

課 題 番 号	2.-(2)	事業実施期間	平成 31 年度
課 題 名	漁具によるサイズバイアス/採集効率の検討 (筒)		
主 担 当 者	矢田 崇 (国立研究開発法人 水産研究・教育機構)		
分担者	山本敏博・横内一樹・福田野歩人(国立研究開発法人 水産研究・教育機構)・眞鍋美幸(鹿児島県水産技術開発センター)		

平成 31 年度の成果の要約：

2 つのサイズ群 (大小) のニホンウナギを用い、1. 筒の長さの選択に個体サイズ間の干渉があるか、2. 筒の太さの選択に個体サイズ間の干渉があるか、を検証する水槽実験を行った。実験は養殖ウナギを用い、鹿児島県水産技術開発センター宮ヶ浜実験池で行った。大サイズ群のウナギ (平均全長 $481 \pm 21\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$))、平均最大体高 $24.6 \pm 1.3\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$)) と小サイズ群のウナギ (平均全長 $364 \pm 16\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$))、平均最大体高 $16.4 \pm 1.3\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$)) を用いた。いずれの実験においても (細い) 筒の内径は、大ウナギが 2 匹入ることが出来ず、より好むと考えられる平均最大体高の 1.1 倍以上、1.5 倍以下に決めた。1. の実験では、内径が 30mm で長さが 250mm と 570mm の筒を抱き合わせ 1 セットとし、これを 20 セット準備した。2. の実験では長さが 500mm で内径が 30mm と 70mm の筒を抱き合わせ 1 セットとし、これを 20 セット準備した。1. と 2. で使う筒には個別に番号を振った。実験は FRP (縦/横=170cm/70cm、実験中の水深は 11cm に調整) 水槽に筒を 10 セット入れ、大ないし小ウナギを各 10 尾、計 20 尾入れ、約 10 分後、約 6 時間後に水中ビデオ撮影し、筒中のウナギの大小数を筒毎にカウントした。約 24 時間後には筒と、筒に入ったウナギを取り上げ、筒毎に入った大小ウナギを計測すると共に、筒毎に尾数をカウントした。1. および 2. は 4 回繰り返し実験とした。実験は 2019 年 12 月 18-21 日に実施した。何れの実験区でも約 10 分後、約 6 時間後の画像で、ウナギが複数入っているか、大ウナギなのか等判別できない場合があったので、本年度は 24 時間後のデータを用いて解析した。解析は比の検定 (χ^2 二乗解析) を用いた。その結果、1. の実験では小ウナギはより長い筒を選択する、また小ウナギの筒選択には大ウナギの在・不在に影響されない、2. の実験では小ウナギはより細い筒を選択する、また小ウナギの筒選択には大ウナギの在・不在に影響されることが示唆された。

過年度までの成果の概要

ニホンウナギの筒の長さ太さの選択実験を、2 つのサイズ群の養殖ウナギを用いて、鹿児島県水産技術開発センター宮ヶ浜実験池で行った。大サイズ群のウナギ (平均全長 $469 \pm 15\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$))、最大体高 $27.4 \pm 1.1\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$)) と小サイズ群のウナギ (平均全長 $331 \pm 36\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$))、最大体高 $15.7 \pm 1.5\text{mm}$ ($\pm\text{S.D.}$)) を用いた。筒の長さを選択する実験では、筒の内径を平均最大体高の概ね 1.1-1.2 倍に固定したうえで、全長より短い、全長とほぼ同じか少し長い、全長がスッポリ隠れ

るほど長い筒を1セットとした7セットを水槽へ入れるとともにウナギを7尾収容した。各サイズ群毎に3つの水槽で観察実験を行った。観察は水中カメラを用いて、10分後、90分後、6、24、30、48、54、72時間後に撮影して、筒の長さ毎に入ったウナギの数を計数した。その結果、大ウナギ、小ウナギともに全長よりも長い筒を選択し、長い筒を選択する傾向は時間が経過しても変わらなかった。続く筒の太さを選択する実験では、筒の全長を概ね全長の1.1-1.2倍に固定したうえで、最大体高の1.5倍未満の筒、最大体高の2倍未満の筒、最大体高の2倍を超える筒1セットとした7セットを水槽へ入れるとともにウナギを7尾収容した。各サイズ群毎に3つの水槽で観察実験を行った。観察は水中カメラを用いて、10分後、90分後、6、24、30、48、54、72時間後に撮影して、筒の太さ毎に入ったウナギの数を計数した。その結果、大ウナギでは、実験開始後6時間まで筒の太さに選択性は認められなかったが、時間の経過とともにより細い筒を選択する傾向がみられた。一方、小ウナギでは実験開始10分後は体高の2倍未満の太い筒を選択したが、時間の経過とともにより細い筒を選択する傾向が強まった。

全期間を通じた課題目標及び計画：

ニホンウナギの筒漁法について、鹿児島県水産技術開発センター宮ヶ浜実験池を用いて採捕サイズの偏りや採集効率を定量的に調べることで、漁獲調査による個体数推定のための基礎データを収集する。宮ヶ浜実験池では、筒の長さや直径等の漁具の条件、ウナギの体サイズを変えて漁獲試験を繰り返すことで、採捕サイズや収集効率を把握する。

当該年度計画：

1. ウナギの筒の長さの選択に、個体サイズ間の干渉があるか
 2. ウナギの筒の太さの選択に個体サイズ間の干渉があるか
- について養殖ウナギを材料にして、水槽試験を実施する。

材料と方法

1. と 2. の実験に供するウナギは、鹿児島県大隅半島で養殖されたニホンウナギで、サイズ組成の異なる2つの群を養殖業者から購入した。サイズ組成は、便宜的に大型群を大ウナギ（平均全長 $481 \pm 21\text{mm}$ （ $\pm\text{S.D.}$ ）、平均最大体高 $24.6 \pm 1.3\text{mm}$ （ $\pm\text{S.D.}$ ））、小型群を小ウナギ（平均全長 $364 \pm 16\text{mm}$ （ $\pm\text{S.D.}$ ）、平均最大体高 $16.4 \pm 1.3\text{mm}$ （ $\pm\text{S.D.}$ ））とした。ウナギは2019年11月14日に購入し、鹿児島県水産技術開発センター宮ヶ浜実験池で畜養した。畜養中は、水温が約25℃の掛け流し水槽に収容し、成長しない程度に断続的に配合餌料を与えた。なお、形態測定（全長、体重、背鰭基部体高、最大体高）は実験終了後に実施した。また、実験に供したウナギは別の畜養池へ移し、その後の実験には供しないこととした。

実験1.では、筒の太さ（内径）を30mmに揃え、小サイズのウナギよりも短い筒（250mm）と大サイズの全長よりも十分長い筒（570mm）の2種を1セット（A）とし、これを20セット準備した。

筒は、個判別できる様に番号を油性マジックで書き込んだ。なお、過年度の実験で抱き合わせた筒の下の際間へウナギが入り混むことがあったため、その隙間はモルタルで埋めた。実験は、FRP 水槽(横幅(W)170cm×縦長(L)70cm)を用いて行った(図1)。各水槽には、①を10セット収容した。水槽の準備が終わったら、1昼夜以上パイプをなじませた後、実験を開始した。実験期間中は約25℃の地下水を掛け流し、水槽の水深を11cmに保つように水量と排管高を調整した。各水槽にはウナギを畜養水槽からタモ網を使って小ウナギと大ウナギ各10尾(合計20尾)を移し、約10分後、約6時間後、約24時間後に水中ビデオカメラで撮影し、どの筒に入っているか、ウナギの尾数を記録した。この実験は2つの水槽を用いて2回(日)行った(4回繰り返しデータを取得)。なお、実験は朝8時前後を基点に開始した。約24時間後の観察終了後には、筒毎にウナギを取り上げ、麻酔後形態計測(全長、体重、背鰭基部体高、最大体高)を行った。

実験2.では、筒の長さを500mmに揃え、大サイズのウナギが2尾入れないサイズの内径の筒(30mm)と十分太い内径の筒(70mm)の2種を1セット(②)とし、これを20セット準備した。筒は、個判別できる様に番号を油性マジックで書き込んだ。なお、実験1.同様に筒の隙間はモルタルで埋めた。以降の方法は実験1.に準じた。

