東京の水環境

高 村 弘 毅* 丸 井 敦 尚**

Water Environment of the Tokyo City

Hiroki TAKAMURA* and Atsunao MARUI**

[Received 20 February, 2012; Accepted 29 December, 2013]

Abstract

It is important to understand the history of water development and the water environment to solve problems related to water and plan its effective future use. First, surface water and groundwater from shallow areas where groundwater flow was controlled by geomorphology provided sources of water in Tokyo. Following the Edo period, the development of water resources accelerated, and groundwater controlled by geology was used by industries. The expansion of water use in Tokyo led to major problems such as land subsidence in the 1970s. Many studies have been undertaken on water use, which extend to the fields of pollution, land subsidence, and flow systems, etc. Development and management of the total groundwater environment in the near future requires an understanding of issues including water level, water quality, and water temperature.

Key words : water environment, water use, groundwater, spring, Tokyo

キーワード : 水環境, 水利用, 地下水, 湧水, 東京

I. はじめに

かつての江戸は千住宿・板橋宿・新宿・品川宿に囲まれた内側の街を指しており、はるか武蔵野台地には数多くの湧水があった。この水が小河川となり街のなかを縦横無尽に流れる水の都でもあった（正井, 1987）。江戸時代の人口爆発に伴い、海岸部では埋め立てがはじめられ、山の手も開発された（服部, 1980）、洪水管理を中心とする水の管理も次第に行われるようになってきて、水管理のランドマークたる神社が江戸の街には点在し、今でもその歴史を物語っている（丸井・グラパール, 2004）。水は飲用・生活用・農業用・

水運などさまざまな角度から珍重されてきた。それゆえに、まつりごとの対象でもあった。水の流動や環境、脆弱性など昔の人々は経験的に知り、街を形成していったと考えられる。水の利用は、この時代より、表流水だけから表流水と地下水の混合利用へと変化している。それは江戸東京博物館の常設展示からもわかるように、江戸の長屋に共同の掘り抜き井戸があったことでも推察できる。

人口が増えると高層建築物が増えるように、地下水（水）の利用もその深度を増していった。水の需要に後押しされた技術開発、新たな問題の発生、これを解消する法規制とまさに“イタチ

* 前立正大学長

* Ex-President at Rissho University, Kumagaya, 360-0194, Japan

** 産業技術総合研究所

** Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba, 305-8567, Japan

図 1 東京区部の湧水（黒丸）：武蔵野台地（影を付けた部分）を新河岸川と多摩川が下刻し、台地の南北の段丘崖に湧水帯を形成している。

Fig. 1 Groundwater springs in the central Tokyo Metropolitan Area (indicated by dots); Spring zones formed along the Musashino upland (shaded area), which was eroded by the Shingashi and Tama rivers.

ごっこ”の歴史を繰り返している。あるときは水と戦い、またあるときは水に頼り、さらには水に癒される。このような水利用を振り返ることで、今後の姿を模索したいと考え、これまでの研究を振り返った。

II. 東京の水環境と地下水問題

およそ 14 万年前、下末吉海進の時代には、古東京湾が大きく広がり、堆積層が形成された。その後、海水準の低下に伴い、河川が下刻する一方、台地には武蔵野ローム層や立川ローム層が堆積した。再び海水準が上昇しはじめる約 2 万年前には古東京川が形成され、大きな排水路が形成されるもとなった（貝塚, 1970）。すなわち、東京は河川が下刻する一方で、新たな堆積層も積もり、まるでミニ・グランドキャニオンかのようにコントラストのある地形を呈していた。また、関東ローム層は水もちがよいため、台地周辺部の

あちらこちらに湧水を形成していたと考えられる。武蔵野台地を新河岸川と多摩川が下刻し、台地の南北に湧水帯を形成している（図 1）。これらの湧水は武蔵野台地上の関東ローム層によって維持され则认为られる。現在でも多摩川沿いには立川段丘などをはじめ数多くの湧水があるが、多摩川の北側にある湧水帯は、武蔵野段丘-国分寺崖線-等々力溪谷（世田谷）-田園調布へと続く。これは武蔵野台地の地形・地質に起因する湧水帯であり、北側の台地面に存在する浅層の地下水が南へ流下して湧出してしまいうために起こるものといえる（東京都環境局, 2008; 高村, 2009）。さらに、台地の北側には狭山湖・多摩湖に端を発し新河岸川に沿ったルートでも湧水帯がみられ、武蔵野台地の地下水がこれらを維持していることがわかる。また、高村（2009）では、これらの湧水の水質を示しており、多摩川沿いの湧水に関していえば、上流の立川段丘・青柳丘陵の湧水（例えば

図 2 東京都観測井の水頭変化 (川島, 2001 に加筆).

Fig. 2 Changes to the hydraulic heads of wells belonging to the Tokyo Metropolitan Government (after Kawashima 2001).

