

# 博士論文

## 三陸沿岸域におけるアユの生活史に関する研究

東京大学大学院 農学生命科学研究科 水圏生物科学専攻

畑 正好

指導教員 東京大学 教授

大竹 二雄

**Doctoral dissertation 2016**

**Study on the life history of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis*  
in the Sanriku coast of northern Japan**

**Masayoshi Hata**

**Department of Aquatic Bioscience  
Graduate School of Agricultural and Life Sciences  
The University of Tokyo**

**Supervisor: Professor Tsuguo Otake  
The University of Tokyo**

## 目 次

第 1 章 緒言	・ ・ ・ ・ 1
第 2 章 調査場所	・ ・ ・ ・ 8
第 1 節 鵜住居川と大槌湾	
第 1 項 地理的特徴	・ ・ ・ ・ 8
第 2 項 水温	・ ・ ・ ・ 9
第 2 節 盛川と大船渡湾	
第 1 項 地理的特徴	・ ・ ・ ・ 10
第 2 項 水温	・ ・ ・ ・ 10
第 3 章 流下仔魚期	・ ・ ・ ・ 16
第 1 節 材料と方法	
第 1 項 流下仔魚	・ ・ ・ ・ 16
第 2 項 降海仔魚	・ ・ ・ ・ 19
第 3 項 孵化仔魚の体長と卵黄指数の関係	・ ・ ・ ・ 21
第 2 節 結果	
第 1 項 流下仔魚	・ ・ ・ ・ 22
第 2 項 降海仔魚	・ ・ ・ ・ 24
第 3 項 水温と孵化日数、孵化体長、卵黄指数の関係	・ ・ ・ ・ 26
第 3 節 考察	
第 1 項 産卵時期と産卵場所	・ ・ ・ ・ 26
第 2 項 流下仔魚数	・ ・ ・ ・ 28
第 3 項 卵黄指数	・ ・ ・ ・ 28
第 4 項 流下過程における減耗	・ ・ ・ ・ 29
第 4 章 海域生活期	・ ・ ・ ・ 50
第 1 節 材料と方法	
第 1 項 水温・塩分・クロロフィル a 量の計測	・ ・ ・ ・ 51
第 2 項 仔稚魚の採集	・ ・ ・ ・ 52
第 3 項 採集魚の日齢査定	・ ・ ・ ・ 53
第 2 節 結果	
第 1 項 大槌湾および鵜住居川河川内汽水域	・ ・ ・ ・ 55
第 2 項 大船渡湾および盛川河口域	・ ・ ・ ・ 57

第3節 考察	
第1項 海域における分布と回遊	・ ・ ・ ・ 59
第2項 アユ仔稚魚の海域における生残	・ ・ ・ ・ 62
第5章 河川遡上期	・ ・ ・ ・ 107
第1節 材料と方法	
第1項 遡上魚	・ ・ ・ ・ 108
第2項 遡上魚の日齢、孵化日	・ ・ ・ ・ 109
第3項 遡上魚の耳石 Sr:Ca 比分析による遡上日、遡上日齢、 遡上体長の推定	・ ・ ・ ・ 110
第4項 海域と河川の水溫	・ ・ ・ ・ 111
第2節 結果	
第1項 遡上時期の海域と河川の水溫	・ ・ ・ ・ 112
第2項 淡水生活期・汽水生活期・海水生活期に対する 耳石 Sr:Ca 比の基準値	・ ・ ・ ・ 112
第3項 採集魚の天然魚と放流魚の判別	・ ・ ・ ・ 112
第4項 日齢、孵化日、遡上日齢、遡上日、遡上体長、成長	・ ・ ・ 113
第3節 考察	
第1項 三陸地域のアユの遡上時期と遡上体長	・ ・ ・ ・ 115
第2項 遡上メカニズム	・ ・ ・ ・ 116
第3項 遡上魚の平均孵化日と仔魚の流下盛期のズレ	・ ・ ・ ・ 116
第6章 河川生活期	・ ・ ・ ・ 134
第1節 材料と方法	
第1項 親魚の採集	・ ・ ・ ・ 135
第2項 親魚の孵化日、遡上日、遡上体長の推定	・ ・ ・ ・ 135
第2節 結果	
第1項 産卵場加入個体の性比と成熟度	・ ・ ・ ・ 135
第2項 体長、体重	・ ・ ・ ・ 136
第3項 日齢と孵化日	・ ・ ・ ・ 136
第4項 遡上日齢、遡上日、推定遡上体長、海域生活期 および河川生活期の成長率	・ ・ ・ ・ 137
第5項 海域生活期と河川生活期の成長率	・ ・ ・ ・ 138
第3節 考察	
第1項 産卵場への加入	・ ・ ・ ・ 138
第2項 2007 年級と 2008 年級の産卵場加入個体の違い	・ ・ ・ ・ 139



第7章 東日本大震災が三陸地域のアユ資源に及ぼした影響	・・・	148
第1節 材料と方法		
第1項 遡上魚の採集	・・・	149
第2項 遡上魚の日齢と孵化日	・・・	149
第3項 遡上魚の耳石 Sr:Ca 比と日周輪紋による遡上日齢、 遡上日、遡上体長の推定	・・・	149
第4項 遡上魚が震災時に分布した塩分環境の推定	・・・	150
第2節 結果		
第1項 遡上魚の体長、体重、日齢、孵化日	・・・	150
第2項 遡上魚の遡上日齢、遡上日、遡上体長	・・・	150
第3項 遡上魚が3月11日に分布した塩分環境	・・・	150
第4項 水温	・・・	151
第3節 考察		
第1項 震災前後での遡上個体の日齢と孵化日組成の違い	・・・	151
第2項 3月11日に分布した塩分環境	・・・	151
第3項 東日本大震災が三陸沿岸域のアユ個体群に与えた影響		152
第8章 総合考察	・・・	160
第1節 三陸地域のアユの生活史特性	・・・	160
第2節 アユの環境攪乱への応答	・・・	162
第3節 三陸沿岸域のアユ資源の増殖・保全に向けた取り組み	・・・	163
謝辞	・・・	166
引用文献	・・・	168
要旨	・・・	179

## 第1章 緒言

アユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)は分類学的にはサケ亜目、アユ属に含まれる。その系統学的位置についてはキュウリウオ科の下にアユ亜科として置く (Nelson 2006)、あるいはアユ科としてシラウオ科と姉妹群を形成し、キュウリウオ科の姉妹群とする (Lopez et al. 2004)などの説が提唱されているが未だ確定されていない。アユは東アジアに固有の魚であり、日本列島を中心に北海道・朝鮮半島からベトナム北部まで東アジア一帯に分布し (宮地ら 1963, 西田 1990)、分布の北限は天塩川とされる (岡田・桜井 1939)。また、近年の分子遺伝学的集団構造解析によれば、日本に生息するアユは微弱ではあるが北海道、北日本/三陸、関東/中部、南日本、四国/紀伊半島、九州の 6 つの遺伝子集団に分けられることが示されている (Takeshima et al. 2016)。本種の亜種であるリュウキュウアユ (*Plecoglossus altivelis ryukyuensis*) は琉球列島の沖縄本島と奄美大島に生息し (Nishida 1988, 西田ら 1992, 澤志ら 1992)、絶滅危惧種ⅡA類 (環境省レッドデータブック) に指定されている。沖縄本島の個体群は 1970 年代末に絶滅し (西田ら 1992)、その後、奄美大島から移植されて現在に至っている。

アユは古来より日本の文化と深く結びついた魚で、「古事記」や「日本書紀」にもたびたび登場する。アユを漢字で“鮎”と表記することは、神功皇后が三韓遠征の際に、九州筑紫の末羅 (佐賀県松浦郡) で裳の糸に曲げた針を付け米粒をエサにして川に投げ入れて新羅との戦いの勝利を祈請したところアユが釣れたという話に由来するといわれる。また、天皇の即位儀礼に用いられる「萬歳幡 (旗)」には 5 尾のアユが縫い取ってあるが、これは神武天皇の建国神話に由来するといわれる (日比谷 1959, 宮地 1960 など)。三重県度会郡大紀町滝原の水戸神神社では毎年旧 6 月 1 日に川の中程にある大岩の窪みに 12 尾のアユを投げ込み、豊凶を占う神事が行われるが、これは伊勢神宮の昔のアユ取り神事に関連した祭りといわれる。このようにアユを用いた神事は枚挙にいとまがない。いずれもアユが如何に日本の文化と深く係わってきた魚であるかということを物語っている。

アユは香魚と呼ばれるように独特の香気があり食材としても珍重される。そ

の食文化も多様であり、塩焼きはもとより、馴れ鮓、煮浸し、粕漬け、また内臓を塩漬けた「うるか」などがよく知られる。また、釣法もエサ釣りの他、縄張り性を利用した「友釣り」、毛バリによる「ドブ釣り」、かけバリによる「かけ釣り」や「コロガシ」釣りなど多様である。アユに特有の漁法に鵜を使って漁獲する「鵜飼」がある。その漁法は日本書紀や古事記にもすでに記述され、日本古来の伝統的漁法として長良川の重要な観光資源にもなっている。

このようにアユは日本人の生活に密着した魚であり、内水面漁業の最重要魚種の一つでもあることから、その生態に関する知見の蓄積は膨大である。以下にアユの生活史を概説する。アユは1年で成熟・産卵して死亡する年魚であり、一生の間に川と海の間を往来する生活史をもつ両側回遊型（産卵と直接関係なく川 - 海の間移動が行われる）（図 1-1）と、琵琶湖や鹿児島県の池田湖、あるいは関東以南の比較的大規模なダム湖（小西・信沢 1994）に生息する陸封型がいる。両側回遊型アユは秋に河川の中・下流域で産卵し、孵化した仔魚は直ちに流れに乗って海へと流下する（石田 1964, 千田・東 1967, 兵藤ら 1984, 1985, 塚本 1991, 田子 1999a, b, 荒山ら 2010 など）。冬季、沿岸域の碎波帯を中心にカイアシ類などの動物プランクトンを主要な餌として過ごす（Senta・Kinoshita 1985, 塚本ら 1989, 浜田・木下 1988, Azuma et al. 1989, Takahashi et al. 1999, 2000, 2002, 塚本 2001, 東ら 2002, 田子 2002 a, b, c など）。成長した稚魚は翌春に河川を遡上し、河川の中・下流域を主要な生息場として藍藻や珪藻などの付着藻類を餌として成長し、秋の産卵を迎えてその一生を閉じる（白石・竹谷 1957, 石田 1959, 1964, 宮地 1960, 白石・鈴木 1962, 川那部 1967 など）。前述したように河川においては縄張りを形成する（川那部 1970, 1976, Iguchi・Hino 1996, Iguchi・Abe 2002, Tanaka et al. 2011）。

両側回遊型には一生のほとんどを河口汽水域で過ごす個体群の存在も知られている（Iguchi et al. 2005）。陸封型のアユは湖やダム湖を海の代替えとして利用するが、琵琶湖には春季に流入河川を遡上する個体群（オオアユと呼ばれる）と遅い時期に遡上、あるいは一生のほとんどを湖内で過ごし産卵の直前に河川最下流域の産卵場に遡上して産卵する個体群（コアユと呼ばれる）、さらに湖内の島の岩礁域に分布して付着藻類を餌として比較的大型になる個体群が存在する（東 1969, 1973, Tsukamoto et al. 1987, 塚本 1988）。琵琶湖にみられる生活史

を異にする個体群はいずれも遺伝的に分化した集団ではなく、オオアユとコアユは孵化日と仔稚魚期の成長の違いにより生態的に分化した集団であることが明らかにされている (Tsukamoto et al. 1987)。アユはきわめて多様性に富む生活史を有する魚である。

アユの漁獲量は戦後年ごとに増加し、1991 年には 18,093 t に達した (日本水産資源保護協会 1998) が、それ以降急激に減少し 2006 年には 3,015 t まで落ち込み、その後わずかに増加したものの 2014 年に再び減少し 2015 年には 2,353 t となった (図 1-2-A)。ただし、2006 年以降は統計方法が変更され遊漁による漁獲量が除かれている。岩手県でも 1993 年に 225 t を記録した後に減少に転じ、2005 年が 65 t、2006 年～2008 年は 0～4 t と落ち込み 2009 年～2013 年は 8～16 t と若干増加したものの低水準のまま推移している (図 1-2-B)。

アユの資源変動の要因としては産卵数や流下仔魚数 (相澤ら 1999, 吉本ら 2006)、秋季の降水量 (吉本ら 2006, 堀木 1991, 東ら 2003, 嶋田ら 2006)、積雪日数 (西森ら 1992)、冬季の海水温 (Takahashi et al. 1999, 中村・糟谷 2004)、海域の動物プランクトン量 (吉本ら 2006, 八木ら 2006) などが報告されている。アユの分布域は南北に長いことから資源変動の要因も地域で異なり、同じ要因でも影響の及ぼし方が異なる場合もあるものと考えられる (原田 2009)。アユの分布北限に近い三陸沿岸地域のアユ資源 (遡上量) は年変動が大きく、特に冬季に親潮に由来する異常冷水塊が接岸し、海水温がアユの生息下限値である 4～5℃ (鈴木 1985) 付近にまで達した年には遡上量が壊滅的なレベルにまで減少するといわれる (遠藤・宇部 2000)。一方、土佐湾では秋季の海水温の上昇がアユの初期減耗率増加を招いていることが指摘されている (Takahashi et al. 2003)。

また近年、遡上アユの小型化が全国の河川で問題となっている。富山県庄川での遡上魚の小型化は 2004 年 10 月に富山県を猛襲した台風とそれに伴う大増水による早生まれ個体群の消失が引き金となったとされる。すなわち、遡上時期が遅れる遅生まれ個体群は河川生活期が短く、小型で遅い時期に産卵加入することが翌年の遡上魚の小型化に繋がっているという (井口ら 2011, Aino et al. 2015)。また、長良川では大型稚魚を用いた放流事業が天然遡上魚の小型化を招

いている可能性が指摘されている（間野ら 2014）。三陸沿岸域でも遡上アユの小型化はみられ、その対応が急がれている。

三陸沿岸域を含む東北以北のアユ個体群の生活史に関する知見は少ないのが現状である。アユの成熟は水温と日照時間で決定され（白石・武田 1961, 伏木 1979）、雌 1 個体あたりの産卵量や卵径には緯度クラインがあることが報告されている（Iguchi 2004）。また、遡上時期は海水温と河川水温の影響を強く受ける。これらのことはアユの生活史特性に南北差があることを示唆する。さらに三陸沿岸域の生態系は 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で大規模な攪乱を受けており（益田 2012, 2013, Miura et al. 2012, Seike et al. 2013, Takami et al. 2013, Urabe et al. 2013, Kawamura et al. 2014）、アユの生態も大きな影響を受けたことが報告されている（Hata et al. 2016）。したがって、三陸沿岸域のアユの資源変動のメカニズムを理解し、その保全と増殖を考えるには、まず東日本大震災による影響を踏まえた上での三陸沿岸域におけるアユの生活史特性を把握することが必要不可欠である。

本研究ではアユの生活史解析に耳石の日周輪紋解析や微量元素（Sr:Ca 比）分析を用いた。アユの耳石は明瞭な日周輪紋を形成することからその計数により各個体の日齢が明らかになり、採集日から日齢を差し引くことで孵化日が特定される（Tsukamoto・Kajihara 1987）。また、海水と河川水の Sr 濃度の違いを反映して河川淡水域への遡上の前後で耳石 Sr:Ca 比が大きく変化する（Otake・Uchida 1998）。これより、耳石 Sr:Ca 比の変化を日周輪紋と対応させて解析することにより、各個体の遡上日齢や遡上時期を特定することができる。さらに、遡上日齢と遡上時の耳石半径からバイオロジカルインタセプト法（Campana 1990）により遡上体長を推定することが可能である。以上より、アユにおいては耳石解析により孵化から遡上に至るまでの回遊過程や成長の履歴を明らかにすることができる。

本研究は東北地方の三陸沿岸域におけるアユの生活史特性を明らかにすること、さらに東日本大震災直後の 2011 年 6 月に遡上したアユの初期生活史を震災前のものと比較することで津波がアユ個体群に与えた直接的影響を調べるこ

を目的として行われた。更に以上のことを踏まえて三陸沿岸域のアユの生活史特性とそれに基づくアユ資源の保全・増殖方策について検討した。本論文は 8 章で構成され、まず第 2 章で調査河川とした岩手県の鵜住居川と盛川、およびそれぞれの河川が流入する大槌湾と大船渡湾の地理的特徴について記述した。そして 2 河川におけるアユの孵化から河川生活を経て産卵加入するまでの生活史を流下仔魚期（第 3 章）、海域生活期（第 4 章）、河川遡上期（第 5 章）、河川生活期（第 6 章）に分けて記述した。さらに第 7 章では東日本大震災（津波）が三陸地域のアユの生態に及ぼした影響について記述した。総合考察（第 8 章）では三陸沿岸域のアユの生活史特性とそれに基づくアユ資源の保全・増殖方策について議論した。



図 1-1 両側回遊型アユの生活史

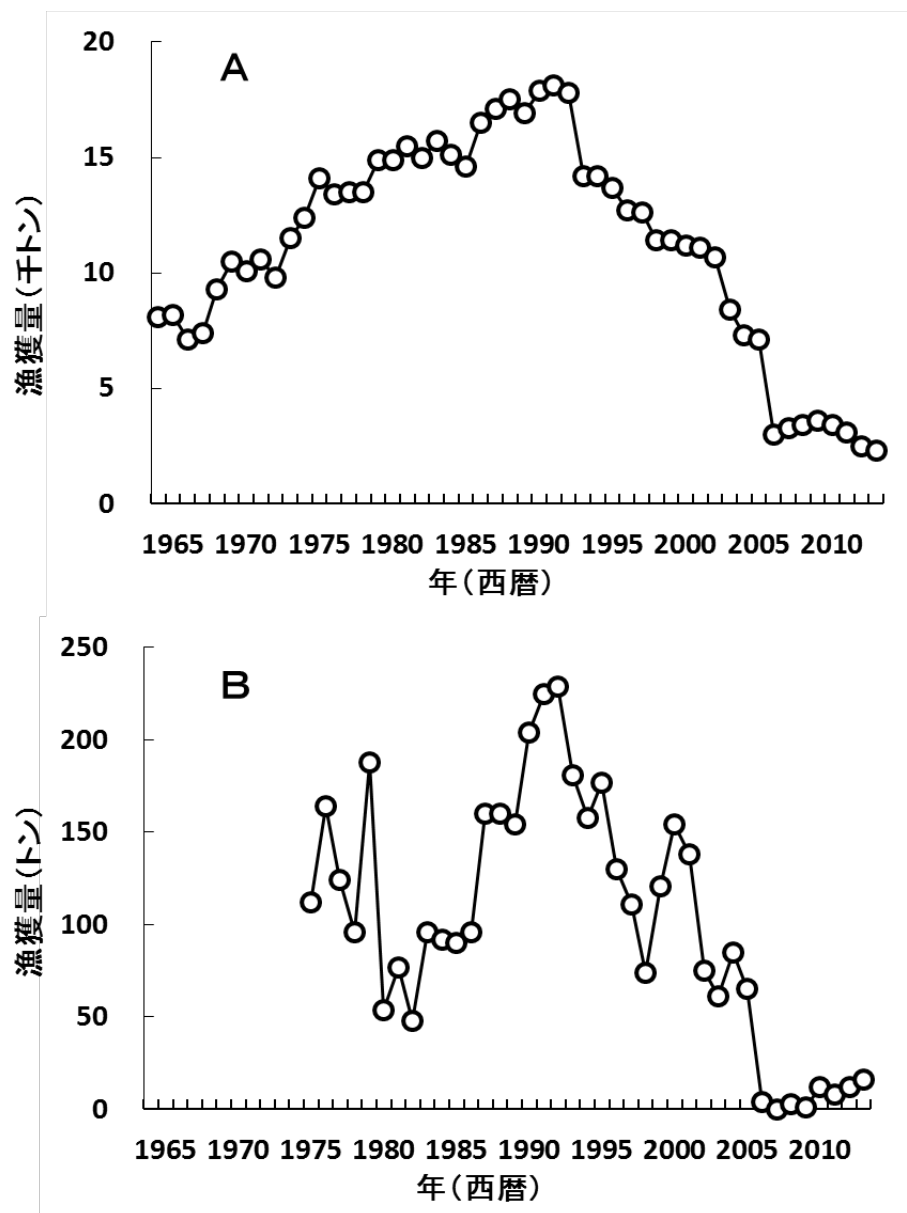


図 1-2 全国(A)と岩手県(B)のアユの漁獲量の推移  
2006 年以降は統計方法が変更され、遊漁の漁獲量が除かれている



## 第 2 章 調査場所

本研究では岩手県の鵜住居川（釜石市）と盛川（大船渡市）の 2 河川を調査対象とした。鵜住居川は大槌湾に、盛川は大船渡湾に流入する。両湾とも三陸沿岸に顕著なりアス式海岸の特徴を備えた湾であるが、大槌湾が比較的開放的な湾であるのに対して、大船渡湾は湾口部を塞ぐ形で湾口防波堤が構築された閉鎖性のきわめて高い湾であり、両湾の形態が河川水に乗って流入した仔魚の分布・回遊に影響を与えている可能性も考えられる。これより、本研究では内湾域の地形的な違いや環境の違いがアユの回遊に与える影響を検討することも当初の目的の一つとして、鵜住居川－大槌湾と盛川－大船渡湾の二つの河川－湾を調査対象に選んだ。なお、いずれの河川も岩手県内では有数のアユの天然遡上がある河川であり、日本釣振興会が選定した天然アユが遡上する 100 名川に岩手県内の他の 4 河川（気仙川、閉伊川、甲子川、安家川）とともに選定されている。

### 第 1 節 鵜住居川と大槌湾

#### 第 1 項 地理的特徴

三陸沿岸の岩手県中央部にある鵜住居川は北上山地に源を発し、東流して釜石市根浜海岸で大槌湾に注ぐ流路延長 28 km、流域面積 156 km<sup>2</sup> の 2 級河川である（図 2-1-A, B）。流量は季節により、また毎年の雨量や積雪量によっても異なるが、およそ 1.7～5.5 t/秒程度で推移する（乙部 2005）。2011 年 3 月に発生した東日本大震災以前には、河口に砂洲が発達して河口閉塞の状況を呈した。河口幅は 22～30 m と狭く、河口の砂洲が特に発達した 2010 年には 10～12 m にまで狭まった。河口から陸側に南北に細長く汽水域（以降、“河川内汽水域”と呼ぶ）が発達し、河口はその北端に位置した。河川内汽水域は河口から 1.3 km 上流まで幅約 80 m、水深 1.0～2.6 m で広がっていた。底質は砂であった。河川内汽水域の陸側は防潮堤で仕切られ、その前にはテトラポットが並べられていた。河川内汽水域の北端の陸側には船溜まりが作られており、幅約 3 m の水門で河川内汽水域に通じていた。河口部に形成された砂州と汽水域は 2011 年 3 月 11

日に発生した東日本大震災の津波と地震による地盤沈下によって消滅し、東向きに流れる河川水が直接大槌湾に流入するようになった。現在（2016 年 12 月現在）はその河口を横断する水門の建設工事が行われている。鵜住居川の感潮域は河口から 2.0 km 上流の JR 山田線鉄橋付近（図 2-1-B）までとされ、鵜住居川漁業協同組合に対する聞き取り調査によれば、アユの主要な産卵場は大浜渡橋から田郷堰上流の栗林（図 2-1-B）に至る区間にある複数の瀬に形成される。また、天然遡上は河口から約 12 km 上流の栗林町まで確認されている。毎年 6 月に実施される稚魚放流は大浜渡橋から約 18 km 上流までの地点で行われる。

大槌湾は鵜住居半島と吉里吉里半島で挟まれ、湾口がやや北を向く東西方向に長い湾である（図 2-1-A）。湾口幅は 3.5 km、奥行き 8 km で水深は湾口部で 80 m、湾中央部で 40 m あり、湾口から湾奥に向かって直線的に浅くなる。湾奥には鵜住居川、大槌川、小槌川の 3 河川が流入しており、その流量比はそれぞれ 55、30、15%程度の割合である（乙部 2005）。湾の海水は表層を常に湾外に向かう河川水に由来する低塩分水と中層、底層水の 3 層からなる（Tanaka et al. 2015）。中層と底層の水は互いに逆方向に流れ、底層水が湾外から湾内に流入する方向で流れる場合には中層水は流出する方向で流れ、その方向は数時間～数十時間の間隔で逆転する。湾外からの流入水は湾の北側を流れ、流出は南側を流れる傾向が強く、湾内の中・底層水は反時計回りに循環する。このような海水循環の特徴は夏季に顕著であり、冬季は弱い。また、河川水の滞留期間は約 18 日間と推定されている（乙部 2005）。湾内には小規模なアマモ場が点在し、湾奥の根浜海岸の南部のものが最大である。

## 第 2 項 水温

鵜住居川の水温は、河口から 6 km 上流に 2010 年 6 月 1 日～2011 年 5 月 31 日まで設置されたデータロガーの記録や 2008 年～2010 年の 9 月～12 月あるいは 1 月に実施された流下仔魚調査での計測によれば、1 年間で 0.7～22.2℃で推移し、最高水温、最低水温はそれぞれ 1 月下旬と 8 月上旬に記録された（図 2-2-A）。大槌湾中央部の水温（深度 5 m）は、東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター（以降、沿岸センター）によれば 2008 年～2010 年の各年の平均水温（範囲）はそれぞれ  $12.4 \pm 5.1^{\circ}\text{C}$ （2.5～20.7℃）、 $13.0 \pm 4.4^{\circ}\text{C}$ （5.7～20.1℃）、 $13.1 \pm 6.0^{\circ}\text{C}$

(3.3～23.3℃)で、いずれの年も最低水温は3月に、最高水温は9月に記録した(図2-2-B)。

## 第2節 盛川と大船渡湾

### 第1項 地理的特徴

盛川は五葉山(岩手県大船渡市)に源を発し、山間部を南東に流れ、大船渡市街を貫流して大船渡湾に注ぐ流路延長17 km、流域面積129 km<sup>2</sup>の2級河川である(図2-3-A, B)。河口は大船渡湾の最奥部に位置し、河口幅は170 mである。盛川漁業協同組合によれば、感潮域は河口から約2 kmまでであり、アユの主要な産卵場は河口から2.6 km上流の中井橋下流域から5.8 km上流のナメタラ淵付近までの区間にある複数の瀬に形成される。天然遡上は河口から約11 kmまでとされ、稚魚放流もその間で行われる。年平均の流量は3.7～5.4 t/秒(2005年～2010年)である。2011年の東日本大震災では地形的には顕著な変化はなかったものの地盤沈下により感潮域が震災前に比べて約1 km上流まで拡大した。

大船渡湾は湾口の幅1 kmで南に向き、奥行き約6 km、幅平均2 km、水深平均20 mで南北に細長く、南東方向に湾口が開く湾である(図2-3-A)。東日本大震災以前には、湾口部に湾口防波堤が構築されており、湾口幅が200 mに狭められたきわめて閉鎖性の強い湾であった。この湾口防波堤は東日本大震災により完全に破壊され、現在再建工事が進んでいる。東日本大震災以前には、湾内の海水流動の停滞があり、密度成層化が進み、富栄養化が進むとともに夏季には恒常的に貧酸素水塊が湾央部の20 m以深を中心に形成されていた。湾口部では下げ潮時に平均流速最大5 cm/秒程度の海水の湾外への流出、また上げ潮時には最大7 cm/秒程度の流入がみられた。震災で湾口防波堤が破壊されたことにより湾内外の海水交換が大きくなった。湾外の低水温水は湾内の下層に流入、それに伴い下層の水温の低下とDO濃度の上昇がみられるようになった。

### 第2項 水温

岩手県県土整備部河川課によれば、盛川の2008年～2010年の水温はそれぞれ1.9～18.7℃、2.1～17.8℃、0.5～21.1℃で推移し、最低水温はいずれの年も2月

上旬、最高は8月中旬に記録した(図 2-4-A)。また、大船渡湾の2008年～2010年の各年の平均水温(深度 5 m)(範囲)は、岩手県の記録によればそれぞれ  $13.1 \pm 6.0$  ( $6.6 \sim 20.2^{\circ}\text{C}$ )、 $12.5 \pm 4.9$  ( $5.2 \sim 20.1^{\circ}\text{C}$ )、 $13.4 \pm 5.7^{\circ}\text{C}$  ( $4.8 \sim 23.4^{\circ}\text{C}$ )であり、最低水温は3月～4月に、最高水温は8月～9月に記録した(図 2-4-B)。

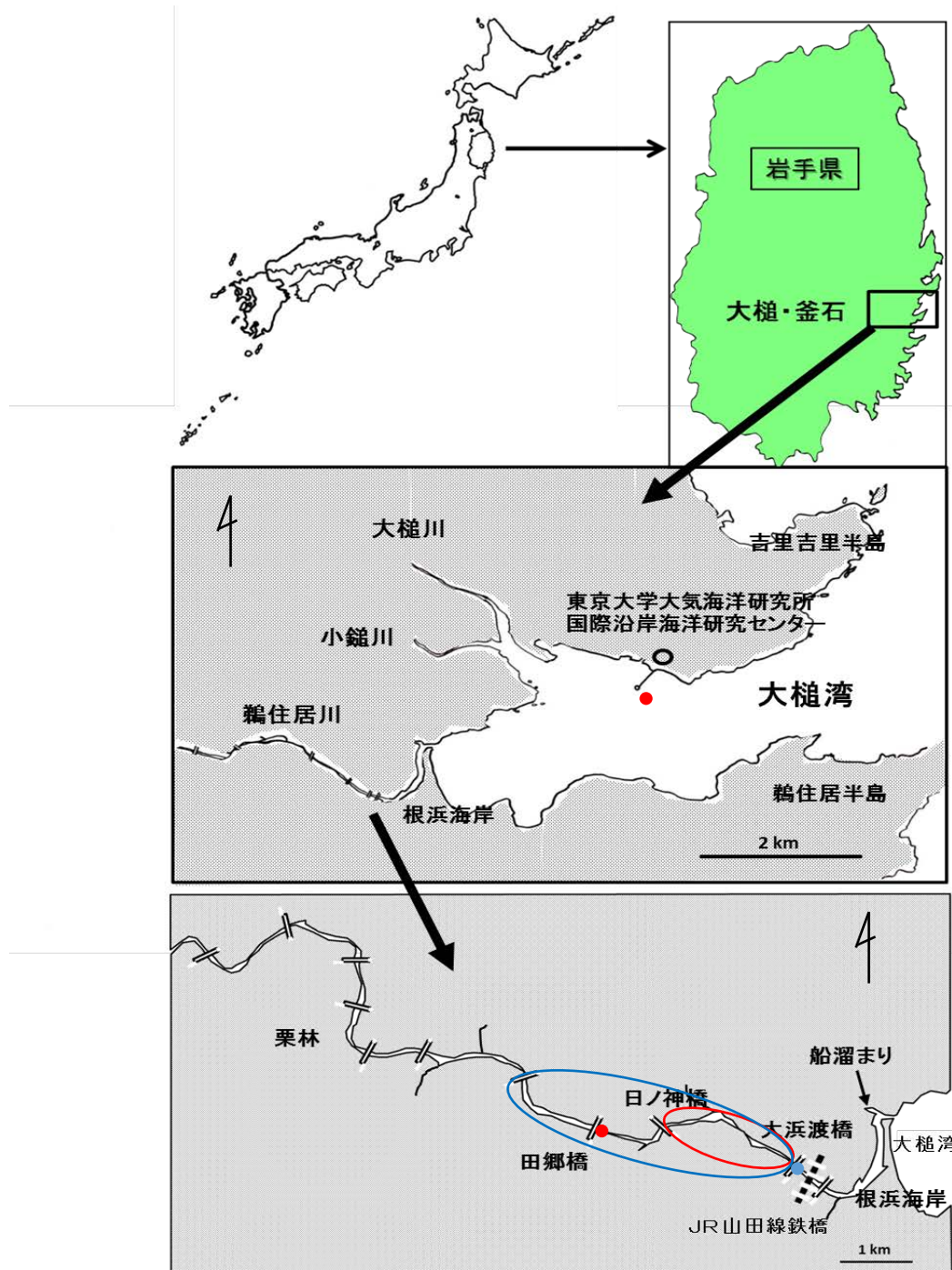


図 2-1 大槌湾と鶴住居川

● : 水温測定地点   ● : 流下仔魚採集地点   ○ : 遡上魚採集地点   ○ : 産卵場

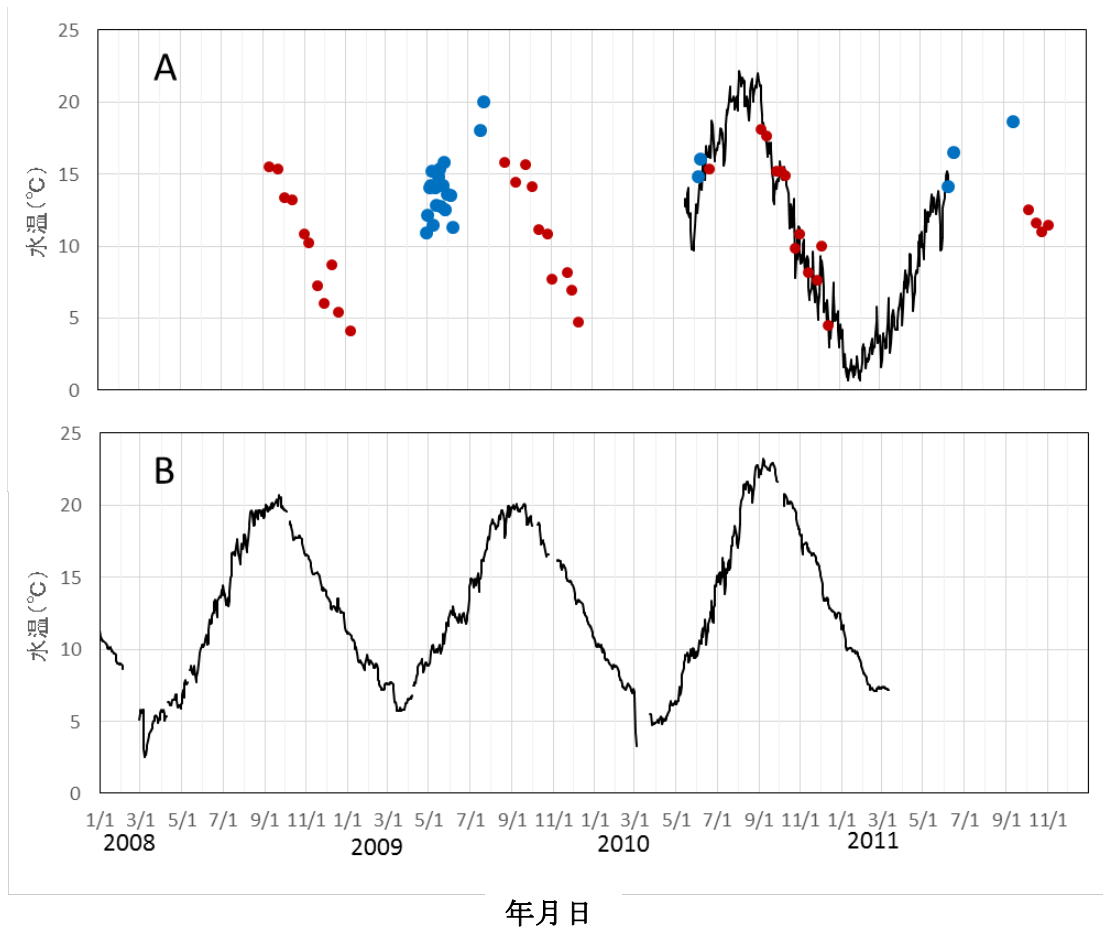


図 2-2 鵜住居川(A)と大槌湾(B)の水温

鵜住居川の水温の(●)は流下仔魚調査時に計測、(●)は遡上期と河川生活期アユ採集時に計測し、(—)は河口から約 6Km 上流に設置したデータロガーで記録した。大槌湾の水温は沿岸センターによる

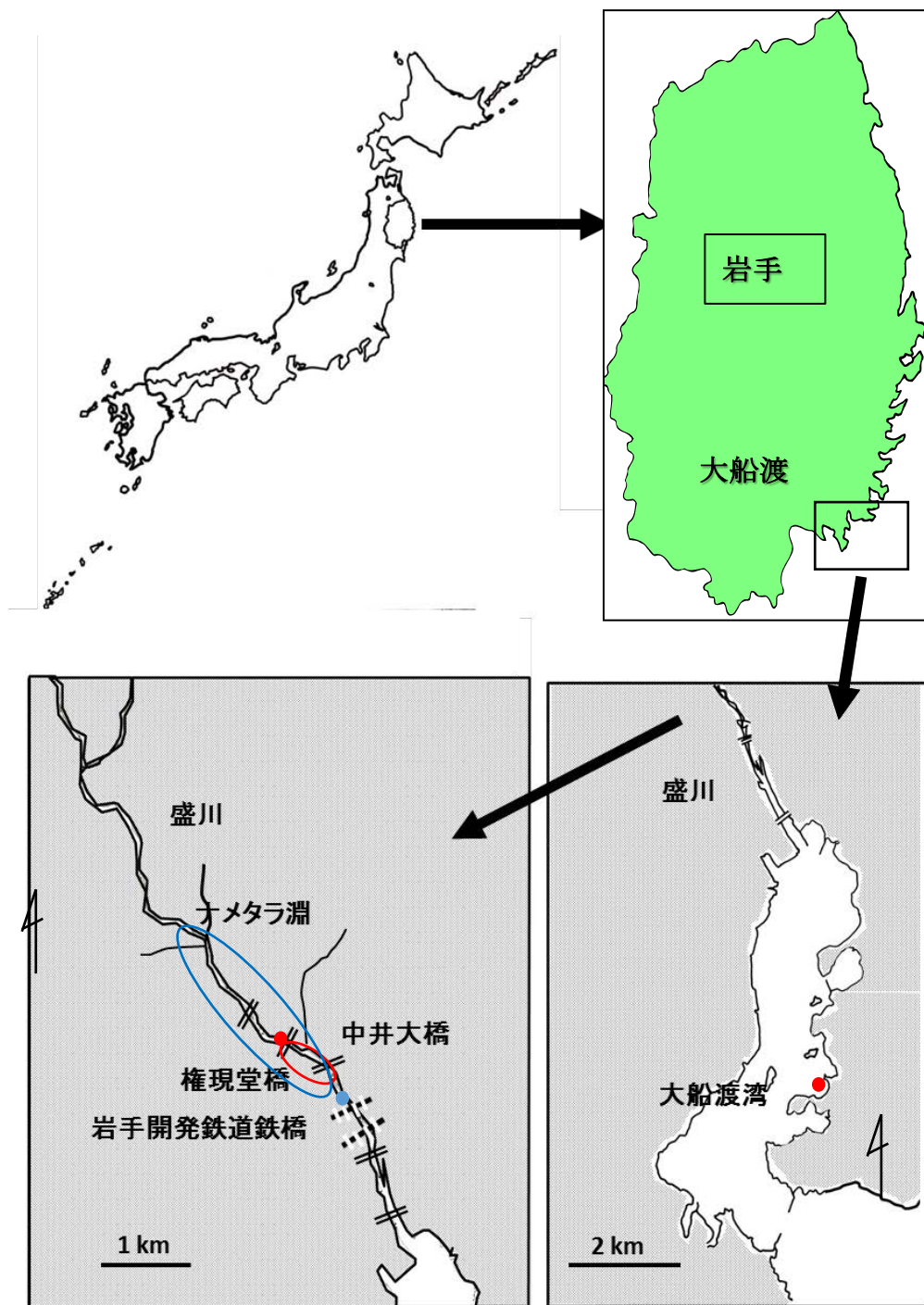


図 2-3 大船渡湾と盛川

● : 水温測定地点 ● : 流下仔魚採集地点 ○ : 遡上魚採集地点 ○ : 産卵場



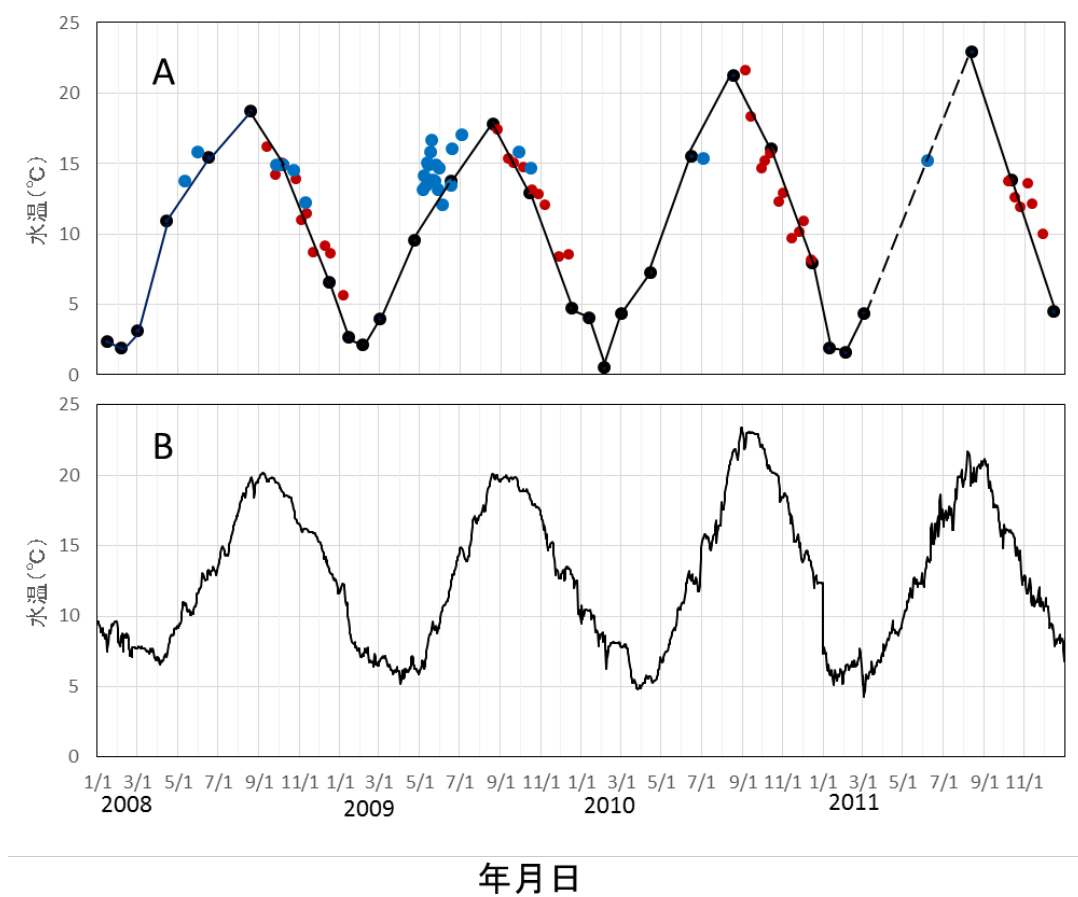


図 2-4 盛川(A)と大船渡湾(B)の水温

盛川の水温の(●)は流下仔魚調査時に計測、(●)は遡上期と河川生活期アユ採集時に計測し、(●)は岩手県により、大船渡湾の水温は岩手県水産技術センターによる



### 第3章 流下仔魚期

夏～秋季の短日化に伴って成熟し、下流域に降下したアユは水温が 20℃に低下した頃から細かい砂礫からなる河床の瀬で産卵を開始する（白石・武田 1961）。したがって産卵期は水温の低い北ほど早く、南に行くにしたがって遅くなる。卵発生の最適水温は 13～18℃（川本 1978）で、この条件下では 12～18 日で孵化する（伊藤ら 1971, Kashiwagi et al. 1986）。卵の孵化には明から暗への変化が必要であり（木村 1954）、日没後から孵化が始まり、孵化した仔魚は直ちに川の流れに乗って流下する。仔魚は流心に集中して流下する傾向がみられ（和田・稲葉 1967, 蓑宮 2004）、流下中の仔魚は夜間には浮上して昼間は沈下するという能動的な鉛直移動を行う（高橋 2005, 荒山ら 2010）。流下中の仔魚は摂餌せず孵化後 4 日間で卵黄を吸収し、半数致死・絶食限界は 5～8 日といわれる（兵藤・関 1985, 塚本 1991）。孵化した仔魚の河川流下中の減耗は非常に大きいといわれるものの、わずかに岐阜県長良川と山形県鼠ヶ関川での研究例があるのみである。長良川では産卵場から 19 km 下流までの間の減耗率が 53%（和田・稲葉 1968）、鼠ヶ関川では流程 5 km の調査区間で 76～93%（内田 2005）と推定されている。流下仔魚の減耗の要因としてウグイ、スミウキゴリ、オイカワなどによる被食が報告されている（水谷ら 1974, 1976, 鶴田ら 2010, 岡田ら 2009）。

本章では鵜住居川と盛川におけるアユ仔魚の流下量の日周変化と経旬変化、経年変化、また鵜住居川の最下流産卵場から河口に至る区間における減耗について検討する。なお、本章では両河川の最下流産卵場直下と鵜住居川河口で採集した仔魚を材料としたが、便宜的に前者を“流下仔魚”、後者を実際に河口から海へと流出する仔魚という意味で“降海仔魚”と呼び、区別した。

#### 第1節 材料と方法

##### 第1項 流下仔魚

###### 1. 流下仔魚の採集

鵜住居川では、河口から 2.3 km の最下流産卵場直下にあたる大浜渡橋下流側を採集地点とし（図 2-1-B）、2008 年～2010 年の 3 年に亘って各年 8 月下旬あるい

は9月上旬～12月中・下旬あるいは1月上旬の期間、原則として約10日間隔で採集を行った(表3-1)。採集には口径56 cmのリングネット(目合い0.3 mm)を用い、川の流心部に17:00～24:00の間の1時間ごとに20秒～5分間浸漬(ネット浸漬時間は仔魚の流下量に応じて調節)した(図3-1)。また、2008年11月7日10:00～8日14:00、2010年10月28日12:00～29日14:00の2回、流下仔魚数の日周変化を調べる目的でそれぞれ28時間、26時間の連続採集(以降、便宜的に“24時間調査”と呼ぶ)を行った。採集方法は通常の調査と同様で、それぞれの調査期間の間1時間ごとにリングネットを浸漬した。

盛川では、河口から1.7 kmの最下流の産卵場直下を調査地点とし(図2-3-B)、鵜住居川と同様の方法で2008年～2010年の各年8月下旬あるいは9月上・中旬～12月中・下旬あるいは1月上旬までの期間、原則として約10日間隔で実施した(表3-2)。

採集された仔魚は直ちに99.5%エチルアルコールで固定し、研究室に持ち帰った後に計数を行った。流下仔魚が多数採集された場合には、採集試料全体の重量を測定した後にその一部を計数し、重量法により全数を算出した。2008年の定期調査の19:00採集個体と2008年の24時間調査における1時間ごとの採集個体について、各時刻最大20個体を無作為に抽出し実体顕微鏡下でポリエチレン製透明1mm方眼紙を用いて体長(脊索長)と卵黄指数を測定した。2010年の24時間調査の採集個体については画像解析システム(画像解析ソフト:ACT-1、ニコン、東京)を装着した実体顕微鏡(SMZ-10、ニコン、東京)を用いて体長(脊索長)と卵黄指数を測定した。卵黄指数は塚本(1991b)に従って0～4の5段階に分類した(図3-2)。すなわち、孵化直後の卵黄吸収がない状態を卵黄指数4、完全に吸収しつくした段階を卵黄指数0とし、その間を3段階に分けた。なお、本研究ではエチルアルコール固定による体長や卵黄嚢の収縮については考慮せず、いずれもエチルアルコール固定下で測定を行った。

## 2. 河川流量の推定

各調査日の各採集時に電磁流速計(AEM1-D型、JFEアドバンテック、東京)を用いて採集場所(流心部のネット浸漬場所)の流速を測定し、併せてその場

所の水深を調べた。流速は水深の中央部で測定した。鵜住居川で 2008 年と 2010 年に実施した 24 時間調査では、調査期間の間、上記と同様の測定を繰り返した。

各調査日の各採集時刻での河川流量を推定するため、17:00 の初回採集時に調査地点で川幅 1 m ごとに水深を測定し、横断面図を作成した (図 3-3-A, B)。そして、河川の横断面を 1 m ごとの区画に分割し、各区画で電磁流速計により流速を測定し、その平均値をその時刻での流速 (m/秒) とした。各時刻の採集では流心部 (ネット浸漬場所) でのみ流速を測定し、その値に 17:00 に求めた “流速の平均値 (河川の流速) / 流心部の流速” を乗じて各時刻の流速とした。流心部の流速と平均流速の関係は時刻によらず一定と仮定した。各時刻の流量 (m<sup>3</sup>/秒) は上記の方法で算出した各時刻の流速に河川断面積を乗じて求めた。水深は潮位とともに変化したことから、各時刻で測定した水深に基づいて断面積を計算した。

### 3. 流下仔魚数の推定

各調査日の流下仔魚数を採集尾数と河川流量から下記の方法で求め、さらにそれらの結果から旬ごと、および年間の流下仔魚数を推定した。まず、各採集時刻における仔魚の流下密度 (尾 /m<sup>3</sup>) を、各採集時刻における採集尾数をネットの濾水量 (m<sup>3</sup>) で除して求めた。ネットの濾水量はネットの有効網口面積 (ネットの水面下に没した部分の面積) に採集地点の流速 (m/秒) とネットの浸漬時間 (採集時間) (秒) を乗じて求めた。河川全体での各採集時刻における流下仔魚数 (尾/秒) は、仔魚の流下密度に採集時刻ごとに求めた河川の流量 (m<sup>3</sup>/秒) を乗じて算出した。各計算式は下記の通りである。なお、流下仔魚密度は流心部で高いことが報告されている (和田・稲葉 1967, 蓑宮 2004) が、本研究では河川内の流下密度は一定と仮定した。これより、本研究での推定流下仔魚数は過大評価している可能性がある。しかし、鵜住居川と盛川の川幅はそれぞれ 12m と 22 m と狭く、水深も最大 75 cm、82 cm であり、平均流速も流心部の約 78% と河川内での違いが小さいことから、実際よりもかけ離れて過大評価することはないと考える。

$$\text{流下仔魚密度 (尾/m}^3\text{)} = \text{採集尾数} / [\text{有効網口面積 (m}^2\text{)} \times \text{流速 (m/秒)} \\ \times \text{採集時間 (秒)}]$$

$$\text{流下仔魚数 (尾/秒)} = \text{流下仔魚密度 (尾/m}^3\text{)} \times \text{瞬間流量 (m}^3\text{/秒)}$$

各採集時刻間（1 時間）の流下仔魚数（尾/時）は、上記で算出した各採集時刻間の流下仔魚数（尾/秒）が直線的に変化すると仮定して、線形補間した値を積分して求めた。そして、17:00～24:00 までの各時刻間の流下仔魚数を加算することでその 7 時間に流下した仔魚数を推定した。さらに後述するように 17:00～24:00 までの 7 時間に流下する仔魚が 1 日の総流下仔魚数の 85.3%に当たった（本章、第 2 節第 1 項）ことから、7 時間に流下した仔魚総数を 0.853 で除することで 1 日当たり流下仔魚数（尾/日）を求めた。

1 産卵期中における流下仔魚数（年流下仔魚数：尾/年）は、各採集日間における 1 日当たり流下仔魚数が直線的に変化するものと仮定して、線形補間した値を積分することで推定した。併せて、各月の 1 日～10 日を上旬、11 日～20 日を中旬、21 日～30 日あるいは 31 日を下旬として、それぞれの旬期間の流下仔魚数を旬流下仔魚数（尾/旬）とした。なお、2008 年と 2010 年は採集を開始した日の採集個体数が 0 でなかったため、それぞれの次の採集日の採集個体数と結んだ直線を延長して値が 0 になる月日を流下開始日とみなした。

#### 4. 水温

鵜住居川、盛川とも河川水温は 2008 年、2009 年、2010 年の流下仔魚調査時にアルコール棒状温度計（水銀温度計で補正済み）を用いて 17:00～24:00 の毎正時に測定し、各時刻の測定値の平均値を各調査日の水温とした。また、鵜住居川については 2010 年 6 月 1 日から 2011 年 5 月 31 日まで河口から約 6 km 上流の田郷橋付近（図 2-1-B）にデータロガー（HOBO Water Temp Pro、クリマテック社、東京）を設置し、水温を 1 時間ごとに記録した。データロガーのデータについては、0:00～ 23:00 の水温の値を平均し、その日の水温とした。

盛川では流下仔魚調査時の測定に加えて、岩手県県土整備部河川課が河口から約 3.3 km の権現堂橋付近（図 2-3-B）で毎年 1 月～4 月までは月 1 回、それ以降は偶数月に 1 回測定したデータも使用した。

## 第2項 降海仔魚

### 1. 降海仔魚の採集

降海仔魚の採集は鵜住居川河口で2008年10月3日、2009年10月29日、2010年10月28日～29日の3回実施した。2010年10月の調査（24時間調査）は流下仔魚の24時間調査と並行して行われた。

採集には口径56 cm リングネットを用い、河口の流心に近い場所で1時間ごとに5分間ネットを浸漬した。2008年は17:00～20:00まで表層で、21:00～24:00までは表層と躍層下（深度1 m）で採集を行った。2009年は17:00～22:00まで（01:00の満潮の影響で流れが停止したため、23:00以降の採集を中止）表層で、2010年は10月28日12:00～29日14:00まで1時間ごとに表層で計27回の採集を行った。各採集時にネットを浸漬した場所の流速を電磁流速計で測定した。

採集された仔魚は直ちに99.5%エチルアルコールで固定し、研究室に持ち帰った後に計数・計測を行った。さらに1回の採集当たり20個体を上限に無作為に抽出し、2008年の採集個体は流下仔魚と同様にポリエチレン製透明1 mm方眼紙を用い、2010年については画像解析システムを装着した実体顕微鏡を用いて体長（脊索長）と卵黄指数を測定した。

### 2. 降海仔魚数の推定

2008年、2009年の調査では、各採集時における採集尾数とネットの濾水量から降海仔魚の流下密度のみを算出した。濾水量は本節第1項と同様の方法で計算した。2010年10月28日～29日の24時間調査では河口横断面（図3-4）の面積、採集尾数、網口面積、流速、採集時間から流下仔魚の場合と同様に降海仔魚数（尾/秒）と1日当たりの降海仔魚数（尾/日）を推定した。なお、降海仔魚の採集地点は後述するように河口の流心部から外れているため、推定降海仔魚数は過小評価の可能性がある。

河口横断面の面積は潮位により異なる。採集場所の水深を調査時に計測することができなかったため、まず採集場所の水深を大槌湾に隣接する釜石湾の潮位から推定することにした。2010年11月24日～25日に2～5時間ごとに採

集場所の水深を計測したところ、釜石湾の潮位との間に下記の関係式が高い相関で成立した（図 3-5）。

$$y=0.6606x^2-0.5775x+1.2615 \quad (r^2=0.9516)$$

y：河口採集場所の水深、x：釜石湾の潮位

これより、各採集時刻の採集場所の水深は上記の関係式により推定することにした。また、2010 年 12 月 1 日に河口（幅 11 m）を 1 m 間隔で横断的に水深と各水深の中間点の流速を調べ、河口の横断面の形状（図 3-4）と流速分布を調査した。水深は 0.35～1.35 m（平均：0.99 m、この時の河口断面積：10.21 m<sup>2</sup>）、流速は 0.313～0.794 m/秒（平均：0.643 m/秒）であり、採集場所の流速は 0.562 m/秒で平均流速の 1/1.14 であった。これより、採集場所と河口の平均流速の関係が常に成立するものと仮定して、採集場所で実測した流速を 1.14 倍した値を各採集時の河口における平均流速とした。各採集時の河口を通過する流量（m<sup>3</sup>/秒）は平均流速に採集場所の推定水深から算出した河口断面積を乗じて求めた。

### 第 3 項 孵化仔魚の体長と卵黄指数の関係

水温による孵化体長や孵化時の卵黄指数の違いを検討する目的で、異なる水温下での孵化実験を行った。実験に供した受精卵は 2010 年 10 月 8 日に盛川漁業協同組合立根孵化場で盛川、綾里川、浦浜川の天然遡上魚に由来する養成親魚から得たものであり、受精率は 73% であった。受精卵はスライドグラスに付着させ、直ちに沿岸センターに搬送した。搬送には 1.5 時間を要し、搬送後直ちに 20℃、15℃、10℃、7.0℃ の 4 水温に設定した恒温器内に収容した 100 ml ビーカーで飼育を開始した。飼育には十分にエアレーションを施した淡水（地下水）を用いた。各水温区 3 個ずつ計 12 個のビーカーを準備し、各ビーカーには受精卵を付着させたスライドガラスを 1 枚ずつ入れた。飼育期間中の各水温区の平均水温（範囲）は 20℃区で 20.0℃（20.0～21.6℃）、15℃区で 18.0℃（15.0～20.6℃）、10℃区で 15.9℃（10.0～18.6℃）、7℃区で 13.7℃（7.0～17.3℃）であり、20℃区以外は恒温器の不調のため水温が大きく変動した。光条件は室内の蛍光灯で 12L12D に調整した。換水は毎日行い、その際に孵化卵（孵化仔魚）の計数と死卵の計数・除去を行った。換水のための地下水は前もって十分にエアレーションを施し、前日から各水温区の恒温器内に収容して実験水温と

同じにした。実験は受精卵全てが孵化、あるいは死んだ時点をもって終了とした。孵化仔魚は 99.5%エチルアルコールで固定して保存し、画像解析システムを装着した実体顕微鏡下で体長（脊索長）と卵黄指数を測定した。15℃（18℃）区については実際の飼育水温が 20℃区と近くなったことから、体長や卵黄指数の計測は行わなかった。

孵化後の日齢の増加に伴う卵黄指数の変化を調べる目的で、10℃（15.9℃）区の孵化仔魚計 30 個体を孵化後も継続して飼育し、孵化後 3 日、5 日、6 日にそれぞれ 10 尾ずつ 99.5%エチルアルコールで固定、体長と卵黄指数を測定した。なお、前節同様に本実験でもエチルアルコール固定による体長や卵黄嚢の収縮については考慮せず、全てエチルアルコール固定下で測定を行った。

## 第 2 節 結果

### 第 1 項 流下仔魚

#### 1. 河川水温

2008 年、2009 年、2010 年の各年の 8 月あるいは 9 月～12 月あるいは 1 月の鵜住居川の調査日の水温はそれぞれ 4.1～15.5℃（平均±標準偏差:9.9±4.0℃）、4.7～15.8℃（10.9±4.0℃）、4.5～18.1℃（12.0±4.4℃）であった（表 3-1）。

盛川の 2008 年、2009 年、2010 年の各年 8 月あるいは 9 月～12 月あるいは 1 月の調査日の水温はそれぞれ 5.2～16.2℃（11.2±3.5℃）、8.5～17.4℃（13.0±3.1℃）、8.1～21.6℃（13.6±4.0℃）であった（表 3-2）。仔魚の流下時期（産卵期）の水温は盛川の方が鵜住居川に比べて 1.3～2.1℃高かった。

#### 2. 河川流量

鵜住居川の最下流産卵場直下の河川流量の範囲（平均値±標準偏差）は 2008 年、2009 年、2010 年の 8 月あるいは 9 月～12 月あるいは 1 月の調査日で、それぞれ 1.11～6.69 m<sup>3</sup>/秒（2.89±1.90 m<sup>3</sup>/秒）、2.45～5.90 m<sup>3</sup>/秒（3.61±0.99m<sup>3</sup>/秒）、1.63～8.80 m<sup>3</sup>/秒（4.53±2.01m<sup>3</sup>/秒）であった（表 3-1）。また盛川ではそれぞれ 1.14～9.45 m<sup>3</sup>/秒（2.70±2.56 m<sup>3</sup>/秒）、1.49～5.28 m<sup>3</sup>/秒（2.63±1.15 m<sup>3</sup>/秒）、1.50～11.34 m<sup>3</sup>/秒（3.87±2.82 m<sup>3</sup>/秒）であった（表 3-2）。

### 3. 流下仔魚数の時期的変化

鵜住居川ではアユ仔魚の流下は9月上旬から12月下旬まで確認された(表3-1)。3シーズンでの1日当たりの推定流下仔魚数の最大値は2008年が約1,263万尾(10月14日)、2009年が約220万尾(10月4日)、2010年が約987万尾(9月30日)であった。推定流下仔魚数の旬ごとの積算値を表3-3と図3-6-Aに示した。なお、鵜住居川の2009年11月中旬については、実測値がないため前後(11月上旬・下旬)の値の平均値をもって流下仔魚数とした。鵜住居川における流下のピークは10月上旬～中旬にあり、ピークの時期(旬)に流下する仔魚数は1シーズン中に流下する仔魚数の28.4～34.4%を占めた。2008年の1シーズン中に流下した仔魚の総数は約4億256万尾、2009年と2010年はそれぞれ約6,613万尾と約2億4,015万尾と推定された。流下仔魚数は年によって大きく変動し、2009年と2010年の1シーズン当たりの流下仔魚総数は2008年の16.4%、60.0%と少なかった。

盛川における仔魚の流下は鵜住居川同様に9月上旬～12月中旬に確認された(表3-2)。3シーズンでの1日当たりの流下仔魚数の最大は2008年で約2,111万尾(10月6日)、2009年で約271万尾(10月28日)、2010年で約1,953万尾(10月5日)であった。旬ごとの流下のピークは10月上旬～下旬にあり(図3-6-B)、1シーズン当たりの流下仔魚数に対する盛期の旬当たりの流下仔魚数の割合は2008年が21.9%、2009年が35.1%、2010年が33.5%であった(表3-4)。なお、2008年9月上旬、11月中旬、2009年11月中旬については、実測値がないため前後の値の平均値をもって流下仔魚数とした。2008年、2009年、2010年における1シーズン中の総流下仔魚数はそれぞれ約9,454万尾、6,745万尾、4億5,093万尾と推定された。盛川では2010年の流下仔魚数が最大で2008年と2009年はそれぞれ2010年の21.0%と15.0%と非常に少なかった。

### 4. 流下仔魚数の日周変化

鵜住居川では各調査日での流下仔魚数(尾/秒)は2008年11月7日と2009年10月14日を除けば、18:00～21:00にピークをもつ単峰型を示した(図3-7)。



2008 年 11 月 7 日～8 日と 2010 年 10 月 28 日～29 日の 24 時間調査における流下仔魚数（尾/秒）とその頻度の日周変化を表 3-5、表 3-6、図 3-8-A, B に示した。両年とも 01:00～17:00 の流下仔魚数は少なく、特に 05:00～16:00 の間は 0.0～7.7 尾/秒ときわめて小さかった。2008 年では日没（16:25）の 1.5 時間後の 18:00（126.4 尾/秒）に急激に増加し、19:00（93.3 尾/秒）に減少、20:00（157.7 尾/秒）に再び増加した。2010 年（日没 16:37）では 19:00（45.6 尾/秒）のピークの後 21:00（34.6 尾/秒）に小さなピークがみられた。2008 年 24 時間調査での 1 日の総流下仔魚数は約 289 万尾、2010 年では約 78 万尾（784,707 尾）と推定された。また、毎月の調査日に採集を実施した 17:00～24:00 の間に流下する仔魚数が 1 日の総流下仔魚数に占める割合は 2008 年、2010 年とも 85.5%であった。

盛川では鵜住居川と同様に 18:00 から流下仔魚数が急激に増加し、18:00～20:00 にピークがみられ、2009 年 10 月 5 日と 18 日を除けば単峰型を示した（図 3-9）。