実験1.および2.は2019年12月18～21日に実施した。水中ビデオカメラの映像は後日、PC上で確認して解析に用いた。

解析には、比の検定(χ^2 二乗解析)を用いた。

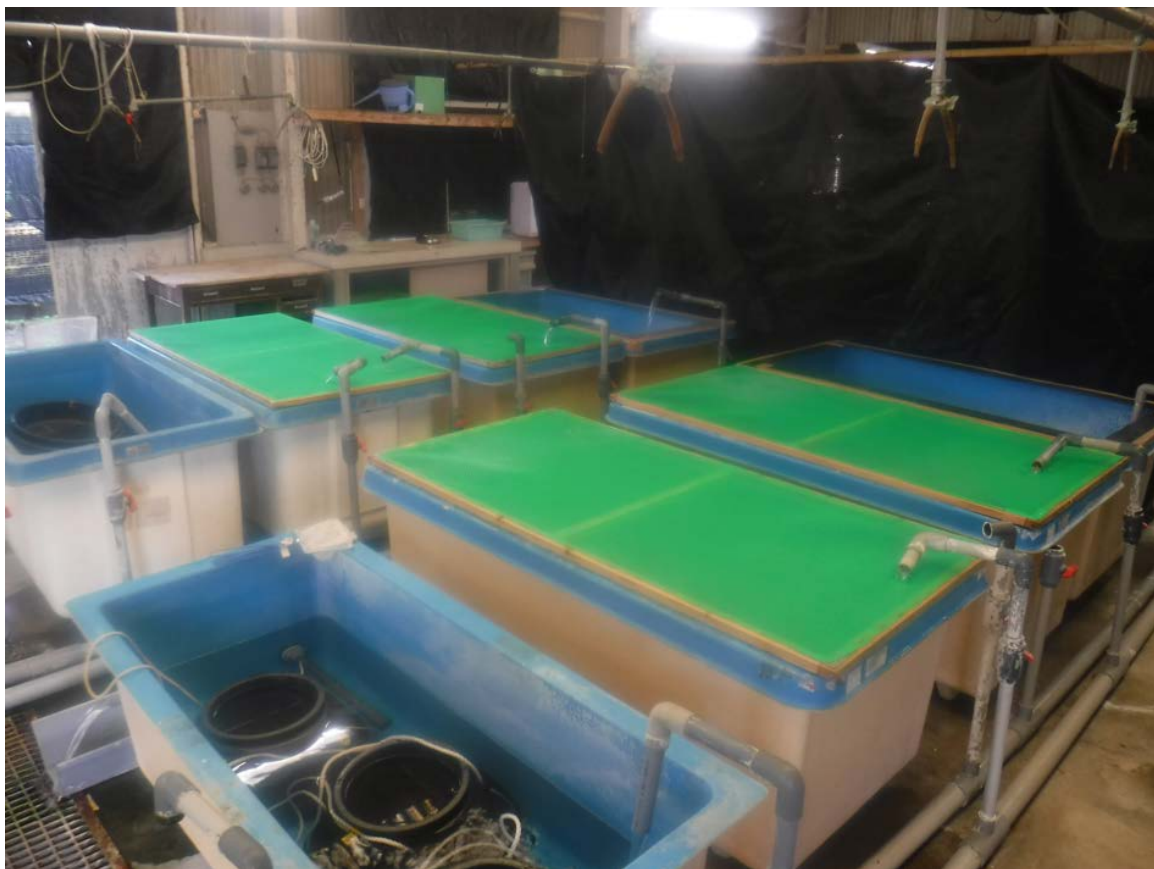


図1. 鹿児島県水産技術開発センター宮ヶ浜実験池飼育棟内の実験水槽

結果：今年度の実験では、水中ビデオカメラの映像を後日 PC 上で確認した。しかし、映像では開始約 10 分後、約 6 時間後の映像で必ずしも小ウナギと大ウナギを区別出来ず、カウントデータが得られないことがあった。また、実験 1. および 2. では小ウナギが 1 本の筒に複数入ることもあり、画像から小ウナギが複数入っているか、大ウナギ 1 尾なのかといった判別が確実に行えないことがあった。そのため、解析には実験開始後約 24 時間後のデータのみを用いた。

実験 1. では、まず、小ウナギは長短の筒を 1 : 1 の確率で選択することを期待値とし、小ウナギは筒の長短に対して選好性があるか、検定をおこなった。その結果、小ウナギは長い筒をより多く選択する(図 2; $P < 0.05$)ことがわかった。次に、小ウナギの筒選択は、大ウナギの存在に影響されるかの検定を行った。小ウナギと大ウナギの筒の長短に対する選好性に違いはなく ($P = 0.89$)、大小のウナギはいずれも長い筒を選好したため(小ウナギでは 71.4%、大ウナギでは 70%が長い筒を選択)、この試験で大小ウナギが同じ筒に一緒に入る確率は 0.586、入らない確率が 0.414 と算出される。これを期待値とした検定を行った結果、小ウナギが大ウナギのいる／いない筒を選択した割合は、期待値に対して有意に違いはなく(図 3; $P = 0.12$)、大ウナギの有無は筒選択に影響していないことが示唆された。

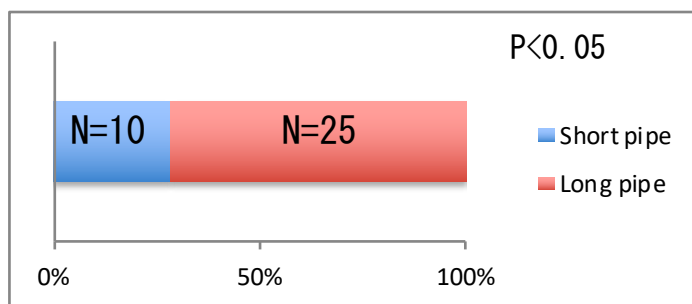


図 2. 小ウナギの筒の選択試験の結果、4 実験合計で短い筒を選択した個体が 10 尾、長い筒を選択した個体が 25 尾であった。

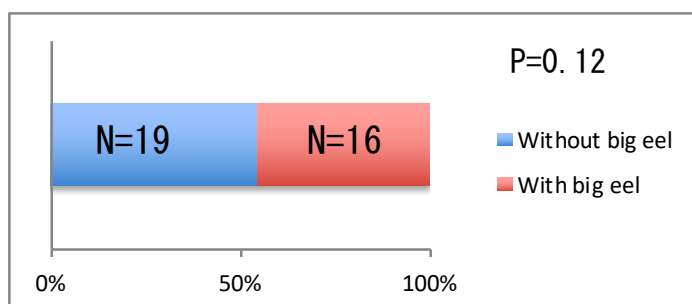


図 3. 小ウナギの筒の選択試験の結果、4 実験合計で大ウナギが入らない筒を選択した個体が 19 尾、大ウナギがいる筒を選択した個体が 16 尾であった。

実験 2. では、まず、小ウナギは細太の筒を 1 : 1 の確率で選択することを期待値とし、小ウナギは筒の細太に対して選好性があるか、検定をおこなった。その結果、小ウナギは長い筒をより多く選択する(図 3; $p < 0.01$)ことがわかった。次に、小ウナギの筒選択は、大ウナギの存在に影響されるか検定を行った。小ウナギと大ウナギの筒の細太に対する選好性に有意な違いがなく ($p = 0.65$)、

大小のウナギはいずれも細い筒を選好したため（小ウナギでは 90.6%、大ウナギでは 87.2%が長い筒を選択）、大小ウナギが同じ筒に一緒に入る確率は 0.802、入らない確率が 0.198 と算出された。これを期待値とした検定を行った結果、小ウナギが大ウナギのいる／いない筒を選択した割合は、期待値に対して有意に違いがあり（図 4； $p < 0.05$ ）、大ウナギの有無が筒選択に影響していることが示唆された。

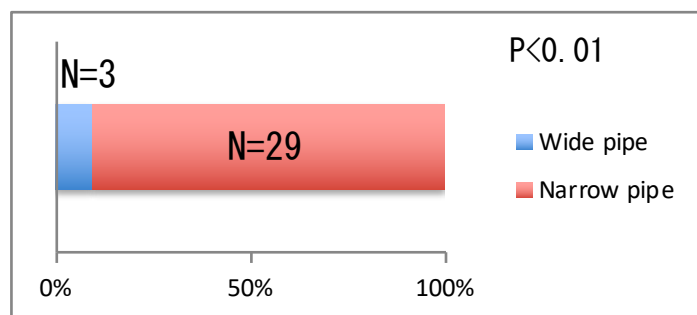


図 3. 小ウナギの筒の選択試験の結果、4 実験合計で太い筒を選択した個体が 3 尾、細い筒を選択した個体が 25 尾であった。

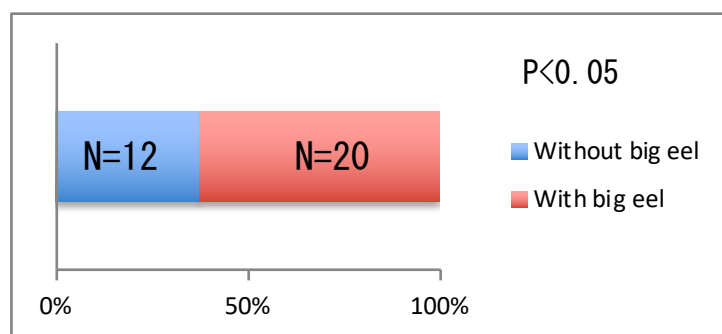


図 4. 小ウナギの筒の選択試験の結果、4 実験合計で大ウナギが入らない筒を選択した個体が 12 尾、大ウナギがいる筒を選択した個体が 20 尾であった。

課題と対応策：

本年度予定していた実験はすべて順調に実施された。しかし、画像から小ウナギが複数入っているか、大ウナギ 1 尾なのかといった判別が確実に行えないことがあった。そのため時間経過を読み込めず、大ウナギが小ウナギを追い出すといった時間経過と大小ウナギの筒選択の干渉の関係は解らなかった。

課 題 番 号	2.-(3)	事業実施期間	平成 31 年度
課 題 名	背負い型エレクトロ・フィッシャーによるニホンウナギ捕獲効率推定		
主 担 当 者	石田 健太（山口県水産研究センター内海研究部）		
分担者	吉村 栄一（山口県水産研究センター内海研究部）		

