報　文

基隆川の川水の凝集処理について*

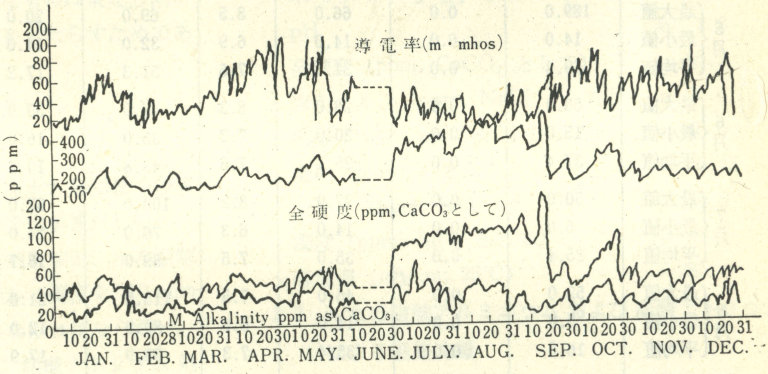
許　　東　　栄**

（昭和47年1月7日受領）

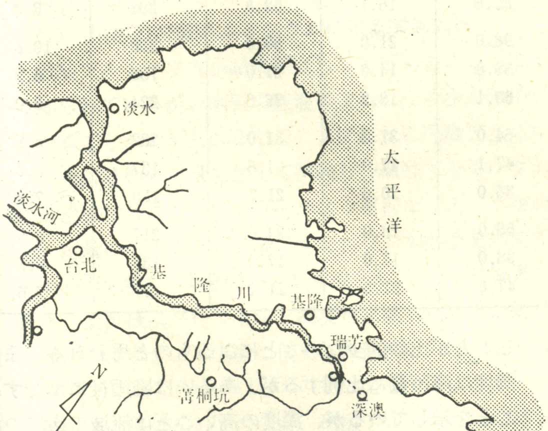
1. 緒　　論

台湾北部を流れている基隆川は菁桐坑から瑞芳、基隆を経て淡水川に合流している。この川の流域一帯は主として頁岩と砂岩から成り、亜熱帯に属して世界的にも雨量の多い場所として有名なところである。たとえば、1960年の降雨量は 3297.5 mm，1961 年の降雨量は 3005.3 mm である。さらにこの基隆川の長さは短く、流れが速い。この流域には炭鉱が多く、工場廃水や泥土が流出するため濁度が高く、かつ水質の変化が甚だしいので、流域の各工場において工業用水として使用するために適切な浄化処理が要望されている。

著者は、図―1に示すように基隆川の水を瑞芳からポンプで深澳に送り、2年間にわたって水質試験を行ない、水質と降雨量および地質の関係を調べ、種々の処理条件を検討して、状況に応じた適切な処理方法を見い出すために基礎的な実験を行なった。



図―2　基隆川の水質変化（I）



図―1　基隆川流域

2. 基隆川の水質と降雨量および地質の関係

2年間にわたって毎日この川水の試料を採取し、各種の試験を行なった。その結果を表―1および図―2に示す。

その結果、2年間にわたって水質の各項目を検討したところ、水質はきわめて変動しており、とくに濁度の変化がもっとも甚だしい。図―2からわかるように、全硬度および導電率の曲線傾向は互いに似ており、相互の間に比例関係にあるようである。降雨量の月平均と導電率、濁度の月平均の相関性を図―3に示す。

その結果、川水の導電率は降雨量に当然のことながら反比例している。すなわち雨量の少ない乾燥期では溶解固形物が増加する傾向がある。また川水の導電率と溶解固形物はそれぞれ 167 μ℧/cm および 100 mg/l であった。なお導電率を測定し、この値に次式のように係数を乗じて溶解固形物を算出した。

$$溶解固形物\ (mg/l) = K \times 導電率$$

$$\therefore\ K = 0.6$$

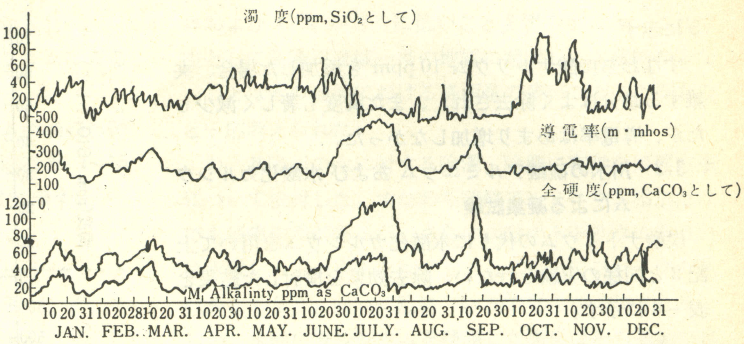
* Coagulation treatment of the Keelung river water.

