

生徒の科学的資質の向上と 環境問題への関心を高める霞ヶ浦水質調査

茨城県稲敷郡美浦村立美浦中学校 科学部

I. テーマ

生徒の科学的資質の向上と環境問題への関心を高める霞ヶ浦水質調査

II. テーマ設定の理由

学習指導要領に、「環境教育の充実のために、自然体験を通しての環境に対する豊かな感受性の育成、よりよい環境を創造していく実践的な態度の育成」が挙げられ、身近な環境の中から課題を見つけ、生徒の力で解決することやその喜びを味わえるような活動の場の設定が必要とされている。また、ねらいをより一層実現するためには、「わかる授業」を行い、学ぶ意欲などの「確かな学力」を育成することを踏まえ、自ら学び、自ら考える力などの「生きる力」を育むことが重要である。そのために、身近な環境の中から課題を見つけ、生徒の力で解決することやその喜びを味わえるような活動や、発見する喜びや創造する喜びが味わえる科学的な体験活動の場の設定が重要視され、科学に関するコンクールや発表会への積極的参加等も呼びかけられている。そこで、身近な自然を調査・研究する活動の支援・指導を通して、生徒の科学的資質の育成をめざそうと考え、テーマを設定した。

III. ねらい

「身近な自然を調査・研究する活動」の指導を通して、生徒の科学的な資質や能力を育成する。

IV. 具体化の計画

1. 活動を6ステップ（図1）に分け、バランスよく継続して成り立つように運営する。
2. 生徒の活動は水質調査であるが、単なる調査で終わることなく、「科学のプロセスを踏まえた活動」（図2）になるように指導にあたる。

科学的な資質を育成するための6ステップ

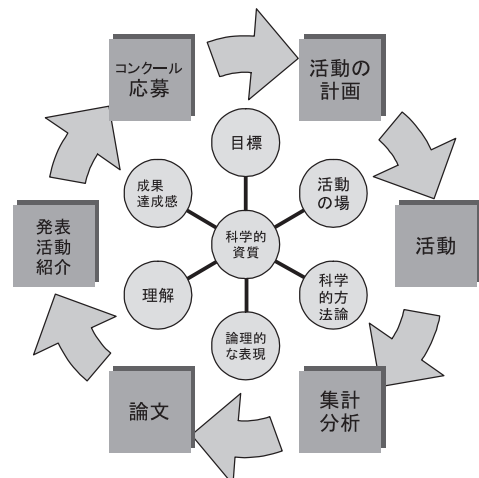


図1 活動の6ステップ

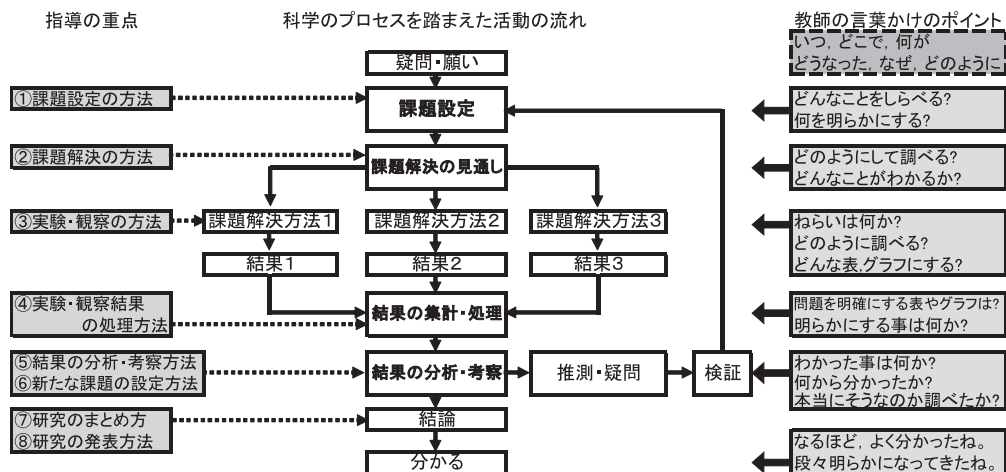


図2 科学のプロセスを踏まえた活動

V. 実際の活動（生徒論文の抜粋）

1. 研究のきっかけ

僕たちは、2005年度から浮遊物に含まれる金属はどこから来るのか調べるために流入河川の水質調査をしてきた。今年は偶然にエビが大量に死んでいるのを発見した（図3）。どうしてエビが大量に死んでしまったのか、その理由を水質が大きく変化したためだと考えた。また、その時流れていた水は、エビが死んでから間もないもので、その水を調べることがエビ大量死の原因を調べることが出来ると考えた。



