

氏 名(本籍) せき 関 じ 二 ろう 郎

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 6 7 8 号

学位授与年月日 平 成 16 年 3 月 4 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項該当

学位論文題目 北海道太平洋沿岸域におけるサケ幼稚魚の摂餌特性と餌料環境に関する研究

論文審査委員 (主 査) 教 授 谷 口 旭
(副 査) 教 授 大 森 迪 夫
教 授 谷 口 和 也
助教授 遠 藤 宜 成

論文内容要旨

[はじめに]

日本におけるサケ (*Oncorhynchus keta*) の回帰資源は 1970 年代から増加し始め、1996 年には日本全体で 8,800 万尾を数えた。この資源量は、放流数の増大と、給餌飼育の導入による放流サイズの大型化と放流時期の調整によって達成された。しかし、一方では飼育期間の長期化により、飼育管理時のリスクや経済的負担の増大をもたらしている。これらの負担を軽減しながら人工孵化事業を安定的に継続するためには、放流後のサケ幼稚魚の自然界での生態と環境との関わりを明らかにし、サケの生態に応じた放流技術の改善をさらに進展させる必要がある。特に、減耗の大きい海洋生活初期における減耗の抑制が最も重要である。減耗の具体的なメカニズムについてはまだ十分に明らかにされてはいないものの、餌環境も重要な要因と考えられている。

サケ幼稚魚は、餌生物として動物プランクトン、稚魚、陸棲生物など多様な動物群を利用しているが、とりわけ浮遊性種の動物プランクトンを最も多く利用しており、動物プランクトンの生態的特性がサケ幼稚魚の餌環境を左右していると言える。したがって、沿岸水域における動物プランクトンの現存量や種の遷移、さらに鉛直的、水平的な分布特性などを明らかにして、それらに対応した放流技術を確立する必要がある。

本研究では、北海道の太平洋沿岸に位置する、広尾、静内および敷生の沿岸域において、サケ幼稚魚の分布、移動、成長などの生態特性を明らかにするとともに、動物プランクトン群集の種組成の変遷、鉛直および水平方向への分布と昼夜での変動などの解析を行った。さらに、得られた結果をサケ幼稚魚の分布およびその変化と対応することによって、サケ幼稚魚の摂餌生態に及ぼしている動物プランクトンの影響を明らかにした。それらの成果を受けて、サケ幼稚魚の効率的な放流方法を考究して提案する。

[調査海域および方法]

サケ幼稚魚の降海移動、分布および成長を明らかにするため、北海道の太平洋沿岸に面する広尾川と敷生川および東静内港に標識サケ幼稚魚を放流し、河川内、港湾内および沿岸域でサケ幼稚魚の採捕を行った(Fig. 1)。サケ幼稚魚の採捕時に、水温、塩分の測定および水平同時多層曳きにより動物プランクトンの採集を行った。また、動物プランクトンの鉛直日周移動および水平分布を明らかにするため、昼夜にわたる水平同時多層曳き採集と、ポンプによる連続航走水平採集を行った。採捕したサケ幼稚魚は尾叉長、体重を測定した。また、

胃内容物と動物プランクトンは湿重量を測定し、分類群毎の計数を行った。サケ幼稚魚胃内容物と動物プランクトンの組成データについて、(1) 木元 (1976) による類似度指数 (2) Morishita (1959) による重なり度指数 (3) クラスタ分析 (4) 主成分分析などの数理的処理を行った。

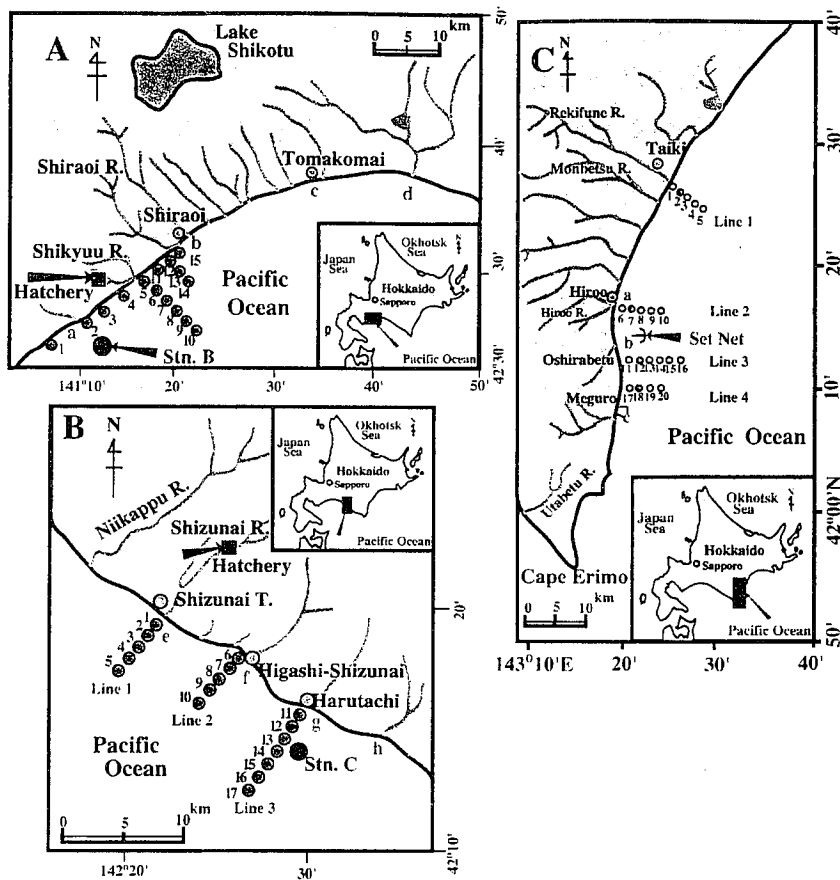


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Pacific coastal waters near Shikyu (A), Shizunai (B) and Hiroo (C), western Hokkaido. Arrows show the stations where marked juvenile chum salmon were released; open circles show the stations where measurements of temperature and salinity and collections of zooplankton and juvenile chum salmon were made; a-k: show the stations where measurements of temperature and salinity and collections of juvenile chum salmon were made.

