

糖尿病患者等にみられる尿尿浄化槽の機能異常について

堤 充 紀 永 井 智*¹ 田中正二郎*²
沢 登 春 成 中 山 昭

On the Abnormal Fermenting Process in the Domestic Night Soil Digester
Especially Occurring in the Diabetic's

Mitsutoshi Tsutsumi, Satoshi Nagai, Shojiroh Tanaka,
Harushige Sawanobori and Akira Nakayama

下水道や尿尿浄化槽が広く普及していなかった時代には、糖尿病患者の存在を尿尿汲取業者が発見することも多かったといわれる。その特有の臭気や通常とは異なった腐敗状況から判断したものと思われる。汲取便槽においてみられたこのような異常は、単独尿尿浄化槽（浄化槽と略す）においても起こり¹⁾浄化槽の悪臭や排水に対する近隣からの苦情の大きな原因となっている。またこれに類した浄化槽の異常は必ずしも糖尿病患者に限らず、心臓病や高血圧症患者でもよくみられるが、普通の家庭の浄化槽でも観察されることがある。このような現象を起こしている浄化槽の大きな特徴は、その放流水のBOD濃度が260 mg/lという設計（標準）流入濃度²⁾を大幅に上廻ることがしばしばあることである。

しかしこのような糖尿者を中心とした浄化槽の機能異常については、その直接の原因はもとより、その浄化槽内で起こっている化学的・生物学的な現象についてもほとんどわかっていないので、その対策に関係者が苦慮しているところである。筆者らはこのような機能異常を起こしている浄化槽についてその実情を調査し、浄化槽内での有機物の分解過程について現象面での解析を試みるとともに、いくつかの対策を考えてみた。

調査および解析方法

浄化槽管理業者が機能が異常であると指摘した9基の浄化槽について、曝気槽のDO・pH、放流水のBOD・Cl等の水質分析を常法により行った。

浄化槽の機能の状況はBODの除去率で判断しなければならない。BODの除去率は通常、尿尿の1人1日当

りの原単位をBOD 13 g, Cl 5.5 g, 容積 1 lとして、浄化槽放流水のBOD・Cl濃度の実測値（[BOD], [Cl]各 mg/l）を使って、（1）式により近似的に求められる²⁾。

$$\text{BOD 除去率 (\%)} = \frac{13 - 5.5[\text{Cl}]/[\text{Cl}]}{13} \times 100 \quad (1)$$

しかし本調査の例ではこのBOD除去率は大部分のものが負の大きな値となり、その値の意味が具体的にとらえにくい。そこで新たに「標準希釈BOD濃度」という概念を設定して、より具体性をもたせた数値で比較検討することを試みた。

この標準希釈BOD（「濃度」は省略した）とは、その浄化槽に尿尿が設計²⁾どおり50倍に希釈（標準希釈と呼ぶ）されたのち流入して処理された（処理効率希釈倍数に依存しないとすると）と仮定したときの放流水のBOD濃度である。原単位法を使うと、この標準希釈によりすべての浄化槽の流入BOD濃度は260 mg/l（標準流入濃度と呼ぶ）となるから、放流水の標準希釈BOD濃度を260と比較することにより、BOD除去率が負となったものについても具体的な診断が可能となる。この標準希釈BOD濃度はClと容積の原単位を使って、BOD放流量(mg)は標準希釈の前後で変わらないとおいた式から求められる(2)式。

$$[\text{BOD}] \times 5,500 / [\text{Cl}] = \text{標準希釈 BOD} \times 50$$

$$\therefore \text{標準希釈 BOD (mg/l)} = 110 \times [\text{BOD}] / [\text{Cl}] \quad (2)$$

