

## 山地河川の低水流出の減水特性に関する研究

## STUDY ON BASE FLOW RECESSIONS IN MOUNTAINOUS BASINS

高橋 裕\*・安藤義久\*\*・伊藤 孝\*\*\*・伊藤和央\*\*\*\*

By Yutaka TAKAHASI, Yoshihisa ANDO, Takasi ITO

and Kazuo ITO

## 1. 緒 論

## (1) はじめに

わが国の水資源は、河川上流域のダム群に貯水するなど、基本的に山地部からの流出に依存しているのが現状である。長期間にわたり無降雨日が続くような渇水時には、その流域で以後どの程度の流出量があるのかを予測することは、水資源の管理にとって重要な問題の一つである。降雨終了から数日後以降の流出は低水流出と考えられ、山地河川の低水流出の減水特性<sup>注)</sup>を明らかにすることは、工学的に重要な研究課題の一つである。

なお、本研究は、著者らの一連の研究<sup>1)~4)</sup>を発展させて、まとめ直したものである。

## (2) 既往の研究

低水流出の減水特性に関する既往の研究についての詳細なレビューについては Hall<sup>5)</sup> がすでに述べているので、ここでは本稿に関連する部分について簡単に述べる。

\* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 工博 東京大学助手 工学部土木工学科

\*\*\* 正会員 工修 電源開発(株)

\*\*\*\* 学生会員 東京大学大学院

注) ここに、減水曲線、減水定数はそれぞれ recession curve, recession constant の訳である。現在、土木工学の分野では、この用語に対して逓減曲線が広く使われており、著者らもこれを使用してきた。本稿で減水曲線を採用したのは、昭和 44 年の土木学会土木用語委員会による「土木用語辞典」、および資源調査会水資源部会水文小委員会による「水文用語集」で減水曲線と定めているからである。基準として重視すべき文部省学術用語分科審議会土木用語専門部会(昭和 29 年)では、recession curve に対して訳語を与えていない。なお、「河川工学」の多くの教科書でも減水曲線を用いている例が多く、逓減もしくは低減も散見される。なお、前述の「水文用語集」では逓減も同時に採用されている。

## a) 減水曲線の表現方法

低水流出の減水曲線に関する研究における代表的なアプローチの方法として、標準減水曲線による方法と減水曲線を数式の形で表現する方法がある。以下に両者の方法について述べる。

## ① 標準減水曲線による方法

この方法は、無降雨期間の減水部をつなぎ合わせて包絡線を作成し、これを流域の標準的な減水を示す曲線と考える。わが国では、江川<sup>6)</sup>が河川流出の標準減水曲線とその適用に関して詳細な研究を行っている。

## ② 減水式を数式の形で表現する方法

数式の代表例として、以下のような式がある。

$$Q = Q_0 \exp(-at) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = Q_0 / (1 + b\sqrt{Q_0}t)^2 \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $Q$ : 河川流出量、 $Q_0$ : 河川流出量の初期値、 $t$ : 時間、 $a, b$ : 定数、である。

式(1)、(2)は、それぞれ被圧地下水帯水層からの地下水流出の減水式、不圧地下水帯水層からの地下水流出の減水式として、Werner と Sundquist<sup>7)</sup>、Roche<sup>8)</sup>、および高木<sup>9)</sup>により理論的に導かれた。高木<sup>9)</sup>は、実際の河川の低水流出は式(1)と式(2)の和で表わされるとして解析を進めている。

本研究においては、実用的という観点から、なるべく単純な数式表現であること、また Ding<sup>10)</sup>によれば、式(1)、(2)と地下水貯留量  $S$  との関係を表す式(3)を用いて求めると、式(4)、(5)が得られ、安藤・高橋<sup>11)</sup>の提案する長期流出モデルとの対応がつきやすいことから、減水曲線を表わす式として式(1)、(2)を採用することにする。

$$S = \int_t^{\infty} Q dt \dots\dots\dots (3)$$

$$Q = a \cdot S \dots\dots\dots (4)$$

$$Q = b^2 \cdot S^2 \dots\dots\dots (5)$$

なお、以下の記述では式(1)を指数関数減水式、式(2)

