水温の将来変化がアユの遡上時期に 及ぼす影響について

IMPACT OF FUTURE CHANGES IN WATER TEMPERATURE ON THE UPSTREAM MIGRATION TIMING OF SWEETFISH

鈴木靖¹・本間基寛²・佐藤嘉展³・道広有理⁴・竹門康弘⁵
Yasushi SUZUKI, Motohiro HONMA, Yoshinobu SATO, Yuri MICHIIHIRO
and Yasuhiro TAKEMON

¹正会員 理博 京都大学特定教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

²正会員 工博 京都大学特定助教 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

³正会員 農博 京都大学特定准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁴正会員 理修 一般財団法人日本気象協会 (〒542-0081 大阪市中央区南船場2-3-2)

⁵正会員 理博 京都大学准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

In this study, climate change impact of future water temperature on the fishery resources was considered. Future water temperature changes of Kiso River and Ise Bay were calculated by coupled river-ocean model under the CMIP3 A1B scenario. Water temperature increase of Kiso River was about 3 degrees, and sea surface temperature increase of Ise Bay was about 2 degrees. Coastal areas were more strongly influenced.

By the analysis of observed data, the upstream migration timing of sweetfish was negatively correlated with water temperature difference (sea – river). Calculated future water temperature difference was smaller than that of present, which resulted in earlier start of the upstream migration of sweetfish.

Key Words : climate change, water temperature, Kiso River, Ise Bay, sweetfish

1. はじめに

地球温暖化は気温上昇のみならず、河川や海洋の水温上昇や、降水量変化による河川流量の変化などをもたらす。河川沿岸域の流動・水質・生態系に様々な影響を及ぼすことが考えられる。文部科学省ほか¹⁾によれば、21世紀末の日本の気温はA1Bシナリオ(21世紀末の大気中温室効果ガス濃度が20世紀末の約2倍で、排出量が少ないB1シナリオと排出量の多いA2シナリオの中間的な位置づけ)で約3.2℃の上昇が予測され、世界平均よりも上昇量が多い。また日本の海面水温は、A1Bシナリオの場合で100年間あたり2.0~3.1℃上昇し、南方海域よりも日本海の上昇量が多いと予測されている。水温の上昇は様々な水産資源への影響をもたらす可能性が指摘されている。

東ほか²⁾は伊勢湾のアサリ漁獲量に及ぼす気象の長期変動の影響を調べた。1990年から2000年までの水質底質モデルの長期シミュレーション及び観測値の解析から、

1990年から1996年までのアサリ漁獲量の減少とその後の増加傾向は、季節的な貧酸素状態の発生等の水質変化が要因ではなく、春の産卵期の水温の1996年以降の長期的な変動に伴う親貝の産卵量の変化が主な要因であることを明らかにした。また、田子³⁾は富山湾沿岸の河川に遡上したアユ稚魚の体長と河川水温の関係を調べ、両者の間には有意な負の相関関係があり、水温の上昇はアユ稚魚の体長の小型化をもたらすことを指摘した。将来の海水温上昇は水産資源の分布や回遊に影響を及ぼし、漁場の北偏化やサンマなどの漁獲物の小型化などが予測されている¹⁾。将来の水産資源保護のためには水温等の予測をもとにした水産資源への影響評価と適応策の検討が必要となる。本研究では木曾三川、伊勢湾を対象として水温の将来予測を行い、アユの遡上時期に与える影響を考察することを目的とした。

伊勢湾は河川水の流入の影響が東京湾や大阪湾に比べて大きく、河川から沿岸までの流域圏を統合的に評価することが必要である。鈴木ほか⁴⁾は河川海洋結合モデルを開発し、大雨出水時の木曾三川からの浮遊土砂拡散計

算結果が衛星観測による伊勢湾内の濁水の拡がりをよく再現していることを示した。さらに鈴木ほか⁹⁾はIPCC⁶⁾の第4次評価報告書に引用された大気海洋結合モデルCMIP3の将来予測を用いて、伊勢湾水温の将来変化予測と大気・海洋・河川の各気候変化外力に対する感度分析を行った。その結果、A1Bシナリオに基づく将来予測では伊勢湾全体の水温は2℃以上上昇し、特に沿岸部での上昇量が高いこと、気候変化外力の河川の影響は河川流量と相関関係が高いことを明らかにした。

