

ニホンウナギの資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業

遠藤 赳寛

目的

我が国のニホンウナギ資源量の減少は深刻であり、国際自然保護連合 (IUCN) のレッドリストに絶滅危惧 IB 類として記載されるなど¹⁾、資源回復が急務である。

青森県の太平洋側に位置する小川原湖は、高瀬川を介して海と接続する汽水湖であり、大規模なニホンウナギ漁場としては北限にあたる。小川原湖では漁協によるニホンウナギ種苗の義務放流が行われている他、高瀬川にシラスウナギが来遊することが確認されており²⁻⁴⁾、湖内には放流個体と天然個体が混在すると考えられるが、その割合は不明である。また、過去の標識放流調査の結果²⁻⁴⁾から、放流後のニホンウナギは湖内で良好に成長し、漁獲に直接寄与していることが示唆された一方、放流個体が再生産に寄与しているかは分っていない。近年、耳石の酸素・炭素安定同位体比からニホンウナギの由来水域の判別が可能となり⁵⁾、小川原湖においても湖内のニホンウナギの天然・放流の割合や放流個体の産卵回遊の有無が明らかになることが期待される。判別精度を担保するには教師データの十分な蓄積が必要であり、青森県においては特に天然由来個体の耳石サンプル確保が課題となっている。北限の漁場である小川原湖のニホンウナギの実態を把握することは、青森県、ひいては我が国のニホンウナギ資源管理手法を検討する上で肝要である。

本事業は小川原湖におけるニホンウナギの漁獲実態と種苗放流実態の把握に加え、産卵親魚候補である銀ウナギの実態を把握することを目的とし、放流由来個体が銀ウナギに含まれているか判別するためのサンプル収集及び生物特性の調査、分析を行うものである。なお、本事業は水産庁委託「資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業」の一環として実施されたものであり、以下の報告内容は既報の水産庁委託事業報告書⁶⁾に準じる。

材料と方法

1. 漁獲・種苗放流実態の把握

2022年6月1日から9月30日の小川原湖漁業協同組合のニホンウナギ荷受伝票を基に、日別、サイズ別及び漁法別の漁獲量を集計した。なお、2021年10月1日から2022年5月30日及び2022年10月1日から2023年5月31日の期間は、青森県内水面漁場管理委員会指示によりニホンウナギの採捕が禁止されていたため荷受けはなかった。

2022年6月22日に小川原湖漁協のニホンウナギ義務放流が実施されたのに合わせ、使用した種苗90kgの中から無作為に95個体の全長及び体重を測定し、全長組成、体重組成及び放流尾数を算出した。

2. 銀ウナギサンプルの採集と生物学的特性の把握

(1) 小川原湖

2022年6月1日から9月30日の漁期中に小川原湖で漁獲された銀ウナギをサンプルとして購入するため、ニホンウナギ荷受け時における銀化ステージの確認を小川原湖漁業協同組合に依頼した。銀化ステージの判断基準は Okamura *et al.*(2007)⁷⁾ に準じた。

2022年10月14日の夕方に小川原湖北部の水深6~10mの地点に延縄(うなぎ針9号50本/500m)を3本設置し(図1①)、10月15日の朝回収して採捕されたニホンウナギをサンプルとした。

(2) 高瀬川



図1. 銀ウナギ採捕調査地点

2022年10月20日から11月30日の期間、六ヶ所村漁業協同組合に依頼して高瀬川に建網1ヶ統を設置し（図1②）、銀ウナギ採捕調査を行った。

(3) 精密測定及び各種組織サンプルの採取

(1)、(2)で採集した銀ウナギ及び黄ウナギについて、全長、体重、胸鰭長、水平眼径、垂直眼径、生殖腺重量、肝臓重量、胃重量及び腸重量を測定した。また、銀ウナギ及び一部の黄ウナギについて、胸鰭、耳石、脳、脳下垂体、肝臓、生殖腺及び血液を採取した。

