

都市の地下水に今なにが起きているのか —量的な視点から—

安原 正也¹⁾

1. はじめに

わが国は今、空前の“おいしい水”ブームのまっただ中にあります。田園部や山間部の名水といわれる湧水には、ポリタンクを持った人の長い列ができ、休日ともなると水をくむのに一時間待ちなんてこともあるそうです。また、産業廃棄物処分場の建設に際しては、周辺の井戸水の保全といった観点から各地で反対運動が起こっています。安全でおいしい水としての湧水や井戸水、すなわち地下水への関心や知識は、急速に人々の間に高まり、かつ深まっているとあって差しつかえないでしょう。

では、大都市たとえば東京の区部の地下水が今どんな状態にあるのか、と聞かれたらあなたは満足に答えられるのでしょうか。「新宿高層ビル街の下にも地下水があるの?」と聞き返す人はともかくとして、名水に比べれば多くの人にとって都心の地下水は関心が薄い問題であることは間違いないでしょう。そして、その答えは次のように要約されるのではないのでしょうか。すなわち、

「都心にはビルがびっしりと立ち並び、道路や駐車場はことごとく舗装されているから雨は地下にしみこんで地下水になることができない。さらに、工業用や冷暖房用に地下水を大量に汲んでいるので、東京の地下水は今や枯渇寸前に達しない。それに、汚れてて飲めたもんじゃない。」

と・・・東京に限らず大阪や名古屋といった大都市で聞いても、最大公約数的な答えはこんなものになるに違いありません。

しかし、この答えは都市の地下水がおかれている現在の状況を言いあてているものとはいえません。加えて、現在の都市の地下では開発前(自然状態下)にはなかった“新たな水”の流れが起こり、

地下水の収支に重大な影響を与えています。都市の地下水がおかれている環境は、普通に考えられているよりはるかに複雑なのです。そこで本稿では、まだまだ一般にはなじみが薄い都市の地下水について、地下水の現状とそれに影響を与えている要因を、特に量的な面に重点をおいて、誌面の許す限り紹介してゆこうと思います。

2. 「都市の地下水」は世界的な関心事!

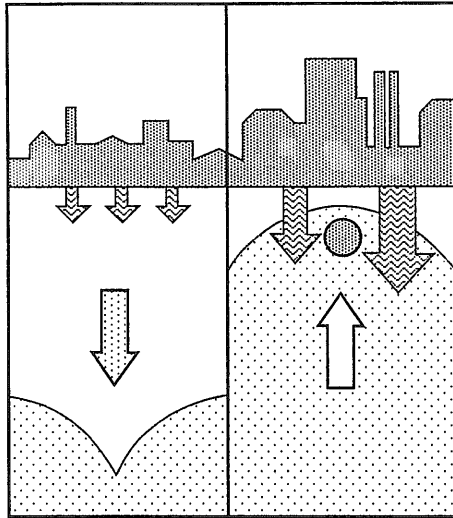
まず、第1図を見てください。これは、今年9月にイギリスのノッチングムで開催が予定されている国際水文地質学者連合(IAH)第27回大会のサーキュラーの表紙から引用したものです。大会のメインテーマは「Groundwater in the Urban Environment」、まさに「都市(環境)の地下水」です。IAHは昨年、その機関誌であるHydrogeology Journal(vo.4, no.1)で「Urban Groundwater」と銘打った特集を組んでいます。世界中の水文学研究者の現在の最も大きい関心事の一つは都市の地下水問題である、ということがわかっていただけたかと思えます。

話を本題に戻しましょう。左と右の二つに分かれた第1図が意味している内容を、水の流れ(プロセス)の相対的な重要性を含めて説明できる方には、ここから後を読んでいただく必要はありません。まさに釈迦に説法で、時間の無駄というものです。第1図は都市の地下水環境をそれほどまでに的確に、しかも簡潔に表しているのです。

では、以下に筆者なりにこの図を解釈してみましょ。まず左側ですが、都市化が急ピッチで進み、雨を透さない地表面の割合が増したため、「雨水浸透量」が激減した状態を示していると考えます。

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 都市, 地下水, 雨水浸透, 漏水, 水位上昇



第1図 都市の地下水環境を示す模式図 (IAH, 1997 から抜粋). 原典は3色刷り.

地表面を横切る3本の小さな下向きの矢印が、この減少した雨水浸透プロセスを表しています。また同時に、人口の集中や工業化による水需要の増加を、無計画に汲み上げた大量の「地下水揚水量」でまかなったため、都市の地下では地下水面がコーン状に大きく下がっています。これは図の中央の下向きの太い矢印で示されています。このような地下水位の著しい低下に伴い、地盤沈下や、さらに海岸部では地下水の塩水化も起こっているに違いありません。東京の区部でいえば、1955年頃から始まった高度成長期の状態とみなせます。

