サケ科魚類の川下りの生態と生理学

誌名	農林水産技術研究ジャーナル
ISSN	03879240
著者名	岩田,宗彦
発行元	農林水産技術情報協会
巻/号	17巻2号
掲載ページ	p. 7-15
発行年月	1994年2月

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

特　集　サケ・マスの資源培養と資源管理

サケ科魚類の川下りの生態と生理学

岩田　宗彦

北太平洋や北大西洋に面する諸国の人々にとってサケやマスは重要な水産食糧である。サケ科魚類には4属あり，いずれの属にも海洋を大回遊して生まれ故郷に回帰する習性をもつ種類がある。種類によっては回遊習性をもたず，一生を川で過ごす場合もあり，あるいは湖を海のかわりにする場合もある。特定の川の1種であっても，条件によって川で過ごしたり，海を回遊したりその生態は謎に包まれている。本報告はサケ科魚類のもつ不思議な降海回遊がどのように制御されているのか，そのメカニズムに迫ろうとする試みである。

1.　はじめに

釧路原野の雪が消えるころになると，ツルの群は落ちつかなくなり（restlessness行動）飛び跳ね行動を繰り返す。北国と南国を春秋に往来する動物はツルに限らず，ハクチョウやツグミ，ムクドリなどの多くの鳥類も同じような渡りを行う。巣立つ前のオオタカの筋肉トレーニングは涙ぐましいものがある。

動物の不思議な本能と考えられている長距離の渡り現象は鳥類でだけのものではないことは，クジラの仲間を考えれば理解できる。広く動物界を見回すと，規模の差はあれヒキガエルやイモリでも冬眠地と繁殖地は異なっている。ヒトは定住性の動物と考えられがちであるが，人種を問わず世界各地で焼き畑を営む民を考えると，ヒトも文化都市の周廊を取り払って自然生態系にとけ込めば，自然の摂理にしたがう回遊性動物かも知れない。

ここでは，回遊性魚類としてもっともよく知られているサケ科魚類の生まれてから川下りまでの多様な生態と，それを可能にさせる生理機能を概観して今後の研究がどの様な道筋でなされるべきかを考えてみたい。

2.　生態の多様性

三陸や北海道の川を旅立ちアラスカ沖まで旅するサケも回遊性動物の代表であろう。大西洋マスは北部ヨーロッパやアメリカ大陸から出発して北大西洋を数年間回遊して生まれた川に帰り産卵する。アラスカやカナダ，アメリカあるいはロシアの太平洋沿岸からもカラフトマス，ギンザケ，マスノスケ，ベニザケ，スチールヘッドなど，多様なサケ属の幼稚魚が太平洋の餌資源を求めて降海してくる。一方で，大方のニジマス，イワナなどは河川生活だけで，川下り

Munehiko IWATA: Behavior and physiology of seaward migration in salmonids

をしたり海で生活をいとなむことはない。淡水での生活をなにがなんでも守り抜くような種類も同じサケ科魚類の中にいる。

我が国に広く分布するサクラマスの仲間（地方型を含む）をみると，寒冷な北海道では成長が遅くしかも降海型であるが，東北地方では河川に残留する個体や降海する個体が混じりあう。もっと暖かい関東地方では河川の上流に残留する生活様式を持っている。イワナにも同様にオショロコマやアメマス，ニッコウイワナ，ホンシュウイワナなど色々な名前で呼ばれる地方型があり，海へ下るものや渓流で生涯を過ごすものがいる。本論で彼らの年齢を表現する場合，産卵されて1年未満の期間であれば0^+と，1年から2年未満では1^+と表している。

3. 人為的環境での生態の多様性

北海道立水産孵化場森支場で選別されたサクラマスは，ほとんどの個体で銀化変態が達成される。この系統は本州にも分譲されており，暖かな本州で飼育すると成長が速くなり変態の達成率は半分程に低下する。0^+の春に例外なくすべての個体が降海する種類には，カラフトマスとサケ（ここではシロサケと記す）がいる。春の降海期を過ぎた後，淡水中で維持することは困難である。これらの2種を淡水中で飼い続けた例や，淡水の五大湖に移植されて繁殖しているカラフトマスの例もあるが，降海期を過ぎた彼らを淡水で維持すると，夏至近くになると多量に死亡することが一般的で，淡水にも海水にも適応が難しくなる。降海期を過ぎた1^+サクラマスやギンザケでは淡水中に維持することは困難ではないが，これを海水に移すと体液の塩分過剰で死亡する。