この場合除去率は(3)式となる。

$$\text{BOD 除去率} = (260 - \text{標準希釈 BOD}) / 260 \quad (3)$$

なおこの式から、放流水の排出基準 90 mg/l³⁾ (50人以下槽)は除去率65%に相当することがわかる。

*1 山梨県甲府保健所

*2 山梨県衛生検査センター

結果と考察

測定結果を標準希釈 BOD の高い槽から並べたのが表である。備考欄には家族の病名や服用中の薬種等を掲げ参考にした。

表から、No. 8 の放流水は BOD 排出基準を辛うじて満足していること、No. 7 と 9 は基準を越えているが標準希釈 BOD が 90 以下であることから、洗浄水を標準量使うことにより基準をクリアできることが予想できる。ところが No. 1～6 の槽は 50 倍希釈を行ったとしても、放流水の BOD 濃度が標準流入濃度の 2～10 倍もあることがわかる。また No. 1 b では BOD の 2/3 は汚泥に由来していたが、汙液 (5 A 汙紙) の標準希釈 BOD もなお 840 mg/l と標準流入濃度の 3 倍以上であった。

それではどのような理由で表に示された No. 1 から No. 6 の浄化槽のような、放流水の標準希釈 BOD が標準流入濃度を大幅に上廻る (機能異常と呼ぶ) ことが起こり得るのであろうか、大変興味深いところである。もちろんこれらの浄化槽については、構造の欠陥や使用上のあるいは維持管理面での手落ちは認められなかった。そこで機能異常と判断されることになった理由の一つとして、まず BOD 流入量の原単位からのずれが原因ではないかと考えなければならない。浄化槽内の滞留時間は長い (構造基準⁹⁾ から計算すると、分離接触曝気方式の場合 5 人槽 5 人使用で 4.6 日以上、7 人槽 7 人使用で 4.0 日以上、ただし水量を 50l/人日として) ので BOD 排出量の個体内の日々の差は無視できるものと考えられるが、排出量の個体差⁴⁾は無視できないと思われる。しかし流入量の測定は行っていないので、ここでは個体差を無視した原単位法で議論を進める。

すでに述べたようにこのような機能異常が糖尿病家庭によく見られるということから、グルコースそのものによる BOD 増加分を計算してみた。糖尿病によるグルコースの排出量は最大 20～30 g/人日といわれている (検尿紙の最大目盛りは 2% である) が、グルコース排出量を 20 g/人日としそれが BOD 測定時に完全酸化される (実際は 60%⁹⁾) ものと仮定すると、BOD は 21 g/人日増加しこの患者の BOD 全排出量はさきに述べた原単位の 2.6 倍に相当する 34 g/人日となる。しかし患者は家族のうち 1 名ということが多く、重篤な患者が在宅していることは少ないと考えられるので、家族全体で BOD 排出量が倍増するということはまれであろう。グルコースのほかにも糖尿者に特有な代謝物はいくつか知られているが、それらは量的にはわずかであり⁹⁾ BOD 増としてはきいてこないものと思われる。

なお浄化槽内での微生物による空気中の二酸化炭素を使った化学合成による BOD 増も、可能性としては完全

には否定できないが現実的には考えにくい。〔公海山〕

このように原単位を使った単純な議論からは、標準希釈 BOD が標準流入濃度の数倍になるという現象は説明できない。そこで浄化槽内での物質収支を検討してみた。ところがこのような状況下での物質収支を論ずる場合、BOD は何の役にも立たないことが明らかである。なぜならば、BOD は生物化学的な反応の中間段階を測定しているものであるのに加え、通常は BOD として測定されない物質が浄化槽内で微生物作用により BOD として測定される物質に変化している可能性が考えられるからである。表の結果はそのことを示唆しているし、桜井が示した唯一の糖尿病による浄化槽異常の報告例¹⁾ の BOD 2,125 mg/l (標準希釈 BOD に換算すると 863 mg/l) もそれを暗示している。それゆえ浄化槽内での物質収支は BOD ではなくて、完全な生物分解に必要な酸素量で検討しなければならない。

さて尿中の有機物 (ここでは CHN に限定して考える) はトイレトペーパーも含めてほとんどすべて生物分解が可能を考えてよいから、好気的条件下では最終的にはすべての CHN は $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{NO}_3^-$ に酸化されるはずである。この全過程に必要なとする酸素量を仮に総酸素要求量 (GOD) と名づけると、GOD は従来使われている理論的酸素要求量 (ThOD; CHN が CO_2 , H_2O , NH_3 となるとした場合の酸素量⁹⁾) に NH_3 を酸化するに要する酸素要求量 (OD) を加算したものになる。

$$\text{GOD} = \text{ThOD} + \text{OD} (\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O})$$