続いて右側の図に進みましょう。先程の左側の図に比べ、都市の規模が一段と大きくなっています。都市化の最終段階にさしかかっている、現在あるいは近未来の東京区部のような「成熟した」大都市と考えてよいでしょう。地下には水道管(図中央の丸印)や下水管、さらには地下鉄用のトンネルをはじめとする地下構造物がくまなく張り巡らされています。この成熟した大都市では、過去に被った地盤沈下などの公害を教訓に、地下水の揚水は必要最小限に厳しく規制されています。したがって、必要となる大量の水は、はるか遠くのダム貯水池などから導水されてきますが、老朽化した水道管からは水漏れが生じています。後ほど数字を挙げて紹介しますが、都市の地下での「水道管からの漏水量」は意外なほど多いのです。すなわち、地下水

の巨大な涵養源が新しく地下に出現することになるのです。また、地下水保全に対する行政や市民の意識が高まり、雨水浸透トレンチをはじめとする人工的な地下水涵養施設や透水性舗装によって、雨水を積極的に地中に戻す工夫も盛んに行われるようになります。その結果、下向きの矢印で示されている雨水浸透量は増えてゆきます。先ほどふれた地下水揚水量の減少や水道管からの大量の漏水がこの雨水浸透量の増加とあいまって、地下水位は年を追うごとに回復・上昇してゆきます(上向きの白ぬき矢印)。非都市化地域や無計画な都市化の途中にあるまわりの地域と比較して、地下水の収支がよりプラスとなり、図のように大都市の地下水位がその周辺部より高くなるという現象も起こり得るのです。

なお、第1図については別の見方があることをお断りしておきます。筆者の同僚の一人は、地表を横切る下向きの矢印を汚染物質の移動と量を表すものと解釈しています。原典(IAH, 1997)ではこれらだけが赤色に塗られ、水色の地下水と灰色の建物と比べて確かに「異色」の存在です。したがって、このような解釈がより妥当なのかもしれません。しかし、我田引水ですが、本稿ではこれをあくまでも雨水浸透(量)を意味するものと考えておきます。

3. 東京の地下水環境

人工的な流れが加わることもあって、都市の地下水環境が思いのほか複雑であることがなんとなくおわかりいただけたかと思います。では、大都市の現在の地下水収支はどうなっているのでしょうか？ 具体例をあげてさらに定量的に考えてゆきたいと思います。この第3章では、大都市における地下水の収支の現状とそれに影響を与える要因を、世界最大級の都市である東京とその周辺部を例にとって紹介してみます。

まず、区部(23区)と多摩地域にわけて東京都の地下水収支を求めた第1表をご覧ください。ここでは、上流地域からの地下水流入や下流域への地下水の流出は考慮されていません。すなわち、上・下流方向に対して閉じたシステムとしたうえで、プラス側とマイナス側の各項目について量的な評価が行われています。第1図にも組み込まれていた「雨

第1表 東京都における水収支(東京都環境保全局, 1992による)。島嶼部を除いた1985年から1987年の平均値。

(単位: m³/日)

| | | 全 域 | 区 部 | 多摩地域 |
|-------|----------------|-----------|---------|---------|
| プラス側 | 雨水浸透量 | 1,104,374 | 266,939 | 837,435 |
| | 水道管からの漏水量 | 639,555 | 492,928 | 146,627 |
| | 小 計 | 1,743,929 | 759,867 | 984,062 |
| マイナス側 | 下水管への浸出量 | 353,059 | 211,057 | 142,002 |
| | 地下鉄等への湧出量 | 21,661 | 21,661 | 0 |
| | 地下水揚水量 | 685,165 | 117,062 | 586,103 |
| | 小 計 | 1,059,885 | 349,780 | 710,105 |
| | 計 (プラス側ーマイナス側) | 684,044 | 410,087 | 273,957 |

水浸透量」,「水道管からの漏水量」や「地下水揚水量」といった項目もちゃんと含まれています。さらに、「下水管への浸出量」などなじみのない項目についても量が求められています。もちろん推定はいろいろな仮定に基づいて行われており、その精度については議論があるところですが。しかし、地下水の量の収支に人間活動がどのように関わっているかの概略を知るには格好の資料です。そこで、この第1表の各項目を順を追って説明しながら、都市の地下水環境について考えてみたいと思います。

3.1 雨水浸透

都市域の水文学的特徴の一つは、雨水が地下にしみこむことができない部分である不透水性地域の面積が、年を追うごとに広がることです。第2表から、東京都における建物やアスファルトに覆われている不透水性地域の割合、すなわち地表面の被覆率の18年間の変化が読みとれます。区部・多摩地域とも被覆率は上昇しており、1986年には区部では実に80%、多摩地域でも50%の地表面が被覆されていることがわかります。10年後の現在では、この割合はさらに大きくなっていると考えてよいでしょう。一方で、確かに今でも都市にはまだ被覆されていない部分が残っています。しかし、特に区部

