

意見 (Opinion)

多目的ダムを目的別に切り分ける：  
一般ダムと佐久間ダムについての提案

戸田三津夫

**Divide the roles of multipurpose dam:  
The reconstruction proposal for general dams and SAKUMA dam**

Mitsuo TODA

摘 要

多目的ダムは、設置目的として利水と治水を兼ねたダムであり、以下に示すように根源的な矛盾をはらむ。すなわち、利水（灌漑、用水、発電）のためには貯水量が多い高めの水位が都合よいが、最大の治水能力を発揮するには空に近い低水位がよい。豪雨が予想されると、多目的ダム運用担当者は現状の水位で対応可能か、あるいは放流により水位を下げてもさらに大きな治水容量を確保すべきか、限られた時間内に判断しなければならない。ここでの大きな問題点は、容量配分がどうあれ、より大きな治水容量を確保するためには「発電などで利益を生む水」を放流しなければならないことである。いくら災害に備えた操作であっても結果的に確保した治水容量が行使されなかった場合、つまり役にたつ水を放棄したが用意した治水容量を必要とする出水がなかった際には判断の是非が問われることもある。さらに、放流により到達できるダムの最低水位と、治水容量確保のための低水位に到達するまでの所要時間は放流設備に依存するので判断は急を要する。したがって、多目的ダムの治水能力には治水専用ダムにない制約がある。2018年夏の西日本豪雨の際、結果的に水害リスクにうまく対応できたダム、残念ながら犠牲者を出してしまったダムがあったことは記憶に新しいが、それにはこのような事情も関係している。また、従来型のダムでは一つの水塊（池）で多目的を担うために運用上の制約に加え、解決困難な堆砂問題も抱えている。本稿では、ダム容量を目的別に切り分けることにより多目的ダムが抱える問題を可能な限り軽減し、同時にダムの持続的利用を実現するための一つの発想としての構想を示す。環境負荷を与えないダムはまずない。一方、多くの都市はダムなしに運営できない。多目的ダムを高度に利用してしかも持続的に運用できれば、結果的にダムによる環境負荷全体を軽減することができるはずである。以上のような目的で、一般論としての構想をまず仮想的なダムについて示し、実在する佐久間ダムについて地勢的条件を考慮した案を考えた。

キーワード：多目的ダム、治水容量、利水容量、堆砂容量、佐久間ダム

**Key words:** Multipurpose dam, Flood control capacity, Irrigation capacity, Sediment capacity, SAKUMA dam

(2020年4月20日受付；2020年11月9日受理)

はじめに

戦後の日本の発展を支えてきた天竜川水系の佐久間ダムでは、大量の堆砂と下流での長期濁水発生が問題となっている。その解決策については、これまで堆砂運搬方法として鉄道利用の提案（戸田，2014）、清水バイパスによる濁水軽減と魚

道設置の提案（戸田，2015）、貯水池と本流を分け今の堤体を利用して流水型治水ダムを作る提案（戸田，2016）を行った。本稿で示す案は、2016年の案をさらに検討したものである。利水と治水をあわせて担う多目的ダムの水位操作は根源的に矛盾をはらむ。濁水時の低水位期を除き、特に発電と治水を目的とした多目的ダムでは、豪雨が予期されるとその時点で

<sup>1)</sup> 〒432-8561 静岡県浜松市中区城北3-5-1 静岡大学大学院総合科学技術研究科 Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561, Japan

の水位で洪水に対応可能か判断を迫られる。そして、新たに治水容量を増やさなければならない判断がされると、あらかじめ合意した手順に従い放流により水位を下げる。しかし、ダム利水事業者、特に発電事業者にとっては「水量×比高＝利潤額」であって、放流は利潤の元を放棄することに等しいので、可能な限り放流は避けたい。

