

環境用水としての地下水流出の分布特性と都市化による変化

東京大学生産技術研究所 ○虫明功臣
東京大学大学院 安藤義久
東京大学工学部 高橋 裕
日本住宅公団 松下 潤

1 はじめに

近年、いくつかのニュータウン造成計画において豊かな環境づくりの一環として、いろいろなタイプの水空間の導入が模索されている。その中には、既存の水域の保全やニュータウン内への小規模な小川の再現というアイデアなどが含まれているが、都市開発後の水源を何に求めるかが一つの重要な問題とされている。

一般に開発後の水源としては、

- 1) 開発後にその地区で期待される自然流量
- 2) 人工的水源：上水、地下水の揚水、下水処理水、貯水施設、ポンプによる循環、など
- 3) 1)と2)の併用

が考えられる。従来、小規模な「流路」や「せせらぎ」造りには、上水、地下水の揚水などの人工的な水源が利用されることが多い。しかし、最近考えだされている1Km²あるいはそれ以上の地区を貫流する比較的大きな水空間の場合、専ら人工的水源に依存する方式では、施設の建設ならびにその後の維持管理に多くの費用を要するばかりでなく、水資源ならびにエネルギーの節約の立場からも異議なしとはいえないであろう。したがって、ニュータウン内の比較的大きな水空間の水源確保の方式としては、自然の流出機構を生かした1)の方法がまず検討され、その水量が十分でない場合に人工的な流量増強策が模索される、という手順を踏むべきであろう。

2. 研究の目的と方法

筆者らが上述の発想に至る根拠として、多摩ニュータウン地域内の既開発地区の踏査によって得られた2、3の知見を指摘しておく。

- 1) 多摩ニュータウンの排水は、分流方式が採られているが、無降雨日が続いた後にも自然流域に匹敵する程の流量が流れている雨水管がみられる。
- 2) 造成にともなう切法面では、条件により、湧水や浸出水が絶えない所があり、このような水が側溝を通して雨水管に流入し、平常時の流水を構成している。
- 3) 地下水位が高い強湿地性の谷地に盛土する場合、盛土の安定性のために泥工をリード、マットで置換し暗きょ排水をしようと

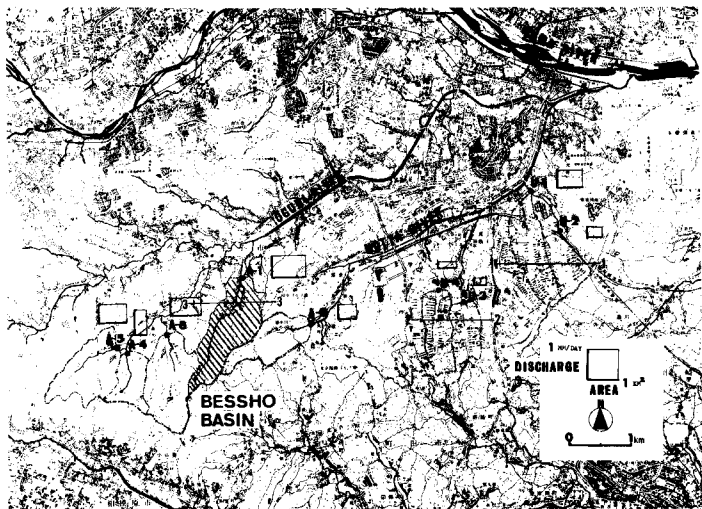


図1 調査対象流域

う工法が採られている。このような排水管からは、敷設後3～4年経過したものも流水が絶えない。

上記のような造成後の地下水流出は無為に排出されているのが現状であるが、環境用水としてのこれらの利用可能性を検討するのが本研究の目的である。

ここで研究の対象としているのは、大規模宅地開発の一つの適地とされている第三紀から第四紀洪積世の台地・丘陵である。こうした台地・丘陵は一般に固結度の低い泥・砂、砂礫層が比較的単純な成層構造となっており、地下水流出は流域の地下構造と密接な関係をもっている。本報では、多摩丘陵を対象として地域の水文地質構造と地下水流出の関係さらに都市化に伴うその変化について流量実測資料に基づいて議論する。