平成 31 年度の成果の要約

1. 自然河川における背負い型エレクトロ・フィッシャー（スミス・ルート社製 LR-20B。以下「電気ショッカー」という。）によるニホンウナギの採捕効率試験を行った。今年度は河床が礫または石の自然河川で試験を行った。試験の結果、同河川における電気ショッカー1pass でのニホンウナギ採捕効率は 27～34%だった。また、同河川で 3 日間連続して試験を行ったところ、日数を重ねるごとに採捕効率が落ちる傾向が確認された。今回の結果を踏まえると、生息個体数を過少に評価する恐れがあるため、同じ調査区間で連日採捕を行うことは避けることが望ましいと考えられる。
2. ニホンウナギの全長が電気ショッカーの採捕効率に与える影響を試験池において調べた。全長 200～500mm のニホンウナギをサイズレンジ別のグループに分けて試験したところ、全長の違いと採捕効率の変化に関係性はみられなかった。これにより、調査河川でのニホンウナギの全長分布に関する知見がなくとも、ニホンウナギの個体数推定は可能と考えられた。また、昨年度の試験結果との比較から、電気ショッカーの Duty Cycle と Frequency の設定が採捕効率に影響を与える可能性が示唆された。
3. Frequency が電気ショッカーの作動条件に与える影響について調べた。水温・電圧の条件を変えながら屋内 2 トン水槽において試験を行ったところ、Frequency の設定値は高いほど、Duty Cycle の設定値は低いほど作動しやすい傾向がみられた。

過年度までの成果の概要

背負い型エレクトロ・フィッシャーによるニホンウナギ捕獲効率について明らかにするため、試験池を使用した捕獲効率試験と自然河川における電気ショッカーの作動試験を実施した。試験池を使用したニホンウナギ採捕効率試験では、Schnabel 法による標識採捕法により、85～93%の精度で個体数を推定できた。350V、500V と 700V では採捕傾向が大きく異なり、350V、500V では 1Pass 目の採捕効率が 24～36%と高いが 700V では 1Pass 目の採捕効率が 4～12%と低い傾向が示された。自然河川における電気ショッカー作動試験では電気伝導度と通電電圧には負の相関傾向が確認された。Duty Cycle では 700V は電気伝導が 100 以下、500V は電気伝導度 150 以下、400V は電気伝導度 200 以下と電気伝導度の値が 50 高くなる毎に、Duty Cycle の設定の自由度が高い電圧値が低下した。作動電圧と電気伝導度等の要件把握を目的に重回帰分析を行った。電圧（Y）を目的変数、電気

伝導度 EC25 (X1)、PH (X2)、Duty Cycle (X3)、Frequency (X4)、有効水深 (X5) を説明変数として重回帰分析を行った結果、重回帰式 $y = 2637 - 0.984x_1 - 226x_2 - 4.86x_3$ が得られた。

全期間を通じた課題目標及び計画

現在、国、都道府県および大学の水産研究機関において、ニホンウナギの採集漁具として、背負い型エレクトロ・フィッシャーを使用する事例が多い。当該 JV 事業参画機関においても、河川におけるニホンウナギ採捕の主要採捕方法として採用している。しかし、現場において、背負い型エレクトロ・フィッシャーの捕獲効率を実証した国内事例はない。そこで、当該事業において、背負い型エレクトロ・フィッシャーによるニホンウナギの採捕効率推定を行う際に、全長組成、カバー及び水質等の条件が採捕に与える影響を把握することを課題とし、課題実現のため、水槽試験、フィールド試験及び水質調査を5ヶ年計画で実施する。そして、事業最終年度に公設試験研究機関を対象とした、河川におけるニホンウナギ資源量推定手法のガイドラインを作成することを目標とする。

当該年度計画

本年度は、電気ショッカーの採捕効率について、自然河川及び大型養殖池を使用した試験を実施する。また、電気ショッカーの設定について、室内水槽において作動試験を実施し、水質と設定値に係るデータを収集・分析する。

結果

1. 自然河川におけるニホンウナギ採捕効率試験

阿武町白須川の河床が礫及び石底の区間(流程約 250m)において、電気ショッカーによるニホンウナギの採捕効率試験を2回実施した(図1)。試験は1回目を2019年9月9日～2019年9月12日に、2回目を2019年10月8日～2019年10月11日に実施した。試験には同河川において2019年8月～10月にかけて電気ショッカーで採捕したニホンウナギ(1回目：平均全長 $43.1 \pm 5.4\text{cm}$ ($\pm$ S.D.)), 2回目：平均全長 $45.6 \pm 10.6\text{cm}$ ($\pm$ S.D.)) 各50個体を使用した。試験に使用したニホンウナギには、試験開始日から1週間以上前にPITタグ(Biomark社製 BI08.B.03)を腹腔内に挿入し、水槽内で試験前日まで飼育して脱落がないことを確認した。水温ロガー(onset社製 UA-002-64)を用いて計測した各試験日の白須川における採捕開始時の水温は $17.6^{\circ}\text{C} \sim 18.0^{\circ}\text{C}$ だった。試験は電気ショッカー操作員1名、採捕者2名の計3名により実施した。電気ショッカーの電圧設定は500Vとし、Duty Cycleは30、Frequencyは35で固定した。試験区域内外へ移動したウナギの個体数を計数することで試験区域内の試験個体数を推定できるよう、試験区域の上流端、下流端にタイムラプスカメラ(brinno社製 TLC200)を設置し、1秒間隔で撮影した。また、在来個体がタイムラプスカメラに映らないよう、試験時と同じ設定の電気ショッカーで連日採捕を行い、試験区域内で3日間連続してニホンウナギが採捕されないことを確認してから試験を行った。試験個体を試験開始日

に試験区間の流程の中心地点に放流した後、放流後1日目から3日目にかけて1日1回1pass 採捕を行った。採捕は下流から上流に移動しながら行った。採捕した個体はPIT タグにより個体識別を行った後、試験開始日の放流地点に再度放流した。なお、試験個体の斃死はなかったものとみなした。また、1回目の採捕試験では、タイムラプスカメラの記録の一部がエラーにより読み取れなかったため、確認できた記録の範囲から試験区域内の試験個体数を推定した。

採捕試験の結果を表1に示した。放流後1日目の採捕効率は一回目で34%、2回目で27%だった。このことから、同河川で電気ショッカーにより採捕される個体数は、実際の個体数の3割程度と推定された。なお、採捕個体は1回目の1個体を除き、全てPIT タグが装着されていた。また、1回目、2回目ともに採捕個体数と採捕効率は試験日数を重ねるごとに低下する傾向を示した(図2)。今回の結果を踏まえると、同じ調査区間で連日採捕を行うことは採捕効率の低下を招き、結果として生息個体数を過少に評価する恐れがあるため、避けることが望ましいと考えられた。

2. 試験池を使用したニホンウナギ採捕効率試験

山口市平川の榎野川漁業協同組合平川養魚場のコンクリート製200t 水槽(長辺15m×深さ1.5m)において、ニホンウナギのサイズレンジが電気ショッカーの採捕効率に与える影響について調べた。人工カバーとして、ポリエチレン製の水稻育苗箱(60cm×30cm×5cm)を用いた(以下「育苗箱」という。)。育苗箱にはエア抜きのため側面に2箇所穴を開けたものを使用した。浮上防止の重しとして、10cm厚の基本コンクリートブロックを使用した。カバー間の空隙幅は塩化ビニルパイプ規格のVP20の外径3.2cmとし、空隙高さは育苗箱を2枚重ねることで、10cmとした。カバーの配置は図3のとおりとし、水槽の南北に計2箇所配置した。試験期間中、水温・電気電導度ロガー(onset社製 U24-001)を用いて計測した試験池の水温は16.4~18.6℃、電気電導度は100~105 μ S/cmで推移した。試験に使用したニホンウナギは2019年11月に漁業権のない県内中小規模河川において、電気ショッカーで採捕したニホンウナギの中から、全長20~30cm、全長30~40cm、全長40~50cmの3つの試験区(以下「小ウナギ」「中ウナギ」「大ウナギ」という。)ごとに40尾ずつ選定した。試験に使用したニホンウナギには、PIT タグ(Biomark社製 BIO8.B.03)を腹腔内に挿入した。試験は電気ショッカー操作員1名、採捕者2名の計3名により実施した。電気ショッカーの電圧設定は500Vとし、Duty CycleとFrequencyは、いずれも45で固定した。採捕は試験区ごとに1日1回3Pass 採捕を3日連続行った。採捕した個体はPIT タグにより個体識別を行った。試験期間中、試験個体の逸出やPIT タグの脱落はなかったものの、小ウナギ4個体、中ウナギ4個体、大ウナギ1個体が斃死した。なお、斃死個体を軟X線発生装置(綜研社製 SOFRON SRO-M50)で観察したところ、いずれも骨折は認められなかった。

試験の結果を図4に示した。採捕効率は小ウナギで69.2~83.3%、中ウナギで69.4~87.5%、大ウナギで80.0~87.5%であり、試験区間で有意差はみられなかった(ANOVA, $P < 0.05$)。これにより、調査河川でのニホンウナギの全長分布に関する知見がなくとも、ニホンウナギの個体数推定が可能と考えられた。また、昨年度の試験結果と比較すると、同じ電圧でも今年度の採捕効率(69.2~

