

崖線湧水の水収支 —東京都世田谷区成城三丁目緑地湧水の場合—

小玉 浩¹⁾²⁾・高村 弘毅³⁾

1. はじめに

本研究では東京都世田谷区成城三丁目にある湧水の流出状況を実態把握し、降水量と流出量観測結果から流出解析をおこない、水収支を明らかにすることを目的とした。高度経済成長期以降、都市化による影響で国分寺崖線沿いの湧水のうち比較的湧出量の少なかったものが涸渇することが報告されている(高村, 1985)。涸渇防止の対策を考えるうえで湧水の水収支を把握することは重要である。そこで都市化が進展し、世田谷区内では湧出量も豊富で代表的な国分寺崖線沿いの湧水である成城三丁目緑地湧水を研究対象にした。

2. 研究対象地域の概要

2.1 地形概要

研究対象地域周辺には、過去に多摩川の扇状地であった武蔵野面と立川面の2面の段丘面が広がる。武蔵野面は標高40~50m程度、立川面は標高20~30m程度に分布し、起伏が目立たない緩やかな地形面を形成している。

武蔵野面と立川面の境界をなす段丘崖は、比高15m程度を示し、武蔵野面を流下する侵食谷である仙川によって一部で分断されるものの、北西-南東方向に連続性が認められる。この段丘崖の連続は国分寺崖線と呼ばれており、国分寺崖線の基部には“みつ池湧水”・“成城三丁目緑地湧水”・“大蔵湧水”等の湧水が分布する(第1図)。

研究対象地域に分布する主要な河川は、仙川と野

川である。仙川は武蔵野面を侵食しつつ南北方向に流下する。延長20.9km、流域面積18.3km²の一級河川であり、世田谷区鎌田で野川に合流する。野川は立川面上を北西-南東方向に流下する。延長20.5km、流域面積43.9km²の一級河川であり、支流の仙川と合流した後に世田谷区玉川一丁目付近で多摩川と合流する。

2.2 地質概要

研究対象地域周辺には、第四紀前~中期更新世の上総層群、第四紀後期更新世の東京礫層、東京層を覆い、武蔵野面には第四紀後期更新世の武蔵野礫層、ローム質粘土層、武蔵野ローム層、立川ローム層、立川面には第四紀後期更新世の立川礫層、立川ローム層が分布する。また、武蔵野面・立川面を侵食し流下する河川沿いには第四紀完新世の谷埋堆積物が分布する(第1表, 第2図)。

このうち、国分寺崖線沿いの湧水の浸透・湧出には、国分寺崖線に露出する立川ローム層、武蔵野ローム層、ローム質粘土層、武蔵野礫層、東京層が関連する。これらの地層の層相・層厚及び透水係数を列挙すると以下のとおりである(地質調査所, 1984; 東京電力東京南支店, 1992)。