第2表 東京都の地表面の被覆率(東京都環境保全局, 1992による)。

| | 区 部 | | 多摩地域 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1968年 | 1986年 | 1968年 | 1986年 |
| 被 覆 率 | 73.9% | 79.3% | 29.6% | 49.0% |

| 浸透域区分 | 最終浸透能 ic (mm/hr) | 対応する土地利用 | | | | | | | | | | | | |
|--------|------------------|----------|----|-----|-----|-----|----|---|---|------|------|-----|-----|--|
| | | 林地 | 畑地 | 果樹園 | 樹木園 | 植栽地 | 道路 | 草 | 芝 | 公園裸地 | 庭の裸地 | 運動場 | 造成地 | |
| 極高浸透能域 | 200 ≤ ic | | | | | | | | | | | | | |
| 高浸透能域 | 100 ≤ ic < 200 | | | | | | | | | | | | | |
| 中浸透能域 | 50 ≤ ic < 100 | | | | | | | | | | | | | |
| 低浸透能域 | 10 ≤ ic < 50 | | | | | | | | | | | | | |
| 極低浸透能域 | 0 ≤ ic < 10 | | | | | | | | | | | | | |

第2図 最終浸透能に基づく浸透域区分と対応する土地利用(安藤ほか, 1982による)。

では、造成地のような裸の土地であったり、堅く踏み固められた運動場や公園裸地といった場所が多いのです。これらは非被覆地域であるといっても、その最終浸透能(雨を吸収する能力)の大きさから判断すれば、極低浸透能地域からせいぜい中浸透能地域にしかありません(第2図)。

第1表に戻りますが、この雨水浸透の量として区部では27万トン/日、多摩地域では84万トン/日という値が示されています。上に述べた理由から、雨水浸透量はとりわけ区部において、都市化が進行する前と比べて大幅に減っていることが予想されます。かりに雨水浸透量が被覆率に反比例すると単純に考えれば、被覆率が80%である現在の区部においては、自然状態であった時に比べて雨水浸透量は1/5以下に減少していることになります。

3.2 水道管からの漏水

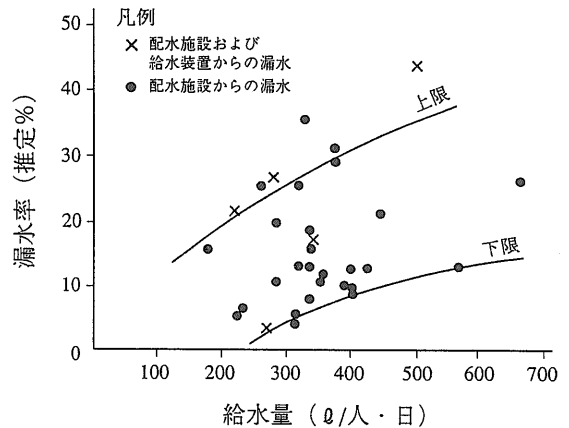
水道などによる他の地域からの水の導入は、都市水文の三大特徴の一つ(新井, 1987)に挙げられます。そして、水道管の老朽化や地盤変動による継ぎ目のずれなどによって、都市の地下に埋設された水道管からは漏水が生じ、地下水の大きな涵養源となっています。とりわけ、東京区部では水道管の配管密度が高いために、漏水量は実に49万トン/日に達しています(第1表)。区部の面積をおおよそ500km²として水柱高に直してみますと、一日あたり1.0mmになります。東京の降水量が4mm/日(1,500mm/年)くらいと言われていきますから、区部の漏水がいかに多いかがおわかりいただけると思います。また、49万トン/日という漏水量は年間で

第3表 世界の主要都市の水道の給水量と無収率(小林, 1981による).

| | 人口 (万人) | 1人1日 平均給水量 (ℓ) | 1人1日 無収水量 (ℓ) | 無収率 (%) |
|----------|------------|----------------------|---------------------|------------|
| ブリュッセル | 131.1 | 178 | 27 | 15.2 |
| コペンハーゲン | 53.7 | 311 | 17 | 5.5 |
| マルセイユ | 96.5 | 486 | 175 | 36.0 |
| パリ | 396.0 | 249 | 32 | 12.9 |
| ベルリン | 200.0 | 268 | 8 | 3.0 |
| ハンブルグ | 196.0 | 229 | 13 | 5.7 |
| ダブリン | 99.8 | 251 | 79 | 31.5 |
| ナポリ | 160.0 | 394 | 47 | 11.9 |
| ローマ | 279.2 | 651 | 163 | 25.0 |
| ヘルシンキ | 49.0 | 394 | 39 | 9.9 |
| フィラデルフィア | 190.0 | 741 | 255 | 34.4 |
| サンフランシスコ | 66.5 | 608 | 72 | 11.8 |

1.8億トンに相当しますが、この量はなんと小河内ダム(奥多摩湖)の全貯水容量にも匹敵する数字なのです。なお、区部においては、このような水道管からの漏水量は、被覆率の増加によって激減している雨水浸透量(27万トン/日)をすでに大きく上回っています(第1表)。東京都の23区の地下水にとって、水道管からの漏水は欠くことのできない存在なのです。

