

人工種苗集団と天然集団の遺伝子組成の違い —マダイ, ヒラメ, アワビを例に—

原 素 之¹⁾・野 口 昌 之²⁾・小 林 時 正³⁾

(¹⁾国際農林水産業研究センター・²⁾日本海区水産研究所・³⁾中央水産研究所)

多くの魚介類で人工種苗生産技術が確立され、大量の種苗が生産、放流されている。もちろん、放流の目的は種苗の添加による生産量の増大である。しかし、当初期待した程の放流効果が上がっていない。この原因として、漁獲量の減少期であったり、漁場環境の悪化による減少などととも、放流種苗自身の問題もあげられる。放流種苗自身の問題としては、放流の数量や技術だけでなく、最近では天然集団と人工種苗との質的差異にも問題があると指摘されている。質的差異については、形態学、生理学、遺伝学的側面からいろいろと調べられているが不明な点もまだ多い。そこで、今回はマダイ、ヒラメ、アワビの人工種苗集団と天然集団の遺伝子組成の違いを明らかにするため、人工種苗のアイソザイム遺伝子分析を行った。比較のために用いた天然集団については既存のデータを引用した。

1 マダイ

天然マダイでは、筆者らが既に青森県から石川県に分布する天然 6 集団について、15酵素28遺伝子座を調べ報告している。^{*} その結果をまとめ表 1 に示した。それによると、*Adh*, *6Pgd*, *Pgm-2* 遺伝子座で最大遺伝子頻度が0.95以下の大きな変異、*Aat-2*, *Gpd-2*, *Gpi-2*, *Idh-1*, *Mdh-2*, *Pep-1*, *2*, *3*, *4*, *Pgm-1*, *Sdh* 遺伝子座で最大遺伝子頻度が0.95以上の小さな変異であった。突然変異の確率からみて、通常最大遺伝子頻度が0.95以下の遺伝子座を多型と呼ぶことが多く、今回もこれになった。すなわち、天然マダイの28遺伝子座では *Adh*, *6Pgd*, *Pgm-2* の 3 遺伝子座が多型とみなされた。また、*Ada-1*, *2*, *Aat-1*, *3*, *Gap-1*, *2*, *Gpd-1*, *Gpi-1*, *Idh-2*, *Ldh-1*, *2*, *Mdh-1*, *Sod-1*, *2* の 14 遺伝子座では全く変異が検出されず単型であった。

人工種苗については、秋田、富山、石川、福井の各栽培漁業センターで生産された 4 集団を用い、天然集団で多型とみなされた 3 遺伝子座の分析を行なった。その結果を表 2 に示した。*Adh* 遺伝子座では天然集団と同じ *A*, *B* の 2 対立遺伝子が検出され、*A* 遺伝子頻度が0.133~0.200, *B* 遺伝子頻度が0.800~0.867であった。*6Pgd* 遺伝子座でも天然集団と同様、*A*, *B*, *C* の 3 対立遺伝子が検出され、*A* 遺伝子頻度が0.116~0.183, *B* 遺伝子頻度が0.810~0.884, *C* 遺伝子頻度が0~0.007であった。*Pgm-2* 遺伝子座は天然集団とは異なり、全く変異がみられず単型であった。

今回分析を行った *Adh*, *6Pgd*, *Pgm-2* の 3 遺伝子座について、人工種苗集団と天然集団との遺伝子頻度の違いを比較した(表 3)。人工種苗集団と天然集団において、最も高い頻度で検出された遺伝子が *Adh* 遺伝子座と *6Pgd* 遺伝子座で *B* 遺伝子, *Pgm-2* 遺伝子座で *D* 遺伝子と変わらなかった。

^{*} 野口昌之・小林時正・池原宏二(1992)日本海北部におけるマダイの遺伝的変異からみた群構造, 平成 4 年度日本水産学会中部支部例会要旨, P. 21.

