

奈半利川に設定した 5 箇所の調査地点の平均環境 DNA 濃度、環境 DNA フラックスを図 13 に示す。調査を行った 3 ヶ年ともに流程に沿った環境 DNA 濃度の顕著な違いは認められなかったが、環境 DNA フラックスでは 2020 年および 2022 年に最下流地点 (St5) で突出して高い値を示した。ただし、2021 年では最下流地点で検出下限値以下のサンプルが多く、平均濃度、環境 DNA フラックスともに低い値を示した。

八幡川における各河川横断面の環境 DNA フラックスの平均値の範囲は 10483 (コピー/s) から 13504 (コピー/s) であり、比較的一定の値であったのに対して、高瀬川では 3526 (コピー/s) から 58100 (コピー/s) と大きくばらついていた。先述したとおり、これには 2021 年、2022 年に生じた高瀬川での渇水の影響が顕れているものと考えられる。本報告書に掲載されている八幡川、高瀬川の推定個体数をあわせたところ (図 14)、渇水のあった高瀬川の 2021 年、2022 年データを除くと、八幡川では高瀬川と比べて、平均環境 DNA フラックス、推定個体数ともに低い値をとることが示された。

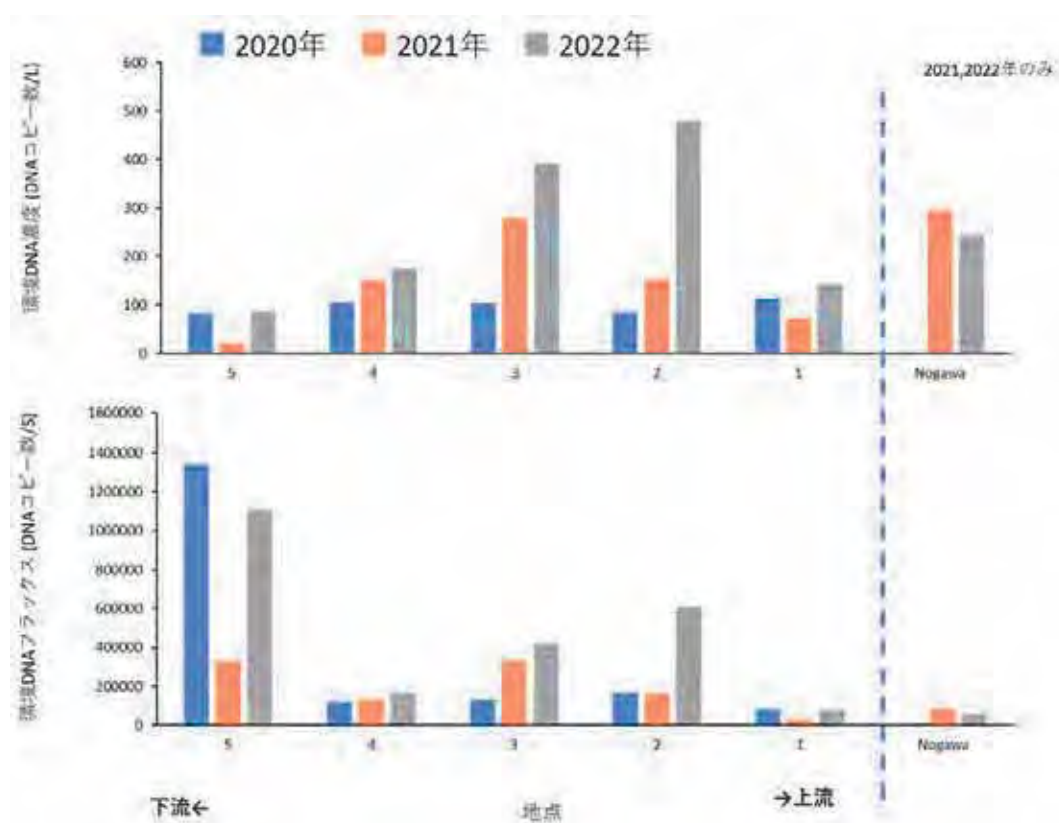


図 13 高知県奈半利川に設定した調査地点毎の平均環境 DNA 濃度、および環境 DNA フラックス。

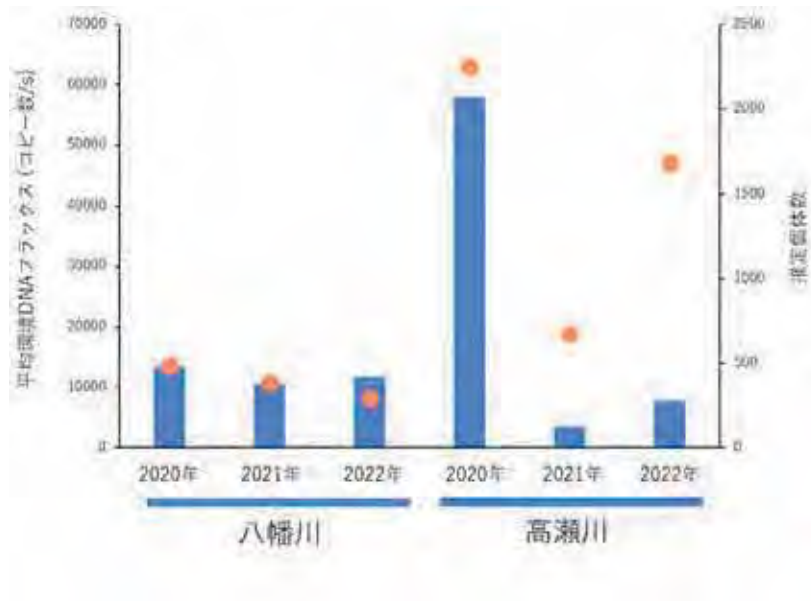


図 14 鹿児島県八幡川、和歌山県高瀬川における平均環境 DNA フラックスおよび推定個体数（本報告書より抜粋）。

ii. 重信川での結果

図 14 に重信川におけるニホンウナギ放流地点での環境 DNA フラックスの時間的变化を示した。いずれの調査時でも河口近くで環境 DNA フラックスは多かった。また、ニホンウナギの天然遡上を観察されている重信川の支流砥部川においても環境 DNA フラックスは多かった。一方、重信川水系中上流域の環境 DNA フラックスは下流域と比べて概ね低い値であったが、例年 7 月に放流が実施される地点周辺では比較的多量の環境 DNA フラックスが検出された(図 15)。各調査地の環境 DNA フラックスを 2021 年 6 月と 7 月の放流前後で比較すると、ほぼ全ての地点で放流後に環境 DNA フラックスが増加していることが示された(図 16)。

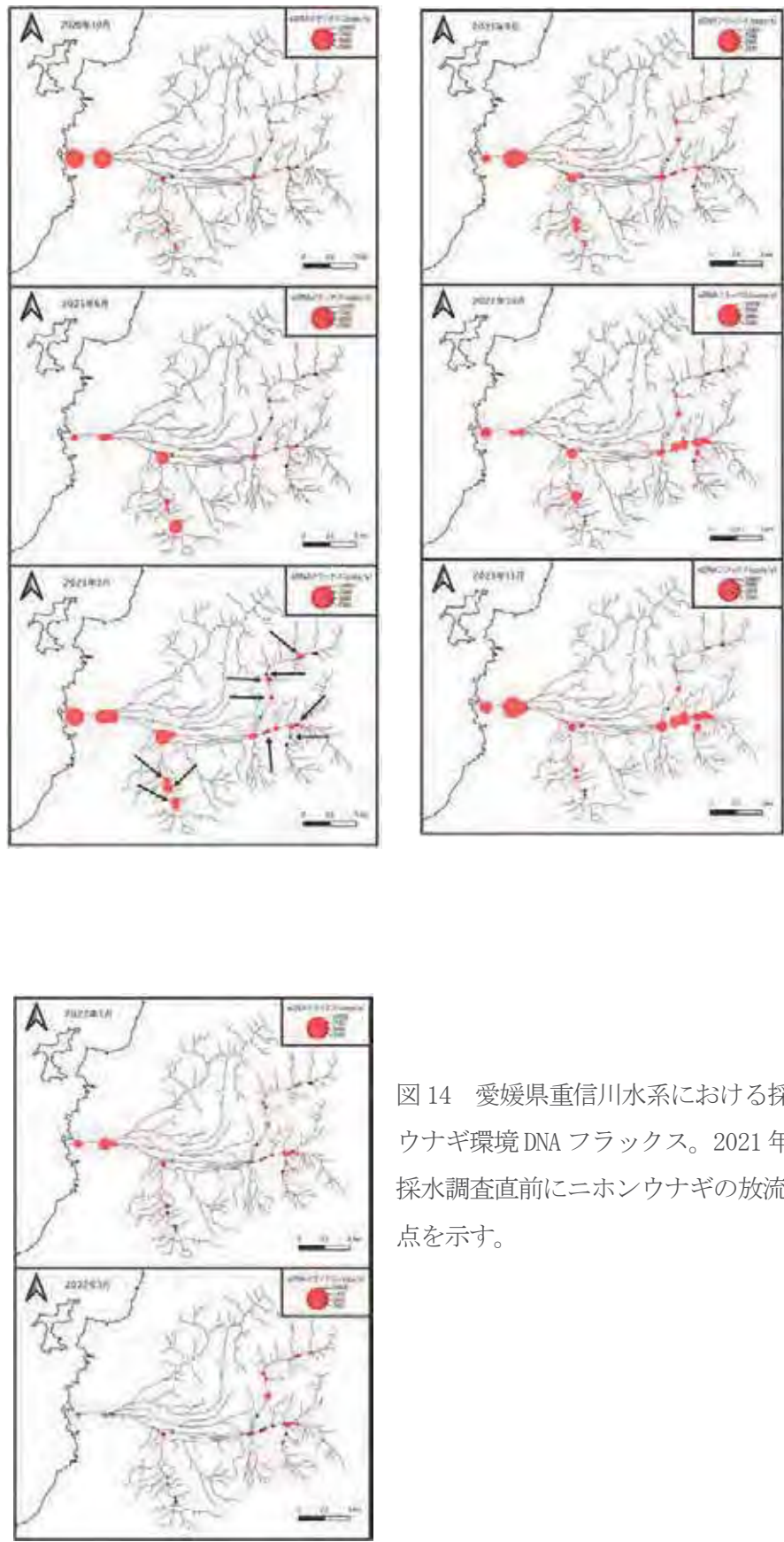


図 14 愛媛県重信川水系における採水地点のニホンウナギ環境 DNA フラックス。2021 年 7 月の矢印は、採水調査直前にニホンウナギの放流が実施された地点を示す。

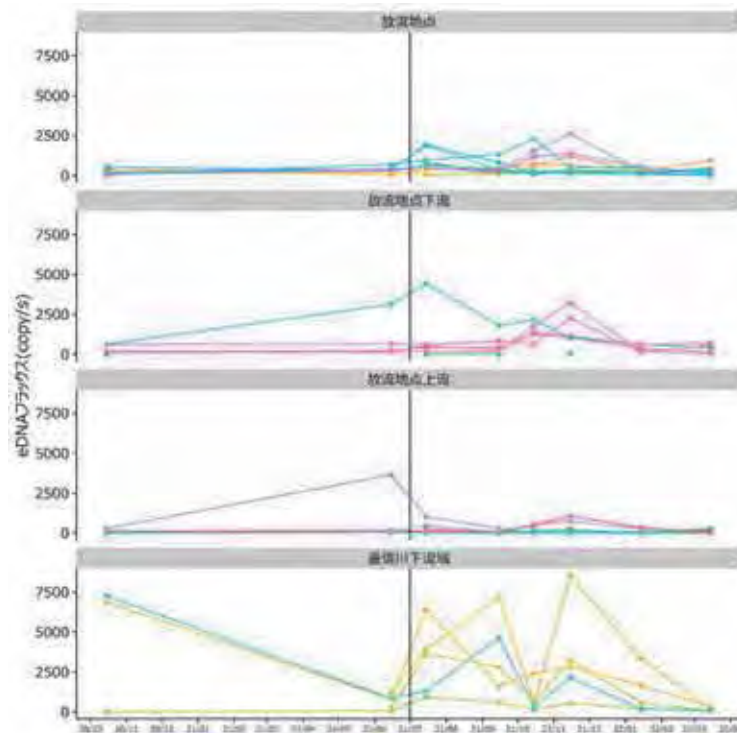


図 15 愛媛県重信川水系における採水地点のニホンウナギ環境 DNA フラックスの時間的変化。2021 年 7 月の縦線は、ウナギの放流が実施された時期を示す。

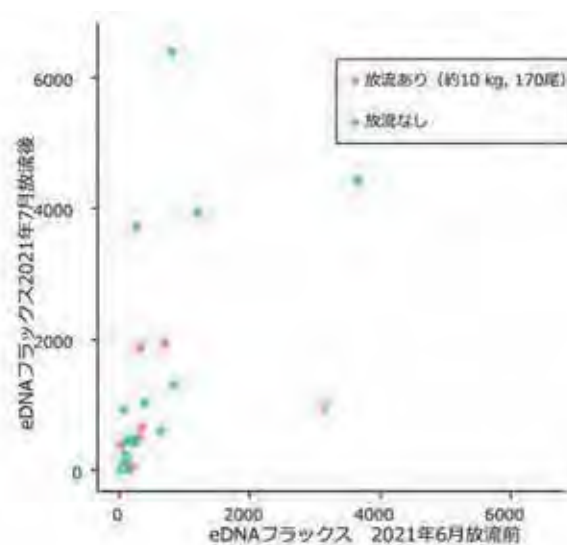


図 16 愛媛県重信川水系における、2021 年 6 月と 7 月(ニホンウナギの放流前後)における採水地点の環境 DNA フラックス。

考察

本課題で実施した室内実験によって、環境 DNA 濃度(平衡濃度)が個体の体サイズと活動性(代謝)、そして DNA 分解に影響を及ぼす水温など複数の要因により影響を受けることを明らかにした。これらの知見は、今後、自然河川、湖沼での環境 DNA の挙動、動態を理解する上で重要な貢献をもたら

