

浄水処理実験 実験レポート

03250114 大隅伸明

Table1: オゾン検量線の元データ

MB 濃度 (mg/L)	665nm 吸光度
0.0	0.000
0.2	0.013
0.5	0.031
1.0	0.073
2.0	0.157
5.0	0.352
10.0	0.705
20.0	1.417

ここに html 版へのリンクを貼りたい。

目的

上水実験課題では以下の項目を扱い、浄水処理の物理化学的な原理について定性的・定量的な両面から理解を深めることを目的とする。

1. 凝集沈殿における最適条件の決定
2. 急速濾過における目詰まり状況の解析
3. オゾンによる有機物分解
4. 活性炭の吸着特性の解析
5. 消毒
 1. 塩素消毒
 2. 紫外線消毒

課題 A オゾンによる有機物分解

実験概要

オゾン処理は主に高度処理で用いられ、

結果

まず、メチレンブルー濃度算出に用いる検量線を作成した。各班の実測値を Table 1 に示す。

上記のデータを用いて最小二乗法で検量線を作成したところ、今回採用した希釈段階の全域に渡ってデータは線形な変化であることを確認することができた。

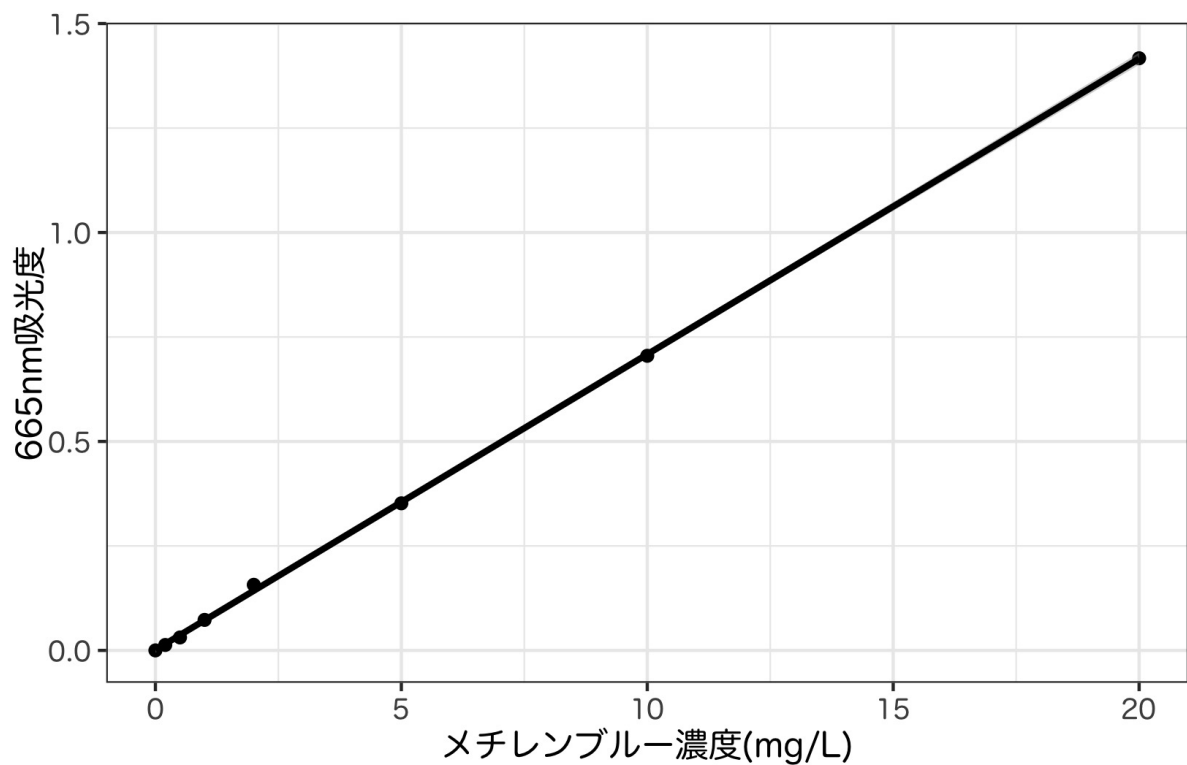


Figure1: メチレンブルー濃度の検量線

図 Figure 1 の検量線を用いて、各時刻でのメチレンブルー濃度を算出した。pH・オゾン濃度・TOC 濃度の実測値と合わせ、Table 2 に結果を示す。

メチレンブルー濃度の時間変化を図示すると Figure 2 のようになった。

考察

課題 B 急速濾過における目詰まり状況と処理性能の解析

実験概要

結果

マノメータ水位の変化を Table 3 に示す。

逆洗時に採水を行い、SS を測定した結果を Table 4 に示す。

考察

マノメータの

Table2: オゾン処理時の各水質指標の測定結果

時間. 分.	吸光度	吸光度_希釈	pH	O3_conc	MB_conc	TOC 濃度
酸性						
0	0.478	3	2.17	1.06	20.218306309	NA
2	NA	2	NA	NA	NA	NA
4	0.001	1	NA	NA	-0.005718490	NA
6	-0.001	1	NA	NA	検出下限	NA
8	0.001	1	NA	NA	-0.005718490	NA
10	-0.004	1	NA	NA	検出下限	NA
15	-0.007	1	NA	NA	検出下限	NA
20	-0.003	1	2.11	0.83	検出下限	NA
中性						
0	5.799	3	7.00	1.06	245.947639897	NA
2	0.354	1	NA	NA	4.985978231	NA
4	0.153	1	NA	NA	2.143680665	NA
6	0.025	1	NA	NA	0.333660324	NA
8	-0.001	1	NA	NA	検出下限	NA
10	0.002	1	NA	NA	0.008422294	NA
15	-0.005	1	NA	NA	検出下限	NA
20	-0.002	1	7.01	0.03	検出下限	NA
アルカリ性						
0	5.217	3	12.25	1.06	221.257831186	NA
2	0.379	1	NA	NA	5.339497829	NA
4	0.256	1	NA	NA	3.600181408	NA
6	0.140	1	NA	NA	1.959850474	NA
8	0.068	1	NA	NA	0.941714032	NA
10	0.053	1	NA	NA	0.729602274	NA
15	0.017	1	NA	NA	0.220534053	NA
20	0.005	1	11.88	0.00	0.050844646	NA

