

V画面上の魚の位置座標検出装置の試作

誌名	東海大学紀要. 海洋学部
ISSN	13487620
著者	太田, 祐一 梅原, 智夫 土屋, 明
巻/号	16号
掲載ページ	p. 127-138
発行年月	1983年1月

TV画面上の魚の位置座標検出装置の試作*

人工的な水中音に対する魚の行動解析法

太田祐一・梅原智夫・土屋 明

A New Device for Swimming Fish Position Detection on TV Monitor

—Analytical Methods of Fish Behavior by Man-made Underwater Sound—

Yuichi OHTA, Tomoo UMEHARA and Akira TSUCHIYA

Abstract

In order to obtain numerical detected data of swimming fish position on TV monitor simply, a new device and related system were designed and manufactured in the laboratory. The detection system consists of VTR, TV monitor, new device, A/D converter and paper tape punch unit. The x and y components of the position on TV monitor tracked by indicating pen were converted continuously to digital voltage signals by this system. The data detected by this system were compared with the data observed visually which were obtained from standstill image of TV monitor.

The detection accuracy of this system is about 5%. The time series data of behavioral variable LF , which was distance from sound source to fish position, were calculated by the detected data and observed data respectively. Correlation coefficients of those time series data are 0.98 ± 0.01 . Significant periods of power spectra calculated by detected data agree well with those calculated by observed data. Consequently, the large data of fish position could be obtained simply and accurately within short period by using this system.

1. はじめに

最近沿岸海域において、海中工事や各種交通機関の運行が頻繁になり、人工的に発生する海中騒音が増加している。これらの人工騒音は、付近に生息あるいは来遊した海中生物特に魚類等を威嚇し、漁業やその付近の生態系に悪影響を与えるとして危惧されている。そのために種々の調査や影響評価の試みがなされている(矢島他, 1979; 宮崎他, 1981)が未だ完全な方法はない。そこで筆者らは、人工音に対する瞬間的な行動変化の程度は、相関解析の手法で評価できることを先きに報告した(土屋, 1979; 太田他, 1980; Tsuchiya *et al.*, 1981)。さらに、これらの関係をより定量的に把握するため、Fig. 1 のような流れ図に沿って実験的検討を進めている。すなわち、刺激音を放射した際の瞬間的な反応のみならず、スペクトル解析の手法を適用すれば、その後の行動パター

* 東海大学海洋学部業績 A 第238号。受理1982年9月22日

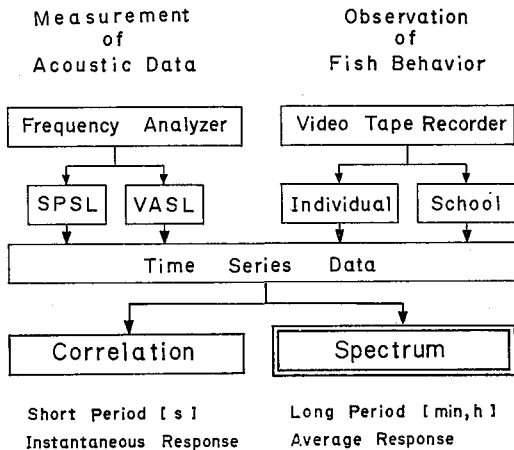


Fig. 1. Flow chart of investigation.

SPSL : Sound pressure spectrum level.

VASL : Vibration acceleration spectrum level.

記録・測定する方法, 3) スチール写真, 8mm・16mm映画, VTRなどの映像による観察および自動記録法, などに分類される。1)の手法は, 観察者の動きが視覚的刺激となり, また客観的な記述が困難である。2)の手法は, 主にある特定の場所の通過 (KLEEREKOPER *et al.*, 1970; 黒木, 1979) や, 餌のつき行動など (KAWAMURA and CASTILLO, 1981; YONEMORI *et al.*, 1979) 特定の行動の測定に利用されている。したがって, 遊泳行動の情報を逐一連続測定するには不相当である。また, 供試魚体にトランスポンダ等を装着したバイオテレメトリの手法 (市原他, 1975) は数 km オーダーの広範囲にわたって魚の位置や深度などをおおまかに把握するのに適しているが, 現状では数日間以上の長時間にわたる反復あるいは連続実験を行うのが困難である。

