

宮古島の特性を考慮した雑排水処理システムの実証実験

A pilot experiment of the gray water treatment system considering the characteristic of the Miyako Island

中川 直子¹⁾ 河村 明¹⁾
Naoko NAKAGAWA Akira KAWAMURA
石崎 勝義¹⁾ 天口 英雄¹⁾
Katsuyoshi ISHIZAKI Hideo AMAGUCHI

¹⁾首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域
〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1
Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate school of Urban
Environmental Engineering, Tokyo Metropolitan University,
(1-1, Minamiosawa, Hachioji city, Tokyo,192-0397, Japan)

本論文は、沖縄県宮古島に、宮古島の特性を活かした雑排水処理システムを導入し、導入後5年経過した現在まで実証実験をして浄化能力に関して様々な側面から検討を行ったものである。本雑排水処理システムは琉球石灰岩を用いた人工湿地とその周りに窒素・リン除去のための浄化水利用池から構成され、水質、景観がよいのが特徴である。2005年に人工湿地を間欠方式で稼働させて人工湿地及びその周りの浄化利用池の水質測定を行い、その後、発展途上国に普及した場合を考えて消費電力のかからない状態で稼働させ2009年に再度水質測定を行った。

その結果、人工湿地を間欠方式により稼働させた場合、本雑排水処理システムの流出水の水質は、BOD、COD、T-N、T-Pの除去率がすべて80%以上であることが示され、消費電力をかけずメンテナンスをしない状態でもBOD、CODは80%の除去率、T-N、T-Pはそれぞれ50%、30%の除去率を保持していることがわかった。また、この住宅から排出される汚濁負荷量は、家庭排水をそのまま地下浸透させていた本システム導入前と比較して90%以上削減されており、本システムは宮古島の地下水及び周辺海域の水質保全に貢献できることが示唆された。

キーワード：雑排水処理システム、実証実験、人工湿地、宮古島

I. はじめに

わが国は欧米諸国に比べ、降水量、傾斜地が多く、森林率が高く、かつ水田利用面積が広いため、地下水は硝酸態窒素に汚染されにくい状況にあると思われる。しかし実際には、1970年代より各地の主に農村地域における本問題の発生が報告されている(熊澤, 1997; 中西, 2002)。飲料水中の硝酸態窒素濃度が高くなると、主として乳幼児はメタヘモグロビン血症に罹病するなど、ヒトの健康を害することから、本問題の発生はより深刻である。特に、わが国南西諸島では、主としてかつてサンゴ礁であった石灰岩により形成された島嶼地域が多数存在し、これらの地域は一般に地形が平坦で山地がなく、河川が発達しにくいいため、用水のすべてを地下水に依存している(中西ら, 2005)。

南西諸島の中に位置する宮古島においても用水のすべてを地下水に依存しているが、硝酸態窒素濃度

が高いという問題を抱えている(宮古広域圏事務組合・宮古島地下水水質保全対策協議会, 2004)。また、宮古島の豊かなサンゴ礁が発達した青い海と白い砂浜は、観光・リゾート産業のかなめとして貴重な環境資源となっているが、陸域からの生活排水や化学肥料など過剰な栄養塩の流出が、サンゴ礁生態系に悪影響を及ぼしている(金城ら, 2006)。これは、地盤である琉球石灰岩の浸透性が非常に大きいため家庭からの排水が容易に地下浸透されるためである。このため生活排水は化学肥料・畜産排水と並んで地下水汚染の原因とされており、生活排水に由来する窒素量は年間227トンでその70%にあたる157トンが地下水への供給量になっていると推定されている(中西ら, 2005)。このため、市は1989年に下水道整備を開始したが、下水道整備率(整備済み面積/広域下水道の計画面積)が13.1%、さらにその接続率(実際下水道利用人口/下水道利用可能人口)は56.8%であり(宮古島市下水道課, 2009)、

それほど高い普及率ではないにもかかわらず、下水道敷設による累積赤字額は2005年度決算時点ですでに約9億8,000万円に上っており(砂川, 2007) 今後の見通しは不透明である。

一方、北欧や途上国ではヒトの尿尿を水洗トイレによらずに処理するエコロジカルサニテーションと呼ばれる研究・運動が1990年代より始まっている。Uno Winbladは飲料水の安全確保を目的に安価で衛生的なトイレと尿尿の処理方式について研究した結果「エコロジカルサニテーション」を提唱した(Winblad, 1998)。この方式は環境低負荷型トイレを用いて尿尿と雑排水を分離し、尿尿を堆肥化しヒト由来の有機質、養分を農地に還元しようとするものである。家庭排水中の窒素・リンの75%程度は尿尿に含まれているため、尿尿を堆肥化することにより環境中に排出する汚濁負荷も大幅に減らすことが見込まれる。わが国でも2002年から2007年において科学技術振興機構による戦略的創造研究推進事業研究(CREST)の「持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系への導入に関する研究」(代表: 船水尚行)が行われた。提案された分離分散型排水処理は、「混ぜない(排水分離)」、「集めない(分散型)」ということを前提とした排水処理システム(中川・大瀧, 2009)(図-1)であり、従来の下水処理システムおよび合併浄化槽システムの代替システムとなるものである。このプロジェクトで提案された分離分散型排水処理システムは尿尿処理としてコンポスト型トイレを、雑排水処理として傾斜土槽法を用いていた。コンポスト型トイレに関しては既に寺沢らにより報告されており(寺沢, 1996; 橋井・寺沢, 1999) 傾斜土槽法に関しては生