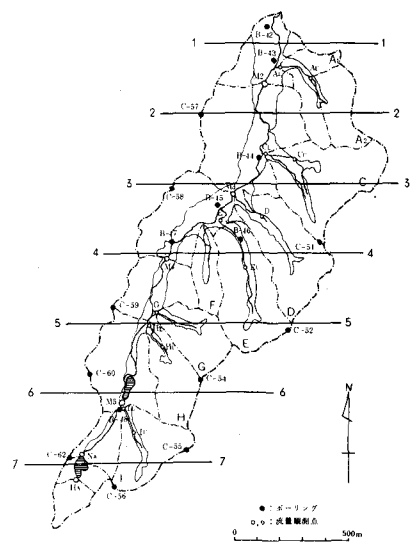
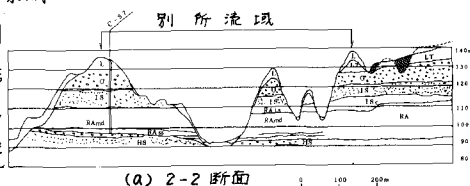


図2 別所流域と地質断面の位置

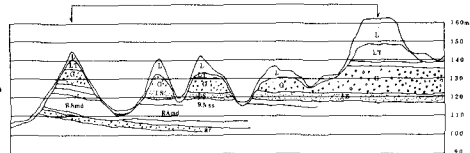
3. 対象地域とその概要

対象地域は東京都の西南部にあたる多摩ニュータウン区域内の未開発地区と既開発地区である(図1参照)。まず、未開発地区の別所流域に1978年冬季洪水期に19の流量観測点が設置され、その結果が流域の水文地質構造との関係で整理される。この他に、40～100ha規模の自然流域4(図1、A-2～4)と都市化流域4が選定され、同じ期間の流量観測結果を基に都市化の影響について検討される。

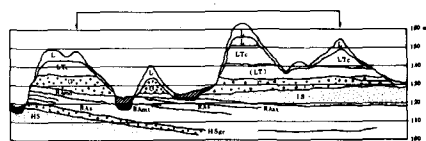
多摩丘陵の地下構造は一般に、砂層・砂礫層・泥層が互層をなす三浦層群とこれを不整合に覆う御殿峠礫層・オシ沼砂礫層、および南東ローム層で構成され、基盤の三浦層群は全体的に北東に下る傾斜をもっている。この丘陵の南東部は三浦層群の上にオシ沼砂礫層が不整合にのるT面であり、西部は三浦層群と御殿峠礫層が覆うT面となっている。本研究で対象とする地域は、後者のT面である。



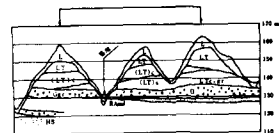
(a) 2-2 断面



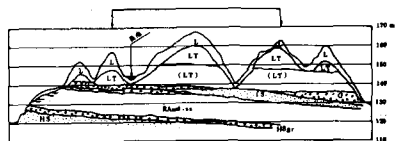
(b) 4-4 断面



(c) 5-5 断面



(d) 6-6 断面



(e) 7-7 断面

図3 別所流域の推定地質断面

4. 別所流域における地下水流出特性

4.1 流域の水文地質構造

ボーリング柱状図ならびに現地踏査によって、図2の各断面について推定地質断面を整理したのが図3(a)～(e)である。この流域の地質層序は、上位から下位に向けて、立川ローム層・武蔵野ローム層・下末吉ローム層・多摩ローム層・御殿峠礫層(G)、相成砂層(IS)、連光寺互層(RA)、および平山砂層(HS)である。南東ローム層は水文地質の立場から大きく2つに区分される。上部のローム層(立川ローム層と武蔵野ローム層上部)は粘工化が弱く、その下部(武蔵野ローム層下部、下末吉ローム層および多摩ローム層)は強度に粘工化が進んでいる。ボーリング調査の

土質名の呼称に習って、前者をローム層、後者を火山灰質粘土層と呼ぶことにする。火山灰質粘土層は、やせ尾根には存在せず、比較的幅の広い尾根で地形にほぼ相似な形で分布している。この層のなめには、透水係数 10^{-6} cm/s オーダーの値を示すものもあり、難透水性基盤となし、ボーリングの際にもこの層の上部で不圧地下水が確認されている、また、道路沿いの露頭などを観察すると、この層の上部から浸出水が認められる。

