電 氣 漁 網 の 研 究 (第II報)

—交流 兩波整流・半波整流の刺戟効果⁽¹⁾—

黒 木 敏 郎
(鹿児島大学 水産学部)

Studies on the Electric Fish-Screen (II)
—on the effects of stimuli by A.C., F.R.C. and H.R.C.—

TOSHIRO KUROKI

The second method to economize the electric power by which fishes shall be electrified or electrocuted is to be found in the studies on the forms of electric waves. To get the clue of the finding, the author compared the effects of stimuli by the three electric currents, or alternative current (A.C.) and full-wave rectifying current (F.R.C.) and half-wave rectifying current (H.R.C.).

The results got are as follows:—

- a) To equilibize the strength of of stimuli with A.C., from 2 to 4 times electric power is needed in F.R.C., from $\frac{1}{3}$ to $\frac{2}{3}$ electric power is needed in H.R.C..

These facts mean that in the effects of stimuli not only voltage (V) but also the change of voltage (dV/dt) is important.

- b) In the stimuli by R.C., the reaction is more acute. When the anode is set at the head-side and the cathode at the tail-side, than the reverse case.

The difference between the sensibilities by those two settings is more remarkable in small fishes, but it becomes unperceived in large fishes.

- c) In small fishes electrifying voltage are low; on the contrary, in big fishes electrocuting voltage are low. These facts suggest us any methods to keep larvae of fishes from the annihilating effects.

〔目 次〕

I. 序 II. 実験装置並に資料 III. 実験結果 IV. 結果に対する考察 V. 結び

I. 序

電力を直接海中に通じて漁法に活用しようとする場合先づ当面するのは使用電力縮減の問題である。筆者は前報⁽²⁾ に於て周波数即ち刺戟リズムを適当に選ぶことによつて電力を節約しうることを論じた。本報では、電力節減の第二方途として電波形を考究するのに、そのいとぐちを得るため、交流刺戟と整流(直流)刺戟との効果の差を検討せんとするものである。

(昭和25年9月9日受理)

II. 實驗裝置並に資料

電源としては KX-80 整流管を使用せる各種波發生機を用いた。これを第 1 図に示す。通電はスキツ

第 1 図

Fig. 1 Wiring illustration of electric source

チ (K_1) で約 0.5 秒間づつ約 2 秒の間隔で行い、陰極線オツシログラフとテスターとの両方で電圧を読みつつ実験した。テスターの電圧指示は実効値で現われるから正弦波交流ではほぼその最高値に比例するものと見做されるけれども、魚の受感度は必ずしも実効電圧によるとは限らず、むしろ電圧の最高値乃至その時間的变化に左右される所が多いと推察されたので(3)、テスターで指示される電圧と陰極線オツシログラフで見られる電波形の最高値の読みとの関係を check した。その結果を第 2 図に掲げる。これによつて最高電圧を三種の電流について等しくとれば実効電圧の比は

$$(\text{交流}) : (\text{兩波}) : (\text{半波}) = 1 : 1 : 0.5$$

となることが確認された。以後特に断り書きのない限り感電“電圧” 麻痺“電圧”と称するのは“実効電圧”のことであつて最高電圧のことではない。

実験の対象としては体全長 6.8 cm~10.5 cm のフナ *Carassius auratus* を 22 尾(殆ど)用いた。水槽は巾 5 cm, 長さ 58 cm, 水深 6.5 cm であつて、巾方向に向い合せの 8 cm × 58 cm ガラス板部分を除く他は木製である。水の鮮度と水温 (15.3°C) とは略々一定に保つよう注意した。

電極は、電流密度が魚体軸と平行に且つ一様な分布を保つように巾 5 cm の銅板を水深一杯に入れ間隔を 58 cm に保つた。魚体の向きで受感度に違いがあると言われているから(4)、魚体の向きに従ひ陰極陽極の切り換えを行い得るようにしてある。Kohlrausch bridge で測つた電極間の抵抗は 5360 Ω であるから用いた水の比抵抗は 3010 Ω-cm と算定される。但しこれは魚体(例えば全長 10.4 cm)を入れると電極間抵抗が(5300Ωに)減ることを考慮した計算ではない。

