ともに少なかった(図1)。御盆の期間に市場が閉まるため漁獲を控えたものと思われる。漁法は漁期を通じて延縄が主体であり、6月と9月にワカサギ・シラウオ漁の小型定置(袋網)に入網した個体の荷受けがあった。サイズ別の漁獲量は図2のようになった。400g以下の個体が全体の46%を占め、令和2年度と同様の傾向を示した。

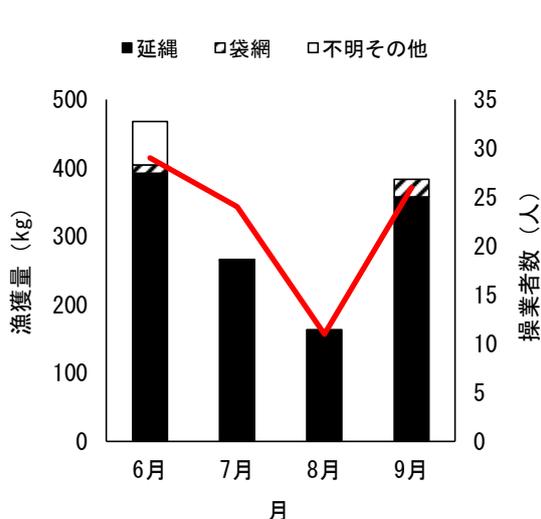


図1. 小川原湖における月別漁法別ニホンウナギ漁獲量と操業者数の推移 (2021年)

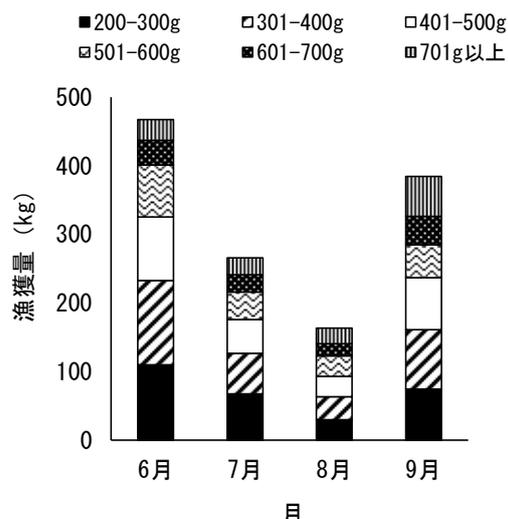


図2. 小川原湖における月別サイズ別ニホンウナギ漁獲量 (2021年)

小川原湖において令和3年6月17日に放流されたニホンウナギ種苗について、放流尾数及び体サイズ組成を求めた(図3、4)。種苗は宮崎県産である。放流尾数は約1,600尾(75kg)、平均全長および平均体重はそれぞれ $35.6 \pm 2.3\text{cm}$ 、 $45.5 \pm 9.2\text{g}$ (±標準偏差)であった。令和2年度の放流尾数約4,600尾(75kg)、平均全長 $25.2 \pm 3.3\text{cm}$ 、平均体重 $16.3 \pm 8.2\text{g}$ と比較して、魚体サイズが大きい一方、放流尾数が減少した。

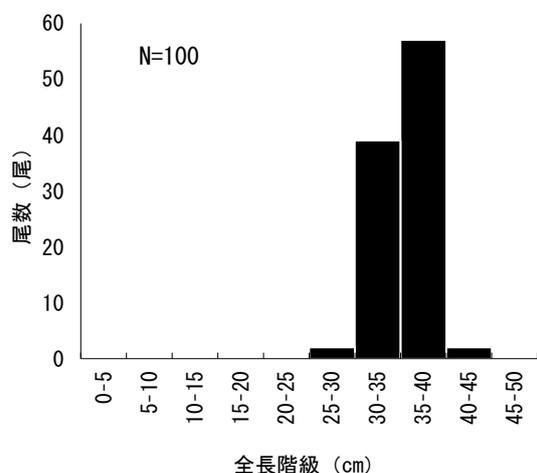


図3. 小川原湖におけるウナギ放流種苗の全長頻度分布 (2021年)

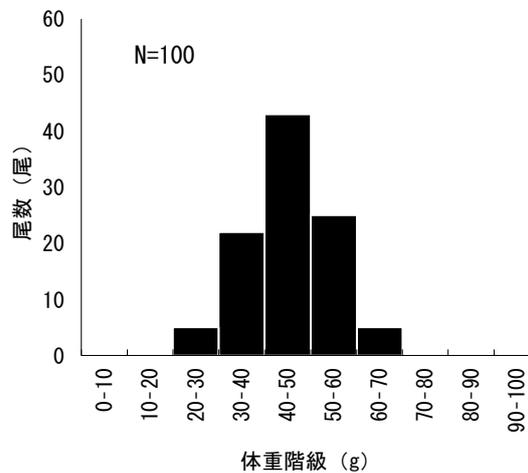


図4. 小川原湖におけるウナギ放流種苗の体重頻度分布 (2021年)

(ii) 銀ウナギサンプルの収集と生物学的特性の把握

小川原湖及び高瀬川において採捕調査と市場購入によりニホンウナギサンプルを収集した(表1)。銀ウナギは小川原湖で6個体、高瀬川で1個体の計7個体であった。全個体について精密測定を実施し、耳石、生殖腺及び胸鰭組織を採取した。また、銀ウナギ5個体と黄ウナギ10個体について、遺伝子発現解析及びホルモン分析用サンプルとして、脳、肝臓及び血液を採取した。このうち血中ホルモン濃度については表1のとおり。テストステロン(T)、11-ケトテストステロン(11-KT)について銀ウナギで高い値を示した。採捕した銀ウナギは全てメスであった。

表1. 青森県で採捕されたニホンウナギの精密測定結果(2021年)

採捕日	採捕地点	漁法	全長 cm	体重 g	胸鰭長 mm	水平眼径 mm	垂直眼径 mm	生殖腺重量 g	肝臓重量 g	胃重量 g	腸重量 g	性別	ステージ	血中ホルモン濃度				
														E2 pg/ml	T pg/ml	11-KT pg/ml	Cortisol ng/ml	T4 ng/ml
8月26日	小川原湖	延縄	82.4	961.88	37.9	6.5	6.7	11.79	14.54	8.29	8.21	メス	Y2	-	-	-	-	-
9月28日	小川原湖	延縄	80.5	1,074.38	33.3	7.1	6.9	15.70	13.54	4.09	8.62	メス	S1	-	-	-	-	-
9月28日	小川原湖	定置網	76.0	842.65	37.0	5.1	4.3	16.35	10.40	1.86	3.52	メス	S1	10.88	2,374.20	1,312.41	2.72	10.35
9月28日	小川原湖	延縄	66.5	565.60	30.4	5.8	5.4	5.76	7.82	1.71	2.98	メス	S1	24.41	2,318.36	183.00	0.32	2.09
9月28日	小川原湖	延縄	80.8	905.28	35.5	7.1	7.2	14.13	11.79	4.31	4.64	メス	S1	38.55	2,157.03	3,486.89	2.35	4.68
10月9日	小川原湖	延縄	69.1	457.46	29.0	4.9	4.9	3.14	7.55	3.29	4.92	メス	Y1	38.96	130.75	60.32	2.54	6.72
10月9日	小川原湖	延縄	65.0	424.67	26.8	4.7	4.4	2.12	4.24	2.21	4.87	メス	Y1	223.34	158.40	38.39	1.71	4.82
10月9日	小川原湖	延縄	66.5	380.11	26.5	4.8	4.6	1.92	4.68	2.15	3.83	メス	Y1	70.78	28.83	6.44	1.80	6.70
10月9日	小川原湖	延縄	59.7	306.44	23.1	4.5	4.3	0.92	3.90	2.18	2.07	メス	Y1	23.04	33.03	51.04	1.89	6.14
10月9日	小川原湖	延縄	53.9	223.58	22.1	4.6	4.3	0.89	3.44	1.47	2.00	メス	Y1	5.63	8.04	6.18	1.40	5.62
10月9日	小川原湖	延縄	57.3	235.08	20.7	4.7	4.4	0.95	3.32	0.50	1.38	メス	Y1	7.91	12.45	7.28	2.00	4.64
10月9日	小川原湖	延縄	54.9	224.62	19.1	4.8	4.5	0.51	4.73	2.00	3.03	メス	Y1	13.61	8.42	4.98	1.55	23.80
10月9日	小川原湖	延縄	54.8	215.56	21.1	4.4	4.4	0.91	3.67	2.69	2.05	メス	Y1	11.49	33.61	3.11	2.57	8.25
10月9日	小川原湖	延縄	51.8	173.91	19.0	4.5	4.2	0.47	2.92	1.41	2.19	メス	Y1	427.24	21.46	4.83	2.07	3.09
10月9日	小川原湖	延縄	50.7	164.39	18.7	4.2	4.1	0.41	3.66	1.38	1.98	メス	Y1	12.46	19.11	2.60	3.31	3.07
10月9日	小川原湖	延縄	45.4	143.41	18.6	5.0	4.7	0.70	2.86	1.11	1.59	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	47.9	124.16	18.7	4.2	4.1	0.41	2.09	0.89	1.63	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	48.3	122.46	16.8	4.1	4.0	0.44	1.88	0.86	1.29	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	46.8	118.82	17.0	4.4	3.9	0.38	1.86	1.25	1.41	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	44.4	105.76	17.1	4.4	4.0	0.28	2.02	0.94	1.20	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	42.6	88.94	15.4	3.7	3.4	0.21	1.35	0.96	0.92	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	36.9	55.73	12.6	3.5	3.1	0.07	0.99	0.48	0.78	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	34.9	45.89	12.2	3.5	3.4	-	0.81	0.40	0.69	不明	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	34.3	43.77	11.2	3.0	3.0	0.02	0.82	0.45	0.43	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	33.8	48.56	11.5	3.2	2.8	-	0.84	0.51	0.52	不明	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	30.1	30.48	9.6	2.5	2.5	-	0.74	0.33	0.44	不明	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	46.6	153.30	20.9	4.3	4.1	0.19	1.82	1.55	1.55	オス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	43.8	111.22	14.9	3.5	3.3	0.28	2.38	1.14	1.32	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	38.2	80.11	13.6	3.1	2.9	0.16	1.48	1.06	1.12	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月9日	小川原湖	延縄	34.2	55.18	10.4	3.0	3.0	0.03	0.93	0.58	0.97	メス	Y1	-	-	-	-	-
10月22日	小川原湖	定置網	86.4	1,416.56	38.9	8.1	8.2	26.83	17.40	1.83	2.75	メス	S2	202.93	2,776.65	8,631.44	0.51	3.91
10月22日	小川原湖	定置網	94.5	1,338.62	53.8	8.9	8.6	28.05	19.03	4.47	2.96	メス	S2	-	-	-	-	-
10月29日	高瀬川	定置網	71.6	516.43	35.5	7.2	7.0	10.34	6.14	0.47	1.97	メス	S2	652.06	2,364.36	12,045.54	1.31	5.52

