

水産庁委託

ウナギ等資源回復推進事業のうち

「環境収容力推定手法開発事業」

成果報告書

令和5年3月

水産研究・教育機構

愛媛大学

長崎大学

北海道立総合研究機構

栃木県水産試験場

群馬県水産試験場

山梨県水産技術センター

長野県水産試験場

岐阜県水産研究所

滋賀県水産試験場

和歌山県水産試験場・和歌山県立自然博物館

島根県水産技術センター

高知県内水面漁業センター

山口県水産研究センター

熊本県水産研究センター

宮崎県水産試験場

鹿児島県水産技術開発センター

目次

はじめに	1
事業概要	2
事業全体の成果と残された課題	3
各課題報告	
1 ニホンウナギ等の内水面魚種の分布状況及び生息環境の調査・分析	
(1) 和歌山県におけるニホンウナギの生息状況及び生息環境の把握	5
(2) 高知県におけるニホンウナギの生息状況及び生息環境の把握	19
(3) 宮崎県におけるニホンウナギの生息状況及び生息環境の把握	29
(4) 鹿児島県内河川におけるニホンウナギの移動状況等の把握	50
2 環境収容力を推定するための手法開発	
(1) 環境 DNA によるニホンウナギの在・不在検出技術の実証開発	64
(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捕獲効率推定	82
(3) ニホンウナギの生息環境評価	107
3 漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発	
(1) ウナギ用簡易魚道の開発	124
(2) アユ	
水産研究・教育機構	136
栃木県水産試験場	141
岐阜県水産研究所	149
島根県水産技術センター	156
高知県内水面漁業センター	164
熊本県水産研究センター	177
長崎大学	187
(3) 溪流魚	
水産研究・教育機構	191
群馬県水産試験場	204
長野県水産試験場	220
岐阜県水産研究所	234
滋賀県水産試験場	243

(4) ワカサギ

水産研究・教育機構	256
長野県水産試験場	266
山梨県水産技術センター	275
北海道立総合研究機構	287

はじめに

我が国は、国土の約7割を占める豊かな森林による水源涵養機能等により水に恵まれており、汽水域を含む河川や湖沼において地域ごとに特色ある漁業が営まれてきました。

内水面漁業は、河川や湖沼で漁獲されるアユ、ワカサギ、溪流魚や養殖魚種としても重要なニホンウナギ等の和食文化と密接に関わる様々な食用水産物を供給するほか、釣り場や自然体験活動の場といった自然と親しむ機会を国民に提供する等の多面的機能を発揮するなど、国民生活において重要な役割を担っています。

一方、内水面水産資源は、漁場環境の悪化、漁業者の減少、水産物消費量の減少、カワウや特定外来生物による食害等により減少傾向にあります。また、近年は、自然災害の激甚化・頻発化により、内水面の漁場や水産資源には甚大な被害が生じており、漁場環境を保全し、適切に管理・活用するための方策が益々必要となってきました。

内水面水産資源の維持・回復を図るため、各地の河川等において資源増大のための放流や石倉増殖礁の設置等の環境改善の取組等が実施されていますが、これら資源が河川等の環境下でどの程度生息可能か（環境収容力）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ります。

このため、水産庁では、ニホンウナギ等内水面水産魚種の分布状況や生息環境調査等を通じて科学的知見の蓄積を図り、これら魚種の河川等における環境収容力の推定手法や効果的な資源保全策の技術開発を目的として、平成30年度から5ヶ年間にわたり「環境収容力推定手法開発事業」を実施しました。

本事業により、ニホンウナギ等が生息しやすい河川条件や遡上・定着を促進する漁場環境整備手法や、環境に応じた効果的な放流・増殖手法、禁漁区やキャッチ&リリース区間等のゾーニング管理による溪流魚の再生産効果を活用した効果的な漁場管理手法等の開発が進められ、内水面水産資源の保全に取り組む際、現場で活用できる多くの成果が得られたものと考えております。

本事業の遂行に尽力してくださった関係機関の方々に厚く御礼を申し上げるとともに、都道府県水産試験場や内水面漁業関係者の現場の方々におかれましては、本事業で得られた知見や、別に作成したパンフレットなども活用しながら、内水面水産資源の維持・回復や生息環境改善のため、更なる普及啓発に取り組んでいただければ幸いです。

令和5年3月

水産庁 増殖推進部 栽培養殖課 内水面漁業振興室長
柿沼 忠秋

事業概要

1. 事業の位置づけ

ニホンウナギをはじめとした内水面魚種の漁獲量は、近年減少傾向にある。この減少傾向への対策として、各地で資源増大を目的とした放流や、石倉増殖礁の設置等の環境改善の取組等が実施されている。しかしながら、これらの内水面水産資源の増大・回復のための取組においては、河川等の環境においてどの程度ニホンウナギ等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。

本事業では、ニホンウナギの生息密度等について、標識放流等の手法を活用して調査を行うことにより、河川等の環境と生息状況に係る知見を収集・分析する。また、環境DNAを活用した生息調査技術開発、生息環境の評価技術開発等を通じて、環境収容力を推定するための手法について検討する。これらによって得られた成果をとりまとめ、都道府県水産試験場や内水面漁業関係者がニホンウナギの保全に取り組む際の参考となる資料としてとりまとめることを目的とする。

2. 課題構成と担当機関

本事業は、内水面における重要種であるアユ・溪流魚・ワカサギの生息密度、成長、移動等について、河川、湖沼および浅海域において環境調査を実施するとともに、標識放流等の手法を活用して調査を行い、河川等の環境と内水面魚種の生息状況に係る知見を収集・分析する。環境収容力が異なる河川や水域において放流試験を行い、その後の成長、生残等を追跡することで、漁場環境に応じた種苗放流について検討する。なお、得られた成果は、内水面漁業者等が放流活動を行う際に参考となる資料としてとりまとめる。

課題1 ニホンウナギ等の内水面魚種の分布状況及び生息環境の調査・分析

担当：和歌山県水産試験場内水面試験地・和歌山県立自然博物館，
高知県内水面漁業センター，宮崎県水産試験場，鹿児島県水産技術開発センター

課題2 環境収容力を推定するための手法開発

担当：水産研究・教育機構，愛媛大学，山口県水産研究センター，
鹿児島県水産技術開発センター

課題3 漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発

担当：水産研究・教育機構，長崎大学，北海道立総合研究機構，栃木県水産試験場，
群馬県水産試験場，山梨県水産技術センター，長野県水産試験場，
岐阜県水産研究所，滋賀県水産試験場，高知県内水面漁業センター，
熊本県水産研究センター，鹿児島県水産技術開発センター

課題4 運営委員会・検討委員会の開催、研究成果の取りまとめ

担当：水産研究・教育機構

事業全体の成果と残された課題

ニホンウナギについて

河川におけるニホンウナギの生息環境は発育段階によってさまざまであり、大型個体の生息密度は河床に巨礫がしめる割合が高いところほど、また川岸の水草帯など隠れ場所が多いところほど高くなり、小型個体の生息密度は河床に小礫が多いところほど高くなることが明らかとされた。河川に着底して間もないクロコは、シルトや落葉が堆積しているところに多く生息していた。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所要因の影響力が高まることが明らかになった。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ると同時に、遡上阻害による影響について、地図上に効果的に可視化することができた。

環境 DNA では、河川に畜養したニホンウナギの尾数およびバイオマスが下流域での環境 DNA 量と相関することを示した。またいくつかのモデル河川において標識再捕獲調査を実施し、環境 DNA によるモニタリング調査が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した。自然河川における背負い型エレクトロ・フィッシャーによる採捕効率試験では、採捕の繰り返しや装置設定を変えることにより採捕率が変化する傾向が認められ、直流設定ではウナギの麻痺が解けるのが早かった。補強型芝マット魚道と金網魚道を考案し、設置方法としては堰堤の壁面だけでなく上面と下面の Z 字状の設置により、遡上性能が上がる事が示唆された。

残された課題として、近年の異常気象に伴う河川環境の荒廃がニホンウナギ資源におよぼす影響の評価、ウナギの生息に適した河川環境の復元・再生の技術開発、河川への定着を高める放流手法の検討などが必要である。

アユについて

放流から解禁までの時期、種苗サイズ、放流密度等のパラメータについて検討したところ、河川によって放流後の日間成長率が大きくばらつくことが明らかになった。地域ごとに日間成長率を推定するためのモデルを作成し、早見表を作成、全国の関係者にマニュアルとして配布した。

生活史初期における成長・生残にかかる環境要因について検討を行ったところ、早生まれは成長が速く早いタイミングで遡上するという実態が判明した。また河口堰の直上に形成される広大な湛水域には、内部栄養に依存する孵化仔魚の河川内滞在時間を延長させる働きがあり、回復不能点を経過した個体にとっては、その後の生残の見込みは極めて厳しいという状況が確認された。

残された課題として、近年の異常気象に伴う河川環境の荒廃がアユ資源におよぼす影響があげられる。今後、影響評価手法および生息環境復元手法の開発を行うことがアユ資源の持続的利用に必要不可欠である。

ワカサギについて

天然色素コチニールによる標識技術を開発するため、ワカサギ発眼卵を用いて最適な耳石標識条件を検討したところ、コチニール標識液の濃度 60g/L、水温 10℃、24 時間浸漬で良好な成績を示した。耳石標識の発光強度の評価技術を開発するため、画像解析ソフトを用いたデジタル評価（RGB 値）と目視による発色具合の評価との関係を調査したところ、両者間で正の相関関係が認められ、デジタル評価の有用性が示された。さらに 21%濃度のショ糖で 7 分間脱水処理を行った後に、60 g/L のコチニール溶液で 24 時間浸漬することで効率よく染色できることが判明した。ワカサギ卵の大量標識技術については、染色強度にばらつきがみられることが実用化に向けた今後の課題と考える。簡易普及型魚群探知機を用いてワカサギの資源推定手法の開発に取り組んだ結果、魚探データとワカサギ漁獲尾数との間に相関関係がみられ、資源量推定に利用できることが明らかになった。ワカサギの給餌放流技術の開発のため、初期餌料の開発を行ったところ、低塩分・低水温環境に馴致させたシオミズツボワムシ（道総研ワムシ）が初期餌料として優れていることが明らかとなった。開発した道総研ワムシをワカサギ種苗生産現場で実際に使用していただいたところ、生産担当者からワカサギの成長やワムシ培養の点で高い評価が得られた。

溪流魚について

放流魚の定着に必要な環境条件を明らかにするため、先住魚の存在が放流効果へ及ぼす影響を調査した結果、先住魚であったブラウントラウトを除去した場合には、イワナの放流効果が改善する傾向が認められた。イワナとアマゴの春稚魚放流の適正サイズを明らかにするために放流試験を行った結果、イワナでは大型種苗（6g）、アマゴでは 2g 前後での放流が最も費用対効果が高いと考えられた。イワナのしみ出し効果を明らかにするためにトラップ調査を行ったところ、全ての調査河川で降下するイワナを確認することができたことから、しみ出しは山岳溪流で一般的に見られる現象であると考えられた。禁漁による増殖効果を検証したところ、溪流魚の成魚の生息密度は、入漁区より看板がある禁漁区のほうが 2 倍程度高いことが確認された。本事業により溪流魚のしみ出し効果が確認されたが、しみ出した魚の生息環境が下流に存在しない・少ない場合には、資源への貢献が期待できないため、今後は生息環境の改善や造成技術の開発が課題となる。

1. -(1) 和歌山県におけるニホンウナギの生息状況及び生息環境の把握

和歌山県水産試験場内水面試験地

和歌山県立自然博物館

要旨

富田川水系高瀬川において、ニホンウナギの生息個体数推定調査をした結果、平成 30 年度から令和 4 年度までに計 1,794 尾を採捕した。採捕個体の全長組成から、同河川に生息するニホンウナギは全長 100–149mm 程度の小型ウナギが主体であると推測された。また、Jolly-Seber 法によってニホンウナギの生息密度を推定したところ平均推定密度は 35.8 尾/100 m²であった。再採捕個体の移動距離は、全体の 64.9%が上下方向 50m の範囲内で移動した。再採捕個体の瞬間成長率

(SGR) の平均値は、全長 SGR が 0.06%/day、体重 SGR が 0.18%/day、日間成長率 (GR) の平均値は、全長 GR が 0.14mm/day、体重 GR が 0.05g/day であった。ストマックポンプ法により胃内容物を調査した結果、空胃率が約 8 割と高く、消化により詳細な同定は困難であったものの、河川に生息する甲殻類や魚類、貝類、水生昆虫などの様々な生物を餌として利用していると考えられた。同河川に特徴的な石垣からは、全長 200–299mm 区分のニホンウナギが多く出現し、異なる外径の塩化ビニルパイプ等を用いて調査した石垣の単位面積 (m²) 当たりの間隙の個数は、パイプ直径 18mm の大きさが最も多い割合を占めた。ニホンウナギの生息密度と河川環境の関係を解析した結果、全長 200mm 未満のニホンウナギの生息密度に対して中礫 (17–64mm)、全長 200mm 以上の生息密度に対して砂と石垣にそれぞれ有意な正の相関が確認された。本種の資源量を保全するうえで、成長段階に応じて利用できる複数の環境が存在する河川環境を維持することが重要と考えられた。

同河川の河口から感潮域にかけてクロコの生息状況を調査したところ、各年のクロコの平均密度は 3–5 月に最大値を示した。また、河口域では色素発育段階の初期の個体が多く出現し、上流側の感潮域では色素発育段階が進んだ個体が多く出現したことから、感潮域へ遡上する頃にクロコへ成長していると考えられた。同河川の感潮域が本種の着底初期の成育場として機能していると推測され、ワンド状の構造やリター環境などが隠れ場や餌場として重要であると考えられた。

全期間を通じた課題目標及び計画

富田川水系高瀬川をモデル河川とし、ニホンウナギの生息密度、成長、移動等について、標識放流等の手法を活用して調査を行うとともに、河川環境を把握するための調査を実施することにより、河川環境とニホンウナギの生息状況に係る知見を収集・分析する。

方法

i. 生息個体数推定調査

富田川水系高瀬川に調査区間 900m (図 1) を設定した。調査区間内には 10m ごとに区間表示を設置し、1 区間 50m×18 区間 (St.1-18) とした。平成 30 年度から令和 4 年度にかけて年 3 回、電気ショッカーとたも網を使用して調査区間内に生息するニホンウナギを採捕した。採捕個体は、採捕場所 (調査区間内の 10m ごとの表示) を記録し、バケツ内で魚類・甲殻類麻酔剤 FA100 により麻酔処理を行った後、全長及び体重を測定した。全長は 1m 定規、体重は電子天秤により測定した。また、令和 4 年度 8 月および 10 月調査では、採捕したニホンウナギの体高を測定した。体高はデジタルノギスを使用して測定した。採捕個体は、初回の採捕以降に新規採捕個体と再採捕個体を区別できるようにイラストマ-蛍光タグと個体識別用の PIT タグを併用して標識を施した。イラストマ-蛍光タグはインジェクターで顎下表皮に挿入し、PIT タグはメスで腹部を僅かに切開して腹腔内に挿入することにより標識を施した。なお、標識は PIT タグ装着や作業時のハンドリング等を考慮し、全長 150mm 以上の全個体を対象とした。また、再採捕個体の確認はピットタグリ-ダーを用いて個体識別を行った。全ての採捕個体および再採捕個体は、ハンドリング等により斃死や脱走した個体等を除いて、調査終了後にそれぞれの採捕場所へ放流した。採捕したニホンウナギのデータを用いて、Jolly-Seber 法による生息密度の推定、移動距離、全長及び体重の瞬間成長率 (SGR) 並びに日間成長率 (GR) を解析した。加えて、令和 4 年度 6、8、10 月調査では、非殺法であるストマックポンプ法により全長 200mm 以上の個体を対象に胃内容物を調査した。胃内容物は、魚類、甲殻類、貝類、貧毛類、ユスリカ類幼虫、線虫、不明に分類した。

