ヒメダカの活動低下に着目した画像解析による水質異常検知特性

川 端 雅 博^{*,**} 亀 屋 隆 志^{*}
 小 林 剛^{*} 浦 野 紘 平^{*}

Characteristics of Abnormal-Water-Quality-Change Detection Using Image Analysis Based on Activity Decrease in Medaka (*Oryzias latipes*)

Masahiro KAWABATA^{*,**}, Takashi KAMEYA^{*},
 Takeshi KOBAYASHI^{*} and Kohei URANO^{*}

^{*} Graduate School of Information and Environmental Sciences, Yokohama National University, 79-7 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama 240-8501, Japan

^{**} Organo Corporation, 1-2-8 Shinsuna, Koto, Tokyo 136-8631, Japan

Abstract

The characteristics of abnormal-water-quality-change detection were investigated using image analysis based on an activity decrease in medaka (*Oryzias latipes*). The activity of the medaka was quantified by analyzing the blocks' number at which the change in the life span of medaka was observed and its duration, and the alarm of accidental water quality change could be accurately sent in a short time for practical use on the basis of an activity decrease in medaka, although the detection time was extended slightly compared with that of the conventional method based on an abnormal reaction of medaka. The alarm condition was investigated for typical contaminants at various concentrations. From the results, this image analysis method was effective, particularly for the abnormal-water-quality-change detection of industrial wastewater containing a high concentration ammonia or phenol and of municipal sewage containing LAS.

Key words: water quality monitoring, medaka (*Oryzias latipes*), motion image analysis

1. はじめに

近年、有毒な化学物質による水質汚染が問題となっている。2005年11月には中国吉林省の化学工場爆発事故によるニトロベンゼン等の松花江への流入と下流のアムール川の大規模汚染は記憶に新しいが、過去の汚染事例として、水道取水源へのフェノールやシアン、農薬等の流入事故¹⁾や工場排水による河川等の非定常汚染も数多く報告されている。しかし、国内で数万種の化学物質が流通する中で、全ての物質を従来の個別分析で監視することは不可能であり、また、多数の化学物質による生物や生態系への影響は把握できない。このため、環境水での生態影響を総合的に評価して管理するための手法として、バイオアッセイの利用が検討されている^{2~4)}。

代表的なバイオアッセイとしては、魚類、甲殻類、藻類などの生物個体を用いた急性毒性試験があるが、これまでの化学分析に比べて、まだまだ大きな労力と時間を要することが課題となっている。一方で、水道水取水源の安全管理や工場排水放流水の水質管理等においては、魚類を使った水質連続監視装置のニーズが高まっている^{1), 5~8)}。また、

成分が複雑な環境水や排水等に対して、従来の限られた水質項目だけではなく、事業者が自主的に排水の毒性影響そのものの有無や強弱を総合的に判断し、生物が生育できるレベルの水質であることを確認して、より安全度の高い管理の状況を内外に説明する必要性も高まってきている⁹⁾。

これらの分野で開発されてきた水質連続監視装置では、タナゴやコイなどの魚類が用いられてきたが、試験魚の飼育や試験のための装置が大きくなること、また、化学物質に対する試験魚の感度があまり高くないといった課題が指摘されている。また、試験魚の異常行動の発生を活動電位の上昇として測定する方法やカメラ画像で検知する方法が採用されているが、前者は毒性物質以外の外乱による電位の上昇が警報として発信されてしまう場合も多い^{10~11)}。また後者も同様に毒性物質以外の原因による忌避行動等の異常行動により警報が発信されてしまう場合も多い¹²⁾。特に、人が24時間監視を行っている設備等で連続監視を行う場合は、最終的に人が判断する場合が多いので、誤警報が発信されてもそれほど大きな問題にはならないが、最近増えている無人設備では誤警報の可能性が大きいことは大きな影響を与える。

^{*} 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7総合棟S407

^{**} オルガノ(株) 〒136-8631 東京都江東区新砂1-2-8

Fig. 1 Continuous Water Quality Monitoring Apparatus based on movability of medaka

