サンゴ礁域に放流したスジアラ人工種苗の滞留, 摂餌および被食に及ぼす囲い網による環境馴致効果

浜崎 活幸,* 竹内 宏行,^a 塩澤 聡,^b 照屋 和久^c

(2003 年 1 月 20 日受付, 2003 年 8 月 6 日受理)

鯛水産総合研究センター八重山栽培漁業センター

Effects of acclimation to the natural environment before release on retention rate,
feeding condition and predation of hatchery-reared juveniles
of the coral trout *Plectropomus leopardus* released on a coral reef

KATSUYUKI HAMASAKI,* HIROYUKI TAKEUCHI,^a
SATOSHI SHIOZAWA^b AND KAZUHISA TERUYA^c

Yaeyama Station, National Center for Stock Enhancement (NCSE), Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan

Retention rate, feeding condition and predation of hatchery-reared juveniles of the coral trout *Plectropomus leopardus* released on a coral reef in Urasoko Bay, Ishigaki Island were investigated to evaluate the effectiveness of acclimation of juveniles to the natural environment before release. Two experiments were conducted and 2000 juveniles [mean total length (TL), 137 mm] and 900 juveniles (mean TL, 79 mm) were stocked in a net cage (400 m²) which was set on the release site in the first and second trials, respectively. After acclimation for 7 days in the net cage, acclimated juveniles (test group) were released with the control groups of 2000 juveniles (mean TL, 142 mm) in the first trial and 900 juveniles (mean TL, 86 mm) in the second trial. Test and control groups were distinguished by different color tags. The second release experiment could not be conducted satisfactorily due to a typhoon. Judging from the feeding incidence, changes of condition factor and visceral weight index of juveniles after release in the first trial, it was considered that juveniles of the test group were more acclimated to the natural environment than those of the control group. Furthermore, juveniles of the test group tended to be less vulnerable to predation by piscivorous animals than those of the control group due to the improvement of behavior of lurking in the coral rubble.

キーワード：スジアラ, 人工種苗, 馴致, 放流, 滞留, 摂餌, 被食

スジアラ *Plectropomus leopardus* は南日本からインド洋に分布する大型のハタ類で,¹⁾ 沖縄県では重要な沿岸漁業資源である。^{2,3)} 日本栽培漁業協会八重山事業場(現, 水産総合研究センター八重山栽培漁業センター)はスジアラの栽培漁業技術開発研究の一環として, 1991 年から 1999 年までに合計 8 万尾余りの人工種苗(平均全長 75~321 mm)を沖縄県の石西礁湖で放流しているが, 再捕率は 0.014% で極めて低い値を示している。⁴⁾ この原因を把握するために, 著者らは放流したスジアラ人工種苗の滞留, 摂餌および被食状況を調査し,

放流初期の減耗要因として被食の重要性を指摘した。⁵⁻⁷⁾ また, 放流したスジアラ人工種苗の摂餌率は低く,⁵⁻⁸⁾ これは放流時のハンドリング, あるいは未知の環境におかれたことによるストレス状態に起因するものと考えられた。^{7,9)}

放流効果を上げるには放流種苗が資源に加入する割合, すなわち添加効率¹⁰⁾の向上が不可欠であり, そのためには放流初期の減耗を防ぐ必要がある。そこで本研究では, 放流初期のスジアラ人工種苗の摂餌率を向上させ, 被食を回避する放流手法を開発する一環として, 放

* Tel : 81-980-88-2136. Fax : 81-980-88-2138. Email : hamak@fra.affrc.go.jp

^a 現所属：鯛水産総合研究センター宮津栽培漁業センター (Miyazu Station, NCSE, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan)

^b 現所属：鯛水産総合研究センター小浜栽培漁業センター (Obama Station, NCSE, Obama, Fukui 917-0177, Japan)

^c 現所属：鯛水産総合研究センター上浦栽培漁業センター (Kamiura Station, NCSE, Kamiura, Oita 879-2602, Japan)

流場に設置した囲い網に種苗を収容し、その環境に短期間馴致して放流した種苗群と直接放流した種苗群について、放流初期の滞留、摂餌および被食状況を調査し、摂餌率の向上と被食回避に及ぼす環境馴致の効果を評価することを試みた。

材料および方法

スジアラ種苗 放流実験は1998年4～5月および10月に計2回行った。第1回放流群として、1997年に八重山事業場において生産し、中間育成した1歳の種苗4000尾を用いた。また、第2回放流群として、1998年に生産した当歳の種苗1800尾を用いた。

