

日本学生科学賞出品作品

論 文 集



地学クラブ

栃木県立那須農業高等学校

目次

巻頭言	学校長 福光正芳	2
読売学生科学賞と地学クラブの体験	教諭 堤橋昇	2
河原の石	伴昭男	4
発刊にあたり	山水会会長 狸塚明雄	5
先輩	A・I生	6
昭和32年度 那須野が原の地下水の研究		7
〃 33 〃 〃 〃		20
〃 35 〃 那須火山の地質と温泉の研究		47
〃 36 〃 那須野が原地下水の研究(総合編)		61
〃 38 〃 栃木県内における浅層地下水および温泉の研究		101
〃 〃 〃 那須野が原の地下水について		151
〃 39 〃 川のはたらきによる災害予防の研究 (雨水川水による浸食運搬たい積の基礎的考察)		162
〃 40 〃 岩石風化の研究(地学的災害予防の研究その2)		182
〃 41 〃 岩石風化と土砂流出の基礎的考察(地学的災害予防の研究その3)		195
〃 42 〃 蛇尾川の地学的研究		235
〃 43 〃 蛇尾川の地学的研究 その1		269

巻 頭 言

学校長 福 光 正 芳

若い人はいかなる時でも「活動的」であってほしい。自然は、天体は、瞬時の休みもなく動いている。地球もすべての天体も怠けることは出来ぬ。これが自然である。

この自然にむかって地学クラブの君達は年々こつこつと一日も休むことなく、黙々として不断の努力をつづけて今日をきづきあげてきた。この地学クラブの諸君は毎日の努力こそ青年として大きな夢を描き、才能や手腕を信じて洋々たる前途に希望の胸をふくらませ、学校生活から卒業後の偉大な仕事に約束づけられていることを私は強く感じる。

次の言葉が君等の社会人としての良き自己反省になれば幸と思う。

人間はよく働く人こそ知恵の深い人ということが出来る。学問をしても怠け者は知者ではない。怠けていることが働いていることよりも幸福だと考えている人はみな愚かな人である。怠け者に限ってすこしでも自分に都合の悪いことがあると、真先にとび出すのである。

依頼心ばかりつよくて自ら活躍をひらこうとしない。そのくせ不平不満は人一倍多くもらし、自分の欲望を抑えようとしないのである。思慮の深い人々は黙々として己の義務を果し、しかも自分に課せられた仕事に感謝してどうしたらもっと仕事の能率をあげることが出来るかと更に工夫を加えるのである。

勤労に悦びと幸福を感じないものが、どうして成功することが出来る。怠惰の罪は死に値するものである。故にゲーテも自然は瞬時の休みもなく動いているのに、もし怠けている人間があつたら自然から死刑を宣告されるだろう。と警告している。

この様に私達は自然を理解し常に自然にむかって努力と強い希望をもとめ、生甲斐を通して本当に立派な人間になりたいものと思う。

読売学生科学賞と地学クラブの体験

教 諭 提 橋 昇

大きなリュックを背負い、電気探査の機械を、両手で支えた生徒と待合室などで休んでいると地域の人々は、いとも気軽に話しかける。「きょうは水ですか」・「クラブですか」と。その対話に、端的ではあるが、親しみが満ちており、そこには、ほのぼのとした心の触れあいがある。また、より一層心のひきしまる思いがする。このふん囲気の発露が、地域の地下水開発と取り組んできた「地学クラブ」活動の年輪かも知れないと思うきょうこのごろである。

クラブは、昭和26年にスタートし、現在に及んでいる。クラブ活動は、地下水関係の調査だけでも約3,000箇所、延約600日、そして本校男子の卒業生総数にも匹敵する2,400人が、実地に衆目の中で厳しい評価を直ちに受けるという試練に立ってきた。その間に「読売学生科学賞」の制度を研究試練の場として幾多の経験を発表しながら歩んできた。

これら幾多の体験の累積により、創造欲というか、ある目標に向って、信念をもち切り開こうとする意欲も、自然にそなわり、高まってきたのだと信じる。この意味において、今まで歩んできた「地学クラブ」活動の体験過程の一端をここに紹介したいと思う。

初期の体験（昭和26-昭和29）

指導のわたしと生徒も地下水学に関しては全くの素人。加えて地域伝来の迷信や、神がかり的な考えなどが強く、身にふりかかるものは障害と失敗の連続ばかりであった。例えば、地下水系調査で薬品投入実験の場合なども、薬局から最良品の食塩を数箱買い求め、井戸の持主立ち合いのもとで封を切り、自らの口に入れて安全性を確かめ、さらに井戸の中に薬品投入後もその水をのんで不安感を取り除き、さらに残りの一箱を土産として差し上げたものである。また、苦勞して井戸を借りたものの、地下水の流れについては予想がたたず、夜中まで井戸の前にたたずみ、自転車の発電機を回して、採水、検査したことや、費用の関係で薬品を使い惜しみ、濃度が薄くて判定できず、薬品代一切ムダにしたこともあった。行動を共にした当時のクラブ員は次のようにつづっている。「調査が授業終了後のため、検出には夕方から夜になることが殆んどで、あるときは自転車のライトを輝かせながら、今か今かと期待に胸おどらせながら懸命に頑張りました。検出された時の喜びは大変なもので、皆で手を取り踊りだすしまつてした。このように苦勞して地下水の流速の実態をつかめたことは忘れ得ない—こまでした。」

（地学クラブOB、山水会誌より）

水とのたたかい（昭和30-現在）

昭和30年、待望の電気探査の機械を自費で購入した。県派遣の地学内留で基礎技術を学び学校農場を実験の場として行なった2年間にわたる地下水系調査資料を土台としての電探調査こうして地域の地下構造と地下水の実態を求める日々が続いた。そして、昭和32年、はじめて読売学生科学賞が制定され、才1回に今までの成果を問う意味で出品し、幸い県で最優秀賞の知事賞を受けたが全国入賞は逸した。しかし、この県入賞がきっかけとなり、西那須野町役場からはじめての水道用地下水源の探査依頼があり、この外部才1号調査の成功が現在のように地域社会とのつながりを得た原動力になったともいえよう。とくに、この調査でたてた予想と実際の結果がでるのを待つ時間の長さの長かったこと、真剣勝負にも似た激しさをはじめて体験したものである。これらの経験はわずかな時限において、人間の苦しみ、喜びを無言の中に厳しく与えられ、さらに、発展と自信を与えてくれた。その翌年、再び読売学生科学賞に出品すると県で最優秀賞、さらに、全国で待望の総理大臣賞を獲得した。出品過程でのエピソードを野州百話の中から拾ってみよう。

「中央審査に出すため、セツコから作った地下水構造模型がトラックで東京に送る途中、ぼろぼろになって送り返され、新たに作ろうにも審査まであと2日、とても無理だとあきらめ「来年総力をあげよう」と生徒に話しました。ところが生徒はあきらめず「先生何をいうんです。設備もあるし、徹夜してやればできます」と、学校の米の乾燥機を使って、全員裸かになって徹夜で修理にかかりました。その時の生徒の真剣な表情、はつきり覚えています。

「何としてでも出そう。その執念でやっと間にあいました。出品した後も壊れてしまうのではないかと心配していたところ、何と総理大臣賞の通知、夢ではないかと思いました。なにごとにも、まずやってみることだ—と生徒から、かえって教えられました。この入賞で自信を得て「からだをはって人の3倍やれ、能力にはこだわるな」という地学クラブの合いことばになりました。」これをきっかけとして、読売学生科学賞とは切ってもぎれなくなり、昭和34年、昭和36年と県・全国で入賞し、昭和38年には再び全国才1位を獲得した。当時のクラブ員は次のようにつづてくれた。「学生科学賞日本一の夢は再びわたしたちの胸に抱かれたが、この作品を出品するまでの期

間、わたしたちの胸にはいろいろな思い出が浮んでくる。からっ風の吹く寒い日、みぞれの降る日また真夏の炎天下、数多い電気探査、とくに、那須岳清水平での電気探査は強風が吹き荒れ、小石の飛ばさなかで実施し、さらに、あるときは峰に追い回され、先生といっしょに顔をふくらませたこと、三斗小屋での先生自慢の手作り料理での楽しいキャンプ、中でも最も印象に残るのは合宿、授業が終ってから明け方3時までの室内作業「人の3倍」「人の3倍」を口ずさみながら、眠いのを忘れ、先生とともに頑張った一週間、これらのことは将来においても心の支柱となる思い出である。こうしてあとは審査の発表を待つのみとなった。10月20日待ちに待った通知がきた。それはわたしたちが夢にまでみた日本一であった。自信はあったが、これほどまでの入賞はとても予想していなかった。何ともいい表わせない感激であった。11月3日晴れの表彰式。わたしたちはこの感激を忘れることなく、さらにクラブ活動を盛り上げ、この日の喜びを再び後輩にもたらしべく、努力を誓いあったのである」(山水会誌より)これら数々の試練を経て、共に苦しみ、共に喜びも味わってきたが、本校生のように農家に育ち、農業を志す生徒にとって、地域農村に対する小さな技術的奉仕にその労が報われた時ほど嬉しいことはない。ここに、地域の人たちから届いた感謝の手紙の一端をあげてみよう。

「2日半日で約7メートルほど掘り下げましたところ、豊富な地下水に恵まれました。ほんとうに夢のような一瞬でした。地層も書いてくださった図と寸分違わず正確さにはただ驚くばかりです。わたしは今まで5本の井戸を掘りましたが、皆失敗に終わり、失望のどん底にたたき込まれた毎日でしたが、一挙に一町歩余の水田の水不足が解決されました。ことさらに水で苦労してきた年長いた母の喜ぶ姿をみては、わたしは一人目頭をおさえました。幼い子どもたちも水不足については、さらさらしみており、「父ちゃんよかったね。」の連発でございました。近所の人たちからも祝福され、ほんとうにわたしたち家族にしては暗夜に光明を得た喜びでございました。生徒の皆さんにも心からお礼申し上げます。」(宇都宮市新里の農家のM氏より)これら感謝のことばが調査をとおして生きる喜びであり、創造に結びつく推進力になったものと思われる。こうして那須農高地学クラブは在校生と卒業生(地学クラブOB山水会)が常に一致協力しながら、一つの目標に向かって、過去に学んだものを語り、その経験を生かして、現在を築き、未来を追うという一貫した流れの上に立ち「人の3倍」を合いことばに、今なお歩み続けているのである。

河 原 の 石

教 諭 伴 昭 男

私の家は簗川の近くにある。まだ幼少の頃よく河原に遊びに行ったものだ。そこで目についたのは石ころである。その当時は何げなく石を拾い、集めたりまたきれいな石があると、さも貴重なものを見つけたようにポケットに入れ持ち帰ったものだった。その頃、持ち帰った石がまだ私の机の中に入っている。それをいま、手にしたとき何とも言えない感慨にふけることが度々である。河原の石ころ1つをとりあげても、色のついた石、やわらかい石、硬い石、丸い石、角ばった石など種々な様子を呈している。またこれらのことより、成分のちがひ、起源、流下距離など想像することができる。

私が地学に興味を持ちはじめたのは、大学2年の頃からである。何げなく聞いた岩石学の講義に

興味を覚え、それから地学にとりつかれてしまったように記憶している。

いま本校で地学を教え、クラブ指導をしているが、私が赴任してきた当時は、地学クラブの業績のあまりにも大きいことに驚嘆させられた。あれから7年、いまは地学クラブを、提橋先生より引き受け曲りなりにもやっている。しかし、いまから3年前、提橋先生より地学クラブの指導を任せると言われたときは、どうしようかと迷ったものだった。その年、私の指導した地学クラブの作品は、学生科学賞県展にして、優秀賞にとどまりガツクリしたり、当時のクラブ員には申し訳ないと思ったりして悩んだものだった。しかし、悩んでばかりいても良くはならないと思いたち、翌昭和42年度は蛇尾川を中心に研究を続けることにし、夏休みも返上してクラブ員とともに、暑い中を水もない川を1日中調査したものだった。この調査をしているとき、ふと幼い頃、簗川の河原で石ころを拾ったことを思いだしたりして、勇気づけられたものだった。このときの苦労の代償があつて県展で最優秀賞、中央展で3等賞を受けることができた。そのときのうれしかったことは、いまでも良く覚えている。しかも、その時の作品仕上げのための徹夜作業も、いまはなつかしく思えてならない。そして、昭和43年度、4月頃は学生科学賞への出品を見送ろうということになりかけたが、3年生の希望も強く出品することになった。夏休みには、熊川の支流にキャンプを張り、雨に打たれながら調査したり、また資料が不足していたため、9月の寒い日、簗川の関谷まで出かけて行き、ふるえながられきの運搬実験をしたり、首、腰まで水につかりながら、河床勾配測量したことなどが、つらくも、なつかしいものとして思い出される。幸い県展では最優秀賞、中央展では1等賞と昨年よりやや成績が良かった。しかし今日の成績は、今年だけのものではなく、地学クラブの先輩諸君が築いてくれた伝統と、その業績を守ろうとする現クラブ員の努力があつたためである。私達1人1人は河原の石に例えれば、小さな忘れられた石かも知れない。しかし、この小さな石も河原を構成している人だ。小さな努力も積み重ねられると、大きな力を発揮するんだということを再認識しよう。これからも地学クラブの研究活動は続くであろう。地道な、そして人知れず努力すること。これを続けることによりいつしかは、その努力が報いられる。かりにそれが報いられなかったとしても長い人生のうち、この事にだけは全力を注いだということは良い思い出となり、きっと将来プラスになるだろう。このような意図と、本年度学生科学賞 中央展において、1等賞を授賞したことを記念して、地学クラブの歴代作品集を作ることにした。この論文集作成にあたっては、現クラブ員の熱心な原稿整理があつたこと、校長の深い理解があつたことこそ同時に、本年度学生科学賞中央展にて、1等賞授賞の記念品代として、学校よりいただいた2万円を使わせていただいたことを記しておく。

発 刊 に あ た り

山水会会長 狸 塚 明 雄

この度、那須農高地学クラブにおいて、日本学生科学賞の才1回より才12回までの出品作品を記念編集されるに当たり、元地学クラブ員であつた者で構成されております山水会を代表し、御祝いを致します。願ひみて、私も才1回の科学賞に出品した当時のクラブ員の1人でありました。現在の地学クラブ員の地下水調査と私達の調査とは、誠に比較にならないものがあります。当時は、大変初歩的な地下水調査であつたものです。水位、地下水流方向などはすべて薬品の

那須野が原の生いたち
模式図

図 1

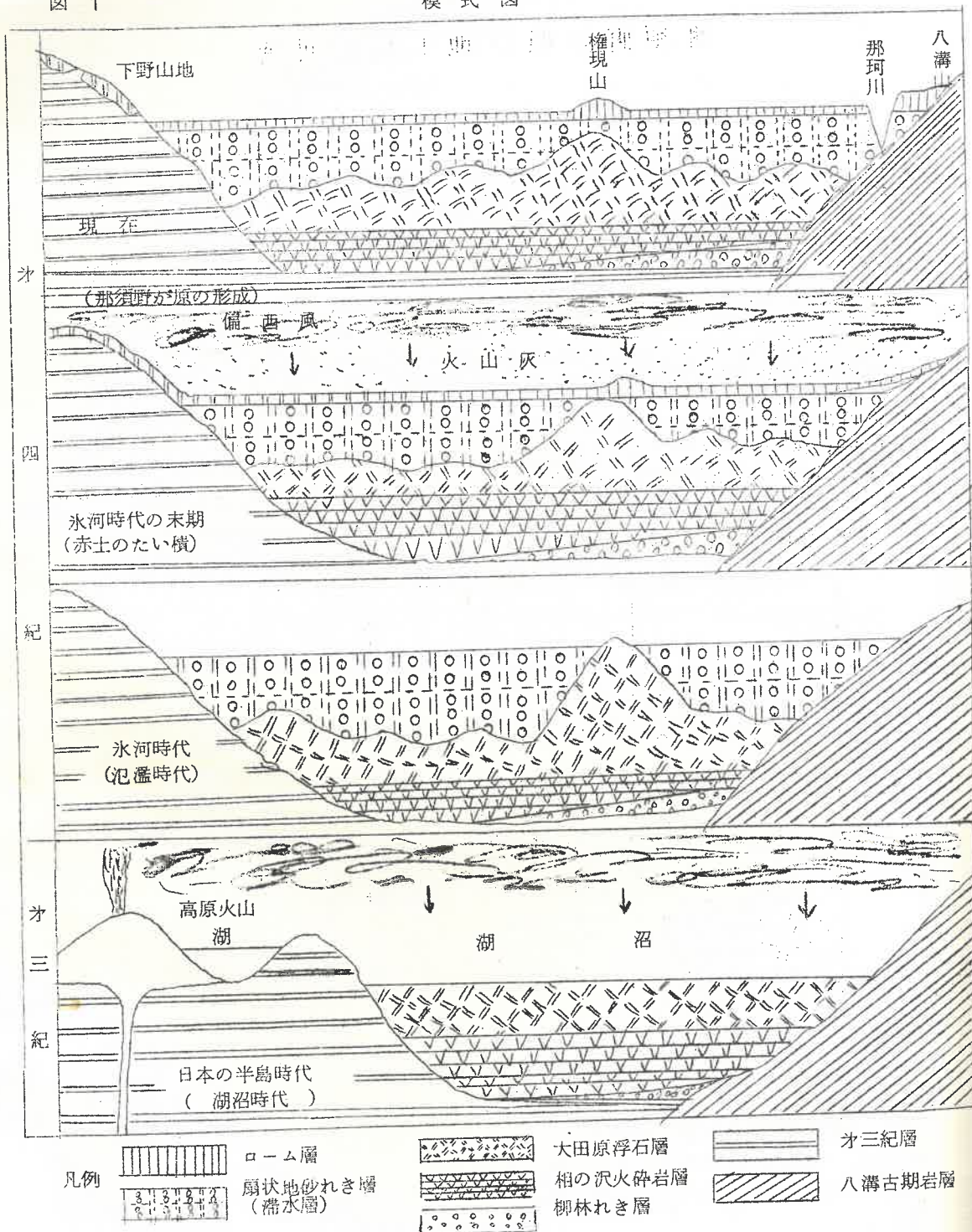
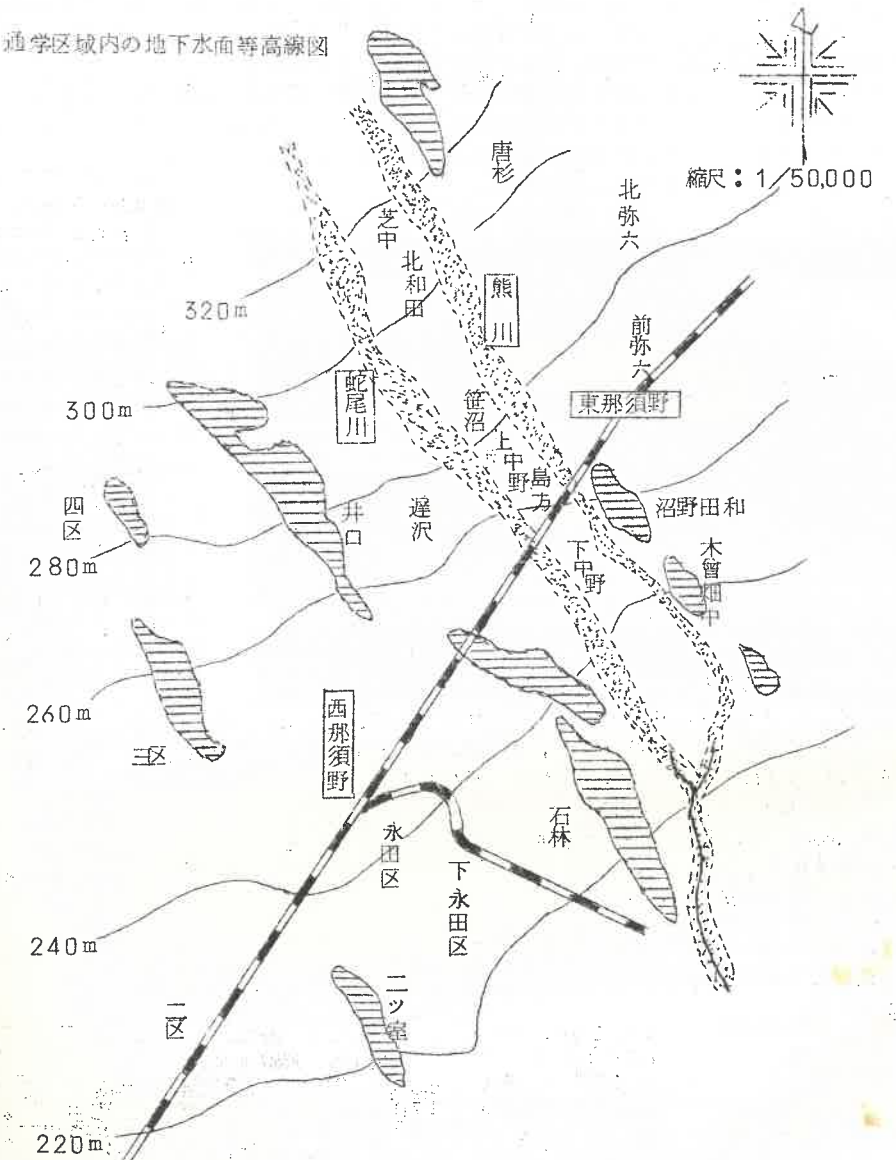


図2 通学区域内の地下水面等高線図



り、その下位に大田原、野崎の崖に見られる浮石混りの火山灰層がある。(大田原浮石層と名づける) 前者の扇状地砂れき層が滞水層となり、後者の大田原浮石層が不透水層となっている。大田原浮石層は塩原の植物化石層と似た時期で、でき方の等しい湖沼たい横層だとされている。この火山灰や浮石のものは高原火山である。

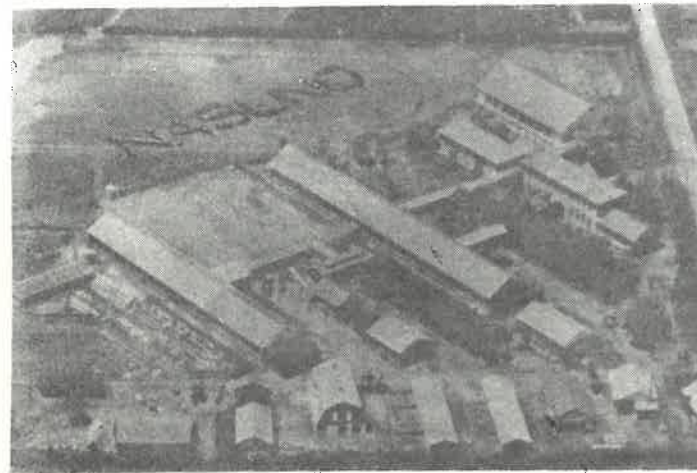
このおいたちは地下水と密接な関係がある。

すなわち湖沼時代に西方の高原火山から多量の浮石と火山灰が供給されてその後期に大田原浮石層が形成された。その後地盤が隆起したため湖沼は消失した。

この時西方の山が高いので、その流水により、この広大な台地の下刻作用が進行した。この河川は幾条もあり、河底が当時の侵食基準面まで達するところに、側刻が激しくおこりついには流路に平行な数列の雁行するけずりのこされた丘(権現山丘陵、烏が森丘陵等)を残しただけであとは、けず

りってしまった。このような浸食作用と同時に、河床勾配の急な山地から流下する河流は、多量の砂れきを選びこれを河底におとして扇状地を形成していた。後にこの上に浅間起原と思われる火山灰が降灰して地表を薄くおつた。これがこの付近の赤土である。

(図1)。以上のことから砂れきに埋められている部分は河川の浸食作用によるもの、つまりもとの河底であるから当時の河道の中の心部が深く両岸に当る部分が浅いということが当然考えられる。すなわち基盤の高まりでは砂れき層が薄くて井戸水の水量が少なく、凹地では井戸水の水量が豊富であることが推定される。



大田原浮石層は地下水と密接な関係がある。

すなわち、湖沼時代に西方の高原火山から多量の浮石と火山灰が供給されてその後期に大田原浮石層が形成された。その後地盤が隆起して湖沼は消失した。

(3) 地下水系調査

A 調査の方針

前述の地質上からの推定に基き基盤の凹凸を立証しなくてはならない。その目的で行なったのが地下水系調査である。これは井戸を利用して、薬品を投入し、井戸間の連絡の有無から流

路を把握することである。

実際には流量の多そうな井戸が地下水の流れの方向に2つ以上あるとき、上流の井戸に薬品を投入し下流の井戸水を一定の間隔で汲み、その濃度の変化を調べる。この場合Aの井戸に入れた薬品がB井戸で検出されるには2条件をみたす必要がある。

- (1) Aの井戸がBの上流に位置する仮定が正しいこと
- (2) 投入薬品の量はBの井戸で十分検出できる量を入れること。
- (1) 条件をみたすために、通学生全員で同じ時間に地下水位を調べた2図のような通学区域内の地下水面等高線図を作った。(表2の①・②)

表2 水位測定表

西那須野地区

その①

所在地	水面までの深さ(m)	井戸底までの深さ(m)	湛水深(m)	地盤面高度(m)	地下水面高度(m)	備考
二 区	4.00	10.50	6.50	227	223	山科氏宅
二 区	4.65	9.35	4.70	228	223	代田
二 区	5.10	9.00	3.90	222	217	島屋
永 田 区	7.50	13.20	5.70	248	241	小金沢
永 田 区	7.20	10.80	3.60	247	240	新田
永 田 区	4.00	10.00	6.00	244	240	滝田
永 田 区	2.80	8.70	5.90	238	235	岡崎
下 永 田 区	2.85	10.30	7.45	238	235	高室
下 永 田 区	1.80	6.35	4.55	238	236	室井
加 治 屋 区	7.00	8.50	1.50	215	203	興野
加 治 屋 区	4.50	5.40	0.90	215	211	石橋
三 区	4.50	13.20	8.70	265	261	山田
三 区	7.00	12.00	5.00	263	256	市村
三 区	12.30	18.15	5.85	269	257	佐々木

三 区	4.80	13.50	8.70	260	255	寺崎氏宅
二 区	9.60	11.40	1.80	245	235	新保
二 区	10.50	12.60	2.10	238	228	中村
二 区	6.00	10.50	4.50	238	232	渡辺
二 区	6.00	12.00	6.00	243	237	栗原
二 ツ 室	5.40	9.90	4.50	243	238	佐藤
二 ツ 室	7.00	9.00	2.00	245	238	丸川
二 ツ 室	6.20	13.00	6.80	228	222	田島
二 ツ 室	5.50	8.80	3.30	245	240	神山林
四 区	8.00	10.00	2.00	294	286	小益
四 区	9.30	11.40	2.10	288	279	村藤
五 軒 町	5.00	8.50	3.50	253	248	後藤
五 軒 町	7.50	9.00	1.50	251	244	中村
三 島 西 畑 中	6.90	11.70	4.80	263	256	滝島
三 島 西 畑 中	5.00	10.60	5.60	261	256	滝島
三 島 西 畑 中	6.43	9.58	3.15	261	255	滝島
三 島 東 赤 田	12.00	12.90	0.90	287	275	滝島
三 島 東 赤 田	12.00	14.40	2.40	289	277	滝島
三 島 東 赤 田	3.60	9.00	5.40	250	246	梅井
三 島 東 赤 田	4.20	9.60	5.40	250	246	梅井
三 島 東 赤 田	4.00	10.00	6.00	256	252	小島
三 島 東 赤 田	4.80	9.00	4.20	253	248	小島
三 島 東 赤 田	5.00	10.20	5.20	261	256	滝島
三 島 東 赤 田	3.90	11.40	7.50	252	248	滝島
三 島 東 赤 田	5.10	8.40	3.30	267	262	滝島
三 島 東 赤 田	6.18	8.39	2.20	252	246	滝島

その②

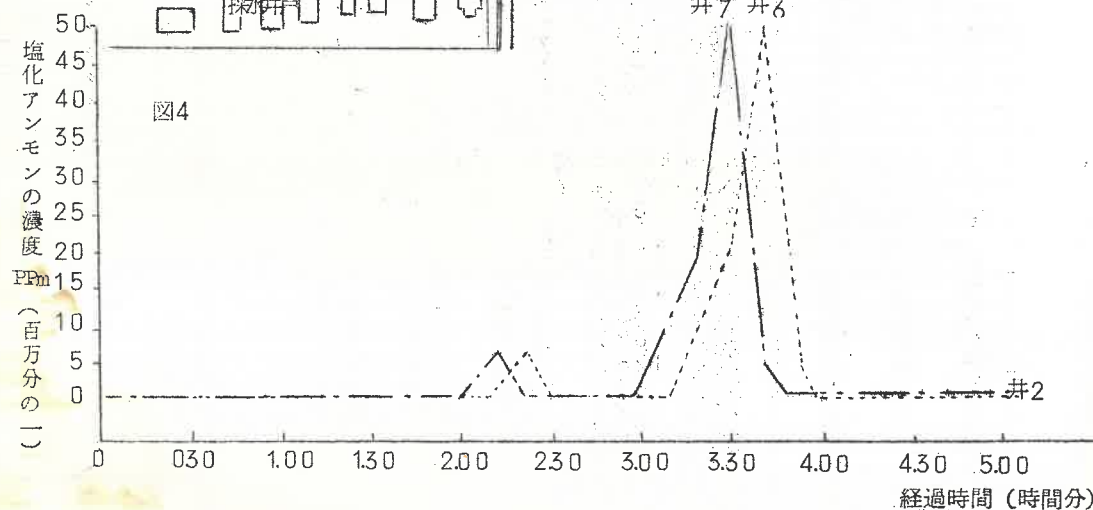
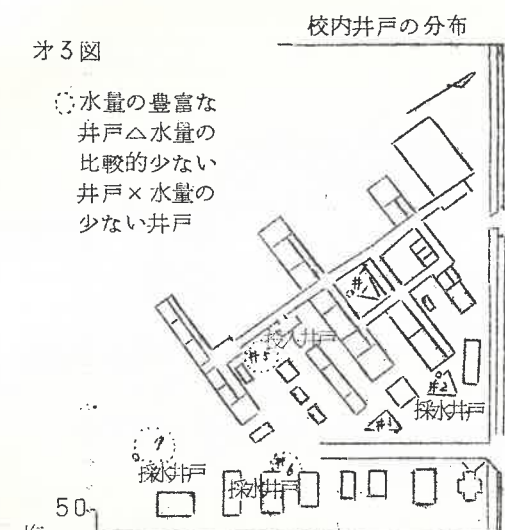
所在地	水面までの深さ(m)	井戸底までの深さ(m)	湛水深(m)	地盤面高度(m)	地下水面高度(m)	備考
南 郷 屋	7.10	9.60	2.50	247	240	林氏宅
大 東 去 塚	6.00	12.00	6.00	244	238	大根田
西 東 澤 沢	5.80	11.70	5.90	268	262	松本
上 井 口	3.20	11.40	8.20	274	271	相馬
上 井 口	4.00	8.00	4.00	275	271	渡辺
上 井 口	4.50	10.80	6.30	274	270	大島
上 井 口	7.50	12.60	5.10	270	263	薄井
石 林 林	5.40	6.00	0.60	234	229	薄井
石 林 林	2.10	3.90	1.80	230	228	薄井
石 林 林	3.30	5.80	2.50	233	230	薄井
石 林 林	3.00	5.40	2.40	227	224	薄井

東那須野地区

所在地	水面までの深さ(m)	井戸底までの深さ(m)	湛水深(m)	地盤面高度(m)	地下水面高度(m)	備考
方 京 沼	7.80	12.80	5.00	282	274	室井氏宅
方 京 沼	6.60	15.80	9.20	292	285	薄井
方 京 沼	6.60	12.60	6.00	292	285	笹沼
三 本 木	6.00	12.60	6.60	261	255	笹沼
三 本 木	3.90	9.90	6.00	259	255	緑川
北 野 田 和	7.20	20.40	13.20	303	296	伊藤
北 野 田 和	3.50	7.50	4.00	256	253	市村
北 野 田 和	3.96	7.30	3.34	249	245	関谷
木 唐 會 畑	2.40	4.50	2.10	248	246	山井
木 唐 會 畑	14.64	22.24	7.60	310	295	室井
北 弥 六 六	8.00	11.00	3.00	268	260	松本
北 弥 六 六	7.30	18.00	10.70	286	279	野井
上 弥 六 六	9.90	12.00	2.10	281	271	室井
上 弥 六 六	6.90	13.20	6.30	283	276	加藤
上 弥 六 六	6.60	13.50	6.90	284	277	加藤

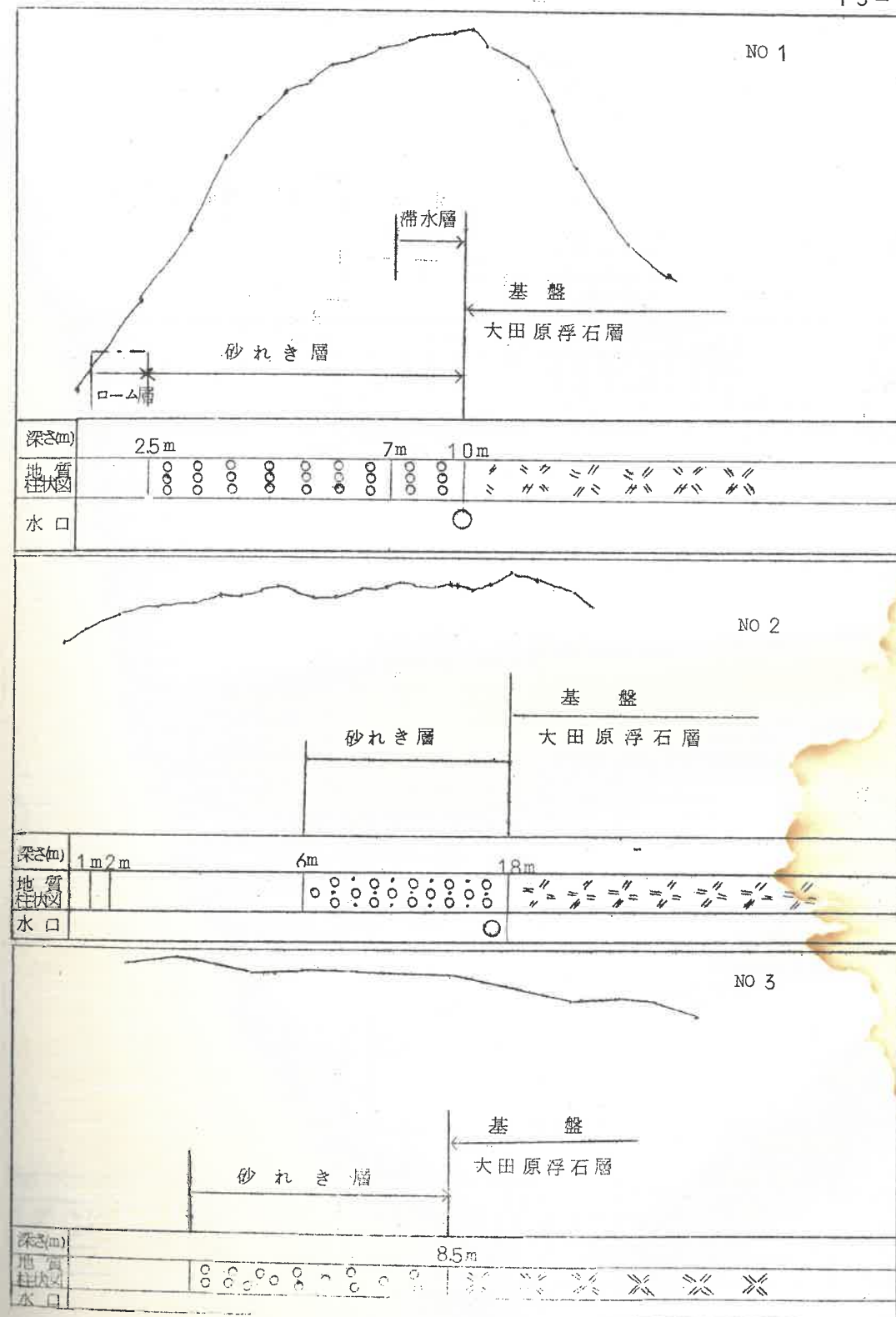
図3 図

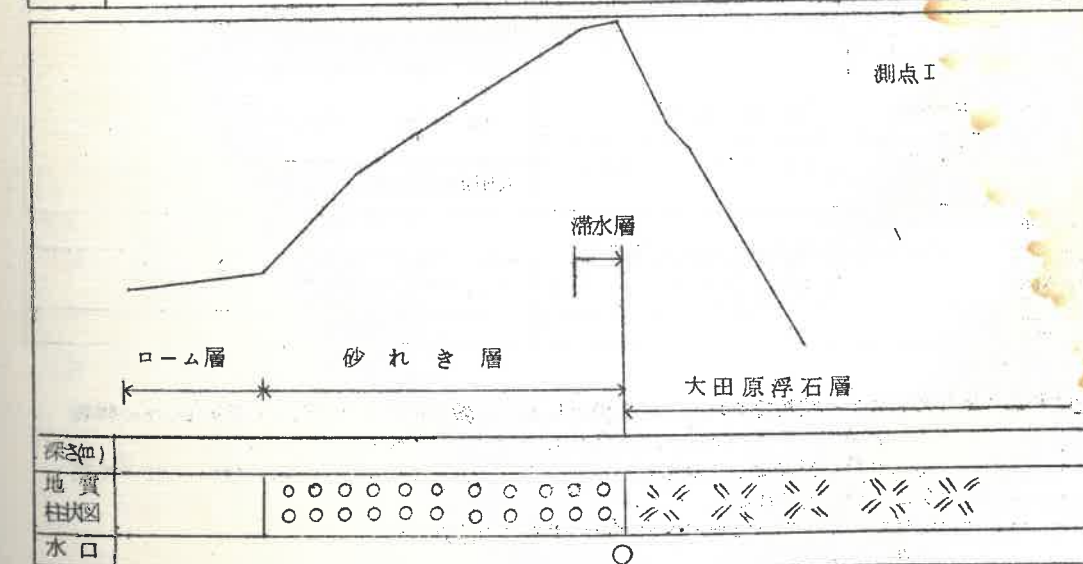
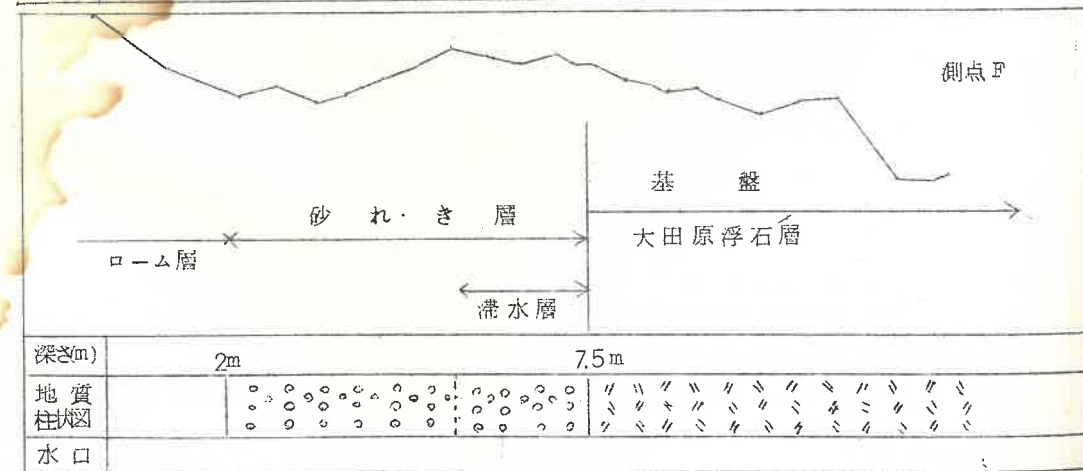
● 水量の豊富な井戸
△ 水量の比較的少ない井戸
× 水量の少ない井戸

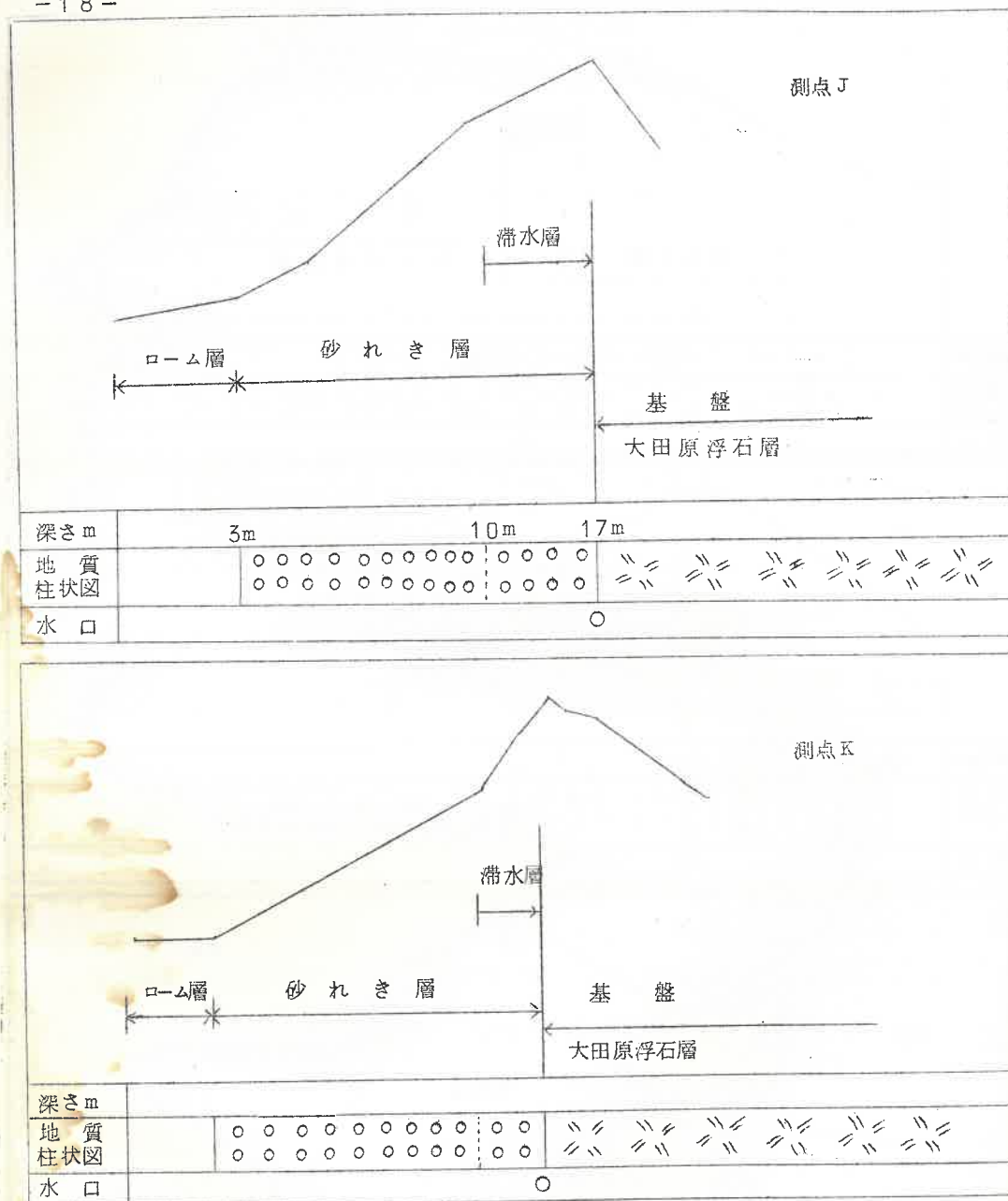


(2) 条件をみたすために、汲み井戸で確認できる薬品濃度 (今回は塩化アンモン) を標準液 (ネスラー試薬との反応による沈澱色アンモニアの検定) から求め、投入井戸の薬品投入量を安全率をみて汲み井戸で確認できる濃度の5~10倍の濃度になるべく考慮した。

校内には図3のよう井戸まである。この中で湧水期でも豊富に出る井戸は井井井井で井井井井は湧水期には欠乏するかわずかの水を堪えるに過ぎない。これらの既設井戸からみれば井井井区域内に優勢なる水系が考えられる。従って水系調査は主流に近い上流の井戸井に薬品塩化アンモン3kg投入し、下流の井戸井井井で5~10分間隔で採水した。尚採水した管びんには井戸名採水番号、採水時間を書いたラベル







をはり順にならベネスラー試薬でアンモニアを検出しその沈澱の色により比較定量分析した。尚薬品投入前に名井戸水を採水し、アンモニアが含まれていないことを確めた。才4 図

実験の結果、井井は濃度が大きくその変化も判然としているが、井は全反応が見られない。従って主流は井井間を通ることが推定される。

※ 井は動力で揚水しているので測定に誤差を生ずるので除外した。

(4) 電氣探查

以上の実験の結果主流が井井の間を通るとすれば前述の地質上からの仮定に基ずき基盤の凹地でなければならぬ井井は基盤の高まりでなくてはならない。これを確認するため提橋教諭の指導のもとに電気探査を実施した。

電気探査は岩質や水の存在状態により電気の比抵抗値の差にあることを利用したものである地点の地表から地下何mまでどんな地層か、地下水はどのくらいの深さからか基盤は何mかを調べる事が可能である。

電気探査で地下水の流路にはほぼ直交する方向の断面における基盤の凹凸を調べた。測線は流路に平行にはり深さ0.5~1 m間隔で地下30 mまで行った。電気探査は協同作業で、機械をあつかうもの記録するもの、2本ずつの極を取扱うもの8名(ポールさし4名電線もつもの4名)総合10名で行った。

これによると、測点1における基盤の高まりは地下約2.5 mに過ぎなくこれを境にして西側（測点5，6）は割合浅い谷で東側は測点2・4間で深い谷1.8 mが認められそれから除々に基盤が高まり再び測点K-I間、J測点において谷が認められそれから東進するに従い基盤は高まり測点Eにおいて基盤の高まりは地下約5 mになる。電探測定値を再確認する目的で測点Iを堀削し大田原浮石層を発見し電探の結果と矛盾していないことを知った。又ここではローム層以後の河跡がありこの中からも浮石を発見した。これは河の流路が基盤の大田原浮石層を切って流れたためその一部を侵食したものであることが明らかになった。

〔 5 〕 結 論

[illegible]

しかし、地下谷に、位置する井戸は、渇水期においても滞水層が厚いので水量は常時とあまり変わらないが、今後この地域で地下水を利用する場合、豊富な水を期待するには地下谷を発見することがカギである。

以上が校内地下水に関する地学クラブの研究であるが学校施設上又は開田事業等で地域社会への一助となれば幸である。

研究者名簿 (32年)

[illegible]

昭和33年度

那須野が原の地下水の研究

〔1〕 まえがき

昨年度才1報は、校内を実験場として、豊富な地下水は、地下谷にあるという考えを発表したが、本年度は、まれにみる異状湧水で、河川に乏しい那須野が原においては、飲料水はもちろん、かんがい水も地下水を利用していただけに生活面に非常に衝激を与えた。昨年に倍加する水不足を来し、従来利用の井戸も使用に堪えなくなり、昨年度研究の実証を行なう機会に恵まれた。したがって才2報は、才1報の地下谷に豊富な地下水があるという実証を目標の中心において、これら調査過程からいろいろの問題を見つけこれを手がかりとして次々に依頼された調査に当り、問題点の疑問を解決する方針で進んだ。記録としてはじめて研究過程のありのままを記述し、次に過程をまとめて本文とした。

〔2〕 本校内および学校農場の地下水の賦存

(1) 前回発表の地下谷の実証研究の歩み

本年は東日本全体に及ぼした半世紀ぶりの異常湧水で、那須野が原においても川がないため、居住者全体が地下水に依存しているもので、その影響は大きかった。農家においては、とくに開田も軌道にのつただけに、田植え時期とからんで混乱し、また一般の家庭でも今までの水位で充分なだけしか掘ってなかったため、湧水井戸が方々に現われ、水くみ行列が各所でみられた。

本校内においても、昨年研究してわかった豊富な地下水系上にある井戸が水を堪えたのみで、他の井戸は完全に湧水してしまつた。しかし、その井戸も掘りたらないため、放課後掃除に使つてしまうと、しばらく使えずとくに家畜に対する飲料水の補給には、しばしば事欠くことがあつた。そこで水の話は毎日であるにもかかわらず、誰もがただ雨天のみを期待していたため、ずるずる日がびるだけで益々湧水がひどくなる現状であつた。それで3月末、完全に困り果て地学クラブに学校より、どこでも良いから出る所を掘ってもらいたいという話があり、ここから研究の実証が始まつた。

A. 井戸掘り

地下水系調査と電気探査から井5、6を結ぶ線が豊富な水系であるということを手前ではきたものの私達の結果が地下水の問題点であるし、また、はじめての経験であるので、失敗すれば大きな費用をむだにするし、信頼もなくなるので井戸だけは、私達クラブ員で掘ろうと決心した。しかし、先生よりかたく断われ、失敗は成功のもとと励まされ井戸屋に一任した。ここで井戸の中心を決めるときは、全員がきんちょうな顔で見守る中に、部長が行つた。それで、9時に井戸掘り開始、砂利揚げは、クラブ員が交代で行つた。最初2m、赤土(ローム)が続いて砂れき層、常に黒板に掲示した。電気探査解析図と合わせ、水位はほぼわかっているものの心配で、砂れきを揚げるたびに湿つてこないかどうかを確かめつつ進んだ。それで才1日は5mで終つた。才2日は井戸屋も心配して朝8時から開始した。いよいよ水の問題は本日に決定となるので、精神的に実に苦しかった。近くの井戸の水位は8m前後とわかっているのでも早く結果を知りたいので私達はもちろん井戸屋も休まず、無中で頑張つた。1人は砂れきの湿りと、砂れきに粘土が混っているか砂れきだけを細かく報告し、井戸屋も中で良い砂れきかどうか報告してくれる。6.7mで非常に硬い粘土混り砂利、井戸屋から「これがでくると思わしくない。しかし、下へ行つて良くなれば別だが」と言う声が聞こえる。電気探査解析図では、まだまだ基盤につかないはずだが、非常な不安におそわれ、まったく苦痛だつた。また、硬い砂利はなかなか掘れない。無言のうちに約2時間たち井戸屋から柔くなつたと言う声が聞え、その砂れきを一気に揚げる。探度7.6m完全に湿っている。水位予定は50cm内外、早く予定の水を見たので、小さく底だけ掘ってもらつた。しばらくして井戸の中より「水」と言う声が聞え、一斉に仕事を止め、すずなりになつてのぞきこんだ。「水だ」「水だ」と皆肩をたたき合つて喜んだ。ここで、これから以後の水と砂れきとの関係についてヒントをつかむべく班別構成を行い、砂れきの観察に重点を置いた。8.4mまでは柔くなつたがまだ、砂れきのまわりに粘土が付着するのが見られ、井戸屋の話でも水量としてはまだ不充分ということであつた。私達はこれ聞いて再び不安になつたが、予想されていたので、ここに希望をいだいて頑張つた。8.8m至つて井戸の中より、もう心配ないという声が聞えた。本当に喜ばしかつた。小躍りして喜んだ。ここで、あらかじめ用意して置いた。

ポンプをすえつけ揚水しながら掘つた。8.8mから砂れきの構成は非常に柔らかく泥はほとんど無く大部分小石と大れき(長径45cm)でれきはほとんどが赤みがかり水に常に洗われていたことを物語っている。また大れきの近くは穴があいて掘るのに非常に危険なようで、つるはしを使わず、ジョレンのみで掘つた。9mから水位の低下がみられず水中9.6mまで掘つたが、くずれる恐れがあるというので、ここで掘るのを中止した。私達は基盤まで掘ってもらいたかつたが、予算その他の関係でこれを確かめることはできなかったが校内の水の問題は一応成功の中に解決した。

B. 調査課程における問題発見

砂れきの観察から水量の問題はれきのまわりに泥が付着しているか、砂れきが水やけ(過去において相当洗われた)していたり、大きなれきがでるかによつて大きく左右されるということがわかつた。

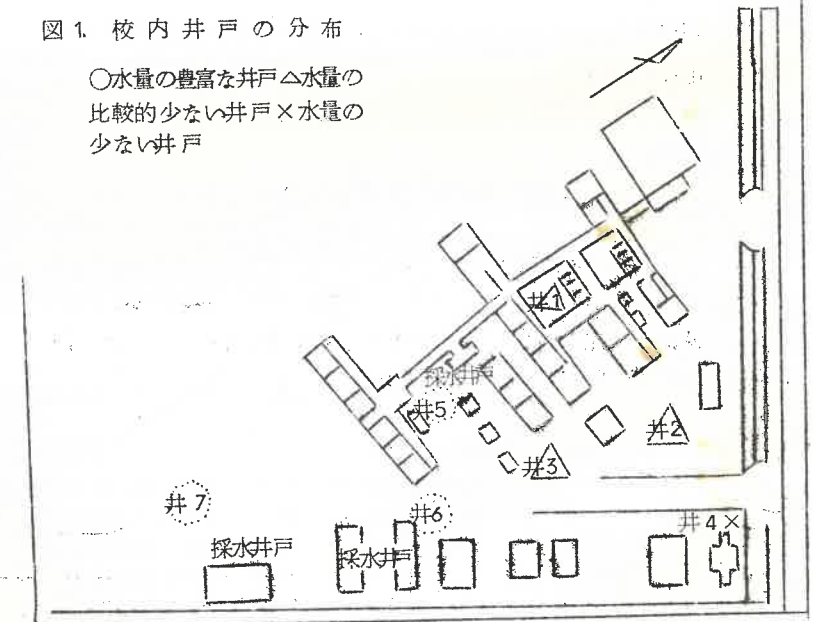
〔3〕 本校内および学校農場の地下水の賦存

(1) 前回発表の地下谷の実証(那須農業高等学校敷地内における地下谷の実証)

才1報においては、薬品投入法による地下水系調査と電気探査から学校敷地内においても基盤の比高10m内外の凹凸があり、この凹部即ち、地下谷の延長には豊富な地下水が期待でき、基盤の凸部即ち、基盤の山には豊富な地下水が期待できないということを発表した。本年は異状湧水のため、地下水量の多少は各井戸に顕著に現われ、電気探査の結果、基盤の高まりと推定される。水量の少ない井戸(井4)および比較的水量の少ない井戸(井1、井2、井3)は完全に湧水し、基盤の凹地と推定される。井5、井6、井7のみ水を堪える状態であつた。しかし、これらの井戸では、農場用水、理科用水、調理用水全部充当するには手くみの井戸の関係で不充分のため、学校側より早急に1つの井戸で学校使用水量全部充当できる依頼があり、地学クラブにおいては、前回発表の実証をかねて推定される地下谷の延長で、しかも使用に便利な地点を考慮に入れ、4月10日に図1井6の地点に井戸を掘つた。

基盤深度は電気探査から12m付近と推定されたので、これを最大深度の目標で掘つた。その結果

図1. 校内井戸の分布



8mで水が出始め、以深をポンプ(4インチ、5HP 日量1,000トン)で揚水しながら掘つた。9mで遂に水位降下は全く見られず、9.6mまで水中を掘つた。その下は豊富な水のため掘り下げることは、不可能になつた。この結果、推定された地下谷には豊富な地下水が賦存するということは、ここに確認できた。その後、水道設置や排水の関係で1.5インチ揚水に切替えたが、水位降下はほとんど見られない。5月始めに水道設備も完成し現在農場および校内全部に充当している。

(2) オ2農場の基盤地形と地下水系の研究のあゆみ

オ2農場の開田は昭和26年に行われ、井戸も何ら科学的根拠もなく掘った。幸い良い水系に恵まれ、昨年度までは1度も水不足を感じなかった。しかし、本年度は異状渇水で、今までの深度6.7mでは4インチ揚水で2〜3分でフートバルブが出てしまい、かんがい水としての利用は、全く不能になってしまった。それで、農場で井戸の掘り下げを行った。しかし7mで基盤である大田原浮石層が出て、完全に見込みがたなくなつた。それで、早速地学クラブに依頼があり、かんがい水利用の最も良い地点で、しかも、水の出るところを掘ってもらいたいという条件で調査を行った。前回の調査で水の出るところは地下谷で、しかも砂れきが大きく、粘土を混っていないところが有望であることがわかつていたので、これを井戸で調査した。この井戸の帯水層は砂れきが大きく、底に空洞（足が入る位）があり、粘土も全く混っていないので過去においてはよく流れていたように推察できた。た

表1 たし谷になつているとしても基盤まで浅いため、渇水期の揚水がわずかであるために、この井戸は揚

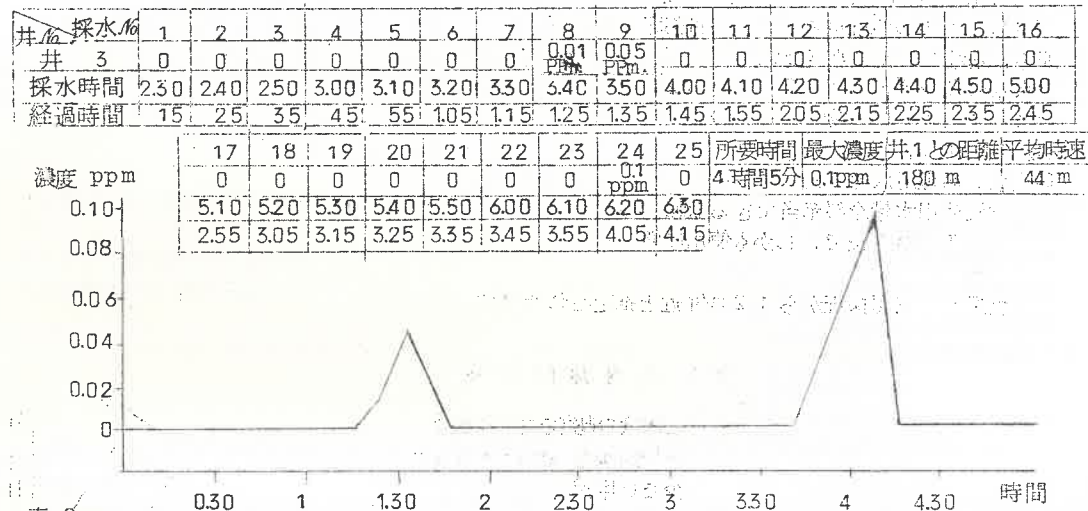
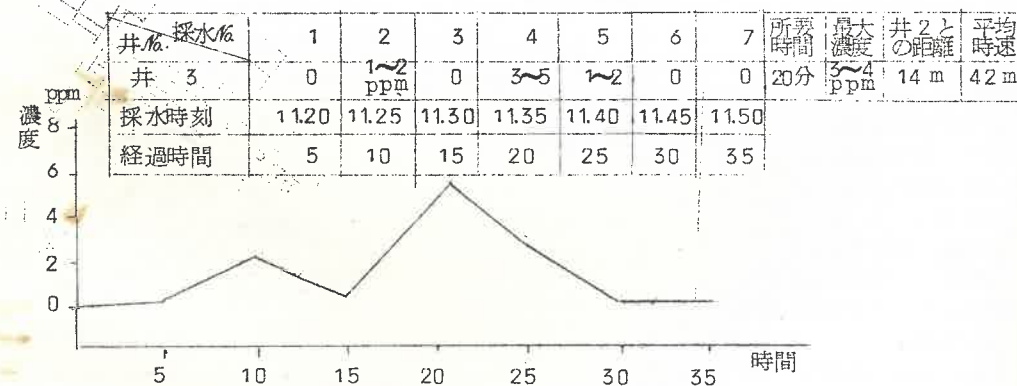


表2



水が続かなくなつたものと思われる。それで、この調査の方針は7mより深い谷を探すことを目的とした。要領はまず前の薬品投入による地下水系調査を行った。これは現在の井戸の砂れきの構成が非常に良いので、それと同じ条件の井戸で180mはなれた前田氏宅の井戸を借り、学校の井戸にウランを50g入れて、前田氏宅の井戸で採水した。まず、私達はこれによくずれ易い砂れき層だから、遅くも2時間ぐらいで出てくるだろうと思い金曜日の放課後4時に投入した。採水は10分おきに行つたが、2時間まづても何ら変化も見られず、ついに暗くなつてしまい目転車のライトを使って6時30分まで採水した。しかし、何ら変化が見られず、私達はこれで打切るかどうか相談した。その時の意見として、せつかくここまで頑張つたんだから出るまで続けた方がよいと言うもの、採水時間が10分おきのためその間に流れてしまつたのではないかといいもの。夜では判定に不十分だから土曜日に早めにはじめからやりなおそうと言うもの。いろいろの意見が出た。結局全部反省事項に入れて、土曜日に再調査を行った。その結果、経過時間1時間25分〜1時間35分と、4時間5分経つてようやくあらわれ、これを資料とした。また、この資料の精度を検討する目的で日曜日は採水井戸と続きの井戸を利用して薬品を塩化アンモンに切りかえて実験を行った。その結果は、流速は前回と大差ないことがわかり、時速約40m前後で流れていることがわかつた。この調査では井戸の間隔が大なる場合には時間と、薬品の量に対する考慮を入れて調査にかからないと失敗する可能性が大であることがわかつた。続いてこの調査結果からこの方向を一応流路と推定し、これに直交する方向に2測線を設け2日間にわたつて電気探査を行った。オ1測線は7m以深の地下谷の発見に目標を置いて、オ2測線はオ1測線から推定された有望な谷を追跡する目的で行つた。幸い井戸の基盤の深さがあらかじめわかつていたので、非常にスムーズに運び、さらに現在井戸の近くで行つた電気探査によつて、電気探査の結果と井戸と比べることができ砂れきの問題、基盤の深さの問題について、今まで以上に自信を強めることができた。それで復原された10mの谷に井戸を掘つた。ここで、私達が最も期待したことは学校内の調査で問題点であつた地下谷では、大きなれきでしかもれきのまわりに粘土が付着していないということであつた。幸い次の研究記録のまとめの通り学校と同様な良い結果になり、私達は回を重ねるごとに自信を強め、調査の本当の喜びを味わうことができた。

A. 調査過程における問題発見

- 薬品投入による地下水系調査は井戸の間隔により調査時間と薬品の量の考慮が大切である。
- 渇水期においては地下谷であつても渇水最低水位以深の地下谷でないと充分なかんがい用水量が期待できない。
- 電気探査は初めに基盤まで掘つてある井戸の近くで行い、解析図と井戸の中の状態と比べて行いと精度が高い。
- 電気探査においては地下谷の追跡が重要であるので、少なくとも2測線以上に設ける必要がある。

(3) オ2農場の基盤地形と地下水系

須須農業高等学校オ2農場は、本校より南東の方向2kmの地点に位置し面積2町5反を有し、昭和26年頃までは松林で荒地であつたが、その後開墾を行ない、その1部に水田を作り現在電気揚水井によるかんがいを行なつていゝ。その揚水位も本年の渇水でかんがい不能となり、地学クラブでは学校の依頼により、優勢な地下水源探査のため、本年4月上旬より電気探査を行った。

その結果を報告する。

農場付近の地形は全体として南南東方向にゆるく傾斜し、その中部に南に開いた、比高1m内外の凹地がありその延長上にかなり優勢な湧水がある。この湧水は頭部浸食によつて削られた川の先端部にあり砂れき層から出ている。この湧水の東方は比高1〜2mの高地を作り農家で試掘した井戸ではローム層の下にすぐ浮石が出てきて水はまったく出なかつた。この浮石はオ1報の発表の大田原浮石層で地下水の基盤（不透水層）となるものである。このことからこの井戸と現在本校の電気揚水井の基盤深度の比高をみると湧泉東側の基盤深度は2m、農場電気揚水井の基盤深度7mであるからここに比高5mの凹凸があることがわかる。基盤深度のわりあい深い本校の揚水井も本年のような渇水期にはごく少量の地下水しか存在しない現状であるから新たな水源は現在の基盤深度より深い所、すなわち地下谷の探査が重要な鍵になるわけである。この目的で電気探査を実施した。

A. 電気探査による基盤地形の推定

a. 地下水系調査（流路の推定）

電気探査による基盤地形の復原は、オ1報にのべた通り測線は地下水流路にほぼ直交するように、

考慮して掘る必要がある。これをもとにして地質断面図を作ると前の通り。

ここで 測点 18 の基盤深度が 10 m で最も深くこの測点と前の No 7 の測点を結ぶとほぼ予想される流路上にあり基盤の勾配も約 130 分の 1 であるので、ほぼ測点 7 を地下谷の延長と考え、ここに井戸を掘った。この試掘結果は良好で、優勢な地下水系に当たり深度 7 m で 4 インチをフルに揚水しても（約日量 1,200 トン）水位降下が見られず、基盤 10 m までの掘削はついにできなかった。ここにおいても地下谷には優勢な地下水が存在することが実証できた。この結果才 2 農場はいかなる異状渇水期でもかんがい事欠かない豊富な地下水を利用できることになった。

0. 才 3 農場の基盤地形と地下水系研究の歩み

才 3 農場は昨年まで雑木林地帯で演習林として利用していたが、本年度より果樹酪農経営に切換え学校あげて開墾作業を行なった。ここは水と云えば湿地の水がわにあるが、「どぶ臭」があり、管理人の飲料はもちろん家畜の飲料にも不適当であるので学校では水対策に最も困っていた。それでは学校より地学クラブに対して、学校に関する井戸は全部成功したのだから何とかやってみてくれないかという話が持ち出されたが、私達はこの農場が権現山丘陵と言う地ぶくれの山麓にあり、道路には基盤は出ているし砂れき層が全然なくまた湿地の底は、泥岩層となつていたのでどうしても農場内においては自信がないので一応断わったが、勉強のためだと思つてやつてもらいたいと言うことだったので全員協議の決果実施することにした。それでここは地質調査に重点を置いて、まず実習で果樹苗木を 2.5 ヘクタールに穴 300 を規則正しく深さ 1.5 m 掘ってもらい地層の分布を調べた。その結果大部分は赤土の下が基盤であるが山麓の低い部分に至り、ローム層にかわつて砂利の層の分布が規則正しく見られるようになった。さういふこの低地末端、土地の境界線には湧水による河道があり砂利の分布がこれに平行しているので、この河道のせきを物語るものであることが推定できた。ここで私達はやつと明るい希望をもち、従来の方針どおりこの旧河道の谷を求めべく電気探査を実施した。砂れきの分布が限られているので 3 点だけを行なった。ここで最も注意した点は地形の起伏が相当あるので、地表の高低を精密に測定して、電気探査を行なった。解析図をもとにして基盤までの深さは浅く、深さもほぼ一様であるが高底を高慮に入れるとわずかの地下谷が見られ、その一番深い所に井戸を掘ってもらった。その結果は 3.6 m で不透水層が表われ、私達が電気探査で読んだ結果と全く一致しこの上もない喜びを味わった。また、砂れきも帯水層に入つてからは、水やけ砂利ばかりで砂、泥が全く見られないという最も良い水口にあたつた。学校でも非常に喜び将来は畑地かんがいの水源として利用していくことを確約してくれた。さらに、砂れきについて感じたのはこの井戸の砂れきは全部が白色の石英粗面岩、石英はん岩で他の種類の石は全く見られなかった。

研究過程上の問題発見

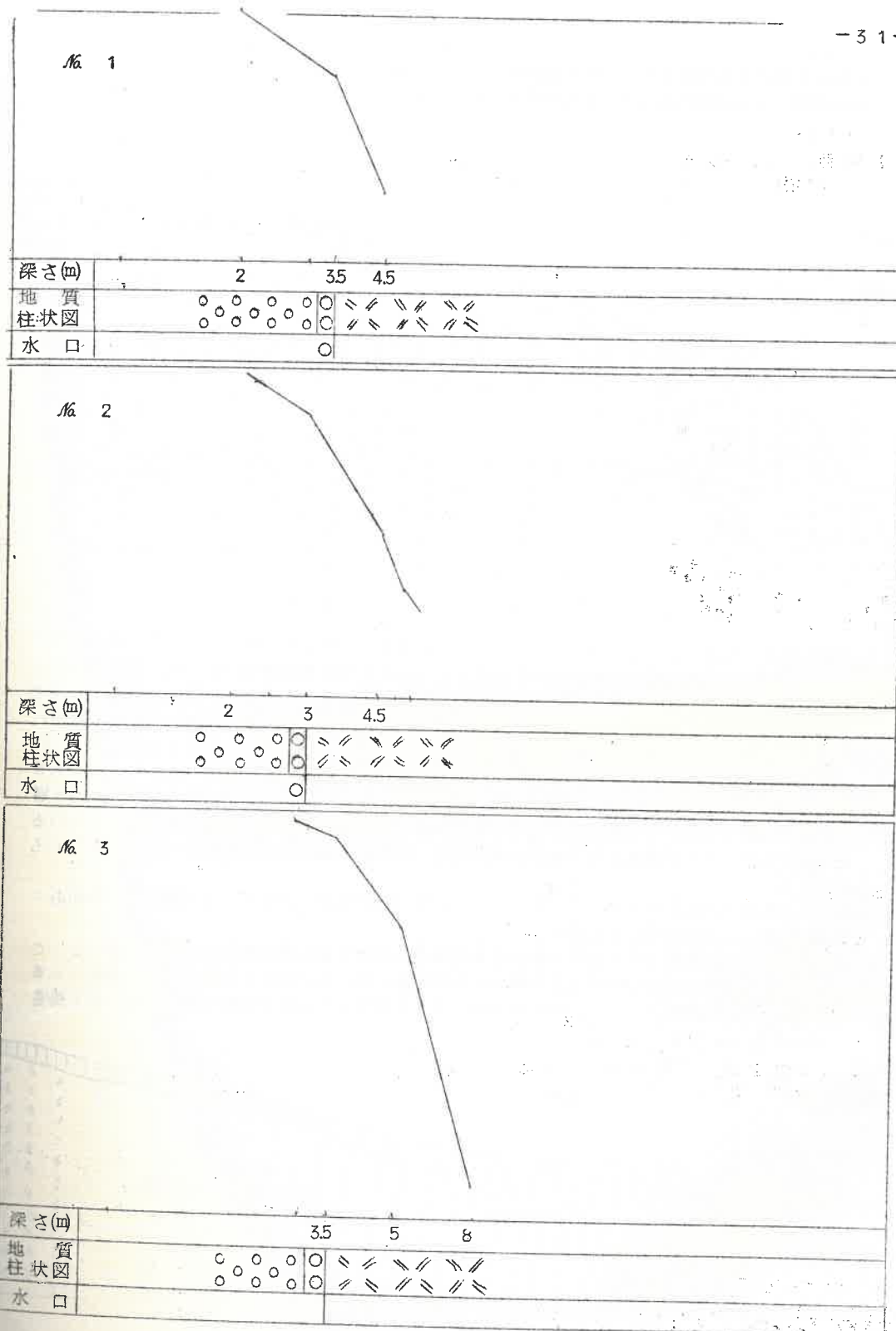
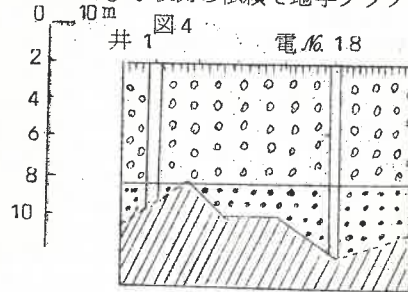
1. 丘陵地麓部の調査においては地質調査、とくに地表の切取りまたはけん土校を利用した地表調査が大切である。
2. 丘陵地の電気探査は地表の高低を精密に測定することが大切である。
3. 井戸から出た砂れきの岩質調査は伏流水の根源の手がかりになりそうである。

研究記録をまとめると次のとおり

D. 才 3 農場の基盤地形と地下水系

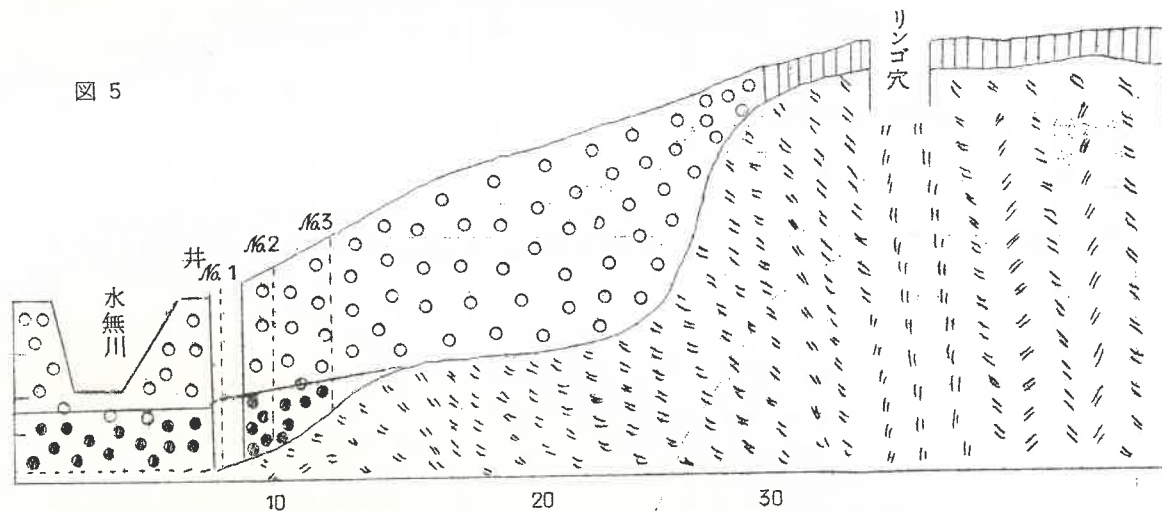
才 3 農場は、本校の北東約 3.5 Km に位置し（乃木神社の北約 500 m）面積約 6 町歩を有し以前は演習林として使用していた。昨年度より演習林から果樹園と牧草畑に切換えた。管理人および家畜の飲料水と将来の計画として当然畑地かんがいをせざるを得ないため再び学校側の依頼で地学クラブで地下水源調査を行ない井戸を掘った。その結果を報告する。

地形は権現山丘陵の山麓にあり約 30 分の 1 の勾配で南西に傾斜している。敷地の南端には湧水による河川がある。（11 月～6 月水無川）地質は丘陵部の地質すなわち、ローム層の下位が大田原浮石層（地下水の立場からいう基盤）この層序が農場の約 90% を占め、あとの 10% がローム層砂れき層、大田原浮石層の層序を示している。換言すれば農場敷地の 90% が地下水利用不能地帯である。しかし、山麓なるため基盤深度は、相当浅い事が予想され、また地下水の賦存は基盤地形に左右されることが予想される。幸い地下水利用不能地域の近くに湧水による河道があり図 5 から見てわかるように地下水の流路もほぼこの河道に平行であることが推定される。そこでこの予想された流れに直交する



ように測線を設け電気探査を行なった。解析図は前の図の通り。
これを基礎にして地質断面図を書くとき次のようになる。

図 5

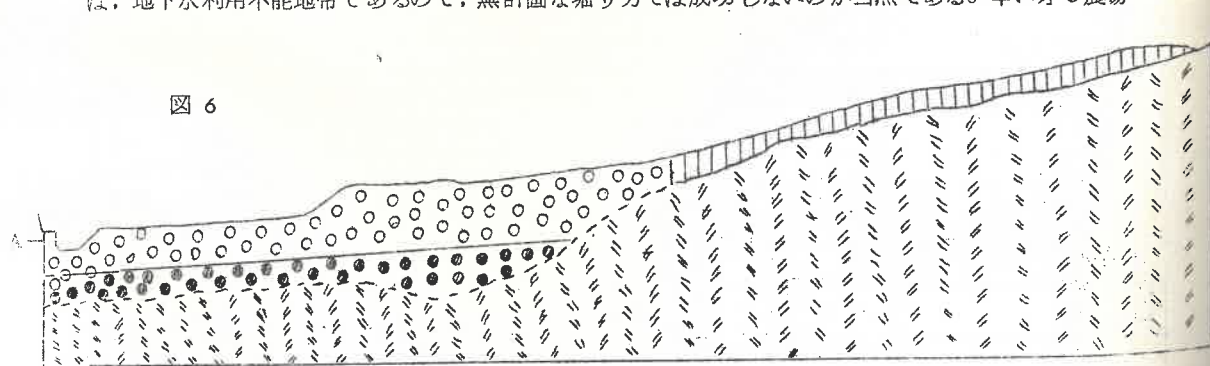


この結果測点 1 が地下の凹地、地下谷に当り最も有望な地点と推定された。さらに地下谷の流路の延長を追跡するため、谷の延長と推定される地点 A を中心として地質調査を行なった。図のように幸い河道の頭部なるためよく浸食され、がけの露頭から資料をとることができた。図 6 がその断面図である。A 点の北側は、基盤が露出し南側は、基盤が全く見られず透水性の砂れきがたい積している。このことから A 点の上流の地下水は、A 点よりはとにも No. 1 の地下谷に集積してくるものと考えられる。また、予想される流路の方向にも矛盾する根拠がないので測点 1 に井戸を掘った。その結果 2.5 m で水位 3.6 m で基盤にあたった。電探による推定基盤深度と全く一致し、また帯水層中の砂れき層は 3 m から、基盤までは、90% までがよくあらわれた小砂利で完全に地下水系の主流にのっていることが確認できた。ここに豊富な地下水源を確認でき、将来の畑地かんがいにも明るい見通しを立てることができた。

○追記—オ 3 農場で水源調査成功をきっかけとして農場付近の農家（小野氏）より調査の依頼があつて調査に従事したので追記として報告する。

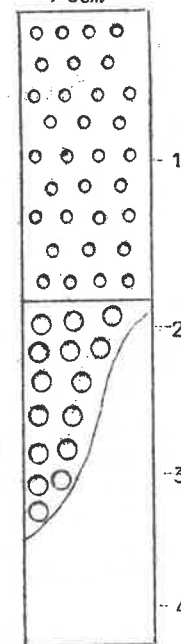
この家の周囲はオ 3 農場と同一地形で家の北東は権見山丘陵で家の周辺に基盤が露出している。ここでは、新たに山麓部に開田し井戸を 3 本掘って全部失敗した。ここはオ 3 農場より悪く敷地 98% は、地下水利用不能地帯であるので、無計画な掘り方では成功しないのが当然である。幸いオ 3 農場

図 6



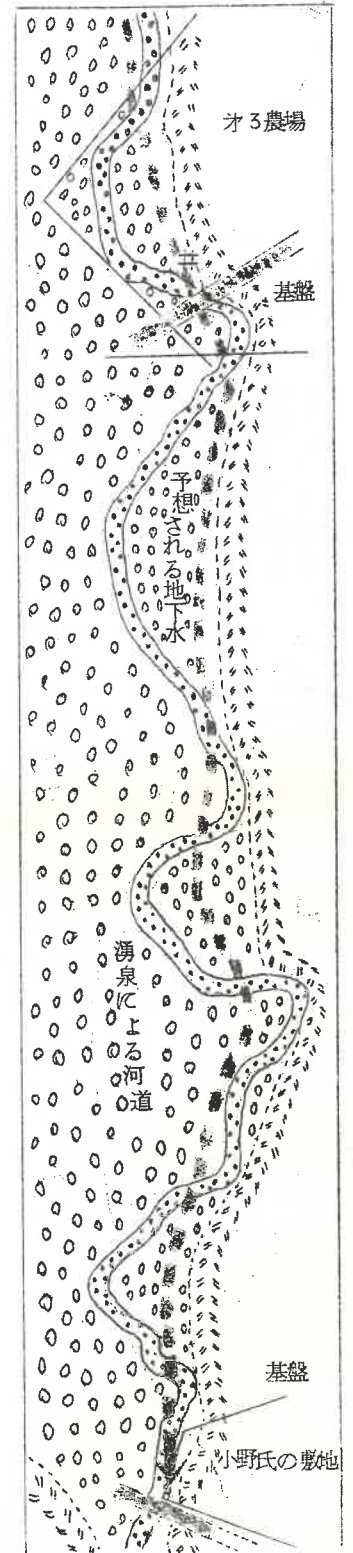
基盤（大田原浮石層）

図 7 W 90cm E



オ 8 図

オ 3 農場および小野氏敷地
P 付近の地質ルートマップ





から10m東に基盤が露出しているの、地下水系は、この河道より東いく程か数m範囲に上げられてくるのがわかった。ここでは電探を行わず、オ3農場から続く河道の侵食崖を利用して地質調査を行ない、地下水の流路を推定した。その結果河道の崖から東4kmまでは安全であることがわかった。ここに井戸を掘ってもらった。その結果井戸の半分東側は2mで基盤、西側から3.6m、非常にきわどいところで地下水にあてることができた。(図7) 恐らくこの凹地はオ3農場の地下谷の延長であると考えられる。揚水の状況は4インチで完全揚水している。

〔4〕 烏ヶ森丘陵付近の地下水の賦存

今年3月下旬、地学クラブでは研究開始以来始めて西那須野町当局より、地下水利用による簡易水源探査を依頼され、教育大学の渡部景隆博士および本校の提橋昇教諭指導のもとに電気探査を行ない推定された。地質断面図の地下谷に井戸を掘った。その結果平均1日1200トンの豊富な地下水を渇水期において確保できることを確認した。その概要を報告する。

(1) 調査の方針

町の希望が烏ヶ森丘陵の山頂(293.7m)に貯水池を作る予定なので水源が丘陵地からあまり離れないところで一日揚水量が750トンを下らないということになっていた。候補地の選定には、まず丘陵地の付近の基盤地形が問題になってくる。この丘陵は、オ1報で述べたように侵食によってけずり残された浅丘であるから過去の侵食が弱ければ、丘陵地付近は、基盤は浅くなり地下水はあまり期待できないということになる。それでクラブでは、まず付近の井戸底まで深さを測定し底に基盤があるかどうかを確かめた。(図9) 井戸底までは10m付近が多く、各井戸とも基盤に到達していないことがわかった。このことから丘陵付近の基盤は、相当侵食されているものと考え、付近の井戸に影響を与えないような地域(図9参照)を選びここで電気探査を行なった。

(2) 電気探査

電気探査は、地下水流路がほぼ丘陵に平行である事を想定し測線を丘陵に直交するようにとった。測線は図9の通り、電気探査操作の要領は前回と同様に行なった。解析図表および、これから作った地質断面図は、図10の通りです。測点6と測点10を結ぶ線が地下谷の主流と推定された。さらに、その後地下谷の細部調査を行ない、私達の推定した測点の延長方向(南東)10mの地点に井戸を掘り揚水試験の結果1日に約1,200トン希望水量をはるかに上回る地下水を確保できた。

№ 1



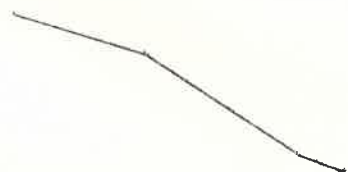
深さ (m)		5	8	10	20
地質 柱状図		○ ○ ○ ○ ○	○ ○	///	///
水口			○		

№ 2



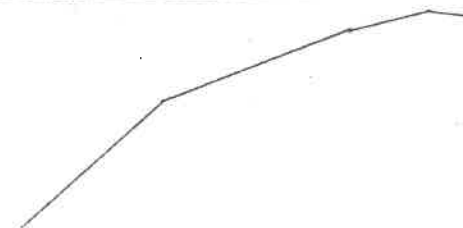
深さ (m)	1	2.5	3
地質 柱状図	○ ○ ○ ○ ○	○	///
水口		○	

№ 3



深さ (m)	1	2	5
地質 柱状図	///	///	///

№ 4



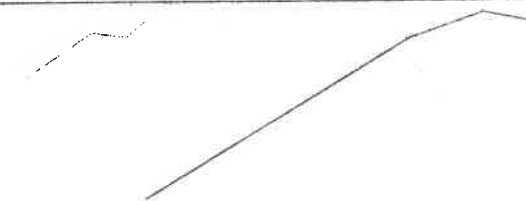
深さ (m)		3	7.5	11
地質 柱状図		○ ○ ○ ○ ○	○ ○	///
水口			○	

№ 5



深さ		3	8	11	17
地質 柱状図		○ ○ ○ ○ ○	○ ○	///	///
水口				○	

№ 6



深さ		5	10	14.5
地質 柱状図		○ ○ ○ ○ ○	○ ○	///
水口			○	

№ 7



深さ (m)	3	9	12
地質 柱状図	○ ○ ○ ○ ○	○	///
水口		○	

№ 8



深さ (m)	5	8	10
地質 柱状図	○ ○ ○ ○ ○	○	///
水口		○	

№ 9



深さ (m)	5	8	11
地質 柱状図	○ ○ ○ ○ ○	○ ○	///
水口		○	

№ 10

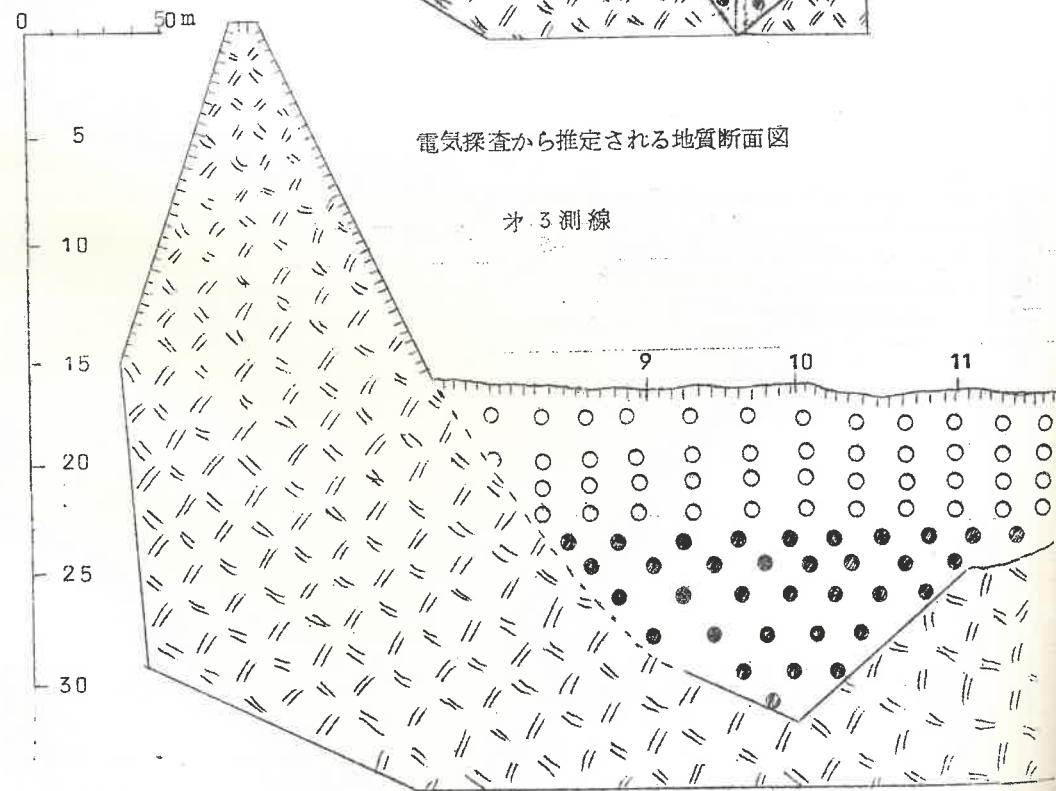
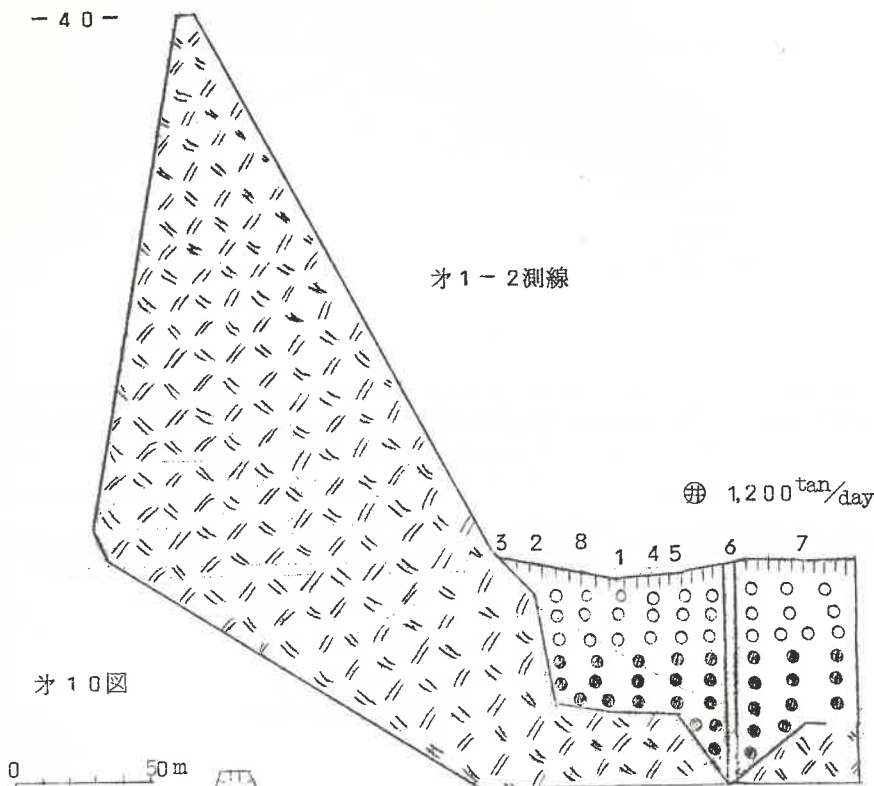


深さ (m)	5	8	10	30
地質 柱状図		○ ○ ○ ○ ○	○ ○	///
水口			○	

№ 11



深さ (m)	65	95
地質 柱状図	○ ○ ○ ○ ○	○ ○
水口		○



〔4〕 基盤地形と砂れきのたい積機構

なぜ地下谷（地下の凹地）に豊富な地下水があるかということは、地下谷にたい積する砂れきの孔隙状態によるものと考えられる。さらに地下谷であれば、以前は河道の主流であるから、流速が大きいため、大きいれきがたい積し、軽いものなどはたい積しない。したがって孔隙率も大きく、豊富な水量が出るものと考えられる。私達はこのことをなんとか実証したいと思っていたところ、クラブ員が井戸屋からこの代表的な場所が、西那須野町三区水尾様氏宅で見られることを聞きつけ、早急調査に行った。西那須野町三区水尾氏宅では、2つの井戸があり、新たに掘った井戸が水量が少く、以前よりあった古井戸が豊富に水が出ている。それで新井戸に揚水設備を行なうてしまった関係で新井戸から古井戸に横穴を掘り連結し、古井戸の水を新井戸に通じて揚水している。いずれも基盤（大田原浮石層）まで掘ってあるので基盤と砂れき層との関係を把握するには最適地であるので、クラブ全体で井戸内の調査を申込んだ。幸い非常な好意を示してくれ、水が相当たまっていて大きなポンプで揚水しながら完全に横穴の水がなくなつてから、井戸屋と提橋先生が入つて安全度を調べ、続いて私達代表2名が10分間調査した。その結果、基盤の凹凸と砂れきのたい積の関係がよく把握できた。すなわち、水量の豊かな古井戸は基盤の凹部に当り、またこれにたい積するれきは基盤の平らな部分に比べて大きく、れきのうめてある物は粘土分はなく、ほとんど砂であつた。また、水量の少ない新井戸はれきが凹地に比べて小さく、うめてある物はほとんどが粘土がある事がわかつた。以上の事実は、基盤の凹地に豊富な水量があり、基盤の凸地には、水量が少ないと言う。一つの裏付けとなると考えられる。すなわち、地下谷は旧河道の主流に当るところであるから、流速も早いので、以上のような砂れきのたい積状態となり、したがって透水性も高く、豊富な水量が出るものと考えられる。特に地下谷の大きいところほどいじめるしいと思う。これに反して、基盤の凸部は河の両岸か流水の緩やかな部分に当り、流速もおそくたい積物も小れきまたは、粘土が多くなり透水性も低く、したがって水量も少ないということになると考えられる。

