

四万十川におけるアユの長期的な漁獲変動と近年の特徴

| | |
|-------|------------------------|
| 誌名 | 水産増殖 = The aquiculture |
| ISSN | 03714217 |
| 著者 | 東, 健作 |
| 巻/号 | 58巻3号 |
| 掲載ページ | p. 401-410 |
| 発行年月 | 2010年9月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



四万十川におけるアユの長期的な漁獲変動と近年の特徴

東 健作

The Long-Term Fluctuation and Recent Characteristics in the Number of Ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* Caught in the Shimanto River

Kensaku AZUMA

Abstract: The long-term fluctuation of the population of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* was analyzed from the catch abundance in three markets (upper, middle and lower site) along the Shimanto River during 1977-2009. The catch number showed a similar fluctuation in the three markets, and the decline of catch after 2003 was noticeable. However, there were some differences among the three markets; that is, the long-term decline of catch was most remarkable at the lower site, and the annual catch variability was the largest at the middle site. The results of analysis of the catch number in the three markets suggested that a strong catch and poor rainfall in October would cause a decline of ayu stock in the following season. Therefore, the catch number of the early-spawning population, should be controlled considering the amount of rainfall in the spawning season (especially in October), for successive preservation of the native ayu stock in the Shimanto River.

Key words: Ayu; Catch; Stock management; Shimanto River

内水面漁業の重要種であるアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* の漁獲量は全国的に減少しており、高知県においても、1975年の2,257 t から2003年の262 t まで年変動をしながら激減している（中国四国農政局高知統計情報事務所1978; 中国四国農政局高知統計・情報センター 2005）。四国最長の大河である四万十川（流路延長 196 km; 流域面積2,270 km²）でも、1980年代初頭のアユの漁獲量は1,000 t 以上を記録し、全国有数の水準にあったが（依光 1989; 伊藤 1990）、1990年代以降著しく減少している実態がある（Takahashi et al. 2003; 涌井ら 2009）。河川におけるアユ漁業が低迷している理由として、河川環境の変化（水野 1980; 中村 1993; 田子 2001）、冷水病の発生と拡大（井上 2000）やカワウ *Phalacrocorax carbo* による食害（井口ら 2008）などが指摘されている。また、本種の自然分布河川においては、アユの生息数は海域からの遡上数によって著しく変動する（川那部 1970）。

四万十川本流を管轄する漁業協同組合は、家地川

堰堤から上流全域を管轄する四万十川上流淡水漁業協同組合（以下、上流淡水）と同堰下流全域を管轄する四万十川漁業協同組合連合会（以下、漁連）に分かれる（Fig. 1）。このうち、後者は上流から四万十川東部漁協組合（以下、東部漁協）、同西部漁業協同組合（以下、西部漁協）、同中央漁業協同組合（以下、中央漁協）、同下流漁業協同組合（以下、下流漁協）の4単協に分かれている（Fig. 1）。ただし、各単協の管轄区域によって漁場が分割されているわけではない。また、下流漁協の管轄区域は汽水域であるため、アユはほとんど漁獲されない。

アユのような水産資源を持続的に利用するためには、資源に影響を及ぼす漁獲の実態を的確に把握する必要がある。しかし、遊漁者が多いアユ漁業においては、一般に漁獲量を正確に知ることは難しい。近年の四万十川におけるアユの漁獲量についても、農林水産統計以外のデータに基づいて分析された例はない。四万十川の漁協組織のうち、上流淡水では主に四万十

2010年4月8日受付; 2010年7月6日受理。

西日本科学技術研究所四万十リサーチセンター (Nishinohon Institute of Technology, Shimanto Research Center, Shimanto, Kochi 787-0050, Japan).

Tel: (+81) 880-37-4140; Fax: (+81) 880-37-4140; E-mail: azuma@ule.co.jp (K. Azuma).

川上流域で漁獲されたアユを買い上げており、その入荷量（以下、「上流」; Fig. 1, M-1）が月別に記録されている。また、西部漁協では、主に四万十川中流域で漁獲されたアユが買い上げられ、その記録が月別に残されている（以下、「中流」; Fig. 1, M-2）。さらに、最下流の四万十市には幡多公設市場があり、ここでは主に四万十川下流域で漁獲されたアユが入荷され、その入荷量が月別に記録されている（以下、「下流」; Fig. 1, M-3）。「上流」・「中流」・「下流」に入荷されるアユが漁獲される場所は、各市場に近い上流域、中流域、下流域に大まかに分けられる。これら3市場に入荷されるアユは、四万十川で漁獲されるアユの一部に過ぎないが、これまで漁獲量の指標とされてきた農林水産統計とは異なり、入荷量が月別にkg単位で正確に記載されている点で貴重な資料である。また、通し回遊魚であるアユの生活環を考慮すると、四万十川のような大河川では、上流域から下流域にかけてアユの漁期が異なることが予想される。この点についても、3市場の入荷量の経月変化を比較することによって明らかにできよう。

四万十川本流におけるアユの漁期は、漁業権区域の

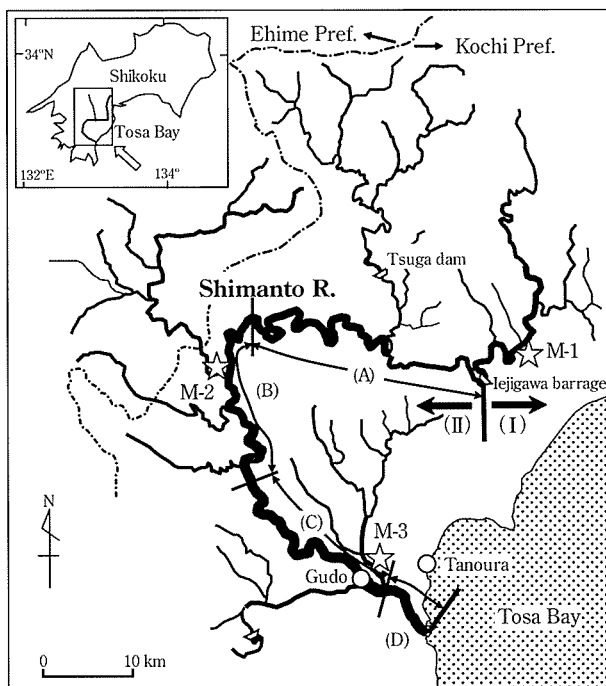


Fig. 1. A map showing the government areas of fishermen's cooperative associations in the Shimanto River region. I, Shimanto upper fishermen's cooperative area; II, Shimanto fishermen's cooperative union area, comprising of (A) East fishermen's cooperative, (B) Western fishermen's cooperative, (C) Central fishermen's cooperative and (D) Lower fishermen's cooperative association. Three stars indicate the sites of three markets (M-1, upper; M-2, middle; M-3, lower). Open circles indicate the sites where the water temperatures were recorded.

