

2. 水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討「I」

給水工事技術振興財団

中村 文雄

1. はじめに

水道水は、給水末端において水道水質基準を満足しなければならないものであることは論をまたない。しかしながら、水道水は浄水工程→配水→給水の過程を経て給水されるので、浄水処理が為された水道水の水質は、配水・給水の過程において配水管や給水管の材質その他の影響を受けて、不可避免的に、質的な変化が起る事になる。したがって、水道水質基準を満足しているとは言いながら、浄水工程終了時点の水質と給水末端での水質とは、若干異なることが想定される。

ここで、本研究との関連において留意すべき事は、給水装置の機能不全等によって惹起される給水末端での水道水質異常である。すなわち、過去において、衛生的な問題発生の報告は殆ど無いにしても、受水槽・高置水槽の管理不足や逆流防止装置・逆止弁の機能不全その他の要因により、その根拠はないが、水道水質基準を満たさない可能性のある水道水が給水されたと言う事例の存在する可能性が想定される。したがって、水道水による衛生的問題発生や健康被害防止のためには、給水末端における水道水質を常時監視する事が望まれる。この観点から、本研究委員会では、給水水質の連続測定・監視を行って水質異常を逐次検出し得る簡単・安価な水質異常検出器を開発しようとしているが、この場合、水質異常判断の確実性と安全性を確保する為に、その判断を補完し得るシステムを確立しておく必要があると考えられる。

そこで、本研究は、水道水質のバックグラウンド変動の態様などを考慮した上での異常判断補完システムのあり方に関する検討を主たる目的とした。また、何らかの理由で水質基準以上の突発的水質異常が検出されたときの蓋然性の有無を検討し、蓋然性が有る場合の閾値補正の可能性も検討する。換言すれば、突発的水質異常現象の背景を考慮した上での、給水以前における「閾値補正の可能性の有無」の検討も行う事とした。

2. 研究方法

2-1 調査対象都市

自動水質測定器によって連続的計測を行っている水道事業体を調査対象とし、本年度は、高緯度地域に位置する都市 P の協力を戴いて、調査を行った。

2-2 都市 P の水源と浄水方法、および、水道水質自動測定の概要

都市 P には 3 水系（河川 T,K,H）を水源とする 5 浄水場（J,S,M,N,My）がある。各浄水場ともに、PAC を凝集剤とする急速砂濾過法（マンガン砂）を採用しているが、アルカリ剤は消石灰（浄水場 S,M）またはソーダ灰（浄水場 J,N,My）を用いている。また、いずれも、消毒剤として次亜塩素酸ナトリウムを用いている。

一方、水質自動測定器による水道水質測定・監視は、給水栓に対して市内 11ヶ所、配水池に対しては 13ヶ所で行っている。また、各浄水場ともに、原水および浄水プロセス後段での自動水質監視を行っている。

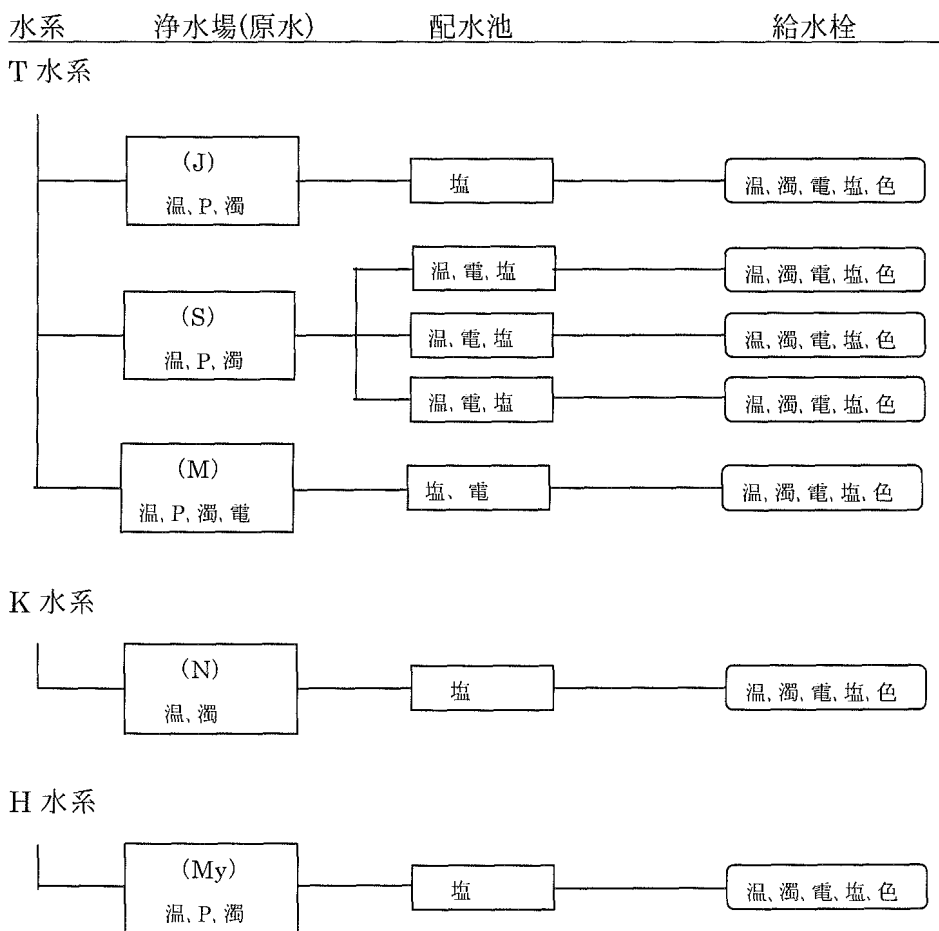
2-3 調査箇所および調査項目

都市 P よりデータの提供戴いた水質測定地点は、基本的には、各浄水場配水系統の中の代表的な配水池と、対応する 1 給水栓を選択して戴いた。図-1 に、解析に用いた調査地点と測定項目を示すが、配水池に対しては、水質自動測定している配水池全体の 7/13 を、給水栓に対しては 7/11 をカバーしている事になる。

測定項目は、原水に対しては水温、pH、濁度を基本としているが、図-1 に見るように、浄水場により若干の差が有る。また、配水池に対しては残留塩素測定を基本としているが、給水能力の大きい浄水場では水温、電気伝導率を付加している。また、給水栓での測定項目は、いずれも、水温、濁度、電気伝導率、残留塩素、色度の 5 項目の自動測定を実施している。

各水質項目データの自動計測時間間隔と解析対象期間は下記の通りである。

- 1) 自動計測時間間隔 ; 10 分間隔の連続データ
- 2) 調査対象期間 ; 平成 14 年度～16 年度の 3 年間、; 約 1095 日 / 項目



- 1) 温=水温、P=pH、濁=濁度、電=電気伝導率、塩=残留塩素、色=色度
- 2) () 内は浄水場名の略号

図-1 解析に用いた調査地点と水質項目

2-4 解析方法

先述のように、本研究では、水質異常検出器により給水栓での水質連続測定・監視を行って水質異常を逐次検出しようとするときの水質異常判断補完システムのあり方を検討しようとしているが、ここでは、都市Pのデータを用いて下記の検討を行った。

- 1) 水道水質の変動態様
- 2) 水道水質変動推定の可能性と方法の検討
- 3) 水道水質変動と変動幅

なお、使用した水質データは、上述のように、10分間隔のデータ3年分であるので、1項目あたり約157,680個、全水質項目では約10,091,520個となるが、データ数が大きくて取り扱が不便であるので、まず、毎日の0時00分のみデータ(1データ/24時間)にデータ規模を縮小した上で、上記1)~3)の解析・検討を行った。なお、後述の3-2-3において、縮小したデータ(1個/24時間の時系列データ)から求められた推定式の1時間間隔および10分間隔時系列データへの適用性に関する検討を行った。

3、解析結果

3-1 各給水栓にける水質変動

付図-1~4に、各給水栓における水道水質の経日変動を示すが、以下において、水質項目毎の概要を述べる。

3-3-1 水道水の濁度(以下において給水(の)濁度と略記)の経日変動

1)経日変動の平均値

表-1に、各給水栓の濁度変動の平均値および標準偏差を示す。3年間の平均濁度は0.009~0.059度の範囲にあるが、全体の平均値は0.02度である。なお、後述のように、濁度と色度には鋸歯状の日変動が認められる。これは、時間経過に伴うセルの汚れと定期的ベースライン補正による0値への復帰の現象によるものと考えられるが、ここでは、全ての測定値に基づいて計算している。