そこで本研究では、ヒメダカを用いた水質異常の検知特性について、毒性物質による影響を直接的に反映する方法としてヒメダカの活動低下に着目し、活動量の時間的変化を画像解析を用いて定量化する方法を考案するとともに、活動量の低下に基づく警報の発信条件とその信頼性について検討した。また、代表的な環境水中汚染物質について、水質異常検知の濃度依存性や適用範囲について検討した。

2. 方 法

2.1 実験装置

実験装置をFig.1に示す。貯留水槽内に調製した試料水を20ℓ入れ、監視水槽は内形寸法L45cm×W39cm×H10cmの亚克力製で、試料水を約10ℓ入れて試験した。外部に設置した循環水槽(約5ℓ)を通じて、貯留水槽から20ℓの試料水を監視水槽内へ水を引き抜きながら供給し、その後、外部からの供給を止めて、監視水槽と循環水槽との間のみで試料水を循環させることにより、監視水槽内での水の流れを確保するとともに、死亡あるいは遊泳しなくなったヒメダカを流れの途中に設置したスクリーンに捕捉するようにした。なお、試料水は供給される際に循環水槽や監視水槽内の既存水で若干希釈されるので、実際に濃度測定を行うこととした。

また、監視水槽の中央上方に解像度25万画素のCCDカメラ(SAMSUNG社製、SCC-130AN型)を設置した。CCDカメラ画像は、連続行動検出器で数量化した後、外部コンピュータで解析演算され記録される。

2.2 実験方法

2.2.1 曝露条件

- 1) 対象物質：生態毒性が知られた比較的ポピュラーな環境水中汚染物質の混入を想定し、ヒメダカ行動の変化による水質異常の検知性能を調べることにした。具体的には、無機物としてアンモニア、亜鉛、銅および次亜塩素酸、有機物として直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS)およびフェノールを用いて検討した。なお、アンモニアは塩化アンモニウム水溶液を、亜鉛は塩化亜鉛水溶液を、銅は硫酸銅水溶液を、次亜塩素酸は6%NaClO溶液でそれぞれ適当な濃度に希釈して用いた。なお、いずれの物質も特級グレードの試薬を用い、これ

らの試料水は水道水を活性炭フィルタに通した脱塩素水道水で希釈して調製した。

- 2) 試験魚：試験魚にはOECDの生態影響試験推奨魚種でもあるヒメダカを使用し、新潟県小千谷市の須田養魚場から入手したものを用いた。一般の急性毒性試験を参考にして、あらかじめ蓄養水槽で異常がないことを確認したヒメダカ10個体を選別して監視水槽に入れた。なお、ヒメダカは魚齢6ヶ月から1年のもの(体長20～25mm)を使用した。
- 3) 水温：ヒメダカの生育に適した温度として25℃に温度調節した。
- 4) 照明：行動監視水槽の照明は6W蛍光灯を常時点灯した。
- 5) 給餌：蓄養水槽では1日2回適量を自動給餌器により給餌、ただし試験期間中の給餌は行わなかった。

2.2.2 実験手順

- ①貯留水槽に所定濃度の対象物質の試料水を室温で20ℓ調整した。
- ②脱塩素した水道水を監視水槽(10ℓ)および循環水槽(5ℓ)に張り、流量 $1\text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ で循環させ、十分な容量のヒーターで水温を25℃に調節した。
- ③ヒメダカ10個体を行動監視水槽に入れて15min放置した。
- ④貯留水槽から循環水槽を通じて監視水槽へ試料水を15～20minで供給し、行動監視を開始した。この間行動監視水槽の排水は外部にブローした。
- ⑤このとき、貯留水槽で調製した試料水は希釈されるため、監視水槽における対象物質濃度は適宜実測して確認した。

2.2.3 画像解析方法

Fig.1に示した監視システムでは、水槽を縦7列×横8列の56ブロック(1ブロックは35mm×45mm)に分割し、連続検出器によって各ブロックの画像を2sごとに撮影して、ヒメダカの存否に変化が生じたブロック数を経時的に計数できるようにした。さらに、これらの経時変化のパターンを解析するプログラムを作成して活動低下を判断し、適切な警報を発信できるようにした。

