

京都大学工学部 正 員 寺島 泰

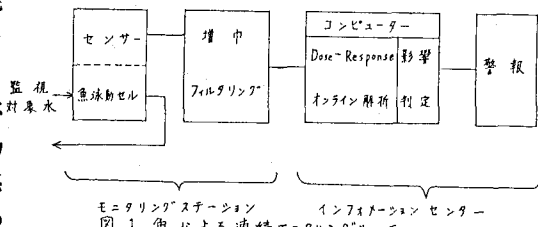
京都大学工学部○学生員 若林 和幸

1. はじめに

生物の生理機能と水質の関係を基礎に水質評価、判定を行う方法や指標には、表1に示すようなものがある。水生生物の呼吸や嫌忌行動は毒物に対する影響の一形態としても研究対象であるが、低レベルの水質に対する瞬時の反応である可能性が高く、理化学的連続測定を補完する形で連続自動モニタリングの指標としうる。呼吸を電氣的に検出する方法はMorganによって考案され、Westlakeらや松尾らが毒物に対する反応を研究しているがセンサーを含めて検出装置機構に不明な点が多く、生物学分野での研究ということもあってDose-Response関係の解析は進んでいない。本研究ではまず泳動状態の魚の呼吸を水中から電氣的に取り出すセンサーと増幅機、増副機の開発を行い、次いで呼吸に対する基礎的環境条件の影響について検討を加えた。

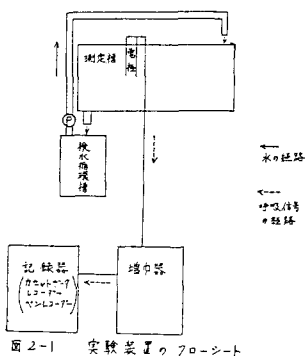
表-1 生物を用いた水質評価の方法と指標

水質評価の方法、指標	対象生物	評価目的	対象水質	評価時間	水質レベル
細菌染色体異常	細菌集団	環境変異源性	個別、複合	長時	低
遺伝毒性	生物個体、集団	生体変異性	個別	長時	低
AGP	藻類集団	富栄養化	総合	長時	低～中
生物学的な水質増級	生物増殖	水質増級	総合	長時	低～高
LD ₅₀	魚貝類集団	致死毒性	個別、複合	短時	中
嫌忌行動	魚類個体	毒性、嫌忌	個別、複合	短時	低
呼吸	魚貝類個体	毒性、生理影響	個別、複合	短時	低



2. 実験及び解析方法

装置を図2に示す。増副機は0.15～5.0 Hzのフィルタリング機能を持ち、増副率は一万倍とした。1mmのステンレスワイヤの電極は魚体に応じて位置を変えて使用した。槽は検水の循環が可能で、バルブで流速を調整する。供試魚は8～18cmのフナ及びコイで、水温は17～19℃に保った。磁気テープに記録した信号はサンプルサイクル1 Hz、データ数512にAD変換し、特性を示す指標として自己相関、リニア及びパワースペクトル、標準偏差、スペクトルの最大のピークの周波数を求め、チャートからは振幅を表す指標として10秒ごとに区切った区間の最大値と最小値の差の時間平均を求めた。



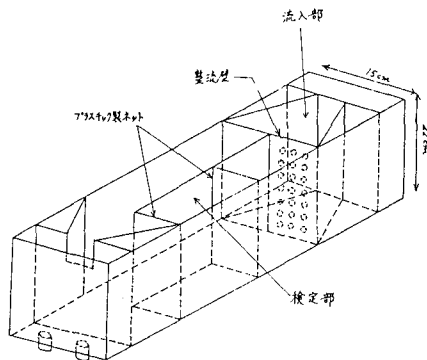
3. 結果と考察

装置の特性 槽に魚を入れずに測定を行った結果、標準偏差は水が静止の状態では4.4 mV、1.3 cm/sec で8.9 mV となり、魚を入れたときの値より1桁小さく、強い影響を与えるとは考えられない。
電極の位置と間隔 (図3) 同一魚に対して行ったところ、標準偏差はエラに最も近い所で最大になり、ここで検知能は最大といえる。同様の実験を電極の間隔を変えて行った結果、3.3 cm のとき、標準偏差は最大であった。以下の実験では、電極はエラに接近させ、間隔は3.3 cm とした。

魚の体長 (図4) 体長と標準偏差の間に若干の相関が見られた。体長が増せば呼吸は深くなるが、周期性との間に特に強い相関は見られない。

環境条件と呼吸信号の関係

光の明暗 標準偏差、最大最小値差の平均は明暗それぞれの状態で80.4 mV、62.5 mV及び275 mV、330 mV と比



較的近い値であったが、ピークの周波数は0.35Hz、0.79Hzと大きな違いが見られた。

流速（図5） 標準偏差、最大最小値差平均ともほぼ一定で、振幅に大きな変化はないと考えられる。これは流速の最大値が1.3cm/secと小さく、魚のストレスが大きく変化するに至らなかったためと考えられる。