また、令和 4 年度 9-11 月に石垣の間隙サイズを測定するために、9 種類 (8、11、15、18、22、26、32、38、48mm) の異なる直径 (外径) の塩化ビニルパイプ等を用いて、各区間における石垣の間隙サイズ及び個数を調査した。石垣の間隙に塩化ビニルパイプ等を直径が小さいものから順に差し込み、最終的に入った最大直径サイズのものを間隙の大きさとした。

各調査結果を取りまとめ、ニホンウナギの生息密度と河川環境の関係を解析するため、平成 30 年度から令和 4 年度の計 15 回分の調査の採捕データと平成 30 年度 10 月に実施した河川環境調査のデータを用いて、各調査区間 (St.1-18) における河川環境 (堆積物、砂、小礫、中礫、大礫、巨礫、コンクリート、石垣) のカバー率 (%) を説明変数、平成 30 年度から令和 4 年度の計 15 回の調査におけるニホンウナギの平均生息密度 (尾/m²) を応答変数 (ガンマ分布、リンク関数 log) として、一般化線形モデル (GLM) による解析を行った。ニホンウナギの生息密度は全長 200mm 未満 (小型) と 200mm 以上 (大型) に分けて解析した。また、説明変数の多重共線性を避けるため、分散拡大係数 (VIF 値) を確認し、すべての説明変数を含むモデルから総当たり法により赤池情報量基準 (AIC) が最も低いモデル (ベストモデル) を選択した。ベストモデルの説明変数は、Wald 検定により統計的有意性を評価した。解析には R Version4.2.2 を用いた。

ii. クロコの生息調査

同河川の河口から感潮域にかけて K1-4 の 4 定点 (図 1) を設置し、平成 30 年度 4 月から令和 4 年度 11 月にかけて毎月 1 回、干潮時にクロコ (色素発育段階 VI_B 以下の個体) を採捕した。河床に設置した 1m 方形枠内に出現したクロコを電気ショッカーとたも網により採捕するとともに、水

質計により底層の水温、塩分を測定した。これを1定点につき異なる位置で4回採捕を行い、個体の色素発育段階及び計16箇所の生息密度から定点毎の平均生息密度（個体/m²）を算出した。また、令和3年度からは方形枠内に優占する底質をクロコの生息環境として記録し、各定点の総採捕数に占める各生息環境の割合を調査した。

さらに、令和4年度7月に底質中の餌料環境調査を実施した。採取定点は、ワンド及び本流の2水域から、底質環境がシルト、リター、礫の3種類をそれぞれ採取した。各採取定点に10cm方形枠を設置し、深さ約5cmまでの底質を採取してホルマリンで固定した。1つの環境につき3検体採取し、計18検体を分析した。餌料生物は、ユスリカ類幼虫、貧毛類、エビ類、カニ類、貝類、魚類、その他の種組成に分類し、個体数を測定した。ワンド及び本流の餌料環境を比較するため、種組成の個体数データを用いて Bray-Curtis の非類似数による非計量的多次元尺度構成法（nMDS）で7次元データを2次元上に布置し、PERMANOVAにより2水域（ワンド・本流）の違いを検定した。解析には、R Version4.2.2 を用いた。

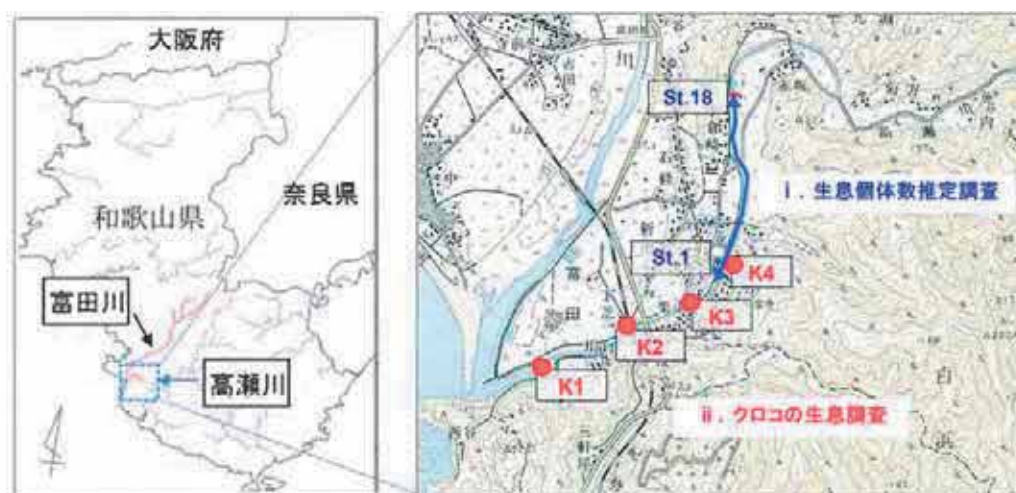


図1 生息個体数推定調査の調査区間およびクロコの生息調査の調査定点の位置図
（国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス <http://mapapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>）

結果

i. 生息個体数推定調査

調査区間900m（50m×18区間）におけるニホンウナギの年度別採捕状況を表1に示す。令和4年度は、計292尾（6月：130尾、8月：64尾、10月：98尾）を採捕した。また、平成30年度から令和4年度までに計15回の調査を実施し、その総採捕数は1,794尾であった。なお、再採捕個体は調査回ごと採捕数に含めた。平成30年度から令和4年度における調査区間別（St.1-18）の100m²当たりの平均生息密度は、最大でSt.16の4.2尾/100m²、最小でSt.18の0.7尾/100m²であった（図2）。

次に、総採捕数に占める全長及び体重の組成を図3、4にそれぞれ示す。なお、体重は小数点以下第1位を四捨五入して区分した。全長は100-149mm区分が全体の29.1%と最も多く、測定した全個体の平均は197.2mmであった。体重は50g未満が全体の88.5%を占め、測定した全個体の平均は20.5gであった。

表 1 調査区間 900m におけるニホンウナギの年度別採捕状況

調査年度		H30年度			R1年度			R2年度			R3年度			R4年度		
調査月		6月	8月	10月	6月	9月	11月	6月	8月	10月	6月	9月	11月	6月	8月	10月
月別	採捕数(尾)	134	215	76	183	181	51	79	154	103	190	81	55	130	64	98
年度計	採捕数(尾)	425			415			336			326			292		

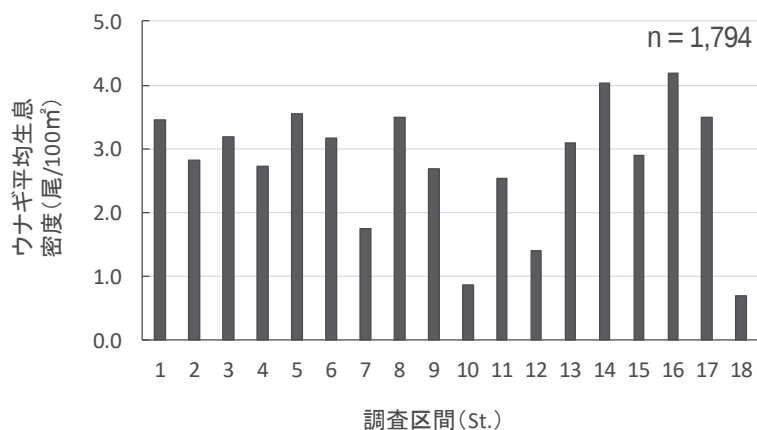


図 2 各調査区間 (St.1-18) におけるニホンウナギの平均生息密度

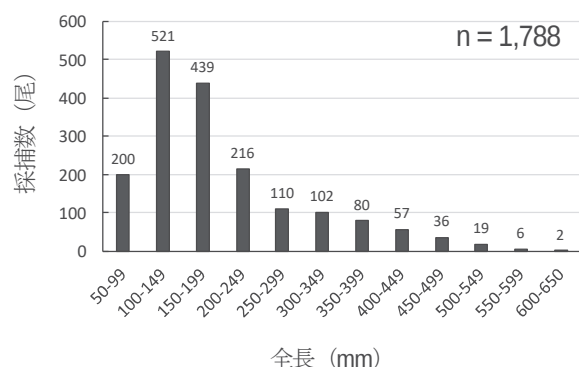


図 3 採捕個体の全長組成

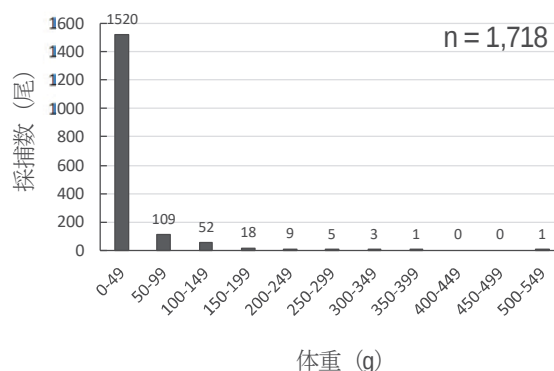


図 4 採捕個体の体重組成

続いて、年度別の再採捕状況を表2に示す。初回の調査を除き、再採捕数は9-41尾の範囲であった。再採捕率は12.1-35.3%の範囲で変動した。また、平均再採捕数は20.9尾であり、その再採捕率は19.0%であった。

総採捕数のうち、PITタグ装着が可能な全長150mm以上の採捕数は計1,098尾であり、このうち斃死や脱走した個体を除いた計1,042尾にイラストマー蛍光タグ及びPITタグを装着して採捕場所へ放流した。平成30年度から令和4年度までの採捕データと平成30年度10月の河川環境調査による調査区間の流域面積（延べ4,121m²）のデータを用いて、Jolly-Seber法による各月のニホンウナギの生息密度（尾/100m²）を推定した（表3）。最終年度の結果として、調査期間中の最大推定密度は令和元年度6月時点の63.9尾/100m²、最小推定密度は令和4年度6月時点の14.4尾/100m²、平均推定密度は35.8尾/100m²であった。

表2 調査区間900mにおけるニホンウナギの年度別採捕状況

調査年度		H30年度			R1年度			R2年度			R3年度			R4年度		
調査月		6月	8月	10月	6月	9月	11月	6月	8月	10月	6月	9月	11月	6月	8月	10月
月別	新規採数(尾)	111	189	61	160	159	33	53	129	78	149	69	45	108	55	81
	再採捕数(尾)	23	26	15	23	22	18	26	25	25	41	12	10	22	9	17
	再採捕率(%)	24	20	45	27	23	41	41	30	27	21	15	18	17	14	17
年度計	新規採捕(尾)	425			415			336			326			292		
	再採捕数(尾)	64			63			76			63			48		
	再採捕率(%)	15.1			15.2			22.6			19.3			16.4		

表3 Jolly-Seber 法による推定生息数及び 100 m²当たりの推定生息密度 (全長 150mm 以上)

調査年度		H30年度			R1年度			R2年度			R3年度			R4年度	
調査月		6月	8月	10月	6月	9月	11月	6月	8月	10月	6月	9月	11月	6月	8月
推定尾数(尾)		1135	1523	1025	2631	1531	924	2079	2008	2250	1317	1265	676	592	1680
推定生息密度(尾/100m ²)		27.5	37.0	24.9	63.9	37.2	22.4	50.5	48.7	54.6	32.0	30.7	16.4	14.4	40.8

次に、再採捕個体の移動距離の推移について、初回採捕地点から最終採捕地点までの移動距離が上流方向へ60m以上移動した個体群（図5）、上下50m以内で移動した個体群（図6）、下流方向へ60m以上移動した個体群（図7）にそれぞれ分けて示した。なお、各個体の移動距離は、前回の採捕場所と本年の採捕場所の差（最小単位10m）から求めた。移動距離の推移が解析できた計171尾のうち、37尾が上流方向へ60m以上移動、111尾が上下方向50m以内で移動、23尾が下流方向へ60m以上移動した。全体の64.9%が上下方向50mの範囲内で移動していた。

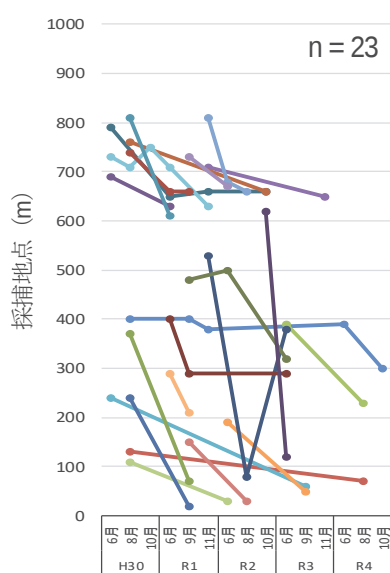


図5 移動距離の推移
(60m 以上下流へ移動)

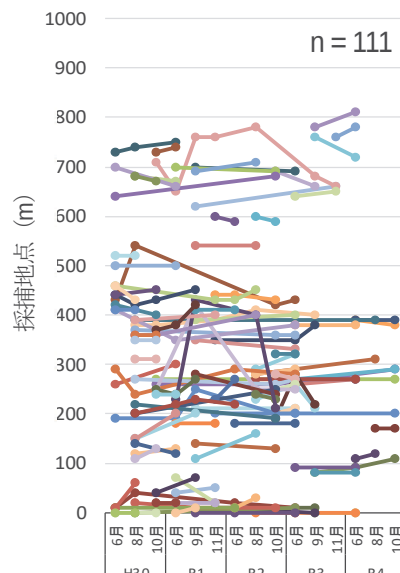


図6 移動距離の推移
(上下 50m 以内で移動)

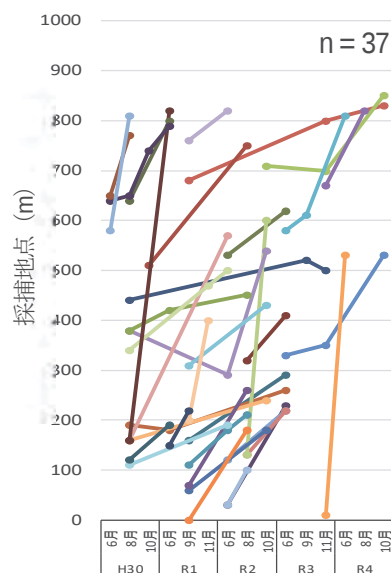


図7 移動距離の推移
(60m 以上上流へ移動)