課題 C 活性炭による色度成分の吸着

実験概要

BELSORP mini による解析

結果

■活性炭によるメチレンブルーの吸着

Table3: マノメータ水位の変化

班	filter	manometer	tapwtr	time_15	time_30	time_45	time_60	time_75	time_90	time_105
3	A	1	42.4	41.7	41.9	41.4	41.0	39.9	38.5	
3	A	2	43.7	42.9	43.0	42.7	42.1	40.9	39.4	
3	A	3	45.1	44.2	44.3	43.9	43.3	42.0	40.3	
3	A	4	46.5	45.6	45.8	45.5	44.7	43.3	41.5	
3	A	5	48.3	47.4	47.7	47.4	46.7	45.0	43.1	
3	A	6	50.4	49.8	50.4	50.3	49.7	48.0	45.7	
3	A	7	51.5	51.6	53.4	56.8	55.3	84.7	119.0	
3	A	8	51.6	51.6	53.8	56.9	55.6	84.7	119.0	
3	B	1	41.6	41.8	41.8	41.8	41.7	41.6	41.4	
3	B	2	43.2	43.3	43.2	43.2	43.1	43.0	42.9	
3	B	3	44.7	NA	44.8	44.8	44.7	44.6	44.4	
3	B	4	46.4	NA	46.7	46.6	46.5	46.5	46.1	
3	B	5	48.5	48.9	48.9	49.1	49.1	49.0	49.0	
3	B	6	50.9	51.7	52.3	52.6	53.1	53.5	54.1	
3	B	7	53.0	55.6	57.7	60.0	62.5	64.8	67.6	
3	B	8	53.0	55.4	57.6	59.9	62.4	64.8	67.6	
3	C	1	43.9	43.8	43.8	43.6	43.6	43.5	43.4	
3	C	2	45.3	45.3	45.4	45.4	45.4	45.4	45.3	
3	C	3	47.3	47.5	47.9	48.0	48.3	48.5	48.6	
3	C	4	49.2	49.9	50.7	51.4	52.1	52.8	53.4	
3	C	5	49.6	50.4	51.3	52.0	52.8	53.5	54.3	
3	C	6	50.1	51.2	52.0	52.9	53.7	54.5	55.4	
3	C	7	50.6	51.7	52.7	53.4	54.4	55.3	56.2	
3	C	8	50.6	51.5	52.7	53.4	54.4	55.3	56.2	
1	A	1	40.5	41.7	41.8	41.6	41.6	41.5	41.4	
1	A	2	41.8	43.3	43.1	43.2	43.3	43.2	42.9	
1	A	3	43.2	48.0	45.1	44.9	44.4	45.0	44.3	
1	A	4	44.8	46.5	47.2	46.9	47.0	47.0	46.5	
1	A	5	46.5	48.8	49.5	49.2	49.4	49.3	48.8	
1	A	6	48.6	51.9	52.3	52.3	53.0	53.2	53.0	
1	A	7	49.5	52.8	54.0	54.6	56.5	58.2	60.4	
1	A	8	49.5	52.8	54.0	54.6	56.5	58.2	60.4	
1	B	1	40.5	41.3	41.4	41.3	41.2	41.3	41.3	
1	B	2	41.8	42.7	42.8	42.8	43.0	43.0	42.9	
1	B	3	43.7	44.6	44.7	44.7	44.8	44.7	44.9	
1	B	4	45.3	46.4	46.5	46.7	46.8	46.7	46.7	
1	B	5	47.1	48.8	46.7	49.0	49.3	49.4	49.4	
1	B	6	49.2	51.4	52.1	52.5	53.3	53.8	54.3	
1	B	7	51.2	54.9	57.1	59.5	62.1	64.9	67.2	
1	B	8	50.9	54.8	57.0	59.4	62.1	64.8	67.2	
1	C	1	42.9	41.1	39.0	38.8	43.7	44.0	43.9	
1	C	2	44.4	43.0	40.1	40.0	45.9	46.0	46.0	
1	C	3	46.3	45.0	41.7	41.7	48.8	49.3	49.4	
1	C	4	48.2	47.1	43.8	43.9	52.8	54.0	54.9	
1	C	5	48.6	48.0	44.2	44.4	53.6	54.8	55.8	
1	C	6	49.0	49.0	44.8	45.0	54.5	55.8	57.0	
1	C	7	49.5	49.8	45.1	45.6	55.3	56.8	58.0	
1	C	8	49.6	50.0	45.0	45.4	55.4	56.8	58.0	

