

河 川 の 水 質 調 査

Research on Water Quality of River and Reservoir

後 藤 光 亀

Koki GOTO

1. はじめに

河川・湖沼の水質汚濁がさげばれてから久しく、水質汚濁防止に対する浄化法や流域対策・保全などさまざまな検討が展開されてきた。

これら水環境の中では、降水、森林、溪流水、河川、ダム貯留、田畑利水、生活排水、産業排水等と水の流下方向に伴って、水の輸送とその質的変換が行われる。これら水流域の水文・水質・気象などを同時に計測する機会は多くなく、また、その事象説明も十分とは言い難い。その原因としてはそれぞれの事象を連続的に測定する方法論が必ずしも十分理解されていないためと考えられる。

本稿ではまず、環境基準として一般的なTN、TP、COD、BOD、SSなどの汚濁負荷に関する項目と水温、pH、DO、ORP、導電率などの水質監視に関連する項目、さらにレーザー光を用いたプランクトン数の計測法、バイオセンサーを用いた次世代の水質センサーについて紹介し、河川や湖沼等の水質測定及びそのモニタリング手法の一例を紹介する。

2. 水質調査

水質調査は、一般に河川では平水時に行うが、その目的により調査場所、頻度、対象水質項目は異なる¹⁾ -⁸⁾。従来よく行われている月1回程度の定期採水の水質結果は、ある水文・気象・水質現象の履歴を受けた瞬間値を得ているに過ぎない。この様なことから、より河川の状態を理解するために、その水質履歴を表現している生物調査あるいは連続的な水質調査が必要となる。特に、出水時などは、その水文・水質の流出機構や下流への汚濁負荷が大きく変化する。

生物調査については、現在、全国の河川で住民の参加のもとに河川の底棲生物調査が行われており、また建設省では「河川の国勢調査」として、魚介類や鳥類、植物等の生物全体の調査を全国的に行い、公表している。これら生物調査に関する部分は成書にゆずる^{9) - 12)}。

一方、水道の水質基準が現行の26項目から85項目へと大幅に改定され、平成5年12月より施行される。これに対応して環境基準や排出基準の見直しが行われる予定である。今回の改正の特徴は農薬や消毒副生成物、一般有機化合物等の微量汚染物質の項目が大きく取り入れられたこと、おいしい水の基準となる快適水質項目の設置や、将来における水道水の一層の安全性を確保するために全国的な監視項目を設定したことである。これらの多くは高価な水質分析機器による手分析によることが多く、水質の連続観測への対応には少々時間がかかると考えられる。

以上のように、利水側での水質基準がきびしくなったのも水源の汚染が進行している裏付けでもある。河川や湖沼の水質をどのようにモニタリングするか、また連続観測できる項目はどの項目か、水質汚濁機構解明とその制御技術の開発にはこれらモニタリングシステムの充実が不可欠の課題である。

3. 水質モニタリング

現在、市販されている水質モニタリング手法には大きく分けて2種類の方法がある。1つは手分析の手法を採水前処理・薬品混和・分析・出力まで自動的にを行い、出力するものと、各種センサーによって出力が直

接得られるものがある。前者にはCOD、T-N、T-P計測器がある。後者にはpH、ORP（酸化還元電位）、DO、EC（導電率または電気伝導度）、UV計、濁度計がある。また、半バッチ方式としてDOセンサーを用いたBOD、イオンセンサーを用いた $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 CN^- 計測器などがあり、近年連続計測がかなりし易くなってきている。

以降に、現在市販されている水質センサーを中心に、その測定原理と適用にあたっての留意点について述べる。

3.1 水質センサーの原理と適用時の合意点

1) 濁度計

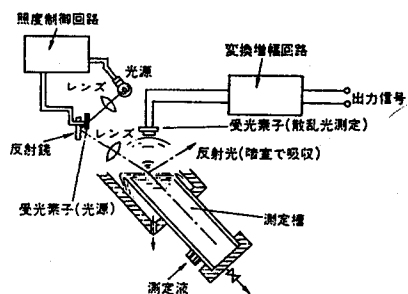
濁度とは水の濁りの程度を表わすもので、濁度計はカオリンまたはホルマジン標準液として濁度を表し、それぞれ度、NTU単位で表示される。ただし、これらの単位は1対1に対応しないので注意を要する。

現在、市販されている濁度計は光の透過や散乱またはその両者を利用したものである。測定原理としては透過光方式、散乱測定方式、積分球方式、表面散乱方式、散乱・透過光方式がある。

濁度計の例を図-1に示す。表面散乱光方式は、測定液面に光を当て、その液面からの散乱光を測定して濃度を知る方式である。この方式は、測定液と接しないので透過光方式のような窓のよごれの影響がなく、また、表層物性の散乱光を測定することで着色水の影響も少ないなど利点が多く、連続測定用として広く用いられる。この方式は固定用で、ポンプなどで試料水をくみ上げ、1～3 l/minの水量が必要となる。

散乱・透過光方式は、散乱光と透過光の両者の比をとるため、電源変動やランプの劣化、色、窓のよごれによる影響を少なくできる特徴をもち、連続測定用として広く用いられている。

