

開発途上国における尿尿の「再生と利用」を考える

流通科学大学 酒井 彰

1. はじめに

衛生の確保はベーシック・ヒューマン・ニーズのひとつであり、持続可能な開発の基盤である。改善された衛生設備にアクセスできない人口の割合を 2015 年までに半減させるという目標が、ミレニアム開発目標 (Millennium Developing Goal: 以下 MDG) において、その進捗状況を計測するための指標のひとつとして採択されている。

衛生は、健康、貧困の解消、ジェンダー間の公正、さらには、地球上のあらゆる人々の尊厳にもかかわる課題である。しかしながら、改善された衛生設備へのアクセスができない人口は、WHO と UNICEF が共同で行っている Joint Monitoring Programme (2004) では、2002 年において 26 億人にのぼっている¹⁾。開発途上国全体では、約半数がアクセスできていない状況である。

筆者が所属する NPO 法人日本下水文化研究会 (以下会の英文略称 “JADE” と記述) では、開発途上国の衛生改善に寄与できる道を模索しようと、地球環境基金の助成を受け 2004 年度より、「バングラデシュ農村地域における衛生改善のための普及啓発活動」を実施してきた。この活動のなかでは、より衛生的なトイレの導入と併せて尿尿資源の「再生と利用」に取り組んできた。これは、日本の経験と知恵を現地社会のニーズにマッチするように移転したいと考えたからである。衛生面の機能を充実させながら、尿尿の循環的利用を図る技術を途上国ばかりでなく、先進国にも適用していこうという動きがあり、エコロジカルサニテーション (以下「エコサン」) と称しているが、JADE の活動はバングラデシュにとっては初めてエコサン導入例となっている。

当初は、ムスリムの人々は尿尿の農地還元を行う習慣をもたないため、「再生と利用」が受け入れられるのかということも懸念された。しかしながら、活動を始めてみると、劣化した農地の土壌を改良したいという尿尿資源の利用に関する現地のニーズは高く、実際に農地への利用が行われた結果、地域コミュニティが積極的に受け入れようとしていることも分かった。本稿ではこうした経験から、農業生産が主体の開発途上国における尿尿資源の「再生と利用」について考察し、この分野での技術援助について私見を述べたいと思う。

2. 衛生と社会開発

衛生の確保は、MDG の 8 つの目標 (Goal) のうちの下記の目標と関連性をもつ。

Goal 1 極度の貧困と飢餓の撲滅 Eradicate extreme poverty and hunger

衛生改善は非衛生に起因する健康リスクを軽減し、収入機会を確保するとともに貧困家庭にとって負担の大きい医療費の削減に寄与する。また、寄生虫によって栄養摂取が妨げられるようなことも少なくなるため、飢餓の軽減にも寄与する。

Goal 2 普遍的初等教育の達成 Achieve universal primary education

小学校における男女別トイレ普及は、とくに女子の就学機会増大につながる。

Goal 3 ジェンダーの平等の推進と女性の地位向上 Promote gender equity and empower women

プライバシーが確保できるトイレが持てるということで、女性が自由にトイレに行くことが可能になり、排泄を我慢するがゆえに罹る尿器官等の疾病のリスクを軽減できる。

Goal 4 幼児死亡率の削減 Reduce child mortality

病原微生物による汚染を軽減し、幼児の健康リスクを減少させ死亡率を削減する。

Goal 7 環境の持続可能性の確保 Ensure environmental sustainability

衛生の確保は表流水、地下水など飲料水源への病原微生物の汚染を軽減するとともに、適正な尿尿の処理は環境負荷を低減することによって、環境資源の保全と回復に寄与する。

以上に加えて、肥料成分やエネルギー成分を有するバイオマスである人間の尿尿を資源として活用することは、個人、地域社会レベルにおいて、家計の負担軽減、土壌の改良をもたらすばかりでなく、その国のマクロなエネルギー事情、肥料事情からも重要と考えられる。資源制約の厳しい開発途上国にとって、「再生と利用」を欠かすことはできないものではないかと考えられる。そして、「再生と利用」は尿尿の衛生的な管理形態のひとつでもある。

