

バイオトイレに関する微生物学的研究とその有効性の調査

高桑 進・横山 佳子・土屋 和三

はじめに

水は地球上全ての生命の源であり、代替物のない貴重な資源である。そして水は人類の発展に不可欠なものである。しかし現在、世界人口の増加と開発途上国の急激な経済成長・都市化に伴い、世界各地で水資源の不足、飲料水の量的・質的不足、水環境の劣悪化といった水問題が発生している。

水不足については深刻な状況で、世界全体で約11億人の人たちが安全な飲料水を継続的に利用できない状態にある。この問題は今後更に深刻化する可能性があり、2025年には世界で18億人の人間が1人当たり年間水使用量1000m³を下回る「絶対的水不足」に見舞われ、55億人の人間が同17000m³を下回り日常生活に不便を感じる「水ストレス」にさらされるとの予測もある¹⁾。

また、水質汚染についても同様のことが言える。急激な人口増加や産業の発展に下水道などの衛生設備の整備が追いつかず、発展途上国では人口の50%が汚染された水源を使っている。日本でも炊事や洗濯、トイレなどから出る生活排水による河川の汚染が進んでおり、水質汚染の原因の60~70%を占めるといわれている。そんな中日本の下水道施設の整備は着実に行なわれており、下水道処理人口普及率は68%にまで向上しているものの、それには地域格差が大きく、普及率が全国平均を下回る県が34県にも及ぶ²⁾。そして、設備の整っていない地域では、生活排水が無処理で河川に垂れ流しとなっているのが現状である。

このように地球規模で深刻化しつつある水資源問題の解決をめざして、世界では様々な取り組みが行われている。1996年には、世界的な水政策のシンクタンクとして世界水会議 (World Water Council) が設立され、1997年以降3年に一度「世界水フォー

ラム」が開催されている。さらに2006年にはアジア・太平洋水フォーラムが設立され、2007年（平成19年）12月に第1回アジア・太平洋水サミットが大分県別府市で開催された。その際に発表された「別府からのメッセージ」には「現在ほど水を必要としない新しい、革新的な衛生システムを採用し、基本的衛生設備の利用できない人々の数を、2015年までに半減し、2025年までにゼロを目指す。」との提言も盛り込まれた³⁾。

そこで水問題を打開する方法の一つとして近年注目を集めているのが、“水を使わない”“臭いがしない”“汲み取り不要”といわれるバイオトイレ（おが屑を利用した乾式屎尿処理装置）である。使用済みおが屑を土壌改良剤として用いる“資源化”も注目を集める要因といえる。富士山や北海道旭山動物園でのバイオトイレの設置事例はあまりに有名であるが、この他にも下水道の未整備地区や極寒の地、観光地といった様々な所で設置されるなど、国内外問わず今後ますますバイオトイレの活躍の場は広がっていくだろうと期待されている。

しかし、バイオトイレに関する基礎的な微生物学的研究はほとんど行われておらず、また、使用済みおが屑の堆肥としての有効性についての調査や検討も現段階ではされていないのが現状である。そこで本研究では昨年度に引き続き、龍谷大学瀬田学舎に隣接する「龍谷の森」に設置されているバイオトイレと、京都市北区雲ヶ畑に設置されているバイオトイレを研究対象として、おが屑中の微生物叢の研究および無機物量を分析することで、使用済みおが屑の堆肥としての有効性を調査検討した。

第1章 バイオトイレの微生物学的研究

近年、おが屑を人工土壌マトリックスとして用いた乾式屎尿処理装置であるバイオトイレの設置が公園や山岳地帯などに増加している。バイオトイレは、屎尿とおが屑をよく攪拌して酸素を供給し、便中の腸内細菌と環境中の微生物により屎尿を好氣的に分解させるという原理で処理し、水が不要、臭気がないという利点がある。さらに使用済みおが屑は堆肥として有効利用できるといわれている。しかし、バイオトイレに関しての微生物学的な観点からの報告がほとんどないことから、本研究では利用頻度の異なる2ヶ所のバイオトイレ（表1参照）を対象とし、おが屑中の一般細菌数および微生物叢について検討し、微生物フローラに関する基礎的知見を得ることを目的とした。

表1 研究対象とした2カ所のバイオトイレの概要

	「龍谷の森」バイオトイレ	雲ヶ畑バイオトイレ
設置場所	龍谷大学「龍谷の森」 (草津市 瀬田学舎隣接地)	京都市森林組合雲ヶ畑支所 (京都市右京区雲ヶ畑)
設置年月等	2005年3月より稼働	2006年度、2007年5月より稼働
設置目的	里山での体験活動時に利用	登山客、観光客用に設置
利用者	大学生、イベント参加者等	登山者、観光客、森林組合職員等
使用方法	男 女共用。 小屋内に設置されている自転車型のペダルを正転20回以上、逆転10回以上回して便槽内を攪拌する。	男女別。 トイレ内の壁のスイッチを押すことで便槽内の攪拌は自動的に行われる。
試料採取期間	2006年4月～12月 (月1回) 2007年4月～12月 (月1回) 2008年4月～12月 (2ヶ月1回)	2007年8月、12月 (各月1回) 2008年4月～12月 (2ヶ月1回)

1-1 試料のサンプリング方法

○おが屑の採取

各バイオトイレにて無菌的におが屑を採取した。採取時に以下の項目について測定、観察、記録を行った。

- ・ 外気温
- ・ 便槽（おが屑）内温度
- ・ 使用人数
- ・ おが屑の状態（色、においなど）

○試料の調製

採取したおが屑はその日の内に分析した。おが屑試料に滅菌生理食塩水を加え10倍希釈し、4,500gにて5分間遠心して得られた上清を試料とした。

○pHの測定

調製した試料液のpHをpHメーターにて測定した。

○一般細菌数の計数、細菌の分離と同定

1. 一般細菌数の計数

標準寒天培地を用い、35℃、48時間培養後のコロニー数を計数した。

2. 細菌分離

寒天培地より5~20コロニーを無作為に採取し、分離培養を行った。

3. 分離株の同定

1) グラム染色によりグラム陽性菌と陰性菌に分類した。

2) グラム陰性菌について、OF (Oxidative-Fermentative) 試験およびオキシダーゼテストを行った。

3) 細菌の同定は、同定キット、IDテスト(白水製薬)を用いた。

EB-20 : グルコース発酵型細菌用

NF-18 : グルコース酸化型・非発酵型細菌用

○大腸菌群の検査

BGLB培地によるMPN (most probable number) 法により計数した。

○「龍谷の森」と雲ヶ畑のバイオトイレサンプリングの記録を表2、表3に示す。

表2-1 2008年 バイオトイレサンプリング記録 「龍谷の森」

日付	4月2日	6月10日	7月29日	10月8日	12月10日
天気	雨	晴れ	晴れ	曇り	晴れ
時間	10:00	10:38	10:18	10:20	10:10
外気温	10.0℃	27.0℃	36.0℃	19.5℃	11.5℃
おがくす内温度	—	23.0℃	28.0℃	18.0℃	6.0℃
未使用おがくす内温度	4.0℃	—	—	—	—
使用人数	0	4	0	2	2
大便	0	23	5	1	0
小便	0				
状態	サラサラ	サラサラ	サラサラ	サラサラ トイレット ペーパーが	サラサラ トイレット ペーパーが
色	黄土色	茶色	茶色	残る 茶色	残る 茶色
におい	檜の臭い	土の臭い	土の臭い	土の臭い	土の臭い
pH	—	8.35	5.42	4.78	6.23
コントロール pH	3.9	—	—	—	—
水分含量	—	52%	50%	43%	38%