地らによって報告されている(生地・末次, 2005)。

このプロジェクトに関連して、著者らは、硝酸態窒素による地下水汚染が問題となっている宮古島に分離分散型排水処理システムを導入することを提案し、2004年から2005年に行われた科学技術振興機構による大学発ベンチャー創出推進事業「家庭用有機物資源化装置(オーガニックシステム)の研究開発」(代表: 石崎勝義)において、沖縄県宮古島の個人住宅に、尿尿処理としてのコンポスト型トイレと雑排水処理システムから構成される分離分散型排水処理システムを設置した。この個人住宅では、本システムが導入される以前は、生活排水を貯留槽に溜めて、そのまま地下浸透させていた。2009年現在、宮古島では新築家屋に対しては合併浄化槽の設置が義務付けられているが、この個人住宅のある地域では下水道も整備されず、近隣家屋は未だに生活排水はそのまま地下浸透させている。

本システムの雑排水処理システムは、宮古島の特性を活かし、宮古島を構成しており多孔性である琉球石灰岩を砕いたものをろ材として用いた人工湿地とその周りに窒素・リン除去のための浄化水利用池1、浄化水利用池2、浸透水路から構成されている。人工湿地は間欠方式、自然流下方式の機能を備え、スペースはとるが、水質が良く景観のよい、他に例を見ないシステムである。しかしこのプロジェクトは期間が短く、雑排水処理システムの評価が充分に行われないうちに終了してしまい、現在に至っている。未だ本システムについては論文にもまとめられていない。

そこで本論文では本システムの実証実験を宮古島城辺町にて行なった今までの結果を整理し、本雑排水処理システムを導入した後5年経過した現在における経過観察や、浄化能力に関して様々な側面から検討を行った。具体的には、2004年5月に雑排水処理システムを完成させた後、人工湿地を間欠方式にして稼働させ、2005年1月から3月まで、専門機関に依頼して人工湿地及びその周りの浄化利用池の水質測定を行った。さらに、全世界的にも水と衛生の問題を抱えている昨今、このシステムが発展途上国に普及した場合、電気料金等の維持費がかからない状態で使用できることが望ましいため、2005年4月に人工湿地の間欠方式を自然流下方式に切り換え、消費電力のかからない状況下で4年間雑排水処理システムを使用していただき、2009年5月に再度専門機関に依頼して水質測定を行い、本雑排水処理システ

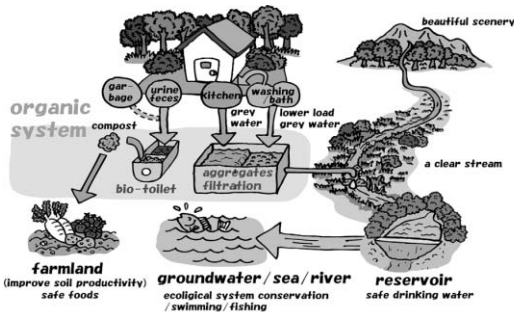


図-1 分離分散型排水処理の概念図(中川・大瀧, 2009)

Fig.1 Schematic of a decentralized and separated waste water treatment system (Nakagawa and Otaki, 2009).

ムの浄化能力の変化について考察を行った。

II. 宮古島における分離分散型排水処理システム実証実験施設

前述したように、宮古島城辺町における実証実験施設は、尿尿処理としてコンポスト型トイレを用い、雑排水処理として人工湿地およびその周りに窒素・リン除去のための浄化水利用池1、浄化水利用池2、浸透水路から成る雑排水処理システムから構成されている。家庭排水の中で尿尿はコンポスト型トイレで処理し、その他厨房、風呂、洗濯などから排出される雑排水はろ材を用いた人工湿地により浄化後、土壤中に浸透させる。このシステムは住人が3人の個人住宅に導入された（2005年4月より2人となった）。

1. コンポスト型トイレ

コンポスト型トイレは、尿尿を多孔性担体であるおが屑と混合し、攪拌することによって好气的条件を維持し、好气的生物分解および水分蒸発による減容化を狙う装置である（Nakagawa, N. *et al.*, 2006）（図-2）。この方式においておが屑は1～2年間は交換せず使えることが報告されているが、交換時に取り出したおが屑廃棄物はコンポストとして農地還元が可能である。つまり栄養塩の循環が可能となる（中川・大瀧, 2009）。また、水循環から独立して設置されるので、水環境への負荷が小さく、わが国では水質汚染が問題となっている山岳地域や放流規制の厳しい地域で使われている（石崎ら, 2000）。