西府町湧水や常盤の清水)に比べて、下流側に位置する世田谷周辺(例えば六郷用水)などのほうが水質からみて滞留時間の長いことがわかる。個々の成分比較は原著に譲るが、電気伝導度(EC)は、 $245 \mu\text{S}/\text{cm}$ から $314 \mu\text{S}/\text{cm}$ に、水温に関しては、 17.6°C から 27.0°C にまで上昇している。下流に存在する湧水のほうが地質や地域の活動を反映していることがわかる結果となった。また、荒川周辺には自噴帯があったことも知られている。先にも述べたが、かつてこれらの表流水は東京の街中を縦横無尽に流れていたと考えられるが、江戸時代の埋め立て同様、次第に暗渠化が進み、現在では保護されているところ以外で表流水をみることはできなくなった。しかし、この時代の水利用を考えると地形に沿った流れを有する浅層地下水が主流であったことはいままでのない。記録としてみることはできないが、もしこの時代に汚染などの水問題があったとしたら、それはごく狭い範囲の流域単位で起こるものだったと想像する。

これに対し、第二次大戦後の東京は高度成長期に形成しはじめた。下町といわれる都区部の東側には大小の工場が立ち並び、旺盛な生産活動がは

じまった。もともとこの地域が発達したのは地盤高が低く、河川ならびに河川水の利用が容易であったことに起因するが、地下水位も地表に近接しており、地下水の利用も容易でかつ盛んであった。しかし、より大量にとの願いから深部の地下水が使われるようになり、川島(2001)が示すように1956年の東京都工業用水法施行、1963年の東京都ビル用水法施行まで東京都内の地下水は浅層・深層にかかわらず一方的にその水位を低下していった(図2)。これに伴って地盤も沈下をはじめ(今井, 2002)、地下水位の低下が治まるまで、記録的な地盤沈下が継続した(図3)。東京都心部の地下水障害(地盤沈下や塩水化)は、1980年代になると沈静化してきている一方、楡井・吉野(1988)によれば、1960年代に問題視されはじめた東京の地盤沈下は、10年後には埼玉・千葉に拡大し、20年後の1980年代半ばには関東平野一円でみられるようになった。関東平野における地下水位低下の時系列変化を図4に示すが、これが地盤沈下域とよく一致している。これは、まさに関東平野における第四紀層の堆積域と符合しており、地下水の流動が地質に呼応していることが証明されることともなった。東京の地下

図 3 東京都における累積地盤沈下量の経年変化 (今井, 2002 に加筆).

Fig. 3 Accumulated land subsidence in the Tokyo Metropolitan Area (after Imai, 2002).

図 4 水頭低下域の拡大 (帯水層の連続性確認) (楡井・吉野, 1988 に加筆).

Fig. 4 Changes to areas affected by decreasing groundwater levels (after Nirei and Yoshino, 1988).

水利用は、時代とともに、地形に規制されるものから地質に規制されるものへと拡大変化していったことがうかがえる。

また、地下水の汚染も大きな問題となっていた。地質を原因とするヒ素汚染や大工場に由来する重金属汚染、クリーニング等に端を発するトリクロロエチレンの汚染などが記憶にあらう。現在の東京ではこれらのほとんどが解消されているが、中国では大きな問題となっている。中国では「全国地下水汚染防止計画」があり、人口の70%、660都市のうち400都市以上が地下水を飲用としているが、その90%以上で地下水が汚染されていることが発表されている。大量の地下水利用により、地下水面がコーン状に低下し、そこに汚染物質が集中するとも報じられている (Marui *et al.*, 2008; 青山, 2011)。大規模帯水層を有する大陸ならではの問題にもみえるが、かつての東京の地盤沈下を思い出させる。

III. 現在の地下水環境と新たな水問題

地盤沈下や地下水位の低下が関東平野全体に広まった当時、南関東地域地盤沈下調査会 (1974) は気候学的な見地から関東平野浅層部 (下総層群内) の地下水流動時間を計算している。これによれば関東平野の地下水滞留時間は50～80年程度であり、地盤沈下を起こした関東平野の地下水が早急に回復することは、絶望的と考えられた。しかし、21世紀を迎えたところから状況は一変し、新たな問題が起った。上野駅や東京駅の周辺で地下水位が戻りはじめ、駅そのものが浮き上がると新聞やテレビで報じられたことは記憶に新しい (戻った地下水活用へ: 朝日新聞 2011/08/20 など)。高村 (1996a, b) も雨水の浸透が効果的に地下水位を上昇させることや、地下空間を占有した都心のビルや地下構造物が地下水位の上昇を加速していることを論じている。これまでの水質調査によれば、関東平野の帯水層の連続性から考え、東京の地下水は縁辺部から流動してきた地下水によって維持されたと考えられたこと (状況は異なるが、林 (2003) などが好例)、また都区部のアスファルト等難透水性物質の被覆率が高いこ

図5 東京都三鷹市における地下水温観測の事例 (宮越・林, 2008)。

Fig. 5 Thermal profile of groundwater in Mitaka City (after Miyakoshi and Hayashi, 2008).