表-1 濁度における経日変動の平均値と標準偏差

	J 浄水場	S 浄水場			M 浄水場*	N 浄水場	My 浄水場	平均
		N系	K系	S系				
平均値	0.009	0.010	0.013	0.025	0.009	0.059	0.016	0.020
標準偏差	0.026	0.026	0.027	0.047	0.019	0.083	0.033	0.037

* ; M 浄水場は02/8/1~05/3/31の期間

2)経日変動の態様

付図-1にJ・S浄水場の給水濁度の経日変動を示すが、3年間の系日変動幅は0~0.4度の範囲内にある。また、各浄水場の濁度変動を巨視的に見るとき(付図-5)、浄水場によっては年単位の周期的変動を持っている場合があるように見受けられた。すなわち、J・M・Myの3浄水場の給水濁度は2~4月にピークを示す類似の変動を持つ傾向があり、また、S浄水場のN・K・S系の給水濁度変動は8月近傍にピークを示す微弱な変動傾向を持つようにも思われる。また、N浄水場の給水濁度には傾向的な変動は認められない。

一方、図-2と図-3は、T水系を水源とするJ浄水場およびS浄水場の原水濁度と給水濁度との関係を示す。

J浄水場の給水濁度の変動は、原水濁度の変動とほぼ軌を一にして変動しているようにも考えられる。しかしながら、その下流部に位置しているS浄水場(N系)においては、原水濁度変動とは関連性が薄いようにも見受けられる。

浄水処理においては、河川流量や原水水質に応じた浄水操作を行っているので、給水濁度は、本来、それらの変動と無縁である可能性が高いが、不可避免的に、若干の影響が水道水濁度に発現する場合があることを示唆している。

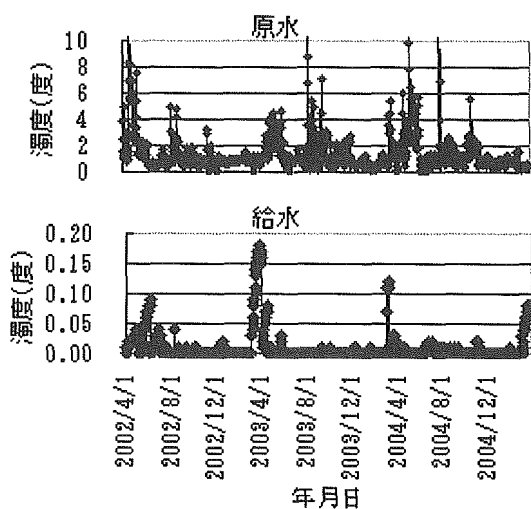


図-2 J浄水場の原水・給水の濁度

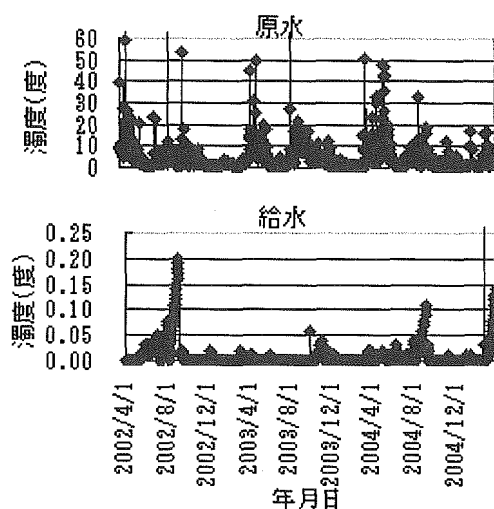


図-3 S浄水場(N系)の原水・給水の濁度

なお、図示しないが、各浄水場の原水濁度変動は、毎年、水温の上昇し始める4月～6月に流量のピークを持つ水源河川(T・K・H水系)の流量変動と軌を一にしている。

3-1-2 給水の電気伝導率(EC)の経日変動

1) 経日変動の平均値

表-2に、各給水の電気伝導率変動の平均値および標準偏差を示す。3年間の平均電気伝導率は117.7～139.7 μ S/cmの範囲にあるが、全体の平均値は132.3 μ S/cmである。

表-2 電気伝導率における経日変動の平均値と標準偏差

	J浄水場	S浄水場			M浄水場	N浄水場	My浄水場	平均
		N系	K系	S系				
平均値	117.70	137.53	134.33	134.07	134.63	139.66	128.26	132.310
標準偏差	22.34	31.54	30.02	29.58	29.30	23.45	20.98	26.743

2) 経日変動の態様

付図-3 に各給水の電気伝導率の経日変動を示す。3年間の系日変動幅にはそれぞれの原水水質を反映して若干の差が存在するが、その変動幅は、ほぼ 50~250 μ S/cm の範囲内にある。しかし、経日変動の態様は互いに共通している。すなわち、各給水ともに、4~5月に谷を持つ周期的変動を反復している。

一方、図-4 は、M 浄水場の給水の電気伝導率と、水源としている河川流量との関係を示している。なお、この図は、当該河川流量データの存在する 02/6/1 以降のデータの時間軸と一致させているので、時間軸が異なる付図-3 の電気伝導率変動様相とは若干の差が有る。

図-4 から、流量(水位)のピークと電気伝導率の谷の出現する時期は、若干の時間的ズレが存在するにしても、4~6月であることはほぼ一致している事が認められる。すなわち、給水の電気伝導率は河川流量と密接な関連性を持つ事を示している。

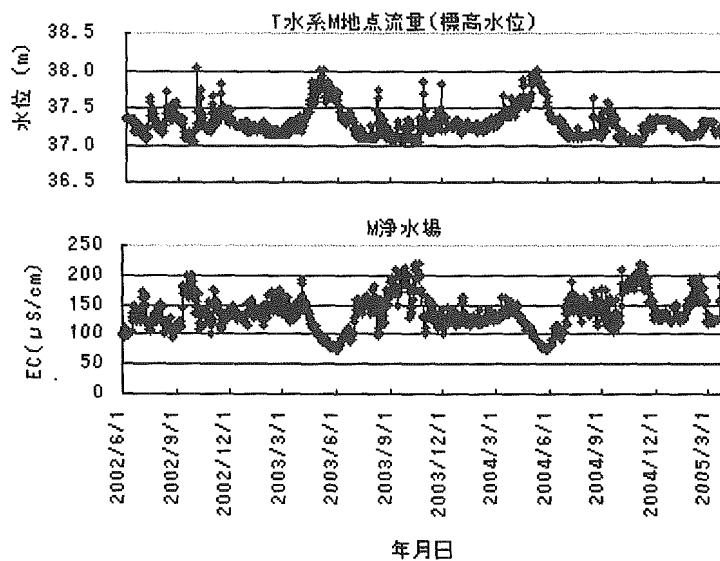


図-4 給水の電気伝導率 (M 浄水場) と河川流量との関係

3-1-3 給水の色度の経日変動

1) 経日変動の平均値

表-3 に、各給水の色度の平均値および標準偏差を示す。なお、M 浄水場の経日変動に関しては、センサー異常が発生したと思われる期間を除く 02/8/1 以降のデータを用いている。また濁度と同様に、鋸歯状変動を無視して、全ての測定値を用いて計算している。各給水の3年間の平均色度は0.14~0.59度の範囲にあるが、全浄水場の平均値は0.36度である。

表-3 色度における経日変動の平均値と標準偏差

	J 浄水場	S 浄水場			M 浄水場	N 浄水場	My 浄水場	平均
		N 系	K 系	S 系				
平均値	0.284	0.423	0.142	0.543	0.231	0.586	0.334	0.363
標準偏差	0.210	0.277	0.210	0.398	0.135	0.440	0.192	0.266

* ; M 浄水場は 02/8/1~05/3/31 の期間

2) 経日変動の態様

付図-2にJ・S浄水場における給水の色度の経日変動を示す。各給水の3年間の経日変動幅には、それぞれ、差が存在する。また、経日変動の態様には傾向的な変動は認められない。この傾向は、他の浄水場の給水でも同様である。

3-1-4 給水の残留塩素の経日変動

1) 経日変動の平均値

表-4に、各給水の残留塩素の平均値および標準偏差を示す。各給水の3年間の平均残留塩素は0.42～0.55 mg/Lの範囲にあるが、全浄水場の平均値は0.47 mg/Lである。

表-4 残留塩素における経日変動の平均値と標準偏差

	J 浄水場	S 浄水場			M 浄水場	N 浄水場	My 浄水場	平均
		N 系	K 系	S 系				
平均値	0.501	0.464	0.464	0.459	0.554	0.422	0.432	0.471
標準偏差	0.068	0.034	0.041	0.036	0.051	0.044	0.052	0.047

