

6. エコサン・トイレの便益評価への方向性

バングラデシュ農村地域におけるエコサン・トイレの導入効果と便益評価

高橋邦夫（日本下水文化研究会）、酒井 彰（流通科学大学）
保坂公人（五十音設計）、高村 哲（ノームプランニング）

1. はじめに

バングラデシュでは、1960年代（当時は東パキスタン）から膨大な人口を養うため、まず農業開発に重点を置いた。従来行われてきた雨期における雨水灌漑による稲作に加え、乾期における地下水灌漑による米の増産である。そうした反面、化学肥料や農薬の施用は土壌の劣化を招き、灌漑整備による地下水位の低下はヒ素汚染を招来させる結果を生んだとされる。その後1980年代、水系伝染病の防疫のため、国連主唱による井戸（Tube well）の普及促進が図られたが、1993年井戸水のヒ素汚染が確認され、汚染地域は現在、国土の7割に及んでいるとされる¹⁻³⁾。

他方トイレの普及に関しては、同年代からピットラトリンの普及が進み、2010年を目標年度とした衛生的に安全なトイレの普及に邁進している状況にある。しかしながら、ピットラトリンは本来の使用法が住民に十分に理解されておらず、排泄物が外の系（水系・土壌系）に流出しやすい構造のため、現実的に持続可能で環境負荷の小さな衛生設備とは言い難い状況にある⁴⁾。

本研究は、エコサン・トイレの導入による衛生改善とし尿資源の循環利用に注目したものであり、その導入仮説を図1に示す。エコサン・トイレはバングラデシュでは従来に無い形式のトイレの一つであり、排泄物を外の系に流出させない、また資源利用のための適正な手続きを経て長期的な利用に耐えるものである。図2に、本研究で言及しているこの国の主なトイレ形式とエコサン・トイレについて概略を示す。

