

渓流域におけるアマゴ *Oncorhynchus rhodurus* の生産

名越 誠・鈴木伸治・瀬見秀夫・坂口功祐・岩本吉包・岡本安弘

三重大学水産学部

Production of the Amago, *Oncorhynchus rhodurus*, from Mountain Stream

Makoto NAGOSHI, Shinji SUZUKI, Hideo SEMI, Kosuke SAKAGUCHI,
Yoshikatsu IWAMOTO, and Yasuhiro OKAMOTO

Faculty of Fisheries Mie University

The production rate of the Amago-fish, *Oncorhynchus rhodurus*, were investigated from 1977 to 1980 in the Hirakura Stream, Mie Prefecture. The population density of the fish was estimated using the mark-recapture method (PETERSEN 1896) to calculate the production rate. The production rate varied between 2.89 and 3.56 gm⁻² yr⁻¹ in which the half were produced by O+ age group. As compared with the production rate of other freshwater fishes inhabiting rivers, ponds and lakes in the world, the production rate was rather small in the stream. The cause of small production rate in the fish population was discussed in the relation to abiotic environments, population density and social behaviour.

Keywords; Production, *Oncorhynchus*.

淡水魚類の河川における生産量に関する研究はアユ（川那部，1970），ニジマスほか（CUINAT，1971），コイ科ほか（MANN *et al.*，1972），イワナ（三浦，1977），ウグイ（TATSUKAWA *et al.* 1981）などについて報告されているが数少ない。

内水面の漁業上重要な魚類であるアマゴ *Oncorhynchus rhodurus* JORSAN *et* MCGREGOR については，川合（1955），白石（1957，1958），藤村（1970），名越ほか（1972），名越・酒井（1980）らによる食性，成長などに関する研究があり，生産量に関しては牧（1972）による研究がある。しかし，渓流域のアマゴの生産性を論じたものは極めて少ない。本研究では渓流域のアマゴの生産性を明らかにする目的で生産量の推定を行ない，種々の水域において知られている魚類の生産量と比較検討した。

材 料 と 方 法

アマゴ個体群の成長と個体数の変動を追跡するため連続採集法と標識放流法を用いて1977年5月から1980年12月まで毎月上旬に野外調査を行なった。

成長は連続採集法によっ解析するため毎月調査水域内で川干し*を中心に、タモ網や釣り等の方法によってアマゴを採捕し、その場で体長と体重の測定および年齢解析のために採鱗を行なった。採捕個体は測定後すべて現場に返した。

西俣谷に2つの調査区間 (St. 1-2 と St. 3-4) を設け、標識放流法によって生息密度の推定を行なった。St. 1-2 は東俣谷との合流点より約 1.5km 上流に位置し、平均川巾 1.5m, 流程約 60m, 水面面積約 90m² であった。St. 3-4 は東俣谷との合流点より約 0.5km 上流の平均川幅 2m, 流程約 60m, 水面面積約 120m² であった (Fig. 1)。これらの区間内で採捕した個体については体

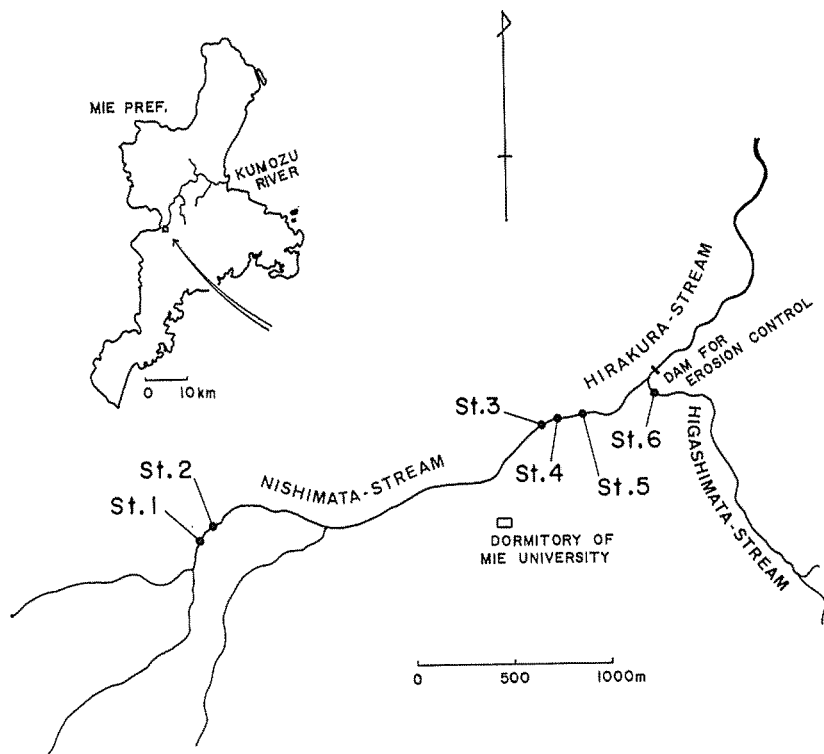


Fig. 1. Location of stations in Hirakura Stream.

長と体重を測定し採鱗をしたのちに脂鰭や尾鰭の一部を標識のために切除して放流し、翌日再び採捕した。標識放流した個体数、再捕時の総捕獲数および再捕数から Petersen 法 (1896) を改良した CHAPMAN (1951) の修正式によって生息密度を推定した。

採集した鱗はカナダバルサムでスライドグラスに固定したのち万能投影器で年輪数および鱗径を

* 川干し：砂礫やビニールシート等を用いて川の流れをせき止めて水をバイパスに流し、水量を減少させてタモ網や手づかみ等によりアマゴの採捕を行ない易くする方法。

測定し、各個体の年令と成長を解析する資料にした。

餌生物量とアマゴの生産量の関係を検討するため、アマゴの主要な餌の一つとなっている水生昆虫量を調べた。St. 1-2 の約 30m 上流に St. 5 そして St. 3-4 の約 50m 下流に St. 6 を設け、それぞれ瀬と淵の各 1ヶ所においてチリトリ型金網により 0.25m² の水生昆虫の定量採集を行なった。

調査水域の概要

調査した平倉川は三重県中央部を西南から北東の方向に三重県を貫流し、伊勢湾に注ぐ雲出川の源流域に当たり、三重大学農学部附属演習林内でさらに西俣谷と東俣谷に分岐している。調査を行なった西俣谷の河床形態は可見(1944)の分類による Aa 型であり、典型的な山地溪流である。

この流域の周囲は標高 1,235.5m の三峰山をはじめとする標高 1,000m 以上の山に囲まれ、全体の60%以上が天然の落葉樹林で被われている。

気象観測結果の経月変化を Fig. 2 に示した。水温は毎月の調査時に測定したものであるが、降

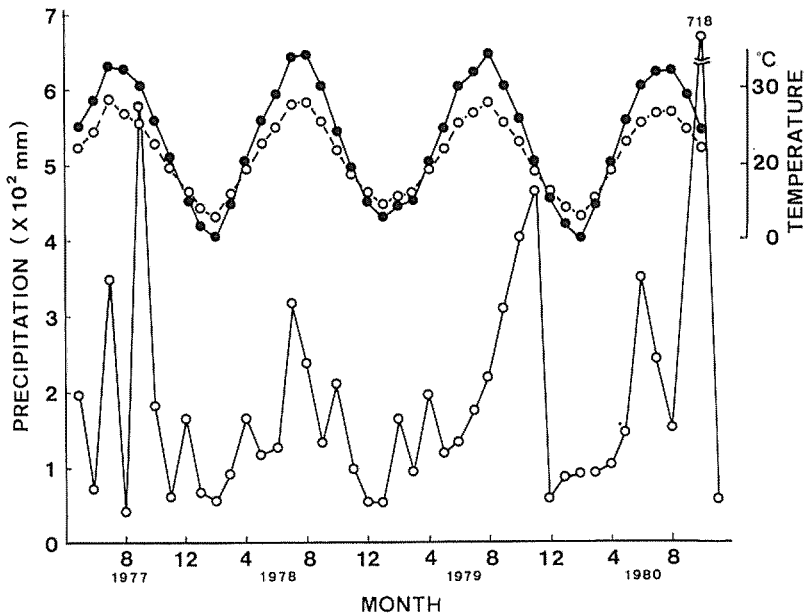


Fig. 2. Seasonal changes of the mean air temperature (●), water temperature (---○---) and precipitation (-○-) at Mie University Forest from 1977 to 1980.