いっぽう, 3)の方法は観察空間に制限はあるが, 事象の忠実な再現が可能で情報量が多く, 魚体に何も装着しない free swimming の状態で直接的に動態情報が得られる。また, 時間の拡大・縮小が可能で1), 2)の手法に比べてすぐれた点が多い。従来, 魚の行動研究では 8 mm, 16 mm の小型映画を用いた解析例が多い (SAKAMOTO *et al.*, 1975; INAGAKI *et al.*, 1976; 山岸他, 1976; 梨本, 1980)。しかし, この手段ではリアルタイムでモニタすることが不可能で, フィルムの現像処理に手間と時間がかかる。TV・VTRの手段はこれらの欠点を補い, 長時間録画, 同時録音かつテープの反復使用が可能で小型映画よりすぐれている。しかし, 小型映画に比べて解析装置が完備されていないため, 魚の座標データを得るにはある時間間隔ごとにテープを静止させて, 逐一TV画面上の位置を目測しているのが現状である (多田外, 1979; TSUCHIYA *et al.*, 1981)。この手法は魚の遊泳速度やTV画面のゆがみなどに左右されずに魚の位置を正確に求められるが, 数分以上の長時間にわたる大量のデータ処理には非能率的である。たとえば, 数尾の供試魚を対象として行動解析する場合, 約10分間程度のデータを0.2秒ごとに読み取り, その値を電子計算機に入力するまでに, 現状では数人がかりで約1ヶ月もの時間を要する。また, VTR およびビデオテープの劣化が早まる。

これらの欠点を克服するため, 次のような設計指針をたて, 新たに取り扱いが容易な座標検出システムを考案することにした。

- 1) VTR の画像を静止させることなく, 連続再生しながら長時間の測定が可能なること。
- 2) 電子計算機にデータを入力するまでの処理時間を, 当面従来の20分の1以内に短縮できること。

ンの変化を定量的に把握できる (太田他, 1981b; 太田他, 1982)。

しかし, 魚の遊泳行動の定量的な測定の困難さと, データ処理の複雑さがあり, この手法は一般的に実用化されるまでには至っていない。そこで, この難点を補うべく魚の位置座標検出装置を試作した。本論ではその概要を述べる。

2. 設計指針

従来から行われている魚の行動を観察・記録・測定する方法 (山岸他, 1976) は, 1) 目視観察・記録による方法, 2) 光, 超音波, ストレーンゲージなど, 映像によらないで自動

- 3) 検出精度を魚の最大直進移動距離の5%以内におさえること。
- 4) 魚の巡行速度を毎秒約2BL (Body Length: 体長) 程度までトラッキング可能なこと。
- 5) データのサンプリング時間間隔を任意に設定できること。
- 6) 可能なかぎり既存の測定器・部品等と組合せて、容易かつ低コストで製作できること。
- 7) 取り扱いが簡単で堅牢であること。

このような目標を達成するために、当初 VTR の映像信号を電氣的に量子化した後、その情報を電子計算機に入力し、画像解析処理で魚の位置を求めることを考えた。しかし、この方法で連続再生信号からデータを得るためには、メモリ容量、I/O などの点で問題が生じ、高価になってしまう(尾上, 1982)。また、電子計算機の周辺装置であるディジタイザの利用も考えたが、これは主に静止画像の処理を目的としており、TV 画面の上で直接連続的に位置を検出することは現状では不可能である。

そこで、画面に連続再生された魚の動きを、簡単な指示ペンで人為的にトラッキングすることを考えた。基本的には、ペンの移動量を一定点からの長さまたは角度の変化としてポテンショメータなどにより、連続的に電圧変化として出力できれば好都合である。そのためには、

- 1) 極座標の考え方で、画面の外枠上に1つの定点を設け、そこからの長さや角度を測定する手法、
- 2) 任意に設定されたXY座標のX成分とY成分の長さを直接測定する手法、
- 3) 画面の外枠上に設けた2つの定点から、それぞれの長さを測定する手法、

が考えられる。しかし、1)、2)の手法では、アームなどを取り付ける必要があるため、共に指示部が大がかりになり画面の視野が狭くなる。また、曲線運動のトラッキングがスムーズにできない欠点がある。そこで、比較的製作が容易で、糸とプーリーの使用によって視野の問題をある程度改善できる3)の手法を採用することにした。

3. 動作原理

本論で採用した原理は次のようなものである。すなわち、Fig. 2 に示すように定点AとBから指示点までの距離を求め、その位置を円の交点の座標として求めるものである。しかし、このようにして得られる交点の間隔は、場所によってこの図のように異なっている。 \overline{AB} 付近の交点の間隔はその垂線方向に長く、そこから離れるにつれて \overline{AB} 方向に長くなる。そこで、装置の製作にあたり、交点の間隔のバラツキができるだけ少なくなるような部分(細線枠中)で座標を検出するようにした。

本検出システムによるデータ(信号)の流れ図をFig. 3 に示す。その概要は次の通りである。まず、対象とする魚の行動(位置)を指示ペンでトラッキングしながら、2定点からペンの位置までの距離を電気信号に変換する。この信号をA/D変換器でサンプリングし、大型電子計算機(EDPS)により魚の位置を算出するようにした。

このようにして今回試作した部分(Fig. 3 の※1および※2)の動作原理図をFig. 4 に示す。この動作を具体的にみると、指

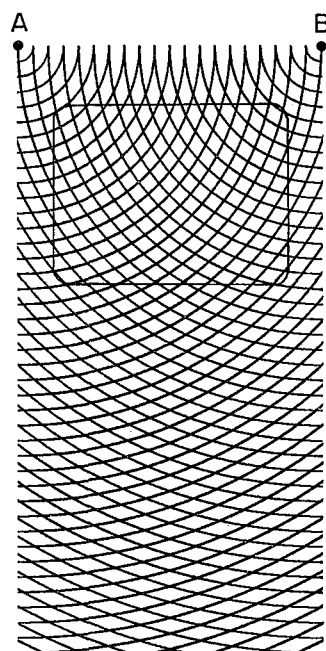


Fig. 2. Cross points of two circles and position of TV monitor.