続いて、下記式より算出した再採捕個体の全長及び体重の瞬間成長率 (Specific Growth Rate;SGR) の組成を図8、9にそれぞれ示す。なお、各数値は小数点以下第3位を四捨五入して区分した。全長 SGR は 0.01–0.05%/day 区分が全体の 57.1%と最も多い割合を占めた。一方、体重

SGR は 0.11–0.20%/day 区分が全体の 37.6%と最も多い割合を占めた。平均全長 SGR は 0.06%/day、平均体重 SGR は 0.18%/day であった。

・全長 SGR (%/day) = $100 \times (\ln(L2) - \ln(L1)) / t$

※ L1：放流時全長 (mm)、L2：再採捕時全長 (mm)、t：再採捕までの期間 (日)

・体重 SGR (%/day) = $100 \times (\ln(W2) - \ln(W1)) / t$

※ W1：放流時体重 (g)、W2：再採捕時体重 (g)、t：再採捕までの期間 (日)

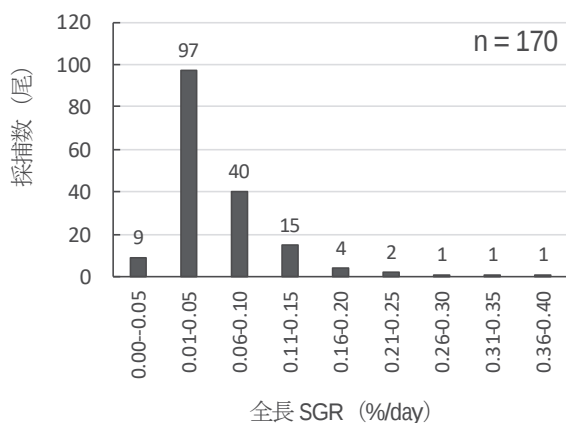


図 8 再採捕個体の全長 SGR 分布

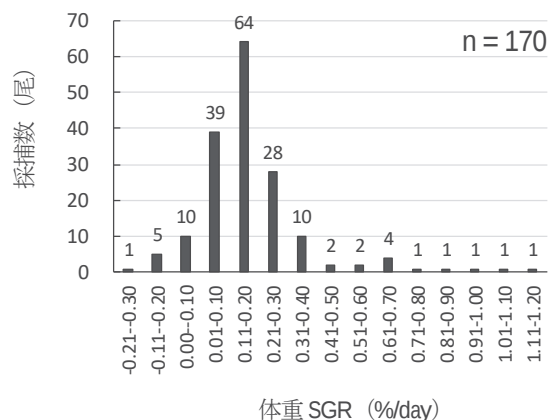


図 9 再採捕個体の体重 SGR 分布

また、下記式より算出した再採捕個体の全長及び体重の日間成長率 (Growth Rate;GR) の組成を図 10、11 にそれぞれ示す。全長 GR は 0.01–0.10mm/day 区分が全体の 35.3%と最も多い割合を占めた。一方、体重 GR は 0.01%–0.10g/day 区分が全体の 74.7%と最も多い割合を占めた。平均全長 GR は 0.14mm/day、平均体重 GR は 0.05g/day であった。

・全長 GR (mm/day) = $(L2-L1) / t$

※ L1：放流時全長 (mm)、L2：再採捕時全長 (mm)、t：再採捕までの期間 (日)

・体重 GR (g/day) = $(W2-W1) / t$

※ W1：放流時体重 (g)、W2：再採捕時体重 (g)、t：再採捕までの期間 (日)

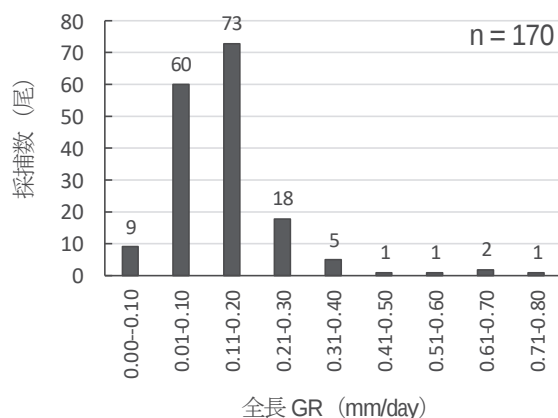


図 10 再採捕個体の全長 GR 分布

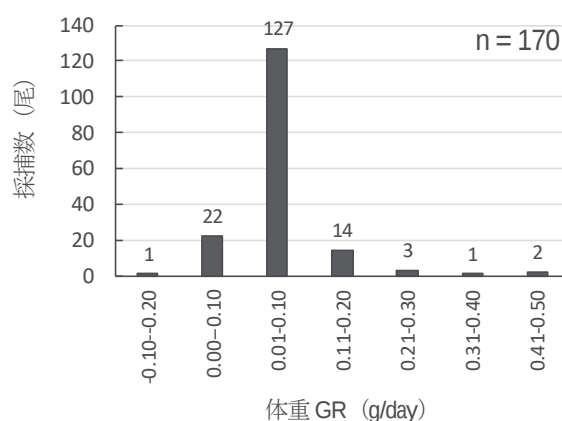


図 11 再採捕個体の体重 GR 分布

令和4年度6、8、10月調査にストマックポンプ法による胃内容物調査の結果を図12に示す。胃内容物調査数は6月が17尾、8月が28尾、10月が34尾であった。全調査数に占める空胃率は、6月が76.5%、8月が82.1%、10月が85.3%と非常に高い値を示した。全長200mm以上の個体の胃内容物で多く出現したのは甲殻類や線虫であったが、いずれも消化が進み詳細な同定は困難であった。なお、参考までに令和2年度6月の調査では小型のボラやヨシノボリを吐出した個体が確認されている。

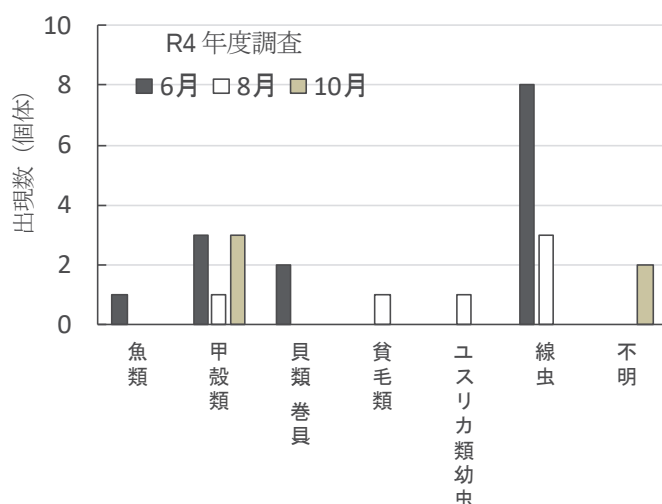


図12 全長200mm以上の採捕個体における胃内容物

次に、平成30年度から令和4年度の計15回の調査において、石垣から出現したニホンウナギの全長組成を図13に示す。また、石垣の各間隙サイズの単位面積（㎡）当たりの個数を図14に示す。石垣から出現したニホンウナギは、全長200–299mm区分が最も多い割合を占め、次いで100–199mm区分、300–399mm区分であった。採捕個体の全長と体高の関係式（図15）から算出したこれらの区分の体高は、それぞれ9.0–14.0mm、4.2–9.0mm、14.0–19.2mmと推測された。一方、計3,500個の石垣の間隙を測定した結果、単位面積（㎡）当たりの間隙の個数が最も多いのは塩化ビニールパイプ直径18mmであり、次いで26mm、32mmであった。

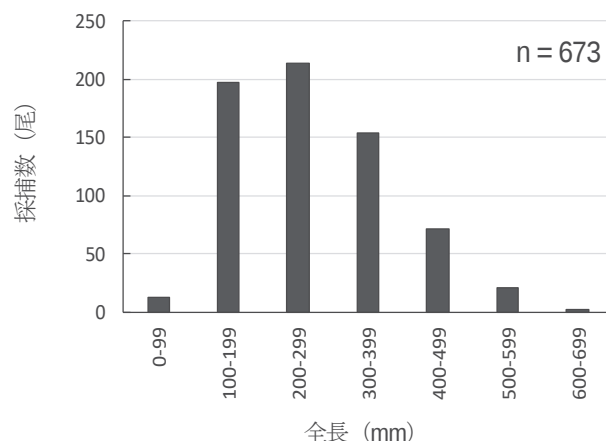


図13 石垣から出現したニホンウナギの全長別採捕数

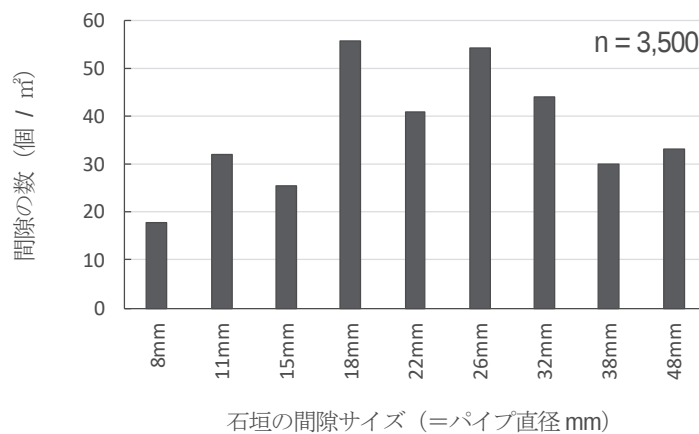


図 14 石垣の単位面積 (m²) 当たりの各間隙サイズの個数

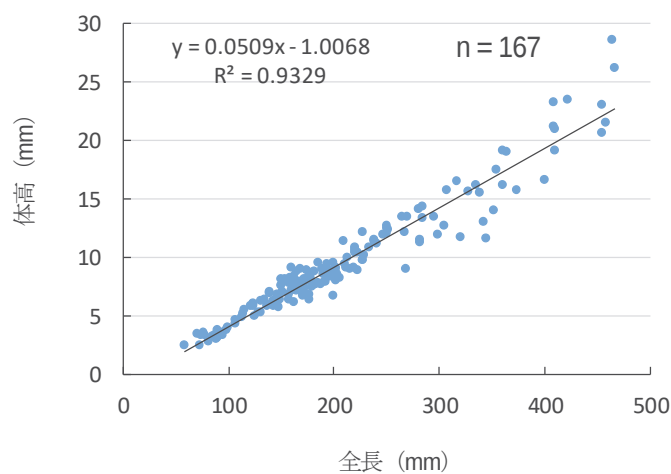


図 15 採捕個体の全長と体高の関係式

一般化線形モデルを構築した結果、ベストモデルにおける 200mm 未満のニホンウナギの生息密度に対して、中礫 (17–64mm) のみと有意な正の相関が確認された (表 4)。また、ベストモデルに含まれる巨礫 (>256mm)、大礫 (65–256 mm) 及び石垣は、説明変数として有意性が確認されなかった。一方、全長 200mm 以上のニホンウナギの生息密度に対しては、砂と石垣に有意な正の相関が確認された (表 5)。また、ベストモデルに含まれる巨礫 (>256mm) は、説明変数として有意性が確認されなかった。なお、両サイズの解析とも VIF 値が 20 を超えたコンクリートは説明変数から除外した

表 4 一般化線形モデルによる解析結果

(全長 200mm 未満の生息密度と河川環境の関係)

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(切片)	-0.357296	0.265426	-1.346	0.20127
巨礫 (>256mm)	0.049068	0.024236	2.025	0.06396 .
大礫 (65-256mm)	0.017618	0.00911	1.934	0.07519 .
中礫 (17-64mm)	0.014777	0.004512	3.275	0.00603 **
石垣	-0.028286	0.014986	-1.887	0.08163 .

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

表5 一般化線形モデルによる解析結果

(全長 200mm 以上の生息密度と河川環境の関係)

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(切片)	-0.86478	0.19929	-4.339	0.00068 ***
巨礫 (>256mm)	0.04737	0.0227	2.087	0.05565 .
砂	0.11926	0.05337	2.234	0.04227 *
石垣	0.05452	0.01334	4.088	0.00111 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ii. クロコの生息調査

定点 K1-4 における平均水温の月別変化を図 16 に示す。平均水温は、上流側の定点ほど低くなる傾向があった。定点 K1 では、付近から流入する温排水の影響によって他の定点よりも高く推移した。続いて、K1-4 における平均塩分の月別変化を図 17 に示す。平均塩分は、定点 K1 で付近から流入する温排水の影響によって低い値を示した。

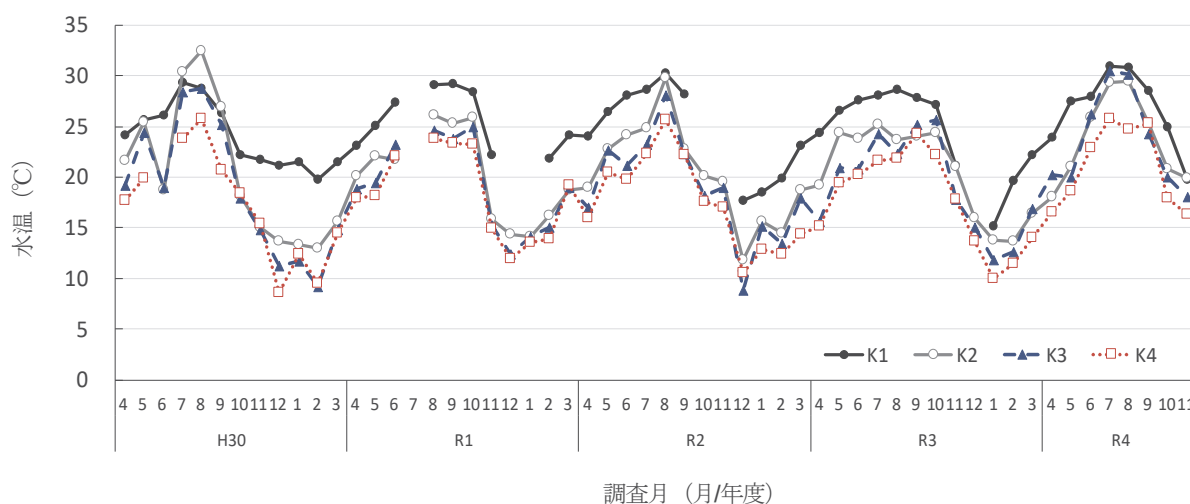


図 16 定点 K1、K2、K3、K4 における平均水温の月別変化

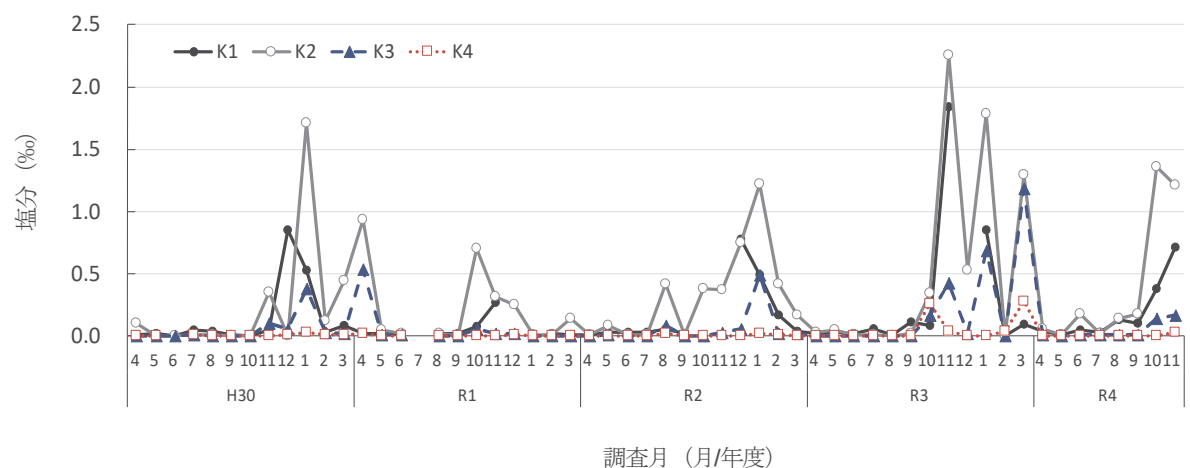


図 17 定点 K1、K2、K3、K4 における平均塩分の月別変化

次に、各定点におけるクロコの平均生息密度および色素発育段階の月別変化を図 18、19 に示す。

定点 K1-4 のクロコの平均密度の最大値は、それぞれ 23.3 ± 18.8 尾/ m^2 、 5.3 ± 1.3 尾/ m^2 、 8.3 ± 6.8 尾/ m^2 、 14.3 ± 12.0 尾/ m^2 であった。各年のクロコの平均密度が最大値を示した月は 3-5 月であった。感潮域上縁の定点 K4 では、水温が $16.0\text{--}20.0^\circ\text{C}$ の範囲でクロコの平均密度が高い値を示した。さらに、河口域の定点 K1 では色素発育段階の初期の個体が多く出現し、上流側に位置する感潮域上縁の定点 K4 では色素発育段階が進んだ個体が多く出現した。