すものと期待される。

八幡川、高瀬川、奈半利川において実施されているニホンウナギ採捕調査の結果から、ニホンウナギは各河川の調査区間内に一様に分布することが報告されており(本事業報告書)、環境 DNA 濃度は下流に設定した地点ほど高くなることが予想されたが、河川における環境 DNA の空間分布は不均一であり、調査をおこなった3ヶ年ともに流程に沿った明瞭な増減傾向は確認されなかった。また、地点毎のニホンウナギ生息量と環境 DNA 濃度との関係も不明瞭であった。このことは個体から放出された環境 DNA が河川を流下する過程で急速に拡散または分解していることを示唆している。一方、八幡川および高瀬川では、多地点採水調査に基づく平均環境 DNA フラックスデータが標識再捕獲調査によって得られたニホンウナギの推定個体数と対応している可能性が示唆された。また、愛媛県重信川では、ニホンウナギ放流前後で環境 DNA フラックスが増加することが確認された。これら結果は、環境 DNA モニタリング調査が今後放流効果検証のアプリケーションの一つになり得ることを示す。

参考文献

- Minamoto T. et al. (2016) Techniques for the practical collection of environmental DNA: filter selection, preservation, and extraction. *Limnology*, 17: 23-32.
- Kasai A. et al. (2020) The effect of temperature on environmental DNA degradation of Japanese eel. *Fish. Sci.*, 86:465-471.
- Minegishi Y. et al. (2009) Species identification of *Anguilla japonica* by real-time PCR based on a sequence detection system: a practical application to eggs and larvae. *ICES J. Mar. Sci.* 66: 1915-1918.
- Miya M. et al. (2015) MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *R Soc Open Sci.* 2(7):150088.

担当者

平成 30～令和 4 年度

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

山本祥一郎・山本敏博・本郷悠貴・安池元重・馬久地みゆき・關野正志・山本佑樹・矢田崇

国立大学法人 愛媛大学

畑啓生・井上幹生・三宅洋

2.-(2) 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捕獲効率推定

山口県水産研究センター内海研究部

要旨

山口県内の3つの小規模河川において、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率(捕獲効率)を調べたところ、採捕率は同一場所で採捕を繰り返すごとに低下する傾向が確認された。これらの試験では、採捕初日の最も高い採捕率で11%~34%となった。

背負い型エレクトロ・フィッシャーを使用した採捕を行う場合、対象とするニホンウナギの大きさや装置の設定、使用環境が採捕率に影響を与えるか試験池を用いて調べたところ、装置の設定のうち、Duty Cycleの設定が採捕率に影響を与える可能性が示唆された。Duty Cycleを上げることで採捕率が上昇する傾向が認められる。しかし、100(直流)設定ではウナギの麻痺が解けるのが早く自然河川での使用にはむいていないと思われた。ニホンウナギの大きさ(全長200mm~500mm)や、魚体より電流が流れやすい金属製構造物(金網)の有無、装置の電圧設定(350V~700V)については、各条件下で採捕率に有意差は認められなかった。

全期間を通じた課題目標及び計画

複数の小規模河川において、背負い型エレクトロ・フィッシャーによるニホンウナギ捕獲効率を検証する。大型池を使用してニホンウナギの体サイズ別採捕効率と背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定別の捕獲効率試験を行う。採捕場所の水質等環境データを収集する。また水質や金属製構造物の有無等が、エレクトロ・フィッシングの捕獲効率に関係するか分析する。

方法

自然河川における背負い型エレクトロ・フィッシャーの採捕率推定

2019~2021年にかけて、山口県内を流れる3つの2級河川(阿武町 白須川、山口市 四十八瀬川、宇部市 有帆川)において、ニホンウナギに対する背負い型エレクトロ・フィッシャーの採捕率推定試験を実施した。自然河岸やコンクリート護岸が混在する各河川の中流域に流程約200mの調査区域を設け、区域内に標識を施したニホンウナギを放流した後、背負い型エレクトロ・フィッシャーを用いた採捕を行い、調査区域にいるニホンウナギのうち、採捕された個体の割合から採捕率を推定した。試験個体は、試験年度内に県内の2級河川で採捕した天然のニホンウナギのうち、試験開始前日までに腹腔内へピットタグ(Biomark社製 BI08)を装着し、水槽で飼育してタグの脱落がないことを確認できたものを、各試験で50尾ずつ使用した。調査区域は試験開始までに複数回背負い型エレクトロ・フィッシャーを用いて採捕を行い、ニホンウナギが採捕されないことを確認した上で、調査区域の上下流端には河川を横断するように白いビニールシートを敷設し

た。同時に、照明とタイムラプスカメラ(brinno 社製 TLC200)を設置し、1 秒間隔で終日撮影を行い、試験区域における試験個体の出入りを把握できるようにした。試験個体は採捕試験を開始する前日に調査区域の中間付近に放流した。試験は白須川で 2 回、四十八瀬川で 1 回、有帆川で 2 回の計 5 回実施した。背負い型エレクトロ・フィッシャーはスミス・ルート社製 LR-20B を使用し、電圧 500V、Duty Cycle30、Frequency35 のパルス直流となるよう設定した。アノードリングはステンレス製(φ28cm)を使用した。採捕は 1 日 1 回の採捕を 3 日間連続で行い、採捕従事者は背負い型エレクトロ・フィッシャーの操作者 1 名、採捕者 2 名の計 3 名とした。再捕個体はピットタグで個体確認をした後、試験区域の中間付近に速やかに放流した。

背負い型エレクトロ・フィッシャーによる採捕に影響を与える要因の検証

一般的に、背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定(電圧、Duty Cycle 等)や採捕する魚の全長は、背負い型エレクトロ・フィッシャーの採捕率に影響を与えることが知られている。

そこで、山口市にある榎野川漁協平川養魚場の 200 トンコンクリート水槽 1 基を試験池として使用し、背負い型エレクトロ・フィッシャーの採捕率に、想定される各要因が影響を与えるか試験した。試験池にはポリエチレン製の水稲育苗箱(60cm×30cm×5cm。以下「育苗箱」という。)を長方形に縦列 3 個、横列 5 個の計 15 個配置することで、ウナギの隠れ家となるカバーを試験池の南北に 1 基ずつ設置した。水稲育苗箱の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 1 のとおりとした。試験個体は、試験年度内に県内の 2 級河川で採捕した天然のニホンウナギのうち、試験開始前日までに腹腔内へピットタグ(Biomark 社製 BI08)を装着し、水槽で飼育してタグの脱落がないことを確認できたものを使用した。採捕はカバー 1 つに対して、1 日 3 回の採捕を 3 日間連続で行い、採捕従事者は背負い型エレクトロ・フィッシャーの操作者 1 名、採捕者 2 名の計 3 名とした。再捕個体はピットタグで個体確認をした後、3 回目の採捕終業後に試験池へ速やかに放流した。これらの条件を基本としたうえで、検証する各要因について、以下のとおり試験を行った。

設定電圧による影響について、2019 年度に試験を行った。エレクトロ・フィッシャーの電圧設定は 350V、500V、700V とした。Duty Cycle と Frequency は、20 および 30 で固定した。試験個体は 50 尾とし、設定ごとに 3 日間連続で採捕する試験を行った。

最終年度(2022 年度)には Duty Cycle の設定による影響について試験を行った。エレクトロ・フィッシャーの電圧および Frequency の設定を 350V および 30 で固定し、Duty Cycle を 5、35 および 100(直流)とし、それぞれ設定①、設定②および設定③とした。試験個体は 30 尾とし、設定ごとに 3 日間連続で採捕する試験を行った。

採捕するニホンウナギの全長による影響について、2019 年度に試験を行った。試験個体は①全長 200mm～299mm、②全長 300mm～399mm、③全長 400mm～499mm の 3 グループに分け、各グループから 40 尾ずつ試験に用いた。背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定は 500V、Duty Cycle

20、Frequency 30 とした。

また、一般的に魚体より伝導率が高い金属製構造物が存在した場合、背負い型エレクトロ・フィッシャーの電流が魚に伝わらず、採捕率が低下する可能性が考えられたことから、金属製構造物による影響について、2020 年度に試験を行った。各カバーの上に金属製の金網を設置した試験区と、金網を設置しなかった試験区を設け、それぞれの採捕率を比較した。金網は石倉等で一般的に使用されているステンレス製のものを使用し、カバー上面を覆うように設置した。試験個体は全長 300mm～600mm の個体を 40 尾ずつ試験に用いた。背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定は 500V、Duty Cycle20、Frequency30 とした。

作動可能な環境条件の検証

潮感帯域や硬水域等、比較的電気伝導率が高い水域では、背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定次第で通電できない場合があることが知られている。

このため、自然河川で作動可能な条件を検証することを目的に、山口県内を流れる 7 水系(錦川、島田川、榎野川、厚東川、厚狭川、阿武川、白須川)で 2018 年 6 月～12 月の間に 15 回、水質測定と背負い型エレクトロ・フィッシャーが作動可能な設定の確認を行った。水質調査項目として、現地にて、水温、電気伝導度、塩分、表層流速、底層流速を電気伝導度計 (YSI 社製 Pro30) および電磁流速計 (KeneK 社製 LP30) を用いて記録した。厚東川と錦川では 500ml の採水試料を持ち帰り、全硬度、電気伝導度 (EC25)、塩分、PH、マンガン濃度を測定した。エレクトロ・フィッシャー作動試験は、アノードリングを水平にした状態で、通電スイッチを押したまま、アノードポールを垂直に水面から川底に着底するようにした。エレクトロ・フィッシャーの設定は、電圧：900V、Duty Cycle：5、Frequency：10 をスタート設定として、通電が切断される水深を記録した。川底まで通電した場合、Duty Cycle を通電が切断されるまで、5 単位で上昇させ、切断時の数値と水深を記録した。次に川底まで通電した Duty Cycle 値に戻し、Frequency も同様に 10 単位で上昇させ、同様に通電が切断される数値と水深を記録した。次に電圧設定を 1 段階下げ、同様の試験を実施した。この作動試験により、現地調査時の河川環境における、LR-20B の作動可能な最高電圧値の把握と各電圧での Duty Cycle 及び Frequency の最高設定値を収集した。なお、当該試験では直流およびバーストモードは選択しなかった。

また、比較的環境が安定している屋内の 2 トン FRP 水槽 1 基を使用し、電気伝導率が高い水域でも通電可能な設定の組み合わせを 2019 年度に調べた。水槽に深さが 40cm となるよう水道水を注水した上で、背負い型エレクトロ・フィッシャーで辛うじて通電可能な塩分濃度である 0.05%となるよう塩化ナトリウムを添加した。水温、塩分濃度及び電気伝導度の計測にはマルチ電気伝導度計 (YSI 社製 PR030) を用いた。この時の電気伝導度 (25℃補償) の値は $1,106 \mu\text{S}/\text{cm}$ 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。作動可否の検証は、背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定電圧、水槽の水温の 2 つの条

件を変えて実施した。電圧別の作動試験では、水温 20℃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。水温別の作動試験では、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。

結果

自然河川における背負い型エレクトロ・フィッシャーの採捕率推定

2019年度から2021年度にかけて試験を実施した結果、採捕率は同一場所で採捕を繰り返すごとに低下する傾向があり、採捕初日は採捕率が最も高かった(表1～表3)。これらの試験では、採捕初日の採捕率が11%～34%となった。採捕2日目以降の採捕率は、採捕初日の採捕率の半分程度まで減少する傾向が確認された。試験期間中、放流した試験個体の斃死は確認されなかった。試験区域から逸出したニホンウナギの数は、各試験で50尾中1尾～14尾となった。逸出個体の大半は、放流初日から1回目の採捕にかけて、日没から深夜0時までの間に試験区域外へ出ていた。有帆川の試験では、秋季・冬季と季節を変えて採捕を行ったが、採捕初日の採捕率はほぼ同様の水準となった。有帆川の試験において、採捕開始直前の14時時点における水温は、秋季の試験で20.6℃～21.1℃、冬季の試験で5.1℃～5.7℃であり、季節による水温差を反映したものとなっていたことから、秋季・冬季の季節の違いが、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率に与える影響は限定的とみられた。

背負い型エレクトロ・フィッシャーによる採捕に影響を与える要因の検証

設定電圧に係る試験の結果として、350V、500V、700Vの3つの設定で採捕率を比較したところ、一日のPass毎の採捕傾向は電圧により大きく異なり、350V、500Vと700Vでは1Pass目の採捕率は有意に異なった(Tukeyの多重比較検定 $p < 0.01$)。これはニホンウナギの失神の程度差によるものと思われ、全体としては350V～700Vの設定範囲であれば同程度の採捕率になると推定される。

