

令和 6 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 6 年度
課 題 名	産卵場に向かうニホンウナギの由来判別		
担 当 者	白井厚太郎、板倉 光、脇谷量子郎（東京大学大気海洋研究所）		

令和 6 年度の成果の要約：産卵場に向かうニホンウナギが天然加入又は放流由来かを判別するため、今年度は、本事業によりこれまでに採集された 118 個体のニホンウナギについて、耳石酸素・炭素安定同位体分析を実施し、分析結果を課題イに提供した。また、経験環境履歴を推定する手法の高度化のため、眼球の炭素・窒素安定同位体比を用いた放流判別法について検討した。その結果、データを拡充した本年度の検討においても、昨年度同様、養殖個体と天然個体の間の水晶体炭素・窒素同位体比が異なることが確認された。また、天然・養殖個体共に産地ごとにまとめた同位体比を示したことから、水晶体の炭素・窒素安定同位体比による地域レベルの餌や生息環境の推定可能性が示唆された。

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 I B 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。

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／天然の判別が可能となった。

課題実施計画

（1）全体計画

目的：天然水域におけるニホンウナギの天然加入又は放流の由来判別のための分析を実施する。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。

方法：課題エ「ニホンウナギ、アユ、ワカサギ及びイワナ等の溪流魚の生息環境調査・

分析、資源の増殖手法等の検討」①「ニホンウナギの資源増殖手法の高度化」②「ニホンウナギの資源増殖の費用対効果」等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のための分析を行う。また、判別手法の高度化、及び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を行う。

期待される成果：産卵回遊に向かうニホンウナギについて、微量元素・安定同位体比に基づく個体ごとの履歴情報が明らかとなる。

（２）当該年度の計画

目的：天然水域におけるニホンウナギの天然加入又は放流の由来判別のための分析を実施する。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。

方法：課題エ「ニホンウナギ、アユ、ワカサギ及びイワナ等の溪流魚の生息環境調査・分析、資源の増殖手法等の検討」①「ニホンウナギの資源増殖手法の高度化」②「ニホンウナギの資源増殖の費用対効果」等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及び分析を進める。耳石などの分析等を行い、判別個体の経験環境履歴を推定する手法を検討する。眼球などの分析等を行い、判別手法の簡便化、判別率の高精度化に資する手法を検討する。

放流判別のための分析は、以下の方法によって行った：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。分析結果は課題イの判別モデルによる天然加入／放流の判別に提供する。

眼球の水晶体は、タンパク質のクリスタリンを主成分とし（Wistow & Piatigorsky 1988）、一度形成された水晶体の組織は代謝で入れ替わることがなく、体成長にしたがい成長し層状の構造を形成する（Nicol 1989）。したがって、水晶体の中心部から外側に向かって生態履歴の指標となる微量元素・安定同位体を分析することで、過去から直近までの連続的な情報の復元が可能となる（Wallace et al. 2014）。近年、魚類の水晶体微量元素・安定同位体比分析により、魚類の生活史を通じた地理的・食物網的履歴に関する知見の集積が急速に進んでいる（e.g. Tzadik et al. 2017; Bell-Tilcock et al. 2021）。現状、ウナギの放流判別法は耳石の情報のみを利用しているが、水晶体は耳石からは得られない相補的な情報（例えば、窒素安定同位体比の時系列情報等）を含むと考えられる。そのため今回、放流判別法の高度化を目的とし、水晶体の炭素窒素安定同位体比分析による放流判別法への応用可能性の検討を実施した。令和５年度に作成したニホンウナギ天然個体（栃木県、新潟県、静岡県）及び養鰻場の養殖個体・放流用種苗（千葉県、静岡県、宮崎県、鹿児島県）の標本（ $n=101$ ）による全長と水晶体直径の直線回帰式（水晶体直径

(mm) = 0.0044 × 全長(mm) + 0.013, $r^2 = 0.74$, $p < 0.001$) (白井ら 2024) より、天然個体については放流用種苗の想定される体サイズ (全長 300 mm) に相当する直径 (1 mm) 程度まで、水晶体の層を剥き乾燥重量 1 mg 程度の試料とし、養鰻場の養殖個体については全層を試料とし、炭素窒素安定同位体比分析に供した。

結果：今年度の分析では、ニホンウナギが天然加入個体又は放流個体であるかの判別を目的としてこれまでに作成が完了したニホンウナギ標本 (n = 118) の耳石試料について、新たに酸素・炭素安定同位体分析を実施した。青森県で採集されたニホンウナギ (n = 69) の耳石酸素安定同位体比 (‰: 平均±標準偏差) は、 -8.15 ± 1.00 (範囲: $-8.99 \sim -2.16$) であり、炭素安定同位体比は、 -9.65 ± 1.86 (範囲: $-15.76 \sim -5.78$) であった。静岡県で採集されたニホンウナギ (n = 49) の耳石酸素安定同位体比は、 -5.63 ± 1.49 (範囲: $-8.00 \sim -2.32$) であり、炭素安定同位体比は、 -9.90 ± 2.69 (範囲: $-16.12 \sim -6.07$) であった。これら安定同位体比については、放流判別のため、課題Ⅰに分析データを提供した (表 1)。

表1. R6年度ニホンウナギの耳石酸素炭素安定同位体比分析結果

県	採集地	採集年	個体数	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)				$\delta^{13}\text{C}$ (‰)			
				平均	標準偏差	最小	最大	平均	標準偏差	最小	最大
青森県	高瀬川	2022	7	-8.06	0.74	-8.68	-6.50	-9.35	2.26	-13.23	-7.28
	姉沼	2022	3	-8.56	0.29	-8.88	-8.31	-13.63	3.00	-15.76	-10.20
	小川原湖	2019	20	-8.28	0.27	-8.84	-7.90	-10.01	1.45	-13.18	-7.17
		2020	1	-8.71				-7.42			
	大沼川	2022	26	-8.30	1.27	-8.99	-2.16	-8.95	1.56	-13.44	-5.78
		2020	1	-8.70				-11.23			
		2022	1	-8.72				-11.05			
	内沼	2019	2	-8.16		-8.38	-7.95	-9.23		-9.74	-8.71
	泊海岸	2022	4	-6.11	0.78	-6.66	-5.00	-9.23	1.58	-10.46	-6.92
	放流用種苗	2019	3	-8.36	0.33	-8.71	-8.07	-9.88	0.34	-10.27	-9.68
	北金ヶ沢沖	2022	1	-7.15				-11.63			
	県計		69	-8.15	1.00	-8.99	-2.16	-9.65	1.86	-15.76	-5.78
静岡県	都田川	2022	1	-6.40				-12.29			
	浜名湖	2022	48	-5.62	1.50	-8.00	-2.32	-9.85	2.69	-16.12	-6.07
	県計		49	-5.63	1.49	-8.00	-2.32	-9.90	2.69	-16.12	-6.07

水晶体の炭素・窒素安定同位体比分析には、昨年度分析した個体のデータ (白井ほか 2024: 養殖 n = 37、天然 n = 9) とあわせ、これまでに、放流前の養殖個体 (n = 127) と放流が行われていない河川及び湖沼で主に採捕された天然個体 (n = 91) を供した。分析の際の標準試料の標準偏差は各回で $\delta^{13}\text{C}$: 0.30 ‰以下, $\delta^{15}\text{N}$: 0.60 ‰以下であった。分析の結果、炭素・窒素安定同位体比は養殖個体で $\delta^{13}\text{C}$: $-18.72 \sim -16.44$ 、 $\delta^{15}\text{N}$: $10.18 \sim 17.64$ 、天然個体で $\delta^{13}\text{C}$: $-28.00 \sim -13.06$ 、 $\delta^{15}\text{N}$: $2.52 \sim 12.18$ であった。養殖個体は天然個体と比べて、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 共に高い傾向がみられた。一方、天然個体は養殖個体と比べて分布のばらつきが大きい傾向がみられ、特に、養殖個体の $\delta^{13}\text{C}$ はばらつきが小さかった (図 1)。したがって、データを拡充した本年度の検討においても、昨年度同様、養殖個体と天然個体の間の同位体比が異なることが確認された。また、天然・養殖個体共に産地ごとにまとめた同位体比を示したことから、水晶体の炭素・窒素の同位体比から

餌や生息環境の違いを地域レベルで推定できる可能性が示された。

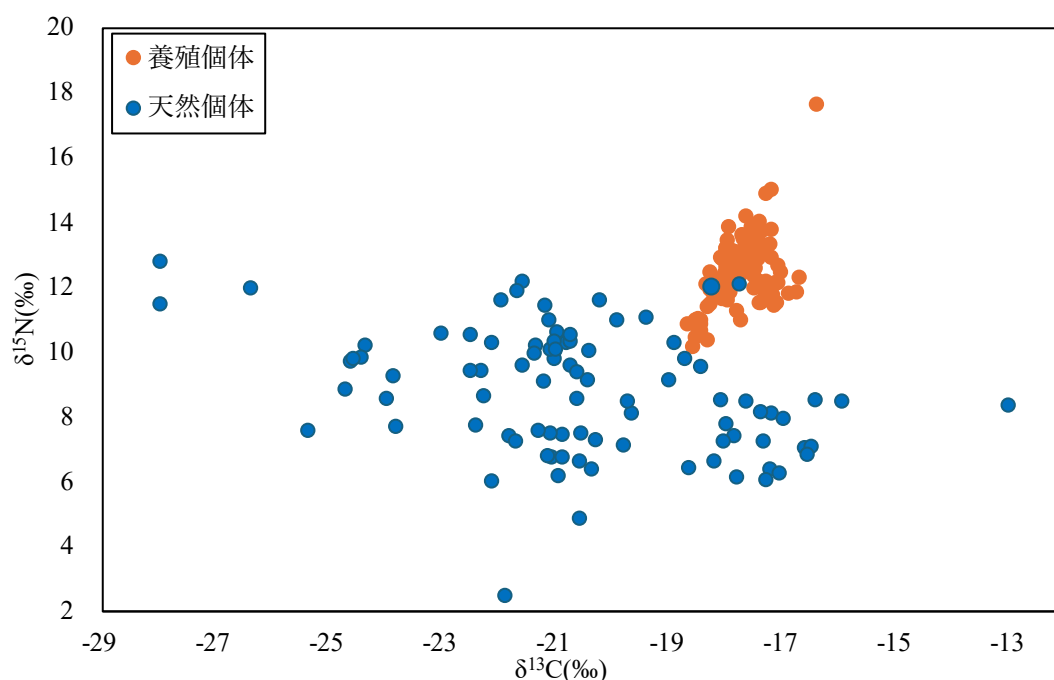


図 1. 由来既知のニホンウナギ水晶体の炭素・窒素安定同位体比(●養殖個体、●天然個体)。

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。

今後、放流判別精度のより一層の向上のためには、本課題で示された眼球の水晶体の炭素窒素安定同位体比についても、判別モデルの作成、餌料や筋肉の炭素窒素安定同位体比との関係の把握を進め、従来の耳石による分析結果との対応を検討する必要があるものと考えられる。

次年度計画：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に、継続して試料の作成を進め、耳石酸素・炭素安定同位体分析を実施し、データの蓄積を進める。また、ニホンウナギの経験環境履歴を推定する手法について検討を進める。

引用文献

- Bell-Tilcock M, Jeffres CA, Rypel AL, Sommer TR, Katz JVE, Whitman G, et al. 2021. Advancing diet reconstruction in fish eye lenses. *Methods Ecol. Evol.* **12**: 449–457.
- Bentley RA. 2006. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *J. Archaeol. Method. Theory* **13**: 135–187.
- Itakura H, Arai K, Kaifu K, Shirai K, Yoneta A, Miyake Y, Secor DH, Kimura S. 2018. Distribution of wild and stocked Japanese eels in the lower reaches of the Tone River catchment revealed by otolith stable-isotope ratios. *J. Fish Biol.* **93**: 805–813.

- Kaifu K, Itakura H, Amano Y, Shirai K, Yokouchi K, Wakiya R, Murakami-Sugihara N, Washitani I, Yada T. 2018. Discrimination of wild and cultured Japanese eels based on otolith stable isotope ratios. *ICES J. Mar. Sci.* **75**: 719–726.
- Kennedy BP, Folt CL, Blum JD, Chamberlain CP. 1997. Natural isotope markers in salmon. *Nature* **387**: 766–767.
- McArthur JM 1994. Recent trends in strontium isotope stratigraphy. *Tera Nova* **6**: 331–358.
- Nicol JAC. 1989. *The Eyes of Fishes*. Clarendon Press; Oxford University Press, Oxford, UK.
- 白井厚太郎, 板倉 光, 矢田 崇, 福田野歩人, 横内一樹. 2024. 課題ア 産卵場に向かうニホンウナギの由来判別. 令和 5 年度水産庁委託「資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業」報告書.
- Tzadik OE, Curtis JS, Granneman JE, Kurth BN, Pusack TJ, Wallace AA, et al. 2017. Chemical archives in fishes beyond otoliths: a review on the use of other body parts as chronological recorders of microchemical constituents for expanding interpretations of environmental, ecological, and life-history changes. *Limnol. Oceanogr. Methods* **15**: 238–263.
- Wallace AA, Hollander DJ, Peebles EB. 2014. Stable isotopes in fish eye lenses as potential recorders of trophic and geographic history. *PLoS One* **9**: e108935. doi: 10.1371/journal.pone.0108935
- Wistow GJ, Piatigorsky J. 1988. Lens crystallins: the evolution and expression of proteins for a highly specialized tissue. *Annu. Rev. Biochem.* **57**: 479–504.

令和 6 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 6 年度
課 題 名	産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握		
担 当 者	横内一樹、福田野歩人（水産研究・教育機構）、 大戸夢木（愛媛大学）		

令和 6 年度の成果の要約：今年度は、産卵場に向かうニホンウナギが天然加入又は放流由来かを判別するため、本事業により採集された 118 個体のニホンウナギについて、耳石酸素・炭素安定同位体分析による放流判別分析を実施した。その結果、放流由来のニホンウナギの産卵回遊への参加状況、及び今年度新たに確認された 3 個体の放流に由来する産卵回遊開始個体（銀化ステージ：Y2）の生物学的特性について明らかとなった。また、産卵回遊開始個体のサンプル確保を目的とし、本種の漁獲量が多い高知県四万十川における採集調査を実施し、140 個体の銀ウナギ（S1, S2）を得た。

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 I B 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。

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／天然の判別が可能となった。

課題実施計画

（1）全体計画

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し、放流個体が産卵回遊に参加しているかを調査する。

方法：課題エ「ニホンウナギ、アユ、ワカサギ及びイワナ等の溪流魚の生息環境調査・分析、資源の増殖手法等の検討」①「ニホンウナギの資源増殖手法の高度化」②「ニホンウナギの資源増殖の費用対効果」等において採集されたニホンウナギについて、課題

ア「産卵場に向かうニホンウナギの由来判別」と共同で、天然加入個体又は放流個体であるかの判別を行うことにより、放流したニホンウナギの産卵回遊状況の把握を進める。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実態を把握する。

期待される成果：産卵回遊に向かうニホンウナギについて、放流に由来する個体の回遊状況とその生物学的特性等の実態が明らかとなる。

（２）当該年度の計画

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し、放流個体が産卵に参加しているかを調査する。

方法：課題エ「ニホンウナギ、アユ、ワカサギ及びイワナ等の溪流魚の生息環境調査・分析、資源の増殖手法等の検討」①「ニホンウナギの資源増殖手法の高度化」②「ニホンウナギの資源増殖の費用対効果」等において採集されたニホンウナギ標本を用いた課題ア「産卵場に向かうニホンウナギの由来判別」による安定同位体比分析結果から天然加入／放流の判別を行う。あわせて、天然水域における放流由来個体が確認された場合、その生物学的特性について、課題エ「ニホンウナギ、アユ、ワカサギ及びイワナ等の溪流魚の生息環境調査・分析、資源の増殖手法等の検討」①「ニホンウナギの資源増殖手法の高度化」②「ニホンウナギの資源増殖の費用対効果」等の天然加入個体のものと比較する。

また、放流個体の繁殖への貢献度を把握するためには、同一河川において定量的に採捕された産卵回遊開始個体を対象に天然／放流個体の比率を求めることも重要である。そこで本年度は、これまでサンプルを得られていないが、まとまった数のサンプルの確保が期待できる大河川として高知県四万十川を選定し、天然／放流判別のためのサンプル確保を目的とし、ニホンウナギの採集調査を実施した。

放流判別は、以下の方法によって行った：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。次に、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、ランダムフォレストを用いた判別モデル（Kaifu et al. 2018; Itakura et al. 2018）により、判別確率により個体ごとに放流／天然／判別不可として判別した。尚、ここでは銀化ステージ Y2~S2 の個体を産卵回遊開始個体とした。

結果：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、課題アと共同で、本事業により採集されたニホンウナギ標本を用いた耳石試料の作成及び酸素・炭素安定同位体分析を実施した。今年度は、118 個体のデータを得て、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。その結果、調査対象水域において採集された放流に由来する個体（判別確率 90%以上）24 個体を確認することができた（図 1、図 2、表 1）。そのうち、銀化ステージ Y2~S2 の個体（産卵回遊開始個体）は、Y2 ステージで 3 個体（青森県大沼川 2 個体、静岡県浜名湖 1 個体）を新たに確認することができた（図 1、表 1）。

水域ごとにみると、青森県では、高瀬川・小川原湖で採集された個体のうち、16 個体が放流由来、26 個体が判別不可、12 個体が天然加入と判別された。大沼川、内沼、姉沼では、それぞれ 2 個体、1 個体、1 個体が放流と判別された（図 1、図 2、表 1）。泊海岸及び北金ヶ沢沖には、放流と判別された個体は出現せず、全て天然加入個体と判別された（図 1、図 2、表 1）。また、放流用種苗の平均耳石酸素安定同位体比（‰）は、-8.36 であり、炭素安定同位体比は、-9.88 であった。静岡県では、浜名湖（新川）で採集された個体のうち 1 個体が放流由来、2 個体が判別不可となった（図 1、図 2、表 1）。都田川で採集された 1 個体は、天然加入と判別された（表 1）。

表 1. ニホンウナギの耳石酸素・炭素安定同位体比による放流天然判別結果.

県	採集地	採集年	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	2022	3	S2	732.7	-8.51	-9.94	0.57	判別不可
			4	Y2~S2	769.3	-7.73	-8.91	0.02	天然加入
	姉沼	2022	1	Y1	247.0	-8.88	-10.20	1.00	放流由来
			2	Y1	349.5	-8.40	-15.34	0.02	天然加入
	小川原湖	2019	10	Y1	475.1	-8.24	-9.97	0.98	放流由来
			7	Y1	469.4	-8.28	-8.82	0.45	判別不可
			3	Y1	340.3	-8.44	-12.92	0.04	天然加入
		2020	1	Y1	782.0	-8.71	-7.42	0.35	判別不可
		2022	6	Y1	431.8	-8.70	-10.06	0.98	放流由来
			15	Y1~Y2	552.1	-8.56	-8.67	0.35	判別不可
			5	Y1~S2	579.8	-7.04	-8.43	0.04	天然加入
	大沼川	2020	1	Y2	715.0	-8.70	-11.23	0.98	放流由来
		2022	1	Y2	781.0	-8.72	-11.05	1.00	放流由来
	内沼	2019	1	Y1	479.0	-7.95	-9.74	0.91	放流由来
			1	Y1	194.0	-8.38	-8.71	0.16	判別不可
	泊海岸	2022	4	Y1	282.0	-6.11	-9.23	0.00	天然加入
	放流用種苗	2019	3	Y1	427.7	-8.36	-9.88	0.95	放流由来
	北金ヶ沢沖	2022	1	S2	717.0	-7.15	-11.63	0.00	天然加入
静岡県	都田川	2022	1	Y1	570.0	-6.40	-12.29	0.00	天然加入
	浜名湖	2022	1	Y2	721.0	-7.92	-10.11	1.00	放流由来
			2	S1	642.5	-7.56	-11.07	0.48	判別不可
			45	Y2~S2	668.9	-5.48	-9.79	0.00	天然加入

注：表中の全長、同位体比、判別確率の数値は平均値、判別確率は放流由来と判別される場合の確率。

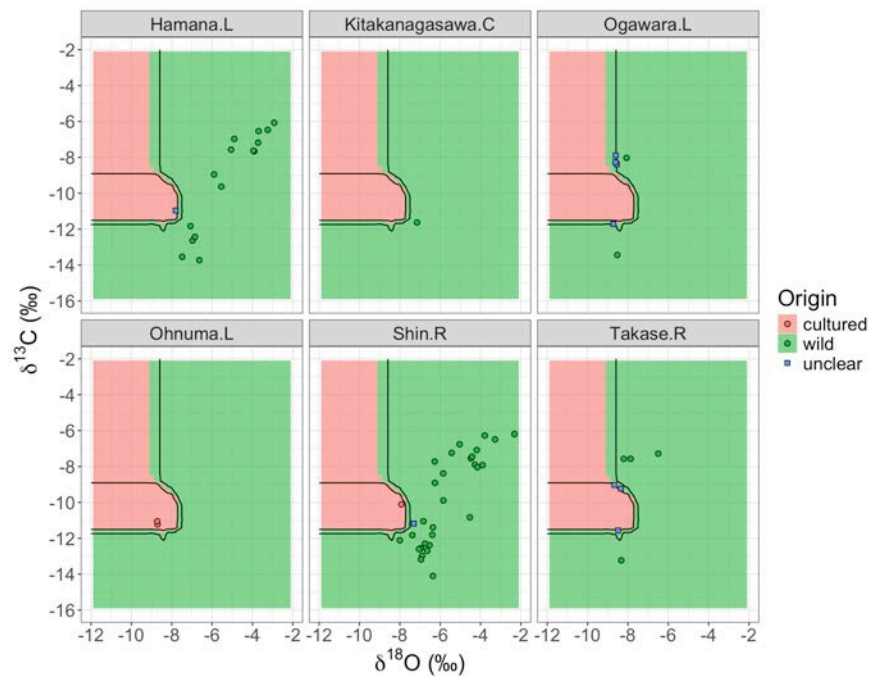


図 1. 地点ごとのニホンウナギ産卵回遊開始個体 (stage:Y2~S2) の耳石酸素・炭素同位体比 (n = 64) . 教師データ: (●) 養殖, (▲) 天然; 分析データ: (●) 天然, (■) 判別確率<90%, (●) 放流由来. (—) 判別確率 70%. 赤のエリアは放流の判別確率>50%, 緑は天然の判別確率>50%.

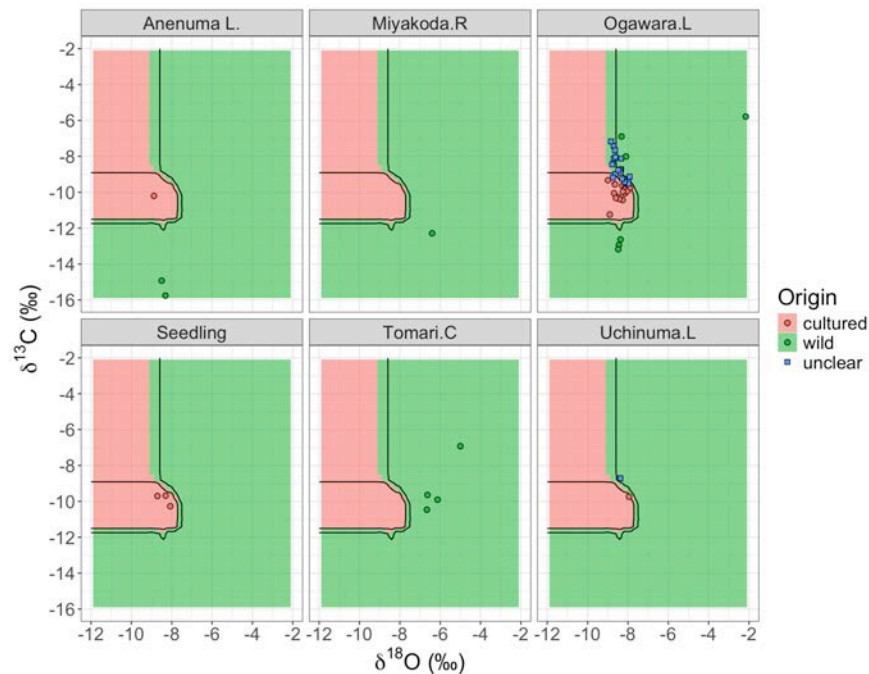


図 2. 地点ごとの成長期のニホンウナギ (stage:Y1) の耳石酸素・炭素同位体比 (n = 54) . 表記は図 1 と同様.

調査対象水域において今年度確認された放流に由来する産卵回遊開始個体の生物学的特性をみると、青森県大沼川では2個体共に全長700mm以上の銀化ステージY2の雌個体であり、肥満度は小川原湖の天然加入個体と遜色なかったものの、GSIはY1と同程度であった(表2)。静岡県浜名湖で採集された放流由来の1個体は、全長721mmの銀化ステージY2の個体であった(表2)。放流由来と判別された成長期Y1の個体は、すべて雌であった(表2)。

表2. 採集したニホンウナギにおける由来ごとの生物学的特性

県	採集地	採集年	ステージ	個体数	全長	肥満度	FI	EI	HSI	GI	性別	GSI	判別結果
青森県	高瀬川	2022	S2	3	732.7	0.16	4.93	0.04	1.40	0.57	雌	1.99	判別不可
			Y2~S2	3	815.7	0.15	4.97	0.04	1.33	1.20	雌	1.88	天然加入
			S1	1	630.0	0.17	5.02	0.04	1.21	0.53	雄	0.36	天然加入
	姉沼	2022	Y1	1	247.0	0.08	2.83	0.01	-	-	-	-	放流由来
			Y1	2	349.5	0.12	3.65	0.02	1.58	2.00	雌	0.35	天然加入
	小川原湖	2019	Y1	10	475.1	0.13	3.76	0.03	1.73	3.13	雌	0.30	放流由来
			Y1	6	466.3	0.13	3.92	0.03	1.78	2.70	雌	0.35	判別不可
			Y1	1	488.0	0.10	4.41	0.03	1.12	1.94	雄	0.08	判別不可
			Y1	2	356.0	0.19	3.49	0.02	0.94	1.69	雌	0.14	天然加入
			Y1	1	309.0	0.10	3.62	0.02	0.93	2.07	-	-	天然加入
		2020	Y1	1	782.0	0.14	4.58	0.03	1.86	2.56	雌	1.12	判別不可
			Y1	6	431.8	0.13	3.52	0.02	1.90	2.51	雌	0.25	放流由来
		2022	Y1	8	487.9	0.14	3.86	0.02	1.81	2.39	雌	0.41	判別不可
			Y1	3	470.7	0.13	3.83	0.02	1.75	2.59	雄	0.08	判別不可
			Y2	4	741.5	0.19	4.72	0.04	1.25	1.88	雌	1.24	判別不可
			Y2~S2	2	719.0	0.16	4.23	0.03	1.47	1.30	雌	1.93	天然加入
			Y1	2	472.0	0.13	4.08	0.02	1.57	2.28	雌	0.32	天然加入
			Y1	1	517.0	0.16	4.70	0.03	1.42	2.06	雄	0.17	天然加入
	大沼川	2020	Y2	1	715.0	0.13	4.00	0.04	1.21	2.75	雌	0.31	放流由来
		2022	Y2	1	781.0	0.19	4.52	0.04	1.58	3.71	雌	0.38	放流由来
	内沼	2019	Y1	1	479.0	0.13	4.36	0.02	1.96	2.83	雌	0.65	放流由来
			Y1	1	194.0	0.09	3.14	0.01	-	-	-	-	判別不可
	泊海岸 放流用稚苗	2022	Y1	4	282.0	0.11	3.96	0.01	1.62	2.57	-	-	天然加入
		2019	Y1	2	416.5	0.13	2.73	0.02	1.04	-	雄	0.02	放流由来
			Y1	1	450.0	0.11	-	-	-	-	雌	-	放流由来
	北金ヶ沢沖	2022	S2	1	717.0	0.10	5.33	0.04	1.60	0.55	雌	3.14	天然加入
静岡県	都田川	2022	Y1	1	570.0	0.11	4.56	0.04	1.30	1.74	雌	0.77	天然加入
			Y2	1	721.0	0.14	5.32	0.06	-	-	-	-	放流由来
	浜名湖	2022	S1	1	625.0	0.16	5.44	0.07	1.32	0.42	雌	3.76	判別不可
			S1	1	660.0	0.14	5.15	0.07	1.40	0.43	雄	0.29	判別不可
			Y2~S1	36	676.6	0.15	5.25	0.07	1.17	0.45	雌	2.86	天然加入
			S1~S2	5	568.8	0.15	5.38	0.07	1.31	0.42	雄	0.36	天然加入
			Y2~S1	4	724.3	0.17	5.39	0.07	-	-	-	-	天然加入

放流個体の繁殖への貢献度の把握に向けて、同一河川において採捕されたまとまった数の産卵回遊開始個体を対象に、その中の天然/放流個体の比率を求めることを目的とし、高知県四万十川におけるニホンウナギの採集調査を実施したところ、天然/放流判別に供することができる140個体の銀ウナギ標本を得ることができた。

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。

引き続き、採集・試料作成・同位体分析を実施し、サンプル・データの拡充を図り、放流個体の生物学的特性の定量的把握を行うことが重要であると考えられる。

次年度計画：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、産卵に参加している放流個体についての生物学的特性のより詳細な把握のために、データの蓄積を進める。また、今年度本課題で採捕されたサンプルについても検討を進める。

引用文献

- Itakura H, Arai K, Kaifu K, Shirai K, Yoneta A, Miyake Y, Secor DH, Kimura S. 2018. Distribution of wild and stocked Japanese eels in the lower reaches of the Tone River catchment revealed by otolith stable-isotope ratios. *J. Fish Biol.* **93**: 805–813.
- Kaifu K, Itakura H, Amano Y, Shirai K, Yokouchi K, Wakiya R, Murakami-Sugihara N, Washitani I, Yada T. 2018. Discrimination of wild and cultured Japanese eels based on otolith stable isotope ratios. *ICES J. Mar. Sci.* **75**: 719–726.

令和 6 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 6 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	須藤竜介、福田野歩人、安池元重、馬久地みゆき、本郷悠貴、相馬智史、朝倉大河、阿部倫久、畠山類（水産研究・教育機構）、吉川昌之、鈴木進二（静岡県水産・海洋技術研究所）、脇谷量子郎（東京大学）、日本養鰻漁業協同組合連合会		

令和 6 年度の成果の要約：養殖ウナギと天然ウナギの差異を明らかにするために、浜名湖及びその流入河川、琵琶湖、養鰻場でサンプリングを実施し、解析サンプルを得た。得られたサンプルを解剖したところ、養鰻ウナギは天然ウナギよりも成長が良く、頭部が小さいなどの差異があることが明らかとなった。また組織学的解析から、養殖ウナギの卵巢は油球期の個体が多く、肝臓にグリコーゲンをより蓄積している傾向が認められた。露地池に放流した養殖ウナギの成長、残存、銀化状態を明らかにするために、定期的な捕獲調査を実施した。また、これらの一部を低温海水処理して、銀化誘導に対する反応を調べた。露地池での成長は、新池と旧池共に、ヒネ（低成長個体）や新仔（通常成長個体）、新仔雌（雌化した通常成長個体）が、3P（約 330g の大型個体）よりも速い傾向にあった。年間残存率は、旧池（12.5%）が新池（8.5%）よりも高い傾向にあったが、1 平米あたりでは近い値となった。銀化指数の季節推移から、銀化の兆候は 7 月には既に認められるが、8～9 月には一旦退行することが示唆された。低温海水処理により、18.9%の個体で銀化個体（S0, S2 期）が得られた。処理に対する反応には、雌雄差があることが示唆された。銀化指数と生殖線の発達段階で見たところ、雄ではそれらが後退した個体は認められなかったが、雌では一部の個体で後退が認められた。

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 I B 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）全体計画

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

方法：天然ウナギ及び養殖ウナギの生理状態を比較し、天然ウナギと遜色ない生理状態の養殖ウナギの作出法を開発する。同時に、銀化機構を調べ、養殖ウナギへの銀化誘導技術を開発し、養殖由来の銀ウナギ放流法の可否を調べる。

期待される成果：産卵に寄与しうるニホンウナギ種苗の育成及び放流手法が明らかとなる。

（２）当該年度の計画

目的：天然ウナギと養殖ウナギの比較解析のためのサンプリングを実施すること、また半自然環境における粗放的飼育が養殖ウナギに与える影響を調べることも目的とする。

方法：

天然ウナギと養殖ウナギの比較

2024 年 7～11 月にかけて浜名湖及び浜名湖流入河川で 66 個体、8 月には琵琶湖で 9 個体の計 75 個体の天然ウナギを採集した。また 8 月と 11 月には湖西市の養鰻場から大豆イソフラボンで雌化した 8 個体と通常の方法で飼育した 8 個体の計 16 個体の養殖ウナギをそれぞれの月で入手した。

得られたウナギは、2-フェノキシエタノール（1%）により麻酔し、全身及び頭部、胸部、腹部、尾部の写真撮影後、全長、体重、眼径、鰭長を計測し、Okamura et al. 2007 の銀化指数に基づき、銀化発達順に Y1, Y2, S1, S2 に区分した。ここで、Y1 は鰭の基部に金属光沢の無い個体、Y2 は胸鰭の基部に金属光沢を示すが胸鰭の縁辺まで完全に黒化していない個体を指し、これらのステージを黄ウナギ期とした。また、S1 は胸鰭が完全に黒化し、背部は金属光沢の暗褐色、腹部は銀白色になった個体とし、S2 は腹部を含めて体全体が一様に金属光沢の暗褐色に変化した個体を指す。これら S1 と S2 の両ステージを銀ウナギとした。

供試魚の内、天然ウナギ 75 尾、8 月と 11 月に採集した養殖ウナギ 32 尾については、尾部もしくは動脈球から血液を採取後、断頭し下垂体と脳を摘出し、耳石を取り出した。得られた血液に関して、半量は全血として、残りは 4℃, 3300g で 20 分遠心分離し血清にした上で、どちらも -80℃ で保存した。下垂体と脳は RNAlater に一晚浸潤後、-20℃ で保存した。次に、供試魚を開腹して生殖線、肝臓、消化管を摘出し、それぞれ重量を測定した。消化管重量は内容物除去後の総重量とした。生殖線を肉眼で観察し性判別した後、生殖線と肝臓をブアン氏液で固定すると同時に RNAlater にも保存した。

解剖に供したウナギは画像データから、吻眼間距離（吻から両眼の中心を結んだ線分の中点までの距離（Kaifu et al., 2013））と両眼間隔、胸鰭長、尾鰭の垂直長と水平長を測定した。また上記とは別に、浜名湖流入河川で 6 月に採集した 47 個体と湖西市の養鰻場から 4 月に採集した 13 個体の養殖個体について、頭部の吻長と両眼間隔、胸鰭長、尾鰭の垂直長と水平長をノギスで測定した。これらの結果は画像による測定結果とあわせて解析した。

次に、解剖データから肥満度 (Condition Factor) , 眼径指数 (Eye Index : EI) , 鰭長指数 (Fin Index : FI) , 生殖腺指数 (Gonad Somatic Index : GSI) , 肝指数 (Hepato Somatic Index : HSI) , 消化管指数 (Gut Somatic Index : GI) をそれぞれ以下の式に従い算出した。

$$\text{肥満度} = \text{BW(g)} / (\text{TL (cm)})^3; \text{EI} = \{(\text{眼径}/2)^2 \times \pi / \text{TL (mm)}\} \times 1000$$

$$\text{FI} = \text{鰭長(mm)} / \text{TL (mm)} \times 100; \text{GSI} = \text{生殖腺重量(g)} / \text{BW (g)} \times 100$$

$$\text{HSI} = \text{肝重量(g)} / \text{BW (g)} \times 100; \text{GI} = \text{消化管重量(g)} / \text{BW (g)} \times 10$$

生殖線及び肝臓は常法に従い、エタノールで脱水後パラフィンに包埋し、5 μ m の組織切片を作製した。作製した組織切片は脱パラフィンを行い、常法に従いヘマトキシリン液中で 4 分間染色し、約 30 分水洗した。その後、エオシン染色液で約 2 分間染色した後、封入して光学顕微鏡による観察に供した。生殖線の発達段階として、卵巣では卵巣中で大部分を占める卵母細胞の名称 (山本他 1974) を用いた。精巣では山本他 (1972) の名称を用いた。なお、卵母細胞の名称である油球期については、油球の蓄積状態に応じて、前期、中期、後期と細分化した。

解析サンプルを浜名湖流入河川、浜名湖内で採集した天然ウナギ、通常飼育した養殖ウナギ、大豆イソフラボンで雌化した養殖ウナギ、琵琶湖で採集された放流ウナギの 5 群に分け、各種パラメータを比較した。頭部長、胸鰭長、尾鰭長は全長による影響を補正した上で、下記の線形モデルを作成し、モデルから各群の全長による影響を調整した平均値を推定後に Tukey 検定により群間差を検定した。また、各群と各種指数の関係を調べるために、全長、体重、肥満度、EI、FI、GSI、HSI、GI の 8 つのパラメータを用い主成分分析を実施した。

さらに雌に関して、河川で 7 月に採集された黄ウナギ 6 尾、湖内で 8 月に採集された黄ウナギ 7 尾、湖内で 11 月に採集された銀ウナギ 8 尾、11 月にサンプリングした養殖ウナギは、成長ホルモン (GH)、生殖線刺激ホルモンである濾胞刺激ホルモン (FSH) と黄体形成ホルモン (LH) の mRNA 発現量を定量リアルタイム PCR 法により測定した。Total RNA を Maxwell RSC SimplyRNA Tissue Kit (Promega) を用いて付属のプロトコルに従い抽出した。cDNA の合成は、Total RNA 300ng を PrimeScript RT reagent kit (Takara) を用いて行った。リアルタイム PCR 反応は TB Green Premix Ex Taq II (Takara) と qTower3 (Analytik Jena) を用いて実施した。発現量の比較は Tukey-Kramer test を実施した。

露地池での養殖ウナギの成長と残存、銀化

養殖ウナギを露地池に放流して粗放的に管理することで、天然個体と遜色なく銀化する個体を育成することを目指している。銀化する体サイズに達するまでの露地池でのウナギの生産効率を把握するため、成長速度や残存率を求めるための調査を実施した。併せて、屋内ハウスよりも自然状態に近い屋外の露地池でのウナギの銀化状態を把握するため、銀化と関連する外観の変化を調べた。なお露地池では池の排水口からの移出も想定されるので、ここでは生残率でなく、残存率という用語を用いた。

養殖ウナギ種苗を放流する露地池は、浜名湖うなぎ漁業生産組合の所有する 2 つの隣接する池である。南側の露地池 (旧池。水域面積約 1800m²。図 1 左) は、かつては

養鰻池として使用されていたものである。北側の露地池（以降、新池、水域面積約 1200m²。図 1 左）は、2023 年に新たに造成されたものである。これらの池には、本事業で放流したウナギ以外に、浜名湖うなぎ漁業生産組合が旧池では 2020 年以降、新池では 2023 年以降、毎年、数～数十 kg 程度のヒネを放流している。池には、これらの個体のため毎日少量の養鰻用飼料が撒かれている。2024 年では 5～10 月に毎日夕方に関、新池では練餌の洗い水（練餌を作った容器を洗った際の餌の混じる水）と浮餌 200～500g が、旧池では練餌の洗い水と浮餌 200g が給餌されている。

本事業で放流に用いた養殖ウナギ種苗は、ヒネ、新仔、大豆イソフラボンを配合した飼料で雌化した新仔雌、3P とした。ヒネは 1 年半かけて全長 30 cm 程度まで育ったもの、新仔は半年で全長 30 cm 程度まで育ったもの、3P は 3 尾で 1kg 程度の重量となる前 2 者より大型のものである。放流個体のサイズと尾数は表 1 の通りである。放流する個体は、0.1% の 2-フェノキシエタノールで麻酔後に体計測（全長、体重、外観撮影）し、腹部にメスで小さな穴を開けて腹腔内に PIT タグ（以下、タグ）を装着した後、池へ放流した。

放流個体の捕獲調査は、2 日連続で行うことを基本とし、2023 年度には両池共に 10～2 月の期間中、延べ 7 回実施した。2024 年度には両池共に 5～11 月の期間中、延べ 12 回実施した。捕獲調査には、80 cm の長さ切断した内径 16、30、56mm の塩ビパイプ各 3 本を束ねたものをトラップ 1 個として用いた（図 1 右）。これらのトラップは、2023 年 10 月以降、各池にそれぞれ 25 個を常時沈めていたもので、捕獲の際には順次トラップを引き上げて、隠れている個体を捕獲した。捕獲した個体は、麻酔後、体計測を行い、タグ ID の読み取りを行った。2024 年には、本事業以外で池に放流されていた個体が捕獲された場合にはそれらの個体にタグ装着を行った。1 日目の調査で捕獲され体計測等を実施した個体は、2 日目の調査で再捕されないよう、2 日目の捕獲が終わるまで籠に入れて池に沈めておき、その後放流した。

