インダイの帯模様弁別能^{*1}

川村 軍蔵・下和田 隆

(1982年6月7日受理)

Discrimination of Striped Shape by Japanese Parrotfish

Gunzo KAWAMURA^{*2} and Takashi SHIMOWADA^{*2,3}

This study was conducted to examine the ability of Japanese parrotfish *Oplegnathus fasciatus* (TEMMINCK and SCHLEGEL) to discriminate their vertically striped body coloration which could be a visual signal for intraspecific communication. The fish were trained to discriminate a shape which resembles Japanese parrotfish in countour and stripe coloration. After the training, transfer tests were run. The fish were not able to discriminate between shapes having five and seven vertical stripes. The difference between the two shapes employed was the presence of the 6th and 7th vertical stripes in the caudal area. The fish trained on the square shape having vertival stripes or horizontal stripes gave no evidence of having learned to discriminate the exact number of stripes on each nor of having developed the higher ability to discriminate vertical stripes from horizontal ones. The ability of the fish to discriminate striped shapes by photopic vision was the same as that by scotopic vision at 0.01-0.03 lx. From the results obtained, it was concluded that their body coloration can be an intraspecific visual signal but the 6th and 7th vertical stripes might not be important for their social communication.

魚の持つ明瞭な体模様は種内あるいは種間のコミュニケーションの信号としての機能を持つと考えられており、¹⁾ このような視点から体模様とその社会行動を論じた報告が極めて多い。しかし、色彩に富んだ体模様が信号としての機能を持つためには信号を受ける側に色覚や体模様の弁別能を持つことが不可欠であるはずであるにもかかわらず、視覚を考慮して魚の体模様と社会行動に触れた報告は PROTASOV²⁾ と RADESÅTER・FERNÖ³⁾ のものの他は見当たらない。魚の社会行動における体模様の機能の問題は、魚の行動の理解という視点からのみならず、誘引や駆集技術への応用という漁撈技術の面からも興味深いものである。

本研究は、インダイ *Oplegnathus fasciatus* (TEMMINCK and SCHLEGEL) が持つ横帯模様が視信号刺激として同種の個体に弁別され得るものか否かを知ることを目的とした。インダイは全長 4 cm で 7 本の横帯模様を持った成魚色となり、全長 30 cm まではその鮮やかな体模様のために薄暗い岩の割目にいても容易に認められ、それ以上に成長すると体模様が不明瞭となり単独行動をとるようになる。⁴⁾ また、インダイは他の魚種に比

べて学習実験に適した種であり、⁵⁾ 体色が灰色と黒色であるので本研究の目的には色覚を無視し得る。

材料および方法

インダイは鹿児島県の養殖漁業者から入手した尾叉長 14~19 cm の若魚である。

学習実験に用いた水槽は奥行、幅、深さがそれぞれ 60, 30, 30 cm の透明塩化ビニール製であり、その一端の外側に灰色塩化ビニール製の図形呈示板を置き、それに図形呈示用に左右一対の 10×10 cm の窓を開けてある。図形呈示には 10×10 cm の白色プラスチック板に図形を黒色マジックインクで描いたものを図形呈示板の窓に差し込んだ。左右の図形は水槽内側の中央で 20 cm 幅の灰色塩化ビニール板で仕切られている (Fig. 1)。

図形弁別学習実験に先立ち、魚を 1 週間水槽に馴致させると同時に、図形呈示板の前で摂餌するよう訓練した。次に、図形を左右に同時呈示し、魚が正図形の前に来た時のみ餌を与え、正図形に条件付けた。図形の左右の位置は乱数表に従って無作為に決め、魚が正しく反応した時には報酬として冷凍アミを 1 尾与えた。図形呈示

*1 本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (奨励 A, 471647) によった。

*2 鹿児島大学水産学部漁法学教室 (Laboratory of Fishing Technology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890, Japan).

*3 現住所: 函館製網船具株式会社 (Hakodate Seimo Sengu Co. Ltd., 1-13-14 Minato, Hakodate, Hokkaido 040, Japan).

Fig. 1. A training tank. At the start of each test, the fish was driven behind the detection plates (DET) and the shapes to be discriminated were displayed at the far end of the tank through discrimination window (DIS) which were divided by a partition (P). All animals were pre-trained to go through between the detection plates when the shapes were displayed and to swim for food reward (a small shrimp) to the positive shape. A response was recorded when the fish swam to one shape or the other. The position of the positive and negative shapes was varied in a random order. Transfer tests were run at the end of training.