その他、透過光方式、散乱測定方式、積分球方式があるが、主に実験室用として用いられる。



表面散乱光測定方式による濁度計の一例

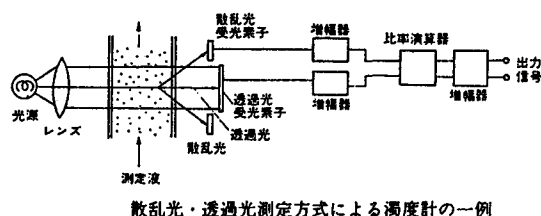


図-1 濁度計

2) 導電率

導電率は液体の電気に対する伝導の割合を測定し、液中の溶解成分の割合を計測するもので、海水、汽水域、河川、下水処理場等で利用される。電解質溶液の導電率は溶存イオンに依存し、オームの法則に従う。溶液の場合、1 cm立方の相対する二面間に存在する溶液の電気抵抗を抵抗率と言い、 $\Omega \cdot \text{cm}$ で表し、その逆数を導電率と称し、 S/cm で表わす。現在、電気のコダクタンスの単位“ジーメンズ:S”を用い S/cm で表わす。

現在、市販の導電率は大きく分けて電極法と電磁誘導法があり、電磁誘導法は導電率の高い領域（強酸、強アルカリ液の測定など）で、電極法は全ての領域を測定できる。

環境測定には電極法が一般に用いられるが、長期間の連続測定には電極部の分極作用や温度による導電率変化の自動補正を補償することが必要となる。前者への対応として、電極面における分極容量および分極抵

抗の影響をさけるため、交流電圧電流方式のものが主体となってきた。また、温度補償として、電極部にサーミスタを使用し、通常は25℃に換算した導電率で示される。測定セルの構造例を図-2に示す。導電率は環境水（特に、感潮域、汽水域）の流動の把握、水質変化、特に湖沼底層部での酸欠状態下の各種イオンの溶脱や汽水、海域でのDO値の飽和百分率の補正時に不可欠の項目である。

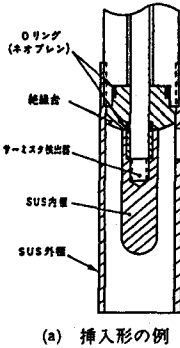


図-2 導電率セル

(a)ガラス電極 (b)比較電極 (c)温度補償電極

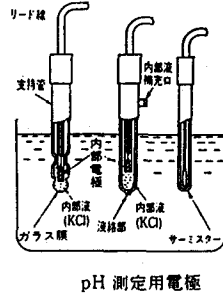
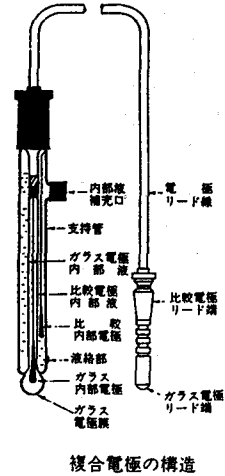


図-3 pH電極



3) pHおよびORP（酸化還元電位）

pH値は特定の汚染を示すものではないが、金属の腐食、水棲生物の生活や浄化能力、水中の沈澱物の溶解・生成また農作物や水産物の育成に大きく影響する。公共用水域の河川水のpH値は大体6.0～8.5、海水では7.8～8.3である。また、湖沼では藻類の増殖時にpHが9～10に上昇することもある。

ORP（Oxidation Reduction Potential:酸化還元電位）は試料中の酸化還元物量の量を示す指標であるが、温度、pH、導電率によって変化するので、汚濁水では相対量の測定のみには有用である。

pHの測定法は一般的にはガラス電極法、比色法等があるが、JIS Z8802ではガラス電極法が推奨されている。

ガラス電極法の原理を図-3に示す。ガラス薄膜の両側に2種の異なる溶液が接したとき、両液のpH差に比例した電位がこのガラス薄膜の両面に発生する。その電位差 E_a は、

$$E_a = K \cdot \frac{2.303RT}{F} \cdot (pH_i - pH_o) + E_{as} \quad (1)$$

R: 気体定数、T: 絶対温度、F: ファラデー定数、 pH_i 、 pH_o : それぞれガラス電極のガラス膜の内側と外側の溶液のpH、 E_{as} : 非対称電位（ガラス膜固有値 $\pm 30mV$ at 25℃以下、JIS Z8805）。

Kは電位勾配数で理想的状態（1.00）では、 $2.303RT/F$ がpH当りの起電力となる。水は一般に1.00より小さく、計量法で0.95まで許容される。実際の測定時には2種類の標準液を用いてpH計の感度調整を行う。このpHの校正にはフタル酸塩（pH4.01 at 25℃）、中性リン酸塩（6.86）、ほう酸塩（9.18）などの標準液が用いられる。

比較電極はガラス電極に発生した起電力を取り出すために用いられる。また、比較的電極の内部電極はガラス電極と同種のものを、さらに内部液のKCl濃度も両者とも同濃度のものを用いる必要がある。また、ガラス電極のpH当りの起電力は温度に比例して変化するので温度測定用の電極が必要となる。pH測定器の検出部の維持には比較電極の内部液補充回数の少ないこと及び電極部のよごれの適正洗浄を行うことが必要となる。

ORPの測定はpH測定とほぼ同様で、センサーとしてガラス電極の代わりに金属電極（金、白金など）を用い、比較電極はpH測定用と同じものを用いる。ORP測定時の電位Eは、

$$E = E_o + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[O_x]}{[R_{ed}]} \quad (2)$$

n: 価数、 $[O_x]$: 酸化体の活量濃度、 $[R_{ed}]$: 還元体の活量濃度、 E_o : $[O_x] = [R_{ed}]$ のときの単極電位。

酸化還元反応は、電子の授受であるから電子の流れ、すなわち電流を生じ、電子が還元剤から酸化剤へ流れ、電流は逆に酸化剤から還元剤に流れる。したがって酸化剤側の電位が還元剤よりも高く、両者の差が酸化還元反応を示す電位差となる。

