

サケ類の環境収容力と地球温暖化

(かえりやま まさひで)

北海道小樽市 昭和24年4月20日生
 所属：北海道大学大学院水産科学研究院
 学歴

昭和43年3月 北海道立桜陽高等学校卒業
 昭和44年4月 北海道大学教養部水産類入学
 昭和48年3月 北海道大学水産学部水産増殖学科卒業
 昭和60年9月 水産学博士（北海道大学）学位取得
 職歴
 昭和48年4月 水産庁北海道さけ・ますふ化場 採用
 平成9年10月 さけ・ます資源管理センター調査課
 生物資源研究室長

平成10年4月 北海道東海大学工学部海洋工学開発
 工学科教授

平成12年8月 アラスカ・フェアバンクス大学水産海
 洋科学部客員教授兼任（現在に至る）

平成14年4月 北海道東海大学大学院理工学研究科
 研究科委員長

平成17年4月 北海道大学大学院水産科学研究院教
 授（現在に至る）

賞 罰 平成10年9月 日本動物学会論文賞

平成18年3月 日本水産学会水産学進歩賞

帰山雅秀

はじめに

一般に、海と川を行き来する魚のものを通し回遊魚といい、そのうち川で産卵し、産まれた後に海へ回遊し成長して再び河川へ産卵のために回帰する魚のことを遡河回遊魚という。ここで、サケ類とはサケ科サケ属魚類の遡河回遊魚のことを指す。サケ類は、シロザケ、カラフトマス、サクラマス、ベニザケ、ギンザケ、マスノスケ、ニジマス（遡河型はスチールヘッドトラウト）およびカッタスルット・トラウトの八種類からなるが、わが国には前四種のみが在来種として生息している。

なお、ニジマスは米国から移入された外来種であり、キング・サーモンとして有名なマスノスケやギンザケもわが国には自然分布しない。わが国では伝統的な食文化の影響を受けて、シロザケのみを「サケ」と呼び、それ以外のサケ類を「マス」と呼んでいた。例えば、北洋漁業華やかし頃までは、ベニザケやギンザケは「ベニマス」および「ギンマス」と言われていた。

ここでは、このサケ類の環境収容力と地球温暖化との関係を例に、今後の水産食料資源のあり方について述べることにする。

サケ類の環境収容力

わが国、とりわけ北海道に回帰するシロザケの資源水準は、一九七〇年代はじめまで三〇〇〇〜五〇〇万尾の低水準であったが、一九七五年頃より著しく増加し、一九八〇年代には三、〇〇〇〜四、〇〇〇万尾台、一九九〇年代には五、〇〇〇万尾台に達し、現在も高い資源水準を維持している。当

初、北海道シロザケが増加した原因は人工孵化放流技術の革新によるものと信じられていた。しかし、一九八〇年代後半以降、人工孵化放流技術と放流数に変化がないにも関わらず回帰資源が増加し続けたことから、人工孵化放流事業だけでは説明がつかなくなった。北太平洋全体におけるサケ類の長期的な資源変動をみると、実は自然再生産している野生のサケ類も北海道シロザケと同様に、三〇〜五〇年の周期性を示しながら、一九八〇年代以降著しく増加していることが分かる（図1）。