水量と平均気温は演習林気象報告(山本, 1974)に基づいた。水温は7月から8月に最高となり、18°Cに達する。最低水温は1月あるいは2月の3°Cである。1978年から1979年にかけての冬は他の年よりもやや暖かく、最低水温は他の冬より約2°C高かった。一方1980年の最高水温は他の年に比べ約2°C低かった。これらの結果から、この水域は水温が夏期においても20°Cを超えることがなく、冷水性のアマゴの生息場所として好適な条件にある。

渓流域での多量の降水は一時的に激しい流れを出現させる。夏頃までの稚魚は遊泳力が小さいた

め、その時期の洪水は稚魚の流失をまねく。夏頃までの洪水の回数と稚魚の死亡率が密接に関係していることを渓流域のイワナ研究で三浦(1977)が報告している。一日に雨量 300mm, とくに数時間に 200mm 程度の豪雨が山間部であった場合には随所に山崩れが起き、溪流の河床形態に大きな変化が起こり、生物は大きな影響を受けることも知られている(津田, 1974)。

山本(1974)によると、この水域における1965年から1972年までの平均年間降水量は 2,605mm であり、5月から9月までの降水量がそのほとんどを占める。特に7月から9月にかけては台風による降水量が多い。

演習林気象報告に基づき、調査期間中の月間降水量の季節変化を Fig. 2 に示した。1977年から1980年の年間降水量はそれぞれ 2,128, 1,695, 2,375, 2,445mm であり、過去10年間の平均値よりも少ない。季節的には夏期に多く冬期に少ないが、7月から9月までの降水量は特に多く、この期間の降水量が年間降水量の半分以上を占めている。1日の降水量が 100mm 以上となった日数は1977年に2日、1978年に1日、1979年に4日、1980年に4日あったが、1日の降水量が 300mm 以上に達した日はない。1979年10月19日に 270mm であったものが調査期間中では最大であった。しかし、その降水量による河床形態の大きな変化はなかった。

この水域に生息する魚類としては、アマゴの他にタカハヤ *Phoxinus lagowski* DYBOWSKI f. *oxycephalus* (SAUVAGE & DABRY), カジカ *Cottus hilgendorfi* STEINDACHNER et DODERLEIN, カワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* (MIZUNO), ウナギ *Anguilla japonica* TEMMINCK et SCHLEGEL, アカザ *Linobagrus reini* HILGENDORF の6種が確認された。東俣谷との合流点から約 1km 上流の西俣谷上流部にはアマゴだけであり、他の魚類は生息していない。他の魚類はそれより下流部に生息するが、その生息密度はアブラハヤとカジカを除くと、アマゴの生息密度に比較して極めて小さい。

この水域には東俣谷と西俣谷の合流点より約 20m 下流に高さ約 5m の砂防堰堤があり、ウナギを除いた他の魚類の下流からの遡上はない。魚類にとって下流への移出を除けば閉鎖的水域であると考えてよい。また、この水域は禁漁区になっているので人為的な影響(漁獲)がないものと考えた。

結 果

水生昆虫の現存量 アマゴは水生昆虫よりもむしろ陸生昆虫を好んで捕食する傾向があり、大型個体ほどその傾向が強まる。しかし、小型個体のアマゴの胃内容物中に占める水生昆虫の割合は容積比で7割以上もあり、小型個体にとっては重要な餌料である(名越・酒井, 1980)。

そこで、水生昆虫の量とアマゴの成長の関係を検討するため、1977年5月から1980年11月まで St. 5 と St. 6 における水生昆虫の定量採集の結果を Fig. 3 に示した。総重量、総個体数およびアマゴの小型個体に比較的多く捕食される蜻蛉目と毛翅目の合計個体数を示している。

個体数では1977年が最も少なく、最も多かったのは1978年であった。1977年の総重量は測定していないが、他の年の総重量は春から夏に大きく、9月に最小となる。1979年5月の総重量が最大であり、他の年に比較して、この年の水生昆虫の現存量は大きかった。これらの年ごとの差異は降水量の多寡と関連があり、水生昆虫の重量と個体数は降水量との間で負の相関を示す。

蜻蛉目と毛翅目の合計個体数は総個体数の場合と同様な変化を示し、1978年の個体数が最も多く、1977年のそれが最も少なかった。総個体数の場合と同様に洪水の多少によって影響を受けるために明瞭な季節変化は認められないが、春から夏に多く、冬期に少ない傾向が見られる。

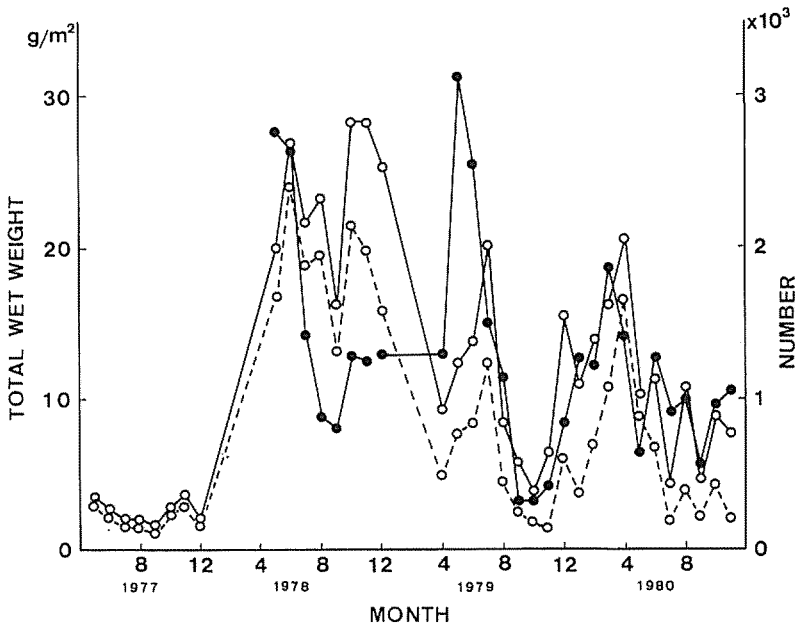


Fig. 3. Seasonal changes of aquatic insect per m² from 1977 to 1980. ● : total weight, —○— : total number and - ○ - : total numbers of ephemeroptera and tricoptera.

体長体重関係 魚類の体長と体重との間には、一般に次のような関係式の成立することが知られている。体重をW、標準体長をLとおくならば $W=aL^b$ となり、aとbは定数を表わす。

平倉川におけるそれぞれの年の体長と体重の関係式は次のようになった。

- 1977 $W=0.0207L^{2.91}$ (n=196)
- 1978 $W=0.0215L^{2.86}$ (n=177)
- 1979 $W=0.0285L^{2.74}$ (n=218)
- 1980 $W=0.0128L^{3.08}$ (n=327)

指数bは肥満度の指標として使われ、生息環境の生産性を示す。年によってbの値が異なっているが、馬野川(白石, 1957), 粕川(白石, 1957), 黒石谷(岡崎, 1970), 吉田川(加藤, 1973), 安曇川(加藤, 1978)などで得られたbの値は2.702~2.963であり、平倉川で得られた値もほとんどこの範囲にあり、差のないことを示している。

1979年のbの値が最も小さく、1980年の値が最も大きい。肥満度においても1979年が最小で、1980年のそれが最大であり、成長の年変動とよく一致している。

年令組成 一般にアマゴの年令は鱗に現われる年輪から推定される。そこで本研究においても、背鰭後端と脂鰭の間の側線上部から数枚の鱗を採集し、それらの年輪を観察した。鱗径R、年輪数(n)および中心よりn年輪までの年輪径(r_n)を測定した。アマゴの年輪形成の時期については、これまでも検討されているが明確でない。年輪径(r_n)は年輪形成が完了した時の鱗径を示しているので $R-r_n=0$ となる時期は第n年輪が形成し終わった時期ということが出来る。そこで、年輪形成の完了した時期を明らかにするため年輪を1つだけ持った個体の $R-r_1$ を求めそれらの値

を Fig. 4 に示し、年輪形成時期を検討した。

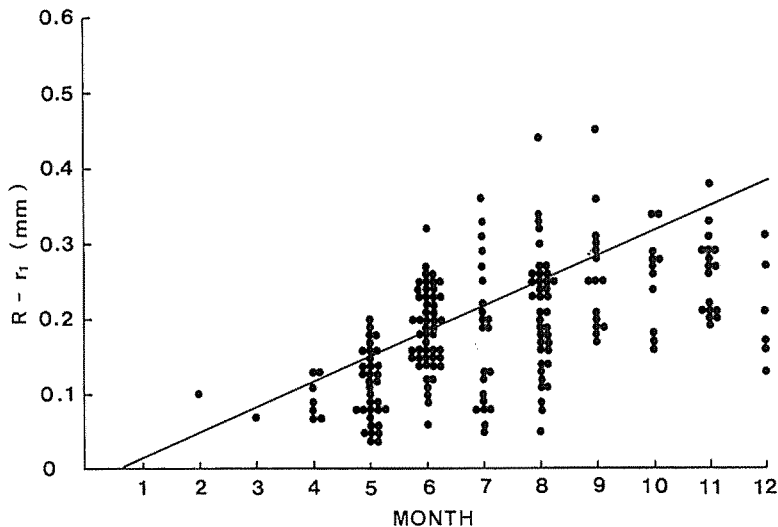


Fig. 4. Seasonal change of the difference between total scale radius(R) and radius of annulus(r) in age 1 group.

