

遺伝的多様性に配慮した溪流魚の増殖に関する研究

著者	川嶋 尚正
学位名	博士(海洋科学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2013
学位授与番号	12614博甲第344号
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00001085/

博士学位論文

遺伝的多様性に配慮した溪流魚の増殖に関する研究

平成 26 年度
(2015 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
応用環境システム学専攻

川嶋尚正

目 次

緒 言	3
第1章 静岡県での過去の放流実績	7
第2章 発眼卵放流による効果	18
第3章 遺伝的多様性に配慮した増殖に向けての提案	35
1) 静岡県内での在来アマゴの確認	35
(1) 斑紋と遺伝子の両面での在来魚の確認	35
(2) ヤマメ域とアマゴ域の関係	50
2) 河津川で見られた放流の遺伝的痕跡	62
3) 大倉川で見られた放流の痕跡と 多様性の復元に向けた提言	70
第4章 禁漁による資源増大の実践	78
第5章 総合考察	86
謝 辞	91

緒 言

アマゴ *Onchorhynchus masou ishikawae* は本州中部太平洋に分布する日本固有のサケ科魚類である。生息域は河川の上流域で通常は陸封されているが、一部はサツキマスとして降海する（本荘：1977）。生活史は10月に産卵し、その年のうちに孵化し流れの緩やかな岸の浅瀬で春を迎える（中野ほか：1993）。4月には流れの中に出て底生性の水生昆虫を捕食しながら、成長する。8月ごろには流れの中心に泳ぎ出て、活発に餌をとりながら成長する。10cmを越えるようになると、餌料を底生性の生物から流下昆虫に変え、成長速度は急激に速くなる（名越ほか：1980）。1歳を迎える頃には12cm程度になるが、産卵には参加しない（中野：1993）。2才になると20cm程度に成長し、雄は成熟するが、雌は成熟することはない。3歳になると雌でも成熟し産卵に参加する。しかし、1回の産卵で死亡することなく、翌年産卵する。寿命は長くても4歳と見られ、最大で40cmくらいになる（加藤：1990）。サケ科魚類の河川での増殖行為は1930年頃からニジマスで行われたことが始めである（全国湖沼河川養殖研究会：1974）。定着性や再生産の点からヤマメアマゴなど由来マスに移り始め、静岡県では昭和44年から始まった（川嶋：1983）。

稚魚による放流は効果が認められ、放流量も増加していったが、この方法では放流直後に下流に下ってしまうことが多い。釣られ易い、鱗などの形が悪いなど、天然魚とはいろいろな面で異なっているといわれている（鎌田：1980）。稚魚放流は資源の増殖にとっては有効な手段と考えられるが、種苗代以外にも運搬費などの放流経費が多い、放流は道路の近くしかできないなど放流場所の制限が多いというデメリットがあるといわれている。稚魚による放流よりも、高度な放流技術として考案されたのが発眼卵放流で、稚魚放流に比べてさまざまなちがいがあがるが、最大のメリットはより短時間に天然魚に近い魚が増殖できるということであった。また、別な観点から、発眼卵であればヨード剤などによる消毒が可能であり、IHNなどの魚病を河川に持ち込む危険性を回避できる点などからも優れた放流方法と考えられている（長野県：1962）。この方法の問題点として、稚魚放流よりカジカ *Cottus polux* やカワネズミ *Chimarra gale platycephala* などの食害などにより生残率が低い可能性が考えられ、放流方法が未開発であったり、放流による効果が全く把握されていないなどの課題が

残されている。最近ではさらに進んで、親魚放流が考案され試験放流まで行われている（徳原ほか：2010）。

種苗の放流による増殖は外部からの資源を移植するため、数の増加は速やかに行われるが、同じ由来の種苗をいくつかの河川に移植することは、遺伝子のかく乱により、在来アマゴの特徴をなくしてしまう。静岡県のアマゴは溪流釣りの対象となっており、漁業権が設定され、積極的な放流が行われている。資源尾数の増加はいずれかの手法で簡単にできるが、遺伝的多様性にとっては、大きなダメージである。また、河川の治水、利水のための河川への人工工作物の設置は数多く行われているが、このことは上流に生息するアマゴの生活域を分断し、一生を過ごすために必要な流呈を確保することが難しくなっている。河川工作物の設置は積極的な種苗の放流による遺伝子の攪乱からかろうじて守られた上流域の支流に生息するであろう在来アマゴの群の消滅を早めることに繋がり、河川環境の保全は在来群の保護のための早急な対応が必要といえる。なぜなら、在来アマゴは生物学的に重要なのはとりもなおさず、内水面漁業の側面からしても釣り人にとっての価値は非常に高い魚であり、これらが消滅することは2つの面からみて大きな損失といえるからである。

アマゴの増殖に向けて残されている課題は県内の河川に残されている在来アマゴの存在を確認し、その多様性の現状を把握することが必要である。また、遺伝子のかく乱の実態を知り、はじめて多様性や特徴の保全の方向性が見えてくると思われる。

種苗の放流は河川ごとの特徴を持った群を生産することは極めて困難であるため、放流に頼らないで資源を増やす手法の開発が不可欠といえる。失われつつある多様性を復元するための具体的な提案も必要である。

本研究では、種苗放流の実態をまとめ、高度な放流方法としての発眼卵放流の技術開発と放流効果の把握を行う。また、消滅した可能性の高い静岡県内のアマゴ在来群の存在を確認し、それらの特徴を明らかにする。

放流による、遺伝子のかく乱の実態を確認し、復元のための具体的な作業工程を提案する。最後に遺伝的特長を失わない増殖方法として種苗放流を伴わない禁漁による資源管理の効果について検討した。

文 献

- 本荘鉄夫（1977）アマゴの増養殖に関する研究．岐阜県水産試験場研究報告，（2），1～102．
- 中野繁・田口哲・柴田勇治（1993）アマゴ．川那部浩哉・水野信彦 編，日本の淡水魚，山と溪谷社，東京，169-178．
- 名越誠・酒井寿之（1980）三重県平倉川におけるアマゴ *Onchorhynchus rhodurus* の体の大きさと食物の関係，魚類学雑誌，26(4) 342～350．
- 加藤憲二（1990）ヤマメ・アマゴその生態と釣り，釣り人社，東京，193pp．
- 全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編（1974）養鱒の研究，緑書房，東京 178pp．
- 川嶋尚正（1983）静岡県でのアマゴの河川放流と放流魚の成長，静岡県水産試験場研究報告，18，15～22．
- 鎌田淡紅郎（1980）アマゴ、イワナ、ニジマスの卵埋設放流の試みと二、三の感想，淡水魚（2），24～26．
- 徳原哲也・岸大弼・原徹・熊崎博（2010）河川放流した養殖アマゴ成熟親魚の産卵立地条件と卵の発眼率，日本水産学会誌，76(3)，370～374．
- 長野県水産指導所（1962）虹鱒の放流事業について，第13回全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会，115-116．

第 1 章 静岡県での過去の放流実績

はじめに

我が国のマス類の河川放流の歴史は古く、ニジマスの放流が昭和元年より国の奨励で行われている。しかし、ニジマスは、河川への定着が弱く、再生産も認められないことから（長野県水産指導所：1962）、これらの河川放流は、短期的回収を目指した釣堀的利用の放流へと移行して行った。ニジマスに変わり、河川の生産力を有効に利用するためにイワナやヤマメなどの在来マス類による放流技術が開発されるようになってきた（全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編：1974，森川ほか：1969，岡崎ほか：1972，立川ほか：1979，本荘：1977）。静岡県では昭和44年から本県の在来マス類であるアマゴについて放流技術の開発が進められ、現在では、アマゴの放流は漁業権に基づく放流とされており、第5種共同漁業権が設定されている28河川の漁業協同組合が行っている。近年は30万尾程度が放流されていると見られている。また、平成7年には発眼卵放流が資源の増殖方法として認められ、平成14年までは実績としてはなかったが、平成15年からは5～20万粒の範囲で事業的な放流が行われている（図1）。

本章では、稚魚による技術開発およびその放流効果について検討した。

方法と材料

稚魚放流については、静岡県水産試験場富士養鱒場により行われたアマゴの試験放流結果を取りまとめた（原田ほか：1969，花田ほか：1970，花田ほか：1971，花田ほか：1972，幡谷ほか：1973，幡谷ほか：1974，幡谷ほか：1975，幡谷ほか：1976，勝又ほか：1979，勝又ほか：1980，勝又ほか：1981）。対象とした調査河川は、昭和44年の狩野川水系の大沢川をはじめとして、昭和56年の大井川水系の小長井河内川までに14河川についてのデータを用いた。また、試験河川の底生生物量については、25cm×25cmのコドラートを用いて採集し、目までの検索を行い、1㎡あたりの生物量として算出した。

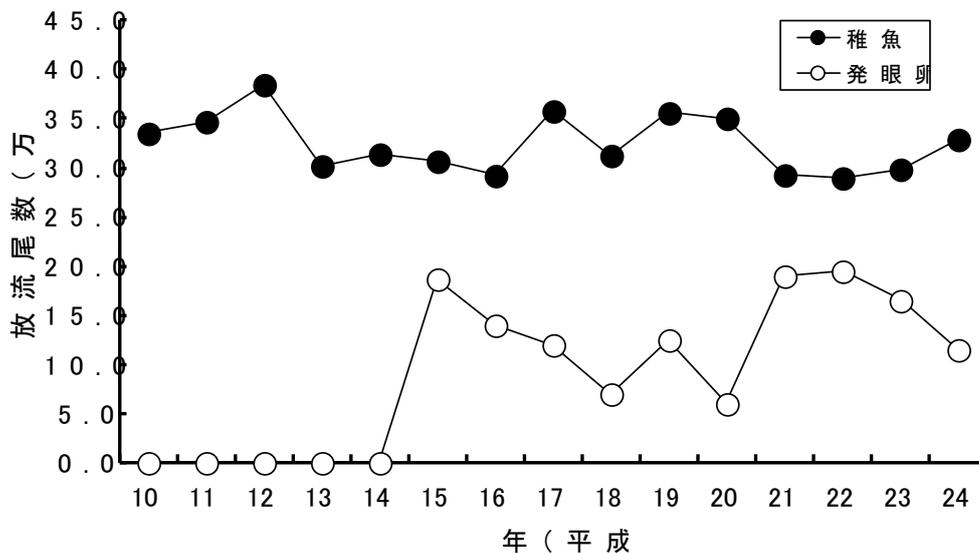


図1 静岡県でのアマゴ

試験放流に供した稚魚は、すべて静岡県水産試験場富士養鱒場産を使い(川嶋:1981, 高橋ほか:1966)、標識には脂鰭を切除した(花田ほか:1972, 岡崎ほか:1973))。そして、放流1年後に試し釣りをを行い、得られたデータを使いPetersen法により、資源尾数の推定を行った。試し釣りの区間を試験魚の生息域として、河川の幅と長さから水面積を求めた。

結 果

本章で検討した放流結果は、14河川についてであるが(図2)、これらの概要は表1のとおりである。放流河川は河川の上流域であること、50~500mの標高差があり、急流となること、水温が20℃付近、またはそれ以下と低いこと、pHが7.0付近であること、アマゴの餌となる底生生物が生息すること、そして、淵と瀬が連続的に連なり、これらがほぼ1:1であることなどで共通しており、アマゴの生息に適するような上流の景観を呈する河川であり、河川形態はA(a)型かまれにB(b)型であると考えられた。

これらの河川に生息する魚類は、アマゴの他、アユ *Plecoglossus altivelis*、ウグイ *Tribolodon hakonensis*、アブラハヤ *Rhynchocypris logoeskii*、オイカワ *Zacco*

platypus、ウナギ *Anguilla japonica*、ヨシノボリ *Rhinogobius* spp.、カジカなど7種で、天然アマゴは14河川中13河川に生息していた。

底生生物中の毛翅目の割合を調べたのは8河川であったが、このうち、市井平川、阿多古川が他に比べ、毛翅目の比率が高かった。一般に、シマトビケラ *Cheumatopsyche* spp. など造網型の毛翅目の比率が高いと底生生物の遷移が極相に近く、安定しているといわれ（水野ほか：1977，津田：1962）、市井平川、阿多古川は、調査河川の中では環境的に安定した河川といえよう。

調査河川の平均底生生物量は 10.63 g/m^2 であり、静岡県内の上中流域の河川では普通と思われた。増網型係数は12.3から79.8で、多くは河川形態がAaのため、上流域であることが分かる。市井平川と阿多古川はなだらかな中流域が試験区間に設定されていた。

各河川での放流、放流、再捕結果を表2に示した。

放流した稚魚は2.6gから15.3gと幅広かった。再捕率は0.2～10.4%と差が見られた。大沢川、安倍川、落合川、冷川の値は上下の異常値として取り除き平均を求めると1.8%であった。この結果は、全国的な陸封性在来マス類の放流再

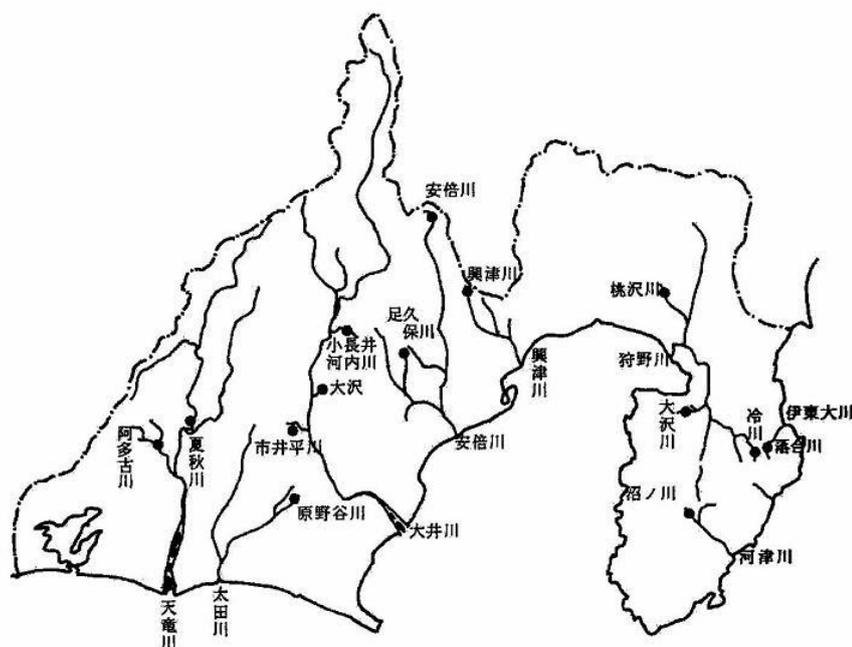


図2 アマゴ試験放流実施河川

捕結果（全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編：1974）とよく一致し、ほぼ平均的な再

表1 アマゴ放流河川の概要

河川名	調査区間の標高 (m)	標高差 (m)	流域面積 (m ²)	pH	水温(°C)	底生生物量 (g/m ²)	造網型係数 (%)	生息魚類	
大沢川	-	150	10000	7.2 ~ 7.6	13.0 ~ 25.0	24.80	-	アマゴ、ウナギ、ウグイ、オイカワ	
夏秋川	-	300	13200	7.1 ~ 7.4	2.2 ~ 21.0	15.30	-	アマゴ、アブラハヤ	
安倍川	-	500	7500	7.0 ~ 7.5	9.6 ~ 14.0	-	-		
興津川	-	100	10400	7.4 ~ 7.6	11.0 ~ 18.8	9.00	-		
原野谷川	-	120	20000	7.3 ~ 8.0	-	-	-		
市井平川	180 ~ 380	200	11400	7.2 ~ 7.4	5.3 ~ 15.6	1.87	79.8	アマゴ、アブラハヤ、ウグイ	
阿多古川	380 ~ 430	50	1900	7.1 ~ 7.4	6.3 ~ 22.6	27.90	60.5	アマゴ、ヨシノボリ、アユ	
落合川	150 ~ 240	80	2200	7.2 ~ 7.4	8.5 ~ 18.5	10.89	39.3	アマゴ、アブラハヤ、ウグイカジカ	
沼ノ川	250 ~ 350	100	4000	7.0 ~ 7.2	8.6 ~ 15.6	4.76	12.3	アマゴ	
冷川	220 ~ 250	300	16650	6.9 ~ 7.4	6.4 ~ 17.9	12.24	35.0	アマゴ、ウグイ	
足久保川	150 ~ 550	400	11500	7.0 ~ 7.7	4.9 ~ 20.8	8.53	36.3	アマゴ、アブラハヤ	
桃沢川	300 ~ 550	250	8000	6.9 ~ 7.3	7.8 ~ 17.3	4.09	27.6	アマゴ、アブラハヤ	
大沢	200 ~ 700	500	6300	6.7 ~ 7.1	7.8 ~ 15.2	2.15	-		
小長井河内川	-	-	-	6.8 ~ 7.2	6.4 ~ 9.8	6.07	27.7		
平均	229	431	235	9465	7.1 ~ 7.4	7.5 ~ 17.9	10.63	39.8	

捕率といえる。表2から各々の河川について Petersen 法により試験区間での放流魚を含む初期資源尾数の推定を行い流域面積から、天然魚、放流後のアマゴの河川内での生息密度を求めた(表3)。

初期資源尾は、落合川、沼ノ川、足久保川で多く、大沢川、安倍川、興津川で少なかった。大部分の河川で、天然のアマゴが確認されたが、大沢では再捕

Table 2 アマゴ放流結果及び採捕状況

河川名	放流年月日	総放流尾数 (尾)	総漁獲尾数 (尾)	標識漁獲数	再捕率 (%)	放流時平均体重 (g)	増重量 (g/月)	
大沢川	1968.Oct.3	2090	0	439	314	10.47	9.3	4.18
夏秋川	1969.Jun.10	4,000		216	77	1.93	2.6	3.16
安倍川	1970.Jun.2	4,000		326	315	7.88	4.7	2.95
興津川	1970.Nov.11	2,000		96	53	2.65	8.3	1.91
原野谷川	1970.Oct.20	5,000		86	45	0.90	8.9	2.6
市井平川	1971.Jul.4	4,000		249	89	2.23	5.7	2.3
阿多古川	1971.May.30	2,000		23	8	0.40	8.7	2.88
落合川	1972.Jul.4	2,000		34	4	0.20	4.8	0.22
沼ノ川	1972.Jul.13	5,000		202	78	1.56	5.8	1.36
冷川	1972.Sep.19	5,000		23	10	0.20	8.5	3.15
足久保川	1973.Aug.5	7,500		139	57	0.76	15.3	2.06
桃沢川	1975.Jun.11	4,000		57	40	1.00	12.3	1.94
大沢	1977.Jun.28	6,000		109	109	1.82	4.1	3.85
小長井河内川	1980.Jun.25	6,000		417	265	4.42	7.3	1.86
平均		4,250		173	105	1.8	8	2

* : 河川部は異常値

* : 異常値を除いた平均値

が放流魚に限られ、天然魚が生息しないものと思われた。

表3 標識放流による資源量の推定値と生息密度

河川名	推定初期 資源尾数 (尾)	95%信頼区間	放流密度 (尾/m ²)	放流後 生息密度 (尾/m ²)	天然魚 生息密度 (尾/m ²)
大沢川	4194	3956 ~ 4463	0.30	0.42	0.12
夏秋川	11220	13731 ~ 9486	0.30	0.85	0.55
安倍川	4139	4227 ~ 4056	0.53	0.55	0.02
興津川	3622	4438 ~ 3060	0.19	0.35	0.16
原野谷川	9555	12032 ~ 7924	0.25	0.48	0.23
市井平川	11191	13405 ~ 9565	0.35	0.98	0.63
阿多古川	5700	13405 ~ 3660	1.05	3.00	1.95
落合川	17000	280191 ~ 8765	0.91	7.73	6.82
沼ノ川	12948	15742 ~ 10987	1.25	3.24	1.99
冷川	11500	21925 ~ 7794	0.30	0.69	0.39
足久保川	18289	22961 ~ 15197	0.65	1.59	0.94
桃沢川	5700	6890 ~ 4861	0.50	0.71	0.21
大沢	6000	-	-	0.95	-
小長井河内川	9775	10556 ~ 9093	-	-	-
平均				1.35*	0.83*

*: 異常値を除く平均値

* 初期資源尾数の推定はPetersenの方法に従い次のように計算した

$$N = \frac{n_0 \cdot C}{C_0}$$

N : 初期資源尾数
 n₀ : 放流尾数
 C : 総漁獲尾数
 C₀ : 標識漁再捕尾数

なお95%の信頼区間の算出には次の式を使用した

$$Nt = \frac{n_0 \cdot C}{C_0 \pm 2\sqrt{C_0 \left(1 - \frac{C_0}{C}\right)}}$$

天然魚の生息密度は0~6.82尾/m²と河川により異なったが、天然魚が生息しない大沢と、非常に低い値を示した落合川を除くと平均0.65尾/m²となった。また、放流魚を含めた放流密度は興津川の0.35尾/m²から阿多古川の3.00尾/m²であり、再捕率が異常値であった4河川を除く平均値は1.35尾/m²であった。放流魚を差し引いた天然魚の生息密度は0.83尾/m²と推定された。

放流魚の成長

放流魚の放流時の体重は2.6~15.3gであり、平均体重は7.6gであった。12ヶ月後に再捕された放流魚の体重は最大が大沢川の59.4gで、落合川が最も小さく7.38gであり、平均体重は35.9gであった。試験河川ごとの成長をまとめると、ほぼ同様の成長を示しており、放流翌年の6月には約30gに達している(図3)。放流後の生息密度と成長をまとめると、負の相関が見られ、密度が高い河川では成長が劣っていた(図4)。

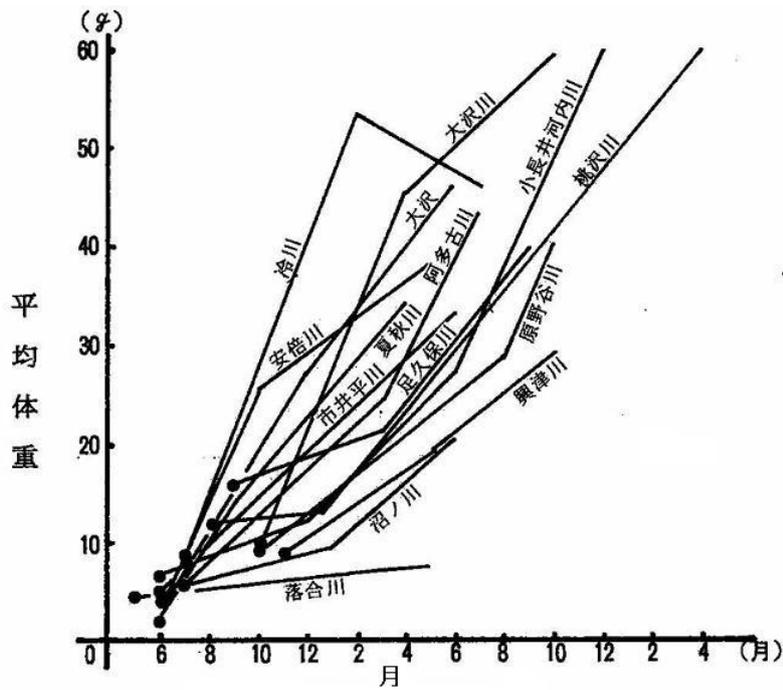


図3 放流魚の成長

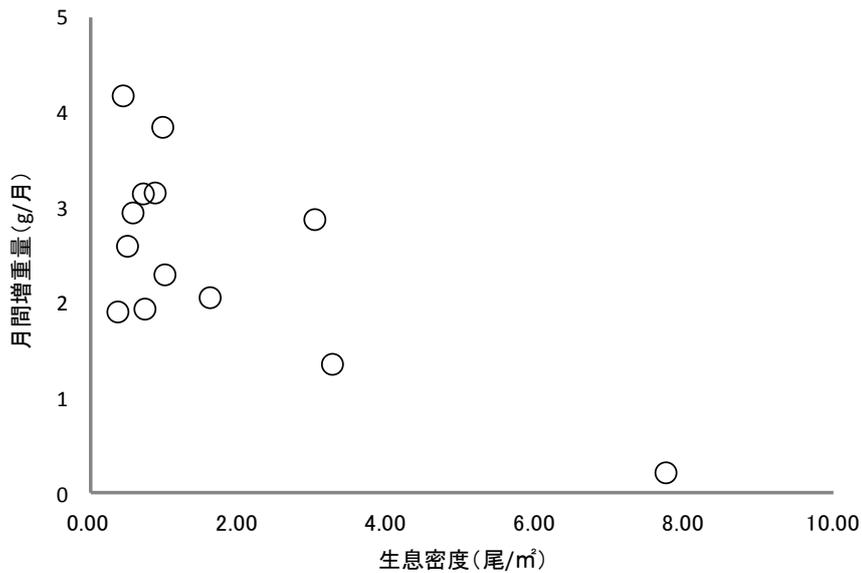


図4 生息密度と月間増重量の関係

月間の増重量を求めると、平均 2.46 g / 月となっており、成長は密度や餌の量により規定されていることから、単位面積当たりの底生生物量と月間増重量についてまとめると (図 5)、落合川と大沢川で他とかけ離れた値を示したが、それ以外では、餌の量と成長ついて正の相関が認められた。また、生息するアマゴ一尾当たりの餌の量や増網型係数と月間増重量の間にも相関が見られた (図 6、7)。これらの結果は推定し