両実験とも放流場に設置した囲い網内で環境に馴致して放流する群（馴致放流群）と直接放流する群（直接放流群）を設けた。第1回放流では囲い網へ収容する21日前に赤色と白色のアンカータグ（長さ50 mm；科研共栄会，広島）をそれぞれ2000尾の第1背鰭基部に装着した。また、第2回放流では、囲い網への収容11日前に桃色と緑色のリボンタグ（長さ30 mm；科研共栄会，広島）をそれぞれ900尾の第1背鰭基部に装着した。標識を装着した種苗は実験開始まで陸上水槽で配合飼料を給餌して育成した。第1回放流における馴致放流群の囲い網収容時の平均全長は137 mm（107～161 mm， $n=50$ ）で、直接放流群の放流時の平均全長は142 mm（126～163 mm， $n=50$ ）であった。また、第2回放流における馴致放流群の囲い網収容時の平均全長は78.6 mm（69.7～86.5 mm， $n=30$ ）で、直接放流群の放流時の平均全長は85.9 mm（78.0～98.2 mm， $n=32$ ）であった。

放流場 石垣島浦底湾のサンゴ礁域を放流場とした（Fig. 1）。放流地点にはロープで50×50 mの調査枠を設けるとともに、50 m 調査枠を囲うように100 mの正方形枠も設けた。50 m 枠内には南北に10 m 間隔、東西に5 m 間隔でラインを設置し、5×10 m のコドラート50個を設定した。50 m 枠内の底質はサンゴ瓦礫、岩盤、造礁サンゴによって構成されており、水深は0.9～2.5 m であった（Fig. 1）。第2回放流では、放流海域のサンゴの90%以上が夏季の高水温による白化現象で死滅していた。

調査期間中の水温は第1回放流が24.7～26.6℃、第2回放流が27.7～29.1℃の範囲で推移した。

囲い網による環境馴致 50 m 調査枠のサンゴ山を囲うように20×20 m のフロート付き側張りロープを海面に設置し、その側張りに高さ3 m、一辺の長さ20 m の囲い網（90 経モジ網製で底網なし）を敷設した（Fig. 1）。囲い網の下辺には鉄製のチェーンを装着し、下辺を海底に沈設した。

第1回放流では4月8日に2000尾を、第2回放流で

Fig. 1 Release site of the hatchery-reared coral trout juveniles. A square section (50×50 m) which was surrounded by a 100×100 m square section was marked on the release site. A net cage (400 m²) without a bottom was set within the 50×50 m square section.

は10月5日に900尾を囲い網に収容し、環境馴致を開始した。囲い網による環境馴致期間は7日間とし、その間に種苗への給餌は行わなかった。馴致期間中にはほぼ毎日囲い網内の種苗の状況を潜水観察した。第1回放流では放流前日に若干の種苗の逃亡が認められたことから（未計数）、第2回放流では囲い網内の種苗を目視計数するとともに、囲い網外の調査枠における観察も実施した。

放流方法 第1回放流は4月15日に、2回目は10月12日に実施した。第1回放流では、陸上水槽で育成していた直接放流群2000尾を、また第2回放流では同様に900尾を放流当日にいったん囲い網内に収容し、収容後直ちに囲い網を引き揚げることによって馴致放流群と直接放流群を同時に放流した。

滞留調査 種苗の滞留状況調査は、第1回放流では放流当日から40日後までの期間に9回、第2回放流では7日後までの期間に5回実施し、調査員3～4名で50 m 調査枠内と50 m 枠と100 m 枠間のエリアで素潜りによる種苗の計数を実施した。スジアラ種苗はテーブルサンゴ等の隙間に隠れている場合が多く、テーブルサンゴ

等の近辺において種苗を1尾でも発見した場合、潜水して隙間に隠れている種苗を可能な限り計数した。潜水観察は放流当日には放流2時間後、それ以外の調査日には9時から11時の間に行った。

摂餌調査 種苗の摂餌状況を把握するために、第1回放流の馴致放流群については、囲い網への収容日と囲い網を解放するまでに1回、また放流当日から23日後までの期間に5回、直接放流群については放流当日から23日後までの期間に6回、放流種苗を銚突きで再捕した。第2回放流では、馴致放流群については囲い網への収容日と囲い網を解放するまでに1回、放流後は両群とも放流当日と8日後に2回、放流種苗の再捕を試みた。本種は昼行性で、夜間はサンゴ等の隙間で睡眠状態にあり、再捕が容易になることから、種苗の再捕は夜間20時以降に実施した。再捕した種苗は水蔵し、実験室に持ち帰り、体重を0.1 g単位で、全長と体長を0.1 mm単位で測定し、内臓を摘出して胃の内容物を除いた内臓重量を0.01 g単位で秤量した。また、肝臓についても同様に秤量した。胃の内容物と腸は10%ホルマリンで固定・保存し、後日内容物を検鏡した。胃あるいは腸に内容物（腸の場合は黒色系の糞塊）が確認された場合、その個体は摂餌していたものとした。また、消化が進行した内容物のうち、耳石、骨片あるいは鱗が確認されたものは魚類を、またクチクラの場合には甲殻類を摂餌していたものと判断した。

種苗の栄養状態の指標として、スジアラ人工種苗⁹⁾やマダイ *Pagrus major* 人工種苗¹¹⁾において、飢餓の進行にともない減少することが報告されている肥満度（胃内容物重量を除いた体重/体長³×10⁶）、内臓重量指数（胃内容物重量を除いた内臓重量/体長³×10⁷）および肝臓重量指数（肝臓重量/体長³×10⁷）を算出した。

