

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

多田 武夫・西ノ首 英之・中才 啓

Study on the Behavioral Reactions of Fish to the Acoustic Sound-I

Behavioral Reactions of a Guppy to the Pure Tones

in Case of a Individual Body

Takeo TADA, Hideyuki NISHINOKUBI, and Kei NAKASAI

The fundamental experiment was carried out to study the behavioral reactions of fish to the acoustic stimuli for the purpose of utilitarian improvement of the fishing gears and methods.

The experiment was carried out in the experimental water tank in which the observation area was limited by the frame (50×50×10 cm). The guppy, *Lebistes reticulata*, was employed for the experimental object. As for the acoustic stimulus, the pure tones of the sine wave were used at each step of the frequency of 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, and 800Hz. Each sound was emitted not only continuously but also intermitently, and moreover the behavior of fish with no stimulus was observed for the sake of comparison.

It was obtained that the behavioral reactions of the guppy were restrained under the condition of stimuli except 500Hz. The degree of restriction under the reciprocal sound was bigger than that of the continuous ones, especially it was remarkable in case of 400Hz. Although the behavioral reactions of the fish seemed to be at random, it was found that there was a main behavioral period of about 100 sec. and also the behavioral period and pattern were not influenced by the sound stimuli.

魚の棲息場所である水中における音の伝播や減衰等についてはかなり究明されており、また、それと並行して人為的あるいは天然に発生する各種水中騒音等についても明らかにされてきている(1, 2)。一方、多くの魚種について、聴覚器管としての内耳やそれに関連した側線や鰾の働き(3)も解明されつつある。これらのことから水中における音響を積極的に利用すること、あるいはそれを他の漁具と併用した漁法の開発が期待される。この目的のために各種魚類の水中音に対する生態や反応行動を明らかにする必要がある。筆者らはそのための基礎実験として、供試魚としてグッピーを用い、これに正弦波の音刺激を与え、その反応行動を観察した。その結果2・3の見解を得たので報告する。

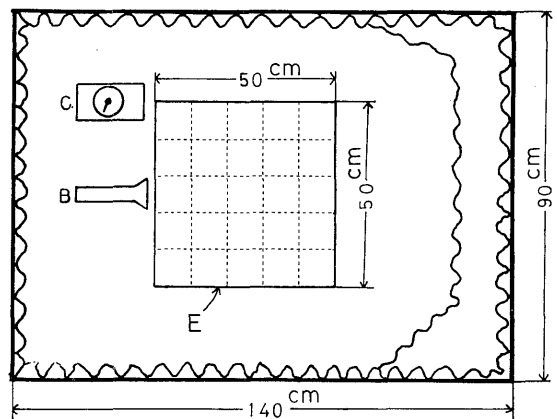


Fig. 1. Top view of the experimental tank; (B) speaker, (C) clock, (E) frame, in which the tested fish kept.

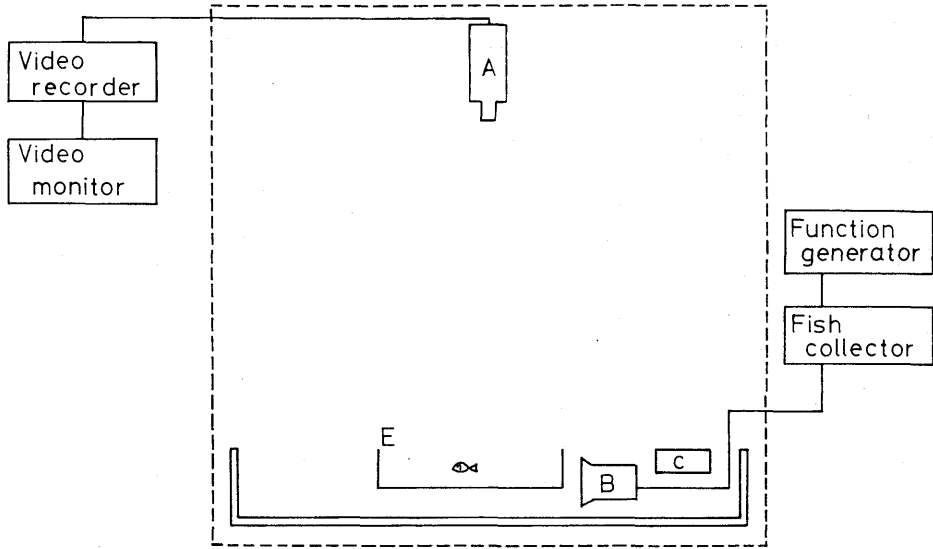


Fig. 2. Block diagram of experimental apparatus; (A) video camera, (B) speaker, (C) clock, (E) frame.