放流個体の成長は、タグ付けして放流してから捕獲されるまでの期間とその間の全長の成長量から成長速度（mm/日）を算出し、種苗の種類の間で比較した。2 回以上捕獲された個体については、最後の捕獲時のデータを用いた。

2023 年 6～8 月に放流した個体で、後に捕獲された個体のデータを利用し、新池及び旧池での 2024 年 11 月までの年間残存率及び捕獲率について暫定的な試算を行った。フリーソフト R のパッケージ“marked”を用い、Cormack-Jolly-Seber モデルで推定した。残存率モデルには説明要因候補に種苗由来（新仔、新仔雌、ヒネ）を、捕獲率モデルには、説明要因候補に時間（各サンプリング）を考慮し、AIC の最も低いモデルを最良モデルとして採用した。

捕獲された個体の銀化状態は、本事業で放流された以外の個体を含めて、2024 年にトラップで捕獲された全長 40 cm 以上の個体を対象として調べた。銀化状態の指標として、最も代表的なものである銀化指数[Y1、Y2、S0、S1、S2 期（Okamura et al. 2007 の基準に S0 期を追加したもの）]の他、胸鰭の黒色化の程度[5 段階（福田他 2022）]、腹部の青銅色化の程度[3 段階（福田他 2022）]を用い評価した。なお、銀化

指数における S0 期は、従来の S1 期の個体のうち、胸鰭の縁辺部にのみ黒色化していない僅かな透明帯がある個体を示している。

表1 養殖ウナギの放流履歴。

池	年度	種別	放流日	全長 (mm)	Pサイズ (尾数/kg)	放流重量 (kg)	放流尾数
新池	2023	ヒネ	7月1日、8月3日	34.3±5.9	21	4.5	97
		新仔メス	7月1日、8月3日	30.1±3.7	26	3.5	90
		新仔	7月1日、8月3日	32.3±3.6	25	3.5	86
		3P	8月4日	59.1±2.5	3	22.6	65
	2024	ヒネ	7月26日	28.9±3.1	46	5.2	240
		新仔メス	7月17～19、26日	25.5±2.5	53	7.1	376
新仔		7月18、19日	28.6±2.9	38	5.9	223	
旧池	2023	ヒネ	6月5日	32.5±5.7	24	3.8	90
		新仔メス	6月19日	26.5±1.6	40	2.2	90
		新仔	6月6日	32.5±2.4	23	3.9	90
		3P	8月4日	59.1±2.4	3	21.9	63
	2024	ヒネ	7月24日	28.9±2.7	45	5.3	239
		新仔メス	7月17、19、22日	24.8±2.2	56	6.3	351
新仔		7月18、22、23日	29.0±2.7	37	7.3	273	



図1 旧池と新池の画像（左）と露地池でのウナギの捕獲に用いた塩ビトラップ（右）。

露地池の養殖ウナギの低温海水処理に伴う銀化に関する諸形質変化

晩夏に成熟サイズに達した黄ウナギを低温（Sudo et al. 2011）あるいは低温海水（福田他 2022）の条件下で一定期間畜養することで、銀化を誘導できることが知られている。しかしながら、露地池で粗放的に育成した養殖ウナギが、銀化誘導処理によりどの程度の生殖腺発達も含めた銀化と関連した諸形質の変化を示すのかは明らかにされていない。また既往の知見では、特に雄に関して知見が不足している。種苗の種類や年齢が把握されている放流個体は、現時点では育成途上にある。本試験では、露地池に既に放流されていた大型のウナギを用いて、露地池ウナギに対する銀化誘導処理の効果を予備的に確認することを目的とした。

試験には、8/28 と 8/29 の定期的な捕獲調査で塩ビトラップにより捕獲された個体のうち、本事業以外で既に池に放流されていた個体の一部の計 37 個体を用いた。これらの個体は、捕獲後に体計測と外観の撮影、PIT タグの装着が行った後、8/30 に静岡県水産・海洋技術研究所の駿河湾深層水水産利用施設へ輸送した。輸送後、0.1%の 2-フェノキシエタノールで麻酔後、腹部の一部を開腹して生殖腺の一部を採取した。開腹部を縫合した後は、24℃の淡水 1.8t を満たした 5t 水槽に収容した。摘出した生殖腺の一部はブアン氏液に固定して、後に常法に従い組織標本を作製して組織学的に観察

した。

個体を収容した水槽の水温は、8/30以降4日間は約24℃、9/3以降10/22までの50日間をかけて約12℃まで低下させた（図2）。飼育水の塩分は、8/30以降3日間は淡水（0%）とし、9/2以降1日間かけて海水（3.3%）に置換して以降10/22に個体を取り出すまで海水管理とした。10/22に水槽から個体を回収後は、収容時と同様、麻酔をかけて開腹し生殖腺を摘出した。外観を撮影し、タグの読み取りを行った。

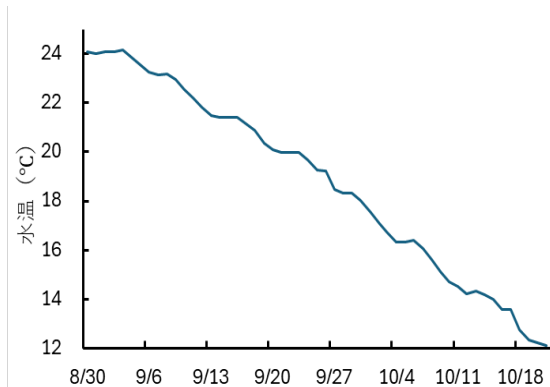


図2 水槽収容後の水温履歴。

供試個体の銀化状態は、銀化指数（Y1、Y2、S0、S1、S2期）、胸鰭の黒色化の程度（5段階）、腹部の青銅色化の程度（3段階）の他、全長に対する胸鰭の長さ（胸鰭長指数）や眼径指数（Pankhurst 1982）、最大卵径、生殖腺の発達状態を用いて評価した。外観の胸鰭（胸鰭長指数、胸鰭黒色化5段階）と眼（眼径指数）、腹部（腹部青銅色化3段階）の3項目に関する指標については、銀化得点として得点化した。すなわち、各項目100点配分とし、1項目中に2つの指標を含む胸鰭については、胸鰭長指数と胸鰭黒色化のそれぞれを50点配分とした。連続変数からなる胸鰭長指数と眼径指数は、それぞれの最小値と最高値から暫定的に前者では指数3.5を0点、8を100点とし、後者では指数1を0点、2.5を100点とした。段階で示した胸鰭黒色化と腹部青銅色化については、最も発達状態の低い1段階目を前者で10点とし、1段階上がる毎に10点加点した。後者では1段階目を33.3点とし、1段階上げる毎に33.3点加点した。最大卵径については、各個体の卵巣組織切片中から選択した卵径の大きな卵母細胞3つの値の平均を個体の値とした。生殖腺の発達状態については、卵巣では大部分を占める卵母細胞の発達段階の名称（山本他 1974）を用い、精巣では山本他（1972）の精巣の名称を用いた。

結果：

天然ウナギと養殖ウナギの差異

浜名湖流入河川からは23尾、浜名湖からは43尾、琵琶湖からは9尾のウナギが採集された。このうち、河川のウナギ2尾と浜名湖内のウナギ1尾は性別が不明であった。雌雄の判別が可能であったウナギを用いて、銀化状態を確認したところ、銀ウナギは11月に浜名湖内で採集したウナギでのみ出現した。各種パラメータを月別に浜名湖流

入河川、浜名湖内で採集した天然ウナギ、通常飼育した養殖ウナギ、大豆イソフラボンで雌化した養殖ウナギ、琵琶湖で採集された放流ウナギの5群に分けて表2にまとめた。

表2 本年度採集したウナギの基礎生物学特性。

雄											
採集月	採集地	銀化	個体数	全長	体重	肥満度	眼径指数	鰭長指数	生殖線指数	肝指数	消化管指数
7月	浜名湖流入河川	黄ウナギ	3	53.2 ± 2.9	246 ± 64	1.61 ± 0.21	5.82 ± 1.04	4.78 ± 0.32	0.08 ± 0.02	1.20 ± 0.19	1.83 ± 1.42
	浜名湖	黄ウナギ	2	48.8 ± 0.9	150 ± 2	1.30 ± 0.09	3.64 ± 0.72	4.20 ± 0.35	0.09 ± 0.01	0.96 ± 0.08	1.32 ± 0.24
8月	琵琶湖	黄ウナギ	1	53.5	212	1.38	6.00	5.30	0.15	1.42	2.14
	養鰻	黄ウナギ	8	46.5 ± 2.2	154 ± 24	1.52 ± 0.10	3.43 ± 0.69	4.06 ± 0.31	0.09 ± 0.03	1.19 ± 0.50	1.64 ± 0.32
9月	浜名湖流入河川	黄ウナギ	1	44.7	123	1.38	4.75	5.31	0.16	1.50	0.91
	浜名湖	黄ウナギ	1	49.3	175	1.46	4.41	4.95	0.21	0.94	1.42
11月	浜名湖	銀ウナギ	5	51.1 ± 2.5	181 ± 15	1.36 ± 0.12	8.25 ± 0.93	5.91 ± 0.40	0.35 ± 0.17	1.16 ± 0.08	0.42 ± 0.10
	養鰻	黄ウナギ	7	55.4 ± 2.5	263 ± 11	1.56 ± 0.19	5.78 ± 0.62	4.72 ± 0.34	0.13 ± 0.05	1.36 ± 0.45	0.94 ± 0.21
雌											
採集月	採集地	銀化	個体数	全長	体重	肥満度	眼径指数	鰭長指数	生殖線指数	肝指数	消化管指数
7月	浜名湖流入河川	黄ウナギ	7	51.4 ± 5.1	179 ± 56	1.29 ± 0.10	5.35 ± 0.69	4.26 ± 0.22	0.46 ± 0.18	1.57 ± 0.34	3.72 ± 0.74
	浜名湖	黄ウナギ	10	49.9 ± 1.6	144 ± 29	1.15 ± 0.17	3.90 ± 0.73	3.85 ± 0.30	0.59 ± 0.46	0.99 ± 0.26	1.48 ± 0.28
8月	琵琶湖	黄ウナギ	8	59.0 ± 6.8	317 ± 150	1.45 ± 0.18	5.00 ± 0.74	4.36 ± 0.48	0.42 ± 0.29	1.36 ± 0.11	1.95 ± 0.42
	養鰻	黄ウナギ	8	39.9 ± 1.1	104 ± 16	1.63 ± 0.13	2.48 ± 1.03	3.37 ± 0.23	0.19 ± 0.12	1.92 ± 0.28	2.44 ± 0.65
9月	浜名湖流入河川	黄ウナギ	4	61.4 ± 4.5	336 ± 70	1.44 ± 0.16	5.28 ± 0.76	5.71 ± 0.56	1.33 ± 0.56	1.11 ± 0.17	1.51 ± 1.11
	浜名湖	黄ウナギ	9	55.8 ± 7.2	249 ± 100	1.36 ± 0.13	4.65 ± 0.84	4.74 ± 0.30	0.51 ± 0.22	0.90 ± 0.10	1.80 ± 0.56
	浜名湖流入河川	黄ウナギ	6	53.8 ± 6.3	216 ± 111	1.30 ± 0.13	4.63 ± 0.41	4.39 ± 0.23	0.45 ± 0.12	1.14 ± 0.18	3.09 ± 0.27
11月	浜名湖	黄ウナギ	7	60.1 ± 5.2	310 ± 143	1.35 ± 0.25	5.58 ± 1.59	4.91 ± 0.76	1.41 ± 1.27	1.05 ± 0.19	1.77 ± 1.60
	浜名湖	銀ウナギ	8	70.0 ± 5.0	551 ± 123	1.59 ± 0.13	7.88 ± 0.68	5.23 ± 0.46	2.11 ± 0.33	1.11 ± 0.22	0.51 ± 0.12
	養鰻	黄ウナギ	8	49.5 ± 1.7	195 ± 9	1.62 ± 0.20	4.44 ± 0.41	4.88 ± 2.39	0.57 ± 0.15	1.30 ± 0.12	1.64 ± 0.39

雌ウナギに関して主成分分析した結果、主成分1（PC1）と主成分2（PC2）の累積寄与率は71.2%であり、両主成分の負荷量は図3の通りであった。負荷量から、PC1は銀化の進行に関係し、PC2は肥満度と肝指数から栄養状態に関係しているものと推察された。

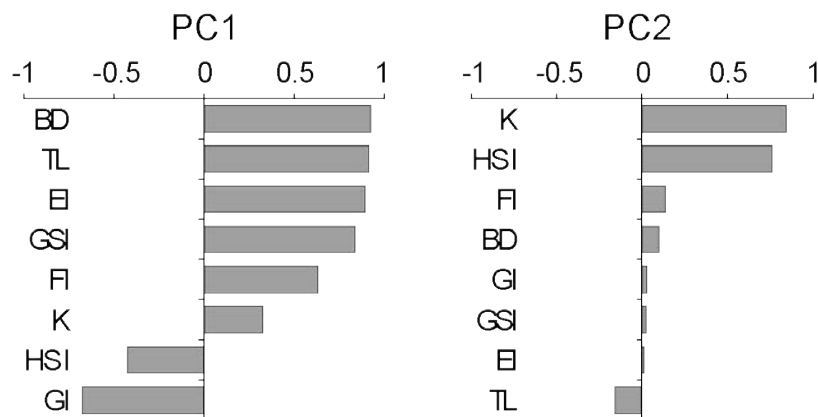


図3 PC1とPC2の負荷量。

TL：全長、BD：体重、K：肥満度、FI：鰭長指数、EI：眼径指数、GSI：生殖線指数、HSI：肝指数、GI：消化管指数。

主成分の散布図（図4）を見ると、養殖場、黄ウナギ、銀ウナギが概ね分かれて分布していた。黄ウナギは採集場所によらず散布図の中央付近に配置された。11月の湖内で採集された黄ウナギの中には銀ウナギと同じところにプロットされた個体もいた。こうした個体は銀化直前の個体である可能性が推察された。琵琶湖のウナギは放流ウナギであるが、浜名湖の天然ウナギと同所的にプロットされており、基礎的なパラメータからは天然ウナギと同様の生理状態であることが推察された。

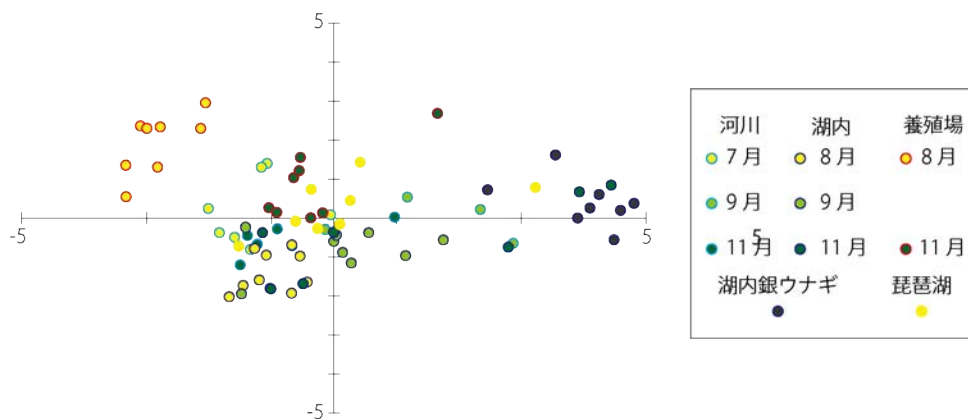


図4 主成分分析の散布図。

次に、吻眼間距離、両眼間隔、胸鰭長、尾鰭垂直長、尾鰭水平長に関して各群で比較した（図5）。吻眼間距離に関して、養殖ウナギは浜名湖水系の天然ウナギ及び琵琶湖の放流ウナギに比べて有意に小さく、両眼間隔は浜名湖流入河川のウナギは湖内及び養殖ウナギよりも有意に大きかった。以上から、養殖ウナギは頭部が小さい傾向であり、河川のウナギは湖内よりもやや大きい傾向であることが示唆された。胸鰭と尾鰭に着目すると雌化された養殖ウナギは鰭が短い傾向が確認された。詳細な原因は不明であるが、大豆イソフラボンの薬理的効果によるものと推察される。

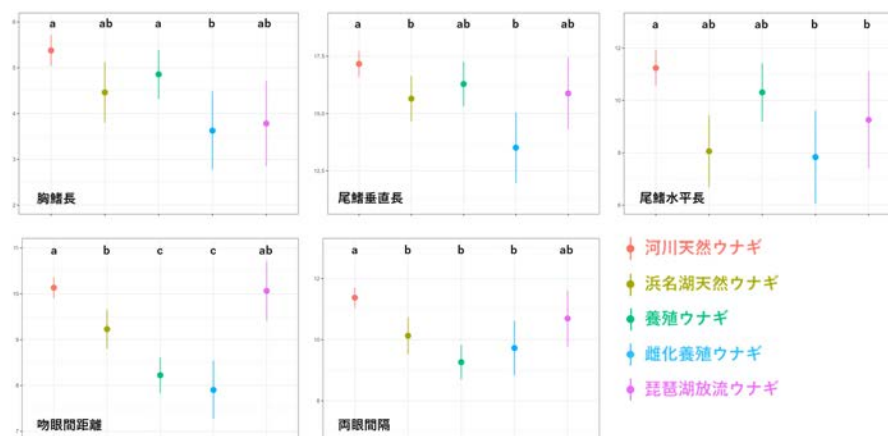


図5 各群の外部形態の比較。ポイントと線はそれぞれ全長を400mmと仮定した場合の推定値とその95%信頼区間を示す。英文字はTukey検定による結果を示す（ $p < 0.05$ ）。

生殖線を組織学的解析に供し、卵巢と精巣をステージングした。卵巢は周辺仁期から第一次卵黄球期までの個体が観察され、精巣は前期増殖期から精母細胞期までの個体が見られた（図6）。それぞれのステージの出現を表3にまとめた。秋にやや成熟が進み、銀ウナギの卵巢は全て第一次卵黄球期であり、精巣は精母細胞期となっているものが多かった。浜名湖内の黄ウナギは8月時点では周辺仁期であったが、9～11月にかけてそのまま発達しない個体と発達が進む個体へと分かれる傾向であった。養鰻場の

個体は油球期の個体が多く、夏から秋にかけてやや発達が進む傾向であった。

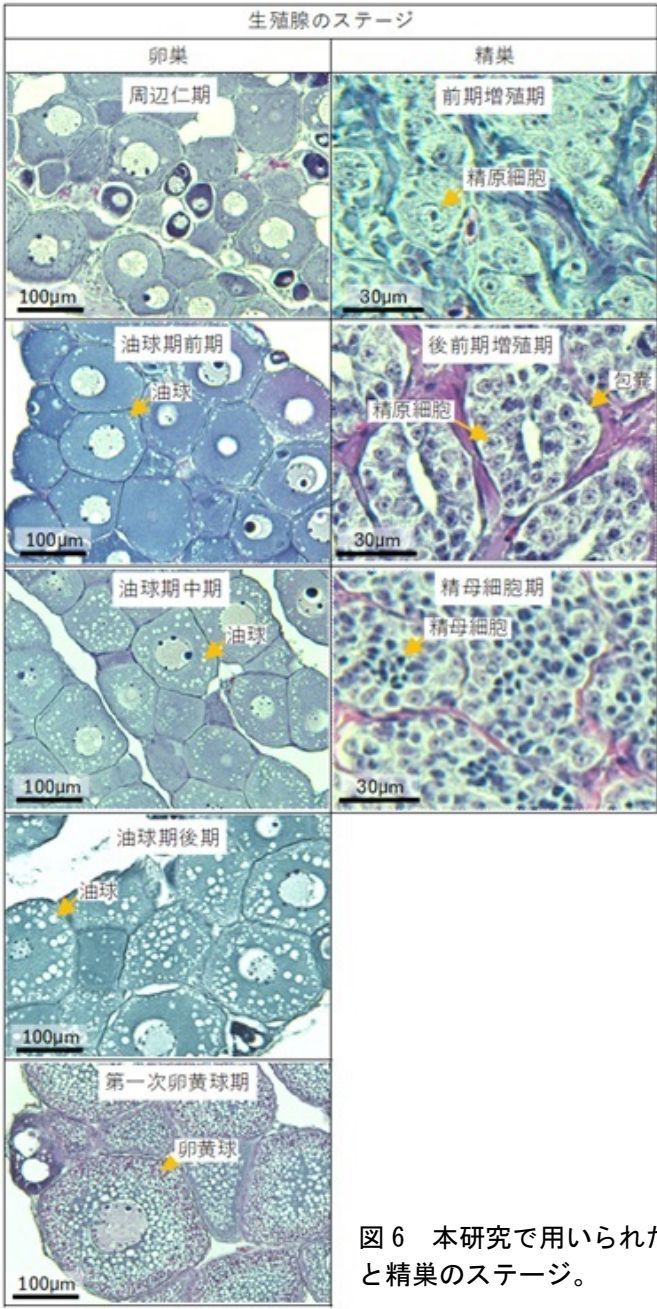


図6 本研究で用いられた卵巢と精巣のステージ。

表3 生殖線の組織観察によるステージング。

	浜名湖流入河川			浜名湖			琵琶湖	養鰻場	
	黄ウナギ			黄ウナギ	銀ウナギ		黄ウナギ	黄ウナギ	
	7月	9月	11月	8月	9月	11月	8月	8月	11月
卵巢	周辺仁期	1	4	10	2	3	3	1	1
	油球期初期	1	2		5		4	6	1
	油球期中期	5			2			1	4
	油球期後期		2			1	1		2
	第一次卵黄球期		2			3	8		
精巣	前期増殖期	3		2	1			7	5
	後期増殖期		1			1	1		2
	精母細胞期					3			

また、肝臓の組織学的解析ではグリコーゲンの蓄積に着目した（図7）。グリコーゲンの多かった個体を調べたところ、浜名湖及びその流入河川の黄ウナギまた銀ウナギはグリコーゲンの蓄積が多かった個体は少なかったが、琵琶湖のウナギと養鰻場のウナギでは多かった（表4）。

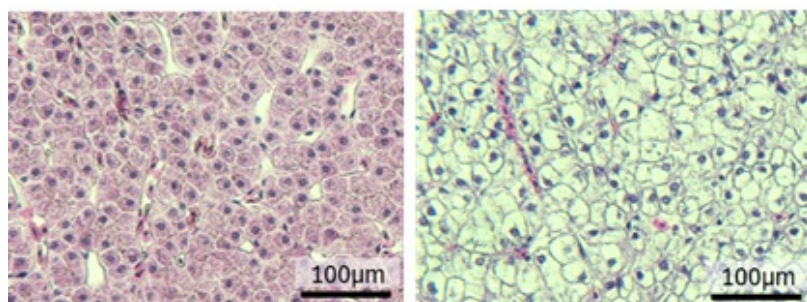


図7 肝臓の組織像。左（グリコーゲン蓄積の乏しい肝臓。浜名湖天然個体11月）、右（グリコーゲン蓄積の多い肝臓。養殖個体11月）。

表4 各群の肝臓のグリコーゲンの多かった個体数。

		浜名湖流入河川			浜名湖			琵琶湖	養鰻場	
		黄ウナギ			黄ウナギ			黄ウナギ	黄ウナギ	
		7月	9月	11月	8月	9月	11月	8月	8月	11月
雌	グリコーゲン多い	3	0	1	1	1	0	7	2	6
	総尾数	7	1	6	10	9	7	8	8	8
雄	グリコーゲン多い	1	0	—	1	0	—	0	0	4
	総尾数	3	4	—	2	1	—	1	8	7

さらに、GH、FSH、LHの発現量を測定したところ、GHでは河川と湖内の黄ウナギに比べて、養殖ウナギと銀ウナギで有意に低かった（Tukey-Kramer, $p < 0.05$ ）（図8）。FSHの発現量に有意な差はなかったが、養殖ウナギと銀ウナギがやや高い傾向であり、LHの発現量は湖内の銀ウナギでのみ高かった。

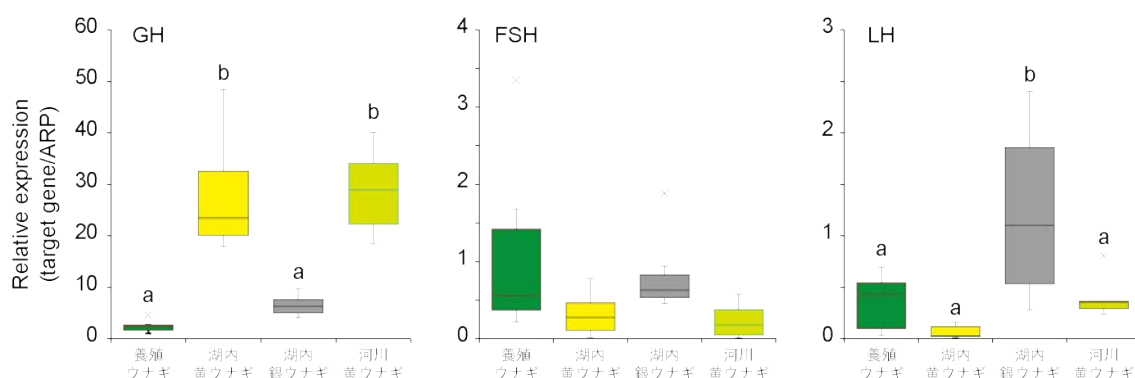


図8 3種の下垂体ホルモンの発現量。

アルファベットは有意差を表す（Tukey-Kramer, $p < 0.05$ ）。

露地池での粗放的管理ウナギ

露地池に放流後、捕獲された個体の放流時と捕獲時の全長を、放流年に捕獲された個体と翌年に捕獲された個体（冬を越した個体）とに分けて整理した（図9、10）。

2023 年の放流年に捕獲された種苗（ヒネ、新仔雌、新仔）の成長は、池間で異なる傾向にあった。すなわち、新池での成長速度が $-0.04\sim0.34\text{mm/日}$ （平均 0.11mm/日 、計 4 個体）であったのに対して、旧池では $0.25\sim1.02\text{mm/日}$ （平均 0.85mm/日 、計 7 個体）と平均で 7.5 倍速かった。新池での成長が悪かったことの原因としては、池が造成直後であったため、ウナギの餌となる水生昆虫や甲殻類、両生類等の餌生物に乏しかったことが可能性の一つとして推察される。その他、3P は捕獲されたいずれの個体でも両池共にほとんど成長していない傾向にあった。より大型の個体では放流しても池の環境に十分に適応できないことが推測され、今後検証していく必要がある。

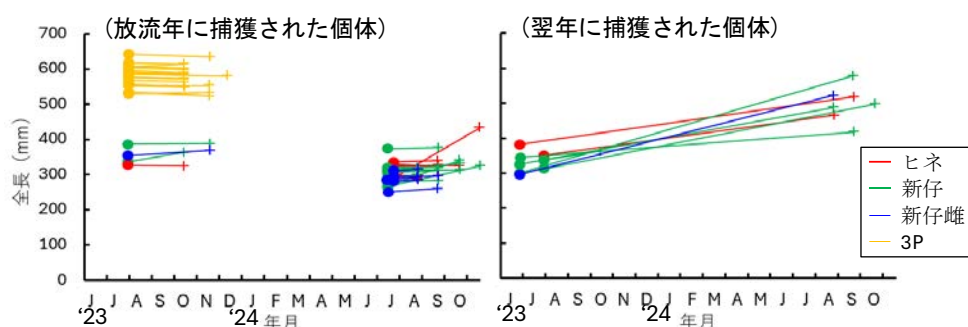


図 9 新池で放流された養殖ウナギ種苗の放流時と捕獲時の全長。

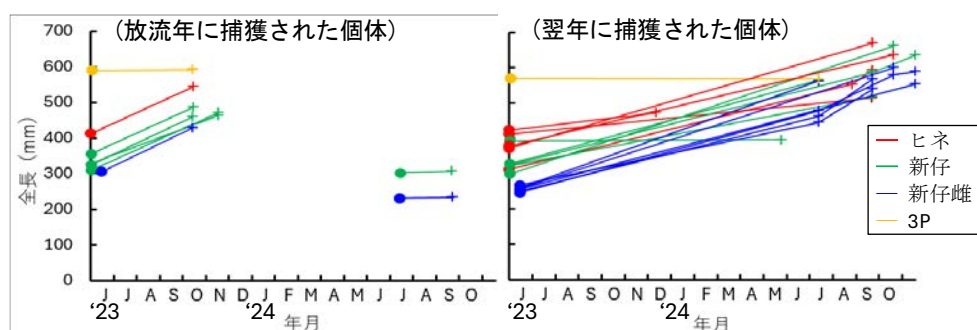


図 10 旧池で放流された養殖ウナギ種苗の放流時と捕獲時の全長。

2023 年に放流し、翌年に捕獲された個体の成長速度を種苗ごとに整理した（図 11）。2023 年の放流数が少ないことから現状での捕獲数も少ないが、旧池では前述した 3P に比較して、新仔雌と新仔、次いでヒネで成長速度が高い傾向があった。新池では冬を越して翌年に捕獲された個体はいなかった。種苗の違いによる成長速度の違いについては、次年度以降もデータを蓄積して傾向を把握していく予定である。

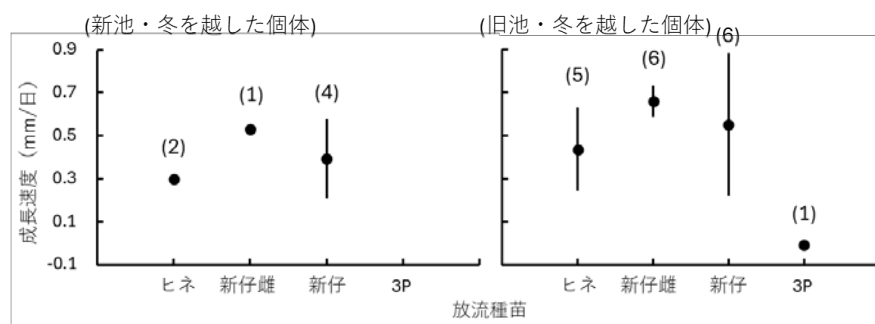


図 11 露地池で放流後の翌年に捕獲された養殖ウナギ種苗の成長速度。図中の括弧内の数字は個体数を示す。

新池では、種苗由来を加味する残存率モデル及び、時間を加味する捕獲効率モデルが最良モデルに採用された。一方、旧池では、種苗由来を加味しない残存率モデル及び、時間を加味する捕獲効率モデルが最良モデルに採用された。種苗由来ごとに残存率を推定したモデルにおける年間残存率は、新池では新仔（14.2%）、ヒネ（9.7%）、新仔雌（2.7%）の順で高い傾向があったが、旧池では平均 10.0~15.9%で種苗間での差は新池より小さかった（図 12）。この点については、現時点ではその原因は不明である。新池と旧池での年間残存率と放流数から総放流数に対する総残存率を求めると、それぞれ 8.9%と 12.5%と旧池で高い残存率を示した。ただし、1 平米あたりで見ると、新池で 0.020 個体/m²、旧池で 0.019 個体/m² と近い残存数となった。

捕獲率は、新池では 2024 年 8 月以降に、旧池では同年 7 月以降に高まる傾向が見られた（図 13）。放流後に生き残って成長した個体がトラップを利用するようになることで捕獲されやすくなった可能性がある。

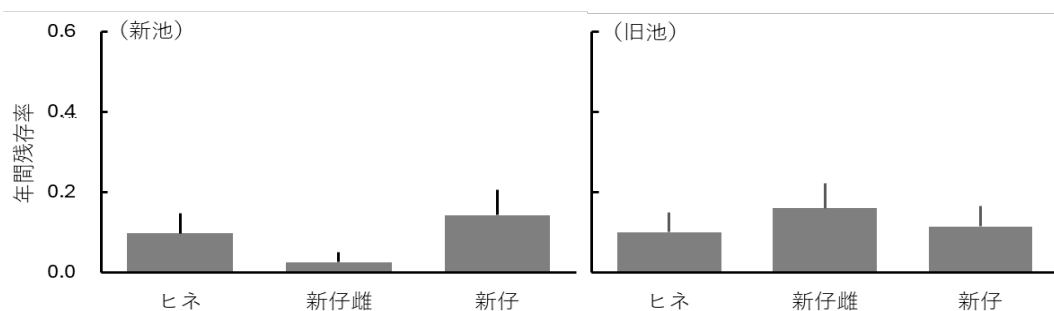


図 12 2023 年放流個体の年間残存率。

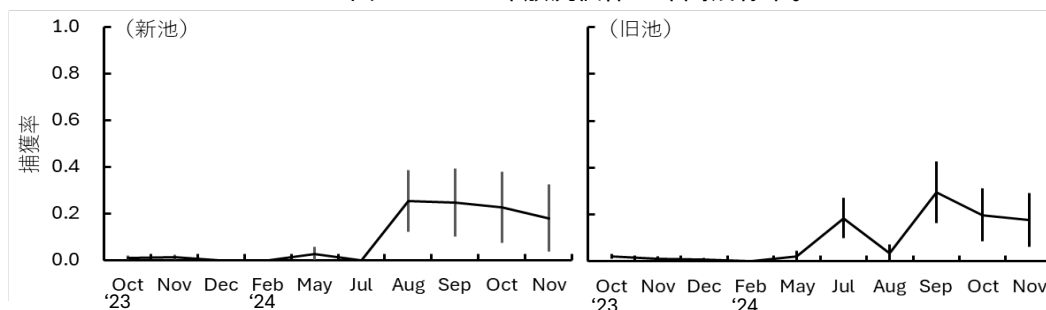


図 13 2023 年放流個体の捕獲率。

2024 年の捕獲個体の銀化指数では、確認された中で最も進んだ段階であった S0 期の個体の新池では 10、11 月に、旧池では 7、10 月に認められた（図 14）。胸鰭の黒色化では、最も進んだ段階であった 4 期の個体の新池では 10、11 月に、旧池では 7、10 月に認められた。腹部の青銅色化では、最も進んだ段階である 3 期の個体の新池では 11 月に、旧池では 7、8、10 月に認められた。以上のように、池間で銀化の傾向はやや異なるが、一般には秋季に起こるとされる銀化の兆候が、少なくとも 7 月時点で既に発現していることがわかった。また、8、9 月は銀化の進んだ段階の個体の出現が少なく、以降再び出現することから、7 月までに現れた銀化の兆候が、夏季には一旦退行することが示唆された。産卵回遊可能な銀化個体を水温操作等により効率的に銀化誘導するためには、それに適した時期に実施する必要がある。屋外環境下でのウナ

ゴの銀化に関わる生物学的特性の季節的变化についても、性差も考慮しながら詳細に把握していく必要がある。

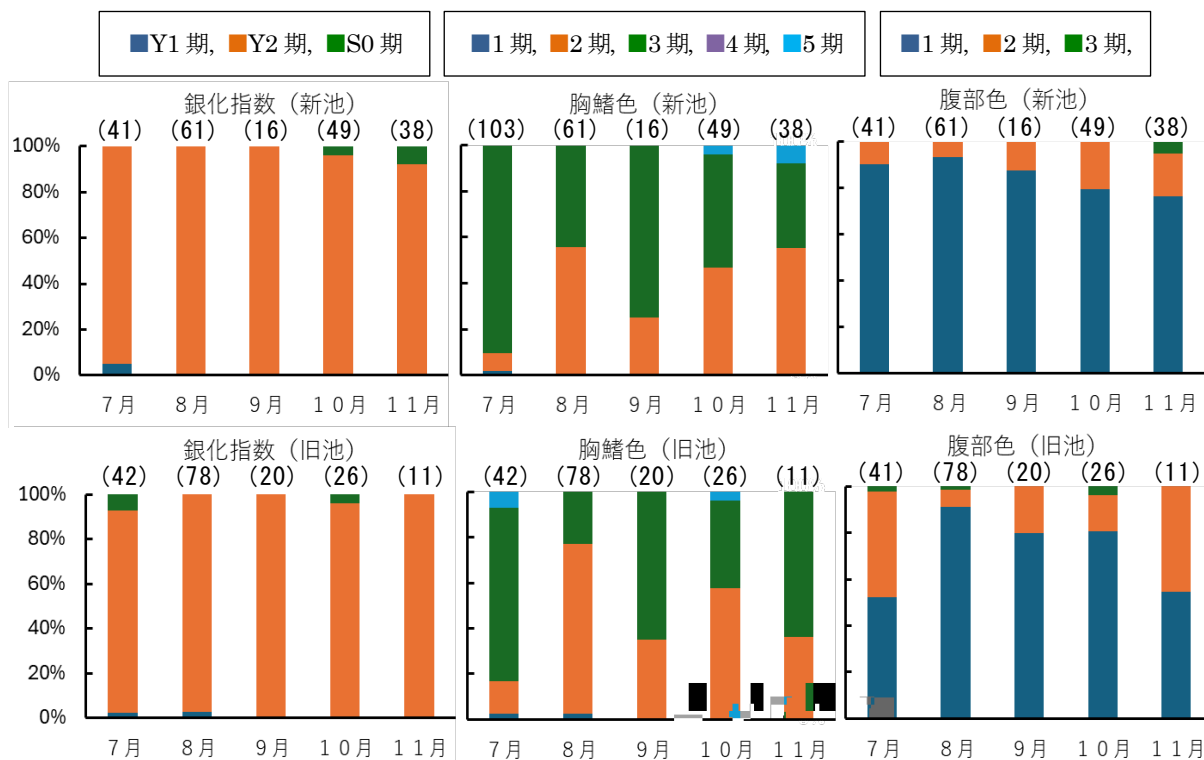


図 14 露地池で捕獲された全長 40 cm以上の養殖ウナギの銀化状況。
図中の括弧内の数字は個体数を示す。

養殖場で人工飼料を摂餌していた個体は、放流後の池内で底生生物や少量の配合飼料の他、同種他個体（図 15; いわゆる共食い）を摂餌しているものと考えられるが、具体的なデータに乏しい。露地池で粗放的にウナギを管理した場合の餌資源を明らかにすることを目的として、今年度は、7、9、11月に各池でコドラード調査（70 cm²×6箇所/月）を行い、底生生物を採集した。併せて、10月に養殖ウナギ 16 個体、10月と 11月に路地池のウナギ 85 個体から粘液または筋肉を採取した。底生生物の一部とウナギの体組織については−30℃で冷凍保存しており、次年度に安定同位体分析を行う予定である。



図 15 露地池で捕獲された個体から吐き出されたニホンウナギ。

低温海水処理

低温海水水槽への収容時に対して回収時の銀化指数が進展した個体は、雌では 16 個体中 1 個体（約 6.3%）であり、雄では 21 個体中 6 個体（約 28.6%）と多かった（図 16）。銀化指数が後退した個体は、雌では 4 個体（約 25.0%）であり、雄では 0 個体と少なかった。このように、今回用いた個体では、低温海水処理に対して、雄は雌よりも銀化がより進む傾向にあった。全個体の中で唯一 S2 期まで進んだ個体は、収容時には唯一 S0 期まで進んでおり、収容時の状態が回収時の銀化状態に影響することも示唆された。

Y1 期, Y2 期, S0 期, S1 期, S2 期							
♀No.	収容時	回収時		♂No.	収容時	回収時	
1	Y2	Y2	→	1	Y2	S0	↗
2	Y2	Y2	→	2	Y2	Y2	→
3	Y2	Y1	↘	3	Y2	Y2	→
4	Y2	Y2	→	4	Y2	S0	↗
5	Y2	Y2	→	5	Y2	Y2	→
6	Y2	Y2	→	6	Y2	S0	↗
7	Y2	Y2	→	7	Y2	Y2	→
8	Y2	Y1	↘	8	Y2	Y2	→
9	Y2	Y1	↘	9	Y2	Y2	→
10	Y2	Y2	→	10	S0	S2	↗
11	Y2	Y2	→	11	Y2	Y2	→
12	Y2	Y2	→	12	Y2	Y2	→
13	Y2	Y1	↘	13	Y2	Y2	→
14	Y2	S0	↗	14	Y2	Y2	→
15	Y2	Y2	→	15	Y2	S0	↗
16	Y2	Y2	→	16	Y2	Y2	→
				17	Y2	Y2	→
				18	Y2	Y2	→
				19	Y2	Y2	→
				20	Y2	S0	↗
				21	Y2	Y2	→

図 16 低温海水処理前後での銀化指数の変化。

収容時と回収時の銀化得点は、雌でそれぞれ 82.8 ± 21.0 と 107.0 ± 32.0 、雄でそれぞれ 106.6 ± 22.2 と 142.0 ± 35.1 であり、いずれも雄で有意に高かった（Mann-Whitney U-test, それぞれ $p < 0.05$ ）（図 17）。雌雄共に、収容時と回収時の銀化得点には正の相関関係があった（相関係数は雌で 0.71、雄で 0.55）。これらのことから、8 月下旬の低温海水処理時により銀化兆候のあった個体ほど、その後の銀化も進む傾向にあることが示唆された。

