

建築物における雨水利用システムの有効性に関する研究

2001年

越 川 康 夫

建築物における雨水利用システムの有効性に関する研究

目次

	頁
第1章 序論	1
1.1 研究目的	1
1.2 既往の研究	2
1.3 本研究の意義	3
第2章 雨水水質の変化過程の検討	5
2.1 序	5
2.2 収集雨水の水質変化過程	5
2.3 雨水収集実験	7
2.3.1 雨水収集方法	7
2.3.2 分取雨水の水質分析項目	9
2.3.3 分取雨量	9
2.4 実験結果	10
2.5 初期収集雨水排除量	12
2.5.1 分取雨水水質からの検討	13
2.5.2 収集雨水汚濁物量の推定式	14
2.5.3 収集雨水汚濁物量の推定式による検討	19
2.6 結語	23
第3章 雨水汚濁機構と汚濁防止の検討	24
3.1 序	24
3.2 収集雨水水質とその水質変動要因	24
3.3 雨水収集実験による水質変動要因の検討	25
3.3.1 検討対象	25
3.3.2 水質分析項目間の関連分析	26
3.3.3 水質分析項目と気象観測項目	26
3.4 沈積じんの測定と挙動	27
3.4.1 沈積じんと収集雨水水質	27
3.4.2 沈積じんの測定	28
3.4.3 沈積じんの挙動	32
3.5 初期雨水排除による雨水収集実験	36

3.5.1	実験概要	36
3.5.2	実験結果	37
3.6	結語	38
第4章	離島型雨水利用システムの解析	40
4.1	序	40
4.2	調査概要	42
4.2.1	対象離島の概要	42
4.2.2	調査内容	42
4.3	水利用環境の調査結果	44
4.3.1	水利用システム	44
4.3.2	雨水利用施設の規模と維持管理	46
4.3.3	用水の水質	48
4.4	水の使われ方と使用意識	49
4.5	雨水利用施設の適正規模の検討	52
4.5.1	雨水利用シミュレーションの算定条件	52
4.5.2	雨水利用シミュレーションの方法	52
4.5.3	雨水利用可能量の算定結果	54
4.5.4	収集面積と貯留槽容量	55
4.5.5	離島・都市型雨水利用システムの特徴	57
4.6	結語	58
第5章	住宅の用途別使用水量の予測	59
5.1	序	59
5.2	分析データの概要	59
5.3	使用水量の実測結果	61
5.4	水使用要因の分析	62
5.4.1	水使用要因相互の関連	62
5.4.2	使用水量の規定要因	62
5.4.3	節水意識の規定要因	65
5.5	用途別使用水量の予測	67
5.5.1	用途別水使用頻度	67
5.5.2	用途別使用水量の原単位	69
5.5.3	重回帰分析による使用水量の予測	69
5.5.4	用途別使用水量の算定結果	72

5.6	世帯特性による用途別使用水量の予測	73
5.6.1	算定条件	73
5.6.2	世帯特性による用途別使用水量の算定例	75
5.7	結語	76
第6章	住宅における雨水利用システムの評価	77
6.1	序	77
6.2	都市型雨水利用システムの特性とその評価指標	77
6.2.1	雨水利用効率の評価指標	77
6.2.2	都市型洪水防止効果の評価指標	78
6.3	雨水利用シミュレーションの算定条件	79
6.3.1	福岡市における水使用調査の概要	80
6.3.2	水質レベルによる雨水利用用途の設定	81
6.3.3	モデル世帯	81
6.3.4	雨水利用設備の規模	81
6.3.5	時間単位の雨水利用シミュレーション	82
6.4	雨水利用シミュレーションの供試データ	82
6.4.1	1時間降水量の集計とその特性	82
6.4.2	時間あたり用途別使用水量の算定	84
6.4.3	モデル世帯別雨水利用量	87
6.5	算定結果	89
6.5.1	雨水利用効率の評価	89
6.5.2	都市型洪水の防止効果	90
6.5.3	各雨水利用システム評価指標の関連	92
6.6	結語	93
第7章	駅舎トイレにおける雨水利用システムの評価	94
7.1	序	94
7.2	対象駅および対象トイレの概要	94
7.3	検討データの概要	97
7.4	駅舎における乗降者数とトイレ利用者数	98
7.4.1	乗降者数とトイレ利用者数の経時変化	98
7.4.2	トイレ利用率の経時変化	99
7.4.3	U駅流動調査に基づくトイレ利用率の検討	102
7.4.4	乗降者数とトイレ利用者数の関連	104

7.4.5	男女別乗降者数とトイレ利用者数の推定	104
7.5	トイレ利用と各便器使用の分析	108
7.5.1	トイレ利用者数と便器使用者数	108
7.5.2	便器の使用率	109
7.5.3	時間帯別トイレ利用者数に対する便器使用者数の割合	110
7.6	雨水利用シミュレーションの算定条件	112
7.6.1	降水量	112
7.6.2	雨水収集面	113
7.6.3	トイレの器具使用	114
7.6.4	トイレ使用水量の算定値	120
7.6.5	雨水貯留槽容量	121
7.7	雨水利用のシミュレーション算定結果	122
7.8	駅舎トイレの雨水利用システム	122
7.9	結語	122
第8章	結論	125
<参考文献>		128
<著者関連発表論文リスト>		133

1章 序論

1.1 研究目的

人間にとって必要不可欠なものは、第1は酸素を含む「空気」であり、第2は身体の最大構成物になる「水」であることは、論を待たないであろう。一昔前、我々日本人は、「空気と水はタダ」と考え、それらから受ける恩恵の重要性を忘れていた時があったように思われる。しかし、近年の産業の発達は大気汚染、水質汚濁、また地球温暖化に起因する異常気象からの多雨・少雨の降水量変動による洪水、渇水の状況を招き、その結果、「空気」と「水」の重要性を我々は再認識するようになってきている。そして、その認識を、具現化したものの一つが都市の建築物における雨水利用ではないかと考えられる。

雨水利用は、水道施設が完備していない離島、砂漠地帯などにおいては、古くから行われているが、都市における歴史は浅く、一般的なシステムとはいえない。しかし、生活の質の向上、都市域の拡大等、水需要の増加をもたらす要因の増大傾向が、一時ほどではないにせよ続いている限り、降水量の変動に脆弱な都市の体質も含めた、昨今の日本の水環境事情を考えるなら、都市での雨水利用システムの普及は促進されるべきといえる。

雨水利用システムの普及に向けては、様々な団体が活動している。1994年に、墨田区が共催し開かれた雨水利用東京国際会議は、内外の研究者、雨水利用に関わる民間人が集い、様々な観点から雨水利用についての6日間に渡る会合がもたれた。そして、現在でもこの会議は定期的に行われている。この会議を共催した日本雨水資源化システム学会(当時 日本国際雨水資源化学会)は1992年から活動している雨水利用指向の水資源科学の体系化を図ること目的とした学会であり、この学会は1982年から開催されている Rainwater Cistern System Conference が日本で行われたことを機に設立されている。また、これら学会に関連する出版物も多くみられる。このように、これまで多くの賢者、研究者が、雨水利用の有用性・有効性を多く語ってきており、雨水利用は完全に省資源、エコロジーに調和した手法として定着しているかのように思われる。しかし、都市の雨水利用実施例は、公共建築物およびそれに順ずる建築物が大部分であり、戸建て住宅のような一般建築物では散見する程度に留まっているのが実状である。

雨水利用システムが、都市において、未だ、定着しておらず、一般化していない原因には、様々な事項が考えられるが、問題点は主に3つに大別されると思われる。

1) 雨水の「質」

水利用の基本は水質であるが、雨水の場合は不明な点が多く、雨水の水質上の位置付けが曖昧であったため、通常、都市域の雨水利用システムでは、安全側を考慮して雨水は汚水と同等に扱われてきたと考える。元来、雨水は気化した水が凝結して出来た天然の蒸留水であることを考えると、これらのシステムでは雨水水質の特性を考慮しているとはいえない。雨水利用を考えた上での雨水水質の特性とその汚濁の機構の解明は必要と考えられる。

2) 離島型と都市型の「雨水利用システム」

離島等における水道施設の不備を雨水利用施設で補い、雨水を生活の中心に置くような雨水利用システム（以降、離島型雨水利用システムと記す）と水道設備が完備する都市域において、本来、雨水は速やかに系外へ排出されるべき「廃棄物」として扱ってきた雨水を水道水の代替「資源」として扱う雨水利用システム（以降、都市型雨水利用システムと記す）では、雨水に対する基本姿勢がかなり異なるはずであるが、実績豊富な離島型雨水利用システムの考え方をそのまま、都市型雨水利用システムに適用しようとしている事例が多いと考えられる。そのため、両システムの相違を明確し、都市型雨水利用システムに適用可能な離島型雨水利用システムの内容を明確にすべきである。

3) 雨水の「量」

建築物における雨水利用システムの規模を検討する場合には、建築物内に納める雨水利用施設の規模も重要であるが、雨水利用システムの基本となるものは、その建築物で発生する雨水の需要量であり、この需要量により適切なシステムの検討が可能となるが、そのためには様々な条件での用途別使用水量の値を必要とする。しかし、その際に基礎となる諸データが整理されておらず、詳細な検討がなされていないのが実状である。

本研究では、都市域での雨水利用システムを普及させるために、その障害となっている「質」、「雨水利用システム」、「量」に関する事項に対して、実験、調査、シミュレーション等の手法により解明を試み、それらの結果を参考に、さらに、戸建て住宅を対象にして、雨水利用システムの有効性を検討した。また、大型建築物の中で最も大量の雨水利用が可能と考えられながら雨水利用が実現されていない駅舎トイレを対象に雨水利用システムの有効性を検討している。

なお、広義には、我々が日常生活において使用する水は、海水淡水化等による造水の例を除き、河川・地下などを経た後に採取される雨水であり、我々の水利用は基本的には雨水利用に他ならないが、狭義には、雨水利用は人為的に雨水を貯留して利用することといえる。この狭義の雨水利用には、建築物外のダム、ため池等も含まれるが、本研究で対象とした雨水利用は、建築物の屋根面を雨水収集面に用いて雨水を収集し、貯留後、使用する建築物における雨水利用システムのみを対象としている。そのため、以後、雨水利用は建築物におけるものに限定して論述してゆく。

1.2 既往の研究

我々が日常生活において使用する水は、海水淡水化等による造水の例を除き、河川・地下などを経た後に採取される雨水であるが、屋根面を用いた雨天時収集による利用も離島などにおいては古くから行われている。また最近では、水道普及率の高い都市域においても、都市開発による雨水浸透面の減少から生ずる都市型洪水対策および都市域内水資源開発¹⁾などの観点から、雨水の一部貯留や収集利用に関する研究・開発²⁾が進められており、一部にお

いては実施されているが、積極的に雨水を利用しようとするものではない。

雨水利用の基本事項である雨水水質については大気物理化学³⁾、降水量等の量については水文学⁴⁾の分野で数多くの研究がなされており、降雨までの過程については十分な知見が得られている。しかし、地表面に雨水(雨滴)が到達してから雨水は道路等で濁水に変化することが指摘⁵⁾されているが、雨水水質の変化については研究がなされておらず、地表面到達後の雨水の汚濁機構については不明な部分が多い。

これまでの雨水利用に関する研究は、水道設備が不備な東南アジア等の発展途上国における水道代替システムとしての雨水利用システムに関するものが多く、現在も継続的に研究がなされている。前述の雨水利用東京国際会議、Rainwater Cistern System Conference でも幾つかが発表されており、それらの重要な論文は、整理されて出版されている⁶⁾。

国内では、実用面で雨水利用施設の設計に関する重要事項がハンドブック^{7) 8)}としてまとめられている。定期出版物としては、日本雨水資源化システム学会の論文集⁹⁾があり、主に農業土木の観点から、ため池に類する雨水利用システムの研究が主として報告されている。

また、建物に関する雨水利用に関する報告としては、大型建築物の大規模システム^{10) 11)}から一般住宅の小規模システム¹²⁾まで、数多くなされている。これらの中では、適用した雨水利用システムの規模および条件等を述べ、雨水利用の状況を記述しているが、その節水効果の確認のみに留まっている。なお、最近では、環境共生型住宅^{13) 14)}というような計画システムの中の1システムとして雨水利用システムが位置づけられ、雨水利用可能量を算定している研究が増えてきている。しかし、これらは雨水利用システムを降水量と設備規模から検討する従来からの手法にとどまった内容であり、新しい知見はみられない。

以上述べたように、雨水に関する多くの報告・研究は認められ、雨水利用システムは、既に省資源的なシステムとして利用価値の認識は定着してきている観はあるものの、いまだに、一般の建築物での雨水利用システムが広く普及している状況を示してはいない。また、これらの報告・研究の多くが、渇水年の直後に発表件数が増加し、そして徐々に減少するパターンを繰り返し、その基本的な内容はほとんど変化していない。

なお、本論文の各章でそれぞれに関連する既往研究についてはさらにふれる。

1.3 本研究の意義

本研究では、都市域での雨水利用システムを普及させるために、その障害となっている「質」、
「雨水利用システム」、「量」に関する事項に対して、実験、調査、シミュレーション等の手法により解明を試み、それらの結果を参考に、さらに、戸建て住宅を対象にして、雨水利用システムの有効性を検討した。また、大型建築物の中で最も大量の雨水利用が可能と考えられながら雨水利用が実現されていない駅舎トイレを対象に雨水利用システムの有効性を検討している。

最初の2つの章においては、質の問題を扱っている。まず、第2章では、既往の研究の考

察から、雨水水質の性状を検討後、第3章では、雨水収集実験により、収集された雨水の問題点とその対策を明らかにする。水質の問題は、水利用を考える上では、基本的な問題ではあるが、本論文にまとめるに際し用いた筆者らの公表関連論文以外の研究では、雨水収集面に到達直後の雨水の汚濁機構について系統的になされたものは見あたらず、汚濁の主因を特定した例はみられない。

第4章では、質と量からの沖縄の離島の調査により、離島型雨水利用システムの解析を行い、水利用行為、設備規模、雨水利用量等を検討し、その特性を明らかにした。さらに、雨水利用設備規模からシミュレーションにより各設備での雨水利用量を推定した。また、雨水貯留槽と雨水収集面の関係から、離島と都市における雨水利用システムとの相違を明確にした。これまで、このような離島型と都市型の雨水利用量システムの相違を指摘した研究はみられない。

第5章では、建築物における雨水利用量を考察するに際し、基本となる用途別の使用水量を明らかにするための手法検討について住宅を例に行った。

第6章では、福岡市の戸建て住宅を対象にモデル住宅を設定し、時間単位のシミュレーションを行った後、都市型洪水防止効果の検討、本研究で設定した4雨水利用有効指標に関する算定を行い、雨水利用システムの評価指標の妥当性を検討し、都市型雨水利用システムの評価に適した指標を検討した。

第7章では、公共建築物における雨水利用の一つとして駅舎トイレの雨水利用可能量について検討した。ここでは既往の調査値を用いて、5駅を対象に、乗降者数、トイレ利用者数、便器使用者数の関連を明らかにした後、雨水利用シミュレーションにより、駅舎トイレにおける有効なシステムの提案を行った。

第8章では、第2章から第7章までの総括と、都市型雨水利用システム普及促進の条件を提示した。

本論文で示す研究内容の多くは、これまで検討された事例がなく、都市における建築物の雨水利用システムの有効性を検証する上で新たな知見を与えるものと考えている。

第2章 雨水水質の変化過程の検討

2.1 序

雨水利用に関する既往研究の多くは、雨水の全量収集を前提として

[有効収集雨水量 \leq 降雨量]

の図式が定着している。しかしながら、大気物理化学分野における雨滴の生成、降雨中の化学成分変化¹⁾および衛生工学分野における雨天時下水道負荷算定²⁾などの研究によれば、降雨初期の雨水および都市流出水に含有する汚濁物濃度は一般的に高くなることが明らかにされており、初期雨水を排除せずに全量収集し、貯留後利用するシステムは、量的面からは有効といえるが、質的面を考慮するなら検討の余地があるといえる。

以上の観点から、雨水が安全でかつ安価な水資源として認識され、主に屋根面を収集面とした雨水（以下、収集雨水と称す）の利用が専任の管理者を必要とせず事務所建築物などはもとより個人住宅のレベルまで普及されたためには、雨水水質性状およびそれに関わる因子を考慮した質的安全性の高い簡便な雨水利用システムの確立が必要と考えている。

本章の目的は、これまで量的面に比べて軽視される傾向にあった質的面からの雨水利用システムの確立にあり、そのための基礎的研究として、限定した地域を対象としているが、雨水収集実験に基づき、収集雨水の汚濁状態を明らかにするとともに、収集雨水の汚濁物量の推定式を提示し、さらに初期雨水の排除量について、「水道法」に基づく「水質基準に関する省令」³⁾（以下、「基準」と称す）で示されている値を評価基準として、「基準」達成の可否により検討する。なお、雨水性状は地域特性による影響を受けることが考えられるため、記述事項が全て他の地域に適用可能とはいえないが、水質面から雨水利用を考察する際の基礎的資料を提供するものとする。

2.2 収集雨水の水質変化過程

本研究で対象とする収集雨水の水質は、収集面到着前では主に次の2過程により決定されることが、既往の研究⁴⁾により明らかにされている。

1) 雨滴生成過程 (rainout 過程)

雲の中で雨滴が生成し、大気中の汚濁物が雨滴中に取り込まれる過程である。通常の雨滴生成では、エアロゾルが凝結核となり、エアロゾルの化学組成が最初の雨水水質を決定する。

2) 雨滴降下過程 (washout 過程)

雲底から雨滴が大気中を降下し、大気中に存在するエアロゾル、気体を取り込みながら汚濁物濃度を上昇させていく過程である。雨滴の汚濁物取り込み量は、降下中に存在する汚濁物量に比例すると考えられるため、降雨開始時に取り込み量は最大となり、以後漸減する。

以上の2過程における雨水水質およびその推定式について Miyake および Sugiura⁵⁾は、rainout は雨滴生成の要因が複雑であり、かつ雨水の汚濁物に対する寄与率が低いという理

由から除外し、washout についてのみ考察し、雨水測定値の検討から雨水中の塩素イオン濃度に関して次式を導いている。

$$C \cdot P = D \cdot (1 - e^{-P \cdot 3 \delta / 4 r}) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、

- C : 雨水の Cl⁻濃度 (mg/l)
- P : 降雨量 (mm)
- D : 単位断面積あたりの気柱内の全 Cl⁻量 (mg/m²)
- δ : 塩粒子の雨滴による捕捉率
- r : 雨滴の平均半径 (mm)

また Petrenchuck および Selezneva⁸⁾は、雨水の全イオン濃度を 2 過程由来別に検討し次式を導いている。

$$M = M_{cloud} + (H/h) q_0 (1 - e^{-\sigma T}) \dots \dots \dots (2)$$

ただし、

- M : 雨水の全イオン濃度 (mg/l)
- M_{cloud} : 雲中の全イオン濃度 (mg/l)
- H : washout の気層厚 (m),
- h : 降雨量 (mm)
- q₀ : 降雨前の大気中のイオン濃度 (μg/m³)
- σ : 全イオンの washout 係数 (1/sec)
- T : 降雨継続時間 (h)

rainout に由来する M_{cloud} の値は測定された地域および降雨前後において大きな変化はなく、6 (mg/l) であると報告している。

これらの過程は、wet removal と呼ばれる降雨による大気からの汚濁物除去過程であるが、これらに対して dry removal と呼ばれる汚濁物の自然落下および地表物への衝突による除去がある。dry removal による汚濁物は全て地表物に沈着するため、収集雨水の水質は第三の過程ともいえる dry removal により収集面上に存在する沈着汚濁物の雨水への取り込み過程に影響される。この過程の研究は、衛生工学における雨天時下水道負荷算定法に関わる人為的汚濁物を主に含む都市流出雨水水質の研究に代表されるが、雨水利用を目的として人為的汚染の少ない箇所が選定される雨水収集面と人為的汚染が前提となる都市地表面とでは、汚濁物量の程度が異なり同一レベルでは論じられない。そこで、この第三の過程を flushout と称し、次のように定義した。

3) 雨滴着地・収集過程 (flushout 過程)

これは、雨滴が大気中を降下後、雨水収集面と接触し、面上の汚濁物を取り込み汚濁物濃度を上昇させた後、収集される過程とする。この過程における雨滴の汚濁物取込み量は、雨滴着地時収集面に存在する汚濁物量に比例すると考えるなら、washout と同様な関係式によ

って検討することができる。なお、本論文では収集面の材質に起因する汚濁物濃度の問題は扱わない。

以上述べた rainout, washout, flushout の3過程を収集雨水水質の変化過程として扱い以下に論述する。

2.3 雨水収集実験

2.3.1 雨水収集方法

雨水収集実験は、東広島市西条町に所在する広島大学工学部（建築環境学実験棟屋上、地上高8m）において行った。その位置を図-2.1, 2.2に示す。

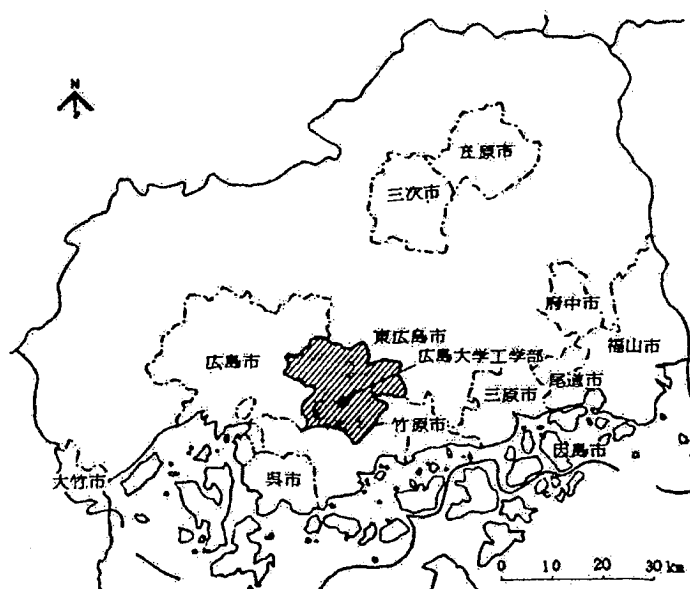


図-2.1 広島県概略図

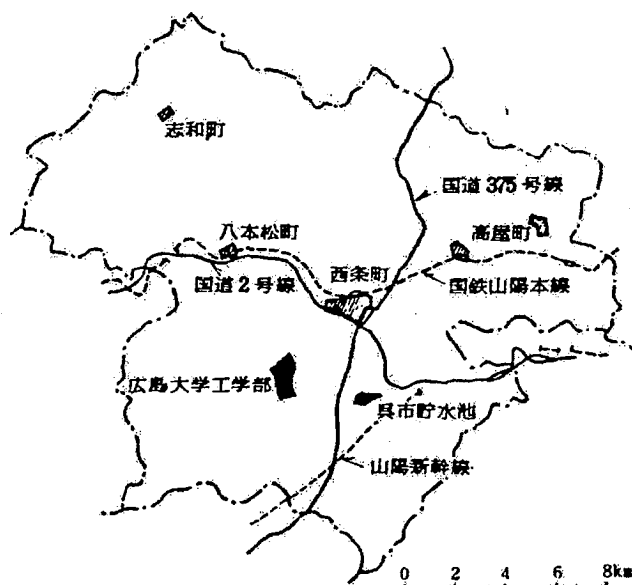


図-2.2 東広島市街略図

雨水収集装置は調査・研究の目的の応じて、種々の型が考案⁷⁾されている。それらを大別するならば、(1)一雨全量採取型、(2)一雨定量分取型、(3)連続測定型で考えられる。本実験においては、図-2.3に示すような収集面および支持台が透明塩化ビニル製の(2)型の装置を用いた。本装置は、主に収集面と採水部からなるが、同図左のオーバーフロー管と収集面の採水口を連結し、外部に貯留槽またはセンサーを設置すれば(1)、(3)型に転用可能である。採水部は500ml(または200ml)三角フラスコと外径15mm、内径11.5mmのガラス管および接続部からなる。ガラス管は、図-2.4に示すように変形十字管を用い越流現象に対処できるようにしている。

雨水収集実験は、昭和57年11月より昭和58年2月および昭和58年7月より同年9月にかけて各期間連続して実施した。前期では、1例について越流現象が発生したため、後期では空気抜き用の内径2mmのガラス管を十字管内に上部より挿入した。本装置の収集面積水平断面積は 0.60m^2 、三角フラスコ一本当たりの採水量は約600ml(または約240ml)であり、雨水を1mm(または0.4mm)毎に採取可能である。なお、本装置により各フラスコに採取後、水質分析に供する収集雨水を分取雨水と称する。

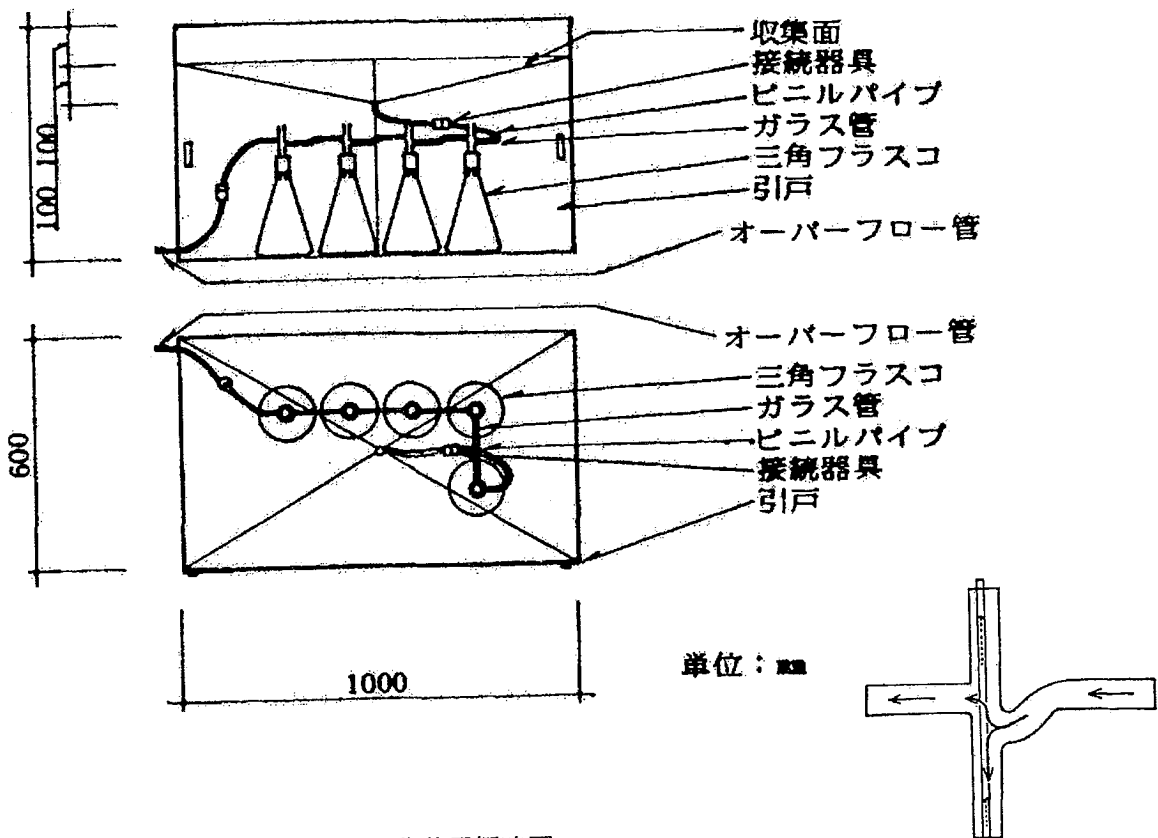


図-2.3 分析用雨水収集装置概略図

図-2.4 連結用変形十字ガラス管

2.3.2 分取雨水の水質分析項目

分取雨水の水質分析項目および分析法の選定は、前章で述べた収集雨水の水質変化特性などを考慮して選択する必要がある、その選定基準は以下のようにまとめられる。

1) 収集雨水の汚濁物濃度は、降雨開始時に最大となるが、採水間隔により値は異なる。また、降雨が進行するにつれ大幅に減少するなど、濃度変化幅は大きい。したがって、定量濃度範囲が広い分析法であること。

2) 降雨の量・間隔は一定しておらず、迅速かつ少量の試水でも可能な分析項目であること。

3) 水の一般性状の把握および利用可否の判断が可能な分析項目であること。

これらの事項を満足させるために、主に機器分析を採用した。一般項目として濁度、COD、電導度、pHの4項目、塩類としてイオン電極法による Cl^- 、 NO_3^- の2項目を採用した。これらの項目のうちCOD、電導度、 NO_3^- は「基準」で定められている項目のうちでそれぞれ $KmnO_2$ 消費量、蒸発残留物、硝酸性・亜硝酸性窒素と後述する変換式を用いてほぼ対応づけが可能である。表-2.1に、6項目の分析法を示す。6項目の分析には、試料約400mlを使用し、測定時間は平均して1試料あたり約1時間である。また、実験期間中に気象要素の測定をしているが、本論文では降雨量の測定値（下限0.5mm）だけを扱う。

2.3.3 分取雨水量

式(1)の $\{3\delta/4r\}$ にMiyakeらの示した値 $1.97^{8)}$ を用い、washoutによる汚濁物の除去率 $C \cdot P/D$ と降雨量の関係を計算した。 $C \cdot P/D$ の値は、降雨量2.4mmにおいて99.1%となることから、分取雨水量は、6項目を測定した1mm毎の採取実験では5mmを、濁度、電導度、pHの3項目を測定した0.4mm毎の採取実験では4mmをそれぞれ採用した。

表-2.1 分析項目およびその分析法

測定項目	使用機器	定量下限
濁度	積分球式濁度計	0.01(度)
電導度	電気伝導度計	0.1($\mu S/cm$)
pH	pHガラス電極計	-
NO_3^-	イオン電極用電位差計 硝酸イオン電極 参照電極（外筒液0.1mol/lKF)	0.1(mg/l)
Cl^-	イオン電極用電位差計 塩酸イオン電極 参照電極（外筒液10% KNO_3)	0.1(mg/l)
COD	「JISK-0102 1981 17」に準拠	0.1(mg/l)

2.4 実験結果

昭和57年11月5日から12月11日まで
および昭和58年7月5日から9月1日まで、
降雨量1mm毎に最高5mmまで採取した雨水
77本の分析結果を表-2.2に、昭和57
年12月23日から昭和58年2月3日まで、
降雨量0.4mm毎に最高4mmまで採取した雨
水27本の分析結果を表-2.3にそれぞれ示
す。

表中の★★★印は欠測値、降雨量は雨量
計による測定値、採水量は三角フラスコ1
本当りの収集雨水量を表す。11月7日、
12月2日、12月17日は、接続不良、3.1
で述べた越流現象、フラスコ凍結破損の各
トラブルがあり収集雨水の一部を流出して
いる。なお、11月11日の一部の項目には、
他の分析値とは異なる傾向が認められるが、
野鳥の糞によるものと考えられる。

表-2.2 雨水分析値 (1mm)

分析項目 降雨日	濁度 (度)	電導度 ($\mu S/cm$)	pH	COD (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	降雨量 (mm)	採水量 (ml)
82, 11, 05	4.10	65.0	4.41	5.8	2.43	6.20	2.0	586.0
	1.75	34.9	4.41	1.4	0.49	0.96		596.0
	0.88	32.3	4.47	1.3	0.56	0.96		602.5
	0.28	34.2	4.56	***	***	***		39.0
11, 07	2.50	24.0	4.54	2.3	0.29	0.30	5.0	606.0
	0.75	33.0	4.44	***	***	***		92.0
11, 09	0.60	35.2	4.45	1.6	0.58	0.60	13.5	612.5
	0.38	25.5	4.50	1.8	0.56	0.35		618.0
	0.20	22.7	4.58	1.3	0.56	0.30		614.0
	0.16	20.2	4.54	0.9	0.28	0.28		617.0
	0.29	17.5	4.70	1.1	0.28	0.22		601.0
11, 11	1.50	114.0	4.47	3.7	1.75	29.00	2.0	612.5
	1.45	64.7	4.62	2.9	0.89	14.40		613.0
	1.38	101.0	4.67	3.2	1.13	34.50		426.0
11, 15	2.18	108.0	4.17	6.7	5.74	12.70	27.5	619.0
	0.86	47.0	4.29	2.1	1.76	0.83		617.5
	0.62	36.0	4.35	1.3	1.20	0.48		625.0
	0.60	33.5	4.44	1.3	0.87	0.56		638.5
	0.52	24.8	4.55	0.7	0.52	0.32		600.5
11, 17	3.88	96.0	4.17	5.6	6.85	3.89	1.0	603.0
	4.85	73.1	4.17	4.1	4.61	***		441.0
11, 24	13.40	37.4	5.00	6.2	2.94	2.26	3.0	617.5
	3.70	28.4	4.48	1.6	0.59	0.56		618.0
	0.75	32.5	4.41	1.8	0.46	0.51		617.0
	0.96	40.8	4.40	2.0	0.93	0.60		612.0
11, 29	4.20	6.0	5.41	6.2	0.77	0.43	62.5	549.5
	0.45	4.8	4.98	1.3	0.43	0.13		566.0
	0.25	4.3	5.02	0.5	0.43	0.12		606.0
	0.37	4.0	5.05	0.7	0.46	0.10		626.5
	0.38	3.1	6.08	0.3	0.38	0.08		615.5
12, 02	10.00	47.0	4.77	8.7	7.01	10.10	2.5	610.0
	2.39	***	***	***	***	***		45.0
	2.10	43.6	4.36	3.4	4.61	4.46		615.5
	4.35	32.7	4.53	3.8	3.14	3.07		496.0
	3.71	***	***	***	***	***		122.0
12, 05	6.60	***	4.37	5.3	4.61	3.15	8.5	595.5
	***	***	***	***	***	***		0.0
	0.60	***	4.42	1.3	0.87	0.64		618.5
	1.25	***	4.46	1.0	0.72	0.44		608.5
	1.01	***	4.57	***	***	***		593.0
12, 11	14.90	47.5	4.71	7.5	15.60	5.74	0.5	605.0
	6.60	49.2	4.62	4.4	13.10	6.20		415.5
83, 07, 05	7.60	2.2	6.31	3.4	0.10	0.75	47.0	626.0
	2.23	4.2	6.39	0.9	0.10	0.75		605.0
	1.12	5.9	6.89	0.8	0.10	0.80		610.0
	0.57	5.8	6.60	0.8	0.10	0.80		613.0
	0.49	4.6	6.94	0.7	0.10	0.70		609.0
07, 07	8.00	50.5	5.90	8.1	1.40	1.10	0.5	600.0
07, 15	10.80	47.5	4.74	7.5	0.10	2.00	19.0	603.0
	1.11	11.2	4.46	1.5	0.10	0.13		618.0
	0.79	10.9	4.48	0.4	0.10	0.10		621.0
	0.56	13.0	4.30	0.5	0.10	0.10		616.0
	0.28	4.8	4.52	0.1	0.10	0.10		586.0
07, 20	4.33	38.5	4.30	2.1	0.44	1.15	19.0	598.0
	3.14	18.2	4.42	1.6	0.10	0.65		610.0
	1.20	12.5	4.48	1.0	0.10	0.50		606.0
	0.65	9.9	4.59	0.6	0.10	0.15		624.0
	0.50	6.4	4.77	0.5	0.10	0.10		608.0
07, 23	3.25	21.8	5.27	3.1	0.80	2.70	2.5	606.0
	1.56	27.0	4.50	2.0	0.80	2.20		610.0
	2.10	33.0	4.41	3.5	0.90	1.60		400.0
07, 24	2.50	12.8	5.06	2.9	1.50	1.20	0.5	608.0
07, 31	6.20	57.0	5.15	7.2	6.40	6.00	0.0	599.0
08, 25	32.50	118.0	5.19	21.5	20.00	11.40	41.0	612.0
	21.70	40.0	4.71	9.3	5.84	0.32		608.0
	2.85	20.8	4.61	1.9	1.71	0.10		610.0
	2.15	12.5	4.69	0.9	2.00	0.10		610.0
	1.01	13.6	4.71	1.1	1.34	0.10		610.0
08, 27	4.10	11.0	5.05	3.0	2.60	0.24	8.5	603.0
	4.30	10.1	4.92	1.5	1.96	0.10		618.0
	0.96	9.8	4.86	1.3	1.66	0.10		621.0
	0.67	6.4	5.00	0.9	1.57	0.10		616.0
	0.35	9.6	4.74	0.9	1.06	0.10		586.0
09, 01	8.20	63.0	4.36	7.1	3.64	2.04	11.0	598.0
	2.09	30.0	4.48	2.6	4.56	0.35		610.0
	0.64	17.2	4.60	1.3	2.91	0.10		606.0
	0.43	10.8	4.71	0.9	1.75	0.10		624.0
	0.31	8.0	4.82	0.9	1.32	0.10		608.0

(***:欠損値)

表-2.3 雨水分析値 (0.4mm)

分析項目 降雨日	濁度 (度)	電導度 ($\mu S/cm$)	pH	採水量 (ml)
82, 12, 27	145.0	82.1	8.30	239.0
	27.9	29.7	6.66	235.0
	15.1	27.3	5.59	243.5
	6.8	17.9	5.09	240.0
	5.7	29.0	4.65	235.0
	7.6	23.0	4.68	241.5
	6.0	15.3	4.84	241.0
	1.7	12.1	4.73	240.5
	2.0	20.5	4.89	233.0
	5.7	11.0	5.64	233.0
83, 01, 18	22.6	102.0	6.32	239.5
	13.5	30.4	5.07	237.0
	9.9	27.7	4.52	241.0
	4.1	17.4	4.55	241.5
	5.8	17.3	4.55	242.0
	3.9	17.1	4.50	238.0
	2.6	15.6	4.52	241.0
	2.2	17.9	4.48	238.5
	1.9	19.1	4.19	237.0
	0.9	18.9	4.35	233.5
02, 03	29.2	120.0	6.29	235.5
	25.3	29.9	4.32	237.5
	10.0	17.8	4.58	240.5
	4.7	18.9	4.45	242.0
	4.4	27.1	4.30	239.0
	2.4	20.0	4.33	235.0
	2.3	8.4	4.42	235.0

表-2.4に、表-2.2に示した1～5mm 収集雨水毎の各分析項目別の統計値を示す。表中の★印は11月11日の値を除いた場合である。なお、修正電導度とは、電導度の値を溶解性物質の尺度として使用可能にするため、等量電気伝導度の高いH⁺をNa⁺に置換したと仮定した場合の値であり、新たに定義したものである。H⁺濃度はpHより算定しており、計算される塩濃度は若干高めになる。同表の平均値より全体の傾向として以下の事項がわかる。

1) pHを除く各分析値は、最初の分取雨水において最大となり、2本目以降から漸減する傾向が顕著である。これは2.2節で述べたwashout過程の事項と一致する。なお、表-2.2、2.3において、降雨日によっては、後半で上昇する分析項目も認められる。これは、降雨中のwashout過程に大気の流れが生じたためと考えられるが、本論文においては大気流入による増分についての詳細な考察は行わない。

表-2.4 各分析値の統計値

分析項目	NO	検体数	平均値	標準偏差	最大値	最小値
濁度 (度)	1	21	7.21	6.78	32.50	0.60
	2	17	3.49	4.84	21.70	0.38
	3	15	1.10	0.72	2.85	0.20
	4	13	1.00	1.09	4.35	0.16
	5	11	0.81	0.95	3.71	0.28
電導度 (μ S/cm)	1	21	50.12	34.48	118.00	2.15
	2	16	31.33	19.44	73.10	4.15
	3	14	27.28	23.50	100.50	4.27
	4	12	18.65	12.55	40.80	4.00
	5	9	10.26	6.74	24.80	3.08
修正 電導度 (μ S/cm)	1	20	43.07	31.62	116.07	2.00
	2	16	22.21	16.91	57.59	0.88
	3	14	18.99	22.67	94.09	1.00
	4	12	11.43	10.31	28.87	0.10
	5	10	5.80	4.94	16.41	0.10
pH	1	21	4.85	0.55	6.31	4.17
	2	16	4.65	0.49	6.39	4.17
	3	15	4.71	0.61	6.89	4.35
	4	13	4.76	0.57	6.60	4.30
	5	10	5.04	0.77	6.69	4.52
COD (mg/l)	1	21	5.96	4.06	21.49	1.59
	2	15	2.60	2.04	9.30	0.85
	3	15	1.61	0.96	3.51	0.36
	4	12	1.19	0.86	3.78	0.54
	5	9	0.69	0.33	1.10	0.10
NO ₃ ⁻ (mg/l)	1	21	4.07	5.02	19.95	0.10
	2	15	2.40	3.39	13.13	0.10
	3	15	1.15	1.18	4.61	0.10
	4	12	1.00	0.90	3.14	0.10
	5	9	0.58	0.49	1.34	0.10
Cl ⁻ (mg/l)	1	21	4.90	6.49	28.95	0.24
	2	14	1.99	3.77	14.43	0.10
	3	15	3.02	8.49	34.53	0.10
	4	12	0.53	0.80	3.07	0.10
	5	9	0.20	0.19	0.70	0.10
	1	20*	3.70	3.72	12.66	0.24
	2	13*	1.04	1.58	6.20	0.10
	3	14*	0.77	1.10	4.46	0.10

(*: 11月11日の値を除く)

2) pH の挙動は他の分析項目と異なり、H⁺は平均的には一度上昇後下降する傾向を示す。なお表-2.2, 2.3の値を個別に検討するなら、pH の挙動は3パターンに分類でき、その挙動は最初の分取雨水の濁度の高低により異なる。図-2.5に3パターンのH⁺および濁度の変化例を示す。左から、濁度が低い場合は他の項目と同様に漸減傾向、やや高い場合には増減傾向、高い場合には増加傾向をそれぞれ示す。この現象は濁度成分中に含まれる塩基性物質による影響と考えられる。

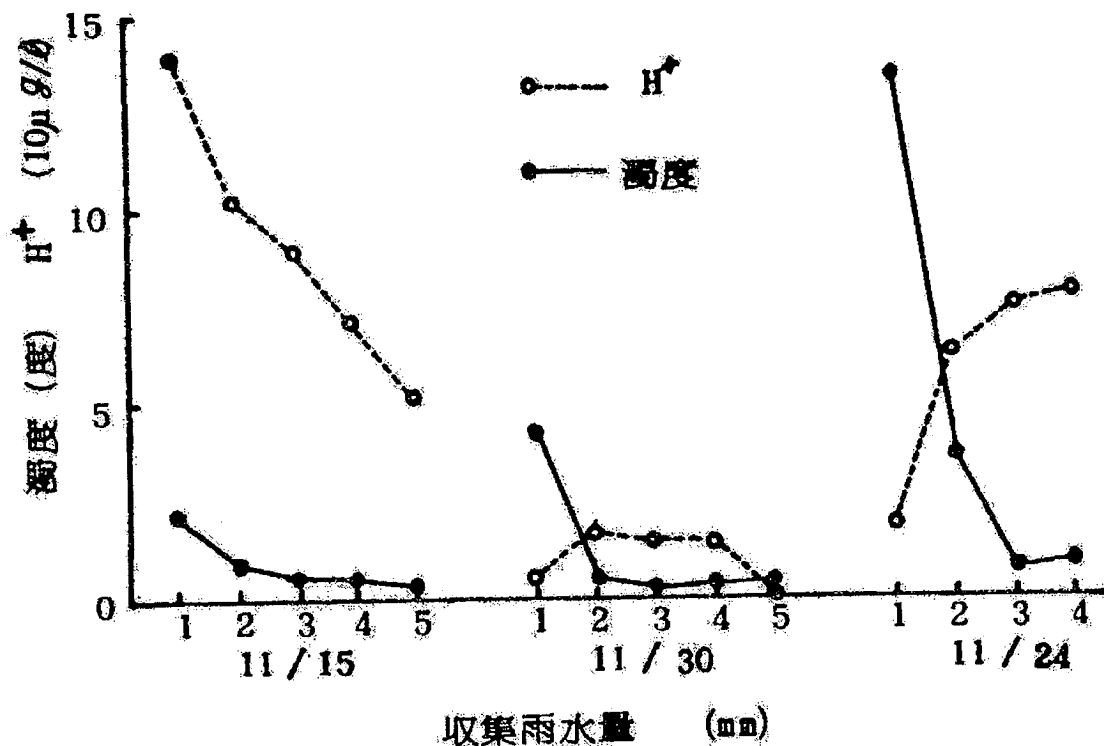


図-2.5 分取雨水のH⁺および濁度

2.5 初期収集雨水排除量

前節で示した分取雨水の汚濁物濃度変化から明らかなように、初期収集雨水を排除することにより、清浄な収集雨水を効率良く得ることが可能といえる。本節では、「基準」の達成を目標とした初期収集雨水排除量（以下、排除量と称す）について検討する。

なお、分析項目中「基準」に該当しない項目については、「基準」を以下のように変換し対応づけた。

- (1) KMnO_4 消費量(「基準」: 10mg/l 以下) $\times 0.2531 \rightarrow \text{COD}$ (「基準」: 2.531mg/l 以下)⁹⁾,
- (2) 蒸発残留物(「基準」: 500mg/l 以下) $\times 0.6 \rightarrow$ 修正電導度(「基準」: 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下)¹⁰⁾
- (3) $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{NO}_2\text{-N}$ (「基準」: 10mg/l 以下) $\times 4.42 \rightarrow \text{NO}_3$ (「基準」: 44.2mg/l 以下)

2.5.1 分取雨水水質からの検討

表-2.2に示した分取雨水水質からの排除量の検討を行う。表-2.5に1mm毎の分取雨水の「基準」達成本数を分析項目別に示す。分析項目中「基準」を達成しない項目とその割合は、濁度で77本中13本、pHでは75本中68本、CODでは72本中44本であり、他の3項目は全て達成している。同表から明らかなように、濁度は分取雨水3本目から、CODは分取雨水5本目から達成しているが、pHは1本目より5本目まで達成していない分取雨水がある。

「基準」において、pHは「異常なアルカリ性を呈しないこと」として範囲が5.8~7.8と定められている。この「基準」の対象となる水は、通常pHが6.8~8.0¹⁾の範囲にあり、緩衝作用を持つNa, K, Caの塩を含む地表水であると考えられる。天然水中で純水にもっとも近い水質といえる雨水は、大気中のCO₂と平衡であれば、pHは5.6~5.7^{1 2)}と考えられており、「基準」の対象となる水とはpHにおいて異なる性状を示す。本実験では、分取雨水のpHは全て4.0以上であり、「基準」を達成しない値は弱酸性を示すこと、pHとの関連項目と考えられる修正電導度、NO₃⁺、Cl⁻には異常が認められないこと、図-2.5に示した最初の分取雨水のpHと濁度の関係から、濁度が「基準」を達成しない場合でもpHは「基準」を達成する可能性があることなどから、pHが「基準」を達成しない場合でも異常とは断定できず、pHにより排除量を検討することは適切でないと判断される。これより排除量としては、CODによれば4mm、濁度によれば2mmと考えられる。ところで、CODについては3mm以上で「基準」を達成しない分取雨水が3例あるが、以下の事象が発生したためと推定される。

1) 12月2日のサンプルは越流現象により、2mmの分取雨水が3~4mmの分取雨水となっている。

2) 11月11日、7月23日のサンプルは、3mmの分取雨水の値が2mmの分取雨水の値より高く、この傾向は他の分析項目にも認められることから、降雨終了前のwashout過程に大気が流入し、この過程の汚濁物濃度が上昇している。

以上のことから、この3例は一般的な傾向であるとはいえず、難いため、これらを除外して考えるならCODによる排除量は2mmと考えられる。

表-2.5 分取雨水の基準達成本数

分析項目	合計	NO	1	2	3	4	5
濁度	64	10	15	15	13	11	
	77	21	17	15	13	11	
COD	44	2	10	12	11	9	
	72	21	15	15	12	9	
NO ₃ ⁻	72	21	15	15	12	9	
	72	21	15	15	12	9	
Cl ⁻	71	20	16	14	12	9	
	71	20	16	14	12	9	
pH	7	2	1	1	1	2	
	75	21	16	15	13	10	
修正電導度	71	20	16	14	12	9	
	71	20	16	14	12	9	

(上段：達成本数、下段：検体数)

2.5.2 収集雨水汚濁物量の推定式

前節では分取雨水水質から直接排除量を決定したが、収集雨水汚濁物量の推定式が求められれば、さらに精確な排除量が算定可能となる。

収集雨水水質は、2.2節で述べたように新たに提唱する flushout を含めた3過程により決定される。これらの過程は、大気中および収集面から雨水中に汚濁物が除去される過程であり、各過程に由来する降雨後の収集雨水の汚濁物量は、2.2節で述べた各過程の定義および式(1)、(2)より次式で示すような簡略化した推定式で表せる。

$$w_r = C_r R \quad [\text{rainout}] \quad \dots\dots (3)$$

$$w_w = W_w (1 - e^{-k_w R}) \quad [\text{washout}] \quad \dots\dots (4)$$

$$w_f = W_f (1 - e^{-k_f R}) \quad [\text{flushout}] \quad \dots\dots (5)$$

ただし、

R : 降雨量(mm)

w_r : rainout 過程由来の汚濁物量(mg)

w_w : washout 過程由来の汚濁物量(mg)

w_f : flushout 過程由来の汚濁物量(mg)

C_r : rainout 過程由来の単位降雨量あたりの汚濁物量(mg/mm)

W_w : washout 過程に存在する汚濁物量(mg)

W_f : flushout 過程に存在する汚濁物量(mg)

k_w : W_w の除去係数(1/mm)

k_f : W_f の除去係数(1/mm)

ところで、washout 過程および flushout 過程を合わせて1過程とし、両過程を合計した汚濁物量 W'_w が、現象的には式(4)、(5)で示すような形式で表せるものとし、次式を導入する。

$$\begin{aligned} w'_w &= w_w + w_f \\ &= W'_w (1 - e^{-k'_w R}) \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ただし、

W'_w : $W_w + W_f$ (mg)

k'_w : W'_w の除去係数(1/mm)

これより、分取雨水水質の測定値と式(3)、(6)で算定した合計値を比較すると、後述するように、測定値は最初の分取雨水において高い値を示す例が多く認められた。そこで、この現象を説明するため、収集雨水中には、降雨前に収集面に存在し、除去係数が非常に大きく、降雨直後瞬時に収集面から除去される汚濁物を含む例があると考えられる。そこで、この汚濁物量を w_y とし、 w_y の除去係数は非常に大きいものとし、この過程も式(6)と同様な関係で表せるものとする。 W_y の除去係数を無限大とするなら次式が成り立つ。

$$w_y = W_y \quad \dots\dots\dots (7)$$

ところで、現象的には除去係数を無限大として考えることはできないが、実測値との適合

性を図るため、瞬時除去過程では式(7)で説明できる汚濁物量が存在するものとして考える。これより、式(6)で示した $w'w$ には上述した汚濁物量 wy が含まれているが、 $w'w$ から wy を差し引いた汚濁物量 wx にもこれまで示したような関係式が成立するものとし、次式で表わす。

$$\begin{aligned} wx &= wx + wy \\ &= W'x(1 - e^{-kxR}) \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

ただし、

- Wx : $W'w - Wy$ (mg)
- kx : Wx の除去係数 (1/mm)

以上の考察より、収集雨水中の汚濁物量 w の推定式は、式(3)、(7)、(8)を合計した式(9)で表わせるものと考えられる。

$$w = CrR + Wx(1 - e^{-kxR}) + Wy \dots\dots\dots (9)$$

これより、実測値をもとに式(9)の適合性を検討することになるが、上式右辺の項によっては実際の測定値を表わす上で寄与率の低いものも考えられるので、比較として式(9)右辺各項の組み合わせを考えた式(10)~(12)についても検討しておく。

$$w = Wx(1 - e^{-kxR}) \dots\dots\dots (10)$$

$$w = CrR + Wx(1 - e^{-kxR}) \dots\dots\dots (11)$$

$$w = Wx(1 - e^{-kxR}) + Wy \dots\dots\dots (12)$$

汚濁物量を表わす式(9)~(12)の適合性の検討は非線形計画法のシンプレックス法¹³⁾を用いて行う。計算は次の条件に基づき、 w を満足する kx 、 Cr 、 Wx 、 Wy の最適解を求めることになる。

収束条件 : $Q_{max} - Q_{min} \leq 1 \times 10^{-6}$

初期値 : $Cr_0 = w_m - w_{m-1}$

$$Wx_0 = w_m$$

$$Wy_0 = 2w_1 - w_2$$

$$kx_0 = 1.0$$

初期差 : 各変数の初期差に同じ

ただし、

Q_{max} : 各頂点中の最大残差平方和

Q_{min} : 各頂点中の最小残差平方和

w_n : n 本までの雨水を分取したときの収集雨水中の総汚濁物量 ($n=1, 2, \dots, m-1, m$)

各式の比較検討には、表-2.3で示した0.4mm分取雨水の濁度および電導度の値をそれぞれ懸濁性物質濃度および溶解性物質濃度に換算して用いる。電導度は前章で述べた修正電導度に換算して用いる。換算率はそれぞれ1.0とし、単位は(度)および($\mu S/cm$)を(mg/l)に変えている。収集雨水中の総汚濁物量は式(18)より、そのときの降雨量は式(19)より算出で

きる。

$$w = \sum_{m=1}^n (C_m V_m) \dots \dots \dots (18)$$

$$R_n = \frac{1}{S} \sum_{m=1}^n V_m \dots \dots \dots (19)$$

ただし、

C_m : m本目分取雨水の汚濁物濃度 (mg/l)

V_m : m本目分取雨水の採水量 (ml)

R_n : n本目までの雨水分取時の降雨量 (mm)

S : 収集面面積 (0.6) (m^2)

表-2.6 にシンプレックス法による各推定式の k_x , C_r , W_x , W_y の計算結果, それらの値を用いた汚濁物量の推定値と実測値の相関係数および相関係数の両側 t 検定結果を示す。各相関係数は 0.93 以上, t 検定による無相関の生起確率は 0.5% 以下となり, 各相関係数は非常に高い有意性を持つことがわかる。しかし, 2月3日の濁度の例を除き, 各相関係数に

