

# 生ゴミと下水汚泥の混合消化に関する研究

江口芳夫、梨田実、石川精一、門上希和夫、下原悦子

第12回アクア研究発表会(北九州市)

平成17年8月

## 1. はじめに

ゴミの資源化、減量化の取り組みが進む中でも、生ゴミは含水率が高く腐敗しやすいなどの性質を持ち、焼却処理においても自然温度を下げダイオキシンの発生の可能性を高めるなど、最も取り扱いにくいものの一つである。そこで、最近、生ゴミの処理法として、メタン発酵による処理が、注目されるようになってきた。ゴミの減量化だけでなく、発生するメタンによるエネルギー回収によって、地球温暖化対策にも寄与できるからである<sup>1)</sup>。

家庭からの生ゴミを有効利用する場合の最初の困難は、排出場所が無数に散在しているため分別収集しにくいことである。一方、事業系生ゴミは、その点で比較的取り組みやすく、中でも北九州市中央卸売市場からの生ゴミは、排出場所が集中しており収集がしやすく分別の協力が比較的得やすいと思われる。しかも、中央卸売市場は、消化槽を有する日明浄化センターに隣接している。そこで、中央卸売市場からの生ゴミを対象にして、現有の浄化センターの施設を利用することを想定して、下水汚泥との混合消化の可能性を検討することにした。

## 2. 北九州市中央卸売市場における生ゴミ調査

### 2.1. 中央卸売市場の概要

北九州市中央卸売市場は、小倉北区西港町 94-9 に位置し、日明浄化センター及びゴミ焼却工場と隣接して立地しており、北九州市経済文化局が管理し、水産及び青果物を取り扱っている。平成 14 年度の取扱量は、青果物、水産物それぞれ 173,854 トン (35,273 百万円)、49,925 トン (34,336 百万円) であった。

### 2.2. 生ゴミ調査方法

生ゴミは、主として青果物棟から排出され、市場敷地内の一角にあるゴミ集積場に集められ、環境局ゴミ焼却工場へ搬出される。ゴミ集積場に集積されるゴミは、排出者が指定袋に詰め、車載式コンテナに投入されるものと、それ以外で青物等がダンボールなどに詰められたままで排出されるものなどとの 2 種類がある。このうち前者については、平成 17 年 1 月 20 日午前と午後の 2 回、コンテナに投入された袋ゴミから抽出し、展開して 10kg~20kg 程度まで縮分し、種別ごとに分類及び重量の計測をおこなった。また、後者については、1 月 20 日から 4 月 11 日まで 10 回、継続調査を行い、概要を把握した。

### 2.3. 調査結果

平成 16 年度の中央卸売市場から排出された生ゴミの総量は 3,680 トン/年(月平均 307 トン)であり、市場が休みの日を除くと、平均 1 日当たり 12 トンが排出されていることになる。このうち、指定袋に入れコンテナに投入されるゴミが大半を占めており、それ以外の箱ゴミ等はスポット的に排出され、単一の青果物が排出されている場合もあったが、全体的としてはせいぜい約 1 割~2 割程度を占めているものと推定された。

1 月 20 日に行った袋ゴミの組成調査の結果(一日のゴミ排出量 11.1 トン)を、図 1 に示す。ゴミの約 8 割は厨芥類が占め、そのうち 5 割を野菜類、2 割を果物類が占めていた。それ以外には、ダンボールや新聞紙などの紙類が 1 割、ビニールや緩衝材などのプラスチック類やその他で 1 割となっていた。

消化に適しないプラスチック類等を除き、厨芥(野菜、果物)類や紙類は、粉碎すれば、混合消化可能であろうと考えられる。

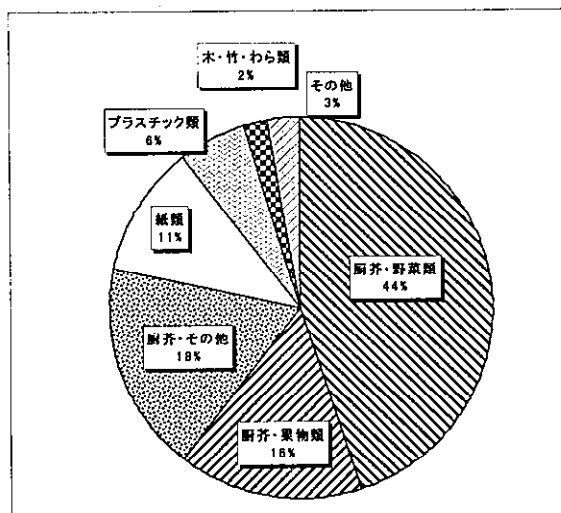


図 1 北九州市中央卸売市場のゴミ組成

### 3. 生ゴミのメタン発酵の特性把握

日明浄化センターの消化槽には、重力濃縮後の初沈汚泥(以下「初沈汚泥」と浮上濃縮後の余剰汚泥(以下「余剰汚泥」)が容量比(2~3):1で計 724m<sup>3</sup>/日(15年度平均)<sup>2)</sup>投入されている。投入時の平均的な TS 濃度は、初沈汚泥、余剰汚泥それぞれ 4.0%、3.6%であった。中央卸売市場からの生ゴミを日明浄化センターの消化槽に新たに投入する場合、生ゴミは一日当たり約 12 トン程度であるから、量的には問題ないと思われるが、更にこれらの汚泥と類似した消化特性を示せば、そのまま混合投入することができると考えられる。そこで、室内実験で、これら生ゴミ成分の消化特性を把握することにした。

#### 3.1. 実験方法

##### 3.1.1. 投入基質の調製

市場から排出される厨芥類には、野菜類が 44%を占めている。そこで、回分式消化実験用基質として、排出された生ゴミの中にあつた野菜類から、レタス、キャベツ、玉ネギ、長ネギ、にんじん、白菜を選び、家庭用ホモジナイザーで粉碎し、蒸留水を加えて TS 濃度 2~4%になるように希釈し調整した。また、紙類として、新聞紙、再生紙、段ボールを選び(参考としてセルロース粉末も)、野菜類と同様に処理して、TS として約 2.5g とって、回分実験に供した。対照として、実施設から採取した汚泥についても、回分実験を行った。初沈汚泥は、均一性確保のためホモジナイザー処理(10,000rpm、15min)を行い、余剰汚泥は、浮上濃縮槽から採取した直後に脱気処理

を行って、実験に供した。

半連続式消化実験に使用したキャベツ、初沈汚泥、余剰汚泥も、回分実験と同様に粉碎処理を行い、キャベツと初沈汚泥 4%、余剰汚泥 3%に調製し、所定の混合比になるように混合して-30℃、で冷凍し、投入時に解凍して用いた。

### 3.1.2. 回分式実験

容量 1 L のねじ口ガラス瓶からなるリアクターに、基質を投入し、種汚泥として日明浄化センターの実施設から採取した消化槽引抜汚泥（以下「消化汚泥」）500ml を加え、蓋をし、ガラス瓶内の気相部を窒素ガスで置換し、37℃の水槽に浸してスターラーで攪拌した。攪拌は液表面が常に回転し上部にスカムが溜まらないように攪拌子の回転速度を調節した。また、対照として消化汚泥のみを加えたりアクターを設置した。発生したガスはアルミ製テドラーバッグで捕集して水上置換法で容量を測定し、標準状態に換算した。

基質によるガス発生量の算出に際しては、種（消化）汚泥からのガス発生と投入基質からのガス発生は各々独立していると仮定して、リアクターのガス発生量から、種汚泥のみの対照リアクターのガス発生量を差し引いて、基質のガス発生量とした。

### 3.1.3. 半連続式実験

容量 3 L の密閉式ガラス製リアクターに、種汚泥として日明浄化センターの消化汚泥 2 L を加え、37℃に保った恒温水槽に浸して連続で攪拌した。攪拌速度は、液表面にスカムが溜らないように、100 rpm に調整した。1 日 1 回一定量の汚泥をリアクターから引抜き、その後投入汚泥を加えるという draw and fill 方式により運転した。

生ゴミとしてキャベツを選び、投入基質として、キャベツと余剰汚泥を 2:1 の割合で混合したもの (RUN1)、初沈汚泥と余剰汚泥を同様の比率で混合したもの (RUN2)、キャベツのみ (RUN3) を調整して投入し、運転条件 HRT（水理的滞留時間=リアクター有効容積/1 日当たり投入または引抜汚泥量）を 25 日から 5 日まで変えて半連続実験を行い、消化特性の比較を行った（表 1）。各実験条件に対して、HRT の 2 倍程度の期間運転して定常状態になったことを確認して、引抜汚泥等の分析を複数回を行い、その平均値を取った。発生ガスはアルミ製テドラーバッグで捕集し、そのガス容量は、水上置換法で測定し、標準状態に換算した。

表 1 半連続実験の運転条件

投入汚泥の混合比	キャベツ:余剰=2:1						初沈:余剰=2:1				キャベツ	
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2
RUN	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2
HRT(d)	26	20	12	10	8	5	25	12	6	5	25	12
運転日数(d)	93	45	25	26	18	4	93	25	18	5	45	10

### 3.1.4. 分析方法

汚泥については、蒸発残留物 (TS と略記)、強熱減量 (VS)、アルカリ度、ニクロム

酸カリウムによる化学的酸素要求量 (COD)、全有機炭素 (TOC)、溶解性全有機炭素 (DOC)、アンモニア性窒素、全窒素、全りんを「下水試験方法」((社)日本下水道協会(平成9年))に準じて測定した。溶解性として、試料を沈殿管にとり、3000 rpm、20 分間遠心分離した後、静かに傾斜して上澄液を分取し、それを検体として分析した。また、TCD 付ガスクロマトグラフィによりガス成分の分析を行った。

### 3.2. 結果と考察

#### 3.2.1. 回分実験

回分実験の結果を、図 2~5 に示した。

図 2、3 は、投入 TS (g) 当たりのガス発生量 (ml) の経時変化を、示したものである。野菜類も紙類も、概ね、初沈汚泥と類似したガス発生曲線を描くことがわかる。

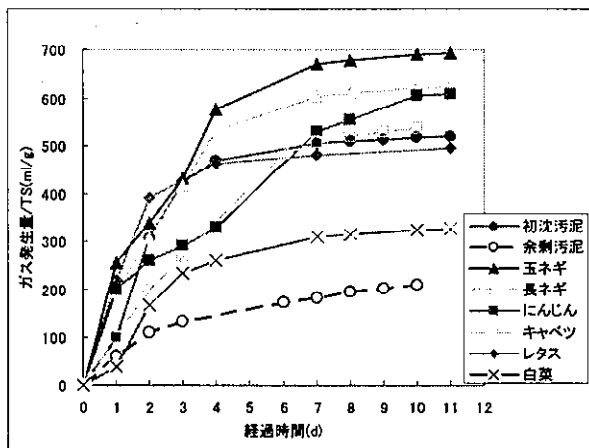


図 2 野菜類のガス発生曲線

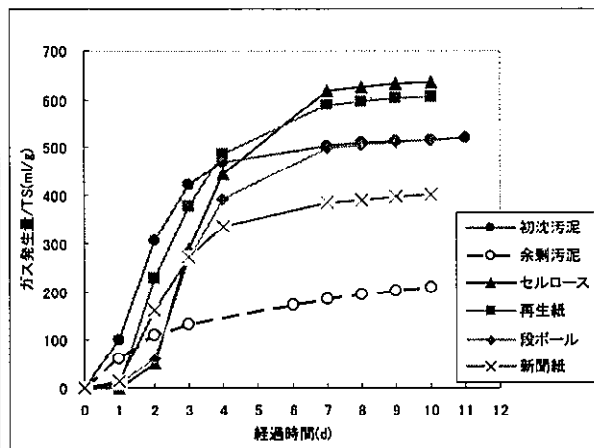


図 3 紙類のガス発生曲線

また、紙類及びセルロース粉末のガス発生曲線は、1 ないし 2 日目まで立ち上がりが遅く、その後、急速な増加を示している。この現象は、初沈汚泥にも認められる。このことから、初沈汚泥にはセルロース類が多く含まれていると思われる。

TS 当たりのガス発生量からすると、野菜類と、新聞紙を除く紙類については、初沈汚泥と似ている。これに対して、余剰汚泥は、ガス発生量が低い。TS 当たりのガス発生量を比較すると、野菜類は、玉ネギ>長ネギ?にんじん>キャベツ?初沈汚泥?レタス>白菜、紙類は、セルロース>再生紙>初沈汚泥?段ボール>新聞紙の順に低くなっている。

