

TV 映像信号による魚群行動計数装置*

有元 貴文**・井上 実**

Video activity counter (VAC) for monitoring fish locomotion

Takafumi ARIMOTO and Makoto INOUE

Abstract: Locomotory activities of fish were monitored by means of a VAC (Video Activity Counter) equipped with VTR system. The apparatus consists of a couple of borderline system electronically generated on TV image. When the fish crosses the borderline, the intensity of contrast to the background changes, so that the passing direction and frequency are registered by VAC. This method can be applied to the automated long-term experiments on the diurnal activity of fish, free from disturbance caused by the observer himself.

Preliminary tests were conducted on the variations of locomotory activities of a group of five individuals of *Tilapia nilotica* in an experimental tank with controlled water temperature (16.5-27.0°C) and illumination (0.01-75.0 Lux). In each experimental condition, the recorded frequency of fish locomotion was compared to the one observed with VTR. Fish swam actively as a school for high temperature and illumination. The success proportion for locomotory registration by VAC ranged from 60 to 90%. This variation was due to both schooling behaviour and swimming speed of each individual.

魚類の行動に関する研究はこれまでに数多く報告され¹⁾、研究目的によって実験の方法にはさまざまなものがある。そのなかでも水槽実験による方法は、実験条件の設定が厳密に行えること、および、研究の目的に応じた特定の行動パターンを抽出できるという利点がある。この場合、最も信頼できる資料は観察者が直接観察して得た記録であろう。しかし、観察者の存在が魚類本来の行動に影響を及ぼす可能性を除去したいとき、あるいは長時間にわたる連続的な資料を必要とする研究などでは、各種の自動的な行動検出・記録装置が開発され、実験に使用されてきている²⁾。これらの装置としては、光リレーやストレイン・ゲージなどのセンサーを利用したものと、スチール写真や VTR などの画像情報を利用したものとに大別でき、それぞれ特徴がある。そのため、研究の目的とする行動の種類に応じて最適なものを選択することが必要であり、また、直接観察の補助的な資料としてその結果を利用する限りにおいては、極めて有効な研究手法と考えられる。

本研究では、魚類の移動行動を検出する目的で TV 映像信号をセンサーとして用い、移動方向とその頻度を検出する装置を試作した。この魚群行動計数装置の仕組みについて概要を述べ、また、これを用いてテラピア (*Tilapia nilotica*) の活動性について行った予備的な実験の結果および装置の計数精度について報告する。

本文に入るに先立ち、魚群行動計数装置の製作に協力いただいた俣漁法、池内靖博氏、並びに、実験魚の行動特性について御助言いただいた千葉県立勝浦高等学校水産科教諭、村上勝男、大谷修司両氏に対し厚く御礼申し上げる。また、実験を行うにあたって協力いただいた東京水産大学 4 年次生、高橋和也君に感謝の意を表する。

実験方法

動物の行動研究に TV を利用する方法は、離れたところから遠隔操作で実験の観察ができるという利点がある。さらに、この映像を VTR によって記録することで、瞬間的な行動の微細な解析や、長時間にわたる行動の連続的な解析が可能となり、行動研究の手法として一般的になってきている。

TV カメラから出力される映像信号は背景に対する物体のコントラストを電氣的に変換したもので、これによ

* 1984年 7月27日受理

** 東京水産大学、〒108 東京都港区港南4-5-7
Tokyo University of Fisheries, 5-7, Konan 4,
Minatoku, Tokyo, 108 Japan

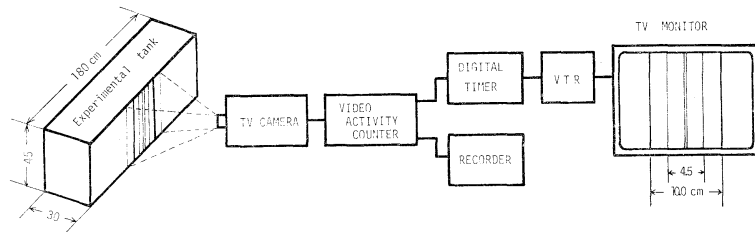


Fig. 1. Arrangement of the experimental system for monitoring fish locomotion.

