

横山ダム貯水池における濁度現象の長期的変動特性

ON THE LONG-TERM VARIATIONS OF TURBIDITY
IN YOKOYAMA RESERVOIR

中村俊六*・足立昭平**

By Syunroku NAKAMURA and Syohei ADACHI

1. 緒 言

貯水池に課せられる主要な役割は、流水を貯留して、河川流量を調節・制御することであるが、貯水池は、流水とともに流水中の流送土砂や濁度物質をも同時に貯留することになり、貯水池堆砂現象や流出濁度長期化現象が発生する。

貯水池堆砂現象は、比較的大粒径の流砂によって生じるものであり、貯水池容量を保持するという観点から、従来より多くの研究がなされている。

一方、ここで対象とする流出濁度長期化現象（便宜上、以下単に「濁度現象」と呼ぶことにする）は、懸濁状態で流送される微粒粘土鉱物の貯留によって生じるもので、工業用水、水産、観光等、下流河川水の利水あるいは環境問題に重要な関わり合いをもつものとして、近年急速に社会問題化しつつある。

現象としては特に新しいものというわけではなく、貯水池が工業用水や上水道の水源池である場合など、池水の利用度が高い貯水池では古くから注目されていて、報告された調査研究も少なくない。

たとえば、東京都山口貯水池、村山下貯水池における小島¹⁾ (1949, 1950) の研究では、貯水池内の濁度分布形成機構を、水温分布の季節的变化との関係において論じるとともに、貯水池における濁度物質粒度構成の変化、濁度物質の flocculation などにも言及して、詳細な定性的考察がなされている。

しかし、下流河川への影響に重点が置かれるようになったのは比較的最近であり、小河内ダム湛水に伴う多摩川水系の水質変化を予測した小島²⁾ (1959) の研究を端緒として、その後、小河内貯水池における武田ら³⁾ (1962) の研究や、川内川における細川⁴⁾ (1967) の研究

などがある。また、一ッ瀬貯水池における田辺⁵⁾ (1968) の研究は、濁水供給源に関する考察も含め、巨視的かつ長期的視点から現象を論じていて注目される。

さらに、貯水池水の挙動に関する現象論的議論から、水質変化の予想法にまで言及した古川ら⁷⁾ (1971) の研究、選択取水の理論的背景となっている日野・大西⁸⁾ (1969) の成層密度流からの取水に関する研究も著名である。

一方、現象の定量的把握のために、貯水池をモデル化して、流出濁度の予測や濁度分布形成機構の解析を試みる研究も多く、村本ら⁹⁾ (1974)、合田・海老瀬¹⁰⁾ (1973)、足立・近藤¹¹⁾ (1970)、筆者ら¹²⁾ (1972) の各研究などをあげることができる。

また、最近では、水温成層形成機構の解析に用いられた W.C. Huber ら¹³⁾ (1972) の、いわゆる MIT モデルを応用して、大型計算機を駆使し、貯水池内の水温分布と濁度分布を算出しようとする試みが、安芸・白砂¹⁴⁾ (1975) によってなされている。

さらに、泥水密度流に関する芦田・江頭¹⁵⁾ (1975) の研究のように、関連する個々の現象についての実験的・基礎的研究も、各方面で進められている。

しかしながら、これらの研究は、主として個々の出水時についてなど、比較的短期間の観測に基づくものであり、長期的観測に基づく考察は、問題の顕在化が比較的最近であることや、観測の困難さによって、あまり行われていないようである。

大規模な出水は、しばしば貯水池の外部環境や、内部環境に急激な変化を与え、その影響は数年という長期間に及ぶことも考えられるから、現象の把握においては、このような長期的変化を、まず認識しておく必要がある。

また、現象に関与する主要な因子を構成する降雨流出現象、水温現象および貯水位操作などは、それぞれ季節的に変動するものであるから、濁度現象とこれら主要因

* 正会員 名古屋大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科

子との基本的な結びつきを、それぞれの季節的变化に着目して検討することも必要と考えられる。

本報告は、このような観点から、揖斐川横山ダム貯水池における建設省中部地方建設局横山ダム管理所の調査資料に基づいて、

① 濁度現象の経年変化、および ② 濁度現象の季節的变化、を貯水池内水温分布の変化(便宜上、以下「水温現象」と呼ぶことにする)や、貯水池の外部環境および内部環境の各変化との関係において巨視的に把握し、濁度現象の長期的変動特性を明らかにしようとしたものである。

2. 貯水池、流域および濁水調査の概要

(1) ダムおよび貯水池の概要

横山ダムは、岐阜県の揖斐川上流に、洪水調節、かんがいおよび発電を目的として、建設省中部地方建設局によって、昭和 39 年 3 月に築造され、管理されている多目的ダムである。ダムおよび貯水池の主要な諸元は以下のとおりである。

ダム形式：中空重力式ダム、堤高：80.8 m、貯水池面積：1.7 km²、有効水深：27.5 m、常時満水位：EL 207.5 m、異常満水時水位：EL 173.0 m、総貯水量：43 000 000 m³、有効貯水量：33 000 000 m³、貯水池延長：揖斐川 8.6 km、坂内川 3.1 km。

発電およびかんがい用の取水には、三段式半円形ローラーゲート¹⁰⁾ 2 基を使用していて、最大使用水量は、129 m³/s である。この取水用ゲートは、取水深 3 m の表面取水と、中段取水および下段取水に切り換えることができ、かんがい期(5 月～9 月)には、取水水温の下がるのを防ぐために、原則として表面取水が、他の期間には原則として下段取水が、それぞれ行われている。

洪水調節用オリフィスゲートと取水用ゲートの位置関係を図-1 に示す。

貯水池の平面図および縦断面図を示すと図-2 のようである。図中の番号は、平面図と縦断面図の対応を示す測点番号である。

貯水池の平面形状は、比較的大きな支川(坂内川)を有すること、水路幅に

比して水路長が長いことに特徴があり、縦断面形状は、測点番号 12 付近に発達した堆砂段丘によって特徴づけられている。なお、坂内川においても、本川との合流点より約 500 m 上流に、同様な堆砂段丘が形成されている。

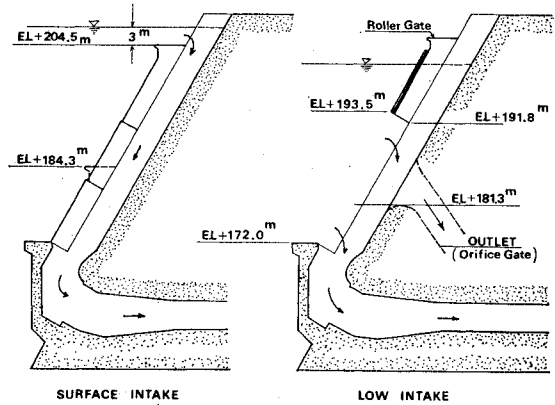


図-1 取・放水設備

Fig. (a)

