



# 水質基本指標

## BOD と COD の新考察

SCE・Net 鹿子島達志

R-69  
発行日  
2021.5.23

### 1. 序言

筆者は化学工場の排水処理について、多くの企業や大学などの研究機関と協業した経験がある。当時、化成品排水は難分解であり、焼却法しかないとされ、プラズマ法はじめ多種多様な代替案を検討したが、全て不可であった。ところが、案に相違して生物処理法で良い結果を得た。現在は、技術コンサルをしているが、排水関連の案件も多く、古い資料を見直す機会も増えた。過去の考察は主にBOD/COD比(2-2 項参照)による単純な難分解性評価であったが、ここに、新たな情報も加え化学的背景に基づき、詳しく見直し、有効な推定式を得たので、以下報告する。なお、排水処理用語の説明は極力省略した。また、引用文献は一括して文末に掲載した。文献1群は論拠や参考とした式の根拠資料、文献2群は採用した水質データの根拠資料である。

### 2. 水質基本指標としての BOD と COD の見直し

#### 2-1. BOD(生物化学的酸素要求量)と COD(化学的酸素要求量)

水質指標には、BOD、COD 以外にも SS(浮遊物質)、pH(水素イオン濃度)、有害物質、nヘキサン抽出物質など多々あるが、代表的指標としての BOD と COD を中心に ThOD(理論酸素要求量)、TOD(全酸素要求量)、TOC(全有機炭素)も取上げた。BOD と COD はいずれも環境水質では、現在も有機汚濁の指標として用いられ、利用目的に応じ典型的に規定されている重要な指標である。一方、生物処理法は、経験工学として、完成済みであるとされているが、排水の高度処理や再利用技術の進展につれ BOD や COD のような総括的な濃度指数のみでは、処理技術の特性把握が十分にできないとの批判も根強く、これらの点を原点に戻り、検討したいと考えた。

#### 2-2. 分解性判断の指標:BOD/COD

BOD、COD の間には、特異的な相関関係が存在し、その比の BOD/COD(または COD/BOD)は生分解性、または逆の難生分解性(以降、難分解性と記す)を推定できる指標とされてきた。下に代表的資料を示す。ただし、記載データの範囲は全て同一か類似の排水条件である。

事業場排水の COD と BOD の関係性について  
鹿児島県 2011

BOD5 versus COD relationship for raw and treated fish filleting wastewater (Gonzalez, 1985)

BOD/COD 0.1 以下難分解性、CODmn などで CODcr の 1/3~1/2、すなわち 0.2~0.3 以上(2-3 項を参照)。下水道生分解性指標 文献 1)

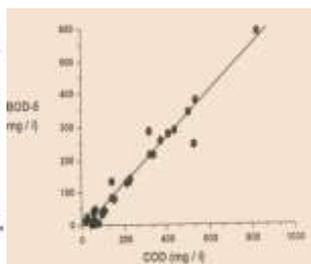
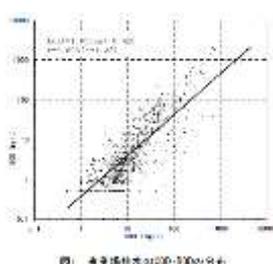


表 3-1 下水道における難分解性有機物、難分解性有機物の各生分解性指標の値\*

	難分解性	易分解性	備考
1次反応係数 [1/day] 直 e	0.01 以下	0.1 以上	両方で明確に異なる
BOD 分解率	5%以下	40%以上	難分解性成分では BOD 分解率が 40%以上ならば、その値によって生分解性の大小は異なるが、難分解のものでは値が小さいほど、より難分解性である
BOD/COD <sub>cr</sub>	0.1 以下	0.5 以上	難分解性有機物でかつ COD <sub>cr</sub> 試験で測定できないものについてはこの比から判断できない
COD <sub>cr</sub> 除去率	30%以下	80%以上	易分解であったりも COD <sub>cr</sub> 試験で測定できない物質では低除去率に、逆に難分解でも吸着あるいは凝集しやすい物質では除去率が大きくなる



1)無機性 Inorganicity(親水性)と有機性 Organicity(疎水性)の比:I/O 文献 5)