を分数関数減水式とよぶことにする。また、式 (1), (2) の定数  $a, b$  をそれぞれ指数減水定数, 分数減水定数とよぶことにする。

b) 低水流出の減水特性に影響する要因

中野<sup>12)</sup>は、小森林流域では減水曲線は主として蒸発散作用のため季節によって減水の勾配が異なることを指摘している。虫明・高橋・安藤<sup>13)</sup>および高橋・安藤・井上<sup>14)</sup>は、山地河川の流況特性に対する流域地質の効果の有意性を表日本の山地河川の流況資料に基づき指摘している。高木<sup>9), 15)</sup>は、減水定数が流域面積に反比例することを示している。

以上のように低水流出の減水特性に影響要因として季節, 流域の地質, および流域面積があることがすでに指摘されているが, これらの点をふまえて, 次に本研究の目的について記述する。

(3) 本研究の目的

本研究では, 今まで限られた流域で考察されていた低水流出の減水特性について, 観測データの精度が少々劣るきらいもあるが, 日本全国の多数の山地河川流域において, 無降雨期間の低水流出の減水部について解析し, 総括的に検討する。その際, 次の2つの点から減水特性について考察を加える。

- a) 指数関数減水式と分数関数減水式の適合性の比較
- b) 減水特性に対する主として流域の地質の効果

2. 指数関数減水式と分数関数減水式の適合性の比較

(1) 解析方法

a) 考え方

式 (1) に示す指数関数減水式と式 (2) に示す分数関数減水式の適合性の比較において, 以下に述べる方法を用いる。すなわち, ある対象流域における長期無降雨期間の低水流出の減水部のデータを同定期間と予測期間の2つに分け, 式 (1), (2) の適合性の検討を行う。具体的には, 同定期間において式 (1), (2) のパラメーター(減水定数)  $a, b$  を季節別に同定し, そのパラメーター値を用いて, 同定期間と予測期間における両減水式の適合性の比較を行う。

b) 減水定数の求め方

減水定数  $a, b$  を求めるには, 以下に記すグラフ法を用いる。

① 指数減水定数の求め方

式 (1) は, 次のように変形できる。

$$\log Q = \log Q_0 - (\log e) \cdot at \dots\dots\dots (6)$$

したがって, 図-1 (a) に示すように, 片対数紙 ( $t-\log Q$ ) 上に横軸に日単位の時間  $t$  をとり, 縦軸に流量  $Q$  をとり, 無降雨期間の日流量データをプロットし, 図中に示す直線で近似すると, この直線の傾きから指数減水定数  $a$  が求まる。

② 分数減水定数の求め方

Ding<sup>10)</sup> が示しているように, 式 (2) は次のように変形できる。

$$\frac{1}{\sqrt{Q}} = \frac{1}{\sqrt{Q_0}} + bt \dots\dots\dots (7)$$

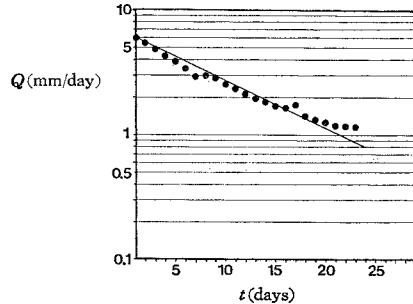
そこで, 図-1 (b) に示すように, 横軸に日単位の時間  $t$  をとり, 縦軸に  $1/\sqrt{Q}$  をとり, 無降雨期間の日流量データをプロットし, 図中に示す直線で近似すると, この直線の傾きが分数減水定数  $b$  に等しい。

c) 減水式の適合性の評価方法

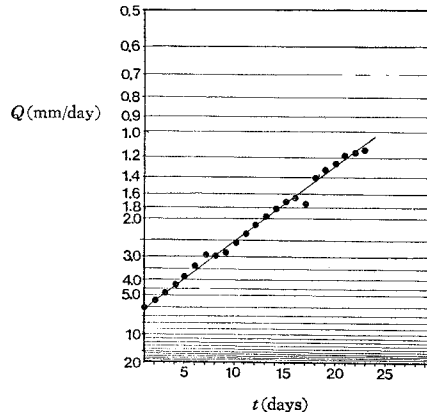
式 (1), (2) の減水式の適合性の比較にあたっては, 式 (8) に示す総流出量の相対誤差 ( $T$ ) と式 (9) に示す日流量の相対誤差の平均値 ( $R$ ) という2つの評価方法を用いる。

$$T = \left\{ \sum_{t=1}^N Q_0(t) - \sum_{t=1}^N Q_c(t) \right\} / \sum_{t=1}^N Q_0(t) \dots\dots (8)$$

$$R = \left\{ \sum_{t=1}^N \frac{|Q_0(t) - Q_c(t)|}{Q_0(t)} \right\} / N \dots\dots\dots (9)$$