ってTV画面上に映像パターンを提示している。このTV映像信号をセンサーとして利用した行動計測法は近年次々に開発されてきている。これらはTV画面上に基準線を設定し、その線上を動物が横切ったとき映像信号の変化からその動きを検出するもので、Scanning-Line comparator³⁾やBorder-Line Detector⁴⁾といった装置が1975, 1976年にそれぞれ報告されている。さらに、1983年にはVideo Activity Monitoring Processor (VAMP)が開発され⁵⁾、魚類の遊泳行動について行った実験の結果も報告され⁶⁾、行動研究に有効であることが確認されている。

これらの方法の利点としては、TV映像信号の変化を情報として動物の移動行動を検出する仕組みであるため、魚の遊泳している水槽内には何ら装置を備える必要もなく、自由遊泳の状態をそのまま観察・計測できることであり、さらに、魚の行動域に合わせてTV画面の測定範囲を自由に設定できることがあげられる。

本研究で試作した魚群行動計数装置も前述の装置と同じ趣向でTVカメラと組み合わせて使用され、TV映像信号そのものをセンサーとして行動の検出と計数を行うものである。すなわちFig. 1に示すようにTVカメラで実験水槽を映し、画面中央部に電気信号として縦に2本の基準線を発生させる。実験魚がその基準線を横切ったとき、背景に対して魚影の示すコントラストが信号として魚群行動計数装置に入力される。TV画面には2本の線が映し出され、その2本の基準線を通過した時間差から魚の移動方向を判定し、さらにその回数をカウンターに積算するように設計した。

Fig. 2に装置の概観を示した。背景に対して魚影の示すコントラストを検出するための感度レベルの設定ボリュームと、2本の基準線の間隔を設定するボリュームとがあり、これらを調整することによって実験状況に応じた最適な計数条件を設定できる。また、実験魚の遊泳方向別に通過表示ランプと積算カウンターが作動する。同時に、TVモニター、VTR、および記録計への出力端

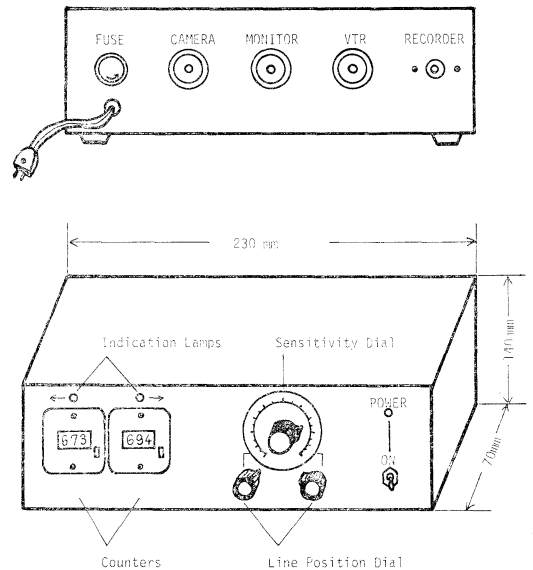


Fig. 2. Front and back views of VAC (Video Activity Counter) for monitoring fish locomotion.

子をそなえた。

実験魚にはテラピア *Tilapia nilotica* (平均体長 8.5 cm) 5尾を使用し、水温と照度についての条件を変えて活動性の変化を検討した。実験水槽は 180×30×45 cm のアクリル製水槽を用いた。

実験条件としては、水温 22.0°C、照度 12.0 lx を基準として、水温 22.0°C において照度を 0.01, 12.0, 75.0 lx の3段階に、また照度 12.0 lx において水温を 16.5, 22.0, 27.0°C の同じく3段階に変化させた。それぞれの条件下で、照度については2時間以上、水温については1日以上順応時間をとった後、水槽内でのテラピア5尾群の遊泳行動を観察した。観察時間は10分間とし、水槽中央部の通過回数を魚群行動計数装置により測定した。実験は1983年10~12月にわたり、測定は午後1時~5時に実施した。