87.5%)と昨年度の採捕効率(56.0～72.0%)で異なる結果となった。これは、Duty Cycle(30→45)と Frequency(35→45)の設定を変更したことで、同じ時間だけ電気ショッカーを作動させたとしても、今年度の方が実質的にウナギを感電させている時間が長くなったことが原因と考えられた(図5)。そこで、予備試験としてニホンウナギが電気ショッカーで麻痺から回復して泳ぎだすまでの時間を、電気ショッカーの設定ごとに調べた。試験には 2019 年 11 月に漁業権のない県内中小規模河川において、電気ショッカーで採捕したニホンウナギ 6 個体(平均全長 $56.4 \pm 4.3\text{cm}$)を用いた。電気ショッカーの設定は①今年度の試験池での設定(500V、Duty Cycle45、Frequency45)、②昨年度の試験池での設定(500V、Duty Cycle20、Frequency30)の 2 種類とした。試験は電気ショッカーのアノードとカソードを両側面に設置した FRP 水槽(300cm×98cm×30cm)にニホンウナギを 1 個体入れ、電気ショッカーで 3 秒通電した後、麻痺から回復して泳ぎだすまでの時間を調べた(図6)。電気ショッカーによる通電は、ニホンウナギがなるべく水槽の中央にいるときに行った。また、設定の順番に結果が影響されにくいよう、3 個体は設定①から、残る 3 個体は設定②から試験を行った。試験開始直前の水温は 14.0°C 、電気電導度は $124.9\mu\text{S/cm}$ だった。

試験の結果を表 2 に示した。設定①での平均時間は 19 秒、設定②での平均時間は 7 秒だった。試験回数が少ないため、麻痺から回復して泳ぎだすまでの時間の差を統計的に説明することはできなかったが、平均値では予想どおり①今年度の試験池での設定の方が麻痺している時間が長いことが確認された。

3. 電気ショッカー作動試験

ニホンウナギの生息する河川や湖沼の水温は四季により変化する。また、ニホンウナギは淡水域に限らず汽水域にも生息していることが確認されている。そこで、水温、塩分濃度の異なる条件下で電気ショッカーの Duty Cycle、Frequency 及び作動する設定電圧の関係を調べた。試験は山口県水産研究センター内海研究部建屋内にある 2 トン水槽を使用し、水槽中央の深さが 40cm となるよう水道水を注水した。水道水(塩分濃度 0.01%)ではどのような電気ショッカーの設定でも作動することが確認されたことから、塩分濃度は 0.05%となるよう塩化ナトリウムを添加した。水温、塩分濃度及び電気電導度の計測にはマルチ電気電導度計(YSI 社製 PRO30)を用いた。この時の電気電導度(25℃補償)の値は $1106\mu\text{S/cm}$ だった。電気ショッカーのアノード・カソード間の距離は 2m となるよう両極を水槽に固定した。電気ショッカーの作動は 3 秒以上連続して通電できた場合を作動可、そうでない場合を作動不可と判断した。

(1)電圧別の作動試験

水温 20°C 、塩分濃度 0.05%の条件下で電圧 300V、500V 及び 700V に設定した電気ショッカーが作動する Duty Cycle、Frequency の組合せを調べた。試験を行う前にエアープンプで水を攪拌しながら 1kW チタンヒーター 2 個により水温 20°C まで加温した。試験で通電する際はエアープンプ及び 1kW チタンヒーターを撤去した。

試験の結果を表 3 に示した。電圧が高くなるにしたがい、作動可能となる Duty Cycle 及び

Frequency の設定の自由度が下がる傾向がみられた。また、Duty Cycle の設定値は低いほど、Frequency の設定値は高いほど作動しやすい傾向がみられた。Duty Cycle については平成 30 年度試験でも同様の傾向を示しており、今回はこれを裏付ける結果となった。

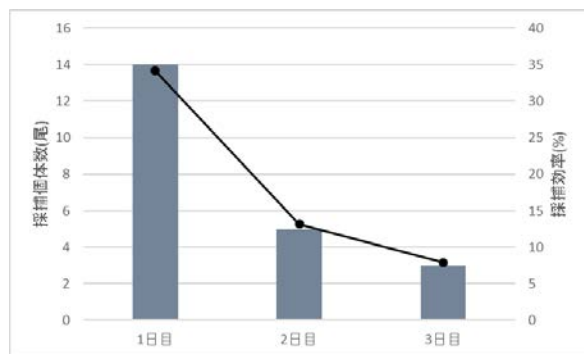
(2)水温別の作動試験

塩分濃度 0.05%、水温 15℃、20℃、25℃の条件下で電気ショッカーが作動する Duty Cycle、Frequency の組合せを調べた。試験を行う前にエアープンプで水を攪拌しながら 1kW チタンヒーター 2 個により水温 20℃まで加温した。試験で通電する際はエアープンプ及び 1kW チタンヒーターを撤去した。

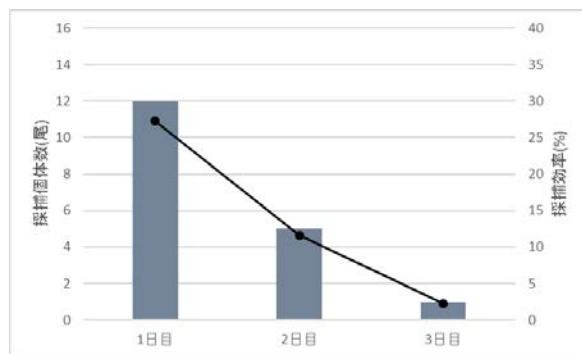
試験の結果を表 4 に示した。水温が高くなるにしたがい、作動可能となる Duty Cycle 及び Frequency の設定の自由度が下がる傾向が見られた。また、(1)水温別の作動試験と同様、Duty Cycle の設定値は低いほど、Frequency の設定値は高いほど作動しやすい傾向がみられた。Duty Cycle については平成 30 年度試験でも同様の傾向を示しており、これを裏付ける結果となった。



図 1. 試験区域



1 回目



2 回目

図 2. 自然河川における採捕尾数と採捕効率の推移

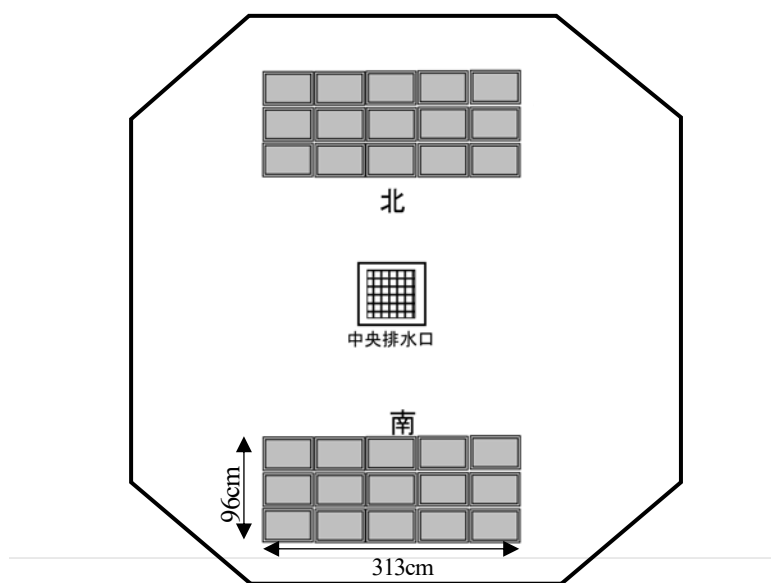


図 3. カバー配置

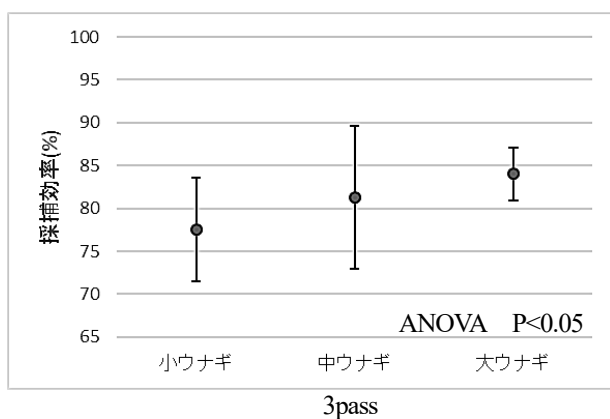
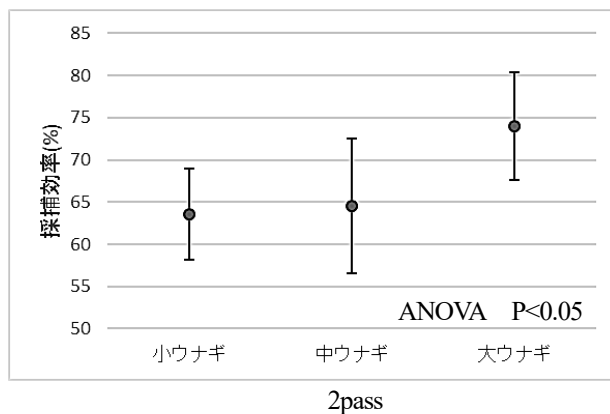
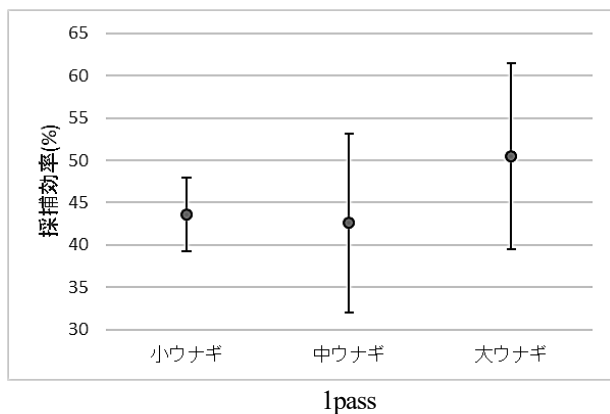