胸鰭は100%エタノールに浸漬して常温保管し、後述のDNA 個体判別に供した。

耳石は乾燥状態で保管し、耳石酸素・炭素安定同位体比分析に基づく由来水域判別⁵⁾に供するため、分析を担当する水産研究・教育機構水産資源研究所横浜庁舎に送付した。

脳、脳下垂体及び肝臓はRNAlater (Invitrogen) に浸漬して-20℃で保管し、生殖腺はユフィックス（サクラファインテック）で固定後、70%エタノールに置換して常温保管した。また、血液は血清または血漿の状態で-20℃で保管した。これらのサンプルについて、遺伝子発現量解析、生殖腺組織切片作成及びホルモン分析に供するため、分析を担当する水産研究・教育機構水産技術研究所日光庁舎に送付した。

(4) 個体判別

(1)、(2)で採捕された銀ウナギの中に、2016年度及び2017年度の「河川及び海域での鰻来遊・生息調査事業²⁻³⁾」で小川原湖内に標識放流した遺伝子型既知の個体が含まれている可能性があるため、DNA 個体判別を実施した。

(3)の胸鰭からのDNA抽出にはGenra Puregene Tissue Kit (QIAGEN) を使用した。

マーカーは「DNA マーカーを用いたニホンウナギの非侵襲的個体識別法マニュアル⁸⁾」に記載のマイクロサテライト8遺伝子座 (*Anja-15*, *Anja-41*, *Anja-44*, *Anja-48*, *Anja-6*, *Anja-19*, *Anja-23* 及び *Anja-37*) を使用した (表1)。PCRはType-it Microsatellite PCR Kit (QIAGEN) を用いたマルチプレックスPCRとし、プライマーセットは前出のマニュアルに従い、4遺伝子座×2セットで実施した。各マーカーのフォワードプライマーにはDye set G5に対応するよう、6-FAM (*Anja-41*, *Anja-37*)、VIC (*Anja-44*, *Anja-19*)、NED (*Anja-48*, *Anja-6*)、PET (*Anja-15*, *Anja-23*) の蛍光色素を付加した。なお、PCR増幅時の不安定なアデニン1塩基付加に由来するスプリットピークを抑制するため、いずれのマーカーにもApplied BiosystemsのTail配列を付加した。

PCR反応液の組成及び反応条件は表2、3に従った。プライマーミックスはセットごとに、各プライマー濃度が0.2μMになるよう1×TEバッファーで調節した。

表1. 個体判別に使用したマイクロサテライトマーカー

プライマーセット	遺伝子座	蛍光色素	プライマー配列	Tail付加
A	<i>Anja-15</i>	PET	F: tctgtgtctcaaaaggcaaa R: tttgcactctgttagatgc	○
	<i>Anja-41</i>	6-FAM	F: aagaatttaccacagccaaga R: ggggtgtgttatggtttct	○
	<i>Anja-44</i>	VIC	F: gaattacagcgatggcctaag R: atggcacaagatggttttc	○
	<i>Anja-48</i>	NED	F: caggatgcatgcaactgagaa R: agaaacgagacggacagtttagc	○
B	<i>Anja-6</i>	NED	F: atcctctctgaccattgacgtt R: agaaacaggggtatgttga	○
	<i>Anja-19</i>	VIC	F: acactgcgtaagtcactcaga R: ggatgtgttactgggtcaat	○
	<i>Anja-23</i>	PET	F: acggattctattgttccctt R: taagcaaacgtgcataggaatg	○
	<i>Anja-37</i>	6-FAM	F: tatggccgtagtgtgtgttc R: cagecaaacattagctgctgac	○

表2. PCR反応液の組成

Master Mix	5 μl
プライマーミックス	1 μl
Q-Solution	1 μl
超純水	2 μl
テンプレートDNA	1 μl
計	10 μl

表3. PCR反応条件

	温度	時間	サイクル数 (②-④)
①初期変性	95℃	5分	
②変性	95℃	30秒	
③アニーリング	60℃	90秒	×28
④伸長	72℃	30秒	
⑤最終伸長	60℃	30分	