被食調査 放流種苗の被食状況を調査するために、第1回放流では毎回の滞留状況調査終了時に銚で、また放流3日後、8日後および13日後の20時から23時の間に銚で、睡眠状態にある肉食性魚類等を採集した。また、同日に1枚刺し網（目合い38 mm、高さ1.5 m、長さ合計200 m）を18時頃に設置して22時頃に回収した。刺し網は3日後の調査が50 m 枠の東側、8日後が南側および13日後が北側に設置した。第2回放流では毎回の滞留状況調査終了時と放流2日後の20時から22時の間に銚で肉食性魚類等を採集した。銚による採集は調査枠を中心に周囲100~150 mまでの範囲で実施した。採集個体は水蔵し、実験室へ搬入して種を同定するとともに体サイズを測定した。その後、消化管を摘出して胃内容物を調査した。胃内容物として出現した生物は放流種苗、それ以外の魚類、甲殻類およびその他として整理し、放流種苗については馴致放流群と直接放流群を区別して記録した。また、タグのみが出現した場合も

スジアラ放流種苗が捕食されていたものとした。

統計処理 2群の肥満度、内臓および肝臓重量指数の差をMann-WhitneyのU検定で比較し、有意水準を5%に設定した。

結 果

滞留状況

1. 第1回放流 囲い網解放後の調査枠内における馴致放流群と直接放流群の個体数変動を、放流尾数に対する観察尾数の百分率（便宜上、滞留率と呼称する）としてFig. 2に示した。馴致放流群の50 m 枠内における滞留率は放流2時間後の調査時にはすでに激減し、5.3%にすぎなかった。50 m 枠内の滞留率はその後徐々に減少し、放流19日後以降には1%以下となり、調査最終日の40日後には0.1%であった。一方、50~100 m 枠

Fig. 2 Retention rate of the hatchery-reared coral trout juveniles released on the coral reef in the first release trial. Juveniles of the test group were released after being acclimated to the natural environment for 7 days by stocking in a net cage which was set on the release site. Juveniles of the control group were released without acclimation. Retention rate was expressed as the percentage of the number of juveniles counted by divers to the number of juveniles released. The released juveniles were counted in the 50×50 m section (○) and in the area between the 50×50 m and 100×100 m sections (●).

間の滞留率は当初の0.8%から4日後には2.8%まで上昇し、19日後に0.2%を記録して以後確認できなかった。

直接放流群の50 m 枠内における滞留率は放流2時間後には50.3%を示し、多くの個体がサンゴ山 (Fig. 1) に分布していた。50 m 枠内の滞留率はその後指数関数的に減少し、12日後以降には馴致放流群と大差ない値を示した。50~100 m 枠間の滞留率は放流当日と翌日にはそれぞれ2.3%と3.2%を示し、その後0.6~2.8%の範囲で推移して28日後以降0.1%まで低下した。

放流12日後、19日後および28日後の調査時に標識の脱落により群判別ができない個体がみられ、観察した種苗数に占める割合はそれぞれ4.1%、23.3%および20.0%であった。

2. 第2回放流 滞留率の推移を Fig. 3 に示した。第2回放流では、囲い網内で環境へ馴致中の種苗を計数したところ、囲い網への収容尾数に対する収容翌日の種苗計数値の割合は76.2%であった(便宜上、この割合を見かけの滞留率と呼称する)。見かけの滞留率は収容3日後の18.6%まで急減し、その後緩やかに減少して囲い網解放直後には7.3%を示した。なお、囲い網で馴致を開始して2日後、3日後、4日後および6日後にそれぞれ17尾(囲い網への収容尾数に対する割合は1.9%)、20尾(2.2%)、26尾(2.9%)および13尾(1.4%)の種苗が囲い網の周囲で認められた。

馴致放流群の囲い網解放後の50 m 枠内における滞留率は、当初の7.3%から徐々に減少する傾向を示し、放流3日後には5.1%を示した。一方、50~100 m 枠間の滞留率は0.2~0.3%で推移した。直接放流群の50 m 枠内における放流当日の滞留率は38.8%を示し、翌日には10.3%まで減少して3日後まで10%前後で推移した。直接放流群の50~100 m 枠間の滞留率は囲い網収容群よりも高い値を示し、3日後まで1.5%前後の値で推移した。調査期間中に標識の脱落により群判別ができない個体がみられ、放流当日から3日後までに観察した種苗数に占める割合は、それぞれ4.6%、14.9%、29.1%および30.8%であった。

放流3日後以降も調査を継続する計画であったが、台風によって調査枠が破損したため、放流7日後に調査を終了した。終了時の観察尾数は、馴致放流群が2尾、直接放流群が5尾であった。なお、第1回および第2回放流調査とも、放流した人工種苗と同サイズのスジアラ天然魚の分布は確認されなかった。

摂餌状況

1. 第1回放流 馴致放流群では囲い網内での育成時(放流4日前)に6.7%の個体がデバスズメダイ *Chromis viridis* を摂餌していた (Table 1)。また、囲い網内で実際にデバスズメダイを捕食する種苗も観察した。放

Fig. 3 Retention rate of the hatchery-reared coral trout juveniles released on the coral reef in the second release trial. See Fig. 2 for details of the test and control groups and retention rate. In this trial, the number of juveniles in the test group was counted by divers in the net cage before release and the percentage of the number of counted juveniles before release to the number of stocked juveniles is tentatively shown as the retention rate. ○, 50×50 m section; ●, area between the 50×50 m and 100×100 m sections.