図3 エビ大量死現場

2. 研究のねらい

- 1) エビ大量死の原因を探る（原因物質は塩分を高くするものだろう）。

- 2) 金属は流入河川や水田・蓮田から流れ込んでい
るかどうか調べる（今までの調査結果から金属
濃度は上流の方が高いだろう）。

3. 研究の方法

- 1) エビ大量死の原因を探る。

①塩分濃度・電導率を上げる物質を調べる。②流入河川の水から取り出した物質の炎色反応を調べる。③塩分濃度の高い水溶液中でエビは生きられるか調べる。④生物の死骸によって水質は変化するだろう
か調べる。⑤さまざまな物質ごとの塩分・電導率の
関係を調べ、エビ大量死の時の水質と比較する。

- 2) 金属はどこから流れてきているのか調べる。

①流入河川の水質・浮遊物調査を行なう。②流入河川周辺の土中の金属濃度を調べる。

- 3) 電導率や金属濃度が低くなっているのは何らか
の別の物質が隠すから（マスキング効果）では
ないかと考え、実験で確かめる。

4. 研究の実際

- 1) エビ大量死の原因を探る。

- ① 塩分濃度・電導率を上げる物質を調べる。

身近にある物質を水に溶かし塩分濃度・電導率を調べた（表1）。（物質0.1gを水100mlに溶かす。予備実験を行い溶かす割合を決定した。）その結果無機物（砂糖などの糖類、小麦粉など）では塩分濃度・電導率は低かった。しかし無機物（食塩などの塩化

表1 塩分、電導率を高める物質

水に溶かしたときの電導率と塩分濃度(物質0.1gを水100mlに溶かした)