図4. サイズレンジによる採捕効率の比較

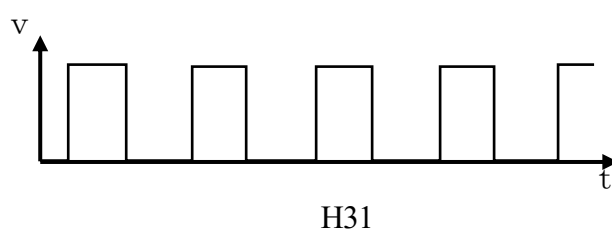
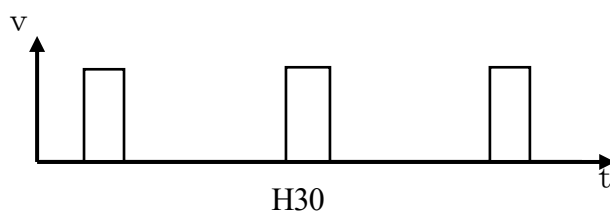


図5. 各年度の電気ショッカー出力波形模式図

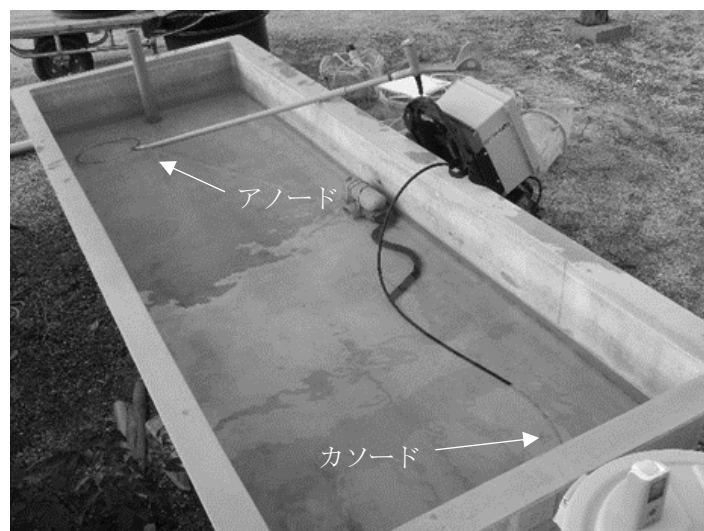


図6．試験水槽外観

表1．白須川における試験結果

	1回目				2回目			
	2019年9月9日～2019年9月12日				2019年10月8日～2019年10月11日			
	0日目	1日目	2日目	3日目	0日目	1日目	2日目	3日目
採捕個体数(尾)	－	14	5	3	－	12	5	1
流入個体数(尾)	－	1	1	0	－	0	0	1
流出個体数(尾)	－	10	4	0	－	6	1	0
区間内の個体数(尾)	50	41	38	38	50	44	43	44
採捕率(%)	－	34	13	8	－	27	12	2

表2．ニホンウナギが麻痺から回復するまでの時間

No.	全長(mm)	体重(g)	肥満度	設定①(s)	設定②(s)
1	513	173.1	1.3	25	4
2	540	218.8	1.4	17	10
3	557	193.8	1.1	13	5
4	537	198.9	1.3	18	12
5	643	479.1	1.8	33	5
6	596	300.4	1.4	9	7
平均	564	261	1.4	19	7

設定①：500V、Duty Cycle45、Frequency45

設定②：500V、Duty Cycle20、Frequency30

表 3. 電圧別の電気ショッカー作動試験結果

		FQ											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
DC	5												
	10												
	15												
	20												
	25												
	30												
	35												
	40												
	45												
	50												
	60												
	70												
	80												

いずれの電圧でも作動不可

300Vのみ作動

300V、500Vで作動

300V、500V、700Vのいずれの条件でも作動

表 4. 水温別の電気ショッカー作動試験結果

		FQ											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
DC	5												
	10												
	15												
	20												
	25												
	30												
	35												
	40												
	45												
	50												
	60												
	70												
	80												

いずれの水温でも作動不可

15℃、20℃で作動

15℃、20℃、25℃のいずれの水温でも作動

課題と対応策

今後の課題として、自然河川における採捕効率試験については、淡水域でのより正確な採捕効率の求め方を検証するため、河床、水温等の条件を変えながら、さらに多くの検証試験を重ねてデータを蓄積する必要がある。

養殖池を使用した採捕効率試験については、Duty Cycle と Frequency の設定による採捕効率・斃死率の違いについて検討する必要がある。

課 題 番 号	2.-(4)	事業実施期間	平成 31 年度
課 題 名	ニホンウナギの生息環境評価		
主 担 当 者	井上幹生（国立大学法人 愛媛大学）		
分担者	畑 啓生・三宅 洋（国立大学法人 愛媛大学）・澤山周平・西本篤史・山本祥一郎・山本敏博（国立研究開発法人 水産研究・教育機構）		

平成 31 年度の成果の要約：平成 31 年度は、主に(1)ニホンウナギの流程分布に関するデータ解析、(2)生息場所利用に関する野外調査、(3)食性に関する野外調査、及び(4)新規加入個体に関する野外調査の 4 つについて実施した。上記(1)では、前年度までに設定した 21 河川 123 地点の調査地において未計測であった 2 変数（遡上阻害構造物、河床勾配）を補充し、本種の分布（有無及び多寡）がどのような変数で説明されるかについて検討した。その結果、堰堤のような遡上阻害構造物（高さ数メートル）は、本種の遡上を完全に阻止するわけではないものの、若齢個体（全長 12-40cm）の遡上数を減らす影響を持つことが示唆された。上記(2)では生息場所利用の調査地点として 5 河川 5 地点を選出し、各個体が利用する隠れ場所、利用する場の水深、流速、底質といった環境要素に関する野外調査を行った。予備的な解析の結果、ニホンウナギは、川の状況に応じて様々なものを隠れ場所として利用することが示唆された。上記(3)では 2 河川 10 地点の調査地を設定し、胃内容物及び餌資源量に関する野外調査を行った。今後、サンプル分析及び詳細なデータ解析を進める必要があるが、現時点でのデータを簡易的に分析したところ、本種が甲殻類を好むこと、及び餌資源量と本種生息密度との間には正の相関が見られることなどを示すことができそうである。(4)については、6 つの河川を調査地として選び、各河川の河口付近にて遡上してくる新規加入個体の生息密度を、3 月から 8 月までの期間中、月 2 回観測した。新規加入のピークは 4～5 月であったことが示された。

過年度までの成果の概要：平成 30 年度までに、愛媛県・瀬戸内沿岸地域におけるニホンウナギの分布状況を把握するとともに、環境条件や食性等に関する予備的な調査を行っている。詳細については下記のとおり。

愛媛県瀬戸内沿岸地域（今治市～伊予市）の 21 河川 123 地点に調査地を設定し、本種の生息密度、個体サイズ、及び水深や底質といった基本的な環境要素に関する調査を実施した。その結果、ほぼ全ての河川（21 河川中 20 河川）において本種の生息が確認され、この地域における分布状況が明らかとなった。各調査河川における生息地点は下流側に偏っており、今後、本種の生息量と環境要因との関係を検討する際には、海からの距離や標高、及び遡上阻害構造物を考慮する必要があることが示唆された。また、小型個体から大型個体まで様々なサイズのニホンウナギが採捕されたことから、今後、体サイズに応じた生息場所利用を検討するための調査も可能であると考えられた。

炭素・窒素安定同位体比（それぞれ $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ）を用いた非致死的な食性分析手法を検討するために、体側筋の代替として、胸鰭及び粘液を用いた分析を行った。その結果、脱脂処理を行うことで、胸鰭と体側筋の $\delta^{13}\text{C}$ が高い相関を示すことを明らかにし、更に粘液が体側筋と類似した $\delta^{13}\text{C}$ 及び $\delta^{15}\text{N}$ を示す可能性が示唆された。また、愛媛県産ニホンウナギに対してストマックポンプを用いた非致死的な胃内容物サンプリング手法を試行した結果、胃内容物として魚類、昆虫類、甲殻類などが得られた。今後これらの手法を用いて、非致死的にニホンウナギの餌料利用に関する情報を収集することが期待できると考えられた。

全期間を通じた課題目標及び計画：ニホンウナギをはじめとした内水面魚種漁獲量の減少傾向への対策として、資源増大を目的とした放流や、石倉増殖礁の設置等、環境改善の取組が実施されている。しかしながら、河川等の環境においてどの程度の内水面水産資源が生息可能かを示す指標が存在しないことから、必ずしも最適な資源増殖等の手法が採用されていない可能性がある。本課題ではニホンウナギの分布状況や生息環境調査を通じて、本種が生息するために必要な環境を、維持・改善するために重要な環境収容力の調査手法について検討する。愛媛県の瀬戸内沿岸河川において、ニホンウナギの分布、生息密度、体サイズ、食性、及び生息環境等に関するデータを収集・解析する。特に、本種の生息場所に対する選好性、及び生息量と河川環境要因との関係を明らかにする。