2.2.4 警報レベルの設定

健康なヒメダカは循環水による流れの中で絶えず遊泳しており、死亡あるいは遊泳できなくなったヒメダカは循環水の流れに対して設置されたスクリーン上に捕捉される。よって、ヒメダカの存否の発生によって計数されるブロック数は、ヒメダカが活発に遊泳するほど多くなり、逆に化学物質の影響等で活動が減少すると少なくなる。そこで、所定の時間間隔で計数されるブロック数が一定値を下回る活動低下状態が一定時間を超えて継続した場合に水質異常を検知したものとみなし、警報を発信することとした。このとき、試験魚として用いるヒメダカ数は限られており、魚群自体の活動量の日常的なばらつきが現れたり、水質異常とは別の原因によっても一時的な活動量変化が観察される場合がある。このため、活動量の変化を感度良く検出することと同時に、水質異常として誤った警報の発信を抑制できる信頼度の高い警報レベルの設定が求められる。そこで、活動量の大小を検出し出力した計数ブロック数について、水質異常の発生を適確に検知できる計数ブロック数とその継続時間について各種条件での模擬的な警報発信を行い、警報発信

後のヒメダカ活動の時間変化との関係を調べることとした。

3. 結果と考察

3.1 監視水槽内濃度の確認

試料水の希釈状態と監視水槽内の混合状態を実測により調べた。なお、本実験における監視時間が最大でも2~3時間であることから、水中での各物質の分解は無視することとした。Fig.2 にLASの例を示すように、貯留水槽から200mg・l⁻¹の検水の供給を開始した後に監視水槽内の試験物質の濃度は、徐々に上昇したが、水の入替開始から20min後以降は160mg・l⁻¹で安定していた。その他いずれの対象物質についても監視水槽内の濃度は調製濃度に対する比率は0.80±0.05で変動幅は安定していることが確認された。このため、本研究では、貯留水槽での調製濃度に0.80を乗じた数値を曝露濃度とした。

3.2 ヒメダカの行動変化に伴う計数ブロック数の変化

監視水槽内のヒメダカの異常を検知して警報を発信するためには、健康に遊泳しているヒメダカの活性が測定できることが望ましい。そこで、画像処理により分割した水槽内の56ブロックごとに、ヒメダカの存否を2sごとに連続的に計数した。ヒメダカの活動を定量化するために必要となる時間については、1ブロックが35mm×45mmであるのに対し、通常に用いるヒメダカの体長が20~25mmであるため、ヒメダカの通常の遊泳パターンにより数秒~数十秒単位では、化学物質が混入しない場合でも存否に変化が見られないブロックがかなり多くなる場合もあるなど、カウントされるブロック数は大きく変化した。このため、あまり短時間で判断すると警報発信の信頼性が大きく低下することがわかった。したがって、ブロック内での存否を画像処理してヒメダカの活動を定量化するためには、数十秒から数分単位の一定時間にわたって存否の変化を連続的に計数し、最大ブロックカウント数（以下、最大ブロック数という。）によって評価することが妥当であると考えられた。この定量化に最適な時間については次節で詳しく調べることとし、まずは30s間ごとの最大ブロック数として整理することとした。その変化をLAS濃度および目視により計数した活動ヒメダカ数と合わせてFig.2 に示す。LAS流入初期には、様々な要因によっても起こりうる一過性の最大ブロック数の増加が若干みられた。これは、LASに対するヒメダカの忌避行動と考えられる。しかし、その後の時間経過により水槽内のLAS濃度が上がるにつれて、計数される最大ブロック数は次第に低下し、同時に、実際に活動しているヒメダカ数が確実に減少している様子も目視によって観察された。また、最大ブロック数が3以下となる条件では、画像解析による最大ブロック数と目視による活動ヒメダカ数がほぼ一致したが、このとき、同一ブロック内に留まったままでカウントされないものも観察された。これらの結果から、一定時間内での活動が検知された最大ブロック数を画像解析により数値化することで、混入した毒性物質のダメージに基づくヒメダカの活動低下の程度を定量的に把握可能であることが確認できた。

