

エコロジカル・サニテーション序論

大規模・集中から小規模・分散システムへの政策転換の意義

村上 雅博

高知工科大学 フロンティア工学コース

要旨

今日、世界で24億人が適切なトイレなどの衛生施設をもたず、特に発展途上国で水洗トイレと下水道を整備することは財政的に極めて困難で一部の大都市を除けば地方の衛生環境整備は絶望的な状況にある。他方、先進国では下水道建設費の約3/4が下水管路システムの整備に投資されており、時代とともに大規模・集中型の下水道施設の更新期が次々に必要になってくるが、汚水を集中的に管路網集めて処理をする従来型コンセプトの下水道システムでは財政的な制約条件を含めて今後の問題解決策にはならないとの議論が展開されている。本論は、財政難に苦しむ地方を対象に大規模・集中から小規模・分散システムへの環境政策の転換の意義についての問題提起である。集めない・混ぜない・水を使わないコンセプトをもとに技術開発が進んでいるエコロジカル・サニテーションについて、その応用と適用についての考察を以下に述べる。

Keywords: 環境衛生、下水道、汚水処理、トイレ、エコロジー、分散型、水循環、環境政策、地方行政

1. はじめに

世界の総人口60億人(2000年)のうち10億人の人々が安全な飲み水を得ることができず、24億人が適切なトイレなどの衛生施設をもたない。世界で発生する排水の90%は不完全な処理または全く処理されずに排出されている。世界中に下水道を整備することは、全世界の経済レベルをはるかに超えていることが認識されており (Wildere 2001)、汚水を集中的に集めて処理をする従来型コンセプトの下水道では今後の問題解決策にはならないとの議論が展開されている。特に下水道建設費の約3/4は下水管路の整備に必要とされていることに注目すると、ドイツの例では今後の下水管路の更新と維持管理費に約1,000億ユーロ(=14兆円)必要となることが試算されている。

日本でも大都市圏では旧来の合流式下水道システムを基盤として整備事業が展開されてきた経緯から、分流システムの転換が困難な部分では合流改善を含めた高度な環境整備を行いつつ巨大な管路システムの更新に取り組む時期を迎える。都市型下水道整備が必要な地方の市町村レベルでは巨額の基盤整備資金投資が財政難の主要因となっており、さらに施設の維持管理や更新のために町が潰れるとの危機感まで出ている。

高知県香美市土佐山田町の例では、水道水源は伏流水(地下水)依存しているため安全な飲料水を90円/m³という比較的低い水道料金で設定して収支がとれるが、15年前に完成した下水道は事業収支をとるために水道料金の2倍に当たる180円/m³を町民から徴収している。利用者の立場に立てば、下水

道が飲み水の2倍ものコストがかかっているという現実に注意と関心が必要である。さらに問題なのは、個人や集合住宅の敷地内部の污水配管や水洗トイレ設置費用は民地内にあるため個人負担となり一軒当たり約70万円程度の支払いが必要となるため、下水道システムが完備されている町であるにもかかわらず一部の地域では水洗化が進まず、旧来型の“し尿”は汲み取り方式、“家庭雑排水”は用水路や河川に垂れ流しという状態が続いており、物部川の水質汚染の元凶と言われ続けている。

家庭で使用される水の25%程度が水洗トイレの洗浄水である。これはI飲料に適するレベルの淡水資源の浪費を意味している。またトイレで使用された洗浄水は標準型(活性汚泥方式)下水処理場で処理されるが、有機物(BOD)は90程度除去できるものの窒素・リン(N,P)は殆ど除去されないため、処理水中の栄養塩(N,P)が湖沼や海域に放流され、富栄養化を起こす主要因となっている。さらに水洗トイレ化によって、江戸時代に都市で発生した尿や糞便をし尿に替えて化学肥料を利用したことで、都市・農村結合型の循環型社会のケーテクノロジーを切り離し、農地環境は化学的な汚染が進み自然養分不足となる傾向が顕著である。我々は、日本の伝統的な衛生管理システムの原点を最評価し尿=排泄物という考え方から、し尿=資源の考え方に戻り、資源循環型社会の再生を目指す必要があると考えている。