図-4に環境水のORPとpHの関係を、図-5に底泥中の電子授受体 (O_2 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2) と還元生成物の分布状態を示す。物質の酸化還元は、通常、酸化還元電位の高い方から順次生じる。ORPは環境水中のFe、Mnや NH_4-N 、 PO_4^{2-} などの栄養塩の溶出等に大きく影響する。

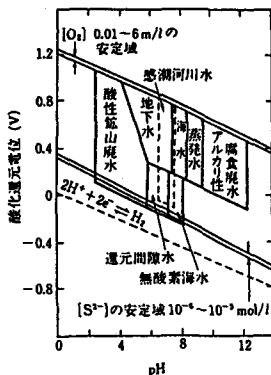


図-4 各種水の酸化還元電位とpH⁽⁴⁾

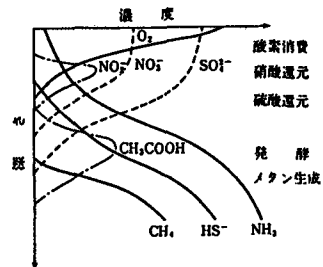


図-5 底泥中の各種物質の酸化還元例⁽⁴⁾

4) 溶存酸素

隔膜ガスセンサーの発展は、多種類の水質自動計測器の実用化に大きく貢献してきた。隔膜は通常ガス透過性高分子膜で20~30 μ mの厚さで、試料水中の種々のイオン種や分子は透過せず、溶存性のガス成分のみを透過させるもので、酸素、炭酸ガス、アンモニアなどを対象とした隔膜ガスセンサーが実用化されている。ここでは溶存酸素計への実用例について述べる。

溶存酸素 (Dissolved Oxygen: DO) は水中に溶存している分子状の酸素で、水中生物の呼吸・分解や酸化剤として重要であり、河川水質、汚染指標 (BOD)、水処理指標、養殖、腐食管理など水環境のいろいろの基準として広く用いられる。

DOの溶解量はヘンリーの法則に従い、水温と酸素分圧及び溶解塩類濃度により決定される。水中の溶存酸素飽和量は、次式で与えられる⁽¹³⁾。

$$DO = (4.161 - 0.3943t + 0.007714t^2 - 0.0000646t^3) - S(0.0841 - 0.00256t + 0.0000374t^2) \quad (3)$$

$$S = (1.805Cl + 0.036) \quad (4)$$

S: 塩分量(‰)、Cl: 塩素イオン濃度(‰)。

溶存酸素センサーは大別すると酸素消費型隔膜式 (OC型: ボーラログラフ方式、ガルバニック方式) と酸素非消費平衡型隔膜式 (ONC型: Taylor方式) がある⁽¹⁸⁾。まず、隔膜ボーラログラフ方式は、酸素に対する透過性の高い隔膜 (初期はセロファンや高圧ポリエチレンフィルム、現在はテフロンが多い) で電極・電

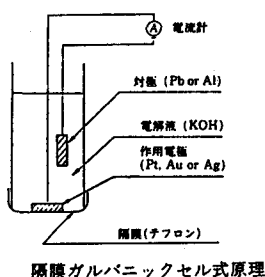
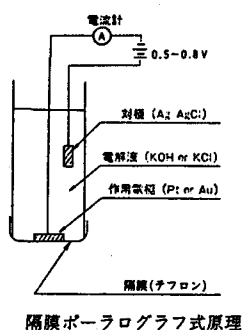


図-6 DO電極

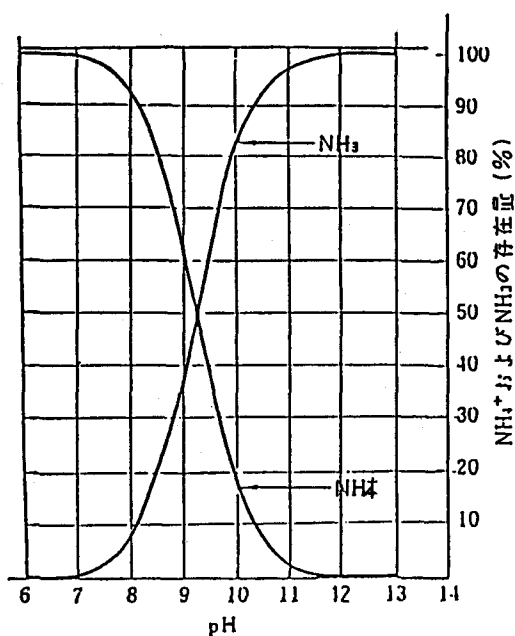
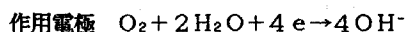
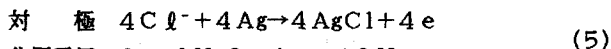


図-7 pHとNH₃との関係

解層と試料液を遮断する（図-6）。両電極間に電圧が印加されると隔膜を透過した酸素が作用電極上で次の還元反応で酸素が還元され、外部回路に酸素濃度に比例したポーログラフ的限界電流が流れる。



ガルバニック方式は、外部からの印加電圧をかけないだけで、その特徴はポーログラフと同様である。

DOは隔膜を透過して電解槽へ拡散していき、隔膜電極が定常状態となったとき発生する電流は次式となる。

$$I = \frac{n \cdot F \cdot A \cdot P_m}{L} \times C_s \quad (6)$$

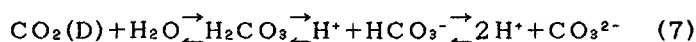
I：定常状態の指示電流、n：電極反応に含まれる電子の数、A：作用電極面積、P_m：膜の透過係数、L：膜厚、C_s：試料水の溶存酸素量。この発生電流からDO濃度が求まる。隔膜電極は試料水中のDOだけでなくガス中の酸素に対して作用する。また、90%応答は1分以内となっているが、隔膜の拡散を利用するため試料水の流速は20cm/s以上必要である。また、膜の透過率P_mが温度に対し指数的に変化するので温度補正が必要である。

