

流域系水質管理に関する研究  
—吉野川水系早明浦ダムを例として—

総括：天 田 高 白

○研究代表者 筑波大学講師 天 田 高 白 (農林工学系)

○研究分担者

(1) 総括グループ

筑波大学教授 辰 巳 修 三 (農林学系)  
筑波大学助教授 新 藤 静 夫 (地球科学系)  
筑波大学助教授 下 田 右 (地球科学系)  
筑波大学講師 天 田 高 白 (農林工学系)

(2) 地形・地質グループ

筑波大学助教授 新 藤 静 夫 (地球科学系)  
筑波大学助教授 下 田 右 (地球科学系)  
筑波大学講師 天 田 高 白 (農林工学系)  
筑波大学講師 安仁屋 政 武 (地球科学系)

(3) 水質・濁質研究グループ

筑波大学助教授 森 下 豊 昭 (応用生物化学系)  
筑波大学講師 天 田 高 白 (農林工学系)  
筑波大学助手 安 部 征 雄 (農林工学系)

(4) 流送土砂研究グループ

筑波大学講師 天 田 高 白 (農林工学系)  
筑波大学助手 真 板 秀 二 (農林工学系)

## はじめに

近年、水資源の有効利用と洪水制御等を目的として全国的に多目的ダムが建設されている。ダム建設によりもたらされる恩恵は云うまでもないが、一方でダム下流部の河床低下、海岸浸食等の災害、貯水池及び下流河川の水質の変化等新たな環境問題を惹起することになった。濁水の長期化現象もそのひとつであって、それに対する機構の解明と保全対策の確立が社会的な緊急の課題となっている。

貯水池の濁度分布は貯水池の流動形態および流入流量、濁度物質の性状に左右されるので非常に

複雑な様相を呈し、その予測のための数値モデルによる検討もいくつか試みられているが、いまだ充分なものとは得られていない。このように濁水現象に関する研究はまだ緒についたばかりであり、特に沈降性濁度物質に関する研究例は少ない。

本研究は、流域の地質、地形と密接な関係にある濁度物質の性状ならびにその挙動を濁質の生産源、流送過程、滞留沈降といった各ステージにおいてとらえ、濁水発生、長期化の機構を解明するための基礎的知見を得ることを目的とし、外帯河川、特に四国地方の河川について調査を継続中であるが、ここではそのうち昭和51年17号台風後濁水の長期化がみられた吉野川水系早明浦ダムを例として現在までの調査成果を簡単に報告する。

## 1 流域概要

吉野川は高知県瓶ヶ森山に源を発し、四国山脈に沿って東に流れ徳島平野を経て紀伊水道に注ぐ幹線流路延長194 km、流域面積3,650 km<sup>2</sup>（うち山地3,210 km<sup>2</sup>、平地350 km<sup>2</sup>、水面90 km<sup>2</sup>）をもつ四国最大の河川である。流域の大部分を占める山地は、1,000 m～2,000 m程度の比較的急峻な山岳がならび、各山嶺は地質構造に支配され全体的に東西方向に帯状にのびており、これらの間に吉野川が深く下刻して大歩危、小歩危や祖谷川溪谷に代表される深いV字型谷を形成している。

流域の地質は、図1にみるように流域の大部分が中央構造線と御荷鉾構造線に挟まれて位置しており、三波川式変成作用を強く受けた結晶片岩類からなり、破碎帯地すべり域として全国的に著名であり岩盤の深層風化が著しい。このような地質は土砂の生産、濁質成分特性に大きく影響を与えて

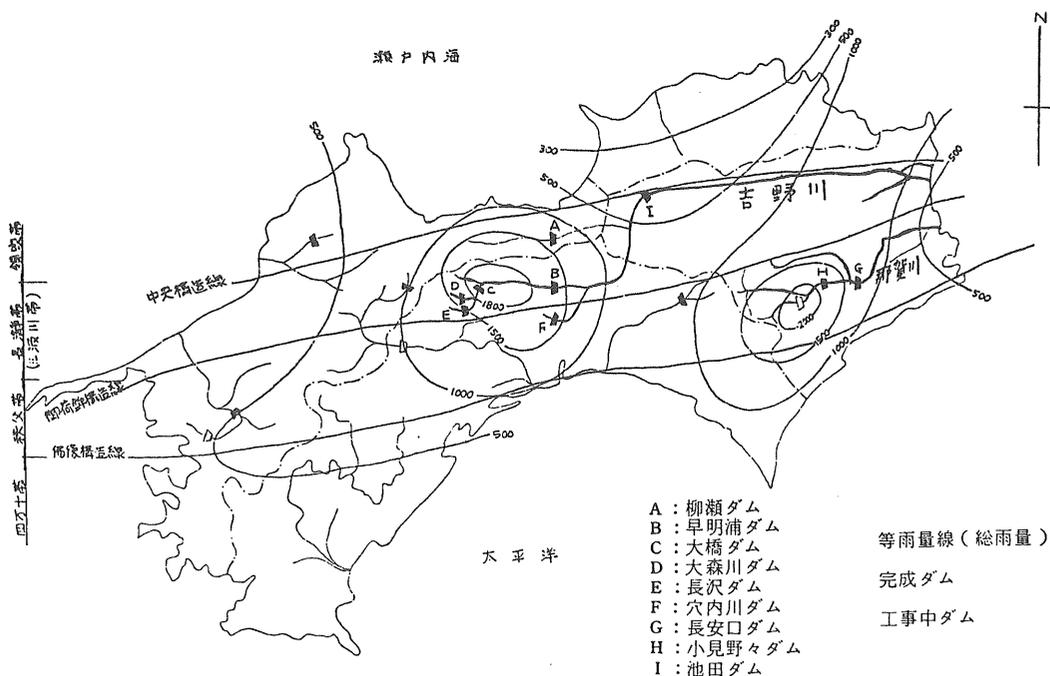


図1 総雨量線及び地質区分図

いるとみられる。また、山村の形成と密接な関係をもつ地すべり地は一般的にいわゆる慢性型の地すべり地であり、山村、河川への被害はほとんどなかったといえるが、ときとして、河川溪谷の状態を一変させる大規模な地すべり性崩壊が各地で発生している。流域の山地面積のうち針葉樹と広葉樹の割合はほぼ同じで、うち60%は人工林が占めており針葉樹林の多くは人工林に属するものとみられる。年間降雨量は下流平野部で1,600 mm程度であるが上流地域では3,000 mmを越える多雨地帯で吉野川水系には現在では16ダム、総貯水容量4億7千万 $\text{m}^3$ が建設されており、早明浦ダムを中心とする吉野川総合開発事業が進められている。また吉野川は流域外への分水が多く高知県、香川県、愛媛県へ年間約5億 $\text{m}^3$ が補給されている。