## 5. 流下仔魚の体長と卵黄指数

鵜住居川の 2008 年の流下仔魚の平均体長は  $6.1 \pm 0.2 \sim 6.5 \pm 0.4$  mm、平均卵黄指数は  $2.3 \pm 0.8 \sim 2.6 \pm 0.6$  でいずれも流下時期による違いはなかった（表 3-1）。

盛川の 2008 年では流下仔魚の平均体長は  $5.1 \pm 0.2 \sim 6.4 \pm 0.3$  mm、卵黄指数は  $2.2 \pm 0.7 \sim 2.5 \pm 0.7$  で鵜住居川同様に流下時期による違いはなかった（表 3-2）。

24 時間採集を実施した 2008 年 11 月（分析個体数: 234 尾）と 2010 年 10 月（分析個体数: 308 尾）の流下仔魚の平均体長はそれぞれ  $5.9 \pm 0.3 \sim 6.5 \pm 0.3$  mm、 $6.3 \pm 0.4 \sim 7.0 \pm 0.5$  mm であり、平均卵黄指数はそれぞれ  $2.1 \pm 1.1 \sim 2.7 \pm 0.7$ 、 $1.3 \pm 1.5 \sim 3.3 \pm 0.7$  であった（表 3-5、表 3-6）。全個体を平均した値についてみると 2010 年が 2008 年に比べて平均体長が有意に大きく、卵黄指数も有意に大きかった（t 検定  $p < 0.05$ ）が、この体長と卵黄指数の違いについては、測定方法の違い（2008 年は方眼紙、2010 年は画像解析を用いた）が影響している可能性がある。

## 第2項 降海仔魚

### 1. 河口における流速と流量

2008 年 10 月の採集時の流速の平均値  $\pm$  標準偏差（範囲）は表層で  $0.481 \pm 0.099$  m/秒（0.384～0.617 m/秒）、躍層下で  $0.517 \pm 0.126$ （0.371～0.682 m/秒）であった（表 3-7）。2010 年の 24 時間調査では、流速は潮位に関して変動し、上げ潮時には海からの逆流（マイナスの流速と表示した）が観察された。流速の範囲と平均 $\pm$ 標準偏差はそれぞれ - 0.954～0.945 m/秒、 $0.419 \pm 0.403$  m/秒であった。流量の範囲と平均（標準偏差）はそれぞれ - 13.25～9.95 m<sup>3</sup>/秒、 $4.26 \pm 4.85$  m<sup>3</sup>/秒であった（表 3-9）。

### 2. 降海仔魚数、および降海仔魚数の日周変化

2008 年の調査では、降海仔魚は表層から 17:00～24:00 の 7 回のネット浸漬で 0～528 尾、合計 1,519 尾、躍層下からは 21:00～24:00 の 4 回のネット浸漬で 147～577 尾、合計 1,253 尾が採集された（表 3-7）。各時刻での降海仔魚密度（尾/m<sup>3</sup>）は表層で 0.0～17.1 尾/m<sup>3</sup>、躍層下で 3.3～17.2 尾/m<sup>3</sup>であった。2008 年のピークは 22:00～23:00 にあった。2009 年の調査では 17:00～20:00 に採集され（表層のみで採集）、降海仔魚密度（尾/m<sup>3</sup>）は、0.1～0.2 尾/m<sup>3</sup>であった（表 3-8）。2010 年の 24 時間調査では 19:00～翌日 06:00 の 12 回のみで合計 269 尾が採集された（表 3-9）。その間の密度と推定降海仔魚数はそれぞれ 0.1～1.4 尾/m<sup>3</sup>と 0.1～7.6 尾/秒であった。それらのピークは 21:00～23:00 にあり、その 3 時間の降海仔魚数は 1 日の合計降海仔魚数の 67.5%に当たった。このピークは同時に河川最下流産卵場直下で実施した流下仔魚のピーク（前項）に 2～3 時間遅れていた（図 3-10）。1 日の合計降海仔魚数は 113,723 尾/日と推定され、その値は流下仔魚数（784,707 尾/日、本章第 2 節第 1 項）の 14.5%に相当した。

### 3. 体長と卵黄指数

2008 年 10 月に採集された 2,772 尾の降海仔魚から各時刻・各層から 20 尾ず

つ無作為に抽出した 180 尾の体長と卵黄指数の平均値 $\pm$ 標準偏差（範囲）はそれぞれ  $6.3 \pm 0.2$  mm (5.5~7.1 mm)、 $2.4 \pm 0.7$  (0~4) であった（表 3-7）。2010 年 10 月の 24 時間調査の採集個体から抽出した 129 尾の体長と卵黄指数の平均値  $\pm$  標準偏差（範囲）は、それぞれ  $6.8 \pm 0.4$  mm (5.5~7.9 mm)、 $2.6 \pm 1.1$  (0~4) であった（表 3-9）。2008 年 10 月の降海仔魚の体長は同時期の流下仔魚（10 月 2 日）の体長（ $6.2 \pm 0.2$  mm）に比べて有意に大きかった（t 検定、 $p < 0.01$ ）ものの卵黄指数（ $2.5 \pm 0.8$ ）の間には有意な違いはなかった。また、2010 年 10 月の降海仔魚については同時に採集された流下仔魚の体長（ $6.8 \pm 0.4$  mm）、卵黄指数（ $2.8 \pm 1.1$ ）のいずれの間にも有意差はなかった。

### 第 3 項 水温と孵化日数、孵化体長、卵黄指数の関係

各水温区の生残卵数と孵化仔魚数を表 3-10 に示した。各水温区の孵化日数のピークは 20℃区（平均水温： $20.1 \pm 0.44$ ℃）が 11 日、15℃（ $18.0 \pm 1.39$ ℃）区が 12 日、10℃（ $15.9 \pm 2.25$ ℃）区が 14 日、7℃（ $13.7 \pm 2.48$ ℃）区が 17 日であった。

孵化体長と卵黄指数の平均値  $\pm$  標準偏差（範囲）はそれぞれ 20℃区（計測個体数:28尾）で  $6.5 \pm 0.2$  mm (6.1~7.0 mm)、 $3.9 \pm 0.4$  (3~4)、10℃（15.9℃）区（28 尾）で  $6.3 \pm 0.5$  mm (5.0~7.9 mm)、 $3.8 \pm 0.4$  (3~4)、7℃（13.7℃）区（9 尾）で  $6.4 \pm 0.3$  mm (6.1~7.1 mm)、 $3.4 \pm 0.5$  (3~4) であり、各水温区間で孵化体長に有意差はなく、卵黄指数には 20℃区と 10℃（15.9℃）区の間には有意差はなかったものの、両区と 7℃（13.7℃）区の間には有意差が認められ（ $p < 0.05$ ）、低水温区で小さくなる傾向があった。

10℃（15.9℃）区の孵化仔魚の孵化後 0 日、3 日、5 日、6 日の孵化体長と卵黄指数の平均値  $\pm$  標準偏差と範囲はそれぞれ  $6.3 \pm 0.5$  mm (5.0~7.9 mm) と  $3.8 \pm 0.4$  (3~4)、 $7.1 \pm 0.3$  mm (6.5~7.5 mm) と  $1.3 \pm 0.5$  (1~2)、 $7.5 \pm 0.4$  mm (7.0 ~8.0 mm) と  $0.8 \pm 0.4$  (0~1)、 $7.5 \pm 0.3$  mm (7.1~8.0 mm) と 0 (0) であった（図 3-11）。卵黄は孵化後 6 日間で吸収され、その間に体長は約 1 mm 増加した。

### 第 3 節 考察

## 第 1 項 産卵時期と産卵場所

伊藤ら（1971）は水温と孵化日数の関係を調べ、その関係が下記の式で示されることを報告した。

$$y = -1.4068x + 2.8623$$

y：孵化日数の対数、 x：水温の対数

本章第 3 項で得られた水温と孵化日数は上記の関係式をほぼ満たすことから、飼育水温の変動が大きかったものの妥当な結果が得られたものとする。すなわち伊藤ら（1971）の関係式は三陸沿岸域のアユにも適用可能と考えられる。鵜住居川と盛川で流下が開始された 9 月上・中旬の水温はそれぞれ 14.4～18.1℃、15.3～21.6℃であったことから、この水温下での孵化に要する日数を伊藤ら（1971）の関係式を用いて推定すれば、それぞれ 12～17 日間、10～16 日間となり、両河川の産卵開始は 8 月下旬～9 月上旬であったと推定された。また、両河川の流下の盛期は 10 月上旬～下旬であり、9 月中旬～10 月中旬の水温がそれぞれ 15.3～11.1℃、16.2～13.1℃であったことから産卵盛期は 9 月中旬～10 月上旬と推定された。流下の終了は両河川とも 12 月上～下旬で、その時期の水温は 10.0℃以下に低下することから孵化日数は少なくとも 30 日要すると推定され、産卵の終了は 11 月上～下旬と考えられた。産卵の盛期（仔魚流下の盛期）は高知県四万十川、富山県庄川、神奈川県相模川においてはそれぞれ 10 月下旬～11 月上旬（11 月中旬）（高橋 2005）、10 月上旬～10 月中旬（10 月下旬～11 月上旬）（田子 1999 a,b,c）、10 月中～下旬（10 月下旬～11 月上旬）（蓑宮・戸井田 2002）と報告されている。これに対して三陸沿岸域の鵜住居川と盛川ではいずれも 1 ヶ月程度早かった。アユの成熟は短日化によって促進され、水温が 20℃を下回る頃から産卵を開始することから高緯度地域ほど早くなる傾向があるといわれる（白石・武田 1961）が、本研究の結果もそれを裏付けるものである。

2008 年 11 月 7 日～8 日と 2010 年 10 月 28 日～29 日に鵜住居川で実施した 24 時間調査の結果、アユ仔魚の流下のピークが 2008 年では 18：00、2010 年では 19：00 にみられ、両年ともその 2 時間後に第 2 のピークがみられた。アユの孵化は日没後の 18:00～20:00 に起こることが知られている（木村 1954、田

子 1999 a,b,c) 。2008 年と 2010 年の調査日の日没時刻は 16:25 と 16:37 であった。いずれの年も日没直後の 17:00 から流下仔魚数が増加し始め、流下の第一のピークは 18:00 と 19:00 にあった。このことは鵜住居川の主要な産卵場が流下仔魚調査を行った場所に近い上流部に形成されていたことを示す。また、1～2 時間後にみられた第二のピークは、調査日の河川水の平均流速が 2008 年、2010 年とも 0.84 m/秒だったことから、流速が河川内で一定とすればこれらの産卵場は採集場所の上流約 3～6 km に位置することになる。前述した鵜住居漁業協同組合によれば、同河川の産卵場は上流約 7 km の田郷橋上流域(図 2-1-B)にかけて形成されるが、10 月末と 11 月上旬には最上流部の産卵場(図 2-1-B)でも孵化していた可能性がある。一方、このような 2 つのピークは 17:00～24:00 に実施した通常の調査では 24 時間調査以外では 2009 年 10 月 14 日にみられたのみであり、盛川でも 2009 年 10 月 18 日にみられたのみであった。産卵場が 4～5 km 程の流程区間に形成される鵜住居川や盛川のような規模の比較的小さな河川では、特に孵化が盛んに起こる時期には産卵場の位置の違いが明瞭に出ないものと考えられる。

## 第 2 項 流下仔魚数

3 年間における各年の総流下仔魚数は鵜住居川で 6,600 万～4 億 0,260 万尾、盛川で 6,700 万～4 億 5,000 万尾と推定された。流下量が最も少なかったのは両河川とも 2009 年であった。この年は 10 月上旬と下旬に台風が岩手県を通過し、特に 10 月上旬の台風による水位の上昇と流量の増加は著しく、浮き石状態になっている産卵場の小石に付着したアユの受精卵も流失する、さらに産卵場にすでに加入していた親魚が下流域に流されるなど大きな影響を受けたことが推察され、このことが 2009 年の流下仔魚数の減少を招いたと考えられた。

鵜住居川では 2008 年の流下量が最大で約 4 億尾であったのに対し、盛川ではわずかに約 9,450 万尾と少なかった。これは鵜住居川で最も流下量が多かった 10 月中旬の採集が盛川では実施されず、ピーク時の採集を逃したことによるのかもしれない。2010 年については、両河川とも流下量は多く、特に盛川で 4 億尾を超える流下量があった。これは、2010 年の夏季の水温が他の年に比べて 1～2℃高く、河川生活期のアユの成長がよかった可能性が考えられる。また、

2010 年には河川におけるアユの生息数が非常に多かったことが観察されており（佐藤由也盛川漁業協同組合長 私信）、産卵量も多かったと推察される。

### 第 3 項 卵黄指数

流下のピーク時刻の卵黄指数 2～3 が占める割合が 69%であり、特に卵黄指数 4 の占める割合が 15%と低かった。高橋（2005）は高知県四万十川の流下仔魚の卵黄指数は 3 が 45%、4 が 37%を占めると報告しており、本研究の結果と大きく異なった。森ら（1989）はアユ仔魚の卵黄吸収は水温が高い方が速いことを報告しているが、孵化水温と孵化時の卵黄嚢体積（卵黄指数）の関係については言及がない。本章第 2 節第 3 項で孵化日数と卵黄指数の間には負の関係があることが示された。このことは、水温の低下に伴い孵化日数が増加することが孵化時の卵黄指数の低下につながることを示す。本研究において卵黄指数 4 が少なかった原因として、調査時の河川水温が約 10℃と高橋（2005）が調査を行った四万十川（約 17℃）に比べて低温であったため、孵化日数が延長したことが考えられる。

### 第 4 項 流下過程における減耗

鵜住居川では流下仔魚数（河口から約 2.3 km の地点で採集）のピーク時に比べて降海仔魚数のピーク時は 2～3 時間遅れた。調査時期の流下仔魚採集場所の流速はいずれも 0.84～0.98 m/秒であり、この流速で河口まで流下した場合には、39～45 分で河口に到達することになる。しかし、河口から 1.3 km の範囲は広い汽水域（河川内汽水域）となっており、流れも急激に減少する。仔魚の流下速度はこの河川内汽水域で大きく減速して河口に向かうことになり、この停滞が 2～3 時間のピークの遅れにつながっていると考えられる。本章第 2 節第 2 項でこの 2.3 km の区間での減耗率は 85.5%と高いことが明らかになった。両地点で採集された仔魚の体長は 2008 年で有意差があったもののその差はきわめて小さく、2010 年では有意差はなかった。また、卵黄指数についてはいずれの年も有意差はなかった。これより、産卵場から河口までの間を一気に流下し河口を通過した個体以外の多くは河川内で、特に河川内汽水域で停滞する間に減耗する可能性が窺えた。流下仔魚の河川内における減耗に関する報告

はきわめて少ない。山形県鼠ヶ関川の 2001～2003 年の卵から仔魚降海までの生き残りは 7～24%であるという（内田 2005）。また、長良川では産卵場から 19 km 下流までの間の減耗率が 53%と推定されている（和田・稲葉 1968）。減耗の原因としては、ヨシノボリ、オイカワ、ウグイ等の魚類やスジエビによる捕食が報告されている（水谷 1975, 1976, 岡田ら 2009, 鶴田ら 2010）。鵜住居川の河川内汽水域でのソリネットによる曳網（第 4 章第 1 節第 2 項）で体長 30～40mm のマハゼやエビ類が多数採集されている（畑 未発表）。流れの急激な減速により仔魚が流心部から周辺部に拡散して河口に到達できずに日の出を迎えた個体は底層や淵に沈降し、それらの生物の捕食により大きく減耗する可能性が考えられる。実際に河川内汽水域での稚魚ネットの表層曳では体長 6.0～6.7 mm（4～5 日齢）の流下直後と思われる個体がわずかに採集されたのみであり、それらより成長した個体は採集されなかった（第 4 章第 2 節）。Takahashi et al. (1998) は四万十川の河口汽水域で体長 28 mm までのアユ仔魚を採集しており、河口汽水域がアユ仔魚の生息場として機能していることを報告している。本研究で調査した鵜住居川の河川内汽水域では、四万十川とは異なり仔魚が長期にわたって生き残り成長する可能性は小さいと考えられる。これは、両河川河口域のスケールが大きく異なること、また鵜住居川河川内汽水域がより閉鎖的であり、餌となる海域からの動物プランクトンの供給が少ないと考えられこと、さらに底の形状が平坦で浅くハゼなどの捕食者が高密度で分布していることなどが原因であろう。

表 3-1 鵜住居川の各調査日の水温、流速、流量、採集された流下仔魚の数、1 日当たりの推定流下仔魚数、体長、卵黄指数

採集年月日	水温 ℃	平均流速 m/秒	流量 m <sup>3</sup> /秒	採集尾数 尾(分析個体数)	推定流下仔魚数 尾/日	体長 (mm)		卵黄指数	
						平均±標準偏差 (範圍)	平均±標準偏差 (範圍)	平均±標準偏差 (範圍)	平均±標準偏差 (範圍)
2008年									
9月10日	15.5	1.299	6.69	2 (0)	1,164	NA	NA		
9月22日	15.3	1.369	6.45	11,595 (20)	6,270,301	6.1±0.2 (5.8-6.5)	2.5±0.7 (1-4)		
10月2日	13.1	0.976	3.36	13,435 (20)	3,545,362	6.2±0.2 (5.8-6.6)	2.5±0.8 (1-4)		
10月14日	13.2	0.680	2.28	48,554 (20)	12,628,648	6.3±0.3 (5.8-6.8)	2.3±0.5 (1-4)		
11月1日	10.7	0.669	1.97	31,223 (20)	6,181,014	6.3±0.3 (5.8-6.5)	2.4±0.6 (1-3)		
11月7-8日*	10.2	0.837	2.46	13,914 (20)	2,888,937	6.5±0.4 (5.5-7.0)	2.6±0.6 (2-4)		
11月20日	7.1	0.623	1.81	3,561 (20)	167,435	6.4±0.4 (5.4-6.5)	2.5±0.6 (1-3)		
12月1日	5.9	0.733	2.25	648 (20)	118,887	6.3±0.4 (5.6-7.1)	2.5±0.8 (1-4)		
12月11日	8.7	0.487	1.11	74 (20)	8,381	6.4±0.3 (5.8-7.0)	2.3±0.8 (1-4)		
12月22日	5.4	0.652	1.88	2 (0)	405	—	—		
2009年									
1月9日	4.1	0.569	1.58	0 (0)	0	—	—		
平均 (標準偏差) 9.9 (±4.0) 0.809 (±0.291) 2.89 (±1.90) 11,183 2,891,867									
2009年									
				0 (0)	0	—	—		
8月25日	15.8	0.713	2.45	37 (0)	14,649	—	—		
9月10日	14.4	0.825	4.41	3467 (0)	1,021,274	—	—		
9月24日	15.6	0.750	3.01	7499 (0)	2,199,703	—	—		
10月4日	14.1	0.801	3.05	2796 (0)	1,176,144	—	—		
10月14日	11.1	0.961	5.90	2140 (0)	880,056	—	—		
10月26日**	10.8	0.837	3.87	2589 (0)	659,746	—	—		
11月3日	7.7	0.636	3.25	31 (0)	9,333	—	—		
11月25日	8.1	0.771	3.91	1 (0)	291	—	—		
12月2日	6.9	0.658	2.86	0 (0)	0	—	—		
12月11日	4.7	0.713	3.41			—	—		
平均 (標準偏差) 10.9 (±4.0) 0.767 (±0.096) 3.61 (±0.99) 1,856 596,120									
2010年									
9月8日	18.1	0.655	1.63	3 (0)	445	—	—		
9月16日**	17.6	1.038	6.33	38 (0)	30,891	—	—		
9月30日	15.2	1.081	5.52	24744 (0)	9,869,103	—	—		
10月7日	15.2	0.931	4.41	21498 (0)	7,783,106	—	—		
10月14日	14.9	0.714	3.09	20814 (0)	6,013,259	—	—		
10月28-29日*	10.0	0.840	3.30	3282 (0)	784,707	—	—		
11月4日	10.8	1.315	8.80	858 (0)	520,023	—	—		
11月17日	8.1	0.900	3.22	937 (0)	369,758	—	—		
11月29日	7.6	0.789	2.96	119 (0)	36,249	—	—		
12月6日	10.0	0.911	5.73	5 (0)	3,283	—	—		
12月16日	4.5	0.889	4.87	0 (0)	0	—	—		
平均 (標準偏差) 12.0 (±4.4) 0.915 (±0.183) 4.53 (±2.01) 6,573 2,310,075									

水温、流速、流量は 17:00~24:00 の 8 回の計測値の平均値、採集尾数は 8 回の採集の合計値、体長と卵黄指数は 19:00 採集魚の計測結果を示す

\*は 24 時間調査を示す

\*\*は増水のため 23:00 と 24:00 の調査を実施しなかったことを示す



表 3-2 盛川の各調査日の水温、流速、流量、採集された流下仔魚の数、1 日当たりの推定流下仔魚数、体長、卵黄指数

採集年月日	平均水温 ℃	平均流速 m/秒	流量 m <sup>3</sup> /秒	採集尾数 尾(分析個体数)	推定流下仔魚数 尾/日	体長 (mm) 平均±標準偏差 (範囲)	卵黄指数 平均±標準偏差 (範囲)
2008年							
9月13日	16.2	0.768	9.45	7 (3)	7,275	5.1±0.2 (4.8-5.2)	3.3±1.2 (2-4)
9月26日	14.2	0.424	2.96	994 (20)	1,138,798	6.0±0.2 (5.6-6.5)	2.4±0.6 (1-3)
10月6日	14.6	0.320	2.64	2,495 (20)	2,111,456	6.2±0.3 (5.8-6.6)	2.5±0.7 (1-4)
10月26日	13.9	0.497	4.04	2,501 (20)	2,023,575	6.4±0.3 (6.0-7.1)	2.3±0.6 (1-3)
11月4日	10.8	0.319	1.77	971 (20)	896,264	6.4±0.2 (5.8-6.7)	2.4±0.5 (2-3)
11月12日	11.4	0.293	1.20	802 (20)	466,224	6.4±0.2 (6.1-6.9)	2.2±0.7 (0-3)
11月22日	8.5	0.259	1.19	871 (20)	502,450	6.1±0.2 (5.8-6.5)	2.3±0.6 (1-3)
12月2日	9.0	0.297	1.46	45 (20)	29,954	6.0±0.3 (5.4-6.4)	2.3±0.6 (1-3)
12月10日	8.4	0.244	1.19	8 (1)	4,299	6.0	2.0
12月26日				風雪のため中止			
2009年							
1月7日	5.2	0.266	1.14	0 (0)	0	—	—
平均 (標準偏差)	11.2(±3.5)	0.369(±0.161)	2.70(±2.56)	869	718,030		
2009年							
8月27日	17.4	0.399	2.18	0 (0)	0	—	—
9月12日	15.3	0.252	2.44	0 (0)	0	—	—
9月21日 *	15.0	0.279	1.49	113 (0)	48,645	—	—
10月5日	14.7	0.471	2.86	605 (0)	411,473	—	—
10月18日	13.1	0.439	2.38	1267 (0)	759,964	—	—
10月28日	12.3	0.393	2.14	3812 (0)	2,714,100	—	—
11月7日 *	12.0	0.301	1.54	2687 (0)	1,533,420	—	—
11月28日	8.4	0.495	3.35	141 (0)	96,185	—	—
12月12日	8.5	0.671	5.28	0 (0)	0	—	—
平均 (標準偏差)	13.0(±3.1)	0.411(±0.130)	2.63(±1.15)	958	618,199		
2010年							
9月6日	21.6	0.327	1.50	5 (0)	937	—	—
9月14日 *	18.3	0.304	2.07	138 (0)	81,352	—	—
9月29日	14.6	0.934	11.34	3281 (0)	3,169,615	—	—
10月5日	15.2	0.545	4.31	36755 (0)	19,527,512	—	—
10月13日	15.7	0.432	3.78	22602 (0)	12,905,423	—	—
10月26日	12.3	0.557	5.06	12363 (0)	9,725,043	—	—
11月2日	12.9	0.717	5.46	5436 (0)	3,326,196	—	—
11月15日	9.7	0.441	2.41	3518 (0)	1,379,948	—	—
11月25日	10.1	0.311	2.13	263 (0)	159,211	—	—
12月2日	10.9	0.634	1.82	258 (0)	88,219	—	—
12月14日	8.1	0.523	2.69	2 (0)	595	—	—
平均 (標準偏差)	13.6(±4.0)	0.520(±0.192)	3.87(±2.82)	7,692	4,589,823		

水温、流速、流量は 17:00～24:00 の 8 回の計測値の平均値、採集尾数は 8 回の採集の合計値、体長と卵黄指数は 19:00 採集魚の計測結果を示す

\* は潮汐の影響で 17:00 の調査を実施しなかったことを示す

表3-3 鵜住居川における2008年、2009年、2010年の旬ごとにまとめた推定流下仔魚数

旬	推定流下仔魚数 (x 1000 尾/旬)	割合 (%)	旬	推定流下仔魚数 (x 1000 尾/旬)	割合 (%)	旬	推定流下仔魚数 (x 1000 尾/旬)	割合 (%)
2008年			2009年			2010年		
9月上	1	0.0	9月上	15	0.0	9月上	13	0.0
中	28,745	7.1	中	4,101	6.2	中	7,279	3.0
下	52,371	13.0	下	12,256	18.5	下	67,068	27.9
10月上	62,976	15.6	10月上	19,140	28.9	10月上	82,572	34.4
中	114,223	28.4	中	11,857	17.9	中	53,824	22.4
下	91,632	22.8	下	9,638	14.6	下	18,958	7.9
11月上	39,271	9.8	11月上	5,852	8.8	11月上	5,194	2.2
中	11,161	2.8	中	2,902	4.4	中	3,774	1.6
下	1,432	0.4	下	370	0.6	下	1,358	0.6
12月上	692	0.2	12月上	2	0.0	12月上	100	0.0
中	51	0.0	中	0	0.0	中	5	0.0
下	2	0.0	下	0	0.0	下	0	0.0
合計	402,557	100.0		66,133	100.0		240,145	100.0

表3-4 盛川における2008年、2009年、2010年の旬ごとにまとめた推定流下仔魚数

旬	推定流下仔魚数 (x 1000 尾/旬)	割合 (%)	旬	推定流下仔魚数 (x 1000 尾/旬)	割合 (%)	旬	推定流下仔魚数 (x 1000 尾/旬)	割合 (%)
2008年								
9月上	0	0.0	2009年					
中	2,495	2.6	9月上	0	0.0	2010年		
下	11,055	11.7	中	195	0.3	9月上	105	0.0
10月上	19,612	20.7	下	1,653	2.5	中	5,077	1.1
中	20,697	21.9	10月上	4,258	6.3	下	26,621	5.9
下	20,446	21.6	中	7,435	11.0	10月上	150,877	33.5
11月上	8,585	9.1	下	23,675	35.1	中	125,636	27.9
中	5,462	5.8	11月上	17,403	25.8	下	97,026	21.5
下	4,466	4.7	中	9,517	14.1	11月上	28,786	6.4
12月上	1,596	1.7	下	2,858	4.2	中	13,465	3.0
中	125	0.1	12月上	447	0.7	下	2,661	0.6
下	0	0.0	中	7	0.0	12月上	629	0.1
			下	0	0.0	中	46	0.0
						下	0	0.0
合計	94,539	100.0		67,448	100.0		450,929	100.0

表3-5 鶴住居川の2008年11月7～8日24時間調査における水温、流速、流量と採集仔魚の数、密度、推定流下仔魚数、体長、卵黄指数

採集時刻	平均水温		平均流速 m/秒	流量 m <sup>3</sup> /秒	採集尾数 尾(分析個体数)	仔魚密度 尾/m <sup>3</sup>	推定流下仔魚数		体長 (mm)		卵黄指数	
	℃						尾/秒		平均±標準偏差 (範囲)		平均±標準偏差 (範囲)	
2008年11月7日	10:00	11	0.856	2.38	30 (20)	0.37	0.9		6.1±0.4 (5.4-6.8)		2.3±0.4 (0-4)	
	11:00	11.3	0.945	2.35	31 (0)	0.59	1.4		—		—	
	12:00	11.6	0.940	2.61	26 (20)	0.48	1.3		6.2±0.4 (5.4-7.1)		2.1±1.1 (1-4)	
	13:00	11.9	0.821	2.28	35 (0)	0.74	1.7		—		—	
	14:00	12.2	0.885	2.55	17 (16)	0.33	0.8		6.0±0.4 (5.3-6.6)		2.1±1.1 (1-4)	
	15:00	12.2	0.862	2.65	26 (0)	0.52	1.4		—		—	
	16:00	12	0.794	2.45	63 (20)	1.37	3.4		6.3±0.3 (5.6-7.0)		2.7±0.7 (2-4)	
	17:00	11.8	0.878	2.70	118 (0)	2.32	6.3		—		—	
	18:00	11.3	0.866	2.41	1,311 (20)	52.48	126.4		6.4±0.4 (5.8-7.0)		2.7±0.8 (2-4)	
	19:00	11.1	0.942	2.81	906 (0)	33.22	93.3		—		—	
	20:00	10.8	0.957	2.85	1,532 (20)	55.32	157.7		6.4±0.4 (5.6-6.9)		2.6±0.6 (2-4)	
	21:00	10.5	0.967	2.88	1,035 (0)	36.96	106.5		—		—	
	22:00	10.3	0.856	2.38	963 (20)	39.04	92.8		6.5±0.3 (6.0-7.2)		2.6±0.7 (1-4)	
	23:00	10	0.988	2.94	731 (0)	25.56	75.2		—		—	
2008年11月8日	0:00	10	0.872	2.43	420 (20)	16.70	40.5		6.4±0.4 (5.6-6.9)		2.4±0.6 (1-3)	
	1:00	10	0.869	2.68	216 (0)	8.58	23.0		—		—	
	2:00	9.3	0.847	2.61	199 (20)	8.11	21.2		6.4±0.3 (5.8-6.9)		2.3±0.9 (1-3)	
	3:00	9.2	0.801	2.07	112 (0)	4.83	10.0		—		—	
	4:00	9	0.816	2.10	109 (20)	4.77	10.0		6.3±0.4 (5.4-6.8)		2.3±0.6 (1-3)	
	5:00	9	0.852	2.37	80 (0)	3.26	7.7		—		—	
	6:00	8.9	0.793	2.36	47 (20)	2.05	4.8		6.3±0.3 (5.8-6.8)		2.4±0.8 (1-4)	
	7:00	8.9	0.865	2.58	39 (0)	1.56	4.0		—		—	
	8:00	8.8	0.765	2.59	8 (8)	0.36	0.9		5.9±0.3 (5.6-6.4)		2.3±0.8 (1-3)	
	9:00	8.8	0.718	2.43	18 (0)	0.87	2.1		—		—	
	10:00	8.8	0.694	2.35	10 (10)	0.50	1.2		6.1±0.5 (5.5-6.6)		2.2±1.1 (0-4)	
	11:00	9	0.683	2.10	12 (0)	0.61	1.3		—		—	
	12:00	9.2	0.716	1.92	12 (0)	0.59	1.1		—		—	
	13:00	9.2	0.735	2.48	9 (0)	0.42	1.1		—		—	
	14:00	9.2	0.702	1.95	14 (0)	0.69	1.4		—		—	
平均 (標準偏差)		10.2(±4.0)	0.837(±0.086)	2.46(±0.26)	280	10.45	27.6		6.3±0.4 (5.3-7.2)		2.4±0.8 (0-4)	

網の浸漬時間は7日10時～17時は3分間、それ以外は1.5分間で行った  
 体長と卵黄指数は採集仔魚数が20尾未満の場合は全個体、それ以上の場合は無作為に抽出した20尾の平均値を示した

表3-6 2010年10月28日～29日の24時間調査における水温、流速、流量と採集された流下仔魚の数、密度、推定流下仔魚数、体長、卵黄指数

採集時刻	平均水温		平均流速 m/秒	流量 m <sup>3</sup> /秒	採集尾数 尾(分析個体数)	仔魚密度 尾/m <sup>3</sup>	推定流下仔魚数 尾/秒	体長 (mm)		卵黄指数
	℃	℃						平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	
2010年10月28日	12:00	9.7	0.722	2.67	4 (4)	0.24	0.65	6.8±0.6 (6.0-7.5)	1.3±1.5 (0-3)	
	13:00	9.8	0.805	2.79	9 (9)	0.48	1.34	6.3±0.4 (5.6-7.1)	2.0±1.4 (0-4)	
	14:00	9.8	0.731	2.71	8 (8)	0.49	1.32	7.0±0.3 (6.3-7.3)	2.4±1.6 (0-4)	
	15:00	9.7	0.839	3.10	4 (4)	0.21	0.66	6.9±0.4 (6.4-7.4)	2.8±0.5 (2-3)	
	16:00	9.7	0.791	3.39	19 (18)	1.07	3.64	6.7±0.4 (5.7-7.2)	2.4±1.2 (0-4)	
	17:00	9.5	0.813	3.29	42 (20)	2.24	7.38	6.8±0.4 (6.2-7.4)	2.8±1.0 (0-4)	
	18:00	9.6	0.742	3.00	101 (20)	11.91	35.75	6.9±0.3 (6.0-7.4)	2.7±1.0 (0-4)	
	19:00	9.7	0.824	3.34	126 (20)	13.66	45.60	6.9±0.3 (6.1-7.4)	3.0±0.8 (2-4)	
	20:00	9.6	0.866	3.19	80 (20)	8.17	26.08	6.5±0.4 (5.8-7.2)	2.9±0.9 (0-4)	
	21:00	9.7	0.879	3.66	95 (20)	9.45	34.63	6.9±0.2 (6.4-7.3)	2.9±1.3 (0-4)	
	22:00	9.7	0.801	3.34	59 (20)	6.50	21.73	6.8±0.4 (5.7-7.4)	2.7±1.1 (0-4)	
	23:00	9.7	0.852	3.55	40 (20)	4.07	14.46	6.7±0.4 (5.9-7.6)	2.8±1.3 (0-4)	
	0:00	9.7	0.847	3.13	25 (20)	2.54	7.95	6.9±0.4 (6.0-7.5)	3.1±0.8 (1-4)	
2010年10月29日	1:00	9.8	0.830	3.26	16 (16)	0.84	2.75	6.7±0.5 (5.8-7.4)	2.6±1.1 (0-4)	
	2:00	9.7	0.891	3.29	10 (10)	0.49	1.61	6.7±0.4 (5.6-6.9)	2.7±1.3 (0-4)	
	3:00	9.7	0.895	3.63	13 (13)	0.63	2.27	6.8±0.4 (5.9-7.4)	1.9±1.3 (0-4)	
	4:00	9.6	0.839	3.40	21 (19)	1.07	3.65	6.8±0.4 (6.0-7.3)	3.1±1.1 (0-4)	
	5:00	9.5	0.910	3.15	22 (20)	1.05	3.30	6.7±0.4 (5.9-7.3)	3.3±0.7 (2-4)	
	6:00	9.3	0.862	2.89	15 (13)	0.75	2.16	7.0±0.5 (5.9-7.5)	3.1±0.8 (2-4)	
	7:00	9.4	0.912	3.37	4 (4)	0.19	0.64	7.0±0.6 (6.2-7.6)	2.8±1.0 (2-4)	
	8:00	9.9	0.945	3.94	1 (1)	0.05	0.18	6.4	4	
	9:00	10.4	0.792	3.30	0 (0)	0.00	0.00	—	—	
	10:00	10.8	0.899	3.86	3 (3)	0.14	0.55	6.9±0.0 (6.9)	3.0±1.4 (2-4)	
	11:00	11.4	0.914	3.92	0 (0)	0.00	0.00	—	—	
	12:00	11.8	0.822	3.53	0 (0)	0.00	0.00	—	—	
	13:00	11.9	0.849	3.44	2 (2)	0.10	0.35	6.4±0.1 (6.3-6.5)	3.0±1.4 (2-4)	
	14:00	12	0.820	2.93	4 (4)	0.21	0.61	6.5±0.5 (6.0-7.2)	2.8±1.0 (2-4)	
平均 (標準偏差)			10.0(±0.8)	0.840(±0.057)	3.30(±0.34)	2.46	8.10	6.8±0.4 (5.6-7.6)	2.8±1.1 (0-4)	
					27					

網の浸漬時間は29日18:00～0:00は30秒間、それ以外は1分間とした  
 体長と卵黄指数については採集魚が20個体未満である場合は計測可能な全個体、それ以外は無作為に抽出した20個体の平均値を示した

表3-7 2008年10月3日の鵜住居川河口における水温、流速、流量と採集された降海仔魚の数、密度、体長、卵黄指数

採集時刻	層	平均水温	流速	流量	採集尾数 尾(分析個体数)	仔魚密度 尾/m <sup>3</sup>	体長 (mm)		卵黄指数	
		℃	m/秒	m <sup>3</sup> /秒			平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)
2008年10月3日	17:00 表層	14.8	0.386	—	0	0.00	—	—	—	—
	躍層下	NS	NS	—	NS	—	—	—	—	—
	18:00 表層	14.0	0.384	—	0	0.00	—	—	—	—
	躍層下	NS	NS	—	NS	—	—	—	—	—
	19:00 表層	NS	NS	—	NS	—	—	—	—	—
	躍層下	NS	NS	—	NS	—	—	—	—	—
	20:00 表層	14.3	0.617	—	185(20)	4.82	6.2±0.2 (5.8-6.6)	2.2±0.7 (1-3)	—	—
	躍層下	15.5	0.682	—	NS	—	—	—	—	—
	21:00 表層	14.1	0.614	—	211(20)	5.52	6.3±0.3 (5.5-6.7)	2.3±0.7 (1-3)	—	—
	躍層下	14.5	0.611	—	147(20)	3.26	6.4±0.3 (6.0-7.0)	2.4±0.6 (1-3)	—	—
	22:00 表層	13.8	0.497	—	528(20)	17.07	6.4±0.2 (6.0-6.6)	2.4±0.9 (0-4)	—	—
	躍層下	13.8	0.465	—	239(20)	6.96	6.4±0.2 (5.8-7.0)	2.4±0.9 (0-4)	—	—
2008年10月4日	23:00 表層	13.3	0.447	—	441(20)	15.85	6.3±0.2 (5.8-6.6)	2.6±0.7 (1-4)	—	—
	躍層下	13.5	0.455	—	577(20)	17.17	6.4±0.2 (6.0-6.6)	2.5±0.8 (0-3)	—	—
	0:00 表層	13.0	0.424	—	154(20)	5.84	6.4±0.3 (5.8-7.1)	2.4±0.8 (0-3)	—	—
	躍層下	13.2	0.371	—	290(20)	10.58	6.4±0.3 (5.8-7.1)	2.3±0.7 (1-3)	—	—
	平均 (標準偏差)	13.9±0.6	0.481±0.099		304±169	7.0±6.9	6.3±0.2 (5.5-7.1)	2.4±0.7 (0-4)		
	躍層下	14.1±0.9	0.517±0.126		313±186	9.5±5.9	6.4±0.2 (5.8-7.1)	2.4±0.8 (0-4)		

網の浸漬時間はすべて5分間で行った  
 体長と卵黄指数は採集魚から無作為に抽出した20個体の平均値を示した  
 NSは調査を行わなかったことを示す

表3-8 2009年10月29日17:00～24:00に鵜住居川河口で採集された降海仔魚の個体数、密度、卵黄指数

採集時刻	層	平均水温	流速	流量	採集尾数	仔魚密度
		℃	m／秒	m <sup>3</sup> ／秒	尾(分析個体数)	尾／m <sup>3</sup>
2009年10月29日	17:00	10.8	1.124	—	2 (0)	0.15
	18:00	10.8	0.925	—	2 (0)	0.10
	19:00	10.8	1.215	—	2 (0)	0.09
	20:00	10.8	1.248	—	5 (0)	0.18
	21:00	10.7	1.284	—	—	—
	22:00	NS	NS	—	—	—
	23:00	NS	NS	—	—	—
	2009年10月30日	0:00	NS	NS	—	—
平均±標準偏差		10.8±0.0	1.159±0.144	3	0.13	

網の浸漬時間は17:00が3分間、それ以外は5分間で行った  
 21:00以降は潮が止まったため、採集ができなかった  
 NSは調査を行わなかったことを示す

表3-9 2010年10月28-29日の24時間調査における水温、流速、流量、採集された降海仔魚の数、密度、推定降海仔魚数、体長、卵黄指数

採集時刻	層	平均水温		平均流速 m/秒	流量 m <sup>3</sup> /秒	採集尾数 尾(分析個体数)	仔魚密度 尾/m <sup>3</sup>	推定降海仔魚数 尾/秒	体長 (mm)		卵黄指数	
		℃	℃						平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)
2010年10月28日	12:00 表層	8.6		0.752	7.81	0(0)	0	0	—	—	—	—
	13:00 表層	8.5		0.502	5.42	0(0)	0	0	—	—	—	—
	14:00 表層	16.2		-0.742	-8.63	0(0)	0	0	—	—	—	—
	15:00 表層	9.0		0.432	5.51	0(0)	0	0	—	—	—	—
	16:00 表層	16.3		-0.954	-13.25	0(0)	0	0	—	—	—	—
	17:00 表層	10.5		0.730	10.66	0(0)	0	0	—	—	—	—
	18:00 表層	9.0		0.220	3.17	0(0)	0	0	—	—	—	—
	19:00 表層	8.5		0.514	6.66	2(2)	0.05	0.35	7.3±0.5 (6.9-7.7)	2.5±0.7 (2-3)	—	—
	20:00 表層	8.7		0.904	9.95	12(10)	0.18	1.78	6.9±0.6 (6.9-7.9)	1.9±1.1 (0-3)	—	—
	21:00 表層	9.2		0.945	8.84	60(20)	0.85	7.55	6.6±0.4 (5.6-7.3)	2.3±1.1 (0-4)	—	—
2010年10月29日	22:00 表層	9.3		0.610	5.14	63(20)	1.39	7.14	6.7±0.5 (5.9-7.6)	2.4±1.3 (0-4)	—	—
	23:00 表層	9.2		0.633	5.20	60(20)	1.28	6.63	6.9±0.2 (6.5-7.2)	2.8±1.0 (0-4)	—	—
	0:00 表層	9.0		0.573	4.78	34(20)	0.80	3.81	6.8±0.3 (6.0-7.3)	3.0±1.1 (0-4)	—	—
	1:00 表層	9.0		0.445	3.75	13(12)	0.39	1.47	6.7±0.4 (5.8-7.4)	2.8±1.3 (0-4)	—	—
	2:00 表層	9.0		0.413	3.44	11(11)	0.36	1.23	6.6±0.3 (6.3-7.0)	3.0±0.7 (2-4)	—	—
	3:00 表層	9.0		0.420	3.45	4(4)	0.13	0.44	6.9±0.1 (6.9-7.1)	3.3±1.0 (2-4)	—	—
	4:00 表層	9.0		0.385	3.25	6(6)	0.21	0.68	6.7±0.2 (6.4-6.9)	2.0±1.1 (0-3)	—	—
	5:00 表層	10.5		0.168	1.53	3(3)	0.24	0.37	6.3±0.5 (5.5-6.7)	3.0±0.0 (3)	—	—
	6:00 表層	9.6		0.299	3.07	1(1)	0.05	0.14	7.1	1	—	—
	7:00 表層	9.9		0.463	5.14	0(0)	0	0	—	—	—	—
	8:00 表層	9.6		0.514	5.92	0(0)	0	0	—	—	—	—
	9:00 表層	9.0		0.710	8.18	0(0)	0	0	—	—	—	—
	10:00 表層	9.4		0.586	6.57	0(0)	0	0	—	—	—	—
	11:00 表層	10.0		0.586	6.33	0(0)	0	0	—	—	—	—
	12:00 表層	10.2		0.564	6.04	0(0)	0	0	—	—	—	—
	13:00 表層	10.6		0.359	3.84	0(0)	0	0	—	—	—	—
	14:00 表層	10.9		0.285	3.17	0(0)	0	0	—	—	—	—
平均±標準偏差		9.9±1.9	0.419±0.403	4.26±4.85	10	0.22	1.17	6.8±0.4 (5.5-7.9)	2.6±1.1 (0-4)	—	—	—

網の浸漬時間はすべて5分間で行った  
体長と卵黄指数については採集魚が20個体未満の場合は計測可能な全個体、それ以外は無作為に抽出した20個体の平均値を示した



表3-10 各水温区の孵化に要した日数、孵化仔魚数、孵化仔魚の体長、卵黄指数、孵化率、奇形率

水温区	水温(℃) 平均±標準偏差(範囲)	受精卵数 個	孵化に要した日数 日	孵化仔魚数 尾(分析個体数)	体長(mm) 平均±標準偏差(範囲)	卵黄指数 平均±標準偏差(範囲)	孵化率 %	奇形率 %
20℃	20.1±0.44(20.0-21.6)							
I		40	11	20(14)	6.6±0.2(6.1-6.7)	3.8±0.4(3-4)	50.0	0.0
II		17	11	8(8)	6.4±0.3(6.1-7.0)	3.9±0.4(3-4)	47.1	0.0
III		33	11	17(6)	6.5±0.1(6.3-6.6)	4.0±0.0(4)	51.5	23.5
平均±標準偏差					6.5±0.2(6.1-7.0)	3.9±0.4(3-4)	49.5	7.8
15℃	18.0±1.39(15.0-20.6)							
I		50	12	30(0)	—	—	60.0	3.3
II		46	12	21(0)	—	—	46.0	4.8
III		5	12	4(0)	—	—	80.0	25.0
平均±標準偏差							62.0	11.0
10℃	15.9±2.25(10.0-18.6)							
I		33	14	15(14)	6.3±0.6(5.0-7.9)	3.9±0.4(3-4)	45.5	0.0
II		30	14	11(11)	6.4±0.4(5.8-6.9)	3.7±0.5(3-4)	40.0	0.0
III		4	14	3(3)	6.4±0.1(6.3-6.5)	4.0±0.0(4)	75.0	0.0
平均±標準偏差					6.3±0.5(5.0-7.9)	3.8±0.5(3-4)	53.5	0.0
7℃	13.7±2.48(7.0-17.3)							
I		33	17	4(3)	6.3±0.6(6.1-6.7)	3.3±0.6(3-4)	12.1	0.0
II		7	17	2(1)	6.2	3	28.6	0.0
III		29	17	8(6)	6.5±0.3(6.2-7.1)	3.5±0.5(3-4)	27.6	0.0
平均±標準偏差					6.4±0.3(6.1-7.1)	3.4±0.5(3-4)	22.8	0.0

孵化に要した日数は孵化のピークの日数を示す



図 3-1 流下仔魚調査の様子

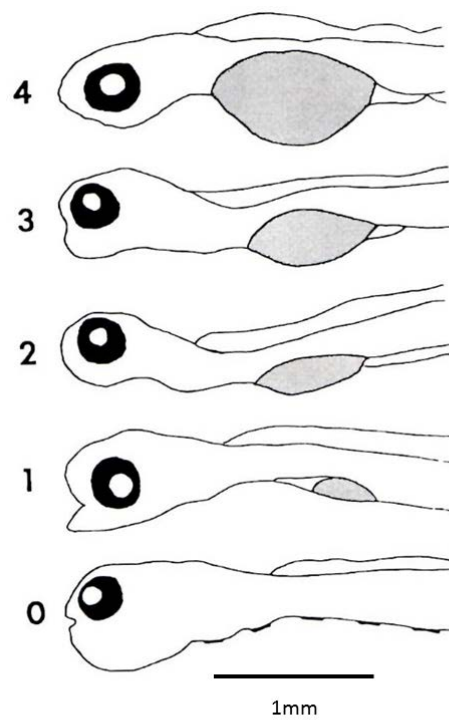
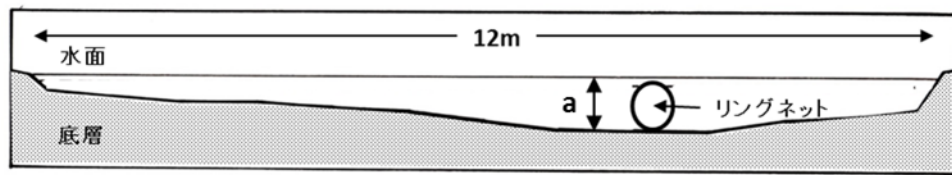


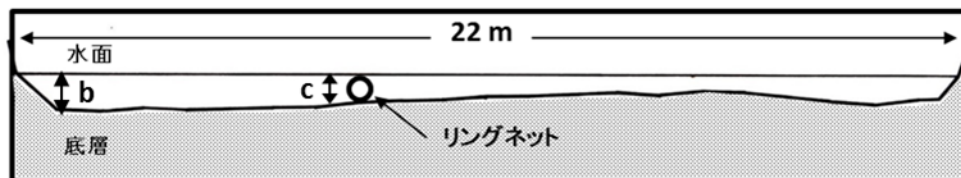
図 3-2 卵黄指数（塚本 1991b）

A



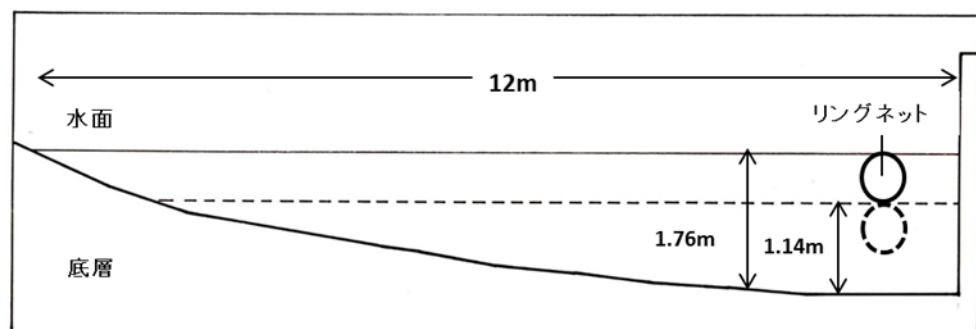
a: 50~80 cm

B



b: 60~80 cm, c: 40~60 cm

図3-3 鵜住居川(A)と盛川(B)の流下仔魚採集地点の河川断面図  
下流側から河川をみるように作図した  
aとcはそれぞれ鵜住居川と盛川におけるネット浸漬場所の水深、bは盛川の最深部の水深を示す



—— 最高水位  
--- 最低水位

図3-4 降海仔魚の採集地点の鵜住居川河口断面図  
図の手前側を海側として作図した

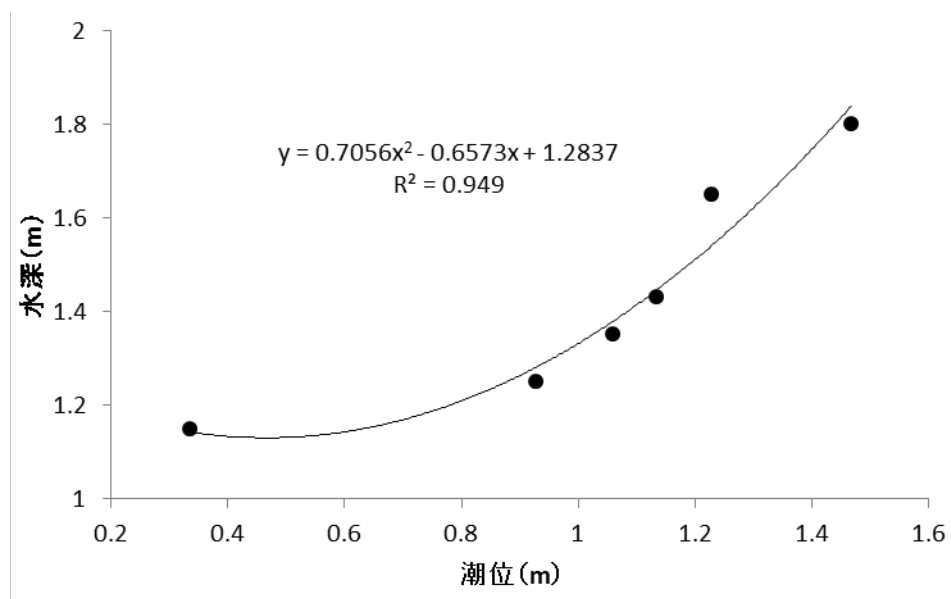


図 3-5 釜石湾の潮位と鵜住居川河口採集場所の水深の関係

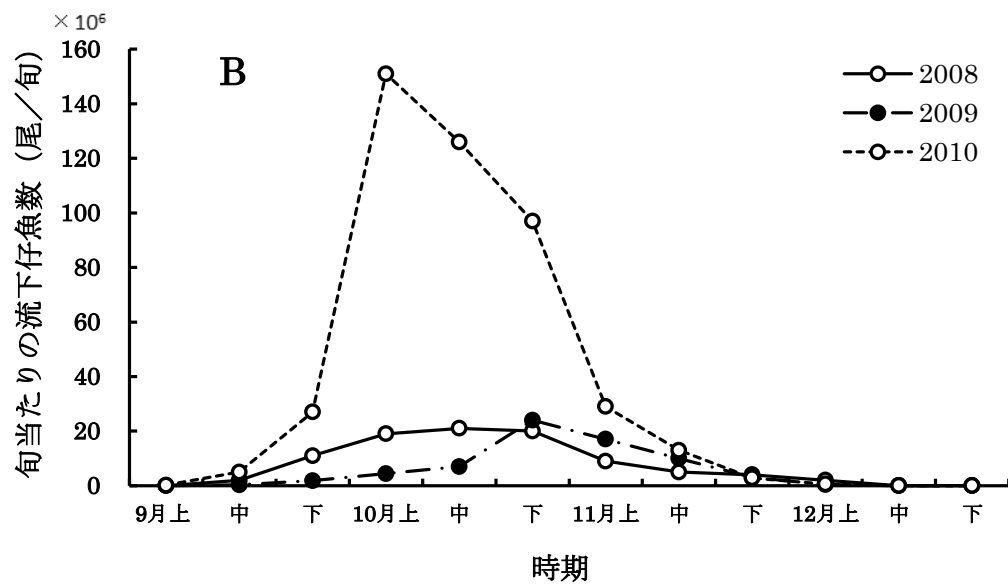
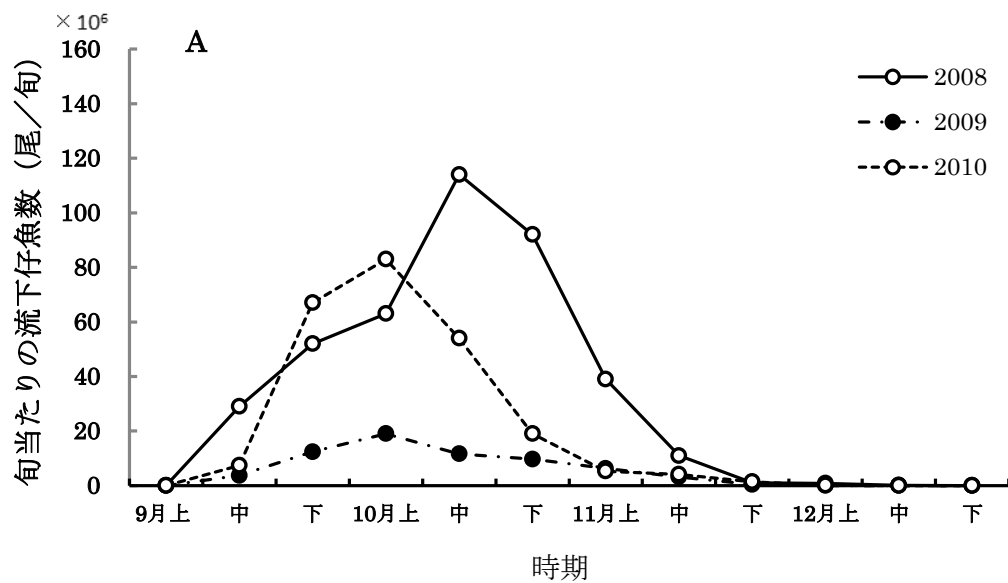


図 3-6 鵜住居川 (A) と盛川 (B) の流下仔魚数の経旬変化  
 鵜住居川の 2009 年 11 月中旬、盛川の 2008 年 9 月上旬と 10 月中旬、  
 2009 年 11 月中旬の値には前後の旬のデータの間接値を用いた

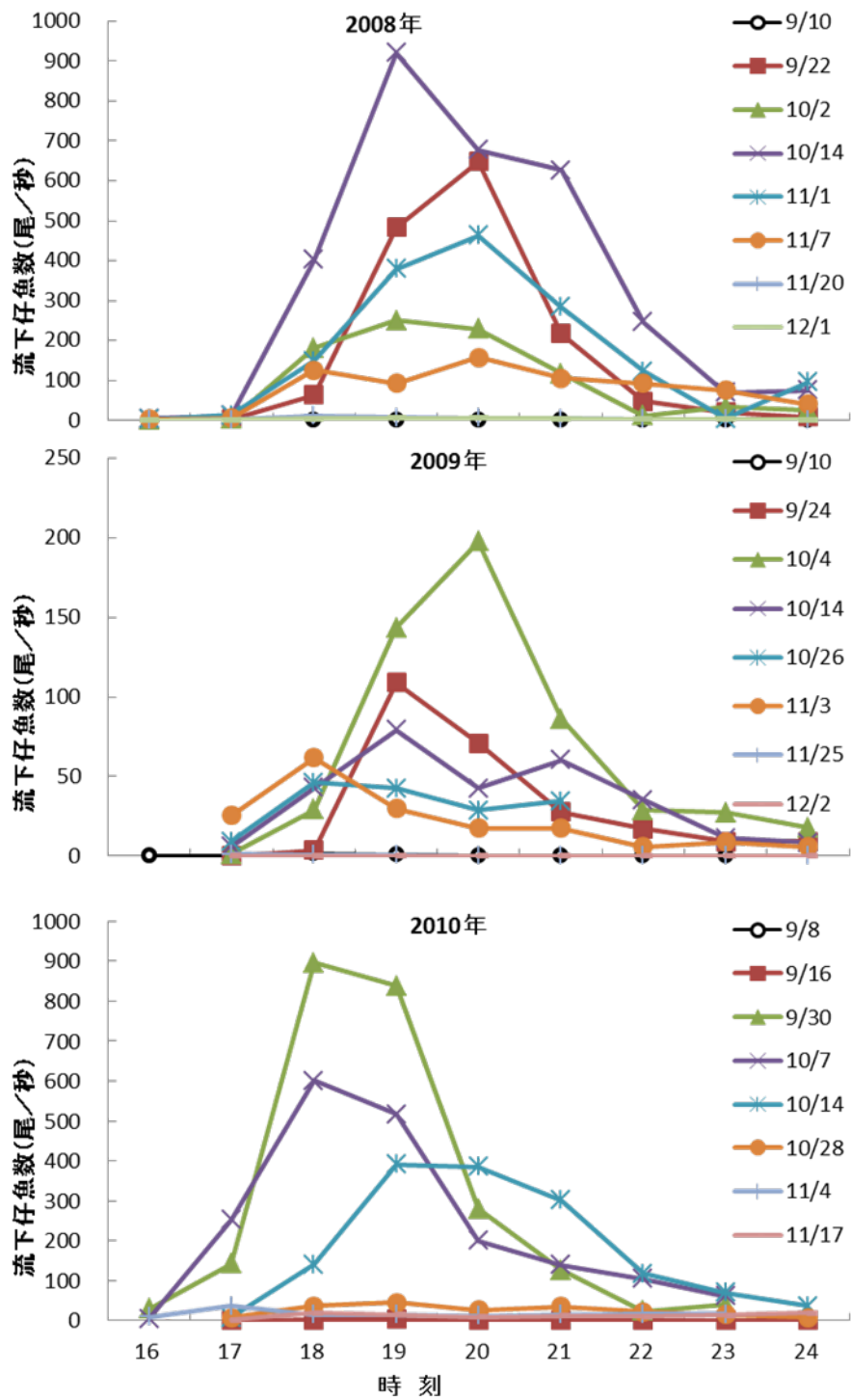


図 3-7 鵜住居川における流下仔魚数の時刻に伴う変化

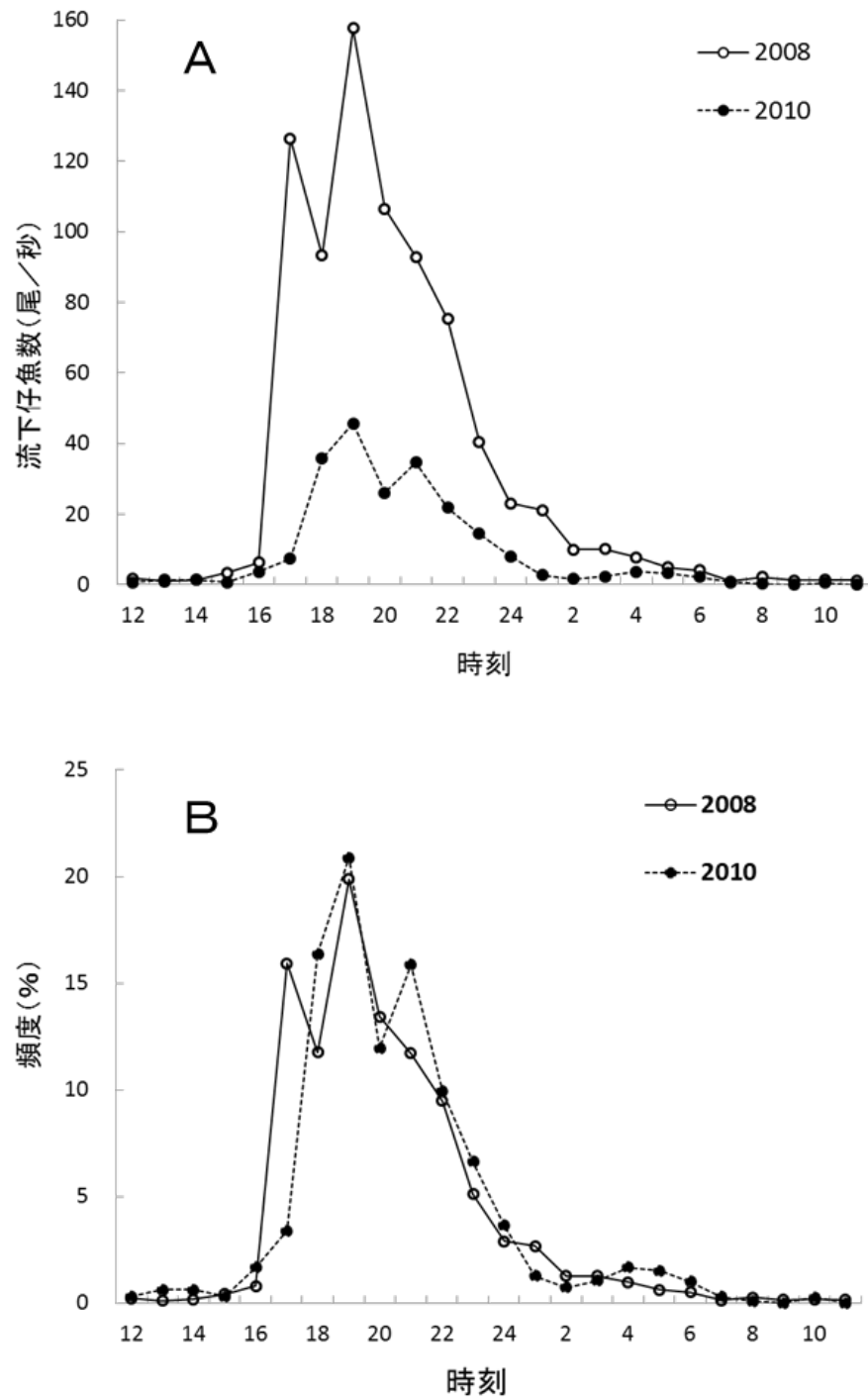
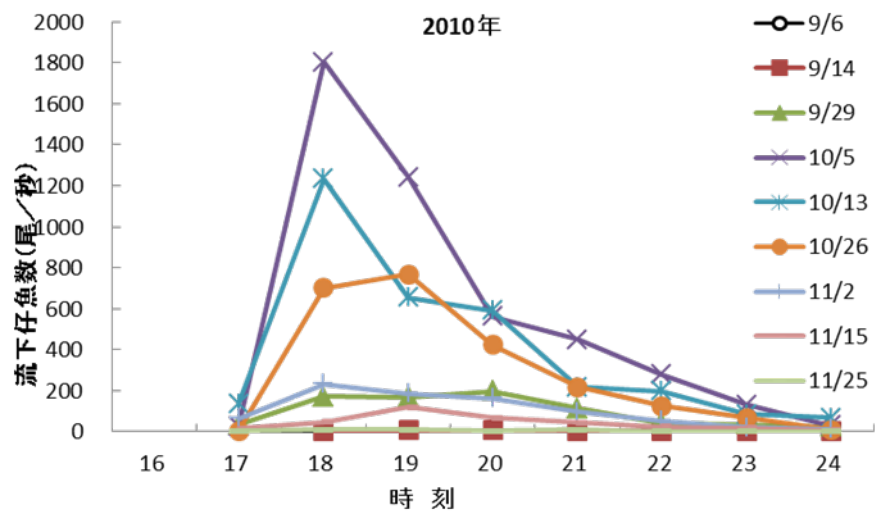
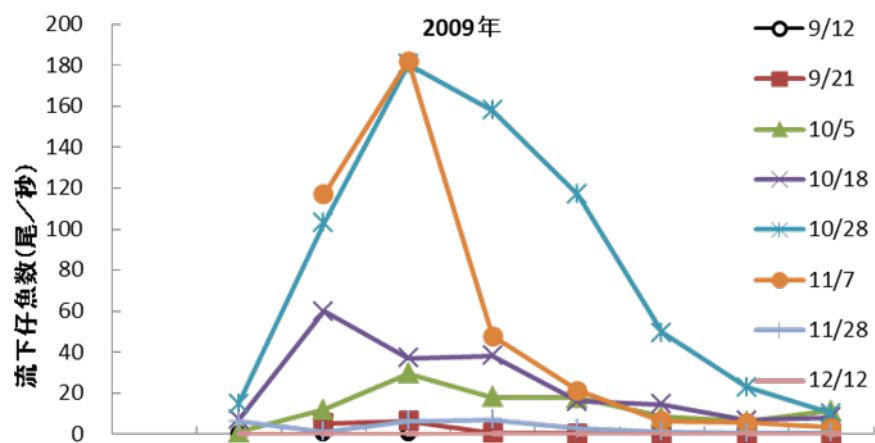
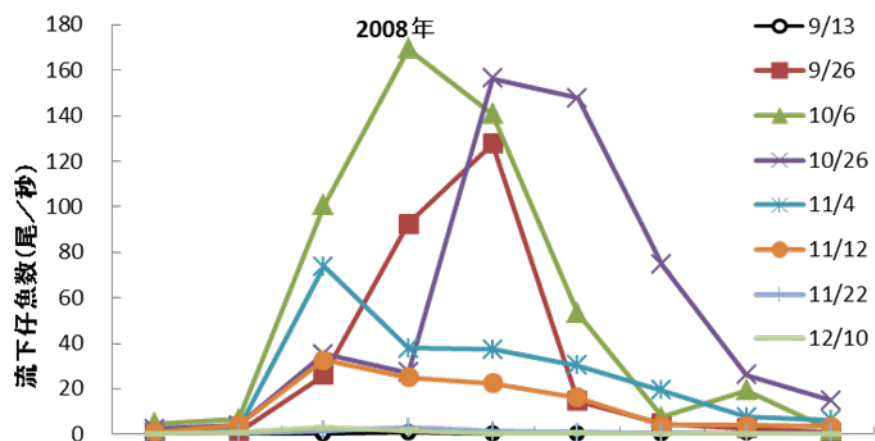


