

東京の都市用水利用の変遷

— 水源としての表流水と地下水に着目して —

山下 亜紀郎*

History of Urban Water Use in Tokyo: Focusing on Surface Water and Groundwater as Water Sources

Akio YAMASHITA*

[Received 8 June, 2012; Accepted 14 March, 2013]

Abstract

The purpose of this study is to review the history of urban water use in Tokyo focusing on two water sources: surface water and groundwater. First, the following four matters are picked up chronologically: expansion of metropolitan waterworks, enhancement of surface water resources, progress of land subsidence, and groundwater pumping. Second, the change of groundwater use and current conservation policies are clarified for some municipalities. Finally, sustainability of urban water use is discussed.

Originally, the water source of metropolitan waterworks was surface water. With increased water demand, the waterworks developed surface water resources in areas remote from Tokyo. Despite increased water demand, groundwater pumping was restricted because of serious land subsidence. Industrial water shifted the water source from groundwater to surface water with the construction of industrial waterworks. On the other hand, groundwater use as residential water has been partially maintained in the Tama Region, western Tokyo. Municipalities in the Tama Region promote policies to maintain groundwater use and recharge.

For sustainable urban water use, efforts both to avoid a further increase of water demand and to maintain local groundwater resources are necessary. Moreover, in terms of water security at the time of a disaster or water shortage, a sustainable urban water supply system should include both an extensive water supply system and a local system of water supply.

Key words : urban water use, surface water, groundwater, public waterworks, Tokyo

キーワード : 都市用水利用, 表流水, 地下水, 水道, 東京

I. はじめに

東京をはじめとする日本の大都市における水資源政策は、需要増に伴う新規水源の開発から、需要の停滞あるいは減少に伴う既存水源の再編の時代に入ったといえる。日本全体でも工業用水は

1970年代(富樫, 2011)、水道用水は1990年代以降(矢嶋, 2011)、需要は横ばいからさらに減少へと転じている。この間、水資源問題の関心は、既存農業水利に新規都市用水がいかにか参入するかから、異常渇水時や災害時等における水資源の融通に移ったといえる(山下, 2009)。

* 筑波大学生命環境系

* Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan

水資源の融通策として以前から議論されてきたのは、農業用水から都市用水への水利転用である(秋山, 1980; 原, 1984 など)が、一方で、もう1つの代替水源として注目すべきものに地下水がある。従来の水資源開発は、身近な井戸や河川といった「近い水」から、山間地域に建設されたダムという「遠い水」への依存を強めてきたが(森瀧, 2003)、今後はダムによらない河川政策(治水・利水, 異常渇水対策)の必要性が叫ばれており(伊藤, 2011; 富樫, 2011)、「近い水」としての地下水に再び焦点が当てられている。

日本では従来、地下水は「私水」とみなされ、また過去に過剰取水による地盤沈下問題を引き起こしてきた経験から、大都市における公的な都市用水の水利システムから敬遠され、地下水から表流水への水源の切り替えが行われてきた(益田, 2011)。しかしながら東京でも近年、地下水取水規制による地下水位の上昇が、地下構造物の浮上等の新しい問題を引き起こしている(徳永, 2007; 清水, 2007)。したがって地下環境の維持のためにはむしろ、涵養量を超えない範囲で地下水を「適正に利用する」ことが求められており、そのための方策として、Hayashi *et al.* (2009)は継続的なモニタリングの重要性を、廣木(2010)は地表水と地下水の統合管理の重要性をそれぞれ指摘している。

都市の水資源問題については、人文地理学の分野では森瀧(1982)や白井(1987)に代表されるように従来から研究蓄積があり、それらは秋山(1988)にまとめられている。環境経済学の分野からこの問題にアプローチしている野田(2012)も「水政策研究は地理学によって先導されてきた」と述べているように、(人文)地理学は他の研究分野に先んじてこの問題に取り組んできた。近年においても、経済地理学年報の57巻(2011年)で特集号が組まれるなど、盛んに研究が行われている。しかしながら、水文学の分野から地下水について研究してきた谷口(2010)が「地表と地下の境界を跨ぐ水の移動は、…(一部略)…人文社会科学的にはまだ認知度は低いと言わざるを得ない」と指摘するように、人文地理学において

もこれまで、おもにダム開発を中心とした表流水に焦点が当てられ、地下水にはあまり関心が向けられてこなかった。

本稿の目的は、東京の都市用水利用の歴史的変遷を整理することであるが、その際上記のような研究動向をふまえ、表流水と地下水という2つの水源に着目して述べていくこととする。すなわち具体的には、東京の水道事業の拡張と表流水源の増強、および地盤沈下と地下水揚水について時系列的に整理した上で、水道水源としての地下水利用の変遷と地下水保全の現状を事例調査により明らかにすることで、持続可能な都市用水利用について考察する。

II. 東京の水道事業の変遷

1) 近代水道の創設と施設拡張

東京の水道事業の前身である江戸期の水道は、徳川家康が入府した1590年に、井の頭池を水源として開設された小石川上水(後の神田上水)にはじまる。その後、1654年に多摩川を水源とする玉川上水、1659年に古利根川を水源とし隅田川左岸地域へ用水を供給した亀有上水(あるいは本所上水ともいう)、そして1660年、64年、96年に玉川上水の分水としての青山上水、三田上水、千川上水がそれぞれ開設された。これらを江戸の六上水と称するが、亀有、青山、三田、千川の各上水は、1722年に廃止され、以降は神田上水と玉川上水の2系統となった。

神田上水は、井の頭池(現在の三鷹市井の頭1丁目)を水源とし、途中で善福寺川、妙正寺川と合流し、玉川上水からも分水を受けて、関口大洗堰(現在の文京区関口)を経て、水戸藩の上屋敷をはじめとする城下の各地へ用水を供給した。流路の一部は現在の神田川である。玉川上水は、多摩川の羽村地点(現在の羽村市羽)から取水し、四谷大木戸(現在の新宿区四谷4丁目)までは開渠の水路として武蔵野台地上を流下した。四谷大木戸以降は、木樋や石樋による地下水道として城下の各地へ配水された。住民は樋管の上に設けられた上水井戸から水を汲み上げて利用した。

明治期に入り、鉄管、浄水、加圧給水といった

表 1 東京の上水道における施設能力の推移。

Table 1 History of the expansion of Tokyo Metropolitan waterworks.

年	事 項	水 源	施設能力 (万 m ³ /日)	
			増減	累積
1898	淀橋浄水場通水開始	多摩川自流	16.7	16.7
1911	淀橋浄水場施設拡張	多摩川自流	7.3	24.0
1924	村山上貯水池築造	多摩川自流	14.0	38.0
1928	村山下貯水池築造	多摩川自流	4.0	42.0
1932	町営・町村組合営水道統合	多摩川・江戸川自流, 地下水	18.6	60.6
1934	山口貯水池築造	多摩川自流	5.6	66.2
1935	玉川水道株式会社買収	多摩川自流	10.4	76.6
1936	江戸川水道拡張工事	江戸川自流	9.0	85.6
1937	矢口水道株式会社買収	地下水	0.3	85.9
1945	日本水道株式会社買収	多摩川自流	1.4	87.3
1938～45	配水施設拡張事業	地下水	0.6	87.9
1946	代々幡, 矢口水源休止	地下水	-1.4	86.5
	境浄水場施設拡張	多摩川自流	7.5	94.0
1936～53	応急拡張事業	多摩川・江戸川自流, 地下水	28.2	122.2
1957	小河内ダム完成	多摩川水系小河内ダム	42.5	164.7
1950～59	相模川系水道拡張事業	神奈川県相模川河水統制事業 (相模川水系相模ダム)	20.0	184.7
1959	玉川, 砧上, 砧下浄水場施設拡張	多摩川自流	10.4	195.1
1960～64	江戸川系水道拡張事業	江戸川自流	9.5	204.6
1962～65	中川・江戸川系水道緊急拡張事業	中川自流	40.0	244.6
1963～68	第一次利根川系水道拡張事業	第一次フルプラン	120.0	364.6
1969	粕江水源廃止	多摩川自流	-1.4	363.2
1965～70	第二次利根川系水道拡張事業	第一次フルプラン	140.0	503.2
1970	玉川浄水場休止	多摩川自流	-15.2	488.0
1970～76	第三次利根川系水道拡張事業	第二次フルプラン	120.0	608.0
1972～85	第四次利根川系水道拡張事業	第三次フルプラン	55.0	663.0
1991	三郷浄水場施設拡張前期	第三次フルプラン	27.5	690.5
	金町浄水場施設整備に伴う能力低下	江戸川・中川自流	-22.0	668.5
1993	三郷浄水場施設拡張後期	第三次フルプラン	27.5	696.0
2004	金町浄水場施設整備に伴う能力低下	江戸川・中川自流	-10.0	686.0

東京都水道局(1999),「東京都水道局事業年報」,東京都水道局 HP¹⁾などより筆者作成。

Sources: data and materials from Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government¹⁾.