表-2.6 シンプレックス法計算結果および相関係数

降雨日 分析項目	式	相関係数	t (%)	k_x (1/mm)	C_r (mg/mm)	W_x (mg)	W_y (mg)
12.27 濁度	(9)	0.9597	0.1	1.044	0.473	24.050	26.700
	(10)	0.9916	0.1	1.923	0.000	51.432	0.000
	(11)	0.9962	0.1	3.778	2.728	42.436	0.000
	(12)	0.9968	0.1	0.924	0.000	25.508	27.262
1.18 濁度	(9)	0.9972	0.1	0.835	0.326	13.844	1.530
	(10)	0.9990	0.1	0.907	0.000	16.341	0.000
	(11)	0.9988	0.1	1.254	0.989	12.461	0.000
	(12)	0.9990	0.1	0.756	0.000	15.180	1.667
2.03 濁度	(9)	0.9948	0.1	1.298	0.022	18.816	0.170
	(10)	0.9949	0.1	1.315	0.000	18.983	0.000
	(11)	0.9948	0.1	1.317	0.000	18.978	0.000
	(12)	0.9944	0.1	1.314	0.000	18.975	0.000
12.27 電導度	(9)	0.9860	0.1	0.542	1.854	22.033	6.811
	(10)	0.9969	0.1	0.732	0.000	34.143	0.000
	(11)	0.9987	0.1	2.199	4.677	15.679	0.000
	(12)	0.9989	0.1	0.368	0.000	33.957	7.475
1.18 電導度	(9)	0.9482	0.5	0.925	1.282	13.462	10.251
	(10)	0.9959	0.1	1.466	0.000	26.842	0.000
	(11)	0.9949	0.1	2.606	2.224	19.433	0.000
	(12)	0.9971	0.1	0.549	0.000	19.124	11.455
2.03 電導度	(9)	0.9573	0.1	0.916	0.002	13.952	12.820
	(10)	0.9321	0.1	2.034	0.000	25.404	0.000
	(11)	0.9931	0.1	2.562	0.009	24.543	0.000
	(12)	0.9945	0.1	1.054	0.000	14.339	11.988

若干の差異が認められる。この差異は適用した推定式の誤差に基づくものであり、図-2.6に示す12月27日の濁度を例とした式(9)～(12)による推定による算定値と実測値からは、次のようにいえる。

1) 式(10)を適用した場合には W_y の項の不足を k_x および W_x の増加により補正するため、前半に誤差を生じる。特に最初の分取雨水の推定値に大きな誤差が生じる。

2) 式(11)を適用した場合には W_y の項の不足を k_x , C_r , および W_x の増加により補正し、特に後半は直線傾向を示し実測値の収束状況と相違する。

3) 式(9), (12)の適用の場合は推定値と実測値がおおむね一致している。

12月27日の濁度の例は、表-2.6に示したように W_y の値が高いため前述のような結果を得た。同表2月3日の濁度のように、 $C_r \approx 0$ および $W_y \approx 0$ と考えられる場合は、 C_r および W_y の各項を含まない式(10)で考えられることもでき、式(9)～(12)による推定値にはほとんど差異は認められない。

以上述べた推定値と実測値の誤差は、他の4例についても同様な傾向が認められる。これらより、式(6)～(9)までの導入に当たっては若干の仮定をおき、各仮定からの汚濁物量を現象的・マクロ的にとらえているが、分取雨水の汚濁物量の推定式としては、既往の研究によって示された項に相当する C_r および W_x を含め、さらに W_y を考慮した式(9)によって比較的実測値をよく表し得ることがわかる。ただし、前述したように、降雨状況などによっては式(9)右辺の項の中で影響の少ないものもあり、その項を省略して考えることもできる場合もある。

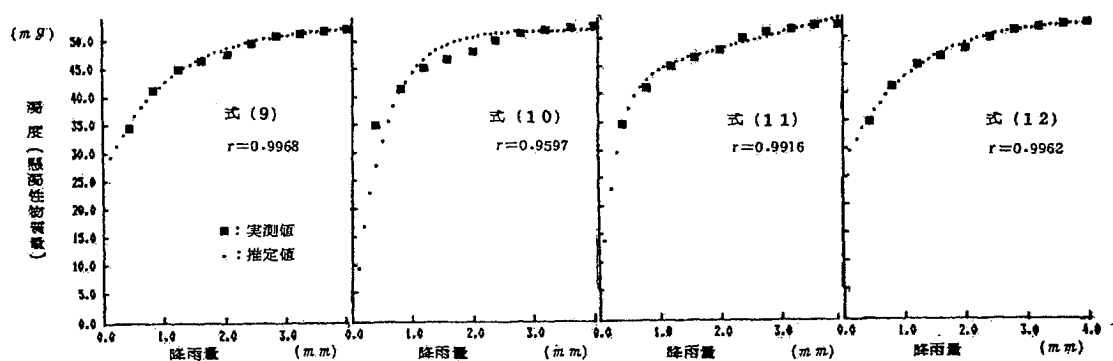


図-2.6 各推定式適用の算定値および実測値

式(9)を適用し、表-2.2に示した1mm分取雨水におけるサンプル数4から5の例につき、 k_x 、 Cr 、 W_x 、 W_y の計算結果等について、同様に表-2.7に示す。各相関係数は0.96以上、 t 検定による無相関の生起確率は5.0%以下であり各相関係数は高い有意性を持つことがわかる。

表-2.7 シンプレックス法計算結果および相関係数(1mm)

分析項目	降雨日	相関係数	t (%)	k_x (1/mm)	Cr (mg/mm)	W_x (mg)	W_y (mg)
濁度	11.05	1.000	0.1	0.72	0.02	4.07	0.33
	11.09	0.987	2.5	1.56	0.13	0.17	0.13
	11.15	0.977	0.1	2.57	0.39	0.72	0.34
	11.24	0.971	5.0	1.72	0.80	5.07	3.47
	11.29	0.998	0.1	2.11	0.20	0.26	1.91
	7.05	0.986	0.5	1.48	0.48	3.13	2.03
	7.15	0.997	0.1	1.55	0.29	2.81	3.99
	7.20	0.960	1.0	1.00	0.59	1.80	1.45
	8.25	0.963	1.0	0.81	0.82	30.51	3.91
	8.27	0.974	1.0	0.51	0.02	6.71	0.19
9.01	0.990	0.5	1.49	0.30	3.93	1.66	
	平均	0.984	1.1	1.41	0.37	5.38	1.76
COD	11.09	0.994	0.1	0.92	0.69	0.46	0.13
	11.15	0.991	0.1	2.01	0.70	1.68	2.35
	11.24	0.995	1.0	1.36	0.81	1.20	2.32
	11.29	0.997	0.1	1.67	0.28	2.67	1.05
	7.05	1.000	0.1	1.77	0.44	0.56	1.21
	7.15	0.995	0.1	1.24	0.09	4.07	1.51
	7.20	0.998	0.1	0.54	0.20	2.70	0.02
	8.25	0.970	1.0	1.24	1.02	13.93	2.72
	8.27	0.996	0.1	2.08	0.66	0.94	0.46
	9.01	0.988	0.5	1.43	0.74	2.31	1.89
	平均	0.992	0.3	1.43	0.56	3.05	1.37
NO ₃ ⁻	11.09	0.995	0.1	0.42	0.74	1.43	0.74
	11.15	0.995	0.1	1.73	0.55	3.53	0.06
	11.24	0.978	2.5	1.39	0.11	0.29	1.92
	11.29	1.000	0.1	2.40	0.25	0.00	0.22
	8.25	0.986	0.5	1.83	1.33	10.00	2.62
	8.27	0.998	0.1	0.48	0.81	1.14	0.38
	9.01	0.985	0.5	0.30	0.83	5.21	0.69
		平均	0.991	0.6	1.22	0.66	3.09
Cl ⁻	11.09	0.998	0.1	1.58	0.17	0.08	0.15
	11.15	0.992	0.1	1.06	0.33	0.21	7.40
	11.24	0.998	0.5	1.69	0.31	0.34	0.78
	11.29	0.998	0.1	1.71	0.06	0.10	0.11
	7.15	1.000	0.1	1.77	0.06	0.12	1.04
	7.20	0.995	0.1	0.62	0.05	1.34	0.03
	8.25	0.995	0.5	0.97	0.04	0.45	6.69
	9.01	0.997	0.1	1.74	0.07	0.93	0.39
	平均	0.995	0.2	1.39	0.14	0.44	2.07
修正電導度	11.05	0.992	1.0	0.62	1.79	59.75	1.90
	11.09	0.997	0.1	1.74	7.97	1.33	7.01
	11.15	0.995	0.1	1.57	13.62	6.81	37.60
	11.24	0.994	1.0	1.88	12.10	0.00	10.30
	11.29	0.988	0.5	1.49	1.03	0.01	1.59
	7.05	0.998	0.1	1.46	2.21	0.22	0.92
	7.15	0.972	1.0	1.48	0.11	3.81	22.28
	7.20	0.992	0.1	1.76	1.34	13.09	2.38
	8.25	0.986	0.5	1.59	6.99	64.30	12.55
	8.27	0.995	0.1	0.96	2.79	1.93	1.43
9.01	0.992	0.1	1.17	3.44	31.35	5.93	
	平均	0.991	0.4	1.43	4.85	16.60	9.44

2.5.3 収集雨水汚濁物量の推定式による検討

表-2.7の値を代入した式(9)により、各降雨毎に収集面から流出時の収集雨水水質(以下、収集時雨水水質と称す)および全収集雨水を混合した場合の平均水質(以下、収集後雨水水質と称す)を算定し、それらの値から排除量の検討が可能となる。

1) 収集時雨水水質からの検討

収集時雨水の単位降雨量あたりの汚濁物量は、式(9)の左辺を降雨量Rの関数f(R)とすればf'(R)で表せ、収集時雨水水質C(R)はf'(R)/Sで算定できる。

$$C(R) = f'(R)/S \\ = (Cr + Wx k x e^{-k \times R}) / S \dots (20)$$

ここで式(20)を用いて、収集時雨水水質の最大値CmaxはR→0, 最小値CminはR→∞として算定できる。ただし、式(9)はR>0において意味を有するものであり、式(20)における収集時雨水水質の最大値は、極値としてR→0を近似的にR=0として算定することになる。これより、Cmaxが「基準」を越えた場合は初期収集雨水の排除を必要とし、Cminが「基準」を越えた場合は排除量にかかわらず「基準」の達成が不可能であることがわかる。

さらに「基準」の値をCqとすれば、Cq=C(R)の条件におけるRは次式より算定される。

$$R = -\frac{1}{kx} \ln \frac{S Cq - Cr}{Wx k x} \dots (21)$$

表-2.8に、Cmax, CminおよびRの算定結果を示す。表中のCmaxと「基準」を比較するならば、濁度では11例中6例、CODでは10例中8例について排除が必要であり、他の項目では排除なしに「基準」を達成することがわかる。またCminより、排除が必要な例においても、降雨が継続すれば「基準」を達成する収集時雨水が得られ、この基準達成に必要な降雨量は表中のRの値となる。また、このRが各例における排除量であり、濁度およびCODについては、8月25日では3mm、他の例では1mmとなる。

表-2.8 収集時雨水水質の算定値

分析項目 基準	降雨日	最大値 Cmax	最小値 Cmin	R (mm)	
濁度	11.05	4.93	0.03	0.00	
	11.09	0.67	0.22	0.00	
	5	11.15	3.70	0.64	0.00
	(度)	11.24	16.09	1.33	0.80
	11.29	1.24	0.34	0.00	
	7.05	8.50	0.80	0.41	
	7.15	7.75	0.48	0.31	
	7.20	3.98	0.98	0.00	
	8.25	42.51	1.37	3.00	
	8.27	5.77	0.04	0.28	
	9.01	10.26	0.50	0.52	
平均		9.58	0.61	0.48	
COD 2.53 (mg/l)	11.09	1.86	1.15	0.00	
	11.15	6.79	1.17	0.71	
	11.24	4.05	1.34	0.61	
	11.29	7.87	0.46	0.76	
	7.05	2.39	0.73	0.00	
	7.15	8.54	0.15	1.02	
	7.20	2.76	0.33	0.18	
	8.25	30.50	1.69	2.85	
	8.27	4.35	1.10	0.39	
	9.01	6.74	1.24	1.01	
	平均		7.58	0.94	0.75
NO ₃ ⁻ 44.73 (mg/l)	11.09	2.23	1.24	0.00	
	11.15	11.12	0.92	0.00	
	11.24	0.87	0.19	0.00	
	11.29	0.42	0.42	0.00	
	8.25	32.77	2.22	0.00	
	8.27	2.26	1.35	0.00	
	9.01	3.97	1.38	0.00	
	平均		7.66	1.10	0.00
	Cl ⁻ 200 (mg/l)	11.09	0.48	0.29	0.00
		11.15	0.92	0.55	0.00
		11.24	1.47	0.52	0.00
11.29		0.38	0.10	0.00	
7.15		0.45	0.10	0.00	
7.20		1.46	0.08	0.00	
8.25		0.80	0.07	0.00	
9.01		2.80	0.11	0.00	
平均			1.09	0.23	0.00
修正 電導度 300 (μS/cm)		11.05	64.61	2.98	0.00
		11.09	17.11	13.28	0.00
	11.15	40.50	22.70	0.00	
	11.24	20.17	20.17	0.00	
	11.29	1.73	1.71	0.00	
	7.05	4.20	3.68	0.00	
	7.15	9.58	0.19	0.00	
	7.20	40.63	2.23	0.00	
	8.25	181.95	11.65	0.00	
	8.27	7.73	4.65	0.00	
	9.01	66.69	5.73	0.00	
平均		41.36	8.09	0.00	

2) 収集後雨水水質からの検討

収集後雨水水質は、排除量をR'として、RおよびR'の関数D(R, R')として以下のように算定できる。

$$D(R, R') = \frac{f(R) - f(R')}{S(R - R')} = \frac{Cr(R - R') + Wx(e^{-kxR'} - e^{-kxR})}{S(R - R')} \dots\dots\dots (22)$$

ただし、R'=0のとき

$$D(R, R') = \frac{f(R)}{SR} = \frac{CrR + Wx(1 - e^{-kxR}) + Wy}{SR} \dots\dots\dots (23)$$

また、収集後雨水の最小値はR'→Rの条件において算定できるが、その値は式(20)で各降雨毎に測定されるRの値を代入しても算定できる。

式(20), (22), (23)よりR'を0～5mmまで6段階に変えた場合と最小値の収集後雨水水質の算定結果を表-2.9に示す。これより、3～5mmの排除量でほぼ最小値に等しくなり、この排除量が清浄な収集雨水を最も効率良く得られる量であるといえる。しかし、R'=0において「基準」を達成していない例は11月24日CODだけであることから、検討に用いた例については基準達成だけを考えるなら排除なしで済ますこともできる。すなわちこのことは、収集時雨水水質が降雨初期において「基準」を達成していない場合でも、降雨の継続により希釈され、収集後雨水としては「基準」を達成することを示す。収集後雨水水質が「基準」を達成するためには、ある程度の降雨量を必要とし、表-2.9では3mm以上の例を示しているが、表-2.10に示すように各分析項目による汚濁物量WxおよびWyと降雨量の相関は低く、降雨量が少ない場合には、全量収集しても「基準」を達成しないことがある。収集後雨水水質が「基準」を達成するための最低必量降雨量Rmin式(22), (23)より、

$$Cq = D(R, R') \dots\dots\dots (24)$$

を満足するRとして算定できる。表-2.11に各例についてR'別のRminを示す。これより、R'=0では全例とも収集後雨水水質は降雨初期において「基準」を達成していないことがわかる。11月24日のCODの例においては、R'=0にてRminが4.93mmであり式(19)より算定した降雨量4.11mmを越えており、表-2.9で「基準」を達成していないこの値は汚濁物量に比べて降雨量が少ないことに起因しているといえる。また、R'を増加させることによりRminは減少し、降雨量が少ない場合にはR'を増加させれば「基準」の達成が可能である。

以上から、降雨量に関わらず収集後雨水水質が「基準」を達成するためには、5.3.1の検討結果と同様に8月25日の濁度およびCODの例では3mm以上、他は1mm以上の排除が必要といえる。

なお、表-2.2に示したサンプルの中で、推定式の検討に用いなかった、分取雨水3本以

下の例において、全分取雨水平均水質の濁度では10例中3例、CODでは全例が「基準」に達せず、これまで述べてきた排除量の算定結果を裏づけている。

表-2.9 初期収集雨水排除量による収集後雨水水質

分析項目	降雨日	初期収集雨水排除量 (mm)				
		0.00	0.50	1.00	2.00	3.00
濁度	11.05	0.5706	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.09	0.4880	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.15	0.2622	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.24	3.8726	1.15	1.00	2.00	3.00
	11.29	0.7548	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.05	1.9808	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.15	2.4833	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.20	1.0949	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.25	15.8170	9.85	7.20	4.37	3.00
	8.27	0.8802	0.50	1.00	2.00	3.00
9.01	2.0004	0.54	1.00	2.00	3.00	
COD	11.09	0.2883	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.15	4.9301	0.95	1.00	2.00	3.00
	11.24	4.9251	0.72	1.00	2.00	3.00
	11.29	2.9723	1.07	1.00	2.00	3.00
	7.05	1.6098	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.15	3.8839	1.68	1.04	2.00	3.00
	7.20	0.4728	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.25	33.0640	15.37	8.99	4.15	3.00
	8.27	1.5787	0.50	1.00	2.00	3.00
	9.01	5.4064	1.69	1.02	2.00	3.00
NO ₃ ⁻	11.09	0.0274	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.15	0.0032	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.24	0.0735	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.29	0.0083	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.25	0.2492	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.27	0.0152	0.50	1.00	2.00	3.00
	9.01	0.0286	0.50	1.00	2.00	3.00
Cl ⁻	11.09	0.0013	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.15	0.0620	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.24	0.0066	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.29	0.0010	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.15	0.0088	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.20	0.0003	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.25	0.0560	0.50	1.00	2.00	3.00
	9.01	0.0033	0.50	1.00	2.00	3.00
修正 電導度	11.05	0.0135	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.09	0.0413	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.15	0.2388	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.24	0.0614	0.50	1.00	2.00	3.00
	11.29	0.0089	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.05	0.0052	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.15	0.1275	0.50	1.00	2.00	3.00
	7.20	0.1153	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.25	0.1526	0.50	1.00	2.00	3.00
	8.27	0.0082	0.50	1.00	2.00	3.00
9.01	0.0422	0.50	1.00	2.00	3.00	

(単位：mm)

表-2.10 汚濁物量と降雨量の相関係数

	W _x	W _y	W _x +W _y
濁度	0.169	0.255	0.914
COD	0.310	0.111	0.295
NO ₃ ⁻	0.170	-0.065	0.130
Cl ⁻	-0.299	0.262	0.222
修正電導度	-0.113	-0.019	-0.114

表-2.11 初期収集雨水排除量と基準達成の最低必要降雨量

分析項目	降雨日	初期収集雨水排除量 (mm)						最小値
		0	1	2	3	4	5	
濁度 (度)	11.05	2.19	0.86	0.30	0.03	***	***	0.03
	11.09	0.26	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
	11.15	0.71	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
	11.24	4.79	1.68	1.39	1.34	1.33	***	1.33
	11.29	0.40	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
	7.05	0.98	0.83	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80
	7.15	1.07	0.53	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48
	7.20	1.26	1.03	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98
	8.25	2.77	1.93	1.62	1.48	1.42	1.40	1.37
	8.27	1.37	0.81	0.49	0.30	0.19	0.12	0.04
9.01	1.31	0.63	0.53	0.51	0.50	0.50	0.50	
COD (mg/l)	11.09	1.23	1.18	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15
	11.15	1.41	1.18	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	11.24	2.77*	1.46	1.37	1.35	1.34	***	1.34
	11.29	0.56	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
	7.05	0.79	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	7.15	0.64	0.25	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15
	7.20	0.57	0.47	0.41	0.38	0.36	0.35	0.33
	8.25	2.37	1.86	1.74	1.71	1.70	1.69	1.69
	8.27	1.37	1.12	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
	9.01	1.84	1.32	1.25	1.24	1.24	1.24	1.24
NO ₃ ⁻ (mg/l)	11.09	1.50	1.35	1.31	1.29	1.27	1.26	1.24
	11.15	1.14	0.96	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92
	11.24	1.08	0.22	0.19	0.19	0.19	***	0.19
	11.29	0.43	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
	8.25	2.73	2.28	2.23	2.22	2.22	2.22	2.22
	8.27	1.65	1.49	1.43	1.40	1.38	1.37	1.35
	9.01	2.21	1.92	1.77	1.67	1.59	1.53	1.38
Cl ⁻ (mg/l)	11.09	0.31	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
	11.15	1.01	0.56	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	11.24	0.98	0.55	0.53	0.52	0.52	***	0.52
	11.29	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	7.15	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	7.20	0.20	0.14	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08
	8.25	0.36	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	9.01	0.37	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11
修正 電導度 (μS/cm)	11.05	31.79	15.62	7.48	3.10	***	***	2.98
	11.09	14.31	13.31	13.28	13.28	13.28	13.28	13.28
	11.15	25.39	22.79	22.72	22.70	22.70	22.70	22.70
	11.24	24.35	20.17	20.17	20.17	20.17	***	20.17
	11.29	1.76	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
	7.05	3.72	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
	7.15	2.48	0.27	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19
	7.20	3.59	2.43	2.27	2.24	2.23	2.23	2.23
	8.25	14.77	12.18	11.76	11.67	11.65	11.65	11.65
	8.27	5.30	4.79	4.70	4.67	4.65	4.65	4.65
9.01	11.13	7.14	6.17	5.87	5.77	5.74	5.73	

(***: 降雨量以上, *: 基準達成せず)

2.6 結語

本章では東広島市における雨水の収集実験から、初期収集雨水の汚濁状態を明らかにするとともに、収集雨水中の汚濁物量の推定式を提示し、それに基づく初期収集雨水の排除量を「水道水水質基準」を指標として検討した。その主な内容を以下にまとめる。

1) 収集雨水の汚濁物濃度(濁度, COD, NO_3^- , Cl^-)は、降雨開始時に最大となり漸減するが、pH にはその傾向は認められない。

2) 収集雨水の水質変化過程を、これまで示されている rainout および washout に flushout を加えた 3 過程とし、収集雨水の汚濁物量の推定式を提示した

3) 実測値をもとに推定式の変数を非線形計画法のシンプレックス法により算定し、推定式は実測結果をよく説明していることを示した。

4) 分取雨水、収集面からの流出時雨水および収集後の混合雨水の各水質が「水道水水質基準」を達成するためには特に濁度および COD において問題があるが、初期収集雨水を排除すれば解決できることを、実験に基づく推定式によって示した。本件で算定した最大排除量は雨量換算で 3mm であった。

以上、本章では「基準」達成のための汚濁した初期雨水排除量算定の考え方を一地域の実験例をとおして述べた。排除量について一般的な値を提示するには、さらに多くの実験例をもとに検討する必要があるが、本結果は雨水利用において水質を問題とするときの一つの基礎資料になり得るものと考えている。

注)

1) 利用上の pH の値を問題にするなら、一般に強酸性 (pH3.0 以下) では配管材料・機器の腐食・変質などによるトラブルが考えられる。これまでの実験結果 (未発表) によれば、収集後雨水の pH は、貯留槽材質が合成樹脂などの場合には 4~5 の間を推移しており、この値は細菌増殖抑制および Cl_2 等による殺菌の場合には効果があると考えられるが、収集面・貯留槽材質などの影響を受け、貯留槽雨水がアルカリ側に移行する場合には、これらの効果が消失するため、これらの効果を考える限りではむしろ問題があるといえる。しかし、これらは雨水貯留と深く拘る問題であり、本論文で対象としている収集時の雨水の pH からは一概にその適値を言及することはできない。

2) シンプレックス法による初期条件は、事前検討の結果、初期値に最適値に近い値を設定し、初期差を初期値と同等とした。この条件によれば、実行初期に探索範囲が拡大され、その後、主に収縮の操作により探索が行われるため伸展による拡散が避けられる。

3) 濁度と COD の対数値による相関係数は 0.829、修正電導度と COD, NO_3^- , Cl^- の対数値による相関係数は 0.784, 0.659, 0.755 であることから、式(9)は COD, NO_3^- , Cl^- にも適用できると考えた。

第3章 雨水汚濁機構と汚濁防止の検討

3.1 序

前章において、東広島市における雨水収集実験から、雨水の汚濁状態を明らかにするとともに、雨水の水質変化過程を、これまで示されている雨滴生成過程および雨滴降下過程に雨滴着地・収集過程を加えた3過程として、これらの過程の影響を考慮した収集雨水の汚濁物量の推定式を提示し、それに基づく初期収集雨水の排除量を「水道水水質基準」を指標として検討した。

本章では、雨水水質の決定要因を気象要素と水質分析値より検討後、「水道水水質基準」を満足しない水質項目の濁度とCODの主要因と考えられる降雨前に雨水収集面に堆積する沈積じんと雨水水質の関連を、沈積じん測定と雨水収集実験により検討した結果を記述する。

3.2 収集雨水水質とその水質変動要因

利用を目的として貯留槽に収集される雨水(以後、収集雨水と記す)は、前章で示した収集前の水質変化3過程の定義からは、以下のような機構で水質が変化すると考えられる。

(1) 雨滴生成過程 (rainout)

雲の中で雨滴が生成し、大気中の汚濁物が雨滴中に取り込まれる過程。最初の雨水水質を決定する雨滴生成時の凝結核となるエアロゾルは、発生源により海塩粒子、土壌粒子、燃焼生成物、気体成分の固化の4種に分類され¹⁾、その量には、周囲の状況も関連するが、風向、風速が大きな影響を与えるものと考えられ、雨滴の生成には気温、湿度が関与するといえる。しかし、凝結核となるエアロゾルの径は $0.1\mu\text{m}$ 以下²⁾と微小なため、この過程における汚濁物濃度への影響はきわめて少ないと考えられる。

(2) 雨滴降下過程 (washout)

雨滴が大気中を降下し、大気中に存在するエアロゾル、気体を取り込みながら汚濁物濃度を上昇させていく過程。雨滴降下空間の湿度が低い場合、雨滴水分の蒸発があり、雨水中の汚濁物濃度は増加する。降雨が継続する場合、降下空間のエアロゾルおよび汚濁物濃度は減少するため、雨滴中の汚濁物濃度も減少する。しかし、新たにこの過程に乾燥空気が流入した場合には一時的に雨滴中の汚濁物濃度は増加することもある。そのため、この過程の取り込み量は、風向、風速、気温、気圧、湿度が影響するといえる。

(3) 雨滴着地・収集過程 (flushout)

雨滴が大気中を降下後に、雨水収集面と接触し、面上の汚濁物を取り込み後、貯留槽等に収集される過程。これは、前章に示したように新たに定義したものである。雨水収集面の材質によっては、雨水吸収による雨水量減少、蓄熱された収集面での水分蒸発による化学成分濃度の上昇が考えられる。また、雨水収集面上堆積物の雨水への混入・溶解があり、雨水の汚濁物濃度が上昇する。この濃度上昇速度は、雨滴降下過程と同様、時間の経過に伴う堆積

物の減少により低下する。この過程における雨水吸収・蒸発および堆積物質量は前記2過程と同様に、風向、風速、気温、湿度の影響を受けるが、降雨時までのそれらの履歴によっても変動すると考えられる。さらに日射量、降水量、降雨強度の影響もあるといえる。

以上述べたように、雨水水質が変化する3過程では、汚濁物の発生源と気象要素が関与すると考えられる。以降、これらの事項を考慮しながら、収集雨水の汚濁要因を検討する。

3.3 雨水収集実験による水質変動要因の検討

前章で述べた1982-83年の雨水収集実験の雨水分析値と同時に測定した気象要素の値を用いて雨水汚濁要因の基礎的検討を行う。

3.3.1 検討対象

(1) 雨水サンプル

前章の水質分析表に示した1982年11月5日から12月11日および1983年7月5日から9月1日の降雨量1mm毎に最高5mmまで採取した雨水77本を対象とした。

(2) 水質分析項目

基本的な水質分析項目は、表-3.1に示す前章と同じ濁度、電導度、COD、pH、 NO_3^- 、 Cl^- の6項目であり、雨水収集実験の貯留雨水については最終日にM社の簡易型の細菌検査キットにより、一般細菌数と大腸菌群数を測定した。

(3) 気象観測項目

上述した事項により気象観測項目は、風向、風速、日射量、気温、湿度、降雨量、気圧の7項目とし、雨水水質に影響が大きいと判断される前者6項目は常時観測項目に、気圧は随時観測項目とした。表-3.2に常時観測項目の測定装置の種類と仕様を示す。これらは広島大学工学部建築環境学実験棟の屋上で測定した。

表-3.1 水質分析項目

測定項目		
濁度	電導度	pH
COD	NO_3^-	Cl^-

表-3.2 気象観測項目 (常時)

観測項目	センサー	測定範囲	感度	精度
風向・風速	矢羽根型サーボシンクロ	540°	-	3°
日射量	差温式	-	0.1cal/cm ² ・分	0.5%
気温	サーミスタ式	-20~80°C	-	-
相対湿度	毛髪差動変圧式	0~100%	0~100%	5%
雨量	転倒ます型雨量計	-	0.5mm	2%

3.3.2 水質分析項目間の関連分析

雨水の水質分析項目間の関連を検討した。表-3.3に各分析値間の相関行列を示す。前章と同様に電導度は、その測定値を溶解性物質の尺度として使用するため、pHよりH⁺濃度を算定し、H⁺をNa⁺に置換した値(mg/l)を用いて修正した。pHは他の項目と同様の次元にするため、水素イオン濃度(H⁺, mg/l)に変換している。表より、濁度とCODにおいて0.793、電気伝導度とCl⁻において0.792と強い相関が認められるが、濁度とCODは主に有機性の汚濁物指標、電気伝導度は塩量の指標³⁾であることを考えれば、雨水は水道水のような一般の水と同様の性状があるといえる。

3.3.3 水質分析項目と気象観測項目

各化学成分濃度が高い1mmの初期雨水水質と気象要素との関連について相関分析を用いて検討した。水質項目は、前述の6分析項目であり、気象要素には、降雨のない一雨間の5時間以上の積算時間(無降雨時間と略記)、8方位積算風速、相対湿度、気温、日射量、降雨時の風速、相対湿度、気温等の気象要素から算定項目として計24項目を選択した。

表-3.4上段に水質項目と気象要素の相関が高い組み合わせを示す。無降雨時間と濁度、CODにおいて0.673、0.752と強い正の相関がみられる。これは、濁度とCODが、主に、雨水収集面上に堆積する汚濁物に由来し、その汚濁物量は無降雨中に増大するためと考えられる。CODでは、南風・西風積算風速との関連も認められる。ここで、積算無降雨時間の影響を除いた収集雨水汚濁物の単位時間あたり増分への気象要素の関連検討を目的に、平均した気象要素と水質項目を無降雨時間で除した値の相関係数を算定した。相関係数の高い組み合わせを表-3.4下段に示す。濁度と夜間南風の相関係数が0.693、NO₃⁻と夜間南風の相関係数が0.735、Cl⁻と無降雨時西風の相関係数が0.800と高い値を示した。関連の強さから、南風は

表-3.3 収集雨水分析値の相関行列

	濁度	電導度	H ⁺	COD	NO ₃ ⁻
電導度	0.161	-	-	-	-
H ⁺	-0.190	0.598*	-	-	-
COD	0.793**	0.512	0.120	-	-
NO ₃ ⁻	0.738**	0.349	0.113	0.691**	-
Cl ⁻	0.097	0.792**	0.064	0.358	0.172

(** : 1%有意, * : 5%有意)

表-3.4 初期1mm収集雨水分析値と気象要素の相関係数

気象要素	濁度	COD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
無降雨持間	0.673*	0.752**	0.353	-0.268
南風積算風速 (無降雨時夜間)	0.472	0.556	0.445	-0.050
西風積算風速 (無降雨時)	0.297	0.588	0.218	0.230
南風平均風速 (無降雨時夜間)	0.693*	0.432	0.735**	-0.158
西風平均風速 (無降雨時)	0.041	0.507	0.107	0.800**

(** : 1%有意, * : 5%有意)

測定点の南側に所在するごみ焼却場の排煙が、西風は測定地点の西部に位置する広島市方面からの風に含まれる海塩粒子または工場を発生源とする燃焼生成物が、それぞれこれらの水質項目に関与しているものと示唆される。以上のように、収集雨水水質にはその機構を説明可能な気象要素を関連させることができる。

水質面から雨水の利用を考慮した場合、問題となるのは、前報で「水道法」に基づく「水質基準に関する省令」の基準を超えた初期収集雨水の中のCODおよび濁度であるが、この2項目は無降雨時間と強い関連を持ち、通常の一般気象要素の風向、風速、温度、湿度とは関連が弱い。これら雨水の汚濁は、主に、無降雨時間中に雨水収集面に増加する物質、すなわち、降雨と降雨の間に雨水収集面に堆積する沈積じん起因すると考えられる。よって、前述の3過程の中で〈雨滴着地・収集過程〉が最も雨水利用の際に問題とすべき過程であり、水質面から雨水利用システムを検討する上で、この過程での沈積じん挙動を解明することが重要となる。なお、本論文で述べる沈積じんは、沈積じん測定法⁴⁾で測定対象となる物質で、落下じんと降下ばいじんの総称とする。

3.4 沈積じんの測定と挙動

本節においては、沈積じんの測定結果に基づき、沈積じんの挙動を示し、収集雨水水質への沈積じんの関与を明らかにする。

3.4.1 沈積じんと収集雨水水質

沈積じんと雨水水質の関連について検討した事例は見あたらないが、道路上や側溝(雨水流出面)に貯まった汚濁物が降雨時に流出し、下水道負荷上昇や水系汚染を発生させる非特定汚染源⁵⁾の機構は沈積じんによる雨水汚濁機構と類似していると考えられる。しかし、これらの研究では、雨水流出面での汚濁物の量に関しては検討されているが、汚濁物の性状も含めた汚濁機構については明らかにされていない。

地表面に落下する前の沈積じんは大気中の浮遊粉じんの一部を構成しており、沈積じんと浮遊粉じんは密接な関係にある。環境庁大気保全局が集計した降下ばいじんと浮遊ふんじんの各測定結果⁶⁾から、両方の項目が測定されている地点のそれら相互の関連を検討した結果を図-3.1に示す。図から、両項目の関連(相関係数:-0.160)はほとんどみられないことがわかる。その

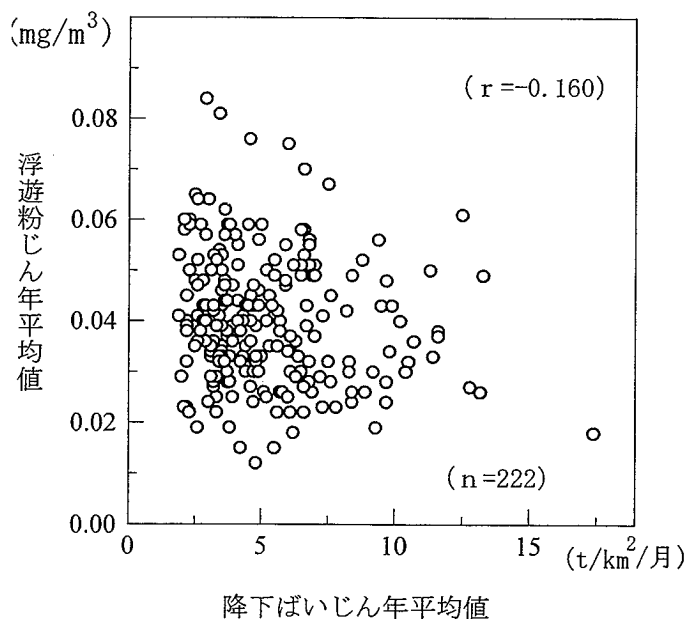


図-3.1 降下ばいじんと浮遊粉じん

ため、浮遊粉じんは、前述のように<雨滴生成過程>および<雨滴降下過程>における雨水水質に影響しているが、浮遊粉じんに関する多くの研究成果を沈積じんの検討には適用できない。

大気中の浮遊粉じんは濃度が上昇すると粉じんの凝集・沈降が発生し、その濃度は一定以上にはならない現象が報告⁷⁾されている。このことは、浮遊粉じんは一定濃度に保たれているが、沈積じんは浮遊粉じんの凝集・沈降により、無降雨中に増加することを意味する。これら研究の考察からも、収集雨水水質に関しては<雨滴着地・収集過程>の沈積じんが重要といえる。

3.4.2 沈積じんの測定

沈積じんの採取・測定は、スライドガラス上に捕集した粒子を顕微鏡で実測するガラススライド法⁴⁾を基本手法として用い、この手法の有効性および測定結果の実用性を確認し、詳細な測定条件等は沈積じんの測定結果を考慮して決定した。沈積じんの採取は、前章の雨水収集実験と同じ広島大学工学部建築環境学実験棟屋上で実施した。

(1) 沈積じんの測定期間

沈積じんの測定期間は、無降雨時を対象とした連続測定と、降雨時も含めた定時測定に分かれる。定時測定は、降雨直後の大気が清浄で晴天が継続すると予想される日を開始日とした。

- ・ 連続測定 : 1984年06月19日08時10分～18時20分
- ・ 定時測定1 : 1984年09月29日～10月20日
- ・ 定時測定2 : 1984年11月24日～12月24日

(2) 沈積じん採取方法

1) 連続測定

連続測定は、無降雨時の沈積じんの堆積状況把握を目的に、1時間暴露した後に採取した物質をサンプルとして計測を行った。この測定は、長期間行う定時測定の際の条件検討も目的としている。

ガラススライド法でのサンプル固定には、簡便性に優れるセロハンテープ(以後、テープと記す)を用いた。暴露時のサンプル採取には、スライドガラス上に捕捉性に優れていると考えられるテープの粘着面と、スライドガラスのガラス面を用いた。

サンプル採取は次の手順で行った。各時間毎に、テープ処理および未処理のアルコール洗浄乾燥済スライドガラス各1枚を作成した。ガラスはデシケータに収めたシャーレに入れ運搬し、実験棟屋上に水平に置いた直径30cmのガラス円板上で1時間暴露後回収した。回収時、テープ処理スライドガラスは、別の洗浄済スライドガラスを重ね、そのガラスにサンプルを採取したテープを固定した。テープ未処理スライドガラスは、中心部分をテープで固定した。それらのスライドガラスは、前述した方法で、測定箇所まで運搬した。

2) 定時測定

連続測定の後に行った毎日1回定時の測定では、図-3.2に示すように、傾斜したスライドガラスを雨水収集面に想定した沈積じん採取装置を用いた。図-3.3に採取装置のスライドガラスを固定した沈積じん採取部分の詳細を示す。スライドガラスは沈積じん採取を目的に40枚設置し、1日以上暴露後毎日定時に2枚ずつ回収し、2枚を新たに設置した。新たに設置したガラスは、設置済みの40枚の後に回収した。沈積じんの測定は、連続測定とほぼ同じ手順である。ただし、降雨によりスライドガラス表面が濡れている場合には、表面が乾燥するのを待って回収した。なお、前述のテープ処理スライドガラスによる測定は、長時間の日射により一部テープが変形し、継続した沈積じん計測は不可能となった。そのため、定時測定におけるこの方法によるデータは検討していない。

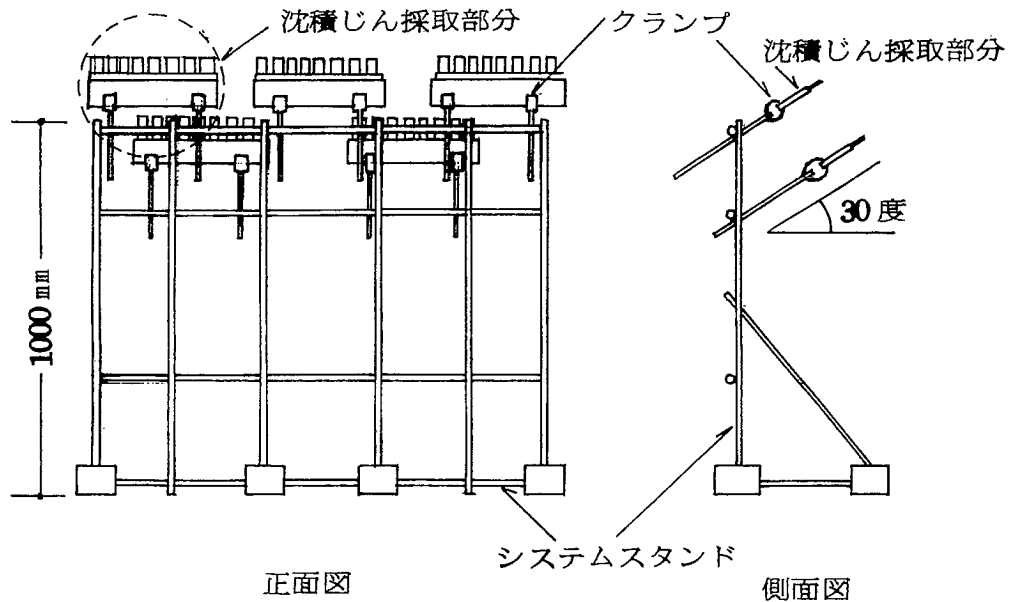


図-3.2 沈積じん採取装置

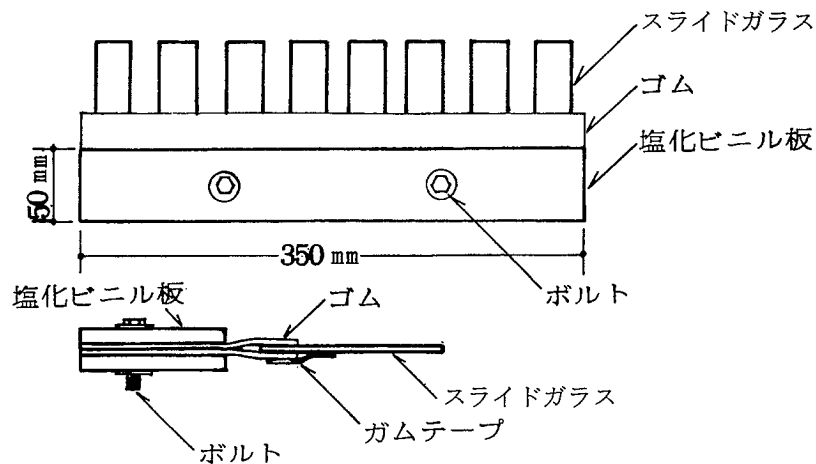


図-3.3 沈積じん採取部分

(3) 沈積じん計数法

沈積じんの個数は、光学顕微鏡に接眼測微計を用い、直径 $2.5\mu\text{m}$ 以上のものについて、その粒径別に明視野にて計数した。接眼測微計は、対物レンズ毎に対物測微計にて補正した。粒径毎に計測数は 30 個以上とした。スライドガラス 1 枚で計測数が 30 個以下の場合には 2 枚用いた。なお、スライドガラス 1 枚の測定可能面積は、中心部分の約 1cm^2 であり、測定面積は、十字移動装置(メカニカルステージ)により縦方向の移動距離を求め、接眼測微計の測定幅を乗じて算出した。用いた対物レンズと測定粒径の設定範囲を表-3.5 に示す。沈積じんの粒径は、連続測定では全範囲を図-3.4 に示す定方向径(水平方向最大径)を、本測定では $75\mu\text{m}$ 未満は定方向径のみ、 $75\mu\text{m}$ 以上では図-3.5 に示す長軸径と短軸径を測定し、球体として投影面積と体積を算出した。

表-3.5 測定粒径の設定範囲

対物レンズ倍率	x 40	x 10	x 4
粒径 (μm 以上)	2.5	10 20 30 40 50	75 100 125 150 175 200

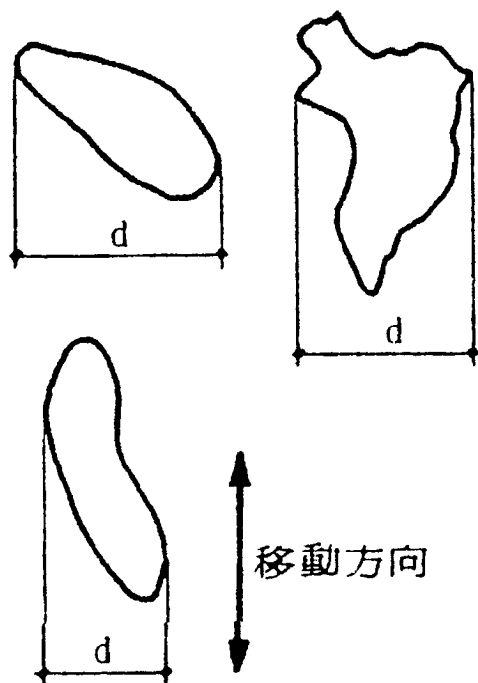


図-3.4 定方向径

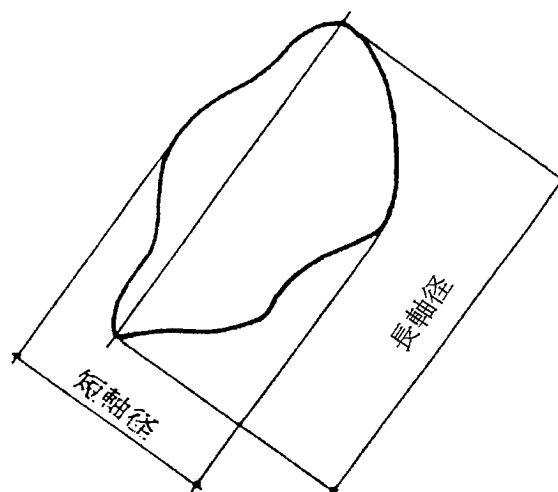


図-3.5 長軸径と短軸径

(4) その他の測定項目

連続測定では、沈積じん採取中の気象要素を測定、定時測定では、気象要素に加え、収集雨水水質も測定している。水質項目および気象要素はともに前述同様の項目である。採水方法は、前章と同様の分取装置のほかに、図-3.6に示す雨水貯留実験の初期雨水分取装置も用いた。なお、一部の雨水については、メンブレンフィルターでろ過・乾燥・セダー油処理後、前述の沈積じん計数法と同様の測定を行い、ろ過量と雨水収集面断面積より、単位面積あたり個数を求めている。

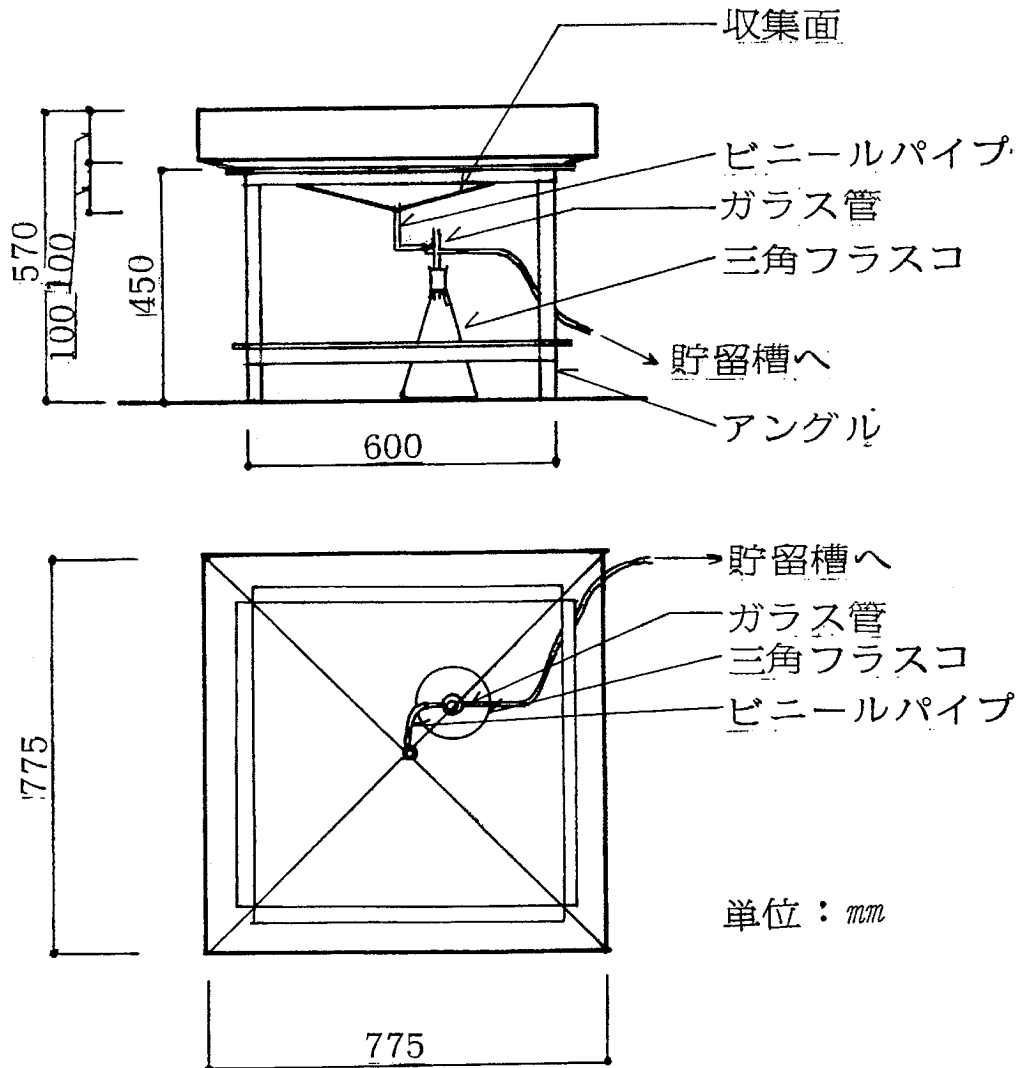


図-3.6 初期雨水分取装置

3.4.3 沈積じんの挙動

(1) 連続測定

連続測定における、気象要素の変化を図-3.7に、ガラス面とテープ面の沈積じんの経時変化を図-3.8に示す。単位面積あたり個数は、測定個数を測定面積で除した後、測定に使用する前のテープを用い測定したブランク値を減じた。図-3.8に示した「 $2.5\mu\text{m}\sim$ 」は粒径 $10\mu\text{m}$ 以上と $40\mu\text{m}$ 以上の沈積じんを、「 $10\mu\text{m}\sim$ 」は $40\mu\text{m}$ 以上の沈積じんをそれぞれ含んでいる。ガラス面とテープ面の値の比較では、 $2.5\mu\text{m}$ 以上では11時の例を除いてガラス面の値が低く、ガラス面では沈積じんの再浮遊があると考えられる。 $10\mu\text{m}$ 以上においては10例中3例が、 $40\mu\text{m}$ 以上では10例中4例においてガラス面の値が沈積じん捕捉能力がより高いと考えられるテープ面の値を上回っている。これは、粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の場合、全面積を測定しても30個以上の計測ができないケースがあり、測定個数の不足により値にばらつきが生じたものと考えられる。サンプル数が十分と考えられる $2.5\mu\text{m}$ 以上のガラス面とテープ面の値の差と各気象要素の変化を比較すると、11時前後の時間帯において、風速との間に対応関係が若干みられる。これは、その時間帯の風速が他の時間帯より低く、沈積じんの再浮遊が少なかったためと考えられる。

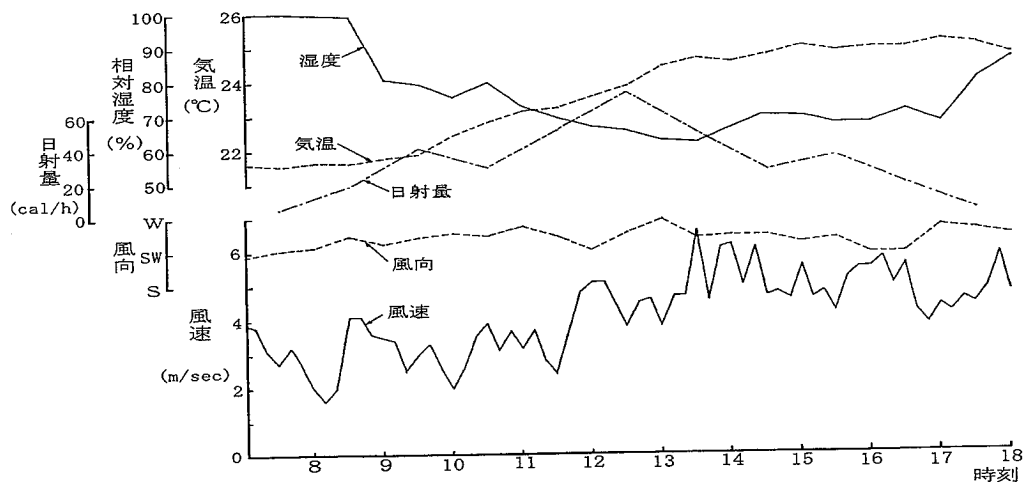


図-3.7 気象要素の経時変化 (6月19日)

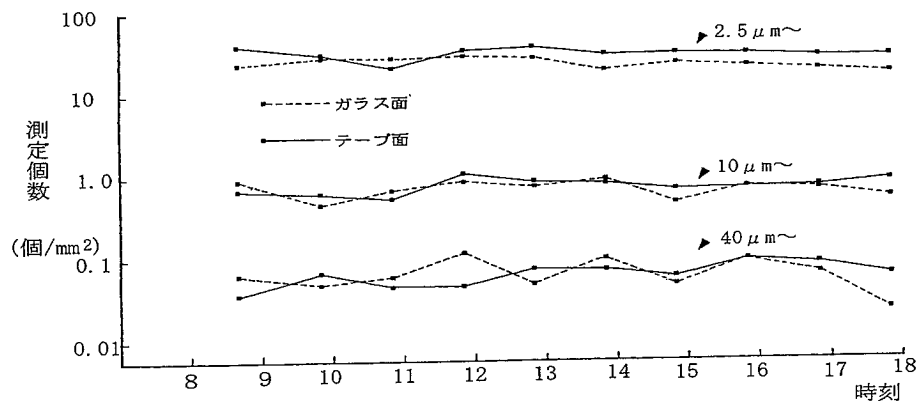


図-3.8 沈積じん個数の経時変化 (6月19日)

粒径別の全測定個数の値を用い、沈積じんが全て収集雨水中に取り込まれた場合の影響度を検討した。図-3.9に測定個数、測定粒径より算出した断面積、体積を示す。粒径は測定範囲の最小値とし、形状は完全球体とした。水質項目中、透過光を用いて測定する濁度は水中で粒子が分散しない限り、図-3.9 (b)の断面積の影響を、ほかの水質項目は微粒子の総量に関連して、図-3.9 (c)の体積の影響を受けると考えられる。そのため、図-3.9 (a)の個数では、きわめて少ない $10\mu\text{m}$ 以上の沈積じんも、体積ではかなりの割合を占め、濃度を測定する水質項目では、大きく影響するといえる。

以上の結果から、沈積じんの測定が可能であることを示せた。しかし、沈積じんと気象要素の関連について、本測定では明確な対応は見出すことはできなかった。また、沈積じんによる収集雨水汚濁機構の検討において、1時間の暴露条件では、水質に対し大きな影響を与えたと考えられる大粒径の沈積じんの捕捉量が不十分であり、長時間の暴露が必要といえる。そこで、次に沈積じんの採取を1日間隔で行った結果より検討する。