衛生対策とは、社会の平等性や社会の持続性を可能にする決定因子である。衛生対策への新しい挑戦がなされなければ、私たちは次世代へ問題を残さずに現世代の要求を満たすことができないであろう。それゆえに衛生対策というものは廃棄物を取り扱う考えではなく、資源を取り扱う考えなのである。最近に注目を集めている新しい環境技術戦略の一つであるエコロジカルサニテーションは、従来の排泄物を“処分”するという考え方から、廃棄物を“出さず”・“再利用”するという考え方にコンセプトを変えていくことにある。“集めない”・“混ぜない”<集中⇒分散>という基本的なコンセプトを共有し、エコロジカルに浄化した未利用資源(人間のし尿:N,P)を農地や森林に戻すことで土壌の改良や植物の栄養素の補給に再利用し、環境を汚染することなく自然の循環系を持続的に繰り返す。水洗トイレの水の節約と水質汚染を同時に著しく軽減し、エコロジカルな適正技術であるがゆえに水資源の保全のみならず地球温暖化対策の一助にもなると期待されている。もともとは、ベトナムの地方農村の伝統的なトイレにエコロジカルサニテーションの原理と適用のヒントを得たスウェーデンの環境エンジニアが、自国でシステム化し周辺のドイツでも開発が進み、さらに水不足に苦しむアフリカ諸国のトイレ普及のための国際技術協力の戦略的なオプションとしても世界の注目を集めている(Steven, 2001)。

集中から分散への政策コンセプトに移行するために適合する地域はどこかという、都市部ですでに下水道が完璧に整備されているところではなく、下水道整備が未だに行き届いていない地方で、小規模の住宅郡と農地や隣地が共存する地域にある。とくに高知県の中山間地域のように気候が温暖で農地(畑)と森林が近接するロケーションと自然環境はエコロジカルサニテーションの導入にインセンティブを与えているため、高知県西部地域の中山間地域をモデルに検討を進めている。エコロジカルサニテーションの原型は糞と尿の分離にあるが、資源循環に展開する段階で、糞は自然(発酵)乾燥により量・容積ともに大幅に減少するものの大量に発生する尿は未処理のまま密閉して貯蔵し運搬する過程において問題が生じている。本研究の概念モデルで提案している四万十循環コンセプトは、家庭排水から生活雑排水(Grey water)とし尿(Black water)を分離するが、尿と糞便をわけずにし尿としてオガクズ(間伐材の切りカス)と混合して加熱する好気式のコンポストトイレと雑排水(Grey water)を自然循環式(四万十川方式)

浄化システムおよび土壌処理を軸としたサステナブル・サニテーション・システムの適用が地方村落地域の衛生環境管理の新しい政策的なオプションになることを期待している。

2. 下水道システムの現状と最先端の課題

下水道システムは基本的に雨水と汚水を混ぜるタイプの“合流式”と分離するタイプの“分流式”からなり、都市下水道整備では過去は合流式、今日は分流式が主流である。分流式タイプの下水道整備は生活排水(雑排水(Grey water)、し尿(Black water))を集めて集中的に標準活性汚泥法による二次処理を行い、処理水を水系に放流している。都市域では下水道整備(国土交通省所管)が基本であるが、地方の人口非密集地域では下水道の配管コストが著しく高くなるため、水洗トイレ化を進めるために日本独自の技術で開発された合併浄化槽(厚生省所管)の普及が進んでいる。下水道システムか合併浄化槽システムにするかは、汚水を集めて流す配管(ポンプアップを含む)費用の占める割合によってほぼ決まる。

浄化槽には汚水のうち、1)し尿(Black water)、2)生活雑排水(Grey water)、3)し尿(Black water)+生活雑排水(Grey water)の3者を対象として、それぞれの目的に合わせた規模で処理をしている。このうち今日では最も普及が進んでいる、し尿と生活雑排水を合わせて処理する合併浄化槽には一軒の家庭レベルの個別浄化槽から数百~千人規模を処理対象とした中型浄化槽まである。合併浄化槽の欠点は、処理(滞留)時間が標準活性汚泥法の8時間に対して24時間と3倍ほど長く、処理施設の設置面積がより必要なため、コスト的な問題で人口が密集して高度な土地利用がなされる都市部に適応されることは殆どない。

