

第1章 序論

1.1 土砂管理の必要性

自然河川では、土砂の流入と流出はほぼ均衡している。しかし、ダム建設によりこの均衡は変化する。すなわち貯水池が人工的に形成されると、貯水池内では流速がきわめて遅くなり、土砂が捕捉される。通常、土砂の堆積は貯水池の満砂により土砂の流入と流出が再び均衡状態となるまで続き、それに伴い貯水容量は減少していく。そのため、再び均衡状態となった時には貯水池の機能はもはや期待しようがなくなる。流量調節のための貯水容量は減少し、最終的には消失する。さらには、水供給と洪水調整の効用だけでなく、ダム放流に依存した水力発電、舟運、レクリエーション、環境保全の効用までも失うこととなる。堆砂進行により、15年も経たずして全貯水容量を失ったベネズエラのカマレ灌漑用貯水池のような例がある（図 1.1）。これは決して特別の事例ではなく、ただ堆砂進行のスピードがほかの貯水池より速かっただけである。ちなみに、この貯水池では土砂管理が何も実施されていなかった。

堆砂問題は多岐にわたって貯水池に影響を及ぼす。貯水容量の減少は、その一つにすぎない。貯水池の半分が土砂で埋まると、その運用面で多大な影響が生ずることはもちろんだが、貯水容量がほんのわずかでも失われるだけでも、堆砂に起因する深刻な問題が顕在化する場合がある。貯水池の完成後、堆砂が進行するにつれて堆砂問題はますます深刻になる。そして、この問題は多くの貯水池で起こりうる。どんなダムや貯水池であろうとも、持続的にその効用を享受しようとするのであれば、流水管理ばかりでなく土砂管理が必須である。ただし、これは決して容易な課題ではない。

土砂に起因する問題はダムの上流でも下流でも生じうる。さらに、土砂混入により利水障害も引起こされる。すなわち、土砂が取水口に侵入すると、それは取水障害となるうえ、水車の摩耗は激しく加速し、水車効率の低下や維持費用の増大を招く。高濃度の密度流として、土砂が貯水池の底部を数十 km も流送されることもあり、その結果、深部に位置する取水口に流入したり、低位放流口の前面に堆積したりする。デルタ域に局所的に土砂が堆積し、貯水池上流の河床が上昇することで、洪水や排水の障害、栄養塩類による土壌汚染、航行障害、生態系の変化、デルタ堆積物に位置する発電所の放水障害、取水口の閉塞が生ずる（図 1.2）。乾燥地帯では、デルタ域に深根性の地下茎植物が発生することで、水量の損失が加速される。また、貯水池による土砂の捕捉と流況変更の組み合わせは、また、生態系、水の透明度、土砂バランス、栄養塩類の収支、貯水池下流の河相に大きく影響する。すなわち、ダムの建設は、これだけで下流域への土砂供給に影響を与える最大の要因であるといえる。ダムにより、下流域へ土砂が供給されないと、河床低下が起こり、河岸侵食速度が加速し、また、橋脚などの基礎部の洗掘が助長される。さらに、河床材料が徐々に粗粒化され、表層がアーミングされることで河床低下や水中生物の産卵場所の消失が起こる。また、海岸域までも影響を受けることがある。ミシシッピ川やナイル川の河口では海岸侵食が進行しているが、これは 1 000 km 以上も上流のダムによって、土砂が捕捉されているためである。

世界大ダム会議刊行の目録（ICOLD：International Commission on Large Dams,1988）によると、1996 年時点で、高さ 15 m 以上のダム数は建設中を含め、全世界で約 4 万 2 000 と

る。これより小さいダムも含めると、その数は数倍にもなる。これらのほぼすべては、流入してきた土砂をそのまま堆積する設計および運用がされていて、持続的利用に配慮されていない。現在の貯水池すべてが堆砂によって失われると、現在の人口レベルや経済レベルを維持することが困難となる。また、人口レベルや経済レベルが向上するにつれ、社会におけるダムの役割はますます重要となってくる。アメリカ合衆国西部の近代工業都市や近代農場からインド半島の灌漑農村に至るまで、世界中あらゆるところで社会はダムの恩恵を受けている。かりに、世界中の貯水池の容量が一瞬のうちに失われると、未曾有の大惨劇となると考えられる。しかし、実際は堆砂による貯水容量の減少は徐々に進行するため、ほとんど注目もされず、適切な対策も取られていない。

貯水池はこれまで多くの場合ただか 100 年間で満砂し、その有限の役目を終える前提で、計画、設計そして運用されてきた。現在の貯水能力が堆砂で失われる際の代替貯水池や、継続的な流入土砂に対し貯水池の機能を維持する試みもほとんど考えられていない。もし、現在の貯水

