

水のあと始末から資源化まで ～トイレから見た世界～

21世紀水倶楽部 亀田 泰武 2016.9.29

水の汚れ
生活と下水
病原菌と下水道
活性汚泥法の誕生
下水処理
雨水と汚水
富栄養化
資源化
今後の課題

水質悪化の原因

- 有害物質によるもの 毒性
酸性排水、メッキ排水など
- 病原性微生物によるもの 疾病
ノロウイルス、クリプトスポリジウムなど
- 有機物質によるもの 酸欠
家庭排水
- 栄養塩類によるもの 富栄養化
家庭下水、畜産排水

水の汚れは有機物

- 有機物があると微生物が活動してこれを利用
- それに伴って水中の酸素を使ってしまう
- 酸素を使い切ると生物が死んでしまう
- 嫌気状態になって硫化水素など発生
- 1 g の有機物を分解するのに 1 g の酸素を消費
- 酸素は 1 m³ に最大 10 g しか溶けない

有機物とは

- 有機物とは、炭素を含む化合物の中で、炭素と酸素からなるもの（一酸化炭素や二酸化炭素以外）をいう。有機物には、生物体内で作られる炭水化物、脂肪、蛋白質等のほか、無数の人工的に合成された有機化合物がある。

水質用語 Weblio辞書

- ここでは生物によって分解可能なものを有機物と考える。 石炭は有機物としない

栄養摂取量

国民栄養調査より	2013年	1 8 8 7 k c a l
炭水化物	2 6 1 g	$\times 4 = 1 0 4 4 k c a l$
タンパク質	7 0 g	$\times 4 = 2 8 0 k c a l$
脂肪	5 4 g	$\times 9 = 4 8 6 k c a l$
		2 0 才以上

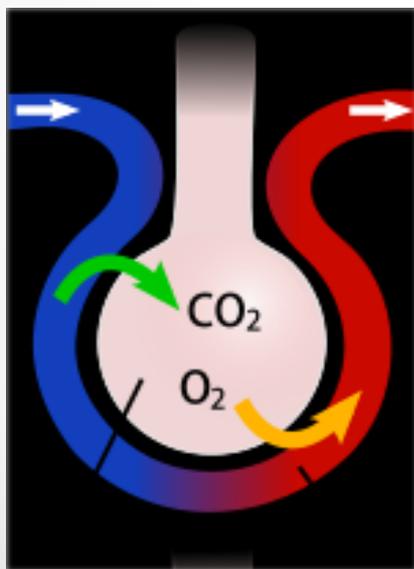
2 0 0 0 k c a l とすると

酸素 1 g の燃焼によって 4 k c a l の熱を出すと考えると人の一日の酸素消費量は約 5 0 0 g

日本人の一日の酸素消費量 2 2 0 0 0 g 4 4 倍
化石燃料等による

人の呼吸

- 吐く息の酸素濃度は16%（体積比）くらい
- 21%－16%の5%程度を取り込む
- 空気から酸素を取り込むのは肺筋
- 肺筋の数 2.5～7.5億個
面積 70m² 成人の場合



肺筋 大きさ 0.1～0.2mm
ウィキペディアから

人の実例

- 人の1日に取る食べ物のBOD量500g
- 1日の汚れBOD58gのうち、屎尿18g、台所、洗濯など40gくらい
- トイレトペーパーもあるので15gとすると
- 人のBOD除去率は97%となる

栄養吸収をする小腸の面積は200m²も。

腸内細菌 1.5kg

1立方メートル中の酸素

空気	1.2kgの約23%(重量比)	280g
水	1000kgの1/1000000	10g

同じ容積で空気が28倍

水に溶ける酸素の量

0°C	14.2mg/l
10°C	10.9mg/l
20°C	8.8mg/l
30°C	7.5mg/l

大気中の酸素量 1.2×10^{15} 乗トン
70億人で割ると 17万トン/人
日本人の酸素消費 年間8トン/人

下水処理

- 汚水の汚れBOD $200 \text{ mg} / \text{l}$ 程度
 $58 \text{ g} / 250 \text{ リットル}$?
- 処理水 $10 \text{ mg} / \text{l}$ 程度
- きれいな川 $1 \text{ mg} / \text{l}$ AA
- 魚の住める限度 $10 \text{ mg} / \text{l}$ E

- 埼玉県の流域下水道
 - 流入水BOD $160 \text{ mg} / \text{l}$
 - 処理水BOD $4 \text{ mg} / \text{l}$