3.3 信頼度の高い警報発信条件の検討

次に、ヒメダカの活動を定量的に把握し水質異常を適確に検知するため、条件の違いによって警報がどの程度の信頼性を有するかについてFig.2の結果を基に以下のよう

Fig. 2 Typical test result for LAS (160mg・l⁻¹)

なシミュレーションを行った。警報発信条件としては、Table 1 に示すような最大ブロック数とその状態の継続時間の違いによりCase-1, Case-2, Case-3の3ケースを設定するとともに、各ケースについて経時的な変化を把握するための4段階の警報レベル(Alarm-1, Alarm-2, Alarm-3, Alarm-4)を設定した。ここで、警報レベルは、とにかく早めに警報を出したいといった場合や無人監視などでできるだけ誤警報は避けたいといった場合など様々な要求が想定されることから、それらの使用目的に応じた警報発信が可能か否かを検証することとした。Case-1では、条件比較のための基本ケースとして、計数される最大ブロック数が4, 3, 2, 1以下となる状態が30sを超えて継続した場合にそれぞれAlarm-1, Alarm-2, Alarm-3, Alarm-4の警報を発信することとした。Case-2では、最大ブロック数の条件はCase-1と同じにして、各状態の継続時間の条件のみを延長して、慎重に警報を発信することとした。Case-3では、Case-2に比べてさらに警報が慎重に発信されるように最大ブロック数および継続時間の条件を設定した。

Fig.3 にTable 1の3条件における警報発信のシミュレーション結果を示す。Case-1では、試料水の供給開始2min後にAlarm-1が発信されたが、その後直ちに解除され、誤報であったことがわかる。この時間帯における30sでの最大ブロック数はおおむね6~8ブロックであり、試験魚数10個体に比べて小さい。これは、ヒメダカ10個体すべての遊泳が目視により観察されたが、遊泳するすべてのヒメダカがブロック間を移動するのではなく、一部は循環水の流れに対して遊泳しながらその場で留まっていることを示している。このため、状態の継続時間を30sとしたCase-1では、ヒメダカの存否に変化のある最大ブロック数が4ブロックまで減少しても水質異常とは判断できない場合があると考えられた。その後、時間経過とともに遊泳するヒメダカの数および最大ブロック数が減少し警報レベルは上昇したが、各警報に対する最大ブロック数の条件を1ブロックの違いで設定したため、発信された警報が解除されるケースがしばしば発生し、警報レベルがAlarm-4からAlarm-2へと2段階も戻る例も見られた。

Case-2では、Case-1に比べて、最大ブロック数が減少した状態の継続時間の条件を長くしたが、特に初期のAlarm-1が誤報となるケースがほとんど改善されず、また、各レベルの警報の発信開始時期には遅れが生じた。このため、誤報を減らすべく、さらに最大ブロック数とその継続時間の条件を慎重に警報発信する条件に設定してみたところ、Case-3の条件で誤警報の発生がほとんど無くなった。

これらの結果から、警報発信条件における最大ブロック数を低めに設定することによって、警報が発信されるタイ

Table 1 Alarm conditions with maximum block number and its duration

	Alarm-1	Alarm-2	Alarm-3	Alarm-4
Case-1	4 blocks × 30 s	3 blocks × 30 s	2 blocks × 30 s	1 blocks × 30 s
Case-2	4 blocks × 60 s	3 blocks × 120 s	2 blocks × 180 s	1 blocks × 240 s
Case-3	3 blocks × 180 s	2 blocks × 240 s	1 blocks × 270 s	0 blocks × 300 s

Fig. 3 Simulation on change of alarm level for LAS ($160\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)

ミングは若干遅くなるが、ヒメダカの活動低下が確実にあった時点での警報発信が行えることがわかった。また、継続時間を長くすることによって一度発信された警報が元のレベルに逆戻りする誤警報（あるいは過度な警報の発信）を抑える効果があった。これより、最大ブロック数とその継続時間を適切に設定した警報発信システムを構築すれば、特に、遠隔地で警報を受信する無人ステーションにおいても信頼性の高い監視が可能になると考えられた。一方、早期に警報を出したい場合の条件設定も可能と考えられたが、その場合には誤警報が発信される可能性も増大するので、適用先が最終的に人の判断が行える有人監視ステーションに限定されると考えられた。3.4節以降のAlarm設定はCase-3で行うことにした。