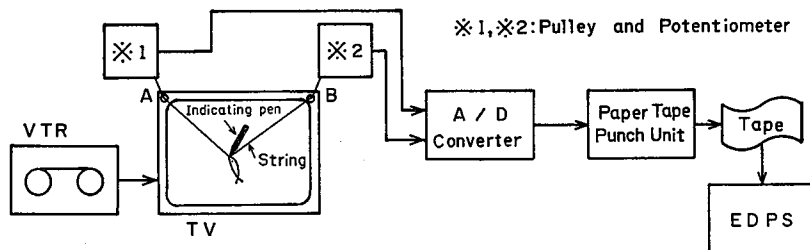


Fig. 3. Flow chart of the detection system of swimming fish position.

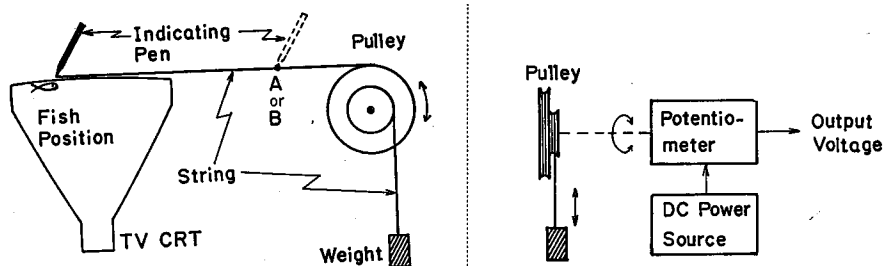


Fig. 4. Schematic diagram of motion principle.

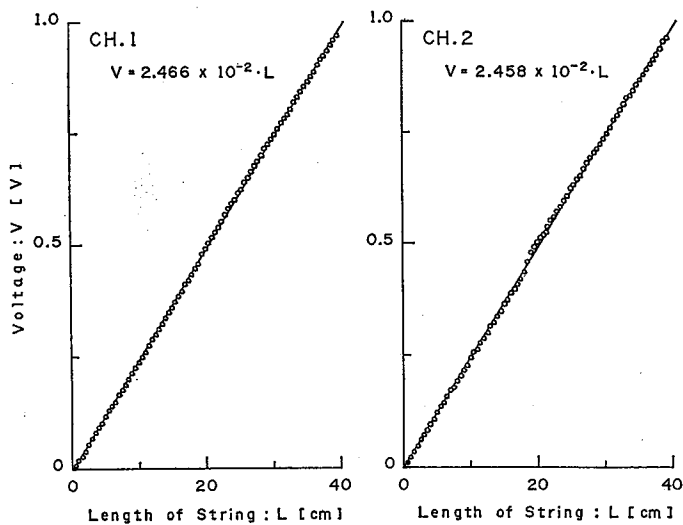


Fig. 5. Relationship between moving distance of indicating pen and output voltage.

示ペンの先端に結束した糸の他端は、TV画面の外枠上に設置した定点（Fig. 2, 3 および 4 の A, B 点）のリングを介してプーリーにまきつけてある。このプーリーは指示ペンの移動距離に比例して回転し、さらにプーリーの軸に連動しているポテンシオメータの抵抗が変化する。この変化に応じた電位差が、ポテンシオメータの出力端子に生ずる。したがって、ペンの移動距離と出力信号電圧は、Fig. 5 に示すように正比例の関係になる。

次に、これらの各信号を 2 チャンネルの A/D 変換器によって、任意に設定した時間間隔でサンプリングする。そして、このデータを紙テープに直接さん孔した後、大型電子計算機（UNIVAC 1100/80 B, 本学電子計算センター）に入力し、魚の位置座標を撮影した場所の実体寸法として算出する。この計算処理の流れ図を Fig. 6 に示す。その各セクションの処理内容は次の通りである。

- a. 基本データの入力（定点 A, B を指示した際の出力電圧など）。
- b. 魚の位置（指示ペンの位置 Z ）をトラッキングした際に得られる、Ch. 1 と Ch. 2 の一定時間間隔ごとの出力電圧値の入力。
- c. あらかじめ撮影現場で求めたある 2 点間の距離と画面上のその 2 点間の距離（厳密には電位差であるが、Fig. 5 の関係からここでは距離と略記）の比 k を求める。
- d. 2 定点間の距離 \overline{AB} 、指示ペンの位置 Z から定点 A までの距離 \overline{AZ} および同様に定点 B までの距離 \overline{BZ} を求める。
- e. 定点 A を中心とする半径 \overline{AZ} の円と、同様に \overline{BZ} の円の交点の座標 $Z(x, y)$ を求める。
- f. 画面上に任意の $X-Y$ 座標軸を設定し、座標変換する。
- g. 撮影現場の実体寸法 Z_R に変換する。
- h. リスト出力と同時に、次の解析に備えてディスクにカタログファイルする。

