

電気ショックに対する魚類の反応

誌名	水産工学
ISSN	09167617
著者	山森, 邦夫
巻/号	28巻2号
掲載ページ	p. 121-126
発行年月	1992年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



【報 文】

電気ショックに対する魚類の反応

山 森 邦 夫*

Responses of Fish to Electroshock

Kunio YAMAMORI*

1. はじめに

つくり育てる漁業の新しい展開には種々の技法が開発される必要がある。魚網を用いるかわりに電流の感電・麻痺作用を利用して魚類を誘導したり捕獲したりするアイデアは電気漁法として知られるが、電気漁法は淡水域の一部を除いてほとんど利用されていない。海水域で電気漁法が利用されにくい主な原因は、海水は電導度が高いため通電に多量の電力が必要になることであるが、他にも解決しなければならぬ問題がある。海洋牧場用柵として電気スクリーン方式による海域遮断技術を実用化するためには工学的には消費電力の低減化を図ることが重要になるが、それには電気に対する魚類の反応についての生物学的知識が基礎となる。また通電が魚類に及ぼすかも知れない副次的影響についても十分把握しておく必要がある。ここでは主に淡水魚を用いて得られた研究報告を基に、電気による魚類の感電・麻痺現象、魚類の電気感覚、さらに電気漁法が魚類に及ぼす影響について紹介する。

2. 感電・麻痺

電流による感電現象は人間が電気を発見して以来気付かれていたことと思われる。また、電流を利用して魚類を誘導しようとする電気漁法のアイデアは新しいものではなく、イギリスでは1863年に特許申請がなされたという。日本においても1885年に高橋元義が電気捕鯨機および電気釣針の特許を得て以来、電気漁法に関する数々の研究がなされ、1955年には黒木の「電戟漁法」¹⁾が出版された。日本では電気漁法は禁止されているが、欧米では electrofishing と称して淡水魚の調査・研究のためにポータブルな機器を用いた電気漁法が多用されており、これに関する研究・開発も活発であり、1988年にはイギ

リスで電気漁法に関するシンポジウムが開かれた^{2), 3)}。

1) 感電と麻痺

魚(フナ)を実験水槽に入れて電気刺激をかけるとその強さによって魚は種々の段階の反応を示すが、黒木の観察¹⁾に従えばつぎのようになる。実験水槽として巾5cm、長さ58cm、水深6.5cmの水槽を用い、水の両端に巾5cmの銅板を水深一杯に入れて電極とし、両電極間に交流電圧をかけた。

①通電しない時、魚は腹を水槽の底につ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いる。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電圧を僅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震わせるようになる。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ま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々まビクビクと動く。⑦更に電圧を上げると仮死状態になり横に倒れた姿勢になってしまう。水面に浮く事もあり、水底に沈むこともあり水中に懸かったままで動かない事さえも生ずる。

これらのうち反応基準として「感電」識別には④の状態、「麻痺」の識別には⑦の状態が分かりやすいという¹⁾。

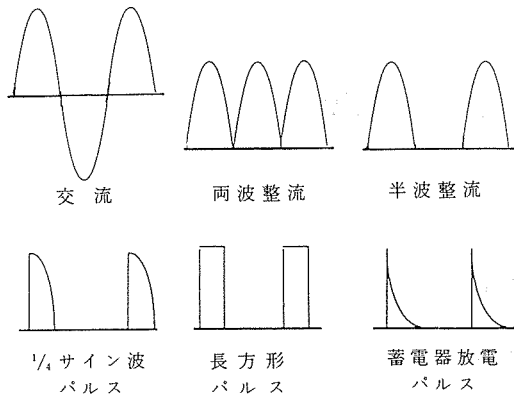
2) 電流波形による刺激効果の差異

電気刺激に対する魚類の反応は電流波形によってやや異なる(図一1)。直流を用いた場合には感電した魚が陽極へ誘引される性質があるとされ、淡水域での漁獲に応用されているが、省電力が重要になる海水域では交流や断続電流の方が感電や麻痺効果は強いので有利である³⁾。