① 立川ローム層

層相: 明褐色の風化火山灰, 層厚: 3m,
透水係数: 3.6×10^{-5} m/s

② 武蔵野ローム層

層相: 褐色の風化火山灰, 層厚: 5~8m,
透水係数: 7.0×10^{-5} m/s

③ ローム質粘土層

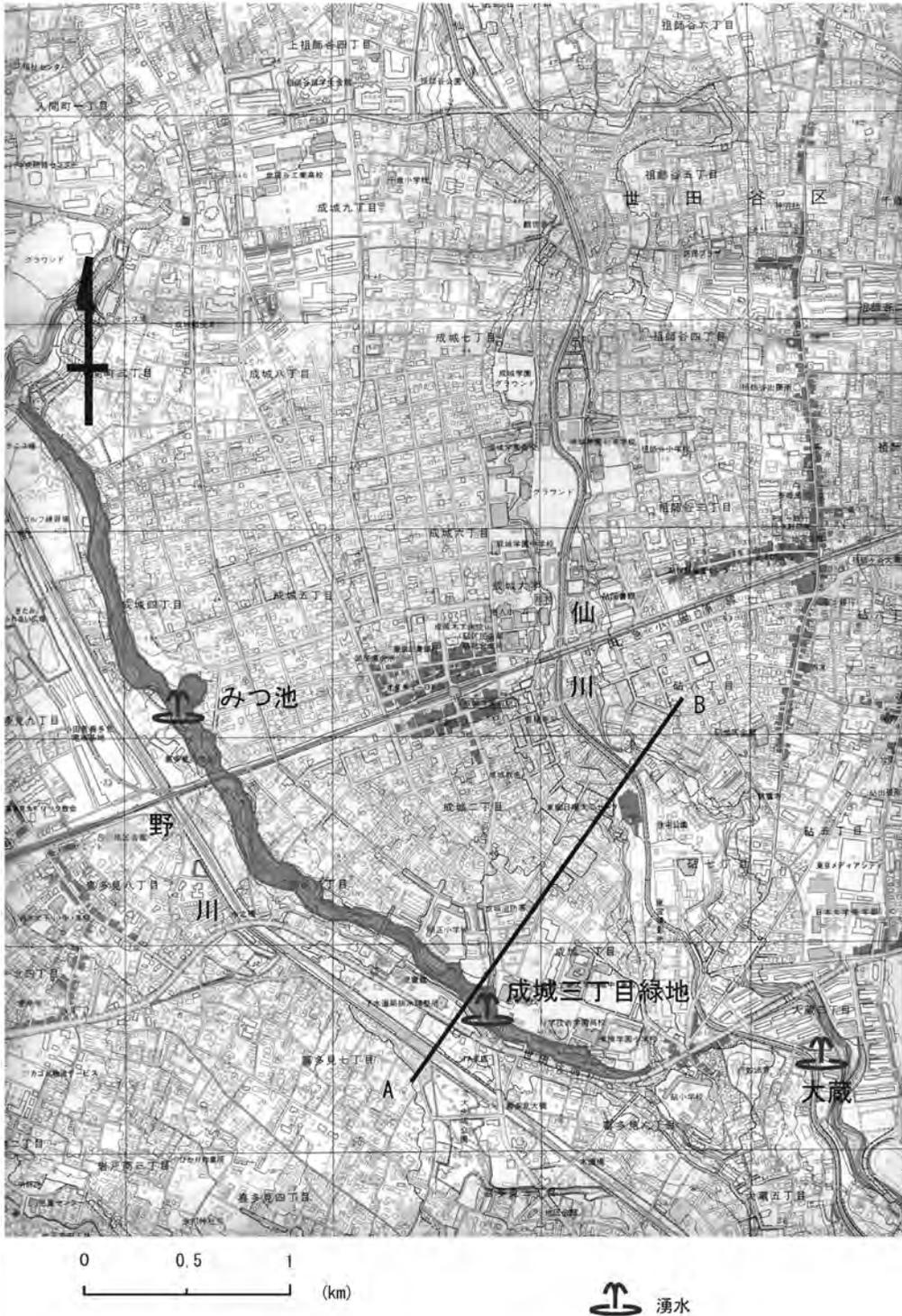
キーワード: 水収支, 湧水, タンクモデル

1) 立正大学 大学院 地球環境科学研究科 オープンリサーチセンター共同研究員

2) 産総研 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ外来研究員

3) 立正大学 地球環境科学部 教授

— 東京都世田谷区成城三丁目緑地湧水の場合 —



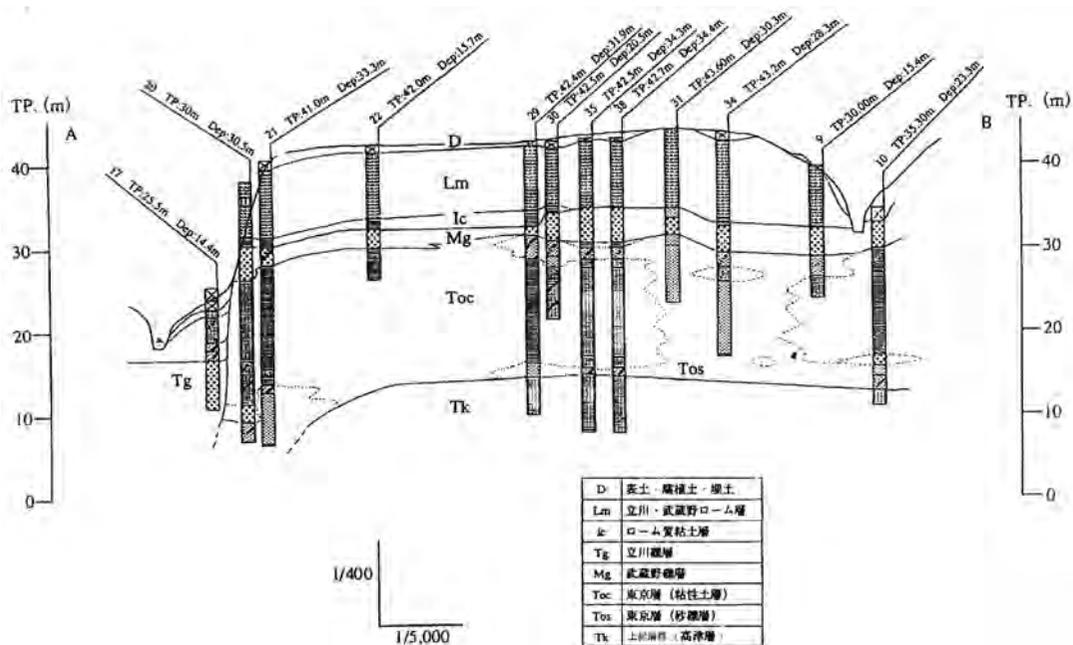
第1図 東京都世田谷区成城三丁目緑地湧水位置図。
国土地理院発行1万分の1地形図「成城」平成12
年8月1日に加筆。

国分寺崖線

第1表 世田谷区成城地区における層序表.