ギンザケやスチールヘッド，ベニザケなどは1^+の春に例外なく海に下るが，日光の私達の研究池では淡水で生涯飼育することができる。日光支所ではすべての種類について海水を経験させることなく再生産させている。このことは，海水で生活することがサケ科魚類にとって必須の条件ではないことを示している。

4. サケ科魚類の生態多様性の総合理解

以上のように種々のサケ科魚類の生態をみると，あまりに多様性に混乱が生じるので，総合的にサケ科魚類内に保有されている生態を例種をあげて整理してみたい。

① 0^+の春に必ず海に下る種類（シロサケ）
② 1^+にまで成長してから海に下る種類または個体（ギンザケ）
③ 一生を川で過ごす種類または個体(ヤマベ)
④ 0^+で川から湖に下り，1年以上湖で成長して海に下る（ベニザケ）
⑤ 0^+で川から湖に下り成熟して川に戻る（ヒメマスあるいはコカニー）

こうしてみるとサケ科魚類全体としては淡水魚なのか海水魚なのかその本性がわからなくなる。そればかりでなくサクラマスのように状況に合わせて河川残留型でも湖生活型でも，あるいは降海回遊型にでも多様に適応できる種類もある。唯一共通な生態は淡水で産卵をする必要があることだけであろう。

サケ科魚類4属の小さな動物群にありながら，その生活の場は川の最上流から中流そして河口を経て広大な大洋にいたる。種の多様性だけではなく種内のバラエティーを通じて，この生物群が考えもつかない動物の適応性を内在していると考えられる。このことがサケ科魚類を魚類研究の材料としてもっとも魅力ある生物にしている理由と考えられる。それだけでなく，多様な生態をもつ生物界を対象とした水産業を根底から支えるための研究対象としてきわめて重要である理由は，この適応性を可能にする機構にあると考えられる。

5. 若齢期のなわばり生態

摂餌と成長が盛んな夏期に川の中のサクラマ

スやヤマベを観察すると，特定個体が縄張りをまもろうとする行動が顕著に認められる。あからさまに相手の尾柄部にかみつこうとするニッピング行動から，なわばり近隣の他個体を排除するパトロール行動，相手を尾後から追いかけるチェーシング行動など数種類に分類できるなわばり行動が観察される。なわばり行動は，摂餌が不活発な冬期間には低下する。とりわけ，銀化変態期になわばり行動は少なくなって，降海期には集団行動が一般的になる。

6. なわばり行動の役割

サケ科魚類が再生産を行う上流河川生態系は，季節により年により餌生物や捕食動物の資源量が大きく変化する。加えて，再生産される稚仔魚の資源量も年々変動する。したがって，河川がサケ科魚類幼稚魚に供給することができる餌資源量が充分である保証はない。特定の河川の収容力に幼稚魚の数をどのようにして調和させることができるか？生態系はサケ科魚類をして，許容される資源量に調整させているはずだ。いいかえれば，お互いに類似した生活環境に対する要求を持つサケ科魚類各種は，河川における資源量の調節機構を内在しているはずである。私達の研究室ではなわばり行動に関連していくつかの作業仮説をたて，順次その可能性を検討しているので，その一部の結果について説明する。

7. 種による攻撃性の強さ

サケ科魚類各種類毎の0^{+}魚の春・夏期における「なわばり性」の強度を調べるために，実験水槽内で飼育しながらサケ，イワナ，サルモ属11種で観察を行った。同種内の他個体に対する攻撃行動を指標として分析すると，攻撃行動の頻度によりこれらの種は4グループに分類できる[脚注1)]。攻撃行動がきわめて希弱なヒメマス，コカニー，シロサケ，ある程度攻撃性が認められるブラウントラウト，ギンザケ，イワナ，アマゴがこれに続き，さらに攻撃的なスチールヘッド，ニジマス，サクラマスのグループ，そしてカワマスがもっとも強い種内攻撃行動を示した。これらの結果は，浮上後間もなく降河する第1のグループではなわばり性が希薄で，1年間以上の河川生活を過ごす種では頻繁な攻撃行動をともなうなわばり性が強くなることを示している。