(iii) 天然ウナギサンプルの採集

令和3年5月10日から6月18日の期間、小川原湖内において全長15cm前後のニホンウナギ(放流種苗の最小サイズより小さく、前年にシラスウナギとして加入した可能性が高い個体)11個体を定置網で採捕した。また、10月3日に青森県太平洋側沿岸で全長16.7cmのウナギ1個体を採捕した。

課題と対応策：小川原湖内において天然由来個体を大量に選択的に採捕するのは難しいことから、放流履歴のない周辺の水域を対象に採捕を試みる。

次年度計画：小川原湖、高瀬川での銀ウナギ採捕調査を継続する他、天然由来のニホンウナギサンプルの充実を図る。

令和2年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告書

課題番号	イ	事業実施期間	令和3年度
課題名	産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握		
主担当者	吉川昌之（静岡県水産・海洋技術研究所 浜名湖分場） 矢田 崇（水産研究・教育機構 水産技術研究所 沿岸生態システム部）		

背景：近年、ニホンウナギの稚魚（シラスウナギ）の採捕量は低水準にあり、平成26年6月には国際自然保護連合（IUCN）のレッドリストに絶滅危惧IB類として掲載されるなど、ニホンウナギの資源の増大が急務となっている。こうした中、各地で資源増大を目的とした放流が行われ、漁獲量の増加及び漁業者の収入増加につながっている地域もある。しかしながら、ニホンウナギの生態には不明な点が多く、放流したニホンウナギがどの程度生き残っているのか、産卵に参加しているのかといった知見はほとんどない状況である。そのため、ニホンウナギの生態について得られた知見を順次取り入れていき、ウナギの資源管理を推進していく必要がある。

課題実施計画

（1）4カ年の全体計画

目的： 浜名湖及びその周辺河川を調査水域とし、産卵親魚候補である銀ウナギ（下りウナギ）の生物学的特性並びにその由来に種苗放流が及ぼす影響を把握する。また、浜名湖内のウナギの漁獲情報を収集し、浜名湖の天然ウナギ資源の増減の指標としての可能性を探る。

方法： 浜名湖内の市場に水揚げされるウナギをサンプリングし、産卵に向かう銀ウナギの生物特性を、湖内にとどまる黄ウナギを対照として比較することで、調査・分析する。また、上流で種苗放流が行われている河川が浜名湖に流入する水域においてウナギを採集し、銀ウナギ及び黄ウナギそれぞれにおいて、天然あるいは種苗放流の由来のものがそれぞれどの程度を占めるかを調査し、上流における種苗放流の実績と合わせ、銀ウナギの由来に種苗放流が及ぼしている影響を明らかにする。さらに、浜名湖内のウナギの漁獲情報を収集し、解析する。

期待される成果： ウナギの資源回復に及ぼす種苗放流の効果が明らかとなる。浜名湖のウナギ漁獲情報の天然ウナギ資源の増減の指標としての有効性が明らかとなる。

（2）令和3年度の計画

目的： 浜名湖で漁獲される黄ウナギ及び銀ウナギの生物学的特性を把握する。

方法：

静岡県浜名湖において小型定置網により漁獲されるウナギを、黄ウナギ及び銀ウナギの生物学的特性を把握することを目的とするものについては鷺津市場にて、銀ウナギの由来の調査を目的とするものについては雄踏市場にて定置網を指定して、ランダムに購入した。

サンプルは、全長、体重、胸鰭長、眼径（水平、垂直）及び体色による銀化ステージを測定した後、採血して、血中のエストラジオール 17 β （E2）、テストステロン（T）、11-ケトテストステロン（11-KT）、コルチゾール及び甲状腺ホルモン（T4）の濃度を測定した。さらに、解剖し、性別の確認、並びに肝臓、胃、消化管及び生殖腺の重量を測定した。

結果：

サンプルは 50 尾入手できた。内訳を表 1 及び図 1 に示した。水揚地別では、鷺津で 37 尾及び雄踏で 13 尾、雌雄別では、雄 13 尾及び雌 36 尾、銀化ステージ別では Y1 9 尾、Y2 6 尾、S1 25 尾及び S2 10 尾、時期的には、10 月には黄ウナギが大半を占めたが、11 月になると銀ウナギが多くなり、12 月にはすべて銀ウナギとなった。

得られたデータから、肥満度、胸鰭長比、眼球指数、肝重量比、消化管重量比及び生殖腺重量比を求め、それぞれ図 2、3、4、5、6 及び 7 に示した。なお、これ以降の図に示した値は、2 尾以上のサンプルが得られたケースに限った、その平均値である。肥満度は、雌で時期が遅くなるほど上昇する傾向があった。胸鰭長比は、雄で黄ウナギより銀ウナギで高くなる傾向が、雌で時期が遅くなるほど上昇する傾向が認められた。眼球指数は、雄で時期が遅くなるほど上昇する傾向が、雌で黄ウナギより銀ウナギで高くなる傾向が認められた。肝重量比は特定の傾向は認められなかった。黄ウナギより銀ウナギで、雌雄とも、消化管重量比は低くなり、生殖腺重量比は高くなる傾向が認められた。

血中の E2、T、11-KT、コルチゾール及び T4 の濃度を、それぞれ図 8、9、10、11 及び 12 に示した。E2 は、雌雄とも時期が遅くなるほど上昇する傾向があった。T 及び 11-KT は、雌雄とも黄ウナギより銀ウナギで高くなる傾向が認められた。コルチゾールは特定の傾向は認められなかった。T4 は、雄で時期が遅くなるほど低下する傾向があった。

課題と対応策： 計画通りに順調に実施されると共に、着実な成果を得た。

次年度計画： 浜名湖で漁獲される黄ウナギ及び銀ウナギの生物学的特性の把握と、浜名湖内のウナギの漁獲情報の収集を継続する。

表1 サンプルの内訳

水揚地	購入日	性別	ステージ	尾数
鷺津	10月14日	Female	Y1	4
			Y2	1
		Male	Y1	3
			S1	1
	11月2日	未分化	Y2	1
			Y1	2
		Female	Y2	1
			S1	2
	11月12日	Male	S1	1
			S2	3
		Female	Y2	1
			S1	3
12月3日	Male	S2	2	
		S1	4	
	Female	S1	6	
		S2	1	

水揚地	購入日	性別	ステージ	尾数
雄踏 (新川)	11月12日	Female	Y2	2
			S1	6
		Male	S2	1
			S1	1
	12月3日	Female	S1	1
			S2	2

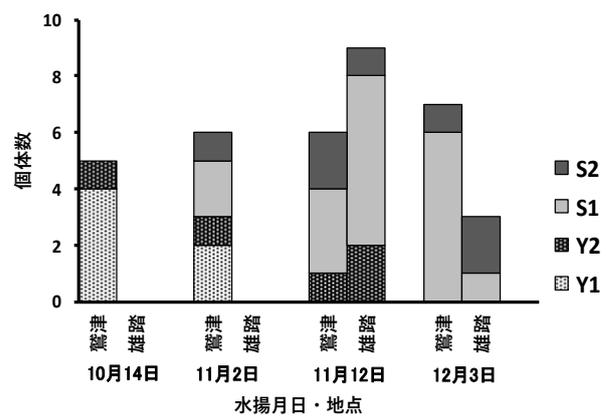
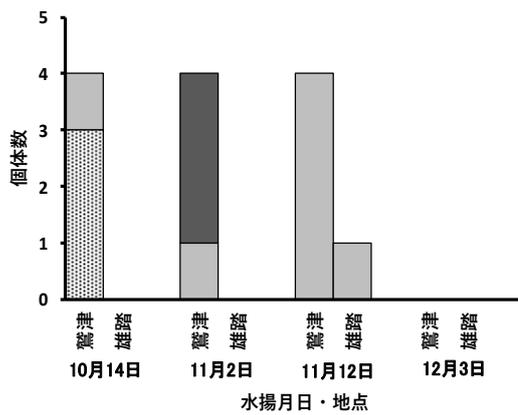
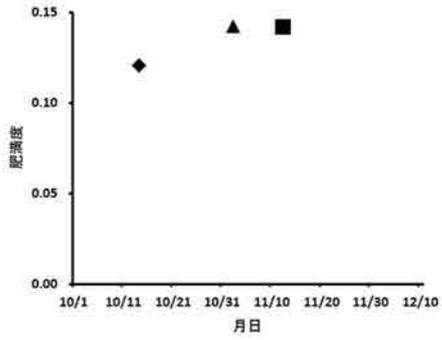
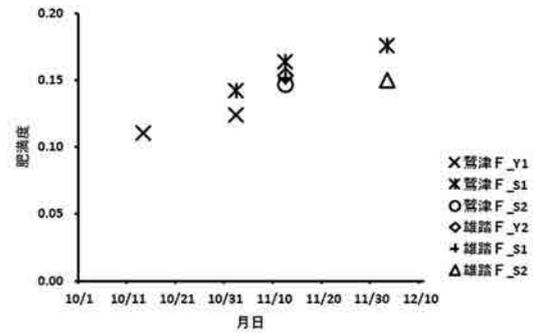