実験装置および方法

実験水槽は Fig. 1 に示すように縦90cm, 横140cm, 深さ10cmの方形水槽で, 内壁には厚地の布を3重にかつ波型に張った。実験水槽の中に水中スピーカ(B), 枠に網地を張って作った同じく方形の仕切枠(E)および時計(C)を同図に示すように設置し, 供試魚をこの仕切枠内に入れて実験を行なった。したがって魚が行動できる範囲は水槽内におかれた縦横各50cm深さ10cmの仕切枠内のみである。Fig. 2 は実験装置のブロック図

である。この図に示す通り, 実験水槽全体をその視野にいれることのできるように水槽上方約3mのところにビデオカメラ(A)を取り付け, これにビデオレコーダ, ビデオモニタを接続した。そしてこれらの装置は図の点線で囲んだ装置とは別の部屋において遠隔操作し, 魚への視覚等の刺激を極力取り除いた条件下で放声および反応行動の観察録画ができるようにした。

刺激音は, 同じく水槽とは別室においた, ファンクションジェネレータ(エヌエフ, FG-121B), フィッシュコレクター(島理化学製)と実験室内の水中スピーカ(B)の順に接続して放声するようにした。

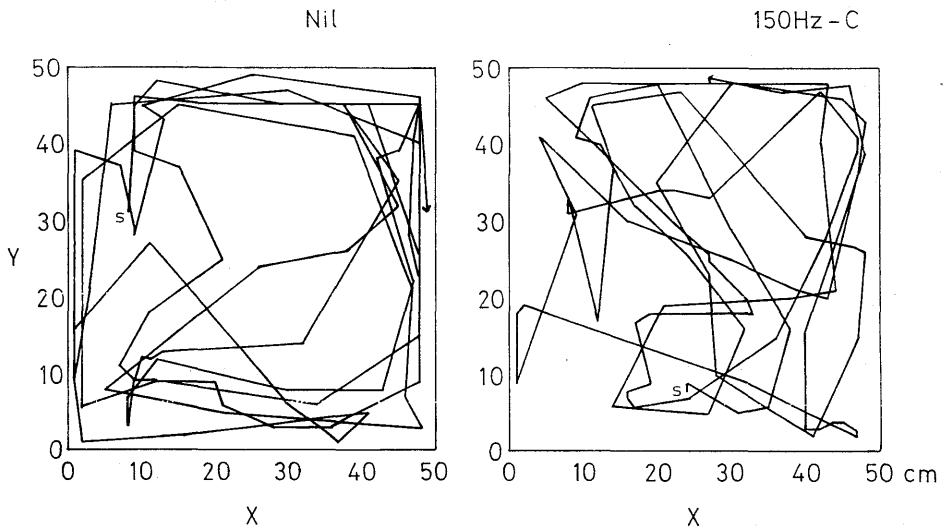


Fig. 3. Locus of the fish's movement.

供試魚としては以前より実験水槽を置いていた部屋の別の水槽で飼育しておいた、体長 3 cm の雌のグッピー 1 尾を各実験に繰返し用いた。

刺激音は正弦波の純音とし、その周波数は 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700 および 800 Hz の 9 種類で、連続放声 (C) と 5 秒間隔の断続放声 (R) とで実験を行ない、対照として無刺激 (Nil) のものを用いた。

1 回の実験は仕切枠内に魚を入れてから放声し、5 分間順応の後 30 分間の反応行動をビデオレコーダに録画し、それによって仕切枠の縦を Y, 横軸を X とし、魚の位置を 5 秒毎に座標データとして読み取り、それを時間 t の関数としてとらえ、確率過程論的手法 (4, 5) で解析した。