Duty Cycleの設定に係る試験の結果として、Duty Cycleを5、35および100(直流)に設定して比較したところ、Duty Cycleを上げるほど採捕率が上昇した。各設定の採捕率は、設定①で30.0%～36.6% (平均33.3%)、設定②で36.6%～56.6% (平均43.2%)、設定③で53.3～63.3 (平均57.7%) であり、試験区間で有意差が認められ(ANOVA, $P > 0.05$)、設定③の100(直流)で最も高い採捕率となった(表4、図2)。しかし、Duty Cycleを100とした場合、通電直後に多くのニホンウナギが反応してカバーから飛び出してくるが、その後のウナギ麻痺時間が、他の設定と比較して極めて短かった。他の設定では、通電終了後もウナギは数秒間麻痺していたが、設定③では通電が終了した直後に素早く動く個体が多かった。試験池は全面コンクリート張りであり、水の透明度も良く、また人為的設置のカバー以外に隠れる場所がないため、採捕できたが、自然河川で設定③と同じ動きをするウナギを人が採捕するのは極めて困難になると予想される。

採捕するニホンウナギの全長に係る試験の結果として、①全長200mm～299mm、②全長300mm～

399mm、③全長400mm～499mmの3グループについて、3日間の各試験日における3回目の採捕が終わった時点での採捕率に差が生じるか比較したところ、採捕率は①69.2%～83.3%、②69.4%～87.5%、③80.0%～87.5%となり、各グループの間で採捕率に統計的な有意差は認められなかった(ANOVA, n. s.)。一方、全長が大きいグループほど、採捕率が高くなる傾向が確認されたことから、試験を繰り返してサンプル数を増やした場合、統計的な有意差が認められる可能性がある。

金属製構造物に係る試験の結果として、カバーの上に金網を設置したグループと、金網を設置しなかったグループについて、3日間の各試験日における3回目の採捕が終わった時点での採捕率に差が生じるか比較したところ、採捕率は金網を設置したグループで12.5%～35.0%、金網を設置しなかったグループで27.5%～40.0%となり、両グループの間で採捕率に統計的な有意差は認められなかった(Fisher正確検定, $P>0.05$)。

作動可能な環境条件の検証

自然河川におけるエレクトロ・フィッシャー作動試験では、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(表5)。

背負い型エレクトロ・フィッシャーの作動試験のうち、設定電圧別に作動可能な設定の組み合わせを検証した試験の結果として、電圧が高くなるにしたがい、作動可能となるDuty Cycle及びFrequencyの設定の組み合わせは少なくなる傾向がみられた(表6)。また、Duty Cycleの設定値は低いほど、Frequencyの設定値は高いほど、背負い型エレクトロ・フィッシャーが作動する設定の組み合わせが増える傾向がみられた。また、水温別に作動可能な設定の組み合わせを検証した試験の結果として、水温が高くなるにしたがい、作動可能となるDuty Cycle及びFrequencyの設定の組み合わせは少なくなる傾向が見られた(表7)。また、設定電圧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。

考察

河川における採捕試験では、3河川で計5回実施した各試験の初日の採捕率が11%～34%となった。この結果は、背負い型エレクトロ・フィッシャーを使用してニホンウナギを採捕する場合、採捕できる個体は生息個体のごく一部である可能性を示唆している。

背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定(電圧、Duty Cycle)や採捕する魚の全長等は、背負い型エレクトロ・フィッシャーの採捕率に影響を与えることが知られているが、今回検証した要因の中では、背負い型エレクトロ・フィッシャーの設定(Duty Cycle)以外、統計的な有意差が認

められなかった。Duty Cycleの設定についても、100(直流)に設定した場合以外は有意差が認められなかった。ほかにも、直流の設定はバッテリー消費が早いことや、海水の影響を受ける水域では、背負い型エレクトロ・フィッシャーが作動しにくいというデメリットがあることから、ニホンウナギの採捕には、基本的に不向きな設定と考えられた。一方、Duty Cycleの設定値が低いと、魚体に与えるダメージや死亡率が増加するとの報告もあること、Duty Cycleを20に設定した試験に使用した個体は、試験終了後もほぼ斃死個体が認められなかったことを踏まえると、一つの目安として、Duty Cycleを20程度に設定することで、河川に生息するニホンウナギへの影響を最小限に抑えながら、調査の効率化を図ることが可能になるものと推察された。

また、自然河川で採捕を行う場合に、同じ調査区間で連日採捕を行ったときは、採捕率が著しく低下する傾向が示された。採捕率が低く見積もられた場合、生息個体数も同様に過小評価することとなるため、背負い型エレクトロ・フィッシャーを用いて自然河川で採捕を行う際は、同一区間を連日採捕することは避けることが望ましい。

今回の試験では、ニホンウナギの採捕に関する要因を中心に検証を進めたが、実際に自然河川で採捕を行う場合、ニホンウナギ以外の生物も多数生息していることが想定される。背負い型エレクトロ・フィッシャーの電流は、魚類へ影響を与える例も報告されていることから、河川調査で背負い型エレクトロ・フィッシャーを使用する際は、調査予定水域に生息しているニホンウナギ以外の魚類に与える影響にも配慮しながら、調査を進める必要がある。

参考文献

C.R. Dolan and L.E. Miranda(2003) Immobilization thresholds of electrofishing relative to fish size.

Transactions of the American Fisheries Society 132:969-976

C. R. Dolan & L. E. Miranda(2004) Injury and Mortality of Warmwater Fishes Immobilized by Electrofishing. North American Journal of Fisheries Management 24:118-127

山本祥一郎(2002)「魚類の調査方法 (1) エレクトロフィッシャー（電気漁具）使用の注意点」魚類学雑誌, 49: 72-73.

担当者

山口県水産研究センター内海研究部 増殖・病理グループ 畑間 俊弘 (H30)

石田 健太 (R元～R3)

多賀 茂 (R4)

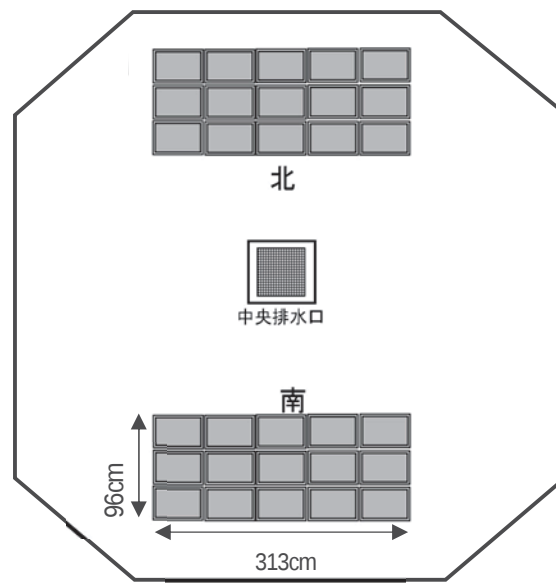


図1.カバーの配置

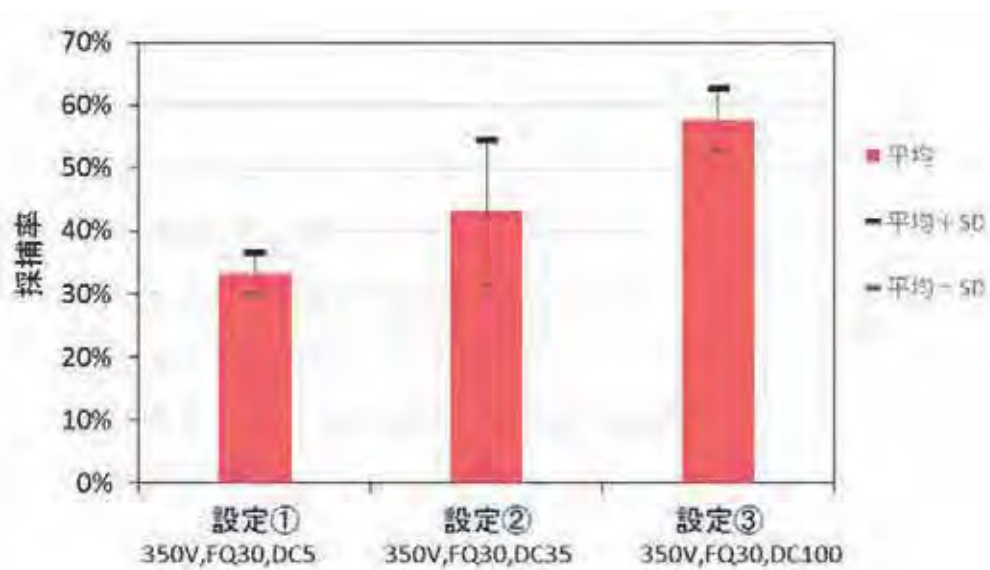


図2 エレクトロ・フィッシャーの設定による採捕率結果

表1.阿武町白須川における試験結果(上段：1回目、下段：2回目)

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

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

表2.山口市四十八瀬川における試験結果

	2020年10月5日～2020年10月8日			
	0日目	1日目	2日目	3日目
採捕個体数(尾)	－	5	2	3
流入個体数(尾)	－	0	0	0
流出個体数(尾)	－	6	0	0
区間内の個体数(尾)	50	44	44	44
採捕率(%)	－	11.4	4.5	6.8

表3. 宇部市有帆川における試験結果(上段：秋季試験、下段：冬季試験)

	2021年10月11日～2021年10月14日			
	0日目	1日目	2日目	3日目
採捕個体数(尾)	－	7	2	1
流入個体数(尾)	－	0	0	0
流出個体数(尾)	－	1	0	0
区間内の個体数(尾)	50	49	49	49
採捕率(%)	－	14.3	4.1	2.0

	2022年1月11日～2022年1月14日			
	0日目	1日目	2日目	3日目
採捕個体数(尾)	－	6	6	5
流入個体数(尾)	－	0	0	0
流出個体数(尾)	－	10	0	0
区間内の個体数(尾)	50	44	44	44
採捕率(%)	－	13.6	13.6	11.4

表4 エレクトロ・フィッシャーの設定による影響試験結果

		1日目	2日目	3日目	平均
設定①	採捕尾数(尾)	11	10	9	10
	採捕効率(%)	36.6	33.3	30.0	33.3
設定②	採捕尾数(尾)	11	17	11	13
	採捕効率(%)	36.6	56.6	36.6	43.2
設定③	採捕尾数(尾)	16	19	17	17
	採捕効率(%)	53.3	63.3	56.6	57.7

表5.重回帰分析結果

変 数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	T 値	P 値	判 定	単相関
EC25(μ S/cm)	－0.984	－0.829	－9.455	<0.0001	**	－0.733
PH	－226	－0.281	－3.357	0.0040	**	－0.468
Duty Cycle	－4.798	－0.533	－6.225	<0.0001	**	－0.291
定数項	2637		5.333	<0.0001	**	
修正済決定係数	0.8739					

表6.設定電圧別の作動試験の結果

		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7.水温別の作動試験の結果

		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°C、20°Cで作動
 15°C、20°C、25°Cのいずれの水温でも作動

ウナギの採捕を目的とした背負い式 エレクトロ・フィッシャー使用のガイドライン

山口県水産研究センター内海研究部

本ガイドラインの注意点と特徴について

- 本ガイドラインはスミス・ルート社製エレクトロ・フィッシャーLR-20Bを使用して作成されています。
- 他のスミス・ルート社製エレクトロ・フィッシャーとは操作パネル、設定方法が異なりますので、マニュアルを参考に設定してください。
- 他の国内製、外国製のエレクトロ・フィッシャーについて、本ガイドラインを参考にしないでください。
- 本ガイドラインはウナギの採捕に特化していますので、他の溪流魚等の推奨する設定、使用方法ではありません。

ウナギ対象のエレクトロ・フィッシングに必要な準備・装備品

- ウナギ対象のエレクトロ・フィッシングでは、既製品のタモ網等を用いても採捕は可能ですが、効率良く行うには、専用のタモ網等の装備品が必要です。
- 既製品がそのまま使用できる物もあれば、自作もしくは既製品を改造する必要があるものもあります。
- アノードリングに網地を装着し、“タモ網加工”している事例を見ることがありますが、アノードリングは、あくまでも陽極として機動的に動かす必要があるので、絶対に“タモ網加工”はしないでください。

※ エレクトロ・フィッシャー一式については、保有しているものとして、ここでは割愛します。

エレクトロ・フィッシャー以外の装備品



エレクトロ・フィッシャー用漁具は自作する必要あり



キャッチャーの黄・銀ウナギ採捕の基本装備

市販品でそのまま使えるのは「ウナギハサミ（鋼製）」、「ハモハサミ」くらい。

タモ網は2種・2本必要との結論

「掬う」、「拾う」、「ひっかける」、「はじりだす」 → 小型2重丸枠テグスタモ（長柄）

「溜める」、「キャッチする」、「行く手を阻む」 → 三角2重枠テグスタモ

ウナギキャッチ用 小型2重丸枠テグスタモ網（長柄）



- ・ 外枠：径4mmのステンレス番線、内枠：径1mmのステンレス番線
- ・ 内枠の繋ぎ目はビニールチューブもしくはシリコンチューブで目被せ。
→ そのままだと糸状藻類やゴミが思わぬ時に邪魔をする。またウナギが傷つく。
- ・ 首の長さは10cm。首から5cm程度の位置で先を内側に曲げて、柄に打ち込む
→ キャップ式はダメ
- ・ 柄の長さは1m～1.2m程度