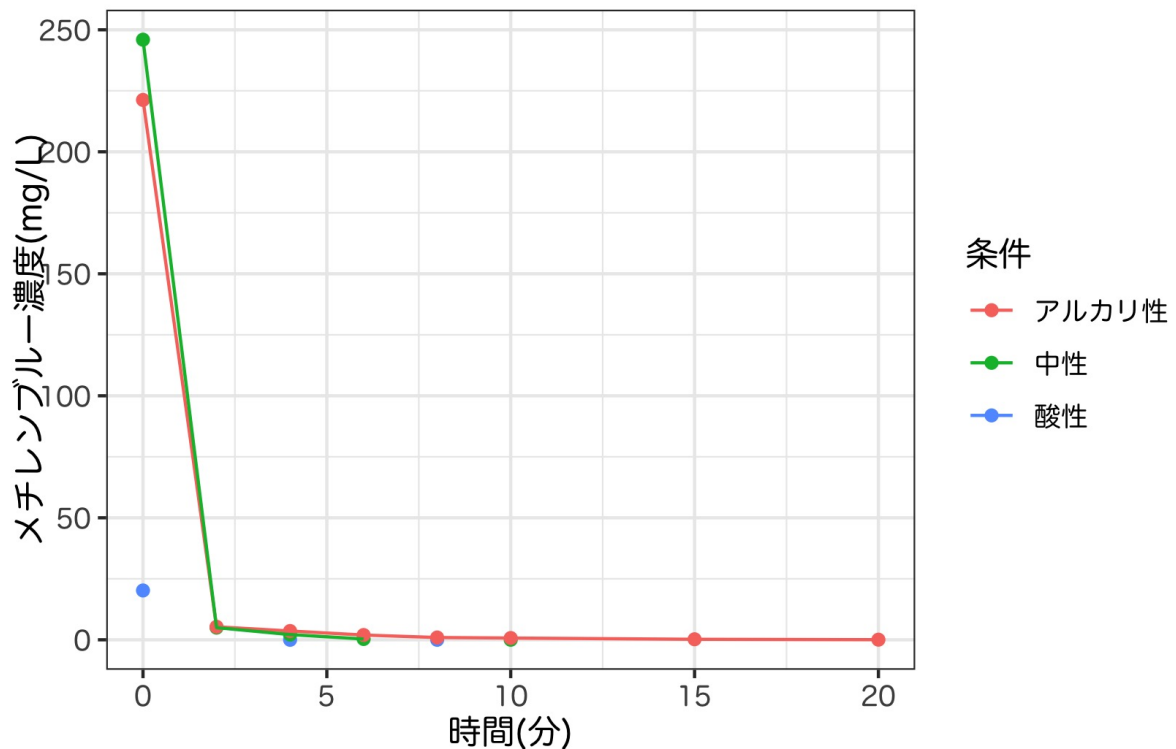


Figure2: メチレンブルー濃度の経時変化

Table4: 逆洗排水の SS 濃度の経時変化

time	bef_g	aft_g	amt_ml	SS
1	0.4036	0.4116	100	80
2	0.4000	0.4064	100	64
3	0.4134	0.4208	100	74
4	0.3999	0.5724	100	1,725
5	0.4012	0.4637	100	625
6	0.4069	0.4402	100	333
7	0.4069	0.4199	100	130

活性炭を投入し、経時的に 665nm 吸光度を計測した結果を以下に示す。

次に、複数の希釈列を作成し、665nm 吸光度を測定すると Figure 3 のような検量線データが得られた。なお、私達 3 班は 2 日目の測定時に新しく検量線を作成していたが、4 班は作成していなかったとのことなので、Figure 3 には 3 種類の検量線データについて図示した。また、各検量線の回帰式と R^2 値を Table 5 に示した。

?@tbl-abs-models に示した通り、 R^2 値はどれも約 0.99 となっているものの、これはメチレンブルー濃度が 20mg/L の希釈列に引っ張られた結果であると考えられる。そのため、20mg/L の希釈列を除いて再度検量線を作成した結果を Figure 4、Table 6 に示す。