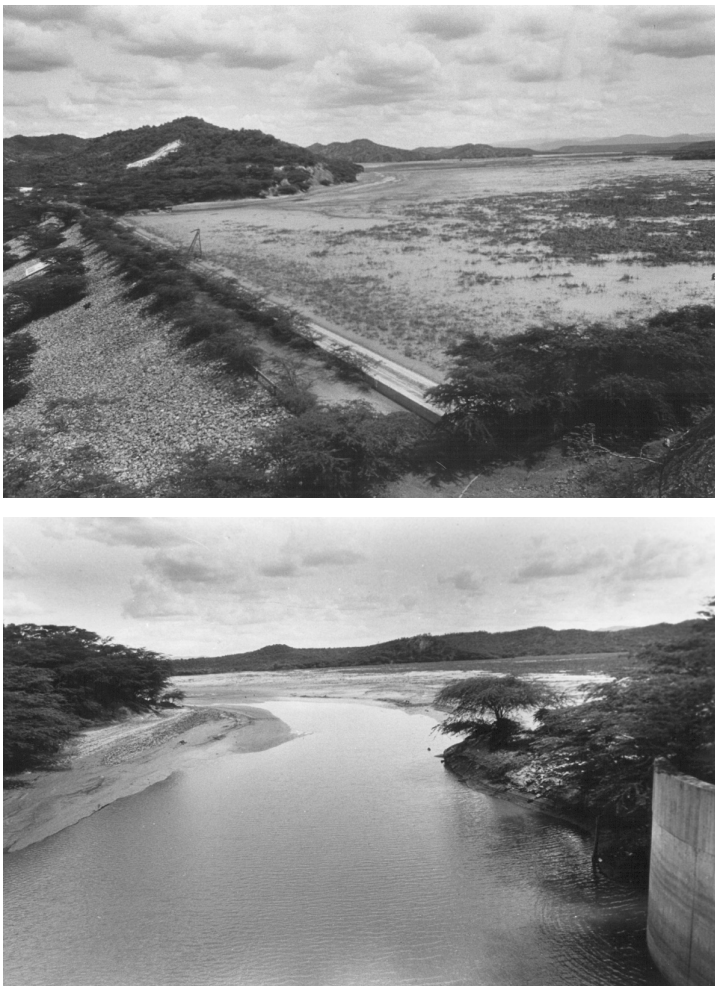


図 1.1 完全に土砂で埋まったベネズエラのカマレ灌漑用貯水池 (G. Morris)
 (a) 全景。(b) 洪水吐から上流を眺める。河道の両岸に、洪水吐より高標高に氾濫原が形成されつつある様子がうかがえる。この写真の水位は、洪水吐敷の高さである。



図 1.2 スーダン、アトバラ川にあるカシム・エル・ギルバダム上流デルタ部で堆砂により埋没した取水口 (R. Hotchkiss)

池が堆砂により深刻な事態に陥れば、次世代のだれかがその解決策を見つけるであろうという、暗黙の了解があるのみである。しかし今日、貯水池の堆砂問題は年々深刻化し、重大な問題が世界各地で起こっている。その中には、国家的な重要性をはらんでいるものもある。貯水池における土砂管理は、もはや先送りできるような将来の課題ではなく、まさに現在の問題なのである。

従来の土砂管理においては、貯水池は持続的に供用すべきものである、という観点が欠如している。土砂の流入を減らし、貯水池を延命する方法としては、建設時から十分な貯水容量を確保しておくことや、流域の土砂侵食制御することが推奨されてきた程度である。しかし、土砂侵食制御だけでは、貯水池の貯留容量を安定化するだけの効果はなく、持続的な利用にはほど遠い。さらに、土砂侵食制御対策はその場しのぎで実施されることが多く、その多くは期待された程、流出土砂量を減少させていない。そのため世界中の貯水池で、その容量が急速に失われつつあり、毎年 1% ずつ減少している可能性も否定できない (Mahmood, 1987)。

貯水池の建設には、水文、地質、地形、地理的な特性が適した土地が必要である。そして、既存の貯水池は、一般に最良と考えられる地点に建設されている。しかし、大量に土砂を撤去して処分することは、多額の費用と複雑な問題を伴うことから、大規模貯水池において、堆砂は不可逆的な過程であるといっても過言でない。もし、将来の世代が、貯水池による種々の効用を享受するつもりであれば、既存の貯水池を維持し、持続的に利用することが不可欠で、新たな地点を次々と開発していくような方法では、いずれ優良な地点が尽きるだけである。貯水池によってもたらされる水の供給やそのほかの便益は、堆砂が制御されて初めて再生可能な資源となる。

