

Ⅱ-54

水質モニターの開発と実用化について

—大腸菌群およびTOCモニターの現地試験—

開発土木研究所水工部環境研究室 正会員 玉 川 尊

正会員 竹 本 成 行

1. はじめに

水質自動監視装置は、河川における設定環境基準の常時監視を行う他、突発的な水質異常に対する迅速な措置を行うための監視として設置されている。しかし、現有の装置の測定項目中には、環境基準となる測定機が少なく、十分にその効果が発揮されていない。

本研究は、こうした新規測定機として大腸菌群モニターの開発と製作を行うと共に、実験室用のTOCをモニターに改良した。この2つの機器の現地試験を行った結果、実用化が可能な段階に至ったので報告する

2. 開発の経過

大腸菌群モニターは、昭和57～58年度に細菌の培養による増殖変化と計測の関係を検討。59年度に試作機を作成し、60～61年度に初期条件、培養条件、検水の適正量の実験および検討を行った。62年度に実用化の為の検討を行い、63年度に実用機の製作を行った。平成元年に現地河川に設置し、機能性のテストを行い改良点について検討を行った。また、2年は一部パーツの改良を行いデータの収集を行った。

一方、TOCモニターは、従来、水質自動監視用に開発されたタイプは、検水中の無機炭素(IC)を前処理によって除去する操作が必要なため、メカエラーが発生しやすく十分に機能が発揮されていなかった。そこで、実験室タイプで半自動のTC(全炭素)とICが同時測定が可能な測定機(島津製 TOC-500型)を昭和62年度に購入し、全自動化の検討を行った。その結果、サンプル数の制限機能を改良するとともに、日1回、標準液による自動校正の操作を加えることでモニター化を計ることとし、平成元年にそれらの改良を行い、大腸菌群モニターとともに図-1に示す石狩川下流部の石狩大橋地点に設置した。この両モニターの現地でのデータは、NTT回線を用いて図中の当研究所内のパソコンに転送し、リアルタイムで水質変化を監視できるように工夫した。

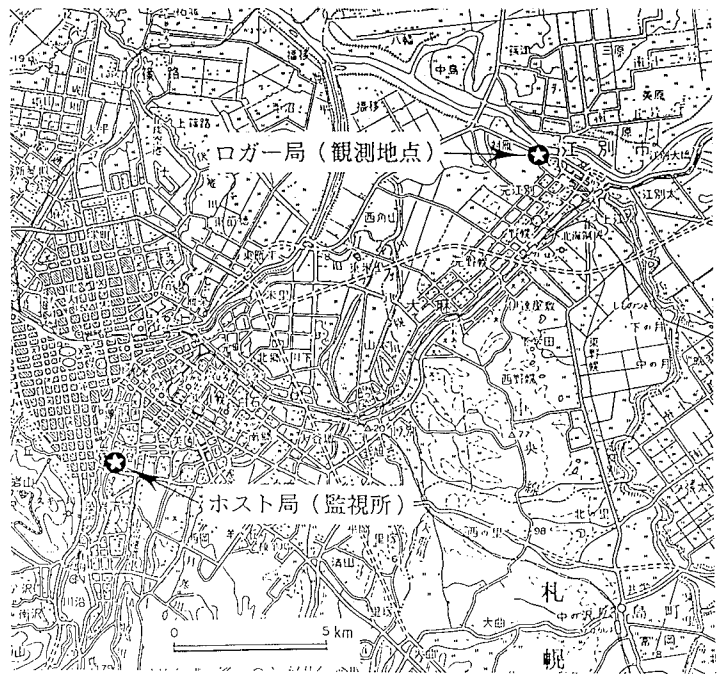


図-1 水質モニターの設置箇所とデータ転送箇所

Peverompene and praetical use of Water quality monitering system

Takashi TAMAGAWA, Masayuki TAKEMOTO

3. 大腸菌群モニター

3. 1 測定原理

細菌を一定の条件のもとで培養液に植種した場合、その細胞の生育過程は、誘導期→対数期→停止期→死滅期といわれる生育曲線が得られる。この生育過程における培養液の色相は、細菌の増殖により白濁色の増加を示すため、濁度計で計測すると図-2に示すような関係が得られる。ここで、特に対数期における濁度と培養時間の間には、直線関係が見られる。そこで、今、おる既知菌体数の試料をそれぞれ、 E_1, E_2, E_3 (但し $E_1 > E_2 > E_3$) とし、これを同一条件で培養し、その増殖経過を濁度計で測定すると図-3の(A)のように、菌体数の多いほど濁度値の立上がり方が早くなる。そこで、各生育曲線の共通する直線区間 ($t_1 \sim t_2$) の任意の増殖時間 T_p を設け、この T_p と交差する各点を P_1, P_2, P_3 とする。この P_1, P_2, P_3 を図-3の

