

# 多摩川の下流における支流や 海水の混入について

—— 川崎市立宮崎中学校科学部の活動 ——

1988年

青柳隆二

川崎市立宮崎中学校教諭

# 目 次

ま え が き .....	1
研 究 方 法 .....	1
【研究1】 化学分析方法の工夫 .....	3
【研究2】 多摩川の本流と平瀬川 .....	6
【研究3】 多摩川の流量 .....	9
【研究4】 本流と支流の混合のようす .....	12
【研究5】 深さによる水質の変化 .....	21
【研究6】 水面付近の水質の異常変化 .....	23
【研究7】 多摩川に入る海水の混入 .....	25
【研究8】 混合のモデル実験 .....	26
全体的なまとめ .....	31

# 多摩川の下流における支流や海水の混合について

— 川崎市立宮崎中学校科学部の活動 —

川崎市立宮崎中学校教諭 青柳隆二

## まえがき

58・59年度は「多摩川の濁りの研究 — おもに二子橋付近について —」を行った。その中で東京側に比べて、川崎側は透明度、浮遊物、付着物、濁度などがほとんどの日に汚れている結果となった。この原因は、新二子橋（国道246バイパス）より300m上流の多摩川に入る平瀬川の影響であると考えた。

60年度 平瀬川が多摩川本流と合流して、混合していく水面付近のようすについて調べた。

- 61年度
- ① 60年度に引き続いて、平瀬川が本流と合流して、混合していく水面付近のようす。
  - ② 東京側から入る野川と多摩川本流の合流点における、水面付近の混合のようす。
  - ③ ①・②について水面から川底。
  - ④ 野川ではすでに浄化装置がはたらいているので、この装置による浄化のようすを調べる。
  - ⑤ 多摩川の河口付近では海水が川をのぼるがその侵入のようす。
  - ⑥ 2種類の違った水が混合するようすを、モデル実験によって検証する。

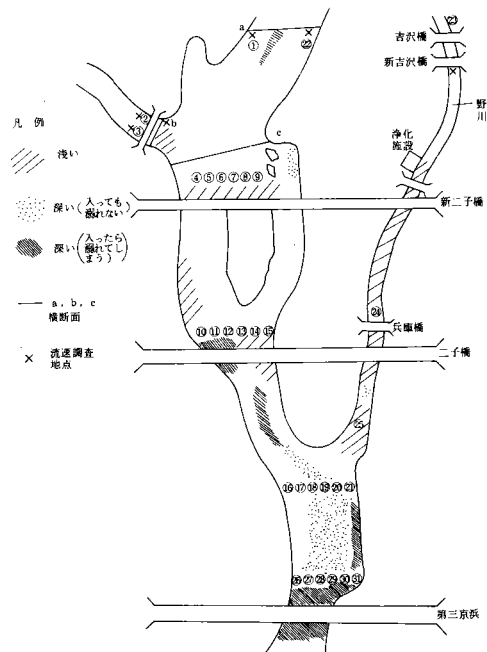
以上6つの問題を調べる。

## 研究方法

### (1) 採水地点

- 地点1 (①) 多摩川本流の川崎側：  
その位置は平瀬川の合流点より上流の多摩川本流で、合流点より0.9kmはなれた川崎側の川岸である。本当はもっと平瀬川に近いほうが歩く距離が少ないのでよいのだが、合流付近の上流は平瀬川が入り込むので、すぐ上の川崎側の本流は流れが止まって逆流することがある。そのために、平瀬川の影響が絶対がない地点を考えて、結局この地点になった。
- 地点(②と③) 平瀬川：平瀬川と多摩川の合流点より平瀬川を約50m

図1 調査地点と、川底のようすの略図



上ると平瀬川橋がある。この橋の下は川幅が32mで、この橋の上で北側、南側のそれぞれの端から10mの位置でひもにビンをつけたものをおろして採水した（北側②，南側③）。

- 新二子橋：橋の上から図1のように④～⑨の6ヶ所について採水した。この橋は図のように橋より10m程下流に大きい中州があるために川の流れが複雑である。そこで、この水の実態をうまくつかもうとして、採水地点を選んだ。
- 二子橋：橋の上から図1の⑩～⑮の6ヶ所で採水した。採水地点については、当初、去年と同様に7ヶ所採っていたが、川崎側に片寄っていたので、いつも傾向が同じものもあつたりしたので、現在のよう  
に1ヶ所減らして6ヶ所にし、採水地点がかたよらないようにした。
- 多摩川下流地点：この地点は、野川が多摩川に合流し、その下流60mのところである。川崎側から東京  
側に川を横断しながら採水した。採水番号は⑯～㉑である。
- 第三京浜地点：第三京浜の橋の下、多摩川下流地点より下流約500mのところである。川崎側から東京  
側へ川を横断しながら採水した。採水番号は㉒～㉓である。
- 野川浄化施設：施設をはさんで上流と下流の地点である。浄化施設が動いているときは、浄化施設上流、  
400mの新吉沢橋から採水した。また、動いていないときは、浄化施設下流400mのところのみ採水し  
た。採水番号は、それぞれ㉔、㉕である。

## (2) 採水日と採水時間

- 3月28日～4月2日、午前10時30分～午前11時30分
- 4月26日～7月12日の土曜日、午後3時～4時
- 7月26日～8月26日、午前10時30分～午前11時

## (3) 水位・流速の調査方法

水位は次にかくように最も見やすいそれぞれの場所で基準を作って調べた。水面の流速は本流の上流①地点、東京側新二子橋そばの下流地点はそれぞれ、缶ジュースの空缶に水や石を入れて、これを川に投げる。これを2回繰り返して、平均値を求めた。その他の地点は、いろいろなごみが流れてくるので、そのごみの流れる速さを測った。

- 流速：①地点は、測定ごとに10mのひもを川原においてその間を流れる時間を測った。その地点は、マジックで川岸に距離10mの印を書いておき、その10mをごみが流れる時間を測った。例えば10mを12秒かかった場合は $10 \div 12 = 0.83 \text{ m/秒}$ のように計算した。

水中の流速は、東邦電探のCM-IB型電気流速計で測った。

- 水位：多摩川本流（上流）採水地点①の川原におりるところに堤防がある。堤防の下の川岸付近の水中にコンクリート製の大きなわくが置かれている。この表面を基準にして水位を測った。コンクリートの下は深くて、40.5cmあって、調査期間中で最も水位が下がった8月30日でも基準点を0として、

- 37 cmであった。また、水位が上がると堤防の斜面まで水がくるが、この水位は計算して求められる。
- 平瀬川：平瀬橋より約30 m上流に建設省(?)が設置した、水位を測るものさしが川岸のコンクリートにはめ込んであるので、これを読んだ。
- 二子橋：二子橋より下流地点の川岸に、テトラポットが並んでいて、ペンキで大きく数字が入っている。その中で覚えやすく、水位が下がってもまず水がなくなりそうもない550番に水平にマジックで線を書き、これを基準とした。
- 東京側：今年7月になって、多摩川上流東京側（採水地点㊸）より、約100 m上流に、建設省が設置した水位計のあることを知った。それ以来この水位計を読むことにした。

#### (4) 水深の調べ方

雨が降らずに水面が下がり、川が渡れる日としてえらんだのは、8月1日と、8月26日である。8月1日に一度に4ヶ所調べたかったができなかったのので、2日間に分けた。8月26日の方が8月1日に比べて、合流後は水位が10 cm高い。そこで8月1日の測定値は、すべて10 cmプラスした数字とした。測定は100 mの巻尺（陸上部のもの）を、川岸から張り、2 m間隔で長さ1 mのものさしで水深を調べた。

### 【研究1】 化学分析方法の工夫

#### NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の分析を今年は中止した理由

昨年は1回の調査で20ヶ所採水した。今年に当たる61年は野川を加えるとともに深さによる混合のようすを調べたので、約50地点で採水した。

昨年より2倍以上の時間が化学分析にかかった。

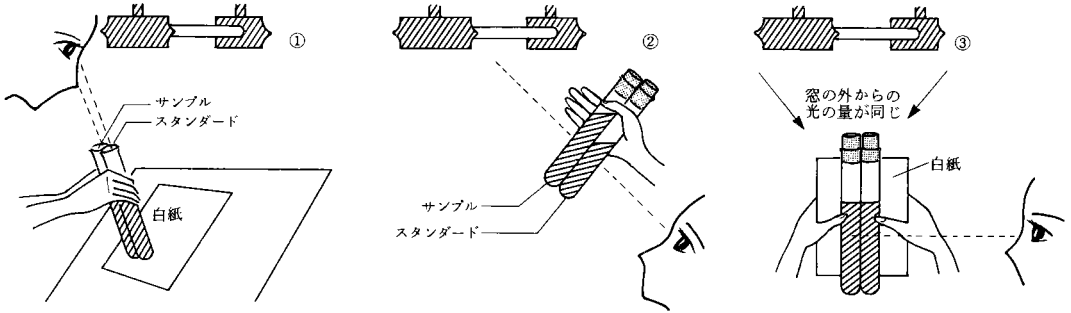
昨年は、夏休み中、1日おきに採水して、化学分析は採水した日と、次の日のうちにNH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>を分析した。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は、1日たつとppmが減るのを、昨年の5月に気がついた。そこでNH<sub>4</sub><sup>+</sup>は、採水した日に必ず分析することにしてきた。

今年も夏休み中は、1日おきの採水だが、本数が多くて成分を調べると部員が集まらないで、どの成分も中途はんぱになって、採水した水の全部を短時間で分析できる自信がない。

#### (1) 塩化物イオンを正確に調べる工夫

日本化学会編・実験化学講座（丸善版）No.14地球化学 p.170に書いてあるチオシアン酸水銀溶液による方法で調べた。簡単にその操作を説明すると、サンプルを10 mlのホールピペットですいとって長さ太さ一定の試験管（長さ180 mm、内径1.6 mm）に入れる。そして、その試験管にチオシアン酸水銀溶液1 mlと鉄明ばん溶液2 mlを入れる。この時、チオシアン酸水銀溶液を先に入れないと反応しない。試薬を入れたらゴム栓をしてよくふる。この時に、あわをたてないように気を付ける。次にスタンダードの入った試験管と、調べる川の水の入った試験管を比色する。

図2 塩化物イオンの比色の工夫



この比色法は、昨年から、いろいろ苦勞した。はじめは、図2-①の方法である。この①の方法は濃すぎて、例えば、なれていない人が見ると15ppmが50ppmくらいに見える。また同じ人が見ても±5ppmくらいのばらつきがすぐであるので昨年の塩化物イオンの人は図2-②のように、スタンダードと調べる試験管を平行にくっつけて並べ、蛍光灯の中央部と左右の光の量を同じにするために斜めにかざして調べた。

今年になって②の方法で調べると、右側にスタンダード、左側に調べる試験管をおいて、同じppmになった場合、スタンダードを左側に、調べるほうを右側にすると、最大5ppmくらいの差が出ることに気づいた。この理由として調べる位置の左右の窓をとおって入ってくる日光の光の強さの違いである。そこで、次の方法で比色することにした。

㉞ 比色するときは、北側の窓に近い机の上です。

㉟ 北側の外を見て比色する場所の左右の窓から入ってくる光の量が、だいたい一致と思われる位置をきめる。

㊱ スタンダードと調べる試験管を左右逆にしても同じppmになる机を探す。実際は、一度㉟の位置をきめると、別の日や時刻でも、だいたい左右の光の量が同じであることを知る。

㊲ 蛍光灯にかざさないで、南を背にして北側に白紙(ケント紙)を立てて、その前にスタンダードや調べる試験管を立て、図2-③、真横から見ても、ばらつきが少なく、正確なデータが測定できた。

これ以外に正確に分析するために何時でも1つの地点のサンプルを2本の試験管を2人以上の人が比色して同じppmになるかを確かめた。ppmがちがうときは、比色の回数をさらに増やすとだいたい一致したppmになることが多い。

この結果が正しいか確かめるために、5月になって購入した分光光度計で調べて、ぼく達の見方が正しいか確認した。この結果は、2回以上調べてppmが一致しているときは光度計でも±1ppmの範囲で同じになることが多いことがわかった。

$\text{Cl}^-$ の比色は、その後すべて分光光度計で調べるようになった。しかし、次にかく $\text{SO}_4^{2-}$ は比濁法なので分光光度計では調べにくい。そこで、 $\text{Cl}^-$ でわかった蛍光灯下の方法にしたがって調べることにした。

## (2) 硫酸イオンの分析の工夫

**a** : 一般的な方法 日本化学会編 実験化学講座No.14 (丸善版)「地球化学」の、p.178に硫酸イオンの定量法がのっているが、大変複雑である。そこでこの本をもとにして先生が簡便法として教えてくれた方法は、サンプル10 mlに6 Nの塩酸1滴を加えてから10%の塩化バリウム水溶液を3滴入れて、これを50 ml用ビーカーに移し加熱してから、急冷して、試験管に入れる。これと、標準溶液(スタンダード)を比べる比濁法で定量した。