本システムで用いているコンポスト型トイレは、便器部分は水洗トイレの便器と同じだが、その下部にオガ屑を充填した250 m³程度の容積の処理機がある。縦90 cm、横120 cm、高さ70 cmであり、一戸建の住宅ですぐにでも使える大きさである。尿尿は便器から処理槽の中に直接落とされ、8時間ごとにゆっくりと回転する攪拌羽根によって処理槽内の尿尿とおが屑が攪拌される。このコンポスト型トイレは4-5人用であるので、水分保持のため生ゴミも投入してもらっている。

なお、コンポスト型トイレに関しては前述したように寺沢らにより既に詳しく報告されている（寺沢, 1996；橋井・寺沢, 1999）。

2. 雑排水処理システム

完成直後の人工湿地を写真-1に示す。人工湿地

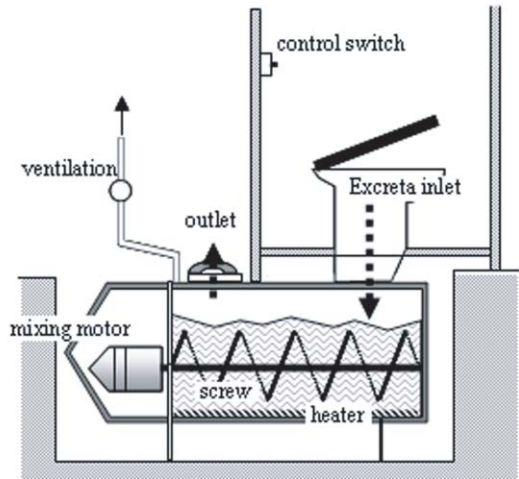


図-2 コンポスト型トイレ
Fig.2 Composting toilet.



写真-1 本雑排水処理システムの人工湿地
（2004.5完成直後）

Photo 1 Constructed wetland of the gray water treatment system (2004.5 just after installation).

はろ材を充填した人工的な湿地で、ろ材による吸着や細菌による硝化・脱窒により生活雑排水を浄化する。ろ材としては、軽石や赤玉土といった自然素材があるが、ここでは現地で入手しやすい（宮古島を構成している）琉球石灰岩を砕いたものを使用している。

施設の構成と浄化水の流れを図-3に示す。雑排水貯留槽は、生活排水を一時貯留する施設であり、本施設導入前に生活排水を流していた浸透槽を改良した。通常時は、家庭からの雑排水を雑排水貯留槽に溜めた後、人工湿地1にて間欠方式で浄化してい

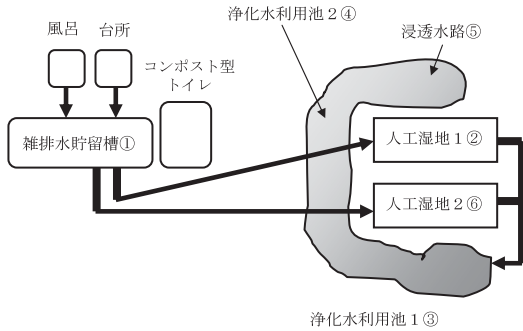


図-3 施設の構成と浄化水の流れ
Fig. 3 Schematic of the system and the flow of the purified water.

る。来客の多い時期などに多量に排水が発生し雑排水貯留槽がオーバーフローした場合は、雑排水貯留槽から人工湿地2に流下させ、自然流下方式で処理している。浄化水の利用を想定し、浄化利用池1を設置し、その下流に、自然環境や景観の向上と水生植物による浄化を促進するため、浄化利用池2を設置した。これら施設を経由した浄化水を、地表部に設けた浸透水路によって地下浸透させている。雑排水貯留槽に関しては、旧浸透処分槽の底面は浸透構造になっていたため、モルタルを打設し、防水モルタル処理をした。また生活排水の流入部に受け籠、オイルトラップ（ステンレス製）を設置し、表面油分の流出を防止した。

人工湿地1の浄化方法の特徴としては、湛水と曝露（湛水していない状態）を交互に繰り返す、間欠方式があげられる。これは一定時間に一定量の排水を、雑排水貯留槽から人工湿地にポンプで送水し、一定時間浸漬させた後、排水させる方式である。これを1日に1～数回繰り返す。団粒ろ材が曝露されると、有機物分解に必要な酸素が団粒ろ材の空隙にとりこまれる。さらに湛水時には嫌気的な状態になる。このようにして湛水と曝露を交互に繰り返すことにより、硝化と脱窒が繰り返され、雑排水中の有機性窒素はN₂に還元され大気に逸散すると考えられる。

