多摩川沿いの多摩丘陵東縁部の地　下　水　の　性　質

― 川崎市立宮崎中学校科学部の活動 ―

― 硫酸イオンの動向と水温を決定する要因について ―

１９８２年

青　柳　隆　二

川崎市立宮崎中学校教諭

目　　　　次

昭和53年度研究報告書

実施内容および成果 …… 1

1. 調査地域と一般的な方法 …… 1

2. 調　査　内　容 …… 2

(1) 帯水層の砂レキ層の同定 …… 2

(2) 水　　温 …… 2

(3) 水　　量 …… 4

(4) 基盤高度の調査 …… 5

(5) 水　　質 …… 5

(6) 残された問題点 …… 6

昭和54年度研究報告書

実施内容および成果 …… 7

1. 調査地点と一般的な方法 …… 7

2. 調　査　内　容 …… 7

(1) 水　　量 …… 7

1) 降雨と水量変化 …… 7

2) 降雨と水量変化および、その時間的な関係 …… 8

(2) 水　　温 …… 8

(3) 水　　質 …… 10

1) カルシウムイオン …… 10

2) マグネシウムイオン …… 10

3) 鉄イオン …… 10

4) アンモニアイオン …… 11

5) 塩素イオン …… 11

6) 硫酸イオン …… 11

7) 燐酸イオン …… 11

8) 各イオンの関連 …… 11

(4) 地下水のしみ込み方に関するモデル実験 …… 11

1) 一般的な方法 …… 12

a　ロームについて …… 12

b　降雨のモデル …… 12
2)　水のしみ込む速さ …… 12
a　滴加速度としみ込む速さ …… 12
b　しみ込む限界の滴加速度 …… 13
3)　水がしみ込んで出てくるときの含水量 …… 14
4)　水の出るしくみについて …… 14
(5)　おわりに …… 15

昭和56年度研究報告書

実施内容および成果 …… 16
1.　硫酸イオンの動向 …… 16
(1)　研究動機 …… 16
(2)　方　法 …… 16
(3)　結　果 …… 16
1)　雨水中のSO_4^{2-} …… 16
2)　学校付近の水たまりに含まれるSO_4^{2-} …… 16
3)　川崎市内の水溜りのSO_4^{2-} …… 17
4)　地面付近で硫酸イオンのでき易い条件 …… 17
5)　ローム中における硫酸イオンの動向 …… 18
(4)　まとめ …… 20
2.　地下水の水温を決定する要因について …… 20
(1)　研究動機 …… 20
(2)　結　果 …… 20
1)　水温の季節変化 …… 20
2)　深さ11.7mまでの地温の測定 …… 21
3)　湧水の水温と同一帯水層付近の地温が違う原因の追求 …… 23
a　湧水口とその付近の丘陵の高度差と地形 …… 23
b　砂レキとロームの熱伝導性と保温性の違い …… 24
c　砂とロームに含まれる水の気化による温度降下 …… 25
d　結　論 …… 25

昭和 53 年度研究報告書

「多摩川沿いの多摩丘陵東縁部の地下水の性質」

－川崎市立宮崎中学校科学部の活動－

1. 実施内容および成果

1. 調査地域と一般的な方法

図１のような多摩川沿いの多摩丘陵で、田園都市線の梶ヶ谷～宮前平をはさんだ南北の地域で、本校の学区域と、その周辺部約１１km²を調査の対象とした。

この地域で丘陵のへりなどで地下水の流出が認められ、流出量と水温の測定が可能と思われた１７ヶ所について、毎週土曜、または日曜に水温、水量、水質を調べた。

図１ 調査場所

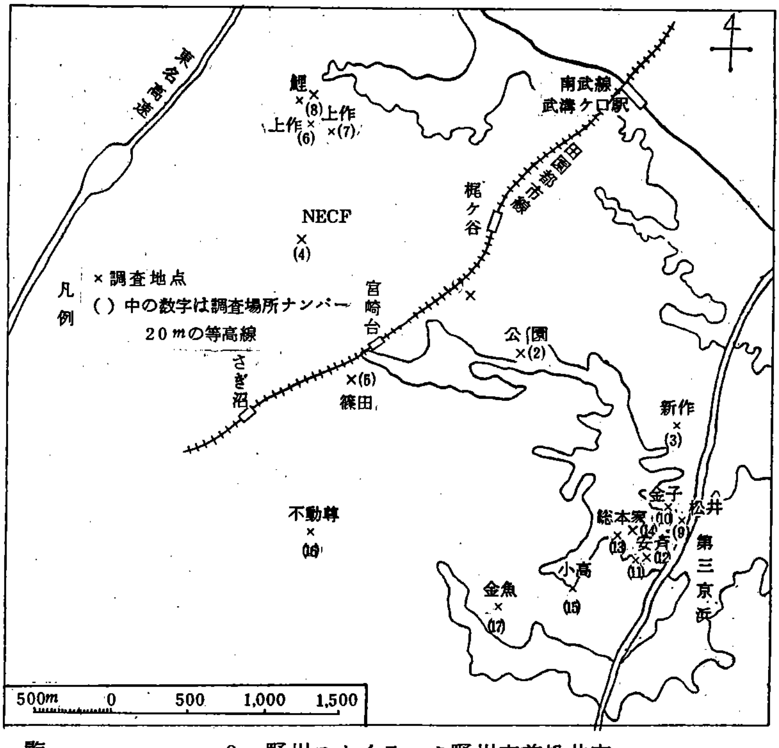


表１ 調査場所一覧

No.	調査場所
1	梶ヶ谷虎ノ門病院分院下
2	梶ヶ谷第一公園わき
3	新作宮田道場前
4	宮崎ＮＥＣ下
5	宮崎台駅付近篠田宅
6	上作延上作団地バス停付近１
7	〃 ２
8	上作延東高根森林公園内
9	野川スカイラーク野川店前松井宅
10	野川郵便局横金子宅
11	野川小学校より東方向徒歩５分金子総本家
12	〃 徒歩５分安斉宅
13	野川小学校より南西方向徒歩５分安斉宅前ドブ
14	野川小学校より南西方向徒歩１５分竹やぶ内
15	野川小学校より南西方向徒歩２０分小島宅
16	有馬不動尊内（不動尊）
17	有馬と野川の堺ペプシコーラ工場そば和田宅（金魚）

2. 調査内容

(1) 帯水層の砂レキ層の同定

湧水口のある丘陵の地表面高度は地形図によると、ほぼ45〜50 mである。したがって地形区分では下末吉面に属する。したがって帯水層は下末吉砂レキ層の可能性が強い。しかし、№16は湧水口より約3 m高い位置に武蔵野ロームの鍵層である東京軽石層がある。したがって、この帯水層は武蔵野砂レキ層の可能性もある。

調べ方： どこでも湧水量の多い時期は湧水口から砂が少量流出することがある。この砂と露頭として存在する各種の砂レキ層の砂の岩石組成とその量比を比較して、帯水層のレキ層を同定したい。

しかし、多摩丘陵には武蔵野レキ層の露出している場所が見当らない。そこで宮前区有馬、および横浜・港北区山田で下末吉砂レキ、登戸・おし沼で多摩ローム層直下のおし沼砂レキを採取して、これと各湧水口から流出した砂について調べた。

結　果： 表2のように、おし沼の砂は粒径が大きくなると石英がなくなり、砂岩とチャートが多くなる。また表3のようにチャートの色の違いから両者の区別が可能である。

この結果と各湧水口の砂の岩石組成と量比を比べると№16を除いて、すべて下末吉砂レキである。№16の1 mm以下では石英30%、砂岩40%、チャート20%、安山岩10%で、チャートの色は茶と黄のみで、下末吉やおし沼の砂レキとは異なった砂レキ層であるらしい。したがって、やはりここだけが武蔵野砂レキ層の可能性が大きい。

表2　粒の大きさと岩石の種類

粒の種類＼粒の大きさ	1 mm以下		1 〜 3 mm		3 mm以上	
	おし沼	下末吉	おし沼	下末吉	おし沼	下末吉
石　英	50%	60%	12%	28%	0%	6 %
チャート	50%	40%	56%	52%	60%	58 %
砂　岩	0%	0%	20%	20%	40%	34 %
安山岩	0%	0%	12%	0%	0%	2 %

表3　チャートの色の違い

	下末吉	おし沼
黒	1〜 5%	5〜15%
白	4〜10%	1〜 5%
緑	5〜10%	1〜 5%
茶		1〜10%
黄		1〜10%
青	5〜15%	
その他	16%	16%

(2) 水　温

方　法： 標準温度計によって補正した棒状温度計を使用、湧水口に日の当らない時刻を選び、温度計を水中に入れた状態で示度を読む。なお、調査地点によって調査開始時期が違う。これは湧水の発見時期の違いである。

結果と考察： 測定結果を図2とし、測定期間における各地点の最高、最低水温と、その平均値を表4とした。

年較差が3.0℃以上の№2、4、6、13、15の地点は、2〜5月は湧水量がほとんどなくて、この時期の水温の測定が不能であった所が多いとか、降雨があると1〜3時間で水量が増加するような場所であって、本来研究から除外すべき場所である。

