

◆報文◆

土砂を基軸にした新たな河道・流域管理技術の展望

末次忠司*

1. はじめに

河川の治水・利水・環境を考える場合、河川のある地点における特定情報だけを基に河道計画を策定したり、河道管理を行うことはできない。河道を流下する水や物質の挙動を流域スケールで、しかも量だけでなく、質的にも把握しながら、発生現象を考慮した河道計画の策定及び河道管理を行いう必要がある。

特に土砂の挙動は洪水時に侵食破堤を引き起こすことがあるし、砂州の形成等に伴って河床が上昇すれば、越水の危険性が生じる。これまでには河床の定期横断測量結果を用いて河床変動を把握し、河床掘削や深掘れ対策が実施してきた。しかし、河床高は時間的に変化するものであるし、河床変動に影響を与える山腹崩壊による土砂供給等の自然インパクトと河川改修等の人為インパクトを区別して考える必要がある。

このためのツールとして、河川研究室では流域管理のために洪水時又は平水時における流砂量(掃流砂、浮遊砂など)をモニタリングし、粒径集

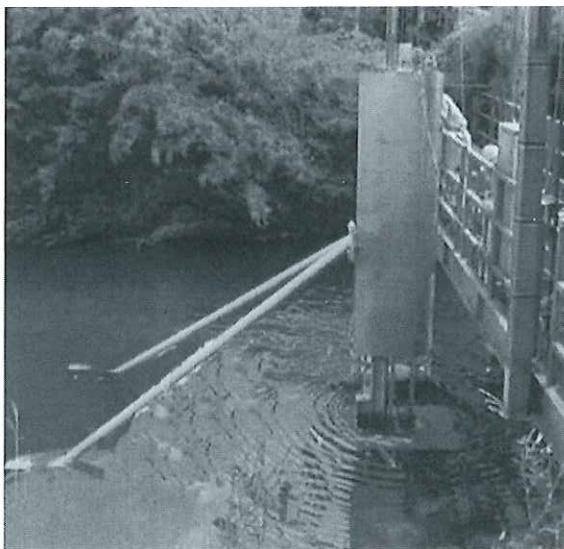


図-2 流砂観測施設（涸沼川 28.1k）

出典) 平館・末次他: 淀沼川観測施設における流砂観測と粒径別年間土砂移動量の把握(文献2)

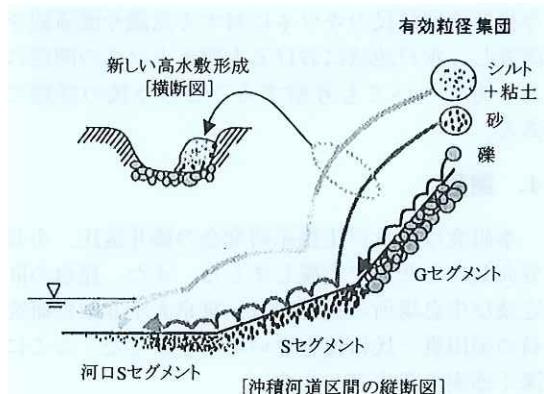
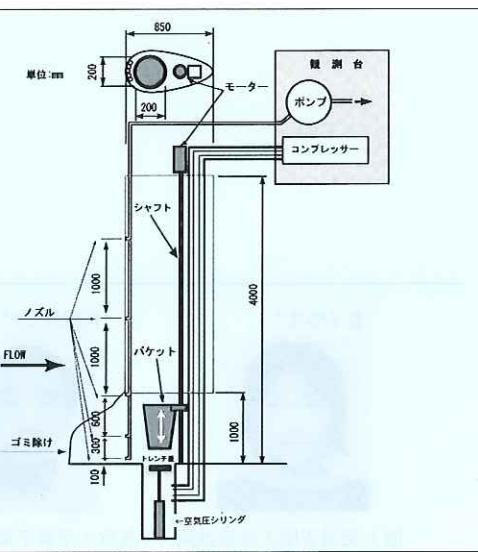