8. 銀化変態の進行にともなう攻撃性の変化

サクラマス1^{+}の銀化変態を鱗の銀白化と背鰭・尾鰭の黒色素沈着程度により4段階にわけ，この結果と攻撃性を比較した。もっとも強い攻撃性は銀化変態期以前のパー(parr)で認められ，変態の進行とともに減少して降海行動を始める後期スモルトでもっとも弱くなった。実験魚を淡水に維持し続けると，再度淡水適応を行って退行スモルトになるとともに攻撃性が強くなった。以上の結果は，降海型へ変態が進行すると攻撃性が弱くなってなわばり生活から集群生活に移行することを示している。

銀化変態が甲状腺ホルモンの分泌により促進的に調節されることが知られている。そこで，あらかじめ甲状腺ホルモンで処理した個体で構成する群内の攻撃行動を観察すると，甲状腺ホルモン投与処理群の攻撃行動は対照群より弱くなる[1)]。これらの結果は，河川生活を中止して海洋生活に移行するために必要な銀化変態の生理機構が，あわせて海洋生活を集群で行うような行動様式に変化させていると考えられる。

9. なわばり内での順位とストレス

なわばり競争をする各個体同士では，競争す

脚注1） Hutchison, M.J. and M. Iwata: A comparison of nipping frequencies, of migratory and non-migratory juvenile salmonids in freshwater during summer. Hydrobiologia (submitted)

ることをどのように評価しているのであろうか？相手を傷つけるほどの闘争を行うので，少なくても，闘争の目的は“勝つ”ことにより，必要な空間を占有することにあると考えられる。

攻撃性が比較的強いサクラマス，ニジマス，カワマスを水槽内で飼育し，なわばりが安定した時点で採血を行った。なわばり内での各個体の順位は，まれに最上位2者の交代がおこることもあるが比較的に長期にわたり安定であり，その結果摂餌量の違いによる成長の差が現れる。ストレス強度の指標として血中に分泌される副腎皮質ホルモンのコルチゾルの濃度を測定した[2]。血中コルチゾル濃度はなわばり最上位個体（ドミナント）で低く，闘争に負けてドミナントのパトロール攻撃に曝される個体では常に高くなる。したがって，ストレスを回避するために劣位の個体はその生活環境を忌避する必要が生じると考えることができる。

10. なわばり性と降河行動の関係

水槽内で攻撃行動がほとんど認められないシロサケ，ヒメマス，コカニーの河川生活期は短く河川内では常に集団で生活する。これらの種の個体間の攻撃性は弱く，0^+春期に集団を大きくして降河し，海洋生活あるいは湖沼生活に移行するための降河行動が発現する。一方，攻撃性が強いサクラマスやカワマスは春期以降，なわばり行動が発現して河川に分散し，索餌場を確保することが知られている。これらの種では0^+夏期から秋期を通じて強い攻撃性が認められ，冬以降に銀化変態が進行すると攻撃性は低下する。しかし，なわばりを確保したサクラマスでは銀化が誘起されず大型の早熟個体（ヤマベ）に移行するものが認められる。甲状腺ホルモンにより銀化変態が促進されて海洋生活型になることと，攻撃行動が抑制されてなわばり性が消えて集群性になることとは機構的に連携した現象と考えられる。降河にともなって必要になる生態特性の誘発を，甲状腺ホルモンが同時に促進的に調節しているものと考えられる。

11. 生息場の照度選択行動

降海期以前に幼稚魚は河川内の水草群落，窪地，岩石などの日陰を好んで生息場にすることが知られている。しかし，降河行動を開始する直前には，昼間でもこれらの生息場から離れて他の小集団と合流することが観察される。降海期に達したシロサケ稚魚では，集団は大きくなると昼間でも降河を開始することが観察できる。これらの生態は，生息場に関して暗選択から明選択へ転換したことを示すものと考えられる。降河期の甲状腺ホルモンの血中濃度が急上昇する現象(T_4 surge)と，この明選択の誘発との関係を調べるために，人為的に甲状腺ホルモンをシロサケやギンザケに投与した。実験の結果は，甲状腺ホルモンが明らかに明選択行動を誘発することを示した。降河行動の最盛期には，昼間でもシロサケやギンザケなどの大きな群が下流に移動することが知られていることと一致した結果がえられた[3]。