図1 サンプルの水揚月日及び地点別個体数

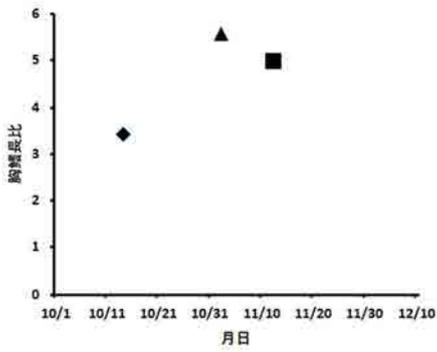


雄

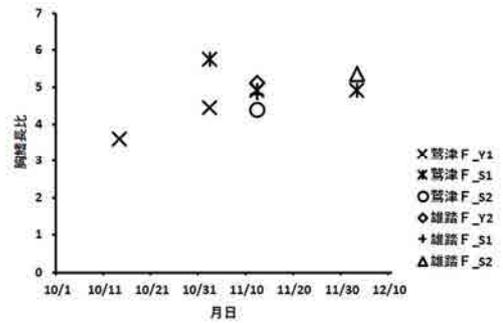


雌

图2 肥満度

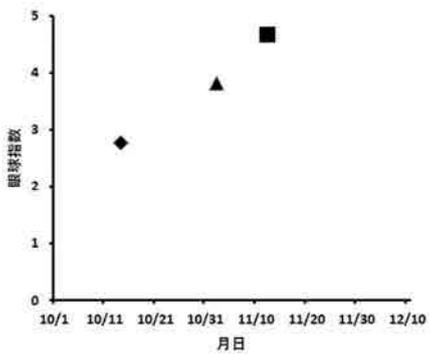


雄

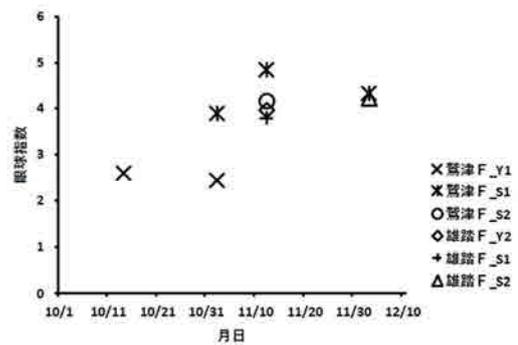


雌

图3 胸鱗長比

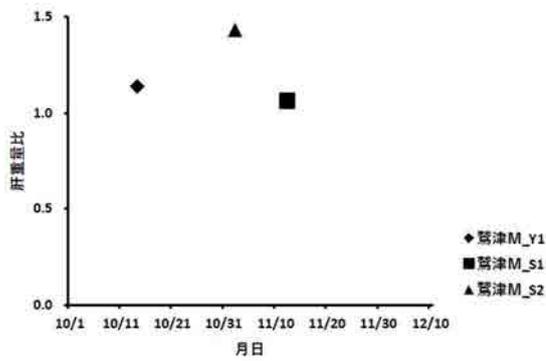


雄

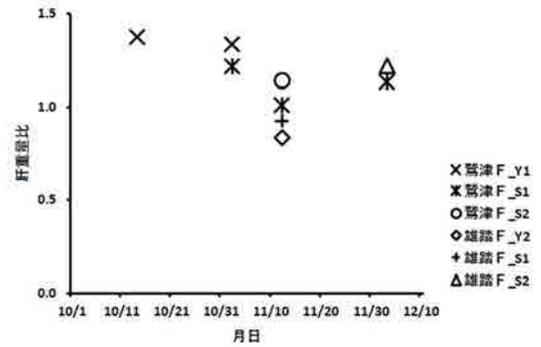


雌

图4 眼球指数

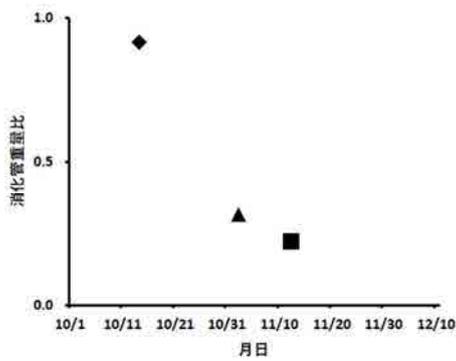


雄

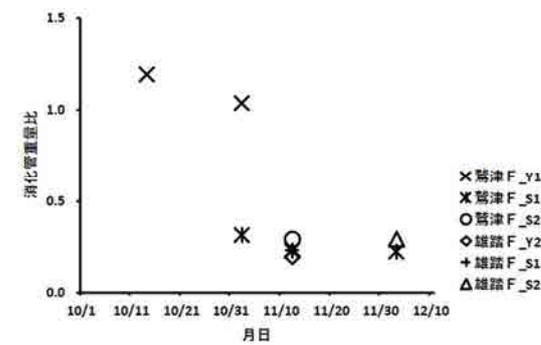


雌

图5 肝重量比

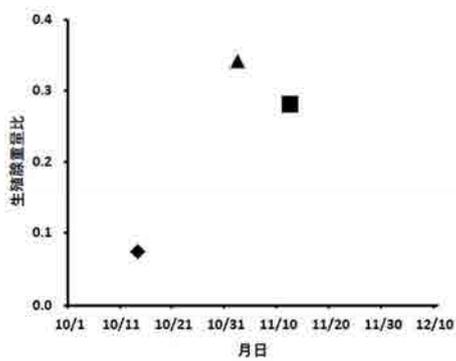


雄

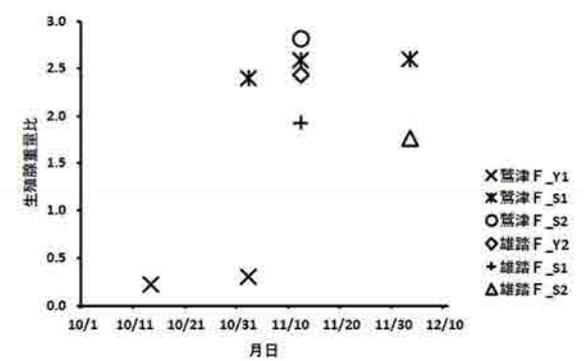


雌

图6 消化管重量比

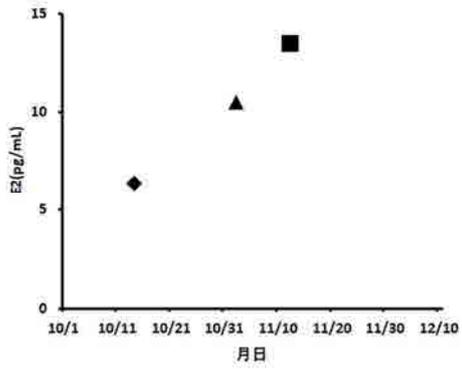


雄

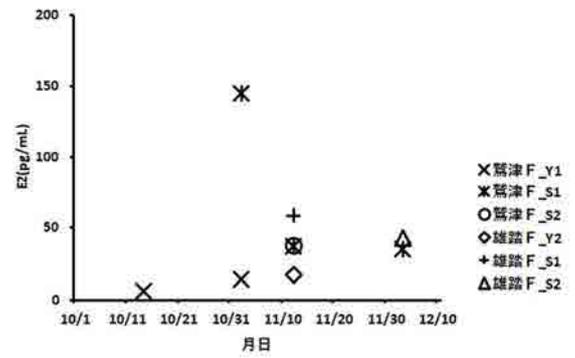


雌

图7 生殖腺重量比

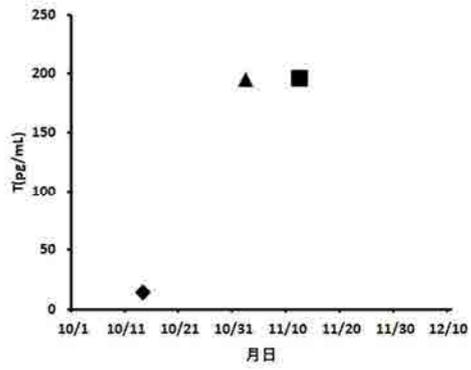


雄

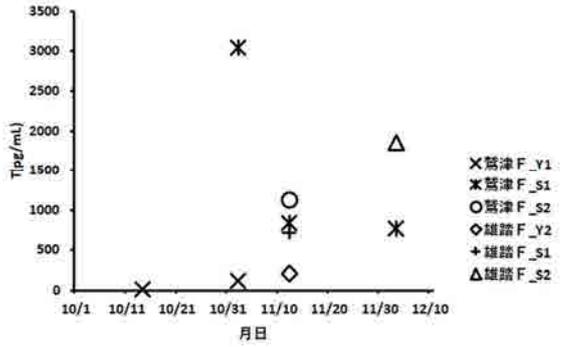


雌

図8 血中エストラジオール 17β 濃度

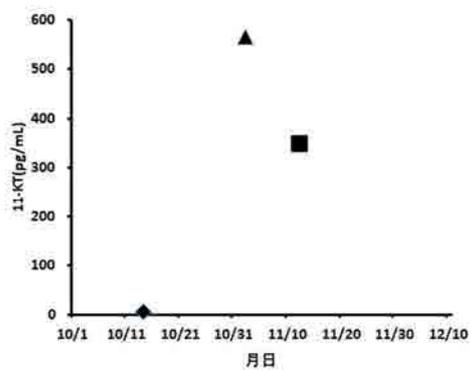


雄

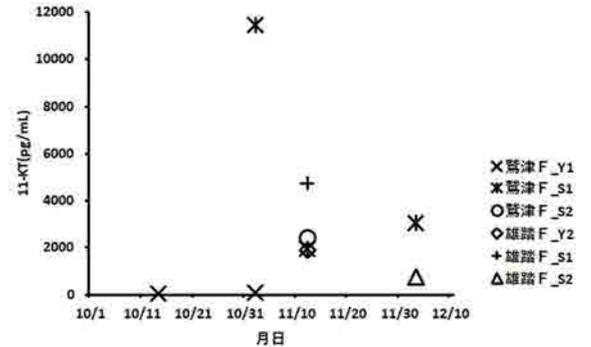


雌

図9 血中テストステロン濃度

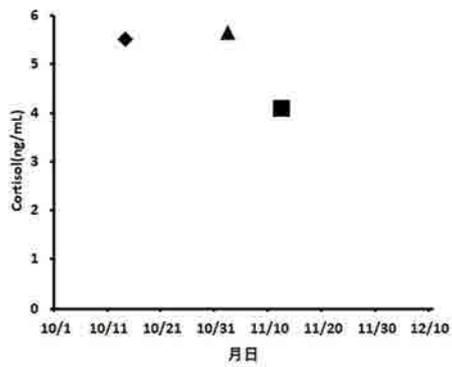


雄

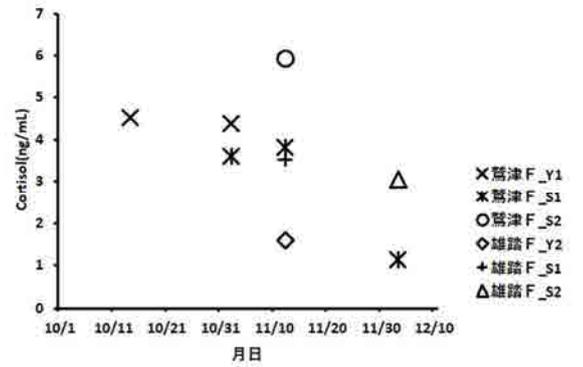


雌

図10 血中11-ケトテストステロン濃度

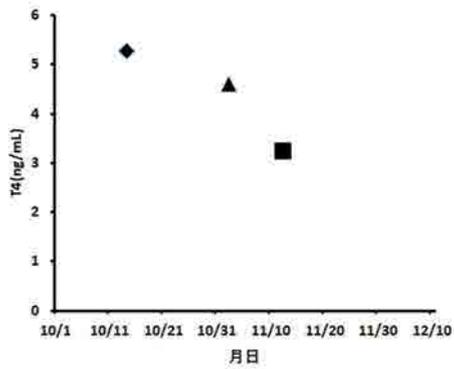


雄

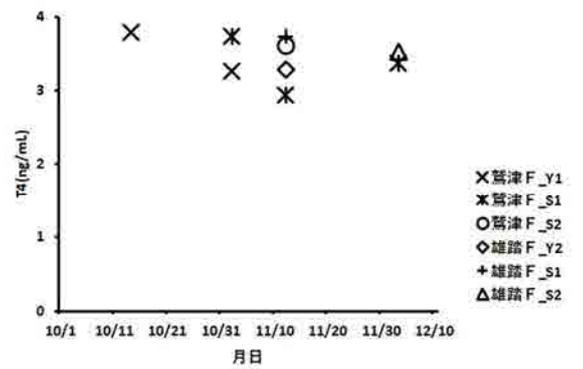


雌

図 11 血中コルチゾール濃度



雄



雌

図 12 血中甲状腺ホルモン濃度

令和3年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告書

課題番号	イ	事業実施期間	令和3年度
課題名	産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握		
主担当者	眞鍋美幸（鹿児島県水産技術開発センター）		
分担者	猪狩忠光・市来拓海（鹿児島県水産技術開発センター） 矢田崇（水産研究・教育機構） 棟方有宗（宮城教育大学）		

