

低水流出の分数関数減水式の地質・季節要因による総合化

PARAMETER REGIONALIZATION OF LOW-FLOW FRACTIONAL RECESSON CONSTANT BY GEOLOGICAL AND SEASONAL FACTOR

安藤義久*・高橋 裕**・伊藤和央***

By Yoshihisa ANDO, Yutaka TAKAHASI and Kazuo ITO

The object basins of this study are 92 mountainous basins in Japan. At first, the effect of season on fractional-type recession constant was made clear. The basin geology was classified into ten categories. Then the standard values of recession constants for each geology and season were given using the mean values of basins covered with uniform basin geology. The authors presented a method to calculate recession constants of basins covered with various basin geology. The presented equation is as follows :

$$\hat{b}_i = \sum_{j=1}^{10} B_{ij} \cdot a_j$$

Where, \hat{b}_i : calculated recession constants of i -season, B_{ij} : standard recession constants of j -geology and i -season, a_j : areal percentage of j -geology in the basin. Finally, suitability of the recession constants calculated by the above equation was shown.

1. 緒 論

河川の低水流出の減水特性を明らかにすることは、水資源の計画・管理にとって重要である。従来から低水流出の減水特性に関してはさまざまな研究が行われてきている。低水流出の減水曲線の表現方法に関しては、Werner and Sundquist¹⁾, Roche²⁾, および高木³⁾により理論的に導かれた分数関数減水式が日本の多くの山地河川で適合性が高いことが高橋・安藤・伊藤・伊藤⁴⁾により実証的に示されている。一方、低水流出の減水特性の影響要因として、季節要因が Knisel⁵⁾ と中野⁶⁾により指摘されており、上記の分数関数減水式の減水定数の値が季節により異なり、夏季が最大で冬季が最小で、春季・秋季はその中間の値をとることが安藤・高橋・伊藤⁷⁾により定性的に示されている。また、地質要因が Cross⁸⁾, Knisel⁹⁾ および虫明・高橋・安藤⁹⁾により指摘されており、分数関数減水式の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傾向があることが高橋・安藤・伊藤・伊藤⁴⁾により示されている。この減水定数の地質による相違は、各地質の保水力などの相違のためと推定される。

本研究では、これらの研究をふまえて、低水流出の分数関数減水式に関して季節要因と地質要因を考慮した総合化を試みる。具体的には、まず、季節別の分数減水定数の相関を定量的に示す。これにより、ある季節の減水定数から他の季節の減水定数を推定することが可能となる。次に、単一地質流域の減水定数を用いて地質区別に各季節の減水定数の標準値を設定し、複合地質流域の減水定数をその流域中に占める各地質区分の占有面積率とそれに対応する減水定数の標準値との積の線形和という形の推定式を提案し、その妥当性を検討する。この推定式により流域の減水定数が算定されれば、この値を分数関数減水式に代入することにより、無降雨期間の減水ハイドログラフが求められる。つまり、実測の流量資料のないあるいは少ない流域に対しても流域の地質さえわかれば、減水曲線を推定することが可能になる。これは利水面から考えるときわめて意義のあることと思われる。

* 正会員 工博 東京都立大学講師 工学部土木工学科
(〒158 世田谷区深沢 2-1-1)

** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科
(〒113 文京区本郷 7-3-1)

*** 正会員 工修 運輸省港湾局
(〒100 千代田区霞ヶ関 2-1-3)

2. 対象流域と減水定数の算定法

(1) 対象流域の選定

本研究では、流量年表¹⁰⁾(昭和37~56年)、多目的ダム管理年報¹¹⁾(昭和34~54年)に記載されている流域、および建設省の試験流域^{12),13)}の中から、上流に大きな貯水池が存在せず、各種用水の取水の影響が少なく、長期間の日雨量・日流量データのそろっている流域を選び出した。さらに、ダム流域については、流域面積が小さいダム流域は流量測定精度が相対的に低いと考えられるので、流域面積20km²以下のダム流域は除いた。こうして選定された対象流域は、流量年表から31流域、多目的ダム管理年報から58流域、および建設省土木研究所の試験流域から3流域の合計92流域である。表一1には、対象流域の水系、河川、流量観測所、流域面積を地方別に示す。

表一1 対象流域の概要

九州地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
遠賀川	遠賀川	川島	292.0
遠賀川	遠賀川	日の出橋	750.0
遠賀川	八木山川	力丸ダム	34.1
○矢部川	矢部川	日向神ダム	84.3
○今川	今川	油木ダム	32.6
○那珂川	那珂川	南畑ダム	27.5
大分川	芹川	芹川ダム	118.0
山国川	山国川	新原井	465.0
筑後川	津江川	下釜ダム	185.0
本明川	本明川	裏山	35.8
水川	水川	水川ダム	57.4
五ヶ瀬川	五ヶ瀬川	三輪	1031.6
五ヶ瀬川	祝子川	祝子ダム	45.2
○一ツ瀬川	前川	立花ダム	41.1
大淀川	大淀川	樋渡	860.6
大淀川	大淀川	乙渡	359.0
大淀川	綾北川	綾北ダム	148.3
大淀川	綾南川	綾南ダム	87.0
○小丸川	渡川	渡川ダム	81.0
川内川	川内川	吉松	284.0
川内川	川内川	鶴田ダム	805.0
○肝属川	肝属川	高良橋	244.0
四国地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
○鏡川	鏡川	鏡ダム	80.0
蒼社川	蒼社川	玉川ダム	38.1
香東川	香東川	内場ダム	28.0
○駄川	小田川	坊屋敷	371.5
中国地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
○富田川	富田川	川上ダム	22.0
○吉田川	木屋川	木屋川ダム	84.1
○佐波川	島地川	島地	127.6
○佐波川	佐波川	佐波川ダム	88.4
江川	西城川	三次	630.0
江川	江川	土師ダム	307.5
飯梨川	飯梨川	布部ダム	70.0
斐伊川	三刀屋川	三刀屋	195.8
浜田川	浜田川	浜田ダム	33.8
沼田川	椋梨川	椋梨ダム	160.0
太田川	根之谷川	上原橋	85.5