図-1 土砂の粒径別に見た分級作用



2. 土砂・物質の輸送

土砂は粒径(正確には摩擦速度 u_*/ω_0 /粒子沈降速度 ω_0)に応じて、掃流砂($u_*/\omega_0 < 1$ が目安)、浮遊砂($1 \leq u_*/\omega_0 < 15$)、ウォッシュロード($u_*/\omega_0 \geq 15$)の形態で輸送される。洪水時には大量の掃流砂等が輸送され、砂州等の河川地形を形成するが、上流では粒径の大きな土砂が堆積し、中粒径の土砂は下流へ流下する。また、細砂やシルトといった細粒土は河口や海まで運ばれるといった土砂の分級作用が見られる(図-1)。一方、平水時にも土砂は浮遊砂、ウォッシュロードとして河道を流下する。

河川研究室では流砂観測のため、那珂川支川涸沼川 28.1k(涸沼上流約 12k)地点に昇降台付き観測施設(図-2²⁾)を昭和 61 年に設置し、昭和 63 年より流砂観測を開始している。涸沼川の流域面積は 459km²、幹川流路延長は 65km である。掃流砂は河床面下に設置したフタ付きバケット(Φ20cm)により、また浮遊砂は河床から 10cm、40cm、1m、2m、3m の高さに設置したホースを通じて河道流速相当の水流でポンプ吸引することにより観測している。これまで掃流砂を 15 洪水(過去 10 年間)、また粒径 0.106mm 以上の浮遊砂を 20 回(1996~2000 年)観測している。

涸沼川における観測結果(平成 12 年 7 月)では、

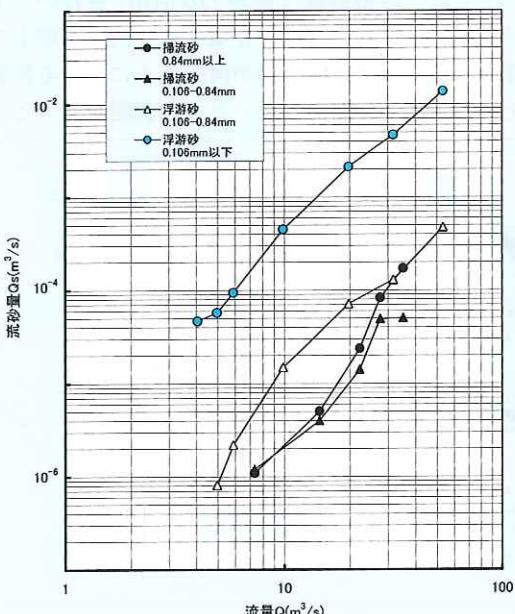


図-3 流量と流砂量の関係 (H12.7)

洪水時には流量 Q の増加に伴って流砂量 Q_S が増加しており、0.106mm以下の浮遊砂量及びウォッシュロードは 0.106~0.84mm の浮遊砂量より 1 オーダー以上多く、また掃流砂量も流量が 10m³/s を超えると、急激に増加している(図-3³⁾)。他の洪水時データも含めて掃流砂量は芦田・道上の式(河床波有り)、浮遊砂量は Lane-Kalinske の式により推定を行い、検証したが、小流量・大粒径の土砂のケースを除いて、観測結果と概ね一致した²⁾。

一方、河川を流下する物質に関しては洪水時及び平水時に筑波大と共同で重金属の輸送量を観測したり、平水時に栄養塩類(窒素、リン)の観測を実施している。重金属は人間や生態系などに悪影響をおよぼす因子として観測しており、また栄養塩類は環境(富栄養化、植物の成長)に影響を与える因子と考えて観測している。

観測結果によると鉄、マンガンなどの重金属が多く輸送されており、重金属総量を懸濁物質濃度(mg/l)で見れば、洪水時は平水時のおよそ 5~9 倍であった(図-4⁴⁾)。鉄分が多く流出したのは、流域の地質が鉄分を多く含む関東ロームだったためである。なお、遠心分離法では懸濁物質のみを遠心分離・濃縮し、また全蒸発残留法では試料全量を乾燥させて残留物量を調査している。一方、栄養塩類のうち、窒素は溶存態で輸送されるのに対し、リンは粒子状の懸濁態で輸送され、リン濃度 P (mg/l) は SS 濃度 (mg/l) に比例し、概ね $P \propto SS^{0.8} \sim SS$ であった。