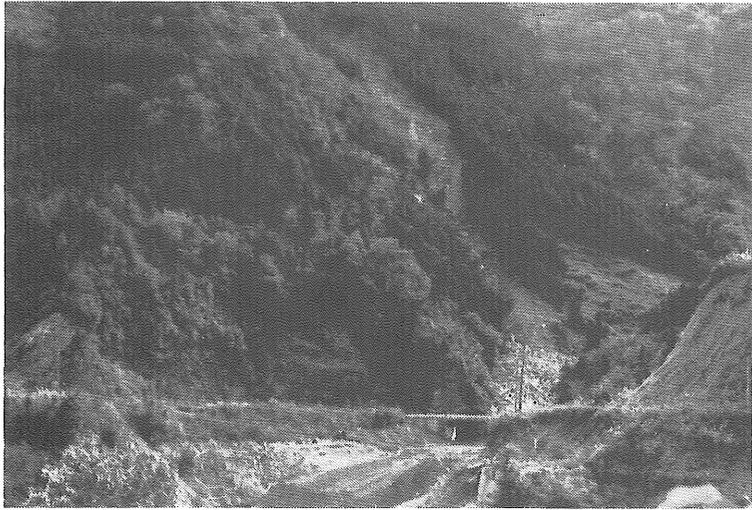
## 2 昭和51年台風17号による濁水発生状況

### 2.1 流域の崩壊状況

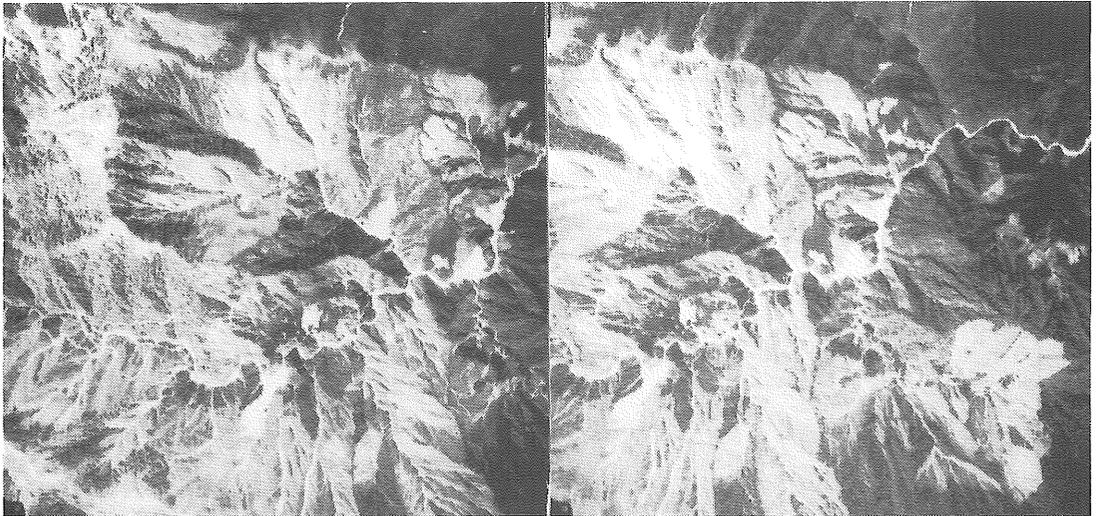
昭和51年9月の台風17号は剣山、石鎚山を中心に2,000 mmを越える総雨量を記録し、四国全土に大災害を及ぼし、吉野川・那賀川水系に崩壊、地すべりを多発、濁水を発生させ、さらにその一部で長期化をもたらせた。この豪雨は連続6日間の長期にわたり、那賀川上流の日早では総雨量で2,781 mmに達し最大日雨量で1,114 mmを記録した。この日雨量は昭和32年7月の長崎県諫早での記録を上回る日本記録となった。吉野川上流早明浦ダム流域（417  $\text{km}^2$ ）でも総雨量が流域平均で1,782 mmと平常降雨量の60%を越え、早明浦ダムへの流入水の総量は約7億3千万 $\text{m}^3$ に達した。このため早明浦ダム上流域では崩壊個数で約4,000個、面積で約140万 $\text{m}^2$ 、残土量を除いた生産土砂量約220万 $\text{m}^3$ の崩壊が新期に発生した。建設省の調査<sup>1)</sup>によれば早明浦ダムの土砂収支は概算すると崩壊地からの生産土砂量40万 $\text{m}^3$ とさらに上流からの流入量50万 $\text{m}^3$ を加えた量から溪床堆積土砂量40万 $\text{m}^3$ を引いた50万 $\text{m}^3$ が貯水池に流入したことになる。（ダム堆砂量の実測値は約40万 $\text{m}^3$ となっている。）

主要支川別にみると大森川ダムで崩壊率1.8%と荒廃が著しく、葛原川、瀬戸川がそれについている。崩壊は大部分が小規模な表層崩壊、結晶片岩特有の縞状の谷崩壊が占め、秩父帯（那賀川）に比較して規模が小さい。（写真1）

那賀川水系長安口ダム流域では、本川上流、坂州木頭川上流に大規模な急性地すべりを多発させ、そのため坂州木頭川では10数m河床が上昇した。航空写真をみると小規模な縞状崩壊はもちろん、大規模な斜面崩壊と尾根の先端突出部分の地すべりが多量の土砂流出を示し濁水の原因となっていることがわかる。また崩壊地すべり地の分布をみるとそのほとんどが伐採跡地に当たることが注目される。（図2、3）<sup>2)</sup>