〔5〕 西那須野地域の地下水の供給源

（1） 河川の伏流に関する研究の歩み

この項目の調査のいづれは才3農場において掘った井戸の砂れきが同種類の系統に属するというヒントを得てから烏ヶ森地域で掘った井戸の砂れきを特に注意深く観察した。ここでは才3農場の砂れきと同種類の砂れきも出れば、また緑色の凝灰岩や安山岩もたくさん出た。この原因は何にあるのかについて疑問をもち、学校にある地質図を見ると緑色の凝灰岩は、箒川に分布する地層と同一で、安山岩は同じく箒川上流にみられる高原火山の噴出物であることがわかり、白色の石英粗面岩や石英ハン岩は蛇尾川の上流に分布している岩石と同一であることがわかつた。それで私達は箒川と蛇尾川によつて運ばれた砂れきの状態により伏流水の影響の程度を知ることが可能ではないかと思ひ、烏ヶ森の井戸で砂れき分析を行なつた。この方法は理化実験講座3（校の上P36～38）を参考にしてほぼ同じ方法で行なつた。一定の深さからあげられた砂れきを粒度（0.5～4mm、4～10mm、20mm以上）に分け、さらに石を割つて岩質を調べ緑色凝灰岩、および安山岩を便宜上、箒川系として、石英粗面岩、石英ハン岩を蛇尾川系として分類しその、おのおのの深さのパーセントを出して過去の影響度の比較をした。作業は男子があらわれきの岩質調査および粒度の分類、女子は細かいれきの岩質調査と粒度の分類を行なつた。作業に当つては蛇尾川系の石英粗面岩、石英ハン岩が硬く石割りがつらかつたことや、学校の標本とまったく感じの変わった岩石も多く出てくるので、その場合判定がむづかしかつたことやさらに整理にあつてパーセントを出す場合筆算で行なつたので非常にめんどろであつた。またこの調査が終了して1週間目に同僚の益子君がたんどくで急死し言葉でいづくせない非常な悲しみを感じた。

（2） 浸透水に関する研究の歩み

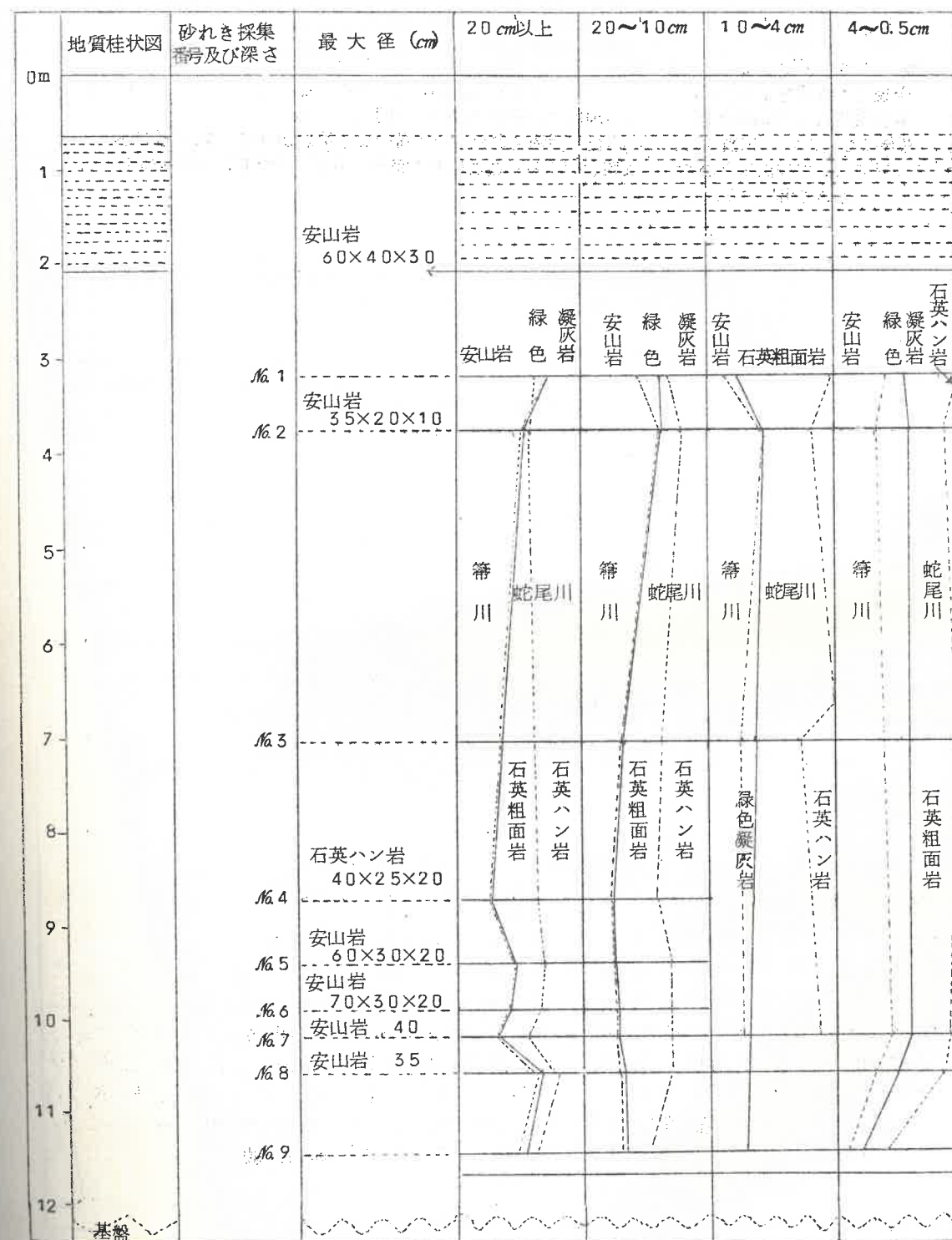
この問題に関する調査の動機は、田植時期から方々で疏水の引水を行い疏水の下流においては完全に枯川を呈してしまい、それにかからんで疏水近くの揚水井も日増しに水位低下が見られ、揚水不能箇所が方々に現われた。ここで私達が今まで考えていた疏水の水は不透水層と思われるローム層の上を流れているのでさほど影響はないと思つていただけに、ここに大きな矛盾を感じ、これがこの調査の直接の動機となつた。それでどのくらい浸透水があるものかを測定するため、水路において分流のない条件の良い所を選んで約1Kmの間で3ヶ所流量測定を行なつた。その要領は、測定箇所の横断測量、川巾が約2mで水深も浅いのでボールと箱尺を用いその面積測定はプランメーターで行なつた。

[illegible]

No.	深さ	6 2.70~10.00				7 10.00~10.40				8 10.40~10.90				9 11.20~11.70			
		安山岩	緑色凝灰石	石英粗面岩	石英ハン岩	安山岩	緑色凝灰石	石英粗面岩	石英ハン岩	安山岩	緑色凝灰石	石英粗面岩	石英ハン岩	安山岩	緑色凝灰石	石英粗面岩	石英ハン岩
	10~15cm	22	1	32	20	20	1	22	14	23	1	17	6	25	1	8	35
	15~20cm	14	2	18	11	11	0	12	7	7	1	12	12	7	0	0	3
	小計	36	3	50	31	31	1	34	21	30	2	29	18	32	1	8	38
	%	30.0	2.5	41.6	25.9	25.9	1.3	41.4	25.6	37.9	2.6	36.7	22.8	40.5	1.36	10.1	48.1
	20~30cm	9	0	9	9	9	0	6	11	7	1	2	3	6	1	1	6
	30~35cm	4	0	1	1	1	0	2	2	6	0	1	1	2	0	1	0
	35~40cm	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	0	0	1
	40~50cm	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50~60cm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計	16	0	11	10	12	0	8	13	14	1	3	4	11	1	2	7
	%	43.2	0	29.7	27.1	36.3	0	24.4	39.3	63.6	4.6	13.6	18.2	52.4	4.8	9.5	33.3
	全計	52	3	61	41	38	1	42	34	44	3	32	22	43	2	10	45
	%	33.1	1.9	38.9	26.1	33.0	0.9	36.5	29.6	43	3	32	22	43	2	10	45
	5~10mm					45	10	41	4	33	15	40	12	14	6	21	59
	%					45	10	41	4	33	15	40	12	14	6	21	59
	40~100mm					28	11	52	9	27	10	30	33	29	5	14	52
	%					28	11	52	9	27	10	30	33	29	5	14	52

図 11

砂れき分析図 [2]



区域によつて箒川および、蛇尾川の水量を十分考慮しなければならない。

今後はこの調査を基礎に、さらに地下谷の追跡を行ない、また箒川、蛇尾川および西那須野を縦走する那須疏水の流量調査を行ない、合理的な地下水利用の一助けにしたい。

最後にこの作品出品に当つて、この調査に活躍されたクラブ員の益子勇君が今年の4月上旬急病のため他界され、参加出来なかつたのは残念である。ここにこの完成をみるにいたり、一同冥福を祈ると共に心をこめて出品する。

研究者氏名

伊藤 寿郎	中里 信義	相馬 操	松平 憲太郎	手塚 考一	深沢 美智子
永岡 壮樹	田代 由美子	五江 信重	松本 勲	神長 護	井上 堅一
朝野 強	木下 英男	態田 勝	塚本 勉	佐藤 洋三	辻野 勝江
前田 三郎	遠藤 嘉博	猪股 学	印南 洋一	永山 勝雄	奥田 次男
藤田 近邦	桜岡 勲	渡辺 禾	薄井 智子	熊谷 綾子	

昭和35年度

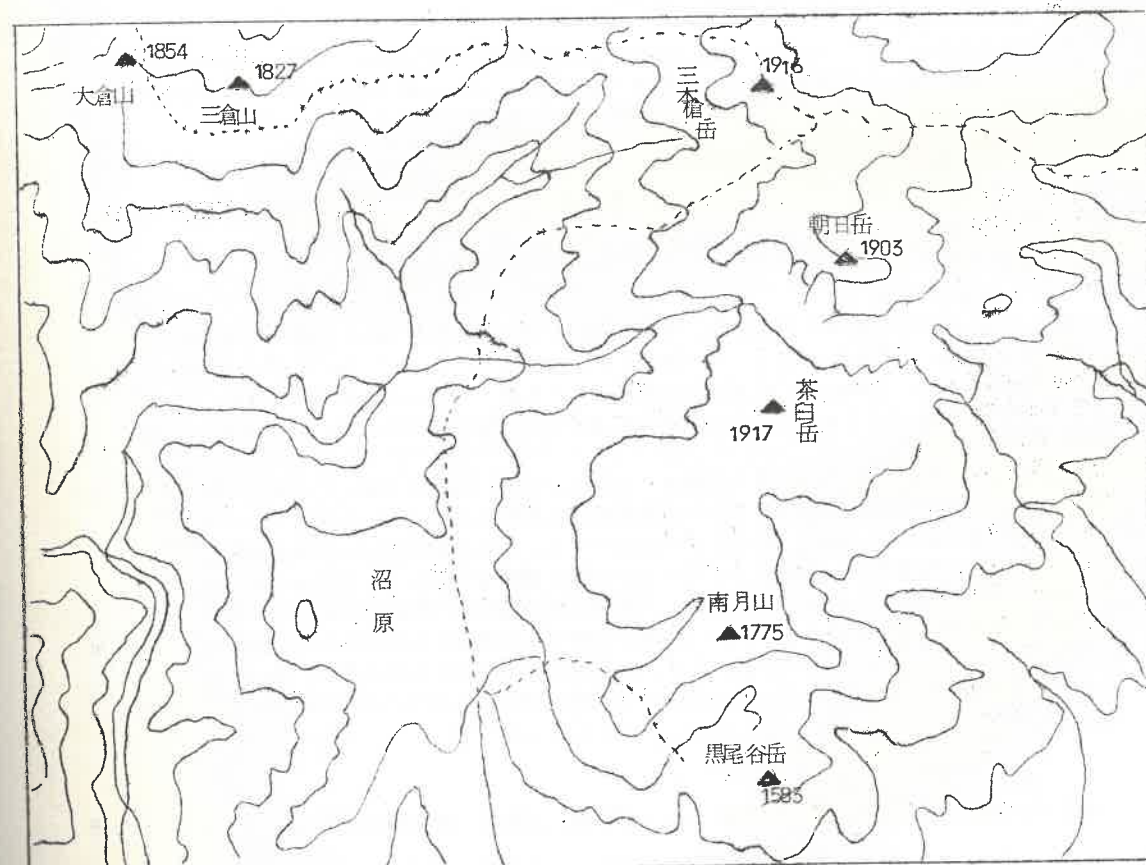
那須火山の地質と温泉の研究

〔1〕 まえがき

地学クラブでは、昭和25年より地下水の研究と平行して表題の研究を行なってきました。那須火山の研究は授業の関係で毎年夏休みの1週間を主体に調査し、本年で10年を経過しましたので資料も蓄積し、ほぼ整つたのでここに報告します。

那須火山は日光国立公園で観光上でも重要な地域であるにもかかわらず、火山に関する科学的な研究はいろいろ調べたが、約60年前に発表された資料以外には見られなかつた。特に温泉機構に関しては、ただ温泉の分析結果の研究のみで、温泉の湧出に関する資料などは一つも見られなかつた。このように科学的には未開に等しい地域であります。温泉地の観光上の開発は急速に進んでおります。このようなテンポで進みますと、終極は泉源の確保で必ず行きづまってしまうのではないかと考えております。従つて泉源の確保には是非とも那須火山の構造から解明することが重要であると考え、火山の構造から年々研究を進め、温泉の分野に歩を進めてきました。従つてこの研究は、あくまで地学的現象から観察、研究をしたものです。

なお、この研究を通じて今まで見られなかつた新事実も数多くつかむことができましたので、合わせて報告します。そして、この研究が今後の温泉開発に参考になれば幸いに思っております。



〔2〕 地 形

（1） 調査の主眼

那須火山を中心とするその周辺の地形を那須火山系と帝釈山脈系に分け、さらに那須火山系は山頂部と山麓部に分け、その特徴の観察に主眼をおいた。

（2） 地 形

那須火山は北から三本 岳（1915m）、朝日岳（1903m）、茶臼岳（1917m）、南月山（1776m）からなっている。火山はほぼ南北に走り、東方および南方は裾野の発達がよい。火山の西方は帝釈山脈を形成し、大倉山、三倉山などが火山と平行して走っている。

① 那須火山系

A. 山 頂 部

a. 三本 嶺 岳 - 非常に開析の進んだ火山で、山頂は平坦化し、「三本 嶺」という表現の様相は見られない。しかし、南側は絶壁を形成している。

b. 朝日岳 - 山頂附近には爆裂火口が多く、山体は著しく破壊され、現在盛んに侵蝕が進み、岩体の奇型が存在する。

c. 茶臼岳 - 外輪山と中央火口丘からなり中央火口丘は現在活動の中心で2つの大きな爆裂火口があり盛んに活動を続けている。

d. 南月山 - 南月山は黒尾谷岳（1583m）、白笹山（1717m）に続き、この3峰が大きな火口壁をつくっている。黒尾谷から続く裾野は堆大で那珂川岸につづく。

B. 山 麓 部

山麓は裾野が発達していて、全体的に一様の勾配で傾斜している。しかし、細かく観察すると丘陵地が点在し、丘陵地の谷間は湿地を呈している。この谷間は砂れきがないため、河川によって解析されたものではなく、火山噴火による原形である。

② 帝釈山脈系

那須火山の西方に見える山体で、この山脈は三倉山の東方、大峠で終る。那須火山がこの山体を、おおっていることから生成時期が古く、地形は一般に特異しい。三倉山附近には大きな崩壊地も見られるが岩体が花こう岩であるため、全体的に風化の度合は那須火山にくらべて小さい。

〔3〕 地 質

（1） 調査の主眼

地質調査は温泉の湧出機構と、火山の構造に集点をおき、とくに現在活動中の茶臼岳の地質構造について詳述する。

（2） 地 質

A. 岩層の分布

那須火山は大部分が安山岩で構成され、その露頭は山頂部全域に見られ、山麓部は那珂川の黒磯より上流に見られる。帝釈山脈は花こう岩で構成され、大倉山、三倉山、大峠の崩壊地で観察される。なお局部的であるが、帝釈山脈と那須火山の境界に於ける紀層と思われる緑色凝灰岩が見られ、また茶臼岳の西側の標高1700mのところに植物化石を含むたい積岩が見られる。（新発見）

B. 地 質 構 造

地質調査から那須火山は帝釈山脈（大倉山、三倉山、大峠）の花こう岩、その周辺の緑色凝灰岩を基盤として重なり、火山は安山岩と安山岩質集塊岩の互層からなっている成層火山である。これらの互層は山麓部の広谷地、池田、黒田原まで追跡できる。この互層関係は山頂部は露頭で観察し、山麓部は電気探査を実施した。調査はまず川べりの互層の露頭で実験して、それから解析を行なった。その結果、曲線を見ると上昇部分は溶岩で、下降部分は火山灰の多い集塊岩になっている。広谷地区の電気探査資料を用いた断面図によると、山麓部に点在する丘陵地は上部がほとんど溶岩で下部は集塊岩になっている。丘陵間の谷間は溶岩がなく、ほとんど集塊岩であるため普通、火山灰のところ粘土化し、湿地を形成している。また、火成岩は丘陵地のみに限られているので溶岩は放射状に流れたものと考ええる。

C. 火山の噴出順序（新事実発見）

調査経過と実際

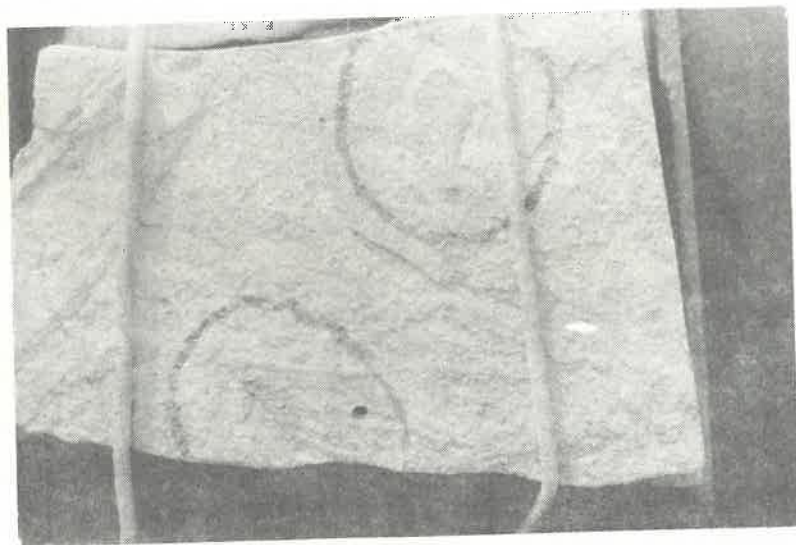
今までの資料によれば、地形の輪廻により三本 嶺 岳、南月山、茶臼岳の順序に噴出したものと報告

されているが、この事実をつかむために調査に当たった。クラブでは、はじめに岩石学的特徴から裏付けられないものかと考え、これからの地域を昭和25年から29年にわたって調査したが、何れの山も岩質が安山岩であるので私達の力では判定不可能であった。それで、なかばあきらめていたが、昭和32年の夏、三斗小屋温泉に行く途中、山道で塩原の木葉化石を含む地層とよく似た非常に層理の発達した、たい積岩を発見。ここで噴出順序に関する事実をつかめるかも知れないと考え、この地層の追跡に当たった。まず、追跡には転石の場所と山体の傾斜を考え、茶臼岳の山腹から、ころがつてきたものと推定、登山したクラブ員全員で一列にならびこのたい積岩の露頭を探査した。この地域は茶臼岳の噴出物でおおわれているので非常にむずかしく、その年（32年）には全く露頭が見つからず、次の年（33年）にはスコップ、ツルハンをもつて登山、前の年と同様な方法で調査した。そこで、ようやくそのたい積岩らしきものを山腹で発見したが一見、流もん岩に見られ、その決め手にはならなかった。3年目も続いて前と同様に調査を行なった。その時、はじめて大きな露頭を発見し、層理も発達し、細い断層が見られないので、はじめてたい積岩に相違ないことを確認した。これから、さらに欲が出て、このたい積岩がたい積したときの環境を知りたいという全員の意見で、今年には化石を発見すべく全力を傾中してこの探査に当り、3時間各自岩石を割り続け、ようやく植物化石を発見した。この地層の分布は現在の調査では、茶臼岳周辺に見られ、茶臼岩の下位にあることから茶臼岳の噴火前のものであることは確実で、同時に層理および化石からみて、塩原の木の葉化石とよく似ているので、そのたい積当時はカルデラ湖的な湖であったことが推定される。これらの事実から、茶臼岳は三本 嶺 岳、南月山の噴出物の火口であることは疑いない。

植物化石を含むたい積岩発見地 (×印)



植物化石を含むたい積岩の標本 (湖沼たい積)



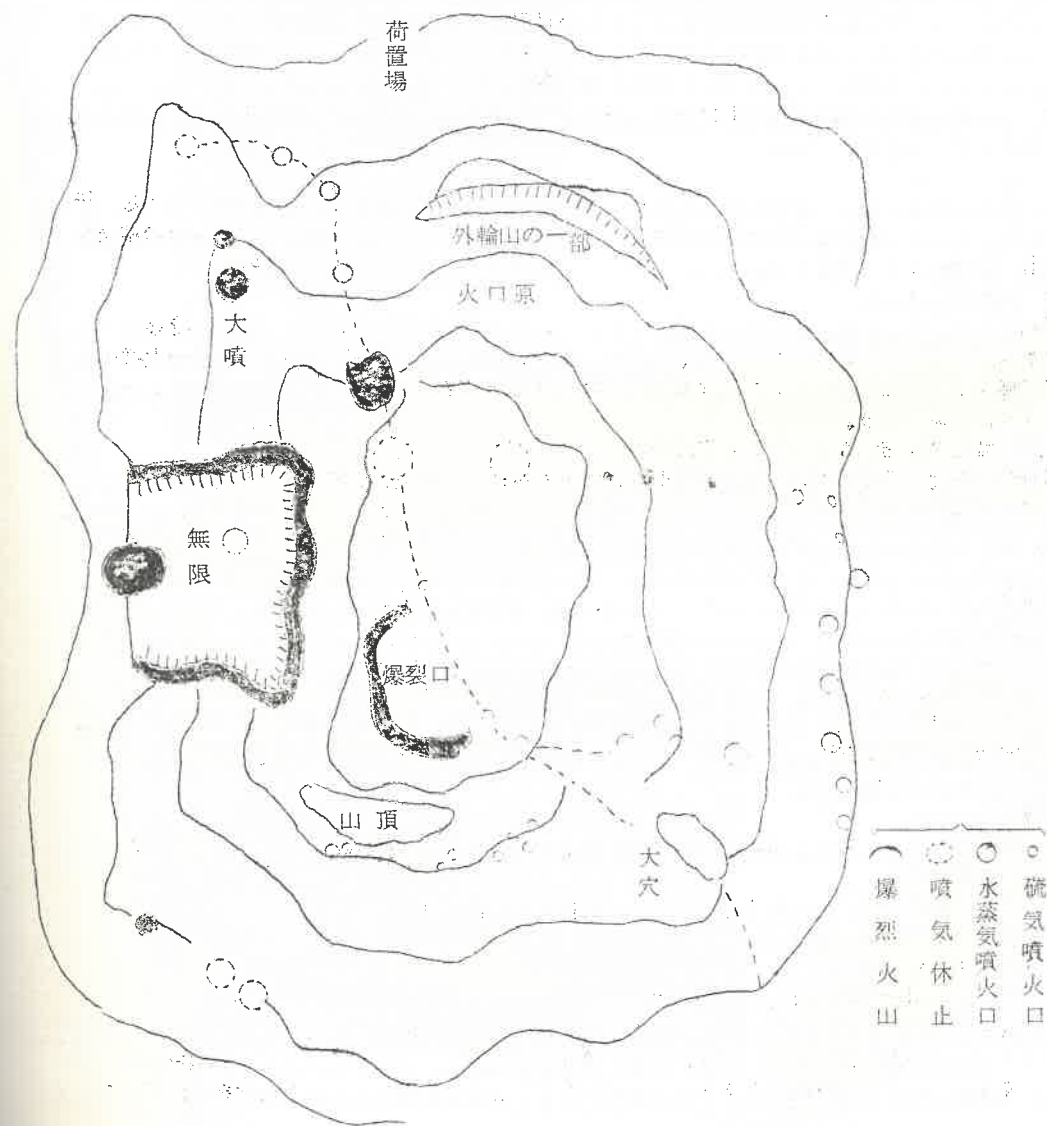
D. 茶臼岳の活動

茶臼岳は前述のように朝日岳、南月山の裾合に噴出したもので熔岩、集塊岩泥流、安山岩の碎屑物の互層からなっている複式成層火山である。茶臼岳の外輪山は中央火口丘によって南側は、おおわれ、北側のみ現われている。中央火口丘は歴史時代にたびたび噴火したもので現在イオウを採集している所で現在活動の中心である。茶臼岳熔岩の分布は噴気孔の分布から大丸から湯本（殺生石）と飯盛、高雄、湯本（殺生石）を結ぶ範囲と推定される。

a) 中央火口丘

図は中央火口丘を示したもので、その爆発火口の主なものは無限、大噴（旧火口などであり、それは何れも歴史時代に噴火したもので現在最も活動の盛んなところ）は無限である。昭和29年10月24日～29日にわたる噴火はこの無限火口内に噴火したものである。

茶臼岳中央火口丘・外輪山地形図



ア、茶臼岳の噴火年代は文献資料とイオウ鉱山の資料により、35~36年の周期で噴火している。さらに興味深いことは、鉱山に勤めている人の話によると明治14年の大噴の噴火が大規模であったということである。この話を聞いてから文献を調べてみたら那須火山群と重要な関係を持つていたことがわかった。それはこの噴火を皮切りに那須火山帯の磐梯山の爆発、さらに安達太良山、蔵王山と噴火が北へ北へと移動した事実がわかった。以上のことから、火山の噴火には周期性があるということと、火山帯における岩脈の低温にも一応の規則的な流れがあるように感じた。

① 昭和28年10月24日~29日の噴火について

地学クラブでは24日の噴火の報告を受けてから、那須町出身の部員で28日から交対で11月4日まで、調査を行なった。この噴火は無限火口内に噴出したもので噴火の型は爆発性で噴出物は浮石、火山岩塊、火山灰（いずれも黒灰色）などで火山灰の降灰地域は広谷地まで、見られた火口付近では、平均15cm、厚いところで30cmも積った。また降灰の多いのは北西方向地域である。火山ガスの測定実験には、アンモニア水による塩化水素、さくさん鉛溶液による硫化水素の検出を行なった。方法は持参したアンモニア水及び酢酸鉛溶液の広口びんの口をあけたまま火口50mまで近づいて行なった。アンモニア水の方はもうもうたる白煙がたなびき、酢酸鉛溶液の方は、うすく黒く変っただけであった。また刺激は非常に強く、目、のどが痛かった。硫化水素臭気はそれほど感じなかった。この結果、火山ガスは水蒸気と塩化水素が多く、硫化水素は少ない事がわかった。なお、この噴火前後の地温を測定した結果をみますと、噴火当時の地温が最も高く、日がたつにつれ、地温は次第に低下している。

② 殺生石

茶臼溶岩の東端にあり、東西方向にのびる一つの構造線上にあり湯本の噴気孔に続いている。伝記で有名なだけで、構造的には湯本の噴気孔と同一であると推定される。発生ガスの検査の結果硫化水素、亜硫酸ガス、炭酸ガスが多い。

③ 現在の活動状況

昭和28年の噴火現場は現在では水蒸気も少なく、イオウが流れ出し、ガスも噴火当時多かった塩化水素が少なくなり、硫化水素が多くなっている。28年から29年までの間、無限→大噴へと南方に移っていったことから、これは那須火山の活動は南へ移動しつつあることがうかがえる。

(3) 温泉

1) 温泉の分布および泉温、泉質について

那須温泉とは一般に湯本、大丸、三斗小屋、弁天八幡、北、高雄、飯盛、板室温泉を総称している。私達の調査で泉源として価値あるものは、湯本、大丸、三斗小屋、弁天、北、高雄、飯盛、板室である。しかし板室温泉は才三紀層から湧出しているため成因上は塩原温泉に近く、那須火山系ではないと考え、ここでは除外する。これらの温泉は場所により現在活動中の火山により泉温も泉質も異なっている。この中で湯本、大丸、三斗小屋、飯盛、高雄温泉は火山ガスを多く溶解し、酸性泉を呈している。北、弁天温泉は火山ガスはほとんどなく単純温泉を呈している。これら火山ガスを多く含む酸性泉は茶臼岳の火山活動と直接関係があり、特に茶臼溶岩の割れ目、または割れ目にあるものは高温でその付近は粘土化し、降雨が少ない時は噴気孔または、硫気孔となつて温泉として価値がない。これに対して、茶臼岳からはなれた北温泉とか茶臼溶岩のはん周内でも岩石の割れ目にとほしく、例えば、集塊岩泥流内にある弁天・飯盛などは前者に比べて割合に温度が低く、しかし、湯量はほぼ一定であるので、泉温が高ければ、高泉としては非常に価値がある。

調査の主眼

- 温泉源の分布と各温泉の泉温、泉質の特徴をしらべ火山の地質構造とどのような関係をもっているかを推定すること。
- 「雨が降った後、湯が熱くなる」という風説を科学的に解明すること。
- 温泉の湧出機構を解明すること。

この3点に主眼をおいた。

(4) 降雨後の泉温の上昇について

よく温泉において「良い天気が続くとぬるくなり、雨が降った後熱くなる」と言われているので地学クラブでは三斗小屋に合宿中、雨量、泉温、湧出量を測定し、それぞれどのような関係をもっているかを調査した。この調査はクラブ員が主体となり、三斗小屋温泉の人にも援助をいただいた。

測定結果は表の通りである。雨量は雨量計、泉温、湧出量は泉源で午前10時に測定した。次ページの図から、雨が降ってから数日後まで泉温上昇し、また湧出量も増加しているが、晴天続き、降雨がないと泉温は、しだいに下降し、湧出量も減ってしまう。

現場での実験、測定



以上の事実から、これらの現象が実在することがわかった。それで、この原因を探究すべく現場を学校で実験した。これから、実験について述べる。

A. 現場での実験

夏休みの合宿の都合で三斗小屋の噴気孔で実験した。

a. 噴気孔の地質

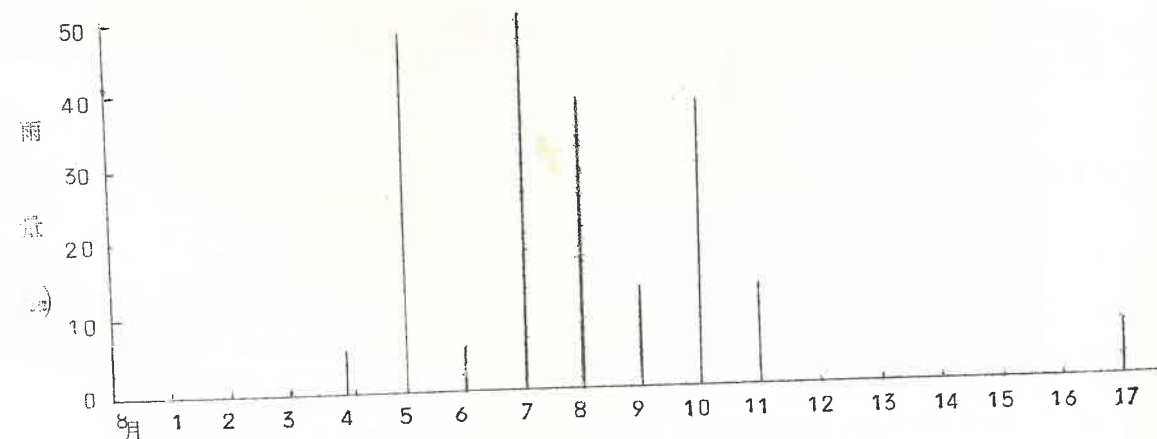
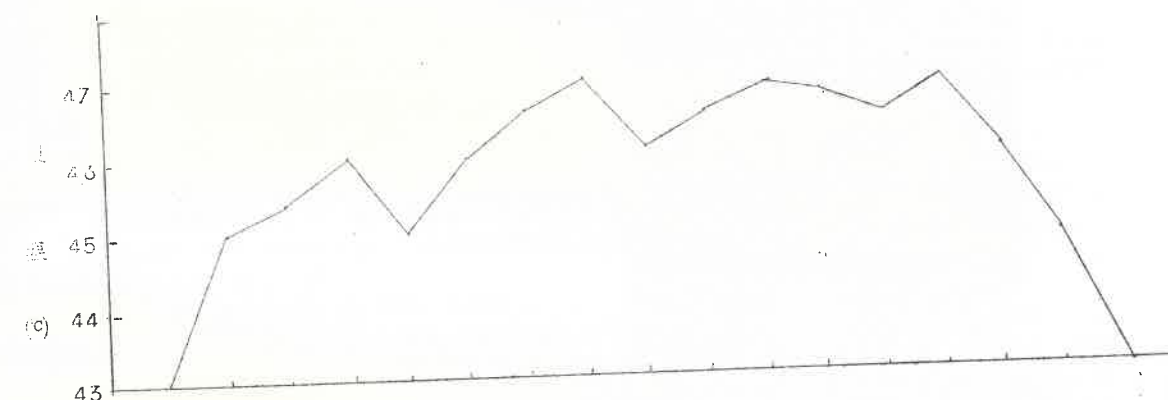
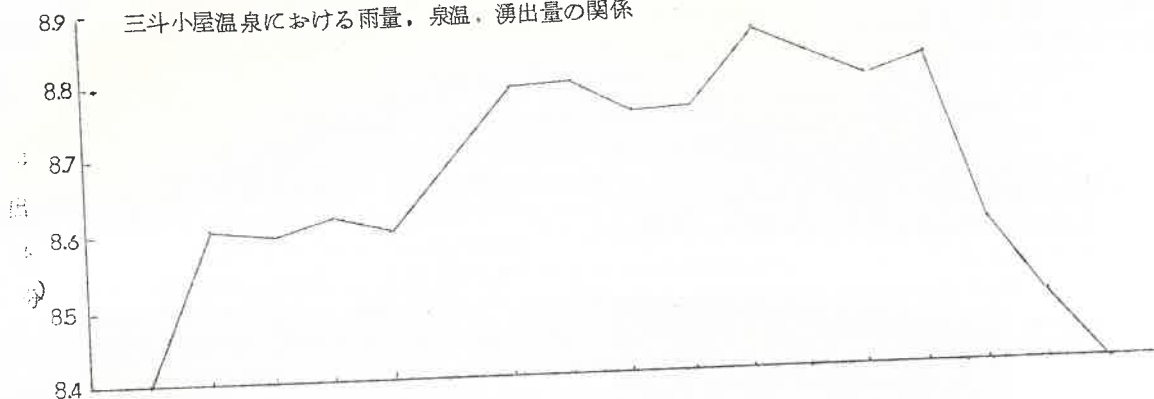
この噴気孔は三斗小屋温泉の泉源から約300mはなれた山腹にあるもので小規模の爆烈火口の跡で、表層部は爆発時に噴出した安山岩の角れきでおおわれて、下層部は集塊岩で火山灰の部分は熱のため粘土化している。ガスは硫化水素が多い。晴天が続く場合は噴気孔としては存在しているが降雨があると、天水が表層部の角れきの間を透過し、熱せられ温泉となっている。泉温は9.3℃で降雨後は沸騰泉となっている。P・Hは東洋のろ紙の試験紙で行なった結果3~5の間で酸性が強い。この表層部内の温泉水の流れは水脈をなしており、流速は実験により1時間に約162m前後で流れている。その実験は地下水系調査と同じ要領で試薬は塩化アンモン 1kgを沸騰泉の中に投入し、採水し、ネスラー試薬でアンモニアを検出し標準液と比較して濃度を決めた。投入地点から湧出地点までの距離は27mあり、最高温度までの時間が10分かかったので、距離を時間で割って流速を求めた。その結果を示すと次のようになる。

投入時間 昭和35年7月27日 午前11時

採水番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	最高濃度までの時間(分)	投入地点からの距離(m)
濃度	△ 25	◎ 100	○ 50	△ 40	△ 10	△ 10	△ 10	△ 10	△ 10	△ 10	10	27
採水時刻	11.05	11.10	11.15	11.20	11.25	11.30	11.40	11.50	12.00	12.30	平均時速	1.62m
経過時間(分)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	90	$\frac{27}{10} \times 60 = 162$	

-54-

三斗小屋温泉における雨量、泉温、湧出量の関係



b. 泉温と湧出量の実験

調査日の前日（昭和35年7月26日）が豪雨であつたので噴気孔が地下水の浸透のため沸騰泉となつていて、噴気孔の近くは粘土の透間から約4cm自噴していた。実験の構想は現場で相談した結果、この自噴地帯を利用することに意見が一致し、正常の状態で自噴している高さおよび、その時の泉温と池を作り水位高め水を浸透させた後の自噴の高さと泉温、これらについて相違があるかどうかを調べることにした。

実験順序は

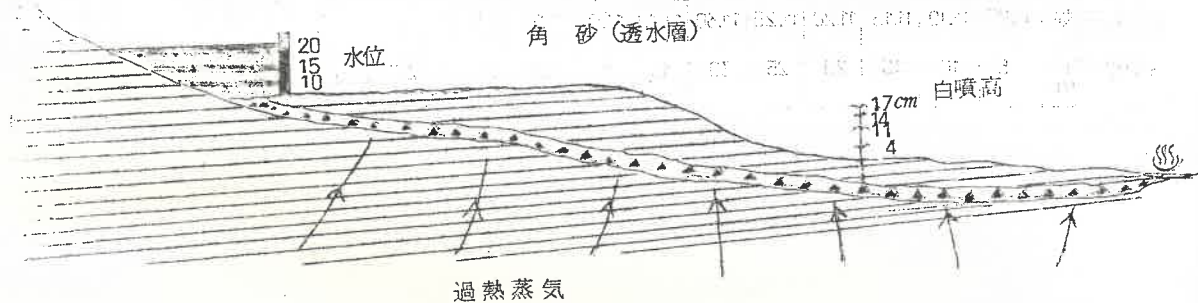
- ① 正常の場合の自噴高と泉温の測定
- ② 池の 水の深さを10cm、15cm、20cmに分けてその時の自噴高、泉温を記録した。

その結果を示すと次のようになる

池の 水深 (cm)	自噴の高さ (5回平均cm)	泉温 °C (5回平均)
0	4	71.5
10	1.1	73.0
15	1.4	73.8
20	1.7	74.2

この実験で池を作り水位を高めることにより自噴高泉温とも大となることがわかつた。なお、この実験池の湧出状態を調査するため、約25cmほど掘つた。

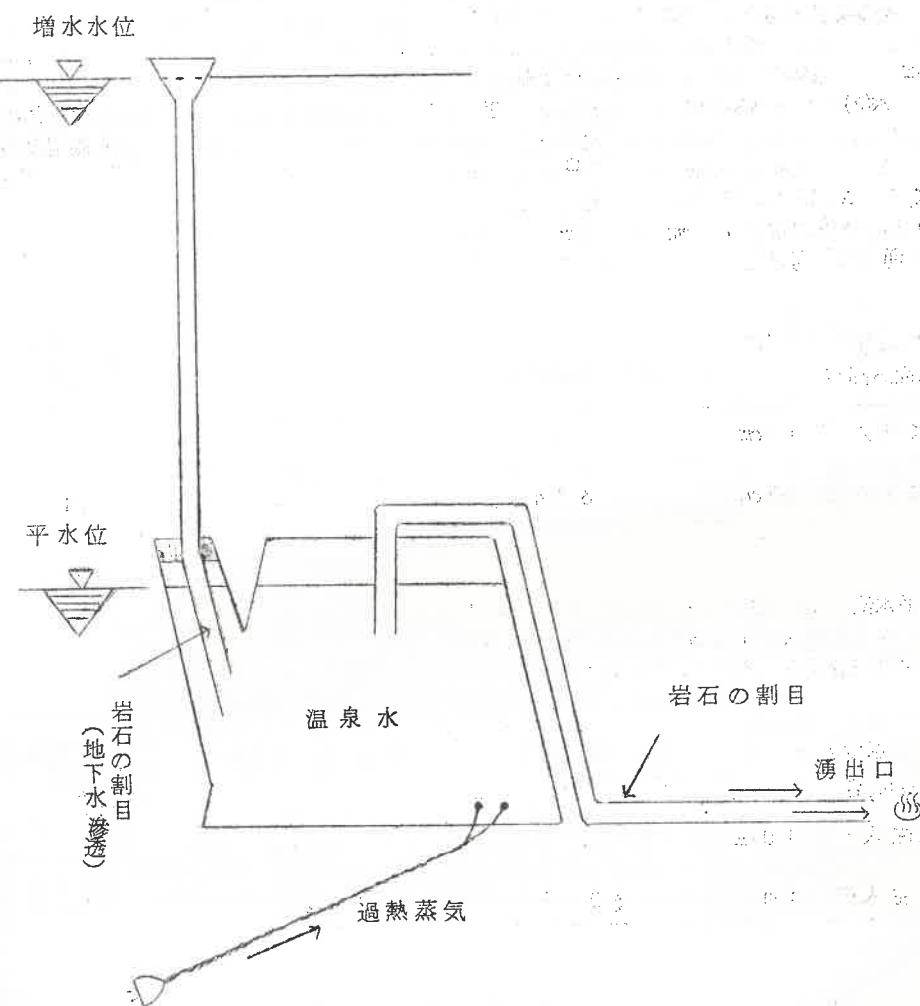
この断面をもとに書いた模式図を示せば次のようになる。



この断面から、この温泉の湧出状態は粘土層（不透水層）にはさまれた。中間に角れき、砂があり、ここは非常に水を透し易く、ここからしみこんだ地下水は過熱蒸気により暖められ、温泉となつて上昇している。上昇のしかたは温泉水は冷い地下水に比べて比重や粘土性も小さく、冷い地下水の圧力に押されるため上昇するように考えられる。その時温泉水は最も低抗の少ないところを選んで上昇しているように見える。

B. 学校での実験 - ポットによる実験 -

以上、述べた現場での実験を校内実験で裏付けられないものかと考え、温泉の湧出にかなつた実験装置をクラブ員から募集したところ、ポットが温泉の湧出機構を説明するのに最もよいということになり、これを採用した。（ポットはクラブ員の家から借りたものである。）想定は次の図のようにした。



実験1 水位上昇前後の泉温と湧出量の関係

- ① 最初にポットに満水し、次に電源にさしこみを入れ、湧出口からサイフォンで常時湧出させ、
 - ② 湧出口の温度が60℃になったところで電源を切り、
 - ③ ポット内の湯が湧出口までく間にどの位冷却されるか、その温度差を調べた。その要領は電源を切ってから余熱上昇によつて最高温度になったとき、同時に測定した。
 - ④ 次に冷水注入のビニールパイプをポットの口に入れ、テープで巻き①、②の操作を行ない、
 - ⑤ 60℃になつてからの湧出量を測定した。
 - ⑥ 次にポット内にロートから、高さ(水位)を決めて(50cm, 1m)水を注入し、その後の各々の泉温と湧出量を測定した。その結果を示すと次のようになる。
- ① ポットに水を満水、サイフォンで湧出。②、湧出口の温度60℃で電源を切る。③、60℃で電源を切つてから余熱で温度上昇、その最高温度66.5℃(3回平均)その時のポット内の温度69.5℃(3回平均)この状態では(平水位)ポット内から湧出口までの冷却による温度差は3℃である。④、冷水の注入口をテープで巻き、満水して熱す、そして湧出口の温度が60℃になつたとき電源を切り⑤、湧出量測定の結果、20秒間にわたつて測定した結果32.5cc/sec⑥、ポット内にA) 50cm, B) 1mの高さから水を50cc注入し、泉温と湧出量を測定した。
- A) ポット内の水位10cmから50cmに高めた場合
 ○湧出口最高温度67.4℃, 湧出量42.6cc

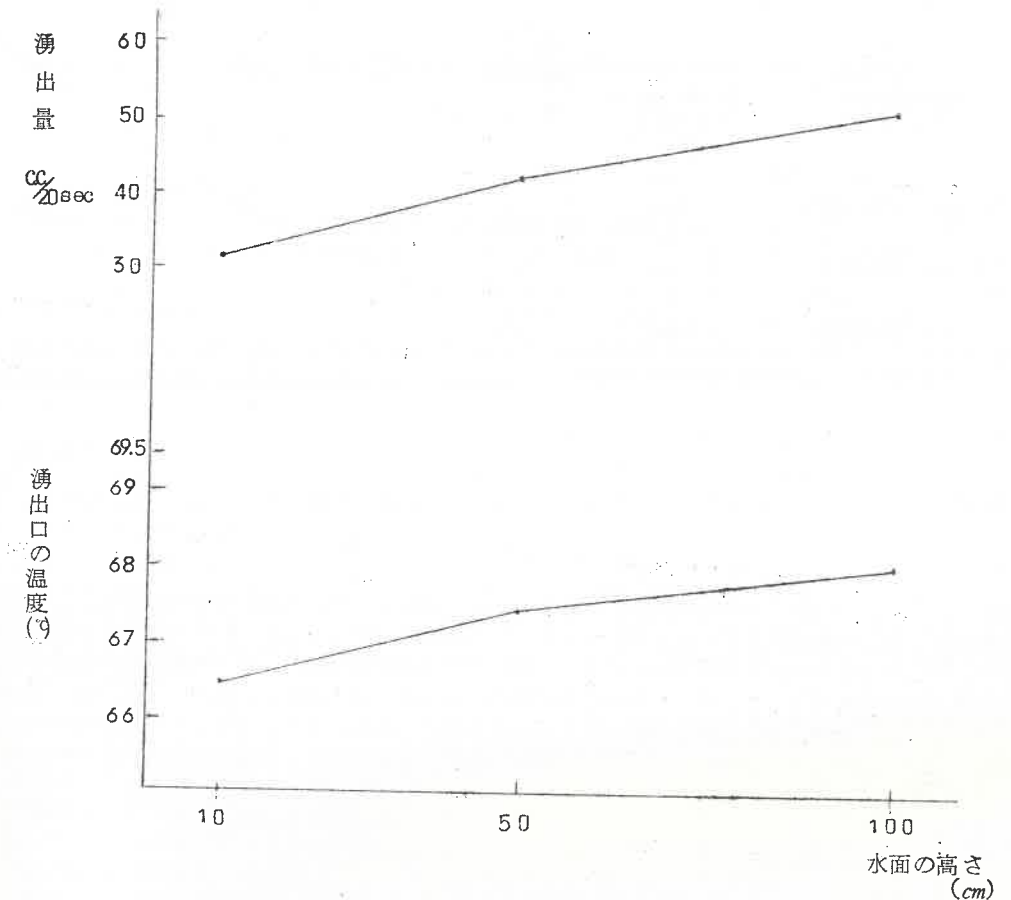
温度と湧出量 水面の高さ	湧出口最高温度℃	湧出量 20秒	ポットの温度と湧出口の温度差
水注入前 10cm	66.5℃	32.5cc	3℃
水注入後 50cm	67.4℃	42.6cc	2.1℃

平水位(10cm) → 増水位(50cm)との比較

- B) ポット内の水位10cmから1mに高めた場合
 ○湧出口最高温度68℃, 湧出量52.2cc

温度と湧出量 水面の高さ	湧出口最高温度℃	湧出量 20秒	ポットの温度と湧出口の温度差
水注入前 10cm	66.5℃	32.5cc	3℃
水注入後 1m	68℃	52.2cc	1.5℃

A, Bをまとめると

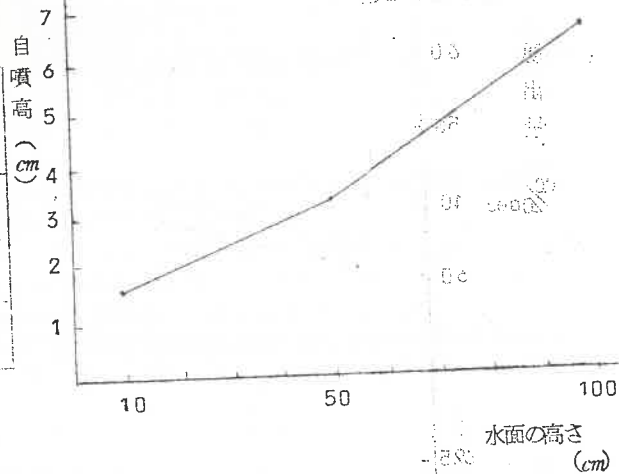


以上の結果から水位を高めることにより、湯温、湧出量とも増大することがわかった。

実験2 水位上昇前後の自噴高の測定

湧出管の途中に細いガラス管(口径1mm, 長さ1.5cm)を入れ、前の実験のように最初にポットに満水し、次いで熱し、湧出口の温度が電源を切り余熱で最高温度になつたとき、水100ccを注入し、増水位(50cm, 1m)にし、その各々の自噴高と平水位(10cm)の自噴高を測定し比較した。

水面の高さ (方面から)	自噴高 cm (ガラス管を 含めて)
10 cm (平常水位)	1.7 cm
50 cm (増水位)	3.2 cm
1 m (増水位)	6.6 cm



以上、ポットの実験でも現場の実験と矛盾しないことがわかった。これは水を加えた事により水位が高まり、はじめの水圧より大となり、トリチェリーの定理 ($v = \sqrt{2gh}$) により流速が増大したため、同じ断面積を通過する時間が速くなり、単位時間の流量も増加し、従って途中の冷却度も前より小さくなりそれによつて、前より高温の湯が湧出するものと考えられる。以上、各種実験で雨が降った後、湯が熱くなるのは、以上の理由によるものと考えられる。また、このような現象は河川の近くの温泉で降雨による河川の水位の変化が多いところで水を透し易い、岩層の割れ目の発達した場所ほど、顕著であると推定される。

☆ 黒磯地区から見た連山



研究者氏名

指導教諭 提 橋 昇

遠藤 嘉 溝 猪 股 学 印 南 洋 一 永 山 勝 雄 奥 田 次 男 藤 田 近 邦	岩 岡 敷 渡 辺 糸 薄 井 智 子 熊 谷 綾 子 塩 田 輝 夫 花 塚 英 夫	池 村 盾 一 森 勝 一 国 府 田 晃 室 井 三 男 白 井 喜 久 治 阿 久 津 博 子	人 沢 ヤエ子 黒 崎 佑 子 江 連 貞 子 平 山 洋 子 清 水 通 大 塚 秀 雄	前 田 正 道 秋 元 栄 星 忠 一 松 本 俊 文 横 尾 軍 三 横 井 晶 紀
--	---	---	---	---

那須野が原地下水の研究

総合編

〔1〕 従来の研究のあらすじ

私達地学クラブは、那須野が原の地下水の研究を始めて本年で8年目になりました。その間学生科学賞に2度出品し、才1回は校内を実験場として、地下水はどういう所にあり、またどのような経路をもつて流れているかということについて、地質学的過程に基づき、地下水のよく出る井戸に薬品を入れて、下流の数箇所の井戸で汲み上げ、濃度を測定し、最高濃度と井戸間の距離から地下水の平均流速を求め、最も流速の速い井戸と投入井戸を結んだところが地下水の流路と判定し、さらに電気探査を行ない、その結果地下流水の速いところは地下の谷になっていることが判明し、試験掘りしたところ電気探査の結果と一致するばかりか、非常に豊富な水量があることがわかりました。ここで才1の出品を行ない、本県で最優秀賞を得、中央展出品になりました。その後、ここで自信をつけた私達は校外に進出し、学校の農場2箇所に、才1回目と同様な実験を行ない、試験掘りをしたところ、みごとに成功しました。その1つは水田用水源として、1haを灌漑しております。また1つの農場は果樹用薬剤散布用として、スプリンクラーを設置し、大量の水量を使用し、役立っています。この実験が地域社会で認められ、この手始めとして、西那須野の水道の水源調査に当り、クラブ全員が総力をあげて実施しました。その時の電気探査は、非常に狭い間隔で3測線、計11測点を実施し、完全なる地下谷上の点に試験掘りしました。その結果渇水期であるにもかかわらず、水量が豊富で、6インチと、8インチの揚水ポンプ2台で汲み上げても汲みきれず、潜水夫を頼んで掘り、1日に1万トン以上の地下水源を見つけました。本年の異状の渇水で、他の井戸は、ほとんどかかれてしまいましたが、この井戸だけは、断水の心配がなく、町民も安心して使用し、感謝されています。またここで女子クラブ員総がかりで、伏流水の経路、及び根原の手がかりをつかむため、伏流の予想される各河川における上流の岩質の違いを利用して、井戸内の砂れきの粒度分析と、岩質調査を行ない、伏流河川の影響圏を、調べ上げました。また地下谷に豊富な地下水があるという実態を地下谷上の井戸で大きなポンプにより、地下水を汲み上げ、岩盤まで掘つてもらい、地下谷基盤の上にある砂れきと、高まり上の砂れきの状態を、カメラにおさめました。その結果、地下谷上の砂れきは、大きいものでは直径約50センチのものがあつて、ハンマーの柄が入る大きなすきまも見られ、ここから大量の地下水が流れていることを確かめました。また基盤の高まり上の砂れきは、ほとんど粘土混り砂れきですきまはなく、水透しが悪く、少量の水量しか流れていないことを確かめました。この結果を、才2回学生科学賞に出品し、県で最優秀賞、中央で総理大臣賞を獲得しました。その後、3年経過した現在、地域社会よりも依頼も非常に多く、電気探査機2台を利用して、先生の指導で、すでにこの3年で電気探査を約700測点を実施し、私達もようやく自信をもつことができました。この間で那須野が原全般に、電気探査を実施することができ、ようやくこの原野の地下構造の主要をつかむことができました。同時に地下谷に堆積しているれきが大きく、地下の高まりに堆積しているれきが粘土混りで小さいのは当時の河道の流水の流速によるものであることから、洪水後、川に行つてれきの堆積状態と侵食状況を観察して、地下谷を作つた河川の環境の手がかりをつかみました。更に又地下谷と思われる井戸に入つて、水の多量に出てくる所のれきを採集したところ、地下水の経路が水あかとなつてよくあらわれ、この事実から地下水の豊富に出る所は、地下川的存在になっていることを確かめました。この他、伏流水として那須野が原に最も広く影響を及ぼしていると思われる篠川系と、蛇尾川系について雨量と、地下水位の観測を行ない、洪水雨量の場合、地下水位に極端な変化が見られ、地下谷と思われる地点の変化がはなはだしく、はずれるに従い、かんまんになることがわかり、那須野が原のれきの透水性の関係について知ることができました。更に平常、水無川となつている蛇尾川、熊川が一度豪雨に見まわれると急激にはんらんし、各所に大きな被害を出しています。その原因は、地下内部構造にあるものと考えて地質調査や、電気探査を主体に流量調査、井戸調査などを行ない、地下構造の概要をつかむことができました。従つて才3報は、那須野が原の全域にわたる地下水の総合研究の一段階として、才2報以降の調査研究を発表します。

〔2〕 那須野が原全域の地下構造と地下水との関係
私達は従来は学校の周辺地域の一部を調査し地下水のあり方について実験実証してきましたが、那須野が原全般の地下水をまとめるためには、不透水層と透水層をまず明らかにせねばなりません。しかし4万haもあるこの地域はほとんどが平地のため内部構造をつかむことには極めて不便で、手がかりとしては扇状地をとりまく河川の露頭から手がける以外にはありません。河川の露頭としては箒川と那河川だけで、その中で那須野が原の地下水を見通す露頭は那河川が非常に良好なので、那河川の露頭調査から着手しました。特に地下水に関係ある露頭が黒磯町に見られるので黒磯を中心に始めました。そしてここで得た資料を中心に、那須野が原全体にあてはめて電気探査を行ない展開していきました。従ってこれから調査の基礎となつた黒磯地区を中心に全般について述べることにします。

(1) 黒磯町那河川沿いの地質

白 崖 の 露 頭



とオ1報、オ2報で述べた高原火山起源の軽石を含む凝灰岩（大田原浮石層と名づけました）からなっています。さらに那河川左岸には基盤の2層が良くあらわれております。以上の分布からこの時までの生いたちを組立てながら考えてみますと、高原火山起源の大田原浮石層の堆積後基盤が隆起し西方山地から流れていた河川が基盤である大田原浮石層を

(白崖地区と鳥の目地区)

那須野が原の地層の地下水全般を推論するには、まず地下水の基盤から上部まではつきりわかる露頭を手がかりにすることが最も大切であると考えました。幸い白崖、鳥の目という地域は那須野が原内部をえぐりとつた大きな浸食崖で必要な地層が続いてそなわっており、地下水も豊富に湧出しているので、ここを重点に調査しました。調査は露頭の地質調査と電気探査を実施しました。

(1) - A地質調査

那河川をはさんで西側沿岸の白崖は約30mの崖からなり全露頭総て砂れき層からなっており、下部砂れき層は那須火山の噴火前の堆積物である石英粗面岩の円れきを多く含み、上部に行くに従って那須火山の噴出物である安山岩の円れきを増しております。

白崖より東側にある鳥の目に入ると崖の高さは白崖より低く、砂れきは約20mの厚さからなり火山噴出物の安山岩の円れきを多く含んでおります。その下には基盤が露出し、そして地下水はこの基盤と砂れきの境から滝のように流れています。

基盤には那須火山起源の安山岩の角れきを含む凝灰岩（ここでは便宜上那須火砕岩層と名づけます）

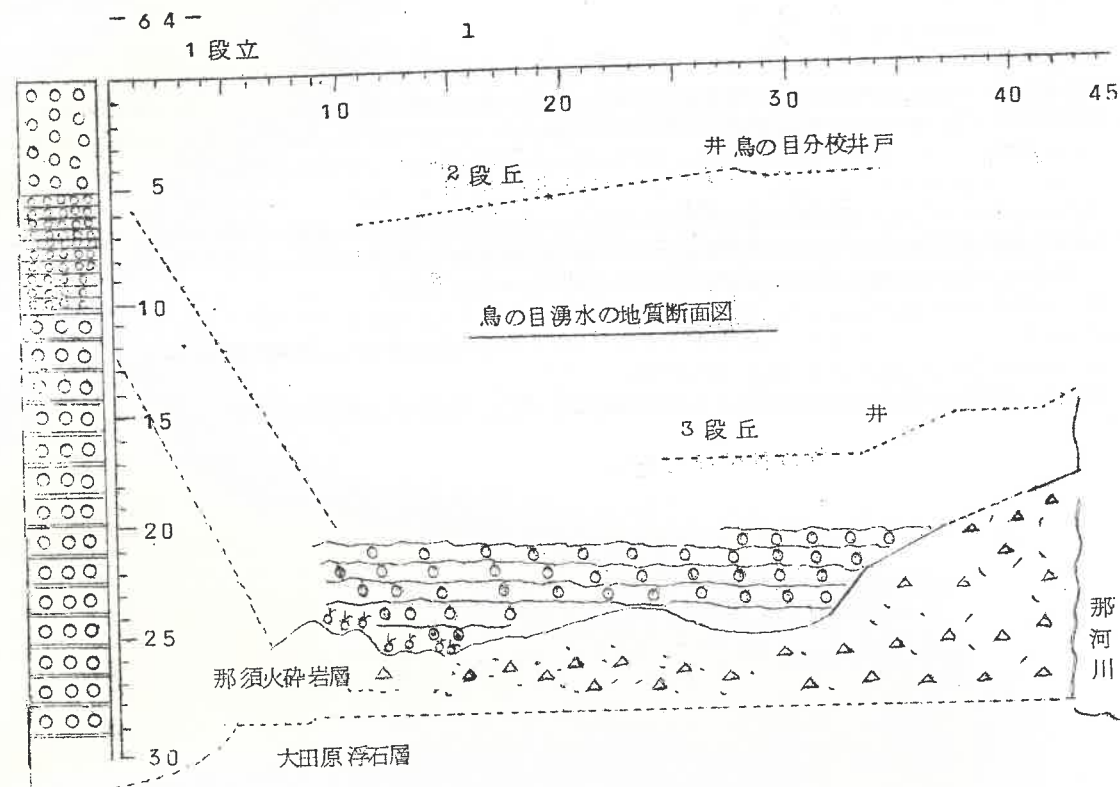
鳥 の 目 付 近 の 地 形



浸食し1つの河道を形成し、その凹地を西方山地から運搬してきた砂れきが堆積し、これが旧那河川河道の初期のものと思われます。その後那須火山の噴火が始まり、その河道に入った噴出物はすべて流されたと思われます。那須火山の噴火が激しくなにつれ浸食基準面も大きく変わり、河道にはいろいろの砂れきが堆積して、その後河道も次第に変わり川幅も広くなり、すでに堆積した那須火砕岩層にも浸食がおよび1つの河道を形成していったと思われます。

この河道が現在鳥の目の湧泉系列ではないかと考えています。那須火山活動が衰えたころようやく河道も安定し、現在の那河川とほぼ同じ流路をとり、盛んに浸食作用が行なわれ、現在のような白崖、鳥の目地域の大浸食崖を見られるに至つたものと思われます。

白崖：崖の露頭の内部構造は電気探査でどのように現われるかを調べるために、崖の上で条件の良いところを選んで実施しました。



図表 1

崖の高さは約30mで砂れきで構成され、肉眼でも約5~6mを境に砂れきが分かれています。ことがわかります。上部は白く下部は茶かつ色になっています。電気探査を行ない、比低抗曲線を作りこれをもとに図表2のような桂状図を作ってみました。

これから、地表から約5mまでは低抗の高い砂れき層からなり、それ以下は低抗のひくい砂れき層（粘土まじり）からなっており白崖の露頭とほとんど一致しました。

鳥の目：地表から約20mまで砂れきで構成され、その下が基盤で湧水は基盤と砂れき層の境から出ています。その中で基盤の凹地からは非常に豊富に出ております。ここでも低抗の高い砂れき層と低い砂れき層に分けることができました。このように、ここでも層が2つに区分できましたが、上部の砂れき層は白崖上部の砂れき層と同一の砂れき層として分けられますが、下部の砂れき層は、白崖は那須火山の噴火と同時代に流れたものが堆積したものであるし、鳥の目は那須火山噴出物から成る岩盤の上に砂れきが堆積していることから、那須火山噴火後堆積したものであり、白崖の下部の砂れきと堆積時代が異なっていることが推定されます。このことから白崖の下部の砂れき層は鳥の目砂れき層より時代が古く、白崖の中間が鳥の目砂れき層と同じ時代と考えられます。従って実際には、白崖の砂れきは上部、中部、下部の3つに区分けするのが適当と考えましたが、電気探査からは、中部、下部の砂れきの低抗が低いので、境を明りょうに分けることができませんでしたので、那須野が原の砂れき層を扇状地砂れき層と名づけることにし、白崖の中部、鳥の目の下部を鳥の目砂れき層と名づけることにしました。白崖の下部は電気探査で区分がむずかしいのと、30m位のさになるので地下水には、あまり関係ありませんので、名前をつけないことにしました。

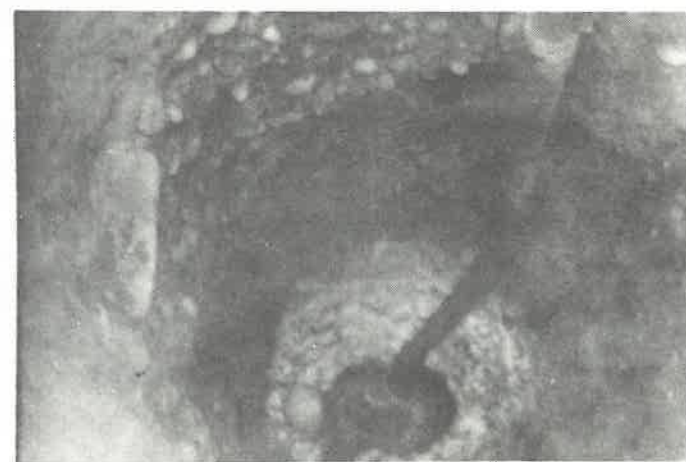
(2) 那須野が原の地下構造

扇状地内では上記の那河川の調査を基準に約700測点と、約200箇所の試験掘りを行ないました。これはいずれも地域からの、開田用の井戸の地点を選定するために、頼まれたもので、忙しい時は放課後3時半から、普通は土曜日の午後、日曜日を使って交代で行なってきました。電気探査は、1台は先生が使い、あとの1台は私達が使いました。

4万haの広大な面積でありますので、徒歩では調査ができませんので、すべて迎えに来てもらい、トラクターや、トラック、または乗用車で現場に向いました。

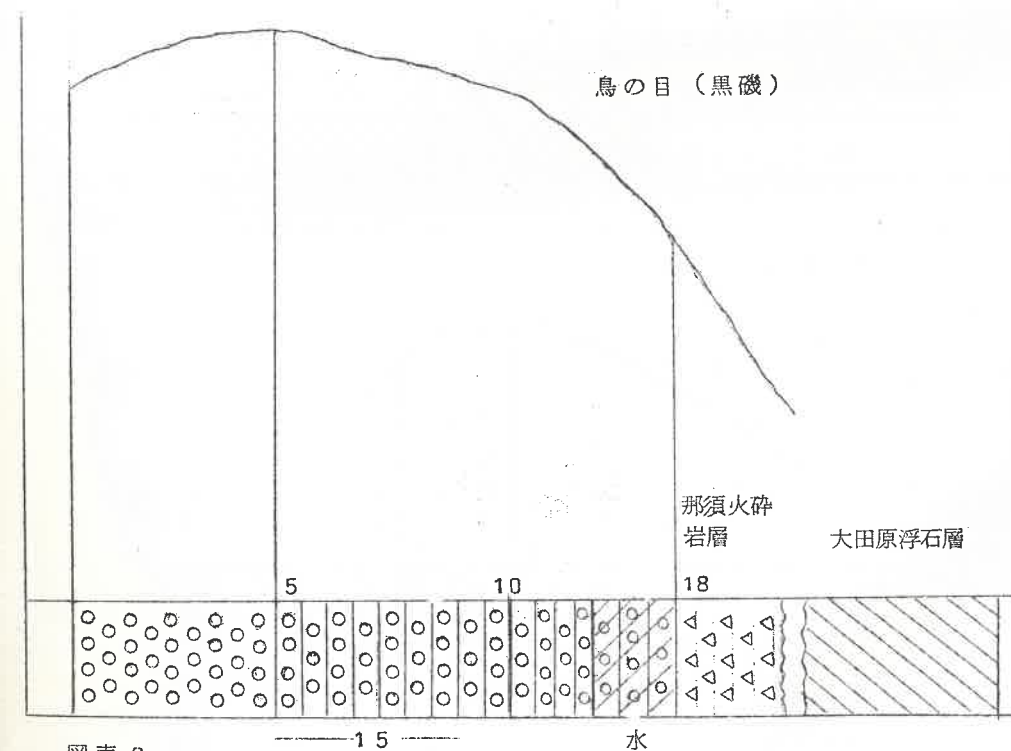
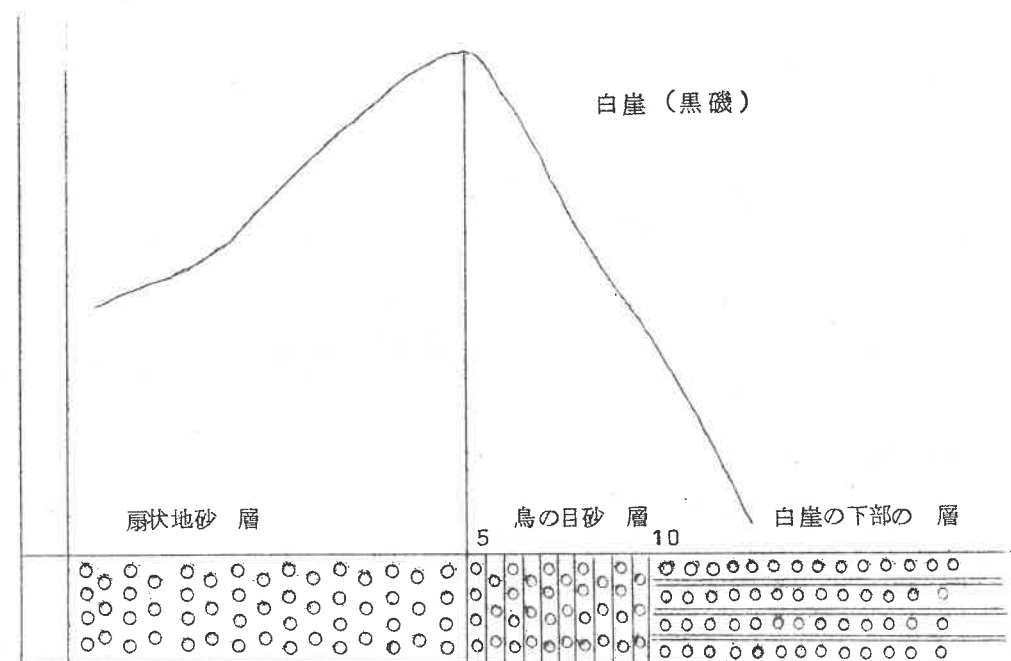
ほとんどの人が農家の人でしたので、よく協力してくれ、夏は日よけ傘を立ててくれたり、水を運んでくれたり、食料まで現場で補給してくれ、緊張の連続をほぐしてくれる心づかいに接し、研究の意気も調査回数が多くなると、益々盛んになりました。

また、最近調査終了後、研究座談会などを開くところもあり、調査前の準備と勉強も大変です。この調査の実態を、1部の写真で紹介しながら電気探査から試験掘りした井戸内部地層の比低抗曲線と桂状図を主にあげて、地下構造について説明します。

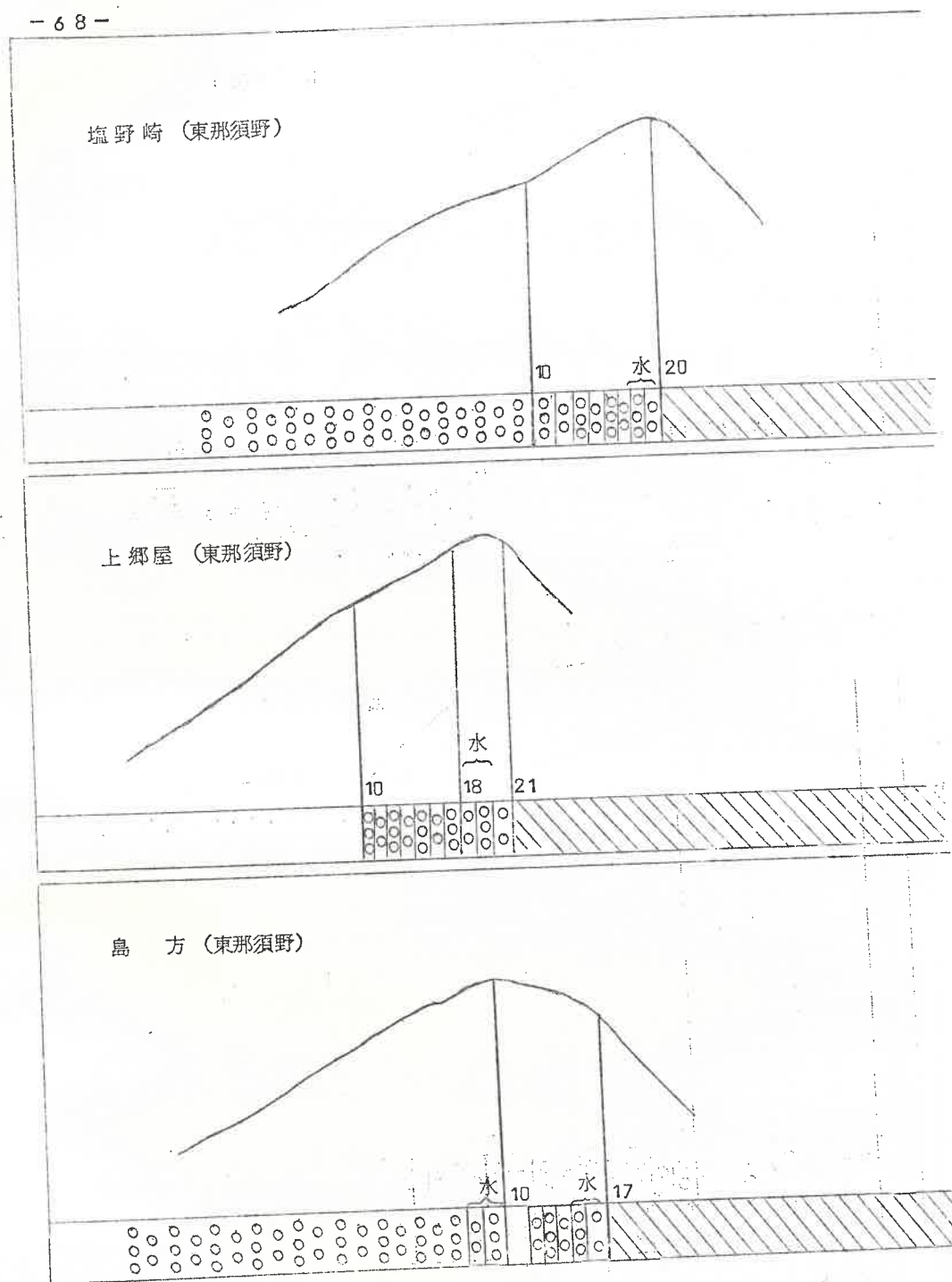




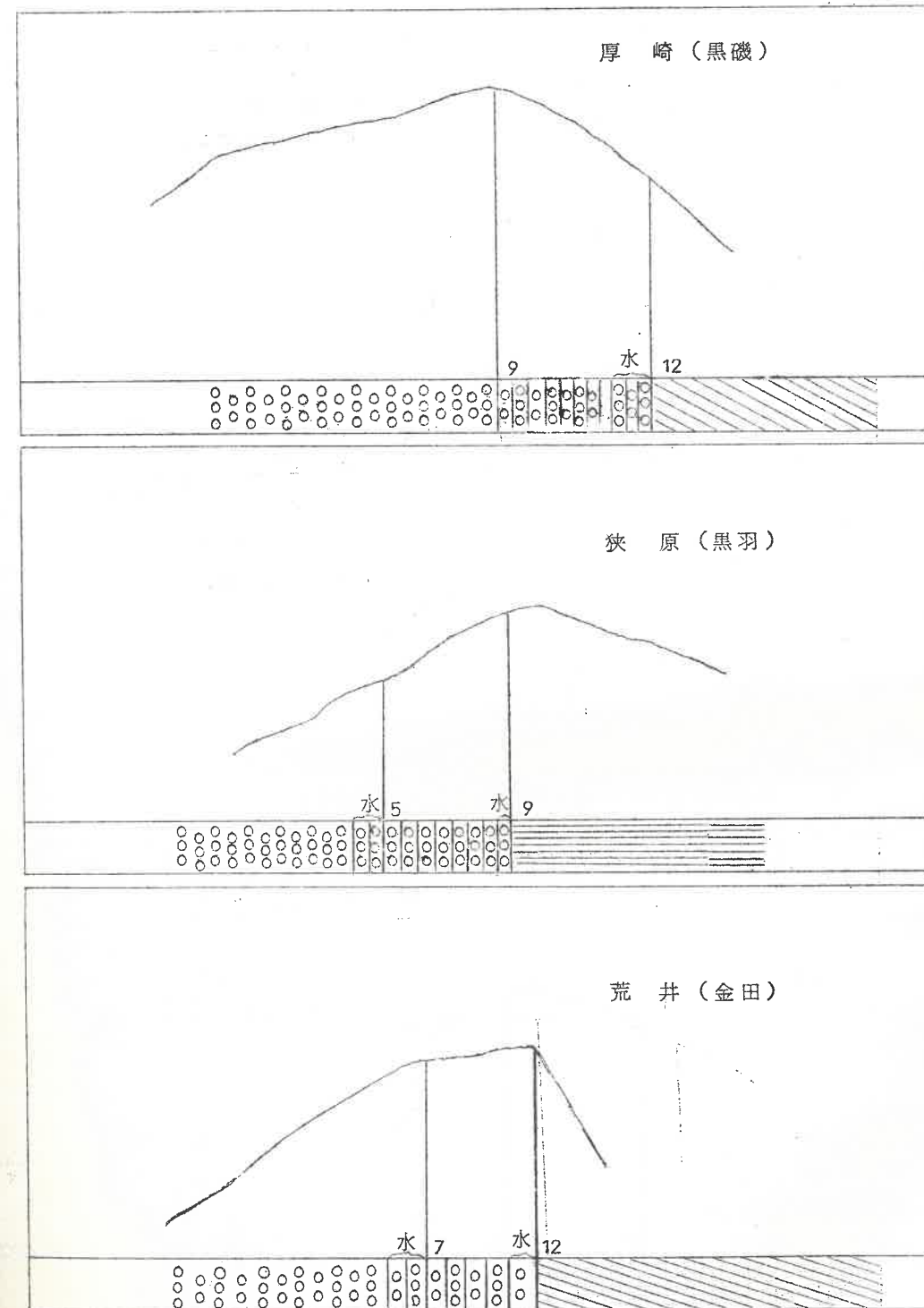
電気探査比抗抗.曲線と地質柱状図



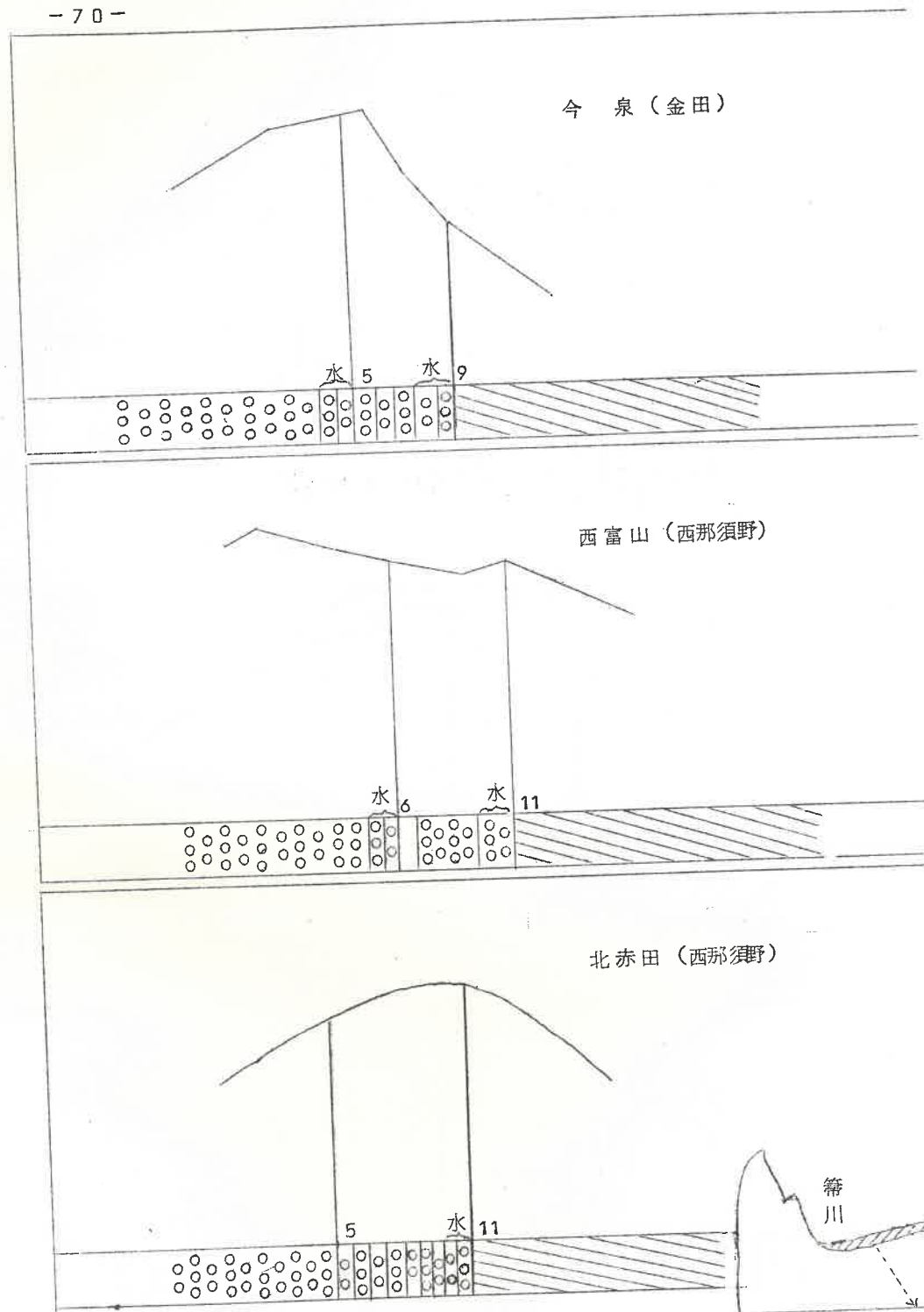
図表 2



図表 3

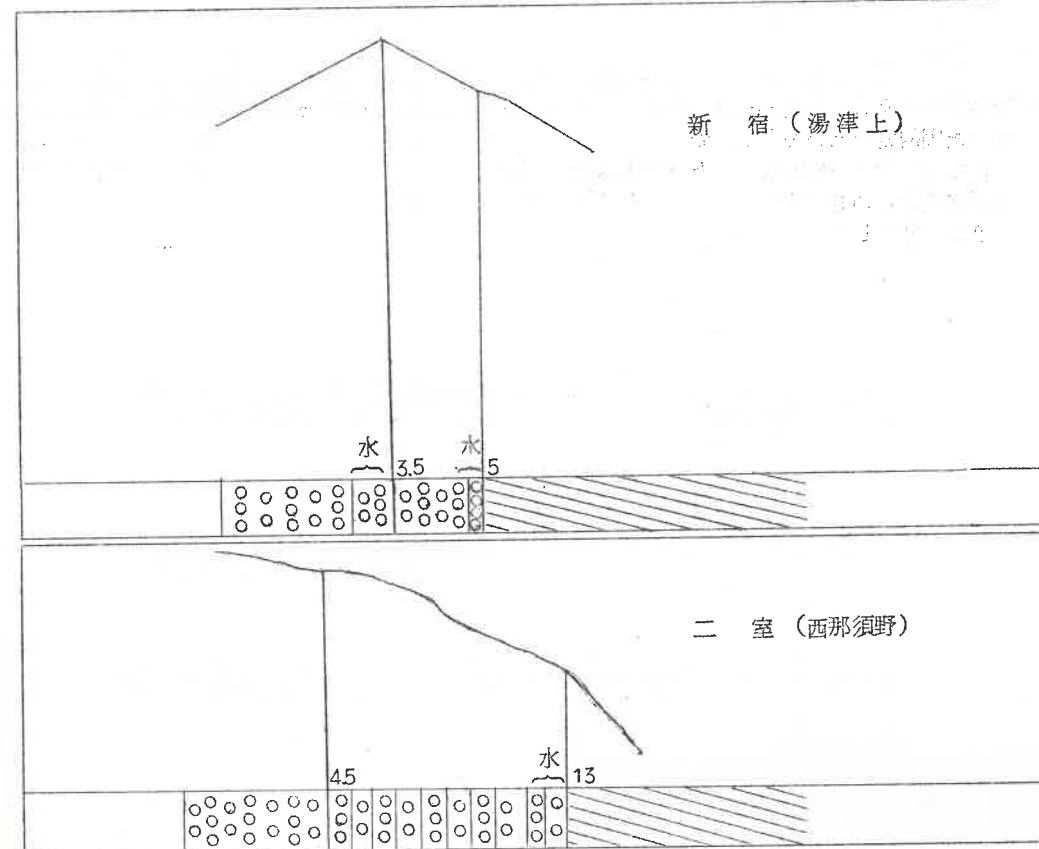


図表 4



図表 5

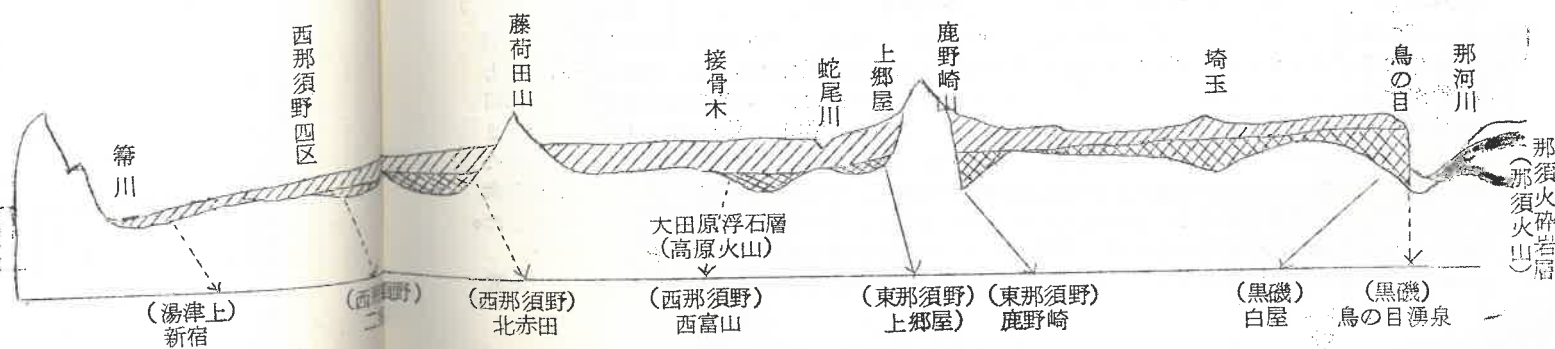
図表 7



図表 6

以上のように、電気探査による比抵抗曲線と、桂状図（試験堀りとほとんど一致しております。）から、いずれも砂れき層は黒礫の露頭で確かめたように2分され、低抗の高い砂れき層は地表から約3～10mの深さまで認められ、それより深くなると一般に砂れきの低抗が低くなっています。地質桂状図をもとに断面図を作ってみますと、上部約3～10mまでの低抗の高い砂れき層、すなわち前に名づけた扇状地砂れき層の分布は那須野が原一帯に連続して分布し、試験堀りの結果とよく合っております。

電気探査から推定される地質断面図（西那須野が原横断）



扇状地砂れき層の下は固結度の低い砂れき層に構成され、3~10cm以深は地下谷の部分を除いて基盤また固結度の高い粘土混り砂れき層、すなわち黒磯で調査し名づけました鳥の目砂れき層からなっています。上部の砂れき層である扇状地砂れき層と、下部の砂れき層である鳥の目砂れき層とのその境には赤土、いわゆる関東ローム層をはさんでいることが多く、扇状地砂れき層の区分に重要な手がかりになりました。



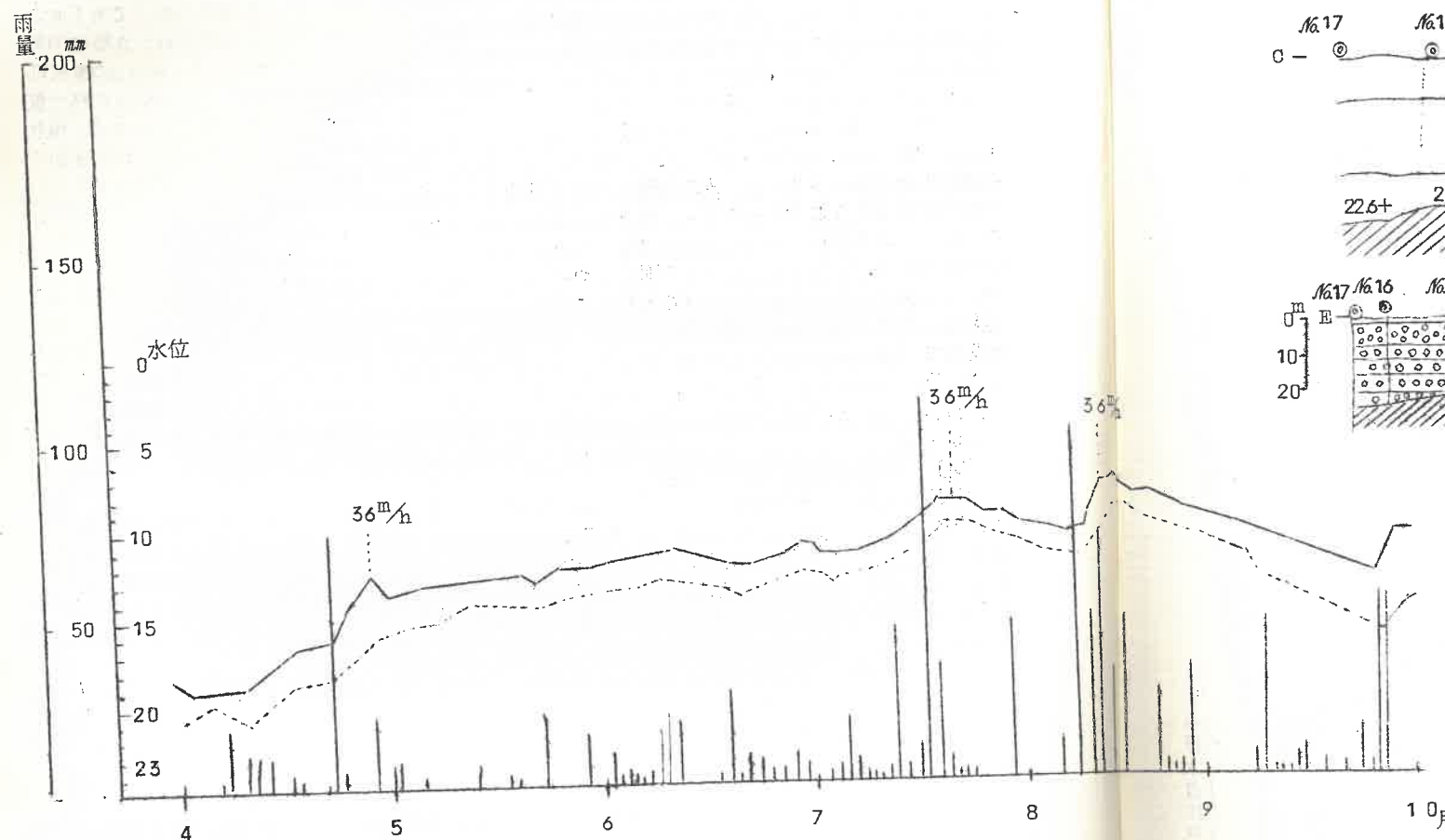
この砂れき層の区分によつて、地下水の帯水するところがよくつかむことができました。すなわち、透水層の下部は基盤（大田原浮石層、那須火砕岩層）と鳥の目砂れき層との境で、特に地下谷の付近、上部は鳥の目砂れき層と扇状地砂れき層との境が透水層になっていることがはつきりわかります。