図-4は本システムの設置対象家屋の2003年の各月の水道使用量を示している。これより一日あたりの平均を求めると、水道使用量は959 L/日（一人あたり320 L/人・日）である。人工湿地の一日あたりの処理水量の設計値を決めるにあたり、まず本システムの導入により水洗トイレは水を使用しないコンポスト型トイレに変わるため、従来のトイレ洗浄水量分は必要がなくなる上に、庭への散水も人工湿地

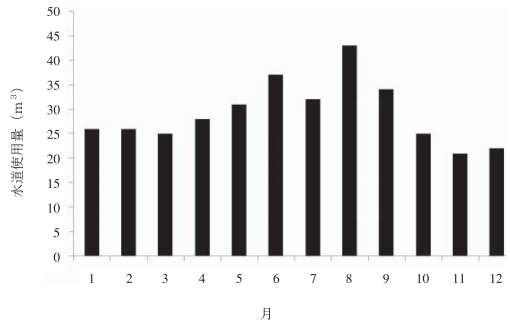


図-4 2003年各月の水道使用量
Fig. 4 Monthly amount of water use in 2003.

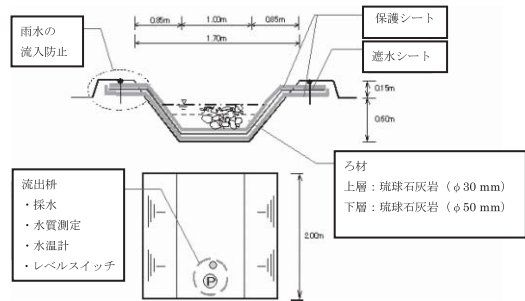


図-5 人工湿地の構造
Fig. 5 Structure of the constructed wetland.

での処理水を用いるようになるため、散水用水も削減されると予想した。そこで、人工湿地の一日あたりの処理水量の設計値に関しては、2003年の一日あたり水道使用量959 L/日を基に、従来のトイレ洗浄水量推定量（60 L/日×3人）と散水用水推定量（150 L/日）を引いた量が629 L/日であることから、650 L/日を人工湿地1の1日の処理水量設計値とした。また図-5に示すように、面積は5.4 m²、深さ0.6 m、ろ材の材質は粒径30-50 mmの琉球石灰岩を用いた（下部に50 mm、上部に30 mmの琉球石灰岩を用いた）。

Ⅲ. 雑排水処理システムの水質

1. 外観の観察結果

完成から約半年経過した時の本雑排水処理システムの外観を写真-2に示す。実験施設設置直後に植えたホテイアオイは生育良好で、浄化利用池内に青々と茂り、周囲の景観と調和した環境が形成された。人工湿地の浄化水を流した浄化利用池には夏場



写真-2 本雑排水処理システム (2004.12)
Photo 2 Gray water treatment system (2004.12).

にホタル、糸トンボ、ヤゴ、オタマジャクシ、アメンボ等、多くの生物が見られ、豊かな生物相が形成されている。

また、2005年1月から3月における、一人一日あたりの雑排水量が137 Lであった。前述したように本システム導入により水道使用量は大幅に少なくなった。なお、実際に浄化水利用池の水を庭の水まきに用いた場合の衛生学的安全性を大腸菌や大腸菌ファージを測定することで確かめたところ、本雑排水処理システムの浄化水利用池の水は、庭の水まきに使用しても衛生学的に安全であることを確認している (中川, 2007)。

2. 2005年における水質測定結果

実験施設を設置してから1年後の2005年1-3月に人工湿地1を間欠方式により稼働させ、本雑排水処理システムの人工湿地、浄化水利用池及び浸透水路の水質測定を行った。前述したように、来客の多い時期などに多量に排水が発生し雑排水貯留槽がオーバーフローした場合は、雑排水貯留槽から人工湿地2に流下させ、人工湿地2は自然流下方式で処理している。

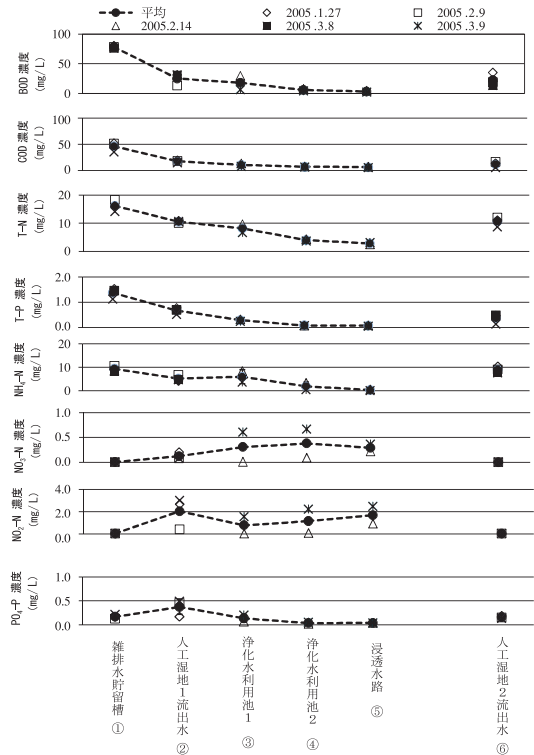


図-6 水質測定結果 (2005年1月~3月)
Fig. 6 Measurement results of water quality at each sampling points (January-March, 2005).