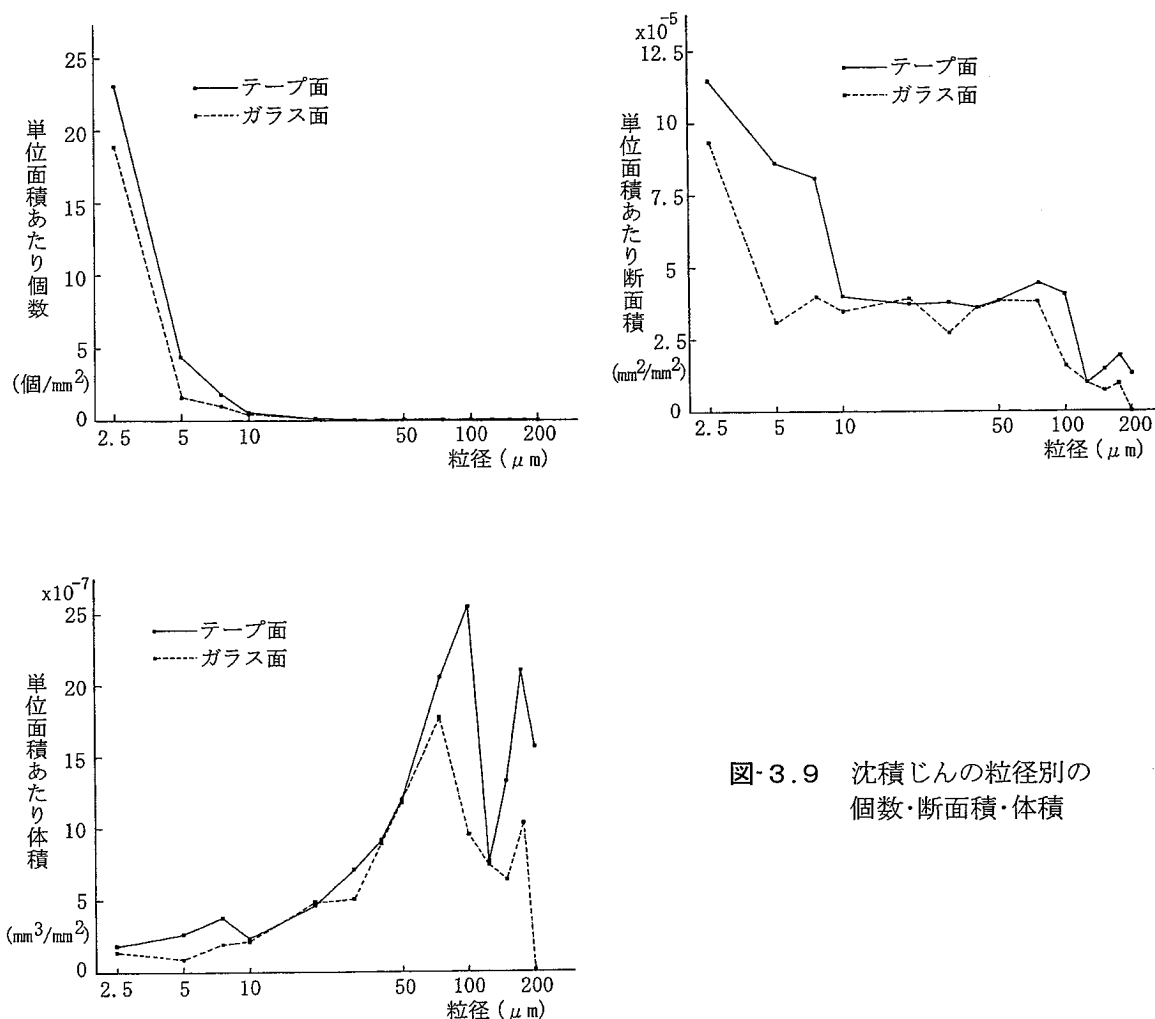


図-3.9 沈積じんの粒径別の個数・断面積・体積

(2) 定時測定

図-3.10 に日単位で測定した沈積じんの個数・断面積・体積別の経時変化を示す。3項目とも、無降雨時間中にほぼ増加し、降雨により減少する傾向が認められる。しかし、無降雨時間中に減少する例もあり、風向・風速が要因とも考えられるが、明確な関連は認められない。また、降雨によりスライドガラス上の沈積じんは流出し雨水に取り込まれるが、全ては流出せず、後述の図-3.11 に示すように、微小な沈積じんほど残留する傾向が認められる。1mm初期収集雨水水質、無降雨時間、降雨による減少個数・面積・体積の各値を表-3.6に、値の相関行列を表-3.7に示す。表-3.7から濁度、pH、COD、無降雨時間は、減少沈積じん量と正の相関がある。このことは、前章で述べた沈積じんの水質面での雨水利用システムへの関与を示している。また、減少沈積じん量とpH、電導度の相関関係は沈積じん中の塩基性物質によるpHの上昇、pH上昇によるモルあたり電導度が大きいH⁺の減少が原因といえる。

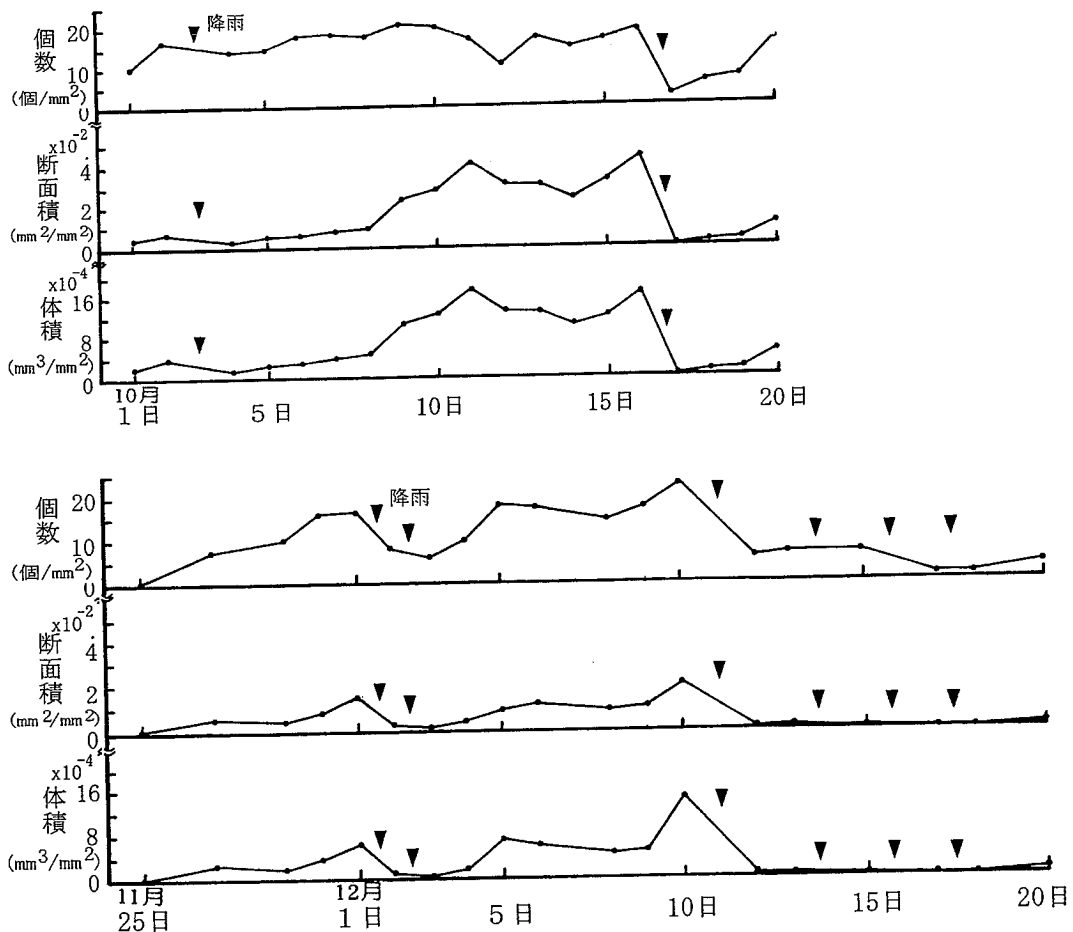


図-3.10 沈積じんの個数・断面積・体積の経時変化

表-3.6 1mm初期収集雨水水質と沈積じん

採水日	濁度 (度)	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	COD (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	Cl^- (mg/l)	無降雨時間 (h)	降雨量 (mm)	減少個数 ($\text{個}/\text{mm}^2$)	減少面積 (mm^2/mm^2)	減少体積 (mm^3/mm^2)
10. 2	2.31	32.1	4.36	3.8	1.9	1.3	56.0	32.5	2.50	4.05×10^{-3}	2.24×10^{-5}
10.16	22.4	36.7	5.93	13.6	2.4	5.5	311.5	15.0	16.6	44.7×10^{-3}	16.7×10^{-5}
12. 1	36.3	51.2	5.53	12.5	5.2	4.2	184.5	1*	8.44	12.6×10^{-3}	5.82×10^{-5}
12. 2	8.43	68.2	5.38	3.9	2.0	16.7	25.0	1*	1.94	0.88×10^{-3}	0.40×10^{-5}
12.10	18.1	27.2	5.35	7.1	2.7	3.0	193.0	13*	16.4	19.4×10^{-3}	14.3×10^{-5}
12.14	9.2	43.1	4.49	3.5	1.6	5.7	71.5	6*	0.08	0.46×10^{-3}	0.30×10^{-5}
12.16	6.5	26.7	4.49	2.5	1.0	4.5	40.0	28*	5.29	0.75×10^{-3}	0.20×10^{-5}
12.18	15.5	84.6	3.74	3.9	3.4	6.8	33.0	4.0	0.30	0.12×10^{-3}	0.04×10^{-5}

(*は雨量計不良のため、測器常設地点より北西2.5kmに所在する広島県農業試験場データ使用)

表-3.7 収集雨水水質関連項目間の相関

	濁度	電導度	pH	COD	NO_3^-	Cl^-	無降雨時間
無降雨時間	0.679	-0.378	0.766*	0.917**	0.361	-0.320	—
減少個数	0.527	-0.521	0.747*	0.736*	0.209	-0.316	0.896**
減少面積	0.513	-0.345	0.737*	0.844**	0.189	-0.218	0.959**
減少体積	0.511	-0.434	0.727*	0.770*	0.224	-0.302	0.939**

(** : 1%有意, * : 5%有意)

図-3.11に降雨前後の沈積じんとその降雨における1mm初期収集雨水中の微粒子の粒径別累積個数分布を示す。図からは、降雨前沈積じんと雨水中微粒子の分布がよく一致しており、降雨により沈積じんは形態が大きく変わることなく収集雨水に取り込まれていると判断される。また、降雨後に径の大きな粒子が計測されないスライドガラスがあることから、降雨後に沈積じんの一部は残留するものの、粒径が大きなものほど流出する傾向にあることが読み取れる。

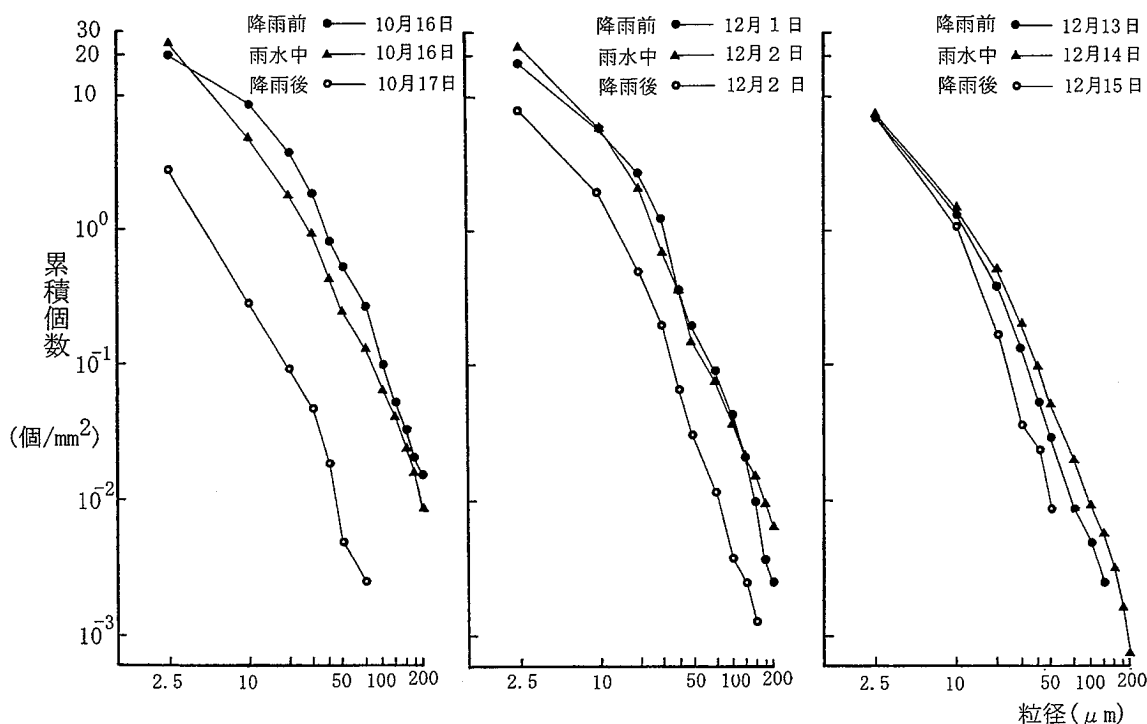


図-3.11 降雨前後の沈積じんと初期収集雨水水中微粒子の粒径別累積個数

3.5 初期雨水排除による雨水収集実験

これまで述べてきた事項から、収集雨水水質で問題となるCODおよび濁度は、無降雨期間中に堆積する沈積じんに起因すると判断される。そのため、初期雨水分取による排除量を3段階に設定した雨水収集実験により、排除量による水質・沈殿物の違い、および沈積じんによる汚濁防止効果を検討する。

3.5.1 実験概要

(1) 測定期間

初期雨水排除による雨水収集実験の期間は、以下のとおりである。沈積じん測定期間とはほぼ同時期に実施している。

- 1) 実験1： 1984年08月20日～10月17日
- 2) 実験2： 1984年11月12日～12月26日

(2) 雨水収集実験装置

雨水収集実験に用いた装置を図-3.12に示す。上部は、雨水収集部（断面積 0.6m^2 、透明塩化ビニル製）と初期雨水分取部（500ml 三角フラスコ）からなる、図-3.6に示した初期雨水分取装置と同様な機構の初期雨水排除装置である。初期雨水排除量は三角フラスコの本数を変えて0、1、3mmの3条件としている。図中左上の〈5mm収集〉の雨水は下部では貯留していない。下部は、収集雨水の貯留槽（ 0.1m^3 ）とそこから分配する小型槽（20l）からなる雨水貯留部である。貯留槽は、光合成による藻類の増殖、材質による水質変化を防止するため黒色の塩化ビニル製である。小型槽は白色塩化ビニル製で、貯留槽の雨水を静置状態でマイクロチュービングポンプにより汲み上げて貯留し、利用される雨水を想定して、随時水質分析に用いた。ポンプによる汲み上げ量は、貯留槽満水時の越流防止も目的とした。ただし、降水量が少なかった実験2の期間中は汲み上げをしていない。

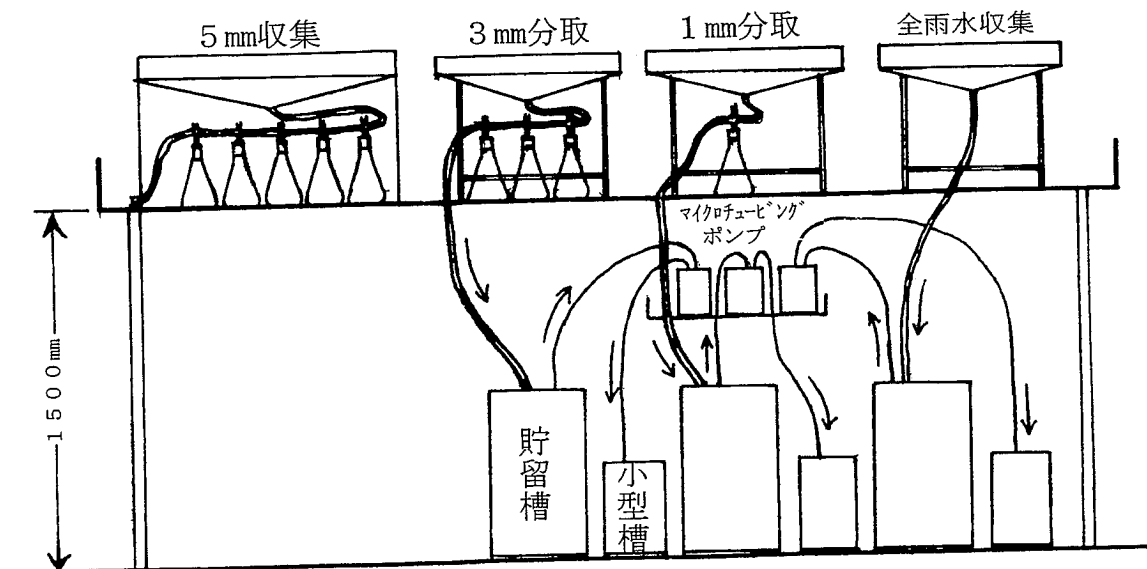


図-3.12 初期雨水排除による雨水収集実験装置

(3) 貯留雨水水質

実験1の貯留雨水水質は小型槽雨水を、実験2の貯留雨水水質は貯留槽の上澄み液をそれぞれ分析している。また、実験終了時に、貯留槽の沈殿物も含め十分に攪拌し、貯留槽雨水の懸濁物質の総量を、懸濁物質測定法(JISK0101-1979)により測定した。水質測定項目は、収集雨水と同様の6項目である。また、実験1の貯留槽雨水の一部については簡易型培地を用いて細菌試験を実施した。

(4) 気象要素

沈積じんの定時測定と同様の気象項目を実験期間中、降水量を降雨毎に、それぞれ測定している。

3.5.2 実験結果

実験1における、8月20日より貯留し、9月23日より継続してポンプを用いて採取した小型槽12サンプルの分析値の平均・最大・最小値を表-3.8に示す。実験2における、最終日の上澄み液の分析値を表-3.9に示す。両表からは、電導度およびNO₃⁻のように全雨水収集の値が大きい項目、濁度のように3mm分取が大きい項目も認められるが、全体的には、3条件とも同程度の水質といえ、初期雨水排除による汚濁物低減の顕著な効果は認められない。この原因としては、降雨開始時に貯留槽へ流入する汚濁した収集雨水は、流入時に貯留槽の雨水と混合し希釈されたり、降雨の継続により清浄な収集雨水により希釈されることも一因と考えられるが、表-

3.10に示す各貯留槽内の懸濁物質質量により、表-3.8, 9の良好な水質は、懸濁物質の沈殿によることがわかる。この懸濁物質質量は、初期収集雨水排除により低減され、その効果は大きく、初期雨水排除量1mmで懸濁物質の2/3が排除されていることを示している。また、前述の3条件の同程度の水質は、これらの懸濁物質の良好な沈降性に原因があり、

表-3.8 貯留雨水水質 (実験1)

測定項目	全雨水収集	1mm分取	3mm分取	
濁度 (度)	平均	0.51	0.47	0.91
	最大	0.75	0.85	1.33
	最小	0.11	0.05	0.36
電導度 (μS/cm)	平均	18.0	14.3	15.8
	最大	21.0	15.1	17.2
	最小	15.5	11.2	13.6
pH	平均	4.64	4.72	4.75
	最大	4.75	4.89	4.86
	最小	4.55	4.61	4.69
COD (mg/l)	平均	1.2	1.1	1.6
	最大	2.0	2.1	2.5
	最小	0.7	0.7	1.1
NO ₃ ⁻ (mg/l)	平均	0.8	0.2	0.3
	最大	1.1	0.4	0.6
	最小	0.6	0.1	0.1
Cl ⁻ (mg/l)	平均	1.2	1.2	1.5
	最大	1.5	1.5	1.4
	最小	1.0	0.7	1.0

表-3.9 貯留雨水水質 (実験2)

測定項目	全雨水収集	1mm分取	3mm分取
濁度 (度)	0.42	0.27	0.74
電導度 (μS/cm)	18.9	12.9	12.5
pH	4.51	4.40	4.22
COD (mg/l)	1.2	0.9	0.9
NO ₃ ⁻ (mg/l)	1.1	0.7	0.7
Cl ⁻ (mg/l)	1.5	0.6	0.4

表-3.10 雨水貯留槽内懸濁物質質量

測定項目	全雨水収集	1mm分取	3mm分取
実験1 懸濁物質 (mg)	672.5	214.5	190.0
収集雨水量 (l)	124.0	97.0	88.0
実験2 懸濁物質 (mg)	300.8	77.1	33.8
収集雨水量 (l)	34.0	29.0	23.0

この良好な沈殿性の物質は、前章で収集雨水への流出が確認されている粒径の大きい沈積じんが主体と判断され、表-3.6の初期雨水の汚濁状況を改善しているものと考えられる。

表-3.11に貯留雨水の細菌試験の結果を示す。表より、大腸菌群は検出されていないが、「水道水水質基準」の一般細菌数100個/mlを大幅に超える値を示している。表の値は、雨水の収集方法および貯留日数から考えれば当然といえ、雨水利用の基本である、貯めてから使うということから考えれば、人の肌に接触する可能性がある場合は、塩素滅菌などの殺菌処理が必要といえる。

表-3.11 収集雨水細菌試験

	貯留日数*	測定項目	全雨水収集	1mm分取	3mm分取
実験1	40日	一般細菌数(個/ml)	5600以上	8000以上	8000以上
		大腸菌群		検出されず	
実験2	50日	一般細菌数(個/ml)	50000	18000	54000
		大腸菌群		検出されず	

(*実験1において雨水貯留開始からの日数)

3.6 結語

雨水利用システムにおける、収集雨水の水質性状とその水質変動要因の検討を目的に、1982年から1984年にかけて広島県東広島市に所在する広島大学工学部にて、気象要素、収集雨水水質、沈積じんの測定、分析を行い、収集雨水の汚濁には沈積じんが関与することを示した。主な内容は以下のとおりである。

最初に、前章で示した雨水水質変化3過程から検討すべき要因として気象要素等を選択後、収集雨水水質との関連を検討、風向・風速から汚濁源を推定できることを示し、水質で問題となる濁度、CODは無降雨時間との関連が強いことから、雨水の汚濁には無降雨期間に堆積する沈積じんが重要であることを示した。

次に、ガラススライドを雨水収集面と想定した装置で沈積じんを採取し、顕微鏡で粒径別に継続して測定した。その結果、沈積じんは、無降雨時間中にほぼ増加、降雨により減少し、降雨時の収集雨水の濁度、pH、COD、無降雨時間は、減少沈積じん量と正の相関があること、降雨により沈積じんの形態が大きく変わることなく収集雨水に取り込まれていることを示した。

最後に、初期雨水排除量3条件の雨水収集実験を行い、収集雨水水質の改善効果を検討した。3条件の貯留雨水水質はほぼ同程度であったが、沈殿物の差異は大きいことを明らかにした。また、初期雨水排除による汚濁物の除去効果は明瞭で、沈殿物の沈降性は良好であり、これらの沈殿物は、沈殿の容易な粒径の大きい沈積じんが主体と考えられる。

以上の結果は、収集雨水水質には沈積じんが関与しているが、沈降性は良好であり、前章で最大3mmと算定した初期雨水の排除なしに、一般細菌数を除けば、静置により良好な水質が得られることを示している。しかし、良好な水質の保持および簡便なメンテナンスを考

えると、汚濁物の蓄積は防止されるべきであり、雨水を全量収集した場合の2/3程度の沈殿物を防止することが実験により確認された初期雨水の1mm排除は、排除量に比べてその効果は大きく、推奨される方法といえる。

第4章 離島型雨水利用システムの解析

4.1 序

かつて、都市域外の水道設備が完備していない地域においては、生活上不可欠な水の確保は最重要課題であったことはいうまでもなく、その水の確保にさまざまな工夫がなされ、現在にもそれらの工夫は生かされていると考えられる¹⁾。それらの用水には雨水も含まれている地域も多く、その雨水利用の歴史は、都市域での雨水利用がはじまる前から存在することは当然である。これらの、事情を考えれば、都市の雨水利用を考える前に、それらの地区での雨水利用システムを調査することは有意義なことといえる。

従来の雨水利用に関する研究では、利用効率および規模算定のためのシミュレーション²⁾³⁾をはじめ、大型ビルの運転実績⁴⁾などの報告はあるが、一般住宅の中で、雨水貯留を中心とした水利用システム、利用実態に関する報告⁵⁾は極めて少ない。したがって、設定条件に基づくシミュレーションなどの結果とそれを適用した利用実態との比較検討はほとんどなされず、算定値の妥当性は不明確なことが多い。それゆえ、沖縄県の離島での水利用環境、利用者の水の使われ方などを分析するとともに、雨水利用に関するシミュレーションによって、実用されている離島型雨水利用システムの施設規模を検討することは、都市型雨水利用システムを考える上で重要といえる。

本章では、自然的要因である地理的条件をはじめ、社会的要因である経済的条件などから水利用上に種々の制約があり、自己水源として雨水に依存している離島を対象に調査を行い、雨水利用設備、利用量等の諸特性を明らかにし離島型雨水利用システムの解析を行った。

4.2 調査概要

4.2.1 対象離島の概要⁶⁾

調査対象とした離島は、特徴的水利用形態として、現在も各戸貯留による雨水利用システムが生活用水を確保する上で重要な位置を占めている沖縄県の渡名喜島、北大東島、伊是名島である。後述するように、渡名喜島は雨水と井戸水の併用が多く、北大東島は主に雨水に依存しており、調査は両島を主としたが、この調査を補完する意味で雨水と井戸水の併用の多い伊是名島で水質調査を行った。図-4.1に沖縄本島を中心としたそれぞれの離島の位置を示す。また、図-4.2(a),(b)にアンケート調査を実施した渡名喜島、北大東島の概要を、表-4.1に各島のある村の代表的な地域指標を示す。

渡名喜村は那覇の北西海上約55kmの位置にあり、渡名喜島(面積3.07km²)と米軍の射撃場のある入砂島(面積0.23km²)から成っている。渡名喜島の北部は緩やかな丘陵地が広がり、南部は山岳地帯である。集落は南北の丘陵地帯の間の砂礫地帯にあり、東・西・南の3つの字からなる。家屋は基盤目状の区画に配され、敷地は公道より1~1.5m程度低く、福木が周囲を取り巻いている。人口は昭和35年の約1500人に比べ、現在は減少が著しく、青

北大東村は那覇より東方約 305km, 南大東島の北方約 12km の位置にある。島の周囲は幕上(標高 30~40m, 最高点 74.6m, 幅 0.6~1.8km) と呼ばれる台地が取り巻き、島の中央は幕下(標高 2~15m, 東西 1.5km, 南北 1km) と呼ばれる低地であり、数個の湖沼がある。集落は幕上に港・南、幕下に中野(一部は幕上)の合計 3 区があるが、住宅は耕地に即して散在している。人口は昭和 35 年に約 1000 人であり、その後減少したが、昭和 50 年以降青年層の帰島現象もみられる。産業は農業が中心であり、甘蔗作が盛んである。

伊是名村は那覇より北方約 95km, 本部港より約 35km にあり、伊是名島(面積 13.87km²)ほか 4 島から成っている。伊是名島はほぼ中央を標高 120~129m の山地が南北に走り、海岸に向かった緩斜面に耕地が広がっている。集落は海岸沿いに伊是名(南側)・諸見(東側)など合計 5 地区がある。人口は昭和 35 年に約 5000 人であったが、渡名喜村と同様にその後の減少は著しく高齢化が進んでいる。産業は甘蔗、稲作などの農業が中心である。

4.2.2 調査内容

3 島の实地調査に先立ち、沖縄県全域の水利用実態を各種報告書、統計表などから調査し、さらに沖縄開発庁沖縄総合事務局、県などの関係部局で情報収集を行った。

現地では、村役場関係者、学校関係者、住民などを対象に面接調査を実施し、さらに、渡名喜島、北大東島では、全集落を対象に住宅の水利用実態アンケート調査および選定した住宅で家屋・水利用施設の利用実態調査、施設規模等の実測を行った。また、伊是名島では伊是名・諸見の 2 地区でそれぞれ 2 住宅を対象に水利用施設と井戸水・雨水の水質調査をした。

アンケート調査は、対象住宅をランダムに抽出し、調査員が戸別訪問して依頼し、留め置き、後日回収する方法をとった。なお、記入者は原則として主婦とした。

調査票の内容は、大別して、

- 1) 世帯の属性(人員構成, 居住年数, 住宅規模など)
- 2) 水利用施設(利用水源, 利用施設規模, 利用用途など)
- 3) 水の使用頻度(入浴, 洗濯, 掃除, 散水, 洗車などの各用途)
- 4) 水の使われ方(給水栓の開閉の仕方, 水の再利用と利用用途など)
- 5) 水利用・水問題意識(節水意識, 節水可能量, 水資源問題の意識, 水質評価など)

であるが、北大東島では雨水利用について、施設の維持管理、貯留量と節水行為の関連なども質問項目に加えた。

現地での調査時期は、渡名喜島：昭和 56 年 11 月 7~10 日、北大東島：同年 11 月 20~23 日、調査票の回収状況はそれぞれ 98 戸(有効回収率 89.1%), 87 戸(同 96.7%)であり、全世界帯の約半数から回答を得た。

水質調査は、井戸水、雨水ともそれぞれの給水系統の給水栓から採水し、分析を行った。分析項目は、水温、pH、電気伝導度、濁度、Cl⁻、NO₃⁻であり、方法は全て JISK0101-1979 によった。実施日は昭和 59 年 7 月 22 日であり、その前後日に各住宅の水利用施設を調査した。

渡名喜島、北大東島のアンケート対象世帯の代表的属性として、世帯人員、居住年数、職業の回答構成を図-4.3に示す。北大東島では青年層の帰島現象などもみられ、居住年数の少ない世帯も多く、また、幕下に住む独身の教員が比較的多く含まれている。図-4.4に両島の調査対象住宅の敷地面積と延床面積の度数分布を示す。北大東島の場合、教員宿舎などの影響もあり、敷地面積 100m²未満の小規模な住宅も含まれているが、全般的には渡名喜島に比べ規模は大きい。

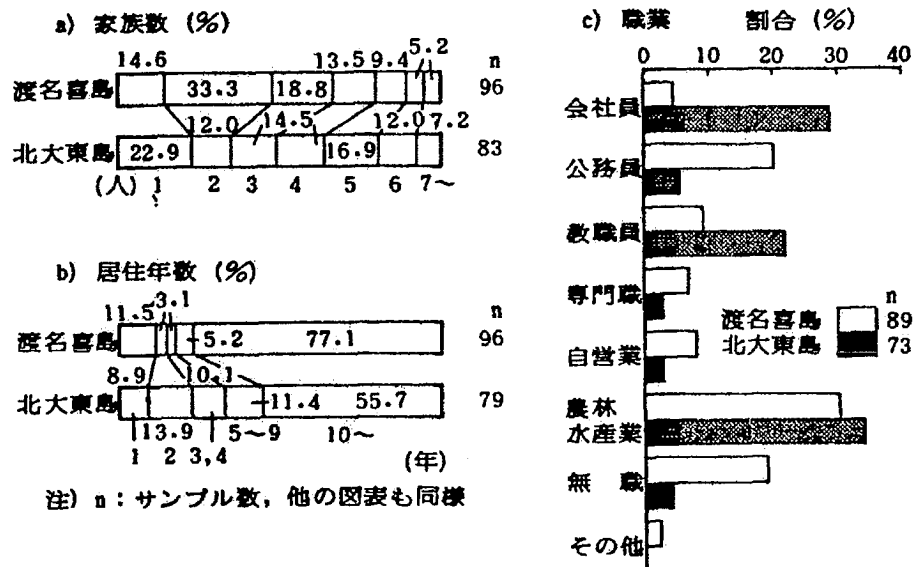


図-4.3 調査対象世帯の属性

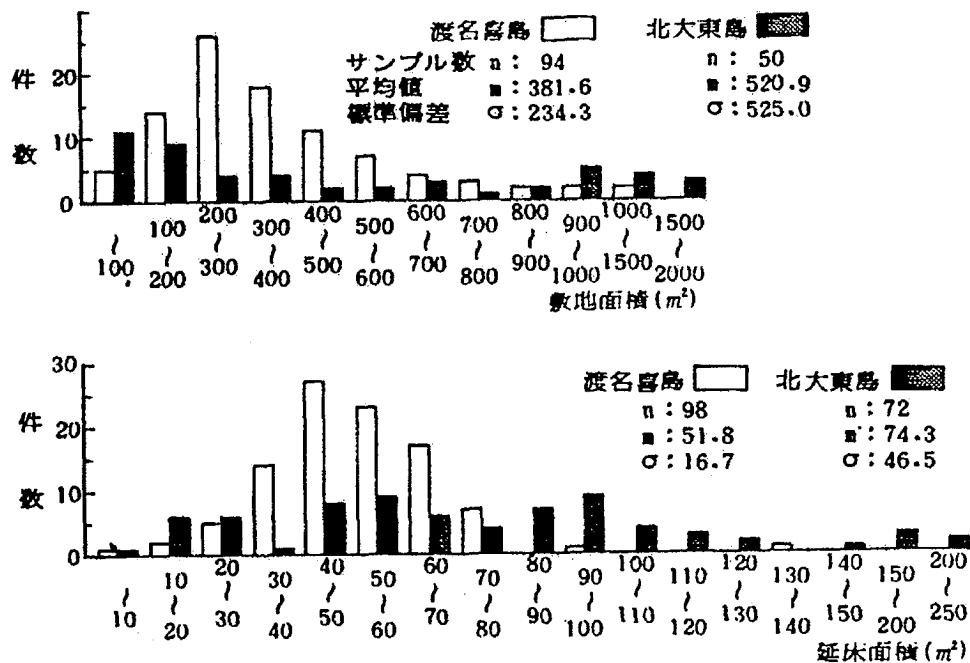


図-4.4 調査対象住宅の敷地・延床面積の度数分布

4.3 水利用環境の調査結果

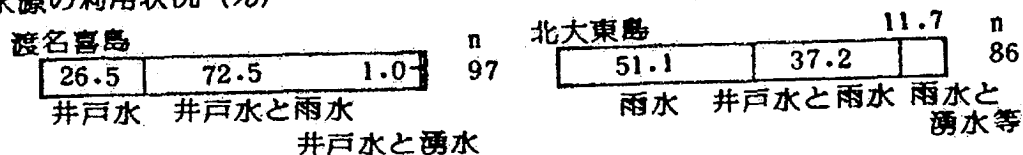
4.3.1 水利用システム

調査時点では、渡名喜島、北大東島^{註1)}とも水道施設はなく、伊是名島は簡易水道が敷設（昭和46年3月竣工）されてはいたが、島中央の公共施設に配水されている程度であった。したがって、3島とも各家庭の生活用水は、雨水、井戸水に依存した自給が一般的である。

図-4.5に、渡名喜島、北大東島の水源の利用状況と利用の程度を示す。また、表-4.2に各用水の利用用途を示す。同表は、各用水毎に「利用する」、「時々利用する」と回答した者を総数とする各用途の回答数割合であり、複数回答となっているが、「全用途」に回答した者は他用途の計数から除外している。

これより、渡名喜島では、井戸水の利用が主であり、調査家庭の総てが利用している。雨水は利用していない家庭も比較的あり、利用している家庭でも飲用用途にほとんど限られていることがわかる。図-4.6(a)に同島の家屋と取水装置の配置例を示すが、後述するように、雨水貯留槽は各戸とも比較的小さく、収集面も同図に示すように母屋屋根面の一部を利用している例が多い。井戸は調査住宅の91.8%が保有しており、その内82.7%は電動ポンプ設備を有している。井戸の深さは約4~5mのものが多い。なお、各戸に井戸が普及する以前は5箇所の共同井戸を利用しており、現在も2箇所で数世帯が利用している。さらに、字東では地下水の塩分濃度の高い所があり、渇水対策として井戸を新設し（昭和56年）、4世帯がポンプで取水している（各井戸の位置は図-4.2(a)参照）。また、利用しなくなった井戸は防災用として村が管理している。

a) 水源の利用状況 (%)



b) 利用の程度 (%)

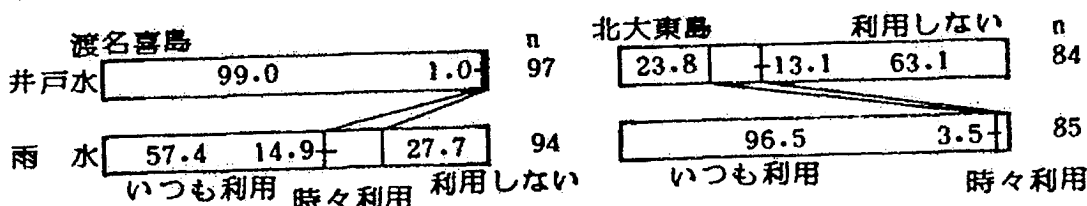


図-4.5 生活用水の水源と利用の程度

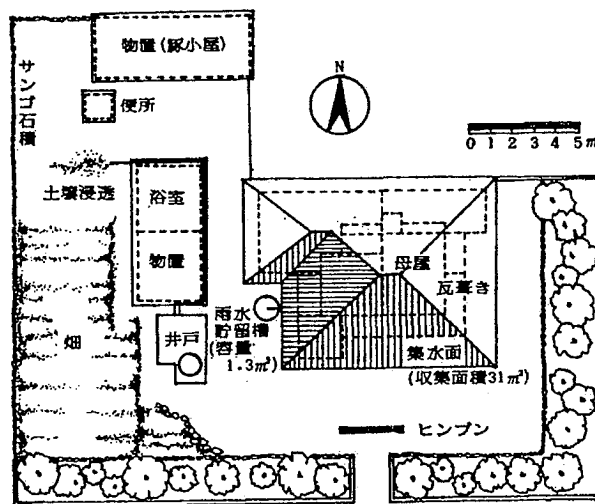
表-4.2 井戸水・雨水の利用用途

単位：%

	n	全用途	用途											
			台所・飲用	洗面・手洗い	洗濯	風呂	掃除	洗車	便所	散水	ものを冷やす	冷房	池・噴水	
渡名喜島	井戸水 95	71.6	14.7	25.3	24.2	18.9	21.1	1.1	10.5	9.5	3.2	0	0	
	雨水 65	3.1	98.5	3.1	4.6	3.1	3.1	1.5	3.1	3.1	0	0	0	
北大東島	井戸水 26	19.2	11.5	46.2	80.8	57.7	46.2	30.8	15.4	34.6	0	0	0	
	雨水 80	60.0	36.3	22.5	12.5	20.0	7.5	7.5	2.5	0	10.0	1.3	0	

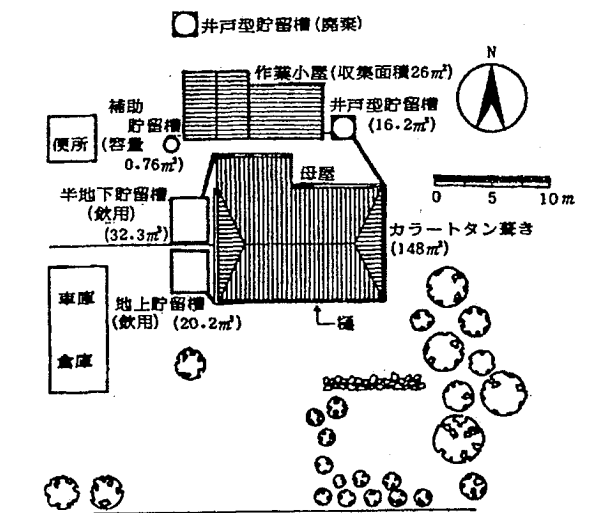
北大東島では渡名喜島と異なり雨水利用が主である。地表水は幕下に湖沼があるが海と通じているため利用できない。地下水も塩分濃度が高く、飲用用途での利用は少ない。したがって、図-4.6 (b)の例に示すように、雨水の収集は母屋屋根の全面を利用している場合が多く、さらに本例のように、作業小屋屋根面などを使っている場合もあり、貯留槽はかなり大きな容量を有している。貯留槽の形式は資材入手の関係から、始めは井戸型の地下貯留槽であったが、昭和40年代の初めに半地下貯留槽が普及し、さらに現在では地上型に変化してきている。また村では、昭和51~54年に各区および小中学校に各々650m³の共同貯留水槽を設置しており、さらに昭和55年に湧水利用施設を造っている（位置は図-4.2 (b)参照）。

伊是名島では、井戸水、雨水の利用システムは渡名喜島と類似しており、雨水は飲用用途が主であり、風呂・洗濯などの用途には各戸の井戸から電動ポンプによって給水している例が多い。また、雨水の収集は屋根面の一部を利用している。



世帯属性・世帯人員：3人，職業：漁業
給水系統・雨 水—母屋屋根(一部)—地上貯留槽—飲用
井戸水—電動ポンプ—浴室(直だし)
手動ポンプ—洗い場(井戸)

図-4.6 (a) 家屋と取水装置の配置例 (渡名喜島)



世帯属性・世帯人員：3人，職業：農業
給水系統・雨 水—母屋屋根(全面)—地上貯留槽—電動ポンプ—ボイラー—浴室(シャワー付)
—母屋屋根—半地下貯留槽—電動ポンプ—ボイラー—台所
—作業小屋屋根—井戸型貯留槽—汲取り—散水(畑)

図-4.6 (b) 家屋と取水装置の配置例 (北大東島)

4.3.2 雨水利用施設の規模と維持管理

図-4.7に、渡名喜・北大東島の各戸が所有している雨水貯留槽容量の度数分布を示す。雨水の依存度が異なる両島では、容量に大きな差異がみられる。伊是名島の4例では平均1.6m³、最大3.1m³、最小0.27m³である。

図-4.8に、住宅・世帯規模として母屋延床面積および世帯人員を取り上げ、雨水貯留槽容量との関係を示す。北大東島の延床面積と貯留槽容量の間にやや関連がみられるものの、ほかはほとんど関連がみられない。また、渡名喜・伊是名島の実測した8例では、収集屋根水平投影面積と貯留槽容量にもほとんど関連がみられなかった。なお、平屋建て母屋の屋根水平投影面積は、後で示す図-4.13からわかるように、おおむね延床面積の1.3～1.6倍程度の範囲にあり、その中で北大東島の倍率は若干低い方にある。貯留槽の材質は、渡名喜島の場合、71件中、コンクリート：28.2%、FRP：29.6%、ステンレス等の金属：39.4%であるが、北大東島では78件中、94.9%がコンクリートである。また、貯留水は直接使っている割合が高く、ろ過処理をしているのは、渡名喜島：72件中11.1%、北大東島：80件中6.3%である。さらに、渡名喜島では薬品を注入して使用している家庭が5.6%ある。伊是名島では調査した4件とも、ろ過処理をしており、その中で2件は布で濾している。

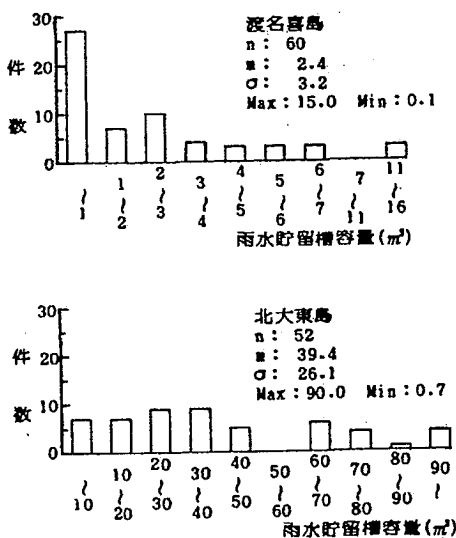


図-4.7 雨水貯留槽容量の度数分布

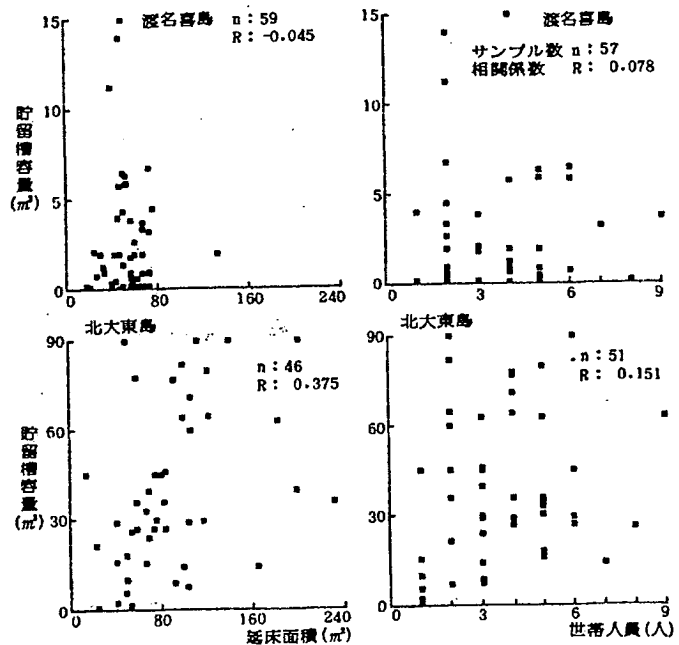


図-4.8 住宅・世帯規模と雨水貯留槽容量

北大東島における貯留槽と屋根面・樋の掃除回数については、実施するとして回答欄に記入のあった件数は、86 件中、貯留槽 65 件、屋根面・樋 54 件であり、図-4.9 に回答のあった回数の度数分布を示す。また、掃除 1 回に要する時間の度数分布を図-4.10 に示す。掃除回数で 2 年に 1 回などの場合は 1 年に 0.5 回などとして換算している。これより、貯留槽に比べ屋根・樋など集水面の方が頻度多く掃除されているが、その所要時間は比較的短いことがわかる。

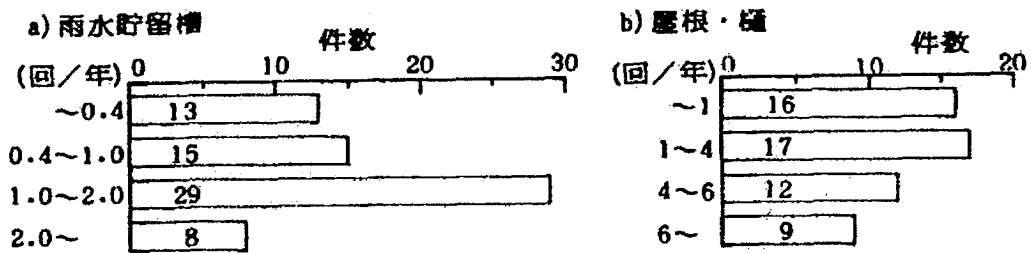


図-4.9 年間掃除回数の度数分布 (北大東島)

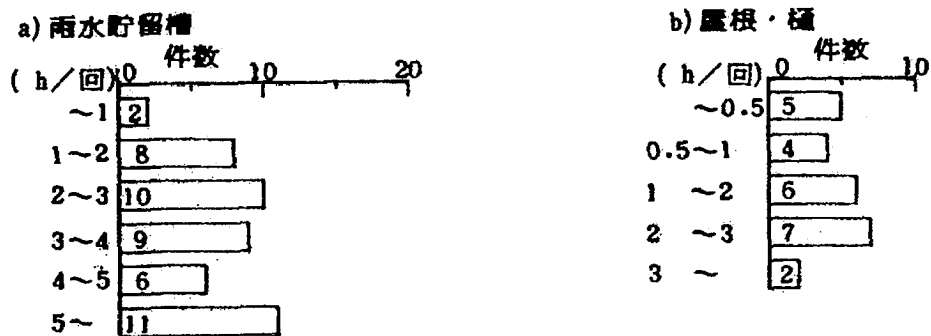


図-4.10 1回あたり掃除所要時間の度数分布 (北大東島)

4.3.3 用水の水質

渡名喜、北大東島とも生活用水の水源開発のため沖縄県によって地下水調査が行われているが、それらの資料⁷⁾⁸⁾によった試掘井の水質値、渡名喜島の井戸水および測定した伊是名島の井戸水、雨水の水質値を表-4.3に平均値で示す。試掘井の位置は図-4.2(a),(b)に示すが、両島とも Cl⁻が高く海水による影響を受けていることが明らかである。また過マンガン酸カリウム消費量も比較的高い。渡名喜島の井戸水は宇西の一例であるが、さらに、一般細菌：1700 個/ml、大腸菌群も検出され、人為的な水質汚染のあることがわかる。このような井戸水の汚染は、集落が砂礫上にあり、各家屋の敷地が公道より1~1.5m低いことから、生活・畜産排水などの敷地内土壌浸透の多いことが原因として考えられる。伊是名島においても井戸水は上述した両島と同様に海水の影響を受け、電気伝導度、Cl⁻とも高い値を示している。また、人為的な汚染も考えられ、硝酸性窒素の値も大きい。なお、伊是名島では伊是名地区に比べ諸見地区の方が海水による影響が大きく現れた (Cl⁻で、伊是名地区：76mg/l、諸見地区：273mg/l)。

このように、離島では井戸水は海水による影響のほかに、人為的な水質汚染による衛生上の問題も大きく、利用上大きな制約を受ける。なお、渡名喜島では役場で各戸井戸水の塩素消毒を月3回実施している。

雨水は、測定した4例の範囲では、ろ過処理の差異によらずほぼ同程度の値を示し、井戸水に比べ pH が若干低いものの良質といえる。

表-4.3 井戸水・雨水の水質分析結果

項目	単位	渡名喜島		北大東島	伊是名島	
		試掘井 源水 (地下水)	井戸 (地下水)	試掘井 源水 (地下水)	井戸 (地下水)	貯留槽 (雨水)
分析年・月	昭年月	52. 2, 3	51.10	54. 3	59. 7	59. 7
サンプル数	本	3	1	2	4	4
pH		8.4	—	7.0	6.3	5.4
アンモニア性 N	mg/ℓ	1本検出	検出	1本検出	—	—
亜硝酸性 N	〃	〃	〃	不検出	—	—
硝酸性 N	〃	0.3	—	0.1以下	6.6	0.5
KMnO ₄ 消費量	〃	10.5	—	9.5	3.1	1.8
濁度	度	—	—	—	0.1	0.3
塩素イオン	mg/ℓ	219	160	200	176	6.5
電気伝導度	μS/cm	—	—	—	1061	106
硬度 (as CaCO ₃)	mg/ℓ	154	640	404	—	—

- 注1) 伊是名島の硝酸性 N、KMnO₄ 消費量はそれぞれ NO₃⁻、CODより換算
 2) 試掘井は、沖縄県企画調整部：昭和52年度渡名喜村地下水試掘調査報告書(1978-2)、昭和53年度北大東島地下水試掘調査報告書(1979-3)、渡名喜島の井戸は村役場資料によった

渡名喜・北大東島で主たる生活用水に対する利用者の水質評価の回答構成を図-4.11に示す。渡名喜島の井戸水は味に対する評価が劣る。両島の井戸水と雨水の比較では、「臭い、色」について雨水の方が「少し気になる」までを含めた悪い側の回答割合は若干高い。この原因としては、貯留槽の容量が大きく長期間雨水が滞留すること、収集屋根面はトタン葺きが多く、かつその塗装が行われることなどが考えられる。また北大東島の場合、雨水貯留槽を利用してきたことによる衛生上の危惧は、78件中、69.2%がこれまでに「有る」と回答している。

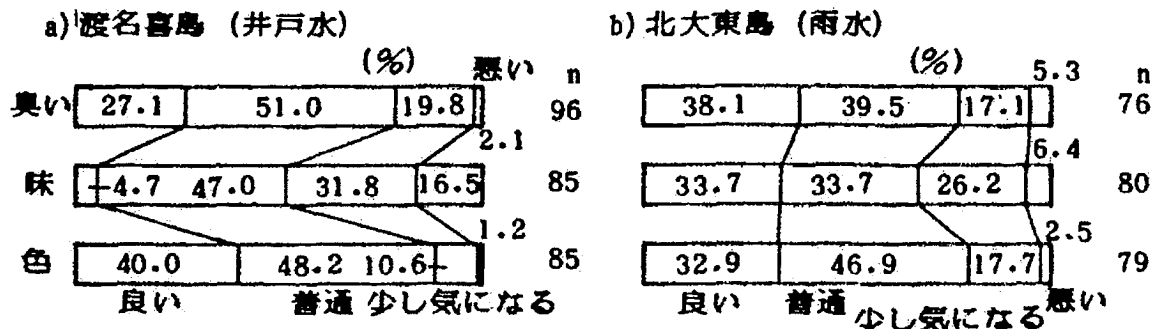


図-4.11 水質の知覚的評価

4.4 水の使われ方と使用意識

渡名喜・北大東島について、世帯の属性、諸設備の所有状況、水の使用頻度および水の使用意識などをアイテム・カテゴリーとして、相互の関連を把握するため数量化理論第Ⅲ類によって分析を進めたが、始めに、表-4.4に示したアイテム・カテゴリーとサンプル数をもとに、若干の項目について両島の差異を述べておく。

設備については、風呂（浴槽）を所有していない家庭が両島とも比較的多いが、代わりにシャワー設備だけを有している家庭がアンケート回答総数の中で、渡名喜島：7.1%、北大東島：18.6%ある。渡名喜島では風呂・シャワー設備のいずれも所有していない家庭も31.6%と多いが、太陽熱を利用した共同浴場（週に4日開場）があることも影響していよう。また、同島では洗濯機を所有していない世帯も多少あり、自動車も少ない。

水の使用頻度において、「シャワー・行水日数」は入浴をシャワー・行水で済ませる場合を示しており、北大東島の方が1週間に6、7回と回答している割合が高い。また、節水意識は北大東島の方が高く、水量的に井戸水が豊富にある渡名喜島では普通に使っている家庭が多い。

ところで、水の使用意識に関して、水を浪費していると思われる用途を「その他」を含め提示した9用途の中から複数回答によって求めた結果によれば、第1～3番目までの回答割合の高い用途は、渡名喜島の場合、洗濯：33.7%、台所：25.5%、風呂・行水：22.4%、北大東島の場合、洗濯：30.5%、風呂・行水：21.2%、台所：20.7%となる。今後節水する場合、その可能な用途についても両島とも第1に洗濯を挙げている。また北大東島では、早魃