表2-2 2006~2008年 おが屑基礎情報 「龍谷の森」

		2006年4月 ~2007年12月	2008年4月 ~2008年12月
使用人数	大便	41 (1.7±0.3)	9 (1.0±0.5)
	小便	414 (17.3±2.6)	40 (4.4±2.5)
外気温 (°C)		18.6±1.5	23.5±5.2
おが屑内温度 (°C)		15.9±1.5	18.8±4.7
pH		6.57±0.2	6.20±0.8
水分含有量		—	45.8±3.2

表3-1 2008年 雲ヶ畑バイオトイレサンプリング記録：男子用

日付	4月22日	5月19日	6月23日	7月22日	8月25日	9月24日	10月21日	11月17日
天気	晴れ	曇り	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り
時間	10:00	9:22	9:15	9:20	9:20	9:20	9:20	9:20
外気温	20.0°C	20.0°C	21.0°C	28.5°C	21.0°C	23.5°C	15.0°C	12.0°C
おが屑内温度	32.0°C	18.0°C	20.0°C	26.0°C	21.0°C	20.0°C	38.0°C	35.0°C
使用者数	大便	0	13	8	1	12	4	2
	小便	3	14	8	2	11	3	6
状態	ふわふわしている	やや塊がある	ふわふわ ややトイレト ーパーが残る	ふわふわしている	しっとりとしている	ふわふわしている	しっとりとしている	ふわふわしている
色	こげ茶	こげ茶	こげ茶	茶色	こげ茶	こげ茶	こげ茶	黒っぽい茶色
におい	アンモニア臭	やや アンモニア臭	強い アンモニア臭	やや アンモニア臭	やや アンモニア臭	やや アンモニア臭	アンモニア臭	やや アンモニア臭
pH	7.73	8.02	7.69	7.44	7.53	7.54	8.10	7.95
水分含有量	42%	43%	61%	33%	50%	44%	51%	53%

表3-2 2008年 雲ヶ畑バイオトイレサンプリング記録：女子用

日付	4月22日	5月19日	6月23日	7月22日	8月25日	9月24日	10月21日	11月17日
天気	晴れ	曇り	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り
時間	10:00	9:22	9:15	9:20	9:20	9:20	9:20	9:20
外気温	20.0°C	20.0°C	21.0°C	28.5°C	21.0°C	23.5°C	15.0°C	12.0°C
おが屑内温度	34.0°C	17.0°C	20.0°C	25.5°C	21.0°C	20.0°C	33.0°C	30.0°C
使用者数	大便	0	7	0	0	17	0	0
	小便	42 (女14/男28)	101 (女48/男53)	50 (女31/男19)	77 (女12/男65)	120 (女38/男82)	40 (女12/男28)	121 (女19/男102)
状態	ふわふわしている	やや塊がある	ふわふわしている ややトイレト ーパーが残る	ふわふわしている	やや塊がある	ふわふわしている 固い ブロック状	固い ブロック状	粘土状に固まっ ている トイレト ーパーが残る
色	こげ茶	こげ茶	こげ茶	こげ茶	茶色	茶色	こげ茶	茶色
におい	アンモニア臭	やや アンモニア臭	土の臭い	アンモニア臭	アンモニア臭	アンモニア臭	強い アンモニア臭	強い アンモニア臭
pH	8.29	8.46	7.97	7.63	7.58	7.80	8.35	8.19
水分含有量	49%	63%	46%	50%	57%	57%	67%	66%

1-2 バイオトイレの使用状況と運転条件の比較

各バイオトイレの使用状況、バイオトイレ内おが屑の温度、pH、水分含量を表4に纏めた。

表4-1 バイオトイレの使用人数

2008年度「龍谷の森」バイオトイレ

	2006年度			2007年度			2008年度		
	大便	小便	攪拌回数	大便	小便	攪拌回数	大便	小便	攪拌回数
4月	1	14	15	5	18	23	1	9	10
5月	3	17	20	3	18	21	4	23	27
6月	0	41	41	1	18	19	0	1	1
7月	1	63	64	1	15	16	0	5	5
8月	0	3	3	1	12	13	0	0	0
9月	1	14	15	1	3	4	1	1	2
10月	2	27	29	3	21	24	1	0	1
11月	2	15	17	4	14	18	2	1	3
12月	2	14	16	3	17	20	0	0	0
1月	5	20	25	2	13	15			
2月	0	13	13	0	3	3			
3月	0	13	13	0	8	8			
計	17	254	271	2	160	184	9	40	49
平均±標準偏差	1.4±0.4	21.2±4.6	22.6±4.7	2.0±0.5	13.3±1.7	15.3±2.0	1.0±0.4	4.4±2.5	5.4±2.9

雲ヶ畑バイオトイレ【男】

	大便	小便	合計使用人数 (攪拌回数)
2008年4月	0	3	3
5月	1	14	27
6月	8	8	16
7月	1	2	3
8月	12	11	23
9月	4	3	7
10月	2	6	8
11月	1	2	3
計	41	49	90
平均±標準偏差	5.1±1.8	6.1±1.6	11.3±3.4

雲ヶ畑バイオトイレ【女】

	大便	小便		合計使用人数 (攪拌回数)
		女子	男子	
2008年4月		14	28	42
5月		48	53	101
6月		31	19	50
7月		12	65	77
8月	1	38	82	120
9月		12	28	40
10月		19	102	121
11月	0	35	51	86
計	2	209	428	637
平均±標準偏差	3.1±2.2	-	-	79.6±11.7

表4-2 バイオトイレ内おが屑の温度、pH、水分含量

「龍谷の森」

		外気温(°C)	おが屑内温度(°C)	pH	水分含量(g/100g)	
2006年度	4月	11.5	20.2	6.36	—	
	5月	24.1	17.0	5.82	—	
	6月	25.5	21.0	5.68	—	
	7月	25.0	24.0	6.15	—	
	8月	28.5	25.0	5.83	—	
	9月	21.5	22.0	5.96	—	
	10月	19.0	15.0	5.95	—	
	11月	10.5	11.0	7.07	—	
	12月	9.0	5.0	7.93	—	
	2007年度	4月	17.8	10.5	7.05	—
		5月	17.0	10.0	6.85	—
		6月	—	—	—	—
7月		23.0	21.0	7.94	—	
8月		23.0	19.0	7.24	—	
9月		21.9	19.5	6.40	—	
10月		16.0	13.0	6.58	—	
11月		14.1	12.0	5.96	—	
12月		8.5	5.5	6.92	—	
平均±標準偏差		18.6±6.2	15.9±6.2	6.57±0.7	—	
2008年度4月(未使用)		10.0	4.0	3.90	—	
2008年度		6月	27.0	23.0	8.35	52
	8月	36.0	28.0	5.42	50	
	10月	19.5	18.0	4.78	43	
	12月	11.5	6.0	6.23	38	
	平均±標準偏差	23.5±10.5	18.8±9.4	6.2±1.6	45.8±6.4	