No	溶かした物質	電導率	塩分	pH	化学式	No	溶かした物質	電導率	塩分	pH	化学式
1	塩化アルミニウム	1.092	0.07	4.4	AlCl ₃	36	銅	0.221	0.01	8.2	Cu
2	塩化バリウム	0.755	0.06	6.6	BaCl ₂	37	硫化鉄	0.225	0.01	7.7	FeS
3	塩化ストロンチウム	1.028	0.08	6.9	SrCl ₂	38	アルミニウム	0.214	0.01	7.5	Al
4	硝酸ナトリウム	1.145	0.07	7.1	NaNO ₃	39	味の素	0.54	0.02	7.5	
5	硝酸カリウム	1.321	0.09	7.0	KNO ₃	40	クエン酸	0.539	0.01	2.7	C ₆ H ₈ O ₇
6	硫酸カリウム	1.328	0.09	6.9	K ₂ SO ₄	41	ドライイースト	0.242	0.01	6.1	
7	硫酸ナトリウム	0.221	0.01	7.2	Na ₂ SO ₄	42	粉末ジュース	0.188	0.01	5.6	
8	炭酸ナトリウム	1.133	0.08	10.3	Na ₂ CO ₃	43	ホットケーキミックス	0.237	0.01	6.3	
9	塩化銅	0.799	0.08	5.8	CuCl ₂	44	和風だし	0.749	0.04	6.6	
10	硫酸銅	0.746	0.04	5.5	CuSO ₄	45	中華だし	0.969	0.07	6.7	
11	酢酸銅	0.455	0.02	6.0	(CH ₃ COO) ₂	46	おでんだし	0.955	0.06	6.4	
12	ぶどう糖	0.226	0.01	7.0	C ₆ H ₁₂ O ₆	47	消石灰	2.6	0.81	12.1	
13	バロミチン酸	水に溶けなかった			C ₁₅ H ₃₁ COOH	48	キクの土	0.223	0.01	9.6	
14	アスコルビン酸	0.298	0.01	3.5		49	赤玉土	0.215	0.01	8.2	
15	マルトース	0.223	0.01	6.6	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	50	化成肥料	1.028	0.07	7.6	
16	ペブジン	0.213	0.01	6.9		51	灰	0.263	0.01	8.9	
17	でん粉	0.227	0.01	7.0		52	洗剤	0.868	0.05	10.1	
18	サッカロース	0.222	0.01	7.5		53	湯の花	0.258	0.01	7.1	
19	ほう酸	0.458	0.01	9.0	H ₃ BO ₃	54	酒石酸	0.657	0.03	3.0	
20	さらし粉	0.212	0.01	8.0	CaCl ₂ (ClO)	55	コーヒー	0.244	0.01	7.0	
21	炭酸水素ナトリウム	0.93	0.06	8.1	NaHCO ₃	56	硫酸肥料	0.303	0.01	6.9	
22	みょうばん	0.733	0.03	8.6	AlK(SO ₄) ₂	57	金魚のえさ	0.223	0.01	7.4	
23	塩化アンモニウム	1.822	0.11	7.8	NH ₄ Cl	58	小麦粉	0.24	0.01	6.9	
24	りん酸ナトリウム	0.748	0.04	9.1	NaHPO ₄	59	苦石灰土	1.104	0.07	7.0	
25	塩化コバルト	1.206	0.08	8.6	CoCl ₂	60	塩化カルシウム	0.226	0.01	7.0	
26	鉄粉	0.213	0.01	7.8	Fe	61	せんこう	0.662	0.03	5.9	
27	亜鉛粉末	0.214	0.01	9.1	Zn	62	パブ	0.596	0.02	6.6	
28	スズ	0.213	0.01	7.6	Cn	63	ベーキングパウダー	0.238	0.01	7.1	
29	酸化マンガン	0.215	0.01	7.3	MnO ₂	64	米	0.235	0.01	7.2	
30	酸化銅	0.221	0.03	12.0	CuO	65	粉ミルク	0.455	0.01	7.0	
31	酸化カルシウム	2.42	0.16	9.4	CaO	66	カレー	0.26	0.01	7.1	
32	銀	0.221	0.01	6.4	Ag	67	塩化ナトリウム	1.831	0.12	7.2	NaCl
33	りん酸カリウム	0.748	0.01	6.2	K ₂ PO ₄	68	塩化カリウム	1.937	0.14	6.9	KCl
34	マグネシウム	0.256	0.01	9.9	Mg	69	硫酸アンモニウム	1.493	0.1	7	(NH ₄) ₂ SO ₄
35	水道水	0.195	0.01	7.5	H ₂ O	70	砂糖	0.204	0.01	8.9	C ₆ H ₁₂ O ₆

物など)では塩分濃度・電導率が高くなった。その結果から僕たちはNaCl、KCl、Na₂SO₄、AlCl₃がエビ大量死に関係していると考えた。理由は4種の物質は塩分濃度と電導率の関係がエビ大量死の時と同じだったこと、NaCl、KClは生活排水、Na₂SO₄は農業排水、AlCl₃は工場などの排水処理に使用しているため流入河川に流れ込む可能性が高いからである。

② 流入河川の水から取り出した物質の炎色反応を調べる。

水に無機物が溶けているならその水を蒸発させればその物質が残ると考え、エビ大量死の時の水を蒸発させると白い粉が残った。その白い物質の生物を特定するためその方法を考えているとき、先生から炎色反応を調べてみればよいのではというアイディアをもらい白い粉の炎色反応を調べることにした。その結果、川の水から出てきた結晶とNaClの炎色反応が同じだった(図4)。この実験からNaClがエビ大量死の原因物質であるといえる。物質によって炎色が異なることは驚きでNaClと河川の水から出てきた結晶の炎色反応が同じだったのを見たときにはエビ大量死の原因解明に一步近づいたのだという嬉しさがあつた。

③ 塩分濃度の高い水溶液中でエビは生きられるか調べる。

水道水にエビやヨシノボリをいれて予備実験を行

なってみるとエビとヨシノボリはすべて死んでしまった。この原因を水道水に含まれる消毒薬が原因であると考えた。そこで川の水にNaClを溶かして調べることにした。(酸素不足でエビが死んでしまうことを考えエアレーションを行なう)。その結果、NaCl濃度の高い水溶液がエビ大量死の原因の可能性がとても高い結果だった(図5)。その理由は、1% NaCl-川の水ではヨシノボリは生きているのにエビは死んでしまったことである。