2月と3月に各1尾ずつ、すでに年輪の形成され第一年輪の読みとれる個体が出現したが、第一年輪だけを持つ個体のほとんどは4月以後に現われる。図から明らかなように $R-r_1$ が最小になる時期は4月である。すなわち、第一年輪が形成されるのは4月以前の冬期であると推定した。このことから第二年輪および第三年輪も同様に冬期に形成されるものと考えた。鱗に年輪を1つだけ持つ個体は満1年以上経過した1才魚(1⁺魚)、2つもつ個体は2才魚(2⁺)、3つ持つ個体は3才魚(3⁺)そして年輪を持たない個体は0才魚(0⁺)として扱うことにした。

毎月採捕した個体の年令を鱗の年輪から査定し、それぞれの年令群に分離し、各年令群の個体数とそれぞれの割合を Table 1 に示した。

3才魚は1979年6月、1980年3月および7月にそれぞれ1尾ずつ出現したが、4年間を通して0才魚が個体群の約70%、1才魚が約25%そして2才魚が約5%を占め、この溪流のアマゴ個体群は0才魚を中心とした1才魚および2才魚の混棲する個体群である。

0才魚はそれぞれの月に採捕した全個体のうち70%以上を占めることが多いが、その割合は稚魚の出現する4月から5月に最大になり、その後徐々に減少する。

それぞれの年の各年令群の採捕数を比較してみると、1979年の0才魚の総採捕数は他の年に比べ最も多く、毎月の組成中に占める割合も最も高く、ほとんど周年70%以上であった。一方1979年の1才魚は他の年に比べて少なかった。2才魚の採捕数は4年間を通してみると、1977年に最も多く、その占める割合も他の年に比べて極めて高い。この年令群の生残率が特に大きかったものと考えられる。

鱗からの年令査定に基づいて年令群を分離し、それぞれの月の体長分布を Fig. 5 に示した。この体長分布のモードから0才魚群は他の年令群とあきらかに分離することができるが、1才魚と2才魚においては、体長によって年令群を分離することは困難である。

アマゴの稚魚は3月に河床から浮出し始め4月中に浮出し終る。これが0才魚群を形成し、9月

Table 1. Monthly age composition in number and percentage from 1977 to 1980.

	0+		1+		2+		Total number
	No.	%	No.	%	No.	%	
1977 May	26	43.3	26	43.3	8	13.3	60
Jun	11	57.9	6	31.6	2	10.5	19
Jul	15	51.7	8	27.6	6	20.7	29
Aug	25	69.4	9	25.0	2	5.6	36
Sep	9	50.0	5	27.8	4	22.2	18
Oct	8	47.1	6	35.3	3	17.6	17
Nov	9	81.8	1	9.1	1	9.1	11
Dec	5	83.3	1	16.7	0	0	6
Total	108	60.6	62	27.1	26	14.1	196
1978 May	58	86.6	7	10.4	2	3.0	67
Jun	22	45.8	24	50.0	2	4.2	48
Jul	15	78.9	4	21.1	0	0	19
Aug	15	68.2	7	31.8	0	0	22
Sep	11	52.4	9	42.9	1	4.8	21
Oct	12	57.1	7	33.3	2	9.5	21
Nov	17	70.8	7	29.2	0	0	24
Dec	10	76.9	3	23.1	0	0	13
Total	160	67.1	68	30.2	7	2.7	235
1979 Jun	14	100.0	0	0	0	0	14
Mar	7	63.6	3	27.3	1	9.1	11
Apr	39	88.6	5	11.4	0	0	44
May	35	87.5	5	12.5	0	0	40
Jun	67	78.8	17	21.2	0	0	84
Jul	32	84.2	4	10.5	2	5.3	38
Aug	23	76.7	7	23.3	0	0	30
Sep	16	80.0	2	10.0	2	10.0	20
Oct	11	78.6	2	14.3	1	7.1	14
Nov	10	71.4	3	21.4	1	7.1	14
Dec	11	84.6	2	15.4	0	0	13
Total	265	81.3	50	15.1	7	3.5	323
1980 Jan	10	100.0	0	0	0	0	10
Feb	11	84.6	2	15.4	0	0	13
Mar	13	52.0	11	44.0	0	0	24
Apr	58	84.1	4	5.8	7	10.1	69
May	41	83.7	8	16.3	0	0	49
Jun	23	85.2	4	14.8	0	0	27
Jul	16	57.1	10	35.7	1	3.6	27
Aug	27	49.1	22	40.0	6	10.9	55
Sep	11	73.3	4	26.7	0	0	15
Oct	12	70.6	4	23.5	1	5.9	17
Nov	9	40.9	10	45.5	3	13.6	22
Dec	6	60.0	4	40.0	0	0	10
Total	237	70.1	83	25.6	18	3.7	340

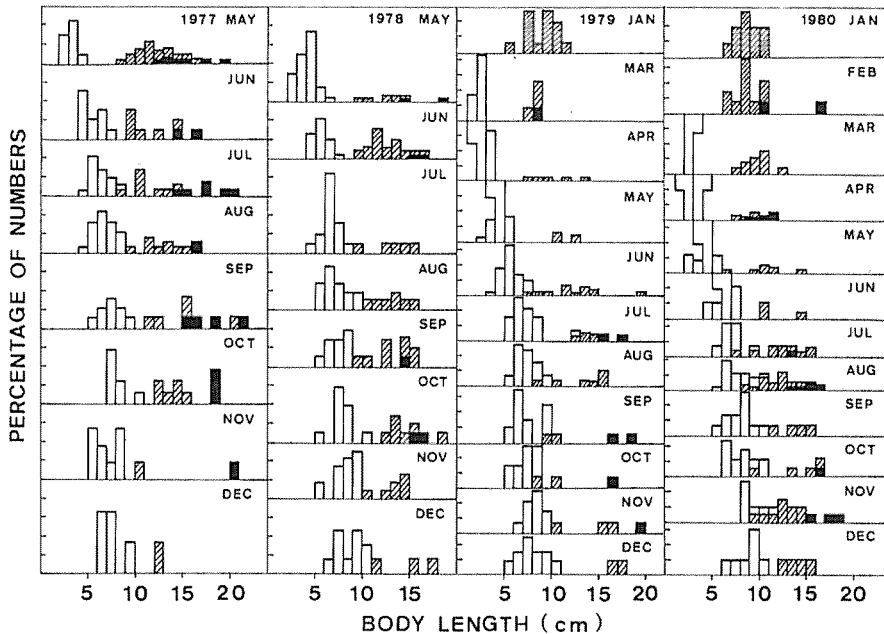


Fig. 5. Seasonal change of size frequency distribution. White, shaded and black columns show age 0, 1 and 2 groups respectively. One scale of longitudinal axis represents 10 percent.

