

東京都区部をモデルとした都市の水循環システムの構築

松本(井上)源喜*, 新井 祐希**

要 約

東京都区部をモデルとし、都市における水循環システムの構築の検討を行った。都市の水問題の総合的な解決のためには、自然本来の水循環システムの再生ばかりでなく、都市独自の水循環システムの構築が重要である。そのためには雨水浸透トレンチを利用した地下水の人工涵養による、地下ダムの推進と地下水の利用を計ることが大切である。都市独自の水循環システムとしては、公共用ビルや商業用ビルにおける雨水利用と中水道を最大限に活用することが必要である。また、雨水や太陽エネルギーを有効活用し、生ゴミは堆肥に還元する、環境共生集合住宅の建築の推進も水循環と環境保全上重要である。雨水浸透と地下水利用、雨水利用、中水道など、自然本来の水循環システムと都市独自の水循環システムを組み合わせ地域水循環システムの構築を計ることにより、東京都区部は水資源依存型都市から自己水源を持つ水資源共存型都市へと転換が可能であろう。

1. はじめに

飲めないほどのまずい水、トリハロメタンの発生、赤水、水不足による渇水、降水時の都市型洪水、地下水過剰採取による地盤沈下や湧き水枯渇、河川の水質汚濁など、東京都区部は、あまりにも多くの水問題を抱えている。都市化により不浸透域は増大し、浸透されなくなった雨水は邪魔者とされ、すばやく排除するために合流式下水道が急ピッチで整備された。しかし、雨水の流出量が下

水道の処理能力をはるかに越え、都市型洪水が発生している。地表では洪水が発生し、水が溢れているにも関わらず、地表下では地下水の過剰な汲み上げや地下埋設物などにより地下水は収奪され、乾燥化が進んでいる。しかも、東京都区部においては、地下水涵養量は雨水浸透量よりも水道管からの漏水量の方が多く¹⁾、大きな矛盾を感じざるを得ない。今までは、このような個々の水問題に対

*大妻女子大学 社会情報学部

**大妻女子大学 社会情報学部 (現在 富士電気化学株式会社)

して高度な技術を用いて対応してきた。しかし、これらの技術を用いることで環境に負荷を与え、新たな問題を引き起こしたり、他の水問題にしわ寄せしたりと、悪循環を引き起こすばかりで根本的な解決には全く至っていない²⁾。水問題を解決するためには、個々の問題に対応するばかりでなく、水問題を総合的にとらえる視野が必要である。

東京都区部は都市化により、その面積の多くはコンクリートやアスファルトで覆われ、雨水を地下に浸透させることがほとんどできなくなっている。また、上下水道もほぼ100%普及し、大量の水が区部を通過していく。このような都市化により、水循環の中でも地下水収支は最も大きなインパクトを受けている。地下水収支はズタズタにされ、自然本来の地域水循環は断絶された。東京都区部におけるこのように断絶された地域水循環、特に地下水収支のバランスを正常に戻し、本来の地域水循環に近づけていくことが、水問題を総合的に解決していく鍵ではないだろうか。

東京都区部で地下水収支のバランスを保つためには、地下水の人工涵養を推進する必要がある。人工涵養の方法としては、新見が開発した土壤浄化法から生まれた浸透トレンチをはじめとする地下浸透法が浸透量、浸透力の持続性などで大変優れており、有効であることが証明されている³⁾。地域に降った雨水を地域内に人工涵養することで、雨水流出のベースカットとなり治水効果が期待される⁴⁾。また、環境保全という視点から考えてもプラスである。しかしながら、東京都区部において、全ての地域で雨水浸透トレンチの利用が可能なのではない。さらに、地下水利用に際しては、法律で規制されている部分も多くある。これらを考慮すると、都市の水循環システムの構築のためには地下水の人工涵養によるダイナミックな地域水循環の再生のほかに、都市独自の水循環システムを組み入れて水資源の有効利用を推進しつつ、都市の水循環を考える必要がある。都市独自の水循環システムとしては、一度使用した水を処理しリサイクルする中水道と、雨水を貯留して使用する雨水利用が考えられる。本研究ではこれらを最大限に利用し、東京都区部をモデルとした都市の水

循環システムの構築を検討した。

2. 都市化による地域水循環の断絶

2.1. 都市の水循環断絶の要因

太陽エネルギーにより海から蒸発した水は、雲となり雨や雪となって地上に降る。地上に降った水は、地下に浸透し川となって海に戻る。このような水の大循環の中に、都市の水循環が組み込まれている。しかし、この水循環は水収支のバランスを失い、自然本来の水循環システムから大きくかけ離れている⁵⁾ (図1)。

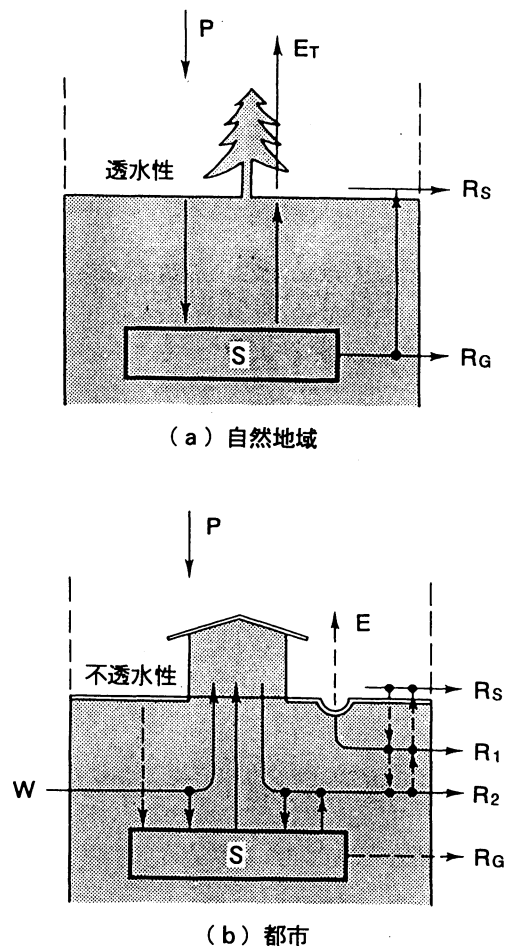


図1. 自然地域と都市の水収支の違い⁵⁾
P:降水, R_s :表面流出, E_T :蒸発散, E:蒸発, S:地下水, R_g :地下水流出, R_1 :雨水の排水溝, R_2 :下水道, W:用水の導入

都市化による地域水循環の断絶で、最もインパクトを受けているのは地下水収支である。かつて、地下水は①良質で水温の変化が少ない、②各自の敷地内の井戸により取水ができ採取が容易である、③安価に水が得られるという利点から水資源として多く用いられてきた⁶⁾。しかし、都市化がすすみ、地下水はほとんど涵養されなくなり、地下水採取は法律で規制されているものの、地下鉄、地下街、ビルの地下や配管など地下埋設物に収奪され地下水収支のバランスは崩れている。都市化された地域の水循環には次の3つの特徴がある。