(A)



(B)

写真1 51年9月台風17号による崩壊状況

- (A) : 吉野川水系早明浦ダム貯水池周辺に発生した崩壊，那賀川水系の崩壊に比較して規模が小さい。
- (B) : 那賀川水系坂州木頭川上流の崩壊，地すべりの多発状況。

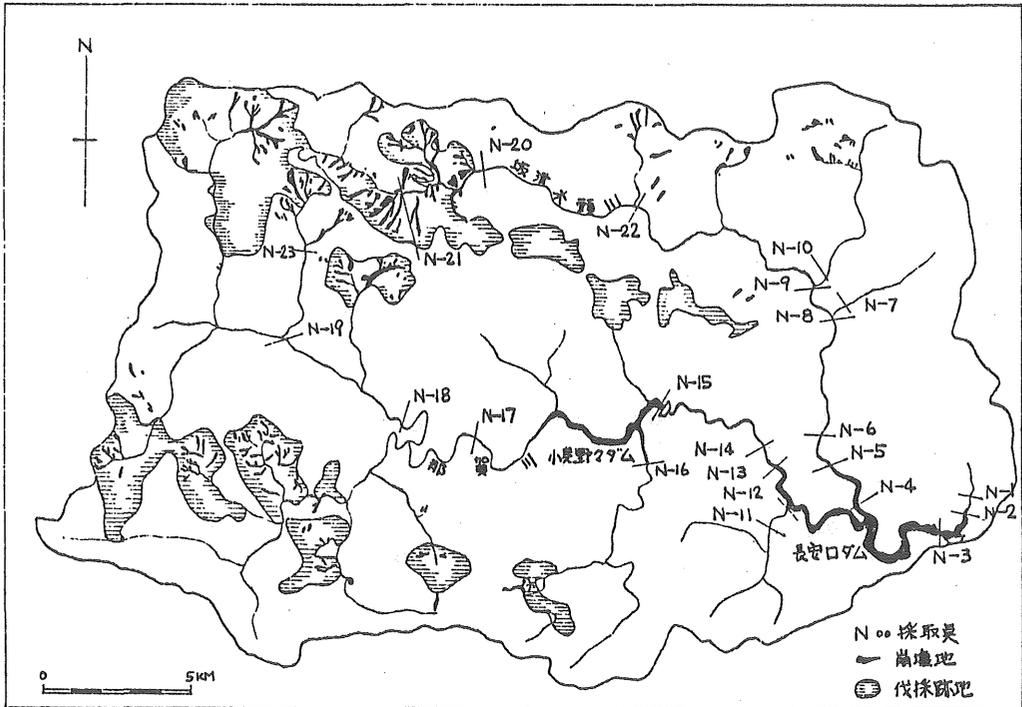


図2 那賀川水系サンプル採取地点図

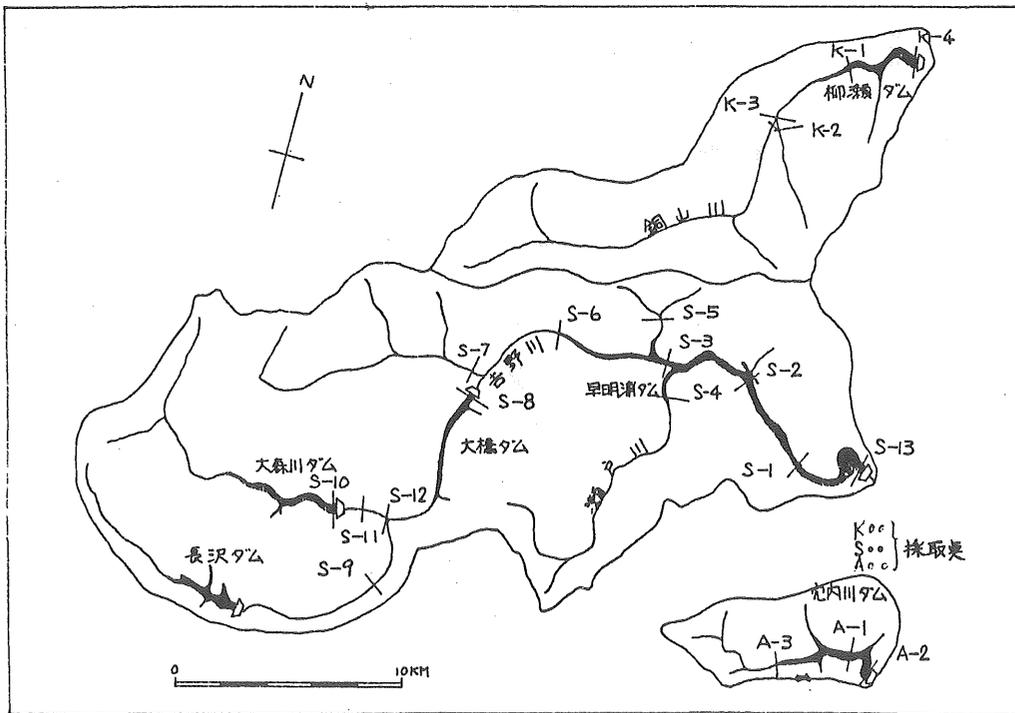


図3 吉野川水系サンプル採取地点図

## 2.2 濁水の発生状況

### 2.2.1 下流河川の濁度変化

早明浦ダム下流部では通常は濁度1～5度で全川にわたり清澄な状況を示している。昭和51年9月洪水以降の吉野川本川筋の濁度縦断変化の状況を図4<sup>3)</sup>に示す。洪水ピーク日より約1ヶ月後の10月19日には放流濁度92度が下流池田地点では17度に、さらに下流では10度を下廻っている。瀬詰地点で濁度が増加しているのは、右支川貞光川と穴吹川からの高濁度の流入水が常時存在するため、両河川とも17号台風により大規模な地すべり性崩壊が発生し堆積土砂が2次浸食により平時でも濁水を流下させており、その影響によることは現地観察でも確めている。ともかくこの図から時間的に、距離的に濁度が低減していく様子が読みとれる。