頃まで急速に成長し、10月以後成長が停滞する。1才魚群においても同様であり、9月までの成長は10月以後に比べて速く、10月以後の成長は停滞する。1977年の2才魚においても同様の傾向が認められる。

1才魚以上の出現頻度は10月以後急激に減少する。これは10月中旬頃が産卵期であり、産卵群に参加した個体のほとんどが産卵後に死亡するためと考えられる。また、0才魚群においてモードの位置が産卵期直後の10~11月に一時的に体長の小さい方へ移動する傾向が認められる。これは、この年令群においても成長のよい雄の大型個体が産卵群に加わった後に死亡するものが多くなるためであると考えられる。

成長量 各年級群の体長の季節変化を Fig. 6 に、体重の季節変化を Fig. 7 に示した。それぞれの値は各月の年令群別の平均値を示している。

各年級群の0才魚の各月の平均体長から、Bertalanffy の式を用いて成長曲線式を求め、次のような結果を得た。

$$\begin{aligned}
 1977 \quad L_t &= 9.66(1 - e^{-0.268(t-3.24)}) \\
 1978 \quad L_t &= 8.44(1 - e^{-0.548(t-4.31)}) \\
 1979 \quad L_t &= 9.41(1 - e^{-0.282(t-2.38)}) \\
 1980 \quad L_t &= 10.94(1 - e^{-0.175(t-1.69)})
 \end{aligned}$$

L_t は時間 t における標準体長、 t は浮出した時からの時間を表わしている。体長の体重への変換は前述の体長体重関係式とこれらの式を用いて行なった。Fig. 6 の曲線のうち0才魚の部分はこれらの式に基づいており、1才魚以上の部分については目視によって描いた。

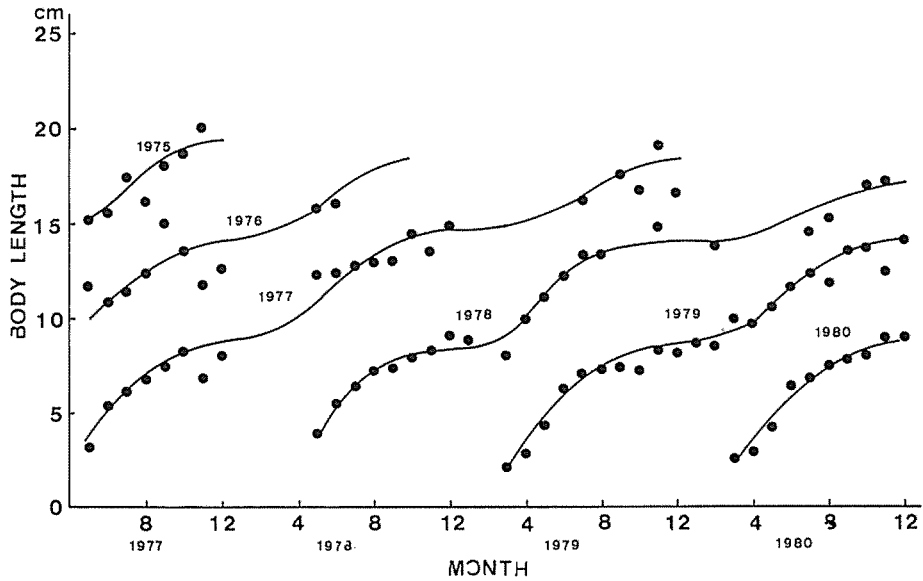


Fig. 6. Seasonal change of body length of each year class from 1977 to 1980.

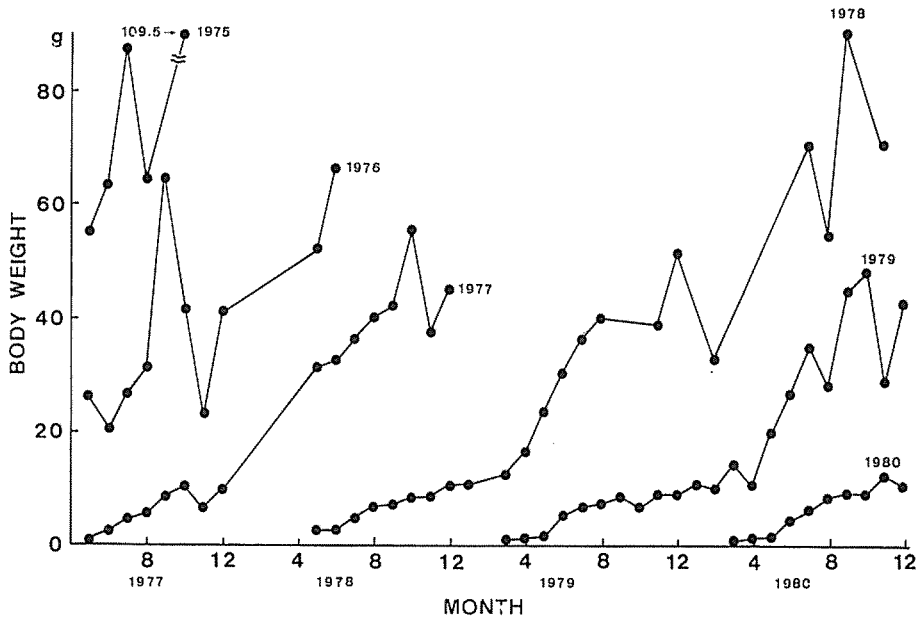


Fig. 7. Seasonal change of body weight of each year class from 1977 to 1980.

体長の成長曲線は Bertalanffy の式によく適合している。3 月頃に浮出した 0 才魚は 10 月頃まで急速に成長するが、10 月以後の成長は翌年 3 月までほとんど停滞する。1 才魚でも 4 月頃から 9 月まで急速な成長が見られるが、それ以後停滞する。2 才魚でも同様であるが、成長量は小さい。体重においてもほぼ同様の傾向が認められた。

産卵期の終る11月に各年級群において体長および体重の平均値に減少が見られる。これは、産卵群に加わった大型個体が産卵後に死亡することに関連するものと考えられる。

0才魚の成長は体長、体重において、年による若干の差異が認められ、9月時点での成長量は1980年級群において最も大きく、1978年級群が最も小さい。すなわち、0才魚において1980年級群の成長がよく、1978年級群の成長が悪いことを示している。

各年級群の1才魚の体長はそれぞれの年の間で大きな差が認められない。成長の停滞が起こる10月頃に各年級群において1才魚は約14cmに達する。体重は個体差が大きく、年による成長量の差や季節変化に明瞭な傾向が認められない。1才魚は成長の停滞する9月に体重において約40gに達する。各年級群の2才魚は標本数が少なく、一定の傾向を認めることができなかった。

以上の結果から、年間の成長量は体長において0才魚では約9cm、1才魚では約6cmそして2才魚では約5cmであった。体重の年間の増重量は0才魚では約11.5g、1才魚では約43.5g、2才魚では約50gであり、年齢が進むにつれて増大する。

生息密度 標識再捕によって個体数を推定する Petersen 法により生息密度を推定した。この場合に次の条件が満足されなければならない。

1. 個体群は閉鎖的である。
2. 標識による死亡率への影響はない。
3. 標識の脱落は無い。
4. 標識による捕獲率の変化は無い。
5. 標識魚の分布は均等である。
6. 標識魚の漁獲物中の発見率は100%である。

アマゴの持つ強い定着性のため移動が少ないこと、下流に堰堤があるため遡上による加入の無いこと、洪水時の下流への若干の移出を除けば移出も無視してよいことなどから、この水域の個体群は閉鎖的であると考えた。標識は脂鰭、尾鰭の上端または下端を遊泳に支障の無い程度に切除したことにより、標識による死亡率への影響はなく、標識の脱落もないと考えた。なお死亡率への影響については実験的にも無視できることが確認された。標識魚は調査水域内の捕獲場所に放流し、再捕時には調査水域全体で漁獲するので条件4と5も満足されているものと考えてよい。再捕時の標識魚と無標識魚は容易に判別できるので6の条件も満足している。これらのことから、それぞれの条件は満足されていると考えてよい。

そこで Petersen 法の小サンプルの場合に対して提案された CHAPMAN(1951)の次の修正式を用いて生息密度を推定した。

$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{R+1} - 1$$

また、N(推定個体数)のバリエーションvの不偏推定値は SEBER(1970)の式に従った。

$$v = \frac{(M+1)(C+1)(M-R)(C-R)}{(R+1)^2(R+2)}$$

M、CおよびRはそれぞれ標識放流魚の個体数、再捕時の総捕獲数および標識魚の再捕数を示している。得られたそれぞれの値を Table 2 に示した。St.1-2 では90m²当たり、St.3-4 では120m²当たりの数値を示している。

生息密度が低く狭い水域での推定値であるため誤差範囲が大きいが、生息密度は稚魚の出現する4月または5月に最大となり、その後9月頃まで急激に減少する。これは主として0才魚の自然死

Table 2. Monthly estimated population with confidence limit(N), number of fish marked(M), sample taken for census(C) and number of recaptured marks in the sample(R).