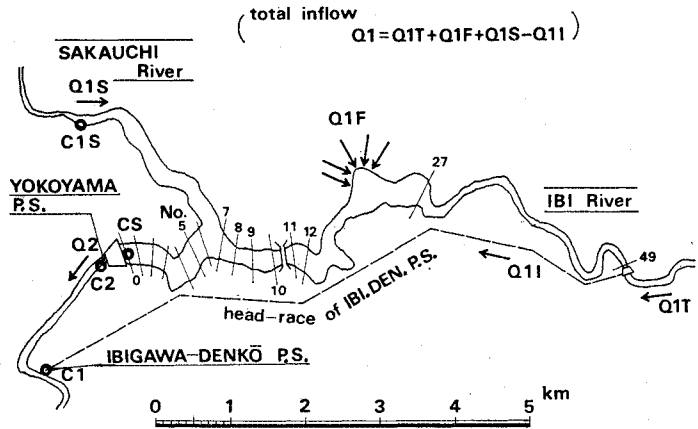


Fig. (b)

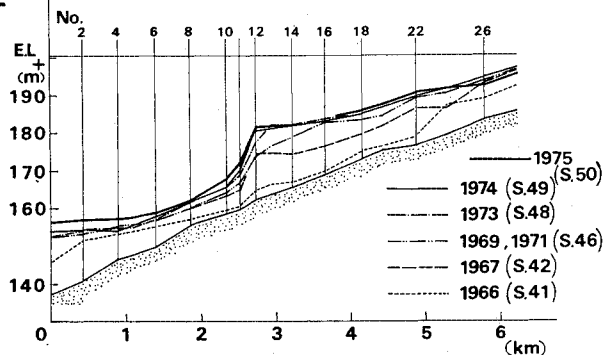


図-2 (a) 貯水池平面図, (b) 貯水池縦断面図

(2) 流域の概要

流域は、図-3 に示す揖斐川の最上流部 471 km² である。流域内は分水嶺によって、図のように3つの地区に区分することができる。それぞれを、徳山地区、坂内地区および藤橋地区と呼称すれば、これらのうち徳山地区が全体の約 3/5 の面積を占めている。

流域内には、同図に示すように、7箇所にロボット雨量局、3箇所にロボット水位局が、それぞれ設けられている。

同図中の、TB-1~6, FB-1~4, SB-1~7 の記号は、流域内の主要な砂防ダムであって、それぞれの竣工年は、図の上部に付記するようである。

流域の大部分は、ナラ、ブナ、クヌギ等の広葉樹林で占められている。人工針葉樹林は、坂内地区の一部と本川筋山ろくに限定され、山ろくでは針葉、広葉樹とも良好な林地となっているが、高度を増すにしたがって林木の生育も悪くなっている¹⁷⁾。

流域の地質は、図-4 に示すように、北部から西部にかけて古生層が広く分布している。北部の能郷白山付近は花崗閃緑岩によって、また、南部の貝月山付近は黒雲母花崗岩によって、それぞれ古生層がつかぬかれている。古生層は、主として粘板岩、砂岩、チャートおよび輝緑凝灰岩から成り、一部石灰岩がはさまれている。砂岩地帯は割れ目も多くかなり風化しているため、比較的土砂を生産しやすい状態にある。

年間の降雨量は、2700 mm~3500 mm に達する多雨地帯に属し、冬季 12 月から2月にかけては、かなりの積雪をみる。

(3) 濁水調査の概要

貯水位（以下、記号としてHを用いる。他の諸量についても同様に（ ）内に付記する記号を用いることにする）、流入流量（Q1）、流出流量（Q2）、雨量（R）の水文資料¹⁸⁾とともに、昭和 41 年以後、流出濁度（C2）、貯水池表面濁度（CS）、流出水温（TD）、貯水池表面水温（TS）が、それぞれ原則として毎日一回、午前 10 時頃に測定されている¹⁹⁾。

さらに、昭和 46 年以後は、本川よりの流入濁度の代用値として、揖斐川電工発電所放水口の濁度（便宜上、

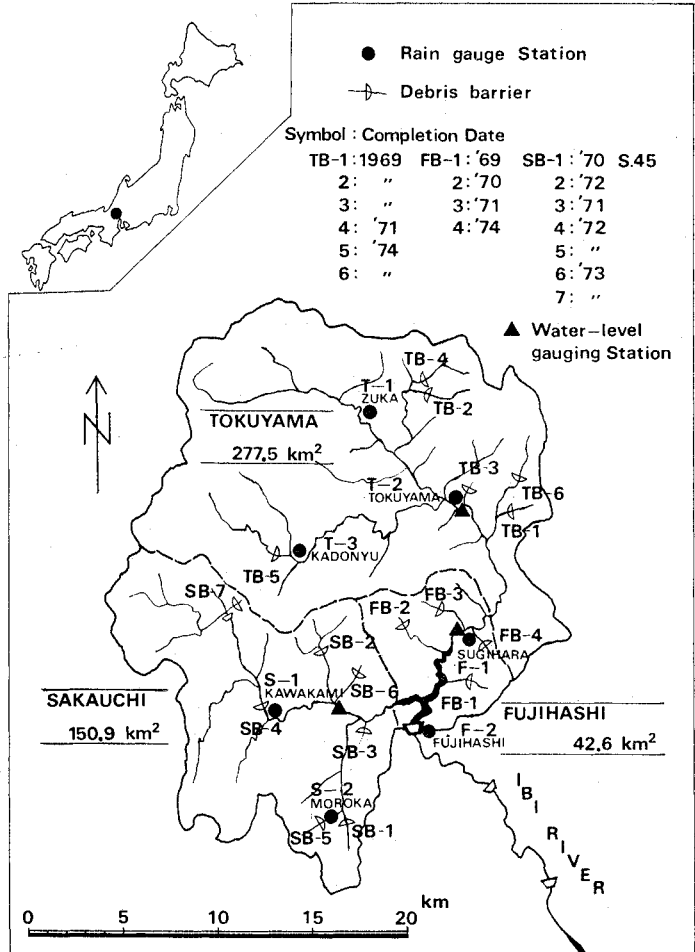


図-3 流域平面図

以下「本川流入濁度」と呼ぶ）(C1) が、また、坂内川からの流入濁度として、坂内川背水領域終点付近の濁度 (C1S) が、同様に測定されている²⁰⁾。ただし、流入濁度はいずれも冬季に欠測が多く、昭和 47 年には、7 月と 8 月以外は測定されていない。以下においては、これらの資料を総称して「時系列資料」と呼ぶことにする。

なお、流入流量 (Q1) は、貯水位の変化と流出流量とから算出されたものであって、図-2 (a) に示すように、徳山地区からの流入流量 (Q1T)、坂内地区からの流入流量 (Q1S) および藤橋地区からの流入流量 (Q1F) の和から、揖斐川電工発電所取水量 (Q1I) を差し引いたものである。

濁度の測定は、いずれも採水後積分球式濁度計にて行われている。採水位置は図-2 (a) の○印地点である。

また、以上の時系列資料のほかに、ダム上流 100 m 地点における水温鉛直分布²¹⁾、出水後の貯水池内数箇所における濁度の鉛直分布測定も数回行われていて、貯水池内の状況を知るうえで重要な情報を提供している。