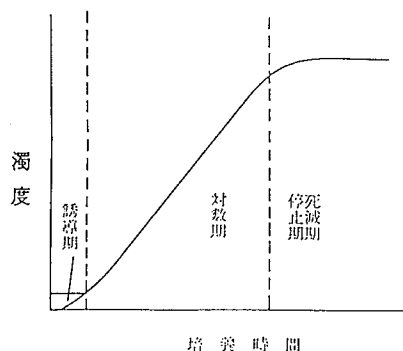


図-2 濁度計による増殖変化図

(B) のように横軸に菌体数 (E)、縦軸に濁度をとると、曲線 $E \cdot T_p$ は培養時間 T_p における各試料の植種時における菌体数と濁度との関係曲線 (標準算定曲線) が得られる。この標準算定曲線を用いて、濁度から細菌の菌体数を求めることが可能となる。

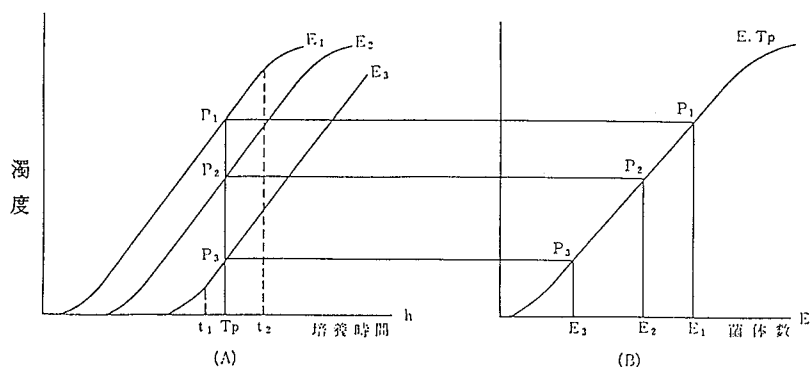


図-3 初期菌体数が異なる場合の増殖曲線

3. 2 実用機の概要

図-4に実用機の概要図を示すとともに、表-1に、本装置の仕様を示す。

3. 3 現地測定試験の結果

(1) 測定条件

観測地点の定常時の水質調査での大腸菌群数の濃度から、概ね培養液 5 ml に検水 1 ml で、培養時間 6 時間で測定が可能と判断され、この条件により設定した。また、試料の採水間隔は本装置の機能として 30 分が可能であるが、機能の適応性能を調査する目的が主であるため、1 時間間隔とした。

(2) データ転送による監視局の水質結果の表示

前述した通り、データは N T T 回線でロガー局 (観測地点) より、1 時間毎にホスト局 (監視所) に転送される。その結果は、随時、データバンクされ必要に応じて画像に出力されるシステムとなっている。画像の一例としてを図-5に、水質変化図を示す。また、記録されたデータ情報を任意に日報 (図-6) として画像やプリントとして引き出すことが可能となっている。日報は、大腸菌群モニターは 1 時間に 1 データ、T O C モニターは 1 時間の観測データの平均値を表示している。また、大腸菌群、T O C の両モニターの表示の他、既設の水質監視施設内で観測が行われていゝ項目の測定値を同時に転送している。