ダムの説明図では、便宜上、上層から治水容量、発電などの利水容量、堆砂容量と地層のごとく水平に目的別容量を積んで示すことがあるが、上層の水を動かさず下層の水だけ放流するというは実際にはできない。たとえ深いところから放流しても下支えを失った水は“ダルマ落とし”のごとく水面を下げ、上層にあった水がなくなる。ところが、発電、その他の利水で使えるのは取水口よりも上の水であり、水位を下げると発電や利水に役立つ水塊がまず失われる。つまり、豪雨に備えるために予備放流や事前放流（注）を行うことで治水容量を確保すると「利潤を生む水」がまず失われる。堆砂容量についても、土砂は単純に平らに沈むのではなく、ダム湖の中で水勢が失われると水の土砂運搬能力が急激に低下するため、土砂は上流側に盛り上がるように堆積する。さらに粒径選別が起こり上流側から大きい礫、小さい礫、次に砂が、最下流側に微粒子（シルトや粘土）が堆積する。多くの多目的ダムでの実際の運用に則した容量配分の状況を図1 (A) に示した。図1 (B) には本稿の構想での、なるべく互いに干渉しないダム容量の目的別切り分けを示した。以下に、これを実現する道筋を述べる。

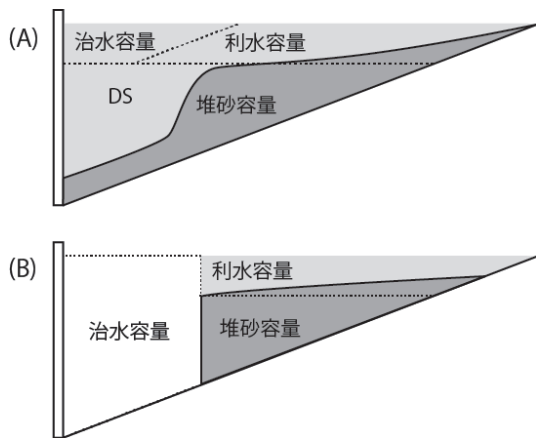


図1. 多目的ダムでの実際の運用に則した目的別（利水、治水、堆砂容量）の配分の設定状況 (A)、改善案 (B) を概念図として示した。：(A) は多くの多目的ダムでの現状。ダム湖空間が一体で運用されるため、利水容量と治水容量が相互に干渉し、大きなデッドスペース (DS) がある。(B) は貯水湖空間を上・下流方向に分割した改善案。より高標高の上流側の貯水空間は利水容量と堆砂容量を効率的に設定できる。一方、下流側の空間は本来デッドスペースだったところも含めて大きな治水容量として運用できる。

### 多目的ダム容量の、上・下流での目的別切り分け

では、互いに利益相反状態にある多目的ダムの容量配分を、どのように切り分ければ効率的な運用が可能になるだろうか。ここでは、流れ方向、つまり、上・下流側で容量配分を実現する案を図2に示す。(A) が平常時の状態で、四つの堤体により左方の下流側から (a), (b), (c), (d) の容量を設定する。最下流の堤体は穴あき構造とし、最も水深があり容量の大きい (a) は治水容量として配分し流水型治水ダムとして運用する。(b), (c) には利水容量をあてる。最上流には、土砂と水を分離するための前ダム (d) を設置する。(d) から (a) へは旧河道の傾斜に沿って (b), (c) の地下を通る排砂バイパストンネルを貫通させ洪水時に土砂を通過させるとともに濁水を速やかに流下させる。(b) と (c) からトンネルにむけ排砂ゲートを設け随時堆砂排出できるよ