本研究では、木曽三川と伊勢湾の水温の将来変化が魚介類に及ぼす影響について、河川と沿岸部を生息域とするアユ（学名：*Plecoglossus altivelis altivelis*）を対象として、遡上時期の将来変化を考察することを目的とした。

2. 木曽川と伊勢湾の水温の将来変化

(1) 河川海洋結合モデル

河川海洋結合モデルは、1) 分布型流出モデル、2) 不定流モデル、3) 海洋循環モデル、4) 海洋拡散モデル、の4モデルで構成されている。1) と2) が河川モデルであり、感潮区間より上流を分布型流出モデルで計算し、堰などの下流から河口までの感潮区間を不定流モデルで計算する。3) 海洋循環モデルは湾内の海流・水温・密度などの物理量を計算し、ここで計算された流動場を用いて物質の移流拡散を4) の海洋拡散モデルで計算する。各々のモデルは、流量・水位・物質フラックス等の境界条件を結合させる形で用いる。

分布型流出モデルはKojiri⁷⁾によって開発されたHydro-BEAMを用いる。流域は1 kmメッシュのセルに分割され、各セルは1本の河道とそれに接続する2つの斜面の集合体として表現されている。木曽三川流域では貯水池操作を考慮した高度なモデル化が行われている（佐藤ほか⁸⁾）。また、地表面熱収支モデル（気温、日射、比湿を入力）による地表面温度を基にした雨雪判別及び融雪計算と、樹木による降雨遮断の効果が考慮されている。

海洋循環モデルは九州大学応用力学研究所のRIAMOMを用いる(Lee and Yoon⁹⁾)。基本方程式は座標に基づく運動方程式・連続の式・静水圧近似式・トレーサーの移流方程式からなり、予報変数は流速3成分・圧力（海面高度）・水温・塩分である。高次移流スキームや海底地形に沿った斜め移流の導入などにより高精度化が図られ、沿岸域の海底勾配が急峻な海域においても計算安定性の高いことが特徴である。海表面を通した熱輸送は、海面水温と気象要素（気温、風速、湿度、雲量、日射）を用いてバルク法により計算される。

(2) 木曽川の水温の将来変化

河川流量と水温の将来変化量は、Hydro-BEAMの現在気候再現計算と将来気候予測計算のモデル計算値の差か

ら求めた。Sato et al.¹⁰⁾による水温の計算は、表層流は気温で与え、基底層は年間平均気温とし、その間の地下浸透層の温度プロファイルは熱伝導方程式で設定して各層から流出する水温を設定するという簡便なモデルである。流出量と水温の保存則から河道内の水温を求めていく。

現在気候再現計算は1983年から2000年まで、将来気候予測計算はCMIP3のA1Bシナリオに対する2083年から2100年までの18年間の計算を行った。Sato et al.¹⁰⁾はCMIP3の複数のモデルを現在気候再現性によってスクリーニングし、木曽三川流域の降水量と気温の将来変化量を求め、Hydro-BEAMの外力変化として与えた。図-1にはHydro-BEAMによる現在と将来の水温計算値の差分と、18年間の日平均気温の順位との関係を示す。21世紀末の木曽川河口付近の水温は気温の大小に関わらず、概ね現在よりも約3℃上昇することがわかる。

(3) 伊勢湾の水温の将来変化

伊勢湾の水温の将来計算は、大気（降水量・気温）、海洋（海面水温）、河川（河川流量・水温）の将来変化量を海洋循環モデルRIAMOMの外力変化として与えて計算した（鈴木ほか⁹⁾）。現在気候再現は2004年を対象とし、将来気候予測はA1Bシナリオに対する21世紀末を対象とした計算結果である。

図-2には三重県水産研究部¹¹⁾による観測点の位置を示す。伊勢湾内16か所に定点を設け、月1回の海洋観測が継続的に行われている。湾奥の地点2について、2004年の海面水温計算値と観測値の比較を図-3に示す。1月から4月にかけて計算値は観測値よりも約5℃高めとなっている。この冬季水温の高温バイアスは湾奥に限らず、伊勢湾全体でみられる。鈴木ほか⁹⁾はモデル計算値の冬季水温の高温バイアスについて、冬季の表層からの冷却が十分ではなく、モデルの乱流混合過程の改良の必要性を指摘している。アユの遡上時期への水温影響を検討するためには水温の絶対値が重要となるため、月別にバイアス補正を行った。補正量が将来も変わらないものと仮定して、地点2の将来海面水温の季節変化を計算した結果を図-4に示す。図-3に示すバイアス補正量は月別に連続的に変化しており、補正後の水温変化（図-4）に不連続