3. 流域情報のデータベース化

観測された流砂量は土砂動態マップとしてとりまとめられている。図-5¹⁾には涸沼川流域を対

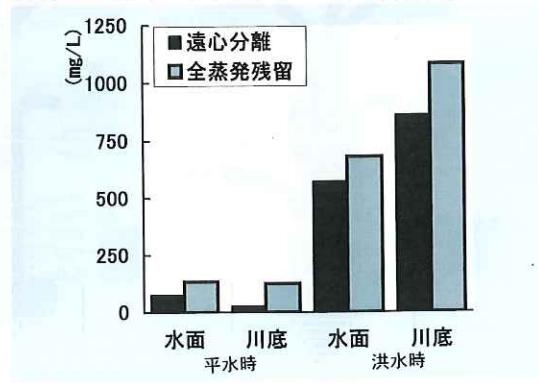


図-4 河川水の懸濁物質濃度
出典) 薫木・東らの作成による(文献 4)

象に作成したマップを示した。このマップは平成10年9月洪水に伴う本支川各区間の粒径集団別流砂量を線の太さで表している。土砂動態が不明な区間については線を縞模様表示しているし、土砂が河床材料と交わりながら輸送されている区間は河道の横に破線表示した。

涸沼川支川の稲田川・片庭川流域には大規模な採石場がある(特に片庭川流域からの流砂量/流域面積が多い)ため、本川における浮遊砂量は全国河川の平均データに比べて、1オーダー程度多い結果となっている。上流からの総浮遊砂量と下流における浮遊砂量を比較すると、1~2割程度の差があるが、収支はほぼ釣り合い、観測精度が確保されていることが分かる。また、涸沼川は延長が長くないため、明瞭には分からぬが、マップでは上流から下流へ行くに従って線が太くなる(流砂量が多くなる)と、その途中区間では河床低下傾向であることを表し、逆のケースでは河床上昇傾向であることを表す。

このように土砂動態マップを見れば、現状の流砂量を質・量の面から把握でき、河道管理などに役立てられる。年代毎に表示すれば、流砂量の推移も示され、土砂動態の変化が一層明確になる。その際、インパクトに対する時間ファクター(応答遅れ)に注意する必要がある。例えば、山腹崩壊により発生した土砂は時間が経過してから河道へ流出てくる分があるし、砂利採取を規制すると、砂利河川では短期間のうちに河床低下しなくなるが、砂河川では規制後も河床低下は緩慢に持続する。

同様のマップは北上川水系江合川など多数の河川流域で作成されている。今後は土砂動態だけでなく、動態に影響をおよぼすファクターを含めて情報のデータベース化を図る必要がある。情報としては、

- 降雨・洪水情報：年最大流量(日雨量)他
- 土砂生産情報：山腹崩壊、採石他
- 土地変更情報：土地利用変化、大規模ニュータウン開発他
- 河床変更情報：河道掘削、砂利採取他
- 河川改修情報：ダム・砂防ダム群の建設、改修に伴う掃流力の変化他

などを記述した「土砂動態インパクト要因図(図-6)」を作成する必要がある。各インパクトはその時期、規模を記載するとともに、新たなインパクトが絶えず発生し、土砂動態に影響をおよぼすので、この要因図は最低10年に1回は見直す必要がある。

4. 土砂モニタリング手法の開発

土砂観測は、従来掃流砂採取器やバケツ採水(浮遊砂)などにより行われてきた。建設省技術研究会や河口域の観測では、モニタリングのための新たな計測手法を採用したので、以下に紹介する。

建設省技術研究会⁵⁾では本省及び地方建設局と連携して河道管理上の課題を抽出する(22河川)とともに、浮遊砂量の観測(16河川)を行い、土砂動態マップ(7河川)を作成した。河道管理上の課題では「浚渫・構造物が河床低下に与える影響をどのように把握するか」という課題がもっとも