近代技術を用いた水道創設の必要性が高まり、1898年に多摩川自流を水源とする近代水道が創設された。羽村の取水堰から淀橋浄水場（現在の新宿中央公園）までの導水路としては玉川上水が利用された。

表 1 に近代水道創設以降の施設拡張とその根拠となる水源について整理した。初期の上水道は多摩川の表流水を水源としながら、村山貯水池や

山口貯水池を築造することで施設能力を拡張してきたが、1936年には江戸川からも取水するようになった。その間、1932年には東京の市域拡大に伴い、合併区域に含まれる従来の町営・町村組合営の水道事業を統合した。また、1935～45年には民間の水道3社も買収・統合した。これら等により、1945年時点の施設能力は、87.9万 m³/日となった。一方普及率は、関東大震災時と

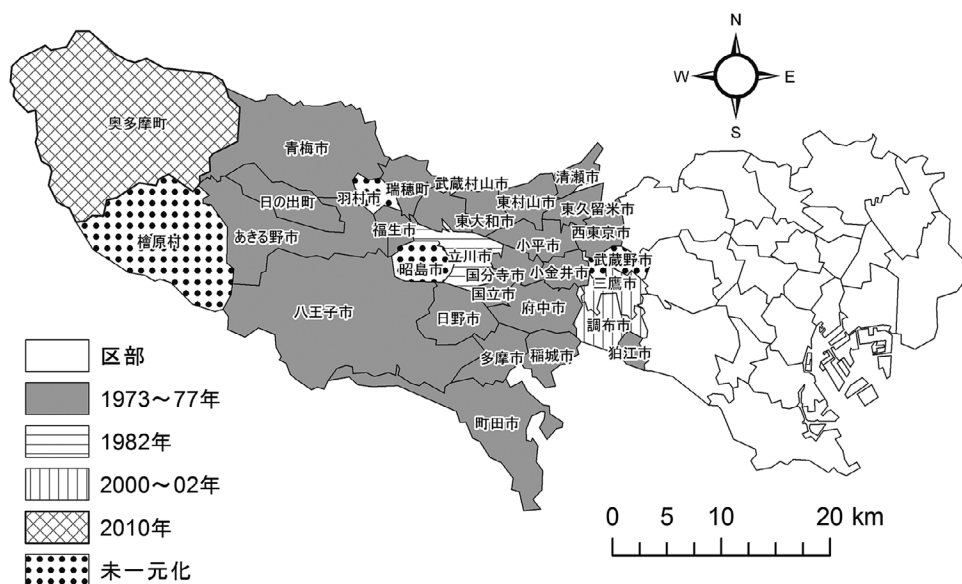


図 1 多摩地区における水道事業の都営一元化の年。
「東京都水道局事業年報」より作成。

Fig. 1 Year of municipal waterworks integration into metropolitan waterworks in the Tama Region.
Sources: data and materials from Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government.

市域拡大に伴う給水人口の急増期に一時的に減少したが、1939年時点で88.7%を達成していた。

第二次世界大戦後の水道事業の施設拡張は、都市化と人口流入によって急増する水需要に対応するものであったといえる。1957年には、戦前から計画されていたものの建設中断していた小河内ダムが完成した。また、ほぼ時を同じくして、神奈川県相模川河水統制事業によって開発された水源の一部について、川崎市多摩区三田に長沢浄水場を建設し、原水受水するようになった。さらに1960年代に入ると、江戸川および中川からの水源も大幅に増強した。この間、1950年に約400万人であった給水人口は、1965年には倍増の800万人を超えるが、普及率は順調に増加し、同年はじめて90.0%を上回った（東京都水道局、1999）。

2) 多摩地区水道の都営一元化

前節で述べたように、戦後から高度経済成長期にかけての東京の水道事業は、急増する水需要に対して、表流水源を増強することで施設能力を随

時拡張してきたものの、当時の都営水道の給水区域は、一部分水を除けば23区内に限られていた。一方、多摩地区と称される23区外の地域では、各市町村がおもに地下水を水源とする独自の水道事業を運営していた。しかしながら、都市化と人口増加による水需要の急増は、多摩地区とて例外ではなく、市町村営水道のみでは水需給が逼迫し、都営水道からの分水を受けなければならない自治体も出てくるようになっていた。そのようななか、東京都は1971年に、多摩地区への合理的かつ安定的な給水を目指した「多摩地区水道事業の都営一元化基本計画」を策定した。それに基づき1973年の小平市、狛江市、東大和市、武蔵村山市を皮切りに、1977年までに24市町の水道事業が、そして1982年に立川市、2000年に調布市、2002年に三鷹市の水道事業が、都営水道に事実上統合された（図1）。これによって、おもに表流水を水源とする都営水道が、おもに地下水を水源としていた多摩地区全域へと配水されるようになった。一方2013年度現在、武蔵野市、

表 2 利根川・荒川水系フルプランに係る水源量の確保。

Table 2 Enhancement of water sources after enforcing the comprehensive water resources development plan for the Tone and Ara Rivers.

年	水 源	水源量 (万 m ³ /日)	
		増減	累積
	第一次フルプラン以前の水源量		244.6
1967	利根川水系矢木沢ダム	36.4	281.0
1968	利根川水系下久保ダム	103.0	384.0
1971	利根川河口堰	71.0	455.0
1976	利根川水系草木ダム、奈良俣ダム暫定、野田導水路	80.0	535.0
1985	利根川水系奈良俣ダム、渡良瀬貯水池、霞ヶ浦開発、霞ヶ浦導水	62.0	597.0
1989	見沼代用水 (埼玉合口二期事業)	5.0	602.0
1997	荒川調節池	11.0	613.0
1999	荒川水系浦山ダム	10.0	623.0
2008	荒川水系滝沢ダム	7.0	630.0

東京都水道局 (1999), 「東京都水道局事業年報」, 東京都水道局 HP などより筆者作成。
Sources: data and materials from Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government.