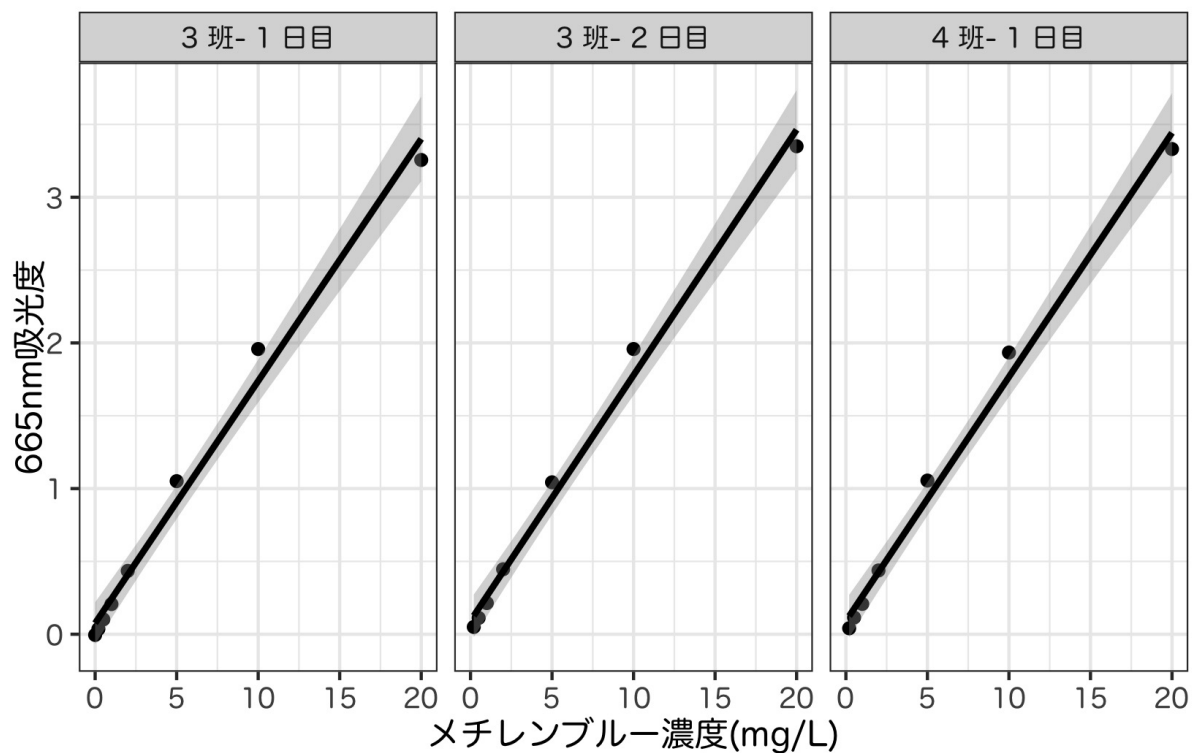


Figure3: メチレンブルー濃度の検量線

Table5: 検量線の回帰式と R^2 値

検量線	回帰式と R^2 値
3 班-1 日目	$y = 0.166x + 0.0758$, $R^2 = 0.9888$
3 班-2 日目	$y = 0.169x + 0.093$, $R^2 = 0.9923$
4 班-1 日目	$y = 0.168x + 0.091$, $R^2 = 0.9922$

Table6: 検量線の回帰式と R^2 値 (改良版)

検量線	回帰式と R^2 値
3 班-1 日目	$y = 0.197x + 0.0131$, $R^2 = 0.9984$
3 班-2 日目	$y = 0.195x + 0.029$, $R^2 = 0.9988$
4 班-1 日目	$y = 0.194x + 0.0281$, $R^2 = 0.9978$

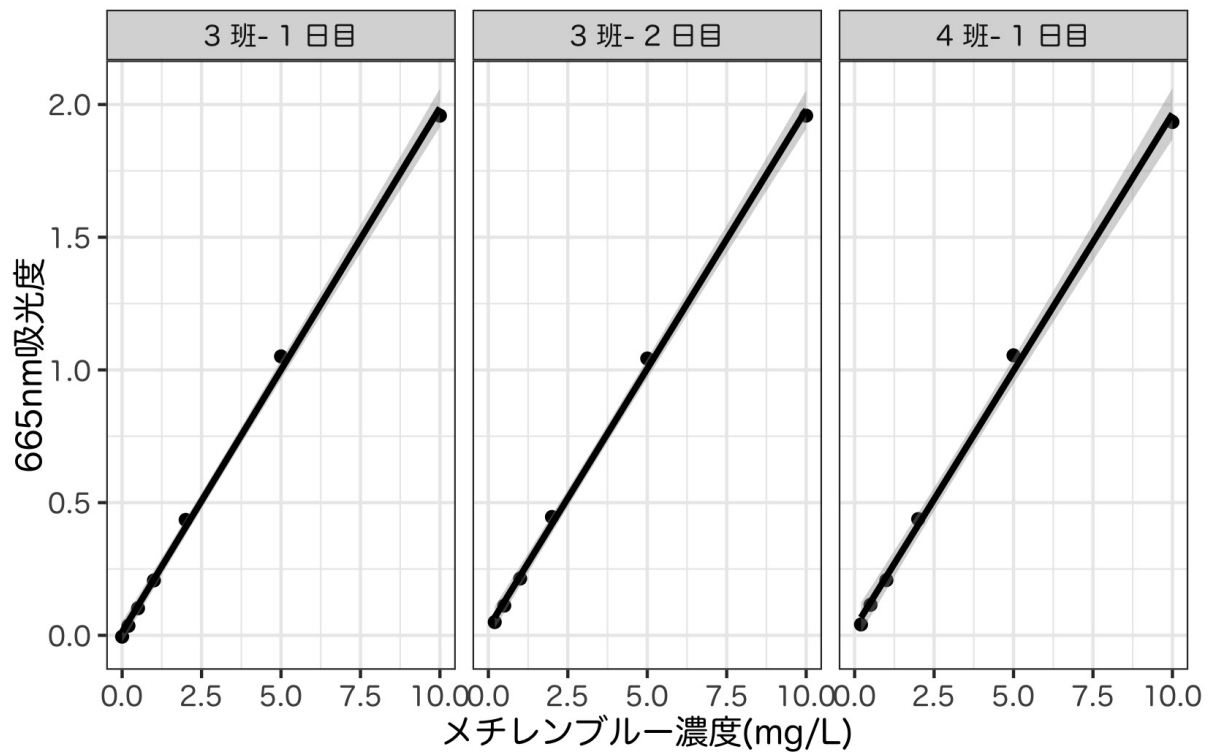


Figure4: メチレンブルー濃度の検量線 (改良版)

検量線を用いて濃度を計算した結果を Table ?? に示す。なお、4 班のデータについては、十分に希釈を行っておらず、検量線が外挿となってしまう場合がある。その場合は数値の横に*をつけて区別した。

Table ?? の濃度変化データを図示すると ?@fig-abs のようになった。

■Belsorp による細孔分布解析

BELSORP mini により活性炭の細孔分布について解析した結果について、今野さんのご協力を頂き、機器の生データを取得することができたため、

まず、それぞれの活性炭の等温吸着曲線は Figure 5 のようになった。

Warning: There was 1 warning in `mutate()`.

i In argument: `t_nm = de_Boer(Pe, P0)`.