12. 走流性の逆転

河川生活期の幼稚魚が生活域に定住するためには，常に川の流れと同じ速度で上流にむかって泳ぎ続けなければ下流に流されてしまって餌場を確保することができなくなるであろう。昼間であろうと夜間であろうと，各々の棲み場に魚が定位していることは昼夜観察を行うとすぐ理解できる。しかし，降河を始めて海に到達するためには，泳ぐ方向を逆転させて海にむけて泳ぐか，あるいは頭の方向だけは上流にむけて泳ぎながら，流速より遊泳速度を遅くして下流に流される必要がある。その日がくるまで生まれて以来一瞬たりとも離れることがなかった棲み場をどのようにして離れるのであろうか？

13. 種による走流反応の相違

サケ科魚類各種類の0^+魚の走流性を調べるために，回流水槽内で飼育しながらシロサケ，イワナ，サルモ属9種で観察を行った。海水適応能が発達した降海期のシロサケ稚魚は，強い負の走流性（下流に向かって泳ぐ）を示した。ドナルドソンニジマスも海水適応能が高かった時期に負の走流性を示した。降湖期のヒメマスでは海水適応能は発達しているが，前2者とは異なる負走流性の回泳行動を示した。しかし，1^+で降河する種，あるいは河川残留型と考えられる種では，負の走流性や回泳行動は観察されず，一定の深みで定位行動が顕著である[4,5]。

14. 甲状腺ホルモンと走流性[脚注2)]

降海期が過ぎて下流に向かう負の走流性が消失したシロサケ稚魚に甲状腺ホルモンを人為投与する。対照となった稚魚は時期外れであるため下流にむかって泳がないが，甲状腺ホルモンを投与した群の走流性は投与後3日で変化し，再び下流にむかって泳ぎだした。これらの結果は，甲状腺ホルモンが走流性を変化させて，降海行動を促進させる因子の1つであることを証明している。

15. 降河行動の開始

河川における各種サケ科魚類の降河行動が個体単位ではなく，集団で行われることはよく知られている。サケ科魚類は数日間隔で大きな集団ごとに川下りを行う。このことから推論すると，河川に広く分布する同種の個体の内，川下りの準備ができた個体間で出発のタイミングを同調させる必要が生じるものと考えられる。

脚注2） Iwata, M., I. Sato and H. Ida: Effect of thyroid hormones in the change of rheotaxis of chum salmon juveniles. (in prep.)

16. 甲状腺ホルモン分泌の同調

これまで調べてきた結果は，甲状腺ホルモン系がサケ科魚類幼稚魚の生息域を狭い川から海に広げさせるように働いているように考えられる。すでに知られているように，月齢[6]や降雨[7]が甲状腺ホルモンの血中への多量分泌をおこすことが知られている。

河川内の各個体に共通する信号の可能性として，春期に特有の環境因子の変化が稚魚の甲状腺ホルモン分泌におよぼす影響を調べた。0^+シロサケと1^+ギンザケ幼魚を用いて，サケ科魚類が生息する典型的な寒冷地の春先の気象から，照度変化，水温変化，水質，懸濁物などを条件として与えた。その結果，水中の懸濁物，新しい水質および水温変化が血中甲状腺ホルモン濃度を2倍から10倍に増加させるsurge現象をおこすことが明らかになった。このことから，河川内に広くおこる現象のいくつかが，河川内の降河可能な個体に対して甲状腺ホルモンの分泌を同調させる信号になると考えられる[8]。

17. 降河行動の人為誘発実験

6月初旬に湖へ降河する0^+ヒメマスを実験河川の上流池に飼育して甲状腺ホルモンを経口投与することにより，人為的に血中甲状腺ホルモン濃度を上昇させて降河行動の開始におよぼす効果を調べた。通常の餌を与える群を対照として，チロキシンやトリヨードサイロニンを投与して，それぞれの川を下る魚を赤外線センサーで個体数や時刻を計算機に入力させるシステムを開発した。

自然降河がおこったと考えられる6月上旬に1日だけ，対照群が実験群より多く降河した（この現象のまだ解釈はできていない）。しかし，7月までの13回の実験すべてで発生した降河個体数は，常に甲状腺ホルモン投与群の降河数が対照群より多かった。降河行動の誘発に対