火山灰質粘土層の下位には古相模川によって形成された御殿崎礫層が分布し、その下に相模砂層さらに、泥、砂礫の互層よりなる連光寺互層、平山砂層と続く。これらのうち連光寺泥層(Rand)は緻密で固結度が高く、透水係数は 10^{-7} cm/s以下である。連光寺泥層上面の標高を推定し、図4に示す。この泥層は、別所流域の上流部では地下に没し、中・下流域では河床あるいは崖に露われる。中、下流域の露頭を観察すると、連光寺泥層が不透水性基盤となり、その上部の砂層から湧水や浸出水のみられる箇所が多い。また、中・下流域のE～Aの谷地は強度の湿地と呈している(地下水位が高い)が、こうした湿地の下には連光寺泥層が地表からあまり深くない所にあるという共通性がみられる。

水文地質的考察と現地踏査によって得られたこのような知見から、別所流域では、火山灰質粘土層と連光寺泥層が主要な難透水層あるいは不透水層を形成しており、それぞれの上部の帯水層からの地下水流出によって、平常時の河川流量の多くが供給されているという作業仮説が導き出される。

4.2 冬季渇水期の流量観測

前項の作業仮説と裏付けるために、1977年12月～1978年2月の冬季渇水期に別所流域の本・支川19ヶ所に流量観測点を設定し、すべてに三角堰を設置して、1週間毎に観測を行った。観測点の位置は図4に示す。

流量観測結果を表1に示し、図5(a),(b)にこれらを本川、支川別に図示する。流量単位は流域間の比較のために $m^3/日$ で表わされている。

表1. 別所流域における冬季流量観測結果

	観測点	流域面積(km ²)	標高(m)	12月					1月					2月					備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
				9日	23	28	2	6	13	16	20	27	3	10	17	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
第1区	A ₁	101	116	0.65	0.71	0.61		1.12	0.78		0.94	0.78	0.55	0.81	0.51	0.65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

(注) 1) 流量単位は $m^3/日$ 、これに係数を乗ずれば $l/秒$ の単位になる。また、 $m^3/日$ の上記流量に0.116を乗ずれば、 $l/秒$ の単位となる。
 $p (m^3/日)$ $Q (l/秒) = p \times p$ $p' (l/秒) = p \times p'$ $p'' (l/秒) = p \times p''$

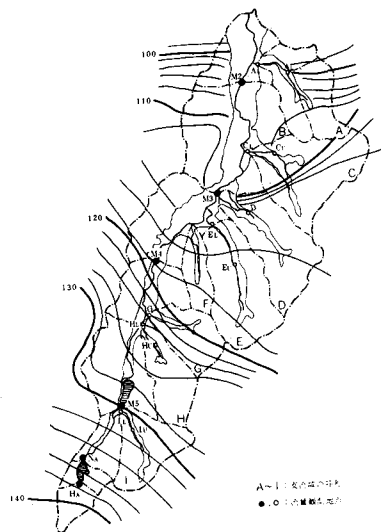
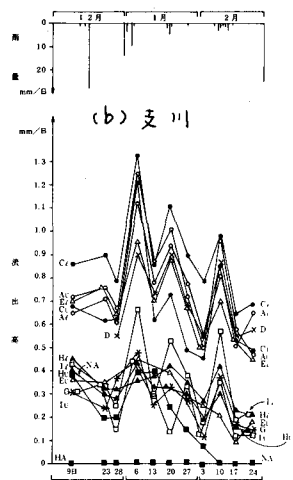
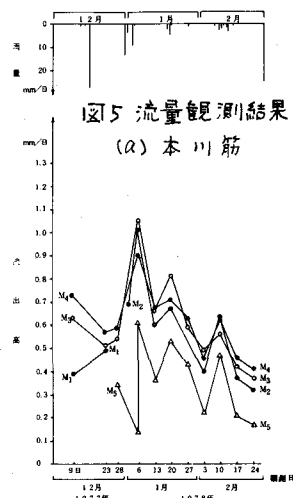


