

内の堰を全て除去したと仮定した場合の堰総数 (B') も求めた。これらの属性情報をもとに流路上の各地点において上式により N の演算を行った。堰の数として B を用いた結果では、ウナギの密度が高い高密度域は、頓田川および森川では河口から 2 km ほどの下流部のみに限られた (図 1A, E)。 B' を用いて計算した結果から、平野部に水源を持つ国近川では、堰を除去しない場合でもウナギの高密度域は最上流部まで達しており (図 1C)、遡上阻害解消による効果は小さかったが (図 1D)、山間部を流れる頓田川および森川では堰を除去することによってウナギの高密度域が大幅に上流側に拡大することが示された (図 1B, F)。

(2) 生息場所に対する選好性：のべ 10 地点全ての地点をあわせたデータ整理・解析を進めてきたが、解析が完了していない。

(3) 食性：胃内容物調査および餌生物調査を行った 2 河川 7 地点、夏季、冬季のデータについて、データ解析を完了した。前年までの予備的な解析で、ニホンウナギの胃内容物には水生無脊椎動物、魚類、魚卵、および陸生無脊椎動物と様々なものが見られたことと (表 1)、基本的には甲殻類が主要な餌であることが示されていたが、今年度は、餌生物量データも加えて解析することで、餌品目に対する選択性を明らかにするための解析を行った。大型ウナギ (全長 > 40 cm) と中型ウナギ (全長 15-40 cm) に分け、地点間解析と地点内解析の 2 つのアプローチで解析を行った。

地点間解析は、各地点のウナギ胃内容物における各餌品目割合に対して、その餌品目の餌密度が影響しているかどうかを相関係数によって評価したものである。なお、冬季ではごく僅かな個体数のウナギしか採捕されない地点があったため、大型ウナギは 6 地点での解析となった。また、中型ウナギでは 4 地点しか確保できなかったため、この解析は行わなかった。この解析の結果、夏季の大型ウナギでは大型甲殻類、冬季の大型ウナギでは魚類、および夏季の中型ウナギでは小型甲殻類で最も強い相関が認められ (図 2)、それぞれの餌品目を優先的に採餌していることが示唆された。

地点内解析は、各地点におけるウナギ胃内容物の餌品目構成とその地点における餌品目構成 (相対密度%) の対比から、各品目に対する選択度指数 (Jacobs 1974) を評価するものである。その結果、大型ウナギは夏冬ともに概して魚類または大型甲殻類に対して最も高い選択性を示した (図 3: 国近川の調査地 K0 での結果を例として示す)。中型ウナギは夏には小型甲殻類、冬には魚類または大型甲殻類に対して最も高い選択性を示した。なお、大型甲殻類の大部分はヌマエビとスジエビ (ただし、モクズガニも含まれる)、小型甲殻類のほとんどはミズムシである (表 1)。以上の結果より、ニホンウナギは基本的に甲殻類を選好すること、冬は夏に比べてより大型の餌に対する選択性が高まることが示唆された。