ガルバニックセル方式は、無電源なので携帯型に適しているが計器動作を停止しても電流が常時流れるため、検出器の寿命が低下することがある。

現場用では、0～40℃の温度補償、塩分補償（手動）、水深が深い場合、水圧補償機能がついているが、かくはん器の装備が不可欠である。これに対し、ONC型は溶存酸素分子の電極上での消費がなく、電解液組成も変化せず電極材料の消耗がない。本センサーの特性は、感度20ppbで精度がフルスケール±7%、応答速度が40秒、電極膜面に対する流速が不必要、膜表面の汚れが少ない等の利点があるとされる。河川水で10～12ヶ月のテストの結果、従来の電極よりはるかに長時間の使用が確認されている。

5) 炭酸とアンモニア

水中の炭酸成分やアンモニア成分の挙動は生物化学的反応中で重要な項目である。



$\text{CO}_2(\text{D})$ は溶存炭酸ガス分子、 $\text{NH}_3(\text{D})$ は溶存アンモニアガス分子である。

水中の炭酸成分はヘンリーの逆法則により $\text{pH}=4$ にすると CO_2 ガスとなる。また、アンモニア成分は $\text{pH}=11$ にすると NH_3 ガスとなる(図-7)。すなわち、これらの計測システムでは自動的に試料を採水し、 pH をそれぞれ4、11にし、機能性隔膜を透過した CO_2 や NH_3 がセンサー内部電解液に溶解し、その pH 変化をセンサー内のガラス電極と比較電極により測定して CO_2 や NH_3 の濃度を測定できる様になっている。

測定感度は $1.5\text{mgCO}_2/\ell$ 、 $0.1\text{mgNH}_3/\ell$ 、応答速度はそれぞれ約2分、30秒である。電極の隔膜表面は清水で自動洗浄すれば約3ヶ月測定可とされている。

6) BOD

生物化学的酸素要求量(Biochemical Oxygen Demand: BOD)は温度 20°C 、5日間に水中の好気性微生物が有機物の分解、増殖・呼吸により消費する酸素量を mg/ℓ 単位で示すもので、河川の浄化現象を測定法に取り込んだもので、環境基準(河川)、排水基準として広く用いられている。しかし、計測には5日間で $3.5\sim 6\text{mg}/\ell$ になるよう希釈または種希釈水で調整など熟練を要する。これらを自動化したBOD計測器にはクロメトリー法、曝気法、酸素センサー法がある。

クロメトリー法は希釈なしで直接BODが測定できるもので、微生物活動によりDOが消費され、発生 CO_2 を反応ビン内で吸収して減圧した分の酸素が供給され、この供給酸素と消費酸素が等しいとして、計測するものである。

曝気法は、試料ビンの開栓、DOセンサーによる計測、曝気によるDO補給及びDO測定、密栓水封が一定期間繰り返すものである。

酸素センサー法は反応ビン内のDO消費の経過時間を数十分から数時間求め、5日間の値に換算する方法で、対象の試料水の特性が大きく変化しない場合には精度がよいが、種々の環境水全てに適用するにはそれぞれの水について5日間での消費形態を整理しておく必要がある。

いずれにしてもBOD計測器が環境水の水質連続モニター用としては未だ十分でないのが現状である。

7) COD

CODは化学的酸素要求量(Chemical Oxygen Demand)の略で、酸化剤により水中の被酸化性物質(主として有機物)を酸分解させ、このとき消費される酸素量を mg/ℓ で表示するものである。CODは湖沼、海域等閉鎖性水域の環境基準としてあるいは排水基準としてBODより短期間に水質汚濁が評価できるので広く用いられている。

CODは酸化剤としてその酸化力の大きい重クロム酸カリウムを用いる場合と過マンガン酸カリウムを用いる場合があり、それぞれ COD_{Cr} 、 COD_{Mn} と表示することがある。 COD_{Mn} は水中の有機酸などを酸化できない欠点がある。下・廃水処理でCODと言えば COD_{Cr} をさすことが多く、世界的にも COD_{Cr} を用いる場合が多い。河川の水質では COD_{Mn} を用いるが、これも海水や下水処理水のように塩素イオンが高い場合はアルカリ法が、塩素イオンの小さい河川などの淡水系では酸性法とその前処理法が異なる。

COD自動計測器(図-8)はこれらの手分析操作(JIS K0102、下水試験方法)をできるだけ忠実に自動化するように設計されたものに過ぎない。計測時間は約1時間程度で、また滴定終点の検出を酸化還元電位差を用いているのが特徴である。

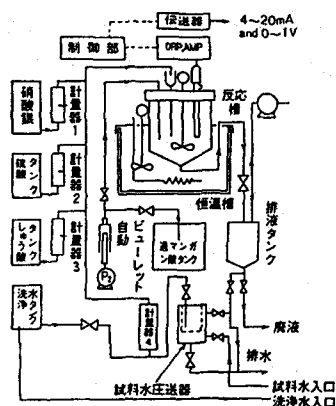


圖-8 COD計測器

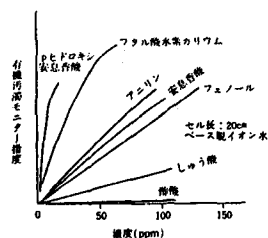


図-10 純物質濃度による紫外吸収度

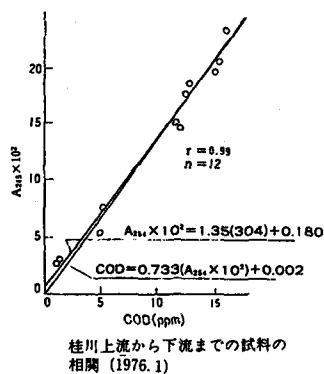


図-11 河川水の紫外吸光度 (A_{254})