図２　湧水の水温の季節変化

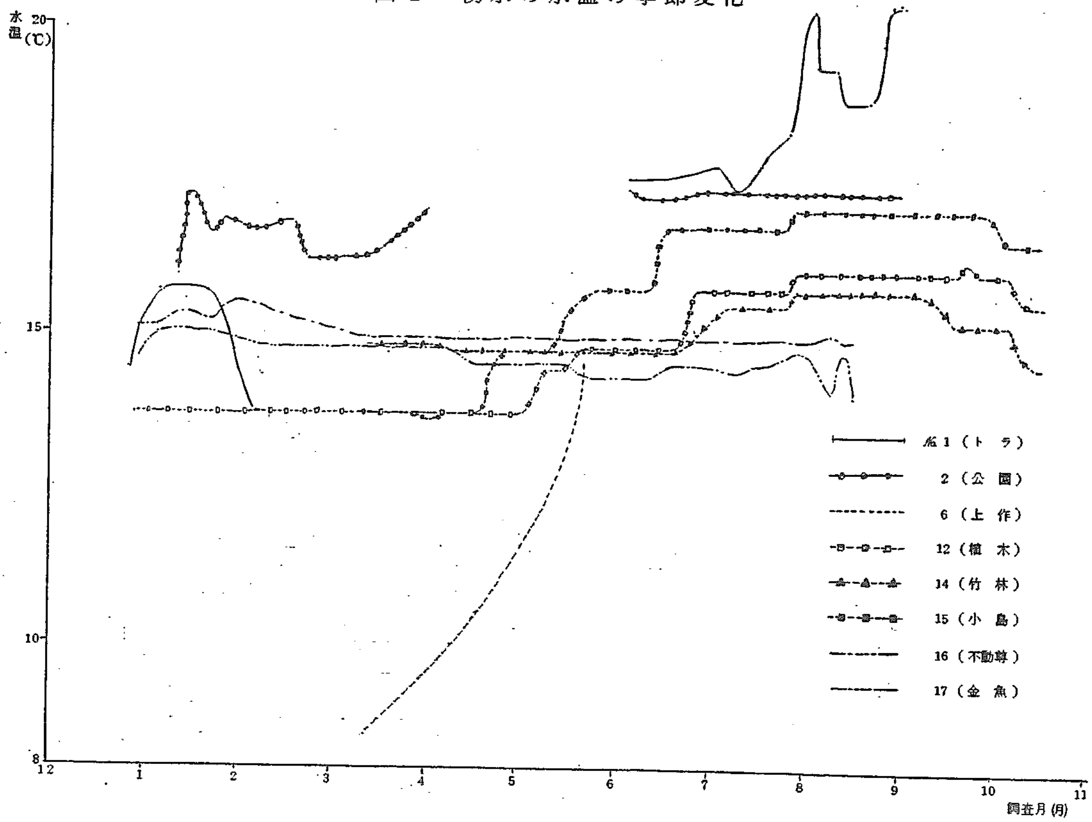


表４　水温の温度差・平均値(℃)

場所番号	最高・最低水温	最高・最低の温度差	最高・最低値から求めた平均値
1	１５.９～１８.０	2.1	１７.０
2	１３.７～２０.３	6.6	１７.０
4	１３.４～１７.０	3.6	１５.２
5	１５.５～１８.０	2.5	１６.８
6	１４.５～１８.５	4.0	１６.５
10	１４.０～１６.４	2.4	１５.２
11	１３.１～１６.０	2.9	１４.６
12	１３.７～１６.０	2.3	１４.９
13	１２.７～１６.４	3.7	１４.６
14	１４.２～１６.２	2.0	１５.２
15	１３.６～１７.０	3.4	１５.３
16	１４.９～１５.５	0.6	１５.２
17	１４.０～１５.７	1.7	１４.９

そこで、これら５ヶ所の結果を除外しても、年中一定の水温を保っている所はない。共通して３月上旬～４月上旬頃に水温は最低となり、８～９月上旬頃に最高を示すようである。年較差が最も小さいのは№16で0.6℃である。５ヶ所の結果を除いて、最高水温と最低水温から求めた平均水温は１４.６～１５.５℃の範囲である。

(3) 水　量

方　法：　湧水量が測定できるように、湧水口に手を加えた。水量の多いときは容積のわかったポリ瓶など、少ないときは500$m\ell$用ポリ製のメスシリンダーで１分間の湧水量を求めた。

結　果：　水量の変化は降雨と密接な関連があるはずである。しかし、結果をまとめた図３はどの場所も複雑である。ある時期に続いて雨が降ってその後２～３週間以上も降らなければわかりよいが、このようなことは後に記るすように５回のみであった。３～４月は少しずつ何回も雨が降った。このような場合、降雨回数と水量変化の数は同じにはならないので、水量変化と対応する降雨の日がわからなかった。

なお、雨量計による雨量の測定は８月になって始めたので、小雨（降ったりやんだりを含む）、雨、大雨の３区分とした。

図３　湧水の水量の季節変化

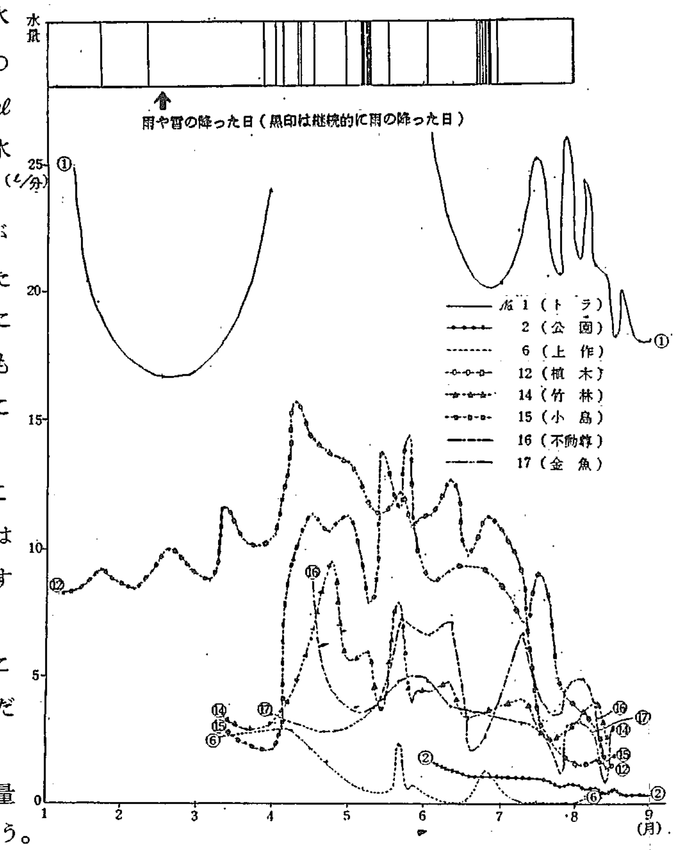


図３で特に目立つのは№1であるが水量以外に、水温、水質とも他の場所とは違う。ことに水質から下水が相当量湧水に入っているように思われる。

全体的には４月上旬～下旬にかけて水量の増えている場所が多い。これは３月下旬～４月上旬にかけて、小雨や雨が６回あった。これらが湧水の水量を増加させていることは確かである。ただ、この水量増加のピークが水量の少ない所ほど、時間的におくれる傾向がある。

降雨と水量変化の関係を調べやすいのは５月７～10日、６月22～28日、８月１日、９月22日～23日、10月４日５日の５回である。これらの降雨と水量の増加について、やや詳細に述べる。

６月の降雨は、その６、19日前にそれぞれ降雨があって、その影響が６月下旬の水量増加となっている。６月22日の降雨前、雨の降り始める前に、どこでも増水の傾向が認められた。同様なことは５月上旬の№16、17にもあった。しかし、このときは№6、12、14では前の降水の影響は直接現われていないように思える。

８月１日はそれまで33日間降雨がなかった。降雨の日から増水した№6、14は雨が直接湧水口付近で混入したものと思われるが、その他の湧水は３～12日後に増え始め、その後４～５日でピークに達した。

10日前にも降雨のあった９月下旬では、５日後に増え始め、その後１～３日でピークに達した。何時の雨でもピークに達して１～３日以内に急激に水量は減少する。

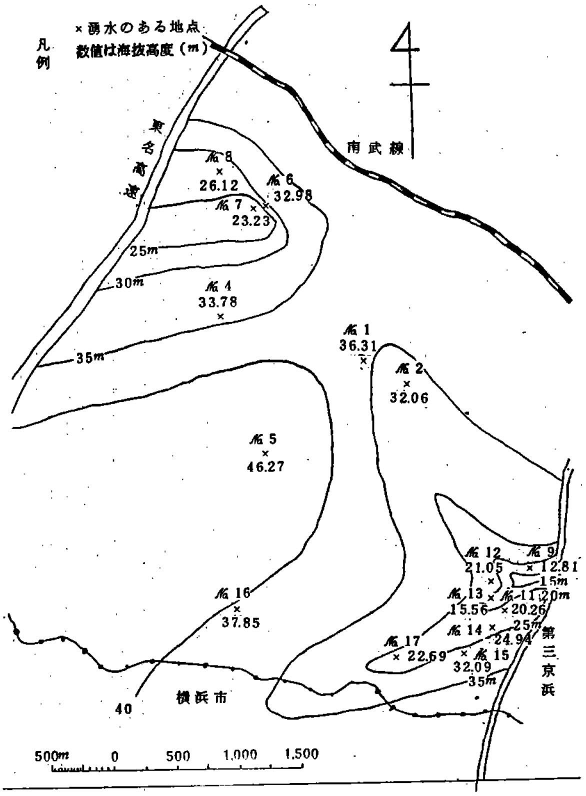
(4) 基盤高度の調査

図1のように、地図上に調査地点を記入してみると、湧水が野川地区に集中していることがわかる。これは帯水層の基盤高度と関係があるのではないかと考えて調べることにした。

方 法： 学区内にある森下測量社の援助により、富士測量機KK製テイルティングレベルL21型を用い、国土地理院発行 1/2,500 国土基本図を川崎市が修正した地形図に記入してある測量点を基準として、湧水口の底面の高度を測量した。

結 果： 測量結果を地図上に記入して、基盤の等高線を求めたものが図4である。これによると野川地区は北北西方向の谷と、西南西方向の谷の合流点に当り、№10が高度12.8 m と最も低い地点となる。すなわち野川地区に湧水の多い理由は、予想通り基盤高度の低いためであることがわかった。

図4 基 盤 高 度



(5) 水 質

方 法： Ca^{2+}、Mg^{2+} はE・D・T・Aによるキレート法、Cl^-はチオシアン酸水銀による比色法（何れも日本化学会編 実験化学講座№14地球化学 丸善版）。Fe^{3+}はKCNS、PO_4^{3-} はモリブデン酸アンモンによるともに比色法、NH_4^+ はネスラー試薬、SO_4^{2-} は$BaCl_2$ によるともに比濁法により定量した。

結 果： 普通は、どこでもCa^{2+} 10～50、Mg^{2+} 10～20、Cl^- 2～15、SO_4^{2-} 1 各ppm のことが多い。

しかし、雨が1ヶ月以上降らなかった8月上旬にはCa^{2+}は50～100、Mg^{2+}は 40～80各ppm、Cl^-は 38ppm 前後の場所が多くなる。またSO_4^{2-}は 12ppm前後と 50ppm 前後の2つのグループに分かれた。Fe^{3+}は 0.5ppm前後、 PO_4^{3-}は 0.3ppmの所が3ヶ所、その他は何時もどおりで0ppm、NH_4^+ もやや増加して 0.1ppmの場所が多かった。

なお、10月初めにも、多くの成分がこの8月と同じように多い日があった。この時も3週間以上ほとんど降雨のない日が続き、そうして降った9月22日、23日の大雨の1週間後である。Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-} は多少の違いはあるが、増加のピークの時期はほぼ同じである。