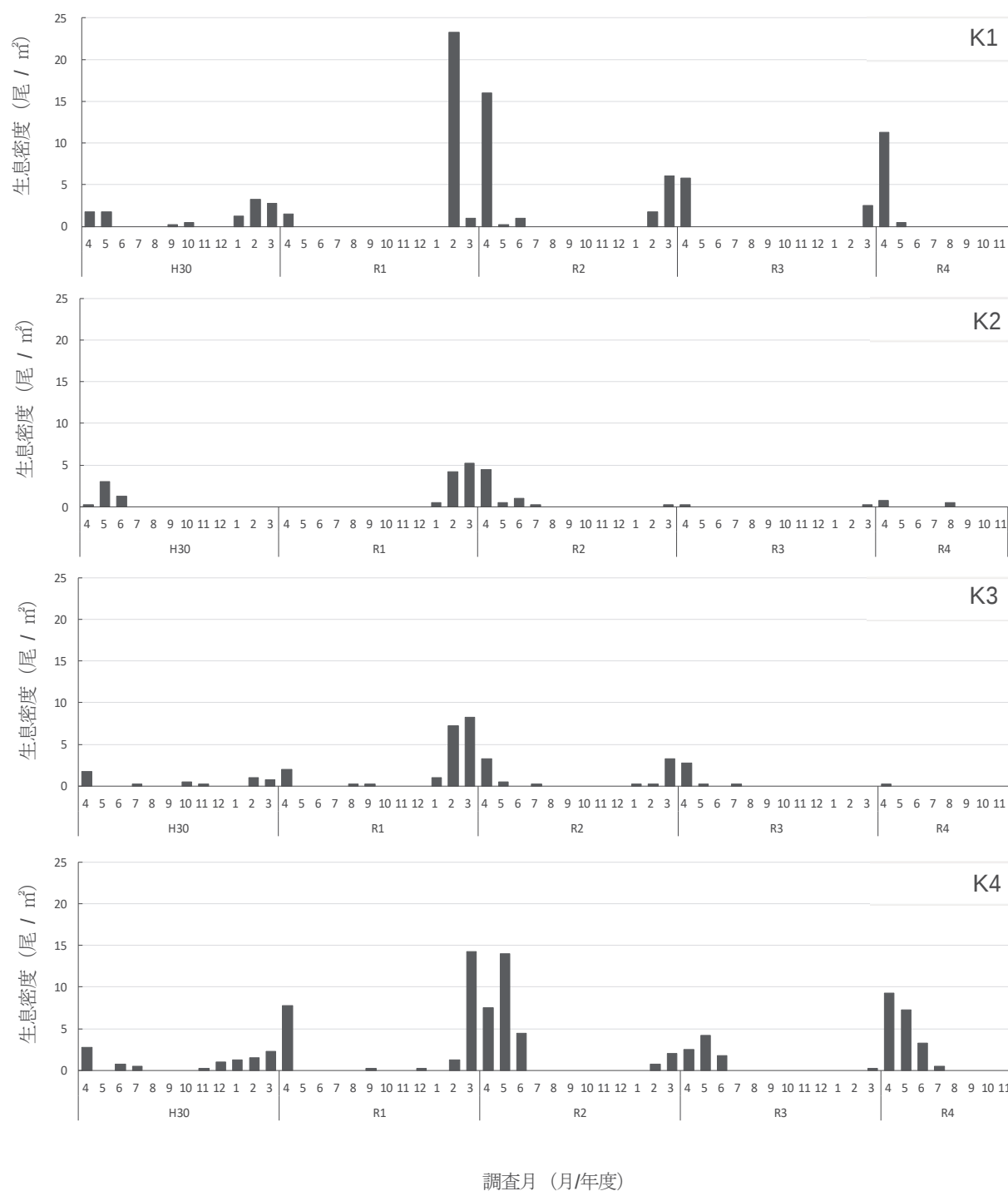


図 18 定点 K1、K2、K3、K4 におけるクロコの平均生息密度の月別変化

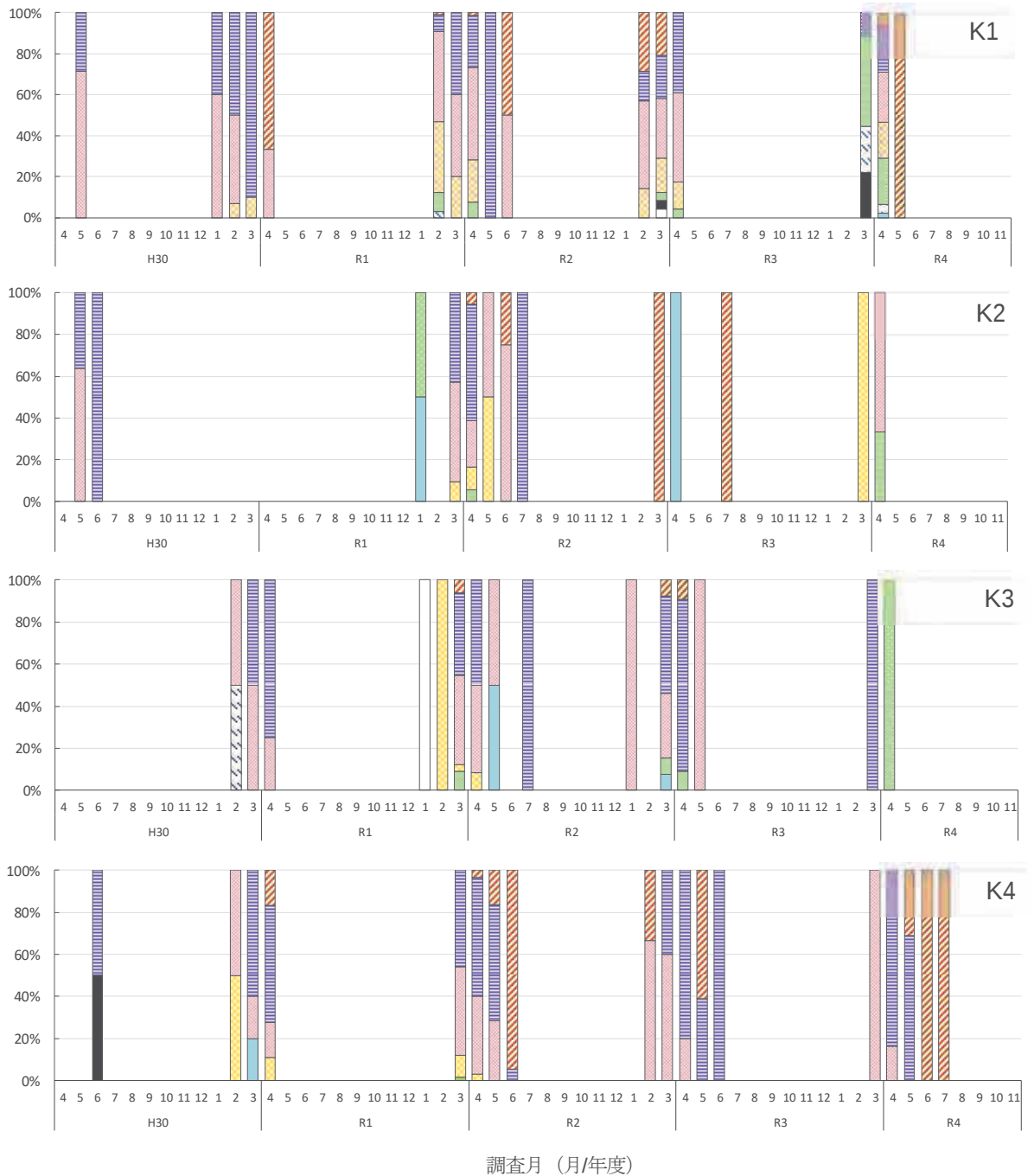


図19 定点 K1、K2、K3、K4 におけるクロコの色素発育段階の月別変化

次に、各定点のクロコの総採捕数に占める生息環境の割合を図20に示す。定点K1、K2ではそれぞれ全体のうちの65.8%、62.5%のクロコがシルトから出現した。一方、定点K3では全体のうちの71.4%が礫から、K4では69.0%がリター-から出現した。

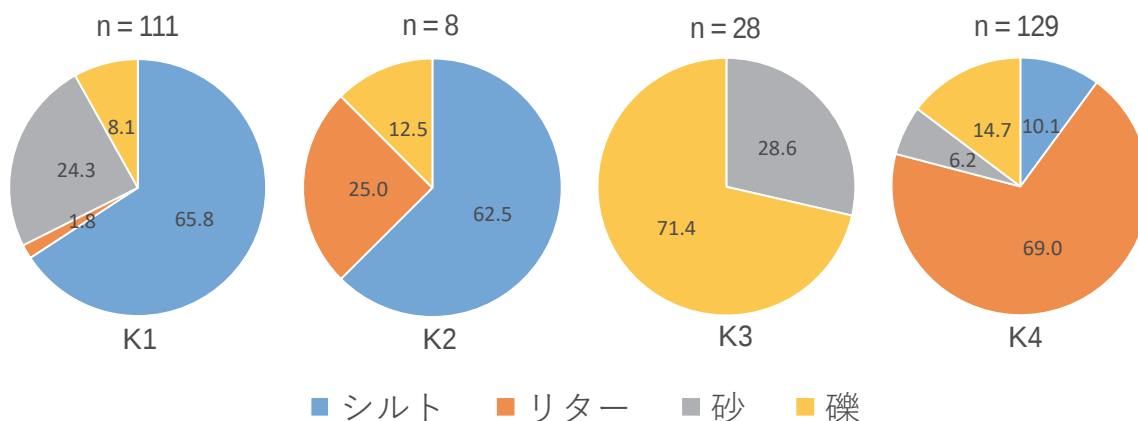


図 20 定点 K1、K2、K3、K4 におけるクロコの総採捕数に占める生息環境の割合

同河川のワンド及び本流において、底質中のニホンウナギの餌料生物の種組成を調査した結果 (3 検体の平均値) を表 6 に示す。本流に比べてワンドの水域で餌料生物量が大きく、ワンドではユスリカ類幼虫が各底質環境から最も多く出現した。一方、本流ではシルト及びリターからは貧毛類 (イトミミズ類)、礫からはユスリカ類幼虫が最も多く出現した。また、各底質環境から出現した餌料生物の種組成データについて、非計量的多次元尺度構成法 (nMDS) により 2 次元に布置し、ワンドと本流の餌料環境を比較した結果、ワンドと本流の餌料環境は有意に異なることが示された (図 21)。

表 6 底質中の餌料生物の分類結果 (個体/cm²)

水域	ワンド			本流		
	シルト	リター	礫	シルト	リター	礫
ユスリカ幼虫	67.7	49.3	38.7	11.0	19.0	10.0
貧毛類	28.3	2.7	13.7	42.7	27.3	3.0
エビ類	1.3	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0
カニ類	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
貝類	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
魚類	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他昆虫類	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	1.7

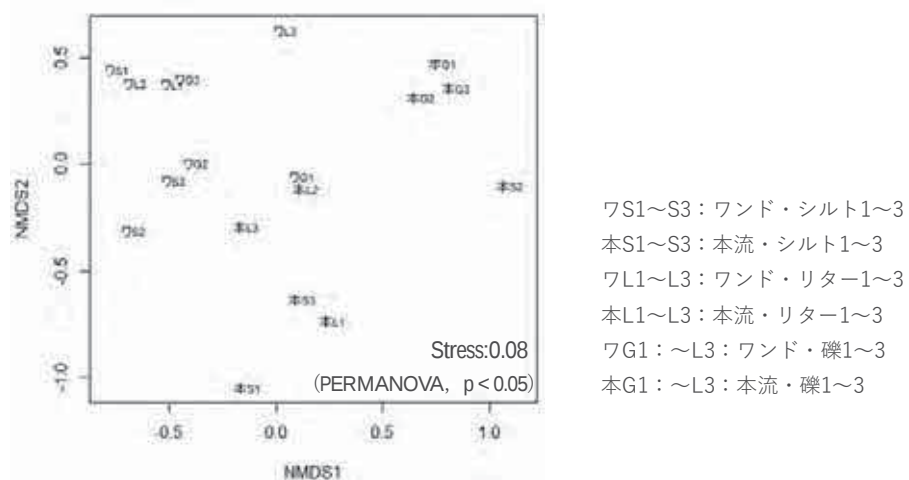


図 21 ワンド及び本流におけるシルト、リター、礫環境の nMDS プロット

考察

i. 生息個体数推定調査

採捕個体の全長組成から、高瀬川に生息するニホンウナギは全長100–149mm程度の小型ウナギが主体であると推測された。また、Jolly-Seber法による同河川に生息するニホンウナギの生息密度を推定できたものの、河川の生息実態をどの程度反映しているかは不明であることから、実際の生息密度との差を把握していくための検証手法が必要であると考えられた。次に、再採捕個体の移動距離を解析した結果、再採捕個体の6割程度が上流または下流方向50mの範囲内で移動したと推測されることから、産卵期や渇水時などを除いて大きな移動はなく、比較的定位性が強いのではないかと考えられた。これまでの調査結果から、再採捕個体の瞬間成長率（SGR）や日間成長率（GR）は、多くの個体が正の値、すなわち成長していることが確認されたが、負の値を示す個体も少数ながら出現した。しかし、本調査ではこのことが自然環境（水質環境や餌料環境）による要因か、あるいは採捕（電気ショッカーや麻酔など）によるハンドリングストレスによるものか解明するには至らなかった。続いて、全長200mm以上を対象とした胃内容物調査では、空胃率が高く、季節性や選好性などは明らかにできなかったものの、河川に生息する甲殻類や魚類、貝類、水生昆虫など様々な生物を餌として広く利用していることが示唆された。