信頼性のある結果を得るため、水質測定は専門機関に依頼した。水質測定は5回行い、採水試料はいずれも専門機関に送り分析を依頼した。水質の分析方法を表-1に示す。

図-6は2005年1月から3月の間、5回にわたり採水し測定したCOD, BOD, T-N, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, T-P, PO₄-P濃度についての水質測定結果である。横軸に示した採水箇所は図-3の①-⑥に対応している。また、表-2は各地点の水質の平均値を示したものである。括弧の中の値は雑排水貯留槽の水質に対する除去率を表している。図-6及び表-2より、人工湿地1 (①) からの流出水は浄化水利用池1 (③), 浄化利用池2 (④) においてさらに浄化されており、地下への浸透水路 (⑤) での水質はBOD, COD, T-N, T-P濃度の平均値がそれぞれ3.6 mg/L, 6.6 mg/L, 2.8 mg/L, 0.08 mg/Lと良好であることがわかる。図-6のNH₄-N, NO₃-N, NO₂-N濃度の変化より、窒素は水生植物による吸着だけでなく、硝化細菌と脱窒細菌による硝化・脱窒によっても取り除かれていると考えられる。また、メタヘ

表-1 測定項目と方法

Table 1 Item and method of the measurement.

分析項目			
化学的酸素消費量 COD		方法8000	反応器分解法
全窒素 T-N		アルカリ性過硫酸分解・クロモトローブ酸法	
硝酸性窒素 NO ₃ -N		方法8171	カドミウム還元法
亜硝酸性窒素 NO ₂ -N		方法8507	ジアゾ化法
アンモニア性窒素 NH ₄ -N		方法10023	サリチル酸塩測定法
全リン T-P		過酸化硫酸分解・モリブデン青(アスコルビン酸)法	
反応性リン(オルトリン酸) PO ₄ -P		方法8048	PhosVer3 (アスコルビン酸)法

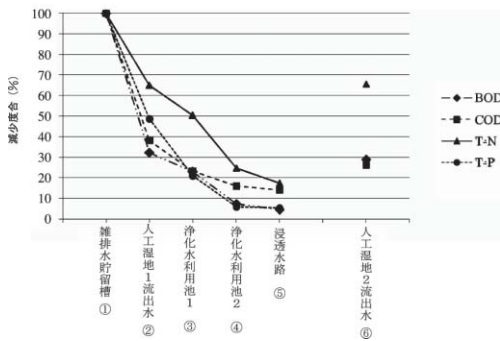


図-7 雑排水貯留槽の水質に対する各地点における減少度合 (2005年1月~3月)

Fig. 7 Rates of water quality at each sampling point compared to the gray water at storage tank (January-March, 2005).

表-2 各採水地点における水質の平均値

Table 2 Average of the water quality at each sampling points.

単位: mg/L

採水地点	BOD	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
雑排水貯留槽 ①	78.3	46.3	16.2	1.37	9.29	0.01	0.02	0.17
人工湿地1流出水 ②	25.3 (67.6%)	17.7 (61.7%)	10.5 (34.8%)	0.67 (51.3%)	5.17	0.12	2.02	0.37
浄化水利用池1 ③	18.0 (77.0%)	10.9 (76.5%)	8.2 (49.5%)	0.29 (79.0%)	5.95	0.31	0.77	0.13
浄化水利用池2 ④	5.9 (92.5%)	7.4 (84.0%)	4.0 (75.1%)	0.08 (94.1%)	1.85	0.38	1.14	0.04
浸透水路 ⑤	3.6 (95.5%)	6.6 (85.8%)	2.8 (82.5%)	0.08 (94.5%)	0.31	0.29	1.67	0.04
人工湿地2流出水 ⑥	22.6 (71.1%)	12.2 (73.6%)	10.6 (34.4%)	0.37 (73.2%)	8.97	0.00	0.02	0.16

注: () の中の値は雑排水貯留槽の水質に対する除去率を表している。

モグロビン血症の原因となるNO₂-N濃度も飲料水の水質基準値である10 mg/Lよりもはるかに低いことがわかる。またリンに関してはPO₄-P濃度変化より、有機体リンが水中で微生物による分解を受け、オルトリン酸イオンとなって溶出していると考えられる。

また、雑排水貯留槽の水質に対する各地点における、BOD、COD、T-N、T-P濃度平均値の減少度合を図-7に示した。BOD、COD濃度に関しては人工湿地1での除去率が高いが、T-N、T-P濃度に関しては、浄化利用池での除去率が高く、人工湿地の周りの浄化水利用池が窒素・リン除去に大きな役割を果たしていると考えられる。

間欠方式の効果を検証するために人工湿地1流出水①と人工湿地2流出水⑥の水質を比較すると、間欠方式にすることによってT-N濃度が若干よくなったが、BOD、COD、T-P濃度に関してはあまり違いが見られなかった。

3. 2009年における水質測定結果

人工湿地1を間欠方式で稼働させるには、ポンプの消費電力が78 kwh/月かかっている。このため、前述したように間欠方式と自然流下方式では水質にあまり違いが見られなかったことと、2005年4月に住人が3人から2人になり、住人が消費電力のかからない状態にして人工湿地を使用することを希望したことから、その後は間欠方式を止め、自然流下方式である人工湿地2のみを使用していただくことにした。

また通常、実証実験を個人住宅で行っている場合、

表-3 水質測定結果 (2009年5月)
Table 3 Measurement Results of the water quality (May, 2009).