病原菌と下水道

ヨーロッパで下水道整備促進の大きな推進力であったのが伝染病に対する恐怖でした。水系の伝染病であるコレラ、赤痢などつい最近まで大きな問題でしたし、(世界の大半では依然として大きな問題です。地球上のコレラ感染者は減ってきてはいますが年間20~30万人。(もっと多いという話もある)生活排水の処理が少しでもいいかげんになると汚染された水から復活してくるのです。

抗生物質耐性のある黄色ブドウ球菌が最近問題になっています。通常の人には感染してもだいたい軽い症状ですみますが、高齢者、幼児、感染者など免疫力の弱い人に重い症状になります。水系伝染病でも同様のクリプトスポリジウムがいます。

水系伝染病は医学の進歩、適正な下水処理、上水道の整備によって今は小さくなっていますが、排水処理がいいかげんにならないよう充分注意していかなければなりません。

欧州のコレラ流行

19世紀初頭からコレラが蔓延 1817年カルカッタ
日本 1822年に上陸 西日本へ 死者数は諸説
1879年と1886年の流行で10万人を超えた。
1867年 大政奉還 関所の効用？

1830年 ペテルスベルグ上陸
1831年 14日の**停船命令**を出していた英国に上陸
1832年 フランス上陸 パリでは1.8万人が死亡 5人に1
人
ロンドンの死者数 1849年 1.8万人 1854年 2万人
1892年 ハンブルグで大流行

19世紀当時の学説

- ・接触伝染説 細菌伝染説 少数派であった
2週間の停船命令が効かなかったこと、下層階級の居住地の流行がひどかったことがマイナスに
- ・非接触伝染説 淀んで腐った水、湿地などが発するミアズマ「毒気」
こちらが有力で、欧州の下水道建設の原動力となった ペッテンコーフェルはこれに近い
 伝染質が地域状態によって機能する
 ミュンヘンで下水道整備によって腸チフスの発生が激減

徐々に説明が進んだ

1850年代

ロンドンの開業医 ジョンスノウが取水口がテムズ川上流だったり、適切にろ過されたりした給水区域にコレラ患者が少ないことを見だし、汚染された水の使用がコレラ流行の原因とした

1884年 コッホがコレラ菌発見

1892年 下水道が整備されたハンブルグでコレラが大流行
浄水場の重要性が確認された

森鷗外 1884年 ドイツへ
 1886年 ペッテンコーフェル教授に師事
 1887年 コッホ教授に師事

ハンブルグ市庁舎中庭



コレラ大流行により多くの死者を出した後、水道システムの改善により、流行を終焉させたことを記念し、いつまでも記憶に残るように造られた。巨大な庁舎を建てるほど大きな繁栄を謳歌しているこの時代に一方で多数の死者が出る感染症が大流行していた。

19世紀に全世界でコレラの大流行が頻発。1884年にはドイツの細菌学者ロベルト・コッホによってコレラ菌が発見された。しかし、その後、日清戦争の始まる2年前の1892年8月にハンブルグで突如コレラの流行が始まり、たった数週間の中に8千人が死亡した。ただ、ハンブルグの下流に隣接するアルトナではほとんどコレラ患者は発生しなかった。ハンブルグ、アルトナはともに上水道の原水はエルベ川だった。アルトナでは都市の前を流れるエルベ川を上水道の原水にしていたが、1859年以来すべての原水を緩速ろ過して給水していた。これに対してハンブルグ市水道の取水口は4.5Km上流だったのに、原水を短時間沈殿させるだけで給水していた。緩速ろ過が単に原水から濁りを除去するだけでなく、細かい浮遊物に付着しているコレラ菌も除去することにより細菌除去作用のあることが示された。

活性汚泥法はどのように誕生したか 1

- 19世紀後半頃 人口の都市集中がおこり、環境衛生上、下水処理の研究開発が急がれていた。コレラ流行による多数の死者
下水に空気を吹き込むと有機物が減り、しだいにきれいになることはわかっていたが、
ろ過など物理化学処理の研究の方が盛んだった。
- 空気吹き込みで生ずる浮遊性の沈殿物が生物処理を促進する上で重要らしい。
アンガス・スミス 1892年、マザー、プラッツ 1893年 など
- 空気吹き込み槽と沈殿池を直列につなげて鉄凝集剤と微生物を入れた実験。
ローレンス研究所 米国 基本的に今と同じだが返送汚泥がなかった。
- 1912年にローレンス研究所を訪問した
フォーラーが英国に帰って浮遊性の生物を利用する研究を始めた。