無機性 I(Inorganicity)と有機性 O(Organicity)の値は化学データからか基準値から求める。  
文献5は有機物の親水性、疎水性を I/O で表して、活性炭吸着法の処理性を考察している。  
この方法を参考にして、I/O とTOD(前述)とBOD、および COD や、 $\Delta F$ (次項)との相関性を明らかにした。従って、各化合物の化学式から I/O 値を推算することで、生分解性が判断できる。  
4-1 項 1 図および 2 図参照。2 図より  $BOD_u \doteq -0.212 \times (I/O) + 1.891$  ①の関係を導いた。  
上記 BOD<sub>u</sub> は最大値(U:Ultimate)。前記2-4項を参照。

2)完全酸化時の自由エネルギー(酸化反応熱): $\Delta F$  (kcal/モル基質,または cal/g) 文献 6)

$\Delta F$  は物性データ資料から求める。もしくは化学式に基づく熱計算式から算出できる。  
文献6は、BOD が複雑な汚濁性有機物(基質)を単一数量で表現した意味に止まらず、物理化学的根拠を持つとし、活性汚泥法において、 $\Delta F$  と BOD の関係を以下の様に示している。

$$BOD_5 \text{ 近似値(mg/g)} \doteq 0.146 \times \Delta F(\text{cal/g}), \quad BOD_5 \text{ 理論値(mg/g)} \doteq \text{酸化率} \times TOD$$

$\text{酸化率 } f_0(\%) \doteq 1 - 0.00268 \times (TOD/C)$  これら文献の式を参考に、対象化合物を拡大して新たに BOD や COD との相関性を明らかにした。なお文献は BOD<sub>5</sub>、次々は BOD<sub>u</sub> である。

4-1 項 3 図および 4 図参照。4 図より  $BOD_u(\text{g/g}) \doteq 0.00022 \times \Delta F(\text{cal/g})$  ②を導いた。

②の係数  $0.00022(\text{g/g})$ と文献式の  $0.146(\text{mg/g})$ の比  $BOD_5/BOD_u:0.66$  は 2-4 項記述に同じ。

3)オクタノール/水分配係数(化合物の脂溶性/水溶性の指標): $\log Pow$  文献 7)

$\log Pow$  は、脂溶性か水溶性かの指標であり、化学データ資料より求められる。

文献7は  $\log Pow$  と BOD/COD 比の関係は過去一度も研究されていないと言う。BOD/COD 比が低いほど  $\log Pow$  係数が高く、非生分解性を示す。今回、対象の全有機化合物で確認できた。

4-1 項 5 図参照。これから  $COD_{mn}/BOD_{長期} \doteq -0.033 \times (\log Pow) + 0.102$  ③を導いた。

4)TOC(全有機炭素)、TOD(全酸素要求量):各分子式から化学計算的に理論値を算出できる。

TOC、TOD の実測値はほぼ理論値に同じである。また  $\Delta F$  および I/O は、TOC と TOD とは正相関しており、 $\Delta F$  燃烧熱(反応熱)と I/O 無機質/有機質は生分解性に明確に関係する。

5)COD 値の COD<sub>mn</sub> と COD<sub>cr</sub> は前述参照(2-3項ほか)。英文資料は全て COD<sub>cr</sub>であった。

### 3-2. 使用した有機化合物とデータ

対象化合物は次の代表的 10 種を選択した。文献2の中から、頻度の高いものを抽出している。

・アルコール類:メチルアルコール、エチルアルコール

・芳香族化合物:フェノール、安息香酸、アニリン

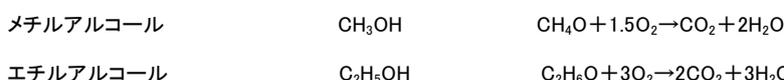
・低級脂肪酸:ギ酸、酢酸、プロピオン酸 ・糖類:グルコース ・アミノ酸:グリシン