これらの調査結果をもとにオ1報で予想した那須野が原の成立過程を補足して再び述べてみます。まず洪積世初期の那須野が原に湖が形成され、その後高原火山が噴火してこの湖を埋めました。これが大田原浮石層と名づける地層を主体としたものであります。その後地盤上昇運動などがあつて侵食区と化し、西方山地に発する諸河川は河床勾配が大きいため大田原浮石層などを削りとり、下刻および側刻作用が進行しました。この時期に北の那須火山の活動が開始し、北から火山泥流を押し出したので、東部の那須川河道は同じ時期に白崖の下部の砂れき層と那須火山砕岩層が堆積していきまし。この白崖の下部の砂れき層が堆積した当時の河道が那須川のオ1河道と思われます。その後那須火山の活動が休止し、この河道は更に東に移動して那須火砕岩層を侵食して、この時期に堆積した砂れき層が鳥の目砂れき層であります。その頃扇状地内部では熊川、蛇尾川、箒川等の河川の下刻および側刻作用がほぼ連続的に進行し、それらの流路で削り残された大田原浮石層から成る基盤の高まりをとるどころに残りました。これが西から南東にのびる丘陵列であります。この間には本流をなす旧河道のほか、流路の変遷による浅い谷と両側に基盤の高まりがあり、これらは現在地下に埋つています。扇状地の扇端部に行くに従い地下谷は浅く、かつ谷底が広がつてしまい地下谷の形は不明瞭になります。鳥の目砂れき層堆積の末期に多くの火山灰が降り堆積し、その後再び地盤上昇運動があり侵食区と化し多くの砂れきが供給され、侵食したところだけで厚さ、3~10mの砂れきを堆積しました。この砂れき層は扇状地の末端部の金丸原丘陵列を除いて那須野が原全域をおおいました。これが扇状地砂れき層であります。その後もこの上に火山灰が降り、これが地表をおおっている関

東ローム層であります。以上が那須野が原の成立の主要であります。これら地層の順序で地下水のある帯水層の主なものは鳥の目砂れき層と扇状地砂れき層があげられますが、鳥の目砂れき層は旧河道の本流である地下谷の部分のみが透水性が大で、渇水期でも1日1,000~4,000トン以上の揚水可能な水透しのよい砂れき層からなっています。一方基盤の高まりに堆積した砂れき層は全般に粘土混り砂れき層で、れきの大きさが小さく水透しが悪く帯水層としての価値は少なくなっています。扇状地砂れき層は堆積時代が新しいので全般に水透しがよい砂れき層からなっていますが、砂れき層がうすいので渇水期には水位がここまで上らないことが多いので豊富な水量はあまり期待できません。試験掘り結果からみますと、鳥の目砂れき層を利用できる範囲は地下谷が大きく深い扇状地の頂部、中央部に限られるようであります。地下谷の小さく浅い末端部に行くにつれて利用価値は少なくなっています。扇状地砂れき層は扇状地頂部、中央部では下位にローム層の存在する部分、もしくは鳥の目砂れき層で、粘土混り砂れき層で固くなっているところはその上面に地下水がたまり一応利用されていますが、宙水の形態にあるので渇水期には漏れる恐れがあります。扇状地末端部である南部に移行するにつれ、鳥の目砂れき層はれきの粒も小さく粘土混りになるため、全般的に不透水性の砂れきになり、従つてその上面の扇状地砂れき層に帯水し利用度が高くなっています。特に扇状地砂れき層の厚い、いわば鳥の目砂れき層上面の地下谷は水量が非常に豊富であることがわかりました。以上が今度調査した段階でわかつた那須野が原地域の地下構造と地下水との関係であります。

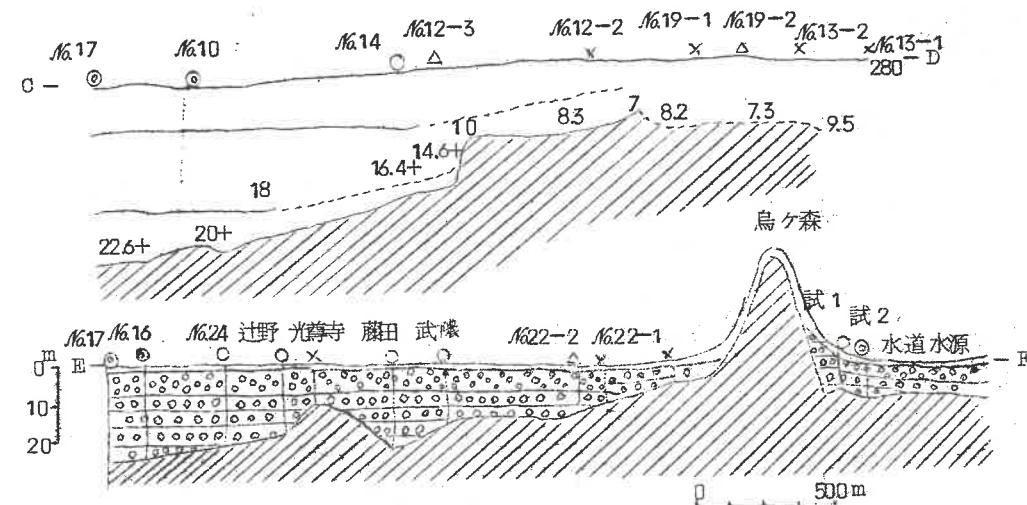
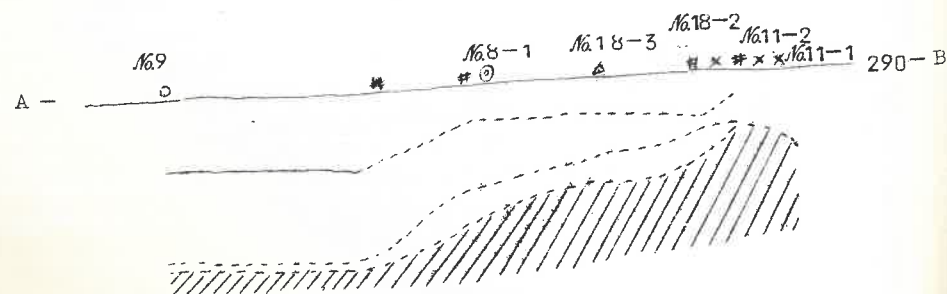
〔3〕 降雨量と地下水位について

那須野が原の地下水の涵養源はオ2報の発表で河川の伏流水が重要であることを指摘しました。従つて伏流水が直接浸透するか否かを調べるには河川の氾濫と地下水位の関係を調べるのが最もよい方法と考えました。河川の氾濫をもたらすものは雨量でありますから、雨量と地下水位の関係を調べることにしました。最初の調査地点として箒川影響圏で箒川と直結すると考えられる地下谷上の井戸を中心に調査しました。この付近の地下構造を電気探査および井戸資料により調べ次のような図表にまとめました。



図表 8

箒川影響圏内の地質断面図



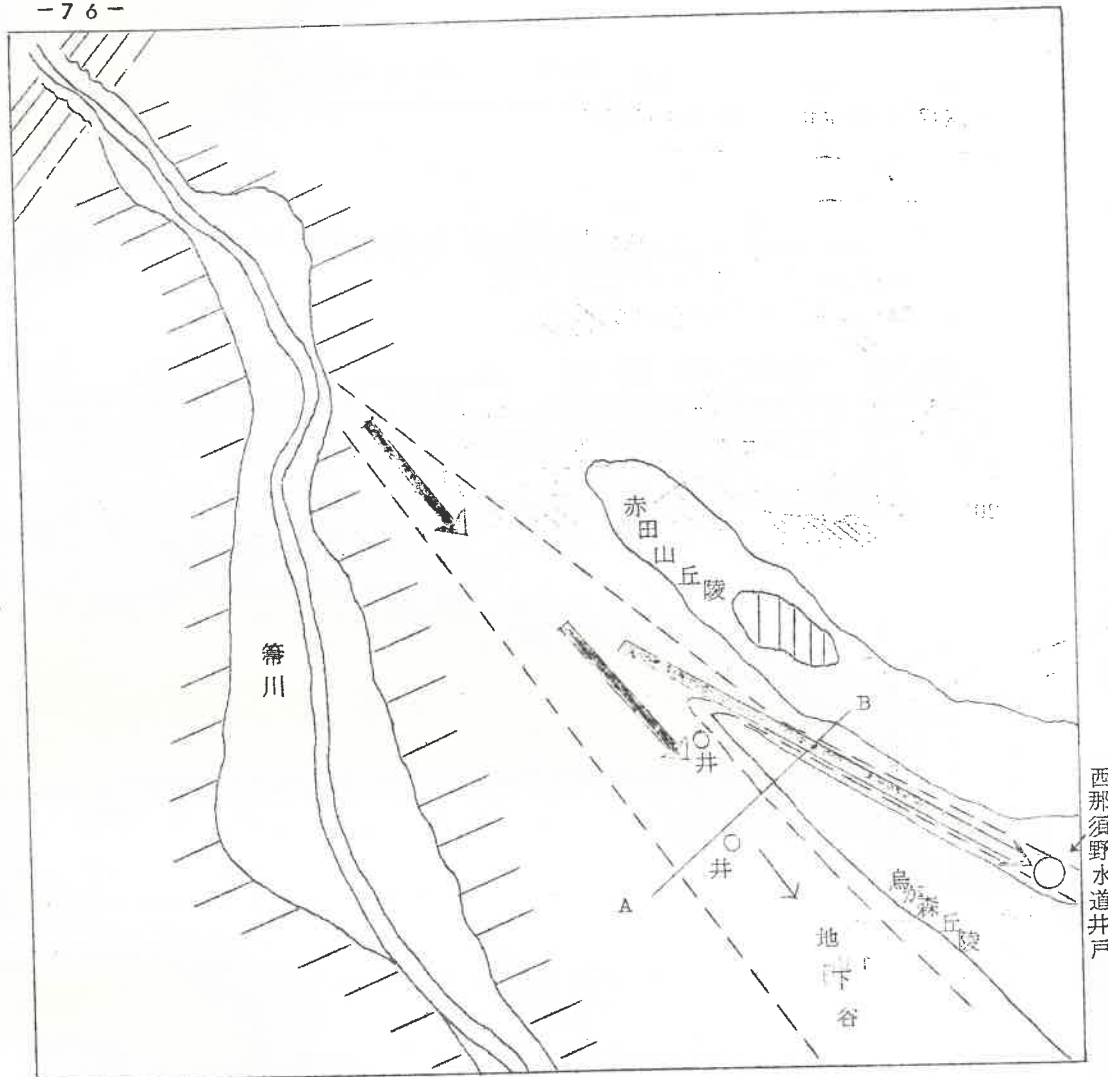
図表 9

この資料から降水量が1日50mm以上の場合は水位は顕著な上昇を示し、ほぼ数日後に水位の山になり、1日100mm前後の場合は水位の山までに水位が約3~4mの上昇を示します。これは雨が地表から浸透したものだけは到底考えられませんので、箒川の氾濫と直接関係あることが予想されます。それでこの地下谷の延長部を電気探査と井戸資料で追って箒川にでますと、その地点は箒川の表流水が直接流入しうる鳥の目砂れき層で構成されている崖で、ここから直接流入するものと推定されます。この地点から井戸までの距離は約4,000m前後で移動速度は時速約40m程度と推定されます。

以上は箒川の影響圏で最も大きい地下谷上の観測ですが、今年は箒川の影響圏内では前の地下谷より浅い鳥ヶ森丘陵の東側の地下谷である西那須野水道井戸(14.5m)を主体に観測し、集中豪雨後は箒川影響圏内の井戸を12日間観測いたしました。

その結果、西那須野水道井戸は、集中豪雨後急激に水位上昇(水位の山まで5m上昇)を示しますが、水位の山までに16日の日数を要しています。これは約14mという浅い地下谷で鳥ヶ森丘陵の西側の箒川に直接する地下谷から分かれたものと考えられ、伏流水も分かれて入ってくると考えられますので、地下谷主流の井戸よりも、水位の山までの日数を多く要するものと考えられます。

その他蛇尾川の影響圏で自由学院の井戸資料を借用し、雨量と水位変化の関係を調べました。



図表 10

地下谷以外の地域の水位の水位変化は、かんまんて急激な変化はあまり見られません。このような事実から伏流水の大部分は早急に地下谷に集まってくるのがうなずけます。蛇尾川影響圏の自由学院の井戸の水位変化とほぼ等しく、降雨量の水位変化がいちちるしく、300mm近い雨量があると5日間に5mの水位上昇を示しております。これは井戸の深さと蛇尾川河道に近い事から見て蛇尾川影響圏地下谷であることも予想されます。この様な雨量と水位変化の記録も地下谷判定に相当の示唆を与えてくれる事がわかりました。

以上のことから那須野が原は雨量が1日50mm以上になれば河川は、はんらん雨量になり、伏流水として重要な価値があることがわかりました。

〔4〕 川の運搬力

私達は調査した場所で井戸を掘る場合、連絡を受けるとほとんど立合うことに致しております。今まで、約200箇所の井戸の内部を観察しましたが、地下谷上の井戸のれきは一般に大きく扇状地の頂部に行くに従い大きくなっております。扇状地中部の西那須野町の水道の井戸では、底から直径1m位の円れきが沢山でて地下水がれきとれきの間から流れ、井戸の中をもちかえしています。しかし、扇状地の末端近くの大田原、湯津上地区になると地下谷は浅くなり、地下谷上の井戸でも直径30cmの円れきは数える程しかありません。このような事実から私達は地下谷を作った当時の川の侵食とれきを運んだ運搬力について、現在の川から手がかりをつかもうと昨年から考えていましたが、昨年は大きな洪水がありませんでしたので、ついにこの調査を実施することができませんでした。今年は6月下旬から集中豪雨があり、扇状地を囲む河川はどれも氾濫しました。私達はこの機会を逃がすまいとして、連日構想を練り、次の方針で実施することになりました。

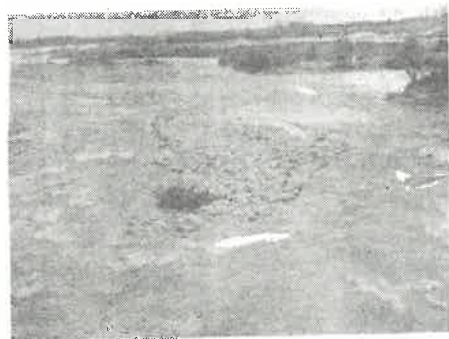
① 氾濫時の川の本流に堆積したれきの大きさの分布



図表 11

② 川の流速と運搬力の関係

①の場合は、氾濫時は流量が極めて多く、濁流となつて狂い、数日たつと水無川となる蛇尾川を選びました。②の場合は平地で調査する場合は洪水時でなければ実験不可能なので集中豪雨後、すぐ蛇尾川に調査に出かけましたが、あまりにも流量が多く、流速も速かつたので危険を感じたので、洪水時にはできませんでした。



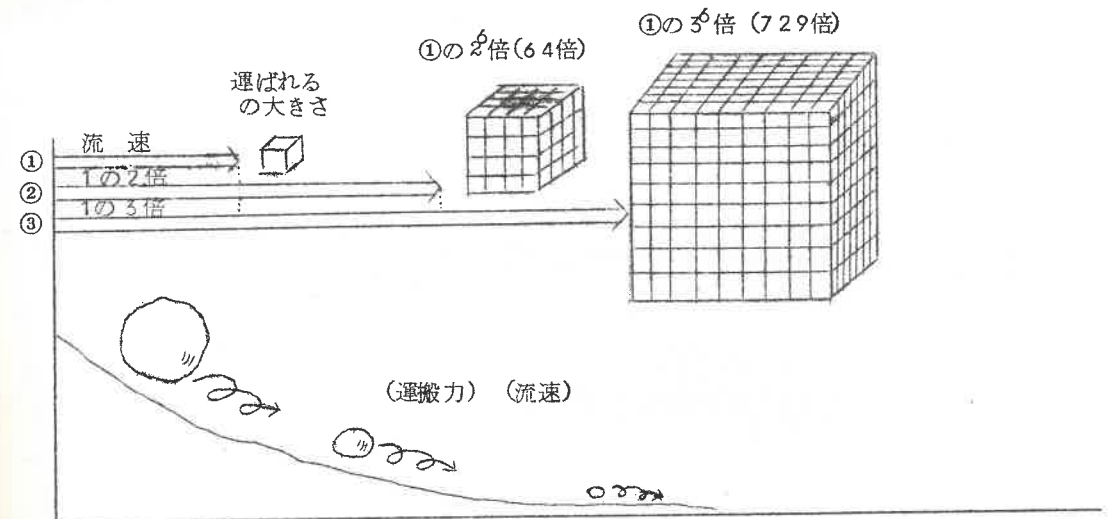
それで夏休みを利用することにし、川の上流で平常でも石の流れるような急流のある場所として箒川塩原けい谷を選びました。

① はらん時、川の本流に堆積したの大きさの分布

蛇尾川は氾濫後、水ひきも早いので調査に良好なのですが、最近鉄道の工事が進み早く調査しないと、ブルドーザーにより当時の河道の様子がくずされてしまい、調査に支障を来すので、集中豪雨によるはんらん後、早速次の日、先発隊として自転車で強健存グループにより、放課後、河道の調査に行き、調査地点を上流と下流の間、3カ所をきめ、次の日曜日に15人で改めて調査に出かけました。始めの地点として、扇状地の頂部にあたる折戸を選びました。先ず西那須野からバスで関谷まで行き、それから徒歩で約4km行くと、川に出てれきの調査を行いました。折戸は蛇尾川が平地にでた4kmの地点で、後の調査のときは川の水も完全になくなり、当時の氾濫の様子がよくわかりました。洪水時の川の本流は前の河床より1m位削られ、巨大なれきが数多く集っていました。この中で最も大きいれきが120×80×90cmで直径40cm以上のれきが大部分を占めていました。



私達はさらにこの場所を横断する河道で30cm以上のれきがどの位あるかと思い、2m間隔に並んで横断方向に歩いてれきの個数を数えました。そして1測線上にいくつあるかを平均して出しました。折戸では川幅が約100mで1直線上に380個ありました。次に約2km離れた下流地点で同じ方法を行いました。今年の氾濫による河道では最大れきが60×35×40cmで川を横断する測線上では川幅を前の100mに換算で、184個でこのように折戸から2km流下すると巨大なれきは少な



図表 12

くなってきました。ここで上流、中流の調査を終わらせて、川から6kmほど徒歩で、千本松まで行き、そこからバスで西那須野まで帰り、それからクラブ員で蛇尾川の橋を通つて帰るもので、橋の下のれきの調査を行ないました。

その結果、今年のはらんによる河道の最大のれきは、30×25×15cmで川を横断する測線上で川幅を100mに換算して直径30cm以上のれきは23個でした。以上のことから下流に来るに従い、川の流速が感じ、運搬力がおとろえてきたことをよく物語っております。

② 川の流速と運搬力の関係

井戸の中の巨大な円れきも、川の巨大なれきも、いずれも、時代はことなつても、川によつて運搬されたことには変わりありません。

私達は教室授業で運搬力は流速の6乗に比例するということを教わり、これをもとに塩原けい谷の急流で今年の夏休みに実施しました。地点は塩原の材木石、(流もん岩の柱状節理)のあるところで、河床勾配は急で滝に続いております。

川の流量は6月下旬の集中豪雨から多く、こさえがなければ私達も流されるので、川にロープを張り、また体にまきつけ持参した流速計と、うきを使用しました。

始めに流速計を使用しましたが、流水が速く、流速計も流され、斜めになってしまうので音が不規則なので、うきを使用してみました。



うきは $15 \times 10 \text{ cm}$ で下に鉛板をはったもので、5個を同時に流し、一定の距離を流れるのに要す時間を測定しました。

A地点、B地点の流速について述べますと、2点間の距離を各々、5 m に決め、うき5個の到達時間の平均を出し、2点間の距離を到達平均時間で割り、その値の80%を平均流速にしました。

その結果

A地点では 1.84 m/sec

B地点では 3.77 m/sec

となりました。次にこのような流速で、A地点で、れきの大きさ、 $3 \times 2 \times 2 \text{ cm}$ 、 $5 \times 4 \times 3 \text{ cm}$ 、 $7 \times 6 \times 4 \text{ cm}$ 、 $11 \times 10 \times 8 \text{ cm}$ 、 $21 \times 20 \times 18 \text{ cm}$ (いずれも安山岩・高原火山噴出物) を、一つずつ流し、ストップするまで実験してみました。(ガラス箱で見て確かめました。)

No	礫の大きさ cm	流下時間 秒
1	$3 \times 2 \times 2$	2.6
2	$5 \times 4 \times 3$	2.98
3	$7 \times 6 \times 4$	3.42
4	$11 \times 10 \times 8$	3.88
5	$21 \times 20 \times 18$	流下しない

B地点では、流れが速いので、長径 20 cm 以下のれきで、滝の落口で確かめました。

A地点では、 2 m 落下するのに要する時間を測りました。

この表のように大きくなるようにつれて遅くなり $11 \times 10 \times 8 \text{ cm}$ まで流れ、 $21 \times 20 \times 18 \text{ cm}$ は、ストップしていました。B地点では流水が速く水中がアワになっており、水深もあるので中が見えず、流れる時間は測れませんでした。 20 cm のものから流し、れきの大きさ $41 \times 40 \times 37 \text{ cm}$ まで流れ、 $50 \times 48 \times 44 \text{ cm}$ のものは滝に落ちてきませんでした。

A、Bの測定結果をまとめてみますと、

地点	流速 m/sec	流れた最大 礫	球と仮定した体積	流速比 (A:B)	体積比 (A:B)	備考
A	1.87	$11 \times 10 \times 8 \text{ (cm)}$	$473 \text{ (cm}^3\text{)}$	1.00	1	
B	3.77	$41 \times 40 \times 37 \text{ (cm)}$	35159.5	2.05	約 7.4	$2.05 \div 74.17$

B地点はA地点の流速が2.05倍、石の体積は約7.4倍のものが流れることがわかり、しかも公式に近い値でありましたので、実験成果として取り上げました。以上の事から洪水で長径 40 cm 程度のれきが流れる流速は約 4 m/sec であることが推定することができ、蛇尾川に適用しますと、今年の集中豪雨時の洪水では蛇尾川が平野にでてから 4 km の折戸付近までは本流は $3 \sim 4 \text{ m/sec}$ の流速で流れ、下流の鉄橋では、礫の長径が 10 cm 前後が多いので $1 \sim 2 \text{ m/sec}$ の流速で流れていた事が推定されます。

また、

	流速	運搬力	流速 m/sec
実験	2.05倍	7.4倍	1.84
			3.77
推定	2.0倍	6.4倍	3.68 (1.84×2)
	3.0倍	7.29倍	5.52 (1.84×3)

球と仮定した礫の大きさ	直径	実験礫の大きさ
474 cm^3	9.6 cm	$11 \times 10 \times 8 \text{ (cm)}$
35159.5 cm^3	40.0 cm	$41 \times 40 \times 37 \text{ (cm)}$
30336 cm^3	$2r = 2 \sqrt[3]{\frac{30336}{\frac{4}{3}\pi}} \div 3.8 \text{ cm}$	
345546 cm^3	$2r = 2 \sqrt[3]{\frac{345546}{\frac{4}{3}\pi}} \div 8.6 \text{ cm}$	

※但し、実験に用いた岩石は安山岩
(運搬力) (流速)

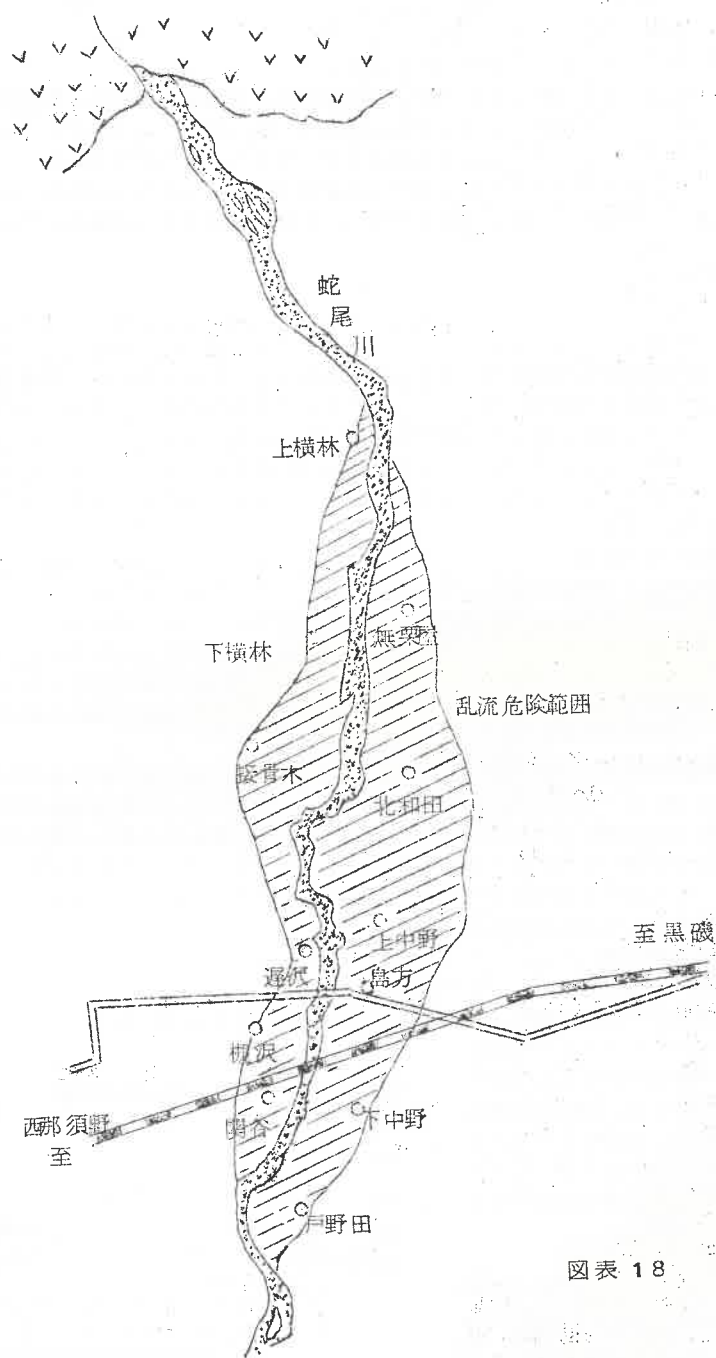
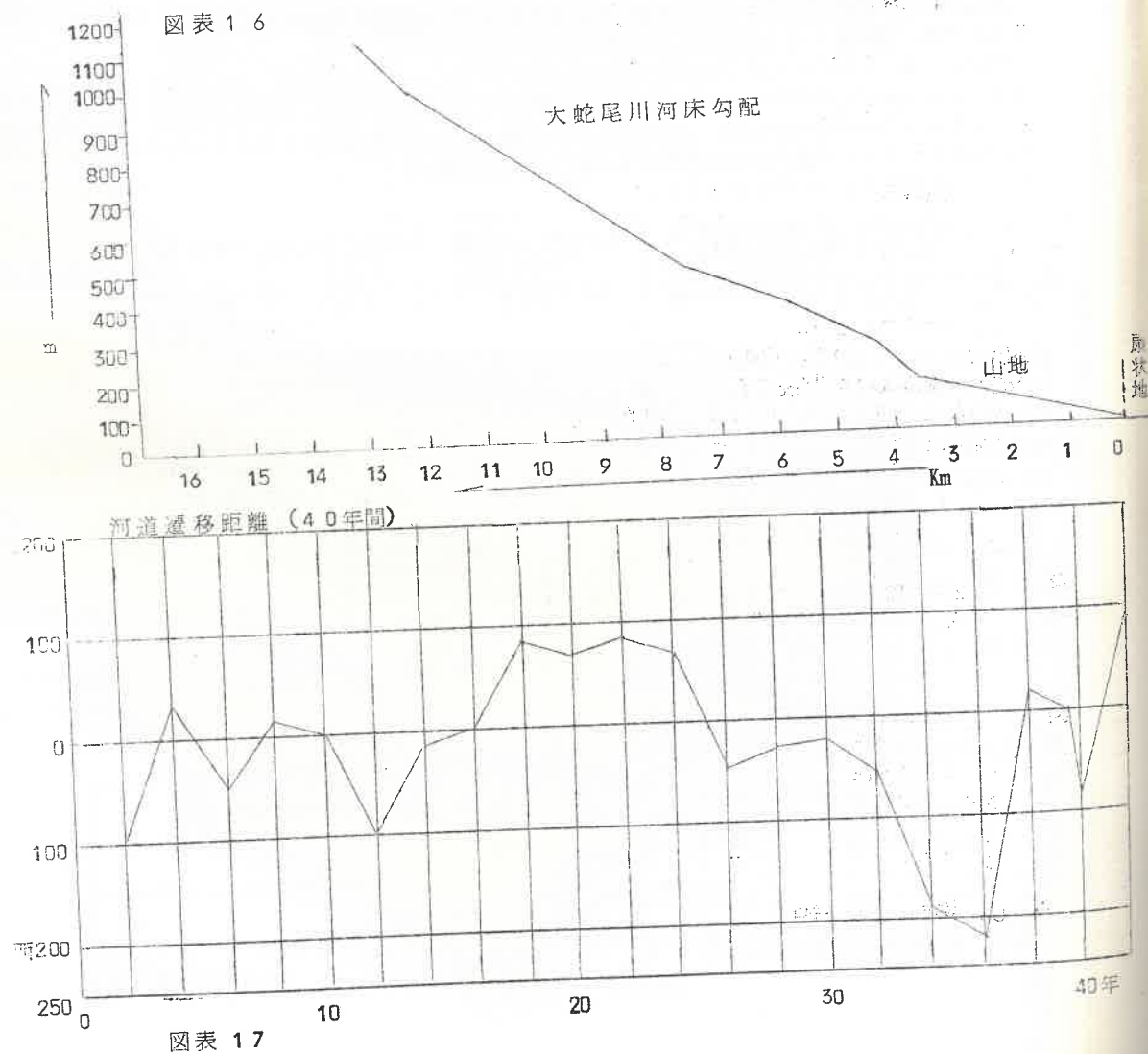
地下谷の井戸で長径 1 m のれきが流れた流速を推定すると、前の実験を基礎にしますと、表のようになります。

長径 1 m に近いれきが流れるには、1 秒間に約 5 m の流速が必要であることが推定されます。以上のように実験と推定から、地下谷を作った当時の河流の状況とその規模の一面をつかむことができました。

〔5〕 蛇尾川、熊川の地下構造と伏流水について

①の蛇尾川水源は大佐飛山の西方標高約 1 5 5 0 m に発し石英粗面岩、石英はん岩で構成された谷を流れ、約 1 2 km で標高約 5 0 0 m の扇状地の頂部に出ます。山地の河床勾配は約 3 0 分の 1 で崩壊もさかんに進行して多量のれきを流しております。

扇状地にでますと 3 つの段丘を有する谷間を流れ、以下 8 km は同じ勾配で平源を流れ、場所によっては天井川となつています。平均川巾は約 2 0 0 m、最大 5 0 0 m に及んでいます。ここ川は中流部より 9 0 分の 1 勾配にゆるまり、国道、東北本線をくぐり、太田原東方に出ます。ここから約 2 0 0 分の 1 勾配で 2 3 km 下つて簗川に合流します。平常は扇状地に出ると 2 km で完全に伏流



骨木、東西遅沢、上下両井口、槻沢、関根、東関根に及んでおります。

平常は原を出てから伏流し、水無川となつています。川の規模は、蛇尾川の10分の1の程度の河川であります。蛇尾川と同じくはんらんすると乱流が著しく、被害は東は方京、東那須野駅方面、西は北和田、上中野のび島方、戸野内に流れます。

北和田、上中野にのび島方、戸野内に流れます。
 以上のような乱流による被害が多いのは、伏流水が洪水と同時に直ちに、飽和状態に達し、表流する現象と見られ、河道の地下構造、とくに砂れきの堆積状態に起因するものと考えられます。この原因を何とかつかもうと思つて、昭和34年から調査を進めました。その調査内容について記述します。調査として電気探査で、蛇尾川上流と下流に分けて調査を実施し、上流は地質調査、電気探査、表流水の流量調査、表流水の水位観測を主体に調査を行ない、下流は河床と平地が連続しているので、平地で電気探査を行ないました。

(V-1-①) 地質調査

(V-1-①)地質調査
大蛇尾川と、小蛇尾川の合流点から約1Kmの地点までは不透水性の石英粗面岩で構成され、表流水もここまでは、ほぼ同じ流量で流れている事が肉眼的にもよくわかります。この地点から、はなれると右岸にはほぼ直立した緑色凝灰岩が数メートル露出し、北東方向に走り、関谷から続く断層線と思われます。ここからは、下流は右岸、左岸とも全部地表まで砂れき層で構成され、下部は固結度の高い粘土混り砂、れきになっています。この地点から下流の表流水は目に見えて減少し、表流水の少ない時期には伏流し始めてから約1Kmで完全に水無川になり表流水の多い時期、洪水後は伏流しはじめてから約5Kmまで流れ、完全に伏流します。

(V-1-②)電気探査
電気探査2測線計11測点実施致しました。これをもとに作成した断面図が次の通りです。

この調査で最も重要なことは河床のれきの堆積構造で河床で電気探査を行なうところ、れきの抵抗が高く、オ1回目は晴天続きで砂れきが乾いていたとは降雨後充分水分を含んだ状態なら良いのではないかと思います。オ2回目は砂れき層の抵抗を低くするには降雨後充分水分を含んだ状態なら良いのではないかと思います。夕立後を利用して実施致しました。その結果測定は非常に順調に進める事ができました。

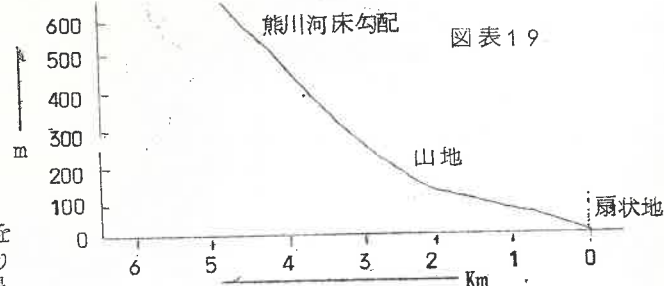
た。段丘岸は比低抗曲線がいずれも途中から下降し、低抗の低い粘土混り砂れきで不透水性のもので、段丘崖の露頭ともよく合っています。従つて蛇尾川の伏流水はほとんど段丘地帯には滲透しないと考えられます。現河床では曲線は三つに分けられ上昇部の透水層と思われる砂れき層の深さが3~4m位、ゆるやかな下降部で半透水層と思われる深さが5~6m位まで、以深が急激に下降する部分で不透水層と判断されます。これは昨年東京電力株式会社で発電所設置のため河床にボーリングを行なつたところ、この結果が見事に合ひ完全に実証されました。

(V-2-①) 電気探査

ここでは現河床ではなく河床とほぼ同じ高さの地点で行ないました。

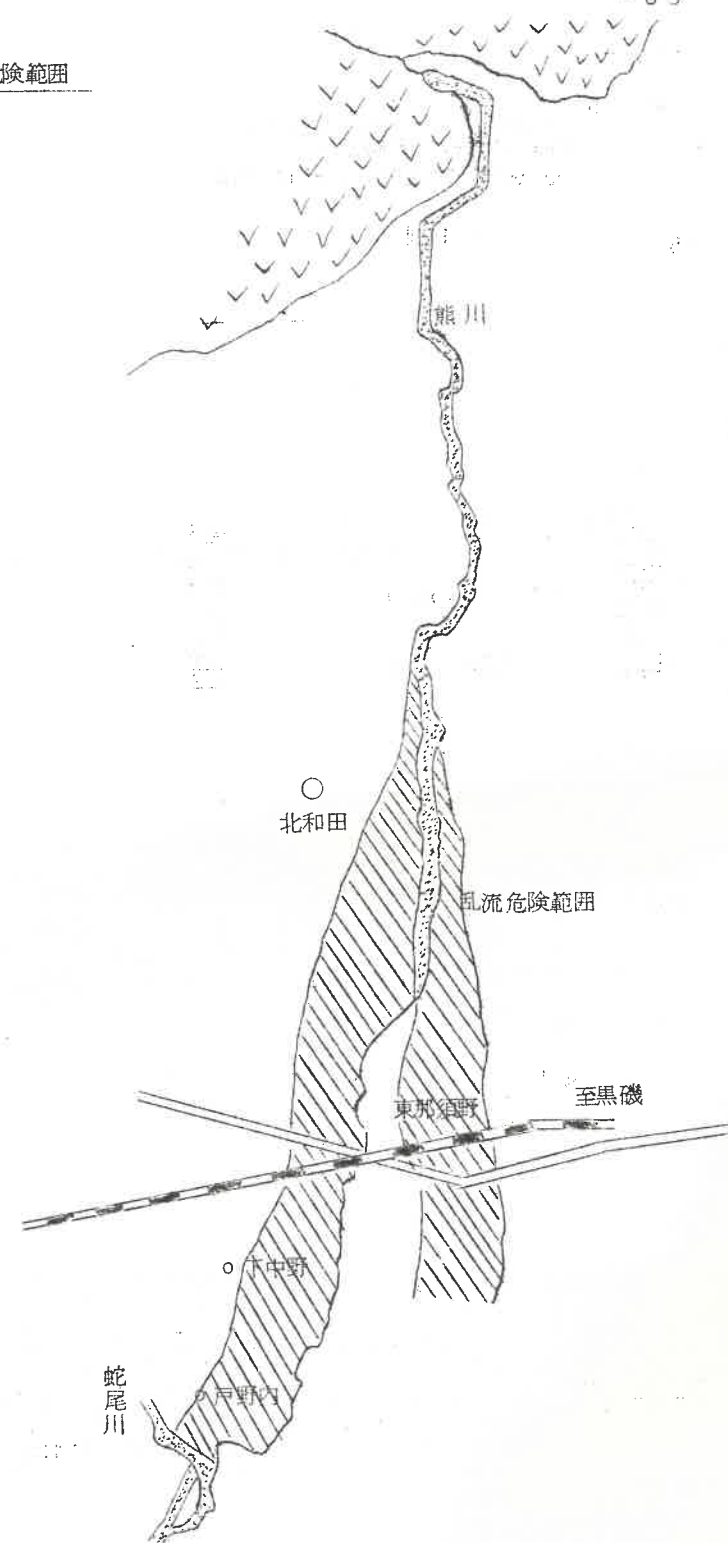
図を見てもわかりますように曲線は上昇部と下降部が認められ傾向が分されておりす。開田用井戸からもよくわかり、上の約5~6mまでが透水層、又は半透水層に相当する部分で、それ以深が不透水性となっておりす。

河床の調査は東北本線工事で鉄橋を作るとき橋の基礎工事のため試験掘りしましたので、私達は早速放課後、現場へいって内部構造を調査しました。



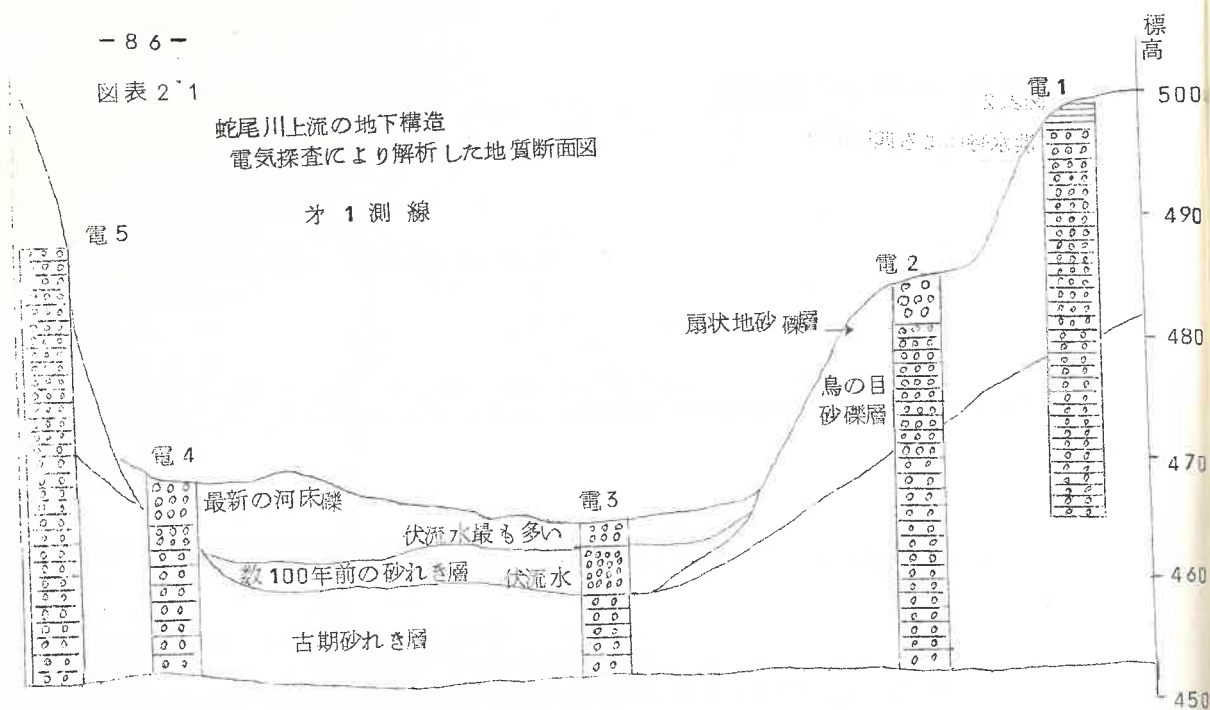
图表 19

洪水時による熊川乱流危険範囲

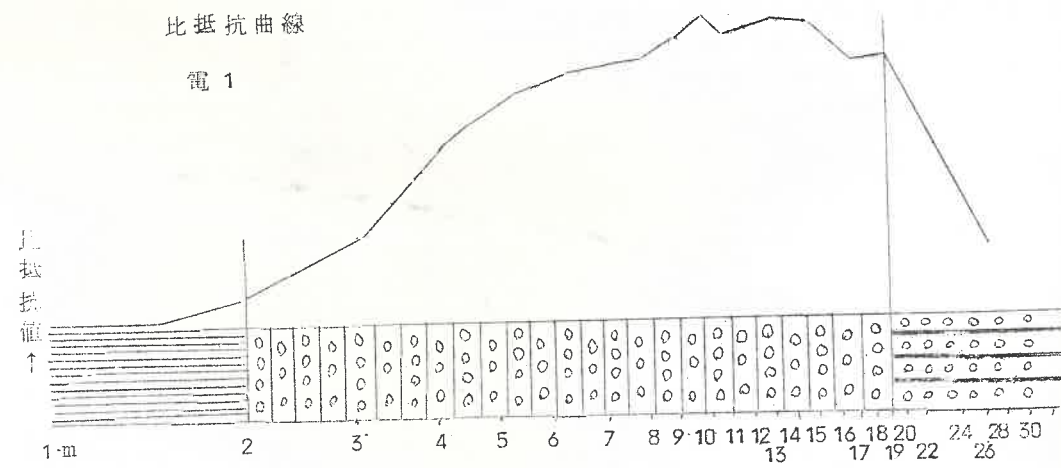


図表 2.1

蛇尾川上流の地下構造
電気探査により解析した地質断面図



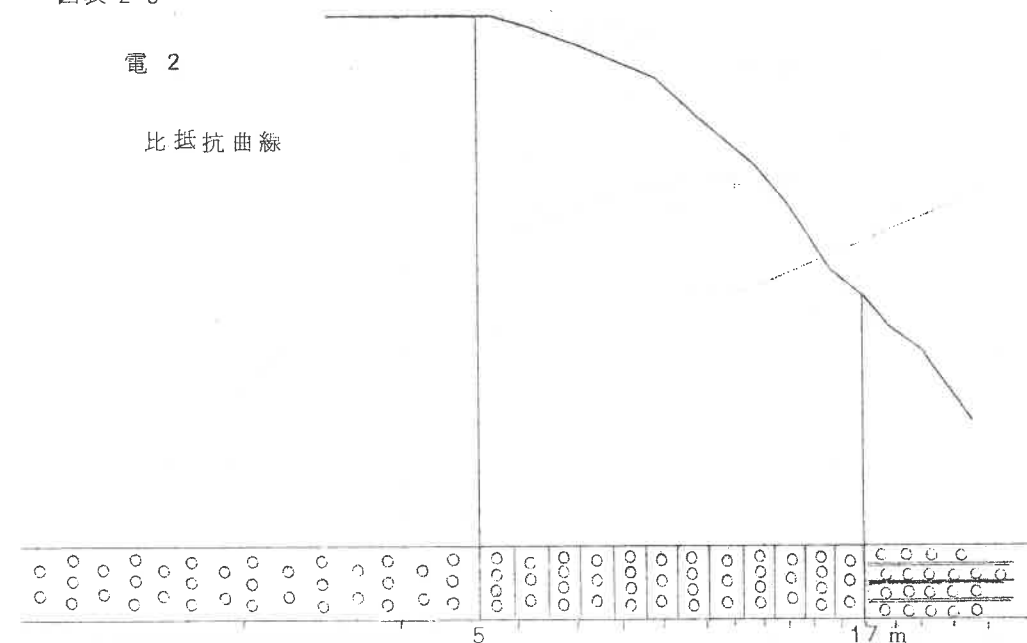
図表 2.2



図表 2.3

電 2

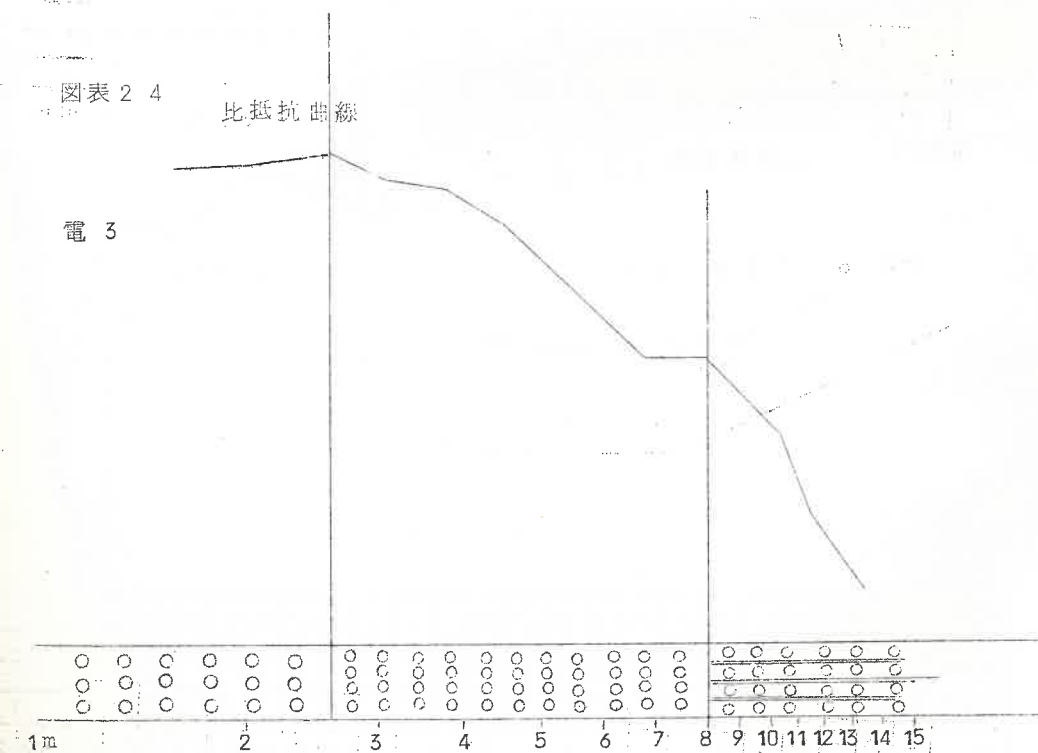
比抵抗曲線



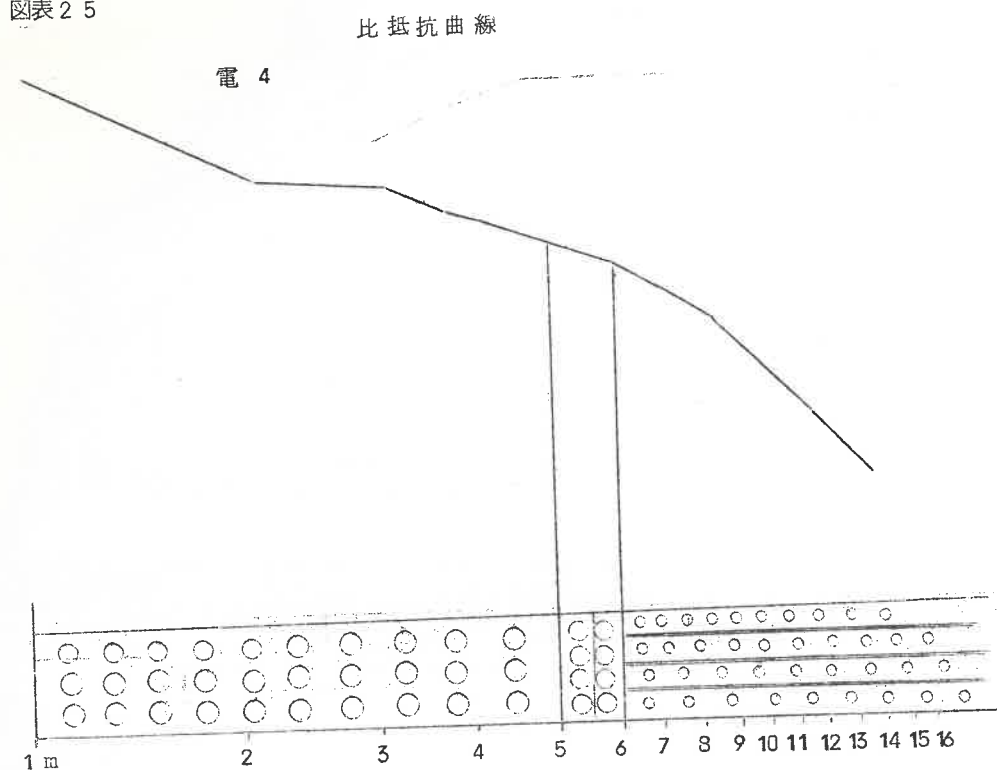
図表 2.4

比抵抗曲線

電 3

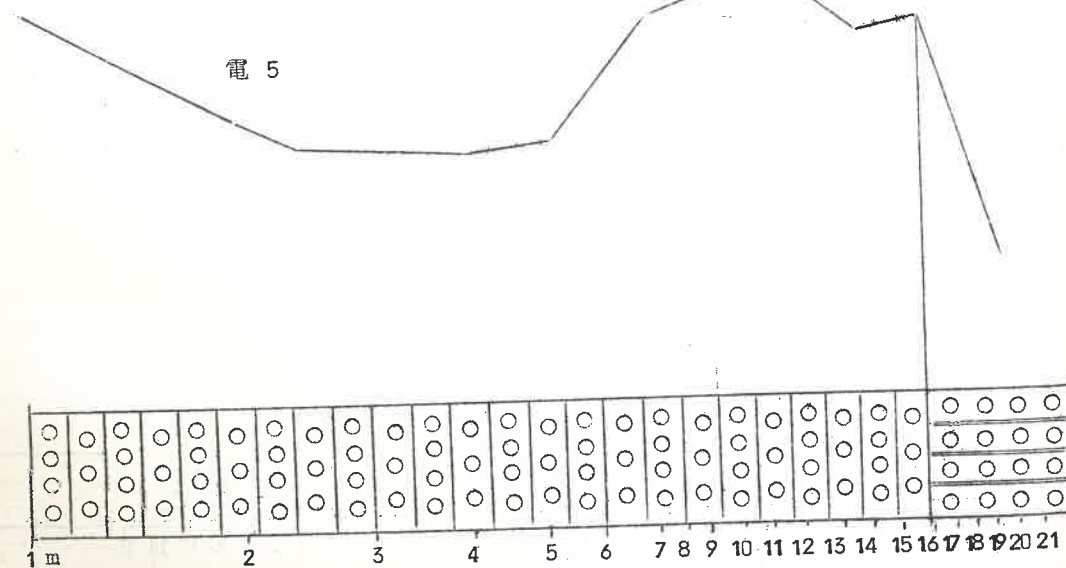


図表 2 5

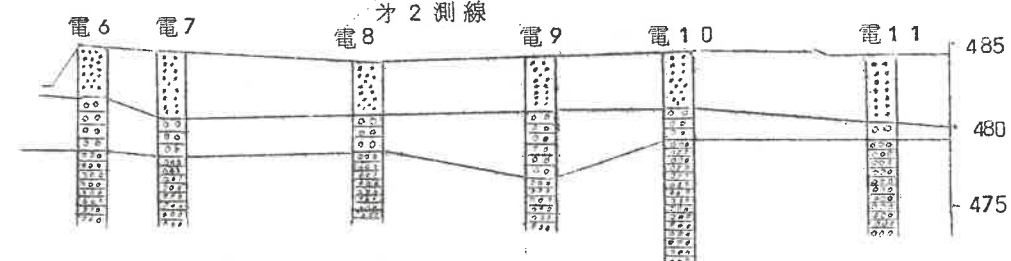


図表 2 6

比抵抗曲線



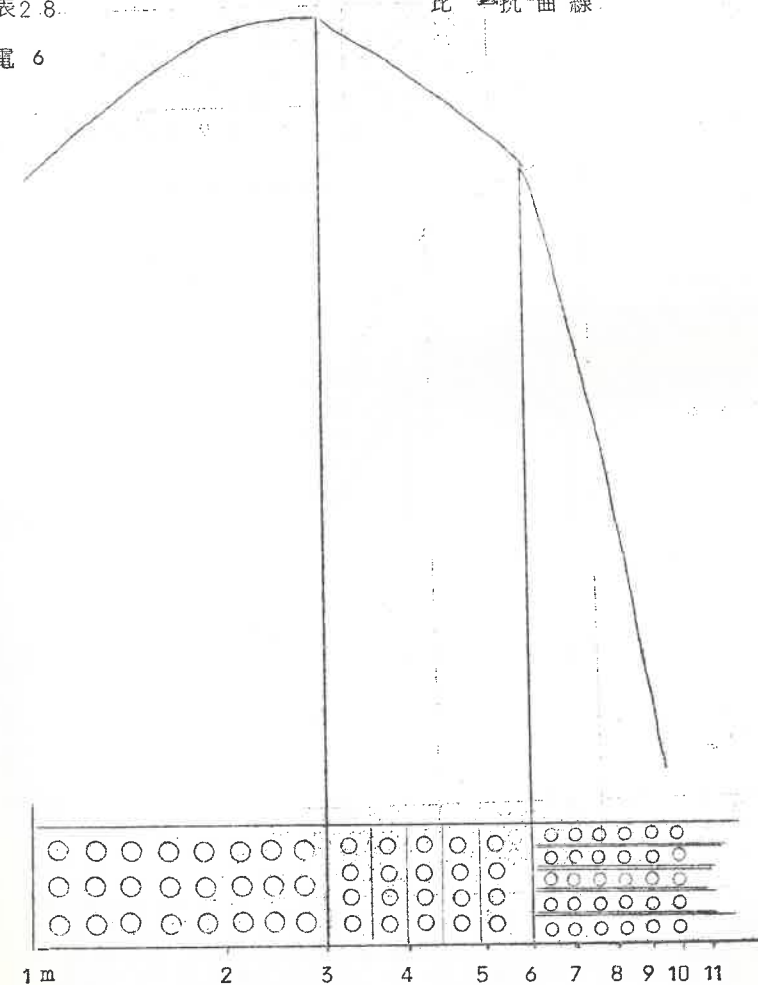
図表 2 7
蛇尾川上流の地下構造
電気探査により解析した地質断面図
才 2 測線



図表 2 8

比抵抗曲線

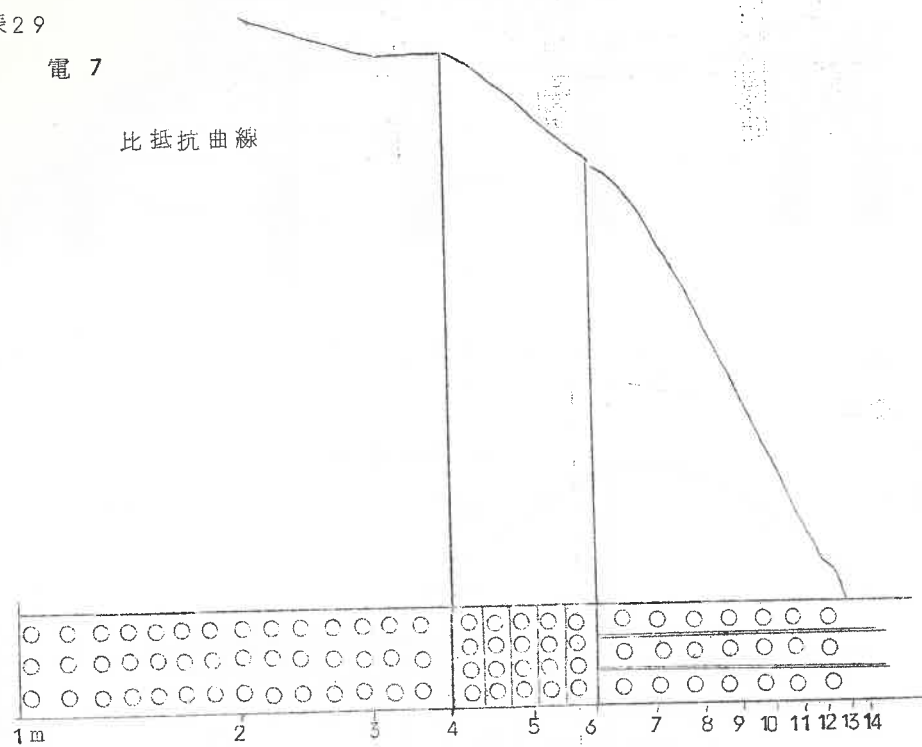
電 6



图表29

電 7

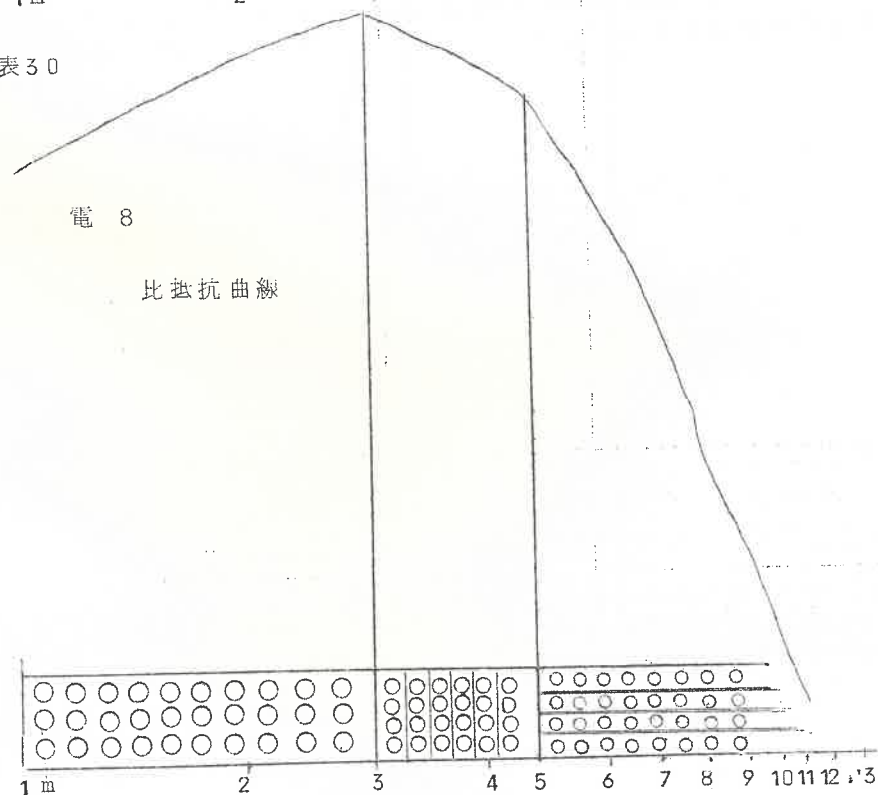
比抵抗曲線



图表30

電 8

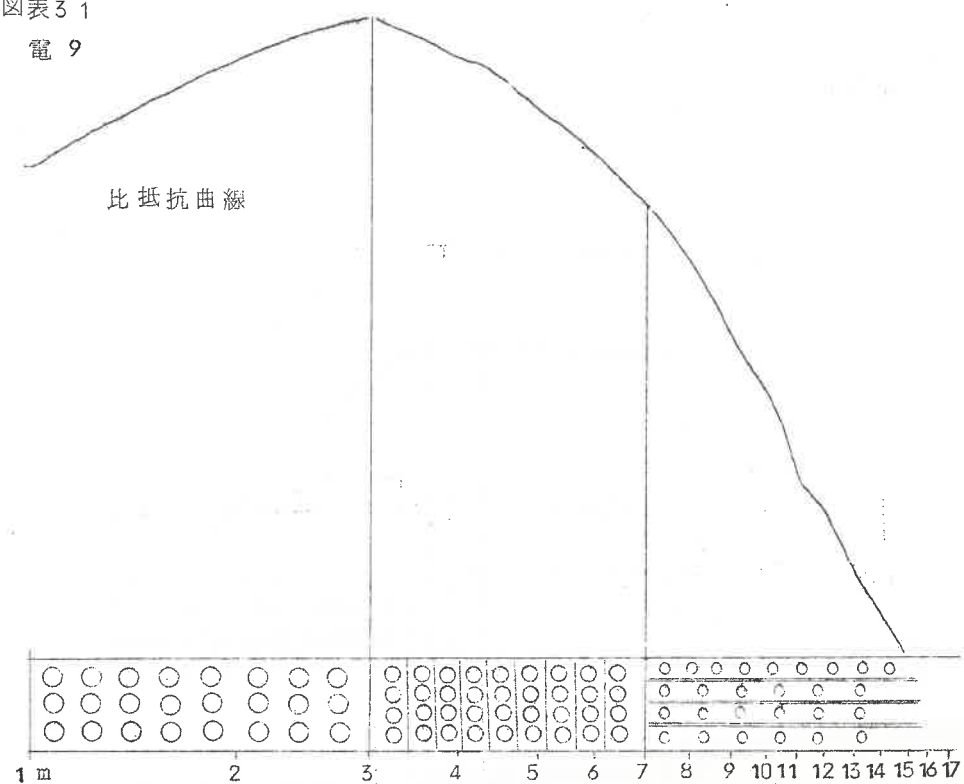
比抵抗曲線



图表31

電 9

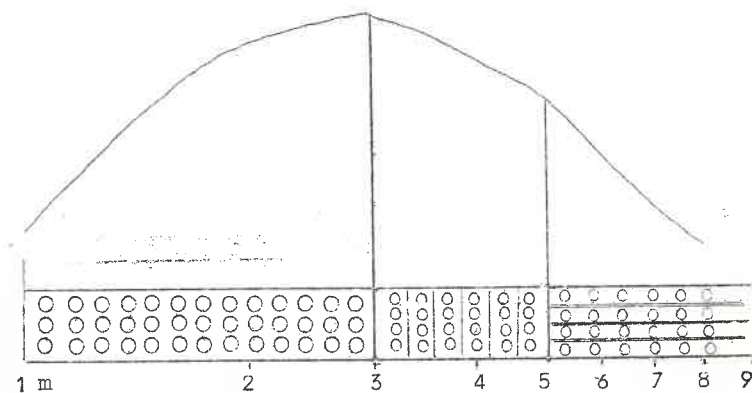
比抵抗曲線



图表32

電 10

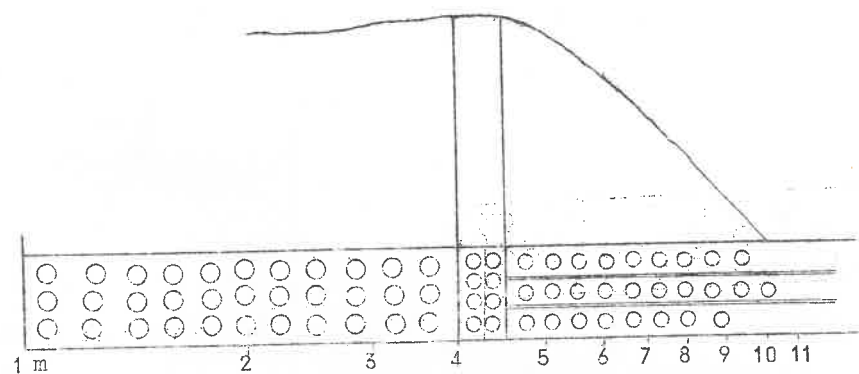
比抵抗曲線



図表 3 3

比抵抗曲線

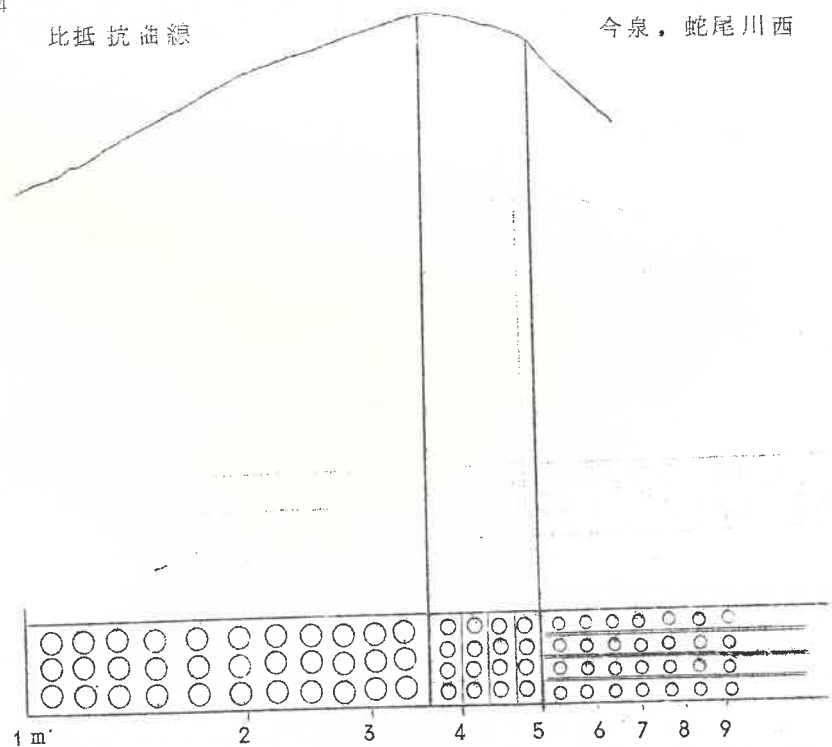
電 1 1



図表 3 4

比抵抗曲線

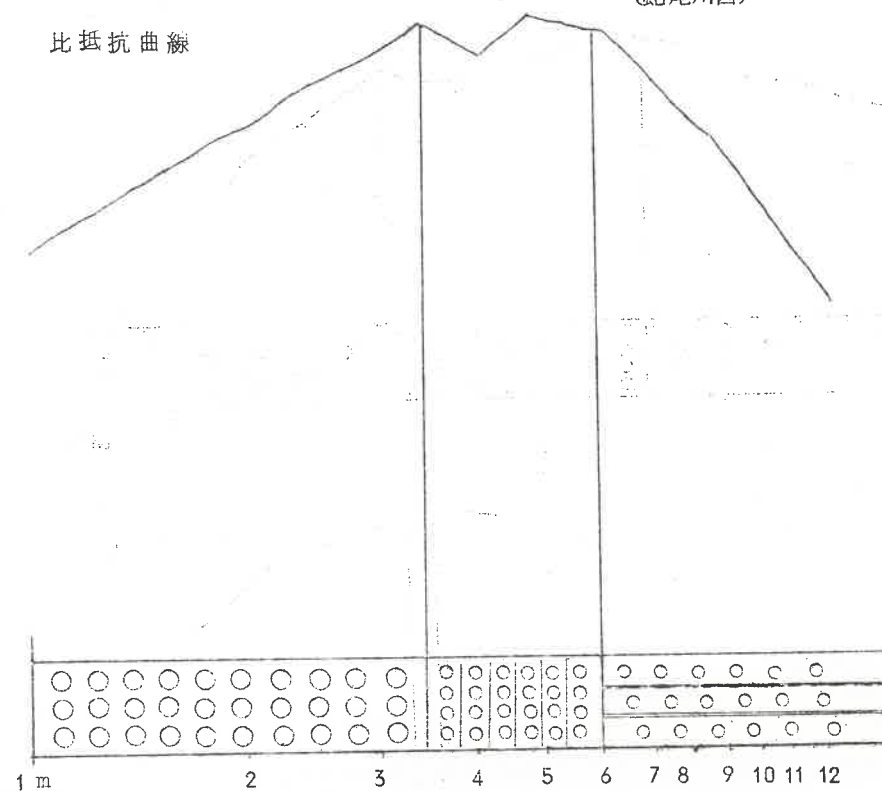
今泉，蛇尾川西



図表 3 5

今 泉
(蛇尾川西)

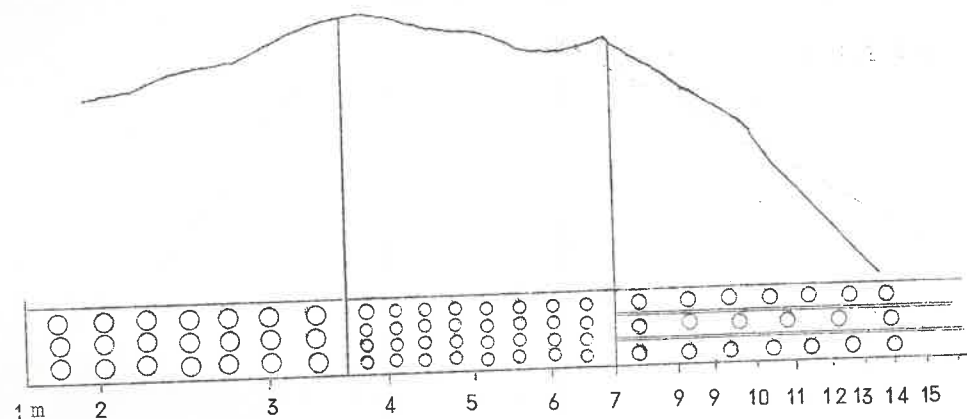
比抵抗曲線



調査の結果、蛇尾川の影響圏で行なつた電気探査と同じく透水性の砂れきが河床から約 5 m、それ以上は不透水性の粘土混りの砂れき層で構成されています。この砂れき層が現在橋脚の土台となつています。以上の調査から蛇尾川の河床は約 3 m までは洪水によつて流されたり堆積したりしている新しい砂れき層で、最も透水性に富む砂れき層で、3～5 m までの深さが半透水性の砂れき層で一応堆積の固定した砂れき層で扇状地砂れき層の堆積時期と同じか、それより新しい砂れき層であると思われます。約 5 m 以上は固結度が高く上流は白崖地区の下部の砂れき層、下流は鳥の目砂れき層に対比できるものと思われます。このことから伏流水の大部分は 5～6 m 以浅に帯水し流れ、洪水のときは砂れき層がうすいので直ちに飽和状態になり、その全水が表流水になつて流れ、地下に滲透するようがないので乱流し、被害を与えるものと考えております。

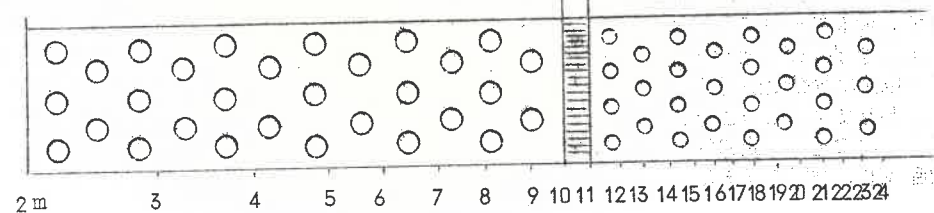
図表 3 6

今 泉
(蛇尾川西)



図表 3 7

島方 蛇尾川東



〔V-3〕蛇尾川伏流状況と流速

(V-3-①) 蛇尾川の伏流状況

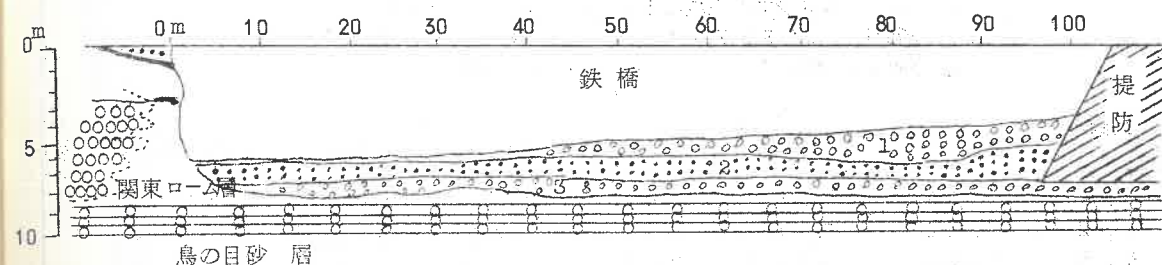
私達は蛇尾川の伏流状況を調べるために、夏休み蛇尾川の上流に行つて表流水のあるところで流量測定を行ないました。道具はトランシットを持参し、まず、川の横断測量を行ないました。

測量が終つてから、うきを使つて流速測定を行ないました。その結果、才1測線と才2測線までの距離が2 Kmあり、その間で才1測線の流量の70%伏流しています。才2測線から300 m下流になりますと完全に水無川になります。ここで伏流し地下水となり、普通は大田原北方から再び湧出しています。最近では復線工事で、ブルドーザーで河床を掘り下げているので、地下水面まで達する深さまでえぐつてあるところはその地点からも湧出しています。

測線は2測線とり、その結果を示すと次のようになります。

図表 3 8

鉄橋附近の地質断面図



(V-3-②) 伏流水の流速

私達は蛇尾川全体の伏流水のうちで最上部の透水性の砂れき層を流下する流速を調べるため、今回大胆な実験を試みました。すなわち上流では洪水によつて出水してから減水して完全に表流水がなくなるまで水位観測を行ない下流ではブルドーザーで河床を掘り下げたところで、池のようになっているところで水位観測を行ない、水位観測で水位の谷のずれを見つけ、地下水の移動流速を調べたものです。上流地点は、折戸という場所で、ここは平常は伏流して水はないが出水するところの地点は表流水が流れるところです。さいわいこの地点は高林から通学しているクラブ員が今年の集中豪雨後、毎日観測致しました。下流地点は鉄道鉄橋の上なのでここを通つて帰るクラブ員が観測致しました。

これから上流の水位の谷から下流の水位の谷までの変化を求めますと、上流の表流水の水位の谷から24時間経つて下流の地下水位が谷になっています。

1 測線
A 地点

測点	標尺の位置	標尺の読み			距離	深さ	摘要
		上スタジア線	中央十字横線	下スタジア線			
1	1	2.00(m)	1.925(m)	1.885(m)	14.5(m)		水ぎわの点
	2	2.87	2.81	2.75	12	0.885(cm)	河床
	3	2.67	2.62	2.57	10	0.695	河床
	4	2.47	2.445	2.41	6	0.52	河床
	5	1.95	1.935	1.92	3	0.01	水ぎわの点

2	1	1.73	1.64	1.55	18		水ぎわの点
	2	1.99	1.92	1.85	14	0.46	河床
	3	1.59	1.525	1.485	7.5	0.115	河床
	4					0	水ぎわの点



スタジアム乗系数は100 加定数は0とする
 平均断面積 5.13075 m² 平均流速 (浮子使用) 0.41 m/sec
 流量 (平均断面積×平均流速) 2.10 m³/sec

図表3-9

2 測線
B地点

3	1	2.00	1.94	1.88	1.2	0.12	水ぎわの点
	2	2.20	2.15	2.11	9	0.09	河床
	3	2.11	2.075	2.04	7	0.07	河床
	4	2.19	2.17	2.145	4.5	0.045	河床
	5	2.95	1.93	1.915	3.5	0.035	水ぎわの点
4	1	1.725	1.66	1.595	1.3	0.13	水ぎわの点
	2	1.795	1.745	1.69	10.50	0.105	河床
	3	1.95	1.91	1.865	8.50	0.085	河床
	4	1.84	1.81	1.77	7.0	0.07	河床
	5	1.865	1.85	1.83	3.5	0.035	河床
	6	1.65	1.64	1.63	2	0.02	水ぎわの点

これから移動速度を求めますと上流地点と下流地点との距離が10kmあるので、時速約420mで流れていることが予想されます。この流速は前に述べた雨量と地下水位の関係や、上層部の透水性の砂れきの性質から、大きな矛盾はないと思っています。

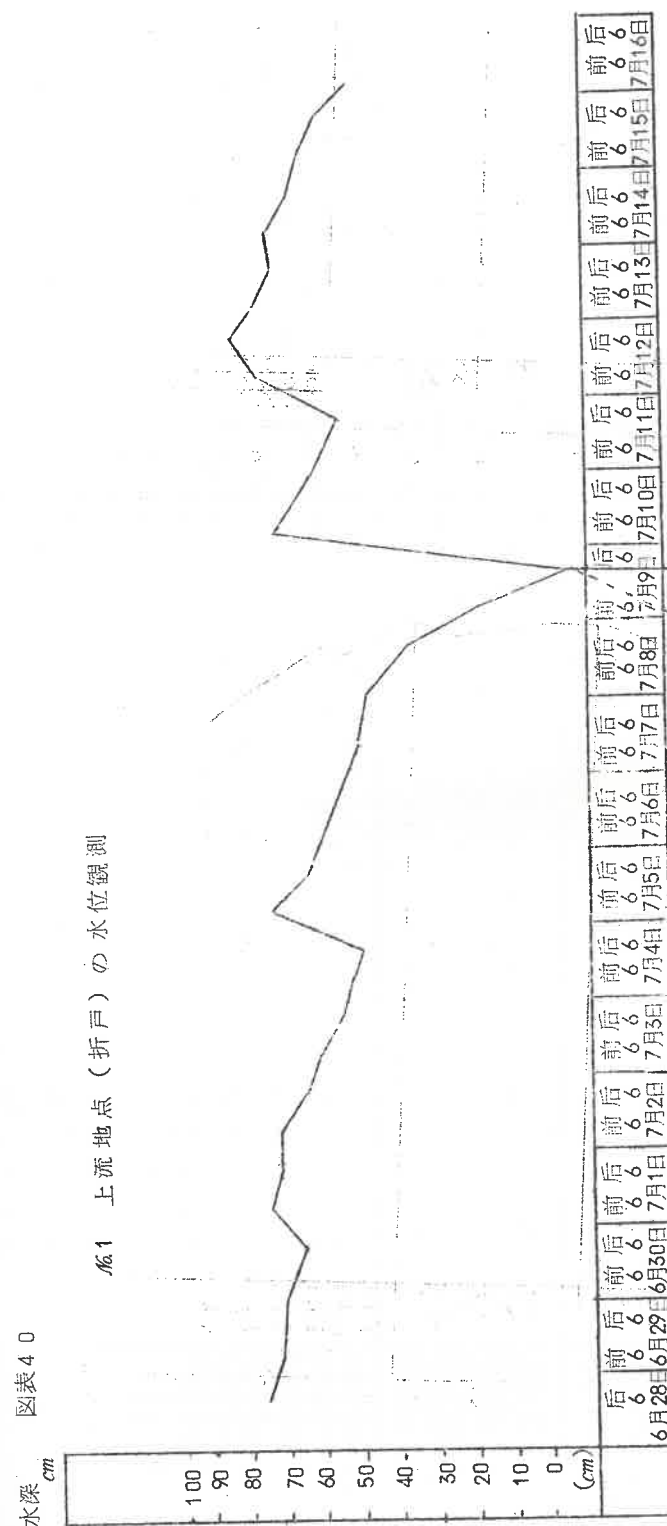
(V-4) 熊川

河川の状況は伏流及び洪水時の乱流共に蛇尾川に似ておりますが、川の規模が小さいので、ここでは主として内部構造を調べることにしました。露頭で砂れきの構造が幾分わかるのは、上郷屋、太郎橋附近だけあります。その地点は熊川の地表から約2.5m下を流れ河床には現河床れきがうすく堆積し、その下には固結度の高い不透水性の粘土混り砂れき層があらわれています。この堆積状態を調べるために、熊川沿いの電気探査を実施しました。その結果を示すと次のようになります。

北抵抗曲線からみてもわかるように、砂れき層の傾向は3分され、露頭の調査と電気探査から内部構造は蛇尾川とほぼ同じであることがわかりました。以上、蛇尾川と熊川の内部構造調査から、不透水層は約6m以深で、ほぼ平坦面で、伏流水は、この上面の透水性の砂れき層を流下していることがわかりました。この事から蛇尾川、熊川の伏流水は共通性があり、中流では特に著しいのではないかと考えています。その1例として集中豪雨後、蛇尾川

図表40

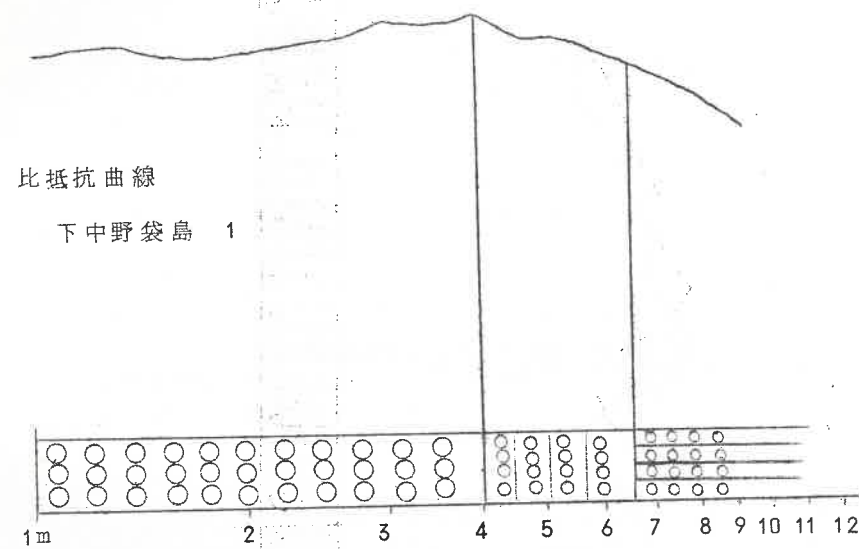
表1 上流地点 (折戸) の水位観測



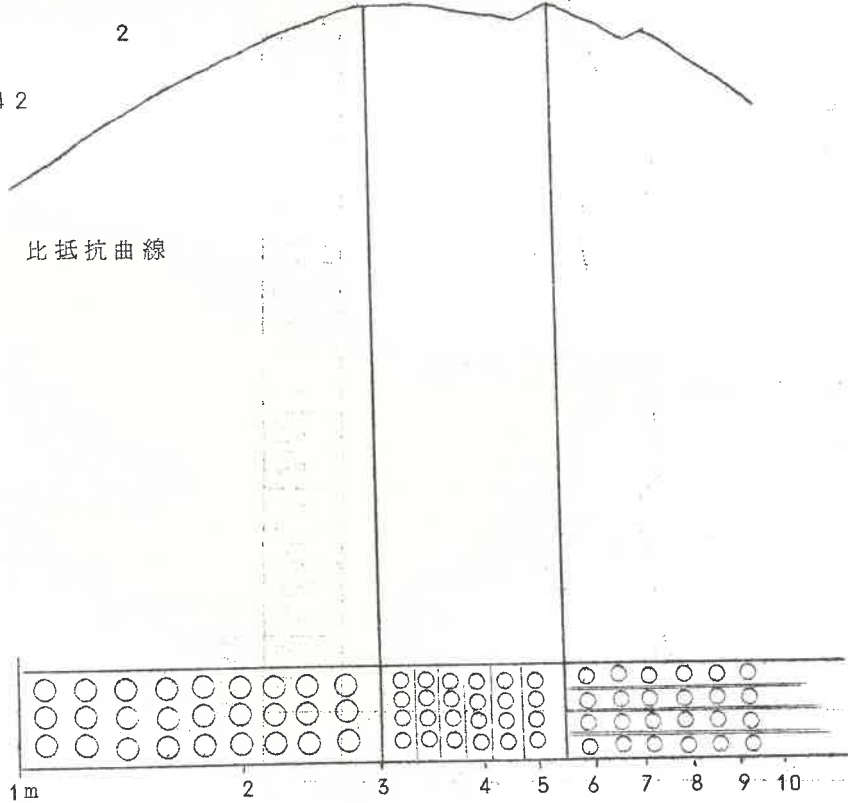
伏流水の流速 = $\frac{10.000}{24}$ ÷ 420メートル/時

昭和36年

図表4 1



図表4 2



と熊川の井戸の水位上昇も著しく、数日にして井戸の上わく以上に水位が上昇していることから、うなずかれることと思います。

ま と め

1. 那須野が原の地下構造について調査した結果、基盤地形は起伏があり扇状地の頂部から中部にかけては起伏が著しく、扇状地の末端部ではかんまんになりほぼ平坦化します。
2. 砂れき層を大別すると上部より扇状地砂れき層、鳥の目砂れき層に分けられ、その中で地下水で重要なのは扇状地の頂部、中央部では岩盤を削った地下谷上にあたる鳥の目砂れき層、扇状地末端部では鳥の目砂れき層を削った扇状地砂れき層があげられます。
3. 那須野が原の地下水涵養源として最も重要なのは河川の伏流水があげられます。伏流水としては雨量が1日に50mm以上の場合大きな価値があります。特に地下谷では河川はんらんによる影響が早く、水位上昇も著しく早くなります。

研 究 者 氏 名

塩田 輝夫	花塚 英夫	岩村 盾一	轟 勝一	国府田 晃	室井 三男
臼井 喜久治	阿久津 博子	池沢 ヤエ子	黒崎 佑子	江崎 貞子	平山 洋子
清水 通	大塚 秀雄	人見 俊夫	秋元 栄	星 忠一	松本 俊文
横尾 軍三	横井 晶紀	前田 正道	大田原 孝雄	磯 和昭	高久 守夫
岩沢 広明	北村 栄子	清水 悦子	及川 千賀子	博井 ユリ子	斉藤 明美

昭和38年度

栃木県内における浅層地下水および温泉の研究

はじめに

私達の地学クラブが発足して13年を経過し、その間、クラブの諸先輩は私達の郷土における北那須地域の地下水の研究を継続研究しました。夏休みには那須火山の研究を行ない、多くの成果をおさめ、特に地下水については、いまだに地域の人々から非常に期待をかけられています。その研究の成果は、そのつど日本学生科学展に出品し指導を授けます。私達在学生地学クラブ員も先輩の残した実績に誇りを持って受け継ぐとクラブ員一丸となつて研究を続け、今までの那須野が原という地域の殻を脱皮し、この中で獲得した研究実績を充分に応用し、郷土を含めた栃木県内の浅い地下水(30m以内)の問題、温泉の問題について研究成果を発表することになりました。私達は岩松のように人知れぬ自然の中で、風雨の中でがっちり根をはりめぐらした先輩の力で、私達の新しい若い芽を自然にためしたい。この意気で頑張った作品ですが、スケールがあまりにも大きいので、結果的には、まどまりの「しん」には欠けたと思われるかもしれませんが、県内に生活している人々がちよつとだけでも目をとめ、参考資料の一端として利用していただければ非常に光栄に思っています。この研究にあたっては直接私達に自主的研究を常に助けてくれた地学クラブ発足以来の指導提橋昇先生、新しく入られた伴昭男先生、品川温子先生にも心からの協力をいただきました。また、提橋先生の知り合いの宇都宮大学の鈴木陽雄先生、教育大学の渡部景隆先生も調査用の機械を借してくれたり、私達の質問にもやさしく御指導いただきました。実地調査には、地域の人々は全く協力的で県当局、西那須野町、黒磯町、那須町、宇都宮市、佐野市、栃木市、茂木町、馬頭町、益子町、塩原町、藤原町など役場の水道関係、観光関係の課より自動車などの御協力をいただき、一同で感謝しています。今回の研究の要点は地下水については栃木県の浅い地下水(30m以内)については地域別にどのような特徴があるかを、電気探査を主体に調査し、電気探査から得た比抵抗曲線の型と特徴を示し、地質と関連づけました。温泉については、温泉湧出機構を知るために地質調査を実施し、湧出母岩の特徴を調べ、さらに放射能測定器を用い、温泉湧出帯については放射性ガスが大きな開発上の手がかりになることを予想しました。これからオ一部、栃木県内の浅層地下水の実態と特徴、オ二部、栃木県の温泉湧出機構と特徴に分けて発表します。

〔1〕 栃木県内の浅層地下水の実態と特徴

(1) はじめに

地学クラブの先輩や私達は今まで、郷土の那須野が原で1000点をほるかに上回る電気探査を実施し、那須野が原の開田用の揚水井戸のほとんどを手がけ、水道関係、工業用水調査にも手をのばし、良好な成果をあげました。現在もお継続中ですが、その他、栃木県内の浅層地下水を利用する場所からも頼まれ、地元の調査と並行して、土曜日の午後、日曜日、春、夏、冬休みを利用して栃木県内の主な場所を手がけることができました。場所として、那須野が原以外には矢板市、氏家町、佐野市、宇都宮市、栃木市、茂木町、益子町などです。今までの那須野が原の研究は地下水の滞水と基盤地形との関係を強力につき、特に地下谷には地下水が多く帯水するということを発表しましたが、今回も最後の目標はここにありますが、地域が広いので、ここまでは到達できませんので、その基礎固めとして、電気探査から得た比抵抗曲線の型から地下水の実態を説明することになりました。