2) 経日変動の態様

付図-4に各浄水場における給水の残留塩素の経日変動を示す。3年間の経日変動幅は、ほぼ0.3～0.8 mg/Lの範囲内にある。また、経日変動の態様には、傾向的な変動を持つと思われる給水と、それが明確でない給水が存在する。すなわち、図-5は、J浄水場とS浄水場(S系)の残留塩素の経日変動を示すが、J浄水場の残留塩素の経日変動は、4月近傍の谷と8月近傍にピークを持つ周期的変動を示している。これに類する変動はM浄水場、My浄水場にも認められる(付図-4参照)。一方、下段に示すS浄水場(S系)の残留塩素

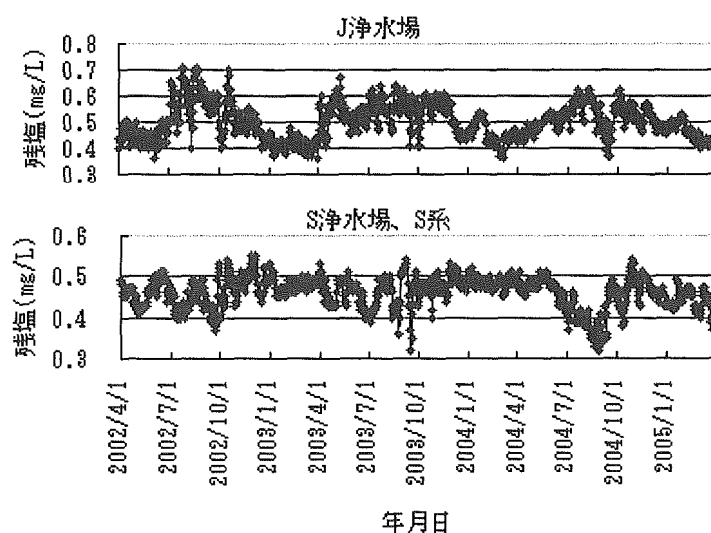


図-5 J浄水場とS浄水場(S系)給水の残留塩素の経日変動
の経日変動は、明確ではないにしても、逆に、4月近傍のピークと8月近傍の谷を持つ微

弱な周期的変動傾向が認められる。これに類する変動は S 浄水場 H 系、N 浄水場にも認められるが、S 浄水場 K 系では明確でない（付図-4 参照）。

3-2 給水水質の推定方法に関する検討

水質異常検出器により給水水質の連続測定・監視を行って水質異常を逐次検出しようとするとき、特定の方法・閾値に基づいて水質異常判断が為されことになるが、この異常判断を補完する一つの方法として、事前に、水道水質のバックグラウンド変動態様等に基づいて水質異常発生の可能性の有無が推定されるとすれば、水質異常判断の確実性と安全性が増す事になると判断される。そこで、ここでは、浄水処理前段の原水水質や流量情報から水道水質を推定する事の可能性の有無を検討する事にした。なお、この検討に先だって、浄水操作後の水質変動から水質異常発生推定の可能性を検討する事と、浄水操作関連項目を変数に加える事を検討する方が妥当とも考えられるが、浄水操作後の水道水質には、原水水質の一部またはかなりの部分や人為的操作の法則性が反映される可能性もあり、さらに、配・給水の前段で水質異常発生の可能性が予見される場合の時間的メリットを考慮して、やや論理性が薄弱であるにしても、敢えて、この検討を先行させて行う事とした。

3-2-1 給水水質と原水水質との相関性

上記の目的から、まず、原水水質および流量（本報告では、各水源の標高水位）と給水水質との相関性を検討した。なお、前述のようにここでは、各水質項目ともに、1 データ/日、3 年分（約 1095 個）のデータを用いている。

各原水水質項目と給水の各水質項目との間の単相関係数と、その有意性に関して t 検定した結果を付表-1 にまとめて示す。付表-1 では、給水の水質項目毎に（濁度、電気伝導率、色度、残留塩素）、各浄水場の原水水質項目との相関係数と有意性の有無（1%および 5%危険率）を示している。

下表は、その一例として、給水濁度と原水水質項目との間の単相関性の表を再掲したものである（付表-1 参照）。

表-a 水道水の濁度と原水水質との単相関性のt検定結果

	浄水場	S浄水場			M浄水場	N浄水場	My浄水場
		N系	K系	S系			
原水水温	-0.196	0.220	0.162	0.134	-0.126	-0.009	-0.340
原水pH	0.074	0.055	0.016	0.282	0.068	-	-0.411
原水濁度	-0.087	0.004	0.039	-0.066	0.217	-0.001	0.394
流量	-0.011	-0.064	-0.082	-0.140	0.252	-0.044	0.490
原水水温	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
原水pH	○	X	X	◎	○	-	◎
原水濁度	◎	X	X	○	◎	X	◎
流量	X	○	◎	◎	◎	X	◎

◎；1%危険率で有意、○；5%危険率で有意、X；5%危険率で有意性なし、-；データなし

M 浄水場は 02/12/11～05/3/31 の期間

この表に見るように、S（S 系）・M・My 浄水場の給水濁度は、原水の全水質項目と 1%

～5%危険率で有意の相関性を示すが、他の浄水場では、相関性を持たない原水水質項目が存在する。このように、各浄水場における給水濁度と原水水質との相関性には差があることが認められる。また、巨視的に見ると、各浄水場の給水において共通に相関性の高い原水水質項目は、総じて、水温と流量である事が認められる。

また、このような観点で付表-1 を見ると、①給水の電気伝導率は殆ど全ての原水水質項目と相関性を持つ事（付表-1；、表-b 参照）、②給水の色度および残留塩素は、総じて、水温と流量との相関性が高い事が認められる（付表-1；表-c、表-d 参照）。

上記のように、各浄水場の給水水質は、原水水質との相関性を持つものと持たないものが存在するが、総じて、原水水温および河川流量と高い相関性を持っていると言える。

したがって、現時点においては、これら現象の蓋然性や論理性がやや希薄であるにしても、原水水質から給水水質が推定できる可能性を示唆していると考えられる。

3-2-2 説明変数の項目数の効果

重回帰分析により給水水質の推定をおこなう事とし、M 浄水場の給水の電気伝導率と残留塩素のデータを用いて、重回帰式における説明変数の項目数の重相関係数値に及ぼす効果を検討した。ここでは、先述の重回帰式の説明変数について、その項目数を1項目から順次項目数を増大させて重回帰分析を行い、その都度、重相関係数を求める方式をとった。

なお、M 浄水場における 02/7/19 以前の給水水質（付図-1 および付図-6 参照）と、02/6/6～02/12/10 にかけての原水水質（水温、pH、電気伝導率）データの確度がやや低いと考えられたので、その怖れの無い 02/12/11 以降のデータを用いて解析した。

1) 電気伝導率(EC)の重相関係数に及ぼす項目数の効果

表-5 は、重回帰分析における説明変数の項目数を順次増大させた時の重相関係数の変化と、分散分析による 5%危険率での有意性判定結果を示している。なお、M 浄水場における原水水質（各説明変数）と水道水の電気伝導率との単相関係数は、表-b（付表-1）に示す通り、+（正相関；水温、pH）、または -（逆相関；濁度、流量）を示しており、その絶対値の大きさは、流量 ≧ 原水濁度 ≧ 原水水温 > 原水 pH の関係にある。

表-5 から、各水質項目の持つ相関係数の符号の如何に拘わらず、重相関係数は、各単相関係数の絶対値と項目数に比例して増大する事が認められる。

表-5 M 浄水場の給水の電気伝導率推定に及ぼす項目数の効果

項目数項目.....	重相関係数	分散分析判定
1	流量	0.6888	◎
2	流量、原水の濁度	0.7103	◎
3	流量、原水の濁度、pH	0.7119	◎
4	流量、原水の濁度、pH、水温	0.7122	◎

◎ ; 5%危険率で有意

一方、図-6 は、1項目(流量のみ)を説明変数とした時と(上段)、流量・原水濁度・原水水温・原水 pH の4項目を説明変数とした時(下段)の重回帰式による計算値と実際値との関

係を示している。

この図を微視に見ると、4項目の場合の方が計算値の変動幅が大きくなっている事が認められるが、巨視的には、両者の間には大きな差が認められない。この所以は、給水の電気伝導率と河川流量との単相関性が大変大きく、その結果、流量が電気伝導率変動の大半を説明してしまっている事に依ると考えられる。