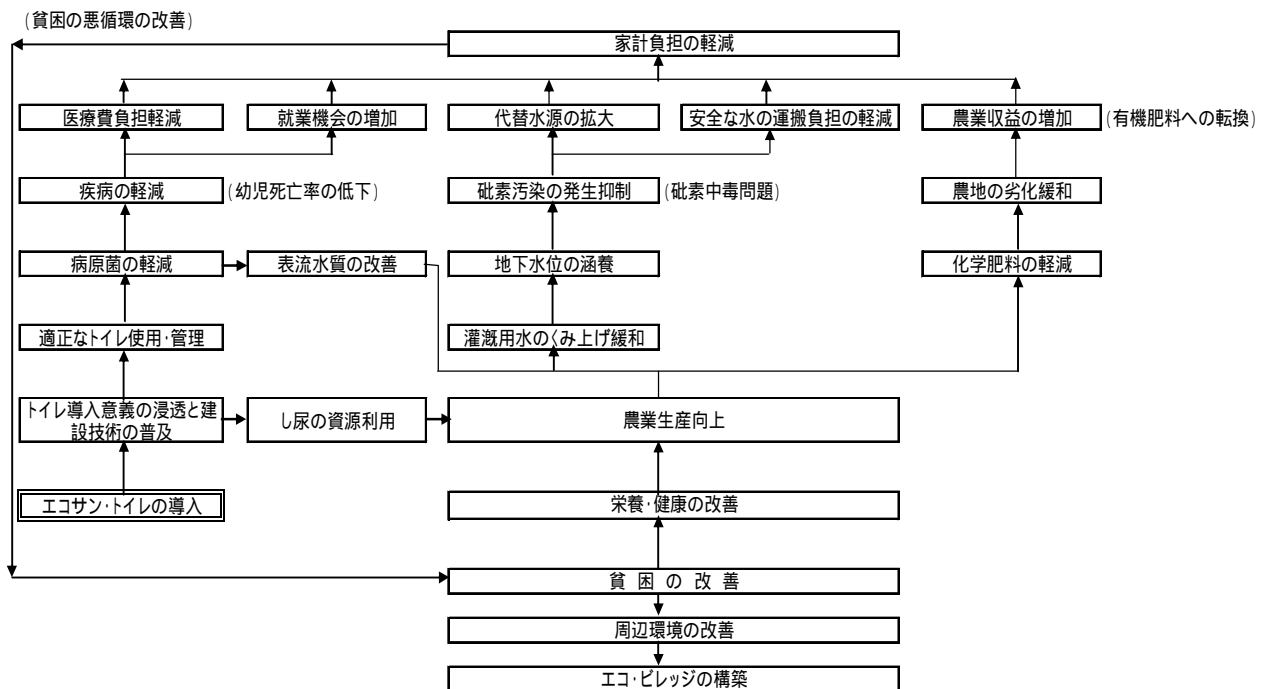


図1 エコサン・トイレの導入と貧困の悪循環の改善（導入仮説）⁴⁾

Open/Hanging Latrine	Slab-ring Latrine connected with Water (1)	Slab-ring Latrine connected with Water (2)	Slab-ring Latrine not connected with Water
<p>宅地の斜面などに便座のみ設置されたトイレ。</p>	<p>便器から便槽へパイプで連結。便槽には穴があけられており、オーバーフローする。</p>	<p>便器の下に便槽があるが、便槽の途中からパイプで外部へ流出する。</p>	<p>便器から便槽へパイプで連結。便槽はモルタルでコーキングされている。</p>
			
Septic-Tank		エコサン・トイレ	
<p>腐敗槽と呼ばれ、約3ヵ月の滞留の後、流出水は土壌浸透する。汚泥の管理などはなされていない場合が多い。</p>		<p>まず、し尿を分離する。尿は随時、水で希釈し農地等へ散布する。便の貯留槽は2槽設けて交互に使用し、6ヶ月の貯留期間を確保し、乾燥糞を生成する。また、排便後肛門を水で洗う習慣があり、隣接する蒸発用苗床に導く。</p>	
			

図2 バングラデシュで普及している主なトイレ形式とエコサン・トイレの概要

本研究では、特に、エコサン・トイレ導入効果、その貨幣価値としての便益評価について考察するものである。したがって以下では、2.でし尿の資源利用の効果と便益算定について述べ、3.では医療費の支出に注目した衛生改善便益の計測手順について考察することとする。なお現在、エコサン・トイレは、コミラ県、ムシガンジ県、ナオガオン県、ジョソール県、シャテキラ県、マニックガンジ県の村に、約400基(世帯)が導入され、さらに現在、バングラデシュ政府が4,500基の導入を図っている段階にある。

2. し尿の資源利用効果と便益

ここでは、尿および乾燥糞を用いた野菜栽培実験結果にもとづく、し尿の資源利用効果とその結果にもとづく便益評価を行う⁵⁾。以下に、尿、乾燥糞を用いた野菜栽培実験計画と実験結果、分散分析による有為性

の評価を踏まえた便益評価についてそれぞれ示す。なお以下の実験は、コミラ県に導入したエコサン・トイシを対象としたものである。

2-1 実験計画

図3に、し尿や化学肥料の投入条件を異にする実験区画を示す。また、各区画毎の施肥投入計画を表1-3に示す。施肥投入計画は、あらかじめ区画の土壌成分(N,P,K)を測定し、生育野菜毎に得られているガイドラインに基づき、それらの過不足量を決定し、作付け前後に配分したものである⁶⁾。