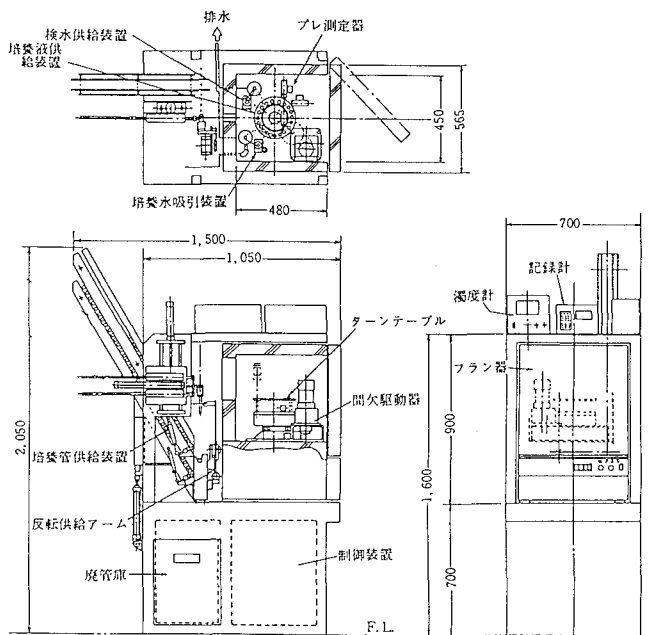


図-4 大腸菌群モニターの概要図

表-1 大腸菌群モニターの仕様

内 容	
構成	・培養部～検水器、注水器、恒温槽、薬液槽 サンプルチェンジャー
	・コントロール部～測定制御器、プリンター検 出器
仕様	測定方法 恒分球式濁度計による固体数換算 方式
	測定間隔 60分/回
	培養時間 6～18時間任意設定または自動設 定方式
	測定範囲 $10^2 \sim 10^4$ HPN/100ml
	指示器 LCD表示
	温度範囲 培養温度 $5 \sim 80^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$
	電源 AC 100V
	電圧 本体 700V $\times$ 1,500D $\times$ 2,050Hmm ターンテーブル 220 $\times$ mm 20分割 (2sec/分割)
	重量 20 kg
	その他 使用環境 (室内温度) $5 \sim 40^\circ\text{C}$ オプション モデム増設可

(3) 現地比較試験結果

現地での測定を行いながら、モニターの測定値が実河川の水質をあらわしているか検討を行うため、5回にわたって監視装置の取水口と監視施設内の調整槽より同時刻に採水し、手分析 (BGLB培地直接 MPN法) による試験を行うとともにモニターの観測値を記録した。その比較試験結果を表-2に示す。試験結果では、概ねオーダーが等しいという結果が得られ、有効値もモニターを1とした場合、0.5～3の間に含まれている。

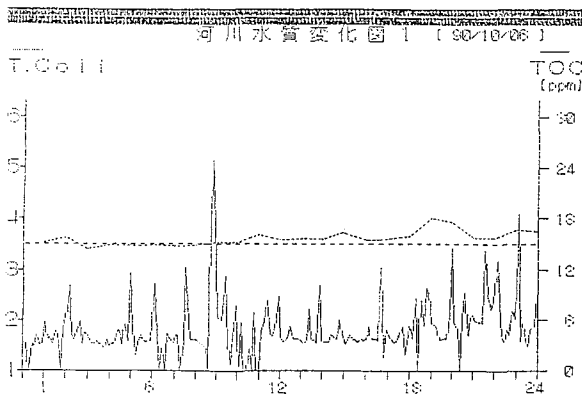


図-5 画像表示による水質変化図

河川水質モニター情報							
石狩大橋 観測所毎時記録 (午前)				1990年10月06日			
時刻 (h)	T.Coli	TOC (ppm)	PH	DO (ppm)	水温 (°C)	湿度 (mmHg)	導電率 (mS/cm)
1	3.4.3	2.9	6.5	6.6	15.9	55.3	0.2
2	4.3.3	2.9	6.5	6.7	15.9	57.0	0.2
3	2.5.3	2.5	6.5	6.5	15.9	55.3	0.2
4	2.1.3	2.4	6.5	6.5	15.8	55.0	0.2
5	2.0.3	2.4	6.5	6.7	15.9	60.9	0.2
6	3.0.3	3.6	6.9	6.4	15.9	52.7	0.2
7	2.6.3	3.6	6.9	6.4	15.9	52.7	0.2
8	3.0.3	5.0	6.9	6.2	16.0	52.9	0.2
9	2.2.3	4.9	6.9	6.2	16.1	52.9	0.2
10	2.4.3	6.0	6.9	6.2	16.3	52.4	0.2
11	4.7.3	3.0	6.9	6.2	16.5	55.7	0.2
12	3.8.3	5.1	6.9	6.1	16.5	55.3	0.2

河川水質モニター情報							
石狩大橋 観測所毎時記録 (午後)				1990年10月06日			
時刻 (h)	T.Coli	TOC (ppm)	PH	DO (ppm)	水温 (°C)	湿度 (mmHg)	導電率 (mS/cm)
1	3.9.3	3.9	6.9	6.1	16.5	51.0	0.2
2	3.6.3	4.5	6.9	6.2	16.4	51.2	0.2
3	5.2.3	4.1	6.9	6.1	16.3	50.4	0.2
4	3.7.3	3.7	6.8	6.1	16.3	51.8	0.2
5	4.0.3	4.3	6.9	6.0	16.1	50.2	0.2
6	3.6.3	3.7	6.9	5.9	16.1	49.7	0.2
7	4.0.3	6.4	6.9	6.1	15.9	47.6	0.2
8	3.9.3	4.2	6.9	6.2	15.7	71.7	0.2
9	2.6.3	6.5	7.0	6.7	15.4	77.2	0.1
10	3.6.3	7.3	7.0	6.5	15.3	85.3	0.1
11	3.8.3	6.4	7.0	6.5	15.2	56.4	0.1
12	3.7.3	6.7	7.0	6.5	15.0	53.4	0.1