1) 他地域からの大量の水の導入

東京都区部はその地域内に自己水源がなく、水資源のほとんどを利根川上流のダムに依存している。その量は、東京都区部に流入するどの物質よりも格段に多い。安部ら⁷⁾の報告によると、東京都区部における年間の降水量が 2.6×10^9 t/年であるが、それと同じ程度の 2.1×10^9 t/年の水が水路より流入している。貨物の搬入のうち、食料が 4.05×10^6 t/年、燃料が 9.4×10^6 t/年であることから水の量がどれだけ多いかわかる⁷⁾ (表1)。このように大量の水が地域内の降水の有無に関わら

ず他地域から導入され、利用されて東京都区部を通過していく。

2) 地表面の不浸透化

東京都区部では都市化に伴い、コンクリートやアスファルトなど雨水がほとんど地下にしみ込まない不浸透域が増大し、都市に降った雨は下水道や河川へ直接流出するようになった。東京都区部の年間降水量は約1,500mm。この雨の約23%にあたる350mmは蒸発し、また同じ350mmが地下に浸透している。しかし、全体の半分以上の800mmは表面流出してしまう⁸⁾。このように大量の雨水が一気に集中するため、下水道や河川の負担は増大し洪水のピークは速まることとなる。

東京都環境保全局 (1992)¹⁾によれば、区部では1968年時点で74%が被覆され、不浸透域となっている。18年後の1986年には79.3%とさらに被覆率は高くなり、直接流出量も60.4%から64.8%と高くなっている (表2)。この被覆率がどれだけ大きいかは、多摩地区と比較すると明らかである。多摩地区では、昭和40年代から多摩ニュータウンの建設が始まったことを始め、郊外の宅地開発が進み、被覆率は29.6%から49.0%に上昇、直接流出量も22.8%か

表1. 東京都の物質収支⁷⁾

	物質収支 (t/年)		
	流入	流出	備考
水 { 降水 人工水路	2.6×10^9 2.1×10^9		
貨物 (うち食糧) (うち燃料)	1.36×10^8 (4.05×10^6) (9.40×10^6)	1.08×10^8	差が現存量の増加になる
輸送機関自体の移動量	5.3×10^8	5.4×10^8	
廃棄物 { 大気をとおして 水をとおして 固型物として 海洋投棄		6.6×10^7 2.1×10^6 4.9×10^7 1.3×10^6	
人	3.0×10^7	3.0×10^7	

表2. 東京都における地表面の被覆率(%)と水収支(千㎡/日)¹⁾

		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%
降 水 量		2,524 (100%)	2,355 (100%)	3,221 (100%)	2,967 (100%)
内 訳	蒸 発 散 量	603 (23.9%)	540 (22.9%)	1,024 (31.8%)	855 (28.8%)
	直 接 流 出 量	1,524 (60.4%)	1,525 (64.8%)	735 (22.8%)	1,165 (39.3%)
	雨 水 浸 透 量	397 (15.7%)	290 (12.3%)	1,462 (45.4%)	946 (31.9%)

ら39.3%に増大しているが、区部にははるかに追いつかない数値である。

3) 下水道

1994年末における東京都区部の下水道普及率は、全体人口8,094,810人に対して、普及人口8,054,426人とほぼ100%に達している⁹⁾。地理的、経済的、狭い道路事情、地下埋設物条件などの理由から、東京都区部の下水道のほとんどは合流式下水道を採用している。また、大規模な合流式下水道の建設の推進は、時期的に高度経済成長期にあり、大きな経済波及効果があったためとも言われている²⁾。合流式下水道は、汚水とコンクリートやアスファルトなどによって排除された大量の雨水を一緒に処理するため、幹線では口径7~8mという巨大な下水管になっている。下水管を設計する際、95~99%は雨水量がその割合を占めるという²⁾。しかし、それでも区部では都市型洪水が発生している。

都市型洪水の因子として不浸透域の増大と下水道の普及があげられるが、Leopold¹⁰⁾によれば、都市型洪水には下水道普及率が最も大きく影響している。すなわち、不透水性面積率つまり不浸透域率と、排水溝普及率つまり下水道普及率を両軸にとり、都市化後洪水流量の増加を都市化前流量に

対する倍率で示しているが、不透水性面積率が100%で、排水溝普及率も100%であれば、この条件に当てはまる洪水の流量は、都市化前の6倍以上になる(図2)。ところが不透水性面積率が100%で

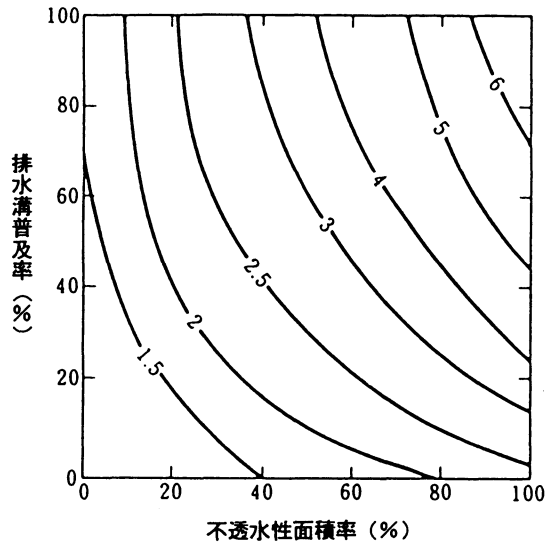


図2. 不透水性面積率、排水溝(下水)普及率と原況洪水流量に対する都市化後の洪水流量の比。図中の数字は都市化後の洪水流量/原況洪水流量を示す¹⁰⁾。

あっても、排水溝普及率が0%であればこの倍率は2.5倍にとどまる。都市型洪水の最大の要因が下水道の普及であることがわかる。また、下水道は雨水を排除するだけでなく、地下水も収奪しており、地下水収支のバランスを崩す要因の一つである。

2.2. 都市化による地下水サイクルの変化

都市化による水循環の変化で地下の水収支はバランスを大きく失っている。地下水収支におけるプラス側、つまり地下への浸透側をみると、雨水浸透量266,939m³/日に対し、水道管からの漏水量が492,928m³/日と、雨水の2倍近い量が水道管からの漏水によって賄われている¹⁾(表3)。東京都区部の地下水にとって水道管からの漏水量は欠かせない存在なのである。漏水量は上水供給量の約15%と言われており⁵⁾、利根川水系上流のダムは東京都区部の都市用水、工業用水、生活用水だけでなく、地下水収支まで賄っていることとなる。マイナス側、すなわち地下から出ていく量をみると、211,057m³/日と下水管への浸出量が最も大きい¹⁾。また、地下鉄等への湧き出量も1オーダー小さいとはいえ見逃せない⁶⁾(表3)。東京都区部の地下水収支において、人工的埋蔵物が地下水に与えるインパクトは非常に大きい。