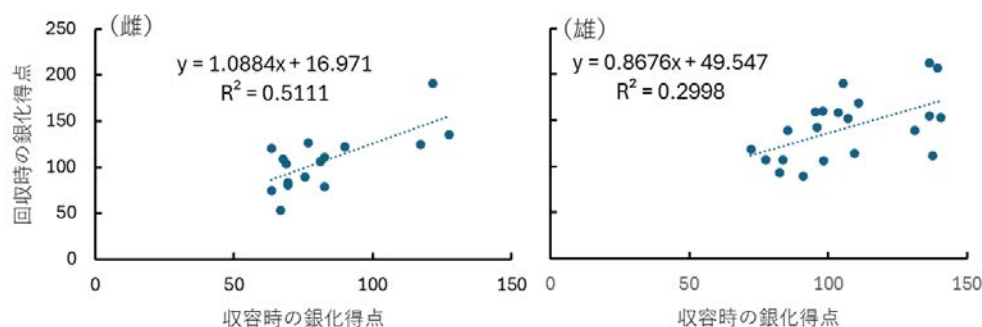
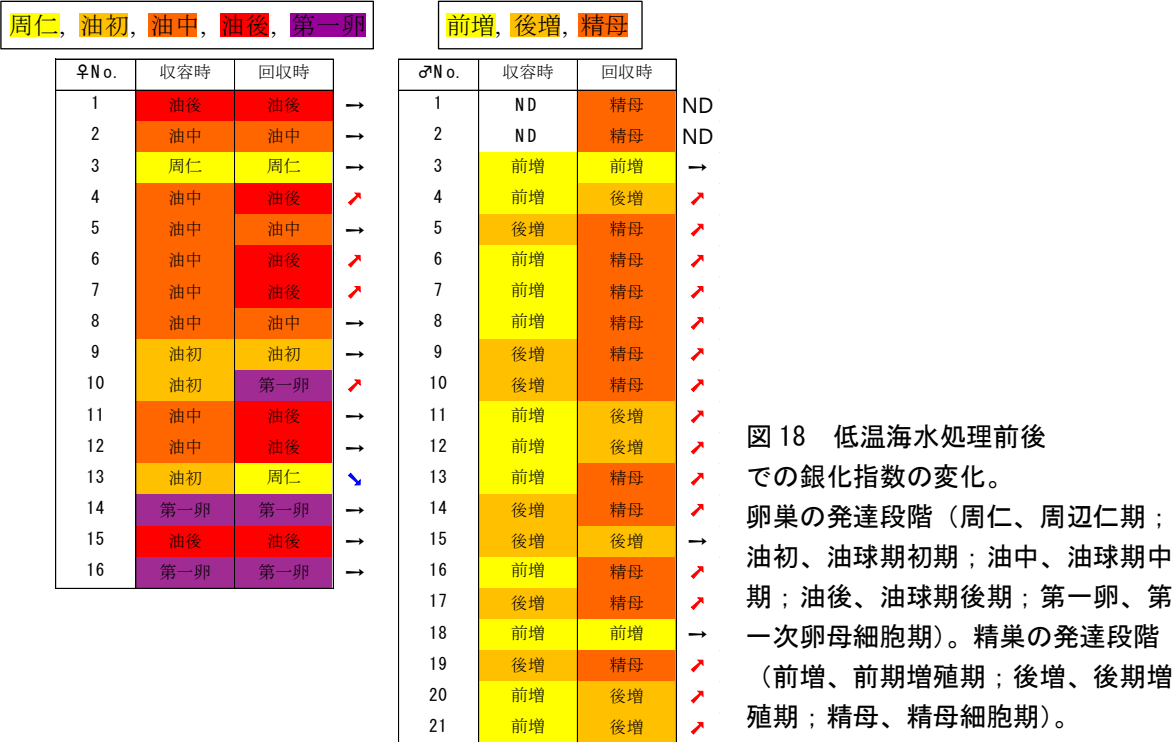


図 17 低温海水処理前後での銀化得点の関係。

低温海水水槽への収容時に対して回収時の生殖腺の発達段階が進展した個体は、雌では16個体中4個体（約25.0%）であり、雄では19個体中16個体（約84.2%）と多かった（図18）。銀化指数が後退した個体は、雌でのみ1個体（約6.3%）認められた。これらのことから、前述した外観から求められた銀化指数と同様に、生殖腺についても低温海水処理に対して雄が雌よりも銀化がより進む傾向にあることが示唆された。



雌について、外観の特徴から求めた銀化得点と最大卵径との関係には正の相関が認められた（相関係数は収容時0.64、回収時0.54）（図19）。すなわち、外観の銀化に伴う変化と卵母細胞の発達は大まかには同調して進んでいるものと考えられた。銀化指数において後退が認められた4個体を赤丸で示したが、これらの個体では収容時から最大卵径が小さく、処理後も卵径がほとんど増加していないこともわかった。十分に成熟が開始されていない雌個体では、産卵回遊が本格化する前に銀化を退行させる仕組みが存在するものと考えられる。ただし、浜名湖で捕獲された銀ウナギの体サイズは雌では509～804mm、雄では426～633mmであったことからわかるように（Yokouchi et al. 2009）、本試験で用いた雌はやや小型個体に偏っている。今後は、雌雄共に供試魚の体サイズの幅を増やして知見を得ていく必要がある。

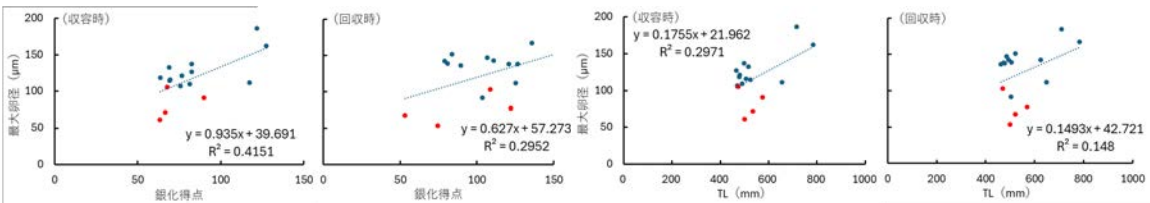


図19 最大卵径と銀化指数及び全長との関係。赤丸は図14で銀化指数が後退した個体。

課題と対応策：外部形態と組織学的解析から天然ウナギと養殖ウナギの差異を明らかにすることが出来たが、より詳細な生理学的な差異は把握出来ていない。今後は、生理学的実験を通じてより詳細な知見を蓄積する方針とする。

露地池での成長や残存等についての種苗毎の傾向は得られつつあるが、現時点ではデータ数が少ないため、引き続き種苗の間での違いについて明らかにする。放流個体の池での食性についても知見を集積する。銀化誘導試験については、飼育試験や解析方法が問題なく実施出来ることを確認し、予備的なデータを得ることが出来た。今後は本事業で放流した由来の明確な個体を用いて試験を実施するとともに、天然ウナギと養殖ウナギとの生理的データの比較から露地池ウナギの特性を明らかにする。

次年度計画：次年度も同様に天然ウナギと養殖ウナギの差異を明らかにするためのサンプリングを継続するとともに、NMR 解析や RNA-seq 解析等の網羅的解析を通じてより詳細な生理状態を調べることとする。

次年度も露地池での捕獲調査を実施し、データ数を蓄積する。安定同位体分析により、池での食性を明らかにする。放流個体成長に応じて、銀化誘導処理し、データ数を蓄積する。

引用文献

- 福田野歩人, 矢田 崇, 阿部倫久, 須藤竜介, 横内一樹. 2022. 産卵回遊が期待できるニホンウナギの作出. 令和4年度 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 60–75.
- Kaifu K, Yokouchi K, Miller MJ, Aoyama J, Tsukamoto K. 2013. Head-shape polymorphism in Japanese eels *Anguilla japonica* in relation to differences of somatic growth in freshwater and brackish habitats. *J. Fish. Biol.* 82: 1308–1320.
- Okamura A, Yamada Y, Yokouchi K, Horie N, Mikawa N, Utoh T, Tanaka S, Tsukamoto K. 2007. A silvering index for the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Environ. Biol. Fish.* 80: 77–89.
- Sudo R, Tosaka R, Ijiri S, Adachi S, Suetake H, Suzuki Y, Horie N, Tanaka S, Aoyama J, Tsukamoto K. 2011. Effect of temperature decrease on oocyte development, sex steroids, and gonadotropin β -subunit mRNA expression levels in female Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.* 77: 575–582.
- 山本喜一郎, 広井 修, 平野 忠, 盛岡孝郎. 1972. シナホリン投与による養殖ウナギの精巣成熟について. 日水誌 38: 1083–1090.
- 山本喜一郎, 大森正明, 山内皓平. 1974. 日本産ウナギ (*Anguilla japonica*) の卵形成について. 日水誌 40: 9–15.
- Yokouchi K, Sudo R, Kaifu K, Aoyama J, Tsukamoto K. 2009. Biological characteristics of silver-phase Japanese eels, *Anguilla japonica*, collected from Hamana Lake, Japan. *Coast. Mar. Sci.* 33: 1–10.

令和 6 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	課題エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	「①ニホンウナギ等の資源増殖手法の高度化」のうち、放流適地の検討、汲み上げ放流の有効性の検討 ―愛媛県の河川を主とした調査―		
担 当 者	井上幹生・畑啓生・大戸夢木・三宅洋（愛媛大学） 棟方有宗（宮城教育大学）、日本養鰻漁業協同組合連合会		

令和 6 年度の成果の要約：

愛媛県の河川において、黄ウナギの放流効果に関する調査と遡上ウナギ稚魚（シラス・クロコ）の汲み上げ放流手法に関する調査を行った。放流効果に関する調査では、既存天然ウナギ密度が異なる 7 つの調査区間に天然個体と養殖個体を標識放流し、その後の残存率と成長率を調べた。その結果、残存率、成長率ともに、養殖個体では天然個体よりも低く、また、どちらにおいても既存天然個体が高い調査区間ほど低くなる傾向が得られた。すなわち、天然ウナギ密度が低い場所のほうが養殖ウナギの放流効果が高まるであろうという予測を支持する結果が得られた。汲み上げ放流に関しては、6 月までは河川感潮域にシラス・クロコが高密度で生息し、その時期には、今回使用した汲み上げカゴで効率的に採捕できる可能性が示唆された。

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 I B 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）全体計画

目的：

河川等の環境とニホンウナギ（以下、ウナギと呼ぶ）資源の現状にかかわる知見を収集・分析し、漁場環境に応じた資源の適切な増殖手法等について検討する。

方法：

ウナギの放流試験を実施し、放流適地の検討を行うとともに。新たな放流手法（汲み上げ放流）の開発を行う。また、ウナギの好適生息場所の探索手法を検討する。

期待される成果：

ウナギの増殖効果を高める手法に資する知見が得られる。

（２）当該年度の計画

【放流適地の検討】

目的：

河川に設置された堰堤の上流側（ウナギ低密度域）と下流側（ウナギ高密度域）とで養殖場由来の放流ウナギおよび既存の天然ウナギの成長および残存を比較し、堰堤上流のウナギ未利用域のほうが放流効果が高いであろうという仮説を検証する。

方法：

愛媛県の国近川水系および長尾谷川水系に、堰上／堰下の調査地として3つずつ、区間長300 mの調査区間を設定した（国近下、国近上、神寄下、神寄上、長尾谷下、および大井手上）（表1）。また、重信川水系の伊台川に、ウナギが生息していない調査地として区間長250 mの調査区間を1つ設けた（伊台上）。伊台川は重信川水系石手川の支流であるが、石手川には伏流により表流水が枯渇する区間があること、堰堤が数多く配置されていることなどからウナギの遡上が妨げられており、調査区間「伊台上」周辺水域にはウナギは生息していない。

表 1. 調査区間の概況。底生無脊椎動物密度は餌量の指標。

		標高 (m)	区間長 (m)	平均水面幅 (m)	底生無脊椎動物密度 (N 625 cm ⁻²)
堰下	国近下	3	300	5.2	71.0
	神寄下	3	300	3.8	142.7
	長尾谷下	3	300	7.9	377.7
堰上	国近上	11	300	3.6	56.3
	神寄上	8	300	2.7	106.0
	大井手上	11	300	2.5	129.3
	伊台上	155	250	2.9	156.0

伊台上を除く6つの調査区間において、7月初旬から中旬に、電気漁具を用いた2回繰り返し採捕によりウナギを採捕し、各個体の全長と体重を測定するとともに、PIT

タグによる個体識別標識を施して放流した（以下、天然個体と呼ぶ：18－111個体，表2）。ただし、大井手上では、既存天然個体の密度を低下させるために、採捕された個体は全て排除した（隣接河川に放流）。その後、7月下旬に、日本養鰻漁業協同組合連合会を介して調達した放流用養殖ウナギに、天然個体と同様にPITタグを施して放流した（以下、養殖ウナギ：76－150個体，表2）。なお、ウナギの餌量の指標として、底生無脊椎動物密度の調査も行った。各調査区間において、キックサンプリング（採取面積625 cm²，3サンプル）により底生無脊椎動物を採取した。

表2. 各調査区間における放流および再捕個体数.

		標識放流数（7月）		再捕個体数（10月）		残存率（再捕率）（%）	
		天然個体	養殖個体	天然個体	養殖個体	天然個体	養殖個体
堰下	国近下	111	150	15	2	13.5	1.3
	神寄下	56	150	10	4	17.9	2.7
	長尾谷下	67	150	16	11	23.9	7.3
堰上	国近上	18	90	4	3	22.2	3.3
	神寄上	24	120	7	5	29.2	4.2
	大井手上	0	90		3		3.3
	伊台上	0	76		8		10.5

放流後の残存、成長を調べるために、10月に各調査区間で採捕調査を行った。7月と同様に、電気漁具を用いて2回繰り返し採捕を行い、各個体の全長と体重を測定するとともに、PITタグを確認した。また、この10月の調査では、各調査区間においてPetersen法による個体数推定を行うために、ヒレ切除標識による標識再捕も行った。10月の採捕調査時に採れたウナギについては全て、胸ビレ先端をハサミで切り落とした。翌日に再度捕獲調査を行い、ヒレ切除による標識の有無を確認、記録した。

表3. 10月採捕時における Petersen 法による個体数推定.

		1 日目	2 日目				
		総個体数 (標識放流)	標識再捕 個体数	総採捕 個体数	標識率 (%)	推定個体数	95%信頼区間
堰下	国近下	72	23	72	31.9	225.4	62.7
	神寄下	60	23	47	48.9	122.6	28.1
	長尾谷下	53	17	52	32.7	162.1	52.1
堰上	国近上	18	4	13	30.8	58.5	42.1
	神寄上	13	2	11	18.2	71.5	82.5
	大井手上	21	11	22	50.0	42.0	12.1

結果：

Petersen 法による推定結果を表 3 に示す。標識放流翌日の採捕での標識率、すなわち、2 回繰り返し採捕による採捕率は 18–50% (平均 35.4%) であることが示された。7 月の採捕個体数にこの採捕率の逆数をかけることで、7 月における既存天然個体の個体数を推定した。7 月の標識放流時には、各調査区間内に、「標識放流した養殖個体」、「標識放流した天然個体」、および「生息していたが採捕されなかったため標識されていない天然個体」の 3 タイプが存在したが、その密度内訳は図 1 のようになった。なお、大井手上では、前述のように、捕獲された天然個体を全て排除したので標識のある天然個体は存在しない。また、伊台上では天然個体は存在しない。各調査区間における既存天然ウナギの密度は、伊台以外では 100 m² あたり 5–20 個体程度と推定され、それと同程度の養殖個体が付加されたことがわかる。また、堰上では天然個体密度が堰下よりも低くなることを想定していたが、実際にはそうとは限らず、結果的には、既存天然個体密度が 100 m² あたり 0–20 個体程度のばらつきを持つ 7 つの調査区間となった。標識放流された養殖個体は、全長 25–30 cm の個体が多かったのに対して (図 2)、天然個体はどの調査区間でも全長 30 cm 以上のものが多く、標識放流された養殖個体は、既存天然個体よりも明らかに体サイズが小さかった。

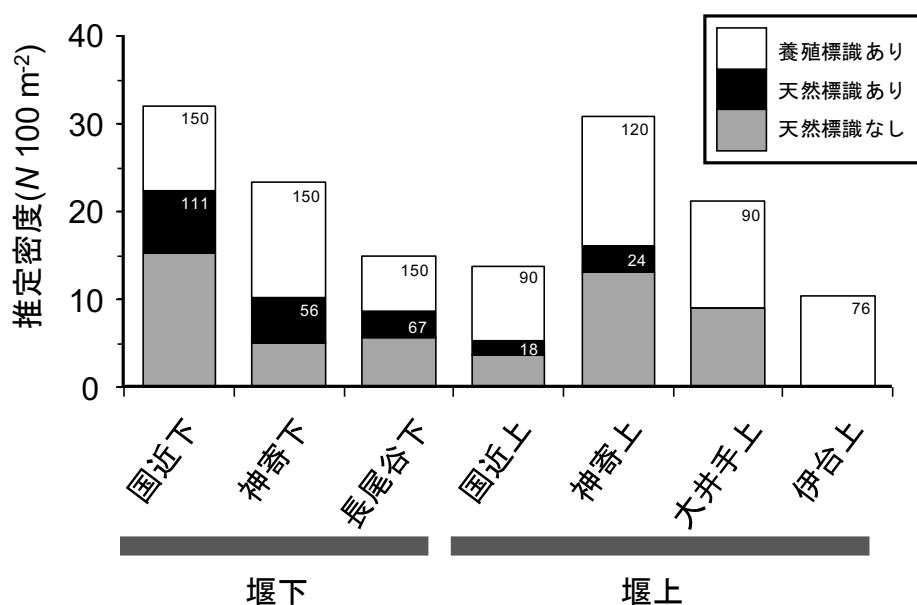


図 1. 7 月の放流時における初期密度とその内訳. グラフ中の数字は、それぞれの放流個体数.

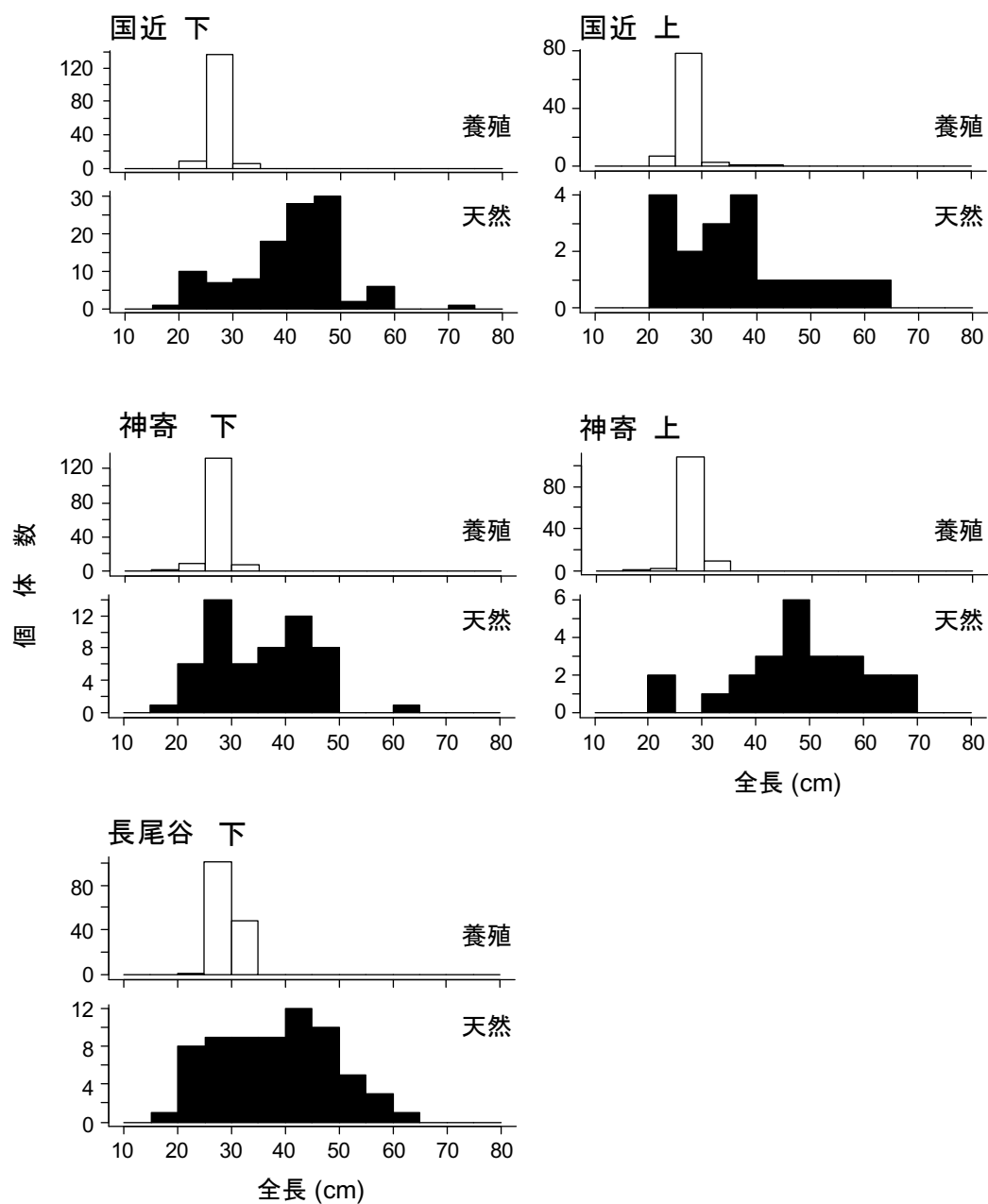


図 2. 各調査区間における養殖個体 (□) と放流個体 (■) の体長分布.

7 月から 10 月にかけての再捕率 (10 月標識個体数 / 7 月標識放流個体数) は、天然個体で 13.5–29.2%、養殖個体で 1.3–10.5%であった (表 2)。これを残存率の指標とし、残存率が、天然個体と養殖個体とで異なるか (以下、由来と呼ぶ)、また、既存天然個体密度によって異なるか (密度効果) を検討するために、一般化線形モデル (GLM)

を用いた。残存個体数を応答変数、由来と7月における既存天然個体密度を説明変数とし、標識放流個体数をオフセット項に用いたGLM（ポアソン分布、logリンク関数）を作成し、モデルにおける各説明変数の有意性を尤度比検定により検定した。その結果、どちらの変数にも有意な効果が検出され（由来： $\chi^2=52.58$, $P<0.001$ ；密度： $\chi^2=8.02$, $P=0.005$ ）、残存率は、天然個体よりも養殖個体のほうが有意に低く、かつ、どちらにおいても既存天然個体密度が高くなるほど低くなる傾向が認められた（図3）。

7月から10月にかけての成長については、養殖個体のほとんどにおいて、体重の減少が判明した（図3）。各個体の瞬間成長率を、 $100(\ln W_{10} - \ln W_7)/d$ で算出し（ W_{10} =10月の体重； W_7 =7月の体重； d =日数）、瞬間成長率が由来（天然／養殖）によって異なるか、また、既存天然個体密度によって異なるか（密度効果）を検討するために、線形混合モデル（LMM）を用いた。瞬間成長率を応答変数、由来と7月における既存天然個体密度を説明変数とし、調査区間をランダム要因として用いたモデルを作成し、モデルにおける各説明変数の有意性を尤度比検定により検定した。その結果、どちらの変数にも有意な効果が検出され（由来： $F=29.42$, $P<0.001$ ；密度： $F=5.76$, $P=0.04$ ）、瞬間成長率は、天然個体よりも養殖個体のほうが有意に低く、かつ、どちらにおいても既存天然個体密度が高くなるほど低くなる傾向が認められた（図3）。以上のことから、ウナギ天然集団の個体数が多い場所ほど養殖放流ウナギの成長および残存が低下することが示された。

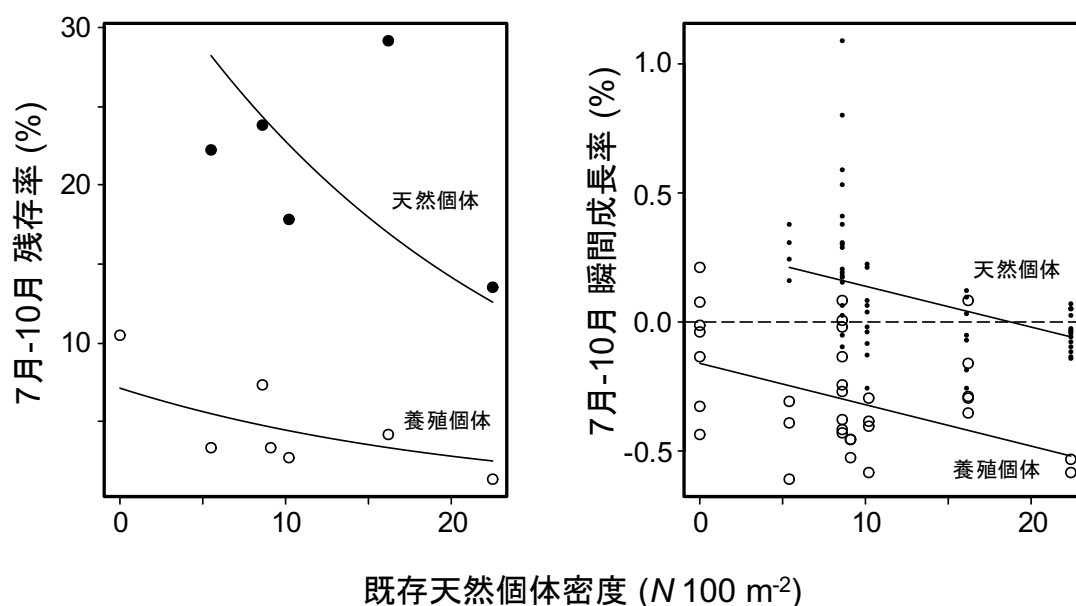


図3. 天然個体（●）および養殖個体（○）の残存率、瞬間成長率と既存天然個体密度との関係

【汲み上げ放流】

目的：

堰堤等の遡上阻害要因によってウナギの未利用地となっている水域の有効活用を図るための「汲み上げ放流」について、その手法の開発と効果の検証を行う。今年度は、礫を詰めた汲み上げカゴに遡上ウナギ稚魚（シラス、クロコ）が入るのか、いつ、どのくらい入るのか、また、遡上ウナギは礫の堆積に蟄集するかについて野外の自然河川で検討する。

方法：

愛媛県今治市を流れる5つの小河川、菊間川、種川、佐方川、天満川および品部川の感潮域（最下流の堰堤直下）を調査地とした。これらの調査地はどれも河床は砂が優占する。各調査地において、毎月、電気漁具によりウナギ稚魚（シラス、クロコ）を採捕し、どのくらいのウナギ稚魚が遡上しているか、その密度の変化を把握した。それと並行して、汲み上げカゴを設置し、カゴにウナギ稚魚が入るかどうか確認した。また、ウナギ稚魚が礫を選択的に利用するかどうか、すなわち、礫に対する選好性についても検討した。

毎月の電気漁具による採捕調査においては、採捕されたウナギ稚魚については全長を計測し、計数した後にその場で放流した。その後、採捕面積を概算するために、水面幅と区間長を計測した。

汲み上げカゴは、縦、横、高さが48.5×33.0×19.0 cmのプラスチック製のカゴで、側面と底面は1.2 cmマスの網目状構造になっている。このカゴに、市販の造園用の礫（礫径2-3 cm）を厚さ6 cm程度敷いた。このカゴを河床に設置し、数日後に引き上げ、カゴ内に捕獲されたウナギを計数するとともに全長を計測し、その後、その場に放流した。引き上げる際に、側面と底面からウナギが逃げないように、引き上げ時に底面と側面を1.5 mmメッシュのナイロン製の網で覆えるように設置した。このカゴを、菊間川と品部川については2個ずつ、他の河川については1個ずつ、合計7個設置した。

礫に対する選好性については、河床に小礫パッチを造成し、小礫パッチとそれに隣接する砂底とでウナギ稚魚個体数を比較することで検討した。河床に、汲み上げカゴに用いたものと同じ礫を50×50 cm程度のパッチ状に積んだ。この小礫パッチを品部川と佐方川に12パッチ造成した。その一週間後に、小礫パッチとそれに近接する砂底から電気漁具を用いてウナギ稚魚を採捕し、計数した。採捕の際には50×50 cmの金属製の枠を河床にあて、枠内から現れた個体を計数した。

結果：

毎月の採捕調査において、ウナギ稚魚は6月には高密度で採捕されたが、7月以降、急激に減少した（図4）。採れたウナギ稚魚の全長は6月には6 cm前後のものが多かつ

た（図5）。その後、採捕個体数は少ないものの、10月頃までに、10 cmを越える程度にまで成長することが示唆された。

汲み上げカゴについては、多いものでカゴあたり 10 個体前後が採捕された（図 4）。密度にすると 1 m² あたり 50 個体以上にのぼり、電気漁具で採捕された密度の最大値である 1 m² あたり約 2.5 個体と対比すると、汲み上げカゴの局所密度は周囲よりも高いことが示唆される。カゴに入ったウナギの大部分は全長 9 cm 未満であったが、全長 20 cm 以上のやや大型のウナギも少ないながら採捕された（図 6）。

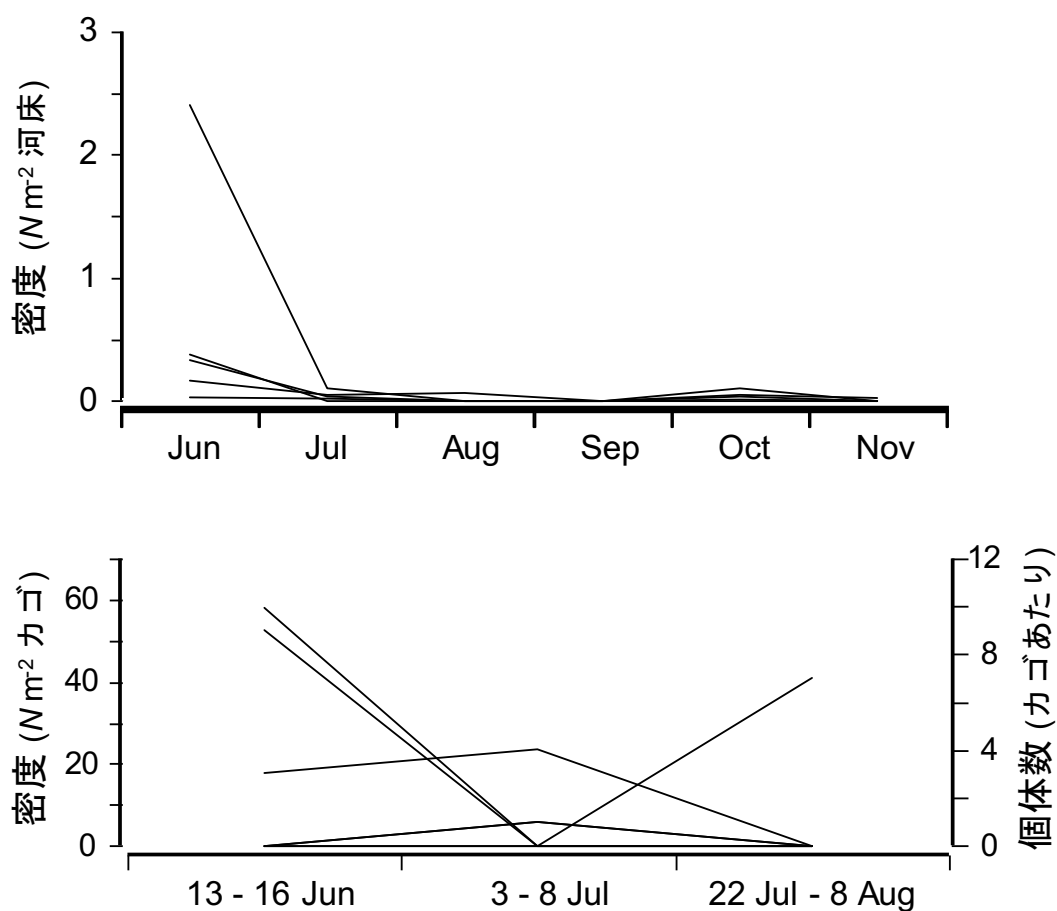


図 4. 各月における河床上で採捕された稚魚の密度（上段），および汲み上げカゴで採捕された稚魚の個体数（下段）．下段のグラフでは、右軸で個体数を示し、左軸ではそれを 1 m² あたりの密度に換算している．

礫に対する選好性については、12 の小礫パッチを用いて、小礫パッチと砂底とでウナギ稚魚の密度を比較した結果、砂底よりも小礫パッチのほうが有意に高いことが示され、ウナギ稚魚が砂底よりも小礫を選好することが明らかとなった。以上、今年度の結

果より、ウナギ稚魚は6月まで感潮域に高密度で生息すること、その時期には全長6 cm程度のサイズであり、砂が優占する河床においては小礫を選好することが明らかとなり、小礫をつめた汲み上げカゴで効率的に採捕できる可能性が示唆された。

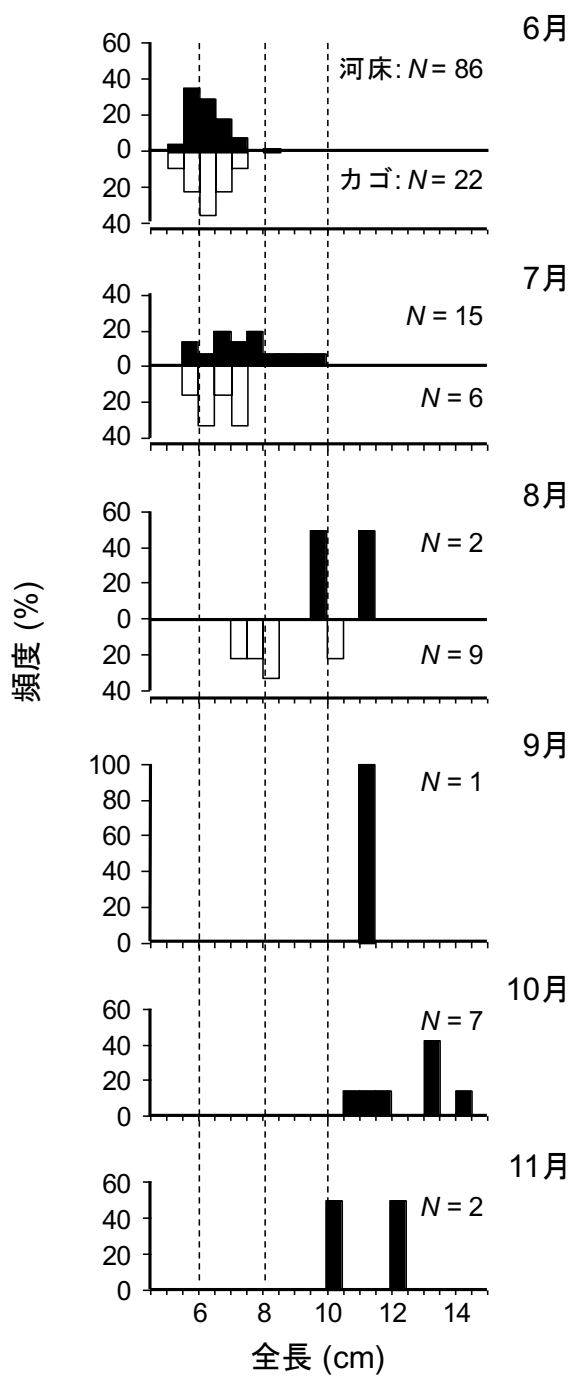


図5. 各月における河床上で採捕された稚魚（■）と
汲み上げカゴで採捕された稚魚（□）の体長分布.

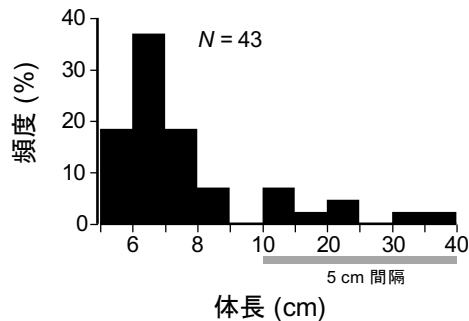


図6. 調査期間中にカゴで採捕された全個体の体長分布. 稚魚のみ
でなく大型個体も含む. 10 cm以上で階級間隔を変えている.

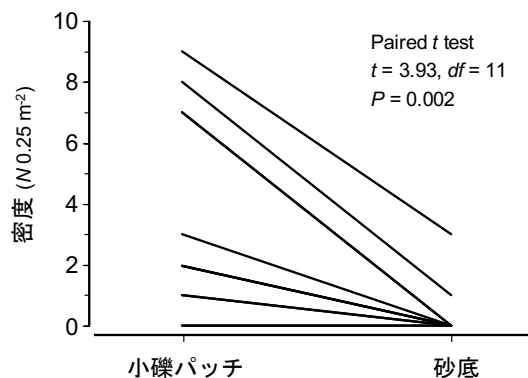


図7. 小礫パッチと隣接する砂底における稚魚密度.