	St. 1-2				St. 3-4				Both stations				
	M	C	R	N	M	C	R	N	M	C	R	N	
1977	Jun	6	9	2	22± 14	6	4	2	11± 6	12	13	4	36± 18
	Aug	6	5	2	13± 7	6	4	2	11± 6	12	9	4	25± 12
	Oct	2	3	1	5± 3	2	5	1	8± 5	4	8	2	14± 8
	Dec	5	5	3	8± 3	3	1	1	3± 0	8	6	4	12± 3
1978	May	35	20	11	62± 18	12	8	0	116± 146	47	28	11	115± 42
	Jun	18	15	10	27± 5	7	4	2	12± 7	15	19	12	39± 9
	Jul	6	10	5	12± 3	5	4	2	9± 4	11	14	7	23± 6
	Aug	5	8	1	26± 22	5	6	2	13± 7	10	14	3	40± 25
	Sep	6	3	2	8± 3	5	3	1	11± 8	11	6	3	20± 9
	Oct	4	6	3	8± 2	3	4	0	19± 21	7	10	3	21± 11
	Nov	6	6	3	11± 5	6	4	0	34± 40	12	13	3	35± 21
	Dec	3	4	3	4± 0	6	3	1	13± 9	9	7	4	15± 6
1979	Jan	3	2	1	5± 3	6	5	2	13± 7	9	7	3	19± 7
	Mar	2	4	1	7± 4	1	4	0	9± 9	3	8	1	17± 13
	Apr	18	15	7	37± 13	13	10	5	25± 10	31	25	12	63± 18
	May	16	20	12	26± 4	7	10	1	43± 39	23	30	13	52± 13
	Jun	19	16	11	27± 5	12	9	3	32± 18	31	25	14	54± 13
	Jul	12	14	7	23± 7	10	9	2	36± 26	22	23	9	54± 19
	Aug	10	11	5	21± 8	10	5	5	10± 0	20	16	10	31± 8
	Sep	7	6	4	10± 3	3	1	0	7± 7	10	7	4	17± 7
	Oct	8	9	6	12± 2	3	0	0	3± 0	11	9	6	16± 4
	Nov	7	8	6	9± 0	2	3	0	11± 15	9	11	6	16± 4
	Dec	7	2	5	11± 3	2	1	0	5± 5	9	9	5	16± 5
	1980	Jan	5	7	4	9± 3	1	1	0	3± 0	6	8	4
Feb		9	7	6	10± 3	2	1	0	5± 0	11	8	6	14± 3
Mar		8	8	6	8± 0	13	0	0	13± 0	21	6	6	21± 0
Apr		14	12	9	21± 3	40	37	27	55± 3	54	49	36	75± 4
May		12	14	11	15± 2	22	23	11	45± 12	34	37	22	57± 8
Jun		12	7	6	15± 3	8	7	2	23± 15	20	14	8	35± 10
Jul		6	7	2	18± 11	9	5	4	11± 3	15	12	6	29± 11
Aug		6	6	4	9± 2	12	15	4	41± 22	18	21	8	45± 16
Sep		5	3	2	7± 2	5	4	0	29± 34	10	7	2	28± 19
Oct		5	4	4	5± 0	7	5	0	63± 57	12	9	4	25± 12
Nov		3	1	1	3± 0	6	5	1	20± 16	9	6	2	22± 14
Dec		3	4	3	4± 0	2	3	0	12± 12	5	7	3	13± 4

亡および下流への移動・分散によるものと考えられる。

年令組成 (Table 1) と推定個体数 (Table 2) から, St. 1-2, St. 3-4 および両者を合せた場合の年級群別の 1m² 当たりの生息密度を算出し, それらの季節変化を Fig. 8 に示した。

毎年3月から4月に急激な密度の増大があり, 4月から5月に最大値を示し, その後漸次減少す

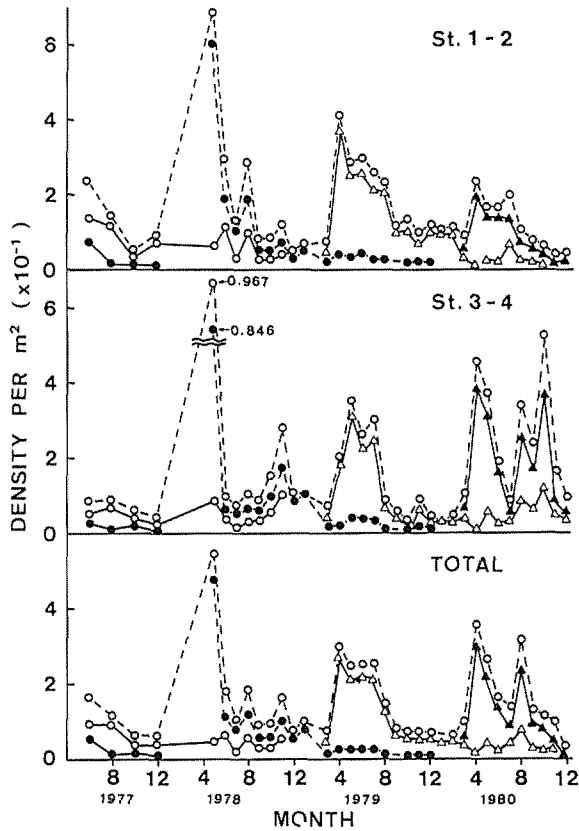


Fig. 8. Seasonal change of population density of each year class at St. 1-2, St. 3-4 and total area from 1977 to 1980. —●—: 1976, —○—: 1977, —●—: 1978, —△—: 1979, —▲—: 1980, —○—: total.

る。この時期に稚魚が浮出してくるためである。St. 1-2 と St. 3-4 の生息密度には大きな差はなく、その変動傾向はよく類似している。水温が若干低く、St. 1-2 での稚魚の出現時期がやや遅れることと成長が悪いことを除くと両者の間には差がないと考えてよい。生息密度のほとんどは0才魚によって占められており、密度の年変動は0才の密度に左右されている。1978年5月の稚魚の出現量は多かったが、その後の死亡率が他の年に比べて大きかった。高年令群の生息密度は極めて小さいのでその変動傾向は明らかでない。1979年と1980年の0才魚の出現量は少なかったが、その後の生残率は1978年に比べ高かった。

各年級群の生残率を求めるため密度の変動を Fig. 9 に示した。ただし、1980年級群については、0才時の結果を示している。各年級群の生息密度は対数値で示した。いずれの年級群でもほぼ直線的に密度が減少し、直線的にそれぞれ有意に適合する。生息密度を d 、浮出した月からの経過月数を t とすると、それぞれの年の両者の関係は次のような式によって表わされる。

$$1977 \quad d = e^{-0.090t - 1.554}$$

$$1978 \quad d = e^{-0.101t - 1.542}$$

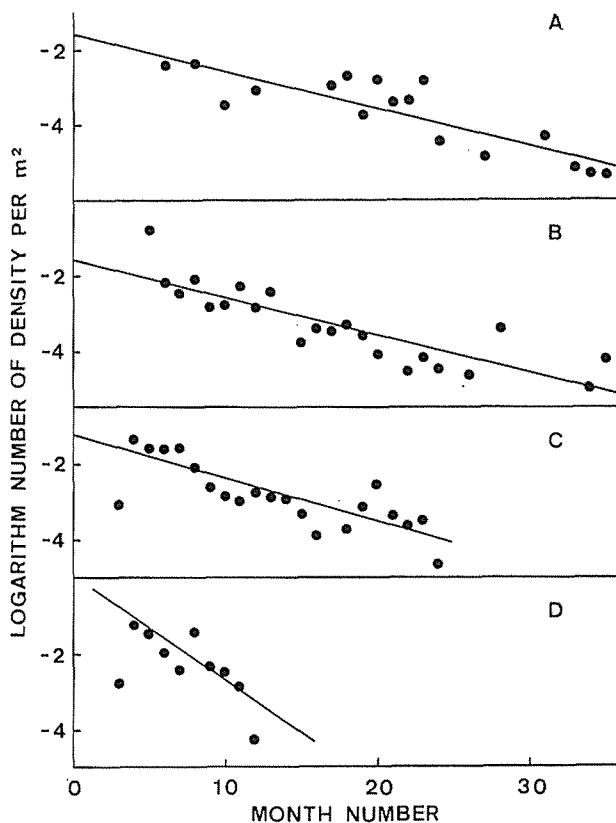


Fig. 9. Logarithm number of density of each year class per m² in successive months. A, B, C, and D show 1977, 1978, 1979 and 1980 year class respectively.

