

節水型都市構築のための 都市内水資源有効利用の研究

和田安彦¹・三浦浩之²・多田律夫³・尾崎 平⁴

¹正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

²正会員 博(工) 関西大学助手 工学部土木工学科 (同 上)

³正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 第4設計部長 (〒532-0004 大阪市淀川区西宮原 1-8-29-35)

⁴学生会員 関西大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

都市の自己水源として雨水と生活雑排水を活用することのメリットを評価した。雨水利用は屋根降水利用と雨水貯留施設を活用した貯留水利用である。雑用水利用は家庭・事業所単位での台所排水以外の生活雑排水を利用する水のカスケード利用である。評価には都市域水量・負荷量収支シミュレーションモデルを用いた。また、雨水等を活用するために必要な諸施設の建設と運用における環境負荷を定量化した。上水給水量削減等の資源消費減少面では屋根雨水利用と水のカスケード利用が、河川放流負荷量削減等の環境への負荷減少面では水のカスケード利用が効果的であった。

Key Words : urban runoff management, storm runoff control, rainwater utilization, treated wastewater utilization

1. 緒言

都市域では都市化の進行による浸透域の減少により、雨水流出量の増加とピーク流量の尖鋭化が進んでおり、都市域からの雨水を速やかに排除する施設の整備が計画・建設されつつある。その一方で、都市の多くは水資源が十分でなく、降雨量が少なくなると渇水状態に陥りやすい都市も見られる。

都市における水循環構造は、必要な水資源は都市域外に求め、都市域への降水は域外へ排除するものである。雨水を一方では水資源と考え、他方では種々の都市活動の阻害因子として排除すべきものと捉えている^{1)~3)}。

現在、我々の生活や都市構造を、持続的発展の可能なものとするために、様々な局面でモノの循環利用、再利用ということが重要視されている^{4)~6)}。

都市域への雨水も貴重な水資源であり、雨水の有効利用は、環境と共生できる循環型都市システム構築に不可欠の事項である。

また、上水利用ではおいしい水、安全な水への要望が強い一方で、飲用に適する水質レベルにある水をトイレ洗浄水等にそのまま使用しており、オーバークオリティとなっている。トイレ洗浄水だけでも平均的な1人1日当たりの水消費量の1/5程度を占めている。上水の水質を高度に保つためには多くの

エネルギーと資源が投入されており、水源地の環境保全にも長い年月に亘る人的・物的エネルギーが投入されている。このような要求水質レベルを大きく上回る水質の水の大量消費は、限られた資源を有効に利用しなければならない今後の社会にとって改善すべき課題といえる。

本論文は、都市への降雨水の利用、ならびに、小規模な中水道システムを都市域に導入することのメリットを水量・負荷量収支の適正化と環境負荷量削減の面から評価し、都市内の水資源利用について考察した。

2. 都市内水資源の利用方法

(1) 降水利用中水道システム

a) 考え方

雨水利用は主として屋根雨水を貯留し、トイレ洗浄水や樹木散水用水等に利用するものであり、雨水流出量の減少化と都市域での上水消費量の抑制、親水施設水源としての利用等、都市水循環システムを改善できる手法であり^{7)~15)}、わが国だけでなく、海外でもその導入が検討されている¹⁶⁾。

そこで、次のような雨水貯留槽を用いた雨水利用による水循環システムの改善を検討する。貯留槽の容量は雨水利用率(=雨水使用量/雨水流出量)お

表-1 屋根雨水利用の解析条件

	3~5階建て	5~9階建て
集水面積(m ²)	145	264
貯留容量(m ³)	11.123	35.294
雑用水使用量(m ³ /day)	1.589	5.042
上水補給開始貯留量(m ³)	3.178	10.084
上水補給量(m ³ /回)	1.589	5.042

および雨水代替率(=雨水使用量/需要量)に影響するため、その設定には留意する必要がある。筆者らが雨水利用モデル施設において調査した結果¹⁷⁾をもとにその容量を設定した。

b) 施設規模等

降水利用中水道システムは下水道整備地域内の3~9階建ての事務所ビルに適用することを考える。貯留容量はその事務所ビルでの雑用水消費量7日分とし、貯留水量が不足した際の上水補給は貯留水量が雑用水使用量の2日分を下回った際に1日分の雑用水使用量分だけ行う。また、雨水の処理は物理的なる過のみとした。

施設規模等を表-1に示す。集水面積は大阪市中央区の事務所ビルの平均値を用いる¹⁷⁾。中水使用量は事務所ビルの平均従業員数と一日当たりトイレ洗浄水使用量50ℓ/日・人¹⁸⁾の積とした。

(2) 流出抑制用雨水貯留施設貯留水の利用

a) 考え方

都市域での雨水貯留施設は、浸水防止を目的に整備されている。しかし、水需要の増加に伴う上水供給量の不足や阪神・淡路大震災以降、非常時防火用水の必要性が再認識され、貯留雨水を新たな水資源として活用することが検討されている^{7),19)~21)}。

そこで、次のような貯留施設を設置を用いた貯留雨水利用による水循環システム改善を検討する。貯留水はトイレ洗浄水や樹木散水用水等に利用されるが、利用の際には、その水質と貯留施設利用可能性が重要である。貯留容量及び貯留方法がこれらに影響するため、その設定には留意する必要がある。本研究では、我々が雨水貯留利用システムについて解析・研究した結果²²⁾をもとに設定した。

b) 施設規模等

貯留施設利用システムは、下水道整備地域内に適用することを考える。貯留容量は100m³/haとし、排水面積10ha毎に1施設とする。これより、貯留容量は流域換算で10mm(10ha:1,000m³)となる。貯留施設は初期汚濁槽(貯留容量:2mm)と利水槽(同:8mm)を設ける。雨天時流出開始直後の汚濁濃度の高い雨水を、まず初期汚濁槽に流入

させ、初期汚濁槽が満水になると、その後の流出分は利水槽へ流入させるものである。初期汚濁槽に貯留した雨水は降雨終了後に下水管に送り、処理場にて処理する。利水槽の雨水はBOD濃度が10ppmを下回る場合にはトイレ洗浄水として無処理で利用する。ただし、利水槽の雨水が10ppmを上回る場合には河川に直接放流する。

(3) 水のカスケード利用

a) 考え方

洗面、浴室、洗濯の生活排水をトイレ洗浄水などに再利用するもので、これらの排水を専用の処理槽へ送り、処理後に中水配管でトイレへ送って利用するシステムである。再利用は主にトイレ洗浄水として用い、余剰水は洗車・散水などにも用いることができる。台所排水とトイレ洗浄水は従来通り下水道に排出し、処理する。処理装置の構造は、基本的に浄化槽と同じと考え、接触酸化法を採用すると考える。

b) 施設規模等

下水道計画区域内の一般家屋を対象とし、一戸建てと集合住宅の2種類とする。処理槽整備は、①下水道未整備地域全域に設置(カスケード利用(I))、②下水道未整備地域全域と下水道整備地域の一部に設置(カスケード利用(II))の2通りを設定する。

生活雑排水処理槽の貯留容量は、洗面、浴室、洗濯の生活排水量より、1世帯当たり1m³とする。

また、処理水をトイレ用水として1日1人当たり50ℓ利用すると考える¹⁸⁾。なお、年間を通してトイレ用水は100%処理水とする。

3. 都市の水量・負荷量収支シミュレーション

(1) 都市水量収支の解析手法

a) 水循環解析

都市の水循環に関して、持続可能な都市開発という視点からその適正化の必要性和種々の手法の検討が行われており²³⁾、流域全体での雨水浸透促進等の面的な対策の実施が水循環システムの適正化に効果を持つことが指摘されている^{24),25)}。具体的な事業としても、建設省による雨水貯留浸透施設の普及を図る各種の事業や、住宅・都市整備公団による水循環再生を考慮した開発^{7),26)}等が進められている。このような都市水循環に関して、虫明は都市の水循環の定量的把握に取り組み、都市化の水循環に及ぼす影響の明確化や雨水貯留浸透施設導入の水循環改善について評価している^{3),27)}。また、村岡らは大阪

