

摂餌行動記録器に関する予備実験

石 岡 宏 子

A Preliminary Experiment on the Feeding Activity Recorder of the Fish

Hiroko ISHIOKA

A simple method for recording the feeding activity of the fish was examined. The apparatus for the recording consists of three parts, food reservoir, detector and recorder. When the fish peck the food in the food reservoir suspended in the aquarium by stainless steel stalk, the stimulus is recorded automatically on the recorder.

In the case of red sea bream, *Chrysophrys major* TEMMINCK et SCHLEGEL, the stimulus of pecking by the fish, 2cm in body length, was recorded at the rate of about 50% and that of the fish, 5cm in body length, was recorded at the rate of over 90%.

On the type of food reservoir, a wire netting box which can be pecked from side, a dish type box pecked from above and a hook type of reservoir were compared on the performance and it was appeared that the former two types were useful.

When fish were put in an aquarium in a group, false number of records were increased because of the behavior of territory defence and that of touching to the stalk and etc., although the relation between the recorded number of feeding activity (Y) and of the observed one (X) was given as a positive regression line.

$$Y = 1.414X + 11.197 \quad r = 0.925$$

It is proved that this apparatus can be used for recording the changes of feeding activity with the difference of environmental factors and foods in short and long term period.

各種の魚についての摂餌行動の観察は、それぞれの魚種の生態学的、あるいは、生理学的観点から、数多くの報告がなされている。しかし、そのために用いられた方法の多くは、魚をとりあげて、胃内容物を調べることによって得られたものであり、一部に肉眼観察¹⁾、カメラによる観察²⁾³⁾⁴⁾、摂餌行動記録器⁵⁾⁶⁾によるものなどがみられる。それらはそれぞれ目的に応じて使用すればよいが、これらのうち摂餌行動記録器の利用は長期間、グループとしての摂餌行動の傾向を観察したり、外部環境条件と摂餌行動の間の関係を求めたり、また、餌料に対する魚の反応をみる場合などには、非常に有効な手段であると考えられる。

このために、摂餌行動記録器は、いくつか考案されており、魚の摂餌の周期性の検討や条件反射実験等、主に生態学的研究分野で使用された⁵⁾⁶⁾。

本報では新しく試作した摂餌行動記録器* について、マダイを用いて、その使用可能性を検討したので、その結果を報告する。

1976年9月8日受理 南西海区水産研究所業績59号
摂餌行動記録器は、香川精機K. K. (広島市大手町3-1-7) によって試作された。

原稿作製にあたり、本論文の校閲をいただいた、淡水区水産研究所、藤谷超博士、鹿児島大学水産学部、平田八郎博士に、また写真撮影に御協力いただいた南西海区水産研究所福原修技官に深謝の意を表す。