なお、急激なペンの移動による糸のたるみを極力少なくするために、大小 2 つのプーリーを設け、一方に適当な重りを吊り下げた。また、繰り返して使用する際の糸の伸縮を考慮して適宜キャリブレーションをする方法を工夫した。

4. 結果および考察

4.1 静止点の検出特性

前述した設計指針と動作原理にもとづいて、実際に装置を試作し行動測定システムに組み込んで、次のような動作試験を実施した。まず、TV 画面上における位置の検出誤差について検討した。ここでは実験に供した 14 インチ TV の画面上に、1 cm 間隔で格子状に位置座標の指標点を設定した。この指標点を指示ペンで、画面の左上角から右下角まで列の順に、12 分かかって指示していったときに、本測定システムで得られた結果を Fig. 7 に示す。図中○印の位置が指標点、矢印の先端の位置が指示点すなわち検出点（以下、これを本文中では検出値、図中では detected data と略記）である。

したがって、矢印の長さがそれぞれ指示誤差となる。画面上の中心点付近における誤差は 5 mm 以下であるが、それより離れるにつれて誤差は大きくなる傾向が認められる。この誤差の要因として、次の 2 つが考えられる。その第 1 は、原理的には検出面が平面であると仮定して、位置座標を

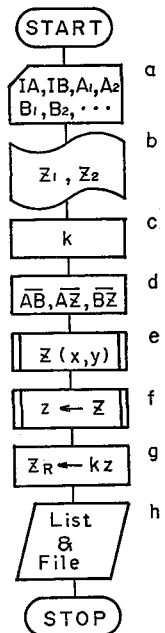


Fig. 6. Flow chart of fish position data processing.

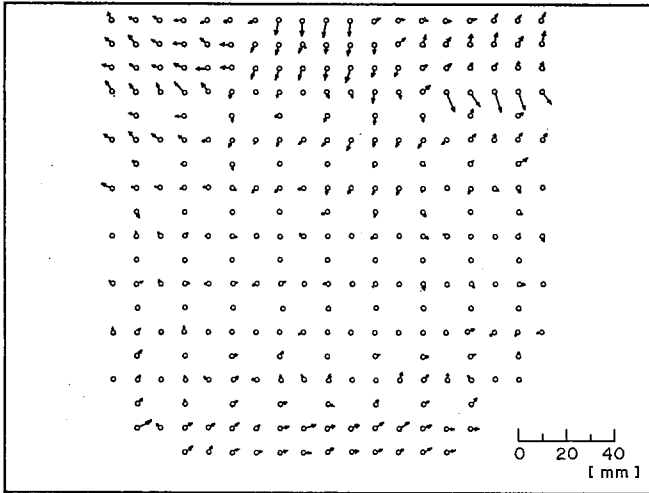


Fig. 7. Detection error in TV monitor.

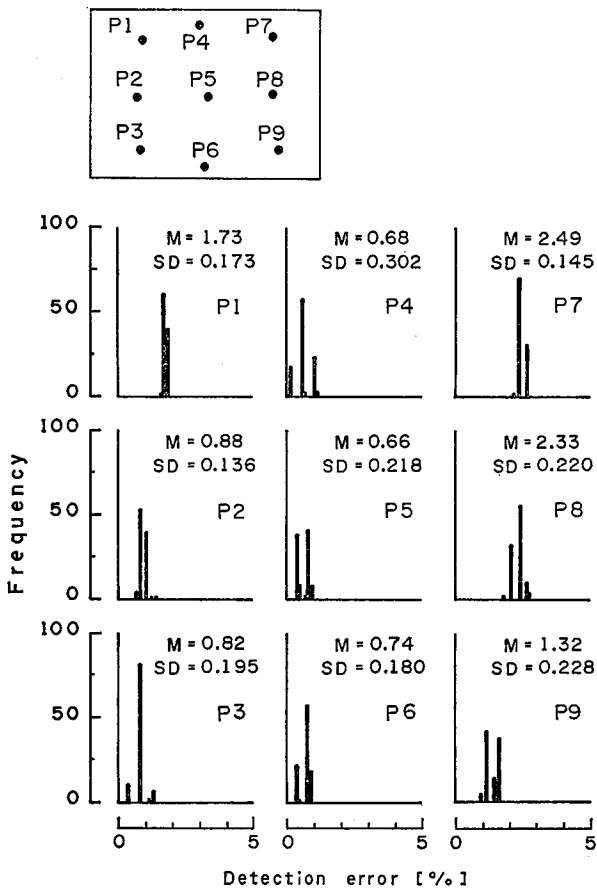


Fig. 8. Histograms of detection error in each test point.