た生息密度が妥当であると同時に河川の餌料生物量がアマゴの生息量に大きく影響しているということが分かる。

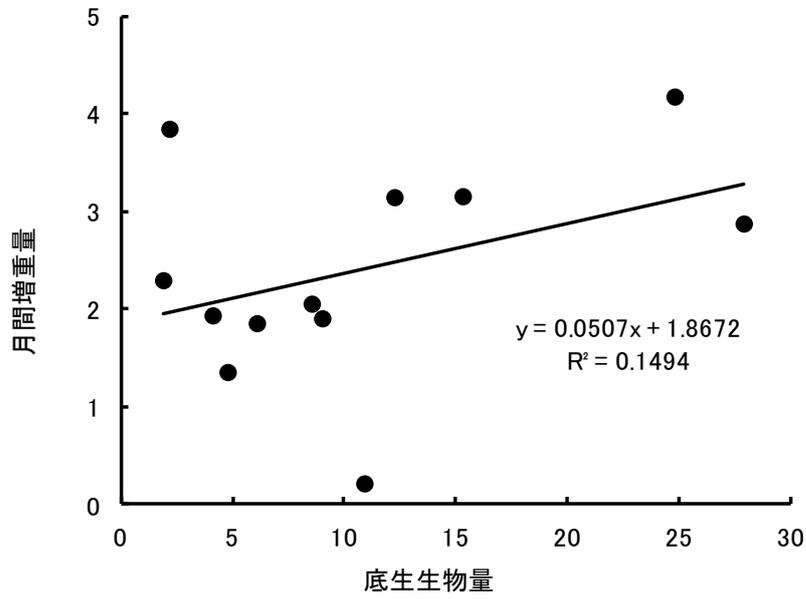


図5 底生生物量と増月間重量の関係

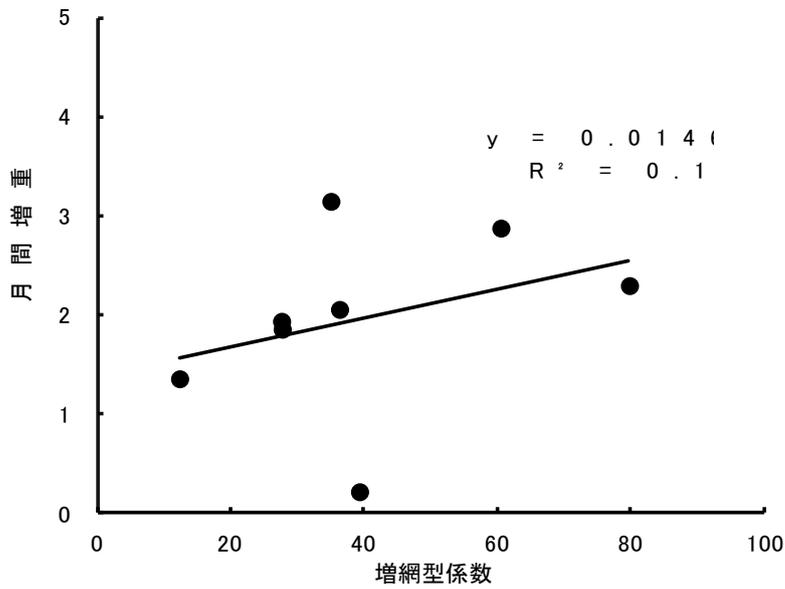


図6 造網型係数と増重量

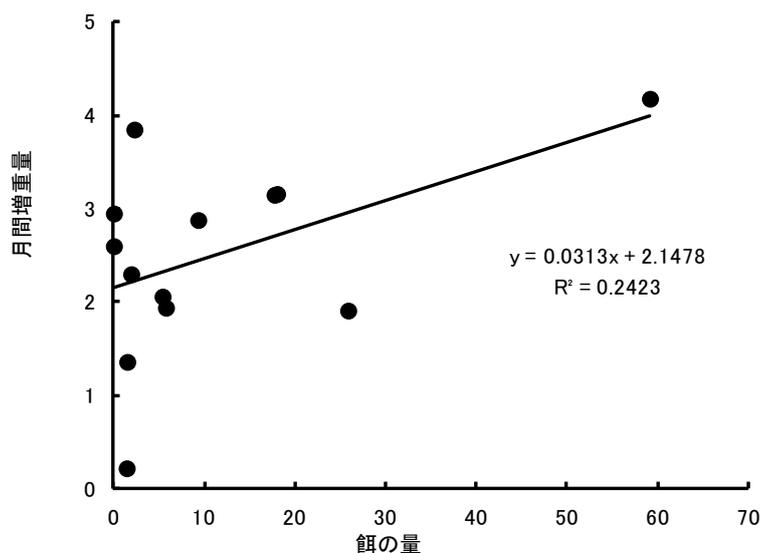


図7 1尾当りの餌の量と月間成長量

考 察

標識放流結果から試験区間内のアマゴの資源尾数の推定を行い、水面積から生息密度を求めると、放流後の生息密度は、1.55尾/m²であるが、その分布に偏りが見られ、個々の値はおおむね 0.5 尾/m²以下であり、全国的な陸封性在来マスの放流結果の 3 尾/m²と比べ、かなり低く、本県のアマゴの放流は河川の生産量を余裕の範囲で使っている放流といえよう。このため、底生生物量と成長や河川の安定性を示す造網型係数との間に相関が見られたものと考えられる。アマゴの放流による成長については岡崎ら (1972)、立川ら (1973)、が検討しているが (表 4)、

表 4 アマゴの放流条件と成長事例

文 献	放流時平均 体重(g)	再捕時平均 体重(g)	経過日数 (日)	放流後放 流密度 (尾/m ²)	底生生物量 (g/m ²)	1尾当たり底 物量月間増重量 (g/尾)
岡崎ら	5.2	24.9	321	1.1	8.7	1.7
立川ら	0.9	31.1	330	0.5	87.0	2.7
立川ら	9.4	24.2	330	0.5	8.7	3.7
本研究*	7.8	39.4	360	1.2	1.1	2.6

*:落合川を除く平均値

それらと比べ、本研究での結果はほぼ類似しており、これらは河川上流域のアマゴ資源の増殖には適する手法といえよう。また、養鱒部会編 (1975) は、全国的に実施した在来マス類の河川放流結果の取りまとめを行い、今回の調査結果とほぼ同じ放流

効果の算定を行っている。

文 献

長野県水産指導所（1962）虹鱒の放流事業について，第13回全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会要録，115～126.

全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編（1974）養鱒の研究，緑書房，東京 178pp.

森川進・本荘鉄夫・立川互・岡崎稔・熊崎隆夫（1969）在来マス類の放流に関する研究－Ⅰ，蛇之尾地区における予備試験について，岐阜県水産試験場研究報告，16，53～61.

岡崎稔・本荘鉄夫・立川互（1972）在来マス類の放流に関する研究－Ⅲ，黒石谷におけるアマゴの試験放流(1)，岐阜県水産試験場研究報告，17，35～50.

立川互・岡崎稔・本荘鉄夫（1973）在来マス類の放流に関する研究－Ⅴ，黒石谷におけるアマゴとニジマス0年魚の比較ならびに放流時期について，岐阜県水産試験場研究報告，18，17～24.

本荘鉄夫(1977)アマゴの増養殖に関する基礎研究，岐阜県水産試験場研究報告，22，1～103.

原田雄四郎・山下一臣・花田博・相模泰（1969）アマゴ河川試験放流Ⅰ，河川放流の試み，静岡県富士養鱒場事業報告，62～64.

花田博・原田雄四郎・大石常治・植松久雄（1970）アマゴ放流試験，静岡県富士養鱒場事業報告，72～84.

花田博・佐野宜八郎・植松薫（1971）アマゴ放流試験，静岡県富士養鱒場事業報告，68～73.

花田博・大須賀穂作・佐野宜八郎・植松薫（1972）アマゴ放流試験，静岡県富士養鱒場事業報告，33～44.

幡谷雅之・大須賀穂作・植松薫（1973）アマゴ放流試験，静岡県富士養鱒場事業報告，49～59.

幡谷雅之・大須賀穂作・植松新造（1974）アマゴ放流試験，静岡県富士養鱒場事業報

告, 46～58.

幡谷雅之・松島又十郎・鈴木克宏・大須賀穂作・渡辺清 (1975) アマゴ放流効果試験, 静岡県富士養鱒場事業報告, 26～31.

幡谷雅之・松島又十郎・鈴木克宏 (1976) アマゴ放流効果試験, 静岡県富士養鱒場事業報告, 56～60.

勝又康樹・高野良一 (1979) アマゴの河川放流試験, 静岡県水産試験場事業報告, 344～345.

勝又康樹・高野良一 (1980) アマゴの河川放流試験, 本川根町, 河内川, 静岡県水産試験場事業報告, 316～318.

勝又康樹・川嶋尚正・高野良一 (1981) アマゴの河川放流試験, 本川根町, 小長井河内川, 静岡県水産試験場事業報告, 314～318.

川嶋尚正 (1981) 富士養鱒場のアマゴとその 56 年度の採卵, 富士養鱒場だより, (78), 369～370.

高橋勉・松島又十郎 (1966) アマゴの増殖, 静岡県富士養鱒場事業報告, 33～35.

花田博・佐野宜八郎・植松薫 (1972) アマゴの鰭切除後の再生について, 静岡県富士養鱒場事業報告, 57～58.

岡崎稔・立川互 (1973) 在来マス類の放流に関する研究—IV, 臀鰭切除後の再生について, 岐阜県水産試験場研究報告, 18, 15～16.

水野信彦・御勢久衛門 (1977) 河川の生態学, 築地書館, 東京, 245pp.

津田松苗 (1962) 水生昆虫学, 北隆館, 東京, 269pp.

第2章 発眼卵放流による効果

はじめに

河川の資源の増大手法としてはほとんどが稚魚によるものであり、静岡県でも前章のとおり、年間に約 30 万尾が放流されて、効果は認められているところである。遊漁者のニーズは“多く釣れること”だけでなく、“より自然に近い状態の魚を釣りたい”というニーズも強い。

稚魚で放流することの問題点として、魚がすぐに流されてしまい定着しづらい、鰭の先端が不完全であり容姿が悪い。また、魚を移動するために多量の水を移動せざるを得ず、林道などのない上流域への放流は困難などが挙げられる。また、発眼卵はヨード剤により消毒が可能であり、IHN などの疾病の蔓延を防ぐなどの課題を解決するためのひとつの手法として発眼卵放流が考えられた。発眼卵放流は昭和 30 年代にすでに提案されてはいるが、事業的には成立していなかった。外国でも発眼卵放流の意識はあったが、諸外国の発眼卵放流は湖沼性のサケマス類で発達したといわれ、孵化盆を水面に浮かべるという方法で行われている。このため、日本の河川上流域への放流とは異なり、その発想も導入されてはいなかった。

当初の発眼卵放流は放流容器（商品名：バイバードボックス）が考案され、多く使われていたが、容器の価格や回収という問題点のために普及しなかった。また、孵化後の稚魚の移動、成長、生残など効果が全くわからず、放流基準も作ることができていなかった。

本章ではより自然に近い溪流魚の増殖方法としての発眼卵放流の技術を開発し体系化することにより放流基準を作ることを目的とした。

試験河川の概要

試験を行ったのは、発眼卵の放流方法については安倍川水系の濁川、大井川水系の榛原川、稚魚の分散については富士川水系の大倉川、西川、狩野川水系の持越川であった。そして、放流魚の成長、生残については大倉川で行った（図 1）。各河川の概要については表 1 のとおりである。

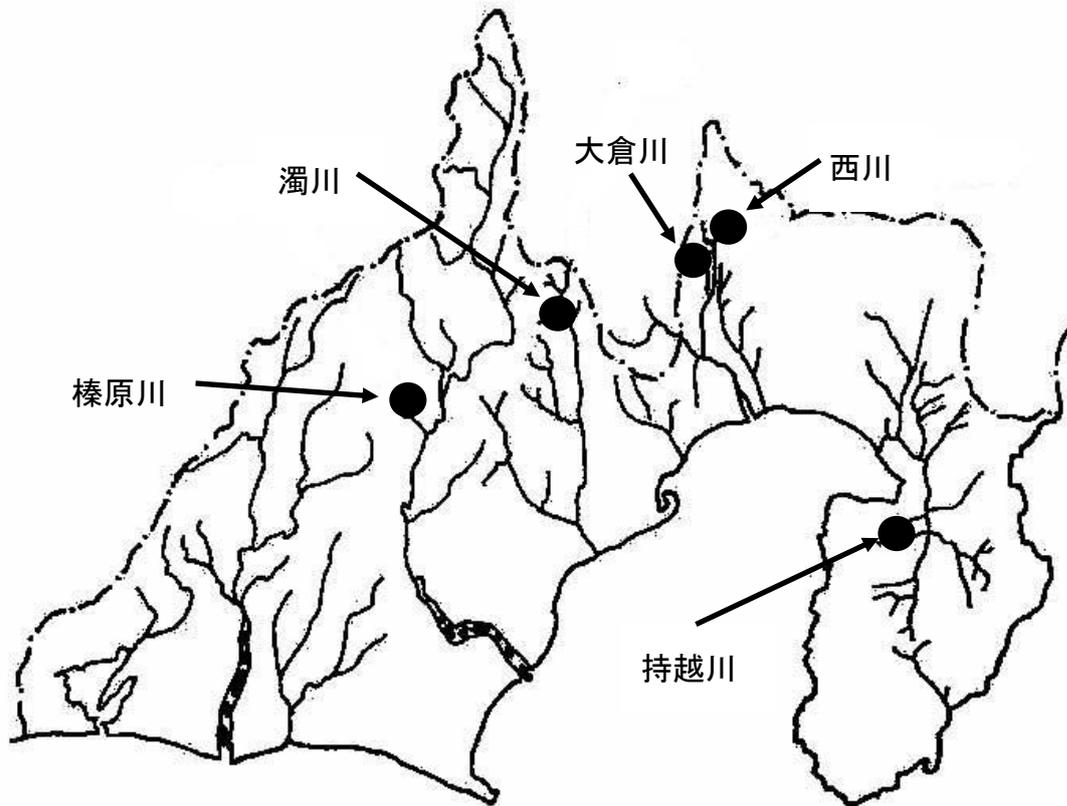


図1 試験放流実施河川

表1 放流河川の概要

河川名	標高(m)	平均勾配	流程(m)	生息魚類
(放流方法の開発)				
濁川	1000 ~ 700	5.5		アマゴ
榛原川	700 ~ 300	5.5		アマゴ
(稚魚の生残と成長)				
大倉川	1000 ~ 260	9.0	12800	カジカ、アブラハヤ
西川	700 ~ 600	1.2	2	アマゴ、カジカ、アブラハヤ
持越川	740 ~ 430	5.0	20148	アマゴ、カジカ、アブラハヤ

濁川は従来天然アマゴが数多く生息していたが、砂防堰堤が各所に設置されたため、また、漁業権が設定されていなかったため増殖の手段が加えられてはならず、資源はほとんど枯渇状態であったといわれている。榛原川も濁川同様漁業権が設定されておらず、アマゴ資源は非常に小さかったものと思われる。

大倉川は漁業権が設定されてはいたが、違法操業のため天然アマゴは全く生息していないといわれ、試験放流前に箱メガネを使い調査区間を目視観察したが、最も稚魚の多いと言われる4、5月にも全くアマゴ稚魚は観察されなかった。西川、持越川は

天然アマゴが生息し、現在も溪流漁場として重要な河川であるが、近年は漁協による稚魚等の放流は行われていない。しかしアマゴの資源が存在するという事は天然アマゴによる再生産が行われているものと思われる。

材料と方法

1 放流方法の開発

発眼卵の埋設は、地撒式、容器式の2とおりの方法で行った。地撒式は川床に放流床として握りこぶし大の石で直径約30cmの大きさに囲いを作り、その中に発眼卵を重ねないように静かに置いた。そして、上から大きな石で蓋をし、直射日光と鳥からの食害を防いだ。容器式放流は目合2mmのプラスチック製の網で直径約17cm、深さ8cmの円筒形のかごを作り、それを川床に置き、地撒式と同様に大きな石で蓋をした(図2)。

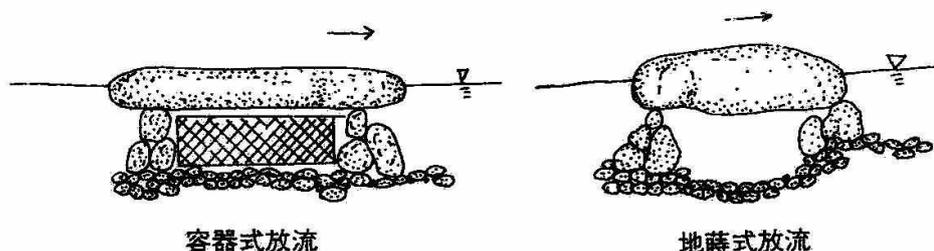


図2 発眼卵の放流方法

放流は1つの放流床にそれぞれ100~1000粒を放流し、約1ヵ月後に放流床を静かにあけ、中の死卵の数を計数した。孵化率は放流床からの流出はないと仮定し計数した。放流床内の死卵、放流卵数に対する割合から算出した。各放流床はなるべく同じ状況の河床を選び試験区ごとに差がないようにした。

2 分散、成長、生残

稚魚の、成長、分散、生残を調べるためにアマゴを採捕したが、採捕は間口2m、高さ0.5m、目合1cmの追い込み網を用いて、調査員が1人または2人でアマゴをそれに追い込んだ。目視観察は箱メガネで行い、観察された尾数を計数した。目視観察後

に追加放流として人工生産した稚魚を放流したが、それらは標識として脂鰭を切除した。河川内で採捕した時の魚には標識としてリボンタグを背鰭基部に付けた。天然を含む発眼卵放流魚を稚魚放流魚の由来の違いを区別するために色を変えた。

放流に先立ち、試験河川に設定した調査区間を 20、40m ごとの小区間にわけ、区間ごとに番号を付けた。資源量推定のための標識放流は調査区間内に均一に分布するよう放流した。アマゴの餌料生物量を測定した。採集は 50×50cm のサーバネットを用い、1 回の調査で 2 回採集し、目までの検索をし、1 m²当たりの湿重量および個体数で表した。

試験河川でのアマゴの資源量の推定は Petersen 法の修正法である Chapman の修正式を使用し、信頼区間は伊藤ほか（1977）に従い求めた。

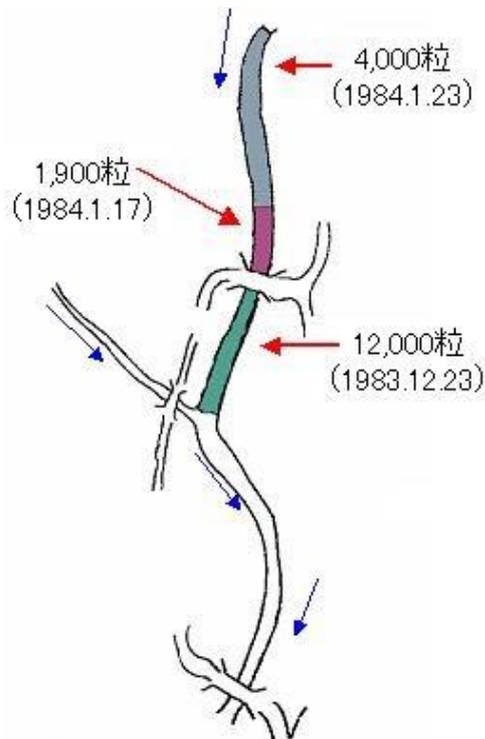


図3 大倉川に設定した試験区間
赤い矢印は放流日と放流尾数
青い矢印は流れる方向

放流および調査経過

卵の放流方法及び放流密度の検討のため、濁川、榛原川では各放流床は、なるべく同じ状況の川床を選び、放流床の場所による差が出ないように考慮した。濁り川では

1981年12月8日に放流し、40日後の1月18日に、榛原川では12月22日に放流し、36日後の1月28日後に孵化率の調査を行った。

大倉川に設置した調査区間は芝川との合流より6.5kmの地点から上流に向かい、1600mにわたり、20mごとに河川を区分けした。発眼卵は、第1回12000粒（1983年12月23日）、第2回1900粒（1984年1月17日）、そして、第3回4000粒（1月23日）と3回にわたり合計17900粒を地撒式で放流した。放流位置は、第1回放流は調査区間より上流に向かい680mの点から440mの区間、第2回放流はさらにその上流180mの区間、第3回放流はそこから300m上流の区間に放流した（図3）。

最終放流109日後の1984年5月12日に稚魚の分布についての潜水目視調査を行い、調査区間内のアマゴ稚魚の分布を調査した。最終放流125日後の5月28日に資源量推定のための脂鱗を切除した平均3.5gの稚魚2000尾の追加標識放流を行った。そして、その4日後に追い込み網を用いて採捕した。

最終放流169日後の7月11日に調査区間内に生息するアマゴを事前に追い込み網を用いて採捕し、リボンタグを付けたのちに再放流した。このとき脂鱗を切除された稚魚放流魚と無標識魚は異なる色の標識を付け、水中での目視観察で区別できるようにした。その8日後に調査区間内を全川にわたり目視観察を行った。最終放流281日後の11月16日に調査区間内で試し釣りをを行い、アマゴを採捕した。

西川に設置した調査区間は、芝川との合流点から上流であったが、冬季には調査区間が全川を網羅していた。西川へは1984年11月28日に18000粒を調査区間上端から400～600mの部分に地撒式で放流し、放流142日後および178日後の4月19日、5月25日に調査区間内の目視観察を行った。

持越川に設置した調査区間は狩野川との合流から5km上流から上流に向かい、2800mの区間であったが、発眼卵の放流は1985年12月22日に調査区間の上流より600m下流の地点から400mにわたり、22000粒を地撒式で放流した。放流163日後の6月3日に脂鱗を切除したアマゴ稚魚5000尾を追加放流し、その17日後に前述の追い込み網を用いて採捕した。

結 果

1 環境調査結果

試験河川ごとの水質測定結果は表 2 に示したが、大倉川、西川では夏でも水温 20℃を超えることはなく、持越川でも 20℃をやや超えるだけであった。また、酸素量は 8 mg/l 以上、飽和度 90%以上と高く、pH もアマゴが生息するのに適していた。また、大倉川と持越川の餌料生物量は、両者ともカゲロウ、トビケラ類が多く、毛翅目の湿重量の割合は稚魚の成育期である春のベントス量は多く、アマゴの生息には適していた。

表 2 試験河川の水質調査結果

項目	大倉川		西川		持越川	
水温(℃)	2.8	～ 15.8	2.2	～ 18.0	3.8	～ 21.8
pH	6.67	～ 7.87	7.71		7.32	～ 7.83
DO(mg/l)	8.6	～ 11.5	8.79		8.36	～ 12.4
DO(%)	87.7	～ 102.7	95.8		96.5	～ 97.7
水量(l/sec)	138	～ 654.4	220		173.6	～ 418.1
ベントス(g/m ²)	0.6	～ 9.93	-		0.85	～ 8.58

2 放流方法と孵化率

濁川、榛原川での異なる放流方法、密度について 2 通りの放流方法での調査の結果、すべての地蒔式の放流床で高い孵化率が得られ、濁川では地撒式放流で 99.0～100%、容器式放流では 98.0～100%、榛原川では地蒔式 99.8～100%、容器式放流 95.3～100%を示していた(表 3)。

1 放流床当たりの放流卵数が 100 から 1000 粒までは、放流密度は両河川とも孵化率に差はなかった。放流方法を比べた場合、地蒔式は容器式に比べ死卵数が少なかった。これについて河川ごとの両方法の孵化率のカイ 2 乗検定を行うと、濁川は $\chi^2 = 14.05$ 、榛原川は $\chi^2 = 60.51$ ($\chi^2(9, 0.01) = 10.827$ となり、高度に有意の差があった。

表 3 地蒔式および容器式の放流密

河川	放流床当 放流数	地蒔式		容器式	
		死卵 (粒)	推定孵 率(%)	死卵 (粒)	推定孵 率(%)
濁川	100	1	99.0	0	100.0
	200	0	100.0	1	99.5
	300	4	99.0	7	98.0
	400	0	100.0	5	98.5
	500	0	100.0	1	99.8
	600	0	100.0	-	-
	700	0	100.0	7	99.0
	800	0	100.0	0	100.0
	900	1	99.8	3	99.6
	1000	0	100.0	1	99.9
榛原川	100	0	100.0	0	100.0
	200	0	100.0	4	98.0
	300	0	100.0	1	100.0
	400	0	100.0	12	97.0
	500	1	99.8	0	100.0
	600	0	100.0	28	95.3
	700	0	100.0	12	98.3
	800	1	100.0	12	99.0
	900	0	100.0	4	100.0
	1000	-	-	7	99.0

このことから、1000粒以下の放流については放流が簡便で高い孵化率が得られ、容器の回収を必要としない地蒔き式放流の方が優れていると考えられた。

3 発眼卵放流した稚魚の分散

大倉川では最終放流 109 日後の 1982 年 5 月 12 日に調査区間での目視観察の結果、放流地点より下流に稚魚が多数分布していることが確かめられた。目視観察されたアマゴの稚魚は合計 222 尾で 20m ごとの観察密度は最高 1.35 尾/m を示し、その分布状態に 3 群があった (図 4)。第 1 のピークの中央は調査区間の上流から 300m 下流に、第 2 のピークの中央は 660m、そして第 3 のピークの中央は 1500m 付近に認められた。第 3 のピークは調査区間より下流にまで続いていることが推測された。