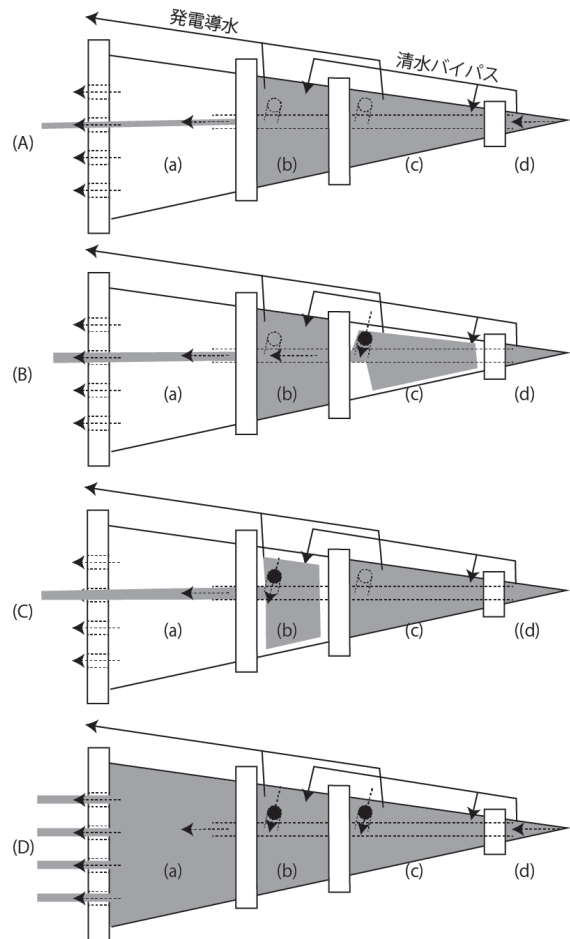


図2. 仮想的なダムを上・下流方向に目的容量別に分割し、(a) 治水ダム、(b) 利水ダム1、(c) 利水ダム2、(d) 前ダムとして運用する案。(d) 前ダムから (a) 治水ダムへ排砂トンネルバイパスを設ける。(A) はフル運用状態、(B) は (c) 利水ダム1の“かい掘り状態”、(C) は (b) 利水ダム2の“かい掘り状態”、(D) は出水時治水状態。(a) 治水ダムは穴あき構造とし、流水型ダムとして運用する。グレーの塗りつぶしは湛水あるいは通水を示す。点線○は排砂ゲート閉、●は開状態を示す。

## 多目的ダムを目的別に切り分ける

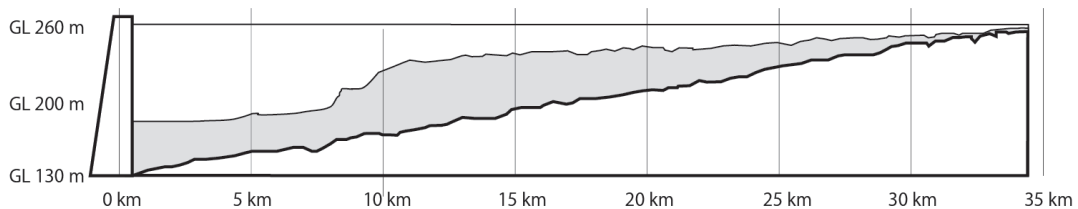
うにする。利水ダム (b), (c) のメンテナンス時には、ため池を年に一回「かい掘り」するイメージで利水容量を維持する。そのサイクルを図2 (A) ~ (D) として示した。(A) は、(b) と (c) をともに利水運用している状態で、(d) からは (b) と (c) に静水バイパスにて導水し濁水を極力入れない。平常時の排砂バイパストンネルは、(d) から (a) への流路のみ開き環境維持流量を流す。(b) と (c) からは導水により発電やその他利水にあてる。(B) では、(c) の排水排砂を行っている。この状態でも、(d) から (b) への導水は行われており発電所は運転を続けられる。(C) では、今度は (b) を排水排砂している。(D) は洪水時の状態を示しており、(d) から (a) への洪水通過を優先させる運用をし、(b), (c) には極力濁水や土砂を入れない運用をするが、大出水すれば (b), (c) の底層洪水吐からの排砂トンネルへの放流、また、堤体高所のクレストゲートなどからも洪水を一部越流させ、(a) に送る。こうすれば、ダム堆砂の問題を軽減でき、ダム湖を一体として運用した場合に比べてより大きな治水能力を、利水事業者への影響を最小限にしながら行使できると考える。また、大きな貯水池を一体として運用すると、洪水後に長期にわたって濁水が続くが、本構想の運用では貯水池に大きなデッドスペースがないことから大量の濁水は貯まらず、上流の濁りが治れば前ダムの貯水量が通過したのちに濁水は速やかに解消する。

