

地球化学的データ($\delta^{18}\text{O}$)とフィルター分離AR法による流出成分分離について

A Study of Separation of Rainfall-Runoff Components From Geochemical Data and Filter Separation AR Method

東京工業大学工学部 正員 日野 幹雄
宇都宮大学 工学部 正員 長谷部 正彦

要 旨

本論文の目的は、ある河川流域 (Ruisseau des Eaux Volees, カナダ) における地球化学的解析、つまりアイソトープの重水素 ($\delta^{18}\text{O}$) をトレーサとして用い、その資料解析により、河川流出量を通気帯水分 (Vadose Water) を含む地下水流出成分と表面流出成分に流出分離することを検討した。さらに、この解析方法に著者らが提案しているフィルター分離AR法 (成分分離AR法)⁽²⁾を併合してこの流域の水文資料 (論文(1)の図面から読みとったもの) を解析し、両者を結びつけて流出成分の流出成分分離則を検討した。その結果、地球化学的手法では、求め得なかった地下水分と通気帯水分⁽³⁾ (地下水面以上の土壌や基岩中に存在する水分) の分離を成分分離AR法を適用することにより可能となった。この解析の結果、通気帯水分が土壌中にながら合まれていることが示された。なお、用いた水文資料 (降雨量、流出量)、地球化学的データ ($\delta^{18}\text{O}$) は、カナダのケベック市の80km北側の Ruisseau des Eaux Volees 流域 (試験流域) のものである。

1. 地球化学的データによる流出分離

(1) 水文資料

解析地点の流出量のハイドログラフと重水素の濃度 ($\delta^{18}\text{O}$) の時間変化を図-1に示す。図-1から流出量、アイソトープ濃度を読みとり、流量時系列 Q_t 及び $\delta^{18}\text{O}$ の濃度時系列 C_t を求める。

(2) $\delta^{18}\text{O}$ による流出成分の流出分離

ところで、河川流量 (Q_t) は、地下水流出成分 Q_{Gv} (この成分には、通気帯水分が含まれている) と表面流出成分 Q_s に流出分離される。この両成分に溶出するイオン濃度を C_{Gv} , C_s とし、このときの全成分濃度を C_t とすると次式の質量保存則と連続の式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} C_t Q_t &= C_{Gv} Q_{Gv} + C_s Q_s \\ Q_t &= Q_{Gv} + Q_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Q_t : 総流出量、 Q_{Gv} : 地下水流出量、 C_t : 全成分濃度 (河川流出量に含んでいる $\delta^{18}\text{O}$ の量)、 C_{Gv} : 地下水流出量 (Q_{Gv}) に含んでいる $\delta^{18}\text{O}$ の量、 C_s : 表面流出量 (Q_s) に含んでいる $\delta^{18}\text{O}$ の量。

さて、地球化学的手法による流出成分の流出分離は、式(1)により行なう。この式を使うにあたって、論文(1)では、次の仮定がなされている。

(a) 降雨に含まれている $\delta^{18}\text{O}$ の量は一定である。すなわち、式(1)を適用する時、 C_s は一定濃度とする。

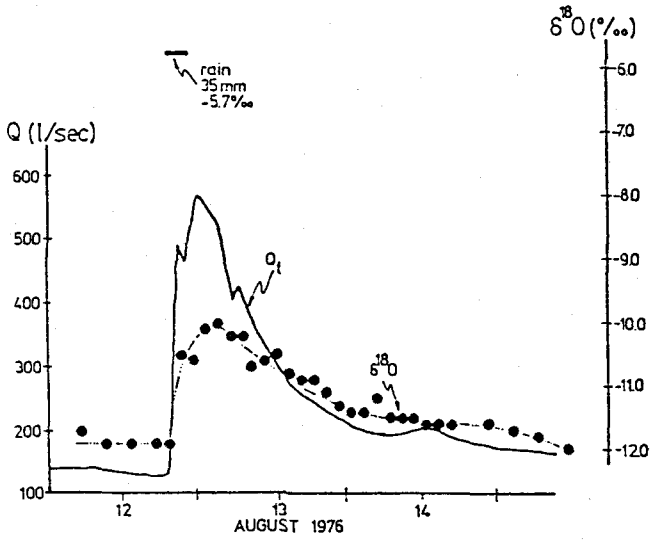


図-1 流出ハイドログラフと $\delta^{18}\text{O}$
(Sklash, M.G & Farvolden, R.N.の論文より)

(b) 地下水流出成分には、有効地下水分、通気帯水分 (Vadose Water) 及び表面貯留水が含まれ、その内の表面貯留水は、他の2成分に比べて少ないので無視する。

以上の仮定のもとに、式(1)を次式の様に変形して地下水流出量 (通気帯水分量を含む) を求める。

$$Q_{Gv} = \frac{C_t - C_s}{C_{Gv} - C_s} Q_t \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 C_{Gv} 、 C_s は、与えられており、 Q_t, C_t は、先の読みとった時系列により既知なので、通気帯水分を含んだ地下水流出成分が式(2)から求まる。これらの結果を図-2に示す。この図から求められた地下水流出成分には、かなりの通気帯水分が含まれていることが予想される。なお、原論文では、このような流出分離は、行なわずにピーク流量のみについて流出分離して、地下水流出成分が洪水のピーク流量にどれ位寄与しているかを論じている。