フラグメント解析にはABI 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) を使用した。泳動サンプルは、約10倍に希釈したPCR産物0.5μlとGeneScan 600 LIZ dye size standard v2.0 (Applied Biosystems) 0.13μl、及びHi-Di Formamide (Applied

Biosystems) 9.37 μ l を混合して合計 10 μ l になるように調製した。

ジェノタイピングには GeneMapper Software 5 または Microsatellite Analysis (いずれも Applied Biosystems) を使用した。

3. 天然ウナギサンプルの採集

小川原湖、青森県太平洋側の大沼川及び泊海岸において、耳石由来判別の教師データとして利用する天然ウナギのサンプルを採集した。

小川原湖内及び大沼川上流の大沼ではニホンウナギの義務放流が行われている。これら 2 地点において天然個体と放流個体を外見で識別することは困難だが、放流サイズより明確に小さい個体に限っては、天然個体である可能性が極めて高い。そこで、小川原湖内及び大沼川では 2022 年 4 月 27 日から 11 月 25 日の期間、全長 15cm 前後を目安に胴網でサイズ選択的に採集した。

泊海岸においては放流履歴がないことから、サイズによらず採集個体全数をサンプルとした。2022 年 5 月から 2023 年 3 月の期間に毎月 1 回、日没から 2 時間を目安に調査員 2~4 人で手網により採集した。

結果と考察

1. 漁獲・種苗放流実態の把握

小川原湖漁協の荷受け伝票を基に算出した 2022 年のニホンウナギ漁獲量は 1,401kg、漁獲尾数は 3,820 尾であった(相対取引等の漁獲物は含まない)。漁期中の月別漁獲量は 6 月が最も多く、8 月が最も少なかった(図 2)。また、8 月は操業者数も少なく、御盆の期間市場が閉まるため出漁を控えた可能性がある。漁法は漁獲全体の 94%が延縄で、6 月及び 9 月にワカサギ、シラウオ漁の袋網に入網した個体が市場に持ち込まれた。月別漁獲量及び操業者数の推移、並びに漁法の傾向は 2020 年及び 2021 年の調査結果と同様であった⁹⁻¹⁰⁾。

小川原湖漁協では 200g 以上の個体を荷受けの対象としている。2022 年の漁獲物を 100g 刻みでサイズ分けして尾数を集計すると、サイズ組成は 200~300g が 36% (2021 年 35%)、301~400g が 25% (同 26%)、401~500g が 19% (同 17%)、501~600g が 10% (同 11%)、601~700g が 5% (同 6%)、701g 以上が 5% (同 5%) であり、前年とほぼ同様であった(図 3)。

2014 年以降の小川原湖のニホンウナギ漁獲量¹¹⁾と 2007 年以降の全国のシラスウナギ採捕量¹²⁾を比較したところ、全国のシラスウナギ採捕量が多い年の 7 年後に小川原湖の漁獲量が多い傾向があった(表 4、図 4)。7 年の期間は加入から主要漁獲サイズになるまでの年数に対応している可能性があり、今後漁獲物の年齢査定を実施することで確認できるものと考えられる。

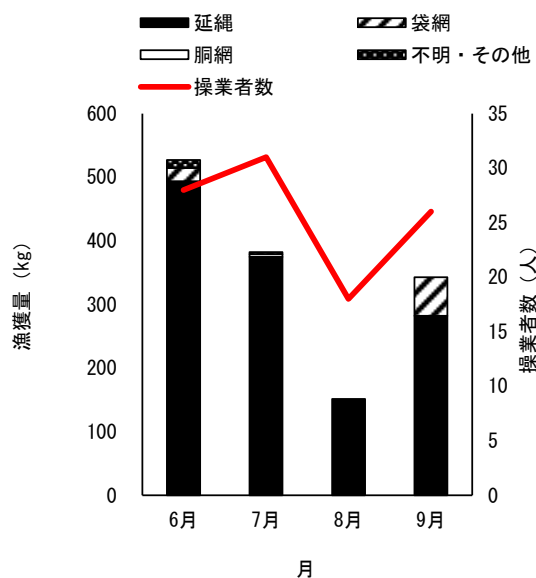


図 2. 小川原湖における月別漁法別ニホンウナギ漁獲量と操業者数の推移 (2022 年)