その他は成分間の相互関係で明確なものは見当らなかった。強いてあげれば、NH_4^+ が0ppmのときは Ca^{2+} は0～40ppm で、これを越えることはない。

場所別ではNo.4、14は Ca^{2+} と Mg^{2+} の増減の傾向が同じようであった。しかし、No.9と10は両成分が逆の関係を示すなど複雑である。

一般に水量が増えてから約10日後に Cl^-、20日前後で Mg^{2+} が減少する。また、水量が減少すると、増水したときとほぼ同じ日数で Mg^{2+}、Cl^- は増加する傾向があるようである。他の成分も Mg^{2+}、Cl^- ほど明瞭ではないが、水量とほぼ同じような傾向を示しているように思える。

(6) 残された問題点

- 7日おきの調査のため、ことに降雨と水量の増減の正確な関係がはっきりしない。同様なことは水量と水温、水量と水質の関連にもいえる。
- 水量の測定可能な湧水をすべて選んで対照としたが、降雨により直ちに水量が急増するような地点は、乾燥期には水が枯れる。冬と夏の水温の年較差が大きく5℃を越える所もあった。これらの湧水は本来、対照として不適当であったと考える。

なお、本研究は昭和53年度川崎市立中学校　理科作品展で教育長賞、神奈川県作品展で県知事賞、日本学生科学賞中央審査で三等賞を受ける。

昭和54年度研究報告書

「多摩川沿いの多摩丘陵東縁部の地下水の性質ー第2報」

ー川崎市立宮崎中学校科学部の活動ー

実施内容および成果

1. 調査地点と一般的な方法

調査地域は昨年の調査で年較差が1.7℃以内で調べさせてもらい易い所として№17通称金魚、№16不動尊、さらに地形的に多摩面に属する、よりローム層の厚い地点として通称鯉を追加して3ヶ所について調査した。

毎日調査を実施した。調査内容は昨年同様、水量、水温、水質である。

2. 調査内容

(1) 水 量

1) 降雨と水量変化

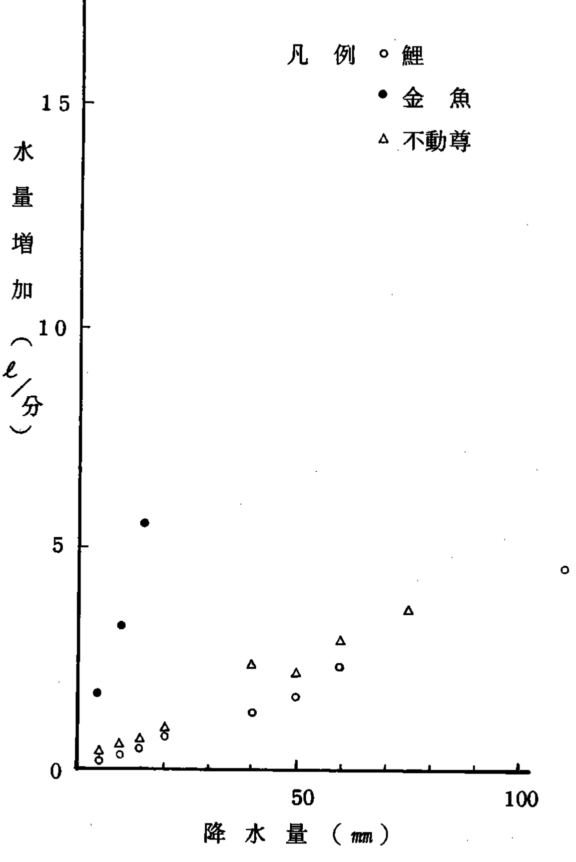
水量は、1回の降雨量、降雨時間、降雨と降雨の間隔などや、これらのかね合いに左右されると考えて検討した。しかし、水量増加と降雨量の関係は比較的はっきりしたが、その他については調査の不備もあって十分つかめなかった。

水量増加と降雨量の関係を図1とした。なお、水量増加は、降雨後、水量の増加がピークになった水量（ℓ／分）から降雨前日、または降雨日の水量の少ないときの水量との差である。

図1によると、不動尊と鯉は降雨量が80㎜程度までは、降雨量と水量増加に比例関係が成立つような傾向がある。すなわち不動尊は10㎜で0.5ℓ／分、鯉は10㎜で0.4ℓ／分水量が増加する。また、金魚は降雨量が15㎜までは両者に比例関係があって10㎜で3.3ℓ／分である。

場所によるこのような違いは、湧水口付近の地形と湧水口の背後の丘陵の地形や地質に原因があると思われる。また、降雨量が多くなると水量増加と比例関係が成立たないのは、雨水は地面にしみ込まずに地表を流出する水が多くなるためと考える。

図1　水量増加と降雨量との関係



2) 降雨と水量変化量および、その時間的な関係

武蔵野砂レキ層、または下末吉砂レキ層を帯水層とする不動尊、金魚は、いつも降雨のあった日、もしくはその翌翌日にかけて増水する。なお、降雨当日に増加するのは、調査した日の前日または夜中から降雨があり、調査は一般に夕方である。

一方、多摩面の鯉は、このような降雨後の増水も、増水した日、または翌日には減り始めるだけでなく、グラフ化すると減少のピークが現われるように激減するのが普通である。この場合の増水の最大値と減少の最大値の差（ここで、これを減少値という）は不動尊、金魚では0.5～0.8ℓ／分、鯉は10ℓ／分のことが多く、鯉ではこの減少の最大値を示すと、その当日、または翌日には再び増加するような増減のくり返しがみられる。

この周期は回を重ねるほど長くなるとともに、減少量もしだいに大きくなる。不動尊、金魚では3～4回目ほどの周期になると減少量が2.0～3.0ℓ／分と大きくなる。この頃になると1回の周期が6～10日ほどになるのが普通である。鯉は3～4回目ぐらいの減少値でも0.4～0.6ℓ／分と小さい。しかし、ここでも周期の長さは不動尊などと同じ傾向を示すようである。

降雨後0～1日後に水量が増加する理由や、増減のくり返しの原因を考える目的もあって、後に(4)で述べるようなモデル実験を行った。

その結果によると、ロームの種類にもよるが、ほぼ45％以上水を含むと水がしみ出る。そこで雨水がしみ込むと、この水が玉突的に今までロームに含まれていた水を下に押し出すと考えた。モデル実験の50％の含水率で一辺10cmの立方体では、10分間で下から水がしみ出る。これを厚さ10mのロームとすると約16時間で玉突的に地下水が増えることになる。この結果は、降雨直後の増水をよく説明できると考える。しかし、増減のくり返す原因はまだ不明である。

なお、昨年度の調査では、降雨後3日以上経過しないと水量増加のピークが来ない結果がでている。これは7日間隔の調査のために、降雨後の2～3回目の周期の水量増加のピークを降雨後のはじめての増水としたためである。

(2) 水　温

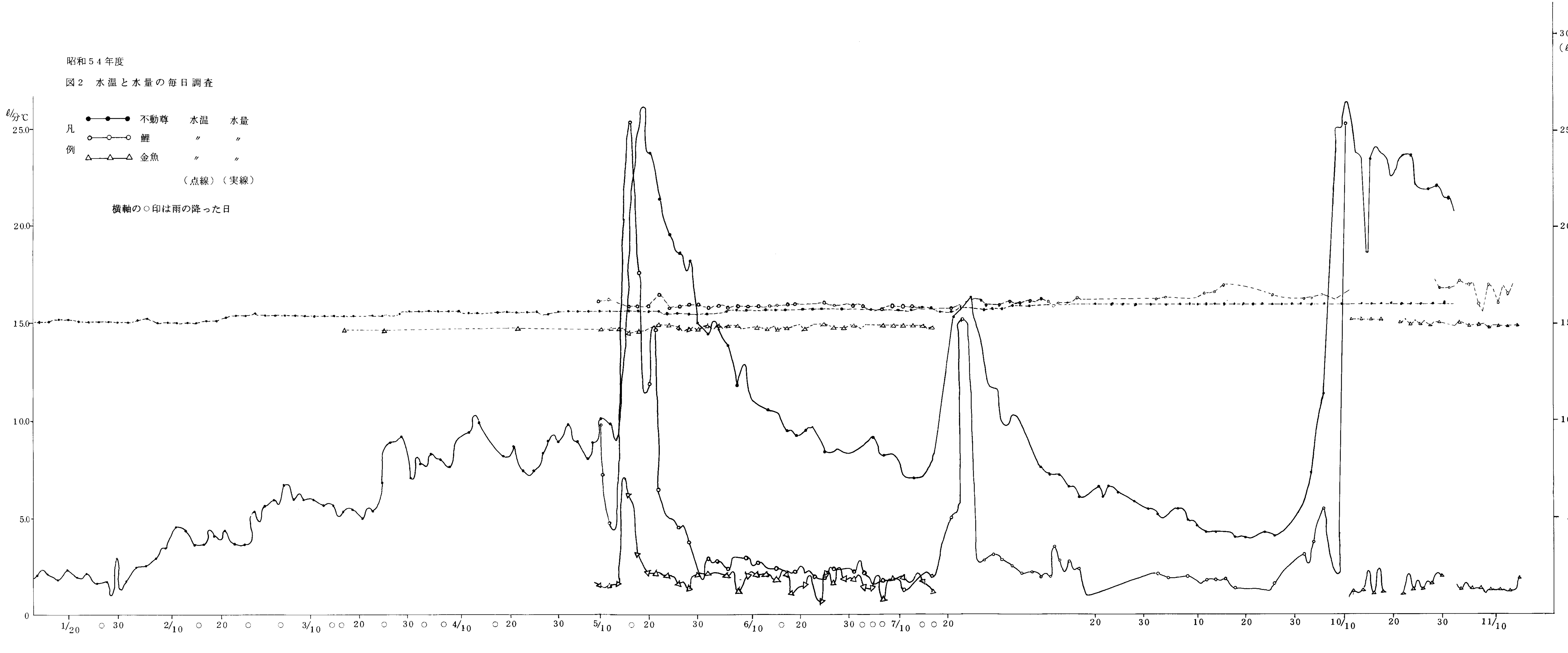
水温と水量の関係を示した図2によると、水温の変化は水量の変化にともなって生ずる。そこでこの両者の関連で結果を検討した。

