

種苗放流による天然水産資源への遺伝的影響

横田賢史・渡邊精一（東京水産大学）

天然水産資源の維持増大をはかる目的で種苗放流事業が、世界的におこなわれている。とくに日本においては種類数および放流量が多く、対象種として海産魚類35種、甲殻類13種などおよそ100種にのぼり、放流量ではホタテガイの28億尾を最高にクルマエビの3億尾、ガザミ、アワビ類、マダイ、ヒラメで千万尾単位などその数はかなり莫大であり（日本栽培漁業協会, 1993）、今後生産技術の向上とともにさらに発展するものと考えられる。

しかし、生物集団として水産資源を考える場合に種苗放流は数多くの問題を起こすことが懸念され、これまでとくに生態学的な問題を中心に野外調査、実験および理論的な面での研究なされてきた。いっぽう、生化学的な調査分析技術の発展にともない遺伝学的調査面での研究が行われているものの（Ryman et al. 1980）、その遺伝機構に関する理論的研究例は少ない。そこで、本研究ではおもに理論的な立場から種苗放流が自然の個体群に及ぼす遺伝的影響についての解析をおこなった。

遺伝的な問題点

種苗放流事業によってとくに遺伝的な影響を与える部分を明らかにするために一連の事業の概略をおさえる必要がある（Fig. 1）。そこでそれについて簡単に述べると、天然から採集した親あるいは飼育していた個体を親として種苗生産すなわち産卵させる。次にその卵を直接天然へ放流するか、もしくは人工孵化させて稚魚にしてから放流するかのいずれかであるが、多くの場合後者をとる。さらに自然環境下である程度の競争力をもつまで飼育して放流する場合もある（中間育成）。以上が放流事業のおもな概略であるが、このなかでの遺伝的な問題が生じるのは、次の3つに部分である。

- (1) 少数の親でなおかつ継代的に飼育することによる放流集団の近親交配による影響。
- (2) 種苗生産用の親を抽出するときに起こり得る機会的な遺伝的組成の変化率の増加。

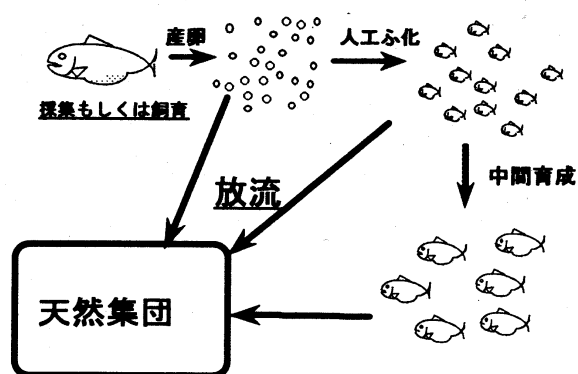


Fig.1 種苗放流事業の行程

(3) (2)による影響および移植放流による天然集団中の遺伝的組成の変化の影響。

これら3つの問題はすべて集団遺伝学の分野で議論されてきた事項であるが、種苗放流という特殊な場合を考えると多くの面で自然では考えられない早さで遺伝的組成が変化するおそれがある。以下これら3つの影響について種苗放流をモデル化して理論的にその影響を解析してみる。

近親交配による影響

種苗生産する段階で親の数が少なく、かつ何世代にもわたって飼育培養している場合には近親交配する可能性が高くなる。近親交配が高くなれば、異型接合体の割合が低くなり、それによってもなって同型接合体の割合が高くなる。それによって有害劣性遺伝子の発現の機会が増し、生物集団に何らかの悪影響を及ぼす可能性が出てくる。遺伝子型の偏りをみるため例えば、2つの対立遺伝子A、Bがあ

る場合に、それぞれの頻度が p 、 q ($= 1 - p$)である遺伝子座を考えてみる。このとき、近親交配が全く無い任意交配の場合はその遺伝子型の頻度がそれぞれ

$$AA : p^2$$

$$AB : 2pq$$

$$BB : q^2$$

となる。しかし、近親交配した場合には上記のような遺伝子型の組成は形成されずに、

$$AA : fp + (1-f)p^2$$

$$AB : 2pq(1-f)$$

$$BB : fq + (1-f)q^2$$

になる。ここで f は近交係数を表し、その定義はある集団内の任意の1個体の相同遺伝子が同一祖先遺伝子から由来する確率である。 $f = 0$ の状態が任意交配の状態である。逆に $f = 1$ のとき、完全なかたちでの近親交配であり必ず何世代か前の同一祖先遺伝子から由来しているもので、異型接合体ABをもつ個体は全くなくなる。したがって、この近交係数 f を算定することによって、近親交配の影響を定量的に示すことができる。そこで、種苗放流とくに種苗生産段階でおきる

