

低水流の減水特性と植生を考慮した減水定数に関する研究

長岡技術科学大学 非会員 ○ 高木 岳
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎

1. はじめに

河川の低水流の減水特性は、水資源利用において重要である。減水特性を表現する方法として、分数減水式がある。安藤ら¹⁾は、低水流の分数減水式の定数を季節ごと（春:3～5月、夏:6～8月、秋:9～11月、冬:12月～2月）に求め季節性と地質の関係を示した。この分数減水定数は、値が大きいと減水が速いことを示す。陸²⁾は、樹冠蒸発を除いた蒸発散を土壤蒸発散と定義し、季節変動する減水定数を地質など流域特性によって決まる流域固有減水定数と季節性を有する土壤蒸発散に分け、推定する方法を提案した。また、日流量データから減水部を抽出する方法を開発し、効率よく減水解析を行える可能性を示した。

本研究では、日本各地の流域に対して陸が開発した手法で解析し、精度よく減水解析できるか確認した。また、仮の土壤蒸発散を与え求めた流域固有減水定数がどのような傾向を示すか解析した。その傾向より、観測所の緯度から推定された蒸散量を用いて、流域固有減水定数を算定し、流域特性との関係を解析した。

2. 対象流域と使用したデータ

本研究では、表-1に示した全国25流域の流量データについて解析した。減水部の抽出は陸³⁾が提案した方法を用いた。また、本研究で解析した流域は安藤ら¹⁾が選定した単一の地質区分に属する流域であり、第四紀層、第三紀～第四紀火山岩類、第三紀火山岩類、第三紀堆積岩類A、中生代火山岩類、中生代堆積岩A、古生代・中生代堆積岩B、深成岩類、変成岩類A、変成岩類Bの10区分である。

3. 解析方法

(1) 分数減水式

流域の貯留量に関する連続式は

$$\frac{dS}{dt} = P - Q - UT \quad (1)$$

で示される。ここで、 S は流域貯留量、 t は時間、 P 、 Q 、 UT はそれぞれ単位時間あたりの降水量、流出高、土壤蒸発散による吸い上げ量である。減水部を検討するため、 $P = 0$ となり、土壤蒸発散による吸い上げも考慮しないのが一般的である。これに S と Q の関係を導入すれば、減水式が得られる。 $Q = (Sb)^2$ とする場合、分数減水式は

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

が得られる。ここで、 b は分数減水定数である。

分数減水定数には季節性があり、安藤ら¹⁾は春夏秋冬の分数減水定数の比が1.29:1.49:1.20:1.00であると示した。分数減水定数と流域固有減水定数を比較するとき、流域ごとに1つの分数減水定数があると都合がよく、蒸発散の影響が比較的少ない冬期の減分数定数を基準に上記の比をもとに加重平均を求めた。流域ごとに1つの分数減水定数 b' （以下、換算冬期減水定数）は

$$b' = \frac{1}{4} \left(\frac{b_1}{1.29} + \frac{b_2}{1.49} + \frac{b_3}{1.20} + \frac{b_4}{1.00} \right) \quad (3)$$

となる。ここで、 $b_1 \sim b_4$ はそれぞれ春夏秋冬の分数減水定数である。

(2) 流域固有減水定数

分数減水式には、植生の影響が考慮されておらず、流出高と土壤蒸発散を比較し無視できない場合、減水を正しく把握するためには、土壤蒸発散を考慮する必要がある。陸²⁾は、 UT と土壤蒸発散 ET において $UT \approx ET$ を成り立たせるため、日周変動の受けにくい日を解析の基本単位とした。よって

$$\frac{dS}{dt} = -Q - ET \quad (4)$$

となる。個々の減水部を検討する場合には、減水期間が相対的に短く、 ET の変化が比較的小さくなると仮定した。そのため ET が一定とし式(4)を積分すると

$$\tan^{-1} \sqrt{\frac{Q}{ET}} = \tan^{-1} \sqrt{\frac{Q_0}{ET}} - b\sqrt{ET}t \quad (5)$$