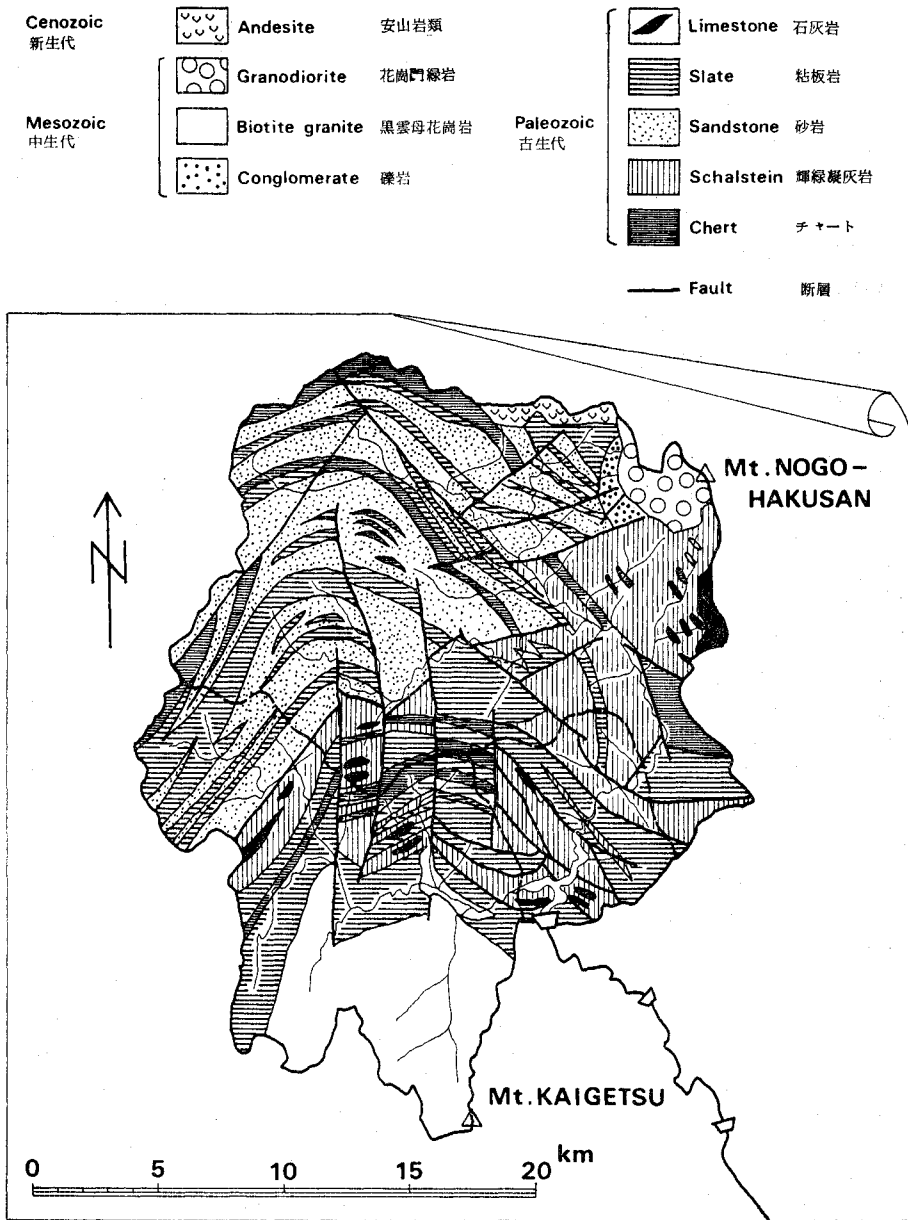


図-4 流域地質図

さらに、昭和50年、51年(各3月~10月)には、ダム上流約100m地点における水温、濁度の各鉛直分布が、原則として1週間ごとに行われるとともに、筆者らによる洪水時の濁水調査²²⁾が行われた。

3. 経年変化

本貯水池の外部環境の変化は、ダム完成翌年の昭和40年9月豪雨²³⁾による流域荒廃と、それを契機とした砂防工事に負うところが大きい。ここでは、まず砂防ダム建

設の進捗状況と貯水池堆砂の進行状況とから、そうした貯水池環境の変化を明らかにし、それらに対応する水温および流出濁度の変化をとらえて、濁度現象の経年変化を考察した。

(1) 砂防ダム建設と貯水池堆砂の進行状況

図-3に示したように、本流域の主要な砂防ダムの竣工は、昭和44年以降であり、それらの築造順序は、まず本川左支川、ついで藤橋地区支川、そして逐次全流域に及んでいる。このことは、昭和40年9月豪雨が流域

表-1 主要洪水時の総雨量 (mm)

観測所名	台風6号	伊勢湾台風	40年9月豪雨
塚	347	329	445
徳山	402	406	1057
門入	537	354	371
杉原	443	361	—
川上	534	451	428
諸家	645	529	—
藤橋	285	354	462

東部に集中し、流域の荒廃も本川左支川で著しかったためである。ちなみに、この豪雨の流域内各雨量観測所における総雨量を、昭和34年、伊勢湾台風雨量および昭和50年、台風6号豪雨と対比すれば、表-1のようであって、その異常性をうかがうことができよう。

このような砂防ダム築造の経過は、本貯水池の外部環境が、昭和40年9月豪雨から昭和41、42年頃の荒廃期、昭和44、45、46年頃の砂防工事進捗期、そして一応の工事が完了した昭和47年以降、の3期に大別されることを物語っている。

一方、貯水池堆砂の進行状況に目を移せば、図-2(b)の従断面図に見られるように、池内堆砂段丘の発達過程

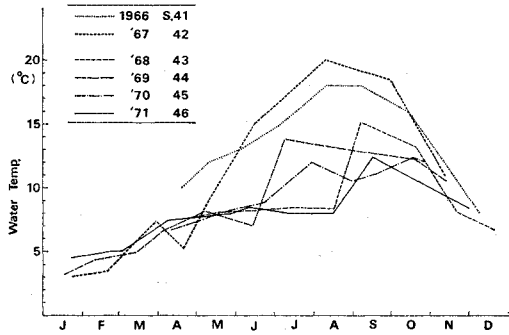


図-6 EL 160 m における水温の周年変化

も、

- 1) 堆砂段丘の発達と先端部の前進が著しい時期 (昭和41、42年)
- 2) 段丘先端部の前進が止まり、背砂面 (頂部堆積層) が上昇した時期 (昭和43~46年)
- 3) 段丘の発達や形状変化が少ない安定期 (昭和47年以后)

この3時期に分けることができ、それらは上記の外部環境の変化によく対応している。

(2) 水温現象の経年変化

図-5は、ダム上流100m地点において、原則として月一回測定された資料をもとに、昭和41~46年における池内水温分布の変化を、インプレット (等水温線図) で示したものである。図には流出流量の変化も併記されている。

これを見ると、池内の水温分布は、夏季から秋季にかけて成層状態にあり、毎年同様の季節的変化が繰り返されているが、下層部における水温変化の様相には明らかに変化が認められる。

たとえば、EL 160 m における水温の周年変化を取り出せば図-6のようであり、

- 1) 昭和41、42両年の下層部の水温は、春頃から上昇しはじめ、夏季には18°C~20°Cにまで上昇しているのに対して、
- 2) 昭和43年以後では、急激な温度上昇時期は梅雨期以後であり、夏季においても12°C~15°C程度にしか上昇していない。