不動尊：　昨年の年較差は0.6℃であった。

本年は2月16日までは15.1℃と安定していたが、この日に降雨があって2日後に1.6ℓ/分の水量増加となるが、これをきっかけとするように6日間かけて2.4℃上昇して15.5℃となる。その後3月28日までこの温度を保ち、3月24日の降雨後の増水より2日おくれて0.2℃上昇するが、9日後に0.1℃下って15.6℃となる。その後4月30日、6月4日、8月1日に、それぞれ0.1℃、0.2℃、0.1℃ずつ上昇して16.0℃となり、調査を中止した11月1日までこの水温を保持した。

昭和５４年度

図２　水温と水量の毎日調査



この間、5月7日、5月14日前後に降雨があって5月18日には15ℓ／分も水量が増加している。また7月1日、8～9日、13～15日と降雨があって7月25日に9ℓ／分、10月5日前後に降雨があって22.5ℓ／分の水量増加がそれぞれあった。10月5日は増水と同時に、その日のみ0.1℃水温が下がった。その他は時間的にややおくれて、上記の水温変化に結びつくようである。

鯉： 5月10日から調査を始めた。この時から8月17日までは水量が増加すると3～5日後に0.5℃近くまで上がるが、2～3日でまたもとの水温にもどることが多い。しかし、水温変化は不動尊ほど安定していない。

調査を始めた頃、比較的安定していたときの水温は 16.0℃、8月上旬は16.1℃、9月10日過ぎから水温は上がりぎみとなり、10～11月は降雨の関連で特に不安定になるが、ほぼ 17.0℃前後となった。

金 魚： 他の2地点に比べて水量が少なく、また水量の変化量も少ない。しかし、水温は鯉より多少安定しているように見える。

3月中旬は 14.8℃、これが5月15日頃まで続く。その後± 0.3℃前後の変動をみせながら、7月になると 15.0℃付近で安定する。その後、調査が中断して、再開した10月10日過ぎには 15.4℃で安定するが、10月22日頃から上下に変動しながら下降する傾向を示し調査を中止した11月10日過ぎには 14.8℃で安定する。

水温の変化は水量の変動と関連しているようだが、5.5ℓ／分と水量が最も増加した5月15日の次の日に 0.2℃下がった以外は、水温と水量の関係はつかみきれなかった。

昨年の3月頃は、 14.8℃で今年と同じ水温を示している。しかし、昨年は8月になって変化がはげしく、最低 14.0℃を示し、今年とは違った結果を示している。

(3) 水 質

水質は5月10日から9月18日まで調べた。

1) カルシウムイオン： 金魚は5月15日に40ppm、次いで7月10日、7月20日に40ppmをこえた。不動尊もほぼ同じ時期に40ppm前後となったことが、それぞれ1回ずつあった。

しかし、これらは例外でその他の日は不動尊と金魚が14～28ppm、鯉が11～22ppmの間を2～5日を周期として増減をくり返した。どこでも、何時でも増減のピークは1日のみであった。

2) マグネシウムイオン： 不動尊は普通1～9 ppmで、7月16日に最大値15ppmを示した。金魚は増減がはげしく、0 ppmの日も稀れではないが10ppmほどの範囲で5日前後の周期をくり返す。6月7日と8月13日の2回、23ppm前後となった。不動尊は7月16日の15ppmを例外として、その他は1～9 ppm の範囲で2～7日を周期とする。

3) 鉄イオン： 季節に関係なく、普通は3ヶ所とも0で、ときに0.1 ppmまで増加することがある。しかし、これは降雨とは関係がないようだ。0.1 ppm 程度に増加している期間は2～3日で、その後再び0となる。

例外として、7月上旬から下旬の雨によって水量が増加したとき、不動尊は1.8 ppm、金魚1 ppm、鯉0.2 ppm となった。この増加に先立つこと1〜2日前に、PO_4^{3-}、NH_4^+ も増加した。また、8月14〜15日には金魚のみが0.8 ppmと増加したが、この時も前日にPO_4^{3-}、NH_4^+ が増加した。

4) アンモニアイオン： 不動尊、金魚について時期は一致しないが、普段は0であっても急に0.5 ppmほどに急増して、1〜3日で再び0になることが5月から9月末までに3〜5回あった。この期間に、ロームの厚い鯉では普段0なのに0.1 ppmになったことが4回あった。

5) 塩素イオン： どこでも普段は2〜8 ppmの間で増減をくり返している。この増減の周期は2〜5日である。

調査期間中の例外として、7月6日〜7日にかけて、不動尊、金魚はともに16ppm、鯉は4 ppmも増加した。増加した翌日には、何れも再び増加前にもどった。

6) 硫酸イオン： 場所により、時期によって値はまちまちで、変化がはげしい。金魚以外では1〜2日で0が50ppmほどに急増し、他の成分とは異なる変化を示すとともに、他の成分との関連づけも難かしい。

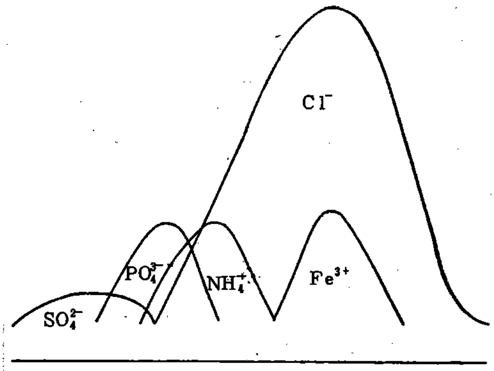
5月14〜15日にかけて100㎜以上の雨が降ったとき、鯉は50ppmも増加した。しかし、他の2ヶ所は10 ppm以下で増えない。6月7〜8日の降雨では不動尊は50ppmをこえたが他の場所は増えない。7月5日に不動尊と金魚は、ともに50 ppm 近くまで増加した。

調査期間中に50 ppm 前後になった回数は不動尊5回、金魚1回、鯉は3回であった。

7) 燐酸イオン： 3ヶ所とも0〜0.1 ppmのことが多い。しかし、金魚は約20日前後の間隔で0〜1 ppmが0.3〜0.6 ppmに増える。この場合、増える4〜5日くらい前に雨の降ることが多い。その他の場所ではこのようなことはないので、この周期と雨の関係ははっきりしない。

8) 各イオンの関連： 総合的に各イオンの関連をみると、各成分の増加のピークは少しずつずれて同じ時期にならないことが多い。しかし、一つの成分がピークに達し、その後減り始めると他の成分がピークに達する傾向がある。この順序は図3のようにSO_4^{2-}、PO_4^{3-}、NH_4^+、Fe^{3+}で、Cl^-はNH_4^+ の始まりと同じ時期に始まって、Fe^{3+}よりあとに終わる傾向がある。

図3 各イオンのピークのずれ



(4) 地下水のしみ込み方に関するモデル実験

昨年から行っている湧水の水量調査の結果について、疑問に思うことがいくつかある。それは、

○ 雨が降って水がしみ込み、地下水になるまでの時間。

○ 水がしみ込むとき、ロームの含水量はどのくらいになるのか。

○　雨の降り方による、水のしみ込む速さ。

○　雨が降った時と、降らない時の地下のロームの含水量の違い。

○　ロームの種類による含水量と、しみ込む速さの違い。

○　雨が長期間降らないのに、地下水が出るのはなぜか。

これらのことについて調べる方法として、モデル実験を考えた。

1)　一般的な方法

a　ロームについて：　雨水がしみ込むのは、立川、武蔵野、下末吉、多摩の４ロームがある。このうち多摩を除く３ロームについて調べた。

大きなロームの立方体をつくって実験しようとしたが、植物の根が生えていた跡があったり、ひびわれ、黒い筋などが入るなどして難かしい。結局１辺10cmのロームの立方体をつくることにする。

b　ロームの含水率：　実験開始時にロームに含まれている水分を知るために、立方体をつくるとき削りとったロームは直ちに電気乾燥器に入れて、150℃で1日間乾かして、これより含水率を求め立方体の含水率とした。一方、削ってつくった立方体はサランラップでおおい、水分の蒸発を防いだ。

c　降雨のモデル：　雨のモデルとして加える水は、ビュレットから滴加することにした。このとき立方体の６面のうち１面のみに滴加するので、10cm×10cmの面に雨が降ったと考える。したがって水20cm³の滴加量は20÷（10×10）＝0.2（cm）。したがって２mmの降雨量に当るものとした。

2)　水のしみ込む速さ

a　滴加速度としみ込む速さ：　ビュレットから毎時間20、40、80各cm³の速さで、表１に示すよう

表１

滴加速度としみこむ速さについて												
滴加速度	滴加速度　20cm³／h（２mm／hに相当）				滴加速度　40cm³／h（４mm／hに相当）				滴加速度　80cm³／h（８mm／hに相当）			
	初めの含水率(%)	かかった時間(分)	しみ込む速さ(cm/h)	蒸発率(%)	初めの含水率(%)	かかった時間(分)	しみ込む速さ(cm/h)	蒸発率(%)	初めの含水率(%)	かかった時間(分)	しみ込む速さ(cm/h)	蒸発率(%)
立　川	35.2	540	1.1	4.8	35.6	390	1.5	2.5	36.2	240	2.5	3.4
	35.0	540	1.1	8.2	36.2	450	1.3	3.4	35.3	230	2.6	5.6
	35.7	620	1.0	4.3	35.3	480	1.25	2.4	36.5	250	2.4	4.3
武蔵野	35.1	510	1.2	5.6	36.1	330	1.8	4.7	35.4	180	3.3	3.3
	35.7	480	1.25	3.4	35.2	330	1.8	5.2	35.8	210	2.9	2.6
	35.8	480	1.25	2.5	35.3	360	1.6	6.2	36.8	200	3.0	3.2
下末吉	35.3	330	1.8	1.7	35.9	150	4	3.6	35.9	80	7.5	2.3
	35.2	330	1.8	3.1	36.9	180	3.3	4.6	35.7	70	8.3	4.3
	35.4	300	2.0	5.9	35.4	180	3.3	3.3	36.7	90	6.7	6.2

な含水率35～36％の立方体のロームに水を滴加した。実験したロームは各3個ずつである。

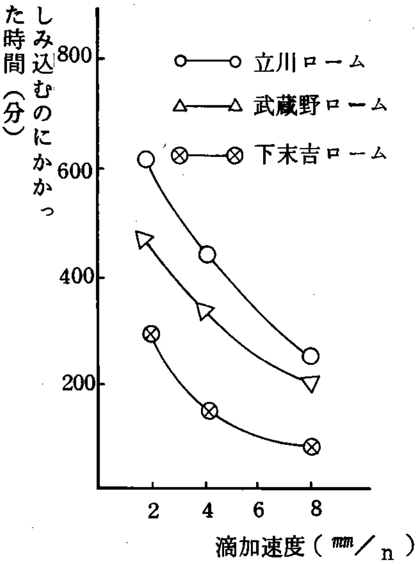
そうして下の四隅まで水がしみ込むまでの時間と、そのときの重さを測った。この場合、滴加する中央部から四隅までの距離は1辺10㎝の立方体では12.2㎝となる。