以上のように、巨視的には、一項目でも4項目でも水道水の電気伝導率の計算値と実際の変動には大差は認められないが、項目数に比例して重相関係数を増大させる効果を持っていると言える(表-5参照)。

2) 残留塩素の重相関係数に及ぼす項目数の効果

表-6は、表-5と同様に、重回帰分析における説明変数の項目数を順次増大させた時の重相関係数の変化と、分散分析による5%危険率での有意性判定結果を示している。なお、M浄水場における原水水質(各説明変数)と水道水の残留塩素との単相関係数は、表-d(付表-1)に示す通り、+(正相関;水温、pH)、または-(逆相関;濁度、流量)を示しており、その絶対値の大きさは、原水水温 > 流量 > 原水 pH > 原水濁度 の関係にある。

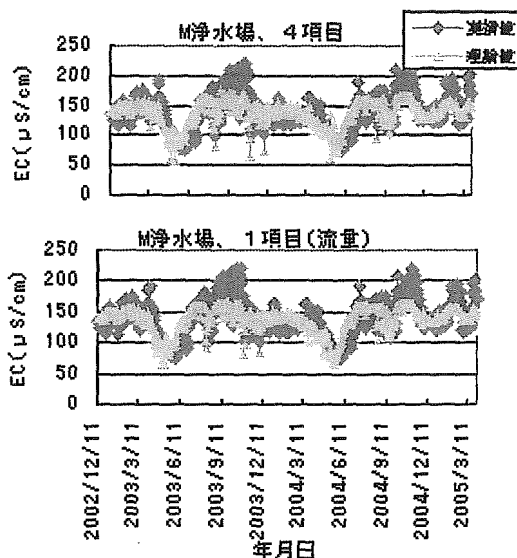


図-6 重回帰式の説明変数の数の効果

表-6から、電気伝導率の場合と同様に、各水質項目の持つ相関係数の符号の如何に拘わらず、重相関係数は、各単相関係数の絶対値と項目数に比例して、0.5236から0.5856に増大する事が認められる。

表-6 M浄水場水道水の残留塩素推定に及ぼす項目数の効果

項目数水質項目.....	重相関係数	分散分析判定
1	原水水温	0.5236	◎
2	原水水温、EC	0.5782	◎
3	原水水温、EC、流量	0.5843	◎
4	原水水温、EC、流量、pH	0.5855	◎
5	原水水温、EC、流量、pH、濁度	0.5856	◎

◎ ; 5%危険率で有意

一方、図-7は、1項目(原水水温のみ)を説明変数とした時(上段)と、原水の水溫・電気伝導率(EC)・流量・原水 pH・原水濁度の5項目を説明変数とした時(下段)の重回帰式による計算値と実際値との関係を示している。

この図に見るように、1項目(原水水温のみ)の時の計算値の変動幅は狭くかつ単調な変動

を示すが、5項目の場合は計算値の変動幅が広くかつより複雑な変動を示している。すなわち、重相関係数は5項目でも0.5856であり、電気伝導率の場合の0.7122に比べて小さく、結果として、計算値と実際値との一致度は低い。説明変数の項目数を増大させる事により重相関係数が増大し、計算値が実際値の変動により近づくことになるのは、電気伝導率の場合と同様である。

したがって、上記の2例に見るように、重回帰式による給水水質を推定しようとする場合、説明変数の項目数を多くとるほど推定精度を高めることになる事と、現実の問題として、説明変数としての原水水質項目等の選択に悩む必要もなくなることから、給水水質推定作業に際しては、原水水質等の情報を多く用いることが望ましいと考えられる。

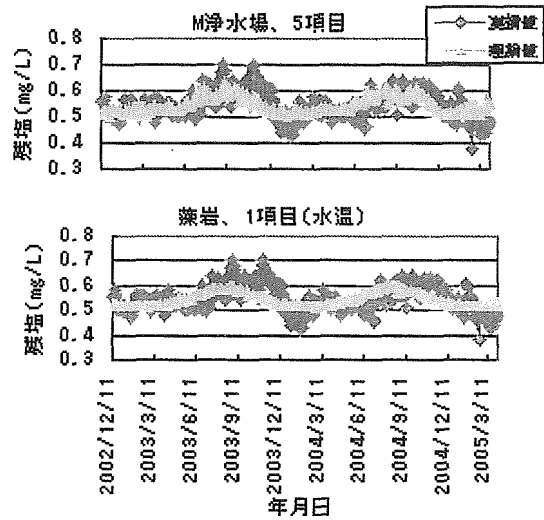


図-7 重回帰式の説明変数の数の効果

3-2-3 日単位データに基づく重回帰式の時間単位および10分単位のデータへの適用性

先述のように、本研究で使用した水質データは10分間隔データの3年分であり、データ数が大きくて取り扱いが不便であるので、1データ/24時間のデータ規模に縮小した上で、上記の水質変動態様、水質変動推定などの解析を行ってきた。そこで、日単位データに基づく解析の妥当性を確認するために、1個/24時間の時系列データから求められた重回帰式の1時間間隔および10分間隔時系列データへの適用性に関する検討を行った。

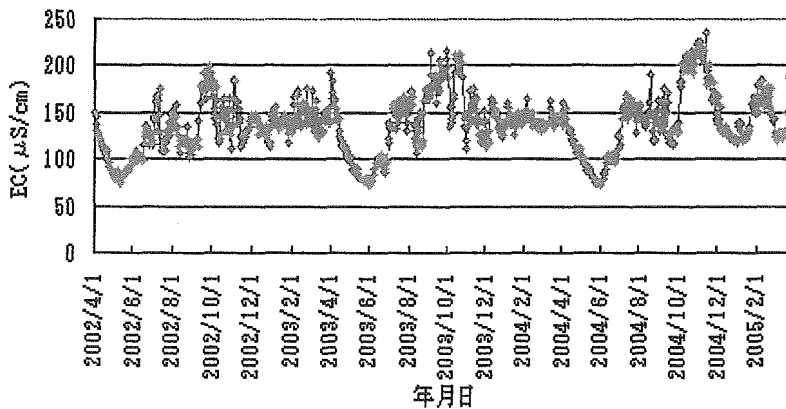


図-8 S浄水場N系水道水における電気伝導率(EC)の経日変動

ここで用いたデータは、S浄水場N系の水道水の電気伝導率であり、代表例として、

04/4/1~04/6/30 の3ヶ月間のデータを用いた。この期間においては、図-8 に見るように、電気伝導率が急激に低下して後に上昇する期間である。

一方、図-9 は、3年間の日単位時系列データから作成された重回帰式を、04/4/1~04/6/30の期間における日単位、時間単位および10分間隔の時系列データに適用した時の実際値と推定値（理論値）との関係を示している。

付図-6にも示される通り、この期間の日単位データへの適用結果（図-9の上段）は、実際値と推定値（理論値）との差がかなり大きい事を示している。この事は、日単位の原水水質等から給水の電気伝導率を推定する事の限界を示唆しているとも言える。また、この期間の時間単位の時系列データに適用した結果（図-9の中段）は、データ-数が24倍に増大した事もあって、実際値および推定値（理論値）の振幅が大きくなっている。しかし、経日変動の様相には、日単位データへの適用結果（上段）とは大きな差は認められない。さらに、この期間の10分単位の時系列データに適用した結果（図-9の下段）は、データ-数が144倍に増大した事もあって、実際値および推定値（理論値）の振幅が更に大きくなっているが、その程度はさほど大きいものではない。また、経日変動の様相には、日単位および時間単位データに適用した時の変動と大きな差は認められない。

これらの事は、3年間の日単位時系列データから作成された重回帰式が、時間単位および10分単位の時系列データに適用できる事を示唆していると考えられる。そこで、この事を確認する目的で、各適用結果における「実際値と推