[調査海域の海洋特性]

調査海域への流入河川はいずれも中小河川で流量は少なく、海岸線も単調なため、塩分 30 以下の低鹹域は距岸 3.6 km 以内の狭い範囲に過ぎない。調査海域の水温と塩分の経時変化の例として、1986 年の広尾沿岸での変化を Fig. 2 に示す。4 月下旬までは全層が沿岸親潮に覆われ、5 月中下旬には水温は上層で 5.9°C まで上昇するものの、下層の水温は依然として沿岸親潮に覆われてい

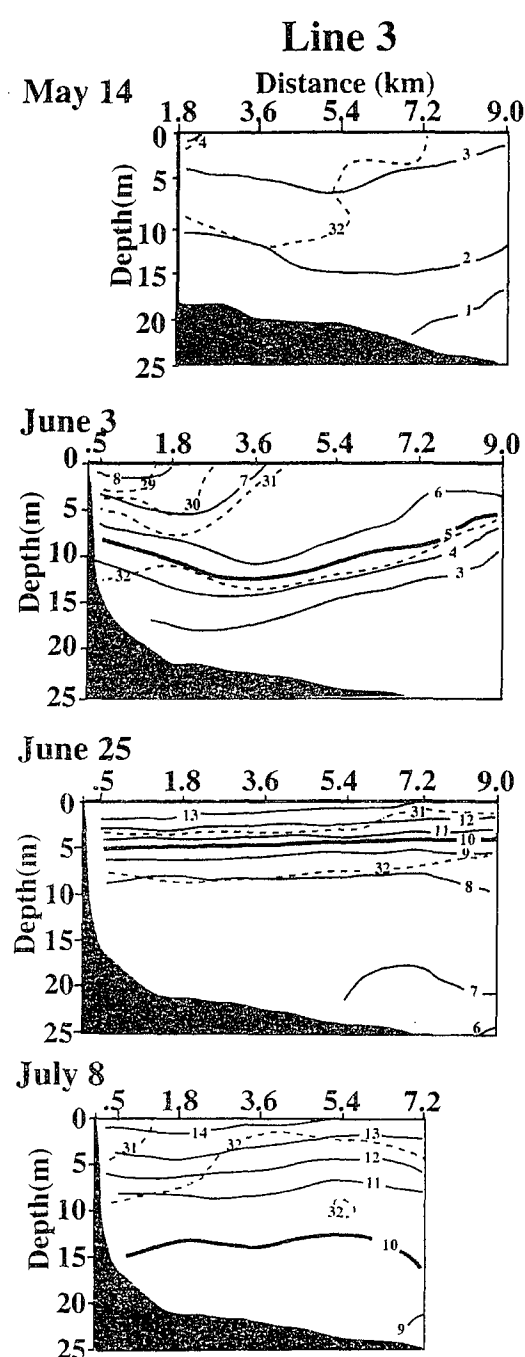


Fig. 2. Temporal changes in vertical distribution of water temperature (solid line) and salinity (dotted line) along Line 3 in Hiroo coastal waters from 13-14 May to 8 July in 1986.

性が高く、したがって成長量は実際の値より低く見積もられている可能性が指摘される。

た。6月になると、襟裳岬西側ではごく岸近くまで津軽暖流の影響を受けるが、襟裳岬東側の広尾沿岸では、7月上旬まで暖流の影響は小さかった。水温躍層は5月中旬以降に形成され、時期が遅くなるに従って発達した。

[サケ幼稚魚の分布特性]

河川内と沿岸域における標識サケ幼稚魚の分布から見て、尾叉長の違いによるグループ化が短時間に行われ、それらは異なった生息水域を選択している可能性が高い。サケ幼稚魚の河川から沿岸域への移動は数日以内の短期間に行われるが、沿岸域への滞留は放流後1ヶ月半以上が経過した6月下旬まで及んでおり、生息期間から見れば、河川に比較して沿岸域が重要な生息域となっていた。再捕された標識魚が放流点から直線的に移動したと見なした移動速度は、広尾沿岸では $4.4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、静内沿岸では $3.5\text{-}7.9 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ であった。また、標識魚の放流時と再捕時の尾叉長から求めた瞬間成長係数は、河川内では -0.0025 から 0.0057 であった。また、沿岸域では -0.0025 から 0.0121 で (Table 1), それらの瞬間成長係数はいずれも放流日から再捕までの期間が短いほど高く、河口からの移動距離が大きかった個体ほど高かった。移動距離は大型個体ほど大きかったことから、大型個体は調査水域外に出て行った可能性

Table 1. Computed instantaneous growth rates (IGC) of marked juvenile chum salmon during the periods from release to recapture in three different coastal area off Hiroo (HE, HL), Shizunai (SZ) and Shikyu (SE, SL).

