

# 流域貯留量から見た 利水ダム流域の特性に関するデータ分析

樽屋啓之\*・原口暢朗\*\*・塩野隆弘\*\*・向井章恵\*・田中良和\*

目 次			
緒 言 .....	275	ダム流域貯留量と流域特性量との関係 .....	278
調査ダムのデータについて .....	275	1 分析に使用するデータの整理 .....	278
1 ダム管理事務所で入手可能なデータ .....	276	2 年降水量と流域面積の関係 .....	278
2 降水量 .....	276	3 年降水量と流域貯留量の関係 .....	278
3 蒸発散量 .....	276	4 利水貯留量と総合貯留量の関係 .....	279
4 ダム用途 .....	276	5 流域貯留量と比堆砂量の関係 .....	279
5 流域の代表的地質 .....	276	6 流域貯留量と年堆砂率の関係 .....	279
6 堆砂量 .....	276	結 言 .....	280
ダムの流域貯留量の算定 .....	277	参考文献 .....	280
1 利水貯留量の算定 .....	277	Summary .....	281
2 総合貯留量の算定 .....	277		

## 緒 言

利水ダムの使命は必要な水量を確保し、必要な時期に不足無く用水を供給する能力を維持することである。一方で、水資源量は有限であり、必要量は必然的に時空間的に調整され、効率的な管理が求められる。新規のダム建設が見込めない状況もあり、ここに流域の雨水貯留機能が重要な意味を持つてくる。流域の雨水貯留機能を量的に評価する指標として、三野（1994）、堀野ら（2001）の研究により、貯留の指標として利水貯留量と総合貯留量が定義され、流域貯留量はこれらの総称である。これらの諸量は流域の特性を表示する上で極めて重要な指標となると考えられるが、物理的な意味付けにおいて今後の展開に待つ部分が多く、これまで十分に活用されるまでには至っていなかった。しかし、本来ダムの流域は、これらの貯留量を計算する上で必要な水収支データが長期で取られていることから、この指標をダム管理に活用することができれば大変都合がよい。

五十棲ら（2001）は、これらの指標により17ダム流域の流域貯留量を評価し、両指標と流域特性、降水特性と

の関係について考察を行っている。今回それらの既往データに加えて新たに九州地方に立地する6つのダムのデータを追加し、更に堆砂量に関するデータやダムの用途に関するデータを追加し、ダム流域の水、土砂輸送の特性を明らかにするための基本的なデータ分析を行った。更に、それらのデータと流域貯留量との関係を探りながら、流域貯留量が今後ダムの利水管理上どの程度有効な指標となり得るのかについて、その可能性を検討する。

なお、本報をまとめるにあたり、流域貯留量データの大半を占める17ダム流域データの引用については、神戸大学農学部・田中丸治哉教授の快諾を得ている。また、九州管内のダム流域データの収集と分析には北部九州土地改良調査管理事務所関係各位、（独）水資源機構吉久寧氏、九州大学農学研究院大槻恭一教授のご協力を得た。以上記して謝意を表する。

## 調査ダムのデータについて

本報の検討の対象となるダム流域は、最終的に23箇所である。その内訳は既往の文献をベースにしたものが17箇所（以下既往17ダムと称する）であり、それらのダムでは既に流域貯留量が算定されている。それ以外の6ダム（以下新規6ダムと称する）は、全て九州地方に立地するもので、今回新たに流域貯留量の算定に必要なデータを別途入手して流域貯留量を算定した。これらの算定方法については、章で説明する。

\*施設資源部水路工水理研究室

\*\*九州沖縄農業研究センター

平成19年3月19日受理

キーワード：ダム流域，流域貯留量，利水貯留量，総合貯留量，流況安定，ダム堆砂

以下の1~6に、今回収集したデータ項目を示す。既往17ダムに関しては、2,5のデータは既に得られているので1は不要であり、4,6(6は一部未入手)の項目のみを追加した。新規6ダムでは1~6の全項目のデータを収集した。