背景：近年、ニホンウナギの稚魚（シラスウナギ）の採捕量は低水準にあり、平成26年6月には国際自然保護連合（IUCN）のレッドリストに絶滅危惧IB類として掲載されるなど、ニホンウナギの資源の増大が急務となっている。こうした中、各地で資源増大を目的とした放流が行われ、漁獲量の増加及び漁業者の収入増加につながっている地域もある。しかしながら、ニホンウナギの生態には不明な点が多く、放流したニホンウナギがどの程度生き残っているのか、産卵回遊に参加しているのかといった知見はほとんどない状況である。そのため、ニホンウナギの生態について得られた知見を順次取り入れ、ウナギの好適な資源管理を推進していく必要がある。

目的：2021年度は、鹿児島県内河川において、産卵親魚候補である銀ウナギ（下りウナギ）に含まれる養殖由来個体とその特性を把握するとともに、産卵に寄与するニホンウナギの放流手法開発を行うことを目指した。

方法：放流ウナギの追跡調査や行動解析を行うとともに、産卵場に向かうニホンウナギの由来判別（天然／養殖）と生物特性の調査・分析を行う。また、効果的なウナギの放流河川・地点を検討するためドローンによる3次元測量技術の開発を行う。

当該年度計画：鹿児島県枕崎市花渡川において、養殖ウナギの効果的な放流手法を検討するため、これまでより小型の10gサイズでPITタグ（Biomark社製BI08BまたはBI012B）による標識放流を行い、竹筒と小型石倉（毎月1回、周年）及び石倉カゴ（毎月1回、7～12月）によりウナギの採集を行い、全長、体重を記録して天然ウナギや過去に条件を変えて放流した養殖ウナギと比較する。特に9月以降は、これまで銀ウナギが多く採捕されている調査区に竹筒を追加設置して銀ウナギを重点的に採集し、得られた銀ウナギは、全長、体重のほか、胸鰭長、眼径（水平、垂直）、体色による銀化ステージを記録し、血液採取後、天然個体は再放流し、養殖個体は持ち帰り解剖

する。調査地点は花渡川及び支流中洲川の河口から上流までの3.5 kmの感潮域に設定した St. 1～St. 10 の10 定点とする (図1)。

併せて小型サイズ (約10g) の養殖ウナギに PIT タグ標識を挿入した場合の生残状況等を調べるため、当センター実験池 (図1) の室内水槽で飼育試験を行う。

また、鹿児島県鹿児島市貝底川 (図1) においては、河川に放流した養殖ウナギの海への流出状況を把握するため、河口に PIT タグアンテナシステムを2台設置して通過する個体の行動を解析する。またウナギの効果的な放流河川・放流環境等を明らかにするため滋賀県淀川水系 (図2) をモデルとしてドローンによる3次元測量の技術を開発・検証する。



図1 調査地点



図2 調査地点 (滋賀県淀川水系愛知川、姉川)

結果概要：

1. 花渡川、中洲川調査

放流に使用する小型ウナギは、大隅半島で養殖されたニホンウナギで、令和3年7月15日に購入し、19日にオイゲノール（DSファーマアニマルヘルス株式会社製FA100）で麻酔をかけて全長、体重を測定後、PITタグ標識を腹腔内に挿入し、21日の日中にSt.1～St.10の竹筒設置場所に各箇所60尾ずつ、St.1の石倉カゴ3基、St.7の石倉カゴ2基に30尾/基ずつ、合計750尾を分散して放流した。放流は隠れ家がありそうな場所に数尾ずつを、河床や泥、石倉への潜行を目視確認しながら実施した。放流個体の平均全長は 224.5 ± 23.6 mm（±S.D.）、平均体重は 10.2 ± 3.2 g（±S.D.）であった。

これまでPITタグ標識で放流した養殖ウナギのデータを表1に示す。このうち平成26、27年度については、200gサイズと50gサイズを放流しているが、200gサイズは50gサイズより再採捕率が有意に低く、越冬後にほとんど再採捕されなかったことから、50gサイズのみについて検証した。

表1 養殖ウナギの標識放流状況（PITタグ標識）

放流年月	放流尾数 (尾)	放流 サイズ	メスの 割合	餌	放流手法	
H26	7月	203	50g	活餌 配合	1点 (St.8)	
	10月	150				
H27	7月	345	30%	配合		
		398	200g	0%		配合
H28	7月	700	50g	23%	配合	
H29	7月	700	50g	30%	配合	
H30	—	—	—	—	分散 (10箇所)	
R1	—	—	—	—		
R2	10月	750	10g	—		配合
R3	7月	750	10g	—		配合
計	4,342	(50gサイズ以下は3,644)				

1) 再採捕率等

令和4年1月末現在の放流尾数、再採捕尾数、再採捕率、放流手法について養殖ウナギを表2に、天然ウナギを表3に示す。なお、再採捕個体については2回以上再採捕された個体も1尾として計算し、放流直後に滞留した個体の再採捕を除外するため、初回放流から100日以上経過して再採捕されたものを抽出して示した。

養殖ウナギは、St.8で一点放流を行った平成26年度放流群が4.3%、平成27年度放流群が7.0%に対し、10カ所に分散放流した平成28年度放流群が9.1%、平成29年度放流群が5.4%であり、養殖ウナギの一点放流と分散放流の再採捕率に有意差はみられなかった（Steel-Dwass法）。10gサイズで放流した令和2年度放流群は、放流から100日以上経過して再採捕された個体数がまだ2尾であることから、今後の調査結果を待つて解析する。

また、平成27年度～令和2年度の天然ウナギ放流群の再採捕率は6.5～15.9%であり、天然ウナギと比較して養殖ウナギの再採捕率は数値上は高いものの統計的には有意差はみられなかった（Steel-Dwass法）。

表2 養殖ウナギ50gサイズ以下（令和4年1月末現在）

放流年度	標識放流尾数(尾)	再採捕尾数(尾)	再採捕率(%)	100日以上抽出		放流手法
				再採捕尾数(尾)	再採捕率(%)	
H26	399	35 (0)	8.8	17	4.3	一点(St.8)
H27	345	30 (0)	8.7	24	7.0	
H28	700	92 (1)	13.1	64	9.1	
H29	700	55 (2)	7.9	38	5.4	分散(10力所)
H30	—	—	—	—	—	
R1	—	—	—	—	—	
R2	750	38 (2)	5.1	2	0.3	
養殖合計	2,894	250 (5)	8.6	145	5.0	

※()は今年度の採捕尾数

表3 天然ウナギ（令和4年1月末現在）

放流年度	標識放流尾数(尾)	再採捕尾数(尾)	再採捕率(%)	100日以上抽出		放流手法
				再採捕尾数(尾)	再採捕率(%)	
H26	—	—	—	—	—	分散(10力所)
H27	108	10 (0)	9.3	7	6.5	
H28	187	37 (0)	19.8	27	14.4	
H29	236	55 (0)	23.3	32	13.6	
H30	252	58 (4)	23.0	40	15.9	
R1	207	42 (7)	20.3	27	13.0	
R2	185	28 (19)	15.1	19	10.3	
天然合計	1,175	230 (30)	19.6	152	12.9	

※()は今年度の採捕尾数

2)再採捕時の体重変化

養殖ウナギと天然ウナギの体重変化を放流年度別に示す。

①平成26年度放流群

平成26年7月にSt.8で一点放流した養殖ウナギ50gサイズ399尾のうち、これまでに35尾が44回再採捕されているが（同個体が複数回再採捕された場合は回数で記載、以下同じ）、今年度新たに再採捕された個体はなかった。平成30年11月（放流後4年4ヶ月）を最後に3年間再採捕がない状況である。

なお、平成26年度は天然ウナギのPITタグによる標識放流は行っていない。

②平成27年度放流群

平成27年7月にSt.8で一点放流した養殖ウナギ50gサイズ345尾のうち、これまでに30尾が46回再採捕されているが、今年度新たに再採捕された個体はなかった。令和元年9月（放流後4年2ヶ月）を最後に2年間再採捕がない状況である。

平成27年度に標識放流した天然ウナギ108尾のうち、これまでに10尾が11回再採捕されているが、今年度新たに再採捕された個体はなかった。養殖ウナギ同様、天然ウナギも令和元年7月を最後に2年間再採捕がない状況である。

③平成 28 年度放流群

平成 28 年 7 月に 10 カ所に分散放流した養殖ウナギ 50g サイズ 700 尾のうち、これまでに 92 尾が 127 回再採捕され、今年度は 1 尾が 1 回再採捕された（図 2 左）。

平成 28 年度に標識放流した天然ウナギ 187 尾のうち、これまでに 37 尾が 86 回再採捕されているが、今年度新たに再採捕された個体はなかった（図 2 右）。ID 7F2C は、St. 7 の上流石倉カゴを住処として定住していると思われ、昨年度までの 4 年間、石倉カゴ調査でほぼ毎月採捕されていたが、今年度は一度も再採捕されなかった。

