

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⁶⁾」の一環として実施された。

材料と方法

1. 漁獲・種苗放流実態の把握

2021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、2020年10月1日から2021年5月30日及び2021年10月1日から2022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ウナギの採捕が禁止されていたため荷受けはなかった。

2021年6月10日に、小川原湖漁協のニホンウナギ義務放流（6月17日実施）に用いるウナギ種苗75kgの中から無作為に100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

2021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、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。

2021年9月10日から9月24日にかけて銀ウナギ採捕のため小川原湖北部にせん筒を設置した（図1①）。

2021年10月8日の夕方に小川原湖北部の水深12mの地点に延縄（うなぎ針9号50本/500m）を3本設置し（図1②）、10月9日の朝回収して採捕されたニホンウナギを全数サンプルとした。



図1. 銀ウナギ採捕調査地点

2021年10月20日から小川原湖北部倉内地区に建網2ヶ統を設置し(図1②)、おおよそ2週間の間、適宜銀ウナギの入網の有無を確認した。

(2) 高瀬川

2021年10月25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1③)、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ウナギ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: tttgcactctggttagatgc	○
	<i>Anja-41</i>	6-FAM	F: aagaatttaccacagccaaga R: ggggtgtgtggttagtggtttct	○
	<i>Anja-44</i>	VIC	F: gaattacaggcagtgctaaag R: atggccaagaatggttttttc	○
	<i>Anja-48</i>	NED	F: caggatgctgcaactgagaa R: agaaacgagacggacagtttagc	○
B	<i>Anja-6</i>	NED	F: atcctctctgaccattgacgtt R: agaaacaggggtgtagtttga	○
	<i>Anja-19</i>	VIC	F: acaactgcgtaagtcactctgga R: ggatgtgtttactgggtcaat	○
	<i>Anja-23</i>	PET	F: acggattctattgttcccectt R: taagcaaacgtgcatagaagaatg	○
	<i>Anja-37</i>	6-FAM	F: tatggccgtagtgttgtgttc	○
			R: cagcaaacattagctgcttgac	

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 0.5 μ l と GeneScan 600 LIZ dye size standard v2.0 (Applied Biosystems) 0.13 μ l、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

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、2021 年 5 月 10 日から 6 月 20 日の期間に小川原湖内で胴網により全長 15cm 前後のニホンウナギを選択的に採集した。

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 2021 年のニホンウナギ漁獲量は 1,281kg であり、2020 年の漁獲量 688kg から 1.9 倍に増加した。

月別の漁獲量は解禁直後の 6 月が最も多く、8 月は操業者数、漁獲量ともに減少した (図 2)。御盆期間は市場が閉まることから、8 月は出漁を控えた可能性がある。漁法は漁期を通じて延縄が主体であり、6 月と 9 月にワカサギ・シラウオ漁の袋網に入網した個体の荷受けがあった。サイズ別の漁獲尾数は図 3 のようになった。主要な漁獲サイズは 200~400g で、尾数ベースで全体の 61% (重量ベースで全体の 46%) を占め、2020 年と同様の傾向を示した⁹⁾。なお、漁獲量は荷受け伝票を基に算出したものであり、相対取引された漁獲物等は含んでいない。

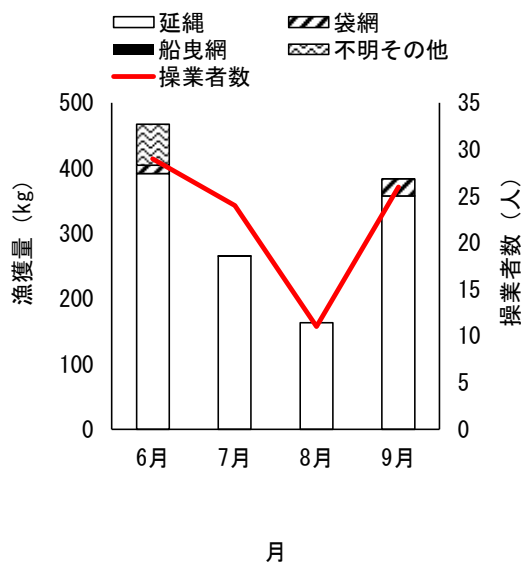


図 2. 小川原湖における月別漁法別ウナギ漁獲量と操業者数の推移 (2021 年)