なお、メタンなどのアルカン(鎖式炭化水素)類は文献を見いだせず、考察の対象から除外した。

データは、文献2から計 14 種の原資料を抽出し、重複や単位不備分を整理して選定した。

### 3-3. 有機化合物の反応式

対象有機化合物の化学反応式を参考に下記に示す。文献記載式および理論式に基づく。



フェノール	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O + 7O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	
グルコース	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> + 6O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 6H <sub>2</sub> O	
ギ酸	HCOOH	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 0.5O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	
酢酸	CH <sub>3</sub> COOH	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> + 2O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	
プロピオン酸	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 3.5O <sub>2</sub> → 3CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	
安息香酸	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> + 7.5O <sub>2</sub> → 7CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	
アニリン(反応生成物 NO)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N + 8.25O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 3.5H <sub>2</sub> O + NO	TOD: 2.405
アニリン(反応生成物 NO <sub>2</sub> )	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N + 8.75O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 3.5H <sub>2</sub> O + NO <sub>2</sub>	TOD: 2.835
アニリン(反応生成物 NH <sub>3</sub> )	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N + 7O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub>	TOD: 3.007
アニリン(反応生成物 HNO <sub>3</sub> )	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N + 9O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O + HNO <sub>3</sub>	TOD: 3.092
グリシン(反応生成物 NH <sub>3</sub> )	CH <sub>2</sub> (NH <sub>2</sub> )COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ON + 1.5O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub>	TOD: 0.639
グリシン(反応生成物 NO)	CH <sub>2</sub> (NH <sub>2</sub> )COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ON + 2.75O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 2.5H <sub>2</sub> O + NO	TOD: 1.172
グリシン(反応生成物 NNO <sub>3</sub> )	CH <sub>2</sub> (NH <sub>2</sub> )COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ON + 3.5O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + HNO <sub>3</sub>	TOD: 1.492

注) 上記の反応式において、HNO<sub>3</sub> や NO の生成時はバラツキが多く、推定適用式の設定時には精度上 除外した。

(a) アニリン: 経産省ガイドでは測定時に HNO<sub>3</sub> ではなく NH<sub>3</sub> で残留するものと考えて測定することと指導。

(b) グリシン: 測定時に反応が NH<sub>3</sub> 生成で終わらず NO 生成まで進行することがある。

### 3-4. データ一覧

表-1: CODmn および CODcr 実測値、BOD 実測値および文献6の理論値と近似値(3-1-2 項)

データ文献					D3		D3		D2		D3, D4, D7		D4, D7		D5		D5		D5		計算		6		6		6			
区分	有機化合物名称	分子式	分子量	比重	TOC	TOD	CODmn	CODmn	CODcr	BOD5	BOD延長	BODu	BOD延長	BOD5	実測値mg	実測値mg	推定理論値	推定近似値	推定理論値	推定近似値										
アルコール類	メチルアルコール	CH3OH	32.04	0.798	0.375	1.498	7.6	27	96.0	1.02	1.18	1.31	78.8																	
アルコール類	エチルアルコール	C2H5OH	46.07	0.789	0.521	2.084	11.0	11	95.2	1.6	1.63	1.63	78.2	1120	1303	477	1030													
芳香族化合物	フェノール	C6H5OH	94.11	1.070	0.766	2.380	29.4	63~73	99.2	1.46	1.98	1.98	83.2																	
糖類	グルコース	C6H12O6	180.06	1.540	0.400	1.066	6.2	59	98.0	0.6	0.83	0.94	77.9	524																
低級脂肪酸	ギ酸	HCOOH	46.03	1.220	0.261	0.348	3.2	14	97.7	0.18	0.31	0.35	89.1																	
低級脂肪酸	酢酸	CH3COOH	60.05	1.049	0.400	1.066	12.5	7	96.3	0.92	0.99	1.05	92.9	610																
低級脂肪酸	プロピオン酸	C2H5COOH	74.08	0.990	0.486	1.512	11.2	8	96.0	1.22	1.28	1.58	84.7																	
芳香族化合物	安息香酸	C6H5COOH	122.12	1.320	0.688	1.965	12.0			1.25	1.46	1.46	74.3	1050																
芳香族化合物	アニリンNO	C6H5NH2	93.13	1.022	0.774	2.405	92.0	86~108	133.0	0.07	1.3	1.63	54.1																	
	アニリンNO2	C6H5NH2	93.13	1.022	0.774	2.835	92.0	86~108	133.0	0.07	1.3	1.63	45.9																	
	アニリンNH3	C6H5NH2	93.13	1.022	0.774	3.007	92.0	86~108	133.0	0.07	1.3	1.63	43.2																	
	アニリンHNO3	C6H5NH2	93.13	1.022	0.774	3.092	92.0	86~108	133.0	0.07	1.3	1.63	42.0																	
アミノ酸	グリシンNH3	CH2(NH2)COOH	75.07	1.161	0.320	0.639	1.6	3	104.0	0.1	0.39	0.49	61.0	350																
	グリシンNO	CH2(NH2)COOH	75.07	1.161	0.320	1.172	1.6	3	104.0	0.1	0.39	0.49	33.3	350																
	グリシンNNO3	CH2(NH2)COOH	75.07	1.161	0.320	1.492	1.6	3	104.0	0.1	0.39	0.49	26.1	350																
備考										50ppm																				