境界である家地川堰堤の上下流で異なる (Fig. 1)。高知県内水面漁業調整規則 (2009年3月施行) によると、家地川堰堤より上流の漁期は5月16日-12月31日で、この間に禁漁期間は設定されていない。他方、同堰より下流では6月1日-10月15日および12月1日-12月31日 (落ちアユ漁) である。この間、10月16日-11月30日は産卵保護のための禁漁期間である。なお、1999年までは禁漁期間は10月16日-11月15日の1ヵ月であったが、資源保護のために2000年以降、禁漁期間が11月30日まで延長された。四万十川におけるアユ漁業は網漁と竿漁に大別できる。前者には火光利用建網漁 (通称火振り漁)、地曳網、瀬張り網、しめなわ、投網漁などがあり、後者には友釣り、よこ掛け (ころがし) といった漁法がある (伊藤 1990)。このうち、地曳網漁は現在ほとんど行われていない。依光 (1989) の示した資料によると、1950年代後半から1960年代半ばまでは竿漁が漁獲の大半を占めていたが、1960年代後半から網漁の漁獲割合が上昇し、1970年代以降では網漁が竿漁を上回るようになった。

本論文では、四万十川流域の3市場 (「上流」, 「中流」, 「下流」) における約30年間の資料に依拠して、四万十川流域におけるアユの長期的な漁獲動向と近年の特徴を明らかにしようとした。さらに、アユの生活史や資源変動に影響を及ぼすことが指摘されている、秋季の降水量 (谷口 1989b; 堀木 1991; 嶋田ら 2006; 原田ら 2009)、産卵期におけるアユの漁獲 (谷口 1989b) および河川水温と海水温 (堀田 1953; 楠田 1963; 谷口 1989a; Takahashi et al. 1999, 2003; 中村・糟谷 2004; 田子 2002, 2004) に着目して、同流域におけるアユの入荷量の年変動と各要因との関係を解析し、幾つかの知見を得たので報告する。

材料および方法

アユの入荷量

「上流」では1989-2009年の21年間の入荷量が、「中流」では1980-2009年の30年間の入荷量が、「下流」では1977-2009年の33年間の入荷量が記録されていた。このうち、「下流」ではアユの漁期でない1-4月の入荷量が含まれていたため、これを除外した。これら資料に基づき、各市場の入荷量の年変化を検討し、その長期的な変動と各市場の特性を把握した。次に、各市場の入荷量の相関を分析し (Spearman の順位相関分析)、流域間の漁獲変動が同調しているかどうかを検証した。さらに、1998-2009年の12年間については、3市場とも月別に入荷量が整理されていたため、市場別入荷量の経月変化から流域間で主漁期を比較した。

水温と降水量

河川水温や海水温は、アユの産卵・遡上のタイミングや海域での減耗に関連していることが指摘されているため(堀田 1953; 楠田 1963; 谷口 1989a; Takahashi et al. 1999, 2003; 中村・糟谷 2004; 田子 2002, 2004), アユの産卵から遡上までの間(10-5月)の河川水温および海水温データを整理した。河川水温は、四万十川下流の具同地点(Fig. 1)において原則として毎日正午頃に測定した値を利用した。海水温は、四万十川河口から北約7kmの田ノ浦漁港(Fig. 1)で測定された値を高知県漁海況速報*1から整理した。また、アユの資源変動に秋季(10月)の降水量が影響していることが指摘されていることから(谷口 1989b; 堀木 1991; 嶋田ら 2006; 原田ら 2009), 四万十川上流の窪川地点(Fig. 1, M-1)の10月の降水量と3市場を合計した翌

年入荷量との相関を分析した(Spearmanの順位相関分析)。ここで、窪川地点の降水量については気象庁ホームページ*2を参照した。さらに、産卵期の漁獲と翌年入荷量との関係を見るために、10月および11-12月の当年入荷量と翌年の水準(翌年入荷量/当年入荷量)との相関を分析した(Spearmanの順位相関分析)。

結 果

入荷量の経年変化

「上流」(1989-2009年), 「中流」(1980-2009年), 「下流」(1977-2009年)の3市場におけるアユの入荷量の経年変化と対前年比(当年入荷量/前年入荷量), および農林水産統計に基づく四万十川におけるアユの漁獲量(1977-2005年)をTable 1に示す。1989-2005年の

Table 1. Annual catch fluctuations in ayu (kg) of three markets (M-1, M-2, M-3) and catch data (t) by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries in the Shimanto River during 1977-2009

| Year | M-1 (upper) | | M-2 (middle) | | M-3 (lower) | | Catch (t) |
|------|-------------|----------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-----------|
| | Catch (kg) | Ratio (Y0/Y-1) | Catch (kg) | Ratio (Y0/Y-1) | Catch (kg) | Ratio (Y0/Y-1) | |
| 1977 | nd | | nd | | 14,671 | - | 732 |
| 1978 | nd | | nd | | 18,288 | 1.25 | 727 |
| 1979 | nd | | nd | | 7,549 | 0.41▼ | 376 |
| 1980 | nd | | 4,870 | - | 17,636 | 2.34△ | 845 |
| 1981 | nd | | 6,500 | 1.33 | 27,449 | 1.56 | 1,093 |
| 1982 | nd | | 3,400 | 0.52 | 15,217 | 0.55 | 1,018 |
| 1983 | nd | | 1,700 | 0.50▼ | 11,802 | 0.78 | 970 |
| 1984 | nd | | 5,183 | 3.05△ | 17,723 | 1.50 | 989 |
| 1985 | nd | | 1,425 | 0.27▼ | 15,517 | 0.88 | 877 |
| 1986 | nd | | 1,409 | 0.99 | 9,442 | 0.61 | 678 |
| 1987 | nd | | 1,299 | 0.92 | 7,587 | 0.80 | 652 |
| 1988 | nd | | 3,112 | 2.40△ | 18,033 | 2.38△ | 805 |
| 1989 | 1,613 | - | 1,513 | 0.49▼ | 9,998 | 0.55 | 912 |
| 1990 | 1,944 | 1.21 | 1,523 | 1.01 | 8,992 | 0.90 | 925 |
| 1991 | 3,969 | 2.04△ | 4,788 | 3.14△ | 11,807 | 1.31 | 935 |
| 1992 | 3,524 | 0.89 | 1,527 | 0.32▼ | 7,860 | 0.67 | 769 |
| 1993 | 3,700 | 1.05 | 2,855 | 1.87 | 8,134 | 1.03 | 717 |
| 1994 | 2,088 | 0.56 | 2,040 | 0.71 | 6,379 | 0.78 | 620 |
| 1995 | 2,370 | 1.14 | 2,194 | 1.08 | 7,871 | 1.23 | 372 |
| 1996 | 4,049 | 1.71 | 3,326 | 1.52 | 7,490 | 0.95 | 395 |
| 1997 | 2,388 | 0.59 | 2,121 | 0.64 | 7,365 | 0.98 | 359 |
| 1998 | 2,851 | 1.19 | 1,059 | 0.50▼ | 2,738 | 0.37▼ | 258 |
| 1999 | 3,371 | 1.18 | 2,144 | 2.02△ | 5,211 | 1.90 | 273 |
| 2000 | 2,820 | 0.84 | 2,984 | 1.39 | 5,774 | 1.11 | 266 |
| 2001 | 3,632 | 1.29 | 3,188 | 1.07 | 7,174 | 1.24 | 230 |
| 2002 | 2,695 | 0.74 | 3,649 | 1.14 | 6,739 | 0.94 | 207 |
| 2003 | 791 | 0.29▼ | 1,049 | 0.29▼ | 2,380 | 0.35▼ | 64 |
| 2004 | 1,257 | 1.59 | 383 | 0.37▼ | 2,487 | 1.04 | 34 |
| 2005 | 2,761 | 2.20△ | 1,055 | 2.75△ | 5,202 | 2.09△ | 222 |
| 2006 | 1,040 | 0.38▼ | 1,550 | 1.47 | 4,232 | 0.81 | nd |
| 2007 | 1,080 | 1.04 | 1,039 | 0.67 | 3,869 | 0.91 | nd |
| 2008 | 1,279 | 1.19 | 663 | 0.64 | 3,860 | 1.00 | nd |
| 2009 | 1,583 | 1.24 | 2,613 | 3.94△ | 4,226 | 1.09 | nd |
| Max. | 4,049 | 2.20 | 6,500 | 3.94 | 27,449 | 2.38 | 1,093 |
| Min. | 791 | 0.29 | 383 | 0.27 | 2,380 | 0.35 | 34 |