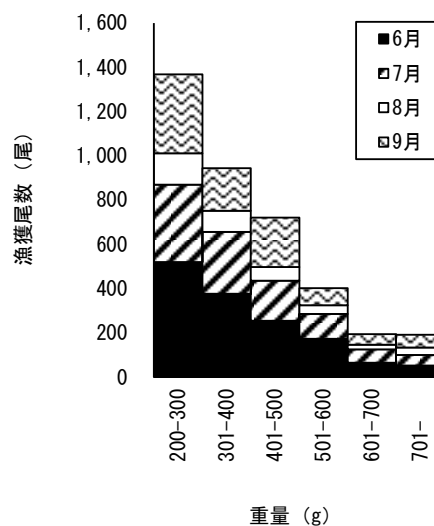


図 3. 小川原湖における重量別ニホンウナギ漁獲尾数 (2022 年)

表 4. 小川原湖のニホンウナギ漁獲量と全国のシラスウナギ採捕量（ニホンウナギ稚魚国内採捕量の推移（水産庁）より作成）

年	小川原湖の漁獲量 (kg)	全国のシラスウナギ採捕量 (t)
2007		22.2
2008		11.4
2009		24.7
2010		9.2
2011		9.5
2012		9
2013		5.2
2014	1,133	17.4
2015	861	15.3
2016	1,075	13.6
2017	540	15.5
2018	778	8.9
2019	700	3.7
2020	912	17.1
2021	1,559	11.3
2022	1,401	10.3

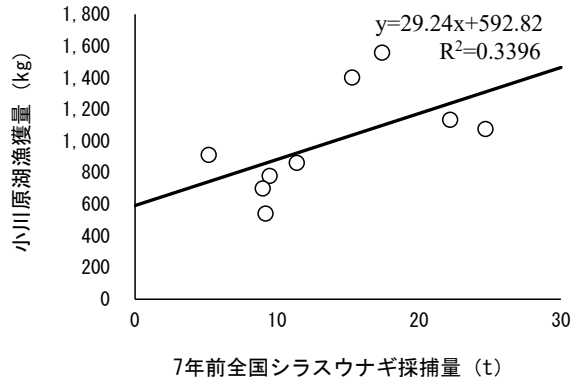


図 4. 小川原湖におけるニホンウナギ漁獲量と7年前の全国のシラスウナギ採捕量の関係

2022年の小川原湖のニホンウナギ放流種苗の平均全長及び平均体重はそれぞれ 27 ± 0.9 cm、 29.0 ± 2.6 g（±標準偏差）であった（図5、6）。放流尾数は3,100個体（90kg）と推定され、放流尾数の調査を開始した2016年以降3番目に多かった。また、魚体が小さい年ほど放流尾数が多い傾向があった（図7）。

全国のシラスウナギ採捕量¹²⁾が多い年には小川原湖の放流尾数も多くなる傾向があり（図8）、小川原湖内のニホンウナギ資源は天然由来個体、放流由来個体ともにシラスウナギの資源状態の影響を強く受けている可能性がある。