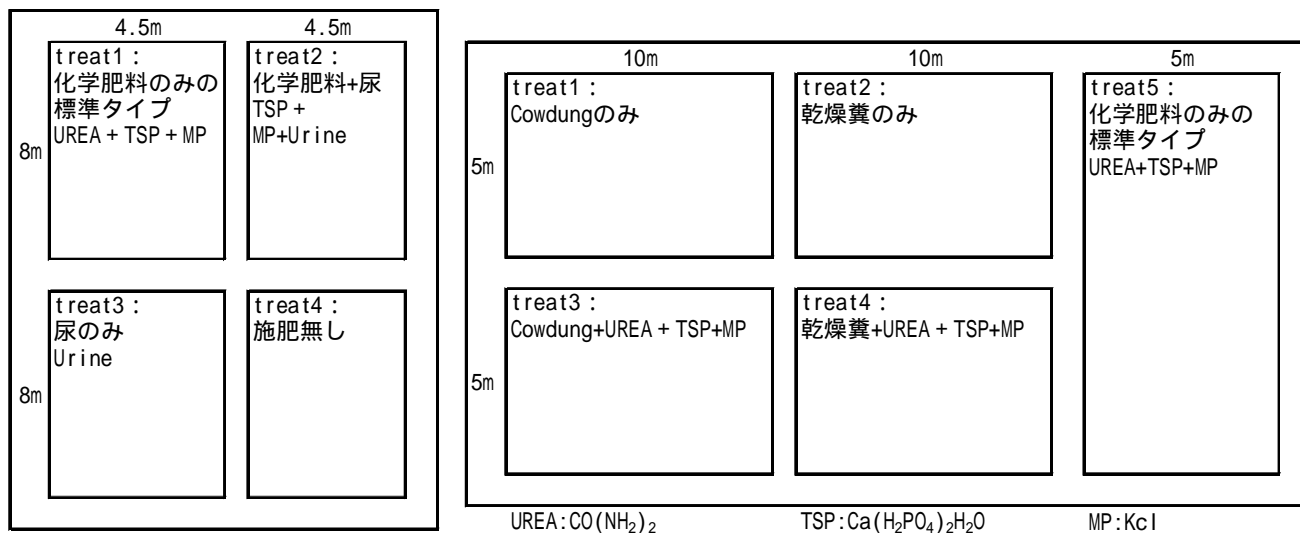


図3 実験区画（左：尿の施肥効果実験区画、右：乾燥糞の施肥効果実験区画）

表1 施肥投入計画（尿の施肥効果：カリフラワー）

施肥水準	肥料	施肥量	作付前	10日後	30日後	40日後	50日後	60日後	70日後
treat1	UREA	g/区画	900	300	300		300		
	TSP	g/区画	540						
	MP	g/区画	720						
treat2	TSP	g/区画	540						
	MP	g/区画	720						
	URINE	/区画	20	10	15	15		15	15
treat3	URINE	/区画	34	20	30	30		30	30
terat4	NON								

表2 施肥投入計画（尿の施肥効果：キャベツ）

施肥水準	肥料	施肥量	作付前	10日後	30日後	40日後	50日後	60日後	70日後
treat1	UREA	g/区画	1080	500	270			240	
	TSP	g/区画	720						
	MP	g/区画	900						
treat2	TSP	g/区画	720						
	MP	g/区画	900						
	URINE	/区画		30	30	30		25	25
treat3	URINE	/区画	40	40	50	60		50	50
terat4	NON								

表3 施肥投入計画（乾燥糞の施肥効果：オクラ）

施肥水準	肥料	施肥量	作付前	7日後	35日後	50日後
treat1	Cow-dung	kg/区画	60		40	
treat2	Feces	kg/区画	60		40	
treat3	Cow-dung	kg/区画	50			
	TSP	kg/区画	0.4			
	UREA	kg/区画		0.2	0.2	0.1
	MP	kg/区画		0.2	0.2	0.1
treat4	Feces	kg/区画	50			
	TSP	kg/区画	0.4			
	UREA	kg/区画		0.2	0.2	0.1
	MP	kg/区画		0.2	0.2	0.1
treat5	TSP	kg/区画	0.75			
	UREA	kg/区画		0.5	0.25	0.25
	MP	kg/区画		0.5	0.25	0.25

2-2 野菜施肥効果

ここでは、まず尿の施肥効果の実験的検証を行うため、作付け - 収穫時期に勘案し、2005年11月から2006年2月にわたる野菜（カリフラワー・キャベツ）を対象とした実験を行った。一方、乾燥糞については、2006年7~9月にかけて行ったものであり、対象野菜はオクラである。

(1) 尿の施肥効果

図4に時間経過に伴う、これら野菜の成長過程（丈の高さ）および図5に収穫高（個当たりの重量）を示す。まず、カリフラワーの成長経過に関しては、従来の化学肥料を用いた場合が、両者の側面で優れており、尿のみの場合がそれに追従する。一方、キャベツの場合は、尿のみの場合が先んじ、従来の化学肥料や、化学肥料+尿を用いた場合がそれに追従する。

また表4は、これら4つの施肥水準に対するそれぞれの収穫高を一元配置分散分析をしたものである。明かに、4つの施肥水準は収穫高に対して0.1%の棄却確率で有意であることが判る。さらに、表5は、化学肥料と尿の2施肥水準を取り上げ分析したものである。カリフラワーに関しては、化学肥料の優位性が示される一方、キャベツでは、2.5%の棄却確率で、尿の優位性が示された。