課題と対応策：生息場所選好性に関するデータ解析を完了させることができなかったが、特に障害となる問題は無い。

表1. 国近川、森川における夏季、冬季での胃内容物組成(重量%). ()内の数値はウナギ個体数

				夏季				冬季			
餌タイプ	餌生物			大型ウナギ		中型ウナギ		大型ウナギ		中型ウナギ	
				国近(15)	森(14)	国近(32)	森(6)	国近(16)	森(10)	国近(30)	森川(2)
水域由来	魚類	魚類	魚類	4.8	21.5	0.0	0.0	80.5	81.9	10.8	0.0
			卵塊(ハゼ科)	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	大型甲殻類	節足動物門	カニ類	8.5	30.5	0.0	28.1	0.0	12.4	0.0	0.0
			(モクズガニ科)								
	小型甲殻類		エビ類	37.1	0.4	2.9	0.0	16.6	5.0	41.3	0.0
			(ヌマエビ科)								
			ミズムシ科	21.2	0.0	31.8	0.0	2.7	0.0	14.1	0.0
			ヨコエビ科	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	水生昆虫		カイミジンコ科	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			カゲロウ目	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
			ヒラタカゲロウ科	0.0	0.0	0.0	18.3	0.0	0.4	0.0	96.0
			コカゲロウ科	0.7	0.0	5.3	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0
			チラカゲロウ科	0.0	0.0	0.0	21.2	0.0	0.0	0.0	0.0
			マダラカゲロウ科	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
			モンカゲロウ科	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			シマトビケラ科	0.8	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			ヒメトビケラ科	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			トンボ目	2.1	0.0	0.0	27.6	0.0	0.0	1.6	0.0
			コウチュウ目	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			ユスリカ科	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			ブユ科	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
			ウスバガガンボ属	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
			双翅目 蛹	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
	貝類	貝類	シジミ科	4.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			イシビル科	3.4	0.5	5.9	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
	環形動物	環形動物門	ミズミズ科	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
陸域由来	陸生無脊椎動物	節足動物門	クモ類、カマキリ科、バッタ科など	16.3	47.0	10.1	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0
		環形動物門	貧毛類	0.7	0.0	31.9	0.0	0.0	0.0	30.4	0.0