石垣の単位面積（㎡）当たりの間隙の個数が最も多かったのは塩化ビニールパイプ直径18mmの大きさであり、石垣から最も多く出現した全長200–299mm区分の推定体高9.0–13.5mmの1.3–2倍程度の大きさであった。ニホンウナギの生息に適していると考えられる間隙は、体サイズによって異なると予想されるが、実際に石倉などによって河川を整備する際の具体的な数値指標などに係る知見は不足していることから、今後のより詳細な調査研究によって明らかにされることを期待したい。

ニホンウナギの生息密度と河川環境の関係を解析した結果、全長200mm未満と全長200mm以上の生息密度に影響を及ぼす環境因子に違いが確認された。全長200mm未満のニホンウナギの生息密度は中礫（17–64mm）、全長200mm以上では砂と石垣にそれぞれ有意な正の相関が確認された。中礫（17–64mm）や石垣については、実際の調査の採捕時にこれらの環境からウナギがよく出現していることと一致した。全長200mm以上に砂については、岸側に砂のある場所では植生が伴うことが多く、このような隠れ家を反映した可能性が考えられた。小型のウナギは中礫（17–64mm）から成る浮石の間隙を、大型のウナギは石垣のより大きな間隙を隠れ家に利用していることが示唆された。

以上の結果より、ニホンウナギが大きさにによって好んで利用する環境が異なると考えられることから、河川における本種の資源量を保全するうえで、同一河川において成長に応じて利用できる複数の環境が存在する河川環境を維持する必要があると推察された。

ii. クロコの生息調査

定点K4では、0.0–2.8%の範囲で変動し、殆どの月で0.0–0.4%と僅かな塩分を確認したことから、当該定点付近が感潮域であると推測した。このことは、過去の報告内容（水産庁，2015）とも一致する。また、河口域の定点K1では色素発育段階の初期の個体が多く出現し、上流側に位置する感潮域の定点K4では色素発育段階が進んだ個体が多く出現した。これらのことから、シラスウナギ（色

素発育段階V_A–VI_{A4})は冬季に河口域に加入し(水産庁, 2015)、一部は河口域に滞留したまま、あるいは感潮域まで遡上する間にクロコ(色素発育段階VI_B)へ成長する個体もあるものの、河川水温の上昇とともに感潮域へ遡上する頃にクロコへ成長していると考えられた。

クロコの生息密度が高い値を示した定点 K4 の河床に溜まったリター(落葉等の堆積物)には、多様なユスリカ幼虫が存在することが知られている(北村・浜口, 2021)。また、令和2年度2月から令和3年度5月にかけてクロコの胃内容物調査を実施した結果、色素発育段階 VI_{A3}–VI_B の個体から、多毛類やユスリカ幼虫が確認された。さらに、同河川のワンド水域と本流の餌料環境の比較した結果、本流よりも流れの緩やかなワンドで餌料生物の量が多いことが示唆された。

以上のことから、同河川の感潮域は本種の着底期初期の成育場として機能していると推測され、シラスウナギやクロコにとって流れの滞留しやすいワンド状の構造やリターのような環境は、隠れ場や餌場として機能を兼ね備え、生残や成長に適した河川環境であると考えられた。

参考文献

井上幹夫・中村大士(2019)「河川生態系の調査・分析方法」講談社 108–115, 282–283, 362–381 頁

Fukuda N et al. (2013) Evaluation of the pigmentation stages and body proportions from the glass eel to yellow eel in *Anguilla japonica*. Fisheries Science, 79, 425–438

水産庁(2015)「鰻生息状況等緊急調査事業」平成25–26 年度報告書 118–131, 132–141 頁

北村章博・浜口昌巳(2021)和歌山県高瀬川で採取されたユスリカと貧毛類のDNA–Barcodingによる同定 南紀生物, 63(1), 46–50 頁

嶋田正和・山村則男・粕谷英一・伊藤嘉昭(2005)「動物生態学」海游舎 422–430 頁

主担当者

令和2–令和4年度	和歌山県水産試験場内水面試験地	北村 章博
平成30–令和元年度	和歌山県水産試験場内水面試験地	林 寛文
平成30–令和4年度	和歌山県立自然博物館	揖 善継

分担者

令和4年度	和歌山県水産試験場内水面試験地	松尾 怜
令和3–令和4年度	和歌山県水産試験場内水面試験地	内海 遼一 平野 育生
平成30–令和3年度	和歌山県水産試験場内水面試験地	河合 俊輔
平成30–令和2年度	和歌山県水産試験場内水面試験地	中西 一 賀集 健太
平成30–令和4年度	和歌山県立自然博物館	平嶋 健太郎 國島 大河

1.-(2) ニホンウナギ等の内水面魚種の分布状況及び生息環境の調査・分析

高知県内水面漁業センター

要旨

本年度は、高知県東部の奈半利川において、箱漁法及び電撃ショッカー漁法で計 622 個体のニホンウナギ（以下、ウナギ）を採集し、全長と体重の測定、成熟段階の判別、体表粘液からの DNA 採取及びイラストマー注入による標識放流を行った。平均全長は 45.1cm、平均体重は 115.0g であった。成熟段階は、Y1 が 0 個体、Y2 が 620 個体、S1 が 1 個体、S2 が 1 個体であった。

標識の有無とマイクロサテライトマーカによる個体識別の結果、本年度は 622 個体のうち延べ 83 個体が再採捕個体であった。平成 25 年度から実施している個体識別は、累積個体数が延べ 4,731 個体となり、再採捕個体は延べ 554 個体となった（再採捕の回数 2 回目：481 個体、3 回目：67 個体、4 回目：5 個体、5 回目：1 個体）。

平成 25 年度以降の全再採捕個体の成長についてみると、瞬間成長率（ $SGR = (LN(\text{再採捕時の値}) - LN(\text{放流時の値})) \div \text{再採捕までの日数} \times 100$ ）の全体の平均値は、全長が 0.019%、体重が -0.012% であった。体重について、負の成長となりやすい 71 日までを除外した場合は 0.099% であった。

平成 25 年度以降の全再採捕個体の移動についてみると、流域区分ごとに遡上、定位及び降下の傾向が異なり、中流上部で定位する個体が特に少ないことが分かった。

電撃ショッカーを用いた採集を 3 定点で実施し、ウナギの確認個体数と河床の状態との関連性について検討したところ、河床の巨礫（直径 256mm 以上）の割合とウナギの確認個体数との間に正の相関があり、巨礫の割合が高いほど確認個体数が増える傾向が認められた。

全期間を通じた課題目標及び計画

著しい減少傾向にあるウナギ資源を保全するためには、本種の河川内における生態を明らかにすることが必要である。高知県では、2 級河川奈半利川において、5 か年（平成 25 年度～29 年度）にわたるウナギの調査を行い、成熟個体の出現状況や、黄ウナギの成長及び移動に関する知見などを得てきたが、河川生態の把握や適切な保全策を講じるためには不十分な点が多い。

そこで本課題では、奈半利川のいくつかの調査点において、様々な漁具（箱、電撃ショッカー、石倉）を用いて採集したウナギにイラストマー標識及び DNA 標識を施して放流し、移動、成長、分布密度を把握する。また、餌生物（小型魚類や甲殻類）の直接的な採集によるウナギの餌環境の評価を行い、総合的にウナギの河川生活の実態を把握することにより、ウナギの生息環境を維持・改善するために重要な環境収容力の推定手法について検討する。

方法

箱漁法（夏季：5月～9月）及び石倉（秋季：10月～12月）によるウナギの採集、測定及び標識放流（イラストマー及びDNA、再放流含む）を実施し、奈半利川におけるウナギの生息状況、移動及び成長に関する情報を収集した。測定及び標識の際は、氷水による冷却と炭酸発泡入浴剤を併用して麻酔を行った。さらに、3つの調査地点で電撃ショッカーを用いたウナギ及び餌生物の採集を実施し、河床評価の結果と比較解析した。

移動と成長を解析するための個体識別は、体表粘液からDNAを抽出し、マイクロサテライトマーカーを用いて実施した。

全ての統計解析には、無料ソフトウェア「R-3.4.0」を使用した。

結果

（1） 標識放流調査

（ア） 令和4年度の結果

奈半利川でウナギ622個体（箱漁法611個体、電撃ショッカー10個体、たも網1個体）を採集し、測定及び標識放流を行った。

全長及び体重の組成を、それぞれ図1及び図2に示した。全長についてみると、最大88.3cm、最小18.9cm、平均45.1cm、最頻値40～45cmで、全長50cm以下が74.4%を占めた。体重についてみると、最大1,269.1g、最小4.5g、平均115.0g、最頻値50～75gで、体重150g以下が75.9%を占めた。採集方法は箱漁法が主体であり、採集される個体サイズには選択性があった可能性がある（小さいものは脱出でき、大きいものは入りきらない）。

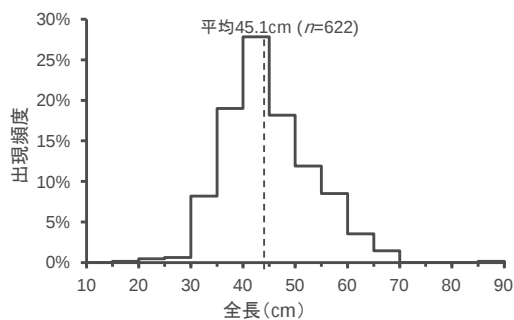


図1 全長出現頻度

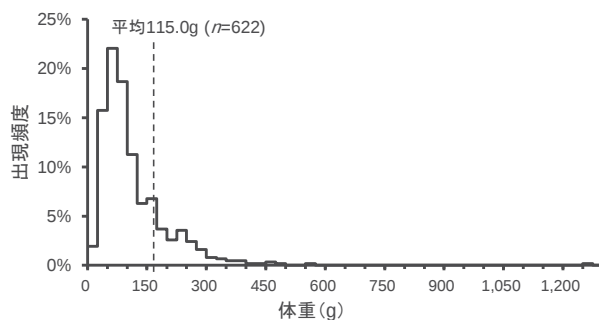


図2 体重出現頻度

奈半利川で設定した流域区分を図3に、流域区分別の採集個体数を表1に示した。採集個体数は支流（2河川計）で最も多く、次いで中流下部が多かった。



図3 設定した流域区分

表1 流域区分別採集個体数一覧

流域区分	個体数	割合
上流	97	15.6%
中流上部	62	10.0%
中流下部	107	17.2%
下流	77	12.4%
河口	82	13.2%
支流(2河川計)	197	31.7%
合計	622	100.0%

流域区分別の平均肥満度 (CF=体重÷(全長³)×1,000) を図4に示した。流域区分間で有意な差が認められ、中流上部は河口及び支流1より高く、支流2は河口及び支流1より高かった (Tukeyの多重比較法)。

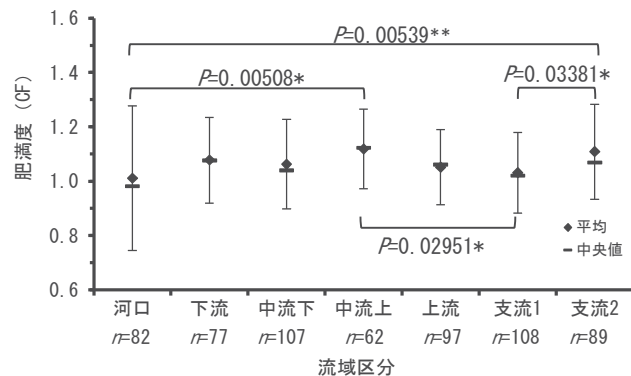


図4 流域区分別平均肥満度 (上下線は標準偏差)

成熟段階について、採集流域区分別及び採集月別の出現割合を、それぞれ図5及び図6に示した。銀化ウナギ (S1及びS2) は、河口で1個体 (S2)、中流下部 (S1) でそれぞれ1個体ずつ確認された。月別にみると、銀化ウナギは8月に1個体 (S1)、9月に1個体 (S2) 出現した。本年度は、これまで10月以降に実施していた石倉漁法による採捕を実施しなかったため、銀化ウナギの確認個体数が少なかったものと考えられる。

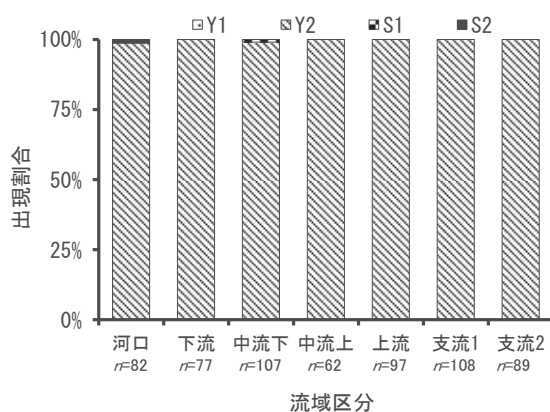


図5 流域区分別成熟段階別割合

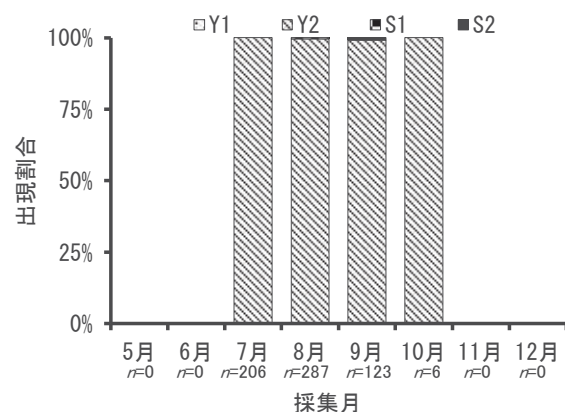


図6 月別成熟段階別割合

採集した全個体について、過去に標識されたイラストマーの有無を確認するとともに、体表粘液からDNAを抽出し、5ローカスのマイクロサテライトDNAによる個体識別を実施した。その結果、本年度に採集した622個体のうち、83個体 (再採捕の回数2回目: 66個体、3回目: 16個体、4回目: 0個体、5回目: 1個体) が再採捕個体であった。