しかし、人工種苗集団において、3 遺伝子座とも最も高い頻度の遺伝子の増加する傾向が見られた。特に、*Pgm-2* 遺伝子座では頻度の高い D 遺伝子だけが検出され単型を示した。すなわち、人工種苗では頻度の低い遺伝子の出現率の低下または喪失が起こり、天然集団とは異なる遺伝子組成になっていた。

表 1 天然マダイ 6 集団の遺伝子頻度組成 (その 1)

遺伝子座	遺伝子 (個体数)	青森 (50)	秋田 (50)	山形 ^{a)} (51)	山形 ^{b)} (50)	新潟 (50)	富山 (48)
<i>Ada-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Ada-2</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Adh</i>	A	0.370	0.430	0.304	0.280	—	0.375
	B	0.630	0.570	0.696	0.720	—	0.625
<i>Aat-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Aat-2</i>	A	0.030	0.020	—	—	—	0.010
	B	0.910	0.930	0.970	0.980	0.990	0.928
	C	—	—	—	—	0.010	0.010
	D	0.060	0.050	0.030	0.020	—	0.052
<i>Aat-3</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Gap-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Gap-2</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Gpd-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Gpd-2</i>	A	—	0.030	—	—	—	—
	B	1.0	0.970	1.0	1.0	0.990	1.0
	C	—	—	—	—	0.010	—
<i>Gpi-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Gpi-2</i>	A	—	0.010	—	0.010	0.020	0.010
	B	0.010	—	0.010	0.010	—	0.010
	C	0.980	0.960	0.970	0.910	0.970	0.959
	D	0.010	0.030	—	0.030	0.010	0.021
	E	—	—	0.020	0.040	—	—
<i>Idh-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	0.010	0.021
	B	—	—	—	—	0.990	0.979
<i>Idh-2</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Ldh-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Ldh-2</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Ldh-3</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Mdh-1</i>	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Mdh-2</i>	A	1.0	0.960	0.990	1.0	0.970	1.0
	B	—	0.040	0.010	—	0.030	—
<i>Pep-1</i>	A	—	0.010	0.029	0.010	0.010	0.010
	B	0.990	0.990	0.951	0.980	0.990	0.990
	C	0.010	—	0.020	0.010	—	—
<i>Pep-2</i>	A	—	—	—	0.010	—	—
	B	—	—	—	0.010	—	—
	C	1.0	1.0	1.0	0.970	0.960	1.0
	D	—	—	—	0.010	0.040	—
<i>Pep-3</i>	A	0.010	—	—	—	—	—
	B	0.990	0.980	1.0	0.940	0.990	0.980
	C	—	0.020	—	0.050	0.010	0.020
	D	—	—	—	0.010	—	—
<i>Pep-4</i>	A	1.0	1.0	1.0	0.990	0.990	1.0
	B	—	—	—	0.010	0.010	—

a) 明石.

b) 大瀬.

表1 天然マダイ6集団の遺伝子頻度組成 (その2)

遺伝子座	遺伝子 (個体数)	青森 (50)	秋田 (50)	山形 ^{a)} (51)	山形 ^{b)} (50)	新潟 (50)	富山 (48)
<i>6Pgd</i>	<i>A</i>	0.160	0.160	0.216	0.180	0.180	0.187
	<i>B</i>	0.840	0.830	0.784	0.810	0.820	0.813
	<i>C</i>	—	0.010	—	0.010	—	—
<i>Pgm-1</i>	<i>A</i>	0.990	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	<i>B</i>	0.010	—	—	—	—	—
<i>Pgm-2</i>	<i>A</i>	—	—	—	—	—	0.010
	<i>B</i>	0.010	—	—	—	—	0.010
	<i>C</i>	—	0.010	0.010	—	—	—
	<i>D</i>	0.930	0.970	0.921	0.900	0.890	0.907
	<i>E</i>	—	—	0.010	—	—	—
	<i>F</i>	0.060	0.020	0.059	0.090	0.080	0.063
	<i>G</i>	—	—	—	0.010	0.030	0.010
<i>Sdh</i>	<i>A</i>	1.0	1.0	1.0	0.990	1.0	1.0
	<i>B</i>	—	—	—	0.010	—	—
<i>Sod-1</i>	<i>A</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Sod-2</i>	<i>A</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

a) 明石.

b) 大瀬.