1979 $d = e^{-0.115t - 1.178}$

1980 $d = e^{-0.291t + 0.058}$

t の係数は死亡率を示し、他の定数は初期生息密度を示す。すなわち、各年級群の死亡率は一定であるとみなすことができる。0才時だけの資料から求めた1980年級群を除き、他の年級群では死亡率に大きい差異は認められない。しかし、初期生息密度が高いほど死亡率が高い傾向がある。

生産量 上記の結果に基づき年間の生産量を Allen curve を用いる方法 (ALLEN, 1951) と、RICKER (1946) の指数関数モデルによる方法の2つを用いて推定した。

ALLEN によると、加入や移出の無い個体群で時間間隔 t_1 から t_2 の期間に、死亡率が一定で個体数が N_1 から N_2 に減少し、平均体重が \bar{W}_1 から \bar{W}_2 まで増大した場合にそれぞれの値から生産量が推定できる。生産量 (P) はある時間間隔における個体数 (N_n) と平均体重 (W_n) の変化量から求められる図形の面積 (S) を次式から求めることにより得られる。

$$P = S = \frac{1}{2}(N_1 + N_2)(\bar{W}_2 - \bar{W}_1)$$

この方法に基づいて各年級群について Allen curve を作図し、Fig. 10 に示した。これらからそ

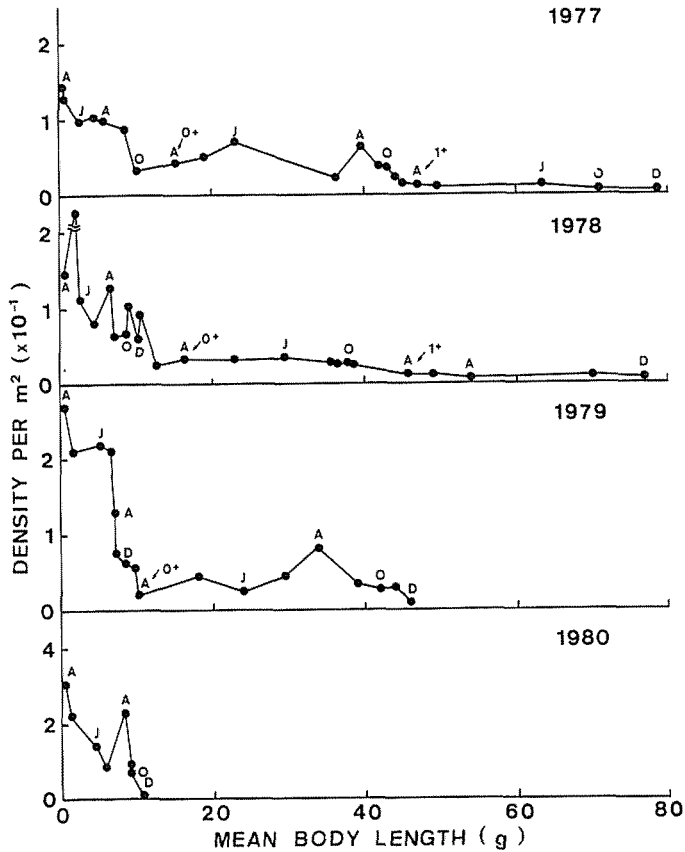


Fig. 10. Allen curve for 1977, 1978, 1979 and 1980 year class.

それぞれの年の成長期（4～10月），成長停滞期（11～3月）および年間の生産量を推定し，Table 3に示した。

RICKERの指数関数モデルによる方法は，ある期間（ $t_2=t_1+\Delta t$ ）内に体重の瞬間成長率が一定の値（ G ）をとり，瞬間死亡率が同様に一定の値（ Z ）をとると仮定して個体群の生産量を推定する方法である。

個体数が N_1 から N_2 に減少し，体重が \bar{W}_1 から \bar{W}_2 に増大した場合， G および Z は次式によって求められる。

$$G = \frac{\ln \bar{W}_2 - \ln \bar{W}_1}{\Delta t} \quad Z = \frac{-(\ln N_2 - \ln N_1)}{\Delta t}$$

それに， $\bar{W}_2 = \bar{W}_1 \cdot e^G$ ， $N_2 = N_1 \cdot e^{-Z}$ の関係式が成り立つので個体群の現存量（ B_2 ）は

$$B_2 = N_2 \cdot \bar{W}_2 = N_1 \cdot \bar{W}_1 \cdot e^{G-Z} = B_1 \cdot e^{G-Z}$$

によって計算される。

この期間の個体群の平均現存量（ \bar{B} ）および生産量（ P ）は次式により求められる。

$$\bar{B} = \frac{B_1 \cdot (e^{G-Z} - 1)}{G - Z} \quad P = \bar{B} \cdot G$$

\bar{B} の計算には Δt が十分に短ければ簡便法として、

$$\bar{B} = \frac{B_1 + B_2}{2}$$

を用いてもほとんど誤差をとまなわないので、本調査では \bar{B} の計算に簡便法を用いた。

これらの式から得られたそれぞれの年の生産量を Table. 3 に示した。両方法から得られた生産

Table 3. Production rates ($\text{gm}^{-2} \text{yr}^{-1}$) of the Amago estimated by the Allen curve and the Ricker's exponential model during from 1977 to 1980 in the Hirakura Stream.

Allen's												
Age	1977			1978			1979			1980		
	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total
0+~1+	0.9813	0.2604	1.2417	1.1787	0.4245	1.6032	1.4694	0.2877	1.7571	1.5279	0.1731	1.7010
1+~2+	0.7515	0.0756	0.8271	1.3382	0.0686	1.4068	0.7002	0.2251	0.9253	1.3406	0.0977	1.4389
2+~	0.6585	0.0597	0.7182	0.3706	0.0813	0.4519	0.3658	0.0349	0.4007	0.2229	0.0466	0.2695
Total	2.3913	0.3957	2.7870	2.8875	0.5744	3.4619	2.5354	0.5477	3.0831	3.0914	0.3174	3.4088

Ricker's												
Age	1977			1978			1979			1980		
	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total
0+~1+	1.1110	0.2690	1.3809	1.4006	0.4174	1.8180	1.5324	0.2767	1.8091	1.5473	0.1668	1.7141
1+~2+	0.7688	0.0913	0.8601	1.2945	0.0662	1.3607	0.6977	0.1203	0.8180	1.3829	0.0977	1.4806
2+~	0.6973	0.0585	0.7558	0.3507	0.0808	0.4315	0.3222	0.0368	0.3590	0.2589	0.0467	0.3057
Total	2.4846	0.4073	2.8919	2.9667	0.5694	3.5361	2.5439	0.4908	3.0346	3.1403	0.3143	3.4546

量の推定値はよく近似しているの両者の平均値を年間生産量とみなした。これらの年間生産量に加えて、平均生息密度 (\bar{d})、平均体重 (\bar{W})、平均現存量 (\bar{B}) および廻転率 (P/\bar{B}) などの生産諸量を求め Table. 4 に示した。

産卵期の10月を境に成長期と成長停滞期の生産量には明らかな差がみられ、前者の値は後者の5~10倍である。この差は1才魚と2才魚においてより顕著であり、0才魚では3~9倍であるのに対し、1才魚では4~20倍、2才魚では5~11倍にも及んでいる。1才魚および2才魚における両者の顕著な差は、1才魚と2才魚のほとんどの個体が産卵に参加し、産卵後死亡すること、成長停滞期には0才魚に比べて成長率が小さいことによる。

各年令群の生産量を比較すると、いずれの年においても0才魚による生産量が年間生産量の50%近くを占めている。次いで1才魚、2才魚の順となり、高年令群ほど生産量が少ない。

0才魚の現存量はそれぞれの年で総現存量の1/5から1/3であり、3つの年令群のうちで最小であるにもかかわらず、その生産量が総生産量の約50%を占めているのは、廻転率が1才魚の2~3倍、2才魚の4~6倍もあり、各年令群の中で最も高いためである。

1978年の年間生産量を基準にすると、1980年の2才魚の生産量は小さいが、0才魚の生産量が大きいので、総生産量は1978年の値によく近似した。1977年には2才魚の生産量は大きい、0才魚

Table 4. Estimates of mean wet weight in gram (\bar{W}), mean population density per m^2 (\bar{d}), mean biomass in gram per m^2 (\bar{B}), production rate in gram per m^2 (P) and turnover rate for Amago population in Hirakura Stream.