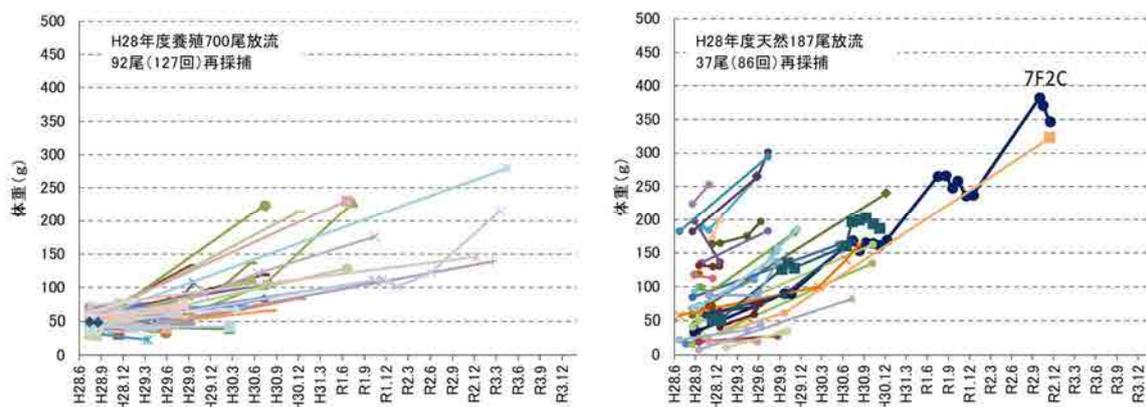


図 2 平成 28 年度放流ウナギの体重変化（左：養殖由来 右：天然由来）

④平成 29 年度放流群

平成 29 年 7 月に 10 カ所に分散放流した養殖ウナギ 50g サイズ 700 尾のうち、これまでに 55 尾が 69 回再採捕され、今年度は 2 尾が 2 回再採捕された（図 3 左）。放流後翌年夏前までの体重は減少傾向であったが、その後に再採捕されたものは増加していた。放流後短期間では体重が減少する個体が多いことは、過去の傾向と同じであった。

平成 29 年度に標識放流した天然ウナギ 236 尾のうち、これまでに 55 尾が 67 回再採捕されているが、今年度新たに再採捕された個体はなかった（図 3 右）。

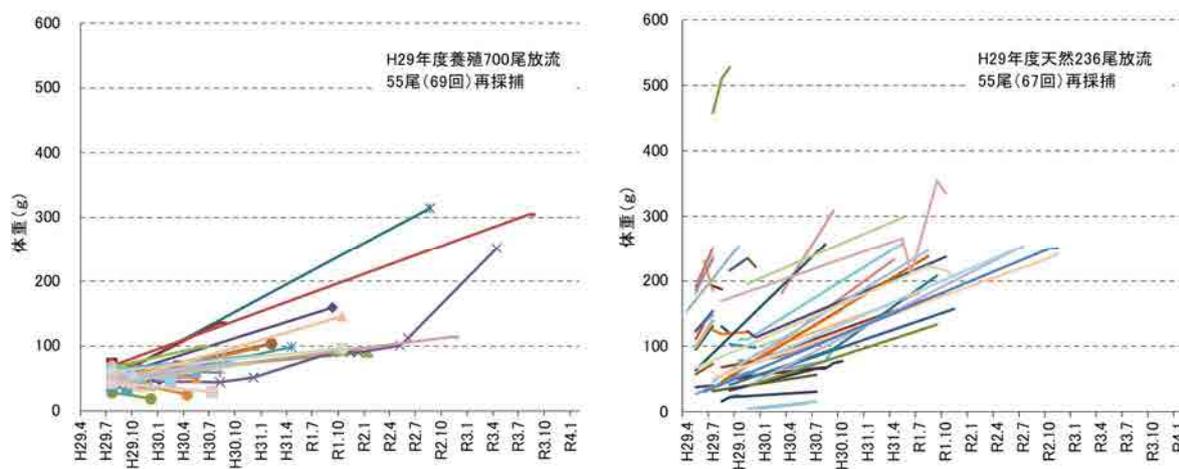


図 3 平成 29 年度放流ウナギの体重変化（左：養殖由来 右：天然由来）

⑤平成 30 年度放流群

平成 30 年度は養殖ウナギの標識放流は行われなかった。

平成 30 年度に標識放流した天然ウナギ 252 尾のうち、これまでに 58 尾が 81 回再採捕され、今年度 4 尾が 4 回再採捕された (図 4)。

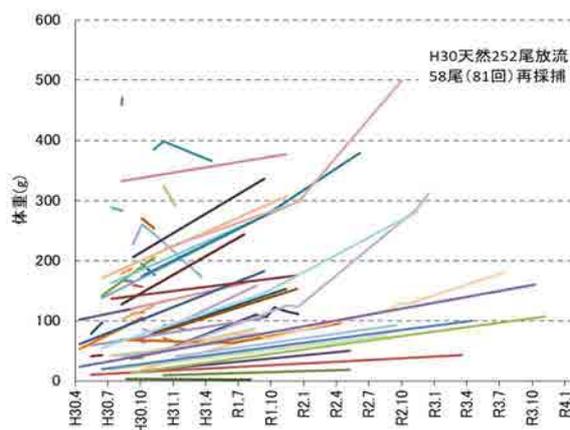


図 4 平成 30 年度放流ウナギの体重変化 (天然)

⑥平成 31 年度 (令和元年度) 放流群

平成 31 年度は養殖ウナギの標識放流は行われなかった。

平成 31 年度に標識放流した天然ウナギ 207 尾のうち、これまでに 42 尾が 66 回再採捕され、今年度は 7 尾が 7 回再採捕された (図 5)。

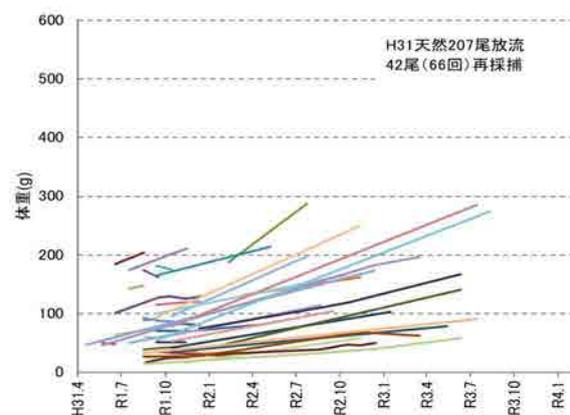


図 5 平成 31 年度放流ウナギの体重変化 (天然)

⑦令和 2 年度放流群

令和 2 年 10 月に 10 カ所に分散放流した養殖ウナギ 10g サイズ 750 尾のうち、これまでに 38 尾が 48 回再採捕され、今年度は 2 尾が 2 回再採捕された (図 6 左)。再採捕のほとんどは放流直後に滞留していた個体であり、まだ竹筒調査では採捕されにくい小型サイズであると考えられるため、今後の調査結果を待つて解析する。

令和 2 年度に標識放流した天然ウナギ 185 尾のうち、これまでに 28 尾が 40 回再採捕され、今年度は 19 尾が 26 回再採捕された (図 6 右)。

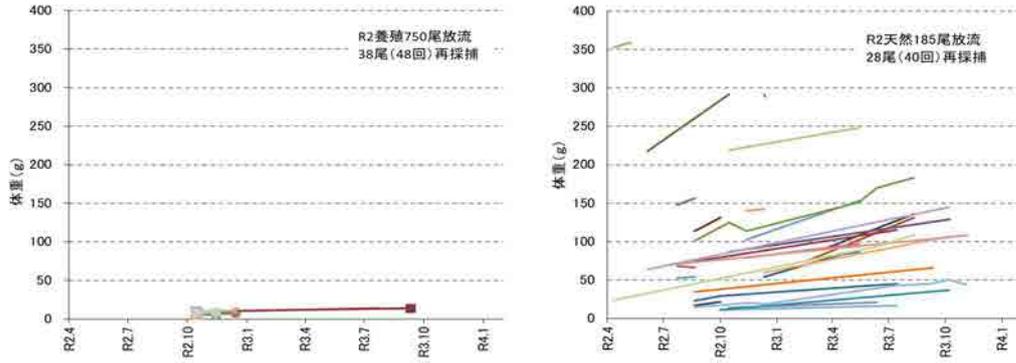


図6 令和2年度放流ウナギの体重変化（左：養殖由来 右：天然由来）

3)各放流群における瞬間成長率

表4、図7に再採捕までに100日以上経過した個体の体重の瞬間成長率 Specific Growth Rate (体重SGR[※])を放流年度別に示す。養殖ウナギは一点放流したH26年度放流群が0.139%、H27年度放流群が0.065%に対し、分散放流したH28年度放流群が0.048%、H29年度放流群が-0.007%であり、平成26年度（一点放流）は平成28、29年度（分散放流）と有意差があったものの、平成27年度（一点放流）は平成28、29年度（分散放流）と有意差はなく（Steel-Dwass法、1）の再採捕率でも有意差がなかった事から、放流手法としての優劣は判断できなかった。

また、天然ウナギの体重SGRは0.168%であり、H27～H29放流の養殖ウナギは天然ウナギより有意に成長が遅かった（Steel-Dwass法 危険率1%）。

$$\text{※体重SGR (\%/day)} = 100 \times (\ln(W2) - \ln(W1)) / T$$

W1：放流時体重 (g)

W2：再採捕時体重 (g)

T：再採捕までの期間 (日)

表4 放流年度別の体重の平均瞬間成長率

区分	平均SGR(%) (体重)	放流手法
H26養殖	0.139	一点放流
H27養殖	0.065	
H28養殖	0.048	分散放流
H29養殖	-0.007	
天然	0.168	

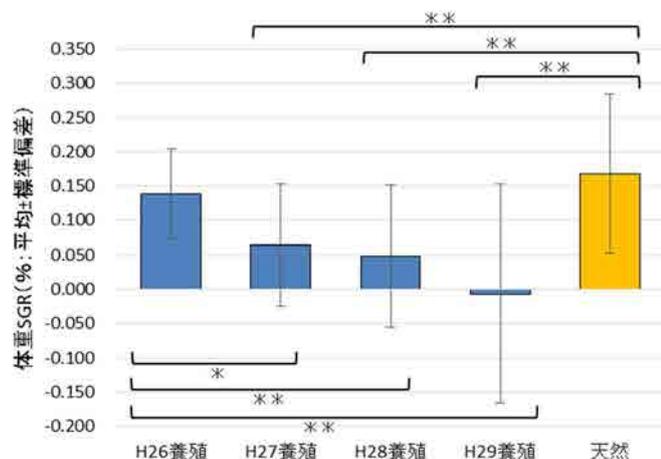


図7 放流年度別の瞬間成長率

4) 銀ウナギの測定結果

今年度採捕した銀ウナギの測定結果を表5に示す。採捕数は9尾で、全て新規の天然ウナギであり、養殖由来の放流個体は採捕されなかった。ステージはS1が8個体、S2が1個体であった。なお、個体番号4は胸鰭辺縁まで完全に黒化しておらず銀毛し始めのY2と判断したが、参考値として示した。