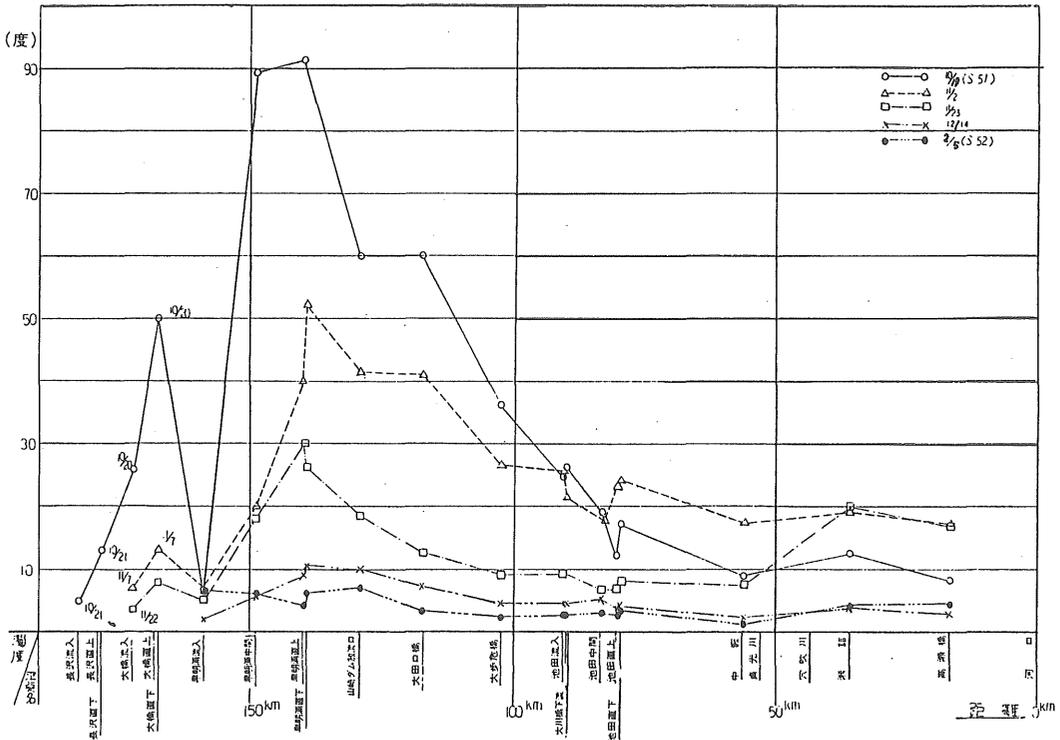


図4 吉野川濁度縦断図

### 2.2.2 ダム貯水池の濁水の挙動

早明浦ダムは総貯水容量 3.16 億 m<sup>3</sup> をもつ大規模な貯水池で回転率（年間総流入量と総貯水容量との比）は2～5の典型的な成層型の貯水池である。図5<sup>4)</sup>にみるように春から夏にかけて表層水温が次第に上昇し、表層10m程度の位置に安定した1次躍層を形成する。

さらにその下に2次躍層が平水流入水によって形成されるが、洪水流入総量が貯水容量を上回る出水があると一般に躍層が破壊されると言われているが、早明浦ダムの場合、40～50m水深にまで躍層はおし下げられている。これは洪水時の放流設備として高位標高のクレスト洪水吐を用

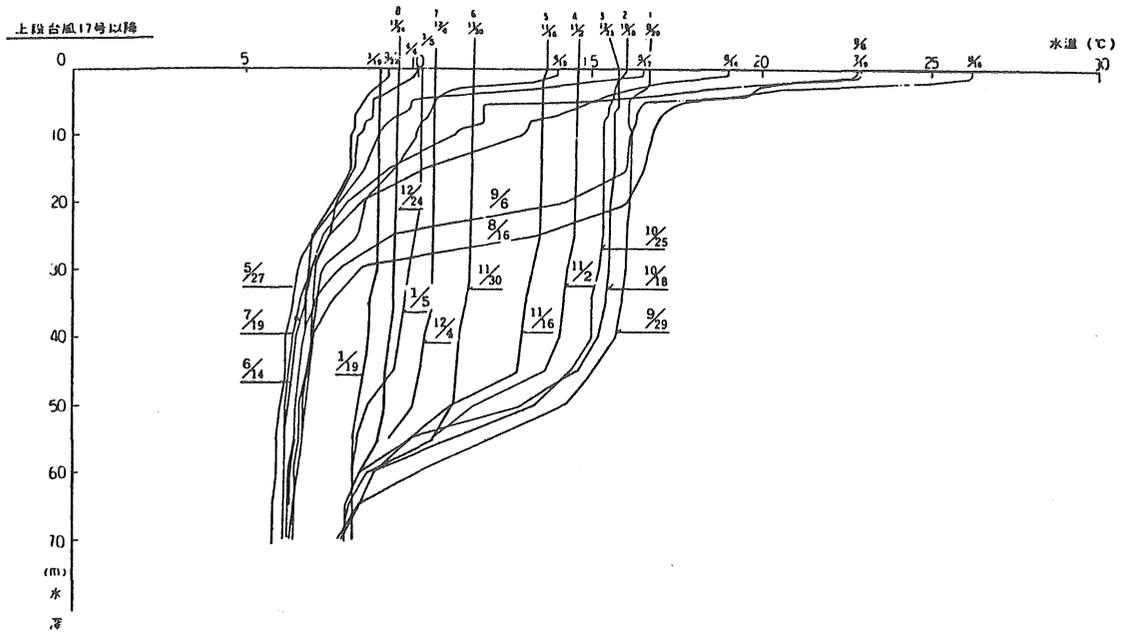


図5 水温鉛直分布図（早明浦ダム）昭和51年

いているなどの影響であると推定されている。秋期に入り表層水温の低下に伴って表層部分から対流循環に入る。一方貯水池濁度については、長期間出水のない場合は全体が数度で清澄な状態を保っているが洪水があると濁水の流入総量と水温分布状態に関連して濁度分布はちがった様態を示す(図6)<sup>5)</sup>。春から夏にかけての成層形成期に出水があると濁りは表層と2次躍層上の間に入り込んで滞留され、その後次第に沈降していくが高濁質の滞留期間は一般には洪水規模に対応しており、51年9月洪水では途中、対流期をはさんだこともあり、約5ヶ月間継続した。濁水の清澄化は大森川ダム、長沢ダム、大橋ダムの順に上流から進み、大橋ダムでは10度以下に低下するまで2ヶ月近くかかった。早明浦ダムでは放流濁度が10度以下に低下するのに約3ヶ月を要した(図4)。