結果および考察

供試魚の動きの一例を Fig. 3 に示す。このような魚の行動軌跡から魚の位置を読み取り、時間の変数 t を

もつ確率過程として、 $X(t)$, $Y(t)$ についてそれぞれ図示したものが Fig. 4 である。この図から魚の行動には何らかの周期性をもっていることが推察できる。

X 方向, Y 方向における幅 5 cm 間隔の相対度数分布図を Fig. 5 に示す。この図から供試魚はだいたいにおいて壁に沿った運動が多いことが考えられる。しかし、600 Hz や 800 Hz の連続音におけるように、特に定まった場所でない所にいる度数が高い例もあり、これらの図だけからではその運動のパターンは決められなかった。

次に、1 秒間に魚が動いた距離の度数分布図を Fig. 6-A および Fig. 6-B に示す。これらから対照の無刺激、150, 200, 300, 500, 600 および 700 Hz の連続音と 250 Hz の断続音においてはガンマ分布型によくあう分布をしていることがわかる (6)。しかし他の刺激の場合は供試魚の移動速度が 1 cm/sec 未満の例が最も多く、移動速度が速くなるに従い、その度数は急激に減少している。このことから音刺激による魚の行動の

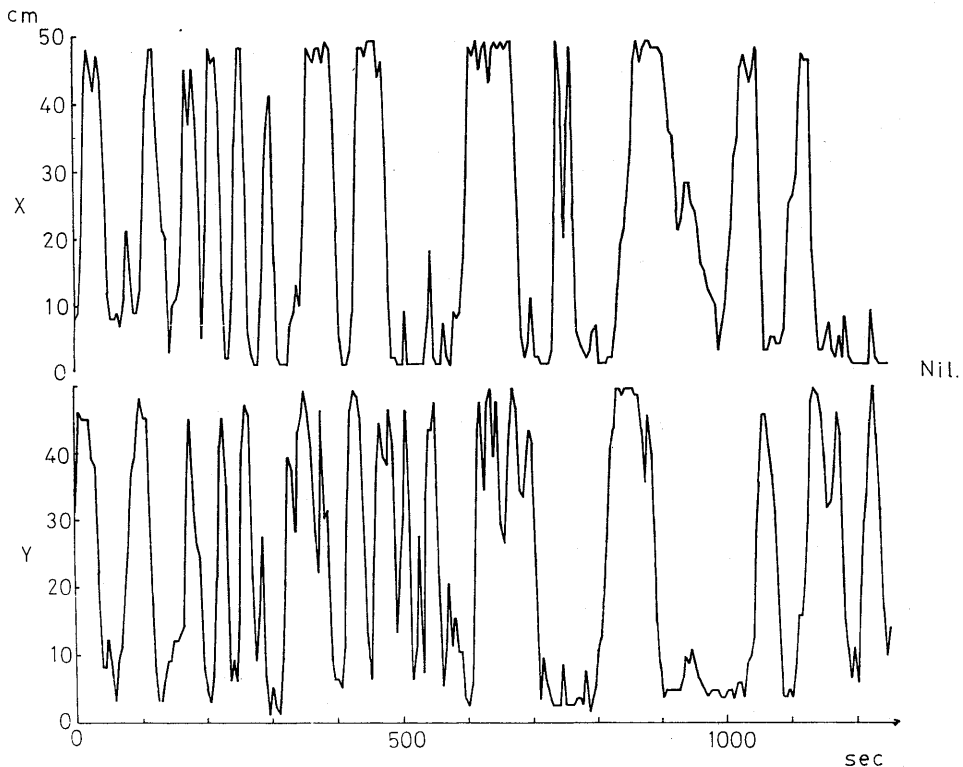


Fig. 4. Relationship between the fish position and time elapsed.

