

低水流の減水特性とその季節変化に関する研究

地球環境研究室 高木 岳

指導教員 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。

本研究では、日本各地の流域に対して流域固有減水定数を仮の土壤蒸発散より求め、どのような傾向を示すか解析しその傾向より、観測所の緯度から推定された土壤蒸発散を用いて、流域固有減水定数を算定し、流域特性との関係を検討した。また、地質区分の基準値より複合地質流域の流域固有減水定数を推定した。

2. 対象流域と使用したデータ

本研究では、全国55流域の流量データについて解析した。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

分数減水式は

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

と表される。ここで、 Q は流出高(mm d^{-1})、 Q_0 は初期流出高(mm d^{-1})、 t は時間(d)、 b は分数減水定数($(\text{mm d})^{-1/2}$)である。分数減水定数の季節性より、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

$$b' = \frac{1}{4} \left(\frac{b_1}{1.29} + \frac{b_2}{1.49} + \frac{b_3}{1.20} + \frac{b_4}{1.00} \right) \quad (2)$$

となる。ここで、 b' は換算冬期減水定数($(\text{mm d})^{-1/2}$)、 $b_1 \sim b_4$ はそれぞれ春夏秋冬の分数減水定数($(\text{mm d})^{-1/2}$)である。

(2) 流域固有減水定数

分数減水式には、蒸発散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。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、土壤蒸発散の変化が比較的小さくなると仮定した。そのため土壤蒸発散が一定とすると

$$\tan^{-1} \sqrt{Q/ET} = \tan^{-1} \sqrt{Q_0/ET} - b\sqrt{ET}t \quad (3)$$

が得られる。ここで、 ET は土壤蒸発散(mm d^{-1})、 b は流域固有減水定数($(\text{mm d})^{-1/2}$)である。

(3) 土壤蒸発散の推定

近藤ら⁴⁾は全国66か所の各月の植物による蒸散 E_T を見積もっており、これを土壤蒸発散とした。また、緯度に対して直線的な分布を示しているため、蒸散と観測所の緯度との関係より、最小二乗法を用いて

$$ET = -1.439 \sin(\lambda) + 2.712 \cos(\lambda) \quad (4)$$

とした。ここで、 ET は土壤蒸発散(mm d^{-1})、 λ は流量観測所の緯度(rad)である。

(4) 複合地質における流域固有減水定数の推定

単一の地質区分の減水定数の基準値が定まった場合、複合地質流域の減水定数は

$$\hat{b} = \sum_{i=1}^{10} b_i a_i \quad (5)$$

で推定できる。ここで、 \hat{b} は減水定数の推定値($(\text{mm d})^{-1/2}$)、 b_i は各地質区分の減水定数の基準値($(\text{mm d})^{-1/2}$)、 a_i は各地質区分の面積率である。

4. 結果と考察

(1) 流域固有減水定数

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^{-1} から 0.25 間隔で 1.5 mm d^{-1} までの5つを与えて解析した。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。

また、この5つの流域固有減水定数より、適合の良い指数近似式を作成した。これにより、土壤蒸散量が求められれば、その流域において流域固有減水定数を求めることができるようになった。

(2) 流域固有減水定数と換算冬季減水定数

土壤蒸散を式(4)より概算した。これより流域固有減水定数を求め、換算冬季減水定数との比較を図-1に示した。流域固有減水定数を定義するときに土壤蒸散を分けたため、土壤蒸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った。

(3) 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-2に示した。同一の地質区分の流域が3つ以上ある流域について解析し、図-2のエラーバーは標準偏差を示している。流域固有減水定数の標準偏差のほう小さくなっており、減水曲線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。

(4) 複合地質の流域固有減水定数

複合地質流域の流域固有減水定数を式(5)より推定し、解析値との比較を図-3に示した。直線のまわりに点が分布しており、推定式の妥当性が示されたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、流域固有減水定数を土壤蒸散より推定する方法を提案し、地質区分との関係性を検討した。これにより、減水曲線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。また、複合地質流域の流域固有減水定数を推定し、推定式の妥当性が示されたと考えられる。

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, 1999

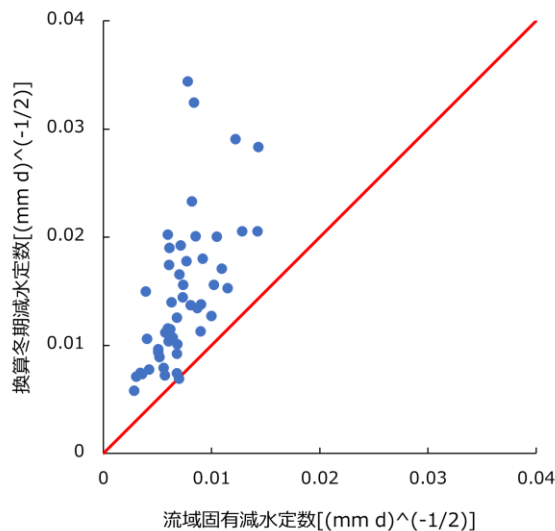


図-1 換算冬季減水定数と流域固有減水定数の関係

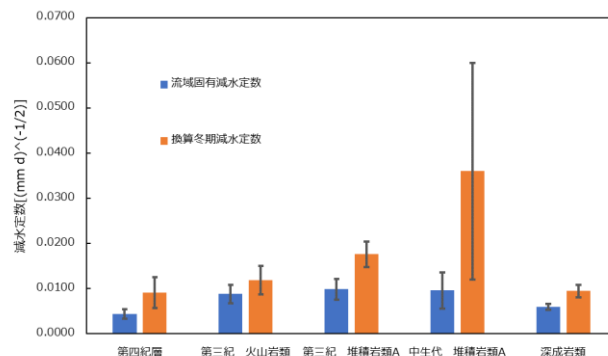


図-2 流域固有減水定数と地質区分の関係

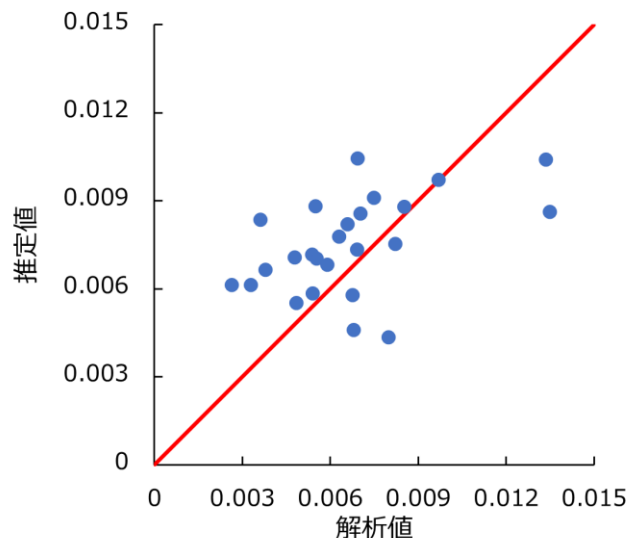


図-3 複合地質流域の流域固有減水定数の推定値と解析値の比較