材 料 と 方 法

1. 摂餌行動記録器の構造について

試作した摂餌行動記録器の外観図と記録例は、Fig.1 に、その原理を Fig.2 に示す。

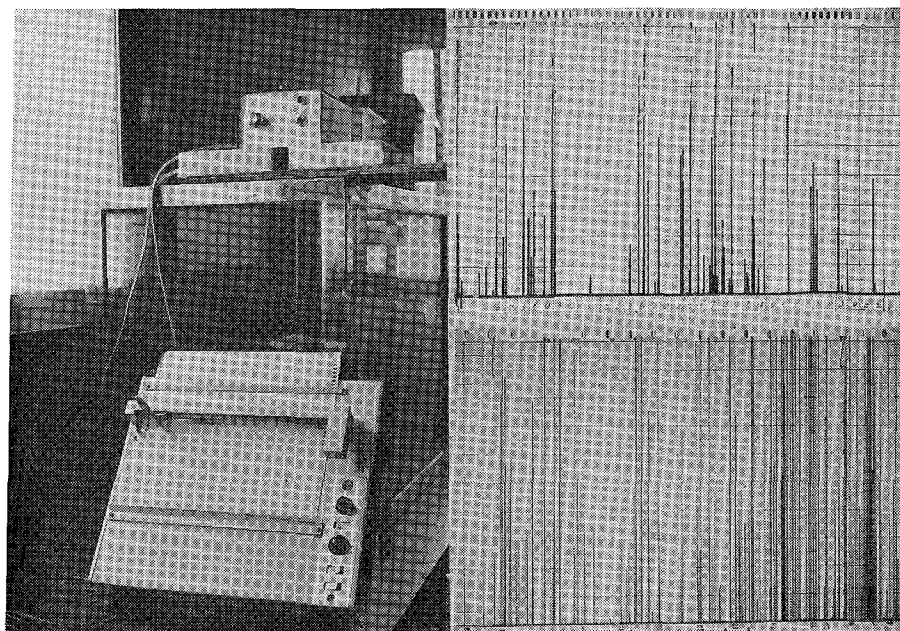


Fig. 1. Feeding activity recorder and examples of records.

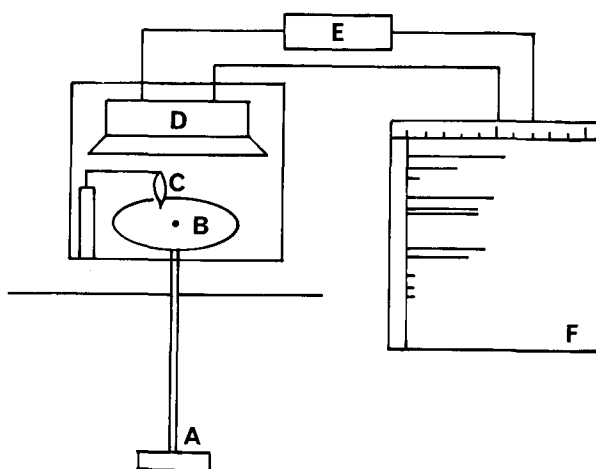


Fig. 2. A schematic diagram of the feeding activity recorder.

A: Food Reservoir B: Ground Glass Plate C: Sapphire Needle

D: Amplifier E: A. C. Power Source F: Recorder

これらの図にも明らかなように、この摂餌行動記録器は、魚の摂餌（つつき）の振動を、ステンレス棒を通して、その上に固着されているスリガラス板に伝える。このスリガラス板上には、サファイア針が固定してあり、その振動は、ここで、電気信号に変換され増幅器を通して、記録計に入り Fig.1 に示したように棒グラフ状に記録される。記録紙の線の高さは、餌をつついた強さに対応するものである。記録計の形式は、どのような種類のものでもよいが、応答速度が速いことが必要条件である。また、入力に関しては、1 mv から2 v くらいまで可変できることが望ましい。

この摂餌行動記録器は Fig.1 に示すように、コンパクトであり、使用する場合、水槽の上に固定用の板を置き、その板の間にステンレス棒を通し、その下方部の先端に、餌受器をつける。別の一端を検出器に接続しこの検出器の一端を記録計に接続し、作動させる。

2. 餌受器の種類と魚体長と摂餌行動記録の関係について

餌受器として Fig.3 に示すように、4種類の形状のものを準備し、これを検出器に接続した。1型、2型は、ステンレス製の籠型であり、前者の網目は後者にくらべて非常に細かい。3型は皿型であり、抵抗を大きくするために間仕切りやステンレス製の縁蓋をとりつけた。4型はつり針型である。

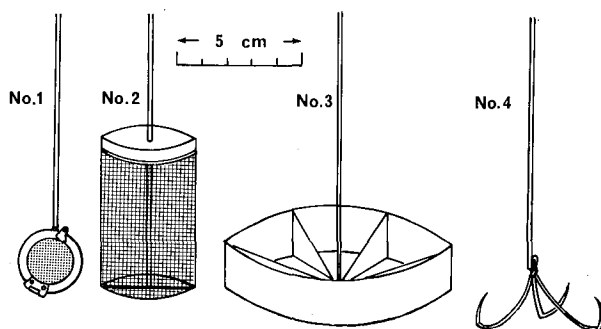


Fig. 3. Types of food reservoir.