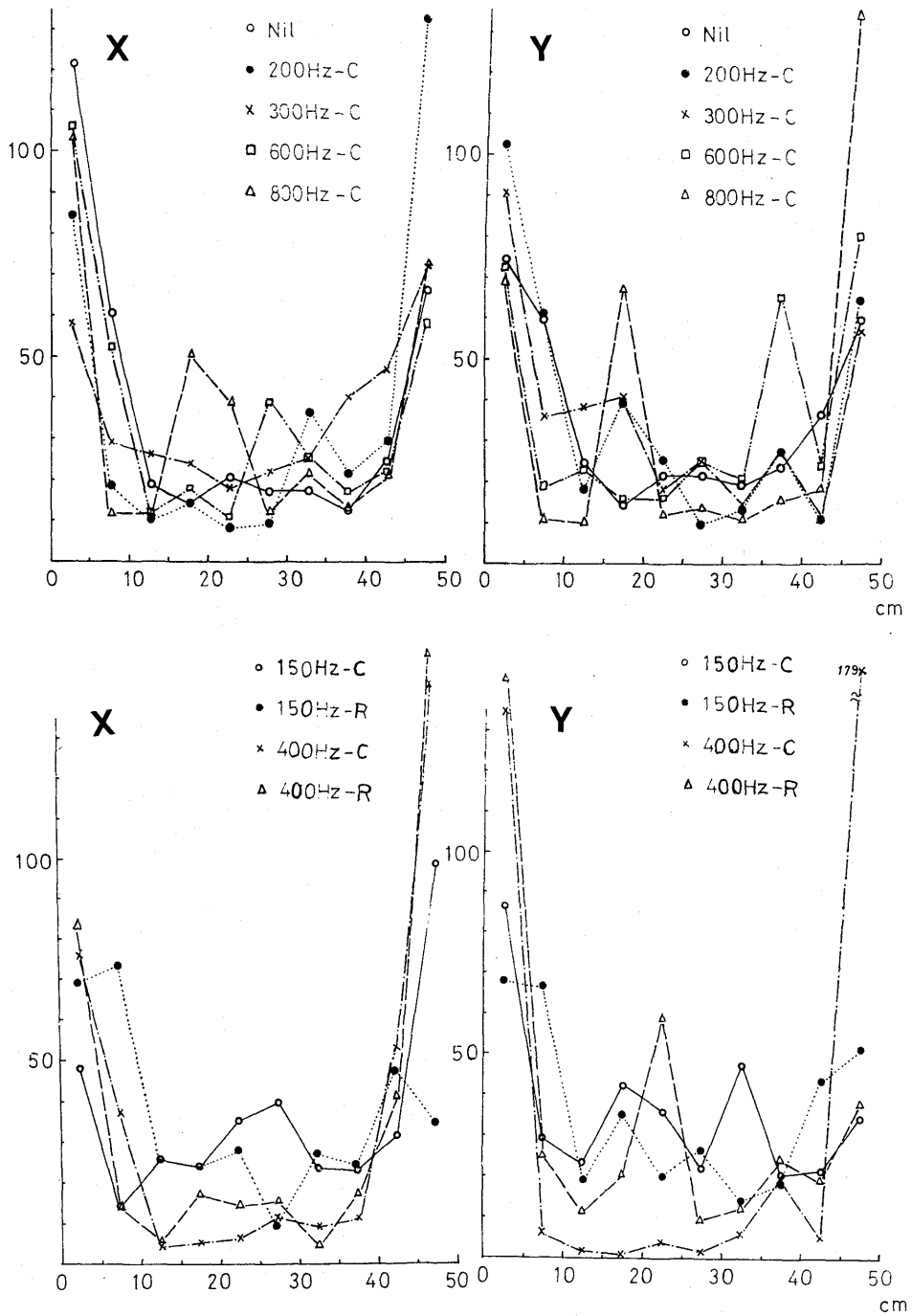


Fig. 5. Distribution of the fish in the frame.