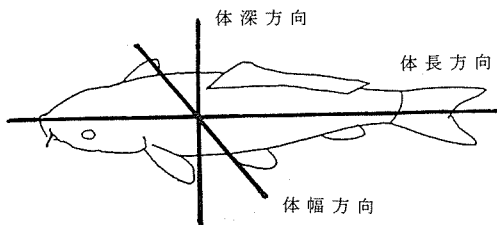
水中で長さ1cmあたりに掛かる電圧を電位傾度とすると、電流の刺激効果は電位傾度の増加に伴って強くなるが、キンギョを用いた交流、両波整流、半波整流の各電流の刺激効果の比較実験¹⁾によれば、感電電圧、麻痺電圧ともに最小電圧は、両波整流で最大、半波整流で最

1991年11月1日 受理

* 北里大学水産学部 〒022-01 岩手県気仙郡三陸町越喜来字烏頭160-4 (School of Fisheries Sciences, Kitasato University, Sanriku, Kesen, Iwate 022-01)



図一 電流波形の種類



図二 魚体に流す電流の方向

小となり、交流と比較した場合、両波整流は2~4倍の電力を必要とするのに対し、半波整流では1/3~2/3の電力ですむという。

3) 電流方向による刺激効果の差異

電流の感電作用や麻痺作用は電流が魚体のどの方向に流れるかによって異なる(図一2)。田内がキンギョを用いて行った実験結果¹⁾では、感電作用を起こすのに必要な電位傾度は体幅方向が最大で体長方向の5倍を要し、体深方向でも3.6倍を必要とした。また麻痺作用を起こすのに必要な電位傾度はそれぞれ2.2倍と2.4倍であった。

魚の体長方向に電流を流した場合、魚が体位を転換して、刺激効果の小さい、電流に垂直の位置へと移ることを筆者もしばしば観察した。

4) 魚のサイズによる刺激効果の差異

魚に対する電流の刺激効果は電流が体長方向に流れたときが最も大きい。この方向で6~11cmのキンギョに対する刺激効果を比較した黒木の実験では¹⁾、感電については体長の小なるものが敏感であったのに対し、麻痺については体長の大きなものが低電圧で麻痺してしまう傾向があった。「これは同一魚種でも幼魚と成魚とでは影響が異なることを意味し、幼魚保護の観点から立てば有利な現象である。すなわち、感電電圧を低くとれば幼魚を排除しつつ、成魚を目的域に導入しうる。また麻痺電圧を低くとれば成魚を麻痺させ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可能である」と黒木は記しているが、「感電について体長の小なるものが敏感であるのは体長が小なる側で著しく、体長の大きなに伴い減じ、10~11cmの体長では殆ど差がなくなる。魚の種類によってはむしろ逆になるとさえ推察される」とも記している。実際、最近、前畑らが2~13cmのマダイで比較した実験では、感電も麻痺も体長の大きいものの方が敏感であった⁴⁾。

5) 局所刺激に対する魚類の反応

黒木¹⁾は棒状の細長い電極を用いて魚の周囲を局所的に刺激した場合の反応を調べた。体幅方向に刺激する場合であるが、フナやハゼにおいて眼の僅か後方の点から吻端へわたる範囲に局所的に電気刺激すると魚は転向して後方へ逃げ去り、一方、その点から尾端の方へわたる範囲を刺激すると、体の大部分が電流密度の大きい区域を通過するにもかかわらず魚は前進し、電極間を突破して前方へ逃げ去る。このように電気刺激がかかるとき前進後退の運動分岐の境界となる部位を黒木は δ (ツェータ)点と呼んだ。

ウナギの場合¹⁾、ほぼ遊泳運動の中心と思われる点を境にして、それより頭部側を刺激するとウナギは後退し、それより後方を刺激するとウナギは体側が電極にふれるのも構わないで強引に前進した。