パターンを大きく4つに分けて、その各々の場合の近交係数を算定してみる。

放流用種苗の生産は、その技術的な問題によって様々であるが次の4つのおおまかなパターンに分けてみると、

パターン1：1組の親から種苗生産し、さらに次世代の生産用親として1組人工種苗を飼育して生産を繰り返す(Fig. 2a)、

パターン2：雄 N_m 個体、雌 N_f 個体を親として種苗生産し、さらに次世代の親は人工種苗の中から雄 N_m 個体、雌 N_f 個体を飼育して生産を繰り返す(Fig. 2b)、

パターン3：雄 N_m 個体、雌 N_f 個体を親として種苗生産をおこなうが、うち雄 N_m' 個体、雌 N_f' 個体は人工種苗を飼育したもの、残りは天然から再度採集してきた個体を用いて生産する(Fig. 2c)、

パターン4：雄 N_m 個体、雌 N_f 個体を親として種苗生産をおこなうが、全く人工種苗を使用せずに毎世代天然個体を用いて生産する(Fig. 2d)、

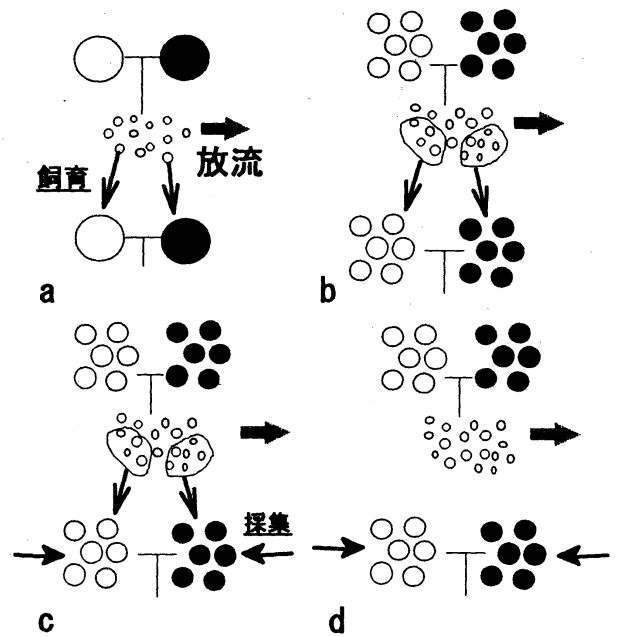


Fig. 2 継続的に放流される場合の種苗生産のパターン

この4つのパターンについてそれぞれ近交係数を求めると、以下ようになる。

$$\text{パターン1} : f_t = \frac{1}{2}f_{t-1} + \frac{1}{4}f_{t-2} + \frac{1}{4}$$

パターン2 :

$$f_t = \left(1 - \frac{1}{4N_m} + \frac{1}{4N_f}\right)f_{t-1} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{4N_m} + \frac{1}{4N_f}\right)f_{t-2} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{4N_m} + \frac{1}{4N_f}\right)$$

$$\text{パターン3} : f_t = \frac{(N'_m + \delta_m)(N'_f + \delta_f)}{N_m N_f} g_t$$

$$g_t = \left(\frac{N'_m + \delta_m}{N_m^2} + \frac{N'_f + \delta_f}{N_f^2}\right) \frac{1 + f_{t-2}}{8} + \left\{ \frac{(N'_m + \delta_m)(N'_m + \delta_m - 1)}{N_m^2} + \frac{(N'_f + \delta_f)(N'_f + \delta_f - 1)}{N_f^2} \right. \\ \left. + 2 \frac{(N'_m + \delta_m)(N'_f + \delta_f)}{N_m N_f} \right\} \frac{g_{t-1}}{4} + \frac{1}{8} \left\{ \frac{N_m - N'_m - \delta_m}{N_m^2} + \frac{N_f - N'_f - \delta_f}{N_f^2} \right\}$$

$$\text{パターン4: } f_t = \frac{\delta_m \delta_f}{N_m N_f} g_t$$

$$g_t = \left(\frac{\delta_m}{N_m^2} + \frac{\delta_f}{N_f^2} \right) \frac{1+f_{t-2}}{8} + \left\{ \frac{\delta_m(\delta_m-1)}{N_m^2} + \frac{\delta_f(\delta_f-1)}{N_f^2} \right\} \\ + 2 \frac{\delta_m \delta_f}{N_m N_f} \frac{g_{t-1}}{4} + \frac{1}{8} \left\{ \frac{N_m - \delta_m}{N_m^2} + \frac{N_f - \delta_f}{N_f^2} \right\}$$

ただし、 δ_m および δ_f は放流個体の再捕数であり、パターン3および4に関しては、天然集団の大きさが十分大きいか、もしくは放流集団と天然集団間にほとんど交雑がない場合の近交係数を表す。そして、これら4つの場合の放流開始後の近交係数は変化については、パターン1の場合はおよそ20世代前後で $f=1$ となり、パターン2においても用いる親個体の数によって差はあるものの徐々に $f=1$ に近づいていく。いっぽう、パターン3においては天然集団が加わる数によって f の値はある程度低い値に抑えられ、とくにパターン4の場合は種苗生産による近親交配の影響を最小限に抑えることができる (Fig. 3)。