3.4 代表的な汚染物質の混入に対する検知特性

3.4.1 アンモニア

アンモニアは、人体に対する急性毒性はそれほど強いものではないが、飲料水質基準における異臭原因物質や排水基準における有害物質として取り上げられることも多い。

アンモニア濃度を窒素換算で $120\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $620\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $1,200\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ の3条件で行った際のヒメダカによる警報レベルの時間変化をFig.4に示す。 $1,200\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ と高濃度のアンモニアに対して、Alarm-1を発信するまでには約100min以上を要し、その後は数minから10min程度で次のレベルの警報が発信された。また、 $1,200\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ と $620\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ の結果を比べると、Alarm-1が発信されるまでの時間に大きな変化があり、濃度の低下とともに水質異常の検知が大きく遅れた。この結果より、窒素に係る一律排水基準（アンモニア性窒素換算で最大 $250\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ ）レベルのアンモニアをヒメダカ行動の連続監視により短時間に検知することは極めて難しいことがわかった。ただし、アンモニア性窒素については、施設ごとの排水基準（ $350\sim 12,500\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ ）が適用されている特定施設があり、このような高濃度アンモニア性窒素を排出している施設で

は、処理目標の未達成などによるアンモニアを原因とする水質異常を短時間で検知する手段として、本法のヒメダカ活動低下の連続監視を適用できる可能性があると考えられた。

3.4.2 次亜塩素酸ソーダ

次亜塩素酸ソーダは、殺菌力が強く、水道水やプール等では公衆衛生上の観点から低濃度での添加が必要とされているが、金魚等の飼育においても水道水を脱塩素した水が用いられることも多いなど、魚類を含む水生生態系に対しての影響の度合いが比較的大きいと考えられる。水道水質基準では残留塩素や亜塩素酸、塩素酸、二酸化塩素として水質管理目標設定項目に入れている。

次亜塩素酸ソーダ濃度を $2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $4\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $16\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $32\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ で行った際の警報レベルの時間変化をFig.5に示す。 $2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ではAlarm-1の発信までに約90minを要したが、 $4\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上では設定濃度に達する開始後20minより前にAlarm-1が発信され、極めて高い濃度依存性を示した。通常、次亜塩素酸ソーダは下水処理場では殺菌目的で数 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度添加される。一方浄化槽や工場等では簡易的に塩素錠剤を投入している例があり、その溶解特性から運転状況によってはより高濃度排水として流出する可能性がある。本結果からこれらの利用条件で河川に非定常的に高濃度次亜塩素酸ソーダが流入した場合の魚類のへい死を防止するための検知方法として、ヒメダカ活動低下の連続監視が有効であると考えられた。

3.4.3 重金属類

重金属類は、水道水質基準や排水基準においてカドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、水銀、セレンなど多数の元素およびその化合物が規制されている。このうち、比較的環境水や排水中に含まれる可能性が高く、人の健康に対する毒性は比較的高くないが、水生生物に比較的高い影響があると考えられた銅と亜鉛について試験を実施した。

銅および亜鉛に対する警報レベルの時間変化をFig.6およびFig.7に示す。実際には、銅および亜鉛は、水中ではそれぞれ2価の銅イオンおよび亜鉛イオンとして存在すると考えられる。銅については、 $400\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ といった高濃度においても、Alarm-1が発信されるまでに約100minを必要とした。亜鉛では、さらに $800\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ といった高濃度でもAlarm-1が発信されるまでに約200minを必要とした。このため、排水等に含まれる銅および亜鉛をヒメダカ活動低下の連続監視によって検知できる範囲はかなり高濃度の範囲に限られると考えられた。

3.4.4 フェノール

フェノールは、強い殺菌力を有するため、古くは殺菌消毒剤としても用いられていた。様々な化学品の基幹原料として広く利用されているため、フェノール廃液の流出事故による強い異臭があることなどから、排水基準はフェノール類として $5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と定められている。また、PRTR第一種指定化学物質として排出量の削減が求められている。

