

都市化に伴う水文環境の変化と災害

筑波大学教授

梶根 勇

人工都市つくばの、ある公務員住宅は、若い建築家が設計したという。彼は、かつて学んだカリフォルニアの開放的な住宅にあこがれ、床を低くし、家の中から芝生の前庭へ抵抗なく出られるように工夫した。そのため居住者は湿気に悩まされることになった。とくに梅雨の頃はカビがひどい。

つくば市の近くの大きな民間住宅団地は、河川の蛇行跡の湿地に造られている。浸水被害がたびたび発生し、築後10年以上たった最近では家屋の不等沈下が問題になっている。

私の家の近くの低地を散歩すると、台地上にある住宅団地の家庭排水が用水路に流れ込んでいて臭い。この水は牛久沼へ流れて行き、沼を汚す。

都市化と災害

日本の都市は飲料水が得やすく、舟運の便に恵まれた沖積低地にまず開けた。江戸を例にとると、江戸城や一部の大名屋敷などは武蔵野台地の上にあったが、最盛時には130万人にも達した住民の大半は沖積低地に居住していた。台地の上は、当時の技術では水不足地域だった。

武蔵野台地には、いくつかの侵食谷が刻まれている。人口増加につれて、都市域が郊外へ広がって行ったが、一般的にいて都市化は台地上よりも侵食谷の低地で先に進んだ。台地上の土地は農家が手離さない、谷底のほ

うが地価が安い、などいくつかの要因が重なった結果であろう。当然、中小河川の氾濫による被害が続発することになった。

都市化の進行につれて水需要は増大する。東京では、そのかなりの部分が地下水でまかなわれた。最盛時の地下水揚水量は140万トンに達した。これは家庭用水を200 l/日・人として700万人分の飲料水に相当する。その結果、地下水面が低下し、台地部では崖線沿いの湧水や侵食谷の谷頭の湧水が枯れた。先日、学生巡検で小金井市の民家の井戸を調査したら、開放井戸が残っており、さびた手押ポンプが付いていた。1955年ころまで使っていたというから、地下水面は地表面下6mくらいにはあった筈である。しかし現在の水面は13mまで下がっている。

低地では地下水開発による地盤沈下でゼロメートル地帯が出現した。東京湾の満潮時の海面よりも低い土地である。高潮対策としての防潮堤や、内水排除施設の建設、井戸や基礎の抜け上がり、不等沈下、道路や堤防のき裂など、被害は甚大であった。これらを経済学では外部不経済とよぶそうであるが、その被害総額を過去の地下水総揚水量で割ると、地下水1トン当たり200円になるとの試算もある。ちなみに当時供給されていた工業用水の値段は10～15円/トンであった。

地盤沈下に伴って発生した予想外の災害は

酸欠事故であろう。1960年代に地下工事が活発に行われていた頃、東京では酸欠空気のため多数の労働者が死亡した。酸欠空気は、それまで水で飽和されていて還元状態にあった地層が、地下水面の低下によって新鮮な空気にさらされ、酸化が進行したことにより、地層空気の酸素が消費されてきたものである。この空気が、地下の圧気工法や、低気圧の到来などによる気圧差で工事中の坑内や地下室へ漏れだし、死亡事故が起きた。

水利用量が増大すれば、利用後の下水の量も増大する。下水施設が不完全であれば、当然、都市域の水域は汚染される。都市の雑排水が流れ込む湖沼は富栄養化する。

つくば市のように、最近になって人工的につくられた都市は、雨水排水と下水を別々に処理する分流式の下水方式をとっている。しかし東京のように、江戸時代にすでに百万都市であり、それを中核にして自然発生的に拡大してきた都市では、後ればせながら設置した下水も合流式である。大雨のときには雨水が下水管の中へ流れ込み、希釈された下水が川へ溢れだす。事情はアメリカの大都市でも同様で、たとえばシカゴではその汚水がミシガン湖へ流れ込み、市民の水道水源である湖水を汚染した。シカゴ市はその防止対策として1960年にディープトンネル貯水計画を立案した。都市の地下76mの深さのドロマイト中に直径5～11mのトンネル網を造り、降雨時の下水をそこへ閉じ込め、あとで浄化してから放流するという計画である。1986年の時点で、すでにトンネル総延長177kmのうち75kmが完成して実用に供せられていた。