【ウナギ生息河川の河道変化の解析手法開発】

目的：

ウナギが生息する河川の中～下流域ではしばしば台風などの増水の影響や少雨による減水の影響によって河道が変化や消失を起し、ウナギの分布や資源量にも影響を及ぼす可能性が考えられる。そこでこうした河道の経年変化を明らかにするためのドローによる3次元測量技術を開発した。

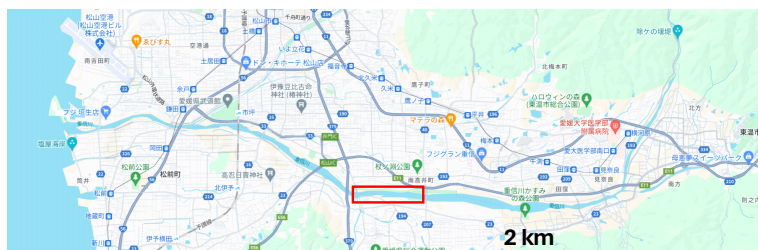
方法：

2025年1月16～17日、松山市重信川の重信橋から上流約2 kmの区間を航空ドローンで反復撮影し、3次元オルソ画像（1ピクセル＝2 cm）、ならびに高低差を示すDEM画像を作成した。これらのうち、オルソ画像を前年（2023年8月2日）に撮影

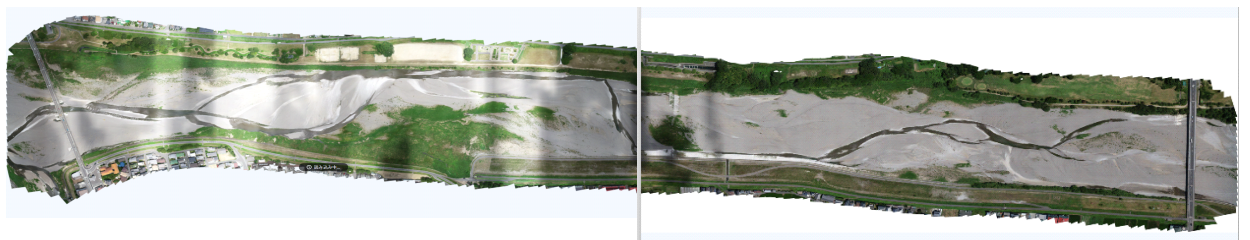
したものと比較することで、どの程度の河道の変化が生じているかを検討した。

結果：

撮影の結果、重信川の同一区間では 2023 年 8 月から 2025 年 1 月の約 1 年半の間に河道（流路）の半分程度が移動したことがわかった。こうした河道の変化に伴い、ウナギ等の水生生物の生息分布状況が短期・長期的にどのように変化するのかについて、今後、さらに詳しく解析することが望まれる。



2023 年 8 月 2 日撮影



2025 年 1 月 17 日撮影

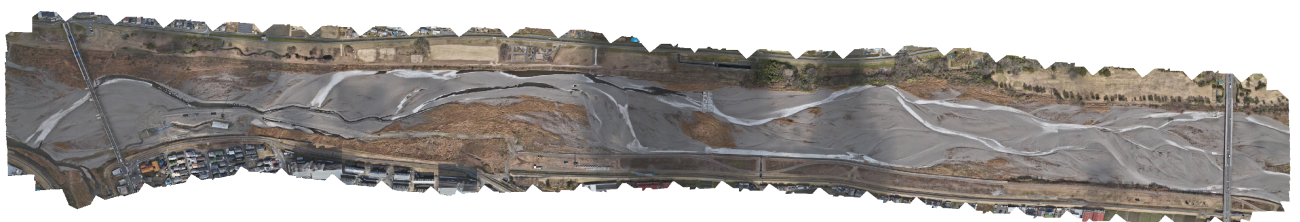


図 8. 重信川の同一区間の河道（流路）のオルソ画像。右側が上流側、左側が下流側。



図 9. 重信川の同一区間の河道（流路）の変化。緑色の実線は 2023 年 8 月、青色の実線は 2025 年 1 月の流路を示す。また、青色の破線は、撮影時には水が枯れていた流路を示す。約 1 年半で、半分以上の流路が移動したことがうかがえる。

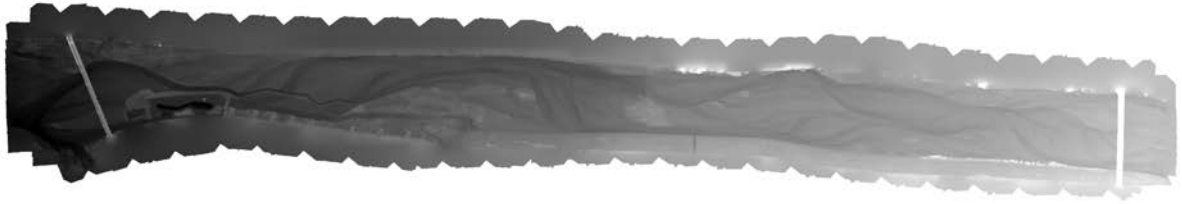


図 10. 重信川の高低差（DEM）画像。このデータの解析により、河道の起伏の詳細を検討することができる。

課題と対応策：

標識放流調査においては、堰下流側よりも堰上流側で既存天然ウナギ密度が低くなるという、当初想定した実験デザインは実現できなかったものの、結果的には、既存天然ウナギ密度の異なる 7 調査区間が設定され、密度効果を検出することができた。よって、この設定のまま調査を継続しても問題ないと考えられる。ただし、養殖放流個体の残存率がかなり低かったため、今後の追跡が難しいことが予想される。次年度に、新たな調査デザインを検討し、養殖個体の標識放流を行う。

次年度計画：

標識放流については、天然ウナギ集団が存在しない河川における養殖放流ウナギの継続的な追跡調査が行えるような調査デザインを考案し、実施する。汲み上げ放流については、汲み上げカゴによる捕獲を今年度より早い時期（4 月頃）から行い、今回検討できなかった春における遡上、採捕状況を検討する。可能であれば、実際に、上流側への汲み上げ放流を試みる。

令和6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	課題エ	事業実施期間	令和6年度
課 題 名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析， 資源増殖等の手法検討		
担 当 者	上村 沙起，脇田 敏夫，猪狩 裕代，塩先 尊志 (鹿児島県)，日本養鰻漁業協同組合連合会		

令和6年度の成果の要約：

八幡川（鹿児島県鹿児島市）にて「養殖ウナギの放流適地の検討」と、鹿児島県水産技術開発センター実験池にて「汲み上げ放流手法の開発（蛸集試験・隠れ家効果試験）」を行った。

「養殖ウナギの放流適地の検討」では、試験区間を頭首工（可動堰）の上流側（天然ウナギの生息密度が低いと推定）の1区域（上流区）及び下流側（天然ウナギの生息密度が高いと推定）の2区域（中流区・下流区）において養殖ウナギを放流したところ、養殖ウナギの再捕率は、上流区域で放流したウナギに比べ中流区域で放流したウナギの方が高かったが、上流区域は水深が深い場所があるなど、電気ショッカーでの調査ができない範囲が広いことから再捕率を比較することはできなかった。また、電気ショッカーで採捕できない範囲については、竹筒やふくろ網を設置して捕獲を試みたが採捕には至らなかった。

養殖ウナギの瞬間成長率は、天然ウナギと比較して優位に低かった。一方で、過去の放流試験では、放流後1年目の養殖ウナギは天然ウナギと比べて肥満度が低下する傾向が見られるが、その後の肥満度は上昇し、天然ウナギと比べても遜色ない数値まで回復する結果が得られていることから、本河川で放流した養殖ウナギも採捕調査を継続して実施し、同様の傾向があるかを確認する必要があると考える。

上流区域で放流した養殖ウナギが中流区域と下流区域で採捕され、中流区域と下流区域で放流した養殖ウナギは放流した区域以外では採捕されていないため、下流区域よりもさらに下流へ移動した可能性がある。来年度に放流する際は、PITタグアンテナを設置し、放流後の養殖ウナギがどの程度の期間で調査区域外へ移動しているかを確認するとともに、移動要因（増水時など）を確認する必要がある。

「汲み上げ放流手法の開発」のうち、1つ目の「蛸集試験」については、カゴ内の基質が異なる2種類のカゴについて採捕効率の比較を行ったところ、試験回数を重ねるとカゴ内に侵入するウナギが増加し、その際に基質が石のカゴを選択する傾向がみられたが、有意な差が得られたのは調査5回中2回であり、1回目の試験では基質が石よりも葉のカゴ内にウナギが多く侵入した。

また、計測はしていないが、生け簀とカゴの隙間に隠れているウナギを毎回確認していることから隙間に入れなかったウナギが隠れ場所を求めてカゴ内へ侵入した可

能性や、生け簀へカゴを設置した後、ウナギを放流したため着底せず泳いでカゴの上面から侵入した可能性を否定できない。このことから、ウナギが基質の葉や石を積極的に選択してカゴ内に侵入しているとは言い難く、偶然カゴ内に侵入したウナギが定着した可能性が高いと考える。次年度は、ウナギがカゴ内へ侵入する際、基質が存在することによる選択性や有効性を検証するため、同一条件下においてカゴのみでの試験を実施し、今年度の調査結果の根拠付けを図りたい。

2つ目の「隠れ家効果試験」については、脅威となるウナギ大を混泳させることで、カゴ内に侵入する供試魚が増加することを想定していたが、試験回を重ねる度に有意にカゴ内に侵入する供試魚が減少するという逆の結果が得られた。この原因について、現時点では明確な理由を導き出すことができていない。次年度は、蝸集効果試験の検証に注力することとし、当該試験の結果をもって再度カゴによる隠れ家効果の検証を実施するかを検討したい。

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 全体計画

ア 目的

ウナギ放流を効果的にするための手法の高度化を検討

イ 方法

ニホンウナギの資源増殖対策を図るため、資源生態調査を行うとともに、放流調査や生息範囲拡大手法開発などの増殖対策を行う。

ウ 期待される成果

ウナギ放流を効果的にするための手法が明らかとなる。

2 当該年度の計画

(1) 放流適地の検討

ア 目的

頭首工（可動堰）の上流及び下流において放流された養殖ウナギとその河川に生息する天然ウナギを追跡調査し、再捕率や成長率等の結果から養殖ウナギの放流適地を検討する。

イ 方法

① 試験区域の概要

調査河川は、鹿児島県鹿児島市喜入の八幡川で、本河川は漁業権が設定されていないため、義務放流等による養殖ウナギの放流実態はない。

試験範囲は、八幡川の河口から上流へ 2km の地点（始点）から 1,200m 上流の地点（終点）とした（図 1）。

始点から 905m 上流には、幅 20m、長さ 15m、高さ 1.5m の可動堰があり、基本的には堰は常時起きた状態（図 2）であり、左岸側には魚道が整備されている。

試験区域は、始点から 420m を「下流区」、420m から可動堰（905m）を「中流区」、可動堰（920m）から終点を「上流区」と設定した。

養殖ウナギの放流地点は、各区 1 点、それぞれ始点から 360m、830m、1,150m とした。（図 3）



図 1 試験区域の概要

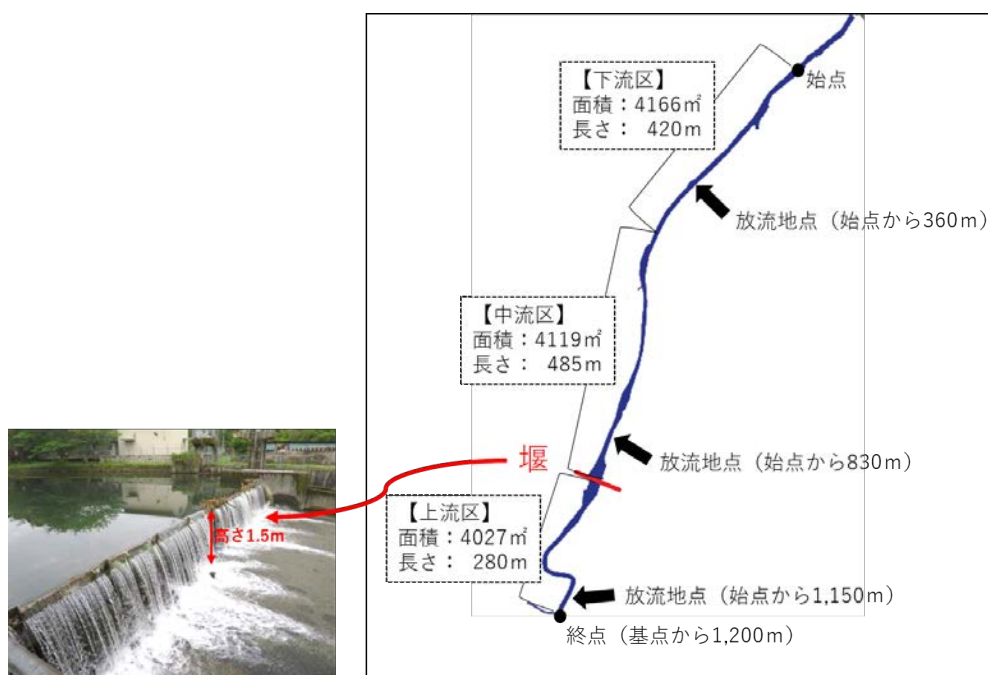


図 2 可動堰

図 3 放流地点の詳細

② 放流に供した養殖ウナギの概要

養殖ウナギは、日本養鰻漁業協同組合連合会から令和 6 年 7 月 20 日に水産技術開発センター実験池（指宿市、以後「実験池」という）に 600 尾（全長 259mm～372mm）を受入れ、7 月 22 日に水産用麻酔薬オイゲノール（FA100，DS ファーマアニマルヘルス株式会社）で麻酔した上、全長（TL）と体重（BW）の測定後、腹腔内に PIT タグ（ $\varnothing 1.4 \times 8\text{mm}$ ，図 4）を挿入して個体識別した。その後、麻酔回復のため放流までの 8 日間、実験池の 44.5 トンコンクリート水槽にて飼育した。

7 月 30 日の日没後、各放流地点で合計 540 尾（各 180 尾）を放流した。（表 1）

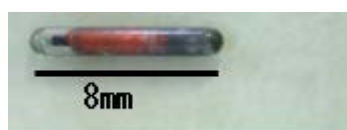


図 4 PIT タグ

表 1 各放流地点の放流概要

放流区域			放流に供した養殖ウナギ		
区域名	面積(㎡)	長さ(m)	放流尾数	TL(mm) ± SD	BW(g) ± SD
上流	4027	280	180	297.6 ± 15.9	30.5 ± 4.2
(堰)	-	(15)	-	-	-
中流	4119	485	180	296.5 ± 16.2	29.3 ± 4.0
下流	4166	420	180	296.3 ± 14.8	29.2 ± 3.7
合計	12311	1200	540	296.8 ± 15.7	29.7 ± 4.0

③ 採捕調査の概要

調査は、年 5 回（4 月 18 日，7 月 18 日，8 月 8 日，10 月 21 日，12 月 19 日），電気ショッカー 2 台（LR-20B，SMITH-ROOT 社，米国及び FISH SHOCKER III S，有限会社フロンティアエレクトリック社）を用いて実施した。

上流区の電気ショッカーが使用できない箇所においては、ふくろ網（袋部：直径 40×長さ 200 cm，袖部：6m）や竹筒（長さ 80 cm，内径 3.5～4.5 cm，延縄式）を設置（図 5）し、ウナギの採捕を試みた。

なお、ふくろ網は、放流直前に設置し、放流 3 日後に回収した。竹筒は、6 セット設置（図 5）し、8～12 月に月 1 回の頻度で回収した。

採捕したウナギは、調査終了後に実験池の陸上水槽（25℃地下水の掛け流し）で飼育し、翌日、水産用麻酔薬オイゲノールで麻酔後、全長体重測定及び PIT タグの有無を確認し、全長 15 cm 以上の標識がない天然ウナギについては、腹腔内に PIT タグを挿入した。

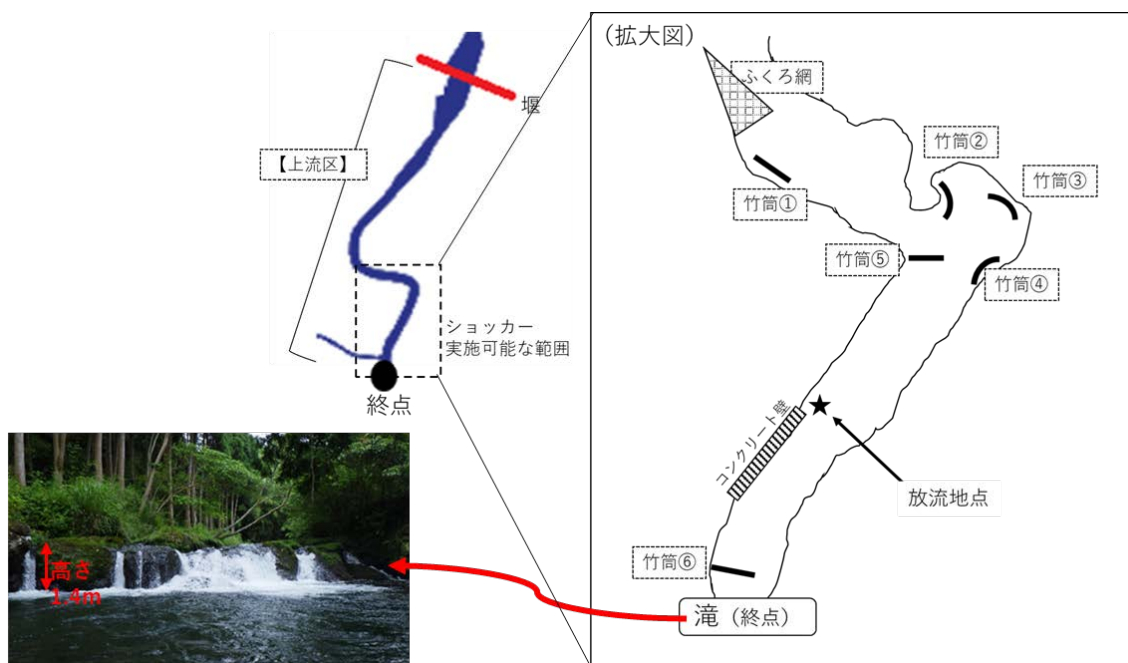


図5 上流区の採捕調査の詳細

④ 天然ニホンウナギの生息尾数の推定

各調査時における天然ニホンウナギの推定生息尾数は、非閉鎖系のフィールドで用いられる標識再捕獲法である Jolly-Seber 法を用い、下記の式により求めた。

$$\hat{N}_i = \frac{\hat{M}_i n_i}{m_i} (i = 2, 3, \dots, s-1)$$

$$\hat{M}_i = \frac{R_i z_i}{r_i} + m_i (i = 2, 3, \dots, s-1)$$

N_i : i 時点でのサンプリング直前の総個体数

M_i : i 時点でのサンプリング直前の標識個体の総個体数

n_i : i 時点の採捕数

m_i : i 時点の採捕数中の標識個体数

R_i : i 時点で標識放流された数

r_i : i 時点で標識放流され、その後再捕された合計個体数

z_i : 時点 i より前に標識され、時点 i では捕らえられず時点 i 以降再捕された個体数

⑤ 瞬間成長率 (SGR)

これまで複数回採捕された天然ウナギと、放流後再捕された養殖ウナギについて、全長と体重の瞬間成長率 Specific Growth Rate (SGR) を下記の

式により求めた。

(第 s 回及び第 t 回で採捕されたウナギの瞬間成長率)

$$\text{全長 SGR (\%/day)} = 100 \times (\ln(L_{i+1}) - \ln(L_i)) / T$$

$$\text{体重 SGR (\%/day)} = 100 \times (\ln(W_{i+1}) - \ln(W_i)) / T$$

Ls : 時点 s 時全長 (mm)

Lt : 時点 t 時全長 (mm)

Ws : 時点 s 時体重 (g)

Wt : 時点 t 時体重 (g)

T : 時点 s から時点 t までの期間 (日)

(2) 汲み上げ放流手法の開発 (蛸集試験・隠れ家効果試験)

ア 目的

ニホンウナギの生息域増大のため、河川横断工作物の下流で採捕し即座に上流へ放流する「汲み上げ放流」の効率的な手法を検討する。

イ 方法

① 試験地の概要

実験池の44.5トンコンクリート水槽 (4m×8m) 2面に、ナイロンモジ網 (66-140径) 製の試験用生け簀 (2m×2m) をそれぞれ2基ずつ設置した。(図6)

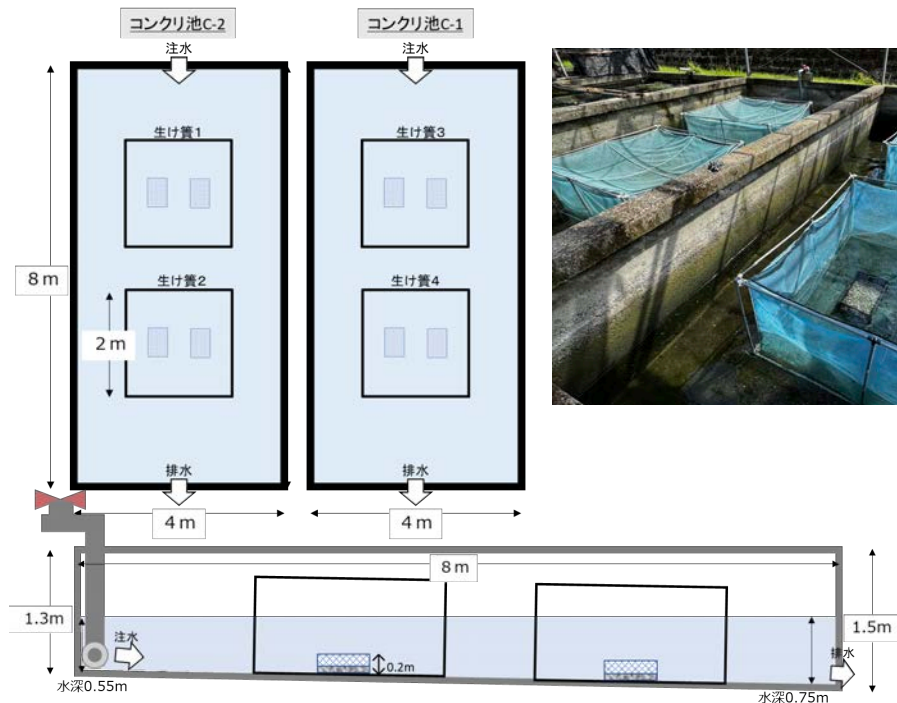


図6 試験池の構造

② 汲み上げカゴ

汲み上げカゴは、縦55×横37×高さ20 cmのプラスチック製のカゴを使用し、側面と底面は1.2 cm角の網目状構造である。カゴの底面には、取揚時のウナギ脱走防止のための1.5mmメッシュの網（タマネギ袋）を貼り付け、上面にはネトロン網（目合い0.8cm）で蓋を設置した。

カゴは、基質として落葉広葉樹の葉をいれた「葉カゴ（図7）」と、造園用の石（径2-3 cm）を入れた「石カゴ（図8）」の2種類を用意した。どちらも基質の厚さは6 cm程度で、総重量は葉カゴが6.5kg（浮き防止のおもり1kgを含む）、石カゴが17kgであった。



図7 葉カゴ



図8 石カゴ

③ 試験に供した養殖ウナギ

養殖ウナギは、令和6年2月15日に国立研究開発法人水産研究・教育機構横浜庁舎から4月24日に実験池に100尾を受入れた。

1つの生け簀につき供試魚を10尾、各生け簀のサイズ組成が同様になるよう振り分けた（表2）。試験期間中、脱走等した時は、脱走個体と同様のサイズの個体を予備のストックから補充した。

(a) 蛸集試験

9月13日時点で120mm以上159mm未満のニホンウナギを使用。

(b) 隠れ家効果試験

11月1日時点で130mm以上169mm未満のニホンウナギを使用。

本試験では、供試魚とは別に、供試魚よりも大きい天然ウナギ（以下、ウナギ大とする。）（10月15日に鹿児島県枕崎市の花渡川において、電気ショッカーにて採捕したもの。平均全長 430.5 ± 13.7 mm，平均体重 97.1 ± 14.3 g）を各生け簀に1尾ずつ池入れした。

表2 供試魚全長組成（尾）

全長(mm)	(a)蛸集試験	(b)隠れ家効果試験
120~129	3	0
130~139	3	2
140~149	2	3
150~159	2	4
160~169	0	1
合計	10	10

④ 計測

供試魚池入れ時は，供試魚に麻酔をかけ，全長を計測。試験は1週間以上馴致してから行った。カゴの引き上げ時は，麻酔をかけずに全長のみ計測した。

⑤ 検討内容

試験用生け簀には，汲み上げ放流においてウナギを採捕する目的で使用するために試作した「汲み上げカゴ」を2種類設置し，生け簀内の供試用ウナギ10尾の行動を観察した。

「蛸集試験」では，カゴ内の基質が異なる2種類のカゴについて採捕効率の比較を行った。（試験期間：令和6年9月13日～令和6年11月1日）

「隠れ家効果試験」では，供試用ウナギより大きい天然ウナギが近くに生息している場合，汲み上げカゴが隠れ家として機能するか等，大きい天然ウナギの有無による比較を，1つ目の蛸集試験の結果も含めて検討を行った。（試験期間：令和6年11月29日～令和7年1月31日）

結果：

1 放流通地の検討

ア 採捕数と再捕率

① 養殖ウナギ

養殖ウナギは、放流日（7月30日）以降の3回の調査で、延べ34尾採捕された。このうち、10月21日に採捕された1尾については、12月19日に再度採捕され、再捕率は6.1%であった。（表3）

表3 養殖ウナギ採捕数

放流した 区域	放流尾数	採捕数 (放流区域とは別の区域で採捕されたものも含む)					再捕数	再捕率
		7月30日	8月8日	10月21日	12月19日	総数(延べ)		
上流	180	9	2	1	12	4	11	6.1%
中流	180	20	2	0	22	7.3	22	12.2%
下流	180	0	0	0	0	0	0	0.0%
合計	540	29	4	1	34	11.3	33	6.1%

② 天然ウナギ

天然ウナギは、4月以降の5回の調査で延べ76尾を採捕された。（表4）

昨年度までに採捕された天然ウナギを含めると、38回の調査で786尾（標識放流個体数）の天然ウナギにPITタグを挿入・放流し、標識放流後の再捕数は239尾であったことから、再捕率（＝「再捕数」／「標識放流個体数」）は30.4%と算出され、このうち、標識放流後1年未満で再捕された個体は150尾であり、再捕率は19.1%であった（表5、図9、10）。

表4 天然ウナギ採捕数・再捕率（今年度調査）

試験 区域	今年度調査 2024年度，調査合計 5 回						総数 (延べ)	平均 採捕数
	調査回別採捕数							
	4月18日	7月18日	8月8日	10月21日	12月19日			
上流	-	1	0	0	1	2	0.4	
中流	12	3	9	10	4	38	7.6	
下流	10	1	10	5	10	36	7.2	
不明	0	0	0	0	0	0	0	
合計	22	5	19	15	15	76	15.2	

表5 天然ウナギ採捕数・再捕率（全調査）

昨年度までの調査を含む全ての調査結果							
2015～24年度，調査合計38回							
試験 区域	総数 (延べ)	平均 採捕数	標識放流 個体数	再捕数		再捕率	
				採捕数	うち1年未満 採捕数	全体	うち 1年未満
上流	2	0.4	2	0	0	0.0%	0.0%
中流	490	12.9	315	100	53	31.7%	16.8%
下流	731	19.2	464	139	97	30.0%	20.9%
不明	5	0.1	5	-	-	-	-
合計	1228	32.7	786	239	150	30.4%	19.1%

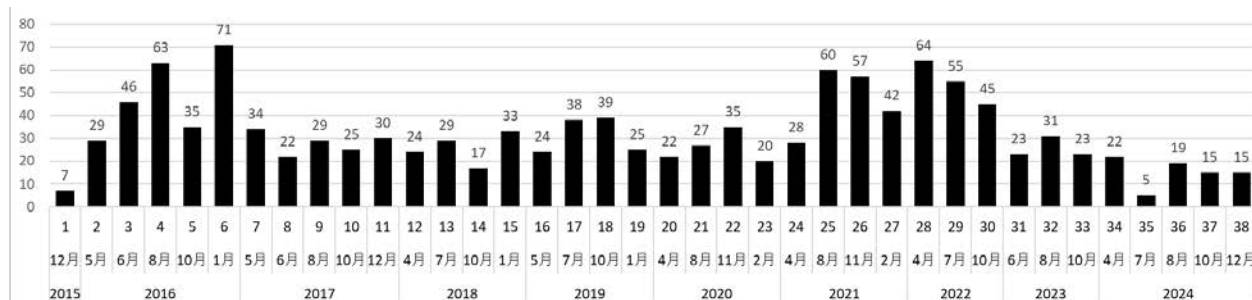


図9 採捕数の推移

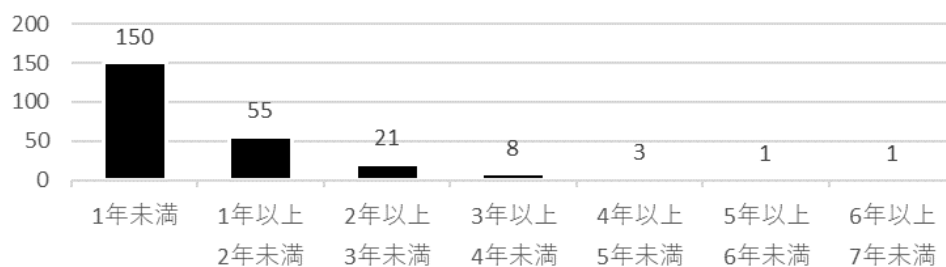


図10 標識放流から1回目の採捕までの期間別の尾数

イ 全長（TL）と体重（BW）

調査で採捕された養殖ウナギと天然ウナギ延べ1,262尾全長と体重の関係は図11のとおり，指数関数的に増加する曲線を示し，全長が40cmを超え始めた頃から体重が急激に増加する傾向を示した。

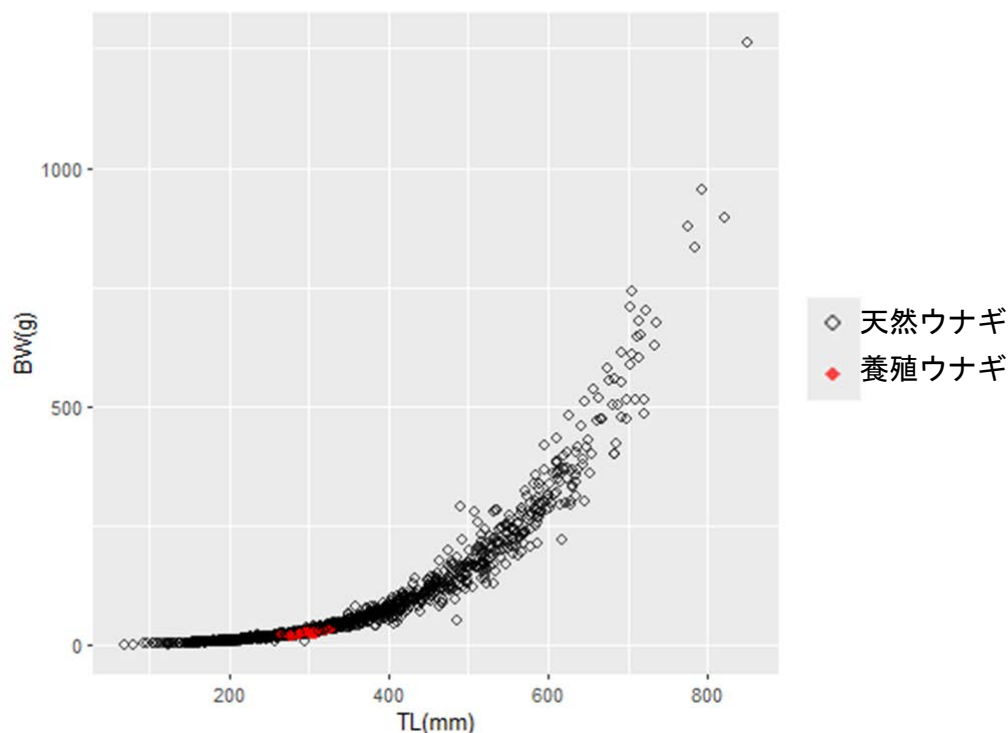


図11 採捕個体の全長（TL）および体重（BW）の関係

ウ 天然ウナギの個体数推定

① Jolly-Seber法による個体数推定

Jolly-Seber 法による平成 28 年 6 月以降の天然ウナギの推定生息尾数の推移は図 12 のとおり。下流は 21.9～546.0 尾の範囲で、中流は 72.6～742.5 尾の範囲で推移していた。現時点で算出可能な直近の個体数は、令和 6 年 8 月現在で中流：90 尾，下流：90 尾であった。

※ ただし、調査区上流で採捕された天然ウナギと、令和 6 年 4・7 月に標識放流された調査区中流及び下流の天然ウナギについては、標識放流後、同区間内での採捕がなかったため、Jolly-Seber 法による個体数推定ができなかった。

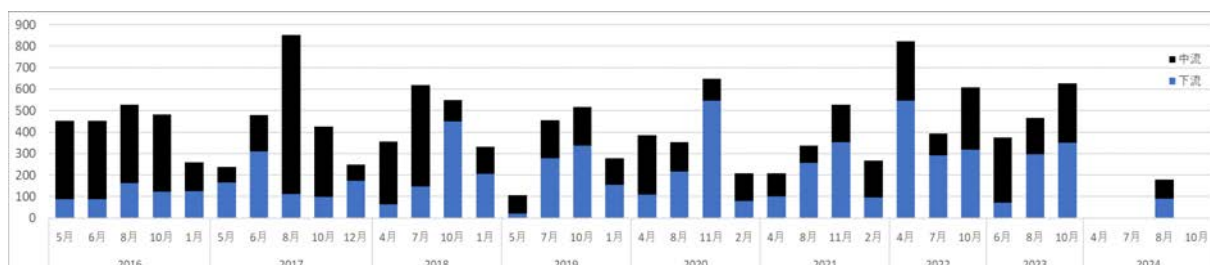


図12 天然ウナギの推定生息尾数の推移

② 推定密度

試験区域（中流・下流）100 m²あたりの生息密度は、令和6年8月現在で中流：2.18 尾/100 m²，下流：2.16 尾/100 m²と推定された(図12)。

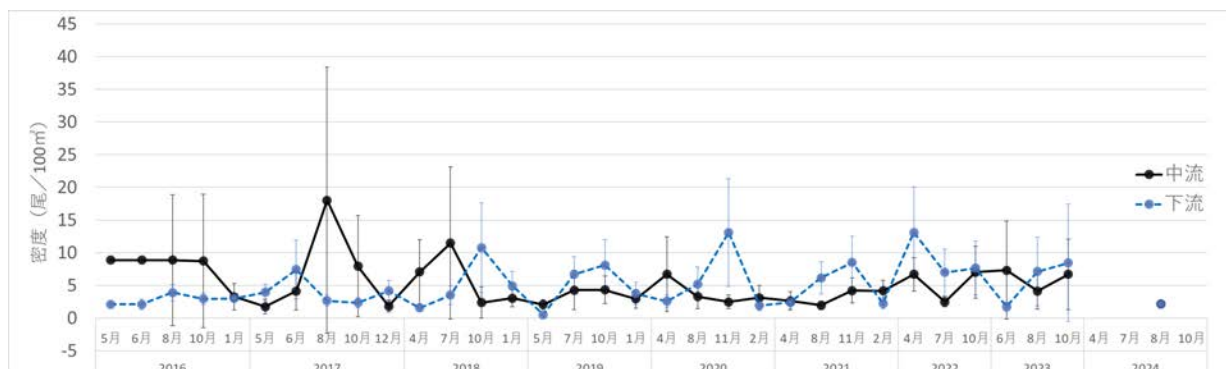


図12 天然ウナギの推定生息密度の推移

エ 瞬間成長率

① 全長

天然ウナギと養殖ウナギで瞬間成長率の平均値を比較したところ、養殖ウナギは天然ウナギと比較して、優位に低かった(図13)。

また、天然・養殖ともに、区間による瞬間成長率の有意な差は見られなかった。(図14)

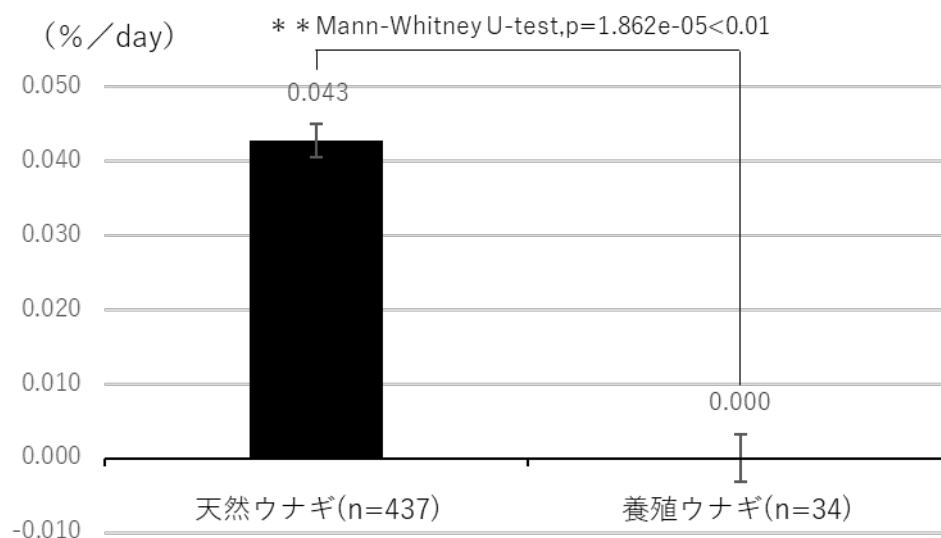


図13 瞬間成長率（全長）

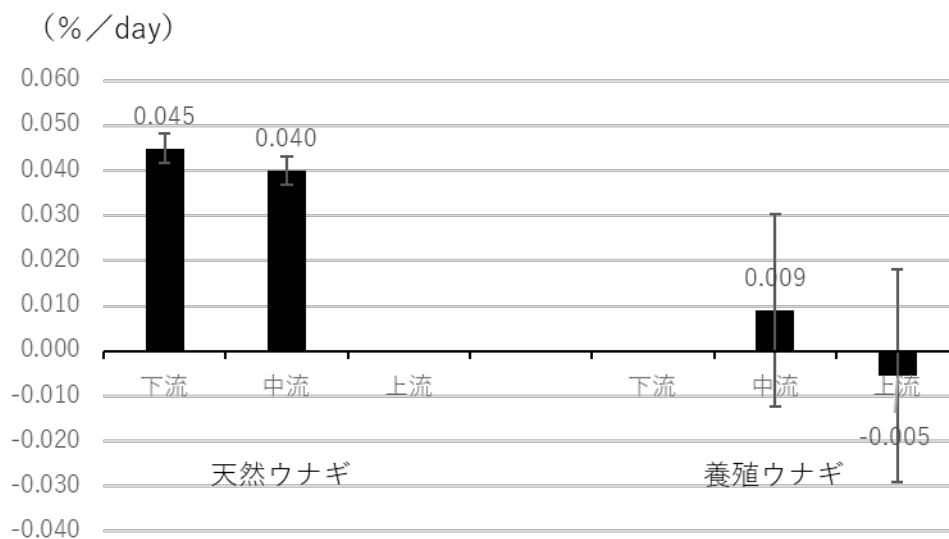


図14 調査区域別瞬間成長率（全長）

②体重

天然ウナギと養殖ウナギで瞬間成長率の平均値を比較した。

養殖ウナギの大半（94％）について瞬間成長率がマイナスとなっており，天然ウナギと比較して優位に低かった（図15）。また，天然・養殖ともに，試験区域による瞬間成長率の有意な差は見られなかった。（図16）

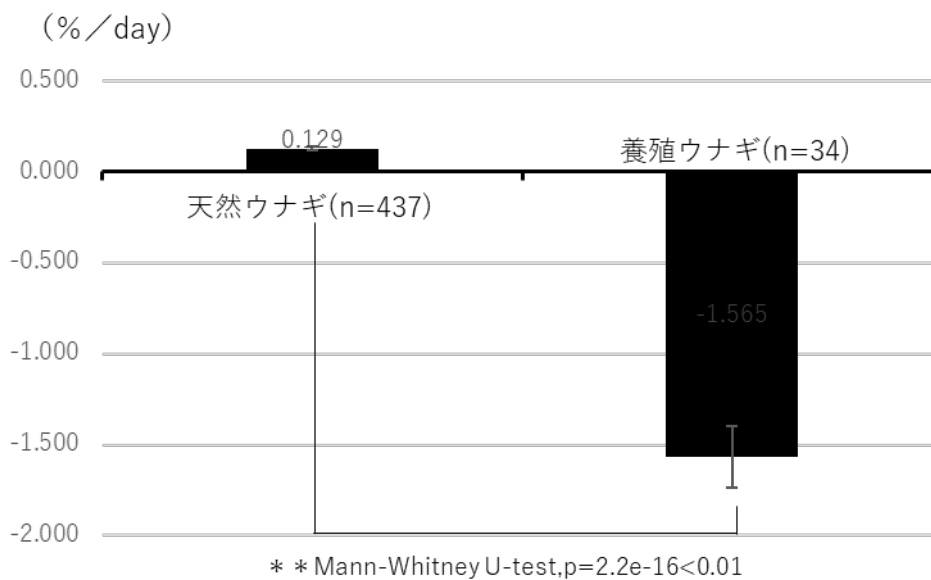


図15 瞬間成長率（体重）

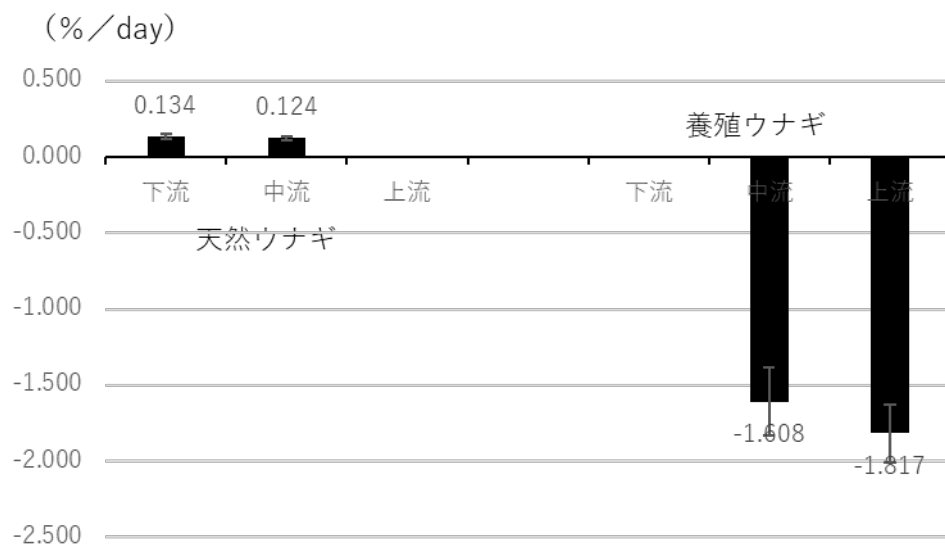


図16 調査区域別瞬間成長率（体重）

オ 移動

① 天然ウナギ

平成28年度から再捕された天然ウナギについては，連続する2回の採捕調査間での移動距離が上下50mの範囲内であった個体は延べ293尾(67%)であった。（図17）

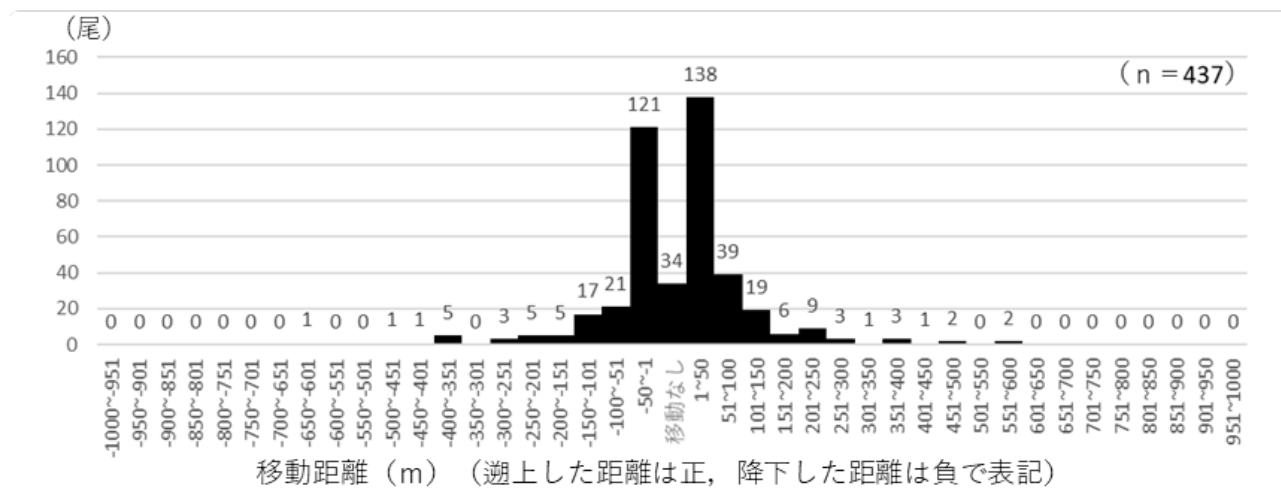


図17 天然ウナギの移動距離

② 養殖ウナギ

今年度に採捕された養殖ウナギについては，放流地点からの移動距離が上下50mの範囲内であった個体は延べ20尾(59%)であった。（図18）最大移動距

離は上流方向に65m, 下流方向に990mで下流方向への移動が大きかった。

また, 上流区で放流された養殖ウナギは, 全ての区域で再捕され (図19), 中流区域で放流された養殖ウナギは, 中流区域内でのみ再捕された。移動の方向として, 78.8%が放流地点よりも上流で採捕されていた (図20) が, 採捕された個体の多くは放流区間の上流へ向かい, 移動障壁となる段差・堰を通過できなかった個体とどまっていたものと考ええる。