3. バングラデシュにおけるトイレと衛生の現状

1980年代、国連が行った「国際飲料水供給と衛生の10年」において、世界的に主役を担ったのは、低コストのピットラトリンと呼ばれるトイレであった。バングラデシュにおいてもその普及促進が図られ、現在に及んでいるが、近年MDGに対応して、バングラデシュ政府は2010年までに衛生的なトイレの普及率100%を目指しており、今世紀はじめ50%に満たなかった普及率は急速に高まっている。

ところで、急速に普及が進んでいるピットラトリンの管理状態はどうであろうか。ピットラトリンの下部構造は地面に掘られたピットであり、最近ではコンクリートリングを積み重ねてピットが作られている。ピットは通常、短期間でいっぱいになる。持続的に使用するためには、内容物を除去する必要があるが、バングラデシュでは内容物を輸送するようなシステムや埋立地があるわけではない。多くの場合、溜まった尿尿はピット内に残したまま、新たなピットラトリンが作られる。宅地内にいくつものトイレの残骸を見ることも珍しくない。ピットの底部はとくに何も施していないので、水分は地下に浸透し、周辺のため池や地下水汚染の要因となる。また、洪水水位が宅地の地盤レベルを越えたときにはトイレが使用できなくなり、内容物が流出する可能性が高い。

では、なぜこのような管理状況のトイレが多いのだろうか。ピットラトリンは、本来1～2年程度使った後、安定化したピット内の尿尿（night soil）を取り出して周辺の土壌に還元することを意図している。しかしながら、この概念が適正に伝わっておらず、十分な貯留容量をもったピットは少ない。バングラデシュは非常に人口密度が高く、洪水常襲地域が広がっている。洪水常襲地域の人々は盛土した宅地（「バリ」と称している）で居住しており、農村地域でも生活空間はかなり密集している。ピットがいっぱいになったあと、別のピットを

造るスペースがなく、あふれそうになったピットに穴を開けて使い続けようとする人もいる。バリ周辺の斜面にピットが造られることも多いが、これらは雨期に水没する。このようなピットで、はじめから底に近い部分に穴が開けられているものもあるという。こうした管理状況のピットラトリンでは、持続可能で環境負荷の小さい衛生設備とすることはできないだろう。

4. 開発途上国における「再生と利用」の意義

バングラデシュのように農業を主たる産業とする開発途上国における「再生と利用」はどのような意義を持つであろうか。開発途上国のとくに農村域では衛生改善の必要性が高く、再生利用を意図した場合、し尿の衛生管理を同時に果たせるエコサンが前提になろう。まず、エコサンは図-1に示すように食物を通じた自己完結的な循環を形成する。これは資源制約の厳しい開発途上国で、資源の無駄の抑制につながる。

エコサンでは、尿と屎の分離が意図されている。これは、尿と屎の特性が異なるためである。尿は病原菌に対して安全であり、表-1のように栄養分に富む。一方、屎は病原菌、寄生虫卵を含み、安全化が必要である。尿屎分離により、尿による施肥が容易に行うことができ、尿の安定化も図りやすくなる。そして、安定化後の尿を地域で還元する。

バングラデシュ農村地域において、トイレ、衛生にかかわる地域ニーズは以下のようにまとめられ、エコサン・トイレは、これらのニーズに対応可能と考えている。1)~3)はピットラトリンの現状の管理状況に対応するものであり、4)、5)は農業生産に関連する。とくに4)は長年にわたる化学肥料の施用の結果、土壌の有機物含有量が減少していることが指摘されている³⁾。尿による施肥は、化学肥料使用量の抑制から、土壌の保全、家計の負担軽減につながる。