は10回を1試行とし、1日3試行を行った。学習完成の基準は70%以上の正答率が3試行以上連続した時（この現象が偶然起こる確率は0.015%以下である）とした。Hunger driveの影響を避けるために、毎朝実験前に魚の摂餌反応に応じて数グラムの冷凍アミを与えた。学習が完成した時点では魚は図形を呈示した時のみ仕切板の奥に進入して正図形の前に定位した。水槽水の水質が悪化するとインダイの摂餌が鈍るか止まるので、⁶⁾ 水槽内の図形呈示部位と反対側の位置に幅27cm、奥行7cm、高さ30cmの濾過槽を置き、エアリフトした水

槽水を連続濾過する一方、週に1回水槽水の1/3を新鮮海水と交換した。水槽の照明は実験室の天井灯（蛍光灯30W×4）で行い、水槽直上の下向き照度は700~900lxであった。

目的に応じて異なる実験方法を用いたので、それぞれの方法を下記に述べる。

実験1 異なる帯数の魚図形の弁別能を知るために、インダイの体形に似せた魚図形にそれぞれ異なる数の帯を描いたものを用いて弁別学習実験を行った。まず、垂直帯7本あるいは水平帯5本の魚図形を正図形、三角形を負図形として条件付けをした。学習が完成した後、負図形をFig. 2に示した異なる帯数の魚図形に換えて移調試験 (transfer test) を行った。垂直帯および水平帯の試験にそれぞれ4個体と5個体の魚を用いた。

実験2 垂直帯の魚図形と水平帯の魚図形を弁別し得るか否かを知る目的で、実験1と同じ個体を用いて、垂直帯図形に条件付けた個体には水平帯図形を負図形とし、水平帯図形に条件付けた個体には垂直帯図形を負図形として移調試験を行った。

実験3 垂直帯図形の弁別と水平帯図形の弁別に難易の差があるか否かを知る目的で、魚図形では垂直帯と水平帯を同じ条件にすることができないため、正方形図形を用いて弁別学習実験を行った。13本の垂直帯あるいは水平帯図形を正図形とし、帯模様の無い正方形を負図形としてそれぞれ5個体の魚を条件付けた後、Fig. 3に示した帯数の異なる10種の正方形図形を負図形として移調試験を行った。

実験4 SUTHERLAND⁸⁾によると、金魚の形状弁別において、図形の上部の特徴で形状を弁別するので、図形の上部の形状が同じであれば下部が明瞭に異なっても弁別できないという。これと同じことがインダイでもあり得るか否かを知るために、実験3で水平帯に条件

Fig. 2. Training shape and transfer shapes used in experiment 1. The training shape with seven vertical stripes resemble the Japanese parrotfish in contours and coloration.

Fig. 3. Training shape and transfer shapes used in experiment 2. To display horizontally striped square shapes, same figures were rotated through 90°. The figure under the shapes shows the number of stripes.

Fig. 4. Transfer shapes used in experiment 4.

付けた2個体と垂直帯に条件付けた1個体の魚を用い、負図形を Fig. 4 に示した上半分と下半分の帯数が異なる正方形図形に換えて移調試験を行った。

実験 5 明調視と暗調視における図形弁別能の差の有無を知る目的で、夜間室内灯を消し、実験室の窓からの光を調節することによって室内の明るさを観察者が魚を視認し得る下限の明るさ（水槽付近の水平方向照度 $0.01 \sim 0.03 \text{ lx}$ ）とした。実験 3 で垂直正方形図形に条件付けた4個の魚をこの明るさに1時間以上順応させた後、帯数の異なる垂直帯正方形図形を負図形として暗調視における移調試験を行った。種々の明るさに対するインダイの網膜運動反応の実験の結果では、この明るさに順応した網膜は組織学的に完全な暗順応の状態を呈していた*。

実験に用いた水槽の中で魚は呈示図形を前方に見ることになる。TAMURA⁷⁾の方法に従って網膜の錐体密度と

水晶体の焦点距離から求めたインダイ網膜の前方向の最小分離角は 7.1° であったので*、用いた図形の帯の太さは明調視の場合に視精度の面からは問題無い。また、多くの魚の眼の近点は略体長と同じ距離の所にあると考えられており、⁸⁾ 水槽内のインダイは呈示図形を 20 cm 以上離れた所から見るので十分図形に焦点を合わせることができたと考えられる。