算出しているのに対し、実際にはブラウン管面の縁辺部で多少曲面が強くなっているために生ずる構造上の系統誤差である。第2は、前述したように円の交点から座標を求めるために生ずる原理上の誤差と考えられる。

次に、検出の再現性について検討した。Fig. 8 の上図に示すように、TV画面上に指標点を9点設定した。これらの点を約10秒ごとに順次指示ペンで指示していき、この一連の操作を100回繰り返した。各点における検出誤差のヒストグラムをFig. 8の下図に示す。ここで、横軸は指標点と検出点の距離を魚の最大直進移動距離（ここでは画面対角線の長さ）で正規化した値である。縦軸は度数である。図中のMは平均値(%), SDは標準偏差である。この図から検出精度は画面中心付近で1%以内、画面全体では2.5%以内であり、標準偏差はいずれの点においても0.3%以内である。

4.2 移動点の検出特性

本装置を用いて、実際に魚の遊泳行動を連続トラッキングした場合の信頼性について検討した。この野外実験は東海大学伊豆臨海実験所(妻良)で実施した。直径7m, 水深0.7mの円形ビニール水槽中に縦1.8m, 横1.5m, 高さ1.0mの網生簀を設置し、この生簀内に、平均体長25cmのマダイ5尾を遊泳させて放音実験を繰り返し、魚の行動をVTRに録画した。この時の1分間の再生画像を、まず、従来の人為的読取法(以下、これで得たデータを本文中では読取值, 図中では observed data と略記)で、そして次に本システムによる方法で処理し、それらのデータを比較した。

両方法によって、魚の位置を0.2秒間隔で30秒間求めた結果(行動軌跡)をFig. 9に示す。図中のF₁からF₅は供試魚の個体識別番号である。検出値をもとにして描いた行動軌跡は、全体的に読取值のそれとほぼ類似した軌跡として得られることが分かるが、ここでは読取值を真値とし、検出値の誤差を求めてみた。Fig. 9に示されていないが、後半30秒間のデータを含めて、検出誤差

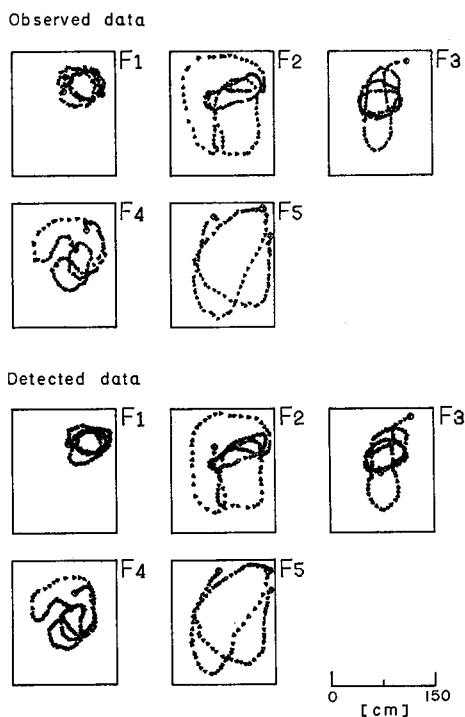


Fig. 9. Swimming tracks of each fish by observed data and detected data.

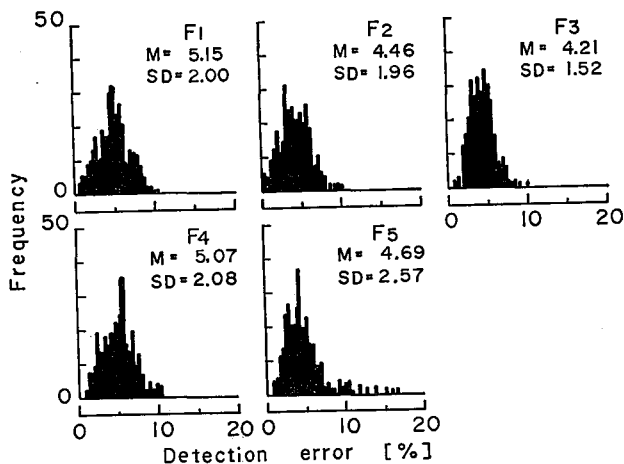


Fig. 10. Histograms of detection error in each swimming fish.