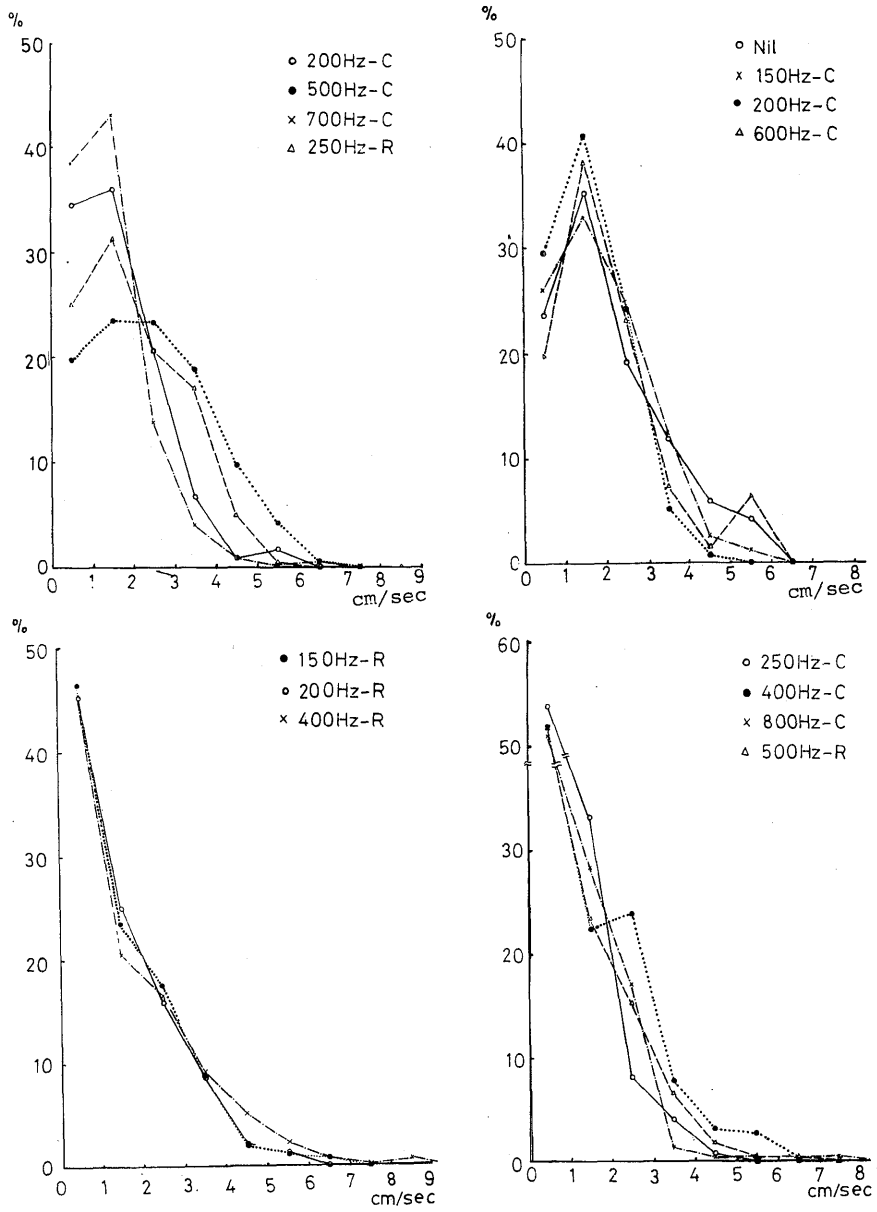


Fig. 6-A. Distribution of the fish's speed.

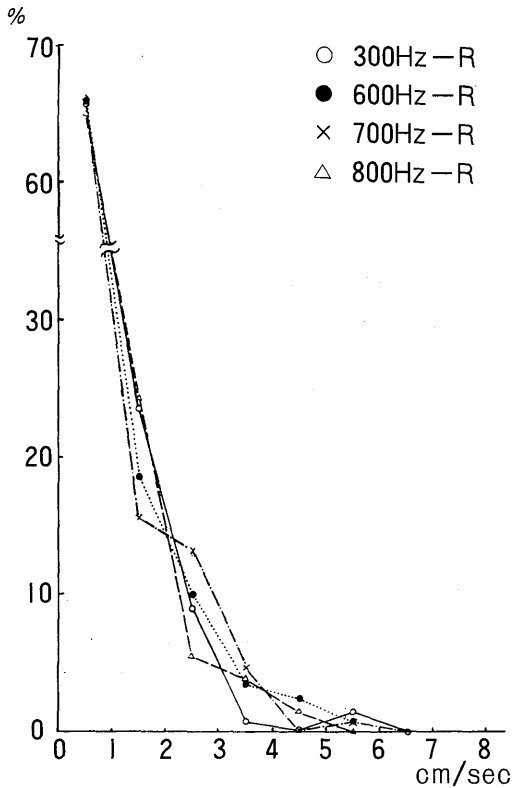


Fig. 6-B. Distribution of the fish's speed.