(2) 栃木県内の地質と地下水の帯水状態について

栃木県の浅層地下水の帯水層として有力なものは河岸に分布する沖積砂れき層、段丘地帯にある洪積砂れき層であります。しかし、地下水量は、この砂れき層のしまっている程度(固結度の大小)に支配され、地下谷という過去の河川の本流になつたところは粘土分が少なく、固結度は小さく、良好な水脈になつています。また本流になつていないところは泥や粘土が多く入り、れきとれきが、セメントで固められたようになり、水通しが悪く帯水層としては良くありません。この関係は電気探査を行ない、比抵抗曲線を作ってみると、固結度の問題がよくつかめます。これから、那須野が原で行なつた電気探査の中にその要素を全部含めた地層がありますので、(試掘のとき実際に井戸に入つて試みてみました)この型を標準にして比抵抗曲線の解析を説明してみます。

○電気探査比抵抗曲線の型と解析法

私達は今まで、那須野が原で、提橋先生の指導で比抵抗曲線の解析を教わり、その方法でほとんど適中しています。その教わった方法を基礎にして解析してみます。那須野が原の地下水が帯水する地層はすべて砂れき層ですが、この砂れき層が那須野が原全域に渡り、3層にわけられ、前回の発表で名前をつけたものをここでもそっくり使ってみます。砂れき層は上部より、那須野が原扇状地の表層を構成する上部、ローム層のすぐ下の砂れき層を扇状地砂れき層（固結度小。がらがらでくずれやすい）、その下にうすくローム層があり、その下のれき層を鳥の目砂れき層（固結度やや大。地下谷は、がらがらくずれ易い、はずれると固くなる）その下にまた、ローム層があり、その下の砂れき層を白崖にみられるので白崖砂れき層（固結度大で、地下谷のみ、くずれ易い。黒磯の一部にしか見られない）としました。地下水が湧出するところは、砂れき層と砂れき層、砂れき層と岩盤との境界付近で0.5~1 mの厚さの砂れき層が地下水量を決定づけるものであることが、那須野が原の調査経験で会得しております。したがって、このわずかの厚さの解析が電気探査のカギになると思われます。

例・ブリジストンタイヤ株式会社那須工場

この地点は那須野が原の全砂れき層、扇状地砂れき層、鳥の目砂れき層、白崖砂れき層、全部を含めたもので、那須野が原の地層解析上の標準型と思います。

曲線は大きくながめますと、上昇部、ゆるやかな下降部、急激な下降部に区別され、急激な上昇部7 mまでが扇状地砂れき層で、固結度の小さい、すきまの多い砂れきから構成されています。7 mから20 mまでの下降部変かん点までは鳥の目砂れき層といわれるもので扇状地砂れき層より、たい積時代が古く、固結度も前者よりも大で全体的に粘土混り砂れきで構成されています。20 mから下降部変かん点までを白崖砂れき層と呼んでいるもので、鳥の目砂れき層よりさらにたい積時代が古く、固結度がさらに大ききれきは粘土でかたく固められ極度に酸化し褐色になっています。30 m以降の下降部は那須火山噴出物と高原火山の噴出物の凝灰岩からなっています。地下水の水口についての判読ですが、この地域は鳥の目砂れき層と白崖砂れき層が重要で、その中、下降曲線の部分は粘土混り砂れきであるので地下水はほとんど期待できません。それで水口は粘土混り砂れきでない、がらがらした砂れきのところをさがすことが大切なことです。それは曲線からみると扇状地砂れき層と同様な曲線傾向をみつけることです。曲線が上昇するのは、れきが大きくがらがらのため、電流が流れにくく、抵抗が高いため、下降するのはれきが粘土でつめられ、全般にすきまがなく、しまっているため電流が流れやすく抵抗が小さくなるためです。この地点で良好な水口は曲線の上昇部と下降部の境界で、10.5 m、14.5 m 20 m、26 m 30 mですがこの地域の地下水位が揚水期には20 m以深になりますので26 m、30 mがよい水口となります。試掘結果は電気探査と一致し、現在26 mと30 m付近の0.5~1 mの厚さのがらがらしたれきの間から湧出しております。現在、日量1,000~2,000トン揚水しています。これから順を追って、この解析法を標準にして栃木県各地の比抵抗曲線の型と地下水の特徴を説明します。

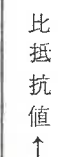
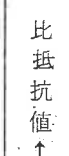
地質時代	日本の生いたち	栃木県の生いたち	岩	石	透水層	不透水層	地域
新第三紀	今	河	沖積砂れき層	河	◎		県内の河岸一帯
第四紀	最後の大陸時代 (氷河時代)	赤土・鹿沼土他 台地丘陵の形成	関東ローム層			△	県内沖積地を除く一帯
新生		全県 → 那須野が原、矢板、塩原盆地 → 那須野が原、矢板、喜連川、丘陵一帯 → 川丘陵、塩原盆地(木の葉石)	洪積砂れき層 扇状地砂れき層、鳥の目砂れき層、相当層(固結度大) 那須火山火砕岩層・集塊凝灰岩 高原火山火砕岩・浮石凝灰岩		◎		県内の中位、高位段丘一帯
新第三紀	日本の半島時代	日光火山群	および湖沼堆積層	互層砂れき層(固結度大)		×	那須野が原、喜連川、丘陵一帯の基盤
2500万年	日本の小島時代 (石炭時代)	日光火山群 → 宇都宮、塩原、茂木ほか現在の中央平野部、海底火山	緑色凝灰岩		△		砂れき層は被圧水の帯水層
古代三紀	日本の大陸時代 (石炭時代)	全県陸地				×	宇都宮を中心とする中央低地一帯の基盤分布最も広い
中生代	日本の大陸時代	海	粘板岩			×	八溝山麓一帯の基盤
古生代	日本の海底時代	海	チャード粘板岩				佐野、足利、栃木(山地部)烏山など



(3) 栃木県各地の浅層地下水の実態と比抵抗曲線の型

A 那須野が原

〔標準柱状図〕



a 西那須野町町営水道水源池（扇状地中央部）

〔比抵抗曲線2参照〕

渇水期には14mの鳥の目砂れき層と高原火山の噴出物の浮石凝灰岩の境より採水、豊水期には鳥の目砂れき層と扇状地砂れき層の境の水口も合せて採水している。水量は渇水期と豊水期の較差があり、渇水期日量1,500トン、豊水期日量10,000トン採水可能です。

b 黒磯町青木（扇状地頂部）

〔比抵抗曲線3参照〕

那須野が原扇状地の頂部で那須野が原で最も深い井戸で37mあります。渇水期、豊水期とも白崖砂れき層相当層から採水しています。伏流水入の全く期待できない地域で、天水のみの滲透水であります。日量300～500トン揚水しています。

c 湯津上村品川（扇状地末端部）

〔比抵抗曲線4参照〕

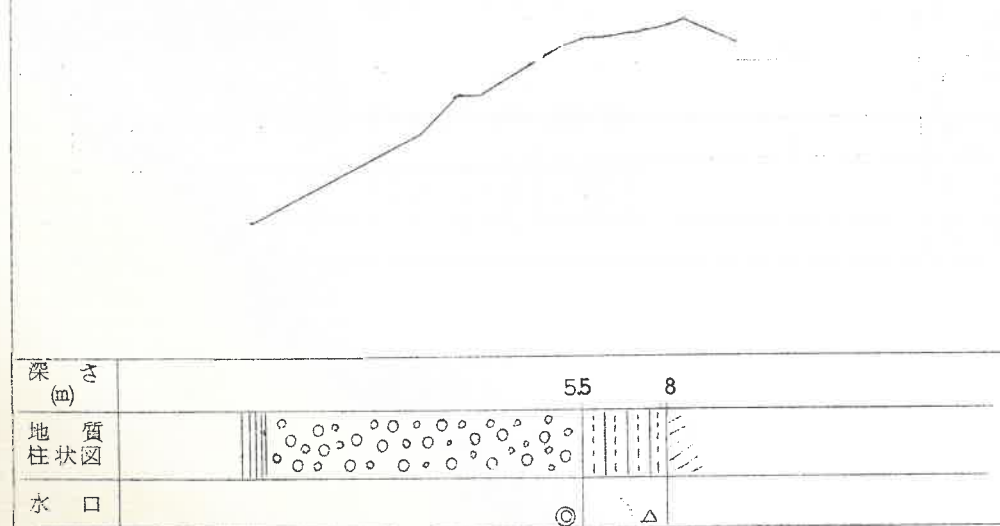
扇状地砂れき層と鳥の目砂れき層の抹より採水しています。この地域は扇状地の末端部になつていきますので、鳥の目砂れき層は粘土混り砂れき層で固結度が大きく不透水層の役目を果していますので、その上部の扇状地砂れき層が帯水層になつていきます。日量800トン採水可能です。

d 金丸原（高位段丘）

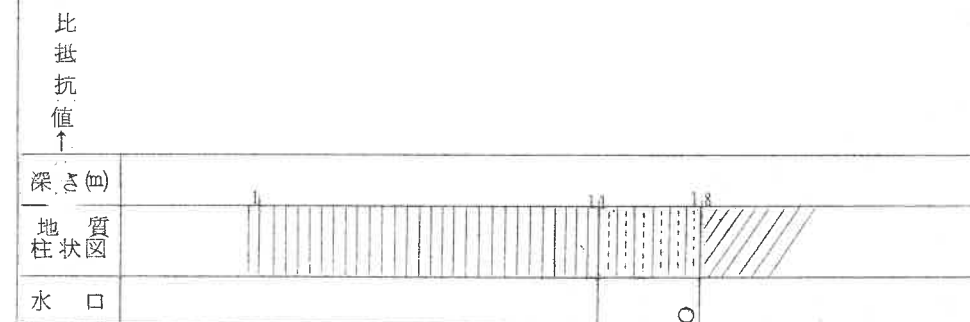
〔比抵抗曲線5参照〕

11mまで関東ローム層、11～18mまで鳥の目砂れき層、18m以深、高原火山噴出物の凝灰岩になつていきます。帯水層は凝灰岩の上面17～18mです。18m付近の比抵抗曲線が急上昇しているところは、水口は良好で、日量800トン程度採水可能ですが、この付近で曲線が下降を続ける場合は1軒の飲料水程度しか水はありません。この丘陵は連続性をもつていきますので、扇状地末端部の丘陵は、よくわかりますが扇状地の中央部にいきますと新しい堆積物におおわれていますので、みかけ上、もぐつたように見え、地表から丘陵の有無がわかりません。ただ方向性がはっきりしていますので見当をつけることができます。特徴はローム層の厚さが10m内外あることです。電気探査から得た比抵抗曲線はローム層でありながら曲線が一般に上昇曲線を示します。これはローム層の中に黒沼土のような浮石粒を含んでいますので、これが上昇の原因となつていきます。この型を私達がつかんでから宇都宮などのローム層中に黒沼土が含まれている地帯の調査に極めて役立ちました。

比抵抗曲線4



比抵抗曲線5



B 那須高原

a 清水平（標高1,760m）

〔比抵抗曲線6参照〕

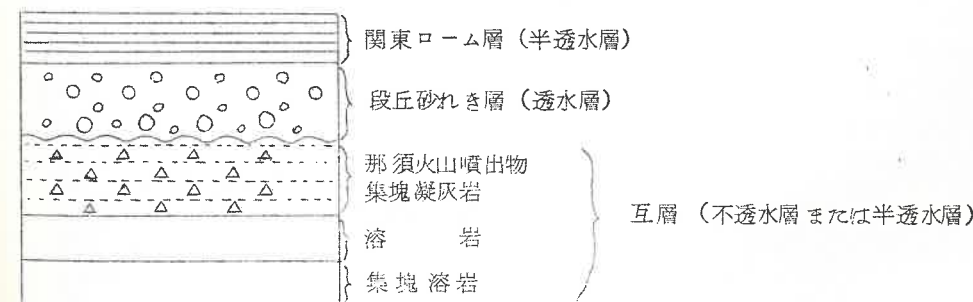
この地点は標高1,760mで那須三本槍岳と朝日岳の裾合に湛水し、温泉地帯になつていきます。私達は今年の夏休みに種々の困難を克服して機械を運搬、電気探査を行ない、地下水の状態を調べました。深さは40mまで調べましたが、3mまで砂混り角れきで3～11mまでが粘土層、11～40m以上が那須火山集塊溶岩になつていきます。この電気探査によつて地下水は3m以浅に帯水し、以深には湛水の可能性がまったくありません。地下水の涵養は天水のみで、この天水が崖錐たい積物である角れきに帯水し、地形が盆地状であるので、流動せず、水量は雨量、積雪量に支配されるものと思います。

b 那須高原山麓（標高690m）

〔比抵抗曲線7, 8参照〕

那須高原山麓の一般地形は東方には一様の勾配で傾斜していますが、南北断面ではかなりの起伏があり、谷間は湿地を形づくり、水量は少ないが、水源池として多く活用しています。この起伏は河川の浸食によるものではなく火山泥流の押出による起伏です。この起伏の特徴を電気探査の比抵抗曲線で示しますと、上記の清水平の電気探査の応用と同じで、地下水が帯水している谷では、清水平で示

〔標準柱状図〕 那須高原



- 110 -

○ 矢板市

a 山田土屋地区の低地

〔比抵抗曲線 10 参照〕

この地域は矢板市の東端で那須野が原に隣接した地域です。箒川旧河道の一端で、矢板市では地下水の最つとも豊富な地帯で、矢板市水道水源地にあげられた地帯です。比抵抗曲線をみると、1 m まで関東ローム層、1 m から 10 m まで砂れき層で 10 m より浮石凝灰岩になり、地下水は 10 m の砂

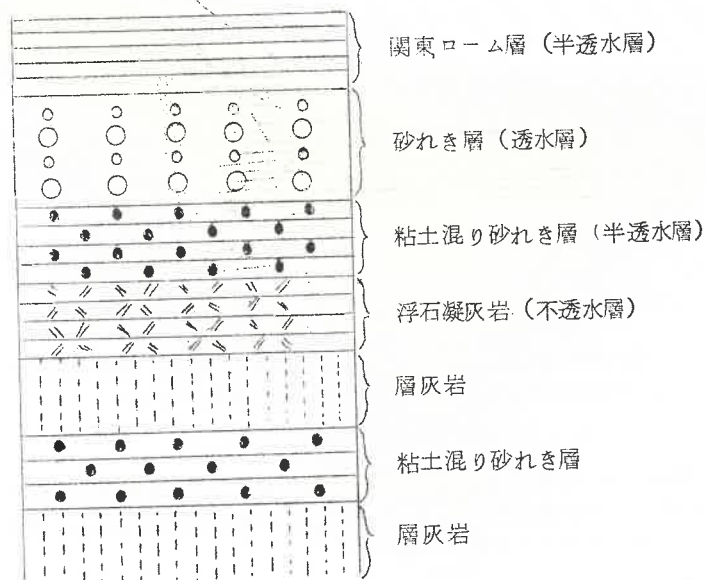
比抵抗曲線 9



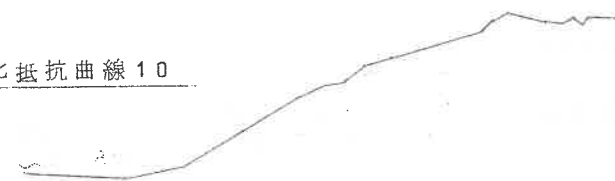
比抵抗値
↑

深さ(m)	5.5	10
地質柱状図		
水口	◎	

〔標準柱状図〕 矢板市



比抵抗曲線 10



比抵抗値
↑

深さ(m)	1	4.5	10
地質柱状図			
水口		△	◎

比抵抗曲線 11



深さ(m)	1	3.5	5.5	11
地質柱状図				
水口			◎	△

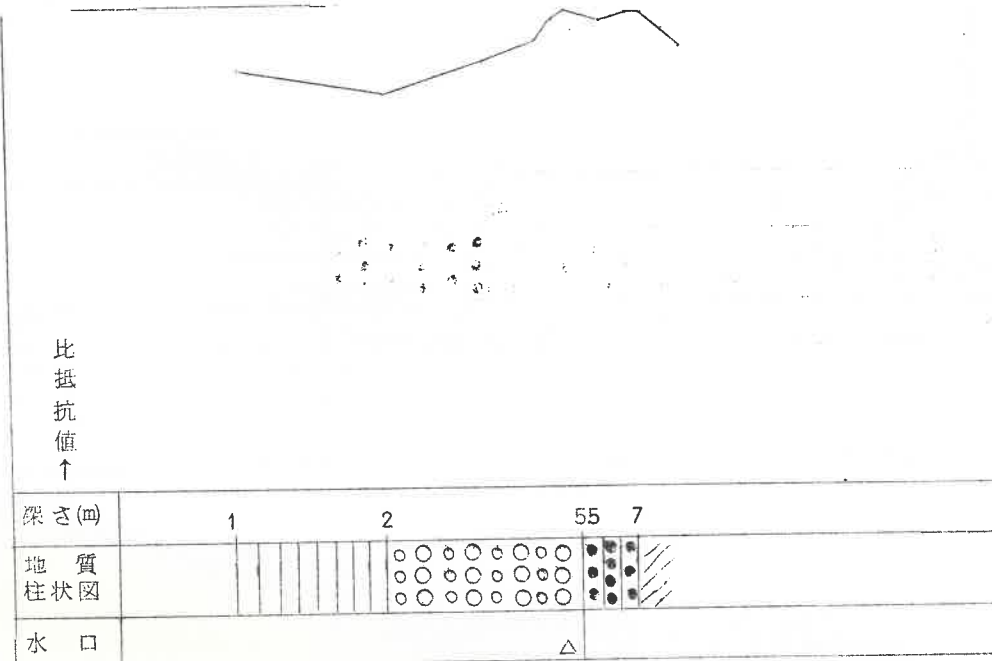
れき層と浮石凝灰岩の変かん点に多く湧出します。水口は、砂れき層の中でも、上昇曲線と下降曲線の境より湧出します。この電探地点は砂れき層の曲線が上昇していますので、水量も豊富で日量1,500～3,000トンは採水可能です。

b 矢板市御前原（矢板高校）

〔比抵抗曲線11参照〕

内川に沿った高位段丘地帯で、3.5mまで関東ローム層、3.5～5.5mまで砂れき層、5.5～7mまで粘土混り砂れき層、7～7.5mまで砂れき層（水口）、7.5m以深は層灰岩と粘土混り砂れきの互層（不透水層）からなっている。矢板市では水道は、山田、土屋地区について多い。日量500～800トン採水可能です。

比抵抗曲線 12



c 木幡

〔比抵抗曲線12参照〕

御前原より一段低い段丘で、2mまで関東ローム層、2～5.5mまで砂れき層、5.5m以深は層灰岩と粘土混り砂れき層の互層で、水口は5.5mの曲線の変かん点の上部にあります。水量は御前原より少なく、日量300～500トン採水可能です。

d 成田

〔比抵抗曲線13参照〕

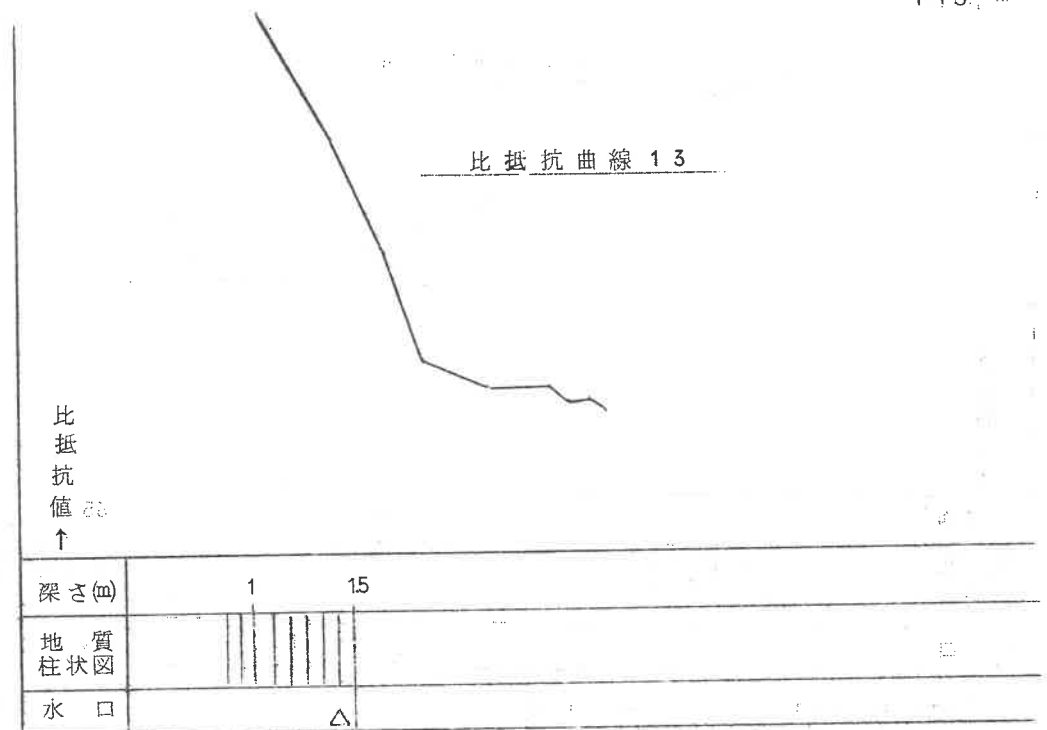
喜連川丘陵の低地の比抵抗曲線です。この曲線は砂れき層を含め丘陵地にみられる型です。2mまで関東ローム層、2m以深は浮石凝灰岩、いずれも不透水層で地下水は曲線の変かん点で2mより湧出しています。水量は一軒の飲料水程度です。

D 喜連川町（被圧水）……旧役場

〔比抵抗曲線14参照〕

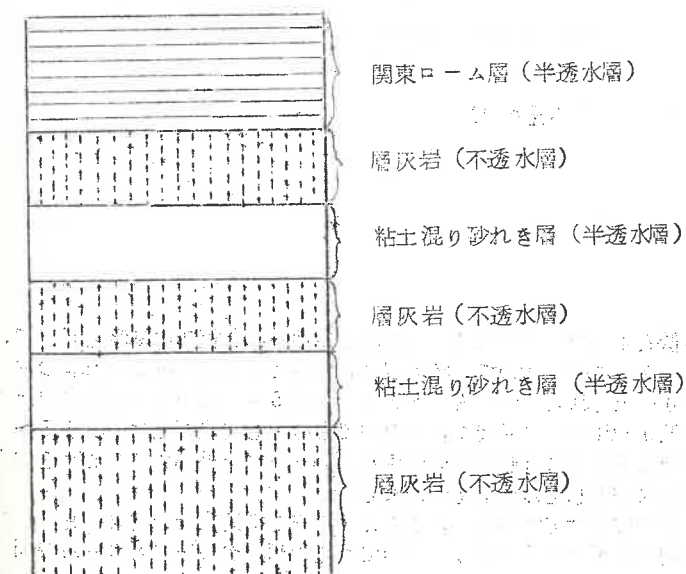
この地域は内川、荒川の合流点より河川にそって自噴井がみられます。低地は一般に自噴しますが、

比抵抗曲線 13

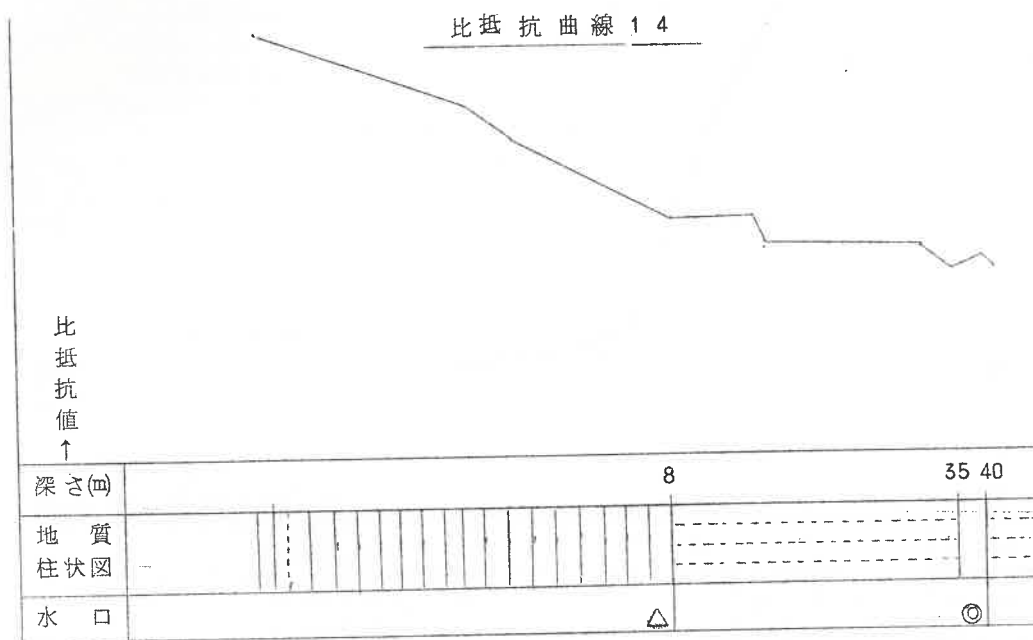


〔標準柱状図〕

喜連川町

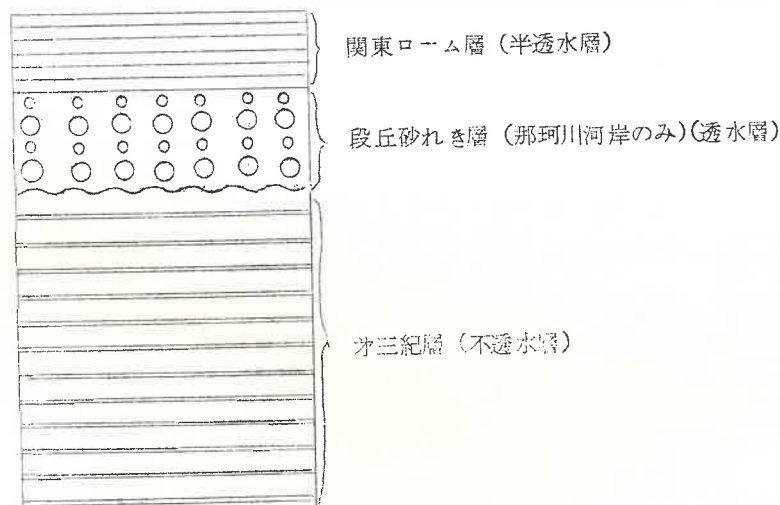


互層一被圧水帯



〔標準柱状図〕

小川町

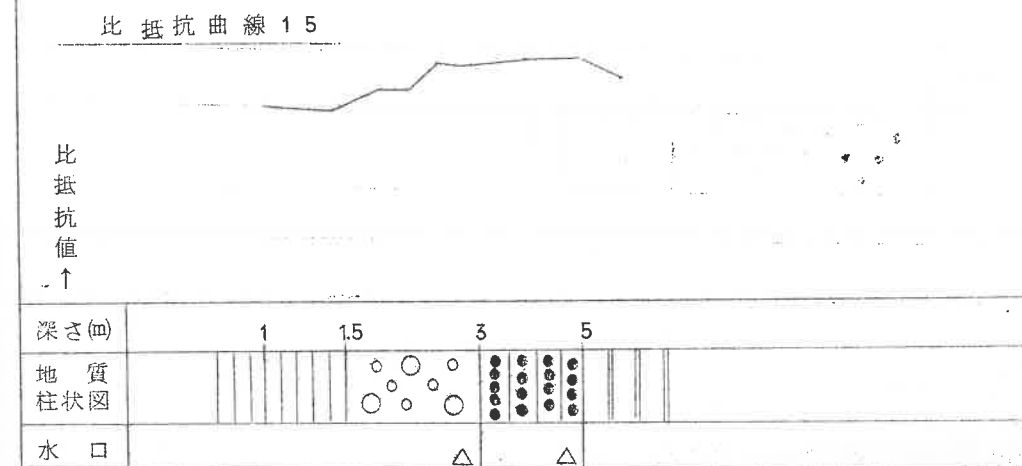


丘陵地に入ると途中まで上昇する低噴井になっています。この地帯の地質は矢板市の基盤と同じで、層灰岩と粘土混り砂れき層の互層になっていますので、層灰岩に、はさまれた粘土混り砂れきの中で砂れきの多いところが帯水層になり被圧され自噴するものと思います。8m (丘陵) まで関東ローム層、8~4.6m 以上層灰岩と粘土混り砂れき層の互層で、その中で帯層として良好な深さは3.7~4.0m で比抵抗値からみても粘土分の少い砂れき層から構成されているものと思います。これをはさむ、上下の層灰岩は厚さも厚く不透水性としての役割を充分果しています。この地域一帯が3.7~4.0m 掘って自噴させているのは、このような内部構造のためと思います。不透水層の被圧させる傾斜の東西方向は水平たい積でありますので南北の傾斜が被圧自噴させる要因と思います。

小川町

〔比抵抗曲線 15 参照〕

小川町の東側は那珂川河岸に接し、西側は喜連川丘陵に続きます。地下水は那珂川河岸の段丘地にのみ存在しています。1.5m まで関東ローム層、1.5~3m は砂れき層、3~5m は粘土混り砂れき層、5m 以深は才三紀層になっています。水口は3m と5m で地下水の涵養は天水のみであるので、水量は飲料水を確保できる程度しか期待できません。



馬頭町

a, 馬頭町山地 (大内)

〔比抵抗曲線 16 参照〕

馬頭町山地は関東ローム層の下位が才三紀層凝灰岩で地下水はほとんど期待できません。ただ、山地で飲料水を求める場合には崖錐たい積層をねらいますと、飲料水程度は確保できます。これは崖錐地の電気探査の比抵抗曲線です。2m まで崖錐たい積物で2m 以深は才三紀層で地下水は1.5m ~ 2m の間に帯水し、飲料水程度の水量です。

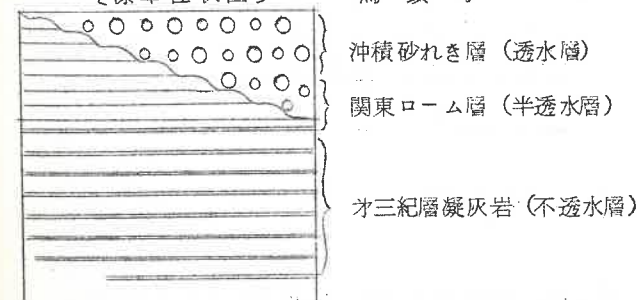
b, 馬頭町沖積地 (那珂川左岸)

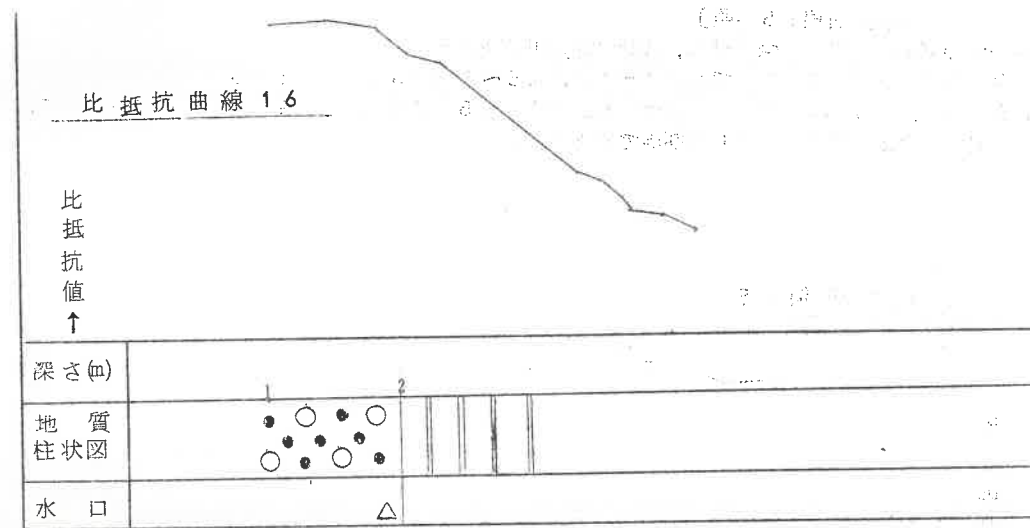
〔比抵抗曲線 17 参照〕

馬頭町の水道水源地として活用しているところです。水量は日量1,000トン採水可能です。6m まで

〔標準柱状図〕

馬頭町





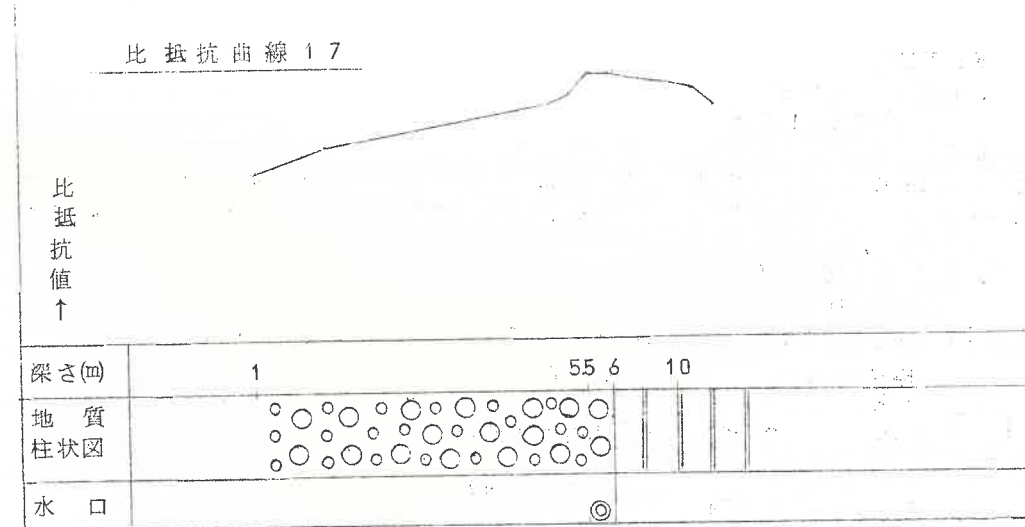
沖積砂れき層, 6 m 以深は第三紀層, 6 m の変かん点より上に帯水し, 5.5 ~ 6 m 付近が良好な水口になっています。

G, 茂木町

a, 茂木町内

〔比抵抗曲線 1.8 参照〕

茂木町内は山に囲まれた盆地で小河川の段丘れき層が河岸に沿って分布しています。町内の地下水は天水のみの涵養で, 地下水は飲料水をまかなう程度しか期待できない。3 m まで沖積砂れき層, 3



m 以深は第三紀層 (不透水層), 水口は 3 m で水量は少ない。

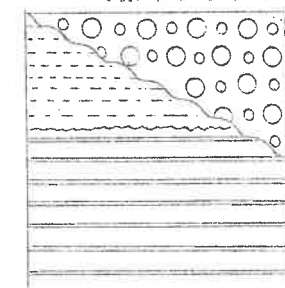
b, 茂木町水道水源地

〔比抵抗曲線 1.9 参照〕

茂木町水道水源地は那珂川の右岸にあり段丘の旧那珂川河道の地下谷に掘ったものです。水量はきわ

〔標準柱状図〕

茂木町

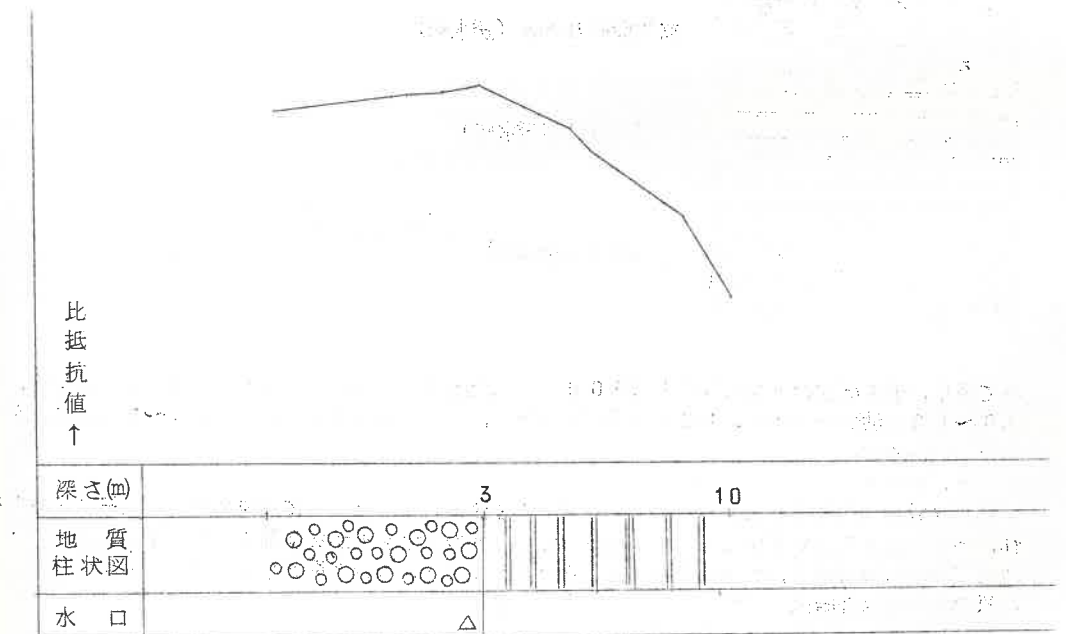


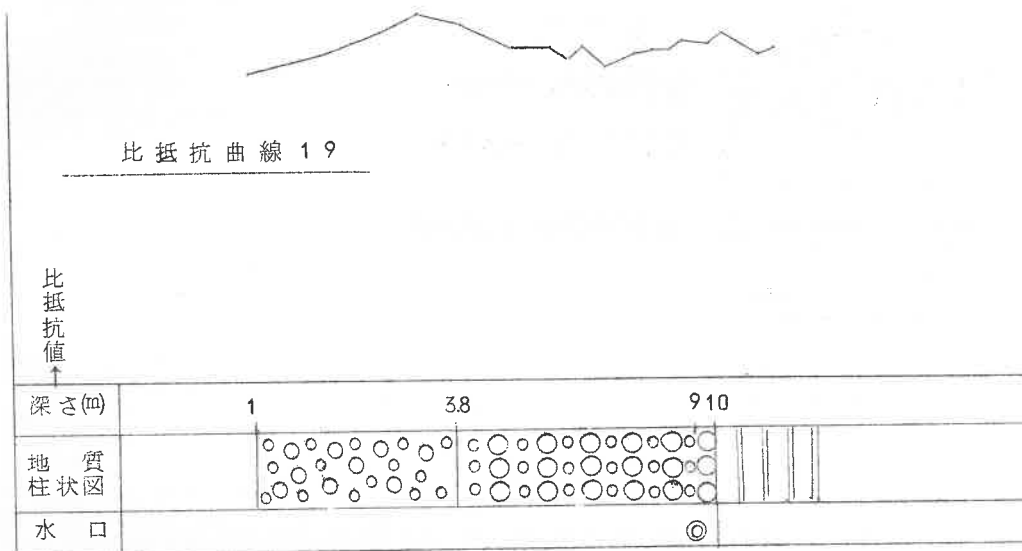
沖積砂れき層 (透水層)

関東ローム層 (半透水層)

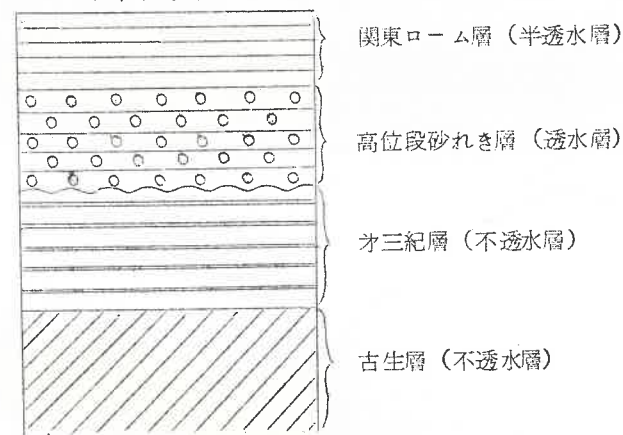
第三紀層凝灰岩 (不透水層)

比抵抗曲線 1.8





〔標準柱状図〕



めて多く、揚水試験のときは日量10,000トン以上確保できました。2.8mまで沖積砂れき層、2.8～10m洪積砂れき層、10m以深は才三紀層、水口は曲線の変かん点で9m～10mが最も多くなっています。

H, 益子町

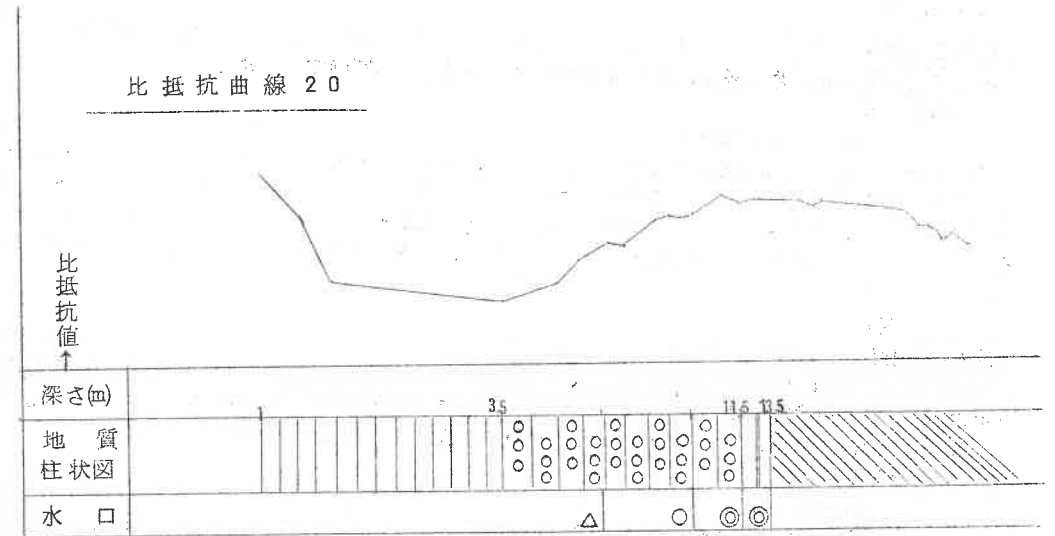
町内は低湿地で見掛上地下水があるようにみえますが、下はただちに不透水性の才三紀層があらわれ、地下水量はきわめて少なく、井戸を掘っても一軒の水量をまかなう程度です。町からはずれた台地は五行川の旧河道で、地下水の期待できるところで現在、水道水源として活用しております。水道水源地の電気探査結果を示しますと次のようになります。

〔比抵抗曲線 20 参照〕

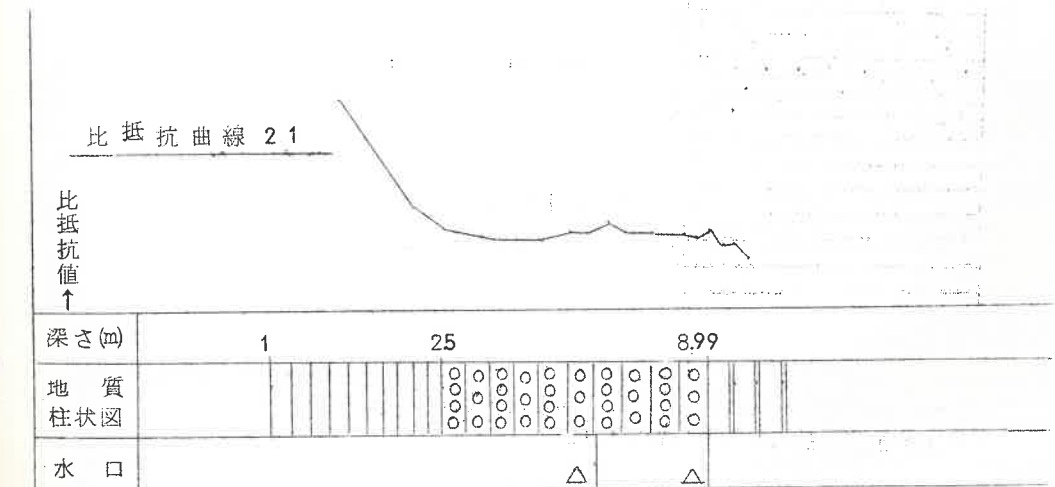
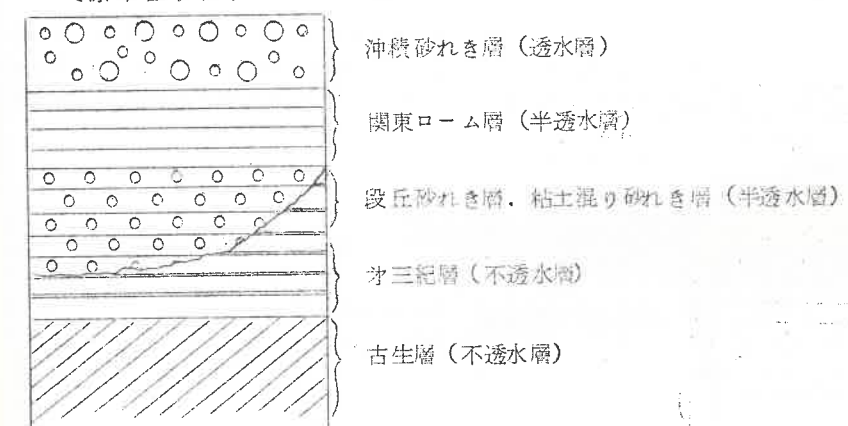
3.5mまで関東ローム層3.5～13mまで砂れき層、13～19mまで粘土混り砂れき層、19m以深は不透水性の才三紀層になります。地下水の主要帯水層は13m以浅で、9m、11.5m、13mは良好な水口となつております。水量は日量1,500トン揚水可能である。

I 烏山町

烏山は古生層、才三紀層からなる山地に囲まれ、地下水は那珂川右岸の日の町から堀抜に至る沖積



〔標準柱状図〕



地以外には期待できません。那珂川右岸の高位段丘には、れき層が見られますが、たい積時代が古く、主として粘土混り砂れきが多く、飲料水を確保できる程度しか期待できません。

鳥山高等学校

〔比抵抗曲線 21 参照〕

鳥山高校は那珂川右岸高位段丘地帯にありますが、地下水は那珂川の伏流水はほとんど期待できず、ただ天水の滲透水が涵養しているに過ぎません。内部の層序は 2.5 m まで関東ローム層、2.5 ~ 5.5 m まで砂れき層、5.5 ~ 6.5 m まで粘土混り砂れき層、6.5 ~ 9 m 砂れき層、9 m 以深は古生層（不透水層）となっています。水口は 5.5 m、9 m にあり、5.5 m が割合に多く採水できる（日量 100 ~ 200 トン）

J, 氏家町

氏家町は鬼怒川伏流水の期待できるめづまれた地帯です。砂れき層はがらがらの扇状地砂れき層に相当する新しい砂れき層と、鳥の目砂れき層に相当するややしまつた粘土混り砂れき層 2 層考えられ、上層の帯水層は季節的に変動する地下水です。家庭用では充分です。下層の帯水層は渇水期にも充分使用にたえられる地下水でオ三紀層と砂れき層の境が良口な水口になっています。

氏家高等学校

〔比抵抗曲線 22 参照〕

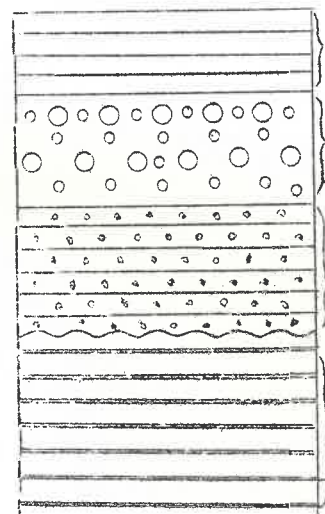
2 m まで関東ローム層、2 ~ 7.5 m まで固結度の低い砂れき層、7.5 ~ 13 m まで固結度の高い粘土混り砂れき層、13 m 以深が不透水層となっています。水口は 7.5 m、9 m、11.5 m、13 m にあります。

K, 宇都宮市周辺

宇都宮市周辺には数段の段丘が発達し、段丘の中で、中位段丘地帯にある平出町、御幸町、峰町にかけた地帯は豊富ですが、小幡山丘陵を含めた周辺部と延長方向は地下水が少なく、段丘地帯の地層の層序は上部から関東ローム層、砂れき層、粘土混り砂れき層、オ三紀層となっています。地下水は

〔標準柱状図〕

氏家町



関東ローム層（半透水層）

砂れき層（透水層）

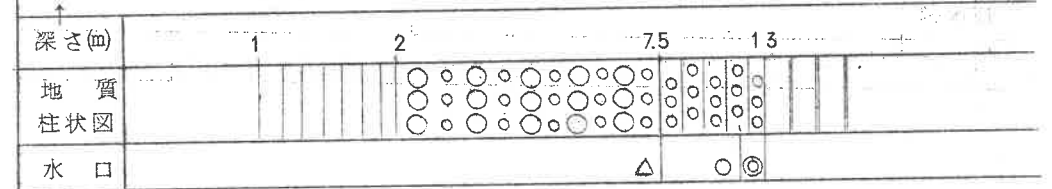
粘土混り砂れき層（半透水層、透水層）

オ三紀層（不透水層）

関東ローム層中に含まれている鹿沼土が帯水層に宙水型と、上部砂れき層と下部砂れき層の境、下部砂れき層とオ三紀層の境に存在します。

比抵抗曲線 22

比抵抗値



a 宇都宮市平出地区

〔比抵抗曲線 23 参照〕

2 m まで赤土、2 ~ 4 m の間に鹿沼土を含む、4 ~ 6 m まで赤土、6 ~ 11 m が上部砂れき層で固結度の小さいがらがらした砂れき層、11 ~ 20 m まで粘土混り砂れき層で、固結度の大きいしまつた砂れき層、20 m 以深はオ三紀層（不透水層）からなっています。良好な水口は曲線の交差点 11 m、20 m にあります。水量は日量 1,000 ~ 2,500 トン採水可能です。

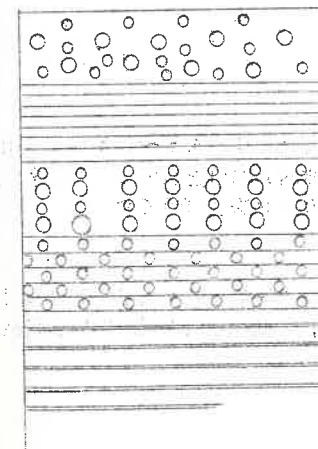
b 石井町

〔比抵抗曲線 24 参照〕

5.5 m まで関東ローム層（ローム層の比抵抗曲線が上昇するのは、3.5 ~ 4 m に鹿沼土の浮石粒のため）、5.5 ~ 10 m まで上部砂れき層、10 ~ 14 m まで下部砂れき層、14 m 以深はオ三紀層になります。水口としては 10 m、14 m があげられ、水量は豊富で 1,000 ~ 3,000 トン採水可能（日量）です。

〔標準柱状図〕

宇都宮市周辺



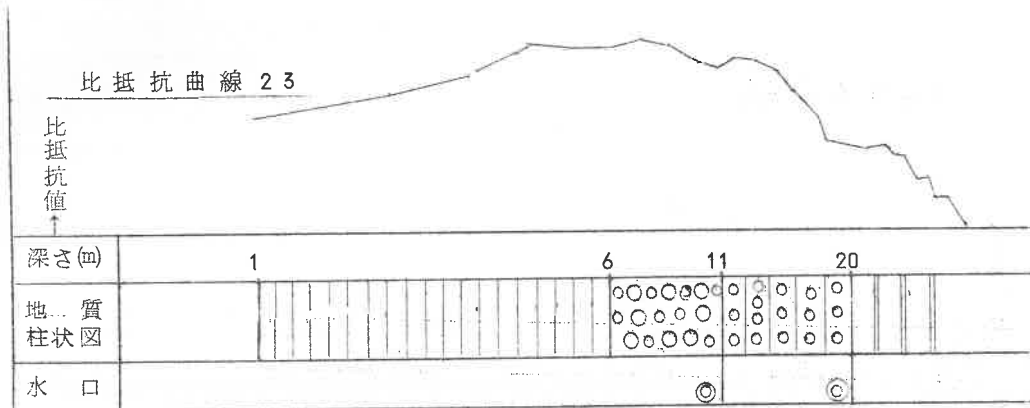
沖積砂れき層（透水層）

関東ローム層（半透水層）

上部砂れき層（透水層）

下部砂れき層（半透水層、透水層）

オ三紀層（不透水層）



c 宇都宮東高等学校

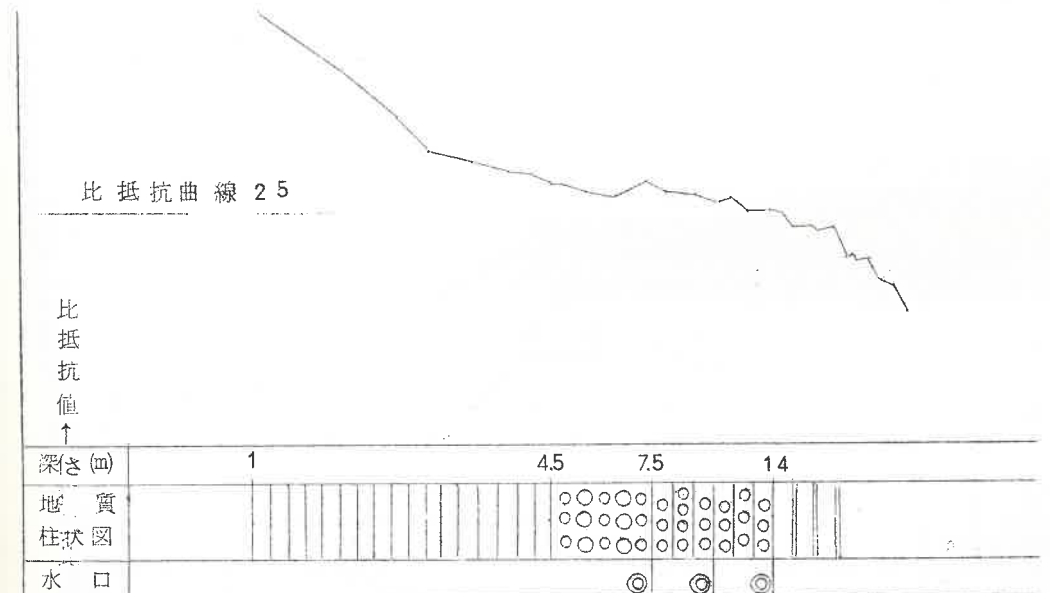
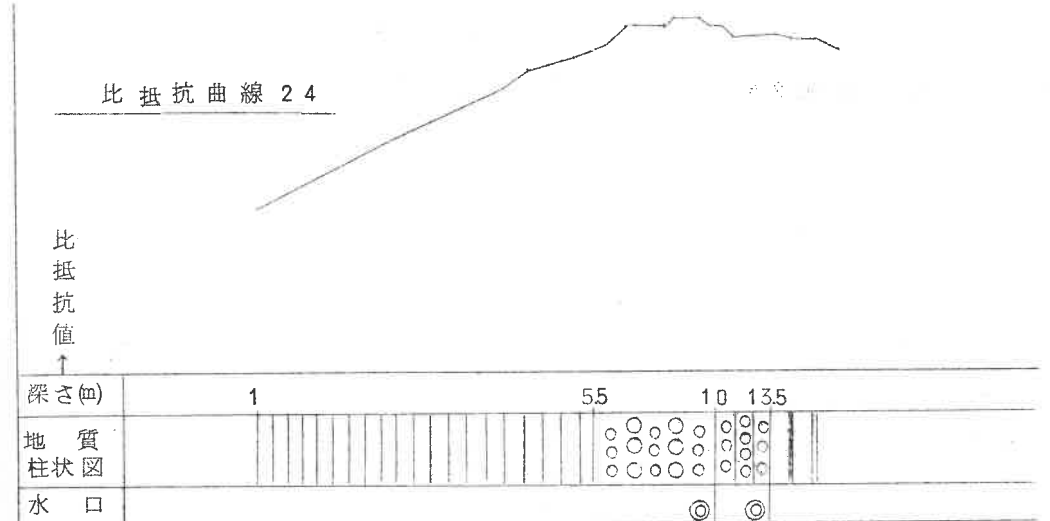
〔比抵抗曲線 25 参照〕

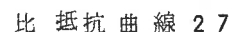
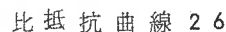
4.5 m まで関東ローム層で 2.5 ~ 3.5 m の間に鹿沼土をはさんでいます。4.5 ~ 7.5 m まで上部砂れき層, 7.5 ~ 13.5 m まで下部砂れき層, 13.5 m 以深は不透水層。水口としては 7 m, 9 m, 10.5 m, 13.5 m があげられます。水量は日量 800 ~ 1,500 トン採水可能です。

d 御田長島 (田川の沖積地)

〔比抵抗曲線 26 参照〕

5.5 m まで沖積砂れき層, 5.5 m 以深は才三紀層, 水口は 5.5 m で伏流水を採水できますので水量は豊富です。日量 1,500 ~ 2,500 トン採水可能です。ただし, 現在の河川水 (田川) が直接透しますので水質がよくありません。

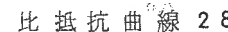




⑨ 宇都宮市戸祭

〔比抵抗曲線 27 参照〕

この地域は洪積層ですが、田川の伏流水が期待できる地域です。6.5 mまで赤土、6.5～14 m上部砂れき層、14～19.5 m下部砂れき層、19.5 m以降才三紀層、水口としては期待できるのは14 mです。その下は粘土混り砂れきに移化するので水口は期待できません。水量は日量1,000～2,000トン採水可能です。



土 叶 谷

[比抵抗曲線 28 参照]

八幡山丘陵の谷間で、散れを層はなく、関東ローム層から直ちにオス紀層の基盤に入ります。3 m まで関東ローム層、3 m 以下がオス紀層で、地下水は3 m 付近に帯水していますが流動していません。天水のみの涵養であるために地下水は少なく、家庭用で使用する飲料水程度のものです。

L 栃木市

栃木市の地下水は永野川の符流水が涵養しているため、市内平坦地は地下水が豊富です。しかし、

〔標準柱狀圖〕

栃 木 市



関東ローム層 (半透水層)

洪積砂れき層（半透水層，透水層）

才三紀層（不透水層）

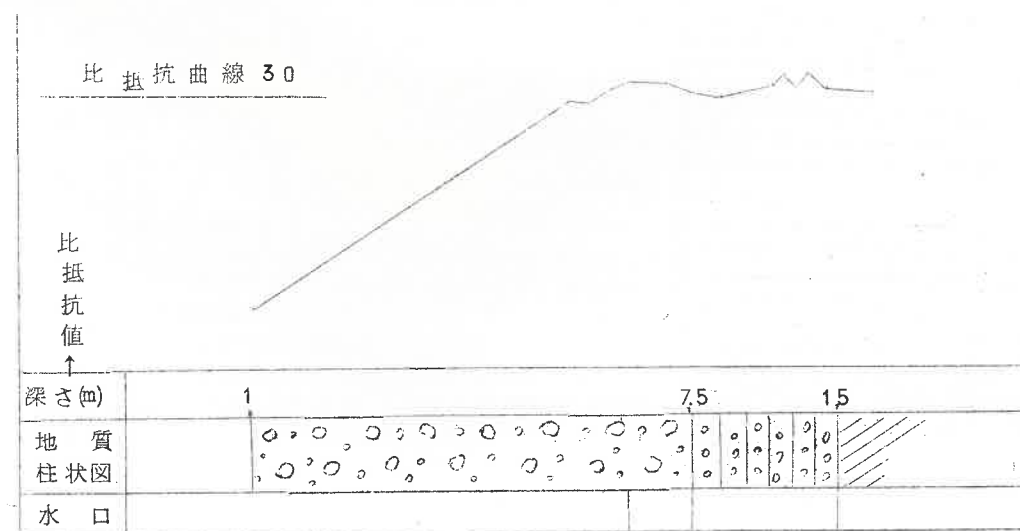
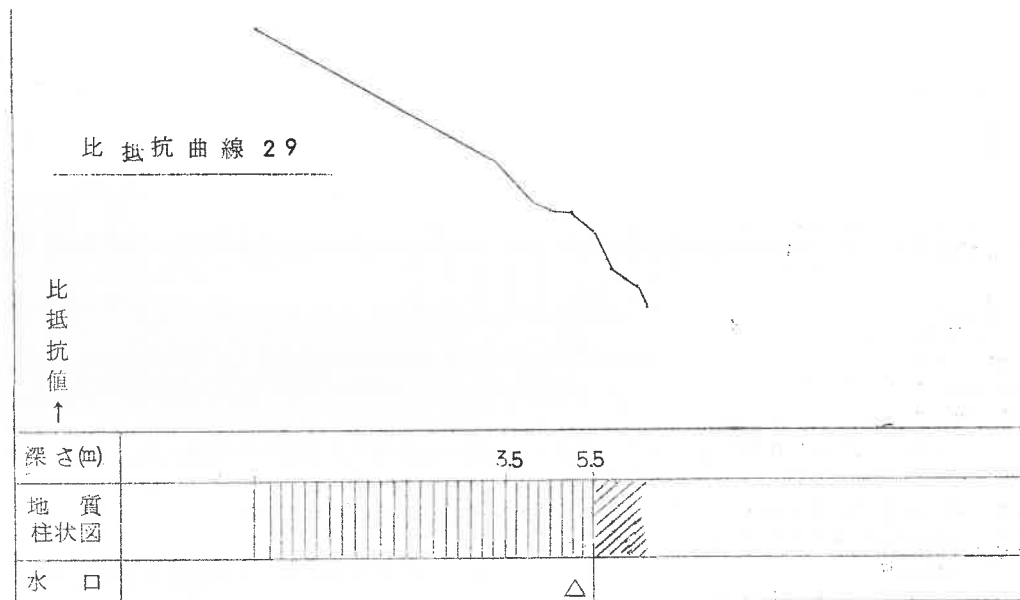
古生層 (不透水層)

大平山を含めた山地および山麓は古生層の基盤が露出し砂れきがなく、関東ローム層と古生層の境より湧出する程度の水しかありません。

a 平井町大平山山麓部

〔比抵抗曲線29参照〕

5.5 mまで関東ローム層、2.5～3.5 mの間に鹿沼土を含む、5.5 m以深は古生層の不透水層からなっています。山地の地下水は伏流は望めなく天水のみの涵養ですので水量は家庭用の飲料水程度です。水口は5.5 mです。



b 永野川河岸沖積地

〔比抵抗曲線30参照〕

7 mまで沖積砂れき層、7 m以深は粘土混り砂れき層で水口は7 mで、伏流水はこの水口に集水しています。水量は多く800～2,500トン採水可能です。栃木市水道水源、栃木農業高等学校の学校用水はこの地帯から採水しています。

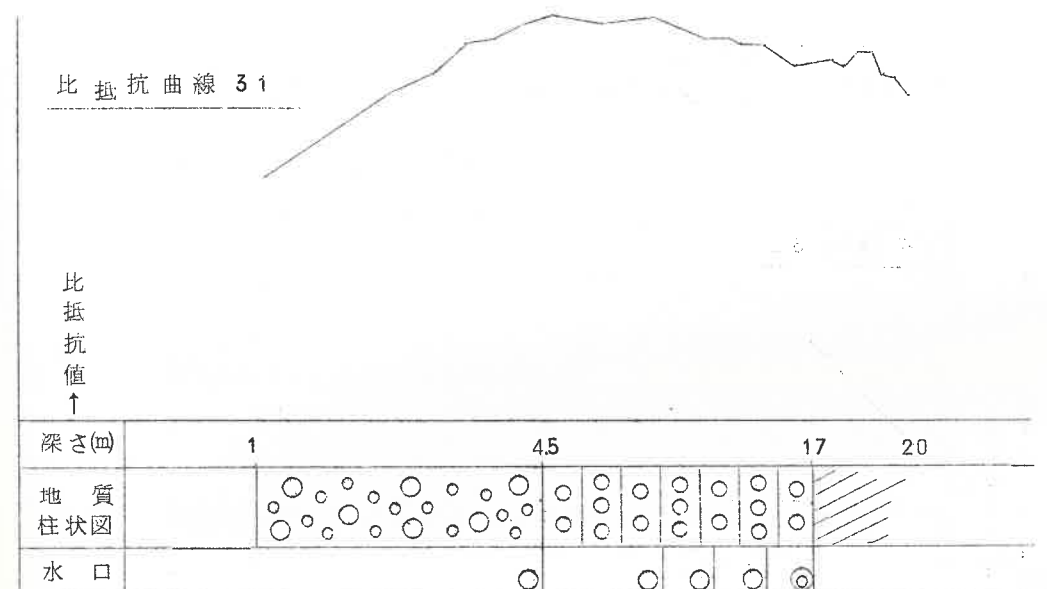
c 新栃木駅付近

〔比抵抗曲線31参照〕

この地帯の地下水は豊富で約17 mまで砂れきで構成され水口も数多い。水口としては4.5, 7.5, 10, 14, 15.5 mがあげられます。

M 佐野市

佐野市と栃木市と同様に秋山川の伏流水が大きく涵養していますので市内は地下水に恵まれています。しかし、古生層の山地および山麓になりますと、栃木市の山地付近と同様に伏流水涵はなく天水のみの涵養で地下水は少ない。山地付近でも古生層の割目から大きな湧水帯が一部にみられますが、局部的現象と思われる。



a 唐沢山麓秋山川左岸沖積地

〔比抵抗曲線32参照〕

7 mまで砂れき層、7 m以深は粘土混り砂れき層で半透水層、不透水層の役割を果たしています。水口は曲線の変かん点4 m, 7 mにあります。この地点と同じ環境が佐野市の水道水源があげられ、試験当時水量が日量2,500トン以上ありました。

(3) 調査のまとめ

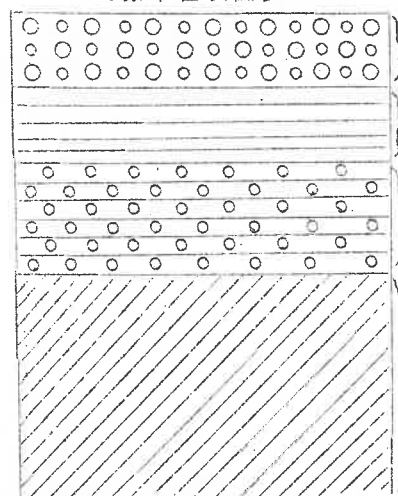
栃木県の代表的地域について、浅層地下水のみを取り上げてみましたが、試験の結果全体的に那須野が原で行なった電気探査の解析が直接応用できることがわかりました。

栃木県内の地下水の存在は

① 沖積砂れき層、洪積上部砂れき層、洪積下部砂れき層に帯水し水口は各砂れき層の境界、または砂れき層と凝灰岩等の不透水性基盤境界上部に存在しています。地下水の湧出する厚さは試験の結果をみてみますと1.0 cm～1 mに過ぎません。この厚さが5.0～1 mあると地下水はきわめて豊富に湧出します。

〔標準柱状図〕

佐野市

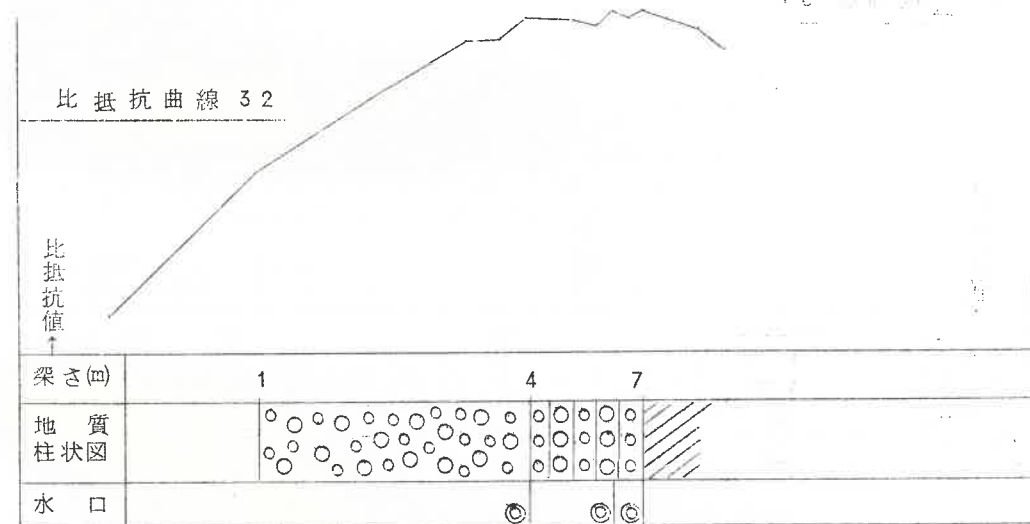


沖積砂れき層 (透水層)

関東ローム層 (半透水層)

粘土混り砂れき層 (半透水層)

古生層 (不透水層)



② 良好な水口の砂れきの厚いところは地下谷によくみられます。これを電気探査比抵抗曲線でみますと基盤との境まで曲線が上昇していることによりわかります。

③ 洪積砂れき層は栃木県平坦地において2層に分かれることがわかり、上部砂れき層は那須野が原の扇状地砂れき層に相当すると思われ、固結度が小さく、掘るとがらがらくずれる砂れき層です。下部砂れき層は那須野が原の鳥の目砂れき層に相当すると思われ粘土混り砂れきで固結度は一般に高くよくしまっている砂れき層です。

④ 上部砂れき層は電気探査比抵抗曲線でみますと、10m以内の上昇曲線が該当します。下部砂れき層は比抵抗曲線で10～約30mまでのゆるい下降曲線が該当します。ここで特に大切なことは下部砂れき層の水口を判読する場合に下部砂れき層の曲線の下降部から基盤に入る下降の間に上昇曲線が厚さ1m程度みられれば地下水は期待できますが、下部砂れき層と基盤の間に上昇曲線がみられず、下降する場合には地下水はありません。

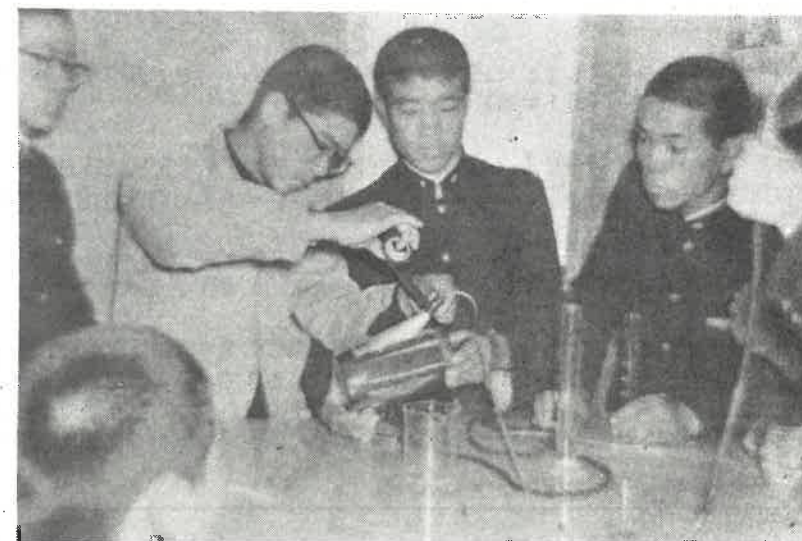
⑤ 上部砂れき層の水口は家庭飲料水程度に使用する水量としては充分です。下部砂れき層の水口

は渇水期に安定な水口ですが、基盤地形の形態によつて水量の増減が極端ですので、地下谷を探すことが大切なことになります。地下谷に当たりますと安定した水量がきわめて多いので、町水道水源、工場用水源としても活用できます。

⑥ 山地部は砂れき層がなく、ローム層から不透水性基盤に移化する場合が多いので地下水は少量です。山地でも崖錐たい積物が基盤の上についている場合は飲料水程度は採水できます。比抵抗曲線は崖錐地をのぞいて、ほとんど下降曲線になります。

地下水の部 完

〔実験風景〕



〔2〕 栃木県の温泉湧出機構と特徴

(1) はじめに

栃木県内の温泉は北部山岳地帯である那須火山、高原火山、日光火山の通ずる中に多く分布しています。有名な温泉としては那須、塩原、鬼怒川、川治、湯西川、川俣、板室温泉などがあげられます。これらの温泉湧出については活火山に直接関係あるものもあれば、直接関係ないものもあります。湧出する場合、岩石の割れ目から自然に湧出しているもの、火山性水蒸気が音をたて、噴上げているもの、一定時間をおいて噴上げる間欠温泉もあります。私達はこのような温泉湧出機構に異なったものがあることを知らされたので数年前から湧出機構について主として地質的に研究してきました。はじめに那須温泉について地質と温泉との関係を研究し昭和35年に発表しましたが、これを基礎といたしまして、栃木県の主要な温泉について地下水の研究と並行して研究を進めてきました。ようやく、一通りの調査を手がけることができましたので、ここに発表することにしました。研究の焦点は温泉湧出地の地質学的特徴です。これから、順を追って各温泉の湧出状態とその特徴について述べてみます。

(2) 栃木県における温泉の実態および湧出機構と特徴

A 那須温泉

a. 温泉の概要

那須温泉の源泉は前回に発表しました通り、ほとんど河川敷内にあり、茶臼岳の噴出溶岩の分布内に大部分を占めております。(図1参照)

b. 温泉湧出の実態

那須温泉は那須火山と直接関係をもっている、活火山性温泉です。各源泉とも共通性をもっていますがここでは前回発表の分は除いて、現在最も開発の進んでいる苦土川の源泉について述べることにします。

① 苦土川の位置

標高1,600mのかっこう沢から弁天、大深堀をへて余笹川に合流する河川です。

② 温泉の分布(苦土川)

苦土川で現在温泉として定義づけられる泉温を有するものは約9カ所で、その中、単純温泉に近いもので有望な源泉は弁天温泉から下流300mの範囲内に限られているようです。また、活火山性型温泉の特徴をそなえる噴気帯はみじ橋下流500mの範囲に限定されているようです。この噴気は100℃以上の水蒸気が10数m噴上げるものです。すでに、一つは水を加えて人工温泉として活用しています。

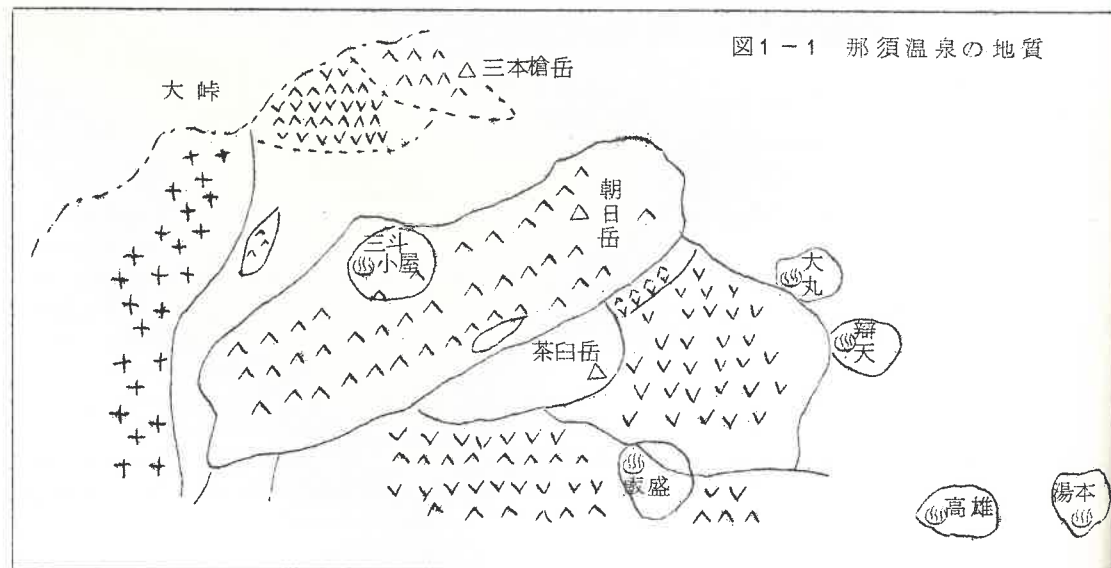
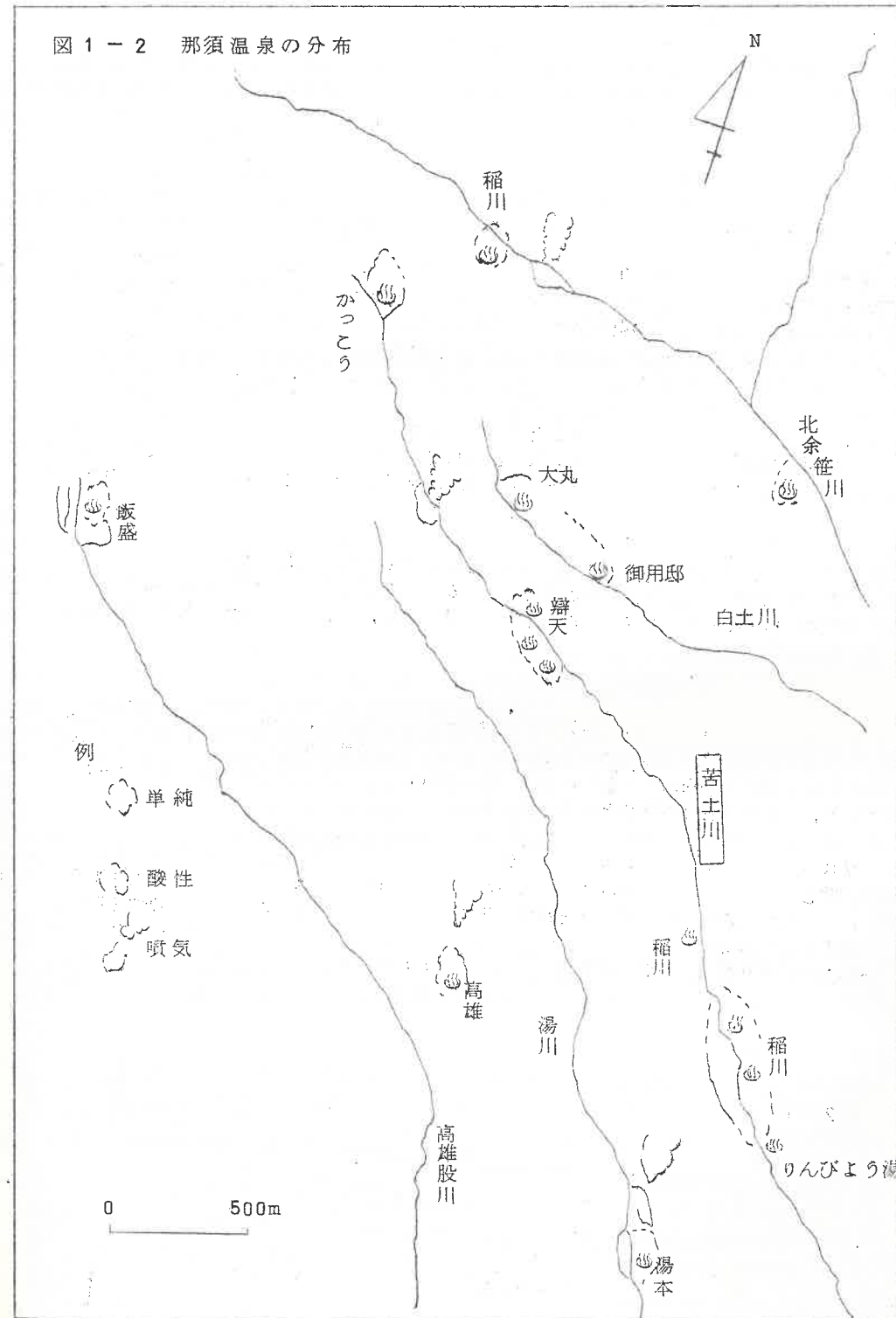


図1-1 那須温泉の地質

図1-2 那須温泉の分布



c. 湧出の実態

① 湧出単純泉

苦土川流域で源泉として40℃で湧出しているところでは、その周辺に必ず、昔の噴気の跡が見られ、笹などが枯れています。昔の噴気の跡の岩石は熱の作用のために変質し、褐色に焼け、玉ねぎ状に風化し、白、青、茶、赤などの変質粘土によって固められています。この苦土川にある湧出している温泉は大部分が昔の噴気周辺の節理に富んで集塊溶岩の割目から湧出しています。深さは40m以浅で、ボーリングで採取した岩石をみますと高温帯で湧出量の多い岩石は集塊溶岩で亀裂に富み変質しています。その下は非常にちみつな安山岩に移り岩石は変質していません。ボーリング屋の話しを聞きますと、変質しないちみつな岩石に入ると温度も上らず湧出量も増加しないそうです。さらにこれを掘りぬき亀裂に富んだ岩石に入ると地下水が混入してぬるくなってしまうといわれます。以上の実態から考えますと、熱原から上昇した熱脈は成層火山の層面にそって水平移動しているものと考えられます。

② 噴気

苦土川でボーリングで成功した噴気はもみじ橋下流200mと300mの地点の2箇所があります。地質は溶岩と集塊岩の互層からなり、上流では60mで噴気に当り、現在激しい音をたてて101℃の水蒸気を10数メートル噴上げています。下流は現在、噴気に水を入れて人工温泉として活用しています。

d. 泉質の調査

① 単純温泉

私達は苦土川に湧出している温泉の泉質概要を調べるために、試薬として塩化バリウム、黄血塩、酢酸塩、PH計を持参し、現場分析を行ない、さらに校内で再分析を行ないました。その結果、単純泉系列ではいずれも同様に SO_4^{2-} 、 Fe^{2+} がみられ、PHは泉、下平、渡辺所有ボーリング地点では7.7、7.1で中性であることがわかりました。

② 噴気

ガスの性質は現場で調べ、溶けている成分とPHは現在噴気に水を混入している温泉をもらい校内で分析しました。噴出しているガスは臭いがないが、酢酸鉛溶液をろ紙にびたし水蒸気に近づけてみました。黒色になり硫化水素が含まれていることがわかり、水を混入した温泉に酢酸鉛溶液を入れますと黒くなるので硫化水素がとけていることがわかりました。PHは酸性で5.9です。このような成分からみまますと殺生石のある湯本の温泉(PH3.5)と同系列であることが考えられます。

図2-1

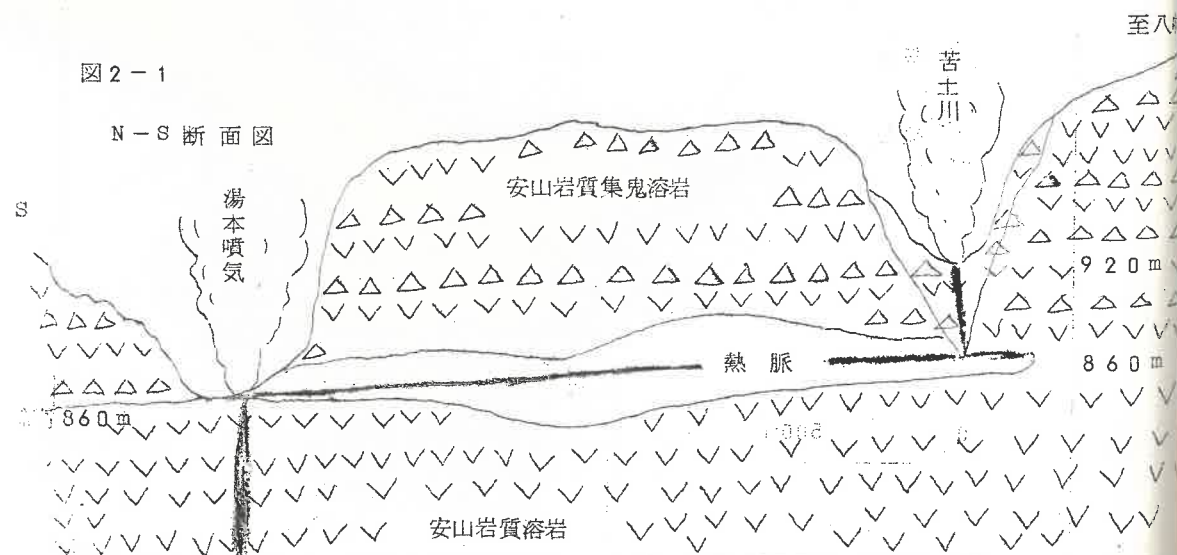
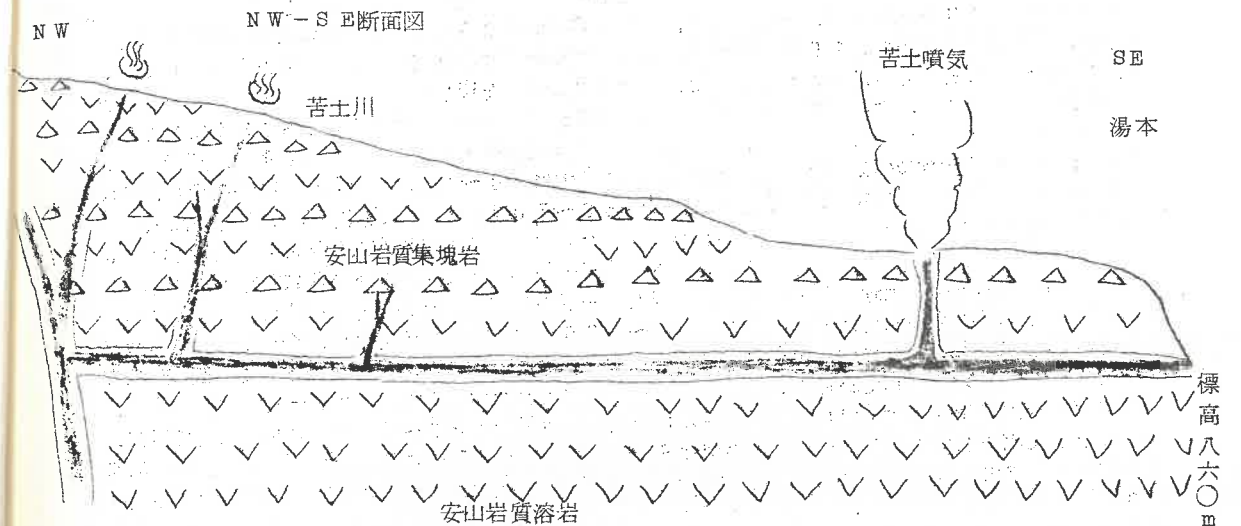


図2-2



e. 温泉湧出機構

苦土川の源泉は茶臼岳火山活動と密接な関係があり、噴気は茶臼火山熱源から直接影響を受け、地下水循環のあまりよくないところにみられます。従って成分的にも、火山性ガス SO_2 、 H_2S が多く、PHは強酸性です。湧出泉は熱源からわかれた枝状の熱脈地帯で岩体にみられます。従って成分的にも SO_2 、 H_2S ガスはみられず、 SO_4^{2-} 、 Fe^{2+} のみでPHも中性です。なお、ボーリング資料と私達の電気探査から推定地質断面図を作りますと次のようになります。(図2参照)

この図から弁天の自然湧出を含めたボーリングによる湧出温泉地帯は、岩層が集塊溶岩で深さが40m内外あり、その下部はちみつな安山岩質の溶岩になっています。河川水透過の関係は集塊溶岩で亀裂に富んでいるため、地下水の循環も割合によく、また、熱源も昔の噴気帯、昔は熱脈の直接通った近くにあるため、熱は表面はおとろえても地下に潜し、それが透過した地下水を熱し、上昇し湧出するものと思われます。噴気帯として現在噴上げている地帯は温泉湧出帯の下流で河床のすぐ下の岩石が割合ちみつなため河川の透過は上流より悪いものと思われます。噴気の中で沸とう蒸気として噴上げているところは、このような地下水の循環の悪いなかでも、わずかながら地下水が透過しているところで、しかも熱源の上部の岩石が熱変質をうけ、いくぶん空洞化しているところではないかと思われます。従って、噴気の地帯だからといってボーリングを実施しても孔底の温度は高くても、沸とう蒸気として永続性のある噴出は考えられません。その証拠としてこの噴気をあてる前に、現在の噴気の出ているボーリング孔より6m離れた地点を掘っていたのですが、100m近く掘っても孔底温は100℃近くあつても沸とう蒸気が噴出しなかつたことがよい例と思います。

f. 噴気帯の連続性

苦土川の噴気で現在100℃の水蒸気を噴上げているところは深さ60mで掘当てました。これは私達にとって噴気の連続性について非常に自信ができました。私達は以前から成層火山であることを知っていたので熱脈は成層面に沿った水平的の広がりであるということを考えておりましたが、これが適中したので非常に喜んでいました。私達はこの噴気地点をボーリングする以前に調査を行ない関係者にこの地点は那須湯本の噴気が水平的に広がりをもち苦土川に連続しているから、60m掘れば目鼻がつくと申しました。(なお、噴気の可能性については、後述の放射能測定を実施し、裏づけ調査としました。)その理由は、湯本噴気の標高が860mで苦土川のボーリング地点の標高が920mであることから、水平的の広がりである場合60m掘れば湯本の噴気の標高と同じになるからです。このことから那須火山のような成層火山では熱脈は水平的連続性があることがわかりました。

