落網の網型模型に対する魚群行動の水槽実験^{*1}

松田 皎, 兼広 春之, 鈴木 誠

(1985 年 9 月 10 日受理)

Water Tank Experiments of Fish Behavior to Model of Trap Nets^{*1}Ko Matuda,^{*2} Haruyuki Kanehiro,^{*2} and Makoto Suzuki^{*2}

In order to compare the performance of trap nets, water tank experiments of fish behavior to the model nets constructed by PVC plate were conducted, using bitterling *Rhodeus ocellatus* as an experimental fish and a video behavior analyzer system for observing and analysing the fish behavior. Six different types of trap nets as the model net were examined; two mouth trap net with two bags, two mouth trap net with a left bag, two mouth trap net with a right bag, single mouth trap net with two bags, single mouth trap net with a left bag and single mouth trap net with a right bag.

For the fish school coming from the left hand side of the leader net, the rate of right turn behavior just after entering the net was extremely high; 89% for the two mouth trap nets and 76% for the single mouth trap nets. The rate of remaining, which was employed as an index of the catching performance, showed the maximum in the right bag net and the minimum in the left bag net for both the two mouth trap nets and the single mouth trap net. The results seem to support an empirical rule that the bag net should be set to the same side as the leader net in the single mouth trap net.

著者ら¹⁻⁴⁾は漁具に対する魚群行動の研究方法の一環として、淡水魚タイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus* を用いた一連の水槽実験を行ってきた。まずトラップに対する魚群の行動実験において、入網率、出網率及び居残率の概念を提案し、居残率が漁具の漁獲性能を表わすひとつの指標として有効であることが示された。¹⁾ この方法を大量網、大謀網、落網など基本的な定置網の網型模型による行動実験に適用し、居残率が各網型の歴史的発展段階と一致したことから、この実験方法の妥当性が確かめられた。²⁾ これと並行して、魚群の群サイズによる行動の変化に関する実験が行われ、VTR 行動解析装置を用いた基礎的な解析により、群として安定な行動をとるための最小単位は3尾程度であることが示唆された。³⁾ さらに、定置網の垣網の誘導効果、運動場、箱網内での行動、返し網による魚群の出網阻止効果など、定置網の構造的に異なる領域における基本的な行動が解析された。⁴⁾

本研究では、これらの実験に続き、落網の網型による漁獲性能の差を検討する目的から、落網の6つの網型模型を用いた水槽実験を実施した。

方 法

本研究における実験は、前報²⁾における実験に基づいて行われ、実験魚、実験装置、解析装置等はほぼ同一で、重複を避けるため、ここでは要点のみに止める。

実験魚 実験は1982年6~7月に行われた。使用した実験魚はタイリクバラタナゴの雄(平均体長4.6 cm, 平均体重2.58 g)約200尾である。

実験装置 実験には塩ビ製水槽(168 cm×100 cm×30 cm)を用い、これを暗室内に設置し、その天井穴からVTRシステムにより行動を観察記録した。得られたテープをVTR行動解析装置により解析した。

落網の網型模型 Fig. 1に実験に用いた網型の基本形及び各部のサイズを示す。模型の材料は厚さ3 mm, 幅10 cmの塩ビ板である。箱網を含めた身網の全長は120 cm, 胴幅30 cm, 端口障子の長さ10 cmである。図の(i)は両口網の場合で片側の端口幅12 cm, 端口先端幅10 cmである。(ii)は片口網の場合で端口幅は両口網の倍の24 cm, 端口先端幅も倍の20 cmである。両落としと片落としの区別は内登口EまたはFを閉じることによって行った。閉ざされた箱は機能しないが、身網全

^{*1} 本研究の要旨は昭和58年度日本水産学会秋季大会(京都)で発表した。

^{*2} 東京水産大学(Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan)。

Fig. 1. Schematic diagram of the model of trap net for the water tank experiment of fish behavior. A: leader net for the two mouth trap nets, A': leader net for the single mouth trap nets, B: playground, C: left bag, D: right bag, E: left funnel, F: right funnel, G, H and I: parts of frontal area of net mouth, and J: starting position of fish school in the experiment. In the case of experiment for the left bag and for the right bag of either the two mouth trap nets or the single mouth F and E are closed, respectively.