※2008年度の平均±標準偏差は2008年6月～12月のもの

【雲ヶ畑:男】

		外気温(°C)	おが屑内温度(°C)	pH	水分含量(g/100g)
2008年	4月	20.0	32.0	7.73	42
	5月	20.0	18.0	8.02	43
	6月	21.0	20.0	7.69	61
	7月	28.5	26.0	7.44	33
	8月	21.0	21.0	7.53	50
	9月	23.5	20.0	7.54	44
	10月	15.0	38.0	8.10	51
	11月	12.0	35.0	7.95	53
	平均±標準偏差	20.1±5.0	26.3±7.8	7.8±0.2	47.1±8.5

【雲ヶ畑:女】

		外気温(°C)	おが屑内温度(°C)	pH	水分含量(g/100g)
2008年	4月	20.0	34.0	8.29	49
	5月	20.0	17.0	8.46	63
	6月	21.0	20.0	7.97	46
	7月	28.5	25.5	7.63	50
	8月	21.0	21.0	7.58	57
	9月	23.5	20.0	7.80	57
	10月	15.0	33.0	8.35	67
	11月	12.0	30.0	8.19	66
	平均±標準偏差	20.1±5.0	25.1±6.5	8.0±0.3	56.9±8.0

結果

- 1) 「龍谷の森」バイオトイレに比べて雲ヶ畑バイオトイレは利用者が非常に多く、特に女子用バイオトイレの利用頻度は高かった。
- 2) 「龍谷の森」バイオトイレでは槽内温度が外気温より低いことが多かったが、雲ヶ畑バイオトイレではおが屑内温度は外気温よりも高いことが多かった。
- 3) おが屑のpHは「龍谷の森」バイオトイレ (pH=6.2~6.5) に比較して、雲ヶ畑バイオトイレのおが屑の方がアルカリ性 (pH=7.7~7.9) であった。

表5 使用状況およびサンプリング状況等

測定項目等		龍谷の森	龍谷の森	雲ヶ畑	
調査期間		2006年4月 ～2007年12月	2008年4月 ～2008年12月	2007年8月・12月 2008年4月～2008年11月	
				男子用	女子用
使用人数(人)	大便	41 (1.7)	9 (1.1)	72 (4.8)	49 (3.3)
	小便	414 (17.3)	40 (5.0)	75 (5.0)	1044 (69.8)
外気温 (°C)		18.6±1.5	23.5±5.2	19.3±2.0	
おが屑内温度 (°C)		15.9±1.5	18.8±4.7	26.6±2.2	26.5±1.9
pH		6.57±0.2	6.20±0.8	7.70±0.1	7.96±0.1
水分含量		—	45.8±3.2	47.1±3.0	56.9±2.8

*使用人数：()内は月平均の使用人数を示した。

1-3 一般細菌数と大腸菌群計数について

一般細菌数と大腸菌群計数結果を次の表6に纏めた。

○一般細菌数計数結果

「龍谷の森」では一般細菌数の季節変動はなく、おが屑1gあたり $10^5 \sim 10^7$ cfuであった。雲ヶ畑バイオトイレのデータ数は少ないが、おが屑1gあたり $10^4 \sim 10^8$ cfuであった。

○MPN法による大腸菌群計数結果

「龍谷の森」ではおが屑100gあたりのMPN値は、多くの月で16000を超える結果であった。雲ヶ畑では利用頻度が高いにもかかわらず、「龍谷の森」と比較してMPN値が低い傾向にあり、また一般細菌数が高いにもかかわらずMPN値が低い結果であった。

表6 おが屑中の一般細菌数および大腸菌群数

	「龍谷の森」					
	2006年度		2007年度		2008年度	
	一般細菌数	MPN	一般細菌数	MPN	一般細菌数	MPN
4月	9.5×10^5	—	1.2×10^5	17000	—	—
5月	1.4×10^7	>1 1000	5.6×10^5	11000	—	—
6月	6.6×10^5	>1 6000	—	—	1.6×10^7	>1 6000
7月	1.6×10^6	>1 6000	6.3×10^5	11000	—	—
8月	3.0×10^5	5400	4.5×10^5	>1 6000	1.8×10^6	>1 6000
9月	4.8×10^5	>1 6000	2.5×10^6	>1 6000	—	—
10月	2.6×10^5	>1 6000	5.7×10^6	>1 6000	5.7×10^6	>1 6000
11月	2.6×10^6	>1 6000	6.9×10^5	>1 6000	—	—
12月	6.5×10^5	>1 6000	1.4×10^5	>1 6000	7.6×10^5	>1 6000

	雲ヶ畑							
	2007年度				2008年度			
	男子用		女子用		男子用		女子用	
一般細菌数	MPN	一般細菌数	MPN	一般細菌数	MPN	一般細菌数	MPN	
4月	—	—	—	—	2.8×10^5	>16000	6.0×10^5	470
5月	—	—	—	—	3.8×10^5	>16000	9.0×10^4	9200
6月	—	—	—	—	3.2×10^7	>16000	8.0×10^5	1400
7月	—	—	—	—	2.2×10^6	>16000	2.2×10^5	4300
8月	1.2×10^6	7900	1.4×10^8	170	1.7×10^5	>16000	1.2×10^5	3500
9月	—	—	—	—	8.6×10^5	>16000	6.3×10^5	630
10月	—	—	—	—	8.9×10^5	>16000	3.5×10^5	490
11月	—	—	—	—	1.5×10^5	>16000	3.4×10^5	230
12月	2.0×10^5	4900	34×10^4	230	—	—	—	—

(一般細菌数:cfu/g、大腸菌群数:MPN/100g)

1-4 分離された細菌の種類

「龍谷の森」、雲ヶ畑バイオトイレそれぞれの微生物叢を、図1、図2と以下の表7に纏めた。また各バイオトイレにおいて検出された代表的な細菌についてはその属名を表8に示した。

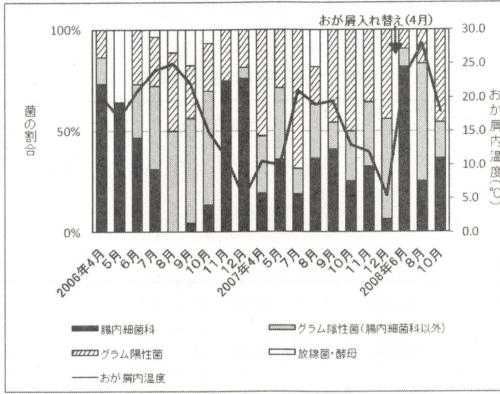
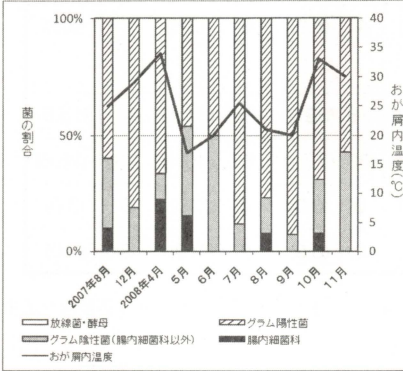