と、などから多くの既往研究は降水による地下水位の回復が望めないと考えてきたことが原因で、地下水位の回復が速く起こった現状を予測できず、多くの問題が起きたといえよう。いずれにせよ、地下水位が低下している時期に設計・建設されたものが都心には多く、地下水環境の正常化が悪影響を与える皮肉な事態に陥っている。

新井 (1980) は、都市における今後の地下水問題は、塩化物イオン濃度の増加と地下水温の高温化にあると指摘している。宮越ほか (2006) によれば、東京の浅層地下水にはすでに地球温暖化の影響が表れている。図5は三鷹観測地点の温度プロファイルであるが、1991年からの14年間で、深度60mでは0.8°Cの温度上昇がみられた。これはこの地区にもたらされた降水 (浸透水) の影響であると考えられ、地球温暖化やヒートアイランド現象が反映されたといえる。また、その影響は深度120m程度まで広がっていることも観測されている。さらに、図6は下総層群内の

図 6 深度別地下温度平面分布 (宮越・林, 2008)。

Fig. 6 Horizontal groundwater temperature at each depth (after Miyakoshi and Hayashi, 2008).

温度分布から同一層であっても卓越する流動が異なることを示したものである。上は 50 m 深の温度分布であり、都心部中心に高温域が形成されていることがわかる。これは、浸透流が卓越するために地表部から熱供給がなされ、高温域が都市域と一致していると考えられる。三鷹での観測が示す温度上昇現象が反映された好例ともいえるし、先に高村 (1996b) が示した降水による地下水位上昇の好例とも考える。一方、100 m 深では古東京川沿いに高温域が存在し、深部の地下水流動を反映した形になっている。すなわち、同じ下総層群でも、流動の形態が異なることを示してお

り、例えば今利用が叫ばれている再生可能エネルギーである地中熱を利用する際に、地域によっては 50 m 深の熱交換井を数多く掘削することのほうが 100 m 深の熱交換井掘削よりも効率を上げることにつながるということも示唆された。

今後の地下水利用を考えれば、東京の地下水は、水質・水位 (ボリューム)・温度の 3 点から管理されるべきであると考ええる。

IV. 水に親しむ (おわりに代えて)

湧水は、地下水が地表水に生まれ変わる場所であり、両者をつなぐ一つのバロメータといえる。地下水流動解析をすれば、湧水に供される水は、周囲の浅層水 (ほとんど降水) と深層からの上昇流となる地下水のあわされたものであり、どちらか一方が変化してもその影響が即座に現れる。小河川が暗渠化されてしまった今、目視できる湧水に親しんで環境の変化に気を配ることも必要ではなかろうか。

東日本大震災の後、東京都内でも放射能汚染が問題視され、とくに二次濃縮が問題となっている。湧水として保護されている地域には (〇〇親水公園など)、そこだけ土壌がみえていて二次濃縮が起こりやすくなっている場所が多い。また、大河川の合流部や河口部など水が停滞しやすいところで、いわば 3 次濃縮が起こっている。ならば、水文学の知識を応用して、表流水や地下水が停滞しやすいところを中心に除染するなど、地域の安全管理を考えることも提案できる。

地盤沈下の事例にも示したように、環境変化を的確に反映するのは水環境であり、その速度は想像以上に速いものである。地下水はみえないから難しいなどよくいわれるが、湧水など地下水の出口はあちこちにあり、これに目を配ることが水管理の第一歩かもしれない。

文 献

青山 周 (2011): 地下水汚染に苦しむ中国. 日経 BP (電子版: 2012/08/23 最終確認). [Aoyama, S. (2011): Suffer from groundwater pollution in China, Nikkei Business Press (web ver.). (in Japanese)*] <http://eco.nikkeibp.co.jp/article/column/20110207/105826/> [Cited 2011/02/08]