最近では生ゴミのデイスポージャー処理が進んできているため、汚濁負荷量増大に対応した浄化槽の開発も進められている。さらに最先端の研究では、全ての生ゴミ(デンスポージャー)と生活排水(雑排水+し尿)をUASB方式等で一括して嫌気処理してメタンガスを発生させた後に処理水中に含まれる未利用微量有用成分を抽出するシステムも検討されている。さらに生活生ゴミをし尿と一括して処理をするコンポスト型バイオトイレの開発も進んでいる。下水処理技術の最先端では、衛生対策というものは廃棄物を取り扱う考えではなく、資源を取り扱う考えに転換してきている。従来の排泄物を処分するという考え方から、廃棄物を出さず再利用するという考え方に変えていくことから大切な水資源を保全する循環型のコンセプトにチャレンジするために開発された手法がエコロジカルサニテーションであり、生活雑排水とし尿を分離して、1)糞便と尿を分離して処理する、2)糞便と尿を合わせて処理する、の2系統のアプローチがある。共に水洗便所とは異なり、基本的に水で洗い流すことはしないが、衛生状況を確保するために霧吹きで便器を洗うため、水の使用量は水洗便所の8-10 リットル/回に比べて、1/100以下とごく微小である。この方式は生物分解型(エコロジカル・サニテーション)バイオトイレとも呼ばれ、今回に適用するエコロジカル・サニテーションの概念(水を使わず人間の排泄物を安全なものとし、農業に利用する)に最も近いものである。原理としては、水を一切(殆ど)使わず、おが屑と排泄物中に含まれる腸内細菌の働きによってし尿を分解するというものである。使用済みおが屑は窒素、カリウム、リンなどの無機物を含んでおり、肥料として循環再利用できるエコロジカルなシステムである。

3. エコロジカル・サニテーションシステムとバイオトイレ

生活排水処理の要点は、家庭雑排水とし尿をいかに処理するかにあるが、し尿の処理はトイレのシステムを工夫することから、水を使わないで処理可能な処システムが検討されている。上に述べたような水洗トイレの問題点から、新しいタイプのトイレが開発されている。それらのトイレは大きく洗浄水循環型、焼却・乾燥型、生物分解型(バイオトイレ)に分けられる。

(1) 洗浄水循環型: 一度洗浄に使用した排水を浄化し、再び洗浄水として利用するというものである。したがってし尿の洗浄、運搬に使用される水は繰り返し使われるので、ほとんど排水されない。このことは水を浪費しないという点では評価できる。しかし、し尿に含まれる栄養素は土壌に還元されないという問題が残る。

(2) 焼却・乾燥型: ドライトイレとも言われるが、排泄物の水分を蒸発させて(焼却して)、灰にしてしまうというものである。洗浄水として多少の水も使用できる。排泄物が少量の灰になり、扱いが容易になる反面、エネルギーが大きく、コストもかかる。

(3) 生物分解型: バイオトイレとも呼ばれ、エコロジカル・サニテーションの概念(水を使わず人間の排泄物を安全なものとし、農業に利用する)に最も近いものである。原理としては、水を一切使わず、おが屑と排泄物に含まれる腸内細菌の働きによってし尿を分解するというものである。使用済みおが屑は窒素、カリウム、リンなどの無機物を含んでおり、肥料として利用できる。バイオトイレは便器の下が昔のくみ取り式の便槽になっている。使用後にスイッチを押して便槽のおが屑の中のスクリーを回転させる。細菌の働きを活発にするため、おが屑を下からヒーターで暖め、更にスクリーでかき混ぜることで酸素を供給する。糞尿は約4~8時間で分解処理される。おが屑の交換は便槽の容量や家族数で異なるが、年に1~2回の交換で済む。

人間の排泄物は、微生物やその卵、その他様々な生物を含んでいる。生物の中には病気を引き起こすものもいて病原体と呼ばれている。また、人間に寄生しているものもいる(寄生虫)。これらの生物のほとんどが糞便中に発見されているが、尿は一般に無菌である。新鮮な人間の糞便中には細菌・ウイルス・原生動物・蠕虫(腸内寄生虫)といった四つの主な生物のグループがある。これらの生物は排出されたあと、すぐ感染するもの・感染までにある期間を要するもの・感染するまでに媒介としての宿主を必要としたりするものに分けられる。汚染された環境は人間を感染症や病気を引き起こす病原体という危険にさらす。