上流で放流した個体が放流3か月後に堰も通過して990m下流で見ついていることや, 下流区域の養殖ウナギが1尾も採捕できていないことなど, 多くの個体が下流へ長距離移動した可能性も否定できない。

放流3日後に回収した上流のふくろ網では1尾も採捕されなかったことから, 放流後すぐに下流へ向かうわけでないと考ええる。

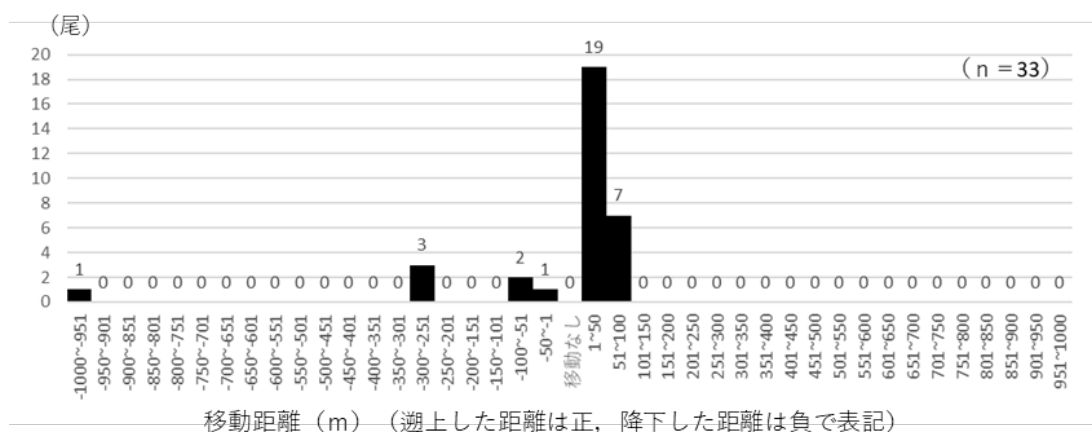


図18 養殖ウナギの移動距離

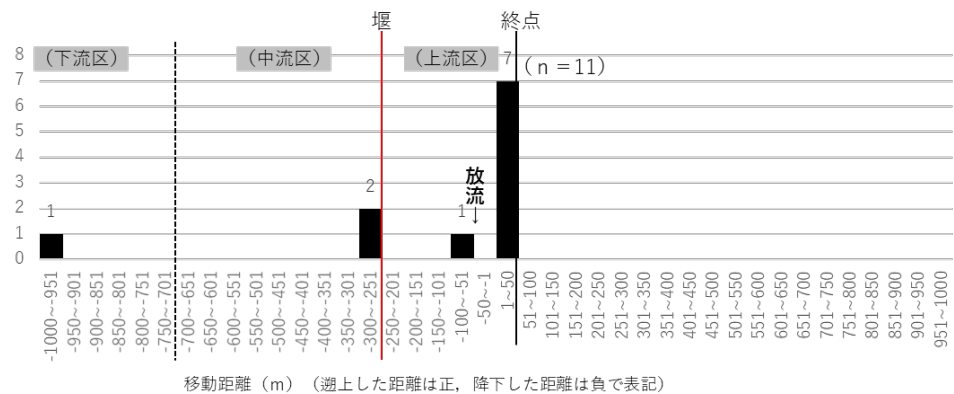


図19 上流区で放流された養殖ウナギの移動距離 (m)

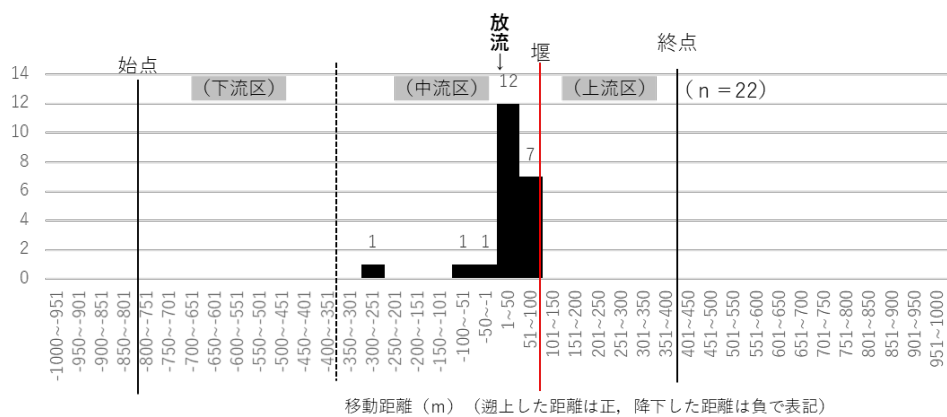


図20 中流区で放流された養殖ウナギの移動距離 (m)

2 汲み上げ放流手法の開発（蛸集試験）

ア 尾数

全ての試験回において、ウナギはカゴ内に侵入したが、全てのウナギがカゴ内に侵入した試験回はなかった(表6)。

表6 カゴ（※表内も要修正）に入った尾数

試験回	引き上げ日	生け簀番号	かご内		かご外	合計	補足
			葉	石			
1	2024/10/4	1	3	0	6	9	1尾脱走
		2	2	1	7	10	
		3	5	2	3	10	
		4	1	1	8	10	
2	2024/10/11	1	3	2	5	10	1尾脱走
		2	2	2	6	10	
		3	0	3	7	10	
		4	0	2	7	9	
3	2024/10/18	1	0	3	7	10	
		2	1	5	4	10	
		3	1	6	3	10	
		4	3	3	4	10	
4	2024/10/25	1	4	4	2	10	1尾脱走
		2	2	3	5	10	
		3	3	3	3	9	
		4	3	5	2	10	
5	2024/11/1	1	2	6	2	10	
		2	3	5	2	10	
		3	1	6	3	10	
		4	3	4	3	10	

イ カゴの利用

各試験回におけるカゴの利用状況についてロジスティック回帰分析を行った。(図21)

その結果、試験回を重ねるに従い、カゴ内に侵入する個体の発生確率は有意に高まった。(p < 0.001)

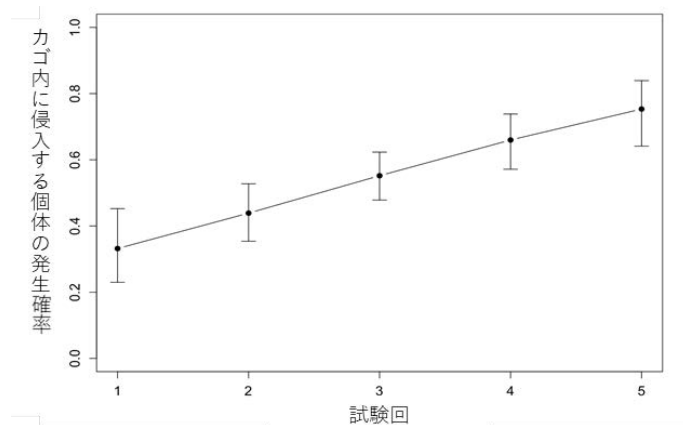


図21 カゴの利用個体の発生確率

ウ カゴの選択

各試験回における葉カゴと石カゴの選択性について、2項検定により分析した。(図22)

その結果、第3回と第5回の試験では、葉カゴに比べて石カゴを選択する個体数が有意に多かった。(p < 0.05)

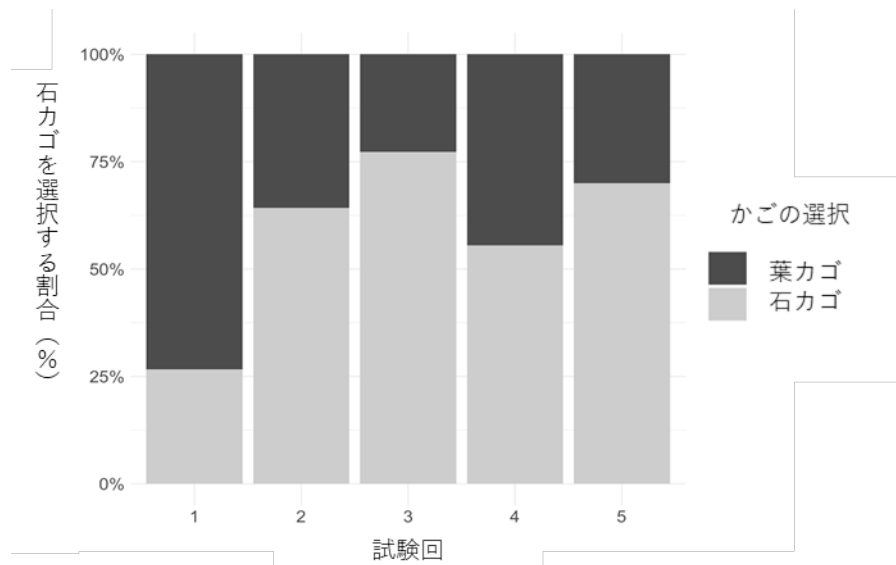


図22 カゴの選択

エ 各カゴに入ったウナギの全長

カゴ内外のウナギの平均全長 (±SD) は、葉カゴ : 13.7 ± 1.2cm, 石かご : 13.9 ± 1.1cm, カゴの外 : 13.9 ± 1.3cmであり、カゴの選択による全長の差は見られなかった (図23, 24)。

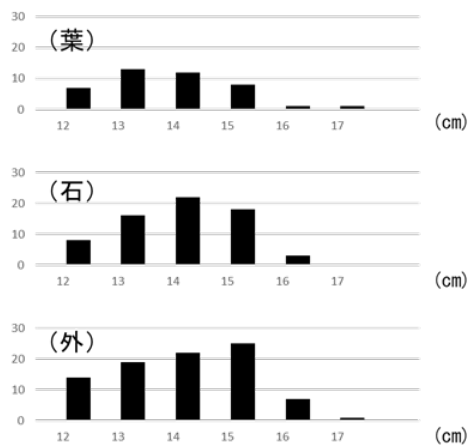


図23 平均組成

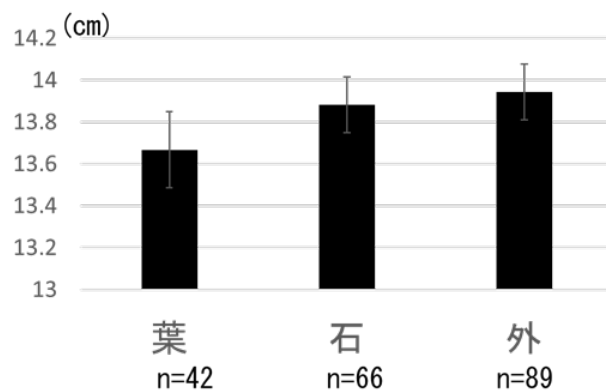


図24 全長

3 汲み上げ放流手法の開発（隠れ家効果試験試験）

ア 尾数

全ての試験回において，ウナギはカゴ内に侵入したが，全てのウナギがカゴ内に侵入した試験回はなかった（表7）。

ウナギ大は，7回目の試験の生け簀番号3でのみ石カゴ内に侵入していたが，その他の試験回では全て葉かご内に侵入していた。また，5回目の試験の生け簀番号3では，供試魚がウナギ大に捕食された。

表7 カゴに入った尾数

試験回	引き上げ日	生け簀番号	カゴ内		カゴ外	合計	ウナギ大	補足
			葉	石				
1	2024/12/6	1	4	4	2	10	葉	
		2	2	6	2	10	葉	
		3	0	3	3	10	葉	
2	2024/12/13	1	2	5	3	10	葉	
		2	2	6	2	10	葉	
		3	0	4	6	10	葉	
3	2024/12/20	1	2	4	4	10	葉	
		2	2	3	5	10	葉	
		3	1	6	3	10	葉	
4	2024/12/27	1	4	3	3	10	葉	年末年始休業のため ウナギを水槽へ移動。 1/10に再設置。
		2	3	1	6	10	葉	
		3	1	4	5	10	葉	
5	2024/1/17	1	2	3	5	10	葉	1尾ウナギ大により捕食された
		2	0	2	8	10	葉	
		3	1	4	4	9	葉	
6	2024/1/24	1	0	3	7	10	葉	
		2	2	1	7	10	葉	
		3	2	0	8	10	葉	
7	2024/1/31	1	2	2	6	10	葉	
		2	1	3	6	10	葉	
		3	0	3	7	10	石	

イ カゴの利用

各試験回におけるカゴの利用状況についてロジスティック回帰分析を行った。（図25）

その結果，試験回を重ねるに従い，カゴ内に侵入する個体の発生確率は有意に低くなった。（ $p < 0.05$ ）

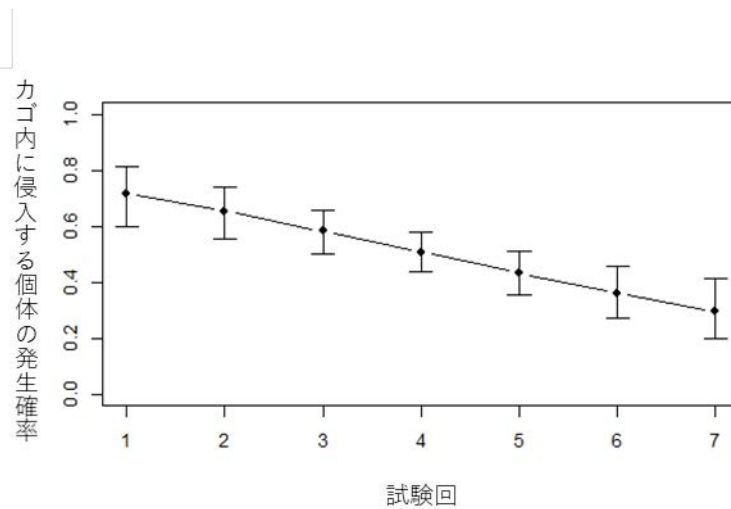


図25 カゴを選ぶ個体の発生確率

ウ カゴの選択

各試験回における葉カゴと石カゴの選択性について、2項検定により分析した。(図26)

その結果、第2回の試験では、葉カゴに比べて石カゴを選択する個体数が有意に多かった。(p < 0.05)

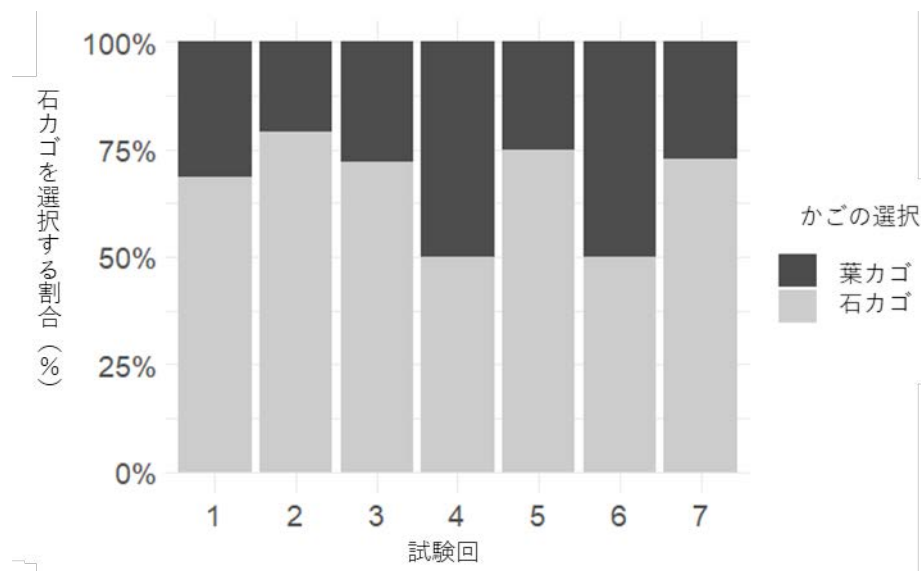


図26 かごの選択

エ 各カゴに入ったウナギの全長

カゴ内外のウナギの平均全長 (±SD) は、葉カゴ : 14.5 ± 1.1cm, 石カゴ : 14.7 ± 0.8cm, カゴの外 : 14.9 ± 1.0cmであり、カゴの選択による全長の差は見

られなかった（図26, 27）。

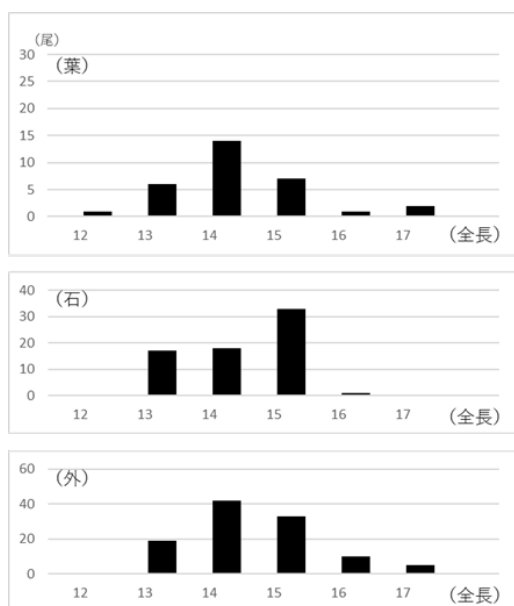


図26 サイズ組成

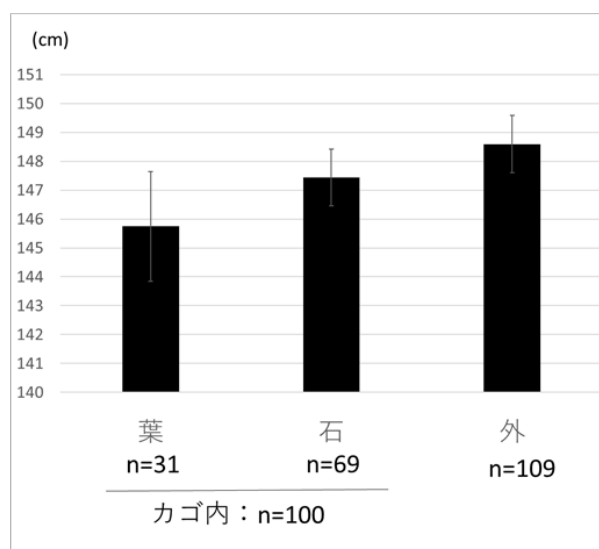


図27 全長

課題と対応策：

1 放流適地の検討

養殖ウナギの再捕率は、上流区域で放流したウナギに比べ中流区域で放流したウナギの方が高かったが、上流区域は水深が深い場所があるなど、電気ショッカーでの調査ができない範囲が広いことから再捕率を比較することはできない。また、電気ショッカーで採捕できない範囲については、竹筒やふくろ網を設置して捕獲を試みたが、採捕には至らなかった。

このことから、上流区域での採捕調査が困難であることから、新たな河川で天然ウナギの密度が低い区域を設定し、調査を実施する必要がある。

一方で、過去の放流試験では、放流後1年目の養殖ウナギは天然ウナギと比べて肥満度が低下する傾向が見られるが、その後の肥満度は上昇し、天然ウナギと比べても遜色ない数値まで回復する結果が得られている（図28）ことから、本河川で放流した養殖ウナギも採捕調査を継続して実施し、同様の傾向があるかを確認する必要があると考える。

さらに、過去の放流試験では、養殖ウナギが放流後に下流方向へ移動している結果が得られている。本調査では、上流区域で放流した養殖ウナギが中流区域と下流区域で採捕され、中流区域と下流区域で放流した養殖ウナギは放流した区域以外では採捕されていないため、過去試験の結果と同様に下流方向へ移動し、下流区域よりもさらに下流へ移動した可能性がある。

来年度に放流する際は、PIT タグアンテナを設置し、放流後の養殖ウナギがどの程度の期間で調査区域外へ移動しているかを確認するとともに、移動要因（増水時など）を確認する必要がある。

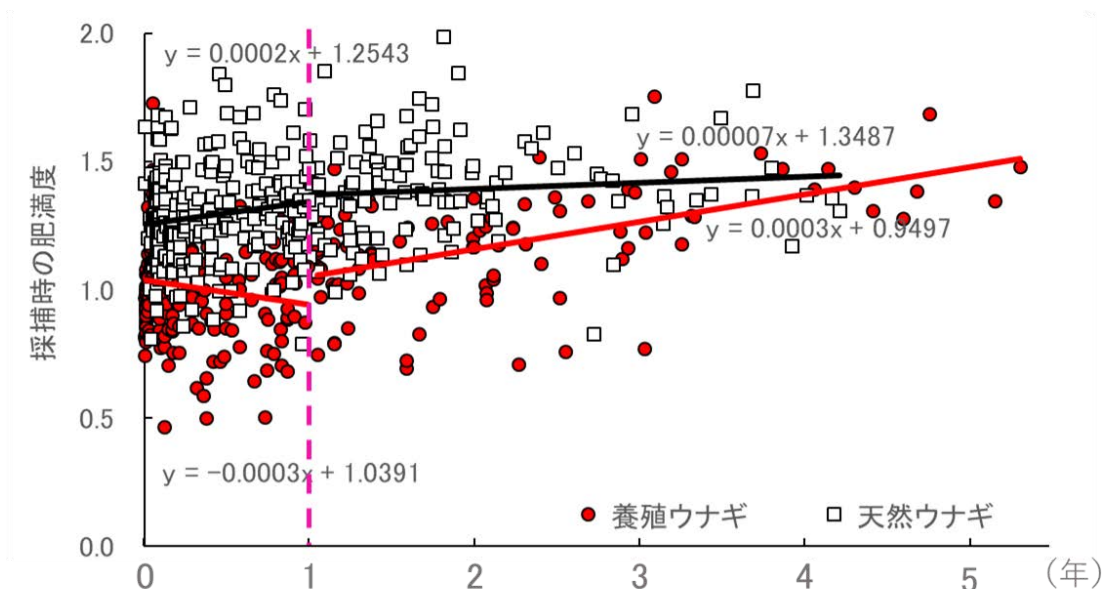


図 28 花渡川での放流試験 放流後採捕時の肥満度

2 汲み上げ放流手法の開発

1つ目の「蛸集試験」については、カゴ内の基質が異なる2種類のカゴについて採捕効率の比較を行ったところ、試験回数を重ねるとカゴ内に侵入するウナギが増加し、その際に基質が石のカゴを選択する傾向がみられたが、有意な差が得られたのは調査5回中2回であり、1回目の試験では基質が石よりも葉のカゴ内にウナギが多く侵入した。

また、計測はしていないが、生け簀とカゴの隙間に隠れているウナギを毎回確認していることから隙間に入れなかったウナギが隠れ場所を求めてカゴ内へ侵入した可能性や、生け簀へカゴを設置した後、ウナギを放流したため着底せず泳いでカゴの上面から侵入した可能性を否定できない。

このことから、ウナギが基質の葉や石を積極的に選択してカゴ内に侵入しているとは言い難く、偶然カゴ内に侵入したウナギが定着した可能性が高いと考える。

次年度は、ウナギがカゴ内へ侵入する際、基質が存在することによる選択性や有効性を検証するため、同一条件下においてカゴのみでの試験を実施し、今年度の調査結果の根拠付けを図りたい。

2つ目の「隠れ家効果試験」については、脅威となるウナギ大を混泳させることで、カゴ内に侵入する供試魚が増加することを想定していたが、試験回を重ねる度に有意にカゴ内に侵入する供試魚が減少するという逆の結果が得られた。この原因について、現時点では明確な理由を導き出すことができていない。

次年度は、蝸集効果試験の検証に注力することとし、当該試験の結果をもって再度カゴによる隠れ家効果の検証を実施するかを検討したい。

次年度計画：

1 放流適地の検討

横断工作物の上下で養殖ウナギの放流を行い、再捕率や成長率等について継続して採捕調査を行う。

2 汲み上げ放流手法の開発

ウナギがカゴ内へ侵入する際、基質が存在することによる選択性や有効性を検証するため、同一条件下においてカゴのみでの試験を実施し、今年度の調査結果の根拠付けを図る。

令和 6 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	エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	「①ニホンウナギ等の資源増殖手法の高度化」のうち、放流に適した種苗の検討 ―宮崎県河川を主とした調査―		
担 当 者	三木涼平、入木田敦、林悠真、田口智也（宮崎県水産試験場）、福田野歩人、山本祥一郎、畠山 類、阿部倫久（水産研究・教育機構）、棟方有宗（宮城教育大学）、吉川昌之、飯沼紀雄（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		

令和 6 年度の成果の要約：宮崎県日置川において、シラスウナギ、初期黄ウナギ及び、成長の異なる養殖黄ウナギ（新仔、ビリ）の放流試験を実施した。その後の採捕調査の結果、シラスウナギ放流群は 1 尾も採捕されなかった一方で、初期黄ウナギ放流群は、放流時から順調に成長し、同河川の天然個体に近い生息数を作り出しており、放流群と天然加入群でも分布に違いはないものと推察された。今回の結果から、初期黄ウナギへ育成してからの放流は、成長および残存において、シラスウナギ放流よりも効果的であることが示唆された。

養殖黄ウナギの放流試験については、固定式 PIT タグアンテナでの探知調査の結果から、ビリ（養殖場で 1 年半かけて全長 30cm 程度となった低成長個体）の降河尾数が新仔（養殖場で半年かけて全長 30cm 程度となった高成長個体）よりも若干多くなることが示唆された。また、新仔、ビリは、降雨に伴って下流へ移出するものの、台風が接近した放流後 3 週間程度までで見ると、移出率は 5.2~8.1%でそれほど多くはないものと考えられた。なお、アンテナで検出された新仔、ビリの体サイズは放流魚全体の体サイズの平均値から大きく離れていなかったことから、移動（降河）の有無に体サイズは影響していないものと考えられた。10 月の採捕調査では、4 尾のビリのみが再採捕され。体重は 4 尾ともに 8 月の放流時より 1/3 以上減少していた。これらの放流黄ウナギ（ビリ群）は放流後、摂餌していないことが示唆された。

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 I B 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) 全体計画

目的：ニホンウナギ資源の増大を目指して、効果的な放流手法について検証する。

方法：宮崎県一ツ瀬川水系日置川において、シラスウナギ、初期黄ウナギ及び、成長の異なる養殖黄ウナギ（新仔、ビリ）を放流し、放流後の体サイズや移動といった採捕データを収集、解析する。同時に、同河川における天然ニホンウナギの採捕データも収集する。5 年かけて採捕データを収集し、それぞれの成長段階における成長率や残存率を算出する。

期待される成果：各成長段階における残存率・成長率を明らかにすることで、資源の増大に最も効果的な放流手法を明らかにする。

(2) 当該年度の計画

目的：全体計画の達成に向けて、成長段階の異なるニホンウナギを放流し、採捕データの収集に努める。

シラスウナギおよび育成初期黄ウナギの放流調査

方法：放流用のシラスウナギは 4 月 15 日に利根川下流域で商業的に採捕された 1350 個体を用いた。放流用の初期黄ウナギは、2 月 14 日に利根川下流域で商業的に採捕され、静岡県水産海洋技術研究所浜名湖分場へ輸送して育成、3 月 22 日にそれらを水産技術研究所横浜庁舎へ輸送して管理した。初期黄ウナギは、4 月 3 日～8 日にイラストマーを背鰭始部前方に注入し、外部標識を行った。4 月 17 日には、シラスおよび初期黄ウナギともに、50ppm の A L C 溶液（淡水 20℃）に 24 時間浸漬して、耳石標識を施した。4 月 23 日に空輸して、宮崎県水産試験場内水面支場へ輸送し、2-フェノキシエタノールで麻酔して放流前の全長体重の測定と色素段階区分を行った。4 月 25 日に日置川の黄ウナギ調査区最下流から 100~150m 下流の感潮域で、シラスウナギ 1350 個体、初期黄ウナギ 1051 個体を放流した。

10 月 15 日～17 日に採捕調査を実施した。調査区域は、感潮域上端の可動堰より 250m 下流の地点から可動堰上流 1140m までとした（図 1）。採捕調査は、電気ショッカーによって実施し、可動堰 250m 下流から可動堰までの区間（感潮域）は全域を、可動堰より上流は後述する黄ウナギ調査と同様の方法で捕獲調査を行った。感潮域では全長 26cm 以下、淡水域は全長 15cm 以下をサンプリングし、それより大きい個体は、イラストマーの有無を確認して、再放流した。

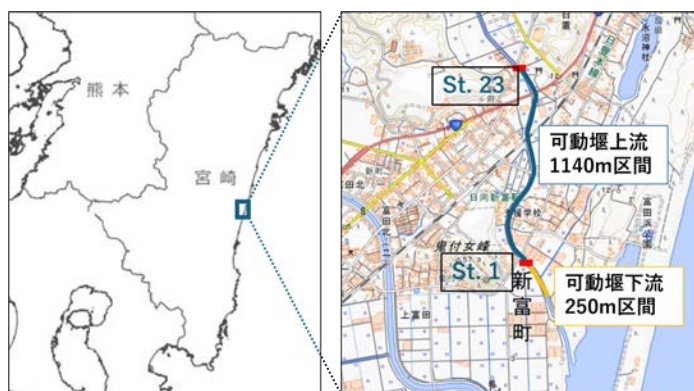


図 1 調査区間の位置図

結果と考察: 放流時の計測で、シラスウナギ群 ($n=30$) は全長 $56.6 \pm 1.9\text{mm}$ 、体重 $0.10 \pm 0.01\text{g}$ 、色素発達段階は $\text{VI}_{A1}-\text{VI}_{A3}$ 、初期黄ウナギ群 ($n=30$) は全長 $104.8 \pm 13.3\text{mm}$ 、体重 $1.17 \pm 0.44\text{g}$ 、色素発達段階は Y (1 個体は VI_B) であった。

10 月の調査では、59 個体のニホンウナギが捕獲し、実験室へ持ち帰った。これらについて、耳石を摘出し、耳石標識の確認を行ったところ、シラスウナギ放流群 0 個体、初期黄ウナギ放流群 13 個体を含んでいた。また、初期黄ウナギ放流群 13 個体のうち、2 個体ではイラストマーの脱落が見られた。初期黄ウナギ放流群は、全長 $141.2 \pm 17.8\text{mm}$ 、体重 $2.69 \pm 1.19\text{g}$ であり、放流時から順調に成長しているものと考えられた。

10 月調査において捕獲して年齢査定をした結果、0 歳魚は 30 個体含まれ、そのうち天然個体は 17 個体、初期黄ウナギ放流群は 13 個体であった。今回の初期黄ウナギ放流群 1051 個体であったが、この放流で同河川の天然加入個体に近い生息数を作り出しているものと推察された。

捕獲地点について、初期黄ウナギ放流群と天然加入の 0 歳魚について見ると、いずれも可動堰直下 50m に多く、それ以外は分散して分布していた (図 2)。放流群と天然加入群との間で、分布に違いはないものと推察された。10 月採捕調査時の体サイズについて、初期黄ウナギ放流群および天然加入 0~2 歳魚で比較すると、初期黄ウナギ放流群は天然加入個体の 0 歳魚と 1 歳魚の中間の大きさであった (図 3)。

これらのことから、初期黄ウナギへ育成してからの放流は、成長および残存において、シラスウナギ放流よりも効果的であることが示唆された。シラスウナギ放流群が、天然加入のシラスウナギと同等のものであると考えた場合、シラスウナギは大量の減耗を経験しているものと推察された。一方、シラスウナギを短期的に育成することは、資源増大の効果を高められる可能性があることが本調査で示唆された。今後も、放流と採捕調査を継続し、シラスウナギ放流群および初期黄ウナギ放流群の生残率や捕獲率等についても把握する必要がある。

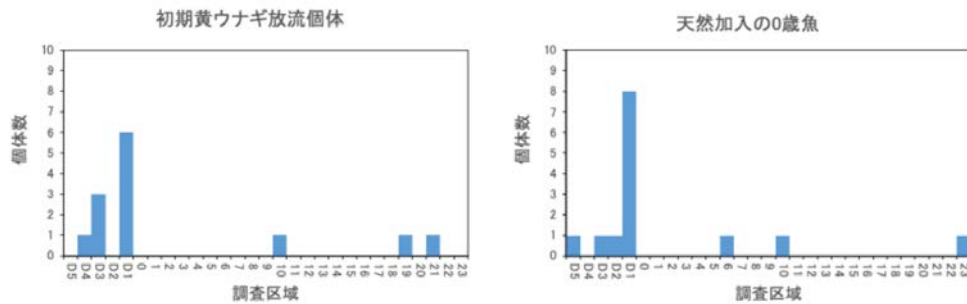


図2 2024年10月調査時の分布状況（放流群と天然加入群）

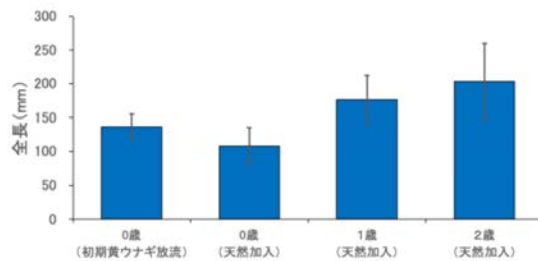


図3 2024年10月調査時の全長比較（放流群と天然加入群）

養殖黄ウナギ2群（新仔・ビリ）の放流と天然黄ウナギの標識採捕調査

方法：

放流用養殖試験魚

放流用の養殖黄ウナギ2群（新仔・ビリ）は浜名湖うなぎ漁業生産組合で養殖された黄ウナギを試験魚とし、新仔にはイソフラボンを配合飼料に混ぜてメス化を期待して養成されたウナギを用いた。試験魚は7月18日に空輸便で宮崎県水産試験場内水面支場へ輸送し、コンクリート製の2水槽（3t、2m×5m×水深約30cm）を用いて、17℃の湧水で掛け流しをして飼育した。餌は、収容翌日から、1日2回（平日）または1日1回（土曜日）人工飼料を飽食で与えた。7月22～24日に2-フェノキシエタノールで麻酔して全長と体重の測定、および個体写真を撮影後、PITタグを挿入し、同型の3水槽に分槽し、8月の放流前まで飼育した。測定時のビリ群と新仔群の平均全長（±標準偏差）は、それぞれ26.1±1.6cm（n=308）、24.4±2.1cm（n=307）、平均体重（±標準偏差）は、17.0±3.3g、17.2±4.7gであった。

日置川での放流試験

宮崎県日置川黄ウナギ調査区間とし、河口から上流に約600mの感潮域上端の可動堰を調査区間の基点（0m）に、基点から上流に1,140mの根固めブロックを終点に設定した（図1）。調査区間内には5mごとに区間表示を設置し、1区間50m×23区間（St. 1-23）とした。養殖黄ウナギの放流は8月8日に行い、St. 9～13、14～18、19～23の3

範囲に分けて、各範囲における 1 m²あたりの放流尾数を揃えて分散放流を行った。放流地点は各範囲の中央 (St. 11-5、16-5、21-5) とし、St.11-5 に新仔とビリを各 78 尾、St.16-5 に新仔 113 尾とビリ 114 尾、St.21-5 に新仔とビリを各 116 尾、放流した。また、2024 年 8 月 6 日に調査区域内の St.7-2 に固定式の PIT タグアンテナ (biomark 社 IS1001) を設置し、台風が接近する同年 8 月 26 日までの間、新仔およびビリの下流への移出をモニターした。

日置川の黄ウナギ調査区間における標識採捕調査

宮崎県日置川黄ウナギ調査区間にて、4 月、8 月、10 月に電気ショッカー調査を実施した。採捕したウナギは採捕地点ごとに網袋に入れて回収し、宮崎県水産試験場内水面支場の陸上水槽 (17℃湧水の掛け流し) に袋ごと安置した。採捕後 1～3 日以内に 2-フェノキシエタノールにて麻酔し、全長及び体重を測定後、個体写真を撮影した。また、PIT タグの有無を確認し、全長 15cm 以上の無標識個体については、PIT タグを挿入した。全ての採捕個体は、死亡や脱走した個体を除いて、採捕後 1 週間以内にそれぞれの採捕場所へ放流したが、10 月の調査では全長 15cm 以上の個体のみ再放流を行った。本河川では 2016 年からウナギの採捕調査を実施し、標識放流していることから、本調査では調査区間と区間表示の方法が本年度と同様の手法で実施された 2017 年以降の記録も用いて解析を行った。採捕個体については、2017 年 6 月以降の、延べ 24 回の採捕調査及び標識放流で得られた結果から、調査区間 (1,140m : 7,141 m²) の資源個体数を Jolly-Seber 法により推定し、調査対象河川の資源量を推定した。

結果と考察：4 月 24 日の調査では天然ニホンウナギ 85 個体を捕獲し、そのうち 2017 年以降の再捕個体は 19 個体であった。8 月 6 日の調査では 33 個体を捕獲し、そのうち再捕個体は 9 個体であった。10 月 16 日の調査では 37 個体を捕獲し、そのうち再捕個体は 13 個体であった。Jolly-Seber 法による推定では、8 月の天然ニホンウナギ個体数は 644 (±433) と推定された。推定個体数密度は、1 平米あたり 0.09 尾であった。

2024 年 8 月 8 日に放流した新仔 307 尾のうち 16 尾 (探知率 5.2%)、ビリ 308 尾のうち 25 尾 (探知率 8.1%) が固定式の PIT タグアンテナで検出された (表 1、図 4)。新仔、ビリの 3 地点への放流尾数は概ね同数であったことから、本結果からはビリの降河尾数が新仔よりも若干多くなることが示唆された。また、放流ステーションごとの検出割合を比較すると、固定式 PIT タグアンテナに最も近い St. 11-5 が最も多かったことから、下流地点の放流個体ほど下流への移出が多く起こるものの、全体としては、それほど多く移出が起こるものではなかった。

なお、今回の調査では 2021 年 11 月から 2024 年 8 月 6 日までの間に採捕、または再採捕された天然ウナギ 13 尾も固定式アンテナで検出された。参考までに、これら天然魚のほとんどは固定式 PIT タグアンテナが設置された St. 7-2 よりも下流の流域で最後に検出されていたことから、河川内を遡上している際に検出された個体もあったと考えられた。

上記の新仔、ビリ、天然魚は特に8月19日に多く検出されたが、この日は調査期間内で最も降水量が多かった日に該当した。このことから、新仔やビリ、天然魚は降水に伴って河川内を降河、または遡上する傾向があると考えられた。なお、アンテナで検出された新仔、ビリの体サイズは放流魚全体の体サイズの平均値から大きく離れていなかったことから、移動（降河）の有無に体サイズは影響していないものと考えられた。

10月16日の調査では、St. 12-1、13-9、17-7において計3尾の養殖黄ウナギが再採捕された。10月15日の下流域調査においても、黄ウナギ調査区間の始点から150～200m下流の地点において1尾の養殖黄ウナギが再採捕された。これら4尾は、いずれもSt. 16-5に放流したビリ群であった。体重は4尾ともに放流前から減少し、平均体重（±標準偏差）は $12.75 \pm 1.64\text{g}$ （放流前計測時： $19.38 \pm 2.94\text{g}$ ）であった。放流時より体重が1/3以上減少していたことから、これらの放流黄ウナギ（ビリ群）は放流後、十分な摂餌ができなかったことが示唆された。

表1 日置川の各ステーションに放流した新仔・ビリの尾数と検出割合

	新仔			ビリ		
放流ステーション	21-5	16-5	11-5	21-5	16-5	11-5
放流尾数	116	113	78	116	114	78
検出尾数	5	5	6	7	7	11
検出割合(%)	4.3	4.4	7.7	6.0	6.1	14.1

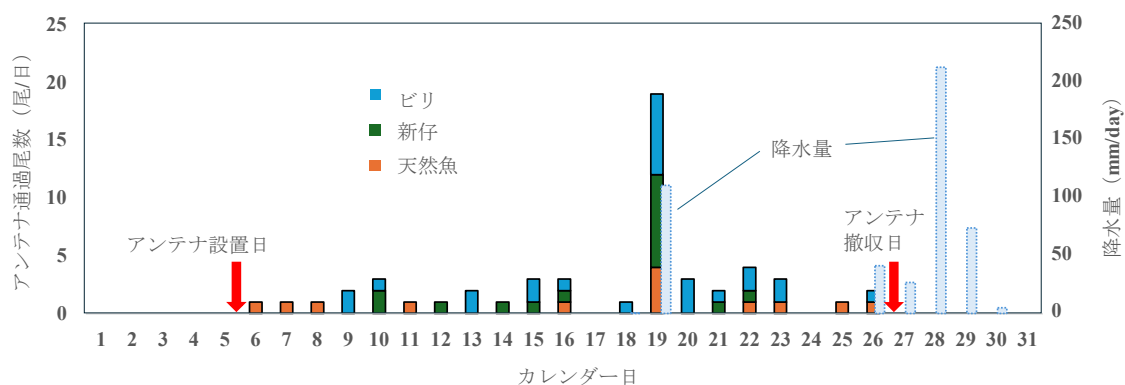


図4 宮崎県日置川に放流した新仔・ビリの検出尾数の変化。
最も多く検出された8月19日には、まとまった降水が見られた。

課題と対応策：ニホンウナギ資源の増加につながる効果的な放流手法として、初期黄ウナギへ育成してからの放流は、成長および残存において、シラスウナギ放流よりも効果的であることが示唆された。分布状況も天然加入個体と違いはなく、また、順調に成長しており、体サイズも当年の天然加入個体よりも大きかった。