図1 「龍谷の森」バイオトイレの菌叢と槽内温度の変化

女子トイレ



男子トイレ

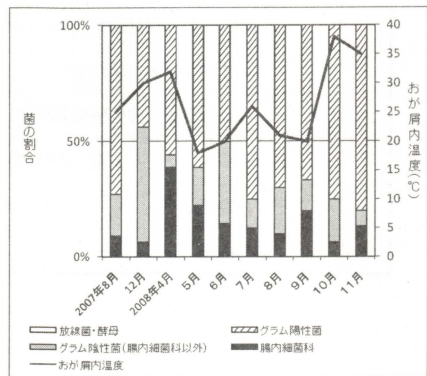


図2 雲ヶ畑バイオトイレの菌叢と槽内温度の変化

結果

1) 「龍谷の森」では、グラム陰性菌の割合が高く、特に腸内細菌科が約4割を占めていた。

- 2) 雲ヶ畑では「龍谷の森」と比較すると、腸内細菌科の割合が極めて低く、グラム陽性菌の割合が高かった。放線菌、酵母は検出されなかった。表5より、*Bacillus*属、*Burkholderia*属など好氣的条件下で生育する細菌の割合が高い結果であった。
- 3) 雲ヶ畑男子用、女子用の微生物叢を比較すると、利用者が多い女子用では*Bacillus*属が優占種であり、男子用では*Bacillus*属、*Burkholderia*属が優占種であった。

表7 分離された細菌の同定

微生物叢			龍谷の森				雲ヶ畑			
			(2006年 ~2007年)		(2008年)		男子用		女子用	
分離株数			357		45		166		129	
内訳	グラム陽性	<i>Bacillus</i> 属	85	(2.8)	8	(17.8)	62	(37.3)	54	(41.9)
		無芽胞桿菌	17	(4.6)	3	(6.7)	19	(11.4)	12	(9.3)
		球菌	8	(2.1)	1	(2.2)	18	(10.8)	30	(23.3)
		計	110	(29.5)	12	(26.7)	99	(59.6)	96	(74.4)
	グラム陰性	腸内細菌科	142	(38.1)	14	(31.1)	26	(15.7)	8	(6.2)
		グルコース発酵型・ オキシダーゼ陽性菌	5	(1.3)	4	(8.9)	6	(3.6)	1	(0.8)
		グルコース非発酵型	100	(26.8)	15	(33.3)	35	(21.1)	24	(18.6)
		計	247	(66.2)	33	(73.3)	67	(40.4)	33	(25.6)
		放線菌	15	(4.0)	0	(0.0)	0	(0.0)	0	(0.0)
		酵母	1	(0.3)	0	(0.0)	0	(0.0)	0	(0.0)

* () の数値は分離株に対する割合を示す。

表8 分離された細菌の種類

属名	龍谷の森		雲ヶ畑	
	2006年4月 ～2007年12月	2008年6月 ～2008年12月	2007年8月～2008年11月	
			男子用	女子用
<i>Bacillus</i> 属	22.8	17.8	37.3	41.9
<i>Klebsiella</i> 属	22.3	4.4	—	—
<i>Citrobacter</i> 属	4.6	4.4	1.8	—
<i>Burkholderia</i> 属	4.3	13.3	18.1	17.1
<i>Chryseobacterium</i> 属	2.7	—	—	—

*本表では、多く分離された株の上位から属名を挙げた。〔全分離株に対する割合(%)〕

1-5 まとめ

得られた結果を以下の表にまとめた。

項目	龍谷の森	雲ヶ畑
利用頻度	低い	高い
外気温に対する おが屑内温度	低い	かなり高い(12月採取時)
一般細菌数	$10^5 \sim 10^7$ cfu/g	$10^5 \sim 10^7$ cfu/g
MPN値	>16000の月が多い	利用頻度および一般細菌数が高い 女子用トイレで顕著に低値
微生物叢	グラム陰性菌の割合が高く、特に 通性嫌気性である腸内細菌科の 割合が高い。放線線菌および酵母 が分離された。	グラム陽性菌の割合が高く、女子用は <i>Bacillus</i> 属が優占種で、男子用では <i>Bacillus</i> 属、 <i>Burkholderia</i> 属が優占種であった。これらの細菌 は好氣的条件下でよく生育する。

1-6 考察

雲ヶ畑バイオトイレは利用頻度が高いため、おが屑の攪拌回数が多く、おが屑に十分な酸素が供給されていると推察される。また12月試料採取時には発酵熱の産生が確認できたことから、屎尿の好氣的分解が促進されていると示唆される。

微生物叢では、好氣的条件下でよく発育する*Bacillus*属、*Burkholderia*属細菌が多く分離され、これらの細菌が屎尿の好氣的分解に関与している可能性が推定された。

「龍谷の森」バイオトイレは利用頻度が低いため、おが屑の攪拌回数が少なく、そのため、おが屑内が嫌氣的な状態になって腸内細菌科の細菌が多く分離されたと考えられる。

使用済みおが屑を堆肥として有効利用する研究が進められているが、微生物学的な観点からは問題となる病原性細菌は検出されなかったので、使用済みおが屑を環境中に戻すことは可能であるといえる。

第2章 バイオトイレのおが屑堆肥の有効性の検討

バイオトイレの使用後のおが屑は堆肥として利用できるといわれているが、バイオトイレの利用状況が変動的であるため堆肥の品質や生産量に変化が生じ、安定した供給を保障することが難しいなどの理由から、実際には利用されていないのが現状である。

そこで、おが屑堆肥としての品質を確かめるために、おが屑中の無機物を定量した。無機物の定量には昨年同様、イオンクロマトグラフィーを用いて硝酸態・亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸態リン、カリウムの定量を行った。

2-1 イオンクロマトグラフによる窒素、リン酸、カリの測定

2-1-1 試料調製

採取してきたおが屑を滅菌生理食塩水で10倍希釈し攪拌後、13500gで10分間遠心後、その上澄みを0.45 μm （ミリポアフィルター 0.45 μm ）のフィルターで濾過し、さらに0.22 μm のフィルター（ミリポアフィルター 0.22 μm ）で濾過したものを試料液とした。