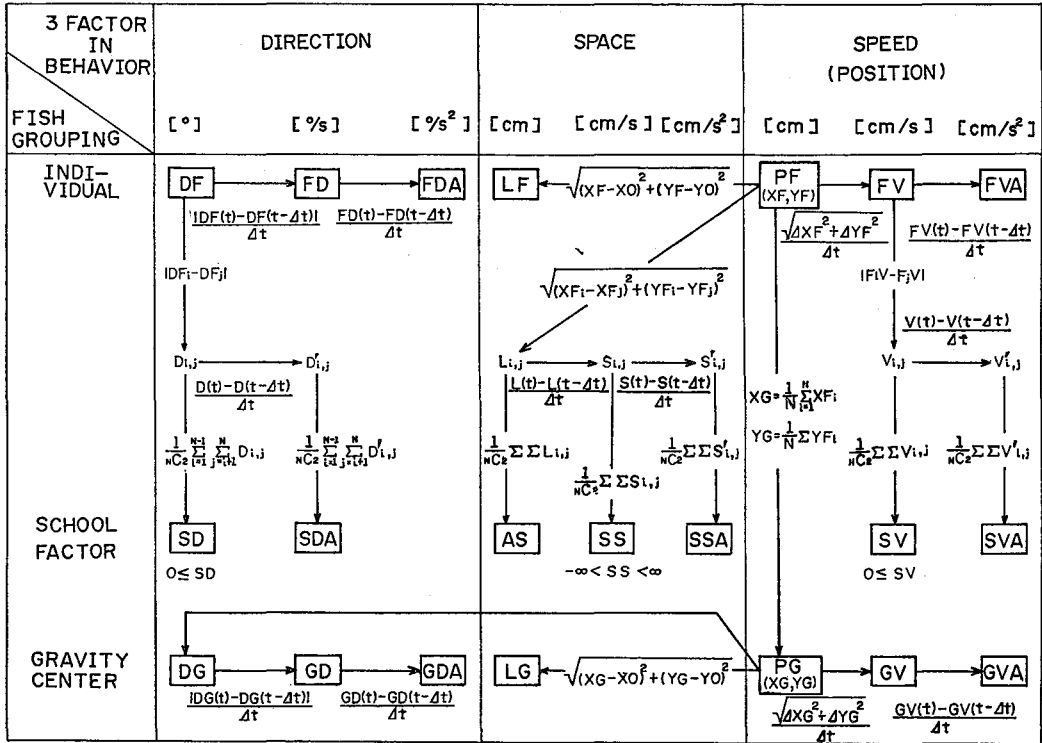


Fig. 11. Matrix of fish behavioral variables. **DF**: Swimming direction, **FD**: Variation of swimming direction, **FDA**: Derivation of **FD**, **SD**: School factor of common direction, **SDA**: Derivation of **SD**, **DG**: Moving direction of gravity center, **GD**: Variation of **DG**, **GDA**: Derivation of **GD**, **LF**: Distance between sound source and fish position, **AS**: Average of separation distance of individuals, **SS**: School factor of regular space, **SSA**: Derivation of **SS**, **LG**: Distance between sound source and gravity center, **PF**: Fish position, **FV**: Swimming speed, **FVA**: Derivation of **FV**, **SV**: School factor of uniform speed, **SVA**: Derivation of **SV**, **PG**: Position of gravity center, **GV**: Moving speed of gravity center, **GVA**: Derivation of **GV**.

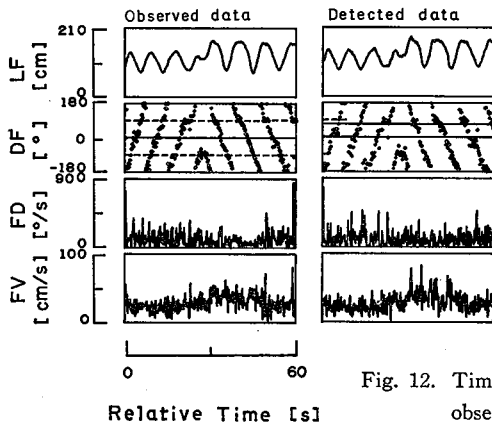


Fig. 12. Time series of fish behavioral variables calculated by observed data and detected data.

のヒストグラムとして個体別に示したのが Fig. 10 である。各々のデータ数は 301 個である。この結果、本システムの平均的検出精度は総じて約 5% である。

いっぽう、Fig. 9 のデータをもとに、BREDER (1959) の School モデルを参考にして、個体、群および群の重心 (太田他, 1981a) 別に Fig. 11 に示すような計算法で行動変量の 3 要素を具体的に算出した。

Fig. 12 は個体の行動変量を時系列データとして表した例であり、左図が読取値、右図が検出値から求めたものである。それぞれ上から、音源から対象魚までの直線距離 LF 、遊泳方向 DF 、方向の変化量 FD および遊泳速度 FV である。各変量とも左右を対応させてみると、比較的よく似たパターンを示していることが分かる。この対応性を定量的に確かめるために、各々相関係数を求めた。この結果を Table 1 の検出者 A の欄に示す。この表には Fig. 12 で示した他に、Fig. 11 の行動変量について求めた結果も併記してある。ちなみに、A は従来の人為的な座標読取の経験があり、その後のデータ解析に精通しているものが、本システムを用いて指示操作を行ったものである。そして、これまでの一連のデータは省略したが、B は本装置の設計・製作に携わったが読取は未経験の者が行った結果であり、C は全くの未経験者のものである。

Table 1. Correlation coefficients of each behavioral variable calculated by observed data and detected data.