現在東京都で工事中の神田川地下調整池、いわゆる地下河川計画は、このシカゴの計画

をお手本にしている。将来は環状7号線に沿って延長し、途中で交差する中小河川の洪水時の水を集め、東京湾岸で揚水して海へ排出する計画である。ただしアメリカの大都市のこの種の計画がすべて地表水の汚染対策として立案されているのに対し、東京の計画は中小河川の洪水対策である。アメリカとは降水量や降雨強度が違い、また土地利用形態の異なることが原因であろうが、アメリカでは環境庁（EPA）の権限が強いことも関係しているのかも知れない。

最近、有機塩素化合物による地下水汚染が問題になっている。トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどは、極く微量でも長期的にわたって摂取すると発ガンの疑いのある物質とされていることから厚生省は健康に影響の生じないよう飲料水としての水質基準値を暫定的に定めている。これらの天然には存在しない物質が地下水に混入する経路はいろいろ考えられるが、事業所や地中埋設物から漏れだしたものが地下水で拡散・分散したとする経路が最も可能性が高いと思われる。

都市にはすでに多数の井戸があり、井戸は複数の収集管をもつものが多いから、上下の帯水層間に水頭差があると（揚水などにより水頭差の存在するのが普通である）井戸の中を通過して浅層の地下水が深層の地下水中へ引き込まれ、浅層の汚染は深層まで容易に拡大する。深層の地下水は揚水など人為的影響以外では極めてゆるやかにしか流動していないので深層の汚染は後世まで残ることになる。

都市の水循環

上に述べた災害はすべて都市化に伴う水循環の変化に伴って発生している。日本の都市は主として沖積低地と洪積台地に展開してい

るので、台地と低地の水循環に注目して、その都市化に伴う変化について考えてみよう。

降水が地上に落下すると、一部は植物の葉でしゃ断され、残りは地中へ浸透するか、地表面を流れて河川へ流出する。しゃ断された水や地中へ浸透して土壌水になった水のうちで、蒸発散で大気中へ水蒸気となって失われた残りが、降下浸透して地下水になる。地下水は、近くの谷や、遠くの低地や湖沼へ向かって流動し、そこで流出する。集中的に地下水の流出するところが泉であるが、広い地域にゆっくりとしみ出し湿地をつくる場合もあるし、湖底や海底に湧出する地下水もある。

雨が降ると地下水面すなわち浅い井戸の水が上昇する。これは地下水の貯留量が増えた証拠である。しかし無降雨がつづく、地下水面は徐々に低下してゆく。地下水が川や湖へ流出するためである。

武蔵野台地を例にとると、年降水量は約1,600mm、年蒸発散量は約700mmである。台地の上に植生があると、表面流出は発生しないので、900mm/年の地下水涵養が生ずることになる。1日平均2.47mmとなり、日本の平均値1mm/日に比べると大きい。この豊富な地下水が武蔵野台地周辺の崖線や侵食谷の谷頭の湧泉群を養っていた。大岡昇平の有名な小説『武蔵野夫人』の冒頭にでてくる“はげ”は、野川に沿った崖下の湧水を指すことばである。

台地で都市化が進行すると、まず植生が除去され、蒸発散が減少する。減少する程度は条件によるが、詳しい調査は行われていない。つぎに道路や屋根など非浸透性の面積が増える。蒸発散量の減少と非浸透性面積の増加は、ともに河川への流出量の増加に寄与する。道路の側溝や下水管の設置は、降雨が河川や窪

地へ流出するのに要する時間を短くする。流出量の増加と流出時間の短縮により洪水流量のピークは高まり氾濫の被害を増大させる。

地下水への涵養量が減ると、長期的には涵養量と流出量はつり合っているはずであるから、湧水の量も減る。湧水は河川の無降雨時の流量を支えているから、河川の低水時の流量も減少する。そこへ汚水が流れ込む。河川の汚濁が進むと、ホタルや魚など生物相にも影響が現れる。