府寝屋川流域や大阪市を対象に都市化による水循環の変遷と将来予測、総合治水対策等の対策実施による水循環適正化に関する研究を行っている^{28)~32)}。

b) 水量収支シミュレーションモデル

本論文では、これら既往研究における水循環解析手法を参考に、合流式下水道流域をモデル流域として水量収支シミュレーションモデルを構成した。モデル概略図を図-1に示す。本シミュレーションモデルの特長は次の点である。

- 1) 蒸発散量は平均気温と日照時間をパラメータとするThornthwaite³³⁾の式を用いて算出する。
- 2) 降雨時の表面流出と浸透及び、降雨後の蒸発散プロセスを流出解析で用いられる有効降雨モデルを用いて表現する。すなわち、用途地域別に有効降雨モデルを設定し、個別に雨水流出量を算出する。
- 3) 降雨量の経時変動を水循環に反映させるため、計算時間間隔を1時間とする。
- 4) 2),3)より、降雨強度の経時変化に対応した雨水流出量の算出、下水道網からの越流量を算出する。
- 5) 下水道網への浸入水量として、地下水浸入水と雨天浸入水のふたつを対象とする。
- 6) 浸透した雨水および上水道の漏れ水が地下水を涵養し、河川維持水量となることをシミュレートするため、地下水タンクモデルを用いて設定する。
- 7) 流域規模を考慮して、各排水ブロックから流末の下水処理場への到達時間を組み込んでいる。

(2) 負荷量収支シミュレーションモデル

負荷量収支シミュレーションモデルでは、特定汚染源負荷と非特定汚染源負荷（ノンポイント汚染源負荷）を評価する。特定汚染源負荷については原単位法を用いる。ノンポイント汚染源負荷については、我々が既往研究において提案した晴天時の路面堆積負荷モデル³⁴⁾（式(1)）と雨天時汚濁流出モデル²²⁾（式(2)~(4)）を用いて、その負荷量収支を算出した。

【晴天時路面堆積負荷モデル】

$$P_{(n)} = P_0 \cdot e^{-K \cdot n} + \frac{a(1 - e^{-K \cdot n})}{1 - e^{-K}} \quad (1)$$

ここで、 P ：堆積負荷量(g/m^2)、 P_0 ：先行降雨による残存堆積負荷量(g/m^2)、 a ：1日当たりの汚濁負荷発生量($g/m^2/日$)、 K ：減衰係数、 n ：前回降雨からの経過日数(日)である。

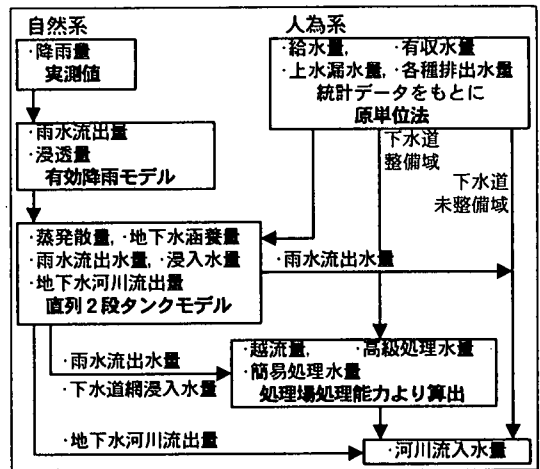


図-1 水量収支シミュレーションモデルの概略図

【雨天時汚濁流出モデル】

$$\frac{dP}{dt} = -L + L_g \quad (2)$$

$$L = C_R \cdot P^m \cdot Q^n \quad (3)$$

$$L_g = a' \cdot R_e \quad (4)$$

ここで、 P ：堆積負荷量(g/ha)、 L ：流出負荷量($g/s/ha$)、 L_g ：発生負荷量($g/s/ha$)、 C_R ：汚濁負荷流出係数、 Q ：流出水量($m^3/s/ha$)、 m, n ：運動式の係数、 a' ：汚濁負荷発生係数、 R_e ：有効降雨強度(mm/hr)である。

また、雨水排除施設（合流式下水道の合流管、分流式下水道の雨水管）にもノンポイント汚染源負荷が堆積していることから、我々の既往研究^{35)~38)}をもとに雨水流出量と流出負荷量の関係から管きよ内堆積負荷流出時の平均水質を設定した。さらに、合流式下水道では降雨時には流入水の簡易処理ならびに下水管ネットワーク流入下水の越流が生じる。これに伴う負荷の発生を把握するため、下水管ネットワーク流下下水の水質を計算時間毎に算出した。

4. モデル都市地域の水量・負荷量収支の評価

(1) モデル流域

モデル流域は大阪府寝屋川北部流域である。寝屋川北部流域は、北を淀川、南を寝屋川、東を生駒山地、西を上野台地に囲まれた内水域で、わずかに生駒山麓付近のみが河川への自然流下が可能な地域となっており、昔から集中豪雨時に床上を含む浸水被害が多発し、水害の多い地域としてよく知られて

表-2 水量収支シミュレーションの設定条件

土地利用形態	浸透域			不浸透域	
	農地	山地	庭・公園	屋根・道路	水域
浸透能(mm/hr)	20	64	3	0	0
凹地貯留量(mm)	3			1	0
河川流出率	2.8×10^{-4}		1.7×10^{-4}	1.0×10^{-5}	
下水道網浸入率	0.25			0	

表-3 負荷量収支シミュレーションの設定条件

項目		設定値
特定 汚染源負荷	家庭・工場・事業所等からの排水水質(mg/l)	150
	下水道未整備地域での河川への流達率	0.2
	高級処理水質(mg/l)	12
	簡易処理除去率(%)	30
ポイント 汚染源負荷	汚濁負荷発生量 a (g/m ² /日)	0.05
	減衰係数 K	0.15
	汚濁負荷流出係数 C_R	0.015
	汚濁負荷発生係数 a'	0.010
	係数 m	1.4
	係数 n	1.2
	管きよ内堆積負荷水質(mg/l)	25

いる。寝屋川市や門真市を中心とした8市が混在し、人口715,916人、流域面積8,204ha(下水道計画区域面積:6,725ha、浸透域面積:4,922ha、不浸透域面積:3,282ha)、下水道(人口)普及率約67%(1993年現在)の地域である。

(2) シミュレーション条件

解析に当たっては、末尾に示す資料、文献等を参照した。なお、データの統一化を図るために、平成5年度のデータを用いた。シミュレーション条件を表-2, 3に示す。

(3) 現況水量・負荷量収支の評価

得られた寝屋川北部流域年間水収支および負荷量収支を図-2, 3に示す。現在の寝屋川流域全体の水循環については大阪府の寝屋川流域水循環マスタープラン(案)(平成9年3月)検討時に現況解析結果として示されている。この解析(年間降雨量1,026mm)での年間水収支と本論文で用いる水量収支シミュレーションモデルによる解析結果を比較して図-4に示す。年間降雨データが異なる(本論文の対象降雨の年間総量は1,378mm)ため単純比較は行えないが、既往の解析結果と本論文の解析結果はほぼ一致している。これより、本水量収支シミュレーションモデルは妥当であると判断できる。

大阪府維持管理報告書における鴻池処理場の月別処理水量等との比較を図-5に示す。ほぼ各月の高級処理水量、簡易処理水量等を再現できている。月によっては多少の誤差があるが、これはモデル流域内の地点により降雨量が異なることまで考慮して