図5 塩分の高い水溶液中でエビは生きられるか

④ 生物の死骸によって水質は変化するか調べる。

エビの死骸から塩分濃度を高くする物質が溶け出しているか調べるためにエビの死骸を水1ℓに入れ、



塩化アルミニウム



塩化カリウム



塩化ストロンチウム



塩化銅



塩化ナトリウム



流入河川の水から出てきた結晶

図4 炎色反応による物質の特定

マグネティックスターラーを使いき混ぜ、定期的に水質を調べることにした。その結果、エビを溶かしたときFeやAlの濃度は高くなったが、塩分濃度や電導率の値はほとんど上がっていなかった（表2）。そのことからエビの死骸から塩分を上げる物質が流れ出したのではなく、河川に塩分濃度を高くした物質が流れ込んだと考えられる。

表2 生物を水に溶かしたときの水質変化

	調査日		9/1	9/5	9/13	9/19	平均値
	調査項目						
質エ ビが 変化 死 んだ 後 の水	pH	-	7.5	7.9	8.2	9.1	8.2
	電導率 ms/cm		0.483	0.517	0.438	0.468	0.477
	塩分 %		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Fe mg/l		0.2	0.3	0.7	0	0.3
	Al mg/l		0.05	0.05	0.05	0	0.04
	Zn mg/l		0	0	0	0	0
	COD mg/l		30	50	5	20	26.3
	NH4 mg/l		10	16	0.16	0.2	6.59
	NO3 mg/l		0.25	75	1000	150	306.31
	PO4 mg/l		10	30	10	2	13
後ヨ シノ 水質 変化 死 んだ	pH	-	7.6	8.1	7.7	8.7	8.0
	電導率 ms/cm		0.41	0.446	0.341	0.401	0.400
	塩分 %		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Fe mg/l		0.3	0.5	1.5	0	0.6
	Al mg/l		0.1	0.1	0.05	0	0.06
	Zn mg/l		0.5	0.75	1	1	0.81
	COD mg/l		50	75	5	20	37.5
	NH4 mg/l		10	20	0.16	0	7.54
	NO3 mg/l		6	20	350	300	169
	PO4 mg/l		30	8	9	8	13.8

⑤ 物質ごとの塩分・電導率の関係を調べ、エビ大量死のときの河川の水質と比較する。

先生から、物質が水に溶ける量と塩分、電導率の値は比例し、横軸に物質の質量、縦軸に濃度をとって検量線をつくると、測定値がグラフの線上に来るはずであるというアドバイスをもらった。僕たちはこの方法でエビ大量死の原因物質を特定できると考えた。そこで、検量線を作成するために水100mlに物質（予備実験で0.1ml溶かすと測定出来た事から、0.05g、0.1g、0.15g、0.2g、0.25g、0.3g、0.35g）を溶かし、電導率、塩分濃度を測定する。溶かした

物質はエビ大量死の原因である可能性の高い、3種（NaCl、KCl、NH4Cl）を選んだ。そして河川の水質の値を上グラフにそれぞれプロットした。その結果グラフにより塩分においてA、B、C点は、NaCl、KClと一致した（図6）。また電導率においてE、F点は、NaCl、KClと一致したがD点では一致しなかった。この実験からもエビ大量死の原因物質をNaClと確認できた。一方D点は電導率が低くでていた。本来なら1.5ms/cmくらいになるはずである。この理由を、電導率が何かの物質により隠されているのではないかと考えた。

2) 金属はどこから流れてきているのか調べる

① 流入河川の水質・浮遊物調査を行なう

上流ほど金属濃度が高ければ流入河川から金属が流れ込んでくると考え河川の上流、中流、下流の水質を浮遊物に含まれる金属を調べた。その結果金属は水中よりも浮遊物中の方に多く含まれる傾向がある。次に上中下流別に見ると川の水のCOD値やPO4値などは下流よりも上流の方が高いが、金属や電導率の値は上流よりも中流の方が高かった（図7）。金