が続いたとき節水を開始する雨水貯留量の回答構成は、「満水の時と変わらない：9.7%，1～2割：9.7%，3～4割：20.8%，5～6割：41.7%，7～8割：12.5%，9割以上：9.6%」となり、貯留槽内水量が半分程度になると節水を開始する家庭の多いことがわかる。さらに、貯留槽内の水が無くなり困ったことの経験は69.1%が「有る」と回答しており、その時は自宅・隣家の井戸あるいは共同の湧水施設を利用することが多い。

表-4.4 アイテム・カテゴリーとサンプル数の一覧

アイテム	カテゴリー	略号	n		アイテム	カテゴリー	略号	n	
			渡	北				渡	北
回答者 年齢 (才)	～29	～29才	7	15	シャワー 行水日数 (夏) (日/週)	0	0シャワ	36	26
	30～39	～39才	9	17		1～3	～3シャワ	10	8
	40～49	～49才	21	20		4, 5	～5シャワ	9	4
	50～59	～59才	23	15		6, 7	～7シャワ	25	38
	60～	60～才	20	9					
世帯人員 (人)	～2	2人	42	27	洗濯日数 (夏) (回/週)	～3	～3洗	9	19
	3	3人	12	12		4, 5	～5洗	12	11
	4	4人	10	12		6, 7	～7洗	39	33
	5	5人	8	10		8～14	～14洗	10	5
	6～	6～人	8	15		15～	15～洗	2	8
					洗濯機なし	洗 無	8	0	
幼児	いる	幼 有	2	13	洗濯の すすぎ方	ためすぎ	す ○	31	55
	いない	幼 無	78	63		まちまち	す △	8	6
年収 (万円)	～100	～100万	24	7	台所での 水の 使い方	流したまま	す ▲	33	15
	100～200	～200万	17	11		洗濯機なし	洗 無	8	0
	200～300	～300万	13	10		容器にためる	合 ○	35	43
	300～500	～500万	10	17		まちまち	合 △	12	12
	500～	500～万	1	10		流したまま	合 ▲	33	21
	不明	不明	15	21					
部屋数 (室)	～3	～3室	28	19	洗面・歯 磨時の蛇 口の閉閉	こまめに閉閉	蛇 ○	48	63
	4, 5	～5室	31	21		まちまち	蛇 △	19	8
	6～	6～室	8	12		流したまま	蛇 ▲	13	5
	不明	不明	13	24					
蛇口数 (個)	～3	～3蛇	45	25	風呂水 再使用	使用する	風 ○	11	19
	4～6	～6蛇	31	37		時々使用	風 △	6	13
	7～	7～蛇	4	14		使用しない	風 ▲	36	23
					風呂なし	風 無	27	21	
給湯設備	ボイラー	ボイラ	23	31	水使用量 の きりつめ 可能量	つめられない	つめられない	28	22
	湯沸し器	湯沸器	13	26		1割程度可能	1割つめ	19	19
	なし	給 無	44	19		2割以上可能	2割～つめ	20	26
					わからない	きりつめ?	13	9	
風呂	あり	風 有	53	55	節水意識	極力節水	節水◎	1	25
	なし	風 無	27	21		節水している	節水○	9	24
シャワー	あり	シャワ有	41	51	水使用の 考え方	多少節水	節水△	4	10
	なし	シャワ無	39	25		普通に使用	節水▲	46	14
雨水 貯留槽	あり	槽 有	58	74	水不足 問題への 関心	ふんだんに使用	節水×	20	3
	なし	槽 無	22	2		大いに節水すべき	考 ○	5	13
車	あり	車 有	2	46	井戸水 利用	ある程度節水すべき	考 △	29	29
	なし	車 無	78	30		ふんだんに使いたい	考 ▲	17	27
					あまり考えていない	考 ×	29	7	
雨水利用	あり	雨 有	57	76	水資源	有限	有 限	25	20
	なし	雨 無	23	0		ほとんど無限、無限	無 限	5	9
					わからない	資源?	50	47	
入浴日数 (夏) (日/週)	～5	～5浴	21	16	水不足 問題への 関心	大変ある	関 ○	24	28
	6, 7	～7浴	32	39		少しある	関 △	30	27
	風呂なし	風 無	27	21		ほとんど、全くない	関 ▲	6	3
					わからない	関 ?	20	18	

注1) 渡：渡名喜島，北：北大東島
 2) まちまち：それぞれの水使用行為が「どちらともいえない」を意味する

数量化理論第Ⅲ類の分析結果として、最大および第2番目に大きい固有値に対応する固有ベクトル要素を、第Ⅰ軸、第Ⅱ軸として2次元平面上に布置した結果を図-4.12に示す。ここでは、平均：0、分散：1に基準化しており、表-4.4に示した略号で各アイテム・カテゴリーを明示し、両島の各地区分類とサンプル数は図中に示した。

これより、第Ⅰ軸では、正側に、世帯人員・部屋数・収入などの世帯属性を示すアイテムの中で規模の小さいカテゴリーグループおよび洗濯機・風呂・給湯などの設備を所有せず、井戸水を利用し雨水を利用しないカテゴリーグループが布置され、負側はその逆である。また、地域としては渡名喜島が正側に、北大東島が負側であり、さらに北大東島の中では、中野区と港・南区が若干離れる。したがって、第Ⅰ軸は住宅規模・家計・使用水源など生活基盤要素の特性を示していると解釈できる。

第Ⅱ軸では、節水意識について意識の高いカテゴリーが正側に、また井戸水を利用せず、雨水を利用し、入浴をシャワー・行水で済ませるカテゴリーグループも同様に正側にそれぞれ布置され、その逆の各カテゴリーは負側に布置される。さらに水の使われ方で、洗濯機によるすすぎ、洗顔時の給水栓の開閉、台所での食器・野菜洗浄などで、使用水量が少なくなるように種々留意して使っているカテゴリーグループは正側に布置され、節水意識の高いグループと対応している。したがって、第Ⅱ軸は節水意識を示す軸と解釈できる。地区では、

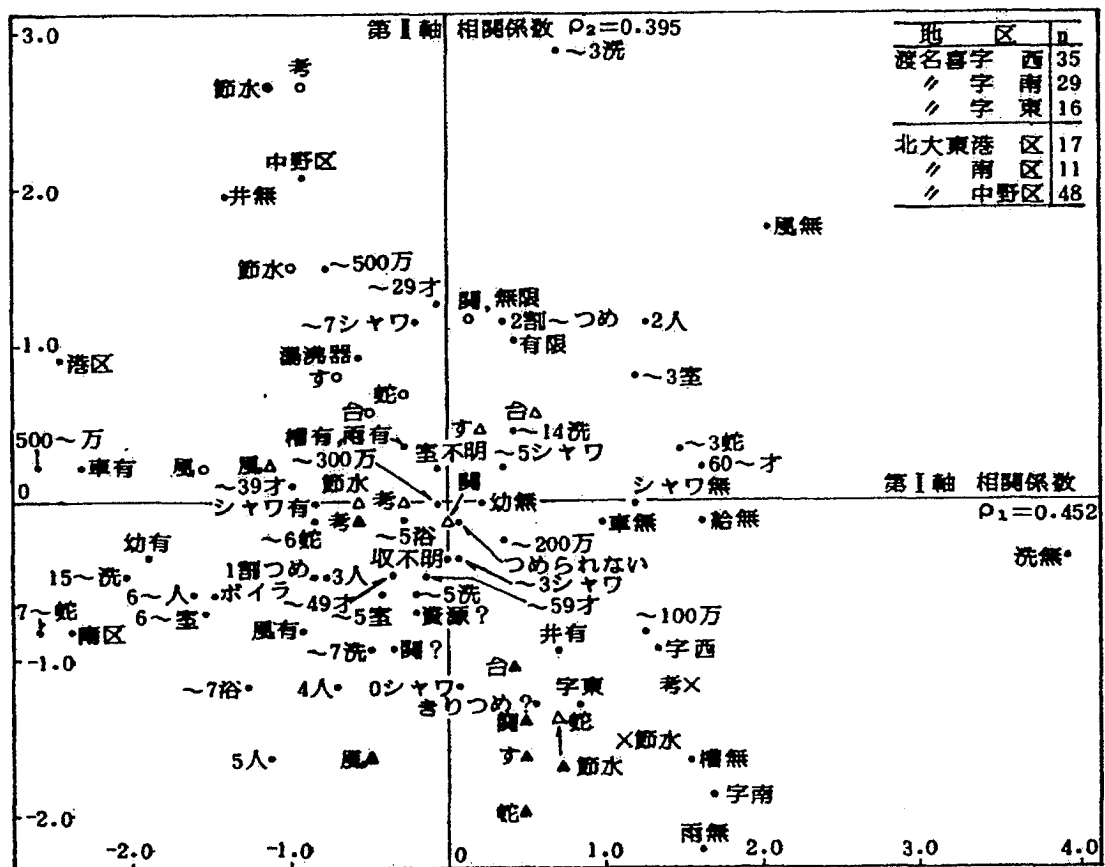


図-4.12 数量化理論第Ⅲ類によるアイテム・カテゴリー

北大東島の中野区，次いで港区の意識が高く，住宅・世帯規模の大きい南区では入浴日数も多く普通に使っている。渡名喜島では3字はほぼまとまって布置され，節水意識は低い。なお，水不足問題の関心の高さは節水意識レベルと対応するが，水資源について「有限」と「無限」と考えるグループの間には，節水意識に関してそれほどの差異はみられない。また，広域的な水資源問題に関して，「わからない」とするグループは節水意識が低い。今後の節水の可能性についても節水意識の高いグループの方が「2割以上」と回答し，現状の使用可能量の多寡とは必ずしも対応していない。

4.5 雨水利用施設の適正規模の検討

前節までは主に雨水の利用実態調査の分析結果を示したが，さらに，雨水利用の依存度が高い北大東島について，雨水の利用可能量，収集面積と雨水貯留槽の適正規模などの関連を明らかにするため，調査結果および気象データを用い，シミュレーション手法により検討を行った。

4.5.1 シミュレーションの算定条件

雨水利用に関するシミュレーションを行う上で考慮すべき要素は4項目にまとめられる。以下に4項目に関する本シミュレーションの算定条件を示す。

1) 降雨パターン:北大東島から南方へ約12km離れた南大東島の昭和50年7月から昭和60年6月までの過去10年間の日降雨量(南大東島地方気象台気象月報)を用いた。表-4.5に同期間の日降雨量の度数分布を，表-4.6に無降雨日数の度数分布をそれぞれ示す。10年間の日平均降雨量は4.49mm，年平均降雨量は1640mmであった。なお，日降雨量データの中で，0.5mm未満のものは「降雨あり」と記録されているが，本算定では0mmとして無降雨

表-4.5 日降雨量の度数分布

降雨量 (mm)	日数	降雨量 (mm)	日数	降雨量 (mm)	日数	降雨量 (mm)	日数
0	2330	~ 20	12	~ 40	2	~ 80	1
~ 1	328	~ 21	8	~ 42	10	~ 85	1
~ 2	153	~ 22	10	~ 44	7	~ 90	2
~ 3	97	~ 23	15	~ 46	6	~ 95	5
~ 4	72	~ 24	6	~ 48	5	~ 100	3
~ 5	66	~ 25	7	~ 50	8	~ 105	3
~ 6	49	~ 26	6	~ 52	4	~ 110	4
~ 7	53	~ 27	6	~ 54	5	~ 115	4
~ 8	37	~ 28	12	~ 56	9	~ 120	1
~ 9	24	~ 29	4	~ 58	2	~ 125	0
~ 10	29	~ 30	2	~ 60	2	~ 130	2
~ 11	30	~ 31	11	~ 62	4	~ 135	1
~ 12	17	~ 32	2	~ 64	6	~ 140	0
~ 13	23	~ 33	6	~ 66	4	~ 145	0
~ 14	22	~ 34	6	~ 68	1	~ 150	1
~ 15	22	~ 35	4	~ 70	2	~ 155	2
~ 16	11	~ 36	6	~ 72	1	~ 160	0
~ 17	13	~ 37	6	~ 74	1	~ 165	0
~ 18	10	~ 38	5	~ 76	0	~ 170	0
~ 19	16	~ 39	6	~ 78	1	~ 175	0

表-4.6 無降雨日数の度数分布

無降雨日数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
度数	707	187	136	65	57	38	29	20	17	22	7	7
無降雨日数	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23~
度数	7	4	4	2	4	2	1	0	3	1	2	0

日とした。0.5mm以上の降雨量は屋根水平投影面を収集面として、そこに降る全量を収集するものとした^{注2)}。

2) 雨水貯留槽容量：同島の各住宅のアンケート調査の記入値を有効容量として用いた。

3) 雨水収集面積：各住宅の母屋屋根面全体を雨水収集面、収集面積を母屋屋根水平投影面積としたが、屋根水平投影面積の実測データが限られているため、得られているデータから求めた母屋の延床面積と屋根水平投影面積の回帰式を用い、同島の各住宅における屋根水平投影面積を算定した。回帰式は図-4.13に示す渡名喜・北大東・伊是名の各島で実測した母屋の延床面積と屋根水平投影面積の関係から求めた。

4) 雨水利用量：アンケート調査結果より、節水行為のある住宅が確認されているため、節水率0, 10, 20, 30%の4段階について、各住宅1日あたりの雨水利用可能量をシミュレーションにより算定した。節水は、雨水貯留槽の残量が50%以下で開始するものとした。

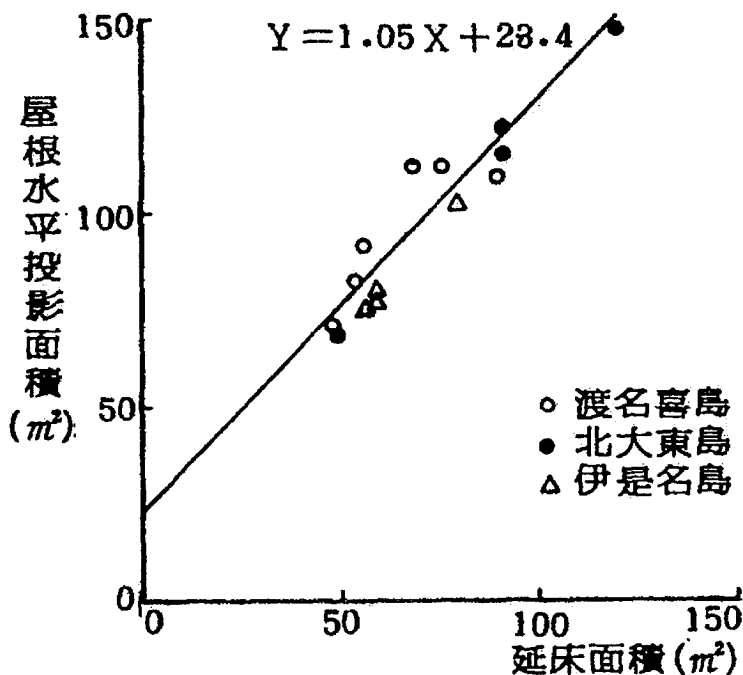


図-4.13 延床面積と屋根水平投影面積

4.5.2 シミュレーションの方法

シミュレーションは、既往の研究³⁾⁴⁾による算定法を参考に以下の手順によった。なお、参考とした算定法以外にも多くの方法⁹⁾が報告されているが、詳細な条件はそれぞれ異なるものの、基本的にはほぼ同様な式を用いている。

算定開始n日目の貯留槽の残量 $t_n(m^3)$ は次式となる、

$$t_n = t_{n-1} + S_f \cdot R_a / 1000 - W_d / 1000$$

ただし、 S_f : 雨水収集面積 (m²)

R_a : n日目の降雨量 (mm)

W_d : 雨水利用可能量 (l)

貯留槽容量 $T_a(m^3)$ を t_n が越えた場合は、

$$t_n = T_a$$

として計算を続行し、シミュレーション対象期間中をとおして $t_n > 0$ の場合は、さらに W_d を増加させて、再度シミュレーションを行う。 $t_n \leq 0$ の条件において計算を打ち切り、 $t_n = 0$ の場合はそのときの W_d を、 $t_n < 0$ の場合は前段階の W_d をそれぞれ対象住宅の雨水利用可能量とする。

雨水利用可能量の初期値は 1 l/d とし、1 l を増分として算定したが、雨水利用可能量が 100 l/d 未満のものについては、0.1 l を増分として再度算定した。貯留槽内の初期雨水量は貯留槽容量の 20%^{注3)} とした。

4.5.3 雨水利用可能量の算定結果

北大東島について延床面積および貯留槽容量の各値が明らかになっている44戸について雨水利用可能量を算定した。なお、調査結果の貯留槽容量は有効容量とし、以下のシミュレーション結果も同様に扱う。図-4.14に、1戸・1日あたりの雨水利用可能量の度数分布を示す。図より、1日に600~700l利用可能な住宅が一番多いことがわかる。図-4.15に1日の雨水利用可能量と世帯人員および貯留槽容量の関係をそれぞれ示す。1日の雨水利用可能量と世帯人員の間にはやや関連がみられ、世帯人員が多い住宅では雨水利用可能量も多くなる傾向を示す。また、貯留槽容量と

はかなり強い相関がみられるが、収集面積が制約となり、貯留槽容量の増加に対し雨水利用可能量は比例的には増加しない。すなわち、北大東島の場合、所有している貯留槽容量の大きさに対し、収集面積が必ずしも対応しているとはいえない。

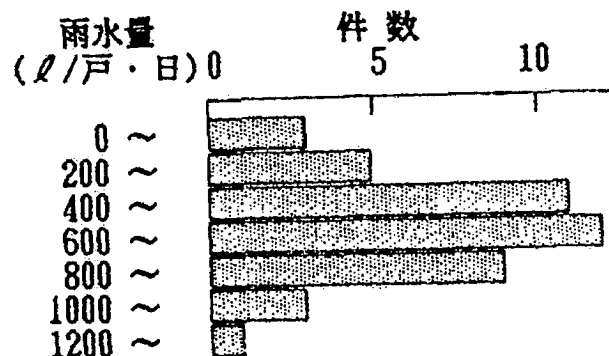


図-4.14 雨水利用可能量の度数分布

4.5.4 収集面積と貯留槽容量の関係

前述のように雨水利用施設の規模は、

- 1) 降雨パターン
- 2) 雨水貯留槽容量
- 3) 雨水収集面積
- 4) 雨水利用量

の4要因によって決定される。ここで、1)は前述した過去10年間のデータを用い、4)の値をある一定値に固定して、2)と3)の関係を求めておけば、北大東島において任意な雨水利用量を設定した場合の2)と3)の適切な値は、固定値に対する任意な雨水利用量の比率を、既に雨水利用可能量を固定して求めている2)と3)の各値に乗じて容易に算定できる。

シミュレーションでは雨水利用可能量を100 l/戸・dとして、収集面積を変化させ、その値に対応する必要貯留槽容量の算定を行った。算定手順は前述した手順と同様であるが、シミュレーション対象期間をとおして、 $t_n > 0$ の場合には T_a を減少させ、再度シミュレーションを行った。 $t_n \leq 0$ の条件で計算を打ち切り、 $t_n = 0$ の場合は、そのときの T_a を、 $T_a < 0$ の場合は、前段階の T_a をその収集面積における必要な貯留槽容量とした。

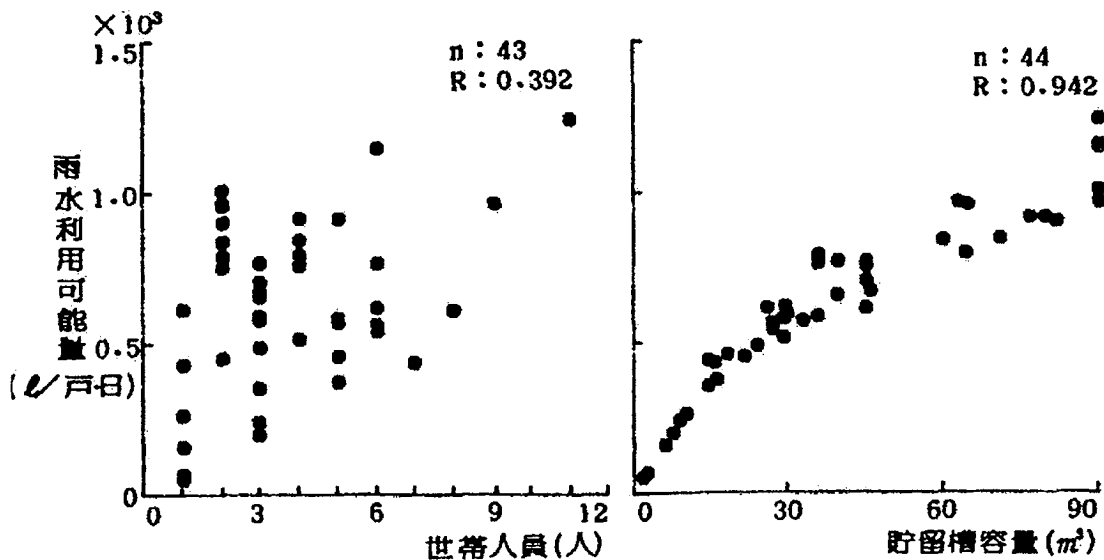


図-4.15 雨水利用可能量と世帯人員および貯留槽容量

図-4.16に節水率を変化させたときの算定結果を示す。節水率は、アンケート調査結果を参考に、貯留槽の残量が50%以下になったとき節水を開始するものとして、それまで使用してきた水量に対する節水割合を示している。図より、いずれの節水率においても収集面積が22~25m²の範囲を境にして、それ以下では必要な貯留槽容量は急激に増加し、また、それ以上では多少収集面積が大きくなっても貯留槽容量はそれほど減少しない。したがって、収集面積と貯留槽容量の規模について効率的なバランスを考えるなら、収集面積22~25m²の範囲にある変曲点付近で両者を決定することが妥当である。図中に、変曲点における貯留槽容量に対する収集面積の比率を各節水率について示す。また併せて、その規模における10年間の雨水の有効利用率および節水日数割合を示す。変曲点における施設規模の比率は節水率が高くなれば大きくなる傾向を示すが、約2m²/m³と考えることができ、雨水利用量を変化させても変らない。節水率が大きくなると有効利用率が減少し、節水日数割合が増加するのは、設定した雨水利用量に対し、施設規模が小さくなるためである。

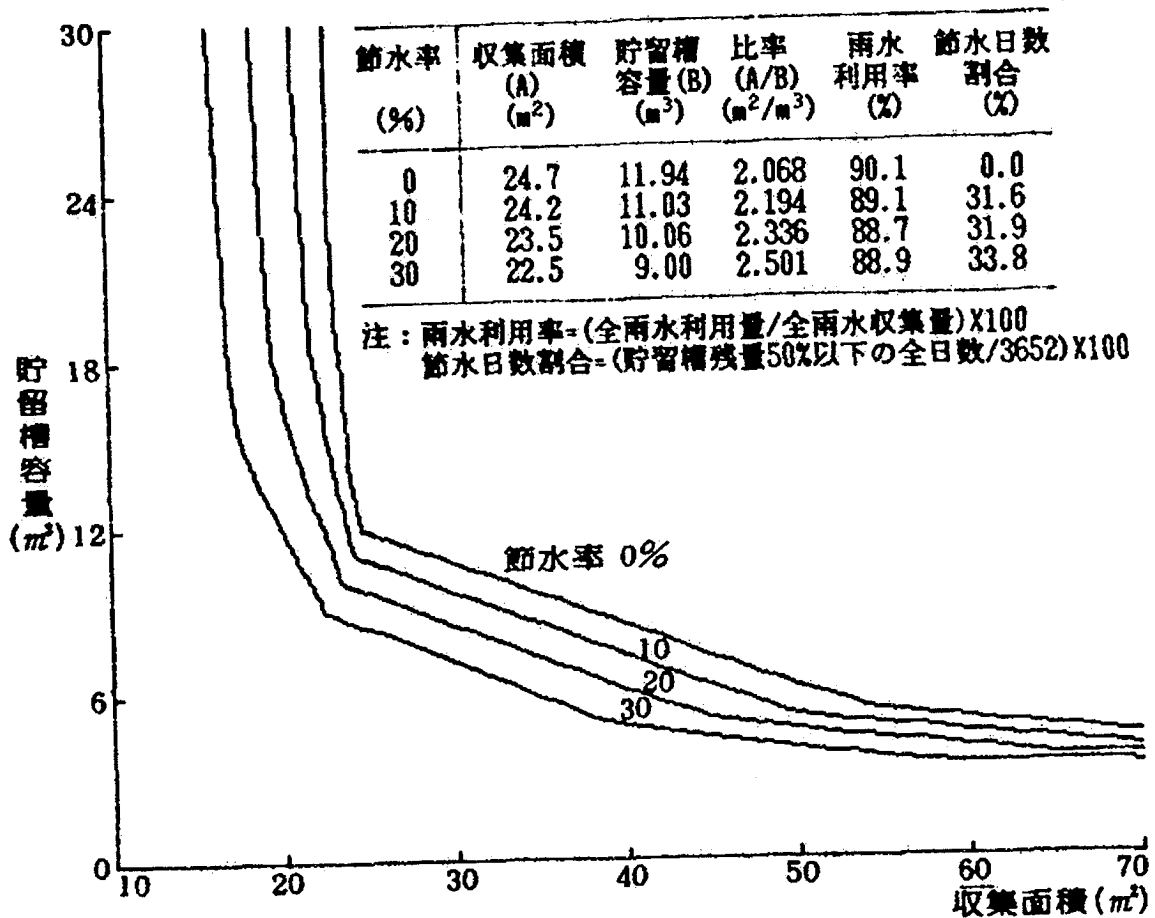


図-4.16 雨水収集面と雨水貯留槽容量の関係 (雨水利用可能量100l/戸・日の場合)

図-4.17に北大東島の調査結果として、各住宅の貯留槽容量に対する収集面積の比率の分布を示す。ただし、収集面積は前述した図-4.13の回帰式によって求めた。この分布より、長年の経験と住宅事情により造られた各住宅の貯留槽容量に対する収集面積の比率は、シミュレーションから適正と考えられる比率 $2\text{m}^2/\text{m}^3$ を中心とする範囲に件数の多いことがわかる。比率 $2\text{m}^2/\text{m}^3$ 以下の住宅は、貯留槽容量に対し収集面積が不足している場合であり、この傾向は、図-4.15の雨水利用可能量と貯留槽容量の関係で規模の大きい貯留槽を有している住宅に多く認められる。なお、図-4.17で示した47件中の34件はさらに貯留槽の増設を希望しているが、貯留槽増加に対しては変曲点で示された規模比率 $2\text{m}^2/\text{m}^3$ を下回らないように収集面積を拡大させることも重要であるといえる。

4.5.5 離島・都市型雨水利用システムの特徴

前述の、規模比率を都市域の雨水利用システムについて算出した結果を図-4.18に示す。

規模比率を算出した雨水収集面積と雨水貯留槽容量は主に、科学技術庁(当時)資源調査会の「雨水利用アンケート調査集計結果」⁹⁾を用いた。図より、規模比率は5から10を中心とする分布をなしており、雨水収集面積に対して雨水貯留槽容量が北大東島に比べて3分の1程度であることがわかる。北大東島の年平均降水量が1640mmとほぼ日本の平均降水量であることを考えると、科学技術庁の調査対象に住宅は含まれていないことを考慮しても、都市型雨水利用システムの雨水収集面積に対する貯留槽の容量は離島型雨水利用システムに比べて小さいといえる。これは、生活用水を雨水で賄う必要があり雨水貯留槽が拡大傾向にある離島型と、水道システムが完備し雨水は生活用水確保の選択肢の一つであり、無理をして雨水を利用する必要がない都市型との差が、雨水利用システムの規模比率に反映したものであり、離島型雨水利用システムと都市型雨

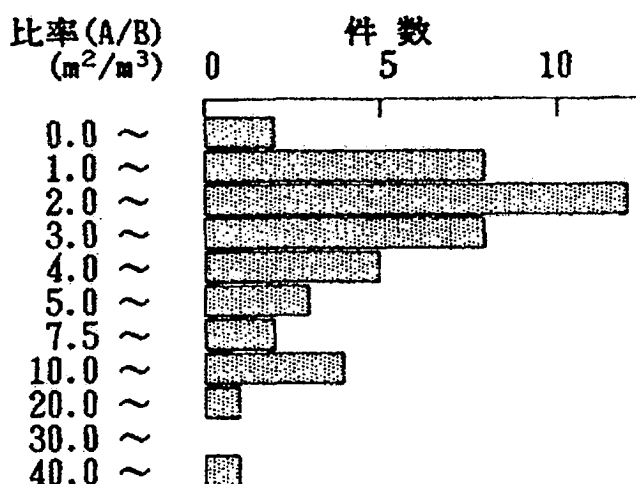


図-4.17 規模比率の度数分布
(北大東島の雨水利用施設)

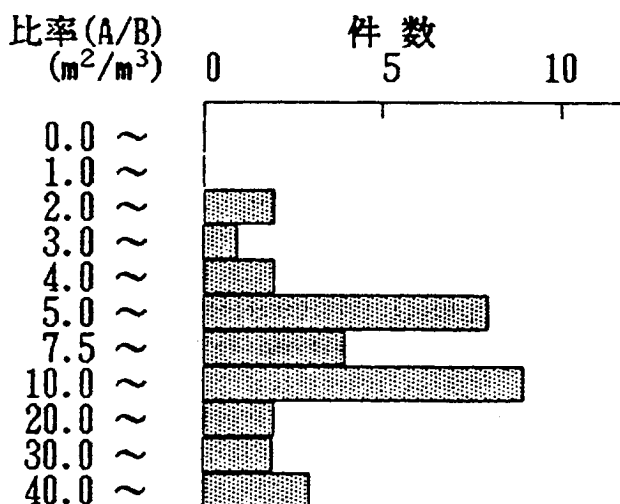


図-4.18 規模比率の度数分布
(都市域の雨水利用施設)

水利用システムは、雨水に対する基本的な考えが異なることを示している。そのため、離島型雨水利用システムにおける様々な成果を、都市型雨水利用システムに適用する場合は、慎重な考慮が必要であるといえる。

4.6 結語

本章では、沖縄県に所在する離島を対象に、住宅の水利用環境の実状、島民の生活用水の使われ方、利用意識を分析するとともに、雨水利用施設の規模についてシミュレーションによって検討を行った。これより、主に次の事項が明らかとなった。

水道の未普及な離島では、生活用水は主に井戸水、雨水に依存した自給システムをとっているが、井戸水の利用は海水による影響、人為的汚染などから制約を受けることが多い。井戸水の依存度が高い渡名喜島では雨水を飲用に使用している場合が多い。雨水の依存度が高い北大東島では、雨水利用施設の規模は大きく、水の使用意識も高くなっている。また、水の使われ方では入浴の仕方などに差がみられ、シャワー・行水などで済ませている住宅も多くなっている。また、シミュレーションによる検討結果では、北大東島の場合、1戸・1日あたり雨水利用可能量が600~700lの施設規模を有する住宅が多く、規模比率（雨水貯留槽容量に対する収集面積の比率）は約 $2\text{ m}^2/\text{m}^3$ が効率的であること示した。実際に北大東島の各住宅の施設の比率はこの値の前後が多くなっている。

最後に、都市における雨水利用設備の規模比率を示し、その値の傾向から、離島・都市型雨水利用システムの特性を述べ、離島型雨水利用システムを都市型雨水利用システムに適用する場合には慎重な考慮を要することを述べた。

注)

- 1) 北大東島では海水の淡水化装置が設置され、昭和60年4月より簡易水道による供給が開始された。昭和60年9月現在普及率70%であるが、各戸では雨水も併用している。なお、水道使用料は、基本料金1200円（基本水量 6 m^3 ）、超過料金 $300\text{ 円}/\text{m}^3$ である。
- 2) 古閑、鎌田、千田により、雨水収集面の傾斜方向および降雨時の風向・風速が雨水収集効率に影響することが報告¹¹⁾されているが、北大東島の住宅においては四方に傾斜を持つ屋根の全面を雨水収集面としているため、降雨時の風向・風速は考慮していない。
- 3) シミュレーションによる雨水利用システム適正規模算定法に関するこれまでの報告においては、初期貯留槽水量の設定を貯留槽有効容量の0%²⁾、または100%³⁾とする例がある。しかし、実際の雨水利用システム稼動時においては、一時他の水源を利用するとして、その量を初期貯留槽水量とするのが妥当と考えた。そのため、北大東島のデータを用いて初期貯留槽水量を有効容量の20、40、60、80、100%にとり予備算定を行い、各条件において雨水利用可能量は変化しないことを確認して、初期貯留槽水量の算定条件を20%とした。

第5章 住宅の用途別使用水量の予測

5.1 序

雨水利用を建築物に適用する場合には、その雨水利用施設の規模を決定しなければならないが、そのためには該当建築物における雨水利用量の予測が必要であり、予測の基礎となる用途別使用水量が必要となる。本章では、この用途別使用水量に関する検討結果を示す。

これまで、住宅の水使用要因に関する研究は、村川らの全国的調査を含め多くなされてきており¹⁾⁻⁷⁾、その中で入浴、洗濯行為などによる影響の大きさも明らかにされてきている。しかし、用途別の分析になると、測定上の困難さもあり、要因分析までには至らず用途別使用水量の平均的な取り扱いにとどまっていることが多い⁸⁾⁻¹¹⁾。また細部にわたる分析として、例えば今後増加が予想されるシャワー利用について、従来の日本的な入浴習慣との差異などは必ずしも十分に明らかにされていない。

以上の観点から、本研究では、類似した水使用機器を設備し、水使用行為においても比較的整理しやすいと考えられる集合住宅を対象に、世帯特性と用途別水使用行為の関連を明らかにするとともに、それらの用途別水使用行為から住宅の使用水量を予測する多元的な予測式を導き出し、それに基づき世帯特性による使用水量の差異を用途別に明らかにすることを目的とする。

また、この種の用途別使用水量の把握では、既報の村川らの実測方法^{11), 12)}、最近行われている各用途の配管系統にメータを取り付け実測する方法^{10), 13)}などがあるが、本研究では居住者の協力による水使用アンケート調査と各住戸既設の量水器による住戸全体使用水量の測定から、統計的な多変量解析手法を用いて、用途別使用水量推定の可能性を試みたものである。

5.2 分析データの概要

本分析では、「集合住宅の給排水負荷規準の適性化に関する研究」委員会^{註)}で実施した住宅の水使用アンケート調査と使用水量調査の原データを用いている。この調査は大別して2種類からなるが、調査内容について本分析に關係する部分を概略記述しておく

表-5.1に対象住宅団地の概要、表-5.2に調査概要を示す。対象とした2団地は住宅・都市整備公団(当時)の管理であり、Y団地は都心型、T団地は郊外型である。住戸内の設備内容は両団地とも同程度であるが、Y団地の給湯はゴミ焼却場の廃熱を利用した高温水を引き込み戸別熱交換によっている。浴槽の追い焚きはいずれも可能である。

調査1は、水の使用実態と使用水量に影響を及ぼす要因を把握することを目的に実施したものである。水使用に関する調査票の内容は大別して表-5.2に示したとおりであり、調査員がランダム抽出した住戸を訪問して主婦に記入を依頼し、後日回収した。また併せて、各戸の1週間使用水量を測定した。分析対象としたサンプル数は、Y団地：221戸、T団地：

226戸である。各世帯の主たる属性を図-5.1に示す。平均世帯人員はY団地：3.4人，T団地：3.9人，幼児（末就学児童），乳児（0～2歳）のいる世帯割合は，それぞれY団地：39.5，25.7%，T団地：28.3，9.3%である，Y団地の方が比較的若い年齢層が居住しているといえる。洗濯機は両団地とも100%普及し，自動車はY団地：56.0%，T団地：64.3%が保有している。

調査2は，各住戸の用途別水使用頻度と使用水量の関連を把握することを目的に実施したものである。1985年8月および11月の休日と平日，合計4日間につきY団地内の賃貸住宅1棟（14階建て，141戸，3・4LDK）から91戸を選定して調査を行った。以降，対象期間については各月の休日，平日と称する。

調査内容は大別して表-5.2に示したとおりであるが，ここでの特徴は，個人および世帯の生活・水使用行為，すなわち睡眠，外出，食事，大・小便，洗面（手洗いを含む），入浴（入浴，入浴・シャワー，シャワー：各行為の内容は5.1節で記述），洗濯（回数），炊事（準備，後片付け），浴槽注水・水抜き，その他排水の各行為の時間帯を記録シートに記入してもらったことにある。また，使用水量は各戸量水器を午前5時～翌日午前2時まで10分間隔に読み取った。調査票の回収率は調査1に比べかなり低い，さらに記入上不備と思われるものは除外し，表-5.3に示す世帯人員別サンプル戸数で分析を行った。平

表-5.1 対象住宅団地の概要

対象住宅	調査1		調査2
	Y団地	T団地	Y団地
調査期間	1985年10月19日～28日		1985年8月25, 26日 11月10, 11日
調査項目	家族構成など世帯の属性，用途別水使用行為の頻度，水の使われ方・水使用意識，各水使用行為の時間帯，調査期間の使用水量（Y団地；3年間の使用水量）		家族構成など世帯の属性，日常一般の水使用状況，調査期間の用途別水使用状況，調査期間の10分間使用水量，排水量・排水状況
調査戸数	250戸	250戸	91戸×4日（延364戸）
回収数	221戸	226戸	253戸
回収率	88.4%	90.4%	69.5%

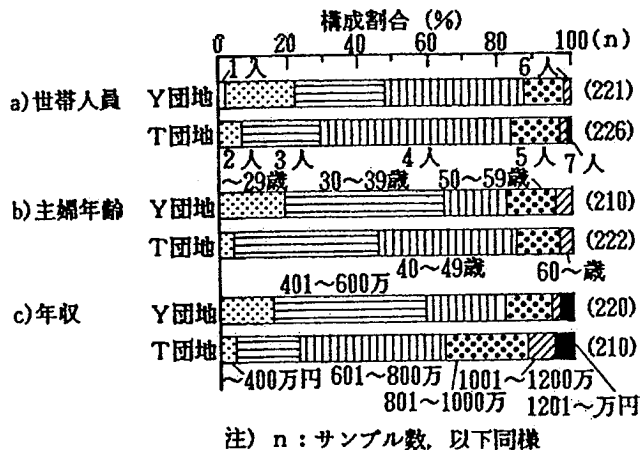


図-5.1 調査対象団地の世帯属性

表-5.2 調査概要

団地名	Y団地	T団地
所在地	東京都品川区	東京都多摩市
全住戸数	分譲：1358戸，賃貸：1297戸	分譲：1027戸，賃貸：0戸
供与開始年	1982年	1981年
衛生設備	便所：ロータンク密結型洋式便器，洗面：□，浴室：□，シャワー付，台所：□，洗濯用：Y団地；□，T団地；□，給湯機：Y団地；団地内中央給湯（住戸内熱交換器），T団地；戸別ガス給湯暖房機	

注) □：水専用栓，■：湯専用栓，□：混合栓

表-5.3 世帯人員別平均使用水量 (1/人・d)

世帯人員	Y団地				Y団地	T団地
	8月		11月		10月	1985年度
	休日	平日	休日	平日	7日平均	年間平均
2人	398 (7)	334 (10)	332 (7)	309 (8)	271 (44)	278 (34)
3人	240 (13)	266 (12)	270 (18)	249 (17)	250 (57)	235 (45)
4人	212 (21)	221 (23)	197 (19)	188 (18)	227 (85)	217 (71)
5人	216 (10)	241 (13)	210 (13)	165 (13)	230 (25)	194 (22)
全体	234 (52)	246 (58)	229 (57)	205 (56)	238 (211)	224 (172)

注1) () 内は対象戸数
注2) Y団地8月休日日の全体には6人世帯1戸を含む

均世帯人員は約3.7人となる。なお、以下の分析では、午前2～5時までを除いた21時間の水使用頻度、使用水量を1日の値としている。

5.3 使用水量の実測結果

調査2における1戸あたり平均使用水量の測定結果を図-5.2に示す。8月、11月とも朝の水使用の立ち上がりは休日の方が1時間ほど遅れて現れる。また、時間ピークは、8月は午前中に、11月は夜間に現れ顕著な差異がみられる。これは、後述するように、8月の午前中のピークは洗濯による影響が大きいためである。

また、表-5.3に世帯人員別および全体の1人1日あたり平均使用水量を調査1、2について示す。Y団地は水道局台帳より調べた1985年度の年間平均値も示した。1人1日あたり使用水量は世帯人員による影響が大きく、Y団地の8、11月の1日測定値の場合、2人世帯ではいずれも300(1/人・d)以上となっている。4人と5人世帯による差異は小さくなる。

このような住戸全体の使用水量の差異を世帯特性と水使用行為の関連から用途別に明らかにすることが本研究の目的でもあり、以降これらの変動要因について明らかにしていく。

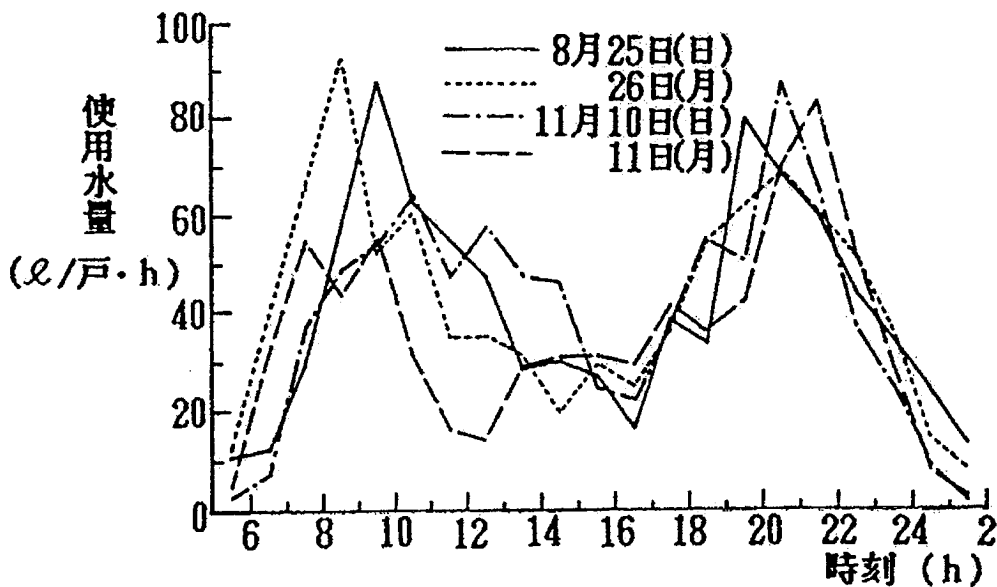


図-5.2 使用水量の経時変化

5.4 水使用要因の分析

5.4.1 水使用要因相互の関連

調査1のアンケート項目から使用水量に影響を及ぼすと考えられる項目を世帯属性、水使用頻度、水の使われ方、水使用意識の中から抽出し、水使用要因相互の関連の強弱を計量するため次式で与えられるクラマーの関連係数 $C_r^{14)}$ により検討した。

$$C_r = \sqrt{\frac{X^2/n}{\min(K, L) - 1}}$$

ただし、 X^2 ：クロス集計表により求めた X^2 検定による統計量

n ：サンプル数

K, L ：クロス表のカテゴリー数

クラマーの関連係数はクロス集計をもとに計算されるものであり、0と1の間の値を取る。 C_r は各項目のカテゴリー数により影響を受けるので、本章では比較が可能なように、選定した項目は全て3カテゴリーに統一して分析を行った。したがって、質問項目で回答肢が初めから2個のものは除外した。

表-5.4に、水使用要因と考えられる主な項目および1人1日あたり使用水量について、 C_r の関連行列として関連の強さを示すレンジの記号を示す。

これより、世帯属性の各項目間においては比較的関連のみられるケースが多い。使用水量は、「節水意識」、「世帯人員」、「風呂水の再利用」などと関連がみられる。また、各項目間では、水使用頻度の「洗濯日数・回数」は「世帯人員」、「幼児数」との関連がみられ、「入浴日数」は「シャワー日数」、「風呂水の入れ替え回数」との関連がみられる。なお、「シャワー日数」は世帯属性との関連は全般に低い。水の使われ方では、「洗濯水の再利用」が「洗濯回数」、「散水回数」などと関連がみられる。また、「風呂水の再利用」は「洗濯のすすぎ方」、「洗濯水の再利用」とも関連しており、これらの行動は節水意識とかかわっていることが推察できる。さらに水使用意識の中では、「節水による切詰め可能量」は「水道料金値上げによる減少量」と、「水資源に対する意識」は「水不足問題への関心」とそれぞれ関連していることがわかる。また、水質に関する「臭い」、「味」、「色」はそれぞれ同様な評価傾向にある。

5.4.2 使用水量の規定要因

前節の結果から使用水量に影響を及ぼす主たる要因は大略把握できるが、さらに、使用水量を各要因によって定量的に説明するため、1人1日あたり使用水量(1)を外的基準にとり数量化理論第I類を用い検討した。

分析に供したアイテムは、前述した要因相互の関連分析結果および分析過程での取捨選択によって、最終的に22項目を選択した。表-5.5に分析結果を示す。カテゴリースコアは各アイテム内でその平均が0になるように正規化している。使用水量の予測精度を示す重相関係数は、この種の分析¹⁾²⁾としては比較的高い値を示している。これより、各アイテム・カテゴリーが1人1日あたり使用水量に及ぼす量的影響はそれぞれ該当するカテゴリースコアによって知ることができる。また、スコアレンジあるいは偏相関係数によって各アイテムが使用水量に及ぼす影響の程度を把握することができ、本結果によれば、「節水意識」の影響が一番大きく、次いで「世帯人員」となっている。世帯の属性では「部屋数」が比較的影響するが、部屋数の多いほど世帯人員は多くなると考えられ、1人あたり使用水量は少なくなる。また、設備内容は各住戸ともほぼ同程度であるが、その中で、「台所流しの型式」が関連し、2槽式の方が使用水量は多くなる。「洗濯機の型式」では1槽式の方が若干使用水量は少ない。水使用頻度では、シャワー利用だけの日数も含めた「入浴日数」が一番大きく影響しており、

表-5.5 数量化理論第I類による使用水量の規定要因分析結果

アイテム	カテゴリー	n	水量	スコア	レンジ (偏相関)	アイテム	カテゴリー	n	水量	スコア	レンジ (偏相関)	
世帯属性	団地	都心型(Y団地)	154	228	-1.96	3.83	水使用頻度	洗濯回数 (夏・冬)	4回/週	28	223	-2.93
		郊外型(T団地)	162	204	1.87	(0.033)			4回/週	52	204	-13.54
	世帯人員	1, 2人	41	249	42.78	65.65		6回/週	69	215	-2.69	
		3人	157	205	15.25			(0.369)	8回/週	63	210	-3.89
	主婦年齢	~29歳	32	250	4.43	6.70		11回/週	47	209	-1.46	
		30~39歳	142	209	0.02			(0.031)	14回/週	57	234	22.55
	乳児	30~39歳	98	210	-0.45	-2.27		する	128	225	3.38	
		40~49歳	98	210	-0.45			(0.031)	時々する	174	213	0.30
	居室人数	50歳以上	44	226	-2.27	16.67		しない	14	163	-34.58	
		いる	62	229	13.40			15.22	風呂水の入れ替え (夏)	182	213	4.04
	部屋数	いない	254	213	-3.27	(0.120)			2回以上に1回 わかさない	82	210	-11.18
		年収	0人	71	211	-10.11		17.43	洗濯の すすぎ方	52	234	3.48
1人	146		214	7.32	11.33	ためすぎ どちらとも いえない	74		206	-0.54		
休日の外出	2人以上	99	221	-3.55		(0.141)	流したまま	56	209	-8.54		
	~4室	98	239	20.42	31.20	台所での 洗い方	186	221	2.79			
5室	169	205	-10.78	7.75		ためる どちらとも いえない	62	196	-4.69			
801~1000万円	49	207	-3.64		(0.225)	流したまま	69	212	-3.99			
1001万円以上	30	221	8.29	12.36	風呂の水 再利用	185	224	3.06				
不明	10	217	1.30		(0.070)	利用する 時々利用する 利用しない	132	204	-6.44			
自動車の保有	いつもする	42	219	-5.32	26.15	節水意識	106	220	5.18			
	たまにする	223	209	-3.76		(0.186)	極力節水 節水している 多少節水している 普通に使用 ふんだんに使用	78	230	3.86		
シャワー利用	ほとんどしない	51	241	20.83	13.49	節水による 切詰め 可水量	51	206	-10.40			
	ありなし	191	217	-1.85		(0.046)	1割程度可能 2割程度以上可能 不明	206	218	2.49		
洗濯機	1槽式	95	214	-6.86	9.81	水道料金に ついて	48	212	2.80			
	2槽式	221	217	2.95		(0.095)	高い 普通、安い わからない	11	233	-10.69		
台所の流し	1槽式	263	213	-5.15	30.71	サンプル総数	316	平均使用水量	216.2/人・d			
	2槽式	53	227	25.56						(0.224)	標準偏差	65
入浴日数 (夏・冬)	~5日/週	17	164	-30.89	39.74	重相関係数	0.712					
	5<~6日/週	96	203	-13.24				(0.247)				
シャワー 利用率 (夏・冬)	6<~7日/週	203	226	8.85	11.95	0.099)						
	0.0	113	213	-2.18								
シャワー 利用率 (夏・冬)	0.01~0.49	134	209	-2.85	9.10							
	0.50~1.00	69	233	9.10								

注1) 入浴日数にはシャワー単独利用日数を加えており、夏と冬の平均値。洗濯回数は夏と冬の平均値
 2) シャワー利用率=シャワー単独利用日数/1週間の「入浴日数(シャワー単独利用日数を除く)+シャワー単独利用日数」

毎日入浴する場合と1週間に5日以下では約40l/人・dの差異がある。次いで影響の大きい要因として、「洗濯回数」、「水を使う掃除」、「風呂水の入れ替え回数」などが挙げられる。なお、「風呂水の入れ替え回数」でカテゴリー「わかさない」は、シャワー単独利用世帯が該当する。水使用意識では、既に述べたように「節水意識」の影響が大きく、「極力節水・節水している」場合と「普通・ふんだんに使っている」場合では約70l/人・dの差異がある。また、「節水による切詰め可能量」について、「切り詰められない」と回答している世帯は日常節水しており、使用水量は少ないグループに属する。

以上をまとめるなら、1人1日あたり使用水量の変動要因としては、世帯構成員の特性、入浴・洗濯回数、節水意識に関連する水使用行為を中心に分析することが重要といえる。

5.4.3 節水意識の規定要因

前々項、前項の分析から、使用水量の多寡には節水意識が大きく関係していることが明らかになった。ここで、この節水意識に関連する要因についてさらに定量的に把握するため、数量化理論第Ⅱ類によって検討を行った。前項の分析と同様に、選択する説明変数を検討した後、最終的に29項目を用い、外的基準は節水意識の3グループ(①：極力節水・節水している、②：多少節水している、③：普通・ふんだんに使っている)とした。分析結果によれば、相関比は第1根：0.316、第2根：0.230となり、第1根では3グループのうち①と③の判別がおおむね可能である。表-5.6に第1根の結果を示す。同表のカテゴリースコアは各アイテム内でその平均が0になるように正規化している。

これより、クラマーの関連係数によった結果と同様に、節水意識を有する人の水使用行為としては風呂水の再利用の有無が第一に挙げられる。なお、節水している用途としては両団地とも第一に洗濯、次いで入浴、台所の順であり、風呂水を再利用している用途は洗濯が最も多く、次いで掃除、散水となる。また、節水意識の高い主婦としては、30歳代で、世帯人員が多く、かつ乳児などがかかえ使用水量が必然的に多くなる状況の中で種々の節水努力をしている女性が想起できる。一方、20歳代の若い主婦の節水意識は低い。水使用頻度では、「入浴日数(冬)」、「水を使う掃除」などが関係しており、いずれも行為の少ない方が意識は高い。

表-5.6 数量化理論第Ⅱ類による節水意識の規定要因分析結果 (第1根)

アイテム		カテゴリー	n	スコア	レンジ (偏相関)	アイテム		カテゴリー	n	スコア	レンジ (偏相関)
世帯属性	団地	都心型 (Y団地)	150	6.32	11.96	水の使用頻度	水を扱う 掃除	する 時々する	127 176 15	-0.91 -2.57 22.42	24.98 (0.150)
		郊外型 (T団地)	168	-5.64	(0.126)			散水	する 時々する しない	155 124 39	3.15 -2.44 -4.77
	世帯人員	1. 2人	42	-0.81	12.51 (0.125)		風呂水の 入れ替え (夏)		毎週 2回に1回以上 わかさない	184 82 52	-1.12 -2.61 -0.15
		3人	67	-0.23				入浴の 時間帯	まとまった時間帯 どちらとも いえない	109 93 116	-0.67 3.46 -2.14
	4人	155	-3.00	洗濯の まとめ洗い (夏)	する どちらとも いえない		216 74 28		2.16 -2.98 -8.81	10.97 (0.099)	
	5人以上	54	9.52		洗濯の すすぎ方		ためすぎ どちらとも いえない 流したまま	74 55 189	7.11 -4.73 -1.41	11.84 (0.116)	
	主婦年齢	~29歳	31	-21.30			27.01 (0.208)	台所での 洗い方	ためる どちらとも いえない 流したまま	62 69 187	7.10 -1.38 -1.84
		30~39歳	144	5.71	風呂の水 再利用				利用する 時々利用する 利用しない	135 105 78	9.93 -0.42 -16.62
	40~49歳	99	-0.58	3.67 (0.038)			洗濯の水の 洗濯への 再利用	利用する 時々利用する 利用しない	143 50 125	3.07 8.38 -6.86	15.24 (0.160)
	50歳以上	44	-2.39		10.20 (0.115)			ロータンク の水量調節	している していない	31 287	11.49 -1.24
	乳児	いる	59	2.99			10.97 (0.072)		節水による 切詰め 可能量	切詰められない 1割程度可能 2割程度以上可能 不明	53 205 50 10
		いない	259	-0.68	料金額上げ (50%) による使用 水量の変化			とても減る (50%) 減る 多少減る 変わらない わからない		33 110 107 47 21	8.84 -5.04 -2.57 7.84 8.06
	部屋数	~4室	94	-3.55			10.97 (0.072)	水道料金に ついて	高い 普通、安い わからない	244 60 14	-1.72 7.13 -0.50
		5室以上	170 54	-0.08 6.42	水資源に ついて				無限、 ある程度有限 有限 わからない	197 91 30	1.74 4.36 -24.65
年収	~400万円	28	4.98	10.20 (0.115)		洗濯回数 (夏・冬)	4 < ~ <= 4回 / 週	27	0.55	9.59 (0.095)	
	401~600万円	93	-4.54		5 < ~ <= 6回 / 週		54	1.24			
601~800万円	103	2.97	27.01 (0.208)	6 < ~ <= 8回 / 週	72	5.15					
	801~1000万円	54		3.24	8 < ~ <= 11回 / 週	62	-1.08				
1001万円以上	30	-5.22	3.67 (0.038)	11 < ~ <= 14回 / 週	48	-4.44					
不明	10	-4.10		14回 / 週 <	55	-3.15					
湧水経験	あり	42	2.83	3.26 (0.031)	シャワー 利用率 (夏)	0.0	117	3.38	3.97 (0.036)		
	なし	276	-0.43			0.01~0.49	48	-5.41			
休日の外出	いつもする	42	3.15	6.51 (0.048)	シャワー 利用率(冬)	0.0	279	0.49	3.97 (0.036)		
	たまにする	225	0.17			0.01~1.00	153	-0.88			
ほとんどしない、 しない	51	-3.36	2.72 (0.052)	入浴回数 (夏)	~ <= 6日 / 週	10	-0.57	0.59 (0.003)			
	1~4日	61			2.72	7日 / 週	308		0.02		
5日以上	166	-1.77	4.49 (0.052)	入浴回数 (冬)	~ <= 4日 / 週	76	9.18	19.33 (0.164)			
	192	3.15			5. 6日 / 週	54	-10.14				
126	-4.80	7.95 (0.108)	188	-0.80							
自動車	あり			192	3.15	117	3.38	8.79 (0.082)			
	なし	126	-4.80	48	-5.41						
人浴回数 (夏)	~ <= 6日 / 週	10	-0.57	117	3.38	8.79 (0.082)					
	7日 / 週	308	0.02		48		-5.41				
人浴回数 (冬)	~ <= 4日 / 週	76	9.18	153	-0.88	3.97 (0.036)					
	5. 6日 / 週	54	-10.14		279		0.49				
188	-0.80	117	3.38	153	-0.88						
シャワー 利用率 (夏)	0.0		117		3.38	153	-0.88				
	0.01~0.49	48	-5.41	153	-0.88						
0.50~1.00	153	-0.88	279		0.49						
シャワー 利用率(冬)	0.0	279		0.49	39	-3.48					
	0.01~1.00	39	-3.48								
洗濯回数 (夏・冬)	4 < ~ <= 4回 / 週	27	0.55	27	0.55	9.59 (0.095)					
	5 < ~ <= 6回 / 週	54	1.24								
6 < ~ <= 8回 / 週	72	5.15	72	5.15							
8 < ~ <= 11回 / 週	62	-1.08									
11 < ~ <= 14回 / 週	48	-4.44	48	-4.44							
14回 / 週 <	55	-3.15									