地質時代	地層名	模式柱状図	層相	層厚(m)	透水係数(m/s)
第四紀 更新世	完新世	谷埋堆積物	粘土質砂礫、腐植土。	3	—
	後期	立川ローム層	明褐色の風化火山灰。	3~6	3.6×10^{-5}
		立川礫層	砂礫。	5	—
		武蔵野ローム層	褐色の風化火山灰。	5~8	7.0×10^{-5}
		ローム質粘土層	白色ないし黄白色の火山灰質粘土。	4~5	5.5×10^{-6}
		武蔵野礫層	中~大礫の分級の悪い亜円礫を主体とする砂礫層。	3~5	1.0×10^{-4}
		東京層	やや硬い微細砂と粘土の互層。貝化石を含む。	10~30	3.0×10^{-7}
		東京礫層	中礫を主体とする砂礫。まれに砂と互層する。	5~10	—
	中期前期	上総層群	泥岩優勢の砂岩泥岩互層。	50+	—

層序については東京都土木技術研究所(1977):『東京都総合地盤図 I 東京都地質図集3東京都の地盤(1)』より引用した。
 層相・層厚については、地質調査所(1984):『東京西南部地域の地質』より引用した。
 各地質時代の境界は地団研(1996):『新版地学事典』より引用した。完新世と更新世の境界は1万年前、更新世後期と中期の境界は13万年前、更新世中期と前期の境界は78万5000年前である。
 透水係数は東京電力東京南支店(1992):『川世線No.36鉄塔建替工事に伴う調査・測量・設計委託地下水解析報告書』より引用した。



第2図 地質断面図(高村・和田, 1995).

層相：白～黄白色の火山灰質粘土，
層厚：4～5m，透水系数： 5.5×10^{-6} m/s

④ 武蔵野礫層

層相：不淘汰な亜円礫を主とする砂礫，
層厚：3～5m，透水系数： 1.0×10^{-4} m/s

⑤ 東京層

層相；貝化石を含む微細砂・粘土の互層，
層厚：10～30m，透水系数： 3.0×10^{-7} m/s

地表からの水は，透水性が良好な立川ローム層，武蔵野ローム層，やや透水性の低いローム質粘土層，非常に透水性が良好な武蔵野礫層と浸透するが，難透水性の東京層によって浸透が阻害される．東京層は研究対象地域の水文学的基盤となり，東京層の上位に位置する武蔵野礫層は主要な帯水層となる．国分寺崖線沿いにはこれらの地層が露出するため，地下水が武蔵野礫層の下部から湧水となって湧出している．

3. 研究方法

3.1 降水量観測

降水量は，1転倒0.5mmの中浅測器社製BR-12転倒杓型雨量計を用いて測定した．測定値は10分間隔で記録し，日毎に合計値をまとめた．雨量計の設置場所を第3図に示す．

3.2 流出量観測

湧水の湧出量は，四角堰を用いて測定した．越流深の測定には中浅測器社製W-761長期自記水位計を用いた．測定値は20分間隔で記録し，日毎に算術平均値をまとめた．

四角堰による流量は以下の公式を用いた(土木学会編, 1971)．

$$Q = CBh^{3/2}$$

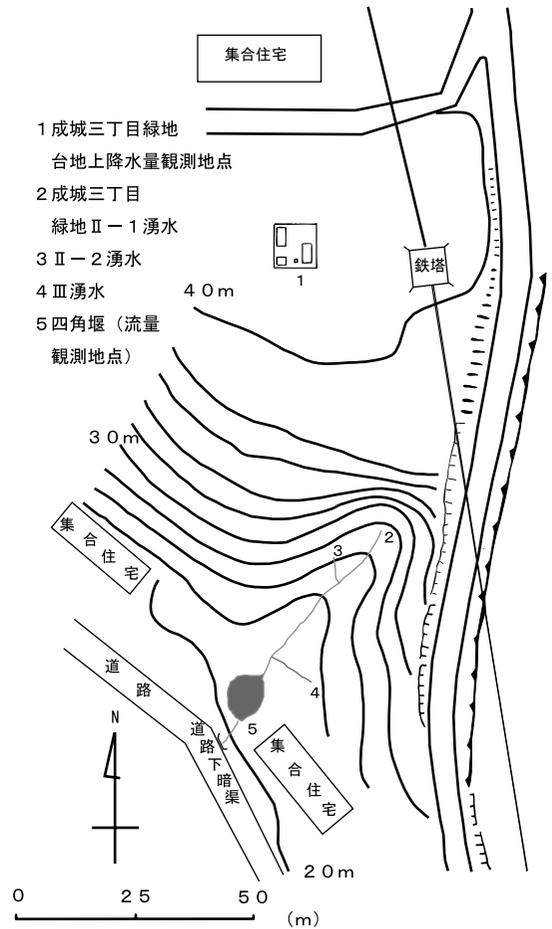
Q：越流量(m³/s) C：流量係数 B：堰幅(m)
h：越流深(m)