図4 連光寺泥層上面の等高線



観測期間内に数回の降雨あるいは降雪があり、流量は変動しているが、観測日に表面流出をみる程の降雨は経験していないので、いずれも地下水流出とみなせる。

4.3 地下水流出量分布と水文地質構造

表1および図5(a), (b)とみると、流出高の大小によって観測点が3つのグループに明瞭に分かれていることがわかる。すなわち

グループⅠ：観測点 NA, HA. 上流域に属し、無降雨期には流出量が枯渇することがある。つまり、渇水期流出高がもっとも小さい。

グループⅡ：観測点 Eu, G, Ha, Ms, Ia, Ia. いずれも中流域に属し、最小流出高は0.2mm/日前後の中間的な値を示す。

グループⅢ：観測点 Al, Au, U, Cu, D, El. いずれも下流域に属し、最小流出高は0.5mm/日前後の相対的に大きな値を示す。

これらの観測結果に現地踏査による観察を加えて、渇水期流出高が小さい地帯 — グループⅠ、渇水期流出高が中間的値を示す地帯 — グループⅡ、渇水期流出高が大きい地帯 — グループⅢ、を概念的に図上で示せば図6のように

なる。流出高の多少によるこうした地帯区分は流域の水文地質構造、い換えれば帯水層と不透水層の層序と流路の位置関係によく対応していることがわかる。グループⅠは上流域に位置するために、火山灰質粘土上の不圧地下水の流出が供給されるに過ぎない。この不圧地下水の流域界は地表流域界とほぼ一致しているとみなせるから、帯水層の規模は比較的小さい。これがグループⅠの地帯で渇水期流出高が小さい理由である。

これに対して、グループⅢは連光寺泥層の上面が流路よりも高い所に露われる地帯である。

また、この泥層は別所流域の地表流域を越えて南東方向の地下に広く広がっており、地下水流域の規模がきわめて大きい。しかも、石岸側AへEの支川では河床と泥層の傾斜方向が一致している。したがって、河道がこの不透水性基盤から上の地下水の流出を受ける形となっている。これが、グループⅢの地帯で渇水期流出高が大きい理由である。

本川筋の流出高の変化に着目すると(図5(a))この関係がより明確に理解できる。本川の河床

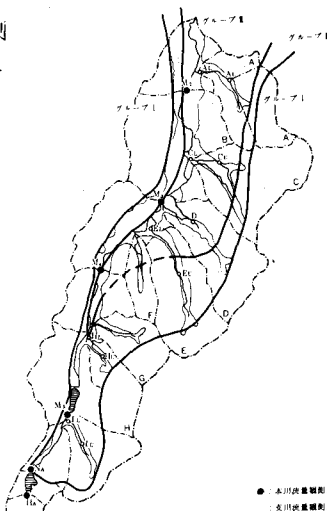


図6 地下水流出高の多少による地帯区分

表2 自然流域と都市化流域における冬季流量観測結果 (1978.1~2)

BASIN	NAMES OF BASINS	AREA(ha)	DISCHARGE (mm/day)							
			2 Jan.	14 Jan.	21 Jan.	3 Feb.	10 Feb.	17 Feb.	24 Feb.	
A-1	Bessyo	113	0.69	0.60	0.67	0.40	0.64	0.37	0.32	
A-2	Karakida	59	0.45	0.24	0.63	0.36	0.55	0.36	0.32	
A-3	Simiurayato	59	0.57	0.36	*	*	*	*	*	
A-4	Minamiosawa	42	0.85	0.72	*	0.47	0.65	0.47	0.44	
A-5	Minamiosawa	91	0.61	0.55	*	0.64	0.65	0.41	0.55	
U-1	Nagayama	83	0.57	0.65	0.66	0.48	0.59	0.48	0.42	
U-2	Mabikawa	48	0.34	0.27	0.47	0.25	0.99	0.35	0.40	
U-3	Kaitori	41	0.25	0.11	0.24	0.10	0.11	0.05	0.06	
U-4	Aokiba	61	0.20	0.16	*	*	*	*	*	