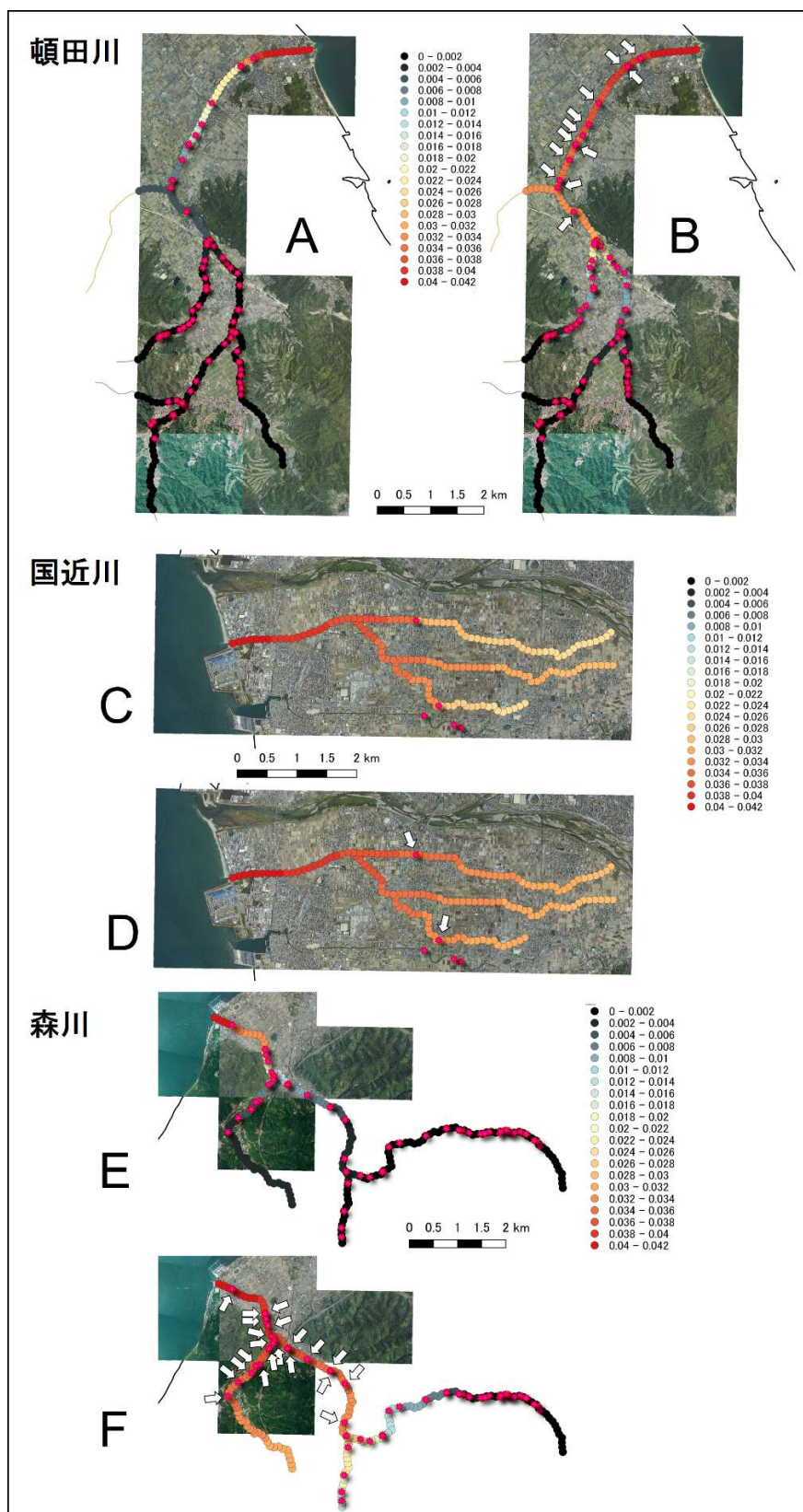


図1. 愛媛県の3河川(頓田川・国近川・森川)における100mごとの中型ウナギ密度推定結果。実際の堰数による計算結果(A, C, E)と河口から5kmの区間内の堰を全て除去したと仮定した場合の計算結果(B, D, F)。各地図中のピンク色の星は堰の位置を表す。B, D, Fの地図中の白い矢印は除去した堰を示す。