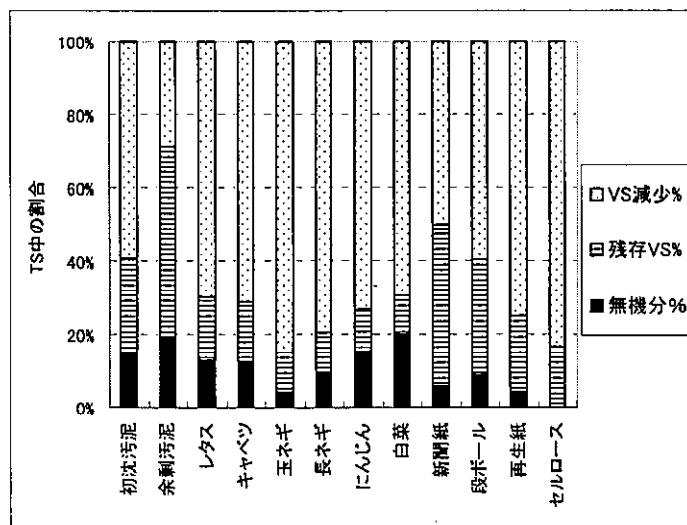


図 4 消化による VS 減少率

図4は、消化前後の、VS減少率をまとめたものである。VS減少率の大きさの順番は、TS当たりのガス発生量の順番とほぼ同じである。これは、図5に示したように、VS減少量とガス発生量がほぼ比例しているからである。

発生ガスの主成分であるメタンの比率は、野菜類、紙類共に、48%から55%で、初沈汚泥、余剰汚泥の60%、64%と比べて、若干低くなっていた。

紙類が野菜類と類似した消化特性を示すことから、紙類の多少の混入は、野菜類の消化過程に大きな影響を与えないと考えられる。

### 3.2.3. 半連続式消化実験

HRTを短縮していくと、最後には引抜汚泥のpHが5付近にまで低下し、ガス発生が急減し消化過程が停止する。そのHRTは、RUN1、RUN2が5日であったのに対し、RUN3は12日であった。RUN3のHRT12日のキャベツ単独投入量にほぼ相当するのは、RUN1のHRT8日であるが、この場合RUN1は、有機物の減少率はやや低下したものの、消化過程は正常に進行していた。このことは、キャベツ単独投入ではpH低下を招く場合にも、余剰汚泥との混合消化によって、キャベツのpH低下が緩和されたとみなされ、混合消化の利点の一つと考えられる。

図6に、HRTと一日当たりのガス発生量の関係を示した。また、回分実験同様に、VSの減少量とガス発生量とはほぼ比例しており、比例定数もほぼ同様であった。

図7に、HRTとCOD減少率との関係を示した。HRT25から12までは、ほぼ一定の減少率を示している。この間の減少率の平均値を、表2にまと

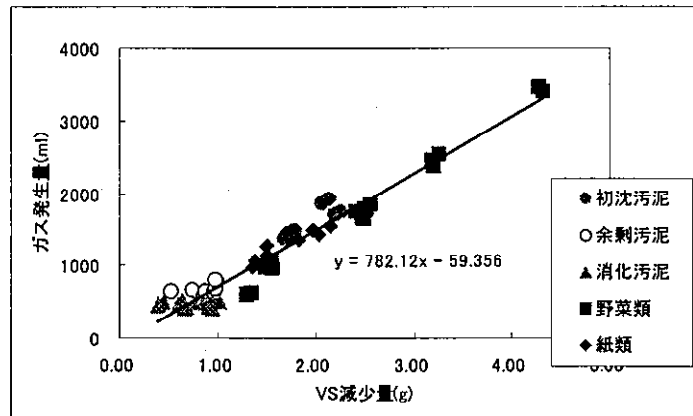


図5 ガス発生量とVS減少率の相関

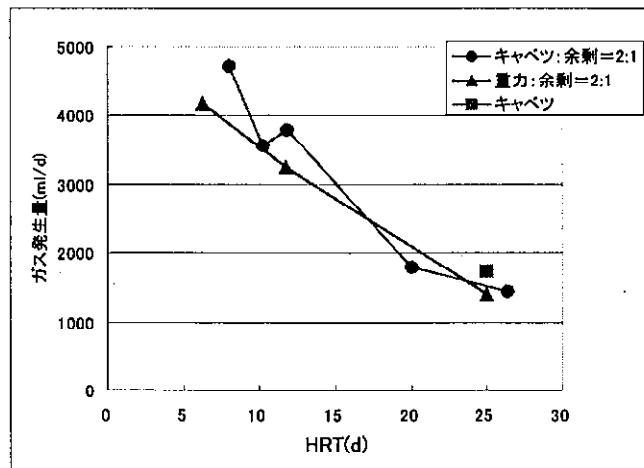


図6 HRTとガス発生速度の関係

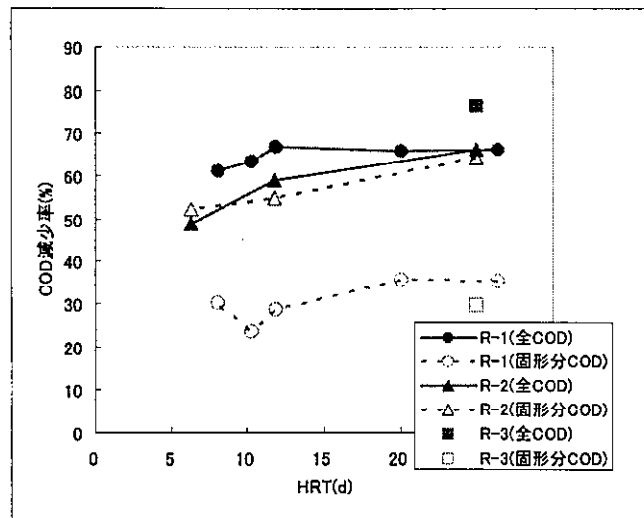


図7 HRTとCOD減少率との関係

めた。また、表には、同じ試料を使って平行して行った回分実験で得られた減少率を元に、消化率に関して投入汚泥の成分が独立しその間に加成性が成り立つとした場合の減少率を、理論減少率として示した。実験値と理論値では値そのものには差があるものの、RUN3>1>2 と低下する傾向が同じように示されており、半連続実験は、回分実験の結果からある程度の予測が立てられることを示している。

また、図 7 には、全 COD 減少率とともに、固形分 COD 減少率も示した。RUN 1、3 については、全 COD 減少率が固形分 COD 減少率を上回っているが、RUN2 は、ほぼ同じ減少率となっている。消化過程は、固形分の加水分解過程に続く低分子化過程、更にメタン発酵過程からなっている<sup>3)</sup>。従って、全 COD 減少率が固形分 COD 減少率を上回っていないと、溶解性 COD が蓄積する可能性が生じてくる。この実験より、キャベツを加えた場合は、溶解成分の蓄積する可能性が低いことが理解される。

表 2 半連続実験による汚泥の消化特性の比較

投入汚泥の混合比	キャベツ:余剰 =2:1	初沈:余剰=2:1	キャベツ
RUN	RUN1-1,2,3	RUN2-1,2	RUN3-1
HRT	26,20,12	25,12	25
CH4 比率(%)	52	59	51
VS 減少率(%)	68	64	76
ガス量/VS 減少(ml/g)	896	874	833
全 COD 減少率(%)	66	63	76
固形分 COD 減少率(%)	33	60	30
理論 VS 減少率(%)	73	63	82
理論 COD 減少率(%)	71	60	79

#### 4. 終わりに

現在、焼却処分されている生ゴミの資源化を目指して、生ゴミと下水汚泥の混合消化の実験的検討を行った結果、下水汚泥とほぼ同等な消化特性を確認することができた。生ゴミの消化槽への投入は、消化ガスの増加をもたらす。メタンを含む消化ガスは燃料として利用でき、最近では、天然ガスの代替として燃料発電や天然ガス車へ適用するなど、地球温暖化ガス対策の一助とする試みも行われている。反面、混合消化は、生ゴミ追加分に相当する引抜・脱水汚泥の増加をもたらすであろう。今後は、焼却処分との比較等、経済的な側面を含め総合的な観点から、検討を加えていきたい。

#### 謝 辞

本研究の実施に当たり、特に北九州市中央卸売市場の生ゴミ調査に関して、(財)北九州市環境整備協会に御協力を頂きました。また、山田久美子様の実験を手伝っていただきました。ここに記して感謝致します。

#### 引用文献

- 1) 李玉友：「メタン回収技術の応用現状と展望」, 水環境学会誌, Vol27,(2004)
- 2) 北九州市建設局：「下水道管理年報」(平成 15 年度版)
- 3) 佐々木宏他：「生ごみの高温・高濃度メタン発酵に及ぼす滞留時間と負荷の影響」, 水環境学会誌, Vol22,(1999)

# 単体ディスポーザーが汚泥消化工程へ及ぼす影響について

江口 芳夫、梨田 実

仰木 雅也(現・経済文化局)

第42回下水道研究発表会(東京都)

平成17年7月

## 1. はじめに

浄化槽設置型のディスポーザー導入がその利便性から承認され、現在は更に、直接下水管に排水される単体ディスポーザーの受け入れへの検討が行われている。単体ディスポーザーの導入は、下水処理場における汚泥処理工程への影響も大きい。そこで、現在稼働中の消化槽を有する本市H浄化センターの処理区域を対象として、将来単体ディスポーザーが普及した場合に、ディスポーザー排水(以下「ディスポ排水」)が下水処理場の消化工程に与える影響を、室内実験により検討した。

## 2. 実験方法

1) ディスポーザー排水由来汚泥の調製: 各家庭から排出される生ごみの負荷原単位を一人1日あたり250gとみなし、竹崎ら<sup>1)</sup>の報告に基づき、標準生ごみからディスポ排水を調製した。標準生ごみ250gを調製し、蒸留水5Lを使用して、ディスポーザー(TOTO製TJNS100X)に2回通して粉碎した。このディスポ排水を5Lのビーカーに入れ、最低4時間静置し、上澄液を別の容器に移し、分離した懸濁物を含む沈殿水1Lを得た。分離した約4Lの上澄水が、便宜上、実際の下水処理場において、最初沈殿池を通過して反応タンクに流入するものと仮定し、沈殿水の部分をディスポ排水由来汚泥とみなすこととした。この沈殿水を全量ホモジナイザー(10,000rpm, 10min)で粉碎し、実施設では沈砂池で除去されると思われる骨等を除いて、分析または消化実験に用いた。分析は、「下水試験方法」に準じた。

2) 回分式消化実験: 容量1Lの広口ガラス瓶からなるリアクターに、供試汚泥を100ml投入し、種汚泥としてH浄化センターの消化汚泥500mlを加え、ゴム栓で蓋をし、ガラス瓶内の気相部を窒素で置換し、36℃の水槽に浸してスターラーで攪拌した。攪拌は液表面が常に回転し上部にスカムが溜まらないように攪拌子の回転速度を調節した。これをガスが発生しなくなるまで継続した。また、対照として消化汚泥500mlのみを加えたリアクターを設置した。発生した消化ガスは、テドラバッグに捕集して水上置換法で容量を測定し、標準状態に換算した。また必要に応じ、TCD型ガスクロマトグラフィによりガス成分の分析を行った。ガス発生量の算出に際しては、消化汚泥からのガス発生と投入汚泥からのガス発生は各々独立していると仮定して、投入汚泥のリアクターのガス発生量から、消化汚泥のみのリアクターのガス発生量を差し引いて、投入汚泥のガス発生量とした。供試汚泥としては、H浄化センターの実施設から採取した重力濃縮後の初沈汚泥(以下「初沈汚泥」)、浮上濃縮後の余剰汚泥(以下「余剰汚泥」)及びディスポ排水由来汚泥を用いた。

3) 半連続式消化実験: 種汚泥として消化汚泥2Lを加えた容量3Lの広口ガラス瓶をゴム栓で蓋をしてリアクターとし、36℃に保った恒温水槽に浸してスターラーで攪拌した。1日1回一定量の汚泥をリアクターから引抜き、その後投入汚泥を加えるというdraw and fill方式により運転した。リアクター引抜汚泥は、1週間分を均等に混合し、分析に供した。

RUN1: 初沈汚泥、余剰汚泥、ディスポ排水由来汚泥を容積比1:1:1で混合したものを投入し、HRT25日、その後HRT10日で運転。

RUN2: RUN1と同様の汚泥を投入し、HRT20日、その後HRT5日で運転。

RUN3: ディスポ排水由来汚泥のみを投入し、HRT20日、その後HRT10日で運転。

余剰汚泥は、実施設から1週間分を採取し、保冷庫に保管し、それを用いた。ディスポ排水由来汚泥及び初沈汚泥は、必要数を小分けして調製後冷凍し、そのつど解凍して用いた。

