

日本系サケ資源の現状と今後の資源管理のあり方

調査課生物資源研究室長 かいりやま まさひで
帰山 雅秀

はじめに

20世紀初頭に16億人を数えた世界の人口は、今世紀末までに60億人を越えると予想されている。一方、世界の穀物生産量は、1950年の6.31億トンから、1990年には17.8億トンに増加した。しかし、その生産速度は1990年代以降明らかに減少している。世界の一人あたりの穀物生産量は、1984年に346kgの史上最高を記録した後減少の一途をたどり、1996年には313kgにまで低下した。また、世界の海洋漁獲量は、1950年に1,900万トンであったが、1988年に8,800万トンにまで増加した。この8,800万トンの漁獲量は、世界の放牧地における牛肉と羊肉の合計生産量を上回るものである。しかし、その後漁獲量の増加は観察されていない。むしろ、一人あたりの漁獲量は減少傾向にあり、1988年以降現在までに約9%低下した。また、最近の漁獲量は、増養殖の生産量に負うところが大きく、全漁獲量に占める増養殖生産量の割合は1989年の15%から、1993年には22%にまで増加した(Liao 1996; Brown et al. 1997)。われわれは、21世紀を間近にひかえ、地球上の人口の著しい増加と食糧需要の増大にどのように対処したらよいか、また水産蛋白資源の重要性を再認識して食糧としてどのように活用していったらよいかを熟考すべき時期にきている。

最近、先進各国が自国の食糧自給率を高めている中で、わが国のみが食糧自給率を低下させている。例えば、食糧のカロリー自給率は、米国とフランスが100%以上(食糧輸出国)、英国が70%台、ドイツが90%台を維持しているのに対して、わが国のそれはわずか46%にすぎない。超高齢化社会を直前にひかえたわが国では、食糧の安定的な生産と確保が重要な課題である。わが国のサケ(*Oncorhynchus keta*)とカラフトマス(*O. gorbuscha*)の資源は、調査研究成果に基づく増殖技術の発展と好適な海洋環境に支えられて、ここ20年の間に著しく増加した。サケの人工孵化放流事業は、栽培漁業や管理型漁業の成功例とみなされ、北日本沿岸漁業の基幹産業と位置づけられている。ここでは、水産蛋白資源の確保という観点から、わが国のサケ資源の現状と今後の資源管理のあり方について述べてみたい。

1. サケ資源の増加

北太平洋におけるサケ属魚類(*Oncorhynchus* spp.)の資源は、1980年代以降著しく増加しており、NPAFCによると1995年の総漁獲量は95万トンを超え、史上最高を記録した。サケ属魚類のうち、ベニザケ(*O. nerka*; 18.5万トン)がアラスカで、サケ(34万トン)とカラフトマス(38.4万トン)が日本とアラスカで著しく増加した。一

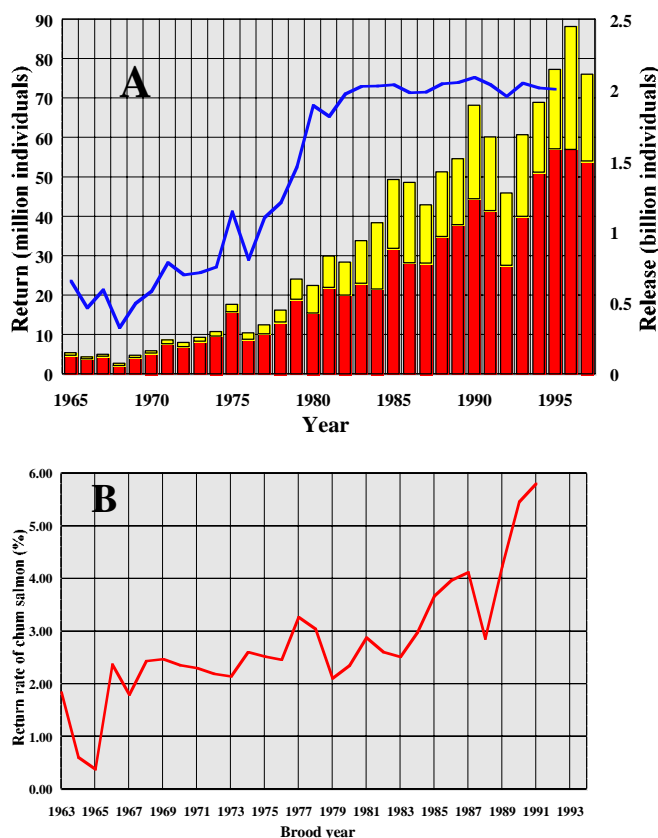


図1. わが国へ回帰したサケ資源量(北海道:赤棒グラフ,本州:黄棒グラフ)とサケ稚魚放流数(折線グラフ)の経年変化(A)および北海道系サケ同一年級群の回帰率の経年変化(B)。