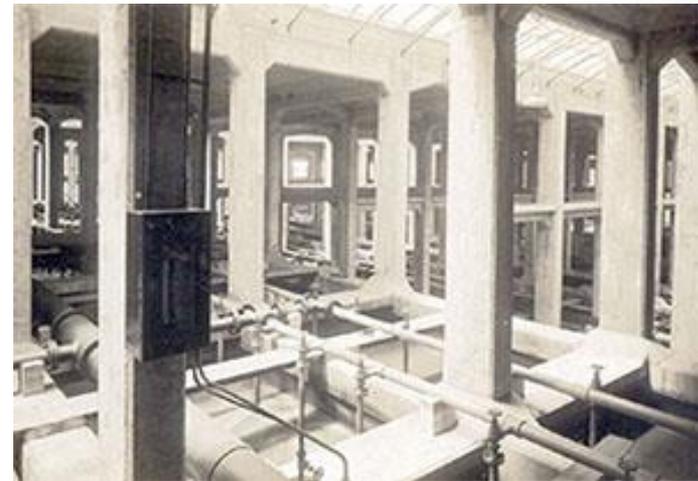
活性汚泥法はどのように誕生したか 2

○1914年 アーダンとロケット(フォーラーの弟子)が
空気吹き込み後の水槽に沈んだ汚泥を貯めて次の処理に使うことを見つけた。
第一次大戦1914-1918

活性汚泥法の誕生

○1914年 イギリスのサルフォードで日量300m³のプラントができた。
その後続々と建設

○1930年 日本で名古屋市の堀留下水処理場が運転開始



堀留下水処理場 市街地の中にあつたため、独自の工夫で覆蓋設置

活性汚泥法のポイント

○川など自然の環境と同じく汚れを浄化する土壌微生物を利用している。

○微生物のかたまりは沈むので、沈殿池で泥として水と分離する。

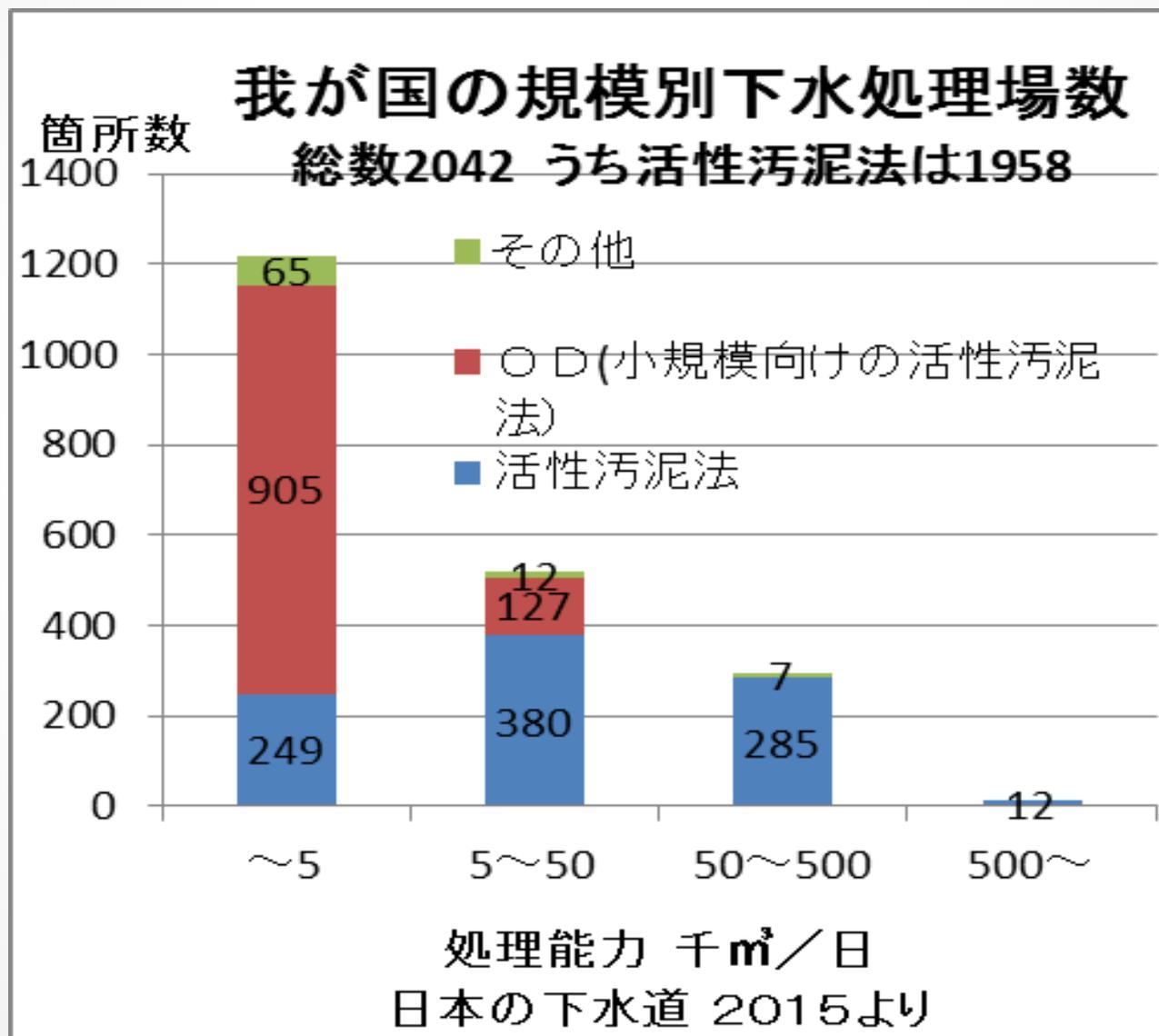
○活性汚泥(水を浄化する微生物を大量に含んだ泥)を循環させることにより、

微生物を高濃度に保ち、浄化効率を極度に上げている。

汚れ(有機物)がなくなるのが、自然界では数日かかるのを下水処理場では数時間に短縮。

○活性汚泥の呼吸のため、大量の空気を送り込んでいる。下水量の3～7倍が多い

下水処理場数



一家庭（3人程度）当たりで考える

●処理施設の大きさ 単位：m³

	最初沈殿池	生物反応槽	最終沈殿池	合計
標準活性汚泥	0.06	0.24	0.1	0.4
オキシデーション ディッチOD	—	1.34	0.16	1.5

●生物反応槽空気量 5m³/日程度

●活性汚泥の量は

36リットル程度 乾燥重量で 0.36kg

●摂取する量 BOD換算

一家庭(食物)1500g/日 活性汚泥105g/日(3割沈殿後)

成人1人当たり 腸内細菌 1.5kg 小腸延長 6m 面積 200m² 心臓血液流量 7200リットル/日 腎臓の血液処理 1700リットル/日

汚水量と雨水量の関係

汚水量