## 3. 結果と考察

1) ディスポーザー導入による汚泥の増加: 調製したディスポ排水由来汚泥を分析し、その結果から計算した1人1日当たりの汚濁負荷量(単位 g/人・日)を、竹崎ら<sup>1)</sup>の値の結果と共に表1に示す。負荷の分析値は、竹崎らの報告している値とほぼ同じであった。分析による上澄水と沈殿物との比率と設定値負荷による非溶解性負荷の比率(文献2)の表3より求めた)とは、CODの値が異なっている。この点については、最初沈殿池での除去率に関係するため詳細な検討が必要であるが、今回は、実験で求めた値を最初沈殿池での除去率とみなすこととした。

表-1 分析に基づくデスポ排水負荷の推定

項目	使用水量 (L/人)	BOD (g/人・日)	SS (g/人・日)	COD (Mn) (g/人・日)	T-N (g/人・日)	T-P (g/人・日)
デスポ排水負荷	5	—	37.8	23.3	2.03	0.37
デスポ排水上澄水負荷	5	—	5.4	12.3	0.52	0.11
デスポ排水由来汚泥負荷	0	—	32.4	11.0	1.51	0.26
排水負荷に占めるデスポ排水由来汚泥負荷割合 (%)	—	—	86	47	74	70
標準生ごみの分析値 (竹崎ら)	5	28.5	37.4	25.6	1.31	0.25
設定値の負荷による非溶解性負荷の比率 (竹崎ら)	—	76	—	77	83	77

H 浄化センター処理区で、デスポーザーが 100%普及した場合を想定すると、デスポ排水が加わっても、水量的にはほとんど問題とならない。表 1 の値および H 浄化センターの水質試験実測値 (平成 14 年度)<sup>9)</sup>を用い、最初沈殿池汚泥および余剰汚泥発生量を以下のように推定した。BOD については測定していないが、COD と同様と考えて、COD の負荷の比率を用いた。

H 浄化センターの処理人口 353, 512 人に対するデスポ排水による最初沈殿池汚泥の 1 日当たりの発生増加量は、竹崎らの設計値を用いると  $35 \text{ (g)} \times 353, 512 \text{ (人)} \times 0.86 \div 1, 000, 000 = 10.6 \text{ (t)}$

最初沈殿池流出水の BOD 及び SS 除去率の算出に表 1 の値を用い、SS 汚泥転換率 1.0、全 BOD に占める溶解性 BOD の比率 0.5、溶解性 BOD 汚泥転換率 0.5<sup>9)</sup>とすれば、余剰汚泥量の増加分は

$$27.5 \text{ (g)} \times (1 - 0.47) \times 0.5 \times 0.5 + 35 \text{ (g)} \times (1 - 0.86) \times 353, 512 \text{ (人)} \div 1, 000, 000 = 3.02 \text{ (t)}$$

したがって H 浄化センター水質試験実測値 (平成 14 年度) をベースに考えると、表 2 のようになる。

表-2 デスポ排水由来汚泥による負荷の推定

(日平均值、固形分トン表示)

汚泥の種類	平成 14 年度実績	デスポ排水由来増加分	小計
初沈汚泥	22.3	10.6 (+48%)	32.9
余剰汚泥	9.03	3.02 (+33%)	12.0
合計	31.3	13.6 (+43%)	44.9

2) デスポ排水由来汚泥の回分式消化実験：デスポ排水由来の汚泥が、従来の初沈汚泥に比べ、消化特性が異なるかどうか回分式実験を行って検討した。便宜的に沈殿物を全量ホモジナイザーで粉碎したものをデスポ排水由来汚泥として消化実験に用いた。結果を表 3 に示す。デスポ排水由来汚泥は、初沈汚泥に比べて若干 VS の減少率 (=消化率) が高い。しかし初沈汚泥とデスポ排水由来汚泥の VS を比較すると後者の VS の割合が高く、そのために生成する消化汚泥は VS の低いものになりまたガス発生量も多くなる。すなわちデスポ排水由来汚泥は消化に適した汚泥といえる。

表-3 回分式実験による汚泥の消化特性の比較

汚泥の種類	VS (%)	VS 減少率 (%)	VS 減少量に対するガス生成量 (L/g)	メタン含有率 (%)
初沈汚泥	83.1	73.3	0.691	66
余剰汚泥	84.7	46.4	0.627	74
デスポ排水由来汚泥	92.6	77.0	0.656	66

3) デスポ排水由来汚泥の半連続式消化実験：単体デスポーザー導入により下水処理場においては汚泥の量が増加し、最初沈殿池、濃縮槽、消化槽において既設のままでその負荷に対応できるかが問題となる。試算では最初沈殿池、濃縮槽は既設で対応できることが導かれた。

平成 14 年度の実績では、H 浄化センターの消化槽への汚泥投入量は、日平均 684 m<sup>3</sup> であり、消化槽全容積が 30, 300m<sup>3</sup> であるから、計算では HRT は全体で 44 日となっており、実際にも、3 槽のうち 2 槽が平均 41 日、1 槽が 29 日であり、設計値が 30 日であるから、現在の処理状況でも余裕があることがわかる。もしも、先に示したように、デスポーザーによる負荷の増加によって、平成 14 年度の汚泥発生量 31.3 t

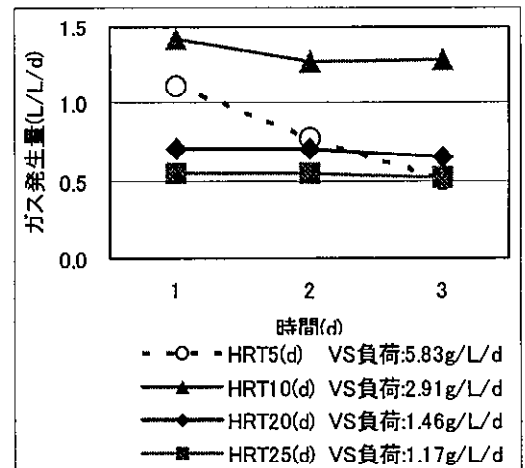


図-1 HRT と消化ガス発生量の関係

(固形分として) が 44.9 t になり、それに比例して、消化槽に投入する汚泥量も平行して増加するとみなすと、



40.6t の固形分、980 m<sup>3</sup> の投入量となる。しかし、この場合でも HRT は 31 日となるだけである。

余裕を持った維持管理のためには、消化に必要な HRT をさらに短縮できることが望ましい。そこで HRT を変化させて、投入汚泥として、初沈汚泥、余剰汚泥、ディスポ排水由来汚泥を容積比 1:1:1 で混合したものを用いて、半連続式で負荷を増加させた消化実験を行った。図 1 は、HRT 毎に、最後の週の 3 日間の値を示したものであるが、平衡状態に達しつつある状況がうかがえる。HRT5 日は、実験開始以来、pH が 7.4 から 5.8 に次第に低下し、負荷が高く、安定処理ができないことが示されている。図 2 は、HRT と VS の減少率 (=消化率)、COD 減少率を示したものである。HRT10 日でも特に問題なく消化が進行していた。この実験では、HRT を現状より短縮した処理が可能であることが示された。

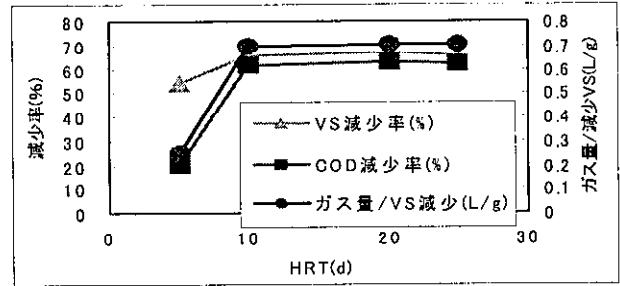


図-2 HRT と消化率の関係

4) ディスポーザー排水由来汚泥を加えた理論計算：消化という観点から総合的に判断すると、ディスポ排水由来汚泥は、生ごみと違って、初沈汚泥と大差ない性状と考えられ、管路に滞留しないと考えれば、初沈汚泥が単に増加した場合と同じと考えてよいと思われる。

図 3 に H 浄化センターの平成 14 年度の実測値をもとにディスポーザー普及時の消化工程における固形分の収支を推定した結果を示す。ディスポーザー普及時の H 浄化センターの 1 日当りの消化汚泥発生量は、固形分で 20.2 トンとなる。

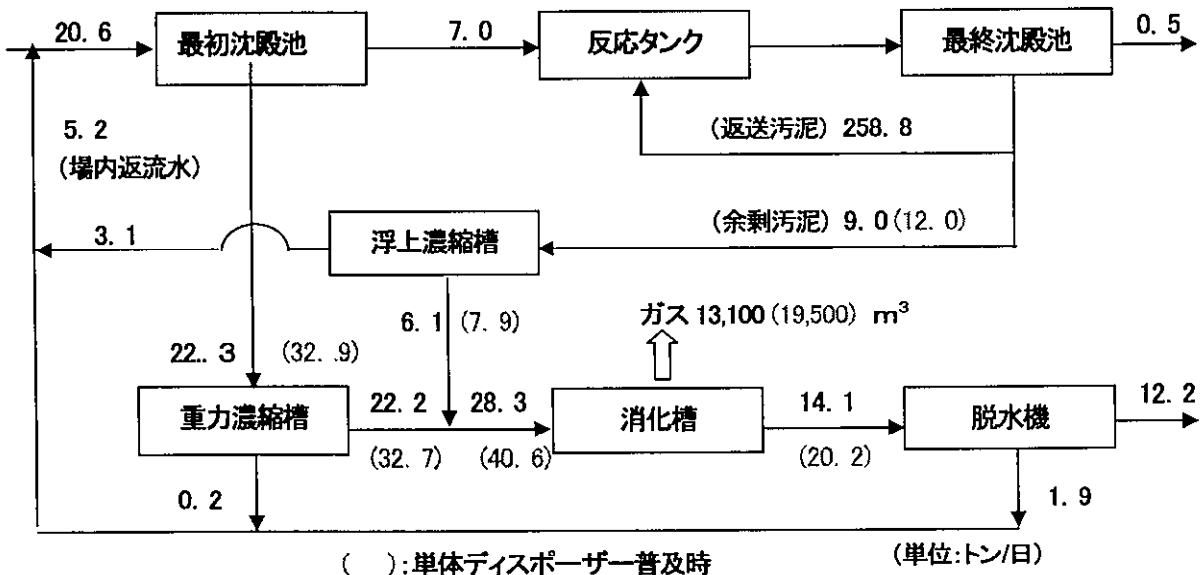


図-3 H 浄化センターにおける 1 日当りの固形分収支

#### 4. 終わりに

生ゴミをディスポーザー処理した沈殿物を投入汚泥に加えた室内消化実験により、将来単体ディスポーザーが普及した場合に、H 浄化センターの消化工程が、現状の施設のままで十分対応可能であることが明らかとなった。このことは、消化槽の能力としては、他の食品廃棄物等、消化可能な固形廃棄物の受け入れも可能であることを示唆している。今後は、以上のような方向性でも研究を行うつもりである。

謝辞：本研究は、文部科学省科学技術振興調整費委託事業生活者ニーズ対応研究「都市ゴミの高付加価値資源化による生活排水・廃棄物処理システムの構築」の一環として行ったものである。

参考文献：1) 竹崎義則他：ディスポーザー排水の負荷原単位設定，廃棄物学会誌，Vol.12 (2001)

2) 山海敏弘他：ディスポーザー排水の標準組成と負荷特性，水環境学会誌，Vol. 22 (1999)

3) 北九州市建設局：下水道管理年報 (平成 14 年度版)

4) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 (2001 年版)

5) 浦辺真郎他：廃棄物を用いた嫌気性消化に関する基礎的研究，水処理技術，Vol. 25 (1984)

# 物理・化学的手法による下水汚泥の改質および改質後の水質に与える影響 に関する基礎的検討 (その1)

江口 芳夫、梨田 実

池 英昭、平林 和也 (㈱安川電機)

第40回日本水環境学会年会 (仙台市)

平成18年3月

Study on Sludge Reduction by Physical and Chemical Process, And Effect of Sludge Reduction Process on Treated Wastewater (No.1), Hideaki Ike, Kazuya Hirabayashi (Yaskawa Electric Co.), Yoshio Eguchi, Minoru Nashida (Kitakyusyu Enviroment Bureau Institute of Environmental Science)

## 1. はじめに

廃水処理において、その処理費用、環境汚染などの観点から、発生汚泥量の削減が求められている。従

来のオゾンをはじめとする汚泥減容化プロセスでは、CODやリン濃度の上昇といった処理水水質の悪化

を考慮した最適な運用プロセスは未だ確立されていない。本研究では、キャビテーションとオゾン処理によりハイブリッド化した手法を用いて汚泥を改質

し、IWA活性汚泥モデルのSTO-WA分画手法によりその効果と現象を検証した。また続報では、改質後の汚泥を生物反応槽に返送した際の処理水質に与える影響について水質シミュレーションにより検討を行った。