図-1 木曽川水温の将来変化量と日平均気温の関係。

図-2 三重県水産研究部¹¹⁾による観測点の位置図。

図-3 地点2の海面水温の計算値(2004年)と観測値の各月別の比較。

図-4 地点2の海面水温のバイアス補正後の現在気候再現値と将来気候予測値の各月別の比較。

性は見られない。将来の海面水温はどの季節も約2℃上昇し、冬季でも水温が10℃を下回ることがなくなり、8月には30℃を超えることが予測されている。鈴木ほか⁹⁾によれば、海面水温の上昇量は水深の浅い河口部や沿岸部で特に顕著となり、上昇量は3℃を超えることが指摘されている。また、河川流量と海面水温変化の間には明瞭な相関関係があることも指摘されている。水温の上昇は魚類の生息環境に大きな影響をもたらすことが予想される。

3. アユ遡上数データの解析

(1) 解析データ

長良川河口堰では魚道を通じたアユの遡上数を平成7年から計測している¹²⁾。平成11年までは3か所の魚道において、目視による観測が行われていたが、平成12年以降は左岸及び水式魚道においてビデオによる連続録画を行い、この録画記録を基に稚アユの遡上個体数を計測する方法で調査を実施している。計測方法が統一されている平成12年以降の、毎日のアユ遡上数データを解析対象とした。河川水温は伊勢大橋(長良川)の観測データを解析対象とし、海面水温は三重県水産研究部¹¹⁾による伊勢湾内の定点観測から長良川河口部に近い地点1及び地点2を解析対象とした。地点1の海底水深は10m、地点2の水深は24mであり、地点1の水深が浅い。伊勢湾の観測データが入手できた平成22年までを対象期間として、アユ遡上数と河川・海面水温との関係を調査した。

(2) アユ遡上数の変化

図-5には長良川河口堰のアユ遡上数の日々の変化を示す。日々のアユ遡上数観測データには天候や濁りなどの影響で数日間の短期的な変動がみられた。短期的な変動を取り除いて旬の変化に注目するために、アユ遡上数に10日間の移動平均を施した。図示のように、アユ遡上数は年によって大きく変動する。遡上総数については平成20年の269万尾、平成21年の217万尾をピークに、平成18年の13万尾、平成17年の7万尾まで、年による大きな変動がある。山本(2009)¹³⁾は各地のアユ遡上数と環境要因について解析し、長良川のアユ遡上数と前年10月中旬の南知多の海水温と岐阜市降水量の関係を調べた。長良川では海水温との間に明瞭な関係は認められないが、和歌山県の日高川では海水温が高い年に遡上数が減少する傾向が報告されている。

図-5のアユ遡上数の日変化を見ると、遡上数にはピー

図-5 長良川河口堰におけるアユ遡上数の平成12年から22年までの日々の変化。アユ遡上数は10日移動平均をかけて平滑化している。

クがいくつか見られる。平成20年の遡上数の変化を図-6に抜き出すと、4回ほどの遡上数のピークが認められる。遡上開始から最初の遡上数のピークを過ぎて、遡上数が減少し谷間となるまでの間をアユ遡上の第一波と定義する。第一波は図-6の網掛けの範囲となる。同様に、各年の第一波を抽出することができる。第一波の終了日、第一波の遡上総数、第一波の遡上総数の5%を超過した日を整理して表-1に示す。なお、平成12年、13年、14年は明瞭な第一波が認められなかったため解析対象から除いた。第一波の遡上の目安として5%超過日以外にも、初遡上確認日、1%超過日、400匹超過日などの指標を変えて水温差との関係を調べたが、5%超過日との相関が高いことから5%超過日を目安とした。