Age	\bar{W}	\bar{d}	\bar{B}	P			P/ \bar{B}
				Apr. -Oct.	Nov. -Mar.	Total	
(1977) 0+-1+	5.53	0.0902	0.3961	1.0462	0.2647	1.3109	3.3094
1+-2+	29.08	0.0301	0.7662	0.7602	0.0835	0.8436	1.1010
2+-	82.62	0.0127	0.9639	0.6779	0.0591	0.7370	0.7646
Total	117.23	0.1330	2.1262	2.4843	0.4073	2.8916	1.3600
(1978) 0+-1+	6.84	0.1242	0.5997	1.2897	0.4210	1.7106	2.8524
1+-2+	38.13	0.0370	1.3273	1.3164	0.0674	1.3838	1.0425
2+-	67.52	0.0403	0.6737	0.3607	0.0811	0.4417	0.6556
Total	112.49	0.2015	2.6007	2.9935	0.5695	3.5630	1.3700
(1979) 0+-1+	6.67	0.1158	0.5909	1.5009	0.2822	1.7831	3.0176
1+-2+	34.79	0.0239	0.7561	0.6990	0.1727	0.8717	1.1528
2+-	77.96	0.0084	0.5805	0.3440	0.0359	0.3799	0.6543
Total	119.42	0.1481	1.9275	2.5439	0.4908	3.0347	1.5744
(1980) 0+-1+	6.18	0.1313	0.6062	1.5376	0.1700	1.7076	2.8168
1+-2+	31.97	0.0359	1.1366	1.3618	0.0977	1.4595	1.2840
2+-	65.55	0.0102	0.6429	0.2409	0.0467	0.2876	0.4473
Total	103.70	0.1774	2.3857	3.1403	0.3144	3.4547	1.4481

と1才魚とくに0才魚の生産量が小さくなっているため総生産量も小さくなっている。1979年には0才魚の生産量は4年間で最大であるにもかかわらず、1才魚の生産量が小さいために総生産量も少ない。生産量の多少は現存量の大小によっても影響される。1980年の2才魚の生産量が小さく、1977年のそれが大きかったのは前者の現存量が小さく、後者では大きかったためである。同様に、1977年と1979年の1才魚の生産量が小さいのは現存量が小さかったためであり、1977年の0才魚の生産量が小さかったのも現存量が小さかったためである。

以上の結果から、平倉川のアマゴ個体群の年間生産量は $2.9 \sim 3.6 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であり、調査期間中の年変動は小さく、生産量は安定であった。

考 察

本研究の結果から、平倉川におけるアマゴ個体群の生産速度は $2.9 \sim 3.6 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と推定された。この値を他の水域で得られている魚類の生産速度と比較すると Fig. 11 のようになる。これは MANN (1966), LE CREN (1969), MORGAN (1980) などの資料に我国のアユ (川那部, 1970), アマゴ (牧, 1972), タカハヤ (牧, 1972), オイカワ (牧, 1973), カワムツ (牧, 1976), イワナ (三浦, 1977), ウグイ (TATSUKAWA and MIZUGUCHI, 1981) など得られた数値を加えて示したものである。

この図から、淡水魚類の生産速度は養殖池で最も高く、次いで流水域、最も低いのが湖である。一般に養殖池では、施肥・給餌をして高密度で飼育されているために単位面積当たりの生産速度は

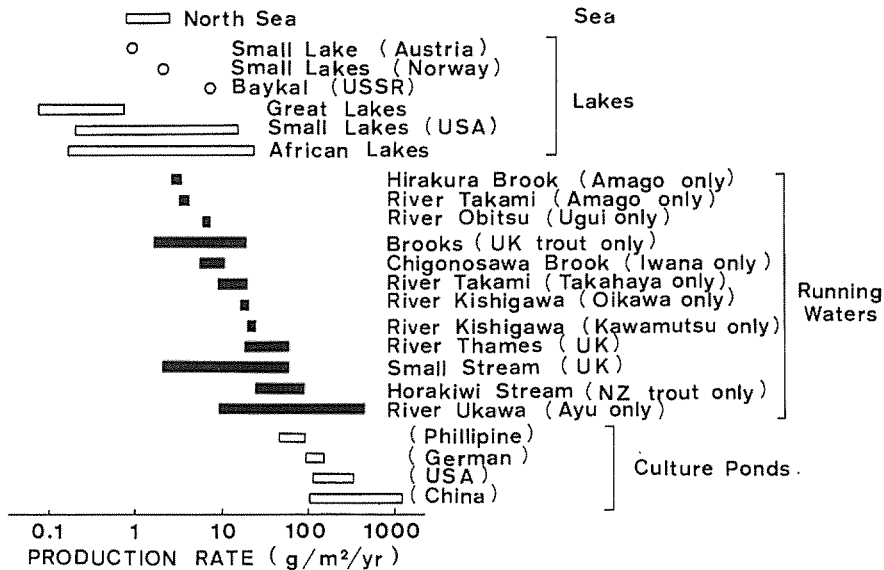


Fig. 11. Production rate of the Amago in Hirakura Stream, compared with production rates (black) and the yields to man (white) estimated from different habitats. (Modified from Kawanabe, 1970). Ugui: *Tribolodon hakonensis*, Iwana: *Salvelinus leucomaenis pluwies*, Ayu: *Plecoglossus altivelis*, Takahaya: *Phoxinus lagowski f. oxycephalus*, Oikawa: *Zacco platypus*, and Kawamutsu: *Zacco temminchi*.

当然大きい。しかし、湖は水深が大きく、生産性の低い部分の面積が広いために単位面積当たりの生産速度が小さい。

平倉川のアマゴの生産速度は流水域の魚類について得られている値の中で最も小さい。しかし、生産性の指標である P/\bar{B} の値は 1.1~1.5 であり、イギリスの小さな川の魚類の 1.3~3.7 (LE CREN, 1968), テムズ河の魚類の 1.5 (KANN, 1972), (高見川産アマゴの 0.64~2.12, アユの 1.84 (牧, 1972), 貴志川産オイカワの 0.65~0.82 (牧, 1973), 児野沢産イワナの 1.2~1.6 (三浦, 1980), 小櫃川産ウグイの 1.0~1.9 (TATSUKAWA and MIZUGUCHI, 1981) など比べて決して小さい値ではない。したがって、平倉川産アマゴの生産速度が低いのは、現存量(生息密度)が小さいことに起因しているものと考えられる。

齊藤(1975)および三浦(1977)によると、イワナの仔稚魚の生残は洪水の回数に左右され、降水量が多く、河川勾配の大きい流域では生残率が小さく、現存量も小さくなる。また、TATSUKAWA and MIZUGUCHI (1981) もウグイの生産量も洪水量によって左右されることを報告している。これらの結果から、平倉川のアマゴの現存量が小さい要因として、洪水によって0才魚の生残率が低くおさえられているものと考えられる。

このように上流域での洪水は稚魚の生残率を著しく低下させる働きをする。これに対して、河川の中・下流域の水量は、多量の降水があっても徐々に増加するので、稚魚は遊泳力が小さくても流れのゆるやかな場所への逃避が可能であり、死亡率への影響は上流域よりも小さいと考えられる。各河川の河床形態を比較すると、生産速度の高い順に、宇川は Aa-Bb 移行型ないしは Bb 型で川

幅は 13m, 貴志川は Aa-Bb 移行型で川幅 2~7 m, 児野沢は Aa 型で川幅 2 m, 高見川は Aa 型で川幅 3~5 m, そして平倉川は Aa 型で川幅 2~3 m である。平倉川は川幅が小さく典型的な山地溪流であり, 他の河川に比べ河川勾配が最も急である。したがって, 平倉川は多量の降水による影響を最も受けやすく, 他の河川に比べ 0 才魚の生残率が低いといえる。廻転率の高い 0 才魚の生残率が低いことは, 個体群全体の生産量を低くし, 1, 2 年後の 1 才魚, 2 才魚の生息密度に影響するため, 個体群全体の生息密度と現存量が小さくなる。すなわち, 最も上流域であり, 河川勾配の大きい平倉川は, 現存量が他の河川に比べると小さくなっているために生産量も小さいものと考えられる。

さらに, 生産速度に関係する大きな要因として, 餌量の問題がある。平倉川のアマゴの食性を調べた結果(名越・酒井, 1980)によると, 成長期には 80mm 以下の 0 才魚では, 水生昆虫が胃内容物中の容積比で 7 割以上を占めている。平倉川では 0 才魚は主として水生昆虫を捕食していることになる。平倉川の水生昆虫の現存量は, アマゴの成長期において平均 10gm^{-2} 以上であり, これは Aa 型あるいは Bb 型の河床形態を示す他の河川の上流域で得られている現存量(大串ほか, 1957, 渡辺・原田, 1976, 牧, 1980)と比較しても決して小さくなく, むしろ水生昆虫量は豊富である。高年令魚の餌として重要な陸生昆虫の量は, 本調査では明らかにできなかったが, 平倉川の周辺は灌木林で被われており, 陸生昆虫も豊富であると考えられる。また, 平倉川のアマゴの成長量は, 他の河川のアマゴ(白石, 1957, 牧, 1972)の成長量と比較しても大きな差が認められないことから, 平倉川のアマゴの生産速度が餌量によって左右されているとは考えにくい。