不活発化が推察される。各刺激時の平均速度と対照の無刺激に対する割合を Table 1 に示した。これから 500Hz 連続音を除いてすべての場合に無刺激より低くなっていることがわかる。また Fig. 6-A あるいは Fig. 6-B でガンマ分布を示さなかった 250, 400, 800

Table 1. Average speed of movement of the tested fish by each acoustic stimulus and ratio against the blank test.

Stimulus	C		R	
	cm/sec	%	cm/sec	%
Nil	1.95	100		
150Hz	1.39	71	1.06	54
200	1.31	67	1.16	60
250	0.73	38	1.55	80
300	1.33	68	0.38	20
400	0.46	24	0.78	40
500	2.25	116	0.71	37
600	1.27	65	0.38	20
700	0.99	51	0.44	23
800	0.67	34	0.32	17

C, continuous acoustic stimulus; R, reciprocal acoustic stimulus.

Hz の各連続音, 300Hz から 800Hz までの各断続音は, 無刺激の 50% 以下という結果になっている。これから音刺激による行動の不活発性あるいは抑制といった影響があることが考えられる。また 250Hz と 400Hz を除いてすべて断続音の実験では供試魚の移動速度が小さくなっていることから, 断続的に放声する方が魚の行動に大きな影響があると考えられる。400Hz と 800Hz の刺激音では連続放声および断続放声のいずれも魚の移動速度が極めて小さい値であることから, この 1 オクターブの周波数には魚に対して刺激音としての効果があると考えられる。

次に, パワースペクトラムの典型的なものを Fig. 7 に示す。これらの図から明らかなように 80 から 125 秒の間にほとんどパワーの最大値があり, 他の周期に最大値があるものでも 80 から 125 秒の周期内には必ず別の極大値が認められた。また多少の振動分を無視すると, その卓越周期から高周波数側には指数関数的な減少を示していることがわかる。またパワースペクトラムの原点まわりの 0 次モーメントを求め, X, Y 方向成分の運動量として比較し, それらを Table 2 に示す。表より無刺激の場合には X/Y は 0.85 である。理論的には水槽の縦横比が 1.0 であり供試魚に他の外部刺激のない場合には 1.0 に近い値を示すものと考えられる。400Hz の連続音のような極端に運動量が小さいものを除いて 0 次モーメントの X/Y 比は無刺激時と有意な差は認めることができなかった。

Table 3 には各刺激における卓越周期と平均速度とが示され, また同表でこれら卓越周期と平均速度との積は不規則現象波長と考えられ, この波長も同時に示された。表から不規則現象波長は大別すると 200cm 前後と 100cm 前後とになっていることがわかる。また波長は無刺激を含め約 200cm になったものがほとんどで 100cm 前後を示すものは 400, 800Hz の連続音と 200, 300, 600 および 700Hz の断続音であった。この波長の 200cm という値は仕切枠周囲の長さと同じであり, このことから供試魚の主な行動様式が上記のように仕切枠周囲に沿って回るものであることが理解できる。また波長 100cm 前後になった 400Hz 連続音については, 水槽の一边をゆっくり往復するような行動をしたと考えられる。これは, それらの刺激時には魚の反応速度が非常に緩慢であること, および Fig. 5 に示した魚の位置の度数分布図からも明らかである。