### 1 ダム管理事務所で入手可能なデータ

ダムの管理事務所では、通常テレメータを用いてダムの基本的な水収支データをモニタリング記録している。具体的には、貯水位、貯水量、貯水池への流入量、貯水池からの放流量、降水量、取水量、などのデータを得ることができる。いま、～のデータ項目に蒸発散量のデータを追加すると、Fig.1に示すようなダム流域をブラックボックスとしたマクロな水収支の把握も可能になるような基本的なデータであることが理解できる。また、新規6ダムでは、流域貯留量を算定するために必要な日平均量の時系列データの形に整理した。ただし、降水量については、管理事務所のデータだけでは精度上問題があるので更に必要なデータを補うことになる。詳細は次項に示す。

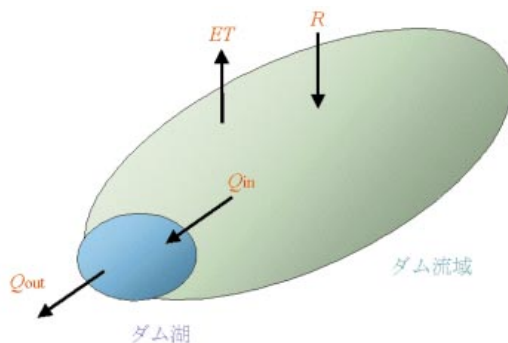


Fig.1 ダム湖とダム流域の水収支概念図

Conceptual sketch of water budget on a dam reservoir and its basin

### 2 降水量

新規6ダムについては、ダム流域のアメダス観測地点の日雨量(mm)データを使用して、ティーセン法によりダム流域の日降水量(mm)を算定し、日時系列の形式に整理した。降水量の解析期間はダムによって若干異なっている(章のTable 1を参照)が、5~10年の範囲である。また、降水量は年ごとの総和の平均値として、年降水量の値もダム流域ごとに算定した。

### 3 蒸発散量

蒸発散量は、Makkink法により算定した。(社)農業土木学会(1995)では次の式を用いており、本報もそれに従った。

$$E_p = a \frac{[0.18 + 0.55n/N] \cdot R_A / 2.47}{1.05 + 1.4 \exp(-0.0604t)} + b \quad (1)$$

$E_p$  = 計器蒸発量 (mm/d)

$R_A$  = 大気圏外日射量 ( $MJ \cdot m^{-2}d^{-1}$ )

$n/N$  = 日照率で、日照時間 $n$ の日照時間 $N$ に対する比

$t$  = 気温 ( )

$a, b$  = 係数で、次の全国的平均値を採用する。

$$a = 0.8, \quad b = 0.5mm/d$$

蒸発散量 $E_T$ を次のように算定する。すなわち、(日雨量)  $1mm/d$ のとき $E_T = E_T$ , (日雨量)  $1mm/d$ のとき $E_T = 0$ とするものとする。

必要なデータ(日照時間など)は全てアメダスから得られる。

### 4 ダム用途

農業用、発電用、洪水調節用など、ダムにはいくつもの用途があるが、むしろ単独目的のダムは少なく、用途の複合しているケースが多い。しかし、ダムの用途はダムの管理と密接に結びついているはずなので、ダム流域の水収支特性を検討する上でダムの用途は重要な視点であると思われる。ダム年鑑(2005)では、ダムの用途を以下のような記号による種別で表示しているのので、本報の記載についてもそれに倣った。すなわち、