## 佐久間ダムへの適用

佐久間ダムは天竜川の中流にあり、佐久間発電所と佐久間第二発電所は日本で最大の年間発電量を生み出している。本来、発電などを主目的とする利水専用ダムである（一部、豊川水系への導水あり）ので治水容量は設定されていなかったが、近年国土交通省が電源開発（株）より5400万 m<sup>3</sup>の発電容量を買取ることにより治水容量を確保する計画が進んでいる。一方、天竜川流域は国内でも特に土砂排出量が多い地域であるため、佐久間湖にはすでに総貯水容量の半分程度の堆砂があり、その解決策が種々提案されているものの抜本的解決のめどは立っていない。このように、発電ダムとして重要で、多目的化が計画され、堆砂問題が深刻な佐久間ダムについて、図2の構想を適用することを試みた。佐久間ダムの貯水湖は長さ30 kmを超え、湛水時には土砂が下流まで移動するのが困難で、大きなデッドスペースを伴う大きな湛水量があるので堆砂と長期濁水の問題解決は容易でない。

図3に佐久間ダムでのプランを示す。図2では仮想ダムを想定したが、佐久間ダムにはすでに大量の堆砂がある。佐久間ダムでは河川の土砂運搬機能が失われているために、浚渫搬出量を上回る堆積量がある。図3のプランでは、すべての堆砂を約70 km先の海まで運ぶことにこだわらず、貯水ダム (b), (c) の利水に寄与しないデッドスペースを堆砂で埋め「底

(A) 2000年時点での堆砂状況 縮尺：垂直 / 水平 = 300 / 1



(B) 佐久間ダムの目的別分割運用案 縮尺：垂直 / 水平 = 300 / 1

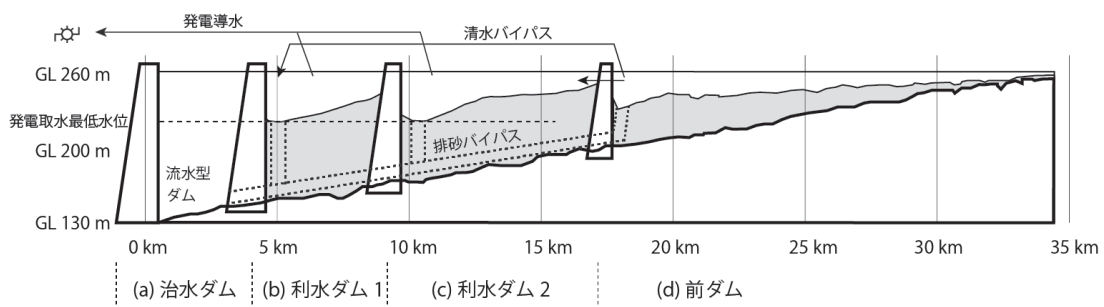


図3. 上図 (A) は、2000年時点での佐久間ダム堆砂状況（岡野，2005の図を改変）。下図 (B) は、図2の上・下流方向に目的容量別に分割した構想を佐久間ダムに適用した場合の断面図。図2の (a) 治水ダムに相当するのが左端 (a) で、(b) は利水ダム1、(c) は利水ダム2、(d) は前ダム。現在の堆砂箇所に近いところに利水ダムを設置し、底上げ目的で堆砂の一部を封じ込める。(d) 前ダムから (a) 治水ダムへ地下排砂トンネルバイパスを設ける。(b) 利水ダム1、(c) 利水ダム2に相当するダムでは、極力発電と用水取水に有効な上層40 mの水のみ貯水する。排砂トンネルバイパスは、平水時は環境維持水放流、かい掘りモードでは利水ダムのメンテナンス実施、出水時には治水ダムへの直接排水用に運用。(d) 前ダムから (b) 利水ダム1、(c) 利水ダム2には清水バイパスで導水、(b) 利水ダム1、(c) 利水ダム2から発電所に導水する。