エビの場合は¹⁾と点よりも前方を刺激すると後方へ普通の仕方では飛び退くし、後ろを刺激すると前方へ逆立ちの姿勢をとって飛び進む。体側より高い位置に電極をおけば、エビはとびはねないでゴソゴソ這って前進し、そして δ 点が電極の真下を通りすぎてから前へ跳ねる。またエビは電気刺激に対して著しく敏感である。

3. 電気感覚

電気スクリーンによって海域を遮断する目的は養殖魚の逃亡を防ぐとともに食害魚の侵入を防ぐことにある。電気スクリーンは感電・麻痺経験と電気感受とを結びつける魚類の学習効果に期待するものであるから、その効果は各魚種の電場感知能力や学習能力、記憶保持能力などによって異なってくるものと思われる。

1) 電気感受性の測定法

魚類の電気感受性を測定する方法は様々に考えられるが、生理学的には心臓反射や呼吸反射を利用することができる⁵⁾。魚に電気刺激を加えると反射的に呼吸運動が停止したり緩徐となるが、この応答は餌を与えることで強化することができる。呼吸運動を電氣的に記録しながら電気刺激を与え、応答が得られたときに餌を与えるという訓練を繰り返しつつ刺激電圧を下げて行くと、やがて反応が認められない電圧に行きつく。ここで反応率が50%となる電圧を閾値とする。一般の魚類の電気感受性はほとんど研究されていないが、ウナギやコイではそれ

ぞれ 1mV/cm, 30mV/cm の閾値が報告されている⁶⁾。一方、ナマズの仲間や大部分のサメ・エイ類は電気受容を機能とする特殊化した側線器をもち、微弱な電流に対しても反応し、その閾値も 0.1~0.01 μ V/cm 程度と著しく低い。この高度の電気感受性は索餌行動などに利用されていると考えられている⁶⁾。

2) 海水中での電気スクリーンの使用例

サメは電気に非常に敏感であるが、南アフリカのルシア湾の沿岸でサメ用の刺し網の代わりに使用することを目的として電気スクリーン・システムが試験された⁷⁾。30m の長さの裸の銅電極が水深 3m の海底に 6m 離れて設置され、電極にパルス発生器からの 0.8ms, 15Hz のパルスが流された。このシステムの電力消費は少なくとも 8kW であった。このスクリーンはサメの通常の回遊コースに仕掛けられ、その効果を調べるために忌避しなかったサメを捕らえるための刺し網がスクリーンの上に仕掛けられた。スクリーンに通電された 7 か月以上の間、網にかかったサメは皆無であったが、通電を停止後 28 尾が捕らえられた。

3) 魚の学習・記憶能力

前畑らが試作した電気スクリーンの性能確認試験において^{4), 8)}、試験魚であるマダイは放流後 1 日目は群単位で行動せず全体にばらばらに行動し、スクリーンへの侵入および忌避行動を繰り返したが、2 日目以降は群単位で行動を始め、スクリーンへの接近も見られなくなった。マダイが「スクリーン+電気刺激という学習」をしたためと考えられる。この学習効果持続時間をスクリーンへの通電を停止して観察したところ、約 5 分間はスクリーンに近づくことなく、その後徐々に近づきスクリーンへの侵入を始めるようになり、さらに通電停止後、10~15 分間でスクリーンの存在にまったく関係なく行動するようになった。この実験から、マダイの電気ショックに対する学習効果時間は 5~10 分間とみられる。

大西洋サケに対する電気スクリーンの遮断効果を調べた実験においても通電停止後比較的短時間で電気スクリーンに対する忌避行動が認められなくなることが観察されている⁹⁾。