(イ) 平成 25 年度から令和 4 年度までの全体の結果

平成 25 年度以降の全個体のうち、再採捕個体の割合は 11.7% (553/4,731) であった。この結果を用い、奈半利川のウナギの 100 m²あたりの個体数密度を年別に推定し、図 7 に示した。年間採集個体数が平成 26 年から 400 個体以上となり、概ね数値が安定したと考えられる平成 27 年以降についてみると、0.23 個体/100 m² (平成 27 年) から 0.89 個体/100 m² (平成 30 年) の間と推定された。

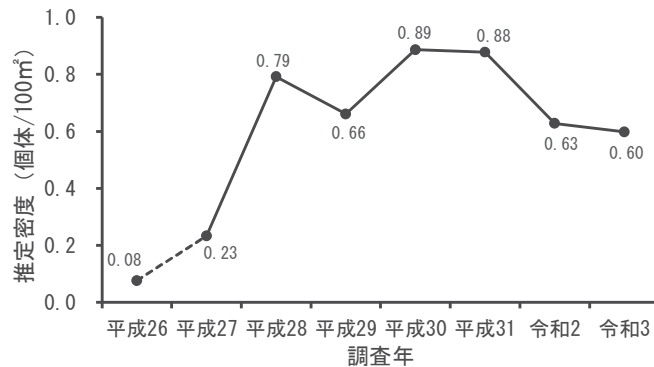


図 7 年別推定個体数密度

平成 25 年度以降の再採捕個体延べ 554 個体のうち、同一個体であると確認された延べ 552 個体（再採捕の回数 2 回目：479 個体、3 回目：67 個体、4 回目：5 個体、5 回目：1 個体の合計）について、再採捕までの 1 期間の日数から、全長と体重の瞬間成長率（SGR＝（LN(再採捕時の値)－LN(放流時の値)）÷再採捕までの日数×100）を求め、その頻度をそれぞれ図 8-1 及び 8-2 に示した。

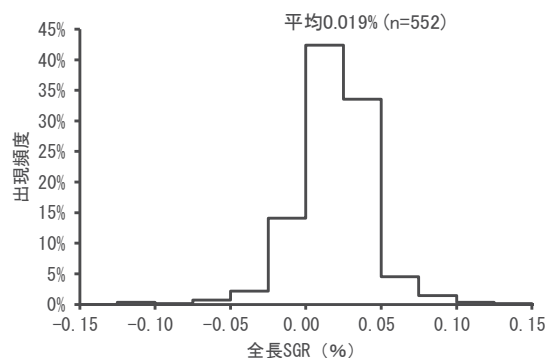


図 8-1 再採捕個体の全長 SGR

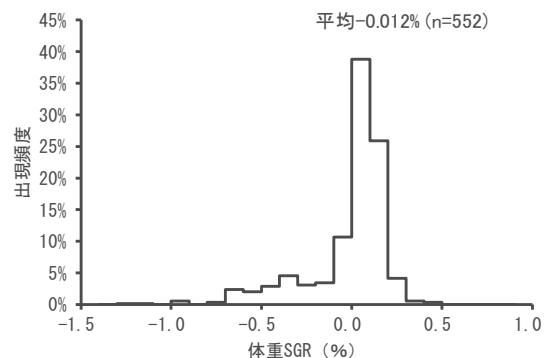


図 8-2 再採捕個体の体重 SGR

全長 SGR の最頻値は 0.00～0.025%で、全個体の平均値は 0.019%、体重 SGR の最頻値は 0.0～0.1%で、全個体の平均値は-0.012%であった。体重の SGR の平均値が負の値となったことから、実際の成長率を把握できていないと考え、異常値の影響を低減するため、日数別に確認を行った（図 9）。

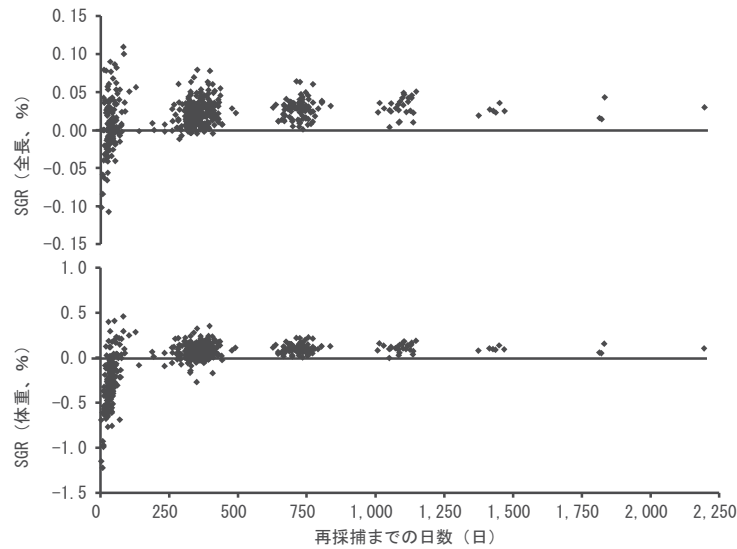


図9 SGR と再採捕までの日数

再採捕までの日数は、概ね 150 日以下とそれ以降 365 日ごとに集中していたことから、150 日以下、151～515 日、516～880 日及び 881 日以上の 4 区分にグループ分けしたところ、全長、体重ともに、SGR はグループ間で有意な差が認められ (Anova, $P < 0.01$)、150 日以下と 151 日以上のグループ間で有意な差が認められた (Tukey, $P < 0.05$)。一方、151 日以上のグループでは、それぞれの間に有意な差は認められなかった ($P > 0.10$)。

150 日以下についてみると、体重の SGR と日数に相関が認められ (Spearman の順位相関係数、 $P < 0.005$ 、 $r_s = 0.5678$)、71.8 日以上で正の値となった (図 10)。一方、全長については相関が低く (Spearman の順位相関係数、 $P < 0.005$ 、 $r_s = 0.269962$)、26.8 日以上で正の値となった。

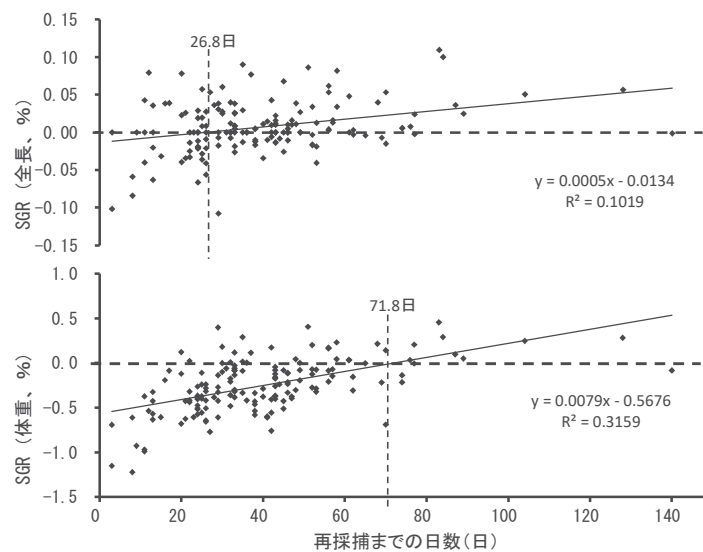


図 10 SGR と再採捕までの日数 (150 日以下)

続いて、全長及び体重の SGR について、71 日以下、72 から 150 日、151 から 515 日、516 から 880 日、881 日以上の 5 グループに分け、それぞれの平均値と標準偏差を図 11 に示した。全

長、体重ともに、SGRはグループ間で有意な差が認められ (Anova, $P < 0.01$)、71 日以下と 72 日以上とのグループ間で有意な差が認められた (Tukey, $P < 0.001$)。一方、72 日以上とのグループでは、それぞれの間に有意な差は認められなかった ($P > 0.10$)。

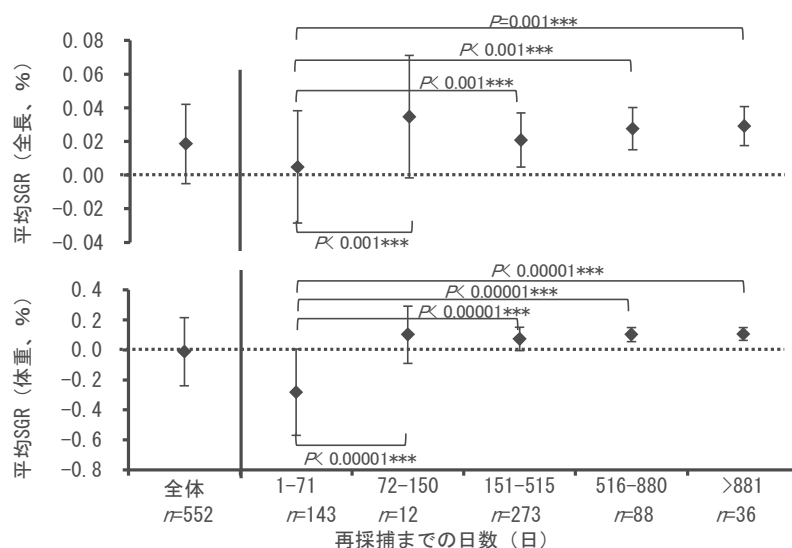


図 11 日数別成長率 (上下線は標準偏差を示す)

以上より、体重については、再採捕までの期間が 71 日以下の SGR は異常値であると判断し、72 日以上との個体について再採捕までの日数から 71 を差し引き、71 日補正 SGR を算出したところ、体重 SGR の平均値は 0.099% となり、この値が奈半利川における成長率を示すと考えられた (図 12)。

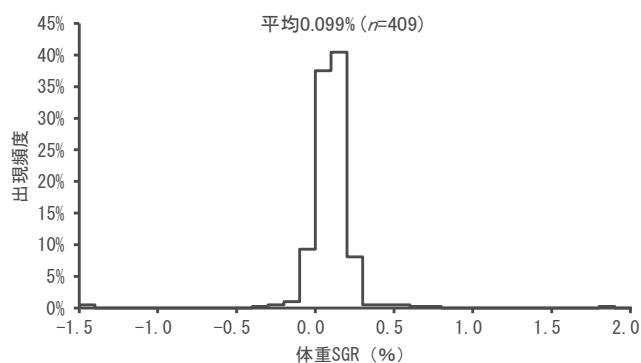


図 12 再採捕個体の補正体重 SGR

放流位置からの移動距離 (放流地点と再採捕地点の距離、定位個体を除く) を図 13 に示した。移動の範囲は -15.7km (降下) から 13.3km (遡上) で、平均は 0.042km (遡上) であり、概ね遡上と降下は均衡していると考えられた。

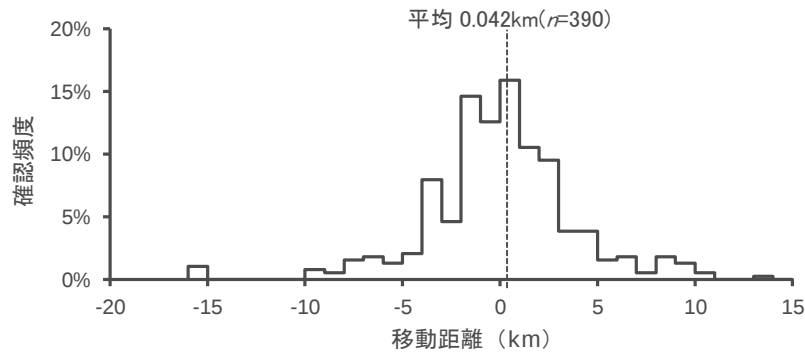


図 13 放流位置からの移動距離（定位を除く）

放流位置からの移動の傾向（支流を除く）を図 14 に示した。全体では、遡上した個体は 34.4%、降下した個体は 37.2%とほぼ同率で、放流位置から移動しない定位個体がやや少ない 26.7%となり、移動距離の分布に近い傾向を示した。流域区分別にみると、定位個体は河口で多く（79.1%）、中流上部で特に少なかった（18.0%）。また、遡上した個体は下流で多く、降下した個体は上流にいくほど多くなった。

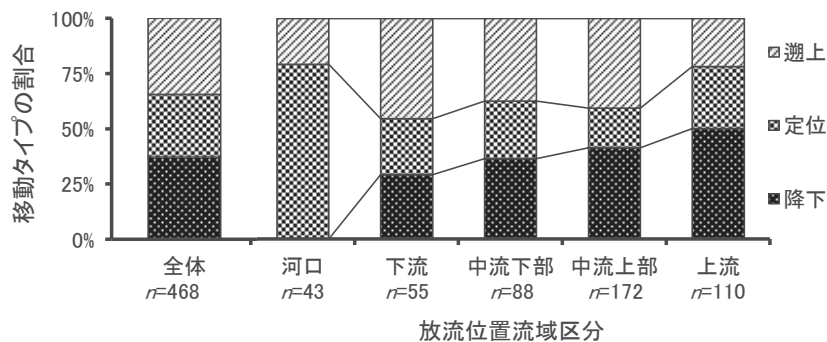


図 14 流域区分別移動の傾向（支流を除く）

(2) 定点調査

(ア) 令和 4 年度の結果

奈半利川本流の下流（野友）、中流（柏木マキ）及び上流（小島）の 3 地点に、それぞれ 2～3 か所の調査箇所を設定し、電撃ショッカーによるウナギの採捕調査を実施した（表 3）。調査は、夏季（7、8 月）及び秋季（10 月）の 3 回実施したが、このうち 7 月の野友（下流）は増水により、また 8 月の小島（上流）の 1 箇所は釣り人がいたため実施できなかった。7 月に中流の早瀬で 1 個体、上流の早瀬で 2 個体及び平瀬で 1 個体、8 月に上流の早瀬で 1 個体（逃避）、10 月に中流の早瀬で 1 個体、上流の早瀬で 3 個体及び平瀬で 2 個体を採捕し、確認個体は計 11 個体であった。

底質粗度は、平成 30 年度に実施した河床評価結果から調査箇所の値を抽出し、平均して求めた。

表3 調査結果一覧（令和4年）

実施月	地点名	河口からの距離	箇所名	巨礫率※	底質粗度※	ニホンウナギ			備考
						面積 (㎡)	確認 尾数	確認個体数 (個体/㎡)	
7月	野友 (下流)	4.2km	右岸平瀬(下)	40.8%	4.03	増水で調査できず			
			右岸平瀬(上)	55.6%	4.13	増水で調査できず			
	柏木マキ (中流)	7.6km	右岸早瀬	44.3%	4.26	253	1	0.0040	
			中央平瀬	52.6%	4.40	220	0	0.0000	
			左岸トロ+ヨシ	58.5%	4.54	160	0	0.0000	
	小島 (上流)	18.4km	右岸トロ(下)	73.4%	4.63	200	0	0.0000	
右岸早瀬			86.3%	4.80	100	2	0.0200		
上流平瀬			71.9%	4.54	158	1	0.0063		
8月	野友 (下流)	4.2km	右岸平瀬(下)	40.8%	4.03	210	0	0.0000	
			右岸平瀬(上)	55.6%	4.13	210	0	0.0000	
	柏木マキ (中流)	7.6km	右岸早瀬	44.3%	4.26	253	0	0.0000	
			中央平瀬	52.6%	4.40	220	0	0.0000	
			左岸トロ+ヨシ	58.5%	4.54	160	0	0.0000	
	小島 (上流)	18.4km	右岸トロ(下)	73.4%	4.63	100	0	0.0000	
右岸早瀬			86.3%	4.80	90	1	0.0111	逃避1尾	
上流平瀬			71.9%	4.54	釣り人がおり調査できず				
10月	野友 (下流)	4.2km	右岸平瀬(下)	40.8%	4.03	220	0	0.0000	
			右岸平瀬(上)	55.6%	4.13	180	0	0.0000	
	柏木マキ (中流)	7.6km	右岸早瀬	44.3%	4.26	254	1	0.0039	
			中央平瀬	52.6%	4.40	204	0	0.0000	
			左岸トロ+ヨシ	58.5%	4.54	168	0	0.0000	
	小島 (上流)	18.4km	右岸トロ(下)	73.4%	4.63	100	0	0.0000	
右岸早瀬			86.3%	4.80	100	3	0.0300		
上流平瀬			71.9%	4.54	174	2	0.0115		