このような変化は、前節で見た堆砂段丘の発達の時期と一致するものであり、

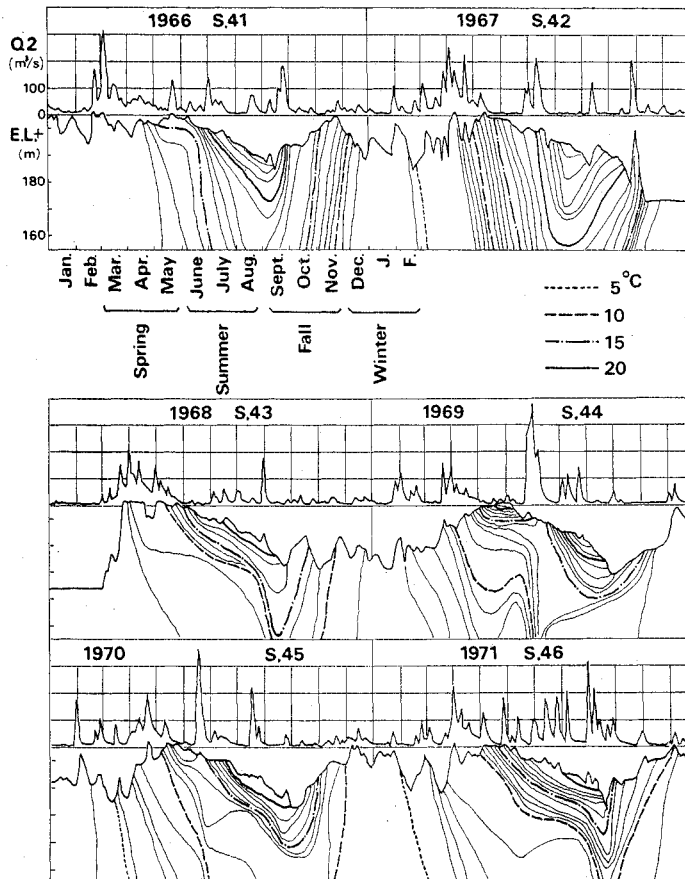


図-5 水温分布の周年変化 (昭41~46)

これらの水温変化は、出水による貯水池下層部の擾乱の度を示すものとも考えられるから、同図は、出水が大量の土砂流入や、貯水池堆砂の進行を伴っていた昭和42年までと、それ以後とは、池水の流動状況が異なっていたことを示すものと言えよう。

(3) 濁度現象の経年変化

長期的変動特性の抽出には、まず時系列資料を適当な単位期間についての平均量に置き換えることが必要であるが、ここでは流出流量時系列の季節的特性に関する石原・長尾²⁴⁾の研究を参考にして、単位期間として1か月を設定する。

図-7は、雨量、流量、濁度および貯水位の、各月平均値と、その12か月移動平均値の変化を示すものである。

ここに、雨量および流入濁度には、それぞれダム地点(藤橋雨量局)雨量および本川流入濁度(C1)が用いられている。また、流入濁度については、12か月移動平均値を省略した。

同図から、12か月移動平均値の変化を見ると、雨量と流量については、いずれも10年間大きな変動は見られないが、

流出濁度については、

- 1) 昭和41年から45年にかけて、遞減し、
 - 2) 昭和46年後半から、変化が少なくなっている、
- ことがわかる。

流出濁度におけるこのような変化の様相は、前述の貯水池外部環境の変化や、貯水池堆砂の進行状況と、時期的によく対応するものであり、濁度現象についても、昭和40年9月豪雨の影響が、昭和45年頃まで及んだものと推定される。

なお、貯水位の特異な変化は、昭和42年末から昭和43年初頭にかけて、ダム諸設備の点検整備のために、人為的に水位を下げたことによるものである。

4. 季節的变化

前章図-7を見ると、時系列資料には、季節的变化と見られる一定のパターンの繰り返しがみられる。

これら諸量の周期性の強さを比較するため、自己相関係数を計算すると図-8のようである。

図の左側は、10年間の資料を用いて計算したものであり、右側は、昭和47年を除く(流入濁度の測定が少ないので)、昭和46年以後4年分の資料を、時系列として連続させて計算したものである。計算にあたっては、経年変化の影響を除去するため、それぞれ12か月移動平均値を差し引いた値を用いている。

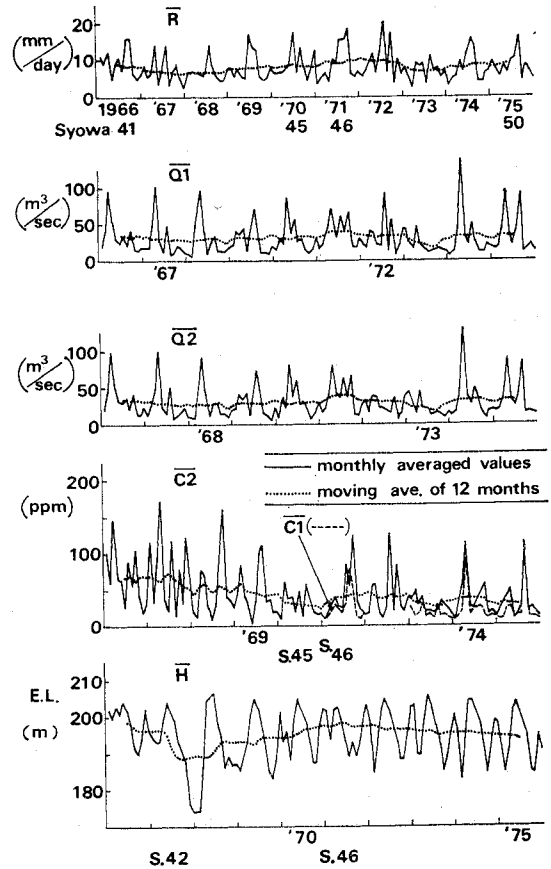


図-7 時系列資料の月平均値と、その12か月移動平均

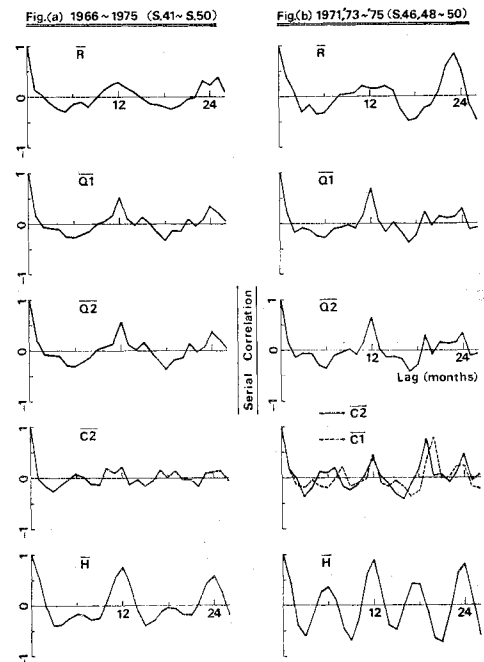


図-8 時系列資料の周期性

さて、同図から諸量の周期性の強さを比較すると、貯水位や流量に比して、雨量と濁度の周期性は弱いことがわかる。

雨量の1年周期が弱いことは、日本のように、降雨が台風や低気圧の通過に大きく影響される地域の特徴として、一般に指摘される場所である²⁵⁾。

しかし、濁度については、降雨現象の影響を直接的に受けるとはいえ、一般に流量との間に一応の相関性があるとされている²⁶⁾から、流量の周期性の強さに対して、やや奇異な感じを与える。