地域によって異なるが常識的には
一人時間最大汚水量 × 人口密度

$$800\text{L}/\text{日} \times 80\text{人}/\text{ha} = 64000\text{L}/\text{ha}\cdot\text{日}$$

これは0.27mm/時間

年間にすると

$$300\text{L}/\text{日} \times 80\text{人}/\text{ha} = 24000\text{L}/\text{ha}\cdot\text{日}$$

これは880mm/年

雨水量

降雨強度(5年) × 流出率

$$50\text{mm}/\text{時間} \times 0.5 = 25\text{mm}/\text{時間}$$

年間では

$$1500\text{mm} \times 0.5 = 750\text{mm}/\text{年}$$

1:100

1:1

合流式下水道の面積比率

H14 推定含む	処理区域面積	供用都市数
全国	11800km ²	2253
うち合流式	2300km ²	192
比率	20%	8.5%

感染症を引き起こす水系病原微生物

□ クリプトスポリジウム、ジアルジア

- 下痢を起こす病原原虫、塩素耐性が高い
- 人畜共通感染症

□ レジオネラ

- 日和見感染症、吸引すると肺炎を引き起こす
- エアコンの冷却塔、温泉でのアウトブレイク

□ 腸管系ウイルス

- アデノウイルス、アストロウイルス、ノロウイルス、エンテロウイルス、A型肝炎ウイルス、E型肝炎ウイルス、ロタウイルス

多くは致死的でない

日和見感染症 - 免疫の働きが低下している時に、健康な人では感染しない、病原性の弱い微生物に感染すること。ニューモシスチス肺炎(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌(MRSA))、**帯状疱疹**など