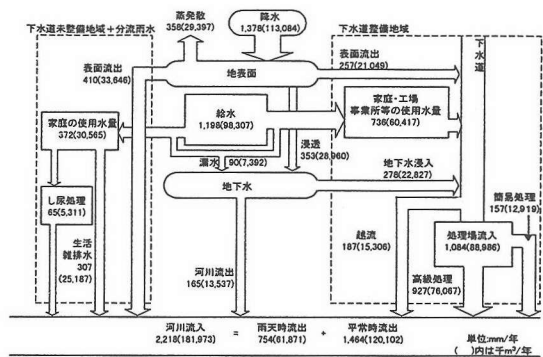


図-2 寝屋川北部流域年間水収支図(現状)

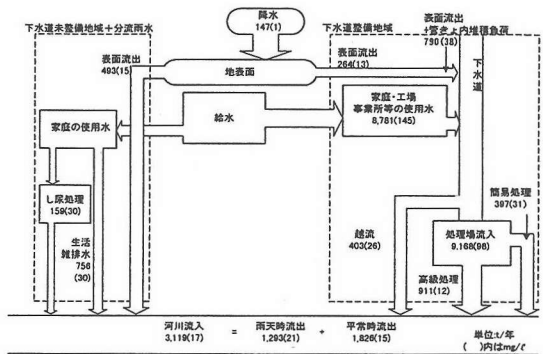


図-3 寝屋川北部流域年間負荷量収支図(現状)

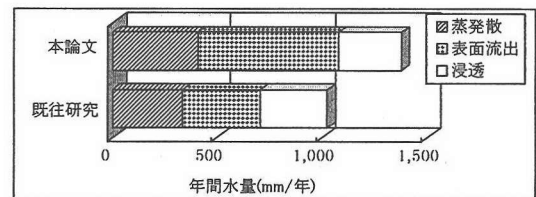


図-4 水循環モデルの比較

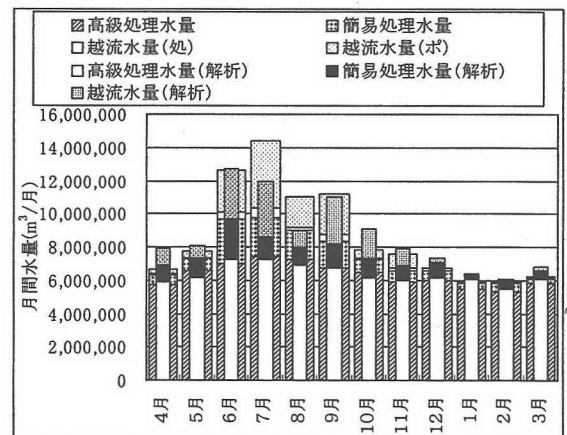


図-5 月別河川放流量の比較

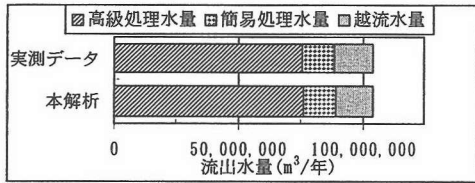


図-6 年間河川放流量の比較

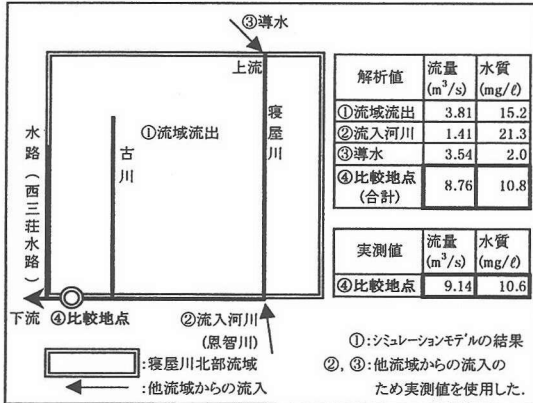


図-7 晴天時河川流量・水質の比較

いないこと、ポンプ排水区域単位で越流制御を行っているが、本シミュレーションでは流域を一体として取り扱っていることに起因する。

年間の流出量の比較においては、図-6より、高級処理水量、簡易処理水量、越流量とも、誤差少なく再現できている。

年間の晴天時(平常時)流出負荷においては、河川流量・水質の実測値と解析値を比較した(図-7)。ただし、本シミュレーションによる水量・負荷量は寝屋川流域内の流出のみのため、他流域からの流入は実測値を加えて補間した。また、実測値については、平成5年度のデータが得られなかったため、平成4年度のデータを代用した。年間の雨天時流出負荷については、実測値が得られなかったので比較できていない。

以上より、本水量・負荷量収支シミュレーションモデルは、対象モデル流域の水量と負荷量の発生、流出状況を再現できていると判断した。

(4) 各方策の内容

a) 降水利用中水道システム

モデル流域内の下水道整備地域にある3~9階建て事務所ビル数は、総建物の30%(面積比率)であると考え、その事務所ビルの階数別比率は大阪市中央区における値を用いた¹⁷⁾。これより、3~5階建て事務所ビル数は12,580棟、5~9階建て事務所ビル数は2,498棟となる。

表-4 カスケード利用の対象人数及び槽設置数

	カスケード利用(I)	カスケード利用(II)
対象人数	231,619人	231,619人
槽設置数	0個	126,329個
対象人数	77,206人	77,206人
槽設置数	0個	842個

ただし、処理槽の容量は1世帯当たり1m³とする。

b) 流出抑制用雨水貯留施設貯留水の利用

貯留槽は流域内の下水道整備地域全域(2,714ha, 484,277人)を対象に設置する。このときの設置個数は、271施設となる。

c) 水のカスケード利用

下水道整備地域、未整備地域内の一戸建て住宅および集合住宅の割合がわからないため、前提条件として、下水道未整備地域はすべて一戸建て住宅とした。また、集合住宅には50世帯が居住していると仮定し、1世帯あたりの人数は3人とした。

カスケード利用(I)として下水道未整備地域の全一般家屋を対象に処理槽を設置(人口整備率:約33%)することを考える。

カスケード利用(II)としてカスケード利用(I)に加え、下水道整備地域の一部に設置(人口整備率:50%)することを考える。ただし、下水道整備地域への設置は集合住宅を対象とする。

カスケード利用(I)、(II)の対象人数および処理槽設置数を表-4に示す。

(5) 各方法の評価

評価結果を図-8~11に示す。

a) 上水給水量の減少

本解析降雨の場合年間で最も上水給水量を減少できるのはカスケード利用(II)であり、次いで流出雨水利用、カスケード利用(I)、屋根雨水利用である。節水量は、それぞれ流域内人口の使用水量の約40日分(85mm/年)、30日分(64mm/年)、25日分(55mm/年)、15日分(33mm/年)である。

このような結果となった理由は、屋根雨水利用では集水面積が小さく貯留容量も小さめであるため雑用水全てを雨水にて代替できないためである(雨水代替率; 3~5階建て:35%(22mm/年)、6~9階建て:20%(9mm/年))。

流出雨水利用では年間を通して雑用水全てを雨水にて代替できないが、利水槽に流入した雨水のほとんどを利用できる(60mm/年)ため約1カ月分の節水が可能である。また、カスケード利用は、台所排水を除く生活雑排水を処理後、雑用水として利用するため全量を代替できる。しかし、カスケード利用(I)では、利用人口が流域内人口の33%のため約25日

