

魚の活動電位を用いた水質連続監視装置の運転結果について

駒口孝広, 勝浦英雄, 藤井正博

ユニチカ(株) エンジニアリング事業本部
京都府宇治市宇治小桜23番地

概要

浄水場においては、魚を原水中で飼育し、その挙動を観察することにより水質異常を検知する方法が行われている。この方法は水の総合的な安全性を監視する最良の方法とされているが、人間の視覚が頼りであり、連続性がなく発見が遅れたり、夜間の監視が疎かになるという欠点があった。その解決策として、毒物混入時に現れる魚の生理、生態反応を利用し、水質を自動監視する試みが種々なされている。本研究では魚の活動時に水中に発生する電位(活動電位)をパラメーターとした水質連続監視装置の構成と運転結果について報告する。

キーワード

魚、水質監視装置、活動電位、活動量

1 はじめに

水質変化に対する生物の行動変化を急性毒性のモニターとして利用する試みが多くの方法によってなされている。そのうち実機化されている主なものを上げると ①5連監視水槽におけるコイ(9尾)の分布を画像解析し、毒物流入時の忌避行動を検知して監視する方法¹⁾、②魚群の位置、速度、広がり度を画像処理装置によって解析し、行動パターンの変化から監視する方法²⁾、③下流側のバーに魚が衝突する回数を測定し、向流習性の変化から監視する方法³⁾、④ムラサキイガイの殻に取り付けた電磁誘導センサーにより、殻の開閉パターンの変化を調べて監視する方法⁴⁾、⑤発電魚の放電現象の変化により監視する方法⁵⁾、⑥魚から放出される活動電位の変化による方法⁶⁾⁷⁾などがある。これらのうち、魚の活動電位を利用する方法については、自動測定が比較的容易なため、多くの研究者によって検討が加えられており、装置特性については多数の報告例があるが、実運転の結果についての報告はまだない。現場における長期間の連続運転において、魚は原因不明の挙動を示すことが多いため、いたずらに複雑な解析を行うことは、むしろ誤報を増やすことになり、実際に、浄水場に毒物が流入することが稀であることを考え合わせると、平常時に誤報がなく、緊急時のみ迅速で、正確な警報を出すことが重要となる。論者らはこの目的を満すものとして、水槽内に泳ぐ複数の魚が放出する全活動電位を捉え、この電位量が平常時の上限値を越えた時に魚が毒物により狂乱していると判定して知らせる予報(第1報:黄信号)と、またゼロになった時、魚が死んだと判定して警報(第2報:赤信号)を発する2つの指標による水質監視装置を実機化し、水道原水の連続監視を行ったので、その運転結果について報告する。

2. 装置

魚の呼吸時におけるえら蓋や口の開閉によって生じる電位(活動電位)を水中に浸漬した電極で捉える研

究は、松尾⁶⁾、寺島⁵⁾、Morgan⁷⁾らによって報告されている。本装置では、長期間運転において魚の受けるストレスを少なくするため、できる限り供試魚を自然状態に置くようにし、複数の供試魚が自由に遊泳できる監視水槽（容量30L）の両壁面にステンレス電極を取り付け、水中で発生する電位を検出した。電極で捉えた電位は、信号処理装置で増幅され、魚の筋肉活動に起因する0.2~2 Hzの周波数成分だけを選別して活動電位とした。またこの活動電位を1分間当たり積算した値を活動量と定義し、魚の活動状態を量的に表した。取得された活動電位（絶対値）と活動量は、信号処理装置でA/D変換されてパソコンへ送られ、トレンドグラフで示される。また、水質異常を判定する予報値（平常時の活動量の上限値），及び警報値（同：下限値）の設定の基準となる平常時の最大値，最小値が表示される。パソコンへ送られたデータはフロッピーディスクに保存され、後日データ解析を行うことができる。

なお、通水量は4~6ℓ/分、水道原水（河川表流水）を平常時は一過式に通水し、毒物投入時のモデル実験では、所定濃度の毒物を含む検水を循環使用した。また、水質監視装置の前段に円盤状繊維体を充填した汙過装置とヒーターを設置し、原水濁度や水温の影響を調べた。