また、固定式の PIT タグアンテナによって、養殖ウナギの河川放流後の移動を把握

することができるようになった。2024 年度は、ビリの降河尾数が新仔よりも若干多かったことから、放流地点への定着率の面では新仔ウナギの方が優れている可能性が示唆された。2024 年度は、8 月 6 日に固定式 PIT タグアンテナを設置したが、台風のため、8 月 26 日に撤収せざるを得なかった。同様の試験を行う場合は、台風シーズンを避けて行うことも必要となる。

現状放流されている養殖黄ウナギの放流効果に関しては、引き続き採捕調査を行い、天然個体と比較した成長や生存率を調べていく必要がある。

次年度計画：今年度と同様にシラスウナギと初期黄ウナギの放流を行い、個体数変化および短期中間育成による放流効果を調べる。養殖黄ウナギの放流は隔年で実施することとし、次年度の放流は行わない。黄ウナギ採捕調査は 4 月および 10 月の年 2 回とし、今年度放流個体のデータを引き続き収集する。

令和 6 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	エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	ニホンウナギ等の資源増殖手法の高度化」のうち、 放流に適した種苗の検討		
担 当 者	福田野歩人、山本祥一郎、關野正志、畠山類、阿部倫久（水産研究・教育機構）、田中俊充（和歌山県内水面試験地）、揖善継（和歌山県立自然博物館）、棟方有宗（宮城教育大）、吉川昌之、飯沼紀雄（静岡県水産海洋技術研究所）、脇谷量子郎（東京大学大気海洋研究所）、日本養鰻漁業協同組合連合会		

【令和 6 年度の成果の要約】

和歌山県高瀬川にて、高成長群および低成長群の養殖ウナギの放流試験を実施した。放流後の携行型 PIT アンテナおよび固定型 PIT アンテナでの探知調査では、養殖ウナギの下流への移出が夜間に多く起こり、放流直後と降雨時に多く移出していたことが確認された。低成長群は高成長群に比べて移出率が高く、放流直後の放流地点からの移動距離も大きい傾向があった。放流後 1 週間内において、放流直後の残存率低下は下流移出で説明されたが、次第に移出で説明されない残存率の低下がみられ、鳥などによる被食死亡の可能性も推察された。養殖場での高成長群および低成長群に遺伝的差異が生じているかを調べるため、高成長群 80 個体と低成長群 83 個体について、DNA をサンプリングして低カバレッジ全ゲノムシーケンシングを実施した。現在、マッピングされたリードを用いてコンピュータによるゲノムワイド相関解析

（GWAS : genome-wide association study）を行っている。シラスウナギの短期育成による放流効果を調べるため、育成した初期黄ウナギと育成しないシラスウナギの放流試験を実施した。高瀬川での放流調査の結果、初期黄ウナギ群へ育成することで、1 年後の残存率が飛躍的に高まることが推察された。また、それらの成長も順調に行われていることが確認された。静岡県西神田川において、初期黄ウナギおよび養殖ウナギ（低成長群）の放流調査を実施し、放流から 1.5～3 カ月後に採捕された養殖ウナギは全て空胃である一方、初期黄ウナギ群は天然個体と同様、摂餌していることが確認された。シラスウナギからの短期育成は残存率、成長の面で良好であり、放流効果が期待できるものと考えられた。

【背景】

ニホンウナギの国際的資源保護・管理については、資源を利用する東アジア 4 カ国（日本、台湾、中国、韓国）が非公式協議でシラスウナギの池入れ量上限を設定している。シラスウナギは養殖種苗として経済的な価値が高いこと、またシラスウナギの

生残率は不明であり、その獲り残しが資源増大に与える効果はまだ明らかではないため、シラスウナギ漁獲管理による資源管理以外の方策の可能性についても考えておく必要がある。他の方策としては、養殖場に池入れされたウナギを再び天然水域へ放流する増殖手法や黄ウナギ漁獲管理が考えられる。

ニホンウナギは河川・湖沼・内湾で成育期を過ごす。内水面漁業における第5種共同漁業権の免許を受けた漁業協同組合等が増殖義務を果たすため、養殖場での成長の遅いウナギ（ビリやヒネと呼ばれる）を用いた放流が国内で広く実施されている。天然個体が生息する小河川での放流調査では、天然個体との競合により放流個体の残存や成長が悪く、増殖効果が低いと報告されている（Wakiya et al. 2022）。そのため、放流により資源増大の効果を得るためには、放流適地や放流方法を改善する必要がある。

放流には黄ウナギ（ヒネ）が一般的に用いられるが、シラスウナギ～黄ウナギのどの発育段階で放流すると増殖効果が高いかという知見は不足している。シラスウナギは、河口着底前後の段階に相当し、着底前後の稚魚の生残率は一般的に低いと言われている。そのため、現状の資源管理の主な施策であるシラスウナギ漁獲管理を通じた稚魚の獲り残しの増大がその後の黄ウナギ・銀ウナギの資源量増大にどの程度貢献するかは不明である。ヨーロッパウナギやアメリカウナギに比べ、ニホンウナギは養殖が盛んに行われ、シラスウナギ以降の養殖技術は確立されており、養殖場での生残率は極めて高い。我が国にはウナギ養殖生産者も多く、様々な発育段階のウナギの入手が比較的容易な環境となっている。シラスウナギとして河川に残し黄ウナギ・銀ウナギへと生残・成長する過程と、高生残率で各発育段階まで養殖された種苗を放流してその後天然環境下で黄ウナギ・銀ウナギへと生残・成長する過程を比較検討し、効率的な資源利用を考える必要がある。

【課題実施計画】

（1）5カ年の全体計画

目的：放流効果の高い発育段階および成長履歴の種苗について明らかにする。

方法：シラスウナギ～黄ウナギの各発育段階や養殖場での成長履歴の異なるニホンウナギ種苗に関する試験を実施し、放流後の残存率や成長、遺伝的背景等に関する種苗間の違いを把握し、放流効果の高い種苗を明らかにする。

期待される成果：資源減少するニホンウナギについて、放流増殖手法の改善に資する知見が得られる。

【今年度実施計画】

目的：高成長群および低成長群の養殖ウナギ、シラスウナギと短期育成クロコの放流調査を実施し、その放流効果について調べる。

(1) 和歌山県高瀬川での高成長群および低成長群の養殖ウナギの放流調査

目的：養殖場での成長履歴の異なる高成長群および低成長群の養殖ウナギについて、放流後の残存率や成長、移動状況について明らかにする。

材料と方法：静岡県湖西市の養鰻場で養殖された高成長群、低成長群を放流用種苗に用いた。高成長群はおよそ半年間で全長 30cm 程度まで育ったもの、低成長群はおよそ 1 年半かけて全長 30cm 程度まで育ったものとした。これらを 7 月 20 日に水産技術研究所横浜庁舎（以下、横浜庁舎）へと輸送し、90cm アクリル水槽 2 面で淡水で保管した。7 月 22～23 日に 2-フェノキシエタノールで麻酔して全長と体重の測定、および個体写真を撮影後、PIT タグを挿入した。測定時の高成長群と低成長群の平均全長（±標準偏差）は、それぞれ $28.7 \pm 2.6\text{cm}$ (n=225)、 $28.8 \pm 2.7\text{cm}$ (n=225)、平均体重（±標準偏差）は、 $24.6 \pm 6.9\text{g}$ 、 $22.3 \pm 6.9\text{g}$ であった。形態計測したのち、放流のため、和歌山県へと空輸した。

和歌山県高瀬川黄ウナギ調査区間（図 1）にて、養殖ウナギ放流前の 8 月 1～2 日に電気ショッカー調査を行い、全長 15cm 以上の天然個体について、形態計測後に PIT タグを挿入し、計 96 個体を放流した（以下、標識天然個体）。養殖ウナギの放流は 8 月 2 日に行った。高瀬川の調査区域を St. 1-6、7-12、13-18 の範囲に分け、各範囲の中央地点（St. 4、10、16）で、各範囲の 100 m²あたり個体密度が高成長群と低成長群ともに 6 尾となるように、高成長群と低成長群を St.4 に各 116 尾、St.10 に各 67 尾、St.16 に各 42 尾を放流した。

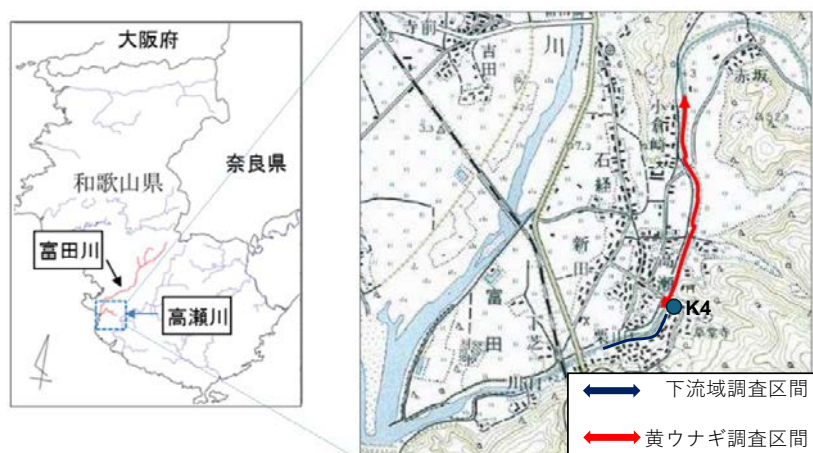


図 1. 和歌山県高瀬川の調査区間

放流個体の探知調査

放流個体の探知調査を 2024 年 8 月 3 日～8 日の間、4 回行い、さらに 2024 年 10 月 29 日～30 日に 1 回実施した。探知調査には携行型 PIT タグリーダー（HPR: Biomark 社）を用いた。探知調査の範囲は飛鳥橋（K4）を起点にその上流 900 m の範囲までとした。河川で標識個体を探知するたびに PIT タグの個体識別番号と探知された位置の起点からの距離を把握した。

放流個体の残存率の把握

各個体の探知履歴を用いて Cormack-Jolly-Seber (CJS) モデルを用いて残存率(1-(移出率+死亡率))および探知率を推定した。残存率は移出あるいは死亡することなく調査区域に残った個体割合を、探知率はその場に生息する個体のうち、アンテナで探知される個体割合を示す。基本的なモデルの構造は Kéry and Schaub(2011)を参考に、推定される残存率が 1 週間当たりの残存率になるように一部改変して、作成した。残存率モデルの説明変数には高成長群(1)および低成長群(0)の養殖ウナギを示すダミー変数と各探知調査期間の潜在的な影響を示すランダム効果を加えた。探知率モデルの説明変数には各調査の潜在的な影響を示すランダム効果のみを加えた。解析には R 4.3.3 と JAGS 4.3.1 を利用し、ベイズ統計モデリングで残存率および探知率を推定した。群間比較の係数の事前分布は無情報分布とするために、一様分布とした。ただし、ロジットスケールパラメーターを安定させるために、-5 から 5 の範囲で切り詰め処理が適用された(Kéry and Schaub, 2011)。ランダム効果の事前分布は、局所的な差異を表現するために階層無情報事前分布を指定し、標準偏差 $\sigma_{\text{ランダム効果}}$ を持つ正規分布と仮定した。また、 $\sigma_{\text{ランダム効果}}$ の事前分布は、0 から 10,000 までの一様分布として設定した。マルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)法により乱数を生成し、各説明変数の係数、残存率、探知率の事後分布を推定した。MCMC 法による乱数生成は 3 セット行った。乱数は 50000 反復生成し、初期値の影響を防ぐために乱数を切り捨てる期間は 10000 反復とした。さらに、自己相関を防ぐための乱数の間引きを行い、10 反復ごとの結果を抽出した。説明変数の係数の代表値は、中央値と 95%確信区間を用い、影響が有意か否かについては、事後分布の 95%確信区間にゼロを含んでいるかいないかで判断した。

高成長群と低成長群の放流直後の分散の比較

放流後 1～2 日目に行った探知調査において、探知された個体の放流地点からの絶対的距離を算出した。放流直後の移動性の群間比較のために、誤差分布を Gamma 分布と仮定した GLM による解析を行った。応答変数は放流地点からの絶対的距離とし、説明変数には高成長群(1)および低成長群(0)の養殖ウナギを示すダミー変数と放流地点を加えた。

放流個体の移出率の把握

放流個体の移出状況を把握するために、飛鳥橋付近に固定型 PIT アンテナ（Biomark 社）を図 2 のように 8 月 1 日に設置した。台風の接近に伴う大雨による流出を防ぐために、8 月 26 日の昼に撤去した。個体が探知された場合には、アンテナで探知された時間とその個体の ID を把握した。本研究では、アンテナは一つしか設置していないため、検出された PIT タグ標識ウナギの移動方向は不明である。そこで、本研究では、各個体が初めて探知されたタイミングは飛鳥橋より上流からの移出であると仮定して、各個体の初探知のデータのみを抽出して解析した。固定型 PIT アンテナの探知効率を推定するために、8 月 8 日に固定型アンテナより下流の範囲で携帯型 PIT アンテナを用いた調査を行った。下流で探知された個体は少なくとも一度は固定型アンテナ付近を通過している。そこで、下流で探知された個体のうち固定型 PIT アンテナで検出された個体の割合を算出し、探知効率とした。固定アンテナで探知された個体数を探知効率で割った個体数を移出個体数とし、放流個体数に対する移出個体数の割合を移出率とした。

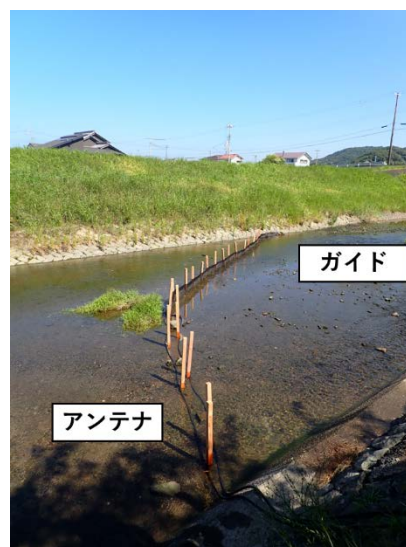


図 2. 固定型 PIT アンテナ設置の様子

放流個体の捕獲調査

10 月、電気ショッカーを用いて、8 月に放流した各個体群について捕獲調査を実施した。

結果：

PIT アンテナによる探知調査の結果

放流後 24 日目までに、固定型 PIT アンテナによって、高成長群の養殖ウナギ 37 個体(探知率 16.5%)と低成長群の養殖ウナギ 72 個体 (探知率 32.0%) が探知され、その探知率は低成長群の養殖ウナギのほうが有意に高かった (Fisher's exact test, $p < 0.05$)。養殖ウナギの始めて探知されるタイミングはおおむね夜間であり(図 3)、養殖ウナギも天然ウナギと同様に夜行性を維持していることが示唆された。初めて探知された個体の探知数は、放流後、最初の夜に最も多かった(図 4)。このことから放流直後の夜に移出のピークがみられることが示唆された。放流後 19 日目にも初めて探知された個体数のピークがみられた(図 4)。降雨量および月齢と照らし合わせたところ、降雨量が高くなったタイミングと 2 回目のピークは一致していた。そのため、大雨が放流個体の移動性を高めることが示唆された。ただし、大雨が降った日も検出のタイミングは夜が中心であったため、養殖ウナギは能動的に移動しているものと考えられる。飛鳥橋より下流では 16 個体が探知され、そのうち 9 個体が固定型 PIT アンテナで検出された。この結果から、固定型 PIT アンテナの探知効率は 56.25%と算出された。この探知効率をもとに推定された高成長群と低成長群の養殖ウナギの移出率はそれぞれ、放流後 1 日目までで 9.5%、18.2%、放流後 6 日目までで 16.6%、28.4%であった(図 5)。

CJS モデルによる推定された高成長群と低成長群の養殖ウナギの残存率はそれぞれ、放流後 1 日目までで 82.9%、81.2%、放流後 6 日目までで 58.6%、54.2%であった(図 5)。残存率の群間の違いを示す係数の誤差分布の中央値と 95%確信区間は 0.227[-0.113-0.577]であり、95%確信区間にゼロを含んでいた。移出率と照らし合わせると、放流後 1 日目の減耗の多くは移出で説明できることが示唆された。このことから放流直後の減耗は、移出が原因である可能性が示唆された。一方で、時間が経過するにつれて、移出率と残存率に乖離がみられた (図 5)。このことは、調査範囲内で、鳥などによる被食死亡が放流直後から生じていることを示唆している。移出率と残存率の乖離は

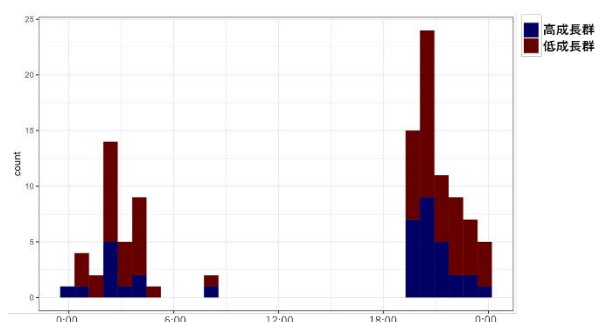


図 3. 固定型 PIT アンテナで探知された時間の分布。
縦軸は探知個体数、横軸は時間を示す。

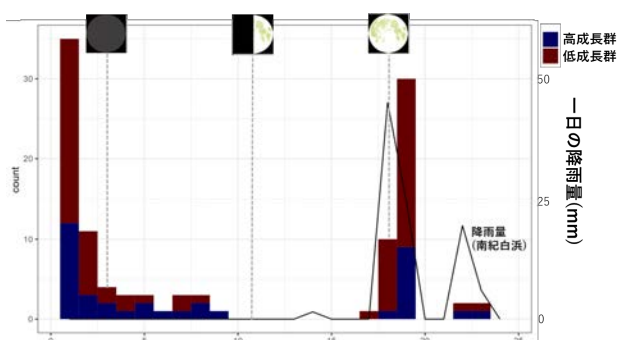


図 4. 固定型 PIT アンテナで探知された日にちの分布。
縦軸は探知個体数、横軸は放流後経過時間を示す。折れ線グラフは南紀白浜における降雨量を示し（気象庁データ参照）、上部に位置する月のイラストは満月・新月・半月のタイミングを示す。

高成長群で大きかった（図 5）ことから、調査範囲内での死亡率は高成長群のほうが低成長群に比べて高い可能性が考えられた。ただし、放流個体が次第に石垣や川底の奥へと移動し、探知率が低下した可能性もあるため、これらについては今後の課題となった。

CJS モデルにより推定された高成長群と低成長群の養殖ウナギの放流 2 カ月後の残存率は、それぞれ 11.2%と 7.1%であった。推定された探知率はおおむね 60%で推移していた。

低成長群の養殖ウナギは高成長群の養殖ウナギに比べて、放流後 1～2 日目の探知地点の放流地点からの距離が長かった（図 6, GLM, $p < 0.05$ ）。下流の固定型 PIT アンテナでも多く検出されたことから、低成長群の養殖ウナギは高成長群の養殖ウナギに比べてよく移動することが示唆された。

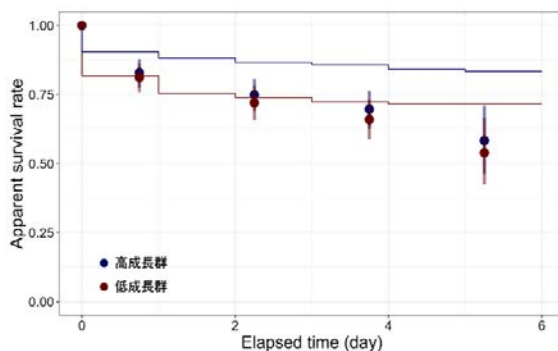


図 5. 高成長群と低成長群の見かけの生存率と移出率。各プロットとエラーバーはそれぞれ CJS モデルにより推定された見かけの生存率の中央値と 95%確信区間を示す。階段状グラフは各群の積算された移出率を示す。

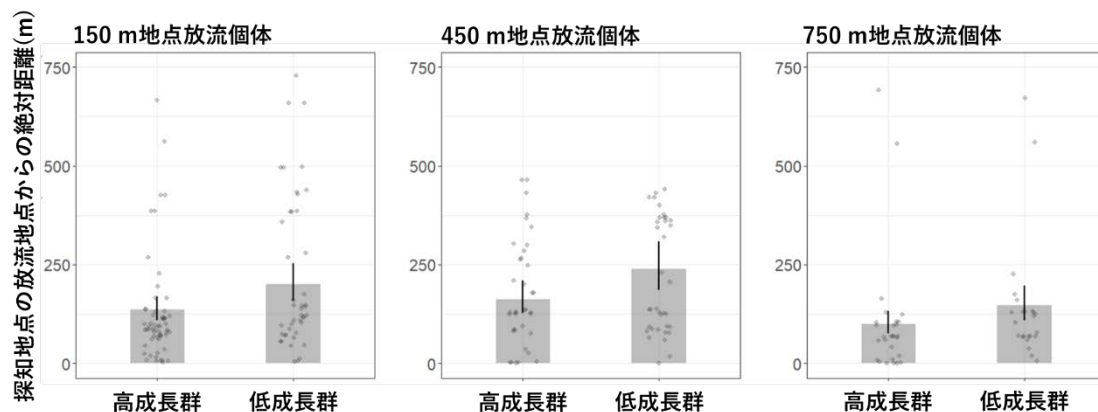


図 6. 高成長群と低成長群の探知地点の放流地点からの距離。棒グラフとエラーバーはそれぞれ GLM により推定された探知地点の放流地点からの距離の推定値と 95%信頼区間を示す。各プロットは各個体の実際の値を示す。

捕獲調査の結果

10 月の捕獲調査では、計 34 個体が捕獲された。そのうち各放流群の個体数と再捕率（8 月時放流数に対する再捕数の割合）は、標識天然個体で 5 尾、5.2%、高成長群で 7 尾、3.1%、低成長群で 0 尾、0%であった。8 月の放流地点と 10 月の再捕地点との関係を調べ、再捕個体の移動状況を調べたところ、標識天然個体は放流地点から動かない傾向があるのに対して、高成長個体は放流地点から下流へと移動して再捕される傾向が見られた（図 7）。8 月から 10 月までの成長を調べたところ、天然個体で

は、1尾を除いて体重増加が見られたのに対して、高成長群では体重減少が見られた。

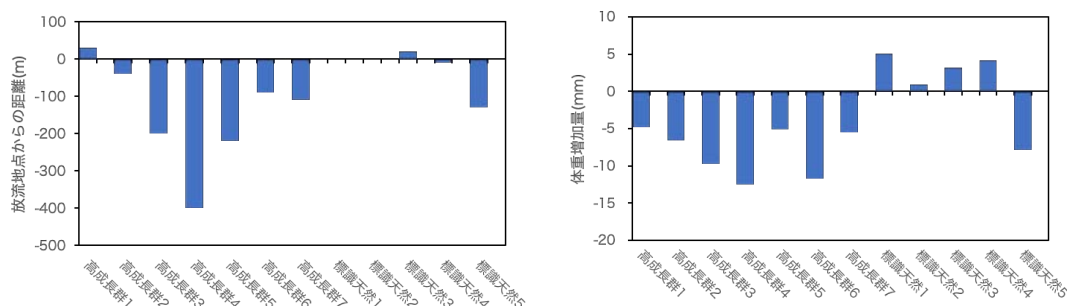


図 7. 再捕時における放流地点からの移動距離（左）と体重の変化（右）

(2) 養鰻場での高成長群と低成長群の遺伝的背景の調査

目的：養鰻場での高成長群と低成長群間の遺伝的差異を調べ、遺伝的観点から見た低成長群の放流の妥当性を評価する。

材料と方法：静岡県湖西市の養鰻場で同一年級の同シラスウナギロットから育成されていたニホンウナギのうち、低成長の個体群（低成長群、 $N=80$ ）と高成長の個体群（高成長群、 $N=83$ ）を2024年5月にサンプリングした。各個体の体側部の筋肉からゲノムDNAを抽出し、各個体のゲノムDNA配列を広く、浅く読み取る低カバレッジ全ゲノムシーケンシング（lcWGS : low-pass whole genome sequencing）を行った。なお、lcWGSでは、通常のWGSよりも低コストでデータが得られる一方、各個体のジェノタイプを正確に決定することが困難なため、ジェノタイプの不正確さを考慮した“ジェノタイプ尤度”に基づいて各種解析が行われることが多い。得られたシーケンスリードのクオリティフィルタリングを行い、染色体レベルの参照ゲノム配列にマッピングした。マッピングされたリードに基づき、ゲノムワイド相関解析

（GWAS : genome-wide association study）により、両群間を特徴づけるゲノム領域を探索した。

結果：低成長群の全長は157–266 mm（平均 $\pm$ 標準偏差 = 210.5 ± 24.1 ）、体重は3.1–16.1 g（ 8.5 ± 2.8 ）であった。一方、高成長群の全長は316–449 mm（ 400.0 ± 29.6 ）、体重は40.0–139.0 g（ 95.4 ± 23.4 ）と、明らかに低成長群よりも成長が優れていた（図8）。lcWGSにより得られたシーケンスリードを参照ゲノム配列にマッピングしたところ、リードの染色体カバー率は、16番および19番染色体で70–80%とやや低かったが（図9）、その他の染色体では90%前後であり、どの個体においてもゲノムを幅広くカバーするリードが得られた。またリードの被覆度は、1個体を除

き、どの染色体においても平均すると $\times 4$ から $\times 7$ 程度であり（図 9）、lcWGS における標準的な被覆度（ $< \times 5$ ）であった。現在、マッピングされたリードを用いて、コンピュータによる GWAS を行っているところである。

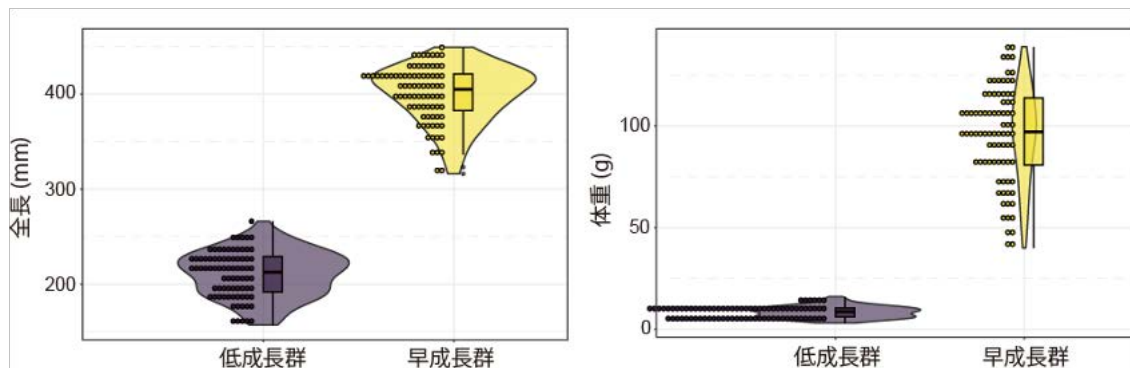


図 8. 遺伝的背景の分析に用いた低成長群・早成長群の全長・体重分布

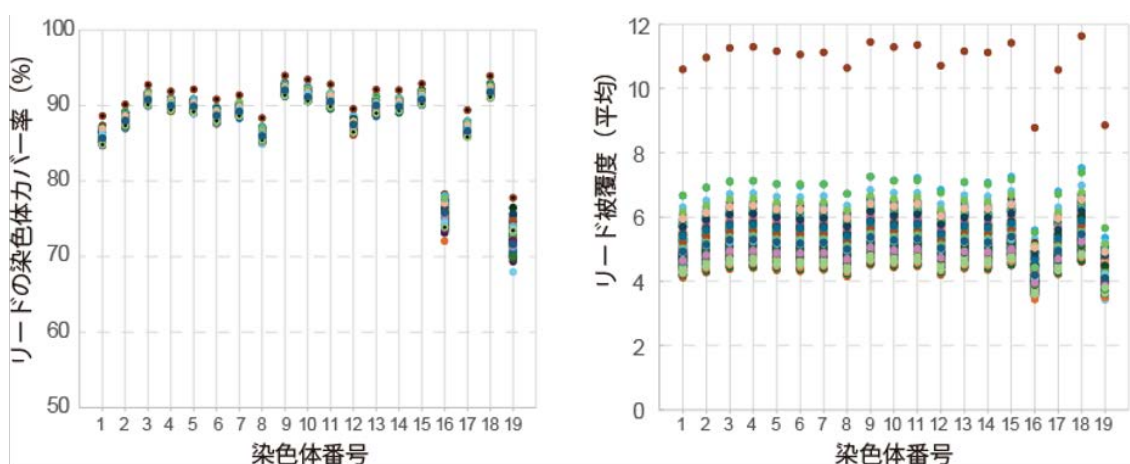


図 9. 各染色体における各個体のシーケンスリードの染色体カバー率（左）とリードの平均被覆度（右）

(3) 和歌山県高瀬川での短期育成個体とシラスウナギの放流試験

目的：シラスウナギを短期育成し、着底前後の初期減耗を回避させた場合の放流後の残存率や成長、移動状況について明らかにする。

材料と方法：

短期育成個体群とシラスウナギの放流

シラスウナギから初期黄ウナギへと短期育成するため、千葉県利根川で 2024 年 2 月 15 日に商業的に採集されたシラスウナギ 400g（6000 尾/kg 換算で 2400 尾）を購入し、静岡県水産海洋技術研究所浜名湖分場へ輸送した。シラスウナギは 2t の FRP 水槽に収容し、28～30℃の淡水（換水率 1 回転/日）で餌付け飼料、配合飼料を給餌し育成した。およそ 1 ヶ月間育成された個体群は活魚タンクで横浜庁舎に輸送し（3 月 22 日）、90cm アクリル水槽 6 面の淡水の室内水温（16～21℃）で飼育を継続

した（横浜収容中の計数で 2545 尾）。収容中、麻酔して 1/3 ずつ、橙、緑、青にそれぞれイラストマー標識を背鰭始部に施し（4 月 3～8 日）、その後、アリザリンコンプレキソン（以下、ALC）による耳石標識を施した。

短期育成した初期黄ウナギ（以下、初期黄ウナギ群）との比較のため、育成せずにシラスウナギのまま放流する個体群（以下、シラス前期群）を用意した。シラスウナギは、千葉県利根川で 2024 年 4 月 8 日に商業的に採集されたものを購入した。放流までの間、横浜庁舎で、90cm アクリル水槽に収容し、12℃で保管した。保管中、ALC による耳石標識を施した。

シラス前期群と初期黄ウナギ群の耳石への ALC 標識は以下のような方法で実施した。ALC を 1 規定 NaOH 溶液に溶かした後、1 規定 HCl 溶液で中和して、 $\text{pH}7\sim8$ にした後、飼育水に混ぜて ALC 濃度 50ppm とした。4 月 10 日から試験魚を 18℃で 24 時間、ALC 水に浸漬させた。シラス前期群は標識後、発育が進まないよう 12℃で保管し、初期黄ウナギ群は室内水温で保管した。

4 月 15 日にシラス前期群と初期黄ウナギ群は横浜庁舎から和歌山県内水面試験地へ空輸し、放流前に、各 30 個体のサブサンプルについて麻酔後、全長、体重、色素発達段階の測定を実施した。4 月 18 日、高瀬川の飛鳥橋（K4、図 1）から 100～150m 下流地点でシラス前期 1322 個体、初期黄ウナギ 1067 個体を放流した。

放流個体の再捕獲調査

令和 5 年（2023 年）には、4 月にシラス前期群、シラス後期群、7 月に初期黄ウナギ群を放流しており、本年度（2024 年）放流群とともに令和 5 年放流個体についても捕獲調査を実施した。2024 年 4 月と 10 月に飛鳥橋（K4）から 250m 下流および、その上流の黄ウナギ調査区間 900m を合わせた 1150m の区間で、電気ショッカー

（Smith-root 社）で再捕獲調査を実施した（図 1）。捕獲したウナギは、0.1%の 2-phenoxyethanol で麻酔して形態計測した。飛鳥橋より下流では、全長 25cm 以下の個体は過量な麻酔によって安楽死させ、実験室で耳石標識を調べるためのサンプルとした。飛鳥橋より上流では、全長 15cm 以下の個体は同様の処理でサンプルとし、全長 15cm を超える個体は、イラストマー標識の有無を確認後、再放流した。後日、持ち帰ったサンプルから耳石を取り出して研磨し、蛍光顕微鏡下で ALC 標識の有無を調べた。なお、また、耳石標識のない天然加入個体（以下、天然加入群）について、耳石による年齢査定を行なった。

残存率と採捕効率の推定

放流由来個体の残存率および採捕効率を、以下の方法で 2024 年 10 月までの捕獲調査データを用いて暫定的に計算した。放流後時間 t における各放流群 a の捕獲個体数 $C(t,a)$ は、その放流個体数 $R(a)$ と放流～捕獲調査までの残存率 ϕ 、採捕効率 p を乗算

したもので説明される。また、放流から初回捕獲調査（t1）までの間、各放流群は異なる残存率を持ち、それ以降は天然環境に定着して各放流群の残存率は同じとなる、また各放流群の採捕効率は同じであることを仮定した。これを数式で表すと以下となる。

$$C(t,a)=R(a)\times\phi(t,a)\times p$$

$\phi(t,a)$ は放流後時間 t における残存率で、 $t=t1$ までは各放流群 a ごとに異なる $\phi(t1,a)$ 、 $t>t1$ では、全放流群に共通の残存率 $\phi(t)$ となる。また、捕獲してサンプルとした個体数は母集団から差し引く処理を行なった。各残存率、採捕効率の変数について、調査データを用いて非線形の最小二乗法による推定を Excel のソルバーで計算した。初期値には、各残存率に 0.5 を用い、採捕効率は現場の放流再捕獲実験で得られたおおよその推定値である 0.2 を用いた。

結果：
再捕獲調査結果

10 月の捕獲調査では、47 個体の小型ニホンウナギのサンプルを得た。これらの耳石 ALC 標識を調べた結果、2023 年 4 月シラス前期放流群 1 個体、2023 年 4 月シラス後期放流群 2 個体、2024 年 4 月シラス前期群 0 個体、2024 年 4 月初期黄ウナギ群 13 個体が確認された（表 1）。また、飛鳥橋より上流区域で 2023 年 7 月初期黄ウナギ群 1 個体については、イラストマー標識で再捕を確認した後、全長 15cm を超えていたため、再放流した。

表 1. 高瀬川における各種放流群の捕獲結果の概要

2023年和歌山県高瀬川における放流個体数、再採捕個体数、再採捕率							
放流種苗	2023年4月、7月	2023年10月		2024年4月		2024年10月	
	放流数	捕獲数*2	再採捕率(%)	捕獲数*2	再採捕率(%)	捕獲数*2	再採捕率(%)
シラスウナギ前期*1	1088(4月)	4	0.4	1	0.1	1	0.1
シラスウナギ後期*1	366(4月)	5	1.4	4	1.1	2	0.5
初期黄ウナギ*1	136(7月)	8	5.9	3	2.2	1	0.7
*1 シラスウナギ前期は耳石ALC1重標識、シラスウナギ後期は耳石ALC2重標識、初期黄ウナギはイラストマー標識を実施							
*2 感潮域では2024年4月まで全長15cm以下、2024年10月は全長25cm以下をサンプリング。淡水域は全長15cm以下をサンプリング。それより大きい個体はイラストマーの有無を確認して再放流。							
2024年和歌山県高瀬川における放流個体数、再採捕個体数、再採捕率							
放流種苗	2024年4月	2024年10月					
	放流数	捕獲数*2	再採捕率(%)				
シラスウナギ前期*1	1350	0	0.0				
初期黄ウナギ*1	1322	13	1.0				
*1 シラスウナギ前期は耳石ALC1重標識、初期黄ウナギはALC1重標識とイラストマー標識を実施							
*2 感潮域では2024年4月まで全長15cm以下、2024年10月は全長25cm以下をサンプリング。淡水域は全長15cm以下をサンプリング。それより大きい個体はイラストマーの有無を確認して再放流。							

各種放流群および天然加入群が捕獲された河川内区域を図 10 に示した。飛鳥橋下流の感潮域（St.D1–D5）で放流群および天然加入群ともに多く分布する傾向があり、黄ウナギ調査区間（St.1–18）では、いずれも散発的な出現が見られた。放流群と天然加入群の河川内分布には顕著な違いはないものと推察された。

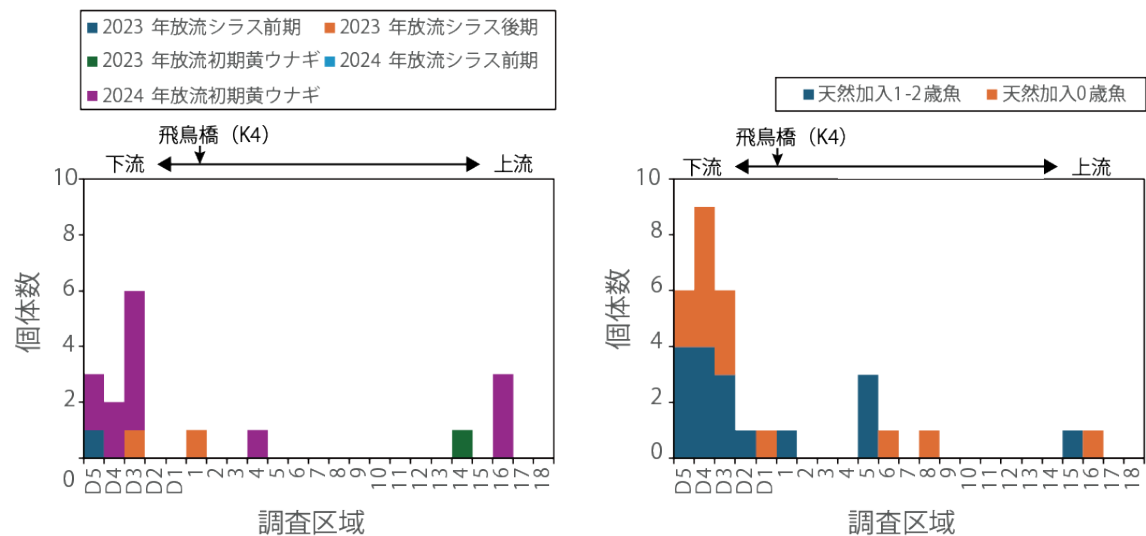


図 10. 2024 年 10 月捕獲調査時における各放流群と天然加入魚の分布

成長

2024 年 4 月の放流時、シラス前期群、初期黄ウナギ群の平均全長（±標準偏差）はそれぞれ 57.7 ± 1.6 mm (n=30)、 100.2 ± 10.9 mm (n=30) であった。2024 年 10 月捕獲時、2023 年 4 月シラス前期群、2023 年 4 月シラス後期群、2023 年 7 月初期黄ウナギ群、2024 年 4 月初期黄ウナギ群の平均全長（±標準偏差）はそれぞれ 150mm (n=1)、155mm (n=2)、154mm (n=1)、データなし (n=0)、 122.7 ± 18.1 mm (n=13) であった。放流からの体サイズの推移を図 11 に示す。2023 年各種放流群、2024 年初期黄ウナギ群のいずれも放流後、滞りなく成長していることがわかった。