Year Group	Period T (days)	Recaptured number	Mean fork length (mm) at		IGC
			Release (l ₀)	Recapture (l _t)	
1986 HE	April 10-June 3 (54)	1	41	79	0.0121
	-June 24-26 (75)	2	41	72	0.0075
HL	May 8 -June 24-26 (47)	2	46	88	0.0138
1987 SZ	May 12 -June 9-10 (28)	3	54	72	0.0103
1988 SE	March 25-April 11 (17)	26	49	47	-0.0025
	-April 18-20 (24)	12	49	53	0.0033
	-May 2 (38)	2	49	55	0.0030
	-May 30 (66)	1	49	53	0.0012
SL	April 26-May 10-11 (14)	17	57	64	0.0083
	-June 15-16 (50)	2	57	97	0.0106

$$IGC = (\ln(l_t) - \ln(l_0)) / T$$

北海道の太平洋沿岸では、6月上旬の早い時期から 150 mm 前後の大型幼魚が襟裳岬以東まで分布していた。これらは、付近の河川から放流された標識魚より大きいので、本州や北海道南部から、早期に放流された稚魚が回遊したものであると考えられた。また、これらの分布海域は全て距岸 1.8 km より岸側で、定置網への連続入網日数が最大でも3日間と短期間であることから、岸寄りの水域を活発に移動していると考えられた。

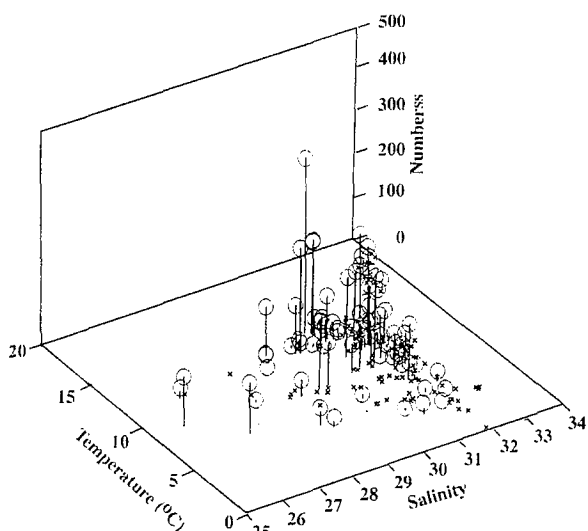


Fig. 3. Numbers of juvenile chum salmon captured with a purse seine net plotted against distance from the shore and the surface temperature and salinity in the coastal waters off Hiroo in 1985-1986 and off Shizunai and Shikyu in 1987-1988.

りの水域を活発に移動していると考えられた。

サケ幼稚魚は、5月上旬から6月上旬までは港湾を含む岸沿いに分布し、表面水温の上昇とともに沖合に分布域を拡大した。沿岸域でのサケ幼稚魚の密度は、水温 5°C を越えると高まり、特に表面水温 10°C 前後で塩分が 30-32 の間で最も高くなり、13 度以上は減少した (Fig. 3)。また、尾叉長により分布水域が異なり、小型の個体は岸寄りに、大型になるにしたがって沖側に分布した。サケ幼稚魚が沖側へ分布を拡大してから3週間後で沿岸での分布が見られなく

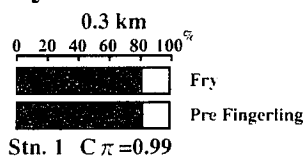
なり、その間に活発に移動したと考えられた。

[サケ幼稚魚の摂餌特性と胃内容物解析]

サケ幼稚魚の分布密度および空胃率には地理的な差異が認められ、これらは餌環境の善し悪しを反映していると考えられた。また、同一採捕群でも平均胃充満度や空胃率の変動が大きく、一部の個体は十分な餌を得ていた。このような変動は餌生物との遭遇の機会の違いを反映していると考えられた。主な餌としては、浮遊性の動物プランクトン群が90%以上を占めていた。また、羽アリやユスリカ幼生などの陸起源動物群も多量に摂餌されており、沿岸域における餌の量的な問題を考える際に十分考慮する必要がある。