近畿地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
由良川	由良川	大野ダム	354.0
古座川	古座川	七川ダム	102.0
○有田川	有田川	二川ダム	228.8
○宮川	宮川	宮川ダム	125.6
○榎田川	榎田川	両郡橋	388.9
中部地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
木曾川	根尾川	山口	297.7
木曾川	揖斐川	横山ダム	471.0
矢作川	矢作川	山田ダム	504.5
○豊川	寒秋川	布里	248.8
○天竜川	三峰川	美和ダム	311.0
○天竜川	気田川	犬居	317.0
天竜川	大入川	新豊根ダム	136.3
安倍川	薬科川	奈良間	112.2
安倍川	安倍川	牛妻	287.6
○狩野川	狩野川	大仁	322.0
○狩野川	狩野川	千歳橋	390.0
北陸地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
九頭龍川	真名川	笹生川ダム	70.0
大聖寺川	大聖寺川	我谷ダム	86.1
犀川	犀川	犀川ダム	57.8
犀川	内川	内川ダム	34.5
上市川	上市川	上市川ダム	44.7
信濃川	榎花川	榎花ダム	250.0
信濃川	五十嵐川	笠堀ダム	70.0
信濃川	千曲川	杭瀬下	2595.9
関東地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
利根川	神流川	下久保ダム	328.4
○利根川	神流川試験地	塩沢	12.6
○利根川	神流川試験地	渡瀬	373.6
利根川	渡良瀬川	高津戸	472.0
利根川	赤谷川	相俣ダム	110.8
利根川	鬼怒川	川俣ダム	179.4
利根川	男鹿川	五十里ダム	271.2
利根川	片品川	蘭原ダム	493.9
○利根川	巽筑波試験地	山口川	3.1
○花園川	花園川	水沼ダム	37.0
久慈川	久慈川	山方	997.0
東北地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
岩木川	岩木川	目屋ダム	171.6
岩木川	浅瀬石川	沖浦ダム	200.8
馬淵川	馬淵川	剣吉	1751.1
米代川	米代川	十二所	1160.0
雄物川	旭川	旭川ダム	34.4
北上川	江合川	鳴子ダム	210.1
北上川	和賀川	湯田ダム	583.0
北上川	迫川	花山ダム	126.9
北上川	胆沢川	石淵ダム	154.0
名取川	名取川	釜房ダム	192.3
最上川	野川	木地山ダム	63.0
最上川	馬見ヶ崎川	蔵王ダム	21.0
最上川	鮭川	高坂ダム	68.2
阿武隈川	阿武隈川	白河	172.4
北海道地方			
水系名	河川名	流量観測所名	流域面積(km ²)
天塩川	天塩川	岩尾内ダム	331.4
常呂川	常呂川	置戸	403.1
渚滑川	渚滑川	上渚滑	1050.6
石狩川	石狩川	大雪ダム	291.6
石狩川	空知川	金山ダム	470.0
尻別川	尻別川	名駒	1402.2

(2) 対象減水部の抽出

対象流域において、降雨終了後の連続無降雨日数が15日以上の場合を減水部を対象とし、長い減水部も短い減水部も同等に扱った。ただし、流域が積雪地帯にあるものは、積雪期と融雪期の減水部は採用しないことにした。

(3) グラフ法による分数減水定数の算定

分数関数減水式は、次式で表わされる。

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

ただし、 Q_0 ：初期流出高、 Q ： t 日後の流出高、 b ：分数減水定数である。Ishihara and Takagi¹⁴⁾とDing¹⁵⁾が示しているように、式(1)は次のように変形できる。

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

そこで、縦軸に平方根分の1のスケールをもつグラフ用紙に、縦軸に流出高 Q (mm/day)、横軸に日数 t をとって減水部をプロットし、そこに直線をあてはめ、その傾きを計算すれば、減水定数 b が求まる。

3. 季節別の減水定数の相関

前述したように、河川の低水流出の減水特性に対する季節の効果に関する定性的な指摘はすでに行われているが、ここでは季節別の減水定数の相関を定量的に示すことを試みる。なお、季節のとり方は、春季が3~5月、夏季が6~8月、秋季が9~11月、冬季が12~2月である。