上述した環境条件の一つ一つは、病原体が生存するのに適したいくらかの幅を持つ。自然変化や人為的によって条件が変化すれば、病原体の死滅速度も変化する。例えば、温度が上昇すれば病原体の死滅速度も増加する。土壌中で糞便性大腸菌が99%死滅するのに、夏場は約2週間、冬場は約3週間かかる。温度が60℃以上になると、糞便中のほとんどの病原体はすぐに死滅する(表-1 参照)。

表-1 病原体を死滅させる因子と方法

病原体死滅速度を速める環境条件	
環境因子	方 法
温度	上げる
湿度	下げる
栄養分量（有機物）	下げる
微生物量（他の病原体を含む）	下げる
日光量	上げる
pH	上げる

温度が50℃から60℃の範囲においては、バクテリアは成長することができず数分で死滅する。ほとんどの病原体は30分以内で死滅す原生動物から排出されたクリプトスポリジウムの接合子は、非常に強い抵抗性を示す。それらは回虫以上に環境のストレス（寒さ・高温・塩素やオゾンを用いた水処理）に耐えると考えられている。しかし、脱水化であればクリプトスポリジウムを死滅させることができる。実験によると2時間乾燥させたら97%のクリプトスポリジウムの結合子が死滅し、4時間ですべてが死滅した（松井 2003）。

4. エコロジカルサニテーションと物質循環

日本における一人当たり生活雑排水のBOD負荷量は27g/day、し尿排水のBOD負荷量は13g/day（（財）日本環境整備教育センター、2001）である。家庭排水の発生源別汚濁物質負荷を整理すると、し尿の負荷は有機物(BOD)で44%、アンモニア態窒素で約97%、リンで80%を占める。し尿(Black Water)を分離・処理すれば栄養塩の循環再利用が可能となる。すなわち、排水を発生源で分離し、処理する、「集めない」システムの導入が望まれる。

人間の排泄物中の植物栄養素のほとんどは尿中に発見されている。成人一人当たり年間で約400Lの尿を排出し、それには4.0kgの窒素、0.4kgのリン、0.9kgのカリウムが含まれている。面白いことにこれらの栄養素は植物に吸収されやすい理想的な状態で存在する（窒素は尿素の形で、リンは過リン酸塩の形で、カリウムはイオンの形で）。尿中の栄養素のバランスは化学肥料のそれと比べて十分に適している。1年間各々の人間によって排出される400～500Lの尿は、1年間一人を充分養える250kgの穀物を育成するのに十分な植物性養分を含んでいる。スウェーデンで1993年に排出された人間の尿中の窒素・リン・カリウムといった栄養素は、肥料総使用量の15～20%に匹敵する。化学肥料と比べて重金属の混入が極めて少ないというのも尿を利用した肥料の利点の一つである。密閉型のコンテナで保存すれば、アンモニアの減少は最小限に抑えられる。

人間の糞便は主に消化されずに残った有機物、例えば食物繊維などを含む。一人1年当たりの糞便の量は25～50kgで、0.55kgの窒素、0.18kgのリン、0.37kgのカリウムを含む。栄養素の含有量は尿より少ないが、それらは非常によい土壌改良剤である。脱水化や分解により病原体が死滅されてできた無害の有機物は、土壌の有機物量・保水能力・栄養濃度などを高めるために利用される。分解の過程によってできた腐植土は、植物を土壌の病原体から守る有用な土壌生物の健全な数を維持するのも助ける。