水道管からの大量の漏水の発生は、なにも東京に限ったことではありません。話が東京から離れてしましますが、世界各地都市での例も参考のために第3表と第3図に挙げておきます。第3表中の“無収水量(損失水量)”にはいわゆる盗水や計量誤差も含まれていますが、おそらく漏水がその大部分だと考えられています。無収水量の給水量に対する比率を示す“無収率”(≒漏水率)は、マルセイユやフィラデルフィアの35%前後を最高として、かなりの都市で10%を超えています。各都市とも漏水問題に頭を悩ましているのではないのでしょうか。また、漏水率は給水量の増加とともに増えてゆく傾向がみられます(第3図)。小林(1981)は300ℓ/人・日の水道の許容漏水率を15%としています。参考までに挙げますと、1986年の東京都の漏水率は13.7%と考えられています(山本・高橋, 1987)。1960年の漏水率は22%でしたから、漏水防止にはかなりの努力が払われてきたといえます。しかし一方で、強力に漏水対策が進めば、東京など大都市



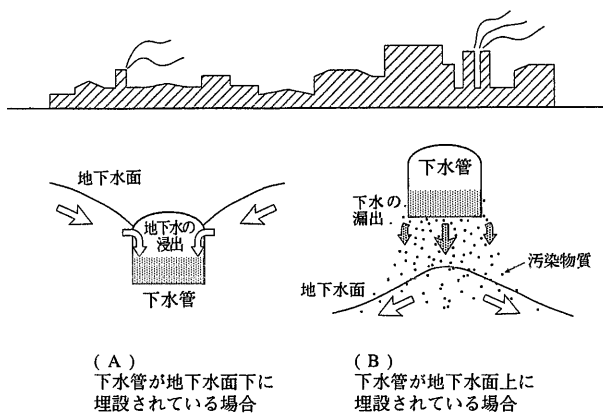
第3図 水道の給水量に対する漏水率(小林, 1981による).

の地下水の収支における重要なプラス側の成分が急激に減ることにもなります。問題は単純ではありません。

3.3 下水管(道)への地下水浸出

下水道による排水も、都市水文の三大特徴の一つとされています(新井, 1987)。不透水性地域の拡大によって地下にしみこむことができずに流出する大量の雨水は、合流式下水道方式の場合には生活排水や工場排水と一緒に集められ、汚水として都市から排出されることとなります。本来は地下水になるはずの雨水を捨てる役割を下水道は負わされているわけですが、さらに都市の下水道の多くは、貴重な地下水までも集水して海に流していることをご存じでしょうか？

このいわば「地下水の集水・排水装置」としての下水道の役割を量的に評価する前に、下水道そのものについても説明しておきましょう。押田勇雄(編)・ソーラーシステム研究グループ(1982)によれば、下水道は水道と違って圧送方式をとらず、勾配をつけて自然流下させます。したがって、ポンプ場や処理場に近づくにつれて埋設深度は深くなり、たとえば幹線の場合では、地下20mくらいのところに直径7mもの下水管が埋まっていることもあるそうです。東京をはじめとするわが国の大都市が展開する沖積平野では、この埋設深度は自由地下水面より下に位置することが圧倒的に多いのです。その結果、下水管の継ぎ目や管の老朽化(実耐用年数は約20年とされています)による亀裂をとおり



第4図 下水管(下水)と地下水との関係を表す模式図。

て、大量の地下水が下水管に浸入してきます(第4図A)。

余談になりますが、反対に地下水面のほうが低かった場合には、下水管から漏水が起こります(第4図B)。水道からの漏水とプロセス的には同じものになるわけですが、歓迎するわけにはいきません。糞尿や工場排水に含まれる汚染物質も一緒に移動してくるからです。地下水面が深い地域では、下水道の敷設の際には埋設深度や施工に十分注意を払わなくてはなりません。

さて、第1表に戻りましょう。このような下水管への地下水の浸入量は、東京区部では21万トン/日に達すると推定されています。莫大な量の地下水が下水管に集まり、排水されているのです。次の節でもふれますが、現在の区部においてはこの量は地下水揚水量の約2倍に相当しており、驚くことに地下水収支の最も大きいマイナス要因となって

いるのです(第1表)。

汚水の発生量と下水管への地下水浸入量を東京区部の各処理区ごとに評価した第4表からも、おもしろい事実が浮かび上がってきます。下町地区の下水処理区(三河島・小台・砂町)でみてみますと、下水処理場には一日あたり合計45万トンもの地下水が流入しています。地下水浸入量の汚水発生量に対する比率は、これらの処理区では31~49%にもなります。これでは、汚水を排水しているのか大切な地下水を捨てているのかわからない状態です。まさに、下水管は巨大な「地下水の集水・排水装置」と化しています。次に浸入密度(=地下水浸入量/処理面積)をみてみますと、これら三つの処理区では2.9~5.7mm/日の地下水の浸入が生じています。東京の降水量(4mm/日程度)と比較すると、この値がいかに大きいかわかります。一方、台地部をカバーする落合処理区では、地下水浸入量は汚水発生量の12%しかなく、浸入密度も0.87mm/日と小さくなっています。この理由はさだかではありませんが、下町に比べて台地部では地下水位が相対的に深いことが一因となっているのかもしれない。なお、第1表と第4表では、区部の下水管への地下水浸入量の推定値に大きな差があります。算定の年度と基準が違うためだと思われれますが、これらについてさらに興味がある方は原典にあたってください。