また, Fig. 11 から, 放流によって生産量が高められている Horokivi 川を除き, 天然サケ科魚類の河川における生産速度は河川に生息する他の魚類に比べ低いことがわかる。その理由として上述のように生息域が上流であるため洪水の影響を強く受け, 現存量が小さいことが考えられるが, それ以外にサケ科魚類の持つ食性と社会構造の特殊性が関与しているものと考えられる。

イワナ(斉藤, 1975)とアマゴ(名越・酒井, 1980)は渓流域でなわばり行動と Social hierarchy を持つため, これらの社会行動によって狭い水域での生産速度がより制限されている。また, これらの魚種はいずれも昆虫を中心とした肉食性であり, 二次生産者だけを餌にしていることが生産速度を小さくしているものと考えられる。これに対して, タカハヤとカワムツは渓流域から中流域にかけて生息する雑食性の魚類であり, オイカワは中・下流域に生息し, 藻類を主とした雑食性の魚類で, いずれも群生活をしている。したがって, 食性の面では幅があり, 社会行動の面での制約が小さいのでサケ科魚類より生産性が高くなるものと考えられる。

アユはなわばりを形成するが, 生息密度が高くなるとなわばり生活から群れ生活に社会構造を変えて生産性を高める(川那部, 1957)。しかも, 最も生産性の高い藻類を餌にしているのでアユの生産性が他の魚類に比べて極めて高くなっている。

以上のことから, 食性が肉食であり, 空間の占有行動が強固であり, 急な河川勾配をもつ溪流に生息するという特性がアマゴの渓流域での生産性を低くしている。

要 約

1). 1977年5月から1980年12月まで三重県の平倉川の渓流域においてアマゴの成長量および生産量の調査を行なった。

2). 個体群は3つの年令群によって構成され, 0才魚が約70%, 1才魚が約25%, そして2才魚が約5%であった。

3). 体長と体重の年間成長量は、0才魚では9 cm, 11.5g, 1才魚では6 cm, 43.5g, 2才魚では5 cm, 50g, であり、春から夏にかけて急速に成長するが、冬期には成長は停滞した。

4). 年間生産量は、1977年には 2.89gm^{-2} , 1978年には 3.56gm^{-2} , 1979年には 3.03gm^{-2} , 1980年には 3.45gm^{-2} であった。それらの成長量のほとんどは成長期の4月から10月の間に生産された。生産量の約50%は0才群によってもたらされた。

5). 種々の水域における魚類の生産速度と比較すると、渓流域のアマゴの生産速度は流水域の魚類の中では最も小さかった。このアマゴの低い生産性は渓流域の河川勾配が急であり、洪水の影響を受け易いために現存量が小さいこと、及びアマゴの食性並びに社会構造などの種の特異性に起因するものと考えた。

本研究に当たって多くの方々にご援助を頂いた。三重大学農学部附属演習林内で調査を進めるに当たり、同学部山本潔元助教と島地岩根助教をはじめとする演習林職員の方々には特に便宜をはかって頂いた。川上淡水養殖場の坂元忠一氏は実験のために心よく材料の提供、施設の便宜など様々な配慮をされた。また、三重大学水産学部海洋基礎生産学講座の方々には野外調査で多大な協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表わす。

文 献

- ALLEN, K. R., 1951. The Horokiwi Stream, a study of a trout population. *Fish. Bull. N. Z.*, 10: 1-231.
- CHAPMAN, D. G., 1951. Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological censuses. *Univ. Calif. Publ. Stat.*, 1: 131-160.
- CUINAT, R., 1971. Diagnoses écologiques dans quatre rivières à truite de Normandie. *Annales d'Hydrobiologie*, 2: 69-134.
- 藤村治夫, 1970. 山口県錦川におけるアマゴの生態について. 水産増殖, 17: 101-102.
- 可児藤吉, 1944. 渓流性昆虫の生態・昆虫(上). 研究社: 171-317.
- 加藤文男, 1973. 伊勢湾へ降海するアマゴ (*Oncorhynchus rhodurus*) の生態について. 魚類学雑誌, 20: 225-234.
- , 1978. 琵琶湖水系に生息するアマゴとビワマスについて. 同誌, 25: 197-204.
- 川合禎次, 大杉谷セツ釜附近で得たアマゴの食性. 大杉谷・大台ヶ原山の自然: 21-24.
- 川那部浩哉, 1957. アユの社会構造と生産一息密度と関連づけて一日生態会誌, 7: 131-137.
- , 1970. アユの社会構造と生産Ⅱ—15年間の変化をみて—同誌, 20: 144-151.
- LE CREN E. D., 1969. Estimates of fish populations and production in small streams in England. In *Symposium on Salmon and Trout in Streams*. ed. T. G. Northcote: 269-280. Univ. British Columbia.
- 牧 岩男, 1972. 高見川の大又付近における魚類の生産量. 吉野川の生物生産力の研究, 4: 41-48.
- , 1973. 和歌山県貴志川におけるオイカワ (*Zacco platypus*, *Cyprinidae*) の未成魚および成魚群における生産速度の季節変化. 和歌山大教育紀要, 自然科学, 23: 37-50.
- , 1976. 和歌山県貴志川の支流におけるカワムツ (*Zacco temmincki*, *Cyprinidae*) の個体数, 生長および生産性の季節変化. 同誌, 25: 5-14.
- , 1980. 和歌山県日置川における中・下流域の大型底生動物群集—I. 河床型, 地域および季節間の比較. 陸水学雑誌, 41: 24-40.
- MANN, K. H., 1965. Energy transformation by a population of fish in the River Thames. *J. Anim. Ecol.*, 34: 253-257.
- , BRITTON, R. H., KOWALCZEWSKI, A., LACK, T. J., MATHEWS, C. P. and McDONALD, I., 1972. Productivity and energy flow at all trophic levels in the River Thames, England. In *Productivity Problems of Freshwaters*. ed. Z. Kajak and A. Hillbricht-Ilkowska: 579-596. Warsaw & Krakow: Polish Scientific Publishers.

- 三浦泰蔵, 1972. 個体群の動態—魚類を中心として—一集団と生態, 生物学講座, 朝倉書店, 8: 38-104.
- MORGAN, N. C., 1980. Secondary production. The Functioning of Freshwater Ecosystems. ed. Le Cren, E. D. and R. H. Lowe-McConnell, 22: 247-340.
- 名越 誠・森 鐘一・中野大三郎, 1972. 大杉谷の溪流性魚類と水生昆虫. 大杉谷・大台が原自然科学調査報告: 183-190.
- ・酒井寿之, 1980. 三重県平倉川におけるアマゴ *Oncorhynchus rhodurus* の体の大きさと食物の関係. 魚類学雑誌, 26: 342-350.
- 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放流試験(1). 岐阜水試報, 17: 35-50.
- 大串竜一・西村 登・吉沢八重子, 1957. 淵の底の昆虫群集とその現存量(1). 生態昆虫, 6: 87-99.
- PETERSEN, C. G., 1896. The yearly immigration of young plaice into the Limfjord from the German Sea, etc. *Rept. Danish Biol. Sta. for 1895*, 6: 1-48.
- RICKER, W. E. 1946. Production and utilization of fish populations. *Ecol. Monogr.*, 16: 373-391.
- 齊藤 雅, 1975. イワナにおける資源の利用と個体群変動の関係. 海洋科学, 7: 49-54.
- SEBER, G. A., 1970. The effects of trap respons on tag-recapture estimates. *Biomatics*, 26: 13-22.
- 白石芳一, 1958. 三重県馬野川産のアマゴに関する水産生物学的研究. 第五報, 食性に関する研究. 淡水研資料, (19): 1-23.
- ・鉄 健司・鈴木規夫, 1958. 同上. 第四報, 鱗に関する基礎研究. 同誌, (18): 1-19.
- ・鈴木規夫, 1957. 同上. 第一報, 外部形態学的研究・同誌, 1957. (9): 1-18.
- TATSUKAWA, K. and K. MIZUGUCHI, 1981. The production of Ugui (*Triborodon hakonensis*: Cyprinidae) in the headwaters of streams. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 1298-1302. 共立出版.
- 津田松苗, 1974. 陸水生態学. 水文学講座, 4: 119-126.
- 渡辺 直・原田三郎, 1976. ちりとり型金網による河川底生動物採集上の問題点, 陸水学雑誌, 37: 47-58.
- 山本潔美, 1974. 三重大学農学部附属演習林気象報告. 三重大農演習林報告, (9): 25-51.