5. 栄養塩の管理と再利用

家庭で使用される水の25%程度が水洗トイレの洗浄水である。これは水資源の浪費を意味している。またトイレで使用された洗浄水は下水処理場で活性汚泥法により二次処理されるが、有機物(BOD)の90%は削減されるものの栄養塩の代表である窒素、リンが殆ど除去できないために湖沼や海域に放流され、富栄養化を起こす原因になっている。富栄養化現象は水中のリン濃度に最も強い支配を受けているため、河川(流域)で100%近く下水道整備が行われたのにもかかわらず、下流域の湖や沿岸海域では水質汚染問題(富栄養化)が未だに解決されていないという現実がある。さらに下水道の普及(水洗トイレ化)によってし尿を肥料としないことから起こった問題もある。これはし尿に替えて化学肥料を利用したことで、農地が養分不足となったことである。最近の有機農業へのチャレンジは食の安全性と土壌・生物資源環境の保全という地球環境的な視点から、日本のみならず、世界共通の問題意識になっている。特にリンは植物生産上の必須元素であるが、我が国は、リン需要のほぼ100%を輸入に頼っている。輸入されたリンの多くは、肥料として利用されており、農産物を通して人間に吸収されている。一方、人間は、リンを3~4g/日・人程度(P_2O_5 換算)排泄しているため、し尿には多量のリンが排出されている。リンは限りある貴重な天然資源であるが、21世紀末までにはリン鉱石資源の枯渇が確実視されているため、エコロジカルサニテーション技術を適用した未利用生物資源(し尿)の物資循環利用の可能性に注目が集まっている。肥料の国内市場規模については、国内の化学肥料の販売額は、平成11年度で国内約1,570億円程度である。この内、熔成リン肥の市場は50億円/年程度である。

肥料要素である栄養塩(N,P)のうち、リン鉱石資源の枯渇が目に見えてきたことから、新しい未利用資源の一つであるし尿に多量に含まれるリンの回収が求められている。し尿から衛生的に肥料要素(N,P)を回収し、農業に循環再利用するシステムが構築されれば、結果として湖沼や沿岸海域の富栄養化の防止や軽減につながる。

下水処理分野では「リンが汚泥中に濃縮する下水道の特性を活かし、そのリンを活用する資源化技術」は、汚泥の最終処分という廃棄物問題だけでなく、天然資源枯渇問題にも貢献でき、供給側と利用側の思惑が一致した「付加価値の高い資源化製品」として流通させることが可能になると考えられているため、別途に開発研究が進められている問題は一般の都市下水には重金属や微量汚染物質(ホルモンや医薬品残渣)が含まれる可能性があるため循環再利用には注意が必要である。一方、本研究は住宅地系であるために生活排水のみを対象にできるため、排水の質が比較的に一定で安定しているため処理・再利用に適している。

6. 中山間地域の仮想宅地開発計画におけるエコロジカルサニテーションの予備的検討

エコロジカルサニテーションの適用の具体的なケースとして、高知県中山間地域の仮想宅地開発計画について以下に検討する。このニュータウンは総人口1,333人と設定し、人口構成は1)一戸建て住宅(660人)、集合住宅(140名)、老人ホーム(50名)、寄宿舎・小学校(430名)である。地形的には丘陵地のゴルフ場を想定し、周辺は森林と農地(畑)に囲まれている。集合住宅、老人ホーム、寄宿舎・小学校は地形の低い場所にまとめて配置される土地利用計画である。よって配管費用の制約が低いために通常

の合併浄化槽の適応が可能で、全ての生ゴミ(デンスポージャー)と生活排水(雑排水+し尿)をUASB方式等で一括して嫌気処理してメタンガスを発生させた後に処理水中に含まれる未利用微量有用成分を抽出するシステムの検討も可能である。計画対象地域内に分散して配置されている一戸建て住宅(660人)は雨水排水も下水排水も地形と地理的な条件から配管費がかなりコスト高になることから、分散型のオンサイト処理が有利であるとい一般に考えられる。計画総人口の50%を占める一戸建て住宅(660人)に、生活排水のうち、一般雑排水(Grey water)は単独浄化槽(自然循環型・四万十方式)、糞便と尿をあわせておがくずを循環利用して自然(微生物)熱処理するタイプのエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)、を適用する。バイオトイレで処理する糞便はから生成される最終生成物(コンポスト)が植物(農作物)の肥料としてのポテンシャルを計算した。原単位は計画水量:300l/日/人、計画生活排水量:240 l/日/人、尿量:400 l/年/人、糞便量:36.5kg/年/人と仮定した場合、最終プロダクトとして生成されるコンポストの栄養塩(窒素:N, リン:P, カリ:K)は、尿系からN=2,460kg/年, P= 264kg/年, K= 594kg/年、糞便系からN=363kg/年, P= 119kg/年, K= 244kg/年 生産できるポテンシャルがある。し尿系の合計ではN=2,823kg/年, P= 383kg/年, K= 838kg/年である。一方、殆どが尿系に含まれる塩分は原単位を9g/日/人と仮定すると年間で2,168kg生産される。よって尿系は極めて効率の良い窒素肥料の代替となるが塩分を含んでいるため、土壌が降雨でリーチングされる野外の露地栽培に適していると考えられる。エコロジカルサニテーションが最初に検討されたスウェーデンの試算によれば、1993年に排出された人間の尿中の窒素・リン・カリウムといった栄養素は、肥料総使用量の15~20%に匹敵するとの例もあるため、より気候(雨量と日射量)に恵まれる高知県での適用性に期待がもてる。