(3) 地下水流出成分に含まれる通気帯水分の有無

流出に寄与する通気帯水分の有無は、洪水の流出ハイドログラフの上昇部の成分濃度とピーク流量以降の洪水の通減部のそれとを流出量に対してプロットすることにより確かめられる。この通気帯水分の有無の概略図を図-3に示す。

次に、本解析例での地下水流出成分に含まれる通気帯水分の存在を確かめるために、成分濃度 $\delta^{18}O$ と流出量 Q_t との関係を図-4に示す。この図から、先に予想したように、この地下水流出成分には、かなりの通気帯水分 (Vadose Water) が含まれていることが確かめられた。

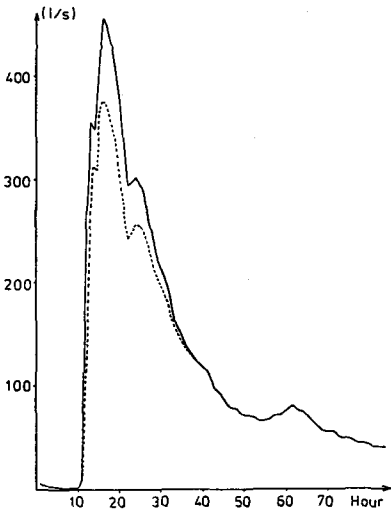


図-2 $\delta^{18}O$ による流出分離図

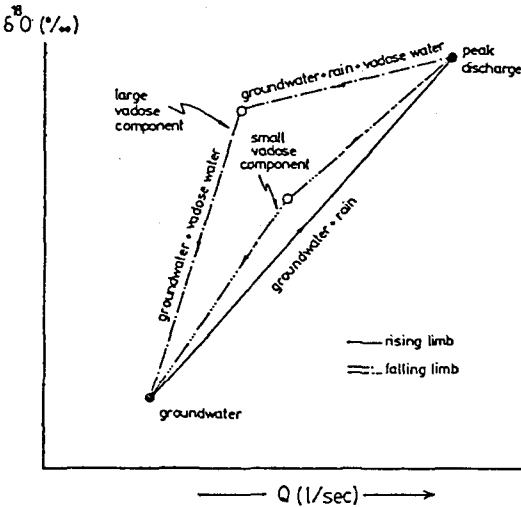


図-3 通気帯水分の有無の概略図

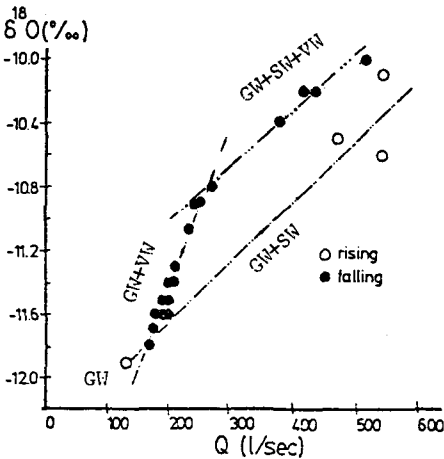


図-4 本解析例の $\delta^{18}O$ と流出量の関係

(Sklash, M.G & Farvolden, R.N の論文より) (Sklash, M.G & Farvolden, R.N の論文より)

以上の様に、本解析例では、アイソトープ濃度 $\delta^{18}O$ と流出量との関係から通気帯水分が存在することが明らかになったが、この地球化学的手法で、地下水流出成分と通気帯水分を分離することは、この解析法では不可能であると論じている。そこで、つぎに成分分離 A R 法を適用して、この流出分離の検討を試みる。

2. 成分分離AR法による流出成分の流出分離

図-5に本解析例の流出ハイドログラフの通減部を示す。この通減部に直線をあてはめて、この直線の勾配(α)から、流出分離の時走数(T_c)を求める。本例の流出分離の時定数は、 $T_c = 25$ hrである。 T_c が決まると次式により地下水流出成分と表面流出成分(この中には中間流出成分が含まれている)とに流出分離される。⁽²⁾

$$Q_G(t) = \alpha \sum w_k \cdot Q(t-k) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 α ; 重み係数、 Q_G ; 地下水流出量、 Q ; 流出量、 w_k は

$$w_k = \begin{cases} C_0 \exp(-\frac{1}{2}C_1\tau) \sinh[(\frac{1}{4}C_1^2 - C_0)^{\frac{1}{2}}\tau] / (\frac{1}{4}C_1^2 - C_0)^{\frac{1}{2}} & (\tau \geq 0) \\ 0 & (\tau < 0) \end{cases}$$