注1) 入浴回数には、シャワー単独利用日数を加えている
 注2) シャワー利用率、洗濯回数は表-5.5の注)を参照

5.5 用途別使用水量の予測

前節で使用水量を規定する要因について明らかにしたが、さらに使用水量を精度よく予測するためには各用途での水使用頻度と使用水量の関係を明らかにしておく必要がある。本節では調査2の結果をもとに検討を進める。

5.5.1 用途別水使用頻度

アンケートの水使用行為記録結果からまとめた各用途別水使用頻度の経時変化を図-5.3に示す。同図は、1住戸の平均頻度として、1日の合計頻度に対する1時間毎の頻度割合で示している。また、各用途別の1戸1日あたり平均水使用頻度を世帯人員別および対象住戸全体について表-5.7に示す。

ここで、風呂用途は行為を4種類に区分している。すなわち、「入浴」は浴槽を利用するがシャワーは併用しない場合、「入浴・シャワー」は浴槽とシャワーを併用する場合、「シャワー」は浴槽を使わずにシャワー単独利用の場合を示す。なお、以上の行為は各個人に直接かわるものであるが、「浴槽注水」は日本の入浴習慣では複数の世帯構成員による利用と考えられる。「洗濯」は洗濯機を使用する場合で、「洗い・すすぎ・脱水」の1工程を1回と計数している。また、台所用途の場合、本調査では炊事の準備・後片付けおよび食事行為のみを記録するようにしたが、台所流しはこれら行為による水使用以外にも使われるケースが多いと考えられる。そこで、水使用行為の用途別整理にあたって、ある時間帯で水使用行為の記録がなくても使用水量の発生がある場合は、台所用途にその頻度を加算し、全体を「台所他」として示した。したがって、「台所他」には散水・掃除等による水使用行為も含まれているものとする。

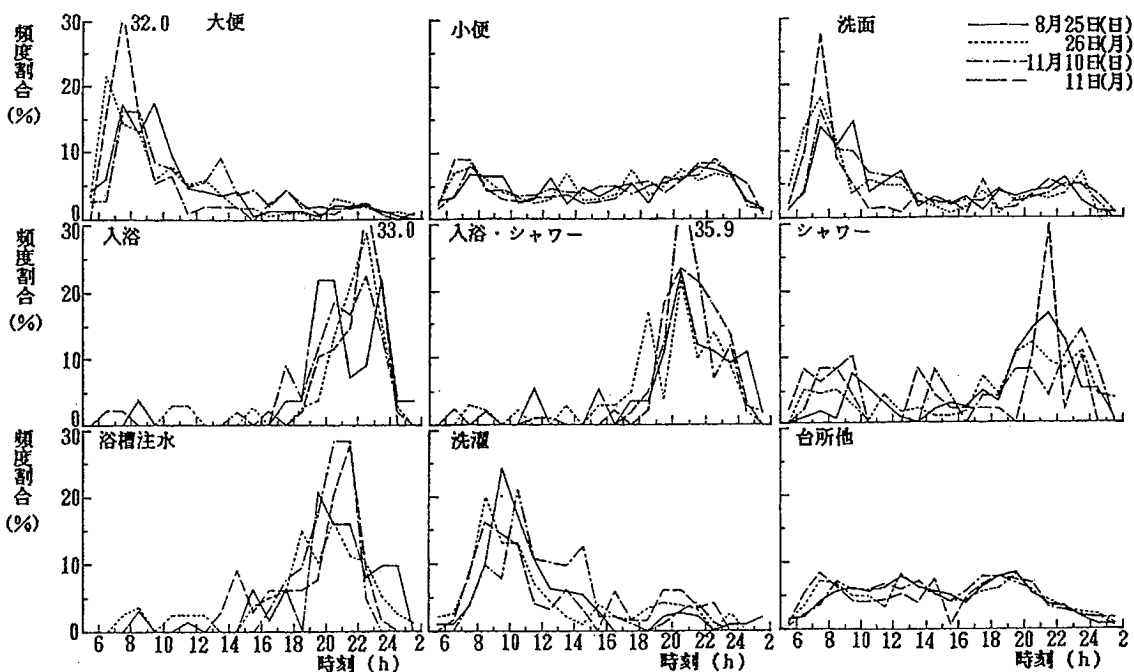


図-5.3 各用途別水使用頻度の経時変化

各用途別水使用頻度の時間変化はそれぞれ特徴をもっている。すなわち、平日では、朝の6～8時に大便の顕著なピークが現れ、次いでピークは7～8時の洗面、洗濯の8～9時に移っていく。なお、休日ではこれらのピーク出現時間帯は1時間ほど遅れ、大便、洗面のシャープなピークは緩和される。しかし、洗濯では休日のピークは平日より若干高くなる。使用頻度の多い小便、台所他では比較的緩やかな変動パターンを示し、休日の朝の水使用の立ち上がりは平日より1時間ほど遅れる。風呂用途では、入浴、入浴・シャワーが夜間に集中するのに対し、シャワーは朝、昼間にも利用が比較のみられ、また就寝前と思われる23～24時にも利用の増加が若干ある。このような用途別水使用頻度の時間変化は、既に村川ら¹¹⁾が詳細な実測データのもとに分析している。そこでは各器具の操作頻度で示しているため本結果と直接比較はできないが、1日の総頻度に対する各時間頻度の割合として可能な範囲で比較するなら、村川らの平日のピーク時の頻度割合は、洗濯：20～25%、洗面：12～20%の範囲にあり、本結果と大略類似した時間変化のパターンを示す。

表-5.7 用途別平均水使用頻度 (回/戸・d)

世帯	大便				小便				洗面			
	8月		11月		8月		11月		8月		11月	
	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日
2人	1.00	1.60	1.14	0.63	4.43	5.20	7.43	5.75	1.86	2.20	1.86	1.88
3人	1.92	2.08	2.11	1.47	9.15	7.00	8.44	7.24	3.23	3.33	2.83	2.71
4人	3.33	2.78	2.74	2.56	10.33	9.17	8.84	8.06	6.86	5.35	6.47	6.50
5人	3.10	3.62	3.15	2.54	13.00	13.69	11.69	12.23	3.90	4.77	4.85	4.77
全体	2.69	2.62	2.44	1.95	10.00	9.05	9.19	8.45	4.69	4.26	4.39	4.29
世帯	入浴				入浴・シャワー				シャワー			
	8月		11月		8月		11月		8月		11月	
	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日
2人	0.86	0.50	0.57	0.75	0.43	0.60	0.57	0.38	1.43	1.00	—	0.75
3人	0.23	0.67	1.22	0.94	1.00	0.75	0.78	0.71	1.85	1.75	0.39	0.41
4人	0.43	0.74	0.63	1.22	1.00	0.65	1.00	0.61	2.29	2.04	0.53	0.72
5人	1.00	1.08	1.54	0.38	1.80	2.31	1.69	1.77	2.30	2.15	0.77	0.15
全体	0.54	0.76	1.02	0.88	1.06	1.03	1.04	0.88	2.13	1.83	0.47	0.50
世帯	浴槽注水				洗濯				台所他			
	8月		11月		8月		11月		8月		11月	
	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日
2人	0.71	0.80	0.57	0.63	2.00	1.50	1.14	1.00	4.86	5.90	7.29	5.63
3人	0.54	0.67	0.56	0.65	1.46	1.83	1.67	1.29	8.31	7.92	7.61	7.59
4人	0.62	0.61	0.58	0.78	1.76	1.70	2.00	0.94	7.71	8.87	7.16	7.22
5人	0.80	1.31	0.85	0.46	2.20	2.15	1.77	1.38	9.20	9.31	8.77	8.92
全体	0.63	0.81	0.63	0.64	1.85	1.79	1.74	1.16	7.79	8.26	7.68	7.50

5.5.2 用途別使用水量の原単位

使用水量予測式の検討に先立ち、各戸の使用水量と用途別水使用頻度の時系列データの中から、1回の水使用行為とその時の使用水量との対応関係が明確に判断できるサンプルを抽出し、用途別に行為1回あたり平均使用水量を予測した結果を表-5.8に示す。用途によっては抽出できたサンプル数の少ないところもあるが、おおむね各用途の原単位を知ることができる。

これより、小便時の1回あたり使用水量を基準にとれば、大便では約1.5倍、洗面では約0.7倍となる。また、入浴では、シャワー併用の場合はしないときの約1.7倍となる。シャワー単独利用は、入浴・シャワー利用より多くなっているが、入浴、入浴・シャワー利用には1人あたり浴槽注水量を加算して考える必要がある。

表-5.8 行為1回あたり平均使用水量 (1/回)

行為	夏 (n)	冬 (n)	全体 (n)
大便	15.0 (31)	15.4 (39)	15.2 (70)
小便	8.8(243)	10.4(288)	9.6(531)
洗面 (手洗い)	7.3 (28)	6.9 (55)	7.0 (83)
入浴	26.7 (10)	29.0 (28)	28.4 (38)
入浴・シャワー	62.0 (8)	42.5 (19)	48.3 (27)
シャワー	68.0 (31)	60.1 (10)	66.1 (41)
浴槽注水	42.0 (1)	131.1 (12)	124.2 (13)
洗濯	142.9 (46)	136.8 (49)	139.7 (95)
台所他	18.2(337)	26.4(418)	22.8(755)

5.5.3 重回帰分析による使用水量の予測

前項で示したように、水使用行為による用途別原単位が明らかになれば、用途毎の水使用頻度を乗ずることにより使用水量の予測が可能であるが、ここでは、表-5.8で示した原単位を参考に、より多くのサンプル数に基づき信頼性の高い予測式を導き出すため、1戸1日あたり使用水量 (1/戸・d) を目的変数 (y) とし、各用途の水使用行為の頻度を説明変数 (Xi) として重回帰分析を行った。

分析では、各用途の使用水量を把握するため、初めに図-5.2で示した9行為すべてを説明変数として取り込み、次いで節水意識とかかわる水の使われ方行為も含め検討を進めた。

結果として、9変数を取り込んだ重回帰式では、変数によっては偏回帰係数に意味を持たない場合が生じた。そこで、変数間の相関などを考慮し、変数の取捨選択・統合などを行い種々の試行分析をした結果、大便、小便、洗面および入浴、入浴・シャワーをそれぞれ統合した新たな変数を作成し、統合に際し前節で述べた原単位の量的比率を乗ずることにより妥

当な重回帰式の得られることが判明した。すなわち、「大便、小便、洗面」の変数では、小便を基準として大便に1.5、洗面に0.7の係数を、「入浴、入浴・シャワー」の変数では、入浴を基準として入浴・シャワーに1.7の係数をそれぞれ負荷荷重として頻度に乘じた。また、水の使われ方としてはサンプル数の片寄りが少なく、かつ節水意識の強い規定要因となっている「風呂水の洗濯への再利用」行為の有無で代表させた。

表-5.9に使用変数の定義と平均値等を示す。重回帰分析ではサンプルを8月と11月に分け、休日と平日を合計して行った。サンプル数は8月：110、11月：113である。表-5.10に8月を例とした変数間の相関行列を示す。風呂用途に関係した3変数 X_2 、 X_3 、 X_4 相互の相関が高いが、浴槽注水には1世帯の中で複数の人の利用が考えられること、さらにシャワー単独利用の使用水量を明確にしておくことの必要性からともに説明変数として用いた。

表-5.9 使用変数の定義と平均値・標準偏差

変数名	記号	定義	8月平均値 (標準偏差)	11月平均値 (標準偏差)
大便、小便、洗面	X_1	使用頻度 (回/戸・d)	16.631 (7.822)	15.192 (6.126)
入浴、入浴・シャワー	X_2	使用頻度 (回/戸・d)	2.477 (3.169)	2.604 (2.400)
シャワー	X_3	使用頻度 (回/戸・d)	1.972 (1.852)	0.519 (0.978)
浴槽注水	X_4	使用頻度 (回/戸・d)	0.741 (0.858)	0.642 (0.693)
洗濯	X_5	使用頻度 (回/戸・d)	1.833 (1.272)	1.500 (1.436)
台所	X_6	使用頻度 (回/戸・d)	8.037 (2.605)	7.613 (2.639)
風呂水の洗濯への再利用	X_7	利用する=0 時々利用する、利用しない=1	0.722 (0.450)	0.708 (0.457)
使用水量	Y	(ℓ/戸・d)	895.1 (350.8)	805.6 (332.7)

注1) $X_1 = (\text{小便回数} \times 1.0) + (\text{大便回数} \times 1.5) + (\text{洗面回数} \times 0.7)$
 注2) $X_2 = (\text{入浴回数} \times 1.0) + (\text{入浴・シャワー回数} \times 1.7)$

表-5.10 重回帰分析の相関行列 (8月)

変数名	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1.000						
X_2	0.177	1.000					
X_3	0.275	-0.607	1.000				
X_4	-0.043	0.795	-0.611	1.000			
X_5	0.196	0.087	0.081	0.071	1.000		
X_6	0.396	0.104	0.097	0.038	0.070	1.000	
X_7	-0.088	-0.061	0.024	-0.164	0.000	-0.015	1.000
Y	0.443	0.399	0.041	0.354	0.701	0.342	-0.011

表-5.11に、重回帰分析の結果として、各変数の(標準)偏回帰係数、重相関係数および重回帰式のF値、偏回帰係数のt値を示す。いずれの重回帰式も重相関係数、F値は大きく、説明力は高いといえる。ただし、水の使われ方を導入した式IIでは、変数X₇の偏回帰係数のt値が低く、t検定結果によれば危険率約20%で有意となる。なお、他の変数は全て5%以下で有意である。

得られた重回帰式について8月と11月の差異を検討するなら、風呂用途の変数X₂、X₃、X₄の偏回帰係数に差異がみられ、いずれも11月の方が大となる。これは気候の影響により入浴行為に変化がみられ、表-5.7からわかるように、11月にはシャワーの単独利用回数が減り、浴槽利用行為が増加するものの、各行為を含めた全体の1戸1日あたり平均回数は8月に比べて約1.3回減少する。このような入浴頻度の減少は1回に体を洗う量を増加させ、また、気温が低くなった時のシャワー単独利用では体を温めるための湯量の増加をもたらすと考えられ、このため偏回帰係数が大きくなったと思われる。

また、式IとIIでは回帰定数の値に差異がみられ、式IIの値が小さいことから、式Iの回帰定数はX₁~X₄で説明しきれない節水行為など水の使われ方の影響を含んだ値としてみることができる。

表-5.11 重回帰分析の結果

		変数	回帰定数	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	重相関係数	重回帰式のF値
I	8月	偏回帰係数 標準偏回帰係数 変数のt値	34.4	7.3 0.161 2.57	24.5 0.219 2.30	45.8 0.237 3.32	119.0 0.288 3.33	165.7 0.596 11.81	24.0 0.175 3.28	—	0.868	52.28
	11月	偏回帰係数 標準偏回帰係数 変数のt値	33.6	7.8 0.143 2.92	33.2 0.241 4.29	67.4 0.194 3.84	156.9 0.322 6.23	152.8 0.653 13.55	26.7 0.215 4.52	—	0.874	56.87
II	8月	偏回帰係数 標準偏回帰係数 変数のt値	0.1	7.9 0.176 2.74	21.9 0.198 2.04	44.2 0.233 3.21	126.2 0.309 3.44	164.4 0.596 11.64	23.8 0.177 3.26	49.9 0.064 1.25	0.868	43.56
	11月	偏回帰係数 標準偏回帰係数 変数のt値	7.3	7.9 0.145 2.86	36.2 0.261 4.45	69.8 0.205 3.93	161.8 0.337 6.24	151.3 0.653 13.19	24.3 0.193 3.97	45.0 0.062 1.25	0.878	47.30

5.5.4 用途別使用水量の算定結果

前節で求めた予測式 I によって、分析対象とした住戸の 1 人 1 日あたり用途別使用水量を算定した結果を表-5.12 に示す。用途として、「便所」は大・小便の合計値。「風呂」は入浴、入浴・シャワー、シャワー、浴槽注水の合計値としてまとめた。なお、「全用途」には回帰定数による値も含んでいる。「全用途」を表-5.3 で示した実測値と比較するなら、世帯人員別平均値においても両者はおおむね近似した値となる。用途別 1 人あたり使用水量では、「風呂」、「洗濯」、「台所他」において世帯人員による差異がみられ、2 人世帯が比較的高い値を示す。

ところで、本算定値を既往の文献値^{9)~11)}と比較するなら、文献値では、便所：40~50l/人・d、洗面：10~15l/人・d の範囲をとるものが多く、本算定値に比べ若干多くなっている。ほかの用途はそれぞれ多少の差異はあるものの大略近似した値となっている。本算定例ではこのように個人に直接かかわる使用水量が少ないが、これは調査日の昼間の在宅状況などが関連していると考えられ、これらの要因を考慮した算定は次節で示す。

以上は 1 日を単位とした検討結果であるが、本予測式を 1 時間単位の算定に適用した結果を示す。

表-5.12 用途別平均使用水量 (l/人・d)

用途 世帯人員		便所	洗面	風呂	洗濯	台所他	全用途
8月 休日	2人	21.7	4.8	94.7	165.7	58.3	362
	3人	29.3	5.5	65.4	80.7	66.5	259
	4人	28.0	8.8	57.7	73.0	46.3	222
	5人	25.8	4.0	60.0	72.9	44.2	214
	全体	27.7	6.4	62.2	82.5	50.4	239
8月 平日	2人	27.8	5.6	89.2	124.3	70.8	335
	3人	24.7	5.7	69.0	101.3	63.3	276
	4人	24.4	6.8	52.8	70.3	53.2	216
	5人	28.0	4.9	75.4	71.4	44.7	231
	全体	25.9	5.9	65.9	81.0	54.0	242
11月 休日	2人	35.7	5.1	70.5	87.3	97.3	313
	3人	30.2	5.2	66.0	84.9	67.7	265
	4人	25.3	8.9	50.9	76.4	47.8	218
	5人	25.6	5.3	66.2	54.1	46.8	205
	全体	27.3	6.6	60.8	72.3	55.9	232
11月 平日	2人	26.1	5.2	97.4	76.4	75.1	297
	3人	24.5	5.0	66.8	65.9	67.5	241
	4人	23.2	9.0	61.5	36.1	48.2	186
	5人	25.0	5.2	39.1	42.3	47.6	166
	全体	24.4	6.5	58.5	48.7	55.0	202

注) 全用途には定数項の値を含んでいる

予測式 I を用い、午前 5 時から翌日午前 2 時まで 1 時間毎に算定した 1 戸あたり使用水量と実測値との相関をみた結果を表-5.13 に示す。また、算定した各用途の使用水量の時間変化を 8 月平日、11 月休日を例として図-5.4 に示す。これによれば、一部の時間帯を除き 4 日間とも比較的強い関連がみられる。したがって、1 時間区分においても本予測式によって用途別使用水量の算定がある程度可能と考えられる。図-5.4 の時間変化によれば、朝のピークは洗濯、夜のピークは風呂による影響が大きいことがわかる。

5.6 世帯特性による用途別使用水量の予測

5.6.1 算定条件

前述した予測式を用い生活スタイルを考慮した用途別使用水量を算定するには、算定の基本となる各用途の水使用頻度を世帯特性を示す主たる要因によって整理した算定条件を設定する必要がある。そこで、5.4 節で示した各要因相互の関連分析結果等をもとに、Y、T 両団地の水使用頻度から求めた。なお、各要因で平均的に整理した場合でも、調査値はサンプル数などの関係もあり往々にしてばらつくので、その場合は前後の関係を検討してから若干の修正を加えて妥当と思われる値を設定した。

表-5.13 各時間帯の使用水量予測値と実測値の相関係数

時刻	8 月		11 月	
	休日	平日	休日	平日
5	0.961	0.903	0.613	0.725
6	0.974	0.695	0.797	0.603
7	0.923	0.773	0.912	0.622
8	0.913	0.894	0.910	0.694
9	0.852	0.893	0.878	0.743
10	0.871	0.949	0.827	0.799
11	0.841	0.947	0.559	0.943
12	0.927	0.867	0.871	0.628
13	0.686	0.787	0.915	0.935
14	0.798	0.878	0.779	0.709
15	0.975	0.726	0.680	0.342
16	0.739	0.763	0.866	0.843
17	0.730	0.804	0.794	0.821
18	0.621	0.875	0.618	0.667
19	0.885	0.695	0.732	0.776
20	0.899	0.715	0.800	0.761
21	0.812	0.879	0.933	0.739
22	0.755	0.858	0.758	0.854
23	0.830	0.845	0.798	0.815
24	0.979	0.908	0.863	0.601
1	0.986	0.914	0.770	0.845
合計 (n)	0.900 (52)	0.827 (58)	0.878 (57)	0.864 (56)

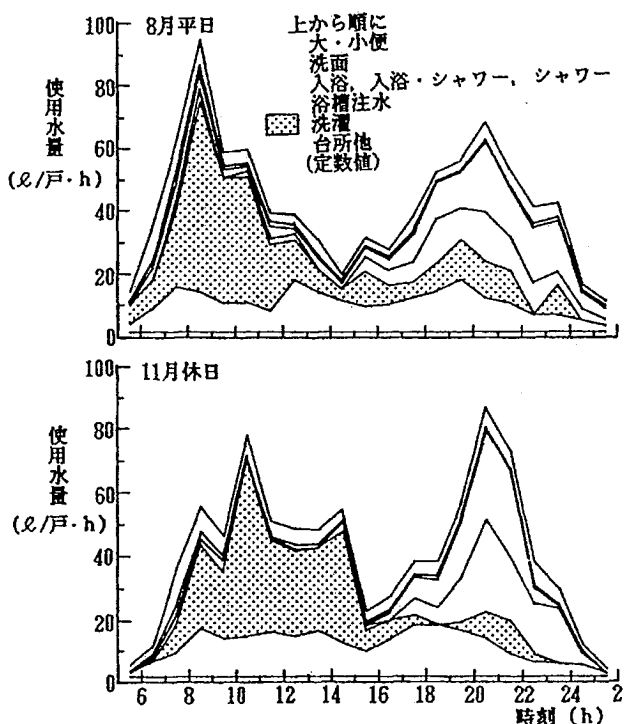


図-5.4 用途別使用水量の算定結果

表-5.14に、算定条件として世帯構成員と在宅率の関係および主たる要因で整理した各用途の水使用頻度を示す。ここで、大・小便回数は男女別に在宅率に関係するものとしたが、乳児の大・小便による便器使用はないものとして、頻度は0回とする。洗面は、表-5.7の結果から、大・小便合計回数の0.4倍とする。風呂用途は世帯人員と乳児の有無で整理したが、入浴、入浴・シャワー回数とシャワー回数の合計は1週間に7回を、浴槽注水回数は入浴および入浴・シャワーの合計回数をそれぞれ超えないものとした。

なお、入浴と入浴・シャワーは、8月は4:6、11月は5:5の割合で起こるものとする。洗濯回数は洗濯機の利用を前提として、「洗い・すすぎ・脱水」の1工程を1回とし、世帯人員と乳児の有無で整理した。台所の水使用頻度は、5.5.1項の分析結果から次のように設定した。すなわち、炊事の準備、後片付けおよび食事中の水使用行為を基本に朝、昼、夜の出現度数のパターンから判断して、1戸あたりの平均的な水使用頻度を、朝:2.5、昼:2.0、夜:3.0回とする。ただし、世帯構成による1人あたり使用水量の差異を考慮して、2、3、4、5人世帯に対しそれぞれ0.8、1.0、1.1、1.15の係数を上述した頻度に乘ずるものとする。なお、主婦がパートタイムを含め昼間外出するなんらかの職業を有している場合は昼食率を0とし、昼の台所の頻度は除外する。水掃除および散水回数は主婦年齢によって整理したが、水掃除回数はさらに昼食率で分類した。

表-5.14 使用水量の算定条件

在宅率		世帯構成			
0.8以上 0.6以上~0.8未満 0.6未満		乳児、幼児A、専業主婦、老人(無職) 幼児B、学生(小~高校生)、兼業主婦 大学生等、成人(有職)、夫(有職)			
在宅率		大便回数 (回/人・週)		小便回数 (回/人・d)	
		男性	女性	男性	女性
0.8以上 0.6以上~0.8未満 0.6未満		8.0	7.0	4.9	5.3
		7.0	6.5	4.7	4.5
		6.5	6.0	3.7	4.5
世帯人員	乳児の有無	入浴回数 (回/人・週)		シャワー回数 (回/人・週)	
		夏期	冬期	夏期	冬期
2人	なし	3.0	5.5	4.0	0.4
3人	なし	3.4	5.6	3.6	0.3
	あり	4.5	6.0	2.5	0.2
4人	なし	3.8	5.6	3.2	0.3
	あり	4.0	6.0	3.0	0.2
5人	なし	4.1	5.7	2.9	0.2
	あり	3.5	6.0	3.5	0.2
世帯人員	乳児の有無	浴槽注水回数 (回/戸・週)		洗濯回数 (回/戸・週)	
		夏期	冬期	夏期	冬期
2人	なし	2.8	3.8	6.5	5.0
3人	なし	3.4	4.2	9.5	7.0
	あり	4.5	4.5	11.0	10.0
4人	なし	3.8	4.4	10.5	8.5
	あり	4.0	4.6	14.5	13.0
5人	なし	4.1	4.7	13.0	10.0
	あり	3.5	5.4	17.0	15.0
主婦年齢	昼食率	水掃除回数 (回/戸・週)		散水回数 (回/戸・週)	
		夏期	冬期	夏期	冬期
30歳未満	0.0	2.5	2.0	4.5	2.0
	≠0.0	5.0	4.5		
30歳代	0.0	4.0	3.0	6.5	3.0
	≠0.0	4.5	3.5		
40歳代	0.0	3.0	2.5		
	≠0.0	4.5	3.5		
50歳以上	0.0	2.0	1.5	7.0	3.0
	≠0.0	4.0	3.0		

- 注1) 乳児:0~2歳、幼児A:未就園児、幼児B:幼稚・保育園児
 2) 入浴回数は入浴、入浴・シャワー回数の合計を示す
 3) 昼食率:家で昼食をとる人員/世帯人員
 4) 在宅率:1-(外出時間/24時間)

5.6.2 世帯特性による用途別使用水量の算定例

前項で示した算定条件のもとに、表-5.15 に示す世帯構成のモデル住宅について、予測式 I を用い、夏期を対象に算定した結果を図-5.5 に示す。モデル住宅 A~H の世帯構成は、結婚による 20 歳代から、子供の乳・幼児、学生、成人と成長する 3、4 人世帯の経年変化および退職後の老夫婦の 2 人世帯を想定している。なお、風呂用途では、「風呂 1、2、3」として 3 ケースを例に算定した。すなわち、「風呂 2」は表-5.14 の算定条件に基づくが、入浴行為の両極端の例として、「風呂 1」は入浴・シャワーおよび浴槽注水が 1 週間に 7 回、「風呂 3」はシャワー単独利用が 1 週間に 7 回あるとした場合である。

算定結果によれば、2 人世帯の 1 人 1 日あたり使用水量は条件によっては 300l を超えることがある。その中でも、退職して住宅での滞在時間が長くなる老夫婦世帯では、台所用途等の占める割合が高くなり、使用水量は多くなる。また、2 人世帯は入浴行為の差異による使用水量の変化が大きい。3、4 人世帯で乳児のいる場合は洗濯用途の占める割合が高く、4 人世帯で子供が 2 人とも成人し、職業をもっている場合には、1 人あたり使用水量は少なくなる。なお、本算定例では、便所：29~49l/人・d、洗面：7~13l/人・d の範囲にあり、

表-5.15 算定モデル住宅の世帯構成

世帯名称	世帯人員	世帯主年齢層	世帯構成
A	2	20歳代	夫婦 (いずれも有職)
B	3	30 "	夫婦 (専業主婦), 乳児 (男)
C	3	30 "	夫婦 (専業主婦), 幼児 A (男)
D	4	30 "	夫婦 (専業主婦), 幼児 B (男), 乳児 (女)
E	4	30 "	夫婦 (専業主婦), 幼児 B (男), 幼児 A (女)
F	4	40 "	夫婦 (兼業主婦), 学生 (男, 女)
G	4	50 "	夫婦 (兼業主婦), 成人 (男, 女; いずれも有職)
H	2	60 "	夫婦 (老人; いずれも無職)

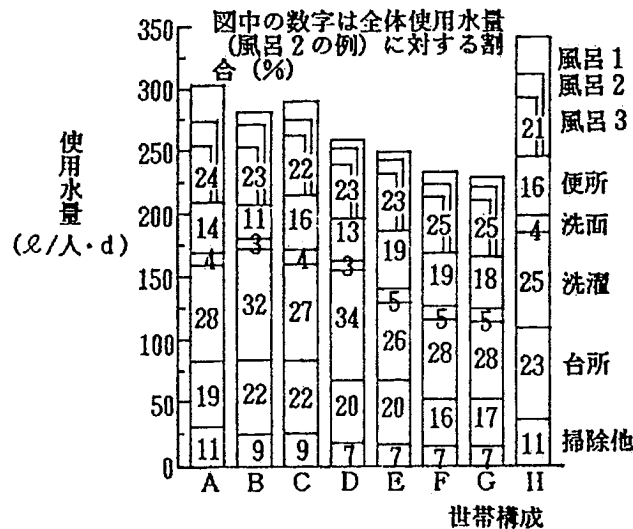


図-5.5 算定モデル住宅の予測使用水量 (8月)

5.5.4項の算定結果より多くなっている。

以上示したように、1人あたり使用水量は世帯特性によって異なり、また、風呂の入り方などによってもかなりの影響が考えられる。なお、ここでは予測式Ⅱによる結果は示さなかったが、風呂水を他用途に利用することなどによる節水効果も考える必要がある。世帯の核家族化、高齢化は住宅の水需要の増加をもたらすと思われるが、今後の水需要抑制対策を進める上で、上述のような世帯特性によった用途別水使用分析は有用な情報を与えると考えられる。

5.7 結語

本章では、2住宅団地で調査した各世帯の水の使われ方、使用水量の分析のもとに、水使用要因相互の関連および使用水量、節水意識を規定する要因を明らかにした。この結果、使用水量は世帯人員、節水意識、入浴日数、洗濯回数などの要因が比較的強く関係することを示した。また、節水意識では水の使われ方である風呂水の再利用行為との関連が強いこと、洗濯回数は世帯人員、幼児数などと関連することを示した。

このように、住宅の水需要は世帯構成員による各用途での水使用頻度、水の使われ方が影響するので、次にこれらの要因を説明変数とした重回帰分析を行い、1戸あたり使用水量を予測する重回帰式を提案し、これによって用途別使用水量も算定できることを示した。また、この予測式より風呂の入り方による使用水量の差異なども明らかにした。

以上の結果をもとに、各用途での水使用頻度を世帯特性として取り上げた世帯人員、在宅率、主婦年齢、乳児の有無、昼食率によって整理し、この算定条件のもとに、導き出した予測式を用いて世帯構成の変化による用途別使用水量の差異を明らかにした。この結果から、今後予想される世帯の核家族化、高齢化は住宅の1人あたり使用水量の増加をもたらす大きな要因となることを示した。

なお、本章で示した多元的な予測式は、将来節水などを考慮した新たな水まわり機器などが開発された場合でも、偏回帰係数の修正である程度対応できるものと考えている。さらに、偏回帰係数に節水レベルなどを想定した多段階な値の設定も考えられる。また、一つの試みとして用途別使用水量の予測を居住者の水の使われ方申告と住戸全体使用水量の測定値をもとに統計的な多変量解析手法を用いて検討したが、比較的精度の高い結果が得られたと考えている。このような予測式の導入はそのため、各種建築物で水質レベルに応じて雨水の利用用途を考慮した雨水利用システムについて考える際に必要な用途別使用水量推定に十分寄与するものと考えられる。

注)

「集合住宅の給排水負荷基準の適性化に関する研究」委員会（委員長当時明治大学教授篠原隆政）は、1985年度に住宅・都市整備公団(当時)から明治大学科学研究所へ委託された研究によって組織されたものである。

第6章 住宅における雨水利用システムの評価

6.1 序

離島等の水資源に恵まれない地域において普及・発展してきた離島型雨水利用システムについては第4章で解析したが、近年、水道設備の完備する都市域においても節水・治水対策の一環として建築物内に雨水利用システムが設置されるようになってきた。しかし、この都市型雨水利用システムが設置される建築物は、公共もしくはそれに順ずるような大型建築物¹⁾が主であり、屋根面を合計すれば最大の雨水収集面積を持つことになる個人住宅²⁾においては、いまだ実験的域を出ず日常化しているとはいえない。そのため、今後これらの住宅も含めてさらに雨水利用を普及させるには、多方面から雨水利用システムの有効性が検討され、明らかにすることが重要といえる。

しかし、雨水利用システムの既往の研究は、私的有用性を重視した雨水の水質および水量（利水）に関する内容が主であり、社会的有用性が強い都市型洪水の防止・抑制等（治水）に関しては、その防止・抑制に対する有効性を指摘する報告³⁾は多数認められるにも拘らず、雨水利用システムの使用に伴う雨水流出抑制効果を検討した事例は極めて少なく、都市型洪水防止効果等を検討した事例は見あたらない。

そこで、本章では福岡市の戸建て住宅を事例に、都市住宅の雨水利用システムの特性等を考慮した上で、同システムの雨水利用効率と都市型洪水防止効果について検討結果を記述する。

6.2 都市型雨水利用システムの特性とその評価指標

雨水利用システムは、離島・都市型ともに、雨水を貴重な水資源として認識した結果に他ならないが、離島と都市では雨水を必要とする状況は異なり、従来の離島型システムにおける経験と知識を都市型システムに応用することは重要であるが、そのまま適用することはできない。そのため、雨水利用システムを必要とする状況も含めて、離島型との比較から都市型雨水利用システムの特性を明らかにして同システムに用いる評価指標を選定する。

6.2.1 雨水利用効率の評価指標

第4章の結果をさらに考えるなら、離島においては、雨水は生活上必要不可欠な水資源であるから、少雨・渇水期間における生活用水枯渇防止上余裕ある雨水貯留とその利用効率の向上が必要となり、より大きな雨水貯留槽容量とより大きな雨水収集面が望ましく、通常は不要な容量・面積であっても生活水の常時確保を理由に容認され、さらに貴重な雨水をできるだけ多く有効に使うための工夫が要求されているといえる。そのため、離島型雨水利用システムにおいては、生活水使用量に対する雨水利用量の割合を示す雨水代替率、雨水収集量に対する雨水利用量の割合を示す雨水利用率を評価指標として用いた雨水の効率的利用に関する研究⁴⁾が多く認められる。そして、都市型雨水利用システムにおいても、これらの

指標を用いた研究⁵⁾がなされている。

都市においては、水道設備を有しており、雨水は生活上必要不可欠な水資源ではなく代替水源の一つである。そのため、雨水利用を実施する場合には、雨水をできるだけ有効に使う工夫が要求されるのは離島と同様であるが、雨水利用設備設置の効果は都市の割高な用地・建設費を考慮しながら検討する必要がある。また、都市の住宅密集度からは、雨水収集面（屋根面）の増設は望むべくもなく、設備規模の主な検討対象は雨水貯留槽容量となり、その容量も離島に比べてかなり小さなものが現実的と考えられる。そのため、都市型雨水利用システムにおいては、雨水貯留槽の利用効率を表わす指標が最も適切と考え、この指標を雨水貯留槽単位体積あたりの雨水利用量とした。以後、この量を槽雨水利用量と記述する。そこで、本研究では雨水利用効率の評価指標として比較の意味を含めて上述の3指標を用いる。

6.2.2 都市型洪水防止効果の評価指標

離島において雨は、水害を生じなければ「恵みの雨」であるが、都市における雨水の大部分は、下水道もしくは都市内河川をとおして、速やかに排除されるべき「廃棄物」である。近年の住宅団地開発等による雨水浸透面の減少は雨水流出の増大を招き、速やかな排除を不可能にし、都市型洪水⁶⁾を発生させている。そこで、雨水調整池等を設け雨水を一時貯留後、徐々に排水、浸透させるなどの処理対策をとっている。ところで、雨水を「資源」として貯留して利用することは、結果としてこの雨水調整池と同じ機構で流出を抑制することになり、都市型雨水利用システムの有用性として都市型洪水防止効果も挙げられる。

既往の文献には、この都市型洪水防止効果の評価指標が見あたらないため、都市型洪水の発生条件を明らかにし、雨水利用システムの雨水流出抑制によりその発生条件を解消できる件数をその評価指標として用いることとした。

都市型洪水の発生条件を検討した例は少ないが、平野・森山⁷⁾は、福岡市の水害と桜島・長谷川の土石流について、降雨の集中度と災害の発生との関係を考察し、災害の発生と不発生別の時間毎累加雨量プロットから、災害はある時間の雨量がある限界値を越えると発生し、雨量がある値以下では発生しないことを示した。福岡市の水害では、1977～83年に14回発生した浸水を対象に、各区役所で測定した時間雨量を用い各区で同様な傾向を得たと述べ、中央区の例では、1時間雨量が26mm未満の場合には浸水が発生せず、26mm以上では発生の可能性が生じ、30mm以上になると必ず発生することを示した。

また、都市型洪水の発生が問題になる以前から都市の水害の問題は存在しており、この場合には主に都市内河川の改修により対応し水害の発生を抑えていた。小山・藤田⁸⁾は昭和初期から30年代までに改修された都内の中小河川の場合には、暫定的に対応すべき計画降雨は1時間降水量30mmとなっていたが、現在も河川の大部分の能力がそのままであると述べている。現在の都市開発に伴う雨水浸透面の減少に起因する雨水流出の増大による都市型洪水の発生は、現状の河川雨水排除能力の増大が要求されていることであり、再び1時間降水量30mm

のレベルの降雨への対応が迫られていることを意味する。

以上の2つの事項から1時間降水量30mmは、福岡市・中央区、東京都以外の地域においても、都市型洪水型が発生する地域なら暫定的に都市型洪水を発生させる限界降水量として用いることは妥当と考える。そのため、都市型洪水の発生条件を1時間降水量30mmの発生とし、雨水利用システムの雨水流出抑制効果が及ぶと考えられる範囲について、その時間帯の全体の雨水流出量が降水量換算で30mm未満になった場合に都市型洪水防止効果が得られるものとした。そして、都市型洪水防止効果の指標は、この都市型洪水防止効果が得られた件数とした。以後、この件数を低減数と称し指標として用いる。

なお、宅地開発等に伴う雨水流出量増大対策として設けられている雨水流出抑制施設の効果の評価には、ピーク流出量および総流出量の削減率が指標として呈示されており、都市の貯留型抑制施設においては関根・天田⁹⁾が、浸透型抑制施設と一部の雨水利用を伴う貯留型抑制施設においては井端・青木¹⁰⁾が、それらの指標を用いて検討している。しかし、それらの指標は、都市型洪水防止効果に寄与すると思われる雨水流出抑制効果を示すものであり、本章で必要とする都市型洪水の防止効果を総括して示す指標とはならない。

6.3 雨水利用シミュレーションの算定条件

都市型雨水利用システムの特性等を考慮した上で、同システムの雨水有効利用状況と都市型洪水防止効果の有効性について、福岡市の戸建て住宅を想定したモデル住宅について、シミュレーションにより前述の評価指標を算定し検討する。表-6.1に、算定対象指標の定義とその内容を示す。

表-6.1 雨水利用システムの評価指標

評価指標	定義
雨水代替率 (%)	$(\text{雨水利用量} / \text{設定雨水利用量}) \times 100$
雨水利用率 (%)	$(\text{雨水利用量} / \text{雨水収集量}) \times 100$
槽雨水利用量(m ³ /m ³ ・年)	$\text{年雨水利用量} / \text{雨水貯留槽容量}$
低減数	1時間降水量30mm以上を未満にする件数
雨水利用量 (l/日)	設定雨水利用量 - 水道使用量
設定雨水利用量 (l/日)	用途別使用水量の積算値
水道使用量 (l/日)	雨水貯留槽の空の時の使用水量
雨水収集量 (l/日)	日降水量 × 屋根水平投影面積

6.3.1 福岡市における水使用調査の概要

シミュレーションの対象は福岡市の戸建て住宅を設定した。算定の基礎データは主に1989年に福岡市内に所在する戸建て・集合住宅団地のそれぞれ5団地の世帯を対象に行った水使用調査結果¹⁾を用いた。以後、これらの団地を福岡団地と記述する。

表-6.2に調査対象団地の概要を示す。調査は、住宅の水の使われ方を把握するため、表-6.3に概要を示す世帯票と個人票を用いて、1989年8月25日から10月5日にかけて各団地毎に行った。調査票は調査員があらかじめ選定した前述の各団地内の住宅を無作為に抽出後、訪問し記入を依頼、一定期間留め置き後、再度訪問して回収した。なお、世帯票は原則として主婦が記入するように依頼した。表-6.2右欄に、世帯票および個人票の回収状況を示す。有効数は一部未記入でも集計に用いられた票数を示し、有効数の()内は、入浴関連

表-6.2 調査対象団地の概要

団地名	行政区	住宅形式	建設年(昭和)	世帯数(戸)	配布数	回収数	有効数 (世帯票) (個人票)	
TA	早良区	戸建	30年代以前	810	118	116	113(76)	275(175)
NA	南区	戸建	39年~40年	949	80	72	72(56)	191(150)
OT	西区	戸建	43年~44年	617	81	77	77(64)	215(175)
SI	博多区	戸建	40年代	451	106	101	100(94)	290(266)
KD	東区	戸建	56年~	509	109	103	103(101)	299(291)
YA	西区	集合	46年~48年	1900	130	115	112(12)	238(22)
OS	中央区	集合	31年~48年	1202	130	129	129(25)	270(49)
KH	東区	集合	59年~61年	1677	102	86	86(83)	219(206)
YN	南区	集合	41年~45年	1250	130	130	121(18)	274(46)
HO	早良区	集合	46年~49年	2195	109	100	100(62)	220(137)
合計							1013(591)	2491(1517)

注) シャワー設置世帯の世帯票、個人票の数は()内に示す。

表-6.3 水使用に関するアンケート調査の内容

世帯票	世帯の属性等	家族構成、年齢構成、職業、年収 住居形式、階数、部屋数、居住年数 設備保有状況(水使用機器、家事用機器) 外出状況(時間帯、旅行日数、休日、外食)等
	渇水の影響	渇水経験の有無、渇水困窮度・記憶・影響等
	水の使用頻度 // 使われ方	炊事・洗濯・入浴・掃除・洗面・散水・洗車 の回数と水の使われ方等
	水使用の意識等	節水意識、節水用途、節水の可能性、水資源 の考え方、水不足への関心、水道料金等
個人票	個人属性	性別、年齢
	水の使用頻度 // 使われ方	入浴・シャワー・洗髪回数と時間帯 洗面・便所の水使用状況
	機器の欲求	今後希望する水関連の機器・設備

の水使用行為集計の際使用した、シャワー設置世帯とその票数である。

6.3.2 水質レベルによる雨水利用用途の設定

雨水利用用途は、水質レベルからみるなら、下位は便所から上位は飲料のレベルまで考えられるが、ここでは、便所・洗濯・入浴(シャワー、洗髪を含む)レベルまでの実用性の高い3段階について雨水利用を想定した。なお、上位のレベルでの利用は下位のレベルの用途を含むものとする。

6.3.3 モデル世帯

算定結果の汎用性も考慮して、戸建て住宅を対象に構成員の異なる5モデル世帯を想定した。表-6.4に、モデル世帯の属性を示す。20歳代～60歳代の夫婦を核とした構成であり、家族人数については、ライフサイクルを考慮し、20歳代から60歳代まで10歳毎に2, 3, 4, 3, 2人とした。以後本文中では、20歳代のモデル世帯から順にA～Eモデルと記述する。なお、モデル世帯の設定は、5.6.2項の表-5.15より、30歳代の乳幼児2人の2条件を除いた構成となっている。

6.3.4 雨水利用設備の規模

A～Eモデル世帯の住宅および用いる雨水利用設備は同一の規模とし、以下のように設定した。

1) 雨水収集面積

雨水利用に用いる雨水収集面は住宅の屋根面とし、戸別詳細地図(1/1500)に記載されている建築物の形状が、屋根の水平投影面であることから、デジタイザーで各戸の屋根面積を読み取った値を雨水収集面積に換算した。表-6.2に示した福岡団地の戸建て住宅、NA(56戸)、OT(63戸)の平均値118m²をモデル住宅の屋根面積とし、同様な方法でモデル住宅の敷地面積は225m²とした。なお、OT団地の9戸の住宅、敷地などの一部を実測し、読み取り値との比較を行い、算定値と実測値がおおむね一致することを確認している。

2) 雨水貯留槽容量

都市でも、度々渇水にみまわれる那覇市^{1,2)}のように10m³単位で雨水貯留槽を設置する場合もあるが、前述の理由により雨水貯留槽は小容量を設定し、FRP製貯水槽のような規格品を用いることになると思われるため、容量は1～5m³の5条件とした。

表-6.4 モデル世帯の属性

世帯名称	家族人数	夫婦年齢	世帯構成
A:共働き世帯	2	20歳代	夫婦共に有職
B:育児世帯	3	30 //	夫、専業主婦、乳児
C:標準世帯	4	40 //	夫、専業主婦、学生(男女)
D:熱年世帯	3	50 //	夫、専業主婦、成人(男)
E:高齢世帯	2	60 //	夫婦共に無職

6.3.5 時間単位の雨水利用シミュレーション

前述の新たに定義した低減数の算定には、雨水利用システムからの1時間単位の雨水流出量を必要とする。そこで、表-6.1の各評価指標については、1時間単位の雨水利用シミュレーションにより検討した。算定期間は、福岡渇水の1978年を含む1976年から1985年の10年とし、雨水利用効率の3評価指標は10年間の雨水収集量等の積算値から平均値として算定した。低減数は、算定対象期間の1時間降水量30mm以上の時間帯毎に、雨水利用システムの雨水流出抑制効果が及ぶと考えられる範囲について、全体の雨水流出量を降水量換算で求めて30mm未満になった場合に都市型洪水抑制効果ありとして積算した。本論文の場合は戸建て住宅が対象であるため、抑制効果が及ぶ範囲を屋根面とその住宅の敷地とした。

シミュレーションに用いる1時間降水量は、福岡地方気象台の日報値を用いた。1時間の雨水利用量は、算定対象の雨水利用システムにおいて、各用途別に

- a) 1時間あたり水使用頻度割合
- b) 1日・週あたり水使用回数
- c) 1回あたり使用水量

を決定し、これらに乗じて1日24時間の各時間帯における設定雨水利用量として算出した。なお、これらの値は主として、第5章の設定値および福岡市で実施した住宅の水使用調査結果より算出したが、一部は他の文献から引用した。

雨水利用シミュレーションの基本フローは雨水不足時に水道水を用いる以外は、4.5.2節に示した手順に準じた。算定は、便所、洗濯、入浴の各レベル毎に、モデル世帯(5条件)、節水レベル(3条件)、雨水貯留槽容量(5条件)を組み合わせ、75通り行った。

6.4 雨水利用シミュレーションの供試データ

6.4.1 1時間降水量の集計とその特性

図-6.1に算定期間の年降水量の経年変化を、表-6.5に算定期間の1時間降水量の度数分布をそれぞれ示す。経年変化をみると、渇水の起こった1978年の降水量は、他年よりも低いが、1984年にも同レベルの降水量があったことがわかる。表は、算定対象期間の91%が1時間降水量0.0mmであり、低減数算定対象の1時間降水量30mm以上の時間帯は10年間で27件になることを示す。

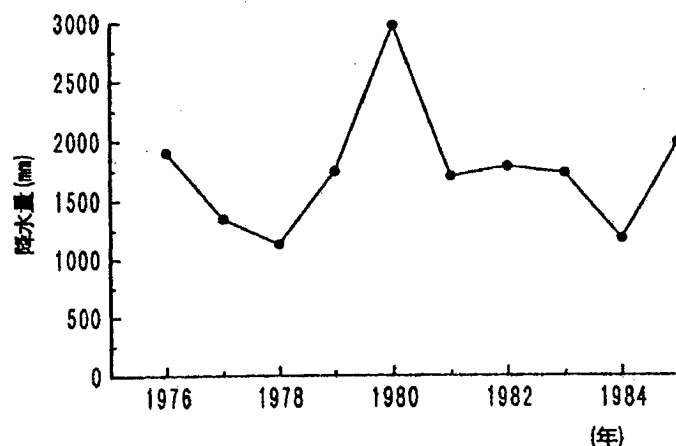


図-6.1 福岡市の降水量の経年変化(算定期間)

図-6.2に算定期間中の各時間帯における平均1時間降水量を示す。図より、一般家庭の水使用がピークになる、朝から昼と夕から夜の前の06時と17時に平均降水量のピークが存在し、平均的には降雨と雨水利用の周期が望ましい形になっていることがわかる。

表-6.5 1時間降水量の度数分布

降水量 (mm)	時間	降水量 (mm)	時間	降水量 (mm)	時間
0.0	80551	4.0	179	10.0~	158
0.5	2657	4.5	154	15.0~	70
1.0	1157	5.0~	221	20.0~	27
1.5	723	6.0~	129	25.0~	17
2.0	540	7.0~	106	30.0~	9
2.5	362	8.0~	67	35.0~	11
3.0	253	9.0~	70	40.0~	7
3.5	204				
総降水時間(0.5mm~) 7121(時間)			最大降水量 53.5(mm)		

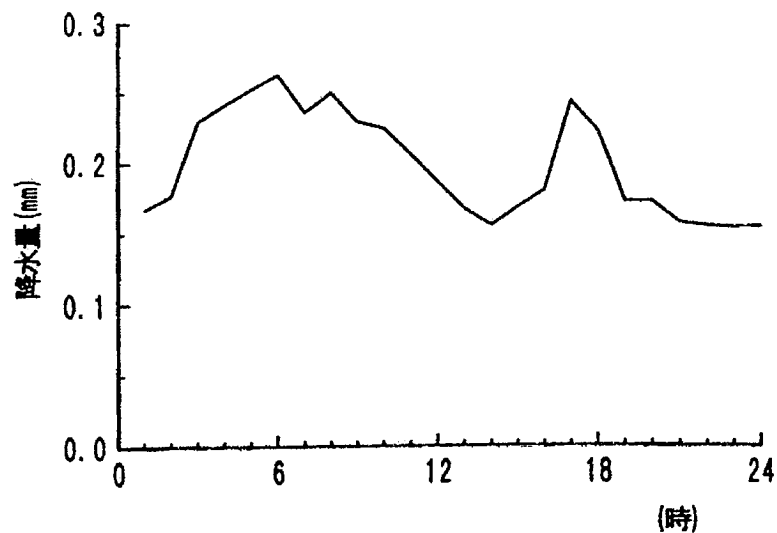


図-6.2 各時間帯における平均降水量

6.4.2 時間あたり用途別使用水量の算定

用途別の設定雨水利用量の算定には、主に福岡団地の調査結果を用いた。ただし、入浴関連用途を除く1時間あたり水使用頻度割合の算定には、4.5.2節に示した東京Y団地における1985年の水使用行為時間帯の集計値を用いた。この他に、用途別1回あたり使用水量については後述するように既往の調査値を参考としている。なお、算定条件として精度を考慮するなら季節・月・曜日別の設定も考えられるが、現状においてこれらの設定に供するデータが不十分であるため、平均的な値を求めることとして、各用途とも年間を通じて同一の値を用いた。

1) 用途別1時間あたり水使用頻度割合

図-6.3に、算定に用いた大便、小便、洗濯、浴槽への注水、入浴、入浴・シャワー、シャワー、洗髪^(注)各用途別に1時間あたり水使用頻度割合の変化を昼間在宅・不在別、男女別に示す。横軸は時間、縦軸はその用途の水使用行為の1日あたり回数に対する割合を示す。これらの頻度割合には、大便、小便、洗濯、浴槽への注水は、東京Y団地の世帯単位の集計値を、入浴、入浴・シャワー、シャワー、洗髪は福岡団地のシャワー設置世帯の男女別集計値を用いている。昼間在宅・不在に拘らず1日の水使用頻度に大きな差がない用途および男性小便は、昼間不在の場合には、図-6.3に示すように、不在設定時間帯を08時から19時とし、在宅時間での頻度割合の合計が1.00になるように調整した。女性昼間不在者の小便は、後述する理由により男女の大小便の回数において年齢による増減傾向に差異がみられるため、不在時間帯の頻度割合は除外して、合計は0.54としている。なお、モデル世帯において、女性の昼間不在はAモデルのみ、男性の昼間在宅はEモデルのみである。また、乳児の便器使用は考慮していない。