**b** : 川の水が濁っているために生ずる問題点 サンプルがはじめから濁っていることが多いので、ただ、サンプルに試薬(10%塩化バリウム水溶液)を入れる比濁法では比べられない。

〈解決方法〉 サンプルそのものを $\text{SO}_4^{2-}$ のスタンダードと比べて100 ppm位あるように見える場合は、ろ過をする。こうしたろ液と $\text{SO}_4^{2-}$ のスタンダードを比べたもの(ここでは値をAとする)を求め、次に二つのろ液に試薬を入れて、再びスタンダードと比べた値(Bとする)をだす。B-Aを $\text{SO}_4^{2-}$ の量とする。50 ppm位ならば試薬を入れずにまず測定する。次に後で試薬を入れて測定した値から試薬を入れずに測定した値をひく。同じサンプルでも分析値が大きく違うので誤差が少なくなるように次のような工夫をした。

まず、サンプルを採る時は、サンプルの入った採水瓶をよくふる。これは、瓶の中の水面と底の方では濃さに開きがあるので、ホールピペットで水を取る位置がまちまちだと、データが狂ってしまうからである。次に、分析結果が一回目と二回目大きく違うサンプルについては、同じ位の値になるまで何回も分析を行った。しかし、その度毎にバラツキが多い。その最大の原因をいろいろ考えた末、一つは濁りとその他、熱し方・冷し方にあることがわかった。

**c** : 熱し方・冷し方より 試験管の中にある試薬の入ったサンプルを50 ml用の小形ビーカーに移し、ホットプレートで水蒸気が出るまで加熱する。加熱する時は沸とうに注意する。沸とうするとサンプルの水量が減ってしまい、測定を行った時、試薬の反応が余計に濃く見えるからである。加熱する時は何分熱するか決めようとしていたが、50 ml用の小形用ビーカーもメーカーにより底面積が多少違うので、水蒸気の出る時間が違い、だめだった。同じメーカーのビーカーを使用してもホットプレートにのせる場所によって温度が違うので、水蒸気の出方がずいぶん違う。そのため、最初にホットプレートにおいた方より後においた方が早く水蒸気が出たり、同時においた二つのビーカーのうち片方が早く水蒸気が出てしまったりすることが多い。

そこで、二つの方法を考えた。

一つは、ビーカーをホットプレートの中にセットしてある電熱線に沿って並べてみることにした。(ホットプレートの裏側をみれば配線でわかる) こうすれば温度は一定になると考えたからだ。実際に実験を

してみると、水蒸気はほぼ同じようにでた。

もう一つは、最初ホットプレートのダイヤルの温度を190度にして、全体があたたまるまで待つ。全体があたたまったらダイヤル温度を100度に下げる。すると、全体の温度がだいたい均一になる。この方法で行うと、同じくらいの時間で水蒸気が出る。50mlビーカーから水蒸気が出て加熱がおわったら、すぐにビーカーを水槽に移して急冷する。急冷しないとBaSO<sub>4</sub>の沈殿が十分にできないことと、水蒸気の発生がおさまらないので、試薬の反応が余計に濃く見えるからである。

冷し方は、まず水槽に高さ2～3cmくらいの水を入れる。4～5cmくらいまで水を入れたほうが冷やすためには都合がよい。しかし、ビーカーが浮いて転倒しやすくなる。1回分(20個)のビーカーを冷やすためには、水槽を2つ用意して、10個ずつ冷やす。冷やしたビーカーは水槽の端にあるものから取り出す。これはビーカーの底についた水滴が他のビーカーに落ちることを防ぐためである。

水槽から出したビーカーを10回くらい軽く振ってから、ビーカー内の試料を比色用の管に移す。これはビーカーの底に沈んだ沈殿物を完全に移すために行う。

d：にごりのろ過 昨年は大雨などで水がにごっている時は比色法では調べられないので、比較的水が澄んでいた日しか調べなかった。それでも多少にごっているときは測定誤差が大きすぎた。一方雨が降った時は、晴天の続いた時とは水質が違う可能性があるのではよい方法はないかと考えた。そのうちにカタログに目の細いろ液のあることを知った。0.1、0.45μmのろ紙とろ過装置を購入して調べたところ、どちらのろ紙でも同じ程度にろ過できることと、0.45μmのほうがろ過の時間がそうとう短かくすむことがわかったので0.45μmのろ紙を使用することにした。この0.45μmのろ紙を使うと、多少にごった水はもちろん、雨が降っても調べることができるようになる。化学分析法は、本項目のbと同じである。

## 【研究2】 多摩川の本流と平瀬川

### 多摩川と平瀬川について

多摩川は、山梨県の笠取山が源で全長150kmで多くの支流がある。しかし、支流の秋川と合流後、羽村でほとんどの水は、東京都の飲料水として取られてしまう。支流のよほどの大雨で飲料水が余ったときだけそれより上流の水が羽村の下流に流される。したがって羽村より下流の生活廃水や浅川の水と一緒に流れてきた水を、私達は「多摩川の本流の水」(調査地点1, 22)とよんでいる。羽村から二子橋まで40kmで生活廃水を集めたような支流も多く流れ込む。

平瀬川は、長さ7.5km、上流で2つに分かれている。この川の流域は、川崎の北部といわれる地域〔高津区・宮前区・多摩区・麻生区〕で、下流は住宅地、上流は現在も土地開発が進んでいる。川崎市は下水が完備していないために、流域の廃水と流域の地下水のしみ出た水で平瀬川はできていると考える。



(1) 本流と平瀬川の一般的な水質

まず61年5月から8月まで16回の調査結果をもとに、多摩川本流と平瀬川の水質を比較してみた。

**Cl<sup>-</sup>** 本流はCl<sup>-</sup>が9~38ppm含まれていた。20~28ppmの日が7日で最も多い。平瀬川は、11~36ppmの範囲で11~15ppm、20~28ppmが各5日、次が30~38ppmで4日もあった。

この結果からも本流と平瀬川のCl<sup>-</sup>はさほど大きな差はないようにみえる。しかしわずかではあるが、平瀬川のほうがCl<sup>-</sup>の多い傾向はある。そこで同じ日の本流と平瀬川のCl<sup>-</sup>の差を比較してみた。すると本流に比べて平瀬川の方が3~9ppm多い日が7回、ほぼ同じ日(±2ppm)が5回でやはり傾向としては平瀬川のほうがわずかにCl<sup>-</sup>が多いといえる。

本流と平瀬川の日変化のようすをみるために、ほぼ一日おきの継続調査をした。夏休みの結果を図3-1とした。この図3によると、同じppmの日が続くことはない。毎回増減をくり返している。特に目立った傾向は、7月23日と24日では、本流も平瀬川も減少する。次の28日には、ともに増加しているように、本流の増減の変化傾向と平瀬川のそれが一致することである。この原因はわからないが、偶然一致する傾向ではなさそうだ。いえそんなことは、平瀬川も多摩川本流も同性質の川ではないかということである。同じ性質とは、ともに生活廃水の川であることに関係しているように思える。

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** 本流のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は、1~77ppmと日による変化がはげしい。しかし、最も多いのは24~46ppmで、この範囲の日数は調査した日の50%にあたる8回である。しかし、1~8ppmと低い日も4回あった。

平瀬川は11~70ppmの範囲で変化している。多いのは、11~15ppmが5回、20~38ppmが9回である。本流の平均値は31ppm、平瀬川は21ppmとなり、平均的には、平瀬川の1.5倍が本流のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>という傾向がある。図3-2として本流と平瀬川の日変化のようすをグラフ化した。Cl<sup>-</sup>と違って毎日の本流と平瀬川の増減の傾向は一致しない。しかし本流の増減の変化よりも平瀬川は一日おくれて同じような増減をする傾向がある。この原因もCl<sup>-</sup>同様はっきりした事はわからない。ただ、一日平瀬川がおくれて同じ増減の変化をする事は、やはり多摩川本流と平瀬川は似た性質の川で違う点は、本流の方がはるかに川の延長距離が大きい事で、これがずれる直接の原因ではないかと思われる。

(2) 60, 61年度における多摩川と平瀬川のCl<sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の比較

方法：多摩川の本流と平瀬川について、水に含まれるCl<sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の量を比較した。60年度は、7月18日から8月31日まで14回調査した。61年度は3月26日から調査をしたが、60年度と比較するためには同じ季節のほうがよいと考えて、7月12日から15回の調査結果を使って、それぞれの、平均を求めたのが表1である。

表1 60年度と61年度の多摩川本流と平瀬川の水質の平均値 (7月21日~8月31日)

場 所 年 度	多摩川本流		平瀬川	
	60	61	60	61
Cl <sup>-</sup> (ppm)	42.9	26.7	56.5	26.9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	34.0	31.0	43.2	21.0

図 3-1 60年度・61年度の多摩川本流と平瀬川の水質Cl<sup>-</sup>  
(7月21日～8月31日)

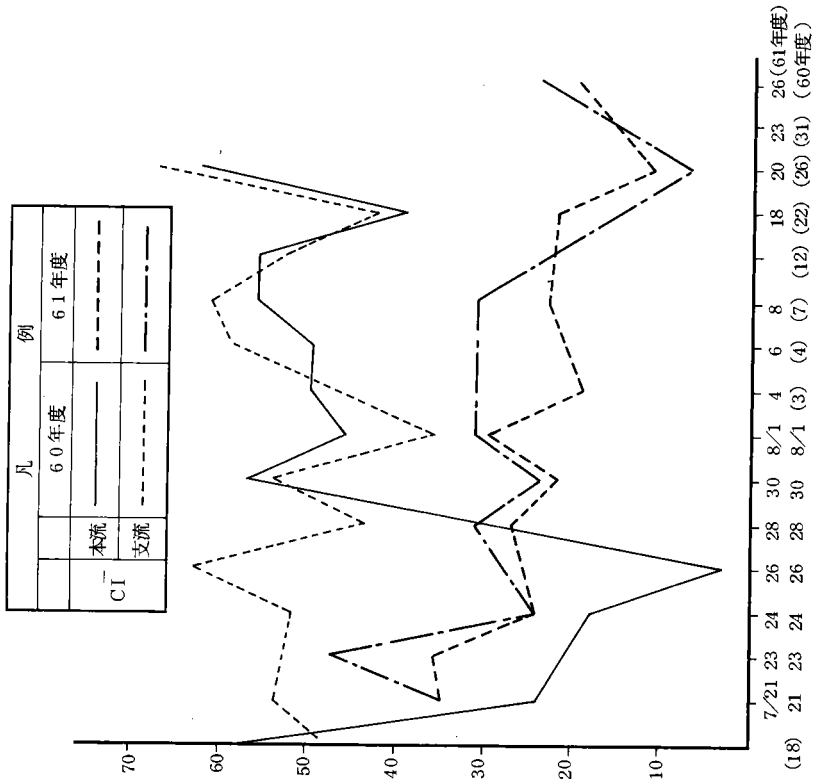
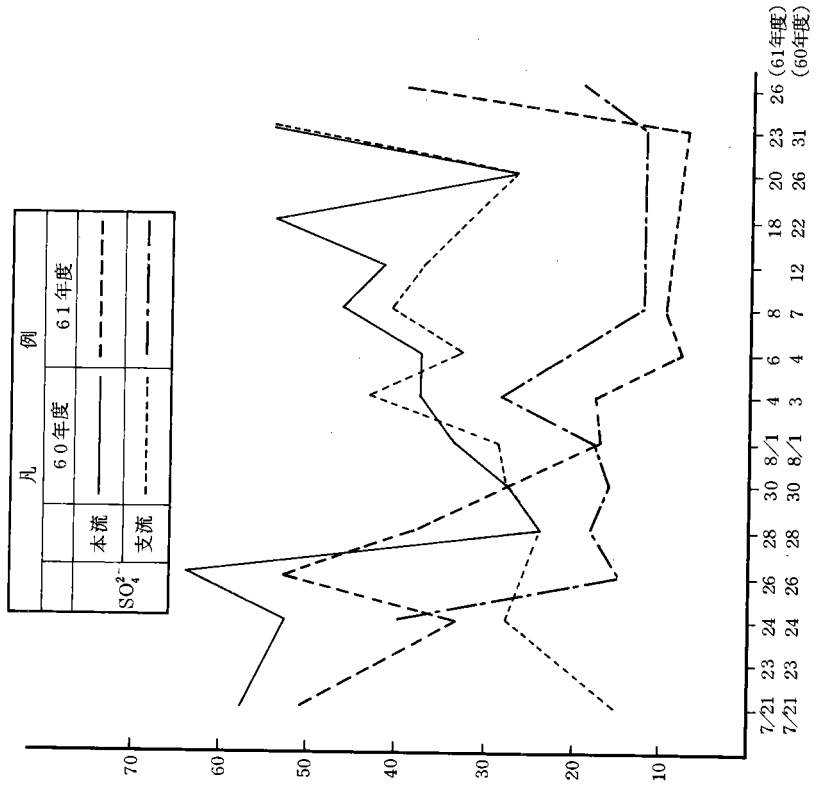


図 3-2 60年度・61年度の多摩川本流と平瀬川のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>  
(7月21日～8月31日)