1986年の広尾沿岸で異なる発育段階のサケ幼稚魚が採捕された5月13日

May 13



June 24-25

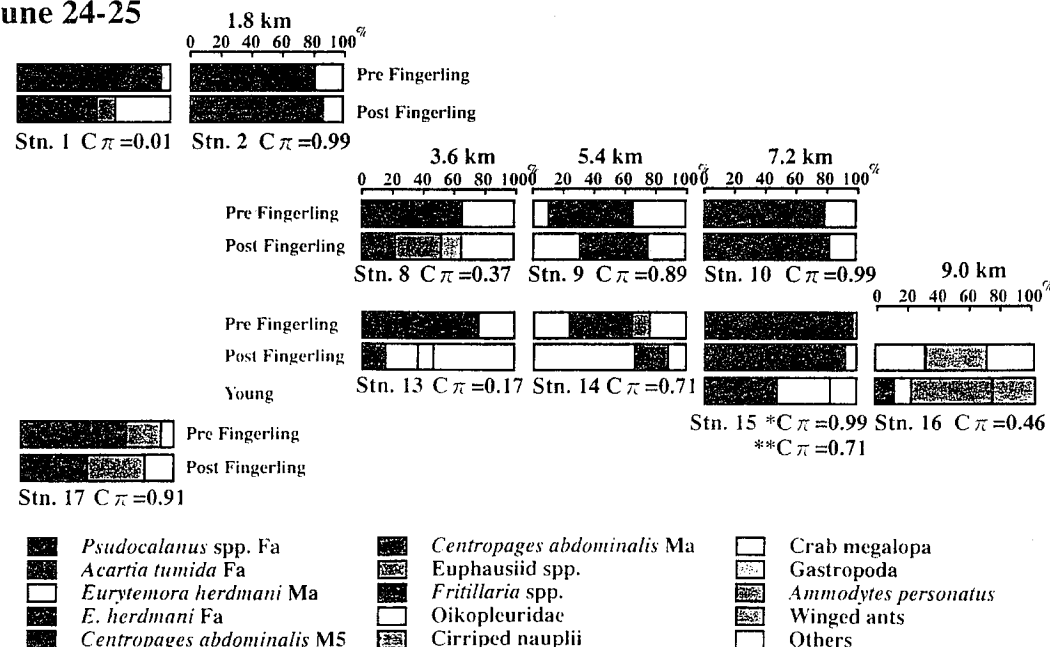


Fig. 4. Mean composition of stomach contents similarity indexes ($C\pi$) between the contents of juvenile chum salmon at different stages in the coastal waters off Hiroo captured at different stations on different days in 1986. All the items that occurred in or more than 10% of stomachs examined. *: between Pre-fingerling and Post-fingerling; **: between Post-fingerling to Young.

と6月24-25日では、同一定点での異なる発育段階間の胃内容物の類似度指数は多くの定点で0.7以上と高く、発育段階による餌の選択性の変化は無いように見えた (Fig. 4)。また、胃内容物に対する主成分分析の結果でも、体サイズの差による胃内容物組成の違いは見られなかった。これらのことから、魚体サイズに伴う胃内容物の変化は選択性の差によるものでなく、魚体サイズによる分布空間の差が遭遇する餌生物群集の違いをもたらした結果であったと考えられる。

[太平洋沿岸における春季の動物プランクトン群集の特性]

広尾沿岸で春季から初夏にかけて卓越した動物プランクトンの優占種は常に冷水性種で、特にカイアシ類の *Pseudocalanus* spp., *Acartia tumida* および *A. longiremis* が優占し、暖水性種は *Fritillaria* sp. だけであった。これらの優占種は、日中に水温躍層より上層の10 m以浅に $5,000 \text{ inds} \cdot \text{m}^{-3}$ を超える高密度域を形成した (Fig. 5)。 *Pseudocalanus* spp., *Fritillaria* sp. および *A.*

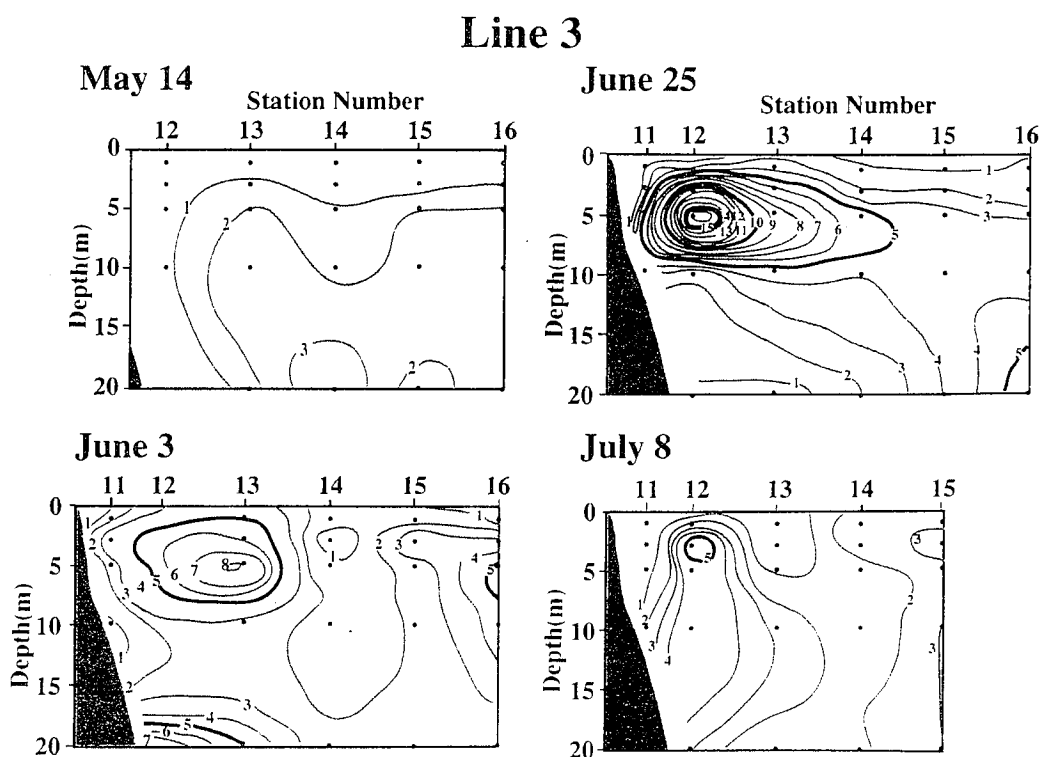


Fig. 5. Temporal changes of vertical distribution of total zooplankton abundance ($10^3 \text{ inds} \cdot \text{m}^{-3}$) along Line 3 in the coastal waters off Hiroo from 14 May to 8 July in 1986.