Caused by warning in `log()`:

! NaNs produced

GW 活性炭 (浄水処理用) は、

一方で、GLC 活性炭には、相対圧が 1 付近でも吸着量の立ち上がりが見られ、大きめの細孔も吸着作用に寄与していることが示唆される結果となった。

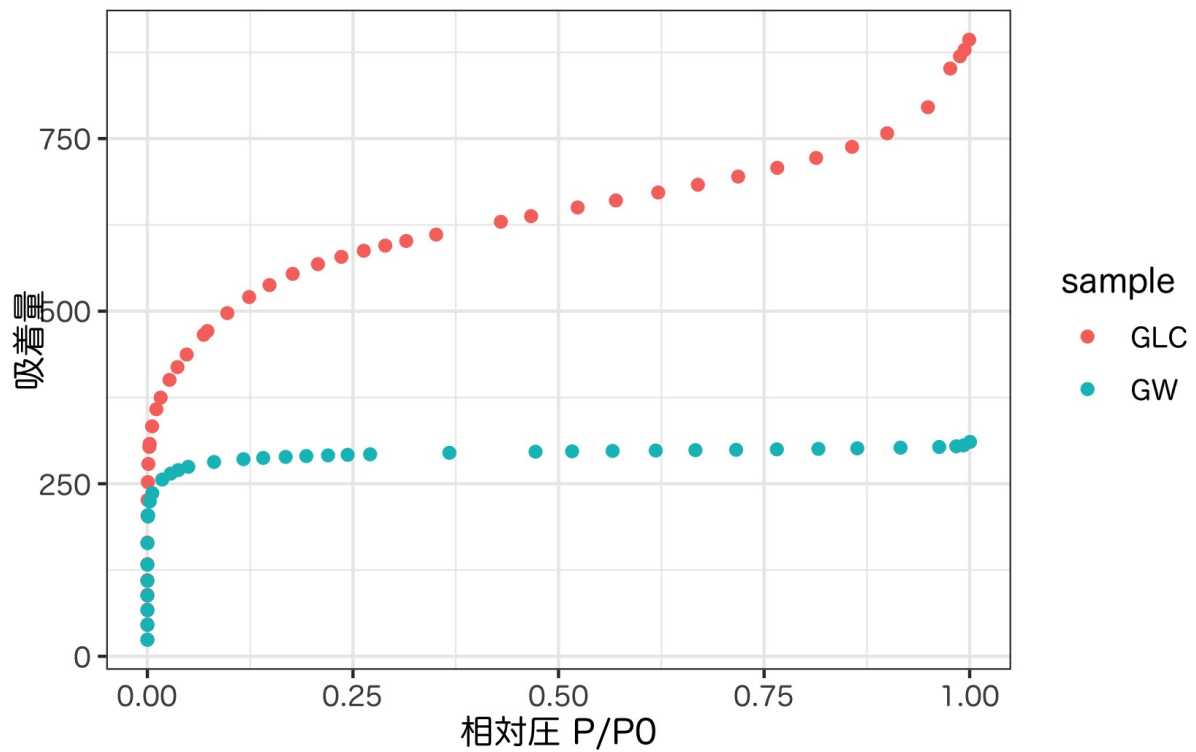


Figure5

次に、Figure 6 に各活性炭の t-plot を示す。t-plot とは...

