

# 雨水・再生水による利水量の定量的評価

豊田忠宏\* 川崎将生\*\* 鳥居謙一\*\*\*

## 1. はじめに

近年、利用が促進されている雨水貯留利用や下水再生水は、河川水や地下水とともに陸水の水循環を構成する貴重な水源として注目されている。これらを新たな水源として活用し、渇水時の代替水源等への利用を行うなどにより、利水の安全度を向上させるほか、雨水の貯留による洪水被害の低減や、河川水量の回復による生態系の保全、水質の改善効果など、利水以外の治水、環境においても多面的な効果が期待される。

しかし雨水・再生水利用については、水源を雨水や生活雑排水に依存するため、渇水時において、降雨の減少や節水の実施に付随する排水量の減少から、供給能力が低下することが予想される。

本研究では、雨水・再生水利用の利水面の効果について、雨水・再生水の利用が推進されている福岡市を対象としてモデル化を行い、渇水時を含めた、利水効果の定量的な評価を行うとともに、将来利用量の推定を行った<sup>1)</sup>。

## 2. 雨水・再生水利用モデル

本研究では、福岡市における雨水・再生水利用の導入状況及び、将来の施設整備の見通しと、雨水・再生水利用水量について、既存データに基づき分析を行った。分析は渇水時において、雨水貯留量の減少が想定される「一戸建て住宅の雨水利用」、及び再生可能水量（排水量）の減少等が想定される「ビルにおける循環利用」を対象とした。一戸建て住宅の雨水利用については、福岡市の住宅に関するデータを参考にモデル化を行い、ビルにおける循環利用については、個別循環、広域循環の両方式について、統計データを参考に利用モデルを設定した。シミュレーションでは、渇水年、平水年について利用可能量の推定を行った。将来利用量については、雨水・再生水利用の現在までの施設整備状況等から、将来の施設整備数と利用

量を推計した。

## 3. 一戸建てにおける雨水利用

### 3.1 雨水利用のモデル

雨水利用は、降雨量によりその利用量が制限されることから、渇水時に降雨量が減少し効果が十分に発揮できないことが予想される。そのため、本研究では平水年と渇水年を対象にシミュレーションを行った。雨水貯留施設のモデル及び諸元は図-1に示すとおりである。屋根に降った雨が集水され、雨水タンクに貯留、利用される。集水量がタンク容量を超えると、オーバーフローとなる簡易なモデルを設定している。これらの諸元の設定にあたっては、福岡市の統計値を参考にした。

雨水の利用目的は、福岡市での指導の実態を踏まえ、「庭への散水」のみとした。散水量は「雨水利用ハンドブック」<sup>2)</sup>の値を基に、1日あたり $3L/m^2$ に設定した。本シミュレーションでは、降雨時には雨水の貯留を行い、無降雨時には必ず雨水利用を行う計算としている。実際には、降雨後に湿潤状況であれば散水をしない等、個々の判断要素が入り得るが、判断基準を明確に設定することが難しく、定量的な評価ができないため、今回は、無降雨時には必ず散水を行う設定としている。このモデルにより、雨水貯留による利水効果を算出した。

### 3.2 雨水貯留による利水効果

シミュレーションの対象降雨は、平水年であるH21年のほか、過去に大きな渇水が発生したS53、H6、H14年とした。いずれのケースも1戸当たり

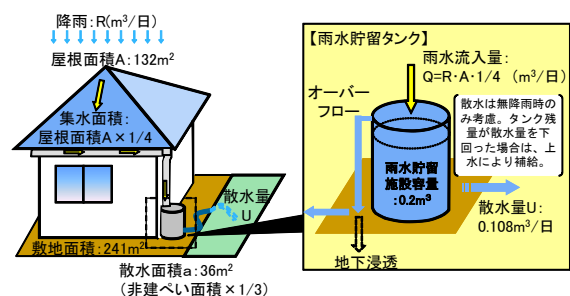


図-1 雨水貯留モデル概要

の利用水量はH20年度の値に固定して、試算した。表-1に試算結果を示す。

年間での試算結果を比較すると、敷地内降水量に対する雨水散水量の比率（敷地内降雨利用率）は2.3～3.4%となった。また、総散水量に対する雨水散水量の比率（雨水散水利用率）を見ると、渇水年では総散水量の24.3～34.1%が雨水利用で賄える結果となった。平水年であるH21年のケースでは35.3%となっており、特に降雨の少なかったH6年で11%低い以外は、大きな差が見られない。また、年間での一戸当たりの総利用水量に対する雨水散水量の比率（一戸当たり雨水利用率）では、3.4%～4.4%と年間降雨の寡多によらず一定の水準を保っている。