する甲状腺ホルモンの促進効果については疑えない[9]。

18. 河口に到達した稚魚の海水適応

降河を始めた群れが河口近くに達すると河床の塩水くさびに遭遇する。河口域の行動は複雑であり，河口の形状と種の行動特性により汽水域での滞在時間は異なるようである。しかし，河口域に滞在している期間でもっとも大切なことは，それまでの淡水生活からみずからの細胞液の塩水濃度より3倍も高濃度な海水に適応するための準備をすることである。河口域に形成される各種濃度の汽水を利用して，また潮の干満を利用した巧みな群れ行動で，もっとも効率的に海水に適応するための生態が繰り広げられる。

我々は降海生態が単純なシロサケを用いて，河口汽水域の滞泳目的を知るために稚魚の滞泳場所とその場の塩分濃度ならびに血中ナトリウム濃度を測定した。川に稚魚がほとんどいない状態にしておいてから，ふ化場の出口を解放して多量のシロサケ稚魚を放流する。こうすることにより稚魚が海にむかって移動する速度を知ることができるし，海水への適応速度を知ることもできる。

稚魚は塩水くさびに達すると行動が複雑になるが，引き潮の始まりを利用して海水域に入り込み河口域に進入する。塩水くさびに泳ぎこんでからの群れの遊泳は俊敏で，秒速40cmの水中スクーターより速く沖にむかって泳ぐ。河口域で稚魚が群れている場所は潮によって変化するが，群れが存在する現場の塩水濃度は10～15パーミルの範囲でほぼ稚魚の体液の塩分濃度に近い。シロサケ稚魚は移動しながら体液浸透圧に近い場所を選択していると考えられる生態を示した。半日後の引き潮が始まるときに，河口域から再び海にむかって泳ぎだし湾内の岸近くに移動した。以上の観察と同じ条件の塩分濃度を稚魚に与えて，血中ナトリウム濃度の変化を観察すると，体内に過剰な塩分が入ることなく12時間で海水に適応することが証明できる[10]。

すでに降海に先立ち血中の甲状腺ホルモン濃度が上昇することを述べてきたが，当然この生理現象が海水適応能の向上に寄与する可能性が考えられた。そこで，チロキシンを餌に混ぜて腸管から吸収させたシロサケを，海水に投入して血中のナトリウム濃度の調節に対する効果を調べたが，甲状腺ホルモンが海水適応能の向上に関与すると考える結果をうることはできなかった[11]。この時期の甲状腺ホルモンは，恐らく行動調節に関与していると推測される。

19. 河口汽水域が無い川でのシロサケ稚魚の放流

小さな川の流れがいきなり太平洋に注ぐと河口汽水域ができない。このような川を稚魚が降海するとなると，上記の研究例から考えて過剰な塩分が体内に侵入して，降海直後の生残率を低下させる可能性があると考えられる。北海道襟裳岬の近くにこのような川があり，長年シロサケの放流効果があがらなかった。河口近くの流れの一部にバイパスを設けて池を造り，2年間にわたりシロサケ稚魚を収容して実験を行った。工事用の水中ポンプで海水を池まで導水して人工汽水域とし，あらかじめ稚魚を等浸透圧環境に順応させておこうと計画した。この人工河口汽水域で8時間過ごした稚魚を100％海水に移して，血中ナトリウム濃度の変化を調べたが，過剰な塩分の体内への侵入はおこらないことがわかった[12]。ここから放たれた稚魚は再び淡水河川を10分ほど下り，一瞬にして34パーミル以上の海水に飛び込んだ。鰭を切除して標識して回帰率を調べた結果，人工汽水の順応が回帰率を高める効果があることを証明することができた。

20. 塩分選択行動

適切な塩分選択水槽を用いると，魚自身がどの程度海水を好むかが行動によって示され，その結果に対して推論を加える必要がなくなる。シロサケやギンザケ幼稚魚を用いて，塩分環境の選択行動を調べた。

降海期の半数以上のシロサケ稚魚は2時間分の間に淡水から30％あるいは100％海水に移動する。19時間後にはほとんどの個体が100％海水に移っていた。降河期から1カ月の後に海水適応能が低下した5月に同じ実験を行うと，30％海水には移動できるが100％海水に移動するためには19時間以上必要とした[13]。