昭島市, 羽村市, 檜原村の水道事業は都営一元化されていないが, 武蔵野市は都営水道から浄水受水している。

3) 利根川水系水資源開発基本計画に基づく施設拡張と水源増強

戦後から高度経済成長期以降の都市化, 人口増加による水需要の増大に対して, 東京都としては大河川である利根川に水源を確保することは積年の悲願であった (東京都水道局, 1999)。そのようななか, 1961年に水資源開発促進法と水資源開発公団法のいわゆる水資源開発二法が制定され, 利根川水系をはじめとする全国の主要6水系は, 国の施策として水資源開発が行われることとなった。

利根川水系に関しては, 1962年に「利根川水系水資源開発基本計画」(第一次フルプラン)が策定され, 東京都でもそれによって開発される水源を見込んだ第一次利根川水系水道拡張事業を実施することになった。しかしながら, 利根川水系の水資源開発は当初の計画どおりには進まず, 1970年に計画は改定され (第二次フルプラン), 1976年には荒川水系も含めた計画となり (第三

次フルプラン), さらに1988年には第四次フルプランが策定されることとなった。それにあわせるように, 東京都でも第一次から第四次に至る利根川水系水道拡張事業を行ってきた (表1)。

表2は, 第一次フルプラン以降における, 東京都営水道の水源の確保について整理したものである。この表と表1を見比べると, 東京都では水源量の確保に先立って, 水道施設の拡張を進めてきた様子がわかる。これは国によるフルプランが当初計画通りに進捗せず水源量の確保が実現できていないことによるものだが, 具体的には, 荒川水系滝沢ダムの完成した2008年以降では, 施設能力686.0万m³/日に対して (表1), 水源量の確保は630.0万m³/日に止まっている (表2)の現状である。

しかしながら, 東京都営水道における実際の1日最大配水量は2010年度で約490万m³であり, 近年は1992年度をピークに, 1人1日平均配水量とともに減少傾向が続いている (図2)。したがって, 水使用量からみる限り, 平常時において現状の水源量が不足しているというわけではない。

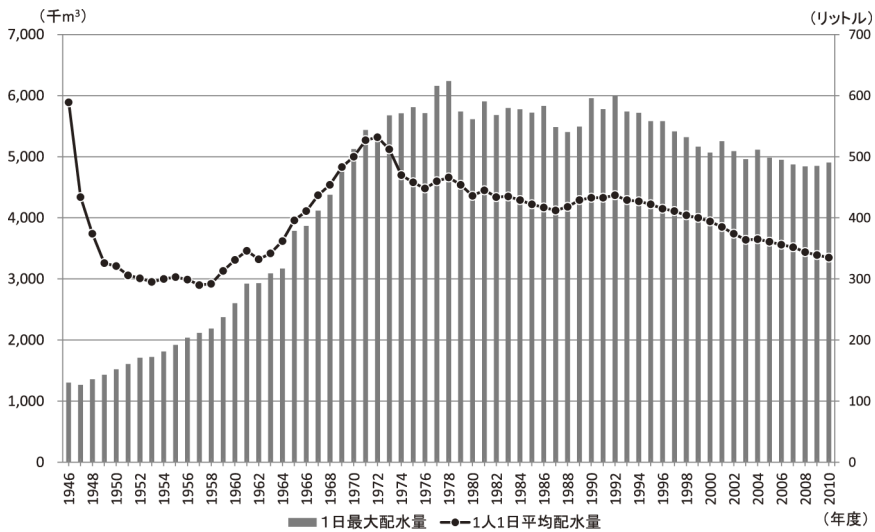


図 2 東京都管水道の年間総配水量と1人1日平均配水量の推移。
東京都水道局（1999）および「東京都水道局事業年報」より作成。

Fig. 2 Total annual water supply and average daily water supply per capita of metropolitan waterworks.
Sources: data and materials from Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government.

III. 地盤沈下と地下水揚水

1) 東京における地盤沈下問題と地下水揚水規制

東京における地盤沈下の経緯については、さまざまな報告がなされている（例えば、東京都水道局, 1986; 東京都環境局, 2011; 東京都土木技術支援・人材育成センター, 2011 など）。それらによると、東京で地盤沈下が観測されはじめたのは明治時代末期から大正時代初期であり、墨田区や江東区、江戸川区といった区部東部の低地部（江東地区）を中心に発生した。第二次世界大戦前の昭和初期においては、当地区における工業化の進展により、地下水揚水量が増大し、その影響で地盤沈下も進行し、年間沈下量が 10 cm を超えるところもあった。第二次世界大戦中は空襲等の影響で工業活動が停止し、それに伴って地盤沈下も一時的に沈静化した。しかしながら、1950～60年代の戦後から高度経済成長期にかけて、江東地区における工業活動が再び活発化すると、工場群による工業用水としての地下水揚水などによって、地盤沈下は再び深刻化し累積沈下量が 400 cm を超えるところまで現れ、荒川河口付近を中心に地

面が潮位より低い海拔ゼロメートル地帯を形成するに至った。多摩地区においても 1970 年代に入り、都市化と人口増加による地下水利用が急増したことで、地盤沈下が顕在化するようになった。

このような地下水の過剰揚水による地盤沈下問題に対して、法律や条例によって地下水揚水を規制し、代替水源としての工業用水道の建設が行われることになった。まず 1956 年に工業用水法が施行され、1960 年には江東、墨田、江戸川、荒川の 4 区が、1963 年には北、板橋、足立、葛飾の 4 区がそれぞれ地域指定された。そして 1962 年には建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法）が施行され、1972 年までに 23 区全域が地域指定された。これによって工業用以外の雑用水も規制されることとなった。さらに東京都は、1970 年公害防止条例、2001 年都民の健康と安全を確保する環境に関する条例（環境確保条例）を制定した。これらの法制度によって現在では、多摩地区を含めた都内のほぼ全域を対象に、地下水を揚水するほぼすべての用途に対して、ポンプ吐出口断面積が 21 cm² を超えるものについては設置が禁止され、6 cm² を超えるものについ

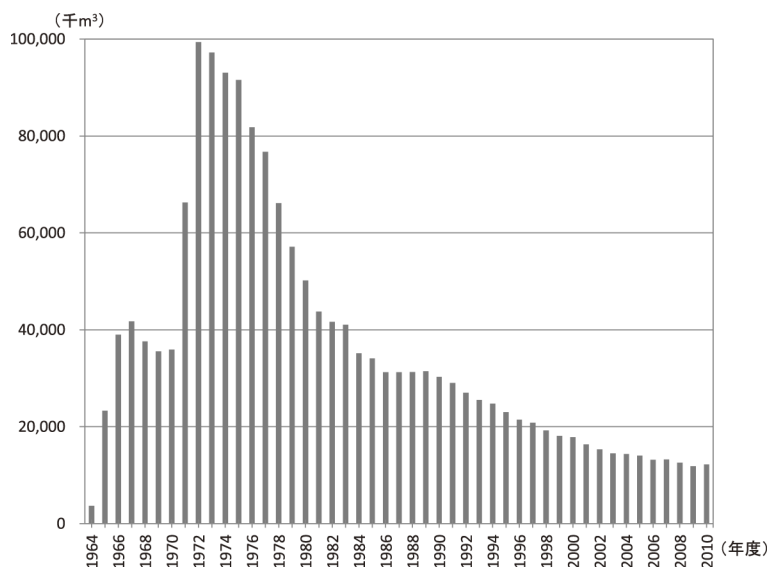


図3 工業用水道配水量の推移。
「東京都水道局事業年報」より作成。

Fig. 3 Total annual water supply of industrial waterworks in Tokyo.

Sources: data and materials from Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government.

ては深さ制限が掛けられている。また 6 cm^2 以下のものについても深さ制限はないものの、揚水機出力は 2.2 kW 以下、揚水量は 1 日 10 m^3 以下に制限されている。

工業用水道についてはまず、1964年に江東地区工業用水道事業として墨田・江東・荒川・江戸川の4区と足立区の一部に配水が開始された。これは、三河島下水処理場の処理水を水源とし、2か所の浄水場から配水するものであった。さらに1971年には城北地区工業用水道事業として北・葛飾・板橋・足立の4区に配水が開始された。これは利根川水系フルプランに係る利根川河口堰分 $3.38 \text{ m}^3/\text{s}$ の水利権を水源とした。しかしながら図3に示されるように、城北地区への供用開始直後の1972年が配水量のピークであり、その後は工場の移転・閉鎖や、冷却用を中心に用水の循環利用が進展し、配水量は急速に減少した。それに伴い、江東地区工業用水道は1980年に浄水場の1つを廃止した。城北地区工業用水道も1983年に、当初の利根川河口堰分 $3.38 \text{ m}^3/\text{s}$ の水利権を上水道へ転用し、前年に得ていた利根川水系草