Cはラオ(Rao)の式を用いた(土木学会編, 1971)．

$$C = 1.444 + 0.353 (h/L)$$

L：堰長(m)

なお，B=0.65m，L=0.006mである．四角堰の設置場所を第3図に示す．



第3図 成城三丁目緑地における観測施設位置図．

4. 結果

4.1 降水量の観測結果

成城三丁目緑地での降水量については，1991年1月1日から1998年12月31日まで自記雨量計を用い観測をおこなった．月別降水量と年降水量を第2表に示す．8年間の年降水量の平均値は1,576.9mmであった．そのうち最大降水量は1991年の2,068.5mm，最小降水量は1994年の1,167.0mmであった．また8年間の平均値に最も近いのは1992年1,659.5mmであった．以上の観測結果から，1991年を豊水年，1992年を平水年，1994年を渇水年とし，流出解析を試みた．

4.2 可能蒸発散量の計算

第2表 成城三丁目緑地における月別降水量(1991年～1998年)。

(単位: mm)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
1991	54.5	62.5	166.5	113.0	59.0	160.5	88.0	220.5	472.5	540.0	97.0	34.5	2,068.5
1992	28.0	46.5	209.5	193.5	121.0	250.0	112.0	27.0	101.5	322.5	175.0	73.0	1,659.5
1993	121.0	57.0	57.5	54.0	65.0	180.0	341.0	422.0	140.0	171.0	171.5	57.5	1,837.5
1994	46.0	82.5	103.5	49.5	133.0	124.0	97.5	164.5	225.5	67.0	46.5	27.5	1,167.0
1995	33.5	29.0	181.0	101.0	227.0	193.0	196.0	110.0	150.5	91.5	56.5	0.5	1,369.5
1996	14.0	44.0	122.5	109.0	165.5	39.0	330.0	82.0	357.5	77.0	91.0	41.5	1,473.0
1997	31.0	33.0	100.0	120.5	150.0	161.0	144.0	143.0	266.0	20.0	117.0	37.5	1,323.0
1998	92.5	118.0	126.0	185.5	153.0	166.0	171.0	222.0	237.0	182.5	7.5	56.5	1,717.5
平均	52.6	59.1	133.3	115.8	134.2	159.2	184.9	173.9	243.8	183.9	95.3	41.1	1,576.9

第3表 東京大手町の月平均気温。

(°C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1991年	6.3	6.5	9.5	15.4	18.8	23.6	26.7	25.5	23.9	18.1	13.0	9.2	16.4
1992年	6.8	6.9	9.7	15.1	17.3	20.6	25.5	27.0	23.3	17.3	13.0	9.4	16.0
1993年	6.2	7.7	8.7	13.4	18.1	21.7	22.5	24.8	22.9	17.5	14.1	8.5	15.5
1994年	5.5	6.6	8.1	15.8	19.5	22.4	28.3	28.9	24.8	20.2	13.4	9.0	16.9
1995年	6.3	6.5	8.9	15.0	19.1	20.4	26.4	29.4	23.7	19.5	12.7	7.7	16.3
1996年	6.6	5.4	9.2	12.7	18.1	22.6	26.2	26.0	22.4	18.0	13.2	9.3	15.8
1997年	6.8	7.0	10.5	15.2	19.2	22.7	26.6	27.0	22.9	18.7	14.3	9.2	16.7
1998年	5.3	7.0	10.1	16.3	20.5	21.5	25.3	27.2	24.4	20.1	13.9	9.0	16.7