また分析用に、予報時、警報時の水を自動サンプリングした。装置の構成を図-1、仕様を表-1、CRT画面を図-2に示す。

3. 運転結果

1) 供試魚

供試魚としてオイカワ、タナゴ、ニジマス、金魚、コイなどを用いた。活動電位は、魚が動いた時に大きくなり、静止した時に減少するが、体長3cm以下の魚では取得電位が小さく、20cm以上の大きな魚では活動

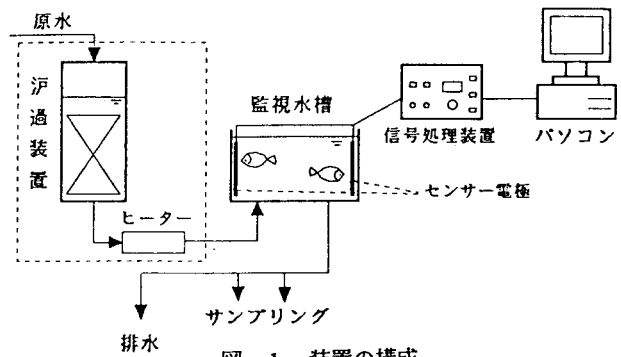


図-1 装置の構成

表-1 装置の仕様

方式	魚をセンサーとした水質監視方式
測定周期	約 0.3 秒
出力信号	伝送出力、電圧接点
水槽材質	アクリル製
水槽容量	30 ℓ
原水流量	4 ~ 6 ℓ / 分
滞留時間	5 ~ 8 分

汙過装置 (付帯設備)		ヒーター	
方式	重力汙過	電気容量	10.2 kw
汙材	円盤状繊維体		
材質	ポリエステル		
層高	70 cm		

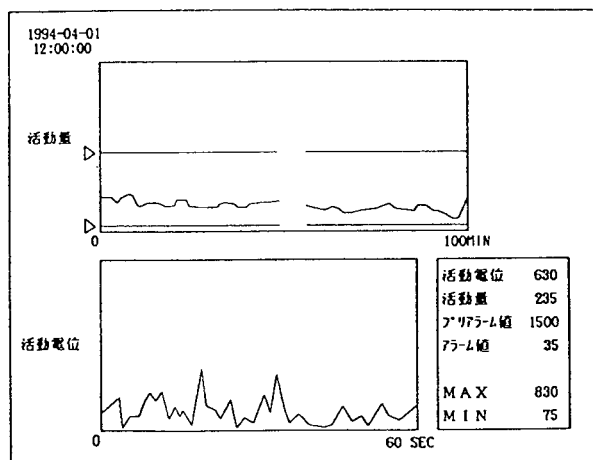


図-2 CRT画面

時と静止時の活動量の変動幅が大き過ぎて、供試魚としては体長5~15cmの魚が適していた。魚種については、金魚、コイは入手が容易で、飼育しやすい点では適しているが、夜間や無人の時に水中に浮遊した状態で休眠したり、低水温時に活動が鈍化した。オイカワ、タナゴについては、日周変動が比較的少なく、毒物に対する感度もコイに比べて高く、魚体数を増やすと活動量は全体に増加するとともに安定した。活動量の増減により水質を監視する方法では、経時的に安定した活動電位を取得することが重要であり、また、病死などによる魚数の減少分も考慮して、水槽（30L）に、5~15cmのタナゴ、オイカワを10~15尾入れるのが最適であった。

2) 平常時の活動量

タナゴ10尾の活動電位を3回/秒で測定して得られた平常時の活動量の経時変化を図-3に示す。魚を水槽に投入後の数時間は高値を示すが、その後は漸減して安定した。長期間の監視においては人為的外乱により活動量が1~2分間突発的に上がることがあった。

濾過装置の設置は、監視水槽内の魚の観察がし易く、水槽の清掃回数が減るという利点はあったが、水槽内の魚が見えなくなる高濁度時においても活動量は安定しており、濾過装置がない方が、より自然な状態で魚を飼育でき、原水中に餌が含まれていることを考えると魚にとって良い環境で監視できると思われた。