実験の際に、装置の計数精度を確認する目的で VTR

によりテラピアの水槽内での遊泳行動を記録し、同時に装置の作動状況を経時的に記録計へ出力させ、両者の比較を行った。実験条件の設定については、実験魚に対する視覚的な攪乱を避けるために水槽全体を白色の模造紙でおおい、水槽前面の中央部に幅10 cmの観測窓を設けて Fig. 1 のように TV 画面上に映し、そこを通過する魚の行動を VTR で記録した。魚群行動計数装置によって電氣的に発生させた基準線はその観測窓の中央に縦に2本平行して映し出される。2本の基準線の間隔は自由に設定できるが、本実験では最も接近させた条件を採用した。このとき、実験水槽の奥行が30 cmであるため、2本の基準線の幅は水槽前面で4.5 cm、水槽後方では5.5 cmに相当する。TV 画面上に映し出された魚体長をもとにして実験魚の三次元的な遊泳位置を判定することも可能であるが⁷⁾、本研究では TV 画面上での平面的な観察をするにとどめた。

結果および考察

実験水槽内において、テラピア5尾群は水槽の長軸方向を往復する形の遊泳行動をとる。このとき、実験魚が水槽中央部を通過する行動を魚群行動計数装置により検出し、記録計にその行動状況を出力させる。また、同時に VTR によって行動の記録を行った。

ここで、魚群行動計数装置の精度に影響する要因としては、実験魚が2本の基準線を通過するときの行動様式であり、さらに、群れとして行動した際には2尾以上が同時に基準線上に出現し、あるいは個体間の通過間隔が僅小で後続個体が連続して基準線を通過する場合などが考えられる。

Fig. 3 には、2本の基準線を実験魚が通過するときの様式を示した。(a) は水槽内を右から左へ、あるいは左から右へ直線的に移動して基準線を通過する場合である。また (b)、(c) は水槽中央部で実験魚が滞留し、あるいは左右に往復して基準線を何回か通過する場合である。また、(d) のように観測窓の中に2尾以上が同時に出現する場合があります、この状態を実験魚が群れとして行動しているものとみなして、2~5尾群の出現状態より、群の出現率を調べた。

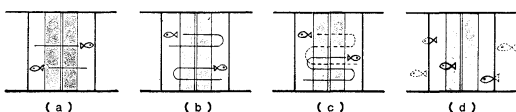


Fig. 3. Behavioural patterns of *Tilapia nilotica*, in locomotion of the central borderline on the TV image.

装置の作動原理としては、2本の基準線を魚が通過したときの時間差から水槽中央を通過したこと、およびその方向を判定して計数する。そのため、(a) のように1尾だけが直線的に通過する場合は装置は正確に作動するが、(b)~(d) のよに基準線上で滞留したり、あるいは群れとして行動した場合には装置が正確に作動しないことがあった。

装置の作動状況は記録計に出力させており、その記録例を Fig. 4 に示した。記録紙の紙送り速度は4 cm/分とし、移動の方向とその時刻を読みとることができる。さらに、VTR の映像記録をもとに、実験魚が基準線を通過したときの時刻をデジタルタイマーで0.01秒単位で読みとり、2本の基準線間の通過時間を調べた。これらの資料をもとに、装置が作動しなかったときの実験魚の通過様式を検証し、装置の計数精度について検討することとした。ここで、実際の資料としては実験魚の移動方向についての情報も含まれるが、本研究では両方向の通過回数を合計して解析を行った。

既に記したように、水温および照度条件を変えた5通りの実験を行い、10分間の観察をもとに水槽中央部の1

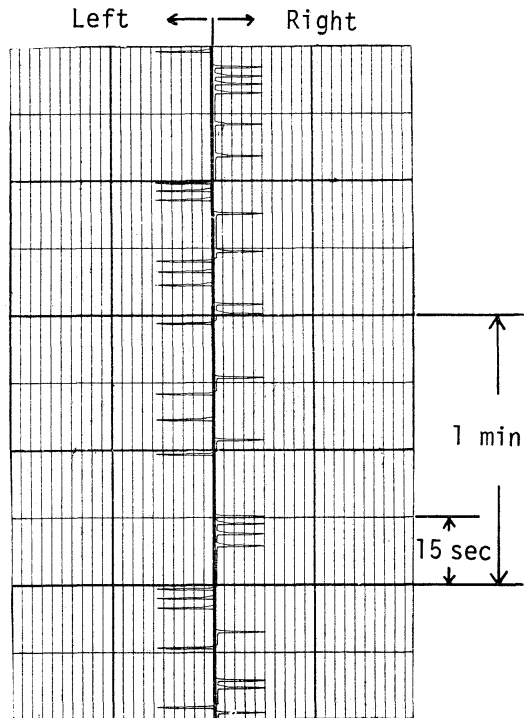


Fig. 4. An example of the recorder showing the locomotory activity of *Tilapia nilotica* crossing the borderline.