F: 洪水調節, 農地防災, N: 不特定用水, 河川維持用水, A: かんがい用水, W: 上水道用水, P: 発電, I: 工業用水

以上の6種別である。ここでは、F以外を利水用途と考える。

本報では、利水用途から見た組合せに着目して次のような4類型(章のTable 1を参照)を定めて整理した。

利水 : Aを含む集団

利水 : Aを含まずWまたはIを含む集団

利水 : AWIを含まずNを含む集団

利水 : AWINを含まない集団

既往16ダム, 新規6ダムは全ていずれか一つの類型に属する。

流域貯留量(特に利水貯留量)が利水ダムの流域特性とどのような関わりを持っているかを明らかにすることは、本報における主要な検討目的の一つである。

### 5 流域の代表的地質

既往17ダムの代表地質は既に調べられている。新規6ダムについては、表層地質図を用いて調べた。すなわちダム流域内の表層地質の凡例の面積比率を調べ、比率が大きくかつ溪流、河道に近接している凡例を判読した。全ての凡例は、さらに4種の岩石分類(火山岩, 深成岩, 堆積岩, 変成岩, 花崗岩)で類型化した。花崗岩は深成岩に含める整理もあるが、本報では既往17ダムの整理方法をそのまま踏襲した。

### 6 堆砂量

新規6ダムについては、北部九州土地改良調査管理事務所の協力を得てダム堆砂量のデータを入手した。また、

(独) 土木研究所の協力を得て、土木研究所が平成 3 年に実施した堆砂アンケートによる堆砂量データを入力し、既往17ダムのうち11ダムで堆砂量データを得ることができた。本報では、堆砂量のデータを、比堆砂量 ( $m^3/km^2/yr$ ) と年堆砂率 ( $\%/yr$ ) の形に直して評価した。

### ダムの流域貯留量の算定

#### 1 利水貯留量の算定

各年における降雨の時系列は、1月1日～12月31日を1年分として考えるものとし、いま、 $i=1\sim 365$  に対する日降水量の時系列を  $\{R_i\}$ 、日蒸発散の時系列を  $\{ET_i\}$  とする。堀野ら (2001) は、ダム流域への  $R-ET$  による供給時系列を次のように表示した。

$$S_{R-ET}(\tau) = \min_{\text{時間}} \left[ \text{mean} \{R - ET\} \right] \times \tau \quad (2)$$

これは、連続する 日間の供給可能量を  $R-ET$  の総計の最小値として表現したもので、 $\sim S_{R-ET}(\tau)$  を気象条件から見た供給持続曲線とよび、模式的にはFig.2のように  $\sim V$  (貯留量  $mm$ ) 座標上で 2 次関数近似表現したものである。利水貯留量を求めるためには、まずこの供給持続曲線  $\sim S_{R-ET}(\tau)$  を作成する必要がある。

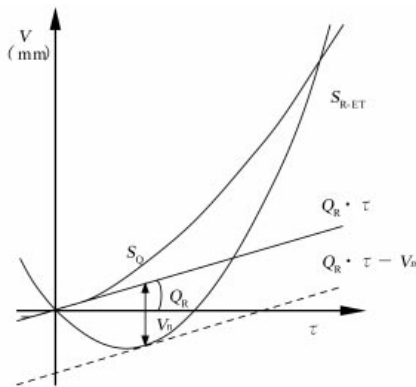


Fig.2 利水貯留量算定の模式図

Conceptual sketch for evaluating the water use storage

次に、章 - 1 で説明したデータのうち、貯水池への日流入量の時系列データ  $\{Q_i\}$  を使用する。これを上述した供給持続曲線  $\sim S_Q$  の形に整理すると、Fig.2 上の曲線が得られる。このとき図中の  $Q_R$  は  $S_Q$  の原点における接線の傾きに等しく、その年の最小自流量を表している。図中の  $Q_R \cdot \tau - V_n$  は、 $S_{R-ET}(\tau)$  が負にならないことを保証するために最低限必要な利水底上げ量  $V_n$ 、すなわち、利水貯留量の大きさを決める直線である。  $V_n$  はこのような簡単な作図操作で得られる。なお、以上の算定手順については、(社)畑地農業振興会<sup>6)</sup>(1999) に詳しい説明があり便利である。本報でもこれを利用した。

