

学 位 論 文 題 名

サクラマス *Oncorhynchus masou masou* の
スモルト化に関する生理生態学的研究および
その増殖事業への応用

学位論文内容の要旨

サクラマス *Oncorhynchus masou masou* は、サケ属 Genus *Oncorhynchus* のなかで進化系統学的に古いタイプとされ、その自然分布も北太平洋のアジア側に限られている。サクラマスは我が国の沿岸漁業資源として重要な位置を占めており、内水面漁業および養殖業にとっても数少ない貴重な在来種のサケ科魚である。一方、サクラマスは産卵のために河川に遡上することで海洋起源物質を陸圏生態系へ運ぶことから、物質循環の担い手として位置づける考え方も強くなってきた。最近、我が国のサクラマス資源は減少傾向にあり、北海道の沿岸漁獲量は 1991 年の年間 1000 トンから 2001 年には 400 トンにまで減少している。その要因として河川を中心とする陸域生態系の生息環境の改変および破壊が深く関わっていることは否定できないが、サクラマスの生物学的特性が十分明らかにされていないことが、その効果的な資源の維持や回復に結び付かない原因のひとつと考えられる。本研究では、サクラマス幼魚が生活場所を川から海へ変えるときに起きる形態学的、生理学的および行動学的な変化であるスモルト化（銀化変態）を生理生態学的に明らかにすることを目的とし、スモルト期におけるサクラマスの河川・沿岸生活様式、スモルト化に及ぼす外部環境要因（水温と光周期）と内部要因（遺伝的形質）の影響およびその作用機序を究明した。さらに、スモルト化機序の研究成果に基づき、サクラマスの効率的な増殖技術の確立について提言した。

第 1 章では、野生スモルトを中心にサクラマス幼稚魚期の移動および分散を明らかにした。産卵床浮上試験から、稚魚は昼間より夜間に早期に浮上する個体が多く、浮上後は多くの稚魚が産卵床から下流 1 km 以内に分布し、少数の個体の下流 8 km まで分散することが分かった。標識放流試験の結果、幼魚の瞬間成長係数（SGR）は、春に高く、秋に低下した後、翌春再び増加する傾向を示した。上流域のサクラマスは SGR が夏に高く秋に低下して、定着率が比較的高かった。それに対して、中流域のサクラマスは秋に SGR が高く、定着率は低かった。このような成長と分布の空

間パターンの違いはスモルトの出現率とも関係し、中流域に生息するサクラマスは上流の個体よりもスモルトとなる確率が高いことを示している。北海道サクラマスのスモルト期は、北部河川集団（6月）の方が、南部河川集団（5月）に比べて遅いことが分かった。

第2章では、スモルト化過程における野生魚の甲状腺ホルモン（T4）、SGR および海水適応能の分析を行い、生理学的変化がサクラマスの生活様式および行動に及ぼす影響について明らかにした。幼魚の海水適応能は、春期中期スモルト期およびフルスモルト期で最も高かった。この傾向は、甲状腺濾胞組織および鰓弁の塩類細胞の組織学的観察結果と一致した。幼魚の血中 T4 濃度はスモルト期に上昇した。T4 が降雨増水と濁りにより急激に上昇（サージ）すること、スモルトの降海時期が河川水温により影響され、低水温の年の降海移動が一句遅れて開始することなどから、外部環境（濁りや水温）がサクラマスの行動やスモルト化に影響を及ぼすことは明らかである。

第3章では、飼育実験によりスモルト化に及ぼす外部環境要因（水温と光周期）と内部要因（遺伝的形質）の効果と作用機序を明らかにした。サクラマスは、越冬期に高水温（8℃）および長日処理（16L8D）すると、翌春にスモルト化を促進し、SGR を増加させた。一方、早春（3月）から長日処理した低水温（2℃）飼育区ではスモルトが全く観察されず、サクラマスのスモルト化が低水温（2℃）により抑制されることが分かった。

サクラマスの一腹仔を浮上からスモルト期まで一定水温（8℃）と一定光周期（16L8D 区、8L16D 区および 4L20D 区）で飼育した結果、スモルトは 8L16D 区と 4L20D 区では翌春に出現したが、周年長日で飼育された 16L8D 区では出現しなかった。サクラマスを一定水温（8℃）下で秋季（9月）および冬季（1月）に自然日長から長日（16L8D）処理したところ、翌春のスモルト化は秋季群で抑制され、冬季群で促進された。