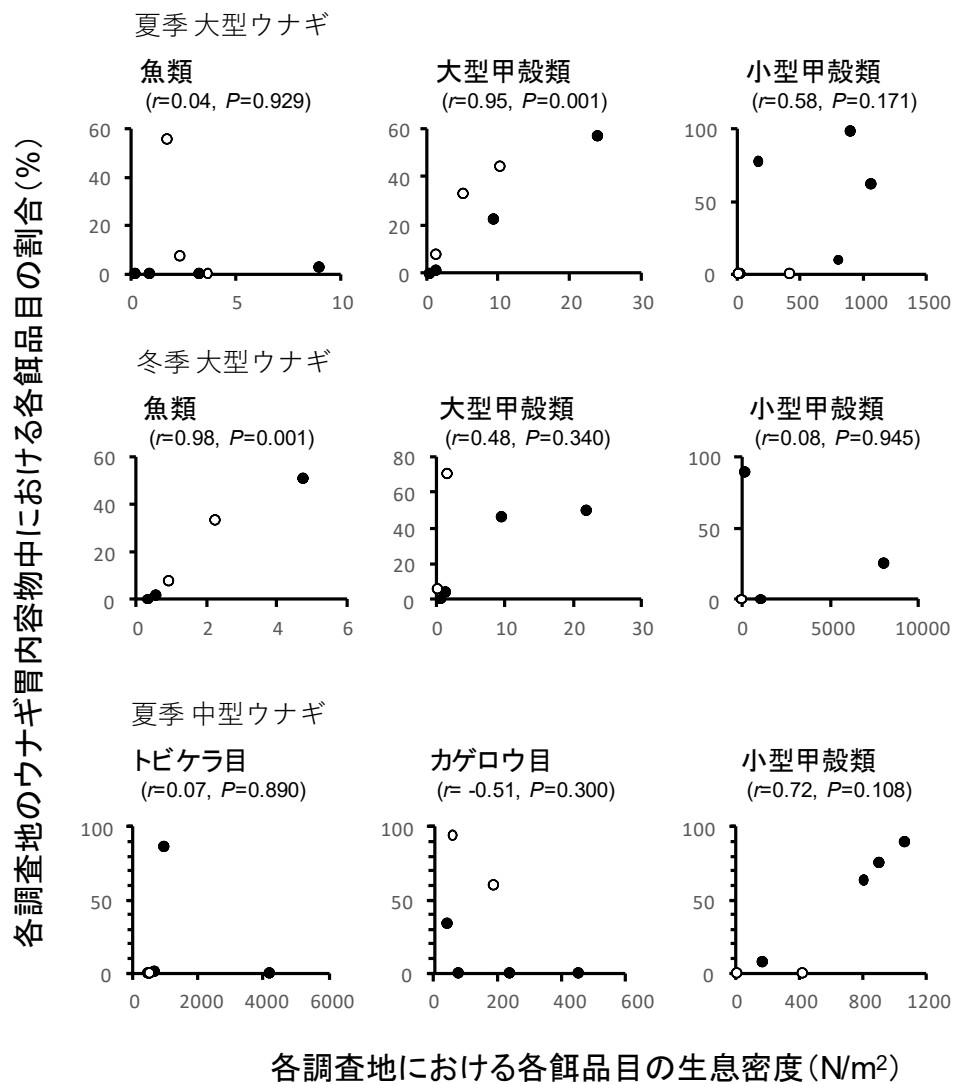


図2. 環境中における餌品目の生息密度とウナギ胃内容物中におけるその餌品目割合との相関.

●国近川、○森川

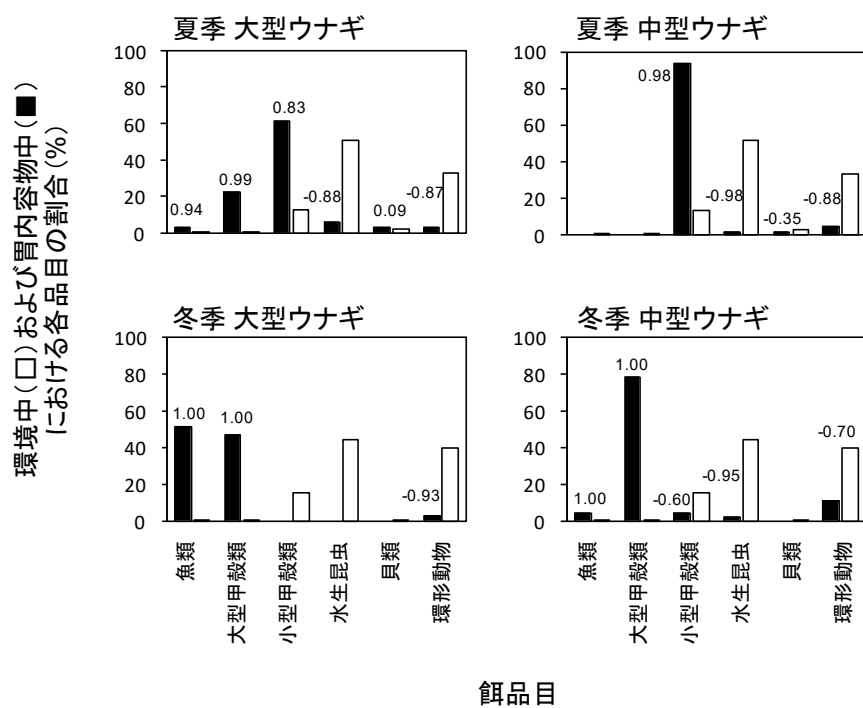


図 3. 環境中(□)およびウナギ胃内容部中(■)における餌品目構成(国近川の調査地 K0 での例).

数値は各品目に対する Jacobs(1974)の選択度指数(最大値 1.0)

課 題 番 号	3.-(1)	事業実施期間	令和3年度
課 題 名	ウナギ用簡易魚道の開発		
主 担 当 者	眞鍋美幸（鹿児島県水産技術開発センター）		
分 担 者	吉満 敏・猪狩忠光・中島広樹（鹿児島県水産技術開発センター）		

令和3年度の成果の要約：

枕崎市中洲川では 500mm/月を超えるような大雨が降ると増水によりジョイント式人工芝マット魚道（以下、芝マット魚道という）が破損するため、耐久性を向上させる設置方法を検討した。令和3年9月10日に中洲川の第4堰堤に敷設した芝マット魚道の表面を亀甲金網で覆い、上端部にステンレス製マルチアングルを取り付け、その後、毎月1回設置状況を確認したところ、設置状況は良好であった。しかし今年度は9月以降台風の接近がなく降水量も少なめだったため、今後も調査を継続する。