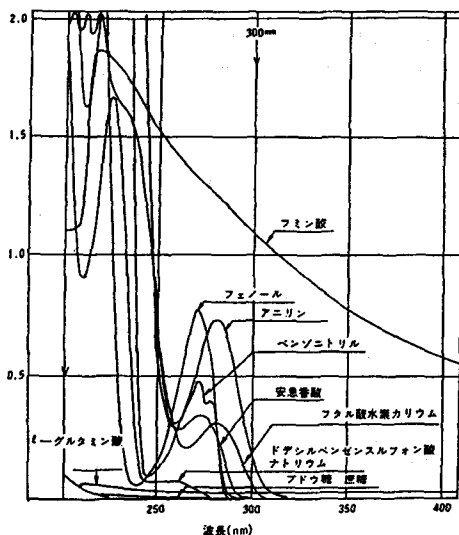


図-9 各種純物質の紫外吸収スペクトル

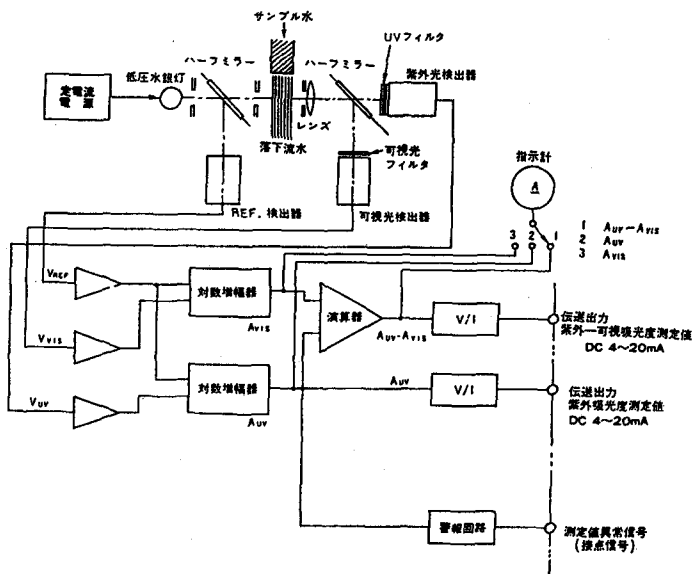


図-12 UV計ブロック図

8) UV

UV計測器は紫外線吸収を応用して有機汚濁を測定するもので、昭和54年の施行の公共水域水質への総量規制ではCODの手分析法が基準となっているが、この方法と相関のあるUV計測器の使用も認められている。

紫外領域の吸光度は、硝酸イオン、亜硝酸イオン、臭素イオンが250nm以上で認められず、253.7nmに輝線をもつ低圧水銀灯が比較的定価であることから、254nmの紫外吸光度が用いられる。ただし、有機物の内でも

芳香族環、不飽和二重結合をもつものは、250～280nmに吸収をもつが、これらを持たない糖、有機酸、アミノ酸、アミン、アルコール類は紫外線を吸収しない。代表的純物質の同一濃度におけるUV吸収スペクトルを図-9に示す。また、純物質の254nmでの吸光度と濃度を図-10に示す。図-11には河川での上流から下流までの試料についての254nmにおける吸光度A₂₅₄とCODの関係を示す。生活系排水の処理水と一般河川水では有機物の形態が類似し、UV値とCOD値の比は地域に関係なく類似しているとされる。ただし、水質が変動するとき、また固形浮遊物が多いとき相関が悪くなることがあるので公定法とのチェックが必要となる。

図-12にUV計のブロックダイアグラムの例を示す。可視光検出器により固形浮遊物による吸光度を求め、原理的にはSSに関係なく有機汚濁濃度のみを検出・出力する方式となっている。一方、一般の紫外波長領域をもつ分光光度計を用いたUV値(10mm石英セル)と溶解性全有機炭素濃度(DOC)の比を求めると水中の有機物の大まかな分子量を求めることができる。また、紫外吸光度はゲルクロマトグラムや近年普及の著しい高速液体クロマトグラフィーによるクロマトグラムによる有機物の分子量分画法にも環境水中での物質代謝過程を評価する指標として用いられている。

9) 全リン及び全窒素

全リン(T-P)及び全窒素(T-N)は富栄養化の要因物質として環境基準、排水基準が定められている。これらT-P、T-Nの計測器は基本的に手分析操作を忠実に行う点で、COD計測と同じ方式である。T-Pはオルトリン酸まで酸化し、T-Nは硝酸まで酸化し、吸光度法により計測し、出力する形となっている²⁰⁾。

10) その他のイオン

近年、環境水中の特定イオンと簡単に測定できるイオンセンサーが多く使用されるようになり、現在20数種の電極が市販されている¹⁵⁻¹⁸⁾。例を表-1に示す。特にNH₄-N、CN⁻などの自動計測などは河川の連続モニタリングとして用いられている。また、近年半導体の電界効果を利用したイオン選択性電界効果トランジスタと呼ばれるマッチの頭大の超小型イオンセンサーが開発されている。しかし、環境計測への応用には、感度、選択性、適用化学種などモニタリングとして問題点も多い。また、これらイオンセンサーの応答速度は95%応答で15秒以内(低濃度のアンモニア電極3分、炭酸ガス2分)と比較的速やかであるが、pH計のように試料に直接電極を入れればよい訳ではなく、前処理が必要なことから、簡便性はやや欠ける。