本研究では, 魚の行動を定量的に表わすため上記のようにその位置や速度の度数分布を示し, またパワースペクトラムによって周期分析を行ない比較検討した。

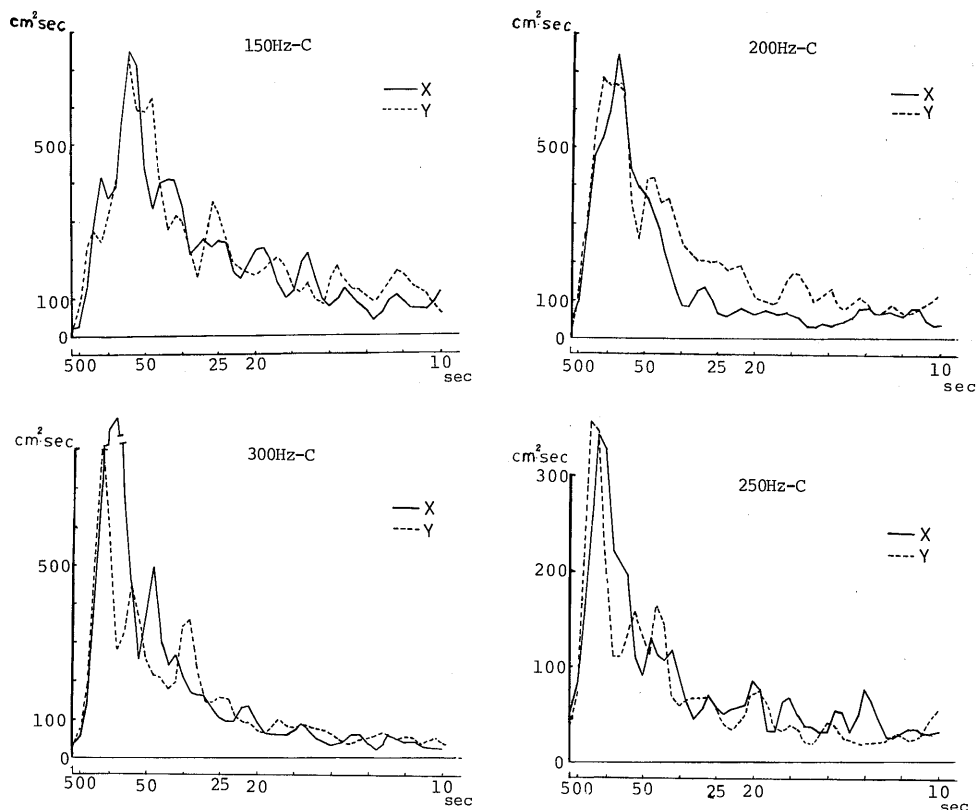


Fig. 7-A. Power spectra of the fish's speed for X and Y component.

この結果からみるとグッピーの場合、音刺激によってその行動はかなり抑制的影響を受けたと考えられる。特に400Hzと800Hzについては連続音、断続音の両方においてその影響は顕著であった。また一見、ランダムと思われるグッピーの行動には約100秒の周期があることがわかった。そして、その行動は音の刺激によってその行動周期や行動パターンについてはあまり影響を受けず、運動量の抑制といった形であらわれると考えられた。

今後の課題としては、本実験においては1回の実験が30分という長時間におよんだこと、および供試魚として同一固体を用いたことから魚の“なれ”あるいは“疲労”等による実験結果への影響の懸念がある。このような魚体内部に起きる変化による信号伝達経路の変化をたとえば局所時系列(7)として取り扱うことによって、魚の行動をより有効適切に解明できるのではないかと考えられる。

Table 2. Comparative value of movements of the tested fish between X and Y component.

Stimulus	Momentum		
	X	Y	X/Y
Nil	202.8	239.9	0.85
150Hz-C	135.6	144.1	0.94
200	97.8	133.7	0.73
250	52.8	46.7	1.13
300	112.4	101.0	1.11
400	55.2	29.5	1.87
500	238.1	325.5	0.73
600	90.1	130.4	0.69
700	66.5	79.8	0.83
800	53.1	57.4	0.93
150Hz-R	100.1	109.5	0.91
200	95.6	125.3	0.76
250	157.7	181.8	0.87
300	20.4	31.8	0.64
400	82.2	98.8	0.83
500	68.4	60.5	1.13
600	27.0	31.2	0.87
700	34.0	31.8	1.07
800	20.9	26.9	0.78