木ダム分 $0.98 \text{ m}^3/\text{s}$ と新規に取得した多摩川自流 $0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ に水源が縮小された。そして、1997年には2つの工業用水道は、東京都工業用水道として事業統合された。また、1973年からは雑用水としての配水も開始し、現在では契約水量の4割以上が雑用水である。

とはいえ以上のような地下水揚水規制と工業用水道の建設によって、1970～80年代にかけて地下水位は回復し、東京の地盤沈下は沈静化したといえる。

2) 地下水揚水量の変遷

図4は、東京都でデータを保存している1971年以降の地下水揚水量の推移を示している。1971年には全体で $120 \text{ 万 m}^3/\text{日}$ 以上あった揚水量は、その後急激に減少し、1986年には $60 \text{ 万 m}^3/\text{日}$ を下回った。その後の減少率は大きくはないが、着実に揚水量は年とともに減少している。

区部の地下水のおもな用途は、東部の低地部では工業用水である。当地の工業用水利用は、前節で述べた揚水規制と工業用水道への切り替え、および工場自体の移転や閉鎖によって、1980年頃

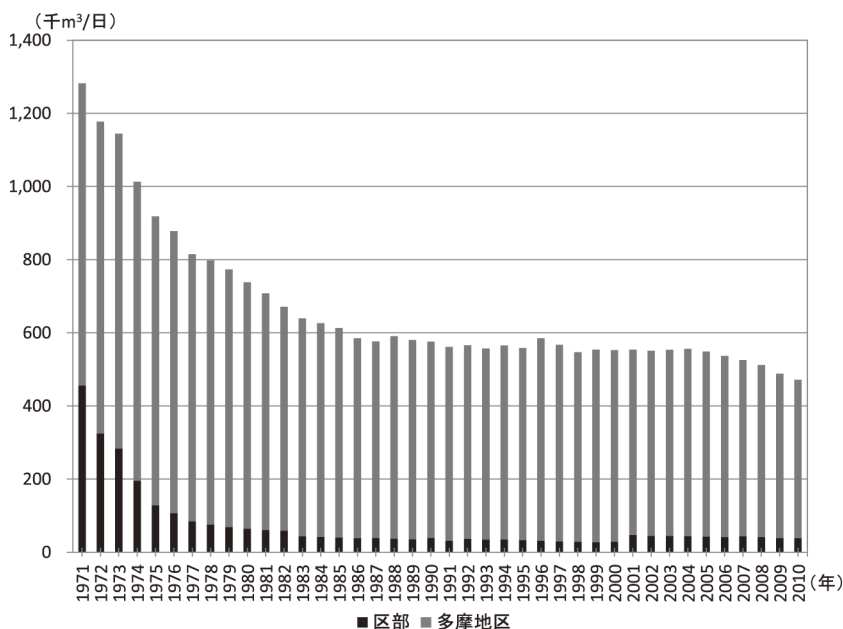


図 4 地下水揚水量の推移。
東京都環境局「都内の地下水揚水の実態」より作成。

Fig. 4 Quantity of groundwater withdrawn in Tokyo.
Sources: data and materials from Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government.

までに激減した。西部の丘陵部では雑用水や水道用水などの用途もみられるが、同様の揚水規制の影響で揚水量は減少した。これらによって区部の地下水揚水量は、1971年の46万 m³/日から2010年には4万 m³/日へと減少した。

一方、多摩地区の地下水のおもな用途は水道用水である。図5に用途別揚水量の変遷を示したが、1981年以降は一貫して水道用水が約70%の割合を占めている。多摩地区も前述の東京都の条例による揚水規制の対象となっており、工業用水利用は1970年代に半減し、他用途の揚水量も減少傾向である。しかしながら水道用水に関しては、1971～2010年の減少率は工業用水や雑用水と比較すると小さい(図5)。

IV. 多摩地区の水道水源としての地下水

これまで述べたように、東京の都市用水利用の変遷は、水源としての地下水の利用を抑制しつつ表流水の利用を拡大していく過程であったといえ

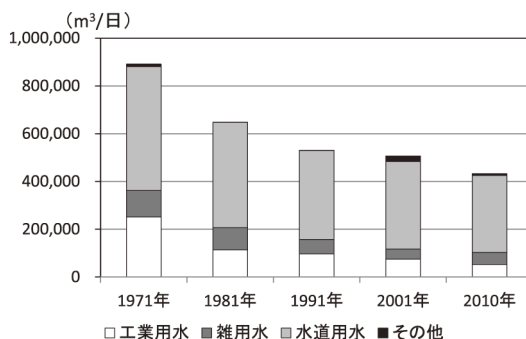


図 5 多摩地区における用途別地下水揚水量。
東京都環境局「都内の地下水揚水の実態」などより作成。

Fig. 5 Quantity of groundwater withdrawn in the Tama Region by purpose.
Sources: data and materials from Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government.

る。一方で、現在の東京の都市用水における地下水利用の大半を占めるのが、多摩地区の水道用水である。

表3は多摩地区の市町村別に上水道用地下水

表 3 多摩地区における市町村別上水道用地下水揚水量 (m³/日).

Table 3 Quantity of groundwater withdrawn by municipal waterworks in the Tama Region (m³/day).

	1971年	1981年	1991年	2001年	2010年
八王子市	12,068	7,430	5,680	6,870	2,714
立川市	41,839	38,333	23,922	23,968	12,406
府中市	45,731	45,717	28,475	28,797	24,677
町田市	13,716	9,718	6,291	4,487	5,112
小平市	21,941	11,576	7,509	9,007	6,136
日野市	20,194	21,163	14,286	13,269	7,221
類型 A 狛江市	9,414	4,506	1,078	2,761	2,706
東大和市	9,180	4,048	2,661	972	2,968
東久留米市	11,162	11,900	5,625	5,141	2,209
武蔵村山市	8,477	3,002	2,989	3,126	3,204
多摩市	8,010	5,589	4,602	3,722	922
稲城市	10,399	6,008	4,364	3,068	5,376
西東京市	26,308	16,156	13,948	15,152	10,796

三鷹市	41,047	37,267	34,438	33,968	29,811
調布市	27,205	41,093	44,198	43,430	38,378
小金井市	25,302	23,942	19,037	23,073	20,164
類型 B 国分寺市	25,344	22,316	22,572	19,749	21,207
国立市	12,247	19,172	13,344	13,533	12,964
福生市	11,360	8,367	9,078	13,345	12,256
あきる野市	5,392	8,553	6,216	3,559	5,247

武蔵野市	34,609	29,863	31,043	32,449	39,331
類型 C 昭島市	26,146	28,938	39,411	37,994	36,113
羽村市	11,650	16,042	20,193	20,389	19,953

東村山市	1,541	174	0	0	0
清瀬市	10,681	26	7	5	0
青梅市	0	0	0	0	0
類型 D 瑞穂町	1,883	1,463	247	201	0
日の出町	0	3,689	3,078	2,566	225
檜原村	0	0	0	0	0
奥多摩町	0	0	0	0	0

東京都環境局「都内の地下水揚水の実態」などより作成。

Sources: data and materials from Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government.