最終放流 169 日後に再度同様の調査区間で目視観察を行い、200 尾の稚魚が観察さ

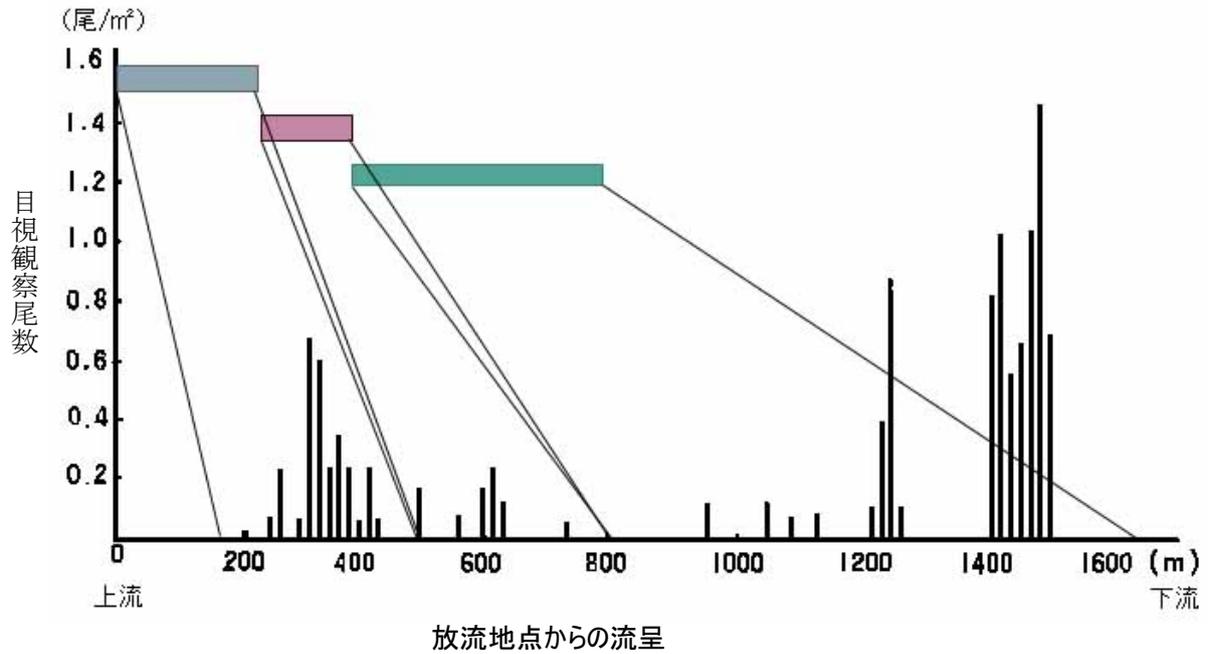


図4 放流 109m 日後の 20m 区間ごとの稚魚の目視観察尾数

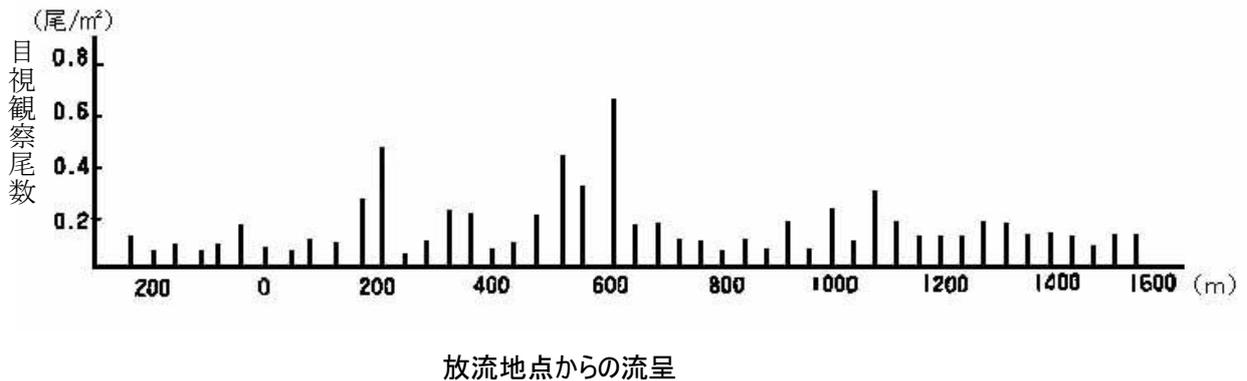


図5 放流 169m 日後の 20m 区間ごとの稚魚の目視観察尾数

れたが、生息密度は最高でも 0.6 尾/m と低く、前回ほどの稚魚の分布のピークは見られず、調査区間の全域にわたり観察された。さらに第3回放流地点より上流にまで稚魚は分布していた。この調査の前に資源量推定のための標識放流魚を追加放流しているとはいえ前回見られたような分布のピークはなくなっていた (図5)。

西川では放流 142, 178 日後に稚魚の分布についての目視観察を行ったが、第1回目視調査では 1.25 尾/m 続いて 1300m 下流の 0.4 尾/m であった (図6)。

そのうち最も多く分布していた 1.25 尾/m の群は、卵放流した区間の中央の 500m 地点から約 200m 下流に出現した。また、放流地点よりも上流にかけても稚魚は分布して

いた。第2回目視調査では大倉川同様明確な分布のピークは消失していた(図7)。

持越川では卵放流163日後に標識魚を追加放流し、漁獲したが合計297尾再捕された(表5)。そして、調査区間400mごとの採捕結果から区間内の天然魚のみの生息尾数を推定すると(図8)、調査区間の最上流から1200mの区間に生息尾数の最も多い区間があった。

表4 持越川での採捕結果

項 目		放流・再捕尾数
標識放流		5000
再 捕	無標識	284
	標識	13
	合計	297

(卵放流163日後)

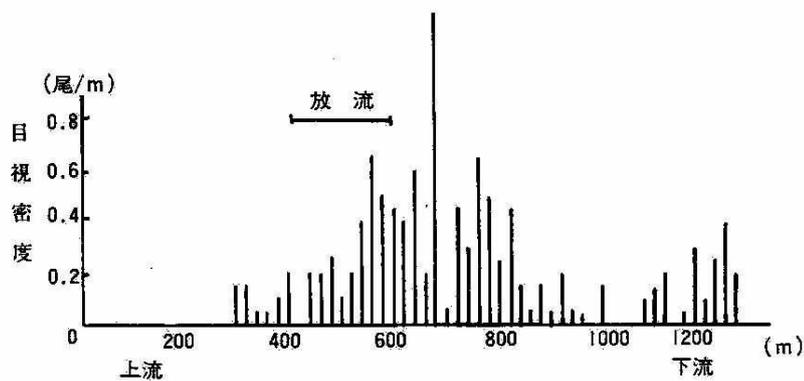


図6 西川での目視観察結果
(放流142日後)

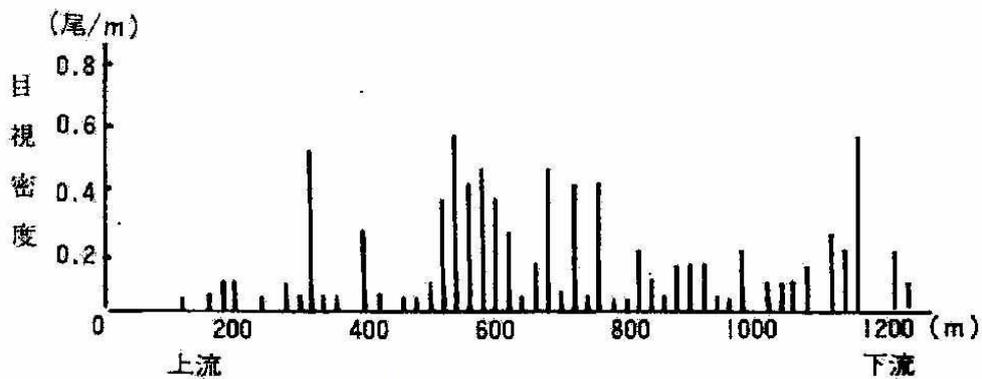


図7 西川での目視観察結果
(放流178日後)

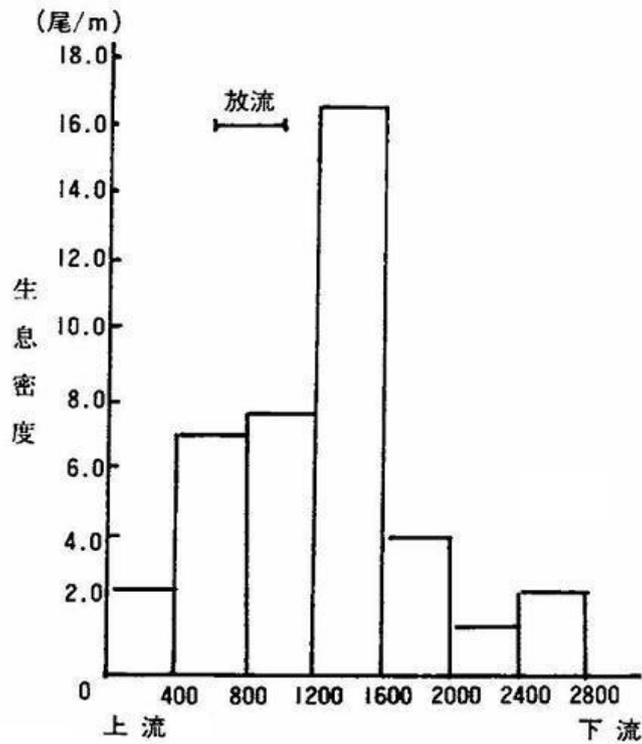


図8 持越川での推定アマゴ生息尾数
(放流163日後)

4 放流魚の成長

大倉川では、最終の放流 129 日後の稚魚は平均 5.5cm (3.9~7.7cm) になっており、169 日後の稚魚は 7.7cm (6.2~10.6cm) になっていた (図9、表5)。

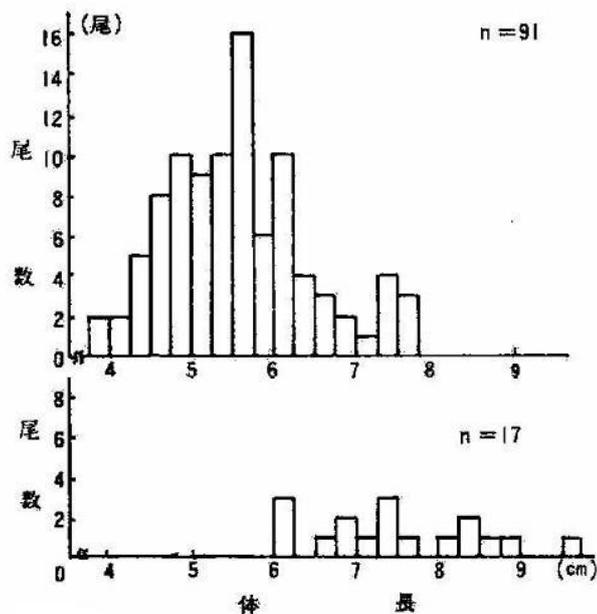


図9 大倉川での放流魚の成長
(上:放流109日後 下:放流169日後)

表5 大倉川での魚体測定結果

	第1回採捕		第2回採捕		第3回採捕	
	卵放流	稚魚放流	卵放流	稚魚放流	卵放流	稚魚放流
最終放流後日数	129(1983.6.5)		169(1984.7.11)		281(1984.11.6)	
採捕個体数	91	2000*	44	13	17	14
体長(cm)	5.5		7.7	9.19	10.87	10.73
CV(%)	151.8		12.9	14.6	15.8	19.3
体重(g)	3.5				21.4	18.8
CV(%)					45.9	61.4
肥満度					15.7	14.4
CV(%)					7.2	5.6

*:放流数

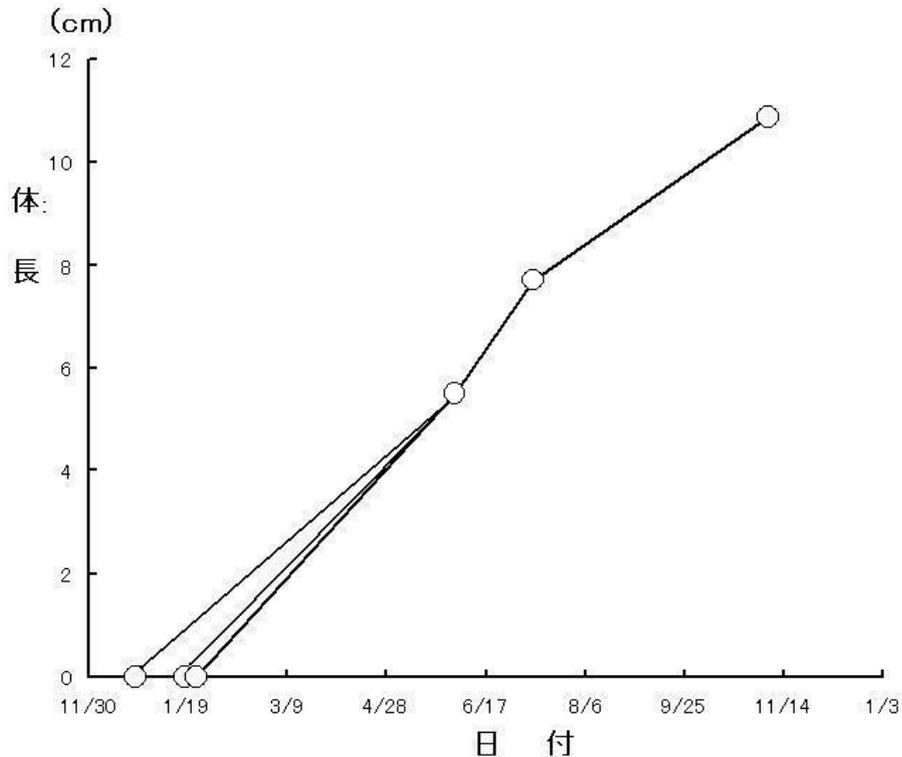


図10 大倉川での卵放流魚の成長

放流 281 日後に試験区間で採捕を行ったが、その時卵放流魚が 17 尾、卵放流 140 日後に稚魚で放流された。ほぼ同サイズの稚魚放流魚が 14 尾漁獲されたが、卵放流魚の体長は 10.9cm、稚魚放流魚は 10.7cm であった。これら 3 つの結果を表 6 にまとめて示した。また、卵放流魚の成長を図 10 に示した。

大倉川での発眼卵放流 129 日後から 281 日後までの半年間の体長の日間成長率は

0.55%/日であった。

ただし

$$G = \ln \left(\frac{S_1 - S_0}{S_0} \right) / t$$

(G:日間成長率 (%/日)、S0:初期体長、St:採集体長、t:日数)

発眼卵放流 281 日後の採捕による漁獲物の体長、体重および肥満度の測定結果から、各々について平均値、分散について差の検定を行うと (平均値: t 検定、分散: F 検定)、それぞれ分散では差は見られなかったが、肥満度の平均値で 1 % の危険率で有意の差が見られた ($t = 3.44$: $t_0(30, 0, 0.05) = 2.04$ 、 $t_0(30, 0.01) = 2.75$)。このことから発眼卵放流魚と稚魚による放流魚では 5 ヶ月後に肥満度の平均値に明らかな差が現れるということが出来る。

5 発眼卵放流魚の生息尾数

大倉川では天然魚が生息しないと仮定すると、この調査区間のアマゴはすべて発眼卵放流由来であることは前述したが、最終放流 125 日後には 2000 尾を追加放流し、4 日後の採捕調査の結果、標識魚 54 尾、無標識魚 91 尾、合計 145 尾が採捕され、資源尾数は 5310 尾となったが、追加放流分を差し引くと 3310 (95%信頼区間 2263~5612) 尾となった。

さらに最終放流 169 日後に資源尾数調査では、57 尾を採捕し、標識をつけ再放流したが、そのうち卵放流由来の稚魚が 77.1%含まれていた (表 6)。

表6 生息尾数調査結果

	無標識魚		標識魚		合計		
	卵放流		稚魚放流				
採捕調査	44	77%	13	23%	57	100%	
目視調査	235	10	91%	1	9%	11	100%

目視調査では合計 246 尾のアマゴが観察されたが、そのうち標識魚は 11 尾であった。このことから資源尾数は 1192 尾 (621~2312) 尾と推定されたが、目視された標識魚

の 90.9%が卵放流魚であったことから、調査区間内の卵放流由来のアマゴは 1083(662～2102) 尾と推定された。

考 察

試験を行った各河川には従来アマゴが生息し、または現在も生息しているが、水質調査の結果いずれもアマゴの生息には好適な条件を備えており、本県内の一般的なアマゴの生息域の環境を示すものといえる。

天然アマゴの産卵床は淵尻の流れの速い部分に形成されることが多いが、本研究では放流床の場所を決定する場合、岸よりの流れの遅い部分を選び、天然の産卵床と異なっていた。人為的に卵を埋設する場合は天然産卵の場所への埋設は困難であり、今回の方法でも十分な孵化率は得られていることから、放流方法に見合った放流場所を選択すべきである。放流床の大きさは産卵親魚の大きさにより決まるといわれている。そこに産卵される卵数については、1000 粒前後といわれている。本試験の結果、1000 粒までならば十分な孵化仔魚を得ることができ、天然での生産力をはるかに超えた量の資源を簡単に放流することができるものと考えられた。

従来、発眼卵の放流の場合は流出を考え、放流容器の開発は重要と考えていたが、それでは容器の回収が重要な課題となってしまう。本研究で用いた放流容器でも満足する孵化率は得られているが、容器を使わない方法が確立されればより目的に近づけるといえる。

本研究での地蒔き式と容器式の放流方法を比較した場合、時蒔き式のほうが良い結果となっているが、この原因として放流容器では放流床内の水流を円筒形の一面で受け、卵が一箇所に集まりやすいのに比べ、時蒔き式は複数の石という広い表面積で水流を受けているため、卵は石と石の間に入り、より良い条件で孵化を待つことができるからであろう。本研究では死卵数から孵化率を推定したが、時蒔き式では卵の流出を仮定しなかった。しかし、孵化率調査時に放流床の下流側は特に注意し卵、仔魚の流出がないことを確かめた上で調査を進めたため上記結果は妥当と考えられる。このように発眼卵の埋設方法としては地蒔き式で十分効果を上げられるものと考えられた。

大倉川、西川、持越川での調査区間の稚魚の分布状況を見ると、大倉川では最終放流 109 日後の分布調査結果で、分布のピークが各放流群それぞれ対応していると思われた。すなわち、下流よりの第 1 のピークは第 1 回放流群の放流区間の中央より 800m 下流に、第 2 回のピークは第 2 回放流群の放流区間の中央の 600m 下流に、そして、第 3 のピークは第 3 回放流群の放流区間の中央の 200m 下流に位置していた。また、それぞれのピークの観察尾数も各放流群の多寡に一致している。西川では放流 142 日後の放流区間の中央から 200m 下流にピークがあり、持越川では放流 163 日後の調査でも生息尾数の多い区間が放流域の 400～800 下流に形成されている。また、大倉川での結果では放流後の日数と移動距離にも関係があるようにも思われる。大倉川での 177 日後、西川での 178 日後の調査では分布のピークはなくなり、さらに放流地点よりも上流にまでも分布を広げている。これらの点を総合して考えると、卵で放流されたアマゴは孵化後まとまって成長しながら流下したのち、5～6 月の増水期に遊泳力の獲得に伴い積極的に分布を広げていくものと考えられた。

このため、西川の 1300m 付近に見られた分布のピークは卵放流によるものではなく、天然魚によるものと推測される。

今回得られた目視観察結果および採捕結果から流下速度を計算すると、大倉川では第 3 回放流群以外では約 5m/日、第 3 回放流群は約 2m/日、西川では 1.4m/日、持越川では 2.4m/日となった。なお、河川により異なるが、ほぼ 5m/日以下となり、原因としては河川勾配、水量、水温等が考えられた。

一方、稚魚放流での分散については本荘 (1977) の報告があり、平均約 6g のアマゴは放流 2 ヶ月後に 600m 下流に下っていた。このことから卵放流魚は一時的には流下する傾向が短く、定着は良いといえる。放流 10 ヶ月後の試釣り漁獲物の推定値から相対成長の関係を導くと

$$Y=2.459 \times 10^{-5} X^{2.9040}$$

$$(R=0.9856) \quad (Y: \text{体重}, X: \text{体長})$$

となる。この式から、放流 129 日後に漁獲された卵放流魚の体重を推定すると 2.7g になり、これより 5 ヶ月後の月間増重量は 3.7g/月となる。

河川でのアマゴは体長約 11cm まではおもに底生生物を餌とし（名越ほか：1980）、底生生物量と成長量の間に関係があるが（川嶋：1983）、大倉川での底生生物量は 3，5 月の調査での平均値は 9.2g/m²と多く、しかも放流 125 日後の卵放流魚の生息密度は 0.27 尾/m²、標識魚 2000 尾を放流した後も生息密度は 0.42 尾/m²と低くなっており、1 尾あたりの餌料生物が多かったため静岡県内での従来での放流試験結果に比べ良好な成長を示したものと考えられる。大倉川に天然魚のアマゴが生息しなかったとすると、卵放流魚は天然魚とほぼ同様の成長を示すように思われる。

天然魚がほぼ生息しないと思われる大倉川では観察されたアマゴはすべて卵放流由来と考えられた。最終放流から 125 日後生残尾数が 3310（2263～5612）尾となっていたが、放流卵数の合計は 17900 粒であるから卵放流から 125 日後の生残率は本河川の調査区間では 18.49（12.64～31.35）%と推定された。また放流 169 日後の生息尾数調査では調査区間に卵放流由来の稚魚が 1083（662～2102）尾と推定されたが、放流から 6 ヶ月後の生残率は 6.05（3.7～11.74）%となる。また、125 日後からの 43 日間の生残率は 32.72（29.25～37.46）%と推定された。この間に生残率は低下したが、これは漁獲制限体長を越えたものもいるため、漁獲されたり、積極的に調査区間へ分散したものがあつたためと思われた。

文 献

- 全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編（1974）養鱒の研究，緑書房，東京、178pp.
- 鎌田淡紅郎（1980）アマゴ、イワナ、ニジマスの卵埋設放流の試みと二、三の感想，淡水魚（2），24～26.
- 丸山隆（1981）ヤマメ *Salmo (Onchorhynchus) masou masou* (Brevoort) とイワナ *Salvelinus leucomaenis* (Pallas) の比較生態学的研究－I，由良川上流における産卵床の形状と立地条件，日本生態学会誌，31，269～284.
- 白石芳一・鈴木規夫・玉田五郎（1957）三重県馬野川のアマゴに関する水産生物学的研究－2，産卵習性に関する研究，淡水区水産研究所資料，1～17.
- 鈴木規夫・白石芳一・吉原重夫（1957）三重県馬野川のアマゴに関する水産生物学的

- 研究-3, 生殖巣に関する研究, 淡水区水産研究所資料, 23~45.
- 木村清郎(1972)ヤマメの産卵習性について, 魚類学雑誌, 19(2), 261~270.
- 伊藤嘉昭・村井実(1977)動物生態学研究法, 古今書院, 東京, 268pp.
- 本荘鉄夫(1977)アマゴの増養殖に関する研究, 岐阜県水産試験場研究報告, 2, 1~102.
- 名越誠・酒井寿之(1980)三重県平倉川におけるアマゴ *Onchorhynchus rhodurus* の体の大きさと食物の関係, 魚類学雑誌, 26(4) 342~350.
- 川嶋尚正(1983)静岡県でのアマゴの河川放流と放流魚の成長, 静岡県水産試験場研究報告, 18, 15~22.