表-1に示す対象流域の中から、すべての季節において解析対象減水部が2個以上得られる流域を選び出す。こうして選んだ21流域を表-1に○印を付して示す。そして、各流域の減水定数の季節ごとの平均値を算出する。図-1には、21流域の季節別の減水定数の平均値の相関図を、横軸に冬季の減水定数をとり、縦軸にそれぞれ春季、夏季、秋季の減水定数をとって示す。図-1中の直線は、それぞれ冬季の減水定数との間で一次回帰分析を行った結果の回帰式を示している。回帰式と相関係数は次のようになった。

$$b_1 = 1.29 b_4 \quad (r = 0.85) \dots\dots\dots (3)$$

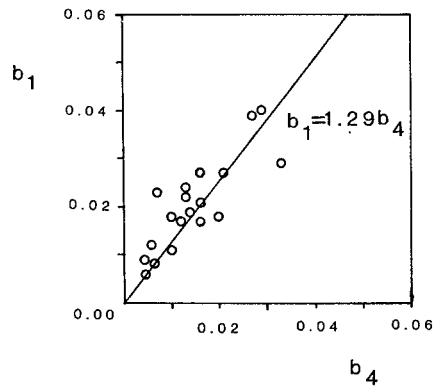
$$b_2 = 1.49 b_4 \quad (r = 0.92) \dots\dots\dots (4)$$

$$b_3 = 1.20 b_4 \quad (r = 0.92) \dots\dots\dots (5)$$

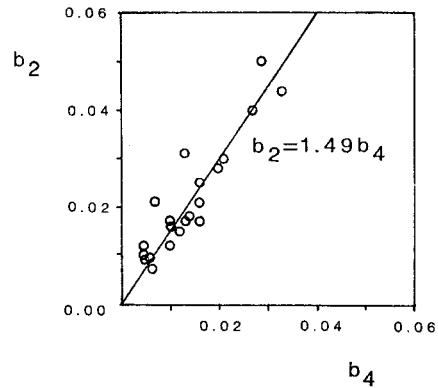
ただし、 b_1 ：春季の減水定数、 b_2 ：夏季の減水定数、 b_3 ：秋季の減水定数、 b_4 ：冬季の減水定数、 r ：相関係数である。

以上のことから、分数減水定数は冬季の値に対して春季、夏季、秋季の値がそれぞれ約1.3倍、約1.5倍、約1.2倍となることが示された。この結果を用いて、ある季節の減水定数から他の季節の減水定数を推定することが可能である。

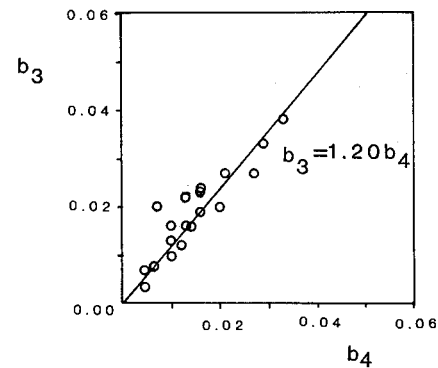
上記のように季節によって減水定数の値が異なる理由



(a) 春季と冬季



(b) 夏季と冬季



(c) 秋季と冬季

図-1 減水定数の季節別の相関

は、河道と河道付近の飽和域からの蒸発散量が夏季に大きく、冬季に小さく、春季と秋季に中位であるためと推定される。

4. 地質区分および減水定数の地質区分別・季節別の標準値

(1) 地質区分の方法

本稿では、虫明・高橋・安藤⁹⁾の提案した地質区分に

表—2 地質区分の方法

時代区分	岩質区分						
	火山岩類	深成岩類	未固結堆積物	堆積岩類A	堆積岩類B	変成岩類A	変成岩類B
第四紀	①	*	①	①	*	*	*
第三紀～第四紀	②	*	*	*	*	*	*
第三紀	③	*	*	④	*	*	*
中生代～第三紀	*	⑤	*	*	*	*	*
中生代	⑤	⑥	*	⑥	⑦	⑨	⑩
古生代～中生代	*	⑧	*	*	⑦	*	⑩
古生代	*	⑧	*	*	⑦	*	⑩

表—3 地質区分の名称

分類番号	地質区分名	分類番号	地質区分名
①	第四紀層	⑥	中生代 堆積岩類 A
②	第三紀～第四紀 火山岩類	⑦	古生代・中生代 堆積岩類 B
③	第三紀 火山岩類	⑧	深成岩類
④	第三紀 堆積岩類 A	⑨	変成岩類 A
⑤	中生代 火山岩類	⑩	変成岩類 B

準拠した表—2に示す地質区分を用いる。表—2において地質時代は第四紀，第三紀，中生代，古生代の4分類に各時代の遷移期間である第三紀～第四紀，中生代～第三紀，古生代～中生代の3分類を加え，計7分類とした。また，岩質は火山岩類，深成岩類，未固結堆積物，堆積岩類A，堆積岩類B，変成岩類A，変成岩類Bの7分類とした。ここで，未固結堆積物とは未固結の砂，泥，礫を，堆積岩類Aは砂岩，礫岩，泥岩を主に含むものを，堆積岩類Bは主に粘板岩，石灰岩，チャートを含むものを，変成岩類Aは三波川，間ノ谷，西彼杵，石垣変成岩を，変成岩類Bは上記以外の変成岩を表わす。なお，表—2中の*印は，その地質が日本にはほとんど存在しないことを示している。表—2において，低水流出の減水特性への影響の与え方という観点から，似た性質を示すものは同じ分類にして，最終的に10分類とした。表—3には本稿で用いた10の地質区分の名称を示す。

(2) 単一地質流域による減水定数の地質区分別・季節別の標準値の設定

減水定数の地質区分別・季節別の標準値の設定手順は次のとおりである。

本研究の対象流域を20万分の1の地形図上におとし，さらに地質調査所発行の100万分の1の地質図¹⁶⁾に流域をおとし直し，流域内の地質区分別の占有面積率を判読する。