表3 自然河川と雨水排水管の流水の水質

Basin	2 Jan. 1978 (Air Temperature 7.5°C)			14 Jan. 1978 (Air Temperature 10.2°C)		
	Electrical Conductivity (μS/cm)	Water Temperature (°C)	Note	Electrical Conductivity (μS/cm)	Water Temperature (°C)	Note
A-1	82	7.0	colorless transparent odorless	66	7.2	colorless transparent odorless
A-2	87	8.5	colorless transparent odorless	88	9.0	colorless transparent odorless
A-3	92	8.5	colorless transparent odor of excreta	82	8.2	colorless transparent odorless
A-4	82	7.5	colorless transparent odorless	75	6.8	colorless transparent odorless
A-5	52	8.0	colorless transparent odorless	56	6.8	colorless transparent odorless
U-1	170	10.5	whitely muddy a little odorless	190	11.8	muddy a little odorless
U-2	100	9.5	colorless transparent odorless	185	10.5	colorless transparent odorless
U-3	195	9.5	colorless transparent odorless	190	10.0	oily a little
U-4	195	10.8	colorless transparent odorless	190	11.0	colorless transparent odorless

と連光寺泥層の上面の位置関係を模式的に描くと図のようになる。すなわち、泥層は本川の流下方向とほぼ同じ方向に傾いているが、谷の勾配 $1/40$ に対して泥層上面の勾配は約 $1/50$ と緩やかであり、H沢合流点付近で河床上に露われる。この地点の上流側の観測点M5と下流側M4の流出高を比較すると、この間で流出高が急に増大していることがわかる。これは、前述したような地下水流出機構で説明できるであろう。

グループⅡは、両者の中間的位置に属し、ローム層中の不圧地下水、御殿峠礫層などの帯水層からの流出を受ける地帯である。

4.4 まとめ

別所流域を例として茅三紀丘陵地河川の渇水期の流出量分布の空間分布特性について検討した結果、河川の地下水流出量の多寡は、地域の地下構造およびそれと河道との位置関係と密接な関係をもつことが明らかである。

5. 自然流域と都市化流域の地下水流出量の対比

5.1 自然流域と都市化流域における冬季流量観測

上述のような地下水流出特性をもった丘陵地が都市開発を受けた場合、それがどのように変化するかを調べるために、流域面積40～100 ha程度の自然流域5つと都市化流域4つを選び、別所流域と同期間に流量観測を行った。各流域と観測点が図1に示されている。図中、A1～5が自然流域であり、U1～4が都市化流域である。

これらの流域の選定に当っては、流域の地下構造が類似していることを標準とした。例として図1中の1-1および2-2断面に対する推定地質断面図を図8(a)、(b)に示す。都市化流域U-1、2およびU3、4とも泥層（それぞれ相城泥層と連光寺泥層）が流域の不透過性基盤をなしており、いずれも別所流域と同様に北下りの傾斜をもっている。

流量観測結果を表2に示す。流量と同時に、流水の電気伝導度、水温も測定し、水の色、透明度、臭いなどについても観察した。その結果を表るにまとめる。自然流域の流水は無色、透明、無臭で、電気伝導度は $60 \sim 90 \mu\text{S}/\text{cm}$ であるのに対して、都市化流域ではわずかに白濁したり油が浮いている場合も観察され、電気伝導度は $190 \mu\text{S}/\text{cm}$ 前後の値であった。道路の側溝などを通過して集水し、また少しは汚水が混入しているために自然流域に比べて水質が悪いが、電気伝導度から判断して観測された流量は大部分が地下水流出量と考えられる。

5.2 結果の考察

流量観測の結果を図示したのが、図7である。自然流域の流出高A1～5と都市化流域のそれU1～4を比較すると、全体的にみれば都市化流域のほうが小さくなっている。1月2日を例にとれば、自然流域では $0.45 \sim 0.83 \text{ mm}/\text{日}$ であるのに対して、都市化流域では $0.2 \sim$

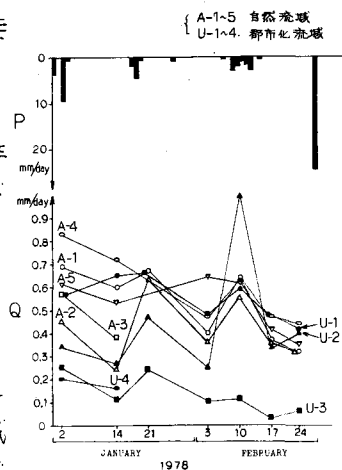
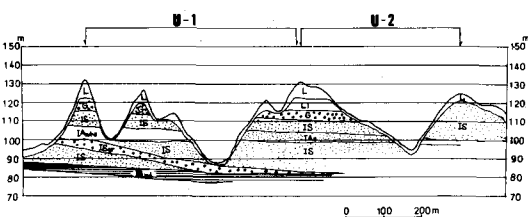
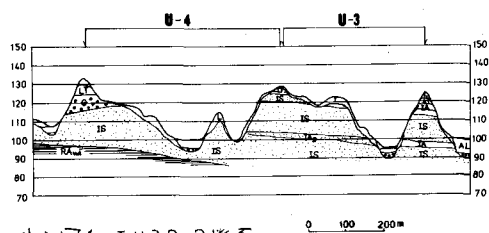