第3章 遺伝的多様性に配慮した増殖に向けての提案

1) 静岡県内での在来アマゴの確認

(1) 斑紋と遺伝子の両面での在来魚の確認

アマゴは神奈川県西部から九州東岸までの太平洋沿岸の河川の上流域に生息するサケ科魚類である(中坊, 2013)。体側には小朱点があり, 分布の東限は神奈川県の酒匂川といわれ, 以東には近縁のヤマメが生息している(大島, 1930)。生活史は基本的には一生を河川の上流域ですごすが, 大きな河川では1年あるいは2年を河川ですごしたのちサツキマスとして海に下る(本荘ほか, 1975; 中野ほか, 1993)。アマゴは内水面漁業の対象種として重要で, 多くの河川で漁業権が設定され, 増殖義務として種苗放流が盛んに行われている。静岡県では18の河川漁協に対しアマゴの漁業権が設定されており, 静岡県水産資源課によれば, 2014年に約14万尾が放流されている。しかし, 人為的に放流される種苗は, その由来が放流する川とは異なる川の魚を基にして養殖したものや斑紋の特徴や成長など養殖に適した形質について選抜育種されたものになっており, これらが産卵に参加することにより従来なかった形質などを持った魚が増え, その川の遺伝的な特徴や多様性を攪乱する大きな要因となっている。

一方, ダムなど人工工作物が建設されると, 魚の移動が阻害され, 生息域が分断されてしまい, 遺伝的多様性の減少を招く恐れがある。生息域の分断は, 放流からの攻撃にさらされずにすむということはあるかもしれないが(Maekawa et al., 2001), 流速の減少により砂の堆積が起こるなどアマゴの生息環境を悪化させ, 生息尾数が減少し, その地域特有の個体群が消滅することが多い(中村ほか, 2010)。現在では, 静岡県内には地域の特徴を持った在来群はほとんど生息しないといわれている(静岡県, 2004)。アマゴの地理的多様性を知るうえで静岡県内に分布するアマゴの形質の変異を知ることは極めて重要であり, 本研究では放流が盛んと言われる静岡県内の各河川で残っていると思われる在来群を探索し, その地域変異について外部形態, 特に斑紋そして遺伝子解析により検討を加え, その特徴を明らかにすることを目的とした。

材料および方法

調査河川

天然魚の移植や人工種苗が放流されたか否かを判断する手法として中村(2001)は, 関係者への聞き取り調査の妥当性を示している。そこで, 本研究では, 関係者への聞

聞き取り調査により，対象とする河川のアマゴが在来群か否かの判断を行った．聞き取りは，2006年から2010年にかけて直接調査員が出向き，漁業権の設定されている河川では地元の漁業協同組合，さらに漁業権のない支流については地元住民や溪流会など各種釣団体に対してインタビューを行い，人工種苗の放流や下流からの天然魚の持ち上げの有無を聞き取った．人為放流がないと確認できた候補河川については現地調査を行い，下流からの遡上の可能性を否定するため，アマゴの遡上が少ないとされる1 m以上の落差のある滝や人工工作物があることを調べ，その上流域を対象河川とした．人工工作物については，静岡県のアマゴの種苗放流が1969年に始めて狩野川水系の大沢川で実施されたことに始まっているので(原田ほか，1969)，その設置年が1969年以前であることで，下流からの放流魚の遡上が妨げられているとした．その結果，在来群が生息すると判断された河川は伊豆半島東岸北部の単独河川で2河川，河津川水系で2支流，狩野川水系で7支流，富士川水系で2支流，大井川水系で4支流，天竜川水系で1支流であり，これらを調査河川とした(Fig. 1)．

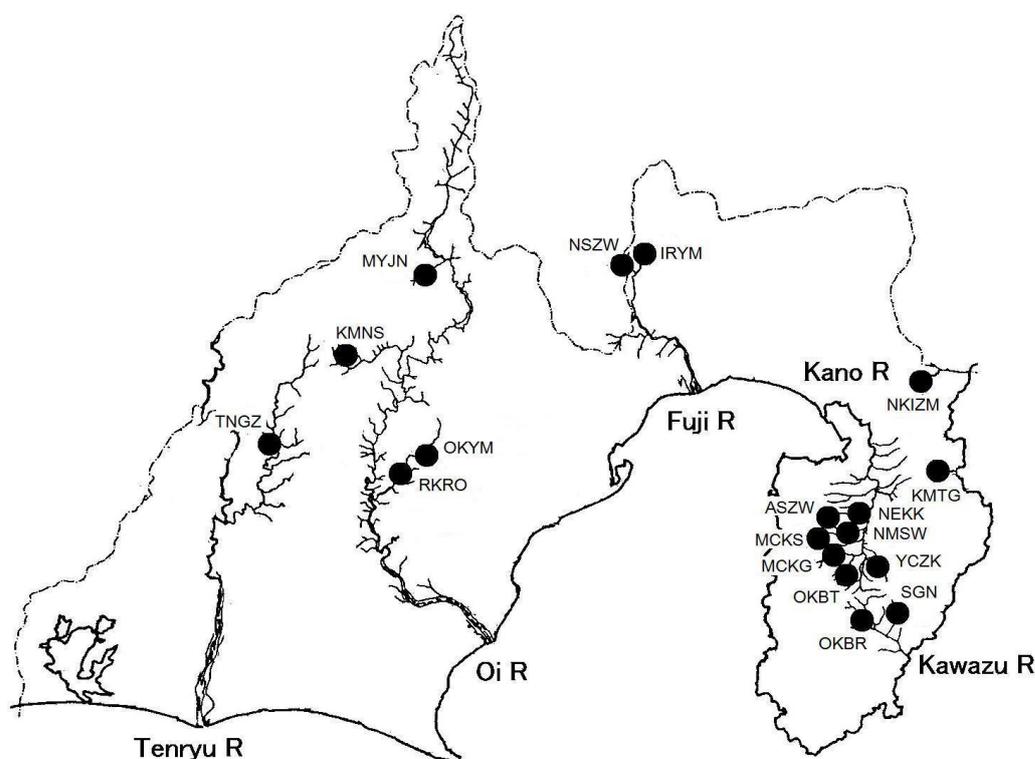


Fig.1 Sampling localities in Shizuoka Prefecture, Japan.

各水系の詳細な場所と名称は個体群保護のため明らかにしないこととし記号で表した。これらの河川あるいは支流で、アマゴのパーマークの数や形態の分析と遺伝子解析を行った。調査尾数は Table 1 のとおりであり、パーマーク数の比較には 11 支流 366 尾、パーマークの形態の比較には 11 支流 172 個体、そして遺伝子解析には 17 支流 237 個体を供した。

Table 1 Individual number of *Onchorhynchus masou ishikav* Prefecture shown in abbreviation of Fig.

No	Primary	Secondary	Abrevi	Phenotypic character		DNA an
				number	shape	
1	Chitose R		NKIZM	-	-	9
2	Kamitagao R		KMTG	-	-	14
3	Kawazu R	Okubara R	OKBR	31	16	7
4		Sagano R	SGN	30	16	-
5		Mochikoshi	MCKS	-	-	12
6			MCKG	-	-	16
7		Hontani	OKBT	-	-	6
8	Kano R		YCZK	29	14	15
9		Namesawa	NMSW	29	16	14
10		Nekko	ASZW	37	16	15
11			NEKK	-	-	16
12	Fuji R	Inako	NSZW	40	16	15
13			IRYM	33	16	6
14		Sasama	RKRO	34	16	16
15	Oi R		OKYM	31	16	15
16		Main str.	KMNS	29	14	12
17			MYJN	43	16	34
18	Tenryu R	Keta	TNGZ	-	-	15
		Total		366	172	237

斑紋の解析

2006 年から 2010 年にかけて行ったアマゴの採集は、エレクトリックショック、釣、手網により行った。採集した魚は箱型水槽に入れ、体側の写真撮影をした後、その場に放流した。後日、その画像を使って斑紋の測定を行った。測定は全パーマーク（以下 P と呼ぶ）数と、形の安定していると思われる第 2～第 6 の 5 個のパーマークについて、長径と短径を計測した。パーマークの上方にある大きな黒色斑（以下 BS と呼ぶ）についても計数した（Fig. 2）。

また、パーマークの形状については各個体ごとに測定した長径（以下 L と呼ぶ）と短径（以下 S と呼ぶ）の比の平均値を指数（以下 L/S と呼ぶ）とした。これらはパーマークが丸いか細長いかを示す。また、パーマークを長径と短径の積を求め、尾叉長で除し、平均を求めその個体の指数（以下 Sq/FL と呼ぶ）とした。すなわち、パーマークが体に対し大きい小さいかを示す指数である。

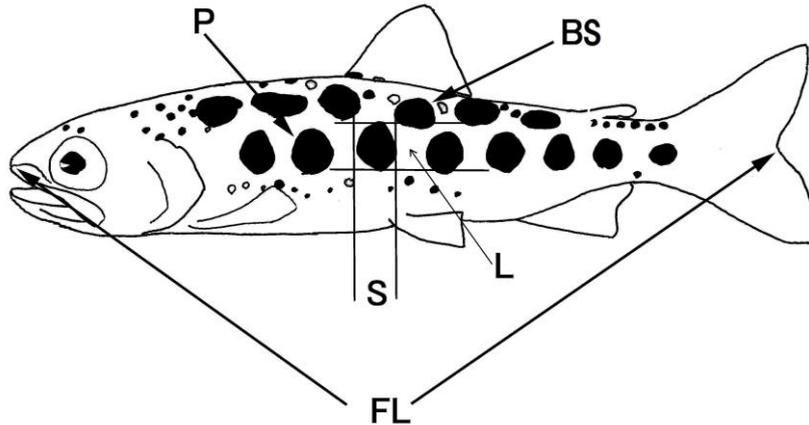


Fig.2 Measurement and count methods of *Onchorhynchus masou ishikawae*. FL, fork length; P, parr marks; BS, black spots; L, vertical length of parr mark; S, horizontal length of parr mark.

DNA のサンプリングと分析

前述の方法で採集したアマゴは写真撮影と同時に、その場で腹鰭か脂鰭の一部を切除し放流した。切除した組織は 99.5%エタノールに入れ固定した。固定後に数回エタノールを入れ替え完全に脱水し、常温で保存した。粗 DNA は Wizard Genomic DNA purification Kit (PROMEGA 社) を用いて定法に従い抽出し、 $100\text{ng}/\mu\text{l}$ になるように TE (Tris-HCl/EDTA) Buffer で調整し、 4°C に保存した。

分析に使用した遺伝子座はマイクロサテライト 5 座とした。増幅に使用したプライマーセットは Table 2 のとおりであった。DNA の増幅は以下のとおりとした。あらかじめ各プライマーはマルチプレックス化して適正な混合割合を検討した。増幅液の組成は、テンプレート DNA を 60ng 、酵素を $0.05\ \mu\text{l}$ 、緩衝液を $1.8\ \mu\text{l}$ 、プライマーミックスとして $0.08\ \mu\text{l}$ とし、超純水で $10\ \mu\text{l}$ にメスアップした。

Table 2 Primer list used genetic analysis of microsatellite loci

Name	Gene arrangement
Omi166TUF	5' -AAGTCCTTCAAGTCTGTCTCCG 3' -GGTAAACGAGGAAACATTCGT
OMM1300	5' -GAGTCACACGATAATACCACAGCGATA 3' -AGTTCAAAGGTGGAAGACGACGTATA
OtsG68UCD	5' -TATGAACTGCAGCTTGTTATGTTAGT 3' -ATGTAACCTCGTCGGCTGTAC
OMM1201	5' -CCGGAAAAGCTAGGGAGAG 3' -TTGCCTTACCTATGTCTTCCC
OmyFGT3TUF	5' -CAAGAAATTTGTGGAGCGG 3' -CGATTTTCAGTTTGTCCCGAAG

PCR 条件は、酵素として SpeedSTAR HS (Takara 社) を用いて、94°C60 秒の後、熱変性 94°C10 秒、アニーリング 57°C15 秒、伸長 72°C5 秒を 30 サイクル繰り返し 4°Cで保存した。PCR には GenAmp PCR System 9700 サーマルサイクラー (Applied Biosystems 社) を用いた。

増幅した DNA の泳動には Genetic Analyzer3130 Avant (Applied Biosystems 社) を使い、フラグメント解析を行った。サイズスタンダードは LIZ600 (Takara 社製) を使用した。フラグメント解析で得られたアレルは GeneMapperVer4.0 でサイジングを行い、サイズを決定した。分析結果は Alrequin ver3.1 (Excoffer et al, 2005), FSTAT (Goudet, 1995) を用いて解析し、出現アレル数, Allelic richness, ヘテロ接合体率の期待値と実数を求めた。また、河川間の Fst 値を求めた。得られた Fst 値を使い、ソフトパッケージの PHYLIP で近隣結合法により無根樹形図を作成した。

結 果

斑紋の変異

河津川水系、狩野川水系、富士川水系、大井川水系の 4 河川について代表的な個体を Fig. 3 に示した。さらに、採集されたすべての個体について河川毎に

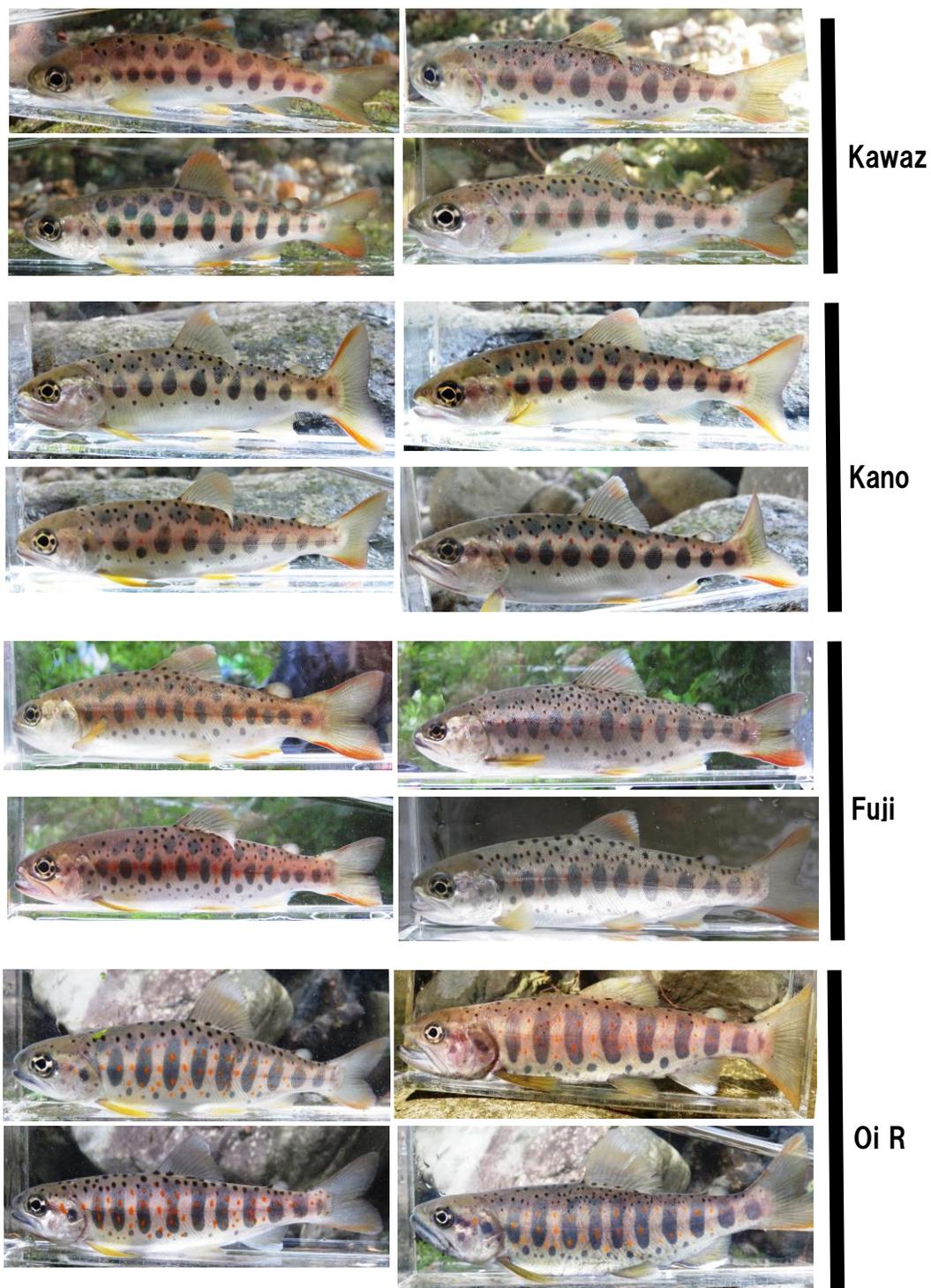


Fig.3 Typical mottled patterns of *Onchorhynchus masou ishikawae* collected from major rivers in Shizuoka Prefecture, Japan.

パーマークの数とBSの関係を Fig. 4 にまとめた. パーマークの数はほとんど 8-10 個の範囲にあったが, 大井川水系の RKRO では 6 から 10 個と幅広く, 6 個の割合が高

かった。また、狩野川の YCZK, 富士川の NSZW でも 6 個の個体は見られたが, その割合は低かった。パーマークについては地域による特徴は観察されなかった。一方, BS は, 大井川水系では存在しない個体の割合がひじょうに高く, 存在しても 5 個以下であり, BS を持つ個体の割合はわずか 27% であった。

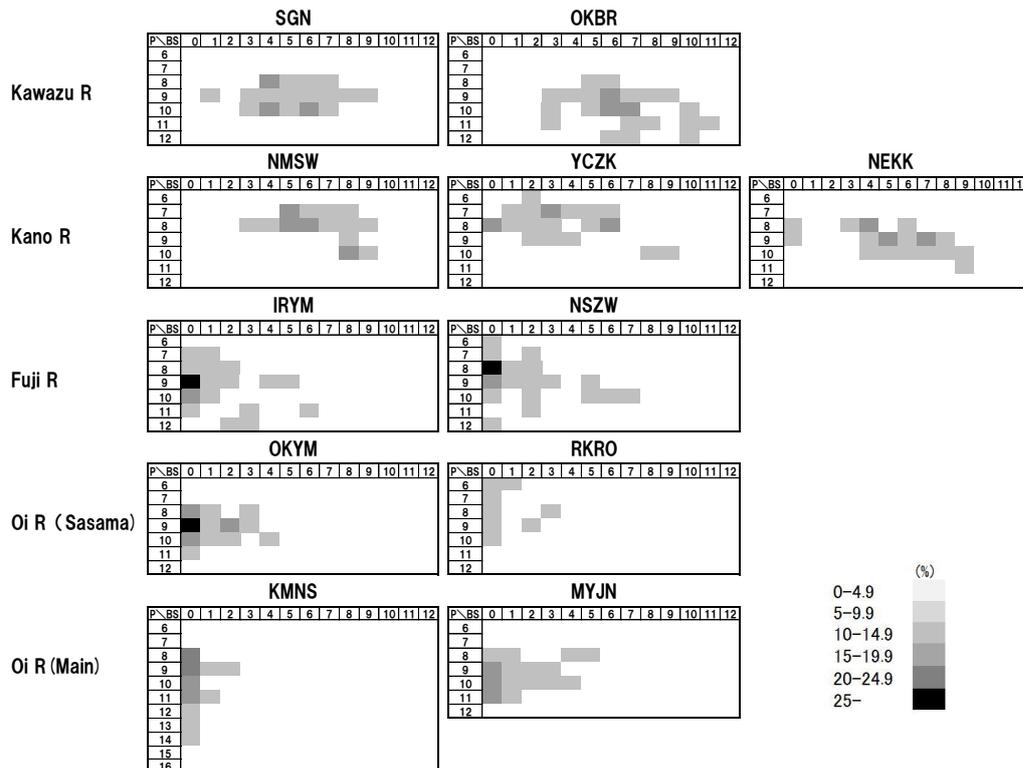


Fig.4 Relationships between the numbers of of parr marks (P) and black spots (BS) of *Onchorhynchus masou ishikawae*, shown by frequencies in 11 sampling localities in Figure 1

富士川水系では 0 から 7 個の範囲であり, BS を持つ個体の割合は 42% と高かった。狩野川では YCZK, NEKK では BS を持たない個体がわずか 9% に見られ, ほとんどの個体では 1 から 9 個の範囲で見られた。河津川水系ではすべての個体で 3 から 10 個の範囲で BS を持っていた。伊豆半島の各群は BS とパーマークの関係では, OKBR, NEKK でパーマーク, BS 共に多く, YCZK でパーマーク, BS 共に少ない傾向が見られたが, 地域的な特徴には乏しかった。BS については伊豆半島の水系と他の地区の水系では異なり, 伊豆半島ではほとんどの個体が BS を持っていた。

パーマークの形状については図5に示した。全ての河川では、パーマークの大きさと形はまちまちで、広く分布していたが、水系ごとにまとまりが見られた。大井川水系では、面積比 (Sq/FL) が小さい個体は縦長で、反対に面積比が大きい個体は丸かった。なかでも本流の笹間川は縦長で、面積比は小さかった。MYJN は面積比が KMNS よりも小さく、両者は形は変わらなかった。また、笹間川でも、RKRO と OKYM は形は変わらなかったが、面積比は RKRO の方が大きかった。

伊豆半島の狩野川、河津川水系は互いに分布が重なっており、形は一定で、面積比のみで異なる分布を示していた。狩野川では YCZK と NMSW は互いに重なっていたが ASZW だけは前2者と異なった分布を示した。河津川は両支流とも重なっていた。

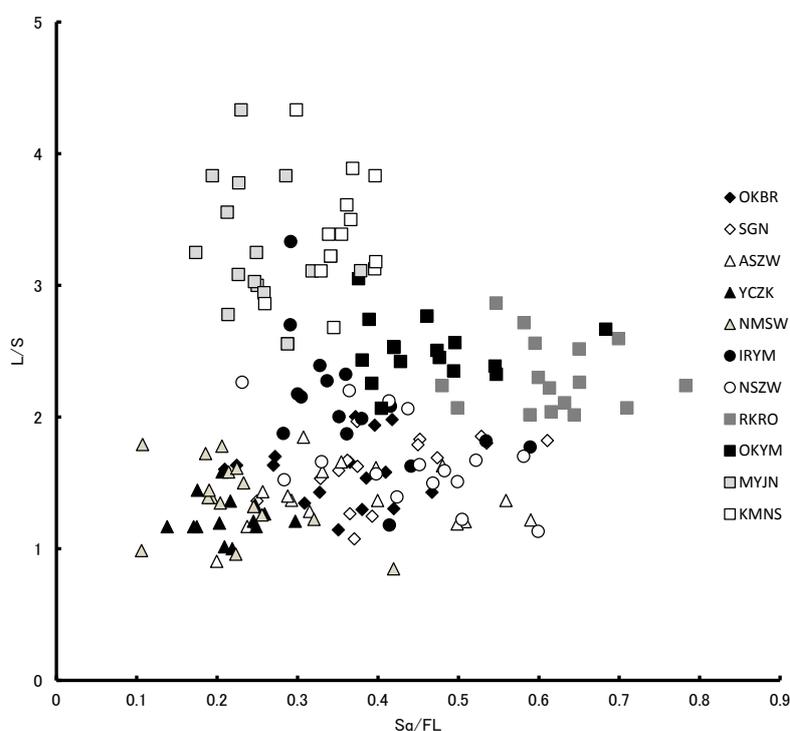


Fig.5 Relationships between the shape (L/S) and relative size (Sq/FL) of parr marks of *Onchorhynchus masou ishikawae* collected from 11 sampling localities in Figure 1. For FL, L and S, see Figure 2, and Sq is $S \times L$.