一方、月毎の試算結果を比較すると、雨水散水利用率の比較では、同じ7月でもH6年とH21年で、月の利用率がH6年は6.9%、H21年は71.5%となっており、大幅な差が見られる。図-2に特徴的な降雨パターンの月における日降雨量と雨水散水利用の状況を示す。H21年7月は降雨量が多く、降雨日数も多いため、タンクへの雨水貯留と利用が効率良く行われていることが分かる。反対に、平成6年7月の様に降雨量、降雨日数とも少ない月では、ほとんど雨水貯留が行えないため、利用率が低下することが分かる。

表-1 一戸建て雨水利用量の推計

対象降雨	①	②	③	④	⑤	⑥	雨水総利用量 / 全体上水給水量 <sup>※2</sup> (%)		
	敷地内降雨量	総散水量	雨水散水量	敷地内降雨利用率 (③/④)	雨水散水利用率 (③/②)	一戸当たり雨水利用率 (③/総利用水量 <sup>※1</sup> )	現在施設 (695戸)	将来施設 (1,975戸)	全家屋設置 (133,800戸)
	(m3/年)	(m3/年)	(m3/年)	(%)	(%)	(%)			
昭和53年	274.3	27.3	8.78	3.2	32.1	4.2	0.004	0.012	0.810
平成6年	214.7	29.6	7.20	3.4	24.3	3.4	0.003	0.010	0.663
平成14年	330.5	26.0	8.87	2.7	34.1	4.2	0.004	0.012	0.818
平成21年	407.8	26.5	9.33	2.3	35.3	4.4	0.004	0.013	0.860

※1：1戸当たりの総利用水量は、H20年の推計値(211.1m3/年)

※2：全体上水給水量は、H20年の福岡市の全体給水量(145,162,000m3/年)

また、月降雨量が同等であっても、利用効率に差が生じる場合がある。降雨量の近いH6年4月と9月では、月降雨量としては41.3mm/月、38.9mm/月と両月とも大きな差はないが、4月の利用率は50.8%であるのに対し、9月は19.4%と半分以下にまで低下する。これは、降雨が特定の日に集中すると、ほとんどが貯留されない無効分となるためと考えられる。

以上から、雨水利用については短期的には降雨への依存性が非常に高いことが分かる。月毎で見た場合の一戸当たり雨水利用率は最大でH21年7月の7.8%であった。本検討の対象とした4箇年の推計では、このような月毎の変動を含めても各年ともほぼ一定の利用水準を保つ結果となっているが、対象とした4箇年以外で同様の算定を行った場合、利用水準に差が生じることも考えられる。

次に、将来の設置予測に対する効果を推定する。雨水貯留施設は、平成21年時点で695戸に導入されている。これまでの導入数量の推移傾向を基にした回帰式により、10年後の平成31年における導入家屋数は1,975戸と推計される。雨水散水量と推計家屋数より、福岡市全体の雨水散水量を求めると表-1のとおりとなる。10年後の設置数量においても、福岡市の全体上水給水量約145百万m<sup>3</sup>/年（平成20年度）に対する雨水利用量の割合は、0.01%程度に留まることが分かる。さらに、現在の一戸建て家屋約13万戸全てに導入した場合についても試算を行ったが、上水道需要量に対する雨水利用量の割合は0.66%～0.86%であった。

今回の試算では、一戸建て家屋における雨水利用による上水給水量への削減効果は、将来においても小さいことが推定された。現在の家屋に設置されている雨水貯留施設では、最大貯留でも散水2日分程度の容量であり、降雨量に対して少ないこと、及び利用目的を家庭内水利用の中でも数%の需要量である散水のみ制限されていること等

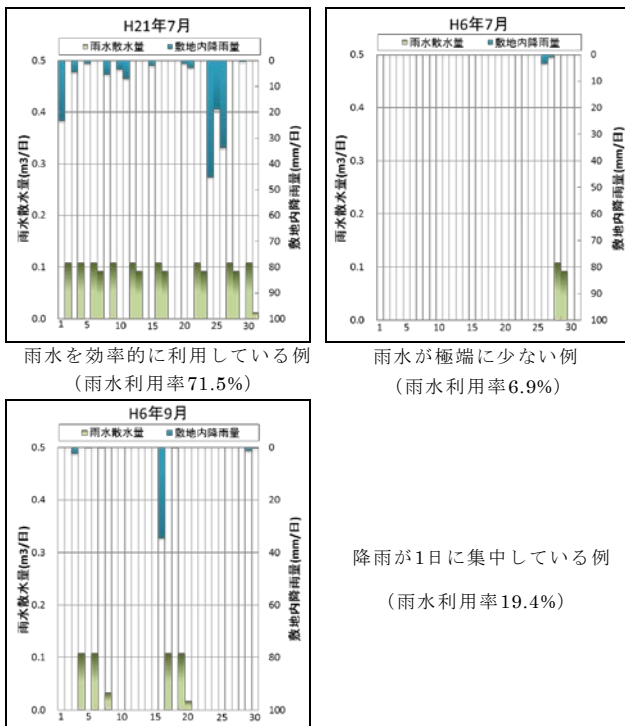


図-2 降雨による利用状況の比較

が、利用率が延びない理由と考えられる。

#### 4. ビルにおける循環利用

閉鎖系循環方式の大部分は、ビルにおける雨水・再生水利用であり、詳細には個別循環、地区循環、広域循環の方式に区分される。本研究では、個別循環方式と広域循環方式を対象に、現況及び将来の、雨水・再生水利用量の推計を行った。