本章では、この原因を明らかにするため、水文諸量の季節的特性と濁度現象との基本的な対応関係を考察した。

(1) 流入濁度の季節的特性

表-2は、まず、降雨現象の季節的特性を知るために、流域内7か所の、昭和46年~49年における各日雨量について、季節ごとに平均値、標準偏差および相関行列を求めたものである。

これを見ると

- (i) 夏季には、雨量が年間を通じてもっとも多く、各降雨ごとの雨量の差異が大きく、局地性が強い。
- (ii) 春季および秋季には、流域全体に比較的一様に雨が降る。
- (iii) 冬季の雨量は、主として積雪量を表わすものと考え、

流域の北部および北西部において積雪量が多いことがわかる。

このような降雨現象の季節的特性が、濁度現象に対してどのように反映するかを見るために、まず本川流入濁度(C1)と坂内川流入濁度(C1S)との相関関係を季節別に示すと図-9のようである(冬季には濁度流出が少ないので除外した。また、ここでは昭和46年と49年の測定値を用いたが、他の年においても同様な傾向を示す)。

図中の実線は、かりに、雨量が流域全体に一様であって、両流域からの雨水流出量(貯水池の流入流量)の比

表-2 日雨量の季節別相関

Watershed		TOKUYAMA			SAKAUCHI		FUJIHASHI		
Rain-gauge Station		ZUKA	TOKUYAMA	KADONYU	HIROSE	MOROKA	SUGIHARA	FUJIHASHI	
Season	Symbol	T-1	T-2	T-3	S-1	S-2	F-1	F-2	
Spring	T-1	1.000							
	T-2	0.852	1.000						
	T-3	0.928	0.802	1.000					
	S-1	0.942	0.861	0.913	1.000				
	S-2	0.896	0.835	0.864	0.943	1.000			
	F-1	0.938	0.849	0.915	0.963	0.935	1.000		
	F-2	0.903	0.835	0.873	0.935	0.914	0.943	1.000	
	Means		8.17	7.79	8.15	7.92	8.10	7.86	7.39
	Standard Deviations		15.43	16.93	15.83	16.10	16.68	16.80	15.99
Summer	T-1	1.000							
	T-2	0.757	1.000						
	T-3	0.854	0.770	1.000					
	S-1	0.851	0.769	0.834	1.000				
	S-2	0.851	0.741	0.796	0.895	1.000			
	F-1	0.811	0.760	0.805	0.859	0.846	1.000		
	F-2	0.860	0.754	0.821	0.893	0.920	0.933	1.000	
	Means		10.65	11.92	11.04	11.20	12.31	14.00	11.95
	Standard Deviations		23.50	25.63	25.27	23.65	26.78	31.85	26.36
Fall	T-1	1.000							
	T-2	0.840	1.000						
	T-3	0.917	0.871	1.000					
	S-1	0.857	0.832	0.888	1.000				
	S-2	0.830	0.830	0.876	0.936	1.000			
	F-1	0.870	0.878	0.887	0.903	0.884	1.000		
	F-2	0.887	0.845	0.914	0.893	0.893	0.927	1.000	
	Means		8.08	7.81	8.22	7.89	7.73	7.99	7.83
	Standard Deviations		17.66	19.04	20.57	21.46	23.37	21.74	21.70
Winter	T-1	1.000							
	T-2	0.526	1.000						
	T-3	0.821	0.415	1.000					
	S-1	0.793	0.411	0.831	1.000				
	S-2	0.627	0.469	0.659	0.740	1.000			
	F-1	0.679	0.415	0.758	0.792	0.634	1.000		
	F-2	0.673	0.485	0.695	0.745	0.647	0.787	1.000	
	Means		9.43	5.56	8.33	7.25	5.45	6.31	5.64
	Standard Deviations		12.80	10.07	11.36	10.67	9.38	11.02	9.87

unit : (Means, S.D.) mm/day

が、両流域の面積比で示し得て、さらに、流量と濁度とが同じ比例関係で表わし得る場合を想定したときの、両流入濁度の対応関係を示すものである。

同図を見ると、流域全体に比較的一様な雨が降る春季および秋季については、両流入濁度はかなり強い相関性を示し、かつ上記の単純な想定直線から大きくはずれていないことがわかる。このことは、流量と濁度との相関性の強さを表わしているといつてよいであろう。

一方、夏季には、両流入濁度の相関性は弱く、また、上記直線から大きく離れているものが多い。これは、降雨現象の局地性が反映したものと考えられる。

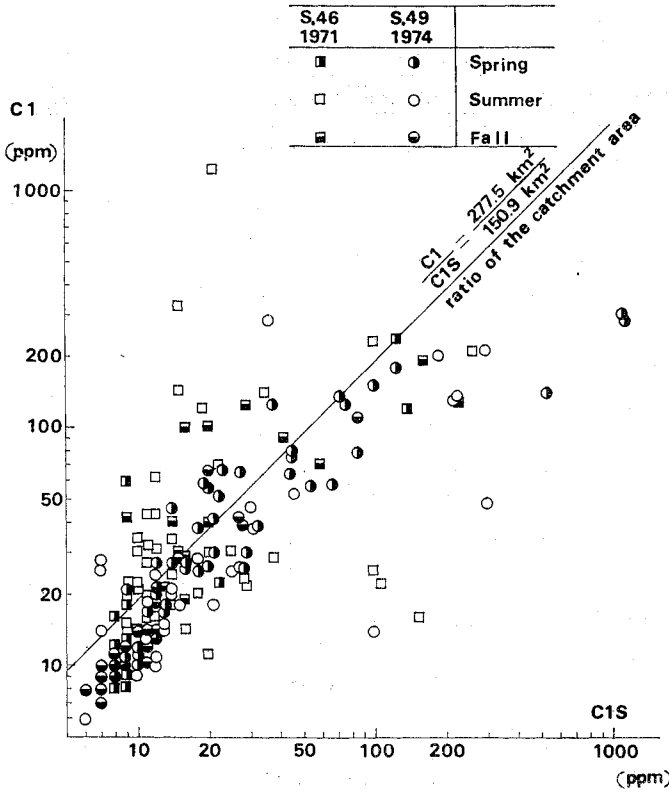


図-9 本川流入濁度と坂内川流入濁度の季節別相関

また、流入濁度として本川流入濁度の日平均値(翌日の値との算術平均値)を用いて、流入濁度と流入流量との関係を、春・秋および夏季に分けて示せば 図-10 のようである。

図は、増水期と減水期とを見分けるために、前者を破線、後者を実線で示してある。

流入濁度が本川からのものであるのに対して、流入流量が全流域からのものということもあって、両者の関係にはややちらばりがあるけれども、春季・秋季 (Fig. (a)) には、両者の相関性の強さが、また、夏季 (Fig. (b)) には、降雨現象の局地性の影響が、それぞれ表われているといえよう。

このように、雨量の多い夏季において、特に局地性が強いことが、流入濁度に見かけ上周期性があらわれにくいこと的主要原因になっていると考えられる。

なお、図-10 からは、両者の関係の時間的変化が、概して右回りであることがうかがわれ、河川水による濁度物質輸送のメカニズムが、浮遊土砂の場合²⁷⁾と類似するものと推察される。

(2) 貯水池内水温・濁度の周年変化

図-11 は、昭和 50 年におけるダム上流 100 m 地点の水温鉛直分布の周年変化を示すものである。

図の上段に流入流量、下段に流出流量を、最下段には洪水調節期間および取水方法を示した。水温分布の変化は、等水温線の変化で示されている。図中のアミガケ部分は後述の計算により算出した死水領域の生成を示し、黒丸は流出水と同水温の位置である。下部の矢印は測定日を示している。