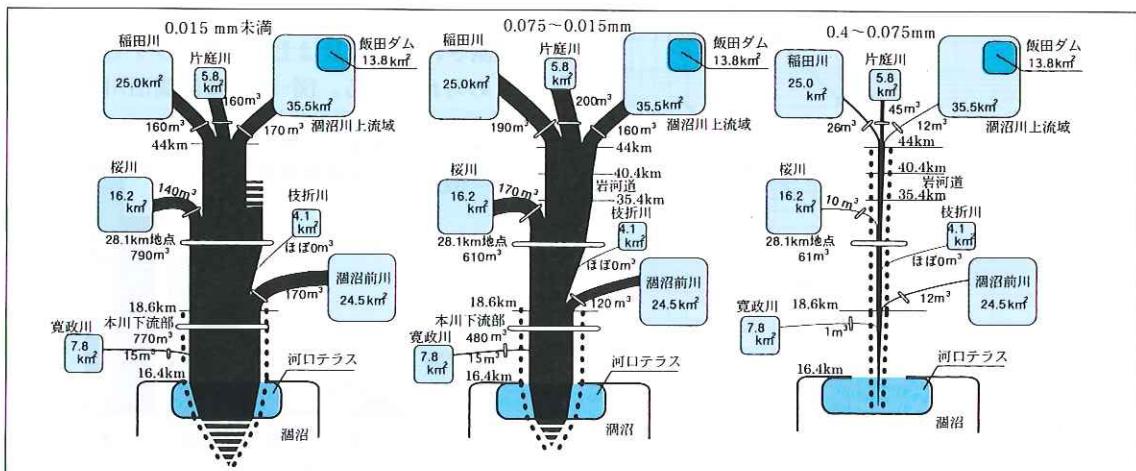


図-5 潟沼川水系土砂動態マップ (H10.9 洪水)
出典) 藤田・平館他 : 水系土砂動態マップの作成と利用 (文献 1)

多かった。

浮遊砂観測にはバケツ、自動採水器、流砂捕捉ポンプが用いられた。特に、流砂捕捉ポンプは堤防沿いに設置した採水管を通じて採水するもので、管の先端より空気を混入させてエアリフト効果により浮遊砂等を吸引する方式を採用している(写真-1)。この装置は揚程 20m かつ管路延長 120m 程度まで流砂を搬送できるため、多くの現場に設置可能であり、また粒径 5mm 程度の流砂が捕捉可能であるため大半の浮遊砂は捉えることが出来る。今後は掃流砂の捕捉を可能にするために、更に大きな粒径の土砂も吸引できる装置の開発が望まれる。

また、干涸などの生態系に影響をおよぼす河口域の土砂水理については、利根川・多摩川・白川を対象に流速計、濁度計、塩分計、水温計などを設置して時系列変化を観測している。また、こうした観測データを利用して、河口域の地形及び底質変化を数十年程度のオーダーで予測できる現地適

用性の高い土砂移動モデルを構築中である。種々の観測データが収集され、解析モデルが完成すると、生態系の基盤となる河川地形の形成過程が明らかにされ、土砂動態と生態系との相互関係を表現することが可能となる。

これまでの観測では洪水時に大量の土砂が輸送される一方、平水時にも例えれば大潮の逆流時に土砂が巻き上げられて河口部に堆積する土砂挙動が分かった。この観測では超音波ドップラー流速計を用いて河道断面内の流速分布を時系列的に計測し、更に流速計の音響強度から土砂濃度を推定する方法を開発した⁶⁾。これにより流速と土砂濃度を 1 台の機械で同時に計測できるため、時々刻々の断面通過土砂量を把握することが可能となった。今後は浮遊土砂の粒径も計測できる技術の開発が望まれる。

5. 河道・流域管理技術

上述した新たなモニタリング手法を活用した流

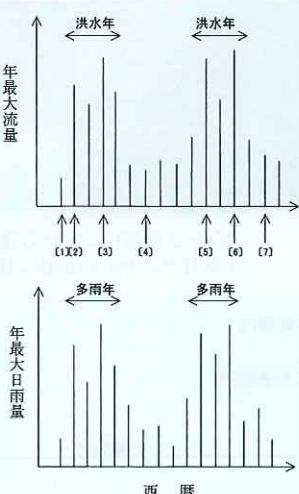
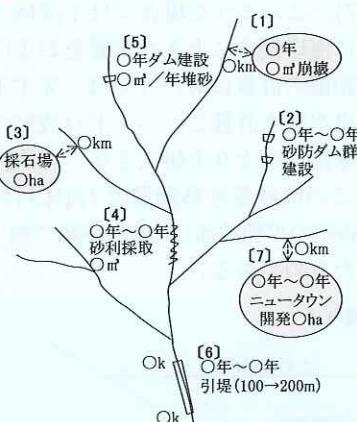