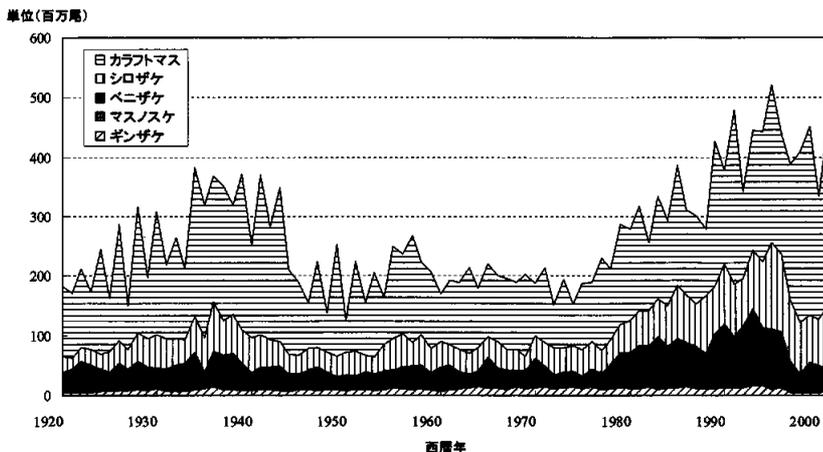


図1 サケ類漁獲数の時系列変化（1920-2001年）。

金魚鉢の大きさは、そこに生息するキンギョの数を制限する。金魚鉢が大きいほど、たくさんのキンギョを飼うことができる。しかし、同じ器の大きさでも、酸素を大量に供給したり、程度にもよるが餌を多く与えると、数多くのキンギョを飼育することができる。ある海洋に魚が住める「器の大きさ」のことを、その生態系の環境収容力という。サケ類の環境収容力は、気候変動などに起因する海洋生態系（ベーリング海）の動態により変化する。シロザケ、カラフトマスおよびベニザケのサケ類三種の環境収容力と気候変動の指数で

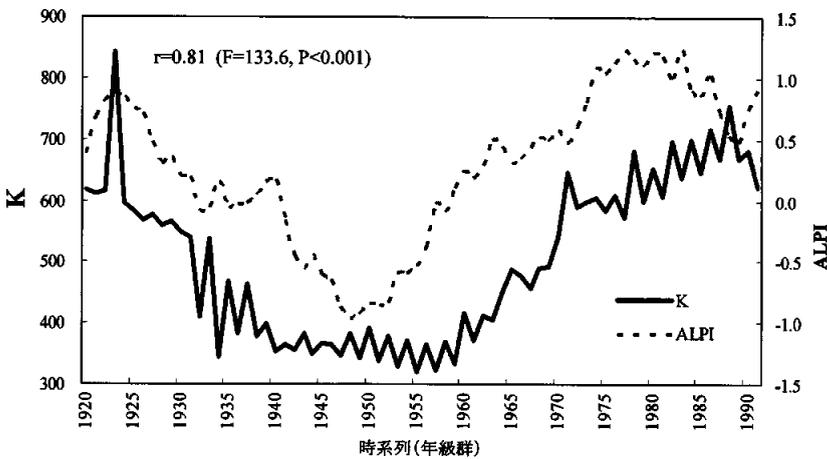


図2 サケ類の環境収容力 (K) とアリューシャン低気圧指数 (ALPI) の時系列変化 (1920-1992 年級群)。コホートとは、カラフトマスの奇数年級群と偶数年級群がそれぞれ 10 世代分、シロザケとベニザケがそれぞれ 20 年級群とした。ALPI は 1 コホート間の平均値で示した。