富士川水系は大井川、伊豆半島の水系の中間的な位置に分布しており、水系内の2支流は、大井川と同様に面積比が大きいと丸く、反対に面積比が小さいと縦長だった。

DNA の変異

今回使用した5個のマイクロサテライト遺伝子座について川毎のアレルの出現状況は Fig. 6 のとおりである。OMM1300 は全ての川で変異は少なかった。Omi166TUF, OMM1201, OmyFGTUF では変異が見られた。河津川水系の OKBR はほとんどの遺伝子座で変異は少なく、遺伝的な多様性が失われているものと考えられた。狩野川水系の YZCK でも同様に変異は少なかったが、OtcG68UCD では多様性が見られた。これ以外の群は一樣にほとんどの遺伝子座で多様性は残っているものと考えられた。狩野川と大井川では OmyFG3TUF で主要なアレルが異なっていたが、明確ではなく、全体的には川ごとにまとまったサイズのアレルが現れることはなかった。各遺伝特性値を Table 3 にまとめた。出現したアレルが最も少ない遺伝子座は OMM1300 で 2.76 個、多くて Ommi166TUF の 4.59 個であった。

Table3 Genetic characteristics of *Onchorhynchus masou ishikawae* collected from 17 sampling localities in Shizuoka Prefecture shown in Fig. 1

Locus	Site abbreviation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total	
	No. of samples	9	14	7	12	16	16	15	6	15	15	6	16	15	12	34	15		223	
OMM1201	No of Allele	4	3	2	6	5	4	4	2	2	3	4	5	4	6	2	5	6	3.94	
	Allelic size	230-240	227-236	230-232	225-251	225-293	225-298	230-251	225-230	230-238	230-293	227-251	225-298	183-263	224-298	228-246	203-269	227-251		223
	Allelic richness	3.80	2.46	2.00	4.54	3.08	3.21	2.13	2.00	2.00	2.45	3.20	4.00	4.77	3.20	2.00	3.16	5.01	3.12	
	Ho	0.778	0.615	0.714	0.667	0.563	0.643	0.125	0.400	0.333	0.333	0.933	0.500	0.813	0.600	0.583	0.765	0.733	0.594	
	He	0.712	0.557	0.495	0.645	0.460	0.513	0.181	0.505	0.303	0.301	0.611	0.742	0.770	0.614	0.431	0.627	0.766	0.543	
OMM1300	No of Allele	2	2	2	3	3	3	4	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	2.76	
	Allelic size	154-164	158-164	154-158	154-164	154-164	154-164	154-166	154-164	154-158	158-164	154-164	154-160	154-158	154-164	151-158	154-169	154-162		
	Allelic richness	2.00	1.93	2.00	2.50	2.57	2.93	2.97	2.00	2.00	1.40	2.54	3.00	2.37	2.87	2.50	2.34	3.37	2.43	
	Ho	0.667	0.308	0.714	0.250	0.438	0.571	0.500	0.400	0.500	0.067	0.400	0.333	0.188	0.733	0.583	0.441	0.600	0.453	
	He	0.471	0.271	0.495	0.518	0.411	0.574	0.490	0.505	0.530	0.067	0.349	0.530	0.462	0.545	0.540	0.450	0.674	0.464	
Ommi166TUF	No of Allele	4	4	2	7	6	5	7	3	2	3	4	5	3	8	4	5	6	4.59	
	Allelic size	194-283	184-273	180-236	178-236	180-217	180-232	184-248	180-232	184-197	178-201	199-268	201-238	188-244	178-244	184-194	184-232	192-209		
	Allelic richness	3.78	3.78	2.00	5.76	4.29	4.32	3.80	2.60	2.00	2.20	3.42	4.00	5.52	2.80	3.00	2.53	4.07	3.52	
	Ho	0.111	0.077	0.286	0.500	0.188	0.857	0.500	0.400	0.333	0.267	0.067	0.333	0.688	0.533	0.750	0.588	0.600	0.416	
	He	0.608	0.686	0.440	0.819	0.714	0.749	0.514	0.563	0.303	0.246	0.526	0.788	0.813	0.591	0.543	0.532	0.662	0.594	
OmyFGT3TUF	No of Allele	3	3	3	7	7	5	5	3	6	2	4	3	8	1	5	5	5	4.41	
	Allelic size	329-364	328-347	345-370	304-364	306-397	299-353	316-364	316-366	317-364	316-364	299-347	310-357	299-347	349	339-349	306-349	295-357		
	Allelic richness	2.90	3.69	2.98	4.78	4.34	3.90	3.85	2.80	6.00	1.80	2.99	3.00	4.78	1.00	3.91	3.71	3.39	3.52	
	Ho	0.667	0.769	0.571	0.333	0.188	0.357	0.313	0.100	0.333	0.067	0.333	0.500	0.375	-	0.083	0.324	0.467	0.361	
	He	0.569	0.711	0.484	0.609	0.645	0.603	0.671	0.426	0.864	0.186	0.444	0.682	0.726	-	0.547	0.688	0.492	0.584	
OtsG68UCD	No of Allele	2	5	2	8	5	6	4	2	3	4	3	5	3	5	3	8	5	4.29	
	Allelic size	144-172	160-192	168-208	152-208	152-208	152-212	184-204	164-168	158-168	168-196	176-192	160-184	164-184	164-192	156-172	139-188	144-188		
	Allelic richness	2.00	4.35	1.99	5.63	3.99	4.99	2.92	1.95	3.00	3.60	3.00	4.00	4.45	2.89	2.76	4.74	3.68	3.53	
	Ho	0.333	0.846	0.286	0.417	0.625	0.857	0.375	0.300	0.667	0.267	0.267	0.688	0.400	0.583	0.765	0.667	0.530	0.590	
	He	0.425	0.766	0.264	0.786	0.645	0.770	0.421	0.268	0.682	0.680	0.359	0.697	0.760	0.591	0.594	0.734	0.595	0.542	
Total	No of Allele	3	3.4	2.2	6.2	5.2	4.6	4.8	2.4	3	2.8	3.4	4.2	4.2	4.6	3.4	5.4	5.2		
	Allelic size	2-4	2-5	2-3	3-8	3-7	3-6	4-7	2-3	2-6	2-4	2-4	3-5	3-8	1-8	2-5	4-8	4-6		
	Allelic richness	2.90	3.24	2.19	4.64	3.65	3.87	3.13	2.27	3.00	2.29	3.03	3.60	4.38	2.55	2.83	3.29	3.90		
	range	2.0-3.8	1.03-4.35	1.99-2.98	2.50-5.76	2.57-4.34	2.93-4.99	2.13-3.85	1.95-2.80	2.00-6.00	1.40-3.60	2.54-3.42	3.00-4.00	2.37-5.52	1.00-3.20	2.00-3.91	2.34-4.74	3.37-5.01		
	Ho	0.51	0.52	0.51	0.43	0.40	0.66	0.36	0.32	0.43	0.20	0.40	0.47	0.55	0.57	0.52	0.58	0.61		
Total	He	0.56	0.60	0.44	0.68	0.58	0.64	0.46	0.45	0.54	0.30	0.46	0.69	0.71	0.59	0.53	0.61	0.64		
	P-value	0.69	0.66	0.66	0.08	0.39	0.46	0.10	0.49	0.71	0.62	0.21	0.43	0.07	0.45	0.49	0.54	0.43		

また、OMM1300 は Allelic richness も調べた 5 遺伝子座のうちで最も低く 2.43 を示した。OtsG68UCD, Ommi166TUF, OmyGFT3TUF のばらつき具合は似ており変異は大きく、約 3.5 を示した。また、遺伝子座は NKZM の OmyFG3TUF と OMM1300 で、OKBR の OtsG68UCD と OMM1201 で、OKBT の Ommi166TUF, OtcG68UCD で、YZCK の Ommi166TUF と OmyTG3TUF でそして OKYM の OMM1201, OmyFTG3TUF でそれぞれ変異が少なくなっていた。一方、MCKS では 3 遺伝子座で、RKRO では 4 遺伝子座

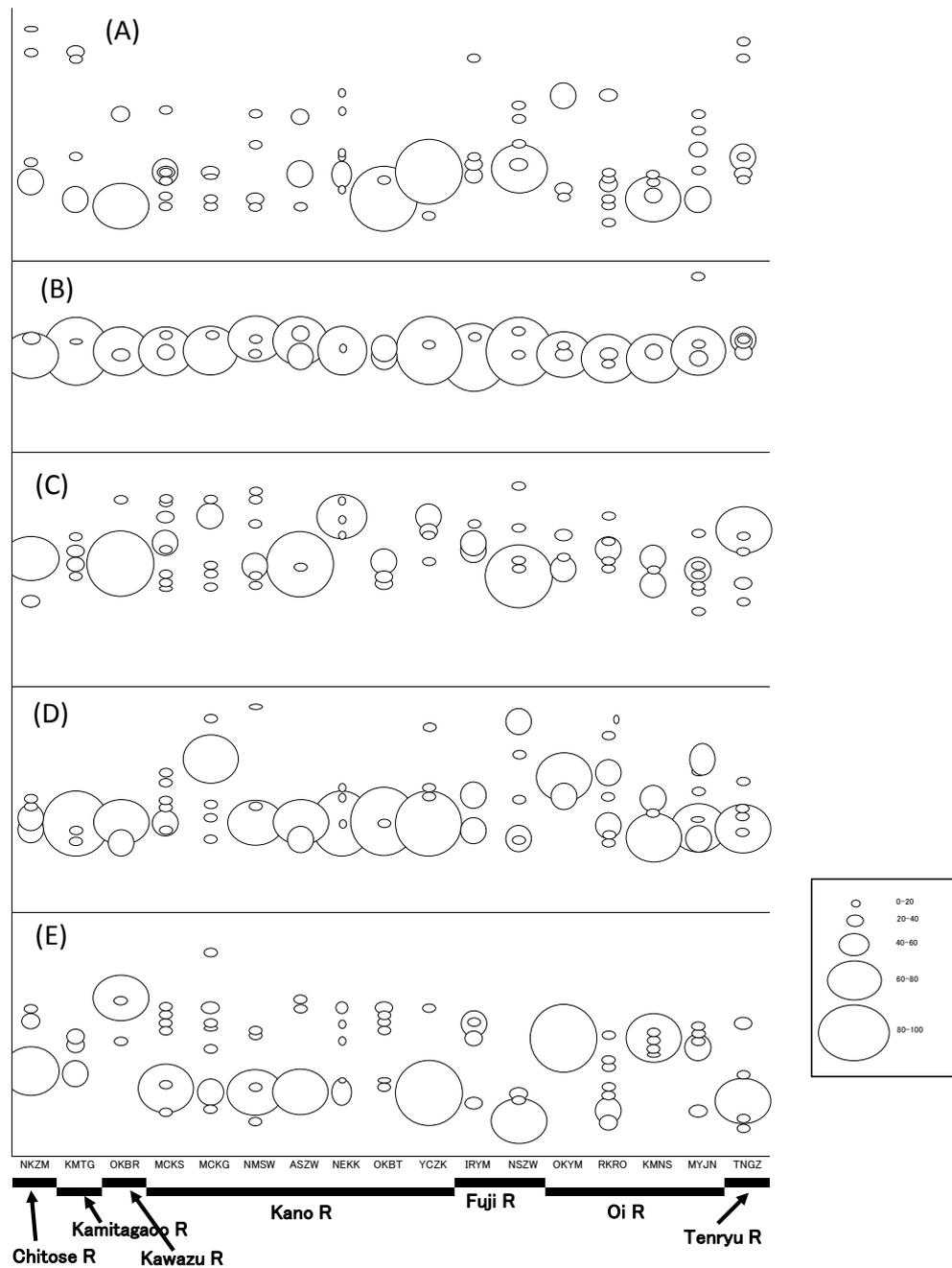


Fig 6 Allelic frequency histogram of the microsatellite loci
 (A):Omi166TUF,(B):OMM1300,(C):OtsG68UCD,(D):OMM1200,(E):OmyFG3TUF

で Allelic richness が 4.5 を越え, 変異は保たれていると思われた. Allelic richness が最も高かったのは, OKBT の OmyFGT3TUF で 6.0 であった. また, すべての遺伝子座で H-W 平衡を調べると, 期待値と実測値に逸脱はなかった.

各群の F_{st} 値を求めると (Table 4), 狩野川水系の各支流間はそれぞれ近かったが, 大井川水系と狩野川水系間は大きく, 遺伝的に離れていた. 特に, ASZW と YCZK は大

井川と離れていた。すべて群は統計的にはそれぞれ独立した集団と判断された。さらに、Fst 値を用いて無根樹形図を作成すると地域ごと、水系ごとに類分けされた (Fig. 7)。

Table4 Pairwise Fst value between 16 streams of *Onchorhynchus masou ishikawae*

	NKZM	KMTG	OKBR	MCKS	MCKG	ASZW	NEKK	OKBT	YCZK	IRYM	NSZW	OKYM	RKRO	KMNS	MYJN	TNGZ
NKZM	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
KMTG	0.368	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
OKBR	0.447	0.393	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MCKS	0.298	0.232	0.334	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MCKG	0.342	0.247	0.355	0.065	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ASZW	0.461	0.485	0.568	0.316	0.263	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NEKK	0.402	0.290	0.444	0.182	0.128	0.350	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*
OKBT	0.333	0.252	0.362	0.200	0.211	0.434	0.229	0	*	*	*	*	*	*	*	*
YCZK	0.503	0.397	0.512	0.114	0.120	0.473	0.264	0.413	0	*	*	*	*	*	*	*
IRYM	0.250	0.260	0.415	0.223	0.273	0.419	0.361	0.280	0.475	0	*	*	*	*	*	*
NSZW	0.445	0.333	0.459	0.285	0.306	0.529	0.424	0.374	0.407	0.403	0	*	*	*	*	*
OKYM	0.445	0.453	0.514	0.396	0.429	0.542	0.484	0.445	0.546	0.424	0.470	0	*	*	*	*
RKRO	0.252	0.281	0.320	0.217	0.253	0.360	0.326	0.222	0.390	0.188	0.305	0.315	0	*	*	*
KMNS	0.358	0.366	0.446	0.316	0.364	0.509	0.374	0.295	0.500	0.338	0.425	0.441	0.240	0	*	*
MYJN	0.312	0.289	0.363	0.239	0.255	0.416	0.317	0.269	0.355	0.310	0.336	0.356	0.175	0.286	0	*
TNGZ	0.327	0.325	0.398	0.231	0.300	0.427	0.355	0.298	0.407	0.234	0.380	0.413	0.264	0.358	0.279	0

*:P>0.05

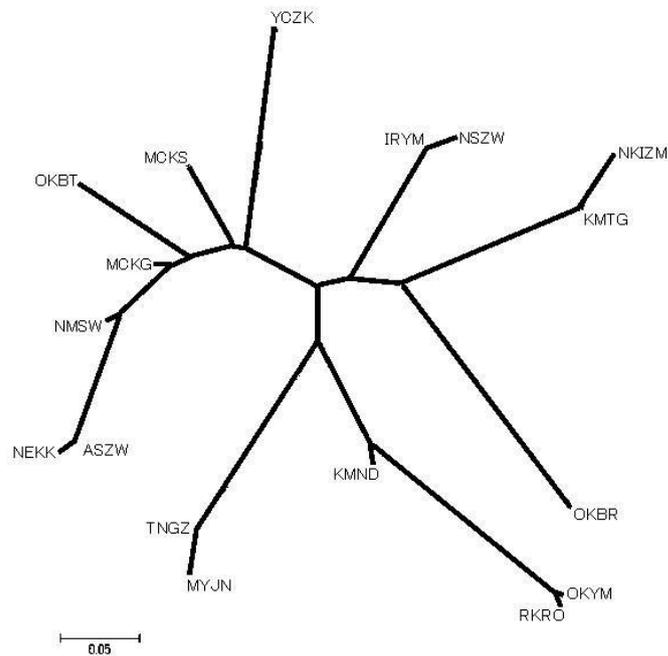


Fig.7 Un-rooted NJ tree showing the relationships of *Onchorhynchus masou ishikawae* collected from 17 sampling localities in Figure 1, based on Fst values calculated using allelic frequencies of five microsatellite loci, shown in Figure 6.

考 察

アマゴの斑紋の変異は大きく（中野ほか，1993），パーマークや小黒点の数についての遺伝率などすでに多くの研究があり（立川ほか，1981；工藤ほか，2002；米沢ほか，2010），その変異は遺伝に支配されていることが分かっている．そのためパーマークの数や BS の数は遺伝的にまとまった群の違いを判断するうえで重要な形質といえる．Kawamura et al（2012）は宮川支流の古座川の在来アマゴは斑紋でも人工種苗と異なっていることを報告している．本研究でも，表現型から，大井川水系の本流上流部と笹間川水系，富士川水系，伊豆半島の各水系で大きく4つに分かれていることが判明し，さらに，川ごとに細分できることがわかった．また，パーマーク上方の BS の存在について，伊豆半島の水系とその他とのあいだで明確に区別できた．

さらに，遺伝子解析から，対象とした各群はすべて任意交配であり，群間の遺伝的な距離では，MCKS と MCKG がやや近かったが，その他の群はすべて独立した群であった， F_{st} 値をもとに作成した無根樹形図では，地域ごと，水系ごとに分けられた．このため，調査した各群は，放流の影響があってもわずかであり，在来群である可能性が高いことが示唆された．このように，静岡県内のアマゴの地域変異については，表現型と遺伝子型で同じ傾向を示し，聞き取り調査と併せて考えると在来個体群の地理的変異が大きいことが示された．

本研究で調査対象とした伊豆半島の複数の河川に生息する各群は，パーマークがそれぞれ類似しており，それ以外の地区の状況とは異なっていた．さらに，BS の存在においても伊豆半島群とそれ以外の地域とは区別され，これらの形質の特徴は伊豆半島と区別するため重要と思われた．

中村ほか(2010)は，在来群保存のための具体的な方法を提案している．YCZK をはじめとした狩野川水系の河川でヘテロ接合体率がやや低い傾向があり，多様性が減少している恐れがある．しかし，異なる遺伝子座ではあるが，紀伊半島の宮川の在来アマゴの Allelic richness が 2.4 から 2.7（Miyahara et al (2012)）に比べると本県の各群のそれは 2.19 から 4.64 とやや高いようだが，河川改修や種苗放流がこのまま続けば生息域が減少し，現在の遺伝的多様性が失われていくことが憂慮される．

文 献

- Excoffer, L., Laval, G., Schneider, S.. 2005. ARLEQUIN (version 3.0), An integrated software package for population genetics data analysis. *Evol. Bio. Online*, 1 : 47-50.
- Goudet, J., 1995. FSTAT (version 1.2), A computer program to calculate F-statistics. *J. Hered*, 86 : 485-486.
- 原田雄四郎・山下一臣・花田博・相模泰. 1969. アマゴの河川放流試験 I, 河川放流の試み. 静岡県富士養鱒場事業報告 : 62-64.
- 本荘鉄夫・岡崎稔・森茂寿. 1975. 在来マスの放流に関する研究—Ⅷ, アマゴの降海と遡河について. 岐阜県水産試験場研究報告, 16-20 : 1-12.
- Kawamura, K., Furukawa, M., Kubota, K., Harada, H.. 2012. Effects of the stocking hatchery fish on the phenotype of indigenous populations in the amago salmon *Onchorhynchus masou ishikawae* in Japan. *Journal. Fish. Biol*, 81 : 94-109.
- 工藤飛雄馬・井ノ口伸幸・木嶋明博. 2002. 親子回帰によるヤマメのパーマークに関する遺伝率の推定, 水産育種. 32 : 11-18.
- Maekawa, K., Koseki, Y., Iguchi, K., Kitano, S.. 2001. Skewed reproductive success among male white-spotted charr land-locked by an erosion control dam, implications for effective population size. *Ecol. Res.*, 16 (4) : 727-735.
- Miyahara, H., Yamada, H., Sato, T., Harada, Y., Yamamoto, S., Kawamura, K.. 2012. Mitochondrial-nuclear discordance in the amago salmon, *Onchorhynchus masou ishikawae*, in the River Miya, Japan. *Conserv. Genet.*, 12 : 383-400.
- 中坊徹次. 2013. 日本産魚類検索全種の同定, 第Ⅲ版:2428. 東海大学出版会, 東京.
- 中村智幸. 2001. 聞き取り調査によるイワナ在来個体群の生息分布推定. 砂防学会誌, 53 (5) : 3-9.
- 中村智幸・飯田遥. 2010. 守る・増やす溪流漁. 農山漁村文化協会 : 136pp, 東京.
- 中野繁・田口 哲・柴田勇治. 1993. アマゴ, 川那部浩哉・水野信彦 編, 日本の淡

- 水魚：169-178. 山と溪谷社, 東京.
- 大島正満. 1930. ヤマメ及びアマゴの分布境界に就いて. 地理学評論, 6:1186-1208.
- 静岡県. 2004. まもりたい静岡県の野生生物—県版レッドデータブック—動物編：331, 静岡.
- 立川瓦・熊崎隆夫. 1981. アマゴの増殖に関する研究XXI, 体表の朱赤点の数とその大きさの遺伝性. 岐阜県水産試験場研究報告, 26:1-4.
- 米沢純爾・長谷川敦子・斉藤修二・佐藤良三. 2000. ヤマメの斑紋数と黒点数の遺伝率. 東京都水産試験場研究報告, 212:7-11.

(2) ヤマメ域とアマゴ域の関係

はじめに

前章では、放流が盛んな静岡県でも、在来アマゴが生息していることを確認した。そして、これらには地域変異が認められ、斑紋と遺伝子で同じような地区分けができた。すなわち、伊豆半島の群は、大井川や富士川に比べ一様に類似してパーマークが丸かった。それに比べ、大井川、富士川、天竜川はそれぞれに分かれており、この結果は伊豆半島がフィリピンプレートにのり、本州と接岸するという地形の成立の関係によるものと類推した。伊豆半島はアマゴの分布域だが、東側の神奈川県に分布するヤマメとの境界となっており、溪流魚の増殖を考える上で、ヤマメとの関連を知る必要がある。大島（1930）は酒匂川をその境界としているが、釣り人の間では、実際には、その付近の河川には両種の間隔的な特徴を持つ個体の存在が知られている。また、従来より伊豆半島にはヤマメ（朱点がない）が生息しているといわれ、さらに近年では、種苗放流が盛んに行われることにより、両種の分布が乱れ、本来の分布がわかりづらくなっている。

本章ではヤマメとの境界域での資源増殖のために、伊豆半島の在来アマゴの分布をヤマメと分類形質である朱点の有無と遺伝子解析から検討し、増殖するための基準について検討した。

材料及び方法

調査を行った河川は、全章と同様に地元住民、漁協、釣り団体などに対する聞き取りにより、放流履歴がない河川を選び、現地調査を行い、魚の遡上がないと考えられる滝や昭和40年以前のダムや頭首工などの河川工作物の存在を基準に選抜した。調査対象として天竜川、大井川、富士川そして伊豆半島は狩野川、稲生沢川、河津川、田尻川、上多賀大川、千歳川であった（図1）。

アマゴの採集はエレクトリックショックで行い、採集した魚は脂鱗か腹鱗の一部を切除し、それを99.5%エチルアルコールに入れ脱水した。その後、数回アルコールを入れ替え十分脱水した後、常温で保存した。魚体はその場で、小型のプラスチック水槽に入れ、横から写真撮影した後、その場に放流した。解析は表現型と遺伝子型に

ついて行い、表現型については採捕時に現場で撮影した画像を用いた。調査項目は体側にある朱点について行い、その分布が、体側一様に点在するもの(以下Ⅰ型と呼ぶ)、小黒点の上に重なるように存在するもの(以下Ⅱ型と呼ぶ)、朱点が5個以下と極端に少ないもの(以下Ⅲ型と呼ぶ)、側線付近が不明瞭な赤い帯になっているもの(以下Ⅳ型と呼ぶ)、朱点がまったくないもの(以下Ⅴ型と呼ぶ)の5種類に分類した(図2)。

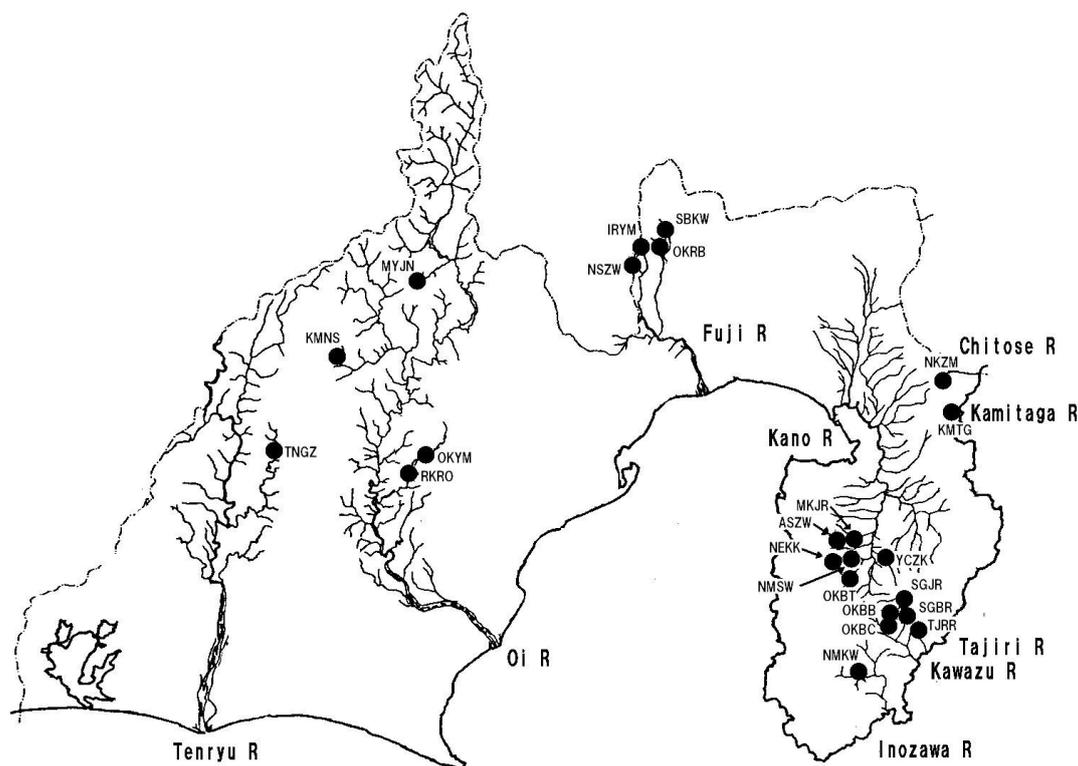


図1 調査河川と採集地点
記号は表1と同じ

遺伝子型の分析は前章と同様の5座のマイクロサテライトマーカーを使用した。抽出や分析方法は前章と同様とした。さらに、得られたDNA分析の結果は前章で使用したアプリケーションに加え主成分分析用アプリケーションのPCA-GENを使用した。

I 型
(体側一様に点在する)



II 型
(小黑点の上に重なるように分布する)



III 型
(朱点が 5 個以下と極端に少ない)



IV 型
(朱点ではなく、側線付近で不明瞭な赤帯になる)



V 型
(朱点がない)



図 2 朱点の出現状況の基準

結 果

表現型の分析に供したサンプルは、伊豆半島で 6 河川 12 支流、富士川で 4 支流、大井川で 4 支流、天竜川で 1 支流から採集した合計 740 尾であった。遺伝子分析は遺伝的距離として 19 支流、266 尾、主成分分析として 14 支流 211 尾であった (表 1)。

Table 1 調査河川と調査尾数

No	一次河川	二次河川	記号	表現型分析 (朱点)	DNA分析	
					遺伝的距離	主成分分析
1	千歳川	中泉川	NKZM	33	9	
2	上多賀大川		KMTG	31	14	
3	田尻川		TJRR	29	16	16
4	河津川	佐ヶ野川	SGBR	32	14	14
5			SGJR	35		15
6		奥原川	OKBB	31	7	7
7			OKBC	39		
8	稲生沢川		NMKW	37	14	14
9		本谷川	YCZK	29	15	15
10			OKBT		6	
11	狩野川	持越川	MKJR	45	12	12
12		猫越川	ASZW	38	15	10
13			NEKK		16	
14		滑沢	NMSW	30	15	
15	富士川	大倉川	OKRB	15		
16		芝川	SBKW	18		
17		稲子川	IRYM	49	6	
18			NSZW	57	15	15
19	大井川	笹間川	RKRO	24	16	16
20			OKYM	34	15	15
21		明神沢	MYJN	47	34	35
22			KMNS	30	12	12
23	天竜川	気田川	TNGZ	57	15	15
	合	計		740	266	211

表中の河川の記号は図1と同じ

表現型について

対象河川ごとに、朱点の出現状況について示した（図3）。

天竜川水系のTGZWはほとんどの個体がⅠ型であり、少しⅡ型が含まれていた。さらに、わずかではあるがⅤ型が見られた。

大井川水系は調査した4支流すべてに朱点が見られた。笹間川水系ではすべての個体に朱点があり、ほとんどがⅠ型であったが、RKROでわずかにⅢ型が見られた。本流の各支流では2支流ともほとんどⅠ型であり、続いてⅢ型が多かった。