体の形状を各網型で一定にするためそのままとした。また登網は簡単のため2次元の構造とした。

実験方法 実験魚3尾を Fig. 1 の J のアクリル円筒に入れ、約 30 秒後静かに引き上げ、実験を開始する。開始後3尾とも端口から入網し、引き続き3尾とも網外に出網するまでを一回の実験とした。各網型に対し、同一実験を 50 回ずつ繰返した。

結 果

行動パターン Fig. 2 に各網型に対する魚群の行動軌跡のうち代表的なものを各1例ずつあげる。パターンは VTR 行動解析装置により出力した。群の3尾は互いに接近してよく群行動をしているため、群の行動パターンはその中の1尾の行動で充分代表できることが分ったため、⁴⁾ ここでは1尾の行動で代表させた。行動パターンは点線で表わし、○印及び数字は出発から5秒毎の時間を示す。

両口両落網 (Exp. 6, Fig. 2(1)): 岸の壁にそって進み垣網に当たるが沿わずに垣網と身網地側の間を通過して端口左端より入網。すぐ右箱へ入箱し、箱内で約 35 秒後出箱。運動場の沖側を通り左箱へ。約 20 秒後出箱し、端口手前ではほぼ直角に曲り右口より出網。網外での平均速度は 17.7 cm/s。運動場では 10.5 cm/s と小さくなり、箱内では両箱ともさらに低下し、右箱内で 9.1 cm/s、左箱内で 10.1 cm/s であった。

両口左片落網 (Exp. 7, Fig. 2(2)): 壁から垣網にそって入網しすぐ右折。右箱は閉じてあるため左箱へ向う。いったん出箱し、右運動場から再度左箱へ入箱。約

15 秒後出箱し、右運動場を回り左口から出網。網外では平均速度 18.5 cm/s、運動場で 10.1 cm/s、箱内第1回目 9.9 cm/s、2回目 9.4 cm/s であった。

両口右片落網 (Exp. 8, Fig. 2(3)): 身網地側に沿って進み、左障子側より入網。入網後右折しそのまま入箱。箱内で回遊後出箱し、右障子にそって右端より出網。平均速度は全体的に低く、網外で 14.0 cm/s、運動場で 9.9 cm/s、箱内で 7.7 cm/s であった。

片口両落網 (Exp. 9, Fig. 2(4)): 完全に垣網にそって入網。入網後左折し左登網で反転、右に向い入箱。箱内で回遊し約 20 秒後出箱。右障子先端から斜に端口左側より出網。速度は網外で 21.5 cm/s と速いが、運動場で 11.9 cm/s、箱内で 9.4 cm/s と他と同程度であった。

片口左片落網 (Exp. 10, Fig. 2(5)): 複雑なコースをとる。スタート後、地側網にそって垣網に当たり、垣網にそって逆に岸側へ向う。ついで垣網にそって一尾が入網するが他個体につられてすぐ出網。最後に端口手前で大きく一回りした後垣網にそって入網。入網後左折し左箱に入網。約 8 秒後出箱し、左障子をかすめて斜に出網。網外での行動は活発で、平均 21.2 cm/s、運動場でも 13.4 cm/s と速いが、箱内では 11.7 cm/s と低い。

片口右片落網 (Exp. 11, Fig. 2(6)): 垣網から離れて左障子寄りに入網。入網後右折しそのまま入箱。箱内で 30 秒程回遊後出網。運動場左角で滞留後右障子先端で直角に曲り右側より出網。網外で 20.1 cm/s と速いが、運動場で 9.8 cm/s、箱網内で 8.5 cm/s とかなり低い。

Fig. 2. Examples of the swimming trial of fish. The dotted line, the open circles and the numerals affixed show the swimming trail of one of three fishes, its position at every five seconds and the time elapsed after the starting, respectively.

入網行動 入網前後の行動を各網型ごとに Fig. 3 にまとめた。白抜矢印は入網直前の行動で、G、H 及び I は、それぞれ Fig. 1 の端口前の扇形の領域の記号に対応し、Gは垣網に、Iは地側網にそった領域、Hはその中間領域を通過して入網した群の割合を表わしている。波形矢印はそれ以外の行動をとった割合である。これより、垣網にそって入網する割合の多いことがわかる。両口網では平均 50%、片口網では平均 60% となり、垣網の誘導効果の大きいこと、とくに片口網でその傾向の強いことがわかる。