結果と考察：両イオンに共通した特徴は、60年度に比べて、61年度は本流、平瀬川ともに両イオンともはっきり減っている。ことに平瀬川は半減している事が目立つ。60年度は、本流に比べて平瀬川は両イオンとも多かった。61年度の $\text{SO}_4^{2-}$ は平瀬川の方が多摩川本流に比べて、約1.5倍多いが、 $\text{Cl}^-$ は本流と平瀬川はほぼ同じであった。調査中に川で気づいた事は、昨年より平瀬川は汚れていない感じという人が多かった。この感じが両イオンの減少と関係があるようである。

### 【研究3】 多摩川の流量

水深は60年度と同じ場所で、研究方法(4)に記した位置で61年度も再調査した。61年度はさらに野川を追加した。水位5ヶ所、流速3ヶ所の調査地点は、図1に示した位置である。これらの水位・流速は採水時ごとに調べた。これらの結果をもとに流量を計算した。

#### (1) 水深

図4に示した本流の2ヶ所、平瀬川、野川各1ヶ所について横断して、川底の深さを2mおきに水深を調べて断面積を求める基礎資料とした(図4-1~3の位置は図1参照)。

図4-1 多摩川本流の上流(a地点)の川底の断面と流速(m/秒)

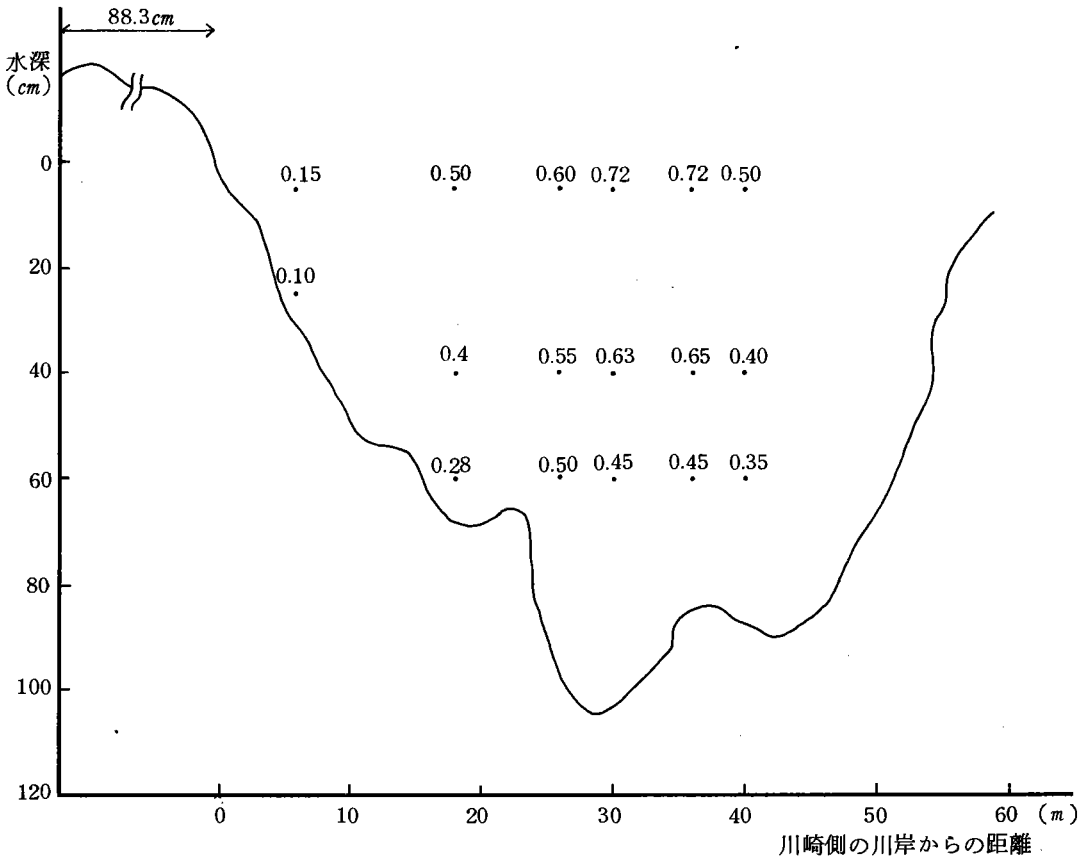


図 4-2 平瀬川 (b 地点) の川底の断面と流速 (m/秒)

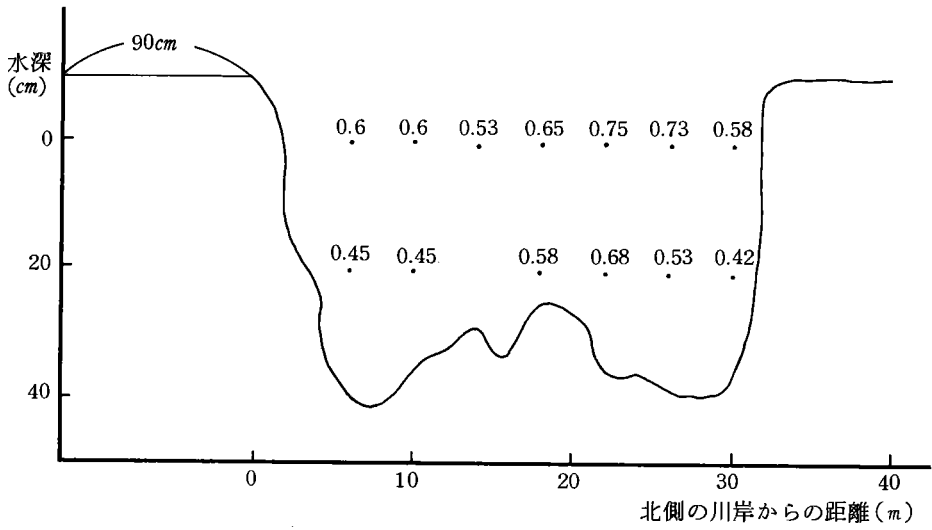
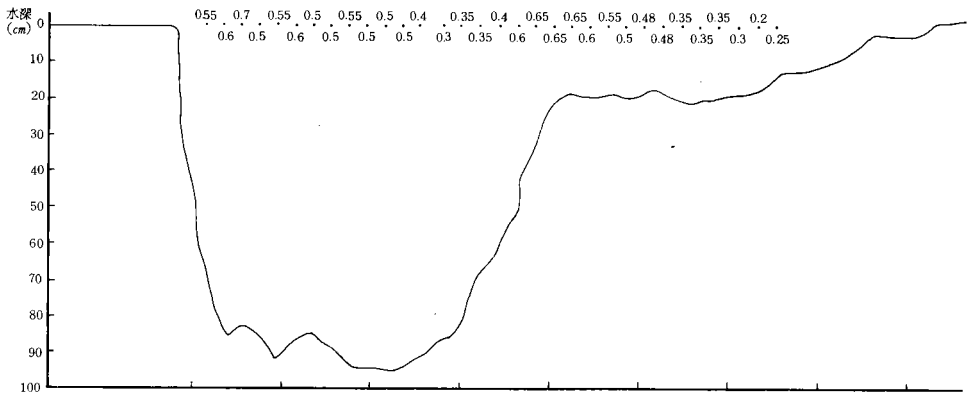


図 4-3 合流した多摩川 (C地点) の川底の断面と流速 (m/秒)



## (2) 断面積の求め方

川の横断調査による深さの結果と、川原の高底を調べた結果を方眼紙にうつして川底面積を求めた。求めかたは方眼  $1\text{cm}^2$  は横が  $4\text{m}$ 、たてが  $0.1\text{m}$  にしてあるので面積でいうと  $0.4\text{m}^2$  である。川底が方眼  $1\text{cm}^2$  にならない場合は、すべて  $\frac{1}{2}\text{cm}^2$  として求めた。

## (3) 平均流速の求め方

図4のように流速は、川の中央部が、岸より大きく、水面から川底に向うと小さくなる。また、川底の深さや中州など周囲の地形も影響することがわかる。調査地点④本流の上流(図4-1)は、中州もなく、川岸があまり曲っていないので単純である。ここで一番難しいのは、それぞれの調査箇所での平均流速の求め方である。結局、調べた流速の平均値をその日の平均流速とした。次に8月1日と21日以外に採水した日は、この4箇所とその他2箇所でも水位と流速が調べられている。この流速から、流速調査地点における川の断面を求めるのは難しい。結局それぞれの地点の平均を出しその平均に近い水面の位置を0基準として、その基準のデータと、採水日の結果と同地点の8月1日または8月26日の結果との比率を出し、それを採水時の調査結果にかけて、その積を各採水日の平均流速として表2にまとめた。

表2 各調査地点の流速 (m/秒)

地点 \ 日付	3/26	3/31	5/31	7/5	7/12	7/21	7/24	7/26	7/28	7/30	8/1	8/4	8/6	8/8	8/19	8/21	8/23	8/26
本流	—	—	1.18	1.33	—	0.90	1.18	0.95	1.00	0.45	0.45	0.05	1.72	1.05	1.67	0.59	1.43	0.71
平瀬川	—	—	0.77	0.63	—	0.83	0.71	0.83	0.83	0.83	0.83	0.90	0.16	0.67	0.87	0.77	0.71	0.77
野川	—	—	—	—	—	—	—	0.56	0.50	0.56	0.50	—	—	0.59	—	0.56	0.56	0.59

## (4) 水位

本流の上流と、平瀬川の水位は、調査日ごとに調べてある。そこで8月1日の水位を基準にして、川の断面積にその増減分を考えると、採水日ごとの水位から、採水日の川の断面積が求められる。

## (5) 多摩川と平瀬川の流量

調査日ごとの川の水の流れている断面積がわかれば、これと流速  $\text{m/秒}$  の積が1秒当りの流量となる。1秒当りの流量では数字が小さいので、ここでは1分当りの流量として表3にまとめた。

本当は多摩川上流と平瀬川の流量の合計が合流後の流量と等しくなるはずだが、やや狂いがある。この原因は、平均流速の求め方と断面積を求めるとき、方眼  $1\text{cm}^2$  にならない部分を  $\frac{1}{2}$  としたための誤差によるのではないかと考える。

表3 各調査日の流量 ( $m^3/分$ )

地点 \ 日付	3/26	3/31	5/31	7/5	7/12	7/21	7/24	7/26	7/28	7/30	8/1	8/4	8/6	8/8	8/19	8/21	8/23	8/26
本流	—	—	—	1625.4	—	1062.7	1444.8	1140.8	1179.5	532.8	522.7	1496.4	2326.7	1436.4	2049.9	686.6	1764.7	826.5
平瀬川	—	—	—	—	—	332.0	284.1	320.7	309.0	324.5	320.8	572.1	314.3	348.8	413.2	302.9	327.3	308.4
合流後の本流の水が占める割合	—	—	—	—	—	76.2	83.6	77.7	79.2	62.1	62.0	72.3	88.1	80.5	83.2	69.3	84.4	72.8
野川	—	—	—	—	—	—	—	148	120	155	120	—	—	198	—	162	141	148

## 【研究4】 本流と支流の混合のようす

### (1) 表面の合流の実態調査

3月28日などの春休み、1学期は土曜ごと、夏休みは7月23日から1日おきに調査をした。初め頃は平瀬川と本流、新二子橋と二子橋。5月5日からは、さらに野川とその合流点より下流の地点について調査を始めた。野川の合流調査は、川を歩いて渡るので水位の低い日しか調査できない。7月21日、24日は多摩川本流と平瀬川の $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ はともに似ていて区別がつかなかった。

3～6月までの土曜日のうち、降雨のために調査ができなかった日を除いて8回調べた。しかし、この3回分は実験結果のばらつきが多く、データとして使えなかった。結局、3～5月は計5回の結果しか使えなかった。61年度に調べた二子橋付近の水質の分析値を表4としてまとめた。

### (2) 多摩川本流と平瀬川の合流の日変化を生ずる原因

研究1の実態調査の図について、混合の様子を詳しく比較するために、図5、6を参考にして考えてみる。図5は表4の結果をもとにして、本流の流量と合流後に占める割合、および平瀬川の流量を表したものである。

これを見ると、雨が降ると、本流の流量が急激に大きくなり、その後少しずつ本流の流量が小さくなっていくのがわかる。しかし、合流後の本流が占める割合は、本流の量が増えて、3日後にならなければ増えない。これについて、このように考えた。

多摩川本流は約150kmの長さがあり、上流のほとんどが羽村で東京の飲料水に取られるが、この羽村から二子橋までは約40kmの道のりがある。また、支流も多い。拜島、立川、八王子などで降った雨が二子橋までくるには時間がかかる。その点平瀬川は7.5kmの長さしかないので、降った雨は短時間で合流地点にくる。従って、雨が降ってすぐには、一時的に平瀬川の勢いが強くなるが、その数時間後、本流は上流からの水が集まり、増水する。これが多少の誤差の原因である。

なお、雨水と水道水についても考えた。雨水は、データが少ないので、去年のものも含めて考える。そうすると、日によって値に差があることが分かる。 $Cl^-$ は約8倍、 $SO_4^{2-}$ は約6倍の違いがある。