※ 市販の“エビタモ”を補強・改良しても良い（首と柄の補強は必須）

収容容器 活かしバツカン



- ・ダブルファスナータイプ（センター開け付）。
- ・ファスナーは必ず長辺の中心で止めるクセを。角止めは隙間が空くため、ウナギが開けて逃げる。
- ・目合は小さい方が良い。バツカンの網は作りが雑（特に無結節ラバー加工網）なので、ウナギの尾が刺さる目合の場合、網を破られる可能性あり。
- ・両手はタモ網を持っているので、ショルダーベルトを必ず付ける。

収容容器 大量にストックする場合は柄付フラシ



- 車から距離が遠い場合等に大量にストックする場合は柄付きフラシを使用すると良い。
- 写真のフラシは、小型底びき用網地を使用。ファスナーや、絞り紐を組み込んで脱走防止策を講じること。市販の釣堀用のフラシを改造しても良い。
- 柄は短く。ウナギが大量に入ると手で持てないので、ショルダーストラップを付ける（40kgは持つ）。

装備品について

ウェーダー

- ゴアテックス等の透湿素材を使用したウェーダーは感電するので使用しない。

汗をかいて密着すると、かなりの頻度で感電する。特に経年劣化したウェーダー。

- PVC等の「蒸れる素材」のウェーダーを使用する。

- ブーツフィットウェーダーを選ぶ。

ストッキング+ウェーディングシューズは陸上移動時は歩きやすいが、石に掛かって脱げたり、小石が入ってウェーダーが破れると感電の危険がある。

グローブ

- PVC等のグローブを必ず着用する。肩まで腕抜きタイプが良い。

膝当て

- 片膝をつくシチュエーションが多いため、膝周辺にピンホールが良く空く。工事用の膝当てもしくは釣り用のゲーターを重ね履きすると良い。

車移動、複数人での調査を念頭に下見する

「まず、駐車スペースと安全確認」



- ✓ **駐車スペースの有無**
民地の場合は駐車許可を取る。
- ✓ **駐車場所周辺の住宅状況**
車の音、会話等による苦情が出ないように。
- ✓ **駐車場からの水際までの距離は近い**
エレクトロ・フィッシングは装備品が多いので、車が横着けできる位置が理想。
- ✓ **安全に入川できるか**
階段、斜路、はしごが設置してある場所が良。
- ✓ **退出場所の有無と距離**
入川同様に安全に川から上がれるか。また退出場所までの距離が長すぎると、エレクトロ・フィッシャーを背負っている人は非常に疲れる。
- ✓ **道路・河川工事等の情報を収集する**
工事予告看板がある場合は必ず確認。通行止めや立ち入り禁止区域になる場合がある。

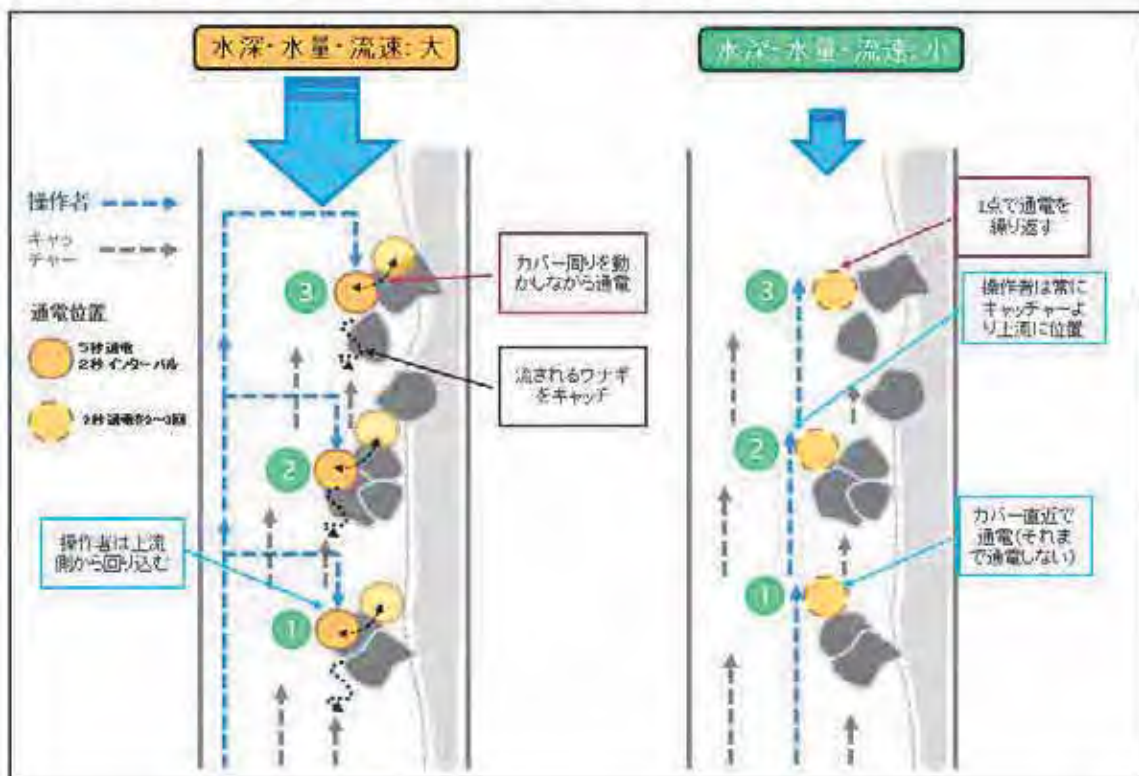
調査計画との入念な擦り合わせが必要

「調査目的にあった河道区間を探す」



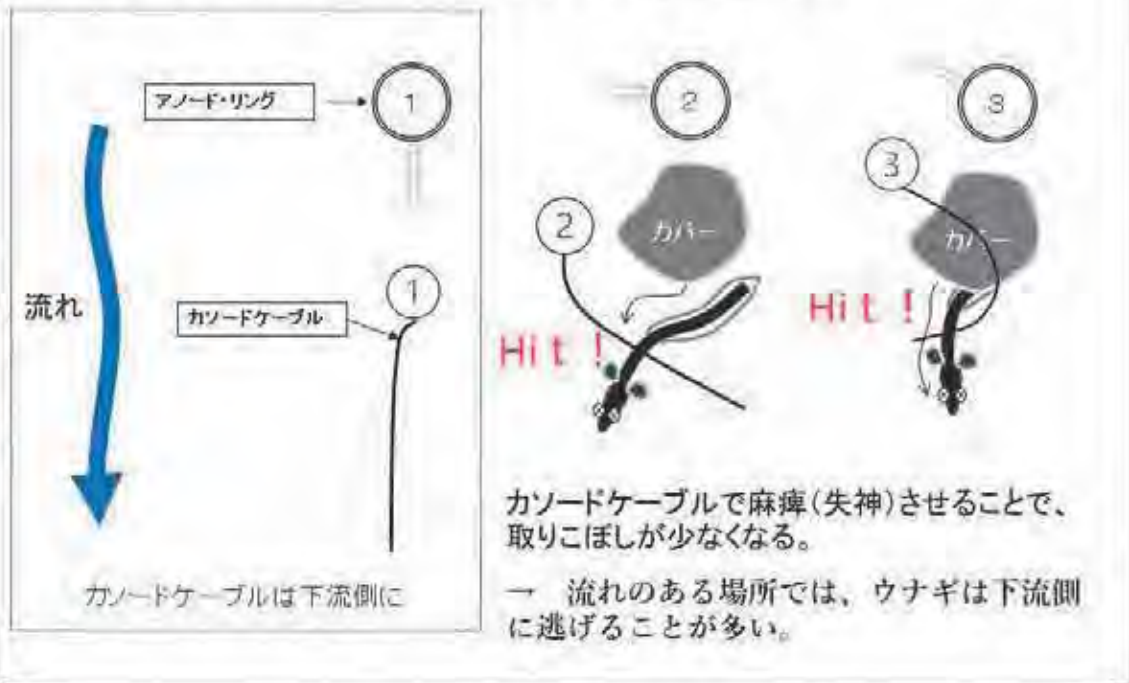
- ✓ **一度限りか、繰り返し採捕する場所か**
標識試験や資源量動向把握等の繰り返し採捕の場合は、調査期間中の河川工事有無や、堰堤等の移動阻害物の確認が必要。
- ✓ **対象とするウナギは天然か放流か**
放流ウナギのみが対象ならウナギが物理的に遡上不可能なダム上流で場所を探す。
- ✓ **対象とするウナギのサイズ・ステージは**
ウナギはサイズにより好むカバの種類・サイズが異なる。銀ウナギを対象とするなら感潮上限域は必ずチェック。
- ✓ **迷ったら上・下流に堰堤がある河道区間を**
堰堤には管理用の階段、はしごが整備されていることが多い。また堰堤により区切られることで繰り返し採捕時に河床等の環境変化の把握が容易。

基本的なフォーメーション(操作1名、キャッチャー2名)



