

自然の浄化作用

久保田 千尋 水野 麻人
名古屋市立向陽高等学校 SS クラス

要旨

自然というものの環境における役割とはどのようなものなのだろうか。環境(地球)を大別すると土地、大気、水の3つになる。本研究では、自然の浄化作用というテーマの下に、環境の中の水に関する役割を研究した。対象としたのは岐阜県と愛知県にまたがって流れる庄内川である。その庄内川での水質調査を通して、自然の浄化作用について明らかにしていった。研究自体は2007年10月から2008年7月までの短い期間ではあるが、全体の中での傾向は見る事ができる。また、この研究は次年度へと引き継いでさらに多くの調査を行い、その上でより詳細にその役割を研究していく予定である。

1 序論

昨今、環境問題についての関心は非常に高まっている。そのなかでも、水質調査は様々な観点から、様々な目的で実施されている。そして、本研究では自然による浄化に焦点を当てて研究を行った。庄内川の水質調査を通して、市街地を通過して汚れた水が山間部を通過してどのように浄化されていくのかを調査するというテーマとして研究を進めた。本研究では現地での測定に加え、さらに詳しい分析をするために分光光度計を用いた水中のイオン量等の測定を行った。この研究は2007年10月から開始したもので、まだ、研究自体が始まってから日が浅く、現段階では水質調査の方法についての研究が主な研究内容となっている。

2.3 研究内容

ここでは、我々の行った水質調査自体について述べる。まず、水質調査を行うにあたって最初に決めるべき調査場所について、つまり庄内川を対象とした理由と調査した各地点一つ一つを述べていく。次に調査で何を調べたのか、それをどのように調べたのか。また、測定精度を高めるためにどのような工夫をしたのかを順を追って述べていく。

2.1 調査対象

本研究の対象は、庄内川(図1)である。

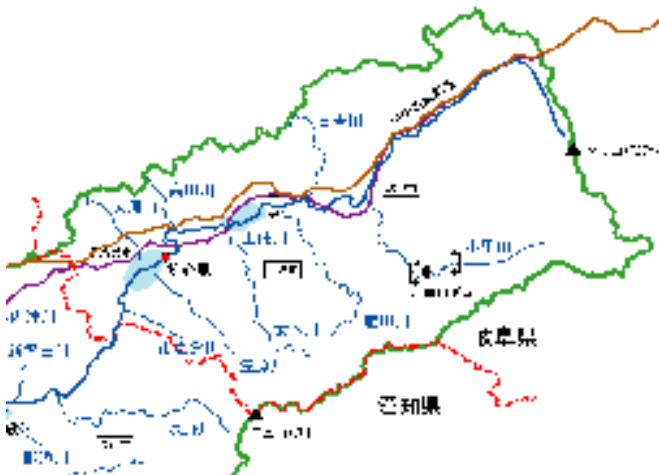


図1 庄内川上流部 庄内川河川事務所 HP より抜粋

この川は岐阜県(恵那市)の夕立山に源流があり、そこから愛知県(名古屋市)の藤前干潟へと抜けていく川である。この川は上流部で山間部と市街地を交互に通過して、市街地での汚れが山間部を通過していく中での水質の変化の様子を捉えることができるため、この庄内川の上流部を調査対象とした。さらに、この庄内川に沿うように JR 中央線が通っていて、測定地点間の移動が容易であることもこの川を調査対象と決定した、大きな理由の一つである。実際に調査した地点一つ一つについては次の項で述べる。

2.2 調査地点

調査地点としては、以下の8地点を設定した。市街地、山間部それぞれによる水質の変化を的確に捉えるため、主に市街地と山間部の境界を中心に調査地点とした。

- 8地点の概略とその設定理由、おおよその採水時間を上流から順に記載する。
- ① 武並
 - 8時半頃
 - 庄内川の源流のある夕立山のあるふもと。
 - 調査を行う上での全体の初期値にするため。
- ② 瑞浪
 - 9時半頃
 - 瑞浪市から土岐市にかけての市街地に入った所。
 - ①、②間の山間部での変化を捉えるため。
- ③ 土岐
 - 11時頃
 - 瑞浪、土岐市街から山間部へと入る所。
- ②、③間の市街地での変化(汚れ)を捉えるため。