- 新井 正 (1980): 日本の水. 三省堂, 278p. [Arai, T. (1980): *Water in Japan (Nihon No Mizu)*. Sanseido, 278p. (in Japanese)*]
- 服部銑二郎 (1980): 都市を読む, 地域を診る. 同友館, 262p. [Hattori, K. (1980): *Read the City, See the Region (Toshi Wo Yomu, Chiiki Wo Miru)*. Doyukan, 262p. (in Japanese)*]
- 林 武司 (2003): 関東平野中央部に見られる低酸素水素同位体比・高 Cl 濃度地下水帯の三次元的分布と成因. 日本水文科学会誌, **33**, 53-70. [Hayashi, T. (2003): Three dimensional distribution and origin of groundwater with low isotopic ratio of oxygen and hydrogen and high Cl concentration in the central part of the Kanto Plains. *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*, **33**, 53-70. (in Japanese with English abstract)]
- 今井隆志 (2002): 東京都における新たな地下水保全対策の取り組み. 地下水技術, **44**(3), 14-21. [Imai, T. (2002): Efforts of a new groundwater protection measures in Tokyo. *Journal of Ground Water Technology*, **44**(3), 14-21. (in Japanese)*]
- 貝塚爽平 (1970): 日本の自然と自然史科学. 科学, **40**(3), 145-147. [Kaizuka, S. (1970): Nature of Japan and history science. *Science Journal Kagaku*, **40**(3), 145-147. (in Japanese)*]
- 川島真一 (2001): 東京都における地下水位の経年変化. 基礎工, **29**(11), 77-79. [Kawashima, S. (2001): Secular change in groundwater level in Tokyo. *Journal of Foundation Engineering & Equipment*, **29**(11), 77-79. (in Japanese)*]
- 丸井敦尚・グラパール アラン (2004): 日本の宗教と水—水文学からのアプローチ—. 神道国際学会, 03N (第3回世界水フォーラム報告集), 35p. [Marui, A. and Grapard, A.G. (2004): Japanese religion and water—Approach from the hydrological—. *Shinto Kokusai Gakkai, 03N (Report of the 3rd World Water Forum)*, 35p. (in Japanese)*]
- Marui, A., Ahn, J.S., Quingcheng, H. and Ito, N. (2008): *Groundwater Assessment and Control in the CCOP Region—Interim Report—*. Geological Survey of Japan, 42p.
- 正井泰夫 (1987): 城下町東京. 原書房, 217p. [Masai, Y. (1987): *Castle Town Tokyo (Jokamachi Tokyo)*. Hara Shobo, 217p. (in Japanese)*]
- 南関東地域地盤沈下調査会 (1974): 南関東地域広域地盤沈下調査報告書. [Investigation Committee for Land Subsidence in the South Kanto Region (1974): *Report for Land Subsidence in the South Kanto Region (Minami Kanto Chiiki Koiki Jiban Chinka Chosa Hokokusho)*. (in Japanese)*]
- 宮越昭暢・林 武司 (2008): 東京地域における人間活動と地下温度環境変化. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, H126-001. [Miyakoshi, A. and Hayashi, T. (2008): Subsurface thermal environment change due to artificial effects in the Tokyo metropolitan area, Japan. *JpGU Meeting 2008*, H126-001 (in Japanese)]
- 宮越昭暢・林 武司・丸井敦尚・佐倉保夫・川島真一・川合将文 (2006): 地下温度からみた東京低地における地下水環境変化の評価. 応用地質, **47**, 269-279. [Miyakoshi, A., Hayashi, T., Marui, A., Sakura, Y., Kawashima, S. and Kawai, M. (2003): Evaluation of change in groundwater environmental by subsurface temperature in the Tokyo Lowland, Japan. *Journal of Japan Society of Engineering Geology*, **47**, 269-279. (in Japanese with English abstract)]
- 楡井 久・吉野邦雄 (1988): 地下水盆のモニタリング. アーバンクボタ, **27**, 20-23. [Nirei, H. and Yoshino, K. (1988): Monitoring of groundwater basin. *Urban Kubota*, **27**, 20-23. (in Japanese)*]
- 高村弘毅 (1996a): 雨水浸透と地下水涵養 (誌面講座). 日本地下水学会誌, **38**, 349-357. [Takamura, H. (1996a): Rainfall Infiltration and Groundwater Recharge. *Journal of Groundwater Hydrology*, **38**, 349-357. (in Japanese)*]
- 高村弘毅 (1996b): 都市の水辺環境を回復するための予測解析—東京と野川流域における雨水浸透ますの適正配置を例として—. 立正大学大学院紀要, **12**, 1-56. [Takamura, H. (1996b): Predictive analysis to recover the environment of the urban waterfront: As an example of proper placement in the rainwater infiltration mass in Tokyo and Nogawa basin. *Bulletin of the Graduate School of Risho University*, **12**, 1-56. (in Japanese)*]
- 高村弘毅 (2009): 東京湧水せせらぎ散歩. 丸善, 111p. [Takamura, H. (2009): *Walk around Springwater of Tokyo, Little Stream Walk (Tokyo Yusui Seseragi Sanpo)*. Maruzen, 111p. (in Japanese)*]
- 東京都環境局 (2008): 東京の湧水 湧水マップ. [Environment of Tokyo (2008): *Springwater of Tokyo, Map of Springwater (Tokyo No Yusui Yusui Map-pu)*. (in Japanese)*]

* Title etc. translated by H.T.