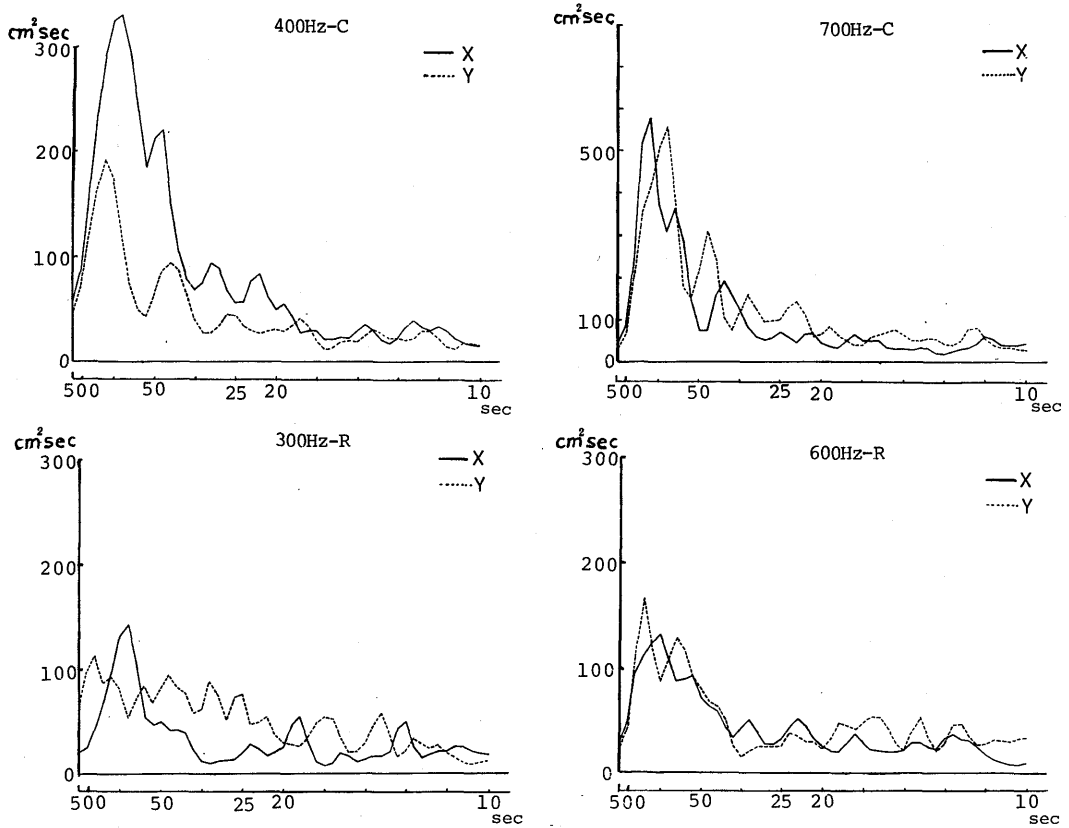


Fig. 7-B. Power spectra of the fish's speed for X and Y component.

Table 3. Period of peak, average speed, and wave length of random phenomenon for stimuli.

Stimulus	Period		Speed	Wave-length
	X	Y		
Nil	83.3	22.0	1.95	204.5
150Hz-C	63.0	63.0	1.39	175.1
200	83.3	125.0	1.31	217.5
250	125.0	166.7	0.73	182.5
300	100.0	125.0	1.33	277.3
400	83.3	125.0	0.46	95.7
500	100.0	83.3	2.25	212.6
600	125.0	125.0	1.27	238.8
700	125.0	83.3	0.99	205.9
800	100.0	100.0	0.67	134.0
150Hz-R	125.0	100.0	1.06	190.8
200	100.0	100.0	1.16	121.8
250	50.0	66.7	1.55	181.4
300	83.3	250.0	0.38	126.5
400	166.7	125.0	0.78	227.8
500	100.0	200.0	0.71	213.0
600	100.0	166.7	0.38	101.5
700	-	250.0	0.44	110.0
800	166.7	500.0	0.32	213.4

文 献

- 1) 西ノ首英之(1970): 漁船および網漁具の操業中に発する水中騒音について. 本誌, 29, 91-102.
- 2) Takemura A.(1972): The Distribution of Biological Underwater Noise at the Coastal waters of Japan. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 38 (3), 201-210.
- 3) 古河太郎(1970): 魚類生理(川本信之編). 恒星社厚生閣, 東京, 462-481.
- 4) 赤池弘次(1968): スペクトル解析・相関関数とスペクトル(磯部孝編). 東京大学出版会, 東京, 28-46.
- 5) 西ノ首英之, 藤田伸二(1975): 音刺激に対する魚の反応行動の検討. 本誌, 39, 35-39.
- 6) 大久保明(1975): 生態学と拡散. 築地書館, 東京, 125-139.
- 7) 尾崎統(1977): 局所定常時系列のスペクトル解析. 応用物理, 46(1), 61-69.