No. 1: Small Wire Netting Box No. 2: Wire Netting Box
No. 3: Dish Type No. 4: Hook Type

餌料は、雑エビむき身であり、1型、2型の場合には、ステンレス金網の内側から餌をすりつけて、外側表面に餌が飛出るように附着させ、3型の場合には、皿の中に細切して置き、4型の場合には針先に大きめの餌をさした。

水槽にマダイ（体長2 cm～6 cm）を1尾づつ入れ、1尾の魚について、各種の餌受器による投餌を行なった。摂餌行動記録器に、魚の摂餌行動を記録させると同時に魚の行動を肉眼観察し、1分毎に摂餌行動回数を記録し、記録値との比較を行なった。観察実験終了後、魚を取り上げて、体長、体重を測定した。

3. 水槽に2尾以上収容した場合の摂餌行動と記録値と摂餌量との関係について

200 ℓ容、角型水槽に個体識別の可能なマダイ、3～4尾を同時に収容し、記録計に示される記録値が、どの魚の反応によるものかを観察し記入した。実験魚は、実験直前24時間投餌せず、実験開始1時間後、全魚をとり上げ、体長、体重を測定し、ただちに解剖し、消化管を取り出し、胃部分が底部に附着するように、ポリ試験管に入れた。その上部に、魚体残部を入れ、実験餌料中に予め混入した $^{59}\text{FeCl}_3$ の γ 線をウェル型シンチレーションカウンター（DDS-1403. 東芝製）によって測定し、この値より摂餌量を概算した。餌料組成は、下記の通りである。

ゼラチン粉末	2.5 g
$^{59}\text{FeCl}_3$ 含有蒸留水	15 ml (0.1 mci/100 ml)
マダイ用配合餌料粉末	20 g

カキ, エキストラクト 10ml

摂餌行動記録器には、籠型の餌受器では、摂餌が十分に行なわれないことも考えられたので、本実験の場合には、すべて皿型餌受器を採用した。

なお、使用したマダイ稚魚の大きさは、体長4.5cmから11.5cmの範囲内のものである。

結 果

摂餌行動記録器によって記録された摂餌行動回数と、観察回数をそれぞれ1分間毎に集計し、二項分布に基づいた合致率（正答率）Pを次式により求めた。

$$P = \frac{\sum B}{\sum n A}$$

n : 観察による1分間当りの摂餌行動回数

x : 摂餌行動記録器に記録される可能回数

A : xの実測値

B : x × A

この結果を、体長別、餌受器の種類別に分けて合致率を示したものが Table 1 である。この表で明らか

Table 1. The rate of concurrence in recorded feeding activity with observed one.

Type of Food Reservoir	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Body Length (cm)				
2 — 3	0.524	0.634	0.214	0.552
3 — 4	0.649	0.651	0.700	0.542
4 — 5	0.842	0.942	0.615	—
5 — 6	0.85	0.989	0.889	0.917

なように、体長が小さい個体の合致率は、比較的低い傾向にあり成長に伴って、つつきの力が強くなり、合致率も高くなる。また、摂餌による“つつき方”が力の方向として水平にかかり易い構造のものが、“記録落とし”がなく、合致率が高いという傾向も示している。従って、横側からつつくことのできない皿型餌受器の値は、特につづく力の弱い魚で安定しない。4型の釣針型の値が、期待していたほどでないのは、観察の範囲では、魚が餌受器に慣れにくいいため、データ数が少ないことによるものと考えられた。しかし、この釣針型の餌受器の場合には、魚が摂餌する際、“くいちぎる”という行動になるため、一回の反応に対して、餌受器が大きくゆれ動き、数回の記録として示される場合があり、また、極端な場合には餌受器がはずれてしまうこともあった。このため、この型は、不適当だと判断した。

観察の結果から、合致率は、体長5cm以上の場合には、かなり高く、ほぼ安定した結果をうることができる。魚のつつき方による差はあっても、リレー式のタイプにみられるような“つつき”の方向性に関する問題は無いことも、観察結果から確認された。

さらに、この摂餌行動記録器の性能を知るために、正答数が、一分間あたりのつつき回数の多少によって差を生じるか否かについて、分割表による χ^2 検定を行なった。つつき回数は、原則として、1~5回、5~10回、11~15回、15回以上に区分したが、データの少ない場合には、多少の変更を行なった。なお、きわめて数の少ない場合には Yates の補正を行なって計算した。