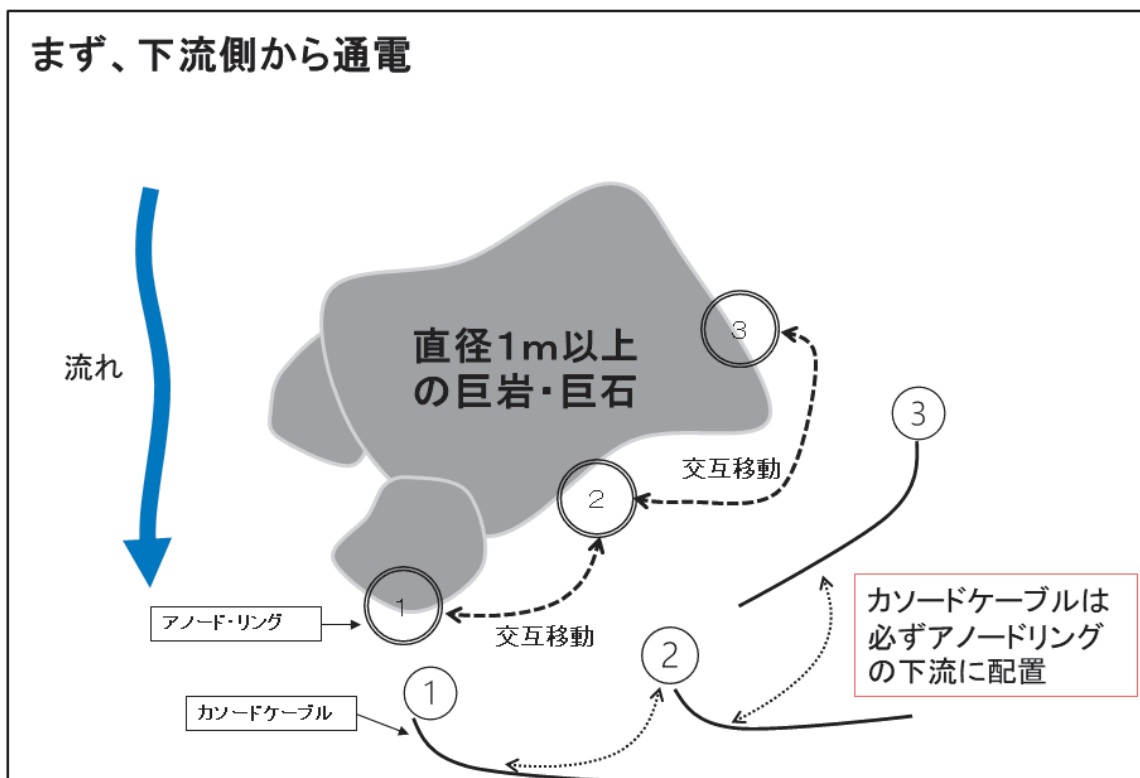
常にアノードリングとカソードケーブルの位置を確認

ウナギ採捕ではカソードケーブルの位置は重要



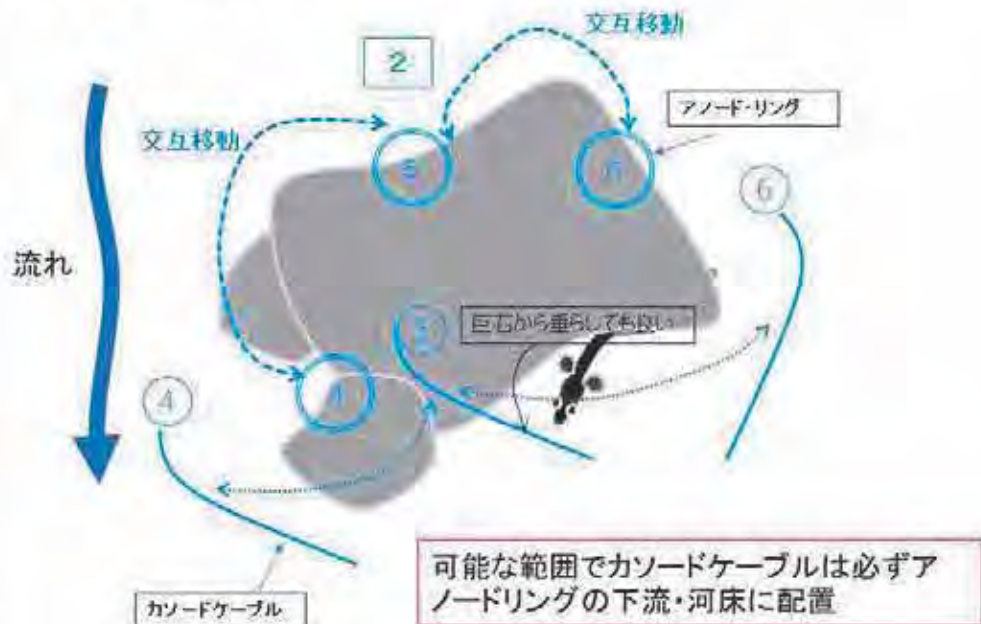
面積(体積)の大きなカバーの対応①

まず、下流側から通電

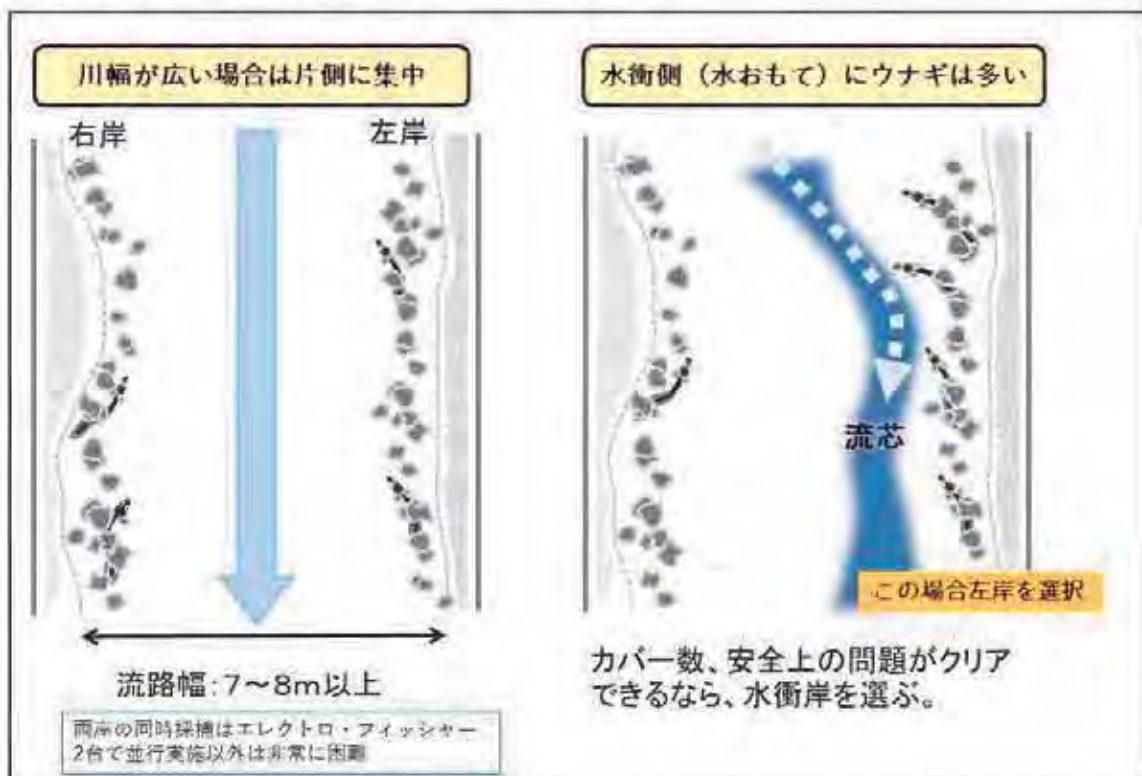


面積(体積)の大きなカバーの対応②

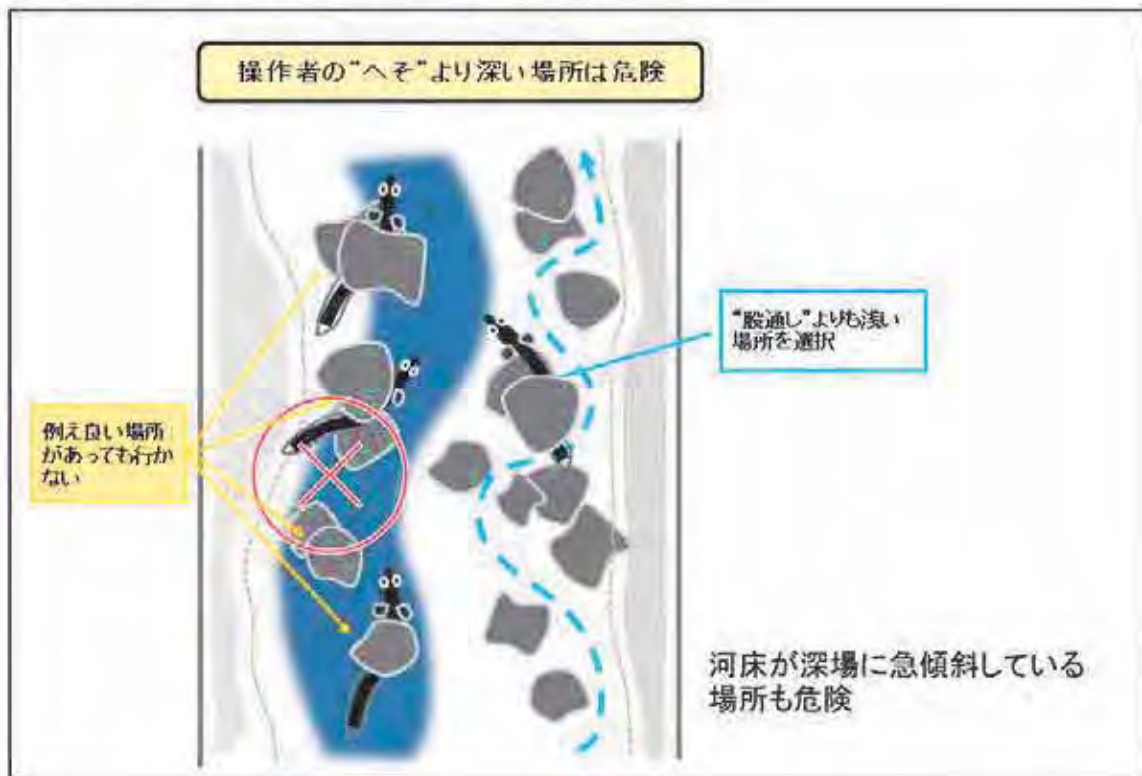
次に上流側に移動



広い範囲を同時に採捕するのは困難



安全を最優先に採捕ルートを選択



ウナギ採捕の基本は流し込み



採捕場所にエントリーする時

- ウナギの Elektro・フィッシングは“不意打ち”が基本。

アユ等の“泳ぎモノ”とは異なり、わざと隠れさせて獲るパターンはほとんどない。ジャブジャブ、ジャリジャリと川に入らず、通電直前まで気づかれない配慮が効率良くウナギを獲るコツ。

- Elektro・フィッシャー操作者がキャッチャーに指示をする。

各種フォーメーション、キャッチャーの歩く位置等は操作者が指示する。基本的に操作者が先行するので、水深や障害物等の安全に関係する事項も、キャッチャーに伝えること。

巨岩カバールの設定・通電パターン

河床型「Aa-Bb」

カバータイプ「巨石」

水深・水量・有

流速: 0.5 ~ 1m/sec

【採捕例】







① ターゲットエリア選定およびキャッチャー配置指示

② ウナギ確認。キャッチャー採捕位置までフォロー（通電）

③ キャッチャーウナギ採捕確認。

④ ウナギをタメタモ（設置した網）収容。

注意事項

- 1 透明度が低い場合、発見率が低下する。
- 2 キャッチャーはターゲットエリア以外の軸向にも注視。
- 3 表層流速が速すぎる（2m/sec以上）場合は場所選定を見直す。

設定・通電パターン: 「流し込み」+「高負荷」+「フォロー通電」

- ・「上流から下流に通電」
- ・完全に矢神させ、流れに乗せてキャッチ。魚体の一部が確認できた段階で、抜き取る。
- ・作動可能な最高電圧、最大DC値で実施。FQはDC値±20
- ・通電パターンは5秒ON・2秒OFF基準。水深がある場合は10秒ON・2秒OFFパターン。
- ・1カバー当たり5～10回通電する。

石主体カバーでの設定・通電パターン

河床型「Bb」、「Bb-Bc」、「Bc」

カバータイプ「石垣」、「積石」、「巨石」

流速: 0.2m/sec以下

水深: 水深 少

注意事項

1 流速が緩やかな場所は、遠くまで電気が届くので、通電しながら歩くのは厳禁。ウナギを逃がすだけ。

2 意外な場所から出てくるので、キャッチャーは要監視。

3 一度ショッカーを経験すると我慢する個体が多くなるので、定点には不向き。

【シチュエーション例】






河床、河前にカバーが多い場所は目が行き届かず、流速が緩やかな場所はむやみに通電しない

河床が浅い場所は見えづらい。 巨石で長巻させると採捕困難

設定・通電パターン: 「飛び出し」+「低負荷」+「3・1パターン」

- ・下流から上流に向かって採捕
- ・失神させずにカバーから飛び出させる。出た個体を狙って通電。
- ・作動可能な最高電圧の1/2から実施。DC値: 20~40, FQ値: 40~60
- ・通電は3秒ON・1秒OFFパターンを2~3回。ウナギが出て出なくても3m以上進んで同様(飛び地通電)。
- ・推奨3Pass/日だが、ショッカーを使用する毎に獲れなくなる。

堰堤等の構造物での設定・通電パターン

河床型: D型淵

カバータイプ「ブロック」、「堰堤」

流速: 1m/sec以下

水深: 水深 少

注意事項

1 流速が緩やかな場所は、遠くまで電気が届くので、通電しながら歩くのは厳禁。

2 意外な場所から出てくるので、キャッチャーは要監視。

3 一度ショッカーを経験すると我慢する個体が多くなるので、定点には不向き。

【シチュエーション例】






“下流”→“隠れ水の多い場所”→“隠れ水”の順に当てる。 どうしてもバッフルを噛むので、しつこく(5回以上)当てる

カソードケーブルは必ず下流に置く 伏流水が出ている場所是要チェック 堰下が沈下している場所は高確率でウナギがいる

設定・通電パターン: 「飛び出し」+「高負荷」+「流し込み」

- ・飛び出させる → 失神させる → 下流に流す → キャッチ
- ・作動可能な最高電圧で実施。DC値をスピーカーからの音が「ピーピーピー」とリズムカルになるように設定する。「ビー、ビー、ビー」と間延びするようなら低設定。
- ・通電は3秒ON・1秒OFFパターンを2~3回。濁りが出たり、「バシャ」と音がするなら「モールス信号パターン」を繰り返す。
- ・推奨1Pass/日。ショッカーを使用する毎に獲れなくなる。

小型ウナギの枠取り採捕例での設定・通電パターン①

【シチュエーション例】

河床型「Bb-Bc」

カバータイプ
「礫」、「砂利」

流速: 0.5m/sec以上

水深・水量: 少

注意事項

- 1 シラスウナギ、15cm以下のウナギが対象なので、タモ網を揚げるまで、必ず通電を続ける。
- 2 受けタモ網よりも深い水深だと取りこぼしが多いので不向き。
- 3 タモ網は三角枠、目合1mm推奨。

積極的にタモに溜し込む

浅い場所では「落」を作って流れを収束させる

このような状況が頻りやすい。

これ以上深いと取りこぼしが増える

設定・通電パターン: 「攪拌」+「高負荷」+「常時通電」

- ・「上流から下流に向かって流し込み採捕」
- ・通電しながら礫を攪拌してタモ網に溜し込む。
- ・DC、FQ値よりも電圧重視。作動可能な最高電圧で実施。
- ・通電パターンは常時通電。1m枠なら最低10秒は通電すること。
- ・枠取り採捕（尾/m²）。ショッカーを使用する毎に獲れなくなる。

小型ウナギの枠取り採捕での設定・通電パターン②

【シチュエーション例】

河床型「Bb-Bc」

カバータイプ
「礫」、「砂利」

流速: 0.1m/sec以下

水深・水量: 極小

注意事項

- 1 目視で1尾ずつ掬い取る。
- 2 必然的に膝を着くためウェーダーが濡れ（寿命が短くなる）。
- 3 必ずグローブを装着。ウェーダーの浸水等の感電対策を。

この程度の水深でも十分ウナギがいる

モールス通電しているとウナギが出てくる

1尾ずつ掬い取る（100均の高こしが便利）。

設定・通電パターン: 「目視」+「高負荷」+「モールス通電」

- ・「枠内をまんべんなく通電」目視でウナギを確認して掬う。
- ・DC、FQ値よりも電圧重視。作動可能な最高電圧で実施。
- ・通電パターンはスイッチオン・オフを繰り返す「モールス通電」。
- ・1m枠なら最低20回は通電。5分以上は粘ることも。
- ・枠取り採捕向き

冬期の設定・通電パターン(砂泥底)