nd, no data; △, 2.0 ≤; ▼, 0.5 ≥.

*1 高知県漁海況速報 ; <http://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp>

*2 気象庁ホームページ ; <http://www.jma.go.jp>

17年間における3市場の合計入荷量と農林水産統計による漁獲量は、Fig. 2に示すとおり有意な正の相関関係を示した (Spearman の順位相関係数; $r_s = 0.6275$, $P < 0.01$)。

3市場の入荷量の経年変化を比較すると (Table 1), 「下流」の入荷量が常に最も多く、「上流」と「中流」は同程度であった。「上流」の入荷量は最高4,049 kg (1996年) から最低791 kg (2003年) の範囲を変動し、入荷量の変動幅 (最高/最低比) は約5倍であった。入荷量の対前年比をみると、0.29 (2003年)–2.20 (2005年) であった。前年の2倍以上の入荷量となった年は1991年と2005年であり、逆に前年比0.5以下に落ち込んだ年は2003年と2006年であった。「中流」の入荷量は、最高6,500 kg (1981年) から最低383 kg (2004年) の範囲を変動し、変動幅は約17倍であった。入荷量の対前年比は0.27 (1985年)–3.94 (2009年) であり、前年の2倍以上の入荷量となった年は、1984, 1988, 1991, 1999, 2005, 2009年であり、逆に前年比0.5以下に落ち込んだ年は1983, 1985, 1989, 1992, 1998, 2003, 2004年であった。「下流」の入荷量は、最高27,449 kg (1981年) から最低2,380 kg (2003年) であり、変動幅は約12倍であった。入荷量の対前年比は0.35 (2003年)–2.09 (2005年) であった。前年の2倍以上の入荷量となった年は1980, 1988, 2005年であり、逆に前年比0.5以下に落ち込んだ年は1979, 1998, 2003年であった。

次に、3市場のデータが揃った1989–2009年の21年間の年平均差 (平均入荷量–当年入荷量) および対前年比 (当年入荷量/前年入荷量) の経年変化を Fig. 3 に

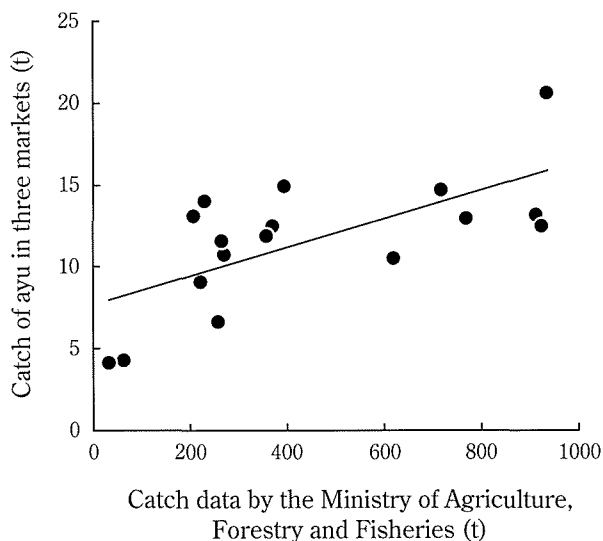


Fig. 2. Relationships between the total catch of ayu in three markets and catch data by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries in the Shimanto River during 1989-2005.

示す。「上流」では1989年から2年間は平年を下回っていたが、それ以降1994, 1995, 1997年を除いて平年を上回る量が入荷していた。ところが、2003年以降入荷量が激減し、2005年を除いて2009年まで連続して平年を大きく下回る状態が続いた。「中流」では、1989–1999年は変動を繰り返していたが、2000–2002年に平年を上回る入荷が連続した後、2003年以降は連続6年間入荷量が激減した。2009年になって平年を上回る入荷量に回復した。「下流」では、調査期間を通じてほぼ一貫して減少傾向にあり、1998年以降は2001–2002年を除いて平年を下回る状態が継続しており、3市場で最も入荷量の低下が顕著であった。特に、1998年および2003年以降の落ち込みが大きかった。以上のように、3市場の入荷量はいずれも減少傾向にあるが、2003年以降の落ち込みが共通してみられ、対前年比からみた入荷量の増減パターンも共通する点が多かった。1989–2009年の21年間の資料を用いて、各市場の入荷量の相関をみると (Fig. 4), すべての組み合わせにおいて有意な正の相関関係が検出された。ただし、相関係数は市場間の組み合わせで異なり、互いに隣接する「上流」と「中流」($r_s = 0.6344$, $P < 0.01$) および「中流」と「下流」($r_s = 0.6014$, $P < 0.01$) で相関が高かった。他方、「上流」と「下流」の組み合わせでは相関係数はやや低かった。($r_s = 0.5028$, $P < 0.05$)。

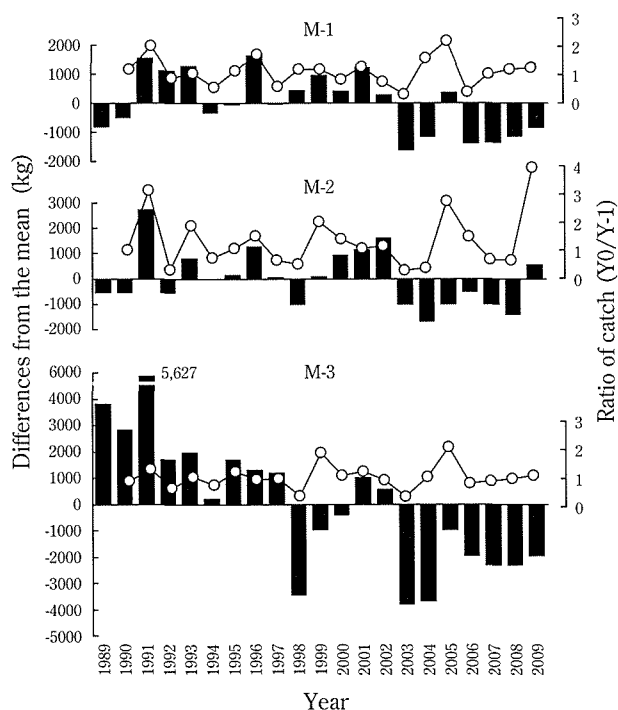


Fig. 3. Annual fluctuations of the catch of ayu in three markets along the Shimanto River during 1989-2009. Solid bars and lines indicate the differences from the average catch and ratio (Y0/Y-1) of catch, respectively.