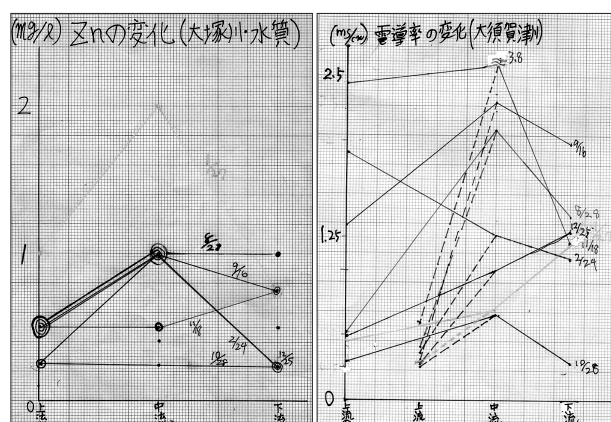


図7 上中下流の水質

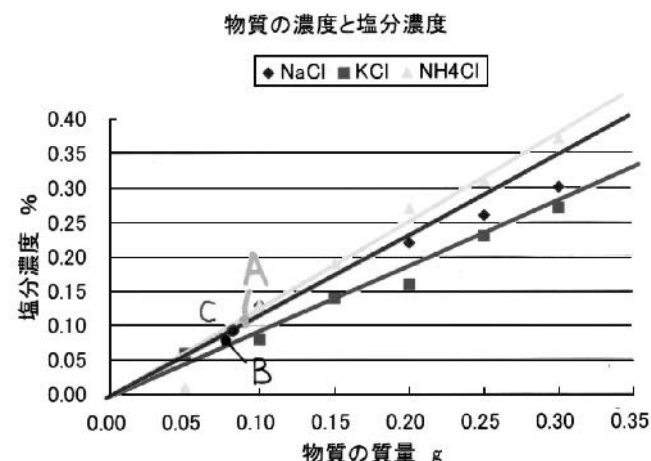
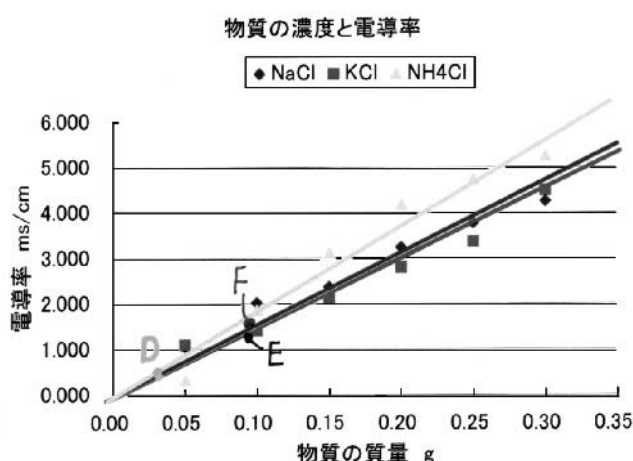


図6 検量線 A, D: 上流 B, E: 中流 C, F: 下流



属も有機物などと同じように上流から流れ込んでい
ると考えていたが結果は異なった。そこで、僕たち
は中流付近の土手の土から金属や電導率を上げる物
質が流れ込んでいると考え調べることにした（図8）。



図8 河川量岸の土調査

② 流入河川周辺の土中の金属濃度を調べる

中流や下流の金属濃度が高いのは河川の途中から
流れ込んでいると考え土を溶かしその水質を調べた。
その結果土中の金属濃度は上流の方が全体的に高か
った（図9）。しかし水中や浮遊物中の金属濃度は全