4. 電気漁法の魚に及ぼす影響

欧米では淡水魚の調査・研究のためにポータブルな機器を用いた電気漁法が多用されている。このため魚に対する電気漁法の効果・影響についての研究も多い。電流の感電・麻痺作用によって魚を誘導・捕獲する際に魚に及ぼす副次的影響や後遺症についても十分に把握しておく必要がある。

1) 解剖学的影響

電気ショックによって脊椎骨が曲がったり、出血したりする¹⁰⁾。通電によって左右の体側筋が激しく同時に

収縮することにより脊椎骨が壊れたり、ずれたり、その際に血管が破れたりする。えらの毛細血管の破裂も起こる。ただ 1 回のパルスが、そして時には低い電圧のパルスが、このような障害を生むのに充分であったりする。サケ科では皮膚の検査を通して脊椎骨が障害を受けているかどうかを簡単に調べることができる³⁾。交感神経が傷つくと黑色素に対するアドレナリン分泌がなくなってメラニン顆粒が拡散するため障害部分に黒いスポットが見えるようになるからである。

電気ショックが脊椎骨に損傷を与える危険性は、電流波形により異なる。すなわち、一般的に直流がもっとも安全であり、交流が最も危険であり、直流パルスがその中間に位置するといわれている。直流パルス電流によって捕獲されたニジマスの約 50% が平均 8 個の脊椎骨に損傷を受けるという報告もある¹¹⁾。

2) 生理学的影響

ラージマウスバスに対する電気ショックが血液や組織に及ぼす影響を観察した研究がある¹²⁾。直流パルスで刺激後、0, 1, 3, 5.5, 19 時間後に対照と比較してヘモグロビン量、ヘマトクリット値、血漿タンパク量、筋肉組織中水分量には有意な差は認められなかったが、血漿乳酸量は 1 時間後には有意に高くなり、3 時間以内に元のレベルに戻るが、その後更に減少した。一般的にどのような捕獲法によるストレスも血中乳酸レベルを増加させるため、これは電気漁法に特有な変化ではないとしている。

養殖ニジマスの呼吸・循環機能、血液性状に及ぼす電気ショックの影響を調べた研究もある¹³⁾。電気ショック後、魚は呼吸運動を 60 秒間止めたり、または 30 秒間にわたり激しい洗浄運動を示したりした。心電図では T 波の増大が起こり、時には T 波が QRS と同程度に増大する個体がみられたが、これは 1~3 分後にピークに達し、4~5 分後に元に戻るという一時的なものであった。この他、血中の乳酸量、グルコース量、コルチゾール量が電気ショック後、増加するが 6 時間後に乳酸量は元のレベルに戻った。これらの電気ショックによる影響は一般的なストレスや窒息時の影響に似ていたとしている。

野性ニジマスと養殖ニジマスとで電気ショックに対する反応に違いがある¹⁴⁾。魚が麻痺するまで電気ショックを与えた後の血中のコルチゾール量は、養殖ニジマスでは 0.5 時間後に 70ng/ml のピークを示したが 1 時間後には元のレベルに戻った。一方、野性ニジマスでは 1 時間後に 234ng/ml のピークに達したが、4 日後もかなり高いレベルを維持した。また野性ニジマスには 5.5% の死亡があったが、養殖ニジマスにはなかった。

3) 成長に及ぼす影響

電気ショックが及ぼすより長期間の影響に関してさまざまな報告がある。

12か月の内に天然水域で2～7回の直流パルスを受けた野性ニジマスや野性ブラントラウトの成長は、同一地域の同一種の同一年令の魚の平均成長率に比較して低い成長率を示した¹⁵⁾。この成長率の低下は3歳以上の魚より1～2歳魚で顕著であり、また電気ショックから回復するために3か月以上経過した魚より、過去2.5か月以内に電気ショックを受けた魚の方が顕著であった。