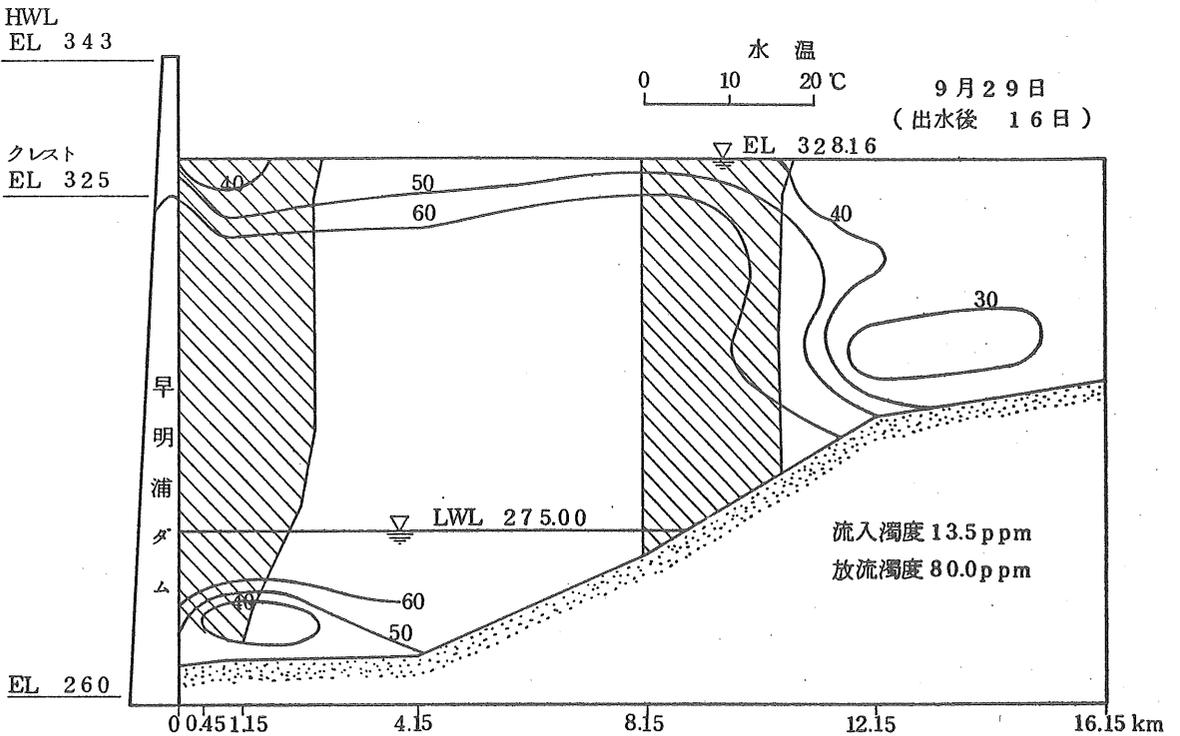
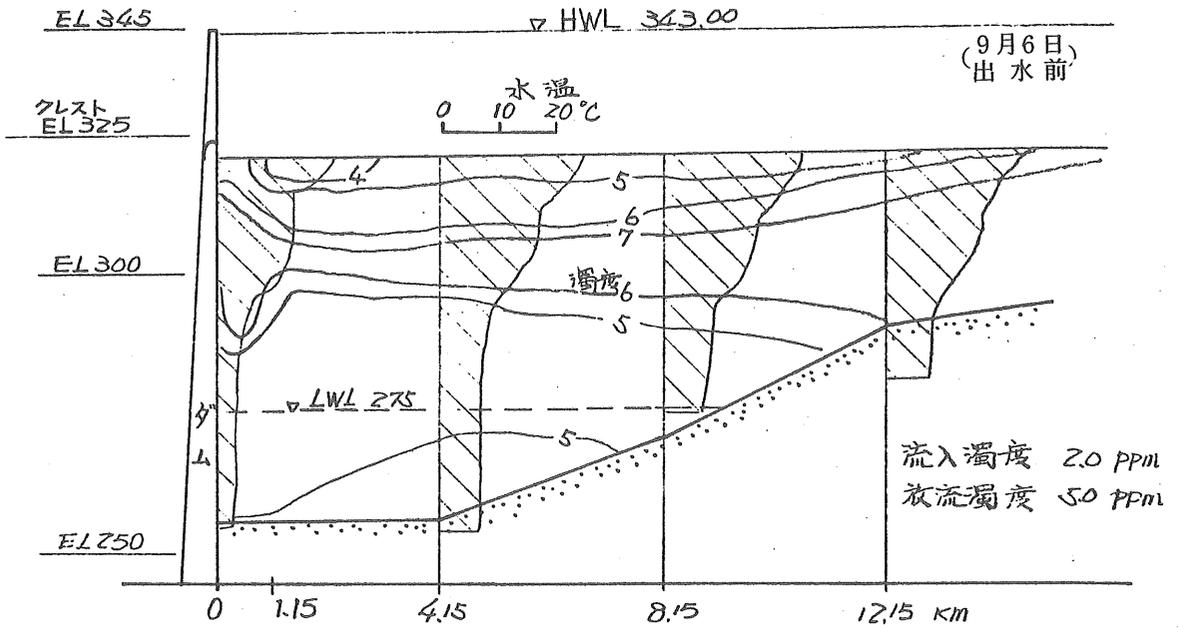


図6 早明浦ダム貯水池濁度分布 (51年17号台風出水前後)