図-6 土砂動態インパクト要因図
注) 引堤とは川幅を拡げるために堤防位置を堤内地側に移動させることを言う。



(b) 真空ポンプ及び気泡混入装置



写真-1 流砂捕捉ポンプによる流砂観測

砂量観測結果や粒径集団別流砂量をマップ化した土砂動態マップを活用すれば、流砂系の管理目標設定といった河道(河床)管理に応用できる。今後各河川でマップを作成し、河道計画策定や河道管理に用いることが望まれる。また河道管理と同時に管理目標を達成するために、新たな管理技術を開発しなければならないという研究ニーズも生まれてくる。以下には管理技術に関する項目毎に今後開発されるべき手法・技術を展望する。

5.1 土砂・物質発生源

土地利用・地質・降雨特性別に土砂・物質の発生量を推定できれば、河川流域の土砂・物質動態の予測ができるとともに、人為的インパクトがおよぼす影響を把握できる。

5.2 土砂移動特性

特定の土砂に着目して、その移動特性が明らかにできれば、土砂動態をダイナミックに把握できる。1例としては、1洪水(1/100確率)により砂利が輸送されても、その移動距離はたかだか数kmであり(図-7)、このような場合には下流域における砂利採取は海岸侵食に大きな影響をおよぼす⁷⁾。この移動距離の計算にあたっては、先ず不等流計算により洪水流を計算し、ハイドロ波形の流量に対応した摩擦速度より土研式を用いて流砂量を求めた⁷⁾。この流砂量を移動層厚(河床材料の平均粒径又は砂州の平均波高)×低水路幅で割って移動距離としたものである。

一方、砂利投入は河床低下防止や環境復元などの目的で矢作川、大井川、多摩川などで実施され、砂利の挙動がモニタリングされており⁸⁾、これらの流動データを分析すれば、ある程度の砂利移動特性を把握することができる。

5.3 管理目標の設定

適切な河床高を維持したり、海岸侵食が発生しないようにするには、河床変動計算まで含めて、各区間ににおいて最適な流砂量を設定できる「土砂動態シミュレータ」を開発し、管理目標を定める必要がある。そして、管理者間で協議したうえで、どういう粒径の土砂をどの程度流下させる必要があるかといった改善された管理目標を示すべきである。



写真-2 黒部川における連携排砂
(宇奈月ダムからの排砂: H13.6.21)

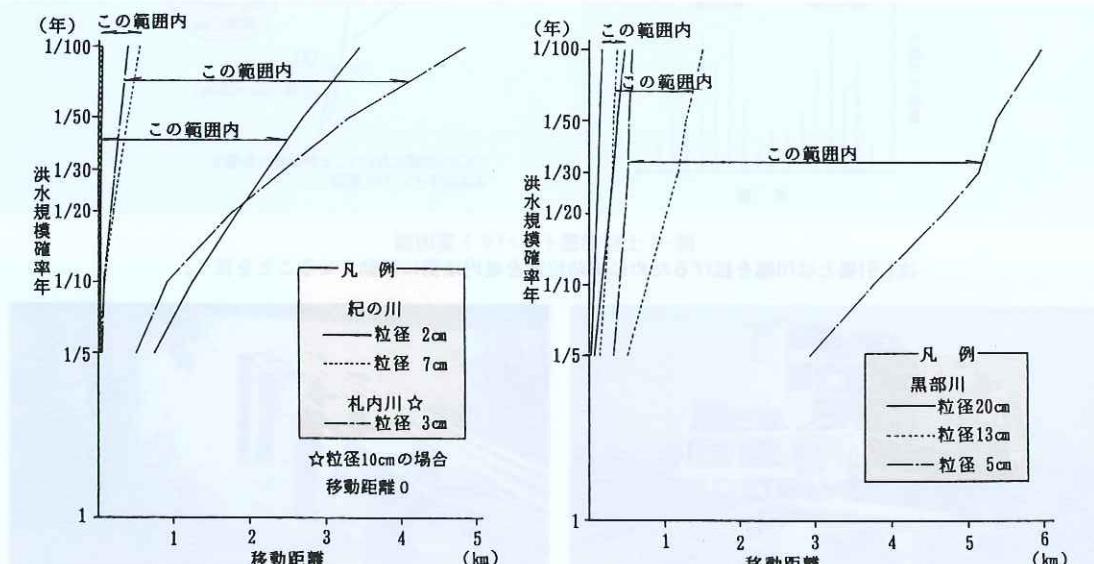


図-7 洪水による砂利の移動距離
出典) 山本・藤田他: 沖積河道縦断形の形成機構に関する研究 (文献 7)