なお、含水率35％程度の含水率のときと、45％前後以上の含水率ではロームの色が違う。35％程度では色が淡く、含水率が大きくなると色が濃くなる。そこで、この色の変化から、水がロームのどこまでしみ込んだかを判断した。

その結果は表1のように古いロームほど水のしみ込みが速いことがわかった。

また、この結果をグラフ化したのが図4である。この図によると2㎜／h～8㎜／hという降雨量の小さい場合は、滴加量としみ込む時間は反比例のような関係がある。つまり、この程度の雨では、はげしく雨が降るほどしみ込む時間は短かくてすむ。言い直すと、しみ込む速さが大きいことである。

図4



ただ、この実験は集中豪雨的な雨の場合ではない。雨量が大きくて、雨は土にしみ込めずに表面を流れるような場合についても実験をする必要がある。これは次のbで検討する。

b　しみ込む限界の滴加速度

水を滴加する速さを大きくしていくと、最後にはしみ込みの限界に達して、それ以上の水はしみ込まずに表面にたまったり、流れたりするようになるはずである。その限界を調べたい。

方　法：　含水率35％とは、相当にロームが乾いている。45％とはロームの種類によって多少は違うが、水分のためにロームの色が濃くなったばかりの状態、50％とは種類によって多少違うが、水を1滴でも加えると、ロームの下から水がしみ出る状態に近い。

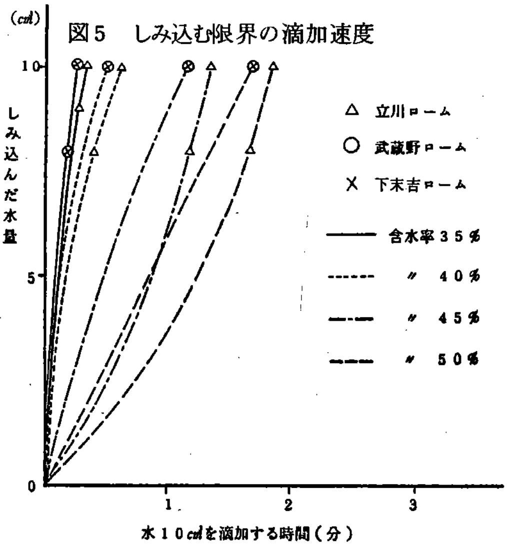
含水率35、40、45、50％の立方体をローム別に、それぞれ10個ずつ用意する。ビュレットから毎回滴加する量はすべて10㎤とし、この10㎤滴加する速さを次のような要領とする。

例えば45％のローム10個について、まず1個のロームに10分間で10㎤の水を滴加したら、容易にしみ込む。そこで別の1個に5分間で10㎤加えたが、やはり容易にしみ込む。そこで別の1個ずつに4、3、2分間でそれぞれ10㎤加える。最後に1分間で10㎤の水を加えたら、一部の水はしみ込まずに表面に残った。そこで7個目の含水率45％のロームに1分30秒で水を加えたら、すべての水がしみ込んだ。次の1分20秒、1分15秒でも、同様にしみ込んだ。したがって1分10秒と1分15秒の間にしみ込む限界があることになる。そこで、この中間をとって1分12.5秒がしみ込みの限界とした。

結　果：　結果を図５としてグラフ化した。この図は含水率が小さいほど、単位時間あたりの降水量が大きくても、ロームは水をしみ込むことのできることを表わしている。

しかし、例えば立川ロームで含水率35％で20秒、50％で１分50秒というような具体的な時間の違いが、実際の降雨の何を表わしているのかは、結局はっきりしなかった。

図５　しみ込む限界の滴加速度



3)　水がしみ込んで出てくるときの含水量

もうこれ以上水を含まない状態のロームの含水率（飽和含水率）を調べてみると、立川ローム48.1％、武蔵野ローム 46.0％、下末吉ローム 45.9％である。しかし、このモデル実験の一般的な方法で水を加えたとき、ロームから水がにじみ出てくるときの含水率は、はたしてこの飽和含水率と同じかどうかを調べるのが目的である。

方　法：　含水率35、40、45％の各ロームの立方体をそれぞれ２個ずつ用意する。実験前にロームの下にろ紙を敷く。ロームをしみてろ紙に水が伝わり始めたときの含水率を調べる。したがって立方体の壁を伝わって出てきた水でろ紙のぬれるのを防ぐために、壁の部分を乾いた雑布で包んで、このような水を吸いとる。

滴加する速さは40cm³／hとした。

結　果：　表２のように理由ははっきりしないが、実験するロームの含水率によって同じロームでも、しみ出て来るときの含水率が違う。この場合はじめの含水率が大きいほど、多量の水を保つことができる。35％と45％の含水率では、その差が立川ロームで約４％、武蔵野ロームで約2.5％、下末吉ロームで約2.3％である。

また、すべてはじめの含水量が飽和に近いほど、飽和含水量よりも余分に水分を保つことを示している。

表２

含水率＼ローム名	ロームの種類と出てくるときの含水率		
	立　川	武蔵野	下末吉
35	47.1	47.5	47.2
	47.3	47.9	47.6
40	47.5	48.0	47.9
	48.0	49.0	48.3
45	51.0	50.1	49.5
	50.8	50.3	49.8

4)　水の出るしくみについて

雨が降った直後に水量が増加することは、湧水の毎日調査でわかっている。１回の雨が降ると、その日のうちに約10m下の帯水層まで水がいくことは、このモデル実験2)水のしみ込む速さの結果からも考えられない。したがってロームにしみ込んでい

た古い雨水が新しい雨水のしみ込みで、水圧がかかって押し出されることが考えられる。このことを明らかにしたい。

方　法：　含水率のわかっている３種類の立方体をしたロームを各２個ずつ用意する。これに洗瓶で水を６面に含ませて、重さから45％の含水率にする。均一に45％の含水率にするためサランラップで立方体を包み、一昼夜放置する。

翌日、この立方体をろ紙上にのせて、周りの４面を雑布で包む。上の面に20㎤／ｈの速さで水溶液を滴加する。

滴下する液は、初めインクをうすめた液で行ったが、下から出てくる液はインクの色にならない。これはクロマトグラフィーによって本来の色にならないためらしい。結局、メチルオレンジの水溶液と食塩水を使用した。

結　果：　どのロームでも、メチルオレンジ、食塩水ともに29〜30分でろ紙が水でぬれた。その後塩素イオンの多い水は１００〜１２０分の間に出はじめ、メチルオレンジの色水は２００〜２５０分で出てきた。塩素イオンの多い水が出はじめたときと、色水が出はじめたときのロームの重さは同じであった。

メチルオレンジの色水が塩素イオンの多い水よりもおくれて出てきた理由は、分子が大きくて、ロームの中につまりぎみでおくれたのではないかというのが先生の話しである。

何れにしろ、この実験はロームに含まれていた水が、上から入れた水のために玉突的に押し出されることを示している。

含水率45％のロームに雨水がしみ込むと、帯水層に到達するには

$$(100\sim120\text{分})\times\left(\frac{1000\,cm}{10\,cm}\right)\rightarrow 167\sim200\text{時間}$$

したがって、降雨によってすぐ増加する地下水は、そうとうに古い雨水であることになる。

(5)　おわりに

このようにまとめてみると、調査の不備などが多々ある。

ことに15人の中学生が行った研究なので授業の関係や連絡の不十分さなどで、調査のできなかったこと、測定の不正確さ、その他の手違いもあって、一度に水温、水量、水質の継続観察が実に難かしいことを思いしらされた。その他の問題として

- ○　降雨と水量の関係が調査不十分ではっきりしていない。
- ○　水温と地温の関係が全く手つかずで残った。
- ○　硫酸イオンの動行は特異なので、今後調べていきたい。

なお、本研究は昭和54年度川崎市立中学校　理科作品展で市長賞。神奈川県作品展でも川崎市長賞。日本学生科学賞中央審査で二等賞をうける。

昭和 56 年度研究報告書

「多摩川沿いの多摩丘陵東縁部の地下水の性質」

－硫酸イオンの動向と水温を決定する要因について－

実施内容および成果

1. 硫酸イオンの動向

(1) 研究動機

53、54年の調査で、多摩丘陵東縁部の下末吉層を帯水層とする地下水では、ふだん 0～1 ppmの SO_4^{2-} が40～70日をほぼ周期として急に40～60 ppmも含むようになる。その後1～2日間で、再び 0～1 ppmと減少する。

この SO_4^{2-} が地下水になるまでの過程と、増減をくり返す原因を明らかにしたい。

(2) 方　法（硫酸イオンの分析法）

試水10mlに 1N HCl を5滴加えてから、1N $BaCl_2$ 水溶液を5滴加えて $BaSO_4$ の沈澱をつくる。一方、1.2.3.………20ppmの20通りの SO_4^{2-} を含む標準溶液についても、試水と同じ操作で $BaSO_4$ をつくり、比濁法によって試水の SO_4^{2-} を定量した。

なお、20ppmを越える試水は、純水で2～3倍にうすめて定量した。

(3) 結　果

1) 雨水中の SO_4^{2-}

57年4月から7月にかけて、20回ほどの降雨について含まれる SO_4^{2-} を調べた。これは、日中は降り始めてから、また夜に雨が降りそうなときは、前もって大ポリバケツに大ポリ袋を広げて入れた容器を学校の屋上において雨水を採った。こうして降雨終了後に、その水を分析したので、降雨毎の平均的な SO_4^{2-} 含有量である。

その結果、7月28～29日の降雨では10ppmもあったが、その他は2ppmが1回（7月2～3日）、1ppmが3回（5月17～18日、28日、7月24日）、その他の15回はすべて0ppmであった。

したがって、地下水には SO_4^{2-} があるにもかかわらず、雨水中にはほとんどないことになる。しかし、空気中には SO_4^{2-} のもとになる SO_2 が排気ガス中に存在するのは確かである。そこで次の 2) について調べることにする。

2) 学校付近の水たまりに含まれる SO_4^{2-}

4月30日の降雨は、雨水中の SO_4^{2-} は0 ppm、しかし、この時校庭にできた水溜りには40ppmの SO_4^{2-} が含まれていた。この4月30日から7月末までの14回の降雨時に学校とその付近の土の上にできた、水溜りについて SO_4^{2-} を調べた。