河床型「BC」

**カバータイプ
「砂泥」、「植生」**

流速: 0.1~0.3m/sec

水深・水量: 少ない

注意事項

- 1 濁りを抑えるのが重要
- 2 操作者とキャッチャーは並行配置で上流へ。操作者が歩くことで発生させる濁り
- 3 一度ショッカーを経験すると怯懦する個体が多くなるので、定点には不向き。

【シチュエーション例】





枯れた植生以外が目立ったカバーがない

砂泥に植生が覆った底質区間が良い。

河床が暗い場所は見えずらい。

設定・通電パターン: 「飛び出し」+「低負荷」+「飛び地」

- ・“下流から上流に向かって採捕”
- ・矢印せずカバーから飛び出させる。出た個体を狙って通電。
- ・作動可能な最高電圧の1/2から実施。DC値: 20~40, F/Q値: 40~60
- ・通電は3秒ON・1秒OFFパターンを2~3回。ウナギが出て出なくても3m以上進んで同様に(飛び地通電)。
- ・推奨3 Pass/日だが、ショッカーを使用する毎に獲れなくなる。

冬期の設定・通電パターン(泥底)

河床型「BC」

**カバータイプ
「泥」、「植生」**

流速: 0~0.1m/sec

水深・水量: 少

注意事項

- 1 濁りを抑えるのが重要
- 2 操作者とキャッチャーは並行配置で上流へ。操作者が歩くことで発生させる濁り
- 3 一度ショッカーを経験すると怯懦する個体が多くなるので、定点には不向き。

【シチュエーション例】






泥の中に植生の根基部が埋まっている。

植生が点在する区間を選ぶ。

極浅い場所にも潜っている。

多く波も濁りのもとなので、慎重に。

設定・通電パターン: 「飛び出し」+「低負荷」+「飛び地」

- ・“下流から上流に向かって採捕”
- ・矢印せずカバーから飛び出させる。出た個体を狙って通電。
- ・作動可能な最高電圧の1/2から実施。DC値: 20~40, F/Q値: 40~60
- ・通電は3秒ON・1秒OFFパターンを2~3回。ウナギが出て出なくても3m以上進んで同様に(飛び地通電)。
- ・推奨3 Pass/日だが、ショッカーを使用する毎に獲れなくなる。

エレクトロ・フィッシャーの取扱について(車載時)

- 車で移動時には本体を必ず固定する。投げ置きは厳禁。故障の原因に。
エレクトロ・フィッシャー内部は、基板と変圧器で占められており、“ガンッ!”、“ゴツッ!”といった衝撃は絶対に避ける。可能な限りベルトやロープでシート等に固定する。その際、ウレタンマット等の緩衝材を敷くこと。
- アノードボールはスイッチ、コネクタが壊れやすい。投げ置き、強い衝撃は厳禁。
ボールのスイッチはガラス管が使われているので、ぶつけたり、投げ置きするとガラス管が割れて故障（通電しない、スイッチオフなのに通電し続ける。通電が途切れ途切れ）に陥る。またコネクタ部分も強い負荷がかかることで断線することもある。基板の故障・劣化と疑われる症状の多くが「アノードボールの故障」に由来。
- バッテリーのターミナルは簡単に割れるので、車載時は注意。
ターミナルはプラスチックコネクタなので、他の荷物が当たると割れる。バックルボックス等の蓋付き容器を専用で収納する。

エレクトロ・フィッシャーの取扱について(採捕時)

- アノードリングを水中に入れ「通電したまま」移動しない。ウナギはナマズ等の“髭モノ”に次いで電気を感じる。
大型のウナギほど遠距離で察知して逃げる
- 陸上でカソードワイヤーを引きずらない。ささくれ立つとウェーダーに刺さる。
舗装面は特に痛むので、電源を落として手に持つか、肩にかけて移動。
- 操作者は転倒防止、疲労軽減のため陸上・水中で杖を使用。
長柄タモ網を杖代わりに使用すると便利（操作者もキャッチャーの補助ができる）。トレッキング用のストックでも可（金属、カーボンむき出しの物は電気が逃げるので不可）。
- 同じバッテリーをしつこく使わない。必ず2個以上でローテーション
LOWバッテリーが表示されたら次のバッテリーに交換。過放電したバッテリーは容量が著しく減少する。使ったバッテリーは“帰所後直ちに充電すること”。これを怠ると新品バッテリーも一発で容量が低下する。

スイッチを入れても作動しない場合のチェック項目

● バッテリー

1. コネクターが接続されていない(きちんと入っていない)

2. 充電されていない(放電)

※ バッテリーを本体に接続すれば、アノードポール、カソードケーブルが接続されてなくても“本体の電源は入る”
アノードポール、カソードケーブルを接続した場合、“アノード、カソードの両方が水に浸かっている”とアノード
ポールのスイッチは入らない”

● アノードポール

1. コネクターが接続されていない(きちんと入っていない)。

- ・ ポール側コネクターの凸部と本体側コネクターの凹部を合わせ、“カケン！”と止まるまで回す。
- ・ “CONTROL”と“ANODE”のコネクターが2つとも正常に接続されていなければ作動しない。
→ 一番多い原因がこれ。

2. スイッチ、コネクターが壊れている。

- ・ ポールのガラス管スイッチが壊れてしまっている。
- ・ ポールのコネクター配線が損傷(断線、被覆劣化、高負荷による溶解)している。
→ テスターを使って通電診断すること。

● カソードケーブル

1. コネクター、ケーブルが壊れている。

- ・ ケーブルのコネクター部分が損傷(断線、被覆劣化、高負荷による溶解)している。
→ テスターを使って通電診断すること。

→ 上記3項目の全てに異常がなければ本体故障の可能性大

本ガイドラインは、実例、安全なエレクトロ・フィッシングに内容を絞って掲載しています。
掲載事項及び、その他エレクトロ・フィッシャーの使用方法について、質問のある方は作成者にお尋ねください。

令和4年12月21日

作成者

山口県水産研究センター内海研究部

畑間俊弘

山口県山口市秋穂二島437-77

(Tel:083-984-2116)

2. -(3) ニホンウナギの生息環境評価

国立大学法人 愛媛大学

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

要旨

ニホンウナギの生息環境評価として、(1)生息量と河川環境要因との関係、(2)生息場所に対する選好性、および(3)餌生物に対する選好性について検討した。その結果、本種は成長段階や個々の河川の環境条件に応じて様々な場所を利用しており、また、餌としては特に甲殻類を選好することが示唆された。河川進入直後のクロコ期では流速の弱い砂泥底、砂利底を好むといった生息場所に対する選好性も見られたものの、概して、本種の生息場所条件はさほど限定的でなく、様々な場所を日和見的に利用できることが示唆された。しかし、様々な環境を利用できる本種であっても、河床・河岸部のコンクリート化といった河道構造の単純化は本種の隠れ場所を喪失させ、環境収容力を著しく低下させるものと考えられた。また、堰堤などの遡上阻害構造物が若齢・分散期の中型ウナギの密度を下げる負の効果を持つこと、より成長した大型ウナギの生息密度に対してはカバー（隠れ場所）やコンクリート護岸といった局所的な生息場所要因の影響が高まることが明らかになった。これらのことより、堰堤等による遡上阻害効果の解消や緩和を行うことが河川の環境収容力の有効活用につながることで、また、河道内における隠れ場所の保持や造成が環境収容力を高める上で重要であることが示唆された。また、遡上阻害による影響については地図上に効果的に可視化することができた。

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要因について検討する。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、および生息環境等に関するデータを収集・解析する。特に、(1)本種の生息量と河川環境要因との関係、(2)生息場所および(3)餌生物に対する選好性を明らかにする。また、これらの結果を基に、(4)本種の生息環境や生息状況について地図上にわかりやすく表現することを試みる。

(1) 生息量と河川環境要因との関係

方法の概要

愛媛県の今治市から伊予市にわたる瀬戸内沿岸の21河川123地点に区間長50～100 m程度の調査区間を設定し（図1）、ニホンウナギの生息状況（生息密度、個体サイズ）およ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行った。それらのデータを基に、ニホンウナギの分布（有無）および生息密度を決める要因を、「海からの距離」のような、その生息地（調査地）に到達で

きるかどうかに関与する要因と（以下、分散要因）、その生息地に定着できるかに関与する生息地内の要因（局所要因）の2つに整理し、本種の有無および生息密度に影響する要因を明らかにするために以下のように段階的な解析を行った。

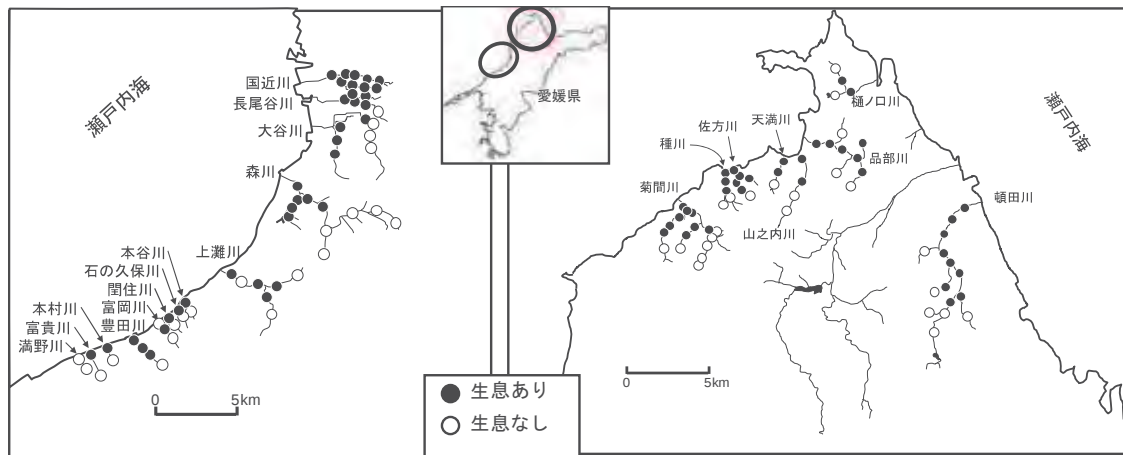


図1 調査地

解析方法と結果

a) 生息の有無を決める要因：

本種の分布は下流側に偏っていたことから（図1）、本種の有無は基本的に分散要因によって決まると考えられた。分散要因を表す変数として、海からの距離、標高、河床勾配、および遡上阻害構造物（高さ<0.4 m）の数を用い、これらを説明変数、本種の有無を応答変数とする一般化線型モデルを用いて本種の有無に影響する要因を検討した。その結果、本種の有無は海からの距離と河床勾配によって説明され、基本的に河床勾配が緩やかな河川に生息するが、海からの距離が近い河川では急勾配河川にも生息することが示された（図2）。なお、遡上阻害構造物が本種の有無の主要要因となっているような結果は得られず、実際に、下流側に構造物が10個以上存在するような地点でも生息が確認された（図2）

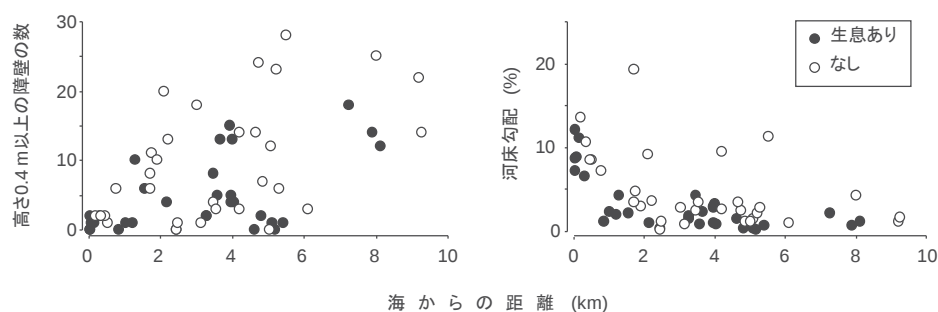


図2. ニホンウナギの生息の有無と海からの距離、河床勾配、移動阻害構造物の数

b) 生息密度に影響する分散要因の特定：

生息密度についても下流側ほど高くなる傾向が認められたことから、まずは密度に最も影響する分散要因を特定するために階層分離解析（hierarchical partitioning）を行った。その結果、

中型ウナギ（全長 12-40 cm）では遡上障害構造物の数が、大型ウナギ（全長>40cm）では海からの距離が最も説明力の高い変数であることが示された。

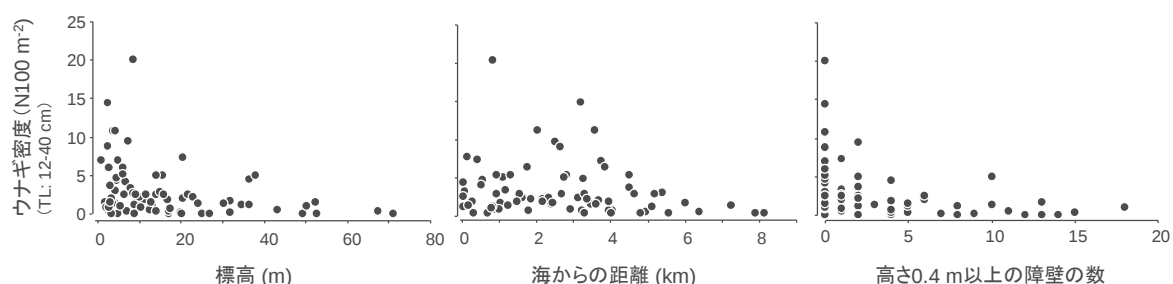


図3. 中型ニホンウナギ（全長 12-40cm）の生息密度と標高、海から距離、移動障害構造物の数

c) 分散要因と局所要因：

次に、本種の密度に影響する要因を、局所要因も含めて解析した。上記(b)の結果に基づき、中型ウナギに対しては遡上障害構造物の数、大型ウナギに対しては海からの距離を分散要因を表す説明変数とし、それに局所要因を表す変数として川幅、底質、カバー（隠れ場所）、コンクリート護岸率などを説明変数に加えて一般化線形モデルを構築して検討した。その結果、中型ウナギ密度の説明においては遡上障害構造物の数（負）と川幅（負）が最も重要な変数であった（図3）。一方、大型ウナギ密度においては、カバー（正）とコンクリート護岸率（負）および海から距離（負）が重要であった（図4）。