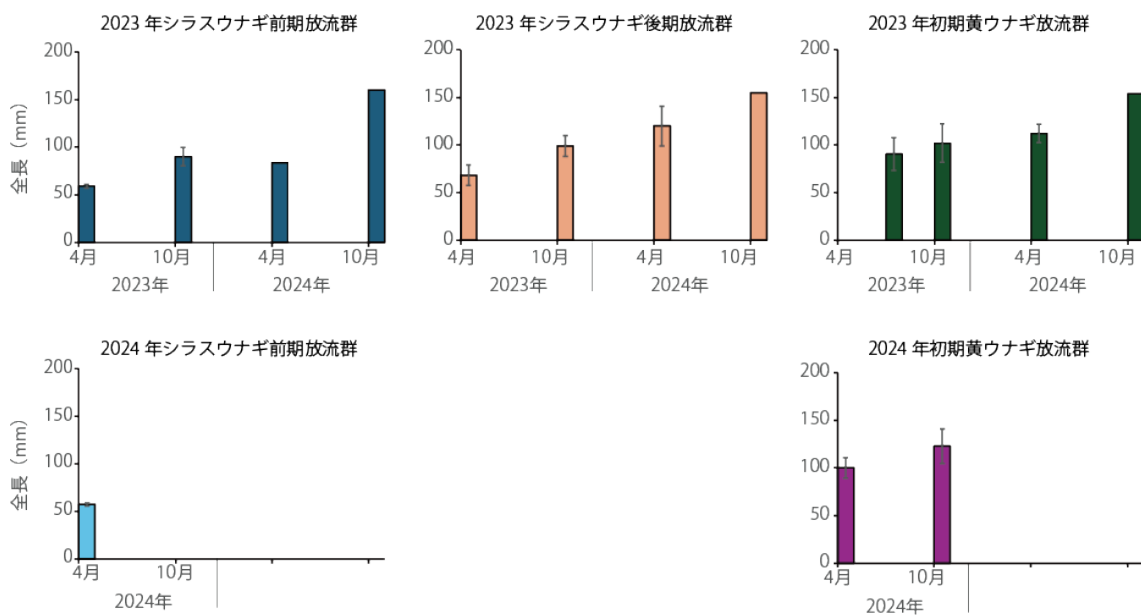


図 11. 各放流群における全長推移

残存率と捕獲効率の推定

2023年に放流した3群（シラス前期、シラス後期、初期黄ウナギ）について、放流から1年後までの残存率 ϕ および捕獲効率 p を求めた結果、シラス前期群、シラス後期群の初回捕獲調査の半年後までの残存率は5.2%、26.3%と推定され、初期黄ウナギ群の初回捕獲調査の3ヶ月後までの残存率は96.4%と推定された。また、初回捕獲調査から1年後までの共通残存率は58.0%と推定された。この時の各群共通とした捕獲効率は5.8%と推定された。

2023年と2024年で共通して放流したシラス前期群、初期黄ウナギ群について、放流から1年後までの残存率 ϕ および捕獲効率 p を求めた。その結果、シラス前期群、初期黄ウナギ群の放流～半年後までの残存率は12.3%、90.2%と推定された。6ヶ月から1年後までの共通残存率は67.2%と推定された。この時の両群共通とした捕獲効率は1.2%と推定された。

上記の推定残存率および捕獲効率から、放流個体数を1000尾と仮定した場合の2023年各放流群の残存過程を図12左に、2023年と2024年の調査データで得られたシラス前期群と初期黄ウナギ群の残存過程を図12右に示した。1年後の残存推定個体数は、シラス前期群が83個体、初期黄ウナギ群が606個体であった。現時点の暫定的な推定ではあるものの、初期黄ウナギへと育成することで、およそ7倍の残存数の増加が期待されることがわかった。

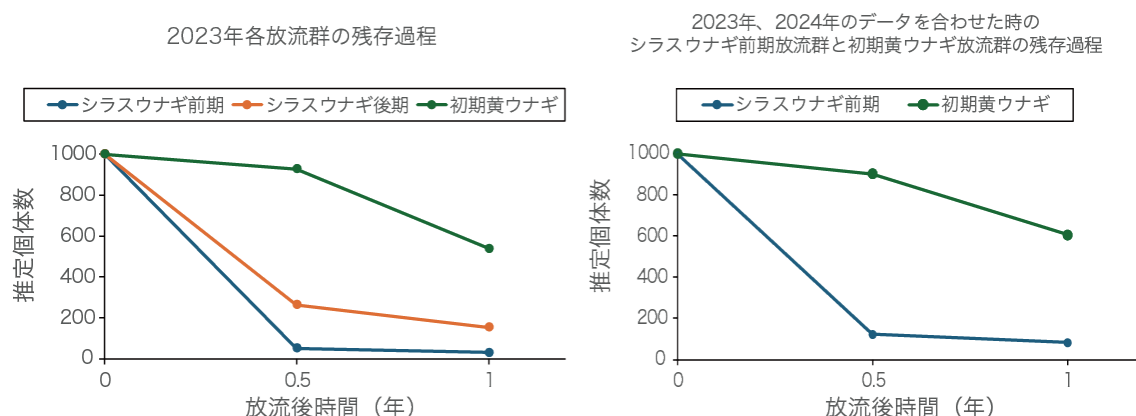


図 12. 放流数を 1000 尾と仮定した時の各放流群の残存数推移

(4) 自然餌料への順応に関する放流調査（静岡県西神田川）

目的：短期育成した初期黄ウナギと、通常放流で用いられる黄ウナギで自然餌料への順応性に違いがあるかを明らかにする。

材料と方法：静岡県湖西市の養鰻場でおおよそ1年かけて全長30cm程度まで育った養殖個体（西神田黄ウナギ放流個体）200個体と「(3) 和歌山県高瀬川での短期育成個体の放流試験」にて短期育成した初期黄ウナギ300個体を放流用種苗に用いた。麻酔ののち、全ての初期黄ウナギと西神田黄ウナギ放流個体100個体にはイラストマータグを、残りの西神田黄ウナギ放流個体

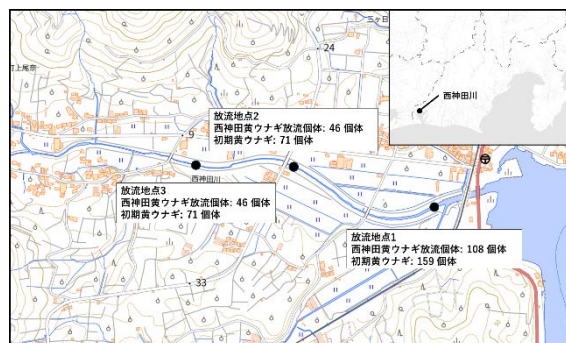


図13. 西神田川の地図と放流地点。地図は国土地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) より

100個体にはPITタグを標識した。初期黄ウナギには0.1%の2-phenoxyethanolを、西神田黄ウナギ放流個体にはオイゲノールを麻酔薬に用いた。その後、2024年4月に静岡県浜松市に位置する西神田川に3か所に分けて放流した(図13)。各地点の放流個体数は、個体数密度が一定になるように調整した。放流1.5カ月後と3カ月後に電気ショッカーによる採捕調査を行い、放流個体と天然個体を採捕した。採捕調査は、夜行性であるウナギにおいて、胃内容物が残存している可能性が高い午前中に行った。採捕した個体はオイゲノールで安楽死後直ちに氷が入ったクーラーボックスに収容して研究室に持ち帰り、解剖まで-20℃で保存された。全ての個体は解剖し、その胃内容物の空胃率を比較した。

結果：採捕調査の結果、天然個体89個体、西神田黄ウナギ放流個体9個体、初期黄ウナギ12個体を採捕した。西神田黄ウナギ放流個体の空胃率は100%であり、体重8-50g（採捕された西神田黄ウナギ放流個体の体重の最小値から最大値, n=45）の天然個体に比べて有意に高かった(Fisher's exact test, $p < 0.05$, 図14)。一方、初期黄ウナギの空胃率は、体重3g未満（採捕された初期黄ウナギの体重の最大値, n=12）の天

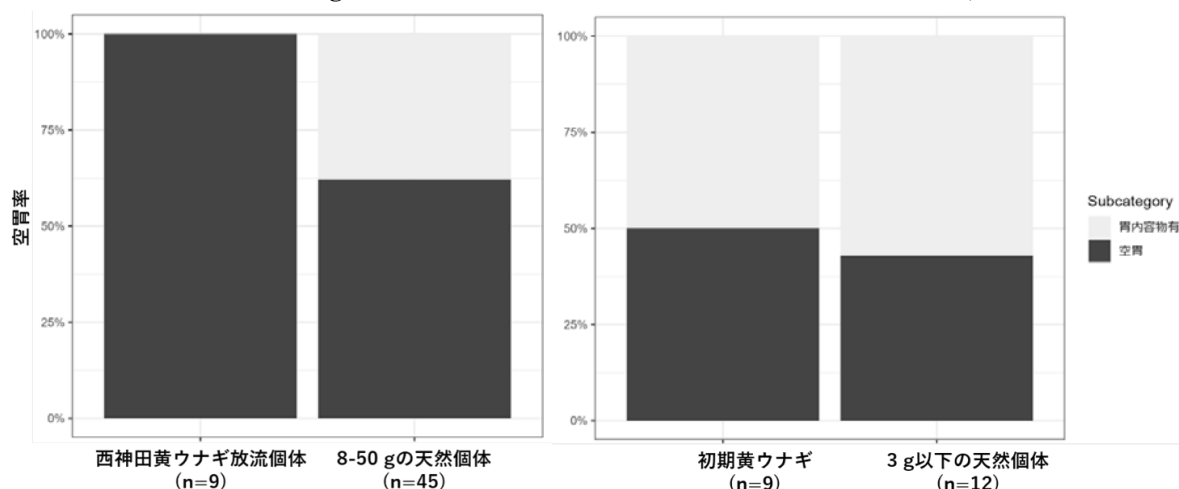


図14. 天然個体、西神田黄ウナギ放流個体、初期黄ウナギの空胃率の比較。

然個体と有意な違いはなかった(Fisher's exact test, $p > 0.05$, 図 14)。これらのことから、初期黄ウナギ放流個体は西神田黄ウナギ放流個体に比べて自然餌料への順応性が高く、人工飼料飼育による影響が小さいことが示唆された。

(5) 携帯型 PIT タグリーダーによる放流ウナギの河川内分散の検討

目的：国内では天然ウナギの生息密度が低いと考えられる宮城県仙台市名取川水系策川に養殖ウナギ（低成長群ウナギ）190 尾を PIT タグ標識後に放流し、放流地点の上・下流方向への分散ならびに分散と体サイズとの関係を調べた。

材料と方法：2024 年 7 月 24 日、日鰻連より移送した養殖ウナギ 190 尾を麻酔後、腹腔内に PIT タグを挿入し、宮城県仙台市名取川水系策川（仙台市太白区）の中流域に放流した。その後、9 月 28 日、10 月 27 日、12 月 8 日、1 月 5 日に放流地点の上下それぞれ約 0.9 km の区間で携帯型 PIT タグリーダー（HPR: Biomark 社）を用いて分散したウナギの検出を試みた。

結果：7 月 24 日に放流後、9 月 28 日～1 月 5 日の間に上流側で延べ 32 尾

（16.8%）、下流側で延べ 21 尾（11.1%）の放流ウナギが検出された。また、上・下流側で採捕された放流ウナギの放流時の体長と体重の相関（肥満度）を調べたところ、上流側に移動したウナギの肥満度は放流魚全体の値よりも大きな値を示す傾向が見られた。このことから、放流地点からの分散はランダムではなく、体サイズ依存的に起こるものと考えられた。またこのことから、宮城県策川では基本的にはより肥満度の大きな個体が放流地点よりも上流に移動し、定着する傾向を示すことが考えられた。今後は、異なる地域の河川や湖沼でも同様の現象が見られるか、あるいは、放流ウナギの成長段階や飼育方法によって分散の傾向が異なるか否かといった事項を多面的に検討することが望まれる。

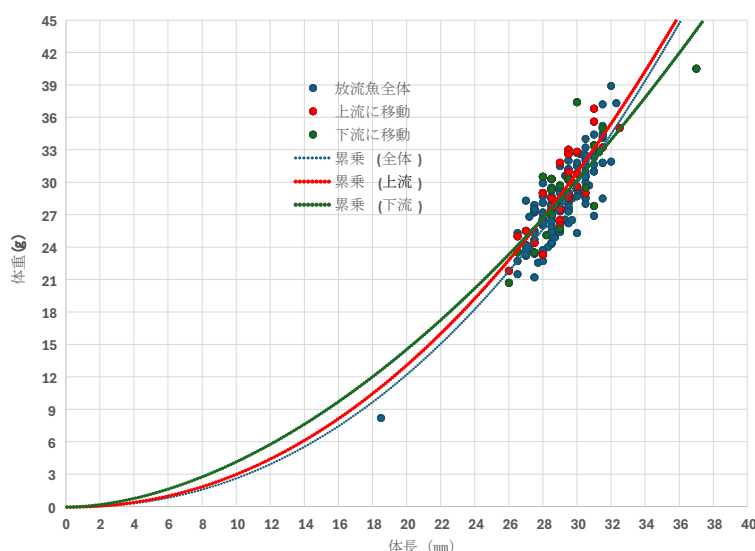


図 15. 策川に放流した後、上・下流に分散した養殖ウナギの体サイズ

課題と対応策

養殖ウナギの高成長群、低成長群の放流調査について越年後のデータ蓄積を進め、複数年データでの放流効果を調べる必要がある。また、天然個体との比較やそれらとの違いを生む要因や対応策についても考える必要がある。短期育成による放流効果の解析では、シラス前期群、初期黄ウナギの採捕効率の差異を前提とすべきかといった検討が必要である。

次年度計画

より広い視点で放流効果を評価するには、適切な放流種苗と放流適地の両観点で考える必要がある。現状の小規模河川調査に加えて、大規模河川や湖沼での放流調査も必要であり、シラスウナギ～黄ウナギの各発育段階の放流効果に関する調査を大規模河川や湖沼へ広げ、漁業者による採集協力や漁獲物調査を組み合わせ、より包括的に放流効果を評価するための調査研究へと展開する計画である。

引用文献

- Kéry M, Schaub M (2011). Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective. Academic press.
- Wakiya R, Itakura H, Hirae T, Igari T, Manabe M, Matsuya N, Miyata K, Sakata M, Minamoto T, Yada T, Kaifu K (2022). Slower growth of farmed eels stocked into rivers with higher wild eel density. *Journal of Fish Biology*, 101(3), 613-627.

令和 6 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	エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	「①ニホンウナギ等の資源増殖手法の高度化」のうち、放流に適した種苗の検討 —ニホンウナギ稚魚の被食状況及び捕食者特定—		
担 当 者	長谷川 悠波・松重 一輝（長崎大学）・三木涼平（宮崎水試）・田中俊充（和歌山県内水面試験地）・福田野歩人（水産機構）		

令和 6 年度の成果の要約：宮崎県日置川において 2024 年 4 月にウナギ稚魚（シラスウナギ及び初期黄ウナギ）を放流直後に、捕食魚の捕獲調査を実施し、これまで明らかになっていなかったウナギ稚魚の捕食魚を複数種（マハゼ、ヌマチチブ、スズキ、クサフグ、黄ウナギ）特定した。さらに、着底期の未発達なシラスウナギは様々な捕食者によって捕食されるが、初期黄ウナギの被食割合は著しく低い（大型のウナギの胃内からのみ発見）可能性を明らかにした。

背景：捕食は、自然下で生物の生存を左右する主要な選択圧の一つである。しかし、野外での本種稚魚の捕食者に関する情報は非常に少なく、ヒラスズキとアメリカナマズの 2 種のみに限られている (Miyake et al. 2018)。外洋で生まれたウナギ仔魚は、シラスウナギ期に東アジアの沿岸域に来遊し、その後河川・河口域に着底し、クロコ、黄ウナギへと発育を進める (Tsukamoto 1992, Fukuda et al. 2013)。その発育過程で、捕食回避能力（捕獲前の攻撃回避能力及び捕獲後の脱出能力）も急激に向上することがわかってきた (Hasegawa et al. 2025)。また、令和 5 年での和歌山県高瀬川での放流試験では、シラスウナギ前期よりも、それらを発育させて放流したシラスウナギ後期及び初期黄ウナギでその後の残存率が高くなる可能性を示唆する結果も得られた。そこで、本課題では、本種の 2 つの発育段階の稚魚（シラスウナギと初期黄ウナギ）を放流後に周辺水域の潜在的捕食魚の胃内容物を調査し、本種稚魚の捕食魚の特定すること、また放流種苗の発育段階によって被食されやすさに違いがあるかについて知見を得ることを目指す。

課題実施計画

（1）全体計画

目的：自然下でのニホンウナギ稚魚の被食状況とその捕食者を特定する。

方法：複数の河川にて、ニホンウナギ稚魚（シラスウナギと初期黄ウナギ）を放流後、周辺の潜在的な捕食者を採集し、胃内容物を観察することでニホンウナギ稚魚の被食状況と主な捕食者の特定を試みる。

期待される成果：放流の際の河川や放流個体（発達段階）の選定に寄与し、放流後の生残率の向上に貢献する情報を提供する。

（２）当該年度の計画

目的：ニホンウナギ稚魚の被食状況及び捕食者特定に関するデータを集積する。

方法：宮崎県日置川にてシラスウナギ 1350 尾（耳石 ALC 標識）、初期黄ウナギ 1051 尾（耳石 ALC 標識＋イラストマー蛍光タグ）を放流し、その直後に電気ショッカー及び袋網にて、本種の捕食者となりうる様々な魚種を採捕する。採捕後、その胃内容物の観察からニホンウナギ稚魚の有無及びその発達段階を特定する。これにより、捕食されやすい発達段階及びその捕食者の特定を試みる。

結果：昨年度の予備調査（釣り調査）と合わせて、106 個体の捕食魚候補を採集した（ショッカー45 個体、袋網 16 個体、R5 予備調査 45 個体）。魚種構成は、ヌマチチブ（45 個体）、マハゼ（35 個体）、ウナギ（11 個体）、クサフグ（7 個体）、スズキ（2 個体）、その他（キチヌやヒイラギ、オイカワなど）となった。そのうちスズキ 2 個体（袋網、シラスウナギ期 3 個体）、ヌマチチブ 2 個体（釣り、シラスウナギ期 2 個体）、マハゼ（ショッカー、シラスウナギ期 1 個体）、クサフグ（釣り、シラスウナギ期 1 個体）、ウナギ 2 個体（ショッカー、初期黄ウナギ期 2 個体）の胃内からウナギと思われる内容物が得られた。ヒラスズキ、ヌマチチブ（図 1. a）、クサフグ（図 1. b）から得られたシラスウナギ 3 個体（3/7）、及び大型のウナギの胃内から得られた初期黄ウナギ 2 個体（図 2：2/2 個体）に関しては、放流個体であることを示す標識が確認できた。着底期の未発達なシラスウナギは様々な捕食魚（ハゼやチチブ、クサフグ、スズキなど）によって捕食されるが、初期黄ウナギの被食割合は著しく低く、捕食魚も限られる（大型のウナギの胃内からのみ発見）可能性が示唆された。

課題と対応策：

- ① 満潮時の捕食魚の採捕能力（袋網を使用）が低い。
→小型地引網と刺し網を購入し、より効率的な採捕を図る。
- ② 保存方法に問題があり、さらにシラスウナギの標識（ALC）が薄く、放流個体の判別が難しかった。
→ALC 標識の濃度や手法を変え、判別を容易にする。また胃内容物を取得後、すぐにエタノールにつけ、保存状態を向上させる。

次年度計画：今年度と同様の実験を宮崎県日置川及び和歌山県高瀬川で実施し、ウナギ稚魚の被食状況及びその捕食者に関する情報を集積する。

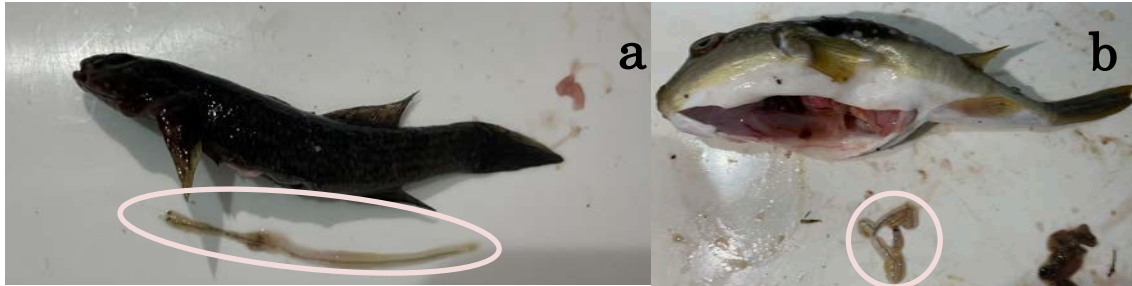


図 1. 捕食魚（a: ヌマチチブ b: クサフグ）とその胃内から得られたシラスウナギ。



図 2. 黄ウナギとその胃内から得られた初期黄ウナギ。

引用文献

- Fukuda N, Miller MJ, Aoyama J, Shinoda A, Tsukamoto K (2013) Evaluation of the pigmentation stages and body proportions from the glass eel to yellow eel in *Anguilla japonica*. Fish Sci 79:425-438
- Hasegawa Y, Mine K, Fukuda N, Yokouchi K, Kawabata Y (2025) Changes in post- and pre-capture escape ability over development in juvenile Japanese eels. Mar Ecol Prog Ser 752:137-147
- Miyake Y, Takeshige A, Itakura H, Itoh H and others (2018) Predation on glass eels of Japanese eel *Anguilla japonica* in the Tone River Estuary, Japan. Fish Sci 84:1009-1014
- Tsukamoto K (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. Nature 356:789-791

令和 6 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	課題エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	ニホンウナギの資源増殖の費用対効果		
担 当 者	遠藤 昶寛（青森県産業技術センター内水面研究所） 横内一樹（水産研究・教育機構）		

令和 6 年度の成果の要約：小川原湖のニホンウナギの漁獲量、漁獲金額、放流量及び放流金額を調査し、湖内の資源実態把握に資する基礎情報の充実に図った。

令和 6 年漁期の総漁獲量は 1,899kg (5,945 尾)、漁獲金額は 1,271 万円だった。サイズ別では漁獲サイズの下限である 200g 台の個体の漁獲尾数が最も多く、全体の 53% を占めた。単価はサイズが大きくなるほど上昇することが示唆されたが、200g 台を中心とした小型個体の絶対数が多いため、漁獲金額においてもこれらのサイズの売り上げが中心と考えられた。

令和 6 年のニホンウナギ放流量は 80kg (約 3,200 尾)、種苗単価は 8,500 円/kg、放流金額は 68 万円だった。

小川原湖・高瀬川における市場購入及びサンプリングによりニホンウナギ 100 個体を収集し、年齢査定、由来判別等のための組織採取及び精密測定に供した。

このうち 10 個体は銀ウナギで、いずれも小川原湖のニホンウナギ漁期終了後の 10 月以降に採捕された。小川原湖水域における銀ウナギの出現は本事業による調査を開始した令和 2 年以降 5 年連続で、毎年一定数の個体が小川原湖から産卵回遊していることが示唆された。また、漁期中の 6～9 月には銀ウナギの採捕がないことから、青森県における産卵回遊個体保護のための禁漁期設定が奏功していることが示唆された。

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 I B 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、資源管理を推進していく必要がある。

課題実施計画

（1）全体計画

目的：現在ニホンウナギ漁業が行われている湖沼において、ニホンウナギの生態や漁業実態（放流効果、費用対効果など）を調べ、効率的なニホンウナギ漁業のあり方を検討

する。

方法：資源解析及び放流効果の把握に資する漁獲・放流データ及び漁獲物の生物情報等の基礎情報を蓄積する。

期待される成果：湖沼におけるニホンウナギ資源状態や放流効果を把握するとともに、効率的なニホンウナギ漁業のあり方を提案する。

（２）当該年度の計画

【漁獲・放流実態の把握】

目的：小川原湖内のニホンウナギ資源の実態把握に向けた基礎情報の充実を図る。

方法：小川原湖漁業協同組合においてニホンウナギ漁期（６～９月）に荷受け伝票調査を実施し、日別、魚体重別、漁法別、漁業者別の荷受重量及び尾数を記録する。また、聞き取りにより漁獲金額を把握する。

漁業者４名に操業日誌の記録を依頼し、操業実態を把握する。

小川原湖漁業協同組合が６月に実施する義務放流の際に放流重量及び放流金額を聞き取る。また、放流前の種苗の全長及び体重を測定し、放流尾数を推定する。

結果：

１．漁獲実態の把握

小川原湖漁業協同組合の荷受け伝票を基に算出した令和６年のニホンウナギ漁獲量は１,８９９kg、漁獲尾数は５,９４５尾だった。

操業者数は３６名で、漁法は漁獲量全体の９１％を延縄が占めた（図１）。延縄の他には袋網（７％）、胴網（１％）及びせん筒（１％未満）の荷受けがあった。各漁法の操業者数は図２のとおりである。

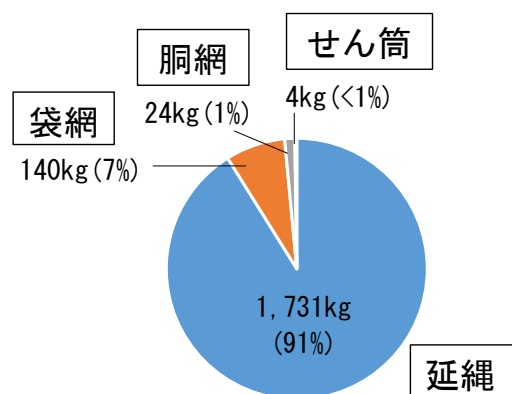


図 1. 小川原湖のニホンウナギ漁獲量に占める漁法の割合（2024 年）

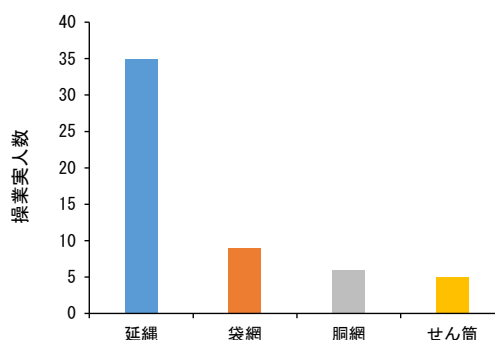


図 2. 小川原湖のニホンウナギ漁における漁法別操業者数（2024 年）

月別の漁獲量は図 3、4 のようになった。青森県内水面漁場管理委員会指示により、10 月 1 日から翌年 5 月 30 日までのニホンウナギ採捕が禁止されていることから、小川原湖のニホンウナギ漁は 6 月から 9 月までの期間に限定されている。8 月に漁獲量が落ち込むが、これは市場が盆休暇で長期間閉まることが一因と考えられ、例年概ね同様に推移する。漁法別の漁獲量を見ると、袋網による漁獲が 9 月に集中しているが、これは 9 月から解禁となるワカサギ、シラウオ漁の袋網に入網したニホンウナギが市場に持ち込まれたためである。

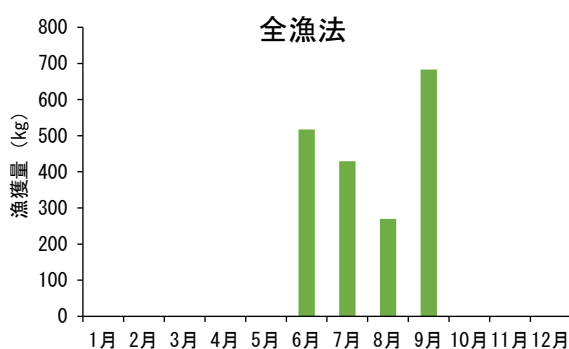


図 3. 小川原湖における月別ニホンウナギ漁獲量 (2024 年、全漁法合計)

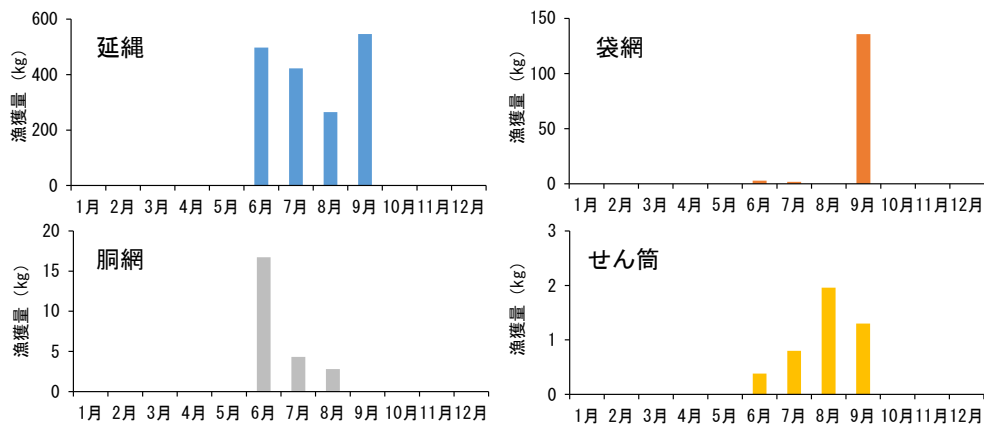


図 4. 小川原湖における月別ニホンウナギ漁獲量 (2024 年、漁法別)

魚体重別の漁獲尾数は図 5、6 のようになった。漁獲尾数が最も多いのは 200g 台の個体で全体の 53%を占めた。次いで 300g 台 (26%)、400g 台 (12%)、500g 台 (5%)、600g 台 (3%)、700g 以上 (2%) と続いた。この傾向は漁法によらず、概ね同様だった。800g 以上の大型の個体は延縄以外の漁法で採捕された。

なお、青森県では内水面漁場管理委員会指示により全長 40cm 未満のニホンウナギの採捕を制限していることに加え、小川原湖漁業協同組合の自主管理により、体重 200g 未満の個体の荷受けは行っていない。

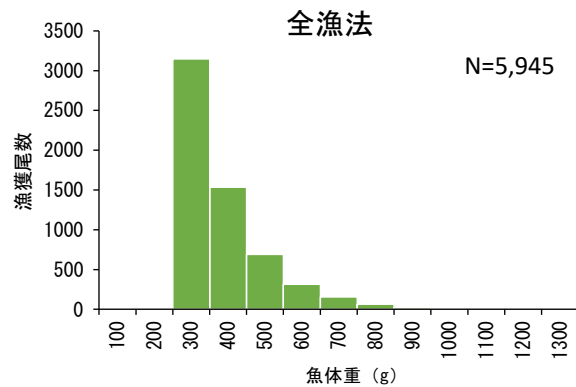


図 5. 小川原湖における魚体重別ニホンウナギ漁獲尾数 (2024 年、全漁法合計)

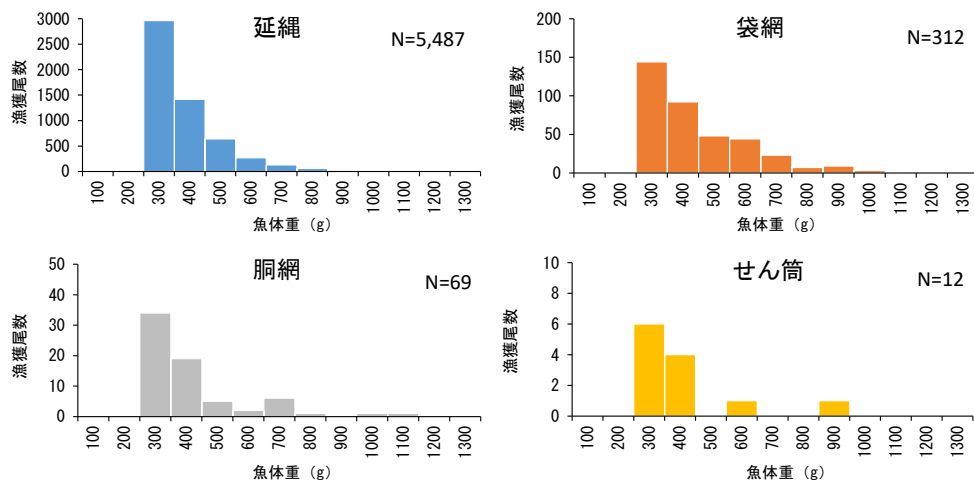


図 6. 小川原湖における魚体重別ニホンウナギ漁獲尾数 (2024 年、漁法別)

令和 6 年の総漁獲金額及び平均単価を小川原湖漁業協同組合に聞き取ったところ、総漁獲金額は 1,271 万円、平均単価は 6,693 円だった。2014 年から 2024 年における小川原湖のニホンウナギの漁獲金額及び漁獲物の平均単価は図 7 のように推移した。

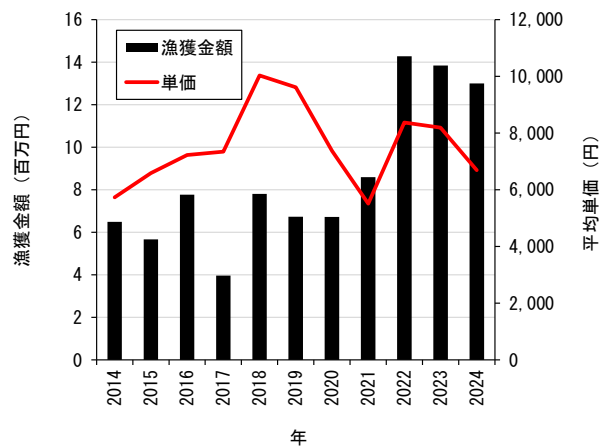


図 7. 小川原湖におけるニホンウナギ漁獲金額及び平均単価の推移 (2014-2024 年)

また、後述の【漁獲されたニホンウナギの生物情報の取得】に係る漁獲物サンプル購入価格を参考に、小川原湖におけるニホンウナギのサイズ別単価を推定した。

小川原湖漁業協同組合ではニホンウナギの銘柄をサイズ別に 200-300g、300-400g、400-500g、500-600g、600-700g 及び 700g 以上の 6 銘柄に分けて取り扱っている。今年度購入した各銘柄のうち、平均買上げ単価が最も低かったのは 200-300g だった。また、200-300g の買上げ単価を基準にすると、300-400g、400-500g 及び 500-600g の買上げ単価は概ね 1.2 倍、600-700g の買上げ単価は 1.4 倍、700g 以上の買上げ単価は 1.7 倍程度の開きがあった。

サンプルの買上げ価格には漁協の手数料等が上乗せされることから市場価格とは必ずしも一致しないものの、上記のような銘柄間の単価の関係は概ね市場価格にも当てはまると考えられる。そこで、今年度の銘柄別漁獲量、総漁獲金額及び 200-300g の買上げ単価を基準とした上記の倍率を用いて、表 1 のように各銘柄の単価を推定した。

表 1. 小川原湖における銘柄別ニホンウナギ推定単価及び推定漁獲金額（2024 年）

銘柄	200-300gを基準とした 買上げ単価の倍率①	推定単価 ② (①*a)	漁獲量 ③	漁獲金額 ④ (②*③)
200-300g	× 1.0	(a) 5,817 円	763 kg	444 万円
300-400g	× 1.2	6,981 円	511 kg	357 万円
400-500g	× 1.2	6,981 円	293 kg	205 万円
500-600g	× 1.2	6,981 円	161 kg	112 万円
600-700g	× 1.4	8,144 円	95 kg	77 万円
700- g	× 1.7	9,889 円	77 kg	76 万円
計		6,693 円	1,899 kg	1,271 万円

銘柄別漁獲量、平均単価及び総漁獲金額は荷受け伝票調査及び聞き取りにより求めた。

赤字はこれらとサンプル買上げ時の価格から算出した推定値。

表 1 より、推定単価は 200-300g で 6,950 円、300-400g、400-500g 及び 500-600g で 8,340 円、600-700g で 9,730 円、700g 以上で 11,820 円となり、サイズが大きくなるほど上昇した。荷受伝票調査から得られたサイズ別漁獲量（図 8）及び表 1 の結果を用いると、魚体重別の推定漁獲金額は図 9 のようになる。単価はサイズが大きくなるほど上昇する一方、大型の個体は絶対的な漁獲尾数が少ないことから、漁獲物の主体である 200g 台の個体が売上金額においても中心と考えられた。

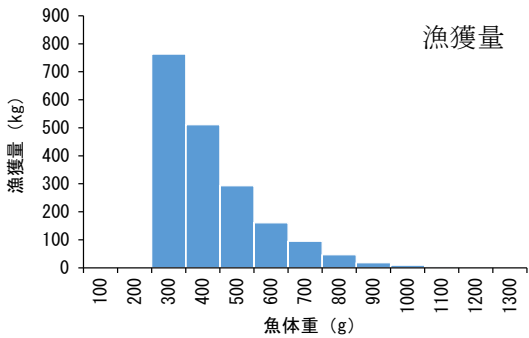


図 8. 小川原湖における魚体重別ニホンウナギ漁獲量（2024 年）

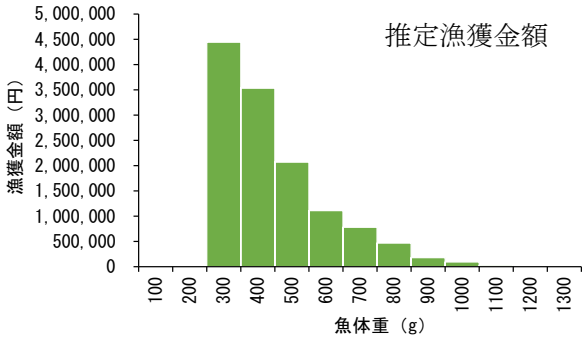


図 9. 小川原湖における魚体重別ニホンウナギ推定漁獲金額（2024 年）

小川原湖のニホンウナギ延縄漁業者 4 名の操業記録を整理したところ、操業場所について、4 名のうち 3 名（漁業者 B～D）はニホンウナギ漁期（6～9 月）を通じて概ね同所で操業しており、自身の船着き場から近い漁場を中心に利用していた（図 10）。操業水深は 1m 未満～7m の範囲だった。漁業者 A については湖内全域で操業しており、操業場所に季節的な変化が見られた。特に 8 月下旬以降は湖北部での操業が増えるとともに、操業水深は 8 月中旬ごろまで 3m 以浅が中心だったのに対し、8 月下旬以降は 7m 以深に推移した（図 11）。

4 名のうち漁期を通じて安定的な操業実績があり、データの欠損がない漁業者 A、B について、月別の CPUE（kg/隻・日）を算出したところ、図 12 のように推移した。漁業者 A は 6 月におよそ 3.7kg/隻・日で最も高く、8 月に 2.9kg/隻・日で最も低くなり、荷受伝票調査により得られた月別漁獲量の推移とよく似た傾向があった。漁業者 B は 1.0kg/隻・日前後ではほぼ一定だった。両者の CPUE の差は操業 1 日あたりの針数の違いによる可能性があり、次年度は調査項目に使用針数を追加して確認する必要がある。

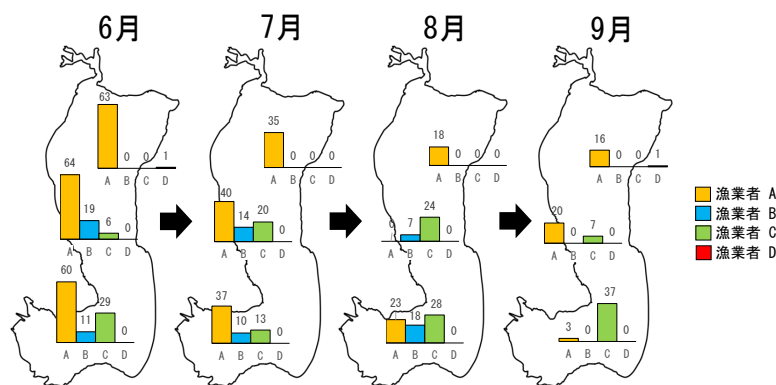


図 10. 小川原湖における延縄漁業者 4 名の各月の操業場所と 1 日あたりの平均採捕尾数（2024 年）

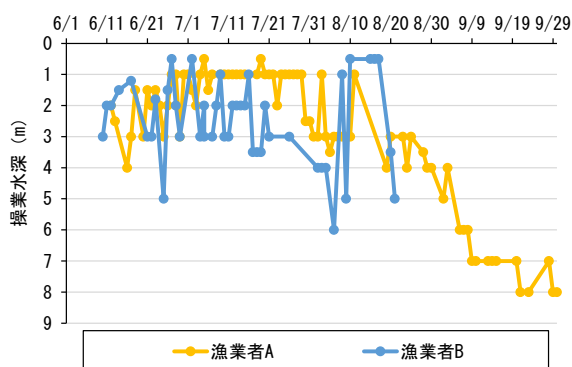


図 11. 小川原湖における延縄漁業者 2 名の操業水深の推移（2024 年）

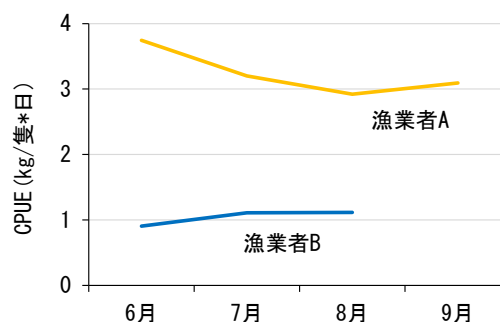


図 12. 小川原湖における延縄漁業者 2 名の CPUE の推移（2024 年）

2. 放流実態の把握

令和 6 年の小川原湖漁業協同組合のニホンウナギ義務放流は 6 月 7 日に実施され、放流重量は 80kg だった。放流種苗 200 個体について測定し、平均全長及び平均体重はそれぞれ $28.2 \pm 6.3\text{cm}$ 、 $24.2 \pm 18.6\text{g}$ （±標準偏差）だった。放流種苗の全長組成及び体重組成は図 13、14 のようになった。

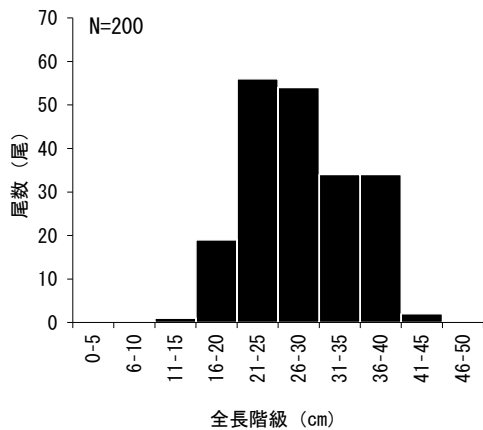


図 13. 小川原湖におけるニホンウナギ放流種苗の全長頻度分布 (2024 年)