- ④ 土岐支流(妻木川)
 - ・ 11 時頃
 - ・ 庄内川へと流れ込む手前。③の少し下流あたり。
 - ・ 支流による影響を参考として見るため。
- ⑤ 多治見上流
 - ・ 12 時頃
 - ・ 多治見市街に入った所。
 - ・ ③の地点から、山間部を通過した際の変化を捉えるため。
- ⑥ 多治見下流
 - ・ 12 時半頃
 - ・ 多治見市街から山間部へと入る所。
 - ・ ⑤、⑥間の市街地での変化を捉えるため。
- ⑦ 古虎溪
 - ・ 14 時頃
 - ・ JR 古虎溪駅の近く(山間部)。
 - ・ ⑥からの山間部での変化の途中経過を捉えるため。
- ⑧ 定光寺
 - ・ 14 時半頃
 - ・ JR 定光寺駅の近く(山間部)
 - ・ ⑥、⑦からの山間部での変化を捉えるため。

➤ 各調査地点の正確な場所については別紙資料 1 と 2 を、様子については資料 3 を参照

2.2.1 調査日時

フィールドワークは、2008 年 1 月 14 日(月)、2008 年 4 月 3 日(木)の二度行った。その際の降水量は(表 1)のとおりである。

日付	降水量(mm)	日付	降水量(mm)
1/10	0	3/30	6.5
1/11	11	3/31	9.5
1/12	8	4/1	0
1/13	0	4/2	0
1/14	0	4/3	0

表 1 (気象庁 web ページ調べ)

本来はフィールドワークの 4、5 日前から晴れている(降水量が 0 である)ほうが望ましいのだが、日程の都合がつかず、上記のとおりに実地した。

2.3 測定項目

ここでは、試料の測定項目をフィールドワーク測定項目と実験室測定項目に分けて述べる。また、これらの項目のほかにも現在検討中の調査項目についても付随して説明する。ただし、具体的な測定方法に関しては 2.4、2.5 で述べる。

2.3.1 測定項目

我々の水質調査では以下の計 14 項目について調査を行った。大別すると、フィールドワークの際に各種測定機器を用いて測定したものが 8 項目、そのときに採水した試料を実験室で測定したものが 6 項目である。ここでは、それぞれを章に分けて述べていく。

2.3.1.1 フィールドワーク測定項目

フィールドワークにおいて、測定したものは時間、気温、水温、湿度、pH、電導度、溶存酸素、写真の 8 項目である。

- ・ 時間…採水した時刻。繰り返しフィールドワークを行うため、なるべく条件をそろえるために記録。
- ・ 気温、水温、湿度…環境調査における基本的な項目。水温に関しては、川に流れている状態の水を測定するのではなく、採水した水の一部をプラスチック製のコップに採って測定した。
- ・ pH…水素イオン濃度。
 - ※4 月の測定は pH 計が若干、正しい値よりも大きい値を示すことがわかったため、正確な値を測定できていなかった。
- ・ 電導度…電気伝導度。電気の通りやすさのことで、単位は $\mu s/cm$ 。試料中のイオン量に影響を受ける。
- ・ 溶存酸素…水中の酸素濃度。ほぼすべての測定地点で、過飽和であることが観測された。また、水温による溶解度への影響を考慮するために、溶解している酸素の溶解度に対する比率を溶解率として計算し、項目に加えた。
- ・ 写真…採水したポイント周辺の様子をデジタルカメラで撮影したもの。

2.3.1.2 実験室測定項目

採水してきた試料をろ過、冷凍保存の上、島津製作所製の分光光度計水質調査プログラムパックを用い測定した。ろ過、冷凍保存、分光光度計についての詳細は後述する。測定項目の内訳は COD、硝酸、亜硝酸、アンモニウム、リン酸、全硬度の計 6 項目である。当初は残留塩素を加えた、7 項目であったが、1 回目の調査の際に、そのほとんどが測定範囲以下であり、また、目的に適さないと判断したため、測定項目から削除した計 6 項目を測定項目とした。

- ・ COD…化学的酸素要求量(chemical oxygen demand)の略で、水中の有機物等を酸化するときに必要な酸素量。アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法によって測定。この測定方法では JIS K 0102 のアルカリ法 (COD_{OH}) を応用して標準物質としてグルコースを使用した簡易