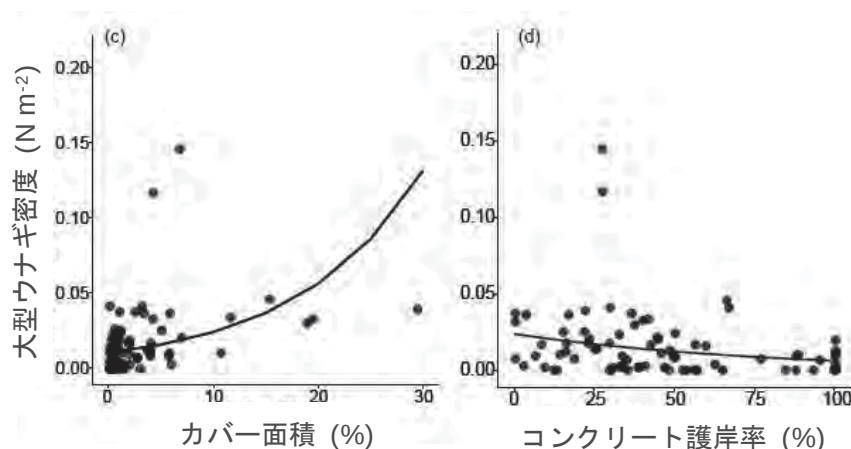


図4. 大型ニホンウナギ（全長>40 cm）の生息密度とカバー面積およびコンクリート護岸率

考察：生息量と河川環境要因

以上の一連の解析結果より、本調査地域においては、a) 堰堤などの遡上障害構造物が本種の分布域を制限する効果は検出されなかったものの、b) 若齢・分散期の中型ウナギの密度を下げる効果があること、およびc) より成長した大型ウナギの生息密度に対してはカバー（隠れ場所）やコンクリート護岸といった局所的な生息場所要因の影響力が高まることが明らかになった。これらのことより、堰堤等による遡上障害効果の解消や緩和を行うことが河川的环境収容力の有効活用につながることで、また、河道内における隠れ場所の保持や造成が環境収容力を高める上で重要であることが示唆された。

(2) 生息場所に対する選好性（令和4年度成果）

方法の概要

河川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に、愛媛県の瀬戸内沿岸の6河川に調査地を設定した。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3河川（上灘川、菊間川、品部川）、黄ウナギを対象に3河川（森川、種川、国近川）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、不活発な冬期として12～翌2月に調査を行った。これらの河川は、地質および地形条件から、勾配が急で巨礫・大礫が多い大礫山地河川（上灘川、森川）、山地に水源を持つが基岩が花崗岩であるために小礫が優占する小礫山地河川（菊間川、品部川、種川）、および平野部に水源を持ち勾配の緩やかな小礫平地河川（国近川）の3タイプに大別される。

各調査地において、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（以下、カバー）」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: 利用可能地点）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した。

調査・解析方法と結果

a) クロコ：

クロコについては、大礫山地河川の上灘川、小礫山地河川の菊間川と品部川の3河川において調査し、水深、流速、底質粗度の3変数をクロコ利用地点と利用可能地点との間でMann-WhitneyのU検定で比較することにより選好性を検討した。その結果、クロコは概して、流速が小さく細粒の底質を選好することが明らかとなった（図5）。

上灘川と菊間川においては、水深では有意な差は認められなかったものの、流速と底質粗度では有意に異なり、利用地点は利用可能地点に比べて流速が小さく底質粗度が低い傾向が認められた。クロコ利用地点の大部分は流速10 cm/s未満の砂泥底または砂利底であった（底質粗度：1～3）。なお、底質粗度は、各計測点の河床30cm×30cmの範囲を25区画（6cm×6cm）に分け、各区画を、1=岩盤、2=砂（粒径<2mm）、3=小礫（2-16 mm）、4=中礫（17-64 mm）、5=(65-256 mm)、6=>256 mm)の6段階のいずれかで評価し、その数値の平均値を指標としてものである（よって、1～3の間の数値は砂～小礫に相当する）。

品部川においては、3変数全てにおいて有意差は認められなかった。これは、今回の品部川での調査区間の大部分が、クロコの選好する環境条件とほぼ一致したためと考えられた。品部川では利用可能地点の約60%が流速10 cm/s未満であり、底質粗度では全利用可能地点が3未満であった（図5）。

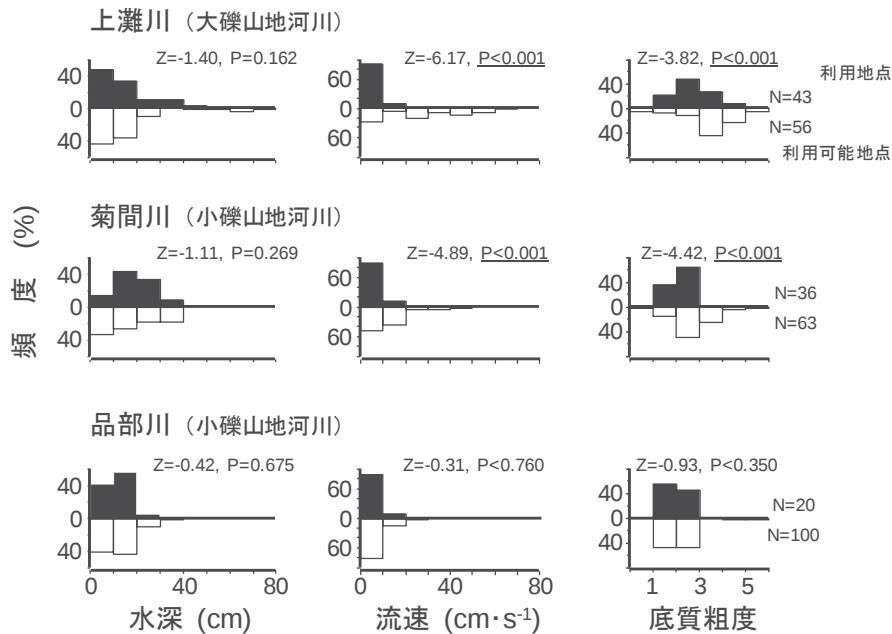


図5. クロコ利用地点の水深、流速、底質。下段が利用可能地点に対して、上段が利用地点

b) 黄ウナギ:

黄ウナギについては、大礫山地河川の森川、小礫山地河川の種川、および小礫平地河川の国近川の3河川において活動期と冬季の両方で調査を行い、水深と流速についてはクロコと同様に、利用地点と利用可能地点との間でMann-WhitneyのU検定で比較することにより選好性を検討した（図6）。底質についてはカバーとして評価した。ニホンウナギは様々なものカバーとして利用していたが、それらを細粒礫（砂～中礫の堆積物下に潜伏）、大礫・巨礫、被覆植生（河岸部から水面を覆うように張り出した植生）、水草（主にカナダモ）、および河岸洗掘部（水衝部のえぐれなど）の5タイプに分類した。それぞれのタイプが調査区間内に占める割合（availability: 利用可能割合）を調査、算出し、その割合と黄ウナギが利用していたカバーにおける割合からJacobs（1974）の選択度指数を求め、各カバーに対する選好性を検討した（図7）。

3つの調査河川は環境条件が異なり、森川では最大水深1 mと深い部分も含まれていたのに対して、種川と国近川は調査区間全域が水深40 cm未満であった（図6）。また、流速では、活動期の種川ではモードが30-50cm/sに位置し、全体的に速い流れを呈していたのに対して、森川では活動期、冬期ともに全体の60%以上が10 cm/s未満の緩流域であった。水深および流速を黄ウナギ利用地点と利用可能地点との間で比較した結果、水深では森川の冬期と種川の活動期では有意な差が認められ、どちらにおいてもより深い場所を利用する傾向が示されたが、それら以外では有意差は認められなかった。一方、流速においては全てのケースにおいて有意差が認められ、流れの弱い場所を選好する傾向が示された。活動期と冬期とでは、特に顕著な違いは見られなかった。

カバーに関してもその種類や量は3調査河川間で異なり（図7）、大礫山地河川である森川では巨礫や大礫が豊富に存在する一方、被覆植生がほとんど無かったのに対して、小礫山地河川、小礫平地河川である種川および国近川では大礫、巨礫が極めて少なかったが（国近川では無し）、被覆植生に覆われている水際部分が多かった。また、水草は小礫平地河川の国近川に特異的なタイプであった。そのような違いに応じて、カバーの利用状況は河川間で大きく異なり、森川では活動

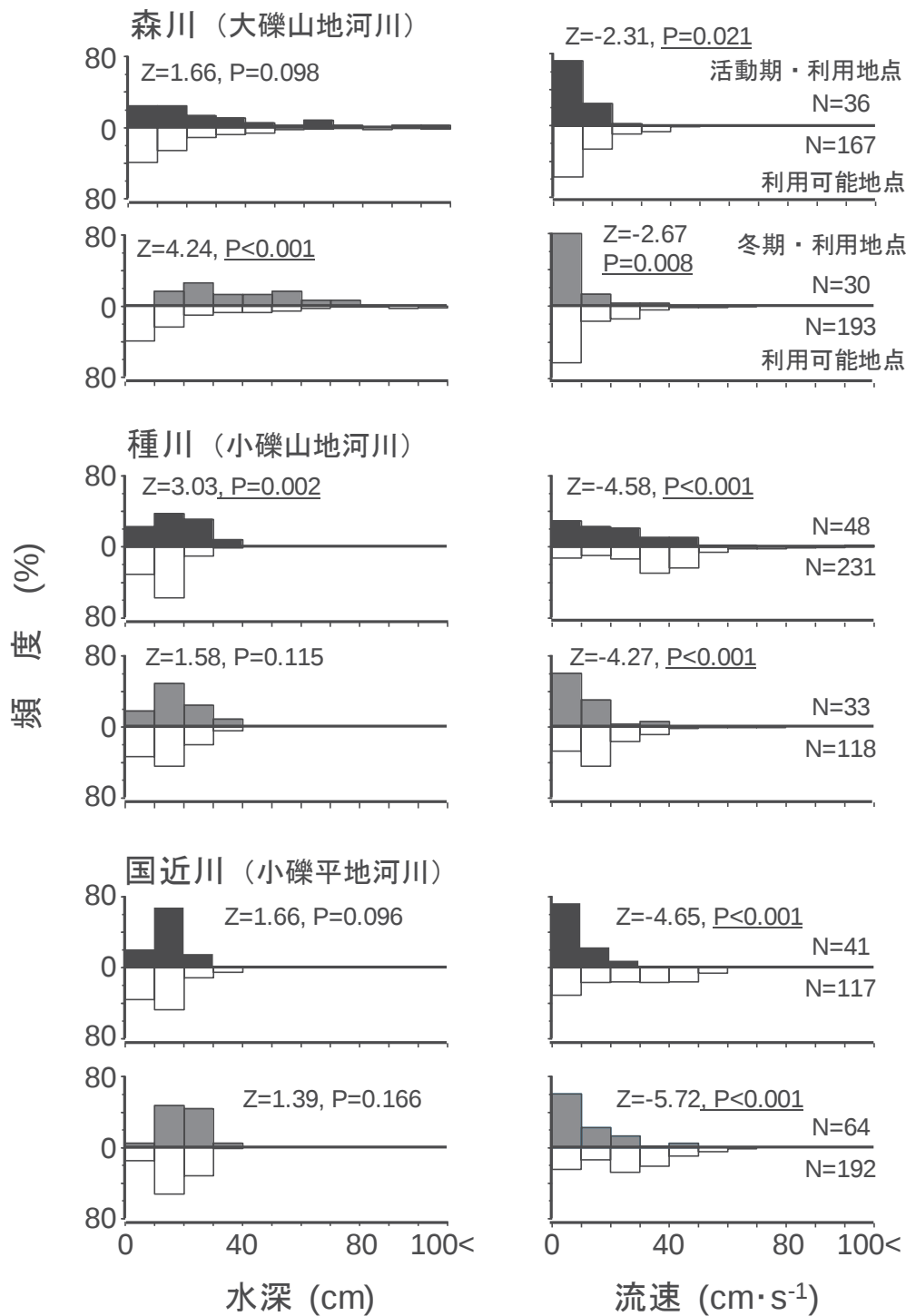


図6. 黄ウナギ利用地点の水深、流速、底質. 下段が利用可能地点に対して、上段が利用地点

期、冬期ともに6割以上の個体が大礫や巨礫の下に隠れていたのに対して、大礫、巨礫が存在しない国近川では活動期、冬期ともに6割以上の個体が砂泥や砂利といった細粒礫の堆積物下に潜伏していた。種川においては両時期ともに細粒礫下への潜伏と被覆植生の利用が約4割ずつを占めた。森川と種川では、河岸洗掘部の利用割合は高くなかったものの、選択度指数は極めて高く、量的