結果および考察

実験 1 垂直帯7本の魚図形の学習が成立までに要した試行回数は個体差が大きく、用いた4個体はそれぞれ 4, 6, 9, 10 試行で完成した。水平帯5本の魚図形の場合は用いた5個体がそれぞれ 4, 4, 5, 5, 7 試行で学習が完成し、垂直帯の魚図形の場合よりも速かった。学習完成後に1つの負図形について3試行以上行った移調試験の結果を、正図形に対する正反応率の全個体の平均値と標準誤差を帯数毎に表わしたものを Fig. 5 に示した。移調試験で 70% 以上の正答率が得られれば、魚は条件付けられた図形を負図形と弁別して正しく反応したと見なせ、50% の正答率では正図形と負図形に等しく反応したのであって両者の図形の差を弁別できなかったと見なせる。

垂直帯の場合は負図形の帯数が4本までは弁別できたが、5本になると弁別できなかった。正図形の7本と負図形の5本の違いは尾部の短い2本の帯であるので、正図形の学習の際尾部の2本の垂直帯が無視されたために5本と弁別できなかったのであろう。この結果からインダイが同種の個体を横帯模様で認識する場合を考える

* 川村軍蔵・下和田隆：未発表。

Fig. 5. Results of the transfer test in experiment 1. The animals have been trained to discriminate two inserted shapes (P, positive; N, negative) and transfer tests were run with the transfer shapes shown in Fig. 2.

Fig. 6. Experiment 2. Same as in Fig. 5.

と、頭胴部の第1～第5横帯が重要な信号刺激となり得るが、尾部の第6、第7横帯は重要な意味を持たないと考えられるが、インダイの第6、第7横帯は不鮮明な場合が多いのでこれが視信号刺激として重要でないと考えても大きな矛盾は無い。

水平帯の場合には負図形の帯数が3本までは明瞭に弁別したが、4本になると弁別できなかった。用いた4本の水平帯図形は上部あるいは下部の白い部分の面積が大きく、ヒトの眼には正図形と明らかに異なって見える。インダイがこれ等を弁別できなかったことは、インダイの形状弁別の機構がヒトのそれと異なることを示唆するであろう。

実験2の移調試験の結果を Fig. 6 に示した。垂直帯と水平帯のいずれの組合せの場合も魚は明瞭に弁別し

た。インダイと同じ棲息域に縦帯模様を持つ多種の魚が見られるが、実験結果から、インダイは横帯模様を持つ魚と縦帯模様を持つ魚を容易に区別できると考えられる。

実験3の結果を Fig. 7 に示した。インダイにとって横帯模様が縦帯模様と異なる特別な社会的意味があるのであれば、垂直帯の方が水平帯よりも学習が容易で弁別能も優れているかも知れないと考えたが、実験結果はこれを肯定するものではなかった。用いた5個体の魚の垂直帯正方形図形の学習はそれぞれ4, 5, 7, 8, 23 試行で完成し、水平帯正方形図形の学習は4個体がそれぞれ4, 5, 10, 12 試行で完成した。また、帯数の異なる図形の弁別では垂直帯と水平帯で同じ結果が得られ、13本の正図形に対して負図形の2～10本までは弁別でき

Fig. 7. Experiment 3. Same as in Fig. 5. Transfer shapes were shown in Fig. 3.

たが 11 本では弁別できなかった。さらに、2~10 本の帯数の負図形に対する平均正答率は垂直帯と水平帯いずれの場合も 84~90% とほぼ等しい値を示した。負図形の水平帯の数を正図形よりもさらに増した結果では、17 本では弁別できなかったが 18 本以上になると弁別できた。これらのことは、魚が帯の絶対数を手掛りとして図形弁利をしているのではないことを意味するであろう。SUTHERLAND⁹⁾ が金魚を用いて図形の突起の数を変えて行った弁別学習実験でもこれと似た結果が得られ、同様に結論している。