気象庁ホームページ「過去の気象データ検索」より作成

第4表 東京の月別可能蒸発散量。

(mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
1991年	9.8	10.1	23.0	55.2	84.8	125.2	156.5	135.5	108.0	63.8	32.5	17.8	822.2
1992年	12.0	12.0	25.2	55.0	75.4	100.9	144.8	148.6	104.0	60.5	33.8	19.5	791.7
1993年	11.3	15.4	22.6	47.2	82.9	110.8	119.2	129.7	101.8	63.1	40.0	17.8	761.8
1994年	6.8	9.2	16.0	55.3	88.1	113.5	174.1	169.0	114.6	75.2	32.3	15.7	869.8
1995年	9.7	10.0	20.5	52.7	87.0	98.0	153.6	172.1	106.4	72.2	31.2	13.1	826.5
1996年	11.6	8.2	23.4	41.9	81.5	117.4	151.3	139.8	97.7	64.7	34.9	19.4	791.8
1997年	10.7	11.0	26.5	53.2	87.1	116.9	155.7	149.4	100.2	66.8	37.5	17.2	832.2
1998年	6.8	10.8	24.5	59.5	97.1	106.3	142.9	151.4	111.6	75.3	35.4	16.4	838.0

可能蒸発散量の計算に用いる気温は、気象庁東京観測所のデータを用いた。月平均、年平均気温は第3表に示すとおりである。この気温データをもとにソーンスウェイト法(Thornthwaite, 1948)により可能蒸発散を算定した。計算結果を第4表に示す。

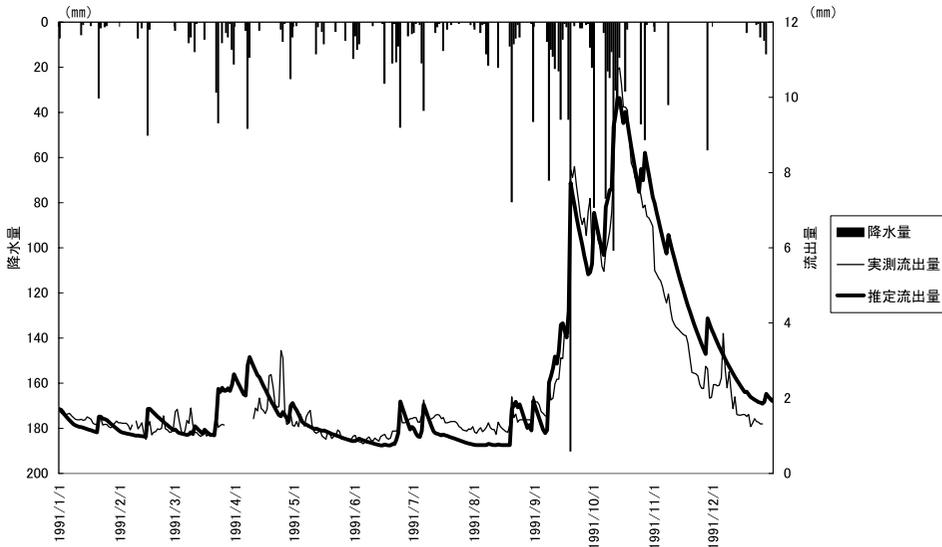
4.3 流出量の観測結果

1991年の流出状況は、豊水年であったことから降

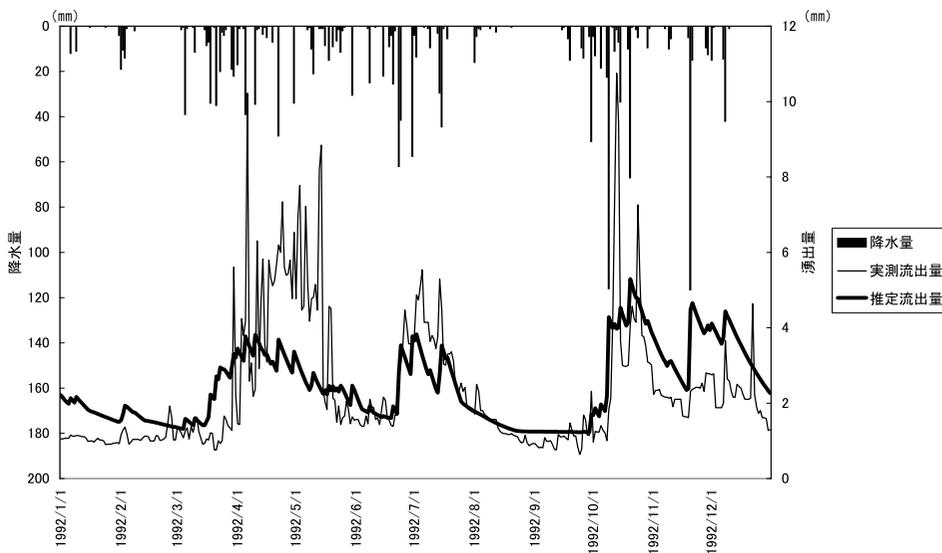
水量が非常に多く、したがって流出量も多かった。最大値は10月14日の10.8L/sで、最小値は6月5日の0.8L/sであった。

1992年の流出状況は、平水年であったことから平均的な流出量を示した。最大値は4月6日の10.2L/sで、最小値は9月24日の0.6L/sであった。

1994年の流出状況は、渇水年であったことから非常に流出量が少なかった。最大値は9月29日の2.4



第4図
 タンクモデルによる
 流出量再現状況
 (豊水年, 1991年).