上げ”する。自然状態に回復させるには、本来ダム堆砂をすべて下流や海まで運ぶことが理想だが、堆砂の改質や運搬、投入を考慮するとき大きな困難が予想され、60年分の河川機能をいまさら人間が代替することはまずできない。そこで、貯水ダム (b), (c) には、すでに付近にある堆砂の大部分を閉じ込め、ダム湖の底上げをする。利水ダムでは上層の水を主に利用するので、利水ダムでは底水がない方が濁水を生じさせないのでかえってよい。実際に佐久間ダムでは、発電取水口位置の関係で上層40 mの水しか利用できない。堤体直近では水深は100 mを超えるが、下層はデッドスペースなのである。治水はともかく利水には水深40m以上は意味がないので、利水ダム部分の下層 (DS: デッドスペース) をすでにある堆砂の格納場所として利用する。図3 (A) に示した通り、現状で図2 (b), (c) にあたる地点の大量の堆砂を最小限移動させることで片付ける。さらに、水平点線で示した発電取水最低水位より下の、利水にとって意味のない空間 (DS) は、標高が下がるに従って旧河床も下がっていくため、堆砂の激しい上流側 (上流の高標高側) で小さく、旧堤体に近い下流側 (下流の低標高側) で大きい。したがって、下流側に治水ダムを設定して空に近い状態で運用するとより大きな治水容量を確保できるとともに、下流側では現状の堆砂も相対的に少ないので大量に堆砂を移動させる必要がないというメリッ

トが活かせる。こうして、佐久間ダムの場合では、すでに約半分の貯水容量が堆砂によって失われていたとしても、利水容量は現在の7割以上を確保し、発電効率にも影響を与えずそれと独立して運用できる大きな治水容量を確保できると期待される。

図4には、佐久間ダムでのプランを地図に落とし込んだものを示す。(d) から (e) にむけて、約15 kmの排砂パイパストンネルを作らなければならないが、堤体 (a) による治水容量は5000万 m<sup>3</sup>を上回るものを確保できると予想される。

図5として、(戸田, 2016) で示した案を再掲する。この案は、佐久間湖の地勢的特性を生かし、湾曲部に貯水池を設置するものであった。旧河道と新たにトンネル掘削 (あるいは開削) した部分を合わせて自然河道を復活させ、最下流にある元の堤体 (現佐久間ダム堤体) を穴あき構造に改修して流水型ダム堤体として治水専用の空間を確保するものであった。この案も図4のプランと同様、利水容量と治水容量を上・下流で分割し、堆砂は徐々に川に運ばせる案であるが、河道を完全に回復させる箇所と、より大きな治水容量が得られるところが図4のプランより優れている。しかし、利水容量がどれほど必要か、また、現状の堆砂が処理可能か考えた場合、図4の本稿の構想の方が現実的である。