富士川水系も大井川同様ほとんどの個体で朱点が見られた。本水系の個体はほとんどⅠ型であり、OKRBではすべての個体でⅠ型であった。NSZWもすべて

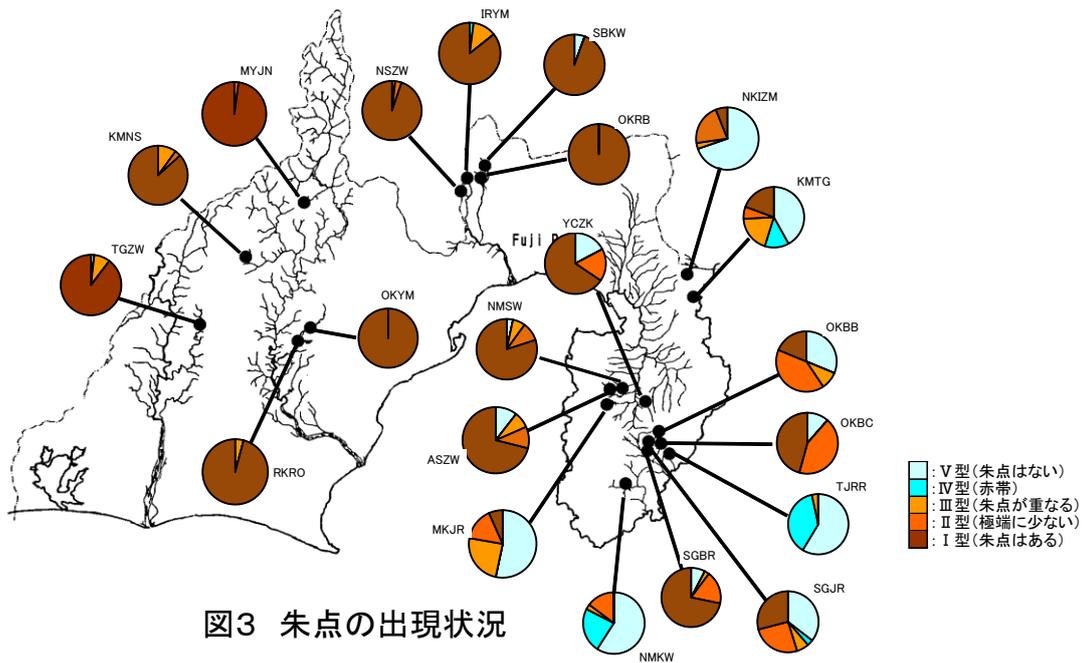


図3 朱点の出現状況

朱点があったが、ほとんど I 型であり、わずかに II 型があった。IRYM もほとんど I 型であり、一部に III 型があった。そして、わずかに II 型もあった。SBKW はほとんどが I 型で朱点を持っていたが、わずかに II 型も混ざっていた。

伊豆半島は朱点のない IV 型または V 型が認められた。狩野川水系では調査した 4 支流のうち 3 支流で多くの個体に朱点認められたが、MKJR ではその割合は半分以下であった。YCZK は約 80% の個体に朱点があったが、I 型が最も多かった。続いて II 型であり、朱点のない個体はすべて V 型であった。ASZW と NMSW は類似した傾向を示しており、約 90% の個体に朱点があり、そのうち 70% が I 型で最も多かった。残りは II 型であった。朱点のない個体はすべて V 型であった。MKJR は他の 3 支流と異なり、種点のある個体は半分以下であり、最も多かったのは III 型、続いて II 型、I 型の順であった。朱点のない個体はすべて V 型であった。

稻生沢川水系の NMKW は多くの個体で朱点は見られず、その 75% は V 型であり、残りは IV 型であった。朱点を持つ個体でも、I 型はなくほとんどが II 型であった。

河津川水系では、調査した 4 支流すべてで朱点のない個体が見られたが、その割合や内容は大きくばらついていた。本水系の中の奥原、佐ヶ野川間でも一定の傾向は見

られなかった。SGBR はほとんどに I 型の朱点があり、続いて II 型であった。朱点のない個体はすべて V 型であった。同一水系の SGJR は朱点を持つ個体の率は低く、I、II 型がほぼ同程度であった。朱点のない個体はすべて V 型であった。OKBC は多くに朱点が見られたが、I、II 型がほぼ同じ割合で見られ、朱点のない個体はすべて V 型であった。OKBB は朱点を持つ個体の割合は低く、あっても II 型が多かった。朱点のない個体はすべて V 型であった。

田尻川水系の TJRR は稻生沢水系の NMKW よりもさらに朱点を持つ個体の割合は低く、あっても II 型であり、V 型との区別はきわめて困難であった。朱点のない個体は IV 型、V 型がほぼ半数だった。

神奈川県との県境に近い NKIZM と KMTG は他の地区に比べ朱点を持つ個体の出現率は低かった。KMTG は朱点がない個体は V 型が多かったが、IV 型もかなり見られた。朱点を持つ個体は I、III 型が同じ割合であった。NKIZM は朱点のない個体はすべて V 型であり、その割合は高かった。朱点を持つ個体は II 型が多かった。

DNA 分析

調査した 20 の支流について、5 座のマイクロサテライトマーカーを用いて分析を行ったが、本章では前章で分析した支流に加え新たに TRJJ と NMKW の 2 支流を加えた遺伝的特性値は表 2 のとおりであった。

追加した 2 支流とも H-W 平衡で他と同様に有位の差は認められなかった。一方、Allelic Richness は TJRR は平均 4.21 と他の支流と比べ、大差はなかった。NMKW は 2.61 と ASZW、OKYM と同様に低かった。

Table2 Genetic characteristics of *Onchorhynchus masou ishikawae* collected from 19 sampling localities in Shizuoka Prefecture shown in Fig. 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total		
Locus	Site abbreviation	NKZM	KMTG	TJRR	SGBR	OKBR	NMKW	MCKS	NBSW	NEKK	ASZW	OKBT	YCKZ	NEZW	IRYM	RKRO	OKYM	KMNSD	MJN	NG		
	No of samples	9	14	16	14	7	14	12	14	16	15	6	15	15	6	15	15	12	34	15	265	
OMMI201	No of Allele	4	3	4	3	2	2	6	4	4	2	2	3	4	5	4	6	2	5	6	3.74	
	Allelic size	230-240	227-236	225-238	230-236	230-232	230-242	225-251	225-298	230-251	225-230	230-238	230-293	227-251	225-298	183-263	224-298	228-246	203-269	227-251		3.12
	Allelic richness	3.80	2.46	3.68	2.98	2.00	2.68	4.54	3.21	2.13	2.00	2.00	2.45	3.20	4.00	4.77	3.20	2.00	3.16	5.01		3.12
	Ho	0.778	0.615	0.53333	0.78571	0.714	0.85714	0.667	0.643	0.125	0.400	0.333	0.333	0.933	0.500	0.813	0.600	0.583	0.765	0.733		0.616
	He	0.712	0.557	0.67356	0.65873	0.495	0.58201	0.645	0.513	0.181	0.505	0.303	0.301	0.611	0.742	0.770	0.614	0.431	0.627	0.766		0.563
OMMI300	No of Allele	2	2	3	3	2	2	3	3	4	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	2.74
	Allelic size	154-164	158-164	154-160	154-164	154-158	154-164	154-164	154-164	154-166	154-164	154-158	158-164	154-164	154-160	154-158	154-164	151-158	154-169	154-162		2.42
	Allelic richness	2.00	1.93	2.80	2.00	2.00	2.43	2.50	2.93	2.97	2.00	2.00	1.40	2.54	3.00	2.37	2.87	2.50	2.34	3.37		2.42
	Ho	0.667	0.398	0.73333	0.5	0.714	1	0.250	0.571	0.500	0.400	0.500	0.067	0.400	0.333	0.188	0.733	0.583	0.441	0.800		0.499
	He	0.471	0.271	0.5046	0.45238	0.495	0.55291	0.518	0.374	0.490	0.505	0.330	0.067	0.349	0.530	0.462	0.545	0.540	0.450	0.574		0.478
Omni66TUF	No of Allele	4	4	5	2	4	7	5	2	3	2	3	4	5	3	8	4	5	6		4.47	
	Allelic size	194-283	184-273	192-209	192-248	180-236	164-248	178-236	180-232	184-240	180-232	184-197	178-201	199-268	201-238	188-244	178-244	184-194	184-232	192-209		3.52
	Allelic richness	3.78	3.78	4.47	3.36	2.00	3.53	5.76	4.32	3.80	2.60	2.00	2.20	3.42	4.00	5.52	2.80	2.53	4.07		3.52	
	Ho	0.111	0.077	0.8	0.57143	0.286	0.71429	0.500	0.857	0.500	0.400	0.333	0.267	0.067	0.333	0.688	0.533	0.750	0.588	0.600		0.479
	He	0.608	0.686	0.77011	0.6164	0.440	0.60582	0.819	0.749	0.514	0.563	0.303	0.248	0.526	0.788	0.813	0.591	0.433	0.532	0.662		0.590
OmyFGT3TUF	No of Allele	3	3	5	4	3	5	7	5	5	3	6	2	4	3	8	1	5	5	5	4.32	
	Allelic size	329-364	328-347	306-328	310-357	345-370	316-383	304-364	299-353	316-364	316-366	317-364	316-364	299-347	310-357	299-347	349	339-349	306-349	299-357		3.52
	Allelic richness	2.90	3.69	4.75	4.07	2.98	2.54	4.78	3.90	3.85	2.80	6.00	1.80	2.99	3.00	4.78	1.00	3.91	3.71	3.39		3.52
	Ho	0.667	0.769	0.73333	0.64286	0.571	0.07143	0.333	0.357	0.313	0.100	0.333	0.067	0.333	0.500	0.375	-	0.083	0.324	0.467		0.391
	He	0.569	0.711	0.8092	0.73016	0.484	0.2672	0.609	0.603	0.671	0.426	0.864	0.186	0.444	0.682	0.726	-	0.547	0.688	0.492		0.584
Ots68UCD	No of Allele	2	5	5	3	2	5	8	2	3	2	3	4	3	5	3	5	3	8	5	4.26	
	Allelic size	144-172	160-192	139-192	160-192	168-208	157-196	152-208	152-212	184-204	164-168	156-168	168-196	176-192	160-184	164-184	164-192	156-172	139-188	144-188		3.52
	Allelic richness	2.00	4.35	5.33	3.79	1.99	1.86	5.63	4.99	2.92	1.95	3.00	3.60	3.00	4.00	4.45	2.89	2.76	4.74	3.88		3.52
	Ho	0.333	0.846	1	0.92857	0.286	0.07143	0.417	0.857	0.375	0.300	0.667	0.267	0.267	0.667	0.688	0.400	0.583	0.765	0.667		0.546
	He	0.425	0.766	0.83678	0.65608	0.264	0.14021	0.786	0.770	0.421	0.268	0.682	0.680	0.359	0.697	0.760	0.591	0.594	0.734	0.595		0.580
Total	No of Allele	3	3	4	3	2	3	6	2	4	2	3	2	3	4	2	4	2	4	4	4.6	
	Allelic size	2-4	2-5	3-5	3-5	2-3	2-5	3-8	3-6	4-7	2-3	2-6	2-4	2-4	3-5	3-8	1-8	2-5	4-8	4-6	1-8	
	Allelic richness	2.90	3.24	4.21	3.24	2.19	2.61	4.64	3.87	3.13	2.27	3.00	2.29	3.03	3.60	4.38	2.55	2.83	3.29	3.90	3.22	
	Ho	0.51	0.52	0.76	0.69	0.51	0.54	0.43	0.66	0.36	0.32	0.43	0.20	0.40	0.47	0.55	0.57	0.52	0.58	0.61		0.56
	He	0.56	0.60	0.74	0.62	0.44	0.43	0.68	0.64	0.46	0.45	0.54	0.30	0.46	0.59	0.71	0.59	0.53	0.61	0.64		0.56
P-value	0.69	0.66	0.44	0.50	0.66	0.02	0.08	0.46	0.10	0.49	0.71	0.62	0.21	0.43	0.07	0.45	0.49	0.54	0.43		0.42	

考 察

本章で追加した支流も含め、本研究で対象とした支流の遺伝的特性値から H-W 平衡を求めた結果、自然交配群であることが分かった。また、これらについて、各々の Pairwise Fst 値を求めると (表 3)、すべての群で有意の差があり、追加した河川も含め各々が独立した群といえる。朱点がないかほとんどない 2 支流すなわち、田尻川の TJRR と稲生沢川水系の NMKW についても他の群と同様で、H-W 平衡が保たれた自然交配の群であり、TJRR は富士川水系の IRYM と大井川水系の RKRO がやや近いと思われたが、有意の差はなかった。NMKW はすべての支流と離れ、独立した群と判断された。前章の結論により、これら 2 支流の群も在来群と考えられた。

Fst 値を用い、PHYLIP により無根樹形図を作成すると、前章と同様に各水系や地域ごとに類分けされ、本章で調査したすべての群が在来群である可能性が高い (図 4)

調査した支流について、伊豆半島東岸、伊豆半島西岸、富士川水系、大井川水系、天竜川水系の各水系または地域ごとについて、朱点がない個体として IV、V 型、朱点がある個体として I、II、III 型の合計から朱点を持つ割合を求めると (表 4)、富士川以西では 98% 以上と非常に高く、東に行くにしたがって低くなっていた。

表3 遺伝的距離 (Pairwise Fst)

	NKIZM	KMTG	TJRR	NMKW	OKBB	SGBR	MKJR	MNSW	ASZW	NEKK	OKBT	YCZK	IRYM	NSZW	OKYM	RKRO	KMNS	MYJN	TNGZ
NKIZM	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KMTG	0.37	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TJRR	0.26	0.28	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMKW	0.34	0.46	0.30	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OKBB	0.45	0.39	0.34	0.57	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SGBR	0.35	0.22	0.24	0.45	0.34	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MKJR	0.30	0.23	0.21	0.41	0.33	0.20	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MNSW	0.34	0.25	0.27	0.45	0.36	0.22	0.07	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ASZW	0.46	0.49	0.37	0.56	0.57	0.43	0.32	0.26	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NEKK	0.40	0.29	0.32	0.48	0.44	0.25	0.18	0.13	0.35	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OKBT	0.33	0.25	0.24	0.47	0.36	0.17	0.20	0.21	0.43	0.23	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
YCZK	0.50	0.40	0.39	0.58	0.51	0.36	0.11	0.12	0.47	0.26	0.41	0.00	-	-	-	-	-	-	-
IRYM	0.25	0.26	0.17	0.38	0.41	0.29	0.22	0.27	0.42	0.36	0.28	0.47	0.00	-	-	-	-	-	-
NSZW	0.44	0.33	0.34	0.53	0.46	0.36	0.28	0.31	0.53	0.42	0.37	0.41	0.40	0.00	-	-	-	-	-
OKYM	0.45	0.45	0.34	0.55	0.51	0.43	0.40	0.43	0.54	0.48	0.44	0.55	0.42	0.47	0.00	-	-	-	-
RKRO	0.25	0.28	0.19	0.38	0.32	0.26	0.22	0.25	0.36	0.33	0.22	0.39	0.19	0.30	0.31	0.00	-	-	-
KMNS	0.36	0.37	0.30	0.51	0.45	0.33	0.32	0.36	0.51	0.37	0.30	0.50	0.34	0.43	0.44	0.24	0.00	-	-
MYJN	0.31	0.29	0.24	0.40	0.36	0.29	0.24	0.25	0.42	0.32	0.27	0.36	0.31	0.34	0.36	0.17	0.29	0.00	-
TNGZ	0.33	0.33	0.20	0.43	0.40	0.33	0.23	0.30	0.43	0.35	0.30	0.41	0.23	0.38	0.41	0.26	0.36	0.28	0.00

なり、伊豆西岸では約78%、伊豆東岸では35%になっていた。また、朱点の少ない個体では、県西部の河川ではⅡ型が多く、全体的に小黑点が多い傾向にあった。一方、伊豆半島の河川で朱点の少ない個体の場合は、Ⅲ型が多く、Ⅴ型に良く似ていた。朱点の少ない河川、特に NMKW は朱点がある場合はⅡ型ばかりで、TJRR はⅣ型と状況が異なっていた。

表4 朱点の出現状況のまとめ

河川名	朱点なし		朱点あり			朱点出現率 (%)	地域名	地域別出現率 (%)
	Ⅴ型	Ⅳ型	Ⅲ型	Ⅱ型	Ⅰ型			
千歳川	69.7	0.0	3.0	21.2	6.1	30.3	伊豆半島 東部	34.8
上多賀大川	41.9	12.9	19.4	6.5	19.4	45.2		
田尻川	58.6	37.9	3.4	0.0	0.0	3.4		
河津川	21.5	0.8	4.6	31.8	41.3	77.7		
稲生沢川	59.1	23.5	2.7	14.8	0.0	17.5		
狩野川	21.1	0.0	9.8	13.3	55.8	78.9	伊豆半島 西部	78.9
富士川	1.4	0.5	3.5	0.9	93.7	98.1		98.1
大井川	0.0	0.0	3.5	1.4	95.1	100.0		100.0
天竜川	1.8	0.0	8.8	0.0	89.4	98.2		98.2

*:地域別区分けとして伊豆半島については東岸と西岸とした

これらに比べ TJRR と NMKW は朱点を持つ割合が他に比べて低く、側線付近に赤帯を持つⅣ型が多かった。伊豆半島東岸の NKZM や KMTG も低かったが、前述の両河川ほどではなく、赤帯をもつ個体も少なかった。

さらに、TJRR と NMKW は遺伝的にも他の河川と異なり、2 支流とも同じクレードに位置したが、地域との関連は見られなかった。

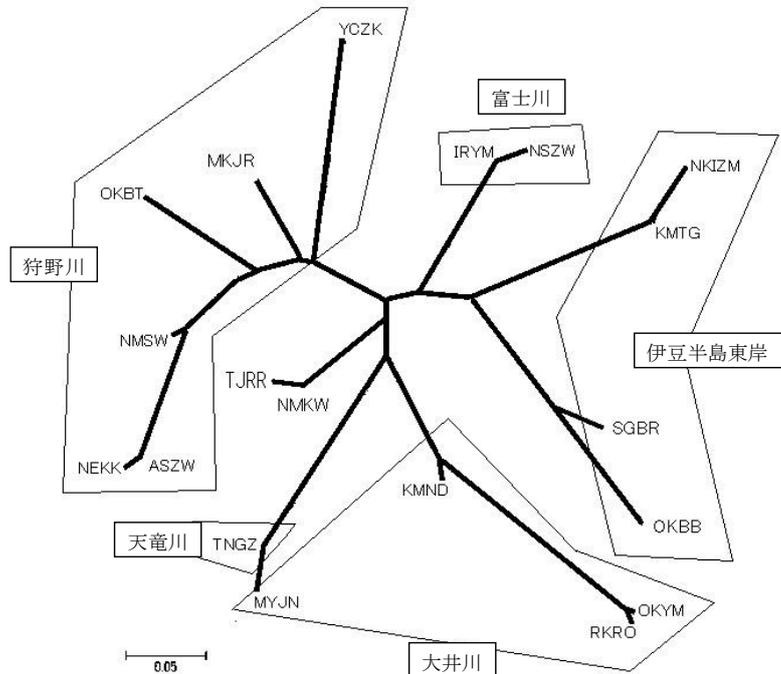


図 4 近隣結合法により作成した無根樹形図

そこで、DNA 分析を行ったすべての群について、アレルの出現頻度を用いて PCA-GEN による主成分分析を行うと、大井川、富士川は同一のグループに、伊豆半島の狩野川、河津川水系もそれとは異なるとするグループに属していた (図 5)。

そして、TJRR と NMKW は伊豆半島のグループの延長線上に位置していた。このことは TJRR と NMKW は特に朱点の少ないアマゴの可能性が強いが、急激なボトルネックなど 2 支流特有の要因で地域の差とは異なると考えられる。

前章では、遺伝子解析により、静岡県内にも在来アマゴが生息していること示した。それらは、斑紋、特にパーマークの形や、その上にある大きな黒色斑紋の存在が、地域変異を表していることを見つけた。本章ではその上に立って、在来群の個体の朱点の有無について調査を行った。そして、在来アマゴの中にも朱点が極端に少ないか、全くない個体が存在することがわかった。さらに、朱点を持たない個体が、富士川以

西ではほとんど見られないのに対し、伊豆半島の水系では、多く出現し始め、東に行くに従い、その割合が増加していくことが判明した。また、朱点の少ないことに対しても県の東西で異なる状況が見られている。神奈川県との県境を流れる千歳川では朱点を持つ個体の割合が30%とかなり低い群になっていたが、ヤマメとアマゴ両亜種の区別点は朱点の有無だけである（中坊（2013））。両亜種の分布境界付近の朱点の存在については斉藤（1982）が文献の整理を行っている。

初めに両種の分布に言及したのは大島（1930）であり、神奈川県の早川を境に両種は分布を分けているとした。しかし、大島（1957）では、酒匂川の支流である鮎沢川ではアマゴが生息しているとし、これは御殿場付近で狩野川との交流の結果としている。そして、早川の支流である巢雲川にはヤマメが生息しており、それ以南については記載がなく、伊豆半島西岸の狩野川にはアマゴが生息するとしている。

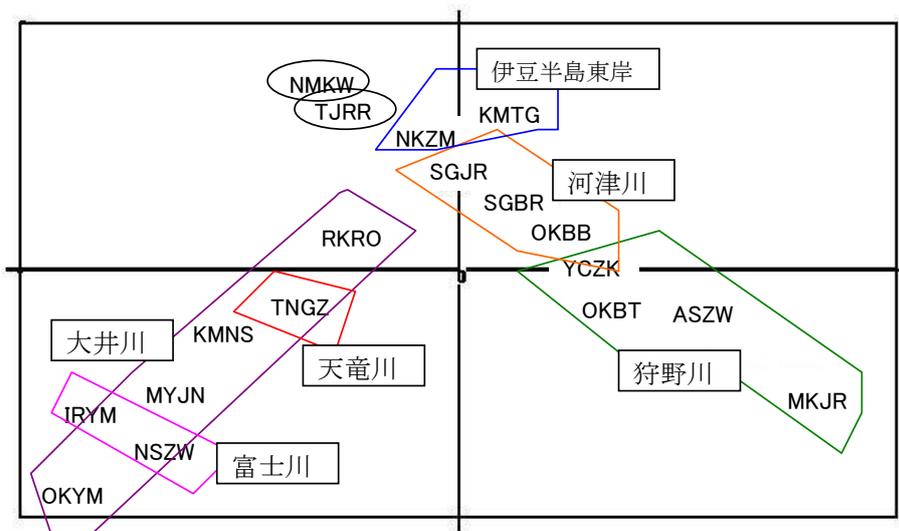


図5 マイクロサテライト DNA による主成分分析結果

佐々木（1965）は巢雲川上流にはアマゴが生息するとし、新崎川以南は生息しているが不明という記載になっている。鈴野ほか（1970）は鮎沢川以外の酒匂川にもアマゴが生息しているとしており、巢雲川には両亜種が生息し、新崎川は不明であるが、千歳川はアマゴ、河津川以南も再び不明となっている。西原ほか（1969）は早川ではすでにアマゴが生息しているとしている。日本溪流釣連盟（1979）はもっとも詳細な

調査をしており、初めて両亜種が混生していることを述べている。早川はアマゴであるが、新崎、千歳川はヤマメのみとして巢雲川から白田川までが両亜種が混生して、河津川以南がアマゴのみと記載している。

今回は千歳川以南にもすべて両亜種、すなわち朱点のない個体が混生し、それが伊豆半島西岸の狩野川まで分布した。そして、これらは朱点のないアマゴということになる。このことは、両亜種の区別点である朱点の有無が適切ではないということになる。

今回はさらにこの結果に加え TJRR と NMKW のようにほとんどの個体が朱点を持たない河川があり、在来アマゴの樹形図には同じグループとして位置付けることができなかった。しかし、主成分分析の結果から伊豆の在来アマゴと同一のグループの可能性が高いことが判明した。このことは在来アマゴの中で伊豆半島のアマゴは他の在来群に比べ特徴的であり、さらにこの2支流の群はさらに特徴的な群と位置づけられよう。今後は、ヤマメ域も含め、さらに詳細な調査・分析を行い、両亜種の生物地理的な関係を明らかにしたい。

伊豆半島の河川で、遺伝的多様性に配慮した資源の増殖を行う場合、近隣河川との関係をより詳細に調べ、従来の特徴を消滅させてしまわぬよう気をつけたい。

文 献

斉藤裕也（1982）酒匂川・箱根周辺のヤマメとアマゴ，「外見的区別の結果」，淡水魚増刊ヤマメ・アマゴ特集，青泉社，84～87.