図 3-8 2008 年と 2010 年における流下仔魚数 (A) の日周変化と各時刻の流下仔魚数の頻度 (B)





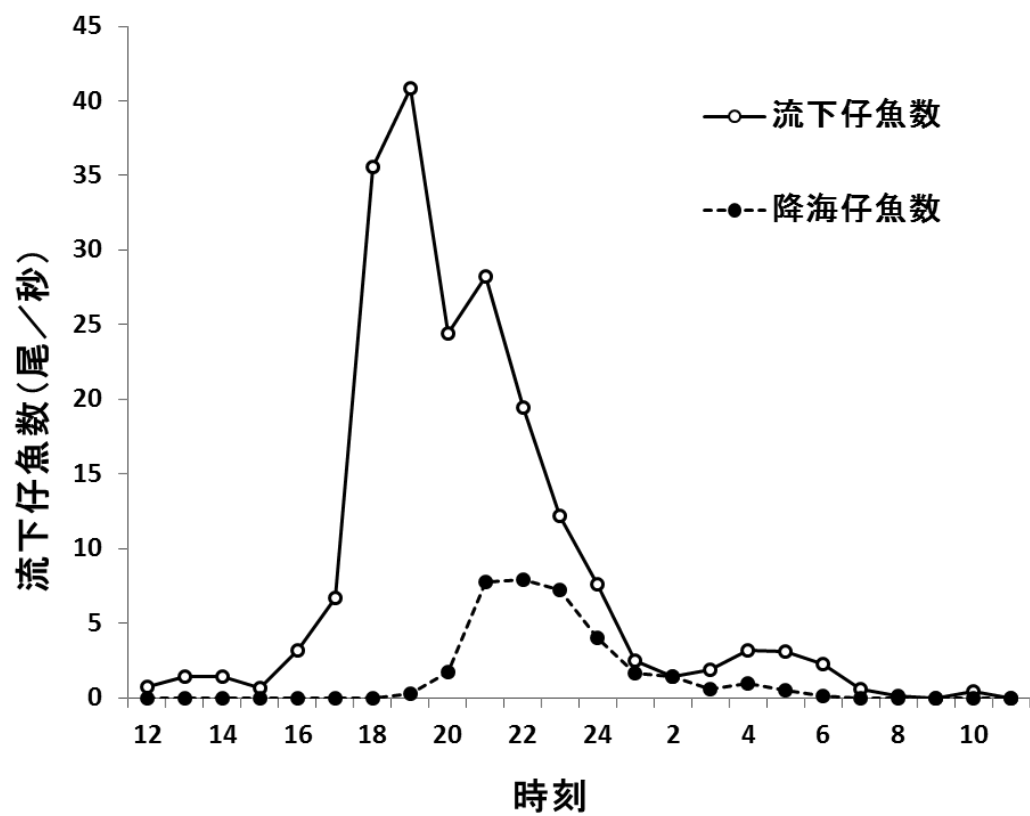


図 3-10 2010 年における流下仔魚数と降海仔魚数の日周変化

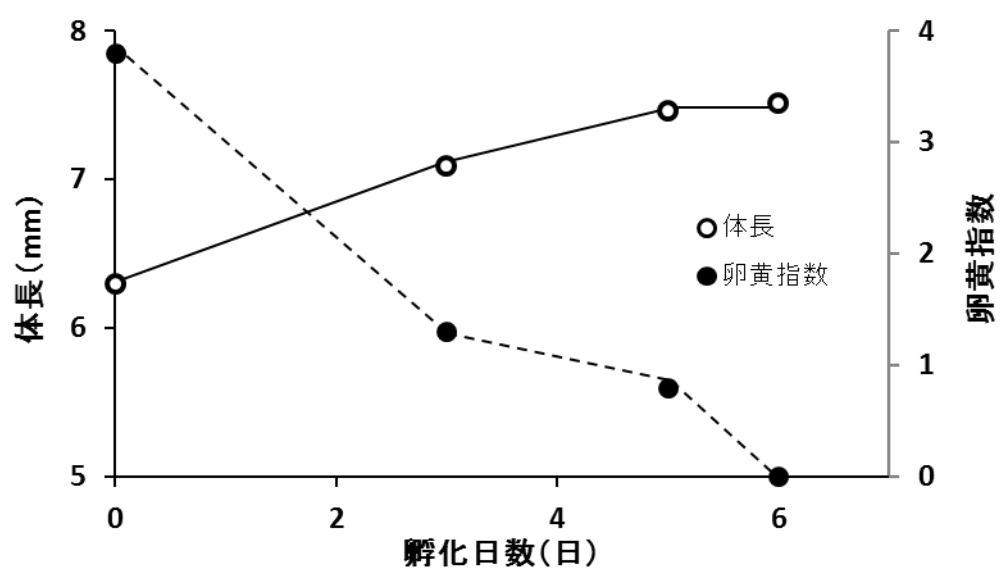


図 3-11 孵化後の体長と卵黄指数の経日変化

## 第4章 海域生活期

前章では三陸沿岸域におけるアユ仔魚の流下生態について明らかにした。本章では、降海した仔魚が河川に遡上するまでの海域における分布、成長、生残について検討する。降海後のアユ仔稚魚が砂浜海岸の砕波帯に分布し（木下 1984, Senta・Kinoshita 1985）、カイアシ類などの動物プランクトンを主要な餌として成長すること（浜田ら 1988, 八木ら 2006）が明らかにされて以降、アユの海域生活期の生態に関する研究が大きく進展した。塚本ら（1989）は、和歌山県熊野川河口周辺海域におけるアユの生態調査に耳石を用いた日齢査定法を導入することにより、降海したアユ仔魚が沿岸域の表層→波打際→河口の順で生息場所を移動して遡上に至ることを明らかにした。また、早生まれで成長のよい個体ほど、若齢で生息場所を移動するという「回遊の原則」を提示した。アユ仔稚魚の生息場として河口域が重要であり（Takahashi et al. 1998）、沿岸域での分布は水平的にも鉛直的にも河川水の及ぶ範囲に限られること（浜田ら 1988, 田子 2002 a,b,c, 東 2005, 八木ら 2006）なども明らかにされている。さらに Otake・Uchida（1996）は耳石の Sr:Ca 比によりアユの海域－淡水間の移動過程の再構築が可能であり、これを耳石日周輪紋に対応させて分析することで移動過程を日齢単位で知ることが可能になることを示した。大竹（2005）は三重県宮川の河口周辺海域ではアユ仔稚魚が降海後 1 ヶ月間ほどで砂浜海岸の波打際に集まり、成長と共に分布場所を河口域へと徐々に移行させながら遡上に至ることを明らかにした。

アユの海域生活期における減耗は大きく、遡上量の重要な決定要因になっていると考えられる。海域生活期の減耗要因として降海期の海水温や餌環境などが重要と考えられ、土佐湾では秋季の海水温が 20℃ 以上で減耗が大きく（Takahashi et al. 2003）、一方、那珂川（茨城県・栃木県）では 2 月～3 月の沿岸域の積算水温が低いことが遡上量の減少要因になると報告されている（中村・糟谷 2004）。また、和歌山県日高川では秋季の降水量と遡上量との間に相関が認められ、このことは河川流量の増加による仔魚のスムーズな流下と沿岸域の餌環境に関係すると考えられている（原田ら 2009）。

本章では、調査河川である鵜住居川と盛川が流入する大槌湾と大船渡湾を調査

フィールドとして降海後のアユ仔稚魚の分布、回遊、成長、生残について明らかにする。

## 第 1 節 材料と方法

### 第 1 項 水温・塩分・クロロフィル a 量の計測

#### 1. 大槌湾および鵜住居川河川内汽水域

鵜住居川の河口が位置する大槌湾の湾奥部の離岸距離 1 km あるいは 2 km までに設定した 32 地点 (a1-a5、b1-b7、c1-c5、d1-d5、e1-e5、f1-f5) (図 4-1-A) で、多項目水質計 (AAQ1183JFE、アレック、東京) を用いて水温、塩分、クロロフィル a 量を表層から底層まで測定した。a1~a5 は砕波帯の測点 US1 (第 2 項に記述、図 4-1-B) から沖合に向けて引いた A ライン上のそれぞれ離岸距離 90 m、290 m、540 m、860 m、1,140 m の場所に対応する。b1~b7 は US2 から伸ばした B ライン上のそれぞれ 110 m、340 m、570 m、910 m、1,290 m、1,800 m、2,230 m、c1~c5 は US3 から伸ばした C ライン上の 110 m、290 m、540 m、910 m、1,310 m、d1~d5 は US4 から伸ばした D ライン上の 110 m、290 m、600 m、1,030 m、1,370 m、e1~e5 は US4 と US5 の中間地点から伸ばした E ライン上の 110 m、310 m、600 m、1,030 m、1,400 m、f1~f5 は US5 から伸ばした F ライン上の 110 m、310 m、600 m、1,030 m、1,400 m の場所に対応する。観測は 2009 年 10 月 16 日 (中潮) に 2 回 (干潮時と満潮時)、2010 年 10 月 22 日 (大潮) に 3 回 (干潮時、中間潮位時、満潮時) 実施した。また、2008 年~2010 年の各年 10 月~翌年 5 月に砕波帯 (US1~US5) で実施した砕波帯ネットや小型地曳網による採集調査の際には各砕波帯測点の水温と塩分を測定した。2010 年の大槌湾海域の 10 月 22 日の環境データ (水温、塩分、クロロフィル a 量) については、それぞれの鉛直分布図と ODV (Ocean Data View 4 : <http://odv.awi-bremerhaven.de/>) を用いた鉛直断面図を作成した。

2008 年 10 月 28 日と 12 月 3 日、2009 年 10 月 16 日、10 月 30 日、11 月 9 日、2010 年 11 月 15 日に河川内汽水域で河口から上流に向けて設定した測線 R 上の 5 測点 (R1~R5、図 4-1-A) で多項目水質計を用いて、表層から底層までの水温・塩分・クロロフィル a 量を測定した。測定時の水深は 2008 年が 1.8~2.6 m、

2009 年が 0.5～2.6 m、2010 年が 1.1～2.6 m であった。各調査日の水温・塩分・クロロフィル a 量について鉛直分布図と ODV を用いた鉛直断面図を作成した。

## 2. 大船渡湾および盛川河口域

2008 年 10 月 31 日、12 月 4 日、2009 年 1 月 29 日の 3 回、大船渡湾の湾奥から湾口に向けて設けた M1～M5 の 5 測線（図 4-2）の中央で多項目水質計により水温、塩分、クロロフィル a 量を表層から底層まで計測した。また、砕波帯ネットによる採集を行った盛川河口域（SB1～SB3）と砕波帯（SS1～SS4）の合計 7 地点で曳網時に水温をアルコール棒状温度計で測定した。

## 第 2 項 仔稚魚の採集

### 1. 大槌湾および鵜住居川河川内汽水域

大槌湾最湾奥部の砕波帯の測点 US1～US5 とその沖の離岸距離 50 m、100 m、250 m、500 m、1000 m の地点で岸に平行に引いた測線 N1～N5 において採集を行った（図 4-1-B）。海域（測線 N1～N5）の調査は 2008 年～2010 年の各年 10 月～12 月に原則として毎月 1 回、沿岸センター所属のチャレンジャー一世（1t）とチャレンジャー二世（2t）を用いて行い、砕波帯（測点 US1～US5）での調査は各年の 10 月～翌年 6 月（2010 年は 7 月、2011 年は 2 月まで）に原則として毎月 1 回実施した。なお、採集されたアユ仔稚魚は孵化した年の年級群として扱った。各調査場所（測線）の位置（緯度、経度）は調査船の GPS と携帯 GPS を用いて記録した。測線 N1～N5 では稚魚ネット（網口 1.0 m×0.8 m、ネット目合 0.5 mm）による表層曳とソリネット（網口 1.5 m×0.4 m、ネット目合 0.5 mm）による底層曳を行った（N4、N5 は表層のみ）。稚魚ネットはロープにより船尾から 50 m 離して曳網し、ソリネットはネットが着底してからロープをさらに 20 m 伸ばして曳網した。濾水量はそれぞれのネットの網口中央に固定した濾水計（離合社、東京）の回転数から求めた。濾水計は 100 m 当たりの回転数を 1000 としてキャリブレーションは行わなかった。2010 年 10 月～12 月（3 回）の海域調査では、船の走行が表層採集に与える影響を検討するため、直径 56 cm のリングネット（目合い 0.5 mm）を船の舳先に渡した竹竿に繋ぎ、舷側から 1.5 m 離して曳網する方法（“サイド曳”と呼ぶ）も実施した。

砕波帯（US1～US5、図 4-1-B）での調査は、砕波帯ネット（網口 6.0 m×1.5 m、ネット目合 0.5 mm）と小型地曳網（長さ 100 m、袋網部分の目合 1.0 mm）を用いた。砕波帯ネットは各測点で水深約 1 m の場所を岸に平行に 50 m 曳網した。濾水量はネット幅（6.0 m）に水深と曳網距離（50 m）を乗じて求めた。小型地曳網は各測点の離岸距離約 50 m の地点で投入し、併せて投入地点の水深を測定した。地曳網が半円状に開いた状態で岸まで曳網されたとして、地曳網による掃海水域の体積を濾水量とした。掃海水域の水深は地曳網投入地点から岸まで直線的に浅くなっているものと仮定した（図 4-3）。

また、鵜住居川河川内汽水域での仔稚魚の分布を調べるために 2008 年 10 月 28 日、12 月 3 日と 24 日、2009 年 10 月 16 日と 30 日、11 月 9 日、2010 年 10 月 18 日、11 月 15 日の計 8 回、河川内汽水域に設定した測線 NR（図 4-1-B）で稚魚ネットによる表層曳とソリネットによる底層曳を行った。

採集されたアユ仔稚魚は 99.5%エチルアルコールで固定して保存後、採集魚数が 200 尾以内の測点については全個体を、200 尾以上採集された測点については 100～200 尾を無作為に抽出して体長を計測した。前屈曲期の仔魚は実体顕微鏡下でポリエチレン製透明 1 mm 方眼紙を用いて脊索長を、後屈曲期以降の仔魚と稚魚はノギスを用いて体長（標準体長）を測定した。各測点の採集仔稚魚数を濾水量で除し、1,000 倍することで濾水量 1,000 m<sup>3</sup> 当たりの仔稚魚数を算出し分布密度（尾/1,000 m<sup>3</sup>）とした。

## 2. 大船渡湾および盛川河口域

大船渡湾では、海域（測点 M1～M5）、砕波帯（測点 SS1～SS4）、河口域（測点 SB1～SB3）において採集を実施した（図 4-2）。海域の採集は 2008 年 10 月と 12 月、2009 年 1 月の計 3 回、大槌湾と同様に稚魚ネットによる表層曳とソリネットによる底層曳を行った。砕波帯と河口域の採集は砕波帯ネットのみを用い、2009 年の 1 月～3 月、2009 年 10 月～翌年 3 月、2010 年 10 月～翌年 2 月にそれぞれ各月 1 回、水深約 1 m の場所を岸に平行に 50 m 曳網した。

## 第 3 項 採集魚の日齢査定

測点毎に体長を測定した全個体、あるいは約 30 尾を無作為に抽出し、耳石（扁

平石)を摘出した。摘出した耳石は蒸留水中で付着物を除去し、乾燥後スライドガラス上にユーパールを用いて封入した。封入した耳石は耳石輪紋解析装置(Jiseki ARP/W ver.5.20; ラトックシステムエンジニアリング、東京)を用いて日周輪紋数を計数した。孵化輪紋が明瞭に観察される耳石については孵化輪紋の外側、不明瞭な耳石については孵化輪紋の平均半径の外側の輪紋数を計数し、その値を日齢とした。なお、2008年10月鶴住居川(4尾)と9月盛川(5尾)の流下仔魚のうち、卵黄指数が3と4の個体計9尾から摘出した左右合計16個(2個は落失)の平均耳石半径が14.3 μmであったことからその値を孵化輪紋の平均半径とし、輪紋計数に当たっては15 μmの外側を計数することとした。日周輪紋数の計数に加えて、日周輪紋間隔(耳石日間成長量)と耳石半径(長軸上の耳石核から尾部方向縁辺までの長さ)の測定を行った。各個体の孵化日は採集日から日齢を差し引いて求めた。

なお、2010年級の砕波帯ネットと地曳網の曳網による採集仔稚魚は、体長測定が終わっていたものの耳石日周輪紋解析を行う前に東日本大震災の津波により流失した。そのため、これらの日齢と孵化日は2008年級と2009年級の同時期に採集された仔稚魚について求めた体長と日齢の関係式から推定した(図4-4-A, B)。盛川は2009年級のみの子稚魚を用いた。推定に用いた日齢-体長の関係式は下記の通りである。

大槌湾採集魚:

10月~11月(2008年と2009年):  $y = 2.2063x - 7.7936$  ( $r^2 = 0.9884$ )

1月~2月(2009年と2010年):  $y = 2.8138x + 17.653$  ( $r^2 = 0.7838$ )

大船渡湾採集魚

10月~12月(2009年):  $y = 2.8154x - 22.231$  ( $r^2 = 0.9226$ )

採集時の体長と孵化時の平均体長(6.3 mm)の差を日齢で除することにより成長率(mm/日)を算出した。孵化時の平均体長は第3章第2節第3項の10℃(15.9℃)区の平均孵化体長(6.3 ± 0.49 mm)による。

## 第2節 結果

## 第 1 項 大槌湾および鵜住居川河川内汽水域

### 1. 海域および河川内汽水域の水温、塩分、クロロフィル a 量

大槌湾の湾奥部の離岸距離 50 m、100 m、250 m、500 m、1000 m の水深はそれぞれ 1.5～4.5 m、1.3～5.7 m、2.4～7.1 m、8.8～13.0 m、16.5～20.0 m であった。2010 年の海域 32 測点における水温、塩分、クロロフィル a 量の鉛直分布を図 4-5-1～6 に示した。また、ODV で作成した湾奥から湾口方向に引いたライン（A～F）と湾を横断する方向でのライン（H1～H5）での鉛直断面図を図 4-6-1～6 に示した。ライン A～E では最大離岸距離 2 km（b7）までは表面に低塩分水が分布し、特に水深 2 m 以浅の表層に塩分 30 psu 以下で水温が 17℃以下の低塩分・低温水が顕著に分布した。この特徴は干潮時に比べて満潮時に顕著であり、沖合からの海水に鵜住居川の河川水が岸よりに押しやられたことに対応したものと考えられた。クロロフィル a 量が 2 ppb 以上の水はいずれのラインでも底層に分布した。ライン H1～H5 でみると岸に近い H1、H2 ラインに塩分 30 psu 以下の低塩分水が水深 1 m 以浅のごく表層に分布し、この傾向は中間潮位と干潮時に顕著であった。クロロフィル a 量が 2 ppb 以上の層は H1、H2 ラインの躍層下で見られ、しばしば水深 4～7 m で高い値を示すことがあった。e1-f1、e2-f2 の底層でのクロロフィル a 量の顕著な増加は、この地点がアマモ場であったことによるものと考えられる。湾奥部では鵜住居川河口域を中心に離岸距離 50 m までは潮の干満によらず河川水の流入に伴う低温・低塩分水が分布した。

鵜住居川河川内汽水域では、表層 1 m を低温、低塩分の河川水が流れ、この構造は満潮時に顕著であった（図 4-7、4-8-1、4-8-2）。表層の水温は 10 月で 13～14℃、11 月～12 月で 5～11℃であり、底層では 10 月～12 月の間 12～14℃で推移した。塩分は 10 月～12 月の間表層では 0～3 psu、底層は常に 30 psu 程度であった。クロロフィル a 量は底層～中層（深度 1～2 m）で高い傾向が強く、2009 年 10 月 16 日に測点 R5 の深度 1.5 m で記録した 1.5 ppb が最大であった。

### 2. 海域および河川内汽水域におけるアユ仔稚魚の分布

海域および河川内汽水域での稚魚ネットとソリネットによる採集結果を表 4-1-1～3 に示した。アユ仔稚魚は 3 年間（2008 年～2010 年）の 10 月中旬～11 月上旬における調査で離岸距離が最大 1,000 m（測線 N5）まで採集された。離



岸距離 1,000～50 m までの分布密度は 3.2～47.1 尾/1,000 m<sup>3</sup> で碎波帯に近い程、分布密度が高くなり、また分布が底層に偏る傾向がみられた（図 4-9-A～C）。ソリネットの底層曳を行った離岸距離 50～250 m の測線では 94% が底層から採集されたものの、2010 年にネットを船の舳先に設置して曳網した場合（サイド曳）には表層でも採集され、その分布密度も 10.4～15.6 尾/1,000 m<sup>3</sup> であった。

2008 年 10 月と 2009 年 10 月、11 月に実施した河川内汽水域の測線 NR での採集では、表層から 2～11 尾（7.3～26.1 尾/1,000 m<sup>3</sup>）、底層から 1 尾（6.9 尾/1,000 m<sup>3</sup>）が採集された（図 4-11）。

### 3. 海域および河川内汽水域で採集されたアユ仔稚魚の体長と日齢

海域で採集された仔魚の体長と日齢の範囲は離岸距離 50～1000 m でそれぞれ 5.0～16.0 mm、4～26 日で離岸距離 100 m 以下、特に 50 m の底層で体長と日齢の範囲が広がり、大型の個体が含まれるようになった（図 4-10, 図 4-11）。離岸距離 50～250 m で表層ネットにより採集された仔魚は全て体長 7 mm、日齢 7 日以下の降海後間もない個体であった。また、2010 年 10 月 18 日の離岸距離 50 m の底層で採集された個体の体長と日齢は同時に表層で採集された個体に比べて有意に大きかった（t 検定  $p < 0.05$ ）。また、離岸距離 50 m で採集された仔魚は同時期に碎波帯で採集された仔魚の体長、日齢（本項 5）とも重複した。

河川内汽水域で採集された仔魚の体長と日齢の範囲は 5.6～6.7 mm、2～6 日で流下して間もない個体であり、降海仔魚の体長（ $6.3 \pm 0.24$  mm、5.5～7.1 mm; 第 3 章第 2 節）と同様であった。

### 4. 碎波帯における分布

碎波帯ネットと地曳網による採集で仔稚魚は 10 月から翌年 5 月まで採集され、6 月以降はほとんど採集されなかった（表 4-2-1～3）。10 月には 5 測点全てで採集され、11 月～翌年 1 月にかけては河口に隣接する 2 測点（US1、US2）に分布が集中した（図 4-12）。そして、2 月以降、河口の 2 測点に加えて藻場の測点（US5）にも出現するようになった。分布密度は 11 月に最も高い値を示し、特に US1 では 2009 年級と 2010 年級ではそれぞれ 2,972 尾/1,000 m<sup>3</sup>、4,600 尾/1,000 m<sup>3</sup> であった。その後、減少し 2008 年級 4 月には US 1 の 26 尾/1,000 m<sup>3</sup> を

除いておよそ 10 尾/1,000<sup>3</sup> と低密度で推移した。

## 5. 砕波帯で採集された仔稚魚の体長、日齢、孵化日、成長

2008 年～2011 年（2008 年級～2010 年級）における各年の 10 月～翌年 5 月に採集された仔稚魚の採集月別の体長、日齢、孵化時期の組成を図 4-13 に示した。いずれの年級についても、採集された仔稚魚の平均体長は 10 月（12.7～13.6 mm）から 2 月（37.5～40.3 mm）までは増加傾向にあったが、3 月以降はいずれの月も 40～44 mm とほぼ同様に増加がみられなくなった。平均日齢は体長とは異なり 10 月（21.6～23.0 日）から 4 月（171.3～172.5 日）まで経月的に増加し、4 月から 5 月にかけては変化がほとんどなかった。一方、平均孵化日についてみると 10 月～翌年 1 月までに採集された個体ではいずれも 9 月下旬～10 月中旬と同様であったが、2 月～4 月は 10 月上旬～下旬、5 月は 11 月中旬と経月的に遅くなった。

2008 年級と 2009 年級について海域一砕波帯で採集された全仔稚魚の日齢(x)と体長(y)の関係を図 4-14 に示した。2010 年級については日齢を 2008 年級と 2009 年級の日齢一体長の関係式から求めたことから、本項での解析から除外した。2008 年級に比べて 2009 年級の成長が若干良かったもののほぼ同様の成長パターンを示し、関係式はそれぞれ  $y = 2.407 x^{0.559}$ 、 $y = 3.382 x^{0.507}$  で示された。図 4-15 に孵化月ごとに日齢と体長の関係を示した。9 月孵化個体の成長は 2 月以降停滞し、10 月孵化個体は 3 月以降停滞した。成長率(mm/日)を孵化月別にみると、降海直後の負の成長を示した個体が含まれる 2008 年級と 2009 年級の 10 月孵化個体を除けば、9 月と 10 月に孵化した個体では 10 月～12 月には高い値（2008 年級：0.35 mm/日、2009 年級：0.33～0.40 mm/日）を示し、翌年 1～5 月には 0.19～0.25 mm/日と値が低下した（2008 年級：0.20～0.24 mm/日、2009 年級：0.23～0.26 mm/日）（表 4-3、図 4-16）。

## 第 2 項 大船渡湾および盛川河口域

### 1. 海域および河口域の水温、塩分

大船渡湾の湾奥部から湾口部に向かって M1、M2、M3 の水深はそれぞれ 12 m、16～20 m、22～26 m であり、M4、M5 は 26 m 以上であった。10 月下旬と 12

月上旬の水温、塩分、クロロフィル a 量の鉛直分布をみると水温と塩分においては深度による変化は見られずほぼ同じ値を示した。一方、10 月下旬のクロロフィル a 量には深度 2 m 付近に顕著なピークがみられ、湾奥の M1 と M2 では 10 ppb 以上でその傾向が著しかった（図 4-17）。この結果は大船渡湾では水平循環・鉛直循環がともに弱いことを示し、湾口防波堤による高い閉塞性と関係しているものと考えられる。

## 2. 砕波帯および河口域におけるアユ仔稚魚の分布

2008 年 10 月～翌年 1 月の大船渡湾内で実施した稚魚ネットとソリネットの曳網ではアユ仔稚魚は全く採集できず、これより 2009 年、2010 年では両ネットによる採集は実施しなかった。2009 年 1 月～3 月、2009 年 10 月～2010 年 3 月、2010 年 10 月～2011 年 2 月に盛川河口域（測点：SB1～SB3）と砕波帯（測点：SS1～SS4）で行った砕波帯ネットの曳網ではアユ仔稚魚が採集された。砕波帯ではほとんどが SS3 と SS4 で採集され、特に SS4 で多数採集された。それ以外には 2010 年 11 月に測点 SS2 で 1 尾採集されたのみであった。1 月～2 月には全体的に分布密度は低くなり、3 月には採集できなかった（表 4-4-1～3, 図 4-18）。測点 SB1～SB3 の河口汽水域では 2009 年 2 月、2010 年 10 月と 12 月に採集された。

## 3. 砕波帯および河口域で採集されたアユ仔稚魚の体長、日齢、孵化日、成長

2008 年～2011 年（2008 年級～2010 年級）における 10 月～翌年 2 月に砕波帯ネットで採集されたアユ仔稚魚の採集月別の体長、日齢、孵化日の組成を図 4-19 に示した。2009 年級と 2010 年級の 10 月には砕波帯で平均体長（平均日齢）が 18.7 mm（27.6 日）、20.1 mm（34.1 日）、平均孵化日が 9 月中・下旬の早生まれ個体が採集され、11 月にはほぼ同じ平均体長と平均日齢で平均孵化日が 10 月中・下旬の個体が採集された。12 月にはそれぞれ平均体長（平均日齢）が 33.0 mm（73.3 日）、23.3～29.6 mm（43.5～61.0 日）と増加し、平均孵化日が 10 月上～下旬の個体が採集された。翌年の 1 月には 1 尾（2009 年級）、2 月には 4 尾（2008 年級 1 尾、2009 年級 3 尾）と採集個体数は激減した。1 月の個体の体長（日齢）は 19.5 mm（56 日）、2 月の個体は体長（日齢）がそれぞれ 48.0 mm

(139 日)、34.5～39.0 mm (112～130 日)、孵化日が 10 月中・下旬であった。12 月孵化個体は採集されなかった。

河口域では 2009 年 2 月 (2008 年級) に 3 尾 (39.5～47.5 mm、135～144 日)、2010 年 10 月と 12 月 (2009 年級) に 1 尾と 13 尾が採集され、それぞれ体長 18.4 mm (30 日)、21.0～42.0 mm (37～96 日) であった。

2008 年級と 2009 年級の日齢と体長の関係は、 $y = 2.644 x^{0.5636}$  ( $r^2 = 0.9164$ ) で表された (図 4-20)。2009 年級の成長率 (mm/日) を孵化月別にみると、9 月と 10 月に孵化した個体では 10 月～12 月には高い成長率 (0.36～0.45 mm/日) を示したのち、翌年 1 月、2 月には 0.24～0.27 mm/日と低下した (表 4-5)。11 月に孵化した個体は 11 月から翌年 1 月に出現し、成長率は 9 月～10 月に孵化した個体と同様の傾向を示した。

### 第 3 節 考察

#### 第 1 項 海域におけるアユ仔稚魚の分布と回遊

大槌湾の海域で仔魚は離岸距離 250～1,000 m では体長 7.7 mm (9 日齢) 以下の個体のみ出現し、体長 10 mm (16 日齢) 以上の個体は 2009 年 11 月の 1 個体 (13.4 mm、22 日齢) を除き全て離岸距離 50 m から出現した (図 4-10, 4-11)。そこでは同時期に砕波帯に出現する仔稚魚と同様の体長・日齢の個体も含まれた (図 4-13)。降海仔魚の体長が  $6.8 \pm 0.38$  mm (5.6～7.9 mm) だった (第 3 章第 2 節第 2 項) ことから、降海した仔魚は大きく湾内に拡散することなく速やかに砕波帯に移動するものと推察される。離岸距離 50 m の水域は水深が 1.5～4.5 m であった。この水域で砕波帯と同様の体長・日齢の個体が出現したことは、砕波帯に連続するこの水深の浅い水域までを仔稚魚が成育場として利用していることを示す。離岸距離 50 m までの水域は、反時計回りに流れる鵜住居川の河川水の影響を強く受ける場所である (乙部 2005)。アユ仔稚魚は河川水の影響の強い水域に分布することが報告されており (浜田ら 1988, 田子 2002 a,b,c, 東 2005, 八木ら 2006)、本研究の調査結果もそれを支持するものである。本研究では離岸距離 1,000 m 以遠の水域は養殖筏が設置されているために調査はできなかったが、離岸距離 1,000 m まで仔魚が採集されたことから少なくとも離岸距離

1,000 m までは拡散するもののその出現個体数は少なく、多くは砕波帯近くに留まり速やかに砕波帯に移動するものと推察される。

大槌湾の離岸距離 50 m 以遠では仔魚の 64% は底層から採集されており、表層で採集されたのは体長 6.2 mm 以下（7 日齢以下）の降海直後の個体のみであった。また、砕波帯から 50 m の底層からは体長 10~18.5 mm（16~28 日齢）の個体が 10 尾採集された。塚本ら（1989）は熊野灘沿岸域での調査から体長 9~12 mm のアユ仔魚が沿岸浅海域（水深 20 m 以下）の底層に一時的に分布すると推定した。また、Takahashi et al. (1998) は、四万十川の河口汽水域において仔魚が卵黄吸収後に分布を底層に移すことを報告している。これらに対して、富山湾で調査した田子（2002a）は降海後のアユ仔稚魚は深度 1 m に形成される塩分躍層以浅のごく表層に分布すると報告し、この違いが富山湾の地形および物理環境特性、すなわち沿岸から急激に深くなる地形と表層 1m にきわめて顕著な塩分躍層が形成されるという海洋構造によるものと考察した。また、採集時のシップアボイダンスが表層での採集結果を過小評価させている可能性も指摘している（田子 2009）。大槌湾の湾奥部は湾口側から緩やかに浅くなり、また水面から 1 m 程のごく表層には河川水由来の低塩分水が分布するが、水深が浅い大槌湾の湾奥部では表層と底層の塩分差も小さいことから降海した仔魚が速やかに底層に移動することが可能なのかもしれない。また、大槌湾の湾奥部では底層にクロロフィル a に富む水が分布する（本章第 2 節第 1 項）ことから、アユ仔稚魚が餌とする動物プランクトンの分布が底層に豊富である可能性もある。しかし、本研究でシップアボイダンスを考慮して舳先に設置したネットによる表層曳では、離岸距離 50~250 m で体長 5.3~7.0 mm（4~7 日齢）の個体が採集された。このことはシップアボイダンスが採集結果に影響を与えた可能性を示唆する。一方、同時に曳網したソリネットの底層曳では離岸距離 50 m で採集されたのみであった。ただし、この時に底層で採集された個体は体長、日齢とも表層の個体に比べて大きく、成長とともに生息場所を底層に移行させることを窺わせた。大槌湾の河口域のように表層を河川水が流れる水塊構造では富山湾と同様にアユ仔魚は表層に分布する可能性もあり、曳網方法を十分工夫した調査を複数回実施して検討する必要があるだろう。

大槌湾の砕波帯への仔稚魚の出現は 10 月下旬から 6 月初旬までみられ、その体長範囲は 5.5～57.5 mm (4～222 日齢)、孵化日は 9 月 11 日～12 月 27 日であった。10 月～翌年 2 月までは 9 月中旬～11 月中旬生まれの個体が採集され平均体長も経月的に増加したが、それ以降は 9 月中旬～10 月上旬の早生まれ個体が消え、体長の増加もみられなくなった。さらに 2008 年級、2009 年級で成長が 2 月、3 月以降停滞し、成長率も 1 月以降に低下する現象がみられた。これらの結果はいずれも 2 月以降に一定の体長に達した個体が砕波帯から汽水域へ移動することに起因すると考える。このことは遡上魚の耳石 Sr:Ca 比分析から早生まれ個体の汽水域への移動が 1 月中旬 (平均 2 月 21 日) に開始されるという推定結果からも支持される (第 5 章第 2 節第 4 項)。成長を孵化月ごとにまとめると 9 月生まれの成長の停滞が 2 月以降に始まるのに対し、10 月生まれでは 3 月以降に始まった。これは早生まれで成長が速く一定の体長に達した個体から順に砕波帯から汽水域への移動を開始することを示しており、塚本 (1988) の回遊の原則を具体的に示す結果であろう。

大船渡湾での採集個体数は 1 月～2 月は激減したが、これは遊泳力が増加する体長 30 mm を超える個体は砕波帯ネットでは採捕されにくいということに起因すると考えられた (大竹 私信)。砕波帯域で採集された個体の平均孵化日は 10 月が 9 月中・下旬、11 月～翌年 2 月までは 10 月中・下旬であり、12 月 (2010 年級のみ) には体長範囲が 21.0～42.0 mm (17～96 日齢)、孵化日が 9 月 4 日～11 月 5 日の仔稚魚が採集されたことから、12 月頃から体長 20 mm、35 日齢以上の個体の河口汽水域への来遊が始まっていた。大槌湾ではアユ稚魚の河川内汽水域への移動が 2 月～3 月から開始されたが、これに比べて大船渡湾での 12 月の河口汽水域への来遊は早い。これは河口が閉塞状態で狭く河川内に汽水域が形成されている鵜住居川と開放的な盛川の河口の形状の違いによるものと考えられる。すなわち、鵜住居川のように汽水域が狭い河口により海域と隔てられている場合には、汽水、あるいは淡水への選好性がある程度高くなった個体が河口を越えて汽水域に移動する。アユではこの時期が 2 月～3 月に当たり、この時期の体長と日齢はそれぞれ 40～50 mm、130～140 日齢である。また、盛川での調査結果を考慮すれば、おそらく体長 20 mm 以降、汽水域への来遊を開

始し、汽水域移動サイズの 40～50 mm に達するまで成長に伴い分布の重心を徐々に汽水域に移行させていくものと考ええる。島ら (2014) は、全長 60～85 mm の淡水遡上期のアユ稚魚で海水中での高水温選好性に優先して淡水選好性が強くなることを報告している。今後、アユ稚魚の淡水－汽水選好性の発育に伴う変化を調べることも必要であろう。

アユの降海から遡上までの回遊過程をまとめると以下のようなになる(図 4-21)。降海したアユ仔魚は体長 10 mm、16 日齢で砕波帯に接岸し、その後体長 20 mm、35 日齢頃から河口汽水域への来遊を繰り返しながら、成長とともに徐々に汽水への依存度を高め、体長 40～50 mm、130～140 日齢頃から汽水域へと生息場所を移し、遡上に備える。砕波帯から汽水域への移動は早生まれの成長の良い個体から開始し、その時期は 2 月～3 月であり、その時の体長は 40～50 mm である。

## 第 2 項 アユ仔稚魚の海域における生残

塚本 (1990) は熊野灘での調査から降海後のアユ仔稚魚の生残率は 3 週間で 4.3%、5 週間で 1.9%ときわめて小さいと推定した。2010 年級 (11 月～翌 1 月まで砕波帯の全測点で採集を実施) を例にとれば、大槌湾の砕波帯での 5 測点の平均分布密度は、仔魚流下の盛期直後の 11 月で 1,014 尾/1,000 m<sup>3</sup> であり (表 4-2-3)、その後減少に向かった。11 月以降流下仔魚数が急激に減少する (第 2 章第 2 節第 1 項) ことから仔魚の砕波帯への新規加入量も小さく、その新規加入量を見れば、12 月以降の密度の減少は稚魚の減耗と河口域への生息域の移動によるものと考えられる。前項の結果から一部の個体が河川内汽水域に移動を開始する 2 月～ 3 月以前の 12 月で 220 尾/1,000 m<sup>3</sup>、1 月で 91 尾/1,000 m<sup>3</sup> となることから、それぞれ 11 月に対する生残率は 21.7%、9.0%となる。産卵場から河口までの間の生残率は 14.5% (第 3 章第 2 節第 2 項) であり、砕波帯への出現は 16 日齢程度からなので、その間の生残率として塚本 (1991a) が示した 4.3% (流下後 3 週間の生残率) を適用すれば、大槌湾において砕波帯に出現するまでの生残率は 0.63%となる。さらに孵化仔魚が遡上に備えて砕波帯から河川内汽水域に移動を開始する以前の 1 月までの間の生残率は約 0.06% (14.5

$\times 0.043 \times 0.09 = 0.057$ ) と推定される。内田 (2006) が山形県鼠ヶ関川で試算したところによれば、卵から遡上までの生き残りは 0.1~0.02% である。本研究では遡上前の汽水域での減耗が含まれていないが、汽水域に移動する前の海域生活期の生残率としては概ね妥当な値と考えてよいであろう。



表4-1-1 大槌湾および鶴住居川河川内汽水域で採集された2008年級アユ仔稚魚の  
採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測候	遊歩距離 (m)	表層 底層	採集個体数 (尾)	個体密度 (/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD(範囲・尾数)	日齢(日) 平均±SD(範囲・尾数)	孵化日(月日) 平均±SD(範囲)
2008年10月28日	NR	河川内	表層 底層	0 1	— 6.9	— 6.4(1)	— 6(1)	— 2008年10月22日
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	27	47.1	7.0±2.3 (5.0-14.0, 27)	7.6±5.1 (4-24, 27)	2008年10月22日 (10月4日-10月24日)
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	4	7.4	5.0±0.4 (5.0-5.8, 4)	5.8±0.5 (5-6, 4)	2008年10月22日 (10月22日-10月23日)
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			底層	5	20.5	5.6±0.3 (5.2-6.0, 5)	4.8±0.8 (4-6, 5)	2008年10月23日 (10月22日-10月24日)
	N4	500	表層	—	—	—	—	—
底層			NS	—	—	—	—	
N5	1000	表層	3	12.0	6.0±0.5 (5.6-6.5, 3)	5.0±1.0 (4-6, 3)	2008年10月23日 (10月22日-10月24日)	
		底層	NS	—	—	—	—	
2008年12月3日	NR	河川内	表層 底層	0 0	— —	— —	— —	— —
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N4	500	表層	0	—	—	—	—
底層			NS	—	—	—	—	
N5	1000	表層	0	—	—	—	—	
		底層	NS	—	—	—	—	
2008年12月24日	NR	河川内	表層 底層	0 0	— —	— —	— —	— —
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N4	500	表層	0	—	—	—	—
底層			0	—	—	—	—	
N5	1000	表層	0	—	—	—	—	
		底層	0	—	—	—	—	
2009年1月26日	NR	河川内	表層 底層	NS NS	— —	— —	— —	— —
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N4	500	表層	0	—	—	—	—
底層			NS	—	—	—	—	
N5	1000	表層	0	—	—	—	—	
		底層	NS	—	—	—	—	

表4-1-2 大槌湾および鵜住居川河川内汽水域で採集された2009年級アユ仔稚魚の  
採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測候	離岸距離 (m)	表層層	採集個体数 (尾)	個体密度 (/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD(範囲・尾数)	日齢(日) 平均±SD(範囲・尾数)	孵化日 (月日) 平均±SD (範囲)
2009年10月16日	NR	河川内	表層	2	7.3	6.4±05 (6.0-6.7, 2)	4.5±07 (4-5, 2)	2009年10月11日 (10月11日-10月12日)
			底層	0	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	3	10.0	9.8±32 (7.5-12.0, 3)	14.0±21 (9-19, 3)	2009年10月2日 (9月2日-10月7日)
	N2	100	表層	1	—	5.5(1)	31(1)	2009年10月13日
			底層	2	7.5	7.0±03 (6.8-7.2, 2)	7.0±1.4 (6-8, 2)	2009年10月9日 (10月8日-10月10日)
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年10月30日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N1	50	表層	NS	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	NS	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	NS	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	11	26.1	6.0±03 (5.6-6.6, 11)	3.8±12 (2-6, 11)	2009年11月5日 (11月3日-11月7日)
			底層	0	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	1	2.4	18.5(1)	28(1)	2009年10月12日
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	6	12.8	8.3±28 (5.5-13.0, 6)	10.7±73 (3-22, 6)	2009年10月30日 (10月18日-11月6日)
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2010年1月26日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	2	7.9	6.7±15 (5.6-7.7, 2)	6.0±42 (3-9, 2)	2009年11月3日 (10月31日-11月6日)
	N4	500	表層	1	3.3	6.2(1)	4(1)	2009年11月5日
			底層	NS	—	—	—	—
	N5	1000	表層	1	3.2	5.6(1)	4(1)	2009年11月5日
			底層	NS	—	—	—	—
	2009年10月16日	NR	河川内	表層	NS	—	—	—
底層				NS	—	—	—	—
N1		50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
N2		100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
N3		250	表層	0	—	—	—	—
	底層		0	—	—	—	—	
2009年10月30日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N1	50	表層	NS	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	NS	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	NS	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
2009年11月9日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	

表4-1-3 大槌湾および鵜住居川河川内汽水域で採集された2010年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測線	離岸距離 (m)	曳網層	採集個体数 (尾)	個体密度 (/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD(範囲・尾数)	日齢(日) 平均±SD(範囲・尾数)	孵化日(月日) 平均±SD(範囲)
2010年10月18日	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			表層*	6	14.3	5.7±0.2 (5.4-5.9, 6)	5.3±0.8 (4-6, 6)	2010年10月13日(10月13日-10月14日)
			底層	7	10.4	9.6±4.7 (5.2-16.0, 7)	13.7±9.7 (5-26, 7)	2010年10月4日(9月22日-10月13日)
	N2	100	表層	4	10.5	5.5±0.3 (5.2-5.8, 4)	5.8±1.5 (4-9, 4)	2010年10月12日(10月9日-10月14日)
			表層*	5	13.3	5.7±0.4 (5.3-6.2, 5)	5.2±0.4 (4-6, 5)	2010年12日(10月12日-10月14日)
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			表層*	4	15.6	5.8±0.4 (5.3-6.3, 4)	5.8±0.4 (4-7, 4)	2010年10月12日(10月11日-10月14日)
			底層	0	—	—	—	—
	N4	500	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N5	1000	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
2010年11月19日	NR	河川内	表層	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
2010年11月19日	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			表層*	1	3.1	6(1)	5(1)	2010年11月4日
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			表層*	3	9.3	5.9±0.3 (5.6-6.2, 3)	5.0±1.0 (4-6, 3)	2010年11月4日(11月3日-11月19日)
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			表層*	2	5.8	6.2±1.1 (6.2-7.0, 2)	6.0±1.4 (5-7, 2)	2010年11月3日(11月2日-11月14日)
			底層	0	—	—	—	—
	N4	500	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N5	1000	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
2010年12月9日	N1	50	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N2	100	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N3	250	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	0	—	—	—	—
	N4	500	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—
	N5	1000	表層	0	—	—	—	—
			表層*	0	—	—	—	—
			底層	NS	—	—	—	—

NSは調査を行わなかったことを示す

SDは標準偏差を示す

表層\*は表層サイド曳きによる採集を示す

表4-2-1 大槌湾碎波帯で採集された2008年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測点	漁具	採集個体数 (尾)	個体数密度 (尾/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD (範囲・尾数)	日齢(日) 平均±SD (範囲・尾数)	孵化日 (月日) 平均±SD (範囲)
2008年10月29日	US1	碎波帯ネット	2	6.7	8.5±4.2 (5.5, 11.5, 2)	12.0±11.3 (4, 20, 2)	2008年10月17日 (10月9日, 10月25日)
	US2	碎波帯ネット	3	14.3	16.9±1.8 (15.2-18.8, 3)	31.3±6.1 (26-38, 3)	2008年10月27日 (9月21日-10月3日)
	US3	碎波帯ネット	2	6.1	16.9±1.6 (15.2, 17.5, 2)	27.5±2.1 (26, 29, 2)	2008年10月11日 (9月30日, 10月3日)
	US4	碎波帯ネット	2	5.1	15.8±1.7 (14.6, 17.0, 2)	29.0±7.4 (24, 34, 2)	2008年10月30日 (9月25日, 10月5日)
	US5	碎波帯ネット	2	7.4	8.9±3.7 (6.2, 11.5, 2)	11.0±7.1 (6, 16, 2)	2008年10月18日 (10月13日, 10月23日)
2009年1月26日, 28日	US1	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US2	地曳網	53	41.8	32.4±3.1 (25.8-38.0, 36)	107.9±9.8 (72-120, 36)	2008年10月12日 (9月30日-11月17日)
	US3	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	3	0.9	32.9±6.2 (26.0-37.8, 3)	NA	NA
	US5	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
2009年3月2日	US1	碎波帯ネット	1	0.3	NA	NA	NA
	US2	地曳網	1	0.2	NA	NA	NA
	US3	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	1	0.6	35.0±2.1 (33.5, 36.4, 2)	NA	NA
	US5	碎波帯ネット	2	0.6	-	-	-
2009年4月13日	US1	地曳網	1	0.8	53.2(1)	163(1)	2008年10月20日
	US2	地曳網	0	-	-	-	-
	US3	地曳網	1	0.3	37.5(1)	125(1)	2008年10月28日
	US4	地曳網	2	0.6	38.0±0.8 (37.4, 38.6, 2)	128.0±8.7 (117, 139, 2)	2008年10月25日 (10月14日, 11月5日)
	US5	地曳網	4	1.9	44.7±2.8 (41.5-47.2, 4)	147.8±8.7 (136-157, 4)	2008年10月5日 (9月26日-10月17日)
2009年5月12日	US1	地曳網	41	25.9	41.4±5.1 (33.6-57.5, 34)	171.5±12.1 (155-190, 16)	2008年10月23日 (10月15日-11月9日)
	US2	地曳網	3	1.1	43.5±7.7 (34.8-49.5, 3)	NA	NA
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	1	0.2	36(1)	NA	NA
	US5	地曳網	1	0.2	33.4(1)	NA	NA
2009年6月29日	US1	地曳網	NS	-	-	-	-
	US2	地曳網	NS	-	-	-	-
	US3	地曳網	1	0.3	49.5(1)	NA	NA
	US4	地曳網	NS	-	-	-	-
	US5	地曳網	26	6.1	43.1±3.9 (37.5-49.5, 26)	178.2±24.9 (136-222, 19)	2008年11月14日 (10月2日-12月27日)
2009年6月29日	US1	地曳網	0	-	-	-	-
	US2	地曳網	0	-	-	-	-
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	0	-	-	-	-
	US5	地曳網	0	-	-	-	-

NSは調査を行わなかったことを示す  
NAは分析を行わなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す

表4-2-2 大槌湾碎波帯で採集された2009年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測点	漁具	採集個体数 (尾)	個体密度 (尾/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD (範囲・尾数)	日齢(日) 平均±SD (範囲・尾数)	孵化日 (月日) 平均±SD (範囲)
2009年10月30日	US1	碎波帯ネット	4	16.7	13.6±5.7 (6.0-19.5, 4)	23.0±14.7 (4-38, 4)	2009年10月7日 (9月28日-10月26日)
	US2	碎波帯ネット	0	-	-	-	
	US3	碎波帯ネット	0	-	-	-	
	US4	碎波帯ネット	NS	-	-	-	
	US5	碎波帯ネット	1	5.6	9.0(1)	16(1)	
2009年11月25日	US1	碎波帯ネット	1070	2972.2	26.2±2.5 (19.5-32.0, 100)	49.5±7.4 (30-64, 34)	2009年10月6日 (9月28日-10月26日)
	US2	碎波帯ネット	3	14.3	24.5±2.3 (22.0-26.5, 3)	48.0±7.4 (40-54, 3)	2009年10月8日 (10月2日-10月16日)
	US3	碎波帯ネット	1	3.3	17.5(1)	29(1)	2009年10月27日
	US4	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US5	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
2009年12月14日	US1	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US2	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US3	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
	US4	碎波帯ネット	NS	-	-	-	-
	US5	碎波帯ネット	0	-	-	-	-
2010年1月19日	US1	地曳網	NS	-	-	-	-
	US2	地曳網	NS	-	-	-	-
	US3	地曳網	NS	-	-	-	-
	US4	地曳網	NS	-	-	-	-
	US5	地曳網	1	0.2	24.0(1)	71(1)	2009年11月9日
2010年2月18日	US1	地曳網	8	5.1	40.3±2.5 (37.0-44.5, 8)	138.3±14.9 (120-159, 8)	2009年10月2日 (9月11日-10月21日)
	US2	地曳網	2	0.7	39.8±1.8 (38.5, 41.0, 2)	122.5±3.5 (120, 125, 2)	2009年10月18日 (10月16日, 10月21日)
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	2	0.5	31.5±3.5 (29.0, 34.0, 2)	110.0±14.1 (100, 120, 2)	2009年10月31日 (10月21日, 11月10日)
	US5	地曳網	14	3.3	41.6±4.8 (36.0-51.5, 12)	134.1±11.7 (120-160, 12)	2009年10月6日 (9月11日-10月21日)
2010年3月24日	US1	地曳網	21	9.5	41.5±1.9 (37.5-44.5, 21)	146.5±11.4 (122-166, 21)	2009年10月28日 (10月9日-11月22日)
	US2	地曳網	0	-	-	-	-
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	2	0.5	47.5±2.8 (44.5, 49.5, 2)	184.0±5.7 (180, 188, 2)	2009年9月21日 (9月17日, 9月25日)
	US5	地曳網	3	0.6	37.5±2.0 (36.0-39.0, 3)	138.0±12.9 (126-150, 3)	2009年11月18日 (10月28日-11月8日)
2010年4月16日	US1	地曳網	1	0.6	38.0(1)	163(1)	2009年11月4日
	US2	地曳網	1	0.4	46.5(1)	182(1)	2009年10月16日
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	0	-	-	-	-
	US5	地曳網	0	-	-	-	-
2010年5月18日	US1	地曳網	4	2.5	2011. 3. 11の津波により体長データ・耳石を流失		-
	US2	地曳網	NS	-	-	-	-
	US3	地曳網	NS	-	-	-	-
	US4	地曳網	NS	-	-	-	-
	US5	地曳網	5	1.2	2011. 3. 11の津波により体長データ・耳石を流失		-
2010年6月10日	US1	地曳網	1	0.6	2011. 3. 11の津波により体長データ・耳石を流失		-
	US2	地曳網	0	-	-	-	-
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	0	-	-	-	-
	US5	地曳網	0	-	-	-	-
21010年7月10日	US1	地曳網	0	-	-	-	-
	US2	地曳網	0	-	-	-	-
	US3	地曳網	0	-	-	-	-
	US4	地曳網	0	-	-	-	-
	US5	地曳網	0	-	-	-	-

NSは調査を行わなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す

表4-2-3 大槌湾碎波帯で採集された2010年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測点	漁具	採集個体数 (尾)	個体数密度 (尾/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD (範囲・尾数)	日齢*(日) 平均±SD (範囲・尾数)	孵化日*(月日) 平均±SD (範囲)
2010年11月4日	US1	碎波帯ネット	1382	4606.7	18.8±2.2 (11.4-24.0, 100)	33.7±4.8 (17-45, 100)	2010年10月1日 (9月20日-10月18日)
	US2	碎波帯ネット	26	123.8	21.1±3.6 (15.5-36.2, 26)	38.9±8.0 (26-70, 26)	2010年9月26日 (8月26日-10月9日)
	US3	碎波帯ネット	89	269.7	21.1±2.7 (15.4-27.0, 89)	38.8±6.0 (28-52, 89)	2010年9月28日 (9月13日-10月9日)
	US4	碎波帯ネット	23	59	20.0±2.9 (13.5-26.2, 23)	36.2±6.4 (22-50, 23)	2010年9月28日 (9月15日-10月13日)
	US5	碎波帯ネット	3	11.1	16.5±0.1 (16.4-16.6, 3)	28.6±0.2 (28-29, 3)	2010年10月6日 (10月6日-10月7日)
2010年12月1日	US1	碎波帯ネット	47	156.7	18.8±3.0 (13.0-32.3, 47)	33.7±6.7 (21-63, 47)	2010年10月28日 (9月29日-11月10日)
	US2	碎波帯ネット	192	914.3	24.7±3.1 (14.4-36.0, 190)	46.7±6.7 (24-72, 190)	2010年10月15日 (9月20日-11月7日)
	US3	碎波帯ネット	7	21.2	20.5±5.8 (17.0-24.0, 7)	37.4±5.8 (30-45, 7)	2010年10月24日 (10月16日-11月1日)
	US4	碎波帯ネット	2	5.1	27.8±4.6 (24.5, 31.0, 2)	53.4±10.1 (46, 61, 2)	2010年10月8日 (10月1日-10月15日)
	US5	碎波帯ネット	1	3.7	21.0(1)	39(1)	2010年10月23日
2011年1月26日	US1	地曳網	408	257.7	31.1±2.9 (22.0-40.3, 199)	105.3±8.1 (80-131, 199)	2010年10月12日 (9月17日-11月7日)
	US2	地曳網	49	18.2	29.9±3.2 (25.5-36.8, 49)	101.9±9.0 (89-127, 49)	2010年10月16日 (9月21日-10月29日)
	US3	地曳網	NS				
	US4	地曳網	NS				
	US5	地曳網	1	0.2	39.4(1)	129(1)	2010年9月19日
2011年2月23日	US1	地曳網	0	-	-	-	
	US2	地曳網	4	1.5	37.2±4.2 (34.0-43.2, 4)	122.3±11.8 (113-139, 4)	2010年10月23日 (10月7日-11月2日)
	US3	地曳網	NS				
	US4	地曳網	NS				
	US5	地曳網	2	0.5	38.2±1.2 (37.3, 39.0, 2)	125.0±3.4 (123, 127, 2)	2010年10月21日 (10月19日-10月23日)

NSは調査を行わなかったことを示す

日齢\*は2008年、2009年の碎波帯仔稚魚について求めた体長-日齢の関係式から推定された値であり、孵化日\*はその推定日齢

から求められた値である

SDは標準偏差を示す

表4-3 大槌湾砕波帯で採集されたアユ仔稚魚の孵化月ごとの成長率

年級群	採集日	孵化月ごとの成長率(mm/日)					
		9月	10月	11月	12月	平均±SD(範囲, 尾数)	平均±SD(範囲, 尾数)
2008	2008年10月28日	0.35±0.03 (0.31-0.39, 4)	0.20±0.22 (-0.20-0.35, 7)	-	-	-	-
	2009年1月28日	0.24±0.01 (0.23-0.25, 3)	0.24±0.02 (0.19-0.29, 32)	0.27(1)	-	-	-
	2009年3月2日	0.27±0.04 (0.24-0.29, 2)	0.26±0.02 (0.23-0.28, 5)	0.27(1)	-	-	-
	2009年4月13日	-	0.21±0.03 (0.17-0.28, 10)	0.22±0.03 (0.18-0.26, 6)	-	-	-
	2009年5月12日	-	0.20±0.03 (0.17-0.25, 5)	0.20±0.03 (0.17-0.25, 9)	0.25±0.02 (0.23-0.27, 5)	-	-
	2009年6月23日	-	-	-	-	-	-
2009	2009年10月30日	0.33±0.03 (0.31-0.35, 2)	0.15±0.27 (-0.08-0.36, 3)	-	-	-	-
	2009年11月25日	0.40±0.02 (0.38-0.42, 4)	0.40±0.03 (0.37-0.51, 34)	-	-	-	-
	2009年12月14日	-	-	-	-	-	-
	2010年1月19日	-	-	0.25(1)	-	-	-
	2010年2月18日	0.26±0.02 (0.23-0.28, 6)	0.26±0.02 (0.23-0.30, 19)	0.23(1)	-	-	-
	2010年3月24日	0.23±0.02 (0.21-0.24, 2)	0.23±0.01 (0.21-0.25, 15)	0.25±0.01 (0.22-0.26, 9)	-	-	-
	2010年4月16日	-	0.22(1)	0.19(1)	-	-	-
	2010年5月18日	-	-	-	-	-	-
	2010年6月10日	-	-	-	-	-	-
	2010年7月10日	-	-	-	-	-	-

NSは調査を行わなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す

表4-4-1 大船渡湾砕波帯で採集された2008年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測点	場所	採集個体数 (尾)	個体数密度 (尾/100m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD (範囲・尾数)	日齢(日) 平均±SD (範囲, 尾数)	孵化日 (月日) 平均±SD (範囲)
2009年1月28日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	NS	-	-	-	-
	SS4	砕波帯	0	-	-	-	-
2009年2月27日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	3	8.3	42.3±38 (39.5-47.5, 3)	138.7±4.1 (135-144, 3)	2008年10月11日 (10月6日-10月15日)
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	NS	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	1	2.8	48.0(1)	139 (1)	2008年10月11日
	SS4	砕波帯	0	-	-	-	-
2009年3月25日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS4	砕波帯	0	-	-	-	-

NSは調査を行わなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す



表4-4-2 大船渡湾砕波帯で採集された2009年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測点	場所	採集個体数 (尾)	孵化密度 (尾/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD (範囲・尾数)	日齢 (日) 平均±SD (範囲・尾数)	孵化日 (月日) 平均±SD (範囲)
2009年10月18日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS4	砕波帯	270	750.0	18.7±2.1 (10.0-21.5, 10)	27.6±5.0 (12-36, >94)	2009年9月21日 (9月13日-10月7日)
2009年11月23日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	2	5.6	28.0±5.7 (24.0-32.0, 2)	56.0±17.0 (44-66, 2)	2009年9月28日 (9月18日, 10月14日)
	SS4	砕波帯	4	11.1	17.9±5.1 (3.5-25.0, 4)	32.3±11.4 (21-44, 4)	2009年10月20日 (10月14日, 11月3日)
2009年12月15日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS4	砕波帯	350	972.2	33.0±4.0 (10.0-21.5, 10)	73.3±7.7 (60-92, 34)	2009年10月4日 (9月14日-10月14日)
2010年1月18日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS4	砕波帯	1	2.6	19.5(1)	56(1)	2009年11月4日
2010年2月20日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	NS	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	1	2.8	34.5(1)	112(1)	2009年10月31日
	SS4	砕波帯	2	5.6	38.3±1.1 (37.5-39.0, 2)	127.0±4.2 (124-130, 2)	2009年10月16日 (10月13日-10月18日)
2010年3月25日	SB1	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB2	盛川河口	0	-	-	-	-
	SB3	盛川河口	0	-	-	-	-
	SS1	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS2	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS3	砕波帯	0	-	-	-	-
	SS4	砕波帯	0	-	-	-	-