ところで、 $Q_R$  の接線を実際に作図する作業は、実際

にやってみるとどうしても主観が入らざるを得ず、作業の再現性を維持することに難点があるように思われた。五十稜ら (2001) はその点について、 $\tau=1\sim 10$  に対して原点を通る直線をあてはめ、その勾配によって判定することにより客観性の維持を配慮した。本報でもそのやり方に倣い、 $\tau=1\sim 10$  に対する勾配をまず目視で判定し、さらに解析期間内の平均をとることにより当該流域の  $V_n$  を推定する手順を踏んだ。このあたりの最適な処理方法については今後も検討の余地がある。

#### 2 総合貯留量の算定

利水貯留量  $V_n$  の算定には日時系列  $\{R_i - ET_i\}, \{Q_i\}$  が必要であったが、総合貯留量  $V_t$  の算定のためには、日時系列  $\{R_i - ET_i - Q_i\}$  を整理する。これは流域内の貯留量変化の時系列を表している。例えばFig.3は、新規 6 ダムの一つであるAダム流域内の貯留量変化の時系列をグラフにしたものである。  $V_t$  の値は図中の矢印の長さに相当する。

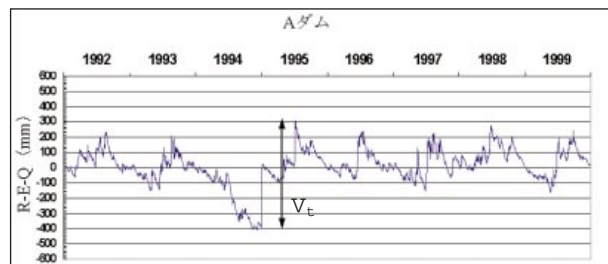


Fig.3 総合貯留量算定に使用するAダム流域貯留変化量時系列の例

Example of storage quantity trend of a dam basin (A dam)

ここで問題となるのは、 $\{R_i - ET_i - Q_i\}$  の初期値の与え方であるが、 $V_t$  を算定するための目的であれば、その結果が理論上は初期値に影響されることはない。次に、 $\{Q_i\}$  のデータ精度の問題を確認する。  $Q$  のデータ精度は、貯水池流入量の観測方法自体が厳密なものではないため根本的な誤差を抱えている可能性があり、 $R$  や  $ET$  の精度と対等に扱うことは不合理である。実際に  $\{R_i - ET_i - Q_i\}$  を作成すると、全てのダムで右下がりの漸減曲線になってしまう。本報では、これが  $Q_i$  の過大評価にあるものと考えた。そこで 1 年ごとに  $Q_i$  の値のみを一律比率で縮小させる調整方法をとることとした。具体的には、毎年 1 月 1 日の流域内貯留量の値が前年度の値に回帰 (一致) するような一律の調整係数を見だし、値を補正することとした。ただし、このような処置が適切であるかどうかは検討の余地があり、今後降雨量や蒸発散量の精度との比較や流入量測定方法の確認などが必要である。また、総合貯留量を算定する際に、例えばFig.3でも認められる貯水過程と放水過程のどちらを選択すべきかという問題がある。この問題に関しては、五十稜ら (2001) の考え方に従い、本報では放水過程を

選択した。

数値を埋めることができた。

### ダム流域貯留量と流域特性量との関係

### 2 年降水量と流域面積の関係

#### 1 分析に使用するデータの整理

Table 1は、～章で収集または算定した各データ項目を23ダム分全て一つの表にまとめたものである。堆砂量（比堆砂量）データを除き、全てのマトリックスに

Fig.4は、年降水量と流域面積の関係をプロットした散布図である。直接流域貯留量は関与していないが、流域の性質を代表する特性量として、まずはこれらと比較してみた。