*tumida*はサケ幼稚魚の餌として利用されているので、この様な高密度分は表層を主な生息域とするさけ・ます類幼稚魚にとって有利な条件になっていると考えられた。

本研究海域では、春季から初夏にかけて動物プランクトン群集の現存量は、*Pseudocalanus* spp., *A. longiremis*, *Fritillaria* sp.および *Metridia pacifica* の4分類群の量によって決定されていた。このうち *M. pacifica* を除く分類群は、サケ幼稚魚の餌として摂餌頻度が高く、1回の摂餌で捕食される個体数も多かった。暖水性の *Fritillaria* sp.は、同じ暖水性種の *Evadne nordmanni* とともに、表面水温が上昇した6月に大量に出現し、しかも日中にも10 m以浅に極大分布層を形成するので、サケ幼稚魚の餌として高頻度大量に利用されることが明らかになった。これに対し、冷水性の *Neocalanus* spp., *A. tumida* および *A. longiremis* はともに、5月には日中に3 m以浅に、6月には昼夜を通じて下層に分布していた。その他の冷水性動物プランクトンである *Eucalanus bungii* および *M. pacifica* 個体数も、5月には表層に多かったが、6月には分布層が下降すると同時に現存量自体が減少した。このような動物プランクトンの現存量と分布深度の変化がサケ幼稚魚の餌環境を決定する要因となっていることが明らかになった。

太平洋沿岸域では、水温上昇は西側で早く東側で遅いという地理的傾斜が見られる。それに連れて動物プランクトン群集の現存量と種組成も変化し、現存量のピークは表面水温が8-10°Cになる5月下旬から6月上旬にかけて主に冷水性種によって形成され、暖水の影響を受け始める6月以降には、暖水性種が優占するようになると同時に現存量は激減した。すなわち、表面水温10°Cが餌環境の転換点の指標であると考えられる。

動物プランクトンの日周鉛直移動のパターンは種類やそのステージによって異なり、次の4タイプに分けられた。

- (1) 夜間のみ表層に移動し、日出から日没までは下層にいる (*M. pacifica*)
- (2) 常に下層に分布する (*E. bungii*)
- (3) 日出後に降下し、日没前に上昇する (*Neocalanus* spp.)
- (4) 常に上層に分布する (*Fritillaria* sp., *E. nordmanni*)

サケ幼稚魚は常に表面近くを遊泳しており、明るい時間に摂餌し、夜間にはほとんど摂餌しないため(帰山 1986, 入江 1990)、日周移動を行っても暗くなってから表面まで上昇する *M. pacifica* や常に下層に分布する *E. bungii* は餌として利用され難く、*Fritillaria* sp. や *E. nordmanni* のように常に上層に分

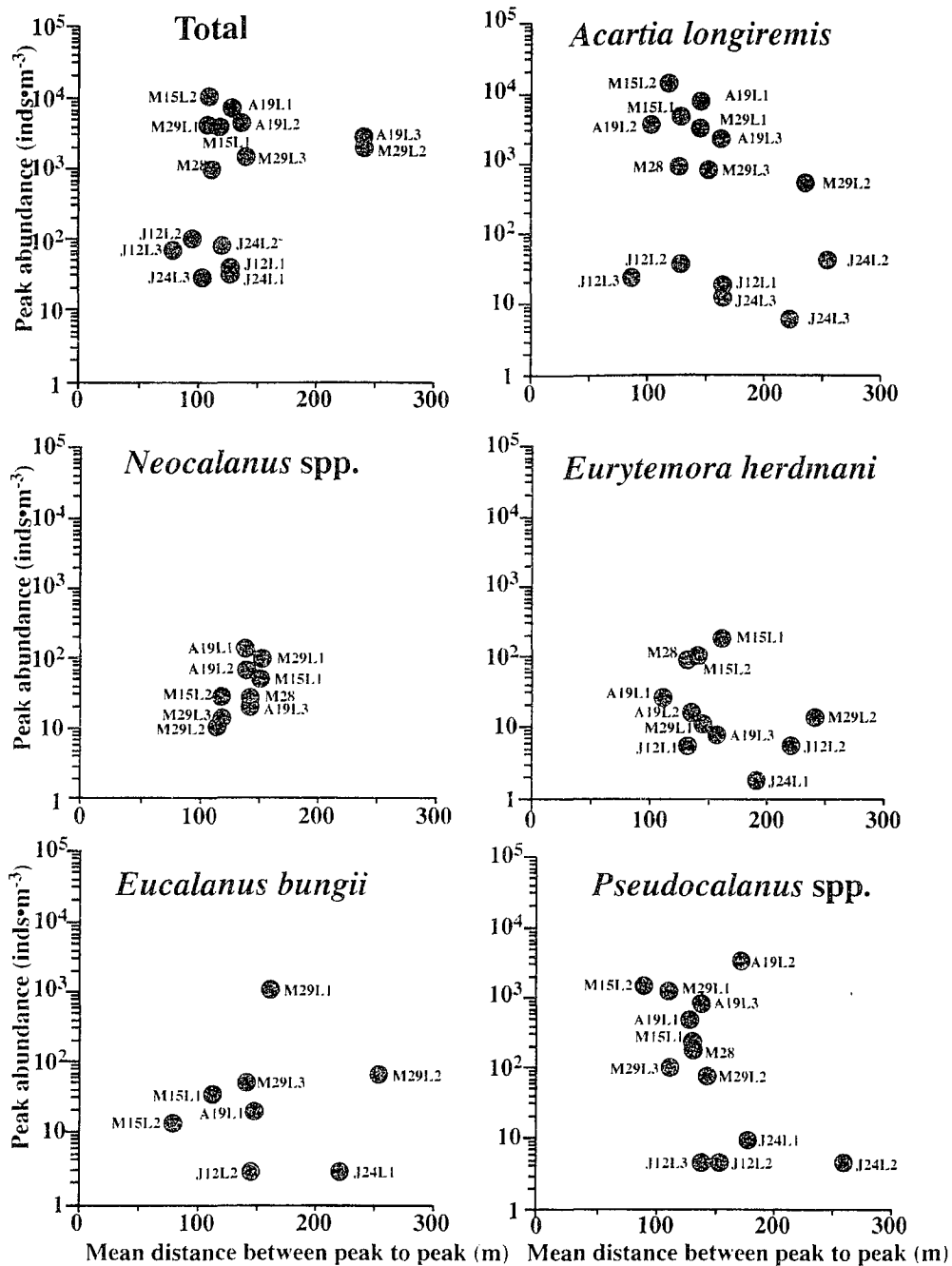


Fig. 6. Relationship of mean distance from peak to peak of zooplankton abundance and maximum number of zooplankton of total number in five dominant items and others at observation lines in the coastal waters off Shizunai from 28 March to 24 June in 1990.