図-6 画像表示による水質日報

表－2 大腸菌群の比較試験結果

測定日	9/6	10/3	10/12	10/19	12/12
実河川取水口	1.7×10^4	1.3×10^3	2.4×10^4	2.4×10^5	1.7×10^3
監視内調整槽	2.4×10^4	2.2×10^3	1.3×10^4	2.4×10^5	1.1×10^3
大腸菌群モニター	3.8×10^4	0.7×10^3	1.9×10^4	3.0×10^5	1.7×10^3

単位：MPN/100ml

4. TOCモニター

4. 1 市販機の改良

市販機の概要図を図－7に示す。また、その仕様は表－3の通りとなっている。本機がモニター用として可能な機能を有する点は、TCとICの両炭素が計られ、検水の前処理操作が不要であること。また、測定周期が最短約3分であることなどである。これらをもとに、モニターとしての機能を備えるには、サンプル数の制限を除くとともに、試験容器の代わりに、検水注入器を設ける他、日1回程度、標準液によるキャリブレーション（自動校正）機能をもたせることとし、その改良を行った。

表－3 TOCモニターの仕様

測定対象	水中のTC、IC、およびTOC（TCからICを差し引いて求めるか、あらかじめ、IC除去の前処理を行ってから求める）
	燃焼－非分散形赤外線ガス分析法（JIS K-0102に準拠）
測定方法	1 ppmフルスケールから3 000 ppmフルスケールまで可変
測定範囲	マイクロシリリングによる自動注入
試料注入方式	25～500 μ l
使用マイクロシリリング	測定液によっても洗い、4回
キャリブレーション	1点または2点検量線を選択、CAL. FACTORの印字およびキーによる設定可能
測定周期	約3分（ただし、同一試料の繰返し周期は約2分）
電源	AC100V、10A、50/60Hz
重量	約50kg

図－8 TOCモニターの概要

4. 2 現地測定試験の結果

(1) 現地比較試験結果

大腸菌群モニターと同様、実河川の水質の代表性を調査するための試験を行った。その結果を表－4に示す。

試験結果では、9月16日のモニターが異常値を示している他は、ほぼ近い値を示している。

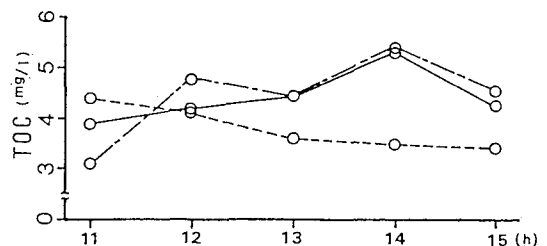
(2) 日変動による比較

日変動における調査では、取水口と調整槽の検水が上下しながら上昇しているのに比べ、モニターは下降の傾向を示している。その変化図を図－9に示す。

表－4 TOCの比較試験結果

測定日	9/6	9/16	10/3	10/19	10/24
実河川取水口	7.52	6.52	6.18	7.32	3.89
監視内調整槽	7.14	7.23	6.28	6.26	3.10
TOCモニター	7.0	13.2	7.4	8.5	4.4

単位：mg/l



図－9 TOCの日変動比較図

5. 機器の問題点と対策

現地における、開発モニターと改良モニターの性能試験を行ってきたが、これまで室内実験で判明しなかった幾つかのトラブルが発生し、その原因の究明を行ってきた。その結果、表－5、表－6に示すような改良点を各モニターの構成部ごとに列記する。