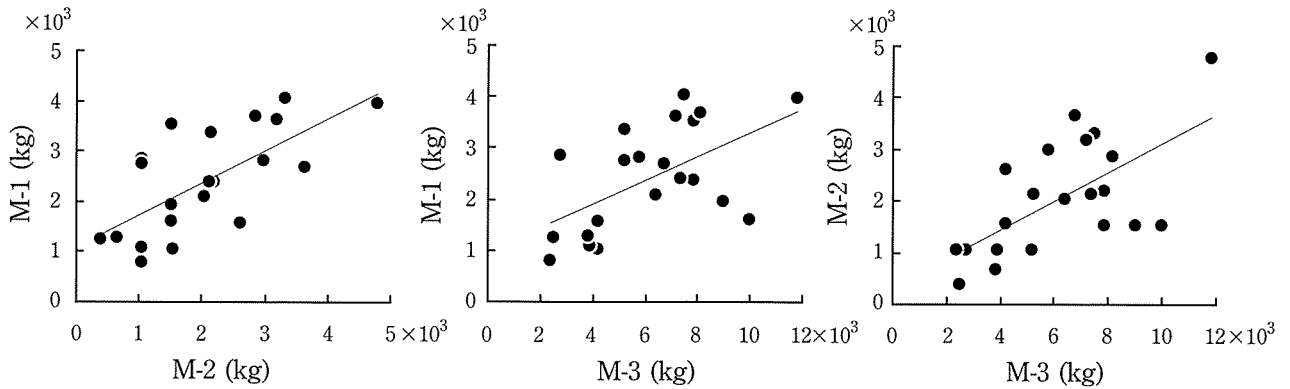


Fig. 4. Relationships between the catch of ayu in three markets along the Shimanto River during 1989-2009.

入荷量の経月変化

月別入荷量が整理されていた、1998-2009年の12年間における各市場の入荷量の月別割合を示す (Fig. 5)。「上流」では7月の入荷量が全体の約半分を占め、8月の入荷量を含めると全期間の72.7%を占めた。「中流」では、7-10月はほぼコンスタントに入荷され、このうち8-9月の入荷量がやや多かった。11月以降の入荷量は「上流」ではごく僅かであり、「中流」では皆無であった。「下流」では、8-10月と12月にそれぞれ20%程度の入荷があり、他2市場と比較して11月と12月に入荷が多い点が特徴的であった。なお、11月の入荷量が12月に比べて少ないのは、2000年以降は11月末まで禁漁期間に設定されたためである。このように市場によって主漁期が異なり、上流から下流にかけて漁

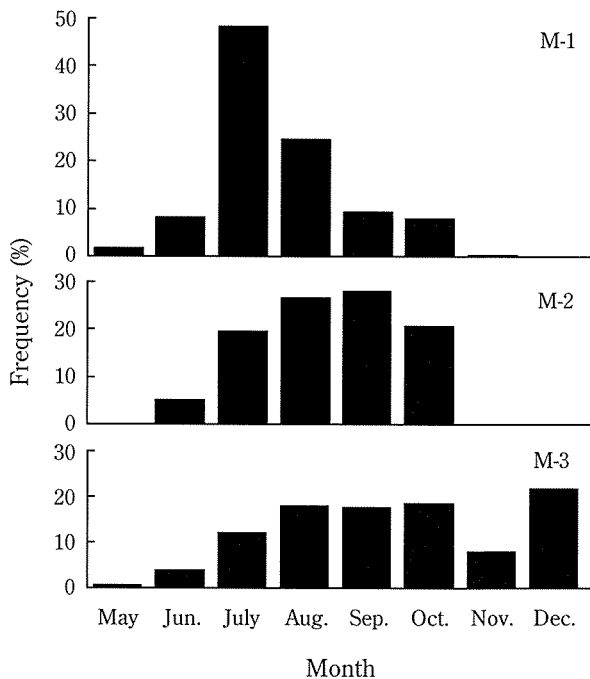


Fig. 5. Monthly catch of ayu in three markets along the Shimanto River during 1998-2009.

期が遅れることがわかった。次に、漁期を3期 (初期5-7月; 盛期8-9月; 終期10-12月) に区分した漁期別に入荷量の経年変化を Fig. 6に示した。Fig. 6において、入荷量が減少した2003年には「上流」と「中流」において初期の入荷量が少なかったのに対して、同年の「下流」では終期の入荷量が著しく減少した。2003年以降も、「中流」では2008年まで初期の入荷量が少なく、この間で2006-2007年のように終期の入荷割合が高い年がみられた。「中流」において、終期の入荷量がほとんどなかった1998年, 2000年, 2004年, 2008年の翌年は入荷量が増加した。

10月の降水量と翌年の入荷量との関係

10月の降水量が翌年の入荷量に及ぼす影響を検討す

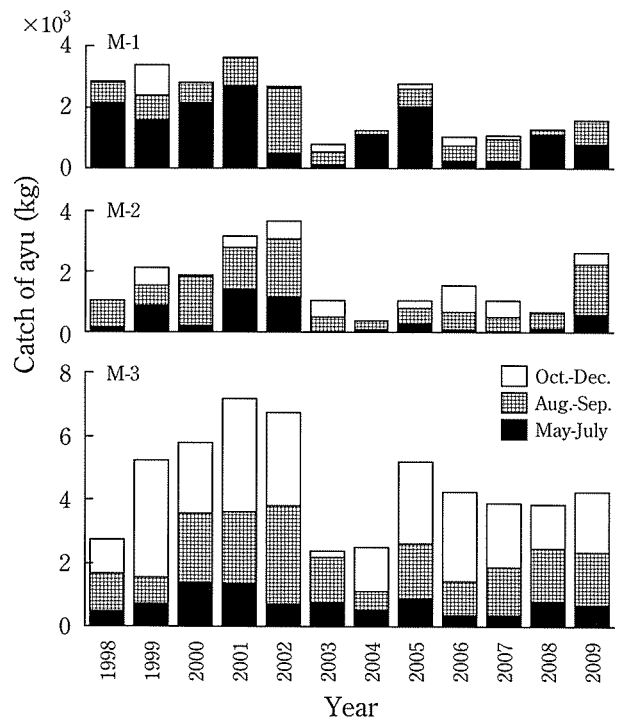


Fig. 6. Early, middle and late catch of ayu in three markets along the Shimanto River during 1998-2009.