2-1-2 測定方法

イオンクロマトグラフ DX-120（日本ダイオネクス株式会社）を使用。陰イオンは、陰イオン分離カラムAS12A（日本ダイオネクス株式会社）、溶離液として陰イオン分析用溶離液（2.7mmol/l Na_2CO_3 、0.3mmol/l NaHCO_3 ）（日本ダイオネクス株式会社）、スタンダードとして陰イオン混合標準液（ F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} ）（関東化学株式会社）を使用した。陽イオンについては、陽イオン分離カラムCS12A（日本ダイオネクス株式会社）、溶離液として陽イオン分析用溶離液（20mmol/l L-メタンシルホン酸）、スタンダードとして陽イオン混合標準液（ Li^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）（関東化学株式会社）を用いた。

2-1-3 結果と考察

測定結果は表9、表10に纏めた。

表9 「龍谷の森」 おが屑1gあたりの窒素、リン酸、カリ

平均±標準偏差 (mg/g)				
	硝酸態亜硝酸態窒素	アンモニア態窒素	リン酸態リン	カリウム
2006年4月	4.8 ± 0.6	不測定	0.90 ± 0.3	不測定
5月	9.0 ± 0.4	不測定	1.20 ± 0.1	不測定
6月	8.2 ± 0.4	不測定	1.10 ± 0.1	不測定
7月	9.2 ± 1.7	不測定	0.90 ± 0.4	不測定
8月	11.6 ± 0.6	不測定	1.30 ± 0.2	不測定
9月	9.7 ± 1.2	不測定	1.10 ± 0.4	不測定
10月	10.7 ± 0.5	不測定	1.20 ± 0.1	不測定
11月	8.5 ± 0.4	不測定	0.90 ± 0.1	不測定
12月	8.5 ± 0.7	不測定	1.10 ± 0.3	不測定
2007年4月	10.05 ± 0.1	3.33 ± 0.3	1.00 ± 0.0	2.50 ± 0.1
5月	10.13 ± 1.1	0.82 ± 0.1	1.10 ± 0.2	1.10 ± 0.1
7月	2.66 ± 0.4	2.24 ± 0.3	0.80 ± 0.3	2.00 ± 0.2
8月	2.54 ± 0.4	2.24 ± 0.4	0.80 ± 0.3	3.10 ± 0.2
9月	1.49 ± 0.1	1.37 ± 0.4	1.00 ± 0.1	2.90 ± 0.4
10月	0.20 ± 0.0	1.46 ± 0.3	1.00 ± 0.3	2.60 ± 0.1
11月	2.02 ± 0.1	1.23 ± 0.1	1.40 ± 0.1	2.10 ± 0.0
12月	1.05 ± 0.3	1.60 ± 0.6	1.00 ± 0.1	4.00 ± 0.6
平均	6.49 ± 4.0	1.79 ± 0.8	1.05 ± 0.2	2.54 ± 0.9
おが屑入れ換え				
2008年4月	ND	ND	ND	0.75 ± 0.1
6月	0.08 ± 0.0	1.57 ± 0.8	0.13 ± 0.1	0.86 ± 0.2
7月	1.51 ± 0.6	1.37 ± 0.5	0.23 ± 0.0	1.30 ± 0.2
10月	1.78 ± 0.3	1.28 ± 0.8	0.24 ± 0.0	1.42 ± 0.6
12月	±	±	±	±
平均	±	±	±	±

ND: not detected

表10-1 雲ヶ畑バイオトイレ(男) おが屑1gあたりの窒素、リン酸、カリ

平均±標準偏差 (mg/g)				
	硝酸態・亜硝酸態窒素	アンモニア態窒素	リン酸態リン	カリウム
2007年8月	7.59 ± 0.4	2.88 ± 1.2	2.40 ± 2.3	7.00 ± 0.6
12月	9.93 ± 1.7	3.24 ± 1.6	0.70 ± 0.1	10.00 ± 0.4
2008年4月	11.80 ± 0.6	2.89 ± 0.6	0.68 ± 0.1	6.23 ± 1.2
5月	11.98 ± 1.7	3.35 ± 1.7	0.52 ± 0.1	6.73 ± 0.8
6月	14.53 ± 1.9	3.44 ± 1.9	1.00 ± 0.2	7.60 ± 1.3
7月	13.94 ± 0.7	3.39 ± 0.7	0.93 ± 0.2	9.17 ± 0.7
8月	8.63 ± 0.9	2.18 ± 0.9	0.90 ± 0.0	7.45 ± 0.4
9月	10.82 ± 1.7	3.15 ± 1.6	1.32 ± 0.6	8.55 ± 0.9
10月	8.24 ± 0.9	2.86 ± 1.5	0.36 ± 0.0	7.51 ± 1.6
11月	8.28 ± 0.9	2.75 ± 1.4	0.41 ± 0.0	6.11 ± 0.5
平均	10.57 ± 0.8	3.01 ± 0.1	0.92 ± 0.2	7.64 ± 0.4

表10-2 雲ヶ畑バイオトイレ(女) おが屑1gあたりの無機物

平均±標準偏差 (mg/g)	
ジン	カリウム
0.1	10.80 ± 0.4
0.4	14.00 ± 0.5
0.9	10.33 ± 1.1
0.3	8.26 ± 1.4
2.2	9.99 ± 1.6
1.4	16.41 ± 0.8
0.8	13.11 ± 0.6
0.8	13.21 ± 0.9
0.7	11.23 ± 0.4
0.8	10.01 ± 0.6
0.4	11.74 ± 0.8

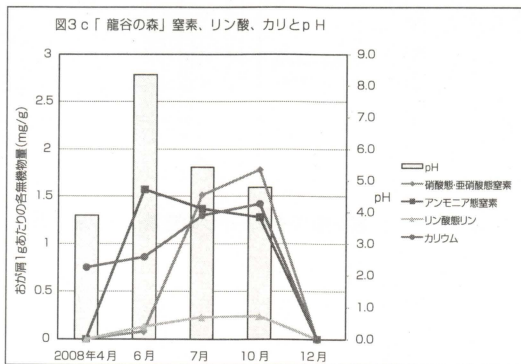
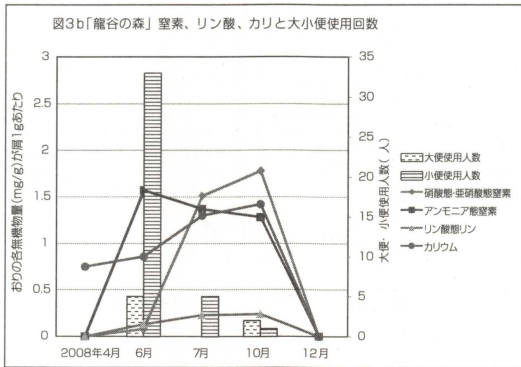
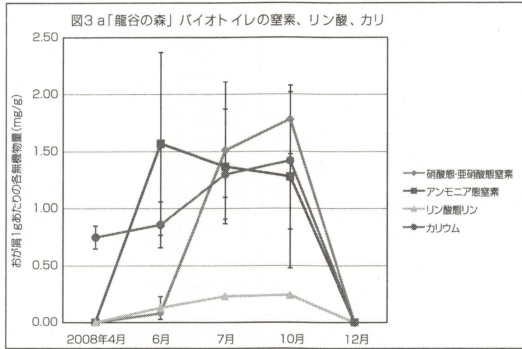