水温（図6） 温度と標準偏差に相関が見られるが、他は特に相関は見られない。周期性より呼吸の深さへの影響が大きいといえる。

環境条件の急激な変化に対する反応

光の明暗（表2） 変化後、約30秒間の呼吸停止が観察された。変化後の最大最小値平均の増加は、この反動により呼吸が深くなったためと考えられる。

温度上昇（表3） 循環槽に湯を加えることにより温度を上昇させた。水温上昇後、最大最小値差の平均が増加しているが、周期に関しては種々の反応を示し一定のパターンは見られなかった。

流速変化（表4） 最大最小値差の平均は増加するときと変化が見られなかったときの二通りあった。これは流速変化の割合が小さかったこと、魚の流速変化に対する反応に個体差があるためと考えられる。

pH変化（表5） 毒性物質に対する反応の研究の最初の試みとして硫酸を用いてpHを下げた場合の反応を調べた。pH低下後、振幅が急激に増加したが、これは嫌忌行動として激しく泳ぎ始めたからであり、毒物に反応したといえる。

以上の結果、振幅を表す指標としては、標準偏差のほうが最大最小値差の平均より環境条件によく対応し、適確に振幅をとらえているといえる。信号の周期成分は容易に変化し、呼吸をより強く特徴づけるのは、周期より振幅であるといえる。環境条件の変化に対する反応は同質でなく、判定のさい注意を要する。ただし、pH変化のように毒性を調べる場合、嫌忌行動として現れるものは、振幅が増加すると考えられる

4. おわりに

信号には呼吸以外に体動によるものも含まれているため、呼吸信号だけを取り出すフィルタリング方法や、体動を含めた信号の評価方法についての研究が必要と思われる。また種々の物質に対するDose-Respons関係については現在研究を進めている。

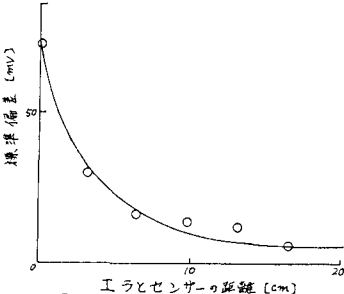


図3 エラセンサーの距離と標準偏差

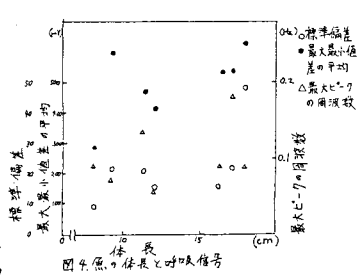


図4 呼吸信号と呼吸信号

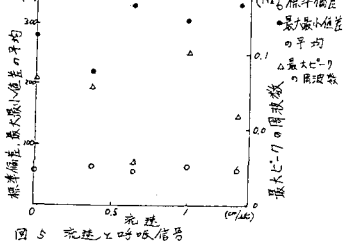


図5 流速と呼吸信号

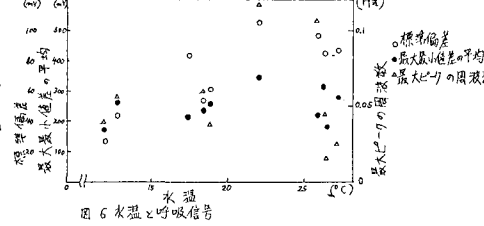


図6 水温と呼吸信号

表2 光の変化による呼吸信号の変化

試供魚	光の変化	変化前の最大最小値差の平均 (mV)	変化後の最大最小値差の平均 (mV)	変化率 (-)
18.4cm コイ	明→暗	183	281	1.55
12.0cm コイ	暗→明	42	98	2.33
9.4cm フナ	明→暗	116	280	2.41

表3 流速変化による呼吸信号の変化

試供魚	変化前の流速 (cm/sec)	変化後の流速 (cm/sec)	変化前の最大最小値差の平均 (mV)	変化後の最大最小値差の平均 (mV)	変化率 (-)
17.1cm フナ	0	1.35	423	1250	2.98
17.1cm フナ	1.35	0	328	465	1.41
18.4cm コイ	0	0.88	116	258	2.23
12.0cm コイ	0.64	1.38	165	329	1.99
12.0cm コイ	1.38	0.82	312	303	0.971

表4 温度変化に対する信号変化

試供魚	測定開始時の水温 (°C)	測定最高水温 (°C)	測定終了時の水温 (°C)	変化前の最大最小値差の平均 (mV)	変化後の最大最小値差の平均 (mV)	変化率
17.1cm ♀	18.3	25.5	25.0	322	420	1.30
12.0cm ♀	17.9	24.3	24.2	500	754	1.50
17.4cm ♀	18.1	25.1	25.0	353	1230	3.48
11.0cm コイ	18.6	25.6	25.5	426	1180	2.77

表5 pH変化による信号変化

試供魚	pH (-)	変化前の最大最小値差の平均 (mV)	変化後の最大最小値差の平均 (mV)	変化率
17.1cm ♀	3.9	165	1254	7.6
9.4cm ♀	4.9	62	313	5.05