るため、10月の窪川降水量と3市場を合わせた翌年の入荷量比（翌年入荷量/当年入荷量；1989-2008年の20例）との関係を分析した（Fig. 7）。両者の間には有意な正の相関関係がみられた（ $r_s = 0.6722$, $P < 0.01$ ）。Fig. 7において、10月の月間降水量が100 mm以下の年（5例）はすべて翌年の入荷量比が1以下であった。これは4年に1回の確率であった。一方、10月の月間降水量が200 mmを超えた年では、8例中6例で翌年の入荷量比が1以上であった。ただし、1993年と2001年では、10月の降水量がそれぞれ369 mmと498 mmであったにもかかわらず、翌年の入荷量比が1以下となった（Fig. 7）。

産卵期の漁獲と翌年の入荷量との関係

漁期終盤の漁獲が翌年の入荷量に及ぼす影響を検討するため、産卵期の親魚が混じる可能性のある10月および11-12月の入荷量（1998-2008年）と翌年入荷量との関係をみた（Fig. 8）。翌年の入荷量の指標として、3市場の合計入荷量の比（翌年入荷量/当年入荷量）を用いた。10月の入荷量と翌年の入荷量比には有意な負の相関関係がみられた（ $r_s = -0.8364$, $P < 0.01$ ）。他方、11-12月の入荷量と翌年入荷量比の間では有意な相関はみられなかった（ $r_s = -0.3909$, $P > 0.05$ ）。

河川水温と海水温

Fig. 9に河川水温（具同；Fig. 1）および海水温（田ノ浦；Fig. 1）の2001-2009年の10-5月にかけての測定値を示す。河川水温は10月の20℃以上から12-2月の10℃以下に低下し、2-3月以降上昇に転じ、5月には20℃前後に達した。海水温の季節変化をみると、10月の25℃前後から1-2月にかけて13-15℃に低下し、3月以降上昇に転じ、5月には20℃以上に達した。10-4月には概ね河川水温に比べて海水温は高かったが、4月または5月には河川水温と海水温がほぼ一致した。河川水温は海水温に比べて短期的な変動が大きかった。

入荷量が著しく減少した2003年の水温変化（2002-2003年）を詳しくみると、河川水温は10月上旬には約23℃であったが、下旬には20℃以下に低下し、以降11月上旬には15℃以下に、12月下旬には10℃以下まで低下した。その後1月から2月上旬までほぼ10℃以下であったが、2月下旬には10℃以上に上昇し、4月には15℃を上回り、5月には約20℃に達した。一方、海水温は10月末には20℃以下に低下し、1月下旬に13℃前後まで低下した後、3-4月を通じて上昇し、5月には20℃以上まで上昇した。河川水温と海水温は4月中旬頃に一致した。他年と比べると11月の海水温の低下は早く、同月初旬には20℃以下に低下し、その後20℃

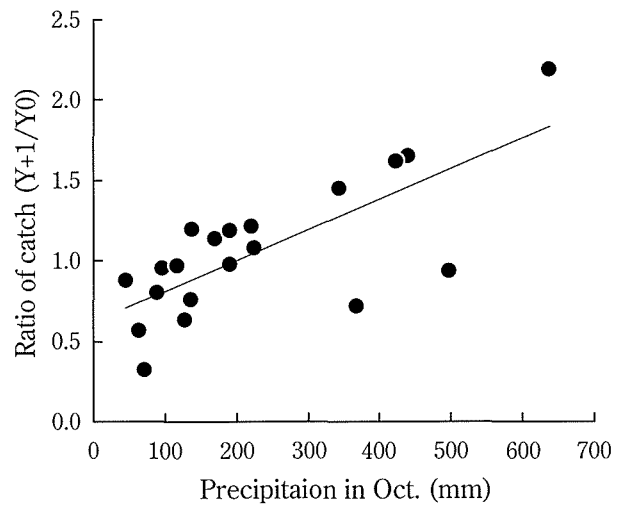


Fig. 7. Relationships between the precipitation in October and the ratio ($Y+1/Y_0$) of the catch in three markets along the Shimanto River during 1989-2008.

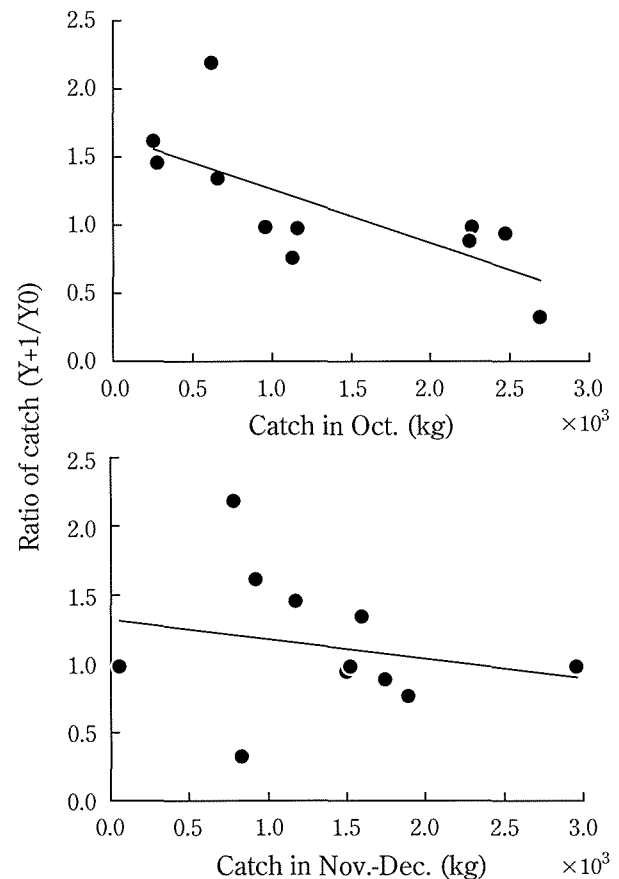


Fig. 8. Relationships between the catch of ayu in spawning season (October and November-December) and the ratio ($Y+1/Y_0$) of the catch in three markets along the Shimanto River during 1998-2008.

以下の期間が長く継続した。河川水温の季節変化には特異性はみられなかった。一方、入荷量が増大した2005年の水温変化（2004-2005年）をみると、10月の河川水温が20℃前後と低く、同月の海水温が25℃以上