入網直後の行動は、斜線矢印で表わし、その先端にその割合と入箱平均時間を示す。入箱時間は端口先端の線を群の最後尾個体が通過してから、内登網先端線を最後

尾個体が通過するまでの時間で、図にはそれらの平均値(秒)で表わす。

入網後右側にコースをとる割合は 64~96% と、左折する割合 4~28% に比較して圧倒的に多い。両口網と片口網とを比較すると、右折する割合は平均でそれぞれ 89% と 76% で、片口網が 13% ほど少なくなっている。これは、両口網の垣網の先端が直線的であるのに対し、片口網の場合、垣網の延長としての障子網が 15 度ほど内側(左側)に傾いているためと考えられる。両落し、左片落し、右片落しの間で比較すると、右折群の割合はそれぞれ 84, 72, 87% で、左片落しが他に比べてとくに低い値を示している。これは魚が右側の箱の口が閉じていることをあらかじめ察知して、行動として左折して

Fig. 3. Fish behavior just before and after entering the net.

しまう群の存在を示唆している。

入網してから入箱するまでの時間は、左片落しの右折群は 17~18 秒、右片落しの左折群は 20~24 秒とかなり時間がかかっている。これは最初にとったコースに箱網がなく、運動場を半周する遠回り径路を取ったためである。この行動は端口の前を通過することになり、出網の機会を増加させることにつながる。Fig. 3 の黒い矢印は、入網後一度も入箱せずに出網した群の割合で、Exp. 7 で 6.9%, Exp. 10 で 8% と左片落しの場合が他に比べてとくに多くなっている。

出網行動 箱網に入った群がどのように出網するかを

みるために、登網口から端口までのコースとそれに要する時間を調べた。Fig. 4 に両口網の結果を示す。両落しの場合、左右の端口から出網する割合は 55:45 でその差は少ない。これに対し、片落しは箱のある反対側の端口からの出網が圧倒的に多い。左片落しでは右端口からの出網は 67%, 右片落しでは左端からの出網は 69% となっている。

居残率 前報¹⁻²⁾の方法により、入網率 $p(t)$, 出網率 $q(t)$ を計算し、次式より居残率 $r(t)$ を求めた。

$$r(t) = p(t)(1 - q(t)) \quad (1)$$

ここで入網率は n 回の試行のうち時間 t までに入網した

Fig. 4. The leaving behavior of fishes in the two mouths trap nets.

回数を $x(t)$ とするとき $p(t)=x(t)/n$ で、また入網後時間 t までに出網した回数を $y(t)$ とするとき出網率を $q(t)=y(t)/x(t)$ で表わす。

Fig. 5 は入網率 p と経過時間 t との関係を示す。実線は両口網、点線は片口網の場合である。いずれの網型も類似の形状で差は少ないが、両口網と片口網とで比較するとやや後者が大きな値を示している。これは後者の端口幅が前者の2倍であるためと考えられる。

出網率は各網型で比較的是っきりと差が見られる。Fig. 6 に出網率の時間的変化を示す。全体的に高いのは左片落しの Exp. 7 と Exp. 10 で、低いのは両口右片落しの Exp. 8 である。Exp. 11 も前半までは低い値を示している。左片落しで出網率が高い原因のひとつに、初期に入網後入箱せずに出網する割合が多いことがあげられる。これに対し、Exp. 8 では入箱せずに出網した例がないため、30秒付近まで出網率は現れていない。

居残率の時間的変化を Fig. 7 に示す。これより求めた最大居残率とそれが現れる時間及び180秒までの平均居残率を Table 1 に示す。

最大居残率の高い方から順に並べると $\text{Exp. } 11 > 8 > 9 > 6 > 10 > 7$ となり、平均居残率では最後の Exp. 10 と7とが入替るだけで両者は同じ傾向とみなせる。これより、居残率の高いのは両口網、片口網ともに右片落しで、低いのは左片落しということが出来る。また両口網と片口網とを比較すると、いずれの場合も片口網がやや両口網を上回っている。

考 察

宮本²⁾ は、落網にはいる魚の行動について論じ、落網は非常に進歩した網であるが、まだたくさん問題が残されているとして、例えば片口落網は垣網が魚群を受ける側の反対側に登りと箱を置くことを原則としていてその反対側に置くことは稀であるとされているがそれはなぜか、また落網には網型がたくさんあるが両口網と片口網または両落しと片落しとの間で漁獲性能はどのように違うのであろうか、といった問題をあげている。