布するタイプや、まだ明るい時間に上層まで移動する *Neocalanus spp.* のようなタイプは餌として利用されやすいと考えられた。しかし、最も岸寄りの定点では *M. pacifica* も利用されており、ごく沿岸域では、日中深層に分布してい

るはずの動物プランクトンが利用可能になる状況が生ずることを示している。その原因として、陸から海に向かって吹く風によって発生する離岸流と沿岸湧昇流（大谷 1986, 宇野木 1993）の物理的条件によって、海底付近に分布する動物プランクトン群集が表面付近へ移送されることがあると考えられる。また、河口付近やごく沿岸部では表層に低鹹水が安定して存在し、その中に汽水性の *Tortanus discaudatus* や *Eurytemora* 類などが高密度で集められるため、サケ幼稚魚の餌として利用されやすいが（関ほか 1982, 河村ほか 2000）、この現象は本研究でも根室海峡沿岸域で観察された。これらのことから、サケ幼稚魚の餌環境を評価するには動物プランクトン群集の現存量だけでなく、その構成種と種の昼夜移動分布パターン、生息水域の水温塩分構造、風成湧昇の発生条件などの重要性を指摘することができる。

静内沿岸における動物プランクトン群集のピーク間の平均距離は、ほとんどが 140 m 以内で、分類群別のピーク間の平均距離も、約 70% は 150 m 以内であった (Fig. 6)。このため、捕食者が相対的に分布密度の高い海域へ移動するための距離は、選択的に餌を利用する場合には、無選択に利用するよりも 10 m 長くなる。サケ幼稚魚の移動速度を $4.4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ とすると、この距離を移動するのに必要な時間は、約 4 分と計算される。また、静内沿岸では分布密度の高い 4-5 月には多くの分類群間での重なり度が高く、個体数の増減は同じ区間で生じていた。従って、餌として利用する分類群が単一でも複数でもその移動距離はほとんど変わらないため、餌環境の善し悪しは動物プランクトンの分布密度によって決定されることが考えられる。

多くの動物プランクトン個体群では、そのサイズ組成は水温と餌の量に影響され、餌が十分にあれば水温が高くなるに従ってサイズは小さくなり、水温が同じであれば餌の量が多いほど大型になる (Vidal 1980, Richardson 1999)。また、動物プランクトン体内に蓄積される油球の体積は餌の減少と水温の上昇によって減少し (Reiss *et al.* 1999)、体内に蓄積されるワックスとトリグリセライドも餌条件の悪化により減少する (Hakanson 1984)。1986 年の広尾沿岸域では、餌生物の最大部位長は、6 月 5 日の *Sagitta elegans*, *E. bungii* (Male adult および Female adult) および *Neocalanus* spp. (Copepodit 5) が 4 mm を越えた以外は全て 4 mm 以内であった。また、1986 年の広尾沿岸の動物プランクトン群集の体積では、 2 mm^3 以内に個体数の 97% が分布した。動物プランクトン群集のうち、最も優占したサイズ群は 5 月 13-14 日と 6 月 4-5 日には 0.10 mm^3 、6 月 24-25 日には 0.05 mm^3 であり、時期が遅くなる

に従って小型化した。また、サケ幼稚魚が利用していた餌のピークサイズも 5 月 13-14 日と 6 月 4-5 日には 0.10 mm^3 であったものが、6 月 24-25 日には 0.05 mm^3 に小型化していた。

北海道の太平洋沿岸域では春から初夏に向かって水温が上昇し、4 月以降にはクロロフィル a 量も減少するため、春から夏に向かって動物プランクトンの体サイズが減少するとともに、蓄積エネルギー量も減少していると考えられる。しかも、沿岸性動物プランクトンの多くでは繁殖期が早く、ブルーミングの後には新生若齢ステージの割合が多くなり、群集全体が小型化する。この様に、ブルーミングが終了した後は、サケ幼稚魚の餌環境は質的にも量的にも顕著に劣化すると判断される。特に、表層における餌群集の現存量は表面水温 10°C 前後を越える頃から低下し、そのサイズ組成も小型化するため、この間に成長したサケ幼稚魚が大型の餌を利用する能力を獲得しても、表層ではその能力を発揮することができなくなると考えられた。