生体を構成するようなほとんどの有機化合物の ThOD は COD (Cr) にほぼ等しく⁹⁾、尿尿の COD (Cr) は BOD の約 3 倍といわれている^{7,8)} ので、尿尿に関してはそれらの間に

$$\text{ThOD} \approx \text{COD}(\text{Cr}) \approx 3 \times \text{BOD}$$

の関係が成り立つ。それゆえ尿尿の GOD 原単位は BOD の原単位の 3 倍に通常は BOD としては測定されがたい⁹⁾ NH_3 の完全酸化のための OD を加えればよい。

$$\text{GOD} \approx 3 \times \text{BOD} + \text{OD} (\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O})$$

また N による OD は硝化反応が次の式に従うとすると、 $\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$
N 1 g 当り O_2 4.57 g であるから、尿尿の N 原単位を 5 g/人日^{7,10)} (表の No. 1 a での実測値は 4.9 g/人日) とすれば、N による GOD 原単位は 23 g/人日となる。

また N と同様に BOD としては測定されないセルロース⁹⁾ も、トイレトペーパー使用量を平均 6 g/人日¹⁰⁾ (4～40 g/人日¹¹⁾) とし、セルロース 100% とするとその GOD は 7 g/人日となり、標準希釈濃度では 140 mg/l に相当するが、この値は尿尿の COD (Cr) の実測値の中には含まれているものと思われる。

第 1 段階
〔加水分解〕

第 2 段階
〔酸生成〕

第 3 段階
〔メタン生成〕

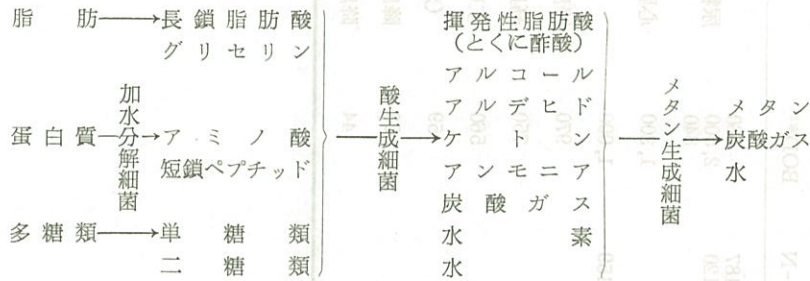


図 嫌気性消化の 3 段階¹²⁾

このように計算すると尿尿の GOD 原単位は、もともとの BOD によるもの 13 g, BOD としては測定されないが COD (Cr) としては測定されるもの 26 g, N の酸化に起因するもの 23 g の合計 62 g/人日となり、前記の糖尿者ではさらに 21 g 加算されて 83 g/人日となる。これを標準希釈 BOD 濃度で表わすとそれぞれ 1,240, 1,660 mg/l となる。

ところで尿尿の嫌気性分解は図のような複数の過程がある程度平衡を保ちながら進行するものである^{12,13)}。しかしこれらの過程は、それぞれ特有の細菌が関与するものであるため、微妙な環境の変化によりその平衡性がくずれて第 2 段階 (液化) で停止し、有機酸の蓄積が起こることも良く知られている^{4,12,13)}。そのような場合には、本来は BOD としては測定されない⁹⁾ 繊維・不消化物・腸内細菌叢などの高分子化合物が低分子化 (液化) して、BOD 可測定性物質に変化し蓄積するものと考えられる。このような状況のもとで尿尿が完全に BOD 可測定性物質に変化してそのまま放流されたならば、糖尿病患者でなくとも標準希釈 BOD が 1,200 mg/l というようなことが十分起こりうる計算になる。そしてその時には、pH も同時に低下して有機酸の蓄積を示すであろう。