Table 1 分析対象とした23箇所のダム流域に関するデータ整理

Data matrix built for comparative analysis in 23 dams

No.	経過年数	貯水容量 千m <sup>3</sup>	流域面積 Km <sup>2</sup>	年降水量 mm	利水貯留量 V <sub>n</sub>	総合貯留量 V <sub>t</sub>	比堆砂量	代表地質	地域名	ダム目的	利水分類	降水量解析 期間
1	8	16000	168.00	2000	136	264	198.7	堆積岩類	四国	FAW	利水 I (Fあり)	1983-1992
2	20	27200	100.00	1792	126	285	428.5	深成岩類	東海	FNAWP		1978-1987
3	35	24600	96.90	2247	107	208		火山岩類	中国	FNAIP		1983-1992
4	34	27500	118.00	2218	173	480		火山岩類	九州	FAP		1983-1992
5	*21	18000	50.89	1976	220	444	396.0	変成岩類	九州	FNAW	利水 I (Fなし)	1992-1998
6	*27	25326	29.69	2180	194	420	220.0	変成岩類	九州	AWI		1992-1998
7	*43	22250	56.17	2461	215	672	488.0	深成岩類	九州	AP		1990-1998
8	*9	7660	41.54	2048	142	372	298.0	火山岩類	九州	AW		1994-1998
9	*32	13930	38.40	2847	234	792	1430.0	堆積岩類	九州	A	利水 II	1993-1995
10	8	13720	22.20	3166	229	548	153.2	変成岩類	中国	FWI		1983-1992
11	22	7540	160.00	1653	145	238		花崗岩類	中国	FNWI		1983-1992
12	23	7100	70.00	2244	156	308		花崗岩類	中国	FWIP		1983-1992
13	20	9900	38.10	1998	184	342		花崗岩類	四国	FNWI	利水 III	1983-1992
14	19	18200	32.60	2124	116	266		花崗岩類	九州	FNWI		1983-1992
15	26	13200	34.10	2245	129	236	369.1	変成岩類	九州	FWI		1983-1992
16	25	6000	27.50	2984	151	438	618.9	花崗岩類	九州	FNWP		1983-1992
17	65	27900	84.30	2801	83	306	125.9	火山岩類	九州	FNP	利水 IV	1983-1992
18	23	59300	185.00	3307	110	345	634.8	火山岩類	九州	FNP		1983-1992
19	*40	40200	151.51	2627	202	606	483.0	堆積岩類	九州	FNP		1992-1998
20	35	33900	81.00	4260	91	659	990.5	堆積岩類	九州	FNP		1983-1992
21	33	30800	102.00	3534	101	328	344.8	堆積岩類	近畿	FP	利水 IV	1983-1992
22	30	21300	148.30	3104	107	372	720.8	堆積岩類	九州	FP		1983-1992
23	28	38000	87.00	2998	110	313	432.7	堆積岩類	九州	FP		1983-1992

項目「経過年数」について  
\* : 1999年まで  
その他 : 1990年まで

項目「ダム目的」の略号について  
F : 洪水調節, 農地防災  
A : かんがい用水  
P : 発電  
N : 不特定用水, 河川維持用水  
W : 上水道用水  
I : 工業用水

項目「利水分類」について: ダム目的により以下のように分類したもの  
利水 I : A を含む集団  
利水 II : A を含まず W または I を含む集団  
利水 III : AWI を含まず N を含む集団  
利水 IV : AWIN を含まない集団