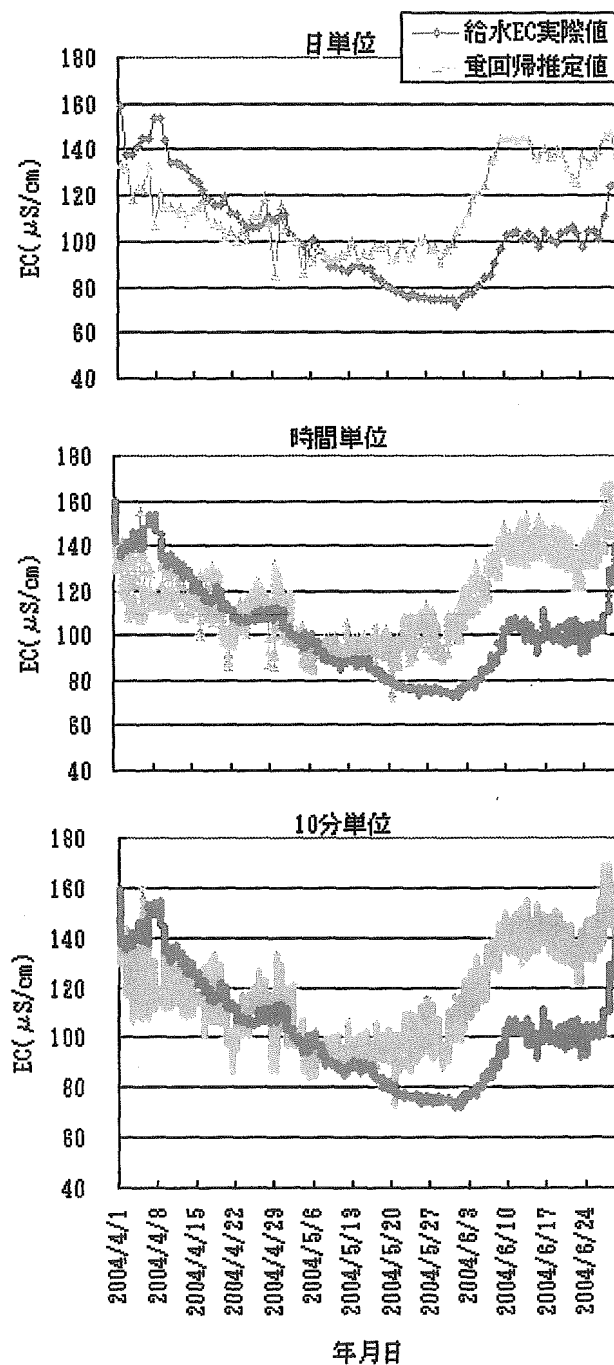


図-9 日・時間・10分データへの適用結果

定値（理論値）との差」（残差と略記）の平均値および標準偏差を求めて、3ヶ月間における日単位、時間単位および10分単位の残差の差異について検討した。表-7は、検討結果をまとめて示したものである。

表-7 重回帰式の適用結果における実際値と推定値（理論値）との差（単位； $\mu S/cm$ ）

	02/4-05/3の3年間04/4/1-04/6/30の3ヶ月間.....		
	3年、日単位	3ヶ月、日単位	3ヶ月、時間単位	3ヶ月、10分単位
平均	-1.90E-12	-10.962	-14.115	-14.130
標準偏差	23.605	22.693	22.043	22.021
最大値	73.013	26.018	40.886	42.080
最小値	-51.385	-50.412	-61.465	-61.470

また、これらの結果における残差が正規分布をとるものと仮定して、下記の正規分布の確率密度関数式に適用して、その分布の様相を検討した。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad -\infty < x < \infty, \quad \sigma^2 > 0$$

図-10は、3年間の日単位時系列データから作成された重回帰式を、02/4/1~05/3/31の3年間および04/4/1から04/6/30の3ヶ月に適用した時の確率密度関数グラフである。

残差値における母集団が異なることから、結果として、当然の事ながら両者の分布形に差が生じている。

一方、図-11は、その重回帰式を時間単位および10分単位のデータに適用したときの残差の確率分布を、3ヶ月の日単位データに適用した場合と対比して示している。

この図を微視的に見ると、その分布幅には、日単位>時間単位>10分単位の傾向が認められるが（表-7参照）、巨視的に見れば、3者の確率密度分布に大きな差は認められないと言える。

以上のように、図-9、図-11、および、表-7から、3年間の日単位の時系列データから作成された重回帰式は、時間単位および10分単位の時系列データに適用する事は、推定精

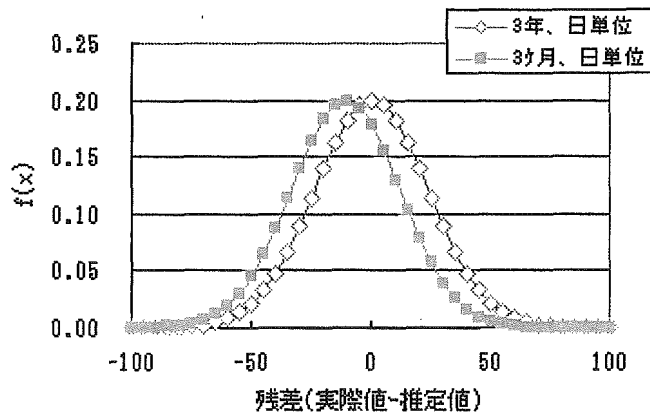


図-10 日単位残差の3年&3ヶ月の確率密度関数グラフ

度上、特段の問題は無いと考えられる。

3-3 原水水質等に基づく水道水質変動の推定結果

3-3-1 水道水質の変動

上記の 3-2-1 で述べたように、水道水質は、原水水質との相関性を持つものと持たないものが存在する。しかしながら、ここでは前述の理由から、全原水水質(3項目)と流量のデータを用いて、各水質項目を目的変数とする重回帰分析を行うと共に、分散分析による5%危険率での有意性の判定を行った。なお、M浄水場では、原水の電気伝導率を計測しているが、他の浄水場の計測が無いので解析に用いなかった。また、当該浄水場の水源流量計測は02/6/1より開始されているので、それ以降のデータを用いて解析を行った。

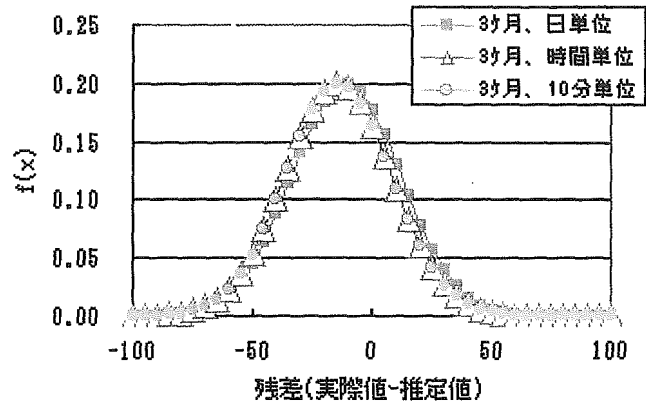


図-11 日・時間・10分単位残差の確率密度関数グラフ

解析の結果求められた重回帰式の各係数および分散分析による5%危険率での有意性の判定結果を、各給水水質毎にまとめて付表-2に示す。また、これら重回帰式による水道水質の計算値(理論値)と実際値との関係を付図-5~付図-8に示す。なお、付図中の各グラフの時間軸を一致させてあるが、J浄水場では河川流量測定値の理由から、M浄水場では重回帰分析対象期間(02/12/11~05/3/31)の理由から、さらに、My浄水場においては、水道局自身によって為された流量(水位)計測が雪の無い時期に限定されている理由から、理論値のグラフが不連続となっている。

下式は、その一例として、J浄水場の給水水質毎に求められた重回帰式と有意性の判定結果(◎;5%危険率で有意)を示したものである。

濁度 = $-0.00148X_1 - 0.00192X_2 - 0.00038X_3 + 0.03436$	重相関係数 = 0.3112 ◎
EC = $-2.17481X_1 + 60.0903 X_2 + 0.74635 X_3 - 27.8008X_4 + 736.764$	重相関係数 = 0.79609 ◎
色度 = $0.003385 X_1 + 0.35144 X_2 - 0.00354 X_3 + 0.21682 X_4 - 10.3905$	重相関係数 = 0.21239 ◎
残塩 = $0.007353 X_1 - 0.00248 X_3 + 0.44786$	重相関係数 = 0.59501 ◎

ここで、 X_1 ; 原水水温、 X_2 ; 原水pH、 X_3 ; 原水濁度、 X_4 ; 流量
EC; 電気伝導率、残塩; 残留塩素

また、図-12は、上記の重回帰式によるJ浄水場給水水質の計算値と実際値との関係を示すが、以下においては、図-12および付図-5~付図-8を用いて、各水道水質項目における両者の関係について検討する。