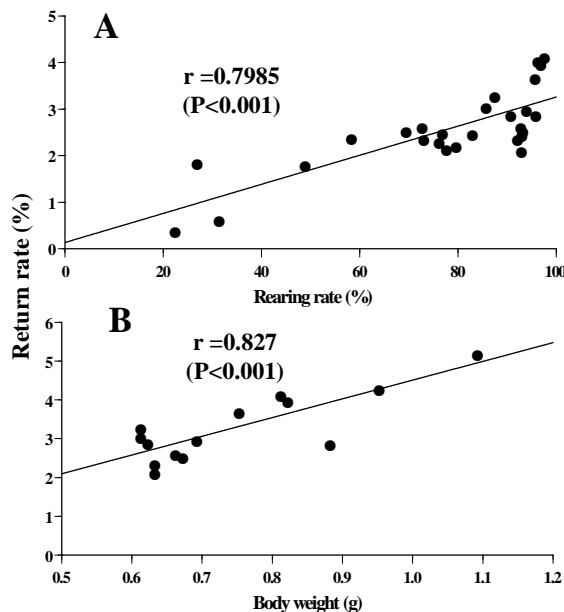


図2. 北海道から放流されたサケ稚魚の全放流数に対する飼育魚の割合と回帰率との関係(A:1963-1989年級群)および放流魚の平均体重と回帰率との関係(B:1977-1989年級群)。

方,北太平洋では孵化場魚の放流数が年々増加し,1995年には50億尾(日本21.5億尾,米国19.6億尾,カナダ5億尾,ロシア4.8億尾)を越えた.

わが国とアラスカの孵化場魚を除いて,北太平洋における野生魚の資源の長期的な変動は,例えばアルーシャン低気圧(ALPI)の強さや大気循環指数(ACI)などの気候変動とリンクしており,最近の資源増大は1976年以降のレジームシフトによる好適な環境変化におうところが大きい(Broudeur and Ware 1992; Beamish and Bouillion 1993; Klyashtorin 1997).換言すれば,北太平洋がサケ属魚類にとって再び不適な環境へ変化すると,少なくとも野生魚の資源は減少傾向へ向かう可能性を秘めている.参考までに,再びレジームシフトとなった1990年以降,ALPIやACIは減少傾向へ向かっている.

人工孵化放流事業により生産されているわが国のサケ資源は,1970年代前半までは300-500万尾であったが,1975年頃より北海道を中心に急激に増加しはじめ,1980年代後半には5,000万尾を越え,さらに1996年のサケ来遊数は北海道5,000万尾,本州3,100万尾の合計8,800万尾と史上最高の資源水準となった.一方,サケ幼稚魚の放流数は,1983年級群まで増加傾向が見られるが,それ以降約22億尾と一定となっている.従って,最近のわが国におけるサケ資源の著しい増加は,放流から回帰までの生残率を表す回帰率の増加によってもたらされたことを意味する(図1).回帰率の増加は,給餌飼育技術の導入と適期放流技術の確立におうところが大きい.それを裏付けるように,全放流数に占める給餌飼育魚数の割合と回帰率との間には顕著な正の直線関係が見られるし,放流魚の平均体サイズと回帰率との間にも正の相関が観察される(図2).1977-1991年級群の北海道系サケにおいて,目的変数を回帰率,説明変数を放流時の幼稚魚の平均体サイズ,放流数および大気循環指数(ACI)として重回帰分析を行った(表1).興味深いことに,回帰率は放流時の幼稚魚の体サイズにのみ依存し,放流数とACIとは独立することが偏回帰係数の偏相関係数と分散分析結果から分かった.このことは,北海道系サケの回帰率が北太平洋の長期気候変動とは必ずしもリンクせず,海洋初期生活期におけるサイズ選択死亡率と深く関係しており,野生魚より大型の孵化場産幼稚魚の生残率が適正な時期の放流とその時のサイズに依存していることを表している.