t の算出には Equation 1 を用いた。

※ここに出典を入れないと駄目。

$$t = 354 \left(\frac{-5}{\ln(P_e/P_0)} \right)^{1/3} \quad (1)$$

また、以下のような BET プロットを描画することで、表面積を概算することができる。

BET プロットは Equation 2 で表され、直線

※ここにサイトなどで良いので出典を入れる。

$$BET = P_0 \quad (2)$$

BET プロットが直線形になる範囲において、近似曲線を最小二乗法で求めた結果を Figure 8 に示す。

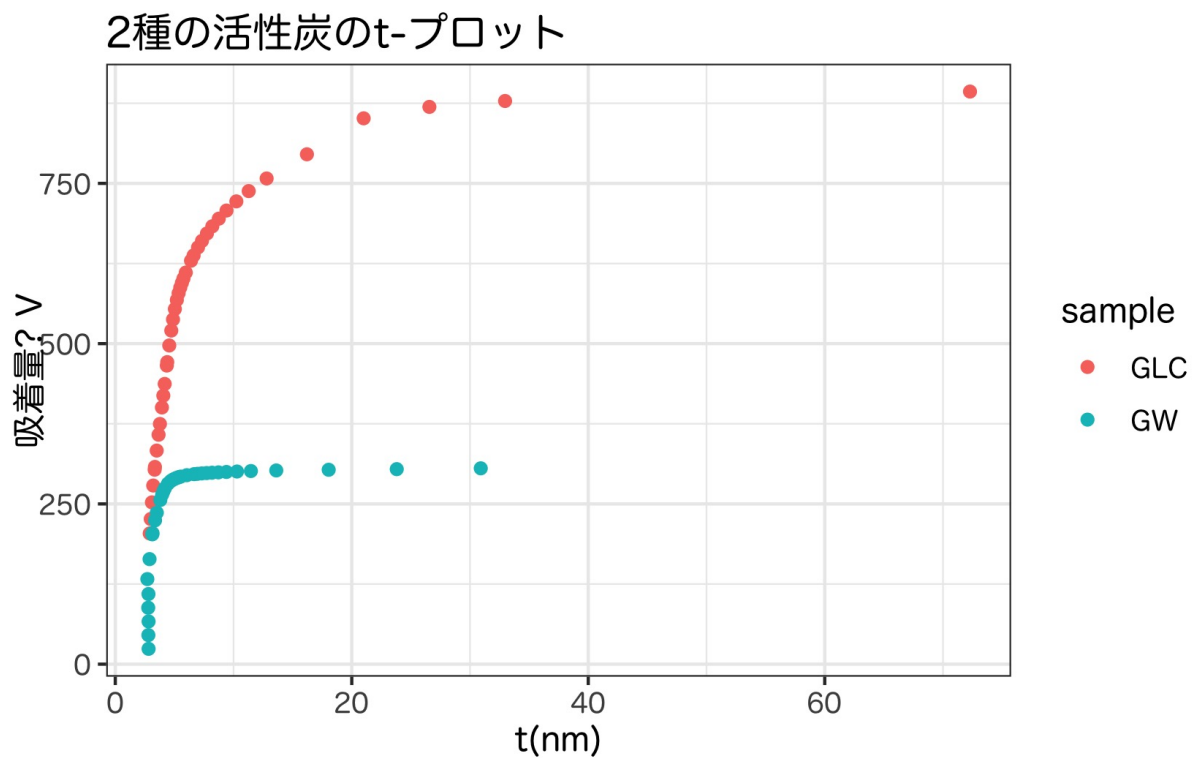


Figure6

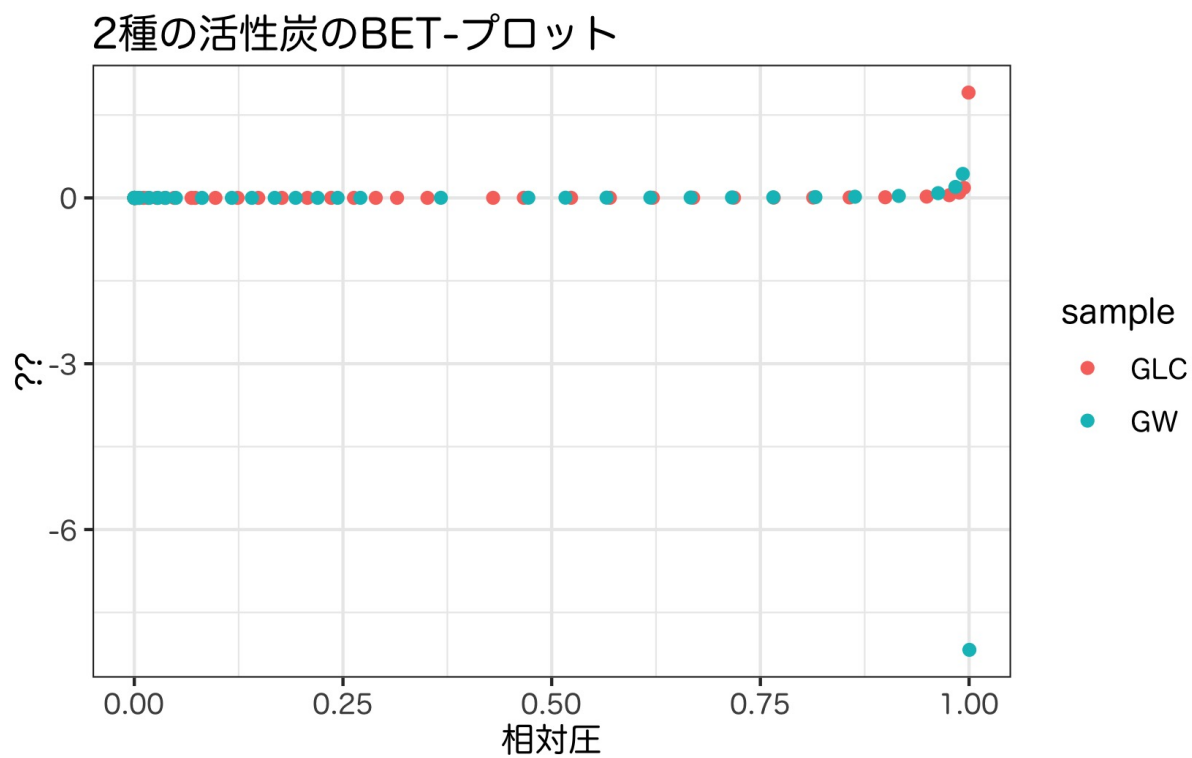


Figure7

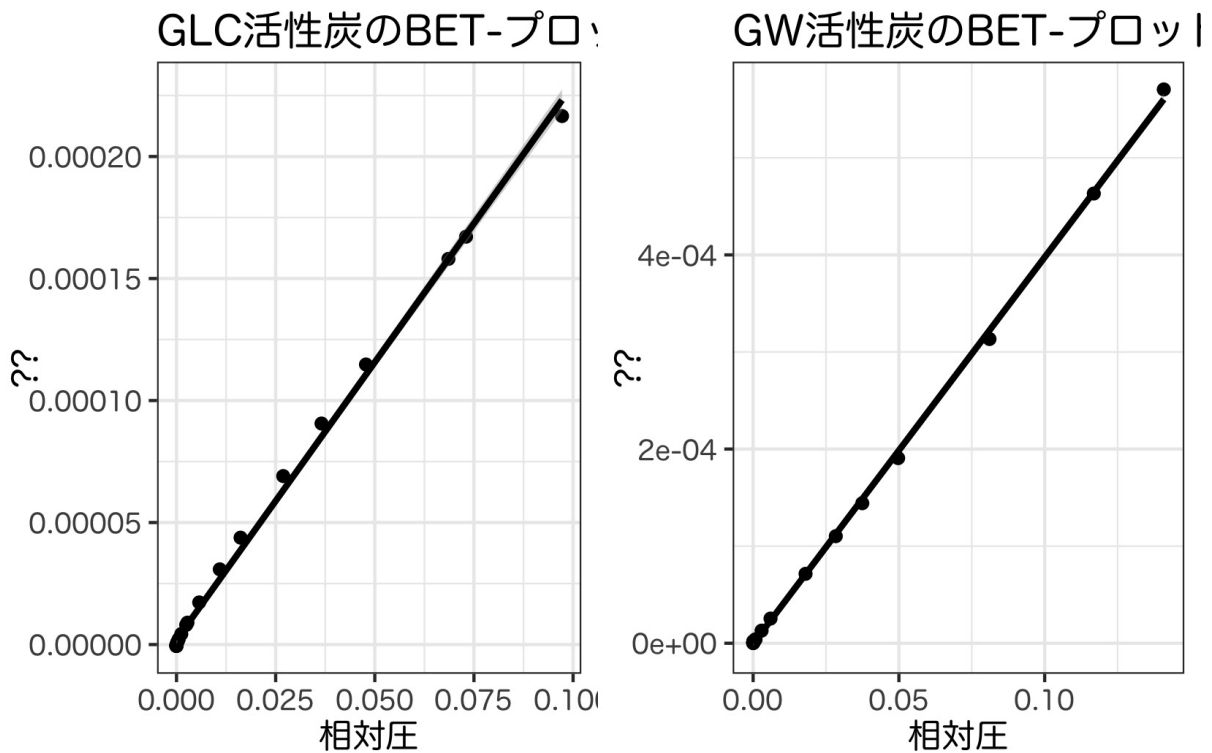


Figure8: BET 法の近似直線導出

考察

課題 D 凝集沈殿における最適条件の決定

実験概要

概要をここに書く。

結果

まず、二種類の水試料について、凝集剤の濃度を变化させて凝集剤の最適添加量を求めた。実験結果を Table 7 に示す。

なお、m-アルカリ度の測定にあたっては、滴定に用いる 0.01mol/L 硫酸を...

標定を行った結果、ファクターは (※ここに数値埋め込み) となった。

Table7: 凝集剤添加量の決定

凝集剤濃度	濁度	pH. 後.	水温	m アルカリ度	滴定の生データ		
					滴定_前	滴定_後	滴定試料量

三四郎

0	6.508	7.12	11.6	44.7	19.69	15.68	100
10	6.512	7.18	11.6	86.1	15.68	11.82	50
20	4.281	7.16	11.6	81.0	11.82	8.19	50
50	1.037	7.10	11.6	70.1	8.19	5.05	50
75	1.175	6.40	11.6	58.9	5.05	2.41	50
100	2.362	6.44	11.6	48.9	2.41	0.22	50

カオリン

0	3.574	6.99	20.7	39.9	6.90	5.11	50
10	3.630	7.17	20.7	36.2	5.11	3.49	50
20	2.134	7.00	20.7	33.0	3.49	2.01	50
50	3.982	6.87	20.7	24.3	2.01	0.92	50
75	5.790	6.48	20.7	10.5	0.92	0.45	50
100	6.949	5.90	20.7	2.9	0.45	0.32	50

濁度の除去性能を比較した結果、最適な凝集剤濃度は三四郎池の場合は??、カオリン原水の場合は??であるということがわかった。

次に、上記で求めた最適量だけ凝集剤を添加した条件の下で、pH を酸性~アルカリ性の数段階で変化させ、前後の pH 変化ならびに、処理後の濁度・ゼータ電位・水温・m-アルカリ度を計測した結果を Table 8 に示す。なお、pH がおよそ 5 よりも小さい条件においては m-アルカリ度の測定は行っていない。

Table8: 各 pH 条件下での反応の比較

									滴定	
班	理論 pH	pH 前	pH 後	濁度	ゼータ電位	水温	凝集剤添加量	m アルカリ度	滴定_前	滴
三四郎										