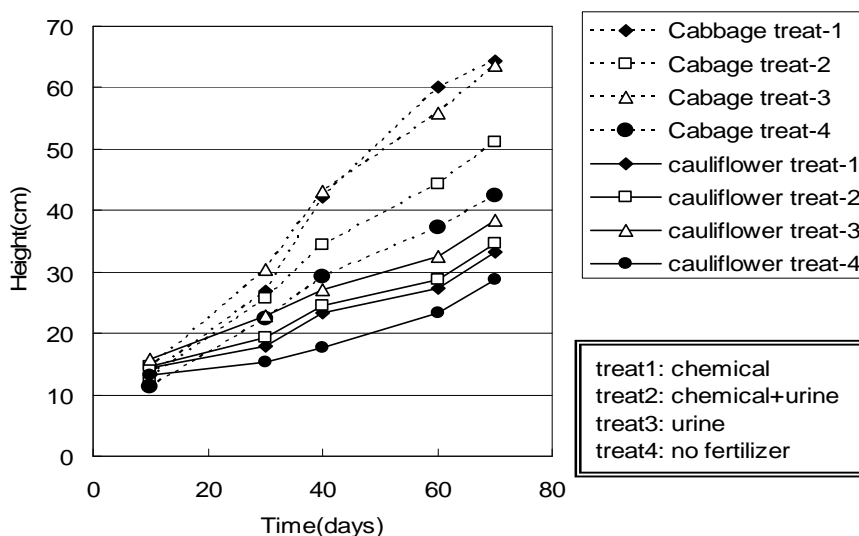


図4 野菜の成長過程（カリフラワーとキャベツ）

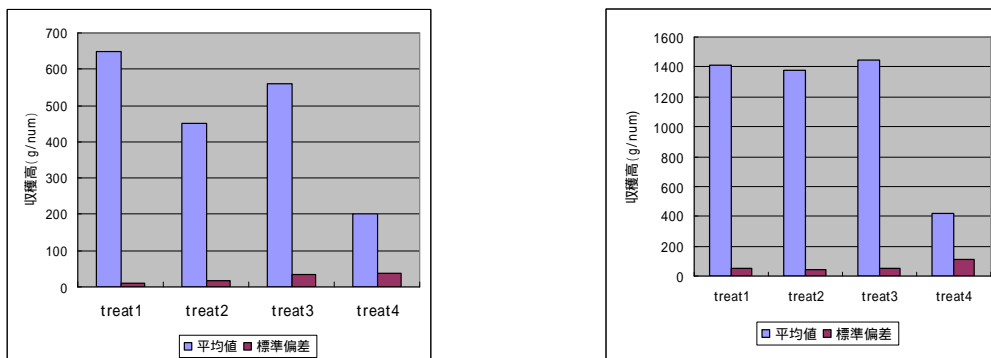


図5 野菜の収穫高(左:カリフラワー、右キャベツ)

表4(1) 有為性の検定4水準(カリフラワー)

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	F 値	P 値
級間	2334532	3	778177	977.03	4.70
級内	60532	76	796		0.001
全体	2334532	79	29551		

表4(2) 有為性の検定4水準(キャベツ)

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	F 値	P 値
級間	14850000	3	4950000	1080.53	4.70
級内	348162	76	4581		0.001
全体	15198162	79	192382		

表5(1) 有為性の検定2水準(カリフラワー)

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	F 値	P 値
級間	81000	1	81000	121.14	13.00
級内	25408	38	669		0.001
全体	106408	39	2728		

表5(2) 有為性の検定2水準(キャベツ)

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	F 値	P 値
級間	16000	1	16000	6.13	5.40
級内	99212	38	2611		0.025
全体	115212	39	2954		

(2) 乾燥糞の施肥効果

図6はオクラの累積収穫高(重量:kg)の経時変化を示したものであり、treat3(牛糞+化学肥料)、treat4(乾燥糞+化学肥料)の施肥条件が特に抜きん出た収穫高を示している。そしてtreat2(乾燥糞のみ)、treat1(牛糞のみ)が、それらに追随する結果を示している。また、収穫日を作付けから30,45,60日と特定し、その日にランダムに採取した収穫量にもとづく一元配置分散分析結果は、このいずれにも有意差は無く、これら4つの施肥水準はほぼ同等の施肥効果を持ち、かつ化学肥料を上回る効果を持つことといえる。表6に収穫日を作付けから60日とした場合の分散分析結果を示す。

表6 有為性の検定4水準(オクラ)

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	F 値	P 値
級間	20.875	3	6.958	0.54	0.66
級内	465.100	36	12.919		有意差無し
全体	485.975	39	12.461		