地下水が強力なポンプで大量に揚水されると地盤沈下の原因となることのほかに地下水面が低下する。深層の地下水を揚水しても、地下水は全体として深層も浅層もつながっているから、多少の時間遅れはあるにしても結局は地下水面が低下するのである。地下水面の低下は当然湧水量を減少させるが、さらに揚水は地下水の流れの様子を変化させる。たとえば強力な揚水井が湧泉の近くにあると、たとえ地下水面の位置が同じであっても、水の流路が変化し、それまで湧泉に出ていた水が井戸に吸い込まれるということが起きる。工事により地下水を大量に揚水したために湧水が枯れたり、井戸枯れが起きることもある。

武蔵野台地の地下水面までの深さは10m以上と深い、沖積低地はもともと現世の川が土砂を堆積してつくった地形で地下水面は浅く1m未満のところもある。地下水面が浅いと水はげが悪く土地ははじめじめしている。したがって水の浸み込みが悪く、台地と同じだけの降雨があっても、雨から地下水へ涵養される水の量は少なくなる。かつて東京都に隣接する埼玉県の中川流域の沖積地の水収支を試算したことがある。その結果は年降水量1,350mmに対して、年蒸発散量約800mm、地下

水涵養量は年間に280mmであった。したがって270mmが河川への直接流出ということになる。武蔵野台地に比べると、地下水涵養量は1/3以下であることに注目していただきたい。

沖積低地の都市化で問題になる点は、洪水が発生すると、台地では被害は谷底の狭い地域に限られるが、低地では土地の起伏が小さいため、その被害が広域にまで及ぶことである。これは地盤沈下の被害についても同様にいえることで、台地では多少の沈下は実害を伴わないが、低地では僅かの沈下で地表水の流れが変化したり、洪水時の被害が増大するなどの影響が現れる。

以上は東京付近を例にした一考察であるが、同じ沖積低地や洪積台地であっても、地形や土地利用の状態は都市によって異なる。都市にはそれぞれ固有の条件がある。その条件をその土地を調査することなしに知ることはできない。

都市環境の創造を目指して

水は自然界を循環している。その過程で降水は地下水になり、地下水は河川や湖沼へ流出する。水は循環する過程で土地を削り、土砂を運び、堆積する。また水は植物を育て、植物は動物を呼ぶ。また水は流れる過程で物質を溶かしこむ。水が循環する過程で行っているこれらの物理的、化学的、生物的作用の結果として、地表面の広い意味の生態系が成立している。人間の豊かな情感や知恵は、自然との接触で育まれたものである。

私は水利用を、水循環システムの中へ水利用システムをはめ込み、そこから便益を引き出すことと定義している。都市というシステムは、水利用を直接目指したものではないが、同じような見方をすると、都市システムも水

循環システムにはめ込まれている。水利用システムも都市システムも、ともに自然の水循環システムを変化させる。その結果、人間にとって好ましい条件が出現することもあるし、災害が発生することもある。

治水、利水とならんで親水という言葉が生まれたのは、水が生み出す生態系の都市における重要性を強調したかったからだと思う。都市システムと水循環システムは重なり合い、作用し合っている。両者のどのような関わり方が最も望ましいかは、自然環境条件と住民の意志で決ることであるが、両者はともにシステムであるから、一部に加えられた変化はシステム全体に波及する。

したがって、利水と治水と親水は互いに切り離して考えることのできない性質のものである。いま都市の総合治水が議論され、東京では透水性舗装、雨水浸透池、地下河川など様々な工事が進行中である。下水施設についても集中下水処理の是非が論じられている。

都市がこれから目指すべき方向は豊かさや多様性の追求ではないであろうか。都市は現代文明が凝縮されたシステムである。高度経済成長期にあった東京の街は汚かった。治水のため、水は一刻も早く排除されるように設計された。水がなければ都市は潤いのないものとなる。水循環を駆動するエネルギー源は太陽と重力である。私はこれからの地球科学技術は太陽エネルギーと重力と水を有効に利用できるものでなければならないと考えている。都市内部に多様な水循環を創りだせば潤いと多様性が生まれる筈である。都市の水循環を蘇生させ更には創造することが必要な時代が到来したのである。いま話題の地球環境問題についても同じことが言える筈である。