III. 實驗結果

魚を実験水槽に入れて体軸が電流線と平行に位置する時電圧をかけると、電圧上昇に伴つて次の如き感応を示す。

- (1) 通電しない時魚は腹を水槽の底に着けて平静な状態で呼吸を行い、各ヒレは任意随時静かに動かして居る。
- (2) 極微電圧の電流を通ずると胸ヒレのみをせわしく動かし始めるが他には変化が認められない。
- (3) 電圧を微かに上げると水底から腹部を離して、胸ヒレのみならず尾ヒレの先端をも動かすようになる。但しまだ静かである。
- (4) 更に電圧を上げると通電した瞬間に、反射的に跳び泳ぐに至る。
- (5) 更に電圧を上げると、筋肉強縮状態のまゝで無理に泳ごうとして水槽内を苦しうに移動する。
- (6) 更に電圧を上げると体の自由は全く利かなくなり時たまビクビクと動く。
- (7) 更に電圧を上げると仮死状態となり腹を横にして浮いてしまう。

本試験では、“感電”識別に(4)の状態を採り、“麻痺”の識別に(7)の状態を採用することとした。

第 2 図

Fig. 2 The check of the relation of effective voltage to max voltage.

[註] 交流の電圧・電流の実効値は瞬時値の自乗の平方根、所謂自乗平均平方根であつて、
(最高電圧) = $\sqrt{2} \times (\text{実効電圧})$ で示される。

第3図

Fig. 3. Voltages of electrocuting and electrifying

波整流は2~4倍の電力を必要とし、半波整流では交流の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{2}{3}$ の電力で済むことが判つた。(抵抗一定ならば電力は電圧の自乗に比例する。)

2. 両波・半波の二つの整流(直流)では吻端側に陽極を尾端側に陰極を置いて通電する方がその逆の場合よりも低電圧で感電する。
3. 前項の両場合における感電の利きの差(最小感電圧の差)は魚体全長の小なる側で著しく、体長の大となるに伴い感じ、10~11 cmの体長では殆ど差がなくなる。魚の種類によつてはむしろ逆になるとさえ推察される(5)。
4. 感電については体長の小なるものが敏感であるのに反し、麻痺については体長の大なるものが低電圧で麻痺してしまう。

IV. 結果に対する考察

以上の結果より次のような考察がなされる。

1. 交流に比較して両波整流が所要電力大で、半波整流が所要電力小なる理由としては、電圧(V)とその時間的強まり(dV/dt)との大小が関係して居る結果と考えられる。等しい刺戟効果を得るための三種の電流を模型化して示せば第5図のようになる。図中黒い部分は有効と思はれる電力を、斜線部分は無効と思はれる電力を示す。即ち刺戟に有効な電波形は $|dV/dt|$ の大なるものであつて、且その $(+dV/dt)$ 部分と $(-dV/dt)$ 部分とは二刺戟として感受される最小時間以上の時間間隔を保つような波形でなければならぬと考へられる。

2. 整流(直流)の場合に、吻端側へ陽極をかけるか陰極をかけるかによつて受感度に差が生ずるのは活動電流其他の生理学的な原因に基くものであろう。それがあつた体長に達すれば殆ど差がなくな

いろいろな体長について感電電圧と麻痺電圧とをplotすれば第3図のようになる。縦軸にとつた電圧は5360 Ω の抵抗を有する水槽の両端にかけた電圧の実効値をそのまま示すものであり、並記された電位勾配は魚体で電流線が乱されないと仮定したときの長さ1 cmあたりに掛る実効値電圧を示すものである。この電位勾配に魚体全長を掛けた積即ち吻端より尾端迄に掛る電圧を“体長電圧”と呼び、感電と麻痺とについて体長電圧を縦軸に取り直せば第4図が画かれる。

第3図・第4図より実験結果を総括すれば次のようになる。

1. 感電・麻痺の両場合とも必要な最小電圧は両波整流で最大、半波整流で最小を示す。即ち交流に比べて両

第4図

Fig. 4. Electrocuting & electrifying voltage per total length

第5図

Current	60~AC	Full w. R.C.	Half w. R.C.
Power ratio	1	2~4	$\frac{1}{3}$ ~ $\frac{2}{3}$
Effec. ratio	1	1.4~2	0.6~0.8
Max. v. ratio	± 1	+1.4~+2	+1.2~+1.6
Shape of wave			

Fig. 6. The comparison to two rectifying currents with A.C.