には出現頻度の低い河岸洗掘部が高い頻度で利用されていることが示された。また、大礫・巨礫については、どのタイプの川においてもプラスの選択度となっており、基本的には大礫や巨礫が好まれることが示唆される。また、活動期には、種川では被覆植生、国近川では水草に対する高い選択性が見られた。なお、カバー利用においても活動期と冬期との間で顕著な違いは見られなかった。

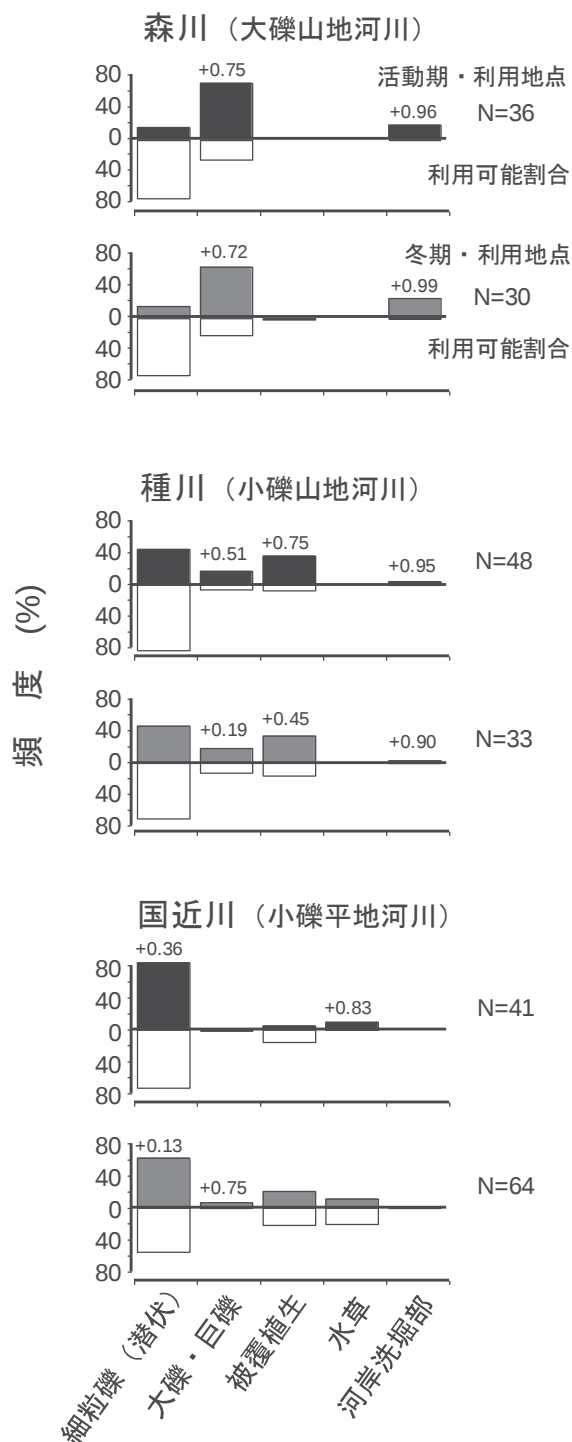


図7. 黄ウナギが利用したカバー（隠れ場所）。下段が利用可能割合に対して、上段が利用地点数値はJacobs（1974）の選択度指数で（正の値のみ示す）、値が大きいほど選択性が強い。

考察：生息場所利用

以上の結果より、ニホンウナギが成長段階や個々の河川の環境条件に応じて様々な場所を利用していることが示された。本調査地においては、河川進入直後の体サイズの小さいクロコステージでは、流速の弱い、ほぼ止水に近い流れの砂泥底を選好することが示唆された。成長して黄ウナギステージ以降になると、より速い流れも利用するようになるが、基本的には流れの弱い部分を選好することが示された。昼間における隠れ場所については、巨礫・大礫および河岸洗掘部に対して比較的一貫した選択性が見られたが、巨礫・大礫に乏しい河川では砂泥底、砂利底に潜伏するなど、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。ただし、今回の調査からは検討することはできないが、隠れ場所のタイプによって生残や成長といった適応度に関わる要素が異なる可能性はある。この点については、今後、実験的なアプローチで検討していくことが期待される（例えば、松重・望岡 2020；坂上ほか 2021）。今回の結果からは、本種の生息場所条件はさほど限定的でなく、様々な場所を日和見的に利用できることが示唆された。しかし、様々な環境を利用できる本種であっても、河床・河岸部のコンクリート化といった河道構造の単純化は本種の隠れ場所を喪失させ、環境収容力を著しく低下させるものと考えられる。

(3) 餌生物に対する選好性

方法の概要

ニホンウナギの食性および餌生物に対する選好性を明らかにするために、愛媛県の瀬戸内沿岸の2河川、森川と国近川において、本種を採取し、スポイトを用いて胃内容物を吐き出させるストマックポンプ法により胃内容物を採取するとともに（胃内容物採取後、ニホンウナギ個体は採捕地点にて放流）、周辺の餌（魚類、底生無脊椎動物）量および組成を調査することで、餌生物に対する選好性、および餌量と本種生息量との関係を検討した。また、補足的に、本種の体表粘液と胃内容物それぞれの炭素・窒素安定同位体比を用いた食性解析も行った。なお、これらの調査では、対象個体を殺さないために、胃内容物採取ではストマックポンプ法を、安定同位体分析では体表粘液を用いた。

調査・解析方法と結果

a) 食性および選好性：

国近川と森川に7地点の調査地を設定し、夏季と冬季の2時期にストマックポンプ法による胃内容物採取、電気漁具を用いた魚類（餌）採捕、およびサーバーネットを用いた底生無脊椎動物採集を行い、大型ウナギ（全長>40 cm）と中型ウナギ（全長15-40 cm）に分けて食性および選好性を検討した。採取された個体には胃内容物を吐出しない個体（空胃個体）も多かったが（空胃率：夏季36.6%；冬季66.5%）、消化管切開によってニホンウナギの胃内容物調査をしているWakiya & Mochioka (2021)でも同程度の空胃率（春-秋 25-45%；冬 92-100%）が報告されていることから、今回の空胃率はストマックポンプ法による手法的な問題（胃内容物が存在しても回収できないことがある）に起因するものではないと思われる。胃内容物から得られた餌品目には魚類、水生昆虫、陸生無脊椎動物から魚卵まで、様々なものが見られたが、特に甲殻類の占める割合が高かった（表1）。ウナギが甲殻類を栄養源としていることは、炭素・窒素安定同位体分析の結果からも裏付けられた。森川の調査地においてストマックポンプで採取したニホンウナギ胃内容物と

ニホンウナギ体表の粘液由来の炭素・窒素安定同位体比を比較した結果、大型のウナギ（最大64.2 cm）から小型のウナギ（最小17.0 cm）まで、主にカニなどの大型甲殻類を餌料としていたと推測された（図8）。

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

餌タイプ	餌名称	餌群	夏季				冬季			
			大型ウナギ		中型ウナギ		大型ウナギ		中型ウナギ	
			国近川	森川	国近川	森川	国近川	森川	国近川	森川
大型底生動物	魚類	魚類	4.8	21.5	0.0	0.0	80.5	81.9	10.8	0.0
		鯉科(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
		(マダモエビ科)								
		ミズムシ科	21.2	0.0	31.8	0.0	2.7	0.0	14.1	0.0
		コエビ科	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
水産資源		カイロリン科	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		カゲロウ科	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	95.0
		コカゲロウ科	0.7	0.0	5.3	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0
		チシカゲロウ科	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
		センカゲロウ科	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
		ユスリカ目	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
		ウスバガガンボ目	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
		双翅目 蛾	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
		シジミ科	4.2	0.0	0.0	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
		ミズミズシ	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
陸域産水産資源	節足動物門	ウミタビ、タマキリ科、バッチ科など	16.3	47.0	10.1	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0
		環形動物門 寡毛類	0.7	0.0	31.9	0.0	0.0	0.0	30.4	0.0

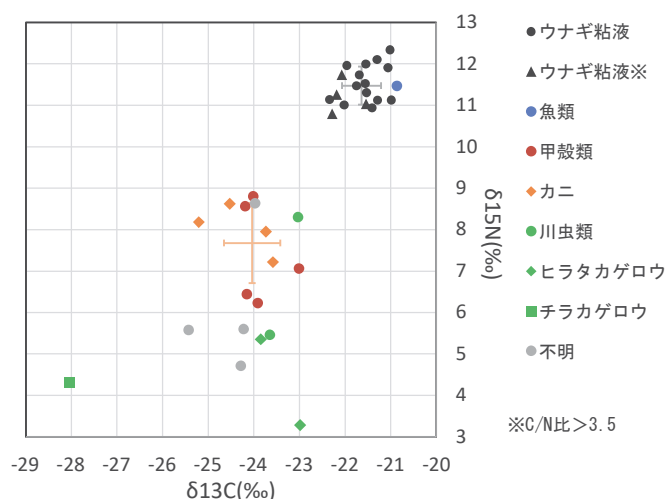


図8. 森川の調査地点でストマックポンプにより採取した胃内容物及びウナギの体表粘液の炭素・窒素安定同位体比分析結果。胃内容物は同定可能な分類群まで分類し、十分量が得られたものののみ分析した。胃内容物サンプルではC/N比が5を超えるものは図から省いた。ウナギ粘液ではC/N比が3.5を超えるものについて異なる記号で示した。誤差範囲は灰色がウナギ粘液、橙色が甲殻類（カニ含む）の平均値±SD

各餌品目に対する選好性については、地点間解析と地点内解析の2つのアプローチで検討した。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9）、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。

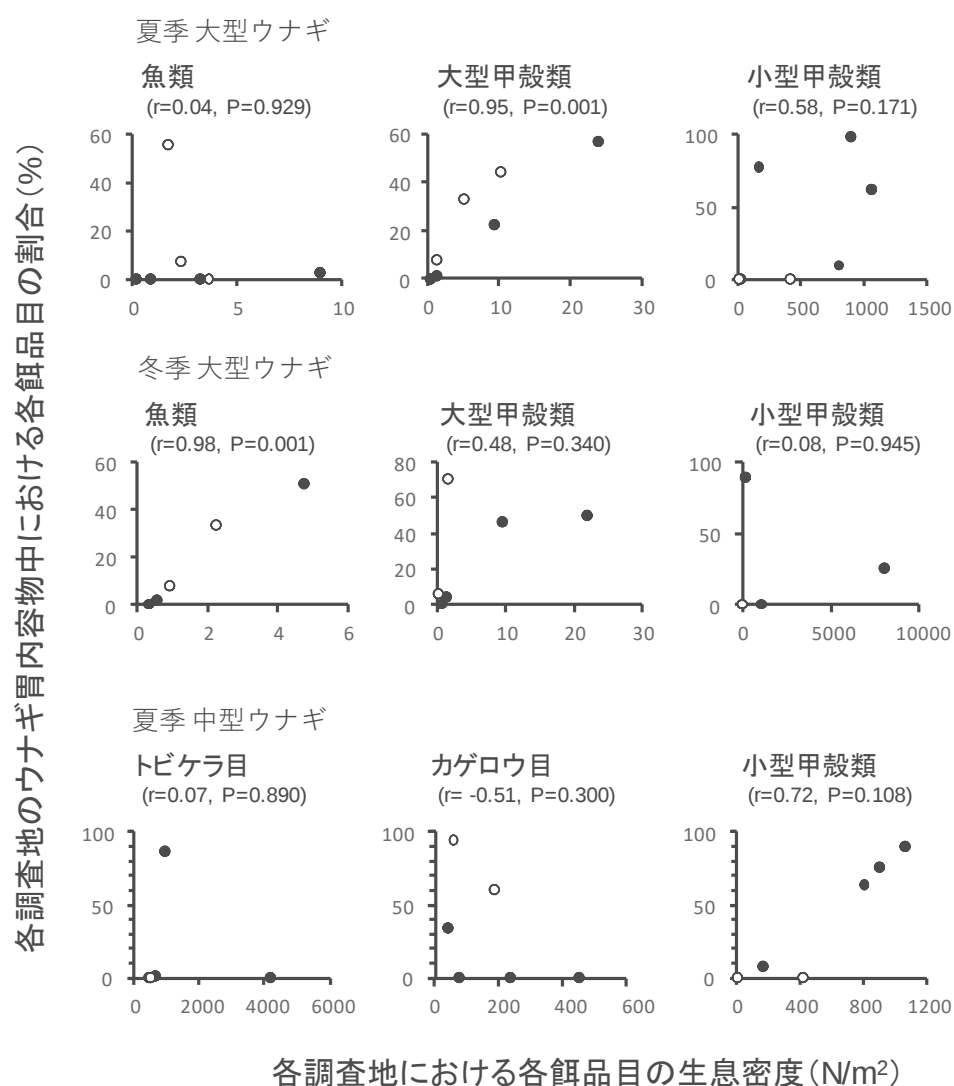


図9. 環境中における餌品目の生息密度とウナギ胃内容物中におけるその餌品目割合との相関.

●国近川、 ○森川