3.4 地下鉄等への地下水の湧出

地下水は下水管の中に漏出するだけではありません。壁の亀裂を通して、地下鉄のトンネルや駅、ガス溝、高速道路トンネル、地下街をはじめとする

第4表 下水管への地下水浸入量(東京都公害局, 1980による)。数値の算出にあたっての詳細は原典を参照のこと。

| 処 理 区 | 晴天日 流入量 ($\text{km}^3/\text{日}$) | 汚水 発生量 ($\text{km}^3/\text{日}$) | 地下水 浸入量 ($\text{km}^3/\text{日}$) | 地下水浸入量 汚水発生量 (%) | 処理面積 (km^2) | 浸入密度 ($\text{mm}/\text{日}$) |
|----------|--|---|--|------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 芝浦 | 939 | 833 | 106 | 13 | 62 | 1.71 |
| 三河島 | 674 | 452 | 222 | 49 | 39 | 5.68 |
| 小台 | 399 | 306 | 93 | 31 | 32 | 2.91 |
| 砂町 | 496 | 365 | 131 | 36 | 36 | 3.64 |
| 落合 | 505 | 450 | 55 | 12 | 64 | 0.87 |
| 森ヶ崎(参考値) | 804 | 560 | 244 | 43 | 63 | 3.86 |
| 新河岸(参考値) | 201 | 174 | 27 | 16 | 10 | 2.70 |
| 区部全体 | 4,018 | 3,140 | 878 | 28 | 306 | 2.87 |

地下の人工構造物の内部へも浸入してゆきます。また、ビル地下室への漏出量もかなり多いとされています。漏出した地下水はポンプによって下水道へと捨てられるわけですから、地下水の収支からみればマイナス成分になります。

これらの量を正確に把握することは難しい(新井, 1987)ようですが、とりあえず第1表では区部において2.2万トン/日程度と見積もられています。また、東京都公害局(1980)の報告では3.9万トン/日となっています。これらから判断して、地下鉄等の人工構造物への地下水湧出量は、1日あたりせいぜい数万トンくらいとみてよいでしょう。他の地下水収支の成分と比べて1オーダーは小さい(地下水政策研究会, 1994)、と考えておいて間違いのないようです。

3.5 地下水揚水

区部の地下水揚水量は12万トン/日となっています(第1表)。人口や産業の密集の度合いがはるかに低い多摩地域の1/5以下でしかありません。もちろん対象とする面積が違うので単純な比較はできませんが、区部の地下水揚水量は多摩地域と比べても格段に少ないことがわかります。さらに驚くことは、この12万トン/日という量は下水管への地下水の浸出量(21万トン/日)より少ないのです。つまり、区部においてはすでに、地下水収支のマイナス成分としての王座の地位を「下水管への浸出」に明け渡しているのです。

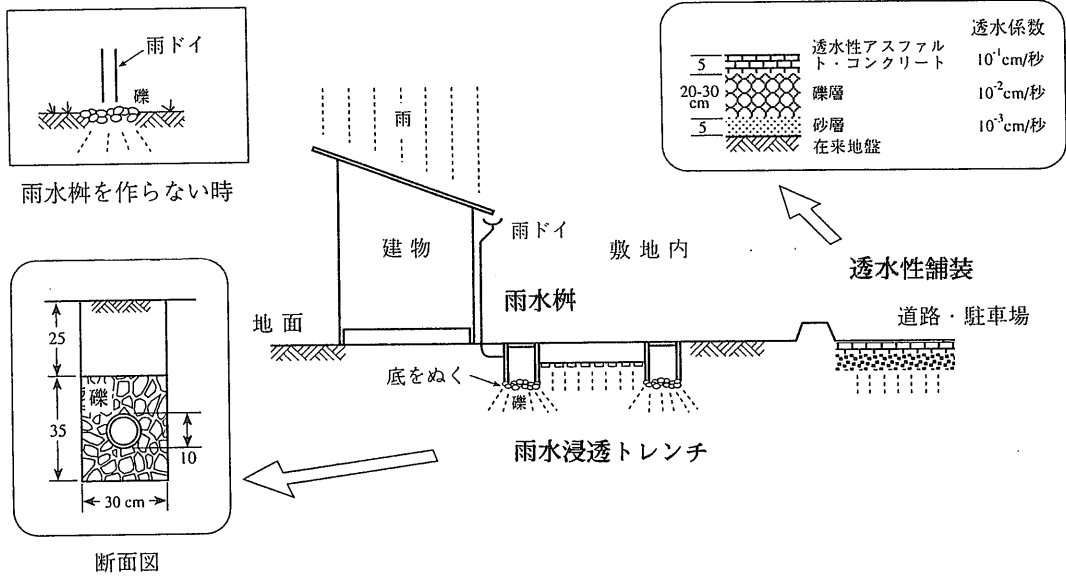
では、東京23区の現在の地下水揚水量はなぜこのように少ないのでしょうか。理由は簡単です。1962年に一部改正された「工業用水法」と、同じ年に公布されたいわゆる「ビル用水法」によって揚水が厳しく規制されているからです。磯部(1995)は東京都土木研究所の複数の資料に基づいて、東京低地と周辺の8つの区(板橋、北、足立、葛飾、荒川、墨田、江戸川、江東)における工業用地下水の日採取量の経年変化をまとめています。それによりますと、地下水揚水量は1962・63年頃までは猛烈な勢いで増加しますが、その後は減少に転じます。法律が速やかに効果を発揮したのです。8つの区であわせて200万トン/日(1963年)あった揚水量は、1972年にはなんと40万トン/日にまで減っています。ただし、この数字には冷暖房用などビル用