揚水量の変遷を示したものである。この表によると多摩地区の市町村は大きく次の4つの類型に区分することができる。まず、八王子市や立川市をはじめとする、2010年の地下水揚水量が1971年と比して60%未満に減少している自治体（類型A）である。類型Aでは、水道事業の都営一元化によって、それまでおもに地下水を水源とし

ていた水道事業に、おもに表流水を水源とする都営水道の用水供給が加わることとなり、それに伴って従来の地下水源が大幅に縮小されることになったと考えられる。一方、水道事業が都営水道に一元化された自治体でも、例えば三鷹市や調布市などのように、2010年の地下水揚水量が1971年と比して70%以上を維持しているところもあ

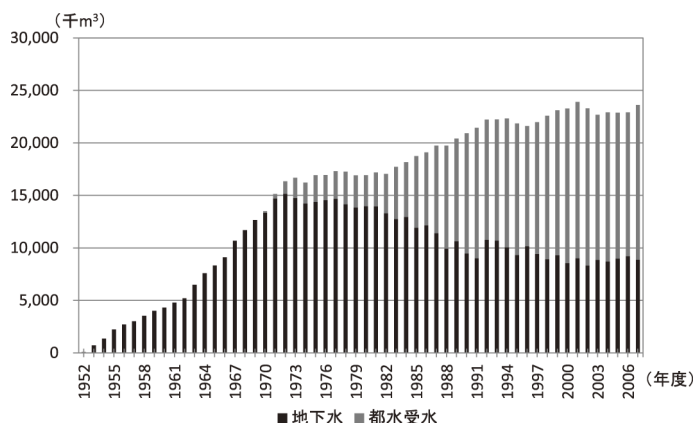


図 6 立川市における水道水源別配水量の推移。

立川市水道部水道史編さん委員会（1985）および立川市「受託水道事業統計年報」「統計年報」より作成。

Fig. 6 Public water supply in Tachikawa city by water source.
Sources: data and materials from Tachikawa city.

る（類型 B）。これらの自治体では、増大する水需要に対応するため都営水道を受水するようになったものの、従来の地下水源からの揚水もある程度維持されていると考えられる。さらに、武蔵野市、昭島市、羽村市といった都営一元化していない市（類型 C）では、地下水揚水量は横ばいまたは増加傾向にあり、依然として水道水源の大半を地下水に求めている。最後の類型 D は、地下水揚水量が当初から 0 か非常に少ない自治体である。

以下では、多摩地区の水道水源としての地下水利用の変遷と地下水保全の現状について、類型 D を除く 3 類型からそれぞれ事例自治体を取りあげて詳述する。具体的には、互いに近接し都市としての人口規模も近似している立川市（類型 A）、国分寺市（類型 B）、昭島市（類型 C）を事例とする。3 市は東京のほぼ中央に位置し、2011 年度末時点での人口はそれぞれおよそ 17 万、11 万、11 万である。ともに市域の大半が武蔵野台地上にあり、立川市と昭島市の南部は多摩川沿いの低地部である。

1) 都営水道に一元化した自治体の水道事業の変遷と地下水保全の現状

1-1) 立川市の事例

立川市の上水道は、1952 年に通水を開始した。水源は 3 か所の深井戸であった。創設間もない

1950～60 年代には、都市化の進展により給水人口が急増し、水道需要も増大した。立川市では 1954、56、60、64、67 年と立て続けに 5 期にわたる水道拡張事業を計画し実施してきた。その間の 1963 年には、砂川町が立川市と合併し水道事業も統合された。その結果、水源としての深井戸も 25 か所に増設され、配水量も飛躍的に増加した（図 6）。

その後も水道需要は増え続けたため、立川市は 1970 年、都営水道からの用水供給を受けるようになった。それ以来、都営水道からの受水量は年々増加している一方、地下水揚水量は 1980 年代後半までにピーク時の約 3 分の 2 に減少した（図 6）。

立川市の水道事業は 1982 年に都営一元化され、それ以降は東京都からの受託事業という形で継続してきたが、2008 年度末をもって受託事業も終了し、東京都営水道に完全に移管された。地下水源はその後も、東京都営水道の水源としてある程度使用されているが、揚水量は移管前の約半分になった（表 3）。

立川市における地下水に関する施策としては、雨水浸透施設設置助成がある。これは既設の一般住宅を対象に、20 万円を上限として雨水浸透枳やトレンチ管の設置費を助成するものである。2010

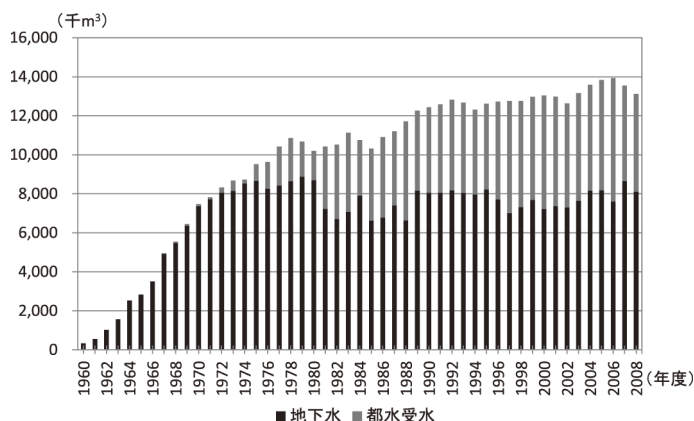


図7 国分寺市における水道水源別配水量の推移。
国分寺市「受託水道事業年報」より作成。

Fig. 7 Public water supply in Kokubunji city by water source.
Sources: data and materials from Kokubunji city.

年8月に開始され、2011年度末までで77件に対して助成している。他には雨水貯留施設整備などの事業もあるが、これらの施策の趣旨としては地下水の涵養や節水という観点も含まれるものの、下水管への容量以上の雨水流入によるいわゆる都市型水害を防止するための治水・排水施策としての意味合いが強い。これらの施策は、1999年に策定された環境基本計画や、2000年に策定された第3次長期総合計画のなかで謳われていたものである。同計画内では節水型都市づくりや地下水揚水量の抑制も施策として明記されていたが、水道事業移管後の2010年策定の第3次環境行動計画では、環境保全策としての地下水涵養には言及しているものの、水利用に関するこの2点にはとくに触れられていない。

1-2) 国分寺市の事例

国分寺市の上水道は1959年、市東部の東恋ヶ窪に深さ170mの深井戸を掘削し、翌1960年に通水を開始した。その後、1974年までに2期にわたる拡張事業を実施し、水源として15か所の深井戸と3つの浄水場を有することとなり、配水量も大きく増加した(図7)。その間、人口増加や生活水準の高度化により水道需要も増加を続けていたが、地下水位の低下や地盤沈下問題が顕在化してきた。そのため国分寺市は1967年に都

営水道からの分水を受けるようになり、さらに1975年には広域的な水源確保を求め、水道事業を都営水道へ一元化した。それ以来、東京都からの受託事業として水道事業を運営してきたが、2009年度末をもって終了し東京都へ移管された。図7によると、1970年代から90年代まで、都営水道からの受水量は増加を続けているが、近年は水需要も停滞したことから横ばい傾向である。地下水揚水量は1980年代には減少傾向であったが、1990年代以降は約800万m³前後で推移している。国分寺市は、従来の身近な水源としての深井戸取水55%確保を、東京都に対して要望しており、現在でもそれが維持されている。

国分寺市の地下水に関わる施策としては、雨水浸透枡設置事業、透水性舗装の推進、むかしの井戸づくり事業などがある。

雨水浸透枡設置事業と透水性舗装は、地下水の涵養および下水管への雨水流入の軽減を目的としたものである。前者は一般住宅における雨水浸透枡の設置に対してその費用の全額を助成するものである。1990年度から事業が開始され、2010年度末までに総計4,371基が設置された。後者は1986年度から、道路工事を行う際に歩道部分に施工されており、2011年度末までの累計施工面積は28,068m²である。

むかしの井戸づくり事業は、災害時の給水拠点ならびに地域住民の交流の場として、市内の公園等に手押しポンプで揚水する井戸を設置するものである。1990年に2か所で設置されたのを最初に、現在では19か所に設置されている。井戸の深さは10～50mの浅井戸である。地域の市民防災推進委員の住民と市とで管理されており、定期的な水質検査も行われている。そのうち11か所の井戸では、「井戸端会議」と称する地域住民の交流会が月に1度開催されており、地下水についての話題提供や地域の防災・防犯に関する情報交換が行われている。

国分寺市は、旧環境庁の名水百選にも選ばれている「お鷹の道・真姿の池湧水群」をはじめとする湧水（浅層地下水）の保全と災害時等における活用に積極的であり、毎月1回、おもな湧水地の湧水量および井戸の水位の観測も行われている。さらに、2012年7月には湧水および地下水の保全に関する条例も施行された。