当該年度計画：H31 年度は、前年度に設定した調査地点（21 河川 123 地点）に関する遡上阻害構造物（堰堤、滝など）及び河床勾配のデータを採取する。これまでに得ている標高、海からの距離にこれらのデータを追加することで、ニホンウナギの流程分布（下流側に偏る傾向）がどのような変数で説明されるかについての統計解析を進める。また、これまでに得られている 21 河川 123 地点のデータを基に、いくつかの調査地点を設定し、本種の生息場所に対する選好性及び食性に関する野外調査に着手する。また、基本情報として、本種の生息数が多い川をいくつか選び、海から川へ進入する新規加入個体（シラス、クロコ）個体数の季節変化（加入時期）を把握する。

結果：

（１）ニホンウナギの流程分布に関する検討

H30 年度に得られた 21 河川 123 地点のデータのうち、各河川の生息地最上流地点（生息あり）と不在最下流地点（生息なし）のデータを用いて、「生息あり／なし」を応答変数、海からの距離、標高、河床勾配、遡上阻害構造物に関する変数を説明変数として一般化線形モデルを構築することにより、分布上限がどのような要因と関連するのかについて検討した。その結果、生息の有無は海からの距離と河床勾配によって説明され、遡上阻害構造物による顕著な影響は見出されなかった（図 1）。次に、下流ほど生息密度が高くなる流程分布傾向が、どのような要因と関連するのかを検討するために階層分離（Hierarchical partitioning）手法を用いて、海からの距離、標高、河床勾配、遡上阻害構造物に関する変数のうちのどれが最も生息密度に対する説明力が高いかについて

分析を行った。その結果、中型のニホンウナギ（全長 12-40cm）については、高さ 40cm 以上の遡上阻害構造物の数による説明力が最も高かったが（図 2）、大型（全長>40cm）に対しては河床勾配が最も高い説明力を示した。これらのことより、堰堤等の構造物（本調査地では高さ数メートル）は本種の遡上を完全に阻止するわけではないが、若齢個体の遡上数を減少させるような影響を持つことが示唆された。今後は、以上のような流程分布を説明する変数を考慮した上で、生息場所特性とニホンウナギの多寡との関係性を解析していく必要がある。

（2）周囲の植生がニホンウナギの分布に与える影響に関する検討

ニホンウナギの分布と周囲の植生・土地利用の間に関係が見られるか検討するため、瀬戸内沿岸地域（今治市～伊予市）周辺における植生分布図を得た。これは、1/25,000 植生図「愛媛県」GIS データ（環境省生物多様性センター）を使用し、一部の植生クラスを再定義することにより作成したものである（<http://gis.biodic.go.jp/webgis/>）。植生クラスとしては、水田雑草群落（以下水田）、畑雑草群落、果樹園、市街地等を定義した。この図をもとに、H30 年度の各調査地点について半径 100 m のバッファー円内の各植生クラスが占める面積を求めた。標高に応じた植生の分布傾向とニホンウナギの流程分布に起因する偽相関の検出を防ぐため、ウナギの分布密度と標高の間で相関がほとんど見られない標高 15 m から 40 m の範囲の調査地点（N=32）に限定し、ウナギ生息密度の指標と各植生面積との間で相関分析を行った。その結果、植生クラスのうち水田面積について、大型ウナギの個体数密度及び中型・大型ウナギの合計個体数密度との間で比較的強い正の相関が見られた（表 1、図 3）。また、果樹園や市街地については、各生息密度指標との間で弱い負の相関を示す傾向が見られた。今後は、流域の植生・土地利用とニホンウナギの河川内分布の関係をさらに詳しく検討するため、同一河川内に多数の調査地を設定して密度調査を実施していく予定である。

（3）微細スケールの生息場所利用に関する検討

河川区間内における生息場所に対する選好性を明らかにするための野外調査を行った。対象を全長 12cm 以上のサイズクラス（以下、黄ウナギ）と 12cm 未満のサイズクラス（以下、クロコ）に大別し、河川進入直後のクロコを対象とした調査地として 2 河川（菊間川、品部川）、黄ウナギ対象として 3 河川（頓田川、国近川、森川）を設定した。そして、クロコは初夏（5～6 月）に、黄ウナギは活動期として 5～9 月、不活発な冬季として 12～翌 2 月に調査を行った。電気漁具によりニホンウナギを探索し、現れた個体について、目視による推定全長と「隠れ場所として利用していたもの」を記録するとともに、出現位置において、水深、流速、底質といった環境要素を計測した。また、同様の計測を調査区間全体を網羅した多数の計測点（habitat availability）で計測し、それらを対比することで、ニホンウナギの生息場所に対する選好性を検討する。

黄ウナギを対象とした調査地は、環境特性の異なる 3 河川に設定しているが、その 3 河川における隠れ場所利用について予備的な分析を行った結果、巨礫の存在する河川では大半の個体が巨礫、大礫、石積み護岸を利用するが（図 4、森川）、巨礫や大礫がほとんど存在しない河川では、河岸部

から水面上に張り出した被覆植生を利用したり（頓田川）、砂底に潜伏する（国近川）ことが示された。これらのことより、ニホンウナギは河川の状況に応じて様々なものを隠れ場所として利用することが示唆された。今後は、冬季の野外調査を完了させるとともに、水深や流速といった他の要素を取り入れた分析を行っていく予定である。また、クロコを対象とした2河川はどちらも砂・砂利が優占する類似した河川であるため、これらとは違うタイプの河川として巨礫・大礫の多い河川でも野外調査を行いたい。

（4）餌料選好性の解析と餌料源推定に向けた分析手法の検討

餌に対する選好性を明らかにするために、2河川（国近川、森川）10地点の調査地点を設定し、胃内容物調査（ストマックポンプによる非致死性のサンプリング）及び潜在的な餌資源量に関する調査を行った。10地点中の7地点において、活動期として8～9月、不活発な冬季として12～翌2月に胃内容物調査を行うとともに、全10地点においては餌資源量とニホンウナギ生息密度に関する調査を9月に行った。現在得られている胃内容物サンプルで見える限り、モクズガニ、ヌマエビ類、ミズムシといった甲殻類の利用割合が高い。ニホンウナギ密度と餌資源量との関係を予備的に解析したところ、ニホンウナギ密度と底生無脊椎動物現存量（または甲殻類現存量）との間には正の相関が見られた。今後は、これまでに得られている胃内容物サンプルの分析や冬季の胃内容物調査を実施していく予定である。

粘液を用いた餌料源推定手法の精度向上のため、炭素・窒素安定同位体比（以下、 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ）分析について、2019年7月に静岡県浜名湖流入河川で採集したニホンウナギの体側筋切片（以下、筋肉）と粘液を用いて再検討を行った。その結果、C/N比の値が大きな粘液サンプルでは、筋肉と大きく異なる $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ を示すことを確認した。今後は、C/N比を用いたクオリティーチェックを行いながら、データを蓄積していく必要がある。また、筋肉の代替として粘液を用いた場合、 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 共に筋肉を用いた分析結果から $\pm 0.5\text{‰}$ 前後の差があることを確認した。

2019年9月に愛媛県内を流れる国近川及び森川の複数地点で採集したニホンウナギから粘液を採取し、それらを用いて $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ を分析した。その結果、河川間だけでなく、河川内でもサイト間で $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の値が異なることを確認した。更に、一部のサイトではサイト内でも値がばらつく傾向が見られた。今後、ニホンウナギの餌料源の指標（特に $\delta^{13}\text{C}$ ）と生息密度との関係性を調査し、ニホンウナギの河川内での分布に影響する要因について知見を収集していきたい。また、2019年5月にDフレームネット（目合 $500\mu\text{m}$ ）及び徒手で採集した餌料生物（甲殻類、水生昆虫類等）の安定同位体比分析を現在実施中であり、今後ニホンウナギの分析結果との比較を行う予定である。

（5）新規加入個体の個体数変動の観測

6つの河川の河口付近に調査区を設定し、3月から8月末までの期間中に月2回、電気漁具を用いて新規加入個体（シラス・クロコ）を採取し個体数（生息密度）の変動を観測した。シラスは3

月の最初の調査から採捕され、概して、個体数のピークは6月までに見られたが、河川によって異なった。これらのデータは、クロコを対象とした生息場所利用調査（上記3）の結果と併せて、川への進入直後の生息環境条件を検討する際に活用できると思われる。

表1. ニホンウナギ生息密度の指標と周囲の水田面積（ m^2 ）の間の相関分析結果

ニホンウナギ生息密度の指標	相関係数	<i>p</i>
中型ウナギ個体数密度（尾・ 100 m^{-2} ）	0.340	0.057
大型ウナギ個体数密度（尾・ 100 m^{-2} ）	0.372	0.036 *
中型・大型ウナギ合計個体数密度（尾・ 100 m^{-2} ）	0.426	0.015 *
中型ウナギ総湿重量（ $\text{g} \cdot 100 \text{ m}^{-2}$ ）	0.323	0.072
大型ウナギ総湿重量（ $\text{g} \cdot 100 \text{ m}^{-2}$ ）	0.248	0.171
中型・大型ウナギ合計総湿重量（ $\text{g} \cdot 100 \text{ m}^{-2}$ ）	0.274	0.129