であり、また、 C_0, C_1 は

$$C_0 = (\delta / T_c)^2$$

$$C_1 = \delta^2 / T_c$$

である。ただし、本解析例では、 $\delta = 2.1$ である。流出分離した結果を図-6に示す。この方法により推定された地下水流出成分は、有効地下水流出成分であると考えられる。

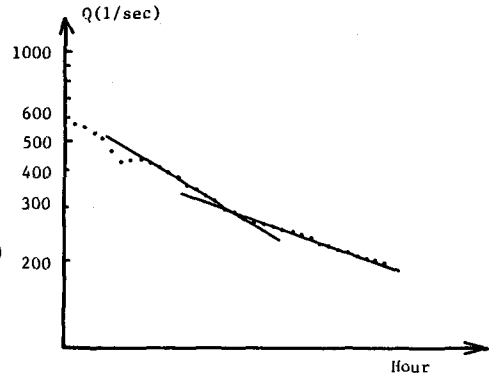


図-5 ハイドログラフの通減部

3. 両解析からの通気帯水分量の推定

さて、上記の2つの解析結果から、三つの流出成分つまり、地下水流出成分(GW)、地下水流出成分+通気帯水分(GW+VW)そして、総流出成分(地下水流出成分+通気帯水分成分+表面流出成分)(GW+VW+SW)が得られる。これらの流出成分の流出ハイドログラフを図-7に示す。また、図-7の(GW+VW)成分の流出量には、図-4の洪水の通減部の $\delta = 0$ 濃度と対応させて矢印でその時の濃度を示してある。図-4から表面流出成分がなくなる時の濃度が10.9%である。このようにして、図-7から(GW+VW)成分からGW成分を引くことにより、通気帯水分量は、求めたが(図-7のハッチした部分)この流域内の通気帯水分量(Vadose Water)はかなり多いことが示された。逆に、表面流出成分が少ないこ

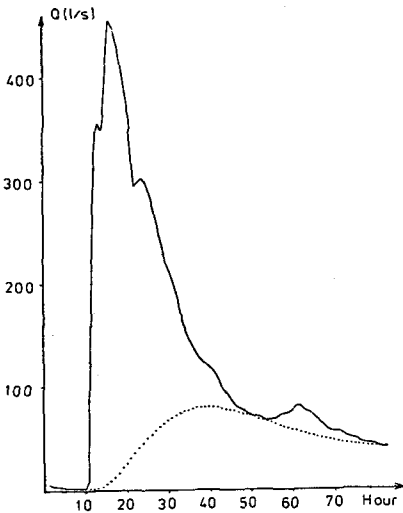


図-6 成分分離AR法による流出分離図

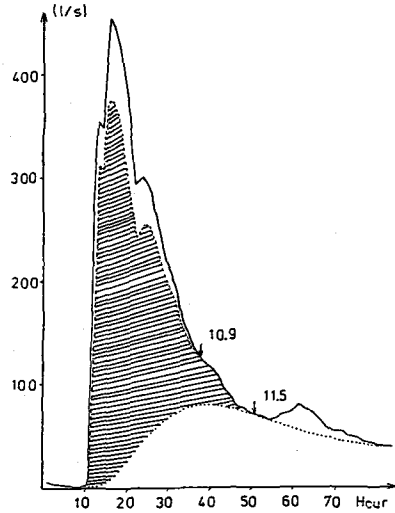


図-7 各流出成分のハイドログラフ

とが明らかになった。

あとがき

地球化学的手法と成分分離AR法を併合することにより、河川流量に寄与する通気帯水分量を求めることが可能になった。今後の課題としては、この流域の他の水文資料の例で解析（特に通気帯水分量の存在しない場合）し、この解析結果と比較して流出機構を検討する必要があると思われる。また、この通気帯水分量を含む流出成分が実際の流域での中間流出成分と一致するか否か、あるいは、本解析で推定した通気帯水分量が我国の山地河川に存在するが否かも、解析例を増やして今後検討して行くつもりである。

最後に、この研究は、一般研究(B)「フィルター分離AR法と室内実験によるパーシャル・ソース・エイリア概念の実証的研究」（研究代表者：東京工業大学工学部教授・日野幹雄）の補助を受けました。

参考文献

- 1) Sklash, M. G and Farvolden, R. N. 1979; *The role of groundwater in storm runoff*, *The George Burke Maxey Memorial Volume . J. Hydrol.*, 43: 45-65
- 2) 日野幹雄・長谷部正彦：流量時系列のみによる降雨時系列、流域の流出特性および流出分離の推定について、第23回水理講演会論文集、1979、2月
- 3) Kirkby, M. J. (editor): *Hillslope Hydrology*, John Willey (1978)
(日野幹雄他訳：新しい水文学、朝倉書店、1983)
- 4) 日野幹雄・長谷部正彦：地球化学的手法と逆探法を併用した流出系の成分溶出法則の推定について
土木学会論文報告集、第319号、1982、3月
- 5) 日野幹雄・長谷部正彦：フィルター分離AR法による非線型流出系の同定と予測（時間単位）
土木学会論文報告集、第324号、1982、8月