## 2. 実験方法

H浄化センターの下水返送汚泥20Lを供試試料とし、図1に示すキャビテーション単独、オゾン単独、キャビテーションとオゾンを直列に組み合わせた3種類の汚泥改質手法について、それぞれ回分処理を行った。

なお、循環水量を20L/分、反

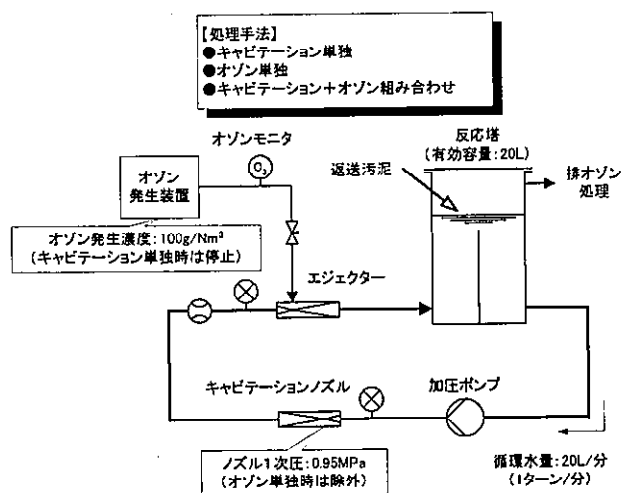


図1 実験装置

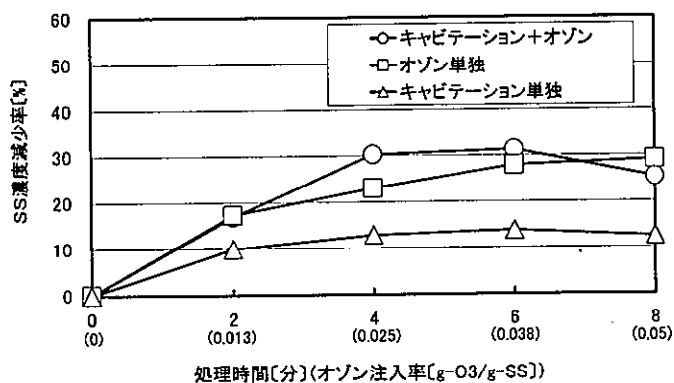


図2 各改質手法におけるSS濃度減少率

応塔滞留時間を1分（1ターン/分）に設定した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 各手法における汚泥改質性能

各手法によるSS濃度の減少率を図2に示す。いずれも改質強度の増大に伴い増加しており、可溶化されていることが確認できる。減少率は約30%で飽和しており、キャビテーションとオゾンを組み合わせた処理ではオゾン単

独処理と比較して、約1/2のオゾン消費量で同等の効果が得られていることから、オゾン装置の小型化が可能であることが示唆される。これはキャビテーションの破碎作用によりオゾンの接触面積が増加するなどの相乗作用があったものと思われる。

#### 3.2 溶解性有機物の分画

キャビテーションとオゾン処理を組み合わせた手法により返送汚泥を回分処理し、処理後の溶解性COD<sub>Cr</sub>を分画した結果を図3に示す。改質強度の増大によりS<sub>F</sub>（発酵性易分解性有機物）が増加するため、改質後の汚泥を生物反応槽に返送した際、汚泥の減容化が促進されることが予測できる。しかしながら、同時にS<sub>I</sub>（溶解性不活性有機物）も増加することから、処理水中に残留して水質の悪化を招く要因ともなることが判断できる。

#### 4. まとめ

キャビテーションとオゾン処理の組合せにより、オゾン消費量の大幅な削減が可能であることを確認した。また、汚泥改質後の溶解性COD<sub>Cr</sub>のSTOWA分画は、改質強度や手法による効果や現象を評価する指標として大いに有効であった。今後は、水質シミュレーションによる検証を経て、実証試験を実施する所存である。

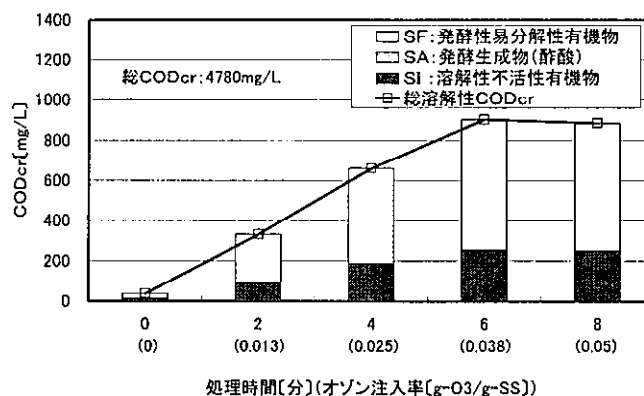


図3 溶解性COD<sub>Cr</sub>分画

物理・化学的手法による下水汚泥の改質および改質後の水質に与える影響  
に関する基礎的検討（その2）

江口 芳夫

平林和也、池 英昭、竹内庸介（髙安川電機）

第40回日本水環境学会年会（仙台市）

平成18年3月

Study on Sludge Reduction by Physical and Chemical Process, And Effect of Sludge Reduction Process on Treated Wastewater(No.2), Kazuya Hirabayasi, Hideaki Ike, Yousuke Takeuchi(Yaskawa Electric Co.), Yoshio Eguchi(Kitakyusyu Enviroment Bureau Institute of Environmental Science)

1. はじめに

下水処理場では、汚泥処理系から排出される汚泥処分が費用、処理用地の面から大きな問題となっている。そのため、種々の方法により汚泥を改質し減容する方法が検討されている。しかし、汚泥減容の面からは一定の効果をあげているが、改質汚泥を水処理系に戻した時に処理水質が上昇することがある。

そこで、改質汚泥量(水処理系への戻し量)および余剰汚泥引抜量の変更によって、処理水質濃度が変化する条件を把握するため、IWA 活性汚泥モデル<sup>1)</sup>を適用し、検討を行った。また、汚泥の減容プロセスは、OD 法や長時間曝気法などに適用されることが多いが、標準活性汚泥法や嫌気・好気法への可能性の検討も行った。

2. 実験条件

H 浄化センターの処理フローおよびシミュレーション条件を図1示す。生物反応槽は4槽に等分割され、第1槽に攪拌装置を設置、嫌気・好気法による脱窒、脱りん

運転をしている。汚泥改質プロセスは返送汚泥から一部抜き取る構成としている。シミュレーション条件は、運転条件と流入条件を設定する必要がある。流入条件に必要な水質は STOWA<sup>2)</sup>の指針に沿って決定し

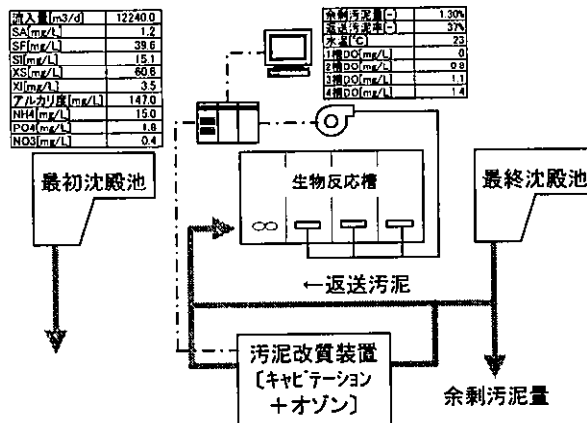


図1 H 浄化センター

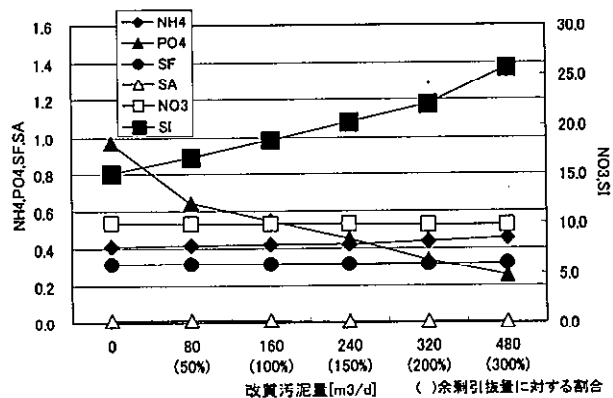


図2 改質汚泥量による水質変化

た。浮遊物質は沈殿池で沈降すると仮定しているため、CODは溶解性で評価することにした。また、シミュレーションのパラメータは、汚泥改質プロセスの改質汚泥量と、汚泥を減容するために設定する余剰汚泥引抜量とした。

### 3. シミュレーション結果

#### 3.1 改質汚泥量の変化によるシミュレーション

改質汚泥量として6つの条件を設定しシミュレーションを行った。余剰汚泥引抜量は、改質汚泥量の水質に対する改質の影響を見るため、固定(現在の条件: 160m<sup>3</sup>/d)して行った。

溶解性COD(=SI+SA+SF)は、汚泥改質量の増加と比例して上昇した。これは改質装置でCODがSI(溶解性不活性有機物)の形に改質され、それが処理水へ影響を与えていると考えられる。<sup>3)</sup> PO<sub>4</sub>-Pは、改質されることによって、嫌気槽でPHAの蓄積を行うために十分な量の有機物が存在し、好気槽においてPO<sub>4</sub>-Pをポリリン酸として体内へ蓄積するため濃度が低下している。NH<sub>4</sub>-Nは、硝化菌の増殖に溶解性CODの影響を受けないため、大きな変化が見られなかった。

#### 3.2 余剰汚泥引抜量の変化によるシミュレーション

余剰汚泥引抜量は5つの条件を設定しシミュレーションを行った。汚泥改質量は、余剰汚泥引抜量の水質への影響を見るため、固定(現在の余剰汚泥引抜量と同量: 160m<sup>3</sup>/d)して行った。

溶解性CODは、微生物の消費に利用されたため、処理水に大きな変化がなかった。PO<sub>4</sub>-Pは余剰汚泥として排出していた汚泥量を減少させたため、PO<sub>4</sub>-Pが上昇した。NH<sub>4</sub>-Nは、SRTが増加したことにより硝化が促進され、濃度は低下した。

#### 参考文献

- 1) 味埜俊(訳)、“活性汚泥工学”、環境新聞社(2005)
- 2) P.J.Roeleveld, M.C.M.van Loosdrecht, “Experiences with guidelines for wastewater characterization in The Netherlands, Proc. Activated sludge modeling Fifth Kolllelolle Seminar, 121-129, 2001”
- 3) 池英昭ほか、物理・化学手法による下水汚泥および改質後の水質に与える影響に関する基礎的検討(その1)、水環境学会年会講演集、2006掲載予定

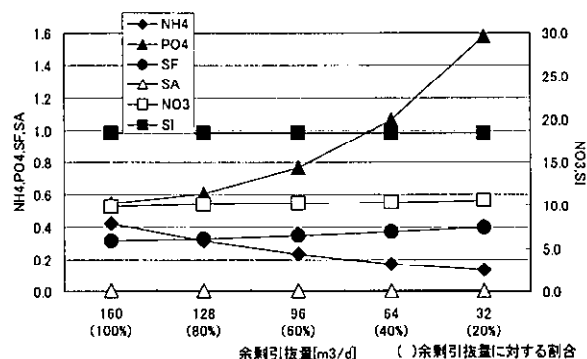


図3 余剰汚泥量による水質変化

# 日本におけるギンブナ中のダイオキシン類蓄積量調査

○梶原葉子, 門上希和夫, 田中英俊<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>北九州市建設局水環境課

第 32 回環境保全・公害防止研究発表会(千葉市)

平成 17 年 11 月

## 1 はじめに

ダイオキシン類によるリスクを評価するには水環境, 特に水生生物の汚染実態を把握することが重要である。しかし, 日本では海産魚に比べて, 淡水魚の調査例が少なく, 陸域の水生生物の汚染に関する情報が不足している。環境中のダイオキシン類は発生源の種類やその寄与割合により, その地域のダイオキシン類濃度や異性体組成に差があり, 水生生物においてもダイオキシン類の蓄積状況が異なると考えられる。そこで, 日本の淡水魚におけるダイオキシン類の汚染実態を解明するために, 代表的な地域においてギンブナ中のダイオキシン類蓄積量を調査したので報告する。

## 2 方法

### (1) 魚類の採取

調査地点は, 燃焼のダイオキシン類の影響が大きいと考えられる大都市, 農薬由来の影響が大きいと考えられる農業地域, その中間として中小都市及びリモート地の 4 分類を想定し, 表 1 に示す 12 地点を調査地点とした。各地点で平成 15 年の 9 月~10 月, 平成 16 年の 10 月~11 月に 30 個体のギンブナ(琵琶湖はニゴロブナ)を採取し, 筋肉部を等量混合後 1 試料として分析した。