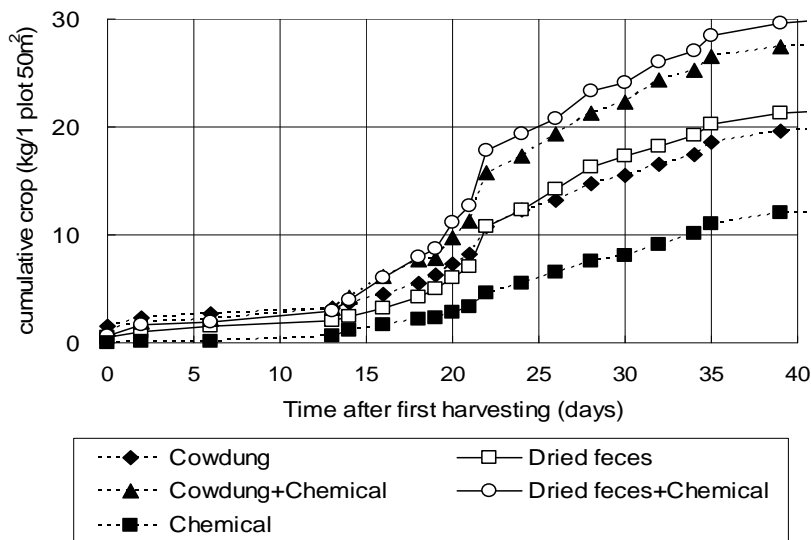


図6 野菜の収穫過程（オクラ）

2-3 し（乾燥糞） および尿の肥料としての便益

以上の実験結果より、エコサン・トイレから生成される乾燥糞および尿は従来施肥されてきた化学肥料と同等、およびそれ以上の効果を得た。こうした準備のもとで投入した化学肥料と、し（乾燥糞）尿とが等価と想定した場合の便益を表7に示す。なお、肥料単価は2008年5月時点の価格を用いた。

表7(1) 尿の便益

Chemical fertilizer	Unit Cost BDT/kg	Usage kg	Cost BDT	Urine = 290 liters
UREA	9	2.09	18.81	
TSP	32	0.72	23.04	
MP	28	0.90	25.20	
total			67.05	

表7(2) 乾燥糞の便益

Chemical fertilizer	Unit cost BDT/kg	Usage kg	Cost BDT	Dried Feces = 100 kg
UREA	9	1.00	9.00	
TSP	32	0.75	24.00	
MP	28	1.00	28.00	
total			61.00	

表7(1)より、尿1リットルは、0.23BDT(Bangladesh Taka : バングラデシュの通貨単位、現在 1BDT=1.7 円)の価値を持つことになる。ここで、世帯人数を5人とした場合、年間当たりの期待される便益と施肥可能面積は次の通りとなる。

- (1) 世帯当たりの便益 5人 × 365日 × 1.0 (/人/日) × 0.23=419BDT
 - (2) 施肥面積 5人 × 365日 × 1.0 (/人/日) × 36 (m² 実験区画面積) / 290=226m² となる。
同様に乾燥糞について算定すると次のとおりである。
 - (3) 世帯当たりの便益 5人 × 365日 × 0.25(kg/人/日) × 0.61(BDT/kg)=278BDT
 - (4) 施肥面積 5人 × 365日 × 0.25 (kg/人/日) × 50 (m² 実験区画面積) / 100=228m² となる。
- これらのことから、5人からなる一世帯が年間で期待できる便益は、約700BDTとなる。

3. 医療費支出に注目した衛生改善便益

エコサン・トイレ導入の第一義の目的は衛生改善にある。衛生改善効果は、罹病の減少のみならず、水系（表流水や地下水）や土壌系に対する汚濁負荷の軽減など多岐にわたるが、ここでは、トイレの形式、およびその使い方と罹病の発生頻度、医療費との関連に注目する。衛生改善に関するアンケート調査をもとに、罹病経路の仮説構造を示し、その同定を図るとともに、衛生改善便益の計測を試みる⁷⁾。以下の分析は、ムンシガンジ県スリナガル郡の3ヶ村における92世帯を対象としたアンケート調査に基づく（アンケート施行は2006年11-12月）。

3-1 アンケート調査と評価項目

表8に分析に用いたアンケート調査項目を示す。所得、学歴、土地所有の有無、使用トイレの形式、トイレの管理状態（清掃頻度）、トイレの状態（ハエ等の発生、汚濁物の排出や臭い等）、飲み水の種類、罹病頻度（ヒ素中毒を除く）、水系伝染病の罹病頻度、そして年間医療費である。

3-2 トイレ形式と衛生改善仮説モデル

仮説モデルの作成に際し、次の2つの視点に留意している。まず、トイレの形式は衛生状態に影響を与えること、そしてトイレの形式に係わらず適正に使用することが衛生状態に影響する、である。表8に示すように、多くの形式のトイレが導入されているが、個々のトイレは個々に衛生改善を目指したものであり、そのため適正な管理を要する。勿論、野糞（Open defecation）や、便器のみが設置されたHanging latrineと呼ばれる形式は論外であるが、機能的により高度な形式のトイレといえども適正な管理を怠れば所期の効果は得られない。例えば、ピットラトリンは、ピットが満杯になったら、別なピットを使用することが原則である。満杯のピットは1~2年土中に放置することにより疫学的に無害な土壌に変質し、有機土壌として圃場などに還元することが前提として導入された設備である。しかしながらこうした使い方の基本が容易に理解されず、行われていない現状にある。図7にトイレ形式と衛生改善仮説モデルを示す。図は、年収や学歴などの要因がトイレ形式に影響し、トイレの適正な管理（清掃）がトイレの状態に作用し、トイレの状態が水系伝染病の発生頻度に影響し、飲み水の安全性と共に、医療費負担に連担するという関連である。