1) 濁度

図-12 (1 段目) における濁度の実際値と計算値との関係は、その周期的変動をほぼ反映しているにしても、ピーク値を良好には反映出来ていない。一方、付図-5 に示す各浄水場の給水濁度の変動を見ると、S(S 系)・N 浄水場以外においては、濁度に周期的な変動があることを示している。ただ、理由は分明でないが、J・M・My 浄水場では 2~4 月にピークを持ち、S 浄水場 (N・K・S 系) では 8 月近傍に微弱なピークを持つと言う先述の傾向が確認される。しかしながら、給水濁度の計算値は、総じて、実際値のピーク値を良好には反映できていない。

2) 電気伝導率

図-12 の 2 段目に示すように、J 浄水場給水の電気伝導率の計算値は、実際値をほぼ良好に反映していると考えられる。一方、付図-6 に示す浄水場(給水栓)の両者の関係は程度の差こそあれ、J 浄水場と同様に、ほぼ一致している。

このことから、給水の電気伝導率は、原水の水温・pH、濁度・流量(水位)からほぼ推定できると考えられる。

3) 色度

図-12 の 3 段目に示すように、J 浄水場給水の色度の計算値は、実際値を殆ど反映していない。一方、付図-8 を見ると、M・N 浄水場では J 浄水場と同様に実際値を殆ど反映していないが、S (N・K・S 系)・My 浄水場では、わずかに実際値を反映しており、かつ、微弱な周期的変動性が示されている。

しかしながら、給水色度の計算値は、総じて、実際値の変動を良好には反映できていない。

以上のように、給水の色度変動は、原水の水温・pH、濁度・流量(水位)からは充分には推定できていない。

4) 残留塩素

図-12 の最下段に示すように、J 浄水場給水の電残留塩素の計算値は、実際値の周期的変動をほぼ良好に反映していると考えられる。しかし、実際値との一致の程度は電気伝導率(2 段目)より劣り、各時点における両者の値には振れ幅が存在する。一方、付図-7 に示す各浄水場(給水栓)の両者の関係は程度の差こそあれ、J 浄水場と同様の傾向を示している。

このように、給水の残留塩素変動は、原水の水温・pH・濁度・流量(水位)からほぼ推定できると考えられるが、これは、次亜塩素酸ソーダの注入量が気温変動と連動させて設定

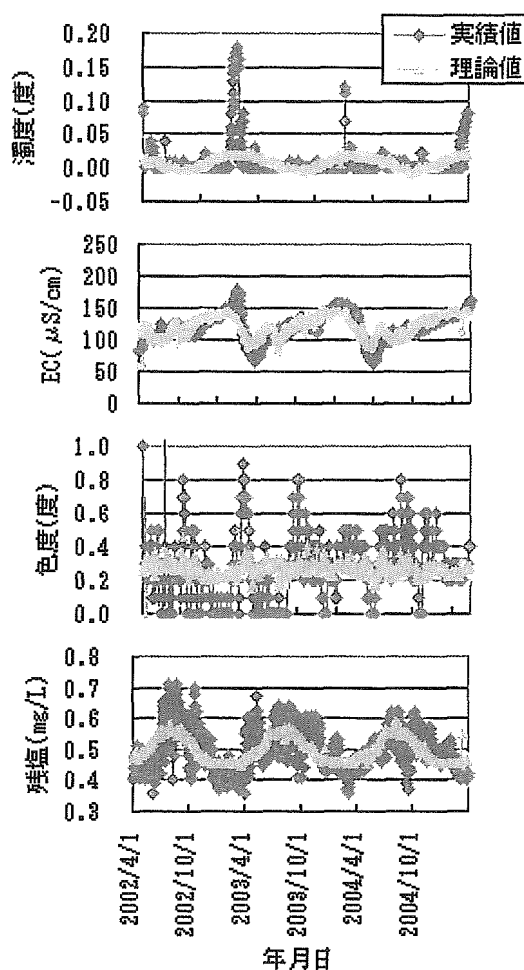


図-12 J 浄水場水道水質の実際値と計算値

されている事を示唆しているとも考えられる。

以上を総じて、電気伝導率と残留塩素は比較的良く推定できているが、濁度や色度の推定精度が悪い。この事は、原水水質等のみによる推定の限界を示しているものであり、推定精度を高める為には、浄水工程を考慮した説明変数を加える事の必要性を示唆しているものと考えられる。

3-3-2 水質変動幅

給水システムに給水される直前（配水管網内）における水質変動は、浄水システムから配水系までの変動要因に起因する水質変動を反映したものであり、給水システム内での要因に起因した変動を反映してはいない。この観点から、給水システム内で発生した水質異常は、現在開発中の給水末端における水質センサー自体の持つ閾値により検出・判定しなければならない。

ただし、水道システムにおいては、水道水の配・給水前に、原水水質や浄水プロセスにおける不測事態発生により給水末端の水質悪化を予測し得る場合がある。また、配水管網内に設置された自動水質計測器により、特定地域の水質悪化を検知・予測し得る場合もある。したがって、これらの異常水質情報と給水末端における水質異常判定とを連動させる必要がある。

本研究では、給水末端における水質異常判定の確度を高める為に、浄水工程後段や配水管網内に設置された自動水質計測器により計測された水質情報を補完的に活用する方法を検討しようとしているが、この場合、水質異常判断の根拠となる閾値の設定を行う必要がある。このような観点から、多くの浄水場の給水末端における水道水質の変動態様を把握した上で、閾値の設定のあり方を検討する予定である。

そこで、本報告では、その為の予備的検討として、都市Pにおける給水水質の変動幅について検討した。ここでは、前述の重回帰式による推定値に基づく変動幅と、配水管網内水質の実際値の平均値に基づく変動幅について検討した。

表-8 水道水質の予測値と標準偏差を基準とする実際水質の変動幅

水道水質	J 浄水場	S 浄水場			M 浄水場	N 浄水場	My 浄水場	平均
		N 系	K 系	S 系				
濁度	+20	+30	+35	+30	+30	+90	+6	+34.4
電気伝導率	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3
色度	+20	+20	+30	+20	+30	+40	+5	+23.6
残留塩素	± 3	±10	±40	± 8	± 4	± 3	± 8	±10.9

まず、重回帰式による推定値に基づく変動幅の概要について述べる。

表-8は、給水水質の変動幅について「理論値 + nσ」または「理論値 ± nσ」として表現することとして、実際値の最大値、最小値を包含し得る「n」に関して各浄水場の給水栓毎にまとめて示したものである。また、図-13 および図-14 は、M 浄水場における水道水質の変動幅について示したものである。

図-13~14 から、原水水質等に基づく給水水質変動の推定精度の低い「濁度」や「色度」

においては、「理論値+30σ」の変動幅の範囲内にあり、推定精度の高い「電気伝導率」や「残留塩素」においては、ほぼ、「理論値 ± 3σ」の範囲内に収まっている事が認められる。また、表-8 から、このような傾向は他の浄水場の給水でも共通に認められるが、その数値は給水栓により異なる事、および、数値が絶対値小さいほど推定精度が高い事が伺われる。

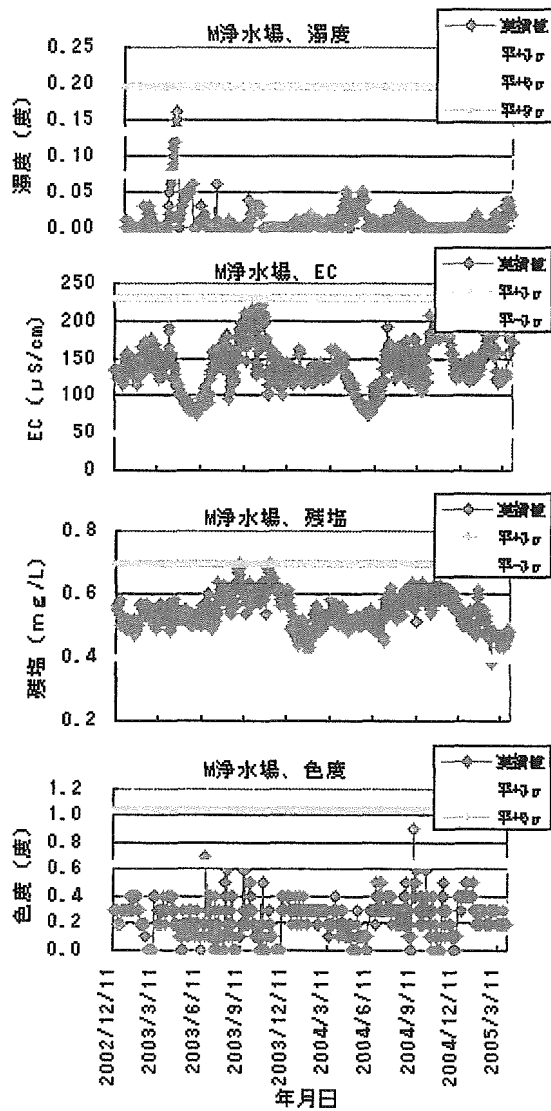


図-15 給水水質の変動幅 (平均+nσ)