5 温泉の放射能

温泉の熱源はマグマに起因していることから、マグマの成分中には放射性ガスはもとより、放射性ガスを含んでいても不思議ではないと考えました。先ず、これは校内にある放射能測定機（携帯用ではありません。）で空気中の放射能と石川山から採集してきた放射能鉱物を測定し比較してみました。空中では常に40～60カウント測定され、放射能鉱物では200カウントの高数値を示しました。もし、温泉地帯において、100カウント以上あれば調査には非常に役立つ新方法と思いましたが、学校の機械では使いものになりませんので、提橋先生に機械を貸してくれるところがないだろうかたずねてみたところ、すぐ教育大学の渡辺先生に連絡していただき、機械を借りることができました。提橋先生に機械の操作をよく教わり、まず最初にマグマに直接関係あると思われる噴気の調査を行いました。最初の湯本の噴気でガスが出ているところでは90～120カウントの数値を示し、ガスが出ていないところになると、学校より少し高い50～70カウントの数値を示し、明らかに噴気には放射性ガスを含んでいるということがわかりました。これをもとに現在人工温泉を活用している噴気のボーリング孔で測定したところ、湯本より多い平均130カウントの高数値を示しました。機械を借りている間、土曜、日曜を利用して苦土川一帯の測定を行いました。温泉の湧出しているところでも割目の発達しているところでは90～100カウントの数値を示し、湧出していない地点とは明らかに区別がつけます。現在、噴気として沸とう水蒸気を噴上げているところは、私達が調査する前はボーリングをしておらず、その地点より6mはなれた地点を10cmボーリングしており、噴気ガスも出ておりませんでした。その失敗した地点の放射能は60～70カウントの数値で現在、噴気として成功した地点がボーリング実施前90～100カウントの数値を示しておりました。私達がボーリング失敗地点でこの地にいた関係者にこの地点の熱脈は湯本の噴気の延長で成層火山のため水平的な広がりであるから、60m掘れば掘当るわけだが、もし掘るならば、放射性ガスが6m下流の方が多いので、噴気ガスは通じているのではないですかと申したことが再掘するきっかけになったのではないかと考えております。掘ってもらって予想が適中し、私達は非常に喜びを感じました。放射能測定による温泉探査として有効ではないかと思っております。

h. 那須温泉の特徴

- ① 噴気帯の周辺で地下水の循環がよければ、温泉が湧出し、熱脈に近いところは高温で、はなれると低温になります。
- ② 噴気帯は成層火山のため、その熱脈は、成層面に沿った水平的広がりをもち連続性があります。
- ③ 那須温泉の地下水の涵養は降水より河川水の方が大で、河川から滲透した地下水は成層火山のため浅いところで循環しており、さらに熱脈が水平的ひろがりをなしていることから、深さは一般に浅く、河川敷に限られております。
- ④ 温泉ガスには、放射性ガスが含まれ、噴気および源泉で割目の多いところは100カウント以上の高数値が示される。

B 塩原温泉

塩原温泉の湧出状況は

- ① オオ三紀層の割目より湧出するもの。
- ② 湖沼たい積層より湧出するもの。
- ③ 那須火山のように活火山性型のもの（新湯のみ）があげられます。ここでは①、②について述べることにします。

a オオ三紀層より湧出するもの

塩原温泉においてオオ三紀層の割目より湧出している温泉の主なものは、大綱、福渡、塩釜、塩の湯温泉などがあります。

- ① 温泉の現況（図3参照）



② 大綱温泉

源泉は箒川河岸の緑色凝灰岩の断層亀裂から湧出し、その方向性は南北です。

③ 福渡温泉

源泉は箒川の河岸に沿って緑色凝灰岩の割目から湧しています。

④ 塩釜温泉

箒川塩釜橋の50m上、下流の自然湧出し、温泉は石英粗面岩の節理に沿って上昇し、箒川河床を横切る割目から気泡がたくさん出ています。

⑤ 塩の湯温泉

鹿の股川の河岸沿いに緑色凝灰岩の割目からと緑色凝灰岩に貫入した石英粗面岩の割目から自然湧出しています。以上が温泉の現況ですが、温度についてみると、大綱、福渡が50℃前後で、塩釜、



塩の湯が70℃前後を示しています。ここで興味あることは、高温の温泉が湧出しているところは、いずれもその近くに火山岩の石英粗面岩があることです。したがって緑色凝灰岩と石英粗面岩の関係をつかむことが、この特徴をつかむカギと思い、私達は、塩の湯温泉に調査の重点をおいてみました。

⑥ 塩の湯温泉の湧出機構

塩の湯温泉の調査地点は、塩の湯温泉地より、約200m上流のえん堤下の自然湧出地です。湧出は岩石の割目に沿って川の中から気泡とともに湧出しています。温度は川の中でも60℃という高温です。

⑦ 地質

調査地点の地質は緑色凝灰岩（福渡、天狗岩と同種のもの）と石英粗面岩が分布し、緑色凝灰岩および石英粗面岩の割目の方向はN20°Wで傾斜は70°Wから垂直で、その割目から湧出しています。緑色凝灰岩と石英粗面岩の関係は湧出地点より10m下流左岸が露頭で緑色凝灰岩に貫入したことが認められます。したがって、温泉の熱源となつている岩石は火山岩の流もん岩で、岩石の割目から滲透した地下水が、この熱源に接し、熱せられ上昇し、湧出してくるものと思われます。

⑧ 温泉ガス湧出と放射能（表1参照）

温泉は河川の中から気泡とともに湧出していますが、気泡の湧出は断続的で周期性があるので、放射能といかなる関係があるかを、借用したサーベーターで測定してみました。その結果、非常に関係があり、気泡が出てまもなく、高いカウント数を示し、気泡がなくなるとまもなく60～70カウントの平常数値になり、規則正しく、くり返しております。

以上の測定値よりこの地点の温泉ガス湧出には約10秒程度の周期をもっていることがわかりました。また、放射能もガスの出たときは、空中の測定値とはつきり区別のつく数値を示し、100～150カウントの数値を示しました。したがって温泉における温泉ガスは、那須火山のような活火山性でなくとも、放射能性ガスが含まれているということがわかりました。

図3 塩原温泉の分布図

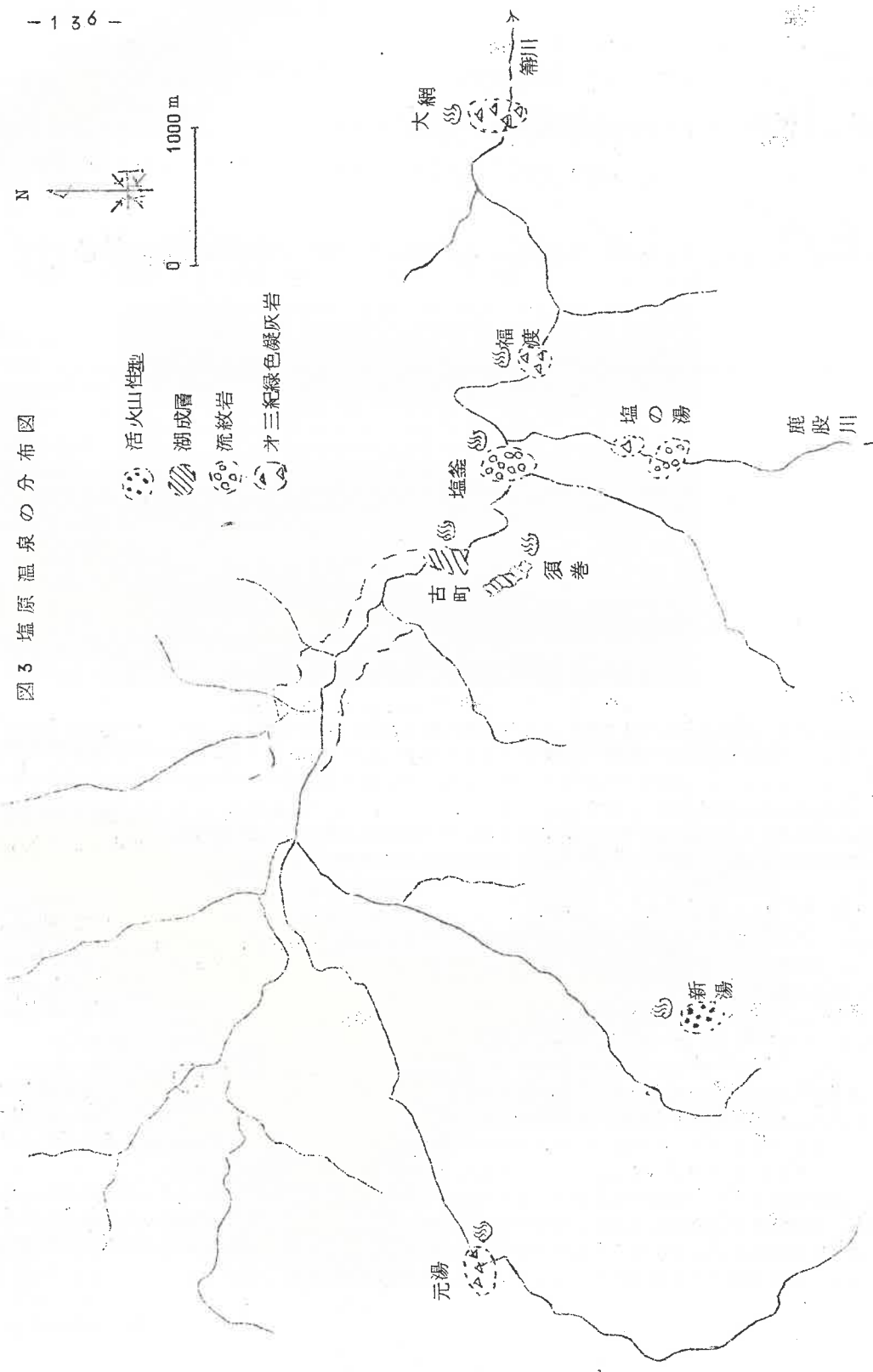
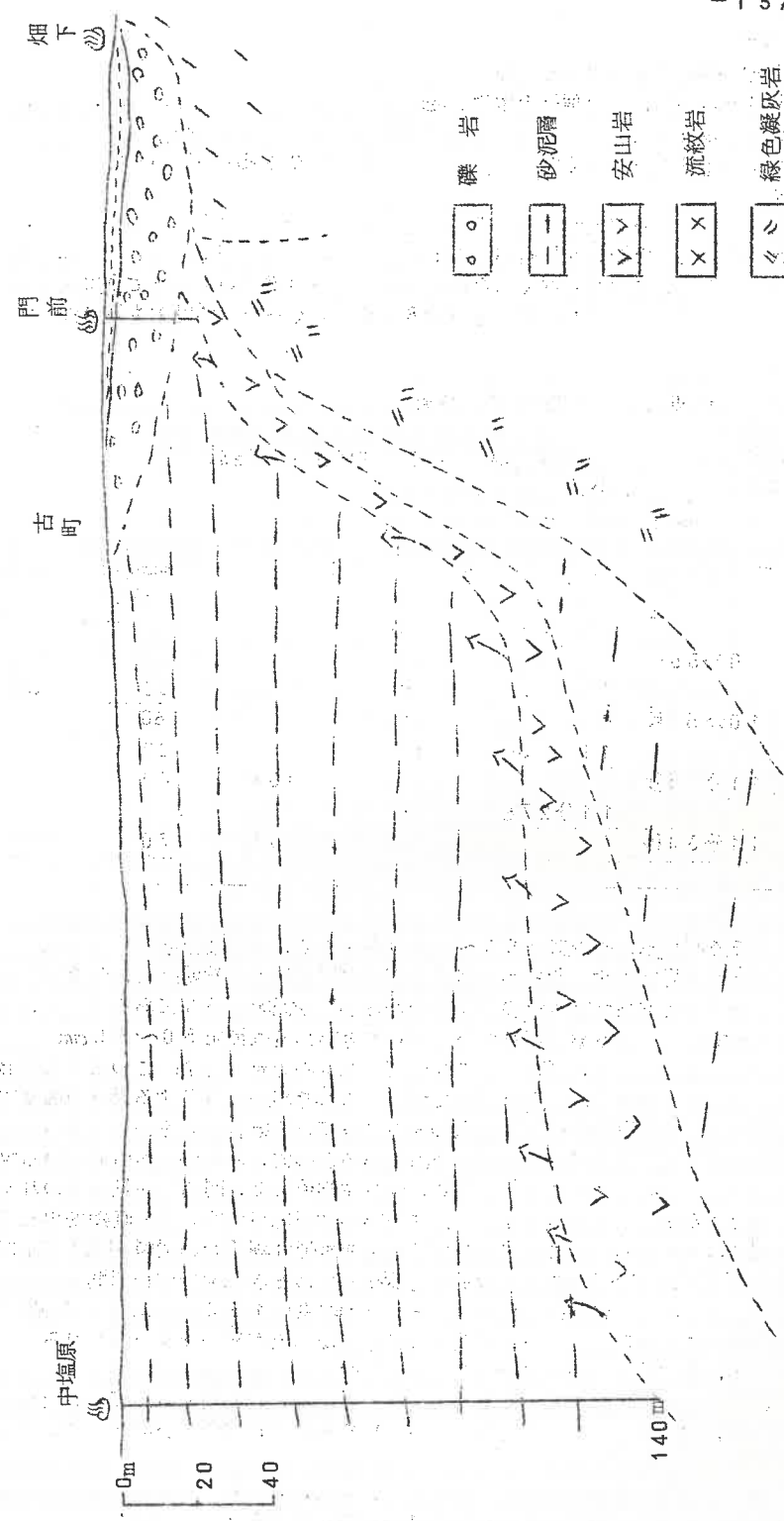


図4 湖沼堆積層内の温泉調査
塩原盆地東端の地質断面図



b 湖沼たい積層より湧出するもの

塩原湖成層といわれ、木の葉石を産する泥岩層から湧出するもので、門前、古町、中塩原一帯の塩原盆地の温泉が該当いたします。古町から中塩原にかけては100~150mの深さから採湯し、蓬来橋下流の翁の湯付近から浅くなり、その付近に黄褐色の温泉沈殿物がみられます。(図4参照)

① 湧出現況

塩原養魚場近くの温泉でボーリングで採取した岩石をもらい深さを調べたところ、木の葉石化石が産する地層と同じような泥、砂岩層が約130m続き、その下が安山岩の溶岩になっています。たいのボーリングは、この溶岩近くになると高温になるので止めているそうです。温度は40℃前後で自噴しており、湧出量はきわめて多く日量800トンくらいの湧出量もみられます。放射能は空中

表1 温泉湧出気泡と放射能との関係

〔実験例〕 塩原塩の湯自然湧出温泉(鹿股川)						
調査期日 S. 38. 7. 24						
測定開始時刻 午前10時10分18秒						
回数	ガス湧出時刻	ガス停止時刻	湧出時間	停止時間	放射能測定値 (平均)	備 考
1	10分18秒					空气中のカウン 数 40~60カウ ント (塩原入口)
2		10分27秒	9秒		110	
3	10分38秒			11秒	70	
4		10分45秒	7秒		100	
5	10分57秒			12秒	60	
6		11分05秒	8秒		120	
7	11分15秒			10秒	60	
8		11分27秒	12秒		150	
9	11分34秒			7秒	70	

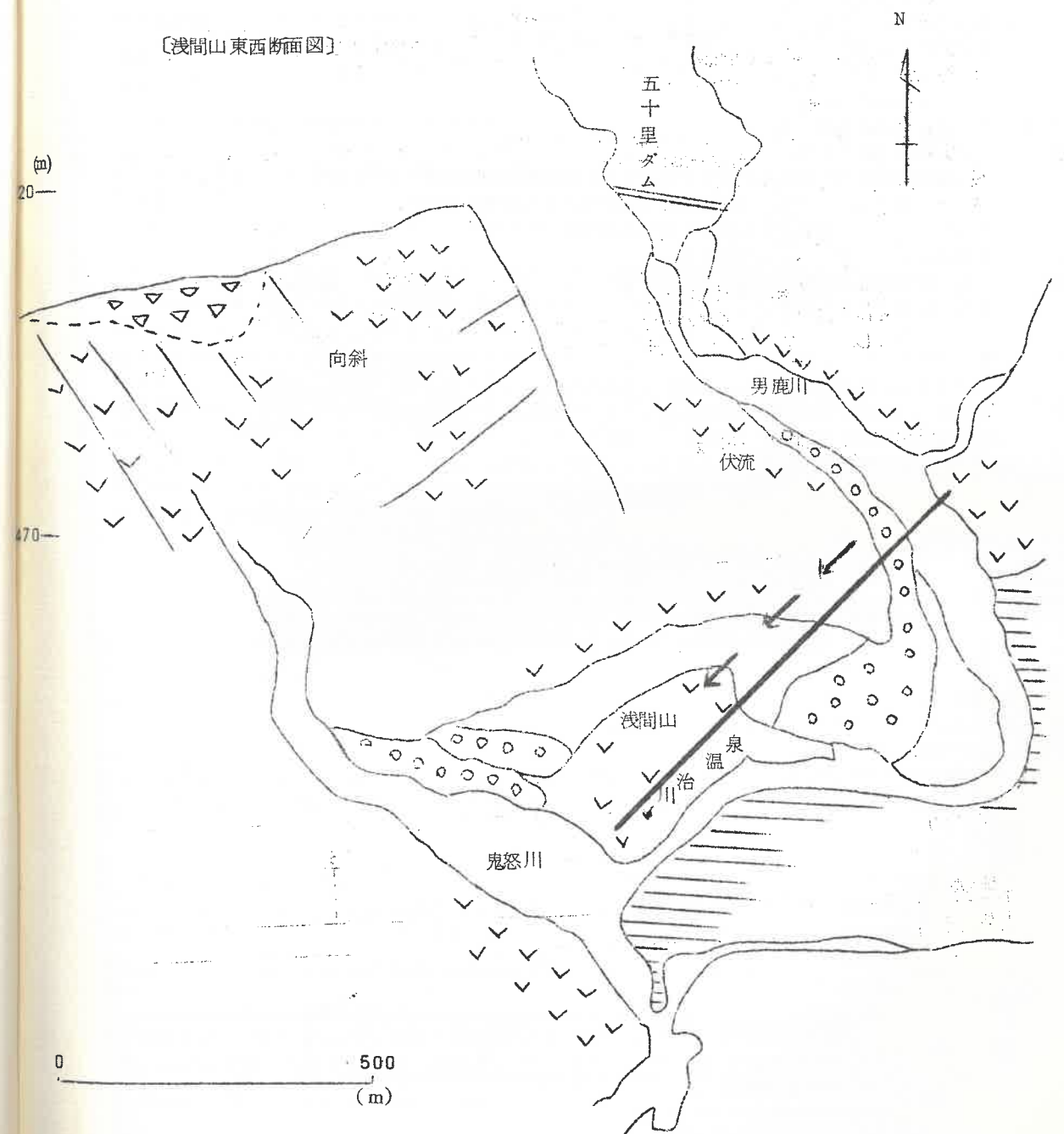
の測定値とほぼ同じか、やや高い50~60カウントで、これは温泉ガスが砂泥層の中を通ってくるので散れるためだと思います。門前から畑下に至る箒川河岸の自然湧出は、れき岩の中から湧出しています。このれき岩は湖沼たい積層の上部のやわらかい砂泥層の下部にあるもので、畑下の河道の屈曲の、流もん岩でできている崖で切れています。大きいれきは長径50~60cmのものがあります。大きいれきの種類は安山岩で、高原火山より運ばれたものだと思います。このことは湖沼時代に一時、隆起した時流れた箒川の河道の本流だと思います。このれき岩から湧出する温泉の温度は42℃で川の中から湧出しており、気泡が出る間隔は塩の湯のようにオ三紀層から湧出するものよりも、遅く、約50秒間隔です。泉質は弱アルカリ性で湖沼たい積層の泥、砂層から湧出している塩原水道水源地区内の温泉ではPH7.8、八幡下共同浴場7.8、塩原中学校7.2、門前から畑下間のれき岩から湧出している川の湯では7.2となっています。CLは多いがオ三紀層の割目より直接湧出している温泉よりは少ない。これら湖沼たい積層より湧出している温泉水帯は湖沼たい積層が傾き水平にあるので温泉水は層状水をなしていると思われます。これらの温泉を涵養している水は箒川が長期間にわたって滲透した地下水と思われる。湖沼たい積層から湧出する温泉の熱原は130m下に安山岩の溶岩があり、ここで掘止めしていることから高原火山の初期に噴出した安山岩が熱の母体と思われる。

② 塩原箒川、鹿の股川沿いに湧出する温泉の特徴

③ 湧出状態はオ三紀層の緑色凝灰岩から湧出するもの、緑色凝灰岩に貫入した流もん岩の割目から湧出するもの、オ四紀の高原火山溶岩(安山岩)を熱源とし湖沼たい積層の泥、砂岩から湧出するものに分けられます。

④ 緑色凝灰岩の割目から湧出する温泉は大綱、福渡、塩の湯の一部で、緑色凝灰岩に貫入した流もん岩の割目から湧出する温泉は塩釜、塩の湯の一部があげられ、オ四紀の湖沼たい積層より湧出する温泉は古町を中心とする塩原盆地があげられます。

図5 川治温泉の地質図



の下にみられ、その岩石は石英はん岩のれきを含むれき岩で、その割目に温泉沈殿物がつまっています。放射能を測定したところ、石英はん岩は50～60カウントでこのれき岩の割目は80～100カウントが測定されました。このことから熱原はこの石英粗面岩を含むれき岩層の下部にあると思われますが、この熱源もほとんど老化しているのではないかと思います。温泉の温度の低下は熱原の老化のほか、割目が非常によく発達しているため、河川水から転化された地下水が浸透条件が良いところへ、ボーリングによって多量の温泉水をくみあげるため、河川水と地下水の循環がよくなり、低温化が年々進行するものと思います。

温泉と河川水との関係を見ますと、鬼怒川の河川水のPHが7.2、旅館の温泉水が7.2で、河川水と等しくなっています。これからも河川水すなわち、温泉水ということが考えられます。鬼怒川温泉より下流になると、あまりボーリングを行なっていないところでは温泉と河川水のPHが異なり、中岩橋上流右岩では8.2というアルカリ性温泉になっています。

E 板室温泉

板室温泉は35～37℃の泉温で昔しからぬるいお湯で有名です。最近ではボーリングにより400m程掘って40℃で湧出量も多く活用しています。私達は、板室温泉の自然湧出泉である、現在活用している湯川左岸の温泉と那珂川河岸に湧出している温泉について調査しました。調査は、露頭調査、放射能調査を主として行ないました。

a 温泉付近の地質と湧出現況

源泉は一井屋旅館の北にあり、湯川の左岸のれき岩の割目より盲状湧出し、泉温の高い所で37℃、湯川寄りには川水の混入があり35℃になっています。この地域は那珂川と木の俣川の合流点から露頭調査をすると関谷、木の俣川、那珂川を横切る大きな断層線の近くにあり地質的にみてかなり変動しています。那珂川、木の俣川合流点より上流、那珂川河道にみられる地層はほとんど直立し、N E方向に走っています。温泉地帯は湯川に沿って凹になり左岸は切り立つたオオ三紀層が露出しています。この凹は一見、湯川の浸食作用により凹んだ低地に思われますが、温泉に通ずる橋梁工事のときに左岸の岩石とは全く異なった層理の発達した泥岩層が河床にあり、その走向がN Eで、温泉街に延びています。温泉街の北端には緑色凝灰岩や、安山岩、泥岩を含んだれき岩が分布しており、これらの事実から考えて、昔の湖沼盆地ではなかったかと思われます。このことから、湖沼盆地は断層によって作られたとすれば、温泉水はこの断層による割目にそって上昇してくることが予想されます。この盆地に掘った温泉の泉温はあまり高くないが、湧出量が多いことは地層の多いということを物語っているものと思います。次に、温泉から300m西の方向那珂川河岸に露出する温泉も、温泉街の北端に露出している礫岩と同じ種類のれき岩の割目から湧出しています。湧出している割目の走向はE Wで、放射能測定結果は割目の発達しているところが100～120カウントで、割目のないところは50～70カウントの低数値です。現場で温泉水のPHを測定してみると6.9でほぼ中性に近い値を示しています。熱源はこのれき層分布の西端に石英安山岩の岩脈があることから、これが熱源でないかと思われます。板室温泉の湧出状況をまとめますと、那珂川（または湯川）の水が断層などで割目の多くなつたオオ三紀層の凝灰岩に透し、これが凝灰岩に貫入した安山岩質体の熱源によって熱せられ上昇し、上部に重なっているれき岩層に入って温泉水は分散し、盲状湧出なるものと思います。

F 湯西川温泉

この調査は地学クラブの先輩が在学中、県庁の御手伝いとして、湯西川で電気探査を行なったとき、実習指導を受けたときの記録が保存してありましたので、その記録をつどります。

a 温泉付近の地質と湧出現況

源泉は緑色凝灰岩（流もん岩質）の割目から湧出しており、その分布は湯西川ホテル付近から伴久旅館にかけて存在しています。岩石の割目は非常に発達しており、その走向はN 20～30°W が多く割目が大きい。この温泉の特徴は浅い所に高温帯があることです。また、この高温帯のボーリング資料をみますと凝灰岩の緑色が濃くなる傾向がみられます。これは凝灰岩が積当時に火山岩の石英粗面岩の流入があり、その上部にあたる凝灰岩が熱作用のため変質した現象ではないかと思われます。

まとめてみますと、（図6参照）

○ 熱源は比較的浅いところにあると思われる（流もん岩質岩体）、河床から約6m内外の深さに温泉の高温帯（50℃）があります。深くなると、温度の急上昇はみられず、場所によっては地下水が混入し、温度が低下する場合があります。

○ 温泉はすべて割目から湧出していますが、方向性があり、走向N 20～30°W が著しいことで

す。

G 川俣温泉

川俣温泉も地学クラブの先輩が夏休みに間けつ泉の観察と地質調査を行なったとき（在学中に）の資料が保存してありましたので、私達は今回の夏休みには行かないで間けつ泉のでき方について校内で実験を行ないました。

a 川俣温泉の地質と温泉湧出状況

温泉は鬼怒川の河川に沿って湧出し、大きな間けつ泉もあり、湧出母岩は花こう岩です。この花こう岩は、古生層を中世代に貫入したものと思われ熱源の役目は果たしていないと思います。私達が考えました熱源は、川俣温泉の上流に石英粗面岩が広く分布しておりますので、熱源はこの花こう岩を貫入した流もん岩でないかと思っています。温泉地帯ではこの流もん岩の露出はありませんが、この地点の貫入は地下の途中で止まっていると思います。この温泉で注目をひくのは間けつ泉ですが、この地域の間けつ泉のでき方について私達なりに考えてみたいと思います。間けつ泉の原理は、地下に空洞があつて上部から常に地下水が岩石の割目から注入され、下部に存在する熱源によって熱せられ、じだいに沸とうし、蒸気がたまり、均衡が破れて、その蒸気圧の一部は熱水とともに噴出し、熱水とガスが出てしまうと活動が止まり、また前と同じ状態をくり返し噴出するといわれています。このことから空洞の大きさが温泉の間けつ現象の大小を作る大きな要素と思われますが私達は塩原温泉で調査を行なったとき温泉ガスが周期的に湧出していることから、これも岩石の空洞に関係しているのではないかと思います。したがって割目から湧出する温泉は一般に間けつ的に湧出しているが、小さい場合には、たまる蒸気が少なく、高く噴出せず、空洞または割目が大きいとき、たまる蒸気が多く、高く噴出するのではないかと思います。では、川俣温泉の空洞はどうして大きいのができているかという問題ですが、私達は花こう岩は熱にもろいということにヒントを得て、実際にバーナーで熱し、冷水に入れ、これをくりかえしてみました。花こう岩はたちまちぼろぼろにくずれてしまいます。それでバーナーを温泉熱源、冷却水を地下水と考えれば適合すると思い、これが空洞をつくる要因と考えました。したがって、花こう岩は熱源近くから熱と冷却水的作用により割目にそって浸食され、空洞ができたものと思います。空洞の形は教科書に書いてあるものではなく、割目に沿って下部が広く、上部が狭い形の空洞ではないかと思っています。次に間けつ泉噴出の実験を一年生が割り当り実験した結果をまとめてみます。

0 間けつ泉の実験

⑧ 実験器具

- (1) 枝つきフラスコ、(2) ロート管、(3) ゴム管、(4) ガラス管、(5) バーナー、(6) ゴム栓、(7) スタンド

⑨ 実験想定

図8参照

⑩ 実験経過の記録

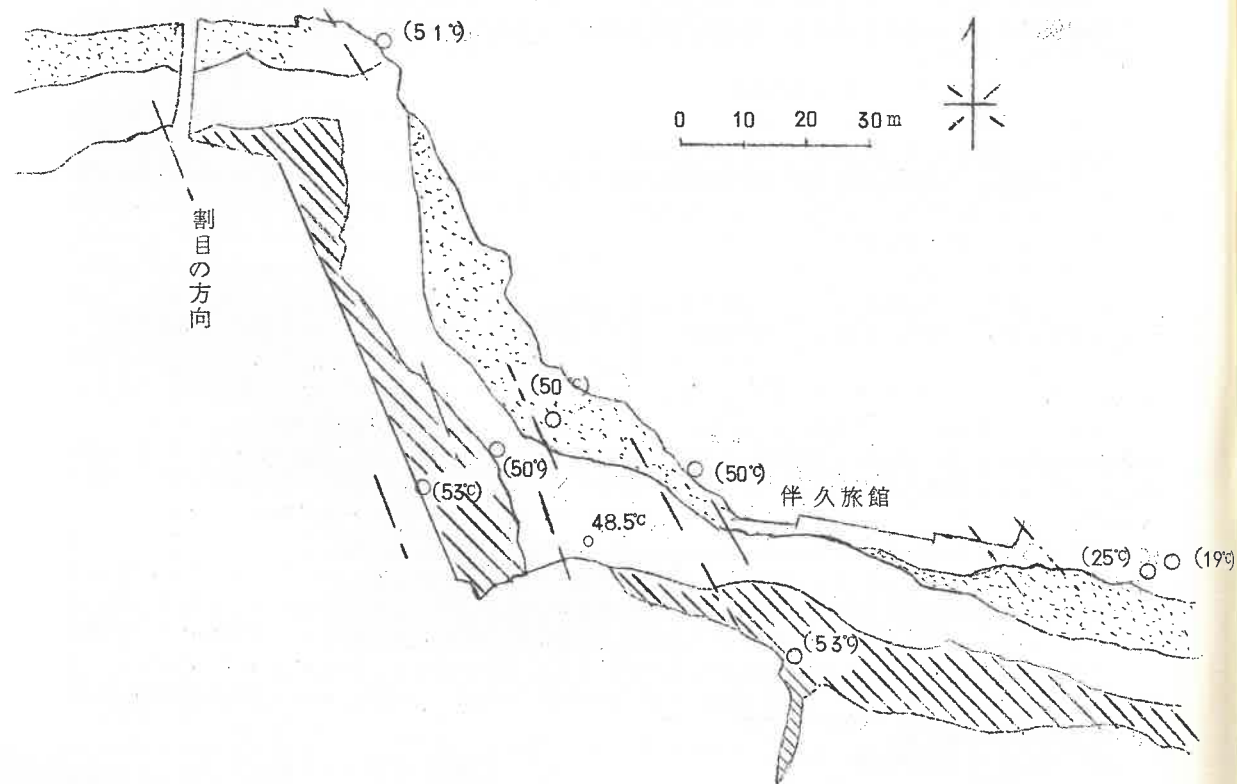
枝つきフラスコの枝のところまで水を入れ安全ロートを、水中深くさしこみ枝には細いガラス管を連結しておく。バーナーによってフラスコを熱し続けると、水の温度が上昇するにしたがつて、フラスコ内の空洞は水蒸気で満たされ、空洞内の蒸気圧が高くなるため、安全ロート内に水が上昇してくると同時に枝に連結してあるガラス管にも熱水がおし上げられる。さらに熱し続けるとガラス管の先端から熱水が噴出しました。ガラス管から熱水が噴出するとフラスコ内の空洞は減圧され、安全ロート（地下水の滴口と考える）内の水はフラスコ内に入ってきて以前と同様の状態をくり返しました。一度熱水がガラス管より噴出してから再び噴出するまでには時間がかかりました。この時間的間隔は水の温度によって相違があり温

川俣温泉間けつ泉



図6

湯西川温泉の分布図



推定地下断面図

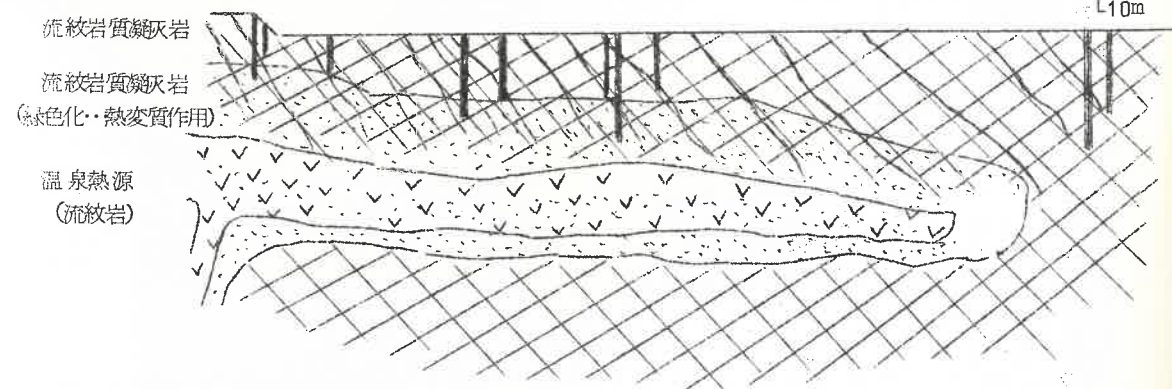


図8

実験想定

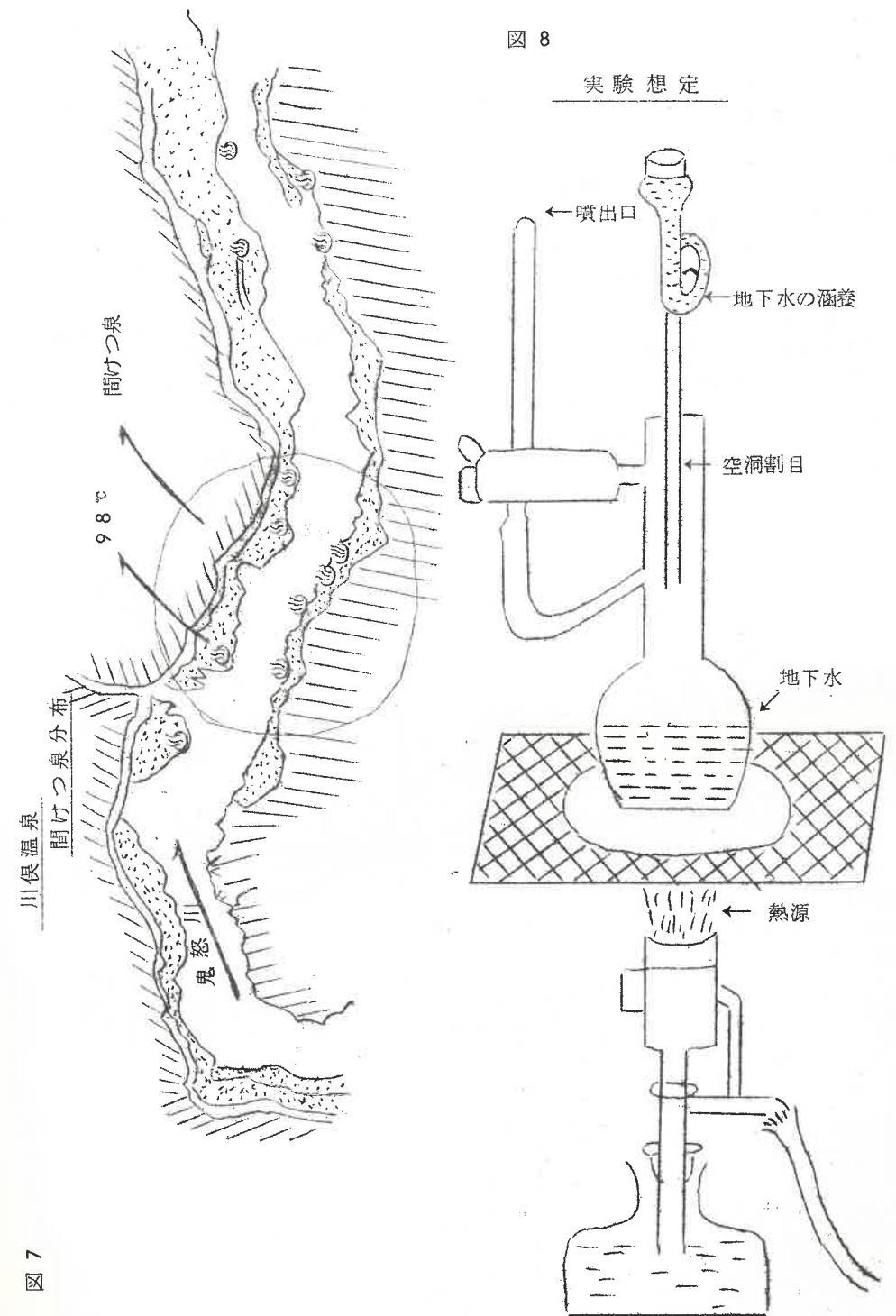


図7

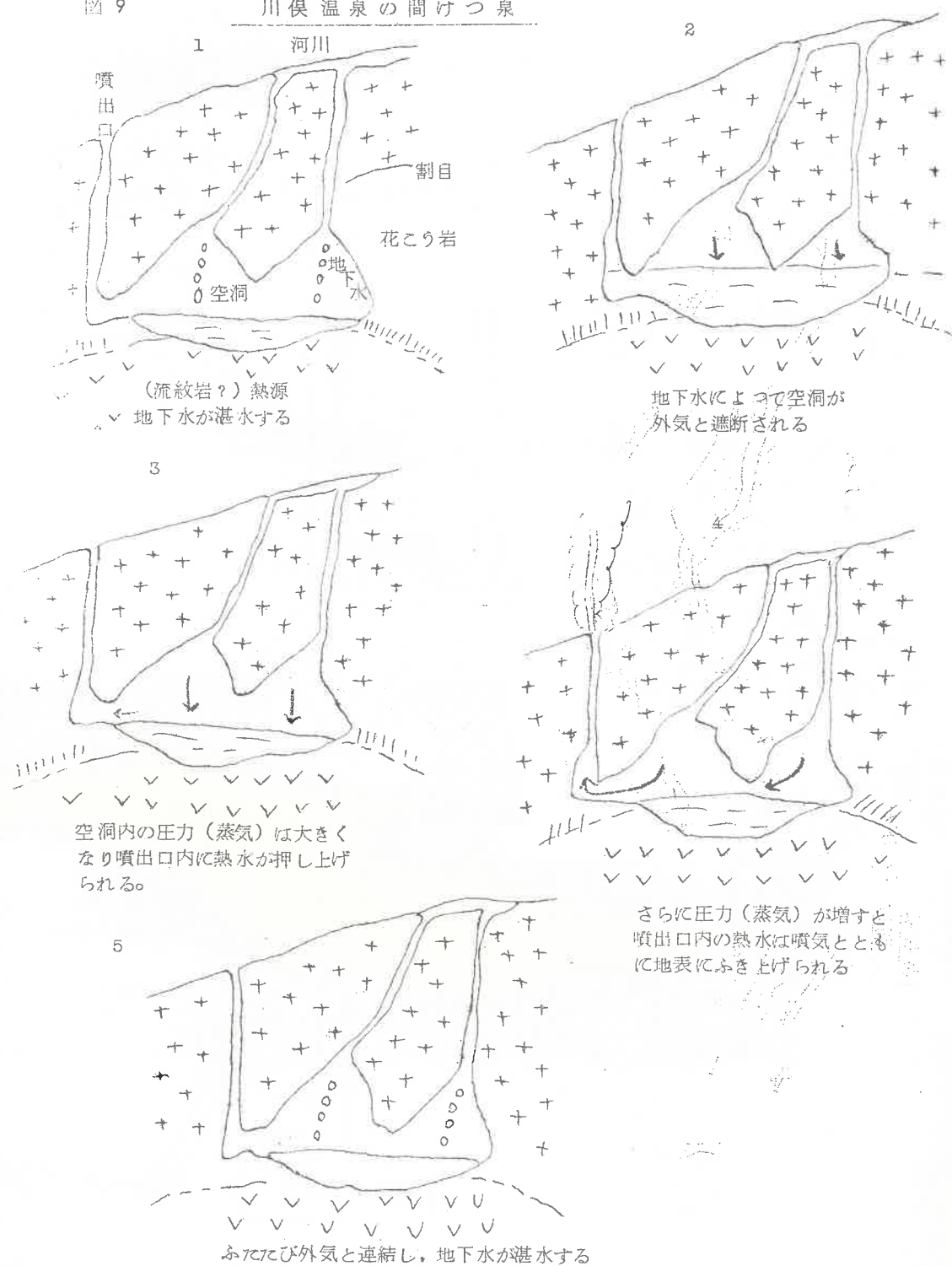


表3 栃木県の温泉の型と特徴

温 泉	主 な 場 所	温 泉 の 型	湧 出 岩	熱源と思われる岩体	湧 出 岩 お よ び 周 辺 の 特 徴	放射能測定	P H	Cl-SO ₄ Co ₂ の多少			泉 温	
								Cl-SO ₄	Co ₂	Co ₂		
那 須 温 泉	大 丸, 鶏 天	循 環 水 型	安 山 岩 質 溶 岩	安 山 岩 質 溶 岩	○ 安山岩の焼け ○ 赤色 (鉄) 沈澱物	1 0 0	宮 内 庁 源 泉 6.9	少	多	無	63℃	
	北 宮 内 庁	割 目 上 昇	安山岩質集塊岩		○ 近くに旧噴気のあと笹が漂白され白く枯れている	1 5 0						
	飯 盛				○ N-Eの割目	カ ウ ン ト						
	三 斗 小 屋			安 山 岩 質 溶 岩	○ 噴気孔, 白赤青白の変質粘土 SO ₂ , H ₂ S	9 0	湯 本 噴 気 3.5	少	多	無	93℃	
	苦土川, 噴 気	活 火 山 性 型	安 山 岩 質 集 塊 岩	(茶白溶岩)	○ 安山岩が菌銅鉱で鉱染	1 5 0						
	湯 本 噴 気				○ 熱源帯の水平分布 (成層火山)							
	三 斗 小 屋 噴 気											
塩 原 温 泉	大 網, 福 渡	循 環 水 型	緑 色 凝 灰 岩	貫 入 流 紋 岩	○ 赤色沈澱物 (鉄)	1 0 0	塩の湯 (鹿股 川)	過 多	少	少	60℃	
	塩 釜, 門 前	割 目 上 昇	貫 入 流 紋 岩		○ 流紋岩が黄鉄鉱で鉱染	2 0 0						
	畑 下, 塩の湯				○ N-S方向の割目							
			泥 砂 岩 層	安 山 岩 質 溶 岩	○ 深さ140m内外の泥, 砂岩下の溶岩	5 0	中塩原	多	少	多	42℃	
	古 町	層 状 水 型	(湖 成 層)	(高原火山)	○ 温泉は層状水	7 8						
						6 0						
鬼 怒 川 温 泉	鬼怒川黒鉄橋	循 環 水 型	石 英 ハ ン 岩	貫 入 流 紋 岩	○ 流紋岩の焼け	8 0	あさや	多	中	無	42℃	
	上 流	割 目 上 昇	流 紋 岩		○ 捕 獲 岩	1 0 0						
					○ N-W方向の割目							
川 治 温 泉		男 鹿 川 状 流 水	流 紋 岩	流 紋 岩	○ 流紋岩の割目 E-W方向に向傾	8 0	岩風呂	多	無	少	42℃	
	浅 間 山	割 目 流 動 型			流 紋 岩	○ N-E方向の割目						1 0 0
板 室 温 泉	湯 川	循 環 水 型	凝 灰 岩, れ き 岩	石 英 安 山 岩	○ れき岩の割目, E-W方向	1 0 0	共 同 浴 場 6.5	中	多	無	40℃	
	那 珂 川 河 岸	割 目 上 昇				○ 白色の沈澱物						1 2 0
湯 西 川 温 泉		循 環 水 型	流 紋 岩 質	流 紋 岩	○ 緑色凝灰岩の濃緑化	未 測 定					50℃	
	湯 西 川 河 岸	割 目 上 昇	凝 灰 岩 (緑 色)		○ N20° ~ 30° W方向の割目							
川 俣 温 泉		間 け つ 泉 お よ び	花 こ う 岩	貫 入 流 紋 岩	○ 岩体の焼け	未 測 定					60℃	
	鬼怒川河岸	循 環 水 型				○ 大きい割目						98℃
		割 目 上 昇										

度が高いほど噴出間隔は短くなっています。以上の実績から川俣温泉は花こう岩の熱源と地下水により浸食され割目が次々に空洞化し、この空洞に鬼怒川の河水が割目に滲透し地下水となり空洞に湛水する。空洞と噴出口とは連通管のようになっており噴出口を通して外気と連絡している。空洞に水がたまつてくると噴出口と空洞とが水によって完全に遮断されてしまう。そうなると空洞内の水は熱源によって熱せられているため空洞内に水蒸気がたまり空洞内の蒸気圧は非常に高くなり、外気との均衡が破れて熱水と蒸気を噴出し、減圧された空洞に再び地下水が湛水し同様なことがくり返され再び噴出するものと思われます。

(3) 温泉の定性分析

温泉中に含まれているいろいろなイオンのうちで、特に炭酸イオン、硫酸イオン、塩素イオンを検出することにし、次のような方法で行ないました。

㊸ 硫酸イオン、炭酸イオン

中性にした検液 10cc をとり 1 規定塩化バリウムを過剰に加えると、硫酸イオン、炭酸イオンが含まれていると、硫酸バリウム、炭酸バリウムとなつて白色の沈澱をとり、1N の塩酸を加え加熱すると、炭酸バリウムは塩酸と反応し、二酸化炭素を発生するので、これを別の試験管の石灰水 10cc 中に導き、白色沈澱の程度を観察しました。(炭酸イオンの検出) 塩酸と反応せずに試験管内に残つた白色沈澱が硫酸バリウムであります。(硫酸イオンの検出)

㊹ 塩素イオン

検液 10cc をとり、1 規定硝酸銀溶液 5cc を加え白色沈澱の程度を調べました。
以上の実験結果はオ 2 表の通りです。

表 2 定性分析実験結果

温泉 イオン	宮内 (那須) 庁源 泉	湯本 (那須) 噴気	稲川 (那須) 源泉	塩 (塩原) の湯	中 (塩原) 塩原	浅 屋 (鬼怒川) ホテル	岩 (川治) 風呂	板 室 (板室) 温泉
SO ₄ ⁻	多	多	過多	少	少	中	無	多
CO ₃ ⁻	無	無	無	少	多	無	少	無
Cl ⁻	少	少	少	過多	多	多	多	中

(4) 温泉のまとめ

A 栃木県の温泉の型と特徴

オ 3 表参照

B 温泉の開発と保護

栃木県の温泉地は観光開発の波に乗って旅館も年々増加し温泉の使用も多くなっています。温泉の量は地下水と同じく一定の限度があり、また、栃木県の温泉は山岳地帯にあるため、地下水量も少ないとみなければなりません。また、熱源の分布は地質学的に制約されており、狭い範囲に密集しています。このような条件において、地質を無視し、乱掘をすれば湧出量も年々減り温度も低下してしまうのではないかと思います。私達はこの調査から開発と保護に当つては私達なりに、次の点を考え、上げてみました。

- 温泉の特徴を理解する
- 地下水涵養の適否を考える。
- 温泉湧出能力を強化する。

aの温泉の特徴を理解するという事で例をあげますと、活火山性温泉の場合、開発にあたっては、赤、茶、青、白の温泉変質粘土があり、周辺の植物の漂白、枯れた徴候があれば旧噴気のあとで、地下には熱源がきている予想が立ちます。次に地下水が涵養されるかどうかを考え、河川敷で地下水が循環が得る岩体か、割目の方向に注意します。次に火山の形態が成層火山の場合は、熱源体の分布が水平的の広がりが多いことから、標高に注意し、掘りすぎないことなどがあげられると思います。次に第三紀層の緑色凝灰岩地帯では、割目の方向特に、断層による割目（地下水の循環路になっている場合が多い）の方向に着目し、熱源となる火山岩を周辺でみつけること、そして温泉水位を露頭で観測し、自噴の高さを知ることなどがあげられます。さらに放射能測定を行なう場合、その土地の空中の放射能を調べ（普通40～50カウント）そして割目にあてた場合、100～200カウントの高数値が規則正しく平均的に測定されれば温泉ガスの上昇している可能性がわかるので、特徴を知る上にも有効ではないかと思えます。

bの地下水の涵養の適否を考えることは栃木県の温泉の大多数は河川敷または、旧河道上にあります。このことからみても、地下水の涵養は大部分河川水であることがわかります。そして地下水の涵養を助けるのは地層岩層の割目ですから、割目の方向性を充分考慮することが大切であると思えます。特に河川を横切る割目は重要であると思えます。

cの温泉の湧出能力を強めることについては、私達の調査からえん堤の近くの温泉が湧出量が多いように思われます。これは水圧に係るもので、前の研究で水圧を高めれば湧出量が増すということが実験でも確かめられておりますから、えん堤をたくさん作れば、ある程度能力を高めることができると思えます。

温泉の部完

研究者 指導教諭 提橋 昇

大田原 孝雄	磯 和昭	高久守夫	岩沢広明	北村栄子	清水悦子
及川千賀子	薄井ユウ子	斉藤明美	磯 祥治	阿久津清二	荒瀬恭一
伊藤勇一	大田原 稔	轟 次男	花塚広文	室井和信	柳 義雄
山田一雄	渡辺 聡	小高ミツイ	小筆喜代子	佐藤近子	添田静子
相馬道子	田中春代	二宮栄子	柳井百合子	木下郁雄	石田和雄
藤田久男	山田勝己	高橋一雄	石原政一	高橋憲一	滝田 大
鮎ヶ瀬明雄	高崎和夫	八木沢賢治	岡部好一	松本政光	中山美子
島田早苗	村上久子	黒谷みよ子	深谷俊江	阿久津 ト子	

那須野が原の地下水について

教諭 提橋 昇

1 はしがき

私は昭和25年から本校に勤務し、現在まで地学クラブの活動を通して、生徒とともに勤務の合い間を利用して、地域の地下水開発に取り組んでまいりました。

4万haの面積を占める当地域は、私しが赴任した当時は扇頂部、扇央部に該当する約3分の2が原野または畑で、扇端部の約3分の1が水田地域となっていた。当時の農業経営はほとんどが自然まかせであつたため、自然環境に恵まれた地域、換言すれば湧水等の水利に恵まれた扇端部のみが安定した農業で、扇頂部、扇央部にいたつては極めて不安定な農業で、当時は栃木県の北海道など異名をとつたほどの低開発地であつた。これらの大きな要因は何といつても農業の基盤となる水利に恵まれなかつたためである。水利として表流水で利用できるものの主体は那珂川より取水している那須疎水であるが水利権にしばられ、特定地域をうるおす程度にとどまっている。その他は扇頂部より伏流し扇端部で湧水のみられる蛇尾川、熊川の一部利用という程度にすぎない。したがって、表流水に恵まれない地域は地下水利用以外には方法がないわけであるが、扇央部、扇頂部では10～30m掘らなければ地下水にありつけないし、また掘つたところで多量に採水できるとは限らないので、当時は、地下水採水が井戸を掘るか倉を建てるかといったほど、非常に危険性のある大事業であつた。

このように水に対して非常に感心の強い地域の中で約18年間生徒とともに地下水探査に打ち込み、一応、那須野が原全域を手がけ、現在では当地域の約3分の2が地下水揚水による水田開発が実現し、農業近代化の基礎作りのくさびを打ち込むところまで進んできた。

調査の進展は私しと同行した地学クラブ生徒に負うところが大きく、クラブはすでに日本学生科学展で数回にわたる研究発表を行ない、経理大臣賞、学校賞才1位等の表彰を受けている。

これから生徒とともに積みあげた体験を主体に地下水調査法の実態の一端を紹介してみたい。

II 地下水調査法

私しらが実施している調査には井戸に薬品を投入し、地下水の流路をさぐる地下水系調査法と地下構造、とくに透水層と不透水層の関係を調べる電気探査がある。以下これらについて述べる。

(1) 地下水系調査法

この調査は流量の多いと予想される井戸が地下水の流動方向に2つ以上あるとき、上流の井戸に薬品を投入し、下流の井戸水を一定間隔でくみ、その濃度の変化を調べるものである。しかし、実施の場合は次ページのような種々の問題をあらかじめ検討してからでないと徒勞に終わることがある。

① 薬品投入井戸が上流に位置していること。

これは付近の井戸の地形側量を行ない地盤高を求め、さらに井戸の水位を同時観測し、地下水面等高線図を作り、およそ地下水流動方向を求め薬品投入井戸、採水井戸を決めるとよい。

② 投入薬品の量は下流の井戸で検出できる量を入れること。

投入薬品としてはフルオレツセンソーダ、マーキユクロム、塩化アンモニウムなどを使用しているが、直視で判定できるフルオレツセンソーダ（螢光）、マーキユクロム（赤色）は使用井戸では色がつくためあまり歓迎されない。また価格も高価であるので個人実験ではなかなか困難である。それにくらべて塩化アンモニウムはネスラー試薬を用いてアンモニウムイオンを検出するため労力がかかるが、色がつかず価格が安いので現在最つとも多く使用している。投入量として、100m以内の場合フルオレツセンソーダ、およびマーキユクロムは100g以上、塩化アンモニウムの場合は5kg以上、500m内外を調べる場合はフル

オレツセンサーダ2kg以上塩化アンモニウムの場合は5.0kg以上投入すると非常によく検出される。

③ 投入、採水の時間的配慮

地下水の流速をあらかじめ予想し、下流で検出される時間が日中になるように検討しながら投入時刻を決める必要がある。この検討を怠ると多大の労力がかかる上に反応を見失う恐れがある。井戸の間隔100m以内の調査の場合には採水間隔は10分毎、100m以上の場合30分毎が望ましい。

次に実施の順序について述べる。

① 薬品を容解する。

薬品を容解する場合、採水用の器具はいつさい触れないこと。多くの人数が確保できる場合は、投入班と採水班にわけて実施すると安全である。とくに微量検出可能なフルオレツセンサーダの場合には注意を要する。

② 井戸に薬品を投入する。

ふつうのバケツに網をつけて投入しているが投入後は良くかくはんする必要がある。

③ 下流の井戸で採水する。

採水は投入に無関係のバケツを使用し、なるべく底部より採水する必要がある。

④ 比色分析

採水したものを試験管または管びんに入れ濃度の変化を調べる。この場合、標準液をあらかじめ作成し、比色分析を行なう。塩化アンモニウムの場合はネスラー試薬を用い、アンモニウムイオンを検出するので、その沈でん量が問題になるので採水したものは数時間～数日保存しておくといふ。

濃度判定後、濃度曲線を書き、最高濃度までの時間を求める。(図1参照)

⑤ 流速の側定

投入井戸と採水井戸の距離を測定し、最高濃度までの時間との関係から流速を求める。

○ 例えば図1のように井戸間隔が120m、最高濃度までの時間が3時間30分かかったとすれば地下水の平均流速は時速3.4mとなる。このようにして同一水系の採水井戸ごとに同様の方法で流速を求め流速図を作り、これにより地下水の主要流路をさがす。一般に流速の速いところが良好な水みらになつている。

(2) 電気探査法

電気探査は上記の地下水系と地下構造との関係をつかむために行なうのが一般的である。この方法は岩層により電気の比抵抗値に差があることを利用したもので、砂れき層いわゆる良好な透水層は比抵抗値が高く、粘土質の岩層であるローム層、粘土混り砂利、凝灰質岩層などのいわゆる不透水層は比抵抗値が低い。解説は比抵抗値(ρ)と深さ(a)の関係をあらわした $\rho-a$ 曲線を用いる。全体的には各測点ごとの不透水層深度を求め地下構造の断面を復元し、地下水の良好な水みら(地下谷)をさがすものである。

① 基盤地形の復元

電気探査で基盤地形を復元する場合の方法は、薬品投入法による地下水調査でおさえた地下水の流路、とくに主流である地下谷の方向に直交する側線を設け、測点間隔を30～50mの短距離にすることである。また電線は地下谷の谷壁に平行になることが望ましい。電探終了後、各測点ごとの $\rho-a$ 曲線を解説し地質柱状図を作り、基盤深度を求め、それを結んで基盤地形を復元する。1つの断面が明らかになつたら側線を上流、下流に移しその操作をくりかえし、地下谷を追跡するものである。(図2参照)

地下谷は過去の河道の主流に相当するもので、地下谷の比高の大なものほど、当時の浸食力および運搬力の大なることを物語るものである。従つて、大きな地下谷を埋めた砂れきは大きなれきが多く、空隙に富んでいるため透水性が高く、地下水の良好な流路となり地下谷の探査が地下水開発上きわめて重要なカギとなるわけである。

図1 採水分析値のグラフ

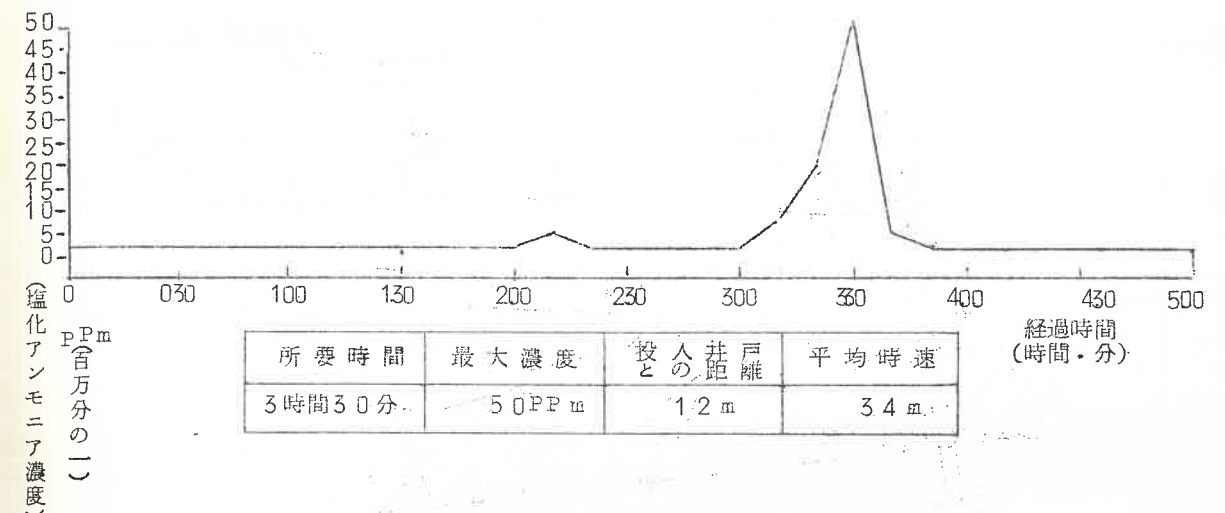


図2 那須農高農場付近における地形と基盤等高線および地質断面図

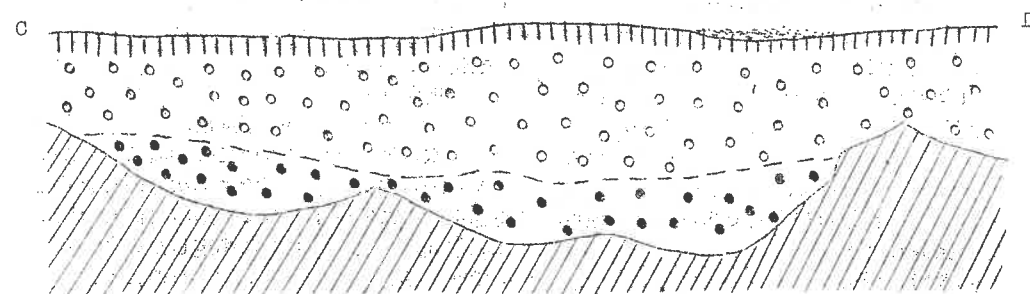
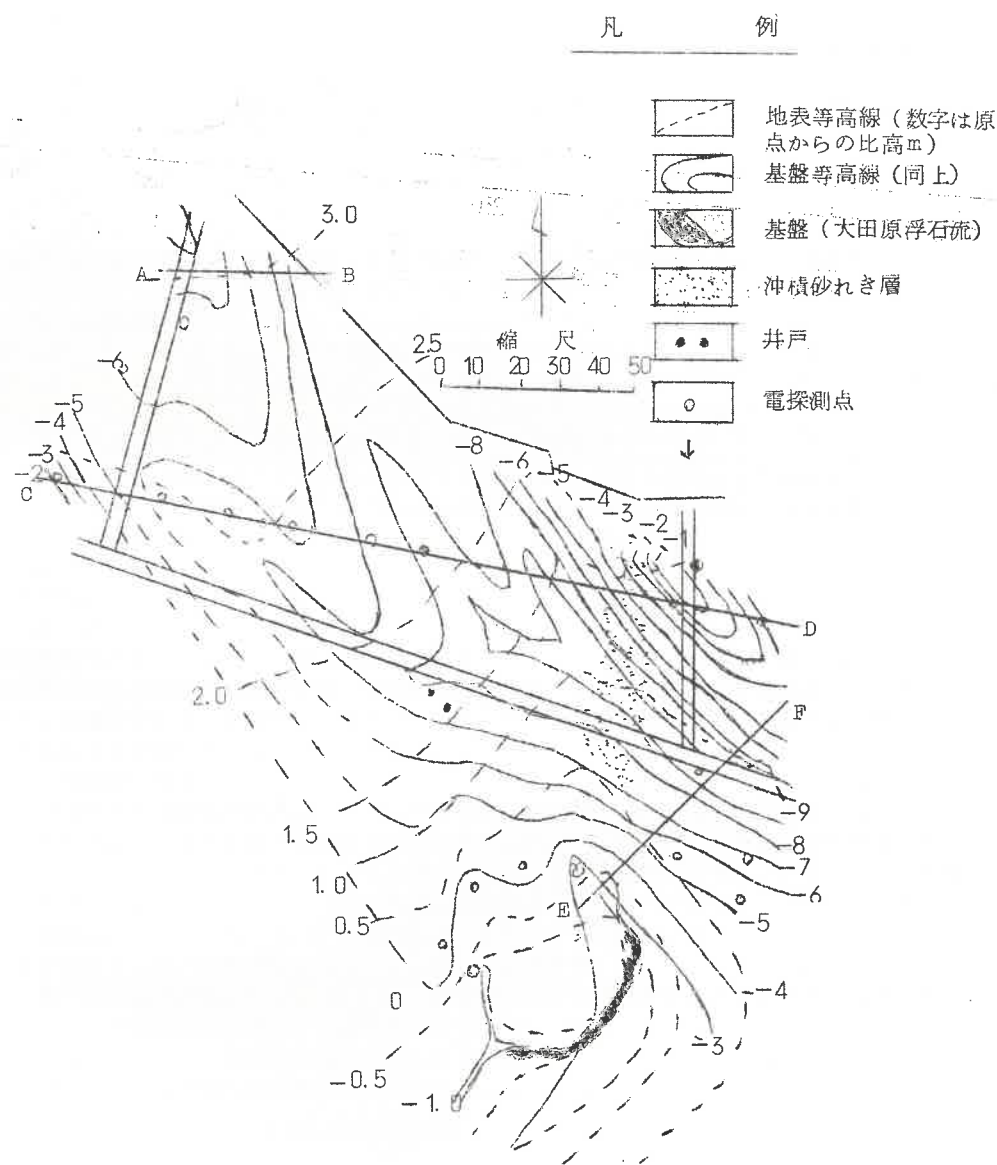


図3 那須野が原の層序
(地下水に関係ある地層のみ)

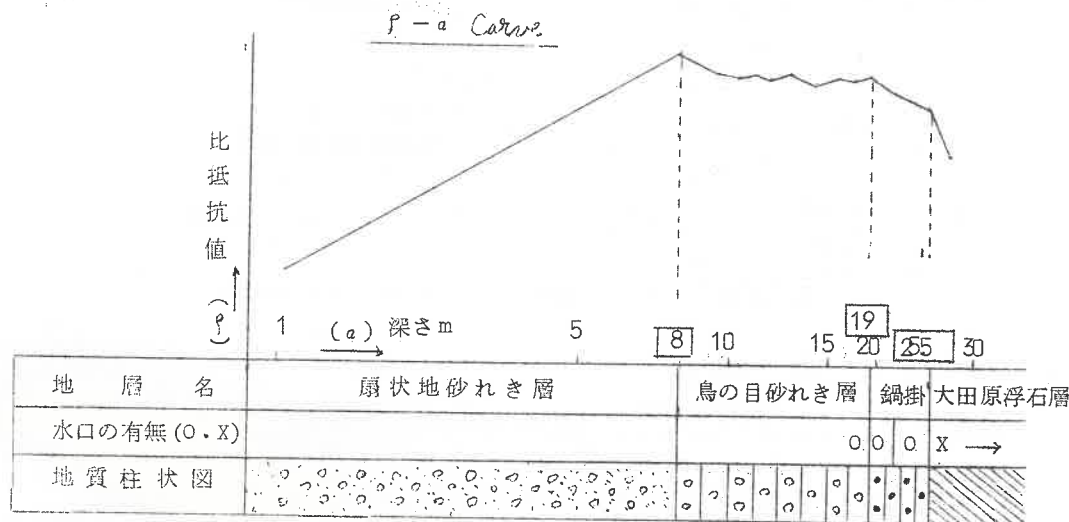
時代	那珂川地域	那須野が原内部
沖積世	現河床れき層	現河床れき層
	段丘れき層、黒土	藤荷田ローム層・黒土
	藤荷田ローム	段丘れき層
洪積世	那須ローム層	那須ローム層
	那須扇状地砂れき層	那須扇状地砂れき層
	鳥の目ローム層	鳥の目ローム層
	鳥の目砂れき層	鳥の目砂れき層 (相当層)
世	埼玉ローム層	
	那須累層 (黒磯火山泥流)	鍋掛砂れき層 (鍋掛砂れき相当層)
	大田原浮石層 (高原累層上部)	大田原浮石層 (高原累層上部)

③ 電気探査の解説

那須野が原については、すでに2000測点以上電気探査を実施し、試掘結果もほとんど解説と一致している。那須野が原の帯水層を大別すると、扇状地砂れき層、鳥の目砂れき層、鍋掛砂れき層 (図3参照) に区分されるが、当地域においては地下水探査上重要なのは、それらの砂れき層の境界付近、いわば不整合面上0.5~2mの厚さの砂れき層の空隙の多少を解説することである。これが当地域の地下水量を決定づけるポイントである。したがって、解説法が重要なカギをもつことになる。解説法には標準曲線法と直視法があるが、標準曲線では曲線にのせる関係上、最も重要な点を見逃しやすく、当地域においては、この方法は大きな地層の区分の判読には有効であるが、最も重要な帯水問題になると信頼度は低い。したがって私は電気探査の解説についてはもっぱら直視法を使用している。しかし、直視法といつても測定深度があらいと接地条件からくる誤差も判読する恐れがあるので、帯水深度で重要と考えられる深さのところでは深度間隔を0.5mにとり欠点をカバーしている。帯水層が砂れき層で基盤までの深さが30m以内の場合はこの解説要領による成果は大きい。解説要領について一例を示すと次のようになる。黒磯町上豊浦地域のf-a曲線 (才4図参照) は大きく見ると上昇部、ゆるやかな下降部、急激な下降部に区分され、急激な上昇部8mまでが扇状地砂れき層で、固結度の低い空隙に

富んだ砂れきから構成されている。8 mから19 mまでのゆるやかな下降部は鳥の目砂れき層といわれるもので、扇状地砂れき層よりたい積時代も古く、固結度もさらに高けれきとれきは粘土でセメントのように固められ、極度に酸化し、かつ色化している。なお、扇状地砂れき層と鳥の目砂れき層の境、鳥の目砂れき層と鍋掛砂れき層の境の各々には関東ローム層があつて地層の区分に重要な手がかりとなつてい。25.5 m以深の下降部は大田原浮石層といわれるもので浮石凝灰岩からなつてい。地下水の帯水深度についての判読であるが、扇頂部、扇央部では鳥の目砂れき層、鍋掛砂れき層が重要で、扇端部では扇状地砂れき層と鳥の目砂れき層が重要である。この地点は扇央部東北端に位置するので、鳥の目砂れき層、鍋掛砂れき層に重点をおき、深さ10 mからは測定間隔を0.5 mおきに測定した。鳥の目砂れき層と鍋掛砂れき層は大半が粘土混り砂れきで構成されているので、粘土質のところ、すなわち、 $p-a$ 曲線で下降部は地下水がほとんど期待できない。したがつて、地下水の湧水機構から考え、空隙に富んだ砂れき層をさがすことが重要なことで、それは曲線からみると扇状地砂れき層と同様な上昇曲線の傾向をみつけることである。この地点の曲線をみると鳥の目砂れき層では17 mから19 mまで上昇し、ここが透水性の砂れきで構成されている。鍋掛砂れき層は解読が最もむずかしく、直視法の最も生きてくるところである。下降曲線中で上昇して深さは22 mから25.5 mまでと25 mから22.5 mまでの2箇所あるが、試

図4



掘結果から、このわずか0.5 mの厚さの砂れき層が良好な帯水層となつてい。標準曲線法ではこれは完全に見逃すところである。帯水状態で良好な個所、つまり曲線の上昇部はいずれも地層の境界、不整合面付近で、上昇の度合は地下谷上で明りようである。那須野が原の地下水はこの上昇曲線と下降曲線の境界上わずかの厚さの部分の流れているのが一般的である。

III 那須野が原の地下水

① 那須野が原の成立 (図3参照)

洪積初期に那須野が原から喜連川丘陵地域にかけて湖沼が形成され、つづいて、高原火山の火山活動があり、この噴出物がこの湖沼を埋めた。これらの主体が浮石凝灰岩で那須野が原の基盤をなす大田原浮石層と呼ばれるものである。その後、地盤上昇運動も関与し、浸食区と化し、西方山地に発する諸河川は河床勾配が大きいため、浮石凝灰岩層がけずりとられ、当時の

浸食基準面まで下刻され、同時に側刻も進行した。この時期に北方の那須火山の活動が開始され、初期の火山泥流を押し流したので、那須野が原東部の那珂川河道では同時相異の関係ある鍋掛砂れき層、黒磯火砕岩層が形成された。その後、那須火山の活動が一時休止し、那珂川は東に移りし那須累層を浸食した。この時期にたい積したのが鳥の目砂れき層である。そのころ扇状地内部では熊川、蛇尾川、簪川などの下刻、側刻がほぼ連続的に進行し、これらの流路でけずり残された大田原浮石層からなる基盤の高まりを所々に残した。これが北西から南東に方向性をもつ分離丘陵列である。この問題には主流をなす旧河道のほかにも流路の変せんによる浅い谷と、両側の基盤の高まりがあり、これらは現在地下にうずまつてい。末端部になるにつれ、谷は浅く、谷底は広がつて谷の形は不明りようになつてい。鳥の目砂れき層たい積末期に火山活動があり、多量の火山灰をたい積した。これが鳥の目ローム層である。その後、隆起運動があり、多量の砂れき層が供給され、厚さ5~10 mの砂れき層が那須野が原全域をおおつた。これが扇状地砂れき層である。その後も火山活動による降灰があり、これが那須ローム層、藤荷田ローム層である。

② 那須野が原の主要帯水層と地下谷

以上の層序で帯水層としては下部より鍋掛砂れき層、鳥の目砂れき層、扇状地砂れき層があげられるが、鍋掛砂れき層は黒磯地区の那珂川右岸に沿つてみられるのみで、那須野が原全域に共通する帯水層は鳥の目砂れき層と扇状地砂れき層である。鳥の目砂れき層は旧河道の主流である地下谷部分のみ砂れき層が空隙に富み、湧水期でも日量1000トン以上揚水可能の良好な帯水層となりうるが、基盤の高まりにたい積したものは全般に粘土混り砂利で構成されているため、空隙にとぼしく不透水層に近く、地下水は期待できない。

扇状地砂れき層はたい積時代も新しく、全般的に空隙に富み、良い透水層になりうるが砂れき層の厚さがうすく、地表から最も浅い位置をしめていので水位の下がる湧水期には扇頂部扇央部では期待できない。当地域で鳥の目砂れき層を利用できる範囲は地下谷の比高の大きい扇頂部、扇央部に限られ、地下谷の比高の小さい扇端部に行くにつれ利用価値は少ない。扇状地砂れき層の利用範囲は鳥の目砂れき層が粘土混り砂利として不透水層の役割を果す扇端部のみ利用度が高い。

那須野が原の主要地下谷は約10本考えられいずれも現河川の旧河道に属するもので、分離丘陵の間にみられ地下水の主要路となつてい。(図5-1 図5-2参照)

③ 伏流の実態—蛇尾川 (図6-1・2参照)

那須野が原の地下水を涵着する水源としては河川の伏流水、那須疎水の浸透水、天水の浸透があげられるが、その中で主体を占めているのが河川の伏流水であると考え。伏流河川として蛇尾川、熊川、簪川の一部があげられるがとくに主要なものとして蛇尾川伏流水について述べる。

蛇尾川は大蛇尾川、小蛇尾川の合流点から約200 mまでは西岸に石英粗面岩(流もん岩)の岩盤が露出し、その下流から河岩に厚い砂れき層がたい積し、水無川となる。伏流地点付近の電機探査から推定される地質断面は図6-1の通りである。伏流水の大部分は最新の河床砂れきで構成されている深さ3~6 mの基底部に帯水流下している。(試掘実証) またこの付近の地下水流速は薬品投入(フルオレツセンソーダ)試験で平均時速23 m(最高時速44 m)という結果がでた。(1964・3・10)

④ 雨量と地下水位との関係

那須野が原における降雨による水位変化は雨量が1日50 mm以上になると伏流河川付近および地下谷付近の井戸は著しい。これは天水直接の浸透と考えるよりは河川の増水により伏流量が増加したための現象とみるべきであろう。一例として、西那須野地域の地下谷付近の井戸の水位変化を示したが(図7参照)、この事実からいかに浸透率が大きく、流速が速いかを物語るものである。

IV あとがき

① 那須野が原の地下水系は北西から南東方向にかけて流路をもち、地下谷の大部分は分離丘陵の間に刻まれた約10本の地下谷に集水される。主要水口となる透水性砂れき層の厚さは不透

図5-1 那須野が原の主要地下水系(地下谷)

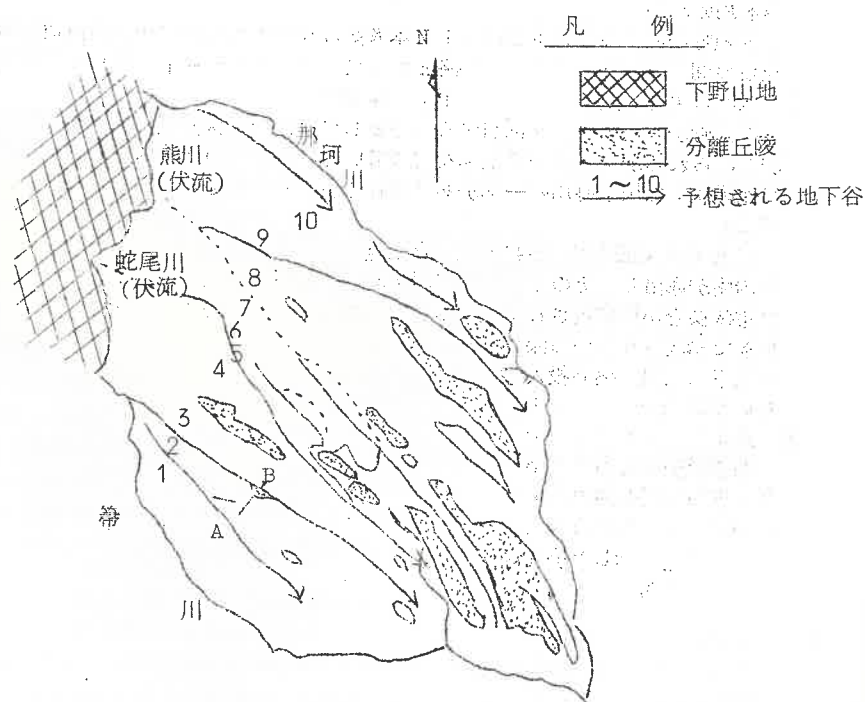


図5-2 鳥が森丘陵に直交する南北の地質断面図

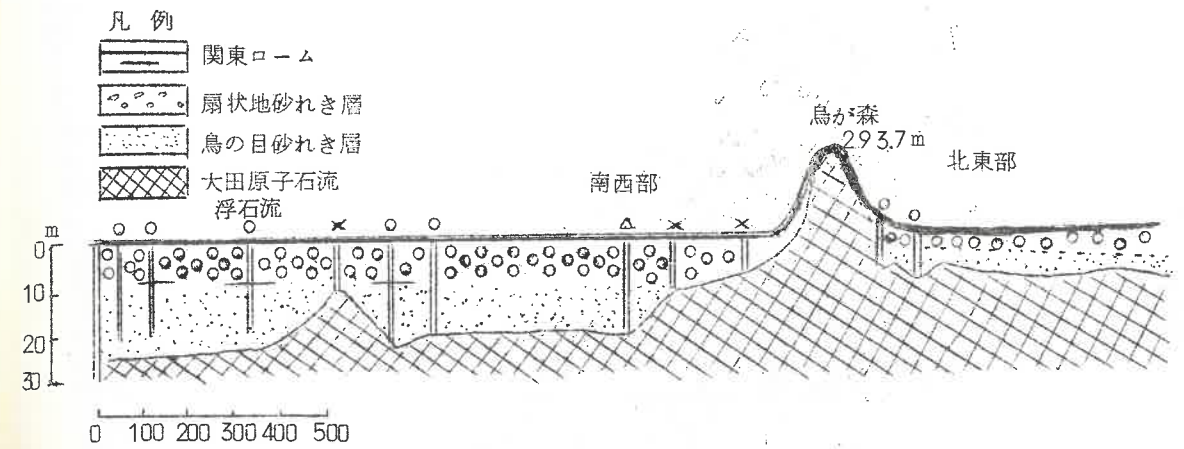


図6-1

蛇尾川伏流地点付近の地質断面図
電気探査により解析した地質断面図

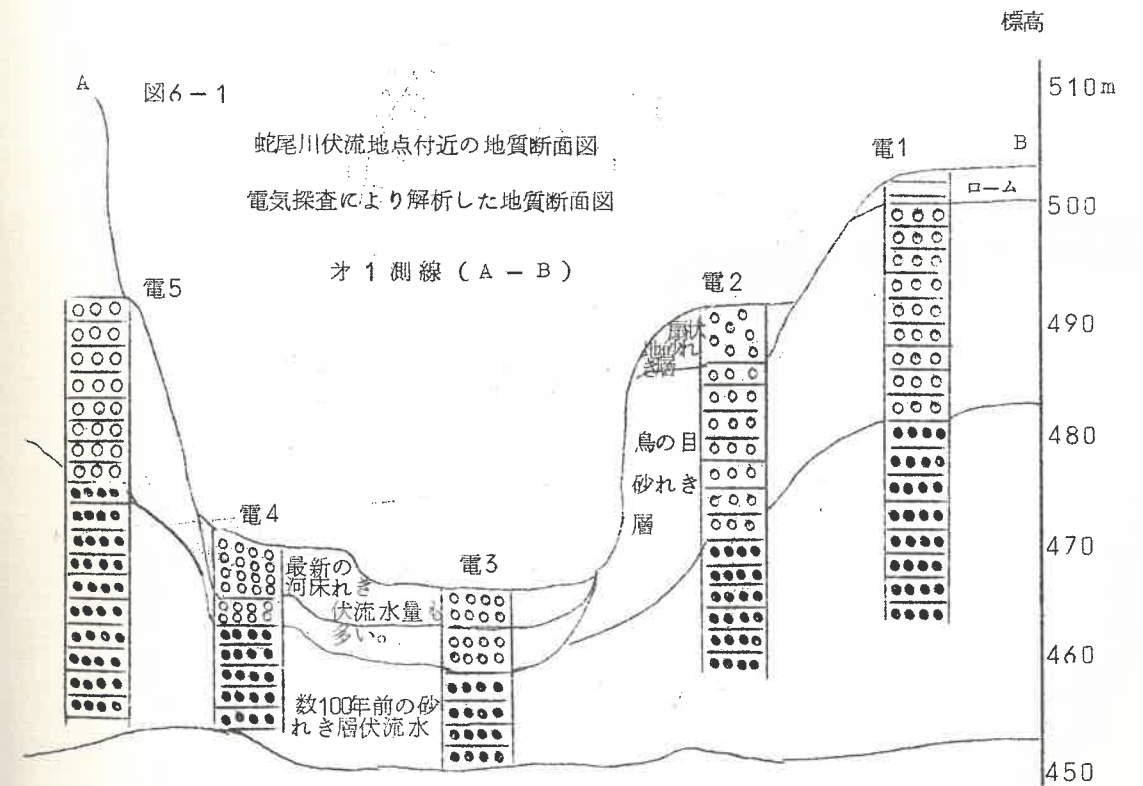


図6-2 蛇尾川上流の地質と電探位置

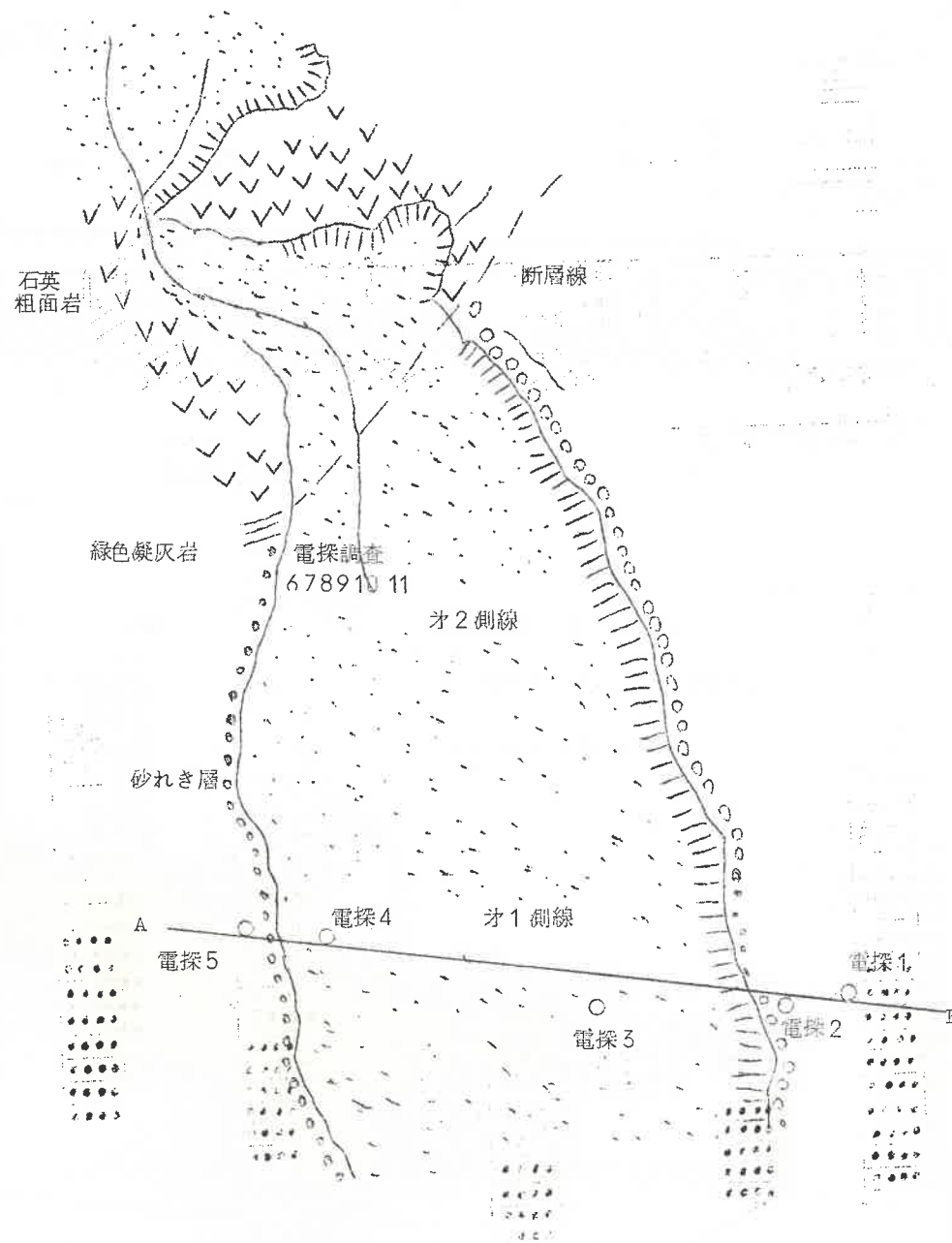
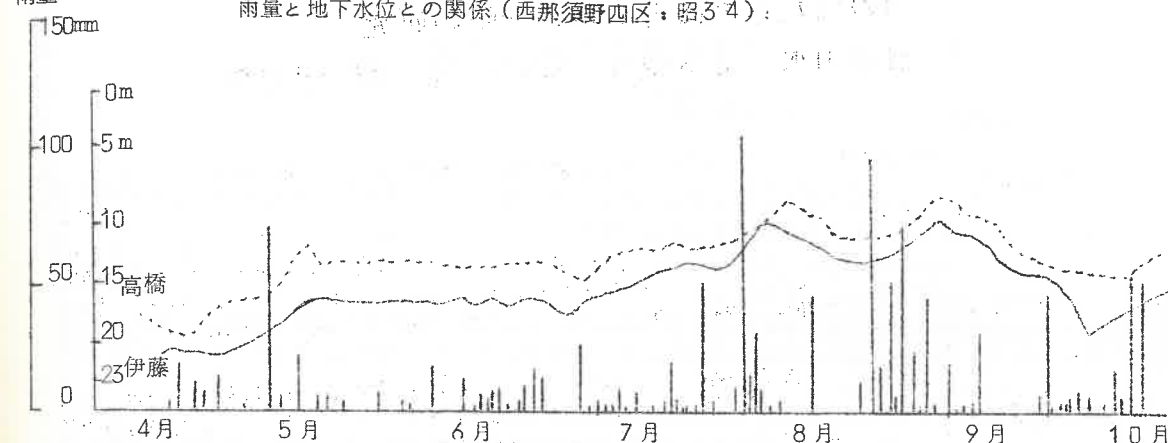


図7 雨量と地下水位との関係 (西那須野四区: 昭34)



水性基盤上0.5~2mで、この部分に豊富に帯水流下している。地下谷の深さは扇頂部で30~40m、扇央部で15~30m、扇端部で10~15mとなつている。したがつて、地下水1日1000トン以上の大規模揚水はほとんど地下谷線上に限られ、分離丘陵地域または地下埋没丘陵地域は豊富な水は期待できない。

- ② 地下水の涵養は各河川の伏流水と那須疎水の浸透水が大きな役割を果し、伏流量は雨量が1日50mm以上のとき急増し、その時期は6月中旬以降である。したがつて那須野が原では6月中旬以後は地下水量も急激に増加する。
- ③ 現在、農家の開田による地下水揚水が急激に増加し、4000個以上の揚水井があることが予想され地下水の絶対量からみて、循環利用とはいえ、ほぼ限界に達したのではないかと考えられる。このまま地下水利用が進むと、涵養水の少ない渇水期(3~5月)には期待した揚水量を得ることができない場合が予想される。特に水稻の早期栽培がすすめられている現在では地下利用が渇水期に当たっているわけで、今後は地下水の実態をよくたしかめ、渇水期対策については十分な計画と検討が望まれる。

昭和39年度

川のはたらきによる災害予防の研究 雨水川水による浸食運搬たい積の基礎的考察

1 はじめに

私たちの通学区は極めて広く、ある者は学校から20 kmはなれた那須野が原扇状地の扇頂部より、また扇端部より、舗装されていない砂利道を自転車で通っています。毎年少しずつ手入れはしてありますが夏の夕立とか、台風に見舞われるとたちまち道路はいたんで私たちは通学に大半の神経と労力を使ってしまう。そこで、私たちはこのような雨により道路がいたむ原因を地学クラブ自転車通学班で数年前より少しずつ調べていましたが、これは雨水による路面の侵食、それにともなう流路の集中、流れの増加にともなう路面の砂れきの運搬により道路がいたんでしまうことがわかりました。

—昨年地学クラブの送別会の際（私たちが一年生のとき）、在校生の地学に関する一研究として発表しましたところ、一笑に付されると思つた研究が、先生に大いに激励され、災害防止対策としても、重要なことであるから地下水の研究と平行して研究するようにいわれ意を決して、毎年少しずつ研究を重ね今年本格的な研究に着手したしだいです。

私達の研究のねらいは雨水のはたらきから更に河水のはたらきに発展させ、これがもとで起こる災害の原因の一端を科学的に解明することです。

○通学区域における雨水、河水のはたらきによる災害の実態

1. 雨水のはたらき

黒磯町より百村街道の穴沢から黒磯ブリジストン工場に至るまでの道路では夏の夕立で集中的に30 mm以上の雨量があると、ただちに雨水は集中化し侵食下刻作用を行ない砂や小砂利を運搬し、巨れきのみを残し悪路化してしまう。

2. 河水のはたらき

a 黒磯から高林に抜ける道路ですが、この場合熊川を通うなければなりません。この熊川は河川水が伏流してしまい、ふつうは水無川となつているため今まで橋はなく今年の8月までのところはまだ河原を道路にしています。（現在橋建築中）この道路も一度台風や集中豪雨にみまわれるとたちまちはらんし、濁流となつて道路はえぐりとられ、巨れきからなる河原と化してしまいます。

b aと同様高林から関谷に抜けるには蛇尾川を通らなければなりません。現在ある橋は老朽化木橋ですので数年前より河原を道路にしておりました。今年は新橋をつくる予定ですがこの川も熊川と同様台風、集中豪雨に見舞われると急激にはらんし、流速を簡単なうきで測定してみると3~5 m/sの速さで流れ、減水後は今までの道路はえぐられ新たに直径90 cmもあるれきが運搬されております。以上の実態から雨水、河水による災害の根本としては侵食、運搬、たい積の三作用があげられますが、私達はこれから各作用を私達なりの考えで個々に細かく観察し、更にこれらの作用を常に共存している地質を結びつけて研究を進めることにしました。

その研究結果を次の順序で発表いたします。

イ 峰の茶屋「西の沢」における崩壊地の地質

ロ れきの円密度

ハ「土堤の滝」付近の地質

ニ 「土堤の滝」における運搬力の実験

ホ 室内実験

1) 流速と河床勾配

2) 流速のれき運搬作用の実態

ヘ まとめ

最後に、この研究を進めるにあたり直接御指導下さいました捐橋先生、伴先生、種々と便宜をはかつて下さいました校長先生、作品をまとめる際御指導下さいました品川先生に感謝致します。

〔1〕 峰の茶屋西の沢

私たちは、2年前、地学クラブ恒例の夏季研修で那須三斗小屋温泉にキャンプに行つた時、この沢を横切つていかなければならぬところがありますが、その登山道路が崖からくずれたれきによつて、通れなくなつていました。2カ月前に地学クラブの生徒がここを通つた時は、別に何でもなかつたということですが、その後、雨が降つたために、雨水によりくずされた崩壊れきがここにたい積してしまつたようです。またこの場所をすぎて沢の下流に行き河原で一休みしたとき回りのれきを見ていましたら、崩壊地付近にあつたれきよりも角がとれていることに気づきました。そこで、このような雨水により簡単にくずれてしまうような地質はどんなものだろうか、また下流にゆくにしたがいれきはどのように角がとれていくのだろうかという疑問をこの沢において調べてみようということになり峰の茶屋西を選んで調査をはじめたわけです。