本調査の No. 1b, 2, 3, 4 がまさしくその例と考えられ、DO は構造基準⁹⁾ (おおよそ 0.3 mg/l 以上) すれすれの低値であり、標準希釈 BOD は標準流入濃度を大幅に越え、pH も 4.2~5.0 に低下している。これは曝気槽の DO 濃度が、汚泥の膨化や腐敗による障害を避けるため望ましいといわれる 0.5 mg/l⁴⁾ を下廻っていること、また分離方式の場合にはさらに前段の沈澱分離室での嫌気状態の持続と重なったことにより、嫌気性消化が進んだ結果と思われる、ただしこの場合の嫌気性消化も図の第 3 段階 (ガス化=BOD 低下) の欠けた異常発酵である。

しかしこのような浄化槽の機能異常は、必ずしも曝気槽の低 DO だけが原因ではないことは表 1 の No. 5, 6 の例を見れば明らかである。この 2 槽の場合 DO は十分存在するが、放流水の標準希釈 BOD は標準流入濃度の 2~3 倍である。このうち No. 6 については pH も低いため、沈澱分離室での異常発酵が疑われるが、No. 5 (全曝気式) についてはさらに詳しく調査しなければ、DO・pH がともに正常であっても標準希釈 BOD が高いという現象の解釈は困難である。

なお尿尿の嫌気性消化は古くから行なわれて来た尿尿処理の方法の 1 つであるが、その処理の過程での BOD 変化に関する報告はほとんど見当たらない。ただ 1 つ手塚による、35°C 5 日間の消化により尿尿から有機酸が生成し BOD 源となるという報告¹⁴⁾がある程度である。それゆえ上に述べた GOD ないし ThOD を基礎として、嫌気的条件下では尿尿の BOD の増加が起こり得るといふ考察は実験の裏付けが必要であろう。

これらのことを総合すると、表の No. 1b, 2, 3, 4, 6 の浄化槽については、DO が低いとか沈澱分離室での滞留時間が長すぎるとかの理由で嫌気性消化が進んだが、何らかの理由でガス化が抑制されたため、浄化槽内の BOD 量が増加したものと考えられた。この何らかの理由というのは、ガス化過程で働くメタン菌は pH・有機酸濃度などの環境条件に敏感¹⁴⁾であり、至適 pH は 7.0~7.5 であるといわれる⁴⁾ ことから pH・有機酸濃度・緩衝能が相互に影響しあってメタン菌の増殖を抑制したものと考えられるし、あるいは逆に、酸生成菌が活発で有機酸の生成がす早すぎて pH が低下したため、メタン菌が増殖できないということも考えられる。また BOD の測定時に 2 mg/l という低濃度の N-アールチオ尿素を添加することにより硝化バクテリアの増殖を抑制できる⁹⁾ という事実からも、糖尿病とか循環器系疾患による微量代謝物や服用薬やその代謝物が、酸生成菌とかメタ

表 尿尿浄化槽水質検査結果

(mg/l)

No.	設置者区分	*1 構造 人数/人槽	採水日	曝 気 槽		放 流 水				標準希釈 BOD*3	備 考
				水温	DO	pH	BOD	SS	Cl		
1	a b c 櫛形町A	4 / 7	60.11.29	.07	7.2	1,100	330	210	187	580	尿糖 1名
			61.1.28 (同之飯)	.33	4.2	4,800 1,600	210	120	2,500 840		
2	櫛形町B	3 / 7	61.2.26	.28	5.0	1,710	263	145		1,300	心臓病
3	若草町	5 / 7	60.11.29	.41	4.5	3,100	240	330	159	1,000	
4	国母三	2 / 5	61.1.29	.29	4.6	880	220	100		970	降圧剤
5	音羽町	3 / 7	61.1.29	4.1	7.1	610	445	90		750	高血圧糖尿
6	塩部三	8 / 16	61.2.26	6.8	5.7	167	39	32**		560	すい臓薬
7	飯田五	2 / 5	61.2.26	6.3	8.3	179	267	335		59	(対照)
8	櫛形町C	5 / 7	61.2.26	6.1	7.7	90	150	186		53	降圧剤 2名
9	櫛形町D	6 / 8	61.2.26	6.1	7.9	117	330	294		44	降圧剤