測定法である。そのため JIS 法との値が合致しないこともあるが、河川、湖沼など平均化された水においては JIS 法とかなり近い値が出るとされている。

- 硝酸、亜硝酸、アンモニウム…それぞれ、試料中の硝酸イオン(NO_3^-)、亜硝酸イオン(NO_2^-)、アンモニウム(NH_4^+)の濃度である。自然界ではこれらが以下のように変化する。

硝酸⇄亜硝酸⇄アンモニウム

このようなサイクル(窒素循環)があるため、これら三つの測定項目を設定した。それぞれ硝酸イオンは還元+GR 変法、亜硝酸イオンは GR 変法、アンモニウムはインドフェノール法での測定となっている。

- リン酸…試料中のリン酸イオン(PO_4^{3-})の濃度である。生活廃水中の洗剤や、農業用の肥料などに影響を受ける。モリブデンブルー法で測定。
- 全硬度…試料中のカルシウムイオン(Ca^{2+})とマグネシウムイオン(Mg^{2+})の濃度。本来は石鹼が使えるかどうかのための指標。ただし、我々は、測定方法が簡易で、ある一定以上の値が出るため、全硬度の変化を他の指標の変化との比較にのみ用いることを目的として設定した。フタレインコンプレクソン法で測定。

2.3.2.1 透視度について

水質調査の一般的な指標の一つに、透視度が挙げられる。1 mm 間隔の二重線が識別できる深さ、というものが一般的な定義である。当初、透視度を指標の一つとして導入を試みたが、どの測定地点でも用意した実験器具の最大値(1 メートル弱)を超えたため、測定が困難であるとみなし透視度の導入を諦めた。だが、水の見た目の汚れ具合は指標としては捨てがたく、代替案として試料の保存前のろ過に用いたろ紙の付着物を指標として扱うことを試みた。

2.3.2.2 浮遊物

透視度の代わりに水の見た目の汚れ具合を示す指標として導入した。図 2、図 3 がそれである。



図 2(瑞浪)

図 3(古虎溪)

上記の二つの図を比べてわかるようにろ紙の付着物のつき具合の違いを視認することができる。そこで、この差を数値化しようとした。そのためろ過前のろ紙とろ過後のろ紙の重さを比較して、

付着物量を調べたが、その量が微量であったため、付着物量を数値化し、透視度の代わりとすることはできなかった。そのためろ紙の見た目の汚れ具合を目で比較するにとどまっており、現在この項目についての新しい方法を模索中である。

2.4 採水(フィールドワーク)方法

ここでは、われわれの行った水質調査の中で、特に現地で行ったこと(フィールドワーク)について、採水と測定に分けて説明していく。採水は採った試料を、前述した実験室測定項目(2.3.1.2)を測定する際に使用することを目的として行った。また、測定に関しては、前述のフィールドワーク測定項目(2.3.1.1)について具体的にどのように行ったかを述べる。

2.4.1 現地測定

現地では計 8 項目フィールドワーク測定項目(2.3.1.1)についての測定を行った。

2.4.1.1 測定機器

測定には以下の測定機器を使用した。

pH…Shindengen ISFET pH 計 KS723

(ビー・エー・エス株式会社)

電導度…Twin Cond B-173

(株式会社堀場製作所)

溶存酸素…溶存酸素計 DO-5509

(ケニス株式会社)

写真…IXY DIGITAL

(CANON)

気温、湿度…TD-8172 デジコンフォ II

(EMPEX)

水温…マルチ環境測定器 LM-8000

(e denki)

2.4.1.2 測定方法

気温・湿度…日陰に測定機器を設置し、しばらく放置した後測定。

pH・電導度・溶存酸素・水温

…現地で採水した試料の一部をプラスチック製のコップ等に移し、前述の測定機器で測定した。

写真…採水した地点を中心に周りの様子を撮影。

2.4.2 採水方法

実験室測定用の試料として、持ち帰るための試料の採り方については以下のとおりとした。

- 水の採水は、7 ポイント(武並を除く)で、橋の上から行った。また、武並については、川幅、水深が小さいため沿岸から採水した。

- 採水用バケツにロープをつけて、橋上から下ろして試料の採水を行った。

- ・全てのポイントで川の中心(流れが最も速いところ、見た目判断した)の水を採水した。
- ・採水は、ロープが擦れて切れないように、主に橋の下流側で行った。
- ・1月のフィールドワークの時は、定光寺、多治見下流、土岐市、瑞浪において用意したロープの長さが足りず、橋の上からの採水が不可能であったため、沿岸からバケツを投げて採水した。