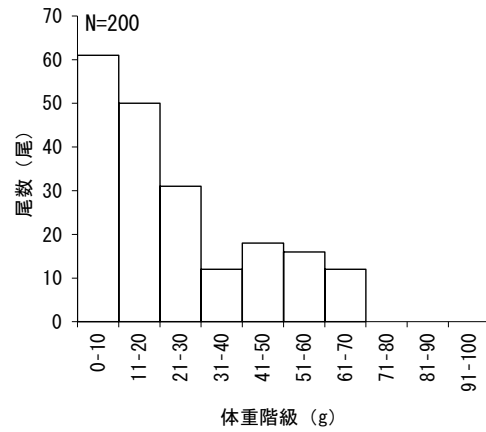


図 14. 小川原湖におけるニホンウナギ放流種苗の体重頻度分布 (2024 年)

放流尾数はおおよそ 3,200 個体と推定され、湖内 5 地点に概ね均等に放流された (図 15)。放流種苗の総重量は毎年大きく変動しないため、魚体が小さい年ほど放流尾数が多い傾向がある (図 16)。

直近 5 か年の種苗放流重量及び放流金額は図 17 のとおりである。令和 6 年の放流種苗単価は 8,500 円/kg、放流金額は 68 万円だった。

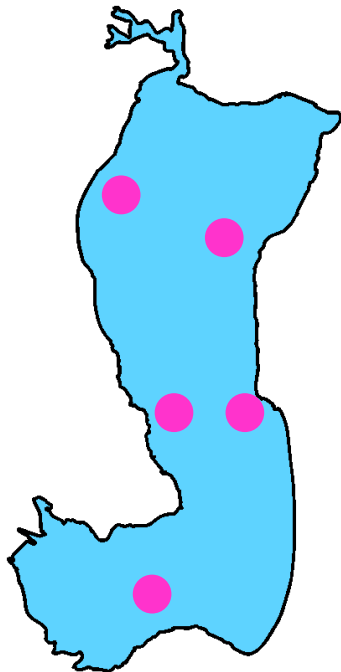


図 15. 小川原湖におけるニホンウナギ種苗放流地点 (2024 年)

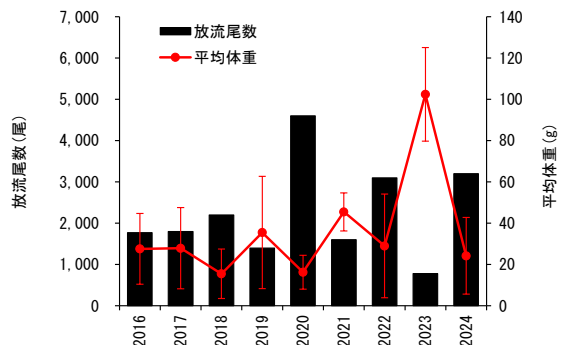


図 16. 小川原湖におけるニホンウナギ推定放流尾数と平均体重の推移 (2016-2024 年)

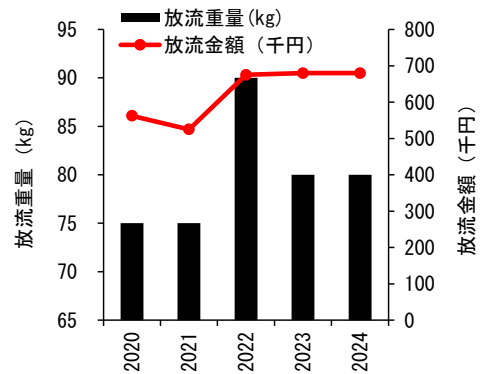


図 17. 小川原湖におけるニホンウナギ放流重量と放流金額の推移 (2020-2024 年)

【漁獲されたニホンウナギの生物情報の取得】

目的：小川原湖内に放流されたニホンウナギの成長量、生残率等のデータを蓄積する。

方法：魚体重別に漁獲物を購入（～300g、～400g、～500g、～600g、～700g 及び 700g 以上）し、精密測定及び組織採取に供する。測定項目は全長、体重、胸鰭長、眼径（水平及び垂直）、銀化ステージ、性、各内臓重量（肝臓、胃、腸及び生殖腺）とする。また、採取する組織及び固定方法は脳・下垂体・肝臓（RNAlater）、生殖腺（ユフィックス）、血漿・眼球・筋肉（凍結）及び耳石（乾燥）とする。

採取した組織は各分析担当機関に送付する。耳石については切片標本作製し、漁獲物の年齢査定及び天然/放流の由来判別に供する。

漁獲物の購入または採捕により銀ウナギを収集し、課題イ「産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握」に供する。

結果：

小川原湖、高瀬川、及び青森県太平洋側の大沼において、採捕調査と市場購入により、合計**102**個体のニホンウナギサンプルを収集した。このうち、小川原湖及び高瀬川で採捕された**100**個体の魚体重別のサンプル数の内訳は表2のようになり、全長、体重及び性別の関係は図18のようになった。このうちオスの割合は**4%**と著しい性比の偏りが見られた。

漁獲時期とサンプルの銀化ステージ及びGSIの関係は図19のようになった。銀ウナギは合計**10**個体採捕され、いずれも**10**月以降に出現した。このうち**1**個体はオスで、本県でオスの銀ウナギが確認されたのは令和4年以來**2**例目である。メスの銀ウナギについてはGSIが**1.7～3.4**の範囲で、**10**月以前に採捕された黄ウナギと比較して高く、成熟が進行していることが確認された。

小川原湖及び高瀬川では本事業による調査を開始した令和2年以降、毎年銀ウナギの出現が確認されている。小川原湖内において漁期中の銀ウナギ採捕はほとんど無く、漁期の制限が産卵回遊個体の保護に奏功していることが示唆された。

表 2. サンプル数の内訳（2024 年）

重量 (g)	サンプル数
～200	15
200～300	18
300～400	22
400～500	20
500～600	8
600～700	8
700～	9

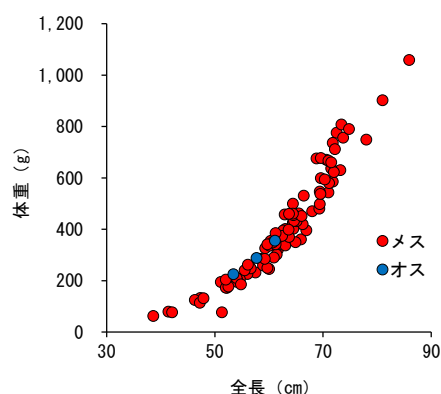


図 18. 小川原湖・高瀬川におけるニホンウナギの全長と体重の関係（2024 年）

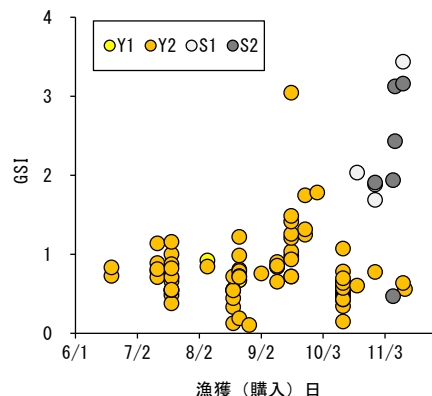


図 19. 小川原湖・高瀬川におけるニホンウナギの漁獲時期と GSI（2024 年）

大沼で採捕された2個体については眼にイラストマー標識が施されており（図20）、平成28年に放流された個体であることが確認された。大沼では平成28年から平成30年にかけて計1,532個体が標識放流されており、これまでに平成28年及び平成29年に放流された7個体が再捕されている。放流時の平均全長29.5cm（平成28年）及び28.4cm（平成29年）、並びに今年度までの再捕個体の測定結果から、大沼のニホンウナギは年間約2.7cmのペースで成長していると考えられた（図21）。平成28年から平成30年にかけて、小川原湖でも同様の標識放流が実施されており、令和4年までの再捕結果から年間の成長量はおよそ6.6cmと推定されている（図22）。地理的に近い大沼と比較して、小川原湖の放流種苗の成長は著しく速く、湖沼放流のあり方を検討する上で小川原湖の高成長の要因を把握することは肝要と考えられる。

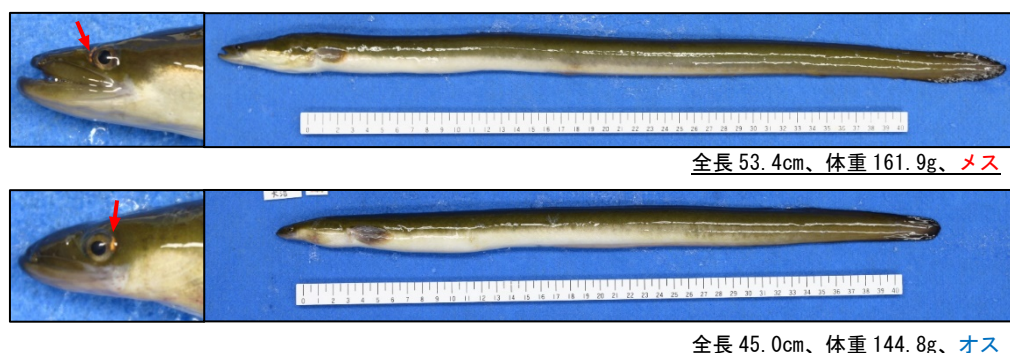


図 20. 大沼で再捕されたイラストマー標識放流個体（2024 年）

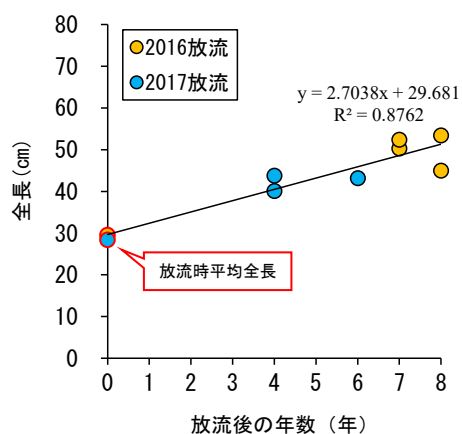


図 21. 放流翌年以降に大沼で再捕された標識放流個体の全長（2016-2024 年）

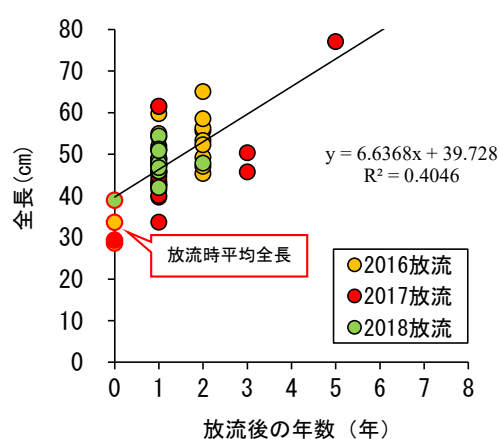


図 22. 放流翌年以降に小川原湖で再捕された標識放流個体の全長（2016-2022 年）

各個体の精密測定データ及び組織サンプルは課題イ「産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握」を始めとした各課題の分析に供するため担当機関に送付した。また、一部の個体の耳石については次年度以降に実施する漁獲物年齢査定の条件検討に使用するため、薄片標本作製に供した。

課題と対応策：令和6年度の進捗は計画通りであり、着実な成果を得た。

引き続き、資源解析及び放流効果の把握に資する各データの蓄積を図るとともに、次年度から年齢査定結果及び由来判別結果が段階的に出揃うことを踏まえ、これらの結果の活用について課題担当者間の連携を密に図る。

次年度計画：各調査を継続するとともに、今年度の耳石サンプルについて年齢査定を進め、成長特性を把握する。

令和 6 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	課題エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	ニホンウナギ、アユ、ワカサギ及びイワナ等の溪流魚の生息環境調査・分析、資源の増殖手法の検討 ②ニホンウナギの資源増殖の費用対効果		
担 当 者	片岡佳孝 根本守仁（滋賀県水産試験場） 亀甲武志（近畿大学）		

令和 6 年度の成果の要約：本年（2024 年 1 月～11 月の報告分）の総漁獲量は 2,135kg、総漁獲尾数は 3,116 尾と推定された。漁獲の最盛期は 6 月～7 月で、竹筒と延縄の 2 漁法で総漁獲量の 80%を占めた。漁獲尾数では体重 200g～300 g のものが最も多かった。体重 900g を超える大型個体は、漁獲尾数としては少なくなるが、販売単価が高いため、売上額では多くなり、総売上額には大型個体の漁獲が大きく貢献していた。本年の放流種苗代 423 万円に対し、漁獲魚の総売上額は 1,940 万円程度と試算された。

背景：現在の琵琶湖は、流出河川である宇治川に天ヶ瀬ダムが 1964 年に建設されて以来大阪湾からの天然遡上は途絶えている。そのため、長年ニホンウナギ（以下ウナギ）放流事業が実施されており、現在の琵琶湖のウナギ資源は原則放流で維持されていると考えられる。

最近 10 年間（2013 年～2022 年）では、年間 2.0～5.6 万尾、体重 19～51g の種苗が放流され（図 1）、年間 2～3t の漁獲がある（図 2）。このように、琵琶湖のウナギ漁業については放流量や漁獲量の統計データはあるが、放流後のウナギの成長や生残、漁獲実態については十分把握されていない。

貴重なウナギ種苗を用いた放流事業が行われている以上、その放流効果を確認する必要がある。また、琵琶湖で漁獲されたウナギは、近年高値で取引されるようになっており、琵琶湖の漁業振興の面からも、効率的な放流事業のもとで適切な資源管理が行われる必要がある。

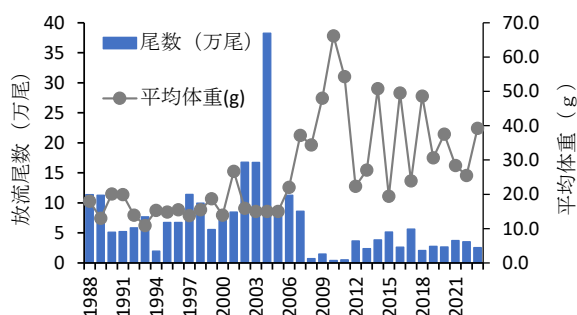


図 1 琵琶湖のウナギ放流尾数と放流サイズ

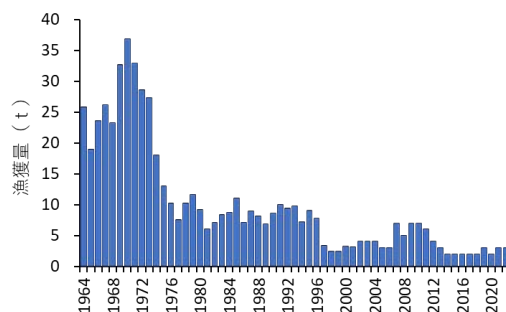


図 2 琵琶湖のウナギ漁獲量

課題実施計画

(1) 全体計画

目的：

琵琶湖で行われているウナギ放流事業について、その放流効果（回収率）と費用対効果を評価し、より採算性の高い放流事業と資源管理手法を提案する。

方法：

(i) 放流・漁獲状況の把握

放流状況については、過去の放流実績の整理と各年度の放流状況を把握する。

漁獲状況については、琵琶湖の漁獲情報システム（名称：「湖レコ」、漁業者がスマートフォン等で漁獲情報を入力できる）への漁獲報告から単年度ごとの漁獲量を把握する。別途、ウナギ漁業者に漁獲日誌（体重、漁獲尾数）の記入を依頼する。漁獲量と漁獲日誌の記録から漁獲尾数を算出する。

(ii) 漁獲魚の年齢組成の把握（年齢査定、成長解析は近畿大学が担当）

放流魚と漁獲魚のサンプルを収集し、耳石による年齢査定と成長解析を行う。成長解析から漁獲魚の年齢組成を算出する。

(iii) 資源評価と採算性の高い放流事業の提案

(i) と (ii) から年度ごとに漁獲魚の年齢別漁獲尾数を算出する。単年度データを蓄積し、最終的にコホート解析による資源評価を行う。また、放流効果および費用対効果を算出し、採算性の高い放流事業と資源管理のあり方を提案する。

期待される成果：

琵琶湖（湖沼）におけるウナギ放流事業の放流効果と資源状況を評価するとともにより採算性の高い放流事業と資源管理手法を提案する。

(2) 当該年度の計画

目的：

(i) 放流・漁獲状況の把握

(ii) 漁獲魚の年齢組成の把握（年齢査定、成長解析は近畿大学が担当）

(iii) 資源評価と採算性の高い放流事業の提案

方法：

(i) 放流・漁獲状況の把握

放流状況については、過年度の放流実績の整理、本年度の放流量の把握を行なった。漁獲状況は、「湖レコ」への漁獲報告から漁獲量を整理した。ウナギ漁業者（5経営体）に漁獲日誌の記入を依頼し、操業日、漁獲量、体重別漁獲尾数のデータ収集を行った。

(ii) 漁獲魚の年齢組成の把握（年齢査定、成長解析は近畿大学が担当）

放流および漁獲サンプルを収集し、体サイズ測定、耳石の摘出を行った。耳石に

については近畿大学に送り年齢査定を行った。

(iii) 資源評価と採算性の高い放流事業の提案

「湖レコ」への漁獲報告（2024年1月～11月報告分）と漁獲日誌データから、2024年の魚体重別漁獲尾数の算出を行った。また、聞き取り調査による漁獲魚の取引価格と魚体重別漁獲尾数から琵琶湖全体での売上額、放流種苗代の試算を行った。

結果：

(i) 放流・漁獲状況の把握

①放流状況の把握

過年度の放流実績は、図1のとおりである。2024年の放流は10月18日に行われ、放流量は1,067kg、平均体重は30.3g（1,000g/33尾）であった。これらから放流尾数は35,550尾と推定された。種苗単価は3,960円/kgであり、本年の放流種苗代は4,225,320円と算出された。

②漁獲量と主要漁法

漁獲報告件数（漁獲があったときの報告）は1,009件であり、総漁獲量は2,135kgであった。漁獲量の内訳（カッコ内は総漁獲量に対する割合）は、延縄が860kg（40%）、竹筒が856kg（40%）となっており、これら2漁法で全漁獲量の80%を占めていた（図3）。

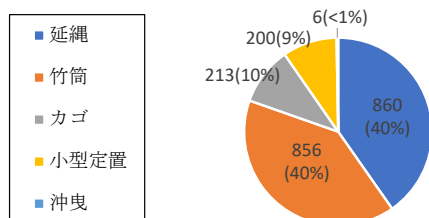


図3 漁獲量の漁法別割合

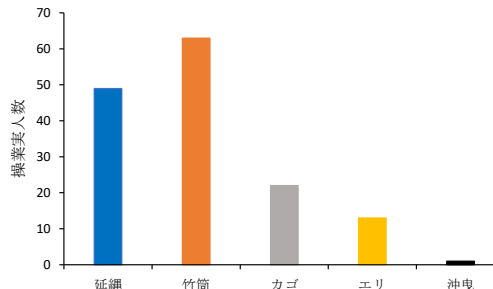


図4 漁法別漁獲報告者数

漁獲報告のあった漁業者（148人）の漁法の内訳（カッコ内は漁獲報告のあった全漁業者に対する割合）は、延縄49人（33%）、竹筒63人（43%）となっており、これらで全体の76%を占めていた（図4）。

③漁獲シーズン

漁獲報告は3月から11月までであった。月別では6月が最も多く、ほぼ同レベルで7月となっており、琵琶湖のウナギ漁業の最盛期は6、7月であった（図5）。5月から8月までの漁獲で総漁獲量の80%を占めており、琵琶湖のウナギ漁は、初夏から夏の限定された漁業であると言える。理由として、需要の高い時期（土用前後）、ウナギの活動が活発な時期、延縄ではエサ（琵琶湖では、アユ、スジエビが使われることが多い）の確保、他の漁法との兼ね合いなどが考えられた。

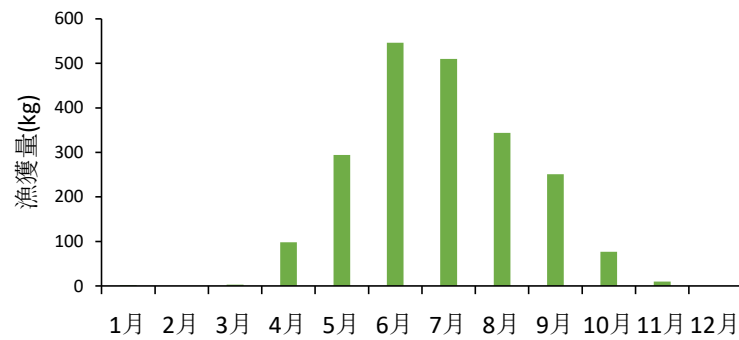


図5 月別漁獲量

④漁獲魚の体重組成

漁獲日誌（5経営体）から306尾の漁獲魚の体重組成データが収集できた。漁獲尾数では200～300gサイズが最も多く、漁獲の中心となっていた（図6）。

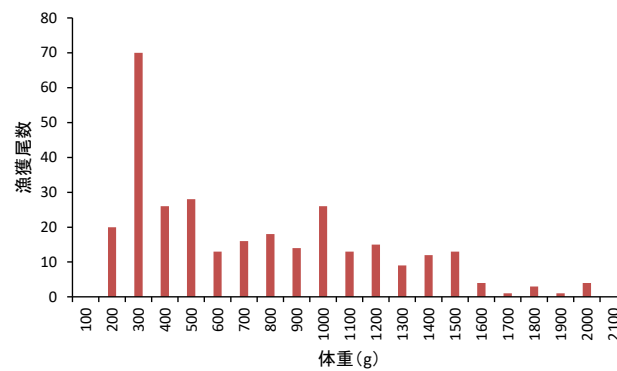


図6 漁獲魚の体重組成（漁獲日誌）

(ii) 漁獲魚の年齢組成の把握

79尾の漁獲魚サンプルを収集し、漁法別の内訳は、エリ11尾、竹筒30尾、カゴ12尾、延縄26尾であった。その中の45尾について年齢査定を行ったところ、4歳から5歳が多く（図7）、放流後3～4年で漁獲に貢献すると考えられた。また、性比はメスに偏っており45尾中39個体がメス（87%）であった。

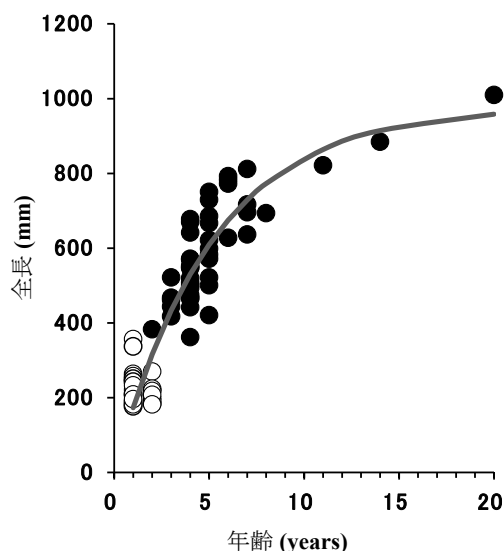


図7 年齢と全長の関係（n=45）

(iii) 資源評価と採算性の高い放流事業の提案

①漁獲魚の販売価格

琵琶湖でのウナギの取引には「相対」と「競り」があるが、ほとんどが「相対」である。相対取引を行っている経営体から聞き取った販売価格（5経営体の平均）は、100～300g：8,300円/kg、～800g：8,900円/kg、800g<：9,300円/kgであった。

②漁獲魚の体重別漁獲尾数、漁獲量、売上額

2024年1月～11月の総漁獲量（2,135kg）を漁獲魚の体重組成（図6）をもとに尾数換算すると、期間内に3,116尾が漁獲されたと推定された。漁獲尾数では200～300gの個体が最も多かったが（図9）、売上額では900～1,500gの個体が200～300gのものと同程度か多くなった（図10）。200～300gの個体は漁獲尾数としては多いが体重は軽いため漁獲量では伸びず、逆に900gを超える個体は漁獲尾数としては多くないが重量があるため漁獲量としては多くなった（図9）。漁獲魚の販売価格（円/kg）は、大型魚の方が高いため、結果として900～1,500gサイズの売上額が多くなった（図10）。販売価格を仮に（iii）①で示した金額と仮定すると売上額は19,431,700円と算出された。

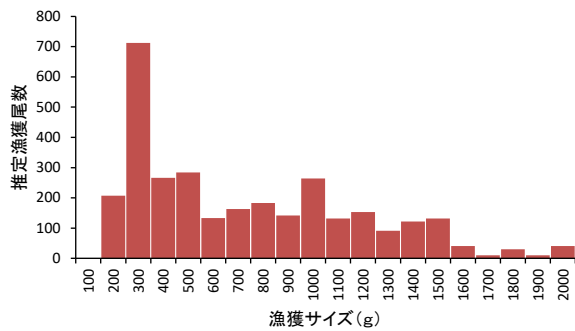


図 8 漁獲サイズ別漁獲尾数（漁獲報告）

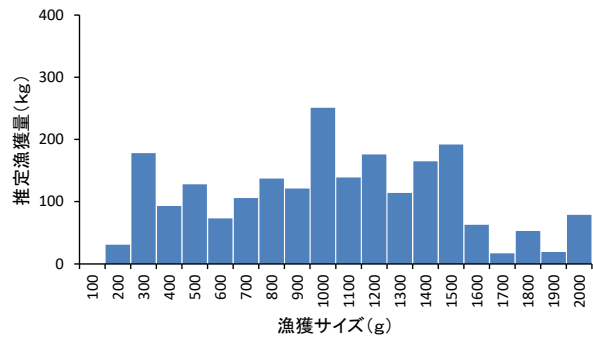


図 9 漁獲サイズ別漁獲量（漁獲報告）

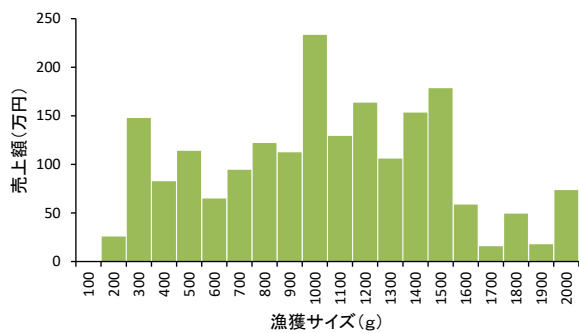


図 10 漁体重別売上額（漁獲報告）

課題と対応策：

単年度の結果であり複数年のデータ蓄積が必要である。

次年度計画：

全体計画に沿って今年度と同様の内容を引き続き行う。年齢査定結果を用いて、総漁獲尾数を年齢別組成に分解し、年齢別漁獲尾数、漁獲加入年齢を推定する。

令和 6 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	課題エ	事業実施期間	令和 6 年度
課 題 名	湖沼でのニホンウナギ等の資源増殖に関わる調査		
担 当 者	雑賀達生・松本洋典・寺戸稔貴（島根県水産技術センター） 板倉光（東京大学大気海洋研究所）		

令和 6 年度の成果の要約：

宍道湖におけるニホンウナギの放流情報および漁獲情報を調査し、放流実態および漁獲実態の把握に資する基礎情報を収集した。

【放流実態の把握】

2024 年に宍道湖にて実施されたウナギ放流事業について聞き取り調査したところ、放流量と種苗購入費はそれぞれ 550 kg、4,400 千円であった。また、放流量と種苗の平均体重から算出された放流尾数は 24,663 尾であった。さらに、種苗の性別はほとんどが未分化、もしくは肉眼では判別できなかった。

【漁獲実態の把握】

宍道湖漁協が収集した漁獲成績によると、2024 年の宍道湖におけるウナギ漁獲量は 1,662.1 kg であった。また、漁業者に依頼した標本船野帳と生物測定から得られた漁獲情報をもとに推定した漁獲尾数は 4,630 尾であった。

【漁獲物の生物情報取得】

2024 年 5 月から 11 月にかけてウナギ漁業者から漁獲物を購入し、合計 155 尾を収集した。そのうち 100～400 g 個体が 69%を占め、性別はすべてメスであった。また、ます網漁獲物の成熟ステージはすべて Y2 以上であり、S1 も確認された。また、漁法別の漁獲サイズに注目すると、はえ縄、かご、竹筒、朶葉漬けには有意差はみられなかったが、それら 4 漁法よりもます網で漁獲された個体の方が有意に大型であった。

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 I B 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）全体計画

目的：宍道湖でのニホンウナギ（以下、ウナギ）について、放流による資源増殖の効果を明らかにし、放流場所としての宍道湖の有効性を検討する。

方法：宍道湖におけるウナギの放流事業および漁獲データを収集する。また、購入した放流種苗および漁獲物の生物調査を行うとともに、漁獲物に占める放流魚の比率を算定する。

期待される成果：宍道湖におけるウナギの漁獲量、漁獲尾数、放流魚の比率、年齢構成等から、ウナギ放流事業の費用対効果を検討する。

（２）当該年度の計画

目的：宍道湖におけるウナギの放流実態および漁獲実態の把握に資する情報を収集するとともに、放流種苗・漁獲物の生物情報を取得する。

方法：

1. 放流実態の把握

宍道湖にて行われたウナギの放流事業について、宍道湖漁業協同組合（以下、宍道湖漁協）に放流時期および放流場所、放流量、種苗年齢、種苗単価の聞き取り調査を実施した。また、放流種苗と同ロットのウナギを購入し、30尾について全長、体重、性別を記録するとともに、次年度の年齢査定用に耳石を採取した。さらに、放流量と種苗の平均体重から放流尾数を推定した。

2. 漁獲実態の把握

漁獲物に関する情報として、漁獲量は宍道湖漁協が収集した漁獲実績報告書を基礎データとし、漁獲尾数については以下の方法により算出した。ここで、はえ縄、かご、竹筒、朶葉漬け（以下、4漁法）は5～10月の夏季を中心に操業される一方で、小型定置網（以下、ます網）は10、11月に限定して操業される。また、後述するが、4漁法は200～300gを主体に漁獲されていたが、ます網では500g前後の大型個体が漁獲されていた。上記のように両漁法で操業時期と漁獲サイズが異なるため、漁獲尾数の推定にはそれぞれ別の算出方法を用いた。

ア) 年間操業者数・漁獲量の算出

宍道湖漁協の漁獲実績報告書を入手し、2024年における宍道湖のウナギ漁業の操業者数ならびに4漁法、ます網の年間漁獲量 TC_1 、 TC_2 を算出した。

イ) 4漁法における年間漁獲尾数の推定

a) 標本船野帳調査

宍道湖におけるウナギ漁獲情報の詳細把握のため、宍道湖漁協組合員所属の漁業者

(以下、漁業者) 4 名に標本船野帳の記入を依頼した。漁業者の選出については、宍道湖漁協の推薦により年間の操業日数が多く、精力的に操業している者とした。期間は 2024 年 5 月 1 日から 10 月 31 日、記入内容は操業日および漁法別の漁獲量、漁獲尾数、操業場所とした。記入内容を集計し、各月の漁獲物 1 尾当たりの平均体重 BW_m ($5 \leq m \leq 10$) および年間漁獲量のうち各月の占める割合 CP_m ($5 \leq m \leq 10$) を算出した。

b) 年間漁獲尾数の推定

宍道湖における 4 漁法の年間漁獲尾数 N_1 は以下のように求めた。

$$N_1 = \sum_{m=5}^{10} \frac{CP_m \times TC_1}{BW_m} \quad \dots (i)$$

ウ) ます網における年間漁獲尾数の推定

a) 漁獲物における平均体重の算出

ます網漁業者に対しての標本船野帳調査は実施していない。そこで、後述する 3. の測定データから、ます網漁獲物 1 尾当たりの平均体重 BW_f を算出した。

b) 年間漁獲尾数の推定

宍道湖におけるます網の年間漁獲尾数 N_2 は以下のように求めた。

$$N_2 = \frac{TC_2}{BW_f} \quad \dots (ii)$$

エ) 年間漁獲尾数の推定

宍道湖における年間漁獲尾数 N は以下のように求めた。

$$N = N_1 + N_2 \quad \dots (iii)$$

3. 漁獲物の生物情報取得

2024 年 5 月 1 日から 11 月 1 日にかけて、漁業者 5 名（はえ縄・かご等漁業者 4 名、定置網（以下、ます網）漁業者 1 名）から漁獲物を買取り、精密測定を行った。記録項目は漁獲日、漁法、全長、体重、性別、成熟ステージ、生殖腺重量とした。加えて、次年度に実施する年齢査定、由来判別で使用する耳石を採取した。

結果：

1. 放流実態の把握

2024 年のウナギ放流事業は 6 月 5 日に実施された。放流場所は宍道湖内の全 10 地点であり、東部と西部に集中していた（図 1）。放流量は 550 kg、種苗単価は 8,000 円/kg、放流購入費は 4,400 千円であった。放流種苗の平均全長および平均体重 ($n=30$) はそれぞれ 282 ± 59 mm、 22.3 ± 14.5 g（±標準偏差）であった。測定した全長と体重の関

係を図2に示した。性が判別できたのはオス1尾のみで、残り29尾は不明であった（図2）。また、放流尾数は、24,663尾と推定された。なお、聞き取り内容から推定された種苗年齢は1齢であった。

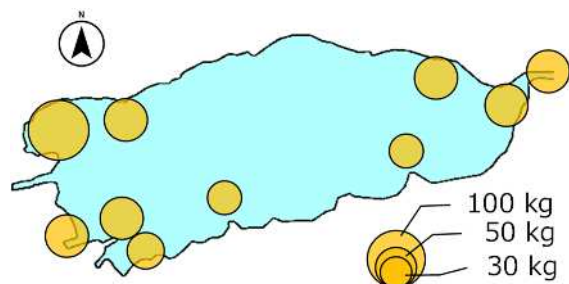


図1 宍道湖におけるウナギ放流場所

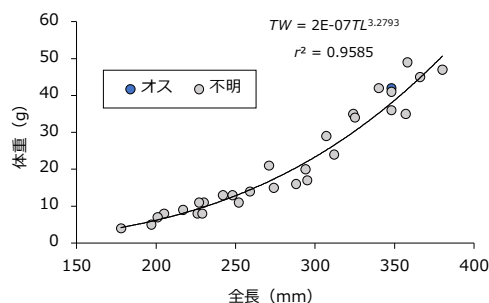


図2 宍道湖におけるウナギ放流種苗の全長と体重の関係

2. 漁獲実態の把握

ア) 操業者数・年間漁獲量の算出

宍道湖漁協の漁獲実績報告書によると、2024年の宍道湖におけるウナギ漁業の操業者数は4漁法が28名、ます網が1名であった。また、4漁法、ます網の年間漁獲量 TC_1 、 TC_2 はそれぞれ 1574.1 kg、88 kg であった。

イ) 4漁法における年間漁獲尾数の推定

a) 標本船野帳調査

漁業者4名の標本船野帳をもとに算出した2024年における各月の漁獲物1尾当たりの平均体重 BW_m は0.23~0.45 kg、年間漁獲量のうち各月の占める割合 CP_m は9.4~25.4%であった（図3）。7月の漁獲割合に減少がみられるのは、大雨とそれによる宍道湖へのゴミの流入が影響し、操業日数が限定されたためだと考えられる（漁業者からの聞き取りによる）。

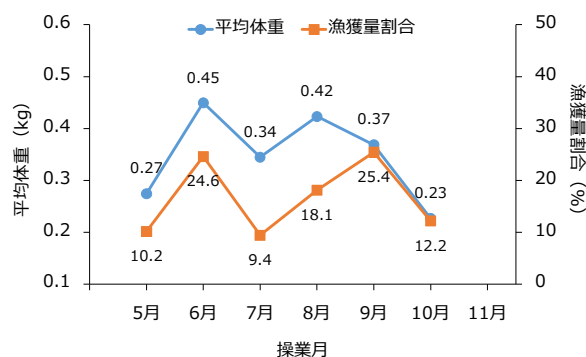


図3 宍道湖における各月のウナギ1尾当たりの平均体重と年間漁獲量のうち各月の占める割合

b) 年間漁獲尾数の推定

(i)式により算出された4漁法の年間漁獲尾数 N_1 は4,484尾であった。なお、集計した漁獲量は漁法ごとに区別されていなかった(ます網を除く)。ただし、後述する3.の通り、漁法による漁獲サイズの差異はなく、漁獲尾数の推定にあたっては漁法を一括して扱った。

ウ) ます網における年間漁獲尾数の推定

a) 漁獲物における平均体重の算出

精密測定の結果、ます網漁獲物1尾当たりの平均体重 BW_f は0.53 kgであった。

b) 年間漁獲尾数の推定

(ii)式により算出されたます網の年間漁獲尾数 N_2 は166尾であった。

エ) 年間漁獲尾数の推定

(iii)式により算出された宍道湖の年間漁獲尾数 N は4,650尾であった。

3. 漁獲物の生物情報取得

漁業者からの買取調査により、6か月間で合計155尾のサンプルを収集した。測定した全長および体重の関係は図4に示した。漁獲物の全長および体重はそれぞれ383~794 mm、64~799 gの範囲にあり(図4)、性別はすべてメスであった。

GSI、成熟ステージと漁獲日の関係をみると、5月から10月中旬にかけて漁獲された個体については、ほとんどがY1であった。一方、10月下旬から11月上旬に漁獲された個体(すべてます網の漁獲物)はGSIが1以上かつY2以上であり、S1も3尾確認された(図5)。

漁法に注目すると、漁法別漁獲尾数ははえ縄85尾、かご12尾、竹筒20尾、朶葉漬け10尾、ます網28尾であり、はえ縄が全体の54.8%を占めていた。また、一元配置分散分析を行ったところ、4漁法間の漁獲物の平均体重に有意差は得られず($p > 0.05$)、4漁法間での漁獲サイズの選択性は無かったといえる。一方で、ます網漁獲物

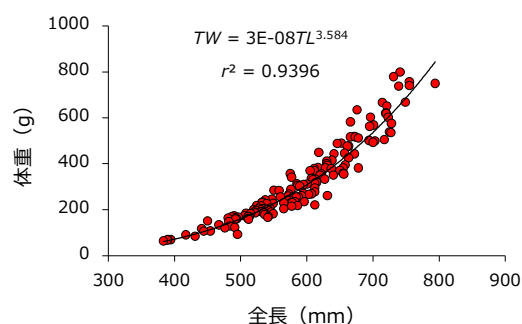


図4 宍道湖におけるウナギ漁獲物の全長と体重の関係

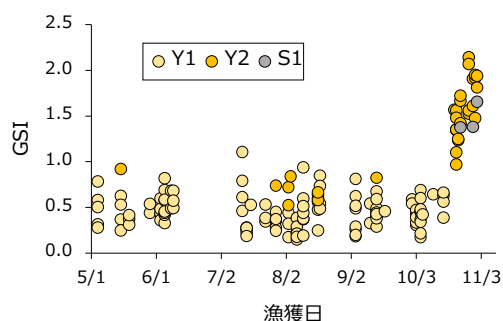


図5 宍道湖におけるウナギ漁獲物の漁獲日とGSI、成熟ステージの関係

の平均体重は4漁法と有意差がみられ、比較的大型のウナギが漁獲される傾向にあった($p<0.01$, 図6)。これはます網による漁獲物すべてが成熟ステージの進んだ300 g以上の個体だったためである。

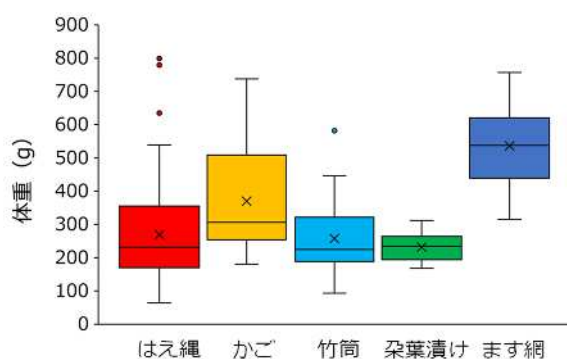


図 6 宍道湖におけるウナギ漁獲物の漁法と体重の関係

課題と対応策：

本年度の宍道湖全域におけるウナギ漁獲実態の把握には、漁業者4名から収集した標本船野帳データを使用した。標本船野帳の対象期間は5～10月としていたが、宍道湖漁協から入手した漁獲成績によると、少数ながら4, 11, 12月にも操業する漁業者が確認された。来年度以降は調査対象者および調査期間の拡大を検討したい。

また、放流事業の費用対効果を調べるにあたりウナギの取引単価の把握は不可欠であるが、宍道湖で漁獲されたウナギの流通形態上、実態がつかみにくい。市場との取引単価を調べるため、今後は漁業者や市場等への聞き取り調査を実施し、宍道湖におけるウナギ漁業の生産額算出に資する情報を蓄積する必要がある。

次年度計画：

本年度と同様に、放流・漁獲実態の把握、漁獲物の生物情報取得を継続する。次年度中には本年度サンプルの耳石分析が終了するため、放流種苗・漁獲物の年齢構成や天然・放流比のデータも踏まえて、宍道湖におけるウナギ放流効果について考察する。