峰の茶屋西の沢は那須連峰の茶臼岳と朝日岳のほぼ中間にあり、茶臼岳、朝日岳、三斗小屋、板室、三本槍などへ登山する時の主要な、休憩所となつている。峰の茶屋（標高1720 m）の西側にある大きな雨食の谷であります。この沢は普通水ではありませんが雨が降ると地下に浸透することなしに、すぐ表流水となつて流れるとともに沢の勾配が急なため、流速は速く侵食作用も大きく、毎年毎年その様子は変つています。沢の先端部は雨食により大きく、くずされ見事な雨食崖を形成しております。この付近の岩石は、那須火山が活動していた頃、流出した安山岩質溶岩で亀裂が非常に多く、くずれやすい状態にあります。この峰の茶屋西の沢で調査した結果を述べることに致します。

A. 峰の茶屋西の沢の地質

那須火山は、三斗小屋地区那珂川右岸に露出する花こう岩、板室地区那珂川両岸に露出する緑色凝灰岩（海成層）、那珂川木の俣川合流点付近に露出する泥岩（湖成層）を基盤として関谷から那珂川、木の俣川合流点付近を通るほぼ北北東の断層線上に噴出したものと考えられます。

火山は、南月火山、茶臼火山、三本槍火山に分けられ、噴出の過程はほぼ同じ時期と思われませんが、南月火山の方は全く活動が休止していますので南月火山の方が早いのではないかと思います。まずこの2つの火山の噴出によつて個々の山体を作り、その後、両火山の活動が休止状態になつてから両火山の、接合部盆地に湖沼を作り植物化石を、はさみながら火山灰をたい積しました。その後、この湖を作つた盆地付近を中心に茶臼火山が噴出しました。

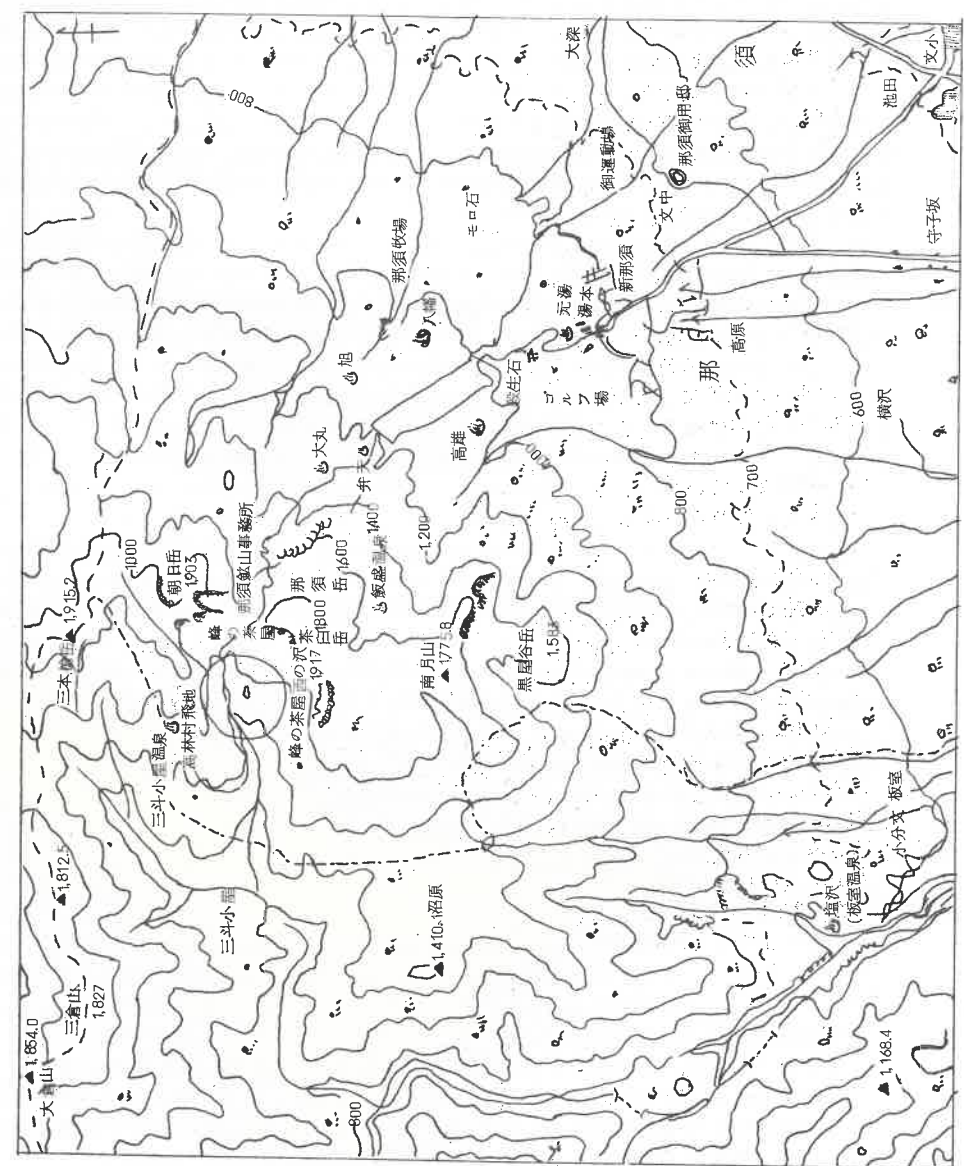
この茶臼火山は現在の地形からみてわかるとおり、複式成層火山で、現在活動の中心は中央火口丘であります。

峰の茶屋西の沢の右岸は三本槍溶岩で、下部は、流もん岩質溶岩は白色で、上限は、標高1700 mまで分布し、細かい節理が発達し、表面は極度に風化し、数センチ角の角れきとなつてくずれています。上部の安山岩質溶岩は流もん岩質溶岩にはほぼ水平に重なり、節理に、富んでおりますが、風化の度合は下部の流もん岩質溶岩より小さく、くずれた角礫は10数センチで下部溶岩より大きい。

左岸の茶臼溶岩は下部が流もん岩熱変質の薄層理からなる湖沼たい積物が分布し、上部は茶臼火山初期の噴出によるやや塩基性の安山岩からなっています。この初期の溶岩は三本槍溶岩より噴出時期が新しいため節理も大きく、風化によりくずれおちた岩塊は10センチ程度のものが多くなっています。

以上のことから噴出の新旧にもとずき節理の状態、風化の度合いが異なっております。従つて調査地の雨水による侵食は三本槍溶岩の方が大きく右岸は夕立ちなどの集中豪雨のときは風化帯の侵食とれきの運搬が甚だしく、大きな溝を作りながら200 m下流の勾配のゆるやかなたい積地に多量の礫を運んでいます。

図1 峰の茶屋西の沢の位置



火山内部の岩層はこれら3つの火山とも溶岩、破片物の互層からなっております。以上の層序をまとめると図2のようになります。

調査地の西の沢の地質は前にのべました火山のうち三本槍火山と茶臼火山が関係し、沢はちょうどその火山の接合部にあります。

B 峰の茶屋西の沢におけるれきの円磨度調査

私達は今年の夏休み中に地学クラブ全員で那須三斗小屋にキャンプに行き、峰の茶屋西の沢においてれきの円磨度について調査しました。

れきはずれ落ちたときは角があつて、流水により下流に運ばれることによりだんだん角がとれ丸くなり私達が河原でみるようなれきになるということを先生から聞いて知っていたわけですが、それらのれきはかなり長い距離を流されてきているわけです。そこで私達はどれくらいの距離でどの程度磨滅しているかということについて調査したわけです。

この調査にあたり私達は峰の茶屋西の沢を、沢の最上流より下流に230mにわたり測量し10mおきに面積4㎡をきめその中に含まれているれきをれき質はかまわず100個ひろい、大きさを0~10cm, 11~20cm, 21~30cm, 31~40cm, 41~

図2 岩層の柱状図

時代		岩層の柱状図	岩層の実態
新 生 代	才 四 紀		茶臼上部溶岩 (中央火口丘) 茶臼下部溶岩 泥岩 (ラミナ発達, 植物化石含む) 三本槍溶岩 南月山溶岩 泥岩 (湖成層) 埋木を含む
	才 三 紀		緑色凝灰岩 (海成層)
中 生 代			花コウ岩 (貫入)

50cm, 51~60cm, 61~70cm, 71~80cm, 81cm以上にわけそれぞれについて、角ばっているれき (角れき) や角がとれているれき (亜角れき), 丸みをおびているれき (円れき) の3つにわけ円磨度の状態を調べました。

調査地点は上流よりNo.1から順に、最後はNo.23までとし各地点における角れき, 亜角れき, 円れきのそれぞれの百分率を調べますと表1のようになり、沢の最上流測点No.1では、

角れき70% 亜角れき28% 円れき2%

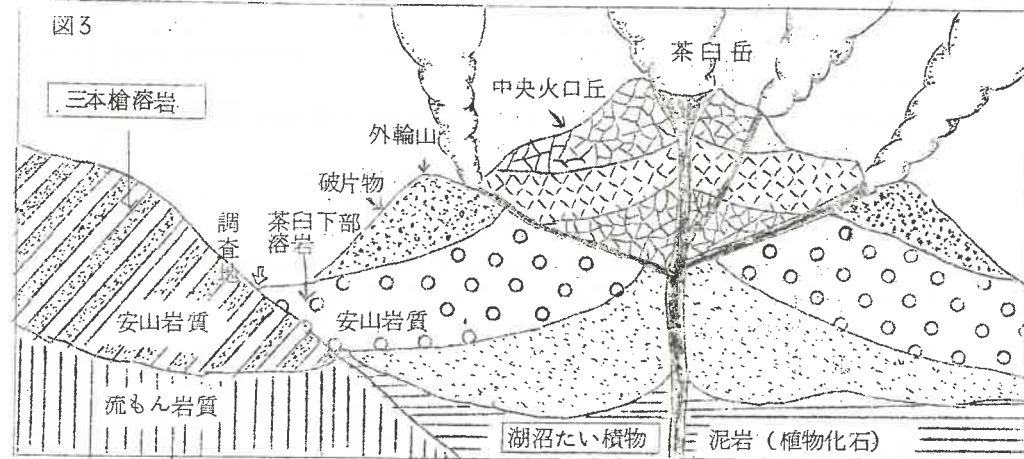


図4

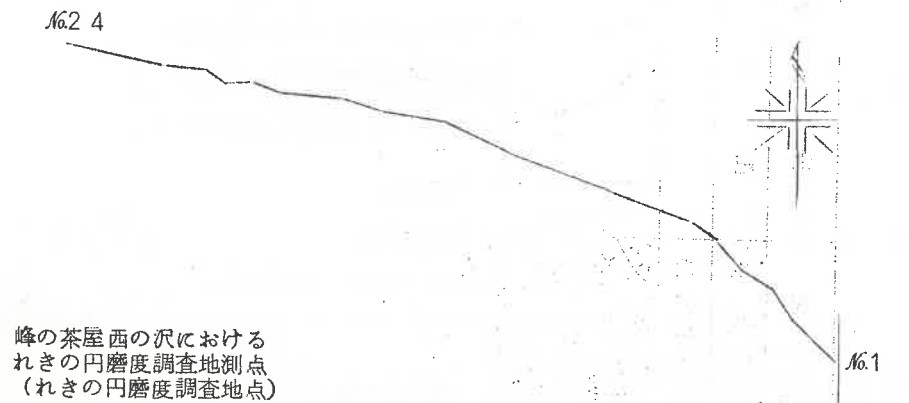
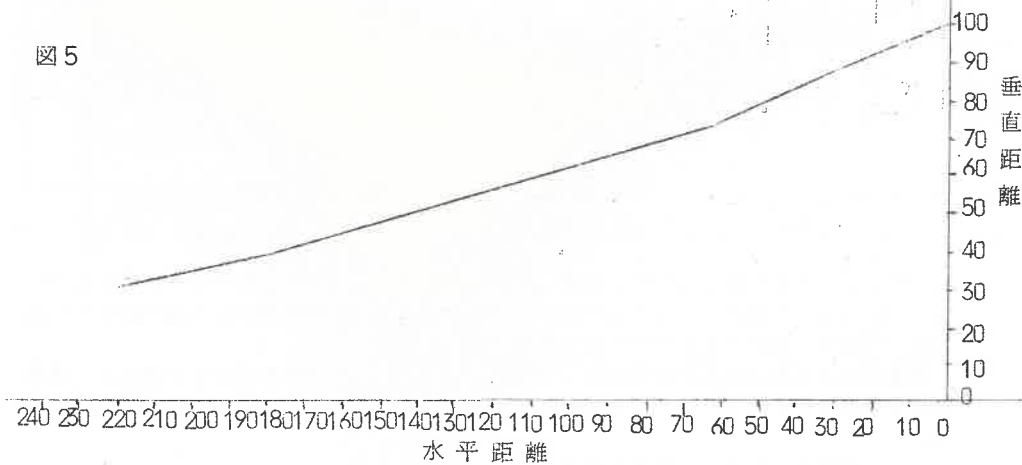


図5



それより10 m下流のNo. 2では
 角れき 7.9% 亜角れき 1.9% 円れき 2%
 50 m下流の測点No. 6では
 角れき 4.2% 亜角れき 3.9% 円れき 1.9%
 100 m下流の測点No. 11では
 角れき 4.4% 亜角れき 2.8% 円れき 2.8%
 150 m下流の測点No. 16では
 角れき 0% 亜角れき 6.2% 円れき 3.8%
 200 m下流の測点No. 21では
 角れき 3.0% 亜角れき 3.7% 円れき 3.3%
 最後の測点である230 m地点では
 角れき 3.8% 亜角れき 2.9% 円れき 3.3%

となっております。さらに細かく調査した結果をまとめますと表2のようになっています。

以上のことから一応の傾向をつかむことができました。しかしこれらの表をグラフにしてみますとさらにその傾向がはっきりとつかむことができましたので次のグラフを書きました。

表1 峰の茶屋西の沢におけるれきの円磨度 (百分率)

測 点	1			2			3			4			5				
磨 被 度	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	
れきの数 (%)	70	28	2	79	19	2	55	32	13	48	41	11	66	24	10	42	
E 1111 2 1	6			7			8			9			10			11	
	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	
	39	19	44	43	13	53	33	14	50	27	23	21	49	30	44	28	
	12			13			14			15			16				
	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	
	28	36	51	13	42	45	13	51	34	15	33	30	37	0	62	38	
	17			18			19			20			21				
	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	□	○	△	
	29	37	34	34	49	17	20	56	24	42	37	21	30	37	33	0	
	22			23													
□	○	△	□	○													
58			42			38			29			33					

△ 角れき □ 亜角れき ○ 円れき

表2 峰の茶屋西の沢における礫の円磨状態

測定 位置 高さ (cm)	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11				
	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫	角 礫	要 角 礫	円 礫					
0〜10	23	12		10	6		5	3	3	3	3	41	2	2	18	14	15	20	10		16	6	4	17	9	4	4	9	4	10	6	6			
11〜20	11	6		57	5	1	38	28	10	43	28	7	12	14		18	15	1	19	13	12	25	11	5	27	9	11	16	33	16	21	16	9		
21〜30	15	13	2	4	2		12			2	8	4	10	3	4	6	2	2	5	10	7	7	3	5	3	9	5	1	6	8	13	4	4		
31〜40	1	6		6	3	1		1		2		1	3			3			3		3	5		3		5			2			2			
41〜50	3			1	3								1			3	1		3		2	3							1			1	1		
51〜60		1		1								1				2			1			1											1		
61〜70	1	2													2							1												4	
71〜80	1												1	1	2						1													1	
81〜		3																																	1
合 計	55	42		2	79	19		2	55	32	13	48	41	11	66	24	10	42	39	19	44	43	13	53	33	14	50	27	23	21	49	30	44	28	28

12			13			14			15			16			17			18			19			20			21			22			23				
角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円	角	要	円					
6	1		5	16	10	6	3	5	2	9	5	7			3	4	15	6	7	10	14	2	2	14	19	10	1	3	4	16	12		4	12	7		13
22	2		5	14	17	7	36	16	4	21	17	14			33	20	10	20	12	13	16	7	13	39	3	21	23	14	24	19	21		43	25	13	11	11
7			2	11	13		10	10	3	2	5	16			23	12	4	9	10	10	17	6	4	10		11	13	3	2	2			10	4	25	15	3
1			1	1	4		2	2	5	1	3				3	2		1	3	1	1		1	2	2		1					1	1	17	3	3	
				1			1	1										1	1			1	1										1		3		
36	28	13	42	45	13	51	34	15	33	30	37		0	62	38	29	37	34	34	49	17	20	56	24	42	37	21	30	37	33		0	58	42	38	29	33

100 表3. れきの円磨度グラフ

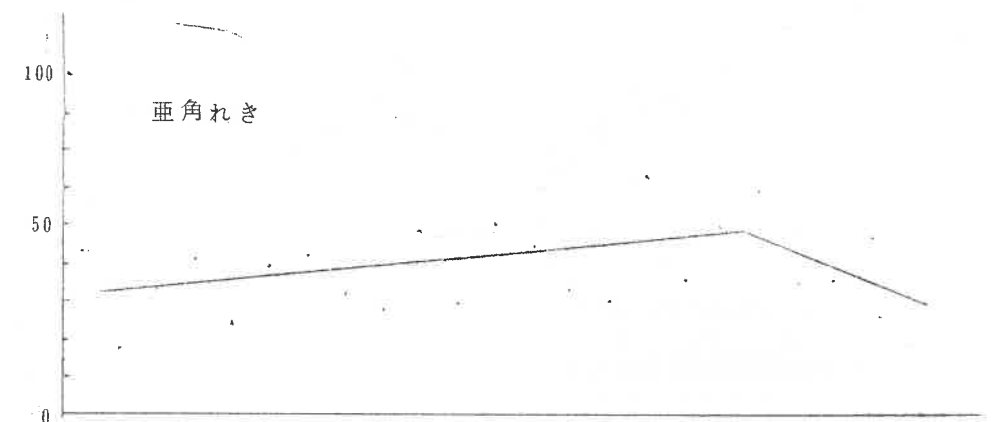
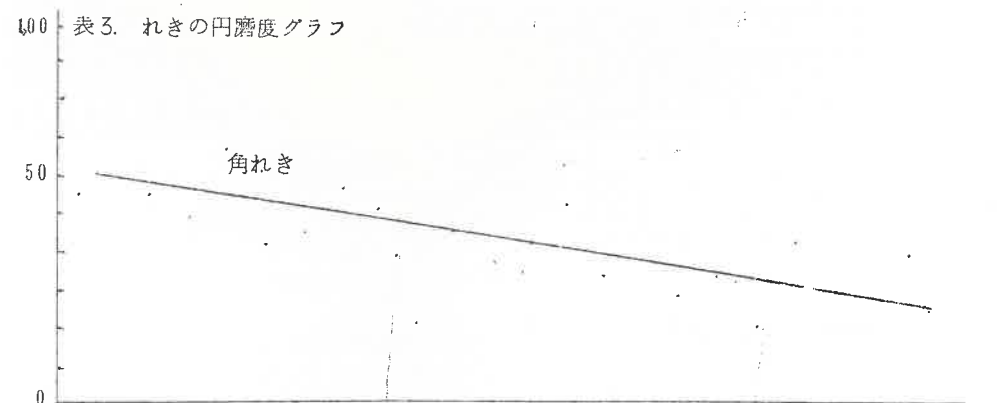


图 3.



しかしながらこの調査はれきの質を考えずに行ないました。ところが調査が進むにつれて私達はれきには硬いものもあればやわらかいものもあり、流れによつて選ばれる途中で、岩質や硬さなどによつて磨滅する度合がらがることに気づきました。

ところでこの沢の付近の地質は前にも述べたように安山岩と流れん岩がありますので、峰の茶屋西の沢にもこれらのれきがくずれ落ちています。

沢の上流を調べたところ、流もん岩の部分より安山岩の部分の方が亀列が多く、少しの雨でもくずれてしまうような非常に不安定な状態をしていましたし、沢に流出しているれきをみましても安山岩が非常に多かつたのでこんどはくずれ落ちた安山岩れきが流水によって運ばれる場合の磨滅の度合いを調べることにして、この沢の安山岩の崩壊地（谷の最上部より2.70m測量（図6・7）を行ないました。そしてこんど安山岩れきが、流水によって運搬されたものを5個ずつひろって比較をしてみました。

この調査では上流より下流になるにしたがい、いれきの形がちがうことがよくわかります。

このようにれきは流れによつて下流に運ばれるにしたがい、角がとれ丸みをおびてくる様子を知ることができましたのでこのことを参考にして、私達は那珂川上流の土堤の滝で実際に磨減度の実験を行ないました。

〔2〕 那珂川「土提の滝」による調査

私達は峰の茶屋西の沢で調査した結果をもとにして、れきが流れる場合にはどのような

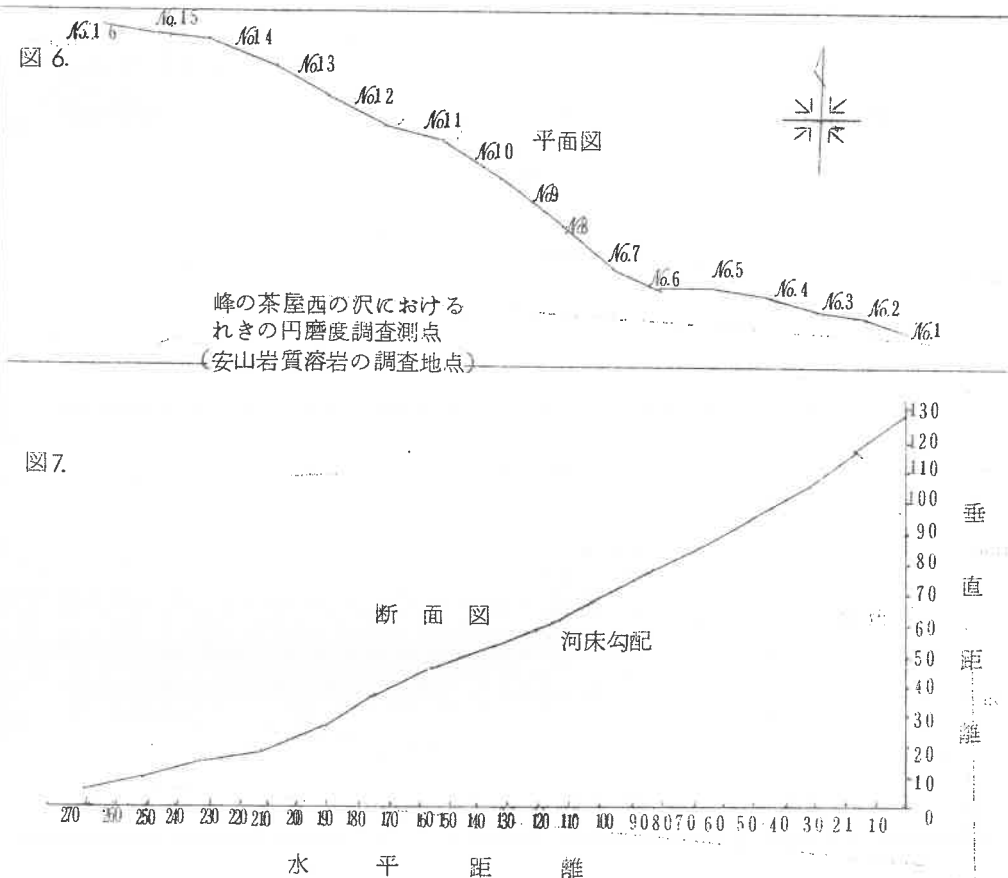
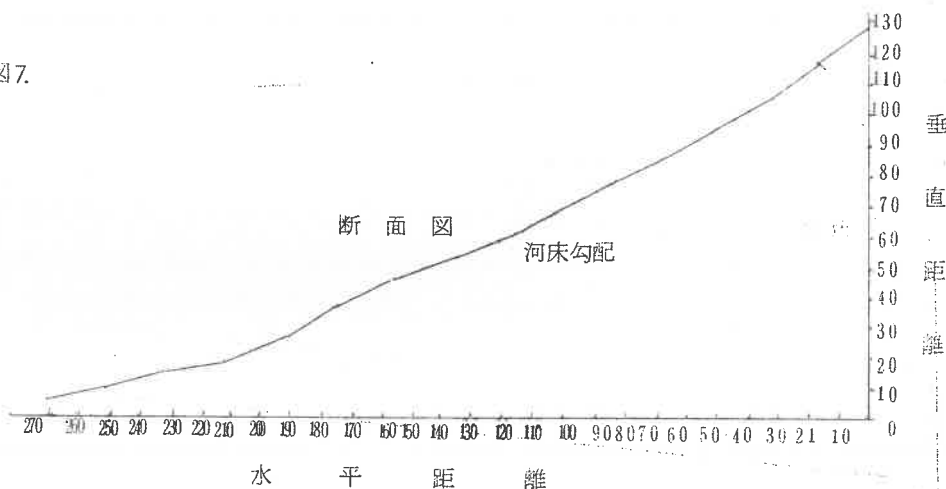


図7.



状態で流れ、角がとれるのであろうかということを実験で確かめてみたいと思い先生に訪ねたら那珂川上流に「土堤の滝」という、実験をするのに良い場所があると教えて下さいましたので、夏休みを利用して実験を行ないました。

「土堤の滝」は黒磯から穴沢を通り、板室温泉に行く途中、林道と別れるところがあります。この地点より北北西に約3 km上流にあります。木の俣川と那珂川の合流点よりみますと、北北西に約4 km上流にあります。

A 土堤の滝の地質

那珂川にある土堤の滝は板室温泉より約2 kmさかのぼった地点で、矢沢の合流点から上流300 mから約30度の勾配で約150 mほどつづいています。この付近の谷の形はV字谷で、下刻作用、側刻作用が著しいものがあります。

地質は右岸と左岸とは異なり、右岸は矢沢合流点付近の断層と思われ大きな割目を境に下流は上、下部ともち密で硬い安山岩凝灰岩（広い意味での緑色凝灰岩）上流は上部層が下流でみられる岩質と同じ安山岩質凝灰岩からなり標高約630 mより高いところに分布しています。下部層は上部層と岩質が異なり数センチの角れきを含むもろい凝灰角れき岩からなっています。左岸は矢沢の合流点より、約100 m下流に面積にして約6000 m²の崩壊地がみられ過去の山津波で押し出した下部層の凝灰角れき岩の碎屑物が約10 mの厚さでたい積しております。矢沢合流点より上流は前と同じ崩壊地がみられ、その規模は下流の約半分、現在崩壊がつづいています。その上流になりますと右岸と同様の地質になっています。土堤の滝の成り立ちですが上部層と下部層の岩質の硬さ

の相違にもとづくものと思われます。すなわち上部層が非常に密で硬い安山岩質凝灰岩、下部層はもろい凝灰角れき岩という岩質の違いによるものと思われます。川の浸食とくに下刻作用が下部層の凝灰角れき岩におよぶと、浸食は急激に進行し、下刻作用から側刻作用におよびえぐられた地層はくずれおち、再び下刻作用から側刻作用に進み、川幅を増大しながら上流に向かって後退していくように思われます。

B 土堤の滝の実験

土堤の滝は、標高650 mより標高566 mまでの、標高差84 mの滝で、4段になっております。滝の平均勾配は、約2.1度で平均流速は、3 mとなっております。私達は、この滝の平均に近い最下段（滝の長さ9.5 m）を、利用しまして実験を行ないました。まず、テスト用小石（約5 kg）として、比較的、水による浸食の小さい安山岩を用い、赤を着色しまして、約1.5個流しましたが、滝つぼみで案外深かつたため、回収できた小石は5個でした。その結果は、9.5 mと短い距離でしたが、角がとれていることがわかりました。

図8 断面図

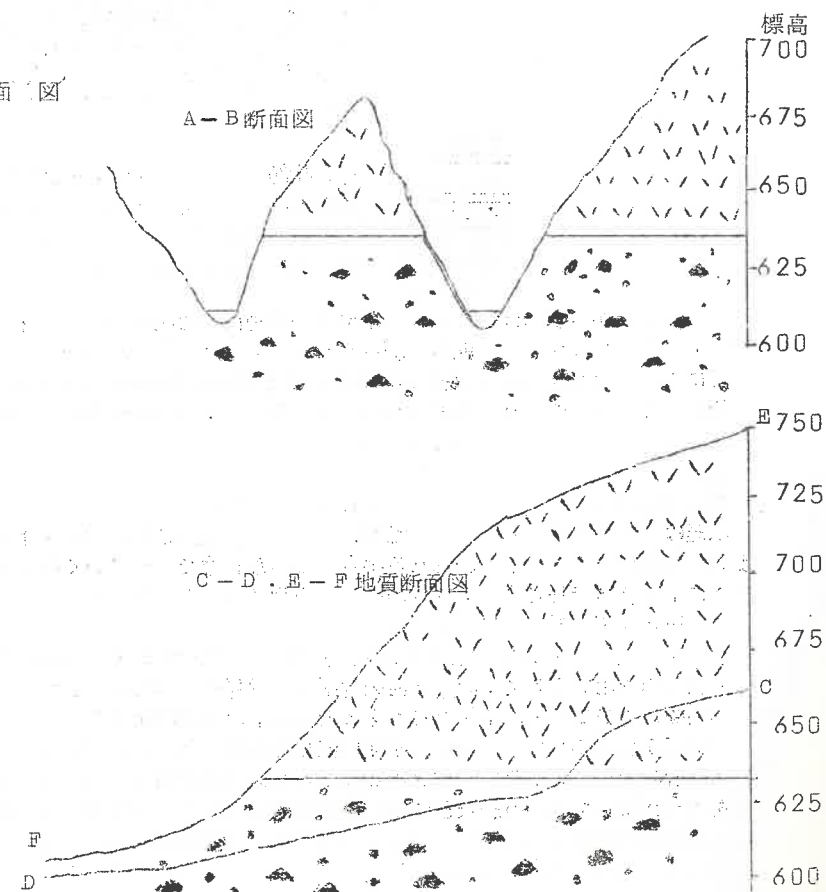
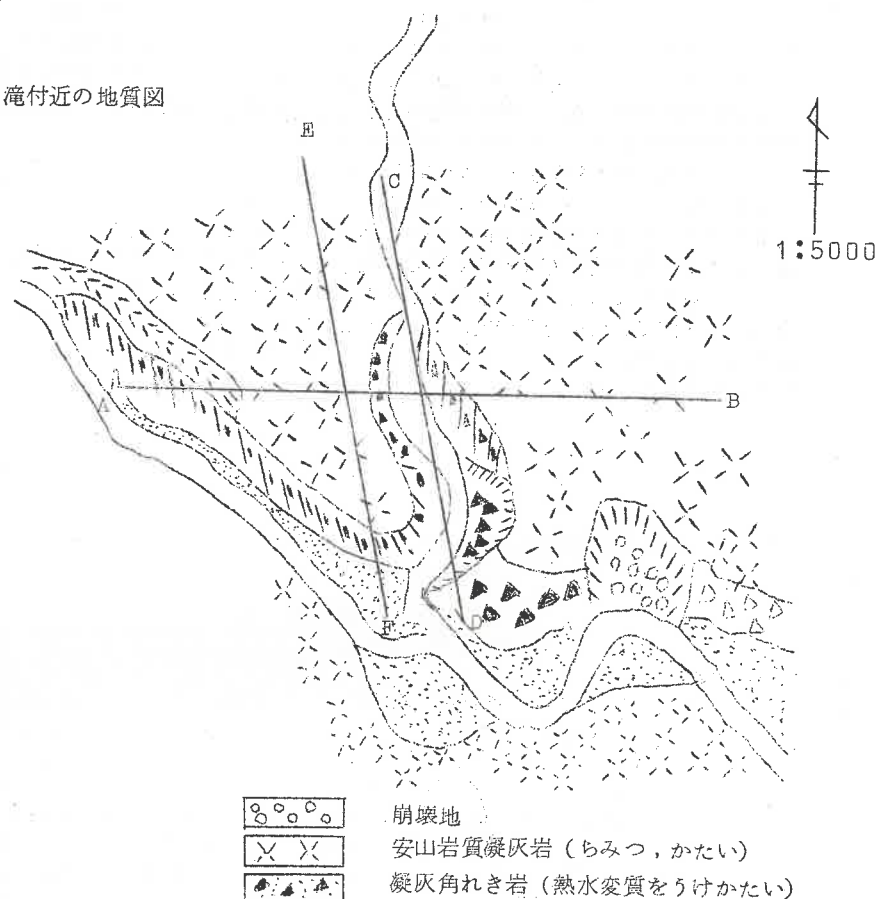


図9

土堤の滝付近の地質図



このことから私達は、れきが流水によつて運ばれる場合には、河床をすべるように流れていくのではなく、回転しながら流れるため、河の底にぶつかつたり、河の底にある石にぶつかつたりして、角がとれるのではないだろうかという結論に達しましたが、実際の川では、石の流れる状態がわかりませんので、学校に帰り、川の模型を作り、実験をしました。

(3) 室内実験 (川の模型による小石の流れる状態観察)

私達は前にも述べたように流水により小石が運搬される状態を予想することができましたので、こんどは小石が流れる場合、どんな状態で流れていくのか実際に観察できるように、ガラスで長さ2m、幅8cmの川の模型(図10)を作り実験を行ないました。

A 流速と河床勾配

まず私達は流速と河床勾配はどのような関係になっているのだろうかと思ひまして、模型の川を用ひまして、流速と河床勾配との関係を調べてみました。

実験の方法としては、川の長さ2mをとり、河床勾配をクリノメーターで正確に測定し、「うき」としてピンポン玉を使い流してみました。その際、1つの勾配について3回の計時を行ない、その平均値をとりました。その結果は表4のとおりです。またこれをグラフにしてみたのが表5です。

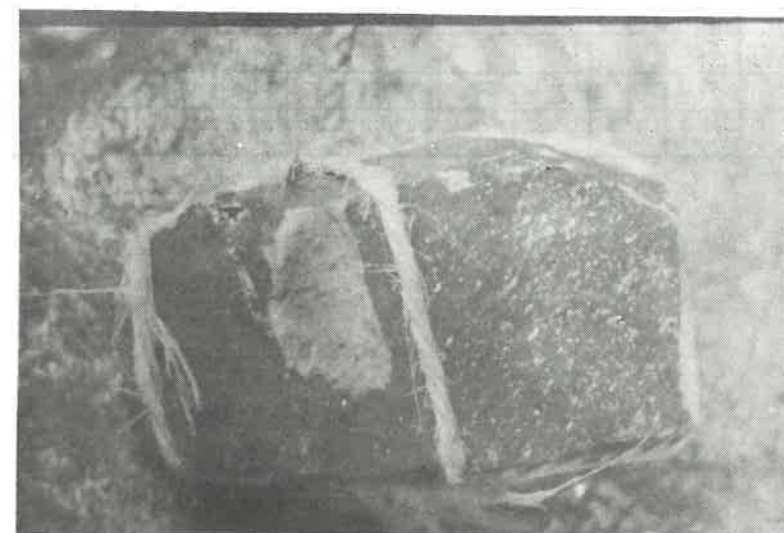
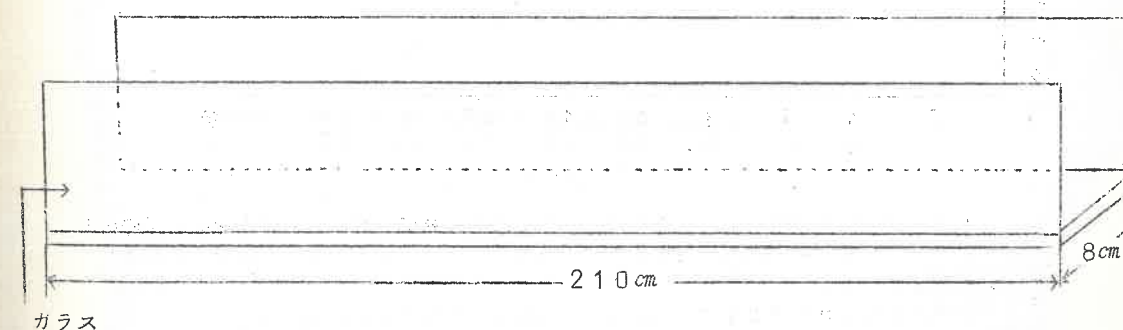


図10 川の模型



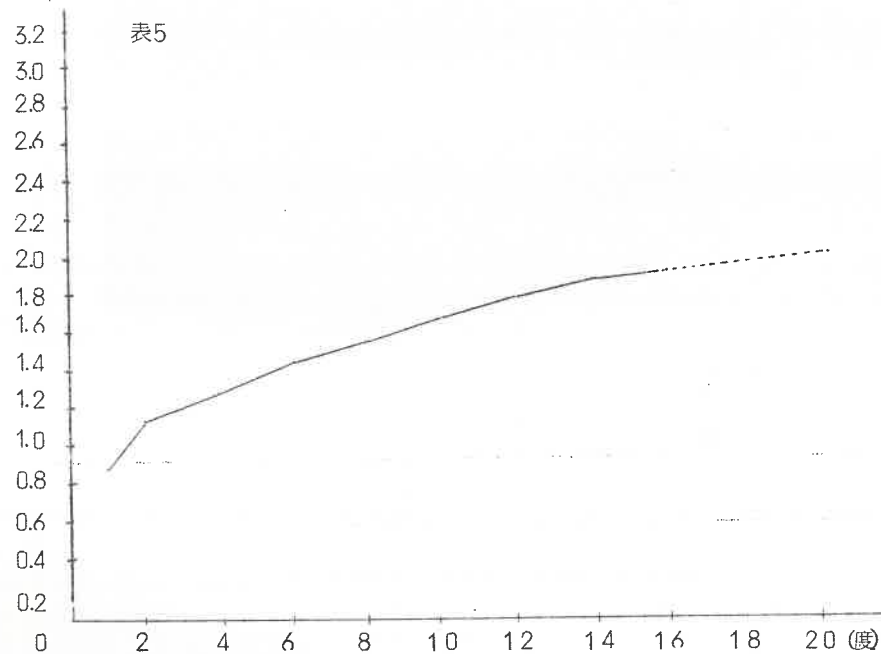
ところが、学校の水道を使つて実験をしますと、水量が少ないため、河床勾配が大きくなるにつれて、「うき」がうまく流れなくなり、測定値も不正確になつてきました。

そこで私達は、流速と河床勾配との関係をこの後に述べてみます。

流速とれきの運搬に関する正確な値もつかみたいと思つて、いろいろと相談した結果、学校の近くに、地下谷を揚水(4インチの管を使用)して水田を耕作している農家がありましたので、農家の人をお願いしたところ、研究のためなら使つてもよいという好意を示

表4 流速と河床勾配 (学校の水道利用)

項目	勾配	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	15°
時間	1	3.00	2.00		1.80		1.60		1.60	1.45	1.40	1.20
	2	3.00	2.10		2.00		1.80		1.50	1.50	1.30	1.20
	3	3.10	2.20		1.90		1.70		1.60	1.40	1.40	1.30
	平均	3.03	2.10		1.90		1.70		1.57	1.45	1.37	1.23
流速 (m/s)		0.66	0.95		1.05		1.18	1.23	1.27	1.38	1.46	1.63



して下さいましたので、さつそくその水道を利用させていただき、実験を前と同様に
て行ないました。その結果表にしますと表6のようになります。またこれをグラフにした
のが表7です。

表7からわかりますように、流速と河床勾配との関係は1つの放物線をえがいておりま
すが、揚水井戸を利用したときは、河床勾配15度から急に流速が増し、20度ではかな
り学校の水道を利用したときより流速が速くなっております。

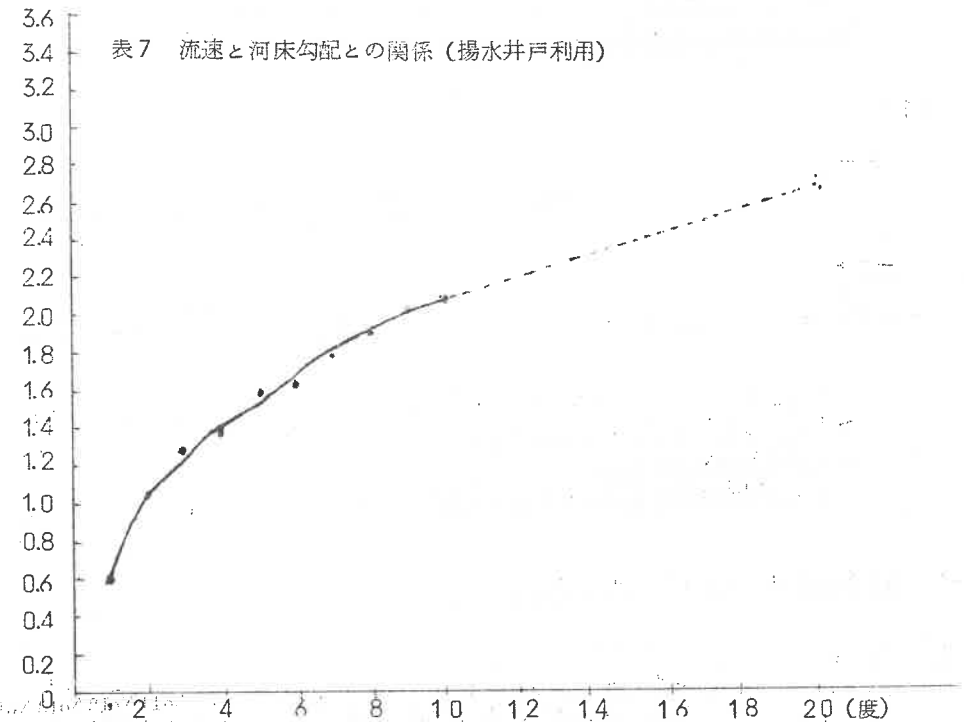
学校の水道を利用して行なった実験と揚水井戸を利用して行なった実験とで多少の誤差
が出ましたが、やはり水量差がここにあらわれたのではないかと思います。しかしながら
流速と河床勾配との関係は、必ずしもこの実験値とは、一致しないと思います。それは河
床を構成している物質によりまして、摩擦の度合いが異なるからです。ガラスは摩擦係数
が非常に小さいけれども、実際の河川はいろいろな岩質で構成され、また河床にはれきが
あつたりしますので、この実験値より多少、小さな値になつていると思います。

B 流水のれき運搬作用の実態

私達は前の実験で、河床勾配と流速のあらましをつかむことができましたので、こん

表6 河床勾配と流速との関係 (揚水井戸利用)

項目	勾配	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	15°	20°
時間	1	2.50	1.60	1.40	1.30	1.15	1.12	1.05	0.95	0.92	0.91	0.85	0.50
	2	2.50	1.65	1.30	1.25	1.15	1.10	1.02	1.00	0.93	0.91	0.70	0.60
	3	2.50	1.60	1.35	1.30	1.10	1.11	1.05	1.00	0.95	0.91	0.70	0.60
	平均	2.50	1.62	1.35	1.28	1.13	1.11	1.04	0.98	0.93	0.91	0.75	0.57
流速 (m/s)		0.80	1.24	1.48	1.56	1.77	1.80	1.92	2.04	2.15	2.20	2.66	3.51



どは「土堤の俺との実験で一応結論を出しました。流水中のれきの状態を実際に川の模
型を使いまして、確かめてみました。

最初はれきの重さを考えずに実験を行ないましたが、同じ流速でも流れるとき、流れ
ないとき(重さによつて違う)がありますので、この方法ではまずいということに気づ
き、こんどはあらかじめ、れきの重さを測定し、またれきの種類も、男体山が噴火した
とき噴出した軽石を、日光中禅寺湖畔より拾つてきたものや、私達の学校の庭に落ちて
いた安山岩、流紋岩を用いて、学校の水道を利用して実験を行ないました。その結果は
表8のとおりです。

しかし学校の水道を用いて行なった実験は、河床勾配2度(流速にして0.9±m/s)
までは、水量もかなりあり、れきの流れる状態も比較的よくわかりましたが、それ以上
の流速になりますと、水量が不足のためれきは水面より上方に出てしまい、あまり良い

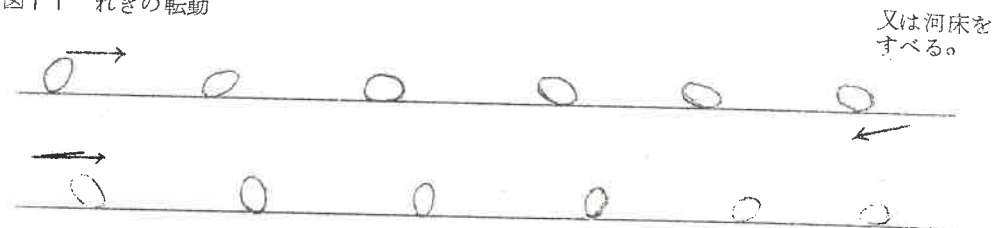
結果は得られませんでした。そこで河床勾配と流速の実験のときに使わせていただきました農家の揚水井戸をお借りしまして、水量を多くして実験を行ないました。

私達はまずはじめに河床勾配を1度（流速 $0.80 \pm m/s$ ）とし、重量を測定し、番号をつけたれき19個（No.1～No.9までは軽石、No.10～No.19までは安山岩、および流紋岩）をひとつひとつ流してみたところ、No.2とNo.4の軽石は浮いたり、沈んだりしながら流れてゆきました。

そこで私達は、河床勾配1度（流速 $0.8 \pm m/s$ ）で河床をころがつたれきは、No.4のれきのように、ならないだろうかという疑問がわきましたので、流速を変えて実験をしてみました。

それによりますと、流速が速くなるにつれて、他のれきもNo.4のれきのような状態で流れることがわかりました。つまり、河床勾配が2度（流速にして $1.24 \pm m/s$ ）になりますと、軽石のほとんど（No.1～No.8までのれき）は、浮いたり沈んだりしながら流れることがわかり、さらに河床勾配を3度（流速にして $1.48 \pm m/s$ ）になりますと、

図11 れきの転動



重さ3.21gの軽石までが、浮いたり沈んだりして流れました。（軽石の比重は1.02～1.4）しかしながら、比重の大きいれき（比重2.3以上）は、この流速では、河床をころがつてゆくのでした。

さらに河床勾配を急にし、4度（流速にして $1.56 m/s$ ）にしましたところ、No.16

表8 流水の運搬力の実験（校内水道利用）

項目 勾配	時 間 (秒)				流 速 (m/s)	小 石 の 重 さ (g)																	
	1回目	2回目	3回目	平 均		No.1 (3.6)	No.2 (4.8)	No.3 (8.7)	No.4 (5.7)	No.5 (19.2)	No.6 (21.1)	No.7 (24.0)	No.8 (17.8)	No.9 (45.1)	No.10 (66.7)	No.11 (20.0)	No.12 (64.0)	No.13 (3.5)	No.14 (57.2)	No.15 (39.5)	No.16 (17.0)	No.17 (11.2)	No.18 (12.1)
1°	300	300	310	303	0.66	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	△	○	×	○	○	○	○
2°	200	210	220	210	0.95										×								
3°															×	○	○		○				
4°	180	200	190	190	1.05																		
5°															×								
6°	160	180	170	170	1.18																		
7°	160	160	170	163	1.23										○								
8°	160	150	160	157	1.27																		
9°	145	150	140	145	1.38																		
10°	140	130	140	137	1.46																		
15°	120	120	130	123	1.63																		

○ 湍きながら流れる
△ 河床をころがる

○浮きながら流れる △河床をころがる ×流れないか、又は河床をすべる。

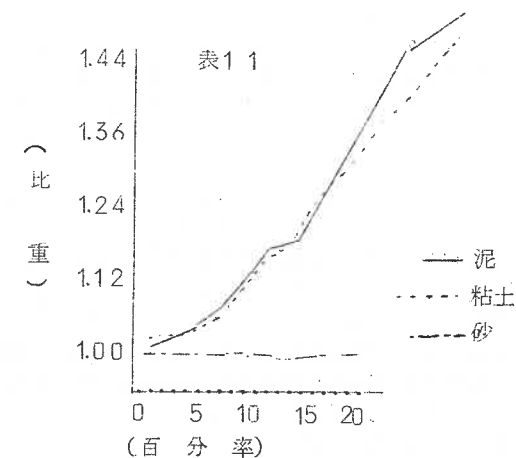
表9 流水の運搬力の実験（揚水井戸）

項目 勾配	時 間 (秒)					小 石 の 重 さ (g)																		
	1	2	3	平均	(m/S)	No1 3.6	No2 4.8	No3 8.7	No4 5.7	No5 19.2	No6 21.1	No7 24.0	No8 17.8	No9 45.1	No10 66.7	No11 52.0	No12 64.0	No13 33.5	No14 57.2	No15 39.5	No16 17.0	No17 16.5	No18 12.3	No19 12.1
1°	250	250	250	250	0.80	△	○	△	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
2°	160	165	160	162	1.24	○		○		○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
3°	140	130	135	135	1.48									○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
4°	130	125	130	128	1.56										△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
5°	115	115	110	113	1.77										△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
6°	112	110	111	111	1.80										△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
7°	105	102	105	104	1.92										△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
8°	095	100	100	098	2.04										○	△	△	△	△	△	△	△	△	△
9°	092	093	095	093	2.15											△	○	○	○	△				
10°	091	091	091	091	2.20											○				△				
15°	085	070	070	075	2.66															○				
20°	050	060	060	057	3.51																			

○浮きながら流れる △河床をころがる ×流れないか、河床をすべる。

表10 砂泥粘土溶液の濃度による比重

	1%	3%	5%	7%	9%	10%	15%	20%
砂	1.01	1.01	1.01	1.015	1.015	1.015	1.015	1.02
泥	1.02	1.03	1.06	1.11	1.12	1.16	1.32	1.42
粘土	1.01	1.03	1.05	1.10	1.12	1.16	1.28	1.40



のれき（重さ17.0g 比重2.5）と、No19のれき（重さ12.1g, 比重3.07）の2つのれきが、前の軽石と同様な状態で流れてゆきました。そこで流速をもつと大きくすれば、すべてのれきが浮いたり沈んだりしながら、流れるだろうと予想をたて、実験をしたところ、私達の予想のとおり実験用れきはすべて、軽石と同様の状態で流れてゆくことがわかりました。その結果を表にまとめてみますと表9のようになります。

このことから、自然の川においても同様なことが行なわれているが、河床勾配が一樣ではなく、上流のように急なところもあれば、ゆるやかなところもあつて、れきの流れる状態も、急流のところでは浮いたり沈んだりして流れるが、ゆるやかなところでは、河床をころがるように選ばれてゆくのではないかと思います。

ところが、私達が川原でみかけるれきは、実験のとき使つたれきより、ずっと大きなものが、たくさんあります。これらのれきは流速だけでは、とても選ばれそうにありませんので、流量も相当影響しているのではないかと思います。こんなことを考えていたとき、クラブ員の1人が夏休みに海水浴に行つたとき、プールで泳いだ場合と海で泳いだときとは、身体の浮きぐあいかなり違うような気がしたといいましたので、私達は考えさせられました。また水泳選手権大会などでも淡水プールの記録と塩水プールの記録を比較すると、塩水プールのほうが記録がよいということを聞きますが、これはなぜだろうかと考えましたところ、塩水は淡水に比べ、比重（1.03）が大きいからであるということに気づきました。

そこでこれまで行なつてきた実験は、清水のみでしたので、洪水の場合と多少条件が異なるのではないかと思います。水の濁りと比重との関係を調べてみることにし、粘土、泥の3種をもつてきてそれぞれを水にとかし、1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 10%, 15%, 20%の溶液の比重を比重計を用いて測定しました。それによりますと泥、粘土は20%まではどうにか比重を測定することができましたが、それ以上になりますと沈殿を生じてしまい正確な値を得ることができませんでした。砂においては、20%になると沈殿する割合が多くなつてしまうので比重も正確にはならないと思います。

ところがこのような濁つた河川水での、れきの選搬される状態を実験することができませんでしたので、これからは台風期、梅雨期を利用して、実験を行ないたいと思っております。

〔4〕 調査のまとめ

- (1) いくつかの岩層が重なりあつたり接したりしている場合、比較的古い岩層は、新しい岩層より雨水、河水による浸食の度合いが大きく特に峰の茶屋西の沢においては湖沼たい積層、安山岩質溶岩、流もん岩質溶岩が接している面がありますが雨水による浸食に対しては古い岩層である湖沼たい積層や流もん岩質溶岩は比較的弱く新しい岩層である安山岩質溶岩は、たい積層や流もん岩質溶岩より強くなつております。
- (2) れきは崩壊地から流水により選ばれるとしたいに角がとれ最後には私達が河原でみるような丸いれきとなる状態を峰の茶屋西の沢でその過程の細部を知ることができました。
- (3) 割目（節理）の発達している岩石は、雨水や河水による浸食に弱くなつています。また断層があつたりもめていたりする場合にも同じ岩質のものより浸食の度合いが大きくなつております。
- (4) 土堤の庵付近にある凝灰角れき岩は、雨水、流水につかると非常にもろくなります。その原因は熱水期より明ばん化作用を受けているため浸食作用に弱く、大きな崩壊地を形成したり流水の下刻側刻作用が急激に進行します。
- (5) 土堤の庵におけるれきの選搬状態の実験からわずか9mくらいの短い距離ではありましたが、テスト用のれきの角がとれることがわかりました。このことから流速の大きいところでれきが流れる場合、河床をすべるように流れるのではなく、ころがりながら流れる転動であることが、わかりました。
- (6) 室内実験においてはれきが流れるときは浮いたり、沈んだりしながら流れたり、河床

をころがりながら選ばれていく実験を知ることができました。

- (7) 流水の選搬力は流速のみではなく流量、水の混濁の度合いによりかなりの違いがあります。

研究者名簿

指導責任者 提橋 昇 先生
室内実験指導者 品川 温子 先生
指導者 伴 昭男 先生

磯 祥治	渡 辺 聡	大田原 稔	阿久津 清二
花 塚 広文	室 井 和信	柳 義雄	山 田 一雄
相 馬 道子	二 宮 栄子	添 田 静子	小 筆 喜代子
柳 井 百合子	山 田 勝己	石 田 和雄	石 原 政一
高 橋 一雄	鮎 瀬 明雄	高 崎 和夫	高 瀬 愈一
八木沢 賢治	岡 部 好一	松 本 政光	中 山 芙美子
阿久津 トシ子	深 沢 俊江	村 上 久子	吉 成 久幸
石 海 賢次郎	郡 司 兼典	斉 藤 康広	佐 藤 一郎
窪 田 政子	相 馬 君代	平 山 環	手 塚 ミツ子

荒 瀬 恭一	伊 藤 勇一
轟 次男	小 高 ミツイ
佐 藤 近子	田 中 春代
木 下 郁雄	藤 田 久男
高 橋 重久	庵 田 大
畠 田 早苗	黒 谷 みよ子
花 塚 矢太郎	室 井 和男
佐 藤 一之	三 森 静治

昭和40年度

岩石風化の研究
地学的災害予防研究 その2

〔1〕 はじめに

私達地学クラブ員は、今までの年間地下水および温泉の研究に焦点を合わせて、その成果を発表してきましたが、これは主として、地下水や温泉の存在機構を地質学的解明にとどまりましたが、これらの研究の過程で調べてきたいろいろな問題、地下水の分野では、地下水が帯水する砂れき層がたい積したことについては、過去の河川の変化、浸食、運搬、たい積現象が関係し、また山岳部の産錐地帯では、風化、崩壊が関係しています。

温泉分野では、とくに噴気地帯においては、過熱蒸気、化学成分等による岩石の変化、風化、崩壊が関係しています。これらはいずれも大局的にみれば、いずれも、過去、現在、未来の災害現象に直結しているもので、今までの研究の傍証資料を生かしながら、災害予防研究の一助として、研究を進めている次第です。

昨年は災害予防の一報として河川の浸食運搬、たい積に関する中で、れきの運搬力について研究しましたが、研究期間が短かつたため、現場の実験の報告のみにとどまつてしまい、結論を導くまでに至らなかつたので反省の結果、この問題はさらに継続研究を行ない、数年後に発表することにし、今回は、これらの問題の基本である岩石の風化に焦点を当てて、今までの研究したものを発表することにいたしました。

〔2〕 研究の動機

私達の郷土の高原地帯は数年前までは、ほとんど原野で閑静そのものでしたが、最近では観光ブームにのり、高原山岳部の開発が進み、観光道路、団地造成が急ピッチに進んでおります。毎日、ブルドーザーで山をけずり、谷をうめ昔の面影は日に日に失われつつあります。しかし、これらの開発のかけには必ずといって良い程水問題で困り悩んでいるようで、私達地学クラブにも、最近では、山岳、山麓地下水の相関や調査依頼が多くなり、現場にたびたびでています。

このような開発地の調査に行つてみて痛感したことは、地下水の湧出は量を見逃してながめますと、地山と埋立土砂の境から湧出しているものが圧倒的多いということです。また、雨量の多い梅雨期の後などに行つてみると、普通地下水の湧出している所程多く土砂くずれがみられます。一方、新聞でも毎年この時期には毎日のように、災害が報道され、最近では川崎の住宅街の石炭ガラの黒いなだれの惨事等は、私達にも大きなショックを与えました。

私達も、将来このような埋立地に働く場所を求めるかも知れないし、また、生活する場所とならないとも限りません。その意味でも私達の生活の安全を守るためにも、災害予防の認識を深めるためにも、その大きな要因の中の一分野でも研究してみようということになり、岩石の風化という単純な問題と取りくむことになりました。

岩石の風化といえは、災害要因からみれば、災害の出発点であるにもかかわらず、その文献等の資料も少なく、人手困難でありますので私達は理論より現実をありのままの形で発表することに致しました。しかし、この種の研究の中には必ず、地下水が媒介しており、研究のいとぐちをつかむには非常にプラスになりました。

〔3〕 岩石風化の因果関係と取り上げる内容、順序

岩石風化の因果関係の中で、研究として取りあげたものは、私達の身近に関係するもの、岩石についていえば東北地域を、災害についていえば地すべりと、数多い現象の中から選択して、焦点を合わせ、風化に至るまでの過程から災害に結びつくまでの過程を現地調査（塩原、那須、馬頭地区）と、校内実験を合わせて観察、考察しました。

取りあげる内容と順序は、岩石の風化と、風化と災害の大項目に分け、岩石の風化につい

ては、基礎的な問題である吸水率をはじめに取り上げ未風化岩の吸水率の高、低から、岩石の特徴を調べました。次に未風化と風化岩との吸水率を調べ、比較し、風化促進の要因のヒントをつかもうと考えました。以上の吸水率の実験から風化の進行は、含水量と気温の変化によつてだいたい決定されるものと考え岩石を水中に入れ冷蔵庫を利用して、凍結させ、その後融解させる実験を思いたち「水の凍結融解と岩石風化の進」という題をかかげ吸水率の多かった泥岩（無層理、層理発達のもの2種）、凝灰岩ではちみつな流紋岩質凝灰岩をとりあげ、風化進行の過程を観察し、岩石類による風化の特徴と、風化進行の速度をとらえることに重点をおくことにしました。

次に現地調査で風化の形態には種々のものがみられたので採集した標本において校内実験を試み、その要因と特徴をつかむことに力を入れ物理的風化と化学的風化に区分して考察することにした。

風化と災害（地すべり）項目に移り、そのはじめに、岩石風化の進行と滑行運動をとりあげました。風化岩の多いところは山地が多く、滑行運動は山の斜面で行なわれますので、塩原大綱の崖錐地帯で現地調査を行ない、統いて調査を基礎に校内で実験を試み、滑行運動する地形勾配や風化岩片のたい積の状態をしらべることにしました。

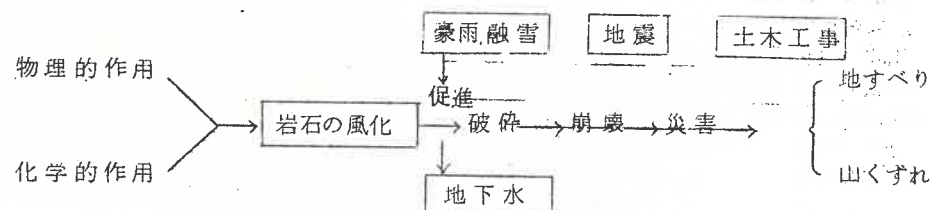
最後に現在地すべりを起している馬頭町の馬頭院の調査を行ない、いままでの風化の研究を基礎に地すべり災害との関係をまとめとして導きだすように考えました。

〔4〕 岩石の風化

(1) 岩石の吸水率

岩石の風化を促進させる要素として、水の占める位置が大きいという予想のもとに、基礎と思われる岩石の吸水率を調べることが、風化の促進の度合い、強弱を推察する手がかりとなると考え、今まで採集した岩石について調べることにしました。

実験はサンプルの乾燥重量を W_1 (gr) 蒸留水中に2昼夜48時間浸した後の空中重量を W_2 (gr) として次の式で求めました。



$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

岩石については県北地域にみられる花こう岩、石英ハン岩、安山岩、粘板岩、れぎ岩、砂岩、泥岩、凝灰岩を用い、さらにこれらの岩石を未風化岩、風化岩に分けて調べてみました。実験結果をまとめてみると

A 未風化岩の吸水率

順 位	1	2	3	4	5	6	7	8
吸 水 率	14.1	10.0	6.1	3.0	2.7	2.1	0.5	0.1
岩 石 名	砂 岩	泥 岩	凝灰岩	れぎ岩	安山岩	粘板岩	花崗岩	石英斑岩

B 未風化岩で吸水率の高い岩石の特徴

砂岩、泥岩、凝灰岩、のような鉱物粒子が極めて小さく、粒土鉱物を多く含み、固結度が小さいもろい岩石が吸水率が高いように考えられます。

C 未風化岩で吸水率の低い岩石の特徴

花こう岩や石英ハン岩のように、結晶粒が比較的明瞭で固結度が大きい岩石が吸水率が低いように考えられる。

- 砂岩、泥岩、凝灰岩のように、固結度の低い岩石は風化するに従いさらに低くなり、空隙が多くなり吸水率が急に高くなる。
- 安山岩、粘板岩、花こう岩のようにちみつで固結度が高い岩石はわずかの風化では、吸水率はめだつほど増加しない。

ただし固結度が高くても、等粒状組織、ハン状組織（ハン晶の大きい岩石）をもつ火成岩では、風化はすすみ、サンプルの石英ハン岩のように、ハン晶と石基が分離するようになれば急激に吸水率は高くなります。

(2) 水の凍結融解と岩石風化の進行

吸水率の割合高いと思われる岩石で、分布の広い一般的構造をもつ岩石、泥岩（無層理）泥岩（葉理発達）、流紋岩質凝灰岩を選んで実験しました。

実験に当たっては岩石の一面をみかき、平面にしてとりかかりました。

この実験は放課後当番を決め、岩石を水に浸したまま調理室の冷蔵庫に入れ、 -20°C に保ち、凍らせ、次の日の朝とり出し、日中自然融解させ、風化進行の過程を観察しました。

その結果は次の通りです。

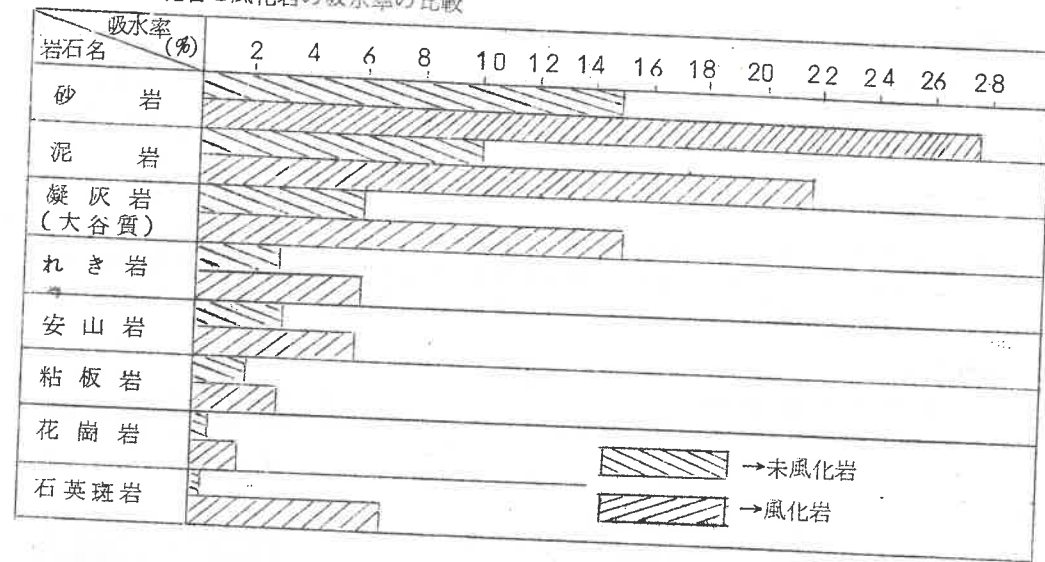
A 泥岩（無層理）風化の進行

2日目まで直径1～2cmの円形の割目が連鎖的に入り、3日目まで割目の部分が同心円状にひびが入り、たまねぎ状にわれはじめ、たまねぎ状のうすい岩片はさらにくだけ、泥土化し、5日目まで60%泥土と化した。

B 泥岩（葉理発達）風化の進行

硬質泥岩（葉理間隔のせまい木の葉石）では、4日目まで葉理面に沿って割目ができ、12日目には完全にくりし、その面には木の葉の原形があらわれました。硬質泥岩（葉

D 未風化岩と風化岩の吸水率の比較



理間隔のあらい木の葉石)では4日目で葉理のあるところは亀甲型の割目ができ8日目ですれぼろぼろになり10日目ですれどろとなりしました。

C 流モン岩質凝灰岩の風化の進行

6日目ですれどろに肉眼で観察できる細かい割目ができ、割目ができからは凍結による膨張の力で急速に割目が大きくなりました。割目が大きくなるとさらに圧力が加わり、周囲にも面に直角に割目を生じ、連鎖的に風化が進み、17日目には、本もののひびが入り割れはじめました。割目の生じた場合はこの場合、外側から進行したものではなく、内部から生じ、割目の中心付近が最も広いすきまができます。このようにちみつな岩石が内部から割目が生じ連鎖的に外側へのびる力を調べるために、試験管を使用してみました。一本は割れかたの特徴をみるために満水し、きつくコルク栓でふたをし、一本は膨張をみるために2000水を入れ冷蔵庫に入れ凍らせました。次の日取出してみると満水にしてふたをした試験管は内部にひびが入って割れ、2200のところまで約10%膨張しもりあがっていました。従って岩石の含水凍結による割れかたは、約10%の膨張するときの力で破碎されることがわかりました。

(3) 風化の形態

A 物理的(風雨、気温の変化など)風化の形態

a 玉ねぎ状風化

o 泥岩

もろくてやわらかい。大気と水の作用により風化。

o 安山岩

ちみつでかたい。水の作用による風化。

b 柱状風化

1. 方状

流モン岩(塩原大綱)。ややちみつでかたい。大気と水の作用による風化。

2. 多角状

凝灰質泥岩(塩原大綱)。やわらかくてもろい。大気と水の作用による風化。

安山岩(那須岳)。ちみつでかたい。大気と水の作用による風化。

3. 板状風化

凝灰岩(塩原大綱)ややちみつでもろい。大気と水の作用による風化。

B 化学的(火山ガスと水)風化の形態

a 硫酸作用による粘土(三斗小屋噴気)

白色粘土 赤色粘土 灰黒色粘土

b 熱水液による変質安山岩

(那須火山岩土噴気)

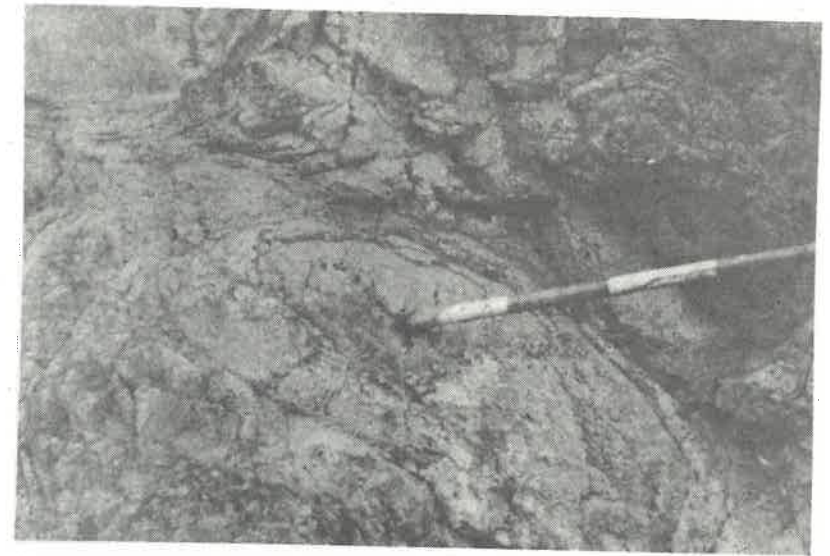
安山岩中のキ石、カクカン石等の鉄分を含んだ鉱物に変化し、緑泥岩に変化し緑色を呈し、組織は不明瞭になっている。

またこのように変質したところは黄鉄鉱が入っているのが特徴です。

C 熱水液によるミョウバン石化

(那須岩土噴気)

o 安山岩



ちみつでかたい。熱の作用による風化。

b 柱状風化



板状風化

SO_2 , H_2SO_4 を含む熱水液が岩石中の長石と作用し、ミョウバン石 (K_2SO_4 , $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$, $2\text{Al}_2\text{O}_3$, $6\text{H}_2\text{O}$) に変質します。

従つて岩石はこの作用で長石分は変色し組織は全く不明瞭になる。さらに、これに黄鉄鉱が入っている。希硫酸を用いて火山地帯および温泉地帯にある岩石をサンプルとして実験した結果次のようになりました。希硫酸を用いた理由は、火山ガスは熱水液に関係することから火山ガスに SO_2 を含んでいれば過熱蒸気および地下水と作用して、 H_2SO_4 になることが予想されるの



で、実験に使用しました。実験に使用した岩石は安山岩、流モン岩、緑色凝灰岩で、安山岩については、ハニ晶の長石の部分に変化し、次々にハニ晶がくずれ組織が不明瞭になりました。流モン岩については、長石の成分に含んだ白色の石基の部分から変化しはじめ、表面からくずれはじめました。

緑色凝灰岩については、流モン岩と同じく表面よりくずれはじめたが、たい積岩であるため粘着力が弱く分解は早く、泥土化してしまいました。

以上の風化の形態には、種々のものがありますが、物理的風化においては、泥岩のたまねぎ状風化は最後に泥土化するために水分を含むと、滑動的な役割を果すので、斜面においては崩壊、湧出の危険性が考えられます。また、柱状風化、板状風化は水分を含んでも、直ちに粘土化はしないが、地形勾配が急で、支持力を失うと大きな崩壊が考えられます。化学的風化においては、硫黄作用によつて、生じる粘土は水分を含むと、上部が滑動的役割を果すので、その上部に火山角れき等の被覆物があると崩壊の危険性があることが考えられ、ミョウバン化作用も長石が風化するため水分を含むと上記と同様に危険性が考えられます。また凝灰岩等の場合は酸性水には非常に弱いことから崩壊より流出の危険性が考えられます。

〔5〕 風化と災害

(1) 岩石風化の進行と滑行運動

塩原大綱地区の標高560mの崖錐地帯で、現地調査を行なった結果を述べます。

塩原地区の気温の年較差をしらべてみますと(栃木県の気象参照)26・27年間の平均で最高気温27.2℃、最低気温が-5.6℃になっておりその較差は約33℃におよんでいます。

大綱地区は凝灰岩は板状節理が発達し風化たい積も板状岩片からなっています。現場では風化のはじまりから滑行、たい積まですべて見る事ができましたので、その過程を推察することとします。

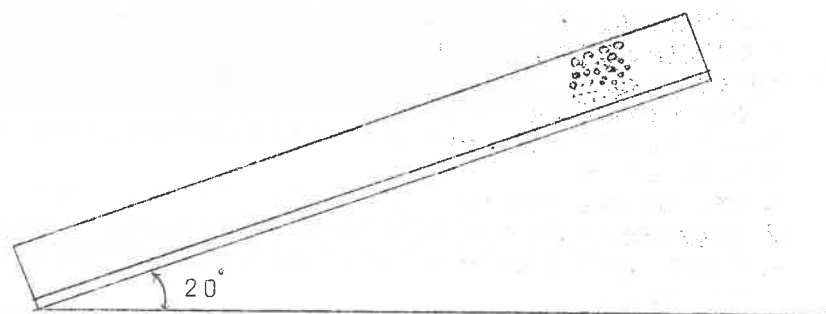
1. 降水、降雪および気温の変化によつて板状及び方状にわれながら風化が進行する。
2. 天水が浸透して、地下水となり下部の風化岩の割目や未風化岩の上部に湛水する。
3. 風化岩が、凝灰岩であるため地下水により粘土化し、さらに一部は滑度の大きいベントナイトに変化する。
4. 水分を含んだ風化岩が重くなると粘土形成部が「滑動帯」となつて、滑行がはじまる。
5. 水分を含んだ粘土があるうちは、滑行が続き、粘土がなくなるか少なくなるかと滑行が止まる。
6. 滑行たい積面の傾斜は、才1次滑行が大で才2次滑行では、才1次滑行たい積物の上にかさなるのでゆるくなる。

(2) 地形勾配と滑行たい積

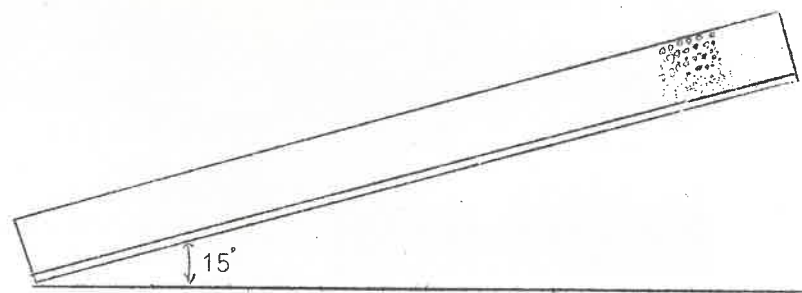
滑行運動は地形勾配に大きく左右されると考えていましたが、塩原では切取断面であつたため測定できず、たい積勾配のみの測定で終了してしまつたので校内実験で試みることにしました。

断面がみえるよう測面をガラスばりにし、風化岩石は塩原大綱の現地で採集したものをしました。実験の結果は次の通りです。ただし実験は6回ずつ実施し平均をとり2人3人で5区分で表わしました。

- A 風化岩と未風化の境が、粘土が進まず乾いている場合。
くずれはじめの傾斜角 20°
完全にすべり落ちる傾斜角 45°

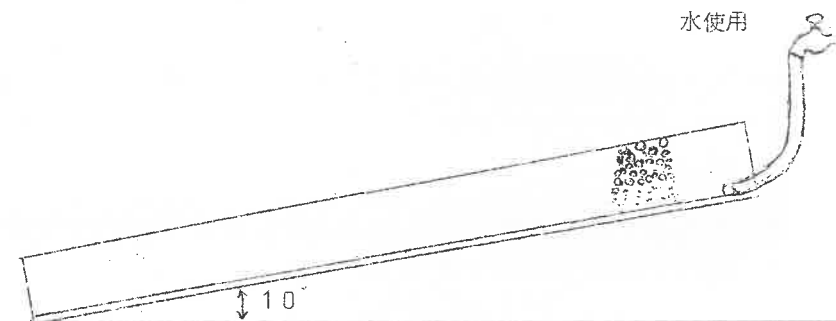


- B 風化岩と未風化岩の境が粘土化され乾いている場合。
くずれはじめの傾斜角 15°
完全にすべり落ちる傾斜角 30°



- C 風化岩と未風化岩の境が粘土化され地下水が流動している場合。
くずれはじめの傾斜角 10°
完全にすべる傾斜角 20°

以上の結果、滑行する地形勾配は粘土と水に支配され、両者が満されると緩傾斜でも滑行することが考えられ多雨期に緩傾斜地にみられる地すべり災害等はこの両者が満たされ



る環境にあるときに起るものと考えられます。

- D 滑行たい積

はじめに下部の滑動面の粘土分が押し出され、不安定となつて風化岩は滑行開始し、大きい破片物を下位に小さい破片物を積重ねていき、最後に粘土をたい積し、滑行たい積は終る。その写真と概略図を示せば次のようになります。

滑行順序

1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6

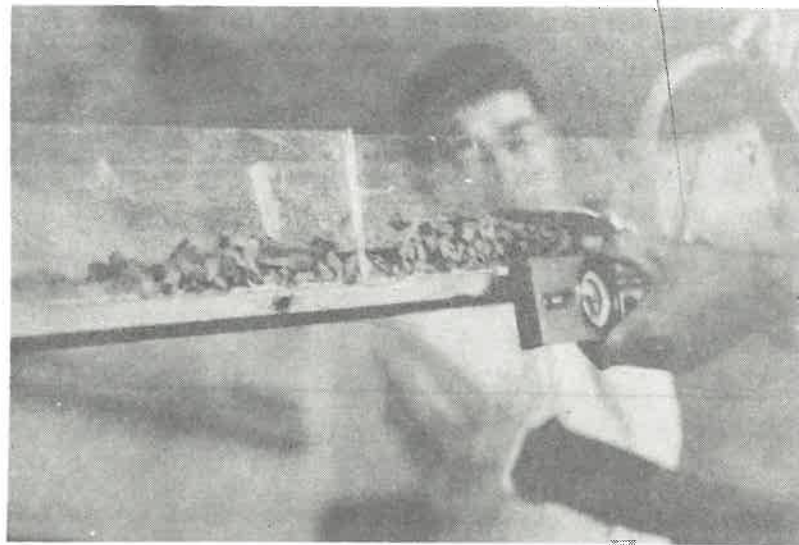


滑行たい積順序

1 → 2 → 3 → 4



滑り傾斜角度の測定



(3) 地すべり災害(栃木県馬頭町馬頭院)

A この調査にあたって、(才1次調査)

この調査は、本校の関先生が親戚で年々土地が動いている場所があると聞かれ、今私達が風化の研究を行なっているのです、それと関係ある一つの問題かも知れない。ひよつとしたら何かをつかめるのではないかと思います、関先生に紹介状をもらい、現地に乗りこみました。

現地では主人は親切に土地の変化のようを教えてください、調査が進行するにつれて、風化と大きい関係をもつ重要な発見をしました。

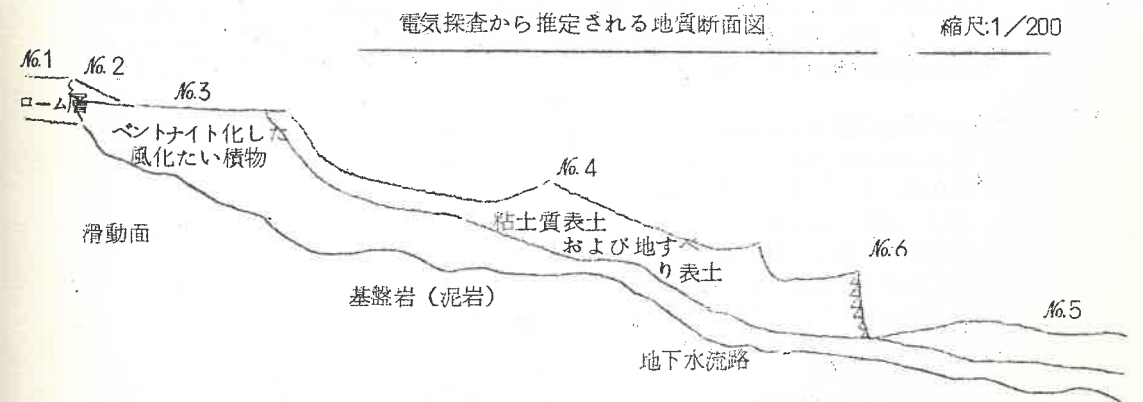
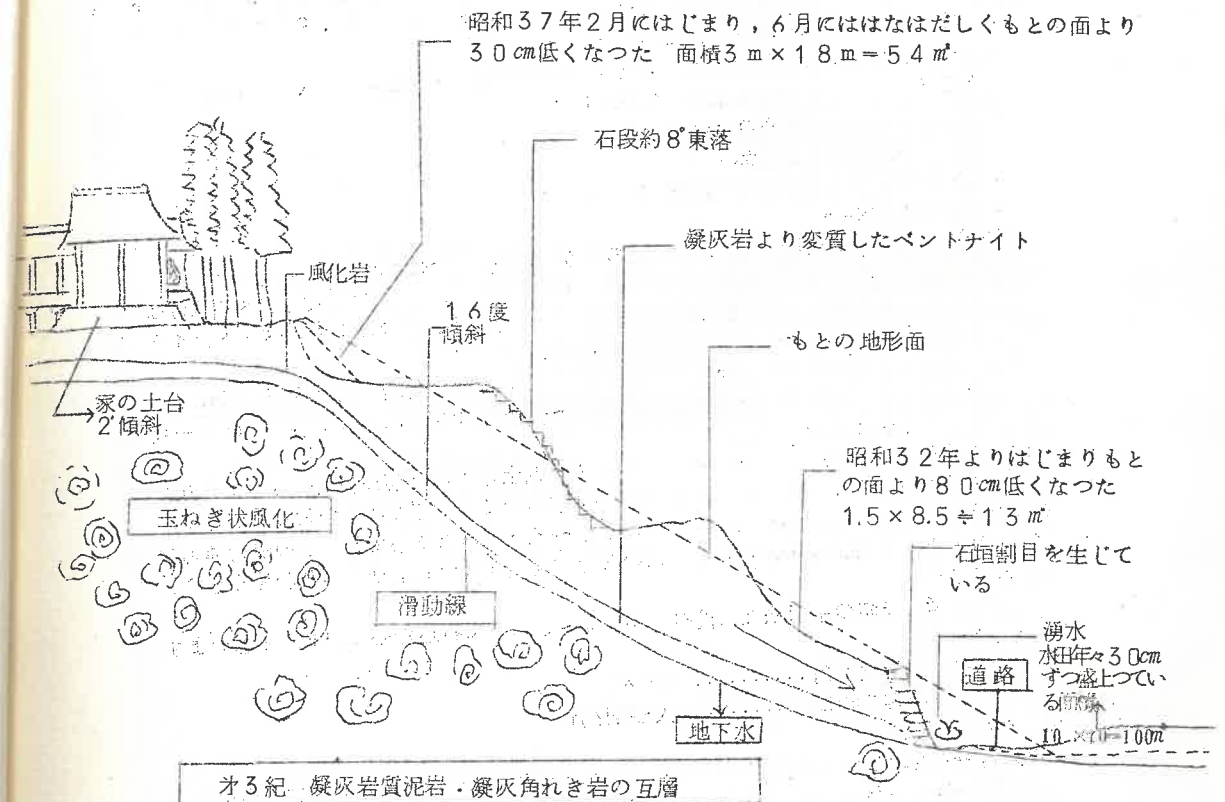
提橋先生から授業で地すべりのときは、才3紀層の凝灰岩の変化したベントナイトがあると非常に危険性があることを聞かされていたことを思い出し、ベントナイトを見つけることに総力をあげました。

たまたま滑動すると思われる部分に凝灰岩が風化し、水につけると非常につるつるするものをみつけました。恐らくこれがベントナイトだろうと思い、主人にたずねたところベントナイトであることを知り、しかも地すべり現象の地下要因の最も大切なものをつかんだと思われ、調査の自信を得ました。

土地の変化は予想した以上に規模が大きく、昭和32年、昭和37年と2回大きく滑動し、一見陥没のような凹面を呈し、滑動によるたい積物は平地であつて田面を下から盛上げ、切取地の石積に変化をきたし石段は傾き、家屋の土台も2°傾き、更に地下構成岩は、凝灰岩で風化物はベントナイト化し、湧出もみられるので、いまだに地すべりの危険性を感じて帰ってきました。

B 調査の概要

a 地形断面と土地の変化(露頭の観察)



B. 馬頭院，地すべり地の電気探査

才1回の露頭調査で地すべりの現象はつかむことはできましたが，地下の構造を知らなければ本当の地すべりの実態をつかむことはできないということになり，ここで地下水調査に利用している電気探査を行なってみようということになり，9月12日地学クラブ3年生だけで再び現地調査にでかけました。

順序はハンドレベルによる地形測定，それがおわつてから電気探査に入りました。

測点の位置は，次のことに留意し行ないました。

1. 現在地すべりに影響のない台地。
2. 地すべりの起つた地点。
3. 地すべりによる土砂のたい積物。
4. 地面の隆起点。

電気探査は全部で6測点行ない，別表のような比抵抗曲線が作れました。

それを解析し，組立てたのが前ページのような断面図です。この結果地すべり地帯は過去のすべりおちた粘土を混えた風化物の表土層とその下にすぎ間の多いベントナイト化した風化物があり，3～3.5 mで基盤に達しております。

地下水は湧水と電探資料から判断してベントナイト化した風化岩と基盤を境に流れていると考えられます。地すべりの滑動面は深さ3～3.5 mで勾配は，地形勾配とほぼ一致していることがわかりました。

水田面の隆起は3～3.5 mにあるベントナイトで粘土化された部分が上から地すべり面にそつてすべりおち，勾配のゆるやかになつて水田面ととまるため，隆起しているものと思います。今後の地すべりははじめに深さ3～3.5 mのところではずかの滑行運動が行なわれると，支持力を失なわれた表層の部分に変化をきたし，地すべりが起るものと思われまふ。

この事から考え予防の中で松丸太杭打ち深さ4～5 mまで打込む必要があると思います。

C. 調査のまとめ

1. 地すべり地形傾斜角.....約16°
2. 地すべりの起る時期.....入梅期6月
3. 要因

凝灰岩から変化してできたベントナイトがこの地すべりを誘発する滑動的役割をなし地下水に接していちじるしくなる。

d. 対策

地すべりはベントナイトに，水分がある間は続くことが予想されるので横穴排水による水の除去，ベントナイトまたは，粘土生成の防止，粘土の散いつが必要であると思います。また石積に変化をきたしているのて，動くちよう候が考えられるので，松丸太を打込む杭打工法も有効と思います。

〔6〕 風化と災害に関するまとめ

- (1) 災害に関係する岩石
吸水率が多い，風化しやすい岩石
砂岩，泥岩，凝灰岩
- (2) 風化により粘土化する岩石
たまねぎ状に割れる泥岩，凝灰岩
ミョウバン化作用を受けやすい長石を含んだ岩石
酸性の水に変化しやすい凝灰岩
- (3) 崩壊しやすい岩石
凝灰岩のうちで，硬質の方状，多角状，板状に割れるもの。
- (4) 滑行運動の誘発
地下水と粘土，または凝灰岩変質によるベントナイト。
- (5) 滑行する地質の勾配

粘土に水分を含む場合は10°～20°の緩傾斜で滑行する

(6) 風化促進および地すべり災害の時期，融雪期，多雨期。

(7) 地すべり災害防止法

風化岩の粘土化防止，地表水，地下水の排水機構の確立。

研 究 者 名 簿 (40年)

高 崎 和 夫	高 橋 重 久	木 下 郁 雄	石 田 和 雄
高 瀬 憲 一	滝 田 大	八木沢 賢 治	岡 部 好 一
畠 田 早 苗	黒 谷 みよ子	深 沢 俊 江	村 上 久 子
三 森 静 治	佐 藤 建 夫	石 海 賢次郎	郡 司 兼 典
手 塚 ミツ子	田 代 みどり	永 山 操 子	金 川 一 郎
黒 崎 光 男	池 田 茂 男	高 野 岸 一 郎	五 月 女 光 男
青 木 寿 美	寺 崎 ヒロ子	渡 辺 美知子	東 泉 幸 恵

高 橋 一 雄	鮎 瀬 明 雄
松 本 政 光	中 山 美 美 子
吉 成 久 幸	室 井 和 男
相 馬 君 代	平 山 康
大 貫 秀 人	磯 秀 一
吉 成 邦 和	室 井 恵 子
阿久津 トシ子	

昭和41年度

「岩石風化と土砂流出の基礎的考察」

地学的災害予防の研究・その3

〔1〕 はじめに

私達地学クラブ員は、過去13年間におたり、地下水の研究を中心に、那須火山、栃木県の温泉の研究を続けてきましたが、一昨年の夏休み中に、クラブ員が学校からの帰途夕立にあい雨やどり後、帰路についたが、道路は河原のように大きなけが露出してしまい自転車で通るのに苦労をしたという話をきき、私達は流水のはたらきのはげしさにおどろき、流水が地形に与える影響が大きいことを、あらためて知らされました。そこで私達は、私達なりの考え方、調査の仕方での流水の働きについて調べてみようということになり、地下水調査と平行して実施することになりました。

私達の学校は、通学範囲が広く、ある者は那須野が原の扇状頂部より20kmも自転車で通っていたり、ある者は扇端部より通学しています。そこで、地学クラブ員は、那須野が原の舗装されていない道路について、各地区ごとに調査し、しかも流水による被害のあつたところを調べてみましたところ、意外に多くの道路が雨水のためにいたんでいることを知りました。（このことにつきましては第1報で報告しました。）その原因を調べてみたところ、そのほとんどは雨が降ると（1日50mm以上）集中的に水が流れ道路の土砂をけずりとつてしまい、あとには玉石が露出してしまふことがわかりました。私達はこの現象に興味を持ち、実際の川ではどのように侵食、運搬、たい積が行なわれているかを調査を開始してみますと河床は、川水の侵食作用でけずりとられたとは思えない程多量のれきが存在しており、調査が進むにつれて現在の河床れきは上流の崩壊と密接な関係があることに気づき、上流の崩壊調査を実施することになりました。私達は今年の夏休みを利用して、蛇尾川にキャンプをしながら崩壊調査をしました。この崩壊調査では崩壊は岩質および岩石の風化に左右されることがわかりましたので、次に岩石の風化について野外調査と室内実験をすることになりました。このように つぎつぎに調査をしてきますと、岩石の風化は地質災害の大きな要因となつていくこともわかりました。それにもかかわらずこれまではあまり岩石の風化現象が研究されておらず、私達も苦労しました。この岩石風化に関しては、昨年野外観察、室内実験の両面から研究を進めてきましたが、まだ資料が完全とは言えなかつたので本年も、昨年に引き続き、岩石風化について野外観察および室内実験を実施し、昨年の資料と比較することになりました。また岩石風化が極度に進むと、山崩れや大きな崩壊が発生し、これらの崩壊れきが河床に、あるいは、崖にたい積すると、洪水時には囲りの岩をけずりながら下流へと運搬され思わぬ災害を招くこともあります。あるいは地下水の働きによつて岩石がベントナイトに変化すると、これが滑劔となり地すべりを起す原因ともなりますので、私達は昨年の研究をさらに発展させ、地質災害の要因である岩石風化、川の働きの基礎的な事実について調査研究をしましたのでその結果を報告いたします。私達がこの調査を実施しているころ黒磯町高林の百村、木の俣ずい道が台風4号による出水で、土砂が流入し水田耕作に支障をきたしたため、その流出土砂を取り除く作業中、不注意とはいえ、多数の犠牲者が出てしまいました。これらの方々には深い哀悼の意を表するとともに、私達の研究をますます進めていかなければならないと痛感しました。