図 3a～c 龍谷の森バイオトイレの窒素、リン酸、カリ

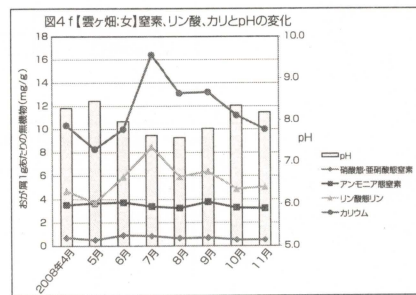
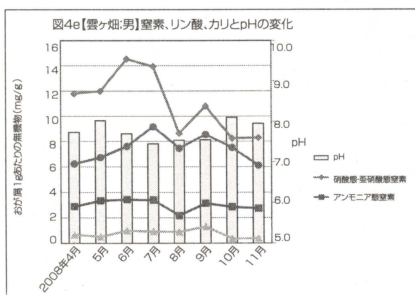
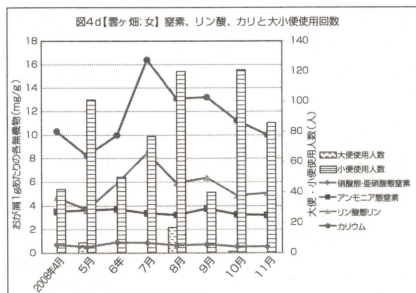
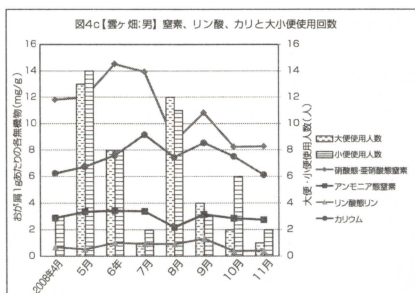
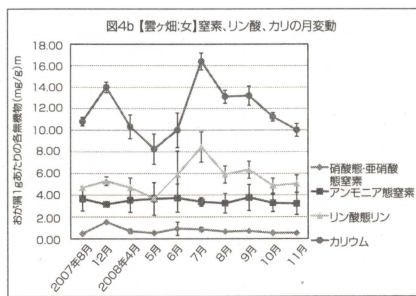
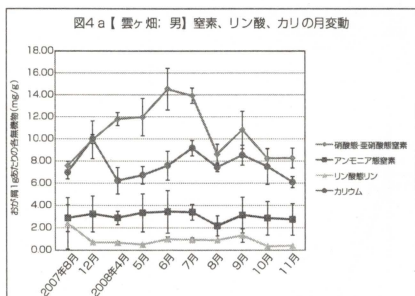


図 4a~f 雲ヶ畑バイオトイレの窒素、リン酸、カリ

○龍谷の森バイオトイレのおが屑の窒素、リン酸、カリの含量

おが屑中の無機物含量は亜硝酸態窒素が約0.15mg/gほど含まれていたが、2008年度はいずれの月においても測定不能であった。おが屑中の各無機物含量は昨年までと比べて低い値となった。これは2008年は一昨年・昨年よりも使用頻度が減少しているために、無機物の蓄積が行われなかったことが大きな原因と考えられる。生ゴミ堆肥1gあたり窒素20mg、リン10mg、カリウム10mgの標準には及ばず、堆肥としては不十分といえる。

○雲ヶ畑バイオトイレのおが屑の窒素、リン酸、カリの含量

おが屑中の無機物含量は硝酸態・亜硝酸態窒素は、男子トイレが平均10.57mg/g、女子トイレが平均0.75mg/g、リン酸態リンは順に0.92mg/g、5.49mg/gと男女で大きな違いがみられた。またカリウムは女子トイレで平均が10mg/gを超えており、これは生ゴミ堆肥に匹敵する含量といえる。

雲ヶ畑バイオトイレの無機物含量は使用頻度の少ない「龍谷の森」に比べて多いものの、男子トイレ、女子トイレのどちらも肥料の3要素である窒素・リン・カリウム全てに富んだ堆肥としては活用できる品質ではないといえる。堆肥として利用するのであれば、バイオトイレへの大便の投入量を増やす、すなわち使用人数を増やすこと（毎日、継続的に使用が望ましい）が必要であろう。

男子トイレで硝酸態・亜硝酸態窒素が 10.57 ± 0.8 mg/g含まれていたのに対し、女子トイレでは 0.75 ± 0.1 mg/gしか含まれていなかった。これは男子トイレは大便の使用が多く、女子トイレは小便のみが多いという利用形態の違いによるものと考えられる。

一方、アンモニア態窒素は男子トイレ 3.01 ± 0.1 mg/g、女子トイレ 3.46 ± 0.1 mg/gとほぼ同じレベルであったが、pHを比較すると男子トイレpH7.75、女子トイレpH8.03となり、女子トイレの方がアルカリ性に傾いていた。アルカリ性に傾く理由としては、女子トイレは男子トイレの小便も流入するため、小便に含まれる尿素がおが屑内の*Bacillus*属等の微生物により分解されて生じたアンモニアによるものである。

堆肥化で生じる硝酸態・亜硝酸態窒素は、糞便中に含まれる尿素が分解されて発生するアンモニアが、硝化菌（アンモニア酸化細菌）によって硝化されて出てくるもの

である。男子トイレでは無機態窒素量が13.58mg/gと他のバイオトイレに比べて多く、78%を硝酸態・亜硝酸態窒素が占めていた。一方、女子トイレでは無機態窒素量が4.21mg/gと低く、そのうち硝酸態・亜硝酸態窒素の割合が18%と男子トイレの1/4以下であった。

一方、リンとカリウムについては無機態窒素と異なり、女子トイレに多い傾向がみられた。これも女子トイレには男子トイレの小便と一緒に入るので、小便に含まれるミネラルとして女子トイレに多いのではないかと考えられる。

以上のように、バイオトイレの使用状況の違いによっておが屑の無機物含量が大きく異なることが明らかとなった。今回の調査結果から、利用頻度があまりにも低いバイオトイレでは、使用されたおが屑を堆肥として利用することは現実的ではないことが明らかである。したがって、バイオトイレの使用済みおが屑を堆肥として利用していくためには、一定数人数以上の利用者を確保する必要があると言える。

2-2 バイオトイレのおが屑堆肥の安全性評価試験

バイオトイレで使用したおが屑を堆肥として利用するには、安全な土壌還元できる資源となっていることが大切である。堆肥の安全性を総合的に評価するには、生育試験で判定することが一般的である。そこで2007年度の手順に従い、短期間かつ簡単にコンポストの安全性を評価できる栽培評価法¹¹⁾を用いた。

【結果と考察】

おが屑堆肥評価生育試験の結果は、表11と図5に纏めた。

重量で見ると、いずれのバイオトイレからのおが屑もコントロールとした水や腐葉土とほとんどやしの生育でみると差がなく、特に阻害的、あるいは促進的な物質が含まれているとは言えない。