その結果1～5ppm5回、10～15ppm6回、20～30ppm1回、40ppm2回であった。

一方、上記と同じ期間で、11回の降雨によってアスファルトやコンクリート上にできた水溜りについても調べた。結果は1～5ppm 7回、6～10ppm 4回であった。水溜りは、周りの雨水が流れてきて低い所にたまる場合も多いので、水たまりのある所だけの条件では正確とは言えないが、地表の土の上を流れてきた水分はSO_4^{2-}の多い傾向がある。

また、雨水中よりも水溜りのSO_4^{2-}のほうが明らかに多い。これは廃気ガス中のSO_2が、そのままか、またはSO_3となって地表の土に吸着されて、降雨とともにSO_4^{2-}になるのではないかと考えた。すると、ある降雨によってできた水溜りのSO_4^{2-}量には地域差があるかどうかも調べたい。

3) 川崎市内の水溜りのSO_4^{2-}

緑の多い北部、住宅地の中部、工業地帯の南部、さらに幹線道路の有無を考えて、表1に示した場所の土の表面にたまった水について調べた。調査したのは前日夕方から降り出し、翌日午前中にやんだ8月21日の午後に採水した。その結果を表1にまとめた。

表1　川崎市内の水溜りのSO_4^{2-}　　8月21日採水

採水場所	SO_4^{2-} (ppm)	採水場所	SO_4^{2-} (ppm)
小田急・栗平駅そば　1	240	中原・等々力緑地	0
〃　2	240	塚越中学そば	0
田園都市線タマプラザそば　1	2	臨港中学校庭	50
〃　2	1	〃　〃	40
小田急　柿生駅そば　1	20	浜川崎駅そば　1	60
2	10	〃　2	20
王禅寺　1	1	扇町駅そば　1	320
〃　2	20	〃　2	240
宮崎中学　1	2	扇町昭和炭酸	15

この結果によると南部の工業地帯である扇町駅そばと、工業地帯から最も離れている、宅地より畑や森林が多く、しかも幹線道路のない小田急・栗平駅に近い場所が240ppm以上のSO_4^{2-}を含むことに驚ろかされた。

これは1回の調査ではあるが、降雨間隔や風力・風向によっては、学校付近でも水溜りのSO_4^{2-}は相当量含まれる可能性を示している。

4) 地面付近で硫酸イオンのでき易い条件（モデル実験）

アスファルト上より、土の上の水溜りの方がSO_4^{2-}の多いことを実験的に確めることを目的とした。

30cm×60cm×35cmのガラス張り容器中で、底にはあらかじめ土、または水を入れたシャーレを各3ヶずつ計6ヶ入れておく。容器内の上部に酸素を満した集気瓶をつるし、その中で0.01gの硫黄を燃す。発火後直ちに容器全体にふたをして放置する。

SO_2発生後1/6、1/2、1、2、5、20各時間放置後に、土には約50mlの水を加える。このとき、まずロームに水がしみ込む。ロームが水で飽和した後は水が土の上にたまる。この溜る水量

と、水のみのシャーレの水量をほぼ一定とする。（同じ大きさのシャーレを使用。水の深さで水量が同じになるようにする）。このようなことを4回繰返し実験をして、その平均を表2とした。

この結果によると、2時間までの短時間でも、水にSO_4^{2-}が存在するようになる。しかし、ロームでは水を加えてもSO_4^{2-}は検出されない。しかし、さらに吸収時間を大きくするとロームの方が、水よりもSO_4^{2-}が多くなる。これらのことは空気中のSO_2は水があれば急速にSO_4^{2-}になってしまうこと。また、実際には、降雨時間に比べて晴や曇の時間ははるかに多いが、降雨時でない時も、空気中のSO_2は土にゆっくりと吸収されて、水を加えればSO_4^{2-}となる状態で存在していることを示している。

表2　ロームと水の時間によるSO_4^{2-}の吸収量

単位（ppm）

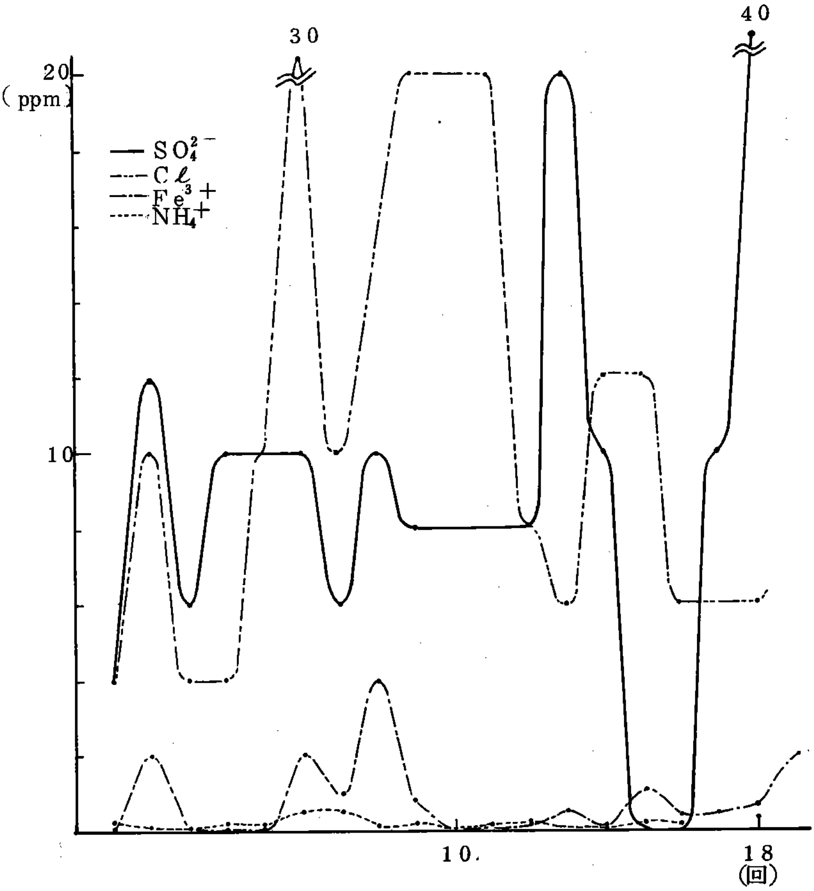
時間（時）／SO_4^{2-}を含む物質	1/6	1/2	1	2	5	20
ローム	0	0	0	0	135	150
純水	60	93	110	120	115	115

5) ローム中における硫酸イオンの動向

空気中のSO_2がどのような過程をへるかは不明であるが、地上に水があればSO_4^{2-}の状態で存在するようになることは確かであり、この水は10*m*前後の厚みがあるローム層を透過して地下水となるが、このロームを透過する過程でどうなるのかを調べたい。

そこで、内径6*cm*、長さ1.1*m*の中空・鉄骨用・鉄パイプにロームを1*m*の深さまで野外で打ち込み、自然の堆積状態でロ

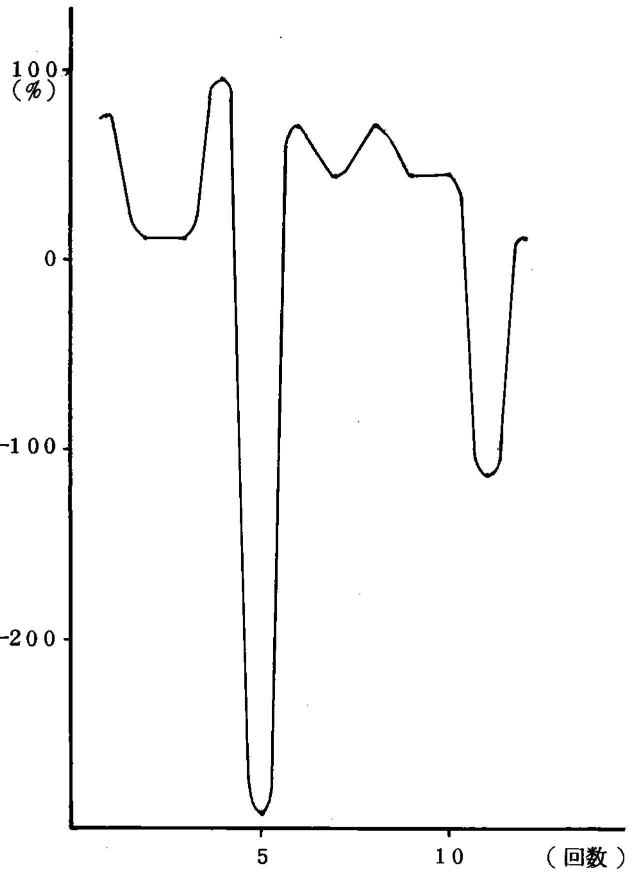
図1　純水によるイオンの放出



ームを採取するように心がけた。SO_4^{2-}が26 ppM含むNa_2SO_4水溶液、SO_4^{2-}が24ppM含む、H_2SO_4水溶液、雨水（Cl^- 3～5 ppM、SO_4^{2-} 0 ppM）の4種類の水をそれぞれ5本のローム入りパイプの上から、たえず加えて、下からでる液を約40 mℓ毎に分けてとり、SO_4^{2-}、Cl^-、Fe^{3+} NH_4^+についてppmの単位で調べた。

その一例ととして雨水を加えた試料の結果を図1とし、硫酸水溶液の結果を図2とする。なお、図2は硫酸の浄化率をたて軸にとった。また図1、2ともに横軸は40 mℓずつ採水した。その回数を示した。

図2 SO_4^{2-} 24 ppmの硫酸水溶液によるSO_4^{2-}の浄化率



その結果図1では、純水を入れたにもかかわらず、SO_4^{2-}をはじめ調べた4種類のイオンがすべて流出してきている。

SO_4^{2-}は空気中のSO_2、Cl^-は雨水、Fe^{3+}はローム、NH_4^+は生物が、それぞれ供給源となっていることが考えられる。

約720 mℓ 程度の流出量の範囲では、どのイオンの流出量も、量の多少はイオンにより異なるが、上下をくり返していて、一定もしくは、回数を重ねるとともに、減少または増加するという傾向はない。ことにSO_4^{2-}の流出量は多く、増減の幅が大きい。なかでも14回から18回までの増減の差の著しいことが目につく。

図2のきわめてうすい硫酸水溶液でも吸着と流出をくり返している。ことに4回から5回は浄化率が90％を越えるが、次は原液の約2倍量を流出し、次には浄化率が70％を越えている。