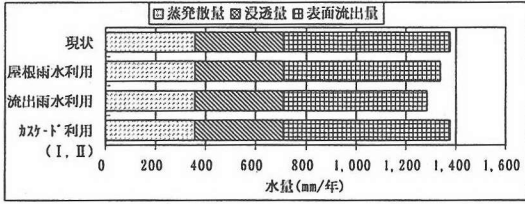


図-8 蒸発散量, 浸透量, 表面流出量の比較

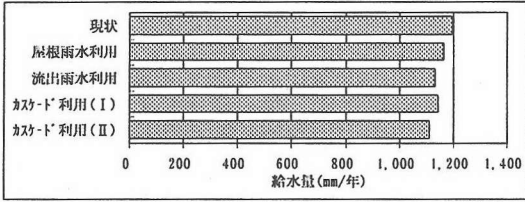


図-9 給水量の比較

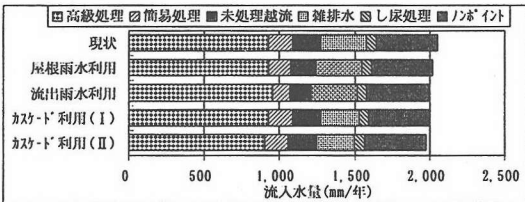


図-10 河川流入水量の比較

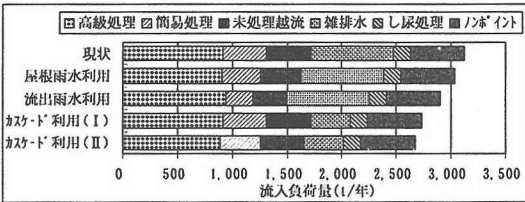


図-11 河川流入負荷量の比較

分の節水量である。一方、利用人口を流域内人口の50%と設定したカスケード利用(II)は、約40日分の節水量と今回検討した方法の中で最も多い節水量が得られる。

b) 河川流入負荷量の減少

河川流入負荷量を最も減少できるのは、カスケード利用(II)であり、次いでカスケード利用(I)、流出雨水利用、屋根雨水利用である。その減少量は450t/年(-14%)、388t/年(-12%)、220t/年(-7%)、88t/年(-3%)である。

これは、カスケード利用が処理槽にて台所排水を除く生活雑排水を処理後放流するため、河川流入負荷量が最も少なくなっている。特に、下水道未整備地域に整備することにより、生活雑排水による負荷量が現状よりも約50%少なくなっている。

流出雨水利用も、初期汚濁槽を設けたことにより、降雨初期の高濃度の流出負荷を貯留し、降雨終了後に処理場に送水し高級処理するため河川流入負荷量が少なくなっている。また、現状と流出雨水利用時の下水道整備地域の流出雨水に伴う負荷量を比較すると現状が264t/年に対して流出雨水利用時が47t/年と約80%削減できる。

本論文では、管きよ内堆積負荷の流出を、我々の既往研究³⁵⁾⁻³⁸⁾をもとに水質値で設定している。そのため、流出水量の増減に伴い管きよ内堆積負荷の流出量も増減する。そのため、屋根雨水利用では、若干の流出水量が減少するため、管きよ内堆積負荷の流出量が減少し、越流負荷量も減少している。

c) 評価

以上、検討した3手法で水資源の有効利用により河川流入水量に大きな差は無いが、節水量および河川流入負荷削減量が最も多いのはカスケード利用(II)を適用した場合である。また、今回の対象降雨では、流出雨水利用も節水量が多い手法である。

5. 都市内水資源利用の地球環境負荷評価

(1) 環境評価の考え方

2. で示した都市内水資源利用方法を実施するための関連施設建設ならびに運用時の環境負荷を評価する。本来、当該事業の実施に起因する環境負荷すべてを評価すべきであるが、現時点ではデータベースがCO₂排出量しか構築されていないため、建設および運用時のCO₂排出量で評価した。

評価対象は

- ・ 事業実施に必要な施設の建設、及び、設備製造時のCO₂排出量
- ・ 施設及び設備の運用時のCO₂排出量
- ・ 事業実施による上水給水量削減に伴い削減できるCO₂排出量
- ・ 事業実施による下水量削減に伴い削減できるCO₂排出量

とした。また、貯留槽などの土木構造物は耐用年数が45年~50年であり、中水用ポンプ等の機械設備の耐用年数は10~15年、カスケード利用の処理槽(FRP構造体)の耐用年数が15年である。そこで耐用年数を土木構造物は45年、機械設備およびカスケード利用の処理槽は15年とする。ただし、評価に際しては、ライフサイクル期間のCO₂排出量を耐用年数で除した年間当たりのCO₂排出量で評価する。

本研究で使用したCO₂排出原単位を表-5に示す。いずれも既往の土木・建築関連のLCA関連研

表-5 本研究で使用した環境負荷原単位

シナリオ	原単位算出項目	負荷原単位	原単位算出の考え方	参照元原単位	備考	出典
共通	電力	0.112kg-C/kWh	電力生産に伴う環境負荷原単位を利用	0.408922kg-CO ₂ /kwh	電力生産に伴う環境負荷原単位	1)
	ポンプ製造 中水配管	1,203kg-C/百万円 3.26kg-C/m ²	電中研のポンプ原単位を用いて算出 衛生設備工事の原単位を使用	4,411kg-CO ₂ /百万円 3.26kg-C/m ²	電中研のポンプ及び圧絡機 衛生設備工事の原単位	2) 3)
屋根雨水 貯留・利用	貯留槽建設	137kg-C	RC建築構造物の原単位の平均値を利用	105~165kg-C/m ²	RC建築構造物の原単位(n=6)	4),5)
	掘削	37.2kg-C/m ³	幅10m,掘削深15mとして算出	5,576t-C/km	地下鉄掘削の開削工法の原単位	6)
	導水配管	3.26kg-C/m ²	衛生設備工事の原単位を使用	3.26kg-C/m ²	衛生設備工事の原単位	3)
	中水ポンプ製造	68.9kg-C/台	金額よりポンプ製造原単位を用いて算出	57,300円	揚程18m,吐出量1.5m ³ /hr(3-5F)	2),7)
	中水ポンプ運用	85.3kg-C/台 0.015kg-C/m ³ 0.044kg-C/m ³	金額よりポンプ製造原単位を用いて算出 定格電力と吐出量より算出	70,900円 0.2kW 0.4kW	揚程28m,吐出量1.0m ³ /hr(6-9F) 定格電力0.2kW,吐出量1.5m ³ /hr(3-5F) 定格電力0.4kW,吐出量1.0m ³ /hr(6-9F)	2),7) 1),7) 1),7)
流出雨水 貯留・利用	貯留施設建設	137kg-C	RC建築構造物の原単位の平均値を利用	105~165kg-C/m ²	RC建築構造物の原単位(n=6)	4),5)
	掘削	37.2kg-C/m ³	幅10m,掘削深15mとして算出	5,576t-C/km	地下鉄掘削の開削工法の原単位	6)
	ポンプ製造 (配水,送水,放流) 配水管布設	1,095kg-C/台 68.8kg-C/m	金額よりポンプ製造原単位を用いて算出 材料費,工事費より鋼鉄管原単位および 工事原単位を用いて算出	910,000円 31,900円/m 5,300円/m 10,1237t-CO ₂ /百万円 1.54t-C/百万円	揚程50m,吐出量66m ³ /hr (配水,処理場送水,河川放流,全て同じ) ダグtail鋼鉄管(φ=100)の材料費 ダグtail鋼鉄管(φ=100)の工事費 鋼鉄管の負荷原単位 公共事業の負荷原単位	2),7) 8) 2) 8) 9)
	ポンプ運用 (配水,送水,放流)	0.025kg-C/m ³	定格電力と吐出量より算出	-	定格電力15kW,吐出量66m ³ /hr (配水,処理場送水,河川放流,全て同じ)	1),7)
カスケード 利用	処理槽製造	78.1kg-C/m ³	構成材料の各重量より原単位を用いて 算出	1,504.2kg-C/t 451.1kg-C/t 1,547.6kg-C/t	強化プラスチック製容器の原単位 塩化ビニルの原単位 ポリエチレンの原単位	10) 10) 10)
	掘削	37.2kg-C/m ³	幅10m,掘削深15mとして算出	5,576t-C/km	地下鉄掘削の開削工法の原単位	6)
	中水ポンプ製造	67.4kg-C/台 85.3kg-C/台	金額よりポンプ製造原単位を用いて算出 金額よりポンプ製造原単位を用いて算出	56,600円 70,900円	揚程7m,吐出量1.2m ³ /hr(一戸建住宅) 揚程28m,吐出量1.0m ³ /hr(集合住宅)	2),7) 2),7)
	中水ポンプ運用	0.009kg-C/m ³ 0.044kg-C/m ³ 0.129kg-C/m ³	定格電力と吐出量より算出 定格電力と吐出量より算出 合併処理浄化槽の定格電力と処理量より 算出	- - -	定格電力0.1kW,(一戸建住宅) 定格電力0.4kW,(集合住宅) 定格電力0.06kW,処理量0.05m ³ /hr (合併処理浄化槽の曝気ポンプ能力)	1),7) 1),7) 1), 11)
	処理槽運用	0.044kg-C/m ³ 0.129kg-C/m ³	定格電力と吐出量より算出 合併処理浄化槽の定格電力と処理量より 算出	- -	定格電力0.1kW,(一戸建住宅) 定格電力0.4kW,(集合住宅) 定格電力0.06kW,処理量0.05m ³ /hr (合併処理浄化槽の曝気ポンプ能力)	1), 11)
		処理槽運用	0.129kg-C/m ³	合併処理浄化槽の定格電力と処理量より 算出	-	定格電力0.06kW,処理量0.05m ³ /hr (合併処理浄化槽の曝気ポンプ能力)