また、根の成長について見ると、腐葉土には成長を促進するものが含まれていることがわかる。水を対照とすると、いずれのサンプルも阻害的ではないことがわかる。下胚軸の成長に対しては、腐葉土と「龍谷の森」バイオトイレのおが屑が促進的である他は、ほとんど差がないことがわかる。上胚軸の成長に対しては、下胚軸長の生育とは逆に「龍谷の森」バイオトイレのおが屑は抑制的に作用したが、その他のサンプルは促進的に働いた。葉の長さに対しても、同様な結果が得られた。

表11-1 おが肩堆肥評価のための生育試験

「龍谷の森」バイオトイレのおが肩

	発芽率 (%)	重量 (g)	根長 (cm)	上胚軸長 (cm)	下胚軸長 (cm)	葉長 (cm)
6月	100	0.50	7.61	4.14	10.64	2.78
7月	98	0.51	7.01	2.32	10.11	2.10
10月	98	0.46	6.73	1.90	8.97	1.95
12月	100	0.48	5.86	1.82	9.42	1.91
平均	99.0	0.49	6.80	2.55	9.79	2.19
標準偏差		0.01	0.36	0.54	0.37	0.20

雲ヶ畑バイオトイレのおが肩：男

	発芽率 (%)	重量 (g)	根長 (cm)	上胚軸長 (cm)	下胚軸長 (cm)	葉長 (cm)
4月	98	0.46	6.79	3.16	9.08	2.47
5月	100	0.53	7.53	3.05	9.05	2.46
6月	100	0.50	6.35	4.80	7.61	2.96
7月	100	0.50	7.06	3.35	7.51	2.40
8月	100	0.49	7.13	3.93	9.22	2.57
9月	100	0.46	6.84	3.53	9.52	2.52
10月	100	0.49	7.04	3.01	9.57	2.37
11月	100	0.57	7.62	2.43	10.71	2.28
平均	99.8	0.50	7.05	3.41	9.03	2.50
標準偏差		0.01	0.14	0.25	0.37	0.07

雲ヶ畑「龍谷の森」：女

	発芽率 (%)	重量 (g)	根長 (cm)	上胚軸長 (cm)	下胚軸長 (cm)	葉長 (cm)
4月	100	0.51	7.13	3.99	9.43	2.61
5月	100	0.50	6.63	2.96	8.97	2.38
6月	100	0.54	6.46	4.38	7.24	2.87
7月	98	0.49	5.96	3.00	7.53	2.43
8月	100	0.47	6.50	3.46	8.53	2.53
9月	100	0.49	7.06	3.74	10.05	2.53
10月	100	0.50	6.81	3.15	9.50	2.42
11月	100	0.54	5.56	2.02	9.54	1.97
平均	99.8	0.51	6.51	3.34	8.85	2.47
標準偏差		0.01	0.19	0.26	0.36	0.09

表11-2 堆肥評価のための生育試験比較

水

	発芽率 (%)	重量 (g)	根長 (cm)	上胚軸長 (cm)	下胚軸長 (cm)	葉長 (cm)
2008.07.07	98	0.47	7.94	3.78	10.23	2.67
2008.07.14	100	0.57	7.20	3.71	10.03	2.95
2008.07.21	98	0.53	6.70	3.49	9.65	2.39
2008.07.31	100	0.51	6.18	4.36	7.05	2.78
2008.08.06	97	0.48	6.38	3.54	7.22	2.40
2008.09.10	100	0.44	6.83	3.36	8.67	2.44
2008.10.02	100	0.45	5.86	3.54	9.29	2.32
2008.10.29	100	0.50	6.43	3.09	9.24	2.38
2008.11.26	100	0.53	6.50	2.20	10.05	2.06
2008.12.03	98	0.48	5.28	1.78	8.88	1.87
2008.12.15	100	0.49	5.75	1.83	9.04	1.98
平均	99.2	0.50	6.46	3.15	9.03	2.39
標準偏差		0.01	0.22	0.26	0.32	0.10

腐葉土

	発芽率 (%)	重量 (g)	根長 (cm)	上胚軸長 (cm)	下胚軸長 (cm)	葉長 (cm)
2008.07.07	100	0.51	8.53	4.47	1.37	3.03
2008.07.14	100	0.49	8.54	4.03	9.78	2.75
2008.07.21	100	0.51	6.91	2.96	9.17	2.41
2008.07.31	100	0.49	7.08	4.68	7.57	3.07
2008.08.06	100	0.50	7.77	3.81	8.12	2.69
2008.09.10	100	0.48	9.68	3.72	9.20	2.63
2008.10.02	100	0.48	9.57	3.94	9.80	2.62
2008.10.29	98	0.49	9.49	3.24	9.88	2.60
2008.11.26	98	0.52	8.44	2.45	10.40	2.38
2008.12.03	97	0.49	8.53	2.89	10.91	2.23
2008.12.15	98	0.45	8.88	2.05	8.93	2.09
平均	99.2	0.49	8.31	3.48	9.57	2.59
標準偏差		0.01	0.31	0.25	0.34	0.09

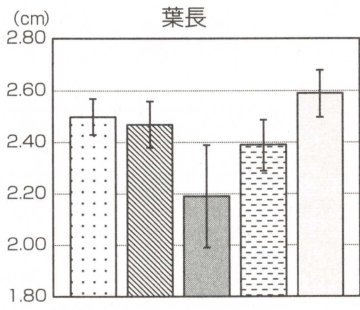
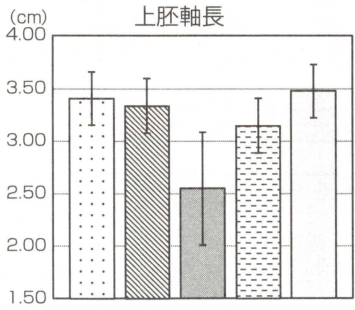
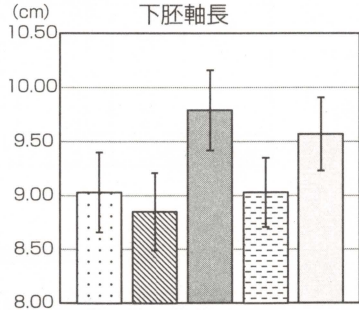
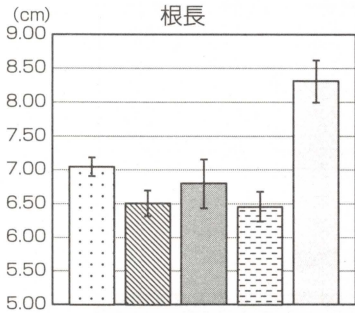
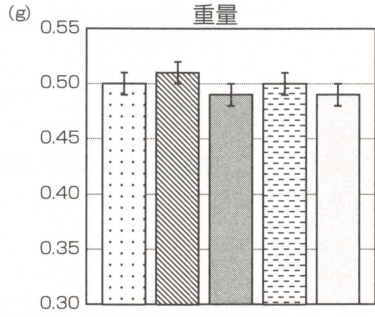
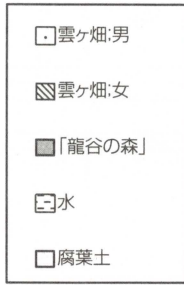