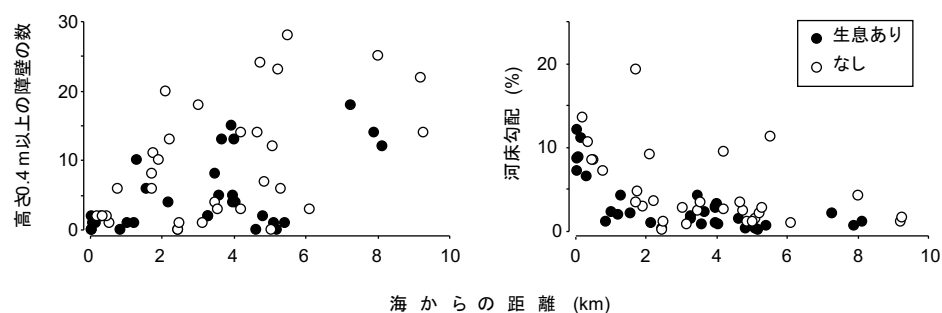


図1. ニホンウナギの生息の有無と海からの距離、河床勾配、移動障害構造物の数

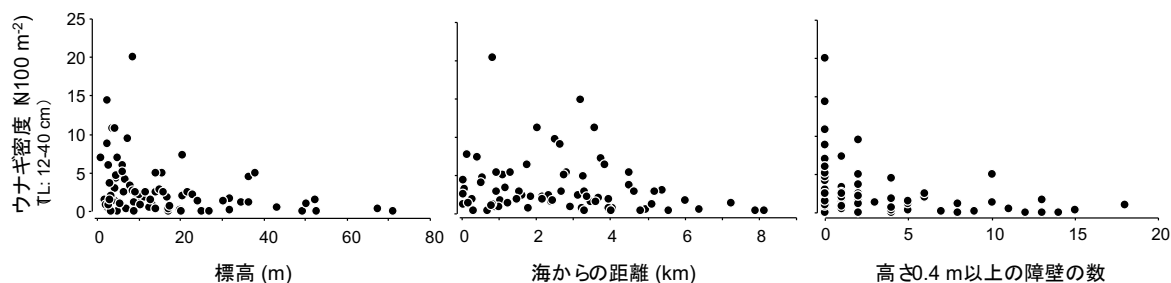


図2. 中型ニホンウナギ（全長 12-40cm）の生息密度と標高、海から距離、移動障害構造物の数

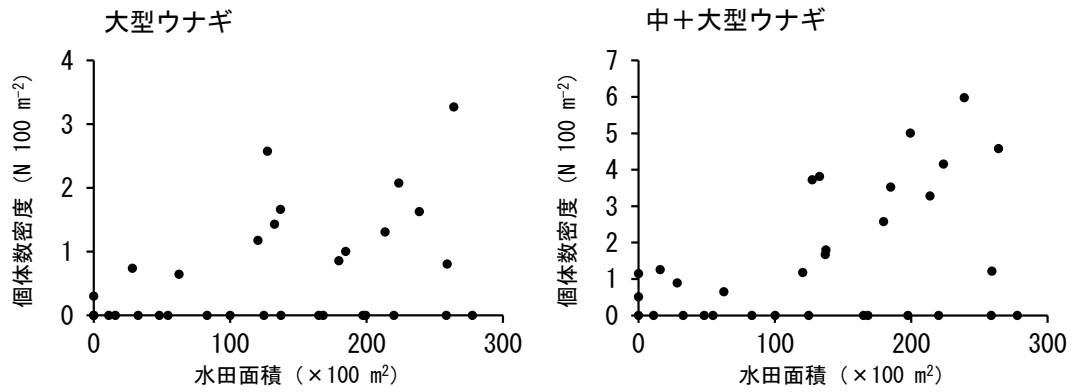


図3. 調査地周辺の水田面積と大型ニホンウナギの個体数密度（左）及び
中型・大型ニホンウナギの合計個体数密度（右）の関係

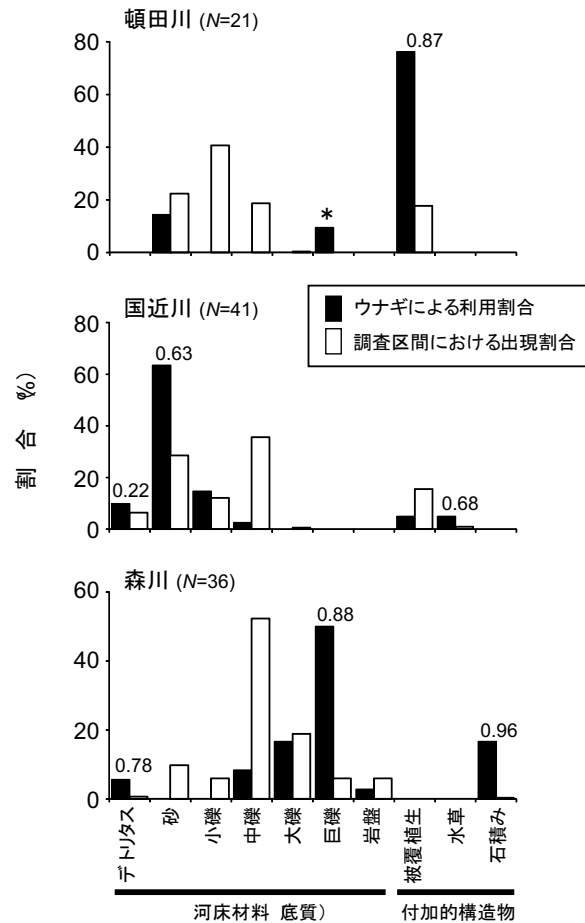


図4. ニホンウナギが利用していた隠れ場所（数値は選択度指数）

課題と対応策：クロコを対象とした生息場所利用調査において、大礫・巨礫が多い河川として適切な調査地を得ることができなかったが、それ以外については特に問題なく調査を実施することができた。

課 題 番 号	3.-(1)	事業実施期間	平成 31 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・市来拓海（鹿児島県水産技術開発センター）		

平成 31 年度の成果の要約：

枕崎市花渡川支流の中州川で平成 29 年 7 月に設置した人工芝マット簡易魚道（以下芝マット魚道という）は、令和元年 6 月下旬～7 月上旬の豪雨で一部が破損・流出したが、流出しなかった芝マット魚道に特に大きな劣化は見られなかったことから、通常の降雨であれば 2 年以上の耐久性があると推察された。

10 月～11 月に、中州川第 4 堰堤に設置した芝マット魚道に PIT タグアンテナ（PIT タグ標識ウナギが機器のケーブル付近を通過すると、通過記録が残る）を設置し、芝マット魚道の直下に養殖ウナギ 100 尾を 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なかった。前年 7～8 月の調査では 14 尾の通過を確認できたことから、水温が下がると遡上数が減少する可能性が考えられた。

室内水槽において、これまでの芝マットと、非プラスチック製の新たな魚道としてコイルマット等で比較試験をしたところ、平均全長 251.5mm の天然ウナギが最も多く遡上したのは芝マットだったのに対し、平均全長 364.7mm の養殖ウナギはコイルマットであったため、ウナギのサイズによって利用しやすい魚道が異なることがわかった。

過年度までの成果の概要

平成 30 年 7 月 11 日から 8 月 22 日まで、中州川第 2 堰堤に設置した芝マット魚道に PIT タグアンテナを設置し、芝マット魚道の直下に養殖ウナギ 50g サイズ 100 尾を放流したところ、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芝マット魚道の上流で再採捕された。

このことから、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が分かった。

また、平成 29 年 7 月に設置した芝マット魚道は、1 年半後の平成 31 年 1 月現在においても大きな破損はみられなかった。

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、遡上障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：

芝マット魚道の耐久性を検証するため、平成 29 年 7 月 3 日に中州川の第 2 堰堤（図 1）に設置した既存の芝マット魚道と、新規に設置した芝マット魚道にそれぞれ PIT タグアンテナシステムを設置し、通過した標識放流ウナギを記録して比較検討する。また芝マット魚道を設置した堰堤上下で電気ショッカー調査を行い、魚道設置前後の個体数の変化や移動状況を調べる。

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、環境に配慮した素材の簡易魚道を開発するため、当センター内水面実験池の屋内水槽を使用し、非プラスチック製の新たな簡易魚道を比較検討する。



図 1：調査場所（中州川第 2～4 堰堤）

結果：

1) 芝マット魚道の耐久性の検討

既設マットと新設マットの比較試験を行う予定であったが、試験前の令和元年 6 月下旬～7 月上旬に豪雨があり、既設マット 2 本のうち 1 本が破損、流出した（図 2）。しかし流出 1 週間前の観察では設置状況に問題はなく、流出せずに残った 1 本にも特に大きな劣化は見られなかったため、通常の降雨であれば 2 年以上の耐久性はあると推察された。また、上流側から大きく破れていたことから、上端部のビスを増やすなど設置方法を改善することにより、耐久性が向上する可能性があると思われた。

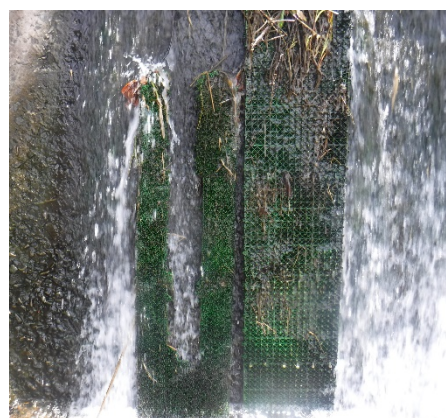


図 2 流出した芝マット魚道（左）

2) PIT タグアンテナシステムによる遡上調査

代替試験として、芝マット魚道の設置方法として表面設置と裏面設置を検証するため、10 月 7 日

に堰堤左岸には芝マット魚道を表（芝面）を上にして2本設置し、堰堤右岸には裏返した芝マット魚道を2本設置した。令和元年10月23日から11月26日まで兩岸の魚道にPITタグアンテナシステムを設置し、10月23日のアンテナ設置直後に養殖ウナギ50尾を魚道下に標識放流した。更に11月5日に芝マットの表裏を入れ替えた後、養殖ウナギ50尾を追加放流した。放流した養殖ウナギは平均全長339mm、平均体重39gであった。なお、これまで調査を行ってきた第2堰堤は護岸工事により使用できなかったため、約500m上流の第4堰堤で調査を行った。