### (2) 分析方法

ダイオキシン類の分析法は「食品中のダイオキシン類およびコプラナーPCBs の測定法暫定ガイドライン(厚生省 1999)」に準拠して行った。ホモジナイズした試料 100g を 1MKOH-エタノール溶液でアルカリ分解後, クリーンアップスパイクを添加し, ヘキサンで抽出した。抽出液を硫酸洗浄し, 多層シリカゲル, アルミナ及び活性炭分散シリカゲルカラムクロマトグラフィーで精製した後, シリンジスパイクを添加して高分解能 GC/MS で測定した。

## 3 結果及び考察

### (1) 調査地点のダイオキシン類濃度

表 1 調査地点とダイオキシン類濃度

地域	地 点	TEQ pg/g wet wt				TEQ pg/g lipid wt			
		PCDD	PCDF	Co-PCB	合計	PCDD	PCDF	Co-PCB	合計
大都市	多摩川 (東京都)	0.098	0.067	0.38	0.54	9.0	6.1	34	50
	天白川 (愛知県)	0.19	0.062	0.26	0.51	22	7.2	30	59
	大和川 (大阪府)	0.18	0.11	0.49	0.79	18	11	49	78
中小都市	増田川 (宮城県)	0.56	0.11	0.51	1.2	38	7.5	35	81
	琵琶湖 (滋賀県)	0.38	0.15	0.41	0.93	23	8.8	25	56
	緑川水系 (熊本県)	0.070	0.032	0.18	0.29	8.0	3.7	21	33
	紫川 (北九州市)	0.059	0.039	0.38	0.48	6.1	4.0	40	50
農業地域	八郎潟 (秋田県)	0.45	0.12	0.29	0.86	25	6.5	16	48
	筑後川 (福岡県)	0.22	0.081	0.44	0.74	15	5.5	30	50
リモート地	手塩川 (北海道)	0.028	0.011	0.020	0.059	3.3	1.3	2.4	7.0
	ジュンサイ沼 (北海道)	0.043	0.037	0.095	0.18	3.6	3.1	8.0	15
	四万十川 (高知県)	0.053	0.015	0.072	0.14	4.9	1.4	6.6	13

は乳類の毒性等価係数を用いて計算した調査地点のダイオキシン類濃度を表1に示す。フナのダイオキシン類のTEQ濃度は、湿重量換算で0.059~1.2pg-TEQ/g wet wt (平均: 0.56pg-TEQ/g-wet), 脂肪換算では7.0~81 pg-TEQ/g lipid wt (平均: 45pg-TEQ/g lipid wet)であった。この濃度は環境省が平成10年に実施したコイの調査結果2.98pg-TEQ/g-wet, 209 pg-TEQ/g lipid wetと比較して低い値であるが、これは魚種の違いと調査地域の違いが影響していると考えられる。

(2) PCDD, PCDF, Co-PCBの同族体, 異性体組成

地点毎のPCDD, PCDFの同族体組成を図1に示す。八郎潟と琵琶湖では、T4CDDが70%以上と大きな割合を占め、多摩川, 大和川及び天白川ではP5CDFの割合が高くなっていった。T4CDDの中の異性体組成は、過去に除草剤として使用されたCNPの不純物として含まれていた1368-TCDDが、大都市3地点と手塩川, ジュンサイ沼を除く7地点で80%以上を占めていた。特に、T4CDDの割合の高かった八郎潟と琵琶湖では、1368-TCDDが95%以上を占め、CNPの影響を強く受けていることが示唆された。

次に各地点の類似性を調べるためにPCDD及びPCDFの異性体構成比から相関行列を求めてクラスター分析を行った結果を図2に示した。調査地点は予想された4つのパターンに分類された。第1には大都市河川の多摩川, 大和川及び天白川で、燃烧由来の汚染を受けていると考えられる地点である。第2は八郎潟と琵琶湖でありCNPの影響を強く受けている地域である。増田川, 緑川水系, 紫川, 筑後川及び四万十川は両者の中間であり、CNPと燃烧の影響を共に受けている地域と見なされた。手塩川とジュンサイ沼はそれら3分類とは異なる傾向を示していた。

一方、Co-PCBの異性体組成はPCDDやPCDFと異なり、大きな地域差が認められず、PCB製品の組成に類似していた。

謝辞

本調査は環境省による「内分泌攪乱物質に関する日韓共同研究」の一環として、国立環境研究及び釜山大学と共同で行った。

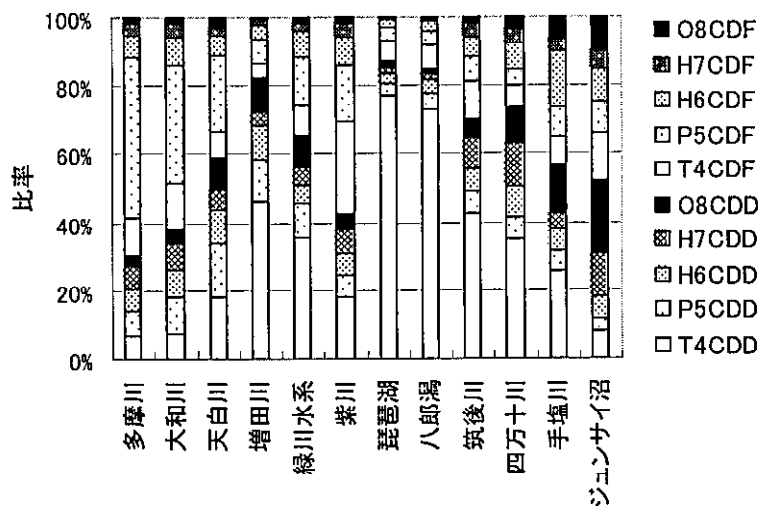


図1 PCDD, PCDFの同族体組成

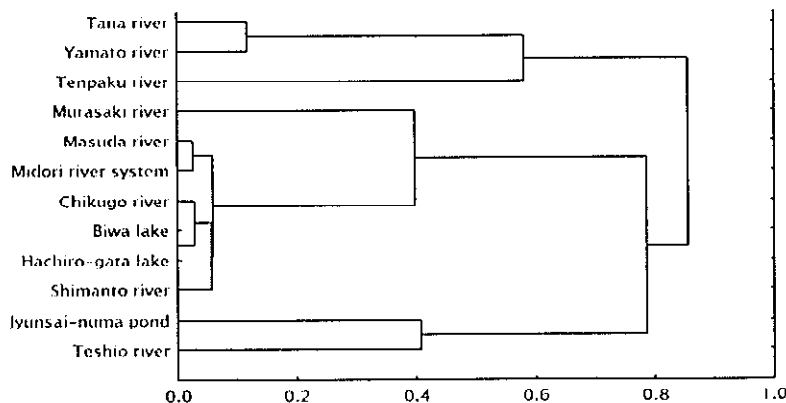


図2 PCDD, PCDFのクラスター分析結果

## 港湾環境における生態学的環境修復技術について

田中和彦、吉川ひろみ、佐藤尚之、東田倫子、山田眞知子

北山英希、河村親和 (九工大院・生命工)

初山正和、木村尚志 (北九州市経済・農事セ)

門谷茂 (北大院・水産)、柳哲雄 (九大応力研)、松井誠一 (九大院・農学)

第12回アクア研究発表会 (北九州市)

平成17年8月

### 1 はじめに

洞海湾のように、後背に大都市や多数の工場を抱える内湾性の高い港湾環境においては、窒素やリンを多量に含んだ排水が流れ込むことで、赤潮や貧酸素水塊が発生し、生態系に悪影響を及ぼす「富栄養化」が重要な環境問題になっている。当所ではこのような富栄養化の軽減を目指し、現場海域での水質浄化手法として、濾過食性の二枚貝ムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*) (ムール貝) (写真1、以下 イガイ) を生分解性プラスチック製ロープ (以下 ロープ) に自然付着、養殖することで水質を浄化する技術を開発し、1999年に特許「海水又は淡水の浄化方法」を取得した。本方法は、水中の窒素やリンを体内に取り込んで増殖した植物プランクトンをイガイに摂食させ、成長したイガイを陸上に引き揚げ回収することで赤潮を防除するものである。

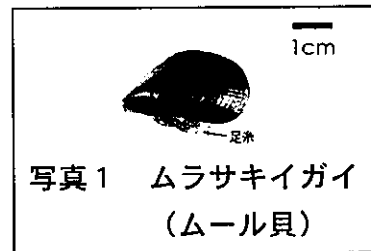


写真1 ムラサキイガイ (ムール貝)

本技術の確立のため、2002年1月、洞海湾に筏型の環境修復実証実験施設 (写真2) (以下、施設) を設置し、現場での予備実験として、水質浄化調査、施設の魚類蝸集効果調査を行った。また、回収したイガイの有効活用を試み、イガイと剪定枝チップの混合堆肥化実験及び堆肥の成分試験・栽培試験を行った。これを踏まえ、2003年に本調査として本市港湾局 (現 港湾空港局) 及び国土交通省九州地方整備局と共同で、施設内外における「水質調査」、回収した「イガイの堆肥化実験」、施設に蝸集する「魚類調査」等の詳細な調査を実施し、その結果を元に施設機能の実態を把握し、洞海湾での本技術の適用方法、課題の抽出検討を試みた。2004年は前年に得られた課題の解決に取り組み、洞海湾での本技術適用エリアや市民参加による具体的手法を検討するための調査を行った。2005年からは新たな展開として、本技術を活用した小学生による洞海湾の水質浄化社会実験を現在、若松中央小学校をモデル校として実施中である。

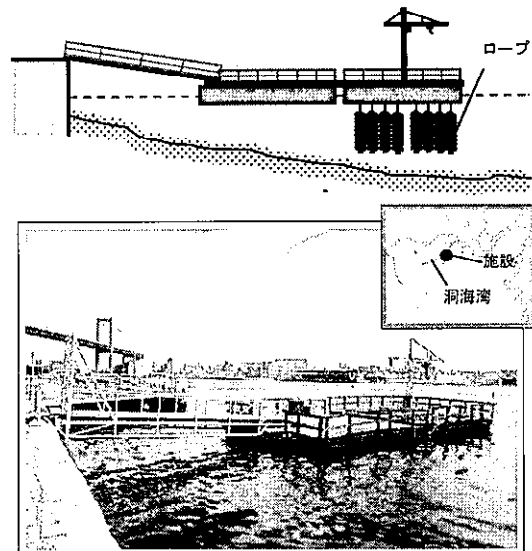


写真2 環境修復実証実験施設



以上が生態学的環境修復技術に係る試験研究の全容であるが、ここでは本技術の骨幹である水質浄化機能、施設の生物生息場所としての機能及び回収したイガイの堆肥化による物質循環機能の3つを主点に報告する。

## 2 結果と考察

### 2-1 水質浄化能調査

施設の浄化能の調査は2003年8月4日に行い、この日は干潮が7時40分、満潮が14時であった。調査地点は施設下及び施設外東西10mに設けた対照2地点の計3地点とした。図1に示すように、施設下では8時を中心に高水温、低塩分が観測され、干潮時に湾奥部から海水が流入する状況であった。12時間時系列調査の結果、対照2地点の水深0.5、1.0m層ではクロロフィルa (Chl.a) が20.1~70.1  $\mu\text{g}/\text{l}$  と高く常時赤潮状態であり、赤潮生物は珪藻類 (*Skeletonema costatum* 他) であった。3地点の水試料の懸濁態有機炭素/懸濁態有機窒素 (POC/PON) 比を見ると平均6.4であり懸濁態有機物の大半は植物プランクトンと推測された。

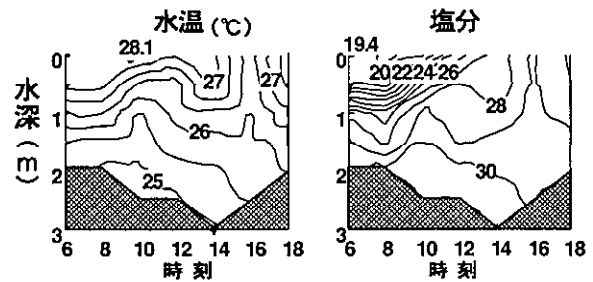


図1 施設下海水の水温と塩分の経時変化

このような環境条件において、施設下及び対照2地点の水深0.5mのロープ垂下層の水質を見ると8時に全窒素 (TN)、溶存態無機窒素 (DIN) 及び珪酸態珪素 ( $\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$ ) が高く、3地点間の測定値に顕著な差は見られなかった (図2)。