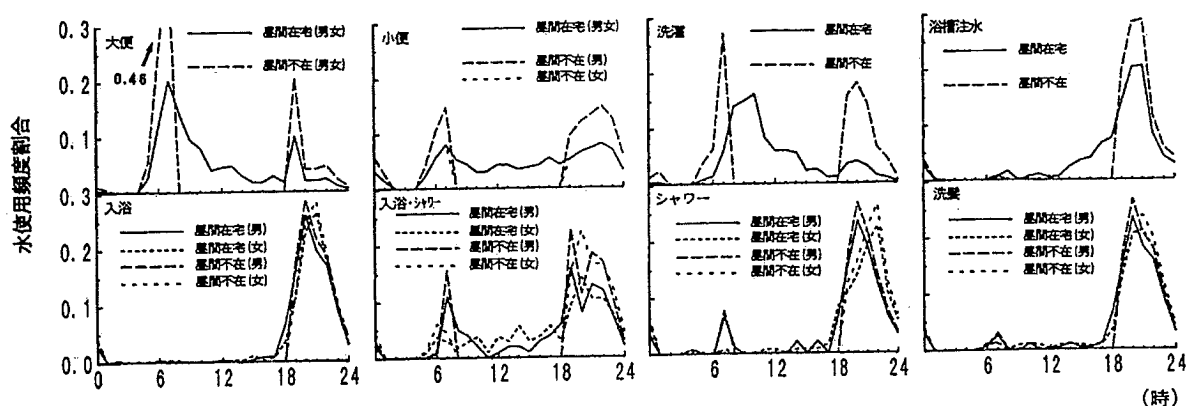


図-6.3 各用途別1時間あたり水使用頻度割合

2) 用途別1日・週あたり水使用回数

表-6.6の左欄に、個人票より算出した大便および小使用途の平均回数を性・年齢別に示す。これより、年齢の増加に伴い女性の小便回数は漸増するが、男性の小便にはこの傾向が認められず、20～50歳代の回数が少ないことがわかる。これは同年代の昼間不在の男性勤労者による回数の減少と判断され、女性に同様な減少が認められないのは、女性の同年代が昼間在住者で占められていることによると判断される。また、男性の大便回数に減少が認められないのは、昼間不在の男性は大便を在宅時に済ませる傾向があるものと判断される。そのため、表-6.6の回数を基に女性の昼間不在者を設定した場合、不在時間の小便の頻度を除外する必要があると考え、前述の調整を行った。

表-6.7の上段に、世帯票より算出した洗濯の夏期・冬期の平均回数を年齢および家族人数別に示す。これより、同年代での家族人数別による差異では、20歳代の3人と4人、60歳以上の4人と5人において若干の違いがあるものの、ほぼ人数の増加に応じた回数の増加傾向がある。また、20～30歳台の主婦世帯の2人と3人の回数の大きな差は、乳児の有無によると考えられる。同一家族人数における回数では、50～60歳台は少ない傾向がみられる。

表-6.6の右欄に、個人票より算出した入浴関連の平均回数を性・年齢別に示す。洗髪を除く入浴、入浴・シャワー、シャワーの平均値は、表の右欄に「入浴関連回答者数」として示すこれら3種の行為に関して単数もしくは複数回答者の総数を、各行為毎の回数の和で除して算出した。なお、洗髪は洗髪回答者だけで集計・平均している。これより、洗髪回数では、男女とも20歳代を最高に年齢の増加に伴い減少傾向を示す。その他の行為については、年齢の増減による傾向は明らかではないが、男女とも20歳代でのシャワー関連回数の多さがめだつ。

表-6.6 大・小便・入浴関連回数平均値

年齢 (歳)		大便回数 (回/週)	小便回数 (回/日)	入浴 (回/週)	シャワー (回/週)	入浴・シャ (回/週)	洗髪 (回/週)	入浴関連 回答者数
0～		7.25(233)	4.46(230)	4.29(60)	1.27(26)	1.88(33)	5.19(74)	(82)
20～	男	6.64(137)	3.90(137)	3.56(66)	2.35(53)	2.77(55)	6.55(100)	(118)
30～		6.94(218)	3.96(217)	3.78(52)	1.65(36)	2.16(32)	5.56(71)	(82)
40～	性	7.33(201)	4.27(198)	4.49(98)	1.57(50)	1.63(44)	4.36(115)	(134)
50～		7.57(151)	4.86(150)	3.76(78)	1.78(48)	2.01(43)	4.15(105)	(121)
60～		7.66(146)	6.29(145)	4.67(121)	1.49(44)	1.26(33)	3.61(123)	(148)
全体		7.22(1086)	4.55(1077)	4.13(475)	1.70(257)	1.91(240)	4.79(588)	(685)
0～		5.92(265)	4.78(262)	4.66(65)	1.11(26)	1.91(35)	4.89(84)	(91)
20～	女	5.43(208)	4.98(208)	3.38(98)	2.18(77)	3.20(101)	5.79(156)	(169)
30～		6.31(264)	5.43(260)	4.37(98)	1.29(48)	1.98(53)	4.07(127)	(138)
40～	性	6.89(238)	6.07(235)	4.56(130)	1.35(64)	1.68(57)	3.68(166)	(174)
50～		7.27(175)	6.19(173)	4.12(85)	2.13(49)	1.82(38)	3.33(111)	(120)
60～		6.74(167)	6.94(167)	4.59(110)	1.46(52)	1.30(37)	2.45(127)	(140)
全体		6.38(1317)	5.64(1305)	4.24(586)	1.62(316)	2.02(321)	4.05(771)	(832)

注：()内はサンプル数

表-6.7の下段に、世帯票より算出した浴槽への平均注水回数を家族人数別に示す。注水回数は、各世帯の風呂を沸かす回数(回/週)を風呂水の入れ替え数で除して算出した。注水回数については、2人以上になると人数の増加に伴い、回数は多くなる傾向がある。年代別では、20~30歳代が比較的多い。また、前述の洗濯回数と同様に、2人から3人世帯への増加割合は大きい。

なお、表-6.7の下線付きデータは、表-6.4に示すモデル世帯別の設定雨水利用量算定の際、表-6.4の家族人数と夫婦年齢に対応した値として用いている。

3) 用途別1回あたり使用水量

表-6.8に、前述した各用途について、節水レベルに応じた使用水量の設定値とその設定法を示す。各用途別の使用水量については、節水レベルが低い順に節水レベルⅠ・Ⅱ・Ⅲを設定し、レベル毎に各用途における1回あたり使用水量(1/回)を決定した。節水レベルによる使用水量を明確に設定できない入浴関連の場合には、使用水量の多い期を節水レベルⅠ、少ない期を節水レベルⅢとした。各用途で、特に記述がない場合は5.5.2節に示した「行為1回あたり平均使用水量」を用いて設定している。

便所の場合、節水レベルⅠでは普通便器(11l/回)で大便是2回流すとし、小便は大便秘器を1回操作。節水レベルⅡでは、普通便器で大便是1回流すとし、小便は大便秘器の2/3の量。節水レベルⅢでは、節水便器(8l/回)で1回流し、小便は大便秘器の2/3の量とした。

表-6.7 洗濯・浴槽注水回数平均値

単位 回/週

	主婦年齢 (歳)	家族人数(人)					全体
		1	2	3	4	5	
洗濯	20~	4.00(3)	<u>4.86</u> (14)	10.55(41)	10.33(24)	12.47(15)	9.77(97)
	30~	3.10(5)	5.42(12)	<u>8.99</u> (41)	10.53(101)	12.59(66)	10.42(225)
	40~	6.13(4)	6.27(15)	6.91(50)	<u>9.37</u> (98)	11.03(57)	8.98(224)
	50~	2.60(10)	4.70(48)	<u>6.56</u> (44)	7.14(44)	8.26(21)	6.15(167)
	60~	2.56(26)	<u>4.56</u> (79)	5.08(25)	10.30(5)	7.00(5)	4.57(140)
	全体	3.01(48)	4.84(168)	7.77(201)	9.54(272)	11.31(164)	8.17(853)
浴槽注水	20~	5.33(2)	<u>4.68</u> (14)	5.23(43)	5.67(22)	5.79(15)	5.34(96)
	30~	3.97(5)	4.41(11)	<u>5.07</u> (37)	5.48(93)	5.57(60)	5.34(206)
	40~	5.25(4)	3.52(13)	4.69(43)	<u>5.63</u> (92)	5.63(52)	5.29(204)
	50~	2.82(11)	3.85(47)	<u>4.25</u> (40)	5.23(42)	5.19(22)	4.42(162)
	60~	2.89(25)	<u>3.43</u> (71)	4.78(22)	4.83(5)	5.79(7)	3.73(130)
	全体	3.29(47)	3.74(156)	4.81(185)	5.50(254)	5.57(156)	4.88(798)

注：()内はサンプル数、下線付きは使用データ

表-6.8 節水レベル別使用水量(1/回)とその設定方法

用途	節水レベル			設定法		
	I	II	III	I	II	III
大便	22.0	11.0	8.0	普通便器 ×操作2回	普通便器 ×操作1回	節水便器 ×操作1回
小便	11.0	7.5	5.3	×操作1回	上記の2/3	上記の2/3
洗濯	202.0	168.0	130.0	すすぎ7分	すすぎ5分	すすぎ3分
浴槽注水	200.0	150.0	100.0	3タイプ, 1人分の容積(100 l)を減算		
入浴	29.0	27.9	26.7	冬期の値	IとIIIの平均	夏期の値
シャワー	64.0	32.0	16.0	夏・冬平均	Iの1/2	IIの1/2
入浴・シャワー	62.0	52.3	42.5	夏期の値	IとIIIの平均	冬期の値
洗髪	20.0	14.8	9.6	念入り洗い	IとIIIの平均	普通

洗濯は、福岡団地のすすぎ時間の分布データおよび江口ら¹³⁾による実験値を参考に、節水レベルIから順に、すすぎ時間:7分, 5分, 3分とし、基本水量(すすぎ3分 130l)のIIIに、IIは381 (191×2分), Iは721 (381+171×2分)を加算した。

風呂への注水は、浴槽を3タイプ(容量:300l, 250l, 200l)として、1人分の容量100lを減じ、節水レベルI~IIIにおける浴槽への注水量とした。

入浴は、節水レベルIから順に、冬期, 冬期と夏期の平均, 夏期の値を用いた。

シャワーは、使用法による差が大きいと判断し、節水レベルIから順に、夏期と冬期の平均, 節水レベルIの1/2, さらに1/2の量とした。

入浴・シャワーは、節水レベルIから順に、夏期, 夏期と冬期の平均, 冬期の値を用いた。

洗髪は、武藤・岡田¹⁴⁾の実験値より、節水レベルIに「ねんいり洗い」、節水レベルIIIに「普通洗い」の値を用い、平均値をレベルIIとした。

なお、Bモデルの乳児については、入浴と洗髪についてのみ考慮し、女性が乳児を扱うことを想定、女性が行う行為を行う時に、各節水レベルにおける設定使用量の1/2を乳児用として増分している。

6.4.3 モデル世帯別雨水利用量

前述の1)~3)の条件に基づき、モデル世帯・節水レベル別に、その世帯構成員の属性に応じ用途別の各時間帯における使用水量を算定した。そして、算定値を用いて便所・洗濯・入浴レベルにおける各時間帯の全使用水量を累計し、この全使用水量を、その雨水利用システムの設定雨水利用量とした。設定雨水利用量は、雨水利用システムにおいて、最大利用される雨水であるが、雨水の不足が生じた場合には水道水で補うものとした。

図-6.4に1日あたり設定雨水利用量を、図-6.5に1時間あたり設定雨水利用量の変化をそれぞれ示す。

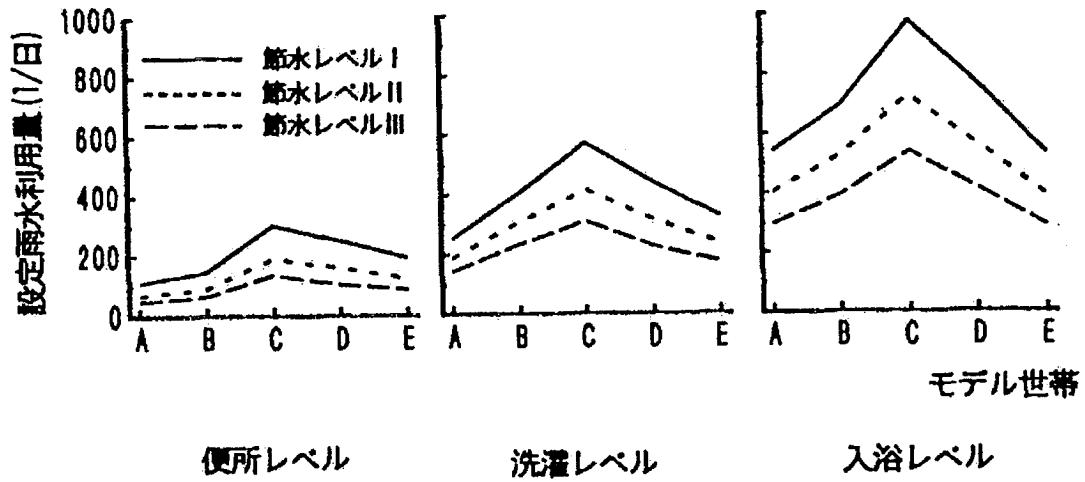


図-6.4 水質レベル別1日あたり設定雨水利用量

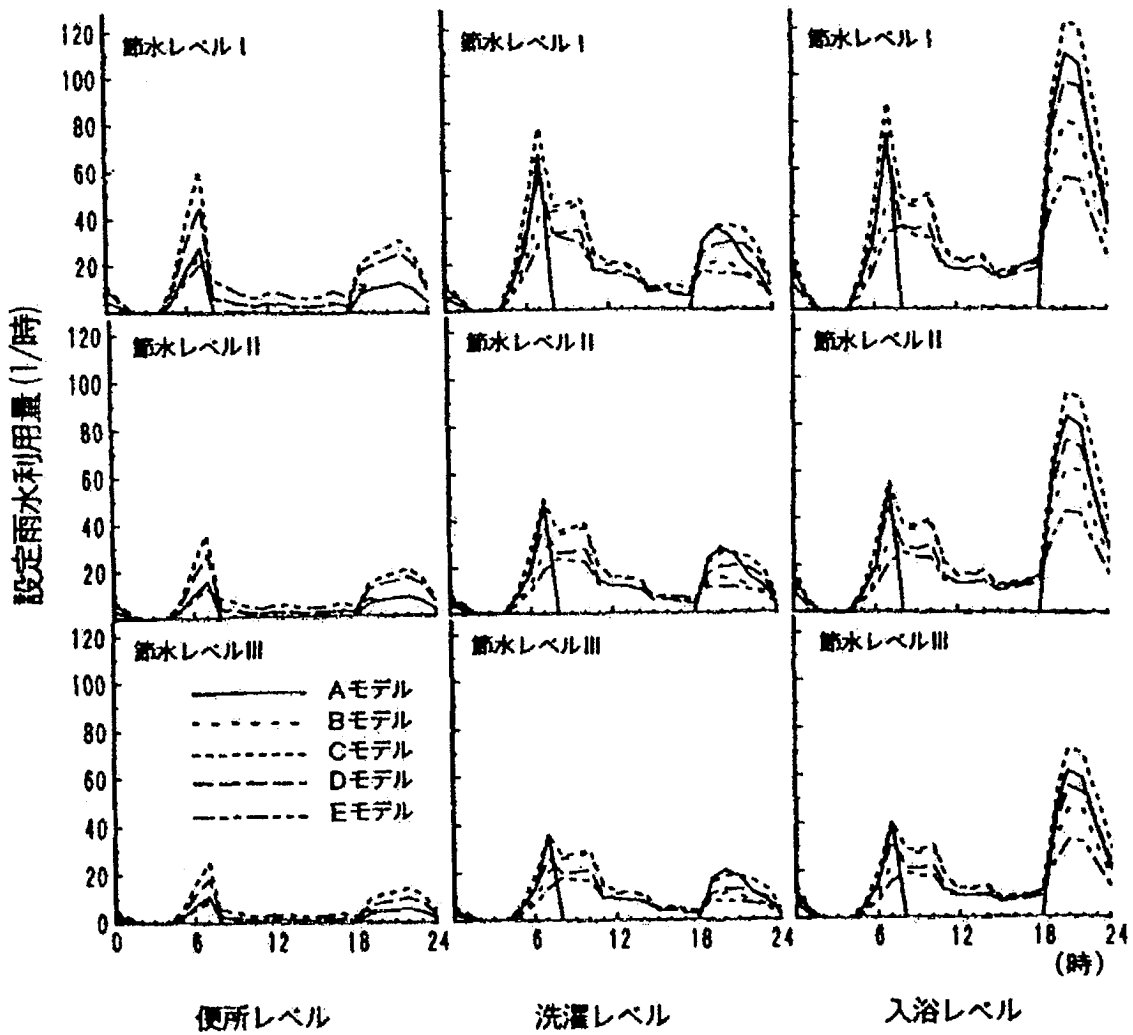


図-6.5 水質レベル別1時間あたり設定雨水利用量

6.5 算定結果

6.5.1 雨水利用効率の評価

便所～入浴レベルまでのシミュレーションによる3評価指標算定結果を示す。

表-6.9より、雨水代替率は設定雨水利用量の増大に伴い減少し、1m³槽では、設定雨水利用量が最小になるAモデルにおける便所レベルの節水レベルⅢで最大値99.3%、設定雨水利用量が最大になるCモデルにおける入浴レベルの節水レベルⅠで最小値24.6%となり、同一規模の雨水貯留槽を用いても、設定雨水利用量により大きな差が生じることがわかる。上記のモデルとレベルの組み合わせを以後、最小モデルおよび最大モデルと記述する。

便所レベルでは、1m³槽のC・Dモデルの節水レベルⅠを除けば雨水代替率70%以上となる。これより便所用水なら、節水レベルⅡ以上になれば、家族数が多くても1m³槽でかなりの需要を賄えると判断される。洗濯・入浴レベルでは、便所レベルに比べて設定雨水利用量が多くなり、同一設備・条件での雨水代替率は低下する。低下した雨水代替率を上昇させるには、節水レベルの上昇または槽容量の増加を必要とする。表-6.9によれば、節水レベルではⅠからⅢへの上昇で約10%の増加を示し、槽容量では1m³から2m³へ増加により最高で16%の増加を生ずるが、さらに増量してもその増加割合は低下する。また、いずれの水質レベルでも、節水レベルの上昇は、ⅠからⅡで貯留槽容量を1m³から2m³へ、ⅡからⅢで2m³から3m³ないし4m³へそれぞれ増加させたと同等な効果を生じる。

表-6.10より、雨水利用率は、設定雨水利用量の増大に伴い上昇し、同一規模の雨水貯留

表-6.9 各条件別雨水代替率の算定結果

単位 %

モデル 世帯	節水 レベル	便所レベル					洗濯レベル					入浴レベル				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	Ⅰ	88.3	97.2	99.0	99.4	99.4	61.1	77.3	85.5	90.0	93.2	36.9	48.9	55.7	60.0	63.0
	Ⅱ	97.2	99.5	99.7	99.7	99.7	72.0	87.0	93.4	96.4	98.0	45.2	59.4	67.1	72.2	75.8
	Ⅲ	99.3	99.8	99.8	99.8	99.8	81.5	93.9	97.5	98.8	99.3	55.3	71.2	79.7	84.8	88.0
B	Ⅰ	79.8	92.8	96.9	98.6	99.2	45.3	59.3	66.9	72.0	75.5	31.4	41.3	46.9	50.6	53.2
	Ⅱ	92.7	98.7	99.5	99.5	99.5	54.2	69.7	78.1	83.3	86.6	38.0	50.1	57.0	61.3	64.4
	Ⅲ	97.6	99.6	99.7	99.7	99.7	63.8	79.9	87.7	92.1	94.9	46.4	60.7	68.3	73.5	77.1
C	Ⅰ	54.6	70.3	78.8	83.9	87.1	35.8	47.2	53.7	57.8	60.8	24.6	31.8	36.0	38.7	40.7
	Ⅱ	70.9	86.1	92.8	95.9	97.7	44.7	58.5	66.0	71.1	74.6	30.4	39.9	45.3	48.8	51.4
	Ⅲ	82.3	94.4	97.8	98.9	99.3	54.0	69.5	77.9	83.1	86.4	37.4	49.3	56.1	60.4	63.4
D	Ⅰ	61.0	77.1	85.3	89.9	93.0	42.9	56.3	63.7	68.6	72.0	29.1	38.2	43.3	46.7	49.2
	Ⅱ	76.9	90.8	95.9	97.9	98.8	53.2	68.5	76.9	82.1	85.5	36.3	47.9	54.5	58.7	61.7
	Ⅲ	89.8	97.7	99.3	99.4	99.4	64.8	80.9	88.5	92.7	95.4	44.8	58.7	66.3	71.3	74.8
E	Ⅰ	70.2	85.5	92.3	95.6	97.5	52.3	67.5	75.8	81.0	84.5	37.8	49.9	56.8	61.1	64.2
	Ⅱ	85.1	95.9	98.5	99.3	99.4	63.7	79.8	87.6	92.0	94.8	46.7	61.0	68.6	73.8	77.4
	Ⅲ	93.6	98.9	99.5	99.5	99.5	74.3	88.9	94.8	97.3	98.5	56.5	72.3	80.7	85.8	88.9

表-6.10 各条件別雨水利用率の算定結果

単位 %

行*ル 世帯	節水 レベル	便所レベル					洗濯レベル					入浴レベル 雨水貯留槽容量(m ³)																																				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5																																
		A	I	17.4	19.1	19.5	19.5	19.5	27.2	34.4	38.1	40.1	41.5	35.5	47.1	53.7	57.8	60.7	II	11.8	12.1	12.1	12.1	12.1	23.7	28.6	30.7	31.7	32.2	32.5	42.7	48.2	51.9	54.4	III	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	20.1	23.2	24.1	24.4	24.5	29.0	37.4	41.9
B	I	20.8	24.2	25.3	25.7	25.9	32.7	42.8	48.3	52.0	54.5	38.5	50.7	57.5	62.1	65.3	II	15.2	16.2	16.3	16.3	16.3	29.7	38.1	42.8	45.6	47.4	35.5	46.9	53.3	57.4	60.3	III	11.4	11.6	11.6	11.6	11.6	26.4	33.0	36.3	38.1	39.2	32.3	42.3	47.6	51.2	53.7
C	I	29.5	37.9	42.5	45.2	47.0	36.5	48.1	54.8	59.0	62.0	42.4	54.9	62.1	66.8	70.3	II	24.1	29.2	31.5	32.5	33.1	33.0	43.2	48.8	52.5	55.1	39.0	51.3	58.2	62.7	66.0	III	19.9	22.8	23.6	23.9	24.0	29.8	38.3	42.9	45.8	47.6	35.8	47.2	53.7	57.8	60.7
D	I	27.3	34.5	38.2	40.3	41.7	33.7	44.2	50.0	53.8	56.5	39.7	52.0	59.0	63.5	66.9	II	21.9	25.8	27.3	27.9	28.1	30.0	38.7	43.4	46.3	48.3	36.2	47.8	54.4	58.6	61.5	III	16.7	18.1	18.4	18.5	18.5	26.1	32.5	35.6	37.3	38.4	32.9	43.1	48.7	52.4	55.0
E	I	24.3	29.6	32.0	33.1	33.8	30.4	39.2	44.0	47.0	49.0	35.6	47.0	53.4	57.5	60.4	II	18.7	21.1	21.7	21.9	21.9	26.4	33.1	36.4	38.2	39.3	32.3	42.2	47.5	51.0	53.5	III	14.6	15.5	15.6	15.6	15.6	22.8	27.3	29.1	29.9	30.3	28.9	37.0	41.3	43.8	45.5

槽を用いても、5m³槽では最小モデルで最小値 8.6%、最大モデルで最大値 70.3%となる。また同一設定雨水利用量では、槽容量の増加に伴い雨水利用率も増大するが、便所レベルのように設定雨水利用量の少ない場合には雨水利用率の上昇は少なく、槽容量増加の効果は小さい。

表-6.11 より、槽雨水利用量は、設定雨水利用量の増大に伴い上昇し、同一規模の雨水貯留槽を用いても、1m³槽では年あたり、最小値は最小モデルで 17.7 m³/m³、最大値は最大モデルで 87.4m³/m³となり、約 5 倍違うことがわかる。また同一の設定雨水利用量では、貯留槽容量の増加に対しほぼ逆比例するように槽雨水利用量は低下し、1m³から 5m³の増加で 1/3 から 1/5 になる。

これより、雨水利用効率の評価指標からこれらの雨水利用システムを考えるなら、各要因の影響の度合いは条件により異なるが、全般的に、雨水代替率では設定雨水利用量は小さく貯留槽容量は大きいほど、雨水利用率では設定雨水利用量および貯留槽容量は大きいほど、そして、槽雨水利用量では設定雨水利用量は大きく貯留槽容量は小さいほど、高い値を示しそれぞれ望ましいと判断される。

6.5.2 都市型洪水の防止効果

表-6.12 に低減数を、便所、洗濯、入浴の各水質レベル毎に屋根面積を基準にして示す。() 内は、敷地面積基準の数である。

表より、低減数は設定雨水利用量・貯留槽容量増大に伴いその数は増加し、最低はAモデルにおける便所・洗濯レベルで屋根換算 3 件、同敷地換算 3 件となり、最高はCモデルにおける入浴レベルの節水レベル I (5m³槽)で屋根換算 12 件、同敷地換算 9 件となる。

表-6.11 各条件別雨水利用量の算定結果

単位 m³/m³・年

モル 世帯	節水 レベル	便所レベル					洗濯レベル					入浴レベル 雨水貯留槽容量(m ³)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	I	35.8	19.7	13.4	10.1	8.0	56.1	35.5	26.2	20.7	17.1	73.2	48.5	36.8	29.8	25.0
	II	24.4	12.5	8.3	6.2	5.0	48.8	29.5	21.1	16.3	13.3	66.9	43.9	33.1	26.7	22.4
	III	17.7	8.9	5.9	4.5	3.6	41.5	23.9	16.5	12.6	10.1	59.8	38.5	28.7	22.9	19.0
B	I	42.9	24.9	17.4	13.2	10.6	67.4	44.1	33.2	26.8	22.5	79.4	52.2	39.5	32.0	26.9
	II	31.3	16.6	11.2	8.4	6.7	61.1	39.3	29.4	23.5	19.5	73.2	48.3	36.6	29.6	24.8
	III	23.4	11.9	8.0	6.0	4.8	54.3	34.0	24.9	19.6	16.2	66.6	43.5	32.7	26.4	22.1
C	I	60.7	39.0	29.1	23.3	19.3	75.2	49.5	37.6	30.4	25.5	87.4	56.5	42.6	34.4	29.0
	II	49.5	30.1	21.6	16.8	13.6	68.0	44.5	33.5	27.0	22.7	80.4	52.8	39.9	32.3	27.2
	III	40.9	23.5	16.2	12.3	9.9	61.3	39.4	29.5	23.6	19.6	73.7	48.6	36.9	29.8	25.0
D	I	56.3	35.6	26.2	20.7	17.2	69.4	45.5	34.3	27.7	23.3	81.7	53.5	40.5	32.7	27.5
	II	45.0	26.6	18.7	14.3	11.6	61.9	39.8	29.8	23.9	19.9	74.6	49.2	37.3	30.2	25.3
	III	34.3	18.7	12.7	9.5	7.6	53.7	33.5	24.5	19.2	15.8	67.8	44.4	33.4	27.0	22.6
E	I	50.1	30.5	22.0	17.1	13.9	62.5	40.3	30.2	24.2	20.2	73.4	48.4	36.7	29.6	24.9
	II	38.6	21.8	14.9	11.3	9.0	54.4	34.1	25.0	19.7	16.2	66.5	43.4	32.6	26.3	22.0
	III	30.2	15.9	10.7	8.0	6.4	47.0	28.1	20.0	15.4	12.5	59.4	38.1	28.3	22.6	18.7

表-6.12 各条件別低減数の算定結果

モル 世帯	節水 レベル	便所レベル					洗濯レベル					入浴レベル 雨水貯留槽容量(m ³)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	I	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	4(3)	4(3)	5(3)	5(3)	3(3)	5(3)	7(4)	8(4)	8(5)
	II	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	4(3)	4(3)	3(3)	4(3)	4(4)	6(4)	6(4)
	III	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	3(3)	4(3)	4(4)	5(4)	5(4)
B	I	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(5)	7(5)	7(5)	5(4)	7(4)	8(6)	11(6)	11(7)
	II	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(5)	6(5)	6(5)	4(4)	6(4)	7(5)	9(5)	9(6)
	III	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	6(4)	6(4)	4(4)	5(4)	5(5)	7(5)	7(5)
C	I	4(4)	5(4)	5(5)	6(5)	6(5)	4(4)	7(4)	8(6)	10(6)	10(7)	5(4)	8(6)	10(8)	12(8)	12(9)
	II	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	4(4)	5(4)	5(5)	7(5)	7(5)	5(4)	7(5)	9(7)	11(7)	11(8)
	III	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(5)	6(5)	6(5)	4(4)	6(4)	7(6)	9(6)	9(7)
D	I	4(4)	5(4)	5(4)	6(4)	6(4)	4(4)	5(4)	5(5)	7(5)	7(5)	5(4)	7(6)	9(8)	11(8)	11(9)
	II	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	4(4)	5(4)	5(5)	6(5)	6(5)	4(4)	7(4)	8(6)	10(6)	10(7)
	III	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	6(4)	6(4)	4(4)	5(4)	5(5)	7(5)	7(5)
E	I	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	4(4)	5(4)	5(5)	6(5)	6(5)	4(4)	6(4)	7(6)	9(6)	9(7)
	II	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	6(4)	6(4)	4(4)	5(4)	5(5)	7(5)	7(5)
	III	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	4(4)	5(4)	5(4)	4(4)	5(4)	5(5)	6(5)	6(5)

注: 1時間降水量30mm以上27例中の30mm未満への低減効果確認件数、()内は敷地を基準に算定

これより、戸建て住宅の小さな雨水利用システムでも都市型洪水防止効果に寄与できることがわかる。また、貯留槽容量1～3m³における便所・洗濯レベルでは低減数3～5が多い。これらは1時間降水量が30mm(4件)と30.5mm(1件)の場合であり、これらの1時間降水量においては、若干の設定雨水利用量によっても、低減数を増加できる。しかし、低減数がこのレベルを越えて、降水量が大きい場合に対応するためには、入浴レベル程度の設定雨水利用量と4m³以上の貯留槽容量の雨水利用システムが望ましいと考えられる。

6.5.3 各雨水利用システム評価指標の関連

これまで、雨水利用システムの雨水利用効率指標と都市型洪水防止効果指標について述べてきたが、各指標の関連を示すため、各指標に対する設定雨水利用量と雨水貯留槽容量の関係を表-6.13に示す。

表より、設定雨水利用量および雨水貯留槽容量に対して、雨水利用率および低減数がともに正の相関を示し、これらの2指標が、同じ内容を示すことが考えられる。図-6.6に、表-6.10の雨水利用率と表-6.12の低減数の同一条件の対応する値を、5m³雨水貯留槽容量における各水質レベルについて示す。これからも低減数の増加に対し雨水利用率は増加し、上述した関係があることがわかる。したがって、雨水利用率の算定結果から都市型洪水防止効果の大きさを判定することも可能といえる。

また、設定雨水利用量と貯留槽容量に対する関係においては、都市型雨水利用システムの指標として提案した槽雨水利用量と雨水代替率では逆の関係を示している。これは、「雨水代替率では設定雨水利用量は小さく貯留槽容量は大きいほど...望ましい...」と前述したが、この中の、「...設定雨水利用量は小さく...」は節水志向の離島住民の水使

表-6.13 各雨水利用システム評価指標の関連

	設定雨水利用量	雨水貯留槽容量
雨水代替率	-	+
雨水利用率	+	+
槽雨水利用量	+	-
低減数	+	+

注：+は正の相関関係、-は負の相関関係を示す

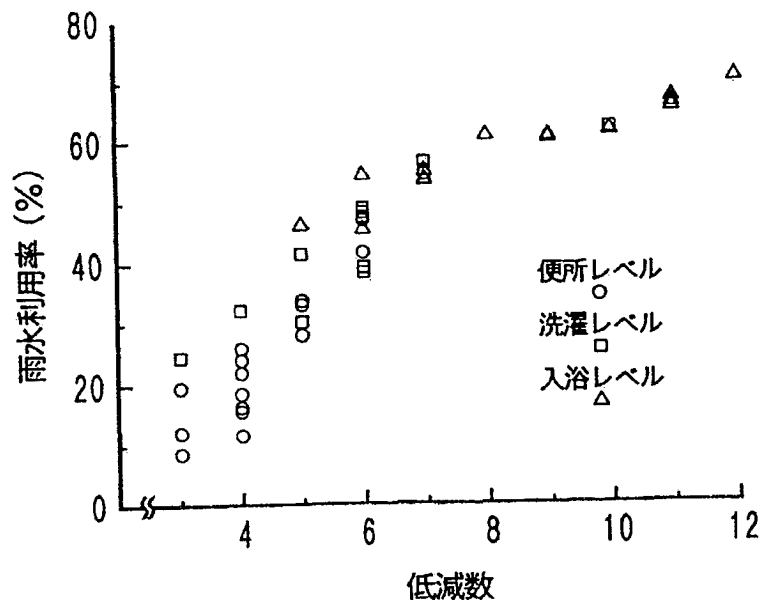


図-6.6 低減数と雨水利用率

用意識と、「…貯留槽容量は大きいほど…」は容量増大を希望する離島住民の意識傾向と一致し、雨水代替率が離島型雨水利用システムの指標として適しているといえる。以上のことから、同じ雨水利用システムで離島型と都市型とでは、望ましい設定雨水利用量と雨水貯留槽容量は反対の傾向になっているといえる。

6.6 結語

本章では、福岡市の戸建て住宅を事例に、都市の住宅に雨水利用システムを設置したときの雨水利用効率と都市型洪水防止効果に関する4評価指標を算定し検討した。

初めに、福岡市で行った住宅の水使用に関する調査データおよび既往の調査値等を用い、ライフサイクルを考慮した5モデル住宅の利用用途・節水レベルの時間毎雨水利用量を設定した。そして、雨水貯留槽容量別に雨水利用シミュレーションを、1時間降水量を用いて1978年からの10年間について行い、3雨水利用効率指標と1都市型洪水防止効果指標を算定し、都市の戸建て住宅における雨水利用効率と都市型洪水防止からみた雨水利用システムの有効性を検討した。その結果、雨水利用効率の評価指標から雨水利用システムを考えるなら、一般的に、雨水代替率では設定雨水利用量は小さく貯留槽容量は大きいほど望ましい、雨水利用率では設定雨水利用量および貯留槽容量は大きいほど望ましい、そして、槽雨水利用量では設定雨水利用量は大きく貯留槽容量は小さいほど望ましいとそれぞれ判断された。都市型洪水防止効果の指標とした低減数からは、戸建て住宅の小さな雨水利用システムでも都市型洪水防止効果に寄与できることを示した。最後に、これらの4評価指標の関連を考察した。

今後、都市型雨水利用システムの個人住宅での普及を図るためには、利用用途を拡大し設定雨水利用量を増加させることも重要であるが、同システムの都市型洪水防止効果の適切な評価を行い、公的な経済助成などにより、大型の雨水貯留槽容量の設置した場合の経済効率の低下を補うことも重要といえる。

注) 第5章と同様に、「入浴」は浴槽のみ利用する場合、「入浴・シャワー」は浴槽とシャワーの併用する場合、「シャワー」はシャワーのみ利用する場合を示す。

第7章 駅舎トイレにおける雨水利用システムの評価

7.1 序

都市部で普及しているトイレの雨水利用システムは、蒸留水ともいえる良質な雨水を飲用に供している第4章で示した離島の事例を考えれば、その水質レベルに応じた利用をしているとはいえないが、大気汚染の進んでいる都会では雨水利用の適当な選択肢と考えられる。したがって、水質面からは、第2章、第3章の検討結果を考えてみても、雨水利用の普及の妨げになっている要因は考えにくい。一方、水量面からみれば、多数の人々が利用し、便器あたりの使用頻度および洗浄水量が多大と考えられ、雨水利用による節水効果が期待される駅舎をはじめとする交通機関建築物のトイレに雨水利用が採用された例はみられなく、雨水の有効利用を進める上での検討課題として残されている。

そこで、本章は、東京都内の東日本鉄道5駅のトイレを対象に、雨水利用システムの基本条件となる、収集(降水量, 雨水収集面積), 貯留(雨水貯留槽容量), 使用(トイレ使用水量)を、既往の調査値および降水量データを用いて設定後、各駅トイレの雨水利用をシミュレートし、その結果により、駅舎トイレにおける雨水利用の有効性およびその問題点を水量の面から検討および考察し、適切な雨水利用システムの提言を行うことを目的としている。以下では東日本鉄道を「JR」と略称する。

7.2 対象駅および対象トイレの概要

表-7.1に検討対象5駅の概要を示す。調査対象のT, J駅は、都内環状線の巨大ターミナル駅でJRの駅としては最大級の規模を有する。K駅は都内の放射線に位置し、近くに大学と住宅地があり、学生と日中の主婦の利用が多い。S, U駅は都内環状線に位置する。S駅は若者を対象とした店舗が多い大規模な商業地区にある。U駅はJR長距離列車の終着駅であり、近くに美術館, 博物館, 公園等がある。

表-7.1 検討対象駅5駅の概要

項 目		T 駅	J 駅	K 駅	S 駅	U 駅
乗降人員(万人/日)		101	86	25	58	48
改札口	新幹線 口	2	-	-	-	1
	在来線 口	12	8	3	4	4
接続線	新幹線	2	-	-	-	1
	J R 線	8	4	1	2	6
	私鉄(除くJR)	-	3	1	3	1
	地下鉄	1	2	-	2	2

図-7.1に、巨大ターミナル駅T、J駅、乗換駅K、S、U駅の構内図をそれぞれ示す。検討対象としたトイレの位置を図中に示す。なお、構内図は、検討対象トイレ利用者が行動すると思われる区域を主に示した。図中に検討対象となったトイレの入口を▲印、改札口の位置を◇印で示す。トイレは、図に示す構内に、U駅は2箇所、他の駅は1箇所存在する。

図-7.2に5駅の検討対象とした男女トイレ内の器具配置図を、表-7.2にそこでの各器具数を示す。表より、トイレの各器具数の比率は一定しておらず、駅により異なることがわかる。同表には示していないが、K、S、J駅には身障者用トイレブース、K、J駅の女子トイレ内には子供用小便器が存在するが、調査時には使用者が少なかったため、検討対象外としている。

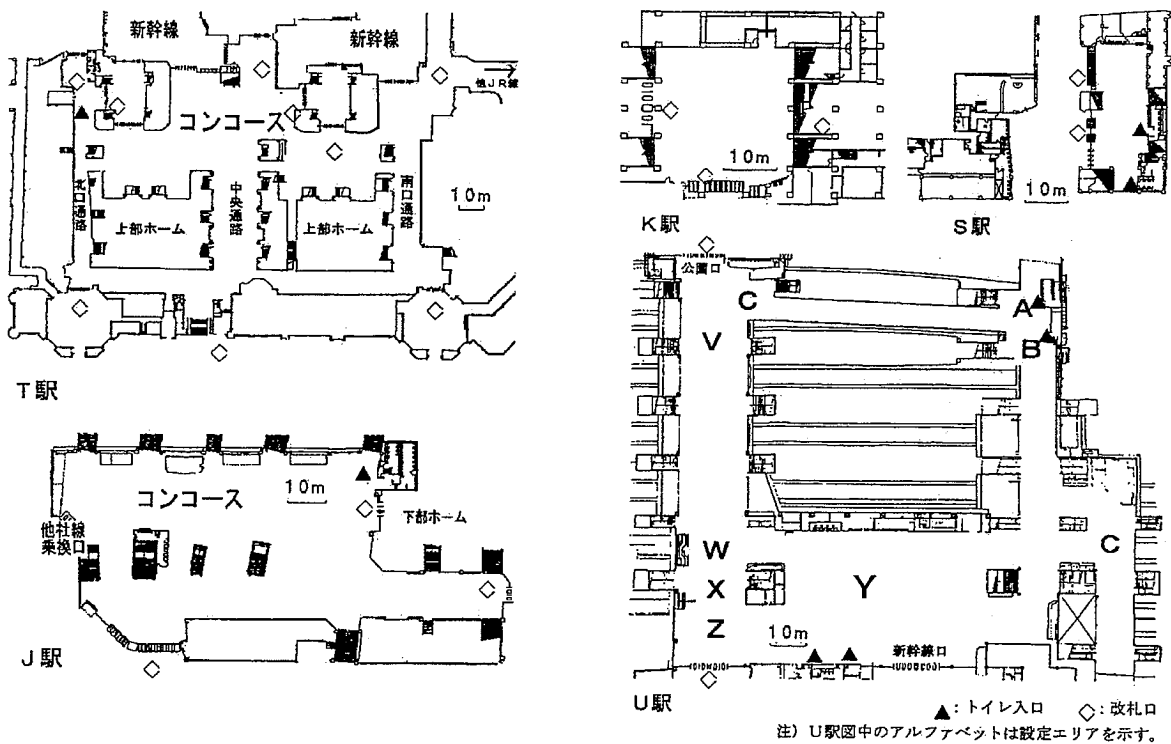


図-7.1 T、J、K、S、U駅構内図と検討対象トイレの位置

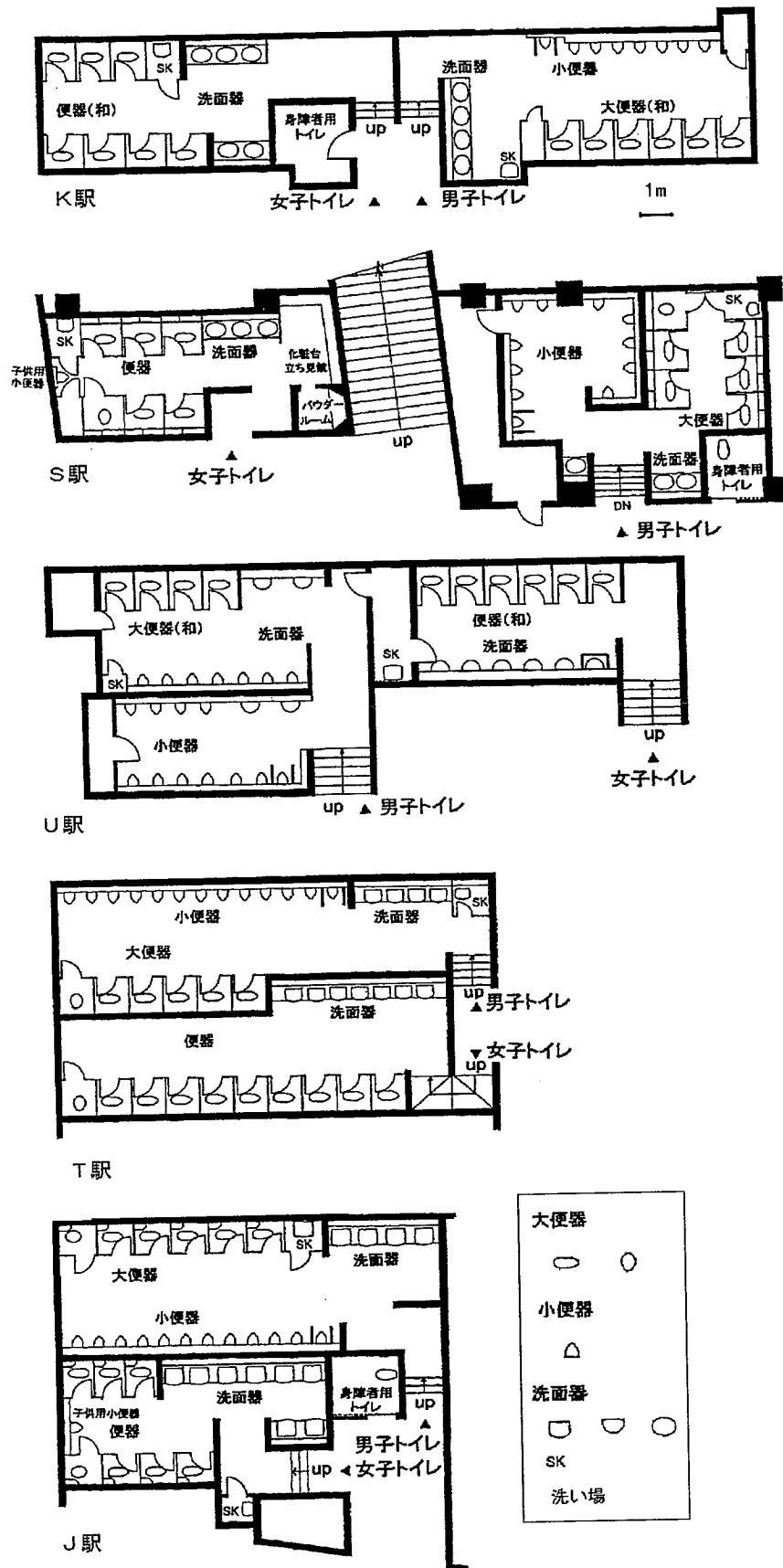


図-7.2 男女トイレ内の器具配置図

表-7.2 検討対象トイレの設置器具数

器具種類	T 駅	J 駅	K 駅	S 駅	U 駅
男子大便器	6	6	6	6	4
男子小便器	13	12	11	11	18
男子洗面器	4	4	4	3	4
女子便器	10	7	6	7	6
女子洗面器	7	8	5	3	6

7.3 検討データの概要

本章の分析では、対象5駅に関する次の5件の調査データを用いた。

1) ラチ内トイレ使用実態調査報告書^{注1)}

本報告書は、節水型トイレを設置した際のトイレ使用水量削減効果検討を目的に、トイレ利用、器具使用、洗浄弁使用の各状況を記録・集計したものである。調査は、T、J駅については1週間、他の3駅について金曜日から月曜日の4日間行われているが、調査内容の一部が異なり、T、J駅では乗降者数およびトイレ利用者の記録がなく、洗面器を含む器具使用状況のみの調査がなされているが、K、S、U駅では乗降者数とトイレ利用者数、および洗面器を除く器具使用状況の調査がなされている。資料の入手時点で、器具使用状況を記録したチャート紙の一部は所在が不明であり、最初に調査がされたT、J駅については、チャート紙の不良などによる欠測が若干みられた。

トイレ利用の調査では、トイレ出入口の状況を男女別にタイムラプスビデオカセットレコーダー(1/24モード)により撮影録画し、後日再生しながら30分毎にトイレ入場者を集計している。各器具の使用状況は、大便器ブース扉のマグネットスイッチ、洗浄弁の感知スイッチ、小便器に取付けた光電センサーによる信号をペンレコーダーのチャート紙に1(cm/分)にて記録している。後日、これら記録線の長さ・変化を読み取り、男子大便器と女子便器については、30分毎に使用人数、1人あたり占有時間の度数分布(1分間隔)、1人あたり水の洗浄回数の度数分布を集計している。この調査に関しては、トイレ利用を撮影したビデオテープおよび器具使用を記録したチャート紙から、トイレ利用は男女別に秒毎に到着人数を集計し、器具使用状況はデジタイザーを用い記録結果を0.1mm単位で読み取り、各器具別に使用開始時刻と終了時刻を秒単位で求めたデータファイルを作成した。本研究ではその一部を用いている。なお、以下では「ラチ内トイレ調査」と略称する。

2) U駅旅客流動調査報告書^{注2)}

本報告書は、U駅の将来改築および周辺市街地整備計画の検討を目的に、改札口、通路、ホーム階段、連絡通路、連絡口、駅旅客用施設等の駅構内乗客の流れが変化する全箇所において、調査員のカウンター計測とカード配布・回収により計測した30分単位の旅客流動の値が示されている。調査は昭和60年11月19日(火)7時から24時間行われている。なお、以下では「U駅流動調査」と略称する。

3) JR交通広告データブック 10,000人調査データ編^{注3)}

本データブックは、広告媒体としてのJR交通機関の有効性検証を目的に都市圏住民を対象とした各駅・各線の利用実態の調査報告書である。東京駅から半径70km圏内に在住の12歳から69歳までの男女を対象に、調査員による留置記入依頼・自記式により1,000地点で平成7年に実施したものであり、有効回収数は10,020になる。調査対象者は無作為2段抽出法により選択されている。調査項目は記入者の属性、定期券所有状況、移動行動である。このデータ編では、主要な28駅を対象に全記入者と定期券所有者について、各属性の該当者数、その該当者中の駅別の1週間利用率、1週間平均利用回数を示している。調査は、平成7年11月7日(火)から12月18日(月)まで、調査表の配布・回収を行っている。なお、以下では「10,000人調査」と略称する。

4) JR山手線内の自動改札口における券種別乗降人員の時刻変動調査^{注4)}

本調査は駅利用者数予測システムを作成するために、都心に位置するJR山手線内各駅の乗降者数の時刻変動パターンを改札口別に把握することを目的としている。山手線内全36駅87自動改札口を対象に始発から終電まで30分毎に券種別に集計している。調査日は、平成5年2月7日(日)および17日(水)である。なお、以下では「山手線調査」と略称する。

5) JR放射状5方面路線内の自動改札口における券種別乗降人員の時刻変動調査^{注5)}

本調査は、上述と同じ目的の同様な調査であり、JR放射状5方面路線を対象として代表的な38駅57自動改札口で実施している。調査日は、平成5年7月4日(日)および7日(水)である。なお、以下では「放射状路線調査」と略称する。

以後、上述の「ラチ内トイレ調査」データを中心に、他の調査データは補完的に用いながら、5駅以外の駅舎トイレへの適用を考慮し、各駅の乗降者数、トイレ利用者数、トイレ内の便器使用者数等の特性、相互の関連を明らかにした後、時間あたりトイレの使用水量(雨水利用量)を設定し、駅舎トイレにおける雨水利用システムの有効性を検討する。なお、本章でのトイレの使用水量は、便器洗浄用途に限定する。

7.4 駅舎における乗降者数とトイレ利用者数

7.4.1 乗降者数とトイレ利用者数の経時変化

前述の「ラチ内トイレ調査」のデータより、K、S、U駅の始発から終電までの乗降者数とトイレ利用者数の1日の変化を平日(金)と休日(日)について図-7.3に示す。ここで、乗降者数は図-7.2に示した改札口の通過者のみを示す。ただし、U駅の新幹線口は除いている。現在、旅客トイレの利用者数の算定には、このような乗降者数が対象になっており、U駅で駅利用者の多数を占めると考えられる乗換者数は対象となっていない。K、S駅は、調査対象トイレが位置するエリアの通過者が図-7.2に示した改札口の通過者とほぼ同じと考えられるため、この報告書の乗降者数を用いた。ただし、K駅では1改札口の時間別データが報告書に記載されていないため、その改札口の乗降者数の時間別値は、「JR放射状路線調査」の

改札口別乗降者数を用いて、1日の乗降者数を各時間帯に配分した修正値を用いた。なお、図の乗降者数とトイレ利用者数は60分毎の集計値である。図に示す男女トイレ利用者の変動の中で、乗降者数に比べて不自然な低下が認められるものは9時から12時にかけて行われたトイレ清掃時の入場禁止による影響である。図より、平日の乗降者数の変動には朝と夕方にピークがあるが、休日ではそのようなピークは認められない。トイレ利用者の変化は、平日には乗降者の変化とは対応しないが、休日ではおおむね対応することがわかる。平日と休日と比較すると、トイレ利用時の混雑を考えるなら、平日を算定対象とすることが妥当と思われる。また、トイレ利用者数のピークは、朝および夕方以降に存在し、男子トイレ利用者は時間の経過とともに増加する傾向がある。U駅は、乗降者数に対してトイレ利用者数がK、S駅よりも多い。

各駅について、測定期間中の対象改札口における乗降者数およびトイレ利用者数をまとめた諸値を表-7.3、表-7.4にそれぞれ示す。平日乗降者の朝のピーク率は駅によって異なる。一方、夕方は各駅とも近似した値を示し、大略1.5前後になる。平日のトイレ利用者数のピークは、男子では17時以降の退社時に現れることが多く、特にU駅ではS、K駅に比べて遅くなる。このときのピーク率は大略1.5前後を示す。一方、女子では、駅および曜日によって朝あるいは夕方に現れ、ピーク率の変動幅は大きく、1.4~1.9の範囲にある。

7.4.2 トイレ利用率の経時変化

ある一定時間内の乗降者数に対するトイレ利用者数の割合をトイレ利用率(%)とする。前述した表-7.2、表-7.3より、1日のトイレ利用率をみるなら、後述するように乗換者の影響のあるU駅を除くS駅とK駅の平均では、それぞれ3.9%(男子:2.9%,女子:1.0%)、3.2%(男子:2.3%,女子:0.9%)となり、都心部から離れるK駅の方が若干低い割合を示す。また、各駅とも休日は平日より高い割合を示すことがわかる。