流3日後までの調査では、摂餌個体は観察されなかったが、馴致放流群の摂餌個体率は8日後に36.4%を示し、13日後には71.4%に達した。直接放流群の摂餌個体率は8日後に7.1%を示し、その後増加して13日後に40.0%、23日後に83.3%に達した。両群のスジアラ放流種苗が摂餌していた餌は主に魚類と甲殻類であり、各餌を摂餌していた種苗数の摂餌種苗数に対する割合はそれぞれ50.0%と53.8%であった。消化管内容物重量指数(消化管内容物重量/種苗体重)については、多くの種苗で内容物の消化が進んでいたため算出できなかった。

再捕種苗の肥満度、内臓重量指数および肝臓重量指数の推移を Fig. 4 に示した。肥満度は両群とも直線的に減少する傾向を示し、両群に差は認められなかった ($P > 0.05$)。馴致放流群の内臓重量指数は囲い網収容3日後までと放流8日後までの減少率が大きく、以後7前

Fig. 4 Condition factor (CF), visceral weight (VWI) and liver weight indices (LWI) of the hatchery-reared coral trout juveniles after release in the first release trial. See Fig. 2 for details of the test and control groups. Condition factor = (body weight in g) / (standard length in mm)³ × 10⁶. Visceral and liver weight indices = (weight in g) / (standard length in mm)³ × 10⁷. Vertical bars indicate the standard deviation.

後の値で安定した。直接放流群の内臓重量指数は馴致放流群よりも高い傾向を示し、放流13日後に有意差が認められたが ($P < 0.05$)、それ以降も低下傾向にあった。馴致放流群の肝臓重量指数は囲い網収容3日後までの減少率が大きく、その後1~1.4の範囲で推移した。直接放流群の肝臓重量指数は馴致放流群よりも放流当日

($P < 0.001$)、3日後 ($P < 0.01$) および13日後 ($P < 0.05$) に有意に高い値を示したが、23日後には有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。

2. 第2回放流 台風の影響によって種苗の再捕を計画通りに行うことができず、馴致放流群については囲い網収容日に10尾、収容6日後に10尾を、直接放流群については放流日に10尾と放流8日後に1尾を再捕したにすぎず、再捕種苗はいずれも摂餌していなかった。馴致放流群の囲い網収容日の肥満度、内臓重量指数および肝臓重量指数の平均値 ± 標準偏差はそれぞれ 25.1 ± 2.2 , 25.9 ± 3.6 および 3.6 ± 1.0 であり、収容6日後の値はそれぞれ 22.4 ± 1.1 , 15.5 ± 2.2 および 2.2 ± 0.9 であった。同様に、直接放流群の放流日の各測定値はそれぞれ 25.1 ± 0.8 , 19.7 ± 2.1 および 3.1 ± 0.4 であり、放流8日後の値はそれぞれ 24.8 , 6.9 および 0.7 であった。

被食状況

1. 第1回放流 放流後に銆によって採集した肉食性生物は、魚類25種52個体、頭足類3種12個体および爬虫類のウミヘビ類1種1個体であり、全個体の胃内容物を調べた。また、刺し網による採集生物は魚類11種30個体であり、そのうちプランクトン食魚と雑食魚を除く8種14個体の胃内容物を調べた。胃内容物を調べた個体のうち、17種が魚類を捕食しており、17種54個体のうち8種9個体が馴致放流群を、また7種9個体が直接放流群を捕食していた (Table 2)。捕食生物のうち高頻度で放流種苗を捕食していたのはウツボ類、大型のハタ類およびウミヘビ類であり、ニセゴイシウツボ *Gymnothorax isingteena* の2個体が合計18尾の放流種苗を、ウミヘビ類 *Hydrophis sp.* の1個体が8尾の放流種苗を捕食していた。被食魚類の総数は59尾で、そのうち45尾 (76.3%) が放流種苗であり、放流種苗の被食尾数が多かった。また、被食種苗のうち17尾が馴致放流群、28尾が直接放流群であり、馴致放流群の被食頻度が低い傾向を示した。

今回の調査においてスジアラ放流種苗を1尾でも捕食していた生物種の放流種苗に対する捕食率 (捕食個体数/採集個体数) および放流種苗とその他魚類に対する平均捕食尾数を、捕食生物の採集個体数が多かった放流3日後、8日後および13日後と比較すると (Table 3)、捕食率は8日後まで高い値を示した。また、平均捕食尾数は8日後までは放流種苗に対する値が高かったが、13日後にはその他の魚類に対する値が増加していた。