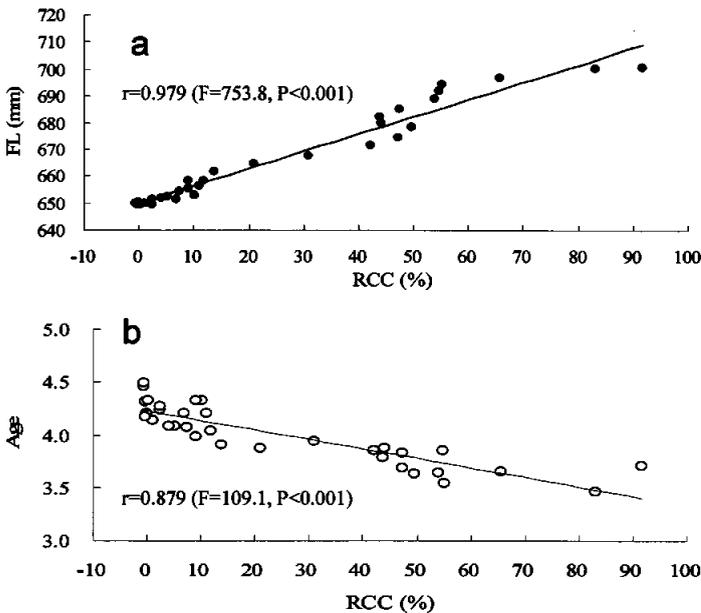


図3 北海道系シロザケの残存環境収容力 (A; RCC) と回帰親魚の平均体サイズ (FL) あるいは平均成熟年齢 (B; Age) との関係。

4) 両者合計のバイオマスは一九三〇年代

北太平洋におけるシロザケを、自然再生産している野生魚と人工孵化放流事業により再生産されている孵化場魚にわけて、両者のバイオマスの時系列変化をみると (図

あるアリューシャン低気圧指数 (ALPI) との関係を見ると (図2)、環境収容力は ALPI と同様の周期で変動し、両者には顕著な正の相関が観察される。

ベーリング海、特に大陸棚がよく発達した東部ベーリング海では、冬季にアリューシャン低気圧が発達すると嵐が多発するために、海水の攪拌が活発になり、海底に貯留していた栄養塩 (窒素やリンなど) が表層に持ち上げられる。さらにアリューシャン低気圧は反時計回りの渦流なので、南方から湿った暖気呼び込み、表層海水温 (SST) を上昇させる。その結果、植物プランクトンの顕著なブルームに例がみられるように、ベーリング海生態系の生物生産力は著しく高まり、結果

的にサケ類の環境収容力を高めることとなる (Beamish and Bouillion 1993; Brodeur and Ware 1992)。すなわち、わが国のシロザケをはじめ、近年のサケ類資源の高水準は、長期的な気候変動とリンクしたこの環境収容力の増加によりもたらされたことを意味する。

サケ類の環境収容力とバイオマスの差を残存環境収容力 (RCC) と定義する。なお、バイオマスとは漁獲数と産卵のために河川に遡った親魚の遡上数の合計である。北海道シロザケ個体群の RCC と回帰親魚の平均体サイズとの関係をみると (図3a)、両者には顕著な正の相関が観察される。このことは、環境収容力の余力が無くなるほど、産卵回帰する親魚の大きさが小型化することを表す。一方、北海道シロザケ個体群の RCC と回帰親魚の平均成熟年齢との関係をみると (図3b)、今度は両者の間に顕著な負の相関が観察される。すなわち、北海道のシロザケは RCC が少なくなるほど高齢化する。このような現象は、個体群生態学では密度依存効果といい、個体群密度が増加するほど個体群内の競争が激化し、個体レベルの成長速度が低下することに起因する。しかし、同じような現象はシロザケの種レベルでも観察されており、この密度依存効果は個体群レベルに止まらないこと表している (Kaeriyama and Edpalina 2004)。

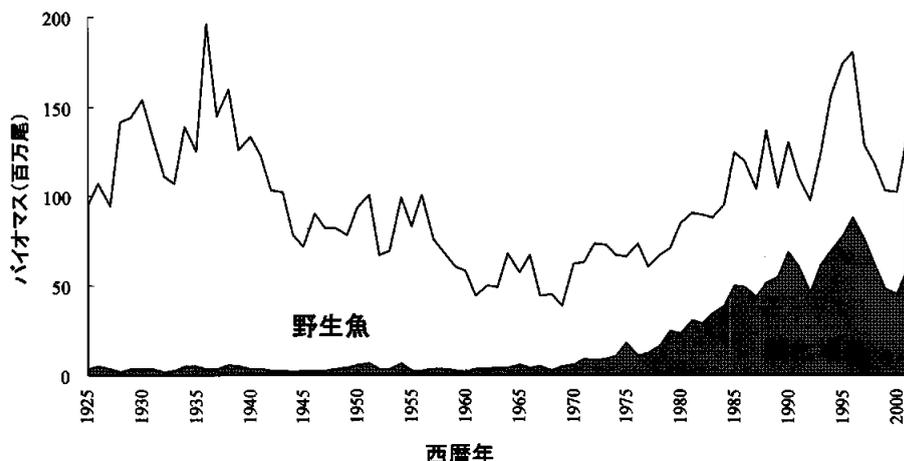


図4 シロザケの野生魚と孵化場魚のバイオマス変動(1925~2001年)。野生魚：自然産卵魚、孵化場魚：人工孵化放流により生産された魚。

と一九九〇年代ともにほぼ同レベルであるが、一九九〇年代の野生魚のバイオマスは一九三〇年代に比べ半分以下に減少している。一方、孵化場魚は一九八〇年代以降著しく増加し、一九九〇年代には全バイオマスの過半数を超えている。この現象については、(1)近年、シロザケの環境収容力は著しく高いが、ロシアなどの野生魚の再生産がうまくいかず、ベーリング海に空いた生態的ニッチに孵化場魚が入り込むことができた。(2)アラスカ