〔2〕 岩石の風化

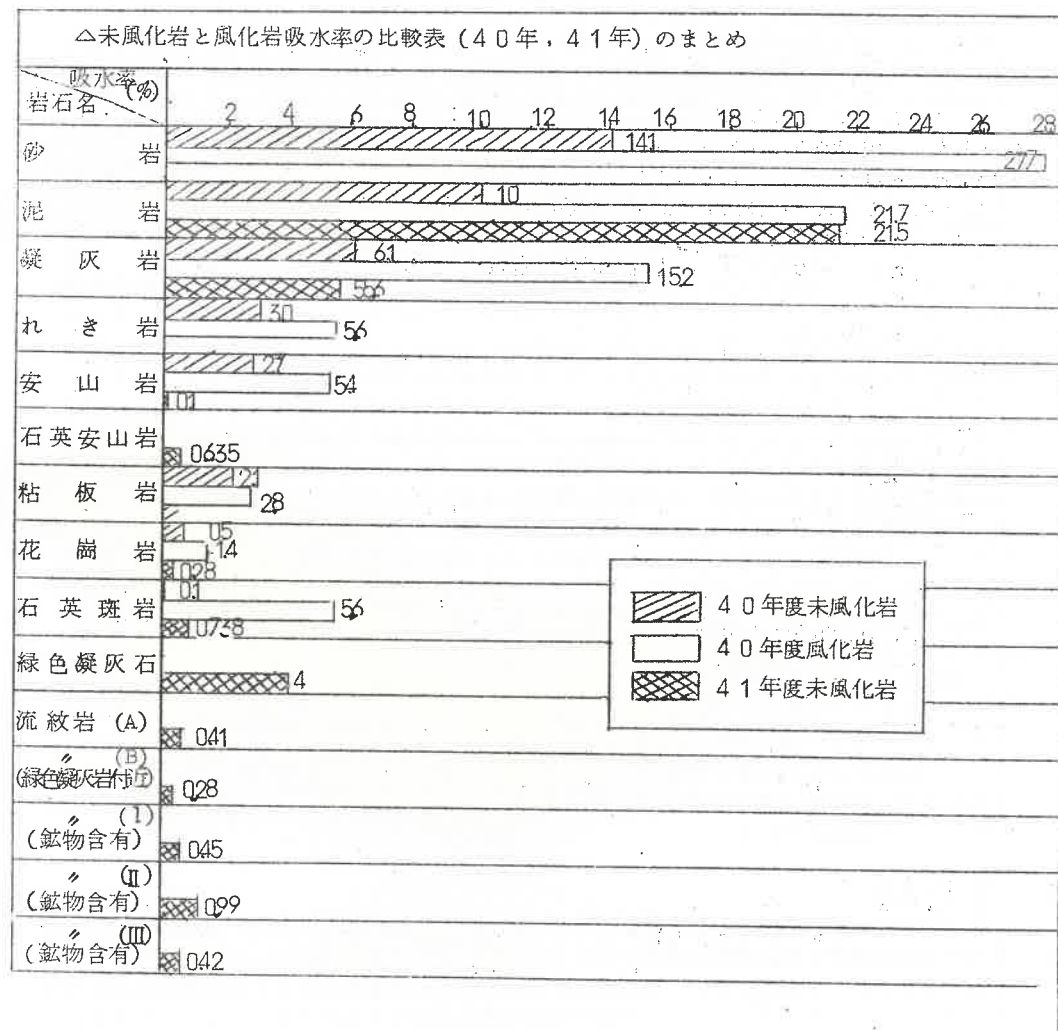
私達は昨年岩石の風化について現地調査および室内実験を実施しました。その結果にもとずき今年も野外調査と室内実験を実施することになりました。この研究には、私達の身近にある岩石をとりあげ、現地調査では、岩石風化が直接、間接に災害に与えている影響を私達なりに考えてみました。次に現地調査および室内実験で得られたことを記することにいたします。

(1) 岩石風化の室内実験

この実験に使用した岩石は、主に私達が住んでいます北那須地方に産するものを使い実験してみました。実験は昨年と同様に吸水率を調べ（吸水率 $\% = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$ ）、充分水を吸収させるために、48時間蒸留水につけ、冷蔵庫に24時間入れ凍結させる。その後冷蔵庫からとりだして、24時間放置して温度を上昇させる。この操作を何回もくり返して実験をしました。今年とりあげた岩石は、花こう岩、石英はん岩、安山岩、粘板岩、砂岩、泥岩、凝灰岩の未風化岩を用いてみました。

この実験では、泥岩がわずか1日で葉理面にそつて亀裂が入り氷がとけるにしたがい完全にくずれてしまいました。また流モン岩は10日目に割れ目が一体にでき17日目はさらに拡大19日目に完全にわれてしまい昨年の実験結果と、かなり異つた状態になつてしまいました。私達が実験をした岩石のうちこの2つに変化がありました。他の岩石にはほとんど変化はみられませんでした。

才1図



この実験の結果、昨年の資料とかなり異なつていますのは、今年はとくに未風化岩のみをとりあげたからだと思います。

(2) 野外調査

現地調査ではおもに風化の形態について調べその風化岩が地質災害に及ぼす影響を調べることにいたしました。

A 風化岩の形態

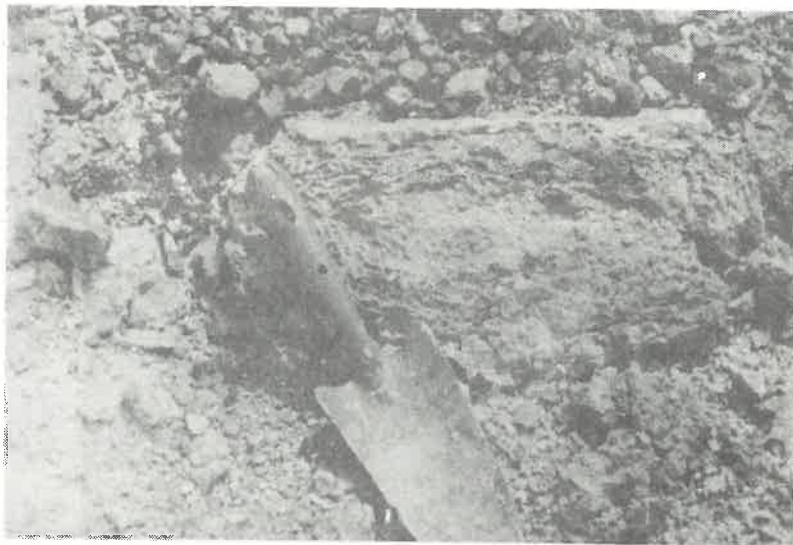
a 物理的風化（風雨、気温の変化などの形態）



玉ねぎ状風化（泥岩 — 塩原町）



玉ねぎ状風化(安山岩—那須湯本)



板状風化(安山岩—那珂川)



b 化学的風化

これは那須温泉、三斗小屋噴気にあるもの原岩は安山岩であります。安山岩が熱水液の作用を受け岩石中の長石がミョウバン石に変質してしまったものです。このように安山岩は熱水に長時間さらされるとミョウバン石と変質、組織が全く不明に

なつてしまいます。安山岩のほか、流もん岩なども熱水にあいさすとミョウバン石に変化してしまいます。

安山岩(那須三斗小屋)

熱水によるミョウバン化作用

このように岩石の風化には物理的、化学的作用によることある程度わかりました。そこで私達は、このような岩石の風化が災害に及ぼす影響をいろいろと考えてみました。

1. 山くずれ災害

2. 地すべり災害

3. 洪水災害

などがあることに気づきました。

一般に山くずれはがけのすいたい積物や極度に発達した風化岩、あるいは才三紀層のように比較的やわらかい地層の部分に起こりやすいということを、新聞などの記事より知りましたし、地すべりには地下水の作用により、岩石が変質しベントナイト化してそれが滑剤となり地すべりを起こすことが多いことに気づきました。また洪水災害には、河川の土砂運搬によるものが多く、上流山間部での岩石の風化による山崩れ、河床の状態などが大きな要因となつていないかと思ひまして今年はとくに河床の実態をつかむことに主眼をおいて調査をしたわけです。

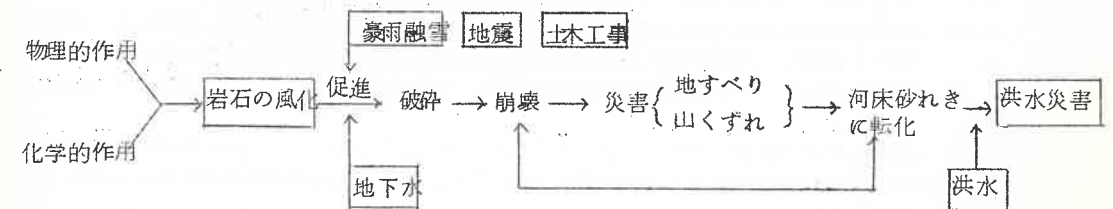
調査の対象とした河川は那須野が原に影響のあります蛇尾川と那珂川の2河川にしました。

〔3〕 蛇尾川、那珂川の河床砂れき調査

岩石が風化し破壊され山崩れや、崩壊が生じた場合、崩壊たい積物は洪水時や集中豪雨などがあると流水によつて河川に流出し河川水によつて下流に運搬され流速がおとろえるにしたがつて重りものから順に河床にたい積してゆく。したがつて上流には、大れきが、下流に

岩石風化と災害の因果関係

才2図 岩石風化と災害の因果関係



なるにしたがつて小れきになるはずであるが、実際にどのような変化をしているかははつきりとわからない。そこで私達は那須野が原を流れている蛇尾川と那珂川において現河床れきについて調査し川の働きの実態をつかもうとしたわけです。事実このような簡単な調査であつても川の運搬力の傾向をつかむこともでき、ひいてはもっと精度の高い調査に入る基礎ともなり洪水災害防止のための基礎資料ともなることと思います。このような観点から蛇尾川那珂川の河床れきについて調査したわけです。

A 調査計画

調査にさきだち私達は次のような計画をたてました。

- (1) 資料の採集は現流路より約1m離れたところの2m×2mの範囲にある表面から約10cmの深さの砂れきについて任意に、100個ないしは500個選り分け、岩質別に円磨度を測定する。
- (2) 円磨度測定については事前に標準をつくり(いくつかのれきを写真にとり)H.Welzelの方法 $P = \frac{F}{R}$ により円磨度を求め円れき、0.76以上、垂円れき0.75~0.61、垂角れき0.60~0.41、角れき0.40以下とする。(現地では各れきごとにこの標準と比較して選別する。)
- (3) 10mm以下の砂れきについては円磨度調査が困難なため実験室に持ち帰り粒度分析をする。
- (4) 測点の位置は、流路および河床勾配の急変するところをさけて、2km~3kmおきとする。
- (5) 枝沢がある場合には枝沢の砂れきについても調査する。

以上の計画をたて私達は4月より土曜日や日曜日、夏休みなどを利用して調査をしました。その結果を述べることにいたします。(この調査の前提となり、現河床れきの起源となつている蛇尾川、那珂川上流の地質は後で述べることにいたします。)

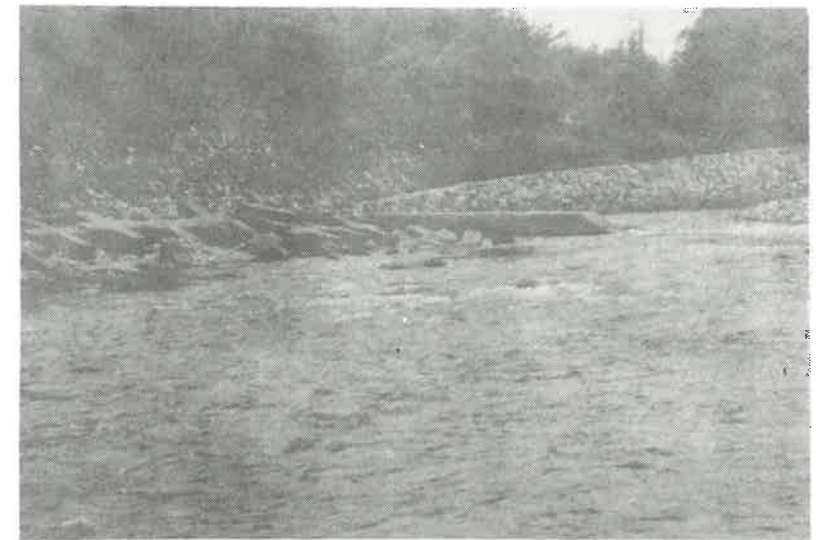
B 蛇尾川、那珂川の状況

(1) 蛇尾川

今回の調査地域は小蛇尾川にある東京電力蛇尾川発電所、取水口の上流約4kmから大田原市親園の澗川との合流点より上流までの約30kmで、澗川との合流点より上流25km(曇沼)までは扇状地となつており一面は砂れきで被われ普断は水が浸透してしまい表流水はありません。そのため、流水がおこるたびに流路が変わり、土砂の運搬がはげしく、両岸に築いてある堤防は堤防としての役割が果せなくなつてしまうようなありさまです。また最近では砂利トラックが入り、河床の砂利を多量にとつてしまうために、河道が急激に深くなり、そこに流水が集中し、流速が速くなるため、下刻作用、側刻作用が活発になり河床がえぐりとられてしまうための現象に思われます。扇頂部のすぐ上流には大蛇尾川、小蛇尾川の合流点があり、この合流点のところには大きなえん堤が築かれています。

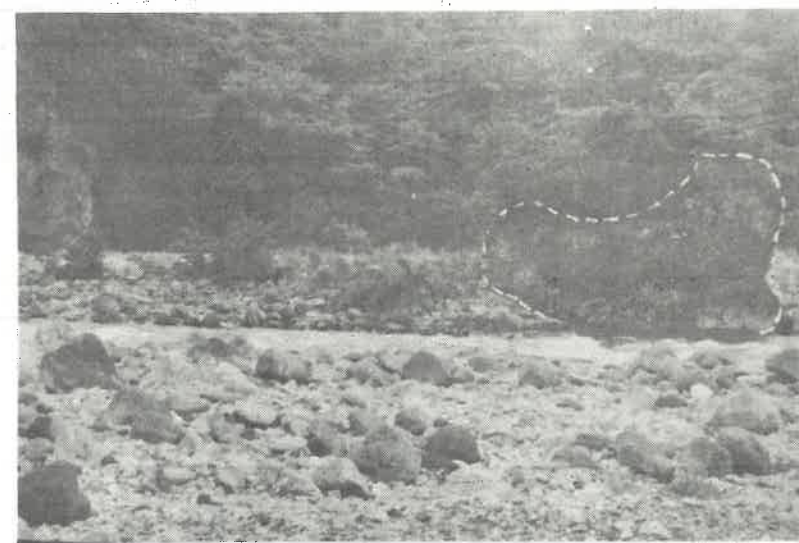
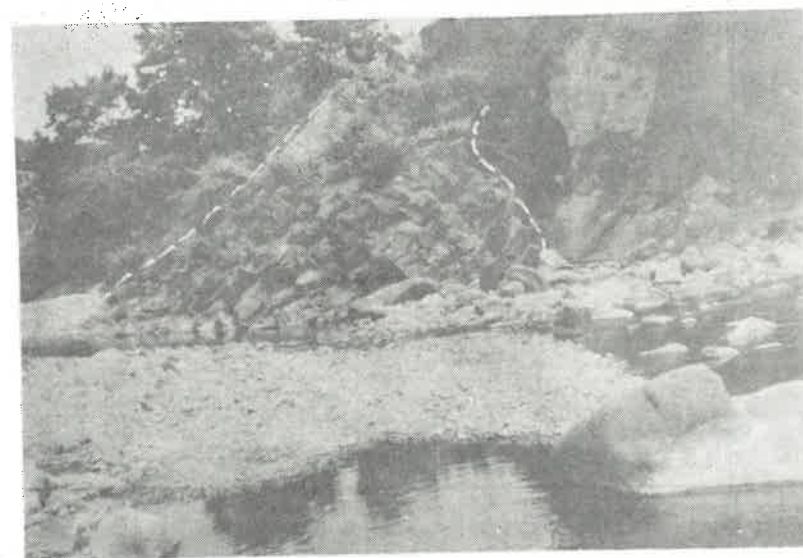
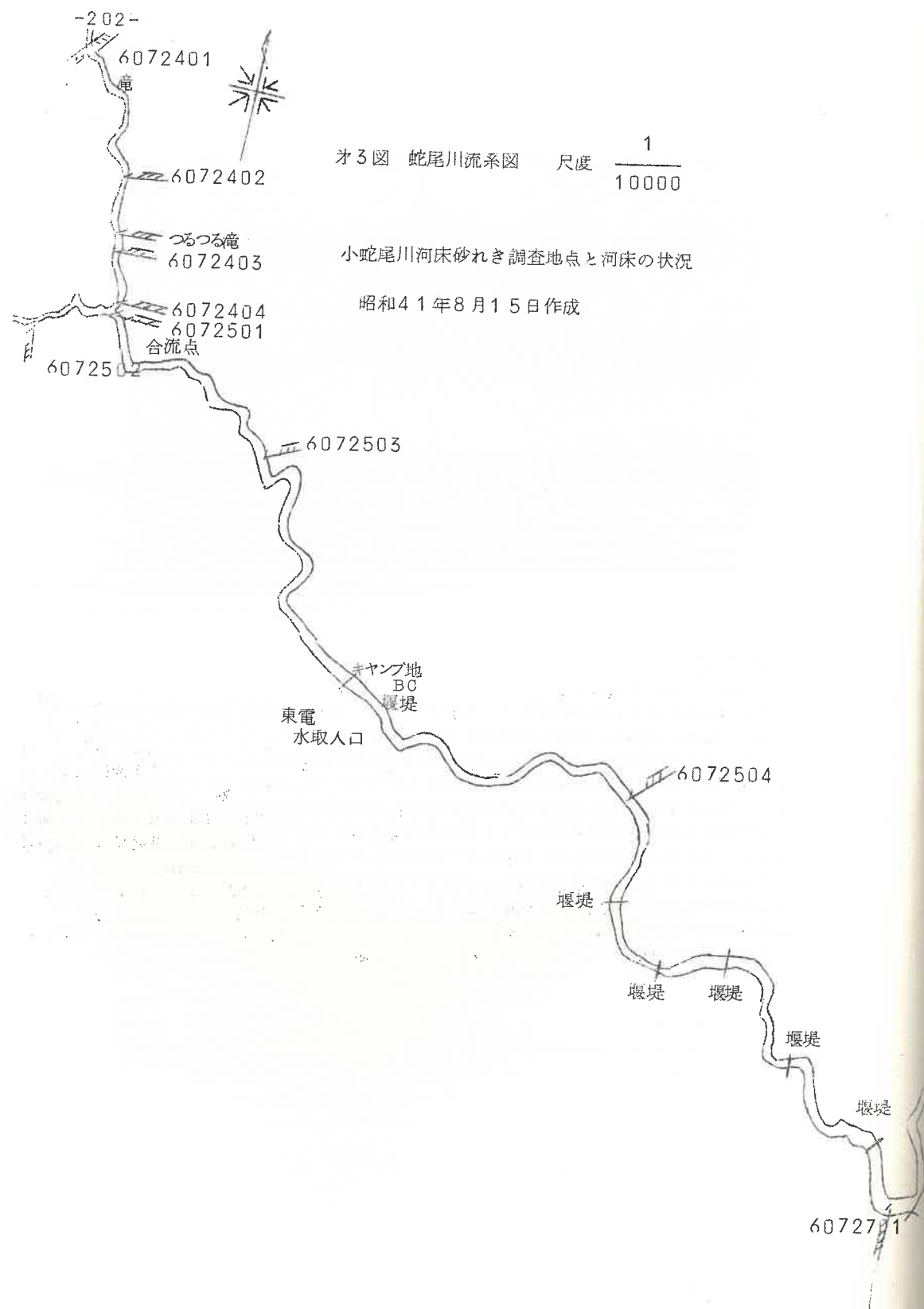
私達は最初大蛇尾川を調査しようとしたのですが、河床が深く、しかも両岸は絶崖をなしていて人の歩けるような状態ではないので、小蛇尾川の調査を実施することにしました。

小蛇尾川は、大蛇尾川との合流点から上流に600mおきくらいに、砂防えん堤が8箇所ばかり築かれておりますが、下流の方はほとんどが土砂で埋もれ、えん堤の上部から砂れきが流出してしまうようなありさまでした。とくに合流点と発電所の取水口付近までは、河床勾配も急で川幅もせまく、150cm以上の巨れきが河床にたい積していますが、そのほとんどは角れきであり、岩質は流モン岩類です。また両岸は、ほとんどが石英ハン岩か、または流モン岩からなっております。



(2) 那珂川

那珂川の調査地域は、板室温泉から黒磯晩翠橋までの約20kmであります。この地域の那珂川の両岸はほとんどが泥流に被われております。調査地域の最上流である板室温泉の付近は、川幅がせまく、両岸は凝灰角れき岩よりなり、ところどころに崖くずれが見られる。木の俣川との合流点より500m上流の両岸には凝灰岩が露出しており崩壊はあまりみられない。また河床れきも大きなものは少なく20cm~30cm級のものが多くなつております。さらに下流になると両岸は泥流に被われ、木の俣川合流点付近の木の俣川と那珂川にはさまれた地域は極部的ではありますが溶岩が露出しており、下部の凝灰角れき岩が侵食されてしまつたため崩れおち河床れきへと転化しているものが見られます。この付近より下流になりますと那須野が原となるわけですが那珂川の両岸は絶崖をなし、両岸はほとんど凝灰角れきが露出しております。しかも、松子付近の河床には泥流の侵食残り(写真)があり那珂川の若さを物語つていると思われまふ。また今回の調査地域の両岸はほとんどが垂直になつておりV字谷の様相を呈しています。



○ 現河床砂れきについて

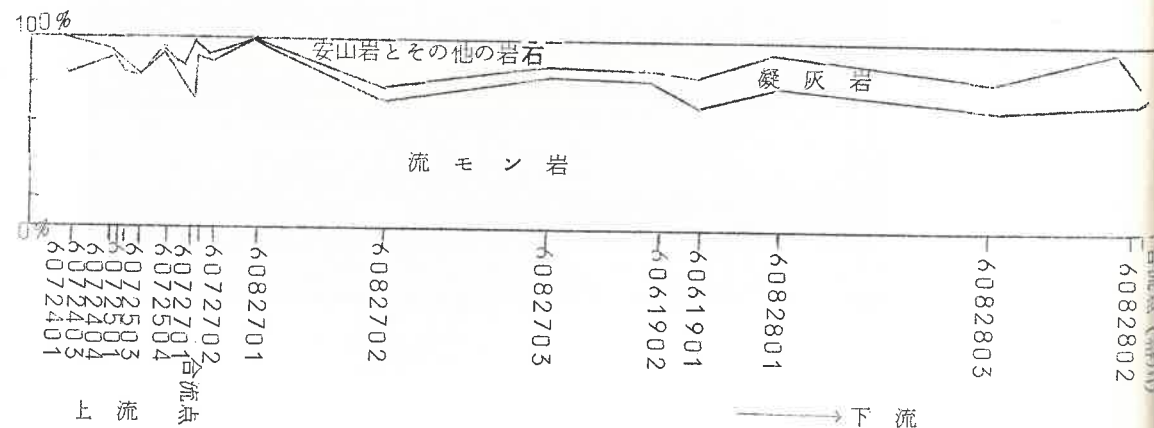
(1) 蛇尾川

蛇尾川の現河床砂れき流モン岩類（流モン岩、石英ハン岩）が最も多く全体の約70%を占めています。この傾向は上流ほどいじりしく、下流になりますと安山岩、凝灰岩、ひん岩などが混入してきます。

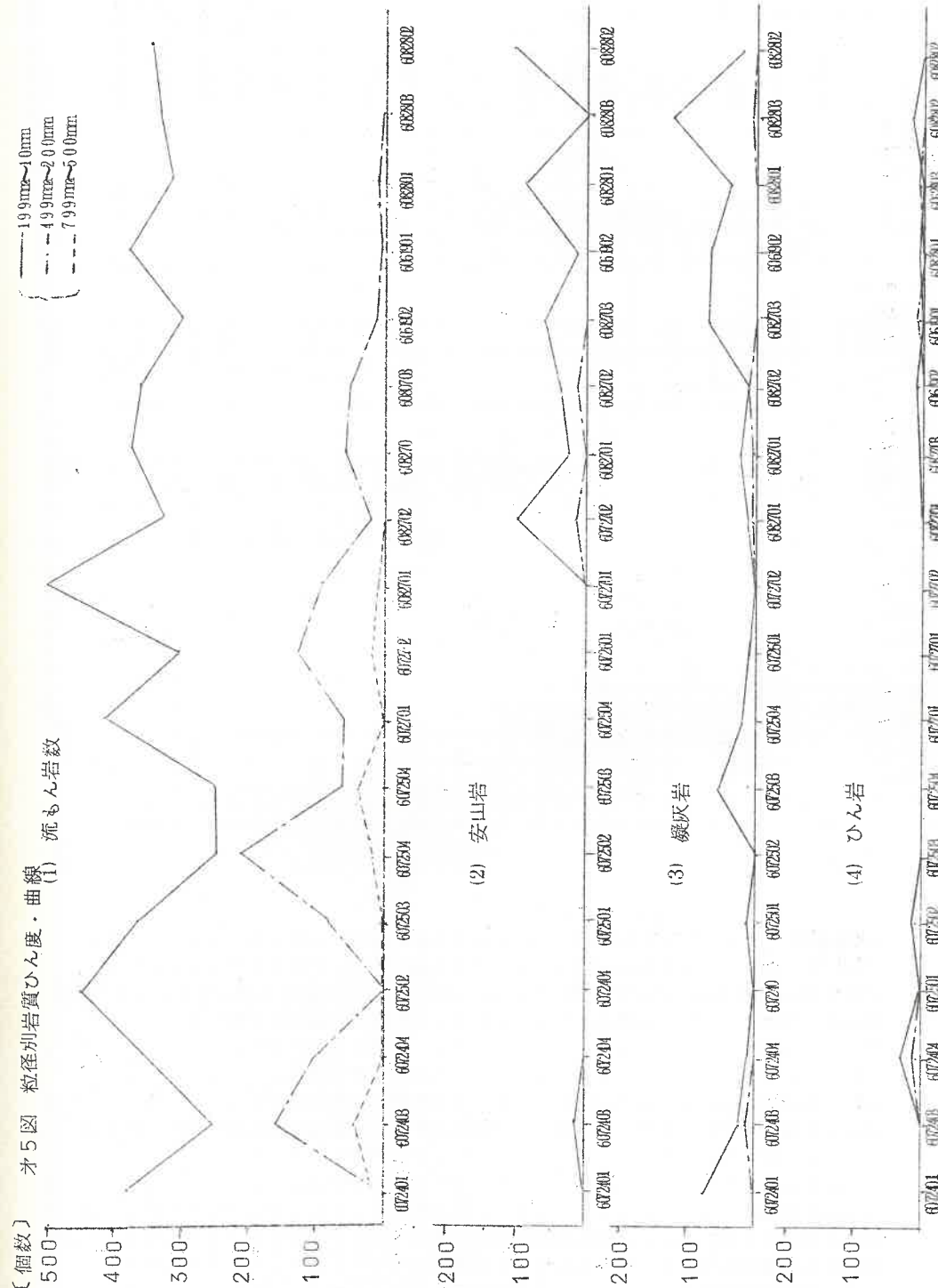
才1表 蛇尾川の最大れき径変化および各測点別粒径別混合割合

測点	6072401	6072402	6072404	6072501	6072502	6072503	6072504	6072601	6072701	6072702	6082701	6082702	6082703	6061902	6061901	6082801	6082803	6082802
800mm以上	5	5			5	11		10										
799~500	29	36	5		15	33		16	5									
499~200	14	177	112		85	228	65	55	131	89	30	64	65	19	4	20	10	
199~10	452	282	382	500	415	252	391	445	343	406	470	436	435	481	496	480	490	500
合計	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
最大れき径cm	230	90	40	60		170	350		935	90	70	85	80	40	55	20	28	25

才4図 蛇尾川の各測点別岩質混合割合



才5図 粒径別岩質ひん度・曲線 (1) 流もん岩数



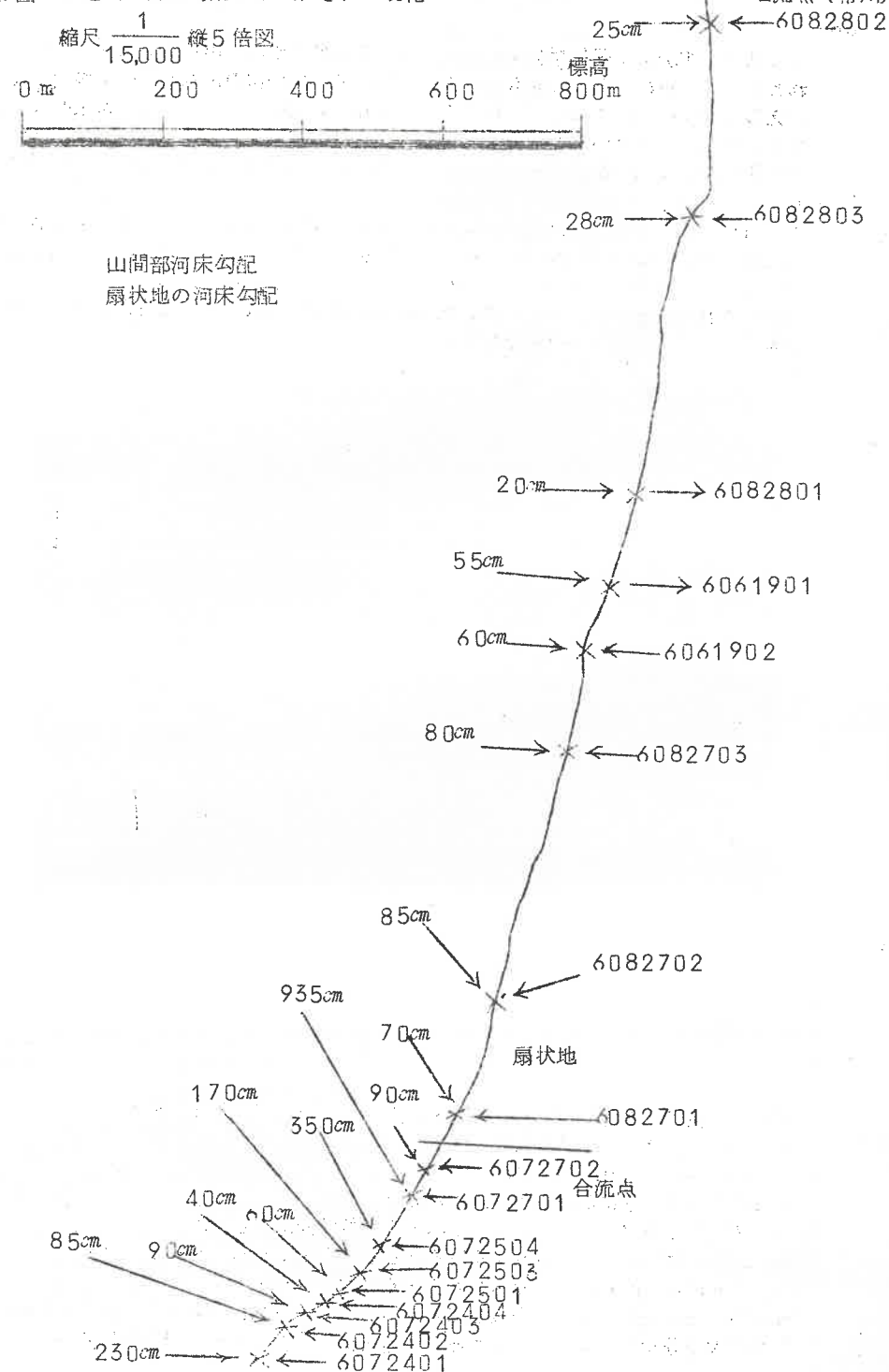
才2表 蛇尾川各測点別岩質粒径混合割合 (500個中)

岩質	測点	6072401	6072403	6072404	6072501	6072502	6072503	6072504	6072601	6072701	6072702	6082701	6082702	6082703	6061902	6061901	6082801	6082803	6082802
流石 モハ はん ん 岩	800mm以上	5	5				5	11		10									
	799-500	19	36	5			15	33		12	5								
	499-200	14	167	107		80	218	61	55	131	89	15	59	50	14	3	15	5	
	199-10	381	255	359	460	370	247	254	419	310	406	333	381	370	310	387	320	345	356
	小計	419	463	471	460	450	485	359	474	463	500	348	440	420	324	390	335	350	356
安 山 岩	800mm以上																		
	799-500													5	5				
	499-200																		
	199-10		6									102	25	40	45	13	98		110
	小計	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	107	25	45	45	13	98	0	110
凝 灰 岩	800mm以上																		
	799-500	10								4									
	499-200		10					4				10	5	10		1		5	
	199-10	71	21		5		5	60	21	4		20	25	10	78	77	38	135	24
	小計	81	31	0	5	0	5	64	21	8	0	30	30	20	78	78	38	140	24
ひ ん 岩	800mm以上																		
	799-500																		
	499-200						5	10											
	199-10				35	40		77	5	29		15			28	11		10	5
	小計	0	0	0	35	45	10	77	5	29	0	15	0	0	28	15	0	10	5
そ の 他 の 岩 石	800mm以上																		
	799-500																		
	499-200			5											5		5		
	199-10			24		5									5	4	24		5
	小計	0	0	29	0	5	0	0	0	0	0	0	5	15	5	4	29	0	5

粒径別にみますと、199mm~10mm (以下D級とする) が最も多く全体の70%以上を占めており、499mm~200mm (以下C級とする) が約30%となっており799mm~500mm (以下B級とする) および800mm以上 (以下A級とする) はまれに存在するだけです。また上流から下流への変化をみますとD級のれきは上流に少なく下流にわずかに多くなっていることがわかりますし、C級以上のれきは上流に多くなっています。とくに測点6082702地点より下流には、扇状地に入っており、この付近から下流にはC級以上のれきが極端に少なくなっており河床勾配がゆるやかになっていることを物語っているものと思います。(才4図) そこで私は蛇尾川の河床勾配を測量しそこに最大れき径の変化を加えてみました。それが才4図であります。

これをみてわかるように測点6072701からは河床勾配がゆるやかになつており、れきの選搬作用にも影響しているものと思われます。またこの地点より上流の山間部に入りますと扇状地とは河床の様相もちがついて大れき、小れきが入り混つており、河川からの崩壊れきがまだ流下されずにそのまま残っているところもかなりあります。とくに蛇尾川発電取水口より下流、大蛇尾川との合流点までは、河床勾配が急で河床にも巨れき群がありました。しかし下流には砂防えん堤が築かれており、そのために少し

才6図 蛇尾川の河床勾配と最大れき径の変化



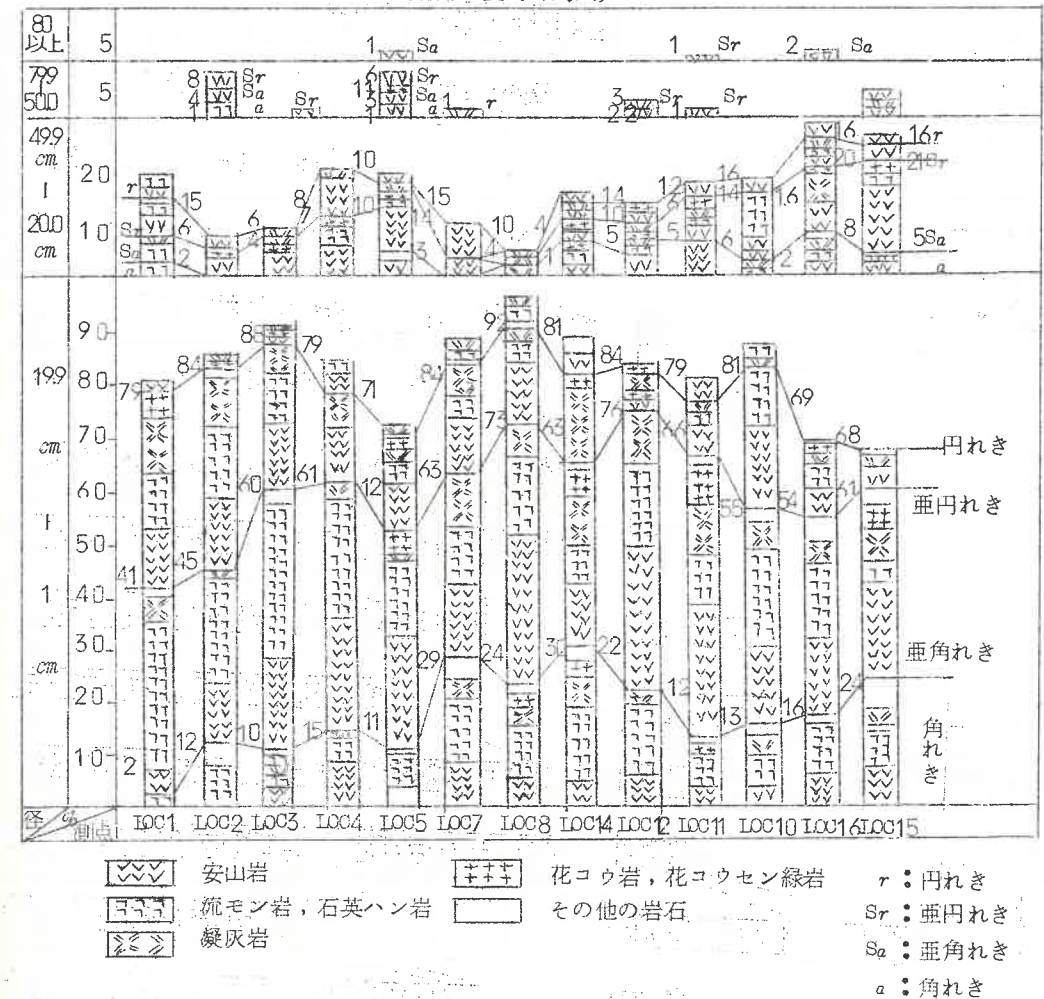
ではありますが、河床勾配がゆるやかになっていて土砂の流出を防いでいるように思われます。ところがこのえん堤もほとんどが埋つてしまい次の洪水時には、おそらく土砂がえん堤を Over Flow して流下してしまい土砂流出防止の役目も果せなくなつてしまつたのではないかと思います。また兩岸に露出している岩石はほとんど流モン岩で亀裂が多く発達し、大小さまざまな崩壊があり河床れきへの影響が大きいものと思われま

す。この付近になりますと河床には巨れきのみで土砂はほとんど見うけられず、岩盤が露出しております。しかもこれらの巨れきは表面がかなりまるみをおび、しかも角がとれているにもかかわらず流水では、運ばれないような巨れき（径5m以上）でありますので長時間流れにあらわれていたと思います。かりに流下されたとしてもあまり長い距離運搬されているとは思いませんでした。



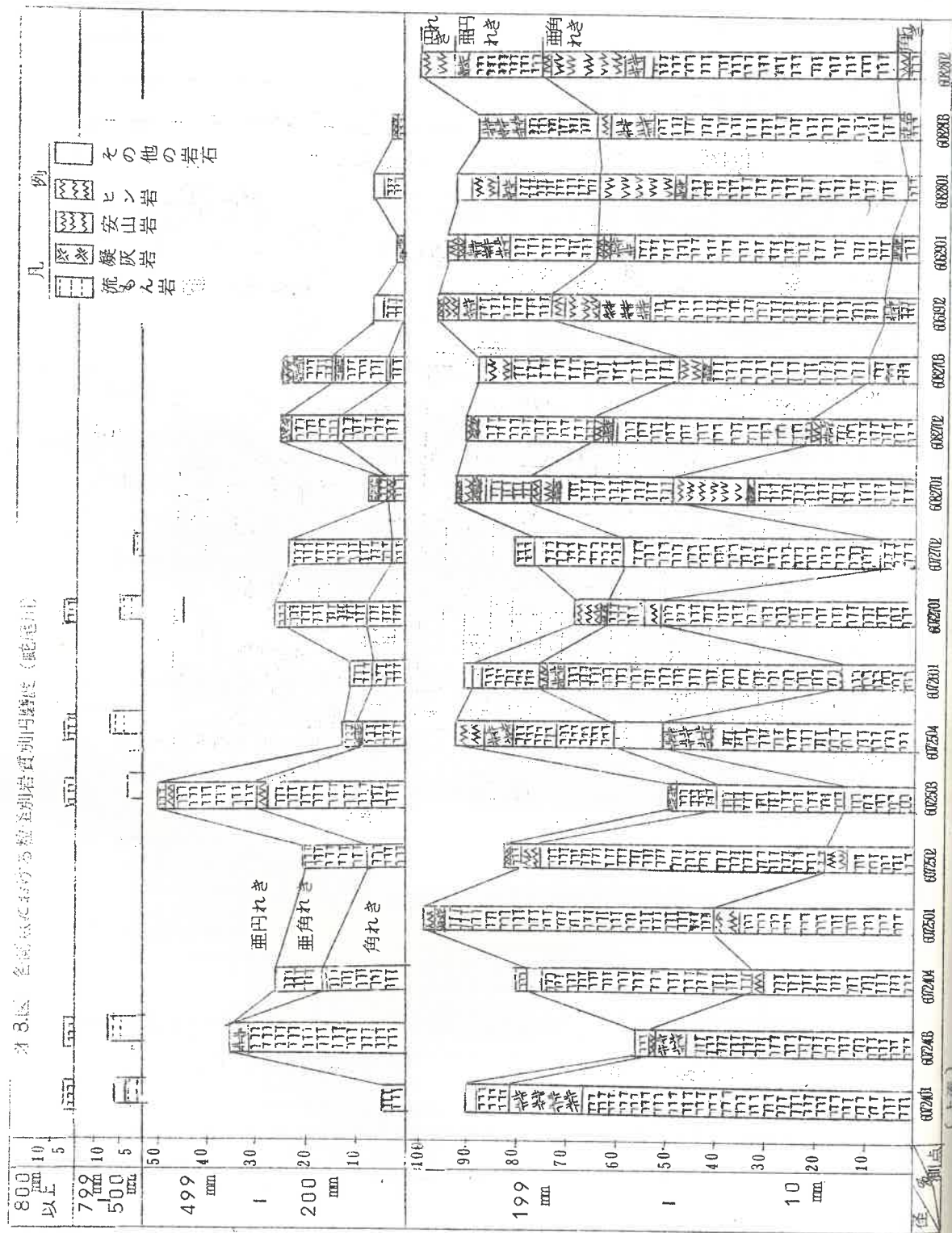
蛇尾川の現河床の岩質を調べてみますと流モン岩が全体の70%~80%をしめ、しかも、D級のれきが最も多くなつています。またC級のれきになりますと上流の山間部ではかなり多く含まれていますが測点6072801より下流の扇状地に入りますと少なくなりさらに下流になりますとほとんどなくなつてしまいます。B級、A級のれきになりますとところどころに存在するのみで全体的傾向は示しておりません。（オ5図）安山岩は上流にほとんど見られず測点6082701よりあらわれ下流にまで存在しています。その理由はわかりませんがおそらく扇状地のれき層の影響であると思います。これらのことは上流の地質と密接な関係があり、上流の地質を見ますと図のように流モン岩類が大部分をしめ、ところどころの小範囲に安山岩やひん岩が分布しています。

オ7図 各測点における粒径別岩質別円磨度（那珂川）

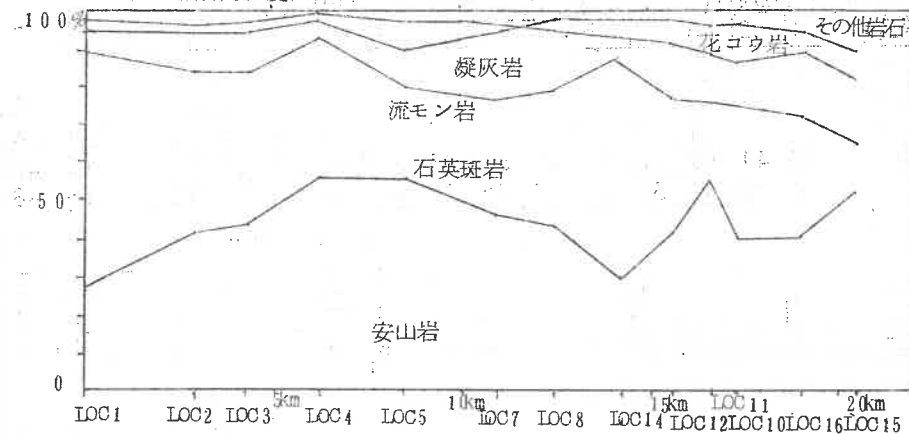


(2) 那珂川

那珂川の現河床れきは流モン岩類（石英ハシ岩も含む）安山岩、凝灰岩が主でまれに花コウ岩、ヒン岩があります。

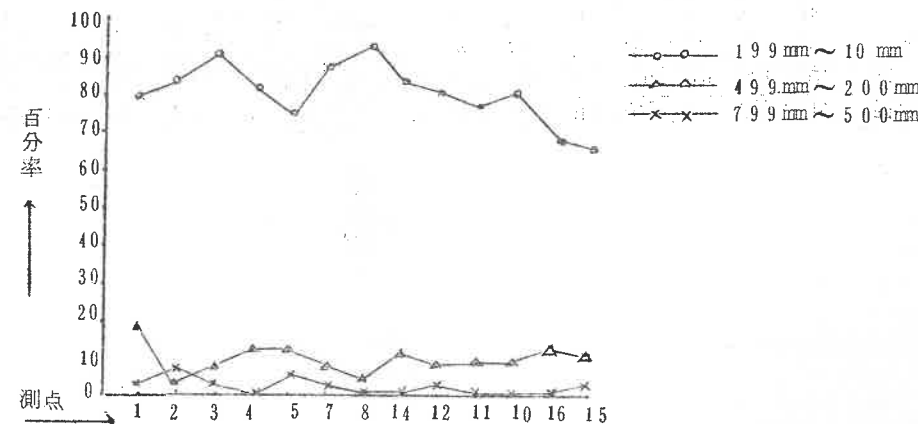


才9.図 各測点別円磨度グラフ



これらを粒径別にみると、D級のれきが大部分で全体の70%~90%をしめており、C級のれきが30%~10%となり、B級およびA級のれきはまれに存在するのみであります。とくにC級のれきは上流になるにつれて多くなり、D級のは逆に下流に多くなっています。また岩質別における、A級のれきは上流に1%前後含まれているが、そのほとんどは安山岩でLOC16(坂室)に凝灰岩があるだけであります。B級のれきになりますと含有量も少し多く2%前後となりますがいずれも安山岩が大部分をしめております。このようにA級、B級のような巨れきには、安山岩が非常に多いにもかかわらず安山岩の露出地域はかなり上流(約20km)になつております。そのために調査地域まで巨れきとなつて流下したとは考えられないのです。ところが現在の那珂川の流路は那須の泥流を侵食して形成されています。その泥流を調べてみますと、安山岩の角れきがかなり多く含まれており、まわりの溶結物質は水の侵食に弱いので角れきがとり残されたと考えた方がよいと思います。C級のれきになりますと上流のLOC15、LOC16で25%~26%あり

才1.0.図 各測点におけるれきの粒径別含有グラフ



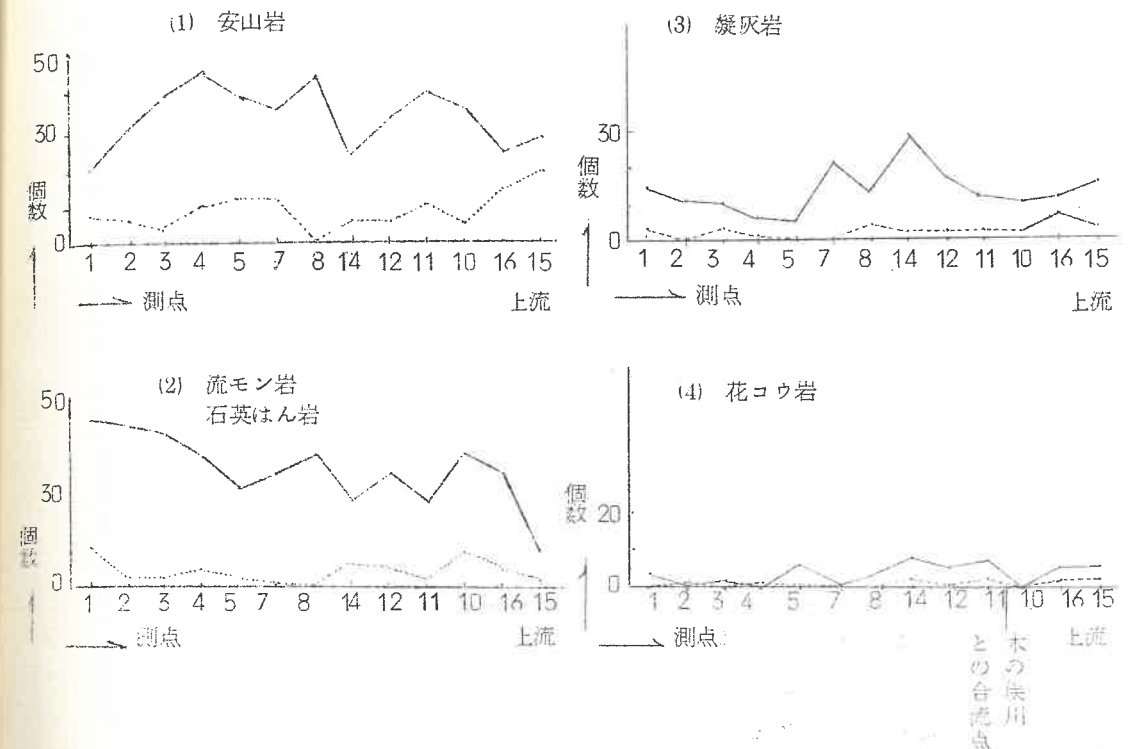
才3表 那珂川の各測点別岩質、粒径混合割合 (各測点10.0㌧中)

粒径	測点	1	2	3	4	5	7	8	14	12	11	10	16	15	6	13	9
流石 も ん 岩	800mm以上																
	799~500		1														5
	449~200	10		1	4	2			4	4	2	9	4	2		1	6
	199~10	44	41	39	33	25	29	35	23	30	21	35	29	10	1	12	47
	小計	54	42	40	37	27	29	35	27	34	23	44	33	12	1	13	58
花 こ う 岩	800mm以上																
	799~500					1											
	449~200		1		1	1			3	1	2		1	3		1	1
	199~10	3		1		6		2	8	5	7		4	5		6	4
	小計	3	1	1	1	8	0	2	11	6	9	0	5	8	0	7	5
凝 灰 岩	800mm以上						1						1				
	799~500													1			
	449~200	2		3	1			4	2	2	2	2	8	3		1	3
	199~10	14	11	10	6	5	20	13	27	15	11	10	10	14		5	12
	小計	16	11	13	7	5	21	17	29	17	13	12	19	18	0	6	15
安 山 岩	800mm以上					1					1						
	799~500		7	1		5				3	1			4			3
	449~200	7	5	4	10	12	10		6	6	10	5	14	19	12	13	4
	199~10	19	30	39	45	39	36	43	24	33	40	35	24	28	87	59	14
	小計	26	42	44	55	57	46	43	30	42	52	40	39	51	99	72	21
そ の 他 の 岩 石	800mm以上																
	799~500																
	449~200					1								2			
	199~10	1	4	2		2	4	3	3	1	3	4	2	11		2	1
	小計	1	4	2	0	3	4	3	3	1	3	4	4	11	00	2	1

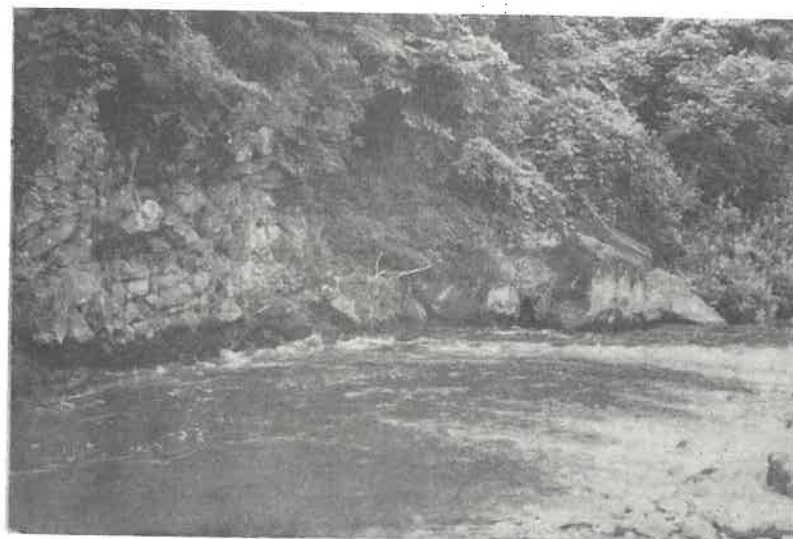
才4表 那珂川の最大れき径および粒径別混合割合

本支流	本流	上流										支流					
れき径	測点	1	2	3	4	5	7	8	14	12	11	10	16	15	6	13	9
800mm以上		0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0
799~500		0	8	1	0	6	1	0	0	3	1	0	0	5	0	0	7
449~200		19	6	8	16	16	10	4	15	13	16	17	29	27	12	15	15
199~10		81	86	91	84	77	89	96	85	84	82	83	69	68	88	85	78
合計		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
最大れき径		310	530	550	360	810	590	390	420	630	850	460	870	760	410	350	720

才11図 粒径別岩質ひん度曲線 (那珂川)



LOC10~LOC14では約15%とやや少なくなり、下流になるにつれて10%前後と少なくなっております。(才6図)D級のれきは上流より下流になるにしたがい多くなっておりますが岩質別にみますと流モン岩類の割合が増加し全体の30%~40%をしめるようになると同時に上流~下流になるにしたがい、その含有量も多くなっております(才8図参照)安山岩の混合割合は不規則ではありますが全体的にみてわずかながら下流が少なくなっています。また凝灰岩はLOC14~LOC17付近にかなり多く含まれていますが、全体としては、上流ほど割合が多くなっています。凝灰岩LOC14付近に多いのは、その上流に凝灰岩(浮質凝灰岩)が露出しており、その崩壊れきが河床れきとなり増加してLOC14でピークを示すものと思われます。これをうらずけるものとしてLOC16にはC級の凝灰岩(浮質凝灰岩)がかなり多く含まれています。この級の花こう岩はC級と同様に、上流に多くなっており(才8図)とくに木の俣川の合流点より下流のLOC11~LOC8まで多いことは、木の俣から流れたものの影響と思われます。木の俣川の上流には、花こう岩が小規模に露出しています。以上のように各岩質の粒径別のひん度をみまると、安山岩は全般的に平均して含まれていますが凝灰岩、花こう岩は上流に多く流モン岩は下流に多くなっています。流モン岩が下流に多いのはD級のれきの割合が多くなるからでありその起源より遠く流下されることにより粒径の小さいれきとなることを物語っていると思われる。また安山岩の変化しない理由の1つとしては、泥流中の安山岩れきが途中から河床に供給されるものと考えられます。このように現河床れきを調べてみますと、D級のれきが各測点とも多くしかも上流と下流にあまり差がないということは風化崩壊によって生産されるときは、私達がこれまで思っ



ていたような大れきは少なくむしろ20cm以下のれきが多いと思われます。

D 河床れきの円磨度調査

現河床れきの円磨度を調査することは、川の状態を知る1つの資料となりますので私達は蛇尾川と那珂川の河床れきにつきまして、れきの円磨度を調査することにしました。河床には数種類の岩質がありそれらは、固さもちがいますので流水によって運ばれることにより磨滅される程度もちがってきます。そこで私達は岩質別、粒径別(A級、B級、C級、D級)にわけて調査した資料を記入することにした。調査にさきだれきの円磨度の基準をつくり現地では岩石を一番安定な状態において基準れきと比較し、円磨度を決定しました。その際には、調査計画にもとずき測定場所を選び蛇尾川は500個那珂川は100個を任意にとり調査しました。

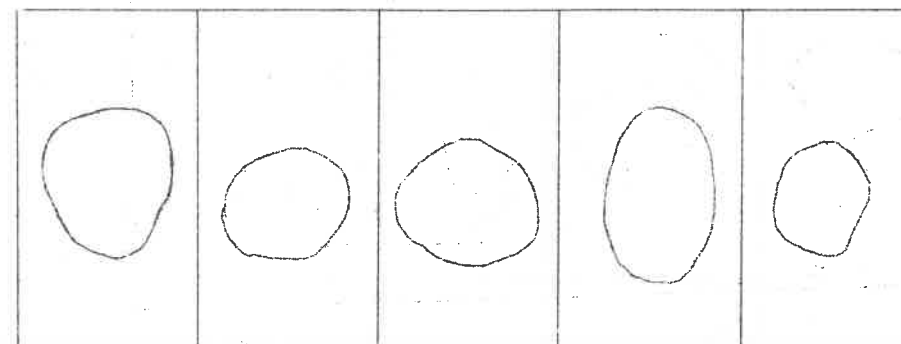
その調査の結果をみると、蛇尾川では円れきがほとんど少なく、那珂川にはわずかにありますが、上流と下流の差ははつきりとあらわれておりません。ところが亜円れきから角れきになりますと、かなりはつきりした傾向がありますので次にそれぞれの川について調査して結果をのべてみます。

(1) 蛇尾川

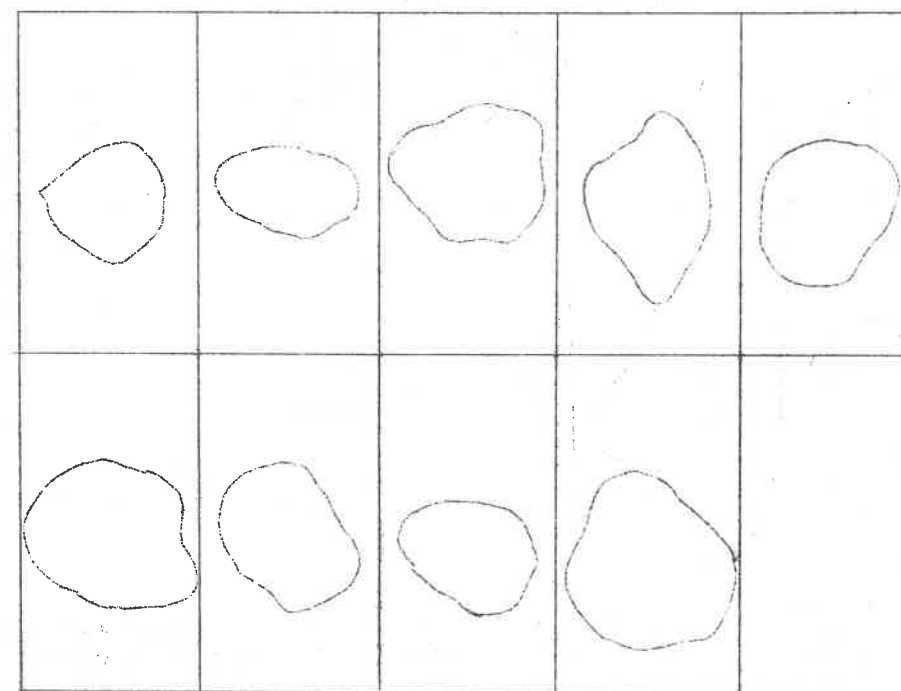
さきに述べましたように蛇尾川には、円れきがほとんど見あたりませんでした。亜円



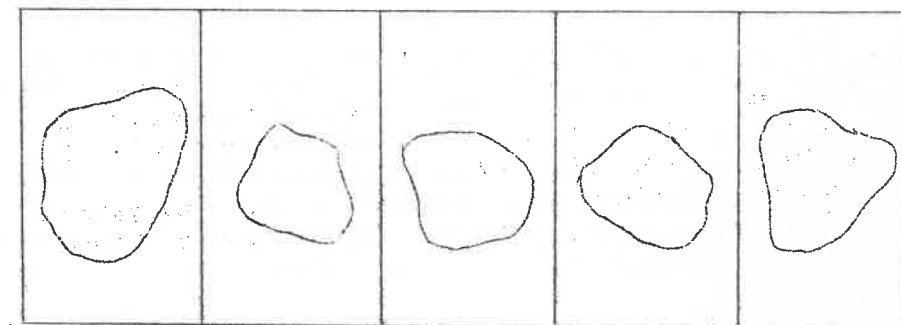
円れき

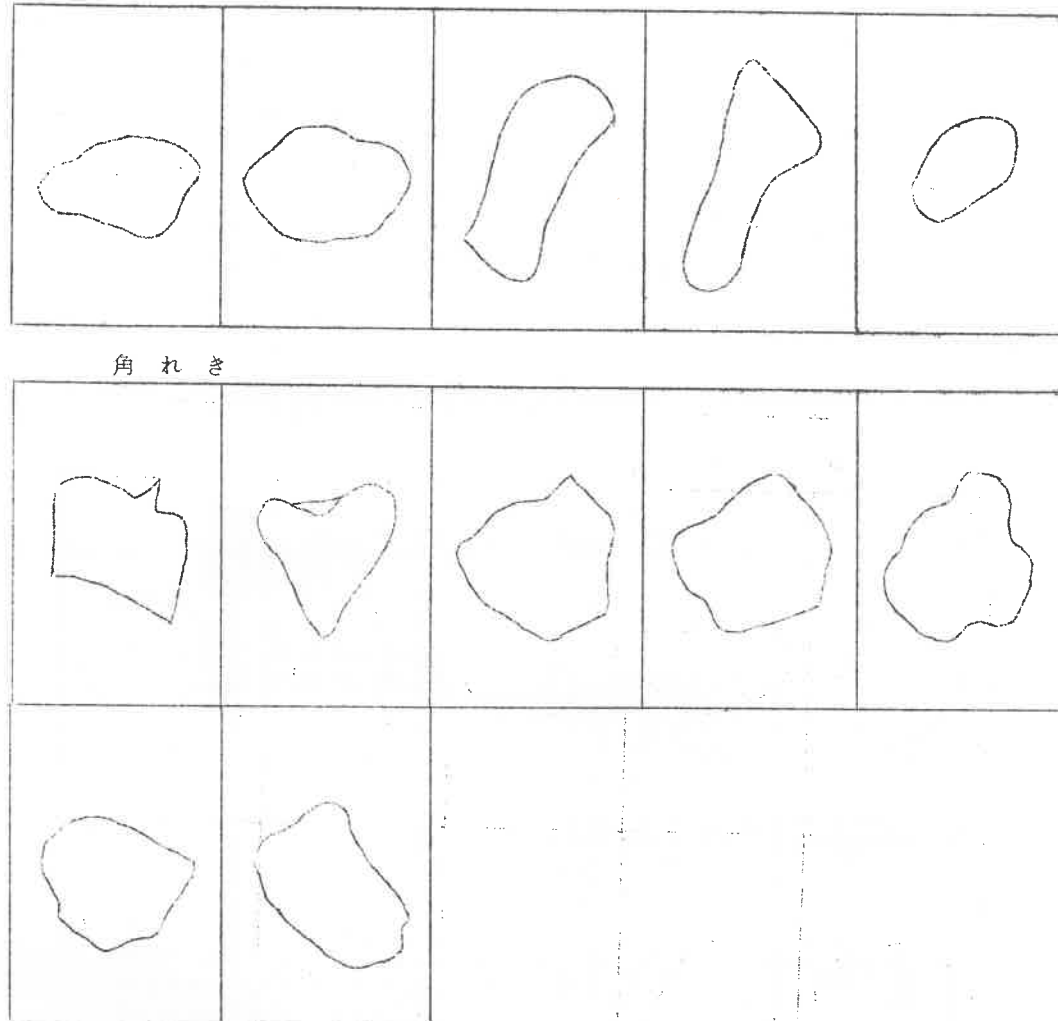


亜円れき



亜角れき

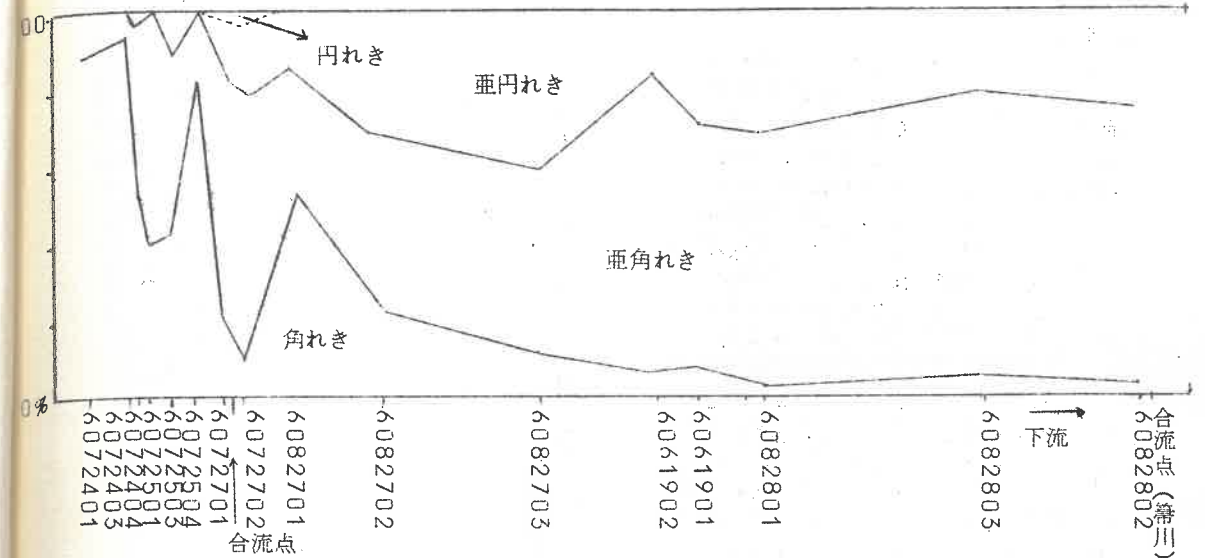




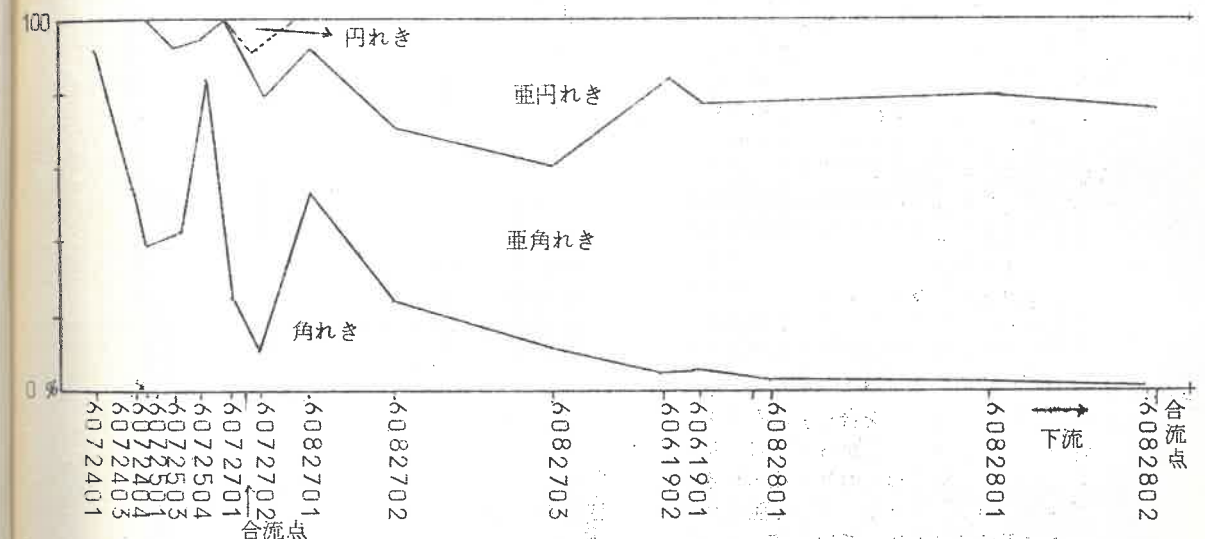
れきになりますと上流には少なく、下流にやや多くなつてはいますがつきりした傾向はしめしておりません。亜角れきは、亜円れきと同様に下流に多くなつていますが普通の川なら上流に多いはずであるのに蛇尾川では瀬川との合流点にいたるまで多少なりとも増加しているということは、扇状地れき層の影響とも考えられます。角れきは、オ9図のように上流に非常に多くなつていますがこれは崩壊れきがそのまま河床れきとなつているからだと思われます。これを岩質別粒徑別にみるとA級、B級ともに6072401, 6072403, 6072503, 6072504, 6072701の各測点に2%の流モン岩の角れきがあります。ところがC級のれきになりますと山間部では不規則にあらわれ量も多くなつておりしかもほとんどが流モン岩の角れきで、またこの級のれきは扇状地になりますと上流に多く下流に少なくなつておりしかも角れきが少なく、亜角れきが増加しています。(オ9図)

しかしこの級のれきが測点6072403と6072501に多く、D級のれきが少なくなっているのは河床勾配が急(20)なため小れきが流されてしまったためと思われます。

オ1:2図 蛇尾川河床れきの円磨度グラフ



蛇尾川河床れき中の流モン岩の円磨度グラフ

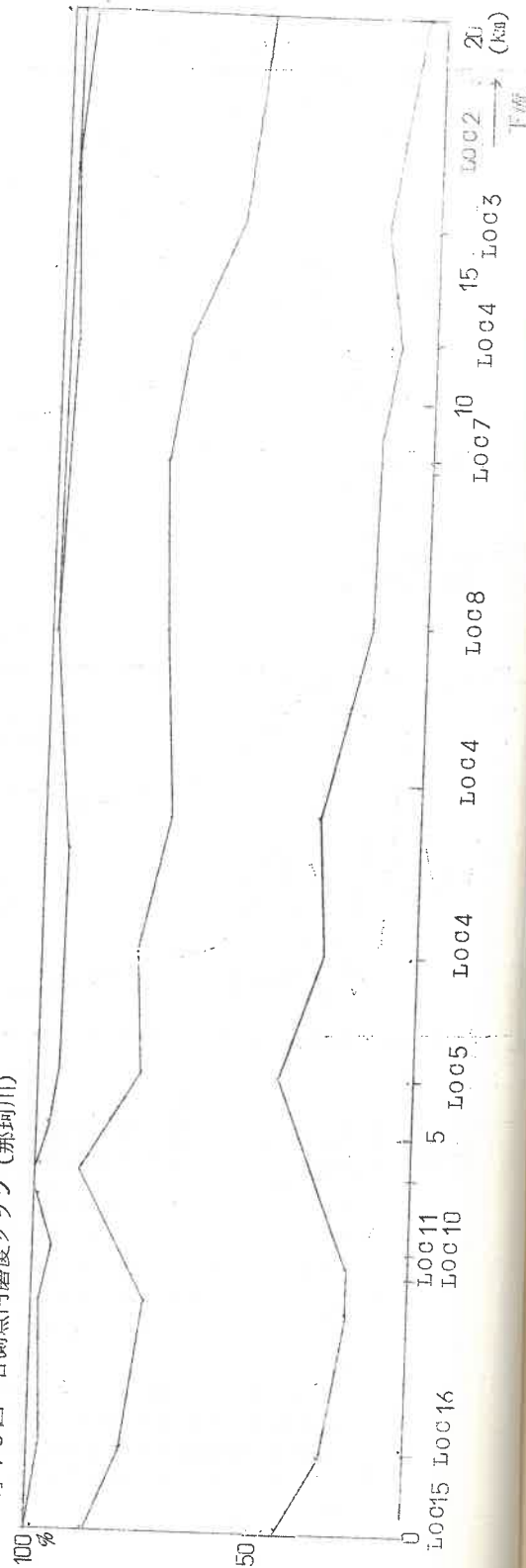


さらに粒徑の小さいD級のれきは、河床れきのほとんどをしめ、しかも流モン岩が8.0%前後になつておりその他の岩石はほとんどなく、まれに凝灰岩、ひん岩などがあり扇状地になつてはじめてこれらの岩石は角れきが少なく亜角れきが多くなつています。しかも角れきは上流から下流にしたがいわずに多くなつています。亜円れきが下流に多くなる傾向にあるのは、さきにも述べましたように、扇状地れき層の影響と考えられますが、蛇尾川は水無川といわれるように普通は扇状地頂部の氾濫付近で水がなくなり大田原今泉付近で表流水となつて出て来ます。このように蛇尾川は常に水があるわけではなく洪水(1日30mm以上の雨量)時に地表水となつて流れるのですが、他の河川の様に長い時間流れているわけではなく、すぐ伏流水となつてしまいます。したがって蛇尾川の河床れきのうち亜角れきが、他の河川と異なり下流に多くなっているのではないかと思います。

(2) 那珂川

円磨度の全体的傾向をみますと円れきは、各測点とも1~2%と大差ないが、亜円れきは下流に多く亜角れきは上流に多くなっています。また安山岩、流モン岩の円磨度をみますと安山岩の亜円れきは下流に多く、亜角れきは上流に多くなっています。流モン岩についても同様のことが言えますが角れきは河川の一般的な傾向であり、蛇尾川の亜円れきとは異なっています。これを岩質別、粒径別にみると、A級のれきは、ほとんどないようになっていますが、円磨度測定地点になかったということであつて、上流には大きなれきが河床にかなりありました。B級のれきもところどころに見られますが、規則性はまったくありません。C級のれきになりますと各測点にかなり含まれて、しかも上流は少なく下流に多くなっています。しかも亜角れきは下流にわずかなづつ多くなっていますが、はっきりした傾向はしめしていません。しかし亜円れき、角れきの傾向は、わずかにわかる程度です。D級のれきになりますと、れきの数も多くなり円磨度、岩質の含有傾向もかなり良くあらわれています。しかしこの級のれきでも円れきは、ところどころにあるだけではっきりした傾向はなく亜円れきが上流に少なく、下流に多くなつており下流になるにしたがい、次第に少なくなつており、角れきも上流に多く下流に少なくなる傾向がはっきりとあらわれています。これらを岩質別にみると安山岩の角れきは上流から下流になるにしたがい少なくなつており、亜角れきも同様の傾向にあります。また、亜円れきは逆に下流に多くなっています。流モン岩類は、角れきが上流に多く、下流に少なくなる傾向をしめております。しかし、LOC10で極端に角れきが少なくなっていますが、その理由は、はっきりしません。LOC11で多くなっているのは、木の俣川の影響と思われます。亜角れきは上流に多く、亜円れきは下流に多くなっております。また流モン岩は板室より上流約10Kmのところから、木の俣川の流出砂れきなども考慮してみれば、約20Km流下することにより角れきから亜角れきになるものが多いと思われます。

オ13図 各測点円磨度グラフ (那珂川)



蛇尾川、那珂川の上流の地質
現河床れきの前提となつてい
ます両河川の上流の地質は、今
年の調査ではできませんでした
ので、栃木県の地質図によつて
調べてきました。これによりま
すと、河床れきは上流の地質と
密接な関係にあることがわか
ります。

(1) 蛇尾川上流の地質

蛇尾川の上流は、大蛇川、
小蛇尾川とわかれていますが、
大蛇尾川のほとんどは流モン
岩類からなつており、現河床
れきの分布とかなり一致して
おります。小蛇尾川も同様に
流モン岩類が広く分布して
おりますが、上流にわずかな
が安山岩の分布がみられます。
ところが現河床れきには、ヒ
ン岩もときどき含まれている
ことからみまると、上流のど
こかに小規模ではありますが、
ヒン岩の露出部分があるもの
と思われる。

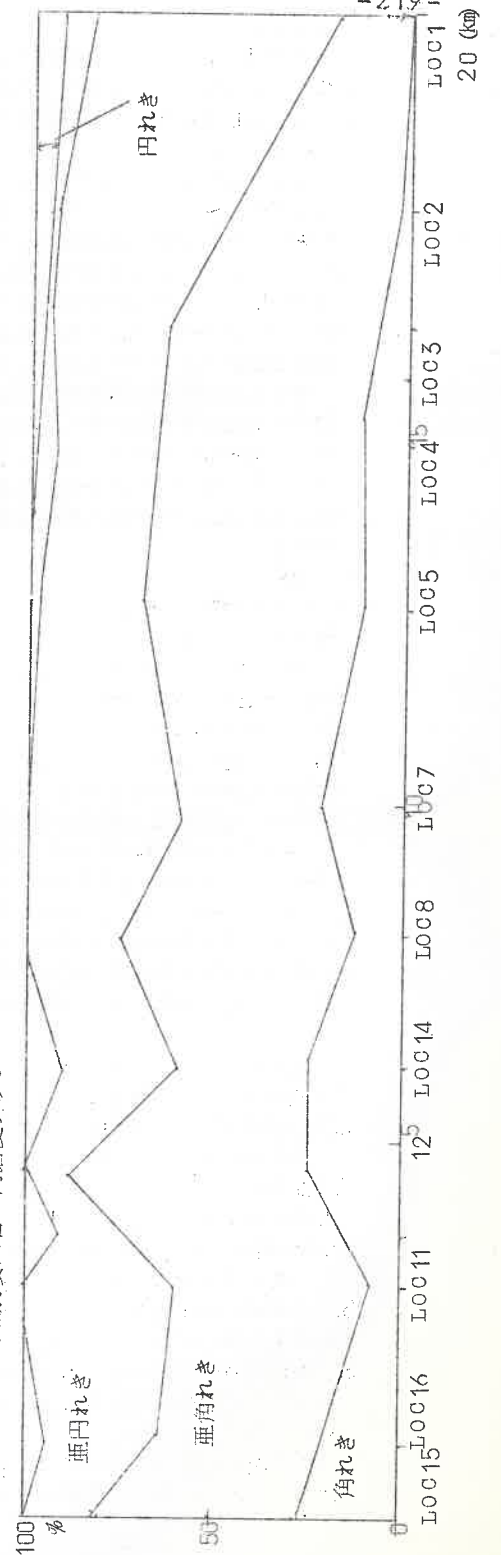
(2) 那珂川

那珂川は調査地域のほとん
どが泥流によつて被われてい
ますが、板室付近になります
と、流モン岩類が小規模に露
出しております。さらに上流
になりますと、石英ハン岩、
花コウ岩、とん岩が、小範囲
ではありますが分布しており
木の俣川には、流モン岩、花
コウ岩がかなり広範囲に露出
しており、現河床れきの影響
が大きいものと思われます。

蛇尾川、那珂川の砂の粒度分
析

私達は蛇尾川、那珂川の現河
床れきの円磨度調査を実施し
ましたが1cm以下の砂れきにつ
いては現地での円磨度調査は困難
でありますので、実験室に持ち
帰り粒度分析をしました。粒
度分析は資料を良く乾燥し
500gをとり試験ふるいを用

オ13図 各測点別安山岩の円磨度グラフ



いて10段階にわけました。しかしこのわけ方では同一間隔ではありませんのでファイ尺度(φ尺度, 2^φの指数の逆数を取り丸という整数であらわす方法)であらわすことにしました。これによりましてφ尺度棒グラフをつくりまして上流から下流への変化を見ることに致しました。その結果を述べてみます。

(1) 蛇尾川

蛇尾川の砂れきについて粒度分析を実施しましたが、これによりまして上流ではφ尺度で-2~-1(4mm~2mm)に極大値があり次才に双頭曲線となり-2~-1 1~2に極大値があらわれるようになる山間部での双頭曲線は河床勾配がところどころゆるやかになる点であつて急勾配のところでは、曲線となつてはいるその傾向は、はつきりしない。また扇状地になりますと測点6072702で-2~-1の間に極大値があらわれそれより、下流では最大値が0~1, 1~2などにあらわれてきます。しかも極大値が-3~-1にあり、すべて双頭曲線となつています。

このように山間部と扇状地とは、粒度分析の結果にちがひがあります。山間部では粒径の大きな砂れきが多く、しかも極大値が1か所しかなく、扇状地になりますと粒径が4mm~1mmのところと、0.5mm~0.25mm, 0.25mm~0.175mmのところの2か所に極大値のあらわれる双頭曲線をなしています。しかも扇状地では上流~下流になるにしたがい最大値の位置が4mm~1mmから0.5mm~0.25mmと変化してきます。

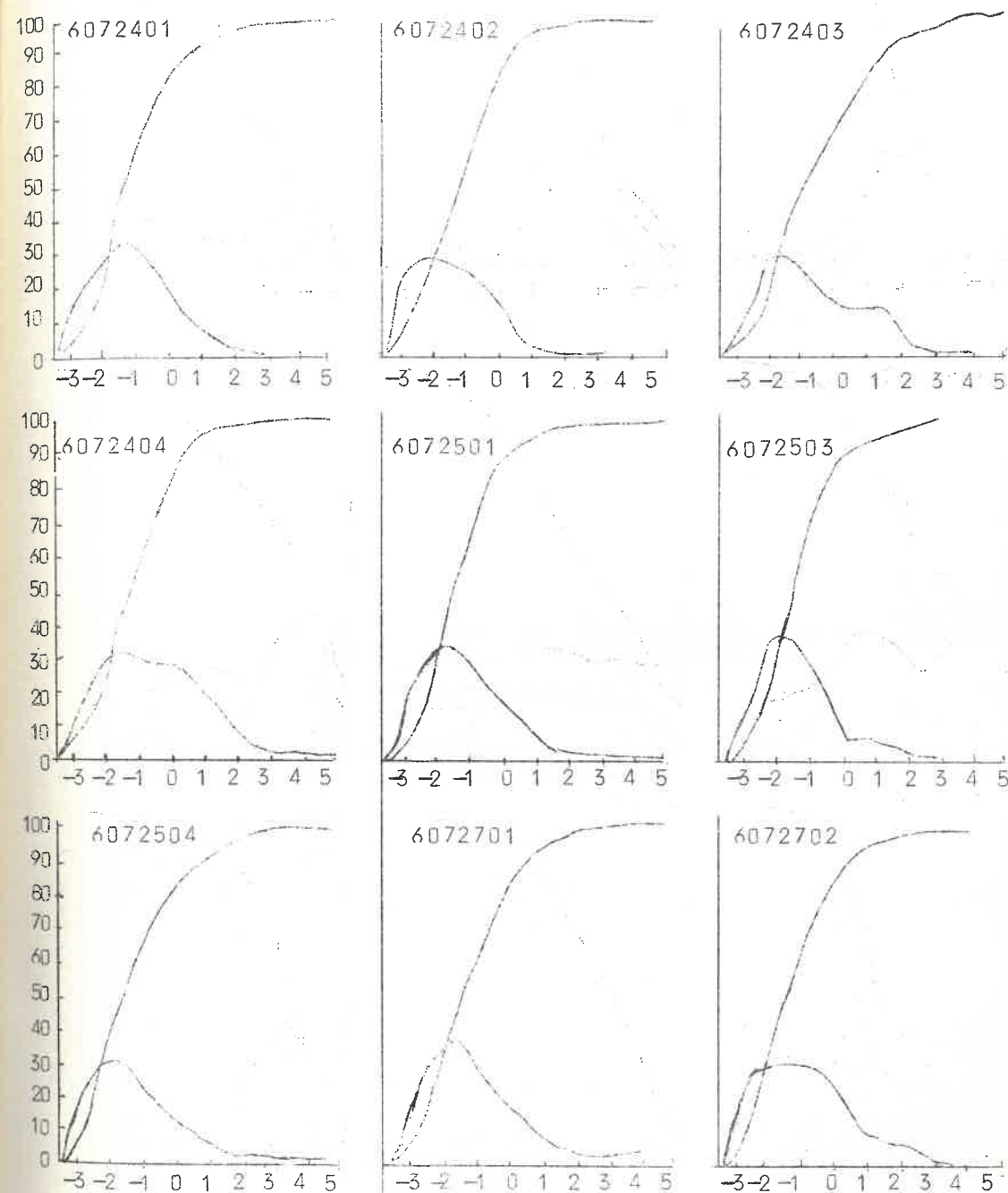
(2) 那珂川

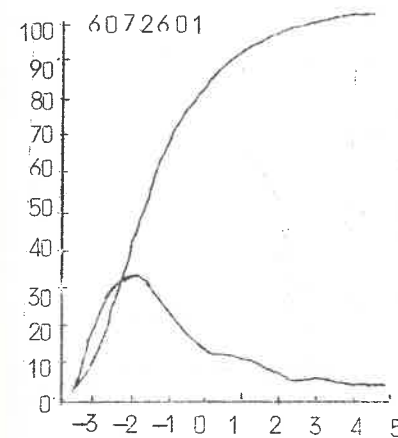
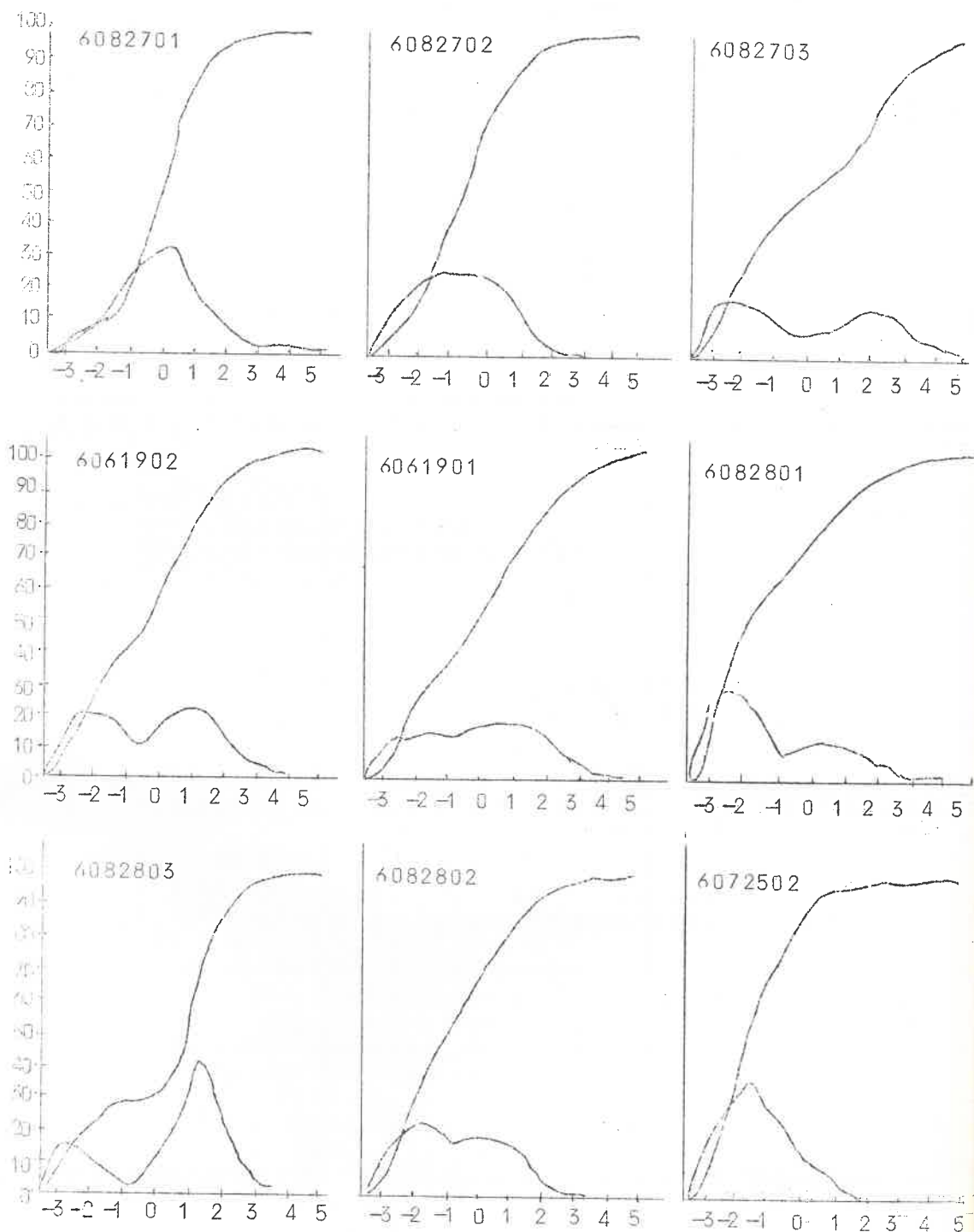
那珂川は蛇尾川のように扇状地に直接流入しているわけではありませんので、粒度分析の変化も蛇尾川のようなものではありません。しかも山間部の調査ができなかつたためにはつきりと比較することに無理があるように思われますが、私達が調査をした資料にもとづいて書いてみることにいたします。那珂川は板室付近からすでに双頭曲線となつており、上流には、最大値がφ尺度で-3~-2(8mm~4mm)にあらわれ、極大値が0~1になつてはいる場合が多い。しかも最大値と極大値との差は下流になるにしたがい小さくなり、L004ではほぼ等しく、L003では逆になつております。このように蛇尾川、那珂川の粒度分析の結果を調べてみますと、極大値がφ尺度で-3~-2(8mm~4mm) -2~-1(4mm~2mm)と1~2(2mm~0.5mm) 2~3(0.5mm~0.25mm)のところにあつており極大値が-1~0(2mm~1mm), 0~1(0.1mm~0.5mm)になつております。このことにより河川による粒径の小さな砂れきの生産は-3~-2, -2~-1の間は上流に多く1~2, 2~3の間は下流に多くなつてはいるのは粒径の小さな砂泥が残つてはいることからこの級の砂の生産量が少ないものと思われまふ。

以上の調査をまとめてみますと

1. 蛇尾川の河床れきは、ほとんどが流モン岩で上流の地質の一致しています。
2. 山間部では大れきが多く(20cm以上)扇状地では、20cm以下のれきが多く分布している。
3. 蛇尾川の上流に角れきが多く分布しているのは川岸の崩壊れきが河床れきに転化しあまり、移動していないからと思われまふ。
4. 蛇尾川で亜角れきが上流から下流にしたがい多くなつてはいるのは、扇状地のれき層と、水無川の影響とも思われ、河川の上流部としての性質をもっている。
5. 那珂川の河床れきは、安山岩が多く、次に流モン岩、凝灰岩となつてはいますがこれも上流の地質分布と一致しています。
6. 那珂川の河床れきのうち安山岩が上流、下流とも平均してはいるのは那珂川が泥流を侵食して形成されていることにより泥流中の安山岩が河床れきへ転化したためと思われまふ。
7. 木の俣川との合流点付近より下流に花コウ岩が多く分布するようになるのは木の俣川の流出砂れきの影響と思われまふ。