2. 第2回放流 放流後に採集した生物は、魚類19種42個体、頭足類2種2個体および爬虫類のウミヘビ類1種1個体であった。胃内容物調査は第1回放流調査の結果に基づき、魚食性の14種32個体について実施した (Table 2)。調査個体のうち、ドクウツボ *Gymnothorax melanospilos*、アオヤガラ *Fistularia commersoni*

Table 1 Feeding condition of hatchery-reared juveniles of the coral trout released on the coral reef in the first release trial

Juvenile group ^{*1}	Days after release	No. of juveniles collected	Total length ^{*2} (mm)	Juveniles with food items		Food items ^{*4}		
				<i>n</i>	(%) ^{*3}	Fish	Decapods	Unidentified
Test	-7	15	136 ± 12	0	0	0	0	0
	-4	15	140 ± 9	1	6.7	1	0	0
	0	7	147 ± 14	0	0	0	0	0
	3	10	157 ± 7	0	0	0	0	0
	8	11	138 ± 13	4	36.4	2	0	2
	13	14	150 ± 14	10	71.4	5	6	2
	23	1	151	1	100	1	1	0
Total		73		16		9	7	4
Control	0	15	140 ± 7	0	0	0	0	0
	1	9	146 ± 10	0	0	0	0	0
	3	6	154 ± 11	0	0	0	0	0
	8	14	156 ± 12	1	7.1	0	1	0
	13	10	153 ± 11	4	40.0	1	3	1
	23	6	157 ± 10	5	83.3	3	3	0
Total		60		10		4	7	1

Both stomach and intestines were examined.

^{*1} Juveniles of the test group were released after being acclimated to the natural environment for 7 days by stocking in a net cage without a bottom which was set on the release site. Juveniles of the control group were released without acclimation.

^{*2} Mean ± standard deviation.

^{*3} Ratio to the number of juveniles collected.

^{*4} Each value indicates the number of coral trout juveniles which had preyed on each food item.

sonii, スジアラ天然魚およびニジハタ *Cephalopholis urodet* が放流種苗を捕食していた。被食魚類の総数は24尾で、そのうち14尾(58.3%)が放流種苗であった。馴致放流群と直接放流群の被食尾数はそれぞれ6尾と8尾であり、馴致放流群の被食頻度が若干低い傾向を示した。

第1回放流と同様に算出したスジアラ放流種苗を捕食していた生物種の放流種苗に対する捕食率と平均捕食尾数は、放流翌日が最も高い値を示した (Table 3)。

考 察

滞留 直接放流群の放流当日の滞留率は40~50%の値を示し、以後指数関数的に減少した (Figs. 2, 3)。この滞留率の推移は、照屋ら⁷⁾が今回の放流海域の近辺において同様の方法で調査した放流事例の結果とよく一致した。一方、第2回放流では、囲い網内で環境へ馴致中の種苗を計数したところ、見かけの滞留率は当初の76%から収容3日後の19%程度まで急減し、その後徐々に低下して囲い網解放時には7%程度の値を示した (Fig. 3)。本調査では、テーブルサンゴ等の近辺において種苗を1尾でも発見した場合、潜水して隙間に隠れている種苗を可能な限り計数したが、それでも囲い網内における放流までの見かけの滞留率は急減した。第2回放流では、囲い網外への種苗の逃亡が認められたが、

囲い網への収容尾数に対する逃亡種苗の計数値の割合は2%程度で、見かけの滞留率の急減に影響を与えるほどの値とは考えにくいことから、この見かけの滞留率の急激な低下は、種苗がサンゴ等の奥深い間隙に隠れる能力を向上させ、潜水観察者の種苗発見率が低下したことに起因するものと考えられる。第1回放流における放流当日の低い滞留率(5%)もこのことによって説明可能と考えられる。

放流種苗群を区別するために、今回は体外型タグ(アンカータグとリボンタグ)を採用したが、タグの脱落が認められたことから、今後はイラストマー¹²⁾や凍傷標識¹³⁾等も併用し、放流群の識別を確実にする必要がある。また、今回の被食状況調査においては、捕食されていたスジアラ種苗の群を識別することができたが (Table 2)、消化が進んでいた被食魚の中には放流種苗(特に標識が脱落した種苗)が含まれている可能性もあることから、今後の調査ではALCによる耳石標識¹⁴⁾で放流群を識別することも必要である。

摂餌 スジアラ人工種苗は実験的にはデバスズメダイを捕食することが可能と報告されているが、^{9,15)} 実際の放流現場ではこれまで確認されていなかった。今回の第1回放流において、囲い網に収容したスジアラ種苗が実際にデバスズメダイを捕食することが確認された。飼育条件下のスジアラ人工種苗のデバスズメダイに対する捕

Table 2 Analysis of stomachs of piscivorous species collected during the first and second release trials