表1 主なイオン選択性電極の種類¹⁷⁾

無膜型イオン選択性電極				
型	対象イオン	イオンセンサー材料	直線応答範囲	主な妨害イオン
ガラス	H ⁺	Li ₂ O, BaO, La ₂ O ₃ , SiO ₂	10 ⁻⁶ ～10 ⁻¹¹ M	
	Na ⁺	NASガラス	10 ⁻⁶ ～10 ⁻⁴ M	H ⁺ , K ⁺
電導性塩	S ²⁻	Ag ₂ S	10 ⁻⁶ ～10 ⁻¹¹ M	
	F ⁻	LaF ₃	10 ⁻⁶ ～10 ⁻¹¹ M	OH ⁻
	CN ⁻	AgI	10 ⁻² ～10 ⁻⁶ M	S ²⁻ , I ⁻ , (pH 11以上にて測定)
有膜型イオン選択性電極				
ナトリウムイオン電極	Ca ²⁺	ETH 1001	10 ⁻⁶ ～10 ⁻⁹ M	
	K ⁺	バリノマイシン	10 ⁻⁶ ～10 ⁻⁹ M	NH ₄ ⁺
	NH ₄ ⁺	ノナクテン/モナクテン	10 ⁻¹ ～10 ⁻⁶ M	K ⁺ , Na ⁺
イオン交換体	Ca ²⁺	アルキルりん酸塩	10 ⁻⁶ ～10 ⁻⁹ M	Zn ²⁺ , Fe ²⁺ , Mg ²⁺
	界面活性剤	第4級アンモニウム塩	10 ⁻³ ～10 ⁻⁶ M	
	NO ₃ ⁻	第4級アンモニウム塩	10 ⁻⁶ ～10 ⁻¹¹ M	I ⁻ , Br ⁻ , ClO ₄ ⁻

11) これからのセンサーと計測システム

これまで述べたように膜を利用して水質センサーの高度な選択性が達成されてきたが、構造の複雑な有機化合物等への対応は将来の水質センサーの延長では困難とされる。その道を拓いたのは酵素や抗体などの生体物質を利用したバイオセンサーで、従来の水質センサーの選択性ははるかにしのぐものと期待されている¹⁹⁾。

バイオセンサーは測定対象を分子識別する部位（リセプタ）とこの部位で発生した変化を電気信号に変換する部位（トランスデューサー）からなり、分子認識部位に生体物質が利用される。これらは将来、環境水中での生態系における各生物間消長を検討する上で極めて有望なものと考えられる。

また、これまでの水質センサーは物理化学的な水質項目が主体であったが、植物性プランクトンなどの水中の微小生物を非破壊で連続的に測定できるシステムも開発されている。この方法はある波長のレーザー光を試料水にあて、植物性プランクトン中のクロロフィル色素が自家蛍光を発生するのを利用して、水中プランクトン濃度を連続的にモニターするものである。

また、水質センサーも各測定器が単独ではなく、数種類のセンサーが一体化したもの、また現地で投げ込み式で長期間メモリー上にデータを蓄積できるロガータイプや発信器を登録して1～2kmの水平距離ならデータを転送できるものなど、水質のモニタリングも他の水理や気象データとともに連続的に計測できる時代となってきた。このように、これまでのような季節に1回、月1回の水質調査から時間ごとの連続モニターが可能となり、これまで未解明であった水質挙動の詳細が明らかになることが期待されている。

4. 貯水池での水質連続モニタリング

貯水池での短期的水質事象を解明するには、水質のみならず水理事象及び気象等の外力変化との連携が重要である。ここでは、これらの各項目を連続観測し、水質事象のモニタリングした事例を紹介する。

4.1 連続自動観測システム

観測は、仙台市中原貯水池で行った。この貯水池は、長さが約400m、幅100～190m、湛水面積約54,000m²、満水時で水深7.12m、満水時貯水容量約33万m³である。この貯水池のほぼ中央部に、水象観測のための観測塔を設置した。この観測塔には、垂直方向に移動するトロリーがあり、水中の流速及び水温、DOを測定した。また、日射、風向、風速、乾・湿球温度も同時に測定した。また、別のタワーにもトロリーを取り付け、先端に採水用ホースを取り付け、各水深より定期的に採水し、陸上においたpH、導電率計によりpH、導電率、水温を計測した。

水象・気象の計測と、それに連動する観測塔のトロリーの制御は、パソコン（PC-9801）にA/Dボード、DIOボードをセットして、データ入力とトロリーのモーター制御ができるようにした。測定は、湖底（約0.2m）から表層（約7.0m）まで約50cm毎に10Hzで45秒間計測し、湖底から表層までのサイクルを40分毎に行った。測定データは、平均や分散等の処理をした後フロッピーディスクに書き込んだ。

4.3 水質の分布特性

4.3.1 水温分布

水質の連続観測期間中の気象と水温の等温度線図を、それぞれ図-13、14に示す。調査期間初日の8月19日より天候は徐々に下り坂となり、8月21日以降は雨となった。また、貯水池中央のタワーのトロリーが8月21日18時より停止状態となり、一時観測値が得られていない。

本調査中の水温分布の特徴としては、湖底より2.5m付近での強い温度躍層と、5m付近の弱い躍層の形成がみられる。当貯水池では、日中に風が発生し夜間は風が弱まる傾向にある。日射による日成層の形成は、水深2mより浅いところで生じており、日射の少ない21日以降は湖水が徐々に冷却され、日成層は形成されないことが分かる。