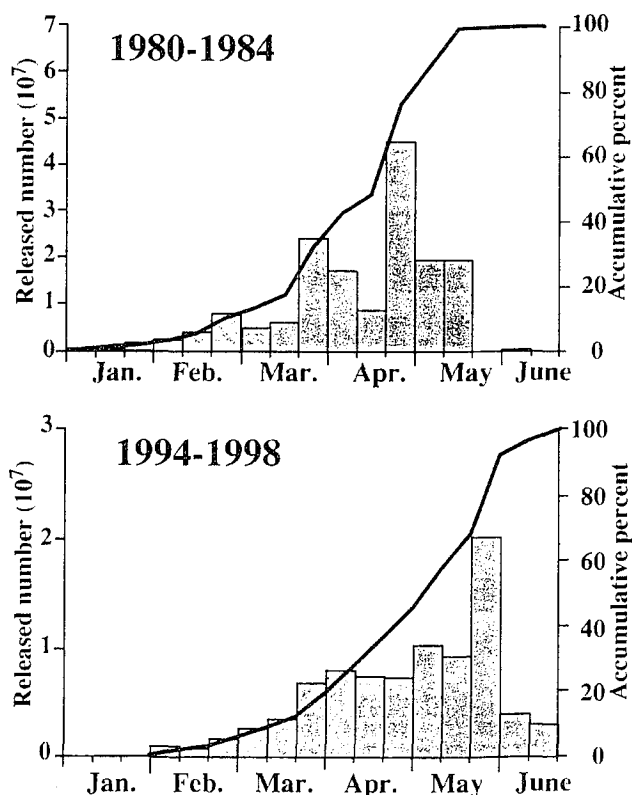


Fig. 7. Changes released pattern of the juvenile chum salmon between the earlier periods from 1980 to 1984 and later periods from 1994 to 1998 at the four river of Shikyu, Shizunai, Tokachi and Kushiro, southern Hokkaido.

[効果的な放流サイズ]

本邦産のサケ資源は 1970 年代から急激に増大した。その資源の造成は、生物学的な調査研究に基づく人工孵化放流技術の確立に負うところが大きく (Kobayashi 1980, Kaeriyama 1989), 特に給餌放流を行うようになってから回帰率は著しく向上した (帰山 1996)。サケの人工孵化管理では、採卵から放流までの期間の外敵による食害を防ぐとともに、餌の確保が安定的であるため、減耗率は 10-20% 程度と低い。しかし、サケ幼稚魚を自然系に放流した後は直接的な保護を施すことは不可能なので、健苗の生産とともに、生残率が低下

しやすい沿岸域での生態に即した放流を行うことが重要である。

1990年代から可能な限り沿岸水温が5°Cに達してから放流を行うようになり、放流時期は無給餌で放流していた時代に比較して2ヶ月以上遅くなり、放流サイズも大きくなった(Fig. 7)。しかし、サケ幼稚魚の沖合への移動時期はほとんど変化しないため、給餌放流は河川内と沿岸域での生活期間の短縮をもたらした。沿岸水の表面水温が5°Cに達する時期は融雪増水期にほぼ重なり、北海道の太平洋沿岸に流入する河川では4月下旬から5月中旬に相当する。一方、サケ幼稚魚が分布する上限水温はサケ幼稚魚の分布密度と尾叉長の減少から、ほぼ13°Cと見なすことができ、その時期は7月上旬である。サケ幼稚魚は放流後6月中旬までごく岸に近い沿岸水域に分布し、それ以降大型の個体から順に沖側へと移動していくと考えられる。

一方、本研究の結果、サケ幼稚魚の重要な餌である動物プランクトンの湿重量と個体数はともに5月下旬から6月上旬にピーク達することが明らかになった(Fig. 8)。すなわち、動物プランクトン現存量がピークを形成する時期にはサケ幼稚魚はごく沿岸域の狭い海域に分布し、動物プランクトン現存量の減少が始まるのとほぼ同じ時期に沖側へと分布を拡大することになる。ごく沿岸域におけるサケ幼稚魚の密度はかなり高いが、その時期の幼稚魚の体サイズは小さく、餌要求量が少ないため、狭い水域内に高い密度で分布することが可能になっていると推察される。しかし、表面水温が10°Cを越える頃から表層における餌群集の現存量は低下し、そのサイズ組成も小型化する。従って、この間に成長したサケ幼稚魚が大型の餌を利用する能力を獲得しても、表層ではその能力を

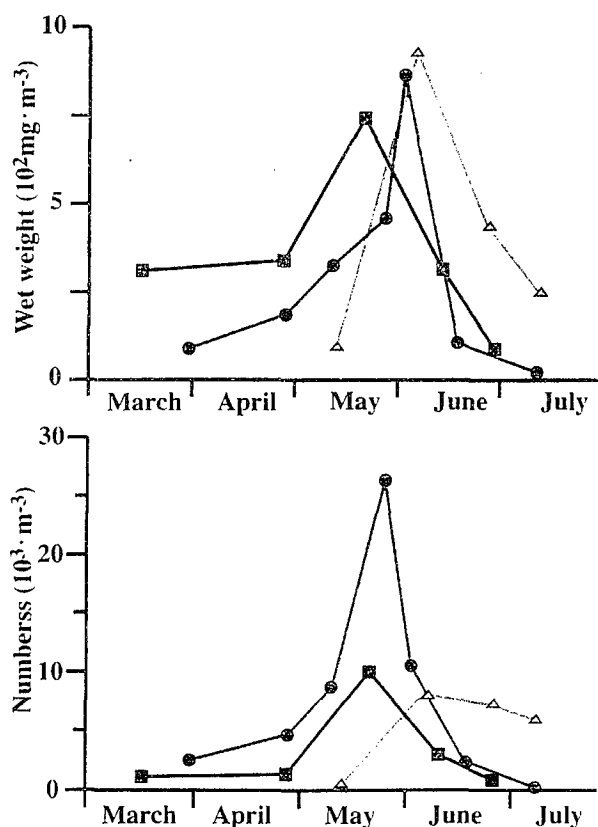


Fig. 8. Temporal changes in wet weight ($10^2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) and numbers ($10^3 \text{ inds} \cdot \text{m}^{-3}$) of zooplankton in the coastal waters off Hiroo in 1986, Shikyu and Shizunai in 1987. Blue line: Hiroo; red line: Shikyu; green line: Shizunai.