表2 マダイ人工種苗4集団の遺伝子頻度組成

遺伝子座	遺伝子	秋田 (60) ^{a)}	富山 (60) ^{a)}	石川 (60) ^{a)}	福井 (60) ^{a)}
<i>Adh</i>	<i>A</i>	0.200	0.155	0.133	0.184
	<i>B</i>	0.800	0.845	0.867	0.816
<i>6Pgd</i>	<i>A</i>	0.116	0.133	0.124	0.183
	<i>B</i>	0.884	0.867	0.876	0.810
	<i>C</i>	0	0	0	0.007
<i>Pgm-2</i>	<i>D</i>	1.0	1.0	1.0	1.0

a) ()は分析個体数.

表3 マダイの人工種苗集団と天然集団における多型遺伝子座の遺伝子頻度

遺伝子	人工種苗集団 (4) ^{a)}	天然集団 (6) ^{a)}
<i>Adh^B</i>	0.800~0.867	0.570~0.720
<i>6Pgd^B</i>	0.810~0.884	0.784~0.840
<i>Pgm-2^D</i>	1.0	0.890~0.970

a) ()は分析集団数.

2 ヒラメ

ヒラメの天然集団では、藤尾ら(1989)が北海道、福島県、宮崎県、福岡県の地先から採集した4集団について、14酵素23遺伝子座を分析している。その結果を引用し表4にまとめた。それによると、天然集団では *Odh-1* と *Idh-1* の2遺伝子座が多型を示し、*Aep-1*, 2, *Gpd*, *Ldh-1*, 2, *Odh-2*, *Sod* の7遺伝子座が単型であった。他の14遺伝子座では、最大遺伝子頻度が0.95以上の小さな変異を示した。

人工種苗では、岩手、福島、新潟、鳥取の各栽培漁業センターで生産された4集団について、天然集団と同じ14酵素23遺伝子座の分析を行った。その結果、*Idh-1* 遺伝子座で A 遺伝子頻度が0.400~0.508と多型を示した。しかし、天然集団で多型を示した *Odh-1* 遺伝子座も含め、他の遺伝子座全てが単型であった。このように、ヒラメ人工種苗集団でもマタイと同様に頻度の低い対立遺伝子の喪失がみられた。

ヒラメの人工種苗集団と天然集団の遺伝的変異量を比較するため、多型率と平均ヘテロ接合体率を求めた。ここで、多型率とは分析した遺伝子座に対する多型を示した遺伝子座の割合である。また、平均ヘテロ接合体率とは1遺伝子座当たりのヘテロ個体の相対頻度と定義されている。これは、任意の個体におけるヘテロ遺伝子座の割合でもある。すなわち、多くの遺伝子座から求めた平均ヘテロ接合体率はゲノム全体の遺伝的変異量を表す尺度となる。つまり、平均ヘテロ接合体率の大小によって変異量を判断できる。表5に示したように、人工種苗集団を天然集団と比べると、多型率では等しいかそれ以下であり、平均ヘテロ接合体率では明らかに小さい値を示し、遺伝的変異量が低下していることがわかった。