これを見ると、流入流量の季節的变化はこの年大きく3つの出水に分けて考えることができる。それぞれをその季節的性格から、融雪出水(4月~5月)、梅雨期末出水(7月上旬)および台風6号出水(8月末)と呼ぶことにする。

池内の水温分布は、融雪出水後に典型的な成層状態に入り、梅雨期末出水により2次躍層がきわめて顕著になり、台風6号出水により成層状態が破壊されて循環期に移行している。

さらに、これらの変化を、貯水位の変化と結びつけていえば、多少のずれはあるが、

- (i) 冬から春にかけての貯水位の上昇期~池内水温分布の成層期
- (ii) 高水位を維持しつつ徐々に水位を下げると時期~夏季完全停滞期
- (iii) 秋季の低水位期~循環期への移行期

である。

また、ゲート操作との関連を見ると、まず、洪水調節用オリフィスゲートの開閉による水温分布の変動は、梅雨期末出水時および台風6号出水時においてそれぞれ顕著であり、梅雨期末出水時には、ゲートの使用により2次躍層が約5m低下し、また、台風6号出水時には、成層状態が完全に破壊された。次に、取水用ゲートについては、融雪出水中の4月末から5月にかけての下段取水から表面取水への切換えが、水温分布の成層期への移行を促進しているとともに、表面取水は、2次躍層の形成とあいまって、夏季における死水領域を安定させている。

こうした死水領域の生成について、安芸・白砂²⁸⁾による流動層厚の計算式を適用すれば、以下のようである。

安芸・白砂によれば、密度成層流における流動層厚は、次式であらわされる。

$$\delta = G^{-1/3} (Q_0 / \theta \sqrt{g \epsilon})^{1/3}, \quad \epsilon = (\rho_0 - \rho_y) / \rho_0 \cdot y \dots (1)$$

ここに、 δ : 流動層厚、 G : 日野・大西²⁹⁾の無次元数、 Q_0 : 流出流量、 θ : 流出口開口角、 g : 重力の加速度、 ϵ : 密度勾配、 ρ_0 : 流出点の密度、 ρ_y : 流出点より鉛直方向に y だけ離れた点の密度である。

いまの場合、 $\theta = \pi$ とし、 G の値としては下段取水期

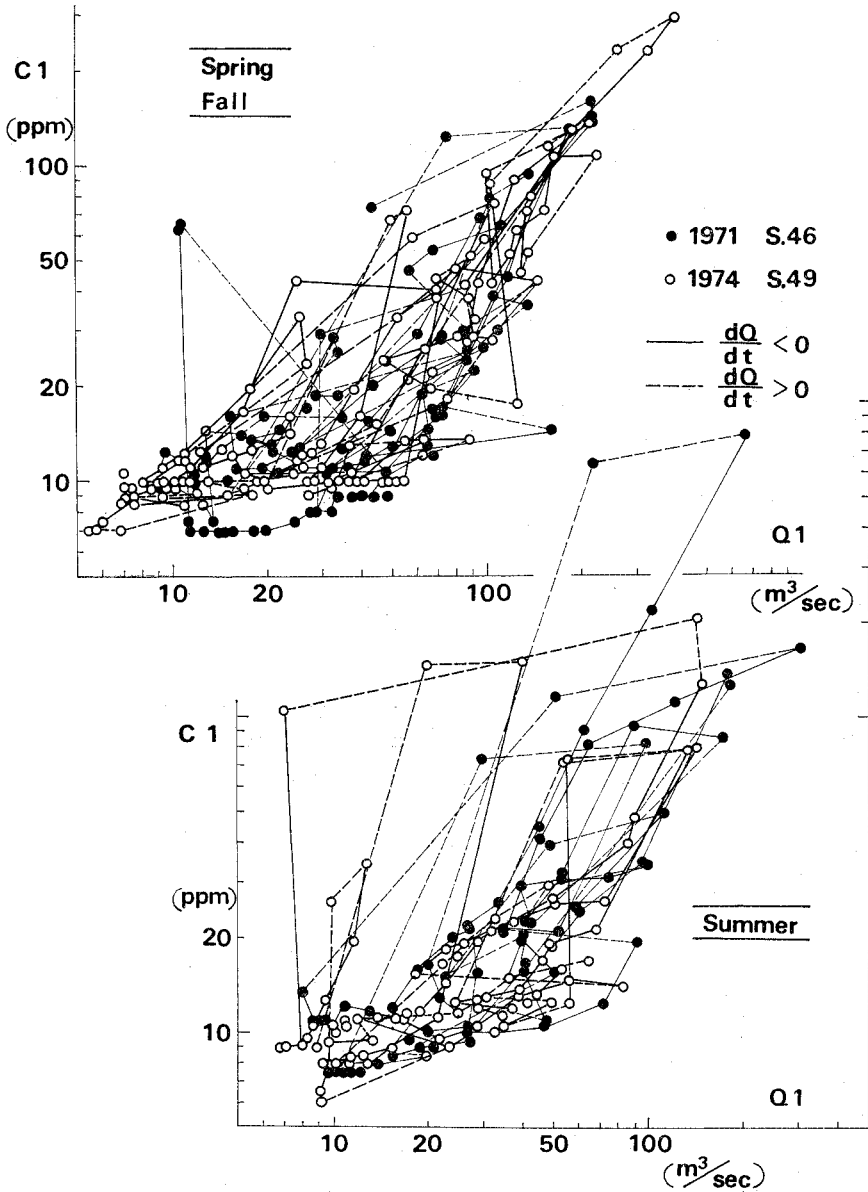


図-10 本川流入濁度と流入流量の季節別相関

は底層取水の扱いをして、表面取水期ともども、 $G=0.324$ を用いた。

また、 ρ_0, ρ_y, y としては、式 (1) 本来の値の代わりに、次のような値を用いた。

表面取水期： ρ_0, ρ_y として、それぞれ流出水密度、池表面水密度を用い、表面取水深が3mであることを考慮して $y=-3m$ とした。

下段取水期：流動層最下部標高を EL 171 m とし、 y を仮定して δ を求め、 $y=\delta$ となるまで計算を繰り返した。

なお、密度 (ρ) の計算においては、次式を用いた。

$$\rho = \rho_T + 0.623 \times 10^{-6} C \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 ρ_T ：水温 T の水の密度、 C ：濁度 (ppm) である。

図-11 では、流動層以外は死水領域として、それらの生成状況をアミガケで示した。

水温成層状態の弱い5月においては、死水領域中で水温分布が変動していて若干問題は残るが、夏季停滞期においては、計算結果は出水による水温分布の変化をよく説明しているように思われる。