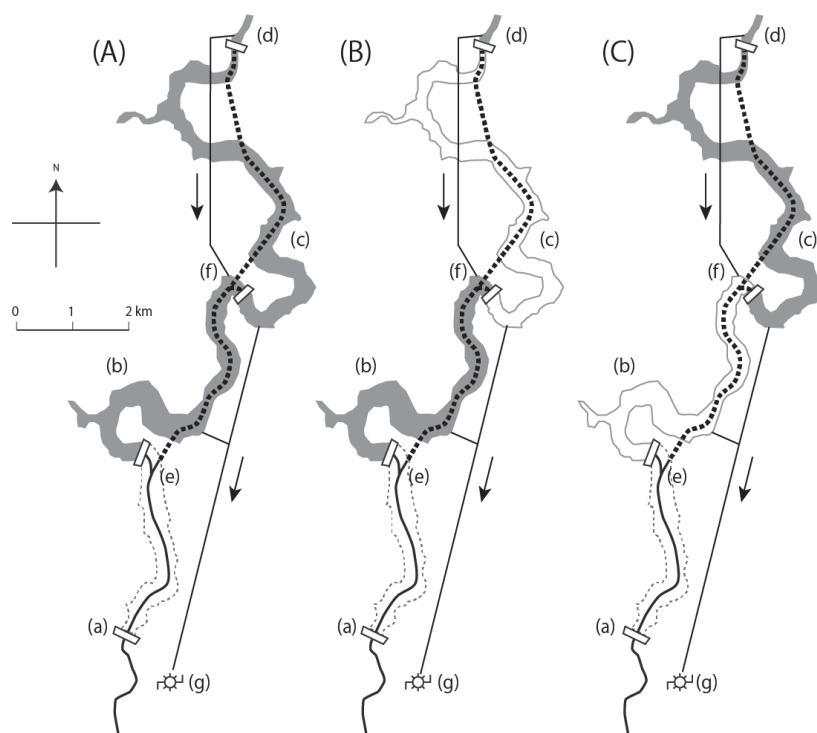


図4. 図2, 3の提案を地図に落とし込んだ図。(d) は前ダム, (b) と (c) は利水用貯水湖, 堤体 (a) を穴あき構造として治水流水型ダムとして運用する。(d) から貯水湖 (b) の地点 (f) に至る導水路は清水バイパス. 貯水湖 (b) と (c) からは発電所 (g) への導水路がある。(d) から地点 (e) に至る点線は地下堆砂パイパストンネル. 本図 (A), (B), (C) は、図2の (A), (B), (C) にそれぞれ対応する。

## 多目的ダムを目的別に切り分ける

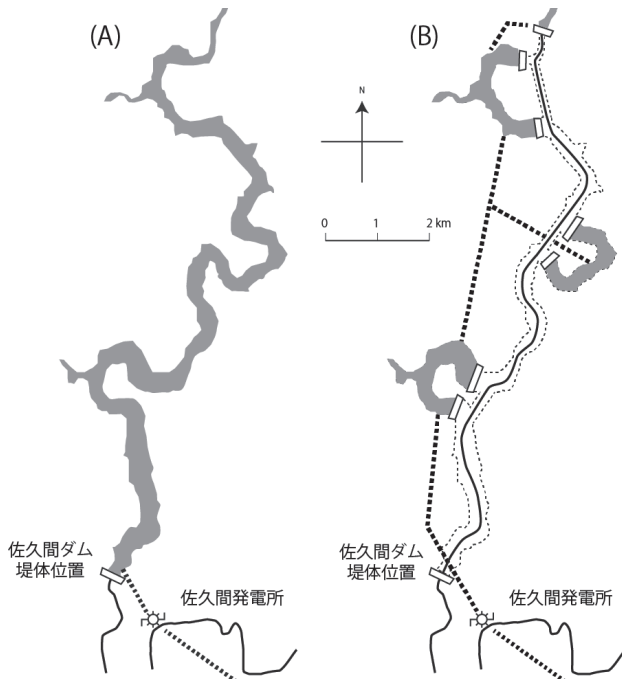


図5. 戸田 (2016) での佐久間ダムの運用提案: (A) は現状の運用。ダム湖が一体で運用されるため、堆砂が進行し、洪水後には下流での長期濁水が頻発する。(B) は運用改善案。隔離された3つの貯水湖が発電を含む利水機能を担い、河川機能を取り戻した河道には出水時の一時湛水以外は貯水しない。旧堤体は穴あき構造として流水型治水ダムとして運用する。利水運用しつつ常時1億<sup>3</sup>程度の大きな治水容量を独立して行使することができる。