採水地点	BOD	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
雑排水貯留槽 ①	26	23	14	0.87	12	0.013	<0.01*	0.47
人工湿地2 流出水 ⑥	13 (50.0%)	19 (17.4%)	13 (7.1%)	0.68 (21.8%)	11	0.003	<0.01*	0.55
浄化水利用池2 ④	5.6 (78.5%)	4.7 (79.6%)	6.5 (53.6%)	0.58 (33.3%)	4.4	0.007	0.06	0.67

単位: mg/L

注: () の中の値は雑排水貯留槽の水質に対する除去率を表している。
* ' <0.01 ' は測定限界値以下であることを示している。

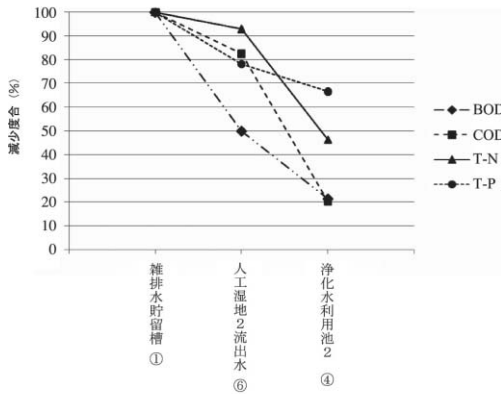


図-8 雑排水貯留槽の水質に対する各地点における減少度合 (2009年5月)

Fig. 8 Rates of water quality at each sampling points compared to the gray water at storage tank (May, 2009).

プロジェクト終了後は住人のメンテナンスのみに委ねられるが、そのような状況になるとこの雑排水処理装置やその水質はどの程度劣化するかを把握することも必要である。なぜなら、新しい環境低負荷型の生活排水処理システムを発展途上国などに普及させる場合、どんなに機能性の高いシステムを導入しても、その後のメンテナンスに費用がかかる状況下では普及は見込めないためである。

そこで、人工湿地1の間欠方式を止め、雑排水貯留槽から人工湿地1の管路を閉鎖して、自然流下方式である人工湿地2のみを利用し、4年後の2009年5月に再度本雑排水処理システムの水質測定を行なった。採水試料は専門機関に送り分析を依頼した。

2009年5月に行った水質測定の結果を表-3に示す。表-2の2005年に行った浄化水利用池2における水質測定結果と比較すると、窒素・リンの除去能力が大幅に低下していることがわかる。やはり、機能劣化を防ぐためには人工湿地のメンテナンスは欠か

せないと考えられる。また、雑排水貯留槽での水質を2005年に測定した雑排水貯留槽の水質と比べるとかなり低いのが、これは住人が3人から2人になり、厨房での食事作りなどをほとんどやらなくなっているということも一つの要因であろう。

さらに、2009年5月の測定に関しても雑排水貯留槽の水質に対する、各地点のBOD、COD、T-N、T-P濃度の減少度合を図-8に示す。図-7と図-8の浄化水利用池2の除去率を比較すると、前述したように、窒素・リンの除去率は大幅に低下しているが、逆に消費電力をかけず、メンテナンスをしなくても、BOD、CODは80%の除去率、T-N、T-Pはそれぞれ50%、30%の除去率を保っていることがわかった。これは浄化利用池の水生植物などによる自然浄化機能が影響しているためと考えられる。

しかしながら、今までの水質測定は、限られた時間や予算の範囲で、最小限行ったものであり、さらに精査するには今後も定期的に(一貫した継続的な)水質測定を行っていく必要があると考えられる。

IV. 本システム導入による汚濁負荷排出量削減効果の推定

水環境中に排出される一人一日あたりの汚濁負荷量を参考にして、本システムから水環境中に排出される汚濁負荷量を計算し、本システムの流域環境への貢献度を定量的に評価した。現在地球上で問題になっている湖や閉鎖水域の富栄養化の主な原因となるのは窒素とリンである。これらは工場排水や産業排水の中にも含まれるが、ここでは人間が活動することにより排出される生活污水のみをとりあげて試算を行うことにした。生活污水中に含まれる汚濁負荷については、一般的に表-4に示すような配分と考えられる(松尾ら, 1999)。これは生活污水を尿尿と厨房や浴槽などから排出される雑排水に分け、

表-4 生活排水の汚濁負荷量参考値 (松尾ら, 1999).
Table 4 Reference values of the domestic wastewater effluent (Matsuo et al., 1999).