表8 トイレによる衛生改善の関連要因

	年収	学歴	土地所有	トイレの形式	飲み水の種類	罹病頻度（ヒ素中毒を除く）	水系伝染病の罹病頻度	医療費 (BDT/年/世帯)	トイレの清掃頻度	ハエ/虫の発生	排泄物/臭気の流出
1	0-25000	No	No	Open/Hanging latrine	Red marked TW	0	0	0-1000	Daily	No	No
2	25000-50000	1 to 5	Yes	Slab-ring latrine connected with water source	Green marked TW	1	1	1000-3000	2-4 days	Yes	Yes
3	50000-100000	6 to 10		Slab-ring; not connected with water source	Sand filter/AIRP	2>	2>	3000-6000	Upper 5 days		
4	100000-200000	11 to above		Septic Tank				6000>			
5	200000-500000										
6	500000 >										

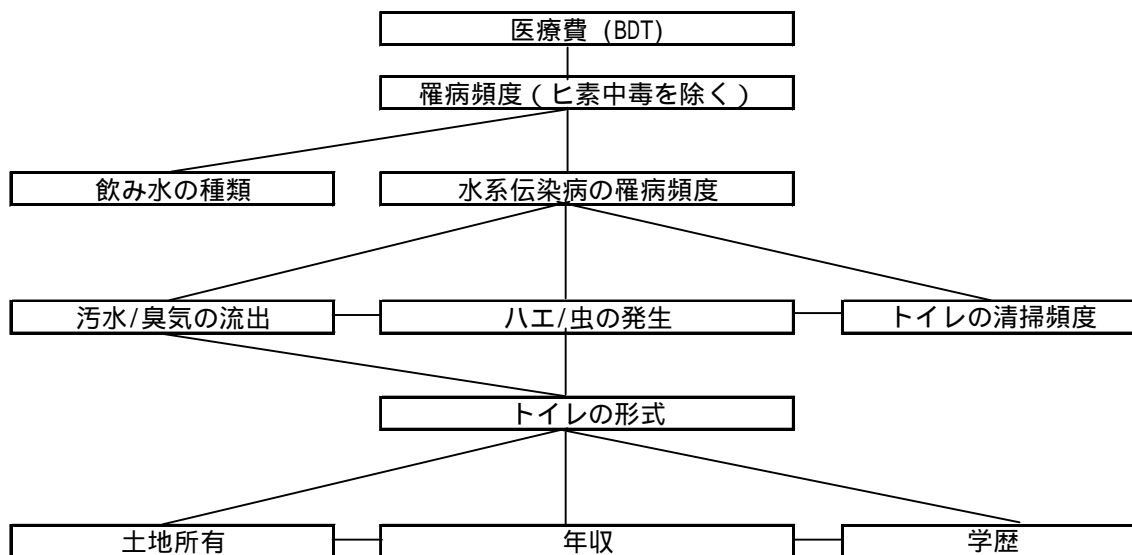


図7 トイレの形式と衛生改善仮説モデル

3.3 要因間の関連分析

表9は、²検定による要因間の棄却確率を示したものである。有意水準は***:p<0.001, **: p<0.01, * : p<0.05である。こうした個々の要因間の関連を先の衛生改善仮説モデルに適合させたものが図8である。例えば、年収は学歴と密接な関連を持つが、使用トイレ形式との関連は小さい。また、水系伝染病の罹病頻度とトイレ形式、および飲み水の安全性との関連は見られない。注目すべきは、トイレ形式とハエや虫の発生に強い関連を持つこと、そして、ハエや虫の発生はトイレの清掃頻度と密接に関連していることである。すなわち、トイレの管理状態と使用するトイレの形式とがハエや虫の発生、また排泄物の流出を経過して水系伝染病の発生に繋がり、医療費負担を強いる結果となるという構図である。またバングラデシュでは、水系伝染病による年間医療費は、500億BDTにのぼるとの報告がある⁷⁾。これは年間世帯あたり約2000BDTの支出である。

