

電導度を用いた多層モデルによる湧水流出解析

Estimation of Spring Discharge and Electric Conductivity by Multi-layer Model

法政大学工学部 山田 啓一 Keiichi YAMADA

To evaluate the role of non-homogeneous geologic condition on ground water runoff, spring discharge and electric conductivity of water (EC) were observed from April to December, 1988.

Although N and S spring are located very closely, each spring has different runoff pattern and EC value.

Considering the geologic condition, discharge and EC at N, S spring are estimated by multi-layer model.

It is indicated that ground water runoff system depends on the depth of clay-layer between aquifers.

Keywords ; spring discharge, geologic condition, electric conductivity, multi-layer model

1. はじめに

都市化による水循環の変化については、洪水時にとどまらず平水時も含めて多くの研究がなされ、表層地質条件が比較的均質な沖積地や境界条件の明瞭な丘陵地については、その機構が解明されてきた。しかし、ローム台地における水循環については、広大な都市化地域が含まれ、優れた水循環機能を持ちながら、その機構の解明は十分でない。その理由はつぎのように考えられる。地表面勾配が台地上では一般に緩やかであり、地下水面もほぼ同様であるが、台地上の比較的浅い河川と低位段丘に連なる深く侵食した河川、すなわち河床高のかなり異なる河川が発達し、地下水位と河床高の関係により地下水の流域界が季節的に変化するなど複雑な境界条件を持っている。隣接した河川や湧水の流れが著しく異なることが指摘されるのもこうした境界条件の特質を反映したものと考えられる。もう1つの理由に、ローム層の「縦割れ」の存在である。垂直浸透能力が大きく不均質であり、ローム層中に介在する粘土層の影響も加わり、台地上部の浅層地下水の「水みち」を形成し水循環に支配的な影響を与えている。

雨水浸透が洪水流出抑制の目的に加えて、地下水涵養、湧水の保全など水循環機能の回復という観点から位置づけられようとしている今日、上述したローム台地の水循環機構の特性を考慮した実態把握と解明が求められている。

本研究は、ローム台地の浅層地下水を多層モデルで表現し、流出経路の特性を示す指標として電導度に注目し、3つの層にそれぞれの電導度を与え、浅層地下水を水源とする隣接する2つの湧水の流量と電導度を同時に算定し、モデルの妥当性を確かめようとするものである。

2. 対象流域と湧水および浅井戸の流量・水位・水質観測

対象流域を図-1に示す。東京都小金井市に属し、武蔵野面と立川面を画す比高約10mの国分寺崖線は「はけのみち」と呼ばれ、豊富な湧水は縄文時代より人間によって利用されてきた。著者は崖線上に隣接するN、S2湧水とその背後の7本の浅井戸の流量・水位・水質観測を1987年10月より実施した。

この地域の表層地質は、図-2に示す。N系と考えられるWN-1、WN-2では層序は同様で、表土の下に7~8mのローム層があり、その下位に1~2mの凝灰質粘土（上位難透水層）が続く。その下位には主帯水層である4~6mの砂礫層である。平均粒径40mm、最大150mmの丸石で隙間は砂質粘土を主体としている。さらに10~

20cmの粘土層（下位難透水層）をはさんで、第2帯水層のシルト質細砂となっている。一方、S系のWS-1ではローム層は砂礫層に直接続き、粘土層を介在しない。砂礫層とシルト質細砂、すなわち主帯水層と第2帯水層の間には1mの含水量の少ない固結された硬質粘土が介在する。WS-2では、ローム層と礫層の間に凝灰質粘土層が介在するが、砂礫層と下位のシルト質細砂の間に硬質粘土層をはさんでいる。すなわち、N系では、上位難水層が顕著であるのに対し、S系では下位難透水層も顕著であることが示される。

N, S両湧水は湧水点に実験室内でH-Q曲線を作成した堰を設置し、圧力式水位計及び水温、電導度計により10分間隔で自記測定した。S湧水は88年4月より、N湧水は88年7月より自記測定し、それ以前は週1回観測した。4本の浅井戸は、水位を自記観測し、他の3本は、週1回地下水水面検出器により水位観測した。また湧水、浅井戸の9つの観測点について週1回電導度、 Cl^- 濃度、pH、水温の観測を行った。