### 3 調査の概要

#### 3.1 調査方針

濁水現象も、浸食から堆積作用に至る循環過程の中の一現象である。濁質も生産源から末端の貯水池に至るまでの過程で環境の多様性により様々な動態を示すことが推定される。また貯水池内でも2.2.2でみたように流入時期により濁水現象は異なることが推定される。こういった濁質の様々な動態をとらえるため表1<sup>6)</sup>に示すように各場に係わる力学的理化学的様相の違いを調べ、粘土粒子の種類、形状、風化の程度及び濁水の性状、沈降挙動を解明しようとするものである。

表 1

場	源流域	中流域	ダム域
主として関係する過程	力学的過程		理化学的過程
主な現象	濁質の生産 崩壊 { 自然的 人為的 } 表土剥落 侵食 etc	濁質の流送 流送量 移動様式 分級, 分別 etc	濁質の滞留 湖水 { 対流・収支 成層 } 濁質 { 沈降 堆積 etc }
関連する主な外的要因	地 形 地 質 土 壌	河 況	ダムの形状

#### 3.2 水質、濁質からみた流域特性

51年9月台風17号による出水後、吉野川水系、那賀川水系について発生源の構成粘土分の把握と流送過程、貯水池底泥における粘土分の理化学的変化をとらえるため地形、地質的条件を考慮に入れた流域内サンプル採取を行なった。同時に採水も実施し、水質、濁質からみた流域特性の把握と濁水の長期化したダム（流域）と長期化を免れたダム（流域）との組成的対比を行った。サンプル採取地点は図2、図3に示す。<sup>2)</sup>

##### 3.2.1 水質分析結果

水質分析は各流域の地質や崩壊状況と対比するため、水温、pH、DO、濁度、SS、全蒸発残留物、強熱減量、ケイ酸の他、図7<sup>2)</sup>に示す項目について実施した。分析結果を水系別にヘキサダイアグラムに表示したものが図7である。これから吉野川水系が那賀川水系に比較して溶存化学成分の少ないことがわかる。吉野川の場合、那賀川に比較して崩壊規模が小さいこと、早明浦ダム流域の風化土壤が貧弱（山岳斜面が急で風化層が薄い）であることなどが原因と考えられる。<sup>2)</sup> またpHについて、早明浦ダム流域の濁水は6.85（平均値）と清水域7.35（平均値）に比しかなり低い値を示していることが注目された。一方那賀川は濁水河川では重炭酸イオンの値が高く（久井谷で129ppm）、pHが8前後とかなり高い。重炭酸イオンの流出は地下からの2酸化炭素が地表からしみ込んできた水に溶解し、その水が岩石を溶解する為であるのと、もともと風化土壤に累積していた重炭酸イオンが崩壊、地すべり発生時に土石流と共に流出した場合とが考えられる。前者は常時河

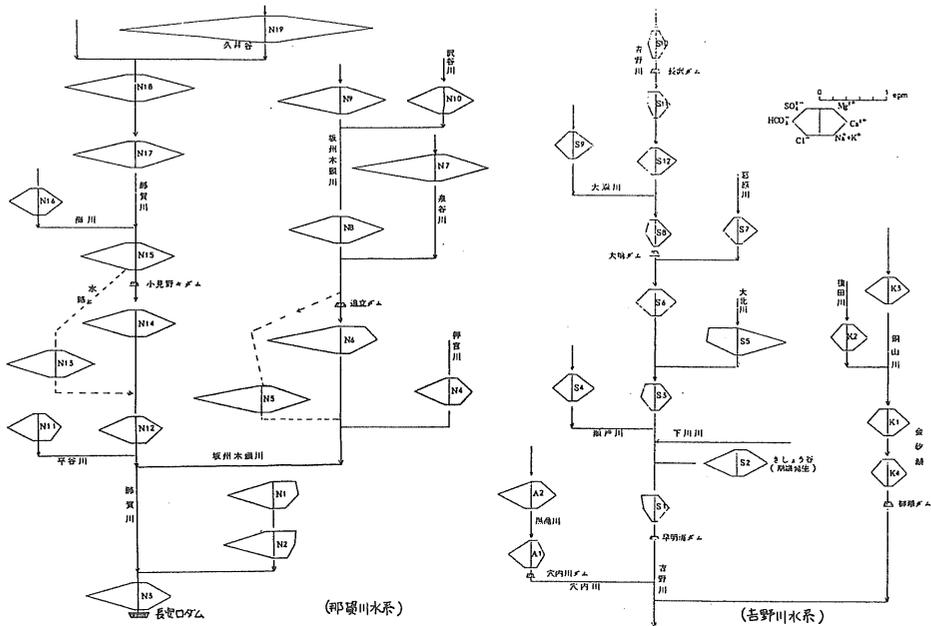


図7 水系別ヘキサダイアグラム

川に溶出しているのに対し、後者は異常時に多くなる。既述のように吉野川、那賀川両水系のヘキサダイアグラムにみられる差は、崩壊規模、風化土壌厚が考えられるが、これはとりもなおさず地質的差異のあらわれであって、吉野川水系の溶存化学成分が少ないのは三波川変成岩の有する流域の特徴であり、那賀川のカルシウムイオン、重碳酸イオン濃度の高いのは地質要因と岩盤の風化が関係していると考えられる。両水系の pH と  $\text{HCO}_3^-$  の関係を見ると那賀川の清水河川と仁淀川の秩父帯に位置する河川とがおおよそ同じ個所に分布し、吉野川の清水河川と仁淀川の三波川帯に位置する河川とは同グループに入り地質と水質が深い関係にあることが推定される（図8）。また那賀

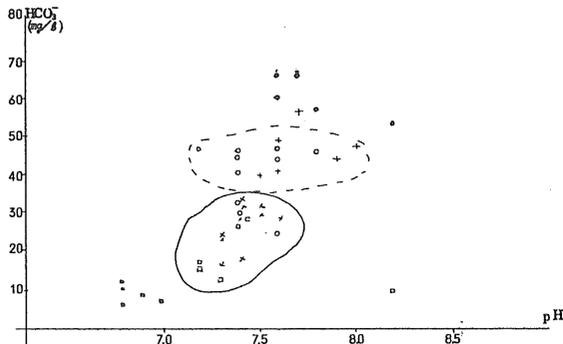


図8 対象調査地域の水質

- 那賀川の濁水
  - 那賀川の清水（秩父帯）
  - 吉野川の濁水
  - 吉野川の清水（三波川帯）
  - + 秩父帯（仁淀川）
  - × 三波川帯（仁淀川）
- 濁水：SS > 2