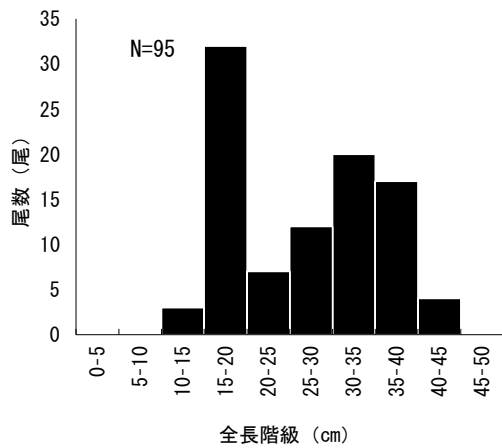


図 5. 小川原湖におけるニホンウナギ放流種苗の全長頻度分布（2022年）

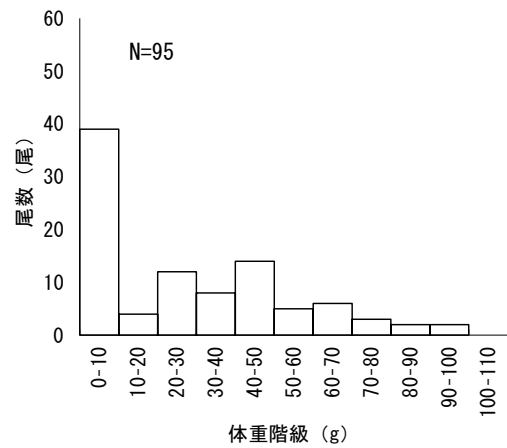


図 6. 小川原湖におけるニホンウナギ放流種苗の体重頻度分布（2022年）

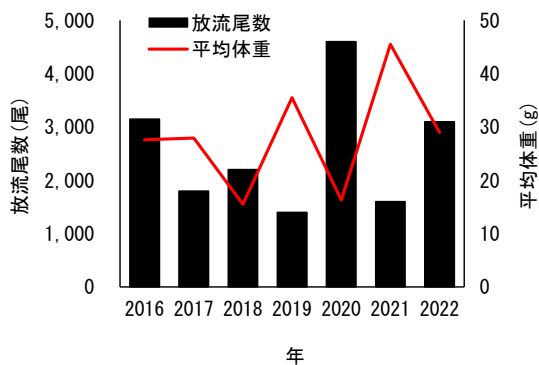


図 7. 小川原湖におけるニホンウナギ放流尾数と平均体重の推移

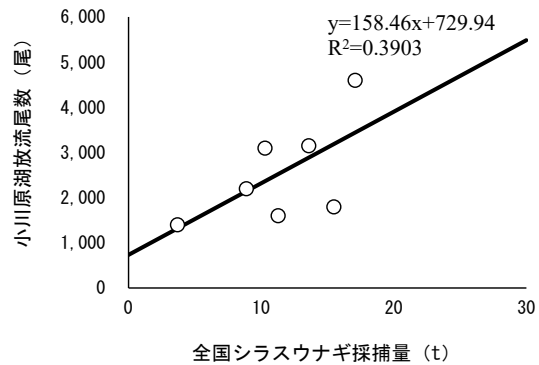


図 8. 小川原湖におけるニホンウナギ放流尾数と全国のシラスウナギ採捕量の関係

2. 銀ウナギサンプルの採集と生物学的特性の把握

小川原湖、姉沼、高瀬川及び青森県太平洋側の大沼川において、採捕調査及び市場購入により 37 個体のニホンウナギサンプルを収集した。全サンプルの全長及び体重は図 9 のとおり。雌雄比は 31:5 (不明 1) でメスが優占していた。なお、小川原湖ではニホンウナギの性比がメスに偏っていることが指摘されている⁴⁾。

全サンプルのうち、銀ウナギは小川原湖内で 1 個体、高瀬川で 6 個体の計 7 個体であった (表 5、図 10)。このうち高瀬川で採捕された銀ウナギ 1 個体はオスであった。2016 年に小川原湖及び高瀬川における銀ウナギ採捕調査を開始して以来、オスの銀ウナギが採捕されたのは初である^{2-4, 6, 9)}。

由来水域判別の結果については、判別完了後に水産庁委託「資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業」成果報告書において別途報告予定である。

表 5. 小川原湖及び高瀬川で採捕された銀ウナギ (2022 年)