養殖魚の成長に対する電気ショックの影響についての報告もある¹⁶⁾。雑種のサンフィッシュの成長に対する電気ショックの影響を観察した実験で、スタート時に差がなかった体重が、3か月後には対照に比較して電気ショックを毎週与えられたグループは著しく悪く、2週に1回や4週に1回、または実験スタート時に1回だけ与えられたグループも対照より悪かった。このことは餌を充分に与えられる養殖魚に対しても電気ショックは悪影響を与える可能性を示している。

これに対して、影響しないとの報告もある。すなわち、養殖ニジマスの生残率、成長、生産力は電気ショックによって影響されず、またその子孫の生残率や発育も影響されないとの報告¹⁷⁾、電気麻酔はニジマス1歳魚の成長や暗闇選択行動に影響しないとの報告¹⁸⁾、電気ショックはニジマスやカワマスの生残率に影響しないとの報告¹⁹⁾が見られる。

4) 生殖機能に及ぼす影響

生殖機能に及ぼす電気漁法の影響を調べた研究はきわめて少ないが、カラフトマスの採卵、採精直前の親魚に対する電気ショックの有無や受精直後の卵に対する電気ショックの有無が後期発眼卵段階での死卵率に及ぼす影響を調べた研究²⁰⁾によれば、雄親への電気ショックは影響がないが、成熟雌親魚に対する電気ショックは死卵率を15.8%から27.6%に増加させた。この原因として雌親の一部に内蔵が破れ、卵が体液に漬かっている状態が発見されたことから、体液が卵の受精能を減退させたのではないかと推測されたが、受精卵への電気ショックも死卵率を増加させたことから、体液だけが死卵率の増加の原因ではないことが考えられた。この研究は、雌親魚や受精卵を電気ショックにさらすべきでないことを示唆している。

5. 海水通電により生ずる塩素の生物毒性

淡水に対する通電ではほとんど問題にならないことであるが、海水の場合には通電によって塩素が発生し、塩素の強い酸化力によって魚介類が死滅する危険性がある。海水中に電気スクリーンを設置する際にこの種の危険が生ずることを指摘しておきたい。

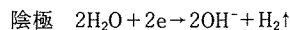
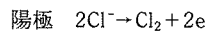
1) 塩素の利用

塩素は常圧では黄緑色の強烈な臭気のある気体であり、空気より重い。気体の塩素は圧力を加えると液化し、黄

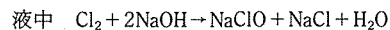
褐色透明な油状の液体塩素になる。塩素は常温では水に0.5～1%程度溶解し黄色を呈する。塩素が水道水の滅菌に用いられていることは広く知られているが、海水を冷却水として使用する火力発電所、原子力発電所、化学工場、船舶などでは海水取水経路に塩素を注入してフジツボ、ムラサキガイなどの海洋生物の付着防止を図っている。塩素注入法としては液化塩素などの塩素剤を注入する方法の他に海水を電気分解して次亜塩素酸ナトリウムを生成する方法がある²¹⁾。

2) 海水通電による塩素の発生

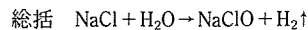
海水を電気分解すると陽極に塩素が発生し、陰極に水酸イオンと水素が生成する。



発生した塩素は水酸化ナトリウムとただちに反応して有効塩素源である次亜塩素酸ナトリウムとなる。



電気化学的には2ファラデーの電流量で1モルの次亜塩素酸ナトリウムが生成することになり、一般に用いられる有効塩素量に換算すれば1Ah当たり1.323gとなる。



3) 海水の塩素要求量と残留塩素量

冷却用海水の塩素処理では海洋生物付着防止のために有効な塩素濃度を保つ必要があるが、汚濁・富栄養化した海中では酸化力のある塩素はアンモニアやその他の有機窒素化合物と反応してクロラミンを生ずるため、注入した塩素注入量の一部がいわゆる塩素要求量として消費される²²⁾。このため塩素要求量を見込んで塩素注入量を高める必要があるが、冷却用海水は通常2～15分程度の短い時間で排出されてしまうため、低い濃度の塩素を連続的に注入しているのが普通である。一方、排出時には残留塩素量が排出基準以下になることが要求されているが、さらに公害防止協定により復水器出口で残留塩素濃度が零となるよう管理するよう規制されることになった。したがって塩素注入量は必要最小限の量に微妙に調整されなければならない²³⁾。