表-2 エコロジカルサニテーションを中山間地域のニュータウン計画に適用した場合の栄養塩収支

居住携帯	人口	汚水処理方式	汚水排水		汚水処理		汚水処理		尿	糞
			給水量	量	給水量	量	給水量	量		
			l/d/p	l/d/p	(m3/d)	(m3/d)	(m3/y)	(m3/y)	(m3/y)	(kg/y)
									(400 l/y/p)	(36.5kg/y/p)
戸建て住宅	660	エコロジカルサニテーション /簡易単独浄化槽*	300	240	198	158	72,270	57,816	264	24,090
集合住宅	140	合併浄化槽**	300	240	42	34	15,330	12,264	56	5,110
老人ホーム	50	合併浄化槽**	300	240	15	12	5,475	4,380	20	1,825
寄宿舍	483	合併浄化槽**	300	240	145	116	52,889	42,311	193	17,630
計	1,333				400	320	145,964	116,771	533	48,655

居住携帯	人口	汚水処理方式	給水量	T-N(尿)	T-P(尿)	K(尿)	T-N(糞)	T-P(糞)	K(糞)	塩分
				(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	
			l/d/p	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)
				(4kg/y/p)	(0.4kg/y/p)	(0.9kg/y/p)	(0.55kg/y/p)	(0.18kg/y/p)	(0.37kg/y/p)	(9g/p/d)
戸建て住宅	660	エコロジカルサニテーション /簡易単独浄化槽*	300	2,640	264	594	363	119	244	2,168
集合住宅	140	合併浄化槽**	300	560	56	126	77	25	52	460
老人ホーム	50	合併浄化槽**	300	200	20	45	28	9	19	164

寄宿舎	483	合併浄化槽**	300	1,932	193	435	266	87	179	1,587
計	1,333			5,332	5,332	533	733	240	493	4,379

注) し尿/生活雑排水(単独浄化槽:四万十方式)*、し尿+生活雑排水(合併浄化槽)**

7. エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を成功させるための条件

エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を計画する際に、以下の4点の留意事項と問題点と課題に注意が必要である。

(1) キャパシティービルディング(利用者の認識、管理不足)の問題

最初に、世界で大規模にエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を導入して失敗したプロジェクトのレビューを紹介する。具体的には、使用者の認識、管理不足の問題使用者に適切な使用方法を教育することなしに実施して失敗した例がある。1992年から1994年にかけてIDB(米州開発銀行)の社会投資基金財政でエルサルバドル政府がエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を50,263台導入した。導入の際の地域住民の参加はなく、地域住民に対する訓練もほとんどなかったということである。1994年エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)の使用状況に関して6380家庭に対してサンプリング調査が行われたが、39%が適切に使用され、25%が不適切に使用され、36%が全く使用されていなかったという結果が出た。その後この結果を踏まえて、家庭訪問による家族全員に対する教育、女性の参加、教育資料、使用者に分かりやすいモニタリングと評価といった衛生教育戦略ができた。最初の教育後に再度調査が行われ、そこでは適切に使用されている比率が72%、不適切に使用されていたのが18%、使用されなかったのが10%という結果であった。このことから、エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を成功させるためには、トイレを設置する際に住民を参加させ、衛生教育を行うことがいかに大切であるかが分かる。使用者を参加させることで、自ら問題や必要性を完全に把握し、解決策の工夫、発見、健康と環境への影響を把握させるのである。