のプリンス・ウィリアム・サウンドのカラフトマスに見られるように、孵化場で飼育されて放流された大型の稚魚が沿岸海域で種内競争の結果、小型の野生魚に置き換わった(Hilborn and Eggers 2000)といった二つの仮説が立てられている。いずれの仮説が正しいか現在のところ必ずしも明かではないが、このことと上述のことを考え合わせると、増加した孵化場魚は密度依存効果を通して野生魚の成長にも影響を及ぼしているであろうことは容易に推察される。

このように、最近のシロザケには①環境収容力が著しく高いこと、しかし②孵化場魚が著しく増加しているのに対して、野生魚は減少傾向にあること、③増えた孵化場魚には密度依存効果が表れ、その影響が野生魚にまで及んでいる可能性が高いことなどが観察される。これまで、水産資源管理は、生息環境は不変であることを前提に再生産関係の最大持続生産量(MSY)を目標に、単一種ベースあるいは個体群ベースをターゲットに行われてきた。しかし、実際には生態系は不安定で常に変化しており、サケ類の環境収容力は気候変動とリンクして変化する。また、密度依存効果にみられたように限られた環境収容力の中でサケ類には種内相互作用がはたらく。これらのことは、今後の水産資源管理が種レベルや個体群レベルでは限界があり、海洋生態系をベースに持続的に資源の保護管理を行っていくことの重要性を表している。

地球温暖化がサケ類に及ぼす影響

北海道では、孵化場から放流されたシロザケは

直ちに降海し沿岸で二〜三ヶ月生活した後、オホーツク海へ移動して夏・秋季(七月〜一〇月)の間そこで生活する。サケ類の一生における生残率は降海直後と最初の海洋越冬期でほぼ決定されることが知られている(Healey 1982; Beamish et al. 2004)。すなわち、北海道シロザケは大型で降海し、オホーツク海で成長が良いほど、その生残率は高い(Kaeriyama et al. 2007)。

鱗分析に基づいてオホーツク海における北海道シロザケの成長量の経年変化をみると、一九九〇年代の成長が著しく良好であることが分かる(図5)。オホーツク海では、一九九〇年代に海水が著しく減少した。そのため、オホーツク海における海水面積の割合とシロザケ成長量との間には顕著な負の相関がみられる。また反対に、オホーツク海の夏・秋季の平均SSTとシロザケ成長量との間には著しい正の相関が観察される(Kaeriyama et al. 2007)。このことは、オホーツク海では冬季の海水が少なく、夏・秋季の水温が高いほどシロザケの成長は良好であることを意味する。さて、このオホーツク海の海水状態を北海道オホーツク海沿岸の流水接岸状態からもっと長期間にわたってみてみると、流水はこの百年間でほぼ直線的に減少している(Aota 1999)。丁度、気温が反対の傾向を示していることから、元北海道大学の青田先生は地球温暖化が確実に起こっていると述べている。

北海道、岩手県および韓国のシロザケの生残率の時系列変化(図6)をみると、北海道、特にオホーツク海沿岸や根室沿岸のシロザケの生残率は右上がりの傾向を示し、一九九〇年代に著しく増加していることが分かる。この傾向は先のオホー