##### 4.1 個別循環方式

##### 4.1.1 平常時の雨水・再生水利用量

個別循環施設では、排水を再生利用する再生水利用と、雨水貯留による雨水利用があり、本研究では併せて評価を行う。福岡市全体で個別循環施設として290施設が存在しているが、雨水・再生水利用量等のデータが無い施設もあるため、ビルの利用用途毎に分類し、施設内利用水量と延べ床面積の相関から使用水量を推計した。

##### 4.1.2 渇水時の再生水利用量

渇水時には、ビル内の給水量が減少するため、再生水の水源となる排水が減少し、再生水の利用量も減少すると考えられる。渇水時の日単位での再生水利用量は、統計値として把握されていない。ここでは、施設内の再生処理施設能力は安定的に維持されるものと考え、水源となる再生可能排水量が再生処理施設能力を下回った場合に再生水利用量が減少するものと仮定し、利用量を算出した。個別循環の利用形態のモデル化の概念図を図-3に、算出結果の一例を図-4に示す。

個別循環を利用する場合、通常時においても排水の一部が再生利用されることから、上水給水量は個別循環を利用しない場合に比して削減される。民間の事務所ビルを例に取った場合、施設毎に再

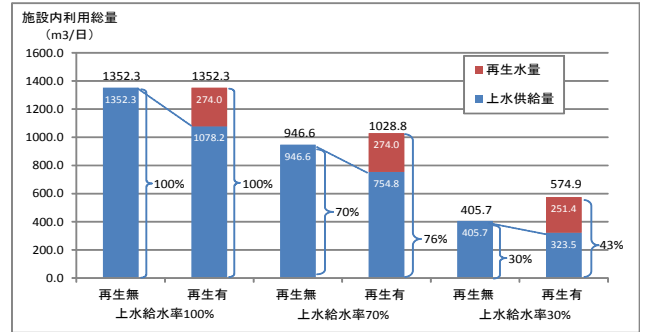


図-4 個別循環利用の推計 (民間ビル)

生利用率に差はあるものの、平均で20%程度上水利用量が減少する。そのため通常時においても、個別循環利用のない施設と比べて、常に20%程度節水した状況になる。渇水時に上水供給量が低下した場合においても、再生利用は再生処理施設能力の範囲内で安定的に行われる。現在の統計資料からは、上水道の全量が再生利用されている状態ではないため、上水道の給水率が低下しても、ある程度までは安定的に再生水が供給される状況にあると推測される。具体的には、民間ビルを例にした場合、上水道給水率で平均37%までは、再生水が安定的に供給されると試算される。そのため、施設内での利用水量の低下は上水給水量の低下率よりも緩やかな低下となり、個別循環の無い施設と比較した場合、渇水耐力は高いものと考えられる。今回の試算においては、S53年の渇水時の給水制限の状況でも平常時の約98~100%の供給が可能であると試算された。

実際の運用では、再生水を利用可能な用途は、トイレ、修景用水、冷却水等であり、厨房用水や手洗い水等、直接人体に摂取される可能性のある用途には利用できない。しかし、再生可能な排水は、厨房用水や手洗い水等が対象となる。そのため、再生可能な排水の比率が大きいビルやホテル等施設と、再生不可能な排水の比率が大きいホール等施設では、再生利用可能な排水量の比率が異なるため、再生水による供給の安定性も異なるものと推定される。今回収集した統計値の範囲内では明確に確認できないが、過去の調査事例<sup>9)</sup>によると、ビルやホテルにおける再生利用可能排水量は施設内利用総量の70~75%程度であるのに対し、コンベンションセンターのような施設では29%となっている。このような施設では、再生処理施設能力にもよるが、再生可能な全排水が再生利用されることとなり、渇水時に給水制限が実施