2.3. 地盤沈下を引き起こした地下水の過剰採取とその規制

私たちには地下水の莫大な存在量を過信し、無配慮な採取から地盤沈下を引き起こした苦い経験がある。東京都における地下水採取量は、明治時代の近代産業の発展に伴い急激に増大し、地盤沈下を惹起したが、第二次世界大戦時には産業活動が著しく低迷し、地盤沈下は一時期はほぼ停止した。しかし、戦後の産業活動の復興に伴い、再び地下水採取量が増加し、昭和30年代になると年間20cmの沈下も記録されている¹¹⁾。地盤沈下が地下水の過剰採取によるものであることから、わが国では1951年に工業用水法、1962年に建築物用地下水の採取に関する法律による地下水採取規制を実施し、地下水採取を抑制した⁶⁾。区部における揚水量は1961年には870,000m³/日、1964年には967,000m³/日であったが、地下水揚水規制によりその後次第に減少している¹²⁾(表4)。地下水位の推移をみると、区部の低地である江東区・墨田区では1965年頃までは低下していたが、その後上昇に転じる傾向にある¹²⁾(図3)。このような地下水位の上昇は、建築物用水源井の一部廃止と工業用水源井の一部廃止の揚水規制が行われた時期と一致している。その後、1971年から工業用水法による規制基準の強化、

表3. 東京都の地下水収支^{1) 6)}

単位：m³/日

		東京都	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	568,103
	小計	1,059,885	349,780	710,105
計(プラス側-マイナス側)		684,044	410,087	273,957

表 4. 東京都区部における地下水揚水量の推移¹²⁾

単位：千m³/日

年	地下水揚水量	年	地下水揚水量	年	地下水揚水量
1961	870 *	1973	361	1985	118
1962	879 *	1974	273	1986	116
1963	947 *	1975	206	1987	117
1964	967	1976	185	1988	115
1965	849	1977	162	1989	113
1966	676	1978	154	1990	116
1967	614	1979	146	1991	114
1968	567	1980	142	1992	115
1969	563	1981	139	1993	112
1970	624	1982	137	1994	113
1971	578	1983	121		
1972	402	1984	120		

*の揚水量は南関東地域地盤沈下調査対策誌（1972年12月南関東地域地盤沈下調査会）の資料を稼働日数から暦日数当たりの揚水量に換算したものである。

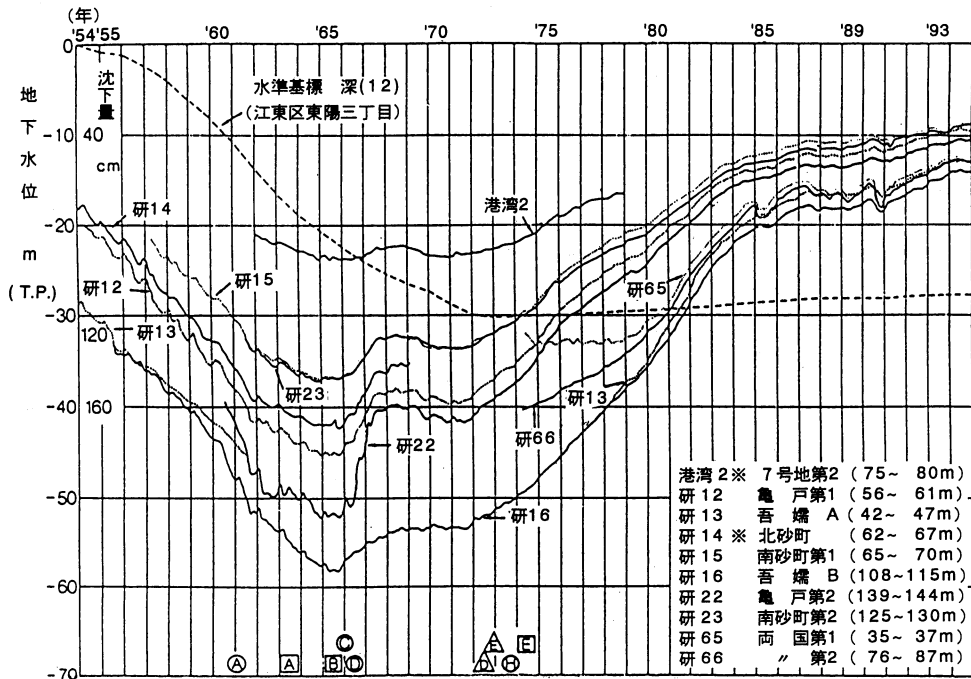


図 3. 江東区・墨田区の観測井の地下水位変動と累計沈下量¹²⁾

注 1：() 内の数字はストレーナの深さ，基底英文字は地下水揚水規制を表す。

注 2：※旧観測井

城北地区の工業用水源井の一部廃止などが実施されたため、揚水量は大幅に減少し地下水位は急激に上昇している。現在の江東地区の地下水位は1950年代前半の地下水位以上に回復している。区部の台地にある板橋区の地下水位は、1971年12月までに実施された城北地区の揚水規制の効果により、1971年後半から急激に上昇している。また、新宿区・練馬区では、1974年5月までに実施された建築物用水源井の揚水規制により1973年の後半から地下水位は急激に回復している¹²⁾。

地下水位と揚水量は密接に関連しており、揚水規制により東京都の地下水は守られている。地下水はデリケートな水資源であることから、地下水存在量や地下水涵養量とのバランスを考え、地下水利用をすることが必要である¹²⁾(図4)。近年、揚水規制の効果による地下水上昇は頭打ち状態にあり、今後、揚水規制だけでなく積極的な地下水の人工涵養が必要と思われる。

2.4. 湧水の現状

東京都区部の湧水点および湧水量は急激に減少している¹⁾(図5)。戦後の産業活動の復興により地盤沈下が著しく進行した時期と同じくして、昭和30年代に多くの湧き水が枯渇した。1968年の調査では都内23区の顕著な湧水点は、34箇所湧き水量は1,000m³/日、多摩地区では94箇所16,000m³/日で、この流量は昭和20年代以前の1箇所の大湧水池の湧水量にも及ばない⁵⁾。

湧水枯渇の直接的な原因は不圧地下水面の低下であるが、それには不浸透域の拡大により地下水涵養量が減少したこと、深い地下水の過剰採取、河川護岸のコンクリート張り、下水道などの地下埋設物による地下水収奪なども大きく関与している。東京都では、1990年から湧水を保全するための湧水保全事業を始めている。湧水保全の方法としては、民間住宅で雨水浸透装置を設置することに重点を置いている。湧水保全の効果としては、①地下水