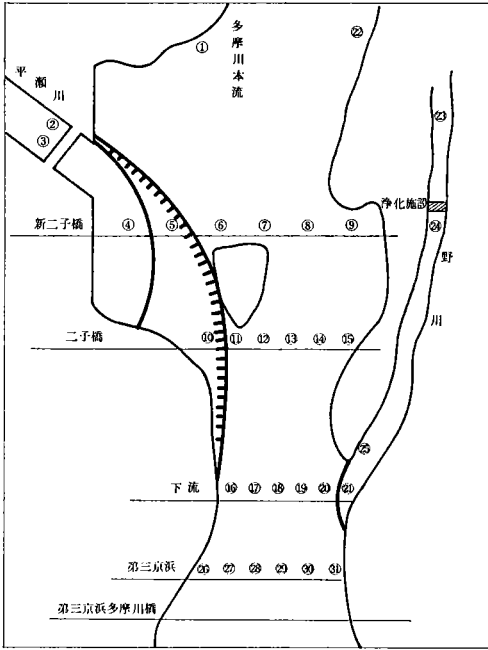
また降水量や、雨に含まれるイオンの量にもよるが、降雨により川の水が増水すると、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ と

表4 61年度の水質の調査結果(単位ppm)

月 日	採集地点	本流			平瀬川			野川			新二子橋					二子橋					野川と本流の合流点					第3京浜・多摩川橋そば									
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗							
3 ・ 31	Cl <sup>-</sup>	9	9	15	15						15	12	9	9	9	9	12	9	9	9	9	9	10	10	9	9	9	9							
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	1	20	20						20	10	2	2	2	1	10	2	2	2	1														
4 ・ 2	Cl <sup>-</sup>	9	9	15	15						15	11	9	9	9	9	15	12	9	9	9	9	12	12	12	12	11	11							
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	70		70	70						67	76	74	70	60	73	74	40	36	33	63	60	29	28	28	24	29	48							
4 ・ 26	Cl <sup>-</sup>	21	21	24	20	24	24	26			20	21	18	18	20	21	20	20	21	21	21	20	20	21	20	21	21	20							
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	12	25	25	25			24			25	20	12	13	14	25	25	22	20	20	20	22	20	15	15	15	15	24							
5 ・ 5	Cl <sup>-</sup>	15	13	13	13			15	13		13	13	15	14	14	15	14	15	14	15	15	14	12	13	14	10	12	14	12	13	12	12	13	12	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15	23	31	30			29	27		32	29	30	25	20	22	32	27	24	20	20	22	22	23	22	22	24	27	25	25	24	24	23	24	
5 ・ 17	Cl <sup>-</sup>	11	11	20	20	23	28	29			20	18	11	11	12	12	12	12	12	11	10	10	9	10	11	10	20	27	10	10	10	10	21	20	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	25		27	24																														
7 ・ 12	Cl <sup>-</sup>	17	18	16	15	24	24				15	15	18	18	18	18	15	17	18	17	16	18	18	18	21	21	22	23	18	18	21	20	21	21	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50	45		57						57	55	50	50	48	49																			
7 ・ 26	Cl <sup>-</sup>																																		
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	36		14	15	15	16	15			15	16	22	27	35	36	15	20	30	32	35	35	15	14	16	16	16	16	15	15	16	14			
7 ・ 28	Cl <sup>-</sup>	23	22	24	23			25	26		24	22	23	24	24	24	24	23	22	25	23	25	24	24	24	25	24	23	24	25	25	25	24	25	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	24	23	14	15			16	12		15	16	26	24	23	25	16	16	22	24	24	24	15	16	20	22	20	14	15	15	16	14	15	16	
7 ・ 30	Cl <sup>-</sup>	29	29	28	28	29	30	30			28	29	28	28	27	28	28	27	29	28	28	28	28	27	28	30	28	29	28	29	26	28	28	29	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	41	16	15	14	16	16	18			15	20	30	30	16	16	18	20	26	17			16	16	14	17	16	16	83	130	23	16	21		
8 ・ 1	Cl <sup>-</sup>	32	32	29	29	28	29	29			29	29	30	30	30	32	29	30	30	30	32	32	28	28	29	31	30	29	28	28	27	28	28		
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17	17	18	18	17	15	15			17	18	18	16	17	18	18	20	17	18	19	18	17	19	18	17	20	19	16	17					
8 ・ 4	Cl <sup>-</sup>	28	26	30	29						26	24	26	27	29	26	23	24	26	27	28	27													
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	28	29	17	18						17	24	26	26	30	30	20	40	44	50	50	45													
8 ・ 6	Cl <sup>-</sup>	7		14	14						14	9	7	8	9	5	8	9	8	8	8	8													
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8		32	32						29	8	8	8	8	8	9	12		13	10	10													
8 ・ 8	Cl <sup>-</sup>	23		31	31						31	32	26	24	25	23	31	25	22	23	24	23	20	25	44	43	43	37	20	20	44	10	22	24	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10		12	13	36	26	22			13	13	12	12	9	10	13	13	12	13	10	10	16	16	16	16	36	34	26	21	20	22			
8 ・ 19	Cl <sup>-</sup>	22	20	14	15	20		20			16	17	20	23	20	22	20	20	20	20	20	20	22	22	23	22	23	19							
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11	10	6	7						7	8	8	9	10	10	8	8	8	10	10	10													
8 ・ 21	Cl <sup>-</sup>	24	24	21	21	27		23			21	22	24	23	25	23	19	22	22	24	23	22	21	20	21	22	21	25	21	21	20	20	21	21	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>																																		
8 ・ 23	Cl <sup>-</sup>	14	11	19	19	33	33				16	15	12	11	10	13	14	13	14	14	16	14	13												
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15	15	4	4	2					4	10	15	15	15	15	26	30	30	12	12	12	3												
8 ・ 26	Cl <sup>-</sup>	19	22	23	23	18	20				23	21	21	21	22	23	21	20	19	20	19	22	22	21	19	19	20	19	18	19	22	19	19	20	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	28	26	12	11	24	24				12	15	22	26	28	27	15	16	19	25	25	26							44	39	41	37	31	43	

図5 61年度の合流のようす

図5-1 3月31日



凡例

平瀬川の合流点付近

- | 左側 平瀬川 100%
- ≡ 左側 平瀬川 50%以上 (図5-1~4  
などの右側は本流100%)
- ≡ 左側 平瀬川 本流50%以上 (図5-2の  
右側は本流100%)