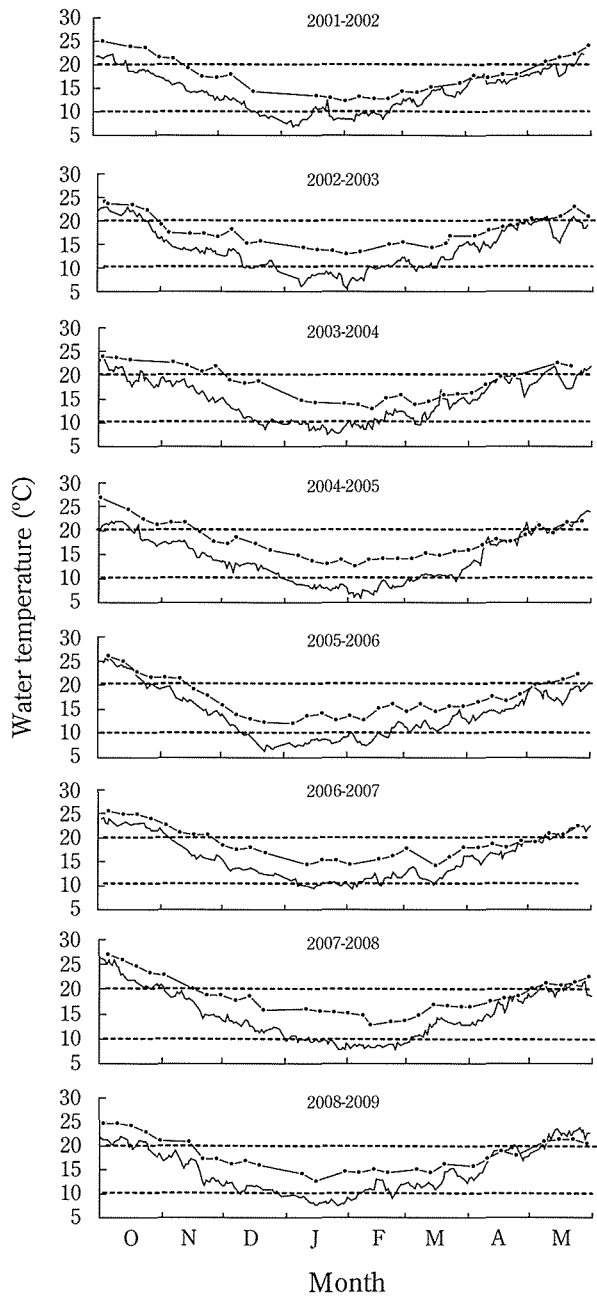


Fig. 9. Annual and seasonal changes in the water temperature during October-May of 2001-2009 at stations in the freshwater lower reaches (—, Gudo) and coastal waters (—●—, Tanoura).

と高めであったため、10-11月の海水温と河川水温の差が大きかった。また、春季の河川水温の上昇が早く、4月上旬には海水温とほぼ一致した。海水温は11月中旬に20°C以下に低下し、5月初めに約20°Cに上昇した。

考 察

本論文で扱ったアユの入荷量は、四万十川におけるアユの漁獲量の指標とされてきた農林水産統計と有意な正の相関関係があり (Fig. 2; $rs=0.6275$,

$P<0.01$), 同川の漁獲変動を分析する上で有効な資料であると判断された。3市場におけるアユの入荷量は、大きく変動しながら長期的に減少しており、特に2003年以降の低下が顕著であった (Table 1, Fig. 3)。各市場の入荷量変動は概ね一致しており (Figs. 3, 4), 流域全体を通じて漁獲変動が同調していることが示された。一方、年毎の変動幅が「中流」で大きいことや、長期的な減少度合が「下流」で大きいことなど、流域間の相違点も見出された (Table 1, Fig. 3)。河川でのアユの生息数は、河川生活期の減耗や漁獲による影響を除けば、海域からの遡上数と種苗の放流数によって決まる。四万十川の場合、アユの生息数は主に海域からの遡上数によって決定され、年毎に大きく変動する (岡村・為家 1977; 岡村 1990)。また、遡上したアユは中流域から定着し始める (岡村 1990)。これらのことから、「中流」の入荷量変動が大きい理由として、年毎の遡上数の多寡、遡上時期および遡上魚のサイズ等が入荷量に反映されやすいことが考えられる。もう一つ注目すべき点は、「下流」での入荷量の激減である (Table 1, Fig. 3)。「下流」での入荷量は産卵期の10月以降に多いことから (Figs. 5, 6), ここでの入荷量の激減は産卵に加入する親魚が減少していることを意味している。以上のように、四万十川におけるアユ入荷量の推移は、遡上魚と産卵魚の双方が減少している現状を反映していると考えられる。

本論文では、10月の降水量と翌年の入荷量との間で有意な正の相関関係がみられることを示した (Fig. 7; $rs=0.6722$, $P<0.01$)。10月の降水量が翌年の資源に影響を及ぼすことは、すでに谷口 (1989b), 堀木 (1991), 嶋田ら (2006), 原田ら (2009) によって指摘されている。谷口 (1989b) や堀木 (1991) は産卵場への降河促進や産卵場の環境改善といった観点から、原田ら (2009) は栄養塩の供給量が増大することによって餌料プランクトンの繁殖を助長して海域での成長や生残率が向上するとの仮説に基づいて、10月の降水量の重要性を強調している。不漁年であった2003年の前年 (2002年) 10月の降水量は71 mmであり、過去20年間で3番目に少なかった。一方、1998年以降では、入荷量の前年比が最も高かった2005年の前年 (2004年) 10月の降水量は637 mmであり、過去20年間で最も多かった。アユの産卵場への降河は、秋季の出水が刺激となり (谷口 1989a; 井口ら 1998), 出水に伴う水温低下は排卵を促進する (谷口 1989a)。逆に、出水がない年には産卵場への降河や産卵そのものが遅れる (谷口 1989a)。これらの知見を踏まえると、2002年は10月の降水量が少なかったために、産卵場への親魚の降河や産卵・ふ化時期が遅れたことが推測される。ただし、1993年と2001年のように、10月の降水量が多

かったにも関わらず、翌年の入荷量が前年を下回ったケースもあった (Fig. 7)。兩年の翌年入荷量が増加しなかった理由は不明であるが、産卵量が少なかったことや海域での生残が悪かった可能性が考えられる。

産卵期に入荷量と翌年の入荷量を比較した結果、10月の入荷量と翌年の入荷量との間で有意な負の相関関係がみられた (Fig. 8; $r_s = -0.8364$, $P < 0.01$)。しかし、11-12月の入荷量と翌年の入荷量との間では有意な相関は認められなかった (Fig. 8; $r_s = -0.3909$, $P > 0.05$)。この結果は、翌年の資源に対して、10月の親魚の漁獲が11-12月のそれよりも強い影響を及ぼすことを示唆している。1970年代の四万十川では、10月にアユの産卵が始まり、12月には終わるとされているが (岡村, 1990)、最近では産卵盛期が遅れる傾向にあり (高橋ら 2002)、12月以降にふ化仔魚の流下盛期を迎える年もみられる (黒岩 2010)。したがって、現行の12月以降の落ちアユ解禁後も未産卵魚が漁獲される可能性はある。その一方、10月に漁獲対象とされるアユは、これから産卵場に向かう未産卵魚が主体となる。アユの繁殖生態に関して、大型の個体から産卵降河移動が始まること (井口ら 1998)、産卵に加わる初期の親魚は大型であること (白石・鈴木 1962)、産卵初期の大型個体の抱卵量は産卵末期の小型のアユよりも著しく多いことなどが知られている (岡村・為家 1977)。また、早期にふ化したアユは初期成長が早く (塚本ら 1989; Takahashi et al. 2000; 荒山 2009)、早期に河川に遡上することから (塚本ら 1989)、河川で大きく成長することが期待される。実際、遡上個体の体長は遡上時期によって変化し、大型の個体から遡上し始めることが知られている (堀田 1953; 楠田 1963; 田子 2002, 2004; 荒山 2006)。以上の観点から、産卵初期の親魚は個体群を増大させるポテンシャルが高く、産卵初期の再生産の成功度はアユ資源を好転させる上で重要な鍵を握ると考えられる。