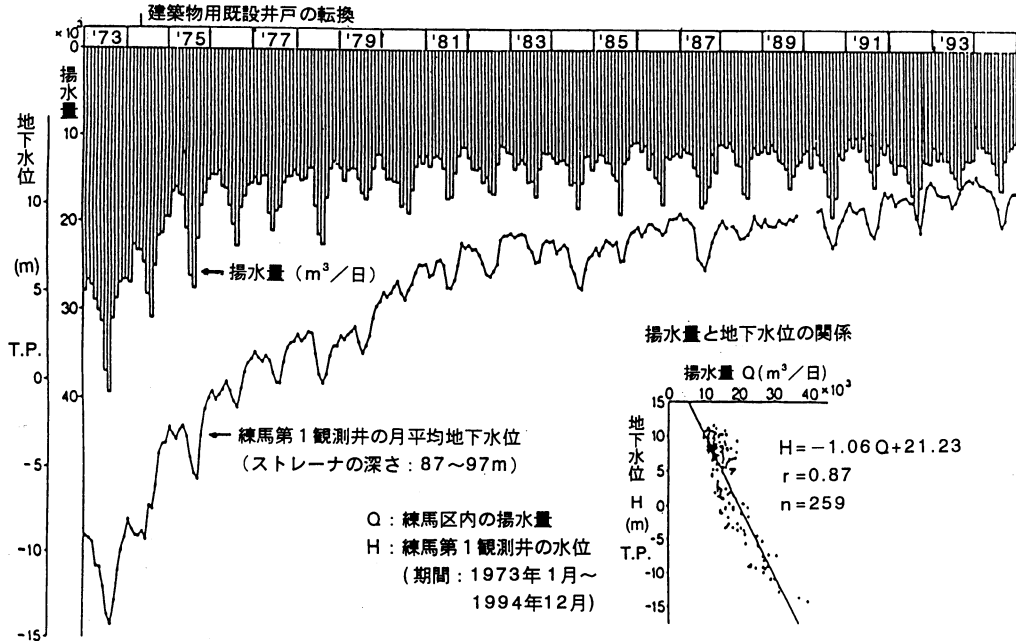


図4. 練馬区内の揚水量と地下水位の関係¹²⁾

3. 都市の水循環再生の重要性

3.1. 水源事情と安定給水に対する都民の意識

大都市東京は、渇水と洪水という2つの要素を持ち合わせている。遥か彼方の上流のダムに水源を求めているため、東京に大量の雨が降って水浸しになっても、水瓶である利根川上流の群馬県には雨が降っていないために、水不足になるという皮肉なことが起きている。東京都の「水道モニターアンケート」¹⁴⁾によれば、東京都の水道水源の約80%を利根川水系河川水に依存していることを知っている人は45%である。渇水によりダムの貯水量が極端に少なくなった時には、河川からの取水を制限される場合があることを知っている人は85%だという。これは、近年の渇水時に貯水量の少なくなっ

たダムがマスコミなどで取り上げられているため、知っている人が多かったのではないと思われる。

また、将来的にみた東京の水源事情についてどう思いますか¹⁴⁾、という質問に、「非常に心配している」35%、「少し心配している」53%と、今後の水源事情に88%の人が不安を持っていると答えた。自己水源を持たない都民は水資源の供給に対して、かなりの不安を抱いている。安定した水供給のためにも、上流のダムに頼るだけではなく、地域水循環を再生させ、地域内に自己水源を生み出す必要がある。

3.2. 1994年の渇水からみた自己水源の必要性

日本列島は記録的少雨により、1994年には大規模な渇水に見舞われた¹¹⁾ (図6)。最大時(9月15日)

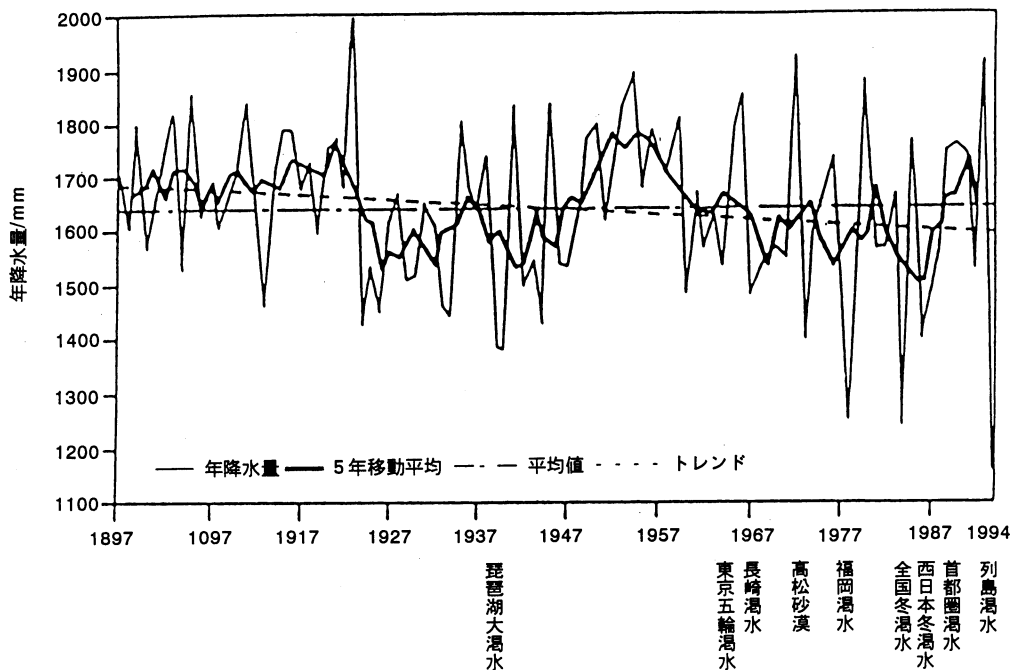


図6. 日本の年間降水量の経年変化¹¹⁾ (気象庁資料に基づいて国土庁で試算。全国46地点の算術平均値。トレンドは回帰直線による)。

地点名：網走，根室，寿都，札幌，函館，宮古，山形，石巻，青森，秋田，福島，前橋，熊谷，水戸，宇都宮，甲府，東京，長野，金沢，新潟，福井，浜松，名古屋，岐阜，彦根，京都，大阪，和歌山，岡山，境，浜田，巖原，広島，多度津，徳島，松山，高知，熊本，宮崎，福岡，佐賀，長崎，鹿児島，名瀬，那覇，石垣島。

には、1,176万人が渇水による水道の減圧給水、または時間給水の影響を受けた。また、1994年6月1日から1995年5月17日の間に1度でも渇水による水道の減圧給水、または時間給水の影響を受けた人口は全国で1,583万人にのぼった。東京都でも多くのプールが使用停止となった¹¹⁾。