単位: (g/人・日)

項目	汚濁負荷量	内訳	
		尿尿	雑排水
BOD	57	18	39
COD	28	10	18
SS	43	20	23
T-N	12	9	3
T-P	1.2	0.9	0.3

表-5 水道使用量及び本分散型排水処理システムからの汚濁負荷排出量

Table 5 Amount of water use and the amount of the pollution load discharged from the decentralized and separated wastewater treatment system.

	本システム導入前	導入後1年	導入後5年
水道使用量 (L/人・日)	320	137 (57%)	141 (56%)
BOD (g/人・日)	57	0.81 (99%)	0.79 (99%)
COD (g/人・日)	28	1.01 (96%)	0.66 (98%)
T-N (g/人・日)	12	0.55 (95%)	0.92 (92%)
T-P (g/人・日)	1.2	0.01 (99%)	0.08 (93%)

注: () の中の値は本システム導入前の水道使用量及び汚濁負荷排出量に対する減少率を表している。

一人一日当たりの汚濁負荷量 (汚水量×濃度) を調査したものである。特に栄養塩であるリン・窒素に関しては、尿尿に含まれる割合が、それぞれ約7割~8割と非常に高い、即ち尿尿をその他の排水と分離するだけで、栄養塩に関しては、大幅な負荷低減を達成することが可能である。本システムでは尿尿と雑排水は別々に処理されるので、表-4の汚濁負荷量の内訳の中で尿尿の分はコンポスト型トイレですべて分解され、水環境中には排出されない (つまり100%除去される) とした。また、雑排水の分は雑排水処理システムの流出水の水質と水道使用水量を乗じ、これを本システムから排出される汚濁負荷量とした。

2005年1月から3月のこの個人住宅の一人一日あたりの水道使用量137 Lに、2005年1-3月に測定された浄化水利用池2の水質の平均値を乗じて、このシステムから排出される汚濁負荷排出量を計算した結果を表-5に示す。2009年5月に行なった水質測定結果に関しても同様にして表-5に記載した。前述したように、コンポスト型トイレを使用しており尿尿の分の汚濁負荷は水環境中に排出されないため、本分

離分散型排水処理システム導入後の値は、本雑排水処理システムからの汚濁負荷排出量を示している。表-5において、家庭排水をそのまま地下浸透させていた、本システム導入前の汚濁負荷排出量に関しては、表-4の汚濁負荷量の参考値を本システム導入前の一人一日当たりの汚濁負荷排出量とし、この量に対する本システム導入による汚濁負荷量減少率を括弧の中に示した。尿尿はコンポスト型トイレで処理されるので、雑排水処理システムに流入する時点で汚濁負荷量は減っており、さらにそれが雑排水処理システムによって除去されるため、表-5のように、本システム導入前や、未だ尿尿を含む家庭排水すべてをそのまま浸透させている家屋と比べ、本システムから排出される汚濁負荷量は、90%以上削減されていると考えられる。

V. むすび

沖縄県の南方303 kmに位置する沖縄県宮古島に、宮古島の特性を活かした雑排水処理システムを導入し、導入後5年経過した現在まで実証実験を行い、浄化能力に関して様々な側面から検討を行った結果、以下の知見が得られた。

1. 本雑排水処理システムの流出水となる浸透水路での水質は、BOD, COD, T-N, T-P濃度の平均値がそれぞれ3.6 mg/L, 6.6 mg/L, 2.8 mg/L, 0.08 mg/Lと良好であることがわかった。特に、人工湿地の周りの浄化水利用池での窒素・リンの除去が大きく、浄化水利用池が窒素・リン除去に大きな役割を果たしていると考えられる。
2. 発展途上国における水と衛生の問題を解決するために、このシステムを発展途上国にも拡げていくことを想定して、消費電力をかけず、メンテナンスをしない状態でどの程度機能が劣化するかを調べたところ、本雑排水処理システム導入後5年経った時点で、BOD, CODは80%の除去率、T-N, T-Pはそれぞれ50%, 30%の除去率を保持していることがわかった。窒素・リン除去率の低下を防ぐためにもメンテナンスは必要であるが、本雑排水処理システムは消費電力をかけない状態でもある程度持続的に使用が可能である。
3. 水環境中に排出される一人一日あたりの汚濁負荷量を参考にして、本システムから水環境中に排出される汚濁負荷量を計算し、本システムの

流域環境への貢献度を定量的に評価した結果、尿尿を含む家庭排水すべてをそのまま浸透させていた本システム導入前と比べ、この個人住宅から排出される汚濁負荷量は、90%以上削減されている。