分間当り通過回数を求め、活動性の変化について検討した。

Fig. 5 は照度 12.0 lx において水温を 16.5, 22.0, 27.0°C の 3 段階に変化させ、テラピア 5 尾 群の活動性を調べた結果を示した。VTR による観察では、1 分間当りの水槽中央部通過回数は水温が高くなるにつれて増加し、テラピアの活動性の高まっていることがわかる。魚群行動計数装置による計数の結果でもその傾向は同じであるが、全体に実際の通過回数よりも少なくなっている。特に通過回数の増加している 27.0°C の水温条件で両者の差が大きく現れている。このことについて、Fig. 5 の下図に水温条件による群れの出現率を示したが、水温が 27.0°C のとき群れとして行動する割合が増加し、これが装置の計数結果を低いものになっていることが考えられた。

Fig. 6 には照度条件による活動性の変化を示した。水温は 22.0°C で、照度を 0.01, 12.0, 75.0 lx と 3 段階に変化させた結果、照度の増加に伴って 1 分間当りの通過回数は増加し、また、75.0 lx の条件で装置の計数結果と実際の通過回数との誤差が大きくなっていた。照度

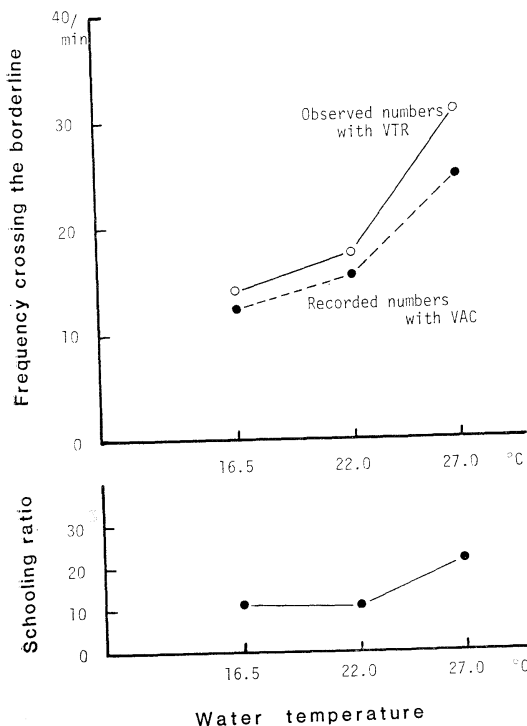


Fig. 5. Locomotory activity and schooling ratio for the adapted conditions of the water temperature.

段階による群れの出現率の変化を Fig. 6 の下図に示したが、照度の増加に対応して群れとして行動する割合が増えており、水温条件についての結果と同じく、これが装置の計数精度に影響していることが考えられた。

そこで、魚群行動計数装置の作動状況に影響する要因について、VTR の資料をもとにさらに詳細な検討を行った。まず、実験魚が基準線を通る際の遊泳速度を現すものとして 2 本の基準線間の通過時間をとりあげ、水温と照度の各実験条件ごとにとりまとめた。但し、Fig. 3 に示した通過様式のうち基準線上に滞留またはその位置で往復遊泳した事例は除外し、Fig. 3-(a) に示したように直線的に基準線上を通過した場合のみを資料として扱った。

Fig. 7 に水温条件による通過時間の頻度分布を示した。それによれば、16.5°C の条件では通過時間は 0.20 ~ 0.25 秒の場合が多いのに対して、22.0°C および 27.0°C ではピークが 0.10 ~ 0.15 秒と通過時間が短くなり、水温の増加によって遊泳速度の高まっていることが示唆された。Fig. 7 の図中には、装置が作動しなかった場合の頻度を黒塗りで示したが、通過時間が短く 0.20 秒以下のとき計数を失敗する事例が増加している。このことより、遊泳速度が速く、基準線間の通過時間差が僅小であ