ノロウイルスの特徴

- 1 ウイルス下痢症の因子として最も多い
- 2 冬に発症が多い
- 3 致死率は非常に低い
- 4 培養できないので研究しにくい
- 5 抗生物質が効かない
- 6 ヒトの体内で増加したのち排出、環境中で生き延びて、ごく一部がヒトの口に入る
- 7 5から10個の少量でも感染。潜伏期間 33時間前後
- 8 感染路は複雑になっている
- 9 加熱や消毒で死滅する
- 10 比較的塩素に強い(下水処理場の塩素消毒、上水道の塩素消毒をすり抜ける)

病原菌と下水処理

活性汚泥による摂取や微小固形物の沈殿除去によって病原微生物の9割から99%は除去される。

問題

●クリプトスポリジウム オーシストという固い殻に入って宿主から排出され、微生物の攻撃、塩素消毒に耐える

沈殿処理、浄水場の沈殿濾過

●ノロウイルス 合流式下水道の改善

生活排水と富栄養化

1日1人当たりの排出量

項目	し尿	雑排水	合計
BOD	1.8 g	4.0 g	5.8 g
窒素	9 g	3 g	12 g
リン	0.9 g	0.4 g	1.3 g

標準的な 下水処理除去率

BOD 95% 窒素 40~60% リン60~70%

下水処理場富栄養化対策

リン除去： 浄水場で使われる凝集剤を添加することにより、リンを不溶化・吸着させ9割以上除去できる

窒素除去： 硝酸イオンまで酸化分解し、活性汚泥をうまく使って、窒素ガスに変えて除去。改良により9割程度まで除去できる。

標準的な下水処理水質

T-N 25mg/l T-P 1.2mg/l

滋賀県湖南中部浄化センターの高度処理

T-N 5mg/l T-P 0.05mg/l

* 東京湾の課題 ○残された干潟に元気がない



羽田空港脇の干潟
生物が異常に少ない
昔は潮干狩りの名所

干潟見学会 多摩川河口干潟
2008/08/02

シオフキにくっついて
いる小アサリ 多くのシオフキ
に小さいアサリが糸を出し
てくっついてた。けっこ
うしっかりした糸で、潮で
流されないようにするた
めらしい。