表5 銀ウナギ測定結果

採捕日	採捕場所	由来	全長 mm	体重 g	肥満度	胸鰭長 mm	水平眼径 mm	垂直眼径 mm	ステージ	血中ホルモン量					
										E2 pg/ml	T pg/ml	11-KT pg/ml	Cortisol ng/ml	T4 ng/ml	
1	R3.10.6	石倉上流大石	天然	710	440	1.23	39.2	7.72	7.52	S1	132	1,292	557	5.60	4.37
2	R3.10.7	St.4	天然	458	149	1.55	32.0	6.93	6.36	S1	10	67	80	4.21	5.49
3	R3.10.7	St.4	天然	495	194	1.60	32.7	6.83	6.49	S1	16	85	125	3.37	2.86
4	R3.10.7	St.3	天然	500	207	1.66	27.8	7.35	6.63	Y2-S1	3	20	12	1.93	3.57
5	R3.11.4	石倉上流大石	天然	687	515	1.59	39.0	8.35	6.93	S2	132	1,716	1,364	1.73	3.17
6	R3.11.5	St.4	天然	494	185	1.53	31.6	7.17	6.75	S1	11	361	931	4.66	1.88
7	R3.11.5	St.4	天然	561	288	1.63	31.2	7.51	7.57	S1	140	5,560	707	4.57	1.45
8	R3.11.5	St.4	天然	530	236	1.59	31.8	6.42	6.57	S1	8	377	1,035	4.80	1.77
9	R3.12.3	St.1下	天然	560	257	1.46	28.7	7.79	7.57	S1	68	2,328	7,288	4.25	2.06
10	R3.12.3	St.3	天然	490	158	1.34	30.7	7.45	6.88	S1	11	348	5,201	6.59	5.32

5) 小型放流個体の生残試験

①令和2年度放流群

供試魚は、令和2年10月13日に花渡川に放流した個体と同じロットを使用し、当センター実験池の飼育棟内で10月16日から飼育を開始し、約10ヶ月後の令和3年8月12日に終了した。600LのFRP水槽3基に、A槽及びB槽は標識あり10尾と標識なし10尾、C槽は標識あり15尾と標識なし5尾で20尾/槽ずつ収容し、水温約30℃の地下水掛け流しとし、水深は約16cmとなるよう調整して、週に1～2回配合餌料を与えて飼育した。

飼育結果は表6のとおり、試験終了後の全長、体重については標識の有無で差はなく、生残率も標識ありが77%、標識なしが80%で有意差はなかった（フィッシャーの直接確率計算法）。

表6 小型標識ウナギの生残飼育試験（令和2年度放流群）

	標識	開始時				終了時				
		尾数	平均全長 (mm)	平均体重 (g)	平均肥満度	尾数	平均全長 (mm)	平均体重 (g)	平均肥満度	生残率
水槽A	あり	10				8	228.1	12.3	0.98	80%
	なし	10				9	229.7	12.6	1.01	90%
水槽B	あり	10				7	231.3	15.1	1.19	70%
	なし	10				7	240.0	19.0	1.18	70%
水槽C	あり	15				12	244.3	18.0	1.19	80%
	なし	5				4	258.0	25.0	1.14	80%
計	あり	35	209.7	8.3	0.89	27	234.7	15.0	1.10	77%
	なし	25	210.4	8.8	0.95	20	236.7	16.4	1.07	80%

②令和3年度放流群

供試魚は、令和3年7月21日に花渡川に放流した個体と同じロットを使用し、当センター実験池の飼育棟内で放流同日の7月21日から飼育を開始した。600LのFRP水槽3基に、標識あり10尾と標識なし10尾の合計20尾/槽ずつ収容し、水温約25℃の地下水掛け流しとし（令和3年11月8日以降はポンプ不調により水温約30℃地下水掛け流しに変更）、水深は約16cmとなるよう調整して、週に1～2回配合餌料を与えて飼育した。

令和4年1月末現在の生残率を表7に示す。標識ありが97%、標識なしが100%であり、生残率に有意差はなかった。

表7 小型標識ウナギの生残飼育試験（令和3年度放流群）

	標識	開始時尾数	生残数	生残率
水槽A	あり	10	10	100%
	なし	10	10	100%
水槽B	あり	10	10	100%
	なし	10	10	100%
水槽C	あり	10	9	90%
	なし	10	10	100%
計	あり	30	29	97%
	なし	30	30	100%

2. 貝底川における養殖・天然ウナギの PIT タグによる行動特性把握

2. 1. 養殖・天然ウナギの行動頻度・範囲

2020 年度の調査では貝底川に放流した PIT タグ装着ウナギの検出尾数がアンテナ設置時の 9 月 20 日から 12 月にかけての水温の低下に従い漸減すること、実験魚の行動が主に 18 時から深夜 1 時の暗期に活発になることが示され、2021 年度も同様の結果が得られた。

一方、2020 年度は PIT タグアンテナを河口域の一箇所にしか設置しなかったため、アンテナで検出されたウナギが降河行動などの指向性のある移動を行った個体か、あるいは付近に定住しながら無指向的に探索遊泳を行っていた個体なのかは十分に判別できなかった。そこで 2021 年度は 9 月 21 日から PIT タグアンテナを 15 m の間隔で 2 台設置することで、特に実験魚の移動の方向性を明らかにすることを目指した。また、これらの調査に加え、河口域では定期的に竹筒による実験魚の再捕獲を行い、放流魚の体成長や銀化変態の有無をモニターした。

貝底川では 2021 年度までに合計 1488 尾の PIT タグ装着ウナギ（養殖魚 1427 尾、天然魚 60 尾）が放流されている。これらのうち、2020 年度に検出されたのは養殖魚が 37 尾、天然魚が 1 尾だった。また、2021 年度には養殖魚が 43 尾、天然魚が 25 尾検出された。

まず、両年のデータを合算して実験魚ごとの出現日数を見ると、養殖魚、天然魚ともに 2 年間を通して出現日数が 10 日以下となる個体が最も多かったが、中には 100 日以上にわたって繰り返し検出された個体もあった（図 8）。後者はアンテナ周辺に生息域を持つ定住性の強い個体である可能性が、いっぽう前者はアンテナからやや離れたエリアに定住していた個体か、アンテナ上を短期間のうちに通過した移動個体の可能性が考えられた。

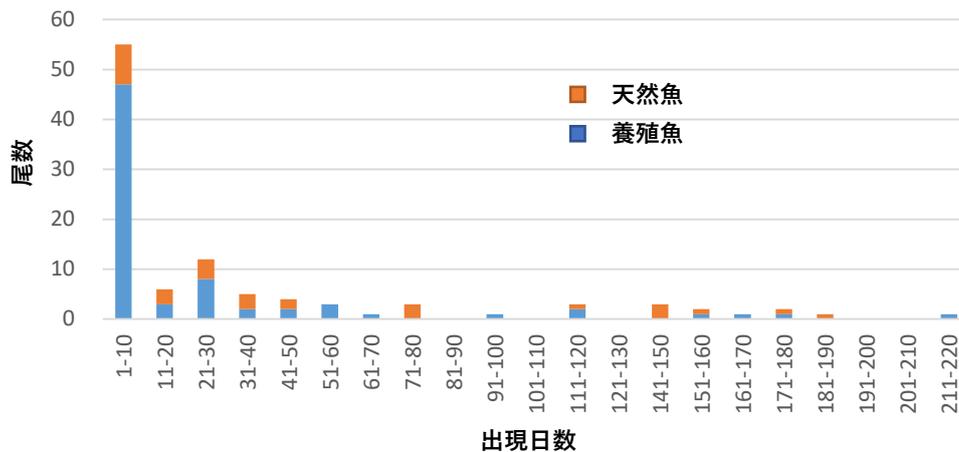


図 8 2020 年度、2021 年度を合わせた際の個体別の出現日数。

そこで次にこれらの魚のPIT タグアンテナ周辺での分布や移動の様子をより明確するため、2台（上・下流）のアンテナの各々の実験魚の検出状況を調べた。結果、養殖魚では上・下流の双方のアンテナで検出されたウナギが30尾見られたほか、上流アンテナのみで検出された個体が10尾、下流アンテナのみで検出された個体が3尾見られた。また、天然魚では上・下流の双方のアンテナで検出された個体が25尾見られたほか、下流アンテナのみで検出された個体が1尾見られた。これらの結果から、養殖・天然ウナギの多くは上・下流のアンテナを包含する比較的広いエリア内で生息、ないしは移動を行っていたのに対し、一部の養殖ウナギは上下どちらか一方のアンテナのみが含まれるエリア内に偏在していた可能性が考えられた（図9）。これらの結果から、養殖ウナギの河川生活期の生息エリアは個体間である程度分かれており、棲み分けがなされている可能性も考えられた。

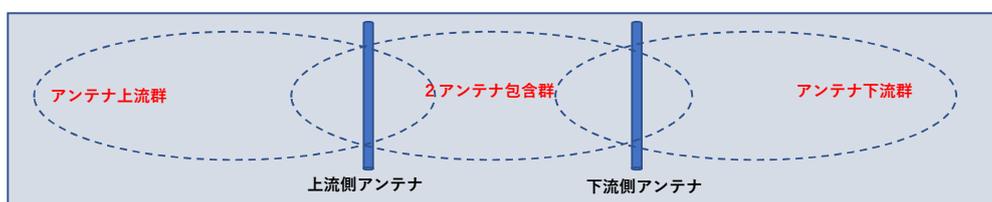


図9 貝底川河口域における養殖・天然ウナギの生息分布域のイメージ。養殖魚は河口域でいくつかのエリアに分かれ、棲み分けをしながら生息している可能性が考えられた。

次に、上・下流のアンテナで検出された養殖・天然魚計55尾の行動（移動）の様子を概観したところ、これらの多くは上・下流のアンテナ上を不定期に、かつ繰り返し通過していたことが示された（図10）。前記したように、こうした個体の多くは2台のアンテナを包含するエリアに定住していた河川生活期の個体であり、降海期の銀ウナギとは区別される個体と考えられた。