不漁年であった2003年以降には、流域全体でアユの入荷時期も変化した (Fig. 6)。すなわち、2003年には「上流」および「中流」では初期 (5-7月) の入荷量が減少し、「中流」では終期 (10-12月) の入荷量が半分以上を占めた。一方、「下流」では終期に入荷量が1998-2009年の12年間で最低となった。2003年以降も、2006年や2007年のように「中流」では初期の入荷量が減少し、終期に入荷量が半分以上を占める年があった。こうした入荷時期の変化から、2003年以降の不漁期間の特徴として、漁期終盤までアユが中流域に残留し、下流域に降河移動するタイミングが遅れる傾向にあったことが窺える。先に10月の降水量と漁獲が翌年の入荷量に影響を与えることを指摘したが、10月の降雨は、産卵のための降河移動を促進させるだけでなく (谷口

1989b; 井口 1998)、降雨に伴う増水によって降河移動中の産卵群の漁獲圧が軽減されることによって、産卵場への親魚の集合を時空間的に同調させ、繁殖成功度を高めるのかもしれない。

高橋ら (1990) は、四万十川河口域がアユ仔稚魚の成育場となっていることを明らかにし、そこで得られた仔稚魚のふ化日組成を長期間追跡することによって、1990年代に仔稚魚のふ化日組成がそれ以前の11月ふ化主体から12月ふ化主体に遅れ始めたことを指摘した (Takahashi et al. 2003)。四万十川におけるふ化仔魚の流下盛期が11月中であったことを踏まえて、Takahashi et al. (2003) は、11月に河口海域に降下したアユ仔魚の大部分が高い海水温のために減耗したのではないかと推察している。事実、田畑・柄多 (1979) は、20℃以上の飼育条件下では、アユのふ化仔魚の生残率が低下することを明らかにしている。しかし本論文において、2003年の不漁年に漁獲されたアユが経験したはずの2002年11月の海水温を検討したところ、他年に比べてより早く水温が20℃以下に降下していた (Fig. 9)。したがって、2003年の不漁の原因は、秋季の高水温によって説明するよりもむしろ少雨の影響が大きかったと考えられる。また、アユの遡上は、河川水温と海水温がほぼ等しくなった時期に始まり、その水温は約10℃とされている (堀田 1953; 楠田 1963; 田子 2002, 2004)。Fig. 9に示したように、四万十川では、河川水温と海水温が一致する時期は4-5月であるのに対して、河川水温が10℃を超える時期はそれより1ヵ月以上早い2-3月である。四万十川におけるアユの遡上は3月に始まることから (岡村 1990)、同川でのアユの遡上開始は河川水温と海水温が一致する時期ではなく、河川水温が約10℃に達することが目安となると考えられる。

アユの遡上数の変動に関連して、前年のふ化仔魚数が翌年の遡上数を左右するという指摘は多い (谷口 1989b; 相澤ら 1999; 嶋田ら 2006; 吉本・高橋 2006a, 2006b)。その一方、最近の研究では、翌年の遡上数は前年のふ化仔魚数よりも海域での減耗率に左右されるといった知見も得られている (内田ら 2006; 原田ら 2009)。アユは、その前半生を海域で過ごす両側回遊魚であり、海域での初期減耗が資源を変動させる要因となる。海域での減耗要因については秋季の高水温 (Takahashi et al. 1999, 2003)、初期餌料であるカイアシ類幼生量や沿岸浅所への接岸の成功度 (八木ら 2006; 涌井ら 2009)、砕波帯へ接岸後の餌料条件と成長 (原田ら 2009) などが指摘されている。また、海域での仔稚魚期の成長が遡上量と関連していることを示唆した研究例もある (東ら 2003; 吉本 2007)。海域へ降下後の回帰率に関する知見は乏しいが、新潟県

鼠ヶ関川の調査例では0.08-1%と推定されており（内田ら 2006）、海域での減耗に大きな年変動がみられることが示されている。さらに、最近の研究によると、四万十川では河口域から海域に分散する仔魚が少なく、母川回帰の可能性が高いことも指摘されている（涌井ら 2009）。これらの知見に加え、四万十川におけるアユ仔魚の生残過程（涌井ら 2009）や漁獲量変動パターン（依光 1989; 伊藤 1990）は、高知県下の他の主要河川とは一致しないとされており、四万十川におけるアユ資源は相対的に独立している可能性が高い。

本論文では、四万十川流域の3市場における約30年間のアユの入荷量に基づいて、当河川におけるアユの漁獲動向とその特徴を明らかにし、10月の少雨と同月の漁獲が翌年の入荷量を低下させる方向に働くことを示した。近年のアユの資源変動の主な要因として海域での減耗が重要視されていることを考慮すると（内田ら 2006; 原田 2009）、海域での高い減耗を前提として河川での十分な産卵量を確保することが求められる。特に、他河川からの個体群の加入がほとんど期待できず、在来のアユが主体である四万十川においては、自河川における親魚の確保と再生産の成功がより一層重要な意味を持つ。伊勢湾のイカナゴ漁業では、資源の実態を科学的に解明した上で、産卵期の変動に合せた親魚の保護を徹底させることによって順応的な資源管理に成功している（船越 1998）。四万十川のアユ資源を保全する際にも、秋季の降雨条件と産卵のタイミングとの関連を考慮に入れて、資源を好転させるポテンシャルが高い産卵初期の親魚を保護して、資源を好転させる降雨条件と一致させる機会を高めることによって、縮小した資源を回復させることが期待できる。最後に、本論文で扱った入荷量は、漁獲量の一部であって資源量そのものではない。漁獲量から資源量を推定するためには、出漁人数や出漁日数など漁獲努力量を考慮しなければならない。今後、これら漁獲努力量に関するデータを収集して精度の高い資源解析を行うとともに、産卵・ふ化量、河口・海域での減耗、遡上数の年変動や放流効果といった資源生態に関する知見を集積して、資源保全のための対策を検討する必要がある。

要 約

四万十川流域における、「上流」、「中流」、「下流」の3市場での約30年間にわたるアユの入荷量（1977-2009年）を解析することによって、当河川におけるアユ入荷量の動向と近年の特徴を明らかにした。アユの入荷量変動は流域全体で概ね同調しており、特

に2003年以降の不漁が顕著であった。その一方、「中流」で年毎の変動が大きく、「下流」で入荷量の減少度合いが大きかったといった市場間の違いもみられ、遡上量と産卵親魚の双方が減少したことによって資源が縮小している現状が示唆された。当資料の解析から、10月の漁獲と同月の少雨が翌年の入荷量に対して負の相関を示すことが分かった。それゆえ、アユ資源の持続的利用のためには、降雨条件を考慮に入れながら産卵初期の親魚を保護することが重要であることを指摘した。

謝 辞

アユの入荷量をご提供いただいた関係機関ならびにご協力いただいた関係各位に謝意を表します。また、本論文を細かく丁寧に査読していただいた、匿名の先生方に深謝申し上げます。