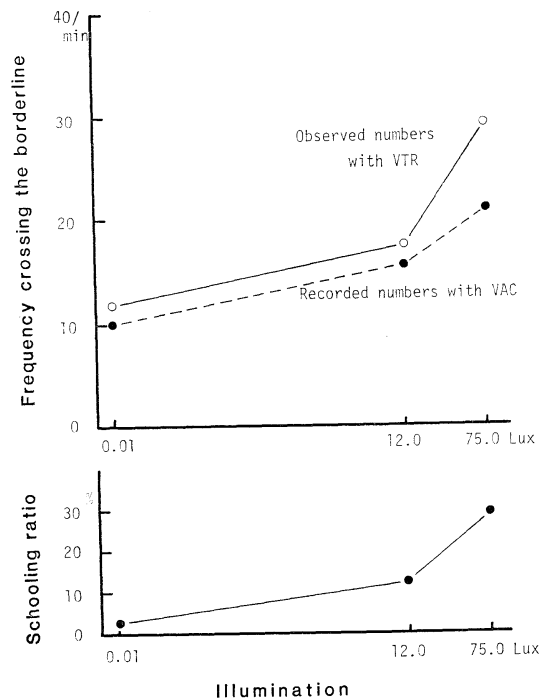


Fig. 6. Locomotory activity and schooling ratio for the adapted condition of the illumination.

る場合に装置が作動しない場合のあることがわかる。

Fig. 8は、照度条件別の通過時間の頻度分布を示している。水温についての実験結果と同様に、照度の増加によって2本の基準線間の通過時間は短縮され、また、通過時間が0.20秒以下の場合に装置が計数を行わない事例が多くなっている。

次に、Figs. 5, 6でも見たように、実験魚が群れとして基準線を通過した場合の装置の作動状況を調べた。すなわち、群れのなかで先行する個体とその後にすぐ続いて基準線を通過した個体との時間間隔をとりあげて考えた。

Fig. 9に水温条件による基準線通過間隔の頻度分布を示した。水温の高くなるにつれて通過間隔は短くなり、27°Cの条件下では通過間隔が2秒以下の事例が極めて多く、実験魚が連続して基準線を通過していることがわかる。Fig. 10は照度についての結果であるが、75.0lxのとき2秒以下の通過間隔が多くなり、同じく照度の増

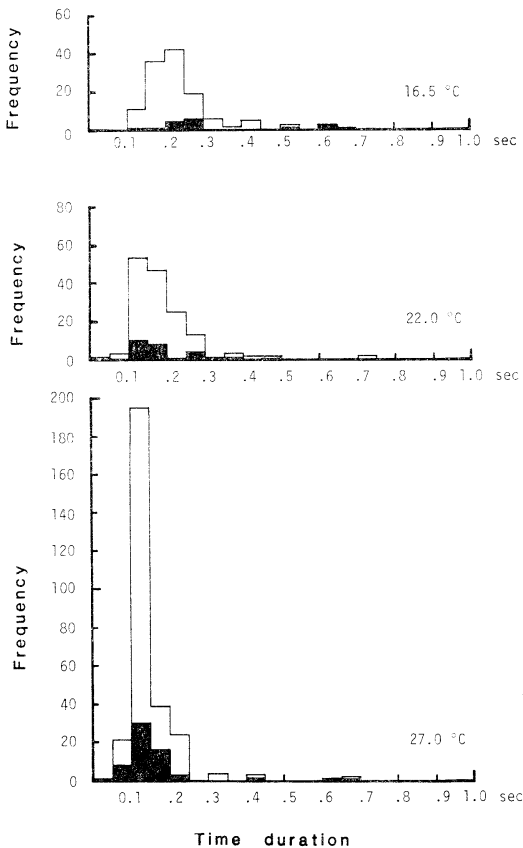


Fig. 7. Frequency histogram of the time duration required for crossing two borderlines for a given temperature.