川の濁水河川は右上方に、吉野川の濁水河川は左下に位置しており、この両河川の濁水が示す意味については現在検討中の課題である。

### 3.2.2 鉱物組成調査

吉野川、那賀川水系について地質のちがいによる濁質組成の差、風化程度等をみるため実施したが、結果からいうと、両水系とも、地質のちがいにかかわらず、また岩石、河床堆積物、SSと共通して構成粘土鉱物が同じであることが特徴である（一部那賀川上流でモンモリロナイトが検出された）。52年再度原流域からダム滞留域までの山土、河床堆積物、河川水中濁質、ダム湖水中の濁質、ダム湖底泥について系統的にサンプリングを行い分析を行なった。結果は全般的には前年実施したことを再確認することになった。すなわち源流域における鉱物組成と末端のダム貯水池内の鉱物組成がほぼ対応していることが示された。図9は源流域の山土、河川水、ダム湖水中濁質及び同底泥、

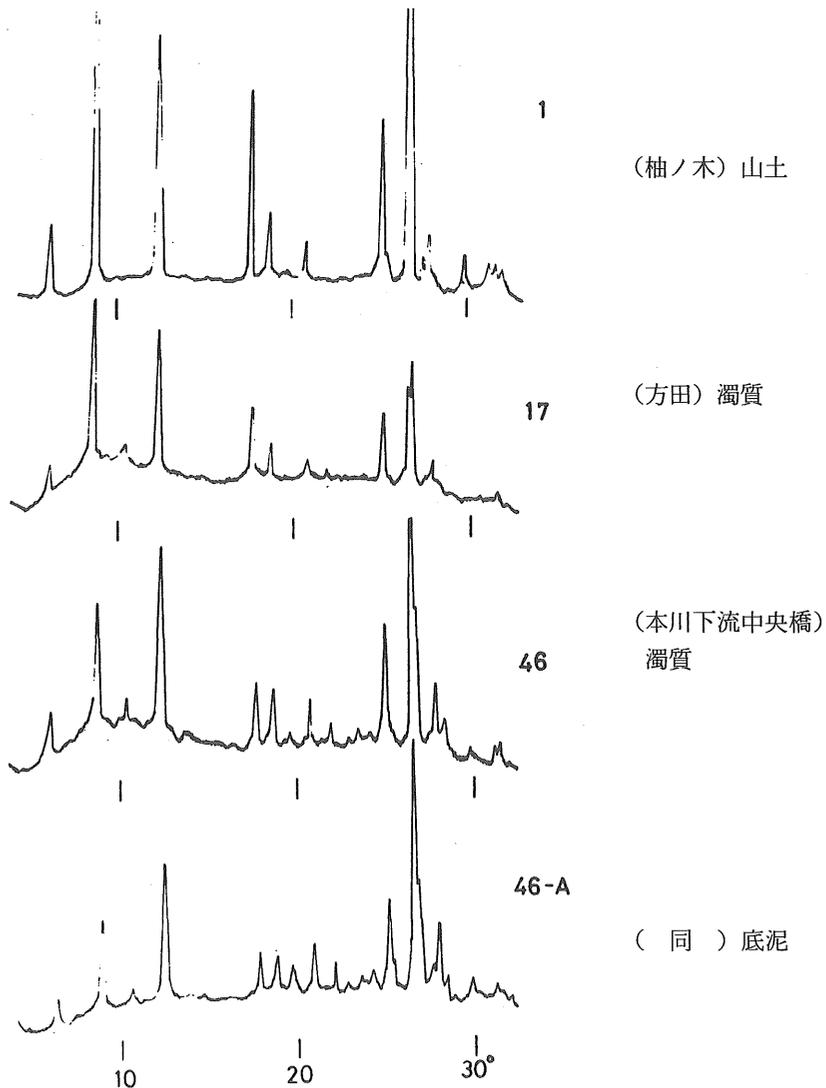


図9 吉野川上流の山土(1)、濁質(17)と下流の濁質(46)、底泥(46-A)のX線回折図

さらに吉野川本川下流中央橋地点での河川水中の濁質、底泥のX線回折図である<sup>7)</sup>。どの試料とも緑泥石と雲母鉱物のシャープな回折線を示しており、良結晶度であることを示している。ダム湖底泥の粘土鉱物も本質的に源流域のそれと変わらないが、この底泥中にはギブサイトが明瞭に認められる。ボーリングコアの分析結果はコアの深さによる鉱物種の差異もほとんどないことが判明した。またこのギブサイトはダム湖水の深部の濁質にも認められている。

### 3.2.3 粒度分布及び沈降試験

図10<sup>2)</sup>に各ダムの底泥の粒度分布を示す。図から濁水化しなかった柳瀬ダムと早明浦ダムが両極端に位置していることがわかる。那賀川は粒度分布がほぼ似かよっており、シルトからなっている。早明浦ダムでは貯水池の規模が大きく、バックウォータ区間が非常に長くさらに上流ダム群があるため、那賀川水系の底泥よりさらに微粒なものが堆積したものと考えられる。