実際のローム層は約10 m の厚みをもっていること。また、吸着と流出について、SO_4^{2-}と他イオンの相互関係が不明なのでこまかなことは言えないが、降雨毎にSO_4^{2-}を含む水がロームにしみ込む、このイオンがロームに吸着するときは地下水のSO_4^{2-}はなくなることが多い。SO_4^{2-}がある特定量、ロームに吸着されるとおもにそれだけの理由で、または他のイオンとの関連で急激にSO_4^{2-}

の放出が行われて、地下水のSO_4^{2-}濃度が急増し、その後再び吸着作用を行うことをこのモデル実験は示唆しているようである。この考え方によると、現実の地下水のSO_4^{2-}の動向がよく説明できる。

(4) ま と め

本年、4月～7月までの調査では雨水中のSO_4^{2-}は0～1 ppmのことが多く、まれに10ppm 含まれていた。

一方、空気中のSO_2はロームに吸着される。そのとき、どのような状態で存在するのかは不明であるが、降雨など水が存在するとSO_4^{2-}になる。したがって水溜りには、雨水中の数倍以上のSO_4^{2-}を含む。

この水がローム層にしみ込み、多くのばあい、このロームにすべて吸着されて、地下水にはSO_4^{2-}はほとんど含まれない。しかし、ロームにSO_4^{2-}が多量に吸着されると、今まで吸着されていたSO_4^{2-}が急に放出されて地下水に入ることがほぼ明らかになった。

2. 地下水の水温を決定する要因について

(1) 研究動機

調査地域である多摩丘陵の新第三紀の最上部のシルト層を底として、不整合でのる第四紀の砂層を帯水層とする地下水（調査地域では地表より10～15mの深さ）について、昭和53、54年度に水温、水量、水質について調査を行った。

この調査から、どこの湧水でも年中一定にはならないこと、同日同時刻でも場所の違う湧水は、水温の違うのが普通であることなどがわかっていた。そのために本年は「湧水によって水温に違いのあるのはなぜか」をはっきりさせること、前の2年間の研究ではっきりしなかった「水温の季節変化」についても調べることにした。

(2) 結 果

1) 水温の季節変化（湧水の毎日観察）

水温の変化は水量の変化にともなうことが多いことは前の研究でわかっていた。そこでこの二つについて調べるとともに、関連のある気温、降雨量も調べた。調査場所は旧学区とその周辺部の湧水で川崎市高津区野川(2)、宮崎(1)、馬絹(1)、長尾(1)の6ヶ所について早いところは55年12月、おそい所は1月下旬より調査を始めた。

冬～3月中旬までは、どこでも水量が増加すると、水温が上昇し、水量が減少すると水温の下降することがよくある。これを冬型とよんだ。冬型がおわると、どこでも2週間前後水量と水温に相関関係がなくなる。これを中間型とよんだ。中間型のあとに水量が増加すると水温が下降し、水量が減少すると水温の上昇する夏型を示すことが多くなる。夏型から中間型に移るのは10月中旬前後で、その後約2週間をへて冬型となる。

54年度に冬型、中間型、夏型になる時期を調べた。その結果と本年を比べると同じ場所でも時期

が多少違っている。したがってそれぞれの型に変わる時期も年によって違うことが考えられる。この理由は気温、降雨の気象条件が年によって多少違うためと考える。表3は本年度の調査結果である。

表3　水温と水量の季節型を示す時期

場所＼型	冬　型	中間型	夏　型	中間型	冬　型
長　尾	～1/5	1/6～4/30	4/31～9/16	9/17～11/3	11/4～
宮　崎	～2/10	2/11～5/1	5/2～9/28	9/29～10/12	10/13～
野　川(1)	～3/12	3/13～4/3	4/4～10/16	10/17～10/29	10/30～
野　川(2)	～3/15	3/16～4/1	4/2～10/10	10/11～10/29	10/30～
有　馬	～4/11	4/12～4/28	4/29～10/19	10/20～11/3	11/4～
馬　絹	～4/15	4/16～4/28	4/29～10/17	10/18～10/29	10/30～

どの型でも一般に、0.1～0.2℃水温が上下するときは、水量変化にともない1～2日間で変わる。まれに0.3～0.4℃変化するが、この時は変化に要する日数も2～4日間と長時間かかる傾向がある。

本年1月30日の水温は長尾を除く5ヶ所で11.8～15.4℃の間、8月1日は15.6～18.0℃で、それぞれの場所の年変化のほぼ、最低、最高の水温を示している。また、最低水温が11.8℃と他より低い馬絹は夏の最高水温が17.2℃というように年較差も大きい傾向がある。

なお、地表から帯水層までの深さが35mと最も深く、湧出口付近が地表の影響を最もうけ難い長尾は12月末の水温が17.2℃と最高を示し、その後8、9月まで下降して、両月とも15.6℃になるといった例外的な水温を示した。

これらの水温の年変化をみると、季節の移り変りとともに水温が一方向に上昇、もしくは下降するのではない。冬ならば水量が増加すると1～2日間かけて水温が0.1～0.2℃上昇し、数日間以上この上昇したままの水温を保つが、その後の水量の減少にともない水温は0.1～0.2℃下降してもとの低い水温にもどることが多い。しかし、冬から夏へ水温が上昇して、その後の水量変化にともなって水温が下降しても、上昇前の水温まで下がらないこともあって、長期的にみると、少しずつ水温が上昇していることになる。夏から冬への水温の下降も同様な経過をたどる。

3月中旬までの冬型や、その後、中間型をへて示す夏型の時期でも、水量が変わっても水温が変わらないことがある。水量が変わっても型に最もなり難い地点は長尾で12月～3月下旬までに冬型を示した率は45%、一方ほぼ同じ時期で冬型を示す率の最も大きいのは馬絹で65%であった。これは第1に丘陵から湧出口に至る地形的条件、次に水量に大きく左右されるようである。湧出口付近の地形が気温の影響をうけやすく、水量が少ないほど、水量の変化にともない季節によるそれぞれの型を示し易い。

2)　深さ11.7mまでの地温の測定

気温が地温を左右し、この地温が湧出口付近で地下水温に影響を与えていると考える。これら外部の影響をうけない丘陵内部の帯水層にある地下水の水温が知りたい。この水温がわかれば、実際の湧水の水温が外部の影響をうけている程度などもわかる。丘陵内部の地下水温は、丘陵内部の帯

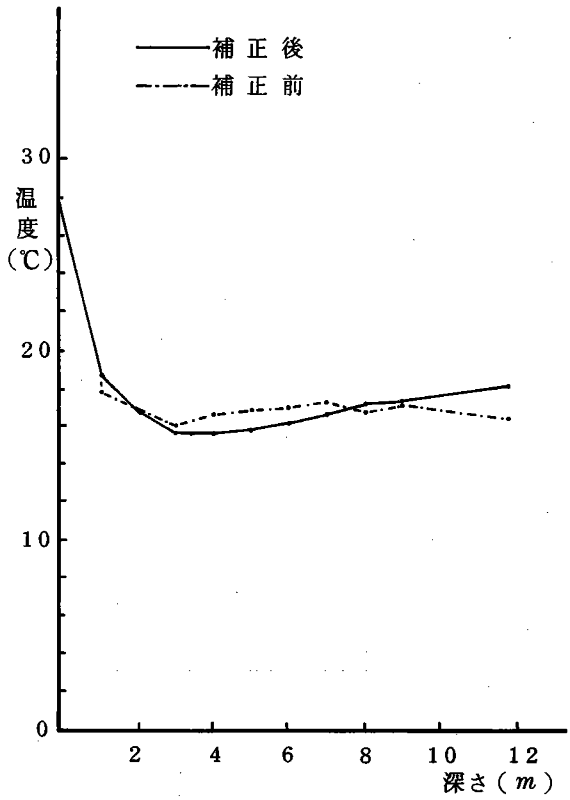
水層付近の地温とほぼ同じではないかと考えて、この地温を調べることにした。

校舎建設のためのボーリング資料によるとローム層は厚み10 m、その下が帯水層になる砂レキ層であることがわかっていた。そこで校内の隅に、業者に11.7 mの深さまでボーリングをしてもらい、この穴に4 mの塩ビ・パイプを3本継ないだものを地上に0.3 m残して、11.7 m分埋めてもらった。

このパイプの中に1 m毎に11本の地中温度計をビニールの紐で継ぐ。温度計と塩ビ・パイプの間に空間がなくなるように、温度計の球部付近と、上部に最終的にはスポンヂを巻き、引き上げるまでに温度計の示度が変わらないようにするとともに対流止めをかねた。11本目の温度計の先には鉛の重りをつるし、温度計が下に下がり易くした。

この対流止めの工夫は、苦闘続きで3ヶ月以上要した。ことに対流を止めるためにスポンヂを太くすると、パイプの4、8 mの継ぎ目に温度計がひっかかって、それより下に温度計が落ちなくなる。この継ぎ目を上からヤスリで削るなどの作業もしたが、結局完全に対流を止めることはできなかった。

図3　地温の補正法



対流を完全に防ぐことができなかったので、本来の地温と温度計の示度は一致しない。そこで補正する必要がある。この補正は、3～4 mより深い所では深くなるほど地温は高くなることと、パイプ内の全熱量は、対流がおきても変わらないことを前提として行った。

対流のために9 mより深い位置の温度が8 m付近より低いことが多い。このときは図3のように測定値をグラフ化し、8 m付近の実測値を下げて、その分の面積を9 mより深い部分に加えて補正した。

しかし、4 m、8 mでひっかかった場合は補正不能である。この4、8 mでひっかかると温度勾配は急になり、ほとんど同じ勾配で上がり続ける。しかし、4 mでひっかかったか8 mでひっかかったかは、11.7 mの示度で見当がつく。4 mでは16℃代、8 mの場合は17℃代となるからである。

この補正の結果は、図4のように11.7 mの地温は測定を開始した3月が最も高く18.4℃を示した。その後少しずつ地温は下がり9月には最低地温17.4℃となった。年較差は0.8℃である。

本研究 1)の湧水の水温の項で、長尾のみが12月に最高水温の 17.2℃、8、9月がともに最低水温の 15.6℃を示していること。また昨年調査した食品工場の深さ 150 m の深井戸の水温も冬高く（1月が最高で 17.4℃）、夏は 7月に 16.6℃と低いことと変化の傾向はほぼ一致する。

長尾のように厚いロームをのせた多摩面より、一段低い丘陵面である下末吉面の浅井戸（調査した 5 ケ所が該当）では、冬季はもちろんのこと、水温の上昇する夏季でも地温より 1.0 ～ 2.0 ℃も低いことになる。