るというのは、魚に成長特性の反転が生ずるためではなからうか。即ちこの試験の資料としたフナでは体長 10~11cm のあたりで趨光性・趨流性・趨電性等に反転を生じ、電気刺激の陰陽に関する感受性もこの成長期では釣合いがとれるためではないかと思はれる。この推定と符節を合せる資料⁽²⁾ を第 6 図

Fig. 6. The relation of ζ -point to total length.

に掲げる。図の横軸には魚体全長 L cm をとり縦軸には吻端より ζ -point 迄の距離 1 cm と体長 L cm との比をとつた。見る如く 10~11cm 附近に極大値のある事を知る。

しかし受感状態を観察すると、刺激電流が脈動流である限り、特に魚体を陽極へひきつけるとか、又は魚が陽極を避けて陰極へ趨くという如き現象は見受けられない。従つて、陰陽の極を適宜に漁具と組合せて漁獲に活用するという様なことは困難であろう。これは海中で直流を通ずると電極金属の腐蝕が甚しく、到底実用に堪えないという実験結果からも同調される推論である。

3. 体長の短いものは長い魚に比べて電気刺激に敏感であるのに麻痺に対しては強いという結果は興味のある現象である。過去にもこの現象を肯定するような実験結果⁽⁶⁾ が出されて居る。電気漁網の実用化に際しては必ず幼魚保護の条件が考慮されるべきであつて⁽⁷⁾、この見地より上の結果は次のような利点を示唆するものと考へられる。

- イ) 感電電圧を低くすれば幼魚を排除しつつ成魚を目的範囲へ導入し得る。
- ロ) 麻痺電圧を低くすれば成魚を麻痺させ得る場合でも幼魚を麻痺せしめるには至らないから幼魚の保護が出来る。
- ハ) 上の 2 項は共に、海中電気漁網を活用せんとする場合電力縮減の目的に沿うものであつて、電気漁網の実用化を促進する方途であると謂ひ得る。

V. 結 び

以上の実験結果並に考察をまとめると――

1. 交流と比べて両波整流では感電・麻痺に大電力を要し、半波整流では小電力で済む。

この結果から、電圧の強さ (V) のみならず、その強まり (dV/dt) も刺激効果に重要な役割を占めるものと推察される。

2. 魚の吻端側に陽極を置き尾端側に陰極を置く場合と、その逆の場合とで最低の感電電圧に差を生ずる。この差は魚体長のある範囲では殆ど無くなる。この結果は直流自体が電気漁網に関して実用性の薄いことから考へても活用の余地が少いものと思われる。

3. 感電電圧は幼小魚の側で低いのに、麻痺電圧は成魚側で低く出る。これは電気漁網実用化の見地から、幼魚保護の手段を示唆するものとして興味深い結果である。

この研究は文部省科学研究費の交付をうけてなされたものである。終りにのぞみ、電気刺激に関して終始懇切な御指導を賜つた千葉大学医学部鈴木正夫教授に対して深甚の謝意を表する次第である。

〔 註 〕

- (1) 昭和25年5月27日、日本水産学会 九州支部例会において発表。
- (2) 黒木：日本水産学会誌、Vol. 16, No. 4. 昭25.
- (3) 鈴木：「刺激と興奮」、生理学の進歩 (I). 昭25.
- (4) 瀬沼：水産学会報告, Vol. 5, No. 2 昭4.
F. Scheminzy: Pflügers Arch. f. d. Phys., Bd. 202, S. 200. 1924.
- (5) はぜ類 [*Gobius similis* (♂♀各1尾), *G. giurinus* (♂)] の実験では成長度の大きな体長 7~8 cm で逆の結果を得た。
- (6) F. Scheminzy: (4) と同じ。岡田：水産講習所報告, Vol. 24, No. 2. 昭4.
- (7) 黒木：日本機械学会誌, 未刊。