野川の合流点付近も上記に準ずる。

但し、線の右側。

図5-2 4月2日

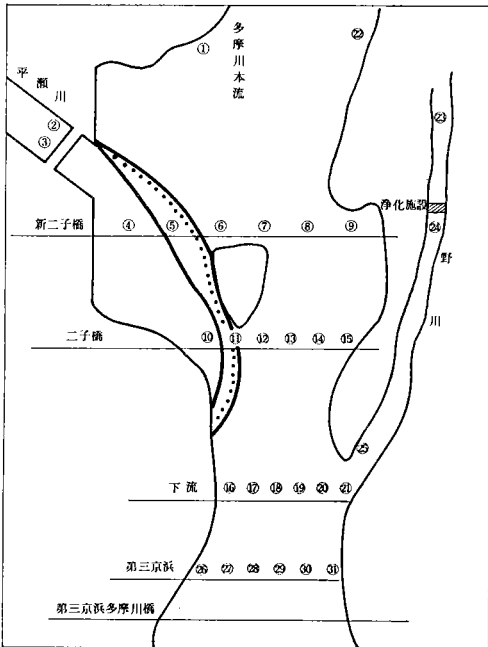


図5-3 4月26日

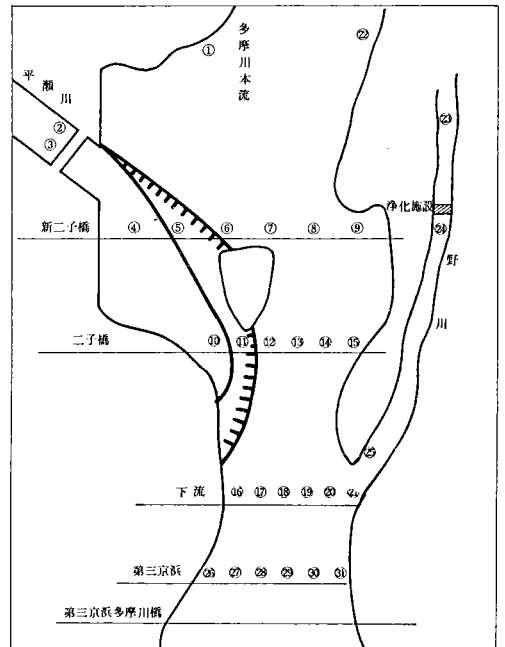




図5-4 5月5日

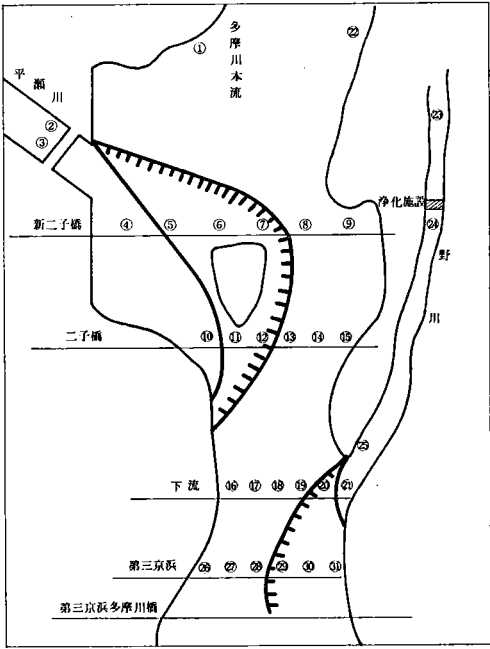


図5-5 5月17日

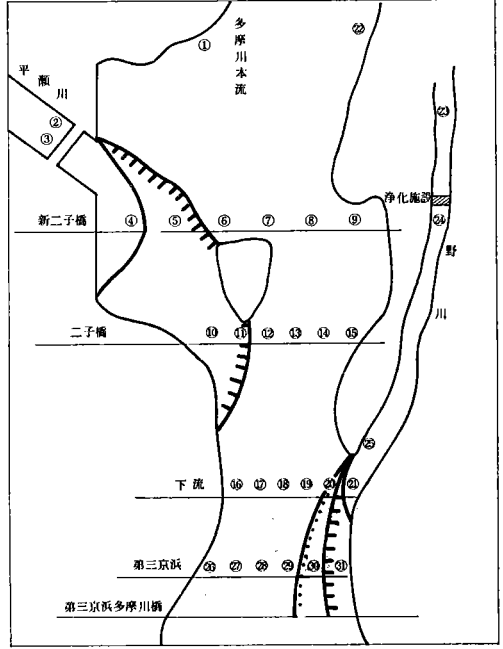


図5-6 7月12日

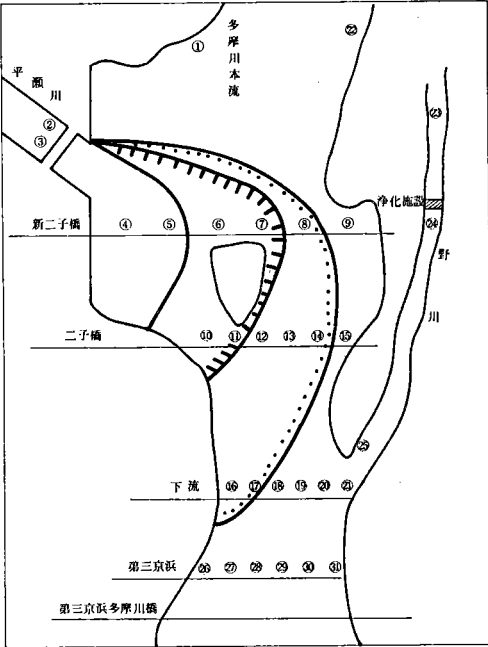


図5-7 7月26日

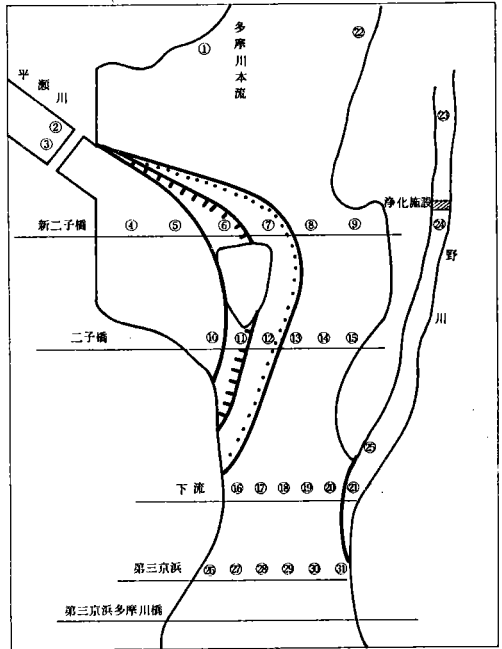


図5-8 7月28日

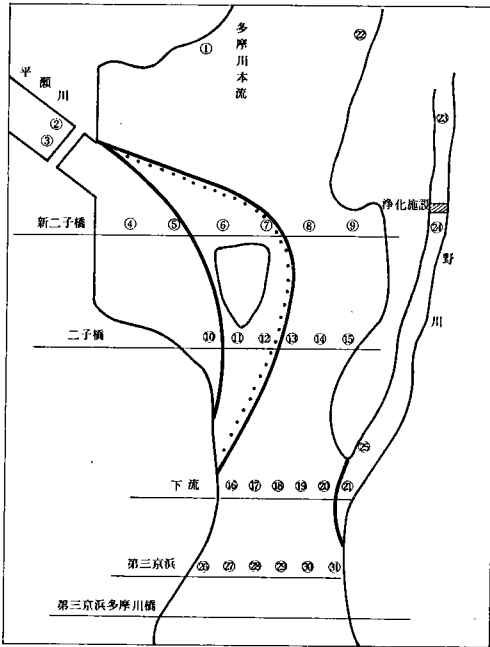


図5-9 7月30日

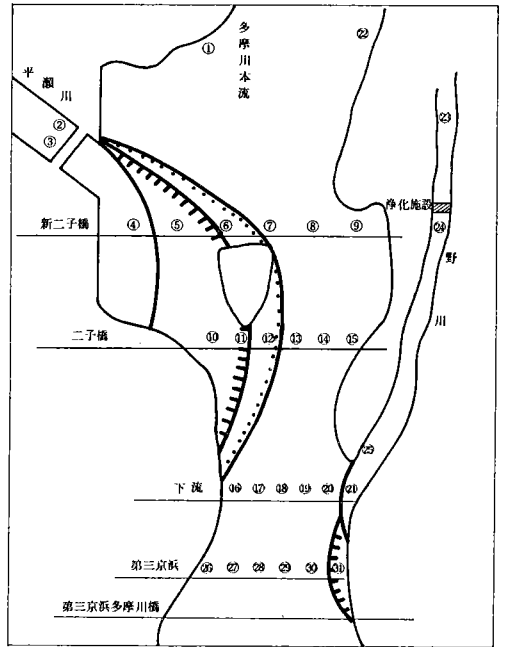


図5-10 8月1日

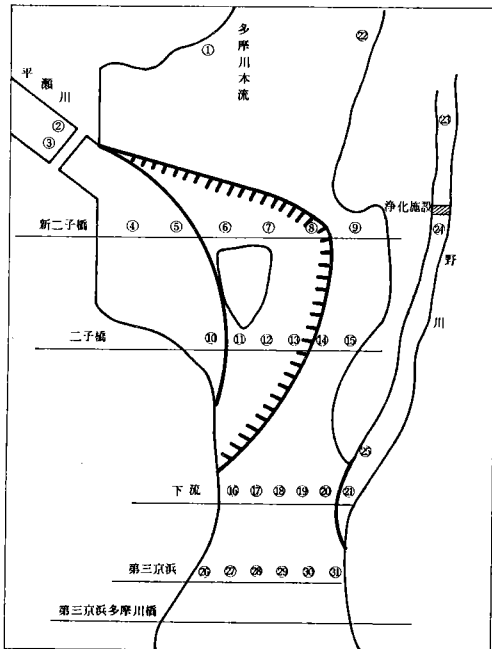


図5-11 8月4日

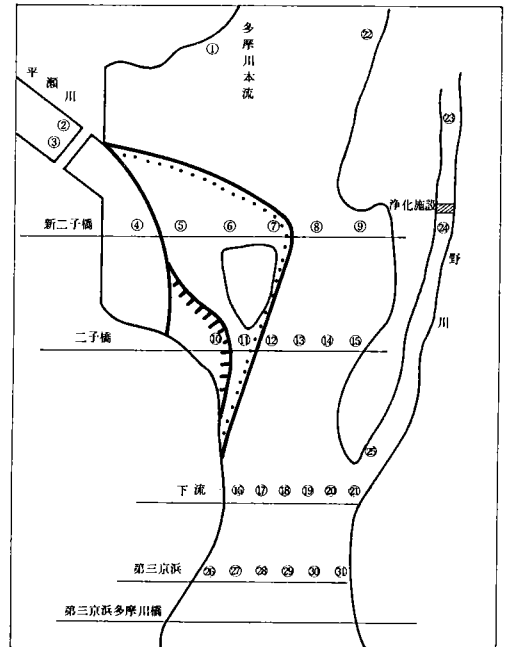


図5-12 8月6日

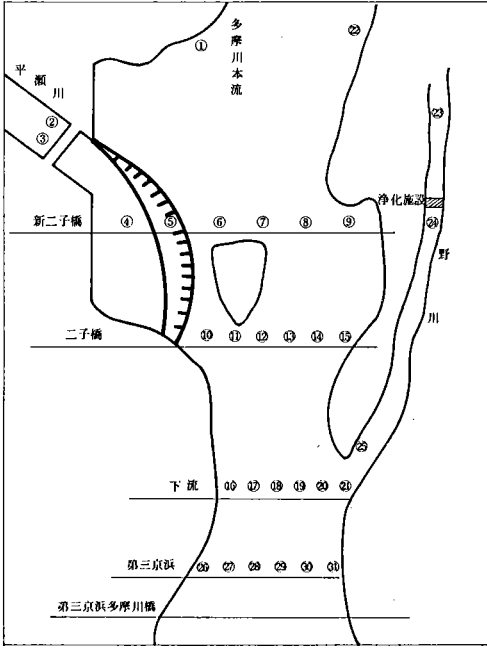


図5-13 8月8日

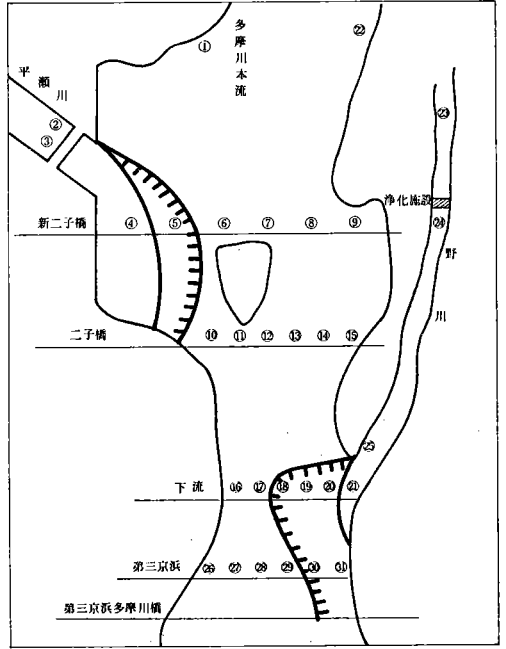


図5-14 8月19日

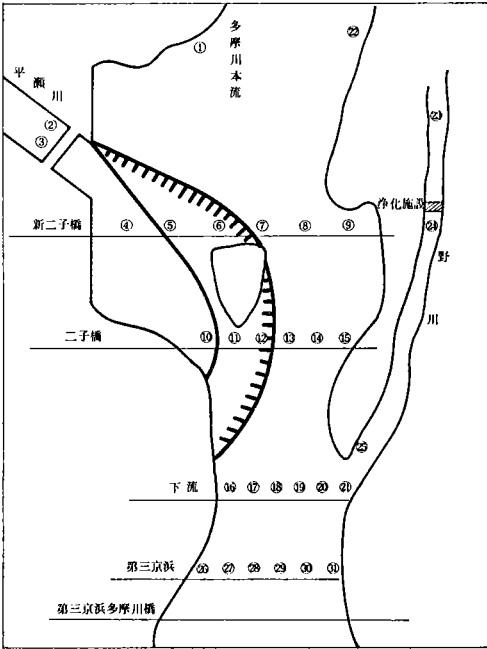


図5-15 8月21日

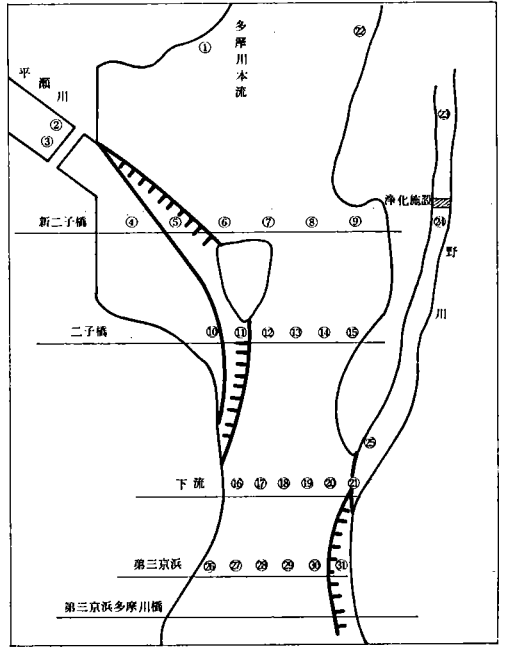


図5-16 8月23日

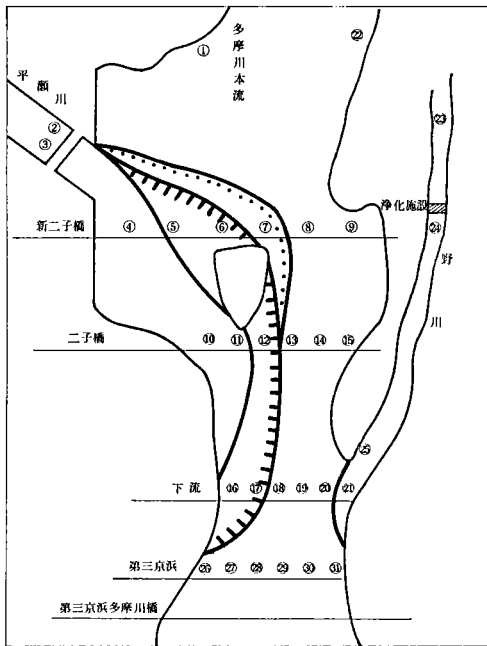


図5-17 8月26日

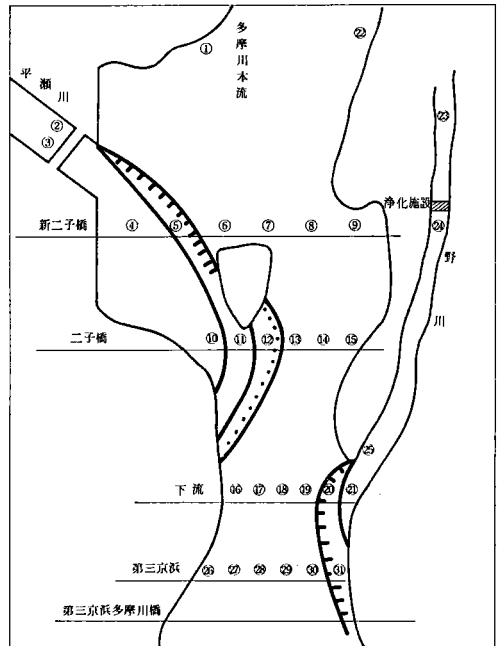
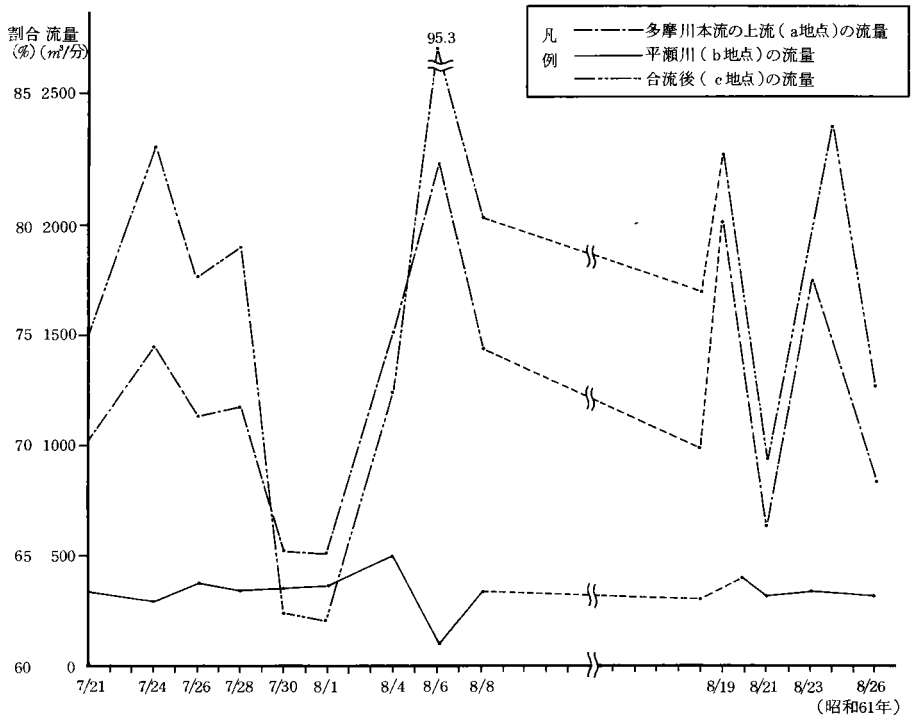


図6 本流および平瀬川の流量と合流後の本流が占める割合



もに川は降雨の影響を受けて値が下がる傾向がある。

水道水についても何回か調べた。その結果によると、やはり日によって、値が異なる。しかし、雨水ほど範囲が広くなく、川崎の水道水は、 $Cl^-$ は3~4 ppm、東京では川崎よりもわずかに多いようである。また、 $SO_4^{2-}$ では、川崎の水道水は約17 ppm含まれているが、東京の水道水は約2~16 ppmの範囲である。