が得られる。

(3) 土壤蒸発散の推定

近藤ら⁴⁾は、全国の気象庁のデータを用いて熱収支的な方法によって、森林における蒸発散量 E を見積もった。一般に森林からの蒸発散量 E は

$$E = E_T + E_G + I \quad (6)$$

と表される。ここで、 E_T は植物による蒸散、 E_G は林床からの蒸発、 I は降水の遮断蒸発である。対象流域は森林で覆われており、密な森林において E_G は小さいため以後無視する。本研究では、土壤蒸発散 ET が必要であり、土壤蒸発散 ET は蒸発散より樹幹蒸発を除いた蒸発散である。そのため、蒸発散量 E から遮断蒸発 I を除いた植物による蒸散 E_T を土壤蒸発散 ET とみなすことにした。近藤ら⁴⁾は全国 66 か所の各月の蒸散 E_T を見積もっており、緯度に対して直線的な分布を示しているため、蒸散量と観測所の緯度との関係より、最小二乗法を用いて

$$ET = -0.0476x + 3.0573 \quad (7)$$

とし、**図-1** に示した。ここで、 ET は土壤蒸発散 (mm/d)、 x は流量観測所の緯度($^\circ$)である。

4. 結果と考察

(1) 従来の減水定数との比較

本研究の解析方法で求めた換算冬季減水定数を安藤ら¹⁾が示した分数減水定数を比較し、本研究の手法が適合するか確認する。25 流域の流量データをもとに、換算冬季分減水定数を求め**表-1** に示した。また、安藤らが示した季節ごとの分数減水定数より換算冬季減水定数（ここでは安藤減水定数とする）を求め**図-2** に示した。この2つは相関係数が0.914であり強い相関があると示された。これより、本研究で求めた換算冬季減水定数を用いる。

(2) 流域固有減水定数

上記のデータをもとに、仮の土壤蒸発散を与え、流域固有減水定数を求めた。土壤蒸発散は 0.5 mm/d から 0.25 間隔で 1.5 mm/day までの5つを与えて解析し、**図-3** に示した。土壤蒸発散を大きく与えると、流域固有減水定数は小さい値となり、流域の貯留量が土壤蒸発散に使用され流出量が減少し、減水速度が遅くなったと考えられる。