文 献

- 相澤 康・安藤 隆・勝呂尚之・中田尚宏（1999）相模川におけるアユ、*Plecoglossus altivelis*の遡上生態について。水産増殖，**47**，355-361。
- 荒山和則（2006）茨城県久慈川におけるアユの遡上様式。茨城内水試研報，**40**，45-54。
- 荒山和則（2009）茨城県沿岸域におけるアユ仔稚魚の成長相違要因。海洋と生物，**31**，495-500。
- 東 健作・堀木信男・谷口順彦（2003）和歌山県中部の沿岸域におけるアユ資源の年変動。水産増殖，**51**，263-271。
- 中国四国農政局高知統計情報事務所（1978）内水面漁業。第23次高知農林水産統計年報（昭和51～52年），pp. 230-231。
- 中国四国農政局高知統計・情報センター（2005）内水面漁業。第50次高知農林水産統計年報（平成15～16年），pp. 172-173。
- 船越茂雄（1998）伊勢湾におけるイカナゴ漁業。水産資源・漁業の管理技術（北原 武編），恒星社厚生閣，東京，pp. 61-69。
- 原田慈雄・高橋芳明・藤井久之（2009）和歌山県日高川における近年のアユ資源変動メカニズム。海洋と生物，**31**，508-514。
- 堀木信男（1991）和歌山県における海産稚アユ採捕量の年変動、特に近年における採捕量の激減について。日水誌，**57**，1065-1070。
- 堀田秀之（1953）海産稚鮎の生態に就いて。魚類学雑誌，**3**，15-20。
- 井口恵一郎・伊藤文成・山口元吉・松原尚人（1998）千曲川におけるアユの産卵降河移動。中央水研研報，**11**，75-84。
- 井口恵一郎・坪井潤一・鶴田哲也・桐生 透（2008）放流アユ種苗を食害するカワウの摂餌特性。水産増殖，**56**，415-422。

- 井上 潔 (2000) アユの冷水病. 海洋と生物, **22**, 35-38.
- 伊藤猛夫 (1990) 四万十川の漁業. 四万十川くしぜん・いきもの> (伊藤猛夫編), 高知市民図書館, 高知, pp. 307-334.
- 川那部浩哉 (1970) アユの社会構造と生産Ⅱ-15年間の変化をみて-. 日生態誌, **20**, 144-151.
- 黒岩 隆 (2010) 流下仔魚調査. 平成20年度高知県内水面漁業センター事業報告書, **19**, pp. 21-24.
- 楠田理一 (1963) 海産稚アユの遡上生態-II. 大雲川における遡上群の季節的变化. 日水誌, **29**, 822-827.
- 水野信彦 (1980) 中流域 (アユ漁場) での河川改修の問題点と改善策. 淡水魚, **6**, 1-7.
- 中村俊六 (1993) 河川の人工化に伴う生態環境変化. 河川生態環境工学 (玉井信行・水野信彦・中村俊六編), 東京大学出版会, 東京, pp. 155-160.
- 中村智幸・糟谷浩一 (2004) 栃木県那珂川における両側回遊型アユの遡上日と遡上群数の予測. 日水誌, **70**, 288-296.
- 岡村 収・為家節弥 (1977) 四万十川の魚類. 四万十川水系の生物と環境に関する総合調査, 高知県, pp. 159-232.
- 岡村 収 (1990) 四万十川の動物-魚類. 四万十川くしぜん・いきもの> (伊藤猛夫編), 高知市民図書館, 高知, pp. 221-306.
- 嶋田啓一・後藤浩一・山本一生・和田吉弘 (2006) 長良川における稚アユ遡上量の予測に関する検討. 日水誌, **72**, 665-672.
- 白石芳一・鈴木規夫 (1962) アユの産卵生態に関する研究. 淡水研報, **12**, 83-107.
- 田子泰彦 (2001) 神通川と庄川の中流域における最近の淵の消長. 水産増殖, **49**, 397-404.
- 田子泰彦 (2002) 富山湾の湾奥部で育成したアユ稚魚の河川への回遊遡上. 日水誌, **68**, 554-563.
- 田子泰彦 (2004) 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, **52**, 315-323.
- 高橋勇夫・木下 泉・東 健作・藤田真二・田中 克 (1990) 四万十川河口内に出現するアユ仔魚. 日水誌, **56**, 871-878.
- Takahashi, I., K. Azuma, H. Hiraga and S. Fujita (1999) Different mortality in larval stage of ayu *Plecoglossus altivelis* by birth dates in the Shimanto Estuary and adjacent coastal waters. *Fish. Sci.*, **65**, 206-210.
- Takahashi, I., K. Azuma, S. Fujita and H. Hiraga (2000) Differences in larval and juvenile development among monthly cohorts of ayu, *Plecoglossus altivelis*, in the Shimanto River. *Ichthyol. Res.*, **47**, 385-391.
- 高橋勇夫・東 健作・平賀洋之 (2002) 四万十川におけるアユの産卵場と産卵期. 四万十・流域圏学会誌, **2**, 17-20.
- Takahashi, I., K. Azuma, S. Fujita, I. Kinoshita and H. Hiraga (2003) Annual changes in the hatching period of the dominant cohort of larval and juvenile ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Shimanto Estuary and adjacent coastal waters during 1986-2001. *Fish. Sci.*, **69**, 438-444.
- 田畑和男・柄多 哲 (1979) アユ種苗生産技術-V卵およびふ化仔魚の高水温耐性と卵質との関係について. 兵庫水試研報, **19**, 39-42.
- 谷口順彦 (1989a) アユの一生, その生活史. 土佐のアユ, 高知県内水面漁業協同組合連合会, 高知, pp. 9-37.
- 谷口順彦 (1989b) 海産アユ不漁の原因と対策. 土佐のアユ, 高知県内水面漁業協同組合連合会, 高知, pp. 209-222.
- 塚本勝巳・望月賢二・大竹二雄・山崎幸夫 (1989) 河口水域におけるアユ仔稚魚の分布・回遊・成長. 水産土木, **25**, 47-57.
- 内田和男・清水昭男・阿部信一郎・佐藤年彦・桂 和彦・坂野博之 (2006) 鼠ヶ関川におけるアユ個体数の推定. 水研センター研報, 別刷 **5**, 197-202.
- 八木佑太・美藤千穂・舟越 徹・木下 泉・高橋勇夫 (2006) 土佐湾沿岸域におけるアユ仔魚の分布および食性. 日水誌, **72**, 1057-1067.
- 依光良三 (1989) 土佐のアユ漁今昔. 土佐のアユ, 高知県内水面漁業協同組合連合会, 高知, pp. 79-120.
- 吉本 洋・高橋芳明 (2006a) 紀伊水道東部海域における稚アユの漁獲量変動要因. 水産増殖, **54**, 89-94.
- 吉本 洋・高橋芳明 (2006b) 紀伊水道東部海域における稚アユ資源量の推定. 水産増殖, **54**, 341-346.
- 吉本 洋 (2007) 紀伊水道東部海域における稚アユの漁獲量と成長特性. 水産増殖, **55**, 205-212.
- 涌井 海・八木佑太・山中拓也・木下 泉 (2009) 土佐湾でのアユの母川回帰性と初期生態の河川間比較. 海洋と生物, **31**, 522-529.