Behavioral variable \ Detector	LF_1	LF_2	LF_3	LF_4	LF_5	LG
A	0.989	0.989	0.990	0.970	0.991	0.992
B	0.984	0.975	0.991	0.985	0.988	0.990
C	0.970	0.984	0.987	0.986	0.991	0.989

Behavioral variable \ Detector	FD_1	FV_1	SD	AS	SV	GD	GV
A	0.044	0.295	0.724	0.937	0.288	0.003	0.750
B	0.114	0.182	0.708	0.931	0.291	0.237	0.741
C	0.004	0.217	0.718	0.948	0.263	0.257	0.752

遊泳行動の空間要素を表す LF と LG (音源から群の重心までの直線距離) それぞれの相関係数は、いずれも 0.98 ± 0.01 の範囲にあり非常に強い相関を示している。また、検出者 A, B, C の個人差はほとんど認められない。なおデータは示さないが、相関の弱い変量たとえば FV の時系列でも、5 項程度の移動平均で平滑化することにより、その相関係数は 0.9 程度まで強くなっていることが確認されている。

したがって FV などの変量でもその大まかな時間的変化を把握しようとする場合には、本システムで得た検出値を用いることが可能である。

以上は、時系列データを中心にして展開した解析例である。さらに、ランニングスペクトルの手法を用いて解析することにより、数分以上の長時間にわたる行動パターンの変化を的確に把握できる見通しがある (太田他, 1981b; 太田他, 1982)。そこで、本システムで得た検出値を用いて、

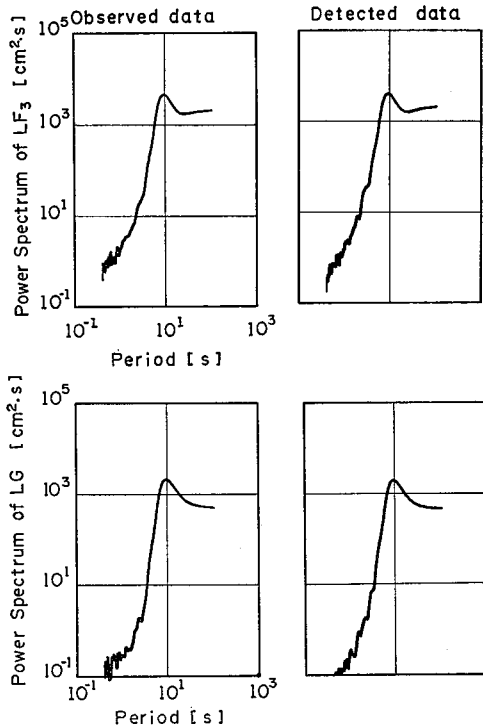


Fig. 13. Power spectra of LF (upper) and LG (lower) calculated by observed data (left side) and detected data (right side).

Table 2. Significant periods of each spectrum calculated by observed data and detected data.

Unit : s

Behavioral variable	LF_1	LF_2	LF_3	LF_4	LF_5	LG
Detector						
Observed data	9.31	11.38	9.31	9.31	20.48	9.31
A	9.31	11.38	9.31	9.31	20.48	9.31
B	9.31	10.24	9.31	9.31	20.48	9.31
C	9.31	11.38	9.31	9.31	20.48	9.31

5. まとめ

魚の遊泳行動の定量的な測定とそのデータ処理の繁雑さを解消しかつ省力化するために、VTRの連続再生画像から魚の位置を数量化して検出する装置を設計・試作した。そして具体的な音響刺激実験記録をもとに従来の読取法で求めた座標データと本システムで求めた座標データを比較・検討した。その結果をまとめると次のようになる。

1) 試作した検出装置のプーリーとポテンショメータを工夫することにより、画像を静止すること

この解析を行うことの妥当性について検討した。Fig. 13 は読取値と検出値からそれぞれ求めた LF と LG のパワースペクトルの一例である。図の左右を比較すれば、それぞれ非常によく似たパターンであることが分かる。供試魚が周期的な運動たとえば周回運動をしているような場合、パワースペクトルの卓越周期はその代表的な周回周期となる。読取値と検出者 A, B および C による検出値をもとにして、それぞれ求めたパワースペクトルの卓越周期を Table 2 に示す。個別に比較すると、検出者 B の LF_2 の値は他に比べて多少異なっているが、その他の値はすべて一致している。

詳細は割愛するが、結果的に本試作装置を使用して一連のデータを得る場合、従来の方法による実質の処理時間に比べて、おおよそ25分の1程度に短縮できることが分かった。このような装置を同時に数台並列使用することにより処理時間はさらに短縮可能になる。

なく、魚の動きを指示ペンでトラッキングしながら連続的にその位置座標を検出することが可能となった。また、本システムの検出精度は約5%となり、当初の目標を達成することができた。