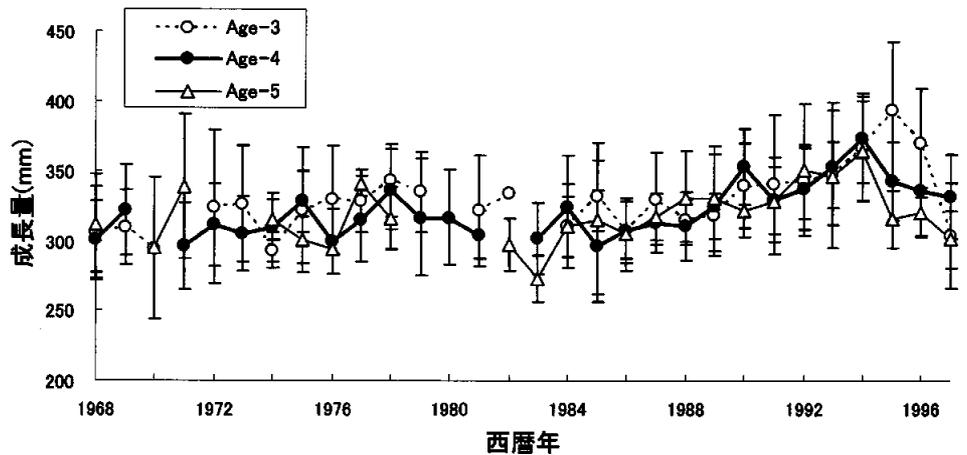


図5 オホーツク海における北海道系シロザケの成長量の時系列変化 (1970~2001年)。

ツク海における北海道系シロザケの成長パターンとほぼ一致する。一方、岩手県と韓国のシロザケの生残率は一九九〇年代後半以降著しく減少している。海洋初期生活期における岩手県や韓国のシロザケは、地球温暖化効果を強く受けている対馬暖流（津軽暖流）の影響を受ける。したがって、このような現象は、地球温暖化が北海道シロザケにとってはオホーツク海においてプラスの影響を、

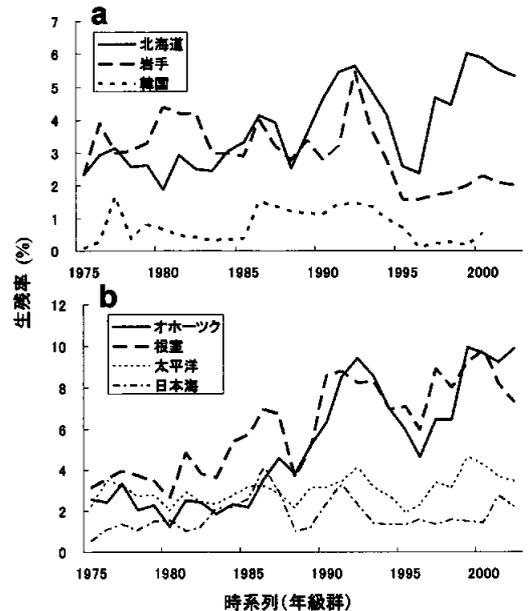


図6 北海道系、岩手系および韓国系シロザケの生残率の時系列変化 (1975~2002年級群)。

岩手県や韓国などの南方のシロザケにとっては対馬暖流域においてマイナスの影響を及ぼしていることを示唆している。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は、二〇〇七年の第四次報告書で人間活動に起因する地球温暖化が確実に起こっていることを断定した。この地球温暖化はサケ類に今後さらほどのような影響を及ぼすのか。ここでは、IPCCのSRES-A1Bシナリオに基づいて五〇年後および一〇〇年後のシロザケの状態について予測してみた。その結果、①北太平洋全体では、東部海域（アラスカ湾）での生息域の縮小が著しいこと、分布域が北方へ移動し、夏季には北極海の一部で生息可能となること、シロザケの環境収容力が減少すること、②北海道系シロザケは二〇五〇年までにオホーツク海への回遊ルートを失い、二一〇〇年までには生存が著しく困難となること、③ベーリング海では、シロザケは二〇五〇年までに環境

収容力が著しく減少し、密度依存効果が進むこと、二一〇〇年までには分布域を失うことが予測された。

水産食糧資源の持続性—今、私たちは何をしなければならぬか!?

海洋の生物資源である水産資源は本来再生できる持続可能な資源である。この点が、一度利用すると永遠に消失してしまう動物資源と大きく異なる点である。しかし、FAOの漁業統計によると、世界の漁業生産量は一九九〇年代に約一億トンのピークに達した後ゆるやかな減少傾向に転じはじめた（図7）。マグロ類を例にとると、漁業が開始される前の資源量に対して現在ではそのわずか一〇％にまで減少してしまったという研究者もいる (Myers & Worm 2003)。北大西洋のクロマグロはIUCN (国際自然保護連合) の絶滅危惧Ia類 (CR) に位置づけられるまでに減少した。また人間とのつき合いが長いタラ、特に大西洋のタラ漁業は乱獲の歴史といわれるまでに資源量を減少させている。