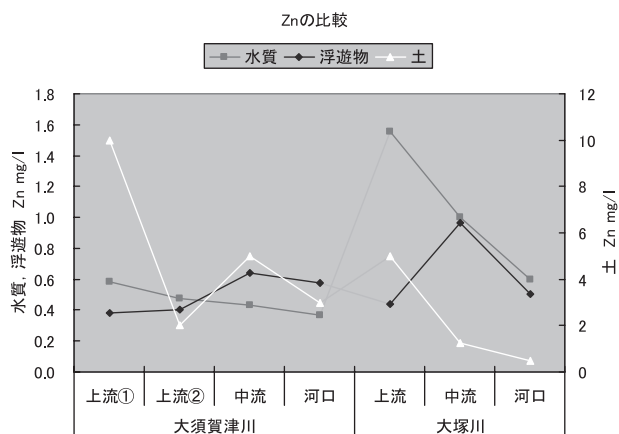


図9 土中の金属濃度

体的に上流より中流、下流の方が高い。雨水によっ
て土から金属は溶け出すなら土中の金属濃度が高い
上流の方が溶け出す金属も多いはずである。そこで
この理由を2006年度の白濁メカニズムの粒子モデ
ルをもとに金属が何らかの物質によって隠されると
考えた。つまり、この図のように金属が何らかの物
質によって取り囲まれる。取り囲まれると粒は大き
くなり浮遊物となる。そのとき金属濃度が低くなる
ため上流の金属濃度が低くなったと考えた。

3) 電導率や金属濃度が低くなっているのは何らか
の別の物質が隠すから（マスキング効果）では
ないかと考え、実験で確かめる。

① マスキング効果についての仮説を立てる

マスキング効果とは、水中である物質を別の物質
が取り囲むため、測定したときの値が本来の値より
も低く出ることである。このように考えれば上流の
金属濃度や電導率が低い値になっていることも説明
がつくからである。僕はKCl、NaClのような塩分や
電導率の値を高くする物質や、FeやAlのような金属
がマスキング効果を起こしやすいと考えた。その根
拠は次の2つである。

ア 上流の方が中流よりも電導率の値が高いはずなの
に、上流が低く中流の方が高かった。

イ Alの水溶液にりん酸イオン水溶液を加えることに
より水溶液が白く濁りAlの値が下がる。

マスキング効果が起こる理由は、水中で電導率の
値を上げる効果のある物質が、電導率を上げる効果
のない物質が取り囲むためであると考えられる（図
10）。マスキング効果を考え出した理由は、Alの水
溶液にりん酸イオン水溶液を加えると白く濁るとい
う粒子モデルをもとに考えた。電導率を上げる物質
をそうでない物質が完全に取り囲んだ場合電導率は
下がるが、完全に取り囲めない場合は、電導率はあ
まり下がらないと仮定する。また、粒どうしの結び
つきはあまり強くないもので、時々離れることがあ
ると考える。粒の大きさは大小様々であり、電導率
を高くする物質は非常に小さな粒も多いと考えた。

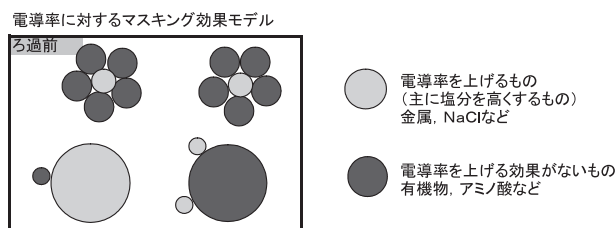


図10 マスキングモデル

② 電導率を下げる物質について調べる（マスキング 効果がはたらくかどうか調べる）

金属水溶液にNaCl、KCl、Na₂SO₄、KNO₃、リ
ン酸カリウム、アルギン酸ナトリウム、アスコルビ
ン酸、ブドウ糖を加え水溶液の電導率や塩分の変化
を測定し、水溶液に浮遊物が発生していないか調べ
た。その結果、調べた中で最も電導率を下げる効果

のある物質はアルギン酸ナトリウムであることがわかった (図11)。アルギン酸ナトリウムと金属の組み合わせでは電導率、塩分値が下がり白く濁ったことである。これは、水中で金属とアルギン酸が結びつき目に見えるような大きさの粒になったためである。このとき、金属のまわりにアルギン酸が取り囲んでいたと考えられる。マスキング効果のモデルを使ってこの実験結果を説明できそうに思った。

③ マスキング効果のメカニズム (図12)