- 1) 衛生的処分を含めた尿屎管理
- 2) 長期間の使用
- 3) 洪水期の衛生確保
- 4) 多年の化学肥料の施肥による劣化土壌の改良



図-1 食物を通じた循環（高村哲氏作成）

表-1 尿屎の成分²⁾ (g/人/日)

| | 尿 | 屎 |
|------|-----------|----------|
| 重量 | 900-1,200 | 70-140 |
| 乾燥重量 | 60 | 35 |
| 窒素 | 11.0(88%) | 1.5(12%) |
| リン | 1.0(67%) | 0.5(33%) |

5) 尿による施肥

エコサンの目的を図-2に示す。

こうした個人、地域社会レベルでの意義にあわせて、以下の点において、マクロなレベルでも屎尿資源の利用促進は意味があると考えられる。

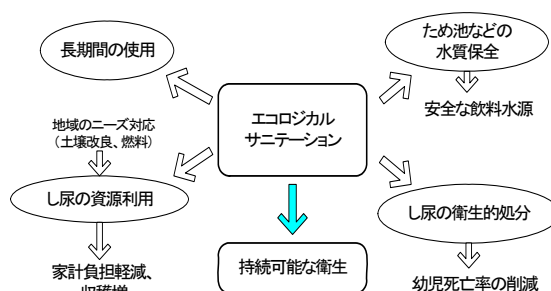


図-2 エコロジカルサニテーションの目的

- (1) バングラデシュにおいて、天然ガスは国内で生産される貴重なエネルギー資

源であり、電力生産の主要エネルギー源であるが、電力需要の増大から首都ダッカでも停電は日常茶飯事である。これには原油高騰のため、天然ガス車が急増していることも関連していると考えられる。このようなエネルギー事情のなか、化学肥料生産においても尿素の原料として天然ガスが使われており、その量は年間の天然ガス使用量の30-40%にも及んでいる⁴⁾。人間の屎尿の肥料としての利用は、エネルギー事情の好転に寄与できる可能性がある。

- (2) 農作物の肥料成分として重要なリン鉱石は埋蔵量が偏在しており、今の状況を放置すれば2060年にはすべてのリン鉱石が枯渇するという予測もある⁵⁾。したがって、無駄に流出あるいは土壌に蓄積されるリンをできるだけ削減し、利用を図ることが求められる。そのひとつの方法として、屎尿分離し、尿による施肥をあげることができる。リン資源の枯渇状況は将来化学肥料の高騰をもたらす可能性もあり、貧しい農民の家計に及ぼす負担増も懸念される。
- (3) 農業を主産業とする開発途上国では屎尿と農地からの化学肥料の流出が主要な水系汚染源になっていると考えられる。したがって、屎尿の農地利用を進めることは、屎尿に含まれる病原菌や栄養成分及び化学肥料の流出を抑制することにつながり、水系の水質保全に寄与する。
- (4) 尿と屎は人間の排泄物としてまったく特性の異なるものである。それを分離することにより、有価物の回収あるいは活用につなげ、貧しい人々にとっての収入源を生み出す可能性がある。その例として、土壌改良材として乾燥便、肥料としての尿、薬品原料としての尿中成分などが考えられる。もちろん、ピットラトリン用のコンクリートリング生産がひとつの産業となっているように、エコサン・トイレのいくつかのモデルを定型化することによりトイレ産業の形成も期待できる。

5. 衛生改善事業における「再生と利用」に関する成果

ここでは、JADEの導入したトイレの概要を説明するとともに、「再生と利用」に関わる成果についてまとめておこう。

エコサン・トイレを導入するにあたり、衛生面の安全性と尿の利用を進めるため、病原菌、寄生虫卵を死滅させることが求められる。考慮した技術オプションは以下の通りである。

- 1) 尿の乾燥をすすめる農地へ還元する方式

2) 湿式で便の分解により発生するバイオガスを回収しつつ、液状の余剰残渣を農地に還元する方式

3) コンポスト化

選択にあたっては、尿尿の衛生的処分までを含めたトータル・システムの形成が可能なこと、半年以上の乾期が続くことから水は極力使わないこと、できるだけタンク容量を小さくできること、自然エネルギー以外には使わないことを条件とした。比較の結果、タンク容量を小さくできること、搬出時などにおける資源化物の取り扱いの容易さから、乾燥により尿の安全化を図る方式を選択した。