(a) 指数減水定数 ( $t-\log Q$  図)



(b) 分数減水定数 ( $t-1/\sqrt{Q}$  図)

図-1 グラフ法による減水定数の求め方

ただし、 $t$ ：日単位の時間、 $Q_0(t)$ ：  
 $t$  日目の実測流量 (mm/day)、 $Q_e$   
 $(t)$ ： $t$  日目の計算流量 (mm/day)、  
 $N$ ：無降雨期間の日数 (days)、であ  
 る。

(2) 対象流域と減水部の選定

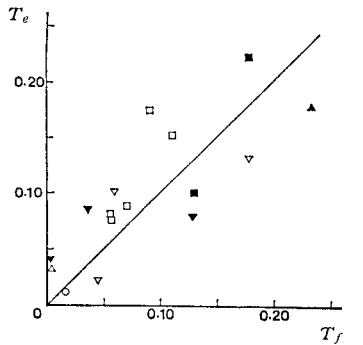
a) 対象流域の選定

対象流域としては、長期間にわた  
 り精度の高い水文観測データのある  
 という条件から、まず建設省土木研  
 究所の神流川試験地<sup>16),17)</sup>内の2流  
 域と裏筑波試験地<sup>18)</sup>内の1流域、お  
 よび東京大学愛知演習林の瀬戸試験  
 地<sup>19)</sup>内の2流域を選んだ。次に、流  
 量年表 (1957~1977年)<sup>20)</sup>と多  
 目的ダム管理年報 (1965~1975年)<sup>21)</sup>  
 に記載されている中から、国土地理  
 院発行の20万分の1地形図と5万分  
 の1の地形図を用いて、上流に貯水  
 池がなく、発電や農業用水による取  
 水の影響のないとみられる流域を  
 選び出し、さらにこれらの流域の中  
 から地質調査所発行の100万分の1  
 と50万分の1の日本地質図を用

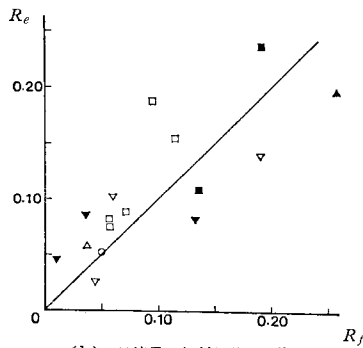
表一 対象流域と解析結果

No.	水系名または試験地名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	流域の地質	減水部の数	$p(T_e \geq T_f)$ (%)	$p(R_e \geq R_f)$ (%)
1	狩野川	大仁	322.0	第四紀火山岩類	17	65	76
2	川内川	吉松	284.0	第四紀火山岩類	15	73	73
3	利根川	上里見	156.6	第四紀火山岩類	15	73	67
4	阿武隈川	白河口	172.4	第四紀火山岩類	16	63	69
5	裏筑波試験地	山口坂	3.1	花崗岩類	21	52	52
6	瀬戸試験地	白坂	0.89	花崗岩類	14	79	79
7	瀬戸試験地	東山	1.07	花崗岩類	17	59	65
8	渡川	磯の川	93.9	中生層	10	70	90
9	天竜川	犬居	317.0	中生層	20	85	70
10	吉田川	木屋川ダム	84.1	中生層	13	69	62
11	鏡川	鏡ダム	80.0	古生層	12	75	83
12	富田川	川上ダム	22.0	古生層	23	52	52
13	遠賀川	力丸ダム	34.1	古生層	20	55	75
14	神流川試験地	塩沢	12.6	古生層	13	92	92
15	神流川試験地	渡瀬	373.6	古生層	18	94	94

いて流域の地質を判読し、流域の75%以上が単一の地質により構成される54流域を選び出した。本章では、これらのうち、減水部のデータが10以上ある10流域を対象として選定した。したがって、本章における対象流