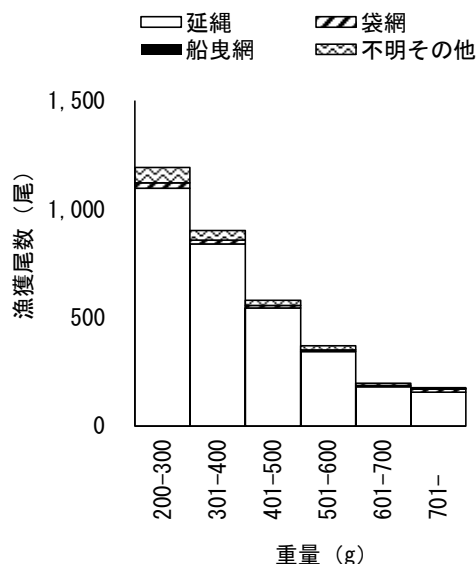


図 3. 小川原湖における重量別ウナギ漁獲尾数 (2021 年)

2021 年度の小川原湖のニホンウナギ放流種苗の全長、体重の頻度分布、及び全長と体重の関係は図 4~6 のようになった。平均殻長及び平均体重はそれぞれ 35.6 \pm 2.3cm、45.5 \pm 9.2g (±標準偏差) で、放流尾数は約 1,600 尾と推定された。

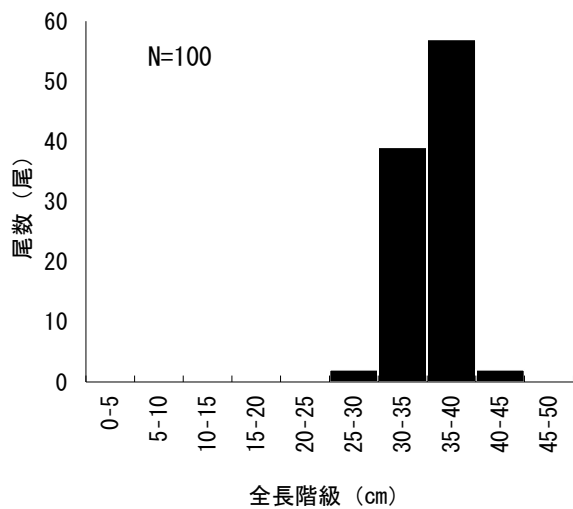


図 4. 小川原湖におけるウナギ放流種苗の全長頻度分布 (2021 年)

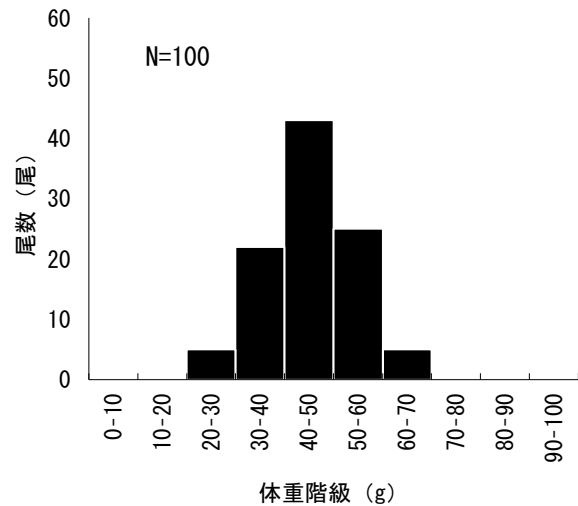


図 5. 小川原湖におけるウナギ放流種苗の体重頻度分布 (2021 年)