前年度までの陸上水槽試験で、芝マットに代わる非プラスチック製素材で有望と思われたスチールマット（泥落としとして市販されている金網製マット）と形状が似ている金網魚道を作成し、枕崎市尻無川の第1堰堤の右岸に金網魚道、左岸に芝マット魚道を敷設し、10月13日に両魚道にPITタグアンテナシステム（Biomark社製IS1001：PITタグで標識したウナギがアンテナケーブルに接近すると時刻と個体識別番号が記録される。以下、アンテナという）を設置して、堰堤直下にPITタグ標識を施した養殖ウナギ51尾を放流した。その後10月21日に両岸の魚道を入れ替えて、標識ウナギ49尾を放流した（標識放流ウナギは平均体重10gの小ウナギと平均体重52gの中ウナギを半数ずつ混合）。10月28日までに遡上した尾数は、芝マット魚道が13尾、金網魚道が18尾であり、両魚道とも20g以下の小型魚が多く遡上していた。また、アンテナ撤去後の11月29日に電気ショッカー調査を実施し、芝マット魚道を遡上した養殖ウナギ1尾、金網魚道を遡上した養殖ウナギ1尾、合計2尾を簡易魚道の上流で採捕した。これらの結果から、金網魚道は芝マット魚道と同等程度の遡上性能を有することがわかった。

過年度までの成果の概要

平成30年7月～8月に、枕崎市中洲川第2堰堤に敷設した芝マット魚道にアンテナを設置し、堰堤の直下に養殖ウナギ100尾（平均体重53g）を放流したところ、放流直後から8日間で14尾の通過を確認し、うち2尾は電気ショッカー調査でも芝マット魚道の上流で再採捕され、芝マット魚道は50gサイズのウナギを遡上させる性能を有することを明らかにした。

令和元年10月～11月に、中洲川第4堰堤に敷設した芝マット魚道にアンテナを設置し、堰堤の直下に養殖ウナギ100尾（平均体重39g）を2回に分けて放流したところ、1尾の通過を確認したのみであり、電気ショッカー調査でも上流へ移動した個体を確認できず、水温が下がると遡上数が減少する可能性が考えられた。

令和2年8月に、中洲川第4堰堤で敷設後10ヶ月経過した芝マット魚道と、新しく敷設した芝マット魚道に、それぞれアンテナを設置して直下に養殖ウナギ99尾（平均体重60g）を2回に分けて放流し遡上状況を比較した。また途中で旧魚道の掃除を行い、掃除前後の遡上状況を比較した。その結果、旧魚道と新魚道の遡上状況に差はなく、掃除前後も差はみられなかった。これらの結果から設置から10ヶ月経過しても新しい魚道と遡上性能に差はなく、掃除は不要であると考えられた。しかしこれまでの調査で500mm/月を超える豪雨があると芝マット魚道が破損したため、梅雨時期等は事前に取り外して一時的に避難させる等の必要があると考えられた。

令和元年度～2年度に、陸上水槽において、芝マット魚道の設置方法や非プラスチック製の新たな簡易魚道の比較試験を行った。その結果、芝マットは芝面を上にして設置するとクロコ～100g程度まで幅広いサイズのウナギが利用できることがわかった。また芝マット魚道に代わる非プラスチック製の簡易魚道としてスチールマットが有望であると考えられた。

全期間を通じた課題目標及び計画：

耐久性に優れ、遡上効率の高い簡易な魚道を実証し、遡上阻害の起こった河川の上流域へ、ニホンウナギの生息範囲を拡大できる魚道を開発する。

当該年度計画：

1)芝マット魚道の耐久性向上試験

枕崎市中洲川では500mm/月を超える大雨が降ると増水により芝マット魚道が破損するため、耐久性を向上させる設置方法を検討する。

2) 金網魚道の実証試験

芝マット魚道はポリエチレン製で、安価、軽量、サイズ調整が容易、クロコ～100g程度まで幅広いサイズのウナギが遡上可能等の利点が多いが、近年マイクロプラスチックによる海洋汚染が問題になっていることから、令和元年度～2年度に陸上水槽を用いて非プラスチック製素材でウナギの遡上試験を行った結果、スチールマットが有望であることがわかった。そこで今年度は、小河川の堰堤に金網魚道と芝マット魚道を設置してウナギの遡上状況を比較する。