1) (社)環境情報科学センター・製品などによる環境負荷評価手法等検討調査報告書, p.38, 1998.3. 2) (財)電力中央研究所・産業連関分析による「サービス生産時のエネルギー消費量とCO₂排出量, 1996.5. 3) 酒井寛二・地球活動と地球環境-建築のライフサイクル環境負荷-空気調和・衛生工学会, pp.110-147, 1995.9. 4) 佐藤, 岡田: 基本設計段階でのライフサイクル評価システムに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.885-886, 1996.9. 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.845-846, 1997.9. 5) 茂呂他: LCCO₂による事務所ビルの試算(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.885-886, 1995.8. 6) 岩淵他: 地下鉄掘削のライフサイクル環境負荷に関する研究, 環境システム研究, Vol.25, pp.209-216, 1997.10. 7) ポンプメーカーパンフレット, 8) (社)日本下水道協会: 下水汚泥処理総合計画策定マニュアル, pp.63-78, 1995. 9) 井村他: 下水道システムのライフサイクルアセスメントLCE及びLC-CO₂による評価, 土木学会論文集, No.552, VII-1, pp.75-84, 1996.4. 10) 金材研データベース, 11) 浄化槽メーカーパンフレット

究^{30)~46)}, 設備についてのLCA関連研究^{47)~49)}で示された値から設定している。

(2) 原単位の設定方法

a) 降水利用中水道システム

評価対象は次のものである。

- ①貯留槽建設
- ②貯留槽設置に伴う掘削
- ③屋根雨水導水配管
- ④中水ポンプ製造
- ⑤中水配管
- ⑥中水用ポンプ運用

貯留槽はRC造と考え、同じRC造の事務所ビル建設時の延べ床面積あたりの平均的建設原単位を用いる。

掘削の原単位として地下鉄開削工法の原単位がある。この開削工法の開削幅を10mと考え、単位開削面積当たりの原単位を求めた。さらに、掘削深さを15mとし、単位掘削土量あたりの原単位を求めた。

中水道システムの中水ポンプでは、貯留槽深さおよび建物高さを考慮して原単位を設定した。3~5

階建て、6~9階建てそれぞれを3階、7階建てで代表させ、1階当たり高さを3.5mとした。また、中水配管の原単位には、延べ床面積あたりの衛生設備工事の原単位を用いた。延べ床面積は、平均建物面積(集水面積)に代表階数を乗じて算出した。

中水道システムの中水ポンプの運用では、中水ポンプの電力消費に伴うCO₂排出量を算出した。

なお、処理については物理的なる過のみのため、他の貯留槽建設や中水配管、中水用ポンプ運用等に比べてCO₂排出量が少ないと考え、評価対象から除外した。

b) 流出抑制用雨水貯留施設貯留水の利用

評価対象は次のものである。

- ①貯留施設建設
- ②貯留施設建設に伴う掘削
- ③配水, 処理場送水, 河川放流ポンプの製造
- ④中水配管
- ⑤配水管布設
- ⑥配水, 処理場送水, 河川放流ポンプの運用

貯留施設建設及び掘削の環境負荷原単位は、降水利用の貯留槽建設、掘削と同様の原単位を設定した。貯留施設には既存下水管より直接流入すると仮

定した。

配水ポンプは貯留施設深さに加え、さらに 40m の揚程が確保でき、吐出し口径が配水管きょ径と同じである $\phi 100\text{mm}$ のポンプとした。この配水ポンプにより貯水した流出雨水をポンプアップし、各家庭に送水して中水として利用すると考える。

初期汚濁槽に貯留した雨水は、処理場に送水して処理する。利水槽に貯留した雨水の BOD 濃度が 10ppm を超える際には、河川に直接放流する。この処理場送水用および河川直接放流用ポンプも配水ポンプと同様のものを設置し使用するとした。

配水管布設の原単位は、 $\phi 100\text{mm}$ のダグタイル 鋳鉄管の布設原単位に、土木工事、金属材料の環境負荷原単位を乗じて求めた。配水管きょ延長は、上水道統計より求めた給水人口一人あたりの配水管延長(4m/人)を用いて算出した。中水配管の原単位には、延べ床面積あたりの衛生設備工事の原単位を用いた。延べ床面積は、一戸建て住宅および集合住宅の代表階数をそれぞれ 1 階、5 階とし、平均建物面積に代表階数を乗じて算出した。

c) 水のカスケード利用設備

評価対象は次のものである。

- ①処理槽製造
- ②処理槽設置に伴う掘削
- ③中水ポンプ製造
- ④中水配管
- ⑤中水ポンプ運用
- ⑥処理槽運用

処理槽製造の使用材料を FRP (容器)、塩化ビニール (接触酸化板)、ポリエチレン (接触ろ材) と考える。一般に浄化槽は容積の約 1/2 が接触ろ過槽、約 1/4 が接触ばっ気槽であることから、ろ材、接触酸化板の充填率を 1/20 と推定し、各材料の使用量を求めた。FRP 使用量は、浄化槽重量から FRP 以外の材料の総重量を差し引いたものとする。

中水ポンプは処理槽深さおよび建物高さを考慮して設定した。ただし、一戸建て・集合住宅の代表階数は 1 階、5 階とし、1 階当たり高さは 3.5m とした。

中水配管の原単位には、延べ床面積あたりの衛生設備工事の原単位を用いた。延べ床面積は、平均建物面積に代表階数を乗じて算出した。

処理槽運用では、合併処理浄化槽の処理能力 ($1.25\text{m}^3/\text{日}$) と定格電力(60W)より求めた単位水処理あたりの環境負荷原単位を適用した。

処理槽からは汚泥が発生することが考えられるが、汚泥の引き抜きと処分については、処理槽から発生する汚泥量が不明のため、今回は評価範囲から除外

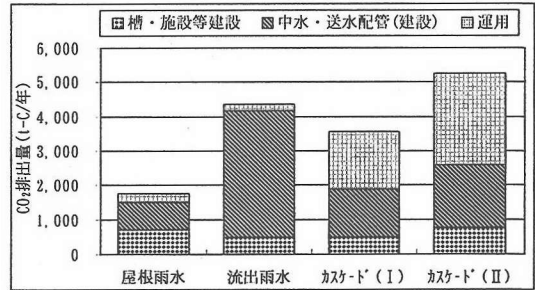


図-12 水資源有効利用に伴う CO₂ 排出量の比較

した。

d) 上水給水量の削減

既往研究事例⁴⁵⁾における水の CO₂ 排出原単位 0.2 kg-C/m³ を単位給水量当たりの CO₂ 排出原単位として用いた。

e) 下水処理量の減少

既往研究事例⁴⁶⁾における単位下水処理量当たりの CO₂ 排出量 0.18kg-C/m³ を用いた。

(3) 算出結果

a) 水資源有効利用に伴う CO₂ 排出量の比較

各方法を実施することによるライフサイクルでの CO₂ 排出量を比較して図-12 に示す。

建設時 CO₂ 排出量をもっとも多い水資源利用方法は流出雨水利用である。これは、貯留施設建設に加え、中水利用を行うための配水管の布設が必要となるためである。ついでカスケード利用(II)、(I)、屋根雨水利用の順である。屋根雨水利用は、下水道整備地域内の 3~9 階建ての事務所ビルと限定したため、他の水資源利用方法と比べて建設時 CO₂ 排出量は最も少ない。カスケード利用(I)、(II)は、他の水資源利用方法と比べ設置個数は多いが、貯留水量が少ない小規模な施設であるため、処理槽建設時 CO₂ 排出量は少ない。しかし、中水配管に伴う環境負荷が多くなるため、屋根雨水利用よりも建設時の CO₂ 排出量が多くなる。