* 1 分：分離接触曝気方式， 全：旧構造基準による全曝気方式

* 2 水道開放による低値

* 3 尿尿を50倍希釈したと仮定した時の放流水の BOD 濃度

ン菌に作用を与えて異常発酵となった可能性もある。

〔882〕 頁18-20 号33 解字得公濟業山

謝 辞

ま と め

1. 浄化槽の機能を診断する際に放流水の標準希釈 BOD 濃度を求めて、流入流出濃度の比較による検討を行った。

2. 尿尿の BOD 原単位が 13 g/人日 のとき、尿尿中の CHN を完全に酸化するのに要する酸素量 (GOD) は約 62 g/人日 (BOD の 4.8 倍) である。したがって浄化槽放流水の標準希釈 BOD が、標準流入濃度 (260 mg/l) の数倍となることは理論的に起こり得ることである。

3. 本報告で述べた浄化槽の機能異常は、BOD 除去率が負の大きい値となる現象であり、液化とガス化の速度のバランスのくずれた (液化 > ガス化) 嫌気性の異常発酵に起因すると考えられた。このような異常発酵はどの浄化槽においても起こりうるものであるが、糖尿病等による代謝物などが引き金となる可能性については今後の検討が必要である。

対 策

今まで述べてきたことから次のような対策が考えられる。

- もし浄化槽の容量に余裕がある場合は、希釈水 (洗浄水) の使用量を多くする。その目的は、
 - 分離方式の場合沈殿分離室での滞留時間を短かくし嫌気性発酵をおさえる。
 - 異常発酵や排出量の個体増による BOD 濃度増加を軽減する。
 - 異常発酵の原因物質 (もしあるとするならば) の濃度を減少させる。
- トイレトペーパーも BOD 源となるので、使用量を減ずる。一般浄化槽でのこの効果はすでに知られている¹⁶⁾。
- 曝気槽の DO は 0.5 mg/l 以上に保つ。
- pH が低下したものについては、CaCO₃ などにより中性付近 (pH 6 ~ 8) に保つ。
- 合併浄化槽とし、まだ不明である原因の効果を減ずる。

本研究は下記の方々の御協力によりなされたものであり、ここに記載して感謝の意を表します。

甲府保健所：河西義信氏，渡辺佳春氏
小笠原保健所：渡辺 操氏，吉田光宏氏，

文 献

- 1) 桜井敏郎：し尿浄化槽ハンドブック (大野茂監) 71, 産業用水調査会 (1981)
- 2) 日本建築センター：尿尿浄化槽の構造基準・同解説 358~361 (1980)
- 3) 建設省：昭和55年告示第1292号
- 4) 桜井敏郎：し尿処理施設の機能と管理 (大野茂監) 19~29, 50 産業用水調査会 (1975)
- 5) 徳平 淳, 宇井 純, 市川 新, 近藤準子：用水と廃水, 12 (2), 90~99 (1970)
- 6) 水野美淳：糖尿病, 診療の実際, 31 医学図書出版 (1976)
- 7) 千種 薫, 竹本 裕, 竹中君徳：用水廃水ハンドブック (3), 838~847 産業用水調査会 (1979)
- 8) 早川 登, 千種 薫, 竹本 裕：第17回水質汚濁学会講演集, 71, (1983)
- 9) 日本薬学会編：衛生試験法・注解, 818~819 金原出版 (1980)
- 10) 宮之原隆：し尿処理施設の機能と管理 (大野茂監) 42~60 産業用水調査会 (1975)
- 11) 早川 登：用水廃水ハンドブック (2), 887 産業用水調査会 (1973)
- 12) 須藤隆一：廃水処理の生物学, 443~442 産業用水調査会 (1977)
- 13) 松本順一郎, 遠藤郁夫：衛生工学ハンドブック, 650~665 朝倉書店 (1970)
- 14) 手塚泰彦：用水と廃水, 6, 297~300 (1964)
- 15) JIS K 0102：工場排水試験方法, 49 (1986)
- 16) 大野 茂：し尿浄化槽ハンドブック, 6 産業用水調査会 (1981)