尿の貯留槽は2槽設けて交互に使用し、農地に散布する前に6ヶ月以上の貯留期間を確保する。良好な乾燥便を得るためには利用者による正しいトイレの使用が不可欠となるので、利用者に対する教育と使用状況の確認も必要となる。JADEが実施している2つのプロジェクト・エリアにおいては、チェックリストを作成し、利用者が輪番により相互に確認する体制、あるいはパートナー

NGOが地元で雇用したスタッフによる監視体制をとった。乾燥便は、黒土状であった。安全面では、感染可能幼虫包蔵卵が2つの2gのサンプルからひとつずつ検出された⁶⁾。農地や宅地周辺の寄生虫卵のバックグラウンドを明らかにしたうえで、その安全性を検討する必要があると考えている。

尿の施肥効果については、トイレ利用者である農民の協力を得て、実験区画においてキャベツとカリフラワーの生育を化学肥料と比較した。図-3、4に示すように大差ないという結果を得ている⁷⁾。乾燥便については、オクラの生育に対する比較実験を行った。その性状から施肥効果は期待できないが、土壌の有機物含有量を回復させることにより、尿、化学肥料による施肥効果を高める効果が期待できる。

当初の懸案であったムスリムの人たちは人間の尿尿を活用しないあるいは尿尿の資源利用に対して忌避感があるという点について述べておこう。尿については、導入したトイレの使用当初から庭の野菜や樹木に散布されていたが、生育に効果がみえるため、トイレ利用者の間で忌避的行動は見られなかった。乾燥便については、多くの村人は写真-1の

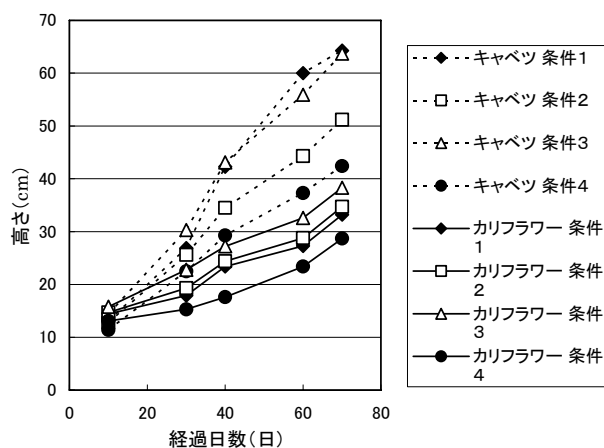


図-3 キャベツとカリフラワーの成長 (条件については図-4参照)

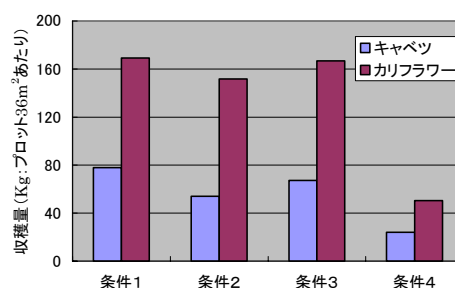


図-4 野菜の収穫量
条件1：化学肥料、条件2：尿+化学肥料
条件3：尿のみ、条件4：肥料無し

ように、黒土状の乾燥便を歓迎しており、右手で握っている人もいる。ムスリムの人たちは右手で不浄なものには触れないので、彼らが乾燥便を受け入れている証左である。

6. バングラデシュにおける衛生政策の提案

さて、3. で述べたようなピットラトリンの現状を観察していくなかで、プロジェクト開始当初はこれに代わるべきトイレとして、エコサン・トイレを位置付けようと考えていた。しかし、同じ土俵で比較することは適当であろうか？ピットラトリンが現在普及途上であるということは、バングラデシュの多くの国民は、決められた場所で排泄するという習慣がないか、まだ根付いていないわけである。こうした習慣のない人に、いきなりピットラトリンかエコサン・トイレかという選択を求めることは混乱を招くだろうし、決められた場所での排泄習慣のなかった人々にエコサン・トイレの日常管理