また、運用時の CO₂ 排出量では、カスケード利用(I)、(II)が他の水資源利用方法の約 8 倍、12 倍となっている。これは、他の水資源利用方法と違い、排水処理を同時に行っているためである。

b) 現状のシステムとの CO₂ 排出量比較

水資源利用方法の実施により上水給水量を削減できるため、これに伴い上水の製造・給水における CO₂ 排出量を削減できる。さらに、カスケード利用(I)を除く水資源利用方法は、下水道整備地域にて実施するため雨水ないし生活雑排水の一部をトイレ用水として利用するので、下水処理場における処理

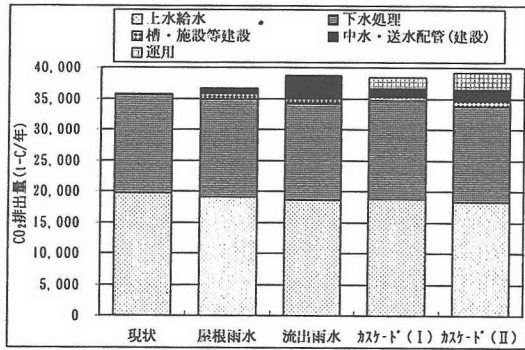


図-13 都市水循環システム全体のCO₂排出量の比較

水量が減少する。これによって下水処理に係るCO₂排出量を削減できる。これらを考慮して、各水資源利用方法のライフサイクルでのCO₂排出量を現状のシステムと比較した。これを図-13に示す。

どの水資源利用方法を実施した場合でも現状に比べCO₂排出量は増加する。中でも年間再利用水量の最も多いカスケード利用(II)(39,150t-C/年)が現状(35,680t-C/年)と比べて最もCO₂排出量が増え、屋根雨水利用(36,750t-C/年)と比較すると約2,400t-C/年程度多くなっている。また、カスケード利用(I)(38,340 t-C/年)、流出雨水利用(38,730 t-C/年)、カスケード利用(II)の実施に伴うCO₂排出量の間には大きな差はない。

屋根雨水利用では上水給水量及び下水処理水量の削減によりCO₂排出量が約680t-C/年減少するが、建設で1,530t-C/年、運用で220t-C/年増加するため、差し引き1,070t-C/年の増加となり、現状との比率では3%増になっている。

流出雨水利用では上水給水量及び下水処理水量の削減によりCO₂排出量が約1,320t-C/年減少するが、建設で4,180t-C/年、運用で190t-C/年増加するため、差し引き3,050t-C/年の増加となり、現状との比率では9%増である。

カスケード利用(I)では上水給水量の削減によりCO₂排出量が900t-C/年減少し、建設で1,890t-C/年、運用で1,670t-C/年増加するため差し引き2,660t-C/年の増加となり、現状との比率では7%増である。

カスケード利用(II)では上水給水量及び下水処理水量の削減によりCO₂排出量が約1,800t-C/年減少するが、建設で2,600t-C/年、運用で2,670t-C/年増加するため、差し引き3,470t-C/年の増加となり、現状との比率では10%増である。カスケード利用(II)は他の方法よりも上水給水量削減と下水処理水量削減によるCO₂削減量が多いが、有効利用実施

によるCO₂排出量が多いため、全体としてのCO₂排出量が最も多くなっている。

水資源有効利用によるCO₂削減量の有効利用に伴うCO₂排出量に対する割合(=CO₂削減量/CO₂増加量)は、屋根雨水利用が40%と最も高く、次いでカスケード利用(II)(35%)、流出雨水利用(30%)、カスケード利用(I)(25%)の順である。カスケード利用(I)が最も小さい割合になる理由は、設定条件として、カスケード利用を下水道未整備地域にのみ整備したため、下水処理水量の削減に伴うCO₂削減がないためである。

なお、ここでは現状の評価に上水の給水と下水処理に伴うCO₂排出量しか考慮していないため、ここに施設の建設・更新や補修等に伴うCO₂排出量を考慮すると、水資源利用を実施した場合の方が、CO₂排出量が小さくなる可能性がある。

6. 地球環境負荷を考慮した水資源の有効利用

(1) 評価方法

4, 5で評価した水環境への負担減少、ライフサイクルでの環境負荷より、地球環境を考慮した水資源の有効利用を評価する。今回検討した水資源利用方法は、すべて現状よりもCO₂排出量が増加したため、各方法の導入による水環境への負担削減量をライフサイクルでのCO₂排出増加量で除した、CO₂排出量当たりの削減量として評価する。

(2) 個別評価結果

単位CO₂排出量当たりの給水、下水道網流入水・負荷および河川流入負荷の削減量を図-14~17に示す。

a) 給水削減量

今回設定した条件において検討した各水資源利用方法における単位CO₂排出量当たり給水削減量は、すべて同程度(4,895~5,010 m³/t-C)である。

b) 下水道網流入水削減量

単位CO₂排出量当たり下水道網流入水削減量は、屋根雨水利用が最も多く(2,310m³/t-C)、次いで流出雨水利用(1,640m³/t-C)、カスケード利用(II)(662m³/t-C)の順である。カスケード利用(II)が最も少なくなっているのは、他の利用方法(カスケード利用(I)を除く)が下水道整備地域のみを対象にしているのに対して、カスケード利用(II)は下水道未整備地域の全一般家屋及び下水道整備地域の一部しか対象にしていることから、CO₂排出量は最も多いにも関わらず、下水道網流入削減量が最も少ない

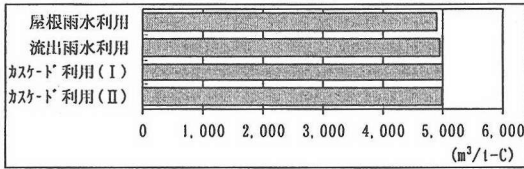


図-14 単位 CO₂ 排出量当たり給水削減量

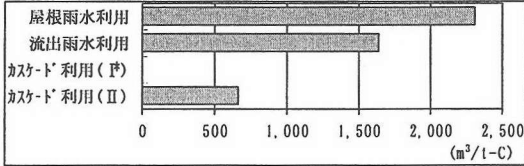


図-15 単位 CO₂ 排出量当たり下水道網流入水削減量

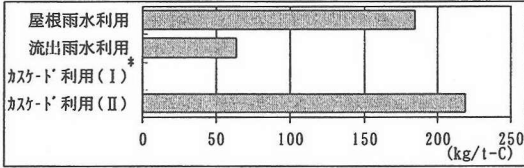


図-16 単位 CO₂ 排出量当たり下水道網流入負荷削減量

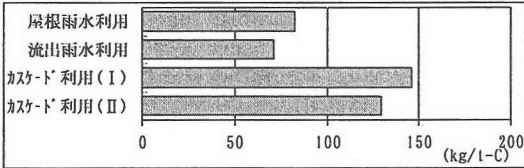


図-17 単位 CO₂ 排出量当たり河川流入負荷削減量

*:カスケード利用(I)は下水道未整備地域のみ対象としており、下水道に関する削減量はないため評価していない。

ためである。なお、カスケード利用(I)については下水道未整備地域の全一般家屋のみを対象としており、下水道に関する削減量はないため評価していない。また、屋根雨水利用が最も多くなっているのは、流出雨水利用が下水道整備地域全域を対象としているのに対して、屋根雨水利用は下水道整備地域のみを対象としているためである。

c) 下水道網流入負荷削減量

単位 CO₂ 排出量当たり下水道網流入負荷削減量は、カスケード利用(II)が最も多く(220kg/t-C)、次いで屋根雨水利用(185kg/t-C)、流出雨水利用(65kg/t-C)である。なお、カスケード利用(I)については下水道未整備地域の全一般家屋のみを対象としているため評価していない。