2. サケ資源の増加と個体群密度効果

昨今の北太平洋におけるサケ属資源の著しい増加は,生物学的に,漁業経済的に様々な課題をわれわれに呈している.ここでは個体群生態学的課題について若干ふれる.図3Aに,1953-1997年に北海道の11河川へ遡上したサケ雌4歳魚の

表 1. 北海道サケ資源の回帰率と放流魚の平均体サイズ(尾叉長),放流数および大気循環指数(ACI)との関係

Variable	Slope	Partial correlation	T	P
Juvenile size	4.649	0.796	2.904	0.016
Release number	-0.002	-0.323	-1.223	0.249
ACI	0.003	0.211	0.564	0.585
Constant	1.898		0.763	0.463

$r^2=0.729$, D.F.: $n_1=3$, $n_2=11$, $F=8.977$, $P=0.003$

The ACI data was referred from Klyashtorin (1997).

平均体長の経年変化を示した.体長は各年齢とも1970年代後半より減少し始め,その傾向はとくに1980年代において著しい.1990年以降,体長の減少傾向は鈍化するが,体サイズは小型のまま推移している.体サイズと個体群サイズとの間には顕著な負の相関が観察され(図3B),資源の増大に伴って体サイズが減少していることを表している.鱗径と体長とのアロメトリー式とバック・カリキュレーションより各年帯の成長量の経年変化を調べた結果,最近の回帰親魚では,(1)各年齢魚とも3歳時の成長減少が著しいこと,(2)5歳以上の高齢魚では,3歳時に限らずそれより高年齢においても顕著な成長減少を示す個体が存在すること,(3)高齢魚ほど,1年帯の成長が減少していることなどが分かった(Kaeriyama 1996, 1997).一方,北海道系サケ個体群の同一年級群における平均成熟年齢は,個体群サイズとの間に

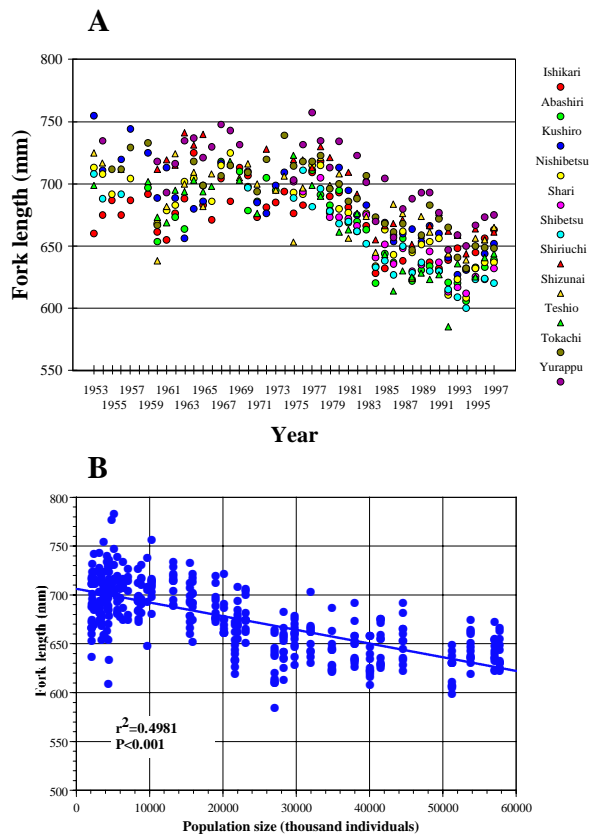


図 3. 1953-1997年,北海道11河川に遡上したサケ雌4歳魚の平均体長の経年変化(A)および北海道系サケ資源量と平均体長との関係(B).

顕著な正の相関を示すことも分かった(図4)。

これらのことは、最近のわが国サケ個体群が北太平洋において著しい個体数の増加に伴う個体レベルでの成長減少により、小型化高齢化していることを表している。この現象は、(1) 1980年代以降北太平洋におけるサケ属魚類の生息環境が好転していること、(2) 生残率を表す回帰率は増加傾向にあること、(3) 小型化と高齢化の両方が