次に，判読した占有面積率をもとに，流域の80%以

表—4 減水定数の地質区分別・季節別の標準値

分類番号	単一地質流域		減水定数 (1/Jmm・d)			
	観測所名 (河川名)		春季	夏季	秋季	冬季
①	高良橋大仁 (肝属川) (狩野川)		0.010	0.009	0.008	0.006
②	油木ダム 下釜ダム 裏山 (今川) (津江川) (本明川)		0.017	0.019	0.014	0.012
③	内川ダム 犀川ダム (犀川) (犀川)		0.015	0.016	0.017	(0.011)
④	立花ダム 綾北ダム 綾南ダム 渡川ダム 七川ダム (前川) (綾北川) (綾南川) (渡川) (古座川)		0.023	0.022	0.020	0.017
⑤	佐波川ダム (佐波川)		0.040	0.050	0.033	0.029
⑥	木屋川ダム (木屋川)		0.029	0.044	0.038	0.033
⑦	鏡ダム 大野ダム 山口 笹生川ダム 堀沢 (鏡川) (由良川) (根尾川) (真名川) (神流川試験地)		0.019	0.025	0.023	0.014
⑧	南畑ダム 布部ダム 矢作ダム 山口川 木地山ダム (那珂川) (飯梨川) (矢作川) (裏筑波試験地) (野川)		0.009	0.013	0.011	0.007
⑨	坊屋敷 (小田川)		0.039	0.040	0.027	0.027
⑩	川上ダム (富田川)		0.017	0.015	0.012	0.012

上が単一の地質区分に属するような流域を選び出した。なお，地質区分中で第四紀層に対しては，この基準を満たす流域が存在しなかったため，これに準じる流域を選んだ。表—4には，選定された26の単一地質流域を示す。こうして選定した単一地質流域のハイドログラフの減水部からグラフ法により算定した減水定数を地質区分別・季節別に平均し，その平均値を地質区分別・季節別の標準値とする。

以上の手順により設定した減水定数の地質区分別・季節別の標準値の一覧を表—4に示す。なお，表—4の地質区分③中の減水定数の冬季の標準値に括弧が付けてあるのは，内川ダムと犀川ダムが積雪地帯に属し冬季の減水部が得られなかったため，前述した季節別の減水定数の回帰式(4)を用いて夏季の減水定数から冬季の減水定数を推定したためである。

(3) 誤差評価による地質区分別・季節別の標準値の妥当性の検討

ここでは，地質区分別・季節別の減水定数の標準値を用いた分数関数減水式を実際の減水部に適用し，実測値との間で誤差評価を行うことによりその妥当性を検討する。

誤差評価の方法としては，著者ら^{17), 4)}が従来から用いてきた式(6)に示す総流出量の相対誤差Tと式(7)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。

$$T = \left| \frac{\sum_{t=1}^N Q_o(t) - \sum_{t=1}^N Q_c(t)}{\sum_{t=1}^N Q_o(t)} \right| \dots\dots\dots (6)$$

$$R = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^N |Q_o(t) - Q_c(t)|}{Q_o(t)} \right\} / N \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 $Q_o(t)$: t 日目の流出高の実測値、 $Q_c(t)$: t 日