大島正満（1932）桜鱒と琵琶鱒，動物の脅威，新光社，

大島正満（1956）桜鱒と琵琶鱒，楡書房，

佐々木一男（1965）温泉と釣りの旅，西東社，

鈴野藤夫・土肥唯史（1970）溪流釣り場集，釣り人社，

日本溪流釣連盟（1979）溪流釣り場，釣り人社，

中坊徹次．（2013）日本産魚類検索全種の同定，第Ⅲ版：2428．東海大学出版会，東京．

2) 河津川で見られたアマゴの放流の遺伝的痕跡

アマゴ *Onchrhynchus masou ishikawae* の稚魚や発眼卵の放流は、種苗を容易に購入でき、短時間のうちにその流域の資源を増やすことができるというメリットがあるが^{1, 2)}、他の水域のアマゴを導入することは、その河川のアマゴの遺伝的な特徴に影響を与え、最悪の場合、その特徴が消滅する危険性もある。アマゴの遺伝的特徴を保存して増殖するならば、対象とする河川から親魚候補を捕まえ成熟するまで育成したのちに、遺伝的特徴に配慮した交配を行い、種苗を得なければならない。

一方、資源管理による増殖は、その河川に生息する親魚の繁殖力に頼るため、遺伝的特徴は保存されるが、資源が小さくなってしまった河川では資源の回復までに非常に長い年数がかかる。さらに、禁漁や漁獲体長を制限するために釣り人の監視や関係者の合意形成など多くの困難がある。

このため現在では、ほとんどの河川で種苗放流と資源管理の併用により最大の効果を上げるような方策がとられている。ただ、単に資源の回復を図るだけであれば上記併用は有効であるが、遺伝的な特徴の保存については考慮されない。

本研究では、種苗放流による遺伝子かく乱を確認するため、積極的な種苗放流により資源回復が行われている河川で、生息するアマゴの表現型と遺伝子型について調査を行い、種苗放流の遺伝的痕跡を検討した。

材料及び方法

調査対象は伊豆半島南部の賀茂郡河津町にある河津川水系の支流である荻ノ入川（以下 OGN とする）とした（図 1）。当該河川は、毎年漁協により、同じ養魚場由来の人工種苗が積極的に放流され続けており、釣り人からも親しまれ優良な溪流漁場としての評価が高い。しかし、毎年の放流数の詳細な記録は残されていない。

比較河川としては、狩野川水系の 1 支流 (ASZW) および河津川水系の 2 支流 (OKBB, SGJR) とした。比較河川の名義と場所は在来群の保護のため、詳細は示さず、記号のみで表した。ここに生息するアマゴは、川嶋³⁾ が、すでに在来群であることを明らかにしている群である。OKBB は支流内の上流部で 2 つの小支流に別れているが、両支流間に明瞭な障壁はなく、支流間の移動は可能と考えられるため魚をまとめて採集した。



図1 調査河川の位置

さらに、放流に使用されている種苗を生産している養魚場の魚（以下 REAR とする）についても調査した。

アマゴの採捕はエレクトリックショックカーを用いてランダムに行った。浮上した魚はすべて採捕したが、OGN では当歳の稚魚による放流が主であるため、以下のとおり放流世代と思われる個体は除いた。外見は天然魚のようであっても、静岡県でのアマゴの一般的な成長¹⁾を見込んで尾叉長 11cm 以下の当歳魚と思われる魚や、それ以上の大きさでも、各鱗の先端が傷つき丸いこと、体色が薄い場合は放流魚の可能性が高いとして除いた。採捕したアマゴは小型のプラスチック製の水槽に入れ、側面から写真撮影をした後に、腹鰭を切除し、その場に放流した。切除した腹鰭は、99.5%のエタノールに入れ、その後数回エタノール液を入れ替え、完全に脱水した後常温で保存した。REAR についても天然魚と同様に写真撮影して腹鰭の採取を行った。後日、撮影した画像を用いてパーマークの数とその上方にある大きな黒色斑紋の数を計数した（図 2）。

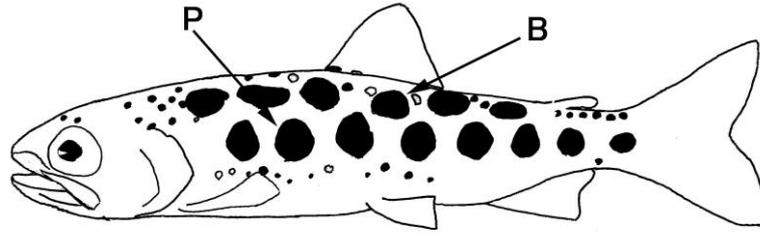


図2 測定部位
P:パーマーク B:黒色斑

採取した腹鱗については粗 DNA の抽出後，5 座のマイクロサテライト領域について増幅し，フラグメント解析を行った。抽出からアレルのサイジングまでは川嶋³⁾ のとおりとした。得られたアレルについて帰属性解析を行ったが，解析には帰属性解析ソフト STRUCTURE2.3⁴⁾ を用いた。

結 果

調査は 2006 年 8 月 10 日から 2007 年 10 月 3 日にかけて行い，表現型については 380 尾，遺伝子型については 220 尾について分析を行った（表 1）。

表1 分析に供したサンプルの状況

河川名		分析数		
水系	支流名(記号)	表現型	大きさ(mm)	遺伝子型
狩野川	ASZW	37	123~168	30
	OKBB	67	118~167	62
河津川	SGJR	108	124~168	64
	OGN	28	125~199	32
飼育魚	REAR	140	154~178	32
合計		380		220

表現型について

パーマーク数と黒色斑数の関係を図示すると（図 3），3 つの比較河川では黒色斑を持つ個体の割合が高かった。狩野川水系の ASZW では黒色斑を持たない個体がわずかであり，多くは 3~9 個の範囲で見られ，4~7 個を中心に分布していた。河津川水系の OKBB では 3~12 個の範囲で見られ，5~7 個を中心に分布していた。SGJR でも 1~10 個の範囲で見られ，4~6 個を中心に見られた。REAR では，黒色斑を持たない個体の割合が 31.4%と高く，あっても 3 個以下であった。パーマーク数は ASZW では 8

～11個, OKBBでは7～12個, SGJRでは6～10個, REARでも6～10個の範囲で見られた。調査河川である OGN ではパーマーク数は7～11個と他の河川に比べ違いは見られなかったが, 黒色斑では0～8個と範囲が広がった。全体的には黒色斑を持たない個体の割合が42.9%であった。

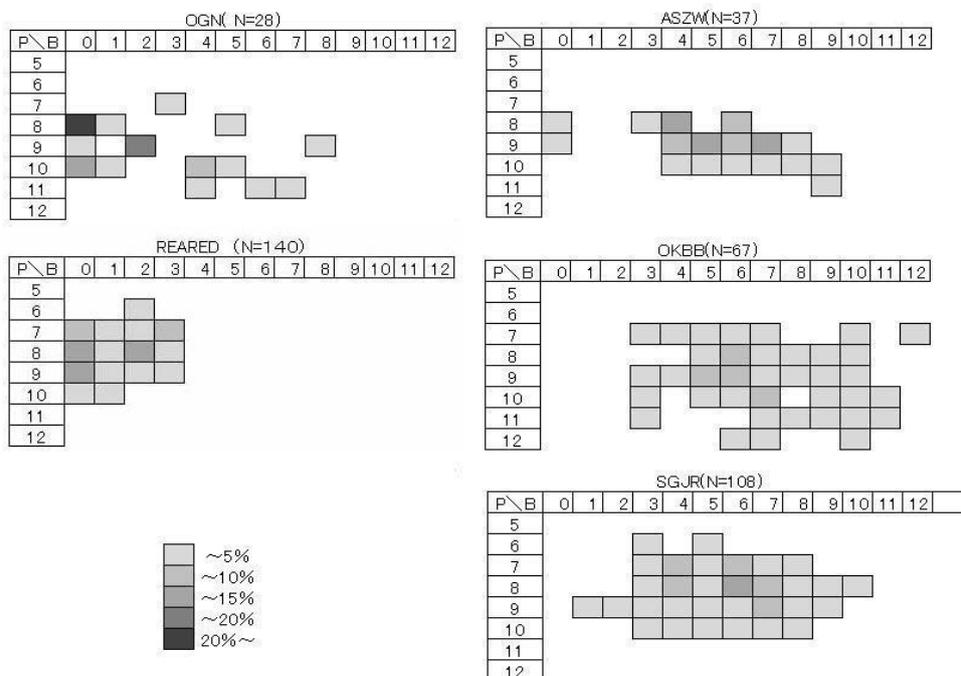


図3 パーマークと黒色斑の関係
P:パーマーク数 B:黒色斑数
凡例は全測定個体数に対する割合で示す

遺伝子型について

5座の遺伝子座についての分析から(表2), アレルの平均出現数が比較河川の在来群は2.2～2.4, REARは2.0であった。放流の行われている OGN では2.0であった。また, Allele richnessは, 在来群は2.2～2.3%, REARは2.0%であり, 放流の行われている OGN では2.2%であった。

表2 遺伝的特性値

マーカー	ASZW	OKBB	SGJR	OGN	REAR
アレル数	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
OM120 範囲	225-230	230-232	225-232	225-234	222-234
Allele richness	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
アレル数	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
OMM13 範囲	154-164	154-158	154-160	154-162	160-184
Allele richness	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
アレル数	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0
Ommi16 範囲	180-232	180-236	180-240	180-232	180-202
Allele richness	2.6	2.0	2.0	2.0	2.0
アレル数	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0
OmyFGT 範囲	316-366	345-370	322-368	316-374	310-364
Allele richness	2.8	3.0	2.9	2.8	2.5
アレル数	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
OtsG68 範囲	164-168	168-208	164-188	162-200	160-168
Allele richness	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8
Total アレル数	2.4	2.2	2.40	2.40	2.00
Total Allele richness	2.3	2.2	2.18	2.15	2.06

STRUCTURE による帰属性解析結果では、 ΔK を最大にする K の値は 3 となり、3 つのクラスターが妥当とされた。比較河川では大きく 2 つのクラスターに分かれ、河津川水系の SGJR はクラスター1 が多く、OKBB はクラスター1 と 2 がほぼ半数ずつを占めていた。また、狩野川水系の ASZW はクラスター2 が中心の組成になっていた。一方、REAR はすべてがクラスター3 で占められていた。OGN は同水系の SGJR や OKBB と同様に主にクラスター1 で占められていたが、一部にクラスター2 があつた。そして、そこにクラスター3 が大きく入り込み、比較河川と異なっていた (図4)。

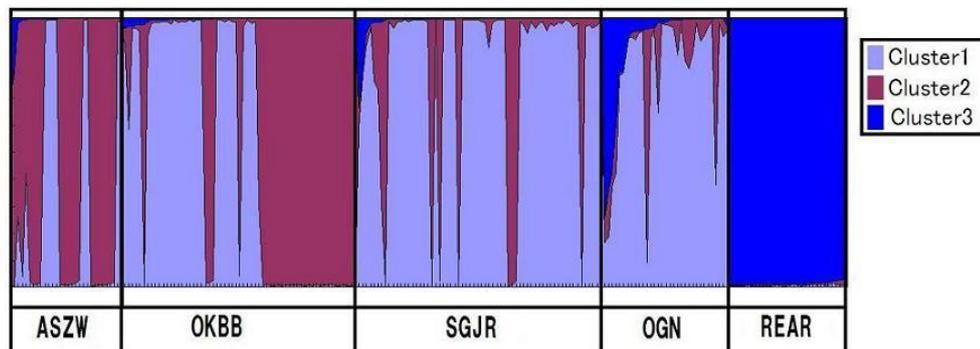


図4 帰属性解析結果

ASZW: 狩野川水系在来
 OKBB, SGJR: 河津川水系在来
 OGN: 放流河川群
 REAR: 飼育群

考 察

伊豆半島の在来アマゴほどの河川でも丸いパーマークを持つ、黒色斑があるなど表現型は一様に類似し、大井川や富士川のそれらに比べ大きく異なっていることがわかっている。また、遺伝的にも表現型と同様に伊豆半島の各河川は大井川などとは異なることがわかっている³⁾。

上記から、比較河川の在来群はともに伊豆半島の群であり、多くの黒色斑を持ち、遺伝的にも類似している。一方、放流に使われている種苗の親魚の由来は不明だが、黒色斑を持つ個体は少なく、帰属性解析の結果から、両者は区別ができると判断される。

OGN は伊豆半島の河川であり、本来の表現型や遺伝子型は他の在来群と同じはずである。すなわち、クラスター1，2は比較河川である伊豆半島の在来群で見られるので、OGN が本来持っているクラスターも1または2と推測される。クラスター3は伊豆半島には見られない。このことから、放流群とは区別が可能なので、OGN はクラスター3が入り込んでいることと比較河川に比べ黒色斑をもたない個体が多いという点で放流魚由来の遺伝子が流入していることが推測される。

OGN の今回のサンプルには放流世代そのものは含まず、天然で生まれたと思われる個体のみを対象としたが、遺伝子型や表現型に伊豆半島では見られない形質が現れたことは、再生産の過程で放流魚との交雑が起こっているものと判断される。このように、表現型や遺伝子型の異なる群を放流した場合、世代を超えてその影響を可視化することができたものとする。

しかし、長期間にわたり放流が繰り返し行われているにもかかわらず、在来群の表現型がほぼ半数の個体に残っていることや、帰属性解析の結果で、混入した外来の遺伝子が少ないことは、放流が稚魚で行われているため、その場に定着しづらいことや、釣られやすいこと⁵⁾により、再生産に参加する個体が少なくなっているなどが考えられ、稚魚放流による増殖を考えたときに放流手法や資源管理のあり方に改善の余地が残されていることが推測された。

本研究を進めるに当たって、現地との調整など多大な配慮を賜った河津川非出資漁業協同組合加藤四郎元組合長、野中功元監事に深く感謝します。

文 献

- 1)川嶋尚正(1988):アマゴの発眼卵による放流効果.
静岡県水産試験場研究報告, 23, 13~25.
- 2)川嶋尚正(1983):静岡県でのアマゴの河川放流と放流魚の成長.静岡県水産試験場研究報告,18,15~23.
- 3)川嶋尚正(2014):静岡県の在来アマゴに見られた地域変異.日本生物地理学会誌,69,13-23.
- 4)Pritchard J. K., Stephens M., Donnelly P.(2000):Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*,155,945~959.
- 5)立川互・本荘鉄夫(1974):VI河川放流,養鱒の研究(全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編).緑書房,東京,123~137.

**3) 大倉川で見られた放流の痕跡と
多様性の復元に向けた提言**

はじめに

溪流魚は静岡県内のほとんどの地域で内水面漁業の対象となっており、漁業権が設定されている。第五種共同漁業権は放流の義務が課されており、積極的に種苗放流が行われてきた。静岡県でも昭和 24 年に漁業法の改正により、多くの内水面漁業協同組合ができ、放流を行ってきた。釣り人による強度の漁獲圧に対して種苗放流が資源を維持しているのが現状である。資源量の確保がこれにより守られているが、地域ごとのアマゴの特徴は失われてしまっている。地域の特徴は長年、遺伝的に隔離されたものであり、一度消失すると完全な復元は不可能である。近年の釣り人のニーズは数釣りと質の両面で満たされるといえ、質の向上、すなわち地域の特徴は漁場の価値の向上につながるといえる。

本研究では、“壊れてしまった地域の特徴”、すなわち遺伝的な質を回復させるための提案を行った。

材料と方法

対象河川の状況と試験区の設定

調査対象の河川は、富士川水系芝川の上流域の支流である大倉川に設定した(図 1)。

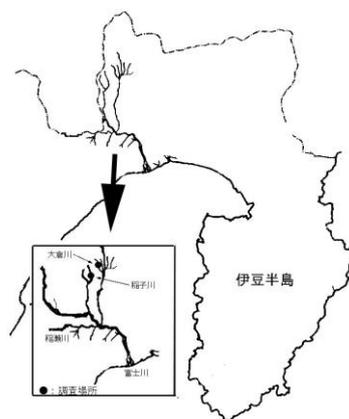


Fig1 調査河川図

当該河川は地元漁協の監視や管理が行き届かなかったため、1970 年代に乱獲や密漁により天然資源が枯渇状態にあった。その後、近くの養魚場の種苗を中心に放流が行われ、資源も回復状態になっている。

また、本河川にはいくつかの小さな支流もあり、それらの上流部は急峻になっており、落差が大きく放流魚の遡上は困難である。ここには在来群と思われるアマゴが生息している。

本研究は上述の対象河川内の一部の約 1 km を遺伝的な復元流域と決め、復元流域に影響すると思われる 3 支流（いずれも名称はない）と隣接する河川を調査河川として選出した。さらに、以前に復元流域に放流した種苗を生産した養魚場のアマゴも調査対象とした。

隣接河川としては、芝川の上流域で富士川に流入する稲子川の上流部の入山川を選んだ。復元流域と調査河川の位置関係は図 2 のとおりである。現在では各支流は魚が流下して復元流域で混合することはあっても遡上することはない河川形態となっている。

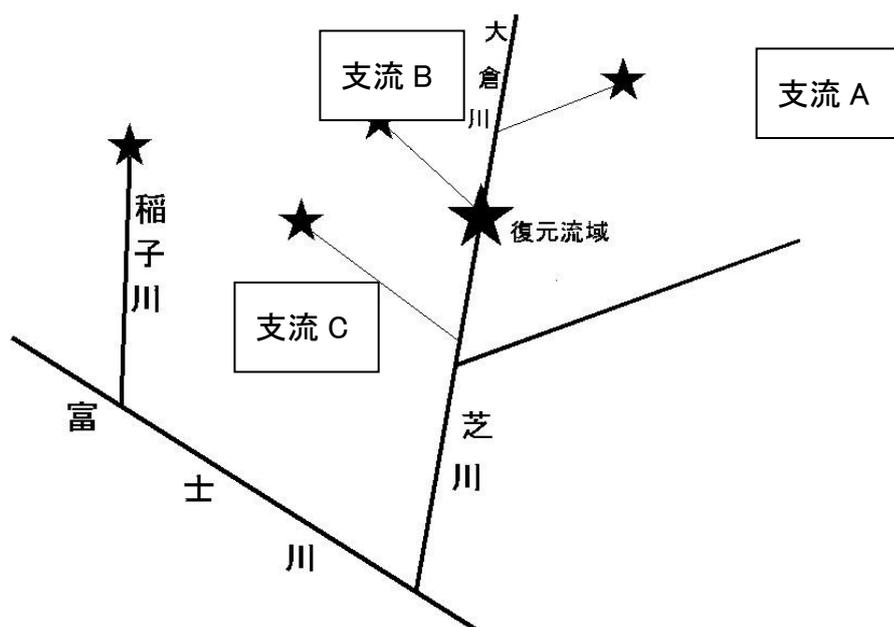


図2 調査河川の模式図
★は調査地点を示す

遺伝子分析

それぞれの河川の魚の遺伝子解析は、ミトコンドリア DNA の調節領域 (D-loop) の 1335 塩基対を対象とした。

調査河川に生息するアマゴはエレクトリックショッカーにより採集し、脂鱭か腹鱭

を切除し、その場に放流した、採集した鱈は 99.5%アルコールに固定し、数回アルコールを入れ替え、完全に脱水したのちに常温で保存した。

粗 DNA は Wizard Genomic DNA purification Kit (PROMEGA 社) を用いて抽出し、100ng/ μ l になるように TE で調整し、4°C で保存した。

DNA の増幅のための増幅液の組成は、テンプレート DNA を 60ng、酵素を 0.05 μ l、緩衝液を 1.8 μ l、プライマーを 0.08 μ l とし、超純水で 10 μ l にメスアップした。増幅に使ったプライマーは

1) Salo 16S-r : CCCACCCTTA ACTCCCAA

2) Salo THr-f : AGGTTAAGAGGGCCGGTAAA

であった。

DNA の増幅には ABI9700 (Applied Biosystems 社製) を用いた。増幅は

98°C で 10 秒—55°C 15 秒—72°C 5 分のサイクルを 30 回繰り返した。

増幅した DNA はクリーンアップしたのち、BigDye® Direct Cycle Sequencing Kit を用いて、定法によりサイクルシーケンスを行い、塩基配列の解析を行った、DNA の泳動には Genetic Analyzer3130 (Applied Biosystems 社製) を使った。

サイクルシーケンス用のプライマーは以下の 3 つを用いた。

1) S04F : CTACTCTCTGACGGCGTAAACA

2) S17f : GAAGGTCGAACTAGATCTTGGA

3) S2r : CAGGTACTGTAAATGGATCG

それぞれのプライマーを用いた泳動結果から得られた 3 つの配列を編集ソフト BioEdit を用い、一つの配列に組み合わせた。S04F と S17f は 5 末端から S2r は 3 末端から読み、結合したが、これは 5 末端側から 800 塩基以後に T の繰り返し部分があり、読み進めないため、S2r で反対側から読み進み一つの配列とした。

結 果

調査は 2005 年 7 月 25 から 9 月 15 日にかけて行い、それぞれの採集尾数は表 1 のとおりで合計 157 尾であった。

表1 調査尾数

河川名	支流名	調査尾数(尾)	調査日
	復元流域	39	
大倉川	支流A	9	2005.7.25-9.15
	支流B	8	
	支流C	4	
	稲子川 入山川	47	
	養魚場	50	2005.10.25
	合計	157	

すべての分析結果から得られた 1335 対の塩基配列から 17 か所の置換部位が認められ、16 個のハプロタイプを確認した (表 2)。各河川のハプロタイプ組成をまとめると図 3 のとおりであり、復元流域には 4 個、支流 A には 2 個、支流 B には 2 個、支流 C には 4 個、隣接河川の稲子川には 10 個のハプロタイプが認められた。養魚場からは 5 個のハプロタイプがあった。

表2 置換部位とハプロタイプ

HT	133	145	347	447	466	478	528	565	671	902	1042	1126	1144	1174	1207	1229	1240
A	T	T	G	C	C	T	A	G	T	G	T	G	G	C	C	A	G
B	T	T	G	C	C	T	A	G	T	G	C	G	G	C	C	T	G
C	T	T	G	C	C	T	A	G	C	G	C	G	G	C	C	A	G
D	T	T	G	C	C	T	A	T	T	G	C	G	G	C	T	A	G
E	T	T	G	T	C	C	A	G	T	C	C	G	G	C	C	A	G
F	T	T	G	C	C	T	A	G	T	G	C	G	G	C	C	A	G
G	T	T	A	C	C	T	A	T	T	G	C	G	G	C	C	A	G
H	T	T	A	C	C	T	A	G	T	G	C	A	G	G	G	A	G
I	T	T	G	C	C	T	A	G	T	G	C	G	G	G	G	A	G
J	T	A	G	C	C	T	A	G	T	G	C	G	C	C	C	A	A
L	T	T	A	C	C	T	A	G	T	G	C	G	G	C	C	A	G
K	T	T	A	C	C	T	A	G	T	G	C	G	G	C	C	T	G
M	T	T	A	C	C	T	A	G	T	G	C	G	A	C	C	A	G
N	A	T	A	C	C	T	A	G	T	G	C	G	G	C	C	A	G
O	T	T	A	C	C	T	G	G	T	G	C	G	G	C	C	A	G
P	T	T	A	C	T	T	A	T	T	G	C	G	G	C	C	A	G

河川ごとのハプロタイプ組成は芝川水系では、F が占める割合が最も高った。各支流は L、F の両者によって構成されていた。また、隣接河川は L、F を中心になっている点では、大倉川と差はなかったが、それ以外もいくつかのハプロタイプは確認できた。一方、養魚場では、F を中心に構成されていたが、その他のハプロタイプの A、E、J は、芝川水系では全く見られなかった。

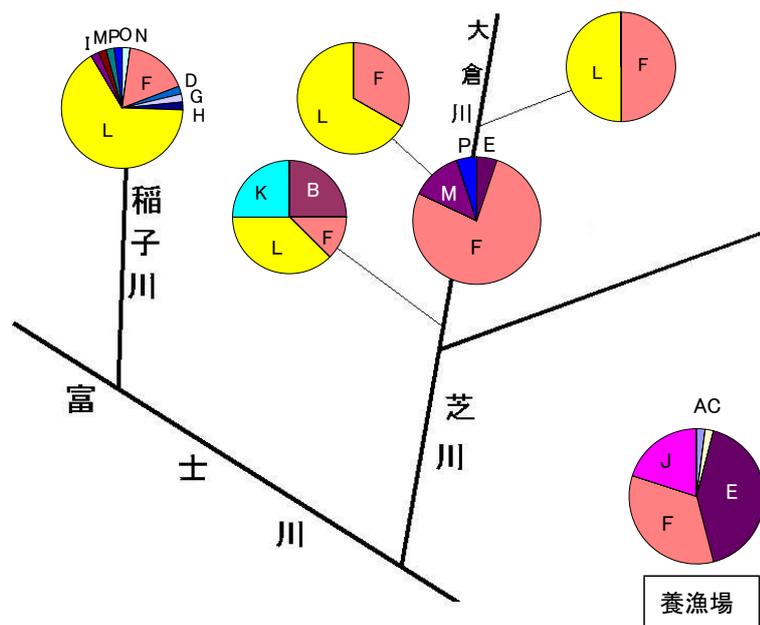


図3 調査地点ごとのハプロタイプ組成
★は調査地点を示す

考 察

多様性の状況と遺伝子攪乱の現状

支流は復元流域や稲子川に比べ、ハプロタイプは少なく、多様性は減少していたが、出現頻度の低いハプロタイプはすでに消滅し、頻度の高いハプロタイプのみが残ったと考えられた。出現した各ハプロタイプのうちFはアマゴ全般に見られるメジャーハプロタイプと考えられ、各河川では中心的なハプロタイプと思われた。Lは芝川または富士川水系で見られるメジャーハプロタイプであり、芝川、稲子川でのみ見られ養魚場からは見つかっていない。芝川は単系化が進み、メジャーハプロタイプのみが残り、他は消失していると思われた。支流CにはわずかにK、Bが残っているだけであった。芝川の近隣河川である稲子川には多様性が残っていた。復元流域に見られたEは放流によってもたらされたものと推測された。Pは支流では消滅してしまったこの流域特有のハプロタイプと考えられた。また、Fはアマゴ全般で見られるハプロタイプのため復元流域のFは在来魚と放流魚由来の両方が生息しているものと考えられる。