2) 都営水道に一元化していない自治体の水道事業の変遷と地下水保全の現状—昭島市の事例—

昭島市は1954年に、当時の昭和町と拝島村が合併して誕生した。昭島市の上水道は、その合併による新市誕生と同年に創設された。現在の水道部の敷地内に深さ110mの最初の水源井戸を掘削し、旧昭和町地域の一部へ配水を開始した。水道創設以前は、各家庭に自己水源としての浅井戸が掘られており、当時の井戸数は市全体で848か所であったとされる（昭島市水道部への聞き取り調査による）。

その後程なくして訪れた高度経済成長期には、工場誘致や住宅開発などにより水需要が急増した。それに伴って水道事業も、1957、61、67、78年の4度にわたる拡張事業を実施し、その間に水源井戸も20か所に増設することで対応してきた。これらはいずれも、深さ110～250mの深井戸である。図8、図9は、創設間もない1956年から現在までの給水人口と普及率、および地下水取水量と1人1日平均配水量の推移を示したものである。給水人口は、総人口の増加に

伴い現在も増加傾向であるが、普及率は1965年に90.0%を超え、1969年には99.0%を超えてほぼ100%を達成した。取水量は1975年までに急速に増加し1,000万 m^3 を超えたが、その後はしばらく横ばいである。そして1981年から再び増加に転じ、1992年にピークの1,476万 m^3 に達した。その後は給水人口の増加に反して、取水量は減少に転じている。これは1人1日平均配水量が減少したことによるものである。昭島市水道の施設能力は、1995年からの第5期拡張事業を経て、1日最大58,300 m^3 となったが、水需要がこれを上回ったことは一度もなく、水源井戸も1974年に最後の20本目が掘削されて以来増設していない。

現在では東京で唯一である、この地下水100%の水道事業を維持するために、昭島市では、水道需要を増やさないための施策と地下水涵養量を減らさないための施策を行ってきた。まず1974年度からは、透水性舗装の整備事業を実施しており、毎年市内の歩道や車道、駐車場等を対象に改修工事を行っている。2011年度末までの総計で、総延長30,362m、面積85,355 m^2 において、透水性舗装が施されている。

2001年度からは、雨水貯留槽設置助成制度と雨水浸透施設設置費補助の各事業を行っている。前者は、洗車や水まきなどのいわゆる中水として雨水を利用するための貯留槽の設置に対して、35,000円を上限に費用の3分の2までを補助するものである。2011年度までに252台に対して助成している。後者は透水性舗装と同様、コンクリートやアスファルトといった本来は非透水性の土地被覆が卓越する都市部において、地表に降った雨をできるだけ地下へ浸透させるための浸透柵やトレンチ管の設置に対して、10万円を上限に全額補助するものである。2011年度までに302基の浸透柵と総延長84.4mのトレンチ管に対して助成している。

そのほかには、奥多摩昭島市民の森事業として、地下水の涵養源としての多摩川の源流域に用地を借り上げ、毎年2回、それぞれ約40人の市民が参加して、下草刈り等の森林管理体験を実施

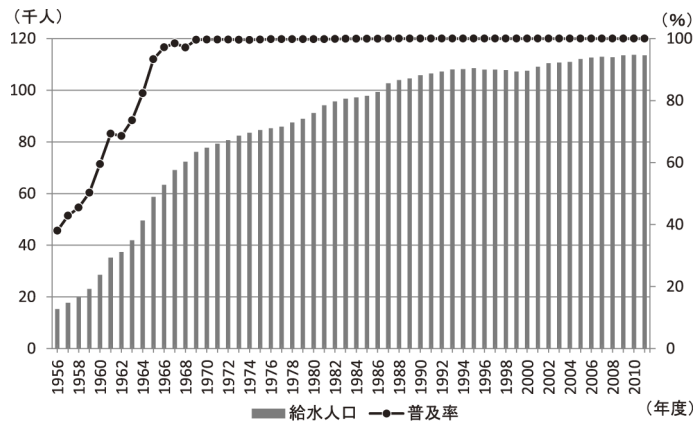


図 8 昭島市水道における給水人口と普及率の推移。
昭島市水道部の資料より作成。

Fig. 8 Population supplied public water and coverage of waterworks in Akishima city.
Sources: data and materials from waterworks section of Akishima city.

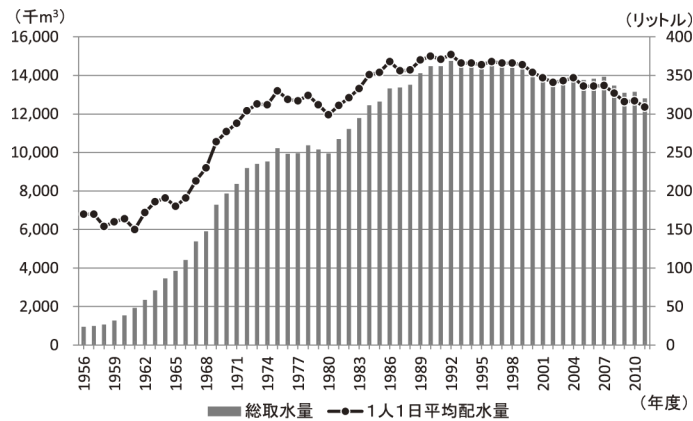


図 9 昭島市水道における総取水量と1人1日平均配水量の推移。
昭島市水道部の資料より作成。

Fig. 9 Total annual groundwater withdrawn and average daily water supply per capita of waterworks in Akishima city.
Sources: data and materials from waterworks section of Akishima city.

している。これは、水道水源の保全意識の啓発を目的として行われているものである。また、節水意識を啓発するための広報活動としては、水道部の施設見学や出前講座、水道だよりの発行なども毎年数回、随時行っている。

一方、昭島市では地下水位のモニタリングも、1954年の水道創設以来、毎月すべての水源井戸で行われている。その結果によると、1970年代

前半まで地下水位は急速に低下しているが、1980年代には若干回復し、それ以降はほぼ横ばいで推移している（昭島市水道部、2005）。

渇水時や災害時における緊急水源としては、市内3か所の配水場に加えて、7か所の飲料貯水槽を備えている。しかし、1954年の水道創設以来、渇水による給水制限等の対策は1度も講じたことがない。また、市内には各家庭の自己水源とし

ての浅井戸が、現在も約 150 か所で利用されているといい（昭島市水道部への聞き取り調査による）、水質的に飲料用には適さないとしても、トイレや風呂には十分活用できるため、これらを保全していくことも、災害時の緊急水源確保にとっては重要なことである。

V. おわりに

東京をはじめとする大都市とその周辺地域は、20 世紀の 100 年で急速な変貌を遂げ、森林・草地や農地といった透水性の土地被覆が、いわゆる都市的土地利用としてのコンクリートやアスファルトといった非透水性の土地被覆へと変化した。それによって、地上に降った雨は地下に浸透しにくくなり、河川や水路を通じて地表を流れ下るようになった（Yamashita, 2009, 2011）。

東京の都市用水利用の変遷を全体的にみれば、上水道の水源は当初からおもに表流水であり、需要の増大に対しては、水源をより遠くの表流水に求めることで対応し、その一方で地下水利用は抑制されてきた。工業用水源は、工業用水道の建設によって従来の地下水から表流水への切り替えがなされた。このことと上記の土地被覆変化とをあわせて考えるなら、東京の都市用水利用に関わる水需給空間は、従来の地下空間も含めた 3 次元的なものから、地下空間を介さない 2 次元のかつ広域なものへと変化してきたと捉えることができる。