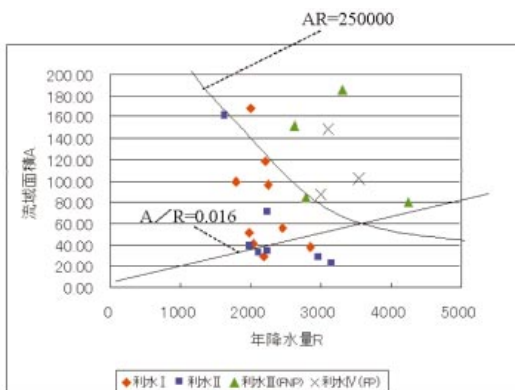


Fig.4 年降水量と流域面積の関係

Relation between annual precipitation and area on the subject basins

と年降水量Rの積ARは年間の総降雨量を表し、図上ではAR一定曲線は双曲線となってプロットの分布境界を形成していることが認められる。

### 3 年降水量と流域貯留量の関係

Fig.5は、年降水量と流域貯留量（総合貯留量，利水貯留量）の関係をプロットしたものである。総合貯留量V<sub>t</sub>、利水貯留量V<sub>n</sub>ともに、年降水量に対して弱い相関（総合貯留量は年降水量に対して正、利水貯留量は負）が認められる。また、総合貯留量V<sub>t</sub>に関しては、利水特性の凡例ごとにとみると相関が強くなっていることが認められる。利水貯留量V<sub>n</sub>に関しては、利水で年降水量との相関がほとんど無いようである。これは利水を除き、これら利水貯留量を規定する要素が降水量以外にあることを示唆している。

プロットの凡例は利水特性による分類である。特にF（洪水調節）やP（発電）が主目的のダムは背後に大きな流域面積を有していることが理解できる。流域面積A

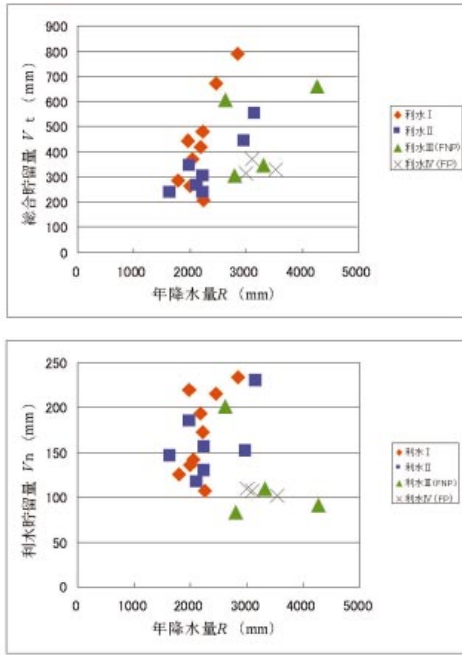


Fig.5 年降水量と流域貯留量の関係

Relation between annual precipitation and storage capacity on the subject basins

#### 4 利水貯留量と総合貯留量の関係

Fig.6は、利水貯留量 $V_n$ と総合貯留量 $V_t$ の関係を散布図で示したものである。プロットの凡例は代表地質と利水分類である。明確に言えることは、いずれの凡例も分布範囲とよく対応していることである。別の言い方をすれば、 $V_n$ と $V_t$ を組み合わせると領域区分をすることにより、地質や利水分類の性質を反映できる可能性が示唆されて

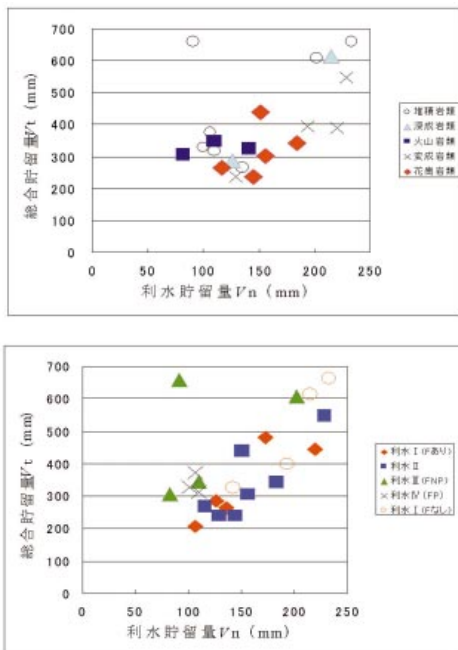


Fig.6 利水貯留量と総合貯留量の関係

Relation between water use storage depth and total storage depth on the subject basins