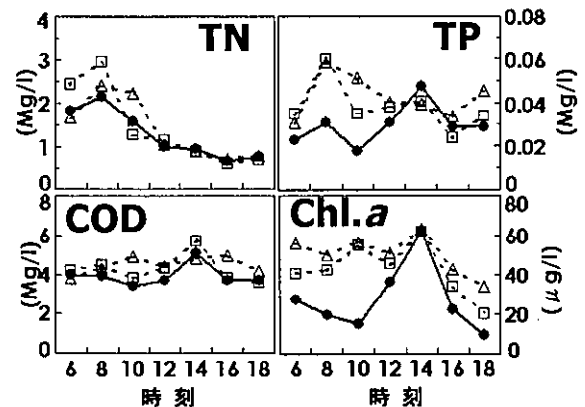


図2 施設下及び対照地点の水深0.5mにおける水質の経時変化

●, 施設下; □, 対照1; △, 対照2

一方で、全リン (TP)、COD、Chl.a に加えてリン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、SS、POC、PON等は施設下が対照の2地点と比較して低く、これらの項目の低下は施設下のイガイが植物プランクトンを摂食したことによるものと推測され、施設は懸濁物質の除去

に効果があることが確認できた。14時にChl.aに上昇が見られるが、これは施設内にナルトビエイが侵入し、イガイを捕食しつつ暴れたため、イガイが殻を閉じて摂食を停止し、施設の付着物 (珪藻等) が海水攪拌により巻き上げられたためと推測される。

この時点で、ロープ及び施設本体の付着生物は95%以上がイガイであり、施設下の海水通過量、PON、イガイ付着重量等を用いて施設の窒素浄化量を計算すると、 $940\text{mg-N}/\text{m}^2/\text{hr}$  (筏  $1\text{m}^2$ 、ロープ3本、イガイ43kg当たり) となり、本施設の持つ水質浄化能力は干潟の  $1\text{m}^2$  当たりの浄化能力と比較して数倍~数十倍となる非常に高い値であった。

## 2-2 施設集魚効果調査

施設の生物生息場所としての機能は設置当所より浮き魚礁的な効果が期待されており、魚類調査を実施した。

施設下、対照地点（施設西約 17m）、護岸下の 3 調査地点において、毎月実施した潜水ラインセンサス観察の平均出現魚種数を比較すると、それぞれ、3.7 種、2.8 種、3.9 種と顕著な差は無かった。一方で、月毎の平均出現魚個体数を見ると、施設下で 74.7 尾であり、対照地点 3.1 尾、護岸下 17.3 尾に比べて著しく多くの魚類が確認できた。水中ビデオ観察及び魚類採捕の結果より、施設下はウミタナゴとメバルが優占して出現し、この 2 種で 81～93% を占めていた。また、図 3 より、月毎の出現魚種を見てもウミタナゴとメバルが通年出現した。冬季はクジメ、アイナメ、ニジギンボが、夏期はクロダイ、スズキ、マアジ、ナルトビエイ、サヨリが出現し、これまでに合計 25 種以上の魚種が確認されている。図 4 は施設で採捕したウミタナゴとメバルの全長計測結果であるが、2003 年の調査では 2 系群のグループが観察でき、当歳魚に加え 1 才魚も見られたことから、施設周辺で成長、大型化も示唆された。

次に、施設下で採捕したウミタナゴの胃内容物を調べた結果、ヨコエビ類、ワレカラ類や稚貝が主であり、冬季には空胃の個体も出現した。ロープ等の付着生物調査ではウミタナゴの胃内容物と同様の生物群がイガイに次ぐ二次付着生物として優占しており、施設下の水中ビデオ観察や目視観察においても、ウミタナゴやメバルがロープ付着生物を頻繁に摂食する行動を確認した。

以上より、施設は多数の付着生物が付くことでウミタナゴやメバルの摂餌場所となり、棲み場となっていることが分かった。

## 2-3 イガイの回収と堆肥化実験

洞海湾に生息するイガイはこれまでの付着生物調査やロープの回収時期調査の結果、1 月末～2 月にロープに付着を開始し、7 月末～8 月に斃死が始まることを確認している。図 5 は近年のロープ重量の月別推移を示しているが、2002、2004 年は 8 月、7 月に重量が減っておりロープからイガイが脱落している状況が見える。2003 年は冷夏であったためか、夏期にイガイが殆ど脱落していない。水質浄化という観点ではロープよりイガイが斃死脱

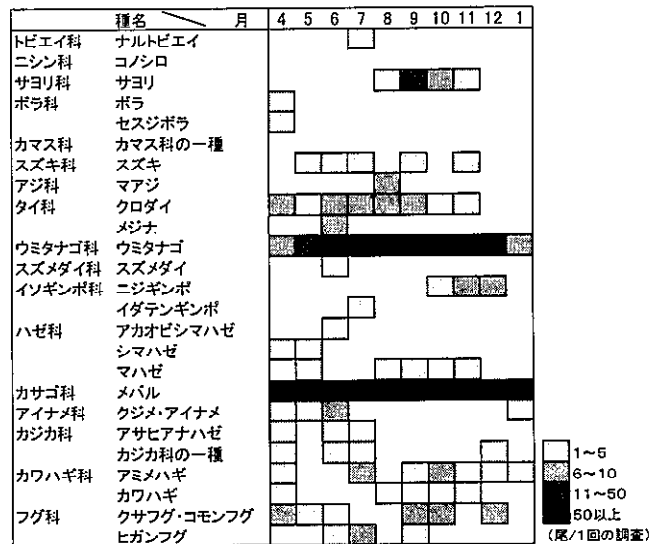


図 3 施設下月別出現魚種 (2003～2004 年)

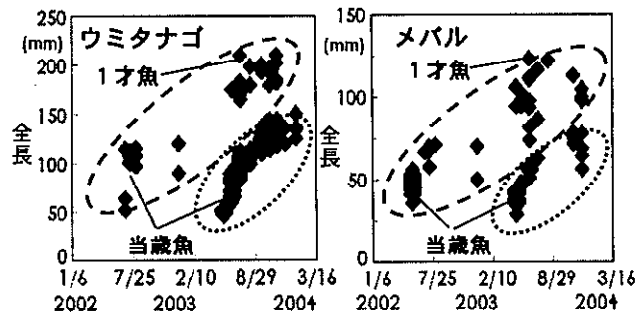


図 4 ウミタナゴとメバルの全長の変化

落する前に陸上に回収する必要がある。そこで、イガイの回収時期はこれまでに脱落したことがない7月末までにイガイを回収する方法が最も確実且つ効率的と判断した。イガイは回収時までに殻長 2~3cm 程度に成長し、約 1mの付着ロープは 10kg 程度/本となり、1人の大人が手で陸揚げ回収できるほぼ限界重量となる。このイガイサイズでは食用に供するには小さすぎるため、資源循環の観点から堆肥化する手法を試みた。しかし、イガイのみでの堆肥化は困難であるため、廃棄物である剪定枝チップと混合しての堆肥化を試みた。なお、堆肥化は慣行法に習い、堆積と途中数回の切り返し、給水を行う方法で作製した。

2002年の実験ではイガイ 630kg にチップ 4.2m<sup>3</sup>を混合し、堆肥化した。このイガイ堆肥は堆肥化開始後 3 日目に堆肥内温度最高 70℃の高温が得られ、3 週間後には低下を始めた。対照区としてイガイ窒素相当量の硫安を混合した硫安堆肥は 3 日目に最高 60℃を記録、5 週間後に温度が低下を始めた。以上からイガイを混合した堆肥化では特にぼかし等の発酵促進剤を混合しなくても発酵分解時に高温が得られ、速やかな堆肥化が可能であることが示唆された。なお、チップが黒色となり脆く崩れるようになる堆肥完成まで 85 日を要した。

次に、作製した堆肥を用いてコマツナ栽培試験を行った。プランターを使用してコマツナを栽培した結果、栽培初期に塩分の影響と推測されるクロロシスがコマツナの一部子葉に現れ、初期生長に何らかの影響が見られたが、その後は順調に生長し、収穫評価時には対照の硫安堆肥区と差異は無く、肥料効果が確認できた。イガイ堆肥の成分試験結果は、C/N 比が 20 であり、分解が進んでいた。また、貝殻由来のカルシウムの値が高い他、海水由来と推測されるナトリウムが対照区に比べ 34 倍と高い値を示しており、何らかの対策が必要と考えられた。

2003 年はイガイ 25kg にチップ 0.2 m<sup>3</sup>を混合し、堆肥化した。前年の結果を踏まえ、未水洗のイガイに加え、塩分除去のため水洗したイガイで堆肥を作製した。また、対照区として、硫安混合区、チップのみ堆肥区も設けた。その結果、水洗イガイ堆肥は堆肥化 3 日目の最高温度 65℃をピークに、以降徐々に低下した。イガイ堆肥、硫安堆肥もほぼ同様の温度推移を示したが、チップのみで作製した堆肥は最高温度 45℃と低く、

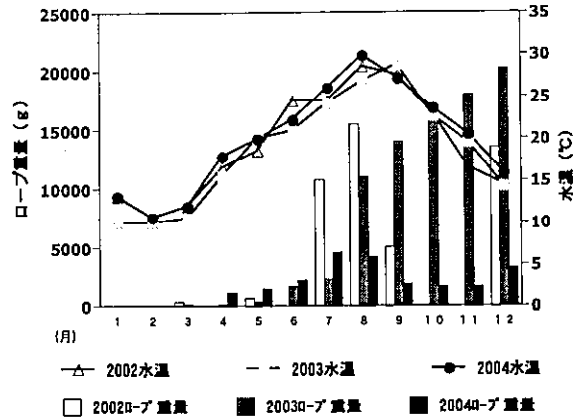


図5 ロープ重量と水温の年別月別推移

表1 堆肥の肥料成分及び重金属類の分析結果 (2003年)

分析項目	単位	水洗イガイ堆肥	イガイ堆肥	硫安堆肥	チップ堆肥	公定規格*
窒素全量	%	0.72	0.64	0.85	0.40	
リン酸	%	0.06	0.06	0.07	0.04	
加里	%	0.24	0.25	0.26	0.23	
炭素窒素比	-	17	20	18	38	
石灰全量	%	9.4	6.4	0.76	0.79	
水分含有量	%	54.0	58.9	61.9	65.0	
腐植酸	%	4.7	3.0	3.1	2.1	
ヒ素	μg/g-dry	1.0	1.5	0.2	0.5	50
カドミウム	μg/g-dry	0.5	0.5	0.4	0.5	5
鉛	μg/g-dry	6.4	9.3	6.3	7.2	100
水銀	μg/g-dry	0.030	0.024	0.032	0.042	2
ナトリウム	%	0.22	0.25	0.021	0.027	
カルシウム	%	14	10	1.4	1.8	
カリウム	%	0.51	0.66	0.68	0.74	
マグネシウム	%	0.24	0.27	0.15	0.22	

\*有害成分公定規格・肥料取締法(H12.2.28施行)

堆肥化に時間を要した。

表1は完成した堆肥の成分試験結果である。イガイを用いた堆肥区はNaの値が0.2%と対照区に比べ10倍程度高い値であり、水洗イガイ堆肥とイガイ堆肥で顕著な差は見られなかった。これは、今回、堆肥製作量が少なく、切り返

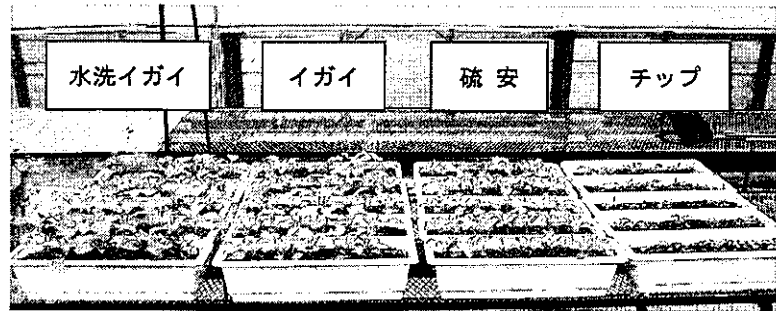


写真3 コマツナ栽培試験結果

し時の給水により、堆肥中の塩分が洗い取り除かれたものと推測された。堆肥使用上の有害物質であるヒ素、カドミウム、鉛、水銀は肥料取締法の公定規格値の1/10～1/60であり、規格を満たしていた。コマツナ栽培試験の結果、コマツナ生長初期のクロロシスも見られず、「水洗イガイ堆肥」、「イガイ堆肥」、「硫安堆肥」、「チップ堆肥」で栽培したコマツナの評価時生体重(g/個体)はそれぞれ、8.7g、6.9g、5.2g、2.5gと、イガイ堆肥が最も生育良好であり肥料効果も高いことが確認できた。(写真3)