一方、図-15 は、配水管網内水質の実際値の平均値と標準偏差に基づく変動幅を示している。

この図に見るように、電気伝導率(EC)と残留塩素(残塩)の変動幅は、平均値 ± 3σの

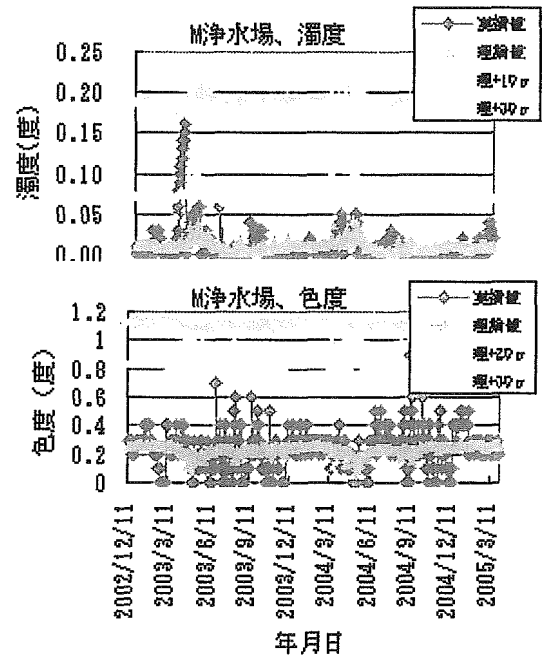


図-13 濁度と色度の変動幅

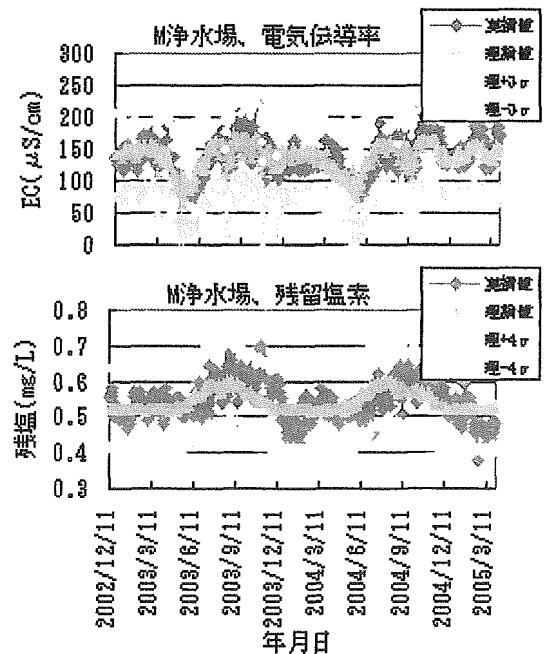


図-14 電気伝導率と残留塩素の変動幅

範囲内にある。また、給水濁度および色度は、それぞれ、平均値 + 9 σ 、平均値 + 6 σ の範囲内にある。他の浄水場における変動幅に関する表示は割愛するが、M 浄水場とはほぼ同様な変動幅を持っている。

上記のように、重回帰式による推定値に基づく変動幅（図-13～14）は、給水水質変動を反映した変動幅を設定できるという長所を持つが、推定の根拠が薄弱であるという欠点がある。一方、配水管網内水質の平均値と標準偏差に基づく変動幅（図-15）は、実際の給水水質変動の基づくものであるので信頼性が高く、また、算出過程も簡単で、この手法が品質管理などに活用されているという長所を持つが、給水水質の傾向変動を反映できていないという欠点がある。

4、まとめ

本研究では、水道水質のバックグラウンド変動の態様を考慮した上での異常判断補完システムのあり方に関する検討を主たる目的として、都市 P において水質自動測定機により計測された水道水質データの内、平成 14 年度～16 年度の 3 年間のデータを用いて、水道水質変動の態様、原水水質等による水道水質変動の推定の可能性および給水水質変動に関して検討した。その結果の概要は以下の通りである。

1)各給水栓の 3 年間の平均水質は下記の通りであった。

濁度=0.02 度、電気伝導度=132.3 μ S/cm、色度=0.363 度、残留塩素=0.471mg/L

2)若干の例外はあるが、濁度・電気伝導率・残留塩素には年単位の周期的変動の傾向が認められた。色度には、明確な傾向的変動を認めることは出来なかった。

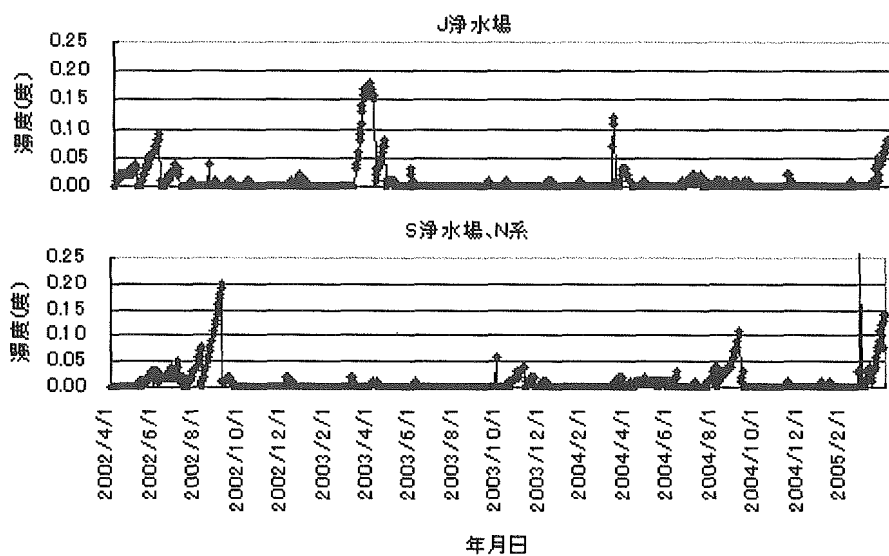
4)原水水質（水温、pH、濁度、）と河川流量を説明変数とする重回帰式による水道水質の経日変動推定の可能性を検討したが、電気伝導率および残留塩素の経日変動は、かなりの精度で推定できる事が明らかとなった。しかし、濁度に対しては、周期的変動傾向を検出できるにしても経日変動を忠実に再現する事は困難であり、また、色度の経日変動の推定精度は低いものであったことから、浄水プロセスに関する説明変数を付加する必要があると考えられた。

5)水道水質推定値とその標準偏差を基準とする水道水質の変動幅について検討した結果、推定精度の低い「濁度」や「色度」においては、平均的に、「理論値 + 20～30 σ 」の変動幅の範囲内にあり、推定精度の高い「電気伝導率」や「残留塩素」においては、それぞれ、「理論値 \pm 3 σ 」、「理論値 \pm 11 σ 」の範囲内に収まっている事が認められた。

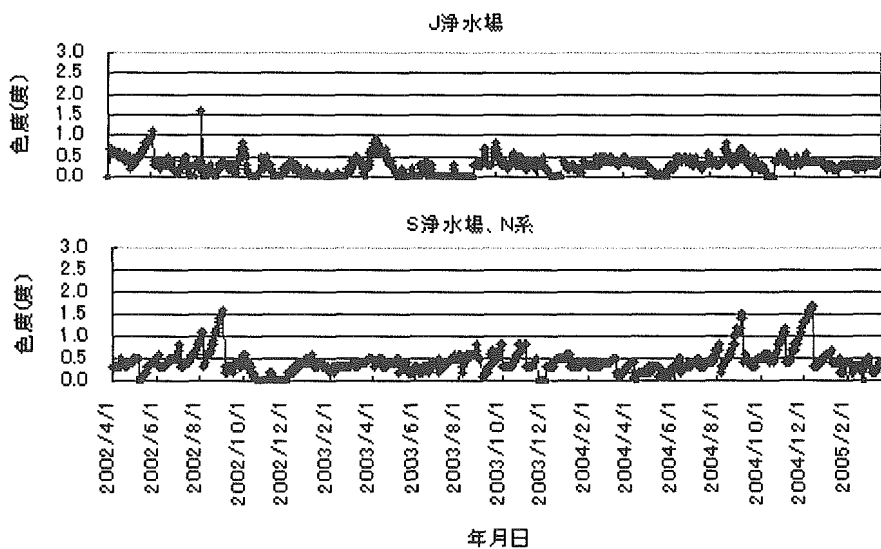
また、配水管網内水質の平均値と標準偏差に基づく変動幅について検討した結果、「電気伝導率(EC)と残留塩素(残塩)」の変動幅は、平均値 \pm 3 σ の範囲内にあり、「濁度および色度」は、それぞれ、平均値 + 9 σ 、平均値 + 6 σ の範囲内にあった。