フェノールに対する警報レベルの時間変化をFig.8に示す。化学工場等での排水処理プロセスのトラブル時に想定されるフェノール濃度は $100\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度であり、 $80\sim 160\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ では約20minで警報が発信されたが、 $40\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の実験結果では2h以上警報発信されなかった。このようにフェノールは濃度依存性が極めて強く、実際の運用において注意が必要ながわかった。

Fig. 4 Change of alarm level for ammonium

Fig. 5 Change of alarm level for hypochlorite

3.4.5 LAS

LASは、家庭用合成洗剤をはじめ、工業用洗剤としても広く用いられている代表的な界面活性剤であり、PRTR第一種指定化学物質として排出量の削減が求められている。

LASに対する警報レベルの時間変化をFig.9に示す。LASについては、Alarm-1が発信されるまでに160mg/lでは約30min, 96 mg/lでは約40min, 48 mg/lでは約120minを要した。これは、家庭用洗濯機での標準使用濃度がおおよそ250mg/lであることを考えれば、実際の水質監視への適用が期待できる応答レベルであると考えられた。なお、Fig.9に示した160mg/lの結果は、Fig.3のCase3とは異なる試験時期の実験結果であったが、Alarm-1発信までFig.3で27min Fig.9で30min, Alarm-4では42min, 48minといずれもほぼ同じ警報の発信経過を辿っており、本方式の再現性が確かめられたと言える。

3.4.6 各物質の濃度と初期警報発信時間との関係

(a)次亜塩素酸ソーダ、(b)銅、(c)フェノールおよび(d)LASについて、各物質の濃度と各警報が発信されるまでの時間との関係をFig.10に示す。いずれの物質においても、Alarm-1が発信されるまでに要する時間は濃度が低くなると急激に増大した。その一方で、濃度をある程度以上に高くしても、Alarm-1が発信されるまでに要する時間にほとんど変化がなくなることが観察された。これらのことは、低濃度に曝露された場合には短時間での水質異常検知に限界があることを意味する一方で、かなりの高濃度であっても警報が発信されない時間、言い換えれば、初期警報発信までに最小限必要となる「遅れ時間」が物質ごとに存在するものと考えられた。これらの遅れ時間が生じる理由は、毒性物質が流入してから実際にヒメダカに接触し影響が表れる濃度に達するまでの装置的なものと、各毒性物質がヒメダカの行動に影響を与える生理的なものの2つの可能性が考えられる。したがって、本研究において試験

した各物質についての遅れ時間は、Fig.4~9の各条件でのAlarm-1発信時間によれば、アンモニアで100min, 次亜塩素酸ソーダで10min, フェノールで20min, LASで30min程度必要であるが、これらの各物質を含む排水等の監視に利用する際には、監視の対象となる水の利用方法や警報が発信された後の対策方法において、この遅れ時間を考慮した十分な余裕を確保することに注意する必要があることが示された。一般の浄水場においては、取水してから浄化処理終了までの時間は数時間を要しているため、これらの遅れ時間は許容限度内であると考えられた。

3.4.7 警報レベルの進行状況とその信頼性

水質異常の連続監視における重要なこととして、一つには、初期警報がどの時点で発信されるかということであり、もう一つには、初期警報が発信されてから、それが誤報ではなく最終警報へ進行する状況を的確に追尾できるようにすることである。この観点を本研究の各物質で検証してみると、ひとたびAlarm-1が発せられたときに、再び警報解除のAlarm-0に復帰することがしばしば観察された。また、Alarm-2およびAlarm-3においても、発せられた後にそれぞれAlarm-1およびAlarm-2に復帰する場合があることも観察された。実際の監視においては、これらの事態はその時点で「誤報」と認められることになり、このような誤報の発信は極力抑えられなければならない。