(3) 土壤蒸発散より流域固有減水定数の推定

前項で求めた流域固有減水定数より、適合の良い

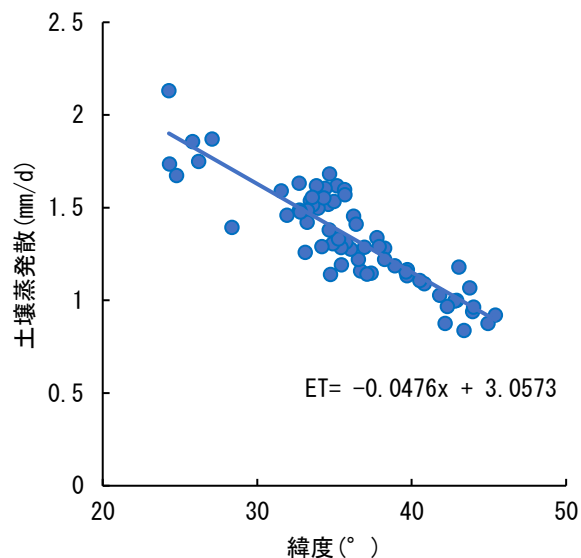


図-1 蒸散量と緯度の関係

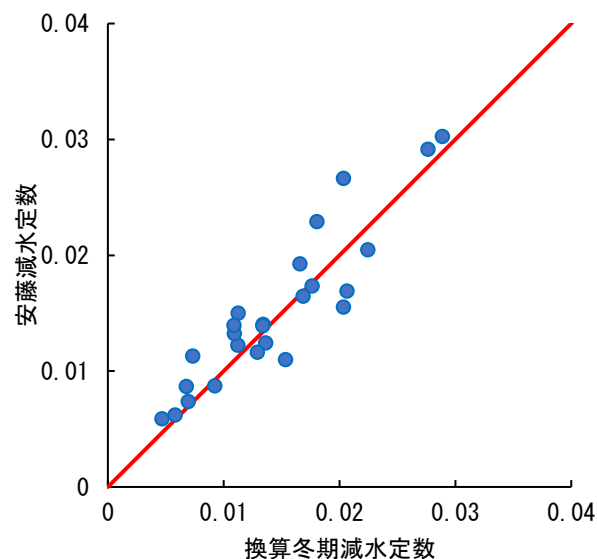


図-2 換算冬季減水定数と安藤減水定数の比較

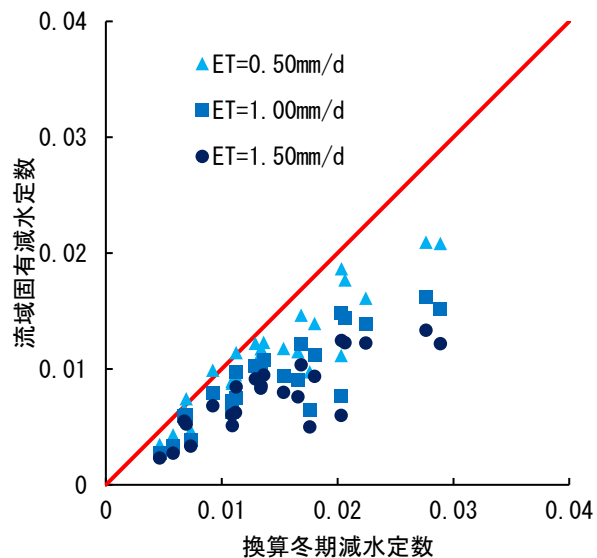


図-3 仮の土壤蒸発散を与えたときの流域固有減水定数

二次近似式を作成し、**図-4**に示した。また、土壤蒸散量を式(7)より概算し**表-1**に示した。これより、流域固有減水定数の算定結果を**表-1**に示し、換算冬季減水定数との比較を**図-5**に示した。流域固有減水定数が換算冬季減水定数より小さい値となるのは、流域固有減水定数を定義するときに土壤蒸発散を分けたため、土壤蒸発散の影響が含まれている換算冬季減水定数と比較したときに小さい値となり、減水部において土壤蒸発散の影響が大きいことが確認された。

(4) 流域固有減水定数と地質区分

流域固有減水定数と地質区分の関係について解析し、**図-6**に示した。地質区分において同一の地質区分の流域が4つ以上ある流域について解析し、**図-6**のエラーバーは標準偏差を示している。土壤蒸発散を分けて求められた流域固有減水定数の標準偏差のほうが小さくなっており、減水部と流域地質の関係を検討するとき、流域固有減水定数を用いて議論することが有用である可能性を示した。

5. まとめ

本研究では、全国25流域の流量データに対して陸³⁾が示した減水部の抽出方法が適合するか検討し、換算冬季減水定数を用いて比較したところ適合することが確認できた。また、流域固有減水定数を推定し地質区分との関係性を検討した。これより、減水部と流域地質の関係を検討するとき、流域固有減水定数を用いて議論することが有用である可能性を示した。

今後の展望として、解析する流域を増やすとともに、地質区分を含めた流域特性と流域固有減水定数との関係を検討する。

参考文献

- 1) 安藤義久, 高橋裕, 伊藤和央: 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, 土木学会論文集, Vol.375/II-3, pp.149-157, 1985
- 2) 陸旻皎: 減水曲線季節変動と蒸発散の関係, 水文水資源学会誌, Vol.36, No.2, pp.129-138, 2023
- 3) 陸旻皎: 減水曲線から流域固有減水定数と土壤蒸発散の季節パターンを推定する試み, 水文水