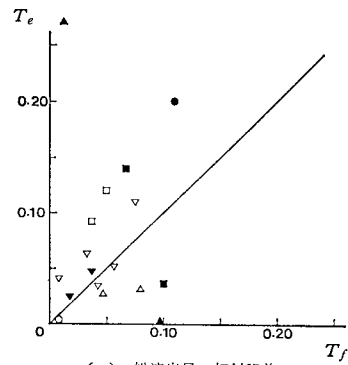
(a) 総流出量の相対誤差



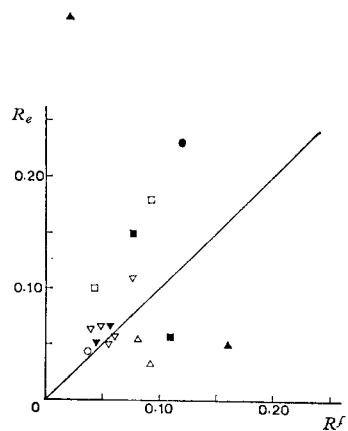
(b) 日流量の相対誤差の平均値

	春	夏	秋	冬
同定期間	○	△	□	▽
予測期間	●	▲	■	▼

図一2 相対誤差による減水式の適合性の比較 (阿武隈川の白河流域)



(a) 総流出量の相対誤差



(b) 日流量の相対誤差の平均値

	春	夏	秋	冬
同定期間	○	△	□	▽
予測期間	●	▲	■	▼

図一3 相対誤差による減水式の適合性の比較 (瀬戸試験地の東山流域)

域は表一に示すような15流域である。なお、地質区分は、前述の虫明・高橋・安藤<sup>13)</sup>と同様に第四紀火山岩類、第三紀火山岩類、第三紀層、花崗岩類、中生層、および古生層の6つに分類した。表一には、対象流域の水系名または試験地名、流量観測所名、流域面積、および流域の地質などを示す。

b) 減水部の選定

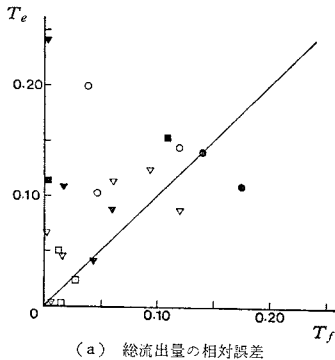
本研究では、降雨終了後3日目以降の無降雨期間が13日以上で低水流出の減水部を対象とする。

(3) 解析結果と考察

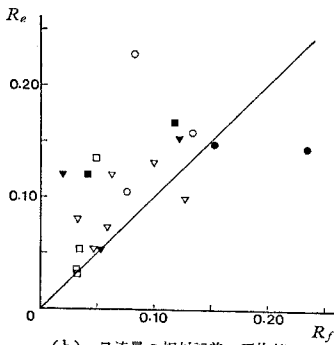
表一に示す15流域を対象として、グラフ法により求めた減水定数の季節別の代表値を用いて、同定期間と予測期間における低水流出の減水部の再現計算を行った。各流域の各減水部について、指数関数減水式による計算流量、分数関数減水式による計算流量、および実測流量を用いて、式(8)、(9)に示す総流出量の相対誤差 $T$ と日流量の相対誤差の平均値 $R$ を計算し、指数関数減水式と分数関数減水式の適合性を比較した。図一2~5には、4流域の解析結果を例示する。図一2(a)~図一5(a)には、横軸と縦軸にそれぞれ分数関数減水式と指

数関数減水式の場合の総流出量の相対誤差 $T_f$ と $T_e$ をとって、同定期間の計算結果を白丸で、予測期間の結果を黒丸でプロットしている。 $\{T_e \geq T_f\}$ という関係式を満足する点の百分率を $p(T_e \geq T_f)$ とかくと、図一2(a)~図一5(a)において $\{T_e \geq T_f\}$ を満たす点の方が多く、 $p(T_e \geq T_f)$ は60~95%程度の値を示す。表一中には15流域全部の $p(T_e \geq T_f)$ を示すが、同様の結果であり、分数関数減水式の方が指数関数減水式に比べて総流出量の相対誤差が小さく、適合性にすぐれていることがわかる。

また、図一2(b)~図一5(b)には、横軸と縦軸にそれぞれ分数関数減水式と指数関数減水式の場合の日流量の相対誤差の平均値 $R_f$ と $R_e$ をとって、同定期間の計算結果を白丸で、予測期間の結果を黒丸でプロットしている。 $\{R_e \geq R_f\}$ という関係式を満足する点の百分率を $p(R_e \geq R_f)$ とかくと、図一2(b)~図一5(b)において、 $\{R_e \geq R_f\}$ を満たす点の方が多く、 $p(R_e \geq R_f)$