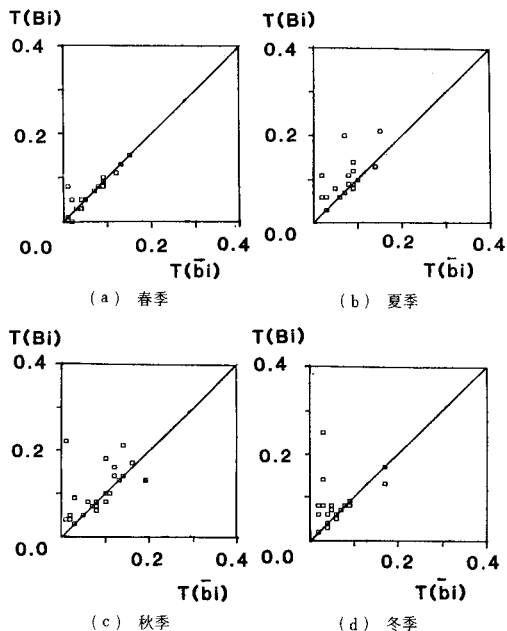


図-2 単一地質流域における減水定数の実測値と標準値を用いた場合の総流出量の相対誤差の比較

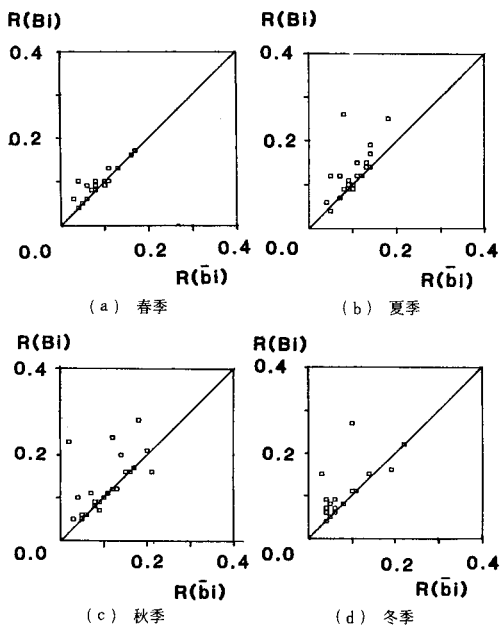


図-3 単一地質流域における減水定数の実測値と標準値を用いた場合の日流量の相対誤差の平均値の比較

目の流出高の計算値、 N : 採用した減水部の日数である。

図-2には、単一地質流域における減水定数の実測値と標準値を用いた場合の総流出量の相対誤差の比較を示す。図中、横軸はグラフ法により算定した減水定数の流域ごとの季節別平均値 \bar{b}_i を分数関数減水式に代入して計算した計算値と実測値との間の総流出量の相対誤差 $T(\bar{b}_i)$ 、縦軸は減水定数の各地質区分別・季節別の標準値 B_i を分数関数減水式に代入して計算した計算値と実測値との間の総流出量の相対誤差 $T(B_i)$ である。これを見ると、 $T(\bar{b}_i)$ についてはすべて 20% 以下であり、 $T(B_i)$ についても $T(\bar{b}_i)$ よりは大きいものすべて 25% 以下であり、地質区分別の標準値を用いることによる総流出量の相対誤差の増加は小さいといえる。

図-3には、単一地質流域における減水定数の実測値と標準値を用いた場合の日流量の相対誤差の平均値の比較を示す。図中、横軸は減水定数の流域ごとの季節別平均値 \bar{b}_i を分数関数減水式に代入して計算した計算値と実測値との間の日流量の相対誤差の平均値 $R(\bar{b}_i)$ 、縦軸は減水定数の各地質区分別・季節別の標準値 B_i を分数関数減水式に代入して計算した計算値と実測値との間の日流量の相対誤差の平均値 $R(B_i)$ である。これを見ると、 $R(\bar{b}_i)$ についてはすべて 25% 以下であり、 $R(B_i)$ についても $R(\bar{b}_i)$ よりは大きいものすべて 30% 以下であり、地質区分別・季節別の減水定数の標準値を用いることによる日流量の相対誤差の平均値の増加は小さいといえる。

以上のことから、本稿で設定した地質区分別・季節別の減水定数の標準値は妥当であるといえる。

5. 複合地質流域の減水定数の推定とその妥当性

(1) 複合地質流域の減水定数の推定法

ここでは、表-4 に示す減水定数の地質区分別・季節別の標準値を用いた複合地質流域の減水定数の推定式を提案する。推定式は次のとおりである。

$$\hat{b}_i = \sum_{j=1}^{10} B_{ij} \cdot a_j \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 \hat{b}_i : 各季節の減水定数の推定値、 i : 季節 ($i=1$ は春季、 $i=2$ は夏季、 $i=3$ は秋季、 $i=4$ は冬季)、 B_{ij} : 季節 i 、地質区分 j の減水定数の標準値、 j : 地質区分の分類番号であり、表-3 中の番号と同じである。 a_j : 分類 j の地質区分がその流域中に占める面積率を表わす。

さらに、式 (8) に表-4 に示す B_{ij} の数値を代入して書き下すと次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{b}_1 = & 0.010 a_1 + 0.017 a_2 + 0.015 a_3 + 0.023 a_4 \\ & + 0.040 a_5 + 0.029 a_6 + 0.019 a_7 + 0.009 a_8 \\ & + 0.039 a_9 + 0.017 a_{10} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{b}_2 = & 0.009 a_1 + 0.019 a_2 + 0.016 a_3 + 0.022 a_4 \\ & + 0.050 a_5 + 0.044 a_6 + 0.025 a_7 + 0.013 a_8 \\ & + 0.040 a_9 + 0.015 a_{10} \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{b}_3 = & 0.008 a_1 + 0.014 a_2 + 0.017 a_3 + 0.020 a_4 \\ & + 0.033 a_5 + 0.038 a_6 + 0.023 a_7 + 0.011 a_8 \\ & + 0.027 a_9 + 0.012 a_{10} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{b}_4 = & 0.006 a_1 + 0.012 a_2 + 0.011 a_3 + 0.017 a_4 \\ & + 0.029 a_5 + 0.033 a_6 + 0.014 a_7 + 0.007 a_8 \\ & + 0.027 a_9 + 0.012 a_{10} \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

これらの推定式の妥当性を、減水定数の実測値と推定値との相関と誤差評価により以下に検討する。

(2) 減水定数の実測値と推定値との相関

図-4には、複合地質流域における減水定数の実測値と推定値の相関図を季節別に示している。図中、横軸の減水定数の実測値とはグラフ法により算定した減水定数の流域ごとの季節別の平均値 \bar{b}_i であり、縦軸の減水定数の推定値とは式(8)(あるいは式(9)~(12))による推定値 \hat{b}_i である。図-4をみると、ばらつきはあるものの各季節とも $\hat{b}_i = \bar{b}_i$ の直線のまわりに点は分布しており、推定式(8)の妥当性が示されたといえる。

なお、本研究で対象とする複合地質流域は、92の全対象流域から26の単一地質流域を差し引いた残りの66流域であるが、図-4中の点の数が66より少ない理由は流域によっては無降雨期の減水部が得られない季節があるからである。