先の実験結果によって得られた有効体長（5 cm）の魚の場合について、2型、3型の餌受器では単位時間あたりのつつき回数による差はあっても、合致率に、差があるとはいえない。

$$2 \text{ 型の場合, } \chi^2 = 4.86 < \chi^2(2, 0.05) = 5.99$$

$$3 \text{ 型の場合, } \chi^2 = 0.3485 < \chi^2(1, 0.05) = 3.84$$

この問題は、主に、記録計の反応速度との関係が大きいですが、個体実験に関しては、単位時間当りの回数が15回/min くらいであれば、記録計に示される正答数は、ほぼ一定の確率で、正しく記録されるものと考えられた。

アイソトープ混入餌料を皿型餌受器に入れ、摂餌行動の観察を行なった結果を、Table 2 に示す。ここで

Table 2. Relationship between frequency of the feeding activity and the amount of food intake calculated by labeled ferric chloride ($^{59}\text{FeCl}_3$) mixed in the food.

Number of Experiment	Recorded Frequency of Feeding Activity*	Observed Frequency of Feeding Activity*	Error (%)	Total Amount of Food Intake (mg)
1	53	42	20.8	86.7
2	122	89	27.0	11.6
3	118	71	39.8	7.6
4	15	1	93.3	5.0
5	98	71	27.6	45.0
6	81	33	59.3	5.8
7	95	35	63.2	11.4
8	17	13	23.5	8.6
9	173	103	40.5	483.5
10	71	53	25.4	628.6
11	81	42	48.1	36.2
12	59	36	39.0	168.2
13	31	25	19.4	264.2

* Pecking actions during experimental period (approximately 1hr.).

明らかなように、群を構成した場合にも、記録値と、観察結果の間には、次式のほぼ直線的な相関関係が得られた。

$$Y = 1.414X + 11.197 \quad (r = 0.925)$$

X : 観察による1分間当りの摂餌行動回数

Y : 摂餌行動記録器の記録値

しかし、この群を構成した場合には、全体的に、記録値が、観察値を大きく上まわっているのが特徴である。この原因は、“つつき”行動を示しても、金具に対する一種の遊びがある場合や、摂餌しないで餌受器の周囲に位置した個体が、なわばりの行動をとり、この急激な水流の動きが、記録されてしまうなどの観察によって説明されるようである。どのような構成のグループに、どのような特徴の餌を中心とした行動が観察されるかは、未だ明らかではない。

また、Table 2 に明らかなように、記録値や、摂餌行動観察回数と、摂餌量の間には、一定の関係を得ることはできなかった。これは、餌を“つつき”出す行動をした魚が、それを下に落したり、水槽内の別の場所ではき出したり、また、それらを他の個体が摂餌したりということが、しばしば観察され、摂餌行動は行なわれ、記録もされるが、餌が胃内に入っていないケースが多いことから説明できるようである。これは、特に配合餌料の場合に顕著であるらしい。

群の場合にも、個体の場合と同じように、ノイズの割合は高いとしても、比例的に魚の摂餌行動が記録計上に記録されるが、魚自身の持つ特性として記録数に影響する要因があれば、これを考慮に入れておかなければならない。魚の場合には、成長に伴って、種特有の日周期性が顕著になることは、よく知られている。そこで、マダイの場合の特徴が明確に記録されるか否かの確認のため外部刺激の少ない夜間の連続記録を採取した。その数例を、Fig. 4 に示す。この場合は、全体の摂餌行動周期をみるために、摂餌行動記録器