4) 残留塩素の生物毒性

冷却水が排出される際に残留塩素も温排水とともに周辺海域へ放出されるが、これが温排水拡散海域に生息している魚介類に及ぼす影響が懸念される。クロダイおよびメジナの半数致死濃度を調べた報告²⁴⁾では、60分 TLm はそれぞれ0.62 ppm、0.34 ppmであり、12時間 TLm は両種ともに0.11 ppmであった。水産用水基準では魚その他の水生生物の正常な生息および繁殖が維持され、その水域における漁業生産が支障なく行われ、かつその漁獲物の経済的価値が損なわれることのない水域の水質として残留塩素量が0.02 ppm以下としているが、安全濃度の算出は一般に48時間 TLm に安全係数0.1を乗じたも

のとされているため、メジナおよびクロダイの12時間TLmを代用すると安全濃度は0.01 ppmとなり、水産用水基準値を下回ることになる。

5) 電気スクリーン作動にともなう塩素の発生量

実海域に電気スクリーンを設置し作動させた場合の塩素発生量はどの程度のものだろうか。まず前畑らが海洋牧場のために試作している3極2電位型電気スクリーン^{7), 8)}が作動した場合に発生する塩素量を試算する。スクリーンは4.4m長のブスパーと銅系電極棒(直径20mm)を電気的に接合して組み立てた3組のスクリーン電極を配列することにより構成されている。このスクリーン電極によって囲まれる海水の体積は、水深を1.5mとすると約10トンになる。このスクリーン電極に直流電圧10Vをかけるとスクリーン電流は600Aとなるため、1時間当たり600Ahの電力を消費し、したがって塩素発生効率を100%とすれば毎時793gの塩素が発生し、これが完全に海水に溶け、且つ希釈されなければ、79.3ppmの高濃度となる。10倍に希釈されても7.9ppmである。たとえ海水が富栄養化しており塩素要求量が5ppmであってこれを差し引いてもなお残留塩素濃度は2.9ppmを示し、危険である。

筆者は海水を入れた長さ30cmの水槽の両端に銅板電極を設置し、12Vの直流を1時間通電後の海水にアイナメを入れて観察したところ、1時間以内にへい死した。またこの海水の10倍希釈海水にアイナメを入れたところ12時間以内にへい死を確認した。上記試作電気スクリーンの作動時に実験魚の死亡はみられなかったようであるが、よほど拡散がよかったのかも知れない。電気スクリーンの設置によって囲いの中の魚が死んだり、周囲の魚介類に危害を及ぼしては何にもならない。実際のところはどうかを知るため、電気スクリーン周囲の残留塩素濃度の測定が望まれる。

電気スクリーンを海水中で作動させると発生する塩素の量は電流に比例するため、消費電流を少なくすることが第一である。それには少ない電流で感電、麻痺を可能とする電流波形の選択や最小限必要な刺激頻度の採用などの工夫が必要であろう。

引用文献

- 1) 黒木敏郎：電撃漁法，技報堂，東京，1955。
- 2) Cowx, I.G. ed.: *Developments in Electric Fishing*, Fishing News Books Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1990.
- 3) Cowx, I.G. and P. Lamarque eds.: *Fishing with Electricity*, Fishing News Books Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1990.
- 4) 前畑英彦・荒井浩成・大工博之・大谷誠二・浜田盛治：電気スクリーン方式による海域遮断技術の開発(第1報)―魚介類の行動制御のための電気

スクリーンの基礎的実験および遮断性能確認実験一，水産土木，24，pp. 1-9, 1988.