なお、92の全対象流域の季節別の減水定数の平均値の一覧表を付表に示す。

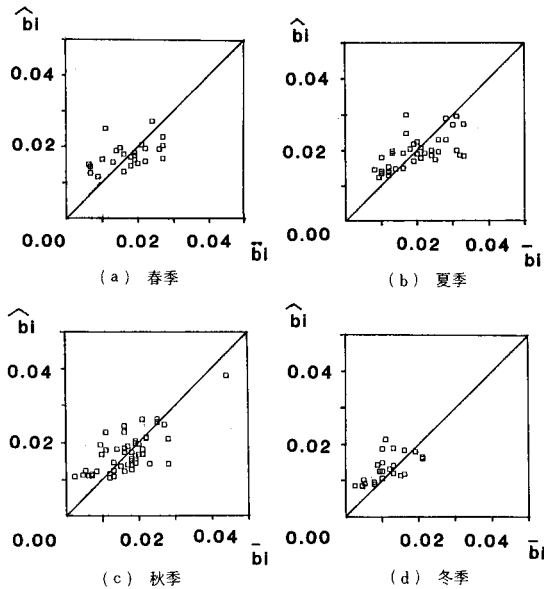


図-4 減水定数の実測値と推定値との相関

(3) 誤差評価法による妥当性の検討

ここでは、減水定数の推定値を用いた分数関数減水式を実際の減水部に適用し、実測値との間で誤差評価を行

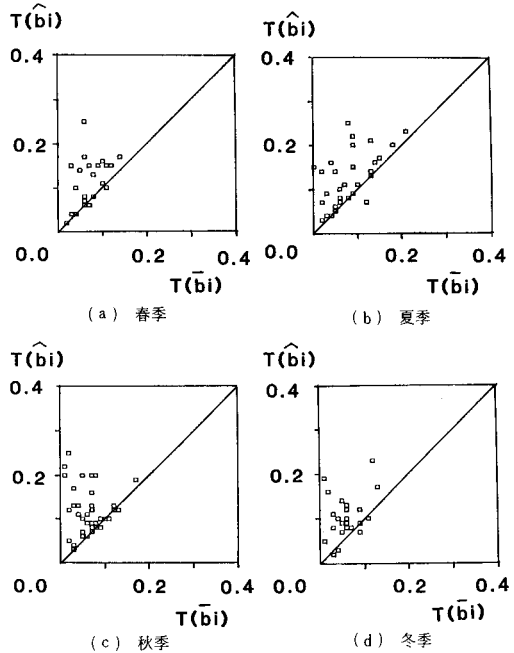


図-5 複合地質流域における減水定数の実測値と推定値を用いた場合の総流出量の相対誤差の比較

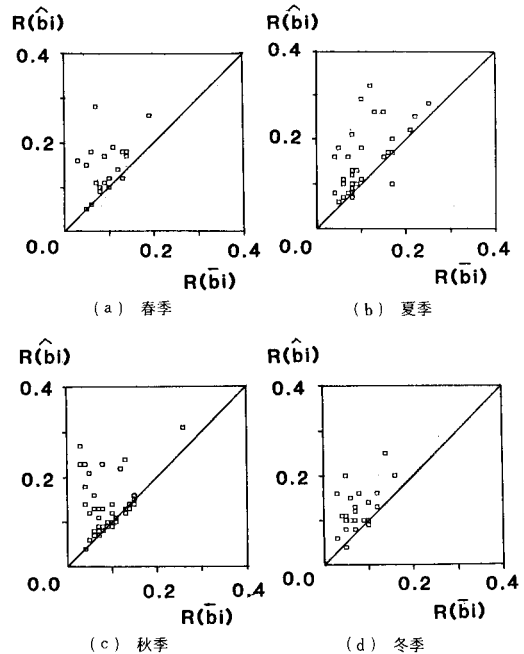
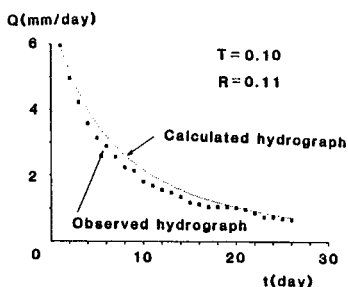
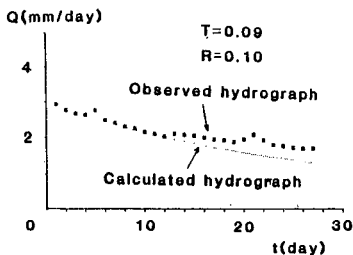


図-6 複合地質流域における減水定数の実測値と推定値を用いた場合の日流量の相対誤差の平均値の比較



(a) 榑田川両郡橋 (昭和42年7月25日~8月19日)



(b) 寒狭川布里 (昭和43年12月23日~昭和44年1月18日)

図一七 複合地質流域の減水部の実測ハイドログラフと計算ハイドログラフの比較

い、減水定数の実測値を用いた場合との比較により、前述の減水定数の推定法の妥当性を検討する。

図一五には、複合地質流域における減水定数の実測値と推定値を用いた場合の総流出量の相対誤差の比較を季節別に示す。この図では、横軸に複合地質流域の流域ごとに季節別の減水定数の実測値を用いた場合の総流出量の相対誤差 $T(\hat{b}_i)$ の流域ごとの平均値を、縦軸に減水定数の推定値を用いた場合の総流出量の相対誤差 $T(\bar{b}_i)$ の流域ごとの平均値をとっている。この図をみると、全体的に $T(\hat{b}_i)$ は $T(\bar{b}_i)$ に比べて若干大きな値になるものの、各季節ともすべて 25% 以下であり、総流出量の相対誤差は小さい。