表-1に示すように、第一波終了日が早い年は概ね第一波5%超過日も早い傾向にあるが、必ずしも対応が良いわけではない。平成15年と平成19年に着目すると、第一波終了日は平成15年の方が早いですが、第一波5%超過日は平成19年の方が早くなっている。

(3) アユ遡上開始と水温差の関係

海面水温と河川水温の差とアユ遡上開始時期の変化を調べた。図-7には、地点1の海面水温と伊勢大橋の河川水温の差の季節変化を示す。10月から3月までは海面水

図-6 平成20年のアユ遡上数の日々変化。網掛けは第一波のアユ遡上群を示す。

表-1 アユ遡上第一波の終了日、遡上総数、5%超過日の一覧。

年	第一波 終了日	第一波 遡上総数	第一波 5%超過日
平成12年	—	—	—
平成13年	—	—	—
平成14年	—	—	—
平成15年	4月12日	35,972	3月21日
平成16年	3月26日	15,153	3月15日
平成17年	4月9日	6,317	4月2日
平成18年	3月21日	3,928	3月11日
平成19年	4月14日	17,426	3月4日
平成20年	4月10日	295,822	3月28日
平成21年	4月23日	407,244	4月12日
平成22年	4月16日	22,417	3月27日

温の方が高いが、4月から6月は河川水温の方が高くなっている。アユの遡上開始時期と水温差の関係について、海と河川の水温が同じころにアユの遡上が始まるという通説があるが、高橋¹⁴⁾はこの通説を誤解であると否定している。ここでは前項で定義したアユ遡上の第一波5%超過日を、アユの遡上が本格的に始まる日として考え、水温差と遡上開始時期との関係を調べる。

地点1と地点2の各々と伊勢大橋の河川水温の差について、3月と4月の2回の海面水温の観測値と対応する河川水温の観測値との差を平均水温差として求め、第一波5%超過日との関係を図-8及び図-9に示す。田子¹⁵⁾によれば富山湾のアユ仔魚は海岸線から1km以内の海域で、塩分躍層より表層に主に分布していると報告されており、アユの生息水深の水温として海面水温を用いることは妥当といえる。3月から4月の遡上開始時期の水温差とアユの本格的遡上開始日との間には明瞭な相関関係が認められる。地点2よりも水深の浅い地点1の方が相関性が高い。相関係数の検定によると、地点1は危険率5%で有意な相関があるが、地点2は有意な相関がないとの結果が得られた。同様な解析を海面水温及び河川水温各々に対して行ったが、第一波5%超過日と海面水温（地点1）との決定係数は $R^2=0.0822$ 、河川水温（伊勢大橋）とは $R^2=0.4122$ であり、水温差との決定係数 $R^2=0.5830$ に比べて小さく、水温差の方が遡上開始時期との相関性が高い。この解析結果によれば、海域と河川の水温が同程度になるとアユの遡上が本格的に始まることを意味しており、高橋¹⁴⁾の説を否定する結果となった。

海面水温の観測値として地点1を用いた場合の伊勢大橋との水温差が、地点2に比べて相関が強いことはアユの回遊域との関連性を示唆している可能性が考えられるが、アユの生息分布は水温以外の要因とも深くかかわっていることから、今後のより詳細な解析が必要である。

アユの遡上開始時期の変化を説明する一つの因子として、海域と河川の水温差が重要であることが示されたことは、河川海洋結合モデルによる河川流域から沿岸域までの統合的モデリングの必要性を示している。また、アユの本格的な遡上開始時期を表す指標として、ここで提案した第一波5%超過日が目安となることを示している。

図-7 海面水温と河川水温の差の季節変化。平成12年から平成22年までの平均水温差（地点1ー伊勢大橋）。

図-8 3月および4月の平均水温差（地点1の海面水温－伊勢大橋の河川水温）と第一波5%超過日（アユの本格的遡上開始日）との関係。

図-9 図-8と同様。ただし平均水温差（地点2の海面水温－伊勢大橋の河川水温）との関係。

上記の解析結果をふまえると、アユの遡上開始時期である3月から4月の海域と河川の水温差が将来変化すれば、アユの遡上開始時期に影響を与えることが考えられる。将来の水温差が大きくなる場合には河川水温が上昇して海域と同程度になる時期が遅くなり、遡上開始時期も遅くなる。逆に、水温差が小さくなる場合にはアユの遡上開始時期が早まることが考えられる。