$Cl^-$ はふだん平瀬川で水道水より大きい値(35 ppm程度)が出ているが、平瀬川流域の家庭廃水には、水道水以外に調味料に使う塩分が多く含まれているからだと考える。

また、平瀬川は降雨日を除いて流量が280~330  $m^3$ /分と目立った変化がない。このような降雨の影響をうけていない日は、ほとんど本流の流量変化が直接、混合率に影響を与えていると考えた。

次に上記のような傾向がある本流と平瀬川を調査日ごとに考えた。まず7月21日は合流後の本流の占める割合が76.2%と普通日と同じで、平瀬川の影響が強いと考えた。ただし、この日の多摩川本流と平瀬川の水質が似ていて区別が難かしいので、結論はやや不正確である。その2日後に雨が降り本流の勢いが増してくる。25日には再び平常にもどり、その後晴天が続き30日には本流の勢いがグンと落ちる。

そして8月4日は台風により大雨が降る。これで本流・平瀬川はともに流量は増加する。ことに本流は降雨後も増水が続き、降雨の2日後に当たる8月6日には2,300  $m^3$ /分の流量となる。この8月6日には平瀬川の水位や流速はふだんにもどっているようだが、合流付近では多摩川本流の水位が高いために平瀬川の水が合流しにくくなった。そのために平瀬川の水位はふだんの約1.5倍、流速は約0.2倍になってしまった。本流の水は8月6日をピークとして、その後急速に減少し、それにしたがって平瀬川の水位や流速もふだんにもどる。

8月19日には降雨があって本流の勢いが強くなるが、21日には本流の混合率が69%とふつうにもどる。23日の降雨で本流の混合率が84%となるが、3日後の26日には本流が73%にもどる。

降雨のない日が続くと、本流の混合率は日ましに小さくなる。これは平瀬川の流量が変化しないのに対して、本流の流量が減少するために生ずる。降雨があると、降雨当日に平瀬川の流量は増加するが、合流点付近の本流の増加は1~2日おくれる。そのために降雨日とその翌日は本流の混合率が小さくなり、降雨後2、3日すると本流の混合率がふだんより大きくなる傾向がある。本流の混合率が大きくなると、平瀬川の水は川崎側の川岸に押しつけられるようにして流れるようになる。

### (3) 多摩川本流と野川の合流のようす

野川とは 東京都小金井市から調布市、世田谷区を通過して二子橋の下流約700 mの所で多摩川に合流する。狛江付近で2つの支流に分かれるが、総延長距離は約2.1 kmである。本流との合流点より約1 km上流に、建設省が昭和58年につくった浄化施設がある。野川の浄化施設は雨で増水するとはたらかないようだ。これは浄化施設の一部として、川をせきとめるために黒く太いパイプ状のものに空気を入れてふくらませる。材料は布にゴムをかけたようなもので、浄化施設がはたらかないときは空気が入っていないので川底に沈んでいる。増水すると雨で水がきれいになることと、変な物が流れてきてゴム質のパイプに穴を

あけたりするので浄化施設をはたらかせないのではないかと思う。

**a : 水量に関する野川と平瀬川の比較**

野川の水量調査の結果は少ないが、そのわずかの結果から比べてみる。晴天の続いた7/26~8/1, 8/21~8/26の流量は表5のように、120~160 $m^3$ /分である。一方、晴天の続いた日の平瀬川の流量は260~280 $m^3$ /分である。

表5 野川の流量の日変化（流量は深さ×川幅（20.0 m）×流速（m/分））

	7/21	7/24	7/26	7/28	7/30	8/1	8/4	8/6	8/8	8/19	8/21	8/23	8/26
水位 (cm)			22	20	23	20			28		24	21	28
流速の測定値 秒/10m			18	19	18	19			17		18	18	17
流速 m/秒			0.56	0.50	0.56	0.50			0.59		0.56	0.56	0.56
流量 $m^3$ /分			148	120	155	120			198		162	141	148

川の延長距離が野川は2.1 km、平瀬川は7.5 kmなので、延長距離から考えると、野川は平瀬川の約3倍の水量になってもおかしくない。この原因は何か。晴天が続くと野川は水量が減るが、平瀬川は変わらないことと関係があるように思える。いろいろ聞いてみると、平瀬川の流域は下水道が不備なので生活廃水が多く、雨水や地下水が下水などにしみ出た水も多いように考えた。

**b : 多摩川本流と野川の合流のようす**

多摩川本流に与える野川の影響と、平瀬川のそれとを比べてみる。研究4の水面付近における混合の調査図である図5をみると、すぐわかるように野川の影響は平瀬川に比べてはるかに小さい。

調査した範囲では、野川と本流の合流点から0.5 km下流付近で、完全に本流と混ざる日が多い。同じ調査日の平瀬川は約1.3 km下流で完全に混ざる。これは野川の流量が晴天の続いた時期で、平瀬川の流量の0.37~0.67倍の120~198 $m^3$ /分というように流量が小さいことが、最も大きな原因である。流量以外に平瀬川の合流点のすぐ下流に中州があるために平瀬川の水は混ざり難いというような、川底などの川の地形の影響もあるように思える。

**c : 浄化施設による水質の変化**

野川の浄化施設は「礫間接触酸化法」により浄化している。簡単にいうと川ではにごりの原因になるような細かい物質が沈殿して施設の礫の間に入る。この沈殿物に吸収された物質や、礫についている微生物を酸化させると川の水は浄化される。この原理を使ったのが接触酸化法である。

野川の水位が高い日は、施設が働かない。そのために調査日はとびとびになる。したがって大雨などで水が濁っている日は浄化されない。

調査結果は表6のように、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ の2種類のイオンは浄化されないことがはっきりしている。

表6 浄化施設による水質の変化

	㉓		㉔			㉓		㉔	
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
7/24	25	1未満	26	1未満	8/1	26	17	31	15
7/26	25	15	25	16	8/8	20	24	20	22
7/28	27	1未満	31	1未満	8/23	26	2	26	3
7/30	20	16	21	17	8/26	20	23	20	24
㉓ は浄化施設の上流の水 ㉔ は浄化施設の下流（浄化された）の水									

【研究5】 深さによる水質の変化

61年度は水面だけでなく、川底までの様子を立体的に調べることにした。

＜方法＞ 新二子橋・二子橋は高さ約25cmの採水瓶を使用した。まず、瓶の底が水面についたとき、ひもの位置を確かめ、そこから約30cmひもを下ろして水面の水をとる。

二子橋・第三京浜の多摩川橋は、川を徒歩で渡って採水するが、水深が50cm以上あると、流れに足をとられて渡れないので、水面付近の水すら採水できない。もちろん川底の採水も不可能である。従ってこの地点を調査した日が少なく、データはきわめて少ない。

＜結果＞

雨の影響がない日 夏休みに、ほぼ1日おきに継続調査を行った。その中で晴天の日が最も長く続いた7月24日から8月3日までの10日間のデータを基にして考える。

Cl<sup>-</sup>の量は、どの地点でも深さによる変化のないことが普通であるが、まれに川底が水面よりCl<sup>-</sup>の量が少ないこともある。

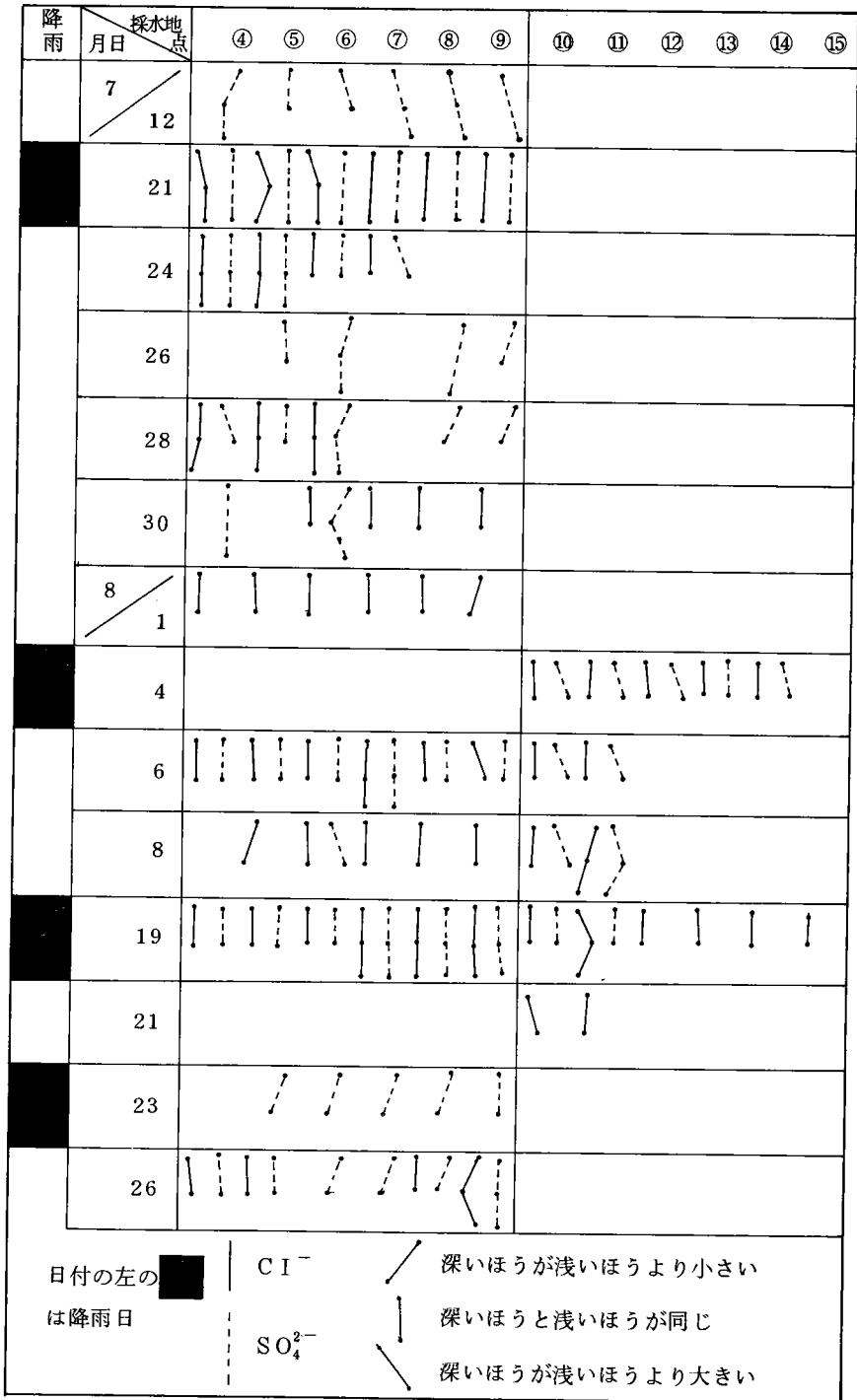
④、⑤は水面と川底のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量がほぼ同じである。これは、研究4・(1)の各調査日ごとの混合のようすの結果のように水面、川底ともに、平瀬川の水そのものが流れてくるためである。

⑥は、深い地点なので、水面、中間、川底の3つのデータがある。それによると、水面のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の量が一番多く、中間と川底はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の量が同じであるか、もしくは、川底のほうが多い日もある。これらの日は平瀬川より本流のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の量のほうが多いことから、水面では本流の水がかなり混入しているものの、中間や川底では平瀬川の水が下にもぐりこんでいることがわかる。また、中間より川底のほうがSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の量が多いのは、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の多い水が下に沈みやすいためではないかと考える。

⑦は新二子橋で一番浅い地点で、採水器がすぐに川底についてしまって、川底付近だけの水をとることができなかったため、ようすはわからない。

⑧、⑨は、研究4・(1)の各調査日ごとのデータを見ると、水面に関しては本流そのものの水だが、川底

図 7 深さによる水質の変化





のものは14～15 $\mu\text{m}$ で、平瀬川そのものだと考えることができる。また、平瀬川の水は本流の水より温度が0.5～3℃低く、密度も0.0005～0.001大きいので、この結果から平瀬川の水が川底をほうようにして東京側まで影響をもたらしていると、いえそうだ。二子橋は、水位が低いと水面の水しかとれない日が多いので、深いところまでとったデータがほとんどない。従って、どのような傾向があるか、知ることができなかった。

雨の影響で増水している日 夏休みの継続調査中に4回降雨があった。その中で、8月4日に台風による大雨があった。新二子橋で採水しているとき、すごいどしゃぶりとなり、早くきり上げようとして水面の水しかとらなかった。そのため、川底のデータはない。従って、深さによる水質の変化はわからない。

二子橋は、なんとか深いところまでとった。そのデータを見ると、 $\text{Cl}^-$ では水面と川底の $\text{Cl}^-$ の量はほぼ一定といってよい。しかし $\text{SO}_4^{2-}$ では全体的に見て川底のほうが水面より多い。また、 $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度の値に着目してみると、⑩～⑫などの深いところでは、水面で約20～40 $\mu\text{m}$ のものが、川底では50～110 $\mu\text{m}$ と著しく値が違っている。