NSは調査を実施しなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す

表4-4-3 大船渡湾砕波帯で採集された2010年級アユ仔稚魚の採集個体数、密度、体長、日齢、孵化日

月日	測点	場所	採集個体数 (尾)	個体数密度 (尾/1000m <sup>2</sup> )	体長 (mm) 平均±SD (範囲, 尾数)	日齢 (日) 平均±SD (範囲, 尾数)	孵化日 (月日) 平均±SD (範囲)
2010年10月21日	SB1	盛川河口	1	3.3	18.4 (1)	30 (1)	2010年9月20日
	SB2	盛川河口	0	—	—	—	—
	SB3	盛川河口	0	—	—	—	—
	SS1	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS2	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS3	砕波帯	8	22.2	20.1±1.1(180-212, 8)	34.1±3.1(28-37, 8)	2010年9月16日 (9月14日-9月23日)
	SS4	砕波帯	1	2.8	21.0 (1)	37 (1)	2010年9月14日
	SB1	盛川河口	0	—	—	—	—
2010年11月22日	SB2	盛川河口	0	—	—	—	—
	SB3	盛川河口	0	—	—	—	—
	SS1	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS2	砕波帯	1	2.8	22.3 (1)	41 (1)	2010年10月12日
	SS3	砕波帯	4	11.1	21.0±3.3(182-256, 4)	36.8±9.5(29-50, 4)	2010年10月16日 (10月3日-10月24日)
	SS4	砕波帯	10	27.8	16.3±1.3(140-180, 10)	23.6±3.7(17-28, 10)	2010年10月29日 (10月25日-11月5日)
	SB1	盛川河口	7	23.2	26.8±8.8(210-293, 7)	53.1±10.1(37-61, 7)	2010年10月17日 (10月10日-11月18日)
	SB2	盛川河口	1	3.3	29.3 (1)	60 (1)	2010年10月11日
2010年12月10日	SB3	盛川河口	5	6.6	35.9±8.1(21.7-420, 5)	78.8±22.7(39-96, 5)	2010年10月22日 (9月5日-11月11日)
	SS1	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS2	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS3	砕波帯	2	5.6	23.3±0.4(230-236, 2)	43.5±0.7(43, 44, 2)	2010年10月27日 (10月27日, 10月28日)
	SS4	砕波帯	33	91.7	29.6±3.5(200-378, 33)	61.0±9.7(34-88, 33)	2010年10月10日 (9月12日-11月6日)
2011年1月25日	SB1	盛川河口	0	—	—	—	—
	SB2	盛川河口	0	—	—	—	—
	SB3	盛川河口	0	—	—	—	—
	SS1	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS2	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS3	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS4	砕波帯	0	—	—	—	—
	SB1	盛川河口	NS	—	—	—	—
2011年2月26日	SB2	盛川河口	NS	—	—	—	—
	SB3	盛川河口	0	—	—	—	—
	SS1	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS2	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS3	砕波帯	0	—	—	—	—
	SS4	砕波帯	0	—	—	—	—
	SB1	盛川河口	NS	—	—	—	—
	SB2	盛川河口	NS	—	—	—	—

NSは調査を行わなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す

表4-5 大船渡湾で採集されたアユ稚魚の孵化月別の成長率

年級群	採集日	孵化月ごとの成長率(mm/日)					
		9月	10月	11月	12月		
		平均±SD(範囲, 尾数)	平均±SD(範囲, 尾数)	平均±SD(範囲, 尾数)	平均±SD(範囲, 尾数)		
2008	2009年1月28日	-	-	-	-		
	2009年2月27日	-	0.27±0.04 (0.23-0.31, 4)	-	-		
	2009年3月25日	-	-	-	-		
2009	2009年10月19日	0.45±0.05 (0.34-0.55, 34)	0.36±0.05 (0.32-0.35, 2)	-	-		
	2009年11月23日	-	0.41±0.11 (0.29-0.58, 5)	0.34(1)	-		
	2009年12月15日	0.37±0.02 (0.33-0.40, 15)	0.36±0.04 (0.29-0.42, 19)	-	-		
	2010年1月9日	-	-	0.24(1)	-		
	2010年2月20日	-	0.25±0.00 (0.25, 3)	-	-		
	2010年3月25日	-	-	-	-		

NSは調査を行わなかったことを示す  
SDは標準偏差を示す

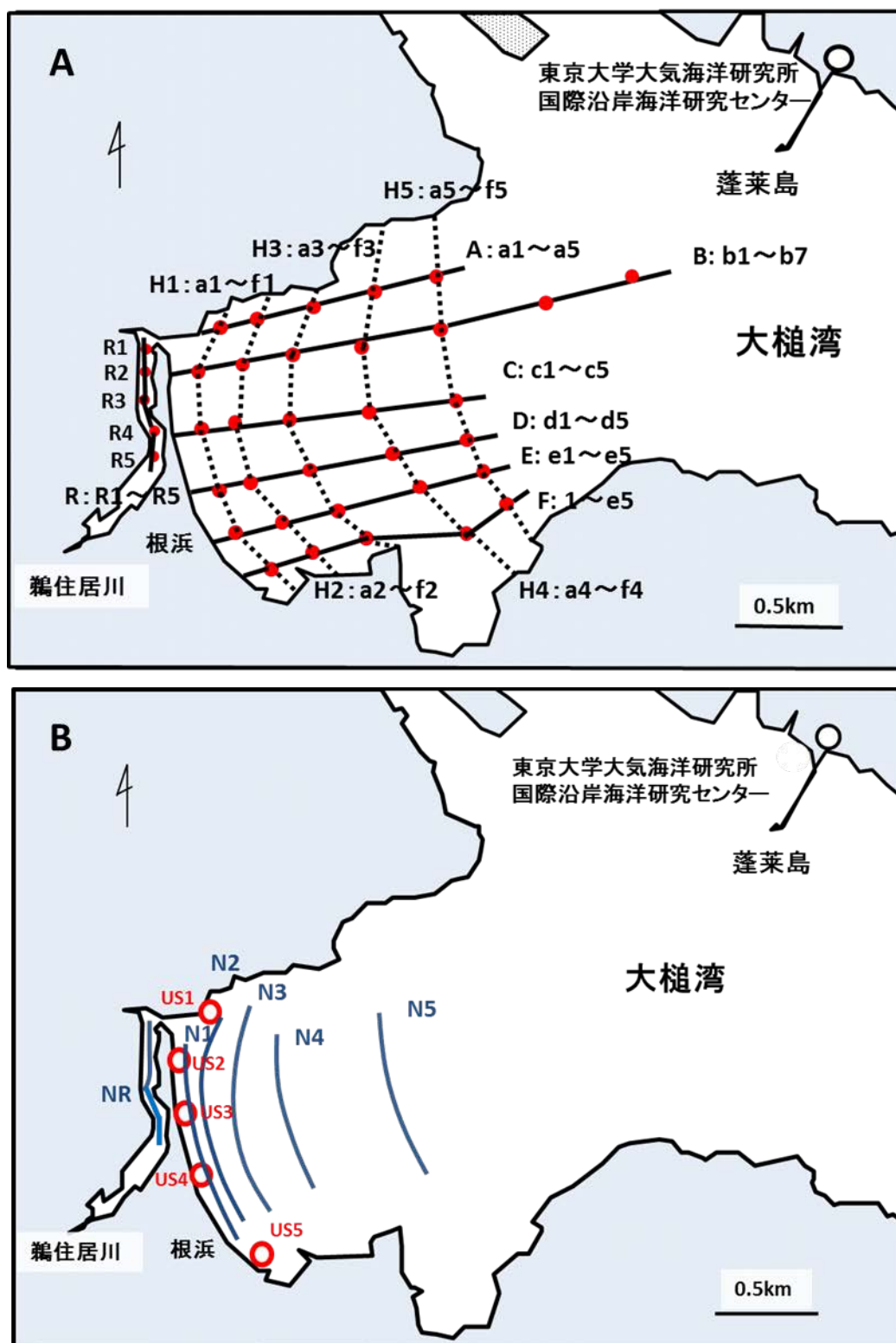


図 4-1 大槌湾と鵜住居川河川内汽水域の物理環境 (A) と曳網測線 (B)

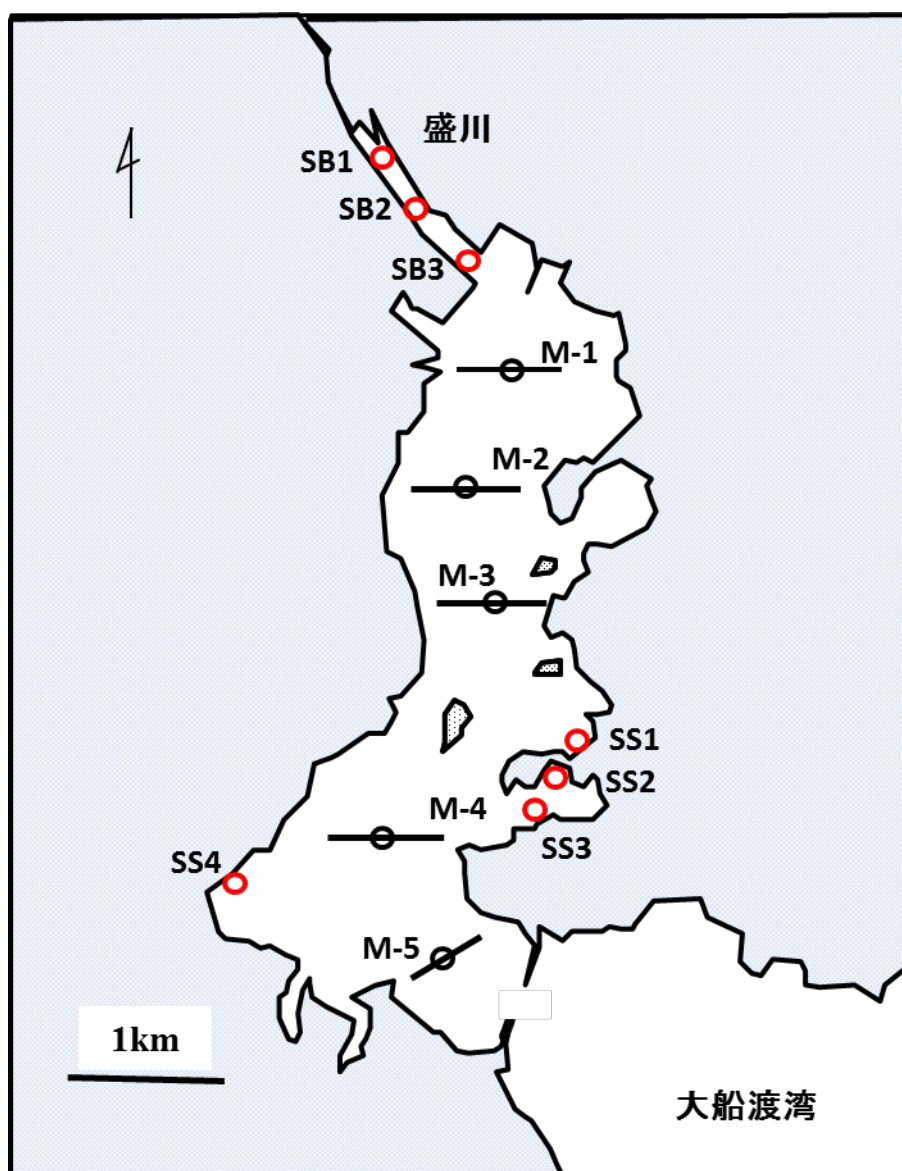


図 4-2 大船渡湾の物理環境観測点 (○)、曳網測線 (M1～M5)、盛川河川内汽水域 (SB1～SB3) と大船渡湾内 (SS1～SS4) の採集地点

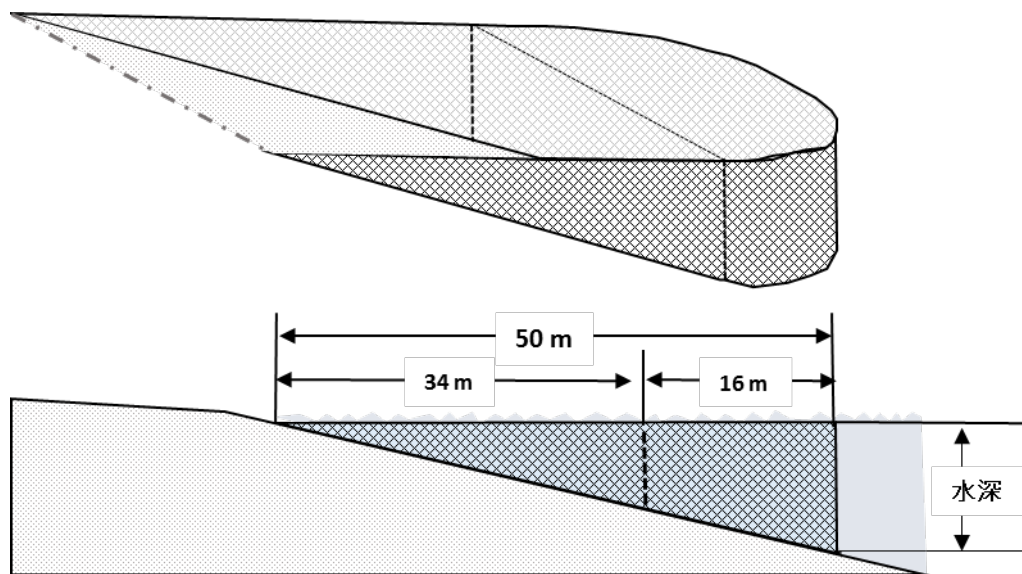


図 4-3 地曳網の曳網方法

長さ 100 m の地曳網を岸から 50 m の地点に投入し、網の両端に結びつけたロープで岸まで引き揚げた。網は半円状に開いた状態で岸まで平行に曳かれ、網掛け部分は網により濾水された水塊を示す

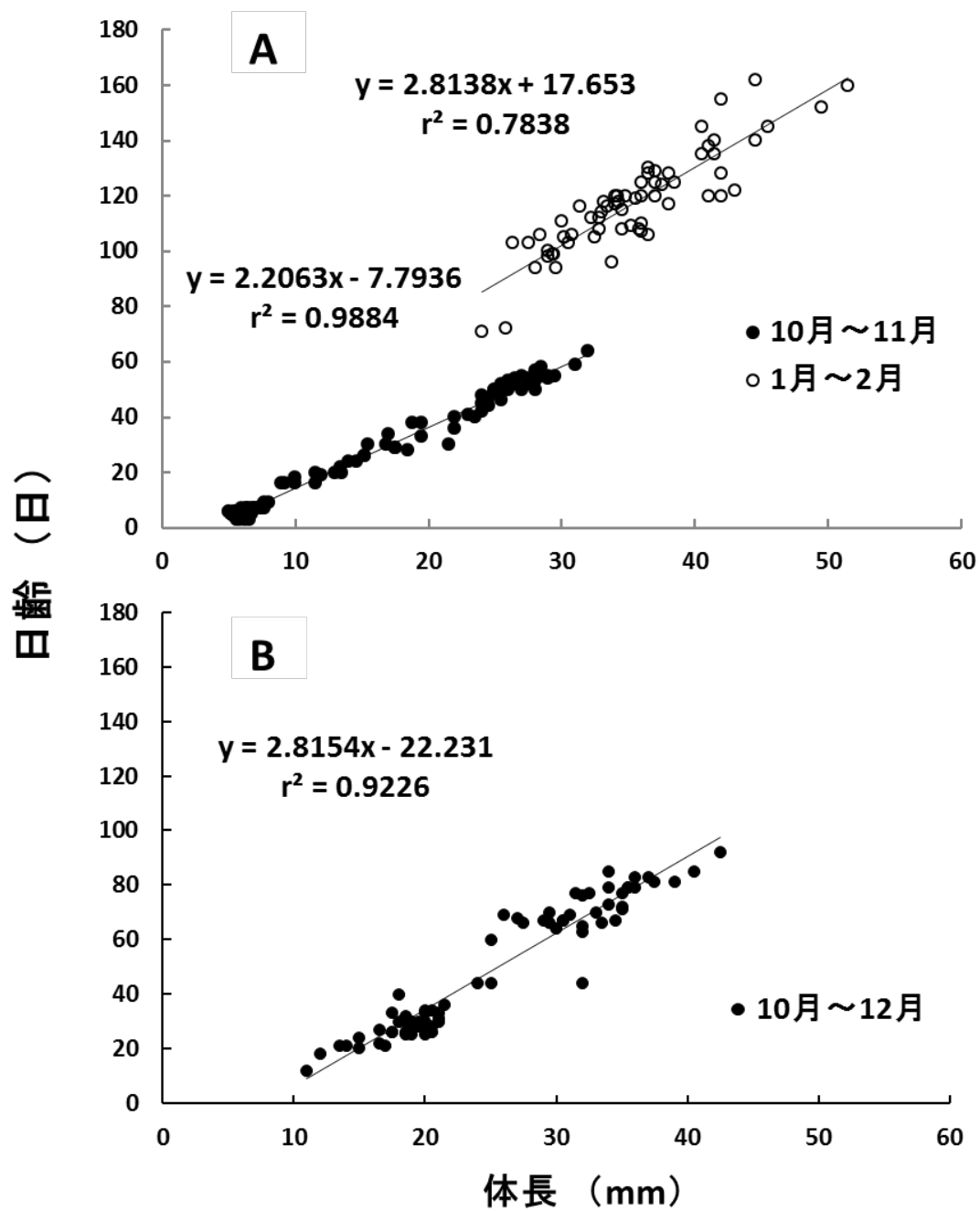


図 4-4 大槌湾 (A) と大船渡湾 (B) で採集された仔稚魚の体長と日齢の関係  
 大槌湾は 2008 年級と 2009 年級、大船渡湾は 2009 年級の仔稚魚のデータを用いた

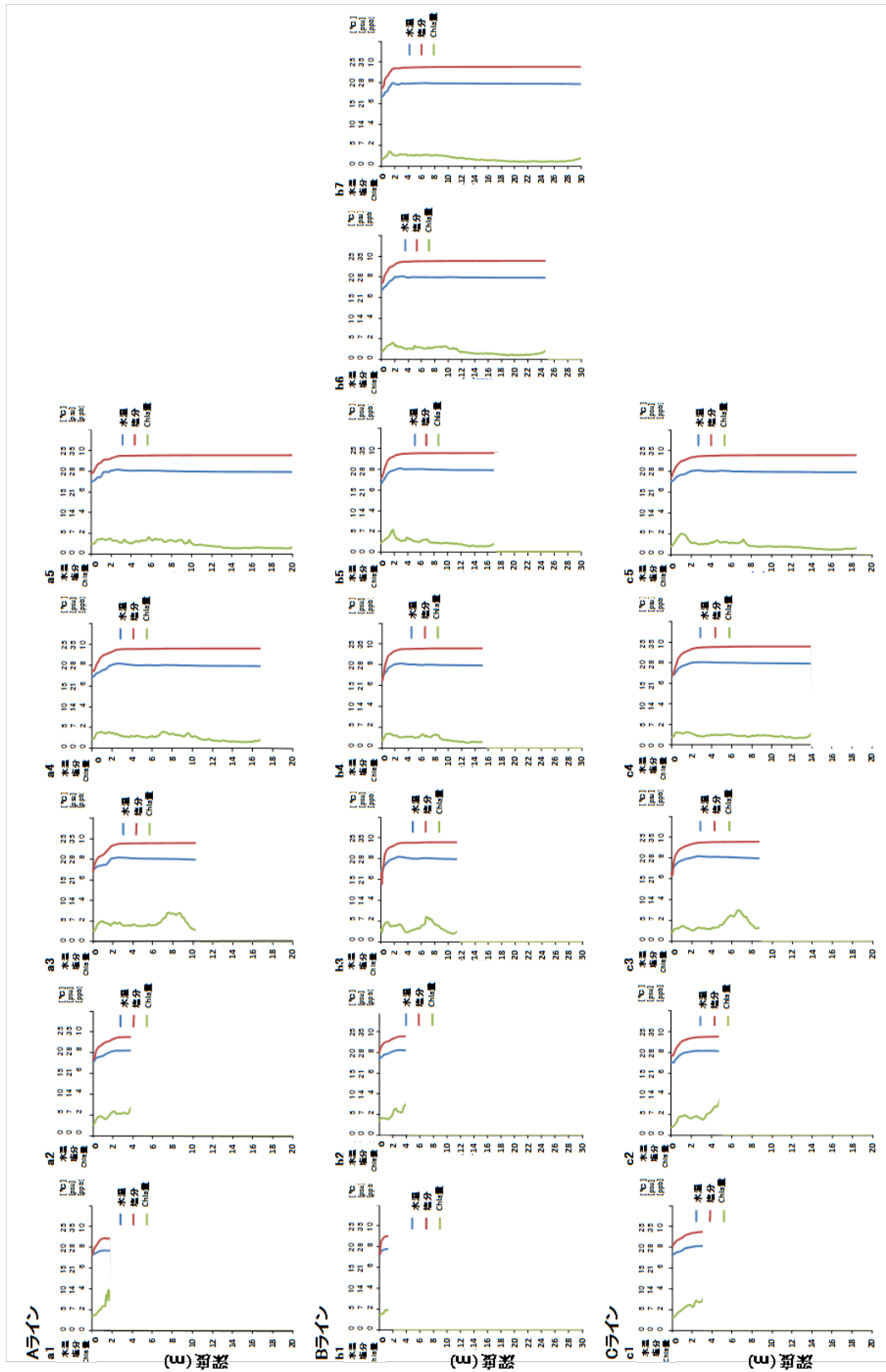


図4-5-1 大槌湾の干潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量(Chla量)の鉛直分布



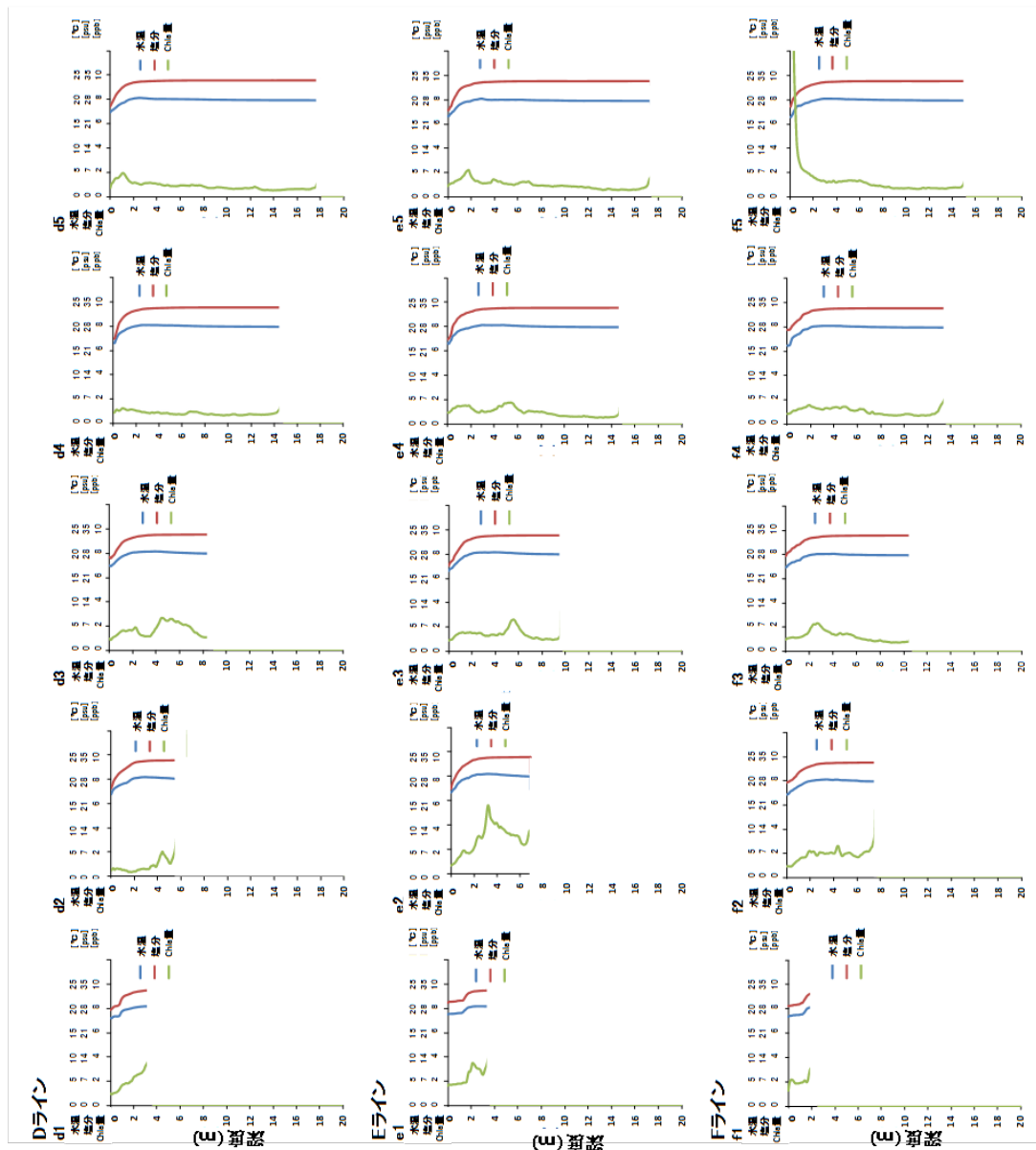


図4-5-2 大槌湾の干潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量(Chla量)の鉛直分布

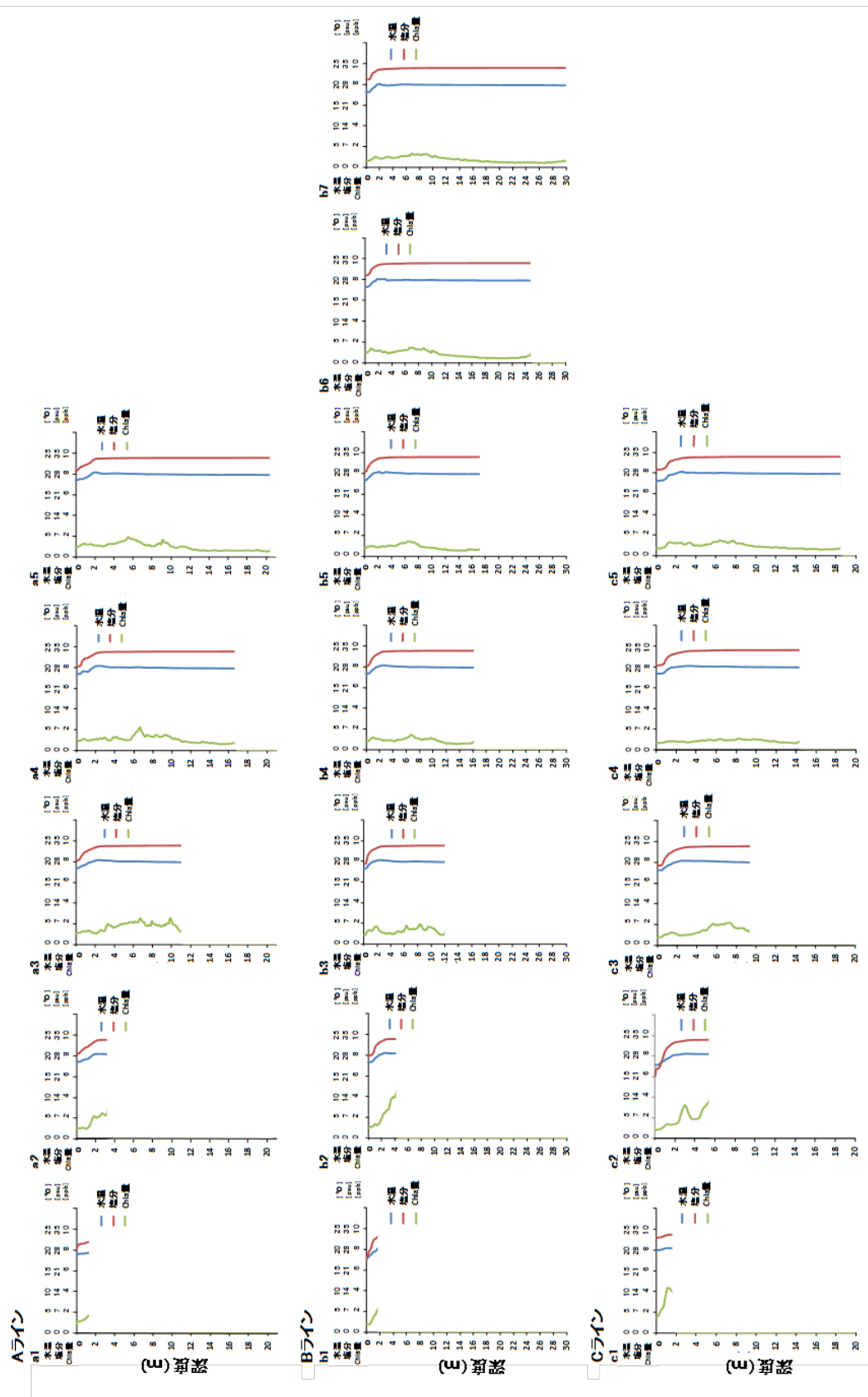


図4-5-3 大槌湾の中間潮位時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量(Chla量)の鉛直分布

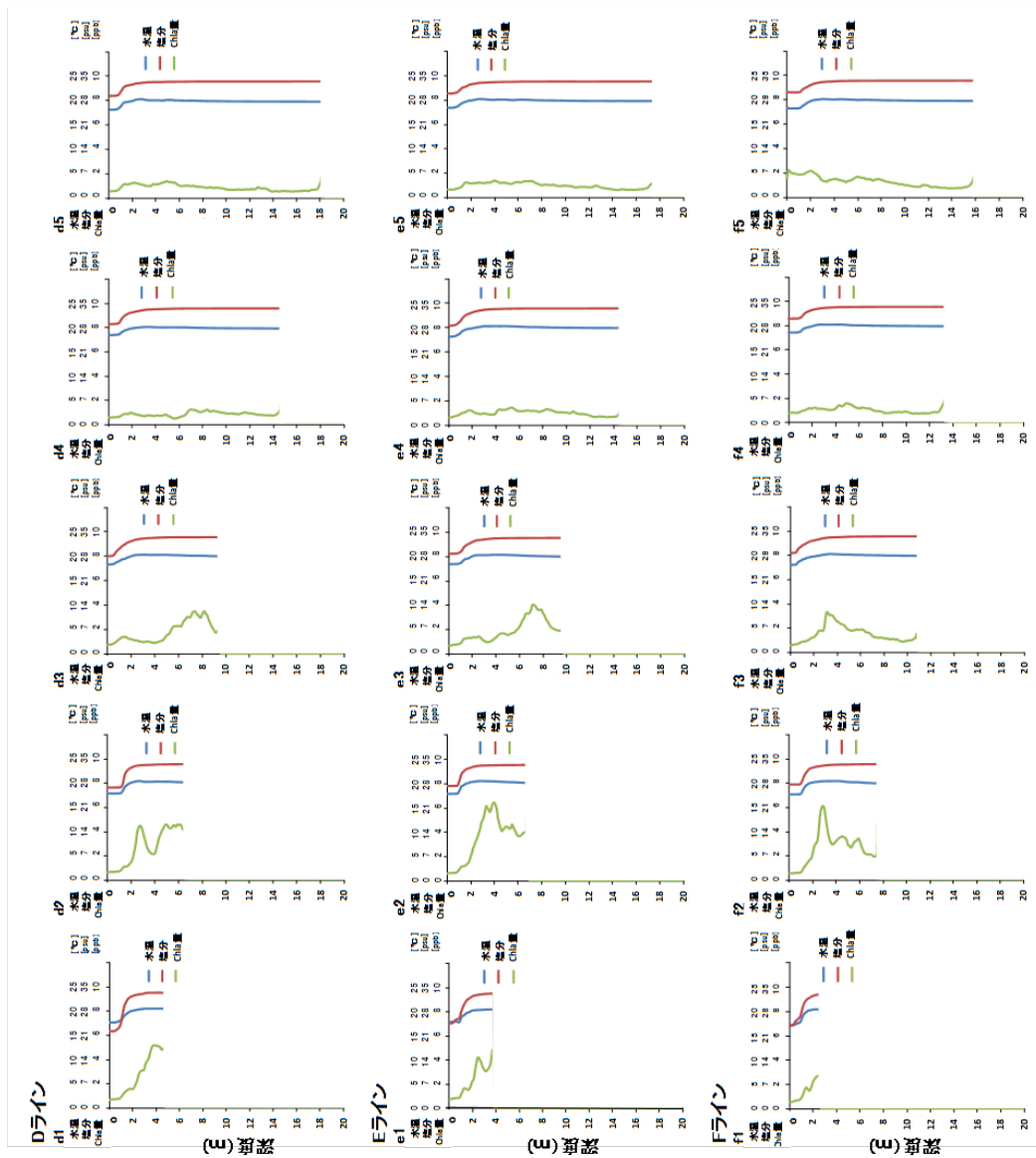


図4-5-4 大槌湾の中間潮位時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量(Chla量)の鉛直分布

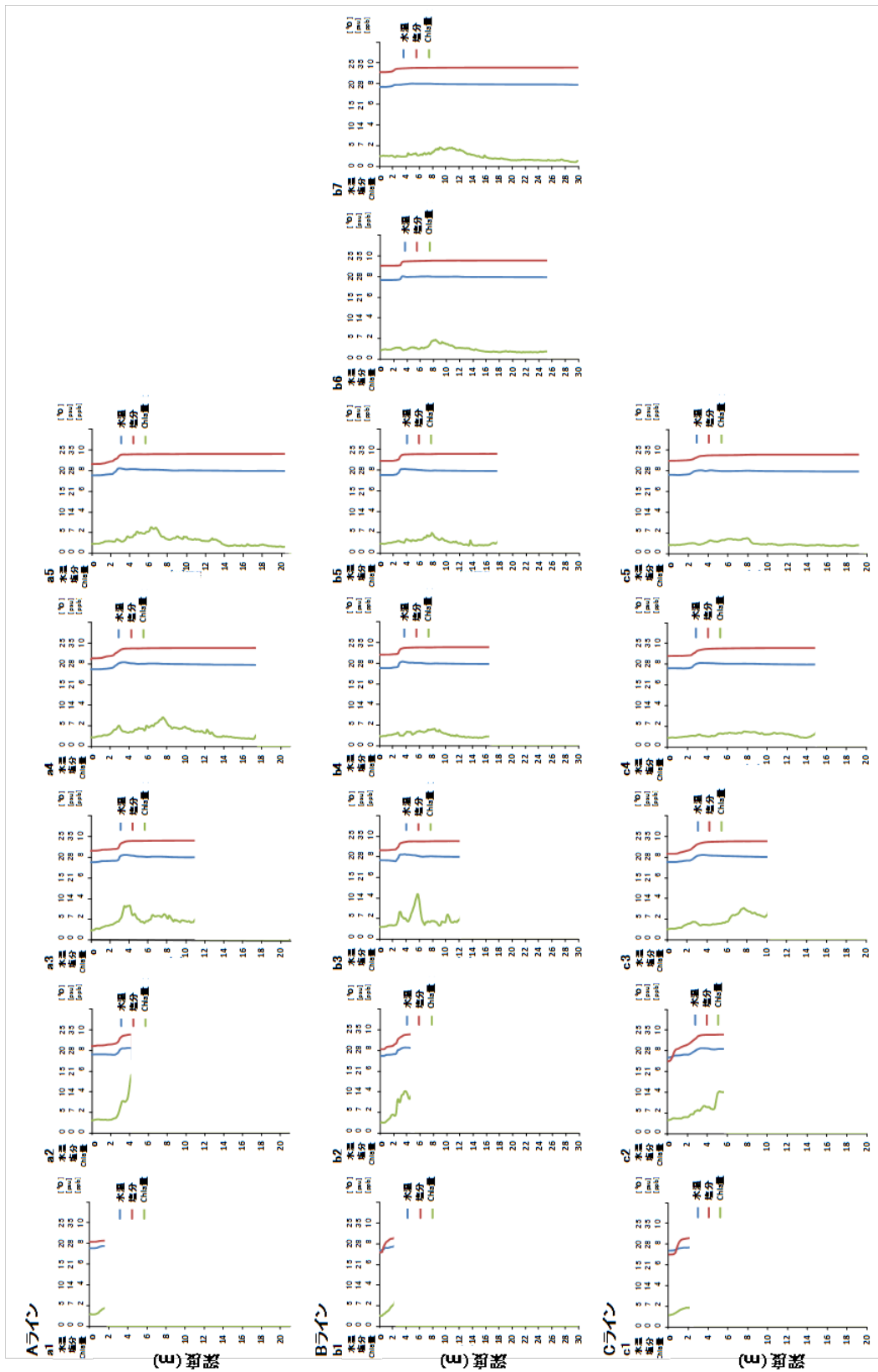


図4-5-5 大槌湾の満潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量(Chla量)の鉛直分布

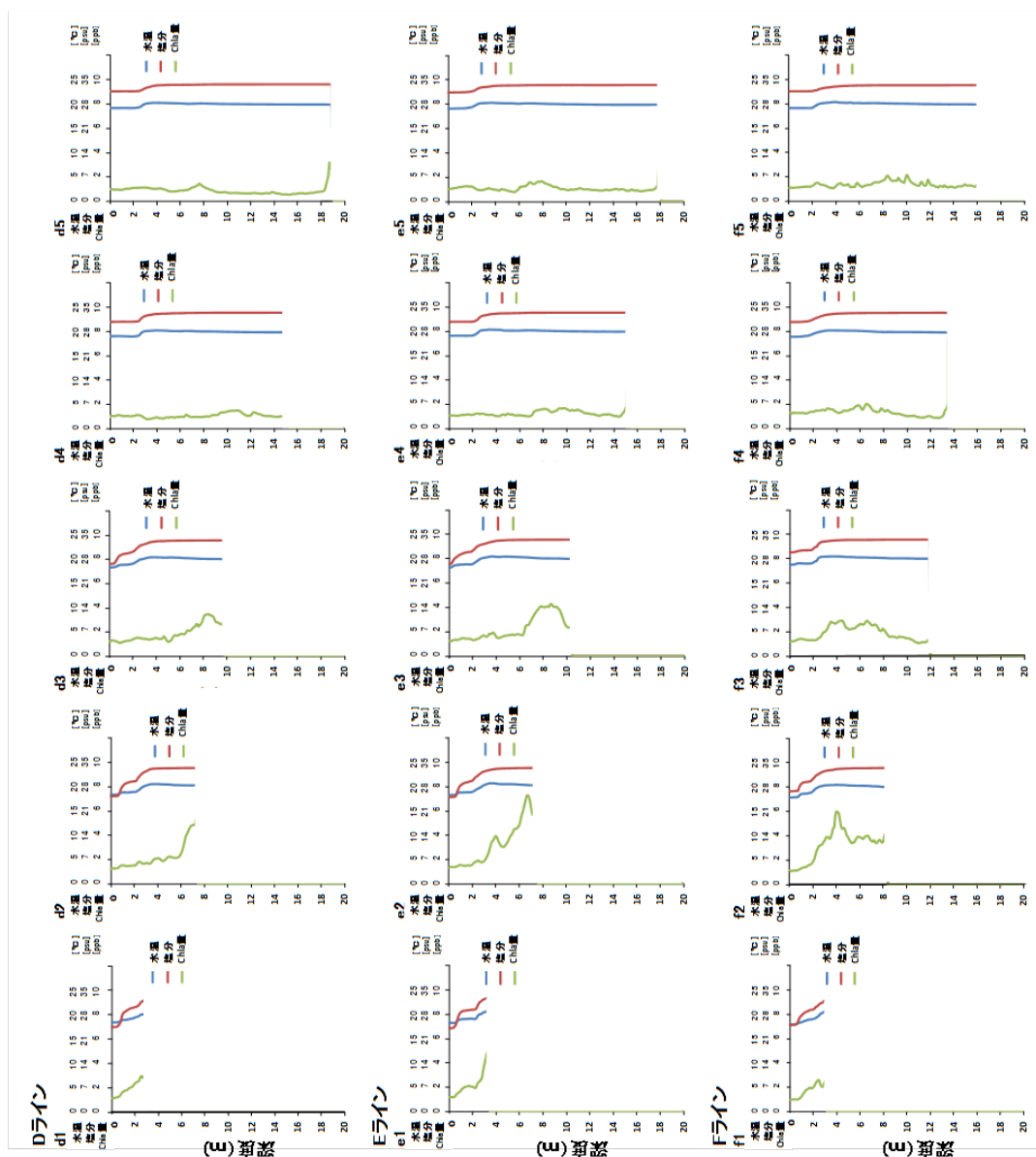


図4-5-6 大槌湾の満潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、蛍光量(クロロフィルa量)の鉛直分布

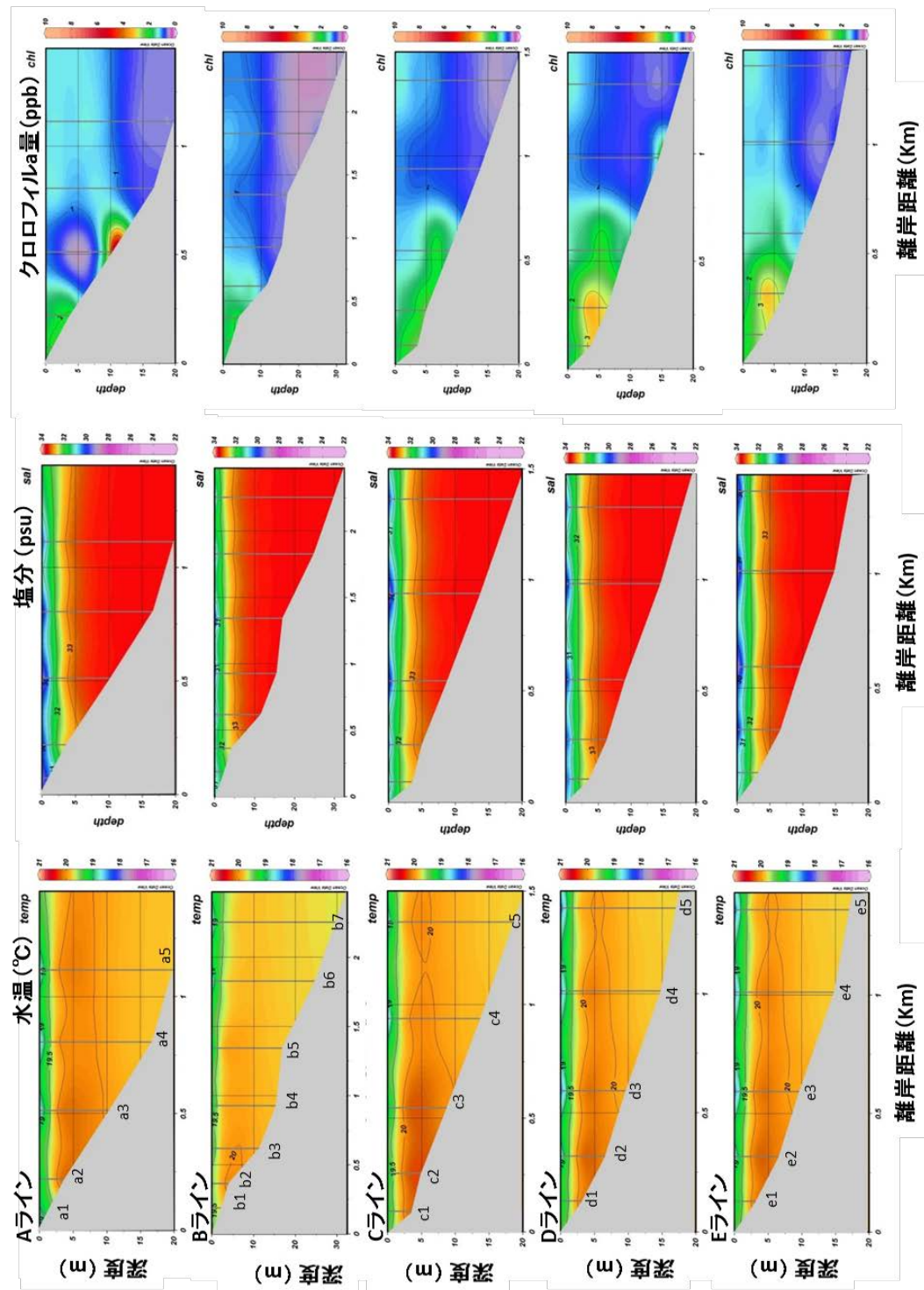


図4-6-1 大槌湾の干潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量のA～Eラインの鉛直断面



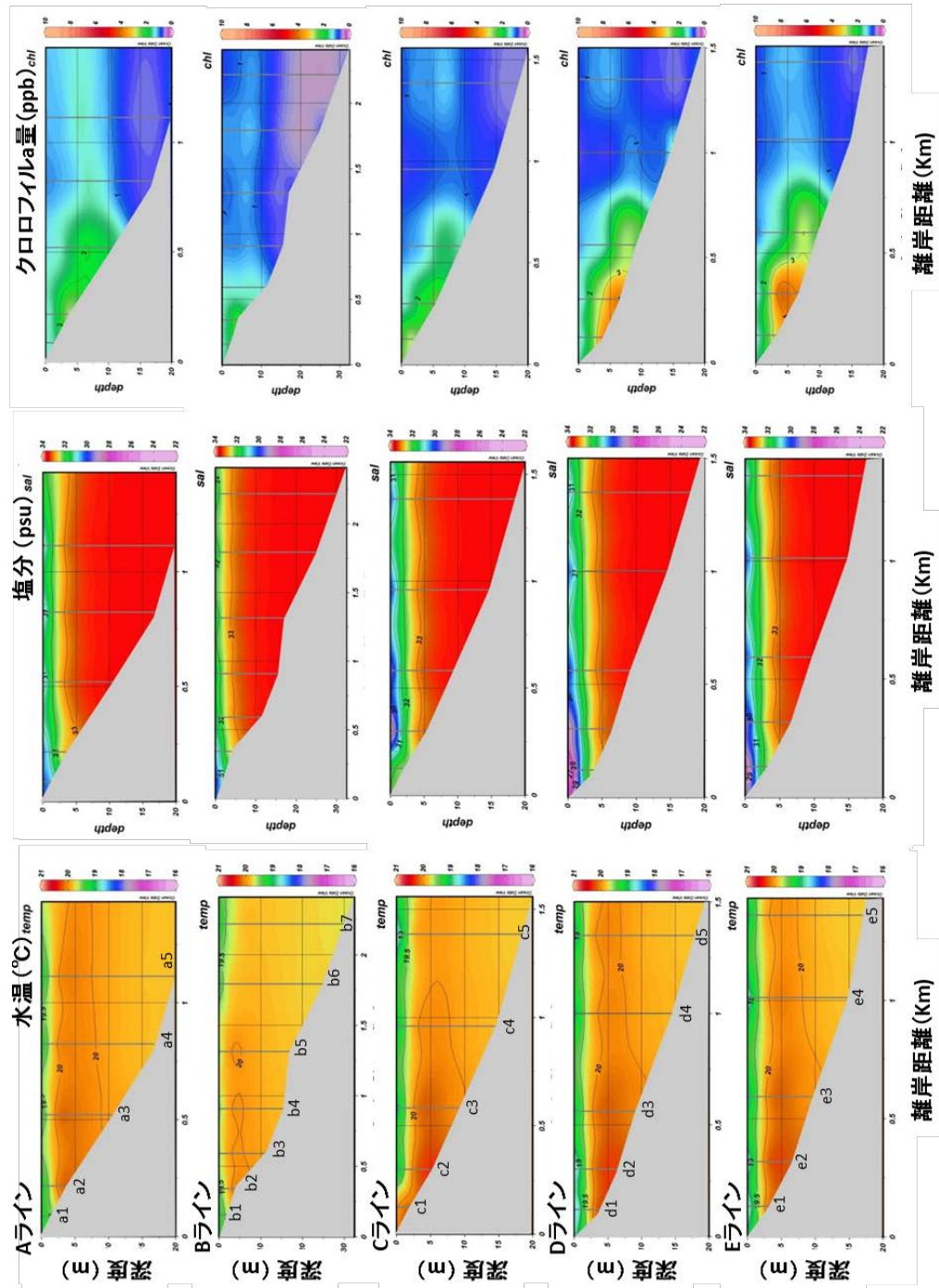


図4-6-2 大槌湾の中間潮位時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量のA～Eラインの鉛直断面

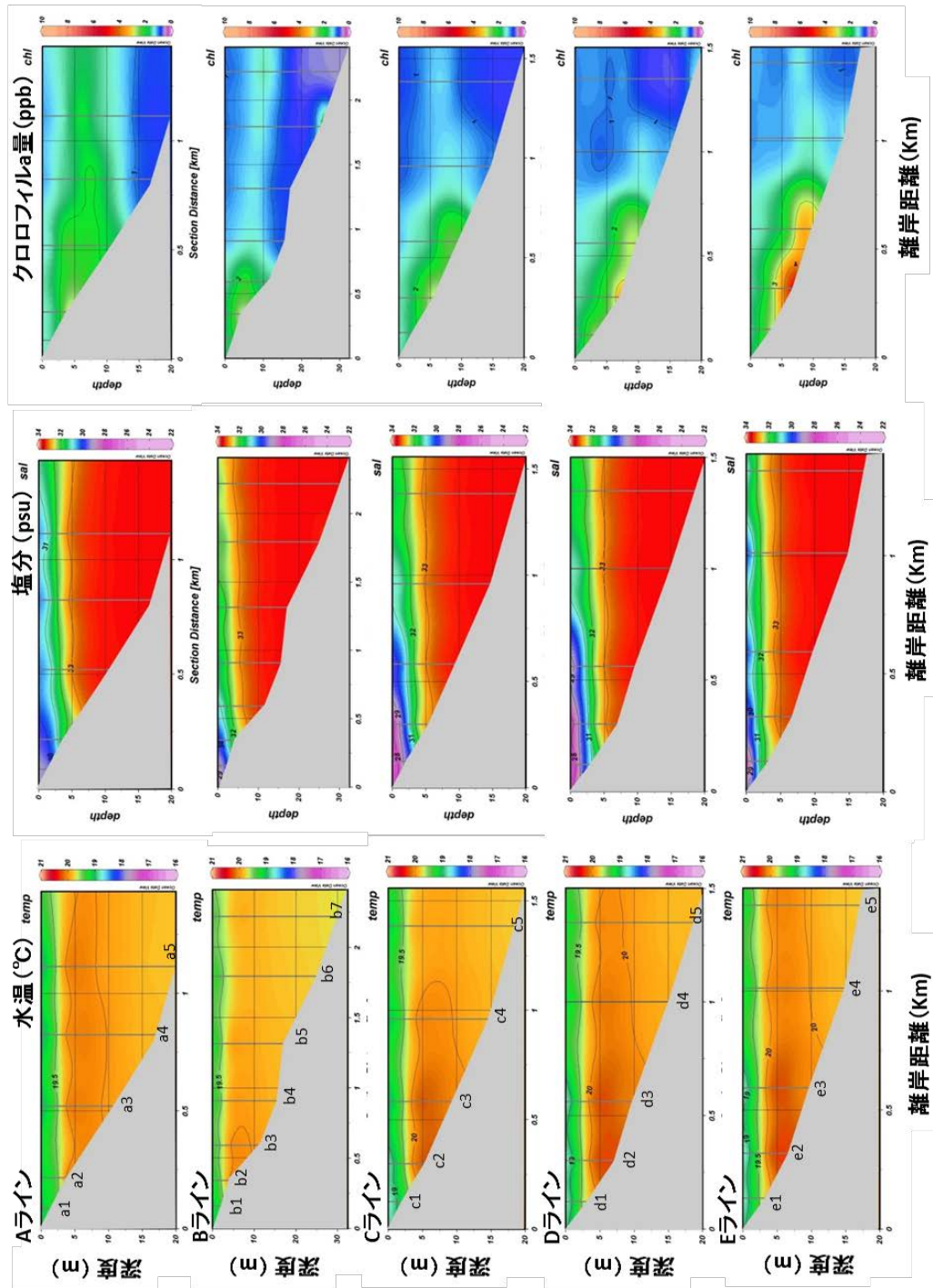


図4-6-3 大槌湾の満潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量のA～Eラインの鉛直断面



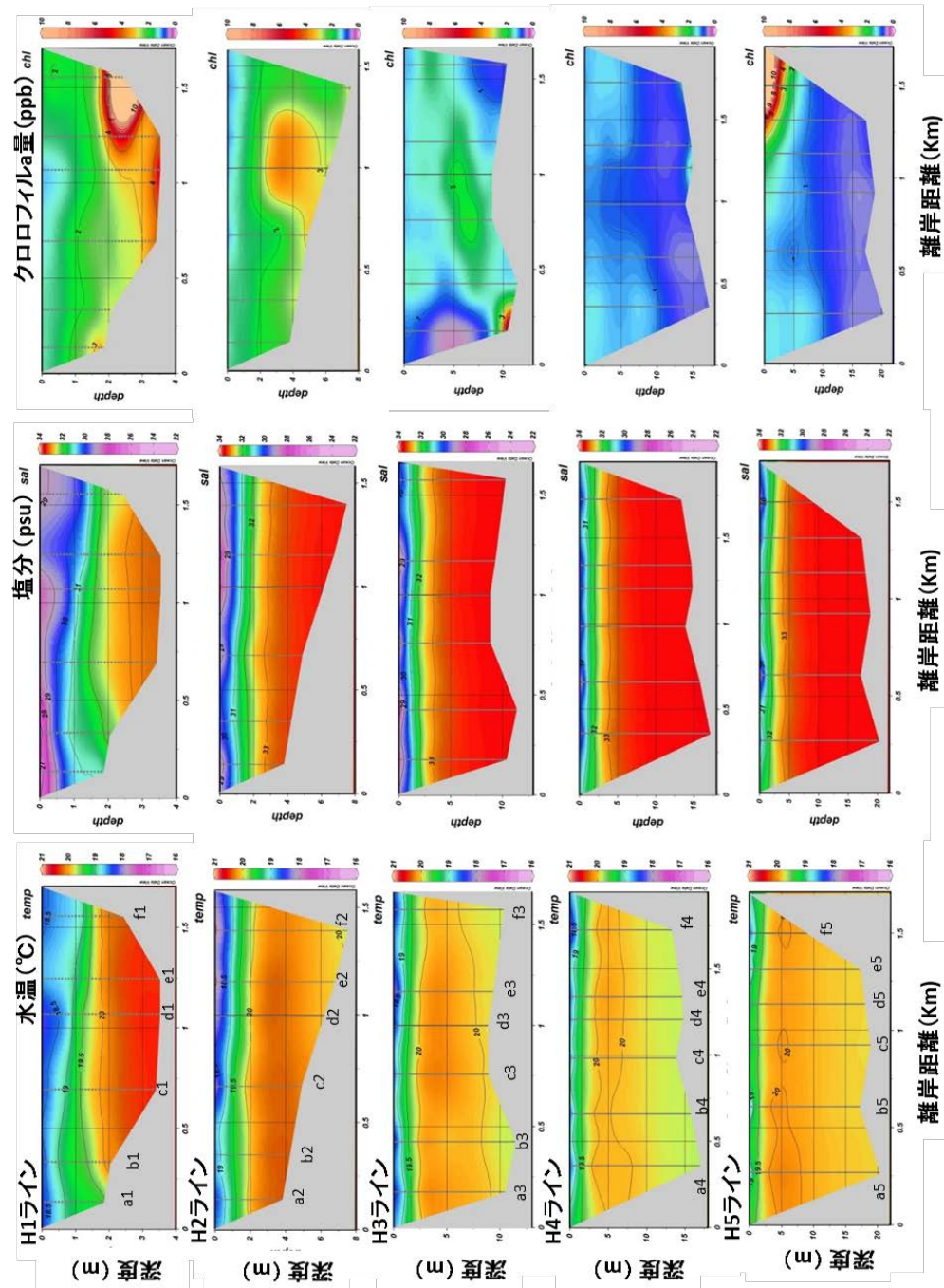


図4-6-4 大槌湾の干潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量のH1～H5ラインの鉛直断面

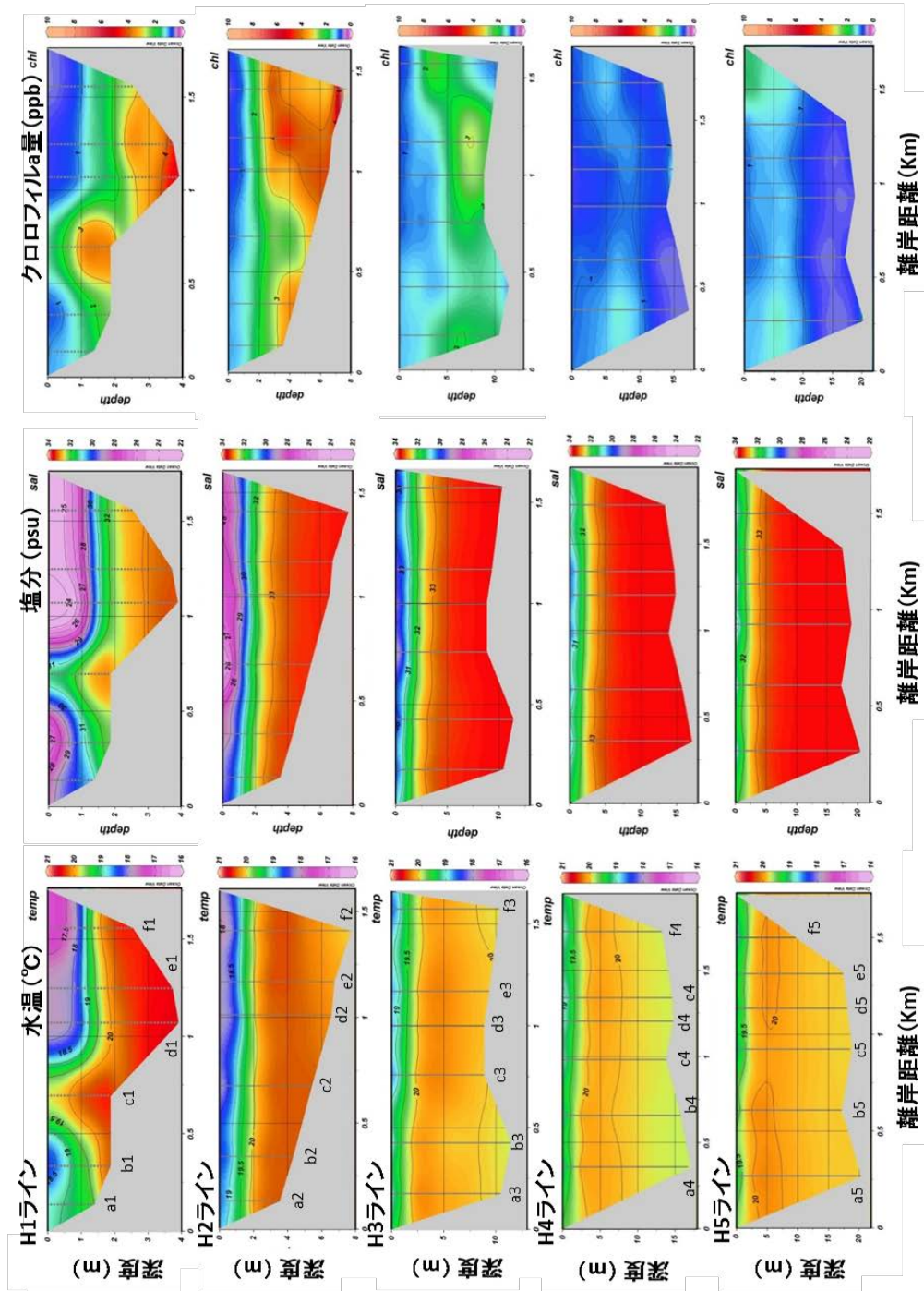


図4-6-5 大槌湾の中間潮位時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量のH1～H5ラインの鉛直断面