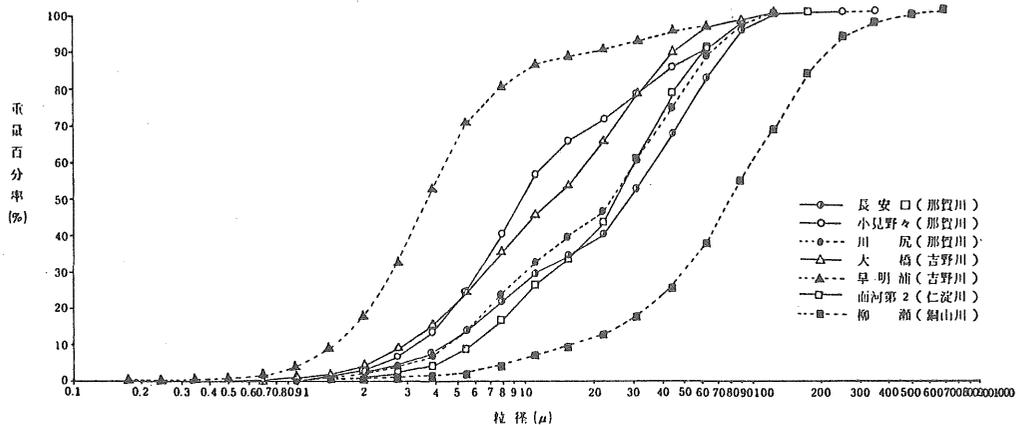


図10 ダム別粒度分布

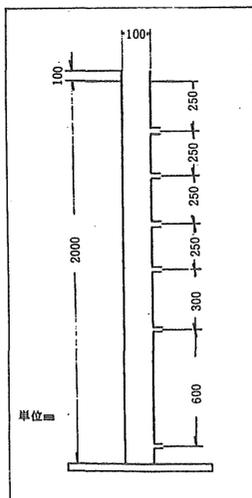


図11 沈降管

吉野川水系について早明浦ダム上流域7地点(山土6, 底泥1)を選び沈降試験を行なった。これは洪水時における濁水現象を河川水に山土および底泥を懸濁させることにより再現し、その沈降状況を観察し地域別沈降特性を把握しようとしたもので図11に示す沈降管を用いた。濁水作成は各地点で採取した試料の2 mmフルイ通過分を早明浦ダム湖水に分散させ、上澄液の濁度が50~60ppmになったものを用いた。試験結果は沈降しやすいグループとにくいグループに分かれたが、沈降の難易度は一般に粒径の大きさに対応しているようにみえる。ただ同じ沈降しやすいグループでも、ストークス則による計算上の沈降日数において粒径との関係が逆転している地点もあり、濁質は重力の作用の他、コロイド粒子の表面活性等

がその沈降挙動を支配するものであることを暗示している<sup>2)</sup>。図12に沈降しやすいグループから大森(山土)、沈降しにくいグループから早明浦ダム湖底泥(上吉野川橋下底泥)を取りあげ、その試験結果を示す。

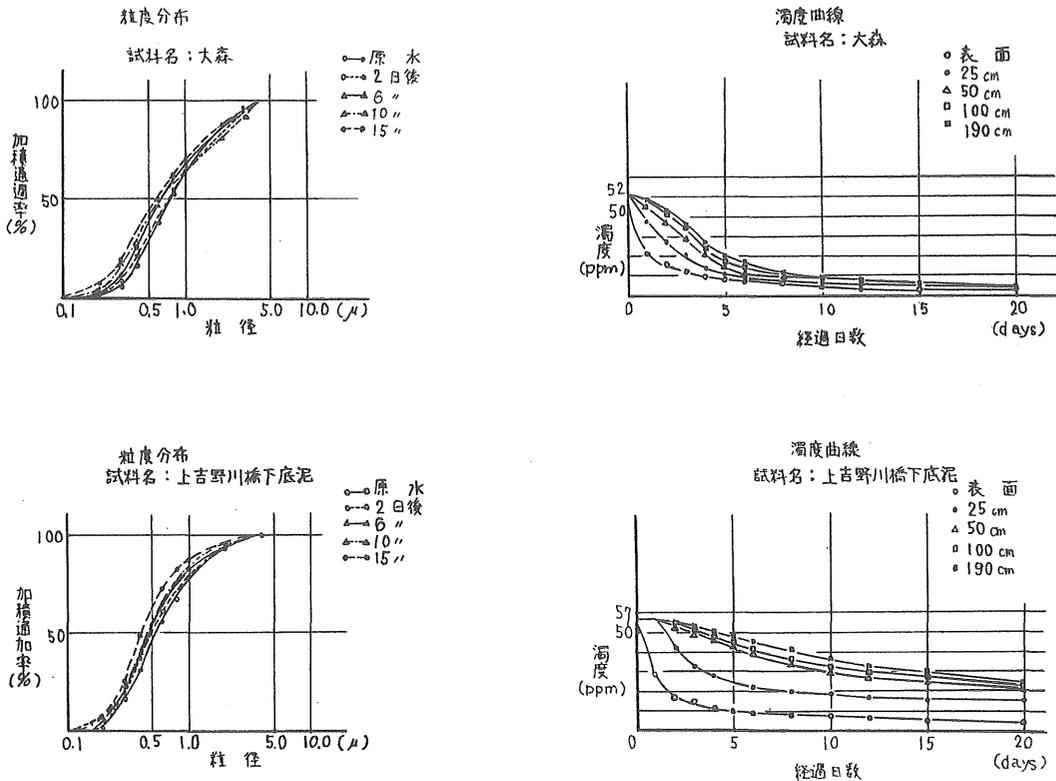


図12 粒度分布と濁度沈降曲線

### おわりに

以上51年9月濁水発生以来早明浦ダム流域を例として現在までの調査の一部を紹介した。現在のところ、平常時における四国河川についての現地調査はほぼ終り、洪水待ちというところであるが以来洪水はなりをひそめている。本稿では早明浦ダムを対象として経過を述べたので、四国主要河川の調査については触れられなかったが、平常時のデータから四国河川についてある程度の知見を得ている。現在、静水系における濁質の沈降試験を通して四国地方の河川水、ダム湖底質の沈降特性の評価とその指標を見出す基礎的研究がプロジェクトとして継続中である。

### 参 考 文 献

- 1) 建設省河川局：吉野川濁水対策調査報告書(1)。(1978)。

- 2.) 天田高白, 川田通: 貯水池における濁水の長期化と濁度物質について. 第31回建設省技術研究会講演概要, 181 - 188 (1977).
- 3.) 建設省河川局: 吉野川濁水対策調査報告書(3). p87 (1978).
- 4.) 同上. p66.
- 5.) 同上. p67 ~ P68.
- 6.) 国際科学振興財団: ダム濁水調査業務委託報告書. p1, p111 (1978).
- 7.) 同上. p13.