カスケード利用(II)が最も多くなっているのは、生活雑排水の一部を処理槽にて処理した後、下水道網に放流しているため、下水道網流入負荷削減量が他の方法より約4倍多いためである。

屋根雨水利用と流出雨水利用の下水道網流入負荷量の差は小さいが、導入による CO₂ 排出量が屋

根雨水利用の方が少ないため、屋根雨水利用の方が単位 CO₂ 排出量当たり下水道網流入負荷削減量が多い。

d) 河川流入負荷削減量

単位 CO₂ 排出量当たり河川流入負荷削減量は、カスケード利用(I)が最も多く(145kg/t-C)、次いでカスケード利用(II)(130kg/t-C)、屋根雨水利用(80kg/t-C)、流出雨水利用(70kg/t-C)の順である。

カスケード利用(I)が最も多くなっているのは、下水道未整備地域の生活雑排水の一部を処理後河川に放流しているためである。カスケード利用(II)は、河川流入負荷削減量はカスケード利用(I)より約1.15倍多いが、CO₂ 排出量も約1.3倍多いためカスケード利用(I)よりも単位 CO₂ 排出量当たり河川流入負荷削減量は少なくなっている。

屋根雨水、流出雨水利用では、流出雨水利用の方が屋根雨水利用よりも河川流入負荷削減量が多い(約2.5倍)が、導入に伴う CO₂ 排出量も多い(約3倍)ため、屋根雨水利用の方が単位 CO₂ 排出量当たり河川流入負荷削減量が多くなっている。

また、屋根雨水利用、流出水利用において単位 CO₂ 排出量当たり下水道網流入負荷削減量の比率が3:1であるのに、単位 CO₂ 排出量当たり河川流入負荷削減量の比率が10:9となっている。これは流出雨水利用では降雨開始直後の高濃度の雨水を初期汚濁槽にて貯留した後、降雨終了後に処理場に送水し高級処理するため、流出雨水利用に比べて、簡易処理負荷削減量が約3倍、越流負荷削減量が約6倍が多いためである。

(3) 地球環境負荷を考慮した水資源有効利用方法の選択

本論文にて検討した3つの水資源有効利用方法では、給水量の削減(図-14)や処理場への負担軽減(図-15, 16)という資源消費減少の側面からは、屋根雨水利用、カスケード利用(II)が優位である。また、河川流入負荷量の削減(図-17)という環境への負荷減少の側面からは、カスケード利用(I)、(II)が他の方法より優れている。

以上より、今回の設定条件においてモデル地域では、各家庭にて台所以外の雑排水を処理し、トイレ洗浄水として再利用する水のカスケード利用が、地球環境負荷を考慮した場合、最も優位な水資源有効利用方法であることが明らかになった。しかし、各条件の設定および対象地域が異なれば、優位となる方法は異なる可能性がある。さらに地球環境負荷としてより多くの項目を考慮することによって、各方法の地球環境に対する影響も変化すると考えられる。

したがって、ある事業を実施する際には、本論文で検討したような手法をさらに発展させ、より適切で効用の高い事業実施方法を選択することが重要と考える。

7. 結言

都市内の水資源である雨水や雑用水処理水を有効利用するには、現在の上水道と下水道による水ネットワークに、これら雨水等を集水・処理・送水する新しいネットワークが必要となる。

本論文では、都市内に存在するがあまり利用されていない水資源を有効利用することのメリットを水環境改善と事業に係わる二酸化炭素排出量の削減の面から評価した。

屋根降水、あるいは、雨水貯留施設貯留水のトイレ洗浄用水等へ利用する方法と、台所排水を除く生活雑排水をオンサイトで処理し、トイレ洗浄用水等へ利用する方法（水のカスケード利用）の3方法の導入を、寝屋川北部流域を対象に検討した。その結果、今回の設定条件では、水のカスケード利用が水ネットワーク全体としての二酸化炭素排出量を現状よりもわずかに増加するだけであり、河川への流出負荷量を現状と比較して12%(カスケード利用(I)), 14%(同(II))減少し、上水給水量も5%(同(I)), 7%(同(II))減少できる可能性があることを明らかにした。

この新しい中水ネットワークを現実のものとするには、その事業のライフサイクルからみた費用便益比(B/C)が優れ、かつ、ライフサイクルの環境負荷を少なくできるシステムとする必要がある。

そのような点から、今回検討した3つのシステムを考えると、いずれの水資源利用方法も水環境への負担減少面では有効であるが、ライフサイクルの環境負荷減少面では課題がある。ライフサイクルの環境負荷が多いことは、環境負荷を資源・エネルギー消費による二酸化炭素排出で評価していることから考えれば、ライフサイクルのコストが多いことになる。すなわち、いずれの方法も現時点では費用便益比および低環境負荷面では改善の余地が多い。

都市の水ネットワークには生活の安全性、快適性、水環境の創造や、水処理に係る大気汚染物質排出、污泥等固形廃棄物排出等、様々な要素が関連している。したがって、今回行った評価手法をさらに押し進めて、導入を検討する事業の費用便益比における便益ならびに多様な環境影響と環境負荷を総合的に評価できる手法へとレベルアップしていく必要がある。

謝辞：本研究の遂行に当たり、貴重な資料を提供いただいた方々に厚くお礼申し上げます。なお、解析に当たっては関西大学工学研究科土木工学専攻藤井亮君をはじめ、研究室卒研究生の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「下水道懇談会審議結果報告」について、下水道協会誌, Vol.35, No.427, pp.29-41, No.428, pp.50-59, 1998.
- 2) 建設省都市局下水道部：平成10年度下水道事業予算案の概要。
- 3) 虫明功臣：都市の水循環系の改善における雨水貯留浸透技術の役割と課題, 用水と廃水, Vol.38, No.10, pp.7-13, 1996.
- 4) 山下洋正：都市雨水の資源利用の可能性, 月刊下水道, Vol.21, No.7, pp.6-9, 1998.
- 5) 那須井幸一：望ましい水循環に向けて, 月刊下水道, Vol.21, No.7, pp.15-17, 1998.
- 6) 山本昌宏：河川の水環境管理と下水道の役割, 月刊下水道, Vol.21, No.6pp21-24, 1998.
- 7) 皆川和男：環境共生住宅と雨水利用, 用水と廃水, Vol.38, No.10, pp.39-47, 1996.
- 8) 環境共生都市づくりーエコシティ・ガイドー, 建設省都市環境問題研究会, ぎょうせい, pp.140-160, 1993.
- 9) 田中英夫, 佐藤正章：新国技館における雨水利用設備, 雨水技術資料, Vol.3, pp.73-77, 1992.
- 10) 丸嶋忠晴, 吉田 勉：「かつしかシンフォニーヒルズ」における雨水再利用施設, 雨水技術資料, Vol.5, pp.173-177, 1992.
- 11) 長谷川俊雄：アーバンオアシスビル, 雨水技術資料, Vol.10, pp.61-70, 1993.
- 12) 葉山成三：雨水再利用, 環境エネルギーの活用システムによる効果, 雨水技術資料, Vol.12, pp.31-43, 1994.
- 13) 櫛田武志：東京芸術劇場の雨水利用システム, 雨水技術資料, Vol.12, pp.47-58, 1994.
- 14) 岩波 洋：大林組技術研究所本館における雨水利用システムについて, 雨水技術資料, Vol.12, pp.71-74, 1994.
- 15) 高井啓明：東京ドーム・福岡ドームの雨水利用計画と利用状況, 雨水技術資料, Vol.16, pp.91-108, 1995.
- 16) Thilo Herrmann, Uwe Schmida, Uwe Klaus and Volker Huhn：Rainwater Utilization as Component of Urban Drainage Scheme: Hydraulic Aspects and Pollutant Retention, 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, pp.1103-1108, 1996.
- 17) 和田安彦, 三浦浩之, 村岡治道：雨水利用中水道システム導入による都市水循環適正化の研究, 土木学会論文集, No.587/VII-6, 27-36, 1998.
- 18) 須藤隆一：水環境の将来ーThe Future of Water Environmentー, 雨水技術資料, Vol.15, pp.37-49, 1994.
- 19) 清水満夫：緊急災害時の消化に利用できる雨水調整池の設置について, 月刊下水道, Vol.21, No.7, pp.29-31, 1998.
- 20) 野村茂夫：雨水利用施設の規模算定手法, 雨水技術