以上より、陸揚げしたムラサキイガイは塩分除去処理することで良好な堆肥を作製することができ、その有効活用も可能であることが示された。

### 3 まとめ

現場海域において、実証施設を設置し、その実用性を検討した結果、次のことが明らかとなった。

#### (1) 水質浄化能

この技術は赤潮発生海域において、特に植物プランクトン等の懸濁態物質の除去に有効であった。また、2003年8月の調査時において、施設の窒素浄化量は $940\text{mg-N}/\text{m}^2/\text{hr}$ (筏 $1\text{m}^2$ 、ロープ3本、イガイ43kg当たり)と算出でき、施設が干潟と比べても非常に高い水質浄化能力を有することが分かった。

#### (2) 生物の棲み場の創造

施設は魚類等の生物の生息環境となり、垂直護岸のような貧困な生物生息場所に新たな生物の棲み場を作り、食物連鎖を構築できることが分かった。

#### (3) 物質循環の促進

イガイを陸揚げすることで海中の窒素等を陸上に回収すると共に、イガイ堆肥化により資源として再利用することができるなど、物質循環の促進が図れる。

#### (4) その他

施設において、水質調査等の環境調査を容易に行うことができ、環境モニタリング施設として活用できる。また、陸と海をつなぐ施設として、海の生き物と直接触れ合うなど、市民の環境学習施設として活用できる。

# 港湾環境における生態学的環境修復技術について

田中和彦、吉川ひろみ、山田真知子

初山正和、木村尚志(北九州市経済・農事セ)、北山英希、河村親和(九工大院・生命工)

門谷茂(北大院・水産)、柳哲雄(九大応力研)、松井誠一(九大院・農学)

第32回環境保全・公害防止研究発表会(千葉市)

平成17年11月

## 1. はじめに

北九州市洞海湾のように、後背に工場や都市を抱えた閉鎖的な港湾環境においては赤潮の発生等、富栄養化が問題となっている。当所では付着性二枚貝を用いた「海水又は淡水の水質浄化法」(H11.12 特許取得)を使用し、平成14年1月、洞海湾に環境修復実証実験施設(ムラサキイガイ育成筏, 以下 施設)(図1)を設置した。平成16年までに実施した「水質浄化」、「魚類増集効果」、「回収した二枚貝の堆肥化」等の試験研究成果を報告する。

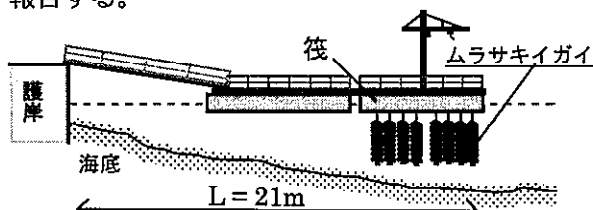


図1 環境修復実証実験施設

## 2. 実験

### 2.1 水質浄化

常時赤潮が発生した状態であった平成15年8月4日において、施設内で6時から18時まで1時間毎に計13回、水深50cm毎の水温、塩分等を多項目水質計(YSIナテック社6600)で測定した。

また、施設下と施設外(対照地点:筏東西10m離れた地点、西が湾奥側)の3定点で2時間毎に水深0.5m, 1.2m, 2.0mの全窒素(TN)、無機三態窒素(DIN)、懸濁態有機窒素(PON)、全リン(TP)、リン酸態リン( $PO_4\text{-P}$ )、懸濁態リン(PP)、化学的酸素要求量(COD)、浮遊物質(SS)、クロロフィルa( $Chl\text{-}a$ )、ケイ酸態ケイ素( $Si(OH)_4\text{-}Si$ )、植物プランクトン組成等を測定した。

### 2.2 施設の魚類増集効果

施設増集魚類の調査として、平成15年4月から毎月1回、定期的に施設下、対象地点(施設から湾奥側に17m離れた地点)、護岸直下の計3箇所でラインセンサス(6m往復)と定位法による魚類の潜水観察を行った。施設周辺では水中ビデオカメラによる行動観察と魚類採捕(アンドン型ネ

ット、投網)も合わせて行った。採捕した魚類は餌生物調査のため、その場で速やかに解剖して内臓を取出しホルマリンで固定、消化管内容物を顕微鏡観察した。

### 2.3 回収した二枚貝の堆肥化

平成15年8月11日に陸揚げ回収したムラサキイガイは街路樹等の剪定枝チップ(以下チップ)と混合し、堆肥化を試みた。イガイは破碎したものと、水洗後に破碎したものをを用いて2種の堆肥を作成した。また、対象区としてチップのみ、さらにチップに硫酸アンモニウムを混合したものの2種を作成した。堆肥化は慣行法に習い定期的に切り返し及び給水を行い、期間中の外気温及び堆肥内温度を定期的に計測した。作成した4種の堆肥は成分分析(肥料分、重金属類)及びコマツナ栽培試験を行なった。

## 3 結果および考察

### 3.1 水質浄化

調査日は干潮7時40分、満潮14時であった。図2に示すように、施設内(筏下)の海水は8時前後に表層が高水温、低塩分となり、干潮時の湾奥部からの海水流入が示唆された。

また、このときの0.5m層ではTN、DIN及び $Si(OH)_4\text{-}Si$ の3項目の測定値が3定点で高く、湾奥からの海水流入による上昇と考えられる。

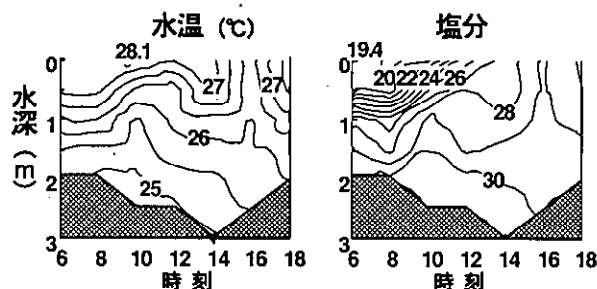


図2 施設下海水の水温と塩分の経時変化

また、図3から施設下0.5m層では $Chl\text{-}a$ が対照地点と比べ9.6~62.1 $\mu\text{g}/\text{l}$ と低かった。これは、施設内の表層から水深1mの範囲に垂下したムラサキイガイ付着ロープのムラサキイガイが、

植物プランクトンを摂食したためと考えられた。また、TP、CODに加えてPO<sub>4</sub>-P、SS、POC、PON、PPの濃度も施設下の方が対照地点より低い値であり、懸濁態の物質に対して、ムラサキイガイによる水質浄化が示唆された。

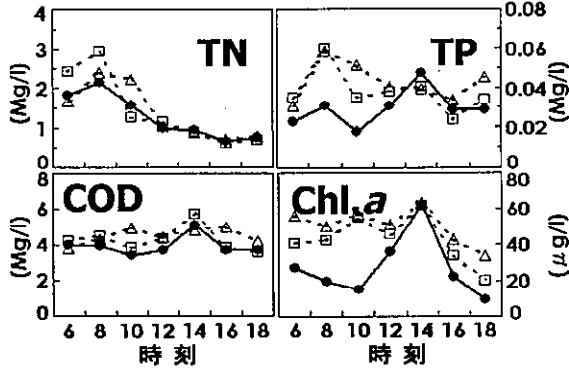


図3 施設下及び対照地点の水深0.5mにおける水質の経時変化

●, 施設下; □, 対照1; △, 対照2

なお、14時にTPやCODの値が上昇したのは、12時にムラサキイガイを捕食するために施設内に侵入したナルトビエイ(約70cm)の影響と推定される。

### 3.2 施設の魚類蝟集効果

ラインセンサスの結果より、各月の平均出現魚種数は、施設下、対照地点、護岸直下で各々3.7種、2.8種、3.9種と大きな差はなかった。一方、施設下の平均出現個体数は74.7尾であり、他の2箇所(対照3.1尾、護岸17.3尾)と比較して著しい魚類の蝟集が認められた。

施設では図4の月別出現魚種に示されるように、ウミタナゴ、メバルが通年で多数観察され、合計で25種を確認した。

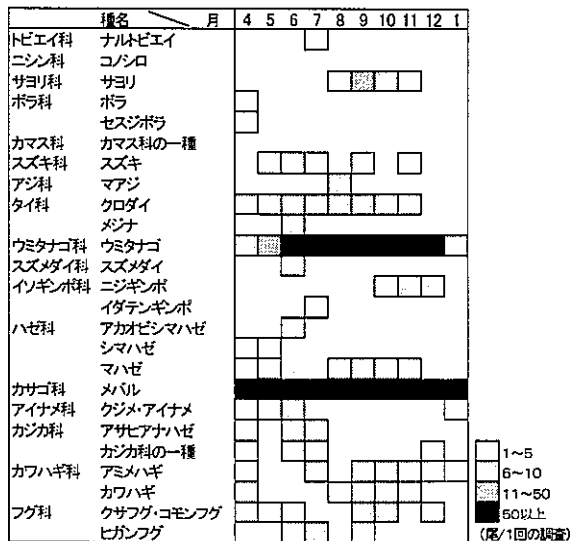


図4 施設下月別出現魚種

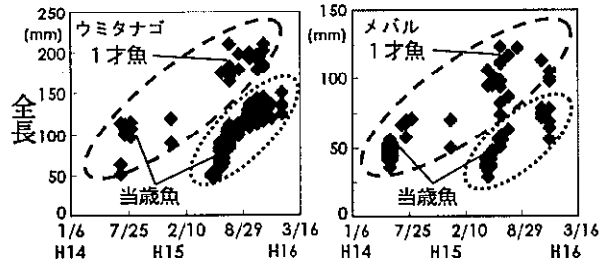


図5 ウミタナゴとメバルの全長の変化

また、図5に示すように、施設設置後2年目には当歳魚に加え1才魚も観察され、施設蝟集魚の成長も示唆された。

ウミタナゴ等の消化管内容物よりヨコエビ類、ワレカラ類、稚貝等が確認され、実際の摂餌行動も度々観察されたことから、施設は魚類の摂餌場所となり蝟集効果があることが分かった。

### 3.3 回収した二枚貝の堆肥化

作成した2種類のムラサキイガイ堆肥及び硫酸添加堆肥は堆肥化2日目堆肥内温度65℃以上となり速やかな堆肥化が可能であった。

表1より、2種類のイガイ堆肥及び硫酸堆肥のいずれも炭素窒素比が20以下と低く分解が進んでおり、水洗イガイ堆肥は石灰分、腐植酸が高濃度であった。重金属類等の有害成分は、いずれの堆肥も肥料の公定規格を満たしており、堆肥使用上の問題はなかった。

表1 堆肥の成分分析結果

分析項目	単位	水洗イガイ堆肥	イガイ堆肥	硫酸堆肥	チップ堆肥	公定規格*
窒素全量	%	0.72	0.64	0.85	0.40	
リン酸	%	0.05	0.06	0.07	0.04	
加里	%	0.24	0.25	0.25	0.23	
炭素窒素比	-	17	20	18	38	
石灰全量	%	9.4	6.4	0.75	0.79	
水分含有量	%	54.0	58.9	61.9	65.0	
腐植酸	%	4.7	3.0	3.1	2.1	
ヒ素	μg/g-dry	1.0	1.5	0.2	0.5	50
カドミウム	μg/g-dry	0.5	0.5	0.4	0.5	5
鉛	μg/g-dry	6.4	9.3	6.3	7.2	100
水銀	μg/g-dry	0.030	0.024	0.032	0.042	2
N a	%	0.22	0.25	0.021	0.027	
C e	%	14.000	10	14	1.8	

\*有害成分公定規格・肥料取締法(H12.2.28施行)

コマツナ栽培試験の結果(写真1)、水洗イガイ、イガイ、硫酸、チップの各堆肥での収穫時コマツナ生体重平均は各々8.7g、6.9g、5.2g、2.5g/本であり、イガイを用いた堆肥において明らかに肥料効果が見られ、堆肥として有効活用できることが分かった。

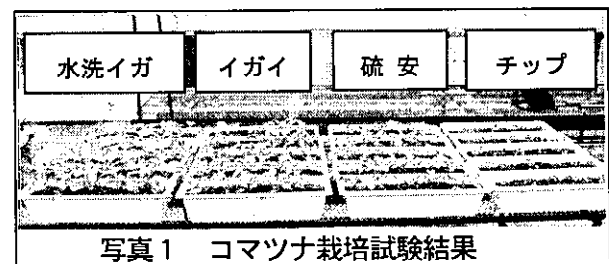


写真1 コマツナ栽培試験結果

上田直子, 田中和彦, 村田達海  
喜洲淳哉, 藤井社央 (北九州市港湾空港局)  
第40回日本水環境学会年会 (仙台市)  
平成18年3月

## 1 はじめに

当所では、富栄養化した水域の環境修復法として、濾過食性二枚貝の生物機能を用いた「海水又は淡水の水質浄化法」を考案し、1999年に特許を取得した。この技術の実用化を検討するために、2002年1月、北九州市洞海湾にムラサキイガイを育成する環境修復実証施設を設置し(写真1)、2002年～2004年に、その水質浄化能力の把握や回収したムラサキイガイの資源化等について詳細な実証実験を行った。