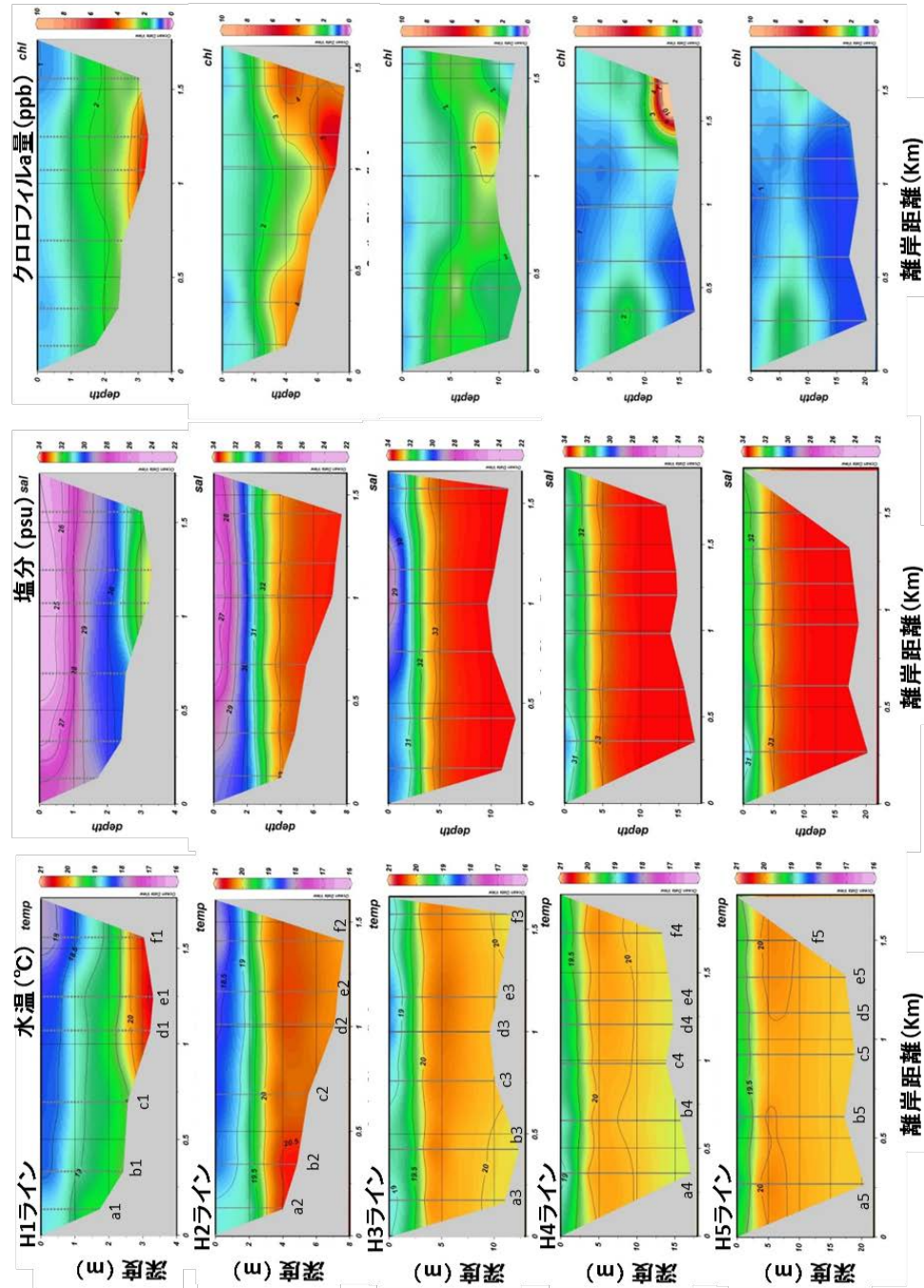


図4-6-6 大槌湾の満潮時(2010年10月22日)における水温、塩分、クロロフィルa量のH1～H5ラインの鉛直断面



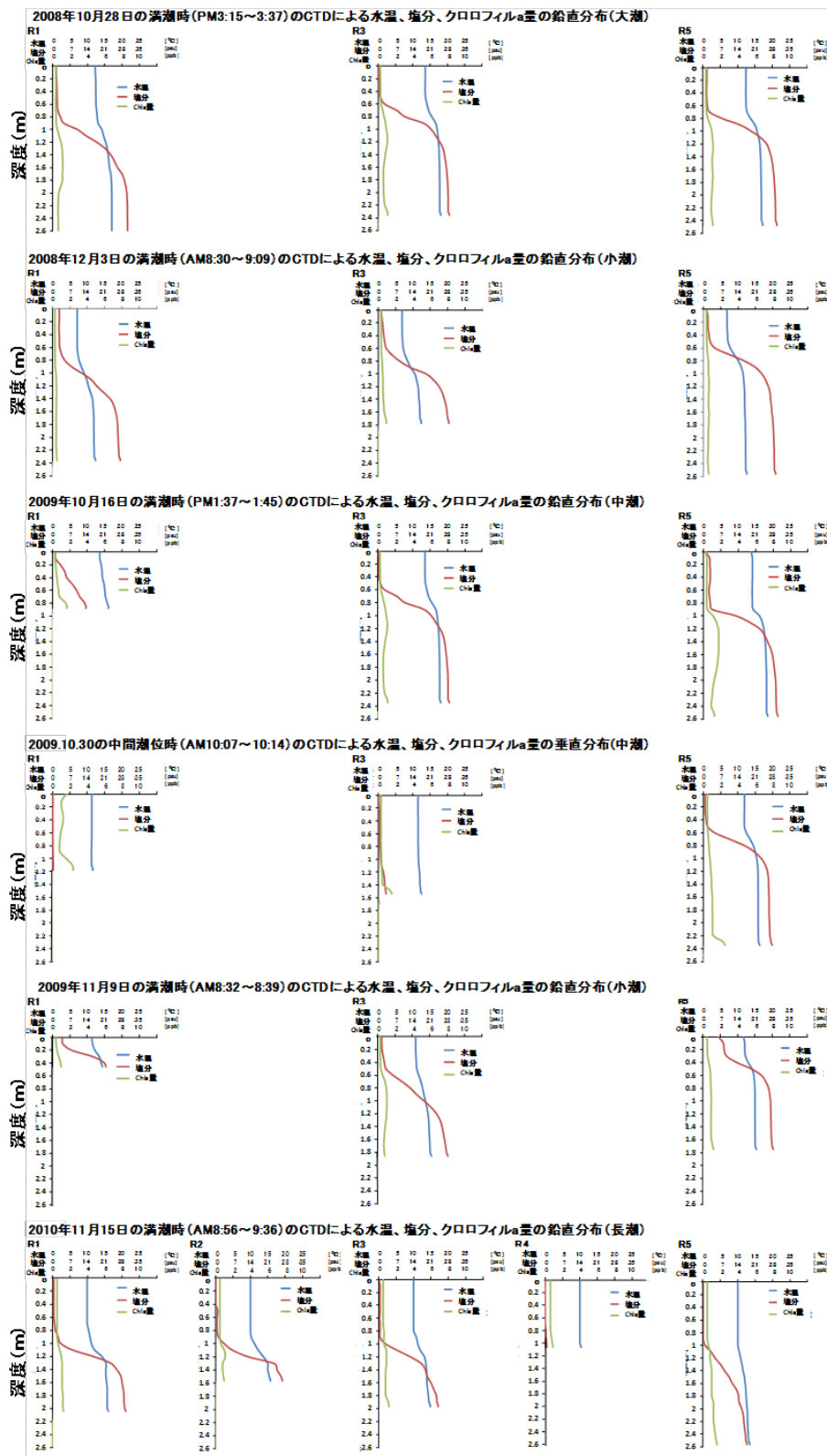
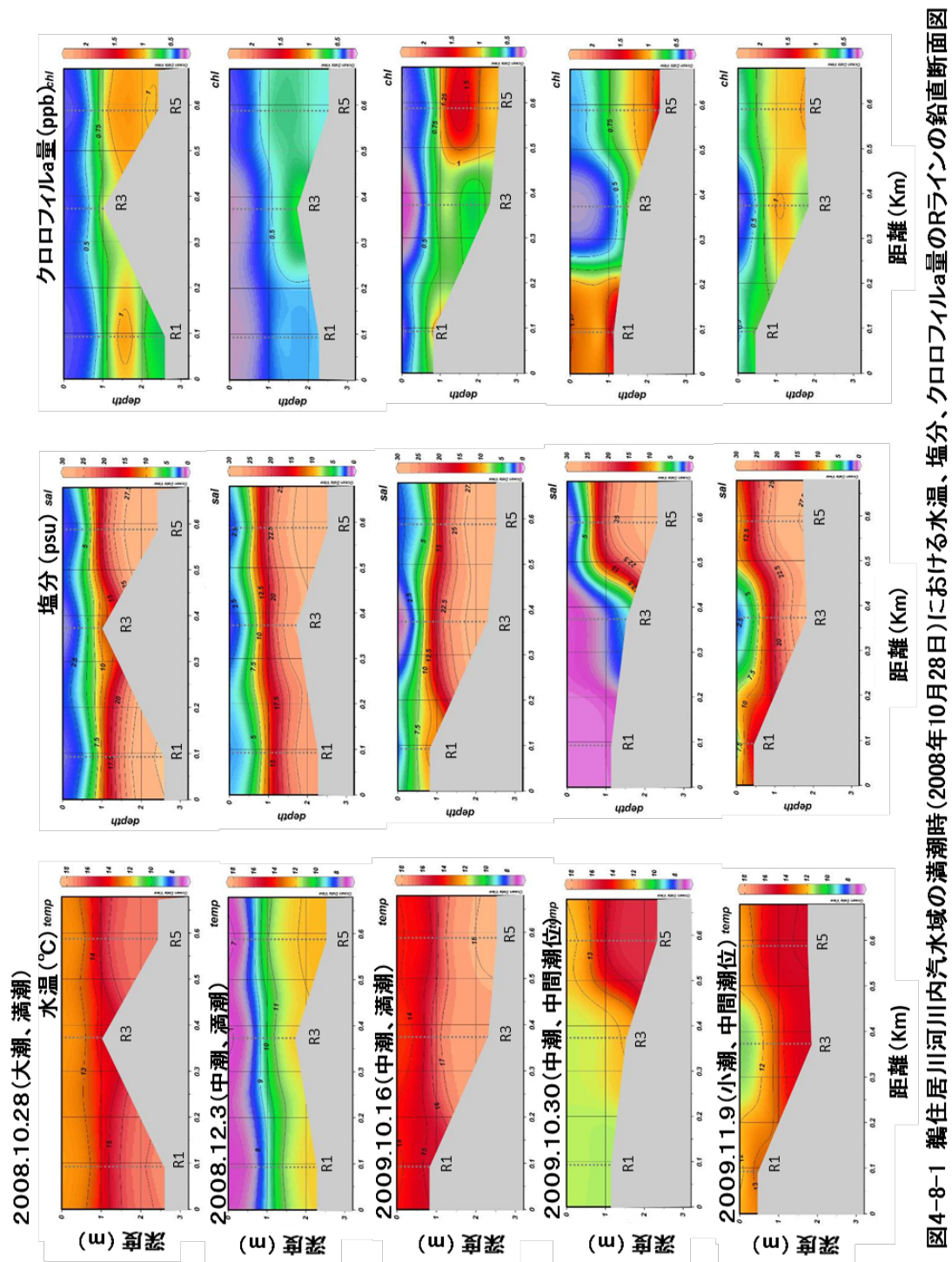


図4-7 鶴住居川河川内汽水域の測点R1~R5の水温、塩分、クロロフィルa量の鉛直分布



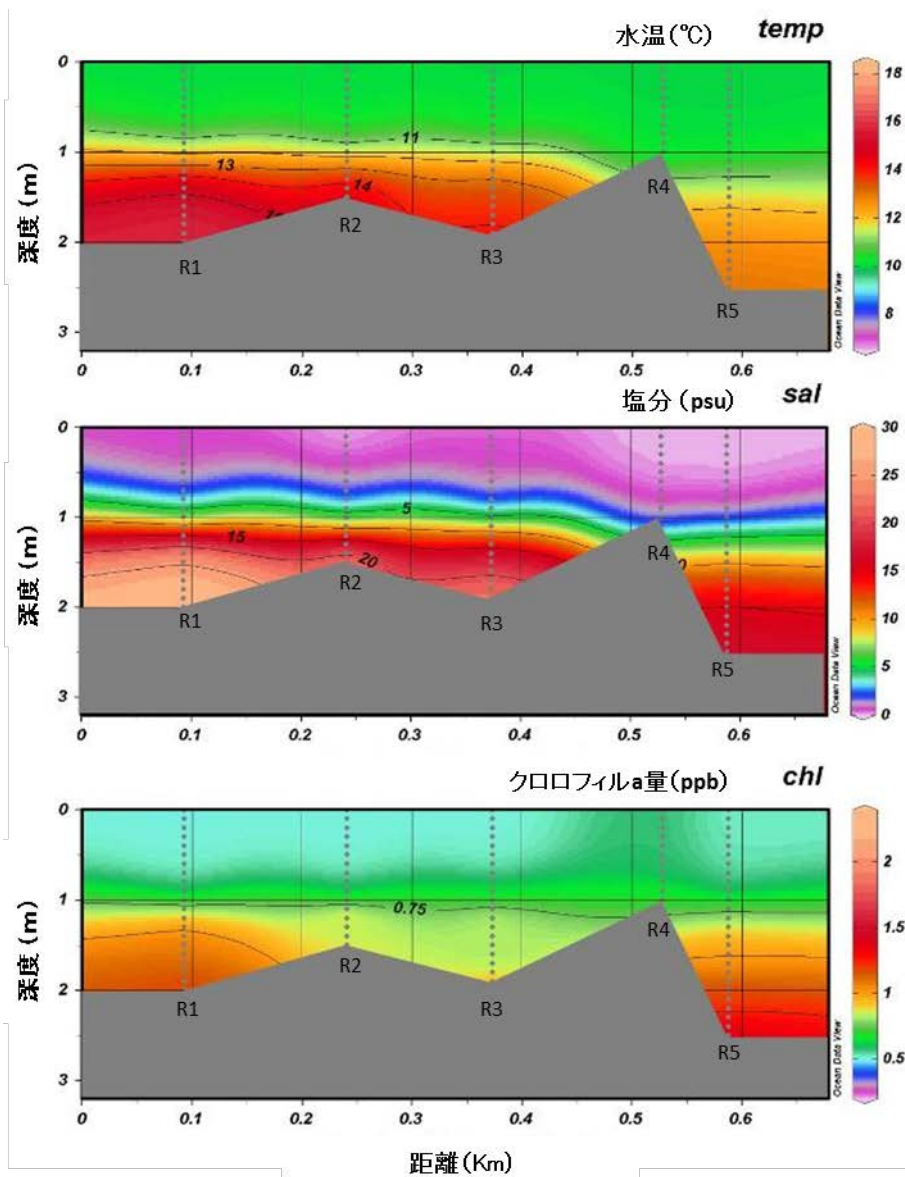


図4-8-2 鶴住居川河川内汽水域Rライン2010年11月15日(満潮)における水温、塩分、クロロフィルa量の鉛直断面図

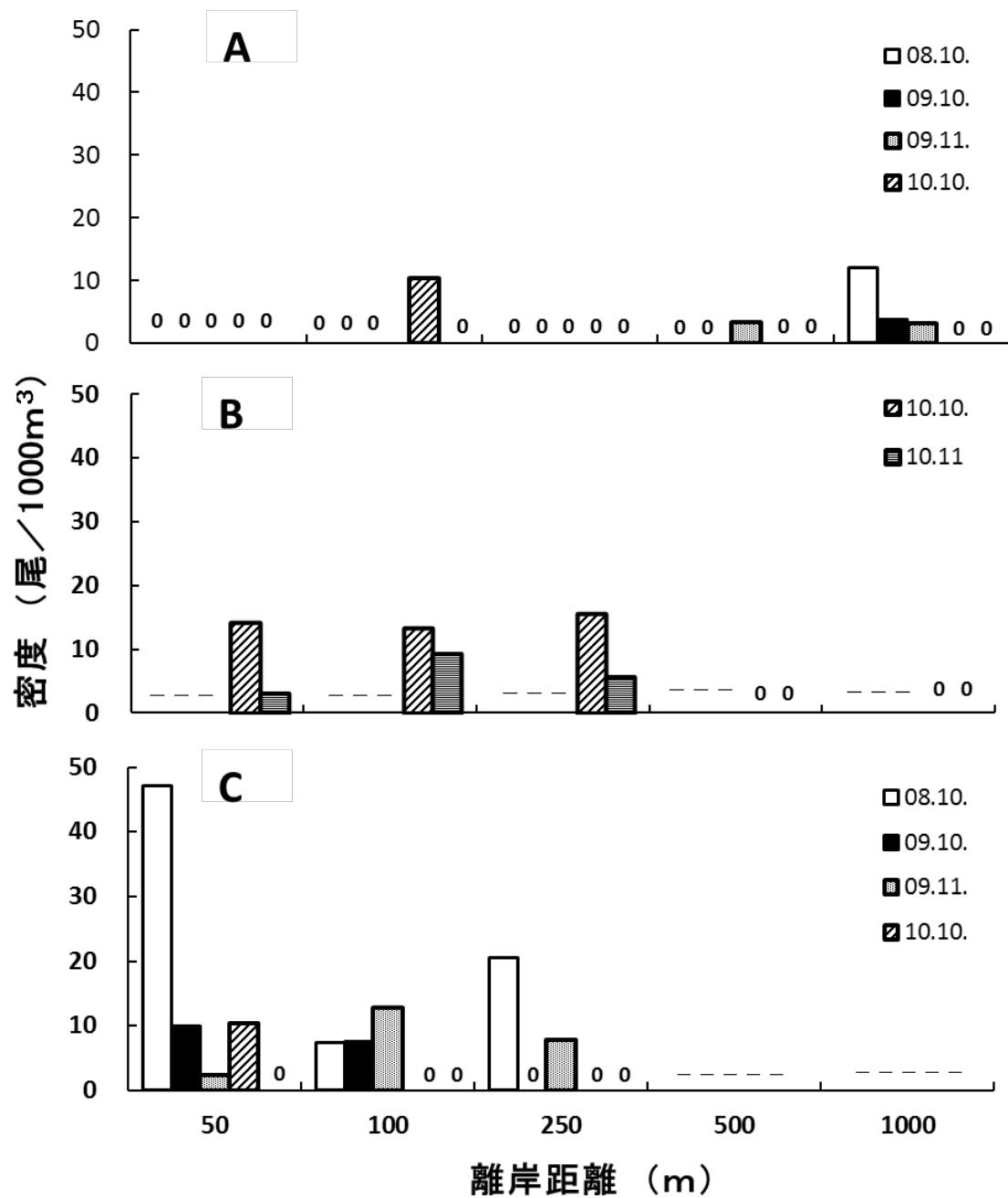


図 4-9 大槌湾における離岸距離とアユ仔稚魚の分布密度

A：表層、B：表層（サイド曳）、C：底層

0 は採集尾数なし、－は調査を行わなかったことを示す

凡例の 08.10、09.10、09.11、10.10、10.11 はそれぞれ 2008 年 10 月、2009 年 10 月、2009 年 11 月、2010 年 10 月、2010 年 11 月を示す

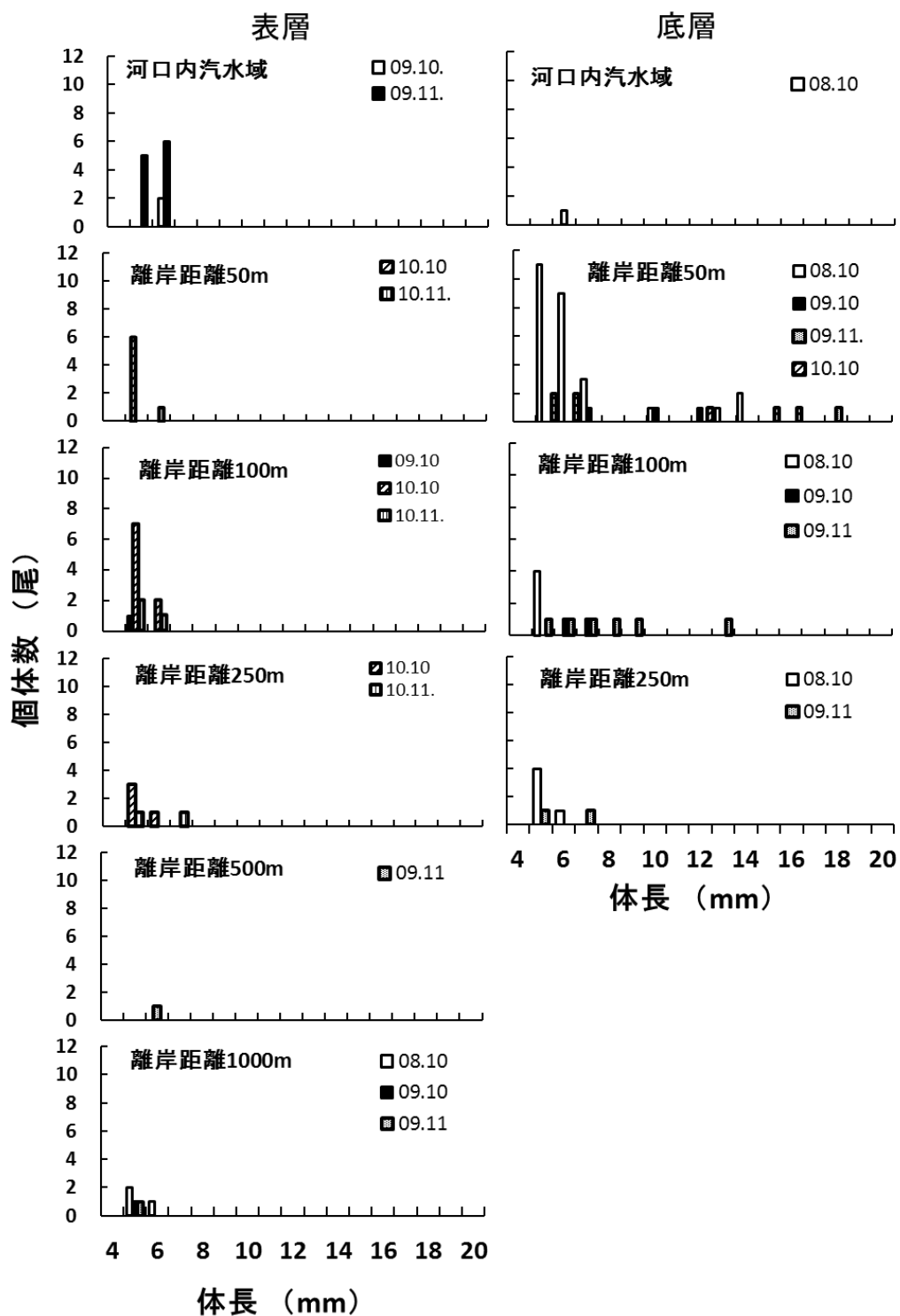


図 4-10 大槌湾海域および鵜住居川河川内汽水域で採集されたアユ仔稚魚の体長組成

凡例の 08.10、09.10、09.11、10.10、10.11 はそれぞれ 2008 年 10 月、2009 年 10 月、2009 年 11 月、2010 年 10 月、2010 年 11 月を示す



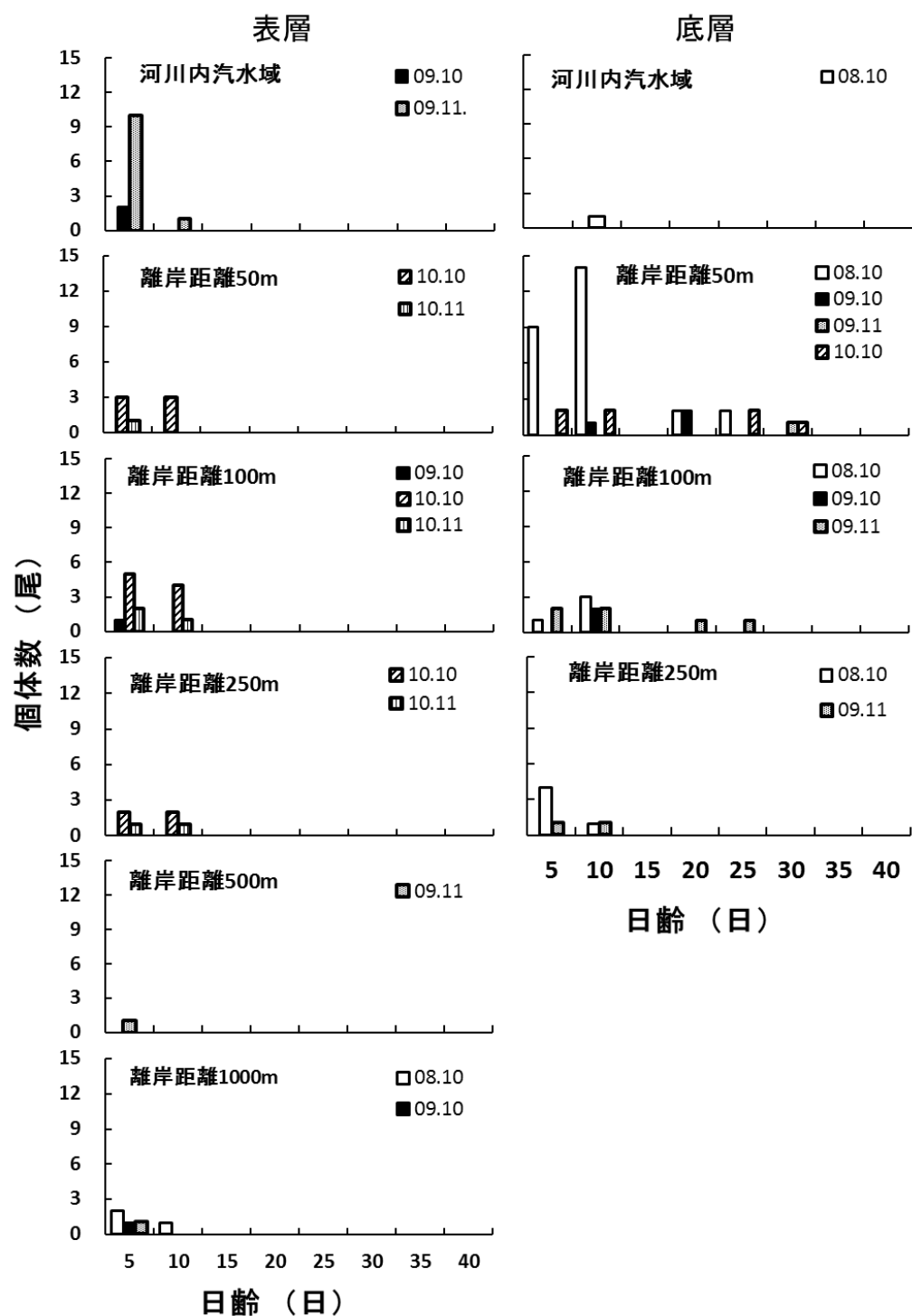


図 4-11 大槌湾海域および鵜住居川河川内汽水域で採集されたアユ仔稚魚の日齢組成  
 凡例の 08.10、09.10、09.11、10.10、10.11 はそれぞれ 2008 年 10 月、2009 年 10 月、2009 年 11 月、2010 年 10 月、2010 年 11 月を示す

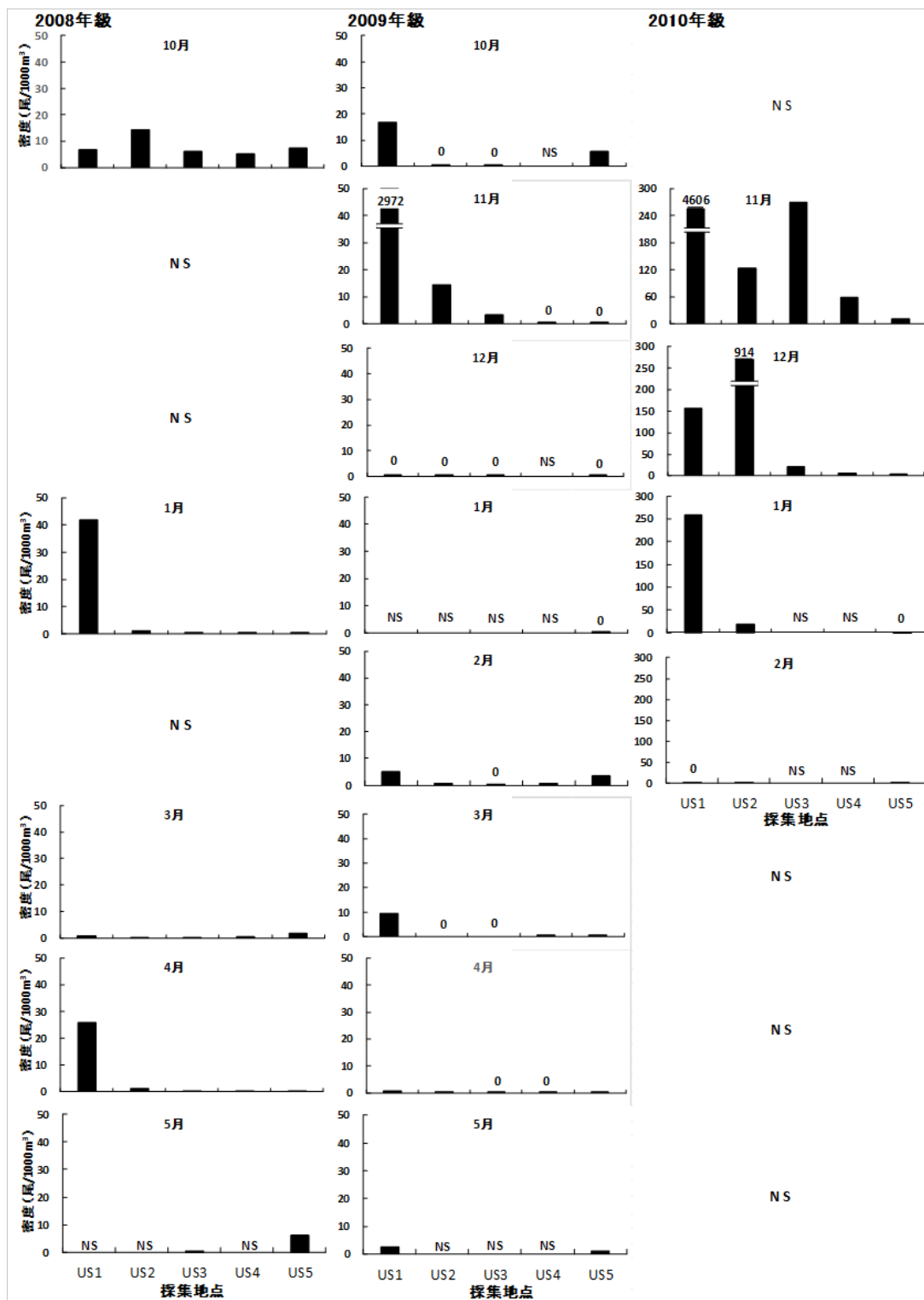


図 4-12 大槌湾砕波帯におけるアユ仔稚魚の分布密度の経月変化  
NS は調査を行わなかったことを示す

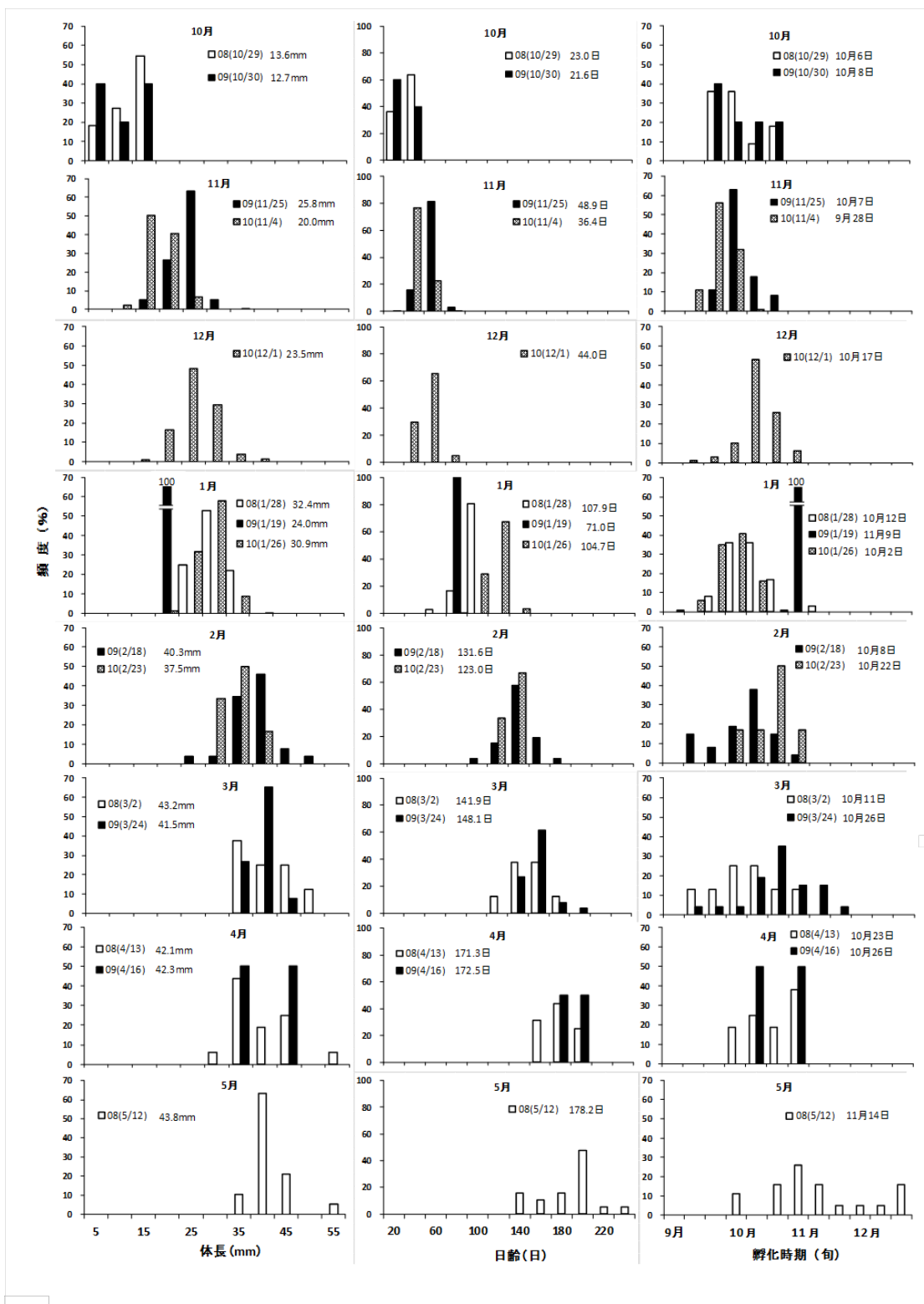


図 4-13 大槌湾におけるアユ仔稚魚の体長、日齢、孵化時期（旬）の組成（％）

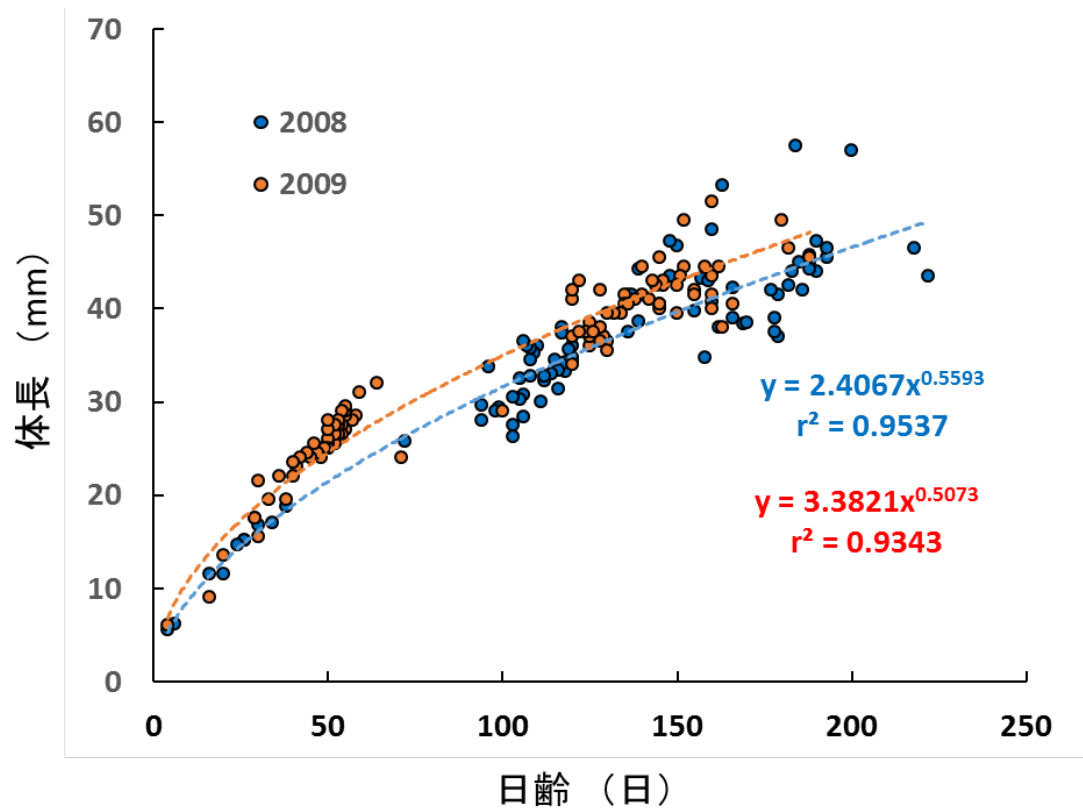


図 4-14 2008 年級 ( ) 2009 年級 ( ) の 榎湾の海域一砕波帯で採集されたアユ  
 仔稚魚の日齢と体長の関係

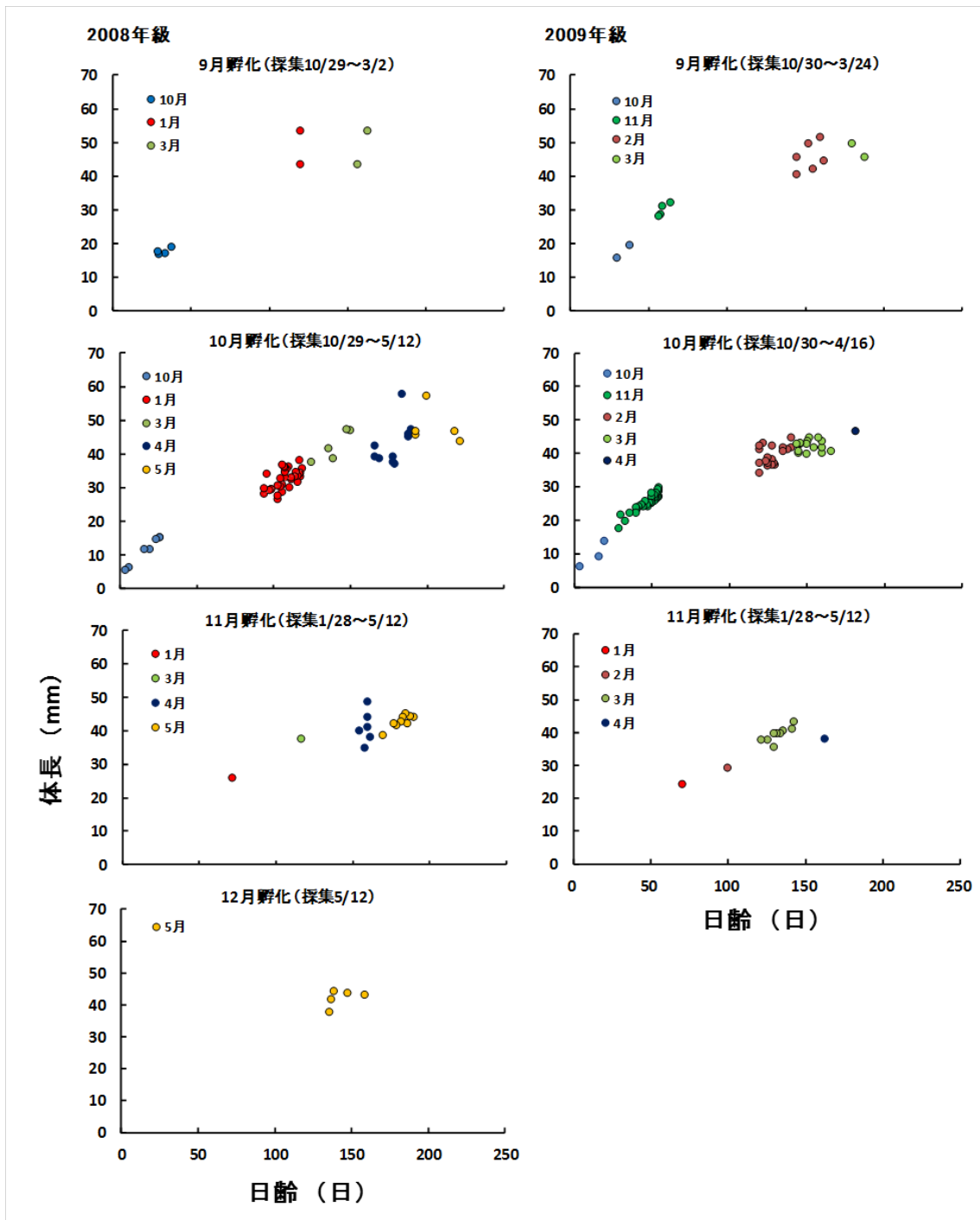


図 4-15 大槌湾における 2008 年級と 2009 年級のアユ仔稚魚の孵化月別の日齢と体長の関係

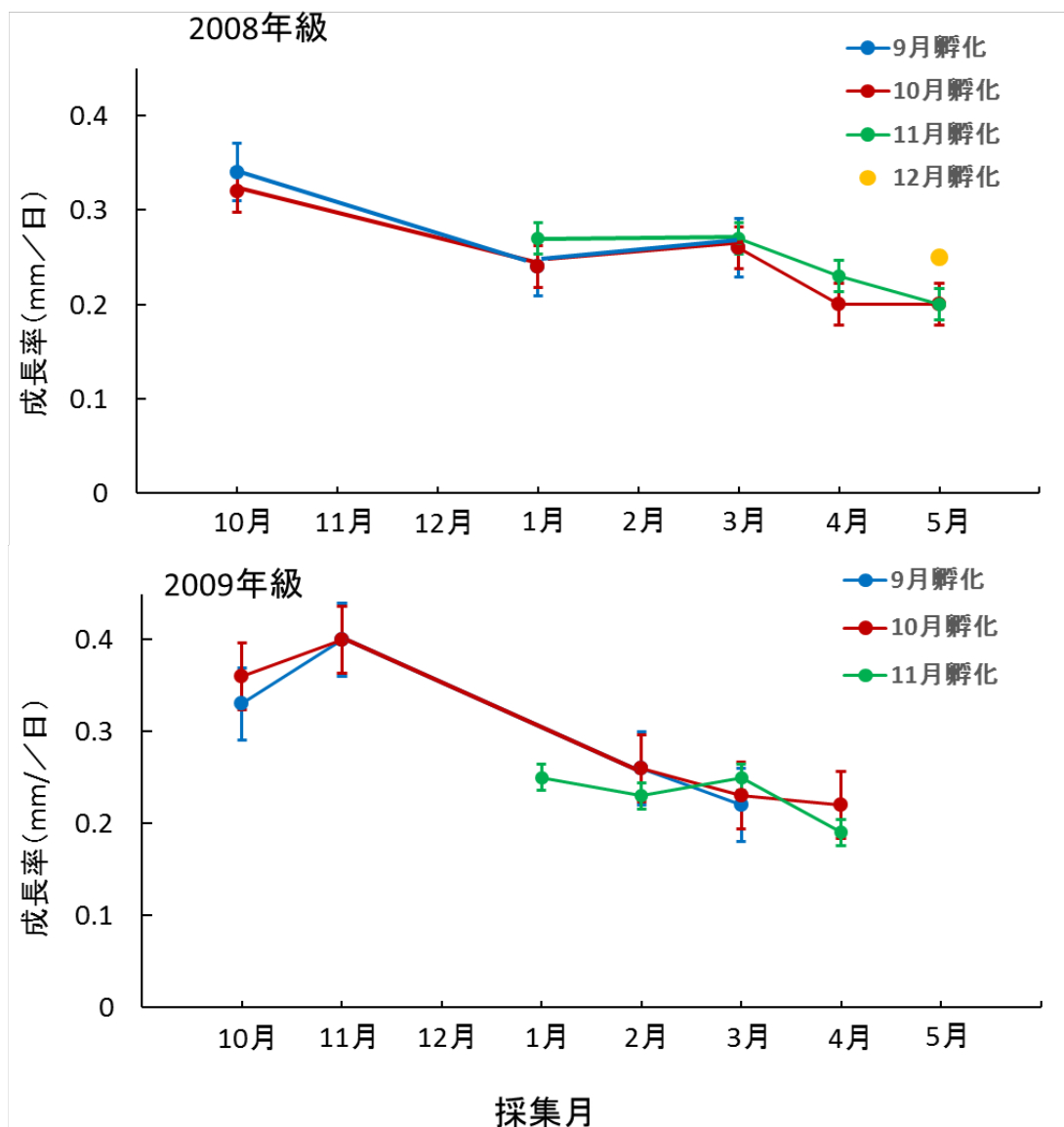


図 4-16 大槌湾の砕波帯における 2008 年級と 2009 年級のアユ仔稚魚の孵化月別の成長率の変化  
 図中各点の縦線は標準偏差を示す

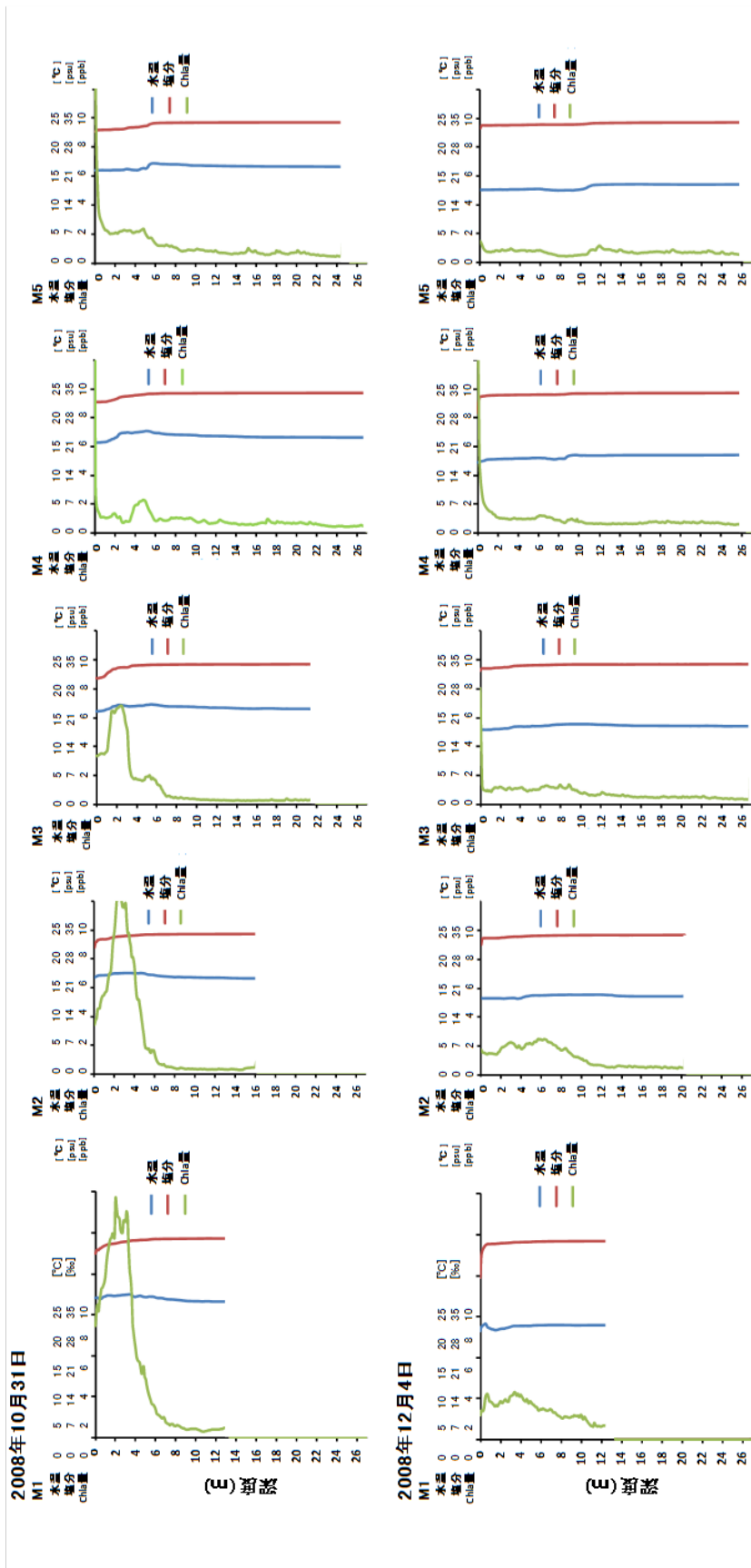


図4-17 大船渡湾における水温、塩分、クロロフィルa量(Chla量)の鉛直分布

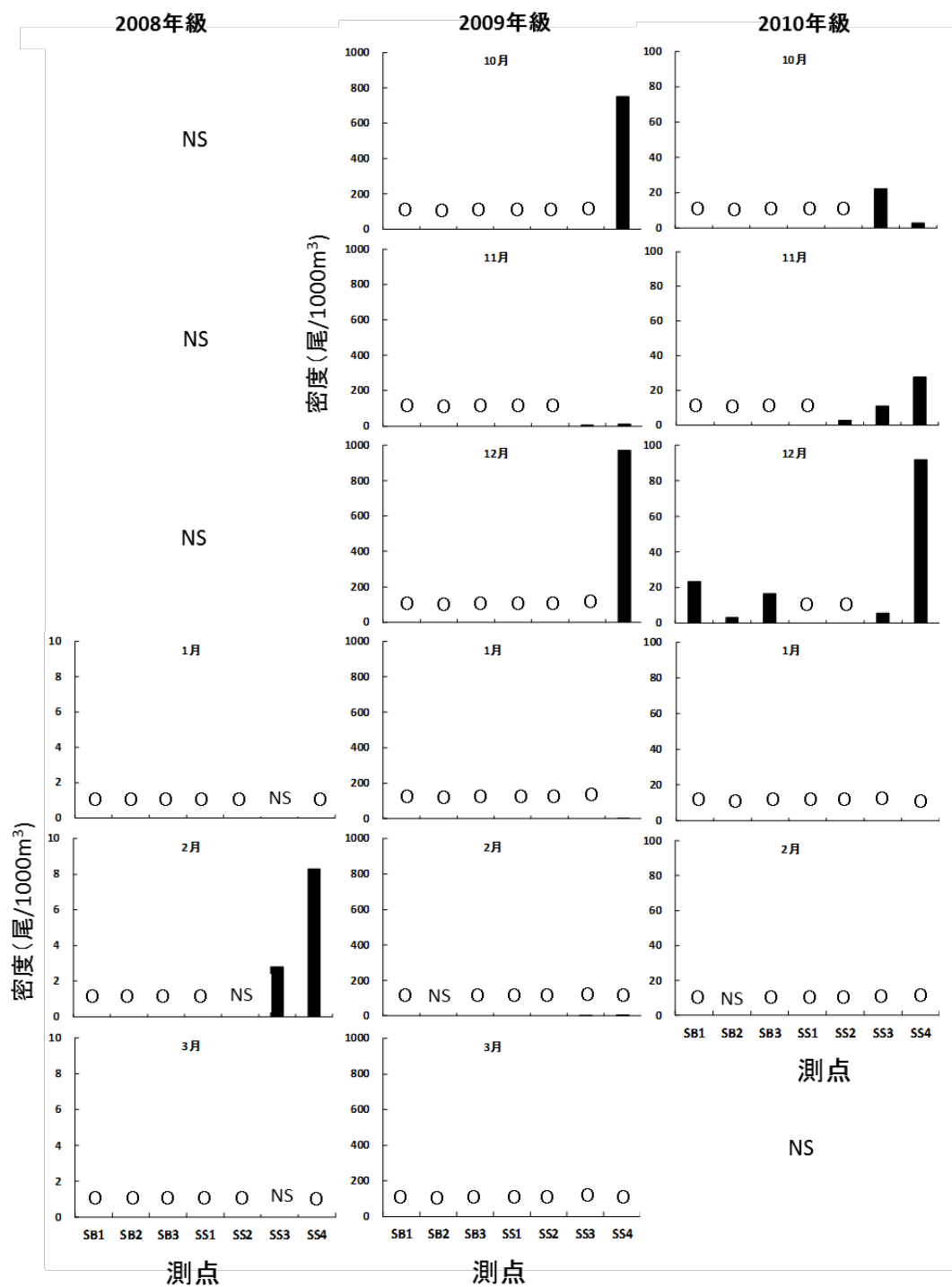


図 4-18 大船渡湾砕波帯におけるアユ仔稚魚の分布密度  
NS は調査を行わなかったことを示す



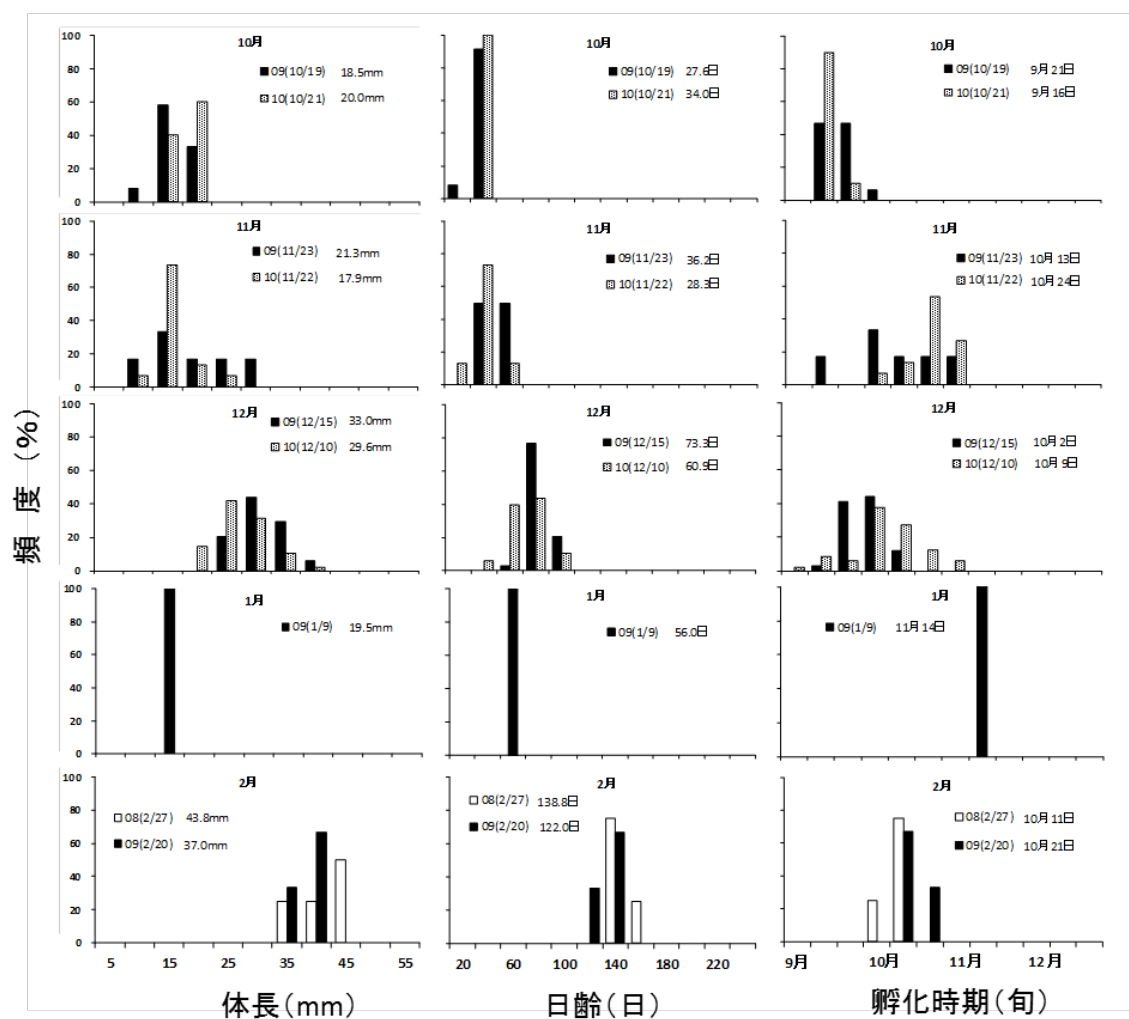


図 4-19 大船渡湾におけるアユ仔稚魚の体長、日齢、孵化時期（旬）の組成（％）

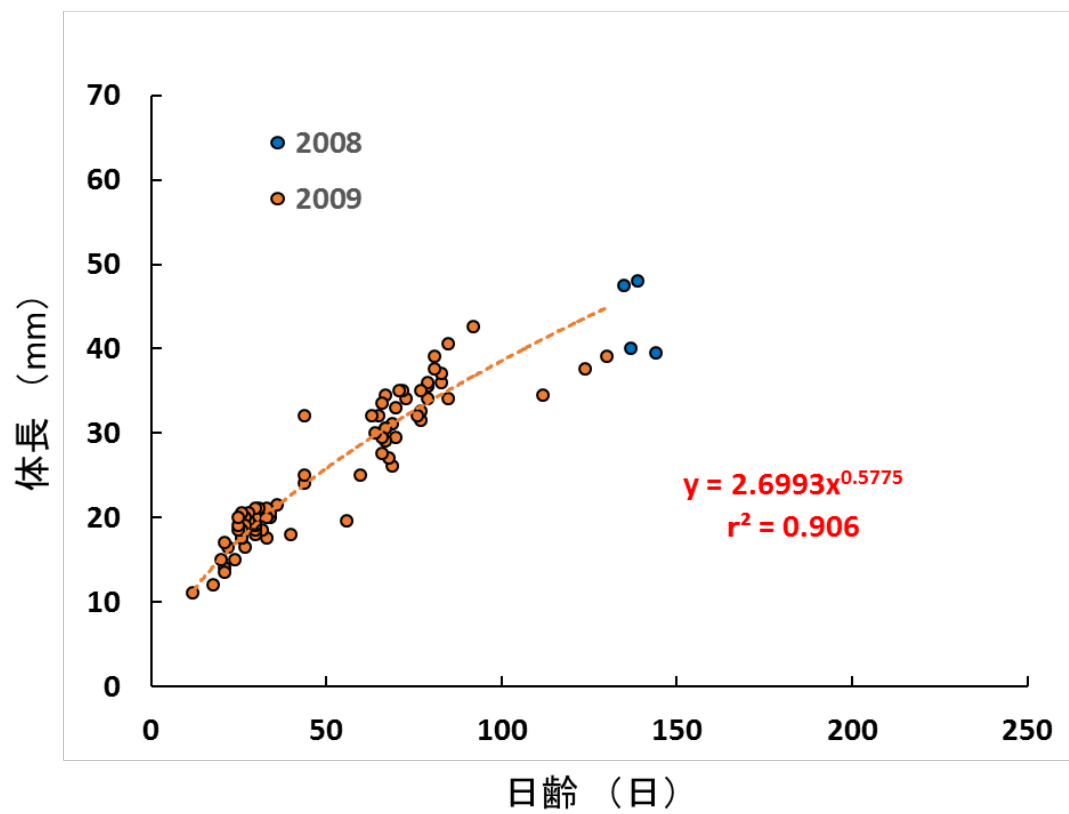


図 4-20 大船渡湾の海域一砕波帯で採集されたアユ仔稚魚の日齢と体長の関係

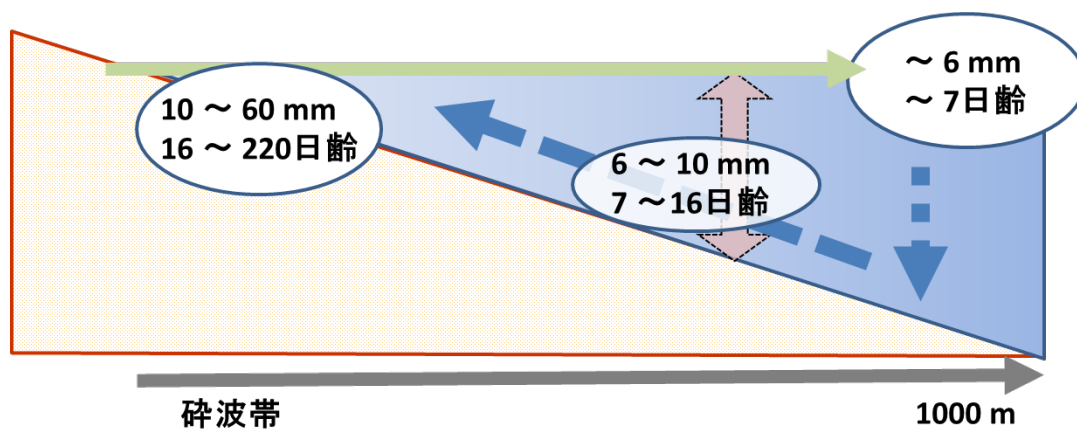


図 4-21 三陸沿岸域におけるアユの降海から遡上までの回遊経路

## 第5章 河川遡上期

第4章ではアユ仔魚が降海した後、体長 10 mm (16 日齢) 程度で砕波帯に出現するようになり、その後砕波帯と河口域の間を往復しながら次第に分布の重心を汽水域に移行させ、体長 40~50 mm から河口域に移動することを明らかにした。本章では、海域生活に続く河川への遡上生態に焦点を当てる。これまでの研究から、早期に遡上する個体は孵化日も早く、海域での成長率も高いことが知られている(兵藤・小山 1986, Tsukamoto et al. 1987, 塚本ら 1989)。アユの遡上時期には河川や海域の水温が大きな影響を与え、河川の水温が 8~10℃を超えると遡上が始まり、河川水温が 14~16℃に上昇して海水温と同じになるころに盛期を迎えることが知られている(楠田 1963a,b, 田子 2004)。島ら(2014)は水温 10~13℃で遡上期のアユ稚魚の淡水への選好性が強まることを報告している。また、遡上は海水から淡水へと浸透圧環境の大きな変化を伴う行動であり、遡上に先立って浸透圧調節能を持つことが不可欠であることはいままでの間もない。Yada et al. (2014) は両側回遊アユのプロラクチン産生に関する遺伝子発現が遡上に先立つ海域生活期に上昇すること、また発現レベルと体重との間に正の相関があることを報告した。

アユの遡上量は年変動が大きいことが知られている(堀木 1991)。遡上量は産卵量の変動を除けば、河川流下時と海域での減耗が主要な決定要因となるが、鼠ヶ関川での調査によれば海域での生残率は 0.1%~0.02% (内田 2005)、大槌湾でも 0.06% (第4章第3節第2項) と推定された。海域の減耗の主要な要因は海水温や海域の餌環境と考えられ(原田ら 2009)、特にアユの分布範囲の北部に位置する関東以北では冬季の水温が遡上量に大きな影響を及ぼすことが報告されている(中村・糟谷 2004)。遠藤・宇部(2000)は、三陸沿岸域における 1980 年代のアユ資源の激減の要因として親潮接岸による沿岸域の異常低水温を挙げている。一般的には仔魚の不適な環境への物理輸送も大きな減耗要因として考えられるが(Iles・Sinclair 1982, Houde 1987, Incze et al. 1989)、半閉鎖的な大槌湾や大船渡湾のように閉鎖性の高い湾では仔魚の湾外への逸散は少ないと考えられる。

本章では鵜住居川と盛川の遡上魚の耳石日周輪紋や Sr:Ca 比の解析から三陸

沿岸域のアユの遡上特性を明らかにする。さらに前章までで明らかになった流下生態や海域での分布・回遊・成長などの知見と比較しながらアユの遡上量変動のメカニズムについて考察する。なお、本章でも前章と同様に各年の採集魚は前年に孵化していることから、孵化個体群と整合させるために孵化年の年級群として記述した。

## 第1節 材料と方法

### 第1項 遡上魚

#### 1. 遡上魚の採集

鵜住居川では河口から約 2.3 km の大浜渡橋付近から上流に向けて約 2 km の区間(図 2-1-B)において 2009 年 6 月 15 日と 2010 年 6 月 23 日に採集を行った。また、鵜住居川河口に隣接した「船溜まり」においても採集を行った。採集には投網(目合 3 分 18 節、直径 3 m)を用い、下流から上流へと適当な間隔で 2009 年に 3 回、2010 年に 4 回打ち、船溜まりではそれぞれ 3 回と 4 回打った。

盛川では 2009 年 5 月 7 日(投網回数 12 回)、11 日(10 回)、25 日(16 回)、6 月 18 日(11 回)と 2010 年 6 月 7 日(13 回)に河口から 1.7 km の岩手開発鉄道橋の前後約 0.5 km の区間で投網を打った(図 2-3-B)。岩手開発鉄道橋付近は感潮域の最上流部に当たる。2009 年 5 月 7 日と 25 日の採集魚は、岩手県水産技術センター技師・大友俊武氏に提供していただいたものである。

採集したアユ、および提供されたアユは全て研究室に持ち帰り、体長(標準体長)と体重を計測し、後述するように天然遡上魚と放流魚の形態的判別を行った後、耳石を摘出した。

#### 2. 天然遡上魚と放流魚の判別

両河川とも 5 月中旬から人工種苗の放流が行われるため、採集されたアユ全個体について天然遡上魚と放流魚(人工種苗)の判別を行った。判別にはまず背鰭第 5 鰭条直下の側線上方横列鱗数と下顎側線孔数による形態学的方法を用い、大友ら(岩手県水産技術センター)の方法に従って、側線上方横列鱗数が 17 枚以上で下顎側線孔数が 4 対のものを天然遡上魚と判断した。本研究では、さ

らに耳石 Sr:Ca 比の成長に伴う変化パターンからその結果を確認した。耳石 Sr:Ca 比分析とその判別法については Otake・Uchida (1998)に従った。耳石 Sr:Ca 比分析方法については本章第 2 項と第 3 項で詳述する。なお、鵜住居川の放流種苗は 2008 年が岩手県栽培漁業協会、2009 年が岩手県栽培漁業協会（親魚：秋田県系と北上川系）と山形県水産振興協会（親魚：山形県内海産）、2010 年が山形県水産振興協会（親魚：山形県内海産）で養成されたものであり、盛川では 2008 年が岩手県栽培漁業協会（親魚：秋田県系と北上川系）、2009 年と 2010 年は山形県水産振興協会（親魚：山形県内海産）で養成された種苗であった。2009 年の各放流種苗を採集魚と同様に耳石 Sr:Ca 比分析を行い、人工種苗の判別確認に供した。各放流種苗の飼育方法は各年とも同様であったことから、2009 年の分析結果を判別基準とした。岩手県栽培漁業協会によれば、同協会では両系とも 9 月末に採卵し、その後天然海水で飼育、1 月中旬に盛川漁業協同組合に出荷した。盛川漁業協同組合ではそれらの種苗を搬入 3～5 日後に淡水に移し、5 月中旬の放流まで淡水で養成した。山形県水産振興協会では山形県内海産親魚から 10 月初旬に採卵し、孵化後約 1.5 ヶ月までは天然海水で飼育し、その後徐々に飼育水の塩分を低下させ、3 月中旬には 1/7 海水として盛川漁業協同組合に出荷した。盛川漁業協同組合ではその後放流まで淡水で飼育した。鵜住居川で放流された種苗はいずれも盛川漁業協同組合で養成されたものを用いている。放流された人工種苗と判別された個体は以降の解析から除外した。