一方、養殖生産量は直線的に増加し、二一世紀にはいり年間五千万トンを超えた。そのため、漁業生産量と養殖生産量を合計した水産生産量は一九五〇年以降一見直線的に増加しているように見える（図7）。しかし、その内容を吟味するといろいろな問題が浮かび上がってくる。エビ好きの日本人は養殖エビを主に東南アジアから約二三万トン輸入している。東南アジアではエビ養殖場を造

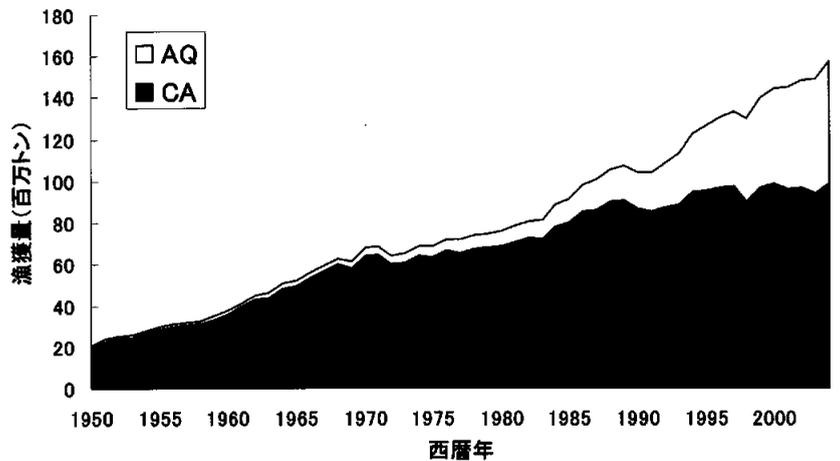


図7 FAO 漁業統計 (1950~2004年)。CA: 漁業生産量、AQ: 養殖生産量。

成することによりマングローブ林生態系が広域にわたり破壊されたばかりでなく、養殖に使われた大量の有機物や抗生物質による水質汚染が深刻化している (Primavera 2005)。また、わが国の特に若者に人気の高い回転寿司のサケは北欧あるいはチリなどで養殖されたタイセイヨウサケであるが、この養殖サケにはダイオキシンやPCBなどの有害化学物質が高濃度に蓄積されていることが分かっている (Hites et al. 2004)。このように、現在生産量が増え続けている水産養殖は地球生態系の健全性と人類の食料としての安全性に著しい

影響を及ぼしている。サケ類の人工孵化放流事業の功罪はすでに述べたとおりである。わが国の食料自給率は先進国の中でも最も低く、二〇〇四年段階で約四〇% (カロリーベース) である。その一方で、かなりの食料の食べ残しや廃棄が進んでおり、「輸入しては食べ残す飽食日本」(農林水産省 二〇〇六) などと揶揄される今日である。果たして、われわれは自分たちにとって大切な水産食糧をどのように持続的に守っていったら良いのか? それには、持続的可能な社会をめざすスウェーデンのバックキャストの施策 (小澤 二〇〇五) と順応的管理にみられるモニタリングとモデリングによるフィードバック機構 (帰山 二〇〇七) が重要であると考えられる。サケ類を例に、今後のアクション・プランを自然科学分野と社会科学分野に分けて以下に示す。

「自然科学」

1. 環境収容力「足るを知る」。生態系は常に不安定で不確実であること、その環境収容力には限りがあり、しかも変動することを熟知すること。水産資源管理は生態系をベースとした持続的水産資源保全にシフトする必要がある。
2. 生態系ベースのリスク管理。生態系のモニタリングとモデリングのフィードバック機構をベースとする「順応的管理」と、乱獲や地球温暖化などのように回復不可能な脅威にさらされている場合に十分な科学的情報がないなどの理由で対策を先延ばしすべきでないという「予防原則」をベースとすること。
3. 生態系の生物多様性の保全「川を守り、木を植えよう」。自然生態系と野生魚のリハビリテー