Release trial no.	Family	Species (Japanese name)	<i>n</i>	BS*1 (mm)	No. of individuals which had preyed on each food item					Total no. of each food item in stomachs		
					Test group*2	Control group*2	Other fish	Decapods	Others	Test group*2	Control group*2	Other fish
1	Muraenidae	<i>Gymnothorax melanospilos</i> (Dokuutsubo)	1	526	1	0	0	0	0	1	0	0
		<i>G. isingteena</i> (Nisegoishiutsubo)	2	1150, 1175	1	2	0	0	0	1	17	0
	Congridae	<i>Congar cinereus</i> (Kirianago)	1	870	0	1	0	0	0	0	2	0
	Aulostomidae	<i>Aulostomus chinensis</i> (Herayagara)	1	630	0	0	1	0	0	0	0	1
	Belonidae	<i>Tylosurus crocodilus crocodilus</i> (Okizayori)	1	785	1	1	0	0	0	1	1	0
	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i> (Sujiara)	5	369 ± 83	0	1	1	0	0	0	1	1
		<i>P. laevis</i> (Kokuhanara)	1	363	1	0	0	0	0	2	0	0
		<i>Cephalopholis urodeta</i> (Nijihata)	6	174 ± 13	0	0	2	0	0	0	0	2
		<i>Epinephelus ongus</i> (Namihata)	2	193, 255	0	0	1	2	0	0	0	1
		<i>E. maculatus</i> (Shirobuchihata)	3	334 ± 5	2	2	1	0	0	5	2	1
	Lutjanidae	<i>Lutjanus decussatus</i> (Amimefuedai)	5	246 ± 26	1	0	2	4	0	2	0	3
	Lethrinidae	<i>Lethrinus atkinsoni</i> (Isofuefuki)	12	262 ± 28	0	0	1	1	6	0	0	1
		<i>Lethrinus olivaceus</i> (Kitsunefuefuki)	1	332	0	0	1	0	0	0	0	1
	Sepiidae	<i>Sepia latimanus</i> (Kobushime)	1	260	1	0	0	0	0	1	0	0
	Loliginidae	<i>Sepioteuthis lessoniana</i> (Aoriika)	3	131 ± 9	0	0	2	0	0	0	0	2
	Octopodidae	<i>Octopus cyanea</i> (Wamondako)	8	123 ± 32	0	1	1	1	1	0	1	1
	Ophichthidae	<i>Hydrophis</i> sp. (Umihebi-zoku)	1	760	1	1	0	0	0	4	4	0
	Total			54	9	9	13	8	7	17	28	14
2	Muraenidae	<i>G. melanospilos</i> (Dokuutsubo)	2	755, 928	1	1	0	0	0	2	3	0
		<i>G. isingteena</i> (Nisegoishiutsubo)	1	1505	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fistulariidae	<i>Fistularia commersonii</i> (Aoyagara)	5	491 ± 158	1	0	3	0	0	1	0	3
	Serranidae	<i>Variola louti</i> (Barahata)	2	355, 409	0	0	2	0	0	0	0	2
		<i>V. albimarginata</i> (Ojirobarahata)	2	285, 288	0	0	1	0	0	0	0	1
		<i>P. leopardus</i> (Sujiara)	1	352	1	1	0	0	0	2	4	0
		<i>C. urodeta</i> (Nijihata)	11	178 ± 16	1	1	1	1	0	1	1	0
		<i>E. ongus</i> (Namihata)	2	246, 256	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>E. polyphkadion</i> (Madarahata)	1	243	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Lutjanus kasmira</i> (Yosujifuedai)	1	204	0	0	0	0	1	0	0	0
		<i>Lutjanus gibbus</i> (Himefuedai)	1	275	0	0	1	0	1	0	0	2
	Sepiidae	<i>S. latimanus</i> (Kobushime)	1	196	0	0	0	1	0	0	0	0
	Octopodidae	<i>O. cyanea</i> (Wamondako)	1	144	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ophichthidae	<i>Hydrophis</i> sp. (Umihebi-zoku)	1	759	0	0	1	0	0	0	0	2
	Total			32	4	3	9	2	2	6	8	10

*1 Body size (mean ± standard deviation) was expressed as total length for fishes and sea snake, mantle length for squid and cuttlefish, and body length from the tip of the body to the center of eye for octopus.

*2 See Table 1 for details of the test and control groups.

Table 3 Incidence of predation on the released coral trout juveniles with time after release

Release trial no.	Days after release	No. of individuals collected ^{*1}	Incidence of predation ^{*2}	Mean no. of fishes in a stomach		
				Test group ^{*3}	Control group ^{*3}	Other fish
1	0	1	100	0	1.0	0
	1	3	33.3	2.0	0	0
	2	2	50.0	1.0	1.0	0
	3	4	100	1.0	3.5	0
	4	1	0	0	0	0
	7	2	50.0	1.0	5.0	1.0
	8	5	80.0	2.0	1.5	0.3
	12	1	100	0	1.0	1.0
	13	8	12.5	1.0	0	3.0
2	1	6	50.0	1.7	2.3	0.7
	2	5	20.0	1.0	1.0	1.0
	7	3	0	0	0	0

^{*1} Species which preyed on the released coral trout juveniles during the sampling period.