4. 温暖化によるアユ遡上開始時期の変化

海域と河川の水温差がアユの本格的な遡上開始時期と関連する指標の一つであり、現在と将来でその関連性が変わらないとの仮定にもとづいて、温暖化によるアユ遡上開始時期の変化を調べることができる。ただし、アユの遡上時期は個体の発育段階等の水温以外の要因にも関連すると考えられることから、ここでの議論はあくまで

水温の寄与による定性的な議論にとどまる。

2004年（平成16年）の海域（地点1）と河川の水温差のモデル計算結果に対して観測値を用いてバイアス補正を行い、水温差を求めた結果を図-10に破線で示す。21世紀末の将来予測についても海域と河川のモデル計算結果に対して同じバイアス補正を行った結果を図-10に実線で示す。将来の水温差は現在よりも小さくなる。温暖化により海面水温と河川水温のどちらも現在よりも上昇することが予測されているが、将来の河川水温の上昇量は海面水温の上昇量よりも大きい。したがって、水温差（海域－河川）は小さくなるものと考えられる。これは、海洋モデルによる海面水温の将来予測において、水温上昇量は水深の浅い河口部や沿岸部で特に顕著であることと整合性のある結果である。

平成16年のアユ遡上開始時期を表-1の第一波5%超過日から3月15日と定め、その日の水温差を求めると1.4℃である。水温差1.4℃をアユの本格的な遡上開始時期の閾値と考え、遡上時期と水温差の関係が将来も変わらないものと仮定する。将来予測値で水温差が1.4℃となる時期を図-10の矢印から読み取ると、2月10日となる。平成16年の1年間だけのアユ遡上時期から推定した結果ではあるが、21世紀末にはアユの遡上開始時期は約1か月早まる可能性があるといえる。

温暖化はアユの遡上時期に影響を及ぼすだけではなく、アユの体長が小型化する可能性も考えられる。田子³⁾は富山湾沿岸の河川に遡上したアユ稚魚の体長と河川水温の関係を調べ、水温の上昇はアユ稚魚の体長の小型化をもたらすことを指摘している。また、岸野・四宮¹⁶⁾はリュウキュウアユの遡上生態を調べ、アユと比べて発育段階の早い小型、若齢個体が多いことを示し、その原因として、リュウキュウアユは海域生活期間を低水温期の短い亜熱帯域に適応したためではないかと考察している。伊勢湾のアユの遡上開始時期が将来早まるとすれば、ア

図-10 海域（地点1）と河川の現在（2004年）の水温差と、21世紀末の水温差の時系列。河川及び海洋モデルによる現在再現値をバイアス補正し、同じ補正量を将来予測計算に適用した。矢印は2004年の第一波5%超過日3月15日と同じ水温差が将来予測値で出現する日を表す。

ユの海域生活期間は短くなり、リュウキュウアユと同様な温暖化への適応を示し、若齢、小型のアユが遡上するようになる可能性があるといえる。

5. 結論

本研究では、木曽三川と伊勢湾の水温の将来変化が魚介類に及ぼす影響について、河川と沿岸部を生息域とするアユを対象として、遡上時期の将来変化を考察することを目的とした。

河川海洋結合モデルを用いて、木曽川と伊勢湾の将来の水温変化を求めた。その結果、21世紀末の木曽川河口付近の水温は気温の大小に関わらず、概ね現在よりも約3℃上昇することがわかった。また、伊勢湾の将来の海面水温はどの季節も約2℃上昇し、その上昇量は水深の浅い河口部や沿岸部で特に顕著で上昇量は3℃を超えることがわかった。

長良川河口堰で計測されたアユ遡上数のデータと河川水温および海面水温との関係を調べた。その結果次のような結論が得られた。

- ・アユ遡上数の第一波を定義し、第一波5%超過日がアユの本格的な遡上開始時期の一つの指標となること
- ・3月から4月の遡上開始時期の水温差（海域－河川）と第一波5%超過日（アユの本格的遡上開始時期）との間には明瞭な相関関係があること