ションをはかること。サケ類の再生産の場は河川である。しかし、わが国の河川は自然生態系からきわめてほど遠い存在となってしまった。また、孵化場魚の再生産には成功したが、野生のサケ類はきわめて少ないのが現状である。近い将来訪れるであろう地球温暖化の脅威に対処するためにも、自然選択につよく、環境変動への適応力の高い野性魚を復活させるべきである。そのためには、魚が住める河川生態系がしっかりとしていなければならない。木を植え、河川の自然生態系を守ることが基本となる。同様のコンセプトは海洋生態系にも当てはまる。

「社会科学」

1. 食糧安保と経済「旨かろう、安かろうで良いか?」。わが国は、食糧自給率が著しく低く、食糧を輸入により海外に依存し、家畜飼料を大量に輸入している。そのことが結果的に、大量の有機物残滓を国土に蓄積し、局所的に富栄養化を来とし、地球生態系の物質循環の系を攪乱している (武内 一九九八)。また、先にも示したように、日本人のグルメ嗜好が世界中からマグロやエビなどを買集め、結果的に乱獲や生態系の破壊に手を貸している。一方、今世紀の著しい人口増加とアジアの経済発展などにより、水産食糧資源の争奪が世界ではじまろうとしている。われわれは、自分たちの食糧をどのように安定的に確保していったらよいのか、今こそ本心に真剣に考えるべきである。
2. 地産地消と食文化。北海道で漁獲されるシロサケ (約二一万吨) の1/3は中国へ輸出され一次加工された後に、再び欧米へ「ヘルシー」

サーモンとして輸出され好評を博している。一方、ダイオキシンやPCBなど高濃度に残留し食品としての安全性に不安が残る養殖タイセイヨウサケがわが国では回転寿司などで大量に消費される(二〇〇三〜二〇〇五)。日本の食文化は本来スローフードのはずである。わが国のあるべき食文化を食育などを通じて見直す時期が来ている。

引用文献

Aota, M. 1999. Long-term tendencies of sea ice concentration and air temperature in the Okhotsk Sea coast of Hokkaido. PICES Scientific Report, 12: 1-2.

Bearish, R. J. and Bouillion, D. R. 1993. Pacific salmon production trends in relation to climate. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50: 1002-1016.

Beamish, R. J., Mahnken, C., Neville, C. M., 2004. Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 133, 26-33.

Brodeur, R. D. and Ware, D. M. 1992. Long-term variability in zooplankton biomass in the Subarctic Pacific Ocean. Fish. Ocean. 1: 32-38.

Healey, M. C., 1982. Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 952-957.

Hilborn, R. and Eggers, D. 2000. A review of the

hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska. Trans. Amer. Fish. Soc., 129: 333-350.

Hites, R. A., Foran, J., Carpenter, D. O., Hamilton, M. C., Knuth, B. A., Sewager, S. J., 2004. Global assessment of organic contaminants in farmed salmon. Science, 303, 226-229.

Kaeriyama, M. and Edpalina, R. R. 2004. Evaluation of the biological interaction between wild and hatchery population for sustainable fisheries management of Pacific salmon. In Stock Enhancement and Sea Ranching, Second Edition: Developments, pitfalls and opportunities (eds. Leber, K. M., Kirada, S., Blankenship, H. L., and Svasand, T.), pp. 247-259. Blackwell Publishing, Oxford.

Kaeriyama, M., Yatsu, A., Noto, M., Saitoh, S., 2007. Spatial and temporal changes in the growth patterns and survival of Hokkaido chum salmon populations in 1970-2001. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. 4: 251-256.

棉山雅秀。二〇〇七。サケ類の生態系サービスの持続的資源管理と長期的な気候変動。pp. 131-139。ンシーム・シフト——気候変動と生物資源管理(川崎健、花輪公雄、谷口旭、二平章編) 成山堂書店、東京。

Myers, R. A. and Worm, B., 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature, 423, 280-283.

農林水産省。二〇〇六。わが国の食料自給率とその向上に向けて——食料自給率レポート。pp. 1

一四。小澤徳太郎。二〇〇五。スウェーデンに学ぶ「持続可能な社会」朝日新聞社、東京。

Primavera, J. H., 2005. Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. Science, 310, 57-59.

武内和彦。一九九八。食糧問題と地球環境。地球環境学六(武内和彦・田中孝編)。pp. 1-111。岩波書店、東京。



シロザケ