2.4.3 試料の保存

採水した試料は 500ml ペットボトル(各地点 2本)に空気を入れないようにして持ち帰った。この試料はフィールドワークの翌日に(2.6.)の方法で処理を施してから保存した。

2.5. 測定方法

ここでは実験室での分光光度計の水質調査用プログラムパックを用いた、イオン濃度等の測定について述べる。

2.5.1 分光光度計

島津製作所製の分光光度計水質調査プログラムパックを使用した。測定原理については不明瞭な点があるので言及しないが、軽く触れておくと、試料中の特定のイオン等に反応する試薬を投入し、どの程度反応したか、つまり試料への着色の具合を吸光度測定することで、目的の物質がどの程度あるのか測るというものである。本研究ではこの分光光度計を用い、COD、硝酸、亜硝酸、アンモニウム、リン酸、全硬度を測定した。

2.5.2 測定方法

分光光度計の測定では人の目で視認できないような違いを明確に捉え、かなり正確な値を測定することができる。そこで、さらに測定誤差を少なくするため、いくつか工夫をした。

- ・測定に用いた器具

測定時に用いた器具は以下のとおりである。

50ml 三角フラスコ、温度計付ゴム栓、メスシリンダー、ホールピペット、メスフラスコ、セル、スポイト、キムワイプ、キムタオル、純水

- ・温度管理

このプログラムパックでは試薬を反応させる温度範囲が 20~25℃と決まっている。そのため、測定の際に資料の温度が低い場合、湯煎等で暖めなければならない。その際の蒸発による濃度変化を防ぐため、温度計付ゴム栓で栓をした状態で反応させ、さらに部屋の湿度を上げて、蒸発するのを防いだ。

2.6. 保存方法

フィールドワーク(2.4)で採水した試料を安定した状態で長時間保存しておくため、以下の二つの操作を行った。

2.6.1 吸引濾過

採水したままの試料には水に作用し水質を変化させるバクテリアや微生物、また、分光光度計での測定の際に誤差を生じさせる原因となる生物の死骸や塵などが存在する。それらを試料から除去するために吸引濾過を行った。

2.6.1.1 使用した器具

- ・GLASS MICROFIBRE FILTERS 70mmΦ (WHATMAN)
- ・漏斗
- ・アスピレーター

2.6.1.2 方法

上記の器具を用いて吸引濾過を各試料それぞれ3回行った。この際、濾紙は3度とも新しい濾紙を使用した。また、この一回目に使用したろ紙を(5.2.2.)浮遊物の指標として用いている。ろ過後再び試料を500ml ペットボトル2本に分けて保存した。

2.6.2 冷凍保存

試料をより安定した状態で保存しておくため、吸引濾過したあと、全ての試料を冷凍庫で冷凍保存した。また、測定時には、ぬるま湯で解凍したのち、測定した。

3.0 結果&考察

ここでは2008年1月と4月の結果およびその結果の考察について述べる。始めに測定によって得られたデータを表にまとめたものを載せる。そして、それに関する考察を、グラフを交えながら述べていく。なお、ここでいう考察とは実験に基づいて確証を得た結論ではない。ここでいう考察とは調査に基づいた、研究の次段階のための仮説としての意味合いが強いことを断っておく。

3.1 測定結果表

下の表は全地点の各項目の測定結果の一覧である。表にある、地点①~⑧は2.2 調査地点で前述したそれぞれの地点の番号と一致している。また、表中の実験室測定結果で、分光光度計水質調査プログラムパックの測定範囲以下であったものは"0.000"と記している。

表2 現地測定結果(1月14日木曜日)

地点	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	溶存酸素 (mg/l)	pH
①	96	3.1	3.1	49	13.5	7.0
②	93	3.7	3.1	55	13.8	7.6
③	112	7.3	3.8	36	13.6	7.8
④	114	6.7	4.1	38	13.7	8.8
⑤	123	9.3	4.1	33	13.6	7.8
⑥	130	10.6	5.8	30	13.4	7.6
⑦	146	8.0	6.0	33	12.8	7.3
⑧	78	9.9	5.3	32	12.8	7.8

表3 現地測定結果(4月3日月曜日)