2) 読取值と検出値からそれぞれ求めた行動変量、特に音源から対象魚までの距離 LF は 0.98 ± 0.01 と強い相関を示し、そのパワースペクトルの卓越周期はほぼ一致した。なお、本装置を用いた検出値について、熟練者と未熟練者との個人差はほとんど無視し得る程度であった。

3) データの処理時間は従来の方法に比べて、約25分の1程度に短縮でき、大量のデータ処理が容易になった。この装置を並列使用することによりさらに処理時間を短縮できる。

このように当初設定した設計目標をほぼ満足する結果を得た。したがって本システムを用いて解析を進めることの有効性が認められた。しかし、設定値以上の急激な行動変化があるような場合にはその部分を従来の方法で補う必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始御指導を賜わっている本学海洋学部宮崎千博教授ならびに西村実教授に深謝の意を表します。実験ならびに設計にあたり、有益な助言と支援をいただいた水産庁水産工学研究所武富 一科長、三次信輔室長、そして、野外水槽実験に協力いただいた本学海洋学部井上元男教授、宮下 明技術員に感謝致します。また、試作に際し助言と協力をいただいた鈴木無線電器サービスの鈴木正人氏ならびに本学電子計算センター清水分室の石田光男、秋山正寿技術員に感謝します。さらに、実験等に協力いただいた海洋環境工学研究室（旧水中音響工学研究室）の大学院生ならびに卒業研究生各位に感謝します。

参 考 文 献

- BREDER, C. M. Jr. (1959) : Studies of social groupings in fishes. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., **117**, 393—482.
- 市原忠義・米盛 保・浅井久男(1975) : 南千島, エトロフ島沖合における南下回遊期のシロザケ (アキザケ) の遊泳行動, 遠水研報, **13**, 63—77.
- INAGAKI, T., W. SAKAMOTO, I. AOKI and T. KUROKI (1976) : Studies on the schooling behavior of fish-III, Mutual relationship between speed and form in schooling behavior. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **42**, 629—635.
- KAWAMURA, G. and A. R. CASTILLO, Jr. (1981) : A new device for recording the feeding activity of milkfish. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **47**, 141.
- KLEEREKOPER, H., A. M. TIMMS, G. F. WESTLAKE, F. B. DAVY, T. MALAR and V. M. ANDERSON (1970) : An analysis of locomotor behaviour of goldfish (*Carassius auratus*). Anim. Behav., **18**, 317—330.
- 黒木敏郎(1979) : 音響による魚群の大規模制御駆集効果の研究. 文部省科研費報告書, 189 p.
- 宮崎千博・土屋 明・武富 一・三次信輔(1981) : 海中工事に伴う音・振動・光が魚類におよぼす影響調査. 本四架橋漁業影響調査報告, **27**, 161—194.
- 梨本勝昭(1980) : 魚の尾の動きと遊泳速度との関係. 日水誌, **46**, 307—312.
- 太田祐一・土屋 明・宮崎千博・西村 実(1980) : 水中音と魚の遊泳行動の相関解析. 音響学会秋季講演集, **1**—2—6.
- 太田祐一・土屋 明・宮崎千博(1981a) : 刺激音に対する魚群行動の応答解析. 水産学会春季講演要旨集, **114**.

- 太田祐一・土屋 明・宮崎千博 (1981b) : 音響刺激下における魚群行動のスペクトル解析. 水産学会秋季講演要旨集, 124.
- 太田祐一・土屋 明・宮崎千博・西村 実(1982) : 音響刺激下の魚群行動スペクトル. 音響学会春季講論集, 2—7—14.
- 尾上守夫(1982) : 最近の医用動画像処理. 応用物理, 51, 657—665.
- SAKAMOTO, W., I. AOKI and T. KUROKI (1975) : Studies on the schooling behavior of fish-I, Spectral analyses of interaction between two individuals of fish in locomotion. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 41, 945—952.
- 多田武夫・西ノ首英之・中才 啓(1979) : 音刺激に対する魚の反応に関する研究—I, グッピー単体の純音に対する行動. 長崎大水産学部研究報告, 47, 35—42.
- 土屋 明(1979) : 音響刺激による海洋生物の行動変化. 東海大総研機構報告, 2, 61—65.
- TSUCHIYA, A., Y. OHTA, M. NISHIMURA and C. MIYAZAKI (1981) : Correlation analysis of man-made underwater sound and fish behavior. J. Fac. Sci. Technol., Tokai Univ., 14, 325—341.
- 矢島信一外(1979) : 関西国際空港漁業環境影響調査報告. 音・光影響調査班, 日本水産資源保護協会, 186 p.
- 山岸 宏・古田能久・福原晴夫(1976) : 水界生物生態研究法-淡水の魚類とベントス, 共立出版, 東京, 189 p.
- YONEMORI, T., G. KAWAMURA and A. KABAYAMA (1979) : Observation of head movement of swimming fish by the use of strain gage imbedded in fish body. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 45, 277—279.