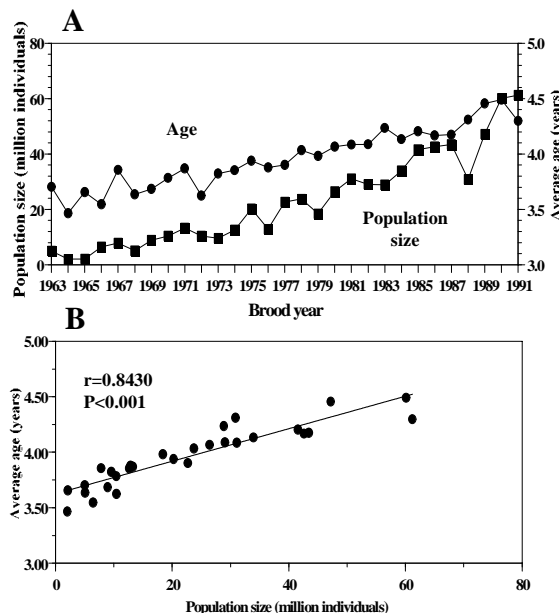


図4. 1950-1991年級群における北海道系サケ資源の個体群サイズと平均成熟年齢の経年変化(A)および両者の関係(B)。

起こっており、遺伝的選別が働いた可能性はないことなどから、個体群の密度効果に起因するところが大きいと推定されている(Kaeriyama 1989, 1996, 1997)。

密度効果による個体群の変動機構についてはストレス説、行動遺伝説、血縁選択説など様々な仮説がたてられているが、個体群密度の増加に伴う共通した現象として個体レベルでの成長量の低下、高齢化、移動分散、繁殖力の低下、流行病の大発生および死亡率の増加などが観察されている(伊藤ら 1992)。日本系サケ個体群が個体レベルでの成長量低下を示していることは明らかである。Ogura and Ito (1994)によると、最近、日本系サケは北西太平洋へ分布域を広げつつあるらしい。しかし、密度効果は、繁殖形質(孕卵数と卵サイズ)までは作用しておらず(Kaeriyama 1997)、先述のように生残率はむしろ増加傾向にあることから死亡率に影響を及ぼしているともみなされない。密度効果による個体レベルでの成長量変動は、ブリストル湾系ベニザケのように野生においても観察されている(Rogers and Ruggerone 1993)。従って、現在観察されている日本系サケ個体群の密度効果はまだ軽微な段階に留まっていると考えてよさそうである。それでは、

この密度効果は無視して良いものであろうか？高齢化が進む中で、なぜ体サイズが小型のまま維持されているのであろうか？現在いくつかの仮説が立てられている中で、北太平洋の好適な生息環境が日本系サケ個体群の環境収容力を高めたことは確かなようである(Kaeriyama 1997)。換言すれば、北太平洋の生息環境が再び変化し、個体群サイズが変わらず環境収容力が低下するようであれば、個体群の密度効果は再び次のステップへ進む可能性もある。反対に、気候変動とリンクして野生魚を中心にサケ属魚類全体の資源が減少するようであれば、個体群の密度効果はさらに軽減されることも予想される。

従って、サケ資源を今後も高位安定的に維持するためには、北太平洋における気候変動と個体群の環境収容力との関係、個体群の密度効果と個体群動態との関係を監視するための生物モニタリング法の確立が急務かつ重要であると考えられる。

3. 最適放流技術と地域集団の維持

栽培漁業では、放流魚の種苗性として如何に自然生態系に適應させ、漁業資源として利用するかがあげられている(塚本 1993)。サケの人工孵化放流事業は、野生魚より高い生残率と生産効率が得られていることから種苗性に関してはこの基準をすでにクリアーしている。それでは、放流効果が得られていれば、種苗性の基準を達成したといえるだろうか？ここでは、コスト・ベネフィット戦略から、サケ人工孵化放流事業における種苗性を検討したい。

例えば、回帰率を向上させる放流技術は、少ない種苗放流数で多くの資源を造成することができる。一方、その個体群は、回帰率を高めるために高度に人為制御下におかれると、狭環境耐性となり遺伝的変異性と適應度を低下させてしまう。このような例はコロンビア川系ギンザケにおける野生魚と孵化場魚の適應度のバリエーションの違いに見ることができる(Pearcy 1992)。この場合、回帰率の向上と適應度の高さとのトレードオフから得られるベネフィットを最大にすることが放流技術に求められる。このような関係は、他にも資源量の増加と個体群の密度効果との関係、資源量と漁業経済的価値との関係、回帰効果と増殖コストとの関係など、生態学的、遺伝学および経済学的などあらゆる観点からみることができる。従って、サケ人工孵化放流事業には、今後このような多角的な要因から最大ベネフィットを如何に獲得するかといった「最適放流技術」のコンセプトを導入してゆくことが重要であろう(図5)。