表4 ヒラメの人工種苗集団と天然集団における遺伝子頻度

遺伝子	遺伝子頻度	
	人工種苗集団 (4) ^{a)}	天然集団 (4) ^{a, b)}
<i>Acp-1^A</i>	1.0	1.0
<i>Acp-2^A</i>	1.0	1.0
<i>Adh^B</i>	1.0	0.968~1.0
<i>Aat-1^A</i>	1.0	0.997~1.0
<i>Aat-2^B</i>	1.0	0.990~1.0
<i>G6pd^A</i>	1.0	1.0
<i>Gpi-1^A</i>	1.0	0.994~1.0
<i>Gpi-2^B</i>	1.0	0.987~1.0
<i>Gpd-1^A</i>	1.0	0.985~1.0
<i>Gpd-2^B</i>	1.0	0.964~0.997
<i>Idh-1^A</i>	0.400~0.508	0.454~0.530
<i>Idh-2^A</i>	1.0	0.994~1.0
<i>Ldh-1^A</i>	1.0	1.0
<i>Ldh-2^A</i>	1.0	1.0
<i>Ldh-3^B</i>	1.0	0.964~1.0
<i>Mdh-1^B</i>	1.0	0.993~1.0
<i>Mdh-2^B</i>	1.0	0.985~0.997
<i>Me^A</i>	1.0	0.987~1.0
<i>Odh-1^B</i>	1.0	0.853~0.955
<i>Odh-2^A</i>	1.0	1.0
<i>Pgm^B</i>	1.0	0.986~0.995
<i>6Pgd^B</i>	1.0	0.993~1.0
<i>Sod^A</i>	1.0	1.0

a) ()は分析集団数。

b) 藤尾ら(1989)から引用。

表5 ヒラメの人工種苗集団と天然集団の遺伝的変異量の比較

	人工種苗集団 (4) ^{a)}	天然集団 (5) ^{a, b)}
遺伝子座数	23	23
多型遺伝子座数	1	1~2
多型率	0.043	0.043~0.087
平均ヘテロ接合体率	0.016~0.023	0.034~0.046

a) ()は分析集団数。

b) 藤尾ら(1989)から引用。

3 エゾアワビ

エゾアワビの天然集団では、筆者らが北海道、青森県、岩手県、宮城県の地先で採集した12集団について、12酵素15遺伝子座を調べ報告している(原・菊池 1992)。その結果をまとめ表6に示した。それによると、*Lap*, *Me*, *Mpi*, *Pgm-1*, *2* の5 遺伝子座で多型が認められ、*Aat*, *Gpi-2*, *Ldh-1*, *2*, *Mdh-1*, *2*, *Odh* 遺伝子座でいくつかの対立遺伝子が検出された。また、*Gpd*, *Idh*, *Sod* の3 遺伝子座は単型であった。

人工種苗は岩手県の2か所の種苗生産場で作出された9集団について、天然集団と同じ12酵素15遺伝子座の分析を行った。人工種苗では *Lap*, *Pgm-1*, *2* の3 遺伝子座で多型が認められたが、他の全ての遺伝子座で単型を示した。また、多型を示した遺伝子座では、人工種苗の遺伝子頻度のふれ幅は3 遺伝子座とも大きかった。

遺伝的変異量の指標となる多型率と平均ヘテロ接合体率において、人工種苗集団は天然集団と比較して両値とも低く、明らかに遺伝的変異量が低下していた(表7)。

今回分析を行った人工種苗マダイとヒラメでは遺伝子頻度のふれ幅は天然集団とほぼ同じか、やや小さかった。一方、エゾアワビでは遺伝子頻度のふれ幅は天然集団と比較してかなり大きかった。これは、エゾアワビでは人為的産卵誘発等の人工種苗生産技術の完成度が高いため、数個体の親貝から大量の種苗生産が可能であるのに対して、マダイやヒラメの人工種苗生産では、100尾近くまたはそれ以上の親魚を用いることによると推察される。この点について、谷口・岡田(1980)は人工種苗集団で親魚の数が著しく少ない時遺伝的浮動等により遺伝子組成が大きく変化すると報告している。すな