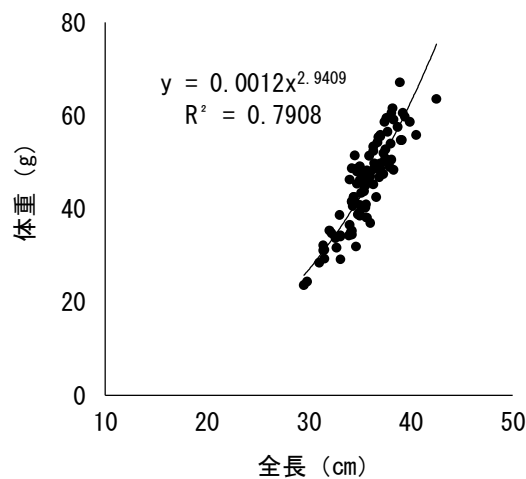


図 6. 小川原湖におけるウナギ放流種苗の全長と体重の関係 (2021 年)

2. 銀ウナギサンプルの採集と生物学的特性の把握

小川原湖及び高瀬川において 33 個体のニホンウナギを採集した (表 4)。このうち銀ウナギは小川原湖で 6 個体、高瀬川で 1 個体の計 7 個体であった。

由来水域判別の結果については、令和 4 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」成果報告書¹⁰⁾において 2020 年度及び 2021 年度のサンプルの解析結果をまとめて報告しているため、参照されたい。

水産研究・教育機構水産技術研究所日光庁舎で、銀ウナギ 5 個体及び黄ウナギ 10 個体について、血中のコルチゾル (Cortisol)、チロキシン (T4)、エストラジオール (E2)、11-ケトテストステロン (11-KT) 及びその前駆体のテストステロン (T) を測定した結果、11-KT 及び T について、黄ウナギと比較して銀ウナギで有意に高い値を示した (U-tests、 $P < 0.01$ 、図 7)。サケ科魚類では T4 などの甲状腺ホルモンが回遊行動に関与するとされるが、ニホンウナギにおいてはアンドロゲンである 11-KT が銀化と回遊行動の動機付けに関与する¹¹⁾と考えられており、先行研究を支持する結果となった。

個体判別の結果、採捕された銀ウナギの中に既知の放流個体と遺伝子型が一致する個体は含まれなかった。

表4 青森県で採捕されたニホンウナギの精密測定結果 (2021年)