降海期が近づくと血中の甲状腺ホルモンが上昇することは繰り返し述べたが，副腎皮質ホルモン（魚の場合にはコルチゾル），成長ホルモンの血中濃度も上昇して海水適応の役割をになっていると考えられている。そこで，ギンザケの幼魚にコルチゾル，甲状腺ホルモン，成長ホルモン(oGH)をあらかじめ投与して塩分選択行動への役割を調べた。希釈海水に対する選択行動は甲状腺ホルモンとoGHの複合処理でもっとも強く，次が成長ホルモン単独処理，甲状腺ホルモンの順であった。効果は弱いがコルチゾルによっても海水槽に移動する行動が誘発された[14]。実験水槽による塩分選択行動も自然界における降海行動も，ともに慣れ親しんだ生活域を離れて未知の水域にむかうことに関しては共通である。これを魚の好奇心というならば，降海期には未知の水域に対する好奇心が強くなることが降河行動の引金の1つで，これには成長ホルモンと甲状腺ホルモンが関与していることになる。

21. 海水適応能

シロサケ稚魚を淡水で維持し続けると，降海期が終了した直後に海水適応能はかなり低下し[15,16,17]，成長にともなって再び機能は回復するようである[18]。そこで降海期後のシロサケ稚魚にシロサケ脳下垂体から抽出された成長ホルモン[16]を腹腔注射して18時間後，すなわち成長が促進された結果ではなく海水適応能に対する成長ホルモンの効果だけを調べた。海水に実験魚を投入してから，血中のナトリウム濃度の変化を追跡した結果，明らかに成長ホルモンにより海水適応能は向上した(Iwata 未発表)。同様の考えをニジマスの希釈海水に対する適応能に応用して，成長ホルモンと淡水適応に効果を有すると考えられるプロラクチンを投与すると，成長ホルモンは海水適応能を向上させ，プロラクチンは低下させた[19]。海水に適応しつつあるギンザケのスモルトを用いて海水適応を向上させるときの成長ホルモンの動向を調べた。上顎から鰓に分岐する大動脈にカニューラを挿入したスモルトの小部屋に海水を注入すると，下垂体から分泌される成長ホルモン量が増えるだけではなく消費量も増加する。すなわち，成長ホルモンの代謝率が高まることで海水に適応することが示された[20]。海水に進入した刺激が成長ホルモンの分泌量を増加させるばかりではなく，降海の段階では成長ホルモンを細胞内に取り込むための受容器の数や活性が向上していることを示唆している。受容体の遺伝子がクローニングされればさらに詳しい機構が明らかになるであろう。

22. おわりに

色々な種類のサケ科魚類の幼稚魚を扱いながら川を下る生態に焦点をあて，その独特な生態と生態を可能にさせる生理機能について概観した。現在も私達の研究室では，なわばり生態が川下りにどのように関与しているのか？環境のあらゆる刺激の中から，どの刺激を取り入れて必要な生理機構の機能開始に役立てるのか？雑多な刺激を脳が選別するメカニズムは具体的にどのようなものか？などの多くの疑問に答をみ

いだそうとしている。

本報告では川下りに焦点を絞って述べてきたが，回遊は溯河産卵を含めて一生の生態である。しかし，何千キロの広大な規模の自然生態系を研究対象にすれば，詳細な研究の効率的な進展を望むことはできない。したがって，回遊の研究に必要な現象を再現できる可能な限り小さな実験生態系を構築して，実験レベルで研究を進める必要がある。これまでに各種の実験モデルをつくって，サケ科魚類の回遊に関わるいくつかの現象を再現することができた。このような経験から150m程度の距離であっても，彼らの回遊現象を起こさせることができると考えている。世界中にまだこのようなモデル生態系を完成した国はない。我が国で造成して世界中の研究者とともに動物の移動回遊の謎に挑戦したいものである。このような施設から，近い将来明らかにされるであろう動物生態のメカニズムを利用して，生態系全体の保全と，必要な効率的生産との調和をはかることが可能になることを期待している。

謝辞

本研究の成果をうるために多くの共同研究者の協力をえた。小松志知子氏，STA フェロー Dr. M.J. Hutchison, Dr.I.S. Parhar, 北里大学水産学部　井田　齊教授，山森邦夫教授，同大学　山野目　健氏，大学院生　佐藤郁文氏，東京大学海洋研究所　平野哲也教授，田川正朋博士，長谷川早苗技官らと共同研究する機会をえたことに感謝したい。研究の一部は農林水産技術会議事務局の生態秩序（バイオコスモス）の一環として行った (BCP-93-IV-B-x)。