図中の黄色の粒は、電導率の値を上げる効果があ

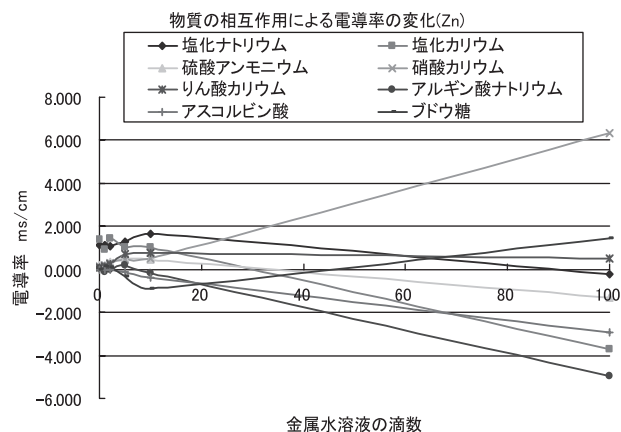


図11 電導率を低下させる物質

電導率に対するマスキング効果モデル

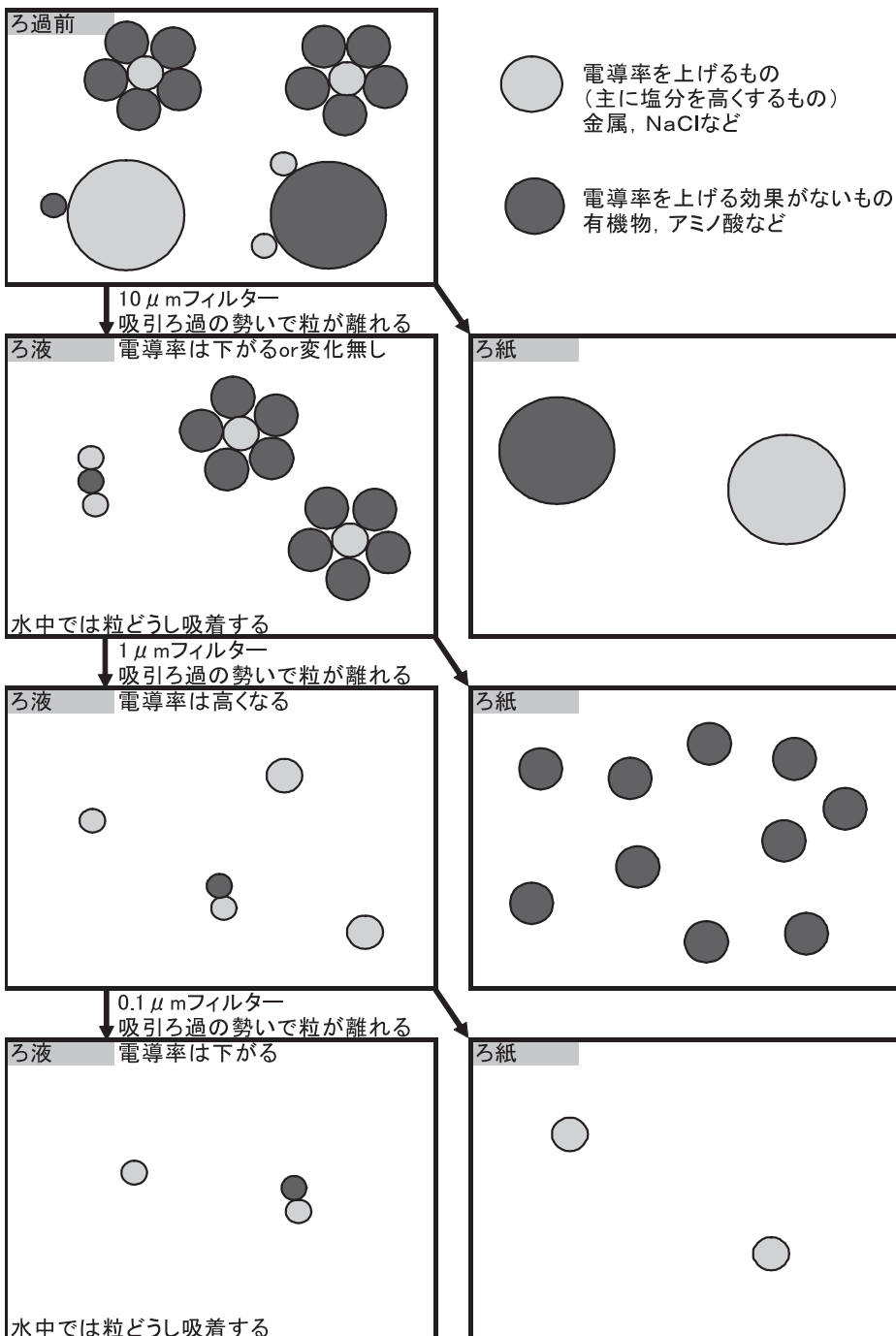


図12 マスキング効果のメカニズム

る物質で、主に金属である青色の粒は、電導率の値を上げる効果がない物質で主にアミノ酸などの有機物である。電導率の値を上げる効果のある物質と電導率の値を上げる効果がない物質は水に溶けると結びつきやすいと考える。ろ過前の図では、電導率の値を上げる効果のない物質が、電導率の値を上げる効果のある物質を取り囲むために電導率の値が低くなる。金属やアミノ酸は自然界では次のようになっている。

ア 土中に含まれる金属は雨水によって溶け出す。アミノ酸は生活排水、生物の死骸等から溶け出していると考ええる。

イ 溶け出した金属とアミノ酸は流入河川や霞ヶ浦に流れ込む。

ウ 金属とアミノ酸は、水中で互にくっつく。

そこで、ウのようになった液をろ過すると次のa～cように電導率が変化する。

a 孔径 $10\mu\text{m}$ のフィルターでろ過すると吸引ろ過の勢いで粒が離れる。粒の大きいものはろ紙に残り粒の小さなものはろ液に含まれる。(水中では粒どうし付着する)

b 次に、ろ液を孔径 $1\mu\text{m}$ のフィルターでろ過すると電導率の値を上げる効果がない物質は $1\mu\text{m}$ より大きいのでろ紙に残り、電導率の値を上げる効果のある物質は $1\mu\text{m}$ より小さいのでろ液に残るため電

導率は上がる。

c さらに、ろ液を孔径 $0.1\mu\text{m}$ のフィルターでろ過すると電導率の値を上げる効果のある物質の一部がろ紙に残されることによってろ液の電導率が少し下がる。

6. 今後の課題

今年の結果からさまざまな疑問点があった。僕たちはその疑問について調べてきて、さらに疑問を解決したいと思ったことがある。

ア アルギン酸ナトリウムで金属濃度や電導率が下がったことから、今後、アミノ酸を中心とした有機物によって電導率や金属に対するマスキング効果が見られるかを調べる。