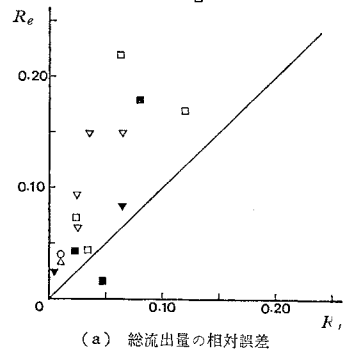
(a) 総流出量の相対誤差



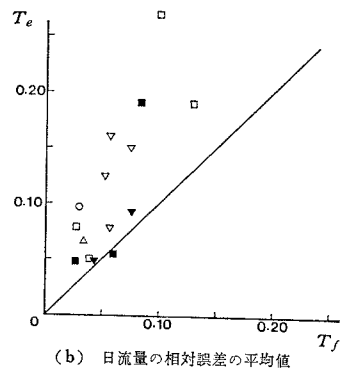
(b) 日流量の相対誤差の平均値

	春	夏	秋	冬
同定期間	○	△	□	▽
予測期間	●	▲	■	▼

図一4 相対誤差による減水式の適合性の比較 (天竜川の大居流域)



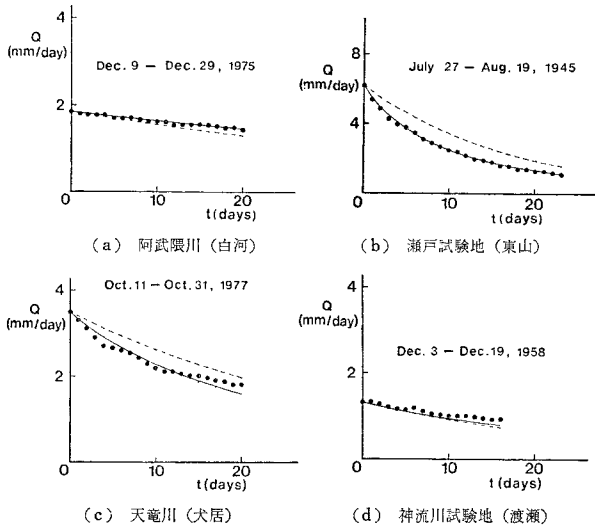
(a) 総流出量の相対誤差



(b) 日流量の相対誤差の平均値

	春	夏	秋	冬
同定期間	○	△	□	▽
予測期間	●	▲	■	▼

図一5 相対誤差による減水式の適合性の比較 (神流川試験地の渡瀬流域)



●●● 実測ハイドログラフ、—— 分数関数減水式による計算ハイドログラフ、- - - 指数関数減水式による計算ハイドログラフ

図-6 低水流の減水部の指数・分数関数減水式による計算ハイドログラフと実測ハイドログラフの比較

$R_f$  は 65~95% 程度の値を示す。表-1 中には 15 流域全部の  $p(R_o \geq R_f)$  を示すが、同様の結果であり、分数関数減水式の方が指数関数減水式に比べて日流量の相対誤差が小さく、適合性にすぐれていることがわかる。

以上のことから、総流出量の相対誤差と日流量の相対誤差の平均値の両方の評価方法からみて、分数関数減水

式の方が指数関数減水式より適合性にすぐれることがわかった。

なお、図-6 には、低水流の減水部の指数・分数関数減水式による計算ハイドログラフと実測ハイドログラフの比較を例示するが、この図をみても分数関数減水式による計算ハイドログラフの方が指数関数減水式による計算ハイドログラフより実測グラフと符合しており、適合性にすぐれることがわかる。

### 3. 減水特性に対する流域地質の効果

前章の結果をふまえて、本章では分数減水定数と流域地質との対応関係について検討し、減水特性に対する流域地質の効果を明らかにする。その前段として、分数減水定数に対する流域面積の効果について明らかにするために、同一地質、同一水系内で、小さい方の流域を含む形で順次流域面積が大きくなるような場合について考察する。表-2 には神流川における流域面積が異なる 3 つの流量観測所の季節別の分数減水定数を示す。表-2 をみると、同一地質で同一水系内という条件では、従来から指摘さ

表-2 減水特性に対する流域面積の効果  
神流川(古生層流域)