一定水温（8℃）かつ自然日長下に置かれていた幼魚を、時期を変えて 3 つの異なる光周期（10L14D 区、12L12D 区および 14L10D 区）で飼育した。その結果、スモルト化は 10L14D 区と 12L12D 区では顕著に発現したが、14L10D 区では冬季移行群を除きほとんど観察されなかった。スモルト期は、自然日長下のサクラマスに比べて夏季移行群が早く、秋冬季移行群が遅い傾向を示した。これらの結果は、日長 14L 以上の光周期がスモルト化を抑制することを示すとともに、サクラマスの光周期応答が 14L-12L の間で変化することを示唆している。一定の環境条件（8℃水温・自然日長）で異なる地域の河川集団（古宇川系、風蓮川系および菅原川系）を飼育したところ、スモルト期は南部河川集団（古宇川系および菅原川系；5月）の方が東部河川集団（風蓮川系；6月）に比べて 1 ヶ月早かった。また、スモルト期の異なる河川集団を交配した F1 は、両親の中間時期

にスモルト化した。これらことは、サクラマスのスモルト期が遺伝的に固定されていることを示唆している。

第4章では、信砂川（増毛町）から標識放流された大型（27.6g）と小型（21.0g）のスモルトを沿岸域でサヨリ2艘曳き網により採集し、それらの沿岸生活と回帰状況を明らかにした。海水適応能は、小型スモルトに比べて大型スモルトが高かった。沿岸で調査期間中（沿岸水温 10～14℃）採集されたサクラマス幼魚は53個体で、そのうち標識魚は14個体であった。同所的に同時に採集された大型スモルト（2個体）と小型スモルト（11個体）の胃内容物はイカナゴ *Ammodytes personatus* を除いて異なり、大型スモルトが沖合性動物プランクトン（*Paracalanus parvus*）を卓越的に、小型スモルトが沿岸性プランクトン（Decapoda 幼生）と落下昆虫を多く摂餌していた。沿岸水温が14℃を超える時期（6月下旬）から採集個体数が減少したことから、この時期に標識スモルトは沿岸から沖合に生活場所を変えたと推察される。信砂川へ回帰した標識魚は、大型放流魚（124個体）の方が小型放流魚（52個体）より多く回収された。この結果は、同一スモルト集団では降海時の体サイズが大型の個体ほど生残率が高いことを示している。

総合考察を第5章でおこなった。サクラマスのスモルト化は、水温、光周期および遺伝的形質により影響を受けることが本研究により明らかにされた。スモルト化は、日長 14L-12L の間でそのトリガーが引かれ、冬季の低水温（2℃以下）により抑制されるが、翌春の水温上昇と日照時間の増加により促進される。またスモルト期は、河川集団固有の遺伝的形質とみなされる。サクラマスのスモルト化は、おそらく体内時計と深く関連する生物リズムが光周期と同調し、秋季の日長がトリガーとなっているのであろう。

本研究結果は、サクラマス増殖事業の進展に著しく貢献することが期待される。すなわち、スモルト放流は、稚魚放流に比べて高コストであるが高い回帰率が期待でき、我が国のように自然環境が阻害された河川に適応した増殖技術であるとみなされる。サクラマスのスモルト化は河川集団固有の遺伝的形質であるから、その増殖事業は地域集団を基本に構築する必要があり、人工種苗放流による野生魚への遺伝的攪乱リスクを回避すべきである。したがって、サクラマス増殖河川では、野生魚とのゾーニングを基本としつつ、野生魚と放流魚の生物学的特性をモニタリングすることが重要である。