図5 生育試験結果の比較

バイオトイレとして使用頻度が低く無機物生産が乏しい「龍谷の森」バイオトイレのおが屑では阻害的な作用が見られるものの、利用頻度が比較的高くカリウムとリン酸が多かった雲ヶ畑バイオトイレのおが屑ではコントロールの水とほぼ同様か、それ以上の成長が見られた。

したがって、緑豆もやしを用いた堆肥の評価試験によって、雲ヶ畑バイオトイレのおが屑では男子トイレ・女子トイレともに生育を阻害する物質の存在がないことが示されたので、一応バイオトイレのおが屑を畑に入れて使用することは安全性には問題がないと考えられる。もちろん、使用する野菜による効果の違い等は、畑において栽培試験してみる他はないが、少なくとも植物の成長にとり阻害的な作用はないと考えられる。

まとめ

2004年から3年間にわたり、龍谷の森に設置されたバイオトイレの有効性について調査して来た^{13,14)}。今回の雲ヶ畑バイオトイレとの比較調査結果でもわかる通り、龍谷の森バイオトイレはその使用頻度が極めて低いためにバイオトイレとしての機能が十分に発揮出来る運転条件に達しているとは言えない。今後はバイオトイレの機能を発揮できる運転条件を維持するための使用条件の整備が大きな課題であると言える。

一方、比較的使用頻度が高い雲ヶ畑のバイオトイレでは、使用頻度が高いため好気的な槽内環境が作り出されており、「龍谷の森」バイオトイレと比較すると、雲ヶ畑バイオトイレでは腸内細菌科の割合が極めて低く、グラム陽性菌の割合が高かった。放線菌、酵母は検出されなかったが、*Bacillus*属、*Burkholderia*属など好気的条件下で生育する細菌の割合が高い結果が得られた。

今まで、バイオトイレの微生物に関する研究成果はほとんどなく、本研究により初めてバイオトイレ内に生息する微生物叢が明らかにされた。予想されたように、自然界に多く見られ高温でも生育が可能であるバチルス属細菌が多く見いだされた。この結果は、生ゴミ処理機で見いだされる微生物叢とよく似ていることは大変興味深い。

また、バイオトイレから出るおが屑が堆肥として有効であると宣伝されてはいるものの、今回の研究成果から初めて堆肥として使用するには不十分ではあるが、安全性に問題はなかったことが初めて明らかとなった。

したがって、「水を使わない」、「汲み取り不要」、「使用済みおが屑を堆肥として利用出

来る」等と宣伝されているバイオトイレの使用に関しては、有効に活用していくためには以下の諸条件を満たさないとその能力が十分には発揮されないとと言える。

- 1) バイオトイレの一定数以上の利用者の確保
- 2) バイオトイレの水分含量の調節
- 3) 温度管理などのメンテナンスの保証

バイオトイレは砂漠や高山、あるいは我が国のように水が使えない自然環境や社会環境では、確かに初期設備投資としては可能かもしれないが、その設置に要する費用が高すぎて今ひとつ普及が妨げられていることも事実である。したがって、将来的にはいかにバイオトイレの生産コストを下げるか（少なくとも現在の半分以下の価格設定が必要）が普及の鍵を握っている。もちろん、大量に生産することが出来れば価格も安くなると思われるが、我が国のように年間降水量が平均で2000ミリを超える雨水の利用が簡単にできる自然環境では、その普及は極めて制限されたものになることは致し方がないといえよう。バイオトイレは自然災害現場や無人の公園等での活用が主なものとなろう。

言うまでもなく、我が国では江戸時代から人間の尿尿を微生物の力で分解して、肥料として利用して来た長い歴史がある。戦前までは、このような生態系を利用した循環型廃棄物処理体系が中心であったが、戦後アメリカ軍の指導により非衛生的であるという考え方で過去半世紀以上にわたり上下水道の整備が進められてきた。しかしながら、大都市では95%以上の下水道が完備しているものの、いまだに全国的に見れば65%程度の下水道整備率であることを考えると、これからは建設費がかかる従来の下水道整備は困難となって来ている。更に、少子高齢化に伴い2005年から我が国の総人口の減少がみられることからわかるように、出来るだけエネルギーを消費しないで自然生態系を利用した廃棄物処理が求められている。

持続可能な社会の構築が求められているが、循環型低炭素社会を目指して微生物の力を効率よく利用するバイオトイレはその機能には学ぶべき点が多いものの、普及するには今のところあまりにも価格が高すぎるという点を指摘しておきたい。

謝辞

なお、本研究は京都女子大学食物栄養学科の横山佳子研究室との共同研究として取り組まれたものである。平成20年度の卒業研究として取り組まれた、前田香菜美さんと高井由美子さんに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 経済産業省HP：『通商白書2008』第3章第4節 p.347
http://www.meti.go.jp/report/tshuhaku2008/2008honbun_p/2008_15.pdf
- 2) 国土交通省HP： <http://www.mlit.go.jp/index.html>
- 3) 国土交通省土地・水資源局水資源部（2008）『日本の水資源〈平成20年版〉総合的水資源マネジメントへの転換』第Ⅱ編 p.57～60
- 4) 小西仁美（2007）「バイオトイレに関する研究」平成19年度京都女子大学食物栄養学科卒業論文
- 5) M. A.Lopez Zavala, N.Funamizu（2006）Design and operation of the bio-toilet system Water Sci. Technol. 53（9）p.55～61
- 6) 坂崎利一（1999）医学細菌同定の手びき<第3版> p.97 株式会社近代出版
- 7) 正和電工株式会社HP： <http://www.seiwa-denko.co.jp/eco.html>
- 8) 金子精一、曾根田正己、田代安司、館野つや子、中西載慶、一言広、渡邊昭宣、一戸正勝（2001）図解食品衛生学実験、p38、講談社
- 9) 岩田進午、喜田大三（1998）土の環境圏、pp.918～920、株式会社フジ・テクノシステム
- 10) 久馬一剛、佐久間敏雄、庄子貞雄、鈴木皓、服部勉、三土正則、和田光史（1993）土壌の辞典、p.14 p.273 p.44～45、株式会社朝倉書店
- 11) 高桑進（1998）迅速簡便なコンポスト腐熟度の新評価法、自然科学論叢、第30号 pp.37～41
- 12) 高橋甫、斎藤日向、手塚泰彦、水島昭二、山口英世（1999）微生物学（下）原書第5版、p.221
- 13) 高桑進、横山佳子、土屋和三（2007）バイオトイレの有効性に関する調査（中間報告）龍谷大学里山学・地域共生学オープン・リサーチ・センター2006年度年次報告書 pp.198-206
- 14) 高桑進、横山佳子、土屋和三（2008）バイオトイレの有効性に関する調査（中間報告2）一雲ヶ畑バイオトイレとの比較研究—龍谷大学里山学・地域共生学オープン・リサーチ・センター2007年度年次報告書 pp.165-188