(2) コストとメンテナンスの問題

エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)は現時点で、一般家庭用(一日16回使用)で68万円(本体価格)のコストがかかる。当然のことながら適切な維持管理が必要で合併浄化槽並みの費用もかかる。現段階ではバイオトイレと浄化槽と水洗便所導入のいずれもが70万円程度の費用がかかる。水洗便所導入の場合は、水使用量の25%を占める水道代金に加えてより高い下水処理代金までも支払う必要がある。エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)の場合は、毎回の噴霧器洗浄など使用者が自分自身で手でやらなければならない部分と、専門的なスタッフが定期的に施設のメンテナンスをおこなう部分に配慮しなければならない。どのタイプのトイレにおいても定期的な衛生検査と最終的にできた生成物(コンポスト)の除去が必要となる。基本的な操作やメンテナンスのマニュアルが整備され、自治体やNPO方式の衛生環境管理に民間委託専門スタッフが参画してシステムティックに維持管理が実施されるならば、利用者の負担が最小限に押さえられ可能性がある。

(3) 地域への適応性

エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)には様々なタイプがあるが、どれだけ地域の個別の環境・社会条件に適応するかが成功の鍵である。適切なエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を選択するために考えられる地域的な環境・社会条件の留意点は以下の9点である。

- 1) 気候(温度、湿度、降水量)
- 2) 地形、土壌の特徴(水や汚染物質の土壌浸透状況)
- 3) エネルギー(太陽熱などの地域特有エネルギーが利用できるかどうか)
- 4) 社会性や文化性(習慣、信仰、価値観)
- 5) 経済(エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を支援するための個人、地域社会の経済的資源)
- 6) 技術能力(地域特有の技術や道具で支援できるかどうか)
- 7) 社会基盤(エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を支援する社会基盤や教育システムがあるかどうか)
- 8) 人口密度や集落形態(処理する場所、貯槽する場所、生成物を利用する場所の有効性)
- 9) 農業(地元農業や家庭菜園の特徴)

(4) 行政の役割

都市部においてエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を進める場合には、政府や地方公共団体の協力が必要になる。例えば日本では合併浄化槽の設置や生ごみ処理機を購入する際に補助金を出している。これと同様に次世代型トイレであるエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)にも補助金を出すシステムの整備が必要である。都市部での大規模なエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)の実施は浄化槽に対応するような行政の援助や支援が今のところは不可欠である。さらに、最終生産物としてのコンポスト(堆肥)の農地への還元ルートを作り、堆肥に病原菌が含まれていないか定期的に検査するモニタリングシステムを整備する必要がある。できればバイオトイレのメンテナンスと堆肥の回収も浄化槽の管理のように自治体を中心になって民間委託も含めて行うか、将来的には専門性の高いNPO法人の育成を行いながら、最終的には地域のNPOによるコミュニティベースの自主的・持続的維持管理が可能となるような社会システムの形成を視野に入れる必要があると考えている。

今後の課題について考えてみると、エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)は手動の霧吹き洗浄が必要なため、水洗トイレに比べるとやはり面倒である。現在、日本でエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)を設置しようとするならば、事前に家の設計を考慮するか、リフォームに工夫が必要である。また、処理の最終過程で出来たコンポスト(堆肥)は定期的な回収ルートの確立が必要である。今までのところ都市部では家庭菜園で使用する程度であり、システムティックな農地(畑)への循環ルートは需要予測を含めてまだ確立されていない。分離された尿中に含まれる塩分は連続灌漑の過程で土壌の塩分集積問題が発生する可能性があるためハウス栽培ではなく露地栽培で試験的に肥料効果を確かめて行く必要がある。日本では平均年間降水量が最も大きく太陽光にもめぐる高知県の中山間地域で住宅地と農地(畑)と森林が隣接して共存できる環境があるところからエコロジカルサニテーション(バイオトイレ)の展開をモデル的に図っていくことを提案したい。ただし、未来型の新しい提案であることから、エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)が他の複数のオプション(代案)と技術的な妥当性や経済性を比較検討された上で適応が意思決定されるものであり、最終的な選択は地域(コミュニティ)の利用者が鍵を握るべきであろう。