- 5) Asano, M. and I. Hanyu: Sensitivity to electricity in the catfish, *Parasilus asotus*, *Comp. Biochem. Physiol.* 86A, pp. 485-489, 1987.
- 6) Asano, M. and I. Hanyu: Biological significance of electroreception for a Japanese catfish, *Bull. Jap. J. Sci. Fish.* 52, pp. 795-800, 1986.
- 7) Smith, E.D.: Electro-physiology of the electrical shark repellent, *Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers*, 65, pp. 166-185, 1974.
- 8) 前畑英彦・荒井浩成・大工博之・塚原正徳・大谷誠二・浦本武郎：電気スクリーン方式による海域遮断技術の開発(第2報)―海洋牧場のための電気スクリーンシステムの試作および性能確認実験一，水産土木，26，pp. 5-12, 1990.
- 9) Stewart, P.A.M.: Electrified barriers for marine fish. In I.G. Cowx ed.: *Developments in Electric Fishing*, Fishing News Books Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 243-255, 1990.
- 10) Hauck, F.R.: Some harmful effects of the electric shocker on large rainbow trout, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 77, pp. 61-64, 1947.
- 11) Sharber, N.G. and S.W. Carothers: Influence of electric fishing pulse shape on spinal injuries in adult rainbow trout. In I.G. Cowx ed., *Developments in Electric Fishing*, Fishing News Books Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 19-26, 1990.
- 12) Burns, T.A. and K. Lantz: Physiological effects of electrofishing on largemouth bass, *Progressive Fish-culturist*, 40, pp. 148-150, 1978.
- 13) Schreck, C.B., R. Whaley, M.L. Bass, O.E. Maughan and M. Solazzi: Physiological responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to electroshock, *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33, pp. 76-84, 1976.
- 14) Woodward, C.C. and R.J. Strange: Physiological stress responses in wild and hatcheryreared rainbow trout, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 116, pp. 574-579, 1987.
- 15) Hudy, M.: Rainbow trout and brook trout mortality from high voltage AC electrofishing in a controlled environment, *North Amer. J. Fish. Manag.*, 5, pp. 475-479, 1985.
- 16) Gatz, A.J. Jr., J.M. Loar and G.F. Cada: Effects of repeated electroshocking on instantaneous growth of trout, *North Amer. J. Fish. Manag.*, 6, pp. 176-182, 1986.
- 17) Gatz, A.J. Jr., and M. Adams: Effects of repeated electroshocking on growth of bluegill×green sunfish hybrids, *North Amer. J. Fish. Manag.*, 7, pp. 450-453, 1987.
- 18) Maxfield, G.H., R.H. Lander, and K.L. Liscom: Survival, growth and fecundity of hatchery-reared rainbow trout after exposure to pulsating direct current, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 100, pp. 546-552, 1971.

- 19) Kynard, B. and E. Lonsdale : Experimental study of galvanonarcosis for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) immobilization, *J. Fish. Res. Board Can.*, **32**, pp. 300-302, 1975.
- 20) Marriott, R.A. : Effects of electric shocking on fertility of mature pink salmon, *Progressive Fish-culturist*, **35**, pp. 191-194, 1973.
- 21) 平形 薫 : 電解法における問題点と進歩, セミナー「クロリネーションの過去と現在—クロリネーションに未来はあるか」予稿集, 電気化学協会・海生生物汚損対策懇談会, 1986.
- 22) 桑原 連 : 冷却用海水の塩素処理に関する水質化学的研究, *水処理技術*, **27**, pp. 3-25, 1986.
- 23) 桑原 連 : クロリンの魚介類への影響, セミナー「クロリネーションの過去と現在—クロリネーションに未来はあるか」予稿集, 電気化学協会・海生生物汚損対策懇談会, 1986.

(本報文は平成2年11月6日に開催された平成2年度日本水産工学会シンポジウム「水産増養殖への新技術導入の現状と問題点」で課題提供した内容をまとめたものである。)