さらに、日本産サケにおいては、今後、メンデル集団としての地域個体群の固有性と多様性を高め、数少ない野生個体群を維持増大してゆく必

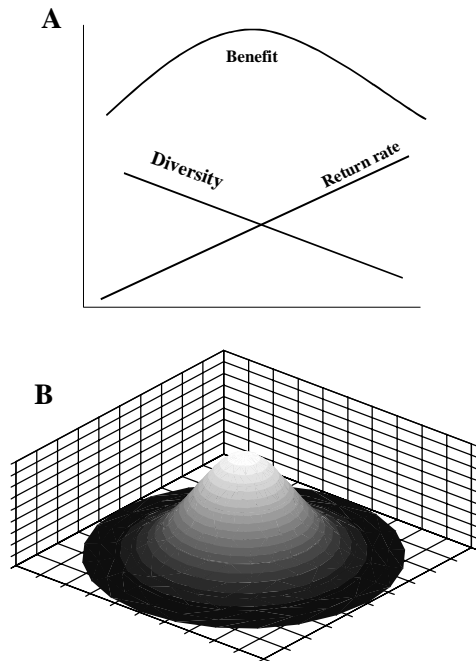


図5. サケ人工孵化放流事業における生産効率（回帰率）と個体群の多様性とのトレードオフ（A）および最適放流技術に関するコンセプト（B）。詳細は本文参照。

要がある。そのためには、地域集団を次の目的別に生産河川を区分して管理していくことが重要である。

野生資源：原種として、野生種として自然産卵により維持される個体群。

遺伝資源：地域個体群の遺伝的特性を孵化放流により維持される個体群。

漁業資源：漁獲を目的とした孵化放流により維持される個体群。

多目的資源：環境・情操教育，知的観光，釣りなど多目的利用のための個体群。

これら目的別資源を維持するためには十分な親魚を確保する必要があり，そのために十分な広さの禁漁区を河口沿岸域に設ける。また，従来河口に設置されている親魚の捕獲場は，集団の独立性の維持と遺伝子プールの混在化をさけるために，孵化場に隣接させる。このことは，結果的に増殖コストの大幅な削減につながるばかりでなく，良質な種卵の確保のためにも必要である。基本的に，これら目的別資源は河川毎に区分される

べきで，原始河川はできるだけ野生資源の維持に利用し，孵化放流事業はすでに河川開発が進み人工化された河川を利用すべきであろう。また，すでに原始河川がないような地域では，地域個体群を維持するために，河川管理者と協議のうえ，魚道の設置や人工産卵床の造成など積極的に人工河川の改良をはかり，野生資源の造成に努めることが重要であると考えられる。

引用文献

- Beamish, R. J., and D. R. Bouillon. 1993. Pacific salmon production trends in relation to climate. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 1002-1016.
- Brodeur, R. D., and D. M. Ware. 1992. Long-term variability in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean. *Fish. Ocean.*, 1: 32-38.
- Brown, L. R. et al. 1997. *State of the world 1997*. W. W. Norton & Company, Inc., New York.
- 伊藤嘉昭・山村則男・嶋田正和. 1992. 動物生態学. 蒼樹書房, 東京. 509 p.
- Kaeriyama, M. 1989. Aspects of salmon ranching in Japan. *Physiol. Ecol. Jpn.*, Spec. Vol. 1: 625-638.
- Kaeriyama, M. 1996. Population dynamics and stock management of hatchery-reared salmon in Japan. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult.*, Suppl. 2: 11-15.
- Kaeriyama, M. 1997. Dynamics of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, populations released from Hokkaido in Japan. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 1: *in press*.
- Klyashtorin, L. 1997. Pacific salmon: climate-linked long-term stock fluctuations. *PICES Press*, 5: 2-7, 30-34.
- Liao, I. C. 1996. How can aquaculture help sustain world fisheries? In *Proceedings of the Second World Fisheries Congress on Developing and Sustaining World Fisheries Resources: the State of Science and Management*, Vol. 1 (edited by D. A. Hancock and J. P. Beumer), 90 p.
- Pearcy, W. G. 1992. *Ocean ecology of North Pacific salmon*. Washington Univ. Press, Seattle. 179 p.
- Rogers, D. E. and G. T. Ruggerone. 1993. Factors affecting marine growth of Bristol Bay sockeye salmon. *Fish. Res.*, 18: 89-103.
- 塚本勝巳. 1993. 種苗の質・放流魚の健苗性と育成技術(北島力編). 恒星社厚生閣, 東京. pp. 102-113.