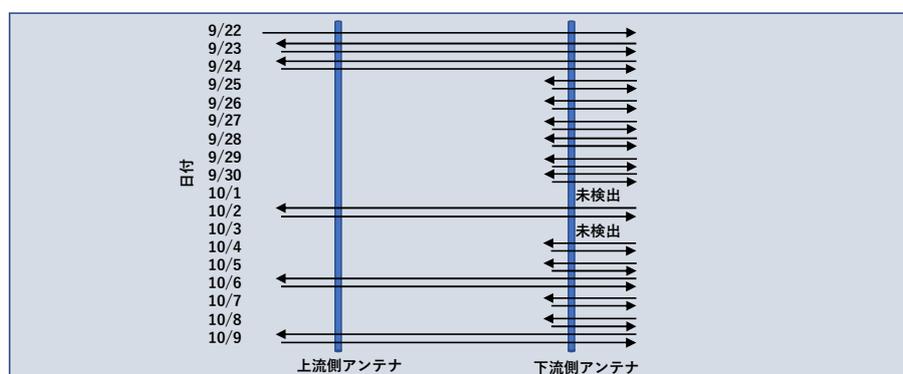


図10 2021年に上・下流アンテナで複数日にわたって検出された養殖魚の移動の様子（2017年6月8日に放流された養殖魚（ID:3D60018798405）の9月22日から10月9日の移動を例示）。上・下流のアンテナ間を不定期に行き来している様子が見える。

一方、養殖・天然魚の中には1～数日の比較的短期間のうちに上・下流のアンテナを下流方向に通過しているものがあり、こうした個体の一部は川から海に向けた移動（降河回遊）を行った個体の可能性が考えられた（表8）。例えば、次表の3尾は上流側のアンテナを通過後、15分から数時間以内に下流のアンテナを通過していたことから、2021年度の調査法によってPITタグ標識ウナギの川から海への移動がある程度判別できるようになった可能性が考えられる。ただし、これらの実験魚は体サイズや肥満度の値が比較的小さいことからこれらの現象は銀ウナギ化した成熟親魚の降海回遊ではないと考えられる。銀ウナギの降海回遊については今後さらなる検証方法の開発や実証試験を続けることが望まれる。

表8 短期間のうちに上流・下流アンテナを通過した個体の例

種別	PITタグID	上流アンテナ通過日時	下流アンテナ通過日時	標識放流日	全長(mm)	体重(g)	肥満度
天然魚	3DD003DA01777	9/24 4:43'34	9/24 18:08'17	2021/8/24	420	109	1.47
天然魚	3DD003DEECC96	11/3 20:34'19	11/3 20:50'02	2021/11/2	286	27	1.15
養殖魚	3D61533C3D355	10/17 0:01'35	10/17 21:38'57	2020/7/22	255	16	0.96

2. 2. 貝底川における養殖ウナギの遊泳水深、遊泳速度の理解

ニホンウナギの親魚が河川内を回遊（遊泳）する様子は未だ殆ど観察されておらず、降河回遊時の遊泳がどのように行われているかは不明なのが現状である。そこで2021年度はPITタグアンテナ、感度が異なる2種類のPITタグ、および水中カメラを組み合わせてニホンウナギがアンテナ上を通過する際に底～中層のどのレンジを遊泳するか検証することを試みた。この目的のため、実験魚（養殖ウナギ20尾（全長52 - 69 cm））には下図のように頭部と尾部に受信感度が異なる2タイプのPITタグ（HPT23（感度大）、BIO08（感度小））を一本ずつ挿入し（図11）、タグ検出率の差違に基づいて遊泳層が底層付近であるか否かを推察した。PITタグの挿入手術と放流は10月20日に実施し、以降、受信（2022年1月末時点で継続中）と撮影（～11月14日）を行った。

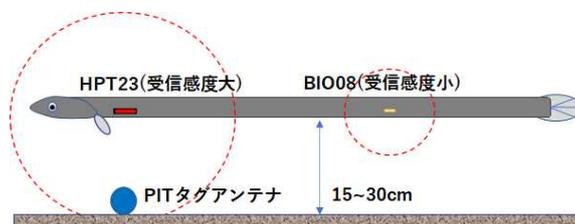


図11 養殖ウナギのPITタグ2本の挿入部位と受信感度。

調査の結果、放流した20尾のうち11尾がアンテナで検出されたが、それらのうちHPT23とBIO08が両方読まれたのは1尾のみであった。残りの10尾では受信感度の高いHPT23タグのみが読み取られた。

HPT23 と BI08 が両方読まれた実験魚 (ID 9) が検出されたのは、放流直後の 10 月 20 日の 23 時 53 分 51 秒から 55 分 37 秒の 106 秒間であった。この間、実験魚は上流側アンテナの上を数回にわたって横切っていたと考えられる (図 12)。このような、比較的狭い範囲で往復移動が繰り返される際には、ウナギは底層付近を遊泳していた可能性が考えられる。

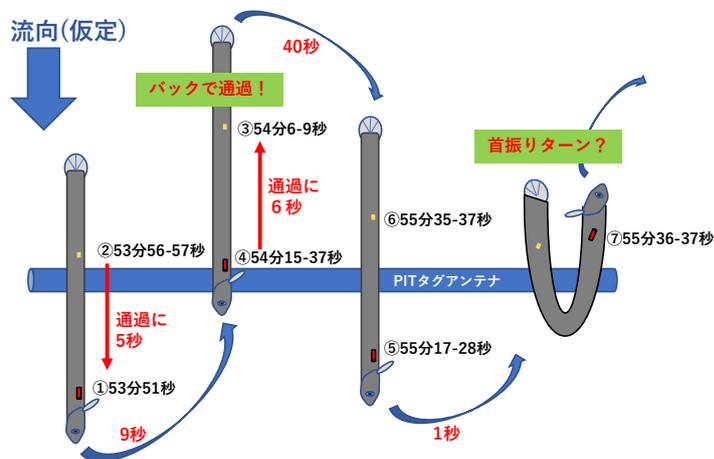


図 12 アンテナの上流側に放流した 20 尾のうち、2 種類の PIT タグ (HPT23 と BI008) がともに受信できた個体のアンテナ上での挙動 (受信結果から推定)。アンテナ上を数往復していたことと、この個体が底層を遊泳していたことが関係している可能性が考えられた。

表 9 2 タイプの PIT タグを装着した養殖ウナギの上・下流アンテナ通過時間

個体ID	PITタグID	降河日	上流アンテナ通過時	下流アンテナ通過時	通過時間	通過速度	全長(mm)	体重(g)	肥満度
12	3D61D59300E68	12月1日	17:55'54	17:57'05	66秒	0.8km/時	571	290	1.56
15	3D61D59300E65	12月1日	17:54'50	17:56'05	65秒	0.8km/時	528	250	1.7
21	3D61D59300EAA	10月21日	13:29'50	13:33'18	148秒	0.4km/時	648	531	1.95

一方、受信感度が高い HPT23 タグのみが検出された 10 尾のうち 3 尾の上流側アンテナでの受信時間は、いずれも 1~数秒間と短かった (表 9)。またこれらのウナギは上流側のアンテナを通過した約 1~4 分後には下流側のアンテナを同じく 1~数秒間程度で通過しており、こうした比較的高速で行われる降河行動の際、ウナギは底層から離れたやや中層域を遊泳する可能性が示唆された。しかし、中にはウナギがアンテナ上を斜めに横切ることや、体をくねらせながら通過することで HPT23 タグが BI08 タグに干渉を起こし、BI08 タグが十分に読み取られなくなるケースもあったと考えられる。よって、PIT タグを 2 種類装着する本実験では今後も室内実験や次述する水中カメラ撮影などを組み合わせてさらに検証を行う必要があると考えられた。

なお、これらの実験魚の上・下流アンテナ間の移動速度はおおよそ 0.15~0.8 km/時と算出された。また、参考に、12 月 1 日に 2 尾が降河行動を示した 17 時 50 分台は満潮から潮位が下がり始める時間帯であり、10 月 21 日の 14 時 30 分台は潮位が下がりきる干潮の時間帯に相当した。また、12 月 1 日は月齢が新月に近く、10 月 21 日は満月に近かった。さらに、12 月 1 日と 10 月 20 日の前

日にはそれぞれ 20 mm、8 mm 程度の降水があった。これらのことから、ウナギの降河行動は満月、または新月の満潮から干潮にかけての時間帯、加えてその直前に降雨があるような条件下で起こりやすくなる可能性も考えられた。

なお、本年度は上記のニホンウナギの遊泳の様子を撮影する目的で 10 月 20 日から 11 月 14 日まで下流側アンテナ付近に水中カメラを一台設置したが、ウナギの行動の多くは夕刻から深夜の暗期の時間帯に集中したこともあり、これらを撮影することには成功しなかった。以下の図 13 では本カメラの明期の解像度の確認のため参考としてウナギ以外の魚類の撮影結果を載せる。次年度は赤外線ライトを搭載するなど暗期の撮影方法を開発し、実際にウナギがどのような遊泳層を泳ぐのかをさらに検証したい。



図 13 下流側のアンテナ付近で撮影されたウナギ以外の魚類。

3. ドローンによる小河川の3次元測量技術開発

2021年度は、滋賀県淀川水系（琵琶湖流入河川）の愛知川、姉川（図2、14）をモデル河川としてドローンによる3次元測量技術開発を行った。この取り組みでは将来的にニホンウナギが多く分布する川としない川の河川形態や河床等の微地形のデータを集積し、養殖ウナギの効果的な放流河川や放流地点、放流方法の選択や天然ウナギの保全に反映させる計画である。2021年度はそのためのパイロット研究として既報に基づき、アユの成魚が多く生息するが産卵魚があまり見られない淀川水系愛知川、アユの成魚は多く生息しないが産卵親魚が多く見られる姉川をモデルとして河川形態や微地形の比較の実証実験を行った。

2021年11月29～31日、両河川の調査区間内定点にGPSデータで補正した簡易水準点を一定間隔で設置した。その後、調査区間内でドローン（Phantom 4pro、DJI社）を一定ピッチで数往復させることで撮影した複数の画像をMetashape software（Agisoft社）で合成して3次元測量画像を作成し、以降の解析に供した。