## 第 2 項 遡上魚の日齢、孵化日

各採集魚より摘出した耳石を蒸留水で洗浄・乾燥した後、耳石（原則として左側の扁平石を用いた）を脱気したエポキシ樹脂で包埋した。樹脂包埋した耳石を体軸面が上になるように市販のエポキシ系接着剤でスライドガラスに貼り付け、耳石核が確認されるまで凸面から粒度 70  $\mu\text{m}$  と 13  $\mu\text{m}$  のダイヤモンドカップ砥石を装着した鉋物薄片試料作成装置（Discoplan-TS：丸本ストルアス、東京）を用いて研磨した。その際に縁辺部が研磨されて消失することがないように注意した。その後、その研磨面を自動試料回転装置を装着したロトポール-35（丸本ストルアス、東京）で OP-S 懸濁液（丸本ストルアス、東京）を用い

て琢磨した。研磨・琢磨標本は耳石輪紋解析装置（Jiseki ARP/W ver.5.20；ラトックシステムエンジニアリング、東京）を用いて日周輪の計数および日周輪間隔（耳石日間成長率）と耳石半径（長軸方向）を測定し、第4章第1節第3項と同様に日齢と孵化日を求めた。

### 第3項 遡上魚の耳石 Sr:Ca 比分析による遡上日、遡上日齢、遡上体長の推定

#### 1. 耳石 Sr:Ca 比分析

研磨・琢磨した耳石を洗浄・乾燥させた後、イオンスパッター（E-1010：日立、東京）を用いて白金パラジウム蒸着を施し、波長分散型X線マイクロアナライザー（EPMA：JXA-8900R型、JXA-8230型、日本電子、東京）による微量元素分析試料とした。測定時の加速電圧とプローブ電流をそれぞれ 15 kV と  $1.2 \times 10^{-8}$  A に調節し、耳石核から縁辺に向けて引いた直線上を 4  $\mu\text{m}$  間隔、4  $\mu\text{m}$  のビーム径で線分析を行った。Ca と Sr の X 線強度の濃度変換（重量%）にはそれぞれ  $\text{CaSiO}_3$  および  $\text{SrTiO}_3$  の標準試料を用い、Ca に対する Sr の濃度比を 1,000 倍した値を Sr:Ca 比とした。耳石 Sr:Ca 比の生活史断面解析は 12  $\mu\text{m}$  ごと（3 測定点ごと）の移動平均を用い、各値を日周輪紋に対応させることで日齢に伴う値の変化をみた。

#### 2. 耳石 Sr:Ca 比と日周輪紋による遡上日齢、遡上日、遡上体長の推定

##### 2-1. 淡水生活期・汽水生活期・海水生活期に対する耳石 Sr:Ca 比の基準値

2009 年に大槌町漁業協同組合において放流用に養成されていたアユ 14 尾（由来：秋田県系親魚）を耳石 Sr:Ca 比の淡水生活期の判別基準の作成に用いた。これらの個体について、第2項・3項と同じ方法で養成期間中の3月1日～4月30日の2ヶ月間に当たる部分の耳石 Sr:Ca 比を調べた。各個体の平均値の中の最大値を淡水生活期の基準値（上限値）とし、その基準値未満の値を安定して維持し始めた部分を淡水遡上とした（図5-1）。

海水生活期と汽水生活期の基準値については、2010 年（2009 年級）に鶴住居川と盛川で採集された遡上魚 35 尾について孵化から1月31日までに形成された耳石部分の Sr:Ca 比の平均値を求め、その中の最小値を海水生活期と汽水生活期の境界値とすることとした。すなわち、境界値以上の値を有する耳石部

分を海水生活期、境界値未満で淡水生活期の基準値以上の値を有する部分を汽水生活期とした（図 5-1）。

## 2-2. 遡上日齢、遡上時期、および遡上体長の推定

各個体の耳石 Sr:Ca 比の生活史断面において、本項 2-1 で求めた淡水遡上に対応した部分の日周輪までの輪紋数を遡上日齢とし、孵化日に遡上日齢を加えた月日を遡上日とした。さらにバイオロジカルインタセプト法 (Campana 1990) により求めた各個体の耳石半径と体長との関係式からそれぞれの遡上体長を推定した。孵化体長 (6.3 mm) と孵化時の耳石半径 (15 μm) は第 4 章第 1 節第 3 項で求めた値を用いた。なお、前もって鵜住居川と盛川、およびそれぞれの河口周辺海域で採集された仔稚魚合計 511 尾について、耳石半径 (OR) と体長 (SL) との間にアロメトリー関係が成り立つことを確認した ( $y=0.751x^{0.7123}$ ,  $r^2=0.9807$ )。

また、遡上魚について遡上日齢と推定遡上体長から下記の式を用いて海域生活期の成長率を求めた。

$$\text{海域生活期の成長率 (mm/日)} = (\text{推定遡上体長} - \text{孵化体長}) / \text{遡上日齢}$$

なお、河川淡水域で採集された個体でも耳石縁辺部の Sr:Ca 比が淡水基準値に達していない個体については、未だ汽水域と淡水域の間を行き来しているものと判断し、未遡上魚とした。

## 第 4 項 海域と河川の水温

大槌湾の海水温については沿岸センターにより湾中央部付近（図 2-1-A）で計測し東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究報告上で公表しているデータを、大船渡湾の海水温は岩手県水産技術センターが大船渡湾内（図 2-3-A）でモニターし公表 ([www.suigi.pref.iwate.jp](http://www.suigi.pref.iwate.jp)) しているデータを用いた。

河川水温は各採集時にアルコール棒状温度計で測定した。また、第 3 章と同様に鵜住居川に設置したデータロガーや岩手県県土整備部河川課による盛川の水温計測データも用いた。



## 第2節 結果

### 第1項 遡上時期の海域と河川の水温

大槌湾と大船渡湾の遡上期に当たる4月～6月の水温はいずれも約5～15℃で推移し、3月中・下旬に最低を記録した後、上昇に転じた(図2-2-B、2-4-B)。鵜住居川の水温は記録のある2011年では5～15℃で推移した(図2-2-A)。盛川では6～17℃で推移した(図2-4-A)。河川水が10℃を超えたのは鵜住居川では4月末、盛川では4月中旬～下旬であった。

### 第2項 淡水生活期・汽水生活期・海水生活期に対する耳石 Sr:Ca 比の基準値

淡水で飼育された14尾の3月1日～4月30日の2ヶ月間に当たる耳石部分の Sr:Ca 比の平均値の範囲は1.40～2.34(平均値 ± 標準偏差: 1.86 ± 0.27)であった。平均値の最大が2.34であることから本研究では便宜上2.4を淡水域での耳石 Sr:Ca 比の基準値(上限値)とし、その値未満を示す耳石部分を淡水生活期とみなすこととした。また、2009年級の遡上魚35個体の孵化日から1月31日までの耳石 Sr:Ca 比の平均値の範囲は5.31～9.66(6.84 ± 0.92)であった。平均値の最小が5.31であることから5.3を海水域の基準値(下限値)とし、それ以上の値を示す耳石部分を海水生活期とした。また汽水生活期は海水生活期の基準値未満で淡水生活期の基準値以上の部分( $2.4 \leq \text{Sr:Ca 比} < 5.3$ )とした。

また、汽水生活期に対応する Sr:Ca 比を連続7日以上維持した時点で汽水域に生活場所を移行させたものと定義し、その最初の月日をその個体の汽水移動日とした。

### 第3項 採集魚の天然魚と放流魚の判別

採集魚の形態学的(側線上方横列鱗数、下顎側線孔数)、および耳石 Sr:Ca 比(放流魚の耳石 Sr:Ca 比変化パターンとの比較)による天然魚－放流魚の判別結果を表5-1に示した。放流魚の耳石 Sr:Ca 比は、いずれも飼育履歴を反映した変化パターンを示し、天然魚のものとは明確に区別された。すなわち、秋田県系と北上川系の放流魚は淡水に移行された1月中・下旬に当たる耳石部分で Sr:Ca 比が急減し、また山形県内海産では飼育水の塩分の低下に対応して耳石半径約100 μm以降で Sr:Ca 比が徐々に低下した。鵜住居川の採集魚は、形態

学的判別を行わなかった 2010 年の船溜まり採集魚を除き、いずれの判別方法でもすべて天然魚と判別された。2010 年の船溜まり採集魚には 20%の割合で放流魚が含まれ、天然魚と判別された個体の内の 88%は未遡上魚であった。

盛川の採集魚では採集尾数の多かった 2009 年 5 月 25 日と 2010 年 6 月 7 日と 25 日でそれぞれ 9%、12%、8%が形態学的に放流魚と判別され、天然魚と判別されたものの耳石 Sr:Ca 比から放流魚と判別されたものは 1 尾(2010 年 6 月 7 日採集)のみであった。天然魚のうち遡上魚の割合は 50~100%で分析個体数の多かった 2009 年 5 月 25 日と 2010 年 6 月 7 日での割合はそれぞれ 93%と 71%であった。

#### 第 4 項 日齢、孵化日、遡上日齢、遡上日、遡上体長、成長

両河川で採集された天然魚の 2008 年級と 2009 年級について、それぞれの体長、体重、日齢、孵化日、推定遡上日齢、推定遡上体長、海域生活期（遡上前）と河川生活期（遡上後）の成長率を遡上魚、未遡上魚に分けて表 5-2 に示した。なお、鵜住居川については河口船溜まり採集個体も含めた値を示した。

##### 1. 遡上魚と未遡上魚の体長、体重、日齢、孵化日

鵜住居川では個体数が少なかった 2008 年級を除き、2009 年級では遡上魚と未遡上魚の体長、体重、日齢の平均値はそれぞれ 106.6 mm、81.4 mm、18.9 g、6.4g、261.6 日、239.8 日でいずれも遡上魚が有意に大きかった(t 検定、 $p<0.01$ )（表 5-2, 図 5-2）。孵化日はいずれも 10 月上旬で有意差はなかったものの遡上魚の孵化日の方が若干早かった。海域での成長率もそれぞれ 0.380、0.313 mm/日で遡上魚が有意に大きかった（t 検定、 $p<0.01$ ）。

盛川の 2008 年級は遡上個体に対し未遡上個体の数が著しく少なく有意検定ができなかったものの、遡上魚と未遡上魚の体長、体重、日齢、海域での成長率の平均値はそれぞれ 86.4 mm と 74.1 mm、9.8 g と 4.7 g、242.5 日と 238.0 日、0.327 mm/日、0.285 mm/日でいずれも遡上魚の値の方が大きかった（表 5-2, 図 5-3）。孵化日はいずれも 9 月下旬で違いはなかった。2009 年級の遡上魚と未遡上魚の体長、体重、日齢、海域での成長率はそれぞれ 92.5 mm、78.1 mm、10.7 g、6.1 g、251.6 日、244.2 日、0.343 mm/日、0.246 mm/日で日齢

以外はいずれも遡上魚が有意に大きかった（ $t$  検定、 $p<0.01$ ）。孵化日は 9 月末と 10 月初旬で有意差はなかったものの遡上魚の方が若干早かった。

## 2. 遡上日齢と遡上日、遡上体長

鵜住居川 2009 年級の平均遡上日は 5 月末で範囲は 4 月末から 6 月中旬にあった（図 5-4-A）。遡上魚の遡上体長、遡上日齢の平均はそれぞれ 97.6 mm (79.0～110.7 mm)、240.0 日（224～259 日）であった（図 5-5-A, B）。盛川 2008 年級、2009 年級の平均遡上日はいずれも 5 月中旬にあり、その範囲は 4 月中・下旬から 5 月末・6 月初旬であった（図 5-4-B）。両年級とも遡上体長と遡上日齢はそれぞれ約 84 mm（62～108 mm）、約 230 日（203～260 日）で有意な違いはなかった（図 5-6-A, B）。

鵜住居川と盛川の 2009 年級を比較すると遡上日齢、遡上体長、海域における成長率がいずれも鵜住居川が有意に大きく、遡上日は約 2 週間遅かった。両者の孵化時期に違いがなかったことから、鵜住居川 2009 年級は盛川 2008 年級、2009 年級に比べて海域での成長率が高く（表 5-2）、さらに長期間海域に生息することにより大型で遡上してきたといえる。

## 3. 孵化日と遡上体長、遡上日齢、遡上日の関係

2009 年級の鵜住居川（図 5-7）、2008 年級と 2009 年級の盛川（図 5-8）の遡上魚における孵化日と遡上体長、遡上日齢の関係をみると、孵化日と遡上日齢の間に負の相関（ $r^2$ : 0.5～0.8）がみられ、それ以外には明瞭な相関はみられなかった。

## 4. 遡上個体の汽水移動日

両河川とも 2009 年級について検討した。両河川とも遡上魚の汽水移動日の平均は 2 月 21 日で範囲は鵜住居川で 2010 年 1 月 11 日～4 月 29 日、盛川で 2009 年 11 月 6 日～4 月 29 日であった（表 5-3）。また、遡上魚の汽水移動日は同時に採集された末遡上魚に比べて 1 ヶ月以上早かった。

孵化日、遡上日と汽水移動日の関係についてみると、鵜住居川の遡上日と汽水移動日の間に弱い正の相関がみられたものの、その他については関係はみら

れなかった（図 5-9, 5-10）。

### 第 3 節 考察

#### 第 1 項 三陸地域のアユの遡上時期と遡上体長

鵜住居川ではアユの遡上日の平均は 5 月末、その範囲は 4 月下旬～6 月中旬にあり、盛川においても平均が 5 月中旬、範囲は 4 月中・下旬～5 月下旬・6 月上旬にあった。茨城県久慈川では 4 月下旬～5 月中旬（荒山 2006）、神奈川県相模川では 4 月中旬（相澤ら 1999）、愛知県矢作川では 5 月上～中旬（高橋・新見 1999）、京都府大雲川では 4 月下旬（楠田 1963a,b）、高知県四万十川では 4 月上旬（Takahashi et al. 1999）、宮崎県五ヶ瀬川では 4 月下旬～5 月中旬（平野ら 1996）であり、これらの時期に比べて両河川の遡上時期は遅い。遡上開始期である 4 月中～下旬の海水温と河川水温はいずれも 6～8℃であり、盛期の海水温は 10～11℃、河川水温は 13～14℃であった。これまで、アユの遡上は河川水温が 8℃前後（鈴木 1942）、あるいは 10℃（楠田 1963a,b, 田子 2002c, 2004）になるころから開始され、14～16℃（楠田 1963a,b, 田子 2004）に上昇して海水温と同じになるころに盛期を向かえると報告されている。島ら（2014）は水温が 10～13℃で遡上期のアユ稚魚の淡水選好性が上昇することを行動実験により実証している。三陸地域のアユの遡上時期の水温もこれらの報告とほぼ同様であった。

鵜住居川と盛川の平均遡上日齢と平均遡上体長は、それぞれ 230 日～240 日、84～98mm であった。富山県庄川では 48～91 mm（田子 2002c）、静岡県大井川では平均遡上体長は 46～85 mm（鈴木 1942）、矢作川では 50～80 mm（高橋・新見 1999）、京都府大雲川では 40～95 mm（楠田 1963a,b）、徳島県吉野川では 40～80 mm（加藤 1954）と報告されており、これらに比較して大きい傾向があった。アユの産卵は日照時間と水温で規定されることから、北日本では南日本に比べて産卵時期が早まる傾向がある。さらに遡上時期は海と河川の水温の影響を強く受けるが、本研究の結果は三陸地域でも南日本での遡上時期とほぼ同様の水温に達してから遡上が始まることから遡上時期は相対的に遅くなる。すなわち、三陸地域のアユの海域生活期の長さは南日本に比

べて長くなる。また両河川の遡上魚の海域生活期における成長率は 0.26~0.38 mm/日で、新潟県信濃川の 0.29 mm/日、静岡県天竜川の 0.31 mm/日、福岡県矢部川の 0.34 mm/日 (Tsukamoto et al. 1987) に比べて遜色ない。以上より、三陸地域の両河川の遡上体長が南日本の遡上個体に比べて大きい傾向にあるのは、これらのアユの海域生活期における成長率が南日本に比べて遜色なく、さらにその生活期が長いことによると考えられる。

## 第2項 遡上メカニズム

第4章で大槌湾における砕波帯のアユ仔稚魚が体長 40~50 mm (日齢 130~140 日) 頃から砕波帯より移動する可能性が示唆された。さらに孵化月ごとにまとめた成長率の経月変化も 9 月、10 月生まれの早生まれ個体の平均成長率が 2 月以降停滞したことから成長率のよい個体から汽水域に移動することが示唆された。これらのことは、遡上魚の耳石 Sr:Ca 比と日周輪紋の解析から汽水移動日を推定した結果、9 月、10 月生まれの個体は 2 月頃から汽水域に移動を開始し、その体長が約 40 mm であること、などの本章での結果とよく整合した。体長 40 mm のアユはシラス型仔魚から稚魚への移行時期に当たる。また、Yada et al. (2014) は体重 1 g を超える頃からプロラクチン産生に関する遺伝子発現がみられるようになり、体重が大きいほど発現が強くなることを報告した。体重 1g は体長に換算すれば 40~50 mm に相当する (伊藤ら 1971) ことから、汽水域への移動を開始する時期が淡水への生理的順応の開始時期と一致することになる。2 月~3 月の河川水温は海水に比べて低く、汽水域も底層は海水温と大きな違いはないと思われるものの表層は低温である。このような環境にむしろ水温の高い海域から能動的に進入することは、概して高水温を選好するアユ稚魚が体長 40 mm の頃には水温指向性よりも低塩分への指向性が上回るようになることを示唆する。

降海後のアユ仔稚魚の遡上過程は以下のようにまとめることができる。体長 10 mm (16 日齢) で砕波帯に接岸、稚魚へと変態する 40~50mm (130~140 日齢) から汽水域への移動を開始し、85~100 mm (230~240 日齢) で遡上する。

## 第3項 遡上魚の平均孵化日と仔魚の流下盛期のズレ

鵜住居川と盛川の遡上魚の平均孵化日は、両河川における仔魚の流下のピークに対して約2～3週間早い。すなわち、鵜住居川2009年級では流下仔魚のピークが10月上・中旬であるのに対し遡上魚の平均孵化日は10月1日、盛川2008年級ではそれぞれ10月上・中旬に対して9月26日、2009年級では10月下旬に対して9月28日であった。Takahashi et al. (1999, 2003) は土佐湾の砕波帯に出現する仔稚魚の孵化のピークが仔魚流下のピークに比べて遅い時期に偏る現象を見出し、早期に孵化・流下する個体はその時期の22℃を超える高い海水温のために大きく減耗することが原因であると報告している。リュウキュウアユでは20℃以上で仔魚の成長が著しく低下し（岸野・四宮2007）、汽水域の水温が20℃以上の時期に流下した仔魚は死滅するという（岸野・四宮2005）。本研究で見出された現象は土佐湾とは逆にむしろ遅生まれ個体が選択的に減耗することを予想させる。両側回遊型アユの稚魚は水温10℃以下で死亡率が高くなる（小泉・松浦1964）。Saruwatari (1995) は茨城県涸沼に生息するアユ稚魚は水温が6℃以下になるとより高い水温を求めて涸沼から海域へと出ていくことを報告した。鵜住居川の河川水温は11月以降には10℃を下回る。また、大槌湾の海水温は1月には10℃を下回り2月～3月には5℃まで低下、親潮冷水塊の接岸により5℃以下になる年もある。河川流下時の河川水温の低下と1月～3月の低水温が遅生まれ個体の選択的な減耗に繋がっている可能性は考えられる。図5-11と図5-12は図5-2、図5-3を改変して流下仔魚と遡上魚の孵化日組成に1月～2月に砕波帯に分布した稚魚の組成を加えて示したものである。流下仔魚と砕波帯仔稚魚の孵化日組成に比較して遡上魚の孵化日組成は早い時期に偏り、また鵜住居川では10月中旬、盛川では10月下旬以降に孵化した個体は出現しなかった。

Iguchi et al. (2005) は一生を汽水域で過ごし、産卵期にきわめて小型で遡上し産卵に加入する矮小個体群の存在を報告している。この個体群の日齢や孵化日の検討は行われていないが、遅い時期に海域から河口域に移動したことが指摘されており、おそらく遅生まれ個体が主体になっていると思われる。鵜住居川でも7月や10月に河口汽水域で小型個体の群れが観察されており、これらの個体がIguchi et al. (2005) が報告した矮小個体群に相当する可能性も考えられる。遅生まれ個体が6月の遡上個体に含まれなかった理由として2月～

3月の低水温による減耗というよりもむしろ遡上が6月中旬以降に遅れる、あるいは産卵期直前まで遡上に至らない矮小個体群（一生のほとんどを汽水域で過ごすという意味で“シオアユ”と呼ばれることもある）になるという可能性も十分に考えられる。この点については、河川生活期の個体について検討した次章において改めて考察したい。いずれにしろ、今後、遡上期を過ぎても最下流の感潮域に分布する個体群の生活史も精査する必要があるだろう。

表5-1 鵜住居川と盛川で投網により採集されたアユ

河川	採集日	採集場所	水温 (℃)	投網回数	採集個体数(尾)	天然魚/放流魚 形態	耳石Sr:Ca比*	遡上魚/未遡上魚
鵜住居川	2009年6月15日	河口2km～4km	13.3	3	1	1/0	1/0	1/0
		河口船溜まり	15.0	3	2	2/0	2/0	1/1
	2010年6月2日 2010年6月23日	河口船溜まり	17.8	4	72	NA	16/4	2/14
		河口2km～4km	15.3	6	13	13/0	13/0	12/1
盛川	2009年5月7日	河口1.5km～2.5km	14.1	12	2	2/0	2/0	1/1
	2009年5月11日	河口1.5km～2.5km	13.4	10	4	4/0	4/0	4/0
	2009年5月25日	河口1.5km～2.5km	13.7	16	67	61/6	29/0	27/2
	2009年6月18日	河口1.5km～2.5km	16.0	11	8	8/0	6/0	6/0
	2010年6月7日	河口1.5km～2.5km	14.8	13	49	43/6	34/1	24/10
	2010年6月25日	河口1.5km～2.5km	18.7	12	37	34/3	NA	-

\* 耳石Sr:Ca比による天然魚/放流魚の判別は、形態的に天然魚と判別された個体のみに実施した

盛川2009年5月25日の採集魚については、形態的に天然魚と判別された個体から任意に抽出した29尾を耳石Sr:Ca比分析に供した  
2009年6月18日では形態的に天然魚と判別された8尾の内6尾、2010年6月7日では43尾の内35尾について耳石Sr:Ca比分析を行った  
NAは分析を行わなかったことを示す



表5-2 2008年級と2009年級の遡上魚と未遡上魚の個体数、体重、日齢、孵化日、遡上日齢、遡上日、遡上体長、海域生活期と河川生活期の成長率

河川	年級群	遡上の有無	尾数	体長 (mm)		体重 (g)	日齢 (日)	孵化日 (年月日)		遡上日齢 (日)		遡上日 (年月日)		成長率 (mm/日)	
				平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)			平均 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	海・淡水生活期 平均±標準偏差 (範囲)		
鶴住居川	2008	遡上	2	77.5 ± 19.1 (64.0 - 91.0)	5.0 ± 3.5 (2.6 - 75.1)	263.0 ± 7.1 (258 - 269)	2008.925 (9.20 - 9.30)	2009.56 (4.28 - 5.14)	222.5 ± 4.9 (219 - 226)	64.3 ± 12.1 (55.7 - 72.8)	0.261 ± 0.060 (0.219 - 0.304)	0.315 ± 0.079 (0.259 - 0.371)			
				未遡上	1	61.0	1.6	258	2008.930	—	—	—	—	—	—
	2009	遡上	14	106.6 ± 13.4 (79.0 - 123.0)	18.9 ± 7.3 (5.6 - 28.5)	261.6 ± 7.2 (251 - 278)	2009.101 (9.18 - 10.21)	2010.529 (5.17 - 6.14)	240.0 ± 11.7 (224 - 259)	97.6 ± 8.2 (79.0 - 110.7)	0.380 ± 0.036 (0.323 - 0.439)	0.418 ± 0.061 (0.344 - 0.524)			
				未遡上	15	81.4 ± 11.7 (70.0 - 105.0)	6.4 ± 5.8 (4.0 - 17.0)	239.8 ± 13.5 (221 - 262)	2009.106 (9.26 - 10.24)	—	—	—	—	—	—
盛川	2008	遡上	38	86.4 ± 15.9 (67.0 - 143.0)	9.8 ± 7.2 (3.9 - 42.1)	242.5 ± 15.8 (220 - 278)	2008.926 (9.1 - 10.17)	2009.514 (4.26 - 5.29)	230.7 ± 13.9 (203 - 260)	84.1 ± 10.1 (64.2 - 107.6)	0.327 ± 0.051 (0.264 - 0.456)	0.404 ± 0.167 (0.183 - 0.900)			
				未遡上	3	74.1 ± 6.1 (67.0 - 79.2)	4.7 ± 0.6 (4.1 - 5.3)	238.0 ± 2.6 (235 - 240)	2008.923 (9.14 - 9.28)	—	—	—	—	—	—
	2009	遡上	24	92.5 ± 8.4 (73.0 - 102.0)	10.7 ± 3.0 (4.5 - 15.2)	251.6 ± 9.4 (230 - 272)	2009.928 (9.8 - 10.20)	2010.515 (4.17 - 6.7)	229.4 ± 12.7 (204 - 254)	84.9 ± 8.0 (62.1 - 95.1)	0.343 ± 0.035 (0.264 - 0.391)	0.347 ± 0.066 (0.229 - 0.500)			
				未遡上	10	78.1 ± 4.0 (71.0 - 83.0)	6.1 ± 1.2 (4.1 - 8.0)	244.2 ± 6.7 (235 - 258)	2009.105 (9.22 - 10.15)	—	—	—	—	—	—

表5-3 2009年級の遡上魚と未遡上魚の汽水移動日<sup>1)</sup>と汽水生息日数<sup>2)</sup>

	遡上魚			未遡上魚		
	汽水移動日(年月日) 平均 (範囲)	汽水生息日数(日) 平均±標準偏差 (範囲)		汽水移動日(年月日) 平均 (範囲)	汽水生息日数(日) 平均±標準偏差 (範囲)	
河川						
鵜住居川	2010.2.21 (2009.12.22 - 2010.4.29)	80.1 ± 35.4 (27 - 147)		2010.4.2 (2010.1.25 - 2010.5.22)	38.1 ± 21.7 (6 - 78)	
盛川	2010.2.21 (2009.11.6 - 2010.5.1)	60.9 ± 36.0 (14 - 142)		2010.3.28 (2010.1.17 - 2010.5.16)	47.9 ± 21.3 (10 - 72)	

1) 汽水移動日：耳石Sr:Ca比が連続7日以上にわたって $2.3 \leq \text{Sr:Ca比} < 5.3$ の値を最初に示した日

2) 汽水生息日数：耳石Sr:Ca比が $2.3 \leq \text{Sr:Ca比} < 5.3$ の値を示した合計日数

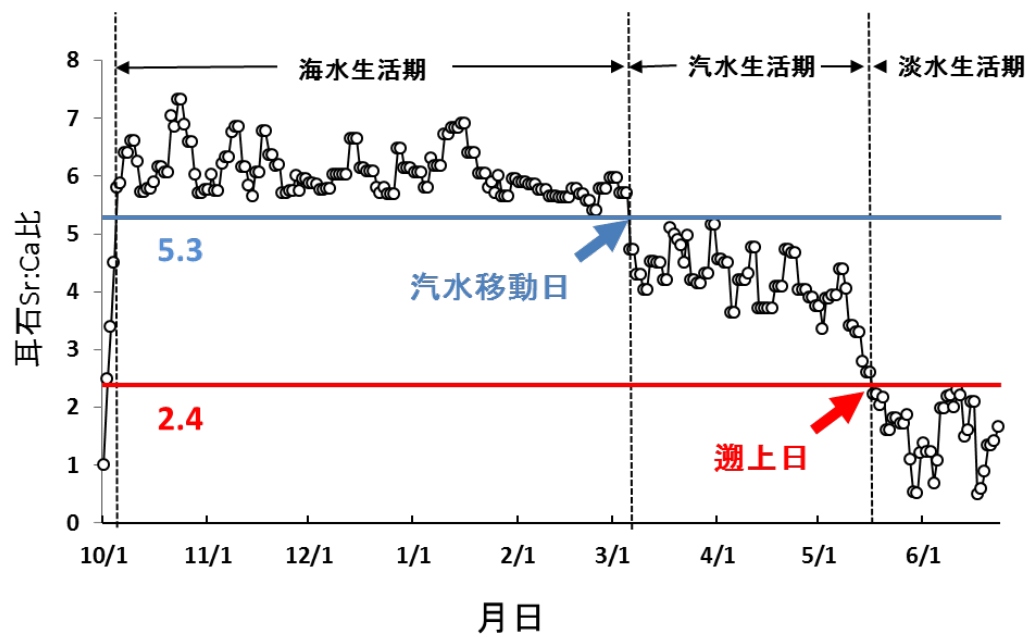


図 5-1 海水生活と淡水生活に対する耳石 Sr:Ca 比の基準値、および耳石 Sr:Ca 比による海水生活期、汽水生活期、淡水生活期の区分

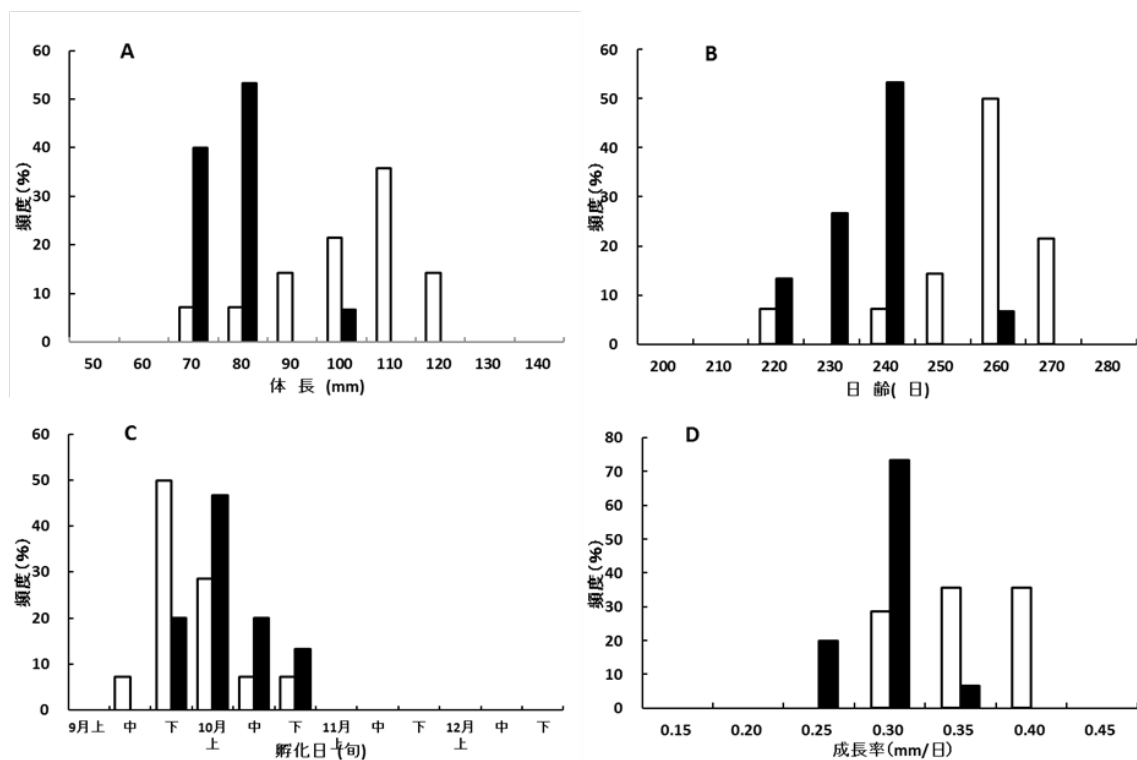


図 5-2 鵜住居川 2009 年級の遡上魚と未遡上魚の体長 (A)、日齢 (B)、孵化日 (C)、  
 海域生活期の成長率 (D)  
 □ : 遡上魚、■ : 未遡上魚

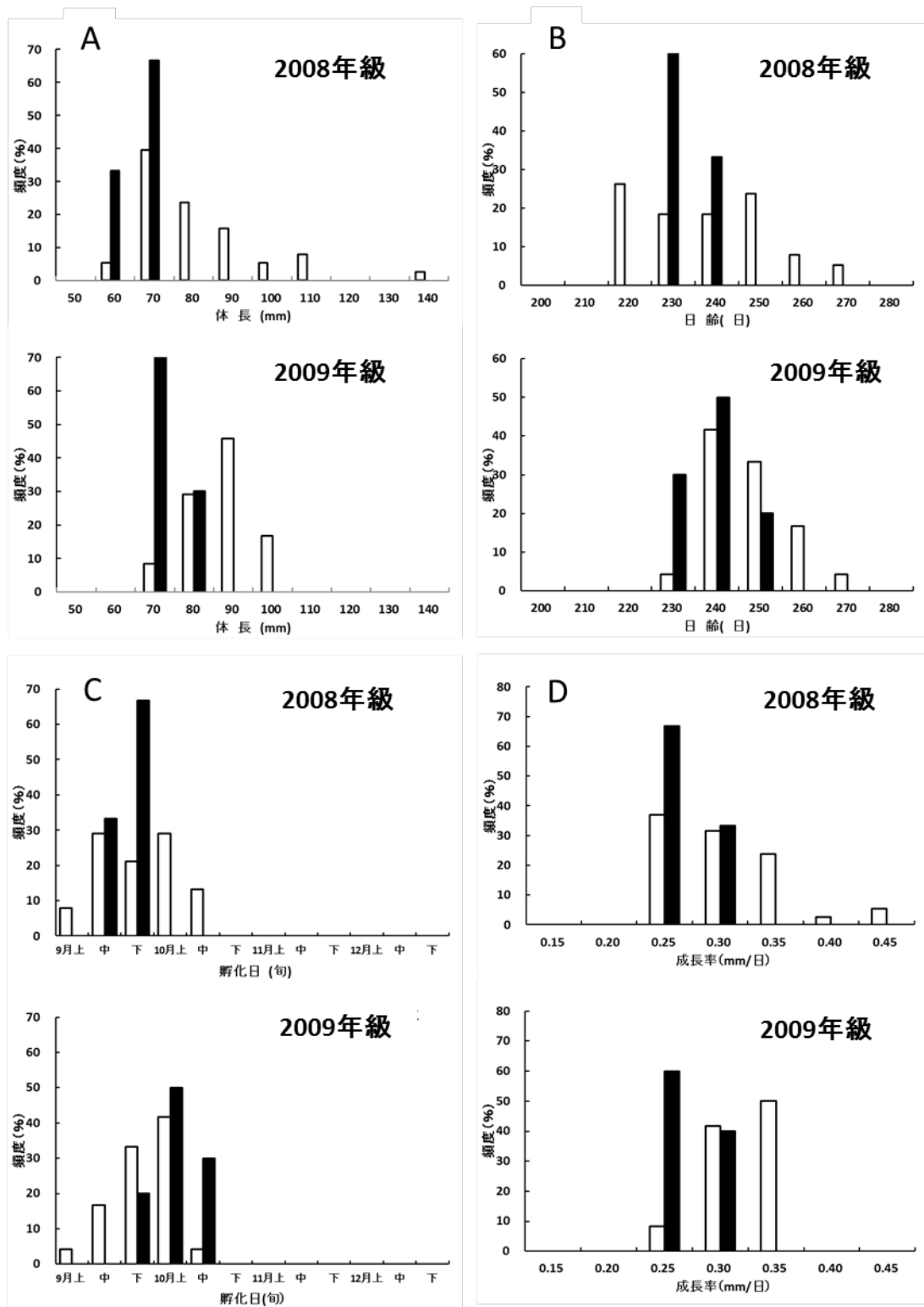


図 5-3 盛川の 2008 年級と 2009 年級の遡上魚と未遡上魚の体長 (A)、日齢 (B)、孵化日 (C)、海域生活期成長立 (D) の組成  
 □ : 遡上魚、■ : 未遡上魚

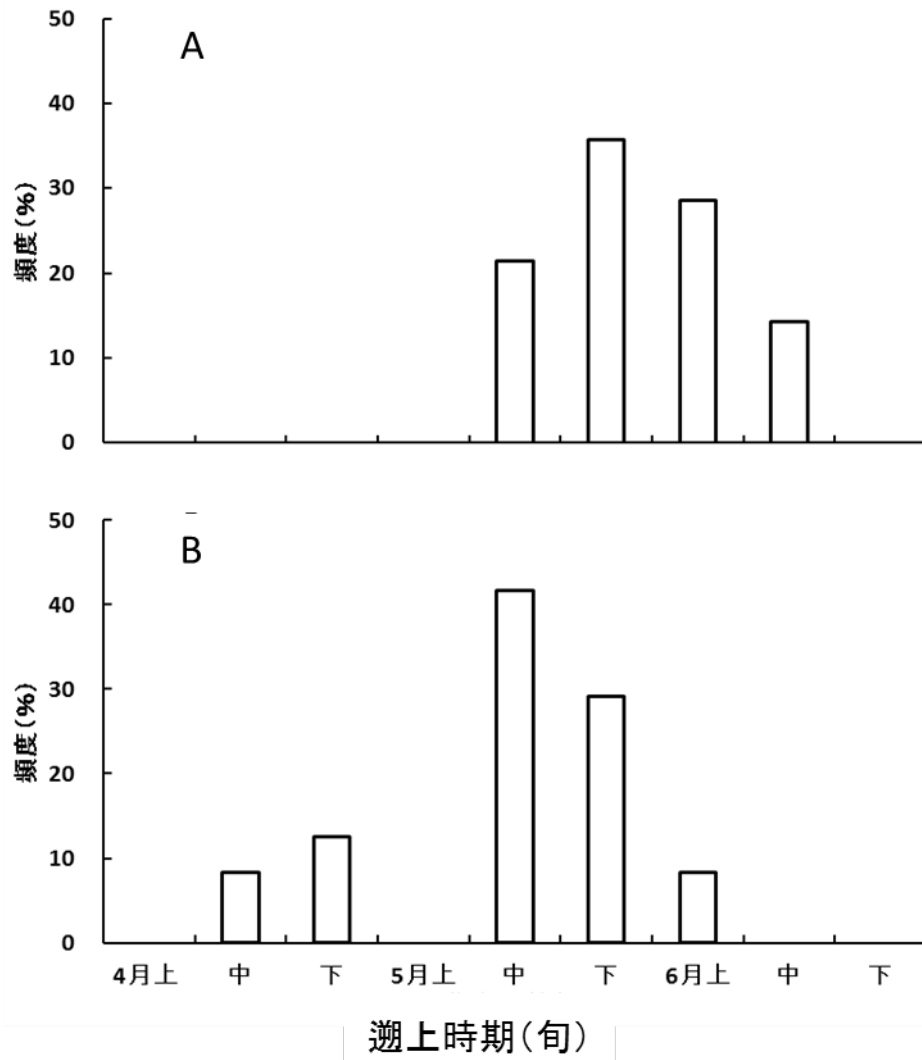


図 5-4 鵜住居川 (A) と盛川 (B) の 2008 年級遡上魚の遡上時期の組成

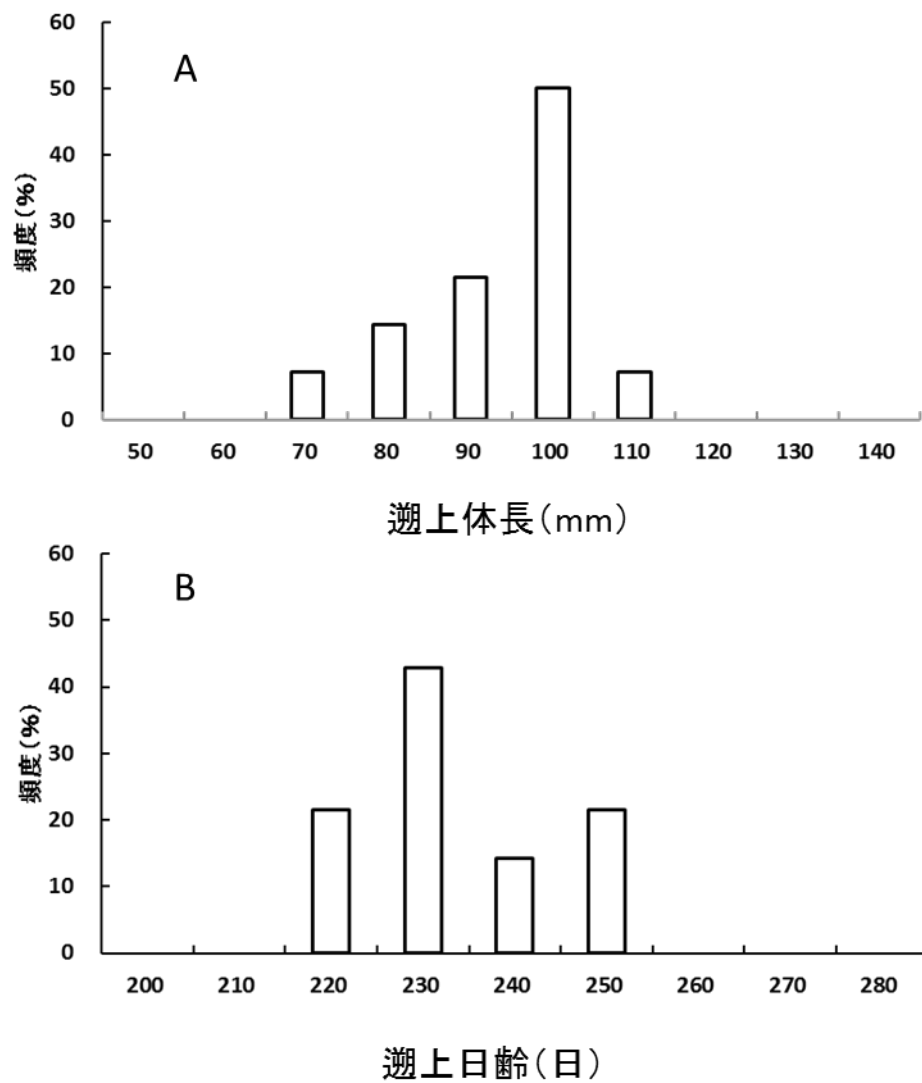


図 5-5 鵜住居川の 2009 年級遡上魚の遡上体長(A)と遡上日齢(B)

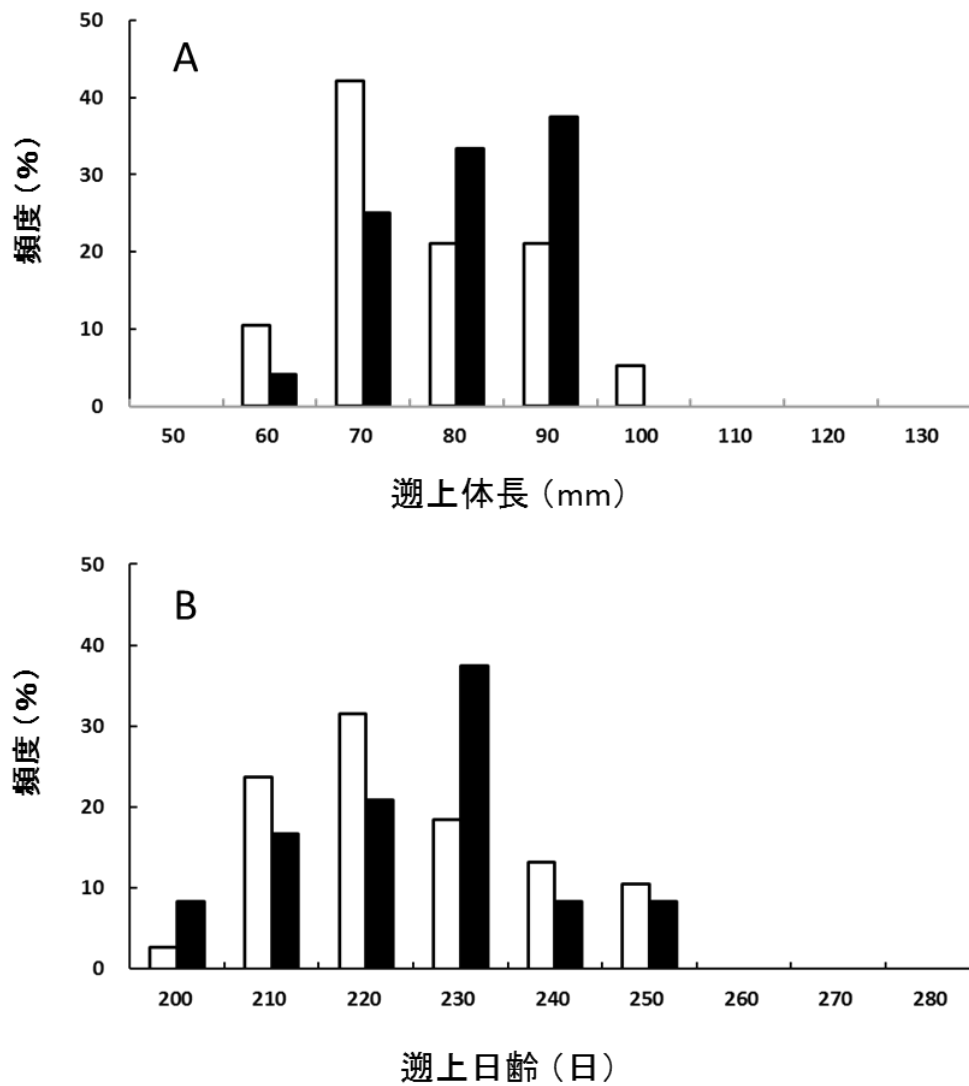


図 5-6 盛川の 2008 年級遡上魚と 2009 年級遡上魚の遡上体長 (A) と遡上日齢 (B) の組成 (%)  
 □ : 2008 年級、■ : 2009 年級



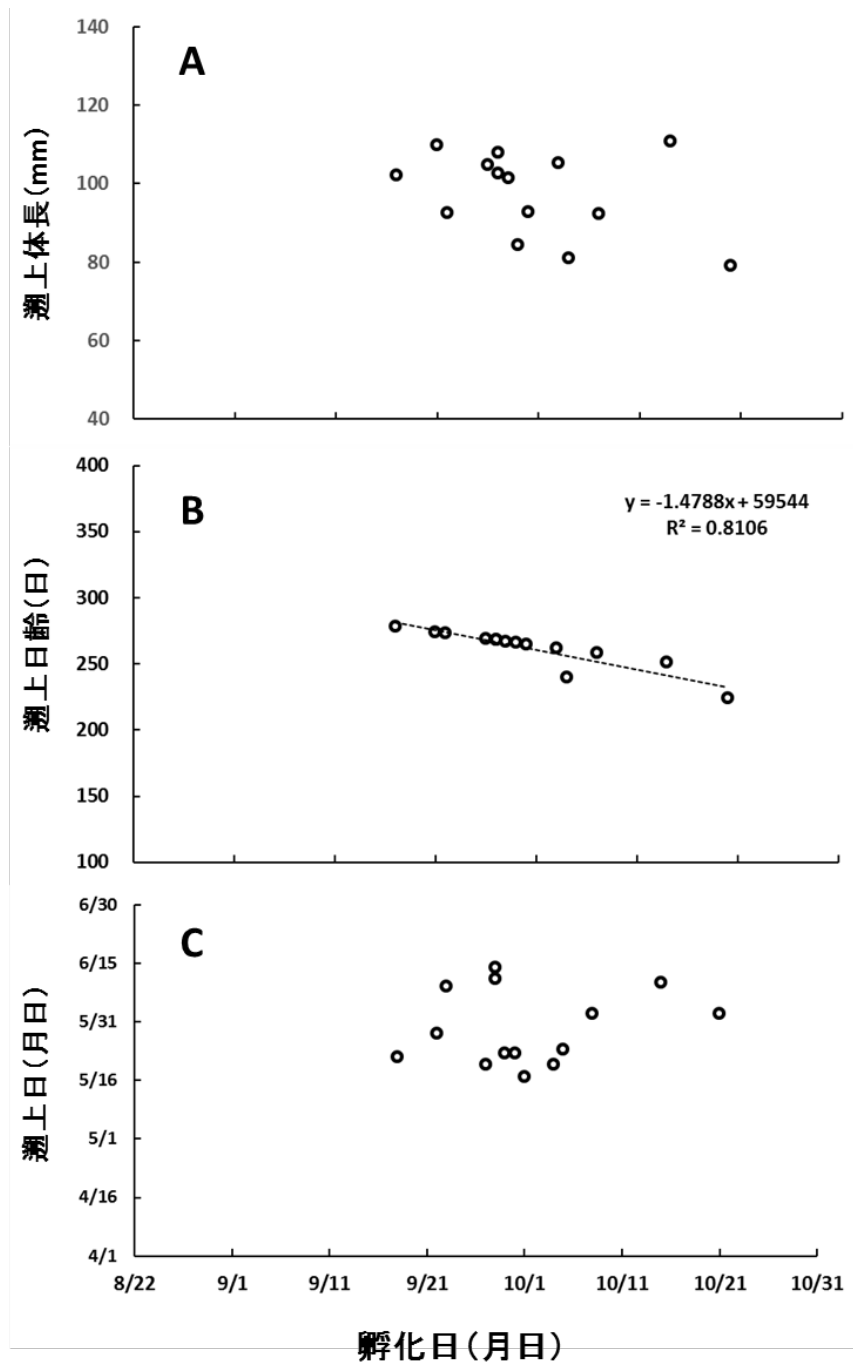


図 5-7 鵜住居川の 2009 年級遡上魚の孵化日と遡上体長 (A)、  
 遡上日齢 (B)、遡上日 (C) の関係

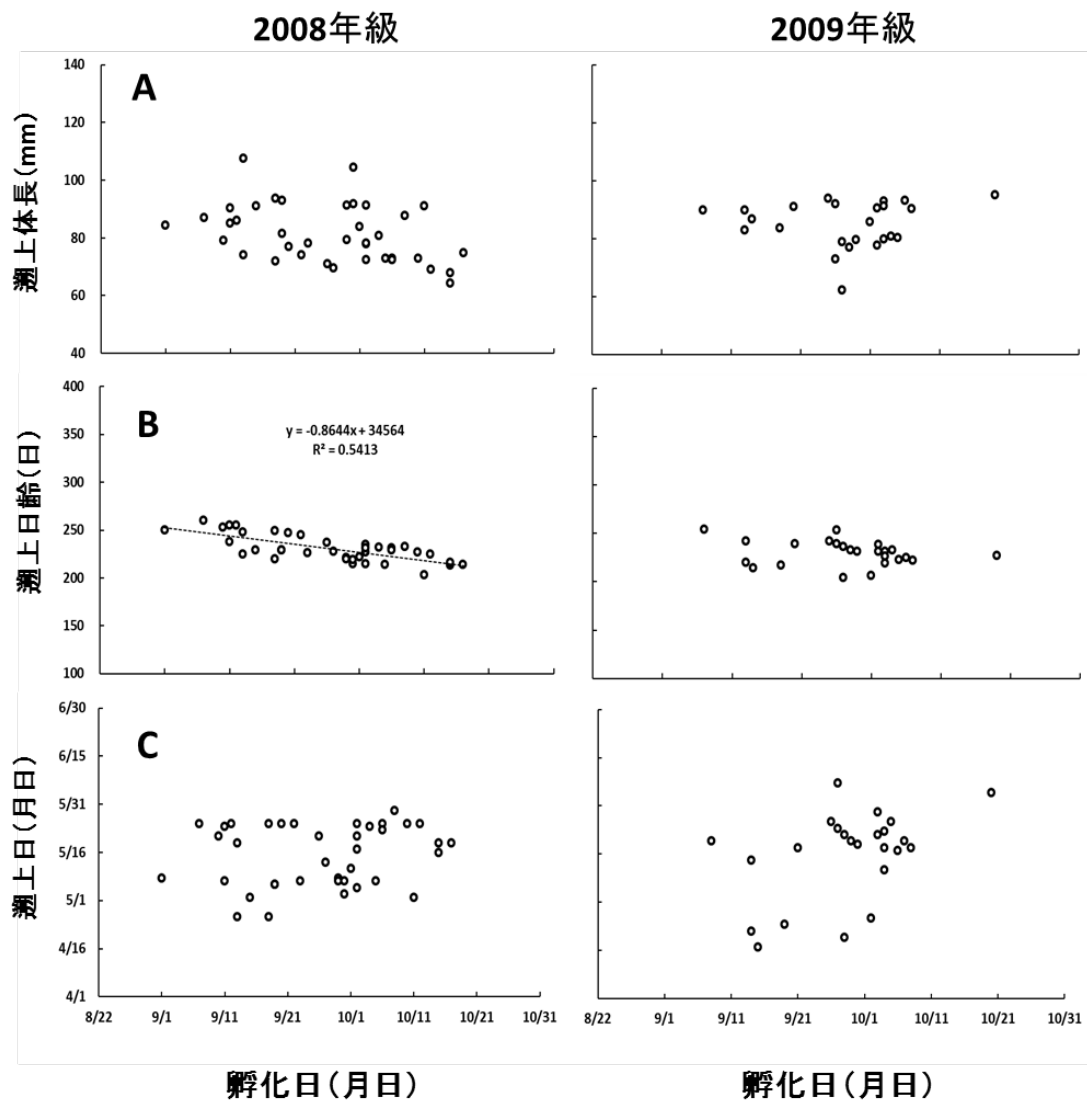


図 5-8 盛川の 2008 年級と 2009 年級遡上魚の孵化日と遡上体長 (A)、遡上日齢 (B)、遡上日 (C) の関係

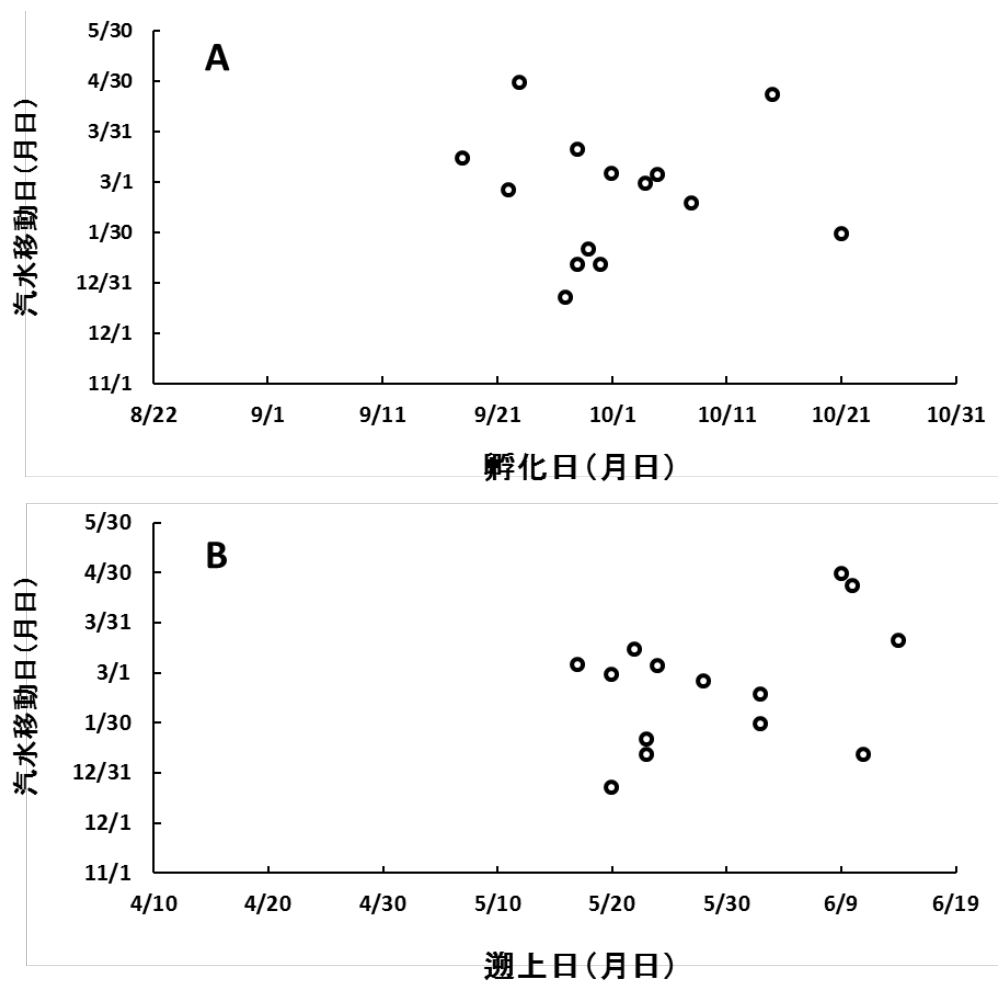


図 5-9 鵜住居川の 2009 年級遡上魚の孵化日 (A)、遡上日 (B) と汽水移動日の関係

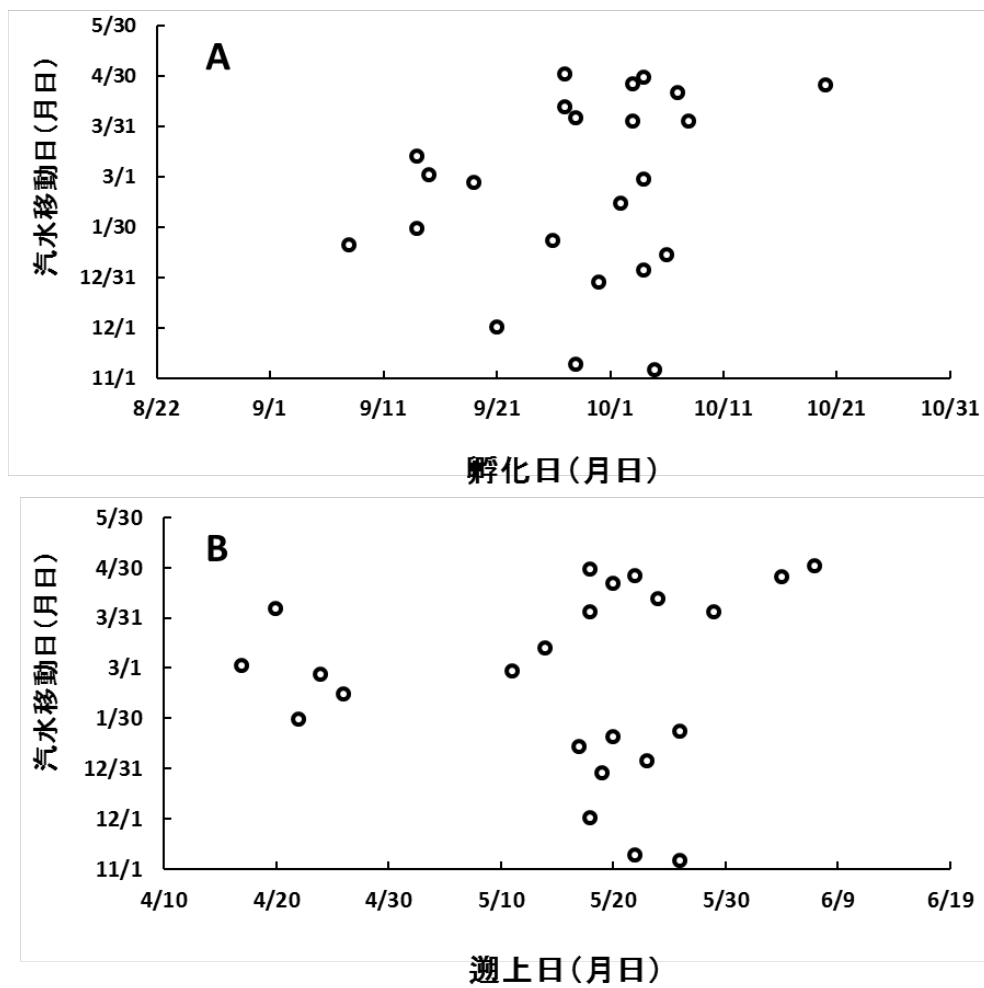


図 5-10 盛川の 2009 年級遡上魚の孵化日 (A)、遡上日 (B) と汽水移動日の関係

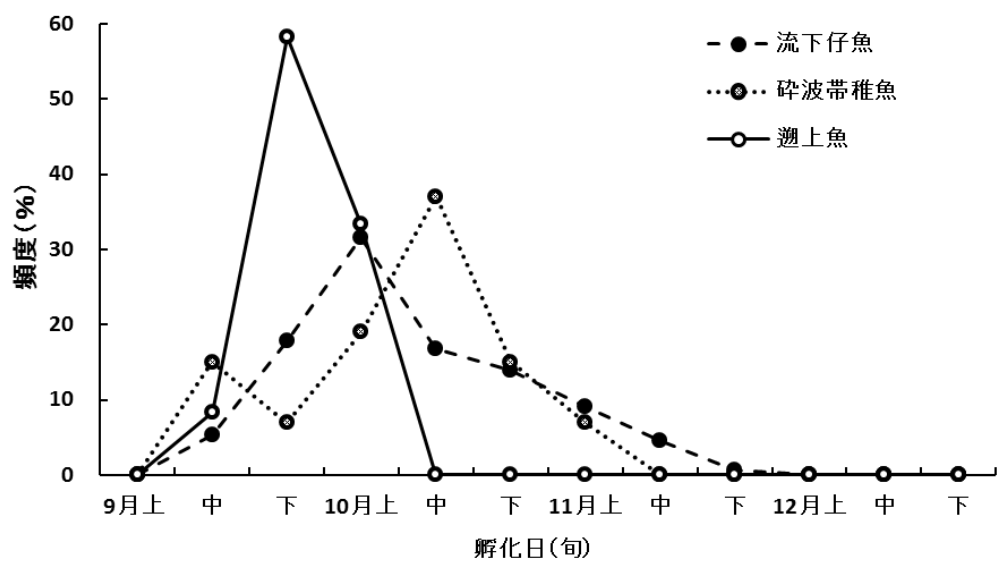


図 5-11 大槌湾・鵜住居川の 2009 年級の流下仔魚、碎波帯分布稚魚、遡上魚の孵化時期（旬）の組成

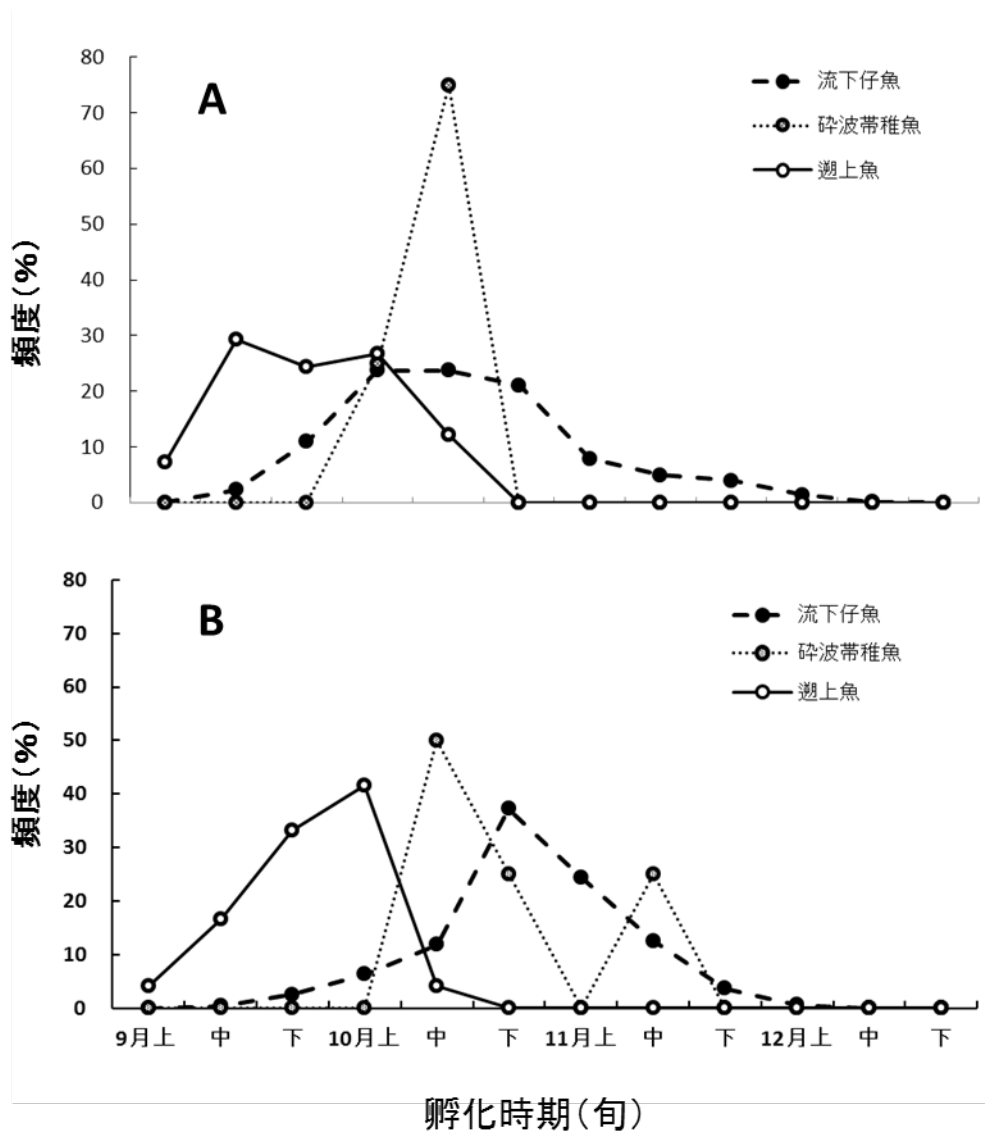


図 5-12 盛川・大船渡湾の 2008 年級 (A) と 2009 年級 (B) の流下仔魚、碎波帯稚魚、遡上魚の孵化時期 (旬) の組成

## 第6章 河川生活期（産卵場加入魚の生態特性）

春～初夏に河川を遡上したアユは河川に入ると河床の石の表面の藍藻や珪藻などの付着藻類を餌として成長する。また、付着藻類を食むようになると縄張りを形成し、侵入者を縄張りから追い払う行動をとるようになる（宮地 1960, 川那部 1970）。縄張りを形成したアユは縄張りをえさ場として独占することができることから成長率が高くなることが知られており（Iguchi・Hino 1996）、そのため早期に遡上し早く縄張りを形成した個体が高い成長率を示し、早期に大型で産卵することが予想される。近年、稚魚放流が天然遡上魚の縄張り形成を阻害するために天然遡上魚の成長が抑制されている可能性が指摘されている（間野ら 2014, Aino et al. 2015）。すなわち、天然魚に比べて大型で放流されたアユが先に縄張りを作るため、天然遡上魚が縄張りを作ることができずに十分な成長が得られないという。個体あたりの産卵数や卵サイズはその個体のサイズにより変化し（Iguchi 1996）、成長は産卵時期にも関わる（Iguchi・Yamaguchi 1994）。これより、天然遡上魚の成長が抑制されることはその産卵生態にも大きな影響を与えるものと推察される。