図7 自然流域と都市化流域の地下水流出量の比較



(a) 図1における1-1断面



(b) 図1における2-2断面

図8 都市化流域U-1～4の推定地質断面の一例

L: ローム層 G: 御殿峠礫層 LA: 礫層
LT: 相模川礫層 IS: 相模川礫層 (P: 砂層)

資料: 日本地質学会 地質図 1:25,000 相模川流域 (1:25,000) 1:25,000

0.57mm/日である(これらの値は図1の中に、流域面積を横軸、流出高を縦軸に表示されている)。

(しかし、都市化流域のなかでU1の流出高は自然流域と同程度であり、U2の流出高はやや低い値を示すにすぎない点が注目される。U1流域の雨水排水路幹線は、中・下流域においては宅地開発前の河床とほぼ同じ高さに敷設されており、不透水層をなす泥層から上部の地下水流出を集水する形となっている。この流域の泥層上部の地下水流域は、別所流域におけるグループⅡと同様に、地表流域界をはるかに越えて南部に拡がっており、その地域は大規模な改変を受けていない。U1流域の地表付近が改変され不透水域が増加しても、地下水流出量が自然流域に匹敵しているのは、上述のような流域の地下構造と開発後の雨水管の敷設条件によるものと推察される。U2流域もこれとほぼ同じ条件を備えている。

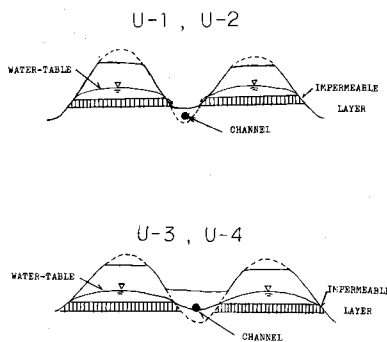


図9 都市化流域の地下水流出量の多少と水文地質構造の関係

いっぽう、U3とU4の流出高は相対的に小さい。これらの流域の雨水管は、谷地を10m以上盛土した上に敷設されており、末端においても泥層よりかなり高い所に位置し、その上部の地下水流出のすべてを受ける形にはなっていない。

以上の関係を模式的に画くと図-9のようになる。すなわち、都市化流域においても、地下水流出の多寡は、流域の地下構造およびそれと雨水排水系の位置関係に対応していることがわかる。

6. おまけ

本研究で対象としたのは多摩丘陵という限られた地域であるが、一般に第三紀丘陵地帯は、帯水層と不透水層が互層をなす類似した地下構造をもっている。このような地帯では、本文で指摘したような水文地質構造と地下水流出の関係を生かした取水・集水方式をとれば、地表付近が改変されても、改変前に匹敵する水量を得ることができる。

この研究は、多摩ニュータウン蓮生寺長池保全整備計画委員会の作業として始められ、日本住宅公団南多摩開発局の各位から甚大な協力をいただいた。また、当時学習院大学の町田端男氏ならびに日本工営(株)村上雅博氏には地質調査について御協力いただき、流量観測と資料整理に当って東京大学の小池雅洋氏および当時日本大学の石川暢康氏の助力を得た。なお、研究費の一部として財団法人とうきょう環境浄化財団の助成を受けている。記して謝意を表します。

参考文献・資料

- 1) 増田富雄: 多摩丘陵の地質について、地質学雑誌77巻、第3号、pp.153~164、1971
- 2) 関東ローマ研究グループ: 関東ローマ、築地書館、pp.79~85、1965
- 3) 日本住宅公団南多摩開発局: 南多摩B-4地区工賃調査、日本工営(株)、1966
- 4) 虫明功臣、村上雅博、小池雅洋: 河川の低水時流量の地域的偏在とその要因 - 台地・丘陵河川の場合 -、生産研究、第30巻、第5号、pp.43~46、1978.5