※「岩盤・コンクリート」は、主に河床に埋没したコンクリートブロックであり、巨礫（直径256mm以上）に含めた。

（イ）平成25年度から令和4年度までの全体の結果

これまでに実施した定点調査の結果を表4に示した。ウナギは、小島地点（上流）で最も多く確認され、次いで柏木マキ（中流）で多かった。これらの地点は、いずれも巨礫（直径256mm以上）が多く、また浮石状態である点が共通していた。

表4 調査結果一覧

地点名	河口からの距離	箇所名	ウナギ			餌生物		
			累計調査 面積(㎡)	累計確認 個体数	確認個体数 (個体/100㎡)	累計調査 面積(㎡)	累計採捕 重量計	重量 (g/100㎡)
野友 (下流)	4.2km	右岸平瀬(下)	1,470.0	1	0.068	1,040.0	590.9	56.817
		右岸平瀬(上)	1,440.0	2	0.139	864.0	945.1	109.387
柏木マキ (中流)	7.6km	右岸早瀬	2,705.0	6	0.222	1,655.0	2452.2	148.169
		中央平瀬	2,278.0	4	0.176	1,338.0	2430.7	181.667
		左岸トロ+ヨシ	3,006.0	11	0.366	2,518.0	2404.0	95.473
小島 (上流)	18.4km	右岸トロ(下)	915.0	3	0.328	515.0	306.4	59.495
		右岸早瀬	871.0	13	1.493	581.0	1569.5	270.138
		上流平瀬	1,475.8	8	0.542	1,219.0	1473.9	120.911

調査箇所別の河床における巨礫（直径256mm以上）の割合と、100㎡当たりのウナギ確認個体数（4年計）及び餌生物の採捕重量（3年計）との関係を、図15及び図16に示した。

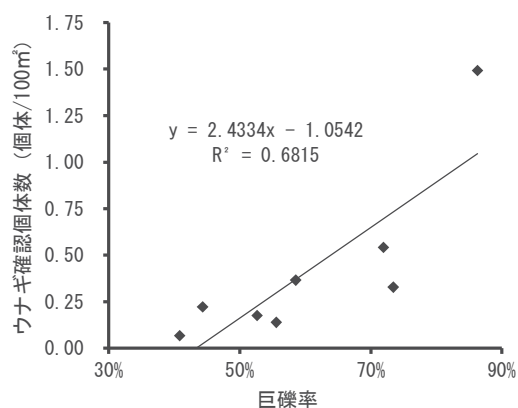


図 15 巨礫の割合とウナギ確認個体数

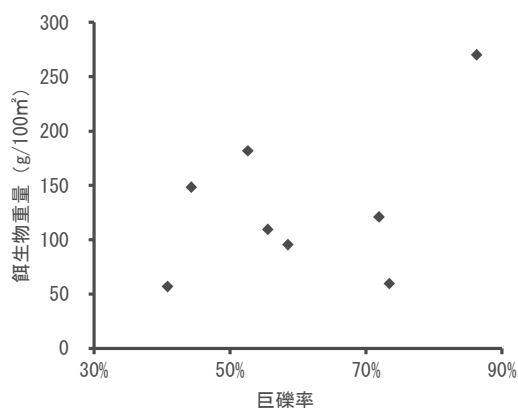


図 16 巨礫の割合と餌生物重量

巨礫の割合とウナギの確認個体数（個体/100 m²）の間には正の相関が認められ（Spearman の順位相関係数、 $P = 0.01538$ 、 $rs = 0.833333$ ）、巨礫の割合が高いほど確認個体数が増える傾向が認められた。一方、巨礫の割合と餌生物の採捕重量（g/100 m²）の間には、相関は認められなかった（ $P = 0.5364$ 、 $rs = 0.26190$ ）。

考察

（１） 標識放流調査

放流から再採捕までの期間が短い場合に瞬間成長率が負の値になるのは、採捕後に持ち帰って作業し、数日から数週間後に放流するという手法の負担が大きいため、ストレスで暫く摂食行動が鈍くなるためと考えられる。また全長に関しても、ばらつきが大きく負の値がみられるが、これは、麻酔方法が冷却と炭酸発泡入浴剤を使用した手法であり、麻酔のかかり方が緩慢なため、筋肉の弛緩が不十分な場合に全長が短くなる傾向があり、測定誤差が大きくなるためであると考えられる。また、漁業者により漁獲されたウナギは、複数個体を魚籠に収容して蓄養するため、尾部の先端が欠損した個体が散見されたことから、これもばらつきの原因になったと考えられる。以上より、奈半利川における体重の成長率は、再採捕までの期間が 72 日以上の個体について、再採捕までの日数から 71 を差し引き算出した、SGR の平均値 0.099% が妥当であると考えられる。



写真 1 尾部先端の欠損（軽度）



写真 2 尾部先端の欠損（重度）

（２） 定点調査

本調査では、ウナギの確認個体数と巨礫率との間に正の相関が確認された。ウナギの確認個体数が多い箇所は、巨礫の割合が大きいとともに、浮石状態であることが共通しており、これらが生息に適した条件であると考えられる。

参考文献

- 井上英治（2015）非侵襲的試料を用いた DNA 分析－試料の保存、DNA 抽出、PCR 増幅及び血縁解析の方法について－. 霊長類研究, 31, 3-18.
- 高知県内水面漁業センター（2017）追跡調査における DNA 多型解析を用いた個体識別の有効性検証. 河川及び海域での鰻来遊・生息調査事業 平成 29 年度報告書, 132-143.
- Okamura A, Yamada Y, Yokouchi K, Horie N, Mikawa N, Utoh T, Tanaka S, Tsukamoto K (2007) A silvering index for the Japanese eel *Anguilla japonica*. Environ. Biol. Fish., 80, 77-89.

担当者

高知県内水面漁業センター 稲葉 太郎

宮崎県におけるニホンウナギの生息状況及び生息環境の把握

宮崎県水産試験場内水面支場

技師 中武 邦博

要旨

宮崎県児湯郡新富町を流れる一ツ瀬川支流日置川を調査対象河川として、平成30年度～令和4年度の5年間に亘り、ニホンウナギの採捕調査を行ってきた。採捕したニホンウナギは、所定の項目を測定ののち、標識放流が困難な小型の個体を除く全ての個体に標識を施し放流した。調査の結果、5年間の調査で延べ775個体のニホンウナギを採捕し、そのうち再採捕した割合は、5年間の平均で約18%であった。移動距離について検証した結果、最大では600m以上の距離を移動した個体が確認されたが、半数以上の個体は採捕された上下流50m以内で再採捕されており、ニホンウナギは定住性の強いことが確認された。

また、本河川における調査区間へは100～149mm程度で下流から加入するものと考えられるとともに、その後徐々に定住していくものと思われた。

本河川におけるニホンウナギの資源量は、5か年の平均は847個体(12.7個体/100m²)と推定されたが、令和3年7月の調査時が最大となり、1,840個体(25.8個体/100m²)の資源量と推定された。最高25.8個体/m²の生息密度であったと推定されることから、良好な環境下であれば、本河川にはこの程度の収容力があるものと考えられた。

ただし、河川工事等で環境に変化が生じると、150mm以上の採捕個体数が著しく減少する事例が確認されており、環境の変化に敏感に反応し、生息場所を変えてしまう可能性が窺われた。

環境データ項目毎にニホンウナギの生息数との関係について検証した結果、草に覆われた場所を非常に好み、次いで礫を好むことが窺われた。

淵・瀬とウナギ生息数との関係においては、小型個体(200mm未満)は瀬を利用し、大型個体(200mm以上)になると淵を主体に利用すると考えられるが、小型個体では水温の低下に伴い淵に移動する傾向も観察された。

また、小型個体、大型個体とも流速の比較的遅い場所を好み、大型個体ほどその傾向が強いことが窺われた。

餌料生物の季節変動については、調査年や調査区間によって違いはあるものの、概ね夏に多くなり、水温の低下に伴って少なくなる傾向が見られた。調査した魚類や甲殻類の重量とニホンウナギの生息密度に相関は認められず、令和3年7月に行った大型個体の胃内容物調査では、水生昆虫が数量、重量ともに過半を占めていたことから、水生昆虫を含めた季節的な餌料生物の変化の状況を調査する必要があると考えられた。

全期間を通じた課題目標及び計画

ニホンウナギは、稚魚の採捕量が近年低水準で推移し、資源の減少が危惧されており、対策として河川への石倉の設置等の環境改善の取組等が実施されているが、河川等の環境においてどの程度のウナギ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。そこで、本課題では、宮崎県一ツ瀬川水系日置川において、ニホンウナギの採捕調査を行い、移動、成長、生息数を把握するとともに、環境調査により、生息環境と生息尾数の関係を明らかにし、併せて餌料生物の季節変動を把握することで、環境収容力推定に必要な基礎的知見を収集する。

方法

(1) 河川内におけるウナギの移動、生息数の把握

河口から上流に約 600m の感潮域上端の可動堰を調査区間の基点 (0m) に、基点から上流に 1,140m の根固めブロックを終点に設定し、平成 30 年度～令和 4 年度にかけて年 3 回 (7 月、9 月、11 月)、電気ショッカーにより採捕調査を行い、調査区間内のニホンウナギの生息数を調べた。なお、令和 4 年度の調査においては、台風等の影響が重なり 9 月に調査が実施できなかったため、10 月に実施した。

また、無標識の採捕個体のうち、標識が可能な概ね 120mm 以上の個体について、PIT タグ及びイラストマー蛍光色素、又はヒレ組織採取による DNA 標識を施して放流を行った。本河川では平成 27～29 年度にもニホンウナギの調査を実施し、合計で 525 個体を標識放流していることから、本調査では平成 29 年度以前の標識個体を含めて、標識の有無を確認した。

なお、PIT タグ及び DNA 標識により個体識別が可能であることを再採捕個体により確認した。

採捕個体については、平成 29 年 6 月以降の、延べ 18 回の採捕調査及び標識放流で得られた結果から、調査区間 (1,140m : 7,141 m²) の資源個体数を Jolly-Seber 法により推定し、調査対象河川の資源量を推定するとともに、再採捕個体の採捕場所及び測定の結果から、河川内における移動・成長について調べた。

成長については、全長の瞬間成長率 (Specific Growth Rate : 以下「全長 SGR」) を以下の式により求めた。

$$\text{全長 SGR (\%)} = 100 \times (\ln (L2) - \ln (L1)) / t$$

※ L1 : 放流時全長 (mm)、L2 : 再採捕時全長 (mm)、t : 再採捕までの日数

また、全長の日間成長量 (Growth Rate : 以下「全長 GR」) を以下の式により求めた。

$$\text{全長 GR (mm/日)} = (L2 - L1) / t$$

※ L1 : 放流時全長 (mm)、L2 : 再採捕時全長 (mm)、t : 再採捕までの日数

(2) 河川内の生息環境の把握

調査区間の全区間（1,140m）で環境調査（水面幅、水深、底質、隠れ家）を実施し、環境データの各項目を把握して、各環境データ項目と生息密度の関係について検討を行った。

また、採捕調査時に採捕個体ごとの生息環境（瀬・淵の区分）、隠れ家を記録し、さらに流速の測定を行い、200mm未満の個体と200mm以上の個体における生息環境の違いについても検討を行った。

なお、環境データについては、平成30年度に全調査区間を実施後、令和元年度は橋脚の補強工事、令和2年度は河川工事に伴う再調査を一部区間で行って補正した。さらに、令和3年度については、土砂の撤去工事が行われたことから、全調査区間において、5m間隔で水面幅、水深、底質、さらに区間内の隠れ家の被覆度について再調査を行い更新した。

（3）餌料生物の季節変動の把握

調査対象河川において、ウナギ採捕個体数が多い生息環境の一例である、「①流れの速い瀬、②20～30 cmの大礫～巨礫が占有、③草に覆われている」の3条件を満たす調査区間（20m）を複数区間設定し、3回/年、電気ショッカーを用いて魚類及び甲殻類の採捕調査を実施し、これらの季節変動を検討した。

また、令和3年7月の調査においては、ニホンウナギの食性を明らかにするため、採捕された全長200mm以上の個体についてストマックポンプを用いて胃の内容物を吸い出し、実体顕微鏡を用いて分類を行った。

結果

（1）河川内におけるウナギの移動、生息数の把握

採捕調査の結果を表1に、再採捕個体の一覧を表2に示す。

各年度におけるニホンウナギの採捕個体数（再採捕個体を含む。）は、平成30年度が103個体、令和元年度が220個体、令和2年が136個体、令和3年度が133個体、令和4年度が183個体となった。

各年度の標識率は、平成30年度が21.4%、令和元年度が19.1%、令和2年度が13.2%、令和3年度が18.8%、令和4年度が18.0%であった。

再採捕個体の観察から、本調査において使用したPITタグ及びDNA標識については十分に個体識別ができることが確認された。

表1 ニホンウナギの年度別採捕状況

調査年		2018			2019			2020			2021			2022		
調査月		7月	9月	11月	7月	9月	11月	7月	9月	11月	7月	9月	11月	7月	10月	11月
採捕尾数 (個体)	月別	41	29	33	86	96	38	46	39	51	57	50	26	61	67	55
	合計	103			220			136			133			183		
再採捕数 (個体)	月別	11	4	7	14	20	8	9	2	7	9	10	6	9	15	9
	合計	22			42			18			25			33		
標識率	月別	26.8%	13.8%	21.2%	16.3%	20.8%	21.1%	19.6%	5.1%	13.7%	15.8%	20.0%	23.1%	14.8%	22.4%	16.4%
	合計	21.4%			19.1%			13.2%			18.8%			18.0%		

調査区間を 50m ごとに St. 1 から St. 23 までの 23 区間に区分し、分けた区間毎の採捕個体数を図 1 に示す。

その結果、最も多く採捕された調査区間は、St. 6 でその数は 80 個体であった。St. 14 から上流は採捕個体数が少ない傾向が見られたが、大型個体（200mm 以上）については、全調査地点において満遍なく採捕される一方で、小型個体（200mm 未満）については、下流域では多く採捕されたが、St. 14 から上流は顕著に少なかった。