しかし、各物質の実験データから、ひとたびAlarm-2が発せられた場合には、その後にAlarm-0まで回復するケースや、Alarm-3が発せられた場合にAlarm-1まで回復するケースは認められなかった。このことは、警報発信条件の閾値前後では異なる警報が発信されてしまうことがしばしば生じるが、そのような場合は短時間に警報が修正されること、さらにヒメダカの活動が低下していく様子は的確に予見できていることが示されたものと考えられる。

Fig. 6 Change of alarm level for copper

Fig. 7 Change of alarm level for zinc

Fig. 8 Change of alarm level for phenol

Fig. 9 Change of alarm level for LAS

Fig. 10 Dependence of concentration to alarm time

4. ま と め

本研究では、ヒメダカを使った画像解析による水質連続監視において、事故や装置運転トラブル等による水源や排水等の水質異常を想定した応答試験を行い、以下の知見を得た。

1) 一定時間内にヒメダカの存否に変化がみられたブロックの最大数を計数することで、毒性物質が混入した際のヒメダカ活動低下の経時変化を的確に把握できることが確かめられた。

2) ヒメダカ活動低下のモニタリングにより、従来行われている初期行動異常のモニタリングに比べて、水質異常の警報発信時間はやや遅れるが、実用可能な比較的短時間の範囲内で警報発信が可能であることが確かめられた。

3) 最大ブロック数とその継続時間を適切に設定することで、従来方法に比べ誤警報の少ない警報発信と警報レベルの進行の予見が可能であることが示された。

4) 低濃度になると初期警報発信時期が急激に遅くなり、汚染物質の検知が困難になる一方で、ある濃度以上であっても初期警報発信までに最小限の遅れ時間を要することが示された。

5) 代表的な汚染物質について、各濃度での警報レベルの経時的な変化が明らかになった。特に、アンモニアやフェノールでは特定工場排水や流域における非定常的な汚染検知用に、またLASでは家庭や事業所排水による流域汚染監視用に本法が適用できる可能性が示唆された。

(原稿受付 2007年5月16日)

(原稿受理 2007年9月21日)

参 考 文 献

- 1) 日本水道協会編 (2002) 突発水質汚染の監視対策指針, 日本水道協会, 東京.
- 2) 若林明子 (2004) 「水環境における水質基準の改訂に係わる科学と政策の動き」, 水環境学会誌, 27(1), 2-7.
- 3) 鈴木基之, 内海英雄編 (1998) バイオアッセイ水環境のリスク管理, 講談社, 東京.
- 4) 川端雅博, 角田ふで子 (2003) 「バイオアッセイによる水質評価」, JETI, 51(3), 171-173.
- 5) 若林明子 (2006) 生物を用いた水質監視・管理の必要性, 資源環境対策, 42(2), 65-72.
- 6) 川端雅博, 丸谷博毅 (2004) ヒメダカ仔魚毒性試験および成魚監視装置による効率的な環境管理方法について, 第55回水道研究発表会講演集, 550-551.
- 7) 光原好人, 佐々木智子, 丸谷博毅, 川端雅博 (2005) メダカを使った排水水質連続監視装置について, 第39回水環境学会年会講演集, 623.
- 8) 川端雅博, 藤井智範 (2006) ヒメダカを使った画像解析による水質連続監視計器の開発, 第40回水環境学会年会講演集, 446.
- 9) Stephen Craig and Peter Laming (2004) Behaviour of three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* (Gasterosteidae, Teleostei) in the multi-species freshwater bio-monitor: a validation of automated recordings at three levels of ammonia pollution, *Water research*, 38, 2144-2154.
- 10) Marielle Thomas, Andre Florian, Dider Chretien and Denis Terver (1996) Real time bio-monitoring of water contamination by cyanide based on analysis of the continuous electric signal emitted by a tropical fish: *Apeteronotus Albifrons*, *Water research*, 30, 3083-3091.
- 11) Amara Gunatilaka and Peter Diehl (2000) A brief review of chemical and biological continuous monitoring of rivers in Europe and Asia, "Bio-monitors and Biomarkers as Indicators of Environmental change", 2, pp.9-28, Plenum Press, New York.
- 12) 馬場研二 (1993) 魚類行動パターンによる水質監視, 用水と廃水, 35(4), 46-50.