地点	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	溶存酸素 (mg/l)	pH
①	112	11.8	7.9	56	13.3	7.2
②	108	16.4	12.2	38	12.5	7.8
③	105	16.3	12.8	37	12.9	8.5
④	112	16.2	13.7	39	12.7	9.1
⑤	110	14.7	12.1	41	11.7	7.8
⑥	117	15.0	12.8	45	11.4	8.7
⑦	150	18.2	13.9	30	11.0	8.3
⑧	158	21.1	14.2	31	11.6	8.9

表4 実験室測定結果(1月14日木曜日)

地点	全硬度 (mg/l)	亜硝酸 (mg/l)	硝酸 (mg/l)	アンモニウム (mg/l)	リン酸 (mg/l)	COD (mg/l)
①	30.02	0.028	5.915	0.194	0.181	2.739
②	30.83	0.025	4.310	0.000	0.124	2.684
③	38.20	0.060	2.999	0.000	0.000	2.124
④	39.00	0.028	2.695	0.000	0.000	2.316
⑤	37.85	0.154	4.605	0.197	0.251	0.000
⑥	44.36	0.143	4.265	0.129	0.186	2.009
⑦	42.92	0.159	5.115	0.146	0.541	3.403
⑧	43.60	0.128	5.085	0.142	0.461	2.959

表5 実験室測定結果(4月3日月曜日)

地点	全硬度 (mg/l)	亜硝酸 (mg/l)	硝酸 (mg/l)	アンモニウム (mg/l)	リン酸 (mg/l)	COD (mg/l)
①	27.58	0.067	6.300	0.372	0.000	4.360
②	29.65	0.031	5.230	0.162	0.000	2.226
③	32.90	0.029	2.969	0.000	0.000	5.950
④	31.22	0.000	2.574	0.000	0.000	6.271
⑤	37.80	0.046	0.460	0.123	0.145	0.000
⑥	33.47	0.048	3.105	0.118	0.148	2.174
⑦	45.91	0.062	10.950	0.000	0.363	6.147
⑧	47.19	0.050	7.380	0.000	0.364	3.343

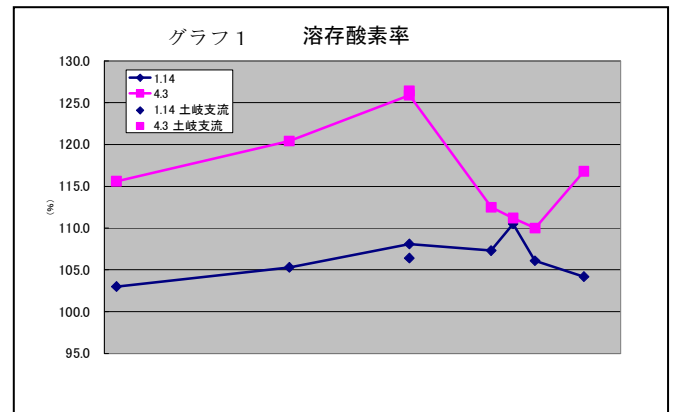
* ただし、上記(4月3日)のpHの値についてはpH計の不良のため実際の値よりも若干高めに
出ている。

3.2.1.2 グラフについて

上に測定結果の一覧表を示したが、測定値だけでは水質変化の様子を的確に捉えるのは困難である。したがって、測定結果をグラフにしたものを考察を交えながら、次に示す。これから示すグラフにプロットされている点は左側から順に地点①から⑧まで並んでおり、④(支流)の値は③と同じ位置にプロットしてある。①~⑧(④を除く)は折れ線グラフにしてあるが、④(支流)だけはつなげず値をプロットしてある。また、折れ線グラフにしてあるが、各測定地点間に関しての測定は行っていないため、折れ線が調査地点間の変化の様子を的確に表しているわけではない。グラフのX軸は地点①からの川の長さ(km)を表し、地点①から⑧まで約40kmとなっている。そのため、その長さに応じてプロットしてあるので各地点間のプロット間隔が一定ではない。なお、川の長さは地図上の長さをルーラーで読み取って計測したおおよその距離である。したがって、グラフ上のプロット間隔は各地点間の距離の目安とし、X軸の値は省略した。

3.2 考察 I 溶存酸素について

まず測定結果の中から、前述した溶解している酸素のその水温での溶解度に対する比率(溶存酸素率)のグラフを示す。溶存酸素は水中内での生物の活動、あるいは、化学反応に大きく影響しており、水質の変化をみるうえで非常に重要なものである。