^{*2} (No. of individuals which had preyed on the coral trout juveniles)/(no. of individuals collected) × 100.

^{*3} See Table 1 for details of the test and control groups.

食量は絶食開始当初は低い値を示すが、飢餓状態の進行にともない増加し、肥満度 20 前後でピークを示すことが報告されている。⁹⁾ また、絶食当初の低い捕食量は実験時のハンドリングによる種苗のストレス状態に起因し、飢餓の進行にともなう捕食量の増加は生理的摂餌要求がストレスによる心理的不安を上回ることによるものと考えられている。⁹⁾ 今回の放流種苗の肥満度は馴致放流群では放流 13 日後に、直接放流群では 23 日後に 20 前後まで低下した (Fig. 4)。また、摂餌個体率は前者では放流 13 日後、後者では 23 日後に大きく増加しており (Table 1)、前述の飼育条件下の実験結果⁹⁾ に一致した。

絶食下のスジアラ人工種苗の内臓重量指数は絶食当初の減少率が大きく、その後も直線的に減少することが報告されている。⁹⁾ 第 1 回放流における馴致放流群の内臓重量指数は放流 8 日後以降にほぼ安定した値を示したことから (Fig. 4)、馴致放流群は摂餌にともない飢餓状態から回復しつつあるものと考えられる。

以上のように、放流を起点に種苗の摂餌と飢餓状態を評価すると、第 1 回放流では馴致放流群の方が直接放流群より摂餌個体率が速く増加し (Table 1)、また飢餓状態から回復しつつあると考えられることから (Fig. 4)、馴致放流群の方が環境への順応が速いものと判断される。一方、第 2 回放流では台風による環境攪乱によって種苗を計画通りに再捕することができず、摂餌に及ぼす囲い網の効果を判断することはできなかった。

被食 第 1 回放流では、馴致放流群が 8 種 9 個体、直接放流群が 7 種 9 個体の魚食性生物に捕食されており、馴致放流群の被食頻度は直接放流群よりも低い傾向を示した (Table 2)。馴致放流群では放流当初の見かけ

の滞留率が低い (Figs. 3, 4)、すなわち囲い網による環境馴致によってサンゴ等の間隙に隠れる能力が向上していることが、被食回避に有効に作用しているものと考えられる。人工種苗の被食回避に及ぼす放流場に設置した囲い網による短期馴致効果は、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* でも調査されており、馴致期間が 0~7 日間の範囲では収容期間が長いほど被食頻度が低くなる傾向が示されている。¹⁶⁾

ヒラメの種苗放流では、陸上実験と実際の放流場における調査結果に基づき、飢餓が被食を加速するものと考えられている。¹⁷⁻²⁰⁾ スジアラ人工種苗の飢餓と被食の関係を調べた報告はないが、前述のように馴致放流群の方が直接放流群より速く環境に順応し、飢餓状態から回復しつつあると考えられることから、囲い網による環境馴致は飢餓による被食を回避する方向に作用するものと考えられる。

一方、第 2 回放流では、4 種 4 個体の魚食性魚類が放流種苗を捕食しており、馴致放流群の被食頻度が若干低い傾向を示したが、台風によって調査期間が短かったこともあり、被食頻度の差は明確ではなかった。環境馴致効果は飢餓状態が急速に進行する小型種苗でより有効と考えられていることから、⁹⁾ 今回明確な結果が得られなかった小型の当歳種苗について、再度調査を試みる必要がある。

集中放流と被食 スジアラ放流種苗の被食尾数はその他の魚類に比較して多く、特に放流初期の被食尾数が多かった (Table 3)。本邦におけるスジアラ天然魚の生息密度に関する知見はないが、Light and Jones²¹⁾ はオーストラリアのグレートバリアリーフで潜水観察を行い、体長 40~90 mm と 130~160 mm (全長と体長の回帰

式¹⁵⁾から換算すると全長48~109 mmと158~195 mm)のスジアラ天然魚の個体数を報告している。彼らは4定点で調査を実施し、各定点で20分間の潜水観察を9回繰り返した結果(観察した総面積は約1500 m²)、20分間に観察した平均個体数は最大2尾程度であったことを示している(Light and Jones²¹⁾のFig. 2からの読み取り値)。この報告から50 m調査枠の面積(2500 m²)で観察が期待されるスジアラ個体数を計算すると30尾になり、この値と比較すると今回の放流尾数は2桁も多いことになる。このようなことから、放流初期にスジアラ種苗の被食尾数が多かったのは、50×50 m程度の狭い範囲で集中放流していることに起因する可能性が考えられる。