** Tong-Jung Hsu　台北医学院化学教室。

表―1 基 隆 川 の 水 質

月	分析項目	濁 度 (ppm, SiO_2として)	P-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$として)	M-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$として)	pH	全硬度 (ppm, $CaCO_3$として)	塩素イオン (ppm, Cl として)	硫酸イオン (ppm, SO_4として)	導電率 (μ℧/cm, 25°C)	シリカ (ppm, SiO_2として)
1月	最大値	72.0	0.0	37.0	7.8	58.0	22.0	20.0	255	7.9
	最小値	11.0	0.0	12.0	6.8	27.0	16.0	1.0	121	4.4
	平均値	38.0	0.0	22.1	7.4	41.8	19.0	8.3	167	7.0
2月	最大値	61.0	0.0	46.0	7.7	54.0	26.0	17.9	202	7.3
	最小値	14.0	0.0	14.0	7.0	34.0	12.0	4.0	123	5.5
	平均値	35.0	0.0	21.9	7.4	42.7	18.7	10.9	160	6.7
3月	最大値	50.0	0.0	32.0	8.7	59.0	21.0	23.0	222	8.0
	最小値	22.0	0.0	17.1	6.3	28.0	16.0	8.0	226	5.7
	平均値	33.1	0.0	22.1	7.5	40.0	18.6	15.1	158	7.0
4月	最大値	98.0	0.0	38.0	7.9	57.0	23.0	40.0	245	7.8
	最小値	38.0	0.0	22.0	7.0	37.0	14.0	26.0	152	6.0
	平均値	67.5	0.0	30.3	7.5	48.2	18.6	33.6	206	7.0
5月	最大値	189.0	0.0	66.0	8.5	69.0	20.0	44.0	281	8.6
	最小値	14.0	0.0	14.0	6.9	32.0	14.0	5.0	140	6.4
	平均値	69.2	0.0	31.6	7.6	51.3	17.2	29.6	211	7.3
6月	最大値	63.0	0.0	28.0	8.3	48.0	39.0	29.0	196	8.3
	最小値	15.0	0.0	20.0	7.2	35.0	16.0	22.0	138	8.0
	平均値	37.4	0.0	25.1	7.6	43.8	19.2	24.7	180	8.1
7月	最大値	50.0	0.0	77.0	8.2	100.0	37.0	69.0	420	8.8
	最小値	6.0	0.0	14.0	6.3	76.0	14.0	43.0	237	4.7
	平均値	25.4	0.0	35.0	7.5	89.0	18.7	57.8	339	8.0
8月	最大値	52.0	0.0	46.0	7.5	118.0	21.0	83.0	485	9.0
	最小値	5.0	0.0	14.0	6.8	80.0	12.0	55.0	296	6.8
	平均値	16.6	0.0	35.4	7.3	98.9	17.9	67.6	397	7.4
9月	最大値	105.0	0.0	34.0	7.8	206.0	30.0	84.0	501	10.1
	最小値	11.0	0.0	12.0	6.5	43.0	12.0	24.0	150	5.3
	平均値	39.7	0.0	22.1	7.2	85.8	16.7	52.8	291	8.0
10月	最大値	165.0	0.0	46.0	8.3	98.0	21.0	50.0	330	10.8
	最小値	18.0	0.0	14.0	6.6	39.0	14.0	21.0	138	6.9
	平均値	55.8	0.0	27.0	7.3	60.1	18.2	36.6	224	8.0
11月	最大値	75.0	0.0	32.0	8.3	64.0	37.0	31.0	232	8.1
	最小値	23.0	0.0	14.0	6.6	47.1	17.0	1.6	137	5.6
	平均値	46.4	0.0	23.0	7.3	36.0	20.6	21.7	180	7.2
12月	最大値	95.0	0.0	48.0	7.9	58.0	23.0	24.0	217	8.9
	最小値	10.0	0.0	14.0	6.8	38.0	17.0	17.0	135	6.6
	平均値	50.3	0.0	24.4	7.3	47.0	21.3	21.1	177	7.6