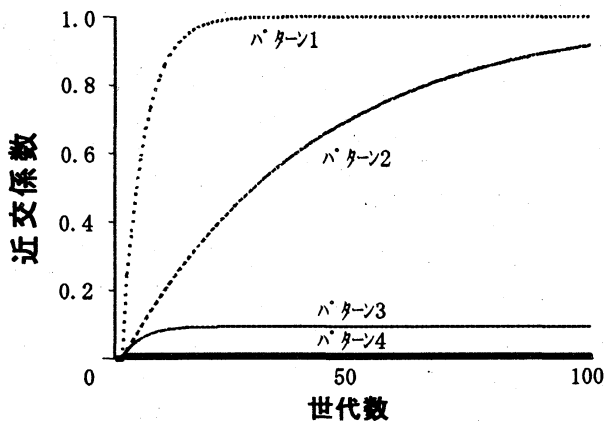


Fig. 3 種苗生産形態におうじた近交係数の増加

機会的な遺伝的組成の変化率の増加

天然環境下にある集団の繁殖個体の数は局所的に隔離された地域の集団を除けば、かなり多い。それに対して種苗生産における繁殖個体数は極端に少ない。このことが現時点の遺伝的組成に大きく偶発的な変化をもたらす可能性がある。種苗生産場（ふ化場）で使用される親の数が s 個体でその親のもとの集団のある遺伝子座のある遺伝子の頻度が p であったとすると、親集団中に $2s$ 個の遺伝子が存在するわけであるが、この中でこの遺伝子が x 個存在する確率は次式のような2項分布で表せる。

$$P_{(x)} = \binom{2s}{x} p^x (1-p)^{2s-x}$$

x のかわりに、親集団中のこの遺伝子の頻度 p_s 。

$$p_s = \frac{x}{2s}$$

で表せば、親集団が任意交配した場合に放流集団の頻度も全く同様になる。上式を用いて親の数によってどの程度偶発的な変化が起こるかを数値計算してみると、例えば $p=0.2$ で親の数が2の場合、もとの集団の遺伝子頻度になる確率は0でありかつ消失する確率も大きい。しかし、親の数が増えるとともにもとの集団の遺

伝子頻度に近づく (Fig. 4)。つまり、親の数が少ないとかなり偶発的変化が起き得ることを示しているといえる。

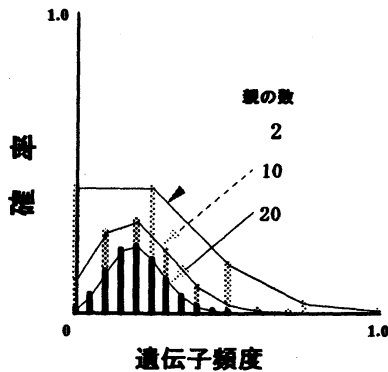


Fig. 4 種苗生産用の親数ごとの遺伝子頻度の機会的変動確率 (初期遺伝子頻度: 0.2)

一方向的移住による影響

前節で示したような偶発的な変化をした遺伝的組成をもつ人工種苗、もしくは全く他の地域から採集された個体を天然の自然集団に放流した場合に、とくに交雑があるときには天然集団の遺伝的組成に何らかの影響を与えられと考えられる。天然集団の t 世代のある遺伝子の頻度が $p(t)$ 、放流集団のそれが p_s であるとき、かりに毎世代自然集団の総個体数が N で放流個体のなかで n 個体繁殖に加わったときには、世代間の自然集団中の遺伝子頻度は

$$p_{(t)} = \frac{N}{N+n} p_{(t-1)} + \frac{n}{N+n} p_s$$

である。これを p_0 について解くと、

$$p_{(t)} = \left(\frac{N}{N+n}\right)^t p_{(0)} + \left\{1 - \left(\frac{N}{N+n}\right)^t\right\} p_s$$

となる。上式から明らかなように、世代が増すにつれてもとの自然集団の遺伝的

組成が消失し、放流集団の遺伝的組成におきかわってしまう。

考察

これまで議論してきたような現象は、たとえ種苗放流がおこなわれていない生物集団においても起こり得ることである。しかし、どの場合においても進化的な時間で議論されるほどの長い期間におきる現象であり、非常に短期間におこりうるものではない。とくに進化的な意味では上にあげた3つの現象以外に突然変異などによって、遺伝的多様性の消失を回避する現象が生物集団のなかには数多く見られる (木村 1960)。しかし、種苗放流によって短期間に単一化が進む場合にそれを回避することは難しい。したがって、できる限り遺伝的多様性を保持する方策をとって、天然集団に人為的な影響を与えないような種苗生産および放流はおこなわれるべきであろう。

参考文献

- 日本栽培漁業協会 1993 平成3年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国)
- Rayman, N. & G. Stahl 1980 Aquatic Science 37:82-87
- 木村資生 1960 集団遺伝学概論 培風館 東京