発揮することはできないことも明らかとなった。

サケ幼稚魚は主に表面付近を遊泳層とし（入江 1990, Moulton 1997）、未成熟魚の分布層は水温躍層の上部に限られている（待鳥 1967）。しかし、一方で Walker *et al.* (2000)は、成魚が高水温から逃避するために、夜間に浮上し、昼間に降下することを明らかにした。こうした鉛直移動能力がどの発育ステージに獲得されるかは明らかではないが、表面水温が 10°C を越える頃までにこの能力を獲得できたと仮定すれば、彼らは日中には水温躍層付近またはそれ以深に移動していたと見なしうる。それが正しいとすれば、この時期の胃内容物の主体が水温躍層に集中分布していた動物プランクトンであったという本研究の結果の説明がつく。そのように時期を追って摂餌水深を拡大することにより、ブルーム後にも餌の獲得が可能になり高い生産性が維持されているといえる。

サケ幼稚魚の放流開始時期は、前述のように、沿岸水温が 5°C に達した時期が目安となる。また、沿岸域から沖合への移動は 13°C 以上で起こると考えられ、この時期までに尾叉長で 70 mm、体重で 3 g に達することが必要である (Mayama 1985)。しかし、重要な餌である動物プランクトンは、表面水温 10°C 前後で量的、質的にピークとなり、これより高水温になると現存量は急激に減少する。したがって、サケ幼稚魚の成長に必要なエネルギーを沿岸域で十分に得られる時期は、動物プランクトンがピークになる 10°C 前後までと考えるのが妥当である。北海道の太平洋沿岸での春季の表面水の昇温には地理的な傾斜が見られるが、5°C から 10°C になるまでの日数は平均で 30 日間とみなせる。また、標識魚の追跡結果から求めた瞬間成長係数は -0.0025 から 0.0138 であった。ここで、瞬間成長係数を平均の 0.007 とすれば、沖合へ移動するための最低条件である尾叉長 70 mm、体重 3 g を満たすためには、表面水温が 5°C の時期に、放流時の尾叉長と体重はそれぞれ 56 mm と 1.6 g 以上で、放流時期が遅くなる場合には、遅れた期間内に沿岸域で達成されるはずの成長量を補うサイズで放流することが望ましい。

論文審査結果要旨

日本で漁獲されるサケ資源の大部分を維持している人工孵化サケ幼稚魚放流事業を安定的に継続するには、放流後の危機的な時期におけるサケ幼稚魚の生態を明らかにし、それに基づいた技術改善を図る必要がある。その危機的な時期が沿岸滞泳期であり、このときの減耗要因として重要なのが餌料環境である。餌料環境は、サケ幼稚魚の立場から見た時空間スケールで解析評価しなければならないが、過去にそのような研究を行った例はない。本研究は、北海道太平洋沿岸水域で、動物プランクトン群集の種組成の変遷、鉛直ならびに水平分布とその昼夜変動の観察結果とサケ稚魚の胃内容物解析結果とを対比して、稚魚の摂餌生態を基礎にした餌料環境評価に成功した。

本研究が遂行された北海道の太平洋沿岸域は、4月までは水温約1℃の沿岸親潮に覆われるが、5月には昇温し、6月以降には沖合から暖水塊が進入する。河川から海に出たサケ稚魚は、水温が10℃を超えるころまでは岸寄りの水域に分布して摂食成長し、水温が13℃を超える頃にほぼ全てが沖合海域へと移動していった。この間に餌として利用された動物プランクトンは延べ102分類群の多岐にわたったが、その中では常に冷水性種が優占し、その現存量が水温10℃前後でピークとなり、その後激減することが分かった。また、種組成は変化しなくても動物プランクトン群集の平均体サイズは時期とともに小型化することも分かった。すなわち、サケ幼稚魚の餌料環境は6月以降急激に悪化することが理解された。

多くの動物プランクトンは昼夜で分布深度を変え、ある種は夜にしか表層へ上昇しないが、他の種は明るい時間に表層に分布するということが分かった。サケ稚魚は常に表面近くに分布し、明るい時間にだけ摂餌するので、前者のタイプのプランクトンはサケの餌として利用され難いはずである。しかるに、このタイプのものがサケ稚魚に多量に捕食されていることがあり、それらは吹送離岸流の底層補流によって受動的に昼間表層へ移送されたものと推察された。また、ほとんどの動物プランクトンは水平的に不均一分布をしており、そのピーク間の平均距離はおよそ100 mにすぎず、この程度の移動距離でサケ幼稚魚は餌生物の群に遭遇できることが分かった。さらに本研究の著者は、以上の成果と従来知見とを総合して、まず、サケ幼魚が沿岸から沖合へ移動するときには体重が3 g、尾叉長が70 mmに達している必要があること、また、表面水温が10℃を超える頃までにこのサイズに達する必要があるとし、これとサケ幼稚魚の日間成長係数を併せて考察すれば、今後は、表面水温が5℃前後のときに体重1.6 g、尾叉長56 mmを超えるサイズの稚魚を放流するべきであると提言した。

以上のような多くの新知見と放流技術改善の具体的な提言は、サケの生物学の進歩はもとより、最も大規模に展開されている栽培漁業であるサケの放流事業の効率化に大きく貢献するものと期待できる。よって審査員一同は、本研究が博士（農学）の学位を受けるにふさわしいものと判断した。