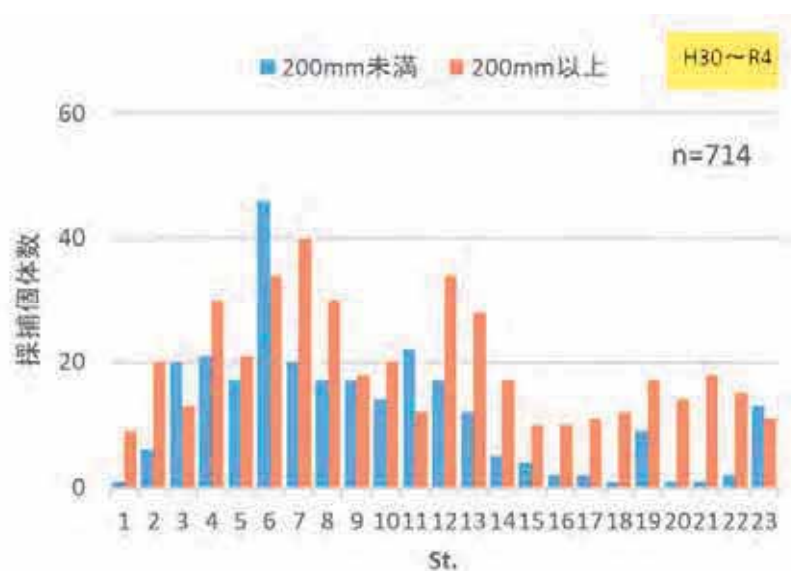


図1 調査区間別採捕個体数（5 か年累計）

令和 4 年度に採捕された有標識個体の移動状況を図 2 に示す。

有標識個体の 65.6%が前回採捕し放流した地点の 50m 以内に再採捕された。

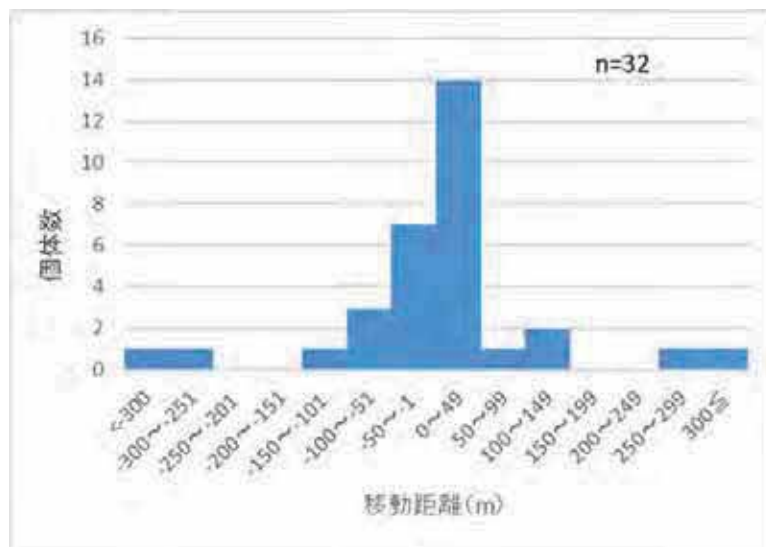


図2 令和4年度における再採捕個体の移動距離の頻度分布

5年間で再採捕された個体142個体の経過日数（初めて採捕され日から、再採捕されるまでの日数）ごとの移動状況を図3に示す。

最大で700m以上の距離を移動した個体は確認されたが、全体の約60%の個体は、放流地点から上下50m以内で再採捕され、また、経過日数を経ても、その傾向は変わらなかった。

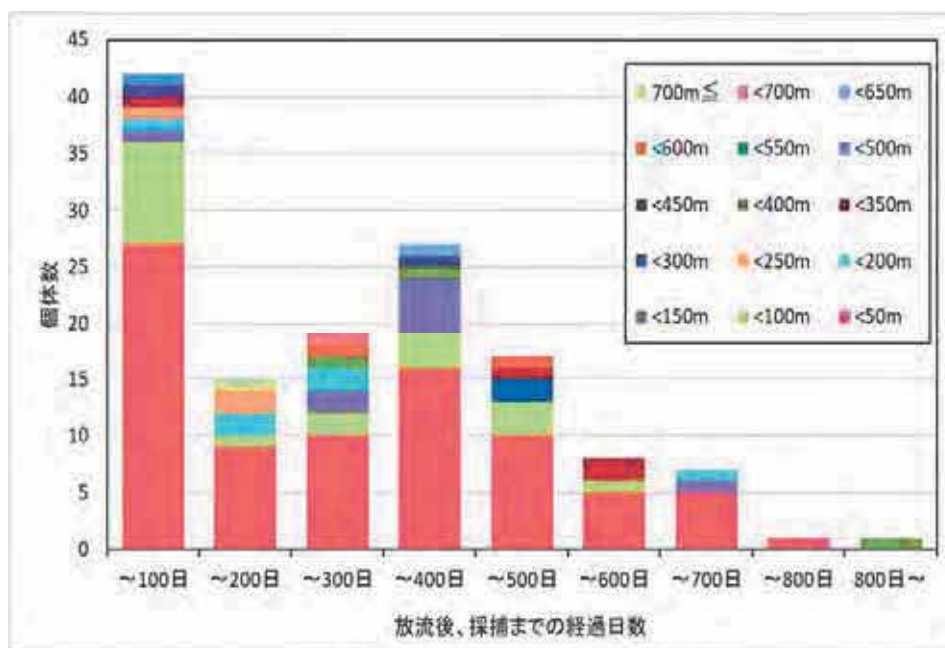


図3 経過日数ごとの移動距離

年度別の採捕個体の全長組成を図 4 に、PIT タグを 6 桁数字で管理し始めた平成 30 年度調査以降について再採捕個体のデータを表 2 に示す。

ニホンウナギの平均全長は平成 30 年度が 298mm、令和元年度が 310mm、令和 2 年度が 231mm、令和 3 年度が 268mm、令和 4 年度が 266mm であった。

令和 2 年度は 100～149mm の採捕が多く、150mm 以上の採捕個体数が他の年度に比べ少なかった。

令和 2 年度以外においても、平成 30 年度、令和 4 年度に 100～149mm の採捕が多かった。

平成 30 年以降の標識個体については、多い個体で調査期間中 3 回の再採捕があった。

標識放流から再採捕までの日数については、短いものは標識放流後、次の調査で採捕された 44 日、長いものでは 1098 日を経過した個体があった。

この表からも、再採捕の多くが同じ区間あるいは隣接する区間となっていることが分かる。

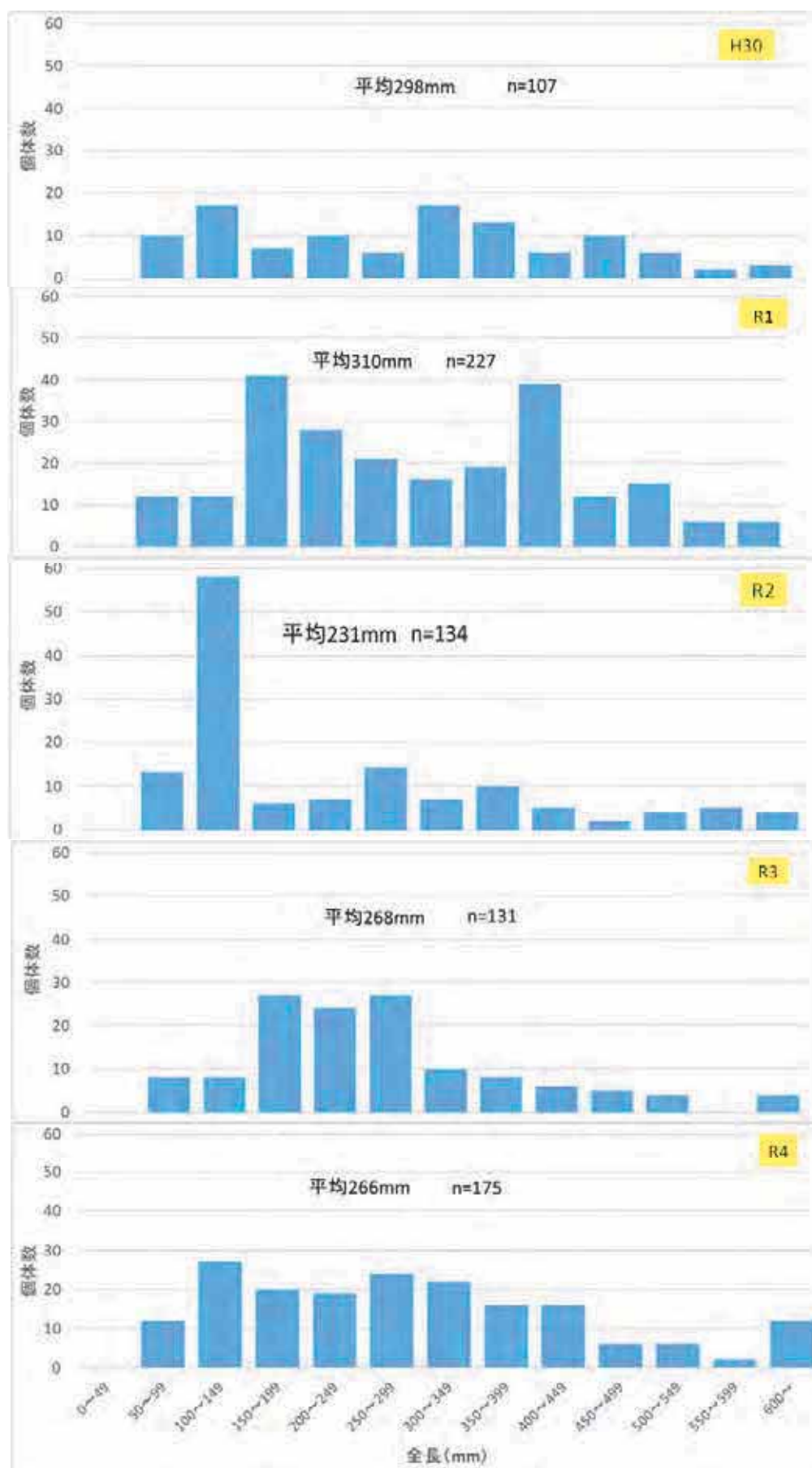


図4 年度別における採捕個体の全長組成

表2 再採捕個体一覧

	採捕年月日	再採捕年月日			全長(cm)				経過日数			移動距離(絶対値)			採捕区間			
No.	標識放流年月日	1回目	2回目	3回目	標識放流時	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	標識放流時	1回目	2回目	3回目
1	2016/1/26	2016/8/9			35.0	41.6			196			220			2	2		
2	2016/1/26	2016/8/9	2017/11/1		24.0	31.9	38.3		196	449		220	10		2	2	2	
3	2016/1/26	2016/6/8			23.0	24.7			134			0			2	2		
4	2017/6/19	2017/11/1			24.6	27.0			135			160			2	2		
5	2017/7/3	2017/8/29			16.8	21.5			57			525			3	3		
6	2017/7/3	2017/11/2			24.3	27.7			122			180			3	3		
7	2017/7/3	2017/11/2			19.0	36.4			122			925			3	3		
8	2017/8/28	2017/11/1			41.5	41.2			65			0			1	1		
9	2017/8/29	2017/11/2			26.0	26.2			65			15			3	3		
10	2017/8/28	2017/11/1			31.2	31.5			65			15			3	3		
11	2016/1/26	2016/6/8			27.9	32.5			134			0			2	2		
12	2016/8/9	2017/11/1			38.5	40.0			449			55			2	2		
13	2017/7/3	2017/11/2			62.8	64.0			122			5			3	3		
14	2017/7/3	2017/8/29			57.7	58.0			57			15			3	3		
15	2017/7/3	2017/8/29	2017/11/2		33.3	38.6	42.4		57	65		25	75		3	3	3	
16	2017/7/3	2017/8/29			38.9	40.8			57			10			3	3		
17	2017/6/19	2017/11/1			50.9	53.5			135			75			2	2		
18	2017/6/19	2017/8/9			43.6	45.0			51			30			1	1		
19	2018/11/26	2019/7/12			13.5	15.5			228			595			23	11		
20	2022/7/26	2022/10/5			29.0	30.0			71			25			21	22		
21	2022/7/26	2022/10/5			40.5	46.0			71			20			8	8		
22	2018/9/26	2018/11/26			39.9	39.2			61			55			7	9		
23	2018/9/26	2018/11/26	2019/9/26		21.3	21.2	31.8		61	304		0	35		7	7	7	
24	2018/11/26	2019/9/26			34.3	49.3			304			30			20	21		
25	2018/11/26	2019/7/12			38.2	43.0			228			100			3	5		
26	2018/7/13	2019/9/26	2021/9/21		35.2	54.0	71.5		440	726		5	115		19	19	22	
27	2018/7/13	2019/9/26			36.8	51.7			440			15			7	7		
28	2018/7/13	2018/11/26			48.7	51.4			136			10			17	17		
29	2018/9/26	2019/7/12			45.8	51.9			289			25			21	21		
30	2018/7/13	2018/11/26	2019/7/12	2019/9/26	31.1	34.8	40.0	41.8	136	228	76	10	30	10	4	3	4	4
31	2018/7/13	2020/7/20			44.9	67.0			738			25			16	15		
32	2018/7/13	2019/7/12			17.8	25.0			364			5			2	2		
33	2018/9/26	2018/11/26			14.9	15.0			61			75			7	9		
34	2018/7/13	2021/7/15			39.9	67.4			1098			375			14	22		
35	2018/11/26	2019/9/26			64.0	66.0			304			30			22	23		
36	2018/11/26	2019/7/12	2020/7/20		22.2	26.4	34.1		228	374		50	10		3	4	4	
37	2020/9/28	2021/11/24			16.3	24.3			422			5			9	9		
38	2021/9/22	2021/11/24	2022/9/25		42.4	42.4	54.0		63	315		10	15		6	6	5	
39	2020/9/28	2021/7/14			29.5	35.4			289			35			14	13		
40	2021/7/15	2022/10/5			22.2	50.0			447			260			17	12		
41	2021/7/14	2022/10/5			13.4	34.0			448			290			6	12		
42	2019/9/26	2020/7/20			18.5	25.8			298			660			10	23		
43	2021/7/14	2021/9/22	2022/9/25		27.9	30.1	40.6		70	378		35	0		8	9	9	
44	2019/9/26	2020/7/20			27.9	37.6			298			40			11	10		
45	2021/9/22	2022/11/21			36.0	46.0			425			45			4	5		
46	2020/9/28	2020/11/11			39.2	39.1			44			5			1	1		
47	2020/9/28	2021/11/24	2022/9/25		13.3	20.3	27.5		422	315		310	5		13	7	7	
48	2020/9/28	2020/11/11	2021/7/15		14.3	14.8	19.5		44	246		430	365		7	16	23	
49	2019/9/26	2019/11/13			16.2	16.4			48			125			11	9		
50	2021/9/22	2022/7/26			17.3	31.7			307			354			12	19		