加により群れとして行動する場合が多くなっていることが確認できた。

このことについて、基準線を通過する個体間の時間間隔と装置の作動状況を検討するため、Fig. 11に水温16.5°C、照度12.0lxの条件での解析結果を示した。下図は通過間隔による計数の成功回数と失敗回数を示し、上図には通過間隔を0.1秒刻みで計数成功率を求めて示した。16.5°Cの水温条件では通過回数そのものが少ないが、先行個体と後続個体の基準線通過間隔が0.3秒以下では計数の行われていないことが示されている。

また、Fig. 12は27.0°C、12.0lxのときの基準線通過間隔と計数成功率の関係を示したが、このように実験魚の活動性が高く通過頻度の多い場合は、Fig. 11にくらべて明瞭ではないが、同じく0.2~0.3秒を境にして計数成功率が上昇している。

以上のように、今回試作した魚群行動計数装置は実験対象魚の遊泳速度と群れの個体間間隔によって計数の成功率が左右される。そのため、水温と照度段階を変えて行ったテラピア5尾群の活動性に関する実験では高水温、高照度条件で活動性が高まり、水槽内での遊泳速度

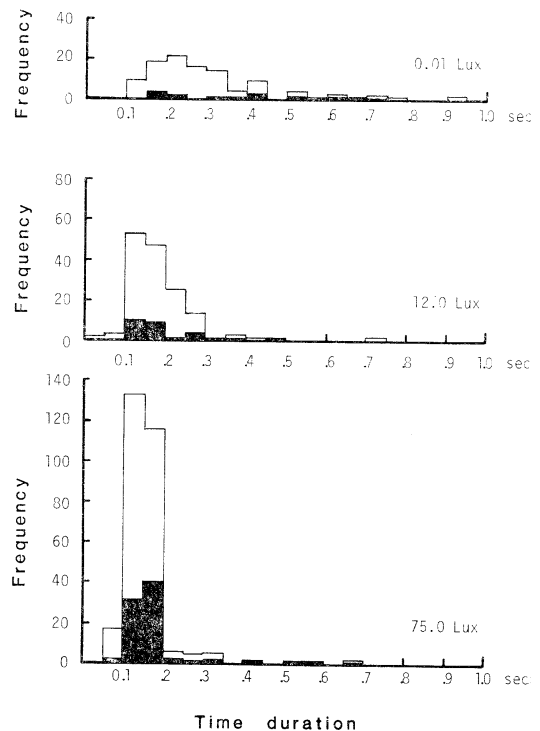


Fig. 8. Frequency histogram of the time duration required for crossing two borderline for a given illumination.

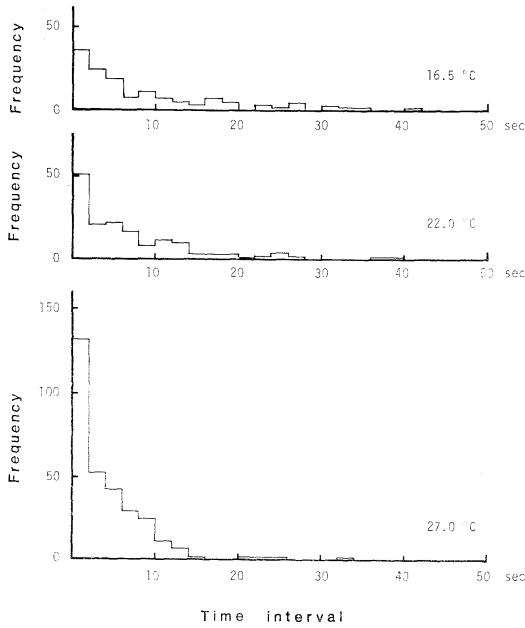


Fig. 9. Frequency histogram of the time interval for crossing the borderlines for a given temperature.