なお、図中黒丸印で示した流出水温と同水温を示す位置と、上述の計算結果とを併せ考えると、水温分布が鉛

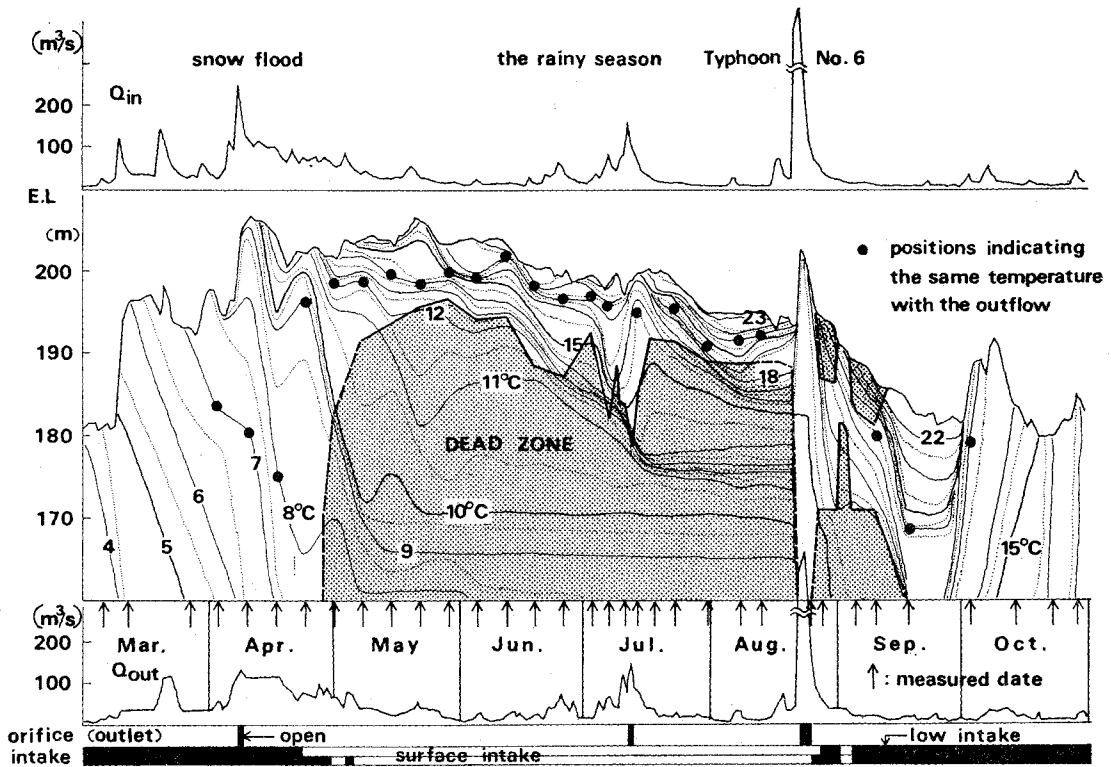


図-11 昭和 50 年における水温分布の周年変化

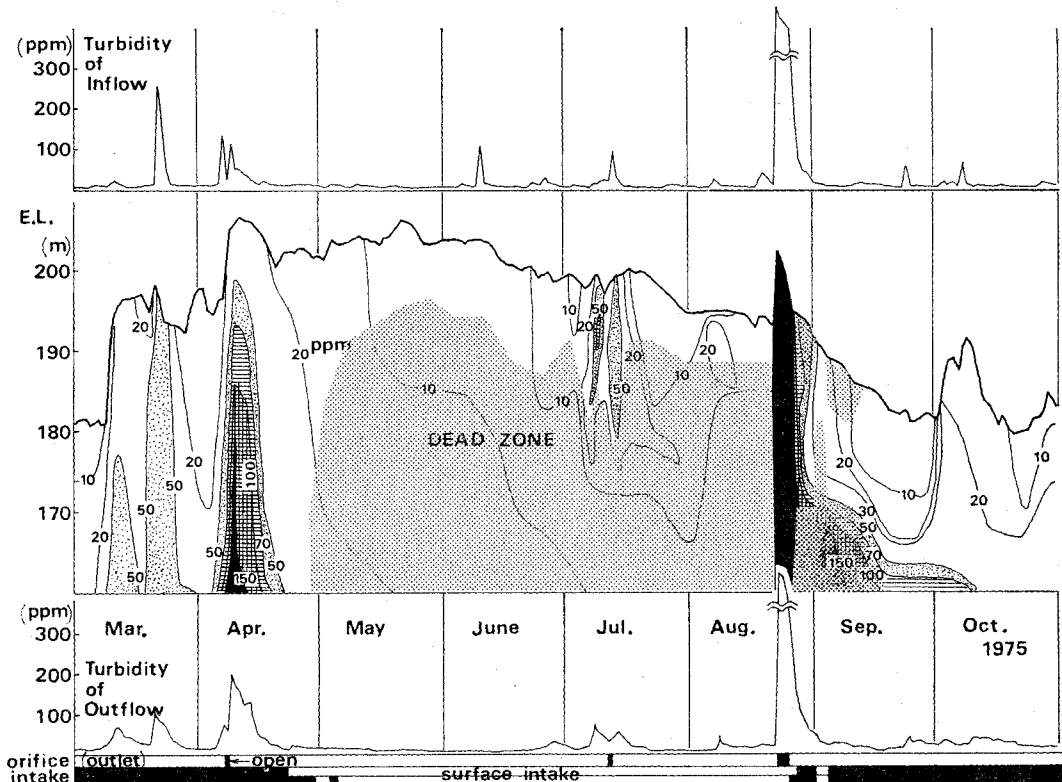


図-12 昭和 50 年における池内濁度分布の周年変化

直方向に直線的に変化していない場合の流速分布形は、相当ひずんだ形であることが推定される。

次に、水温分布と同時に測定された濁度分布の周年変化を示すと 図-12 のようである。

図の上段には本川流入濁度、下段には流出濁度の各変化を併記した。

これを見ると、融雪出水時に流入した濁水は主として貯水池底部を、梅雨期末出水時に流入した濁水は貯水池上層部を、そして台風6号出水時の濁水は貯水池の中・底層部を、それぞれ流動していることがわかる。

融雪出水時の流入水は低水温、梅雨期末出水時の流入水は比較的高温であるから、このような流入河川水温の季節的特性もまた、濁度現象の季節的特性に関与する主要な因子であることを、同図は示しているといえよう。

同図中のアミガケ部分は、図-11 の場合と同じく、死水領域の生成状況を示すものであるが、濁水の流動状況をよく説明して式(1)の妥当性を裏付けている。

(3) 流出濁度における流量との相関性

前節で示したように、貯水池内における濁水の挙動は、降雨流出現象および水温現象の季節的特性とともに、貯水位や取水方法に代表される人為的操作の影響も受ける。

流出濁度における周期性の弱さは、このような関連因子の多様性を反映したものであろう。

すなわち、水文諸量の季節的特性のほかに、それに対応した人為的操作によって、流入する水文諸量の1年周期が弱められたり、別の周期が見かけ上あらわれたりしたものと考えられる。

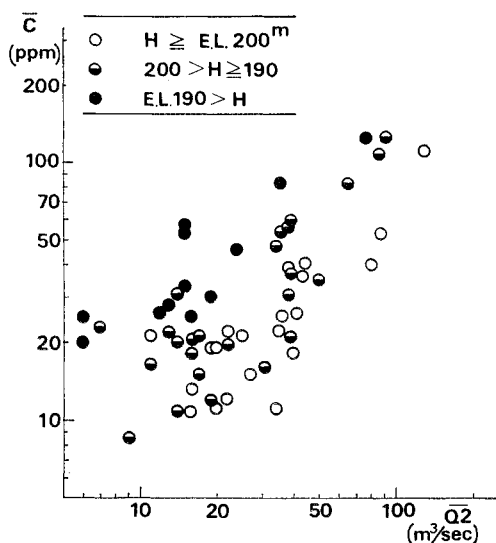


図-13 流出濁度と流出流量との貯水位別相関
(いずれも月平均値)