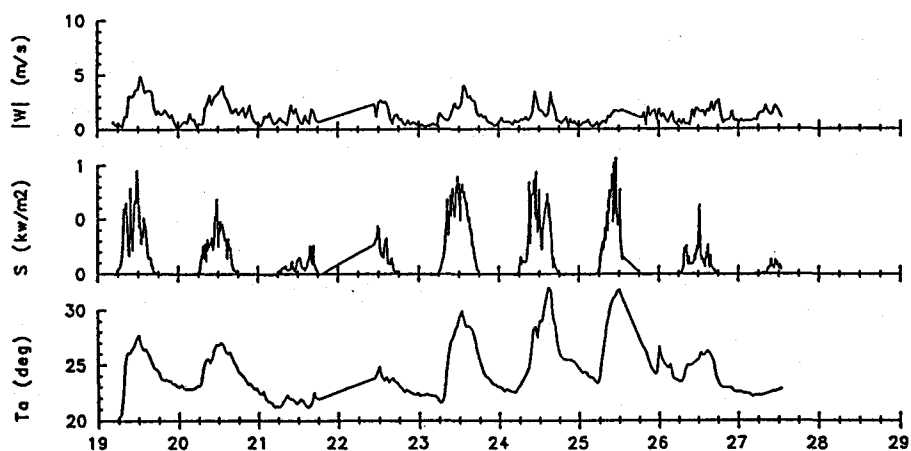


図-13 風速、日射量、気温の経時変化 — 2.0
— .5

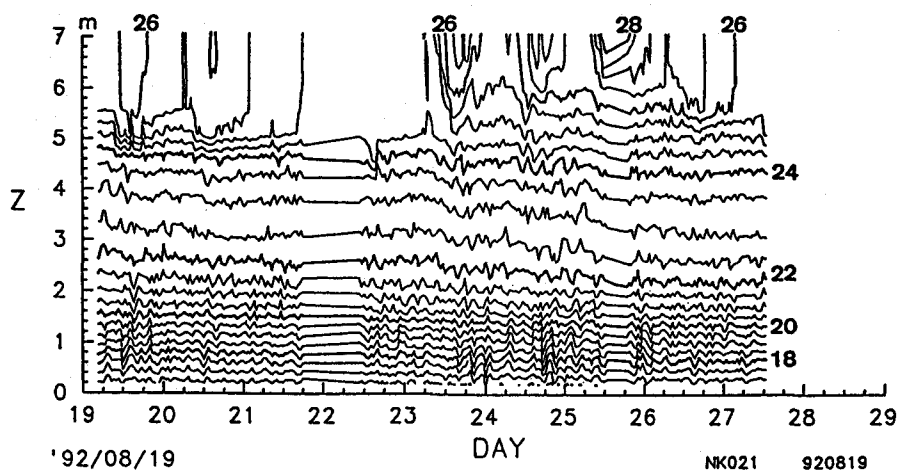


図-14 等温線図

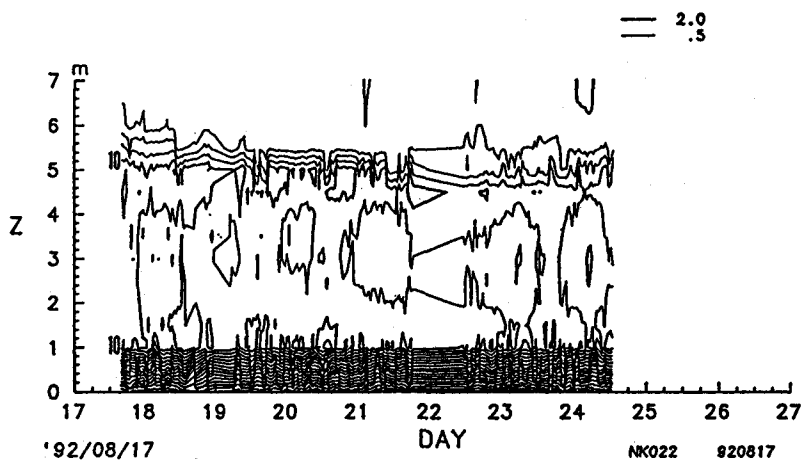


図-15 DOの等濃度線図

4.3.2 水質分布

図-15は期間中のDO分布を示した。調査期間中、表層1m以浅は8~10mg/lのDO値を示している。2~2.5m水深に、10mg/lのピーク値を示した後、水深5.5~6.0付近で再び10mg/lを示した後、水温躍層の強い水底より1mで10mg/lから2mg/l以下と、極めて急激な水質躍層が生じている。

DO値はその水温による飽和値が異なるが、表層ではほぼ100%、底層より3.6~5.1mで110~120%とピークを示し、湖底から1m付近で100%から急激に減少し、0.2m付近で20%まで低下する。これらのDO分布の特徴は、水深2.0~2.5mの弱い躍層下で飽和百分率が高く、藻類の光合成による影響がうかがえる。一方、湖底より1m付近で飽和百分率が高く、この水深にクロロフィルaのピークがあることから藻類による生産があると考えられる。また、pHは最下層で最小値6.5、底層より約6.5mで最大値8.2を示す。pHの最も高い水塊は、DOの飽和度の高い位置と一致し、藻類の光合成による影響と考えられる。

導電率(EC)は、DOの飽和百分率の小さい最下層0.5mで、最大値90.3 μ S/cmを示す。ECは表層0~2.0m、及び湖底から0~1.5mでの変動が大きく、その中間の層では小さい結果が得られている。