が速くなること、および、群れとして行動する割合が増加することで個体間の間隔が短縮され、これらの原因で装置の計数精度が低下したことになる。現在の装置の機構では基準線上を数個体が重なって移動する場合には何尾通過したかを検出するのは困難であるが、そのような

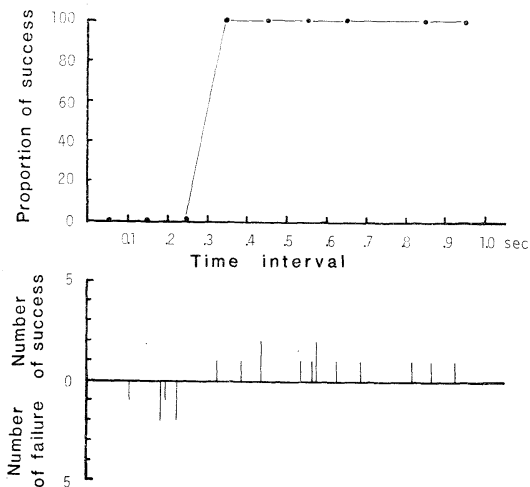


Fig. 11. Success proportion for locomotory registration in relation to the time interval of each individual fish crossing the borderline, in the case of 16.5°C, 12.0 Lux.

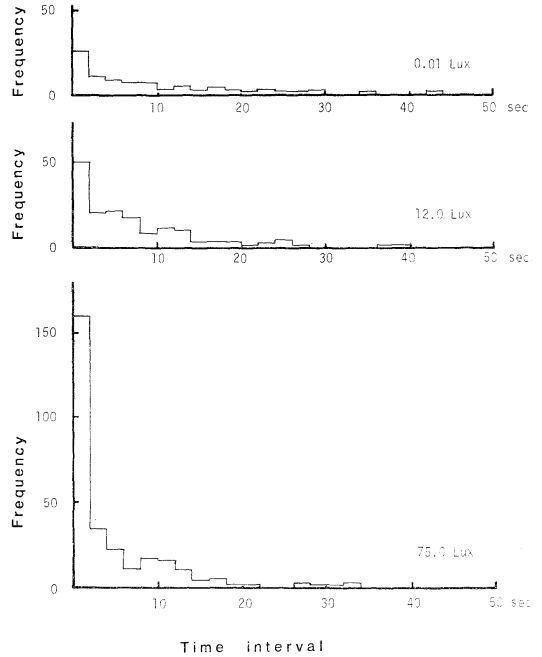


Fig. 10. Frequency histogram of the time interval for crossing the borderlines for a given illumination.

事象を解決するために装置の仕組みを複雑にするよりも、対象魚の遊泳速度や群れ行動といった行動特性を事前に把握しておき、装置の使用方法で研究目的に対応することが適当と考えられる。

この目的で本研究の5通りの実験結果をまとめると、

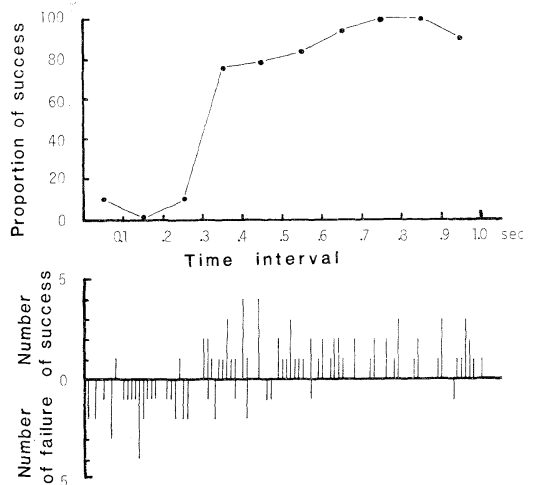


Fig. 12. Success proportion for locomotory registration in relation to the time interval of each individual fish crossing the borderline, in the case of 27.0°C, 12.0 Lux.

装置の計数成功率は70~90%という値が得られている。ここで、75.0lxの照度条件の実験で、順応を十分に行う以前の記録によると群れで行動した割合が54.3%と通過回数の半数を占め、特に4尾群、5尾群としてまとまって行動する場合が多く、このために装置の計数成功率は61.5%と低くなっていた。このときの資料も含めて6回の実験結果をもとに、群れの出現率と計数失敗率の関係をFig. 13に示した。これまでに推察してきたとおり、群れの出現率が高くなるにつれて計数の失敗率は直線的に増加しており、一次回帰させたときの相関係数は0.99と極めて高い値が得られた。このことにより、装置の作動状況に対して群れの出現率の影響が大きいことが明らかとされた。

最後に、魚群行動計数装置による計数結果と実際の魚群の通過回数との関係をFig. 14に示した。一次回帰させたときの両者の相関係数は0.98と高く、実験対象魚の遊泳速度や個体間の間隔等についての行動特性を予備実験