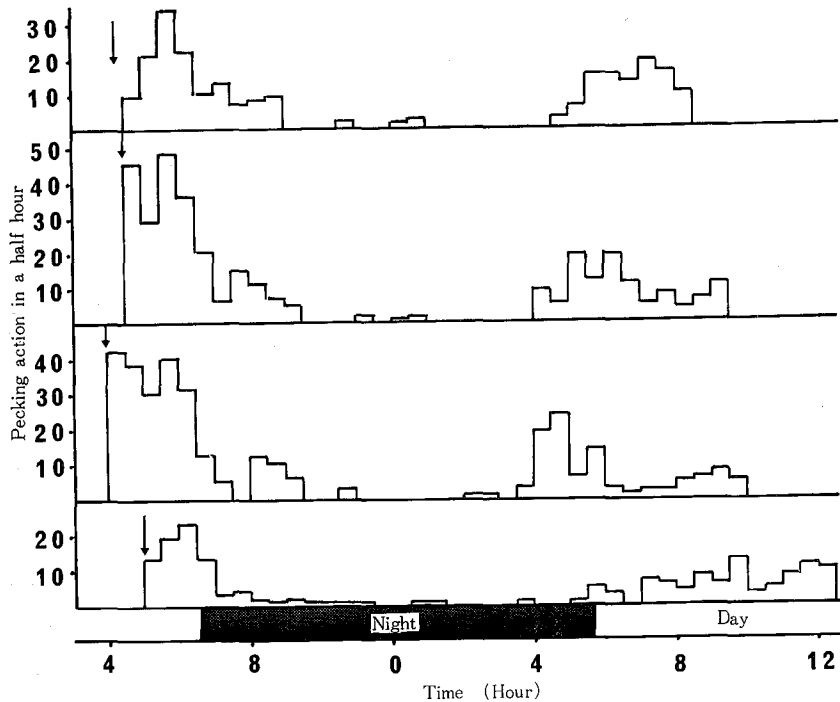


Fig. 4. Examples of the diurnal rhythm recorded in red sea bream.

の感度を落し、かなり強い反応のみを拾うように設定し、30分毎に集計した。この結果、マダイでは、体長5cm以上になると、日没、日出前後の摂餌行動が活発であるが、同時に投餌の影響もはっきり示されており、完全に自立的な日周期というよりも、やや、給餌依存型摂餌周期を持つという点を示されている。この摂餌行動のパターンは、比較的安定している点も確認される。

また、大きな日周期とは別に、この日周期の中に含まれる変動が、小周期として、検出される場合がある。これらの変動は、餌料の種類、投餌時間、餌料への慣れ、グループの構成などによって、変化するものであり、実験の目的によっては、この変動の解析に重点が置かれる場合もあり得る。この一例を、Fig. 5 に示す。この図では、それぞれのグループの中の各個体の摂餌行動頻度が示されており、A、B共に同じグループで餌料が異なる場合である。Bは、生ガキ細片を与え、Aはアイソトープ混入配合餌料の場合である。Bの場合には、摂餌行動を示す時間帯は短かく、その時間帯のうちに3尾が同時に摂餌しているため、記録計の値としては、変動が強調されて、一種の小周期を形成する。これに反して、Aの場合には、1尾の個体が、長時間にわたって、摂餌行動を示し、小周期としては、表わされにくい傾向にある。実験の各グループを生カキ餌料、配合餌料区と分けて、経過時間に対して摂餌尾数の出現を分布の型でみると、前者は、ポリヤ・エッケンペルガー分布に、後者は、ポワソン分布に近似させてよく合う場合が多い。これらに関しては、さらに実験例を増し、一般化できるかどうかを検討する予定であるが、この例のように、変動が、増