今回のような放流手法を採用した場合、放流直後の種苗の集中分布を防ぐことは困難であり、集中分布が被食につながりやすいことになれば、放流手法自体を見直す必要がある。このように、放流初期の種苗の分布密度と被食の関係は放流手法の選択に関わる重要な問題であることから、その関係について捕食者の分布密度、捕食量、生活圏等を把握しながら詳細に検討する必要がある。また、マダイ²²⁾やヒラメ種苗²³⁾では、学習による捕食者回避能力の強化によって被食頻度を低減できる可能性が陸上実験で示されていることから、本種においても捕食者回避における学習効果を研究する価値は高いものと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり囲い網の設置と放流調査にご協力いただいた日本栽培漁業協会八重山事業場の廣川潤場長並びに職員各位に厚くお礼申し上げる。また、放流調査を補助いただいた当時の九州大学大学院修士課程の岡本久美子氏に深謝する。論文の校閲を賜った日本栽培漁業協会の古澤 徹常務、廣瀬慶二参与並びに福永辰廣部長に心よりお礼申し上げる。

文 献

- 1) 片山正夫. スジアラ「日本産魚類大図鑑」(益田 一, 尼岡邦夫, 荒賀忠一, 上野輝彌, 吉野哲夫編)東海大学出版会, 東京. 1984; 124.
- 2) 海老沢明彦. スジアラの資源生態調査(水産生物生態調査). 平成8年度沖縄県水産試験場事業報告書, 沖縄県水産試験場, 那覇. 1998; 37-40.
- 3) 海老沢明彦. スジアラの資源生態調査(水産生物生態調査). 平成9年度沖縄県水産試験場事業報告書, 沖縄県水産試験場, 那覇. 1999; 33-38.
- 4) 浜崎活幸. 資源添加技術開発の概要, スジアラ. 平成11年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 2002; 298-299.
- 5) 手塚信弘. 資源添加技術開発の概要, スジアラ. 平成3年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 1993; 313-314.
- 6) 手塚信弘. 資源添加技術開発の概要, スジアラ. 平成4年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 1994; 269-270.
- 7) 照屋和久, 浜崎活幸, 皆川 恵, 竹内宏行, 林原 毅, 佐野元彦, 玉城泉也. 石垣島浦底湾のサンゴ礁域に放流したスジアラ人工種苗の滞留, 摂餌および被食. 水産増殖 2003; **51**: 151-156.
- 8) 照屋和久. 資源添加技術開発の概要, スジアラ. 平成9年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 1999; 307-310.
- 9) 浜崎活幸, 照屋和久, 竹内宏行. スジアラ人工種苗の飢餓耐性と絶食下の捕食量. 水産増殖 2003; **51**: 65-71.
- 10) 北田修一. 「栽培漁業と統計モデル分析」共立出版, 東京. 2001.
- 11) Umino T, Nakagawa H, Takaba M. Lipid accumulation and starvation tolerance in young red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **75**: 1897-1902.
- 12) 宮木廉夫, 新山 洋, 安元 進, 池田義弘, 多田田修. トラフグ *Takifugu rubripes* 幼魚におけるイラストマー蛍光標識の有効性について. 長崎水試研報 1997; **23**: 27-29.
- 13) Zeller DC, Russ GR. Population estimates and size structure of *Plectropomus leopardus* (Pisces: Serranidae) in relation to no-fishing zones: mark-release-resighting and underwater visual census. *Mar. Freshwater Res.* 2000; **51**: 221-228.
- 14) Tsukamoto K, Kuwada H, Hirokawa J, Oya M, Sekiya S, Fujimoto H, Imaizumi K. Size-dependent mortality of red sea bream, *Pagrus major*, juveniles released with fluorescence otolith-tags in News Bay, Japan. *J. Fish Biol.* 1989; **35**: 59-69.
- 15) 照屋和久, 浜崎活幸, 竹内宏行. スジアラ人工種苗の口径と捕食したデバスズメダイの最大体サイズの関係. 水産増殖 2003; **51**: 35-40.
- 16) 古田晋平. 放流技術と健苗性「放流魚の健苗性と育成技術」(北島 力編)恒星社厚生閣, 東京. 1998; 94-101.
- 17) 古田晋平, 渡部俊明, 山田英明, 西田輝巳, 富永貴幸. 鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の分布, 成長および個体数変動. 日水誌 1997; **63**: 877-885.
- 18) 古田晋平, 渡部俊明, 山田英明, 富永貴幸. 鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の摂餌状態と餌料条件. 日水誌 1997; **63**: 886-891.
- 19) 古田晋平, 渡部俊明, 山田英明. 鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の被食. 日水誌 1998; **64**: 1-7.
- 20) 古田晋平. ヒラメ天然稚魚の摂食行動および被食に及ぼす飢餓の影響. 日水誌 1998; **64**: 658-664.
- 21) Light PR, Jones GP. Habitat preference in newly settled coral trout (*Plectropomus leopardus*, Serranidae). *Coral Reefs* 1997; **16**: 117-126.
- 22) 藤川裕司, 佐々木 正. 人工種苗マダイの捕食者回避における学習効果. 水産増殖 2001; **49**: 151-156.
- 23) Hossain MAR, Tanaka M, Masuda R. Predator-prey interaction between hatchery-reared Japanese flounder juveniles, *Paralichthys olivaceus*, and sandy shore crab, *Matuta lunaris*: daily rhythms, anti-predator conditioning and starvation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2002; **267**: 1-14.