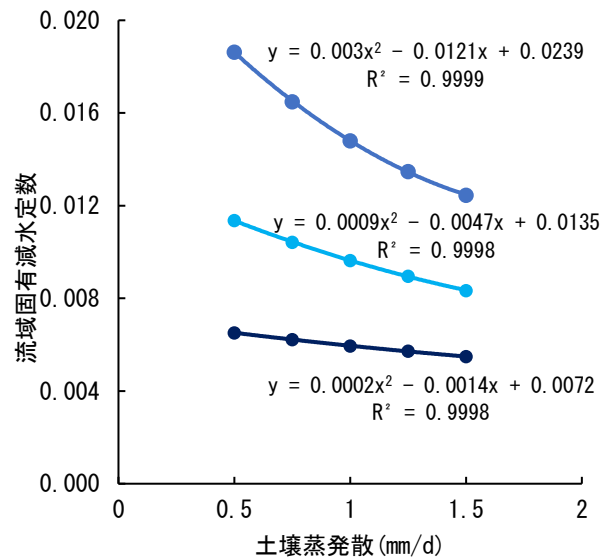


図-4 二次近似式による流域固有減水定数の推定

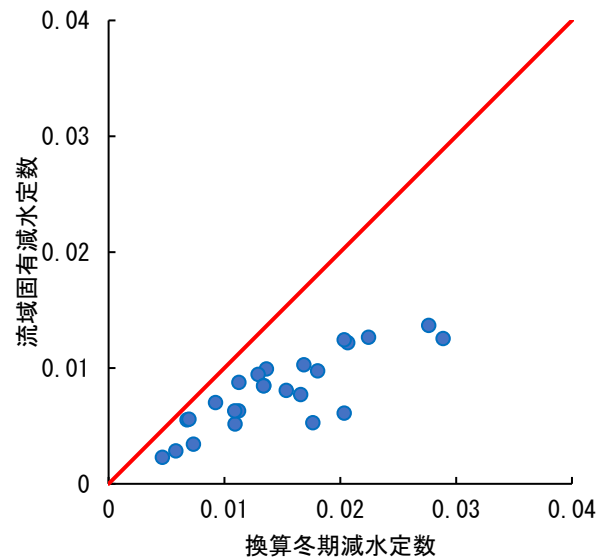


図-5 流域固有減水定数を換算冬季減水定数の比較

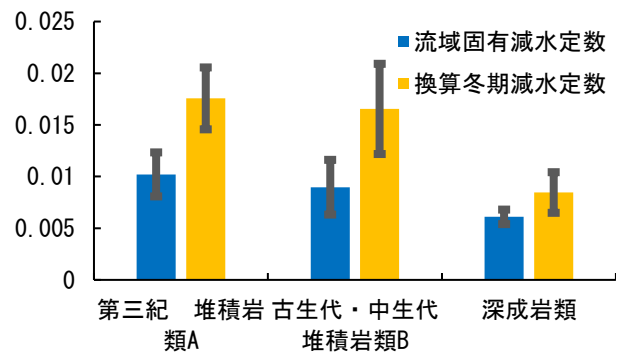


図-6 減水定数と流域地質の関係

資源学会誌, Vol.36, No.4, pp.194-204, 2023

- 4) 近藤純正, 中園信, 渡辺力, 桑形恒男: 日本の水文気象(3)-森林における蒸発散量-, 水文水資源学会誌, Vol.5, No.4, pp.8-18, 1992

表-1 対象流域と解析結果

水系名	河川名	流量観測所	緯度 (°)	流域 面積 (km ²)	地質区分	換算冬季 減水定数 (1/√mm d)	土壌 蒸発散 (mm/d)	流域固有 減水定数 (1/√mm d)
肝属川	肝属川	高良橋	31.36	244.0	第四紀層	0.005	1.564	0.002
狩野川	狩野川	大仁	34.99	322.0	第四紀層	0.006	1.392	0.003
今川	今川	油木ダム	33.56	32.6	第三紀～第四紀 火山岩類	0.015	1.460	0.008
筑後川	津江川	下釜ダム	33.16	185.0	第三紀～第四紀 火山岩類	0.011	1.479	0.006
本明川	本明川	裏山	32.85	35.8	第三紀～第四紀 火山岩類	0.011	1.494	0.005
犀川	内川	内川ダム	36.47	34.5	第三紀 火山岩類	0.014	1.321	0.010
犀川	犀川	犀川ダム	36.43	57.8	第三紀 火山岩類	0.013	1.323	0.009
一ツ瀬川	三財川	立花ダム	32.13	41.1	第三紀 堆積岩類 A	0.013	1.528	0.008
大淀川	綾北川	綾北ダム	32.10	148.3	第三紀 堆積岩類 A	0.021	1.529	0.012
大淀川	本庄川	綾南ダム	32.06	87.0	第三紀 堆積岩類 A	0.017	1.531	0.010
小丸川	渡川	渡川ダム	32.36	81.0	第三紀 堆積岩類 A	0.020	1.517	0.012
古座川	古座川	七川ダム	33.59	102.0	第三紀 堆積岩類 A	0.017	1.459	0.008
佐波川	佐波川	佐波川ダム	34.28	88.4	中生代 火山岩類	0.029	1.426	0.013
木屋川	木屋川	木屋川ダム	34.24	84.1	中生代 堆積岩類 A	0.028	1.428	0.014
鏡川	鏡川	鏡ダム	33.60	80.0	古生代・中生代 堆積岩類 B	0.013	1.458	0.008
由良川	由良川	大野ダム	35.26	354.0	古生代・中生代 堆積岩類 B	0.018	1.379	0.010
木曾川	根尾川	山口	35.51	297.7	古生代・中生代 堆積岩類 B	0.011	1.367	0.009
九頭竜川	真名川	笹生川ダム	35.84	70.0	古生代・中生代 堆積岩類 B	0.022	1.351	0.013
神流川試験地		塩沢	36.13	12.6	古生代・中生代 堆積岩類 B	0.018	1.338	0.005
那珂川	那珂川	南畑ダム	33.43	27.5	深成岩類	0.007	1.466	0.006
斐伊川	飯梨川	布部ダム	35.29	70.0	深成岩類	0.011	1.378	0.006
矢作川	矢作川	矢作ダム	35.24	504.5	深成岩類	0.009	1.380	0.007
最上川	置賜野川	木地山ダム	38.15	63.0	深成岩類	0.007	1.242	0.006
肱川	小田川	坊屋敷	33.49	371.5	変成岩類 A	0.020	1.463	0.006
富田川	富田川	川上ダム	34.11	22.0	変成岩類 B	0.007	1.434	0.003