- 資料, Vol.22, pp.145-151, 1996.
- 21) 近藤雅彦: さいたま新都心における中水・雨水利用計画, 月刊下水道, Vol.18, No.7, pp.45-48, 1995.
 - 22) 和田安彦, 三浦浩之, 多田律夫, 河井章宏: 市街地の雨水貯留利用システムにおける雨天時汚濁流出水対策に関する研究, 土木学会論文集投稿中.
 - 23) Judy Payne and John Gardiner: Sustainable Urban Runoff Management, 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, pp.1635-1640, 1996.
 - 24) Mathias Kaizer: Requirements and Possibilities of Best Management Practices For Storm Water Run-off From the View of Ecological Townplanning, 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, pp.1659-1663, 1996.
 - 25) Christophe Declerck: A Cost Effective Approach to Stormwater Management? Source Control and Distributed Storage, 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, pp.1635-1640, 1996.
 - 26) 長沢靖之: 住宅・都市整備公団における水循環再生システムの取組み, 用水と廃水, Vol.38, No.10, pp.25-32, 1996.
 - 27) 虫明功臣: 都市と水循環, 雨水技術資料, No.15, pp.12-20, 1994.
 - 28) 眞東健一郎, 西村康之, 村岡浩爾: 大阪モデル地域における水収支とエネルギー利用特性について, 土木学会第48回年次学術講演会, 1993.9.
 - 29) 眞東健一郎, 西村康之, 村岡浩爾: 寝屋川流域の水収支について, 平成5年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, II-16, 1993.
 - 30) 眞東健一郎, 村岡浩爾: 寝屋川流域の水収支について(2), 平成6年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, II-1, 1994.
 - 31) 林忠灯, 玉井昌宏, 村岡浩爾: 寝屋川の低水解析と流況改善手法に関する研究, 平成9年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 1997.
 - 32) 村岡浩爾, 村岡治道, 原正之: 日本・中国における大都市の水収支の比較検討—大阪・北京について—, 平成9年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 1997.
 - 33) 水理公式集, 土木学会, pp.144-145, 1985.
 - 34) 和田安彦: 雨天時負荷流出挙動とそのモデル化, 第14回衛生工学研究論文集, 土木学会, pp.74-81, 1978.
 - 35) 和田安彦, 三浦浩之: 都市域ノンポイント汚染源負荷の堆積・流出挙動モデルと流出制御に関する研究, 土木学会論文集, No.559/VII-2, pp.61-71, 1997.
 - 36) 和田安彦, 三浦浩之: 都市域の雨水流出に伴う雨水樹流出負荷の研究, 土木学会論文集, No.381/II-7, pp.199-206, 1987.
 - 37) 和田安彦, 三浦浩之, 長谷川健司: 都市域の堆積汚泥の含有負荷特性とその定量化(1)(2), 下水道協会誌, Vol.27, No.309, No.310, pp.38-46, pp.74-81, 1990.
 - 38) 和田安彦, 三浦浩之: 分流式下水道の雨天時流出に伴う汚濁負荷流出モデルとその適用, 土木学会論文集, No.369/II-5, pp.287-293, 1986.
 - 39) 酒井寛二: 地球活動と地球環境—建築のライフサイクル環境負荷—, 空気調和・衛生工学会, pp.110-147, 1995.9
 - 40) 佐藤, 岡田: 基本設計段階でのライフサイクル評価システムに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.885-886, 1996.9, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.845-846, 1997.9
 - 41) 茂呂誠志: LCCO₂による事務所ビルの試算(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.885-886, 1995.8
 - 42) 岩淵他: 地下鉄整備のライフサイクル環境負荷に関する研究, 環境システム研究, Vol.25, pp.209-216, 1997.10
 - 43) (社)日本下水道協会: 下水汚泥処理総合計画策定マニュアル, pp.63-78, 1995
 - 44) 井村秀文, 銭谷賢治, 中嶋芳紀, 森下兼年, 池田秀昭: 下水道システムのライフサイクルアセスメント: LCE及びLC-CO₂による評価, 土木学会論文集VII-1, No.552, pp.75-84, 1996.4.
 - 45) 鶴巻峰夫, 野池達也: ライフサイクルアセスメントを適用した排水処理の評価に関する研究, 環境システム研究, Vol.24, pp.272-281, 1996.
 - 46) 鶴巻峰夫, 藤岡荘介, 内藤弘: 下水道終末処理施設のライフサイクルでの環境負荷の定量化について, 第4回地球環境シンポジウム講演集, pp.57-62, 1996.7
 - 47) (社)環境情報科学センター: 製品などによる環境負荷評価手法等検討調査報告書, p.38, 1998.3
 - 48) (財)電力中央研究所: 産業連関分析による・サービス生産時のエネルギー消費量とCO₂排出量, 1996.5
 - 49) 金材研データベース

参考資料等

- 1) 「市町村別, 上水道給水・有収水量及び栓数(平成五年度大阪府統計年鑑)」の都市別の年間給水総量
- 2) 「市町村別, 上水道給水・有収水量及び栓数(平成五年度大阪府統計年鑑)」の都市別の年間有収水量
- 3) 東京都土木技研年報(1987)「都市河川流域における有効降雨について」(浸透量)
- 4) 「ノンポイント汚濁負荷調査と削減対策」(凹地貯留量) 下水道協会誌 1996年10月
- 5) 「寝屋川流域水循環マスタープラン(案)(平成9年3月)」の水循環解析結果, 河川流量・水質の実測値
- 6) 「平成五年度大阪府流域下水道維持管理報告書(資料編)」の処理場計画処理能力・晴天時の下水処理場流入水量
- 7) 「生活排水をめぐって」公衆衛生 51(1987)

(1998. 7. 13 受付)

UTILIZATION OF UNUSED WATER RESOURCES IN URBAN AREA FOR ESTABLISHMENT A WATER CONSERVATION CITY

Yasuhiko WADA, Hiroyuki MIURA, Ritsuo TADA and Taira OZAKI

We evaluated an advantage of the utilization of rainwater and treated domestic wastewater in urban area. The rainwater utilization is the use of rainfall on the roofs and collected runoff storm water in the storm water reservoir for flood control. In the reuse of treated domestic wastewater, wastewater from the kitchen is not reused. That is "Domestic Water Recycling System". We evaluated the amount of conserved drinking water and the amount of decreased final effluent polluted matters by the unused water resources utilization. And we estimated the amount of carbon dioxide emission by the construction and operation of the unused water utilization systems. In the subject basin, the use of rainfall on the roofs and the domestic water recycling system are effective in the decrease of the resources consumption. And the domestic water recycling system is the most effective in the decrease of the environmental load.