流量観測所	流域面積 (km <sup>2</sup> )	分数減水定数			
		春季	夏季	秋季	冬季
塩 沢	12.6	0.018	0.028	0.020	0.015
下久保ダム	322.9	0.024	0.027	0.025	0.019
渡 瀬	373.6	0.025	0.026	0.020	0.016

表-3 地質別の対象流域

(a) 第四紀火山岩類流域

No.	水系名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )
1	狩野川	大 仁	322.0
2	川内川	吉 松	284.0
3	利根川	上 里	156.6
4	阿武隈川	白 見	172.4
5	尻別川	名 駒	1402.2
6	本明川	裏 山	35.8
7	大分川	芹川ダム	118.0
8	川内川	鶴田ダム	805.0
9	大淀川	樋 渡	860.6
10	大淀川	乙 房	359.0
11	大野川	犬 飼	1239.0
12	筑後川	下 釜	185.0
13	今川	油木ダム	32.6
14	肝属川	高 良 橋	244.0
15	狩野川	本 宿	274.0
16	川内川	下 手 橋	571.0
17	最上川	蔵 王	21.0

(b) 第三紀火山岩類流域

No.	水系名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )
1	大聖寺川	我谷ダム	86.1
2	犀川	内川ダム	34.5
3	犀川	犀川ダム	57.8
4	米代川	素波里ダム	100.0
5	石狩川	豊平峡ダム	134.0
6	山園川	新原井	465.0

(c) 第三紀層流域

No.	水系名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )
1	大淀川	綾北ダム	148.3
2	大淀川	綾南ダム	87.0
3	小丸川	渡川ダム	81.0
4	古座川	七川ダム	102.0
5	一ッ瀬川	立花ダム	41.1

(d) 花崗岩類流域

No.	水系名または試験地名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )
1	裏筑波試験地	山口	3.1
2	瀬戸試験地	白坂	0.89
3	瀬戸試験地	東山	1.07
4	矢作川	矢作ダム	504.5
5	江の川	三 次	630.0
6	斐伊川	布部ダム	70.0
7	那珂川	南畑ダム	27.5
8	蒼社川	玉川ダム	38.1
9	最上川	木地山ダム	63.0
10	上市川	上市川ダム	44.7
11	沼田川	椋梨ダム	160.0

(e) 中生層流域

No.	水系名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )
1	渡川	磯の川	93.9
2	天竜川	犬居	317.0
3	株田川	五郷ダム	12.4
4	吉田川	木屋川ダム	84.1
5	重信川	山の内	55.3
6	佐波川	佐波川ダム	88.4
7	香東川	内場ダム	28.0

(f) 古生層流域

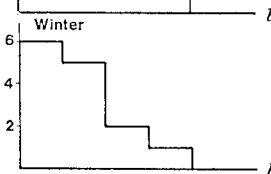
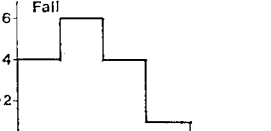
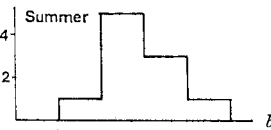
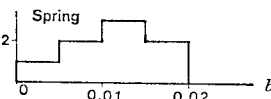
No.	水系名または試験地名	流量観測所名	流域面積 (km <sup>2</sup> )
1	鏡川	鏡ダム	80.0
2	富田川	川上ダム	22.0
3	利根川	下久保ダム	322.9
4	遠賀川	力丸ダム	34.1
5	神流川試験地	塩沢	12.6
6	神流川試験地	渡瀬	373.6
7	由良川	大野ダム	354.0
8	九頭竜川	笹生川ダム	70.0
9	佐波川	島地	127.6
10	利根川	高津戸	472.0
11	揖斐川	山口	297.7
12	肱川	鹿野川ダム	455.6
13	天竜川	美和ダム	311.0

れている流域面積が小さくなると減水定数が大きくなるという減水特性に対する流域面積の効果がみられないことがわかる。そこで、本研究では減水特性に対する流域面積の効果は考慮しないこととする。