の地下水の採取量は含まれていません。さらに、8つの区だけの集計結果です。したがって、23区全体での工業用とビル用を合計した地下水の総揚水量の絶対値やその変化をうかがい知ることはできません。しかし、区部の総地下水揚水量についても、傾向としては同じように1962・63年頃から減少し続け、現在は第1表にある12万トン/日くらいで落ちついているとみてよいのではないのでしょうか。いずれにしても、区部における現在の地下水揚水量は意外なほど少ないのです。

3.6 人工的な雨水浸透による地下水涵養

第1表にはありませんが、不透水性地域に降った雨をなんとか地下に戻して地下水涵養に役立てようとする試みも行われています。それらの代表的なものについて、簡単に紹介しておきましょう。まず、雨水枡や雨水浸透トレンチによる方法があります(第5図)。屋根に降った雨を集めて、底をぬいた枡や穴のあいた管(トレンチ)を通じて地下に戻す方法です。押田勇雄(編)・ソーラーシステム研究グループ(1982)によれば、東京の地表部を覆っている関東ローム層へ適用した結果は上々とのことでした。このような雨水枡は、湧水の復活や環境保全を目的として、特に武蔵野台地上の世田谷区や小金井市、国分寺市、三鷹市などで広く普及しています。小金井市では、1993年末までに15,000基を超える雨水枡が設置され、年間40万トンの雨水を地下に戻すことに成功しています(ソーラーシステム研究グループ, 1994)。さらに、板橋区や練馬区においても同様の雨水浸透事業がいろいろな規模で行われています(地下水政策研究会, 1994)。一方、道路や駐車場に透水性舗装(第5図)を施し、雨を地下に戻そうという努力も進んでいます。礫層の厚さは、計画降雨を全部貯留できるように設計されています(市川, 1987)。このような透水性舗装はしだいに広まってきており、浸透を効果的に引き起こすために必要な舗装の構成、設計条件、材料について多くの知識が蓄積されています(三浦, 1979)。人工的な雨水浸透・地下水涵養事業は着実に拡大しているのです。

しかしながら、このような方法に基づいた地下水涵養は、たとえば第1表にある東京都区部の全体的な地下水の収支に直接影響を与えるほど量的に



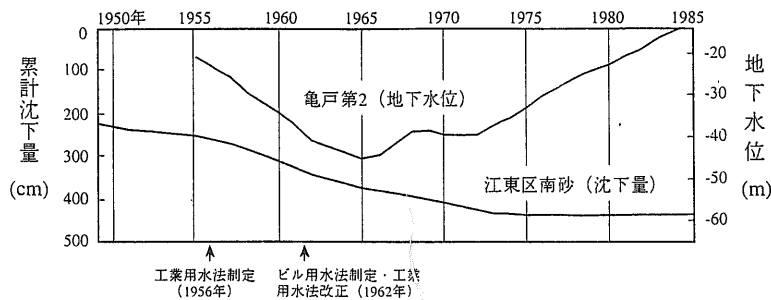
第5図 雨水浸透(浸潤)トレンチと透水性舗装のしくみ(押田勇雄(編)・ソーラーシステム研究グループ, 1982と市川 新, 1987に基づいて作成)。

大きいとはいえません。各々の規模や施工面積がまだまだ小さいからです。すくなくとも現在の段階では、都市の地下水資源量を広域的に増やす方法というより、むしろ局地的な湧水の復活や水環境保全のための方策(新井, 1987)と考えておいたほうがよさそうです。ただ、地下水に対する行政や住民の意識が将来飛躍的に高まり、その結果さらに広範囲で大規模な雨水浸透事業が組織的に行われるようになれば話は別です。たとえば、南アフリカのアトランティス市(人口7万, 工場数170)では、洪水時の雨水を大規模な浸透池から地下に戻すことによって年間150万トンもの地下水を作りだし、全市の水需要をまかなおうとする計画が進んでいます(Wright and du Toit, 1996)。人工的な雨水浸透に起因するプラス成分が、第1表の中で重要な意味を持つてくる日がやがて訪れるかもしれません。