3	pH3	3.33	3.41	5.414	-9.081	NA	NA	NA	NA	
3	pH5	5.57	4.96	1.649	-9.213	NA	NA	NA	NA	
3	pH7	7.66	7.29	0.662	-9.921	NA	NA	69.0	3.51	
3	pH9	8.88	7.62	4.241	-10.440	NA	NA	79.7	7.08	
3	pH11	10.47	9.89	1.448	-13.930	NA	NA	135.5	13.15	
4	pH3	3.33	3.32	9.978	-11.260	17.1	NA	NA	NA	
4	pH5	5.14	4.56	8.163	-6.576	17.1	NA	NA	NA	
4	pH7	7.22	5.84	9.479	-11.680	17.2	NA	NA	4.12	
4	pH9	8.92	8.92	4.306	-9.827	17.3	NA	NA	6.18	
4	pH11	10.48	10.48	2.016	-14.610	17.4	NA	NA	16.02	
1	pH3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
1	pH5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
1	pH7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
1	pH9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

1	pH11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
カオリン									
3	pH3	3.88	3.48	3.679	-12.770	19.3	NA	NA	NA
3	pH5	4.57	4.55	3.796	-18.820	19.3	NA	NA	NA
3	pH7	7.10	7.23	3.241	-10.390	19.3	NA	32.6	14.61
3	pH9	8.55	7.73	2.088	-17.640	19.3	NA	37.5	16.29
3	pH11	10.67	10.48	3.830	-15.340	19.3	NA	114.5	21.42
4	pH3	3.33	3.19	5.598	-13.980	17.9	NA	NA	NA
4	pH5	5.02	4.67	5.120	-19.470	18.0	NA	NA	NA
4	pH7	6.87	6.49	2.676	-17.370	19.0	NA	NA	3.65
4	pH9	9.10	6.88	3.372	-15.580	19.0	NA	NA	19.60
4	pH11	10.50	9.97	5.247	-16.750	19.2	NA	NA	15.91
1	pH3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	pH5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	pH7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	pH9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	pH11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