第5図
 タンクモデルによる
 流出量の再現状況
 (平水年, 1992年).

L/sで、最小値は12月31日の0.8L/sであった。

5. タンクモデルによる水収支状況の再現

1991年, 1992年, 1994年における水収支状況を推定するために、実測の湧水量を再現しうるタンクモデル(菅原, 1972; 1979)を作成した。

タンクモデルの計算条件は次のとおりである。

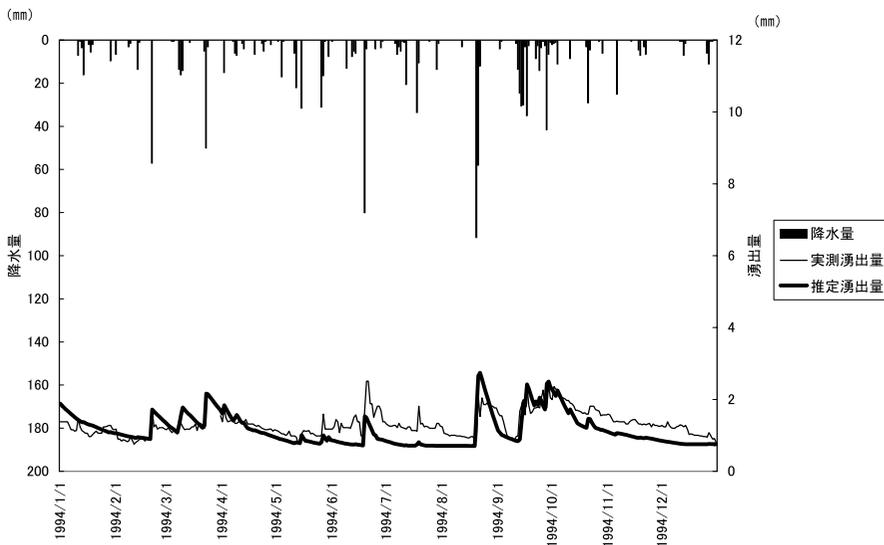
- ・タンクの構造 1列4段
- ・日降水量 世田谷区成城三丁目緑地の自記

・蒸発散量

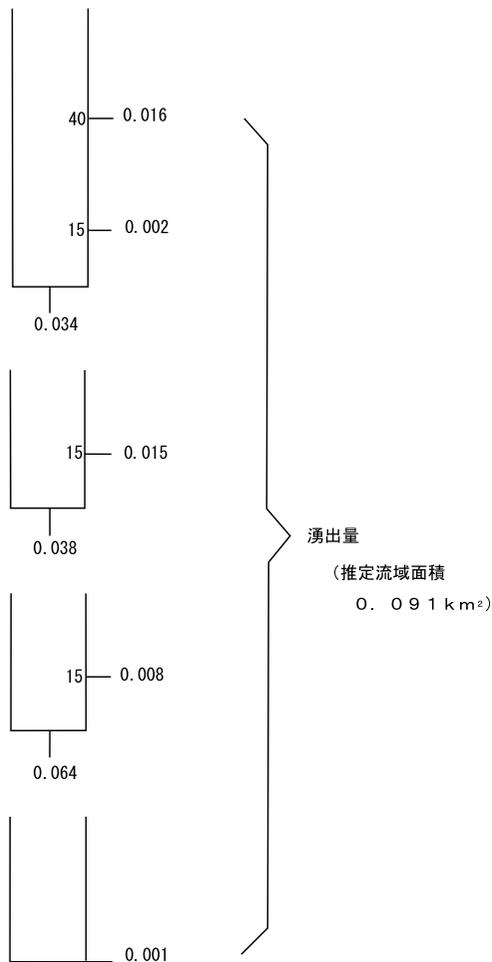
・湧出量

雨量計のデータを利用。

ソーンスウェイト法により可能蒸発散量を計算(月平均気温, 年平均気温は, 気象庁東京観測所のデータを利用)。降水量が5mm/日以上の日には蒸発散しないと仮定。タンクモデルの流出孔の流出量を湧出量と仮定。集水面積は不明なのでパラメータとする。



第6図
タンクモデルによる湧出量の再現状況(渇水年, 1994年).