この係数はもちろん理論的には恒数ではないが、通普の天然水を取扱う測定の場合には経験的にだいたい恒数とみなしている。Kohlraush, Holbarn は 0.75 なる値を与えているが、Weldert, Karaffa-Korubutt[1)] は 0.71 を与え、A. Daroshewiski, S.W. Dworschanschik[2)] は 0.695、M. Fornaini[3)] は 0.71 を与え、ドイツの標準法[4)] では 0.75 としている。しかるに基隆川は 0.6 という比較的低い値を示している。これは世界的に降雨量が多いが、地中（頁岩、砂岩）に浸透して無機物を溶解することが比較的少ないことによるものと思われる。また濁度は降雨量に比例するが、あるいは降雨後に増加することを示しているが、濁度の高いことは流域の炭鉱の泥土がこの川に捨てられ、川長が短く流水が急なためと考えられる。小林[5)] の調査によると日本の河川は一般に塩濃度は稀薄な傾向があってシリカが高く、カルシウム塩が低い。世界の平均ではシリカ含量は無機物含量の 11% を占めるのに対し、南九州の河川では最低でも大約 20%、阿蘇、霧島火山脈に関係する河川は 50% にのぼる



図―3　基隆川の水質変化（II）

と述べている。基隆川の河川はシリカが低く、無機物の 6.65～82% を示す。世界河川の平均では硫酸イオンは全無機物中の 12.1% を占め、日本は 9.9～45% にあるが、基隆川は 8.3～37.5% である。世界河川の平均 Ca, 炭酸塩および SiO_2 はそれぞれ 20.4、25.2 および 11.7% であるのに反し、日本の中国地方の平均値は 12.1、25.5 および 26.5% であるが基隆川は 17.23：11.9：5.4% で一般に低い値を示している。この差違はそれぞれの河川の流れている地域の地質に関係していると思われる。また塩素イオンについては中国地方山陽側の河川では 3.0～9.2 mg/*l* となっているのに対し、山は 7.0～39.0mg/*l* となっている。その原因としての主なものは東北方向から吹きつける季節風が太平洋の塩分をもたらすためであろう。

3. 実　　験

基隆川の水は上記したように炭鉱廃水と降雨量の豊富なために非常によごれ、かつ水質の変化が甚だしい。したがって前処理において適当な凝集剤を加え、水の溶解固形物や硬度を増加させないで速やかに濁度を 10 ppm 以下、鉄分を 0.3 ppm 以下に処理しなければならない。この目的をもって川水の塩素処理、炭酸ナトリウム処理、ならびに硫酸アルミニウムおよび塩化第二鉄による凝集処理を行なった。

3.1　川水の硫酸アルミニウムによる凝集試験

硫酸アルミニウムが凝集剤として有効であることはよく知られているが、水質の差違によってその作用効果が異なることが考えられるので、まず川水に硫酸アルミニウム水溶液の一定量を加えて試験し、硫酸アルミニウムの最適添加量についてヂャーテストを行なった。すなわち一定量の川水に 1 %硫酸アルミニウム水溶液を加えて 50 rpm の速さで 1 分間かきまぜ混合し、一時間放置した後、上澄液について pH と濁度を試験した。その結果を表―2 に示す。本実験に使用した硫酸アルミニウムは $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16\,H_2O \sim 18\,H_2O$ の組成を有する。

表―2 の結果からこの場合、硫酸アルミニウムの添加量は 30 ppm が適当である。また本試験に使用した川水の分析は JIS の工業用水試験法によって測定し、その組成は次のとおりである。

表―2

硫酸アルミニウム添加量 (ppm)	5	10	20	30	50
pH	7.2	7.1	7.0	6.7	6.4
濁度 (ppm, SiO_2 として)	37.0	36.5	36.0	35.0	40.0

P-アルカリ度（ppm, $CaCO_3$ として）＝ 0.0
M-アルカリ度（ppm, $CaCO_3$ として）＝ 40.5
pH ＝ 7.2
全硬度（ppm, $CaCO_3$ として）＝ 65.3
塩素イオン（ppm, NaCl として）＝ 20.6
硫酸イオン（ppm, SO_4 として）＝ 45.0
全鉄（ppm, Feとして）＝ 0.48
シリカ（ppm, SiO_2 として）＝ 4.5
濁度（ppm, SiO_2 として）＝ 41.5
導電率（μ℧/cm, 25°C）＝285