5.4 目標達成のための対策

管理目標を達成するために、ダムの排砂設備(写真-2)・砂防ダム(透過型スリット)・床止めの設置、ダム等における堆積土砂の除石・搬送、砂利採取量・区間の設定、サンドバイパスの検討といった対策案を提示する。その際、各対策のコスト、管理者の費用分担、環境に与える影響まで含めて、対策案の良否を判定する必要がある。

5.5 管理技術の開発

上記した対策案で十分でない場合は、新たな管理技術を開発する必要がある。例えば、有効な堆砂空間(土砂堆積のための河道断面形の調整)の設定方法、離岸堤(河岸から一定距離離して、河岸と平行にブロック又は巨石を設置する工法)・水制群・縦工群(河岸に沿って一定間隔で設置した侵食防止工)による土砂堆積などの方法が考えられる。

これらの技術は水・物質の流入起源を明らかにすれば、流域管理技術にも応用可能となるし、逆に流域管理から考えた土砂の発生源対策ともなりうる。流域管理に応用するためには、旧都市河川研究室で開発されたWEPモデルのような流域内の水循環を追跡できる分布物理型モデルとのリンクも必要になると考えられる⁹⁾。

6. 今後の河道・流域管理に向けて

土砂動態については、今後流砂観測精度を向上させたり、掃流砂や粒径の大きな浮遊砂を採取する技術を開発する必要がある。計測手法では超音波流速計を用いて、直接的に流砂の質を評価できるように浮遊土砂の粒径を計測する技術開発が望まれる。

また、当面は流砂量を観測し、その結果を「土砂動態マップ」として表現し、河道管理に活用することが重要である。今後は土砂動態マップだけではなく、土砂動態に影響をおよぼす要因を示した「土砂動態インパクト要因図」を作成したり、最適流砂量を設定できるソフトウェア「土砂動態シミュレータ」を開発し、将来予測や管理目標設定に活用することが望まれる。

一方、今後は土砂だけでなく、流域スケールで積極的に物質動態を観測していく必要がある。観測すべき物質としては土砂、窒素、リンだけでなく、環境ホルモン態物質、微量有害物質などが含まれる。物質観測は分析に手間と費用を要するの

で、土砂に比べて容易ではない。しかし、人間・生態系に与える影響などを考えて、流域スケールで水・物質動態を把握し、「土砂・物質動態マップ」及び「土砂・物質動態インパクト要因図」を作成しておくことが河道計画策定及び河道管理上、近い将来重要になると考えられる。

参考文献

- 1) 藤田光一、平館治、服部敦他：水系土砂動態マップの作成と利用、土木技術資料、41-7, 1999.
- 2) 平館治、末次忠司、諏訪義雄他：涸沼川観測施設における流砂観測と粒径別年間土砂移動量の把握、土木学会第56回年次学術講演会、第2部門, 2001.(投稿中)
- 3) 藤田光一、末次忠司、平林桂他：涸沼川洪水観測レポート[2]1990~2000, 土木研究所資料、第3798号、2001.
- 4) 番木佐衣子、東照雄、末次忠司他：涸沼川水系の洪水時における懸濁物質の重金属含量、日本土壤肥料学会、2001.
- 5) 建設省河川局治水課、土木研究所他：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、第54回建設省技術研究会、2000.
- 6) 横山勝英：河口域の新たな流動計測法と土砂観測への応用、土木技術資料、43-6, 2001.
- 7) 山本晃一、藤田光一、赤堀安宏他：沖積河道縦断形の形成機構に関する研究、土木研究所資料、第3164号、1993.
- 8) たとえば、田中蕃：砂利投入による河床構造回復の試みとその効果Ⅲ、矢作川研究、No.3, 1999.
- 9) 末次忠司、河原能久、賀仰文他：都市河川流域における水・熱循環の統合解析モデルの開発、土木研究所資料、第3713号、2000.

末次忠司*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長、工博
Dr.Tadashi SUETSUGI