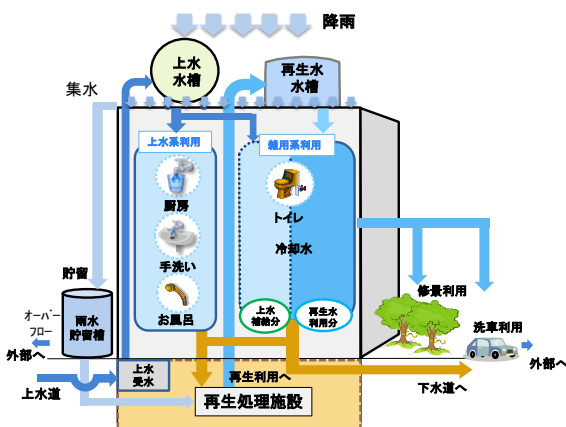


図-3 個別循環利用概念図

表-2 循環型利用による利用量の推計

評価対象	対象年	雑用水利用量					雑用水利用量/上水給水量		
		個別循環			広域循環 (千m <sup>3</sup> /年)	合計 (千m <sup>3</sup> /年)	個別循環 (%)	広域循環 (%)	合計 (%)
		再生水 (千m <sup>3</sup> /年)	雨水 (千m <sup>3</sup> /年)	合計 (千m <sup>3</sup> /年)					
① 現況施設 (H20)	昭和53年	1,481	120	1,601	1,759	3,360	1.10	1.21	2.31
	平成6年	1,485	105	1,590	1,759	3,349	1.10	1.21	2.31
	平成14年	1,485	120	1,605	1,759	3,364	1.11	1.21	2.32
	平成20年	1,485	122	1,607	1,759	3,366	1.11	1.21	2.32
② 将来施設 (H31)	昭和53年	1,741	141	1,883	2,929	4,812	1.30	2.02	3.31
	平成6年	1,746	123	1,870	2,929	4,799	1.29	2.02	3.31
	平成14年	1,746	141	1,887	2,929	4,816	1.30	2.02	3.32
	平成20年	1,746	143	1,890	2,929	4,819	1.30	2.02	3.32

されれば、再生水量も低下すると推定される。しかし、今回収集した統計値からは、各施設において再生可能排水量には余裕があることが推定され、施設整備や維持に係る費用とのバランスを考慮する必要はあるが、将来的に再生水量を増加する余地がある。

4.1.3 渇水時の雨水・再生水利用量

個別循環施設における渇水時の雨水・再生水利用量の集計を表-2に示す。雨水利用量は降雨量に応じて変化するため、104~121千m<sup>3</sup>/年と年毎に変動が発生している。再生水利用は、S53年のケースで一部の施設において50日程度、再生可能排水量が再生施設能力を下回るため、再生水利用量が低下するが、減少量としては少量に止まる。

4.2 広域循環方式

福岡市では、中部再生水処理施設、東部再生水処理施設の2施設において広域循環方式による再生水が供給されている。それぞれ、4,700m<sup>3</sup>/日、120m<sup>3</sup>/日の利用があるが、この水量は当該施設の下水处理水量の1/10以下の水量であり、仮に渇水時に大幅に処理水量が低下しても現況の利用量であれば再生水の水源量として不足することはない。

く、安定的に供給が可能であると考えられる。

4.3 現況及び将来の利用量推計

4.1、4.2の結果を合計すると現況施設による雨水・再生水利用量は表-2に示すとおり、約3,349千~3,366千m<sup>3</sup>/年であり、上水給水量の2.3%程度に相当する。次に、将来における利用量を推計するため、平成20年までの施設整備数の推移から平成31年における利用施設数を推計した。雨水・再生水利用量は施設数に比例して増大すると想定し平成31年における利用量を推計した。平成21年からの増量は1,450千m<sup>3</sup>程度であり、上水給水量の1%程度に相当するものと試算された。

5. まとめ

今回の試算結果においては、上水給水量に対する雨水・再生水利用による代替効果は数%に止まった。しかし、本研究では普及及び利用が将来的に同様であると仮定しており、量的にはまだ増加する余地が残っている。また雨水貯留の効果は、利水面だけでなく、治水、環境等も考慮し、総合的に評価を行う必要がある。既存の水供給形態における河川以外の水源による利水効果を明らかにし、それらを含めた統合的な水資源管理により、さらなる水利用の適正化を進める必要がある。

参考文献

- 1) 鳥居謙一：雨水・再生水等による利水効果-福岡市における雨水・再生水利用をモデルとして-、ベース設計資料 152土木編、pp.7~20、2012。
- 2) 社団法人雨水貯留浸透技術協会：雨水利用ハンドブック、66p、1998。
- 3) 国土交通省土地・水資源局水資源部：雨水・再生水利用施設実態調査 事例集、pp.6~29、2010。

豊田忠宏\*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室 研究員  
Tadahiro TOYODA

川崎将生\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室長  
Masaki KAWASAKI

鳥居謙一\*\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水防災システム研究官(前 国土技術政策総合研究所河川研究部水資源研究室長)、工博  
Dr. Keniti TORII