4. 東京の地下水収支結果

もう一度、第1表に戻りましょう。プラス側成分の量からマイナス側成分の量を引いて求めた数値、すなわち地下水収支の結果が一番下の欄に示されています。区部、多摩地域ともに収支は黒字となっています。都市化の途中にある多摩地域はともかくとしても、区部においても地下水収支が近年は大幅黒字であると知って驚いた方も多いのではないかと思います。

区部におけるこの地下水収支の結果は、地下水位の経年変化に反映されています。長年にわたって記録がとられてきた江東区亀戸にある観測井の水位データを見て下さい(第6図)。地下水位は1965年前後から急に上昇をはじめ、1980年代後半にいたっています。その後もやや鈍化する傾向に



第6図 東京区部における地下水位と沈下量の経年変化の一例(江東区)(市原 実・水収支研究グループ・応用地質研究会編, 1987から抜粋)。

はありますが、今でも地下水位は上昇傾向を維持しています。この水位回復の結果、下町の地盤沈下もほぼ収まっています(第6図)。また、山の手の台地上にある東京大学観測井(文京区)の水位記録にも、亀戸の観測井と同じような傾向が表れています(地下水政策研究会, 1994)。

区部の地下水収支がこのように黒字になったのは、法律による採取規制によって地下水揚水量が激減したことに最大の原因があります。このことは第1表や第6図からも明らかでしょう。一日あたりの地下水揚水量が現在の水準からわずか40万トン増えるだけで、区部の地下水収支は再び赤字に転落してしまうのです(第1表)。この40万トン/日という数字がどれほど小さいものであるかは、東京の過去の地下水揚水実績について紹介した第3章5節からもご理解いただけたと思います。

5. 上昇する地下水位：新たな問題の発生

東京の区部では意外にも地下水の収支が黒字であること、そして地下水位が上昇し続けていることを第4章でお話しました。しかし、このように地下水位が上昇しているのはなにも東京区部に限った話ではないのです。かつて地盤沈下で苦しんだ名古屋や大阪などの大都市でも同じなのです(市原実・水収支研究グループ・応用地質研究会編, 1987)。さらに、ロンドンやリバプールなどイギリスの大都市でも地下水位の回復が報告されています(Lerner and Barrett, 1996)。いずれの場合も、地下水揚水量が減ったためだと考えられますが、その理由はともかく、大都市域での地下水位の上昇はどうか世界的な傾向のようです。では、「地下水管理がうまくいっている証拠だ!」と手放しで喜んでもよいのでしょうか? いやいや、物事はそううまくゆきません。実は地下水位の上昇によって新たな問題が生まれてきているのです。

再び東京を例にとりて話を進めましょう。戦後の地下水位の低下は30m以上にもおよび、東京の発展はいわば“地下水位を人工的に下げた状態”で進んだといえます。地下水は建設作業にとっては大変な厄介者ですから、すくなくとも工事に関する限り実に都合のよい状態にあったといえます。そ

の間、地下には多数の構造物が造られてきました。地下鉄の駅、トンネル、地下街、地下駐車場などなど、挙げるときりがありません。なかには地下何10mにも掘りこんだ構造物もあります。近年の地下水位の上昇は、すでに構築されているこのような地下構造物に深刻な影響を与えてしまうのです。浮力の増加と地下水浸入の問題です。いずれも、設計段階ではあまり重要と考えられていなかった問題ではないでしょうか。

読者の中には、昨年末に報道された上野の新幹線地下駅のTVニュースをご記憶の方もいらっしゃるでしょう。深夜、トラックで何10万トン(あるいは、何万トンだったかもしれません)もの鋼鉄の板を地下駅に搬入している映像が流れていました。新幹線上野地下駅は巨大であり、しかも相当深くまで掘りこんであります。このため、近年の地下水位の上昇によって、駅全体が予期しなかった巨大な浮力を被るはめになっているのです。まるで、中空のプラスチックの弁当箱が水の中にぶよぶよと浮かんでいるようなものです。搬入された鋼鉄の板は、なんと駅を安定させるための“重し”だったのです。一方、1991年に武蔵野線の新小平駅で起こった出来事を覚えている方は多いでしょう。長雨による地下水位の上昇のために大量の地下水が浸入し、武蔵野台地を掘り下げて造った駅を長い間水浸しにしてしまった事件です。地下水位は今も継続的な上昇傾向にありますから、これらのような地下水がらみの問題が今後ますます増える可能性が高いのです。また、地下街や地下室の管理者は、これまで以上に地下水の排水に悩まされることになりそうです。

同じような事例は外国にもあります。リバプールでは、水位の回復によって地下鉄のトンネルが水没する事件が起きています(Lerner and Barrett, 1996)。ロンドンでは事態はさらに深刻です。トンネルへの地下水浸出量の増加といった問題の他に、化学的な問題の発生が危惧されているのです。ロンドンの地下にはBasal Sandsという地層があり、上昇(水位回復)してきた地下水はこの層を通過するために、硫化鉄の酸化によって硫酸塩に富む水質になります。これが地下構造物のコンクリートを溶かしてしまう可能性が指摘されているのです。