記録的多雨であった1993年と、一転して厳しい渇水に見舞われた1994年に象徴されるように、近年の年間総降水量のばらつきは大きくなっている¹¹⁾ (図6)。1978年1,251mm, 1984年1,239mm, 1994年1,163mmと異常とも考えられる少雨が頻発しており、安定した水供給の確立が重要になっている。

東京都区部は、水資源のそのほとんどを遠方の水源地に頼っており、上記のような異常渇水に見舞われた際、このような上流のダムに依存する水資源供給では、都市への安定した水供給は期待できない。東京都が頼っている上流のダムの水も、元をたせば雨水である。東京都にも同じように貴重な水資源である雨は降っているが、貴重な水資源どころか、やっかいものとして下水道に流し捨て去られている。都市に降る雨を、一方で邪魔者として排除し廃棄物化しておきながら、もう一方で、はるか彼方に水源を求めるといった発想を転換し¹⁵⁾、雨水を自己水源として有効に活用していくべきである。

4. 都市の水循環システム構築の可能性

4.1. 中水道

本項の記述は雨水利用東京国際会議記録編集委員会¹⁶⁾を参考にした。あらゆる資源においてリサイクルが叫ばれている。水資源においても例外ではない。東京都区部の都市再開発や新設される大型ビルでは、いったん使った水道水を処理してリサイクルさせる「中水道」を組み込むことが普通になってきている。中水道システムには、大きく分けて二つのタイプがある。一つは、自分のビルで使った水をリサイクルするもので、もう一つは下水処理場からの処理水を再利用するものである。

前者のうち単独でリサイクルしているビルでは、池袋サンシャインシティ、警視庁、大洋漁業、日本工業本社ビルなどがある。また、いくつかのビ

ルが共同でネットワークをつくる地域中水道を利用しているものもある。千代田区大手町の地域では、三井物産ビル、東京消防庁本部庁舎、センタービルがネットワークをつくっている。日比谷地域では、プレスセンタービル、国際ビル、富国生命ビル、日比谷セントラルビルがグループで中水道を利用している。

後者では、新宿超高層ビル街にある、三井ビル、センタービル、野村ビル、第一生命ビル、安田火災海上本社ビル、京王プラザホテル南館、小田急センチュリービル、国際ビル、NSビル、東京医大、グリーンタワービル、エルタワービル、KDDビルなどが東京都下水道局の落合下水処理場からの処理水を再利用しており、これらのビルが1日に使うトイレの流し水3000tは、すべて下水処理水でまかなわれている。下水は水利用をするうえで必ず排出されるものであり、言い換えれば、水を利用する限り必然的に安定した水量が得られる水源である。

中水道システムはダムからの水資源を使って捨てるという今までの一方通行の通過利用に比べると、一度使った水を再利用するので水資源の有効利用であり、地域内で循環利用することで自己水源として利用できるといえるであろう。しかしながら、中水道にかかる費用は莫大であり、また、下水を処理するエネルギー量などを考えると、水資源としては有効利用できたとしても、他の資源を大量に消費するという矛盾が生じているように思われる。

4.2. 雨水利用

1) 雨水利用の考え方

地球的規模で循環する水資源のなかで、雨水は都市から邪魔者扱いをされてきたが、最近その評価は変わりつつある。雨水を見直し、貴重な水資源として有効活用しようとするものである。水資源を遠方の水源地のみに頼ることなく、都市に降る雨水を自前の水源として可能な限り、潤いのある環境づくりにも積極的に役立てようとする試みが、都市における水問題の新たな解決策として各地で取り組まれつつある¹¹⁾。

雨水を貯留し利用することは雨水流出のピークカットとなるので、都市型洪水を防ぐ一役を担うことになる⁴⁾。また、雨水を屋上などから収集することで、良質の水資源が確保でき、雑用水として利用することが可能である。雨水を利用することで上水を節約でき、また、防災時の水の確保もできる。

2) 雨水利用の先進的地域である墨田区

東京都区部の中でも、墨田区は雨水利用の先進的な地域で、1983年から積極的に雨水利用を推進している。1994年8月1-6日には、「雨水利用は地球を救う一雨と都市の共生を求めて」をテーマに、墨田区において雨水利用東京国際会議が開催された¹⁶⁾。また、雨水利用を推進する上で、1995年から民間の雨水利用に対する助成制度を開始している。

墨田区の雨水利用法について（墨田区パンフレットより）紹介する。

①自前の水源の確保：墨田区内に降る雨は、年間で約2,000万 m^3 にもなります。この雨水を「資源」としてとらえ、地域の自己水源としての活用を目指します。

②防災都市の推進：墨田区は昔から洪水や震災などで大きな被害を被ってきました。雨水をためることによって、非常時の防火・雑用などの応急用水として役立っていきます。

③都市環境の再生：雨水を貯蔵したり地下に浸透させることで、集中豪雨時の都市型洪水や河川の水質汚濁を防ぎ、地下水の収支をも把握した水循環のまちづくりを目指します。そして、都市の中に水と緑のオアシスをつくります。

a) 墨田区の施設への普及

現在（1995年3月31日）、雨水利用システムを取り入れている区の施設は、14箇所である¹⁷⁾。区の13番目の雨水利用施設である墨田区庁舎は、その中でも最も大きな規模の施設である。庁舎の屋上5,035 m^2 に降った雨水は1,000 m^3 の地下のタンクに集められる。そして、洗面所や食堂からでる雑排水も処理され、雨水と一緒に消毒滅菌されてからトイレの流し水として利用される。1993年のデータによると、年間に使用されたトイレの流し水は約13,600

m^3 。そのうち7,000 m^3 が雨水、リサイクルされた雑排水が4,000 m^3 利用されている。つまり、庁舎だけで、年間11,000 m^3 の水が節約されたことになり、この量は家庭用（200L）のバスタブ約55,000杯に相当する⁸⁾。

b) 民間施設への普及

1985年1月に完成した「両国国技館」は、国内の民間施設の中で、最初に雨水利用システムが採用された大規模な施設である。両国国技館では、①この地域は関東大震災で甚大な被害を受けたので、都市防災という視点から検討を加える必要がある。②1981年の24号台風時において、両国国技館建設予定地の近くで浸水被害が起きているので、治水上の配慮が必要である。③相撲興行時には、水洗便所用水や冷房用水等に膨大な水を消費するので、水の省資源化をはかる必要がある。以上の3点の理由から雨水貯留槽が設置されることになった²⁾。普段はトイレの流し水や空調用冷却水、植栽の散水、消防水利として使われるほか、屋根に積もった雪を溶かす融雪設備にも雨水が利用される。

1993年3月にオープンした東京都立江戸東京博物館にも、雨水利用システムが採用されている。地下の雨水タンクは2,500 m^3 で、両国国技館の2.5倍の雨水をためることができる。また、墨田区本所にある凸版印刷株式会社本所ビルや、墨田区亀沢の吉田工業株式会社 YKK・R & D センターなどでも雨水利用システムが利用されている⁸⁾。