いる。流域貯留量に活用の途をひらくために、今後引き続き検討すべき視点であると考えられる。

#### 5 流域貯留量と比堆砂量の関係

Fig.7は、 $V_n$ 、 $V_t$ に比堆砂量を対応させ、両者の関係を表示する散布図である。 $V_t$ は年降水量と正の相関を有していたから、 $V_t$ の増加が比堆砂量と正の相関をもつ関係は自然である。一方、 $V_n$ は $V_t$ と正の相関を持っているにもかかわらず、 $V_n$ と比堆砂量の関係は明確ではない。このあたりの状況は、 $V_n$ と $V_t$ の流域土砂動態への関与が、一律の単純な関係ではないことを示唆している。

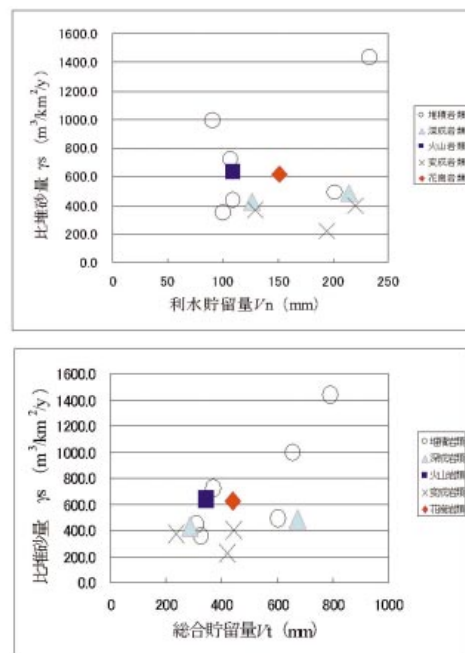


Fig.7 流域貯留量と比堆砂量の関係

Relation between storage capacity and specific sediment rate on the subject basins

#### 6 流域貯留量と年堆砂率の関係

Fig.8は、 $V_n$ 、 $V_t$ に年堆砂率を対応させ、両者の関係を表示する散布図である。一見して秩序を認めるのは困難である。これは、比堆砂量が流域の性質を直接的に反映している量であるのに比べると、年堆砂率は貯水池の容量を基盤にしているため、流域貯留量の変化とは直接に反応しないということであろう。今後、年堆砂率の考察を進めるためには、貯水池の容量と流域の大きさ、降水量等との関係を反映できるような指標を準備する必要がある。

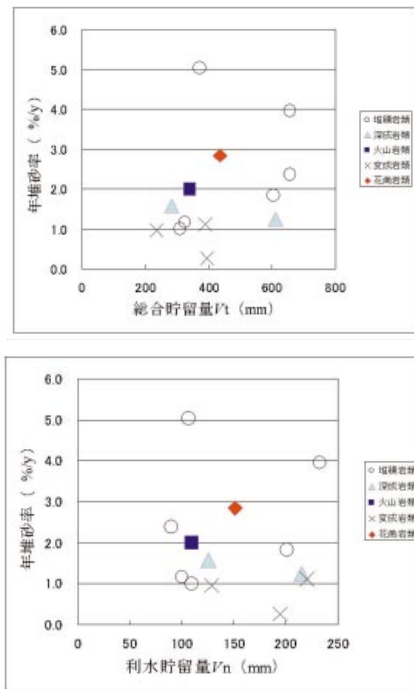


Fig.8 流域貯留量と年堆砂率の関係

Relation between storage capacity and annual sediment rate on the subject basins

## 結 言

以上の検討を基に、流域貯留量の活用の途について、現時点で明らかになったと考えられる事実や課題を以下に整理する。

- (1) 流域貯留量はダムの用途や代表地質の特性を反映している可能性がある。
- (2) 利水貯留量と総合貯留量はそれぞれ別々に流域特性量と相関を持つだけでなく、両者の組み合わせによって別の指標を構成できる可能性がある。
- (3) 流域貯留量と比堆砂量の間には緩やかな相関が認められる。ただし、物理的な理由が必ずしも明確ではないので、今後は流域貯留量の物理的な機能の解釈に基づき、現象を説明するアプローチが必要である。
- (4) 年堆砂率と流域貯留量の関係については相関が