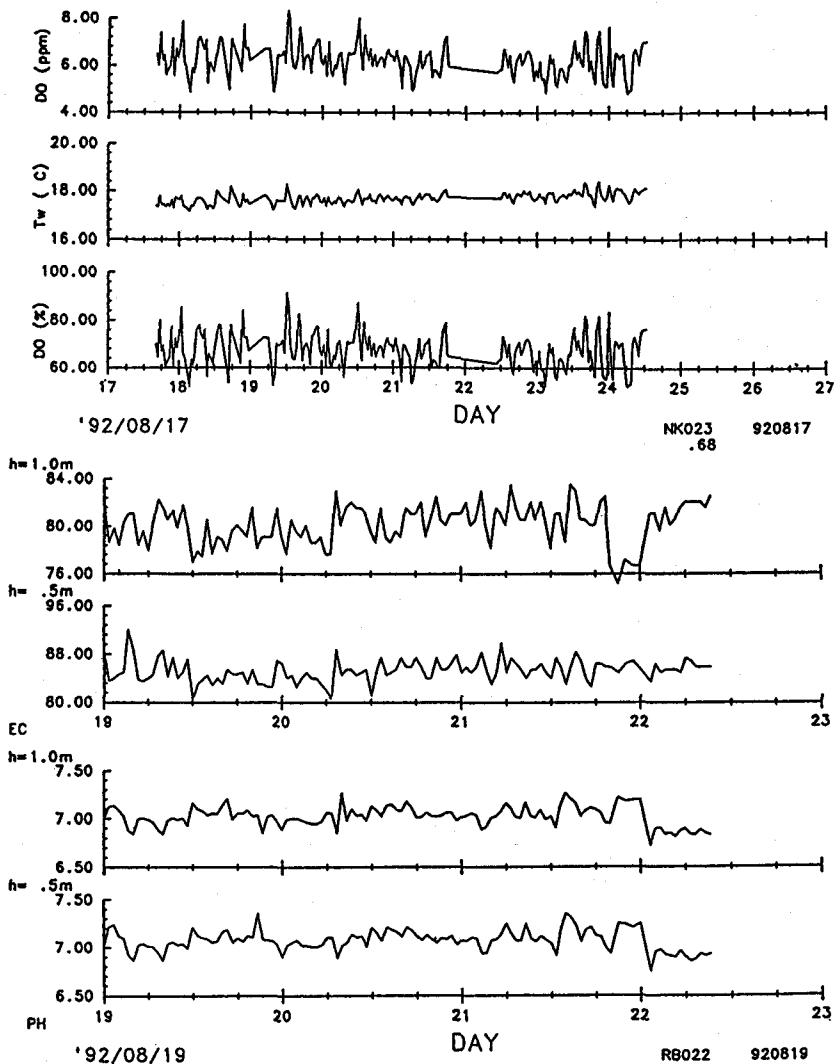


図-16 DO、EC、pHの経時変化

4.3.3 水温分布と水質変動

図-16に水温、DO、pH、ECの時系列データを示す。水温は、表層では日成層の挙動を示すので、午後3時付近に最大値を示し、穏やかな日周期の変動を示す。これに対し、湖底より4.6~5.1m付近の第1水温躍層及び0.7~1.7m付近の第2水温躍層では小さな周期変動を示している。

DOの時系列データに着目すると、湖底より0.68mの層では、水温の約2℃の変動に対し、約3mg/lの変化を示す。この変動は、藻類の光合成や呼吸分解による変動ではなく、風によって引き起こされる貯水池での水塊全体の揺らぎに起因する物理的変動が主なものと推察される。このとき、pHやECも同様の変化を示し、この水塊の揺らぎを裏付けている。このように、水質調査をある時点での瞬間値としてとらえる場合と連続したデータがある場合とでは湖内での水質事象に対する理解度が大きく異なることとなる。

5. おわりに

水質変動は、物理的な外乱で生じるものと生物化学的に生じるものとあり、気象や水象と同時に水質を連続モニタリングすることは、水質汚濁機構やその対策技術を考える上で不可欠となってきた。幸い、近年種々の水質センサーとモニタリングシステムが開発されつつあり、今後の発展が期待される。

参考文献

- 1) 半谷高久・安部喜也：水質汚濁研究法、丸善、1972
- 2) (社)日本水質汚濁研究協会：湖沼環境調査指針、公害対策技術同友会、1982
- 3) 沖野外輝夫：富栄養化調査法、講談社、1976
- 4) 並木博・他：詳解 工場排水試験方法、(財)日本規格協会、1982
- 5) 小島貞男・相沢金吾：新水質の常識、日本水道新聞社、1977
- 6) 杉木昭典：水質汚濁一現象と防止対策一、技報堂出版、1974
- 7) 日本海洋学会編：海洋環境調査法、恒星社厚生閣、1979
- 8) 環境庁水質保全局水質管理課編：改訂版 底質調査方法とその解説、(社)日本環境測定分析協会、1988
- 9) (社)土木学会衛生工学委員会編：環境微生物工学研究法、技報堂出版、1993
- 10) 津田松苗・森下郁子：生物による水質調査法、山海堂、1982
- 11) (社)淡水生物研究所編：河口の生態学、山海堂、1982
- 12) 西沢一俊・千原光雄：藻類研究法 Methods in Phycological Studies、共立出版、1985
- 13) 日本水道協会編：上水試験法(1985年版)
- 14) 土木学会編：土木工学ハンドブック
- 15) 妹尾学：膜を用いた水質センサー、水質汚濁研究、Vol.12、No.9、1989
- 16) 本橋亮一：pHセンサーの改良、水質汚濁研究、Vol.12、No.9、1989
- 17) 脇田慎一：イオンセンサーの現状、水質汚濁研究、Vol.12、No.9、1989
- 18) 砂原広志：隔膜ガスセンサーの利用、水質汚濁研究、Vol.12、No.9、1989
- 19) 相沢益男：バイオセンサーの展開、水質汚濁研究、Vol.12、No.9、1989
- 20) 東亜電波工業(株)カタログ