上のグラフを見てわかるように1月、4月のどの地点の値も100%を超えている。つまり、どの地点の水も過飽和状態である。このことから、どの地点も酸素を消費していく作用がスムーズに行われていく好気的環境であるということがわかる。また、グラフから生物活動が盛んになってくる4月のデータのほうが全体的に1月のデータより値が大きい。しかし、表1、2を見ると溶存酸素の値は1月のデータのほうが若干大きくなっている。

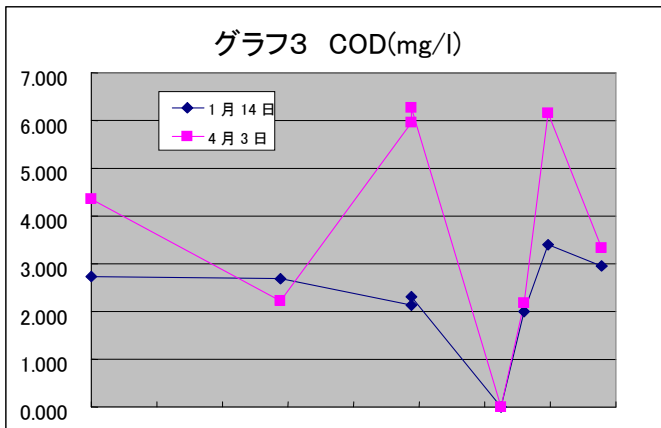
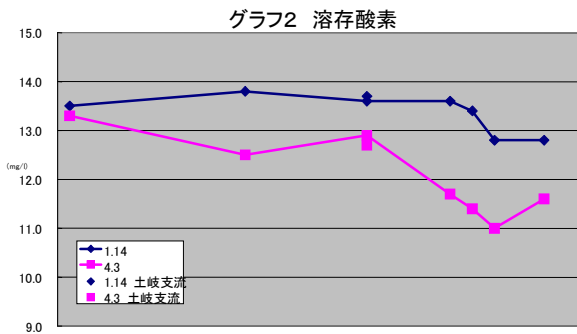
これらのことから、4月の溶存酸素率が高くなっているのは水温上昇(最大約10度)による酸素の溶解度の減少(表6)の影響が大きいと考えられる。逆に、水温上昇に大きく溶存酸素率が作用されていることから考えて、1月、4月ともに生物活動等はそれほど活発ではない。また、水中の溶存酸素量は環境の変化(水温)による影響(酸素が水中から出て行くこと)を受けにくく、他の要因による変動が大きいと考えられる。

温度(°C)	0	20	40	60	80	100
酸素の溶解度	0.049	0.031	0.023	0.019	0.018	0.017

表6 岡山理科大学 総合情報学部 生物地球システム学科 植物生態研究室(波田研)HPより抜粋

3.3 考察II 溶存酸素とCODの関連性

続いて、溶存酸素とその酸素を消費する物質がどれだけ水中に存在するかを示すCODの関係性についてみていく。



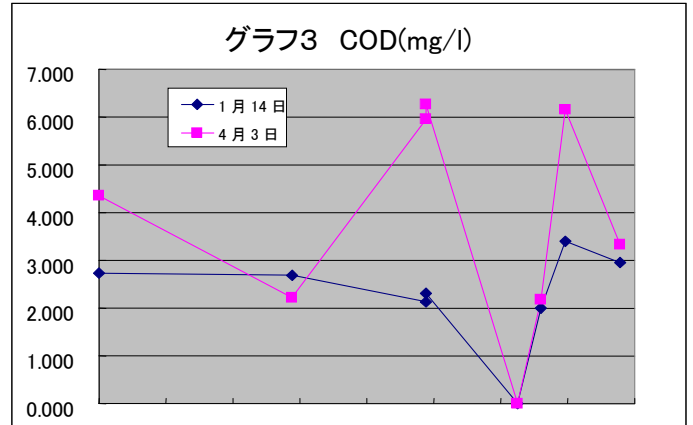
上の二つのグラフのうちCODの値が高くなって4月のデータに注目してみようと思う。地点③から⑤にかけての山間部ではCODの値が著しく減少しており、それと同時に溶存酸素の値も4月のデータでもっとも大きな減少を示している。これはCODの酸化に溶存酸素が使われたと考えられる。しかし、⑦から⑧にかけての山間部