雨水利用システムは、小規模であればあるほどコストが高くなるため大規模なものが多かった。本システムの民間への普及であるが、1995年雨水利用に対する助成制度が開始されたため、今後は一般家庭レベルへの普及が期待される。

c) 地域における雨水利用の普及

地域の雨水利用施設として、「路地尊」が設置されている¹⁷⁾（図7）。もともと防災まちづくりの一環として住民の発案により設置されたものであるが、第2号基に雨水を利用した災害時の水源を確保するシステムが導入されたため、雨水利用システムが主な機能となっている。基本的な機能は、初期消火、非常時の雑用水や飲料水としての活用が念頭におかれているが、平常時には、植木への水、

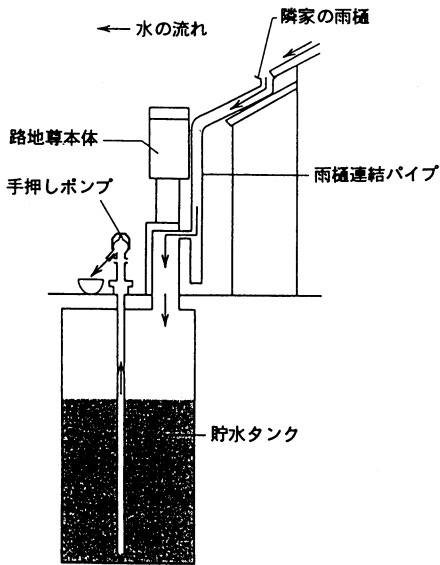


図 7. 路地尊の雨水利用システム¹⁷⁾

道路への散水、金魚を飼う水などとして地域の人々に利用されている⁸⁾。路地尊の最大の利点は、雨水利用と地域の人々のコミュニケーションがはかれることである。地域の人々の生活に密着して利用されているため、地域の人々が雨水のありがたさを自然に理解し、雨水利用に対する意識の浸透が大変役立っているように思う。

4.3. 雨水地下浸透による地下水利用

1) 雨水地下浸透の考え方

墨田区の雨水利用に代表されるように、現在の雨水利用の多くは、タンクに貯留し雑用水として利用する方法が用いられている。たしかに地域に降る雨を排除し捨て去ることは、水資源のゴミ化であり、貯めて利用することが、都市の自己水源の確保のために重要である。また、雨水貯留は降水時のピークカットとなり雨水の流出を抑制する⁴⁾ので、都市型洪水の防止にもなるだろう。しかし、雨水をタンクに溜めるのではなく地下に浸透させれば、わざわざタンクを取り付ける必要もなく、地下水として地域の人々が利用でき、地下水位が上昇するため湧き水も復活し、地盤沈下も抑えられる¹³⁾ (図 8)。緑も復活し地域水循環の再生も期待できる。また、土壌の浄化作用により良好な水質も確保される。雨水地下浸透こそ、都市における水問題を根本的に解決する総合的な視点であろう。

2) 井戸法と拡水法

浸透型施設は、注入井による井戸法と地表面から浸透させる拡水法に分けられる。井戸法は古くから用いられていた方法である。しかし、涵養水中の懸濁物などの物質的原因、酸化などの化学的な原因により目づまりが生じ、浸透力が低下する問題点がある¹⁸⁾。しかも地下深部で目づまりが発生するため、目づまりの原因となる物質を取り除く処理が困難である¹⁹⁾。

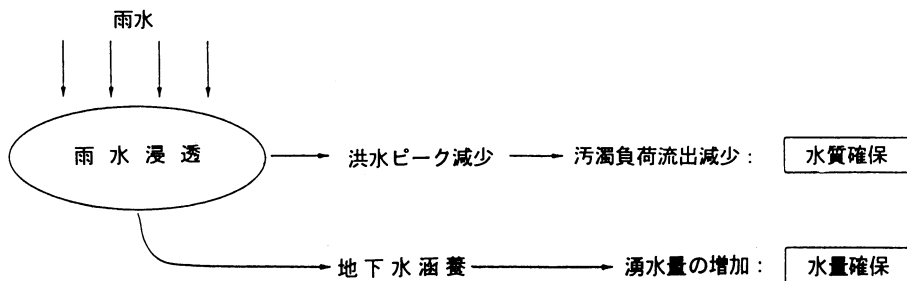


図 8. 雨水浸透の効果¹³⁾

拡水法は、重力浸透ではなく横方向の浸透で驚くほどの浸透力を持っている。拡水法の中でも米国等で一般的に利用されているものは浸透池である。自然浸透に近い方法であるので地下水質に与える影響も比較的小さい。しかし、この方法は広い面積を必要とする¹⁹⁾。そのため、都市化のすすんでいる東京都区部における利用の可能性は小さい。

実際に、東京都区部における浸透型施設として実用の可能性があるものは図9の①～④の施設である。①～③は、地下浸透法とも呼ばれ、屋根等に降った雨水を直接表面土壌中に導き、水を地中に浸透させる方法である。目づまりを生じやすい土壌表面からの浸透を避けて、直接土壌内に水を導いてやるのが地下浸透法の眼目である¹⁸⁾。石崎¹³⁾が行った地下埋管の実地実験では、浸透量が1,440mm/日という大量の水が浸透することが証明されている。水田の減水深が10～50mm/日、林地の浸透量が100～200mm/日と比べると非常に大きい数値である。また、地下浸透法は、浸透量が大きいだけでなく、浸透型施設の最大の問題点とされていた目づまりがしにくいという利点を持つ。

④の透水性舗装はコンクリートやアスファルトの変わりに、下水処理場から出る汚泥をリサイクルしたレンガ等を敷き詰め雨水が浸透できるようにしたもので、近年あちこちでみられるようになった。しかし、ゴミやチューインガム等が詰まり、

目づまりを起こしやすいという浸透型施設としての最大の欠陥を持っている。圧力をかけたジェット水流で掃除をすることで、目づまりは解消できるが、それにかかる費用は膨大である⁵⁾。したがって、本法は雨水の主要な地下浸透法になると思えない。

3) 土壌浄化法から生まれた雨水浸透トレンチ

雨水浸透トレンチは新見が開発した土壌浄化法から生まれた方法である^{3) 20)}。土壌浄化法とはその名の通り、土壌を用いて水をきれいにする方法である。土壌中にしみ込み、浄化された水はそのまま地下へ涵養される。地下水涵養の役割も果たすのである。この作用に注目してつくられたのが雨水浸透トレンチである。