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

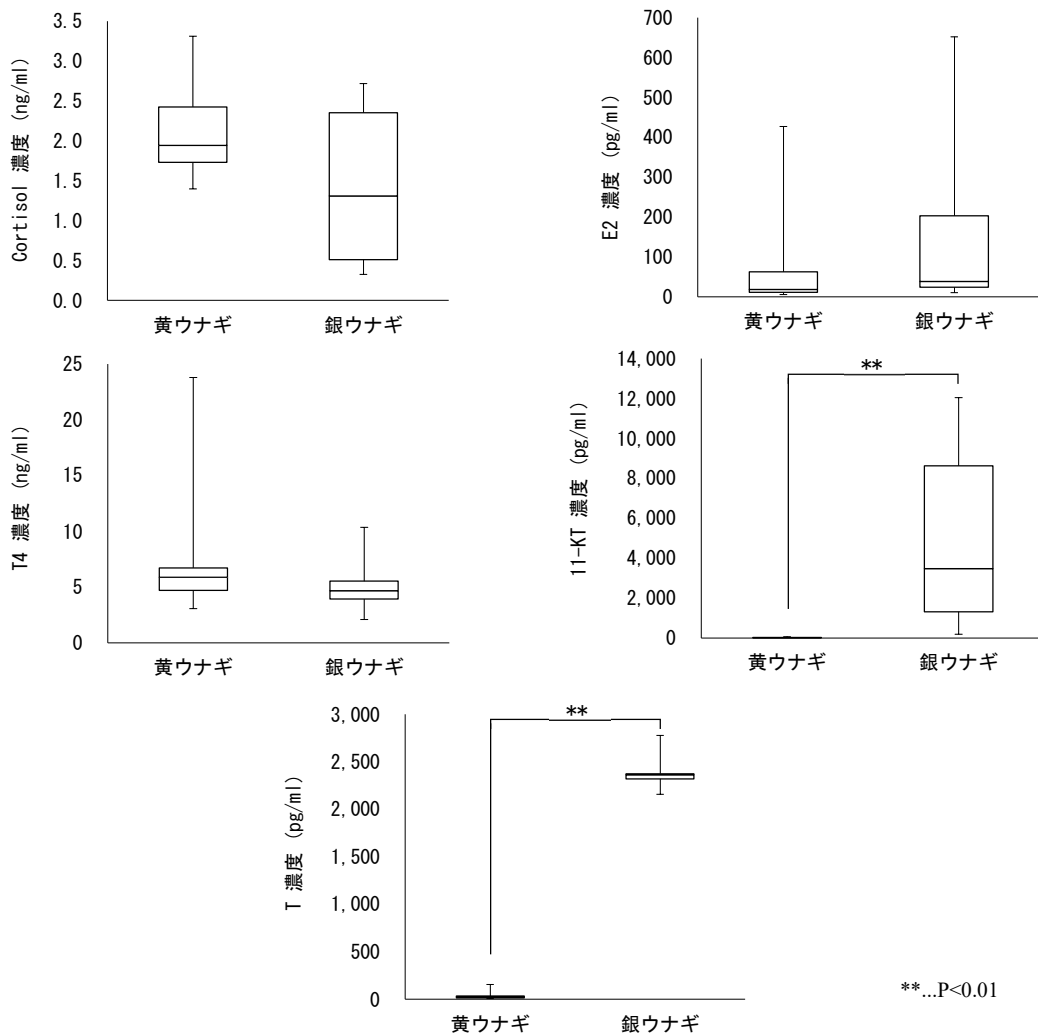


図7 黄ウナギ及び銀ウナギの血中ホルモン濃度 (2021年)

2021 年度に採捕された銀ウナギは全個体がメスであった。小川原湖では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⁾。また、2016 年以降実施している小川原湖及び高瀬川における銀ウナギ採捕調査ではオスの銀ウナギが採捕されておらず²⁻⁴⁾、オスの銀ウナギの出現状況については今後も継続して調査する必要がある。

3. 天然ウナギサンプルの採集

小川原湖内において 12 個体のウナギを採捕した (表 5)。採捕した個体は水産研究・教育機構水産技術研究所日光庁舎に送付し、由来判別用の耳石採取及び精密測定に供した。

表 5 小川原湖内で採捕された天然ウナギ (2021 年)

採捕日	漁法	採捕地点	全長 (cm)	体重 (g)
2021/5/10	胴網	小川原湖	13.2	1.2
2021/5/10	胴網	小川原湖	16.1	2.6
2021/5/10	胴網	小川原湖	14.5	2.9
2021/5/20	胴網	小川原湖	14.9	1.1
2021/5/27	胴網	小川原湖	24.3	11.4
2021/5/28	胴網	小川原湖	14.2	1.3
	胴網	小川原湖	20.9	8.7
	胴網	小川原湖	19.6	5.5
2021/6/11	胴網	小川原湖	17.6	3.7
~6/17	胴網	小川原湖	18.9	5.1
	胴網	小川原湖	19.2	6.1
	胴網	小川原湖	16.7	3.7

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) 遠藤尠寛 (2022) 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 3 年度ウナギ等資源回復推進事業のうち「資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業」成果報告書, 10-12.
- 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) 遠藤尠寛 (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) 白井厚太郎、板倉光、矢田崇、福田野歩人、横内一樹 (2023) 産卵場に向かうニホンウナギの由来判別. 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
- 11) Sudo, R and Tsukamoto, K. (2015) Migratory Restlessness and the Role of Androgen for Increasing Behavioral Drive in the Spawning Migration of the Japanese eel. *Scientific Reports*, 5:17430.

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へ感謝申し上げます。