稲子川は流域が長く、生息域が広いので、この群は依然として多様性が保たれていると考えられた。復元流域は、今までに何度かこの養魚場由来の魚の放流されていた

ため、養魚場のみで見られるハプロタイプが存在していた。何回かの放流により遺伝子の攪乱が起こっていることが判明した。

遺伝子組成の復元への提案

復元流域のハプロタイプ組成を復元するためには、モデルとなる組成が必要だが、各支流に生息する群はすでに多様性は減少し、その組成をベースにすることはできないと考えられた。そこで、大倉川の近隣で多様性が保持されている稲子川の組成をモデルとすることが妥当と考えられた。復元流域には種苗放流により資源の増殖と遺伝子組成の復元を行うことにし、支流から L、F、B、K などの遺伝子を持った魚を支流から採集し、そこで得られないハプロタイプは近隣河川からの採集で対応する。それぞれを飼育し、継代することにより適正な遺伝子組成の群を作り、復元流域に放流することを繰り返す。このように素材は直接、組成はもっともらしい近隣の河川を採用することが望ましい。図 4 には、復元作業のフローを提案する。まず、事前調査を行い、過去の放流や、標的とする流域、付近の支流など広範囲にわたり、遺伝子組成の調査を行う。この時に、ミトコンドリア DNA だけでなく、マイクロサテライトやその他の領域などなるべくその川として一般的な遺伝子組成を調査する。復元を標的とする流域のモデル的な組成を決め、モデルが当該河川であった場合は、その組成を、もし、モデル組成がなかった場合は、最も近隣の河川をモデルとする。次に素材の選択を行い、調査結果から、当該河川由来の素材を選び放流群を作成する。このとき適切な素材がない場合はモデル河川から素材の抽出を行い、放流群を作成する。ランダム交配の繰り返しは多様性の減少を招き、割合の少ない遺伝子型は消滅してしまうため、異なる支流からの素材を使つての交配が有効であろう^{1) 2) 3)}。放流群の作成ができれば、放流を行い、毎年、モニタリングを実施し、事業効果の判定を行う。もし、復元流域の水系や近隣河川にモデル組成がなかった場合は、復元中止の決断も必要となろう。また、使用する遺伝子は多ければ多いほど本来の遺伝子型に近いものになると思われるが、完全な復元は不可能である。詳細な条件をどれだけ採用するかにより、復元の精度が上がることになる。さらに、モニタリングを続けることにより仮の遺伝子組成

をもった群が構築されていくが、この復元作業を行ったという事実は、記載公表し、将来の遺伝子多様性復元のためのノイズとならないよう措置しておくべきと考えられる。

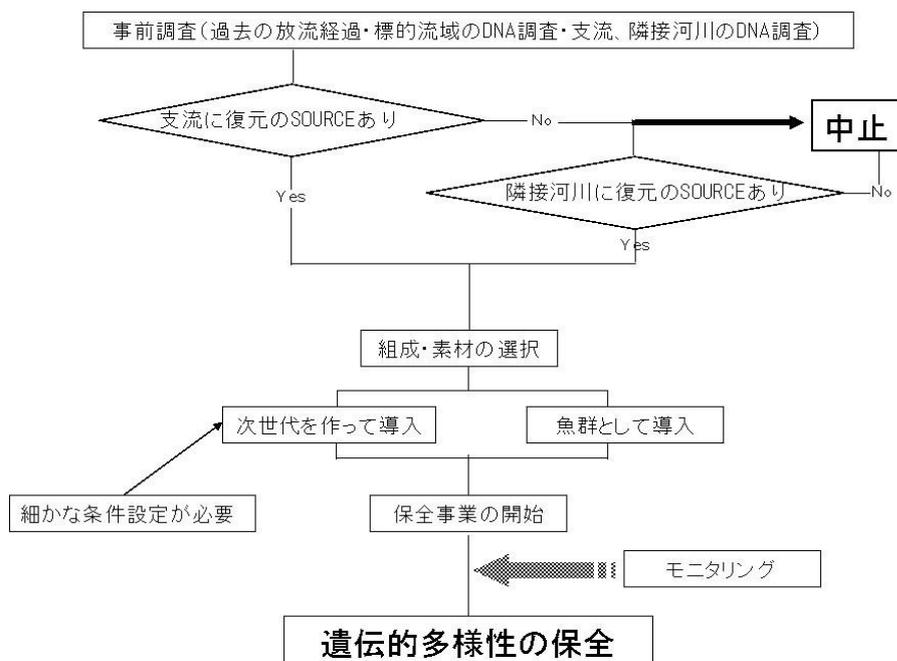


図4 多様性復元のためのフローチャート

引用文献

- 1) 谷口順彦・Ricardo PEREZ-ENRIQUEZ・松浦秀俊・山口光明 (1998) マイクロサテライト DNA マーカーによるマダイ放流用種苗における集団の有効な大きさ (N₀) と近交係数 (F) の推定, 水産育種, 26, 63-72.
- 2) 青木宙・平野哲也・隆島史夫 (1997) 魚類の DNA-分子遺伝学的アプローチ
- 3) 山本義雄 (2005) 最先端動物遺伝育種セミナー資料, 1-49.

第4章 禁漁による資源増大の実践

はじめに

人工種苗の放流により短時間で溪流漁場の資源を確保することは、第 1, 2 章で詳しく述べた。現在の多くの河川は、この方法で増殖が行われている。しかし、地域の特性や遺伝的多様性を確保しつつ資源を増殖することに対しては不十分であり、もう一歩進んで、その川の特徴を残しながら増殖するためには、川ごとの種苗そして、遺伝的多様性を残すような生産など多くの時間と労力が必要である。

時間はかかるが、確実にそのままの資源を増殖することは、流域の禁漁による資源管理が効率的であると考えられる。ただ、禁漁措置は、いろいろな角度の関係者の合意が必要であり、社会科学的な施策が重要といえる。

本章では、禁漁の効果を、客観的で科学的知見により説明するため、実際に禁漁による資源管理を行いその効果を検証した。

材料と方法

禁漁を行った河川は、伊豆半島南部に位置する、河津川の 1 支流である佐ヶ野川とした (図 1)。ここには河津川非出資漁業協同組合があり、河川を管理している。佐ヶ野川は、天城連山の標高 800m 付近を源に南西に向かって流れ、河



図 1 調査河川

津川本流の左岸に合流している。平均勾配が約 3 度、河川形態は Aa であり、典型的な河川上流域の溪流漁場を呈している。禁漁区に設定した流呈は種苗放流は行われてい

ないが、自然産卵も見られ、入渓ポイントも多く、毎年釣り人は多い。

禁漁区間はその中流域の標高 500m 付近の流程 1 km と定めた。

禁漁措置を行うに当たり、漁業協同組合との話し合いを始め、調査の意味を説明した。説明の主旨は以下のとおりとした。

- ・近年の釣り人のニーズは、釣れることだけではなく、斑紋や鱗の形などの容姿を重要視する傾向が強い
- ・そこに行かなければ釣れない、川の特徴を備えた魚を望んでいる
- ・釣り場としての環境を重視し、周囲の自然とマッチすることを望む
- ・禁漁により資源を増やすことができるならば、年により禁漁対象河川を変えていく輪番 禁漁で河津川全部の漁場の質を向上させることができるであろう

次に漁協を通じて、地元の上佐ヶ野地区の自治会とも話し合いを行い、理解を求めた。

遊漁者への周知は、不特定多数ということで、川に入る道沿いに 5 枚の看板を設置した。看板には禁漁する主旨等を記載した。

禁漁期間は 2005 年 9 月 1 日から 2007 年 2 月 28 日までの 781 日間とした。

採集と測定

調査区間を 20m ごとに区切り、岩に番号を書き、区間の位置がわかるようにした(図 2)。漁獲強度が一定になるように、すべての調査時の採捕は必ず全調査区間を通して行った。採捕はエレクトリックショッカー 1 台を使い、2 人の採捕者が飛び出したアマゴをタモ網ですくい取った。下流から丁寧に採捕を行い、採捕したアマゴは鱗の一部を切除し、標識とするほかスパゲッティタグを改良した迷子札型の標識を背鱗前部に PE ラインで縫いつけた(図 3)。切除した鱗は左右の腹鱗、臀鱗の組み合わせで、再捕回数を区別できるようにした。再捕したアマゴは、尾叉長測定し、川の位置を記載した。



図2 調査河川と区間標識（矢印は標識）



図3 採捕魚に付けた迷子札型標識

毎年8月に調査区間内の資源尾数の推定を行った。調査方法は20mごとに区切った区間で採捕したアマゴに標識を付け、その場に放流した。全区間について採捕を行った後の1週間後に、潜水目視により生息尾数の観察を行った。観察では、標識の有無も合わせて記載した。

結 果

採捕調査は2005年10月28日から2007年8月30日までの7回行った。各調査の採捕尾数をまとめ、のべ採捕尾数は1,802尾であった（表1）。

年	月	採捕尾数(尾)
2005	8	103
	9	114
	10	231
2006	6	343
	8	273
	11	131
2007	8	476
合計		1802

採捕尾数は調査を重ねるごとに増加し、特にその年の6月を超えると急増している。採捕強度は不変であり、CPUEは向上しているといえる。調査ごとで採捕されたアマゴの尾叉長組成をまとめると（図4）、大きく2から3の年級群で構成されていた。8月

時点での0歳魚は2005年では約10cm、1歳魚は15cm、そして数は少ないが2歳魚は20cmになっていると見られた。また、2006年以降は0歳魚の大きさが2005年に比べ9cmと小さくなっていった。調査で得られたヒストグラムは小さい魚ほど多く、年級群が明確に表れているので、河川内の資源の状態を適切に表しているものと考えられる。そこで2005年9月の採捕結果を用いて佐ヶ野川の資源特性値を推定した。

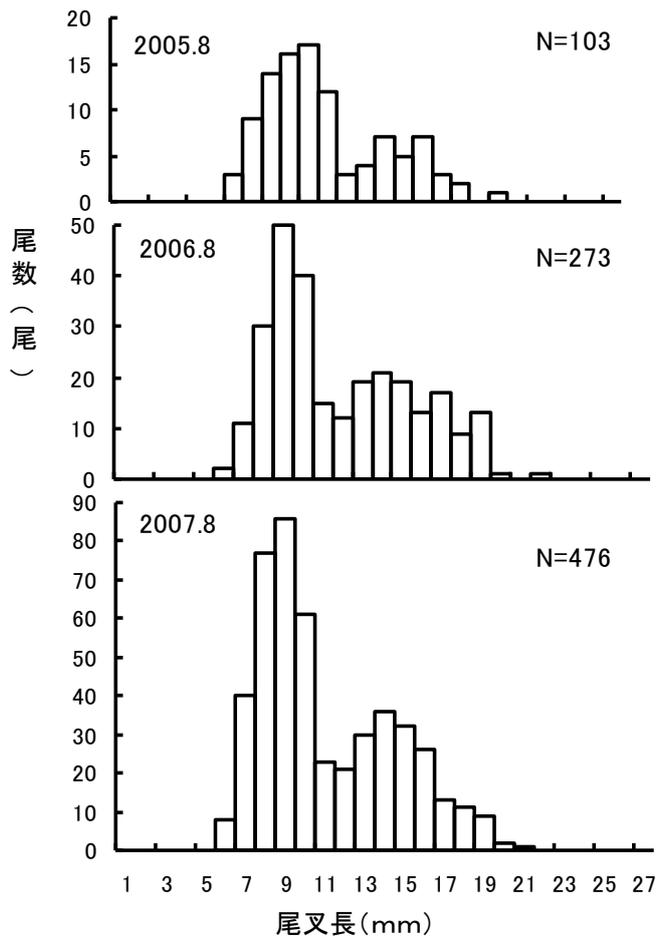


図4 禁漁区に生息するアマゴの8月の大きさ

ヒストグラムから切断法により0歳魚を9cm、1歳魚を15cm、2歳魚を20cmとし、Wolfordの定差図から最大尾又長を推定した(図5)。その結果、32.1cmとされ、生まれてから約3年で最大に達すると推定された。この最大尾又長を用いて、von Bertalanffyの成長式にあてはめ、成長式

$$L_n = 32.1(1 - e^{-0.9115(t+0.5232)})$$

ただし L:歳での尾又長 (cm) t : 年齢 を得た。

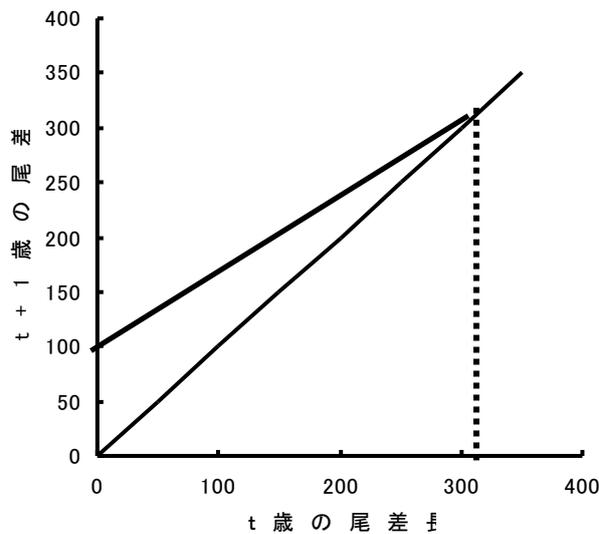


図 4 W o l f o

次に、2007年8月のデータを用いて、資源尾数の推定を行った。20区間ごとのデータを10区間合わせて200mでのデータとし、その間の採捕尾数と観察尾数からPetersen法（Chapmanの修正式）により資源尾数を推定すると、186尾から453尾と区間ごとに差がみられた。さらにこれらを加え、区間全体の生息尾数を計算し、1793尾を得た（表2、図6）。同様に2005年、2006年の資源尾数を推定すると、2005年は886尾、2006年は1157尾と推定された。

表2 資源尾数推定結果(Petersen法)

区間 *1	標識放流 (尾)	目視観察			推定資源尾数 (尾)	採捕率 (%)	生息密度 *2
		無標識	標識	合計			
①	39	31	3	34	349	11.2	0.58
②	51	45	5	50	441	11.6	0.74
③	58	34	10	44	240	24.1	0.40
④	66	52	8	60	453	14.6	0.76
⑤	34	26	5	31	186	18.3	0.52
	248	188	31	219	1669	15.9	0.62

*:1区間の距離は200m

*:2流幅を3mとした

すべての年と資源尾数をまとめると、2006年は2005年の1.3倍に、2007年は2006年の1.5倍に、そして、2007年は2005年の2倍の増加していた。年を追うごとに資源尾数が増加していた（図7）。

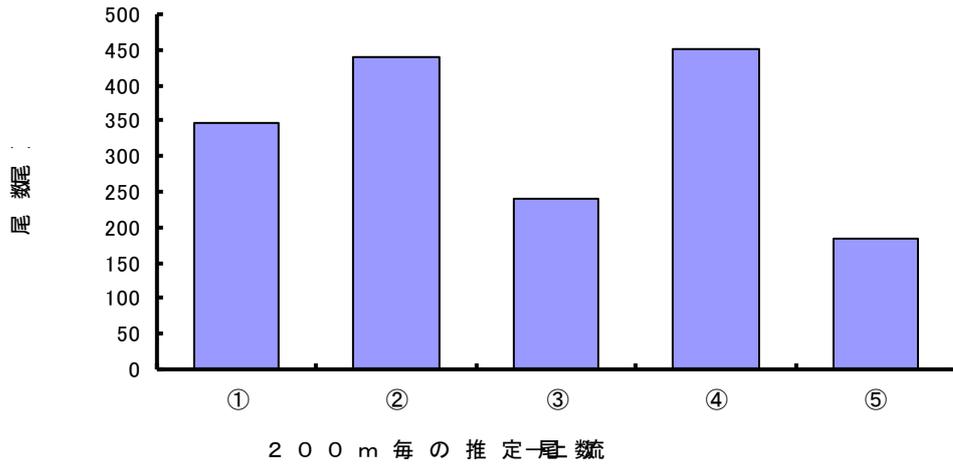


図 6 区間毎の推定尾数

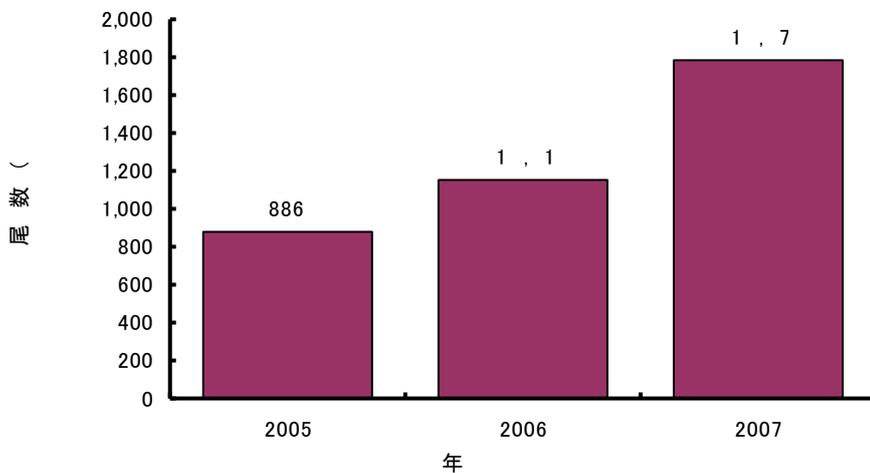


図 7 佐ヶ野川での 8 月上旬の尾数

考 察

禁漁を開始した2005年から資源尾数は増加をはじめ、満2年経過した2007年8月には開始当時の2倍に増加していた。採捕調査のときの採捕尾数も2005年から回を追うごとに増加していった。そのため、調査に要する時間も増加の一途をたどり、2日かけての調査になったこともあった。採捕調査の人員体制は常に一定としたので、CPUEは増加しており、Petersen法による生息尾数の推定結果と一致する。よって、この推定には妥当性があり、2年間の禁漁で資源尾数が増えていったといえる。また、0歳魚の大きさは、2005年に比べ2006、2007年で減少していた。これらは、禁漁開始当初の2005年は餌の量に対し資源尾数が少ないために、十分成長していたが、資源尾数が増加し始めた2006年からは、餌料に対する競合が起り、成長が抑制されたものと考えられる。

。

このように、禁漁措置により、資源尾数は確実に増加していることが判明した。今回の禁漁措置は、内水面漁場管理委員会の指示など、法的なルールによらず、自主禁漁という手段でも、十分に禁漁の効果を上げることができたといえる。河津川漁協では監視員は1名で、主にアユ釣りの監視を行っており、佐ヶ野川にはほとんど来ない。今回は地元との合意もあったため、地元の方々の監視に対する協力もあったものと考えられる。釣り人に対しては看板5枚だけという簡単な意思表示であり、場合によっては釣り人が入った可能性も否定できない。しかし、数字が示すように、資源尾数は明らかに増加した。看板にはこちら側の連絡先も記載しており、釣り人からの質問や苦情はいつでも受けられるようにしてあったが、実際に会った質問は1件だけであり、それに対しても丁寧に対応すれば理解を示してくれ、解禁を楽しみに待ってもらえる状況だった。

引用文献

川嶋尚正（1983）静岡県のアマゴの河川放流と放流魚の成長，静岡県水産試験場研究報告，18，15-22.

第 5 章 総合考察

アマゴは河川の上流域で氷河期の生き残りとして生息する貴重な生物である。長い時間をかけて遺伝的にも、表現的にも分化し、現在に至っている。近年、国土保全としての治水や農業振興施策措置としての利水など、河川の護岸の整備、としてのダムや頭首工など、河川は工作物により分断されている。これらの工事は溪流魚の移動を妨げ、最終的には群の消滅を引き起こしている。

また、溪流釣りの対象として重要なアマゴは漁業権魚種にも設定され、増殖を望む声は大きい。そのため、種苗生産の技術の発達とともに、放流量は増加し、義務放流分だけでなく、一般の釣り人による放流も積極的に行われ、河川の資源は保たれている。しかし、増殖に対する要望は人工種苗で行われており、これらの由来についての考え方が不十分である。その結果として、遺伝子の攪乱を引き起こしている。

本研究では、資源の増殖手法としての稚魚、発眼卵による放流の効果を検証し、各々がその場の条件により効果が得られることを明らかにした。資源尾数の増だけでなく、形態的や生態的により天然魚に近い魚を短期間に増やすのであれば発眼卵による方法の方が有効であることがわかった。

種苗放流を経済行為と考えると、主な経費である種苗代についての考察が必要となってくる。アマゴの発眼卵の1粒当りの単価は2円といわれ（全国養鱒技術協議会調べ）、稚魚放流サイズまでの生残率と、稚魚の代金とで、損益分岐点は得られる。一般に稚魚代は、発眼卵の10倍程度で販売されており、発眼卵から放流サイズの稚魚までの生残率が10%以上であれば、発眼卵が、それ以下であれば稚魚放流のほうが安価であると計算される。本研究の結果、静岡県の一一般的な溪流漁場と考えられる川での発眼卵放流の放流効果は6%と計算され、この場合は稚魚での放流が有効と考えられるが、稚魚で放流された魚は、釣られやすかったり、簡単に下流に移動してしまうといわれ、より天然魚のような容貌になるまでは、さらに1世代を経過しなければならず、天然魚を増殖すると意味では、単純に稚魚のほうが有利であるとはいえない。また、稚魚の運搬経費を考慮に入れると発眼卵放流のメリットは大きい。漁業権による放流は遊漁料という形で放流者に戻ってくるため、損益分岐点には特に気を使う。しかし、近年、遊漁者は魚が多いだけでは満足せず、形や、由来などに強い興味を持つ

ており、増殖手法については上記のように有効手段であることはわかったが、遺伝的多様性への配慮については別の観点から注視しなければならない。静岡県にはすでに多くの河川に漁業権が設定されているが、いくつかの河川の上流域には、まだ、その地域の特徴を持った在来群が残っており、遺伝的な多様性も保持されていることもわかった。特に、近縁亜種であるヤマメの分布境界域である伊豆半島には、朱点のない“アマゴ”も生息しており、種苗放流による遺伝子の攪乱にはより注意を払わなければいけないことがわかった。

種苗放流に当り使用される種苗の由来と放流場所はよく吟味し、その川の在来群を中心にして複数群を作り、適切な場所へ放流すべきであろう。

放流という行為で資源尾数を増加させることは可能であるが、川の特徴を保護・保全するのは川の特徴を残した群の飼育が必要となる。1つの水系でも、異なる放流では異なる遺伝的特徴を持っており、単純ではない。そこでは放流を伴わない増殖措置としての禁漁による資源保護が重要となってくる。しかし、資源管理としての禁漁は制約が非常に多く簡単ではない。区域の設定に当たり、下流域から遡上が困難な滝や人工的な障害物がなければならない。再生産は必須であるが、それに見合う広さの水域、親魚群の遺伝的多様性も重要である。また、再生産には多くの時間が必要であり、本研究ではほぼ2倍の資源尾数に増加させるためには約3年の月日を要することが分かった。禁漁行為に対しそれに関わる釣り人など人間の意識の合意形成が最も重要である。“禁漁”の告知は“魚がいる”の告知と同じだから。川を利用する上でのニーズは複数であり、それに応じた増殖方法は異なる。そこで、ニーズに見合った管理方法として河川のゾーニングを提唱する。基本的な区分けとして、①種川として在来群の生息する支流を資源管理のみで資源を増殖する場所を作り、釣り等の人為的な行為をやめる。②発眼卵放流などより天然魚に近い魚を放流し、天然漁場の演出をする。③稚魚放流による釣り人の釣りやすい場所という漁場を演出する。④成魚放流を行い、管理釣り場的な利用が可能な場所を作る。もちろんこれには駐車場だけでなく、トイレや入渓しやすい道などコストをかけた整備が必要といえよう。それぞれの区間で入漁料収入の見積もりをし、漁場環境にあった収入の範囲内で整備を行うことにより漁

協の経営が維持できることに加え、釣り人のニーズが満たされ在来群の生息域へのプレッシャーが減少され将来にわたって在来群の維持が可能となる。氷河期から生き残った大切な魚は守られ、そこに行けばその特徴を持ったアマゴに出会えることができるのである。

謝 辞

本研究を行うにあたり、現地調査で河津川非出資漁業協同組合加藤四郎組合長、野中功監事、稲生沢川非出資漁業協同組合鈴木元副組合長、狩野川漁業協同組合植田光正組合長、芝川非出資漁業協同組合長谷川三男事務局長、新大井川非出資漁業協同組合大方富士夫元組合長、気田川漁業協同組合中道一彦組合長、富士養鱒漁業協同組合、小林正明氏、望月金光氏、やまめ平清水貢氏、静岡中部溪流会北村恒雄会長、神奈川やまめネットワーク金子裕明代表には多大なるご協力をいただいた。静岡県賀茂郡河津町の正木源七郎氏、榛原郡川根本町の山田喜三氏には精神的かつ物質的なご協力をいただいた。静岡県立大学板井隆彦講師には長期にわたり適切なアドバイスをいただいた。静岡県水産技術研究所阿久津哲也主査、霜村胤日人主任研究員にはチームとして研究全般にわたりご協力、ご助言をいただいた。さらに麻布大学動物応用学科田中和明准教授にはデータの解析についてアドバイスをいただいた。この場を借りて謹んで、御礼申しあげる。

最後に、本論文を取りまとめるにあたり、全般的に懇切丁寧なご指導をいただいた東京海洋大学魚類学研究室 河野 博教授に感謝する