3.2　川水の硫酸アルミニウムおよび炭酸ナトリウムによる凝集沈殿

川水試料に硫酸アルミニウムを添加し、供試水の pH を 1 %炭酸ナトリウム水溶液で調節して凝集法によって除鉄および除濁を試みた。すなわち上記の実験結果から川水試料に 30 ppm の硫酸アルミニウムを加え、次いで 1 %炭酸ナトリウム水溶液を 5～20 ppm の範囲に加え、以下上記の場合と同様に処理した。その結果を表―

表―3

硫酸アルミニウム添加量 (ppm)	30	30	30	30
炭酸ナトリウム添加量 (ppm)	5	10	15	20
pH	6.9	7.0	7.0	7.3
濁度 (ppm, SiO_2 として)	13.0	9.5	10.5	11.3
P-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	0.0	0.0	0.0	0.0
M-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	32.8	36.6	40.5	44.5
全硬度 (ppm, $CaCO_3$ として)	59.1	60.2	60.2	59.1
全鉄 (ppm, Fe として)	0.13	0.12	0.16	0.17
導電率 (μ℧/cm, 25°C)	275	276	280	295

3に示す。

すなわち炭酸ナトリウム 10 ppm を添加した場合、夾雑する鉄分はよく除去され、、また濁度も著しく減少したが、導電率はあまり増加しなかった。

3.3 川水の硫酸アルミニウムおよび水酸化カルシウムによる凝集試験

炭酸ナトリウムの代りに水酸化カルシウムを用いて上記2と同様の実験を行ない、除去効果を検討した結果を表—4に示す。

表—4

硫酸アルミニウム添加量 (ppm)	30	30	30
1%水酸化カルシウム添加量 (ppm)	5	10	15
pH	7.6	7.6	8.7
濁度 (ppm, SiO_2 として)	10.5	12.5	17.3
P-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	0.0	0.0	0.0
M-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	36.6	40.5	48.2
全硬度 (ppm, $CaCO_3$ として)	65.3	73.5	80.6
全鉄 (ppm, Fe として)	0.13	0.15	0.17
導電率 (μ℧/cm, 25°C)	275	280	292

すなわち水酸化カルシウム水溶液を加えることによって除鉄および除濁効果は炭酸ナトリウムを加えた場合と同様な結果を示すが、一船に添加した水酸化カルシウムは一時、硬度を軟化する作用があるが、少し過剰の水酸化カルシウム添加ではかえって硬度を増加する傾向がある。

3.4 川水の硫酸アルミニウムおよび塩素による凝集試験

この実験は塩素によって2価の鉄イオンを酸化して、除去しやすい3価の鉄イオンにするためである。最初に塩素の有効範囲を定めるために硫酸アルミニウム添加量を一定にし、塩素を 0.8～4.0 ppm 加えて有効な塩素添加量を定めた。その結果を表—5に示す。

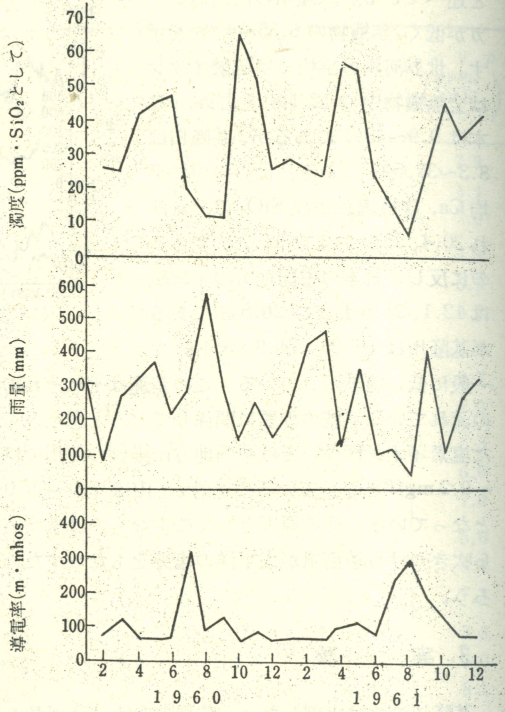
表—5

硫酸アルミニウム添加量 (ppm)	30	30	30	30
塩素添加量 (ppm)	0.8	1.6	3.2	4.0
pH	6.9	7.0	7.1	7.1
全鉄 (ppm, Feとして)	0.15	0.13	0.13	0.13

その結果、鉄イオンの除去に塩素は有効であり、この場合、最適塩素添加量は 1.6 ppm であった。

3.5 川水の塩化第二鉄による凝集試験

一般に水酸化鉄のフロックは水酸化アルミニウムのフロックより沈降性である。そこで硫酸アルミニウムの代りに塩化第二鉄を使用して実験を行なった結果を表—6に示す。



図—4 基隆川の水質変化 (III)