表9 ²-検定による要因間の関連

	Educational Level	Farm Land	Yearly income	Type of toilet	About drinking water	Patient frequency without	Water borne disease frequency	Treatment cost (BDT)	Frequency of toilet cleaning	Flies/Insects	Polluted water & environment
学歴	---	0.580	0.000	0.009	0.534	0.707	0.715	0.845	0.050	0.701	0.965
土地所有	[]	---	0.019	0.276	0.828	0.375	0.017	0.643	0.502	0.541	0.689
年収	[***]	[*]	---	0.100	0.606	0.767	0.145	0.156	0.659	0.370	0.494
トイレ形式	[**]	[]	[]	---	0.387	0.585	0.614	0.424	0.102	0.000	0.001
飲み水の種類	[]	[]	[]	[]	---	0.476	0.481	0.570	0.950	0.230	0.151
罹病頻度	[]	[]	[]	[]	[]	---	0.000	0.000	0.000	0.116	0.010
水系伝染病頻度	[]	[*]	[]	[]	[]	[***]	---	0.000	0.508	0.010	0.015
医療費 (BDT)	[]	[]	[]	[]	[]	[***]	[***]	---	0.041	0.067	0.004
トイレ清掃頻度	[]	[]	[]	[]	[]	[***]	[]	[*]	---	0.027	0.174
ハエ/虫の発生	[]	[]	[]	[***]	[]	[]	[*]	[]	[*]	---	0.000
汚水/臭気の流出	[]	[]	[]	[***]	[]	[*]	[*]	[**]	[]	[***]	---

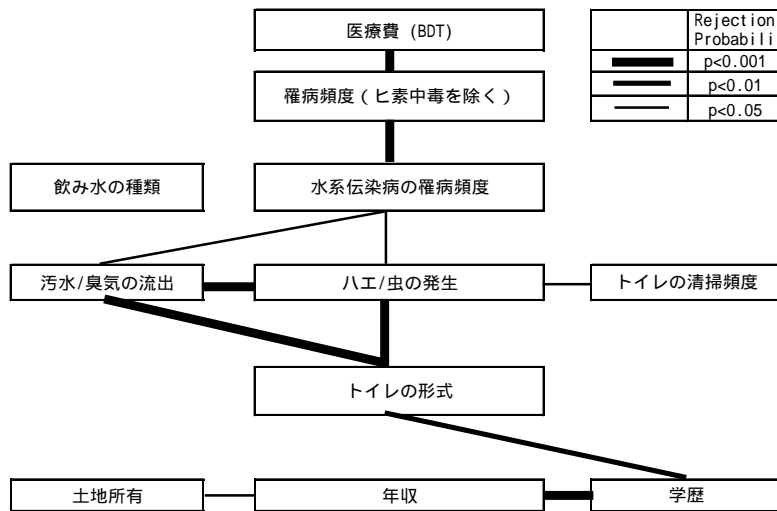


図8 衛生改善仮説モデルの構造

3.4 トイレの状態と医療費の関連

得られた仮説の構造は、トイレの形式、トイレの管理状態（清掃頻度）、その複合作用としてのトイレの状態（排泄物の流出やハエの発生）が、罹病による医療費負担へと連担することを示している。さらに、それら要因は、トイレの改善の直接的な操作要因である。図9は、「トイレ形式」、「清掃頻度」、「排泄物や悪臭の流出」、「ハエや昆虫の発生」の категорияに対する年間平均医療費を示したものである。「排泄物や悪臭の流出」や「ハエや昆虫の発生」の有無は、世帯当たり年間1000BDTを越える医療費の軽減を意味している。

エコサン・トイレは、ハエや臭いの無いトイレ形式として使用者から支持されており⁴⁾、また、排泄物を外の系に出さない装置であり、医療費軽減からみた衛生改善便益計測の可能性を十分に示しているといえよう。また、2.に要約したように、し尿の農作物への施肥による資源利用便益は、年間世帯当たり700BDT程度の結果を得ている。これと上述の衛生改善便益を加えれば、世帯当たりの年間期待便益は1700BDTとなる。エコサン・トイレの初期コストは10000BDT程度であり、適正な維持管理と耐用年数を前提にすれば、十分に原資が取れる設備であることが期待される。