アユの成熟は短日化が引き金となって進行し、水温が 20℃以下になると産卵を開始することが知られている（白石・武田 1961）。したがって、産卵期は日照時間が短く水温の低下が早い高緯度地方ほど早くなる。実際、南北に長い日本列島では産卵期に地理的クラインがあり、北日本では産卵盛期が 9～10 月にあり、中緯度地域では 10～11 月、南方では 11 月以降にあることが知られる（南 2009）。

本章では盛川に遡上し産卵期を迎えたアユの耳石解析から孵化日、遡上日、遡上体長、汽水移動時期や海域生活期と河川生活期における成長率を推定し、これらの結果に基づいて三陸沿岸域の天然遡上アユの河川での生活史や産卵生態の特性を明らかにする。なお、本研究では 2008 年と 2009 年の秋季に盛川で採集されたアユを材料とするが、それぞれの孵化年に合せて 2007 年級、2008 年級と呼ぶ。

### 第1節 材料と方法

## 第1項 親魚の採集

盛川の河口から 2.5～3.3 km の区間にある主要な産卵場において 2007 年級を 3 回（9 月 26 日、10 月 23 日、11 月 11 日）の友釣り、2008 年級を 2 回（9 月 28 日、10 月 16 日）の投網によって採集をした。採集された個体の性、体長、体重、肥満度、生殖腺指数を雌雄別に表 6-1 に示した。肥満度は体重（g）× 100/体長（mm）、生殖腺指数は生殖腺重量（g）× 100/体重（g）の式で求めた。なお、2008 年級の供試魚は北里大学海洋生命科学部朝日田卓教授から提供されたものである。いずれもまず第 5 章第 1 節第 1 項で記したように下顎側線孔数と側線上方横列鱗数から天然遡上魚と放流魚の判別を行い、天然遡上魚と判別された個体についてのみ雌雄判別、体長、体重、生殖腺重量の計測を行った。雌雄判別は尻鰭の形状における雌雄差で行った。

## 第2項 親魚の孵化日、遡上日、遡上体長の推定

2007 年級は天然遡上魚と判別された個体から雄雌それぞれ 14 個体と 16 個体、2008 年級は 12 個体と 22 個体を無作為に抽出した。これらの供試魚から耳石を摘出し、第 5 章第 2 節第 2、3 項で記した方法に従って耳石日周輪紋解析と Sr:Ca 比分析を行い、日齢、孵化日、遡上日齢、遡上時期を推定し、さらにバイオロジカルインタセプト法により遡上体長を推定した。また、遡上体長と遡上日齢から下記の式により海域生活期と河川生活期の成長率を求めた。

海域生活期の成長率（mm/日）＝（遡上体長－孵化体長）/ 遡上日齢

河川生活期の成長率（mm/日）

＝（採集時体長－遡上体長）/（採集時日齢－遡上日齢）

孵化体長は第 4 章第 1 節第 3 項と同様に 6.3 mm とした。

## 第2節 結果

### 第1項 産卵場加入個体の性比と成熟度

採集された天然遡上魚の雌雄比は 2007 年級、2008 年級とも雄の割合が高く、その傾向は時期が遅くなるにつれて顕著になった（表 6-1）。生殖腺指数は 2007



年級についてはデータがないため成熟度は不明であるが、婚姻色がみられたことから成熟はかなり進行していたと推察された。アユは成熟した後に産卵のために縄張りを解いて下流の産卵場に降下することが知られている。したがって、これらの個体はすでに婚姻色がみられたものの、まだ産卵場加入前の成熟過程にある可能性がある。しかし、産卵場において産卵加入したアユに対して雌を囿にして友釣りを行うことはよく知られており、本研究では産卵場加入個体として扱った。2008 年級の 9 月、10 月の採集魚における生殖腺指数は雄で  $9.0 \pm 3.4$  (平均値  $\pm$  標準偏差)、 $6.8 \pm 2.2$ 、雌で  $16.0 \pm 8.7$ 、 $9.3$  であり、いずれも成熟段階にあった (高橋・新見 1998) ことから産卵場加入個体と考えた。これより 2007 年級、2008 年級とも採集日を産卵場加入時期とみなして以下の検討を行った。肥満度は 2007 年級の雄の各月の平均が 9.2~11.9、雌が 10.9~15.0、2008 年級の雄が 7.1~12.8、雌が 10.5~11.8 であった。

## 第 2 項 体長、体重

採集された雄と雌の体長の各月の平均は 2007 年級がそれぞれ 102.3~127.2 mm、89.1~130.9 mm、2008 年級がそれぞれ 143.7~156.8 mm、141.0~152.0 mm であった (表 6-1)。雌雄の体長に有意な差はなく、2007 年級については雌雄とも経月的に減少する傾向がみられた。また、体長は 2007 年級に比べて 2008 年級が雌雄とも有意に大きかった (t 検定、 $p < 0.01$ )。体重は 2007 年級の雄の各月の平均が 10.4~25.1 g、雌が 10.3~31.8 g、2008 年級ではそれぞれ 28.5~39.9 g と 29.0~41.4 g であり、雌雄間に有意差はなかった (t 検定、 $p > 0.01$ )。

## 第 3 項 日齢と孵化日

日齢は各月の平均が 2007 年級の雄が 337.1~355.2 日、雌が 341.0~358.0 日、2008 年級でそれぞれ 339.7~352.1 日、342.0~333.0 日であった (表 6-1)。各月間、雌雄間、また年級間のいずれにも有意差はなかった (ANOVA,  $p > 0.01$ )。孵化日は各月の平均が 2007 年級の雄で 2007 年 10 月 14 日~12 月 9 日、雌で 10 月 21 日~12 月 2 日、2008 年級ではそれぞれ 2008 年 10 月 23 日~10 月 28 日、10 月 21 日~11 月 17 日でいずれの年級も採集月間に有意差がみられ (ANOVA,  $p < 0.01$ )、採集時期とともに孵化日も遅くなる傾向がみられた (図 6-1)。

#### 第4項 遡上日齢、遡上日、推定遡上体長、海域生活期および河川生活期の成長率

遡上日齢は雌雄および年級間に差はなく、各月の平均は 204.5～235.7 日であった(表 6-1)。遡上日は 2007 年級の各月の平均が 2008 年 5 月 12 日～7 月 8 日、2008 年級が 2009 年 5 月 24 日～6 月 15 日であり、2007 年級では雌雄とも経月的に遅くなった(雄のみ有意差あり: ANOVA,  $p<0.01$ )。遡上体長は 2007 年級の各月の平均が雄で 72.5～86.8 mm、雌で 67.4～86.9 mm、2008 年級ではそれぞれ 83.8～96.0 mm、77.1～84.6 mm で経月的に小型化する傾向がみられた(t 検定、 $p<0.05$ 、図 6-2)。海域生活期成長率の各月の平均は 2007 年級の雄で 0.316～0.363 mm/日、雌で 0.294～0.395 mm/日、2008 年級でそれぞれ 0.368～0.383 mm/日、0.358～0.365 mm/日であった。また河川生活期成長率は 2007 年級の雄で 0.227～0.322 mm/日、雌で 0.224～0.319 mm/日、2008 年級の雄で 0.429～0.584 mm/日、雌で 0.442～0.555 mm/日であり、雌雄とも 2008 年級が有意に高かった(t 検定、 $p<0.01$ )。2007 年級では海域生活期、河川生活期とも経月的に減少する傾向がみられ、特に 9 月採集個体が他の採集月の個体に比べて海域生活期、河川生活期とも顕著に高かった。

2007 年級について孵化日と遡上日、採集日の間には正の相関がみられ、それぞれ  $r^2=0.5019$ 、 $0.5019$ ) (図 6-3-A, B)、孵化日と遡上体長に弱い負の相関がみられた(それぞれ  $r^2=0.447$ 、図 6-3-C)。また、遡上日と採集時体長、海域生活期と河川生活期の成長率の間にはいずれも弱い負の相関がみられた(それぞれ  $r^2=0.4625$ 、 $0.4914$ 、 $0.3456$ 、図 6-4-A, C, D)。遡上体長と採集時体長の間には正の相関がみられた( $r^2=0.8254$ 、図 6-5)。また、孵化月ごとにシンボルの色を変えたところ、早生まれである 9 月生まれ個体が採集時体長も大きいことが示された。これらの結果は、早生まれ個体が早期に大型で遡上し、河川でも良い成長を示し大型で早期に産卵場に参加する傾向があることを示す。一方、2008 年級では採集個体数の多い雄についてみると、2007 年級に比べて顕著な傾向はみられず、体長は 9 月採集個体が有意に大きかった(t 検定、 $p<0.01$ )ものの、体重はむしろ 10 月採集個体の方が有意に大きかった(t 検定、 $p<0.01$ 、表 6-1)。孵化日については 9 月採集個体が有意に早く(t 検定、 $p<0.05$ )、遡上日は 9 月

採集個体が有意に遅かった (t 検定、 $p<0.05$ )。 遡上体長は 9 月採集個体が有意に大きかった (t 検定、 $p<0.05$ )。また、成長率についてみると海域生活期には有意差はなく、河川生活期で 9 月採集個体が有意に高かった (t 検定、 $p<0.01$ )。遡上体長と採集時体長 (産卵場加入体長) の間には弱い正の相関がみられたが ( $r^2=0.4223$ )、それ以外には相関が認められなかった ( $r^2=0.0025\sim0.1201$ )。すなわち、2008 年級の 9 月採集個体(雄)は 10 月採集個体よりも早期に孵化し、海域生活期の成長率はほぼ同じだったものの約半月遅れて大型で遡上した。そして、遡上後の成長率がよく、より大きく成長して早い時期に産卵場に参加したものと推察された。

## 第 5 項 海域生活期と河川生活期の成長率

図 6-6-A, B に 2007 年級と 2008 年級の採集個体の海域生活期と河川生活期の成長率の関係を示した。2008 年級では明瞭な関係は認められないが 2007 年級では両者に正の相関が認められた ( $r^2=0.6897$ )。このことは、海域生活期の成長の良い個体が河川でも引き続き高い成長率を維持することを示す。また、孵化月ごとにみた場合に、早生まれ個体が両生活域での成長率が高いことがわかる。

## 第 3 節 考察

### 第 1 項 産卵場への加入

2007 年級で早期に産卵場で採集された個体は早期に大型で遡上し、河川でも成長率が高く大型で産卵期を迎えたことが明らかになった。産卵場に参加した個体の孵化日と遡上日、遡上体長、成長率の間に正の相関があることは、三重県宮川の産卵場加入個体でも報告されており(大竹 2005)、アユの河川生活期の生態における一般的特性なのかもしれない。

2007 年級の 10 月 23 日と 11 月 11 日に採集された 24 個体(産卵場加入個体)に 7 月中旬～8 月上旬に遡上した個体が 7 尾(10 月 23 日:2/12 個体、11 月 11 日:5/12 個体)で全て雄であり、これらの孵化日は 11 月上旬～12 月下旬にあった。このことは遅生まれの中にはきわめて遡上が遅れ、遅い時期に産卵に至る個体がいることを示す。第 5 章で遅生まれできわめて遅い時期に河川を遡上する矮小個体(Iguchi et al.

2005)の存在について議論した。本章でみられた 7 月以降の遅い時期に遡上する個体は、Iguchi et al. (2005)が報告した矮小個体に当たるのかもしれない。実際にこれらの個体の平均体長は 10 月 23 日が 99.4 mm、11 月 11 日が 93.8 mm であり、同時期に採集された個体の平均(10 月 23 日:111.0 mm、11 月 11 日:110.0 mm)に比べて小さかった。第 5 章で遅生まれ個体の生活史特性について議論したが、本章での結果は遅生まれ個体の選択的減耗の可能性は少なく、むしろ遅い時期に遡上してくる可能性を支持する。ただし、本章での結果は量的な議論はできないため、遅生まれの海域における選択的減耗を完全に否定することはできない。

## 第 2 項 2007 年級と 2008 年級の産卵場加入個体の違い

2008 年級の 9 月と 10 月の産卵場加入個体では、2007 年級で観察された傾向は認められなかった。分析個体数の多い雄についてみると、体長は 9 月が 10 月に比べて大きかったものの、体重と肥満度は 10 月の方がむしろ大きく、遡上日も 10 月の方が早かった。9 月加入個体は第 2 節第 4 項で述べたように遅く遡上したものの遡上体長が大きく、河川での成長もよいことから早期に産卵場加入したものと考えられた。一方、10 月加入個体の特徴として 9 月に比べて早い時期に小型で遡上し、遡上後の体長を指標とした成長率は良くないものの体重が重く、肥満度が高いことが挙げられる。生殖腺指数は 9 月加入個体に比べて若干低かった。10 月の採集日前の 10 月 8 日に大型台風が岩手県を通過し、盛川も大幅な増水(流量と水位が 1 日にそれぞれ 1.5 m<sup>3</sup>/秒から 22.2 m<sup>3</sup>/秒、0.4 m から 1.0 m に増加; 岩手県県土整備部河川課調査による)があったことから、成熟が進み下流の産卵場にすでに降下した個体や成長の悪い小型個体(肥満度の低い痩せた個体)が流出するなど個体群構成が変化した可能性もあり、このことが 10 月加入個体を特徴づけた一つの要因になっているかもしれない。また、このことは第 3 章で述べた 2009 年の流下仔魚数がきわめて少なかったこととも関係する。

2008 年級の産卵場加入個体は同年級である 2009 年の遡上個体に比べて孵化日、遡上日とも約 1 ヶ月遅かった(表 5-2、図 5-3-C)。遡上個体の平均孵化日は 9 月下旬であり、この時期の水温(15℃、図 2-4-A)での孵化日数が 14 日(第 3 章、伊藤ら 1971)であることから、これらの親魚の産卵は 9 月上・中旬にあったと考えられる。したがって、

4 月下旬～5 月下旬に遡上した早生まれ個体は本研究での採集時(9 月 28 日)にはすでに産卵を終えていたと考えられる。また、2008 年級の仔魚の流下は 10 月上・中旬にピークがあったことから、9 月下旬～10 月中旬の産卵場加入魚はピークの後半以降の流下仔魚に由来したものと考えられる。

2009 年級の流下仔魚数は他の年と比較してピークが半月遅く 10 月下旬にあり、総流下仔魚数も他の年に比べてきわめて少なかった。盛川の 2008 年級と 2010 年級の流下仔魚のピークは 10 月上・中旬にあったことから、例年では盛川における親魚の産卵場加入は 9 月下旬にあったと考えられ、2009 年 9 月下旬に採集された産卵場加入個体がこの年の産卵の中心となったものと考えられる。この産卵場加入個体はサイズも大きかったことから産卵量も大きかったものと推察されるが、この個体群が産出した卵は丁度 10 月 8 日の大增水で流失したものと考えられ、これが 2009 年級の流下仔魚量の大幅な減少につながったものと推察される。

表6-1 盛川の産卵場加入アユの体長、体重、肥満度、生殖腺指数、日齢、孵化日、遡上日齢、遡上日、遡上体長、海域生活期成長率、河川生活期成長率

年級群 (採集方法)	水温 (℃)	雌雄	分析尾数 (採集天然 魚数)	体長(mm) 平均±標準偏差 (範囲)	体重(g) 平均±標準偏差 (範囲)	肥満度 平均±標準偏差 (範囲)	生殖腺体重比 (%) 平均±標準偏差 (範囲)	日齢(日) 平均±標準偏差 (範囲)	孵化日 平均 (範囲)	遡上日齢 平均±標準偏差 (範囲)	遡上日 平均 (範囲)	遡上体長 平均±標準偏差 (範囲)	海域生活期 成長率(mm/日) 平均±標準偏差 (範囲)	河川生活期 成長率(mm/日) 平均±標準偏差 (範囲)
2007年級		♂	8(14)	127.2 ± 17.0 (102.9 - 155.3)	25.1 ± 8.1 (12.5 - 34.9)	11.9 ± 1.4 (9.3 - 13.6)	—	347.3 ± 15.6 (313 - 359)	2007.10.14 (10.3 - 11.18)	222.8 ± 22.4 (182 - 250)	2008.5.24 (5.4 - 6.12)	86.8 ± 10.1 (71.3 - 102.8)	0.363 ± 0.042 (0.293 - 0.427)	0.322 ± 0.064 (0.239 - 0.438)
	2008.9.26	♀	6(6)	130.9 ± 27.0 (96.1 - 172.3)	31.8 ± 21.5 (13.0 - 68.2)	12.6 ± 1.8 (9.3 - 14.7)	—	341.0 ± 15.6 (322 - 364)	2007.10.21 (9.28 - 11.9)	204.5 ± 16.6 (183 - 223)	2008.5.12 (4.19 - 6.10)	86.9 ± 13.1 (73.1 - 108.8)	0.395 ± 0.059 (0.312 - 0.466)	0.319 ± 0.091 (0.213 - 0.441)
		♂♀	14(20)	128.8 ± 20.9 (96.1 - 172.3)	27.9 ± 15.0 (12.5 - 68.2)	12.2 ± 1.6 (9.3 - 14.7)	—	344.6 ± 15.3 (313 - 364)	2007.10.17 (9.28 - 11.18)	214.9 ± 21.5 (182 - 250)	2008.5.19 (4.19 - 6.12)	86.8 ± 11.1 (71.3 - 108.8)	0.376 ± 0.051 (0.293 - 0.466)	0.321 ± 0.074 (0.213 - 0.441)
		♂	10(19)	107.8 ± 10.6 (94.4 - 130.5)	16.5 ± 5.2 (9.9 - 28.7)	12.9 ± 1.7 (10.2 - 16.0)	—	355.2 ± 10.3 (336 - 372)	2007.11.2 (10.17 - 11.22)	225.3 ± 20.2 (189 - 259)	2008.6.15 (5.3 - 7.21)	78.3 ± 6.4 (62.6 - 86.1)	0.321 ± 0.032 (0.278 - 0.376)	0.227 ± 0.035 (0.184 - 0.286)
(友釣り)	2008.10.23	♀	2(3)	115.5 ± 11.5 (107.4 - 123.6)	23.6 ± 7.9 (18.1 - 29.2)	15.0 ± 0.6 (14.6 - 15.5)	—	358.0 ± 4.2 (356 - 361)	2007.10.31 (10.28 - 11.3)	233.5 ± 16.3 (222 - 245)	2008.6.20 (6.12 - 6.29)	80.1 ± 2.0 (78.7 - 81.5)	0.317 ± 0.031 (0.296 - 0.339)	0.282 ± 0.049 (0.247 - 0.317)
		♂♀	12(21)	109.1 ± 10.6 (94.4 - 130.5)	17.7 ± 6.0 (9.9 - 29.2)	13.3 ± 1.8 (10.2 - 16.0)	—	355.7 ± 9.5 (336 - 372)	2007.11.2 (10.17 - 11.22)	226.7 ± 19.2 (189 - 259)	2008.6.16 (5.3 - 7.21)	78.6 ± 5.8 (62.6 - 86.1)	0.320 ± 0.031 (0.278 - 0.376)	0.236 ± 0.041 (0.184 - 0.317)
		♂	11(20)	102.3 ± 16.4 (81.7 - 134.5)	10.4 ± 5.0 (4.7 - 21.3)	9.2 ± 1.0 (7.7 - 11.2)	—	337.1 ± 20.9 (318 - 384)	2007.12.9 (10.24 - 12.29)	211.3 ± 20.4 (183 - 247)	2008.7.8 (6.15 - 8.7)	72.5 ± 8.1 (60.0 - 82.5)	0.316 ± 0.050 (0.248 - 0.401)	0.232 ± 0.054 (0.159 - 0.349)
	2008.11.11	♀	1(1)	98.1 (81.7 - 134.5)	10.3 (4.7 - 21.3)	10.9 (7.7 - 11.2)	—	345 (318 - 384)	2007.12.2 (10.24 - 12.29)	208 (183 - 247)	2008.6.27 (6.15 - 8.7)	67.4 (60.0 - 82.5)	0.294 (0.248 - 0.401)	0.224 (0.159 - 0.349)
2008年級		♂♀	12(21)	101.9 ± 15.7 (81.7 - 134.5)	10.4 ± 4.8 (4.7 - 21.3)	9.3 ± 1.1 (7.7 - 11.2)	—	337.8 ± 20.0 (318 - 384)	2007.12.9 (10.24 - 12.29)	211.0 ± 19.5 (183 - 247)	2008.7.7 (6.15 - 8.7)	72.1 ± 7.9 (60.0 - 82.5)	0.314 ± 0.048 (0.248 - 0.401)	0.231 ± 0.051 (0.159 - 0.349)
	2009.9.28	♂	15(35)	156.8 ± 16.7 (116.0 - 186.0)	28.5 ± 10.6 (10.3 - 47.9)	7.1 ± 1.2 (4.4 - 9.3)	9.0 ± 3.4 (3.0 - 16.9)	339.7 ± 12.6 (321 - 366)	2008.10.23 (9.27 - 11.11)	235.7 ± 21.2 (201 - 271)	2009.6.15 (5.29 - 7.3)	96.0 ± 5.8 (85.2 - 107.7)	0.383 ± 0.035 (0.291 - 0.427)	0.584 ± 0.130 (0.324 - 0.866)
		♀	3(8)	141.0 ± 21.2 (117.0 - 157.0)	29.0 ± 7.5 (20.4 - 34.6)	10.5 ± 2.2 (8.3 - 12.8)	16.0 ± 8.7 (6.5 - 23.6)	342.0 ± 10.6 (330 - 350)	2008.10.21 (10.13 - 11.2)	215.7 ± 10.7 (204 - 225)	2009.5.24 (5.19 - 5.30)	84.6 ± 6.2 (77.9 - 89.8)	0.365 ± 0.046 (0.318 - 0.409)	0.442 ± 0.107 (0.323 - 0.533)
		♂♀	18(43)	154.2 ± 17.9 (116.0 - 186.0)	28.6 ± 10.0 (10.3 - 47.9)	7.7 ± 1.9 (4.4 - 12.8)	10.2 ± 5.1 (3.0 - 23.6)	340.1 ± 12.0 (321 - 366)	2008.10.22 (9.27 - 11.11)	232.3 ± 21.0 (201 - 271)	2009.6.12 (5.19 - 7.3)	94.1 ± 7.1 (77.9 - 107.7)	0.380 ± 0.036 (0.291 - 0.427)	0.563 ± 0.135 (0.323 - 0.866)
(投網)		♂	10(41)	143.7 ± 18.6 (112.0 - 166.0)	39.9 ± 15.4 (17.4 - 63.1)	12.8 ± 1.4 (10.4 - 15.3)	6.8 ± 2.2 (3.7 - 10.3)	352.1 ± 12.4 (325 - 367)	2008.10.28 (10.14 - 11.25)	211.3 ± 22.0 (173 - 240)	2009.5.28 (4.9 - 6.28)	83.8 ± 9.5 (66.9 - 96.2)	0.368 ± 0.042 (0.301 - 0.442)	0.429 ± 0.078 (0.317 - 0.544)
	2009.10.16	♀	1(3)	152 (112.0 - 166.0)	41.4 (17.4 - 63.1)	11.8 (10.4 - 15.3)	9.3 (3.7 - 10.3)	333 (325 - 367)	2008.11.17 (10.14 - 11.25)	198 (173 - 240)	2009.6.3 (4.9 - 6.28)	77.1 (66.9 - 96.2)	0.358 (0.301 - 0.442)	0.555 (0.317 - 0.555)
		♂♀	11(44)	144.5 ± 17.8 (112.0 - 166.0)	40.4 ± 14.6 (17.4 - 63.1)	12.7 ± 1.4 (10.4 - 15.3)	7.0 ± 2.3 (3.7 - 10.3)	350.4 ± 13.1 (325 - 367)	2008.10.30 (10.14 - 11.25)	210.1 ± 21.3 (173 - 240)	2009.5.28 (4.9 - 6.28)	83.2 ± 9.3 (66.9 - 96.2)	0.367 ± 0.040 (0.301 - 0.442)	0.441 ± 0.083 (0.317 - 0.555)

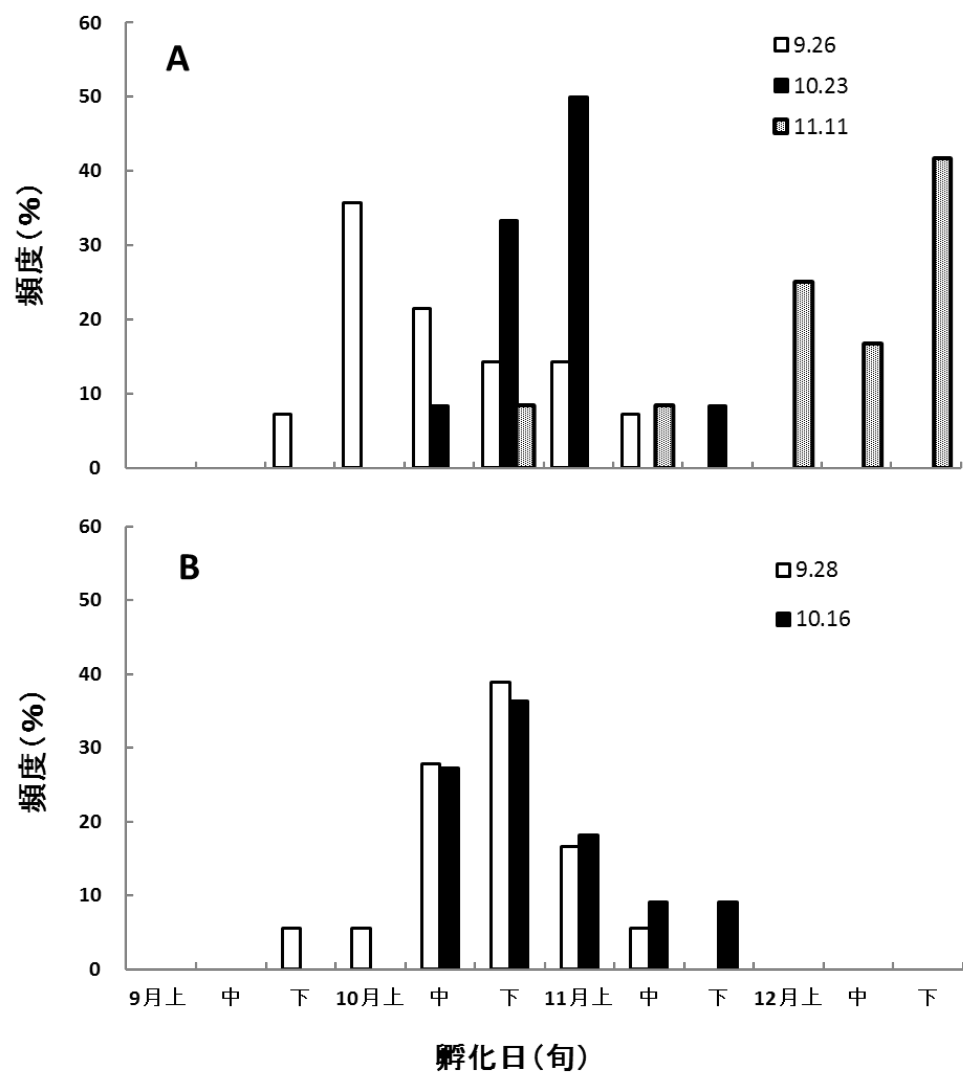


図 6-1 盛川の 2007 年級(A)と 2008 年級(B)産卵場加入魚の採集ごとの孵化日組成

図 A の凡例の □ 9.26、■ 10.23、▨ 11.11 はそれぞれ 2007 年 9 月 26 日、10 月 23 日、11 月 11 日、図 B の凡例 □ 9.28 と ■ 10.16 はそれぞれ 2008 年 9 月 28 日と 10 月 16 日を示す

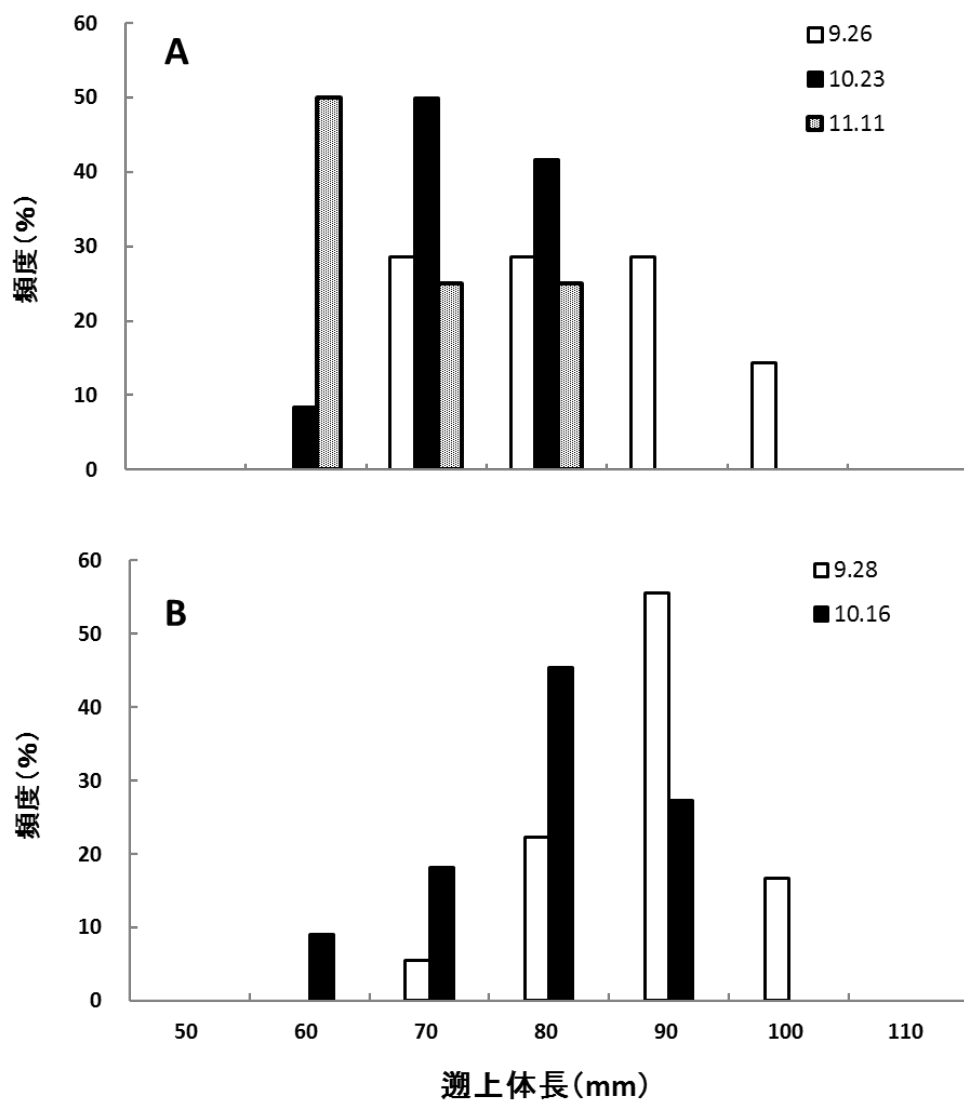


図 6-2 盛川の 2007 年級 (A) と 2008 年級 (B) の産卵場加入魚の採集ごとの廻上体長の組成

図 A の凡例の □ 9.26、■ 10.23、▨ 11.11 はそれぞれ 2007 年 9 月 26 日、10 月 23 日、11 月 11 日、図 B の凡例 □ 9.28 と ■ 10.16 はそれぞれ 2008 年 9 月 28 日と 10 月 16 日を示す



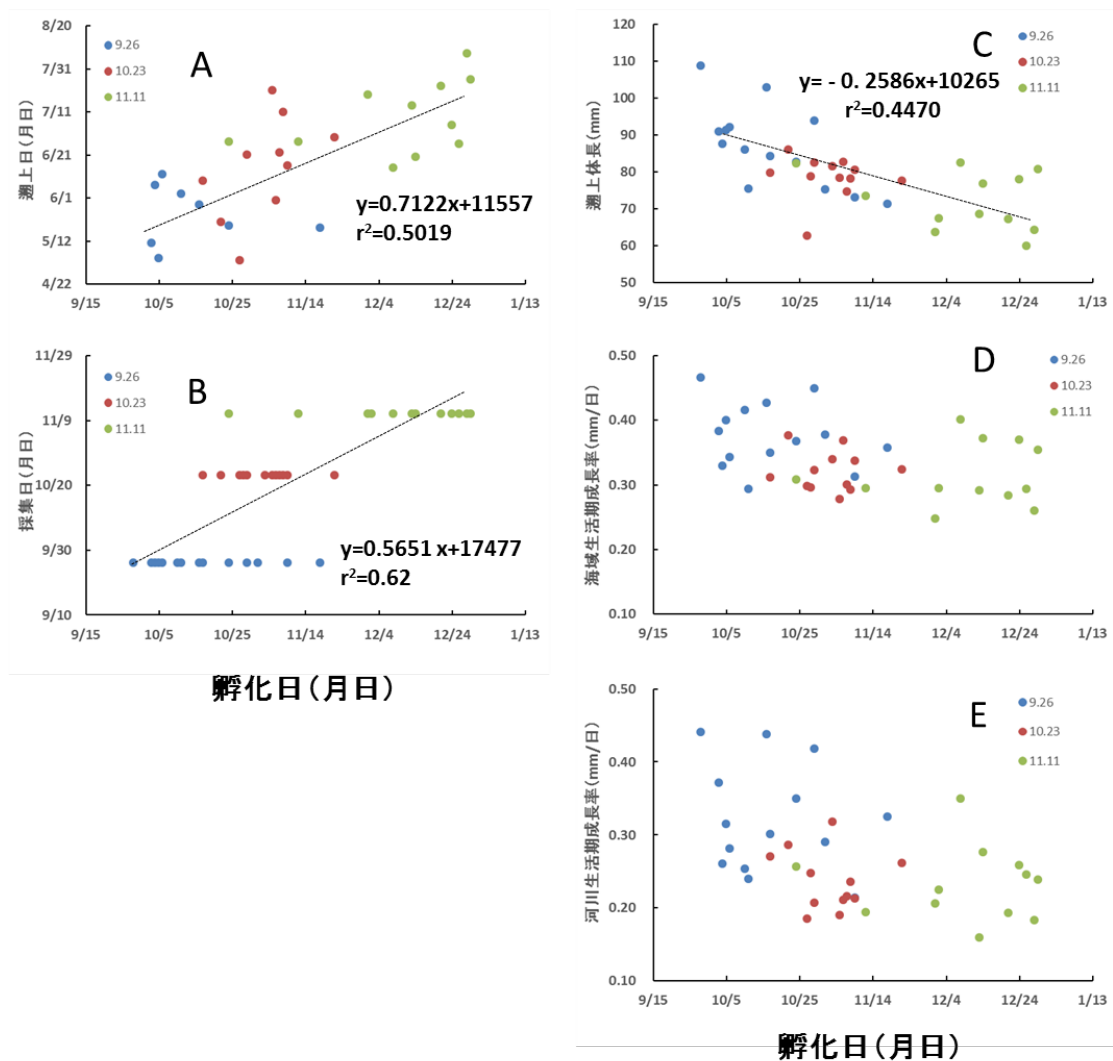


図 6-3 盛川の 2007 年級産卵場加入魚の孵化日と遡上日 (A)、採集日 (産卵場加入日) (B)、遡上体長 (C)、海域生活期成長率 (D)、河川生活期成長率 (E) の関係  
 採集日 (産卵場加入日) ごとにシンボルの色を変え、● は 2007 年 9 月 26 日、● は 2007 年 10 月 23 日、● は 2007 年 11 月 11 日を示す

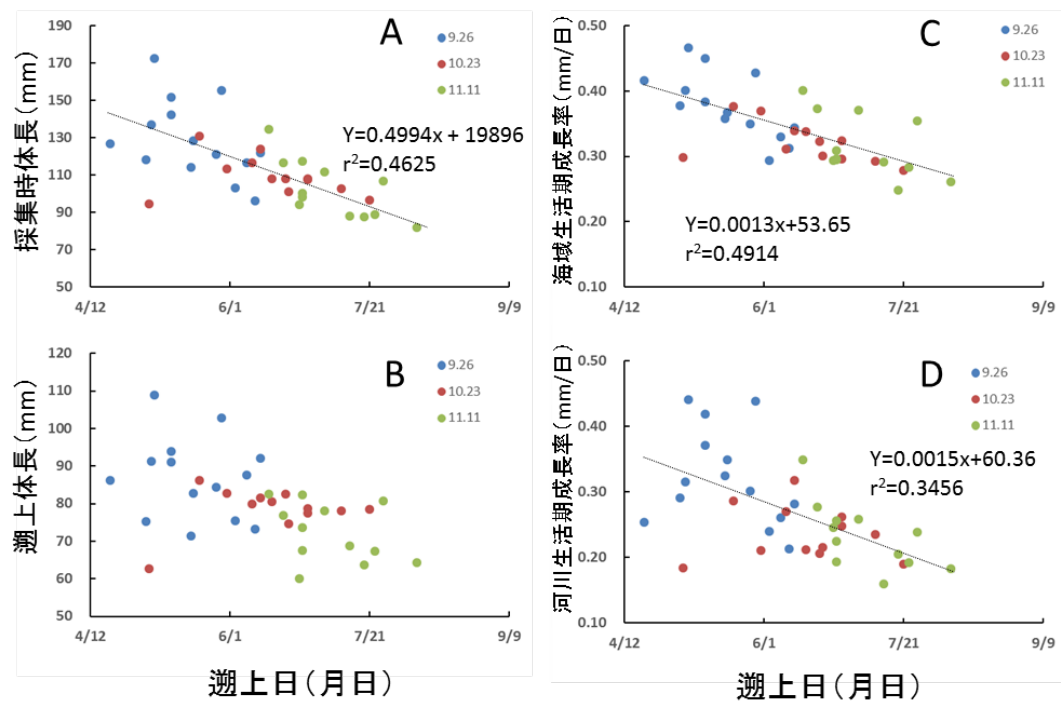


図 6-4 盛川の2007年級産卵場加入魚の遡上日と採集時体長(産卵場加入体長)(A)、遡上体長(B)、海域生活期成長率(C)、河川生活期成長率(D)の関係  
採集日(産卵場加入日)ごとにシンボルの色を変え、● は 2007 年 9 月 26 日、● は 2007 年 10 月 23 日、● は 2007 年 11 月 11 日を示す

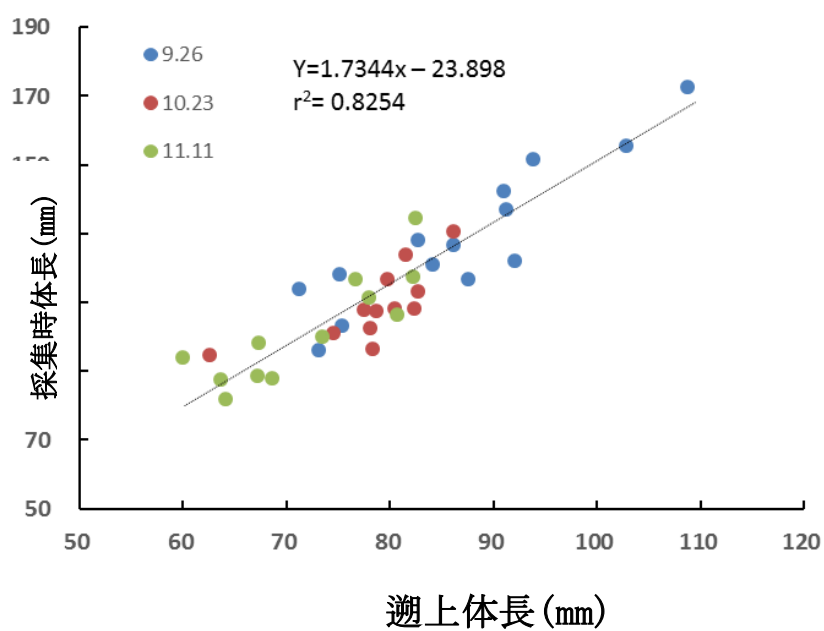


図 6-5 盛川の 2007 年級産卵場加入魚の遡上体長と採集時体長(産卵場加入体長)の関係

採集日(産卵場加入日)ごとにシンボルの色を変え、● は 2007 年 9 月 26 日、● は 2007 年 10 月 23 日、● は 2007 年 11 月 11 日を示す

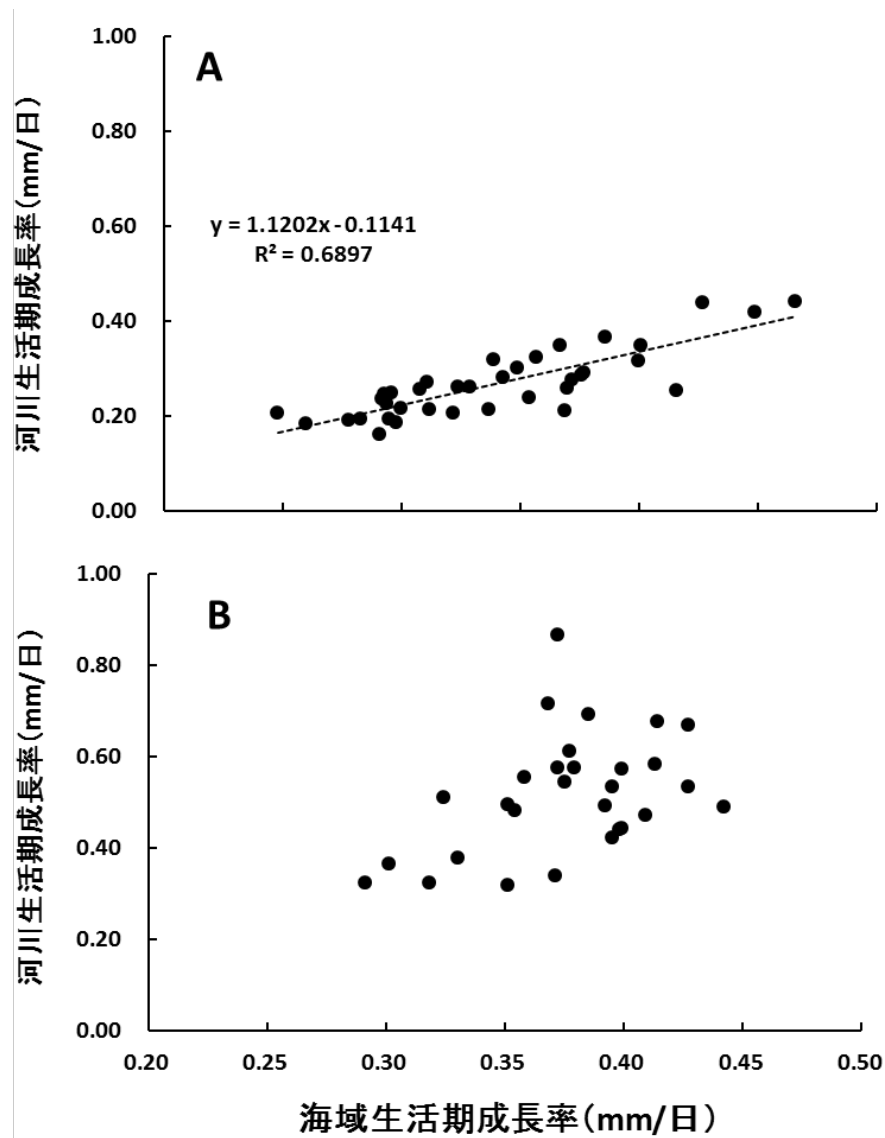


図 6-6 盛川の 2007 年級 (A) と 2008 年級 (B) の産卵場加入魚の海域生活期成長率と河川生活期成長率の関係

## 第 7 章 東日本大震災が三陸地域のアユ資源に及ぼした影響

2011 年 3 月 11 日に発生したマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震は三陸沿岸域の地形や環境に大きな変化を及ぼし (Mori et al. 2011, Simons et al. 2011, Tanaka et al. 2012)、沿岸生態系に多大な攪乱をもたらした。特に地震に伴って発生した巨大津波は河口域を中心に沿岸の底生生物や魚類に大きな影響を及ぼした (益田 2012, 2013, Miura et al. 2012, Seike et al. 2013, Urabe et al. 2013, Takami et al. 2013, Kawamura et al. 2014)。アユは第 4 章、第 5 章で述べてきたように津波が発生した 3 月は海域生活期から河川遡上期への移行時期に当たり、仔稚魚が砕波帯から河口域に分布していたと考えられる。本研究で調査を行ってきた大槌湾鵜住居川では津波と地震による地盤沈下により河口域の砕波帯が流失し、河川内汽水域が完全に失われた。また、大船渡湾は湾口防波堤が破壊された。これらは鵜住居川や盛川の河口周辺域の物理・化学環境を一変させたと考えられ、それらの環境攪乱が砕波帯や河口域に分布したアユ仔稚魚の生態に与えた影響はきわめて大きかったと考えられる。東日本大震災以前にも 2004 年のインド洋大地震 (Whanpetch et al. 2010)、2007 年のペルー沖地震 (Lomovasky et al. 2011)、2010 年のチリ地震 (Jaramillo et al. 2012) など津波が沿岸域の生物群集に及ぼした影響を扱った研究は散見されるが、津波前後での詳細な調査結果に基づく影響評価に関する研究はきわめて少ないのが現状である。

本研究では、東日本大震災の 3 ヶ月後の 6 月に震災以前から調査を行ってきた鵜住居川と盛川で遡上アユ (2010 年級) を採集することができた。そこで本章では、津波直後に採集された遡上アユの耳石日周輪紋や耳石 Sr:Ca 比の解析に基づいてそれらの生活史を明らかにし、その結果を震災前の 2008 年級や 2009 年級のものと比較することで津波による環境攪乱が三陸沿岸域のアユ個体群に及ぼした影響の解明を目指した。特定の魚種を津波前後で同一の手法で調査し、その結果から津波による直接的影響を検討した本研究は、津波が沿岸の生物群集に及ぼした影響を理解する上で貴重な情報を提供するものとする。

### 第 1 節 材料と方法

## 第1項 遡上魚の採集

鵜住居川において2011年6月11日、20日に第5章と同様に河口から2～5 kmの区間（図 2-1-B）で投網により遡上アユを採集した。投網は合計14回（11日：8回、20日6回）打ち、計10尾（11日：8尾、20日2尾）が採集された（表 7-1）。採集時にアルコール棒状温度計を用いて採集場所の水温の測定を行った。また、河口から約6 kmの地点に設置したデータロガーを回収することができたので、その水温記録も用いた。

盛川では2011年6月7日に第5章と同様に投網による遡上アユの採集を行った。投網は河口から1.7 kmの岩手開発鉄道橋の前後約0.5 kmの区間で15回打ち、合計90尾が採集された（表 7-1）。採集時にアルコール棒状温度計を用いて採集場所の水温を測定した。

採集された遡上アユは全て99.5%エチルアルコールで固定し、研究室に持ち帰ってから体長と体重を測定し、耳石を摘出した。なお、鵜住居川遡上魚については採集された10尾全て、盛川遡上魚については採集された90尾のうち無作為に抽出した30尾を以降の分析に供した。また、震災により2011年の稚アユの放流はいずれの河川でも実施されなかったことから、採集魚の放流魚/天然魚の判別は行わなかった。

## 第2項 遡上魚の日齢と孵化日

第5章と同様に耳石の研磨を行い、耳石輪紋解析装置を用いた日周輪紋解析により各個体の日齢と孵化日を算出した。

## 第3項 遡上魚の耳石 Sr:Ca 比と日周輪紋による遡上日齢、遡上日、遡上体長の推定

第5章と同様に耳石 Sr:Ca 比の孵化から採集時までの生活史断面における変化を日齢に対応させ、耳石 Sr:Ca 比の淡水生活基準値（第5章第2節第2項）を用いて遡上日齢、遡上日を求め、さらにバイオロジカルインタセプト法による遡上体長の推定を行った。

#### 第4項 遡上魚が震災時に分布した塩分環境の推定

各個体について、耳石 Sr:Ca 比と日齢の関係から 3 月 11 日に当たる部分の値を求め、その値から遡上アユが分布した場所の塩分環境を推定した。

### 第2節 結果

#### 第1項 遡上魚の体長、体重、日齢、孵化日

鵜住居川と盛川の遡上魚の体長、体重、日齢、孵化日を表 7-1 にまとめた。また、併せて鵜住居川では 2009 年級(2010 年 6 月遡上)、盛川では 2008 年級(2009 年 5 月、6 月遡上)と 2009 年級(2010 年 6 月遡上)のデータも示した。いずれの河川においても体長と体重に採集年の間での有意差はなかった。一方、日齢と孵化日にはいずれの河川でも震災前後で有意な違いがあり、震災後の遡上魚が震災前のものに比べて若齢で遅生まれであった(図 7-1, 7-2)。震災後の遡上魚の平均日齢(範囲)と孵化日(範囲)はそれぞれ鵜住居川で  $239.3 \pm 10.1$  日(219~252 日)、2010 年 10 月 16 日(10 月 6 日~11 月 4 日)、盛川で  $229.2 \pm 13.4$  日(201~247 日)、2010 年 10 月 20 日(10 月 3 日~11 月 18 日)であった。震災後の遡上魚の孵化日組成は、いずれの河川でも第 3 章で求めた 2010 年の流下仔魚のピークに比べて遅い時期に偏っていた。

#### 第2項 遡上魚の遡上日齢、遡上日、遡上体長

遡上魚の平均遡上日齢(範囲)は鵜住居川で  $221.4 \pm 17.6$  日(189~245 日)、盛川で  $210.1 \pm 17.4$  日(182~244 日)でいずれも震災前の年級に比べて有意に若齢であった(表 7-1)。一方、平均遡上日(範囲)については鵜住居川で 2011 年 5 月 25 日(5 月 2 日~6 月 19 日)、盛川で 2011 年 5 月 18 日(5 月 3 日~6 月 7 日)でいずれも震災前の年級との間に有意差はなかった。また遡上体長は盛川の遡上魚が震災前に比べて有意に小さかった( $p < 0.01$ )ものの、鵜住居川では有意な違いは認められなかった。

#### 第3項 遡上魚が 3 月 11 日に分布した塩分環境

震災後(2010年級)遡上魚の3月11日に相当する耳石部分の平均 Sr:Ca 比(範囲)は鵜住居川で  $6.88 \pm 0.73$  (5.51~7.85)、盛川で  $7.35 \pm 1.19$  (4.40~9.93) でそれぞれの河川での震災前(2009年級)(鵜住居川:  $5.08 \pm 1.09$ , 3.58~8.01; 盛川:  $5.82 \pm 1.18$ , 3.56~8.42) に比べて有意に高かった(図 7-3-A, B, 7-4-A, B)。このことは震災後に両河川に遡上した遡上魚が震災前に比べて3月11日の時点で塩分の高い海域に分布していたことを示し、塩分の低い水域に分布した個体が遡上しなかったことを示す。なお、Sr:Ca 比の各値は第4章第1節第3項で記したように3分析点の移動平均(約6日間に相当)であることから、3月11日に当たる値はその日を中心に6日間に各個体が経験した塩分を示す。

#### 第4項 水温

2010年級が経験した水温は鵜住居川遡上魚で  $7.1 \sim 23.3^{\circ}\text{C}$  (2010年9月1日~2011年3月11日、平均:  $14.3 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ ) (図 2-2-B)、盛川遡上魚は  $7.0 \sim 23.2^{\circ}\text{C}$  (平均:  $14.3 \pm 5.4^{\circ}\text{C}$ ) であった(図 2-4-B)。いずれも震災前に比べて約  $0.6 \sim 1.1^{\circ}\text{C}$  高かった(2008年級、2009年級の鵜住居川遡上魚と盛川遡上魚の経験水温はそれぞれ  $13.2 \sim 13.6^{\circ}\text{C}$ 、 $13.5 \sim 13.7^{\circ}\text{C}$ )。6月11日の鵜住居川の水温は  $14.1^{\circ}\text{C}$ 、6月20日は  $16.5^{\circ}\text{C}$ 、盛川の6月7日の水温は  $15.2^{\circ}\text{C}$  であった。

### 第3節 考察

#### 第1項 震災前後での遡上個体の日齢と孵化日組成の違い

震災後の遡上魚の最も顕著な特徴は、震災前に比べて若齢、遅生まれであったことである(表 7-1, 図 7-1, 7-2)。震災前には鵜住居川、盛川とも6月遡上魚の孵化日組成は流下仔魚のピークよりもむしろ早い時期に偏り、10月中・下旬以降に孵化した遅生まれ個体は遅れて遡上することがわかった。震災後には例年6月には遡上しない遅生まれ個体が遡上の中心を構成したことになる。鵜住居川では前年9月下旬の流下仔魚量は多く、この孵化群が遡上魚の中から全く含まれなかったことは津波の影響を大きく受けて死亡したと考えるのが妥当と思われる。



## 第2項 3月11日に分布した塩分環境

震災後の遡上魚の3月11日に対応する耳石 Sr:Ca 比はいずれの河川でも震災前に比べて有意に高かった(図 7-3, 4)。このことは津波で生き残って遡上に至った個体が、津波発生時にはより塩分の高い海域に分布していたものであることを示唆する。また、汽水生活を示す耳石 Sr:Ca 比(2.4 以上 5.3 未満)(第4章第2節第2項)を示す個体が鵜住居川では皆無であり盛川でもほとんどいなかったことは、3月には早生まれ個体が碎波帯から河川内汽水域への移動を開始している(第4章)ことを考え合わせると、河川内汽水域に移動した早生まれ個体が選択的に津波の影響を受けて減耗したと考えることは妥当であり、震災前に比べて遡上魚の孵化日組成が遅い時期に移行したこととよく符合する。

Takeshima et al. (2015) によれば、日本列島のアユは6集団に分けられ、三陸沿岸域のアユは北部日本海側の集団に含まれる。すなわち、津波後に比較的被害の少なかった日本海側の河川に由来するアユ仔稚魚が三陸沿岸域に来遊して遡上に至った可能性もあるかもしれない。しかし、降海したアユ仔魚は沖合域に大きく広がらないこと、体長 10 mm、16 日齢程度で碎波帯に出現、さらに体長 20 mm、30 日齢頃から河口域に集合し始めることなどを考えると日本海側由来のアユ仔稚魚が三陸地域に来遊して遡上することは考えにくい。

## 第3項 東日本大震災が三陸沿岸域のアユ個体群に与えた影響

鵜住居川の河川内汽水域は完全に消失したことから、河口域の津波による被害の大きさが窺える。3月にすでに河川内汽水域に移動していた早生まれ個体が強く影響を受け選択的に減耗したことは、本来遡上の中心を形成し、さらに河川生活期、産卵期の主体となる個体群が消滅したことになる。震災後の遡上魚は若齢、小型で遡上し、採集時の体長も小さかった。震災前に比べて若齢で遡上したことは、海域生活期の水温が震災前に比べて高く、沿岸域の栄養塩や動物プランクトンの分布状況も震災前と大きく変化しなかった(Fukuda et al. 2015, Nishibe 2016) ことにより生き残ったアユの餌環境も良好で成長が比較的好かったことによると考えられる。

遡上魚が若齢で小型化したことは、河川生活期の成長率が例年以上に上昇しない限り産卵魚のサイズも小型化することになる。アユの孕卵数は親魚サイズ

に依存して変化する (Iguchi 1996) ことから小型化は産卵数と流下仔魚数の低下につながる。また、遅生まれ個体は産卵も遅い傾向がある (Iguchi・Yamaguchi 1994, 大竹 2005) ことが知られるが、遡上個体が遅生まれ個体で構成されたことはその年の産卵時期も遅くなる可能性が十分に考えられる。実際に 2011 年の流下仔魚のピークは震災前に比べて 2 週間ほど遅く、流下仔魚量も鵜住居川では 2008 年や 2010 年に比べてそれぞれ 31%、40% と大きく減少したことが報告されている (Hata et al. 2016)。今後このような傾向が続けば、三陸地域のアユ資源が減少傾向に陥ることが懸念された。なお、本研究を継続した Kawakami et al. (2014) の研究によれば、2~3 年後には遡上魚の孵化日組成や産卵盛期 (産卵量・流下仔魚量は低い状態のままであるが) などが震災前の状態に回復したという。震災翌年の 2012 年から稚アユ放流も再開されたことから、この回復には放流魚の存在も関係している可能性もあり、今後は震災前後での集団構造の変化などにも着目した研究が必要であろう。

表7-1 鵜住居川2009年級、2010年級と盛川2008年級、2009年級、2010年級の遡上魚の採集日、分析個体数、体長、体重、日齢、孵化日、遡上日齢、遡上日、推定遡上体長

河川	採集月日	津波前/ 津波後	分析個体数 (採集個体数)	体長 (mm)		体重 (g)		日齢 (日)		孵化日		遡上日齢 (日)		遡上日		推定遡上体長 (mm)	
				平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均 (範囲)	平均 (範囲)	平均 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)	平均±標準偏差 (範囲)
鵜住居川	2010年6月23日  2011年6月7、11、20日	津波前  津波後	12 (25)  10 (10)	1108 ± 8.8 (96.0-123.0)	21.0 ± 5.3 (14.0-28.5)	266.6 ± 7.2 (251-278)	29 Sep 2009 <sup>a</sup> (18 Sept-15 Oct)	242.1 ± 11.3 <sup>a</sup> (228-259)	29 May 2010 <sup>a</sup> (17 May-14 June)	100.5 ± 8.2 <sup>a</sup> (84.3-110.7)	96.5 ± 10.6 <sup>a</sup> (82.7-121.4)	84.1 ± 10.1 <sup>a</sup> (64.2-107.6)	84.9 ± 8.0 <sup>a</sup> (62.1-95.1)	76.2 ± 7.2 <sup>b</sup> (64.4-93.6)	14 May 2011 <sup>a</sup> (26 Apr-29 May)	15 May 2010 <sup>a</sup> (17 Apr-7 June)	18 May 2011 <sup>a</sup> (3 May-7 June)
				106.5 ± 15.9 (89.0-141.0)	15.5 ± 8.3 (8.0-35.8)	239.3 ± 10.1 (219-252)	16 Oct 2010 <sup>b</sup> (6 Oct-4 Nov)	221.4 ± 17.6 <sup>b</sup> (189-245)	25 May 2011 <sup>a</sup> (2 May-19 June)								
盛川	2009年5月7日 ~6月18日 2010年6月7日 2011年6月7日	津波前  津波前  津波後	38 (76)  24 (43)  30 (90)	86.5 ± 15.9 (67.0-143.0)	9.8 ± 7.2 (3.9-42.1)	242.5 ± 15.8 (220-278)	26 Sept 2010 <sup>a</sup> (1 Sept-17 Oct)	230.7 ± 13.9 <sup>a</sup> (209-260)	14 May 2011 <sup>a</sup> (26 Apr-29 May)	84.1 ± 10.1 <sup>a</sup> (64.2-107.6)	84.9 ± 8.0 <sup>a</sup> (62.1-95.1)	76.2 ± 7.2 <sup>b</sup> (64.4-93.6)	14 May 2011 <sup>a</sup> (26 Apr-29 May)	15 May 2010 <sup>a</sup> (17 Apr-7 June)	18 May 2011 <sup>a</sup> (3 May-7 June)	14 May 2011 <sup>a</sup> (26 Apr-29 May)	15 May 2010 <sup>a</sup> (17 Apr-7 June)
				92.5 ± 8.4 (73.0-102.0)	10.7 ± 3.0 (4.5-15.2)	251.6 ± 9.4 (230-272)	28 Sept 2009 <sup>a</sup> (8 Sept-20 Oct)	229.4 ± 12.7 <sup>a</sup> (206-254)	15 May 2010 <sup>a</sup> (17 Apr-7 June)								
				84.3 ± 7.5 (71.0-104.0)	8.2 ± 2.6 (4.6-15.3)	229.2 ± 13.4 (201-247)	20 Oct 2010 <sup>b</sup> (3 Oct-18 Nov)	210.1 ± 17.4 <sup>b</sup> (182-244)	18 May 2011 <sup>a</sup> (3 May-7 June)								

孵化日、遡上日齢、遡上日、推定遡上体長のデータの右肩に付された文字(a、b)について、同じ文字が付されているデータ間で有意差はなく、異なる文字が付されたデータ間で有意差(p<0.01、0.05)があることを示す

表7-2 2008年～2010年における鵜住居川と盛川の仔魚の流下時期とその盛期、および産卵期当たりの  
総流下仔魚数

河川	年	仔魚の流下時期	仔魚流下の盛期	流下仔魚総数 (産卵期当たり) (尾)
鵜住居川	2009	9月上旬～12月上旬	10月上旬	$66.1 \times 10^6$
	2010	9月上旬～12月中旬	10月上旬	$240.1 \times 10^6$
	2011	10月上旬～11月上旬	10月上・中旬	$34.7 \times 10^6$
盛川	2008	9月上旬～12月下旬	10月上・中旬	$94.5 \times 10^6$
	2009	9月中旬～12月下旬	10月下旬	$67.4 \times 10^6$
	2010	9月上旬～12月下旬	10月中旬	$450.9 \times 10^6$
	2011	-	-	-