学位論文審査の要旨

主査	教授	帰山雅秀
副査	教授	後藤晃
副査	教授	桜井泰憲
副査	教授	都木靖彰
副査	准教授	工藤秀明

学位論文題名

サクラマス *Oncorhynchus masou masou* の スモルト化に関する生理生態学的研究および その増殖事業への応用

サクラマス *Oncorhynchus masou masou* は、プリミティブなサケ属 Genus *Oncorhynchus* 魚類で、分布域が北太平洋のアジア側に限られている。サクラマスは沿岸漁業や養殖などの漁業資源のみならず、海洋起源物質を陸圏生態系へ運ぶことによる生態系サービスとしてきわめて重要な役割を果たしている。最近、我が国のサクラマス資源は著しい減少傾向にある。その要因として河川等の陸域生態系の破壊が深く関わっていることは否定できないが、サクラマスの生物学的特性が十分明らかにされていないことが資源の効果的な維持や回復に結び付かない原因のひとつでもあると考えられる。本研究では、サクラマス幼魚の河川・沿岸生活様式、スモルト化に及ぼす外部環境要因と内部要因の影響を生理学・生態学・遺伝学的に究明し、得られたスモルト化機序の研究結果に基づくサクラマスの効率的な増殖技術を提言することを目的とする。

第1章では、野生スモルトを中心にサクラマス幼稚魚の移動分散を明らかにした。稚魚は昼間より夜間に早期に浮上する個体が多く、浮上後は多くの個体が産卵床から下流1 km以内に分布し、少数の個体の下流8 kmまで分散することが分かった。標識放流試験の結果、上流域のサクラマスは瞬間成長係数(SGR)が夏に高く秋に低下して、河川定着率が比較的高かったのに対して、中流域のサクラマスは秋にSGRが高く、河川定着率が低く、スモルト出現率は高かった。北海道サクラマスのスモルト期は、北部河川集団(6月)の方が、南部河川集団(5月)に比べて遅いことが分かった。

第2章では、スモルト化過程における野生魚の甲状腺ホルモン (T4)、SGR および海水適応能の分析を行った。幼魚の海水適応能は、春期中期スモルト期およびフルスモルト期で最も高く、血中 T4 濃度も高かった。この傾向は、甲状腺濾胞組織および鰓弁の塩類細胞の組織学的観察結果とも一致した。血中 T4 が降雨増水と濁りにより急激に上昇（サージ）すること、河川水温が低いとスモルトの降海時期が遅れることなどから、外部環境（濁りや水温）がサクラマスのスモルト化に影響を及ぼすことは明らかである。

第3章では、数多くの飼育実験によりスモルト化に及ぼす外部環境要因（水温と光周期）と内部要因（遺伝的形質）の効果と作用機序を明らかにした。その結果、サクラマスのスモルト化は①光周期（日長 14-12L）でトリガーが引かれ、②冬季から翌春の水温と SGR の上昇によって誘因されることが分かった。また、サクラマスのスモルト期が遺伝的に固定されていることが、一定の環境条件下の飼育実験と異なる河川集団の交配実験からあらためて明らかになった。

第4章では、信砂川（増毛町）から標識放流された大型群（27.6g）と小型群（21.0g）のスモルトの沿岸生活と回帰状況を明らかにした。海水適応能は、小型群に比べて大型群が高かった。同所的に同時に採集されたスモルトの卓越餌生物は、大型群（*Paracalanus parvus*）と小型群（Decapoda 幼生と落下昆虫）で異なった。6月下旬以降（沿岸水温 14℃以上）幼魚の採集数が減少したことから、幼魚はこの時期に沿岸から沖合へ移動したと推察される。標識魚の信砂川への回帰数は、大型群（124 個体）の方が小型群（52 個体）より多かったことから、同一スモルト集団では降海時の体サイズが大型の個体ほど生残率が高いことを示している。

第5章の総合考察における結論として、サクラマスのスモルト化はおそらく体内時計と深く関連する生物リズムが光周期と同調しており、秋季の日長 14L~12L がトリガーとなり、翌春の水温と日長の増加で促進されること、スモルト期は河川集団固有の遺伝形質であるとみなすことができるといえる。本研究結果は、野生魚とのゾーニングをはかりつつ、効率的なスモルト放流技術を確立するための新たなサクラマス増殖事業への技術展開に著しく貢献することが期待される。

このように、本研究では古くから謎とされてきたサケ科魚類の生活史分岐である淡水残留と降海のメカニズムに取り組み、サクラマスのスモルト化を生態学、生理学および遺伝学の広い分野に及ぶ数多くの野外研究と室内実験により明らかにした。得られた研究成果は、サケ科魚類の生活史研究と進化生態学に著しく貢献すること、スモルト化メカニズムの解明が今後のサクラマス増殖事業の進展に大きく寄与することなどが高く評価される。よって、審

査員一同は申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。