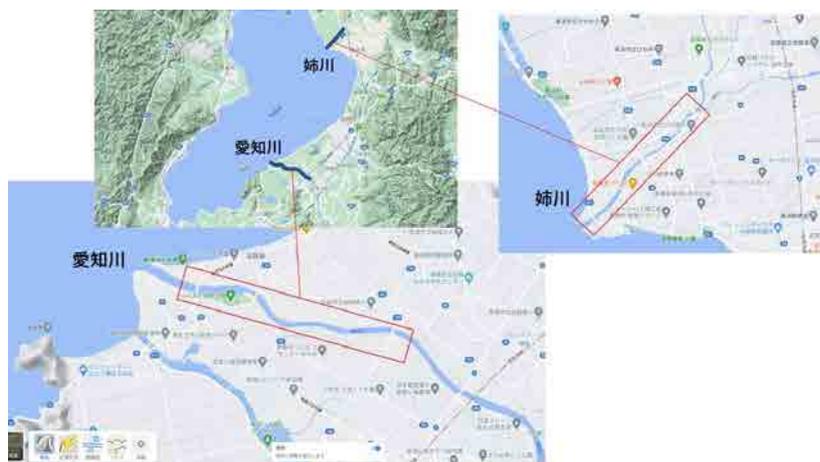


図14 調査地点（滋賀県淀川水系愛知川、姉川）。

2021年度は実際にドローンで詳細な3次元測量画像が作成できることが確認された（図15～17）。また簡易水準点と紐付けることで各地点の標高データを示すことができ（図18）、さらにこれらのデータを連続取得することで調査エリアの河床の起伏を含む、詳細な起伏・勾配図を作成することに成功した。今後、この技術を天然ウナギが多く分布する河川や区間の3次元測量に資することでウナギの好適な生息環境を定性的に明らかにし、養殖ウナギの放流や天然ウナギの人工生息域の創出等に应用可能か検証する計画である。

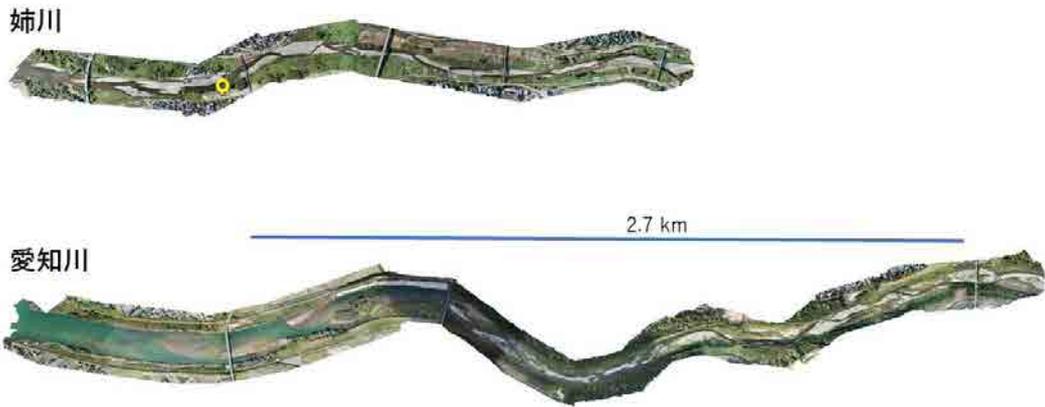


図15 姉川（上段）、愛知川（下段）の全体像（オルソ画像）。スケールバーは2.7 km。

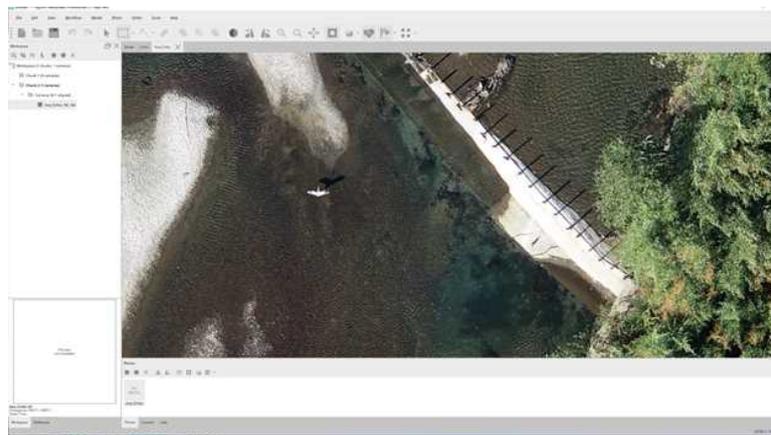


図16 姉川の下流部（図15の黄丸部分）の拡大画像と解像度。中央付近に水鳥（サギ類）が視認できる。

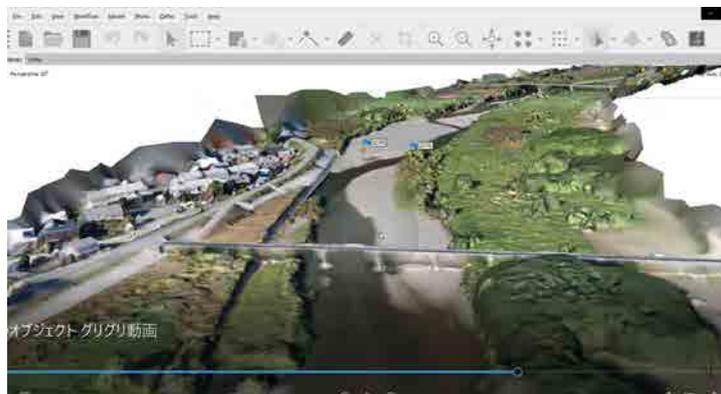


図17 姉川の3次元測量画像をソフト上で立体的に動かして鳥瞰している様子。

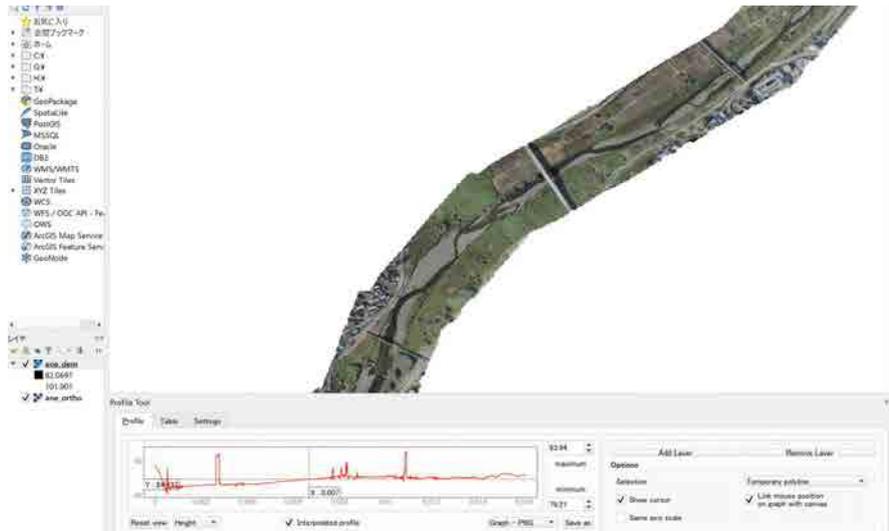


図18 姉川の3次元測量画像から河床の標高（河床勾配）を抽出している様子。下段の赤い線が河床の標高で、数値が大きく跳ね上がっているところは橋の道路面の標高を表している。

課題と対応策：

花渡川では平成26～27年度養殖放流群の今年度の再採捕はなく、放流後5年程度が経つと実験魚の追跡が困難になると考えられた。川の規模に対し、放流数が少なかったことも要因と考えられる。また、調査用漁具の周囲に遊漁者のものと思われる竹筒等が多数仕掛けられるようになり、標識ウナギが漁獲されている可能性も考えられた。本県では親ウナギを保護するため漁業調整委員会指示で10月から2月まで全面禁漁となっているが、3月から9月までは全長21cmを超えるウナギの捕獲は自由であるため、対応に苦慮しているところである。

貝底川では、2台のPITタグアンテナと2種類のPITタグを用いることで放流ウナギの遊泳行動の種類や方向性、遊泳層の検証が進みつつあるが、さらに詳細に検討するためには放流後も竹筒での再捕獲による成長や銀化のモニターや水中カメラも併用した行動解析が必要と考えられる。

次年度計画：

花渡川では、基本的に今年度と同様の調査を継続する。小型定置網による調査は、今年度は11～1月に実施したが、これまでの銀ウナギの採捕状況から9～12月に変更する計画である。また、過去の調査結果から、銀ウナギが多く採捕されているSt.1とSt.4に9～12月の期間、竹筒を追加設置する。

貝底川のアンテナ調査では、河口域に設置した2台のアンテナに加えてポータブル型のハンディPITタグアンテナや船に設置して河川内を移動可能なラフトボート型アンテナを投入し、ウナギのアンテナ周囲での生息分布範囲をより詳しく調べる計画である。また2種類のPITタグと併用する水中カメラに赤外線・可視光水中ライトを付して撮影するなどして、水中を泳ぐ様々なステージのウナギの遊泳層や行動様式の解析を目指す計画である。

令和2年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告書

課題番号	ウ	事業実施期間	令和3年度
課題名	産卵回遊が期待できるニホンウナギの作出		
担当者	長島大四郎（日本養鰻漁業協同組合連合会）		

背景：近年、ニホンウナギの稚魚（シラスウナギ）の採捕量は低水準にあり、平成26年6月には国際自然保護連合（IUCN）のレッドリストに絶滅危惧IB類として掲載されるなど、ニホンウナギの資源の増大が急務となっている。こうした中、各地で資源増大を目的とした放流が行われ、漁獲量の増加及び漁業者の収入増加につながっている地域もある。しかしながら、ニホンウナギの生態には不明な点が多く、放流したニホンウナギがどの程度生き残っているのか、産卵に参加しているのかといった知見はほとんどない状況である。そのため、ニホンウナギの生態について得られた知見を順次取り入れていき、ウナギの資源管理を推進していく必要がある。

目的：産卵に寄与するニホンウナギの資源増大に資する種苗の育成及び放流手法の開発につなげ得る知見を集積する。

方法：同サイズの個体を用いて、加温と無加温の養殖池で飼育試験を行う。

当該年度計画：人為的雌化技術ならびに性分化に影響する環境・生理的要因を検討するためのデータを収集する。

結果概要：

(i) 実際の養殖池を用いて加温・無加温の飼育試験を行う予定であったが、試験に適した小型池を所有している生産者がおらず、飼育試験を行う水産資源研究所日光庁舎及び静岡県水産・海洋技術研究所が要望する個体について、会員組合に照会し手配を行った。

(ii) 手配個体の飼育履歴は、令和2年3月に国産のシラスウナギを導入、鹿児島県大隅地区の養殖池（淡水、水温30℃）で、1年10カ月飼育したものである。

(iii) 日光庁舎からの指定に即して、2尾/kgサイズの個体を、令和3年12月に、水産資源研究所 日光庁舎向けに140尾(70kg)及び静岡県水産・海洋技術研究所向けに140尾(70kg)と計280尾(140kg)の提供を行った。