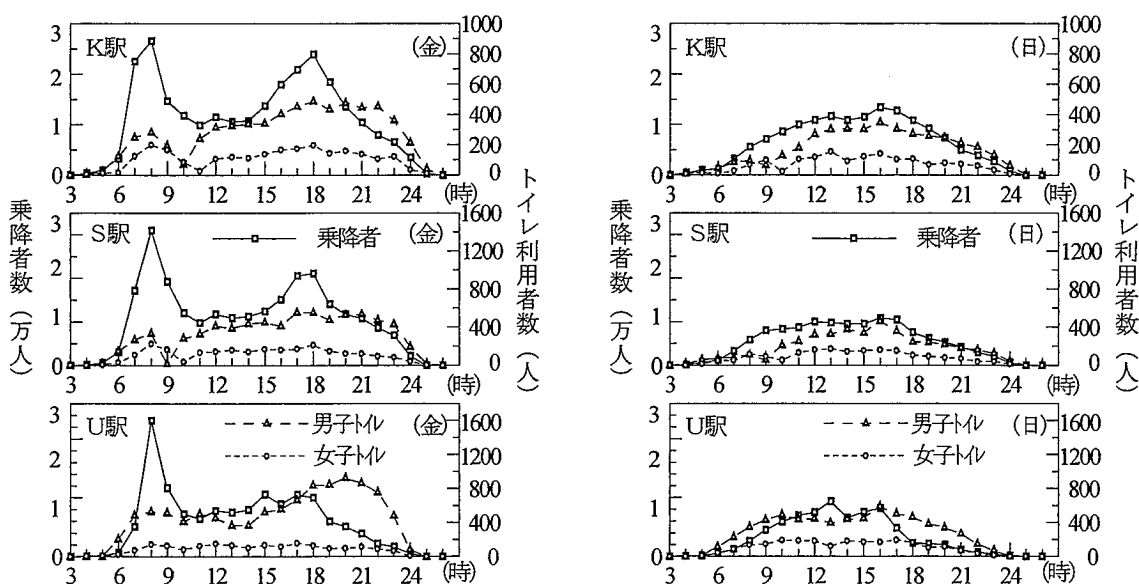


図-7.3 乗降者数とトイレ利用者数

表-7.3 乗降者数

	測定日	乗降者数		ピーク時(人/時)		ピーク時(%)		ピーク率	
		(人/日)	(人/時)	朝	夕	朝	夕	朝	夕
K駅	金	259946	14441	25507	23900	9.81	9.19	1.77	1.65
	土	206637	11276		16913		8.19		1.50
	日	158864	8826		15435		9.72		1.75
	月	231180	12843	24541	18811	10.62	8.14	1.91	1.46
S駅	金	250130	13896	31007	21103	12.40	8.44	2.23	1.52
	土	180378	10021		15453		8.57		1.54
	日	125224	6957		10895		8.70		1.57
	月	233689	12983	29934	19691	12.81	8.43	2.31	1.52
U駅	金	68611	3812	11568	5264	16.86	7.67	3.03	1.38
	土	50631	2813		4406		8.70		1.57
	日	37481	2082		4107		10.96		1.97
	月	62459	3470	11915	5304	19.08	8.49	3.43	1.53

- 1) 測定日は平成7年の、K駅 1/20~23, S駅 1/27~30, U駅 2/3~6
- 2) (人/日)は、調査日の始発から終電までの乗降者数
- 3) (人/時)は、乗降者数を駅の活動時間18時間(06-24時)で除した時間平均値
- 4) ピーク時(%)は、1日乗降者に対するピーク時乗降者数の占める割合
- 5) ピーク率は、時間平均値に対するピーク時(人/時)の値の比率
- 6) U駅の場合、土・日曜日のピークは昼に現れ、それぞれ12時台(4490人)、13時台(4688人)。表の値は、16時以降の最大値で共に16時台の値

表-7.4 トイレ利用者数

	測定日	トイレ利用者数		ピーク時(人/時)	ピーク時(%)	ピーク率	ピーク発生時間帯
		(人/日)	(人/時)				
K駅 男子	金	6185	343.6	493	7.97	1.43	18時台
	土	5385	299.2	479	8.90	1.60	17時台
	日	3926	218.1	350	8.91	1.60	16時台
	月	5195	288.6	458	8.82	1.59	17時台
K駅 女子	金	2359	131.1	201	8.52	1.53	08時台
	土	2249	124.9	226	10.05	1.81	17時台
	日	1615	89.7	158	9.78	1.76	13時台
	月	1975	109.7	190	9.62	1.73	15時台
S駅 男子	金	7376	409.8	607	8.23	1.48	18時台
	土	5864	325.8	527	8.99	1.62	17時台
	日	4358	242.1	470	10.78	1.94	16時台
	月	6452	358.4	497	7.70	1.39	17時台
S駅 女子	金	2569	142.7	233	9.07	1.63	08時台
	土	2687	149.3	227	8.45	1.52	17時台
	日	1947	108.2	169	8.68	1.56	13時台
	月	2258	125.4	235	10.41	1.87	08時台
U駅 男子	金	10346	574.8	930	8.99	1.62	20時台
	土	7705	428.1	571	7.41	1.33	09時台
	日	6591	366.2	588	8.92	1.61	16時台
	月	8740	485.6	739	8.46	1.52	20時台
U駅 女子	金	1963	109.1	153	7.79	1.40	17時台
	土	2299	127.7	181	7.87	1.42	12時台
	日	2370	131.7	198	8.35	1.50	17時台
	月	1829	101.6	149	8.15	1.47	10時台

- 1) 測定日は平成7年の、K駅 1/20~23, S駅 1/27~30, U駅 2/3~6
- 2) (人/日)は、調査日の始発から終電までの利用者数
- 3) (人/時)は、利用者数を駅の活動時間18時間(06-24時)で除した時間平均値
- 4) ピーク時(%)は、1日の利用者数に対するピーク時の利用者数の占める割合
- 5) ピーク率は、時間平均値に対するピーク時(人/時)の値の比率

ところで、時間あたりトイレの使用水量の算定にあたっては、このようなトイレ利用率について1日の変化特性の検討が必要となる。そこで、1時間毎にみた金・日曜日のトイレ利用率の変化を図-7.4に示す。

平日のトイレ利用率は、U駅の値が高いが、3駅とも時間による変化は同様な傾向を示している。この傾向と図-7.3の乗降者数を考慮すると、トイレ利用率は以下のように5段階に分けられる。

- 1) 変化の大きい部分が存在する朝の6時台まで
- 2) 利用率の小さい朝のピーク時
- 3) 変化が少ない朝夕ピーク間の昼の時間帯
- 4) 朝のピーク時に比べて利用率の大きい夕方のピーク時
- 5) 男子トイレ利用率が上昇する夕方のピーク時以降

朝の6時台までは、乗降者数、トイレ利用者数とも少ないことから個人の特性が大きく反映した傾向を示しており、乗降者数とトイレ利用者数との関連の検討対象からはこの時間帯を除き、2)から5)の時間帯について考える。

休日も同様な変化をしており以下の3段階に分けられる

- 1) 変化の大きい部分が存在する朝の7時台まで
- 2) 変化が少ない昼間
- 3) 男子トイレ利用率がやや上昇する夕方以降

U駅の変化が若干異なるのは遠距離利用者の影響が考えられる。U駅のトイレ利用率が高い値を示すのは、構内で乗換者の多い通路近くにトイレが位置するため、ここでの利用率の算定に用いた乗降者以外の乗換者が影響しているためと考えられる。

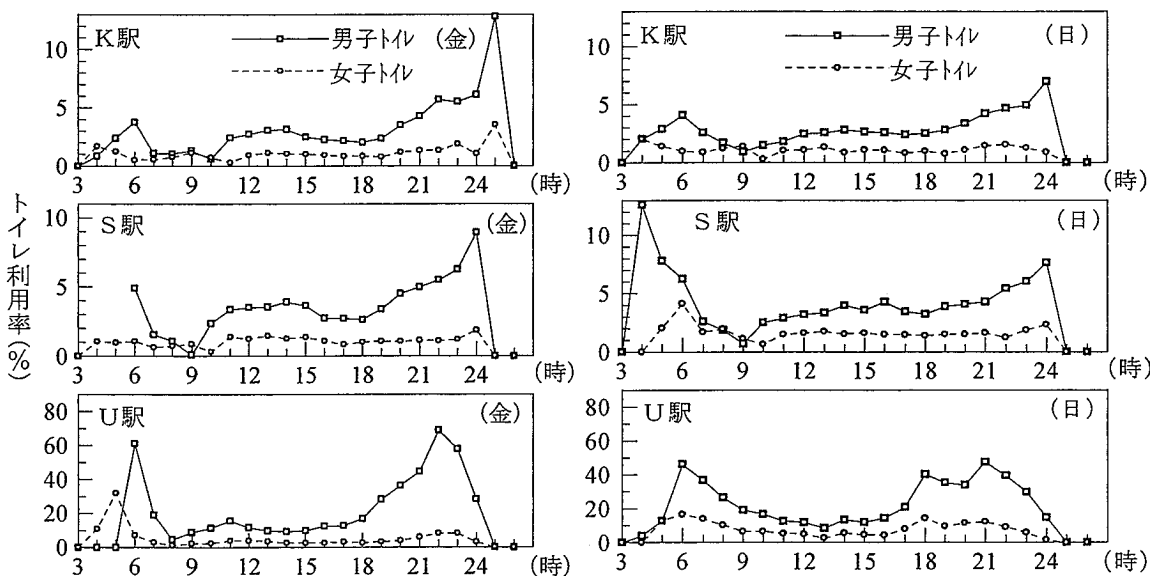


図-7.4 トイレ利用率の変化

7.4.3 U駅流動調査に基づくトイレ利用率の検討

現在のJRにおけるトイレ利用者数算定には乗降者数(出札口通過人員)を用いており、それに従い、前述のトイレ利用率は算定した。しかし、乗換者がいないK、S駅と、乗換者が多数考えられるU駅のトイレ利用率から判断するなら、構内での乗換者も対象にトイレ利用者数を検討する必要があると考えられる。しかし、平成7年のラチ内トイレ利用実態調査では乗換者数の計測は行われていないため、10年前のデータではあるが、調査内容が適している「U駅流動調査」の昭和60年の調査資料を用いて、乗換者数の影響を検討した。この調査では2箇所のトイレ利用者数の測定が7時から19時までの12時間行われている。表-7.5に7時から12時間の乗降者数、トイレ利用者数、トイレ利用率の集計値を流動調査のU駅および表-7.2, 3の3駅(金曜日)について示す。U駅の場合、2改札口通過者数でトイレ利用率を算定した値は13.2%となり、S、K駅に比べると4~5倍の値を示す。しかし、乗換者も含むこのエリアの全通過者で算定するなら、5.0%(男子3.9, 女子1.1)となり、K、S駅とほぼ同じレベルの値となる。したがって、乗換者もトイレ利用の対象者として捉える必要がわかる。

この調査値を用いて、トイレ周辺・駅構内の通過者数とトイレ利用者数の関係を検討した。図-7.1に示したU駅のエリアには2箇所にトイレがある。この2つのトイレ周辺エリアを図中に示したように順次拡大し(エリアA→B→C, エリアZ→Y→X→W→V), その拡大エリア通過者のトイレ利用割合を算定した。設定した拡大エリアの通過者数を表-7.6に、結果を図-7.5に示す。図より、エリアを拡大していくとトイレ利用率は小さくなり、全通過者のトイレ利用率に順次近づくことがわかる。これは、駅構内ではトイレの前を通過する際に便意を催しているから入る利用者ばかりではなく、トイレを利用する目的で通常より長い距離を移動する利用者があることを示している。したがって、トイレの利用対象者はトイレの前を通過する者ばかりでなく、トイレ利用可能なエリアの通過者も含めて考えるべきであるといえる。

表-7.5 12時間の乗降者数, トイレ利用者数, トイレ利用率

項目	K駅	S駅	U駅	流動U駅
乗降者数 (人)	194839	192224	58480	264446
男子 トイレ利用者数(人)	3693	4528	6209	10268
男子 トイレ利用率 (%)	1.90	2.36	10.62	3.88
女子 トイレ利用者数(人)	1628	1888	1489	3032
女子 トイレ利用率 (%)	0.84	0.98	2.55	1.15

表-7.6 トイレ周辺エリアの通過者数

設定エリア					
公園方トイレ			A	B	C
通過者数			43509	94565	117684
新幹線横トイレ	Z	Y	X	W	V
通過者数	29059	42994	66242	110190	146762
総通過者数					264446

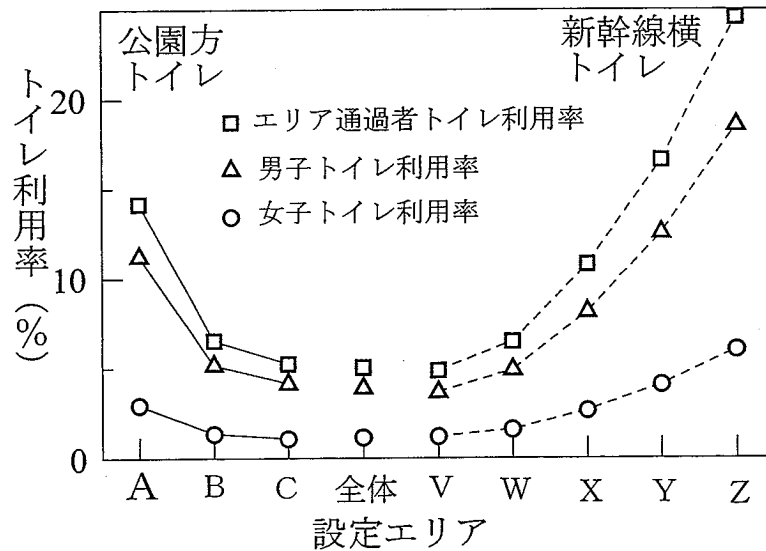


図-7.5 エリア通過者トイレ利用率

7.4.4 乗降者数とトイレ利用者数の関連

これまで述べた事項を考慮して、トイレの利用者数算定において基本となる、1時間毎の乗降者数とトイレ利用者数の関連を、7.4.2項で述べた平日の朝6時台までの時間帯を除いた4つの時間帯を対象として図-7.7に男女別に示す。なお、U駅は「U駅流動調査」(火曜日)のデータを用い、乗換者を含めた全エリアの通過者を乗降者として算定している。また、K、S駅については月・金曜日のデータを用いている。図中に示す点線は、乗降者数が0の場合はトイレ利用者数も0になることを考慮して算定した原点(0,0)を通る回帰直線であり、その傾き a は各時間帯のトイレ利用率を表し、朝と夕方のピーク時では、男子(1.64%, 2.88%), 女子(0.67%, 0.87%)と差が生じている。また、男子ではピーク時外と夜20時以降のピーク時、女子ではピーク時外の利用率が高く、乗降者数が減少する比較的余裕のある時間帯のトイレ利用率は高くなることがわかる。なお、図中の r は乗降者数とトイレ利用者数のピアソンの積率相関係数を示す。

7.4.5 男女別乗降者数とトイレ利用者数の推定

トイレ利用者数は乗降者数も含め男女別に検討されることが望ましいが、これまで用いた乗降者数の男女比率は不明である。そこで、以下のような手順で各駅の時間帯・男女別乗降者数の算定を試み、その値と男女トイレ利用者数の関連を検討した。

1) 定期・切符利用者男女比の算出

「10,000人調査」の男女別回答者数に1週間駅利用率(ある駅を1週間に1度でも利用した人の割合)を乗じてその駅の利用者数を求める。その利用者数に1週間平均利用回数を乗じて1週間延べ利用度数を求め、その男女比率を定期・切符利用者毎に算出する。

2) 各時間帯の男女比の算出

「山手線調査」および「放射状路線調査」の5種券別乗降者数より定期・切符の乗降者数を各時間帯毎に算出し、その値に前述1)の男女比率を用いて、時間帯・性別に定期・切符の乗降者数を求める。時間帯・性別に定期・切符の利用者を合計し、時間帯別の男女利用者数を求め、その比を算出する。

3) 各時間帯の男女乗降者数の算出

各時間帯の男女比を前項で用いた乗降者数に乗じて各時間帯の男女別乗降者数を算出する。

以上の手順を各駅について行い、男女別乗降者数を推定する。

表-7.7に3駅の男子乗降者数に対する女子乗降者数の割合を示す。表より、定期は男子の割合が多く、それに比して切符は女子の割合が多いこと、駅によって男女の割合に差があることがわかる。ピーク時は定期利用者が多く、昼間は切符利用者が多いことから、この男女比は駅の特徴を示すと考えられる。他の2駅と異なる傾向を示したU駅は男性の割合が高いことがトイレ利用にも反映していると思われる。表の右欄に示した「再計算」は上述の3)で算定した男女別乗降者数から再度全体の男女比を算定したもので、「10,000人調査」の結果から算定した男女比より高く、女性の割合が多くなっている。これは「10,000人調査」で

対象とした70km都市圏に含まれない地域の切符利用者の影響と考えられ、若年乗降者が多いといえるS駅、長距離列車の終着駅U駅で高くなることから理解できる。

各時間帯別の男女乗降者数を用いて、図-7.6と同様な乗降者数とトイレ利用者数の関連を男女別に図-7.7に示す。図から男女別のトイレ利用傾向が図-7.6よりも明確にわかる。男子トイレにおいては、同じピーク時でも、7時台～、17時台～、20時台～になるにつれ利用率は2.6、4.9、7.9%と大幅に上昇する傾向が読み取れる。それに比べて、女子トイレにおいては、U駅の一部を除けば、男子と同じようにピーク時の上昇傾向はあるものの変動は小さく、大略2%前後と利用率がほぼ一定していることがわかる。

表-7.7 男子乗降者数に対する女子乗降者数の割合

	1週間利用度数		男子に対する女子の割合			* 再計算
	男子	女子	全体	定期	切符	
K駅	224	178	0.795	0.499	1.786	0.832
S駅	901	521	0.578	0.479	1.174	0.815
U駅	1548	456	0.295	0.229	0.712	0.454

*再計算：算出された各時間帯の男女乗降者数から計算した男女比

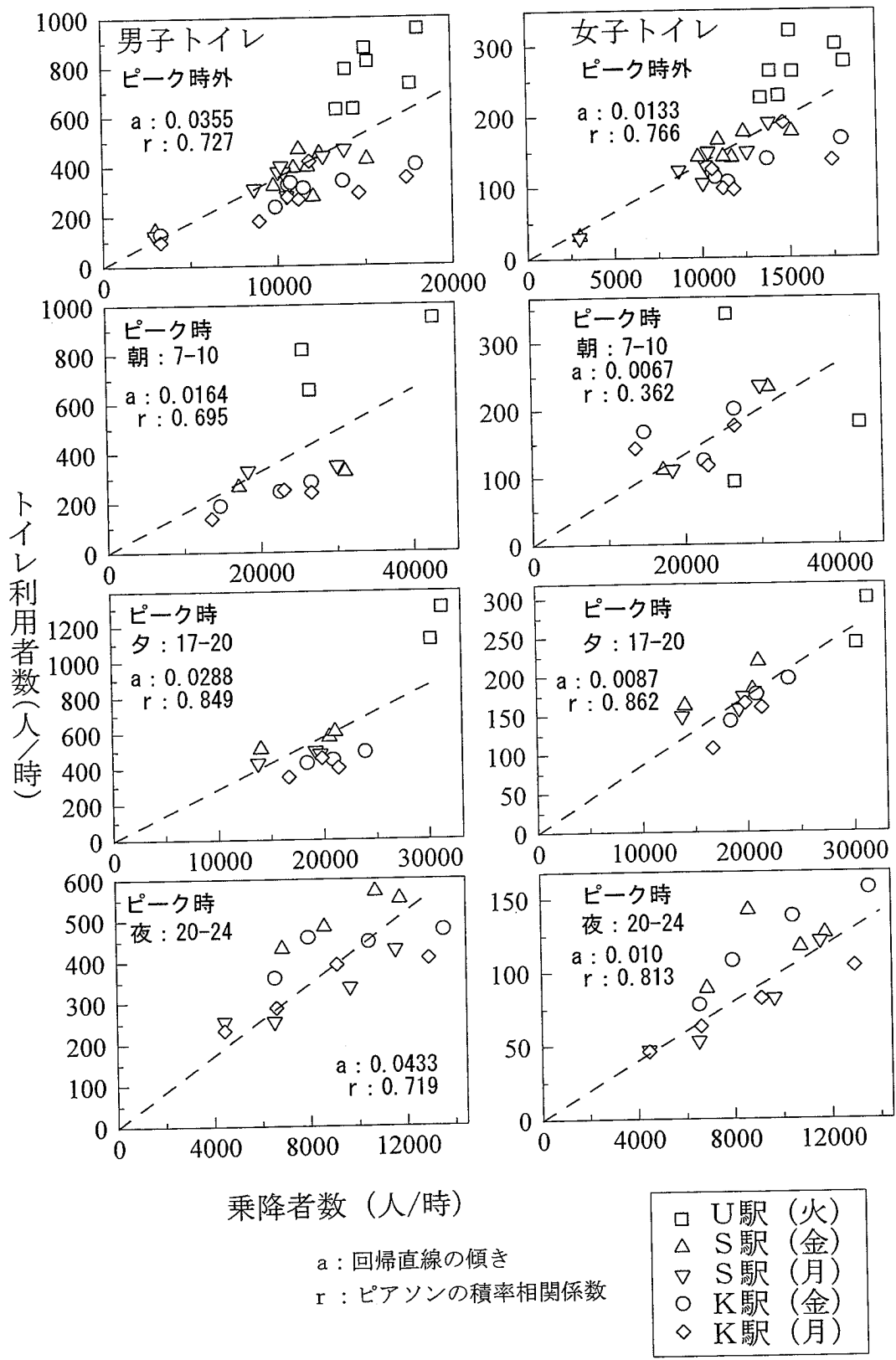


図-7.6 乗降者数とトイレ利用者数

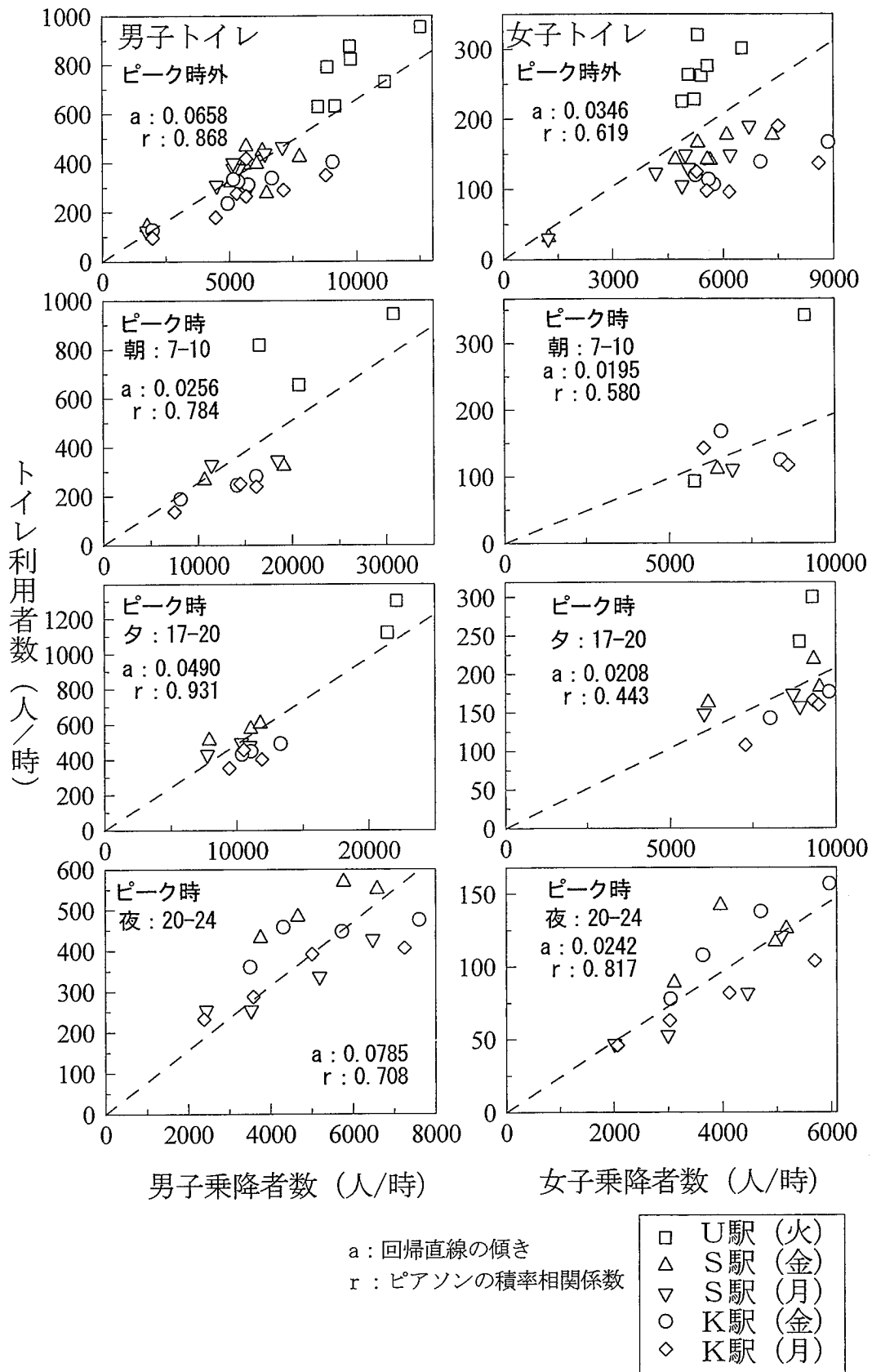


図-7.7 男女乗降者数とトイレ利用者数

7.5 トイレ利用と各便器使用の分析

7.5.1 トイレ利用者数と便器使用者数

K, S, U 駅の平日(金曜日)におけるトイレ利用者数と便器使用者数の経時変化を、男子トイレと女子トイレに分けて図-7.8に示す。同図より、使用者は利用者の変動に対応していること、全てのトイレにおいて、朝夕のラッシュの間に、掃除による不自然な利用者数・使用者数の低下が認められる。U 駅では2回に分けて清掃がなされているため、低下の程度がほかの駅に比べて少ない。また、男子大便器の利用者は朝にピークが存在し、時間の経過とともに漸減することがわかる。この朝の大便器使用のピークは、一般家庭においても認められており¹⁾、なんらかの理由で朝に自宅で排便をしない人の一部が、朝の駅において大便器を習慣的に使用していると考えられる。この朝のピークは、7.4.2項で述べたトイレ利用者のピークより1時間以上前にある。3駅の中でU 駅は男子大便器の利用者数が少ない。これは、U 駅では長距離通勤者が多く、乗車前や車中で大便器を使用していること、乗り換えのため時間的余裕がないこと、前述したように大便器数が少ないことなどが原因と考えられる。

男子小便器は、トイレ利用者の変動と対応して利用者の増加に応じて小便器使用者も増加し、大便器とは逆に、時間の経過とともに増加する傾向がある。これより、7.4.1項で示

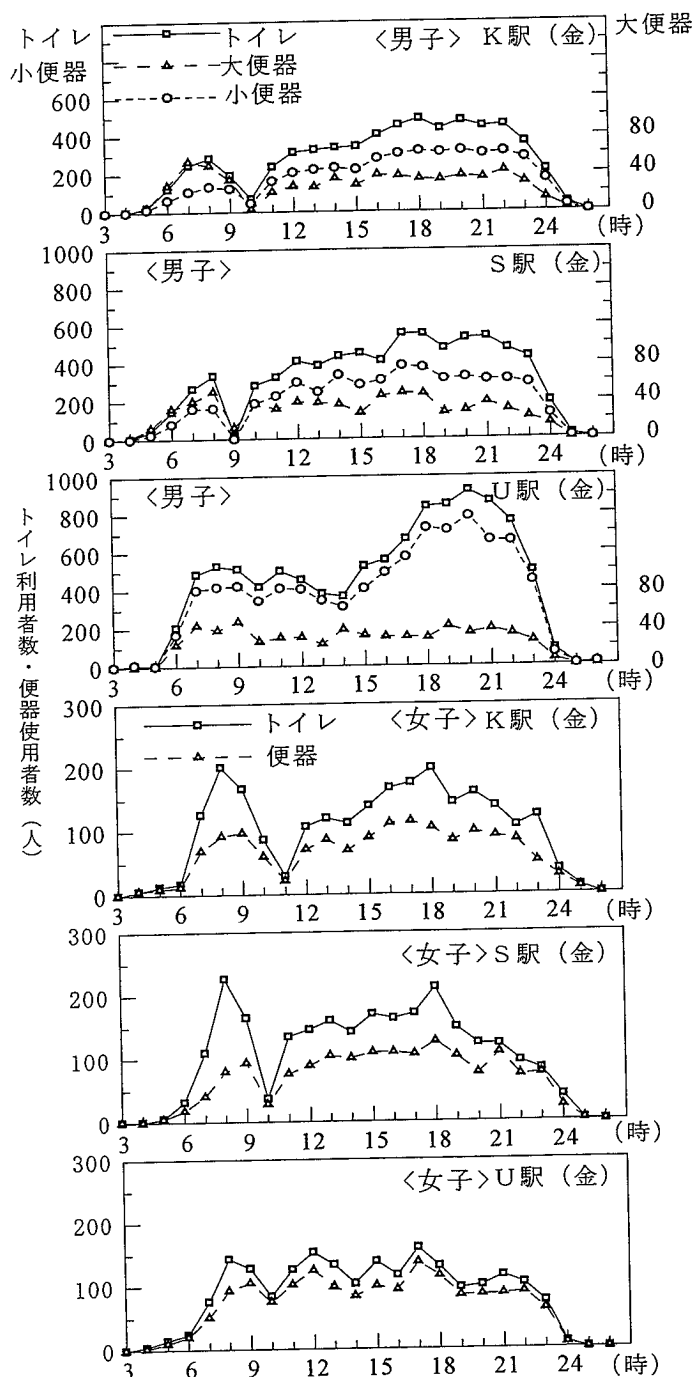


図-7.8 トイレ利用者数と便器使用者数

した男子トイレの夕からの利用者の増加傾向は小便器使用者の増加によることがわかる。

女子便器においては、トイレ利用者と便器使用者の変動は対応しているが、トイレ利用者数と便器使用者数の差が大きなケースも認められる。この差はU、K、S駅の順に大きくなる傾向があり、時間帯では朝のラッシュ時に特に多い。

このトイレ利用者と便器使用者の差は、女子トイレほどではないが、男子トイレにおいても存在している。この差は、トイレに入っても便器を使用しない利用者があることを意味するが、大部分は洗面器のみを使用者によるものと想定され、洗面台で水を使用せず、身だしなみや身繕いのために鏡や台だけを使用する人を多く含んでいると考えられる。身繕い等に関心が高い女子でこの差が大きいこと、また、男子も含めて出社前の8時台にこの差が最大になることも、この想定を裏づけている。K、S駅とU駅を比較すると、この差はU駅においては男女とも少ない。これは、U駅がK、S駅と異なり乗換者が多いこと、および、表-7.2に示すように、男子トイレにおける便器数に対して洗面器数が少ないことなどが要因になっていると思われる。

7.5.2 便器の使用率

前述のトイレ利用者数と便器使用者数の関連をさらに検討するため、図-7.8の利用者数と使用者数から、各時間帯における男女別利用者中の便器使用者の割合を算定し、K、S、U駅の便器使用率として図-7.9に示す。なお、利用者数に対する使用者数の割合は、利用者が少ない時間帯では使用率の変動幅が大きくなる傾向があるため、早朝・深夜等の時間帯は除外して表示した。

同図より、図-7.8ではわかりにくい各便器使用率の経時変化の傾向が明らかになる。男子大便器は朝方6時から9時台にピークがあるが、9時以降は漸減していき、大便器使用者

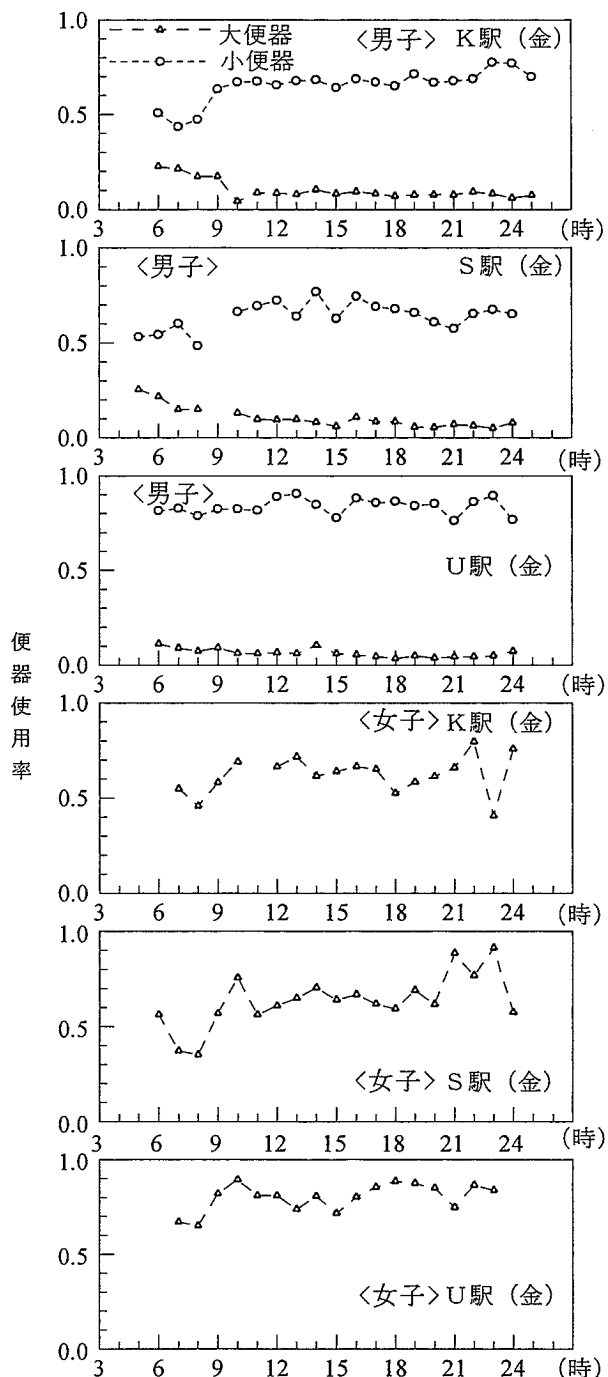


図-7.9 便器使用率 (平日)

の少ないU駅でもこの傾向は認められる。男子小便器は、朝に少なく時間が経つにつれ漸増していく傾向があるが、顕著なピークはみられずに推移している。女子便器は、おおむね男子小便器と同じような変動傾向を示している。女子が使用可能な便器は1種類であることを考慮すると、女子便器の使用率が低い朝には、便器を使用しない利用者で洗面器の使用が多くなると考えられる。

7.5.3 時間帯別トイレ利用者数に対する便器使用者数の割合

前項で時間帯により便器の使用率が異なることを示した。そこで、7.4.2項に示した乗降者とトイレ利用者の関連を検討した同様の時間帯区分で、トイレ利用者数と各便器使用者数の関係を調べた。

トイレ利用者数と各便器使用者数を朝・夕・夜のピーク時と非ピーク時に区切って、それぞれの関係を示したのが図-7.10である。図中に、時間帯別の各便器使用率である回帰係数 a （傾き）とピアソンの積率相関係数 r を示す。

同図より、男子トイレでは利用者の小便器使用率は朝から夜にかけ増加し、かつ、相関係数が高く変動が少ないことがわかる。大便器使用率は逆に朝に高い値を示し、その後は低下するが、ピーク時以外は使用率がやや変動している。これより、男子トイレの利用者数が不明で小便器使用者数が明らかな場合には、この小便器使用者数を図中の回帰係数で除することにより、利用者数を推定することが可能といえる。

女子トイレでは朝のピーク時に最も低い回帰係数 0.493 を示し、その使用率は変動している。そのほかの時間帯では使用率は約 0.7 と、高い値を示す。また、女子トイレは、男子トイレに比べて利用者に対する便器使用者数が少ないといえる。この便器使用者数は、男子トイレの場合は小便器と大便器の回帰係数を合計して知ることができる。その値は 0.81 から 0.85 を示すが、これに対して女子の便器使用者は少なく、便器未使用者の多いことがわかる。これは、女子が男子に比べて、身繕い等の理由から便器を使用せずに洗面器を使用する事例が多いことに要因があると考えられる。

以上5駅の調査結果を用いて、各駅各時間帯の乗降者数、トイレ利用者数、便器使用者数を算出し、ある値が判明すれば、不明な値を算定できるように図-7.6、7.7、7.10にそれらの関連を図示した。これにより、5駅以外の駅舎トイレに雨水利用システムを適用とした場合に、実測が困難な便器使用者数を、乗降者数、トイレ利用者数が得られれば、推定することができる。次節からは、便器使用者数を用いてトイレ使用水量の推定を行い、雨水利用シミュレーションを種々の条件で行う。

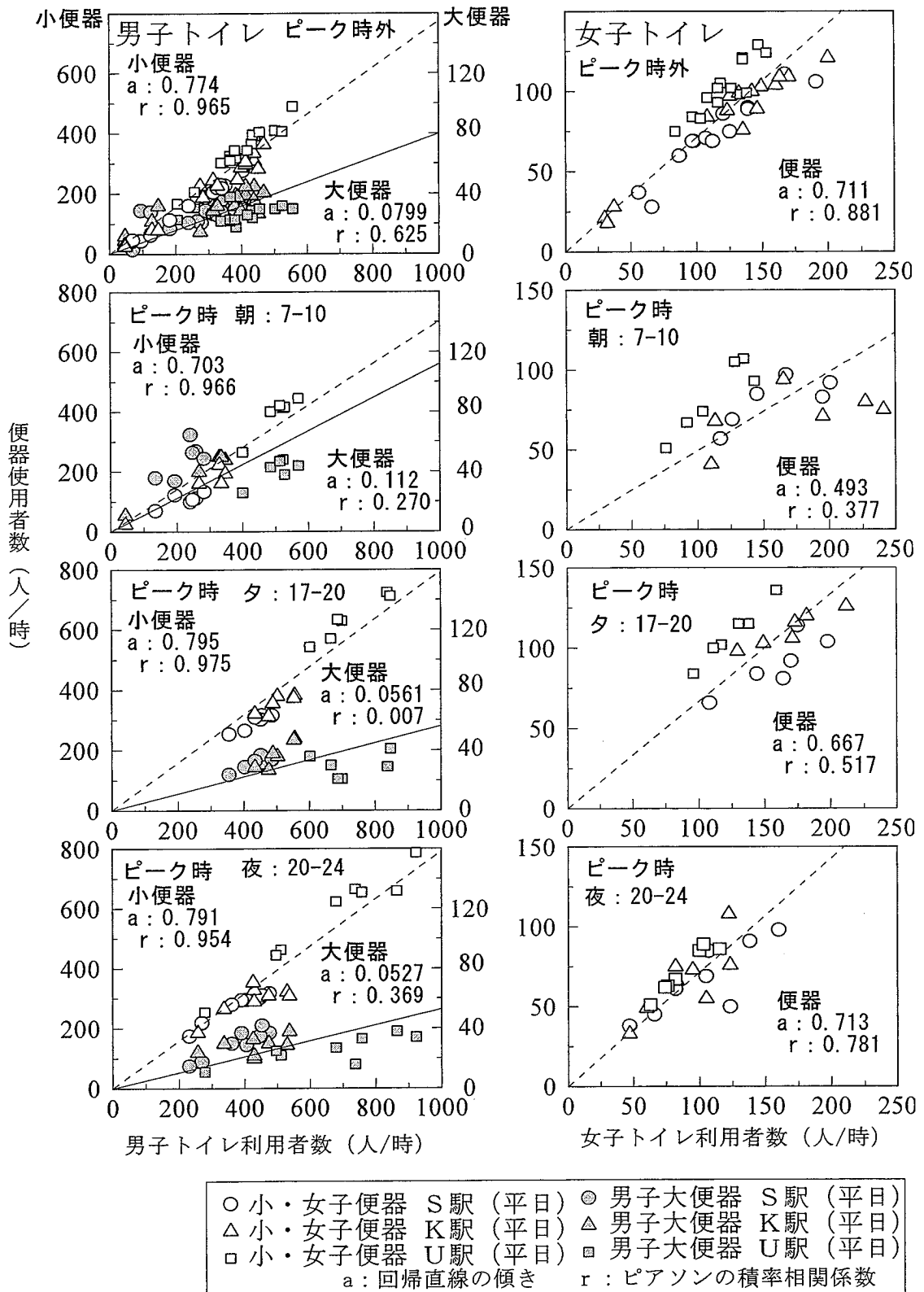


図-7.10 男女トイレ利用者数と各便器使用者数

7.6 雨水利用シミュレーションの算定条件

上述の5駅のトイレを対象に、収集(降水量、雨水収集面積)、使用(トイレ使用水量)および貯留(雨水貯留槽容量)に関する雨水利用シミュレーションの基本条件を設定する。

7.6.1 降水量

雨水利用の検討に必要な降水量は、対象駅に近い観測地点の1987年から10年分の1時間毎のデータを、気象庁監修のアメダス観測年報CDROM版より複写し結合して、後述する雨水利用シミュレーションに用いる。K駅には練馬観測点、ほかの4駅には東京観測点(千代田区)のデータを用いた。2観測点の欠測データは相互に補完したが、2観測点の同一時刻に欠測がある場合には、世田谷観測点のデータを用いて補完した。世田谷観測点のデータも同様に補完した。3観測点データの全てが欠測した時間帯はなかった。

表-7.8~10、図-7.11に3観測点の降水量の年、月、日、時の10年間の統計値を示す。表、図より、同じ都内でも降水量に差があり、周辺が商業地区の東京・練馬観測点に比べて、住宅地区である世田谷観測点の降水量が多くなっているが、3観測点の降水量の増減傾向はおおむね一致していることがわかる。

表-7.8 年降水量 (mm/年)

年	東京	練馬	世田谷
1987	1088	1228	1143
1988	1516	1559	1679
1989	1936	1911	1964
1990	1512	1558	1636
1991	2042	2015	2105
1992	1621	1529	1738
1993	1872	1796	1917
1994	1146	1127	1266
1995	1220	1314	1412
1996	1333	1325	1480
平均値	1529	1536	1634

表-7.9 月平均降水量(1987-96年) (mm/月)

月	東京	練馬	世田谷
1	51	50	53
2	59	60	65
3	134	127	141
4	107	100	112
5	126	118	126
6	160	153	162
7	153	174	172
8	174	196	220
9	245	250	249
10	183	178	186
11	99	98	109
12	36	34	40

表-7.10 各曜日の日平均降水量 (1987-96年) (mm/日)

曜日	東京	練馬	世田谷
日	4.08	4.27	4.76
月	4.09	4.11	4.43
火	4.39	4.33	4.35
水	4.15	4.13	4.73
木	4.09	4.26	4.18
金	4.25	4.12	4.48
土	4.25	4.21	4.38

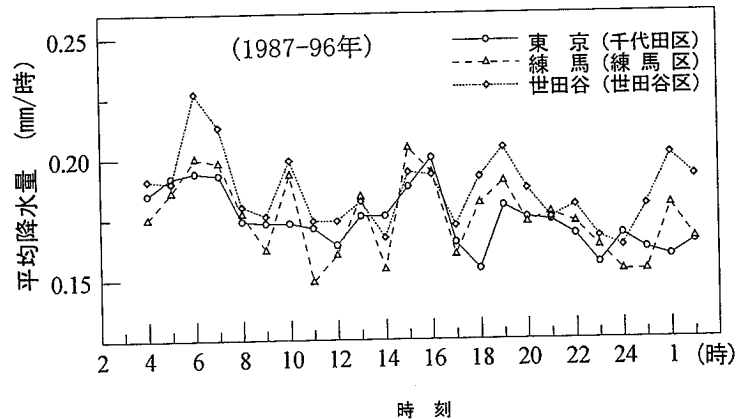


図-7.11 時間帯別時間平均降水量

7.6.2 雨水収集面

駅舎において効率的な雨水収集を考えると、列車の運行および鳥の飛来により、鉄粉および鳥の糞に汚染される可能性もあるが、プラットホームの屋根の利用は容易であると考え、プラットホームの屋根を中心とした雨水収集を想定した。5駅のうち、J駅、U駅の対象トイレはプラットホームより階上にあるため、トイレが所在する駅舎の屋上を雨水収集面に含めた。5駅のプラットホームおよび駅舎の状況を図-7.12に示す。図中に雨水収集に利用可能と考えられるプラットホーム屋根面を網かけし、屋上を白く表示した。番号の部分および「屋上」は、面積を読み取った個所である。読み取った屋根面積を表-7.11に示す。表の「ホームNo」は、図-7.12の番号と同じであり、上から、対象トイレに近い順に示している。J駅の「5+8」のような表記は、図-7.12の同じ番号の屋根面を合わせてもとめたことを示す。S駅、U駅の「屋上/2」は、同じ屋根の下にトイレが2箇所あり、それぞれが別個に雨水利用する場合を想定している。

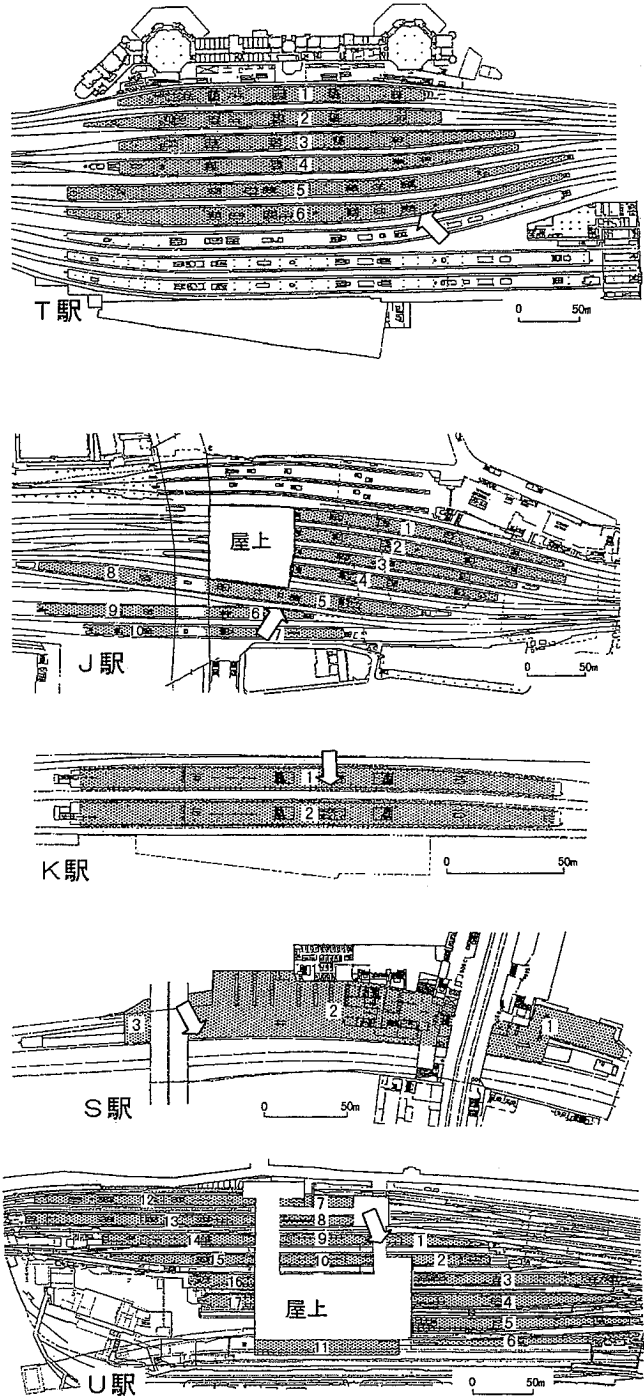


図-7.12 検討対象駅の屋根面 → : 調査対象トイレ

表-7.11 各駅のホーム・建物屋根面積 (m²)

ホームNo	T駅	ホームNo	J駅	ホームNo	K駅	ホームNo	S駅	ホームNo	U駅
5	4311	屋上	4260	1	1867	屋上/2	7293	屋上/2	4972
6	4723	4	1589	2	2036	屋上/2	7293	屋上/2	4972
4	3645	5 + 8	3159	-	-	-	-	7 + 12	2159
3	3541	3	1395	-	-	-	-	8 + 13	2327
2	3247	6 + 9	1698	-	-	-	-	1 + 9 + 14	2635
1	2968	2	2108	-	-	-	-	2 + 10 + 15	2529
-	-	7 + 10	1568	-	-	-	-	3 + 16	1966
-	-	1	2351	-	-	-	-	4 + 17	1946
-	-	-	-	-	-	-	-	5 + 6 + 11	4127

表-7.11 のトイレに最も近い屋根面を用いた場合の駅の収集雨水量算定値を表-7.12 に示す。収集雨水量は、屋根面積に平均降水量を乗じてもとめた全量とした。各駅について屋根の一部を用いた簡易な算定ではあるが、最小の雨水収集面積でも、年間で 2800~11100m³の雨水収集が可能と考えられ、駅は巨大な雨水収集装置になり得ることがわかる。

表-7.12 5 駅の収集雨水量算定値

項目	T 駅	J 駅	K 駅	S 駅	U 駅
適用建物屋根面積 (m ²)	4311	4260	1867	7293	4972
平均降水量 (mm/年)	1529	1529	1536	1529	1529
収集雨水量算定値 (m ³ /年)	6592	6514	2868	11151	7602

7.6.3 トイレの器具使用

トイレの便器洗浄に雨水を用いることを想定し、トイレ使用水量を算定するために、トイレ器具使用者数、1人あたり洗浄回数および洗浄1回あたり使用水量を設定する。

1) トイレの器具使用者数

前述した「ラチ内トイレ調査」のデータを用いて、5駅の男子大便器、男子小便器、女子便器について1週間の使用者数をもとめた。各駅、各器具における欠測値は、同様な利用状況を示すと考えられる時間帯の値で補完した。火、水、木の3日間は欠測のK、S、U駅については、平日(金、月)の平均値をこの3日間に適用した。

図-7.13 にT駅、図-7.14 にJ駅の1週間のトイレ器具使用者数を示す。基本的に、使用者数は朝に増加し、夜に減少する傾向は、5駅とも同じであるが、個々の器具の使用傾向は若干異なっている。曜日別の傾向として、土・日曜日と平日は区別でき、平日に比べて土・日曜日では、男子小便器使用者の夕方からの増加が認められないこと、女子便器の使用者が全時間帯でやや多くなっていることがわかる。

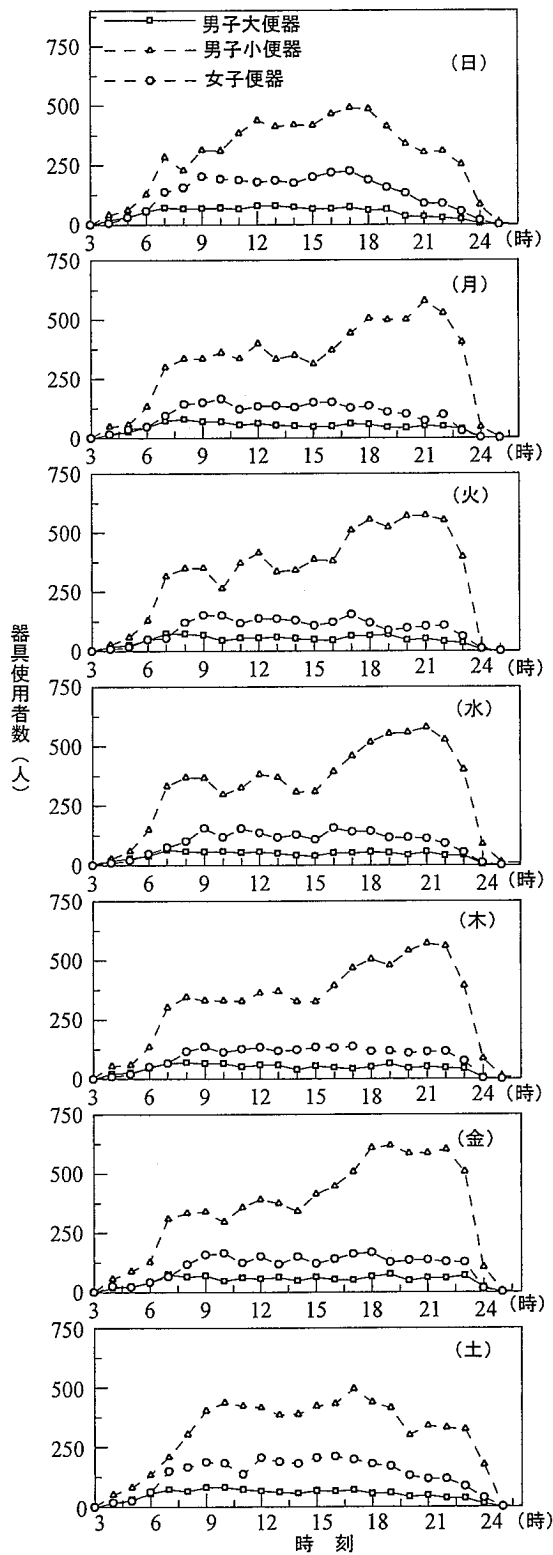


図-7.13 1週間のトイレ器具使用者数 (T 駅)

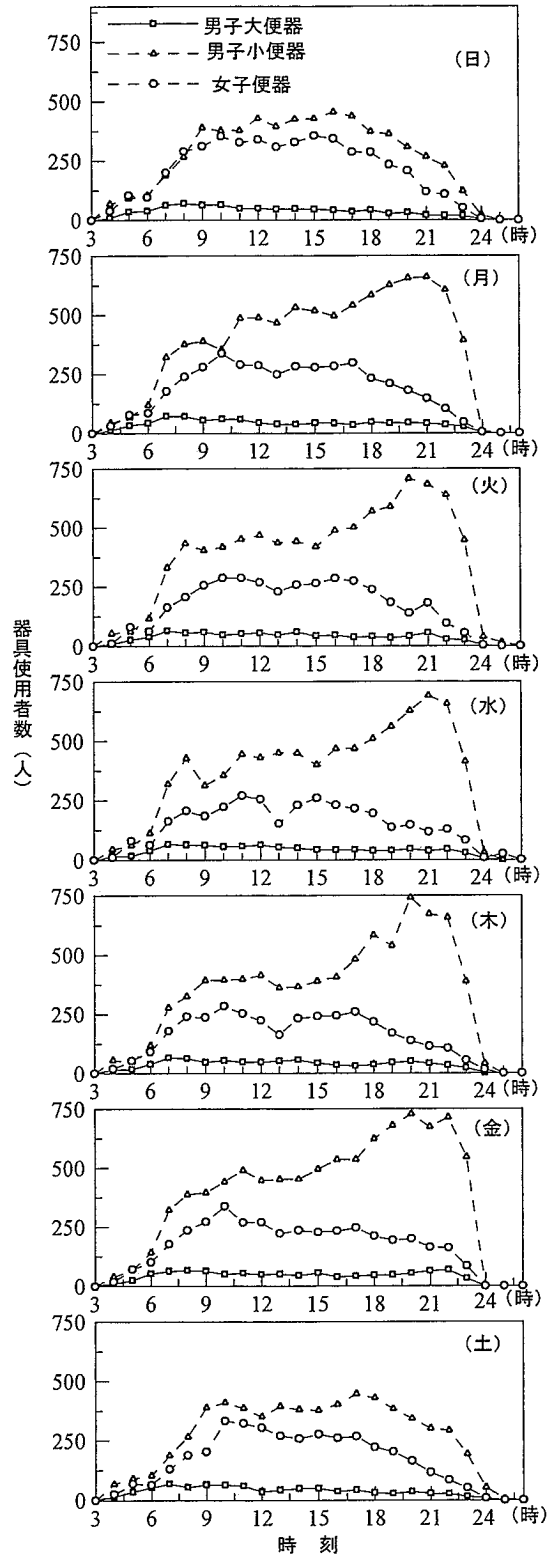


図-7.14 1週間のトイレ器具使用者数 (J 駅)