それを模式的に示したのが図 10 である。上水道の水源としての表流水に関しては、矢印の始点と終点が水の供給地と需要地を表しており、線の太さが時代間、地域間比較からみた相対的な水量の多寡を 3 段階で示している。地下水揚水と地下水涵養に関しては、区東部、区西部、多摩地区に分け、表流水同様、それぞれ時代間、地域間比較からみた相対的な水量の多寡を 3 段階の線の太さで示している。その際、地下水涵養量については、本稿では具体的な数値を示していないが、山下ほか（2009）や Yamashita（2011）で用いた土地利用データに基づいて、その相対的な多寡を推測した上で、地盤沈下の実情もふまえて、同時

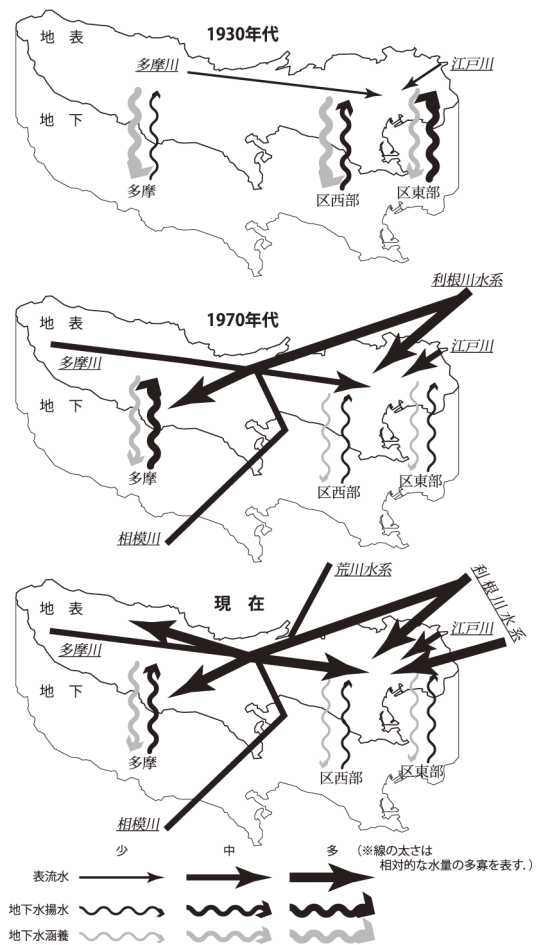


図 10 東京における都市用水需給空間の変遷に関する模式図。

Fig. 10 Spatial transition of urban water supply-demand system in Tokyo.

代、同地域の地下水揚水量の多寡とも比較して表現した。

1930 年代頃の上水道は、近郊の多摩川と江戸川をおもな水源とし、区部のみに配水されていた。また区部においては、工業用水源として地下水が大量に揚水されていた。多摩地区の都市用水も地下水によっていたが、揚水量は多くなかった。1970 年代頃になると、上水道の水源は水需要の増大に伴って広域化し、相模川や利根川水系にも求めるようになり、多摩地区へも配水する

ようになった。区部における工業用の地下水揚水はほとんどなくなり、代わって多摩地区の都市化に伴う水需要の増加によって地下水揚水量が増加した。現在になると、上水道の水源地はさらに広域化し、渡良瀬川や霞ヶ浦など利根川水系の各地や荒川水系にまで拡大した。それに伴って多摩地区への配水量も増加した。一方、それによって多摩地区での地下水揚水量は減少したものの、一部は水道水源として維持されている。地下水涵養量については、20世紀はじめから現在までに、土地被覆が透水性から非透水性のものへ変化していく過程のなかで減少していったと考えられる。1970年代までに、区部では急速に都市化が進展し、多摩地区でも宅地化が進んだ。現在までに多摩地区ではさらなる都市化が進んだが、近年は雨水を浸透させる施策によって涵養量を維持する取り組みも行われている。

20世紀の100年で東京の水道事業が推進した広域化と表流水源の増強および施設拡張は、水需要増大期においては用水の安定供給と地盤沈下問題の鎮静化に大きな貢献を果たした。しかし、水需要停滞・減少期といえる現代においては、これまでの広域化、拡大化とは異なる方策が求められる。そのようななか、多摩地区では水道水源としての地下水利用が現在でもある程度維持されており、そのためのさまざまな取り組みがなされている。

立川市水道における地下水利用は、1990年まで減少しその後は横ばいであった。しかし、水道事業の東京都への移管後に半減した。水道水源としての地下水の持続的利用に関する取り組みも、移管後にトーンダウンした感が否めない。一方で、雨水浸透施設設置助成などの、治水・排水対策および環境保全策としての地下水保全事業が2010年度から新たにはじまっている。

国分寺市は、水道事業の都営一元化後も地下水揚水量を維持している。雨水浸透施設や透水性舗装の整備に取り組むほか、緊急水源としての浅井戸の活用にも積極的である。著名な湧水の存在が、行政、住民双方の湧水や地下水に対する意識向上に貢献している。

昭島市は東京で唯一、地下水100%の水道事業を維持しており、2008年に制定した水道事業基本計画においても、「昭島の地下水（たから）とともに未来へあゆむ水道」と謳っている。雨水貯留槽設置や節水意識啓発など水道需要を増やさない取り組みと、雨水浸透施設設置や透水性舗装など地下水涵養量を維持する取り組みの両方を積極的に実施してきた。また、緊急水源の確保も行っているが、渇水による給水制限等の対策は1度も講じたことがなく、このことは、規模は大きくないとはいえ水道水源としての地下水の供給安定度を如実に示している。

3市の事例からは、水道水源として地下水がよく利用されている自治体ほど、その保全にも積極的ということがいえる。これは当然のことであるが、逆にいえば、水道水源や緊急水源としての利用価値を行政も住民もよく認識し、それを維持していくことが、地下水保全にとって重要である。

実際には、雨水貯留槽の設置および雨水浸透施設や透水性舗装の整備等の施策は、都市化によって非透水性土地被覆が拡大するなかで、治水・排水施策や環境保全策として行われてきた側面が強い。しかしながら、水需要増大期が終わり、持続可能な水利用を目指した水資源の再編期に入った現代において、このような取り組みは、身近な水資源としての地下水を持続的に利用する趣旨からも再評価されるべきである。保全を担う地域社会にとっても、生活水源や水環境問題に対する住民意識の向上や水文化の醸成につながる。

したがって、水道事業の経営や管理は東京都に集中・一元化しても、水源施設に関しては、大規模な遠くのダム等に全面的に依存するのではなく、小規模分散型でそれぞれの地域の身近な地下水源も、その供給能力を確保し用水使用量を増やさない工夫をすることで、水需給のバランスを維持しながら利用していくことが望まれよう。

地下水揚水は確かに地盤沈下を引き起こす恐れがあるものの、かといって遠くの源流域や河口部における水資源開発が安易に容認されるものでもない。したがって、水道水源が表流水であろうが地下水であろうが、持続可能な水利用のために

は、需要を増やさない工夫と身近な水源を再評価し維持する取り組みの両方が必要である。災害時の緊急水源の確保や、渇水時のリスク分散という観点からも、遠くの表流水を水源とする大規模な広域水道システムと、近くの地下水源を活用した小規模な分散水道システムが併存して相互補完することによって、持続可能な水利用システムが実現するといえる。

謝 辞

本研究を進めるに際し、東京都水道局、東京都環境局、立川市、国分寺市、昭島市の担当部署の方々には、資料収集の面で大変お世話になりました。なお本研究は、平成24～26年度科学研究費補助金若手研究(B)「水資源再編期における流域圏水需給システムの適正化(代表者：山下亜紀郎，課題番号：24720371)」の一部である。

注

- 1) 東京都水道局ホームページ：<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/> [Cited 2012/5/25] を参照。