表－5 大腸菌群モニターの故障内容とその原因と改良点

構 成 部	故 障 内 容	原 因 と 改 良 点
試料水採取部	注入チューブの目詰り	検水注入チューブの交換は1ヶ月毎の保守・点検時を目安としているが、河川の流況に応じ、週一回の定期点検時にその必要性を判断することとした。
培 養 部	培養管の供給、排出エラー	培養管の材質がガラスのため、すべりやすい。排出、搬入アームにすべり止めを取付けた。
測定記録部	コンプレッサーの電源切断	コンセントが本体との共有していたため容量オーバーとなる別系統のコンセントを使用。
	濁度計のセルの汚れ	既往の濁度計を汎用したためフローセルの流路が狭く、フロッグを吸入すると目詰りを起こす。フローセルの流路を広くし、洗浄水の常時駆動に改良した。
	濁度計のトランス故障	トランスの交換
薬液貯蔵部	培養液吸入ノズル装置の故障	ロータリーアクチュエーターの動作を確認するためのセンサーが故障。応急処置として、制御部のソフトの一部で対応。その後、パーツの交換を行った。
	培養液の送液管内の汚染	週一回の定期点検時に殺菌液で洗浄。一月毎にチューブの交換を行う。最終的な解決は、注入前に洗出しの操作を加えることとした。

表－6 TOCモニターの故障内容とその原因と改良点

構 成 部	故 障 内 容	原 因 と 改 良 点
試料水採取部	チューブの目詰り	大腸菌群モニターと同様、週一回の定期点検時にその必要性を判断することとした。また、送水ポンプ圧を高くした。
反 応 部 測定記録部	検水注入器の懸濁物堆積	ドレン機構を追加。さらに水道水による洗浄を行う。
	マイクロシリンジの注入不良	マイクロシリンジ針の交換。懸濁物の除去対策検討
	チューブ破損	水漏れで計量不能。チューブ交換
	加湿液不足	補給
	異常値検出	$TC \leq 1C$ が測定される。校正液（標準液）を保冷し濃度の安定を計った。

薬液貯蔵部	プリンター不良 標準液の混合 キャリアーガス不足	記録値の印字せず。劣化により交換 停電時に電磁弁が開放し、標準液が逆流して検水と混合 するため、異常値となる。洗浄、標準液の交換 補給
-------	------------------------------------	--

この他、現地調査によって各パーツの耐久性能がどれだけあるか検討した。その結果、本モニターに必要な保守・点検内容の把握ができ、また、交換部品の許容期間を特定することが可能となった。

6. あとがき

大腸菌群は環境指標にもかかわらず、その測定操作に準じた自動分析法は極めて少ない。そのため、pHやDOのような生活関連の水質監視項目と同列に開発が行われてこなかったものと考えられる。

こうした問題点のもっとも最大のものは、“最確数による方法”という複雑な分析操作やガス発生の確認までの48時間という試験期間の長さにある。また、測定精度も95%信頼限界で、上限から下限まで1オーダーの幅があるため再現性も低い。

こうした問題を考慮して自動化に踏切ったが、装置全体の構成、構造をできるだけ簡便にし、動作が外観から目視できること、保守点検が容易であること、使用薬品が培養液のみで少ないこと、データ処理を直接菌体数で表示し、かつデータの転送を行うことで装置の稼働状況が把握できるように考慮したこと、などが挙げられる。特に、こうした細菌を取扱う項目においては、安全性の確保が重要であり、このためにも無人で稼働する水質モニターは欠かせない。さらに、一般に細菌試験の測定精度は、ラフなものであるため、再現性に乏しい面があり、月一回の定常調査でその河川の水質を評価することが困難である。こうしたデータを補強する上でも、連続した測定が行える機器の活用は重要となる。

TOCモニターは、従来よりBODの代替項目として自動監視項目に取入れられていたが、既往の装置は前述したように試料水の前処理が必要なため、操作が複雑になり、不十分な処理によって測定結果の信頼性が欠けることとなり問題が多かった。今回、市販機の中で前処理が不要で、TC、ICの両成分を計測する機能が装備さることとなり問題が多かった。今回、市販機はTC、ICの両成分を分離して計測し、これまでにない機能が装備されているため、従来の問題点がクリアされ予想通りの測定結果が得られた。また、既往の装置と同様、試料水に懸濁物質が混入している場合の対応として、試料水をフィルターに通すことで解消した。

今後、これらのモニターの普及に当って、配慮しなければならない課題として、モニターの自動校正、自動洗浄機能があげられる。また、TOCモニターは水質変動特性に応じた試料数の最適化についても検討しなければならない。

参考文献

- 1) 玉川 尊：細菌連続自動測定装置、公開特許公報、1983年3月、昭58-37559
- 2) 玉川 尊：大腸菌群の自動測定装置の開発、土木試験所月報、No. 401 1986年10月、p1-8
- 3) 玉川 尊：大腸菌群数モニターの開発、土木学会第42回年次学術講演会、1987年9月、p908-909