ソーラーシステム研究グループ²⁾が「都市の水循環」の中で、水は土壌の表面からは浸透しにくい、地表下で穴あきパイプに水を流すと驚くほど多くの水が浸透すると述べている。地表下数十cmくらいのところで浸透させたときにのみ、その本来の総合的な機能が発揮される。雨水浸透トレンチは、雨水を浸透させ地下水涵養をはかり、地下水を利用するというかたちで水利用を考えるうえで最も適した装置である。本装置は地表下数十cmという土壌中微生物が最も多く、活発に活動している土壌の作用を最大限に利用する。土壌中には、細菌、カビ、放線菌、藻類、原生動物などの土壌微生物が、1gの土壌の中に数十万～数百万以上のオーダーで共存している^{20) 21)}。これら微生物は主に有機物を栄養・エネルギー源としており、自然界のなかで分解者の役割を果たしている。すなわち、土壌生態系によって有機物は分解・浄化されるのである。土の中で細菌が生息するのが地表から1m以下、それより深くなると菌数も種類も減少する。土壌微生物が最も多く活動しているのは地表から50cmぐらいまでで、ミミズなどの土壌生物は30cm程度までである^{2) 20)}。

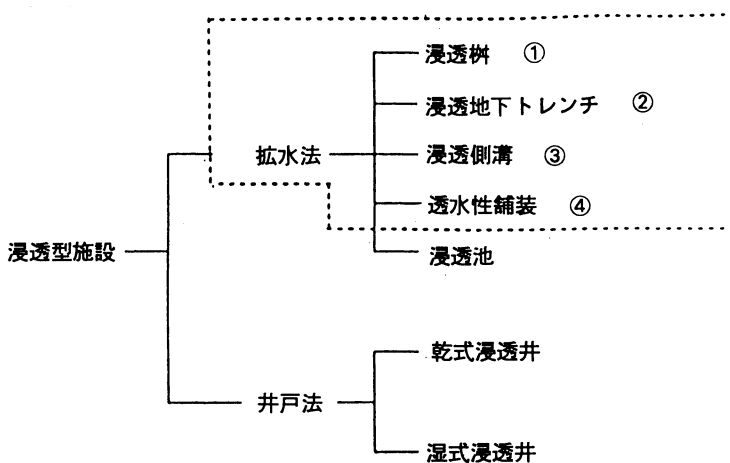


図9.浸透型施設の種類¹⁹⁾

雨水浸透トレンチは、深さ60cmぐらゐまでを利用するので、土壤微生物の作用を無視して人工涵養を行い地下深部で目づまりが発生する井戸法と異なり、目づまりを起しにくい。

雨水浸透トレンチには代表的な3つの種類がある。図10のA型は穴あきパイプの下に止水膜を有する。止水膜に貯まった水は毛管力で拡散・浸透する。浸透水に有機物が含まれていて、地下水汚染の危惧がある場合、土壤での浄化が期待される。また、毛管力による浸透は水分の拡散が長く期待されるので、灌漑効果が大きい。B型は土壤にその

まま穴あきパイプを埋設したものである。浸透水による地下水汚染の心配がない場合に有効である。ある程度の水圧がかけられるのでかなりの浸透量が期待できる。上述のように石崎¹³⁾が行った地下埋管の実地実験はこのB型である。C型は穴あきパイプのまわりを間隙率の大きい砂に置き換え、浸透量の増加を期待したものである¹⁸⁾。

雨水浸透トレンチの浸透力の維持による耐久性については、1992年に住宅都市整備公団が、昭島つつじヶ丘団地で実施した雨水浸透施設の1981年から1991年の10年にわたる追跡調査がある。その中で、浸透施設の機能の低下が生じていないことが明らかとなり、長期的な耐久性が証明されている²²⁾。

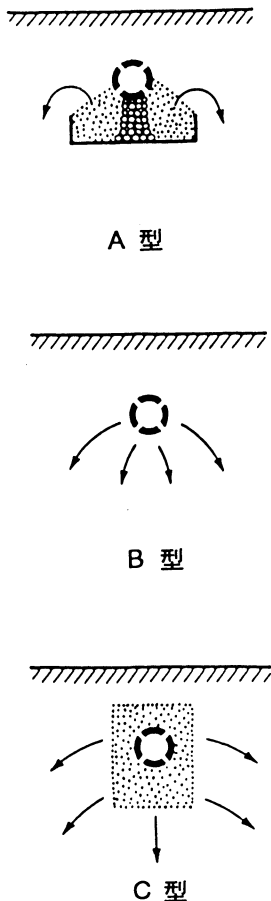


図10.浸透トレンチの種類⁵⁾

4) 地下浸透可能な地域と不可能な地域

地下浸透が可能な地域は①台地・段丘、②扇状地、③自然堤防、④山麓堆積地、⑤丘陵地、⑥浜堤などで、地下へ浸透させるため良質な団粒構造が発達している土壤であることが前提となる¹⁹⁾。団粒構造が発達している土壤のほうが粒子と粒子の間の孔隙が広く、この孔隙に水が浸透していく。また、孔隙は土中の微生物や小動物のすみかであり、これら生物の作用によって良質の土壤は保たれているといっても過言ではない。

地下浸透が不可能な地域は①沖積低地、②人工改変地、③切土面で第三紀砂泥岩、④旧河道・後背湿地・旧湖沼、⑤急傾斜地崩壊危険区域、⑥地すべり防止区域、⑦雨水地下浸透により法面の安全性が損なわれるおそれのある地域、⑧雨水地下浸透により他の場所の居住および自然環境を害するおそれのある地域、⑨透水性が期待できない土質の地域、⑩地下水位が高い地域などである。⑤・⑥に関しては、「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律」、「地すべり防止法」により、地下浸透行為は制限されている¹⁹⁾。

東京都区部を覆っている関東ローム層は浸透性に優れた土壤²¹⁾なので、基本的には東京都区部において雨水浸透を行える可能性は大きい。しかし、その面積の多くは、不透透域であること、沿岸部は埋立地が多いことなどから、実際には地下浸透が不可能な地域が多い。雨水浸透を行う場合、地

下浸透が可能なのか、不可能なのか、地形、土質、地下水位等の調査をきちんと行う必要がある。

5) 地下水汲み上げ利用の可能性

地下水の採取に関しては、地下水の保全対策としてさまざまな法制度で規制されている⁶⁾。

a) 工業用水法

工業用水法は、指定地域内で工業用に用いる一定規模以上の井戸について、許可制により規制するものである。東京都内の指定地域は墨田区・江東区・北区・荒川区・板橋区・足立区・葛飾区・江戸川区である⁶⁾。また、一定規模以上の井戸とは、動力を用いて地下水（温泉を除く）を採取するための施設で、揚水機の吐出断面積が6 cm²を越えないものとされている。

b) 建築物用地下水の採取の規制に関する法律

冷暖房や水洗便所用の地下水利用が急速に増加したため、1962年に建築物用地下水の採取の規制に関する法律（以下、ビル用水法とする）が制定され、建築物用地下水の採取が規制された。ビル用水法は、指定地域内で建築物用に用いる一定規模以上の井戸について、許可制により規制するものである。東京都特別区全域が指定地域にされている。また、一定規模以上の井戸とは、動力を用いて地下水（温泉を除く）を採取するための施設で、揚水機の吐出断面積が6 cm²を越えないものとされている。