第7図 成城三丁目緑地湧水のタンクモデルパラメータ (1991年~1998年).

タンクモデルによる湧出量再現状況を第4図, 第5図, 第6図に示す. 求められたパラメータを第7図に示す.

5.1 豊水年(1991年)の水収支状況

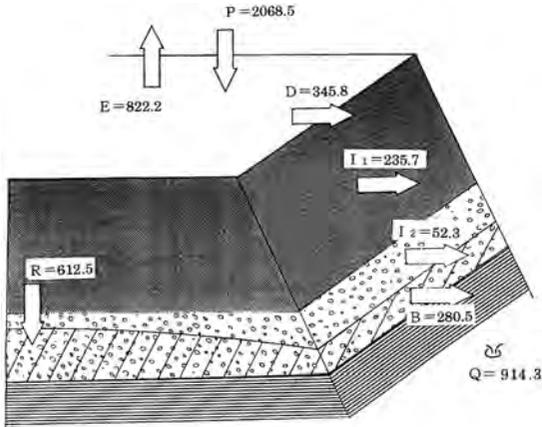
成城三丁目緑地湧水における1991年の年間推定水収支状況は, 降水量2,068.5mm/年のうち822.2mm/年が蒸発散により失われた. 表面流出量は345.8mm/年であった. したがって, 900.5mm/年が浸透し, ローム層の中間流出量が235.7mm/年, 礫層の中間流出量が52.3mm/年, 基底流出量が280.5mm/年であった. また地下水涵養量は612.5mm/年, 年間の流出量は, 914.3mm/年であった(第8図).

5.2 平水年(1992年)の水収支状況

成城三丁目緑地湧水における1992年の年間推定水収支状況は, 降水量1,659.5mm/年のうち791.7mm/年が蒸発散により失われた. 表面流出量は240.8mm/年であった. したがって, 627.0mm/年が浸透し, ローム層の中間流出量が177.1mm/年, 礫層の中間流出量が35.6mm/年, 基底流出量が441.1mm/年であった. また地下水涵養量は414.3mm/年, 年間の流出量は, 894.6mm/年であった(第9図).

5.3 渇水年(1994年)の水収支状況

成城三丁目緑地湧水における1994年の年間推定水収支状況は, 降水量1,167.0mm/年のうち869.8

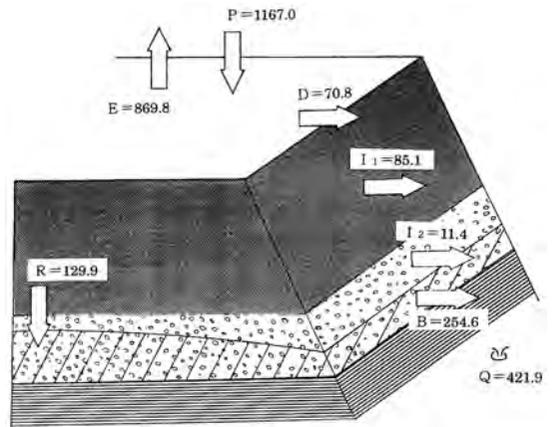


凡例

P	: 降水量
E	: 蒸発散量
R	: 地下水涵養量
D	: 表面流出量
I ₁	: 中間流出量 (ローム層)
I ₂	: 中間流出量 (礫層)
B	: 基底流出量
Q	: 湧出量

単位 : mm/年

第8図 推定水収支状況(成城三丁目緑地 1991年).

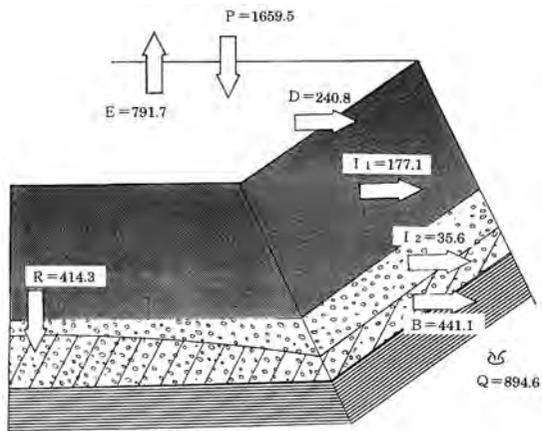


凡例

P	: 降水量
E	: 蒸発散量
R	: 地下水涵養量
D	: 表面流出量
I ₁	: 中間流出量 (ローム層)
I ₂	: 中間流出量 (礫層)
B	: 基底流出量
Q	: 湧出量

単位 : mm/年

第10図 推定水収支状況(成城三丁目緑地 1994年).