## おわりに

以上の構想を実施することを考えたとき、工事中は佐久間湖を干上がらせ仮排水トンネルなども作るため、はるか上流から平岡ダム付近からの導水路を作らない限り佐久間発電所は稼働できない。工事は60年前の佐久間ダム建設時よりも大掛かりなものとなるだろうが、土木技術者でない私には工期や事業費を算定することはできない。現在、天竜川ダム再編計画では、堆砂処理について浚渫のちにベルトコンベアで堤体下流まで運んで仮置きして、出水時に自然流下させ、ダムの延命化を図ることが計画されているようだが、依然長期濁水は解決せず堆砂もたまり続けるだろう。根本的な問題の解決、佐久間ダムの持続的利用を考えたとき、本プランそのままとは言わないまでも、従来とは違う発想を取り入れた河川利用が必要ではないだろうか。

実際の工法についても、佐久間ダムの現在の大量の堆砂を移動させる工法、工事に際して土砂をどう管理するか、また、それが技術的にどの程度困難かなどについては検討できていない。工事車両の通行路や輸送路に関しても、佐久間湖の東側の県道はすでに廃道になっており、西側の道も現状では脆弱で大重量の多数の車両の通行に耐えられるものではない。したがって、天竜川と水窪川の間建設が予定されている三遠南信道を利用して支道を設けるか、JR 飯田線を活用する

ことになるだろう。利水ダムの“底上げ”に利用する堆砂の管理についても、固化安定化するか、礫層として維持するかについても検討できていない。さらに、下流の秋葉ダム、船明ダム、上流の平岡ダム、泰阜ダムとの機能連携を持たせるかどうかも含めて現実には流域で総合的に検討する必要もある。また、堆砂として大量のシルトが存在することも考慮しなければならない。たとえ、工事完了後に長期濁水問題が解決し、ダムの持続可能な利用が可能になったとしても、工事中に60年以上にわたり蓄積したシルトによりひどい濁りが出る恐れもあるので、その対策も考えなければならない。

「続日本記(しよくにほんき)」に、霊亀元年(715年)の条に「遠江国大地震、山崩れて龜玉河(天竜川のこと)を塞ぎこれがために流れず、数十日を経て敷地(ふち)、長下(ながしも)、石田(いわ:磐田)、三郡の民家百七十余区を壊没する」とある。(松本, 2014) かつて地震により天竜川に大規模な堰き止め湖ができ、それが決壊して大被害を発生させた可能性がある。大災害により出現した堰き止め湖を短期に処理できなければ現代においても同様のことが起きかねない。浜松の平野そのものが天竜川の作った扇状地であり、遠州灘海岸も天竜川の排出した土砂でできたことを今一度認識して、災害への備え、自然環境や資源の保全、レクリエーションなどを通じて川とのつき合い方を考える習慣を持ちたい。これは、なにも天竜川に限ったことではないだろう。

## 引用文献

- 松本茂樹 (2014) : 静岡の川, 静岡新聞社, 静岡.
- 岡野真久・菊井幹男・石田祐哉・角哲也 (2005) : 貯水池堆積土砂の掘削管理とその下流河川還元に関する研究, ダム工学, 15 (3) : 200-215.
- 戸田三津夫 (2014) : ダム堆砂をどうする: 天竜川「佐久間ダム」での最善解決策を考える. 陸の水, 64 : 39-42.
- 戸田三津夫 (2015) : ダムのある川の機能を回復させる: 佐久間ダムでの提案. 陸の水, 70 : 55-59.
- 戸田三津夫 (2016) : 環境負荷の少ない持続的な大型ダム構造を考える: 佐久間ダムについての提案. 陸の水, 74 : 63-66.
- (注) 予備放流とは、平常時は利水容量として、洪水時は治水容量として運用するようあらかじめ決められた容量を放流する操作で、洪水が予想された場合により大きな治水容量を確保するために行われる。事前放流とは、ダムを利用する関係事業者に支障を与えない範囲で、予備放流での最低水位である「制限水位」より低い水位まで利水容量分を一時的に放流する操作。

(担当編集委員: 萱場祐一, 土木研究所)