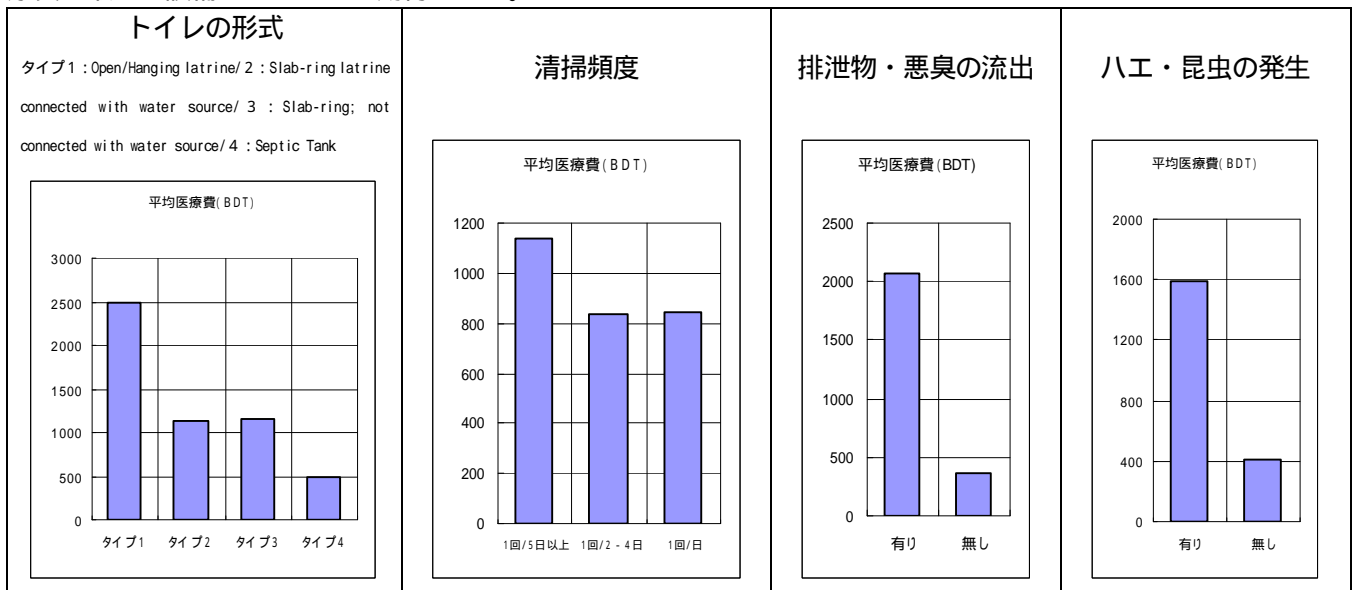


図9 トイレ要因と世帯当たりの年間平均医療費

4. おわりに

本研究は、バングラデシュ農村地域における住民の貧困からの脱却を図るための一つ的手段であるエコサン・トイレの導入による衛生改善とし尿資源の利用に注目したものであり、そのため、エコサン・トイレの導入によるし尿資源利用による便益の算定、そして衛生改善効果と便益評価の方向性について述べた。

しかしながら本研究での結果は、限られた調査結果に基づくものであり、このため、調査の継続と目的的な時系列データの積み重ねが必要となる。幸いにもバングラデシュでは、徐々にではあるが、エコサン・トイレの普及拡大が進みつつあり、その際、同様の調査を繰り返し実施している。今後、様々な角度から分析検証を行い、知見を深めていく所存である。また、エコサン・トイレは衛生の現状を改善する一つの代替設備であり、今後、その技術的な合理性と、住民側から見た受容性の両側面からのアプローチが特に重要となる。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、有益な研究の方向性を示唆された京都大学防災研究所萩原良巳教授に感謝致します。また、海外技術協力分科会、BARD (Bangladesh Academy for Rural Development)、SPACE (Society for Peoples Action in Change and Equity) など多くのメンバーの協力を得たことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 酒井彰, 山村尊房, Hoque, Bilquis Amin, 萩原良巳: 水と衛生にかかわる適正技術概念について, 第31回環境システム研究論文発表会講演集, 2003年10月, pp.491-469
- 2) Hoque, Bilquis Amin: Sanitation Challenges and Opportunities in Developing Countries: Bangladesh Experience, 第7回下水文化研究発表会講演集, 日本下水文化研究会, 2003年11月, pp.2-11,
- 3) 萩原良巳, 酒井彰他, “バングラデシュ都市住民の生活特性と衛生意識”, 京都大学防災研究所年報, 第47号B, 2004, pp.35-42
- 4) 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, 環境衛生工学研究, Vol. 20, No. 4, pp.14-23, 2006
- 5) 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, 2006-2007年度報告書
- 6) Bangladesh Soil Research Institute: “Soil Analysis Report”, 2005
- 7) 高橋邦夫・酒井彰・Tofayel Ahmed: バングラデシュ農村地域におけるエコサン・トイレの導入効果と衛生改善便益, 第9回下水文化研究発表会講演集, pp.77-84, 2007
- 8) Ministry of Local Government: “National Sanitation Strategy”, 2005