結果：

1)芝マット魚道の耐久性向上試験

試験は枕崎市中洲川（図1）の第4堰堤（高さ110cm 幅12.7m）に敷設してある既設芝マット魚道を用い、令和3年9月10日に芝マット表面を亀甲金網（目合10mm、ビニール被覆）で覆うと共に、上端部にステンレス製マルチアングル（横60cm×奥行4cm×高さ4cm）を取り付けた（図2）。その後、毎月1回設置状況を確認したところ、現在まで設置状況は良好である。しかし9～10月の台風シーズンに向け試験を開始したものの、今年度は9月以降台風の接近がなく、降水量も9月は平年並み、10月は平年の4分の1程度と少なかったため、今後も引き続き調査を継続する。



図1 調査場所



図2 改良型芝マット魚道

2) 金網魚道の実証試験

(1) 試験地の選定

河川の堰堤で試験をするにあたり、水産技術開発センターのある南薩地域の複数の小河川を調査した。その結果、天然ウナギが生息しており試験に適した堰堤がある枕崎市尻無川を調査河川に選定し、最も河口に近い第1堰堤（高さ95cm、幅6.4m）を試験地とした（図1）。

(2) 予備試験

令和元年度～2年度に陸上水槽試験に使用したスチールマット（マット織金網）は、堰の高さに合わせて特注するとかかなり高額となり将来的に普及しにくいと考えられたため、似たようなコイル状の金網であるステンレス製メッシュベルト（Sタイプ）を代替品として使用できないか、当センター内水面実験池（図1）の陸上水槽で予備試験を行い、スチールマットと同等程度の遡上性能があることを確認した。

(3) PITタグアンテナシステムによる比較試験

令和3年10月11日に枕崎市尻無川第1堰堤の右岸に金網魚道（幅30cm×長さ200cm×厚さ3cmと幅30cm×長さ200cm×厚さ2cmを横に並べ幅60cmにしたもの）を、左岸に芝マット魚道（幅60cm×長さ200cm×厚さ2.3cm）を敷設した。10月13日に両岸の魚道にそれぞれアンテナを設置し（図3）、堰堤直下にPITタグ標識（Biomark社製BI08BまたはBI012B）を施した養殖ウナギ51尾を放流した。また8日後の21日に両岸の魚道を入れ替えて再敷設後、堰堤直下にPITタグ標識を施した養殖ウナギ49尾を放流した。放流した養殖ウナギは小ウナギ（平均全長226mm±22mm（±S.D.）、平均体重9.8g±3.1g（±S.D.））と中ウナギ（平均全長361mm±40mm（±S.D.）、平均体重51.9g±23.0g（±S.D.））を半数ずつ放流した。アンテナは令和3年11月15日まで設置し、簡易魚道を遡