認められないが、流域から見た貯水池容量の大きさを評価し、流域貯留量との関係について考察を進めるアプローチが必要である。

以上のように、本報の検討では既往、新規を含めたデータを集め、流域貯留量を算定し、相互に比較し、定性的な関係を記すに止まったが、今後は定量的な議論を加えて更に考察を進めたい。

さて、国・県営事業によって建設され築後20年以上を経た大規模な利水ダムが多数稼働している。農村流域にとってダムは水資源の生命線であるだけでなく、地域資源の観点からは地域の健全な水循環や水環境形成に役立っていると考えられる。今後ともダムの維持管理上の基礎的データを肅々と地道に蓄積することは重要であるが、できればそれらのデータを活用して、農業用ダムの必要性や有効性を流域住民に十分に説明する努力は、ダム管理のみならず研究上、行政施策上も重要と思われる。ダム管理上収集されている長期のデータについて、将来のダム管理、流域水資源管理の視野で、それらの有効な活用の可能性について今後とも検討を重ねる必要がある。

## 参考文献

- 1) 三野 徹 (1994): 水資源供給能と水需要ポテンシャルの評価法について, 農土論集, 174, p.57-63
- 2) 堀野治彦・瀧本裕士・三野 徹 (2001): 流況の安定化に寄与する流域貯留量評価, 農土論集, 211, p.59-66
- 3) 五十棲裕平・田中丸治哉・畑 武志・多田明夫 (2001): ダム流域のもつ自然貯留量の評価について, 平成13年度農土学会講要, p.110-111
- 4) (社) 農業土木学会 (1995): 高幡開拓建設事業水源・用水計画及び末端かんがい管理手法の検討委託業務平成6年度報告書, p.23-24
- 5) (社) 日本ダム協会 (2005): ダム年鑑2005年版
- 6) (社) 畑地農業振興会 (1999): 丹後地区農地造成保全等調査平成10年度報告書, p.18-21

# Analysis of Data on Dam Basins from the Perspective of Storage Capacity

TARUYA Hiroyuki, HARAGUCHI Noburo, SHIONO Takahiro, MUKAI Akie  
and TANAKA Yoshikazu

## Summary

For the purpose of dam operation and management, much data are monitored and accumulated over an extended period of time in the local dam offices, but these data are considered to be not necessarily utilized sufficiently. Mitsuno(1994) and Horino et al.(2001) defined and introduced the storage capacity in a basin and showed that it is simply calculated by use of daily rainfall, discharge and evapotranspiration data. Those data above are easily obtained because those data are usually accumulated in the local dam offices. There are two types of the storage capacity, one is water use storage depth (WSD), and the other is total storage depth (TSD). These values are considered useful to comprehend characteristics of basins and expected to be utilized.

In this paper, 23 dams' data were collected and characteristics of basins were analyzed from the perspective of the storage capacity. Some data of the storage capacity were obtained from 17 dams' data by the previous study of Isozuna et al. (2001). Other 6 dam' data were newly calculated and added by authors in this paper.

Based on the consideration of the storage capacity and other characteristic values in basins, conclusions in this paper were obtained in the followings.

- (1) It is assumed that magnitude of storage capacity reflects the variety of dam operation and representative surface geologic condition.
- (2) Both water use storage depth and total storage depth are associated with various quantity of a basin, for example, area or precipitation. Moreover some kind of combination of the two will make a more reliable index for characteristics of a basin.
- (3) Though both WSD and TSD are associated with specific sediment rate, neither depths are associated with annual sediment rate in a dam basin.

**Keywords** : dam, storage capacity, water use storage capacity, total storage capacity, reservoir sedimentation