8. おわりに

次世代の下水道システムと目されるエコロジカルサニテーションにおける「集めない」「混ぜない」排水処理システムの利点を、土壌の汚染、物質循環、ならびに健康リスクなどの多様な視点から以下のように整理することができる。

- し尿の輸送に水(淡水:水道水)を用いないことから、水消費量を削減させ、水需要構造を転換し水不足・水資源管理のリスクを軽減できる。
- し尿に含まれる栄養塩類を水循環過程から分離でき、水質環境を保全につながる。
- し尿は安定な有機物源(コンポスト)に変換され、コンポスト内に濃縮保存されている栄養塩を農業に利用できる。
- し尿に多く含まれる微量有害化学物質を(ホルモン類、医療薬品残渣)を水循環系から分離し、科学物質拡散を防ぐことが可能となる。
- 病原性微生物・有害物質が水循環系から分離されることにより、水利用に伴う健康リスクを低減する。
- 処理すべき雑排水量が減少し、処理装置のサイズが小さくなり、運転コストも低減し栄養塩レベルも低下する。
- パイプ(配管)を必要としない(下水道建設の70%を管路費用が占める)

さらに、災害時には水洗トイレが使用不可能になる場合が多い。1995年の阪神・淡路大震災では、トイレ数の不足、排泄処理をめぐってパニック状態が起きた。被災地では断水状態であるにもかかわらず、避難所のトイレで用を足す人が後を絶たず、数百基の仮設トイレもすぐに満杯になり使用不可能となった。多くの被災者がトイレのために飲食を控えていた報道が記憶に新しい。水を使用しないバイオトイレは危機管理の一つの切り札になる可能性がある。

本研究の概念モデルで提案している、家庭排水からし尿を分離するが、尿と糞便(Black water)をわけずに同時に混ぜて処理をするおオガクズを使った好気式のコンポスト型トイレ(サステイナブル・サニテーション・システム)は、臭気を発生させず比較的限られたスペースで済むという特色があり、家庭雑排水(Grey water)を四万十川方式浄化システムおよび土壌処理を軸としてエコロジカルに処理・再利用可能であるという視点も考慮して、高知県の中山間地域のみならず、発展途上国の衛生改善のための一つの新しいオプションになるものと考えている。

エコロジカル・サニテーションは、特に水不足と環境汚染に悩む多くの発展途上国においての適用性はもちろん、先進国においても今後の不確実な水資源問題を解決していく上でも有効な代案システムとしてクローズアップされる時がくるかもしれない。エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)が水洗トイレに替わる存在として、持続可能な循環型社会を担う一つの戦略的な代案(オプション)として大きな可能性を持っていることに確信を持ちたい。

参考資料：

船水尚行 (2005) 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、科学技術振興機構(JST-CREST)、水の循環系モデリングと利用システム、第2回領域シンポジウム、講演要旨、pp.50-63

松井三郎・監訳・(2003) 都市水管理の先端分野 行きづまりか希望か、技報堂出版

松井三郎・監訳、(2001) エコロジカルサニテーション: SID(Swedish International Development Cooperation Agency: Stockholm) 発行所: 日本トイレ協会

虫明功臣・監修、船水尚行・橋本健・監訳 (2005) 分散型サニテーションと資源循環、技報道出版、pp,117-132

Sanitation and Reuse (edited by Lens, P., Zeeman G. and Lettinga G.). IWA Publishing, London U.K., pp.39-54

Steven A Esrey, Jean Gough, Dave Rapaport (2001) “Ecological Sanitation”, SID(Swedish International Development Cooperation Agency: Stockholm)

Wildere P.A. (2001) Decentralized versus centralized wastewater management. In Decentralized

Web 資料:

石崎勝義、他 (2003) サステナブルサニテーションによる流域の水・物質循環の健全化、<http://www.f.waseda.jp/ishizaki/ronbun/sasutenaburu.doc>

山田恵 (2002) エコロジカル・サニテーションの概念とわが国への応用について、<http://www.f.waseda.jp/ishizaki/13/yamada.pdf>