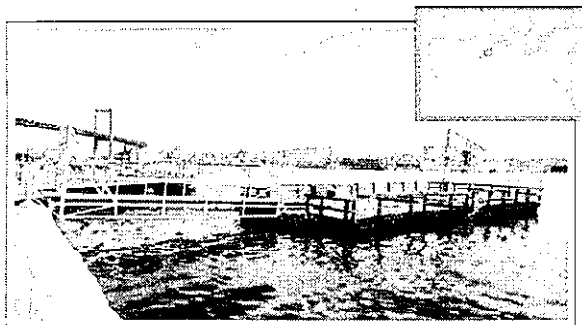


写真1 環境修復実証施設

その結果、実証施設(約40m<sup>2</sup>、ロープ120本)による水質浄化能力は、窒素で40.9g/hr、リンで4g/hrと高い値を示すことがわかり、この値から、洞海湾で夏季に発生する赤潮を消滅させるためには、同規模の施設ならば125台、ロープ(1m)ならば15,000本が必要であることが試算された。また、実証施設から回収した大量のムラサキイガイの再利用法として、街路樹等の剪定枝チップと混合して堆肥化することを検討し、その手法を確立するとともに、作製された堆肥が安全で肥料効果も高いことを明らかにした。

このように、実証実験の結果から本技術の有効性と実用性が証明されたので、今後は試算から求められた規模での事業化を検討する段階となる。そこで、当所では、ハード整備の検討を事業局と連携して進める一方で、施設の維持管理を市民参加で実施する方法を提案することとした。2004年にこれまでの成果を「マイロープ・マイ堆肥」としてマニュアル化し、2005年はそれによって社会実験を実施し、マニュアルの検証と市民への本技術のPRを行ったので、ここに報告する。

## 2 実施内容

社会実験は、洞海湾に隣接した小学校の6年生45人と市民NGOを対象とし、小学校の総合学習の時間を利用して行った。

### 2-1 事前学習とマイロープの垂下(2005年4月26日)

事前に、洞海湾の歴史や環境、ムラサキイガイを用いた水質浄化法の仕組み等について学習し、「マイロープ・マイ堆肥」の意義を理解する。その後、実証施設でマイロープの作製と垂下を行った。

### 2-2 マイロープの観察(2005年5月31日)

マイロープの垂下後、適宜、マイロープの状況や水質の変化を観察し、記録した。

### 2-3 マイロープ引き上げ・付着生物の観察・マイ堆肥作製(2005年7月19日)

垂下したマイロープを引き上げ、教室に持ち帰って付着生物の同定やムラサキイガイの水質浄化能の観察を行った。引き上げたムラサキイガイは、資源として活用するために、マニュアルに従ってマイ堆肥の作製を行った(写真2)。



写真2 マイ堆肥づくり

### 2-4 マイ堆肥の切返し(2005年8月9日、9月2日)

2～3週間に1度の割合で、マイ堆肥をネットごと丁寧に揉んで酸素を入れ、堆肥の熟成を促進した。

### 2-5 マイ堆肥を使ったイチゴ栽培(2005年9月29日)

完成した堆肥と土を1:1で混ぜ、イチゴを植栽した。

## 3 結果

「マイロープ・マイ堆肥」マニュアルに従って、ほぼ1年間にわたって社会実験を行った結果、マニュアルにほとんど問題のないことが証明された。しかし、今年度の社会実験が小学生を主な対象としたため、カリキュラムの都合上、予め当所が準備したものを要所だけ体験してもらう形となった。今後は市民NGO等を主な対象として、すべての過程を体験してもらい、本技術の実現化を図ってきたい。

## 標準物質不要の化学物質一斉分析用データベースについて

北九州市環境科学研究所アクア研究センター ○陣矢大助、門上希和夫

## 1 はじめに

食品中の残留農薬規制のポジティブリスト制への移行や、水道水水質管理項目の新規設定など、分析すべき化学物質の数は年々増加している。また地震や環境汚染事故・事件などの緊急時には、不特定多種の物質による環境汚染が生じることが予想され、そのような際には環境汚染の実態を迅速に把握することが求められる。このような背景から、食品や環境媒体中の化学物質を、より短時間で効率的にスクリーニングする技術の開発が喫緊の課題となっている。

そこで我々は、ガスクロマトグラフ/質量分析計 (GC/MS) メーカー 2 社と共同で、GC/MS で分析可能な多成分の化学物質を一斉に分析できるデータベース (GC 保持時間、マススペクトル及び検量線情報を含む) を開発した。開発したデータベースを用いれば、標準物質を使用することなく、短時間に約 700 物質 (平成 17 年 4 月現在) のスクリーニングを実施することができる。今回は、これらのうち西川計測(株)他と共同で開発した「GC/MSD 精度管理・相対定量ソフトウェア Naginata」について、技術の概要と実試料分析などへの応用例を報告する。

## 2 データベースの概要

GC/MS による定量分析では、装置の状態によって保持時間や応答値が異なるため、試料の測定に先立ち、対象物質の標準品を測定することが不可欠である。しかしこのことは、GC/MS の状態を一定にすれば、測定の都度標準物質の測定を行わなくても、対象物質の同定・定量が可能であることを示している。これを実現するため当技術では、①既存技術のリテンションタイム・ロッキング、②EPA625 クライテリアに基づく MS のチューニング、③システム・パフォーマンス・チェック溶液 (Naginata クライテリアサンプル溶液) の測定による装置状態評価を行い、装置性能を常に一定に保つ手法を取っている。これら状態評価はソフトウェアで自動化されているが、マニュアルによるチェックも可能である。

なお Naginata クライテリアサンプル溶液には、GC/MS の各部位の汚れや劣化状況をチェックするための農薬等 19 物質と、n-アルカン類 25 物質及び定量用の内標準 8 物質が含まれる。

## 3 データベース登録物質

当該データベースには、対象物質の同定・定量に必要なすべての情報 (物質名、保持時間、マススペクトル、定量イオン、対応の内標準物質、相対感度係数による検量線等) が登録されている。現在の登録物質数は、内標準 8 物質、農薬類約 240 物質を含む化学物質約 450 種である。

表 1 Naginata 用 GC/MS 測定条件

GC/MS:	Agilent 5973 GCMSD		
カラム:	HP-5MS, 30m x 0.25mm i.d., 0.25um film thickness		
注入口温度:	250℃		
オープン温度:	70℃ (2min) ? 25℃/min ? 150℃ (0min) ? 3℃/min ? 200℃ (0min) ? 8℃/min ? 280℃ (10min) ? 10℃/min ? 300℃		
トランスファーライン温度:	280℃		
注入法:	スプリットレス (パージョフ時間: 2min)	キャリアガス:	ヘリウム
カラムヘッド圧:	リテンションタイムロック設定 (クロルピリホスメチル保持時間=16.593min)		
イオン化法:	EI	イオン源温度:	230℃
		四重極温度:	150℃
SCAN 範囲	35~550 amu	SCAN 速度	0.35 sec/scan



#### 4 標準溶液測定によるデータベースシステムの性能確認

データベースシステムの性能確認のため、表 1 に示す GC/MS 条件で農薬の標準溶液（関東 21 農薬標準溶液）を測定した例を示す。

##### 1) 検出（同定）性能（保持時間及び MS スペクトル検出の精度）

クライテリアサンプル溶液を用いた装置状態評価（リテンションタイムロッキングを含む）を行った後、関東 21 農薬標準溶液を測定し、33 農薬について Naginata で自動同定・定量した。その結果各物質の保持時間は、設定値とのずれが平均 0.1 秒、最大 2.9 秒であり、十分な保持時間の固定化が図られていた。また MS スペクトルのデータベースとの一致率は、33 物質中 24 物質で 80%以上を示しており、両者を用いることにより、全自動で対象物質を確実に同定できることが示された。このため数 100 物質の同定・定量に際しても、十分な省力化が図れることが分かった。

##### 2) 複数機関・装置間での定量値の比較（データ提供：西川計測（株））

次に同じ関東 21 農薬標準溶液を複数の機関・装置で測定し、その定量結果を 33 農薬について比較した例を表 2 に示す。定量値に装置間である程度差はあるものの、スクリーニング測定としては十分な精確性を有することが確認された。

##### 3) 実試料測定

発表時に河川水等の実試料測定例を報告する予定である。

表 2 関東 21 農薬標準溶液 0.2ppm の定量結果（単位：ppm。標準溶液に内標準物質を添加したもの）

化合物名	LAB1 (5973N)	LAB2 (5973N)	LAB3 (5973i)	LAB4 (5973A)	LAB5 (5973i)	最大	最小	平均	RSD (%)
a-BHC	0.20	0.22	0.26	0.25	0.24	0.26	0.20	0.24	11
b-BHC	0.21	0.21	0.26	0.22	0.24	0.26	0.21	0.23	10
d-BHC	0.20	0.20	0.23	0.19	0.24	0.24	0.19	0.21	11
p,p'-DDE	0.22	0.22	0.27	0.24	0.20	0.27	0.20	0.23	10
アセチアリド	0.13	0.17	0.18	0.11	0.09	0.18	0.09	0.14	28
イソフェノス	0.21	0.21	0.27	0.14	0.19	0.27	0.14	0.21	22
イソプロカルブ	0.20	0.23	0.20	0.23	0.17	0.23	0.17	0.21	12
エチオフェンカルブ	0.20	0.26	0.20	0.18	0.15	0.26	0.15	0.20	21
エトプロス	0.21	0.23	0.22	0.20	0.21	0.23	0.20	0.22	6
キナルホス	0.21	0.21	0.24	0.22	0.18	0.24	0.18	0.21	10
キノチオナート	0.20	0.20	0.19	0.17	0.19	0.20	0.17	0.19	6
クロルフェンピノス Z	0.21	0.22	0.27	0.20	0.20	0.27	0.20	0.22	13
ジクロルホス	0.19	0.23	0.23	0.19	0.21	0.23	0.19	0.21	11
ジメチルピノス	0.20	0.22	0.24	0.17	0.15	0.24	0.15	0.20	19
テニルクロール	0.20	0.19	0.27	0.24	0.18	0.27	0.18	0.22	18
テフルリン	0.20	0.22	0.26	0.21	0.22	0.26	0.20	0.22	11
テルブホス	0.21	0.26	0.27	0.24	0.22	0.27	0.21	0.24	11
トルクロホスメチル	0.21	0.22	0.25	0.19	0.20	0.25	0.19	0.21	11
バクプロトラゾール	0.20	0.25	0.27	0.18	0.16	0.27	0.16	0.21	22
ピテルタノール	0.14	0.24	0.28	0.18	0.13	0.28	0.13	0.19	33
ピリダベン	0.18	0.22	0.22	0.16	0.16	0.22	0.16	0.19	16
ピリミジフェン	0.17	0.26	0.20	0.10	0.15	0.26	0.10	0.18	34
ピリミホスメチル	0.20	0.27	0.26	0.23	0.17	0.27	0.17	0.23	17
ブチレート	0.22	0.21	0.23	0.25	0.20	0.25	0.20	0.22	8
フルシラゾール	0.18	0.21	0.26	0.16	0.17	0.26	0.16	0.19	21
フルトラニル	0.23	0.23	0.26	0.19	0.20	0.26	0.19	0.22	12
プレチラクロール	0.22	0.22	0.27	0.22	0.21	0.27	0.21	0.23	11
ベンダイオカルブ	0.22	0.24	0.26	0.21	0.18	0.26	0.18	0.22	14
ホサロン	0.16	0.23	0.21	0.16	0.14	0.23	0.14	0.18	20
マラチオン	0.20	0.25	0.28	0.20	0.16	0.28	0.16	0.22	20
メチオカルブ	0.21	0.29	0.26	0.20	0.18	0.29	0.18	0.23	20
メフェナセト	0.19	0.21	0.22	0.16	0.17	0.22	0.16	0.19	15
レナシル	0.17	0.19	0.21	0.18	0.14	0.21	0.14	0.18	15

※ 本 精度管理・相対定量ソフトウェアは、北九州市環境科学研究所と西川計測（株）、新川電機（株）、横河アナリティカルシステムズ（株）との共同研究により開発された。