このことを考慮に入れて、再び 図-7 にもどり、流出濁度および貯水位の、各月平均値の変動状況子を細に眺めれば、貯水位のピークは流出濁度の谷に、流出濁度のピークは貯水位の谷に、それぞれほぼ対応しているように見うけられる。

この対応関係に着目して、流出濁度と流出流量との相関関係を、貯水位別(貯水位が EL 190 m 以下の場合、200 m 以上の場合、およびその中間の場合)に区分して示すと 図-13 のようである。

同図は、濁度現象が昭和 40 年 9 月豪雨の影響から脱したと思われる昭和 46 年以後の測定値について、いずれも月平均値を用いている。

これを見ると、貯水位が低いほど流出濁度が高いという概略の傾向とともに、貯水位によって区分すれば、流出濁度と流出流量との間には、かなり強い相関性を認めることができる。

5. 結 言

以上、横山ダム貯水池の濁度現象における経年変化および季節的变化を、関係する主要な因子との基本的な結びつきにおいて考察し、濁度現象の長期的変動特性を示した。

それらの結果を要約すれば以下のようである。

(1) 経年変化について

横山ダム建設から現況に至るまでの水温現象および濁度現象の変遷を、流域内での砂防ダム築造の経緯ならびに貯水池堆砂の進行状況と対応づけ、横山ダム貯水池における流出濁度が、昭和 40 年 9 月豪雨の影響を、その後昭和 45 年頃までうけていたことを示した。

(2) 季節的变化について

濁度の時系列特性のひとつとして、1 年を周期とする周期性があらわれにくいことを示すとともに、その原因として、流入濁度は流量との相関性を有するけれども、一方において、降雨現象の局地性の影響を強く受けること、貯水池内における濁水の挙動は水文諸量の季節的特性とともに、人為的操作の影響も強く受けることを明らかにした。

また、流出濁度については、関連因子の多様性を反映するものではあるが、貯水位をパラメーターとすることによって、流出流量との間にかなり強い相関性を期待できることを示した。

なお、本研究の遂行にあたって、現地観測ならびに資料提供に多大なるご協力を賜った建設省横山ダム管理所の、歴代所長をはじめとする各位(とりわけ、終始濁

度関係を担当された 高橋律管理係長，ならびに 河本俊雄技官) に対し，深甚なる謝意を表するものである。

また，濁度現象に関する従来の研究成果の理解において，水産庁淡水区水産研究所 古田能久氏には，多数の文献をご提供いただくとともに，示唆に富むご教示を得た。末尾ながら謝意を表する次第である。

さらに，現地調査から資料の整理，ならびに計算を進めるにあたり，名古屋大学工学部土木工学科水理研究室の各位(とりわけ 石田龍夫君一当時同研究室学生，ならびに文部技官 伊相広隆氏) の多大なるご協力を得た。

また，本研究は，昭和 49，50 年度文部省科学研究費(自然災害特別研究(1)，奨励研究(A)) の補助を受けたものであり，計算は，名古屋大学大型計算機センター FACOM 230 を使用している。併せて謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 小島貞男：貯水池の湖沼学的研究(VI)，水道協会雑誌，No. 182，pp. 23~32，1949。
- 2) 小島貞男：貯水池の湖沼学的研究(VII)，水道協会雑誌，No. 184，pp. 13~20，1950。
- 3) 小島貞男：小河内ダム湛水に伴う多摩川系の水質変化とその対策について，水道研究，第 37 号，pp. 31~41，1959。
- 4) 武田福隆・渋谷剛正・乙幡 恵・飯塚良安・清水正一：小河内貯水池における洪水後の濁度変化について，工業用水，第 43 号，pp. 26~38，1962。
- 5) 細川 巖：ダム湛水後の河川水濁度変化について，用水と廃水，Vol. 9，No. 12，pp. 893~906，1967。
- 6) 田辺邦美：ダムが洪水後下流河水の濁度におよぼす影響について，水利科学，No. 62，pp. 1~23，1968。
- 7) 吉川秀夫・山本晃一：貯水池の水の挙動に関する研究，土木学会論文報告集，第 186 号，pp. 39~54，1971。
- 8) 日野幹雄・大西外明：成層密度流におよぼす Point sink の高さの効果，土木学会論文報告集，第 163 号，pp. 39~48，1969。
- 9) 村本嘉雄・道上正規・藤田裕一郎：天ヶ瀬貯水池の濁水に関する調査研究，京都大学防災研究所年報，第 17 号 B，pp. 585~596，1974。
- 10) 合田 健・海老瀬潜一：水質の変化とその予報に関する研究(4)，第 9 回 衛生工学研究討論会講演論文集，pp. 208~215，1973。
- 11) 足立昭平・近藤寛通：貯水池の濁度に関する考察，土木学会第 25 回年次学術講演会講演集 第 2 部，pp. 259~260，1970。
- 12) 足立昭平・中村俊六：貯水池からの放流濁度について，土木学会第 27 回年次学術講演会講演概要集第 2 部，pp. 605~606，1972。
- 13) Huber, W.C. Harleman, D.R.F. and P.J. Ryan: Temperature Prediction in Stratified Reservoirs, Journal of the Hydraulics Division, HY4, A.S.C.E., pp. 645~666, April, 1972.
- 14) 安芸周一・白砂孝夫：貯水池流動形態のシミュレーション解析，発電水力，No. 134，pp. 37~50，1975。
- 15) 芦田和男・江頭進治：泥水密度流に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No. 237，pp. 37~50，1975。
- 16) 沢田周次：横山発電所の表面取水ゲート，発電水力，No. 72，pp. 58~69，1964。
- 17) 建設省中部地方建設局：揖斐川上流砂防調査報告書，第 1 報，1966。
- 18) 建設省河川局編：多目的ダム管理年表，第 10 回~15 回，1966~1971。
- 19) 中部地方建設局横山ダム管理所：横山ダム管理報告書(調査)，1968。
- 20) 足立昭平・西畑勇夫・中村俊六ほか：横山ダム貯水池白濁調査(第 1 報~第 6 報)，1971~1976。
- 21) 前出 18)
- 22) 足立昭平・中村俊六：横山ダム貯水池における洪水時の濁水調査，第 21 回水理講演会論文集(投稿中)，1977。
- 23) 西畑勇夫：昭和 40 年 9 月豪雨と揖斐川の洪水調節，土木学会誌，51-9，pp. 48~54，1966。
- 24) 石原安雄・長尾正志：流出量時系列の季節的特性について，京都大学防災研究所年報，第 12 号 B，pp. 261~271，1969。
- 25) 本間仁綱：応用水理学 下 II，数値解析，水文観測，pp. 111~112，丸善，1971。
- 26) 安芸周一：貯水池濁水現象，1975 年度水工学に関する夏期研修会講義集，A コース，pp. A-1-1~A-1-26，1975。
- 27) 吉川秀夫：浮遊流砂量に関する 2, 3 の考察，土木研究所報告，第 83 号，pp. 25~37，1952。
- 28) 前出 14)
- 29) 前出 8)

(1976.2.16・受付)