(Lerner and Barrett, 1996). 放置できない問題です。

「じゃあ、地下水を汲み上げて全体的に水位を少し下げたらいいんじゃないの?」, という意見が出てきそうです。しかし、事態は思うほど単純ではありません。将来、かりに東京区部のしかも広い範囲で地下構造物の水没や不安定化が起こったとしましょう。この場合、いったい誰が地下水の排水を行うのでしょうか? 費用は誰が負担するのでしょうか? 継続的にしかも大量の地下水を汲み上げるわけですから、電気代や排水した地下水を捨てる下水道の使用量もばかになりません。広域的な現象ですから、市民や事業所が個々に対策を講じるのは無理かもしれません。同じような議論は、イギリスのバーミンガムやロンドンでも起きています (Lerner and Barrett, 1996)。

そして、さらに難しい問題は、本当に地下水を汲み上げて捨ててよいのか、かりによいとしたり、いったいどれくらいの量までなら許されるのか、を判断しなくてはならないことです。せっかく復活した湧水やせせらぎが、再び東京から消えてしまうかもしれません。大きく判断を誤れば、地盤沈下が再発することも考えられます。事態が深刻になる前に、国、自治体、企業、専門家そして市民が真剣な話し合いを行い、対策手段と基準をあらかじめ考えておく必要があります。

6. おわりに

長々と書いてきましたが、本稿をお読みいただいたことによって、現在の大都市の複雑な地下水環境を多少なりともわかっていただけではないかと自負しています。地表面の改変・被覆、揚水、水道漏水による涵養、下水道による排水などなど、都市の地下水の収支には人間活動が決定的な影響を与えているのです。また、本来ならば歓迎されるべきはずの近年の地下水位の回復が、一方では新たな問題を引き起こしつつあることもぜひ記憶にとどめておいていただきたいと思います。

最後に、都市の地下水環境を端的に表現している示唆に富んだ次の一文を紹介して、終わりにしたいと思います。

Recharge, which is affected by extensive sealing of surfaces, leaking water mains, sewers, and stormwater recharge, is often greater beneath cities than beneath equivalent rural areas. (Lerner, 1996).

(訳: 都市域の地下水涵養は、地表の被覆、水道管からの漏水、下水、洪水流による涵養に影響を受けている。そして、しばしば田舎のそれより大きい。)

参考文献

- 安藤義久・管 明芳・岡本哲夫・浅羽晴夫 (1982): 関東ローム丘陵・台地における土地利用別の浸透能。水利科学, Vol.26, No.5, p.1-23.
- 新井 正 (1987): 都市の水収支と地表水—首都圏を中心に。新井正・新藤静夫・市川 新・吉越昭久共著「都市の水文学」。共立出版, p.1-108.
- 地下水政策研究会 (1994): 「わが国の地下水—その利用と保全」。大成出版, 166p.
- IAH (1997): Information Circular No.3; IAH XXVII Congress on "Groundwater in the Urban Environment", 27p.
- 市原 実・水収支研究グループ・応用地質研究会編 (1987): 「日本の平野」。平凡社, 121p.
- 市川 新 (1987): 都市の水循環。新井 正・新藤静夫・市川新・吉越昭久共著「都市の水文学」。共立出版, p.155-200.
- 磯部一洋 (1995): Geological study-tour information on "Excursion from Tsukuba to Tokyo Bay Area" (ITIT Symposium II)。地質調査所, 22p.
- 小林康彦 (1981): 世界80都市での漏水事情。ローボ資料。(山本莊毅・高橋 裕 (1987): 「図説水文学」。共立出版, p.140-141から)
- Lerner, D.N. (1996): Theme issue on urban groundwater. Hydrogeol. J., Vol.4, No.1, p.4-5.
- Lerner, D.N. and Barrett, M.H. (1996): Urban groundwater in the United Kingdom. Hydrogeol. J., Vol.4, No.1, p.80-89.
- 三浦裕二 (1979): 透水性舗装。地下水ハンドブック編集委員会編「地下水ハンドブック」。建設産業調査会, p.1311-1317.
- 押田勇雄 (編)・ソーラーシステム研究グループ (1982): 「都市の水循環」。NHKブックス, 234p.
- ソーラーシステム研究グループ (1994): 「循環都市へのこころみ—環境をいかに取り戻すか」。NHKブックス, 213p.
- 東京都環境保全局 (1992): 地下水の実態調査結果について。東京都。(地下水政策研究会 (1994): 「わが国の地下水—その利用と保全」。大成出版, p.138, p.140から)
- 東京都公書局 (1980): 地下水収支調査報告書。東京都。
- Wright, A. and du Toit, I (1996): Artificial recharge of urban wastewater, the key component in the development of an industrial town on the arid west coast of South Africa. Hydrogeol. J., Vol.4, No.1, p.118-129.
- 山本莊毅・高橋 裕 (1987): 「図説水文学」。共立出版, 221p.

YASUHARA Masaya (1997): Urban groundwater hydrology: A quantitative perspective.

< 受付: 1997年3月24日 >