文 献

- 昭島市水道部 (2005): 昭島の地下水. 昭島市水道部. [Waterworks Department, Akishima City (2005): *Groundwater in Akishima*. Waterworks Department, Akishima City. (in Japanese)*]
- 秋山道雄 (1980): 高梁川水系における水利問題と水利秩序の変革. 地理学評論, **53**, 679-698. [Akiyama, M. (1980): The recent changes of water uses in the lower reaches of the Takahashi River, western Japan. *Geographical Review of Japan*, **53**, 679-698. (in Japanese with English abstract)]
- 秋山道雄 (1988): 水利研究の課題と展望. 人文地理, **40**, 424-448. [Akiyama, M. (1988): Prospects of studies on water use. *Japanese Journal of Human Geography*, **40**, 424-448. (in Japanese)*]
- 原 秀禎 (1984): 日本における農業水利研究—その地理学的アプローチ—. 立命館文学, **463-465**, 69-127. [Hara, H. (1984): Studies on agricultural water use in Japan: Geographical approaches. *Ritsumeikan Bungaku*, **463-465**, 69-127. (in Japanese)*]
- Hayashi, T., Tokunaga, T., Aichi, M., Shimada, J. and Taniguchi, M. (2009): Effects of human activities and urbanization on groundwater environments: An example from the aquifer system of Tokyo and the surrounding area. *Science of the Total Environment*, **407**, 3165-3172.
- 廣木謙三 (2010): 地下水と統合水資源管理. 日本水文科学会誌, **40**, 85-93. [Hiroki, K. (2010): Integrated water resources management for better groundwater management. *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*, **40**, 85-93. (in Japanese with English abstract)]
- 伊藤達也 (2011): ダム計画の中止・推進をめぐる地域事情. 経済地理学年報, **57**, 21-38. [Ito, T. (2011): Regional circumstances over discontinuance of the dam projects. *Annals of the Japan Association of Economic Geographers*, **57**, 21-38. (in Japanese with English abstract)]
- 益田晴恵編 (2011): 都市の水資源と地下水の未来. 京都大学学術出版会. [Masuda, H. ed. (2011): *Urban Water Resources and Future of Groundwater (Toshi No Mizu Shigen To Chikasui No Mirai)*. Kyoto University Press. (in Japanese)*]
- 森瀧健一郎 (1982): 現代日本の水資源問題. 汐文社. [Moritaki, K. (1982): *Water Resource Problems of Contemporary Japan (Gendai Nihon No Mizu Shigen Mondai)*. Chobunsha. (in Japanese)*]
- 森瀧健一郎 (2003): 河川水利秩序と水資源開発. 大明堂. [Moritaki, K. (2003): *River Water Use Orders and Water Resources Development (Kasen Suiri Chitsujo To Mizu Shigen Kaihatsu)*. Taimeido. (in Japanese)*]
- 野田浩二 (2012): 環境経済学からみた地理学. 伊藤修一・有馬貴之・駒木伸比古・林 琢也・鈴木晃志郎編: 役に立つ地理学. 古今書院, 136-147. [Noda, K. (2012): Geography in the eyes of environmental economy. in *Toward a Practical Geography (Yaku Ni Tatsu Chirigaku)* edited by Ito, S., Arima, T., Komaki, N., Hayashi, T. and Suzuki, K., Kokon Shoin, 136-147. (in Japanese)*]
- 清水 満 (2007): 地下水位上昇が鉄道構造物へ及ぼす影響とその対策. 水環境学会誌, **30**, 493-496. [Shimizu, M. (2007): Influence and coping for the rise of the underground water level on the railway structure. *Journal of Japan Society on Water Environment*, **30**, 493-496. (in Japanese with English abstract)]
- 白井義彦 (1987): 水利開発と地域対応. 大明堂. [Shirai, Y. (1987): *Water Development and Local Responses (Suiri Kaihatsu To Chiiki Taio)*. Taimeido. (in Japanese)*]
- 立川市水道部水道史編さん委員会編 (1985): 立川市水道史. 立川市. [Editorial Committee of History of Waterworks in Tachikawa City ed. (1985): *History of Waterworks in Tachikawa City (Tachikawashi Suidoshi)*. Tachikawa City. (in Japanese)*]
- 谷口真人 (2010): 循環系としての地下水流動システムと境界を越えたつながり. 日本水文科学会誌, **40**, 145-147. [Taniguchi, M. (2010): Groundwater flow system within the hydrological cycle and their connection beyond the boundary. *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*, **40**, 145-147. (in Japanese with English abstract)]
- 富樫幸一 (2011): 工業・都市の変容からみた都市用水と水資源開発—木曾川水系を事例として—. 経済地

- 理学年報, **57**, 39-55. [Togashi, K. (2011): Water resource development in the changing industrial location and urban structures: A case study of Kiso River Basin. *Annals of the Japan Association of Economic Geographers*, **57**, 39-55. (in Japanese with English abstract)]
- 徳永朋祥 (2007): 首都圏の地下水水理ポテンシャルの変遷と地下水管理の可能性. 水環境学会誌, **30**, 489-492. [Tokunaga, T. (2007): Temporal change of groundwater potential at Tokyo Metropolitan Area and possible approach to strategic management of groundwater resource. *Journal of Japan Society on Water Environment*, **30**, 489-492. (in Japanese with English abstract)]
- 東京都土木技術支援・人材育成センター編 (2011): 平成22年地盤沈下調査報告書. 東京都土木技術支援・人材育成センター. [Civil Engineering Center, Tokyo Metropolitan Government ed. (2011): *Annual Report of Land Subsidence (Heisei 22 Nendo Jiban Chinka Chosa Hokokusho)*. Civil Engineering Center, Tokyo Metropolitan Government. (in Japanese)*]
- 東京都環境局 (2011): 東京都の地盤沈下と地下水の再検証について. 東京都環境局. [Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government (2011): *Land Subsidence in Tokyo and Review of Groundwater (Tokyo No Jiban Chinka To Chikasui No Saikensho Ni Tsuite)*. Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government. (in Japanese)*]
- 東京都水道局 (1986): 東京都工業用水道事業誌. 東京都水道局. [Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government (1986): *Industrial Waterworks in Tokyo (Tokyo Kogyo Yosuido Jigyoshi)*. Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government. (in Japanese)*]
- 東京都水道局 (1999): 東京近代水道百年史. 東京都水道局. [Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government (1999): *History of Waterworks in Tokyo (Tokyo Kindai Suido Hyakunenshi)*. Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government. (in Japanese)*]
- Waterworks, Tokyo Metropolitan Government. (in Japanese)*]
- 矢嶋 巖 (2011): 衛星都市の水道事業における水源確保—兵庫県宝塚市を事例に—. 経済地理学年報, **57**, 56-74. [Yajima, I. (2011): Securing water sources for a satellite city: The case of Takarazuka City, Hyogo Prefecture. *Annals of the Japan Association of Economic Geographers*, **57**, 56-74. (in Japanese with English abstract)]
- 山下亜紀郎 (2009): 都市用水の水利体系と流域の地域的条件—那珂川流域と鬼怒・小貝川流域を事例として—. 地学雑誌, **118**, 611-630. [Yamashita, A. (2009): Urban residential water supply demand systems and their regional factors on watershed scale: A comparative study of Naka and Kinu-Kokai River Basins. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **118**, 611-630. (in Japanese with English abstract)]
- Yamashita, A. (2009): Urbanization and the change of water use in Osaka City -Spatio-temporal analysis with data maps. *Proceedings of the International Conference on Hydrological Changes and Management from Headwaters to the Ocean*, 571-575.
- Yamashita, A. (2011): Comparative analysis on land use distributions and their changes in Asian mega cities. in *Groundwater and Subsurface Environments: Human Impacts in Asian Coastal Cities* edited by Taniguchi, M., Springer, 61-81.
- 山下亜紀郎・阿部やゆみ・高奥 淳 (2009): 東京・大阪大都市圏における旧版地形図からの土地利用メッシュマップ作成と土地利用変化の分析. 地理情報システム学会講演論文集, **18**, 529-534. [Yamashita, A., Abe, Y. and Takaoku, K. (2009): The creation of land use mesh data based on old topographic maps and analysis of land use changes in Tokyo and Osaka Metropolitan Areas. *Papers and Proceedings of the Geographic Information Systems Association*, **18**, 529-534. (in Japanese with English abstract)]

* Title etc. translated by A.Y.