3. 湧水流出特性と地下水変動

観測結果を図-3～5に示す。

当地域の浅層地下水位および湧水流量は、通例2～4月に最低値を、10～11月に最高値を示しているが、観測結果も同様なパターンを示している。8～10月は例年になく多雨であったため、急激な湧水量の増加が見られた。N, S両湧水を比較するとN湧水は10月の第2ピークが大きく、低減も早い。両湧水の流出機構の差が明瞭に現れている。電導度は、N湧水が180～220 $\mu S/cm$ の間であるのに対し、S湧水は130～180 $\mu S/cm$ とかなり小さい。

4. 電導度を用いた多層モデルによる湧水流出解析

(1) 電導度と溶存イオン濃度

3章に示した観測結果によれば、S湧水はN湧水に比べて流量の変動が大きく短周期成分が卓越する。また、両者の電導度はかなりはっきりした差があり、流量の変化とともに電導度も変化している。

水中に溶出した諸物質は、 SiO_2 など特殊なものを除いて90%以上が電解する。一方、電解質溶液の電導度は、溶液中に含まれるイオンの移動速度、電荷数および濃度、水温、pHによって決まる。

電導度は現場測定や自記観測が可能であり、循環水の流出経路を水質指標から検討するには格好の項目であり、その目的に広く使用されてきた。しかし、電導度を構成する溶存物質とその量が不明なため定性的な検討にしか用いられていなかった。一方、連続観測期間中の適当な間隔で溶存物質の化学分析を行い、電導度の構成物質を評価しておけば、電導度の時間的、場所的变化の化学的内容も推定できる。

自然界に循環する淡水中に溶存する物質濃度は一般的には低濃度であるため、物質iの当量電導度 λ_i は18℃の極限当量電導度の一定値としてよい。すなわち、自然水の電導度は次式で与えられる。

$$EC = \sum (x_i / n_i) \cdot \lambda_i \quad \dots \dots (1)$$

ここに EC ($\mu S/cm$) ; 電導度
 x_i (mg/l) ; 物質iの濃度
 n_i ; 物質iの当量
 λ_i ; 物質iの当量電導度

表-1に河川水の主要溶存物質濃度と λ , n の値を示す。河川水中には SiO_2 が多量に含まれているが、ほとんど電解しないので省略する。

N, S両湧水については、'88年11月4日採水し、イオンクロマトグラフィーにより分析した。N, S両湧水の(1)式による電導度はそれぞれ190.4, 165.4 $\mu S/cm$ であり電導度測定値とほぼ一致している。溶存物質

を河川水平均值と比較すると、両湧水の方が陽イオンでは Ca^+ , Na^+ , Mg^+ が高く、陰イオンでは NO_3^- , Cl^- が高くなっている。 NO_3^- と Cl^- は人為的な影響も考えられるが、 Ca^+ , Na^+ , Mg^+ は両湧水流出過程で土壌や岩石中から溶出したものと考えられる。N, S両湧水を比較するとN湧水の方がとくに Ca^- 濃度が高いことが注目される。

(2)多層モデルによる湧水流出解析

湧水の電導度が両水の流出経路によって異なった値をもつと仮定すると、N, S両湧水の電導度の違いは、N湧水がS湧水に比較して流出経路が短いと判断される。また第2章で述べた地質条件を考察して、図-6に示す3段のタンクモデルを検討した。上・中・下段での滞留時間を考えそれぞれ一定の電導度を与えた。このモデルによって流量と電導度を同時に算定し、実測値と比較することにより合理的、構造的に流出解析が可能となる。図-4, 5に実測値との比較を示す。なお、有効降雨は40%の一定値とした。N, S両湧水とも4~10月の上昇期をよく再現している。また、N湧水については全期間を通して電導度の変動をよく算出している。

5. まとめ

隣接する2湧水の流出特性と電導度変動特性を観測によって示し、表層地質条件の違いを考慮して、流量と電導度を同時に推定する多層モデルを提案した。いくつかの帯水層中に介在する粘土層は空間的に不均質に分布し、そのあり方が不圧地下水及び湧水流出機構に大きな役割を果たすことが示された。なお、浅層地下水の変動機構を含めた長期的・総合的な観測により、地質条件と流出機構の関係を検討してゆく予定である。

観測にあたっては、小金井市環境保全課の諸氏、法政大学工学部牧野立平氏、同学部学生の川鍋範広、坂本和之の両君から多大な協力をいただいた、記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 山田啓一；都市河川の水循環機能の評価，水利科学，No.181, pp.1-19, 1988
- 2) 山田啓一；水循環システムの都市化による変化，環境システム研究，Vol.16, pp.162-167, 1988
- 3) 建設産業調査会；地下水ハンドブック，1979
- 4) 半谷高久；水質調査法，丸善，1975