採捕日	採捕地点	漁法	全長 (cm)	体重 (g)	胸鰭長 (mm)	水平眼径 (mm)	垂直眼径 (mm)	生殖腺重量 (g)	肝臓重量 (g)	胃重量 (g)	腸重量 (g)	雌雄	ステージ
9月30日	高瀬川	建網	71.5	663.86	35.0	6.1	6.3	12.05	9.46	2.77	2.39	メス	S2
9月30日	高瀬川	建網	86.3	1032.86	49.1	7.5	6.9	19.23	16.64	3.94	3.22	メス	S2
10月18日	小川原湖	建網	79.5	987.01	35.7	5.8	5.6	31.48	17.47	3.40	5.16	メス	S2
10月20日	高瀬川	建網	72.7	548.73	34.4	6.7	6.6	12.90	9.80	0.69	2.48	メス	S2
10月20日	高瀬川	建網	63.0	424.88	31.6	5.8	5.8	1.54	5.14	0.55	1.71	オス	S1
10月24日	高瀬川	建網	75.6	709.53	39.1	5.9	6.3	12.85	6.97	0.97	1.64	メス	S2
11月18日	高瀬川	建網	82.0	881.09	39.0	7.8	6.9	27.61	12.17	1.20	3.19	メス	S2

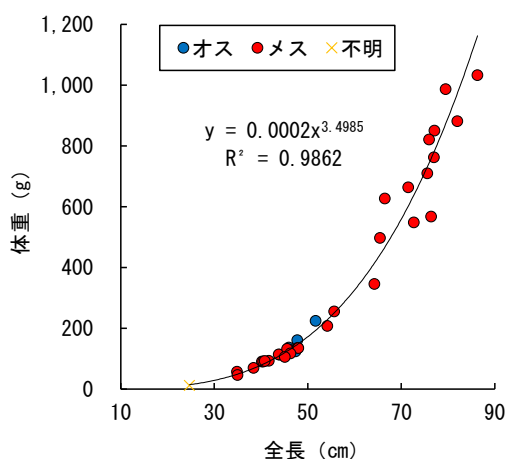


図 9. 小川原湖、高瀬川及び大沼川のニホンウナギの全長と体重の関係 (2022 年)

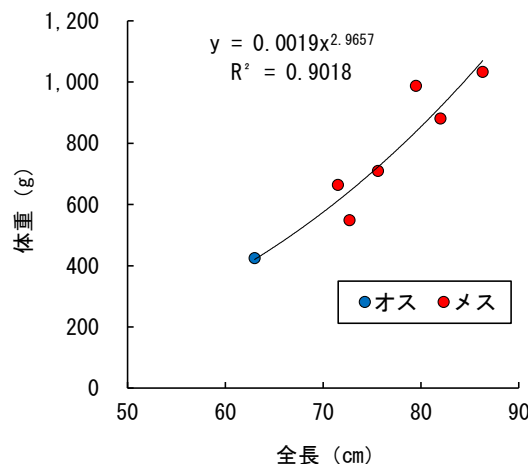


図 10. 小川原湖及び高瀬川の銀ウナギの全長と体重の関係 (2022 年)

採捕された銀ウナギ及び黄ウナギについて個体判別を実施したところ、小川原湖内で採捕された黄ウナギ 1 個体について、2017 年に標識放流した 480 個体のうちの 1 個体であることが確認された (図 11)。標識放流個体を確認されたのは 2019 年以来で、5 年間で約 53cm、840g 成長していた (表 6)。放流時に眼に入れたイラストマー標識は確認できなかった。また、銀ウナギサンプルに標識放流個体は含まれなかった。



図 11. 小川原湖内で再採捕された標識放流ウナギ

表 6. 小川原湖内で再採捕された標識ウナギの全長と体重

放流・採捕日	全長 (cm)	体重 (g)	標識
2017/5/30	24.2	11.2	赤
2022/9/2	77.1	850.5	—

3. 天然ウナギサンプルの採集

小川原湖内、青森県太平洋側の大沼川及び泊海岸で計 19 個体の天然ウナギを採集し、耳石サンプリングに供した (表 7)。

表 7. 小川原湖、大沼川及び泊海岸で採捕された天然ウナギ (2022 年)