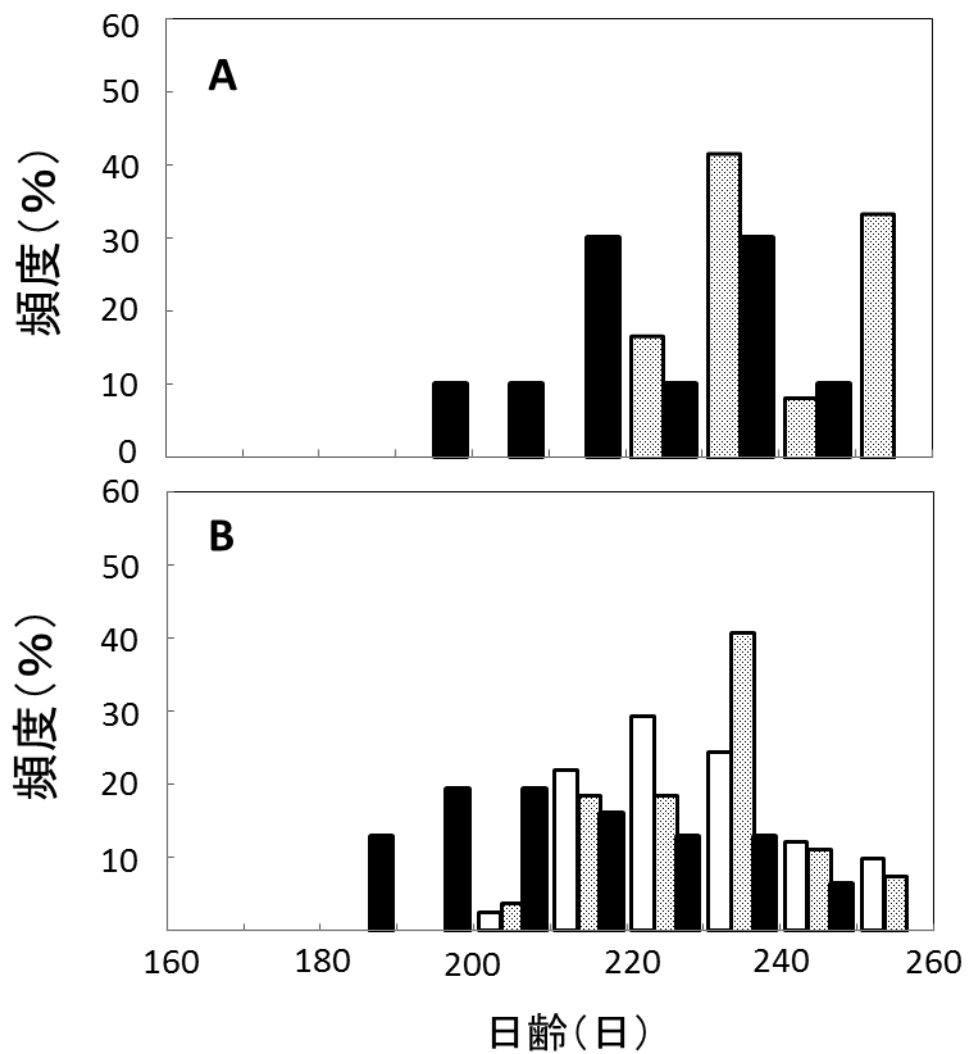


図 7-1 鵜住居川の 2009 年級と 2010 年級遡上魚 (A) と盛川 2008 年級、2009 年級、2010 年級遡上魚の日齢組成  
□ は 2008 年級、▨ は 2009 年級、■ は 2010 年級を示す

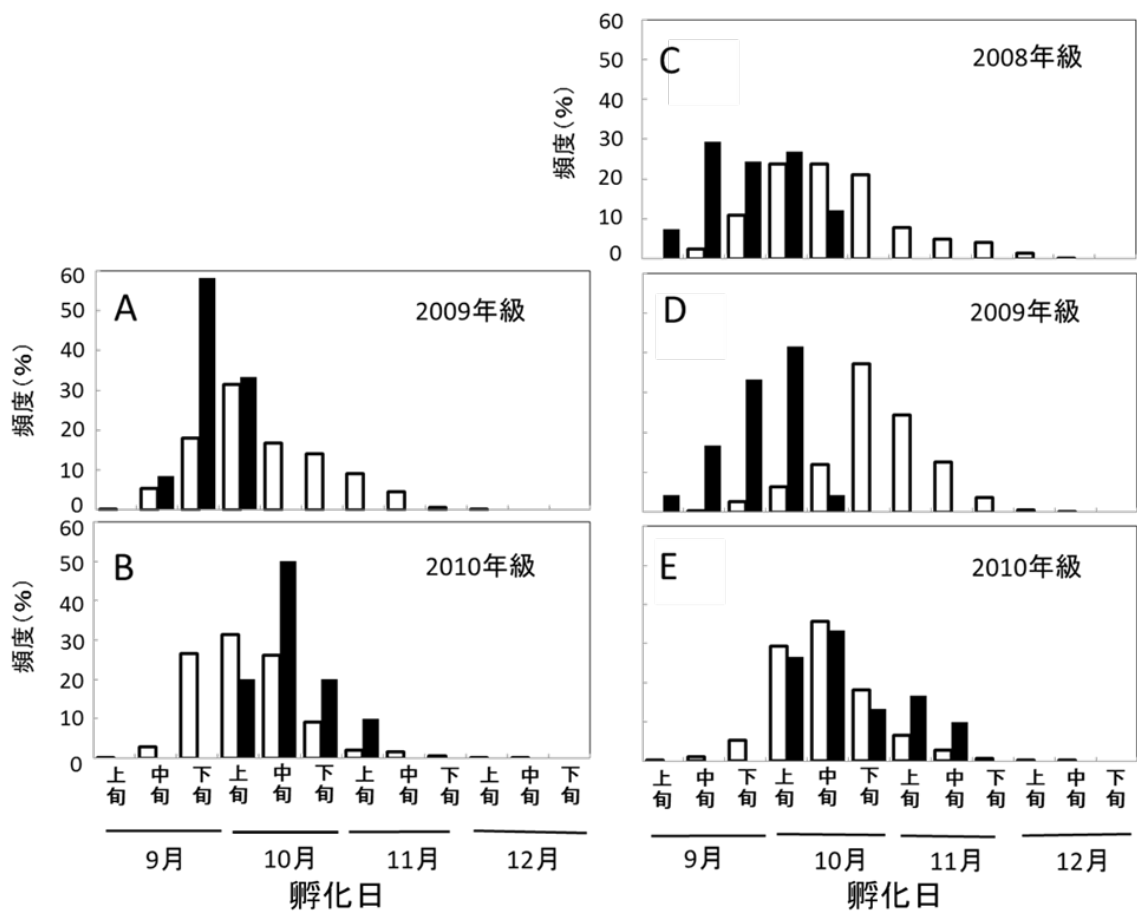


図 7-2 鵜住居川の 2009 年級 (A) と 2010 年級 (B)、盛川の 2008 年級 (C)、2009 年級 (D)、2010 年級 (E) の流下仔魚数 (□) と遡上魚の孵化時期 (■) の経旬変化

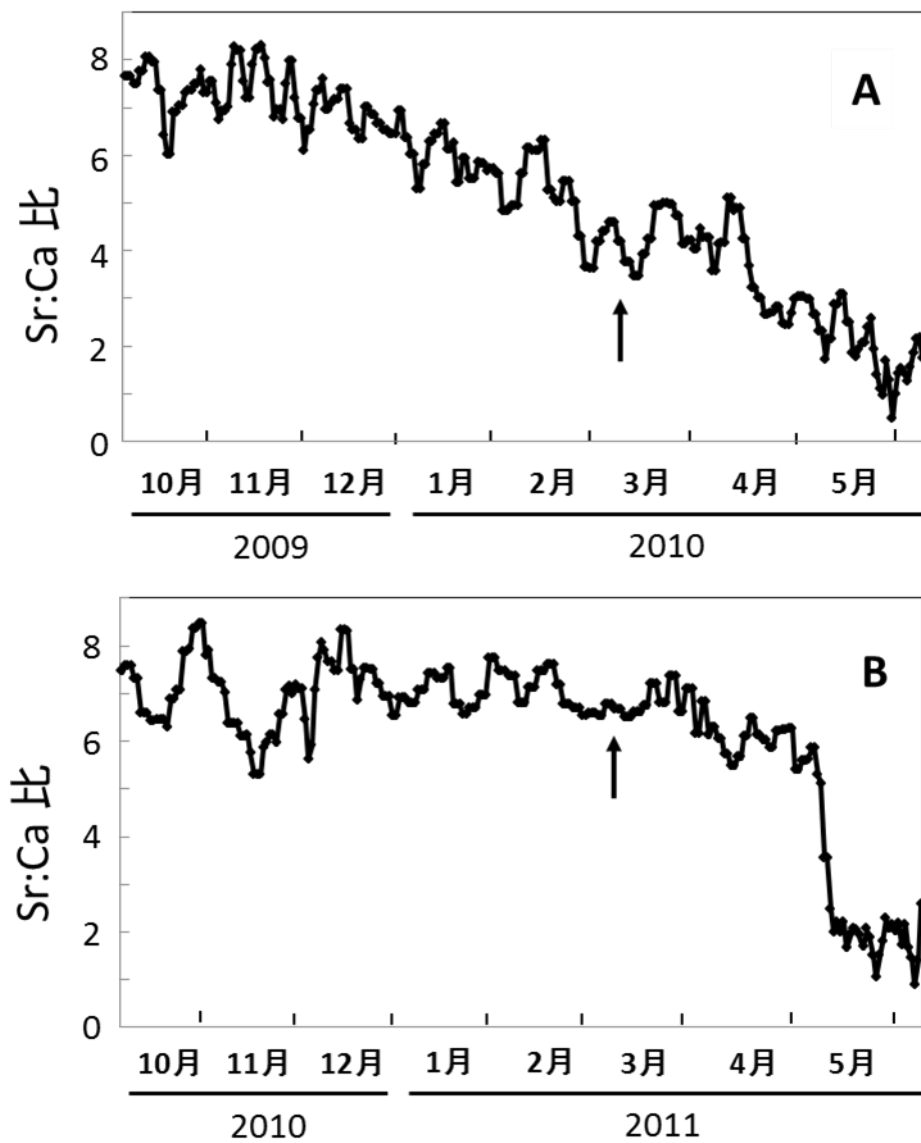


図 7-3 鵜住居川の 2010 年遡上魚（2009 年級、震災前）（A）と 2011 年遡上魚（2010 年級、震災後）（B）の耳石 Sr:Ca 比の経日変化  
矢印は 3 月 11 日に当たる部分を示す

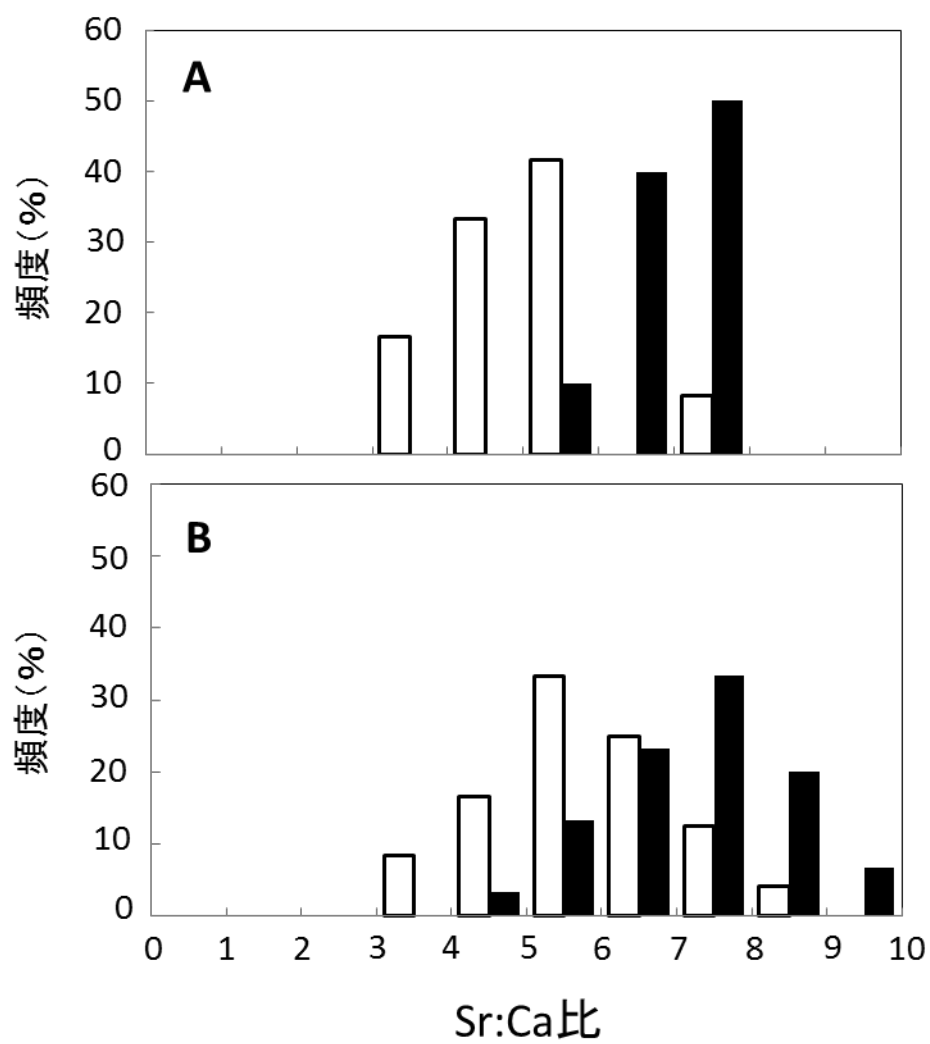


図 7-4 鵜住居川 (A) と盛川 (B) の 2009 年級 (□) と 2010 年級 (■) の 3 月 11 日に当たる耳石部分の Sr:Ca 比の頻度分布



## 第8章 総合考察

### 第1節 三陸地域のアユの生活史特性

三陸沿岸域のアユの産卵と流下（孵化）の期間は8月下旬～11月と9月～12月であり、それぞれの盛期は9月中～10月上旬と10月上～下旬であった。仔魚（体長約6.3 mm）は孵化後直ちに河川の流れに乗って降海し、海域の表層域を中心に拡散した仔魚は体長10 mm（16日齢）頃から砕波帯を生息場所とする。河口から流出した仔魚の沖合への拡散は大槌湾では1 km程度と考えられ、河川水の影響のおよぶ範囲にあった。浜田ら（1998）、田子（2002a,b）、東（2005）、八木ら（2006）はアユ仔魚が河川水の影響が及ぶ範囲を超えて拡散することはないと報告しているが、本研究の結果はそれらを支持した。すなわち、小規模の河川が閉鎖性の強いリアス式湾に流入する三陸沿岸域では、アユ仔魚の初期分散が湾内に限られ、湾外に広く拡散する可能性が低いものと考えられる。砕波帯では離岸距離50 m程度までの砕波帯に続く浅い水域を生息場とし、体長20 mm（50日齢）から汽水域に出現するようになり、体長40～50 mm（130～150日齢）で汽水域へと主要な生息場所を移行させた。鰭や椎体が完成、体表の黒色素胞と虹色素胞が急激に増加し稚魚への移行を開始するのが体長35 mmから（高橋2005）であり、稚魚への移行が汽水域への移動に関係していることを示唆する。また、体長40 mmはプロラクチン産生に関する遺伝子発現が上昇する時期（Yada et al. 2014）にも一致した。汽水域への移動は早生まれの成長の良い個体で早い傾向があり、2月頃から始まった。河川への遡上は4月中旬から開始され5月中旬に盛期となった。遡上体長は85～100 mm（230～240日齢）であり、関東以南の地域に比べて遡上魚が大型、高齢であることが三陸沿岸域の特徴といえる。このことは三陸沿岸域ではアユの産卵開始が早く、遡上開始が遅いことに関係する。河川生活期は遡上時期の影響を強く受け、早期に遡上した個体は河川生活期における成長率も高く、早期に大型で産卵加入することが示された。このことは既往の知見とも一致しており、遡上時期が孵化時期と海洋生活期の成長によって大きく影響を受けることがアユの生活史の普遍的な特性といえるであろう。以上、本研究により三陸沿岸域のアユの生活史特性は三陸沿岸域以外の地域の個体群と共通し、図8-1のようにまとめることが

できる。

Dodson et al. (2009) は分子遺伝学的研究に基づいてキュウリウオ目魚類にみられる通し回遊の進化過程を検討し、Gross et al. (1988) が提唱した有効餌料仮説に対して新たに **Safety-site** 仮説を提唱した。すなわち、アユを含むキュウリウオ目魚類は海洋起源であり、海水生活から捕食者を逃れて汽水域への来遊を繰り返し、産卵場所を淡水域に移すことで遡河回遊に進化した。アユなどにみられる両側回遊型は遡河回遊種から生じたと考える。井口 (2014) によれば、キュウリウオ目魚類に共通にみられる粘着卵を産するアユは卵発生期間の酸素要求量が多いことから一定の流れのある場所を産卵場にする必要があり、さらに遊泳力のないシラス型仔魚は河川流に乗って海域へと降下することになることで通し回遊のループが確立した。アユは櫛状歯を発達させ付着藻類を主要な餌として利用することで河川内でのニッチを獲得したと考えられるが、夏季に生産性が高まる付着藻類を有効に利用し再生産に結び付けるためには、秋季に産卵期があることが有利である。そのため、キュウリウオ目魚類の産卵が春季に集中するのに対してアユは産卵期を秋季に移すことになり、そのことで両側回遊型生活史を確立することになったと説明されている。1 年魚であるアユが新規加入を確実にするためには仔稚魚期の減耗を抑え、確実に河川に遡上できる海域生活を送ることが必要条件となり、そのためには好適な産卵場ができるだけ下流に位置することと、仔魚の逸散を抑え河口周辺域に分布を維持することが必要となる。アユ仔魚の拡散が河川水の影響の及ぶ範囲にとどまること、また本研究で明らかになった碎波帯や河口汽水域への集合が生活史のきわめて早い時期に開始されることなどは、アユ稚魚が確実に河川に遡上するためのアユの行動特性といえるであろう。

本研究では比較的開放的な大槌湾と湾口防波堤によりきわめて閉鎖性の強い大船渡湾の 2 カ所を調査フィールドとし、河口周辺海域の地理的形状の違いがアユ仔稚魚の生活史に及ぼす影響を調べることも当初の研究目的の一つとした。しかし、大船渡湾での海域生活期アユ仔稚魚の採集個体数がきわめて少なかったことからその違いを明確にすることができなかったものの、河口が閉塞した

鵜住居川と開放的な盛川とでアユ稚魚の汽水域への移動過程が異なることが本研究で明らかになった。すなわち、開放的な盛川では体長 25 mm (50 日齢) 頃から河口汽水域への来遊が始まるのに対して、鵜住居川ではそれに 2 ヶ月遅れて体長 40 mm (130 日齢) 頃から始まった。このことはアユ稚魚の淡水への順応が体長 25 mm (50 日齢) 頃から徐々に開始されることを示唆する。この鵜住居川と盛川での汽水域進入の発育段階の違いが、両河川におけるアユの成長や遡上行動にどのような影響を及ぼしているかについて調査することも興味深い。

## 第 2 節 アユの環境攪乱への応答

三陸地域のアユは 9 月から 12 月にかけて孵化し、降海後の海域生活期を経て 4 月中旬以降早生まれの成長のよい個体から遡上が始まって 7 月まで続き、河川生活期に入って 8 月下旬から産卵が始まり 11 月まで続くという生活史をもっている。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の大津波はアユにとって遡上を控えた海域生活期であり、これまでの研究結果から早期に遡上する早生まれ個体が河口域に分布していたと考えられ、これらの個体が津波の影響を強く受けて選択的に減耗した。この早生まれ個体群が消滅したことにより震災後の 4 月下旬～5 月中旬にかけての遡上期に従来であれば 2 番手・3 番手となるべき遅生まれ個体が遡上し、遡上個体群の主体を構成したと考えられた。したがって、震災直後には遅生まれ個体が通常に比べて約 1 ヶ月若齢で遡上したことになり、それに伴って遡上体長は小さくなった。島ら (2014) は遡上期のアユの淡水への選好性が高いことを報告したが、震災後の遅生まれ個体が若齢で遡上したことは遡上期のアユの淡水への指向性の強さを窺わせる。また、両河川の水温が震災前に比べて 0.6～1.1℃高かったことも遅生まれ個体が早期に遡上した要因の一つかもしれない。

海域におけるアユの仔稚魚個体群や河川の個体群は 3～4 ヶ月続く産卵期の長さを反映して多様なサイズと日齢、成長段階の個体で構成され、各個体がそれぞれのサイズ、日齢、成長率などの履歴に応じて時期を変えながら汽水域への移動、河川遡上、産卵などの生活史イベントに加入する。また、Iguchi et al. (2005) が報告したように孵化時期が遅く初期成長の悪い個体の中には矮小化して一生の大部分を汽水域で過ごす個体も出現する。本研究でも遅生まれ個体

の中には7月中・下旬に遡上したと思われる個体もみられた。おそらくこれらの個体は河川個体群が何らかの理由で消滅した場合には、河川を遡上し新たな河川個体群を形成するものと推察できる。2011年の東日本大震災のような大きな環境攪乱はアユの100万年におよぶ歴史(井口 1999)の中で過去に複数回起こったと考えられるが、そのような大きな攪乱に対しても1年魚であるアユが消滅せずに個体群を存続させることができたのは、異なる成長段階を混在させ、同時期に複数の生息場所を利用するような特性を有することによるものと考えられる。

### 第3節 三陸沿岸域のアユ資源の増殖・保全に向けた取り組み

アユは内水面の水産資源としては勿論のことと、遊漁や地域の観光資源として、あるいは藻類の摂食を通じた河川生態系のキーストーン種として重要な役割を果たしていることから、減少傾向が止まらないアユの遡上量や漁獲量をいかに維持、増加させるかが内水面漁業での必要な課題になっている。アユ資源の減少の大きな要因として初期生活史における減耗や遡上魚の小型化が挙げられている(井口ら 2011)。高知県では早生まれ個体が降海時の高海水温化により減耗し、そのために遡上魚の主体遅生まれ個体になり遡上期の遅れ、さらには産卵期の遅れに繋がっている(高橋 2011)。遅生まれ個体がアユ個体群の主体を構成することは、海域生活期の短縮に繋がり、そのために遡上個体の小型化、さらには産卵個体の小型化の原因になるという。産卵個体の小型化は、孕卵数が魚体のサイズに関係する(Iguchi 1996)ことから産卵量の減少に繋がるであろう。

一方、秋季の海水温が南日本に比べて低い三陸沿岸域のアユについてみると、むしろ早生まれ個体が遡上の重要な構成要素になっている。三陸沿岸域のアユ資源の保全と増殖を考える上ではこの早生まれ個体の保護・増殖を優先して考えるべきであろう。そのためには早生まれ個体の産卵・孵化期に当たる9月上旬～10月中・下旬の産卵場の整備と河川環境の整備、および産卵魚の保護が第一に重要になる。

また、河口閉塞を有する河川の河口域において流下仔魚の著しい減耗が起きていることから、河川と海域を繋ぐ河口の形状が開放的であることが仔魚の減

耗を抑える上で重要であると考え。特に三陸地域では震災後の地盤沈下に伴い産卵場が上流に移行している傾向がみられる。このことは産卵場と河口との距離を延長させるため仔魚の河川流下時の減耗をさらに高めることになり、その意味でも河口と海域との繋がりをスムーズにすることは重要であろう。また、河口域を開放的にすることは遡上魚がより段階的に淡水に順応し、淡水域への遡上の前段階としての汽水生活への移行を徐々に進める上でも重要と考える。現在、三陸沿岸域の各河川の河口で進められている水門工事が流下仔魚の減耗率を大きく高めることは容易に推察できる。水門を設置する場合には少なくとも開門幅を川幅までできるだけ広げ、河川水の流出をスムーズにし、水門により河川水が淀むことが無いように工夫することが必要である。このことは、遡上魚がスムーズに海域と汽水域との間を往復するためにも重要と考える。流下時期、遡上期の河川流量を適正に保つことが必要なことはいうまでもない。

現在、人工種苗稚アユの放流が各河川において実施されている。Takeshima et al. (2016) は日本におけるアユが分子遺伝学的に北海道、北日本/三陸、関東中部、南日本、四国/紀伊半島、九州の6集団に微弱ながらも分けられ、三陸沿岸域のアユは北部日本海側のアユと集団を形成すると報告した。分子遺伝学的に分けられることは、これらの地域集団間で生態的な分化もわずかながら進んでいることを示唆する。これより、放流稚魚は地元親魚に由来する個体を使用し、少なくとも同一集団に由来する親魚を使用することを原則とする必要があろう。

以下、三陸沿岸域のアユ資源の増殖と保全のための取り組みとして重要と考える事項を列記する。

- 1) 9月上旬～10月中・下旬における産卵場の整備と親魚の保護
- 2) 上記の産卵・孵化期、および遡上時期（5月～6月）の河川流量の維持
- 3) 仔魚流下、稚魚の河川遡上を妨げない水門の構造（広い開門幅）と運用（流下早期と遡上盛期に合わせた運用の対応、水量の維持）
- 4) 仔稚魚期の生息場である砕波帯の保全
- 5) 放流用稚魚は地域個体群に由来する個体とし、少なくとも北日本/三陸集団に属するものを使うことを原則とする。

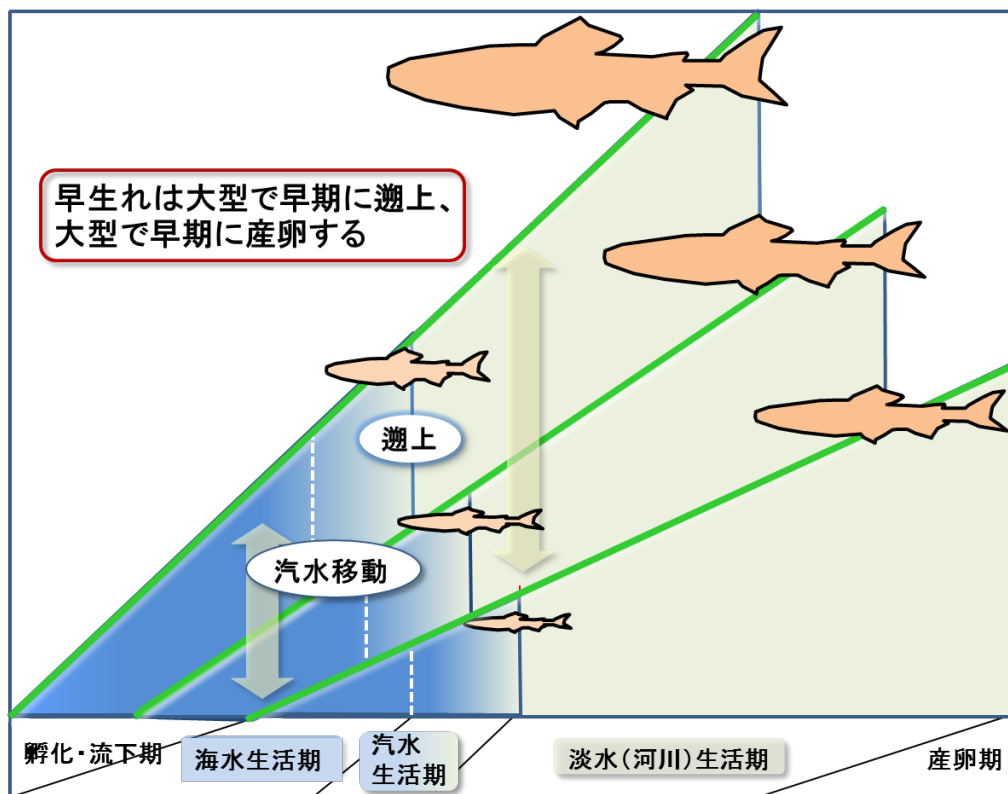


図 8-1 アユの生活史特性

## 謝辞

本研究を行うに際し、その機会を与えていただくとともに、温かいご指導とご鞭撻を賜った東京大学大学院農学生命科学研究科の大竹二雄教授に深く感謝する。また日本大学生物資源科学部の塚本勝巳教授、東京大学大気海洋研究所の渡邊良朗教授、青山潤教授、東京大学大学院農学生命科学研究科の山川卓准教授には、論文審査に際して多くの貴重なご指摘をいただいた。心よりお礼申し上げます。

東京大学大気海洋研究所の道田豊教授、佐藤克文教授、福田秀樹准教授、白井厚太郎助教には、研究進める中で助言を賜った。ここに深く感謝の意を表す。

アユの生態に関する情報、採集についてのご指導、更には標本を提供いただいた盛川漁業協同組合の佐藤由也組合長、鵜住居川漁業協同組合の川崎公男組合長をはじめ組合員の皆様、北里大学海洋生命科学部の朝日田卓教授、岩手県水産技術センター大友俊武上席研究員（当時）に深くお礼申し上げます。

大槌湾と大船渡湾の仔稚魚採集に際し、船舶の運航をしていただいた東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターの当時の黒澤正隆船長、盛田孝一氏、平野昌明氏、並びに大船渡漁業協同組合員の金野史生氏に深く感謝申し上げます。

東京大学大気海洋研究所の大槻まゆみ氏（当時）、原政子博士（当時）にはEPMA の操作に関して丁寧に指導いただいた。ここに深く感謝申し上げます。

岩手県立総合教育センターの村上弘主任研修主事、鈴木勇二研修主事（当時）、岩手県立住田高等学校八尾晃一教諭には調査データ等のパソコンでの処理方法の工夫について多大な支援をいただいた。2010 年度の流下仔魚調査にあたっては北里大学海洋生命科学部の吉永龍起講師（当時）の学生、飯竹里紗氏と矢吹淳平氏にご協力いただいた。海域での標本の採集調査や研究推進に際し、東京大学大気海洋研究国際沿岸海洋研究センターで当時大学院生であった天野洋典

博士、山根広大博士、鈴木享子博士、鬼塚公介氏、檜崎智子博士、勝又信博氏、塩見こずえ博士、鈴木一平博士、中村乙水博士、小暮潔央氏、鬼塚果林氏には多大なご支援と温かい励ましをいただいた。ここに心から感謝申し上げる。

最後に、採集調査の協力を含めて、長きにわたり研究生活を支えてくれた妻、畑育子に深く感謝する。



## 引用文献

- 間野静雄・淀 大我・石崎大介・吉岡 基 (2014) 長良川におけるアユの由来別の成長特性. 水産増殖, 62(1): 89-97.
- Aino S, Yodo T, Yoshioka M (2015) Changes in the composition of stock origin and standard length of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* during the Tomozuri angling season in the Nagara River, central Japan. Fish Sci, 81: 37-42.
- 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.
- 相澤 康・中川 研 (2008) 神奈川県早川におけるアユの生物生産と適正資源量の検討. 神水セ研報, 3: 79 - 85.
- 荒山和則 (2006) 茨城県久慈川におけるアユの遡上様式. 茨城県内水試研報, 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, 184(31) : 495-500.
- 荒山和則・須能紀之・山崎幸夫 (2010) 茨城県久慈川における流下仔魚の鉛直分布. 日水誌, 76(5): 812-823.
- Azuma K, Kinoshita I, Fujita S, Takahashi I (1989) GPI isozymes and birth dates of larval ayu. *Plecoglossus altivelis* in the surf zone. Jpn J Ichthyol., 35(4), 493-496
- 東 健作・平賀洋之・堀木信夫・谷口順彦 (2002) 和歌山県中部の砕波帯におけるアユ仔魚の分布. 水産増殖, 50(1): 9-15.
- 東 健作 (2005) アユの海洋生活期における分布生態. 高知大学海洋教育研究センター研報, 23: 59-112.
- 東 幹夫 (1969) びわ湖のアユの発育段階と変異. ミチューリン生物学研究, 5(2): 165-172.
- 東 幹夫 (1973) びわ湖における陸封型アユの変異性に関する研究-II, 集団の分化と諸変異について. 日本生態学会誌, 23(3): 126-139.
- 東 幹夫・程木義邦・高橋勇夫 (2003) 球磨川流域におけるアユ仔魚の流下と中流ダムの影響. 日本自然保護協会報告書, 94: 21-30.
- 遠藤良徳・宇部 稔 (2000) そ上海産アユおよび放流種苗の遺伝的組成調査.

- 岩手県内水面技術センター年報, 2000: 39-42.
- Campana SE (1990) How reliable are growth back-calculations based on otoliths? Can J Fish Aquat Sci, 47:2219-2227.
- Campana SE (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Mar Ecol Prog Ser, 188: 263-297.
- Dodson JJ, Laroche J, Lecomte F (2009) Contrasting evolutionary pathways of anadromy in euteleostean fishes. Am Fish Soc Sym, 69: 63-77.
- Fukuda H, Katayama R, Yang Y, Takasu H, Nishibe Y, Tsuda A, Nagata T (2016) Nutrient status of Otsuchi Bay (northeastern Japan) following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. J Oceanogr, 72: 39-52.
- 伏木省三 (1979) アユの成熟への春季長日処理の効果に関する研究. 滋賀県水産研究報告, 31: 1-56.
- Gross MR, Coleman RM, McDowell RM (1988) Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. Science, 239: 1291-1293.
- 浜田理香・木下 泉 (1988) 土佐湾砕波帯に出現するアユ仔稚魚の食性. 魚類学雑誌, 35(3): 382-388.
- 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の資源変動のメカニズム. 海洋と生物, 31: 508-514.
- Hata M, Kawakami T, Otake T (2016) Immediate impact of the tsunami associated with the 2011 Great East Japan Earthquake on the *Plecoglossus altivelis altivelis* population from the Sanriku coast of northern Japan. Environ Biol Fish, 99: 527-538.
- 堀木信夫 (1991) 和歌山県における海産稚アユ採捕量の年変動, 特に近年における捕獲量の激減について. 日水誌, 57: 1065-1070.
- Houde ED (1987) Fish early life dynamics and recruitment variability. Am Fish Soc Symp, 2: 17-29.
- 兵藤則行・関康夫・小山茂生・片岡哲夫・星野正邦 (1984) 海産稚仔アユに関する研究－Ⅰ, 仔アユの降下状況について. 新潟県内水試研報, 11: 41-50.
- 兵藤則行・関康夫 (1985) 海産稚仔アユに関する研究－Ⅱ, 流下仔アユの生残に及ぼす絶食の影響(1). 新潟県内水試研報, 12: 15-22.

- 兵藤則行・小山成夫生（1986）海産稚仔魚アユに関する研究－Ⅲ， 遡上稚アユの日齢とその孵化日について．新潟県内水試研報, 13: 1-7.
- 平野克己・岩槻幸雄・三村文孝・八木征雄・尾田成幸（1996）岩熊井堰中央魚道におけるアユ遡上について．水産増殖, 44(1): 1-6.
- 石田力三（1959）アユの産卵生態－Ⅰ，産卵群の構造と産卵行動．日水誌, 25: 259-265.
- 石田力三（1964）アユの産卵生態－Ⅳ，産卵水域と産卵場の地形．日水誌, 30: 478-485.
- Iguchi K., Yamaguchi M. (1994) Adaptive significance of inter and intrapopulational egg size variation in ayu *Plecoglossus altivelis*. *Copeia*, 1994(1): 184-190.
- Iguchi K, Hino T (1996) Effect of competitor abundance on feeding territoriality in a grazing fish, the ayu *Plecoglossus altivelis*. *Ecol Res*, 11: 165-173.
- Iguchi, K (1996) Size-Specific spawning pattern in ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Ichthyol Res*, 43(3): 193-198.
- 井口恵一朗（1999）アユの過去と末裔たちの現在．魚の自然史（松浦啓一、宮正樹編著），北海道大学図書刊行会，p.133-162.
- Iguchi K, Iwata Y, Nishida M, Otake T (2005) Skip of the routine habitat in an amphidromous migration of ayu. *Ichthyol Res*, 52: 98-100.
- Iguchi K, Abe S (2002) Territorial defense of an excess food supply by an algal grazing fish, ayu. *Ecol Res* 17: 373-380.
- 井口恵一朗・間野静雄・安房田智司・淀 太我・田子泰彦（2011）最近の庄川で観察されたアユの小型化．水産増殖, 56: 415-422.
- 井口恵一朗（2014）両側回遊における系統上の制約と種内変異．2014年度魚類学会年会シンポジウム「魚類における両側回遊:その生活史多様性と進化」要旨集 pp.105.
- 伊藤 隆・富田達也・岩井寿夫(1971)アユの人工種苗生産に関する研究－LXXV. アユの人工養殖研究 1: 165-185.
- Iles TD, Sinclair M (1982) Atlantic herring: stock discreteness and abundance. *Science*, 215: 627-633.
- Incze LS, Kendal AS, Schumacher JD Jr, Reed RK (1989) Interaction of a mesoscale

- patch of larval fish (*Theragra chalcogramma*) with the Alaska Coastal Current.  
Cont Shelf Res 9: 269-284.
- 加藤 孝 (1954) 徳島県沿岸における海産稚鮎の生態の二,三について. 日水誌,  
20: 4-9.
- 川那部浩哉 (1970) アユの社会構造と生産ーⅡ, 15年間の変化を見て. 日本生態学会誌, 20(4): 141-151.
- 川那部浩哉 (1976) びわ湖アユのなわばりについてー氷期遺存習性説による一考察. 生理生態, 17: 395-399.
- 川本信之 (1978) 養魚学各論, 恒星社厚生閣, 東京
- Kawamura T, Takami H, Hayakawa J, Won NI, Muraoka D, Kurita Y (2014) Changes in abalone and sea urchin populations in rocky reef ecosystems on the Sanriku Coast damaged by the massive tsunami and other environmental changes associated with the Great East Japan Earthquake in 2011. Glob Environ Res 18: 47-56.
- Kashiwagi M, Iwai T, Yamamoto H, Sokabe Y (1986) Effects of temperature and salinity on egg hatch of the ayu *Plecoglossus altivelis*. Bull Fac Fish Mie University, 13: 17-24.
- Kawakami T, Hata M, Takeshima H, Otake T (2014) Ecological changes in and recovery of the Ayu population following the tsunami generated by the 2011 Tohoku earthquake. Abstract, 5<sup>th</sup> International Otolith Symposium.
- 木村関男 (1954) アユ卵の自然及び実験室内での孵化と光線の関係について. 水産増殖, 1: 36-39.
- 木下 泉 (1984) 土佐湾の砕波帯における仔稚魚の出現. 海洋と生物, 6(6): 409-415.
- 小泉清明・松浦庚一 (1964) 稚アユの低水温に対する抵抗性. 木曾三川河口資源調査報告, 1: 103-106.
- 小西浩司・信沢邦宏 (1994) 1994全国陸封アユに関するアンケート調査. 群馬農業研究, 10: 48-52.
- 楠田理一 (1963a) 海産稚アユの遡上生態ーⅠ,大雲川における遡上群の日周変化. 日水誌,29 (9) : 817-821.

- 楠田理一（1963b）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変化. 日水誌, 29(9) : 822-827.
- Jaramillo E, Dugan JE, Hubbard DM, Melnick D, Manzano M, Duarte C, Campos C, Sanchez R (2012) Ecological implications of extreme events: footprints of the 2010 earthquake along the Chilean coast. PLoS ONE 7:e35348
- 岸野底・四宮明彦（2005）奄美大島住用湾および焼内湾周辺におけるリュウキュウアユ仔稚魚の回帰遡上. 魚類学雑誌, 52: 115-124.
- 岸野底・四宮明彦・寿浩義（2007）リュウキュウアユ仔稚魚の水温・塩分耐性に関する生残実験. 魚類学雑誌, 55(1) : 1-8.
- Lomovasky BJ, Firstater FN, Salazar AG, Mendo J, Iribarne OO (2011) Macro benthic community assemblage before and after the 2007 tsunami and earthquake at Paracas Bay, Peru. J Sea Res, 65:205-212
- 益田玲爾（2012）気仙沼舞根湾における魚類の潜水センサス. 海洋と生物, 34: 562-568.
- 益田玲爾（2013）気仙沼舞根湾における魚類と底生動物の潜水センサス. 海洋と生物, 35: 587-591.
- 蓑宮 敦（2004）相模川におけるアユ流下仔魚量の推定. 神水研研報, 9: 37-44.
- 蓑宮 敦・戸井田伸一（2002）相模川におけるアユ仔魚の降下生態. 神水研研報, 7: 85-95.
- 宮地伝三郎（1960）アユの話. 岩波書店, 東京
- 宮地伝三郎・川那部浩哉・水野信彦（1963）原色日本淡水魚図鑑. 保育社, 大阪, 48-52.
- 水谷英志・西田 睦・田沢 茂・伏木省三（1974）コアユ産卵場におけるヨシノボリ・ウツセミカジカのアユ卵（アユ仔魚）食害について. 滋賀水試研報, 25: 69-78.
- 水谷英志（1976）各種魚類による流下アユ仔魚食害（Ⅱ）, 実験人工河川河口域と姉川のアユ産卵場付近に棲息する魚類の胃内容物について. 滋賀水試研報, 28: 21-28.
- 益田玲爾（2012）気仙沼舞根湾における魚類の潜水センサス. 海洋と生物, 34: 562-568.

- 益田玲爾（2013）気仙沼舞根湾における魚類と底生動物の潜水センサス．海洋と生物, 35: 587-591.
- 南 卓志（2009）アユの初期生活史における諸問題－特集のまとめ．海洋と生物, 31: 530-531.
- Miura O, Sasaki Y, Chiba S (2012) Destruction of populations of *Batillaria attramentaria* (Caenogastropoda: Batillariidae) by tsunami waves of the 2011 Tohoku earthquake. J Mollus Stud, 78:377-380
- Mori N, Takahashi T, Yasuda T, Yanagisawa H (2011) Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation and run-up. Geophys Res Lett 38:L00G14
- 中村智之・糟谷幸一（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: 288-298.
- Nelson JS (2007) Fishes of the World, John Wiley and Sons, Australia.
- Nishibe Y, Isami H, Fukuda H, Nishida S, Nagata T, Tachibana A, Tsuda A (2016) Impact of the 2011 Tohoku earthquake tsunami on zooplankton community in Otsuchi Bay, northeastern Japan. J Oceanogr, 72:77-90.
- Nishida M (1988) A new subspecies of Ayu, *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) from the Ryukyu Island., Jpn J Ichthyol, 35: 236-242
- 西田 睦（1990）アユの分布とリュウキュウアユ．水産増殖, 38(2): 202-203.
- 西田 睦・澤志泰正・西島信昇・東 幹夫・藤本治彦（1992）リュウキュウアユの分布と生息状況－1986年の調査結果－．日水誌, 58: 199-206.
- 西森克浩・岸田達・松田裕之（1992）琵琶湖産アユの漁況予測．日水誌, 58(4): 653-657.
- 乙部弘隆（2005）海水の流れとその特徴．三陸の海と生物－フィールドサイエンスの新しい展開（宮崎信之編），7-22 サイエンティスト社，東京
- Otake T, Uchida K (1998) Application of otolith microchemistry for distinguishing between amphidromous and non-amphidromous stocked ayu, *Plecoglossus altivelis*. Fish Sci, 64: 517-521.
- Otake T, Tanaka H, Hashimaru D, Mizutani Y, Masuda M, Mizoguchi Y, Ye H, Kondo Y, Takasaki Y, Sugahara H, Yamada C (2005) Early life history of amphidromous ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*: the relationship between their early life

- history in coastal waters and their spawning. The 7<sup>th</sup> Indo-Pacific Fish conference Abstract book, p 180
- 大竹二雄（2005）海域におけるアユ仔稚魚の生態特性の解明．水産総合研究センター研報，別冊 5: 179-185.
- 岡田 雋・桜井基博（1939）北海道における鮎の分布とその生態二三．陸水雑，9: 136-142.
- 岡田裕史・鈴木基生・中村永介（2009）河口・沿岸域におけるアユ仔稚魚の資源生態研究．平成19年度事業報告．静岡県水技研．pp. 119-122.
- Saruwatari T (1995) Temporal utilization of a brackish water lake, Lake Hinuma, as a nursery ground by amphidromous ayu, *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) larvae. Environ Biol Fish 43: 371-380.
- 澤志泰正・佐藤尚二・西田 睦（1992）奄美大島南部におけるリュウキュウアユの分布並びに生息状況 1990年12月の調査結果．沖縄島嶼研, 10: 43-57.
- Seike K, Shirai K, Kogure Y (2013) Disturbance of shallow marine soft-bottom environments and megabenthos assemblages by a huge tsunami induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake. PLoS ONE 8:e65417
- 千田哲資・東幹夫（1967）河口堰沖合海域における稚アユの生態．木曾三河資源調査報告，3: 93-111.
- Senta T, Kinoshita I (1985) Larval and juvenile fishes occurring in surf zones of western Japan. Trans Amer Fish Soc, 114: 609-618.
- 白石芳一・竹谷月江（1957）アユ文献目録．淡水研報，45: 102
- 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(1): 83-107.
- 白石芳一・武田達也（1961）アユの成熟に及ぼす光周期の影響．淡水研報，11: 69-81.
- 島 隆夫・伊藤康夫・土田修二（2014）傾斜流を利用する水温・塩分勾配水槽－稚魚が選考する水温・塩分について－．海生研研報，18: 37-40.
- 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.
- Simons M, Minson SE, Sladen A, Ortega F, Jiang J, Owen SE, Meng L, Ampuero JP,

- Wei S, Chu R, Helmberger DV, Kanamori H, Hetland E, Moore AW, Webb FH (2011) The 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki earthquake: mosaicking the megathrust from seconds to centuries. *Science*, 332:1421–1425.
- 鈴木敬二 (1984) アユの歴史と文化. アユ - 生態と釣法, 世界文化社編, pp.30-33, 東京
- 鈴木敬二 (1985) アユの分布に関する一考察. *淡水研報*, 12(1): 83-107.
- 鈴木順 (1942) 静岡県吉田村地先のシラスアユに就いて. *水産研究誌*, 37: 12-17.
- 田子泰彦 (1999a) 庄川におけるアユ仔魚の流下生態. *水産増殖*, 47(2): 201-207.
- 田子泰彦 (1999b) 庄川におけるアユ仔魚の河口域への到達時間の推定. *水産増殖*, 47(2): 215-220.
- 田子泰彦 (1999c) 庄川におけるアユ降下仔魚の推定. *日水誌*, 65(4): 718-727.
- 田子泰彦 (2002a) 富山湾の河口域およびその隣接海域におけるアユ仔魚の出現・分布. *日水誌*, 68(1): 61-71.
- 田子泰彦 (2002b) 富山湾の海浜域砕波帯周辺におけるアユ仔魚の出現, 体長分布と生息場所の変化. *日水誌*, 68(2): 144-150.
- 田子泰彦 (2002c) 富山湾の湾奥部で生育したアユ稚魚の河川への回遊遡上. *日水誌*, 68(4): 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.
- 田子泰彦 (2009) 富山湾におけるアユ仔魚の分布特性. *海洋と生物*, 184(31): 487-494.
- Takahashi I., Azuma K., Fujita S. Kinoshita I. (1998) Spatial distribution of larval Ayu *Plecoglossus altivelis* in the Shimanto estuary, Japan. *Fish Sci*, 64(4): 522-525.
- 高橋勇夫・新見克也 (1999) 矢作川におけるアユの生活史－Ⅱ. *矢作川研究*, 3: 247-267.
- Takahashi I, Azuma K, Hiraga H, Fujita S (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, Azuma K, Fujita S, Kinoshita I, Hiraga H (2000) Difference in larval and juvenile development among monthly cohorts ayu *Plecoglossus altivelis*, in the



- Shimanto River. Ichthyol Res, 47(4): 385-391.
- Takahashi I, Azuma K, Fujita S, Kinoshita I (2002) Habitat shift of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in early stages from waters adjacent to the bank to the center of flow in the Shimanto Estuary. Fis Sci, 68: 554-559.
- Takahashi I, Azuma K, Fujita S, Kinoshita I, Hiraga H (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.
- 高橋勇夫 (2005) 四万十川河口域におけるアユの初期生活史に関する研究. 高知大学海洋生物教育研究センター研報, 23: 113-173.
- Takami H, Won NI, Kawamura T (2013) Impact of the 2011 mega-earthquake and tsunami on abalone *Haliotis discus hannai* and sea urchine *Strongylocentrotus nudus* populations at Oshika Peninsula, Miyagi, Japan. Fish Oceanogr, 22:113-120.
- Takeshima H, Iguchi K, Hashiguchi Y, Nishida M (2016) Using dense locality sampling resolves the subtle genetic population structure of the dispersive fish species *Plecoglossus altivelis*. Mol Ecol, 25: 3048-3064.
- Tanaka H, Tinh NX, Umeda M, Hirao R, Pradjoko E, Mano A, Udo K (2012) Coastal and estuarine morphology changes induced by the 2011 Great East Japan Earthquake tsunami. Coast Eng J 54: 1250010
- Tanaka K, Komatsu K, Itoh S, Yanagimoto D, Ishizu M, Hasumi H, Sakamoto Takashi T, Urakawa S, Michida Y (2015) Baroclinic circulation and its high frequency variability in Otsuchi Bay on the Sanriku ria coast, Japan. J Oceanogr, DOI 10.1007/s10872-015-0338-9
- Tanaka Y, Iguchi K, Yoshimura J, Nakagiri N, Tainaka K (2011) Historical effect in the territoriality of ayu fish. J Theoretical Biol 268: 98-104
- Tsukamoto K, Kajihara T (1987) Age-determination of ayu with otolith. Nippon Suisan Gakkaishi, 53:1985-1997.
- Tsukamoto K, Ishida R, Naka K, Kajihara T (1987) Switching of size and migration pattern in successive generation of the landlocked ayu. Am Fish Soc Symp, 1:429-506 .

- 塚本勝巳 (1988) アユの回遊メカニズムと行動特性. 上野輝彌・沖山宗雄 (編), pp. 100-133, 現代の魚類学, 朝倉書店. 東京
- 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魚の分布・回遊・成長. 水産土木, 50: 47-57.
- 塚本勝巳 (1989) 仔稚魚の成長. 隆島史夫・羽生功 (編), pp. 239-289. 水族繁殖学. 緑書房, 東京
- 塚本勝巳 (1990) 海におけるアユの生態と資源. 水産増殖, 38(2): 208-209.
- 塚本勝巳 (1991 a) 魚類の初期減耗過程とそのメカニズムに関する標識放流実験. 田中 克 (編), pp.105-118, 魚類の初期発育. 水産学シリーズ, 恒星社恒星閣, 東京
- 塚本勝巳 (1991 b) 長良川・木曽川・利根川を流下する仔アユの日齢. 日水誌, 57(11): 2013-2022.
- 塚本勝巳 (2001) アユの回遊. 稚魚の自然史—千変万化の魚類学— (千田哲資・南 卓志・木下 泉編), pp. 145-170 北海道大学図書刊行会, 北海道
- 鶴田哲也・小池亮人・武島弘彦・棗田孝晴・井口恵一朗 (2010) 明・暗条件下におけるオイカワ,ウグイおよびスミウキゴリ仔魚捕食. 魚類学雑誌, 57(1): 51-55.
- 内田和男・清水昭男・阿部信一郎・佐藤年彦・桂 和彦・板野博之 (2005) 鼠ヶ関川におけるアユ個体数の推定. 水産総合研究センター研報, 別冊 5: 197-201.
- Urabe J, Suzuki T, Nishita T, Makino W (2013) Immediate ecological impacts of the 2011 Tohoku earthquake tsunami on intertidal flat communities. PLoS ONE 8:e62779.
- Whanpetch N, Nakaoka M, Mukai H, Suzuki T, Nojima S, Kawai T, Aryuthaka C (2010) Temporal changes in benthic communities of seagrass beds impacted by a tsunami in the Andaman Sea, Thailand. Estuar Coast Shelf Sci, 87: 246-252.
- 吉本 洋・藤井久之・中西 一 (2006) 日高川河口域におけるアユ仔魚の出現. 水産増殖, 54: 59-69.
- 和田吉弘・稲葉佐馬吉 (1967) 長良川におけるアユの産卵から仔アユの降下までVI, 仔アユの降下量. 木曽三川河口資源調査報告, 3: 17-23.

- 和田吉弘・稲葉佐馬吉（1968）長良川におけるアユの産卵から仔アユの降下までVI，汽水域の仔アユについて．木曽三川河口資源調査報告，5: 1-9.
- Yada T, Iguchi K, Yamamoto S, Sakano H, Takasawa T, Katsura K, Abe T, Awata S, Uchida K (2014) Prolactin and upstream migration of the amphidromous teleost, ayu *Plecoglossus altivelis*. Zool Sci, 31(8): 507-514.
- 八木佑太・美藤千穂・船越 徹・木下 泉・高橋勇夫（2006）土佐湾沿岸域におけるアユ仔稚魚の分布および食性．日水誌, 72: 1057-1067.

## 要旨

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は我が国の内水面漁業における重要魚種の一つであり、その生理・生態、増養殖に関する知見の蓄積は大きい。しかし、その研究の多くは関東・中部以南の河川や河口沿岸域で行われたもので、東北以北に生息するアユに関する知見は少ないのが現状である。分布の北限に近い東北沿岸域に生息するアユは冬季の低水温という大きな減耗要因に曝されていることから安定した資源量を維持することが難しいといわれている。さらに2011年3月11日の東日本大震災で地震に伴って発生した津波により三陸沿岸域のアユ個体群が大きな影響を受けたことが予想された。そこで本研究は東北地方の三陸沿岸域におけるアユの生活史特性を明らかにすること、さらに東日本大震災直後の2011年6月に遡上したアユの初期生活史を震災前のものと比較することで津波がアユ個体群に与えた直接的影響を調べることを目的として行われた。本論文は8章で構成され、まず第2章で調査河川とした岩手県の鵜住居川と盛川、およびそれぞれの河川が流入する大槌湾と大船渡湾の地理的特徴について記述した。そして2河川におけるアユの孵化から河川生活を経て産卵加入するまでの生活史を流下仔魚期（第3章）、海域生活期（第4章）、河川遡上期（第5章）、河川生活期（第6章）に分けて記述した。さらに第7章では東日本大震災（津波）が三陸地域のアユの生態に及ぼした影響について記述した。総合考察（第8章）では三陸沿岸域のアユの生活史特性とそれに基づくアユ資源の保全・増殖方策について議論した。

### 1. 鵜住居川と盛川、および大槌湾と大船渡湾の地理的特徴

鵜住居川と盛川はそれぞれ大槌湾と大船渡湾に流入する流路延長 28 km と 17 km、流域面積 156 km<sup>2</sup> と 129 km<sup>2</sup> の二級河川である。両河川の年平均水温はそれぞれ 10.7℃（範囲：0.7～22.2℃）と 11.3℃（0.5～21.2℃）である。大槌湾と大船渡湾の年平均表層水温（深度 5 m）はそれぞれ 12.4～13.1℃（範囲：2.5～23.3℃）と 12.5～13.4℃（4.8～23.4℃）であり、最低水温はそれぞれ 3.3～7.1℃、4.8～6.6℃（いずれも 3 月～4 月）、また最高水温はそれぞれ 20.1～23.3℃、20.1～23.4℃（8 月～9 月）であった。

## 2. 流下仔魚期

2008 年～2010 年の各年の 8 月あるいは 9 月～12 月あるいは 1 月に両河川の最下流の産卵場直下において 17:00～24:00 の毎正時にプランクトンネットを流心部に浸漬して流下仔魚を採集した。また、2008 年 11 月 7 - 8 日と 2010 年 10 月 28 - 29 日に鵜住居川で 24 時間採集を行い、2010 年には河川での採集に合わせて河口でも採集を行った。アユ仔魚の流下は両河川ともに 9 月上旬から 12 月下旬までみられ、そのピークは鵜住居川で 10 月上～中旬、盛川では 10 月上～下旬にあった。仔魚の流下は 17:00～24:00 に集中し、1 日に流下する仔魚の 85.3%がその間に流下した。調査した 3 年間における各年の流下仔魚総数は鵜住居川で 7 千万～4 億尾、盛川で 7 千万～4 億 5 千万尾と推定された。震災前に河口閉塞の状態にあった鵜住居川では、最下流の産卵場（河口から 2.3 km）と河口の間での減耗率は 85.5%と高く、両地点で採集された仔魚の体長、日齢、卵黄指数に有意な差がなかったことから、河口までの間を一気に流下して河口を通過する個体以外は河川内で減耗するものと推察された。

## 3. 海域生活期

大槌湾では 2008 年～2010 年の各年の 10 月～12 月まで河口から沖に向けて 50、100、250、500、1000 m の距離に設けた測線で稚魚ネットや稚魚用ソリネットの曳網、また各年の 10 月～翌年 6 月まで鵜住居川河口周辺の碎波帯で碎波帯ネットと小型地曳網を用いた仔稚魚の採集を行った。大船渡湾では 2008 年の 10 月～翌年 1 月に湾奥から湾口に向けて設けた 5 測線での稚魚ネットと稚魚用ソリネットの曳網、各年 10 月～翌年 3 月まで湾内 5 カ所の碎波帯において碎波帯ネットを用いた仔稚魚の採集を行った。大槌湾の鵜住居川河口沖で採集された仔稚魚の体長範囲は 5.0～18.5 mm（3～28 日齢）で、その内、表層で採集されたのは体長 6.5 mm 以下（7 日齢以下）の流下直後の個体のみでそれ以外は全て底層（稚魚用ソリネット）で採集された。碎波帯への仔稚魚の出現は 10 月下旬から 6 月初旬までみられ、その体長範囲は 5.5～57.5 mm（4～222 日齢）、孵化日は 9 月 11 日～12 月 27 日であった。10 月～翌年 2 月までは 9 月中旬～11 月中旬生まれの個体が採集され平均体長も経月的に増加したが、3 月以降は 9 月

中旬～10月上旬の早生まれ個体が消え、平均体長の増加もみられなくなった。このことは早生まれの大型個体が砕波帯から河口汽水域に移動したことによるものと推察された。大船渡湾では、砕波帯以外で仔稚魚が採集されなかったものの、砕波帯で10月中旬～翌年2月下旬まで体長11.0～47.5 mm（12～144日齢、孵化日9月13日～11月14日）の個体が採集され、各月の平均体長は経月的に増加した。これらの調査結果は、降海した仔魚は体長10 mm（16日齢）で砕波帯に接岸し、その後体長20 mm（35日齢）頃から河口汽水域への来遊を繰り返しながら、体長40～50 mm（130～140日齢）で汽水域に移動し、遡上に備えることを示唆する。

#### 4. 河川遡上期

鵜住居川では2009年と2010年の6月、盛川では2009年の5月～6月と2010年6月に投網により遡上魚を採集した。採集されたアユ（2008年級、2009年級）について耳石輪紋解析から日齢と孵化日を求め、耳石Sr:Ca比から遡上魚と未遡上魚を判別し、遡上魚については遡上日齢、遡上日を特定するとともに遡上体長をバイオロジカルインタセプト法により推定した。鵜住居川の遡上魚の日齢と孵化日はそれぞれ251日～278日（2008年級と2009年級の平均：263日、262日）、9月18日～10月21日（2008年9月25日、2009年10月1日）で遡上日齢と遡上日はそれぞれ219日～259日（223日、240日）、孵化翌年の4月28日～6月14日（2009年5月6日、2010年5月29日）であった。また、遡上体長は55.7～110.7 mm（64.3 mm、97.6 mm）と推定された。盛川の遡上魚の日齢と孵化日はそれぞれ220日～278日（2008年級と2009年級の平均：243日、252日）、9月1日～10月20日（2008年9月26日、2009年9月28日）、遡上日齢と遡上日はそれぞれ203日～260日（231日、230日）、孵化翌年の4月17日～6月7日（2009年5月14日、2010年5月15日）であった。遡上体長は62.1～107.6 mm（84.1 mm、84.9 mm）と推定された。両河川における仔魚流下のピークが10月上旬～中・下旬だったのに対し、遡上魚の平均孵化日が9月下旬～10月上旬と早い時期に移行する現象が認められた。しかし、同時に採集された未遡上魚では体長、体重、日齢、海域での成長が遡上魚より小さく、孵化日も遅いことから遅れて遡上する遅生まれの個体群の存在を窺わせる。

## 5. 河川生活期

2008 年と 2009 年の 9 月下旬～11 月中旬に盛川の産卵場で友釣り、あるいは投網で採集された産卵加入個体の体長、日齢、孵化日を調べ、耳石解析により遡上日齢、遡上日、遡上体長を推定した。各月の体長は 81.7～186.0 mm であり、早期に産卵加入した個体ほど大型である傾向があった。また、それらの遡上体長は 60.0～108.8 mm と推定され、体長と遡上体長の間に正の相関がみられた。孵化日は前年の 9 月 28 日～12 月 29 日、遡上日は 4 月 9 日～8 月 7 日と推定され、早期に産卵加入した個体ほど早生まれで早期に遡上した傾向がみとめられた。これらのことは、アユでは個体の孵化時期が遡上時期や遡上体長だけでなく産卵時期や産卵体長にも影響を与えることを示唆する。

## 6. 東日本大震災が三陸地域のアユの生態に及ぼした影響

東日本大震災の津波と地盤沈下の影響により鵜住居川では河口を閉塞していた砂州が消失したことにより河川内汽水域が失われ、盛川ではその流入湾である大船渡湾の湾口防波堤が崩壊した。このように大きな攪乱が、地震・津波発生時に河口から碎波帯に分布していたと考えられるアユ仔稚魚に与えた影響も大きかったものと推察される。震災 3 ヶ月後の 6 月に鵜住居川と盛川で遡上魚を投網により採集し、日齢、孵化日、遡上日齢、遡上日、遡上体長を調べた。鵜住居川ではそれぞれ 239 日、2010 年 10 月 16 日、221 日、2011 年 5 月 25 日、96.5 mm であり、盛川ではそれぞれ 229 日、2010 年 10 月 20 日、210 日、2011 年 5 月 18 日、76.2 mm であった。いずれの河川でも平均遡上日に震災前後の年（2008 年級・2009 年級と 2010 年級との間）で大きな変化はなかったものの、孵化日が遅くなり、遡上日齢と遡上体長が減少した。また、遡上個体の耳石の 3 月 11 日に当たる部分の Sr:Ca 比が震災前に比べて有意に高かった。これらのことは、その時期にすでに河口汽水域に移動していた早生まれ個体（9 月生まれ）が津波の影響を受けて選択的に減耗し、まだ海域に分布した遅生まれ個体（10 月中・下旬生まれ）が遡上の主体となったことを示唆する。震災前の遡上魚の主体が早生まれ個体であったことから、早生まれ個体の消失が三陸地域のアユ資源に及ぼす影響は大きいものと推察された。

三陸沿岸域のアユの生態特性として9月～12月まで続く孵化時期の中の早生まれ個体が早期の遡上魚の主体を形成することを示した。このような生態特性は、土佐湾などで知られる早生まれ個体が海域で大きく減耗する現象とは対照的である。また、河口閉塞が進行した河川では、河川内での仔魚の減耗が非常に大きいことを具体的に示した。さらに、東日本大震災の津波がアユ個体群に与えた顕著な影響として、本来遡上魚の主体となっていた早生まれ個体が選択的に減耗したことを明らかにした。今後、この生態攪乱に対してアユ個体群がどのように応答し、どのように回復していくかについて明らかにしていく必要がある。本研究の成果から、三陸地域のアユ資源の増殖・保全の取り組みとして重要と考える5項目を提案した。