本システムを導入した個人住宅の本雑排水処理システムは、導入から5年経った現在でも順調に稼働しており、夏の夜に光るホタルや糸トンボも見られる。住人も、自分たちが排出した水が本雑排水処理システムに入ることを考えると、食器洗浄時も極力洗剤を使わなくなったとのことである。目に触れるところで自分たちの生活排水の行方がわかるということが、意識改善につながる可能性があるとして唆される。

謝辞

本研究は、東京都アジア高度研究「アジア都市圏における水問題解決のための適応策に関する研究」(代表:河村明)並びに、大学発ベンチャー創出推進事業「家庭用有機物資源化装置(オーガニックシステム)の研究開発」(代表:石崎勝義)の研究成果である。

引用文献

石崎勝義・正木晴彦・戸田 清・上 幸雄・中川直子・糸永貴範(2000):資源循環型トイレの可能性,土木学会環境システム研究論文集Vol.28, pp.295-302.
生地正人・末次 綾(2005):傾斜土槽法による台所排水の有機性汚濁と栄養塩類の同時浄化,水環境学会誌, 28(5), pp.347-352.
金城孝一・比嘉栄三郎・大城洋平(2006):沖縄県のサンゴ礁海域

における栄養塩環境について,沖縄県衛生環境研究所報 第40号, pp.107-113.
橘井敏弘・寺沢 実(1999):資源化・エコ・バイオトイレの効用,日本木材学会北海道支部講演集,第31号, pp.43-48.
熊澤喜久雄(1997):環境保全と農業生産,化学と生物,第35巻,第3号, pp.192-197.
松尾友矩・田中修三・安田正志・田中和博・長岡 裕(1999):水環境工学(下水道施設計画・設計指針と解説前編),オーム社, pp.133.
宮古広域圏事務組合・宮古島地下水水質保全対策協議会(2004):平成15年度宮古島地下水水質保全調査報告書, p.135.
宮古島市下水道課:“7.電気・上下水道,4.下水道整備状況及び普及状況”,平成20年度版統計みやこじま。
http://www2.city.miyakojima.lg.jp/toukei_m_2009/20-07.pdf。(参照:2009/11/21)
Nakagawa, N.・M. Otaki・H.Oe・K. Ishizaki(2006): Application of microbial risk assessment on a residentially-operated Bio-toilet, Journal of Water and Health, Vol.4, pp.479-486.
中川直子・大瀧雅寛(2009):分離分散型排水処理システムの環境負荷評価,土木学会,土木学会論文集, Vol.65, No.2, pp.97-103.
中川直子(2007):コンポスト型トイレを用いた分散型排水処理システムの衛生的評価及び環境負荷評価,お茶の水女子大学平成18年度博士論文, pp.90-91.
中西康博(2002):サンゴの島の地下水保全―「水危機の世紀」を迎えて,宮古島地下水水質保全対策協議会・宮古広域圏事務組合・宮古島下水道企業団, p.181.
中西康博・中川直子・石崎勝義(2005):宮古島における硝酸態窒素による地下水汚染とその対策,水循環貯留と浸透, Vol.58, pp.26-31.
砂川拓也(2007):“下水道 市の負担分大きく/05年度末で累赤9億8,000万円”,宮古毎日新聞,2007/06/01,
<http://www.miyakomainichi.co.jp/modules/news/article.php?storyid=158>。(参照:2010/06/16)
寺沢 実(1996):人工土壌としての粉体化木質材料一生ゴミの資源化一,木材学会誌42(7), pp.692-633.
Winblad U. 1998. Ecological Sanitation, SIDA: Stockholm; 89.
(受付:2010年4月23日, 受理:2010年6月14日)

A Pilot Experiment of the Gray Water Treatment System Considering the Characteristic of the Miyako Island

Naoko NAKAGAWA ¹⁾ Akira KAWAMURA ¹⁾ Katsuyoshi ISHIZAKI ¹⁾ Hideo AMAGUCHI ¹⁾

¹⁾ Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate school of Urban Environmental Engineering,
Tokyo Metropolitan University,
(1-1, Minamiosawa, Hachioji city, Tokyo, 192-0397, Japan)

In this study, the gray water treatment system that consists of the construct wetland and the treated water reservoirs with a sufficient water quality and scene was introduced into the Miyako Island in Okinawa prefecture as a pilot experiment and evaluated from various viewpoints using the data from 2005 until 2009. Measurements of the water quality concerning the gray water treatment system with and without the intermittent operation of the constructed wetland were performed in 2005 and 2009.

As a result, the removal rate of BOD, COD, T-N, and T-P of the effluent of the gray water treatment system were more than 80 %. Besides, the gray water treatment system without power consumption and maintenance maintain the removal rate of 80 %, 80 %, 50 %, and 30 % concerning BOD, COD, T-N, and T-P respectively. Moreover, the pollution load discharged from this system composed of the gray water treatment system and the composting toilet were reduced more than 90 % compared to the existed system that infiltrated the wastewater directly to the underground. It was found that this system can contribute to preserve the underground water and the water environment around the Miyako Island.

Key words : gray water treatment system, pilot experiment, constructed wetland, Miyako island