このように帯水層付近の地温と湧水の水温の年変化の傾向が逆であること、また、地温より湧水の地温のほうが年中低いこと、年較差が地温よりはるかに大きいことの原因を追求する必要がある。

3) 湧水の水温と同一帯水層付近の地温が違う原因の追求

a： 湧水口とその付近の丘陵の高度差と地形

学校付近にある森下測量社より寄贈された測量道具一式を用いて、湧水口の標高を調べた。また付近の丘陵の標高は川崎市発行の 1/2500 地形図により求めた。その結果を表 4 にまとめた。この結果によると地表から地下水脈までの層厚は、有馬を除く下末吉面では20～31 m、多摩面に属する長尾は40 m もある。

一方、川崎市発行の「川崎地質図集 I 、II 」より21ヶ所の柱状図から下末面のロームと砂レキの層厚を調べて、その平均を求めた。その結果、ロームは 8.6 m、砂レキ

図 4　3.4.5 月の地温

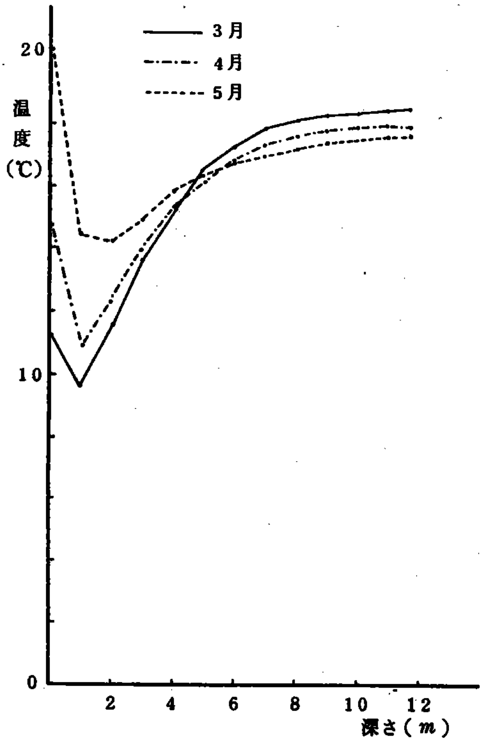
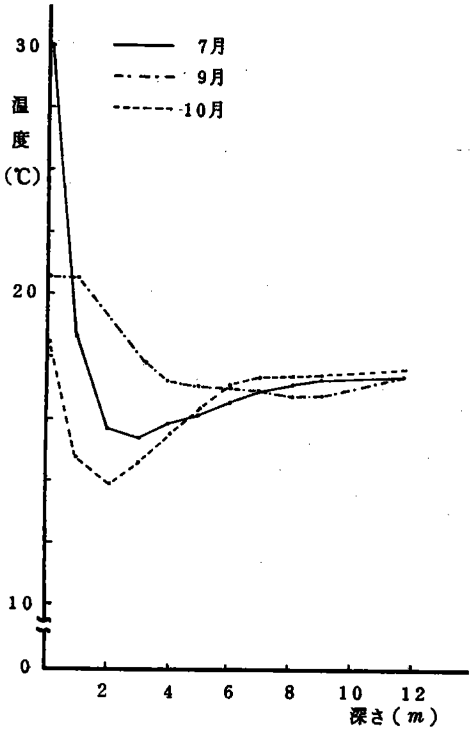


図 5　7.9.10 月の地温



は 6.3 *m*で計 14.9 *m*となった、また、築地書館発行「関東ローム とその性状」の柱状図によると下末吉面のロームは12 *m*を越えることはない。

したがって、表4の地表から水脈までの厚みと地質図集から求めた平均値14.9 *m*の差の多くは砂レキ層の厚みの違いであると考えた。湧水は多摩丘陵のへり付近から流出するが、一年中、水枯れのない、しかも一年中水温が測定可能な水量を保つ湧水は珍らしい。この特殊性は調査した湧水口付近の帯水層となる砂レキ層が他の所に比べて異常に厚いことにある。この原因は基盤の三浦層の不整合面にあると考える。すなわち、この不整合面は波状に上下しているが、この面が過去の地上であったとき、著るしく浸食を受けて凹地化した位置は後に海底になった時、厚く砂レキ層が堆積したと考えると説明がよくつく。

表4 湧水口の地理的条件

場所 ＼ 標高と方位	湧水口の標高(*m*) A	丘陵の高度(*m*) B	地表〜地下水脈までの層厚(*m*)(B−A)	湧水口の方位
長尾	21.8	62	40	北西
宮崎	20.5	48	27	南南東
野川(1)	12.5	44	31	南東
野川(2)	22.3	44	22	南
有馬	37.4	49	12	東南東
馬絹	29.4	49	20	西南西

湧水口の方位は表4のように南向きの所が多いが樹木や家にさえぎられて、直射日光は当らない。したがって、これによる水温上昇は考えにくい。

長尾、有馬を除く4ヶ所は、何れも丘陵より一段低く、しかも丘陵のへりから10〜20 *m*離れた位置に湧水口がある。

帯水層付近の地温である 11.7 *m*の地温より、どこの湧水も1年を通じて1℃以上低いなどの地温と水温の違いは、この湧水口の位置と、異常に厚い砂レキ層にあるのではないかと考えた。

b： 砂レキとロームの熱伝導性と保温性の違い

立川ローム、下末吉層の砂レキ、および下末吉層の砂のみの3種類について熱伝導と保温について調べた。

それぞれの試料を約 0.7 ℓとり、これをビニール袋に入れて、粒の間の空間がなくなるように、試料を入れた袋をたたいたり、ゆすったりする。その中央部に温度計を入れて袋の口を閉じる。容量13 ℓのバケツに 60 ℃の湯を入れ、これに試料の入ったビニール袋を入れて、試料の中央部が35℃になるまで1分毎に示度を読む。なお、バケツの湯は試料を入れて一杯になるほど入れる。また、実験時の気温は25〜28℃であった。

その結果、砂のみが最も速く20分で35℃、砂レキは47分、ロームは60分を要した。したがって、熱伝導性の最もよいのがレキまじりの砂、わるい物質はロームであることがわかった。

このように35℃になったらバケツの水をぬいて放置し、1分毎に温度変化を調べた。

その結果、伝導性と保温性は逆の関係となった。すなわち、レキまじりの砂が最も速く気温に近ずいた。

これらの結果から、ロームに比べて砂レキは気温などの外部の温度の影響をうけ易いことがわかる。

夏になると長尾を除き湧水の水温は上がる。しかし、それでも帯水層付近の地温より低い。季節により水温の上下する原因の大きな1つは、この砂レキの伝導性や保温性にある。朝8時から夕方6時まで8月の晴天日に1時間毎に湧水の水温を測ったことがあるが、その結果でも気温が上昇すると1時間以内に水温も上昇ぎみであるなどと、この伝導性などから説明がつく。

しかし、夏でも多くの湧水が帯水層の地温より低い事実は、この伝導性などからは説明がつかない。そこで、ロームや砂に水を含ませて気化のしやすさを調べることにした。

c： 砂とロームに含まれる水の気化による温度降下

33cm×26cm×14cmのプラスチック容器に、下末吉層の砂を6cmの厚みに入れたもの、同種の砂6cmの上にロームを2、4各cmのせた3通りの実験材料を各3ヶずつ作る。この計9ヶとも、容器に入れた砂やロームに隙き間がなくなるように水を入れて、上からよくたたいた。さらに粒どうしがしまるように日当りのよい所に2日間ほど放置した。このうち砂などの入れ方の違う容器各2ヶずつ計6ヶには再び水を加えて、ほぼ水で飽和させたもの（含水率100％とする）と含水率80％のものを、それぞれ3ヶずつ作る。一方、残りの3通り3ヶの容器は、砂、ロームを日当りで十分乾燥させる。なお、含水率をきめる前に、すべての容器で表面に球部がでない程度、砂の中央部、底部にそれぞれ温度計をさし込んでおく。

これらは、砂レキ層が外に露出している場合、砂レキの表面がローム（表土）におおわれているとき、またこのロームの厚さが帯水層である下末吉砂レキ層中の水の気化に与える影響を調べるためである。

上記の方法で作成した試料入りの容器9ヶを日当りに置き10分毎に温度計の示度を読む。乾いている試料の示度と、同じ砂やロームの状態の水分を含む試料の示度の差が、水分の気化熱により下がった温度と考える。

表5のように、結果はロームを表面にのせるほど気化し難く、含水率が大きいほど気化し易い。また、深い所ほど気化し難いことがわかった。

表5　2時間後の気化熱による温度降下

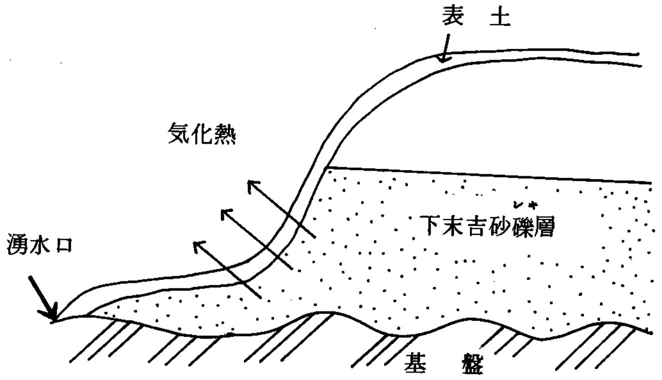
試料の表面＼含水率	100％（℃）	80％（℃）
砂のみ	2.3	1.3
2cmのローム	0.8	0.7
4cmのローム	0.3	0.1

d：結　論

ａに記したように、長尾、有馬を除く湧水は、丘陵のヘリから10～20ｍ離れた、丘陵より18ｍ以上低い位置に流水口がある。しかも湧水口付近はａのように砂レキ層が厚い。実際の地形などから考えて、湧出口付近は表土がうすく、すぐ砂レキ層になる図６のような地質断面が考えられる。

ｂの結果によると、砂レキは熱伝導性が大きく、保温性が小さいので、湧水は湧水口付近で気温の影響を間接的に受け易い。したがって夏は、このために丘陵内部の帯水層付近の地温より高くなってもよいはずである。しかし、実際には低い。これはｃのように、帯水層の砂レキ層から水が気化するために、湧水口付近の温度を下げるために、水温をさげるのではないかと考えた。

図６　湧水口付近の地質断面図



なお、本研究は昭和56年度川崎市立中学校　理科作品展で市長賞。神奈川県作品展で県知事賞。日本学生科学賞中央審査で三等賞を受ける。