凡例

P	: 降水量
E	: 蒸発散量
R	: 地下水涵養量
D	: 表面流出量
I ₁	: 中間流出量 (ローム層)
I ₂	: 中間流出量 (礫層)
B	: 基底流出量
Q	: 湧出量

単位 : mm/年

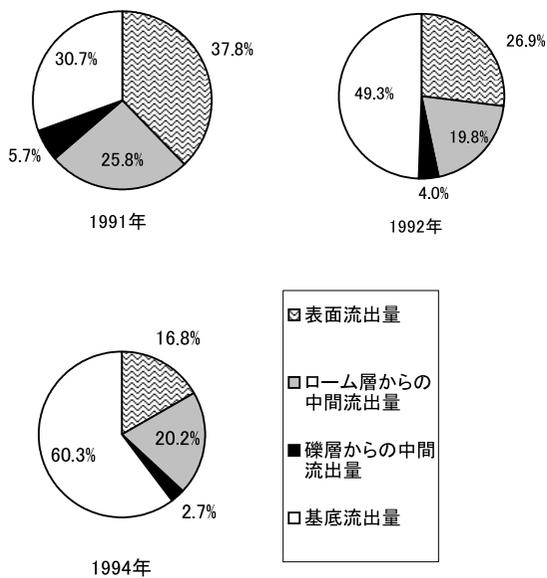
第9図 推定水収支状況(成城三丁目緑地 1992年).

mm/年が蒸発散により失われた。表面流出量は70.8 mm/年であった。したがって、226.4mm/年が浸透し、ローム層の中間流出量が85.1mm/年、礫層の中間流出量が11.4mm/年、基底流出量が254.6mm/年であった。また地下水涵養量は129.9mm/年、前年からの繰り越し分124.7mmもあわせて、年間の流出量は、421.9mm/年であった(第10図)。

6. 結論

年間推定流出量に対する表面流出量、中間流出量、基底流出量の割合をみると1991年の豊水年の場合、表面流出量は37.8%、ローム層からの中間流出量は25.8%、礫層からの中間流出量は5.7%、基底流出量は30.7%であった。豊水年の場合、表面流出量が多く、次いで基底流出量、その次にローム層からの中間流出量で、礫層からの中間流出量が極めて少ないと推定される。

1992年の平水年の場合、表面流出量は26.9%、ローム層からの中間流出量は19.8%、礫層からの中間流出量は4.0%、基底流出量は49.3%であった。平水



第11図 年間推定流出量に対する各流出量の割合.

年の場合、基底流出量が大部分を占め、次いで表面流出量からが多く、その次にローム層からの中間流出量で、礫層からの中間流出量が極めて少ないと推定される。

1994年の渇水年の場合、表面流出量は16.8%、ローム層からの中間流出量は20.2%、礫層からの中間流出量は2.7%、基底流出量は60.3%であった(第11図)。

豊水年と渇水年を比べると、渇水年は基底流出量

の割合が大きくなり、その分だけ表面流出量の割合が小さくなる。割合が小さくなるだけで、基底流出量は豊水年で280.5mm、渇水年で252.6mmであった。

豊水期では表面流出量が増加するため、湧水涸渇防止対策の一例として雨水浸透施設により表面流出を地下へ浸透させることは、地下水位の上昇、基底流出量の増加につながり、湧水の涸渇防止に寄与するといえる。

引用文献

地団研 (1996) : 『新版地学事典』平凡社, 1,852p.
 地質調査所 (1984) : 『東京西南部地域の地質』東京地学協会, 148p.
 土木学会編 (1971) : 『水理公式集』土木学会, 713p.
 菅原正巳 (1972) : 『流出解析法』共立出版, 257p.
 菅原正巳 (1979) : 『統流出解析法』共立出版, 269p.
 高村弘毅 (1985) : 多摩川における湧水の涵養機構に関する研究-野川流域の場合-. とうきゅう環境浄化財団研究助成学術報告, No.79, 1-82.
 高村弘毅・和田俊行 (1995) : 都市部における崖線湧水の水収支解析について-世田谷区成城付近を例として-. 雨水技術資料 Vol.17, 23-42.
 Thornthwaite, C. W. (1948) : An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, Vol.38, 55-94.
 東京電力東京南支店 (1992) : 『川世線No.36鉄塔立替工事に伴う調査・測量・設計報告書』81p.
 東京都土木技術研究所 (1977) : 『東京都総合地盤図Ⅰ東京都地質図集3東京都の地盤(1)』技報堂出版, 2-5.

KODAMA Hiroshi and TAKAMURA Hiroki (2009) : Water balance of cliff line spring water ; For the Seijyo-santyoume Ryokuchi spring water of the Tokyo Setagaya Ward.

< 受付 : 2008年10月9日 >