これは、川の水より $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度がうすい雨水によって水面の水がうすめられたため、深いところでは、川底と水面で差がひらいた。しかし、⑩～⑫を除く二子橋付近(⑬～⑮)は比較的浅いために差がひらいても、すぐに混合して差はあまりない。また、表面だけを見ると新二子橋から二子橋にかけて、雨の影響を受けて濃度がうすくなるところが、逆に増えている。これは、研究6にある結果のように、川底の $\text{SO}_4^{2-}$ が流れに巻きこまれて水面に浮上してくるからである。

2日後の8月6日、川は大増水した。新二子橋付近では $\text{Cl}^-$ は8月4日と同様に、水面と川底の $\text{Cl}^-$ の量はほぼ一定だった。 $\text{SO}_4^{2-}$ は、水面と川底での量の差はそれほどひらかなかった。これは、雨がやんで1日以上たっているため水面付近の雨水と川底の水が完全に混合したためと考えられる。また、二子橋では、水面より川底のほうが $\text{SO}_4^{2-}$ の量が多い。これは、新二子橋から二子橋までの間に、 $\text{SO}_4^{2-}$ の多い水が沈んだのではないかと考えた。

## 【研究6】 水面付近の水質の異常変化

### <研究動機>

昨年の調査では、本流と平瀬川のそれぞれの水が下流へ行くほど混合していくようすが各イオンの量から判断できた。今年も継続研究として混合のようすを調べた。しかし、昨年と違って、二子橋、二子橋下流、第三京浜では $\text{SO}_4^{2-}$ が上流の地点と比較して異常に増え、混合のようすを知ることができない日が続出した。ことに新二子橋から二子橋の間でこの現象が多くみられた。このような現象の原因を考えるが、この研究項目の目的である。

### <結果>

異常に増えるのは $\text{SO}_4^{2-}$ のみで、 $\text{Cl}^-$ にはみられない。特に雨の影響がある日にこのような現象が起きている。これについて、各調査日ごとに追って考えてみる。

8月4日 台風による大雨があり、水量が増えた。二子橋では、⑬と⑭が著しく、次に⑫、⑮と中心の⑬⑭から外側へ広がるようにして異常がおきている。また、二子橋下流、第三京浜は深く採水できなかった。

8月6日 4日より水量はさらに増えた。二子橋では、⑪と⑬がこれより上流の新二子橋の川岸からほぼ同じ位置に比べて5mm前後増えているが、⑩では20mmも減っている。4日と同じく二子橋下流、第三京浜は採水できなかった。

8月8日 二子橋下流の⑱～⑳を中心に異常がおきている。6日に比べて、水量は減った。

8月21・23・26日 19日と23日に雨が降り、21日、23日、26日と連続的に異常が起きている。特に二子橋で最も深い⑫はどの日も異常が起きている。

この夏休み中に調査した日で異常のあった日とない日、また異常があった日はどの地点で異常があったかを表7としてまとめた。この表から異常がよく起こる地点は二子橋の⑪⑫と下流の⑱、そのつぎに二子橋の⑩である。その深みと浅いところの間で流れが乱れ、川底の $SO_4^{2-}$ を多量に含んだ堆積物が水の流れによって水面付近に押し上げられ、異常を起こすものと考えられる。これは、川底の堆積物には $SO_4^{2-}$ が含まれやすいことを示していることになる。それに対して川底の堆積物は $Cl^-$ を多く含む性質のないことを示していると考えたと説明がつく。

表7 水面付近の $SO_4^{2-}$ の異常

月・日	状 態
7 / 24	ほぼ正常
/ 26	正 常
/ 28	正 常
/ 30	正 常
8 / 1	正 常
/ 4	二子橋 △⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ [水量増]
/ 6	二子橋 11・13わずかに増加, 10大きく減少
/ 8	二子橋下流 ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑, 第三京浜 29・30大きく減少
/ 19	正 常
/ 21	二子橋 ⑫ が異常
/ 23	二子橋 ⑩ ⑪ ⑫
/ 26	二子橋下流 ⑱
◎ 大きく増加 (数字は採水番号) ○ かなり増加 △ 少し増加	

昨年はこのような現象はまったくなかったが、今年はなぜこのような異常現象が起きたのか。

昨年の3月に、平瀬川河口付近から二子橋付近にかけて川底を平らにする工事が行なわれたが、その年の8月7日の大雨で、川底に深い溝と浅い部分があった。その後雨が降って増水するたびにこの深さの違いが大きくなり、本年になってこのような異常現象を起こすようになったと考えた。

## 【研究7】 多摩川に入る海水の混入

### 〈研究動機〉

モデル実験の結果によると1%の食塩水と水道水を入れるとまざらないので食塩水は下にもぐるようになる。自然では海水が食塩を多く含んでいる。多摩川河口から潮の関係で海水が入ってくることを、釣りは知っている。このことを教わったので、多摩川に海水の入るようすを調べたいと考えた。予想では、海水は川底をほうように入るのでないかと思った。

〈方法〉 大潮満潮時は海面が一番高くなる時で、多摩川に海水が入りやすい日と考えてそのような日に調べる。水面から川底まで40～50cmくらいの間隔で調べる。

〈結果〉 採水地点は河口から大師橋、六郷橋、ガス橋、丸子橋とあり、どこで採水したらよいか、また時間は何時ごろだったら海水が入ってきているのから5回の調査を行った。そのうち4回は失敗した。

8月19日 大潮満潮時17:49 丸子橋で18:30に採水をはじめた。そのあとガス橋で採水した。この結果、海水が入っていなかった。潮が満ちてくる時間が遅いのではないかと考えられる。また、丸子橋までは、海水が入ってこないことも教わった。

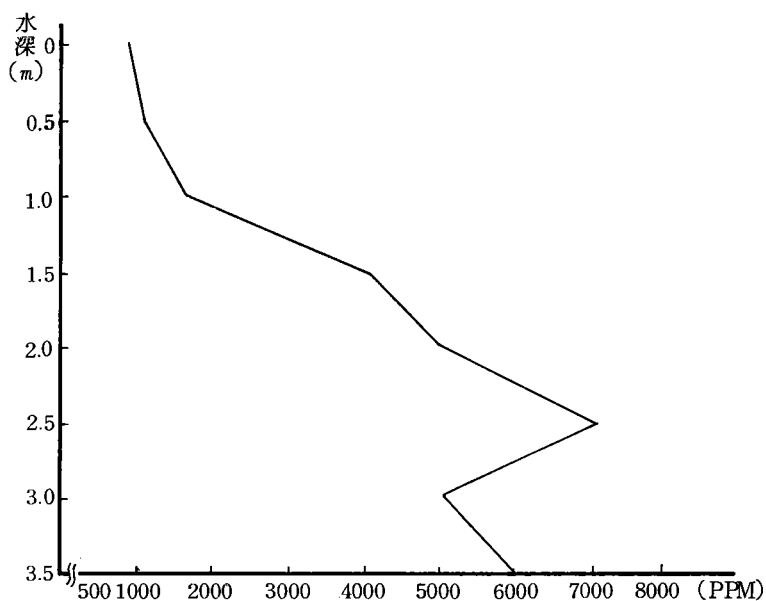
9月4日 大潮満潮時17:47 こんどは河口近くだったら海水が入ってくると考え、六郷橋で18:00に採水をはじめた。そのあと、ガス橋で採水した。この日も分析の結果から、海水が入っていないとわかった。

9月19日 大潮満潮時17:55 六郷橋で14:00採水をはじめた。結果は海水は入っていなかった。雨が降ったせいか、濁っていた。採水ビンが流されたことで、海水が上がってこないと考えられる。

10月3日 大潮満潮時17:01 六郷橋で18:30採水をはじめた。この日は採水時間を1時間30分ずらした。この結果も海水は入っていなかった。この日も雨のあとで海水が入っていなかったと考えられる。

10月13日 長潮満潮時15:08 六郷橋で18:00に採水をはじめた。今までは満潮時から1～2時間後に採水していたが、今回は3時間おくらせて採水してみた。その結果、塩化物イオンに影響があらわれた。グラフのように2～3mのところは10月3日までのデータの400倍近くあることから、海水が含まれていると考えた。海水は太平洋の真ん中で19,000 $\mu\text{m}$ ぐらいあると先生から教った。しかし、東京湾は東京都内の河川をはじめ、いろいろな所から水が入ってくるので、うすめられているのではないかと考えて、このような値になったといえる。

図8 長潮・満潮時（東京湾）より3時間後の六郷橋における海水の混入（深さとCl<sup>-</sup>濃度）



### 【研究8】 混合のモデル実験

多摩川本流と平瀬川，多摩川本流と野川の水が混合する様を目では見られない。そこで，違う水質の水が合流するところの水面付近と川底の混合のようすを目でみたいと思って，モデル実験を考えた。話し合いで混合の様子を見るには，次のような条件が必要であると考えた。

<条件> 2種類の水を用意して行う。①一方の水を着色して行う。②2つの水の混合と水量の関係。③2つの水の水質の違い。④比重の違う水を使う。⑤温度差のある水。

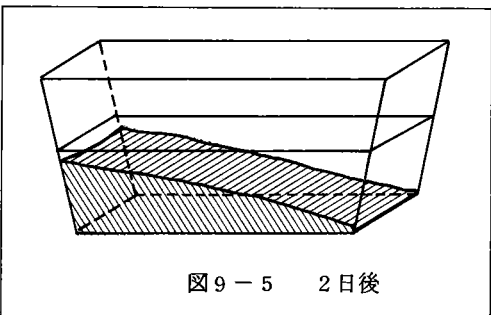
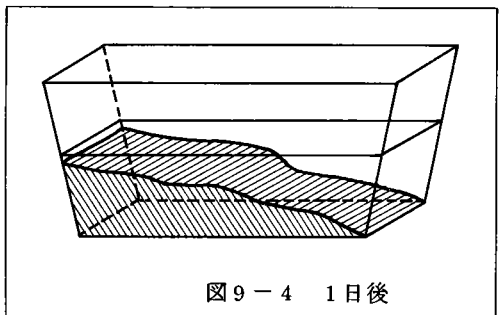
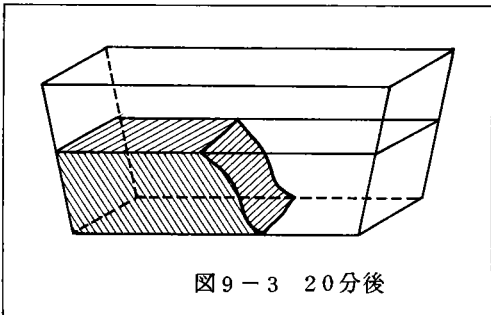
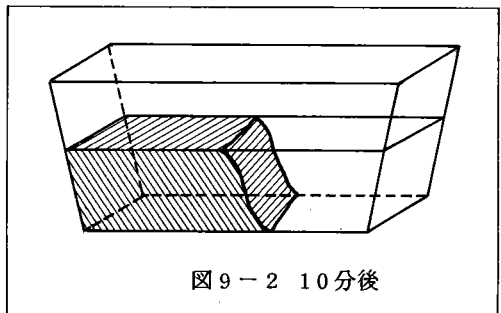
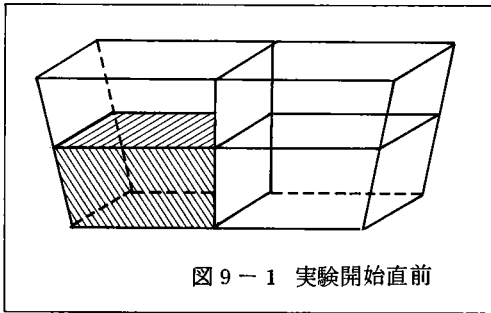
これらの条件を考えて，混合の様子を見るには，どのような装置を作ったらよいか話し合い，その結果から装置を作り，これを使った結果から装置を改良して実験を進めた。まず，小型水槽（たて11cm，横183cm，深さ11.8cm，理科室にあった昆虫用のものである）を使った実験の結果からかく。

#### (1) 小型水槽の中央部に仕切りを入れる方法

実験1 着色した食塩水と水道水の混合について調べた。最初のモデル実験なので，水の大まかな混ざり具合から見ることにした。水槽の中央に垂直にしきりを置き，片方にインキで着色した1%の食塩水，もう一方に水道水を入れて，さっとしきりを取った。すると，密度の大きな食塩水が底に広がり，5秒ほどたつと，水は混ざらないまま食塩水が下，水道水が上というように2層に分かれた。分かれる時間が短かいので，2層に分かれるまでのようすがよくわからない。そこで次の実験2を考えた。

実験2 かたくり粉の水溶液により混合速度を落とす方法で調べた。前の実験で、混ぜる速さを遅くしようということになり、話し合いの結果、かたくり粉をまぜて加熱するという案で実験することにした。まず500mlのビーカーに15gのかたくり粉をいれてから500mlの目盛まで水を入れ、かきまぜながら10分加熱し、もう一方は同じような水を作り、インキを入れてから5分間加熱したものを作り、実験1と同じ要領で行い混合のようすを見た。図9-2は約10分後、図9-3はさらに10分後、図9-4は1日後のようす、図9-5はさらに1日後で、その1日後も図9-5と同じ状態で混合することはなかった。