実験 4 の移調試験では各負図形について 5 試行行い、その結果を Table 1 に示した。魚はいずれの負図形の場合も 84% 以上の高い正答率を示し、上半分が正図形と形状が同じ負図形であっても正図形と明瞭に区別した。従って SUTHERLAND が金魚を用いて得た図形の上半分の形状を手掛りとして図形弁別をするという結論はインダイには当てはまらないと言える。

実験 5 の結果を Table 2 に示した。これは 1 つの負

図形で明調視で 5 試行行った結果と、続いて暗調視の同じ個体に同じ図形を 1 試行呈示した時の結果を比較したものである。形状の弁別能は視精度と無関係ではなく、暗調視では明調視よりも視精度がかなり低下することが知られているので、^{9,10)} 暗調視ではインダイの図形弁別能が低下するかも知れないと考えた。実験結果は、正答率には若干の個体差があったが、観察者が魚を視認できる下限の明るさにおける暗調視では明調視と同程度に図形を弁別できることを示す。ここではインダイの体模様を考えて比較的大きな図形を用いたので魚は暗調視でも弁別できたが、釣漁具のような細かい複雑な形状の弁別能は、暗調視の場合は当然明調視よりも劣るであろう。図形の帯の幅 (3.5 mm) と魚の視認距離 (20 cm 以上) から、この時の暗調視の最小分離角は 60 分より小さいと推算される。

以上述べた実験結果と、インダイの棲息域にはインダイの頭胴部と酷似した体模様を持つ他の種は見当たらないことを考えると、インダイの体模様の第 6 と第 7 横帯を

Table 1. Experiment 4. Results of the transfer tests to examine the ability of the fish to discriminate training shape from transfer shape of which upper half or lower half is different from the training shape in stripes

Individual	Training shape	Transfer shape	Frequency of correct responses (mean % S.E.)	
#13			86	4.0
		90	4.5
#14			88	4.9
		86	6.0
#16			84	4.0
		92	5.8

無視しても頭胴部の5本の横帯のみで同種の識別が十分可能である。従って、インダイの横帯模様は社会行動の視覚信号になり得ると結論されるが、インダイが横帯模様を社会行動の視覚信号として用いていることの説明にはならない。魚の社会信号の完全な理解とその知見の漁撈技術への応用のためには、信号刺激の受容能力に関する知見と同時に、魚の社会行動の十分な観察が必要である。

本研究の学習実験に際し、種々御指導下された鹿児島大学法文学部田中利行教授に深謝する。

文 献

- 1) K. F. LAGLER, J. E. BARDACH, R. R. MILLER,

Table 2. Experiment 5. Comparison of the ability to discriminate vertical stripes between photopic vision and scotopic vision. Transfer tests for scotopic vision were run at 0.01–0.03lx

Individual	No. of vertical stripes	Frequency of correct responses		
		Photopic vision (mean % S.E.)		Scotopic vision (%)
#9	5	90	3.2	90
	7	88	3.7	90
	9	74	2.5	80
#10	3	85	5.0	80
	7	82	3.7	80
#11	3	84	4.0	80
#12	0	83	4.9	70
	3	80	5.8	80

and D. R. M. PASSINO: Ichthyology, 2nd ed., Wiley and Sons, New York, 1977, pp. 117–122.

- 2) V. R. PROTASOV: Vision and Near Orientation of Fish (Translated from Russian), Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1970, pp. 87–93.
- 3) T. RADEDÄTER and A. FERNÖ: *Behavioural Processes*, 4, 5–13 (1979).
- 4) 内田恵太郎: 動物学雑誌, 38, 228–237 (1926).
- 5) 中島東男・高松史朗・西源二郎: 動水誌, 9, 67–76 (1967).
- 6) N. S. SUTHERLAND: in "The Central Nervous System and Fish Behaviour" (ed. by D. INGLE), Univ. Chicago Press, Chicago, 1968, pp. 35–50.
- 7) T. TAMURA: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 22, 536–557 (1957).
- 8) 田村 保: 魚類生理学概論 (田村 保編), 恒星社厚生閣, 東京, 1977, pp. 231.
- 9) E. L. NAKAMURA: FAO Conference on Fish Behaviour in relation to Fishing Techniques and Tactics, Bergen, FR: FB/67/E/19, 1967, pp. 1–4.
- 10) J. H. S. BLAXTER: in "Marine Ecology" (ed. by O. KINNE), Wiley, New York, 1970, pp. 272.