* 東京湾の課題 2

○水温上昇

多摩川流域の都の水再生センターの水温が過去30年に約5度上がっている。

熱帯性外来生物の増殖

下水処理場放流水の温度変化

2010/10 多摩川シンポジウム 東京都資料

○お台場などのノロウイルス

下水中のノロウイルスは、冬に夏の濃度の100倍以上高い。

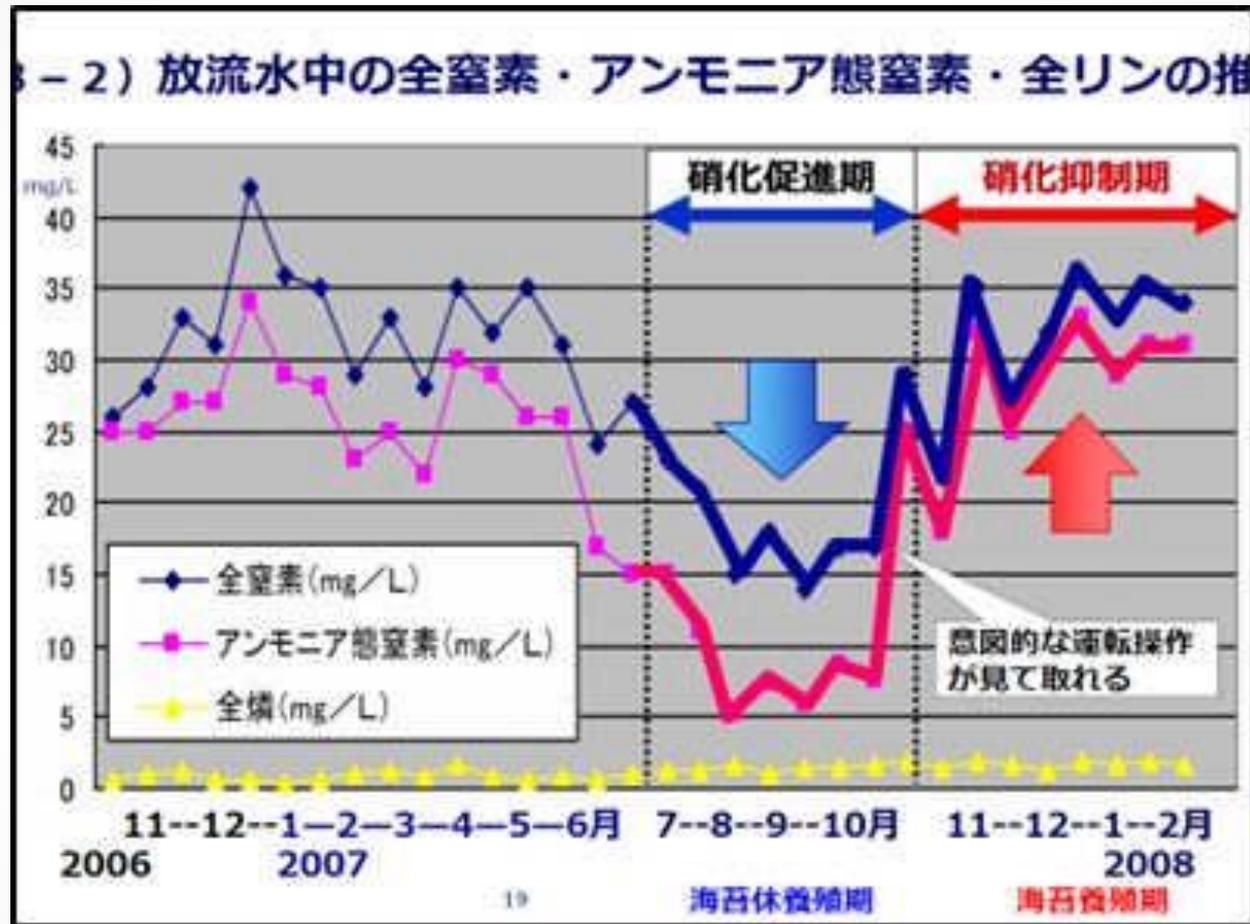
二次処理における除去率は99%－99.9%と高い

東京湾内湾では降雨後数日間感染リスクが高くなる

研究集会 病原性微生物研究の今 2014/12/16

－活性汚泥法誕生百年記念－

佐賀市 処理水中の窒素



2013.11.21研究集会 佐賀市資料から
大牟田市も実施している

発生する汚泥の処理

下水処理から発生する泥は一人一日4kg程度もあり、その99%は水。固形分は40gくらい。有機物なので潜在エネルギーの価値はある。汚泥の処理施設の運転管理と最終処分が一番大変な業務。

濃縮工程	固形分1%を3%くらいに。4kgが1.3kgに
消化工程	汚泥を発酵させる。有機分の相当部分がメタンガスに
脱水工程	機械で絞る。固形分3%くらいを20%くらいに 0.2kg
焼却工程	有機分が燃えてなくなる 12g程度

エネルギー利用

嫌気性消化とは

嫌気性消化とは、酸素の存在しない(嫌気性)条件下で行われる有機物の生物分解をいう。

汚泥中の有機物は、嫌気性細菌の働きにより**酸性発酵期**、**酸性減退期**、および**アルカリ発酵期**を経て分解される。

酸性期には汚泥中のセルロースを含む炭水化物、タンパク質、脂肪などの高分子有機物を酸生成菌の働きで、酢酸、プロピオン酸、酪酸などの揮発性有機酸と低級アルコール類に加水分解する。pHは発酵期には5～6まで低下するが、減退期には6.8程度まで上昇する。

次いでアルカリ期には**メタン生成菌**の作用で有機酸などの中間生成物が**メタン**、**二酸化炭素**、**アンモニア**などの最終生成物へと分解される。pHは7.0～7.4程度となる。

消化温度を30～35℃とし適切な消化日数(汚泥の消化タンクでの滞留日数)をとれば、汚泥中の有機物の40～60%が液化・ガス化により減少する。

佐賀市堆肥化プラント

臭いの克服が大問題であった。様々な工夫で改善

コンポスト堆肥は下水汚泥の負のイメージがあり、なかなか使ってもらえなかった。公民館に配ったり、コスモスまつりのイベントに持って行ったり、それとNPO 循環型環境・農業の会のゴミ研による講習会でPR。

麦に使ってもらったところ、はじめ化学肥料も入っていたため、倒れてしまった。その後、堆肥のみでものすごく良くなった。

堆肥使用によりアスパラガスの出荷が10日早まった
イチゴの糖度が11から13度に上昇し、うまみが増した。

大根も大きく

宮古島に100トン送られ、マンゴーに使用

農業の勉強会を実施し、堆肥の使い方を指導している。