考察

理論上、アルカリ度の減少は以下になる。

課題 E 消毒

実験概要

2 種類の消毒方法に関して実験を行う。

結果

各条件下でのコロニー数の計数結果を Table 9 に示す。

Table9: 大腸菌コロニー数の計数結果

採水時刻	コロニー数
塩素 - 水道水	
t0	$>300 / >300(\times 10^3)$, $100/91(\times 10^4)$, $7/3(\times 10^5)$
t1	$8/5(\times 10^2)$, $1/0(\times 10^3)$, $0/0(\times 10^4)$
t2	$158/148(\times 10^1)$, $16/9(\times 10^2)$, $2/0(\times 10^3)$
t3	$178/173(\times 10^1)$, $23/21(\times 10^2)$, $3/1(\times 10^3)$
塩素 - 緩衝液 A	
t0	$>300 / >300(\times 10^3)$, $87/83(\times 10^4)$, $15/10(\times 10^5)$

t1	6/12 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$), 0/0 ($\times 10^4$)
t2	148/129 ($\times 10^1$), 25/17 ($\times 10^2$), 3/2 ($\times 10^3$)
t3	97/90 ($\times 10^1$), 12/8 ($\times 10^2$), 3/2 ($\times 10^3$)
塩素 - 緩衝液 B	
t0	>300/>300 ($\times 10^3$), 172/155 ($\times 10^4$), 25/18 ($\times 10^5$)
t1	>300/>300 ($\times 10^2$), >300/>300 ($\times 10^3$), 62/44 ($\times 10^4$)
t2	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 432/364 ($\times 10^3$)
t3	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 109/79 ($\times 10^3$)
紫外線 - BW	
t0	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 278/185 ($\times 10^3$), 25/18 ($\times 10^4$)
t1	271/258 ($\times 10^1$), 35/30 ($\times 10^2$), 5/3 ($\times 10^3$)
t2	0/0 ($\times 10^1$), 1/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
t3	0/0 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
紫外線 - phr	
t0	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), >300/>300 ($\times 10^3$), 57/46 ($\times 10^4$)
t1	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 161/107 ($\times 10^3$)
t2	51/49 ($\times 10^1$), 7/3 ($\times 10^2$), 1/0 ($\times 10^3$)
t3	0/0 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
紫外線 - uvr	
t0	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 259/244 ($\times 10^3$), 30/28 ($\times 10^4$)
t1	>300/253 ($\times 10^1$), 31/26 ($\times 10^2$), 4/3 ($\times 10^3$)
t2	40/6 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
t3	0/0 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)

考察

付録 1 他班のデータ

考察において他班のデータを参照したため、全班の生データ比較が可能なよう、以下に全班のデータを示す。

付録 2 本レポートのソースコード・解析環境の開示

本レポートの作成環境について

本レポートは科学技術出版システム [Quarto](#) を用いて作成しました。表組み・図の作成は、Quarto Document 内に R 言語のスクリプトを埋め込むことで自動化しています（図表作成には [ggplot2](#)、[gt](#) パッケージを使用）。この方法には、実験データが差し替えとなった場合でも図表を再生成することができることや、実験ノートからの転記作業を除いて Excel による手作業が入り込む余地が一切なくなった結果、データ処理過程の検証・修正がしやすくなることなどの利点があります。

ソースコードは（ここに github のリンクを貼る）から閲覧可能です。なお、冒頭にリンクを示した html 版については、提出期限後の内容の改変は一切行っていません。編集履歴は github 上のソースコード

解析環境の開示

R 言語の実行環境は以下の通り。

```
sessionInfo()
```

```
R version 4.5.2 (2025-10-31)
```

```
Platform: aarch64-apple-darwin20
```

```
Running under: macOS Sonoma 14.7.3
```

```
Matrix products: default
```

```
BLAS: /System/Library/Frameworks/Accelerate.framework/Versions/A/Frameworks/vecLib.framework/Versi
```

```
LAPACK: /Library/Frameworks/R.framework/Versions/4.5-arm64/Resources/lib/libRlapack.dylib; LAPACK v
```

```
locale:
```

```
[1] en_US.UTF-8/en_US.UTF-8/en_US.UTF-8/C/en_US.UTF-8/en_US.UTF-8
```

```
time zone: Asia/Tokyo
```

```
tzcode source: internal
```

```
attached base packages:
```

```
[1] stats      graphics  grDevices  utils      datasets  methods    base
```

```
other attached packages:
```

```
[1] gridExtra_2.3    gt_1.1.0          lubridate_1.9.4  forcats_1.0.0
```

```
[5] stringr_1.5.1    dplyr_1.1.4        purrr_1.0.4      readr_2.1.5
```

```
[9] tidyr_1.3.1      tibble_3.2.1      ggplot2_4.0.1    tidyverse_2.0.0
```

```
loaded via a namespace (and not attached):
```

```
[1] generics_0.1.4    xml2_1.3.8          stringi_1.8.7     lattice_0.22-7
```

```
[5] hms_1.1.3          digest_0.6.37        magrittr_2.0.3    evaluate_1.0.3
```

```
[9] grid_4.5.2         timechange_0.3.0     RColorBrewer_1.1-3 fastmap_1.2.0
```

```
[13] cellranger_1.1.0   jsonlite_2.0.0       Matrix_1.7-4      mgcv_1.9-3
```

```
[17] scales_1.4.0        cli_3.6.5           rlang_1.1.6       splines_4.5.2
```

```
[21] withr_3.0.2         yaml_2.3.10          tools_4.5.2       tzdb_0.5.0
```

```
[25] vctrs_0.6.5         R6_2.6.1             lifecycle_1.0.4   fs_1.6.6
```

```
[29] pkgconfig_2.0.3     pillar_1.10.2        gtable_0.3.6      glue_1.8.0
```

[33]	xfun_0.52	tidyselect_1.2.1	rstudioapi_0.17.1	knitr_1.50
[37]	farver_2.1.2	htmltools_0.5.8.1	nlme_3.1-168	rmarkdown_2.29
[41]	labeling_0.4.3	compiler_4.5.2	S7_0.2.0	readxl_1.4.5