謝辞

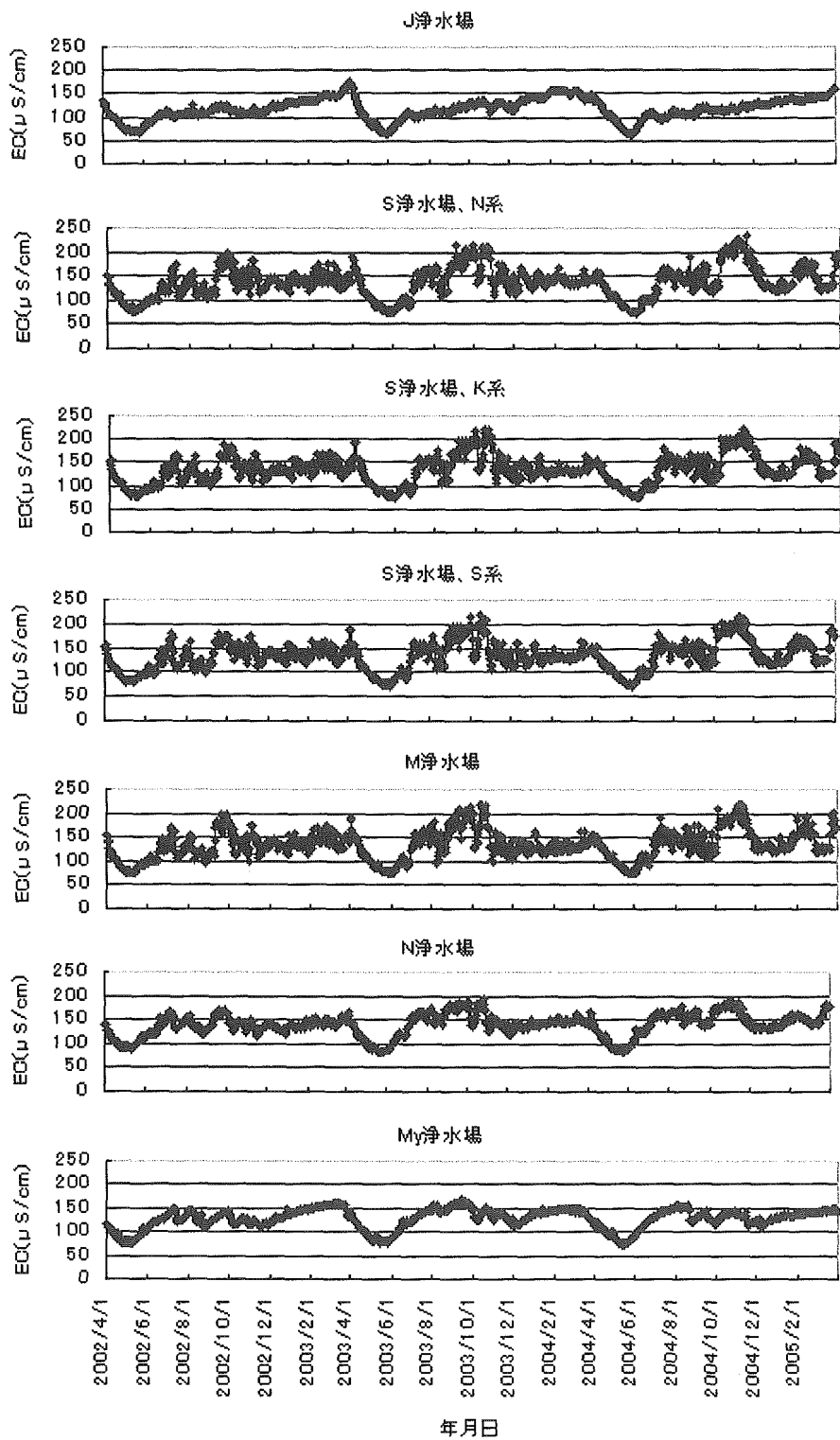
本研究には都市 P の水道局および関係者の御協力を戴いた。ここに記して謝意を表する。



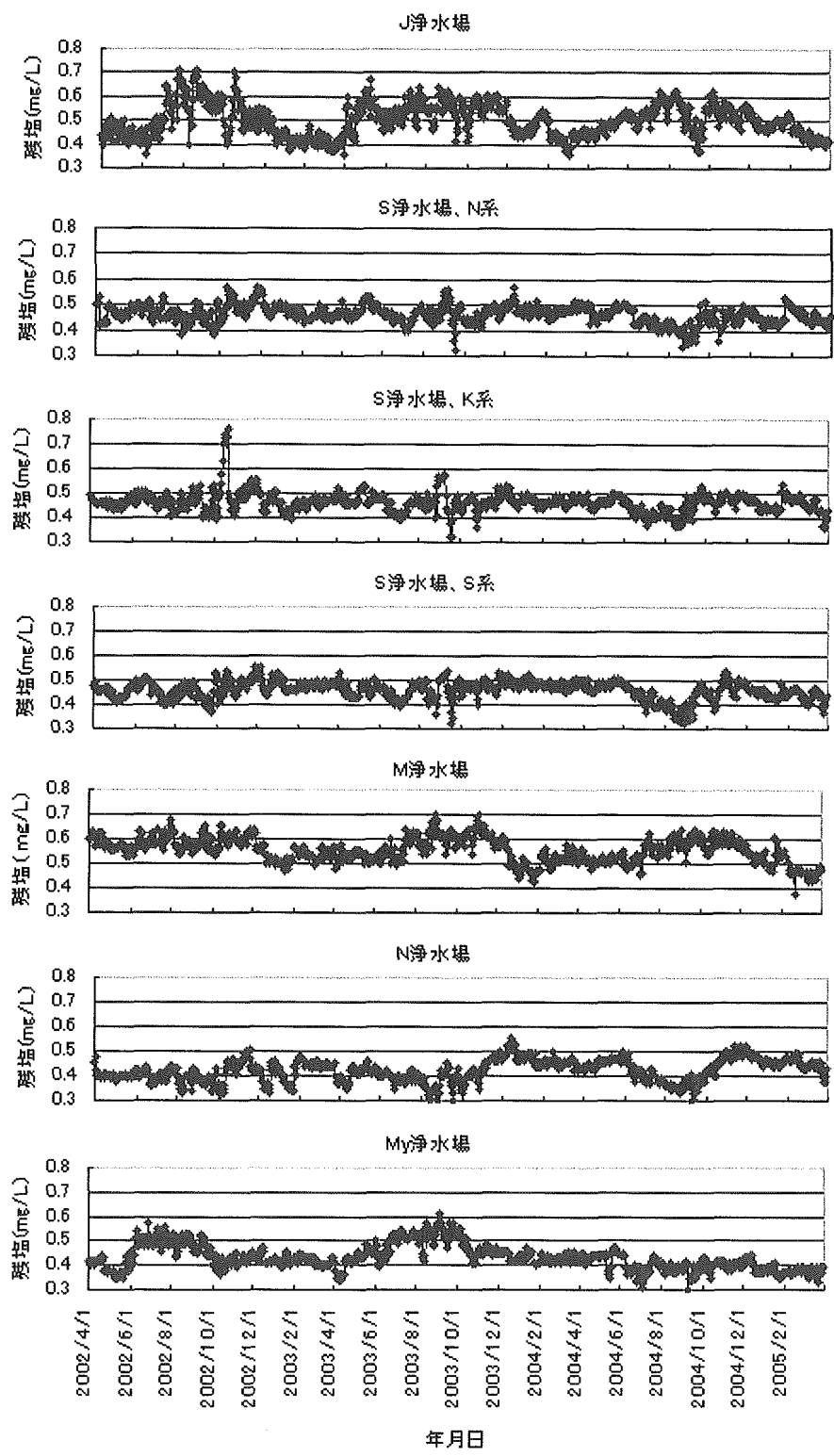
付図-1 J・S浄水場における給水濁度の経日変動



付図-2 J・S浄水場における給水色度の経日変動



付図-3 各給水栓における給水の電気伝導率（EC）の経日変動



付図・4 各給水栓における給水の残留塩素の経日変動