表-2 : I 値、O 値、I/O、ΔF、logPow、および BOD 推定値(文献6)の対象拡大の修正値(下記注)

データ文献					5		5		6		6		計算		7		6		6		6		6		6			
区分	有機化合物名称	分子式	分子量	TOD	I	O	I/O	ΔF	ΔF	ΔF	logPOW	log POW	Cの数	TOD	TOD/C	f0	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5	BOD5
アルコール類	メチルアルコール	CH3OH	32.04	1.498	100	20	5.00	726	174.2	5436	1.422	-0.7	1	48	48	0.228	341.1	793.6										
アルコール類	エチルアルコール	C2H5OH	46.07	2.084	100	40	2.50	1368	328.2	7124	1.974	-0.3	2	96	48	0.228	474.5	1040.2										
芳香族化合物	フェノール	C6H5OH	94.11	2.380	115	120	0.96	3054	732.8	7787	2.086	1.8	6	224	37	0.405	963.1	1136.9										
糖類	グルコース	C6H12O6	180.06	1.066	565	120	4.71	2816	675.8	3753	1.004	-3.3	6	192	32	0.485	517.1	548.0										
低級脂肪酸	ギ酸	HCOOH	46.03	0.348	150	20	7.50	255	61.1	1327	0.316	-0.5	1	16	16	0.743	258.4	193.8										
低級脂肪酸	酢酸	CH3COOH	60.05	1.066	150	40	3.75	874	209.8	3494	0.941	-0.2	2	64	32	0.485	517.1	510.2										
低級脂肪酸	プロピオン酸	C2H5COOH	74.08	1.512	150	60	2.50	1527	366.6	4948	1.400	0.3	3	112	37	0.405	611.9	722.4										
芳香族化合物	安息香酸	C6H5COOH	122.12	1.965	165	140	1.18	3255	781.1	6396	1.845	-2.3	7	240	34	0.453	890.0	933.9										
芳香族化合物	アニリンNO	C6H5NH2	93.13	2.405	85	120	0.71	3393	814.3	8744	1.485	2.4	6	224	37	0.399	960.6	1276.6										
	アニリンNO2	C6H5NH2	93.13	2.835	85	120	0.71	3393	814.3	8744	1.915	2.4	6	264	44	0.294	833.5	1276.6										
	アニリンNH3	C6H5NH2	93.13	3.007	85	120	0.71	3393	814.3	8744	2.087	2.39	6	280	47	0.250	750.5	1276.6										
	アニリンHNO3	C6H5NH2	93.13	3.092	85	120	0.71	3393	814.3	8744	2.172	2.39	6	288	48	0.228	704.3	1276.6										
アミノ酸	グリシンNH3	CH2(NH2)COOH	75.07	0.639	220	40	5.50	973	233.5	3111	0.623	-3.21	2	48	24	0.613	391.9	454.2										
	グリシンNO	CH2(NH2)COOH	75.07	1.172	220	40	5.50	973	233.5	3111	1.156	-3.21	2	88	44	0.291	340.6	454.2										
	グリシンNNO3	CH2(NH2)COOH	75.07	1.492	220	40	5.50	973	233.5	3111	1.476	-3.21	2	112	56	0.097	144.6	454.2										

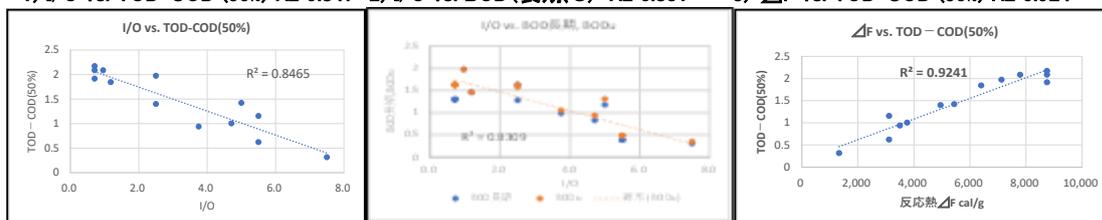
注) ここで、表-1 の BOD<sub>5</sub> の推定理論値と推定近似値は文献6による(3-1 項 2)を参照)。表-2 の BOD<sub>5</sub> の修正理論値と修正近似値とは筆者が対象化合物数を拡大し、修正(補正)した数値である。