図3 簡易魚道及びアンテナ設置イメージ図

上した標識ウナギを記録した。

アンテナ記録尾数の推移を図4に示す。

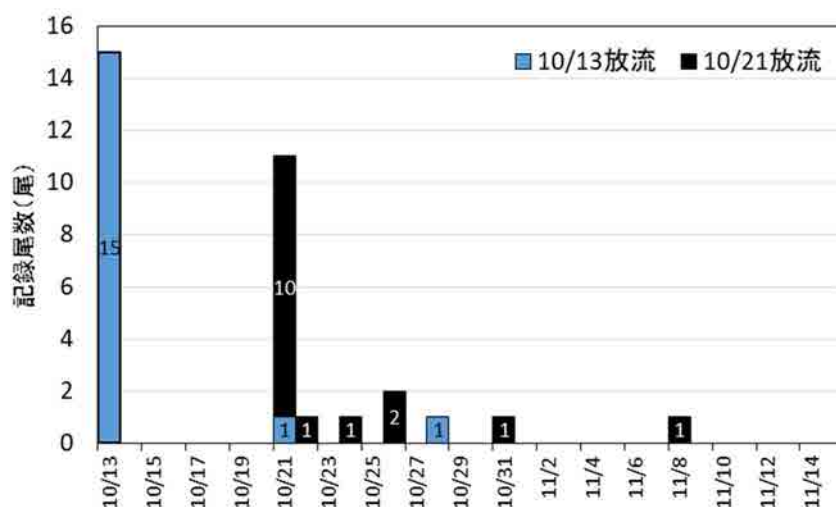


図4 アンテナ記録尾数の推移

10月13日放流群は、放流当日に15尾、21日に1尾、28日に1尾で計17尾記録された。10月21日放流群は放流当日に10尾、22日に1尾、24日に1尾、26日に2尾、31日に1尾、11月8日に1尾で計16尾記録された。放流した100尾のうち33尾が簡易魚道を利用したと考えられる。

このうち、兩岸の条件を合わせるため、各放流の8日後（10月28日）までに記録された計31尾の体重別魚道利用状況を図5に示す。

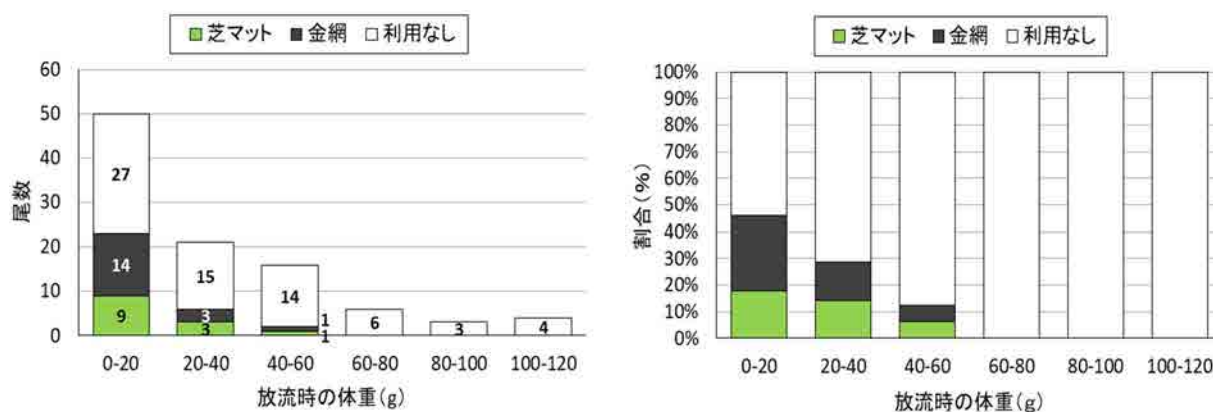


図5 体重別魚道利用状況（左：尾数、右：割合）

芝マット魚道は20g以下が9尾、20～40gが3尾、40～60gが1尾が記録された。金網魚道は20g以下が14尾、20～40gが3尾、40～60gが1尾が記録された。両魚道とも20g以下の小型魚が最も多く利用しており、体サイズが大きくなるにつれ利用尾数は減少し、60g以上はいずれの魚道も利用しなかった。魚道を利用した合計尾数は芝マットが13尾、金網が18尾であり、金網魚道は芝マット魚道と同等程度の遡上性能を有することがわかった。

(4) 電気ショッカー採捕調査

(3) のアンテナ調査で記録された個体が、実際に堰堤上流に移動していることを確認するため、アンテナ設置前（養殖ウナギ放流前）の10月8日と、アンテナ撤去後の11月29日に、簡易魚道を設置した第1堰堤から下流50m、上流100mの範囲で電気ショッカー（有限会社フロンティアエレクトリック社製 FISH SHOCKERⅢS）による調査を行った。採捕個体はオイゲノール（DSファーマアニマルヘルス株式会社製 FA100）で麻酔後、全長、体重の測定とデジタルカメラによる撮影を行い、PITタグリーダー（Biomark社製 HPR Lite）によりPITタグ標識の有無を確認した。有標識個体（再採捕個体）は個体識別番号を記録し、全長15cm以上の無標識個体（天然新規個体）は腹腔内にPITタグを挿入し、麻酔の回復を待って採捕地点に放流した。