1.2 土砂管理の要素

堆砂が進行している貯水池を、長期的な効用をもたらす持続可能な資産へと転換するには、貯水池の設計思想や運用方法を、根本から見直す必要がある。従来の、貯水池の寿命は堆砂によって限定されるという考えから、貯水池の機能を持続させるためには流水と土砂の両者を管理する必要があるという考えに、発想を転換する必要がある。以下に述べる基本的な土砂制御戦略を適用することで、持続可能な利用は可能となる。

(1) 流入土砂の軽減

流域の侵食制御や貯水池上流域での土砂捕捉によって、貯水池への土砂流入を軽減する。

(2) 土砂の誘導

土砂流入を伴う洪水時に水位を下げたり、流域に貯水池を築造したり、土砂バイパスや高濁度の密度流を利用したりするなどして、流入する土砂の一部または全部を貯水池の外へと水理的に誘導する。

(3) 土砂の除去

貯水池内に堆積した土砂をフラッシング、浚渫、ドライ掘削などで定期的に除去する。

(4) 十分な貯水容量の確保

貯水容量が、流域において想定される土砂供給量よりも大きければ、貯水池の機能は持続的なものと考えられる。その際、必要な堆砂容量はその貯水池内、あるいはより上流の貯水池において確保する。

(5) 土砂の位置

堆積土砂を後に運搬・除去しやすい場所、あるいは貯水池の運用の妨げにならない場所に集積する。また、取水口やほかの設備は流送土砂や堆積土砂の影響が最小限になるように配置する。

各手法の費用や適性は、地域特性により変わるものであり、また貯水池の堆砂容量によっても変化する。しかし、たとえ最大規模の貯水池であっても、いずれは堆砂によって貯水容量が小さくなるものであり、遅かれ早かれ、土砂管理が必要となる。

1.3 このハンドブックのアプローチ

このハンドブックは、堆砂問題の認識を深めることをねらいとしており、堆砂問題の把握、解析、そして管理のための実践的戦略を概説している。そして、統合的に適用することでいわゆる貯水池における「持続的土砂管理」を達成する基本的な概念や方法論について紹介している。堆砂は程度こそ違え、世界中の貯水池に共通な現象であり、ここで記述される管理戦略・技術は、建設年代、形式、規模を超えて、あらゆる貯水池に適用できるものである。これらの基本を理解することは、遊砂地と沈砂池などの土砂捕捉設備を、効果的に設計したり運用したりする助けになる。土砂を管理するための計画論や運用法を確立するには、時に複雑な数学的、力学的モデルを研究することが必要であるが、本書では、これらの解析手法や土砂輸送理論について、立ち入った議論をするつもりはない。これらの論点については、ほかの書物ですでに幅広く扱われている (Yang,1996; Simons and Senturk,1992; Julien,1995; Chang,1988; Vanoni,1975; Graf,1971)。むしろ、本書では、基本原理や方法論を、幅広い視野でとらえる。そしてこれにより、貯水池における堆砂問題の概念や評価法、ひいては、貯水池管理戦略（これは最終的には個々の地点を対象とした詳細な検討の中で切り開かれるだろうが）を明確にすることができるであろう。

堆砂問題と管理技術は、貯水池ごとに異なるものであるが、いくつかのケーススタディを通じ、堆砂問題の複雑さや具体的方法論について理解することができる。本書では、詳細なケーススタディに、7つの章を割り当てている。これらの事例は、管理方策、地質的、水文的特徴が、多岐にわたるよう収集されている。これらの事例であげられる貯水池の容量は、下は200万 m^3 から上は17億 m^3 までいたる。アメリカ合衆国から2事例、中華人民共和国から2事例、そして

コスタリカ、スイス、イランから各1事例を抽出している。

中国には8万2000もの貯水池があり、年2.3%の割合で貯水容量が減少している。これは、世界で最も急激な減少である（Zhou,1993）。中国の黄河は、世界中の主要水系のうちで、土砂濃度が最も高く、世界のダムの半数は中国にある。このため貯水池の土砂管理手法に関して、中国にかなりの経験があることは驚愕に値しない。本書では、この中国の経験から、有益な教訓を抽出することに傾注した。

最後に、本書では、持続的土砂管理の概念を包括的に論じている。この持続的土砂管理を行うことで、現在の貯水池を今の世代はもちろん、将来の世代にも有益な資産へと転換できることとなる。20世紀は、ダムの新規建設に焦点をあててきた。一方、21世紀においては、既存設備を持続的に利用していくため、堆砂問題の克服に傾注すべきである。今それを始めることが、何よりも肝要である。