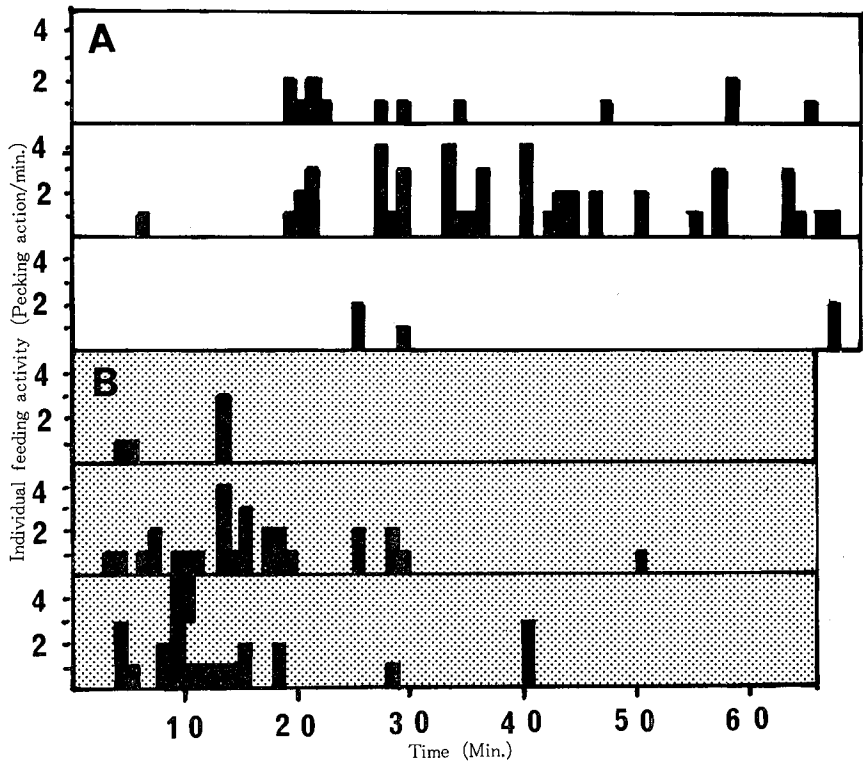


Fig. 5. Individual feeding activity in a group.*

A: A group examined with artificial diet

B: A group examined with oyster pieces

* A same group of fish are utilized for both examinations, A&B.

幅されたり、消去されたりする可能性があるため、短期間の実験では特に、実験条件の吟味は十分に行なわなければならない。

考 察

魚の“つつき”の現象は、比較的観察しやすく、摂餌生態に関心を抱く人は、それぞれの観点から、その行動をとらえ、各種の魚種についての報告を行なっている¹⁾⁷⁾。また、この現象は比較的単純であるため、観察記録の機械化も考え易い。岡部、黒木らは、この点をペーパー・ストレンゲージを利用することによって、平田は、水銀を用いたリレーや接電管によって解決している⁵⁾⁶⁾⁷⁾。今回の方式は、リレー方式の平田らのもとの基本的には似ている。しかし、リレー方式では、“つつき”の方向性や微小な力に対する反応についての懸念があるため、また、接電管の場合には、その感度の面で器差が生じやすいと考えられたところから、今回の摂餌行動記録器が考案されたものである。これでは、“つつき”という機械的な力を電気信号に変換する検出部によって、上述の方向性および、微小な反応の拾い上げをはかったのであるが、同時に、この反応の大きさを電気的に変換し記録させる時点で、ノイズの選別、消去等も、可能ではないかと考えた。この前半の目的に関しては、実験結果から明らかなように、必ずしも十分とはいえないまでもほぼ達成されたと考えられる。すなわち、体長5cm以上のマダイについては、観察された“つつき”と記録数の合致率は非常に高いからである。感度を上げることによって、体長2cm台の魚の反応も記録しうることを確認した

が、この場合のように、記録精度を上げると、ノイズの問題が複雑となる。

具体的に観察された結果から、記録計に示されたノイズが、どのような要素によって成立しているかを考えると、次の3点に分類される。

- (1) 全く無関係な外部雑音
- (2) 飼育設備に由来する要因
- (3) 実験生物に由来する要因

(1)の外部雑音とは、工事現場の掘削音や、ジェット機音等であり、排除が困難なことが多い。この事象の起っている部分は、データとしては全く利用できない。しかし、この種の雑音は記録されるパターンによって雑音として識別できる場合が多いので、全部、削除することは困難ではない。

(2)の飼育設備からの要因として明らかなものは、記録器の感度を上げた場合に、水流や、エアレーションによる震動を拾うことなどがあげられる。これは、摂餌行動記録器の感度を落すか、あるいは、流水量、通気量を調整することによって、除くことができる。

3種類のノイズの中で、一番問題になるのは、(3)に挙げた、実験対象魚による生物学的ノイズである。

魚が関与するノイズとしては、先に述べたように、餌受器に対する“あそび”的行動に由来するもの、なわばりの行動に由来するもの、体長が大きくなると、旋回する際の尾部の動きによる水流変化に由来するものなどがあげられる。これらをノイズと考えると、その出現率は、各個体毎に0から90%におよぶ、ばらつきが算出される。このノイズ出現率の大小と、個体の特性、群中での位置関係などについて、一定の関係は得られていない。

これら生物学的ノイズは、この摂餌行動記録器の性質上、分別できないものであり、機械的な操作によっては除くことはできない。設置場所を工夫することによって、このノイズを多少は、抑えることはできるが、この生物学的ノイズは広い意味で摂餌行動の一環とみなすのが妥当と考えられる。しかし、実験目的によって、この生物学的ノイズ出現率の高い群の使用をさげねばならない場合には、あらかじめ、実験対象群の選択をする必要があろう。