イ 霞ヶ浦に関心をもっている人が半数しかいなかったことから、もっと霞ヶ浦に関心を持ってもらえるように発表方法を改善して分かりやすくしたり、環境事業活動へ参加したりしていきたい。その活動を通じ、みんなで水質悪化を食い止めたい。

7. おわりに

今までの成果が認められ、世界子ども水フォーラム・フォローアップ in 福岡に参加することになりました(図13)。中学・高校生が集まり、水問題解決のために話し合いを行いました。同じ班になった愛媛県と福島県の人々が「自分たちの活動や水に関心がない」「地域の人たちと協力できない」というこ



図13 生徒が参加した水フォーラム

とを言っていました。僕たちも水に対しての関心が人々になれば水質浄化が出来ると思います。科学部を引退しても環境事業等に参加し自分自身の意識を向上させ、環境団体などに所属し活動することを通じて人々の環境意識向上のために活動していきたいです。また世界子ども水フォーラム・フォローアップin福岡での活動が評価され、11月に開催されるアジア・太平洋子ども水交流会に参加することになりました。環境を守っていく活動の第一歩としてこれらの活動を通じ水問題解決のためにがんばっていききたいです。

Ⅵ. 活動のまとめと評価

1. 霞ヶ浦という身近な自然を調べる活動を行うことで、自ら課題を見つけ、自ら考え、自ら問題を解決していく問題解決的な学習として継続できた。

2. 生徒論文2001～2007（図14）の内容を見ると、次の点で科学的な資質が高まった。

- 1) 活動の流れが年を追うごとに複雑になった。
- 2) 活動の途中で疑問が生じ、新たな課題や仮説を設定したりすることができた。
- 3) 調査内容が次年度へ引き継がれ、活動を発展させることができた。
- 4) 活動後に発見が見られ、その発見は年度を経るごとに深い内容になってきた。
- 5) 後年度になるにつれ、根拠を明確にしたり、粒子モデルで説明したりするなど、より論理的で分かりやすい説明ができるようになった。

代表者 桑名康夫



図14 2001年度から2007年度までの生徒論文