表—6

塩化第二鉄添加量 (ppm)	20	30	40
pH	7.0	7.0	6.6
導電率 (μ℧/cm, 25°C)	274	280	286
全鉄 (ppm, Fe として)	0.13	0.12	0.25

その結果、水酸化鉄フロックの沈降性は水酸化アルミニウムフロックより速いことがわかった。

3.6 川水の塩化第二鉄および塩素による凝集試験

塩化第二鉄を凝集剤として使用し、さらに塩素を添加して凝集効果を検討した結果を表—7に示す。

表—7

塩化第二鉄添加量 (ppm)	25	30	35
塩素添加量 (ppm)	1.6	1.6	1.6
pH	6.8	6.7	6.5
P-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	0.0	0.0	0.0
M-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	21.0	19.3	17.4
全硬度 (ppm, $CaCO_3$ として)	59.2	64.4	63.3
全鉄 (ppm, Fe として)	0.02	0.02	0.01
導電率 (μ℧/cm, 25°C)	240	245	245

すなわち塩化第二鉄を単独で使用する場合より、塩素を加えた場合の処理が除鉄効果が大きい。また硫酸アルミニウムに塩素を添加した場合よりも塩化第二鉄に塩素

を添加した場合が除鉄効果の大きいことが示された。

3.7 川水の塩化第二鉄および炭酸ナトリウムによる凝集試験

塩化第二鉄を一定量にし、炭酸ナトリウム添加の影響を明らかにするために、炭酸ナトリウム水溶液を 0～15 ppm の範囲に加えて実験した結果を表—8 に示す。

表—8

塩化第二鉄添加量 (ppm)	25	25	25	25
炭酸ソーダ添加量 (ppm)	0	5	10	15
pH	6.6	6.7	6.8	7.0
濁度 (ppm, SiO_2 として)	15	8	10	11
P-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	0	0	0	0
M-アルカリ度 (ppm, $CaCO_3$ として)	21.2	25.1	28.9	34.7
全硬度 (ppm, $CaCO_3$ として)	59.2	59.2	59.2	59.2
全鉄 (ppm, Fe として)	0.11	0.05	0.06	0.05
導電率 (μ℧/cm, 25°C)	270	275	285	294

塩化第二鉄に炭酸ナトリウムを添加することによってフロックの生成と除鉄が一層よくなり、また除鉄効果についても硫酸アルミニウムと炭酸ナトリウムを使用した場合よりも良い結果を示した。

4. 結　論

1) 世界で雨量のきわめて多い台湾北部を流れている基隆川の水質について 2 年間にわたり試験し、世界および日本の川水の 1 例について水質の性状を比較してシリカおよび CO_3 がとくに低いことを明らかにした。これは主として基隆川流域一帯の地質に起因し、溶解物の少ないことはその地域における降雨量の多いことによるものと一応考えられた。

2) 基隆川の水に対する除濁、除鉄に有効な処理方法について検討した。すなわち硫酸アルミニウム添加だけでも凝集作用があるが、さらに炭酸ナトリウムあるいは水酸化カルシウムを加えることによってフロックの生成がよくなり、同時に除鉄、除濁の効果が増加される。しかし水酸化カルシウムを使用した場合はその過剰で処理水の硬度を増加するので、一時硬度の低い雨期の基隆川の水の除鉄と除濁には炭酸ナトリウムを用い、一時硬度の高い乾燥期には水酸化カルシウムを用いる方がよい。凝集剤として硫酸アルミニウムと塩化第二鉄について比較試験を試みたが、この場合、水酸化鉄のフロックは水酸化アルミニウムのフロックよりも沈殿性がよい。除鉄については、塩素処理はすぐれた結果を示した。すなわち 1～2 ppm の塩素と適量の凝集剤を併用することによって満足な結果が得られた。この際、塩化第二鉄は硫酸アルミニウムよりすぐれた除鉄効果を示すが、塩化第二鉄のフロックが比較的軽く、沈降し難い時に使用する方が望ましい。

文　献

1) Weldert, Karaffa-Korubutt : Wasser u. Abwaser **9** (1915) 264
2) Doroschewski, Dworschanschik : 同上誌 **8** (1914) 198
3) Fornani : 同上誌 **12** (1918) 139
4) W. Olszewski : "Handb. Iebensm-Chem.", Ⅷ/2 (1940)
5) 小林　純 : 本邦河川の化学的研究 (昭和 28 年 3 月)