一方、図一六には複合地質流域の減水定数の実測値を用いた場合と推定値を用いた場合の日流量の相対誤差の平均値の比較を季節別に示す。この図では、横軸に複合地質流域の流域ごとに減水定数の実測値を用いた場合の日流量の相対誤差の平均値 $R(\hat{b}_i)$ の流域ごとの平均値をとり、縦軸には減水定数の推定値を用いた場合の日流量の相対誤差の平均値 $R(\bar{b}_i)$ の流域ごとの平均値をとっている。この図をみると、全体的に $R(\hat{b}_i)$ は $R(\bar{b}_i)$ に比べて若干大きな値になるものの、各季節ともおおむね 30% 以下であり、日流量の相対誤差の平均値は小さい。

以上のことから、複合地質流域において減水定数の推定値を用いた場合には総流出量の相対誤差も日流量の相

対誤差の平均値も減水定数の実測値を用いた場合に比べて若干大きくなる傾向があるものの、総流出量の相対誤差は 25% 以下であり、日流量の相対誤差の平均値はおおむね 30% 以下であり、実測の減水部への適合性は高いといえる。このことから、著者らが提案する減水定数の推定法の妥当性が示されたといえる。

なお、図一七には、複合地質流域の減水部の実測ハイドログラフと式(8)による減水定数の推定値を分数関数減水式に代入して得られた計算ハイドログラフの比較を例示する。図中、横軸は日単位の時間であり、縦軸は流出高を mm/day 単位で表わし、各減水部の総流出量の相対誤差 T の値と日流量の相対誤差の平均値 R の値も付記している。図一七をみると、榑田川両郡橋流域の場合も寒狭川布里流域の場合も計算ハイドログラフが実測ハイドログラフによく対応しているが、他の流域もほぼ同様の結果である。

6. 結論と今後の課題

本研究で得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 季節別の分数減水定数の相関に関しては、減水定数は冬季の値に対して春季、夏季、秋季の値はそれぞれ約 1.3 倍、約 1.5 倍、約 1.2 倍となることが示された。この結果を用いて、ある季節の減水定数から他の季節の減水定数を推定することが可能である。

(2) 各地質区分ごとに単一地質流域を抽出し、各地質区分別に減水定数の標準値を季節別に表一四に示すように設定することができた。

(3) 複合地質流域の季節別の減水定数を、季節別の各地質区分別の減水定数の標準値の各地質区分の占有面積率による加重平均として推定する方法を提案した。そして、この方法による減水定数の推定値と実測値との相関、および誤差評価により検討を行い、前述の推定法の妥当性を示した。上記の方法を用いれば、水文データのないあるいは少ない流域でも、流域の地質により低水流出の分数関数減水式の季節別の減水定数の推定が可能となり、分数関数減水式が総合化されたといえる。

本研究では、要因として最も重要と考えられる季節と地質を取り上げたが、地形や断層や破砕帯などの要因に関する検討は今後の課題と考えている。

謝 辞：本研究をまとめるにあたり、有益な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には深く感謝の意を表します。

付表 対象流域の減水定数の一覧表

地方	河川	流量観測所	減水定数 (1/√mm·d)			
			春季	夏季	秋季	冬季
九州	遠賀川	川島	0.020	0.032	0.013	0.015
	遠賀川	日の出橋	0.019	0.047	0.018	0.013
	遠賀川	力丸ダム	0.018	0.016	0.020	-----
	矢部川	日向神ダム	0.027	0.025	0.023	0.018
	今川	油木ダム	-----	0.018	-----	0.010
	那珂川	南畑ダム	0.011	0.012	0.0098	0.010
	大分川	芹川ダム	0.016	-----	0.0024	0.0025
	山国川	新原井	-----	-----	0.028	-----
	筑後川	下釜ダム	0.017	0.019	0.013	-----
	本明川	裏山	-----	0.021	0.014	0.014
	氷川	氷川ダム	0.026	-----	0.011	0.0087
	五ヶ瀬川	三輪	-----	0.021	0.017	0.010
	五ヶ瀬川	祝子ダム	-----	-----	-----	0.0077
	一ツ瀬川	立花ダム	0.019	0.018	0.016	0.016
	大淀川	樋渡	-----	-----	0.0047	0.0079
	大淀川	乙房	-----	-----	0.0062	0.0053
	大淀川	綾北ダム	-----	0.024	0.020	0.018
	大淀川	綾南ダム	-----	0.023	0.021	-----
	小丸川	渡川ダム	0.021	0.021	0.019	0.016
川内川	吉松	0.0040	-----	0.0054	0.0050	
川内川	鶴田ダム	0.0068	0.014	0.0084	-----	
肝属川	高良橋	-----	0.0073	0.0077	0.0064	
四国	鏡川	鏡ダム	0.023	0.021	0.020	0.0072
	蒼社川	玉川ダム	-----	0.012	-----	-----
	香東川	内場ダム	-----	-----	0.044	-----
	藍川	坊屋敷	0.039	0.040	0.027	0.027
中国	富田川	川上ダム	0.017	0.015	0.012	0.012
	吉田川	木屋川ダム	0.029	0.044	0.038	0.033
	佐波川	島地	-----	0.020	0.0084	0.010
	佐波川	佐波川ダム	0.040	0.050	0.033	0.029
	江川	三次	-----	-----	0.025	0.011
	江川	土師ダム	-----	0.033	0.020	-----
	飯梨川	布部ダム	-----	0.018	0.019	-----
	斐伊川	三刀屋	-----	0.027	0.016	-----
	浜田川	浜田川	0.016	0.035	0.018	-----
	沼田川	椋梨ダム	0.021	0.024	0.019	-----
	太田川	上原橋	-----	-----	0.026	0.0093
	近畿	由良川	大野ダム	-----	0.031	0.030
古座川		七川ダム	-----	0.027	0.026	0.018
有田川		二川ダム	0.027	0.030	0.027	0.021
宮川		宮川ダム	0.017	0.017	0.024	0.016
柳田川		両郡橋	0.024	0.031	0.022	0.013
中部		木曾川	山口	-----	-----	0.018
	木曾川	横山ダム	-----	0.026	0.029	-----
	矢作川	矢作ダム	-----	-----	0.0090	0.010
	豊川	布里	0.018	0.016	0.013	0.010