アンテナ設置前は表1のとおり、堰堤下流で6尾、堰堤上流で3尾が採捕され、いずれも天然の新規個体であった。

アンテナ撤去後は表2のとおり、堰堤下流で11尾、堰堤上流で5尾が採捕された。堰堤下流で採捕された11尾の内訳は、天然新規個体が7尾、天然再採捕個体が3尾、養殖再採捕個体が1尾であった。この養殖再採捕個体b1は10月21日に堰堤直下で放流し、アンテナでは記録されていない個体であった。堰堤上流で採捕された5尾の内訳は、天然新規個体が2尾、天然再採捕個体が1尾、養殖再採捕個体が2尾であった。養殖再採捕個体b13は10月21日に堰堤直下で放流し、10月26日に金網魚道のアンテナで記録されていた。養殖再採捕個体b15は10月21日に堰堤直下で放流し、10月22日の芝マット魚道のアンテナで記録されていた。従って、(3)のアンテナ調査で魚道を利用したと考えられる33尾の養殖放流ウナギのうち、少なくとも2尾は簡易魚道の上流に生息していることを確認した。

表1 電気ショッカー調査結果（アンテナ設置前）

個体No.	PITタグNo.	新規or再捕	養殖or天然	全長(mm)	体重(g)	肥満度	採捕場所	ステージ	備考
a1	3DD003DEECC45	新	天然	359	57	1.23	堰堤下	Y2	
a2	3DD003DEECC4D	新	天然	403	62	0.95	堰堤下	Y2	
a3	3D61533D98314	新	天然	181	3	0.51	堰堤下	Y1	
a4	—	新	天然	129	1	0.47	堰堤下	Y1	
a5	3D61533D9831B	新	天然	214	7	0.71	堰堤下	Y1	
a6	3D61533D98328	新	天然	178	5	0.89	堰堤下	Y1	
a7	3DD003DEECC4F	新	天然	268	14	0.73	堰堤上	Y2	
a8	3DD003DEECC61	新	天然	470	118	1.14	堰堤上	Y2	
a9	3DD003DEECC74	新	天然	428	110	1.40	堰堤上	S1	

表2 電気ショッカー調査結果（アンテナ撤去後）

個体No.	PITタグNo.	新規or再捕	養殖or天然	全長(mm)	体重(g)	肥満度	採捕場所	ステージ	アンテナ記録	備考
b1	3DD003DF60534	再	養殖	421	62	0.83	堰堤下	Y2	なし	10/21放流
b2	3DD003DF60509	新	天然	341	42	1.05	堰堤下	Y2		
b3	—	新	天然	82	1	1.09	堰堤下	Y1		
b4(a3)	3D61533D98314	再	天然	189	6	0.93	堰堤下	Y1	なし	a3と同一
b5	—	新	天然	96	1	1.02	堰堤下	Y1		
b6	3D61533D9827A	新	天然	209	7	0.78	堰堤下	Y2		
b7(a1)	3DD003DEECC45	再	天然	362	50	1.05	堰堤下	Y2	なし	a1と同一
b8(a2)	3DD003DEECC4D	再	天然	404	59	0.89	堰堤下	Y2	なし	a2と同一
b9	3D61533D98277	新	天然	190	7	1.05	堰堤下	Y2		
b10	—	新	天然	95	1	1.05	堰堤下	Y1		
b11	—	新	天然	82	1	1.09	堰堤下	Y1		
b12(a8)	3DD003DEECC61	再	天然	476	118	1.09	堰堤上	Y2	なし	a8と同一
b13	3D61533D94BF6	再	養殖	236	10	0.78	堰堤上	Y2	あり(金網)	10/21放流
b14	—	新	天然	121	2	0.90	堰堤上	Y1		
b15	3DD003DF6053C	再	養殖	338	32	0.82	堰堤上	Y2	あり(芝マット)	10/21放流
b16	—	新	天然	148	3	0.93	堰堤上	Y1		