写真－1 乾燥便と村の人々
(筆者撮影)

を求めることはむづかしいだろうと考えられる。したがって、ピットラトリンの普及は衛生確保の第一段階として位置付け、エコサン・トイレの導入は「衛生のはしご」(“sanitation ladder”)の第二段階でのひとつのオプションとして位置付けられるのではないかと考えている。たまたま、現地パートナー組織のひとつが政府組織であることから、政府の関係機関や国際援助機関を集めたワークショップを企画しており、そのなかで提言していこうとしているところである。

ピットラトリンのように尿尿資源の利用を考えていないトイレとエコサン・トイレが同じ土俵で比較されれば、どうしても初期コストの多寡で判断されてしまいがちになる。基本的に機能の異なるものでありながら、どちらかを択一的に選択すべきかという議論に陥らないようにするためにも“sanitation ladder”を理解してもらう必要がある。

従来の開発途上国のトイレの多くは、プライバシーとともに最低限の衛生が確保されるものであり、尿尿の最終的な処分まで考慮されているものではない。これは、バングラデシュで都市部や裕福な家庭で用いられているセプティックタンクにしても同様に、残渣を衛生的に始末するためのシステムはない。つまり、わが国で浄化槽汚泥を最終的に処理する汚泥再生処理センターや下水汚泥処理に相当する施設がない。一方、エコサン・トイレは衛生的な最終的処分形態として、農地での尿尿資源の利用を意図している。したがって、エコサン・トイレとピットラトリンを比較するならば、ピットからの搬出、運搬、衛生的処分のシステムを確立したものと比べなければ公平性を欠くことになる。逆に言えば、普及したピットラトリンを生かし、これに搬出、運搬、衛生的処分のシステムを加えたものは、第二段階のひとつのオプションになり得るし、エコサン・トイレの比較対象となる。

開発途上国における衛生技術は言わば排泄の場であるトイレの形式議論に過ぎなかったと

ころがあり、尿尿の最終処分までを組込んだトータル・システムにまで言及されていない。ここでは、衛生は確保できたとしても資源の無駄と環境負荷が存在する。環境負荷の典型的な例として、尿尿による水質汚染があげられる。バングラデシュでは、90%以上の国民が飲料水として利用している井戸水のヒ素汚染が深刻である。ほぼ30%の井戸で国のヒ素の濃度基準（WHOの基準値の5倍）をうわまわっている。井戸水に代わる代替水源として、ため池等表流水が考えられているが、表流水の水質保全のためにも尿尿の衛生管理が必要である。衛生のはしごの第二段階では、トータル・システムが形成されていることを要件として衛生技術を選択することが求められよう。

7. 今後の課題と今後の技術援助

「衛生のはしご」の第二段階において、持続可能な衛生の見通しを得ようとしたとき、エコサン・トイレによる尿尿の「再生と利用」は有力な選択肢になると考えている。それは、また地域社会レベルにおいても、国単位というマクロレベルにおいてもさまざまな長所を備えている。さらに食糧生産の基盤となる土壌環境や水系環境の保全による環境の持続可能性、持続可能な農業にも寄与する。

「再生と利用」に関してはさまざまな検討課題がある。プロジェクトのなかで実施した尿による施肥効果の比較からは、少なくとも化学肥料に近い施肥効果を確認できたが、最適な施肥条件、野菜や穀物の種類に対する適用性、有機物含有量が低下した土壌に対して乾燥便の農地還元による土壌改良効果、尿と乾燥便との組み合わせなどについては実証的な実験・研究が必要である。今後、バングラデシュの農業関係の研究機関との協働を働きかけていく必要がある。

これらを明らかにすることによって農村で発生する尿尿の農地還元の有効性と限界が定量的に明らかになり、都市域の尿尿の「再生と利用」の必要性、そのための輸送や処理を含めた技術システムの開発という課題が提起されることになろう。さらに、厨芥など、農村で発生するバイオマスを含めた「再生と利用」への展開の可能性も視野に入れていくことができよう。