これらの規制から、地下水汲み上げ利用の可能性としては、工業用水・ビル用水でないこと、つまり、一般家庭での利用で、吐出断面積が6 cm²を越えないものであれば問題がないと考えられる。

5. 地域水循環システムの構築をめざして

現在の東京都区部は、地域内に降った雨水は排除し下水道に流し去る、遠く上流のダムから上水道を運んできた水を利用して下水道に流し去るというように、一方通行で決して循環とは言えない。東京都区部の都市化により断絶した地域水循環システムを再生するためには雨水を見直す必要がある。今までの捨て去るという意識から貴重な水資源として有効に活用するという意識へと改め、地域に

降った雨水を地域の中で利用するのである。地下水収支のバランスを正常に戻し、環境保全という視点から考えても、雨水の地下浸透が可能な地域においては、地下浸透法を用いて雨水を地下に人工涵養し地下水として利用することを第一とした。地下水の存在量と利用量、地下水採取規制から考えて、一般家庭での利用をすすめるべきである。地下水浸透の不可能な地域では屋根や屋上を集雨スペースとし、雨水を貯めて利用する雨水利用を行うべきである。現在、中水道システムが確立されている施設については、中水道を最大限に利用し、水資源を施設内もしくは地域内で循環利用していくべきである。一方、最近雨水や太陽エネルギーを有効活用し、生ゴミは堆肥に還元する、環境共生集合住宅の建築が一部で推進されている。これは雨水利用、省エネルギー、環境保全の視点からも重要で、今後の発展が期待される。

自然本来の水循環に近づけて水資源を利用する「地下水利用」、今までゴミとしていた雨水を有効に利用する「雨水利用」、下水をリサイクルして利用する「中水道」を最大限に利用することで、地域内に水循環システムが生まれ、一方通行であった水利用が循環利用へと変換し、上水の節水が可能になり、下水道の負担も軽減される。このように、東京都区部においては自然本来の水循環システムだけでなく、都市独自の水循環システムを組み合わせて、地域水循環システムの再生をはかるべきと考える。地域水循環システムの再生により、東京都区部は水資源依存型都市から自己水源を持つ水資源共存型都市へと転換が可能である。

謝辞

本研究をすすめるにあたり、ご協力頂いた毛管浄化研究会顧問・新見正氏、毛管浄化研究会理事・新見正彰氏、墨田区地域振興部の方々に感謝します。

参考文献

- 1) 東京都環境保全局(1992):地下水収支調査報告書(概要版)。
- 2) 押田勇雄・ソーラーシステム研究グループ

- (1982) : 都市の水循環, 日本放送出版協会, 東京, 234 p.
- 3) 毛管浄化研究会 (1987) : 土壌浄化法の実際, 経済調査会, 東京, 233 p.
- 4) 東京都区部中小河川流域総合治水対策協議会 (1991) : 東京都雨水貯留・浸透施設技術指針 (案), 45 p.
- 5) 新井正・新藤静夫・市川新・吉越昭久 (1987) : 都市の水文環境, 共立出版, 東京, 263 p.
- 6) 国土庁長官官房水資源部水資源政策課地下水対策室・地下水政策研究会 (1994) : わが国の地下水, 大成出版社, 東京, 166 p.
- 7) 安部喜也・半谷高久 (1973) : 都市における物質代謝, 中野尊正・沼田 真・半谷高久・安部喜也編 : 「都市生態学 (生態学講座 28巻)」, 共立出版, 東京, 95-126.
- 8) 墨田区地域振興部リサイクル推進課 (1994) : 雨のち希望, 15 p.
- 9) 東京都下水道局 (1995) : 平成6年度東京都下水道事業年報.
- 10) Leopold, L.B. (1968) : Hydrology for urban land planning - A guidebook on the hydrologic effects on urban land use -. U.S. Geological Survey Circular, No.554, 1-18.
- 11) 国土庁長官官房水資源部 (1995) : 日本の水資源, 大蔵省印刷局, 東京, 539 p.
- 12) 東京都土木技術研究所 (1995) : 平成6年地盤沈下調査報告, 41 p.
- 13) 石崎勝義 (1995) : 雨水浸透による水環境の保全, 生活排水, 15, (5), 14-19.
- 14) 東京都水道局 (1994) : 水道モニターアンケート集計結果.
- 15) 押田勇雄・ソーラーシステム研究グループ (1987) : 都市のゴミ循環, 日本放送出版協会, 東京, 230 p.
- 16) 雨水利用東京国際会議記録編集部会 (1995) : 雨水利用東京国際会議記録, 雨水利用国際会議実行委員会, 第4巻, 39 p.
- 17) 墨田区企画経営室 (1995) : 墨田区雨水利用推進協議会報告書, 57 p.
- 18) 建設省土木研究所河川部水文研究室 (1980) : 地下埋管の原理と効果, 建設省, 東京, 19 p.
- 19) 日本河川協会 (1988) : 防災調節池等技術基準 (案), 東京, 338 p.
- 20) 毛管浄化研究会 (1983) : 土壌圏の科学, 土壌浄化センター, 東京, 352 p.
- 21) 国松孝男・菅原正孝 (1988) : 都市の水循環の創造, 技報堂出版, 東京, 277 p.
- 22) 住宅・都市整備公団住宅都市試験研究所 (1992) : 雨水浸透施設10年経過における流出抑制効果に関する研究, 調査研究期報, 97, 59-71.

An establishment of water recycling system modeled for the urban district of Tokyo

GENKI I. MATSUMOTO and YUKI ARAI*

School of Social Information Studies, Otsuma Women's University

** School of Social Information Studies, Otsuma Women's University*

(Present address: FDK Corporation)

Abstract

A water recycling system was modeled for the urban district (23-ku) of Tokyo. Underground permeation of rain water using a water permeation trench through soil-sphere is most important for the utilization and reservation of groundwater. The direct and indirect (after storage) utilization of rain water, and re-use of recycled water (treated sewage) in public and commercial buildings are strongly recommended for the establishment of a total water recycling system in the urban district of Tokyo. Also, rain water utilization in residence buildings is recommended for water recycling and environmental conservation. The urban district of Tokyo will change from a water resource dependent city to a water resource independent city by the combination of these natural and artificial water recycling systems.

Key Words (キーワード)

Water recycling system (水循環システム), Rain water utilization (雨水利用), Re-use of treated sewage (中水道), Groundwater reservoir (地下ダム), Urban district of Tokyo (東京都区部)