## 4. 推定方法の有効性

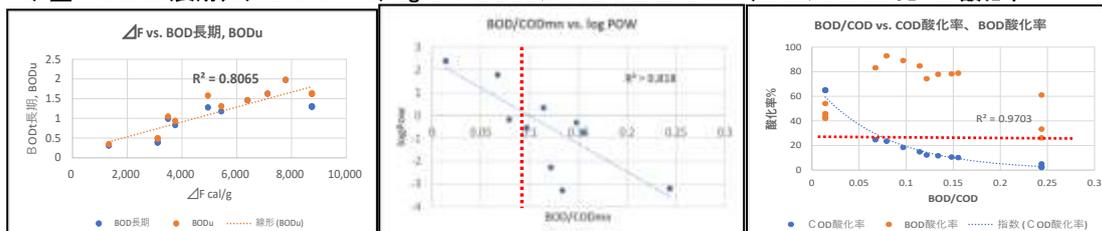
### 4-1. データおよび指標の相関性について

以下の図群に示すように、データは任意の選択にも関わらず、高い相関性を見出した。

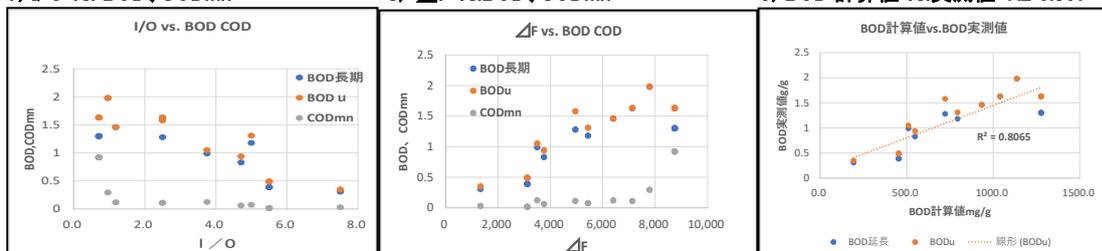
1) I/O vs. TOD-COD (50%) R2 0.847 2) I/O vs. BOD(長期, U) R2 0.831 3)  $\Delta F$  vs. TOD-COD (50%) R2 0.924



4)  $\Delta F$  vs. BOD(長期, U) R2 0.807 5) logPow vs. BOD/COD R2 0.818 6) BOD/CODmn 比 vs. 酸化率



7) I/O vs. BOD, CODmn 8)  $\Delta F$  vs. BOD, CODmn 9) BOD 計算値 vs. 実測値 R2 0.807



#### 4-2. BOD/COD 比の検証 (2-2 項を参照)

BOD/CODmn 比は 5 図で logPow と約 0.1 で分解性が区分され、CODcr 換算は、0.2~0.4 となり良く合っている。従い logPow で説明可能である。また、BOD/CODmn 比と酸化率の関係も、6 図に示す様に約 0.1 前後で区分される。また 7 図で I/O、8 図で  $\Delta F$  は各々興味深い相関を示す。

#### 4-3. 適用式の有効性確認

前記 BOD 推定式①②③の有効性は、BOD 実績値と推定値式②の相関図 9(表—2より)が、正相関であることや、次項5の実際データでの考察結果(式①②③)から明らかであると言える。

#### 5. 複合排水中の総合値としての COD、BOD 推定方法とまとめ

以上有機化合物単体での考察を主体としてきたが、実際は各種化合物を含む複合排水であることは言をまたない。複合排水の総合的判断がより重要である。推定法の手順を以下説明する。

- ①排水中の有機化合物の成分と比率を GPC などの分析値からや製品原料成分から推定する。
- ②各成分の I/O、 $\Delta F$ 、log Pow の理論値をデータ資料や、もしくは化学計算で求める
- ③関係式(3-1 項 ①②③)から COD、BOD を推定し、実測値と照合を繰り返し収束させ解を得る。

複合 BOD、COD 推定濃度 =  $\Sigma$ (各成分の濃度比率 × 各成分の推定 BOD、または COD) ④

次に、筆者が過去に実際の化成品排水で検討したデータを用い、上記の手順で見直した。その結果を下記の表—3にまとめた。なお、実際の成分は微量な副生成成分も多数あり、データはバラツキが多いので表—3は安定分を用いた。BOD 推定値は①②両式とも同等値を得たので、両式とも有効である。次に③式の BOD/COD 比からの COD 値も実測値と合っている。ここで、成分比