（養殖研究所日光支所　育種研究室長）

参　考　文　献

1) Hutchison, M. J. and M. Iwata (1993) Changes in levels of aggression in salmonids during smoltification and after T_4 treatment., 日本水産学会講要：p 153

2) Hutchison, M. J. and M. Iwata (1993) Plasma cortisol levels of dominant and subordinate masu salmon after aggressive interactions., 日本水産学会講要：p 153

3) Iwata, M., T. Yamanome, M. Tagawa, H. Ida and T. Hirano (1989) Effects of thyroid hormones on phototaxis of chum and coho salmon juveniles., Aquaculture, 82：329～338

4) 佐藤郁文・井田　齊・岩田宗彦（1992）サケ科魚類の海水適応能の発達と走流性の変化，日本水産学会講要：p 140

5) 佐藤郁文・井田　齊・岩田宗彦（1993）サケマス類の海水適応能及びスモルト変態による走流性の促進，日本水産学会講要：p 154

6) Grau, E. G., W. W. Dickhoff, R. S. Nishioka, H. A. Bern and L. C. Formar (1981) Lunar phasing of the thyroxine surge preparatory to seaward migration of salmonid fish., Science, 221：607～609

7) Yamauchi, K., M. Ban, N. Kasahara, T. Izumi, H. Kojima and T. Harako (1985) Physiological and behavioral changes occurring during smoltification in the masu salmon, Aquaculture, 45：227～235

8) Iwata, M., M. Tagawa, H. Ida, K. Suzuki and T. Hirano (1989) Changes in water quality induce thyroxine (T^4) secretion and seaward migration of salmonids., Hormones and the Environment, ed. by D. K. O. Chan Univ., Hong Kong: 137～138

9) Iwata, M. and M. Tagawa (1992) Effect of thyroxine surge on kokanee salmon migration-II. Inducement of downstream migration by thyroid hormones., Zool. Sci., 8: 1172

10) Iwata, M. and S. Komatsu (1984) Importance of estuarine residence for adaptation of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry to seawater., Can. J. Fish. Aqua. Sci., 41：744～749

11) Inconsistent effect of thyroid hormone alteration on seawater adaptability of fry of the chum salmon., Nippon Suisan Gakkaishi, 53：1969～1973

12) 小島　博・新谷康二・山下幸悦・佐々木義隆・宮本真人・黒川忠英・松原貞夫・岩田宗彦，海水馴致処理を経たサケの回帰，北海道水産孵化場研報，46：17～22

13) Iwata, M., H. Ogura, S. Komatsu and K. Suzuki (1986) Loss of seawater preference in

chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry retained in fresh water after migration season., J. Exp. Zool., 240 : 369～376

14) Iwata, M., K. Yamauchi, R. S. Nishioka, R. Lin and H. A. Bern (1990) Effects of thyroxine, growth hormone and cortisol on salinity preference of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)., Mar. Behav. Physiol., 17 : 191～201

15) Iwata, M., S. Hasegawa and T. Hirano (1982a) Decreased seawater adaptability of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry following prolonged rearing in freshwater., Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39 : 509～514

16) Iwata, M., T. Hirano and S. Hasegawa (1982b) Behavior and plasma sodium regulation of chum salmon fry during transition into seawater., Aquaculture, 28 : 133～142

17) Kojima, H., M. Iwata and T. Kurokawa (1994) Development and temporal decrease in seawater adaptability during early growth in chum salmon, *Oncorhynchus keta*, Aquaculture (in press).

18) Hasegawa, S., T. Hirano, T. Ogasawara, M. Iwata, T. Akiyama and S. Arai. (1987) Osmoregulatory ability of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, reared in fresh water for prolonged periods., Fish Physiol. Biochem., 4 : 101～110

19) Bolton, J. P., N. L. Collie, H. Kawachi and T. Hirano (1987) Osmoregulatory actions of growth hormone in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)., J. Endocrinol., 112 : 63～68

20) Sakamoto, T., M. Iwata and T. Hirano (1991) Kinetic studies of growth hormone and prolactin during adaptation of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch,* to different salinities., Gen. Comp. Endocrinol., 82 : 184～191