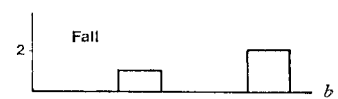
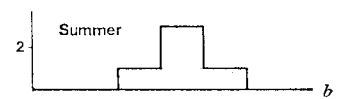
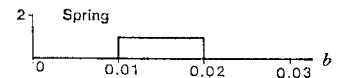
次に、2. において単一地質で取水の影響がないという条件で選び出した 59 流域を対象として減水特性に対する流域地質の効果について検討を加える。表-3 には、対象流域を地質別に示す。これらの流域について、分数減水定数をグラフ法により求め、季節別の代表値を算定した。ただし、対象流域の中には一部の季節の減水部のデータしかないものも含まれている。図-7 には、こうして得られた分数減水定数の地質別・季節別のヒストグラムを示す。図-7 をみると、分布に大きなばらつきはあるものの第四紀火山岩類流域の分数減水定数の値は他の地質の値に比べてかなり小さいことがわかる。次いで花崗岩類流域の減水定数が全般的に小さく、第三紀火山岩類流域がこれに続いて、第三紀層流域と古生層流域の減水定数は大きく、ほぼ同程度であり、中生層流域の中にはきわめて大きな値を示すものもある。表-4 には、分数減水定数の地質別・季節別の平均値を示すが、第四紀火山岩類流域の分数減水定数は 0.006~0.014 で最も小さく、花崗岩類流域の値は 0.010~0.017 で次に小さく、第三紀火山岩類流域の値は 0.014~0.022 で 3 番目に小さく、古生層流域の値は 0.015~0.023 で 4 番目であり、第三紀層流域の値は 0.019~0.025 で 5 番目であり、中生層流域の値は 0.023~0.038 で最大である。

#### 4. 結 論

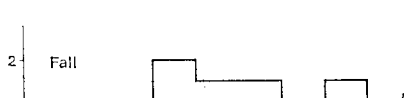
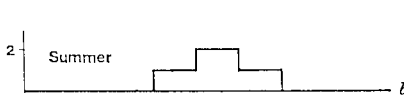
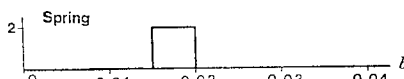
本研究で得られたおもな成果は次



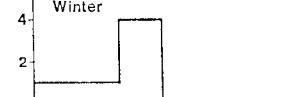
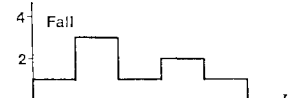
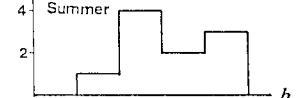
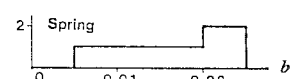
(a) 第四紀火山岩類流域



(b) 第三紀火山岩類流域



(c) 第三紀層流域



(d) 花崗岩類

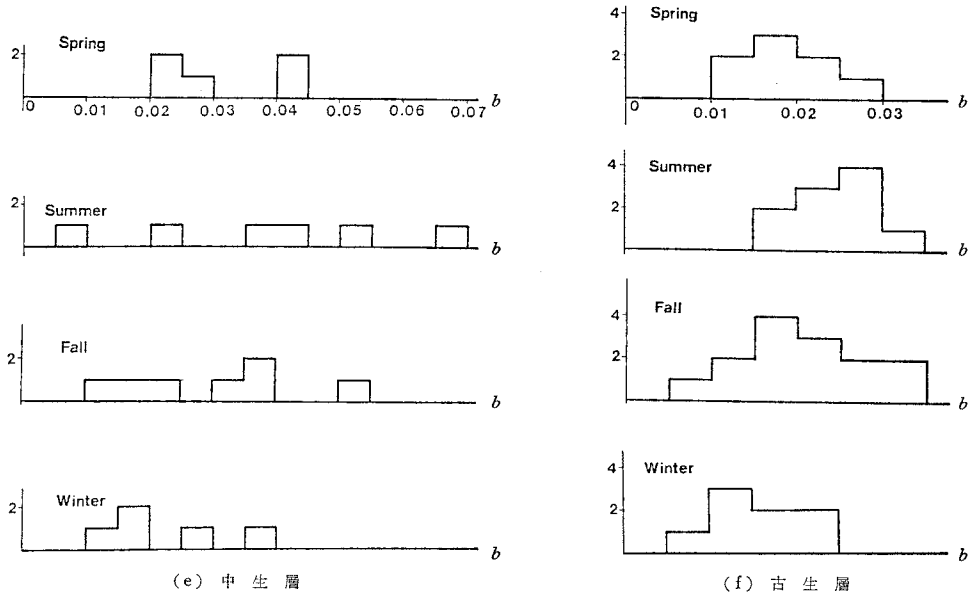


図-7 分数減水定数の地質別・季節別のヒストグラム

表-4 分数減水定数の地質別・季節別の平均値

地 質	流域数	春季	夏季	秋季	冬季
第四紀火山岩類	17	0.011	0.014	0.008	0.006
花 崗 岩 類	11	0.016	0.017	0.013	0.010
第三紀火山岩類	6	0.014	0.018	0.022	—
古 生 層	13	0.019	0.023	0.019	0.015
第 三 紀 層	5	0.019	0.023	0.024	0.025
中 生 層	7	0.032	0.038	0.029	0.023