2) 器具別使用状況

「ラチ内トイレ調査」の中で記述されている、トイレの器具占有状況測定の際に、並行して測定された男女の大便器ブース洗浄弁使用状況の集計ファイルを用いて、性別・駅別・器具別の占有時間、洗浄回数の状況を明らかにし、使用水量算定の条件を決定する。集計ファイルは、各駅の対象トイレにおいて、男子大便器・女子便器の占有状況調査時に記録された占有時間および洗浄弁使用記録から、各ブース毎に30分単位で占有時間別・洗浄回数別にブース使用者数を集計したものである。

(a) 洗浄弁使用回数

5駅4日間(金土日)の大便器占有時間の集計結果を、男女別に図-7.15に示す。トイレ利用者の少ない深夜早朝は、集計から除いた。図から、男子と女子とでは分布形が大きく異なり、男子の5分以上、女子の1分以上2分未満の度数が多く、男子は大便目的、女子は小便目的の便器使用が多いと判断できる。

図-7.16に示す洗浄回数の分布は、男女とも同様な形状をしており、1回洗浄が60~70%と大半を占め、2回以上は少ない。「女性の洗浄回数は男性より多い」という傾向は若干みられる程度である。また図より、洗浄弁を使用しない割合(以降、無洗浄率と記す)は、男子大便

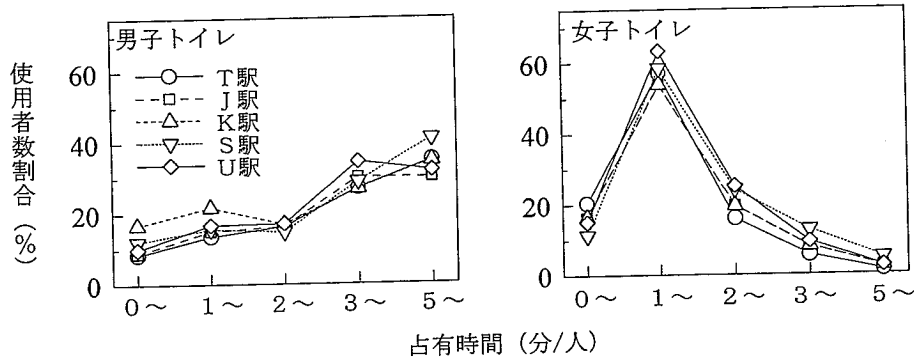


図-7.15 大便器占有時間

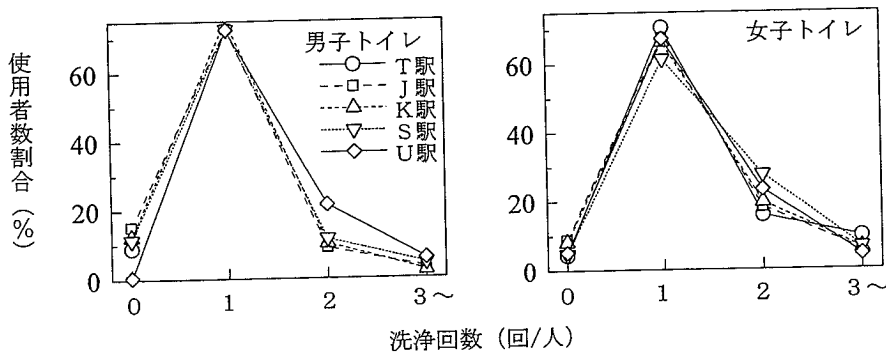


図-7.16 洗浄回数

器が少ないU駅を除けば、男子で約10%、女子で約7%となり、排便以外の目的で大便器ブースを使用するトイレ利用者が一定の割合で存在することがわかる。男子のU駅の回数が2回、3回以上で他の駅より多い。これは、U駅では、小便器18個に対して大便器個数4個と少ないため、大便器の利用用途がほぼ大便に限られ、小便器の混雑時に大便器を小便用として使うケースがほとんど発生しないことが原因と考えられる。なお、図-7.16のT駅は、男子トイレ洗浄弁使用者の集計ファイルの一部に不備があり、洗浄弁を使用しないブース使用者の割合のみを示している。

5駅4日間の集計値を用いた大便器ブース使用者について無洗浄率の時間毎の日変化を図-7.17に示す。男子はU駅を除いて集計している。図より、男女とも、曜日・時間帯で変動はあるものの、ほぼ同じ範囲で変化していることがわかる。図-7.17で示した4日間を平均した大便器ブース使用者の無洗浄率を図-7.18に示す。これより、無洗浄率の平均的な経時変化の傾向を把握できる。女子は値の変動が小さい。男子は、朝の大便器使用のピーク時である8時より増加する傾向が認められ、夕方には20%に達し変動の幅が大きい。この無洗浄率の変化は、男女とも、図-7.13、図-7.14に示したトイレ利用者数の変化と同じような1日の変化を示し、朝に小さく、夕方に向けて上昇するパターンをもっていることがわかる。

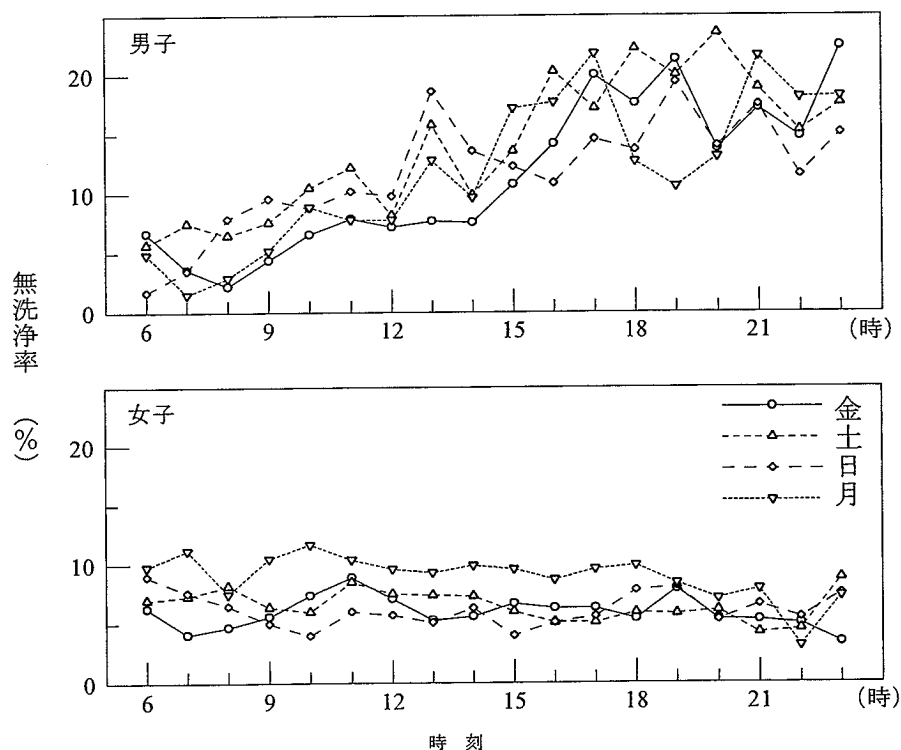


図-7.17 各曜日における大便器使用者の無洗浄率

そこで、4日間のトイレ利用者に対する無洗浄率の経時変化を図-7.19に示す。図より、便器ブース使用者数が少ない女子の6時台を除けば、男女とも、無洗浄率は時間帯の影響をそれほど受けずに、ほぼ同じ範囲で1日を推移していることがわかる。これら無洗浄率の値は、トイレ利用者の一定の割合が、排便以外の目的で便器ブースを使用していることを示しており、その割合は、男子と女子で、それぞれ平均1.2%と4.0%となる。これより、トイレの使用水量算定の際には、無洗浄率を設定し、

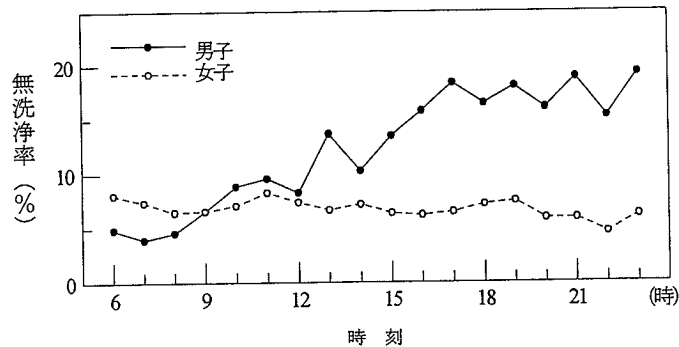


図-7.18 大便器使用者の日平均無洗浄率

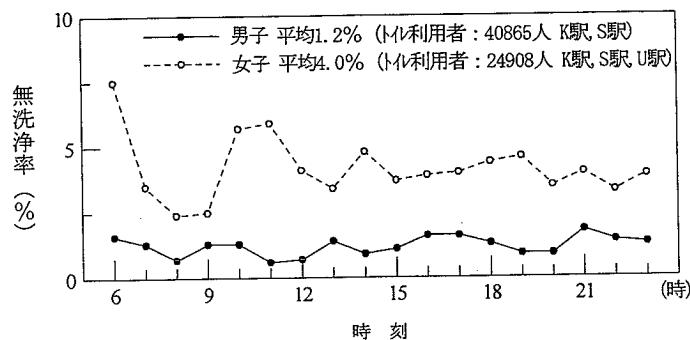


図-7.19 全トイレ利用者数に対する大便器使用者の無洗浄率

洗浄弁の使用者のみを対象に洗浄回数などを設定

することが、より正確な算定結果を得るために必要な手順といえる。

表-7.13に5駅の洗浄回数の集計値を示す。値は、無洗浄率を雨水利用量算定の際に使用することを考え、洗浄弁使用の有無別に集計している。U駅の男子を除けば、無洗浄率以外は男女とも各駅は同様な値を示している。

以上の結果から、本論文では無洗浄率を考慮して、トイレの使用水量を算定するが、各駅の各時間帯の無洗浄率は、図-7.17の値を用いることとする。

表-7.13 洗浄回数集計値

器	項目	T駅	J駅	K駅	S駅	U駅	全体*
男	ブース使用者数 (人)	3435	4416	2015	2628	1979	9059
	洗浄弁使用者数 (人)	3131	3744	1767	2326	1969	7837
	無洗浄率 (%)	8.9	15.2	12.3	11.5	0.5	13.5
	洗浄回数 (回)	-	4414	2060	2860	2616	9334
	ブース使用者平均(回/人)	-	1.00	1.02	1.09	1.32	1.03
女	ブース使用者数 (人)	15707	9674	4744	6323	7260	43708
	洗浄弁使用者数 (人)	14946	8814	4357	6024	6885	41026
	無洗浄率 (%)	4.8	8.9	8.2	4.7	5.2	6.1
	洗浄回数 (回)	20139	11627	5851	8576	9193	55386
	ブース使用者平均(回/人)	1.28	1.20	1.23	1.36	1.27	1.27
	洗浄弁使用者平均(回/人)	1.35	1.32	1.34	1.42	1.34	1.35

(*: 男子の値はJ, K, S駅の集計)

(b) 洗浄弁の使用水量

洗浄弁の使用状況測定時に一部の駅で測定された使用水量のデータを用いて、洗浄弁の1回あたり使用水量を算定する。これらのデータは、節水型便器の性能評価を目的として、前述調査の際に測定された節水型と通常型の便器使用水量および各便器における使用人数である。表-7.14に通常型と節水型の大便秘器,表-7.15にJ駅の通常型小便器の測定値をそれぞれ示す。男子小便器は、1人あたり1回洗浄すると考えられるので、表-7.15より小便器使用水量をもとめる。また、大便秘器の洗浄量は、男子大便秘器では、通常のK駅の使用水量を測定時の洗浄回数で除してもとめ、女子便器では、男子通常型と男子節水型の比を、女子節水型の使用水量に乗じてもとめた。

以上のように設定した使用水量の算定に供する値を表-7.16に示す。

表-7.14 便器形式と使用水量

項目	男子大便秘器			女子便器		
	K駅	S駅	U駅	K駅	S駅	U駅
便器形式	通常	節水	節水	節水	節水	節水
使用者数(人)	2015	2628	1979	3950	6329	7260
使用水量(l)	40720	24045	18811	30051	50467	61490
平均使用水量(l/人)	20.2	9.1	9.5	7.6	8.0	8.5

表-7.15 小便器使用水量

曜日	使用者数(人)	使用水量(l)	平均使用水量(l/人)
火	2263	10659	4.71
水	2362	11733	4.97
木	2277	11159	4.90
金	2647	14051	5.31
土	2590	12459	4.81
日	2088	10823	5.18
月	2236	11215	5.02
火*	932	4898	5.26
全体	17395	86997	5.00

(* : 測定終了日午前の集計値)

表-7.16 各種便器水使用設定値

	使用回数(回/人)	使用水量(l/回)	使用水量(l/人)
男子大便秘器	1.19	19.8	23.6
男子小便器	1.00	5.0	5.0
女子便器	1.35	15.8	21.3

7.6.4 トイレ使用水量の算定値

上述の器具使用者数および設定値を用いて、各駅、各曜日、各時間帯について、次の4要因を乗じてトイレ使用水量を算定した。

- ① 使用者数 ② 洗浄率：1- 無洗浄率
- ③ 1人あたり洗浄回数 ④ 1回あたり使用水量

ここで算定された時間あたりトイレ使用水量が1年間毎週同じパターンを繰り返すものとしてシミュレーションに用いる。

各時間帯における値を1週間合計し、トイレ使用水量の平均値としてもとめた結果を図-7.20に示す。図より、トイレ使用水量は、6時ごろから上昇し、日中に目立ったピークや大きな落ち込みもなく、23時ごろまで継続していることがわかる。

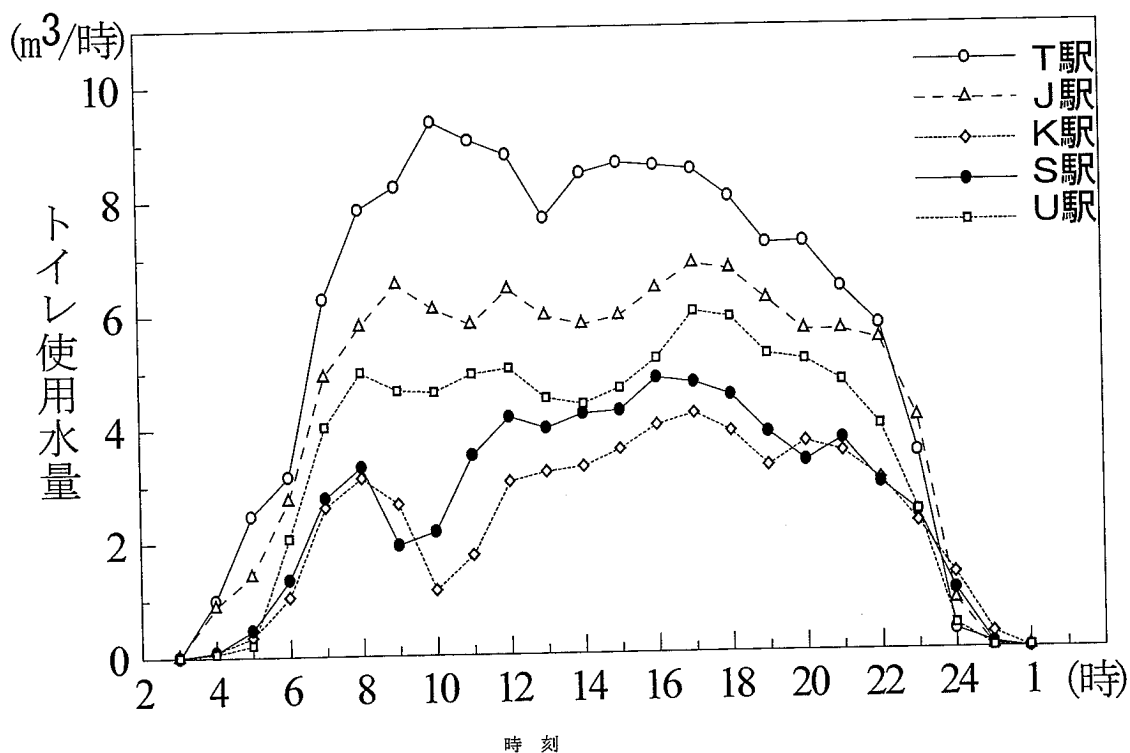


図-7.20 時間帯別トイレ使用水量

7.6.5 雨水貯留槽容量

シミュレーションに使用する1週間の1日の平均使用水量に相当する容量の雨水貯留槽を1日槽として5日槽までを算定した。1日の平均使用水量を表-7.17の上段に示す。この1日槽の容量でさえ、既設の駅舎トイレに適用するには、その大きさから、考慮を必要とする。そこで、雨水貯留槽の容量を、最小に設定する0日槽も算定に加えた。0日槽の条件では、算定の最小単位1時間の使用水量に相当する容量の雨水貯留槽が存在するものとして算定する。具体的には、0日槽の容量は、各駅トイレの1週間の1時間あたり最大使用水量であり、その容量は、T、J、K、S、U駅でそれぞれ14.5、11.7、5.2、5.3、8.9m³となる。この条件では、算定中の1時間に雨水の余剰が生じて、その余剰は次の1時間へは持ち越さず算定を継続する。

表-7.17 雨水利用シミュレーション算定結果

対象トイレ所在駅	T駅			J駅			K駅		S駅		U駅		
トイレ使用水量 (m ³ /日)	136.3			106.1			55.2		63.7		83.1		
雨水収集面 (ホ-MNo)	5	6	4	屋上	4	5+8	1	2	屋上/2	屋上/2	屋上/2	屋上/2	7+12
〈雨水貯留槽容量0日槽〉													
雨水利用量 (m ³ /年)	2562	3238	3256	2197	2448	2527	1095	1378	1522	1522	1924	1981	1981
雨水代替率・節水率 (%)	5.1	6.5	6.5	5.7	6.3	6.5	5.4	6.8	6.5	6.5	6.3	6.5	6.5
雨水利用率 (%)	38.9	23.4	16.8	33.7	27.4	18.3	38.2	23.0	13.6	6.8	25.3	13.0	10.7
〈雨水貯留槽容量1日槽〉													
雨水利用量 (m ³ /年)	5647	8879	10220	5224	6322	7680	2412	3773	5108	6051	5143	6770	7160
雨水代替率・節水率 (%)	11.3	17.8	20.5	13.5	16.3	19.8	12.0	18.7	21.9	26.0	16.9	22.3	23.6
雨水利用率 (%)	85.7	64.3	52.7	80.2	70.7	55.8	84.1	62.9	45.8	27.1	67.7	44.5	38.7
槽雨水利用量(m ³ /m ³ ・年)	41.4	65.1	75.0	49.3	59.6	72.4	43.7	68.4	80.2	95.0	61.9	81.5	86.2
〈雨水貯留槽容量2日槽〉													
雨水利用量 (m ³ /年)	6107	10790	13057	5821	7419	9724	2641	4602	6694	8463	6148	8906	9628
雨水代替率・節水率 (%)	12.3	21.7	26.2	15.0	19.1	25.1	13.1	22.8	28.8	36.4	20.3	29.3	31.7
雨水利用率 (%)	92.7	78.1	67.4	89.4	83.0	70.6	92.1	76.8	60.0	38.0	80.9	58.6	52.0
槽雨水利用量(m ³ /m ³ ・年)	22.4	39.6	47.9	27.4	35.0	45.8	23.9	41.7	52.5	66.4	37.0	53.6	57.9
〈雨水貯留槽容量3日槽〉													
雨水利用量 (m ³ /年)	6318	11698	14673	6056	7901	10797	2733	5005	7710	10135	6600	10283	11270
雨水代替率・節水率 (%)	12.7	23.5	29.5	15.6	20.4	27.9	13.6	24.8	33.1	43.6	21.7	33.9	37.1
雨水利用率 (%)	95.9	84.7	75.7	93.0	88.4	78.4	95.3	83.5	69.2	45.5	86.8	67.6	60.9
槽雨水利用量(m ³ /m ³ ・年)	15.4	28.6	35.9	19.0	24.8	33.9	16.5	30.2	40.3	53.0	26.5	41.2	45.2
〈雨水貯留槽容量4日槽〉													
雨水利用量 (m ³ /年)	6420	12227	15691	6211	8167	11455	2790	5231	8350	11406	6855	11177	12394
雨水代替率・節水率 (%)	12.9	24.6	31.5	16.0	21.1	29.6	13.8	25.9	35.9	49.0	22.6	36.8	40.8
雨水利用率 (%)	97.4	88.5	81.0	95.4	91.3	83.2	97.3	87.2	74.9	51.2	90.2	73.5	67.0
槽雨水利用量(m ³ /m ³ ・年)	11.8	22.4	28.8	14.6	19.3	27.0	12.6	23.7	32.8	44.8	20.6	33.6	37.3
〈雨水貯留槽容量5日槽〉													
雨水利用量 (m ³ /年)	6486	12531	16362	6316	8353	11893	2814	5390	8809	12355	7015	11800	13187
雨水代替率・節水率 (%)	13.0	25.2	32.9	16.3	21.6	30.7	14.0	26.7	37.9	53.1	23.1	38.9	43.4
雨水利用率 (%)	98.4	90.7	84.4	97.0	93.4	86.4	98.1	89.9	79.0	55.4	92.3	77.6	71.3
槽雨水利用量(m ³ /m ³ ・年)	9.5	18.4	24.0	11.9	15.8	22.4	10.2	19.5	27.7	38.8	16.9	28.4	31.7

7.7 雨水利用のシミュレーション算定結果

シミュレーションは、1時間毎の降水量を前述の10年分用いた1時間単位の算定となり、各単位で雨水収集量から雨水利用量を除いた雨水余剰量を貯留槽容量へ送り保留する計算過程を繰り返す。シミュレーション手法および評価指標は4.5.2項, 6.2.2項の内容に準じた。

表-7.17に算定結果の一部を示す。また、駅舎における雨水利用システムを考える上で有効な指標である雨水利用量と槽雨水利用量を図-7.21, 22に示す。表および図より、駅舎トイレにおける雨水利用システムは、前述の雨水貯留槽0日槽においても、年間で1000~2500m³の雨水利用が可能であり、降雨時に水使用が少なく、貯めて使うことが基本となる一般家庭のシステムとはかなり異なるといえる。しかし、これらの雨水利用量を雨水代替率でみるならば、5.1~6.5%と小さく、雨水を代替水源にできる量を確保することは難しいが、この値を節水量として考えるならば有用である。また、通常システムで一般化している雨水貯留槽を設けるなら、雨水収集面の大きなS駅を除けば、1日分の使用水量を貯める1日槽で雨水利用量を倍以上にする十分な効果が得られる。しかし、さらに増加させても、雨水収集面の増加を伴わなければ、さらなる効果は期待できないことがわかる。槽雨水利用量からは、1日槽で1m³あたり年間で40~80m³の雨水が利用可能であり、雨水貯留槽の経済的な効果は十分に期待できる。

上述の

7.8. 駅舎トイレの雨水利用システム

シミュレーション算定結果からは、使用水量が多大な駅舎トイレでは、雨水は全面的な代替水源とはなり得ないが、雨水利用量は大きく、節水効果は期待できる。また、雨水貯留槽の設置効果は十分あると考えられるが、1日槽でさえ55~136m³必要であり、その巨大な空間を、駅舎のどこに確保するかが問題といえる。現在の駅の構造を考えるなら、プラットホームの下が雨水貯留槽の設置場所としては有望である。しかし、高さが不十分で、槽の清掃作業員が入る空間が十分確保できない懸念があるため検討を要する。このため、設備投資に対する雨水確保の有効性を考えると、駅舎トイレの雨水利用には、1時間あたり最大使用水量分の容量でほとんど雨水を貯留せずに雨水を利用するシステムで十分に効果があるといえる。なお、0日槽において実用化される場合には、配水系統に入る前に濁度センサー等による初期汚濁雨水の排除を考える必要があるといえる。

7.9. 結語

本章では、器具あたり使用者数が多い、駅舎トイレを対象とした雨水利用システムの導入計画を考え、既往の調査値および公表されているデータを用い、東京都内JR5駅について、降水量、雨水収集面、雨水貯留槽、トイレ使用水量を設定し、シミュレーションにより雨水利用システムの有効性を検討した。

その結果、雨水貯留槽設置の効果は認められるが、トイレ使用水量が1日あたり55~136m³

と大きく、1日槽でも駅構内に新たに設置することは困難と考えられる。そこで、設備投資に対する雨水確保の有効性を考えて、1時間あたり最大使用水量分を貯留して用いる、ほとんど雨水を貯留せずに雨水を利用するシステムでも十分に効果があることを明らかにした。

注

- 1) J R 東日本, 木村技研: J R T, J, K, S, U 駅(ラチ内)トイレ使用実態調査, 平成5年, 平成7年。各駅の測定期間は次のとおりであり, 最終日の調査は翌日の朝に終了している。

環状線T駅: 平成5年3月26日(金)~4月2日(金)

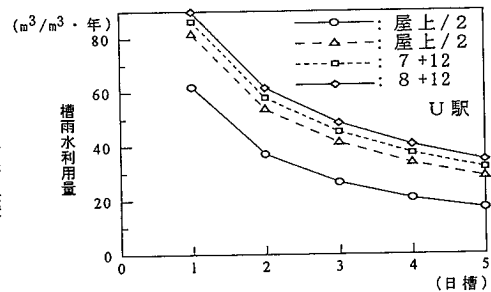
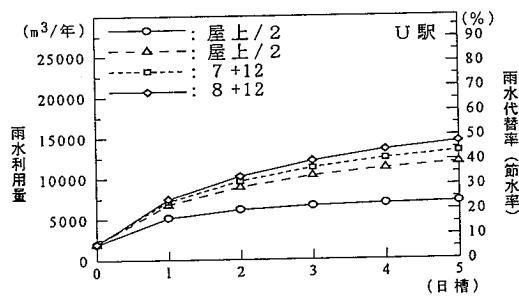
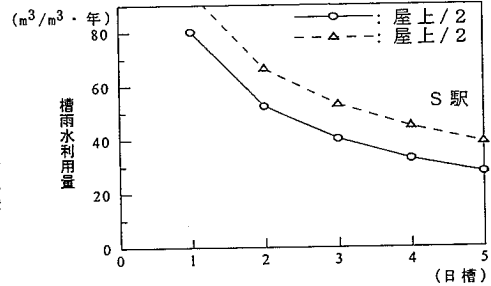
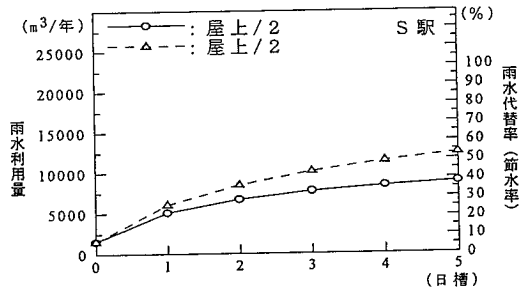
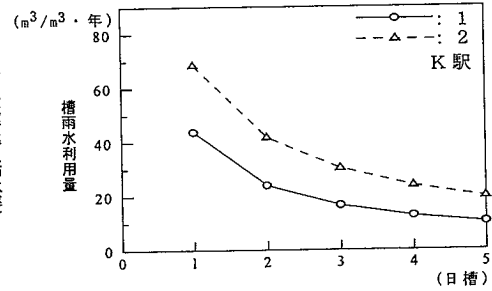
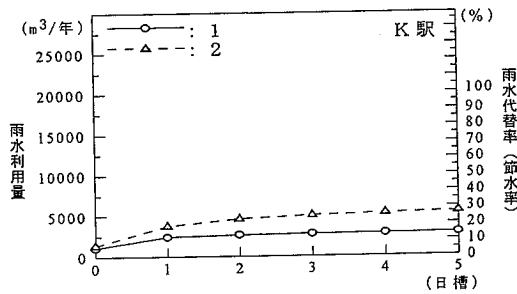
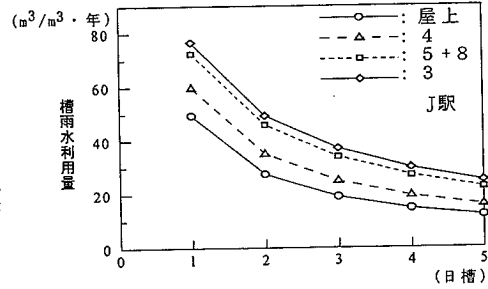
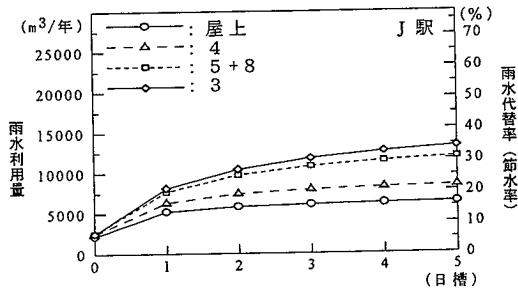
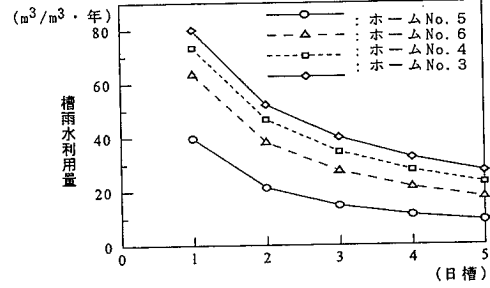
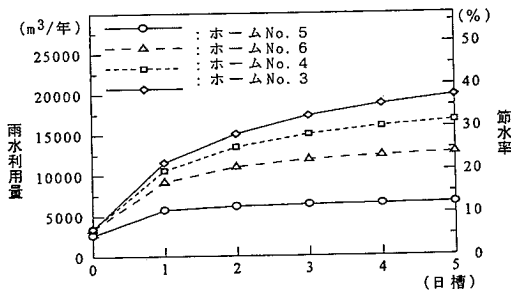
環状線J駅: 平成5年3月16日(金)~23日(金)

放射線K駅: 平成7年1月20日(金)~23日(月)

環状線S駅: 平成7年1月27日(金)~30日(月)

環状線U駅: 平成7年2月3日(金)~6日(月)

- 2) J R 東日本東京第一工事局: U 駅旅客流動調査報告書, 昭和61. 2
- 3) J R 東日本企画: J R 交通広告データブック 10,000 人調査データ編 1996, 1996. 9。調査対象期間(移動行動期間)は下記の3週間である。移動行動は, 調査対象者に移動経路を記入させ, その中の利用駅について1週間利用率, 1週間平均利用回数を算出している。
平成7年11月14日(火)~11月20日(月)
平成7年11月28日(火)~12月4日(月)
平成7年11月5日(火)~12月11日(月)
- 4) J R 東日本東京工事事務所: 「線路上空間活用のための空間分類調査」- J R 山手線内の自動改札口における券種別乗降人員の時刻変動調査- 報告書, 平成5年2月
- 5) 鉄道総合技術研究所建築研究室, J R 東日本東京工事事務所: 「デイトムにおける駅空間利用のための変動要因の研究」- J R 放射状5方面路線内の自動改札口における券種別乗降人員の時刻変動調査-, 平成6年2月



雨水貯留槽容量

雨水貯留槽容量

図-7.21 雨水利用量

図-7.22 槽雨水利用量

第8章 結論

本章では、これまでの各章における内容を総括して、本研究の成果をまとめることにより、全体の結論とする。

第1章においては、本研究の目的を述べるとともに、雨水利用に関する研究を概観し、本研究の意義を明らかにした。

第2章においては、雨水の収集実験から、初期収集雨水の汚濁状態を明らかにするとともに、収集雨水の水質変化過程を、これまで示されている rainout および washout に flushout を加えた3過程とし、収集雨水の汚濁物量の推定式を提示し、それに基づく初期収集雨水の排除量を「水道水水質基準」を指標として検討した。その結果、分取雨水、収集面からの流出時雨水および収集後の混合雨水の各水質が「水道水水質基準」を達成するためには特に濁度およびCODにおいて問題があるが、初期収集雨水を排除すれば解決できることを、実験に基づく推定式によって示した。

第3章においては、前章の結果を参考に、雨水利用システムにおける、収集雨水の水質性状とその水質変動要因の検討を目的に、気象要素、収集雨水水質、沈積じんの測定、分析を行い、収集雨水の汚濁には沈積じんが関与することを示した。最初に、前報で示した雨水水質変化3過程から検討すべき要因として気象要素等を選択後、収集雨水水質との関連を検討、風向・風速から汚濁源を推定できることを示し、水質で問題となる濁度、CODは無降雨時間との関連が強いことから、雨水の汚濁には無降雨期間に堆積する沈積じんが重要であることを示した。次に、ガラススライドを雨水収集面と想定した装置で沈積じんを採取し、顕微鏡で粒径別に継続して測定した。その結果、沈積じんは、無降雨時間中にほぼ増加、降雨により減少し、降雨時の収集雨水の濁度、pH、COD、無降雨時間は、減少沈積じん量と正の相関があること、降雨により沈積じんの形態が大きく変わることなく収集雨水に取り込まれていることを示した。最後に、初期雨水排除量3条件の雨水収集実験を行い、収集雨水水質の改善効果を検討した。3条件の貯留雨水水質はほぼ同程度であったが、沈殿物の差異は大きいことを明らかにした。また、初期雨水排除による汚濁物の除去効果は明瞭で、沈殿物の沈降性は良好であり、これらの沈殿物は、沈殿の容易な粒径の大きい沈積じんが主体と考えられる。これらより、収集雨水水質には沈積じんが関与しているが、沈降性は良好であり、前報で最大3mmと算定した初期雨水の排除なしに、一般細菌数を除けば、静置により良好な水質が得られることを示している。しかし、良好な水質の保持および簡便なメンテナンスを考えると、汚濁物の蓄積は防止されるべきであり、雨水を全量収集した場合の2/3程度の沈殿物を防止することが実験により確認された初期雨水の1mm排除の効果は大きく、推奨される方法といえよう。

第4章においては、沖縄県に所在する離島を対象に、離島における雨水利用システムを種々の観点から解析した。住宅の水利用環境の実状、島民の生活用水の使われ方、利用意識を分析するとともに、雨水利用施設の規模についてシミュレーションによって検討を行った。水

道の未普及な離島では、生活用水は主に井戸水、雨水に依存した自給システムをとっているが、井戸水の利用は海水による影響、人為的汚染などから制約を受けることが多く、井戸水の依存度が高い渡名喜島では雨水を飲用に使用している場合が多い。雨水の依存度が高い北大東島では、雨水利用施設の規模は大きく、水の使用意識も高くなっている。また、水の使われ方では入浴の仕方などに差違がみられ、シャワー・行水などで済ませている住宅も多くなっている。また、シミュレーションによる検討結果では、北大東島の場合、1戸・1日あたり雨水利用可能量が600~700lの施設規模を有する住宅が多く、規模比率約 $2\text{m}^2/\text{m}^3$ が効率的であること示した。実際に北大東島の各住宅施設の比率はこの値前後が多くなっている。都市における、規模比率と大きく異なる。

第5章においては、2住宅団地で調査した各世帯の水の使われ方、使用水量の分析のもとに、使用水量は世帯人員、節水意識、入浴日数、洗濯回数などの要因が比較的強く関係することを示した。また、節水意識では水の使われ方である風呂水の再利用行為との関連が強いこと、洗濯回数は世帯人員、幼児数などに関連することを示した。

このように、住宅の水需要は世帯構成員による各用途での水使用頻度、水の使われ方が影響するので、次にこれらの要因を説明変数とした重回帰分析を行い、1戸あたり使用水量を予測する重回帰式を提案し、これによって用途別使用水量も算定できることを示した。また、各種の建築物において、雨水利用量を予測するための基礎事項を明らかにした。

第6章においては、福岡市の戸建て住宅を事例に、都市の住宅に雨水利用システムを設置したときの雨水利用効率と都市型洪水防止効果について4評価指標を算定し検討した。初めに、福岡市で行った住宅の水使用に関する調査データおよび既往の調査値等を用い、ライフサイクルを考慮した5モデル住宅の利用用途・節水レベルの時間毎雨水利用量を設定した。そして、雨水貯留槽容量別に雨水利用シミュレーションを、1時間降水量を用いて1978年からの10年間について行い、3雨水利用効率指標と1都市型洪水防止効果指標を算定し、都市の戸建て住宅における雨水利用効率と都市型洪水防止からみた雨水利用システムの有効性を検討した。その結果、雨水利用効率の評価指標から雨水利用システムを考えるなら、全般的に、雨水代替率では設定雨水利用量は小さく貯留槽容量は大きいほど望ましい、雨水利用率では設定雨水利用量および貯留槽容量は大きいほど望ましい、そして、槽雨水利用量では設定雨水利用量は大きく貯留槽容量は小さいほど望ましいとそれぞれ判断された。都市型洪水防止効果の指標とした低減数からは、戸建て住宅の小さな雨水利用システムでも都市型洪水防止効果に寄与できることを示した。最後に、これらの4評価指標の関連を考察した。

第7章においては、器具あたり使用者数が多い、駅舎トイレを対象とした雨水利用システムの導入計画を考え、既往の調査値および公開されているデータを用い、東京都内JR5駅について、降水量、雨水収集面、雨水貯留槽、トイレ使用水量を設定し、シミュレーションにより雨水利用システムの有効性を検討した。その結果、雨水貯留槽設置の効果は認められるが、トイレ使用水量が1日あたり $55\sim 136\text{m}^3$ と大きく、1日槽でもそのスペースを駅構内に新たに設

置することは困難と考えられ、設備投資に対する雨水確保の有効性を考えると、駅舎トイレでは、1時間あたり最大使用水量分の容量でほとんど雨水を貯留せずに雨水を利用するシステムで十分に効果があることを示した。

以上の研究結果の中から、都市型雨水利用システムの普及を願い特に強調する内容としては、同じ雨水利用システムであっても、離島型雨水利用システムと都市型雨水利用システムは異なるシステムということである。実際には、離島型のシステムの考えをそのまま都市型のシステムに適用することは、基本的に避けるべきであり、適用する場合には十分な考慮の上なされるのが望ましいといえる。現在、雨水利用システムの評価指標として、頻繁にみられるに雨水代替率は、都市型雨水利用システムに適さない巨大な雨水貯留槽容量を望ましい設備として推奨する指標になっている。筆者は、この雨水代替率の替えて槽雨水利用量を雨水利用システムの評価指標としてもちいることは、小さな雨水貯留槽を増加させ、雨水利用システムの実施件数を増やし、雨水利用システムの普及に貢献することになると考えている。

<参考文献>

第1章

- 1) 例えば村瀬 誠, 佐藤 清: 雨水利用の現状課題, 空気調和・衛生工学, Vol.57, No.1, pp.61-68, 1983
- 2) 例えば久保田 宏, 金谷 健: 都市における雨水の資源化利用について, 環境技術, Vol.9, No.11, pp.877-882, 1980
- 3) 例えば, 古明池哲人, 小山功, 渡辺のぶ子, 石黒辰吉: 連続降雨の雨水成分濃度と気象との関係について, 東京都公害研究所年報, (1980) ,pp.69-76, 1980
- 4) 例えば当舎万寿夫: 降雨強度の測定, 気象研究ノート, No.130, pp.133-146, 1976
- 5) 例えば Per-Arne Malmquist: Atmospheric Fallout and Street Cleaning -Effects on Urban Storm Water and Snow, Progress Water Technology, Vol.10, No.5/6, pp.495-505, 1978
- 6) John Gould, Erik Nissen-Peterson: Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply, Intermediate Technology Publication, 1999
- 7) 空気調和・衛生工学会編: 雨水利用システム 設計と実務, 空気調和・衛生工学会, 1997
- 8) 雨水貯留浸透技術協会編: 雨水利用ハンドブック, 山海堂, 1998
- 9) 例えば Journal of Rainwater Catchment Systems, Vol.6, No.1, 2000
- 10) 例えば井上嘉雄, 岡田誠之, 関野こう司, 高橋慎治: 小・中学校の雨水利用施設の実態調査(その3), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, No.Pt 1, pp.457-460, 1996
- 11) 例えば藤田賢二: 福岡ドーム雨水利用施設, 造水技術, Vol.22, No.4, pp.67-70, 1996
- 12) 例えば森田 大: 沖縄の雨水利用の現状と地域性, 水, Vol.37, No.1, pp.23-31, 1995
- 13) 例えば千葉隆文: 環境共生建築 山九ビルにおける自然力利用計画と実測値, クリーンエネルギー, Vol.8, No.4, pp.59-65, 1999
- 14) 例えば和田安彦, 三浦浩之, 多田律夫, 尾崎平: 節水型都市構築のための都市内水資源有効利用の研究, 土木学会論文報告集, No.662/VII, pp.59-71, 1999

第2章

- 1) T.D.Davies : Precipitation scavenging of sulphur dioxide in an industrial area, Atmospheric Environment, Vol.10, pp.879-890, 1976
- 2) W.I.Bradford, Jr: Urban stormwater pollutant loading, J.Water Poll. Control. Fed., Vol.49, No.4, pp.613-622, 1977
- 3) 水質基準に関する省令 (昭和 53 年 8 月 31 日 厚生省令第 51 号)
- 4) S.M.Greenfield : Rain scavenging of radioactive particulate matter from the atmosphere, J.Met., Vol.14, pp.115-125, 1957
- 5) Y.Miyake, Y.Sugiura : The mechanism of dissolution of the atmospheric chlorid into rain water, Pap. Met. Geophys., Vol.1, No.2-4, pp.222-226, 1950
- 6) O.P.Petrechuk, E.S.Selezeva : Chemical composition of precipitaion in regions of the Soviet Union, J. Geophys. Res., Vol.75, No.18, pp.3629-3634, 1970
- 7) 角皆静男 : 雨水の分析, 講談社, pp.41-51, 1972
- 8) 7) に同じ, p.226
- 9) 日本水道協会 : 上水試験法, 日本水道協会, p.171, 1970
- 10) 11) に同じ, p.213
- 11) 合田 健 : 水質工学 基礎編, 丸善, p.139, 1975
- 12) 中谷 周, 山口 猛, 田中 玲, 北林雅洋: 弘前市における降水の科学成分, 天気, Vol.29, No.8, pp.763-780, 1982
- 13) 今野 浩, 山下 浩 : 非線型計画法, 日科技連, pp.284-288, 1978

第3章

- 1) 第2章7) に同じ, pp.13-22
- 2) 三崎方朗 : エアロゾルの挙動, 6.3.2 レインアウト, 気象研究ノート, No.142, pp.59-62, 1981
- 3) 日本水道協会編 : 上水試験法 1970 年版, 導電率, p.213, 日本水道協会, 昭和 52 年 1 月
- 4) 日本建築学会環境工学委員会換気分科会・粉じん測定法小委員会編 : 建築の分野における浮遊粉じん測定法(2), 2.11 沈積じん測定法(入江建久担当), 建築雑誌, Vol.90, No.1098, pp.863-864, 昭和 50 年 9 号
- 5) 例えば, 和田安彦 : 路面堆積負荷と流出に関する研究(2), 用水と廃水, Vol. 2 / 3 No.7, pp.54-61, 1981
- 6) 環境庁大気保全局大気規制課編 : 昭和 56 年度版日本の大気汚染状況, 大蔵省印刷局, pp.467-567, 昭和 56 年
- 7) 三崎方朗 : エアロゾルの挙動, 6.4 粒径分布の自己保存説, 気象研究ノート, No.142, pp.63-65, 1981

第4章

- 1) 村川三郎, 西田 勝, 越川康夫, 渡辺裕之: 用水路周辺部における住宅の水使用と利用者意識の分析, 日本建築学会計画系論文報告集, No.362, pp.44-54, 1986.4
- 2) 吉川昭由: 建築物における雨水利用計画, 建築設備と配管工事, Vol.21, No.9, pp.53-63, 1983
- 3) 久保田 宏, 金谷 健: 都市における雨水の資源化利用について, 環境技術, Vol.9, No.11, pp.877-882, 1980
- 4) 定永哲雄, 小内 実: 日本アイ, ビー, エム(株)飯倉ビルの雨水再利用, 建築設備と配管工事, Vol.20, No.6, pp.37-41, 1982.6
- 5) 加藤 迪: 雨水の資源化と流出保存の法則, 空気調和・衛生工学, Vol.54, No.9, pp.15-22, 1980
- 6) 渡名喜村, 北大東村, 伊是名村: 村勢要覧, 1981-1982
- 7) 沖縄県企画調整部, (合)高良さく井工業: 昭和 52 年度渡名喜村地下水試掘調査報告書, 1978
- 8) 沖縄県企画調整部水資源対策室, (株)日さく: 昭和 53 年度北大東島地下水試掘調査報告書, 1979
- 9) 例えば, 池淵周一, 末永博幸: 降雨の都市内貯留による水利用システム, 第2回水資源に関するシンポジウム前刷集, pp.195-200, 1982
- 10) 科学技術庁資源調査会編: 都市の雨水を考えるー潤いと水循環の回復をめざしてー, p.50-51, 大蔵省印刷局, 1987.6
- 11) 古閑幸夫, 鎌田元康, 千田善孝: 住宅における雨水有効利用に関する研究, 日本建築学会建築環境工学論文集, Vol.5, pp.207-213, 1983

第5章

- 1) 村川三郎ほか4名: 都市部における戸建て住宅の水使用特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.378, pp.38~48, 1987
- 2) 山田 淳, 中西哲也: 多変量解析による生活用水の需要構造分析. 第3回水資源に関するシンポジウム前刷集, pp.45~50, 1987
- 3) 村川三郎: 濁水による住宅の水使用変化ーアンケート調査からみた福岡市の事例ー, 空気調和・衛生工学. Vol.57, No.5, pp.51~62.1983
- 4) 西村一夫, 高橋 巖, 三田村晃: 水道事業経営のための水需要予測(Ⅱ)ー世帯レベルの水需要構造分析ー, 水道協会雑誌, Vol.52, No.1, pp.2~10.1983
- 5) 萩原良巳ほか3名: アンケート調査をもとにした水需要構造ならびに節水意識分析. 第15回衛生工学研究討論会講演論文集, pp.188~194, 1979
- 6) 萩原良巳, 小泉明, 今田俊彦: 節水意識と水需要要因の関連分析, 一家庭用アンケート調査をもとにしてー, 第16回衛生工学研究討論会講演論文集, pp.1~7, 1980

- 7) 萩原良巳, 小泉 明, 西澤常彦: アンケート調査をもとにした水使用影響要因関連分析, 第 17 回衛生工学研究討論会講演論文集. pp.1~8, 1981
- 8) 森 孝司: 家庭用用途別使用水量実態調査結果, 第 30 回全国水道研究発表会講演集, pp.134~136, 1979
- 9) 十倉 襄ほか 3 名: 家庭用水の節水効果に関する実験的考察, 第 2 回水資源に関するシンポジウム前刷集, pp.112-117, 1982
- 10) 渡辺正仁, 篠野俊一: 磁気テープ式記録計を利用した家庭の水量調査, 第 37 回全国水道研究発表会講演集, pp.99~101, 1986
- 11) 村川三郎, 山手利博: 集合住宅における水使用と給水負荷算定法の検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.20, pp.11~27, 1982
- 12) 村川三郎: 建築設備計画における給水負荷算定法に関する研究 その 1, 日本建築学会論文報告集, No.246, pp.71~80, 1976
- 13) 遠藤尚志, 元木 泰: 集合住宅における用途別使用水量実態調査, 第 39 回全国水道研究発表会講演集, pp.60~62.1988
- 14) 安田三郎, 海野道郎: 社会統計学, 丸善, 1977
第 6 章
 - 1) 第 4 章 10) に同じ
 - 2) 加藤 迪: 雨水利用システム, 建築設備と配管工事, Vol.21, No.11, pp.49-51, 1983.11
 - 3) 佐藤 清: 雨水利用システム, 空気調和・衛生工学会 水の有効利用に関するシンポジウムテキスト(雨水利用中心として), pp.1-5, 1985
 - 4) 野島 弘: 伊豆大島における天水の利用について, 気象庁研究時報, Vol.24, pp.203-205, 1972
 - 5) 松井美子, 紀谷文樹: 雨水利用に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.49-52, 1986
 - 6) 窪田隆行: 都市型水害の嚆矢となった神田川, 季刊河川レビュー, Vol.13, No.48, pp.86-89, 1984
 - 7) 平野宗夫, 森山聡之: 降雨災害をもたらす豪雨の研究, 文部省科学研究自然災害特別研究成果, 自然災害科学総合研究班, 研究代表者武田喬男, pp.120-131, 1987
 - 8) 小山隆紹, 藤田昌一: 新しい下水道方式の計画と設計, pp.2-3, 鹿島出版会, 昭和 59 年 8 月
 - 9) 関根幸雄, 天田高白: 過密都市におけるオンサイトタイプ雨水流出抑制施設の流出, 下水道協会誌, Vol.25, No.285, pp.24-32, 1988
 - 10) 井端和人, 青木裕美: 降雨水の充填式貯留法試行のための基礎実験, 住宅・都市整備公団宅都市試験研究所研究報告集 No.3, '85, pp.57-67, 1985
 - 11) 村川三郎, 越川康夫, 西田勝, 西名大作: 濁水経験を視点とした住宅における水使用行

- 為・意識の分析，日本建築学会計画系論文報告集，No.440，pp.31-39，1992
- 12) 長堂和男，森田大：沖縄における住宅の雨水利用実態とその評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1007-1008，1990
 - 13) 江口明夫，坂上恭助，豊田作三郎，下田邦雄，鎌田元康，塚越信行，村川三郎，大内栄一：集合住宅の給排水負荷に関する研究 その5 洗濯機の排水特性，昭和62年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.81-84，1987
 - 14) 武藤暢夫，岡田誠之：住宅における排水の排水特性に関する研究，昭和62年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.65-68，1987
- 第7章
- 15) 越川康夫，村川三郎，坂上恭助，飯尾昭彦，市川憲良：成人を対象としたトイレ利用行動とその意識に関する分析，空気調和・衛生工学論文集，pp.41-52，No.65，1997

<著者関連発表論文リスト>(審査付き原著論文)

(本論文関連)

- 1) 越川康夫, 村川三郎: 収集雨水汚濁防止を目的とした初期雨水排除量の検討, 雨水の水質性状と有効利用に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 350, pp. 8-17, 1985
- 2) 村川三郎, 森田大, 三輪信哉, 越川康夫: 沖縄離島における住宅の水利用環境に関する研究, -雨水利用を中心として-, 日本建築学会計画系論文報告集, No.368, pp.52-61, 1986
- 3) 村川三郎, 坂上恭助, 越川康夫, 小原剛: 水使用行為分析に基づく集合住宅の使用水量予測に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.409, pp.23-33, 1990
- 4) 越川康夫, 村川三郎, 西田勝: 雨水利用システムにおける雨水利用効率と都市型洪水防止効果の検討, -福岡市の戸建て住宅を事例として-, 日本建築学会計画系論文報告集, No.452, pp.37-45, 1993
- 5) 村川三郎, 坂上恭助, 越川康夫, 高津靖夫, 仲川ゆり: 駅舎における乗降者数とトイレ利用者数の検討, 駅舎トイレにおける器具数算定法に関する研究その1, 日本建築学会計画系論文集, No.522, pp.91-96, 1999
- 6) 越川康夫, 村川三郎, 坂上恭助, 高津靖夫, 仲川ゆり: 駅舎トイレにおける器具使用とその特性の検討, 駅舎トイレにおける器具数算定法に関する研究その2, 日本建築学会計画系論文集, No.528, pp.59-65, 2000
- 7) 越川康夫, 村川三郎: 収集雨水水質に影響する沈積じんの検討, 雨水の水質性状と有効利用に関する研究 その2, 日本建築学会計画系論文集, No.536, pp.71-77, 2000
- 8) 越川康夫, 村川三郎: 駅舎トイレを対象とした雨水利用システムに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.538, pp.31-36, 2000

(その他)

- 9) 村川三郎, 飯尾昭彦, 越川康夫, 日野利夫, 渡辺裕之: 地域の水環境評価に関する研究, -岐阜県八幡町の水環境と住民意識からの検討-, 建築環境工学論文集, Vol.5, pp.79-86, 1983
- 10) 村川三郎, 西田勝, 越川康夫, 渡辺裕之: 用水路周辺部の住宅における水使用と利用者意識の分析, 日本建築学会計画系論文報告集, No.362, pp.44-54, 1986
- 11) 村川三郎, 越川康夫, 山手利博, 竹内友三: 活性汚泥を組み込んだろ過処理法に関する研究 第1報, -家庭雑排水を対象とした処理特性の検討-, 空気調和・衛生工学会論文集, No.35, pp.1-13, 1987
- 12) 村川三郎, 坂上恭助, 越川康夫, 小原剛: 集合住宅における給水負荷の変動と瞬時最大流量の検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.43, pp.1-14, 1990

- 13) 村川三郎, 越川康夫, 西田勝, 西名大作: 湯水経験を視点とした住宅における水使用行為・意識の分析, 日本建築学会計画系論文報告集, No.440, pp.31-39, 1992
- 14) 越川康夫, 村川三郎, 坂上恭助, 飯尾昭彦, 市川憲良: 成人を対象としたトイレの利用行動とその意識に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.65, pp.41-52, 1997
- 15) 村川三郎, 篠原道正, 清田誠良, 越川康夫, 西名大作, 伊藤博幸: 業務用ちゅう房における各種調理機器の使われ方とエネルギー消費量の解析, 空気調和・衛生工学会論文集, No.69, pp.61-73, 1998
- 16) 村川三郎, 西名大作, 越川康夫, 高田宏, 森脇雄二, 西暢夫, 橋本俊二: 単身・独身寮における住戸別給湯熱負荷の実態とその解析, 1月および日あたり使用湯量・消費熱量について, 空気調和・衛生工学会論文集, No.77, pp.31-41, 2000
- 17) 村川三郎, 坂上恭助, 越川康夫, 高津靖夫, 仲川ゆり, 薬師神厚志, : 駅舎トイレにおける器具数算定法の一提案, 駅舎トイレにおける器具数算定法に関する研究その3, 日本建築学会計画系論文集, No.545, 2001(掲載予定)

<謝辞>

民間会社の1 研究所員であった論文の書き方も熟知していない化学出身の筆者を、広島大学工学部での研究生生活への道を開き、永きにわたりご指導、ご鞭撻下さった広島大学工学部工学研究科 村川三郎 教授 には、心からお礼申し上げます。

本研究の内容にご理解をいただき、有益なご教唆を賜りました広島大学工学部工学研究科 石丸紀興 教授，杉本俊多 教授，福島武彦 教授ならびに西名大作 助教授 の各先生方には、心から感謝の意を表します。

実験に際しご助力をいただいた同学部田辺邦昭技官，そしてこの研究に関わった，広島大学工学部建築環境学，博士課程前期修了生，学部卒業生の皆様に感謝の意を表します