最後に、技術協力としてエコサン・トイレを導入するにあたって、我々が直面している課題にも関連するが、私見を述べさせていただく。

現在のところまだデモンストレーション段階であるが、JADEが導入してきたトイレは、利用者にオーナー意識を持ってもらうため個人世帯に導入している。そうでなければ、共同トイレなどバングラデシュの多くの共用施設のように、管理責任者が決まらず、援助側の人間が去ったあと継続的に使われずに資源を無駄にしてしまう可能性は否めない。併せて、設置費は最終的には利用者が負担するべきものであり、ローコストのエコサン・トイレを開発する一方、マイクロ・クレジットの活用等によって貧しい人々が設置できるような措置も考えていかなければならないだろう。貧しい人々が、尿尿を資源として収入源を生み出し、これをマイクロ・クレジットの返済に充てるということも考えられる。これまでの開発援助では、個人の財産となるようなことへの援助は敬遠されてきたが、技術の適用性の

検証や普及のためのアイデアを試行する段階では、技術援助の制約を緩和することも考えてもよいのではないだろうか。

エコサン・トイレは、住民の生活習慣へ何らかのインパクトをもたらすものであり、技術的な実施可能性ばかりでなく、社会的な実施可能性を判断するプロセスが必要である。とくに後者は、固有の価値観、習慣をもった地域社会において確認する必要がある。導入の仕方によっては、地域固有の価値観等がバリアーになることもあると考えられる。したがって、どうしても長期間を要することになり、2～3年のプロジェクトでは結果が得られない可能性がある。したがって、JADEのように自己資金力を持たない団体がプロモートしようとしたとき制約・限界が大きいということが言える。地域社会をベースとした調査研究を進めていく一方で、エコサンはバングラデシュ以外の多くの国で実績のある技術であることから、従来の要請主義にとらわれず、プロジェクトの拡大を図っていく必要があると考える。

もちろん、お金の面ばかりでなく、「再生と利用」の分野での幅広い経験と知恵を有する方々が参加し、現地のニーズとさまざまな社会的条件を踏まえて、経験と知恵を生かすことが待たれていることは言うまでもない。

本稿は、短期間の限られた経験に基づく考察であり、筆者は土壌や農業の分野については門外漢である。浅学を顧みず議論させていただいたことをお断りし、専門の方からのご教示を受けたいと思う。

謝辞

本稿は、JADE が実施中である「バングラデシュ農村地域における衛生改善のための普及啓発活動」プロジェクトの成果とこれを実施する過程で考察したことに基づいている。プロジェクトの関係者であるJADEのメンバー、ローカルのパートナーNGOである Society for People's Actions in Change and Equity (SPACE)、もうひとつのパートナーである政府機関 Bangladesh Academy for Rural Development (BARD) の関係者に感謝します。

参考文献

- 1) WHO and UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: a Mid-term Assessment of Progress, 2004
- 2) SEPA Report 4425, "What is the content of sewage from households?", Swedish Environment Protection Agency, 1995
- 3) Philip Gain, et al., "Bangladesh Environment Facing the 21st Century", Society for Environment and Human Development, 1998
- 4) 上村繁樹, "バングラデシュのエネルギー事情とバイオガス技術の導入効果", 『都市と廃棄物』, Vol. 34, No. 5, pp.89-95, 2004
- 5) 岡崎正規, 木村園子ドロテア, "土壌環境から見た我が国のリン資源の有効化", 『再生と利用』, Vol. 29, No.113, pp. 6-9, 2006/9
- 6) 保坂公人, 高橋邦夫, 酒井彰, 高村哲, "バングラデシュ農村地域の衛生事情とエコ・サントイレ導入に関する研究", 京都大学環境衛生工学研究, 投稿中
- 7) 日本下水文化研究会, バングラデシュ農村地域における衛生改善のための普及啓発活動報告書(平成 17 年度), 2006 年 3 月