今回の実験はこの問題提起がもとで計画されたもので、その結果からいくつかそれに答えられるものが得られた。まず最初の問題で、居残率の結果から性能は片口網、両口網ともに右片落しが最高で、右片落しは最も低くなった。今回の実験の場合、魚群は左方から受ける形になっているので、上述の「垣網が魚を受ける側の反対に登りと箱を置く」という原則を一応裏付ける結果と考えられる。魚群が右側から来遊する場合については、装置の関係で実験できなかったが、今回の実験結果から判断して、右側から来遊する魚群の場合は、左片落網の性能が上回ることが予測される。

次いで両口網と片口網の性能の比較であるが、今回の結果から直接判断することは困難である。しかし、今回の実験において、両口網の場合右端口は出網時のみに機能し、入網時には寄与しないばかりでなく、片口網の半分しか端口が開いていないことになる。このことは入網率を下げ、出網率を高めることとなり、結果として居残率の低下につながるはずである。ところが、居残率は両者ともほとんど差が認められないことから、間接的ではあるが両口網の性能の良さが認められたことになる。

漁獲性能を表わす指標として居残率を用いたが、これを高める原因として、入網直後箱のある側に向う群の割合があげられる。今回の実験では入網後右折群の割合が多いほど居残率が高い傾向が見られる (Fig. 8)。このことから右折群の割合を高めることが漁獲性能を高めることにつながると思われる。

今回の実験では、垣網に沿って入網する割合が高く、

Fig' 5. Relation of the rate of entry to the corresponding time.

Fig. 6. Relation of the rate of escape to the corresponding time.

Table 1. Maximum and mean rate of remain for six types of trap nets

Exp. No.	Name of net	Maximum rate of remain, $r_{\max}$	Staying time corresponding to $r_{\max}$, $t_{\max}(s)$	Mean rate of remain $\bar{r}$
6	Two mouth trap net with two bags	0.70	100	0.55
7	Two mouth trap net with a left bag	0.58	80	0.54
8	Two mouth trap net with a right bag	0.80	120	0.62
9	Single mouth trap net with two bags	0.73	180	0.57
10	Single mouth trap net with a left bag	0.64	60 and 80	0.50
11	Single mouth trap net with a right bag	0.82	80	0.62

Fig. 7. Relation of the rate of remain to the corresponding time.

Fig. 8. Relation between the rate of remain and the percentage of right turn behavior just after entering the net.

また入網直後右折する割合が高いという2つの結果が得られた。しかし両者を比較すると、必ずしも両者の間には正の相関はなく、むしろ垣網に沿った群の割合が多いと右折する割合は少くなる傾向が見られる。Fig. 9 は入網直前に垣網に沿った群の割合に対する、入網直後右折 (○印) または左折 (□印) した割合を図示したものである。

これは、垣網によく沿った群は入網方向がある程度方向付けられてしまい、とくに片口網の場合右障子網で多少左側に向けられ、そのために左折する確率が多くなる

Fig. 9. Relation between the percentage of fish behavior just after entering the net and the percentage of fish school entering along the leader net.

ためと考えられる。このことは、例えば Fig. 2(4) または Fig. 2(5) の入網パターンからも理解することができる。

以上のことから、左側からの来遊群に対し、入網後右折する割合が多いのは、垣網にそって入網する割合が多いからではなく、左側から来遊する群は入網直後もそのまま右向き速度ベクトルを保持する確率が多いためと考えられる。このことは入網前の行動が入網後の行動に何らかの影響を及ぼしていること、さらに落網の性能を高めるためには端口の形状、垣網の取付角等の研究が重要であることを示唆していると思われる。

本研究の遂行にあたり、実験に協力をいただいた本学卒論生、松本寿行、箱石博昭、川口幸生の諸君に感謝する。なお本研究の一部は昭和 57 年度文部省特定研究の補助金によって行われた。

文 献

- 1) 松田 皎, 鈴木 誠, 兼広春之: 日水誌, 50, 609-615 (1984).
- 2) 松田 皎, 鈴木 誠, 兼広春之: 日水誌, 50, 1109-1114 (1984).
- 3) 兼広春之, 鈴木 誠, 松田 皎: 日水誌, 51, 1977-1982 (1985).
- 4) 兼広春之, 鈴木 誠, 松田 皎: 日水誌, 51, 1983-1988 (1985).
- 5) 宮本秀明: ていち, 10, 106-114 (1956).