地方	河川	流量観測所	減水定数 (1/√mm·d)			
			春季	夏季	秋季	冬季
北陸	天竜川	美和ダム	0.013	0.017	0.017	0.010
	天竜川	犬居	0.022	0.017	0.016	0.013
	天竜川	新豊根ダム	-----	-----	0.018	-----
	安倍川	奈良間	0.027	-----	0.021	0.021
	安倍川	牛妻	-----	-----	0.0094	-----
	狩野川	大仁	-----	0.0097	0.0076	0.0058
	狩野川	千歳橋	0.0067	0.0093	0.0070	0.0046
	九頭竜川	笹生川ダム	-----	0.035	0.021	-----
	大聖寺川	我谷ダム	0.017	0.019	-----	-----
	犀川	犀川ダム	0.014	0.016	0.016	-----
関東	利根川	下久保ダム	0.024	0.027	0.025	0.019
	神流川	塩沢	0.018	0.028	0.020	0.020
	神流川	渡瀬	0.025	0.026	0.020	0.016
	利根川	高津戸	-----	0.019	-----	-----
	利根川	相保ダム	-----	0.020	0.014	-----
	利根川	川保ダム	0.013	-----	0.011	-----
	利根川	五十里ダム	0.022	0.032	0.018	-----
	利根川	蘭原ダム	-----	-----	0.017	-----
	利根川	裏筑波	0.0060	0.012	0.0033	0.0046
	花園川	水沼ダム	0.0089	0.010	0.0070	0.0045
東北	久慈川	山方	-----	0.043	0.019	0.012
	岩木川	目屋ダム	0.021	0.031	-----	-----
	岩木川	沖浦ダム	0.010	0.012	-----	-----
	馬淵川	剣吉	0.019	0.034	0.016	-----
	米代川	十二所	-----	0.026	0.018	-----
	雄物川	旭川ダム	-----	0.0081	-----	-----
	北上川	鴨子ダム	0.019	0.021	0.0097	-----
	北上川	湯田ダム	0.015	0.026	0.021	-----
	北上川	花山ダム	-----	-----	0.012	-----
	北上川	石淵ダム	0.014	0.024	-----	-----
北海道	名取川	釜淵ダム	0.016	-----	0.019	-----
	最上川	木地山ダム	-----	0.011	-----	-----
	最上川	蔵王ダム	-----	-----	0.0082	0.012
	最上川	高坂ダム	-----	0.022	-----	-----
	阿武隈川	白河	-----	-----	0.010	0.0048
	天塩川	岩尾内ダム	-----	0.024	-----	-----
	常呂川	蘆戸	-----	0.013	-----	-----
	渚滑川	上渚滑	-----	0.028	0.022	-----
	石狩川	大雪ダム	-----	0.010	-----	-----
	石狩川	金山ダム	-----	0.013	-----	-----
尻別川	名駒	-----	0.010	-----	-----	

参 考 文 献

- 1) Werner, P. W. and Sundquist, K. J. : On the groundwater recession curve for large watersheds, Publ. No. 33, IAHS, pp. 202~212, 1951.
- 2) Roche, M. : Hydrologie de Surface, Gauthier-Villars, pp. 267~275, 1963.
- 3) 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.
- 4) 高橋 裕・安藤義久・伊藤 孝・伊藤和央 : 山地河川の低水流出の減水特性に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 337 号, pp. 75~81, 1983.
- 5) Knisel, W. G. : Baseflow recession analysis for comparison of drainage basins and geology, Journal of Geological Research, Vol. 68, No. 12, pp. 3649~3653, 1963.
- 6) 中野秀章 : 森林水文学, 水文学講座 13, 共立出版, pp. 137~187, 1976.
- 7) 安藤義久・高橋 裕・伊藤 孝 : 山地河川の地下水流出の遅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. 175~181, 1981.
- 8) Cross, W. P. : The relation of geology to dryweather stream flow in Ohio, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 30, No. 4, pp. 563~566, 1949.
- 9) 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.
- 10) 建設省河川局 : 流量年表, 1962~1981.
- 11) 建設省河川局 : 多目的ダム管理年報, 1959~1979.
- 12) 建設省土木研究所水文研究室編 : 神流川流域水文資料, 土木研究所資料, No. 324, 1968.
- 13) 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.
- 14) Ishihara, T. and Takagi, F. : A study on the variation of low flow, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute Vol. 15, Part 2, No. 95, pp. 75~98, 1965.
- 15) Ding, J. Y. : Discussion of "Inflow hydrographs from large unconfined aquifers", Proc. ASCE, 90, (1R 1), pp. 104~107, 1966.
- 16) 地質調査所 : 日本地質図 (第 2 版), 1978.
- 17) 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.

(1984. 9. 13・受付)