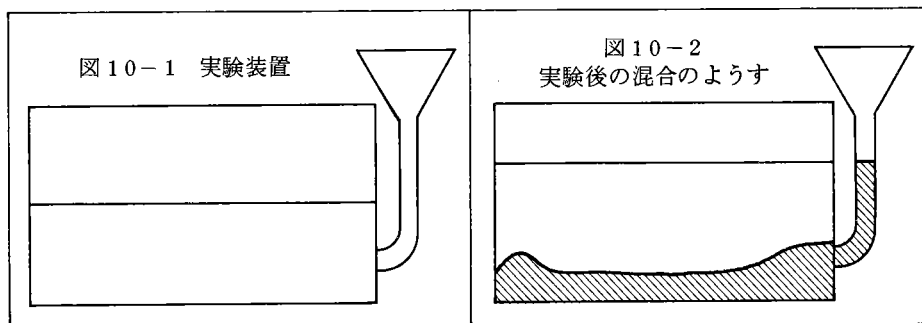
図9 小型水槽の中央部を仕切った食塩水と水道水の混合のようす



## (2) 小型水槽の端にゴム管をつけた混合実験

図10-1のように、水槽の下に孔をあけてロートのついたビニール管をつなげる。実験する液は1と同じの水道水と、インキで着色した1%の食塩水である。まず水槽の $\frac{1}{2}$ ほど水道水を入れておいて、次にロートから食塩水を入れた。食塩水は図10-2のように底をほうよう流れて、水道水は上、飲料水は下というように分かれた。

図10 小型水槽の端にゴム管をつけた混合実験



## (3) 小型水槽で水温のちがう水の混合

<ねらい>

夏の調査では、平瀬川の水温は23~25℃、多摩川本流は25~27℃くらいで平瀬川に比べて2℃前後高い。平瀬川は8kmくらいの長さしかなく、家庭の生活廃水が流れてくるために、水道水の水温が平瀬川の水温に影響をあたえている。一方、多摩川本流は平瀬川にくらべて、はるかに長い距離を流れてくるために、水温は、気温の影響を大きく受けて上がる。このようなことから水温が違くと混合のようすも違ってくるのではないかと考えて、調べることにした。

虫を入れる透明なプラスチック箱の中の真ん中にしきり（ダンボール）を入れ、その両側に液を入れてしきをぬく(1)と同じ方法で行った。

**実験1** 21.8℃の水道水500mlと32.6℃の水道水500mlに黒インク5滴入れた。このときの水と黒インクの水の密度は比重計で測定すると、1.019、1.004であった。しきりに使うダンボールをゆっくり上げるとき、ポタポタと水が落ちたがこの実験には影響はなかった。このとき水槽の中央部のようすは図8に似ている。ただし、重くて、温度の低い水道水は底をほうようにして反対側の壁に当たったあと、はねかえって上の着色水の境いで波を打つところが、図8と違う点である。境で小さな波はあっても、2層に分かれて横方向に水の移動がなくなるまでに8秒かかった。

**実験2** 水槽中央部にたてにダンボールのしきりを入れて、温度の低い水道水と、温度の高い黒インク5滴で着色した水道水を各500mlづつ用意することは、すべて実験1と同じである。実験1では温度差が

10.8℃あったが、この実験2では温度差が4.5℃、1.0℃の2通りについて調べた。

その結果、実験1と同じ経過をたどって2層に分かれた。違う点は実験1は8秒で横の水の移動がなくなったのに対して、実験2では温度差が4.5℃、1.0℃のいずれも10秒たったときに、横の移動がなくなった点である。

温度差が1℃以下にして実験をすることはできなかった。

以上の実験で、同じ水質で、すくなくとも1℃以上の温度差があるならば、2つの水は簡単に混合して、同じ温度にならないことを示している。

#### (4) 大型水槽による実験

水槽を大型化したのは、水型水槽では水を流した後すぐに、反対側の壁にぶつかって波ができるので、完全に2種類の水が混ざるまでの時間の誤差が大きくなる。実際の川では川底が滑らかでないことや、川は流れているので合流するときに波も立つ。しかし、モデル実験では、なるべく波のない状態で調べた結果を基礎としたほうが考えやすい。そこで、大型水槽で実験することを考えた。

大型水槽はアクリルの厚さ3mmの板を購入して、予定の大きさに切ってもらったものを接着剤でつけて作った。たて20cm、横90cm、高さ10cmの水槽である。この水槽を使って次の実験を行った。

**実験1** 底の方を流れる水は、水面の波の影響をどう受けるか：水槽に深さ12cmほど水道水を入れて、水面に手や板で波を立たせる。一方、水槽の右端に足の長いろうとを入れ、ろうとからインクで着色した2%の食塩水を注ぎ込む。

その結果、水槽の底を食塩水は左（反対）側にはうようにして流れた。水面の波の影響をうけて、上の水道水と下の食塩水の境いにも波ができて、この波で左右にゆれながら食塩水は左に進む。このとき、境い目に不透明な白っぽいもやもやがうすくできた。実験をはじめて2分ほどで食塩水を入れることと、波立てることをやめた。この時の水面の高さは16cmである。3分もすると波はほとんどなくなり、境い目の高さや、もやもやのようすには変化がなかった。しかし、30分ほどたつと、もやもやは消えて、水全体が同じように色づいた。したがって完全にまざったことになる。

次に、波立たせること、食塩水の濃さ、入れ方、2分間食塩水を底から注ぐことなどは、すべて上の実験と同じで、ただ、2分間食塩水を入れおわってからも5分ほど波立たせることを続けた。すると食塩水を入れるのをやめて1分ほどは、境い目のもやもやの高さなどに変化はなかったが、そのうちにもやもやの位置が上がるとともに、5分後にはもやもやもなくなり、完全に混ざってしまった。

したがって、この実験から浅い川では、水面の波や、合流する水の流れの速さなどで、混ざる時間に違いがでることが予想された。

**実験2** 流れの速さによる水の混ざり方：水槽の右側の底に赤い絵の具をぬりつけておき、ろうとの足の長さを10、20、30cmにした3種類を用意する。

実験開始と同時に、まず水槽に10cmほどの高さまで水道水を入れ、次に右端に固定したろうとから、

あらかじめ水槽に入れておいた水道水と水温（26.2℃）などすべて同じ水道水をきれめなく注ぎ込み、とけた絵の具の動き方を調べる。ろうとの足の長さを変えて同じような実験をする。つまり、ろうとの足の長さが大きいほど、流速が大きくなると考えて行った実験である。

その結果、ろうとの足が長いほど溶けた絵の具は速く上部に舞い上がることが観察された。したがって、2つの川の水が合流するとき、一方の川の流速が大きいほど2つの水は早く混ざることを、この実験は示しているものと考えた。

**実験3 濃さ（密度）の違う2種類の水を流したときの混ざり方：**水槽に水道水を高さ10cmほどまで入れておく。水槽の右端に2つ、足の長さがともに10cmのろうとを固定して、一方からは赤く着色した2%の食塩水、もう一方は黒く着色した水槽内の水と同じ水道水を、同時にしかも同じ速さで注ぎ込み、2種類の水が水槽に入ってから約10cmのようすを横から観察した。

その結果、密度の高い赤い水が底を流れ、その上を黒い水道水が流れていった。このことから、流れがさほど大きくない場合は、密度の大きい水が底を流れることが、実際の川でもおきるのではないかと考えた。

**実験4 温度差による混合するまでのようすと、完全に混ざるまでの時間：**赤く着色した23.0℃の水道水と、この水道水と同じ水温の水道水以外に1, 2, 3℃ずつ高い水道水を、それぞれ4ℓづつ用意して、水槽の中央部に段ボールで仕切った左右に入れて、仕切りをとった後に、混ざるようすと、完全に混ざるまでの時間を測った。

温度差がなくても、すぐには混ざらない。着色水が底をほうように反対側に進み、壁にあたるとはねかえって、水道水と着色水の境は波ができてシーソーのように行ったりきたりした。波がなくなった実験開始後約14分後も2種類の水の境目がはっきり見えたが、16分後にはほとんど完全に混った。1, 2, 3℃の温度差があるときは、低い温度の水が底にきて反対側に進み、壁に当たって波ができることなどは温度差のないときと似た経過をたどった。ただし、2種類の水が完全に混合するのは1℃差で22分、2℃差で23分、3℃差で25分かかった。

#### (5) モデル実験の考察

小型水槽を使い、中央に仕切りをつけて1%の食塩水と水道水の混合を調べると、完全に混ざるまでに19分かかった。また大型水槽では温度差がなくても完全に混ざるまでに16分、温度差が大きいほど混ざる時間は大きくなる結果となった。これは線香などの煙が容器中に充満するのに小型水槽で約3秒、大型水槽で約5秒しか、かからないのに比べて水の混合には時間がかかることを示すとともに、水質が同じ、水温が同じ水でも混合するのに予想外の時間がかかることを示している。

夏の多摩川の調査結果では、本流に比べて平瀬川の水温は約2℃低い。モデル実験で2℃の温度差のとき、完全に混ざるまでの時間は23分前後である。平瀬川と本流が合流してからの流速は一般的に約1m/秒なので、合流点から23分間流れると約1.3km下流で完全に混ざることになる。実際に調べた結果で



ある「研究4 本流と支流の混合のようす」と実によく合う結果となった。モデル実験では流れがないにもかかわらず、流れのある実際の結果と一致することは、流れが混合にほとんど影響しないことを示しているといえる。

小型水槽を使った温度差のモデル実験から、1℃でも温度が違えば水温の高い水が上にあがることがわかった。実際の多摩川では、夏に調べた採水時の水温のデータは本流の方がいつも平瀬川の水温より高いので、上にあがることが考えられる。

大型水槽によるモデル実験から流れがおそい(5cm/秒)と比重の大きいものが底を流れ、流れが速い(1m/秒)と水面を流れることがわかった。また、実際の多摩川と平瀬川の水の密度を計ったが、大きな差はなかった。このことから、上にも書いたように密度の差が大きくなるにつれ、混合にかかる時間が長くなることがわかった。

## 全体的なまとめ

### ○多摩川本流と平瀬川、野川の水面付近の合流のようす

多摩川本流と平瀬川が合流する表面のようすと、野川のそれは大きく違うことがわかった。つまり、夏晴天が1週間くらい続いた時期では、平瀬川が本流と完全に混合しおわるのは合流点から約1.3km下流、野川のそれは約0.5km下流である。この原因は、平瀬川が野川よりも流量で約2倍と水量が多いことと、合流点より下流の川の地形の違いによるものと考えた。

平瀬川は生活廃水を流していると考えられる根拠であるが、2年間の調査結果によると降雨による水量増の日を除くと、調査時の午前10時～11時には309～328m<sup>3</sup>/分と流量はいつもほぼ一定である。一方、多摩川本流は降雨による増水後は晴天が続くほど水量が減少するので、合流点の下流は平瀬川の影響が強くなり、両方が完全に混合するまでの距離は増加するようになる。

### ○深さによる水質の変化

降雨の影響がない日でも、本流よりも平瀬川の水にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が多い日の新二子橋付近では、水面付近の混合率よりも、同じ時点の川底のほうが平瀬川の混合率が大きい。水面付近で本流そのものになっても、川底付近では平瀬川の水が多少入っているという関係である。

降雨中は、水面付近のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が少なく、それより深くなると降雨時以外の本流と平瀬川の混合率にしたがって両方の川の間に値となっていた値となっており、これは雨水中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が少なく、雨水が川の表面に落ちてきても、すぐには川の水と混ざらないためにおきるのではないかと考えた。しかし、不思議なことにCl<sup>-</sup>にはこのような関係はみられない。

### ○異常混合

降雨により水量が増えているときに、新二子橋から二子橋付近でおもにおきる現象で、昨年にはなかったことである。つまり昨年は、新二子橋から二子橋方向に流れていくと、本流と平瀬川に含まれているそれぞれの濃度の範囲で混合が行われた。今年は水量増のとき、二子橋ではこれより上流の本流や平瀬川の

$\text{SO}_4^{2-}$  が、土の流出にともなって水に混入するためではないかと考えた。

この現象が昨年おきなくて、本年おきたのは、昨年3月に建設省が川底を平らにして深みをなくした。しかし、その後流水のはたらきで川底をけずり、今年の異常混合をおこすようになったと考えた。

○海水の混入について

河口に近い六郷橋で10月の長潮・満潮時より3時間おそい時刻（東京湾の満潮時よりも、多摩川では上流ほど2～3時間おそく満潮になることを失敗した前までの調査でわかっている）に調べた。その結果、川底より1.0 m くらいの深さ（この日の水深は3 m）で $\text{Cl}^-$ は水面付近の約8倍の7,200  $\mu\text{mol}$ となり、密度の大きい海水が、川底に近い所をほうようにして入ってくることを示した。

○モデル実験

モデル実験の結果からわかったことは、多摩川と平瀬川の水温の差が約1～2℃なので、2℃の温度差にした水を用意して、大型水槽でまざるまでの時間をはかった。

温度の高い方の水が上になった。これも、水質の分布と同じことがいえた。