表6 エゾアワビの人工種苗集団と天然集団における遺伝子頻度

遺伝子	遺伝子頻度	
	人工種苗集団 (9) ^{a)}	天然集団 (12) ^{a, b)}
<i>Aat</i> ^B	1.0	0.984~1.0
<i>Gpi-2</i> ^C	1.0	0.963~0.992
<i>Gpd</i> ^A	1.0	1.0
<i>ldh</i> ^A	1.0	1.0
<i>Lap</i> ^B	0.611~0.724	0.418~0.656
<i>Ldh-1</i> ^B	1.0	0.988~1.0
<i>Ldh-2</i> ^B	1.0	0.992~1.0
<i>Mdh-1</i> ^B	1.0	0.981~1.0
<i>Mdh-2</i> ^B	1.0	0.995~1.0
<i>Me</i> ^B	1.0	0.725~0.911
<i>Mpi</i> ^C	1.0	0.949~1.0
<i>Odh</i> ^A	1.0	0.983~1.0
<i>Pgm-1</i> ^D	0.273~0.717	0.645~0.710
<i>Pgm-2</i> ^C	0.354~0.685	0.482~0.631
<i>Sod</i> ^A	1.0	1.0

a) ()は分析集団数

b) 原・菊池(1992)から引用

表7 エゾアワビの人工種苗集団と天然集団における遺伝的変異量の比較

	人工種苗集団 (4) ^{a)}	天然集団 (5) ^{a, b)}
遺伝子座数	15	15
多型遺伝子座数	3	4~5
多型率	0.200	0.267~0.333
平均ヘテロ接合体率	0.062~0.085	0.136~0.163

a) ()は分析集団数.

b) 原・菊池(1992)から引用.

わち、これらの結果は、人工種苗集団間の遺伝子頻度のふれの原因が人工種苗生産時の親の数によることを示唆している。マダイ・ヒラメ・エゾアワビにおいて対立遺伝子頻度の低い遺伝子座での変異の喪失が見られた。さらに、マダイでは *Adh*, *6Pgd*, *Pgm* の全ての遺伝子座で、最大頻度の遺伝子の遺伝子頻度の増加する傾向が認められた。これは、人工種苗生産時にかなり多くの親魚を使用しているにもかかわらず、実際に産卵に関与している親魚数は天然集団に比べてはるかに少ないためと推定される。つまり、頻度の高い遺伝子型の親が産卵に関与する確率が高いためであり、このことが人工種苗集団の遺伝的特徴を形成する大きな要因になっていると考えられる。今後は、異なる種苗生産現場や同じ場所での生産ロットの違い等による多くの分析データを基に、親数との遺伝的変異量の関係等を明らかにすることが、人工種苗における質的改善の1つの糸口になると考える。

文 献

- 藤尾芳久・朴 重淵・田畑和男 (1989) 種類別アイソザイム分析マニュアル, ヒラメ, 海洋生物集団間の識別に関する先導的評価手法の開発事業報告書. 日本水産資源保護協会, 東京, 194-197.
- 原 素之・菊池省吾 (1992) 天然アワビの遺伝的変異性と集団構造. 東北水研報告, (54), 107-114.
- 谷口順彦・岡田容典 (1980) マダイの生化学的多型に関する遺伝的研究. 日水誌, 46, 437-443.

[質 疑 応 答]

- 奥村 (日水研) ①人工種苗と天然種苗とは、遺伝的に異なるということだが、このちがいが、放流効果に影響を及ぼす可能性はあるか。②人工種苗の放流によって、天然魚集団の遺伝子組成に影響を与える可能性はあるか。③遺伝子の発現の仕方によって、遺伝的に同じでもアイソザイム分析では、差が生じる可能性はあるか。
- 原 (国研セ) ①アイソザイム遺伝子は生存等に中立と考えられており、その遺伝子組成が異ったと言うことで今回の分析結果から遺伝的に異なると言うのは、少々言い過ぎになると思う。しかし、アイソザイム遺伝子は他のいろいろな遺伝子と連鎖していると考えられることから人工種苗は天然種苗と遺伝的に異質なものになっている可能性は十分にあると思う。この違いが直接的に放流効果等に影響を及ぼすかどうかについては現時点ではデータも少なく、答えられない。②十分にある。特に閉鎖性の高く狭い海域などでは、その影響は顕著に現われるようだ。③発育段階や環境によって、遺伝子が発現したりしなかったりすることでアイソザイムパターンが変化することが知られている。しかし、今回分析に用いたアイソザイム遺伝子は既報告等からそのようなものを選んだ。