のとおりである。

(1) 山地河川の低水流出の減水式としては、指数関数減水式より分数関数減水式の方が適合性にすぐれることが明らかにされた。

(2) 低水流出の減水特性に対する流域地質の効果として、分数減水定数の値が第四紀火山岩類流域、花崗岩類流域、第三紀火山岩類流域、古生層流域、第三紀層流域、中生層流域の順に小さいことを明らかにした。

謝 辞：末尾ながら、貴重な水文データを提供された建設省河川局の関係各位、建設省土木研究所水文研究室の石崎勝義元室長、愛知工業大学の江川太郎教授、東京大学農学部の山口伊佐夫教授、東京大学愛知演習林の諸戸清一講師に記して感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり、機にふれて、ご討議、ご助言を賜りました東京大学生産技術研究所の虫明功臣助教授に感謝の意を表します。

なお、解析にあたって、東京大学大型計算機センターを利用したことを付記する。

参 考 文 献

1) 安藤義久・高橋 裕・伊藤 孝：山地河川の地下水流出の逓減特性とそれに対する流域地質の効果，第25回水理

講演会論文集，pp. 175～182，1981。

2) 伊藤 孝・高橋 裕・安藤義久：山地河川流域の地下水流出の逓減特性，土木学会第36回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp. 687～688，1981。

3) 安藤義久・高橋 裕・伊藤和央：湯水時の河川流出量の予測手法，第2回水資源に関するシンポジウム，pp. 491～496，1982。

4) 伊藤和央・高橋 裕・安藤義久：山地河川の地下水流出の減水式の適合性，土木学会第37回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp. 685～686，1982。

5) Hall, F.R.: Base flow recessions—a review, Water Resources Research, Vol. 4, No. 5, pp. 973～983, 1968。

6) 江川太郎：河川流出の標準逓減曲線とその適用に関する研究，東京大学博士論文，1979。

7) Werner, P.W. and K.J. Sundquist: On the groundwater recession curve for large watersheds, Publ. No. 33, IAHS, pp. 202～212, 1951。

8) Roche, M.: Hydrologie de Surface, Gauthier-Villars, pp. 267～275, 1963。

9) 高木不折：低水流出の低減特性に関する研究，土木学会論文報告集，第128号，pp. 1～11, 1966。

10) Ding, J.Y.: Discussion of “Inflow hydrographs from large unconfined aquifers”, Proc. ASCE, 90, (IR 1), pp. 104～107, 1966。

11) 安藤義久・高橋 裕：山地河川の長期流出解析に関する一考察，土木学会論文報告集，第318号，pp. 93～105, 1982。

12) 中野秀章：森林水文学，水文学講座13，共立出版，pp. 140～141, 1976。

13) 虫明功臣・高橋 裕・安藤義久：日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果，土木学会論文報告集，第309号，pp. 51～62, 1981。

14) 高橋 裕・安藤義久・井上誠一：表日本の山地河川の流況特性に関する統計的研究，第25回水理講演会論文集，pp. 209～214, 1981。

15) 高木不折・Rodde, F.G.: 地下水流出の流域における特性変化と場所的スケール，土木学会論文報告集，第270

- 号, pp. 99~108, 1978.
- 16) 建設省土木研究所水文研究室編：神流川流域水文観測資料, 土木研究所資料 No. 324, 1968.
- 17) 建設省土木研究所河川部水文研究室：塩沢小試験地水文観測資料, 土木研究所資料 1698 号, 1981.
- 18) 建設省土木研究所：裏筑波試験地水文観測資料, 土木研究所資料 第 1429 号, 1978.
- 19) 東京大学演習林：愛知演習林量水観測結果報告(I),(II), 東京大学農学部演習林 第 20, 21 号, 1976, 1977.
- 20) 建設省河川局：流量年表, 1957~1977.
- 21) 建設省河川局：多目的ダム管理年報, 1965~1975.  
(1981.9.24・受付)
-