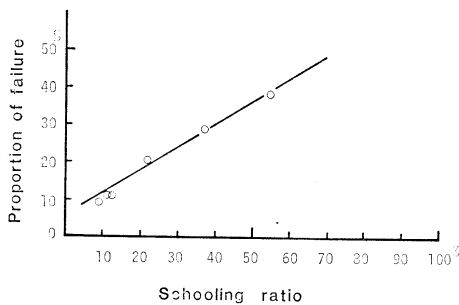


Fig. 13. Relationship between the schooling ratio and the failure proportion for locomotory registration.

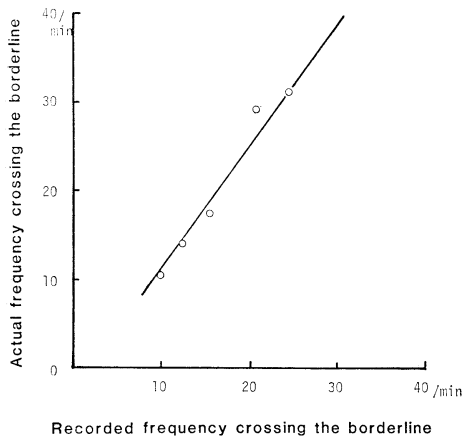


Fig. 14. Relationship between the recorded and actual number of fish locomotion.

により事前に把握しておけば装置の計数結果を補正することができ、さらに、装置の計数結果をもとに実際の魚群の通過回数を推定し、活動性について検討することは十分に可能と考えられる。

今後、このような短時間の予備実験を事前に済ませておき、その結果をふまえて装置の補正を行った上で長時間にわたる魚群の遊泳活動の日周変化に関する実験を行う予定である。更に、本研究では用いなかった移動方向についての情報を得られることから、漁具を想定したトラップに対する実験魚の行動、流水中での走流行動、そして索餌場への接近行動などについての観察を行う際に、本装置を有効に活用していきたい。

要 約

魚類の遊泳行動を自動的に記録するために魚群行動計数装置を試作し、VTRと組み合わせたシステムで予備的な実験を行った。本装置はTV画面上に電気的に設定した基準線上を魚が横切ったとき、背景に対する魚影のコントラストを検出する機構であり、通過方向とその頻度を記録することができる。

本報告では、テラピア (*Tilapia nilotica*) 5尾群を用いて実験水槽の水温および照度を変化させ、各実験条件下における遊泳行動の変化を記録した。その結果、高水温・高照度条件でテラピアの活動性は高まり、5尾が群れを成して活発に遊泳することが観察された。魚群行動計数装置の精度はVTRから求めた実際の通過頻度に対して60~90%の範囲にあり、実験魚の遊泳速度および群れとして行動する割合が増加すると計数精度は低下することが確認された。このことより、装置の計数結果を補正するために実験対象魚種の行動特性に関する調査を事前に実施し、その結果をふまえて長期にわたる実験を行うことが可能である。

文 献

- 1) 井上 実 (1978): 魚類の行動と漁法. 恒星社厚生閣, 東京 211 pp.
- 2) 山岸 宏・古田能久・福原晴夫 (1976): 水界生物生態研究法 I. 115-147. 共立出版, 東京.
- 3) KRUK-de BRUIN, M. and O. TISSING (1975): A "T.V.-scanning-line comparator" for recording locomotory activity of animals. *Oecologia(Berl.)*, **20**, 189-195.
- 4) van LENTERN, J.C., R.W. van der LINDEN and A. GLUVERS (1976): A "border-line detector" for recording locomotory activities of animals. *Oecologia(Berl.)*, **26**, 133-137.

- 5) KAUFMAN, R. (1983): VAMP (a Video Activity Monitoring Processor) for the registration of animal locomotor activity. *J. Exp. Biol.*, **104**, 295-298.
- 6) KOCH, F. and W. WIESER (1983): Partitioning of energy in fish: Can reduction of swimming activity compensate for the cost of production? *J. Exp. Biol.*, **107**, 141-146.
- 7) 長谷川英一 (1983): 群中個体間の位置関係. *海洋科学*, **15**, 203-206.