温暖化によるアユ遡上開始時期の変化を、河川海洋結合モデルによる将来予測結果を用いて考察した。水温差とアユの遡上開始時期との関連性が将来も変わらないこと、現在の遡上時期の水温差が将来もそのまま指標となることを仮定すると、21世紀末のアユの遡上開始時期は約1か月早まる可能性があることがわかった。ただし、この解析は平成16年のアユ遡上時期から推定した1事例だけの結果であること、及び、アユの遡上時期は水温以外の要因にも関連することに留意する必要がある。アユの遡上開始時期が将来早まるとすれば、アユの海域生活期間は短くなり、リュウキュウアユと同様な温暖化への適応を示し、若齢、小型のアユが遡上する可能性がある。今後は、解析対象期間を広げて結果の一般性を検討すること、アユ遡上時期と水温以外の要因の解析、他地域での検討などが課題である。

河川と海域の水温の将来変化が魚介類に及ぼす影響について、アユを対象として生息環境の将来変化を調べた結果、アユの遡上開始時期の変化を説明する一つの因子として、海域と河川の水温差が重要であることが示された。このことは、河川海洋結合モデルによる河川流域から沿岸域までの統合的モデリングとそれを用いた統合的な流域環境管理の必要性を示している。

機構長良川河口堰管理所から、漁海況データは三重県水産研究所から提供いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省、気象庁、環境省：気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」、2013.
- 2) 東博紀、越川海、村上正吾、木幡邦男：長期シミュレーションによる1990年代の伊勢湾のアサリ資源量変動に関する考察、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol. 67, No. 2, pp.I_1046-I_1050, 2011.
- 3) 田子泰彦：富山湾への流入河川における遡上アユの大きさと水温の関係、水産増殖、Vol. 52, No. 4, pp. 315-323, 2004.
- 4) 鈴木靖、佐藤嘉展、道広有理、Sergey M.Varlamov：河川海洋結合モデルによる伊勢湾の河川流出水の影響について、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol. 68, No. 2, pp.I_1001-I_1006, 2012.
- 5) 鈴木靖、佐藤嘉展、本間基寛、道広有理、Sergey M. Varlamov：マルチモデルアンサンブルによる伊勢湾水温の将来変化予測と気候変化外力の影響分析、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol. 69, No. 2, pp. I_1286-I_1290, 2013.
- 6) IPCC: Climate Change 2007: Synthesis report, IPCC, Switzerland, 104 p., 2007.
- 7) Kojiri, T.: Hydrological river basin environment assessment model (Hydro-BEAM). In: Watershed models (ed. by V. P. Singh & D. K. Frevent), pp. 613-626, Taylor & Francis, CRC Press, USA, 2006.
- 8) 佐藤嘉展、小尻利治、道広有理、鈴木靖：マルチ気候モデルと貯水池操作を考慮した分布型水文モデルの木曽三川流域への適用、京都大学防災研究所年報、第54号B, pp.757-769, 2011.
- 9) Lee, H. C., and J. H. Yoon: On the free surface OGCM. Proc. of fall meeting the Japan Oceanogr. Soc., pp. 225-226, 1994.
- 10) Sato, Y., Y. Michihiro and Y. Suzuki: Application of an integrated hydrological model for river ecosystem assessment under future climate condition, Proc. 9th. ISE, 2012.
- 11) 三重県科学技術振興センター水産研究部：漁況海況予報関係事業結果報告書（漁海況データ集）、292 p., 2005.
- 12) 長良川河口堰管理所：アユ・サツキマス遡上情報、長良川河口堰管理所ホームページ http://www.water.go.jp/chubu/nagara/15_sojou/index.html, 2013年9月18日閲覧.
- 13) 山本祥一郎：アユの遡上量を予測する、全国湖沼河川養殖研究会第82回大会要録、pp.32-40, 2009.
- 14) 高橋勇夫：アユの本、築地書館、265p., 2006.
- 15) 田子泰彦：富山湾の河口域およびその隣接海域表層におけるアユ仔魚の出現・分布、日本水産学会誌、Vol.68, No.1, pp.61-71, 2002.
- 16) 岸野底、四宮明彦：奄美大島の役勝川におけるリュウキュウアユの遡上生態、日本水産学会誌、Vol.69, No.4, pp.624-631, 2003.

謝辞：長良川河口堰のアユ遡上数データは（独）水資源

（2013. 9. 30受付）