採捕日	採捕地点	漁法	全長 (cm)	体重 (g)	胸鰭長 (mm)	水平眼径 (mm)	垂直眼径 (mm)	生殖腺重量 (g)	肝臓重量 (g)	胃重量 (g)	腸重量 (g)	雌雄	ステージ
4月27日	小川原湖	建網	16.4	3.59	3.7	1.2	1.2					不明	Y1
4月27日	小川原湖	建網	14.5	2.23	3.3	1.1	1.1					不明	Y1
7月29日	泊海岸	手網	8.2	1.12								不明	Y1
7月29日	泊海岸	手網	16.2	4.85	6.2	1.3	1.4		0.08	0.09	0.08	不明	Y1
7月29日	泊海岸	手網	19.1	7.69	7.9	1.6	1.6		0.14	0.13	0.10	不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	9.3	0.69	2.8	0.7	0.7					不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	9.7	0.92	2.9	0.7	0.7					不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	10.8	1.29	3.1	0.8	0.8					不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	15.7	4.14	4.3	1.1	1.2		0.05	0.03	0.03	不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	15.7	4.23	4.9	1.3	1.3		0.06	0.05	0.05	不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	17.3	4.78	5.4	1.3	1.4		0.09	0.08	0.05	不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	17.2	5.59	6.1	1.7	1.6		0.07	0.08	0.06	不明	Y1
8月29日	泊海岸	手網	30.8	32.13	13.0	2.7	2.5	0.13	0.42	0.37	0.41	不明	Y1
9月23日	大沼川	建網	12.0	1.55	3.8	1.0	0.9		0.02	0.02	0.01	不明	Y1
9月28日	泊海岸	手網	17.1	5.59	6.4	1.3	1.5		0.09	0.04	0.05	不明	Y1
11月18日	小川原湖	建網	14.2	2.80	3.7	1.3	1.3		0.05	0.02	0.03	不明	Y1
11月22日	泊海岸	手網	41.3	69.87	17.3	3.1	2.8		1.07	0.88	0.83	不明	Y1
11月25日	小川原湖	建網	19.5	6.17	6.1	1.8	1.8		0.09	0.08	0.07	不明	Y1
12月19日	泊海岸	手網	21.6	10.40	7.1	2.0	2.0		0.19	0.13	0.12	不明	Y1

文 献

- 1) IUCN 2021. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-1*. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 30 August 2021.
- 2) 松谷紀明 (2021) 河川及び海域での鰻来遊・生息調査事業. 平成 28 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 92-99.
- 3) 松谷紀明 (2021) 河川及び海域での鰻来遊・生息調査事業. 平成 29 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 80-88.
- 4) 松谷紀明 (2022) 河川及び海域での鰻来遊・生息調査事業. 平成 30 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 76-88.
- 5) Kaifu, K., Itakura, H., Amano, Y., Shirai, K., Yokouchi, K., Wakiya, R., Murakami-Sugihara, N., Washitani, I. and Yada, T. (2018) Discrimination of wild and cultured Japanese eels based on otolith stable isotope ratios. *ICES Journal of Marine Science*, 75 (2), 719-726.
- 6) 遠藤赳寛 (2023) 産卵回遊に向かうニホンウナギの実態把握. 水産庁委託 令和 4 年度ウナギ等資源回復推進事業のうち「資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業」成果報告書, 13-18.
- 7) Okamura, A., Yamada, Y., Yokouchi, K., Horie, N., Mikawa, N., Utoh, T., Tanaka, S. and Tsukamoto, K. (2007) A silver index for the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Environmental Biology of Fishes*, 80, 77-89.
- 8) 水産庁 (2019) DNA マーカーを用いたニホンウナギの非侵襲的個体識別法マニュアル
- 9) 遠藤赳寛 (2022) ニホンウナギの資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業. 2019・2020 年度青森県産業技術セ

ンター内水面研究所事業報告, 165-168.

10) 遠藤尅寛 (2023) ニホンウナギの資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業. 2021 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 68-73.

11) 小川原湖漁業協同組合 (2015-2022) 通常総会資料.

12) 水産庁. ニホンウナギ稚魚国内採捕量の推移. <https://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html>, (参照 2023 年 1 月 24 日)

謝 辞

本事業にご協力いただきました国立研究開発法人水産研究・教育機構、小川原湖漁業協同組合、六ヶ所村漁業協同組合、三沢市漁業協同組合の皆様には感謝申し上げます。