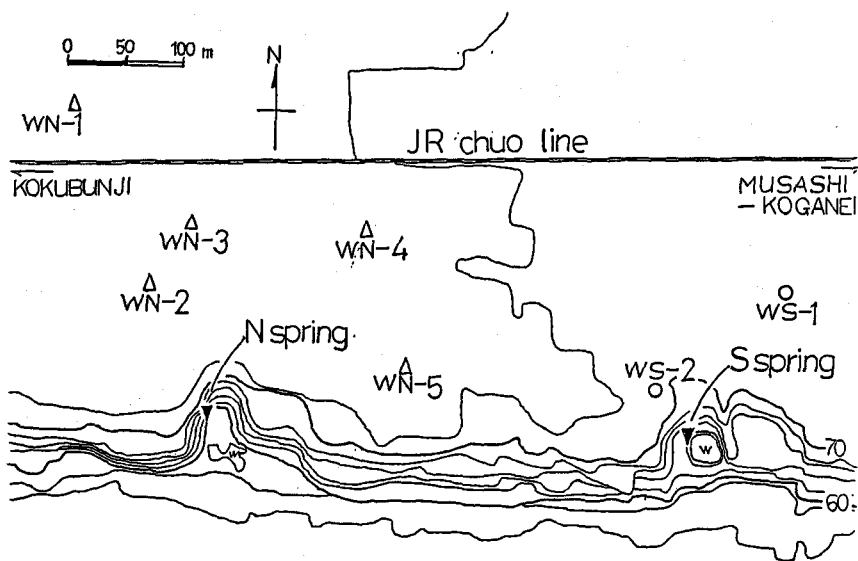


図-1 対象地域概要図

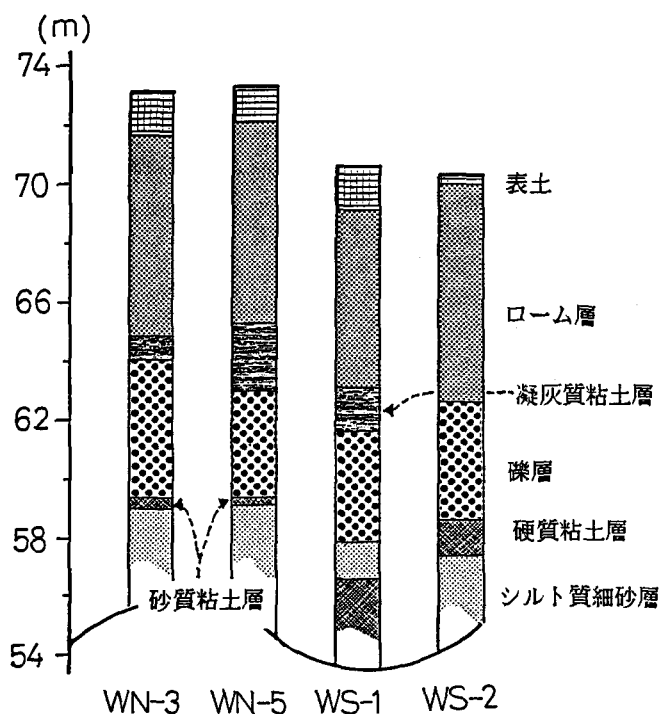


図-2 表層地質条件

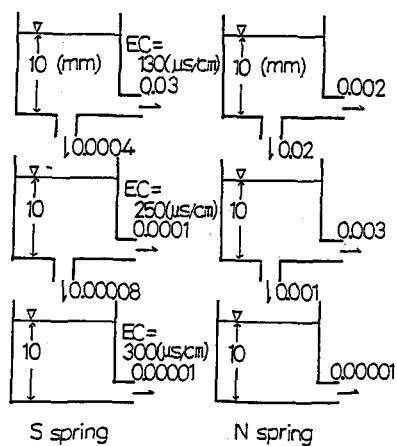


図-6 多層モデル

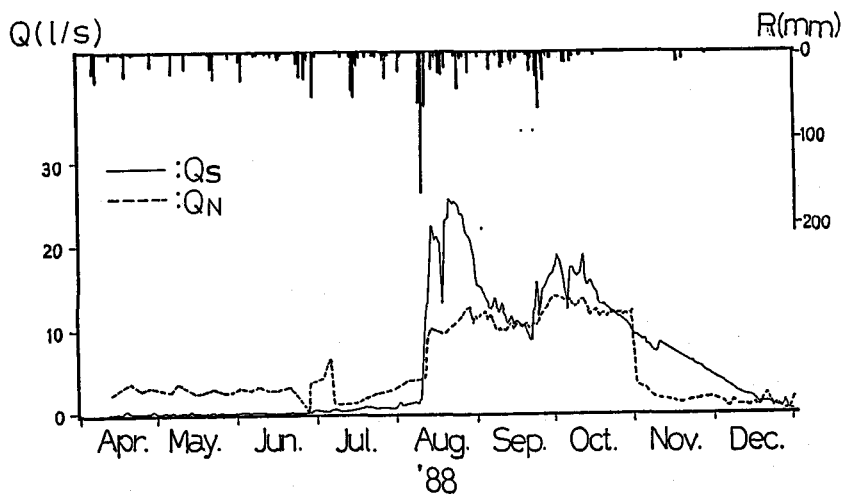


圖-3 湧水流量觀測結果

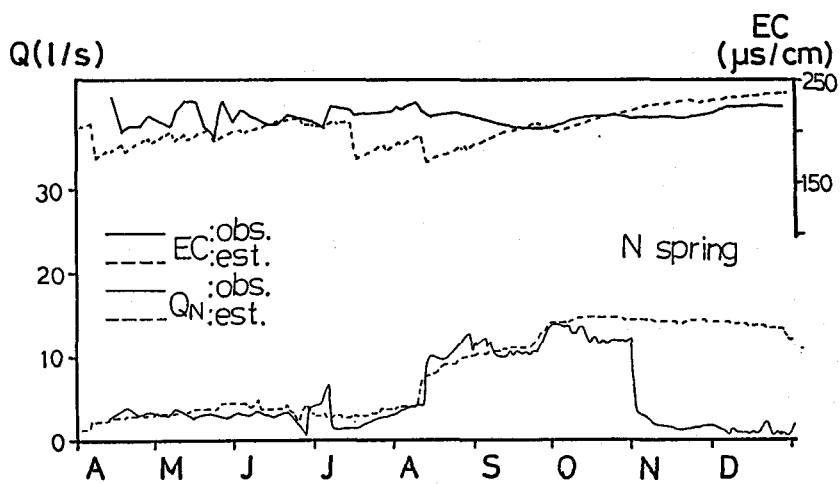


圖-4 N湧水流出解析結果

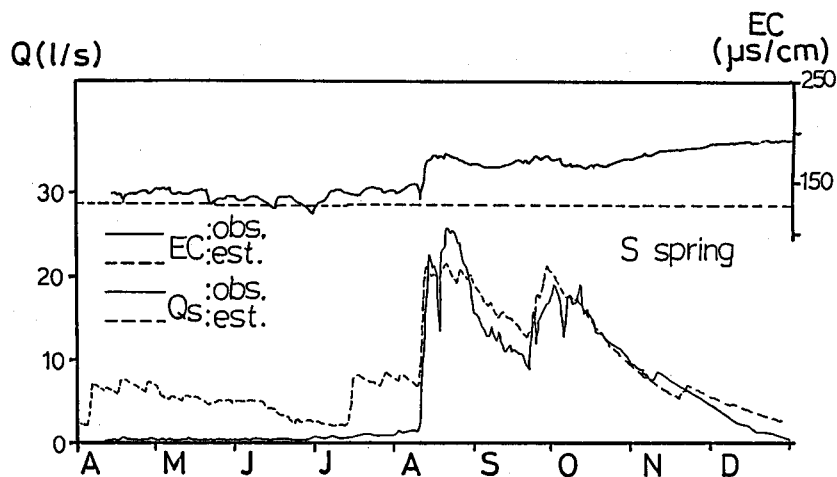


図-5 S湧水流解析結果

表-1 自然循環水の溶存イオン濃度と電導度

	Ca ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	EC
当量・	20	23	12.16	29.1	62	61	48	35.5	
当量電導度*	48	42	43	63	62.3	44	64	64	
雨 ..	0.97	1.1	0.36	0.26			4.5	1.1	14
沢水 ..	1.54	4.46	0.48	0.76		4.4	5.9	4.0	33
河川水 ..	8.8	6.7	1.9	1.19		31	10.6	5.8	87
N湧水	16.0	13.8	7.2	1.8	51.4		8.5	18.9	190.4
S湧水	13.6	12.2	7.7	1.8	43.5		6.5	15.4	165.4

* 日本化学会編；化学便覧 基礎編Ⅱ，丸善，pp.1180 による

** 建設産業調査会；地下水ハンドブック，p.131，1979