は各1に相当している。また、総合排水のCOD実測値は32,100であったが、これも推定値と合致した。一方、BODの実測値は18,000であったが、BOD推定平均値(ただしBOD長期)はBOD<sub>u</sub>換算値16,912(表-3データより係数1.12倍)より大きく、18,000はBOD<sub>u</sub>ではなく、より高いBOD値、例えば浮遊粒子性BODを含むとも考えられる。なお、硝化性BODの影響は化学式から考え難い。これをBOD<sub>uu</sub>とする。文献3他から、COD<sub>b</sub>/COD:0.60として、COD<sub>b</sub>推定値は19,649となり、計算BOD<sub>uu</sub>/COD<sub>b</sub>=0.92は2-4囲み文の数値に同じ。計算BOD<sub>uu</sub>/COD=0.60も実績0.56に近く妥当である。以上より、導いた計算式による推定値と、実測データが整合し、一定の有効性が証明された。また、当時は単なるデータ比較の判断であったが、化学的指標で説明ができた。

表—3: 化成品工場の複合成分排水の考察 (式①②③は3-1項を参照)

化学品※1	分子量	TOC	TOD	I/O	ΔF(cal/g)	logPow	BOD推定値(g/g)			BOD/COD <sub>50</sub>	COD(mg/100cc)		
							式①	式②	①②平均		式③※2	実測値	計算値
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub> 相当	148	0.568	2.378	1.89	6,546	0.28	1.490	1.440	1.465	0.0928	33,547	31,573	1.06
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> OH相当	74	0.649	2.811	1.25	7,780	-0.30	1.626	1.712	1.669	0.1119	26,558	30,063	0.88
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> 相当	178	0.539	2.067	2.5	5,680	1.00	1.361	1.250	1.305	0.0970	36,505	37,826	0.97
C <sub>5</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> 相当	106	0.566	2.566	1.5	7,201	0.05	1.573	1.584	1.579	0.1004	29,860	31,454	0.95
注)※1:異性体などもあり相当とした。※2:logPow③式より求めた。							平均値	1.510	0.1005	31,618	32,729	0.97	

## 6. 結語

排水処理技術は長い歴史と広い裾野がある。安易に門外漢が立入れるものではない。小論では、水質に影響するpHや温度、SS分や塩分などの因子を除外し、シンプル化した上で、基本指標のBOD、CODに絞り、過去資料と新たな情報を基に化学構造的に考察した。上述した様に、一定の有効性ある成果を得たと自負したいが、我田引水・井の中の蛙でないことを願っている。

・文献1 (BOD/COD比やその他の指標の主要な参考資料を示す。20件以上あるが、多くは掲載を省略した)

- 1)建設省都市局下水道部:下水中の難分解性有機物に関する調査報告書(1986) 頁—1
- 2)New Approach in COD Fractionation Methods: MDPI July2019 頁—2
- 3)Environmental Engineering Unit Process CHAPTER: 1(Marmara University, Turkey) 頁—2
- 4)Water Quality and Estimation of Organic Content (M.M, Ghangrekar ,IITKharagpur) 頁—2
- 5)水中有機化合物の有機概念図を利用した生分解性と活性炭吸着性の評価(1978):I/O ⇒データ根拠兼用 頁—3
- 6)活性汚泥法における基質の量的評価に関する基礎的研究 土木学会論文報告集 1970.9: ΔF⇒データ根拠兼用 頁—3
- 7) RELATIONSHIP BETWEEN BOD/COD RATIO AND OCTANOL/WATER PARTITION (Jun,2019): log Pow ⇒データ兼用頁3

・文献2 (データの根拠資料。重複や単位不明なものは整理・集約した。)

- D1)よく分かる下水道用語(COD) 日本下水道事業団 2014
- D2)水質自動測定の研究 (1972 矢部禎昭他)
- D3)わかり易い公害分析計測基礎講座(第15講) 環境技術 Vol.9(1980)
- D4)水質汚濁の指標項目と石津川の水質について(堺河川ボランティア盛田正敏平成21年1月)
- D5)純有機化合物のBODと生化学的分解性 東大工学部(岡沢和好) 1968
- D6)COD測定に関する2,3の考察 神奈川県工業試験所 1979
- D7) Valuation of COD Analysis Methods for Oilfield Produced Water (Journal of Japan Petroleum Institute)

以上