芝マット通過記録を表1に示す。（なお、機器トラブルにより左岸のPITタグアンテナシステムは11月15日に記録を停止していた。）

10月27日の左岸、11月5日の右岸、11月22日の右岸、11月26日の右岸で記録された個体①は同一個体で、10月23日に放流した養殖ウナギAであり、いずれも表面を上を設置した芝マットを利用していた。11月24日の右岸で記録された個体②は、後述の電気ショッカー調査で、アンテナ設置前後に採捕した大型の天然ウナギB（739mm 656g）であった。いずれも堰堤上流で採捕されているため、芝マットを遡上したのではなく堰堤上部でアンテナに近づいて誤記録されてしまったものと推察された。従って、この期間に芝マット魚道を利用したと思われる放流ウナギは①の1尾のみであり、データ数が少なく芝マットの設置方法を検証することはできなかった。

表1 アンテナ通過記録

日	時	芝マット	PITタグNO.	備 考
10月23日	16:13			アンテナ設置，養殖ウナギ50尾放流
10月27日	2:35 ~ 4:04	左岸（表）	①3DD003D68C9E9	養殖ウナギA通過
11月5日	11:30			芝マット表裏入れ替え，養殖ウナギ50尾放流
	18:55 ~ 20:18	右岸（表）	①3DD003D68C9E9	養殖ウナギA通過
11月15日	05:04	左岸（裏）		データ終了
11月22日	20:14 ~ 20:16	右岸（表）	①3DD003D68C9E9	養殖ウナギA通過
11月24日	17:59 ~ 18:14	右岸（表）	②3DD003D68C961	天然ウナギB通過
11月26日	4:20 ~ 4:48	右岸（表）	①3DD003D68C9E9	養殖ウナギA通過
	10:30	右岸（表）		データ終了

2) 電気ショッカー採捕調査

PITタグアンテナシステムの補完調査として、アンテナ設置前の10月7日と、アンテナ撤去後の12月9日に、芝マット魚道を設置した第4堰堤上下の約50mの範囲で電気ショッカーによる採捕調査を行った。

アンテナ設置前は表2のとおり、堰堤下で2尾、堰堤上で4尾が採捕され、いずれも新規の天然ウナギであり、測定後標識放流した。アンテナ撤去後は表3のとおり、堰堤下で4尾、堰堤上で6尾が採捕され、うちNo.4は10月23日のアンテナ設置時に堰堤下で放流した養殖ウナギで、そのまま堰堤下にとどまっていた。No.1、3、5、6、7は10月7日に標識放流された個体で、同一個体を備考欄にA～Eで示した。なお、No.7（E）は、前述のアンテナでも記録された個体で、12月に銀化（S1）していた。

この結果、堰堤下流から上流に移動した個体は確認できなかった。

表 2 電気ショッカー調査結果（アンテナ設置前：R1.10.7）

番号	天然or養殖	新規or再捕	全長 (mm)	体重 (g)	肥満度	再捕場所	ステージ	備考
1	天然	新規	585	286	1.43	堰堤下	Y2	A
2	天然	新規	449	115	1.27	堰堤下	Y2	B
3	天然	新規	344	46	1.13	堰堤上	Y2	C
4	天然	新規	399	60	0.94	堰堤上	Y2	
5	天然	新規	323	36	1.07	堰堤上	Y2	D
6	天然	新規	739	656	1.63	堰堤上	Y2	E

表 3 電気ショッカー調査結果（アンテナ撤去後：R1.12.9）

番号	天然or養殖	新規or再捕	全長 (mm)	体重 (g)	肥満度	再捕場所	ステージ	備考
1	天然	再捕	441	100	1.17	堰堤下	Y2	B
2	天然	新規	298	29	1.10	堰堤下	Y2	
3	天然	再捕	596	298	1.41	堰堤下	Y2	A
4	養殖	再捕	313	28	0.91	堰堤下	Y2	
5	天然	再捕	344	46	1.13	堰堤上	Y2	C
6	天然	再捕	320	35	1.07	堰堤上	Y2	D
7	天然	再捕	733	626	1.59	堰堤上	S1	E
8	天然	新規	414	91	1.28	堰堤上	Y2	
9	天然	新規	577	245	1.28	堰堤上	Y2	
10	天然	新規	178	5	0.89	堰堤上	Y2	

前年度7～8月の調査では、PITタグアンテナシステムで14尾の通過が記録され、アンテナ撤去後の電気ショッカー調査でも上流へ移動した個体を2尾確認したが、今年度10～11月の調査ではアンテナ通過は1尾のみで、アンテナ撤去後の電気ショッカー調査では上流に移動した個体は確認できなかった。この要因として10～11月は水温が下がってウナギの活動が不活発だった可能性があり、芝マット魚道の遡上状況は季節によって異なる可能性がある。なお、第2堰堤に設置した水温データロガーは回収できなかったため、参考値として下流の第1堰堤で竹筒調査時に計測した水温を図3に示す。前年度8月は約30℃、今年度11月は約20℃であった。



図3 中州川第1堰堤下調査時の水温

3) 新たな簡易魚道の比較試験

令和元年12月～翌年2月に、芝マット両面、改良型コンビマット（図5）、コイルマット（図6）を魚道として、約60cmの垂直な板を遡上できるか比較試験を行った（図4）。試験装置は、水温が約25度の温泉水を上部水槽（66cm×50cm×39cm 水深約13cm）に注水し（注水量は5.4L/min）、簡易魚道を通して下部水槽（85cm×61cm×51cm 水深約10cm）に流れ外に排水されるように設置した。供試魚は、鹿児島市愛宕川で電気ショッカーにより採捕した天然ウナギ小（平均全長251.5mm）、養殖業者から購入した養殖ウナギ中（平均全長364.7mm）、養殖ウナギ大（平均全長481.0mm）を用い、1回の試験で20尾を下部水槽に投入した。試験は日没前の16時30分に開始し、翌朝9時に終了した。試験終了後は、魚道上部の水槽にウナギが何尾移動していたか計数するとともに、監視カメラで撮影した遡上の様子を観察した。

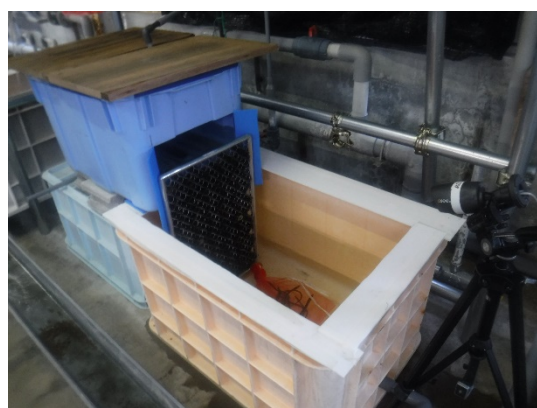


図4 簡易魚道比較試験装置



図5 改良型コンビマット



図6 コイルマット

図7に20尾中遡上に成功したウナギの割合を示す。

天然ウナギ小は、芝マットの遡上数が最も多かったが（17尾85%）、天然ウナギよりも大きな養殖ウナギ中は、芝マット（8尾40%）よりもコイルマット（12尾60%）の方が多く遡上した。更に大きな養殖ウナギ大は、芝マットを1尾遡上したのみで、いずれの魚道もほとんど遡上しなかった。裏返した芝マットは、今回使用したウナギは1尾も遡上しなかった。このことから、ウナギのサイズ

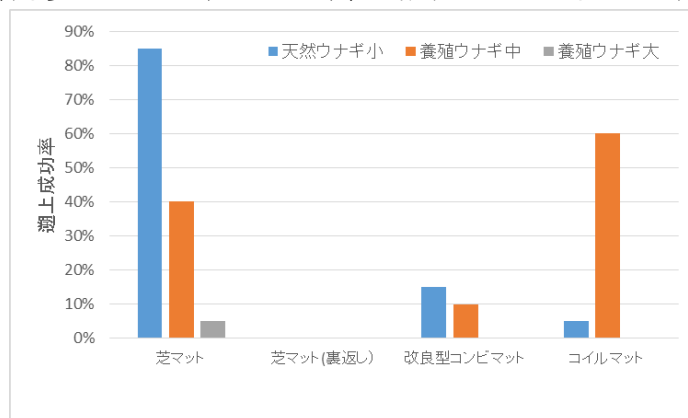


図7 遡上に成功したウナギの割合

により、利用しやすい魚道が異なる事がわかった。

課題と対応策：

芝マット魚道の屋外試験では、遡上を1尾しか記録できなかった事、設置から2年で流失した事から、芝マットの設置方法や設置場所、設置時期を引き続き検討するとともに、遡上効果を把握するため、設置前後のウナギの個体数の変化などを引き続き調査する必要がある。

また、環境に配慮した素材の簡易魚道開発は、室内試験のみなので、実際の河川で実用可能な魚道の開発を行う必要がある。