ではCODの値が大きく減少しているが、その区間で溶存酸素は増加傾向を示している。そこで、1月のデータと⑦、⑧区間を比較すると、溶存酸素量が1月のほうが多く、CODが少ないにもかかわらずCOD減少量は少ない。

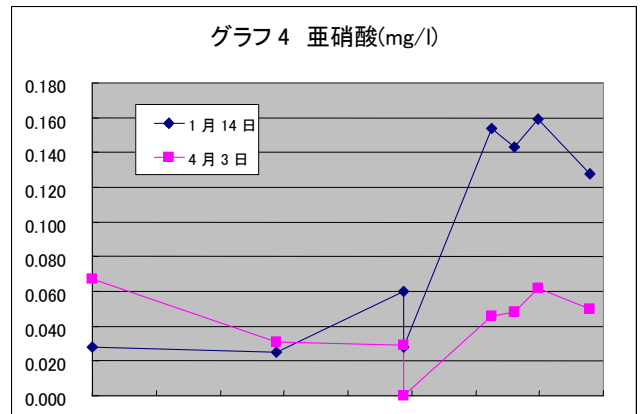
したがって、これはこの区間を流れる比較的大きな支流河川水の流入等といった別の要因による影響が大きいのではないかと考えている。

3.4 考察III 純粋な浄化量について

次はCODのグラフに注目し、どのくらい自然が水を浄化したかをみていく。

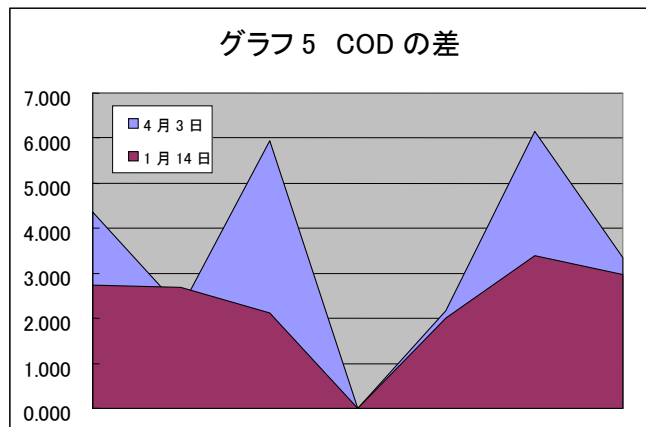


まずは、4月の方のデータに注目する。このグラフの中で、丁度、右肩下がりのところが山間部、右肩上がりのところは市街地になっている。このことから、確かに自然が水を浄化していることがはっきりと示されていることがよく分かると思う。さらに、1月と4月のデータを比較することで、2つの事が読み取れる。まずは、4月のデータが、全体的な傾向として、市街地のCODの値が1月の値よりも大きいということである。季節柄、農業用の肥料による、窒素化合物の影響かとも考えられるが、下記の亜硝酸のグラフ(グラフ4)を見ると、そもそもの絶対量が少なく、むしろ1月の方が亜硝酸の量が多い。つまり、この差異は農業的なものではなく、気温が上がったことによって、有機的なものがより地中から溶け出してきたことが、原因なのではないかと言える。



2 つ目に考慮すべきは自然によらない浄化作用である。1 月は気温が低いため、自然による浄化が弱まっていると考えられる。つまり、4 月の浄化量(COD 減少量)から 1 月の浄化量を引いたものが、真の浄化力といえるはずである。(グラフ 4 の青色の部分の面積変化=COD の自然による浄化力。

〈面積減少=浄化力強、面積増加=浄化力弱〉



ただし、4 月での COD の結果も 1 月での COD の結果も山間部を抜けたところで、ほぼ同じ値になっているので、自然の浄化力にはまだまだ余裕があると考えられる。

4 今後の展望

今後の研究において、さらに以下の 3 点について注目し行っていく予定である。

- ・ 透視度の数値化
- ・ 支流による影響の調査
- ・ 周辺環境の植生の分析

〈参考文献〉

- 1)宗宮功、津野洋：環境水質学、コロナ社、(2001)
- 2)半谷高久、小倉紀雄：水質調査法、丸善、(1995)
- 3)武田育郎：水と水質環境の基礎知識、オーム社、(2001)