この生物学的ノイズの解析は、一方で、生態学研究の中に含まれる問題である。

以上の摂餌行動記録器の特性を総合して考えると、この試作した機首を使用するにあたっては、種に特有な生態的条件を考えあわせて、目的、計画の設定をする必要があろう。

要 約

マダイの摂餌行動の観察のため、摂餌行動記録器を試作した。マダイが餌をつつく行動は、振動としてステンレス棒に伝わり、その上に固着してあるスリガラス板を振動させる。その板上には、サファイア針がのせてあり、ここで、振動を、電気信号に換え、記録計に記録する方式をとっている。

この摂餌行動記録器を使用するために若干の実験を行なって基礎的な知見を得ることができた。その方法は、肉眼観察記録と器械の記録値の比較によるものである。

- (1) この摂餌行動記録器は、マダイで体長2 cm位の個体の“つつき”の力を記録することが出来るが、安定して使用できるのは、体長5 cm以上の個体に関するものである。5 cm以上の個体では、約90%の確率で、摂餌行動を記録することが明らかとなった。また、1分間当り15回前後のつつき回数であれば、その多少にかかわらず、ほぼ等しい確率で摂餌行動数が記録されると判断された。
- (2) この摂餌行動記録器につける餌受器に関して金網型、皿型、釣針型をそれぞれ検討し、金網型（横側から摂餌できる型）が、最も良好であった。しかし、皿型（上から摂餌させる型）も利用可能であることが明らかになった。
- (3) 2尾以上の魚を収容した場合にも、個体の場合と同じく摂餌行動回数と、記録数の間に直線的な相関関係が認められ、次式が得られた。

$$Y = 1.414X + 11.197 \quad (r = 0.925)$$

X : 観察による1分間当りの摂餌行動回数

Y : 摂餌行動記録器の記録値

この式で明らかのように、魚が群を構成すると、摂餌行動以外の要因による記録値の出現率が高い傾向が認められた。これは、魚の餌受器に対する“あそび”行動、なわばりの行動などの生態学的理由によるものが含まれるためであり、これらは広い意味で、摂餌行動の一環として考えることが摂餌生態のうえからも妥当であると考えられた。

また、配合餌料中に混入した $^{59}\text{FeCl}_3$ の r 線測定によって得られた摂餌量と摂餌行動記録回数の間には、短時間内(1時間)の比較で相関々係を得ることができなかった。

(4) この器械を長期間作動させることによって摂餌に関する魚の日周期が得られるが、マダイの場合は、やや、給餌依存型の明りょうな日周期が得られた。また、小グループ構成の場合に、短時間内に、摂餌周期のごときものが検出される場合や、個体の摂餌周期が相殺される場合などがあり、実験計画、結果の解析については、考慮する必要がある。

文 献

- 1) KAWAMURA, G., & Y. KAWASHIMA, 1973: Tank Experiment on the Biting Behavior of Fish in Response to the Inedible Lure Permeated with the Extract of Food. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ., 22(1), 143-146.
- 2) HUNTER, J. R., 1968: Effects of Light on Schooling and Feeding of Jack Mackerel, *Trachurus symmetricus*. J. Fish. Res. Bd. Canada, 25(2), 393-407.
- 3) OLST, J.C., & J.R. HUNTER, 1970: Some Aspects of the Organization of Fish Schools. Ibid, 27(7), 1225-1238.
- 4) SYMONS, P.E.K., 1971: Estimating Distances Between Fish Schooling in an Aquarium. Ibid, 28(11), 1805-1806.
- 5) KOBAYASHI, S., R. YUKI, & H. HIRATA, 1956: A PRELIMINARY TEST FOR RECORDING THE FEEDING ACTIVITY IN FISH. Bull. Fish. Hokkaido Univ., (6), 235-238.
- 6) 山岸 宏・古田能久・福原晴夫, 1976: 水界生物生態研究法 I, 190p.p, 共立出版株式会社.
- 7) 平田八郎, 1973: 魚類, 特に金魚 *Carassius auratus* (LINNE) の索餌日周活動に関する研究, 鹿大水紀要, 22(2), 1-48.