また冬季は、ヒーターにより水槽内の水温を8℃に保つように制御した。この水温において魚の活動は、夏期に比べ少し鈍化したが、餌も食べており監視に影響はなかった。実験的にヒーターを止めた時、水槽内の水温が3℃まで下がり魚の活動が更に鈍化したが、ゼロになって警報が出ることは無かった。

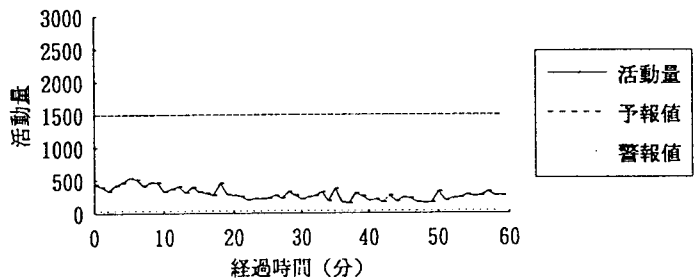


図-3 平常時の活動量の経時変化

3) 毒物流入時の活動量

モデル毒物として、酸、シアン、農薬などを用いた。例として、除草剤ベンタクロロフェノールNa塩（以下PCP-Na）1mg/Lが流入した場合の活動量の変化を前述のタナゴについて図-4に示す。投入までの平常時の活動量の範囲47~1080に対し予報値1500、警報値35を設定した。毒物流入の3分後より魚の行動が乱れ活動量は増加し、9分後に1745となり予報が出された。成人男子の致死量は約10gであり、この量は予報時

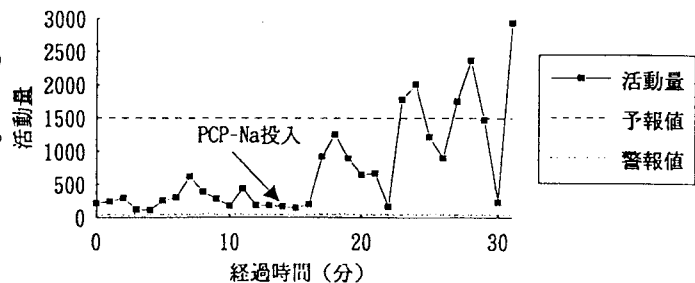


図-4 毒物（PCP-Na）流入時の活動量の経時変化

の水を10m³以上飲むことに相当する。またPCP-Naのコイの48-hr. LC₅₀が0.1~0.5mg/Lであり、他の毒物を用いた実験においてもおおむね48hr. LC₅₀の1桁上の濃度付近で予報できた。また毒物の種類によっては活動量の明らかな増加がないままに活動が鈍化し、横転を経て死ぬ場合があり、このような場合は、魚が全数死ん

で活動量がゼロになった時点において警報された。

4. まとめ

魚が活動した時に水中に発生する電位を利用し、この電位量が平常時の上限値を越えた時に魚が毒物により狂乱していると判定して通報する予報と、またゼロになった時、魚が死んだと判定して警報を発する2つの指標による水質監視装置の連続運転を行った。5～15cmの魚が10尾程度泳ぐ容量30Lの水槽の壁面にステンレス電極を取り付け、魚の活動電位を検出し、この電位を1分間当り積算した値を活動量とした。平常時の活動量の最大値と最小値から予報値、警報値を設定し、水道原水の連続監視を行った結果、平常時に警報は無く、毒物実験では48hr. LC₅₀の1桁上の濃度付近で通報された。

謝辞

本研究の実機運転に御協力頂いた山形市水道部、岡山市水道局の各位に心からお礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1)大阪府水道部：鯉による原水水質監視設備「コイセンサー」パンフレット
- 2)馬場ほか：水道協会雑誌，57(11)，6，(1988)
- 3)Kerren Umwelttechnik：「AQUA-TOX-CONTROL」パンフレット
- 4)Delta Consult：「WATER POLLUTION MONITOR」パンフレット
- 5)J. W. Lewis, et al. : Environmental Technology, 11, 571, (1990)
- 6)松尾ほか：水道協会雑誌，54(10)，17，(1985)
- 7)W. S. G. Morgan : Water Research, 8, 67, (1974)
- 8)寺島ほか：京都大学環境衛生工学研究会第6回シンポジウム講演論文集