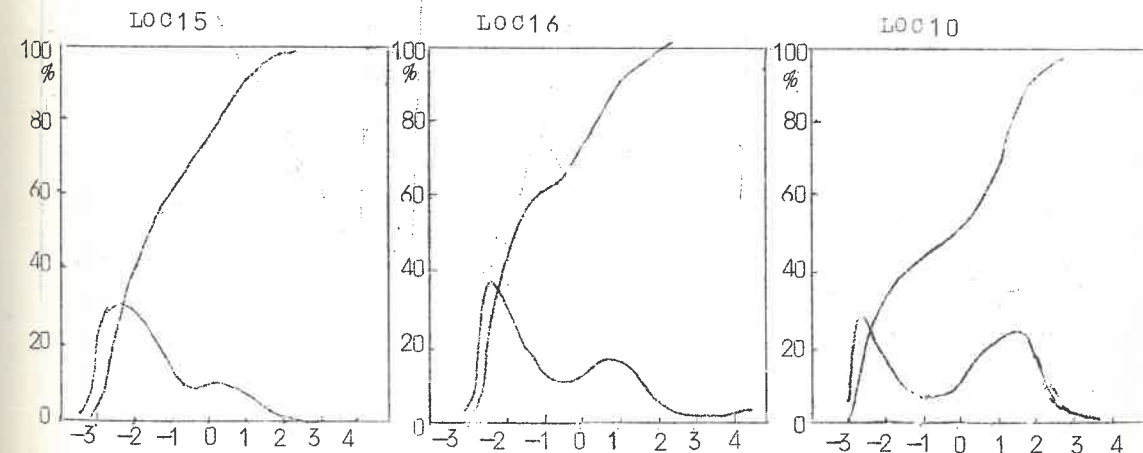
才14図 現河床砂(10mm以下)の粒度組成変化(累加曲線 φ 尺度グラフ)

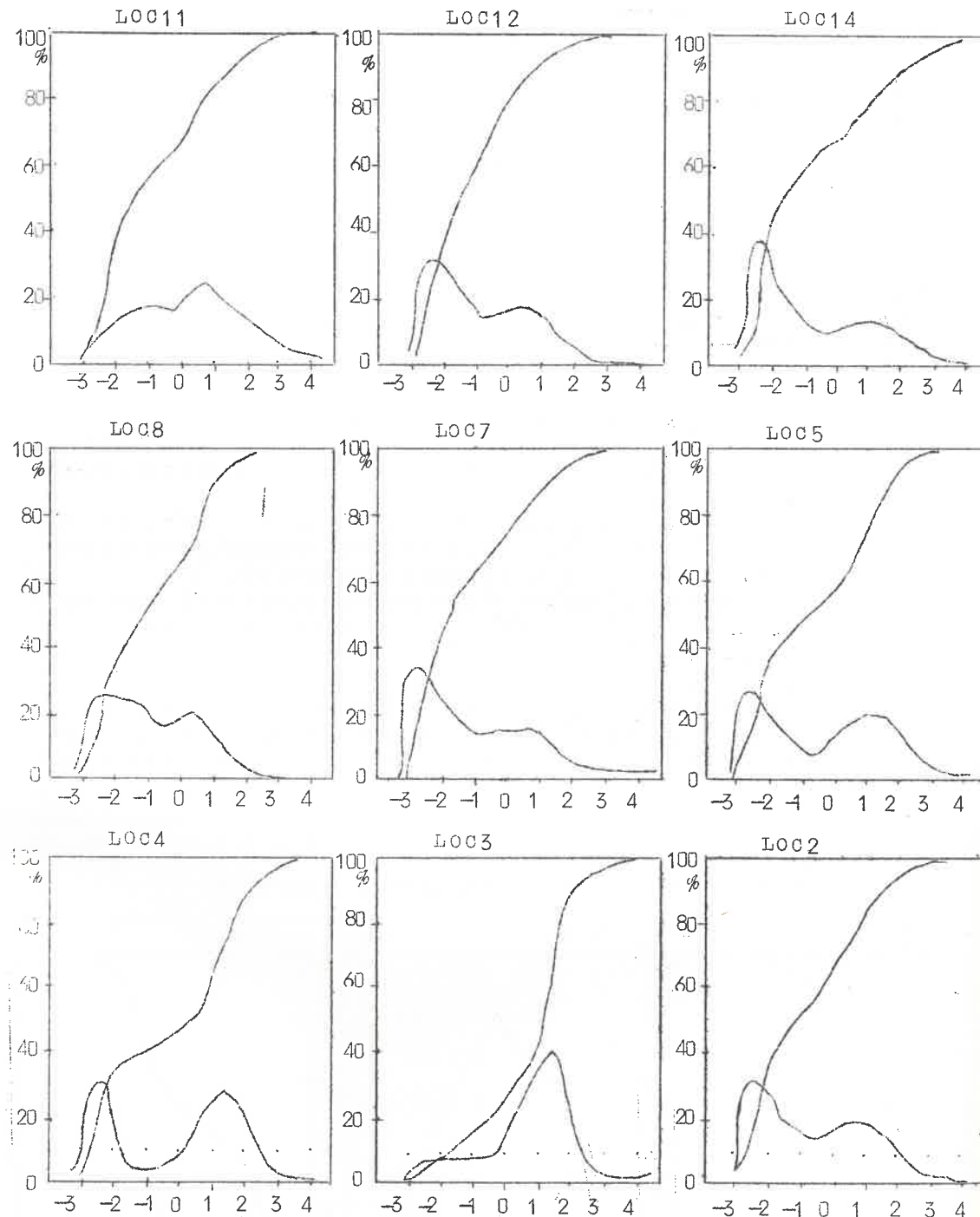




8. 蛇尾川、那珂川ともに角れきが上流に多く下流に少なく、しかも円れきがほとんどなく、あつても規則的でないということは両河川とも上流部の傾向を示しています。
9. 蛇尾川、那珂川の両河川とも20 cm以下のれきが大部分をしめていることは、流下することによつて小れきとなることは考えられないので崩壊によつて生産されるれきは、この級のれきが多いことを意味するものと思われます。
10. 粒度分析の結果、上流部では、8 mm ~ 4 mmの小れきが多くなつてゐるが、下流になるにしたがひ、0.25 mm ~ 0.175 mm間の砂が増加してくる。それに対し-1 ~ 0, 0 ~ 1の間が少なくなつてゐますがこれは、この級の砂の生産量が、少ないためと思われます。
11. 粒度分析の結果から判断するに、粒径の大きな砂が、上流に多く、一頭曲線となるが、中流では、双曲線となり、下流では、粒径の小さいところに極大値があらわれる、一頭曲線となることが予想される。これは河川の分級作用の一端をのぞかせ

才15図 現河床砂(10 mm以下)の粒度組成変化(累加曲線 φ 尺度グラフ)





ているものと思われ、蛇尾川、那珂川（今回の調査地域）は中流から上流の部に属すると思われます。

〔4〕 れき運搬の室内実験

（川の模型による小石の流れる状態観察）

私達は現河床の砂れきについて調査し、その資料をまとめてみましたが、上流には角れきが多く下流には丸みをおびたれきが多くなるということは、流水によつてれきが運搬される場合にれきの角がとれるような流れ方、つまり回転運動が行なわれているのではないかと思います。その資料にもとずき実験室ではガラスで川の模型をつくり流れによつてれきが運搬される状態を観察することにしました。川は、幅8cm、長さ2mとし水量をできるだけ多くし（そのために水田用水井戸を使用）川の傾斜角をいろいろに考え、小石の流れる状態を観察しました。

1 流速と河床勾配

まず、私達は流速と河床勾配を知るために模型をいろいろな角度にし、うきを使用して、3回の流時を行い、それを平均して流速を決定しました。これを見ますと河床勾配と流速との関係は、1つの放物線になつています。しかしこの実験は摩擦の少ないガラスや板を使つておりますので、砂れきで構成されている実際の河床では、この実験値より小さな値になつていられると思われます。

2 流水のれき運搬作用の実態

私達は前の実験で流速と河床勾配のあらましをつかむことができましたのでこんどは流水中のれき状態を川の模型を使つて調べてみました。

この実験にさきだち私達は河川調査において大れきは上流に、小れきは下流にと自然の分級作用が行なわれていることを知り、小石の重量を測つて実験をしました。この実験をして、気がついたことはれきが流水にて運搬される場合、河床をすべるように流れるのは非常に少なく、回転しながら流れる場合が多いということです。しかも流れが速くなると小石は回転、跳躍などをくり返して流れていきました。この事実により現河床れきが下流になるにしたがい角がとれて行く現象がわかるような気がしました。

オ5表 河床勾配と流速との関係（揚水井戸利用）

項目	勾配	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	15°	20°
時	1	2.50	1.60	1.40	1.30	1.15	1.12	1.05	0.95	0.92	0.91	0.85	0.50
	2	2.50	1.65	1.30	1.25	1.15	1.10	1.02	1.00	0.93	0.91	0.70	0.60
	3	2.50	1.60	1.35	1.30	1.10	1.11	1.05	1.00	0.95	0.91	0.70	0.60
間	平均	2.50	1.62	1.35	1.28	1.13	1.11	1.04	0.98	0.93	0.91	0.75	0.57
	流速 (m/s)	0.80	1.24	1.48	1.56	1.77	1.80	1.92	2.04	2.15	2.20	2.66	3.51

図16 流速と河床勾配との関係 (揚水井戸利用)

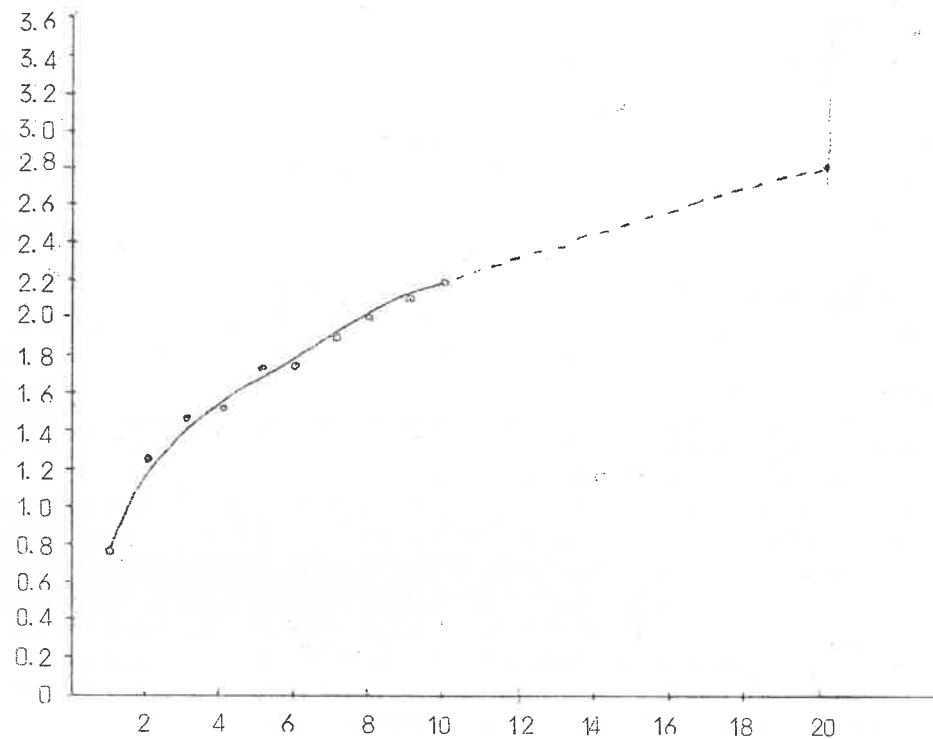


表6 流水の運搬力の実験 (揚水井戸利用)

時間 (秒)	流速 (m/s)				小石の重さ (g)																		
	1回目	2回目	3回目	平均	No.1 (36)	No.2 (48)	No.3 (87)	No.4 (57)	No.5 (122)	No.6 (211)	No.7 (243)	No.8 (178)	No.9 (451)	No.10 (647)	No.11 (520)	No.12 (640)	No.13 (335)	No.14 (572)	No.15 (395)	No.16 (170)	No.17 (165)	No.18 (125)	No.19 (101)
250	250	250	250	250	0.80	△	○	△	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
160	165	160	162	1.24	○		○		○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△
140	130	135	135	1.48									○	△	○	△	△	△	△	△	△	△	△
130	125	130	128	1.56										△	○	△	△	△	△	△	△	△	△
115	115	110	113	1.77										△	○	△	△	△	△	△	○	△	△
112	110	111	111	1.80										△	○	△	△	△	△	△	△	△	△
105	102	105	104	1.92										△	○	△	△	△	△	△	○	△	△
95	100	100	098	2.04										○	△	△	△	△	△			○	
92	093	095	093	2.15											○	△	△	△	△				
91	091	091	091	2.20											○								
85	070	070	075	2.66																			
50	060	060	057	3.51																			

○ 浮きながら流れる △ 河床をころがる × 流れないか又は河床をすべる

〔5〕 蛇尾川によるれきの運搬実験

私達は室内実験にて得られた資料が実際の河川ではどのようなになるかを実験しようと、6月にきました。台風4号のときの出水を利用して、蛇尾川で着色れきの流下実験を実施しました。しかし私達が河床に実験れきを並べているうち出水があり、台風の影響もおさまつた1週間後に現地(高林の折戸)に行ってみましたら土砂が多量にたい積をしていて着色れきを発見することはできませんでした。



〔6〕 馬頭院、地すべり調査

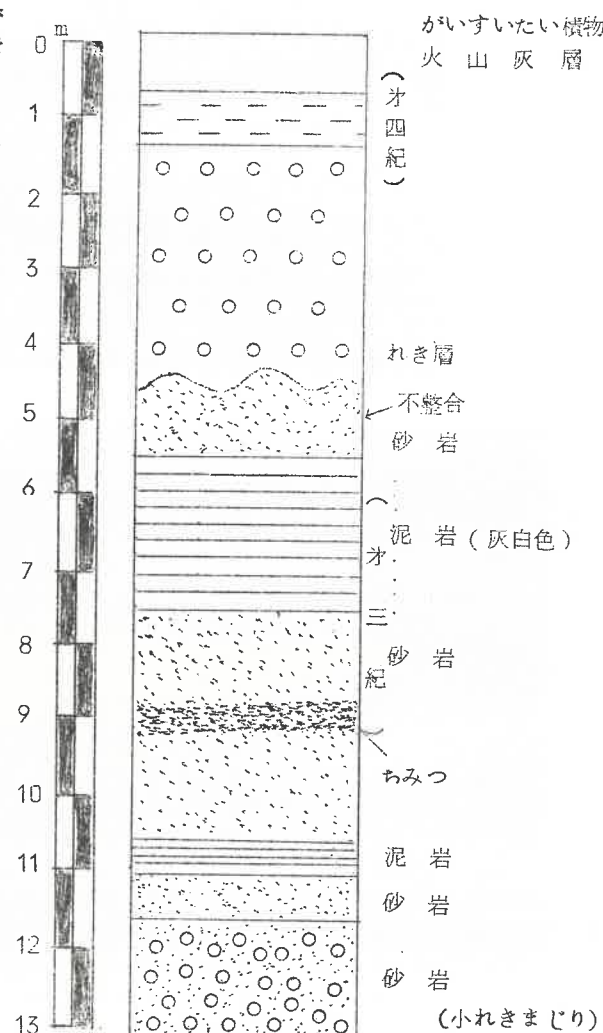
昨年私達の先輩が岩石の風化による災害の1つである、地すべりについて馬頭院（栃木県馬頭町）にて調査し報告しましたが、先輩がまだ調査が充分ではないので経続をしていただきたいと云ついたので、私達は本年も馬頭院におじゃまして、地すべりの状況を地質調査、測量、電気探査をして調べてみました。私達がこの地すべり地帯の測量を実施しておどろいたことは、昨年の資料を比較してみると、本堂の建っている所の一部は、わずか1か年という短い期間にもかかわらず520cmも陥没しているところがあったことです。

A 馬頭院付近の地質

この付近は八雲山麓に近く地質は、粘板岩（けつ岩）の上に不整合にオ三紀層がたい積しております。

オ三紀層は、ほとんどが砂質凝灰岩で固結度の高いものと固結度の低い岩石が互層になっております。地質の一般的柱状図は図のようになつており、上部4mのところまでは崖すいたい積物がありその下部に砂質凝灰岩が基盤となつております。そこで私達はこの崖すいたい積物と基盤のあいだが地すべり面となつていないかと思ひ馬頭院の近くの地質調査を実施しました。ところがこの付近は崖すいたい積物は見あらず、火山灰層の下には地下水によつて風化されベントナイトに変質してしまつた砂質凝灰岩が3.5mほどありその下には比較的固い砂質凝灰岩と泥岩の互層がありこれが基盤となつてゐるものと思われまふ。この基盤の走向傾斜はN30°E-20°Eとなつております。

オ17図 柱状図



B 地すべり地の電気探査

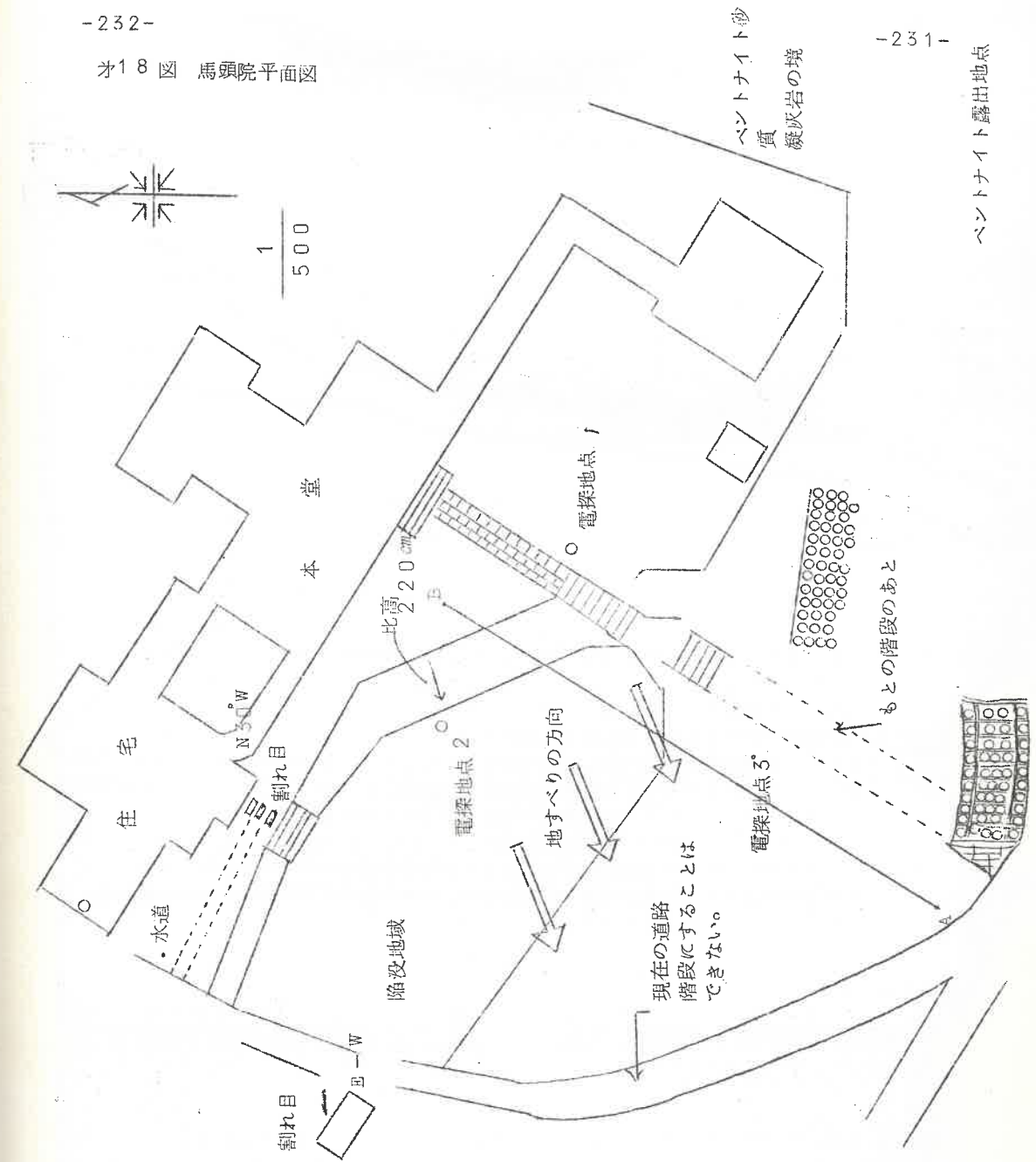
私達は昨年度馬頭院の電気探査を実施しそれを解析することにより地下の構造を知ることができました。しかしながら今年の調査において基盤に対する疑問が生じたので、もう1度電気探査を実施しようということになり、次の3点を重点に行ないました。

- 1 現在、地すべりに影響のない台地
- 2 地すべりにより陥没した地域
- 3 地すべりによる土砂のたい積物

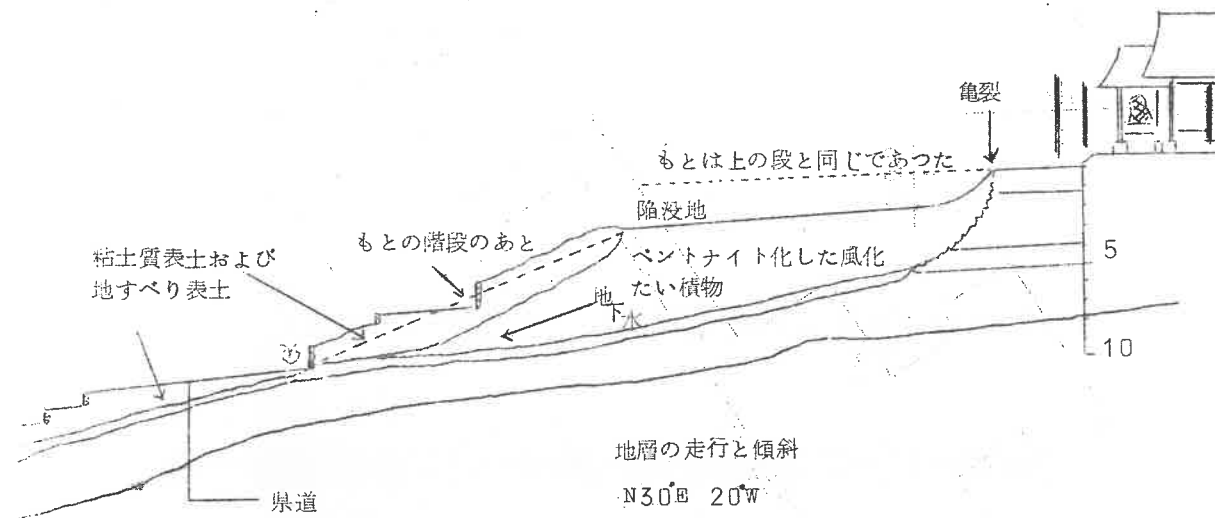
本年は電気探査を4か所行ない、昨年の資料と踏査の結果をあわせて、次のような断面を組みたてました。



才18 図 馬頭院平面図



オ19図 馬頭院地すべり地域の地質断面図(A-B断面)



これによりますと、3.5 mのところが地すべりの滑動面になつていゝと思われまゝ。ちやうど私達が調査にいつた時馬頭院の庭さきに井戸がありました。その井戸の深さは4 mぐらゐと教えてくれました。井戸の深さが4 mといひますとその付近に地下水の流れてゐる部分があるものと思われ、私達の推理は間違つてゐないといふ確信を得ました。これは昨年の研究資料と一致しておりますところ私達はこの地すべり地域がほんの一部分にかざられてゐることに疑問をもち、さらに調査をつづけました。ところが馬頭院の入り口より泉道を150 m北東に行つたところに小さな断層がありました。この断層は走向がN20°E、傾斜20°Eであり落差が1 mでした。この断層の走向は馬頭院の廊下の下にあつた割れ目の方向とはほぼ一致し、しかも現在地すべりにより陥没してゐる地域の一部の方向とも一致しておりましたのでこの断層は地すべりに何らかの影響を与えてゐるのではないかとおもひます。

オ7表 ベントナイト滑動実験(ベントナイト200g)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
水の量	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000	70000
百分率	200	333	42.8	50.0	55.5	60.0	63.6	66.6	68.2	71.4	73.3	75.0	76.4	77.7
傾斜角	30	35	30	40	45	45	45	30	25	30	10	30	15	10
滑動	なし	なし	なし	なし	なし	なし	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり

つまり断層によつて地われができ、その地われから表流水が浸透してベントナイトをうるおし泥岩の境目が滑動面となり、地すべりが起るのではないかとおもひます。

○ ベントナイトの滑動実験

私達は馬頭院付近でとつてきましたベントナイトにつきまして滑動実験をしてみました。その結果はオ7表のとおりです。

この実験ではあまり良い資料を得ることができませんでしたが、ベントナイトは水分を多量に含むと、滑らかになり、滑動しやすくなる。また傾斜角が大きくなれば水分がある程度少なくとも滑動をする馬頭院付近の地層の傾斜は、約20度でありますので多量の水分が含まれると滑動を開始するものと思われまゝ。したがつて滑動の時期は梅雨期および、台風期のように雨量の多い時期である。

(7) まとめ

A 岩石の風化と災害

1 災害に関係ある岩石

吸水率の高い、風化しやすい砂石、泥岩、凝灰岩で亀裂の多い流モン岩、安山岩(蛇尾川上流)風化の進んだ花コウ岩(黒羽町片田)

2 風化により粘土化する岩石

水の作用を受けやすい泥岩、凝灰岩、ミョウバン化作用を受けやすい長石を含んだ岩石(安山岩、流モン岩)

3 崩壊しやすい岩石

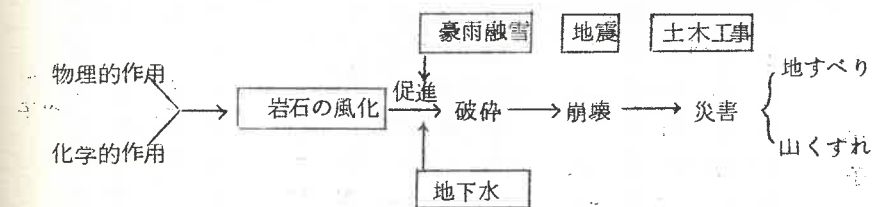
方状、多角状、板状など亀裂の多い凝灰岩、流モン岩、安山岩

B 河床砂れき

1 崩壊によつて生産されるれきは20 cm以下のものが多い。

2 河床れきは上流の地質による影響が大である。

オ20図 岩石風化の因果関係



3 那珂川の河床れきは泥流の影響がかなりあると思われる。

4 河床れきのうち上流には粒径の大きいものが、下流には粒径の小さいものが多く川の分級作用をしめしている。

5 山間部と、扇状地では河床勾配が違ふので河床砂れきも、山間部には大きなれきが、扇状地には、小さなれきが多くなつてゐる。

6 れきの円磨の度合は岩質によつてもかなり違ふが調査地域のうち蛇尾川は、角れきから亜角れき、(安山岩)角れきから亜角れき、亜円れき(流モン岩)になるものが多い。

7 砂の粒度分析からみますと、粒径1 mm~0.5 mm 0.5 mm~0.25 mmの砂の生産量は少ないと思われまゝ。

8 流水によつてれきが運搬される場合、れきは回転(転動)しながら流れ、流速が大きくなると跳躍しながら流れるものと思ひます。

○ 馬頭院の地すべり

1 地すべりを起す要因は、地下水により、風化されベントナイト化した凝灰岩によるも

- ので、深さは約4 mのところであると思われます。
- 2 地われや浸透水が泥岩とベントナイトの間をうるおし、それによつてベントナイトが滑剤となり地すべりが起るものと思われます。
 - 3 馬頭院の北東約150 mのところにある断層は間接的には、地すべりに影響しているものと思います。
 - 4 いまなお地われができていますので今後もつとひとく地すべりを起すことが予想されます。
 - 5 地すべり防止法としては、くい打ちも有効な手段と思われますが、地下水の浸透によるベントナイトの滑剤化を防ぐように排水を完全にすることが特策と思います。

昭和41年度 研究者名簿

指導教諭 伴 昭 男
助 言 者 堤 橋 昇
室内実験指導者 品 川 温 子

研 究 者			
吉 成 久 幸	室 井 和 男	郡 司 兼 典	三 森 静 治
相 馬 君 代	平 山 環	永 山 操 子	手 塚 ミツ子
高 秀 照 子	大 貫 秀 人	磯 秀 一	黒 崎 光 男
池 田 茂 男	高 野 岸 一 郎	五 月 女 光 男	吉 成 邦 和
金 川 一 郎	室 井 恵 子	渡 辺 美 知 子	青 木 寿 美
寺 崎 ヒロ子	東 泉 幸 恵	磯 栄	皆 川 良 一
宮 崎 栄	藤 田 評 慈	阿 久 津 正 徳	伴 典 夫
大 田 原 重 夫	花 塚 仁	森 隆 道	榊 原 順 子
高 野 礼 子	遅 沢 洋 子	印 南 トシ子	大 竹 保 江
黒 谷 リイ子	蛭 田 君 江	八 木 沢 百 合 子	

昭和42年度

蛇尾川の地学的研究

1. はじめに

私達地学クラブ員は先輩の残した数々の業績を受けつぎ17年目を迎えました。昨年は地質災害予防の研究・その3を出品いたしました。優秀賞のみにとどまり、先輩は私達に反省と生きた研究の尊さを教え卒業していきました。私達は前回の作品が新聞の評価である「発展の不足」を卒直に反省し、総花式を捨て、一つの問題をとりあげ、それを全クラブ員の体当りで切り開こうということを申しあわせました。まず本校地学クラブの伝統である地域社会に密着した研究の中で、何をテーマに選ぶかという問題で、議論百出し、アンケートにより「蛇尾川の地学的研究」というテーマによる研究を、全員一致して行なうことになりました。その大きな理由は、災害に富む河川であり、いままでその予防対策が地学的になされていないこと、この研究により水稲主体である農業経営に間接的（河川乱流災害、地下水、主として伏流水の確保）に役立つ希望があること。そして先輩の選んだ伝統を維持できるという点です。

2. 研究の動機およびねらい

（クラブ員のアンケートより）

ア、台風26号で援農作業を行なつたとき、小河川のはんらんにより堤防がくずれ河川流域の水稲栽培の被害が目立つて多かつたこと、堤防も全くの簡易工事で地学的考察がいつさいなされず築かれていたこと。とくに砂れきのたい積機構の研究が大切であることを痛感したので蛇尾川でこの問題を研究したい。

イ、先生に群馬県の桐生に実習に連れていってもらつたとき河川の砂利採くつにより地下水が変動し部落の人々が真剣に対策に取り組んでいたことから伏流水の流出がへかに災害に大切な要素を持つてゐるかを知つたので郷土の蛇尾川でこの問題について研究してみたい。

以上のようなクラブ員の声の中から蛇尾川河道の中で最も重要な研究は、砂れきのたい積機構の解明であると考え、この点に焦点を合わせ、砂利採くつ対策、伏流水確保対策、堤防構築対策、洪水予防対策のひとつの道しるべにした。

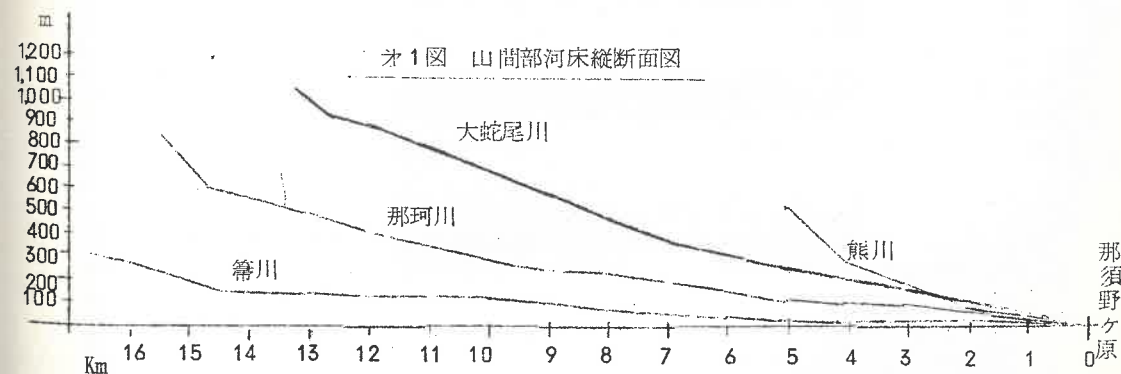
3. 蛇尾川の概況および洪水災害の実態

（1）調 査

私達は卒業した地学クラブ員の研究した資料をもとにその不足分を昨年10月から本年夏休み全期間をかけて班別に徒歩と自転車にて全水系を踏査し資料を集めました。

（2）蛇尾川の河川概況

蛇尾川は水源を大佐飛山西方、標高約1,700 mに発する大蛇尾川と、日留賀岳の東方に発する小蛇尾川が安戸山北方標高約500 m地点で合流し、蛇尾川となり、蛇尾川扇状地に出る。山地の河床勾配は那須野が原に属する河川では熊川に次いで勾配が急に崩壊された多量のれきを流している。

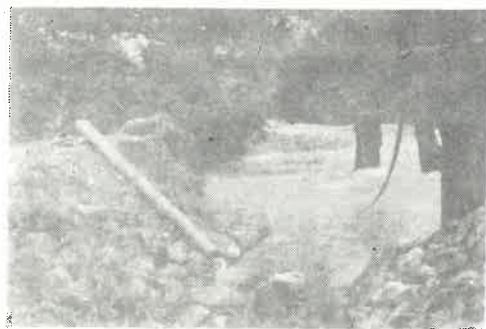


蛇尾川が扇状地にでると以下8kmの間は約50分の1の勾配で2段段丘を有する解析谷を流れ、以下さらに8kmは同勾配で左右同一平面の平原を流れ、ところによつては天井川の様相を呈している。平均川幅は200m、最大500mにおよんでいる。川は中流部より急に90分の1の勾配と緩やかになり、国道、東北本線の鉄橋をくぐり大田原東方にでる。この間、標高460mより標高230mの約1.4kmの間は表流水は伏流して通常、水無川となっている。これから下流は権現山東南方より湧出し、約1/200の勾配で扇状地の浅い解析谷を流れ、蛇行しつつ箒川に合流する。

(3) 洪水災害の実態

蛇尾川の洪水実態は地学クラブの先輩が残していた資料によると、雷雨、台風の二つが大部分と考えられます。そこで私達は先輩の資料をもとに、蛇尾川が乱流したと思われる地域を班別で踏査し、表土のない砂れきでおおわれた地域を調べ、明治の末期より昭和35年までの洪水となる最大日雨量を文献で調べ、降雨の種類と降水量その他の比率、洪水の規模を推定してみることになりました。なお蛇尾川の降水量資料はありませんので、最も近い塩原の資料を使いました。

台風による出水(折戸)



次の塩原降水量資料から推察すると、この地域の洪水可能降水量(日量100mm)の降水の型は雷雨と台風がほぼ同じで、39年間に100mm以上の雷雨が31回、台風が33回になっている。年間の洪水予想を立てれば1.7回ということになり、2回程度の洪水の危険性も考えなければならない。洪水による被害の規模は地元の人話によると、昭和22年のカスリーン台風による洪水、地学クラブ員の先輩が調査した昭和36年6月の集中豪雨が良い参考資料になっています。カスリーン台風では1出水のみでは河床が平均28.5cm上昇、2kmの範囲では約15万トンの砂れきをたい積したと聞いております。洪水は笹沼の護岸を打ち破つて数haの耕地を流出し、右岸では東遅沢、西遅沢、上井口、下井口を全面浸水し、国道を幾箇所も切断、槻沢、関根方面に至り、東北本線の土手にささぎられた濁水は小潮水を出したそうです。この被害地域は私達の地表の砂れき調査と全く一致し、とくに河床勾配50分の1から90分の1に変る付近が最も著しいようです。これらの災害から推察すると今後は水稻の早期栽培から台風より雷雨による被害を最も警戒しなければならないと思います。



洪水(折戸)本流



洪水(本流)

4. 蛇尾川の地学的考察

私達は昭和35年に先輩の那須野が原の地下水の研究のさい蛇尾川の調査結果を再検討しまして、本年度の調査計画を次のようにしました。

- ア、河床勾配をハンドレベルにて実測し、河床勾配の変化をつかむ。これにより蛇尾川の河床と扇状地との関係、および河床砂れきの運搬状態を調査する。
 - イ、河床の横断面をトランシットにより測量し、現在の蛇尾川と扇状地の比高を調べ、洪水時における乱流地点をつかむと同時に、蛇尾川の流路変化の概要を調べる。
 - ウ、電気探査により蛇尾川の地下構造を調べる。
 - エ、地下構造を調査すると同時に、最近蛇尾川ではかなりの砂利採集が行なわれ、それによつて地下水にもかなりの影響があると思われますので、砂利取つと地下水の影響について調べてみる。
- 以上の計画にもとづき、昨年9月から今年8月にかけて蛇尾川を、上流は大蛇尾川と小蛇尾川の合流点より、下流は箒川との合流点まで、測量調査、電気探査、踏査を実施してきました。まだ資料は十分とはいへませんが、これまでの調査でわかったことを発表することにいたします。

(1) 蛇尾川の河床勾配と運搬力の考察

ア、河床の縦断面測量と最大れき径変化および砂れきのたい積状態

河床れきは上流には大きなれきが、下流になるにしたがひ粒径の小さなれきがたい積するということとは知っていましたが、実際に河床れきについて調べたことがありませんでしたので、昨年那珂川と蛇尾川において、実際に河床れきの大きさの変化を調べてみましたが、河床砂れきは、上流から下流

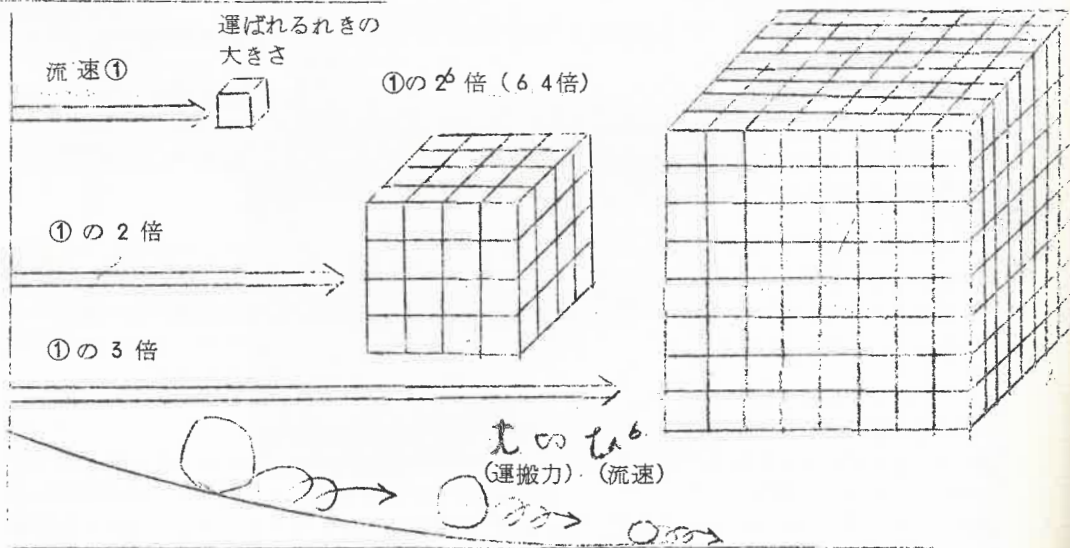
になるにつれ粒径は小さくなりますが、その変化は不規則でひとつの傾向として知ることができまし
た。

円
磨
度
調
査



私達は授業で運搬力は流速の6乗に比例するという事と、流速は河床勾配にも左右されるというこ
とを学びましたので、河床勾配と運搬力との関係を調べるため、蛇尾川の河床勾配と最大れき径の変
化、および砂れきのたい積状態を調べてみました。さいわいに地学クラブの先輩がこの問題について
箒川で実験した研究結果がありましたので、非常に力強く調査に希望をもつて当ることができました。
河床勾配はハンドレベルにより測量し、れきのたい積状態は、現河道と思われる地点より1m離れた
場所において、2m×2mの範囲内の深さ10cmにあるれきを任意に500個選びだし、その粒径と
磨耗度を調査し、10mm以下のものについては、実験室に持ちかえり粒度分析をしました。
また最大れき径は、約2Kmおきに現河床を横断する面のれきの最大のものをさがし、その粒径を測定
してきました。この調査によりますと、蛇尾川の河床勾配は上横林では $1/60 \sim 1/70$ 、上横林～遅
沢～大田原～和久までは $1/90 \sim 1/100$ とゆるやかになっていますが、和久より下流川毛までは

図 3 流速と運搬力の関係

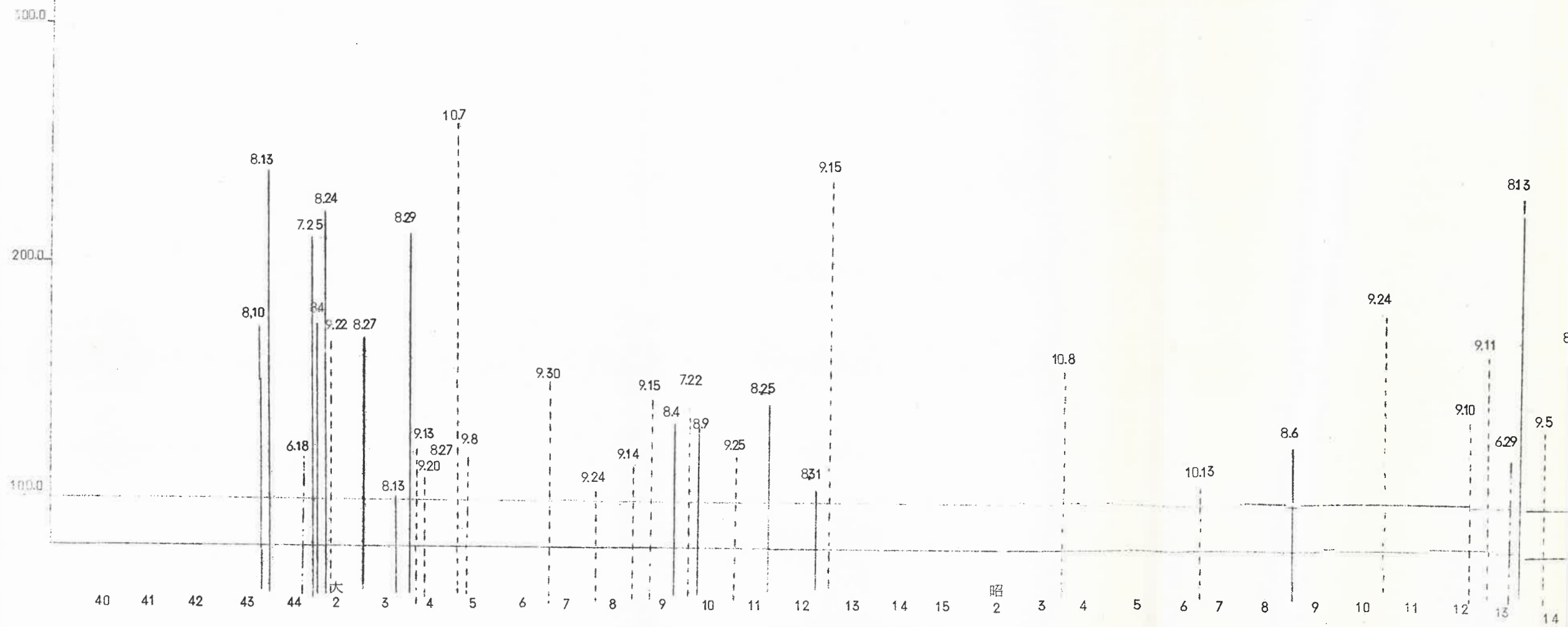


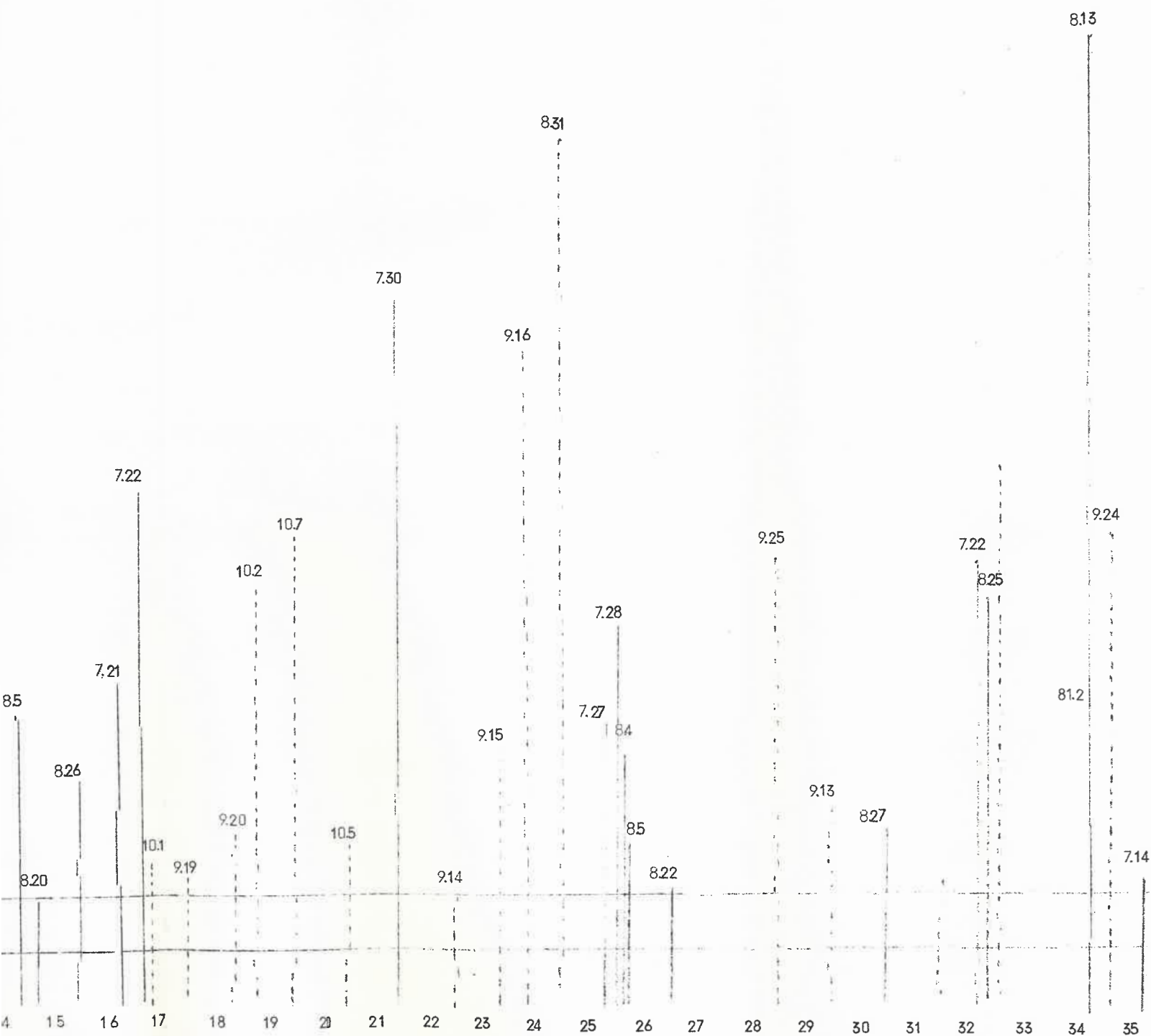
雨量
(mm)

オ2図 塩原日雨量記録図表 (但し100.0mm以上にて明治40~昭和35年9月迄とす)

39年間

凡 ——— 雷雨による洪水 31回
----- 台風 33回 66回………1年間に1.7回洪水の可能性
例 - - - 梅雨期 2回





1/70 と河床勾配が急で、川毛より下流箒川合流地点までは1/170とゆるやかな傾斜となつています。上流の河床勾配が急なところには大きなれきが、河床勾配のゆるやかなところには小さなれきが、しかも上流から下流になるにつれて、大きなれきから小さなれきへと変化しています。しかも河床れきの調査結果をみましても、今回の調査地域の最上流である6072702では、799mm~500mmのれき（以下大れきとする）が5個、449mm~200mmのれき（以下中れきとする）が89個、190mm~10mmのれき（以下小れきとする）が400個となっており、それより下流の測点には大れきはなく、中れきが6082701で30個、7072401で20個と、以下64個、15個、13個、63個、5個、13個、19個……と、不規則ではありますが、だんだん少なくなつていきます。また小れきになりますと、こんどは逆に上流に少なく、下流になるにつれて多くなつていきます。（オ5図参照）このことは、上流は比較的河床勾配が急で流速も速く、大きいれきが運搬されるが、下流になるにつれて河床勾配がゆるやかになりますと、流速がおとろえ、これまで運搬されてきたれきもたい積してしまうものと思われます。つまり河川が自然に行なり分級作用の結果だと思います。またれきの円磨度調査は、あらかじめ基準れき（いくつかのれきを写真にとり、Hweldelの方法、公式 $P = \frac{2}{\sqrt{R}}$ により円磨度を求め円れき、0.76以上、亜円れき0.75~0.61、亜角れき0.60~0.41角れき0.40以下とする）をつくり、任意に選んだ石を基準れきに照らしあわせて調べてみました。これによりますと蛇尾川は角れき、亜角れき、亜円れきで占めており、円れきはほとんど見られませんでした。上流の河床勾配が急なところでは角れきが多く、下流になるにつれて角れきは少なく、亜円れきが多くなっています。それに対して亜角れきは、上流、下流を通じてほとんど変化がなく、わずかながら下流に少なくなっています。これらを各測点別の混合割合のグラフにしますと、オ6図のようになります。これを見てもわかりますように上流には磨耗度の少ない角れきがやや磨耗度の進んだ亜角れきは、ほとんど変化なく、かなり磨耗度の進んだ亜円れきは下流に多くなっている傾向がわかります。これは流水によつて運搬される場合、河床砂れきの濁流中の砂泥などによつて磨耗された結果だと思います。この様子を知るために、私達は昨年れきの流下実験を実施してみました。その結果れきは跳流により流下したり、掃流したりして下流に運搬されていきました。このような現象がれきの磨耗を促進するものと思われる。

上流の河床れき



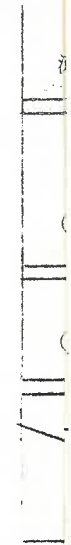
下流の河床れき



にな
た。

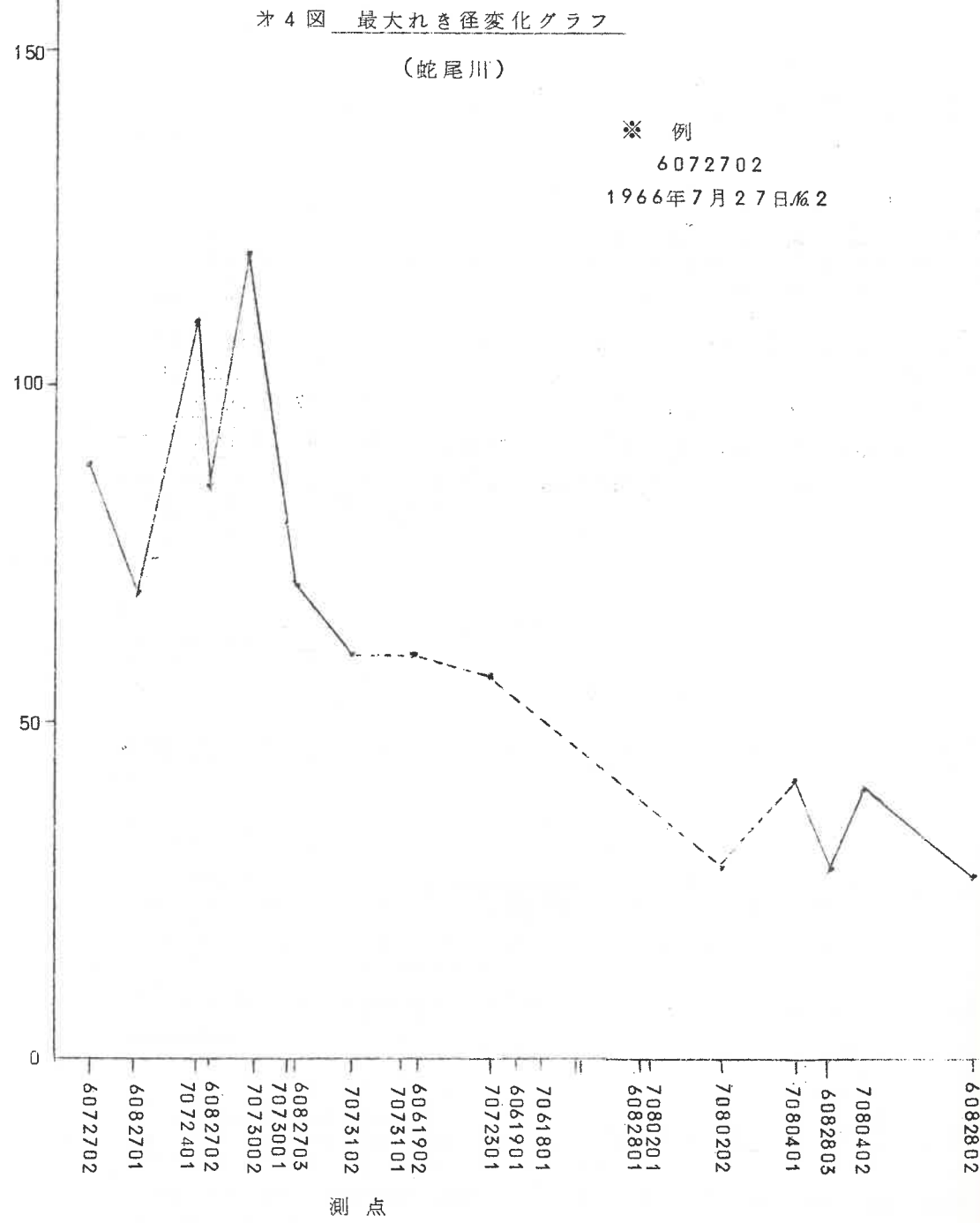
私達
とを
化、
箒川
河床
場所
磨耗
を
し
て
沢へ

オ 3

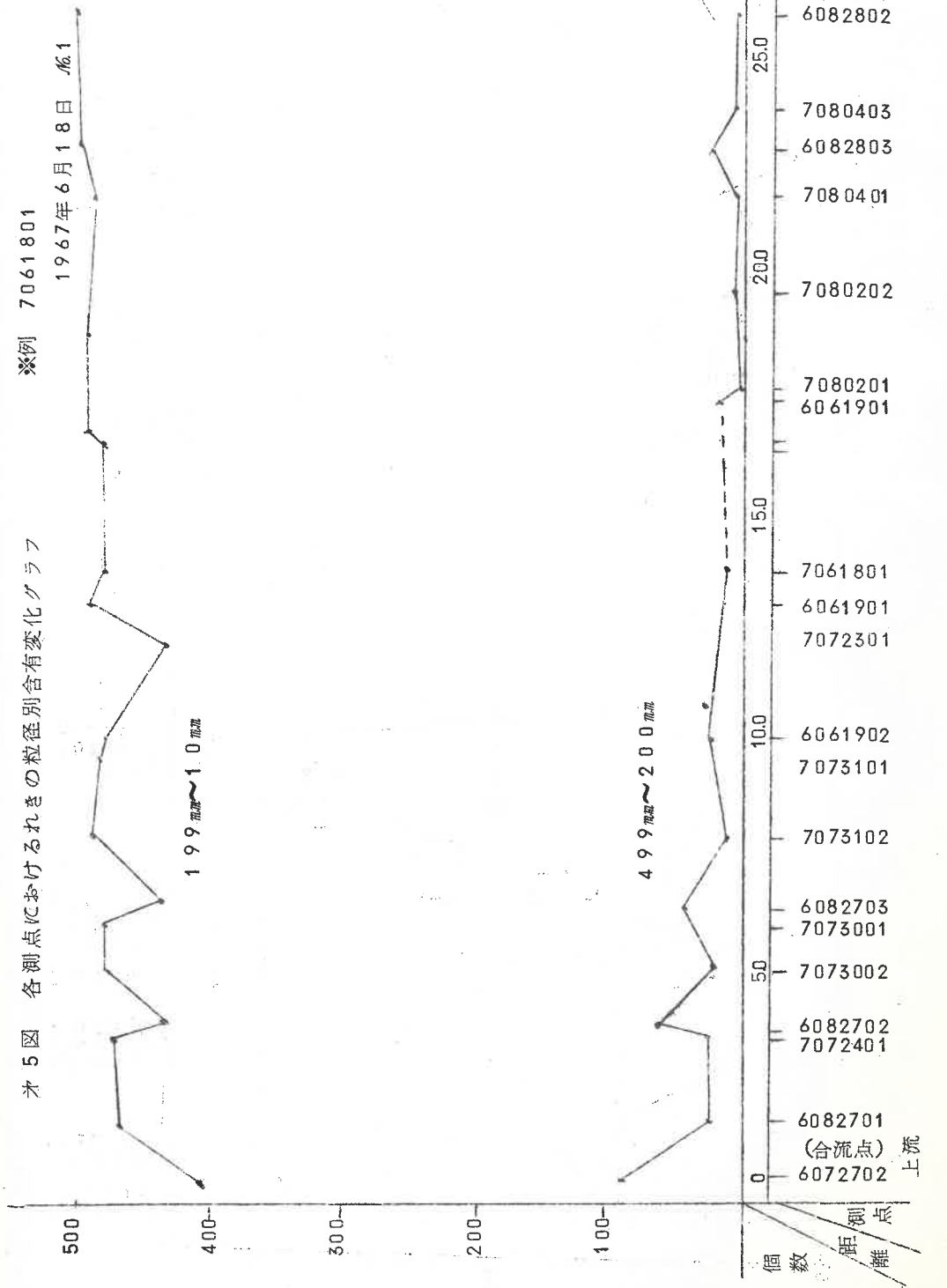


※例 6082703 1966年8月27日 №3

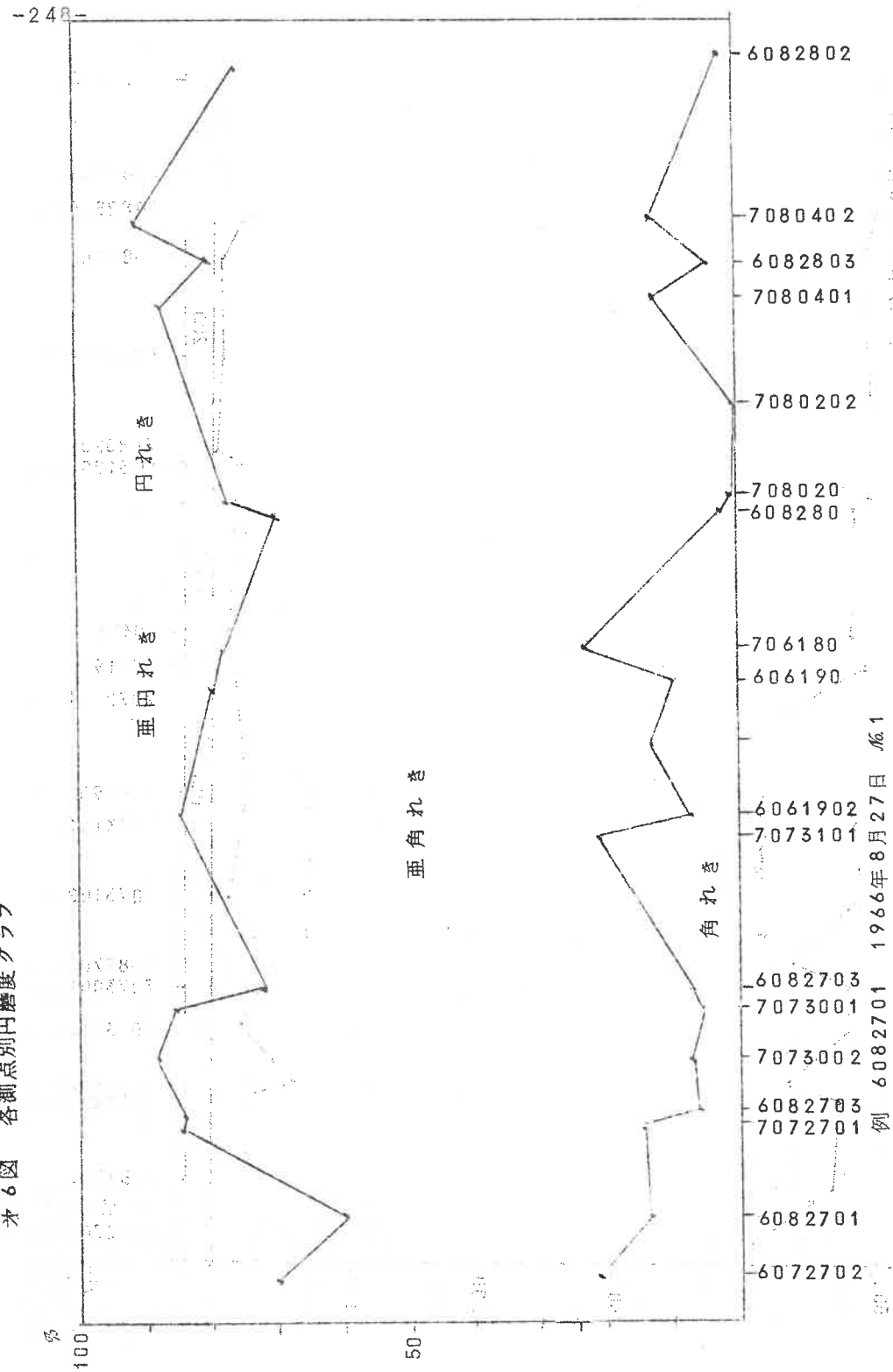
岩質	粒徑	測 点		6082703	7073102	7073101	6061902	7072301	6061901	7061801	6082801	7080201	7080202	7080401	6082803	7080402	6072401	6072403	6072404	6072502	6072501	6072503	6072504	6072601	6072701	6072702	6082701	6082702	7072401	7073002	7073001
		800mm以上	799~500	499~200	199~10	小 計	800mm以上	799~500	499~200	199~10	小 計	800mm以上	799~500	499~200	199~10	小 計	800mm以上	799~500	499~200	199~10	小 計	800mm以上	799~500	499~200	199~10	小 計	800mm以上	799~500	499~200	199~10	小 計
流 も ん 岩 石 英 は ん 岩	800mm以上																5	5				5	11		10						
	799~500																19	36	5			15	33		12	5					
	499~200	50	5	9	14	9	3		15	1	2		5	1	5	14	167	107	80		218	61	55	131	89	15	59	15	11	6	
	199~10	370	359	359	310	339	387	421	320	407	416	400	345	411	32	381	255	359	370	460	247	254	419	310	406	333	381	360	372	369	
	小 計	420	364	368	324	348	390	421	335	408	418	400	350	412	37	419	463	471	450	460	485	359	474	463	500	348	440	375	383	375	
安 山 岩	800mm以上																														
	799~500																														
	499~200	5		4								1	5													5		1	1	7	
	199~10	40	73	47	65	32	13	16	105	37	29	50	125	38	14		6									102	25	53	32	67	
	小 計	45	73	51	65	32	13	16	105	37	29	51	130	38	14	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	25	54	33	74
凝 灰 岩	800mm以上																														
	799~500																10							4							
	499~200	10				1	1				1	1						10				4					10	5	4	4	
	199~10	10	59	75	78	48	77	32	35	46	37	18	10	29	14	71	21		5	5	60	21	4			20	25	30	37	26	
	小 計	20	59	75	78	49	78	32	35	47	38	18	10	29	14	81	31	0	0	5	5	64	21	8		30	30	34	41	26	
ひ ん 岩	800mm以上																														
	799~500																														
	499~200	5																	5		10										
	199~10	10	4	2	28	11	15	14	20	6	8	11	10						40	35		77	5	29			15		29	39	20
	小 計	15	4	2	28	11	15	14	20	6	8	11	10	0	0	0	0	0	45	35	10	77	5	29	0	15	0	29	39	20	
その他の岩石	800mm以上																														
	799~500																														
	499~200				5				5									5													
	199~10			1		2	4			1	3	13		2	5			24	5								5	6	4	5	
	小 計			1	5	2	4	0	5	1	3	13	0	2	5	0	0	29	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	4	5
合 計		500	500	497	500	442	500	483	500	499	496	493	500	481	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	498	500	500	



オ5図 各測点におけるれきの粒径別含有変化グラフ



オ6図 各測点別円磨度グラフ

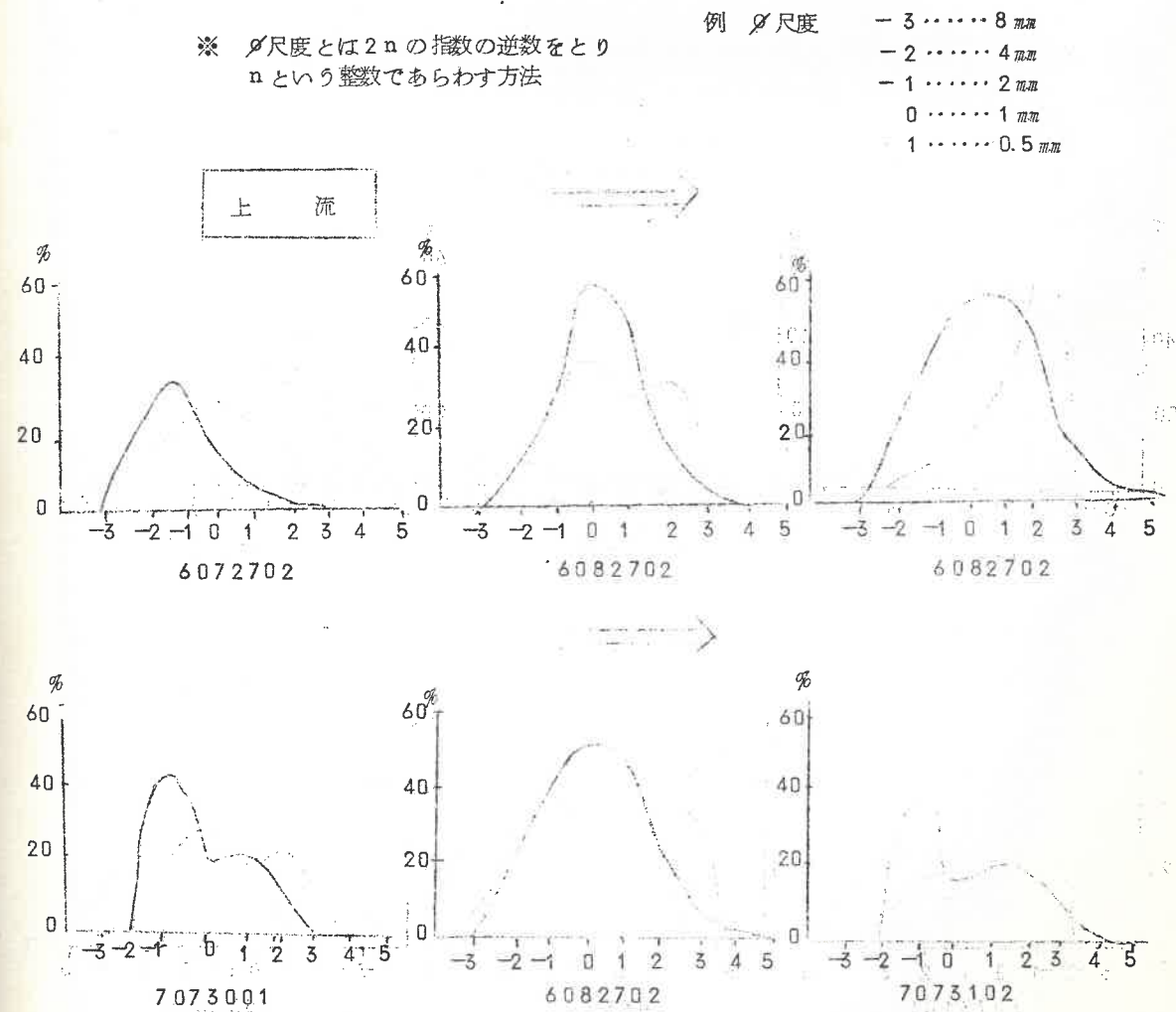


また河床砂れきのうち10mm以下のものについては現地でその混合割合を判別することは困難なので、実験室に持ち帰り粒度分析を実施してみました。その粒度分析の結果をφ尺度であらわしたのが、オ7図であります。

※ φ尺度とは 2^n の指数の逆数を取りnという整数であらわす方法

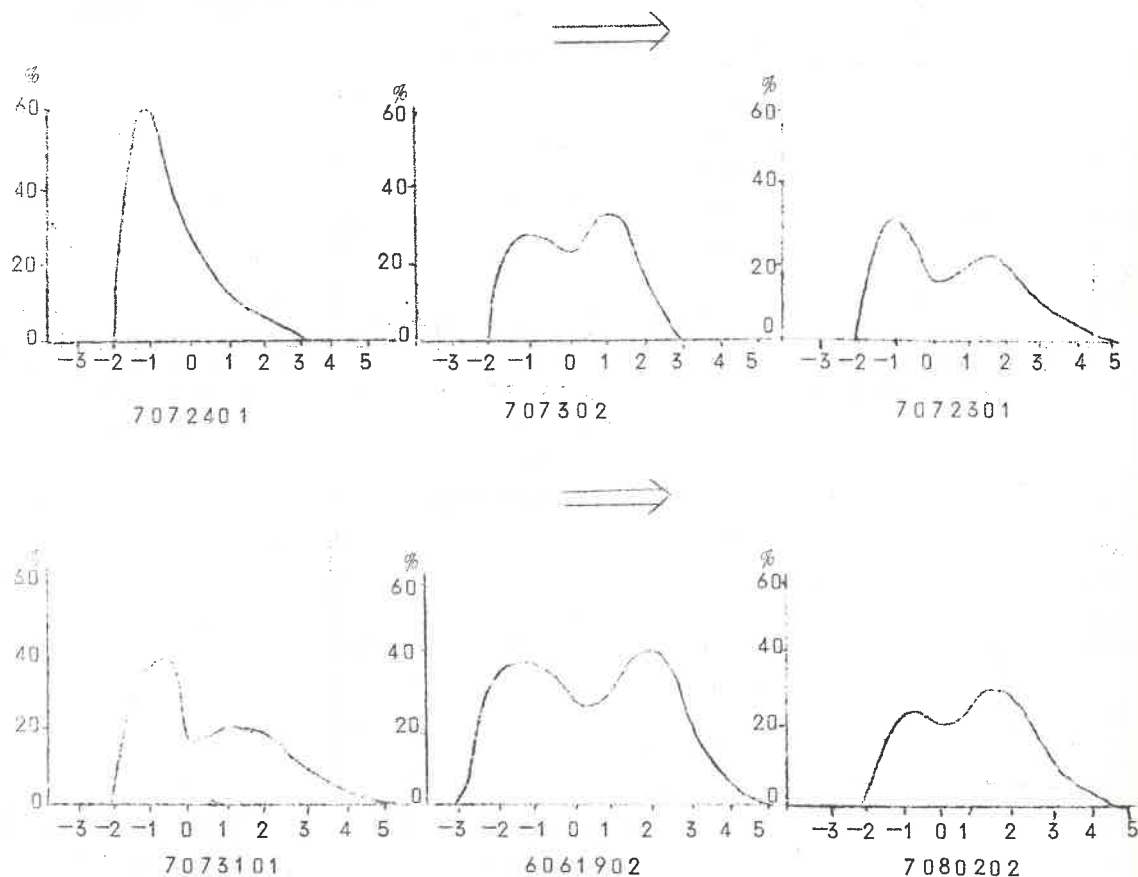
これによりますと扇頂部は、φ尺度で-2~-1(4mm~2mm)に極大値があり、扇央、扇端部へと下流になるにつれて、-2~-1, 1~2(1/2mm~1/2²mm)の2箇所極大値があらわれ、いわゆる双頭曲線となっています。この粒度組成変化をもう少し詳しく調べてみますと、山間部や河床勾配の急なところでは、-2~-1に極大値をもつ一頭曲線となつておりますが、河床勾配のゆるやかな地点になりますと、-2~-1, と1~2に極大値があらわれる双頭極線となつてきます。このような変化は、流速に支配されるものと思われます。ところで私達が疑問に思いましたのは、-2~-1クラスのれきが、各測点に多く存在することは納得いくのですが、φ尺度で0~1(1mm~0.5mm)の粒径をもつ砂の量が各測点に少なく、それより粒径の小さい1~2の砂が多く存在することです。

オ7図 現河床砂れきの粒度組成の変化



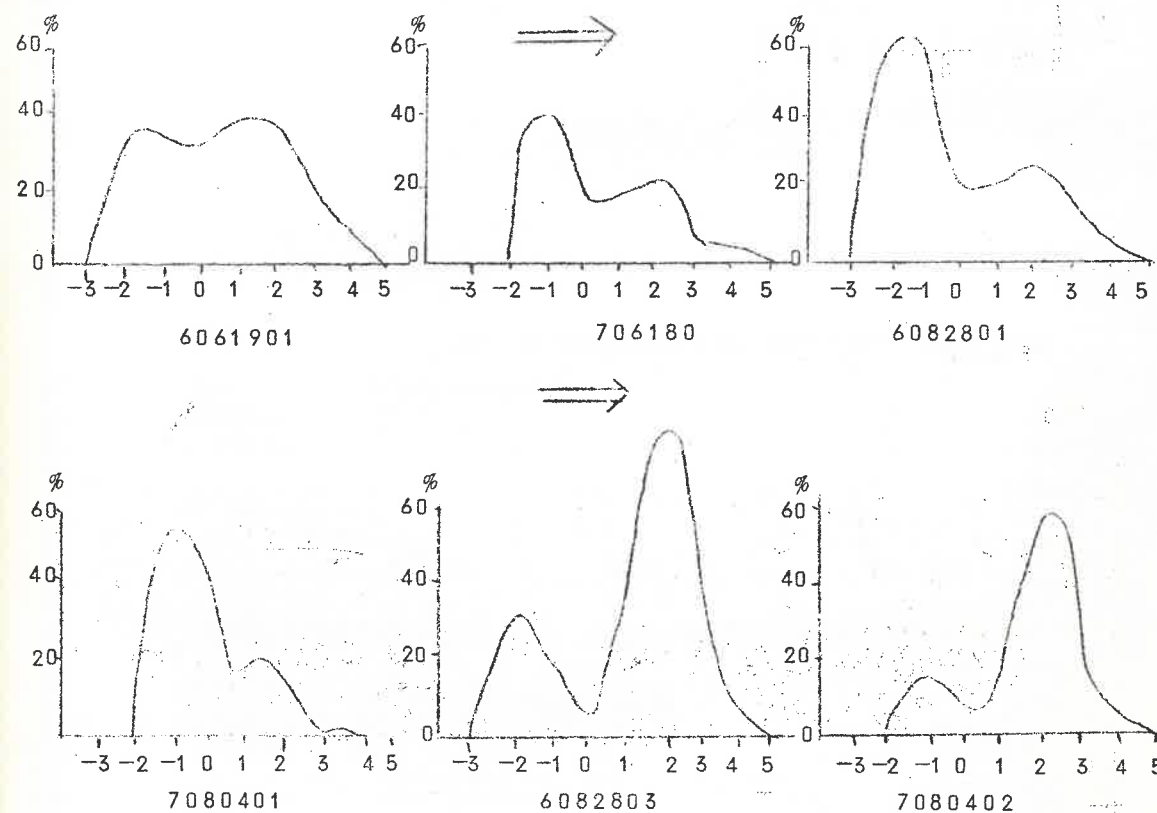
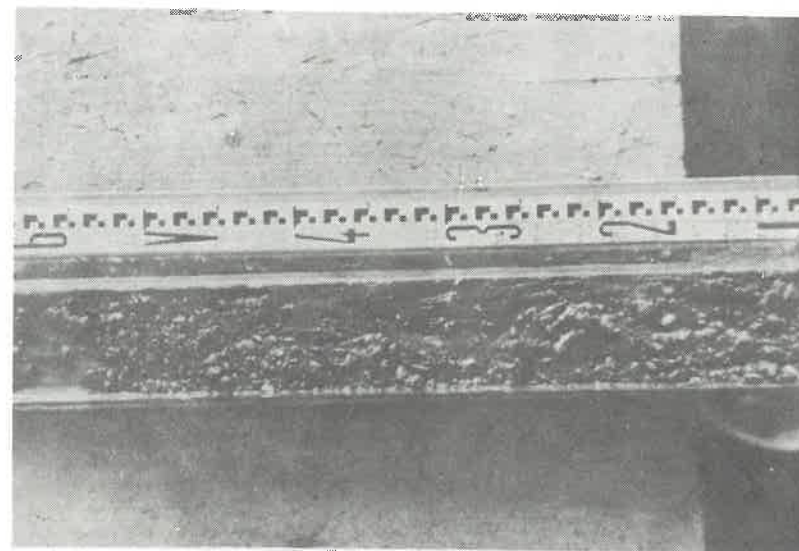
そこでこれらはどんな現象なのかと種々考えてみましたが、まずこれらの砂が流水によつてどのように運搬されるかを、実験で確かめてみることにしました。実験は長さ2m、幅8cm、高さ10cmの川の模型を用い、粒度分析用として取つてきた砂を流して見ました。この実験では、砂れきたいに流水が当たるとまず粒径の小さい砂泥が流され、次に粒径の大きなれきが移動しはじめました。しかし水がひくにつれて大れきの移動がやみ、他の粒径の砂泥も沈んでくはじめますが、不思議と径がφ尺度、0~1(1mm~1/2mm)の砂が最後まで移動していました。この簡単な実験から判断するのは危険かと思いますが、蛇尾川の砂泥のうちφ尺度で0~1のものが少ないのは、このようなことが原因ではないかと思いました。それより粒径の小さい泥は最後まで動いているため、上流からの流下が多く

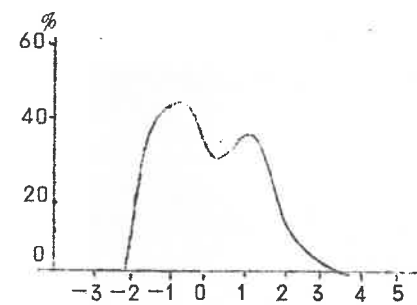
砂れきの流下実験



現河床にも比較的多量に存在するものと思います。

水がひいた後





下 流

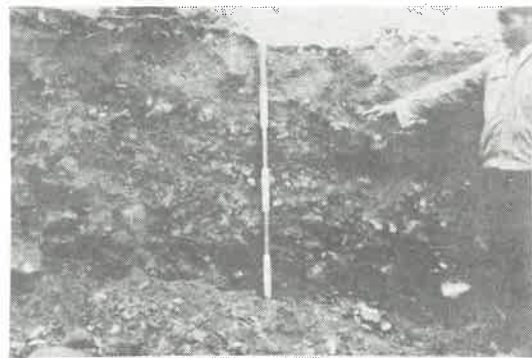
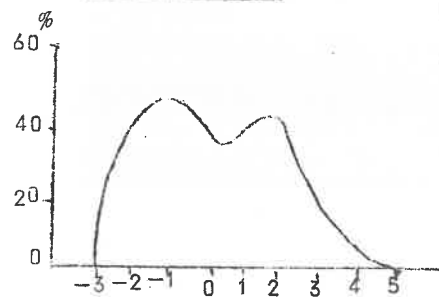
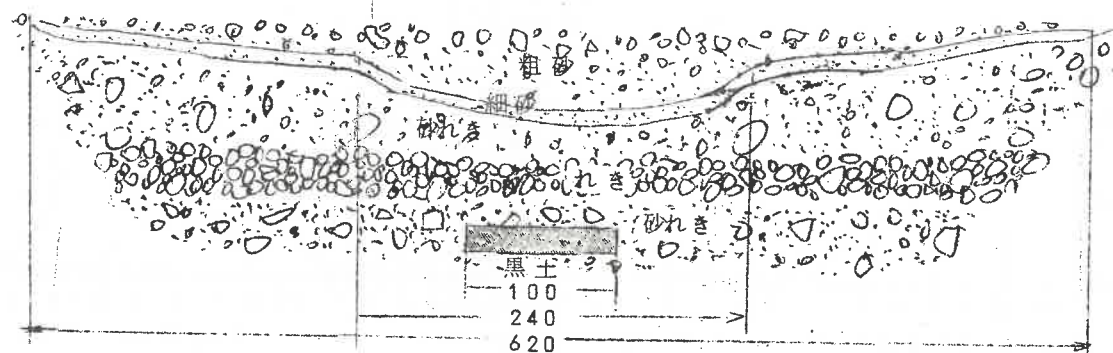


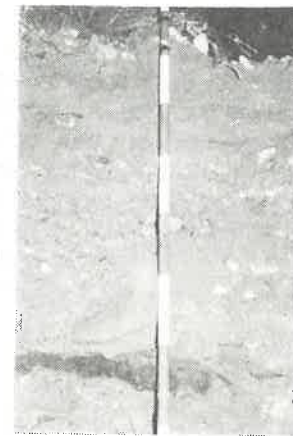
図8 蛇尾橋(国道4号線)上流2km地点の砂利採くつ跡の

図 8

砂れきのたい積状態



蛇尾川の砂れきのたい積状態



流下実験の砂れきの移動

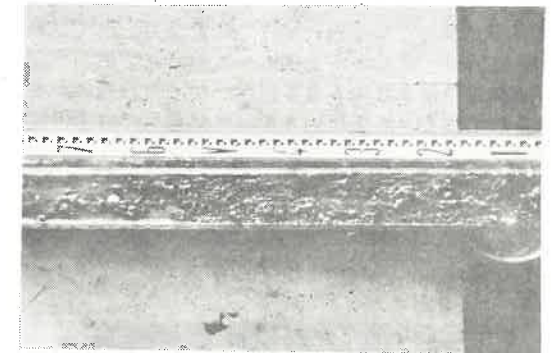
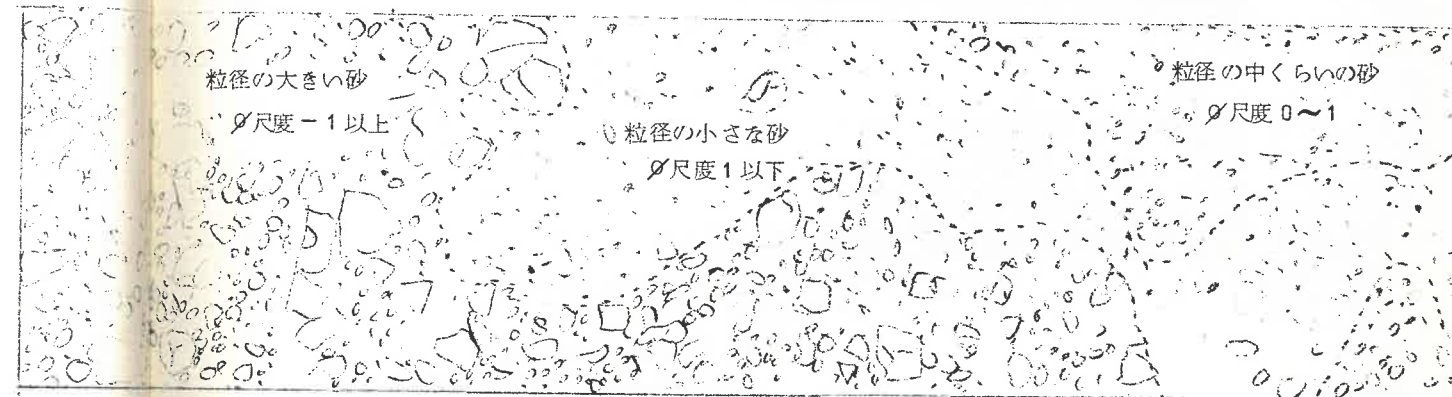


図 9



1. 河道の横断面と流路の変化

私達は蛇尾川の実態をつかむために河床勾配の測量と同時に、河床の横断面の測量も実施しました。道路の舗装が進むにつれて、最近蛇尾川では河床れきの採くつがかなり行なわれていますし、それによつて地下水の流路変化がおこっているのではないかと地元の人の話もありましたので、砂利採くつ地点をとくに詳しく、しかも地下水への影響なども調べてみることにしました。蛇尾川の現河床は前にも述べましたように墓沼の発電所付近にて表流水は浸透し、大田原の今泉にて再び表流水となっています。その間約1.75kmは普通は水無川といわれ、地表水はなく一面の砂れきたいとなつています。今回私達は、この地表水のない部分を重点に河床の横断面測量、および砂利採くつによる河床の変化などを測量してみました。この測量によりますと、大蛇尾川と小蛇尾川との合流地点より200m下流より扇状地にはいり、川巾も急に広がつています。しかも、合流点より約1.5km下流の墓沼あたりから、現河床と東側の田畑との比高は、わずか1m前後となり、折戸橋付近ではほぼ同じ高さになっています。しかしこの付近は堤防が築いてありますので、どうやら現河床と雑木林、田畑との境を知ることができますが、堤防がなかつたなら、現河床の広さはどこまでか見当もつきません。折戸橋より約2km下流の上横林付近の現河床と、東岸、西岸の比高は、現河床が高く、両岸ともわずかではあります(東岸2m、西岸1m)低く、天井川となつています。したがって、洪水の際にはこの付近からはらんし、下流の東では洞島、無栗屋、北和田、上中野、島方、下中野、戸野内、西は上横林、下横林、接骨木、遅沢、井口、西富山、槻沢、関根、東関根にまで被害がおよぶ危険性が

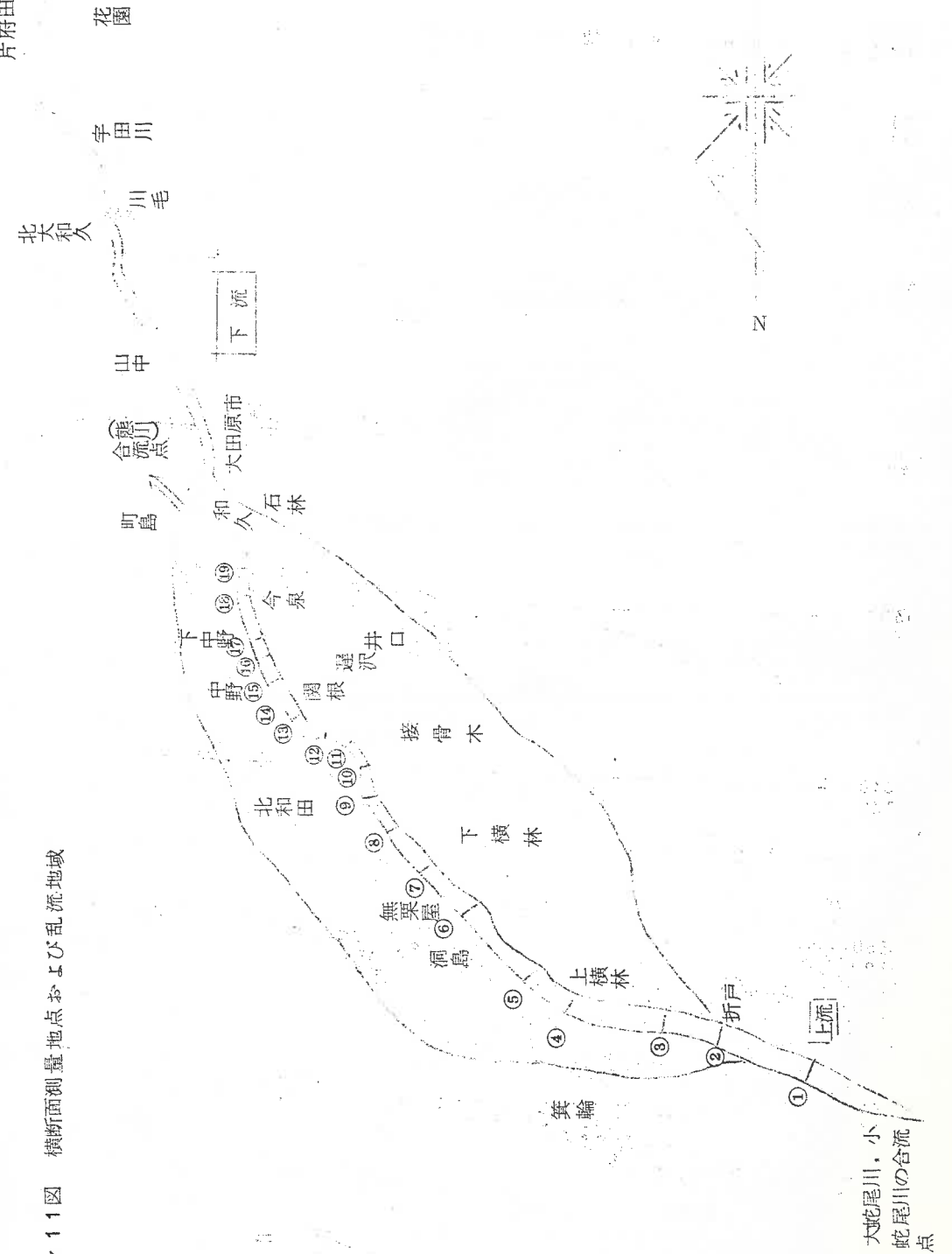
あります。そのため堤防がだいふ築かれています。ところどころ、こわれはじめており、しかもそのこわれた堤防を見てみますと、地下にはほとんど埋めないで、表面に堤防をのせただけのように見受けられました。このような堤防は、砂れきが動かずたい積しているならば、かなり長もちすると思いますが、最近のように砂利採くつが多くなつてきますと、下流の河床は深くなり、洪水の際の砂れきの移動がはげしくなると、堤防の底をえぐられて、堤防が決壊し、思わぬ災害に見舞われるのではないかと思います。しかも上横林～箕輪に通ずる河床道路より上流へ現在で約1km、横30m、高さ2.5m総採くつ量304,600m³とかなり大規模に砂利採くつが行なわれ、しかも今後かなり長く続けられるのではないかと思います。また最近では折戸橋付近にも大規模な砂利採くつ場ができるそうです。



※10図 折戸付近の地形断面図

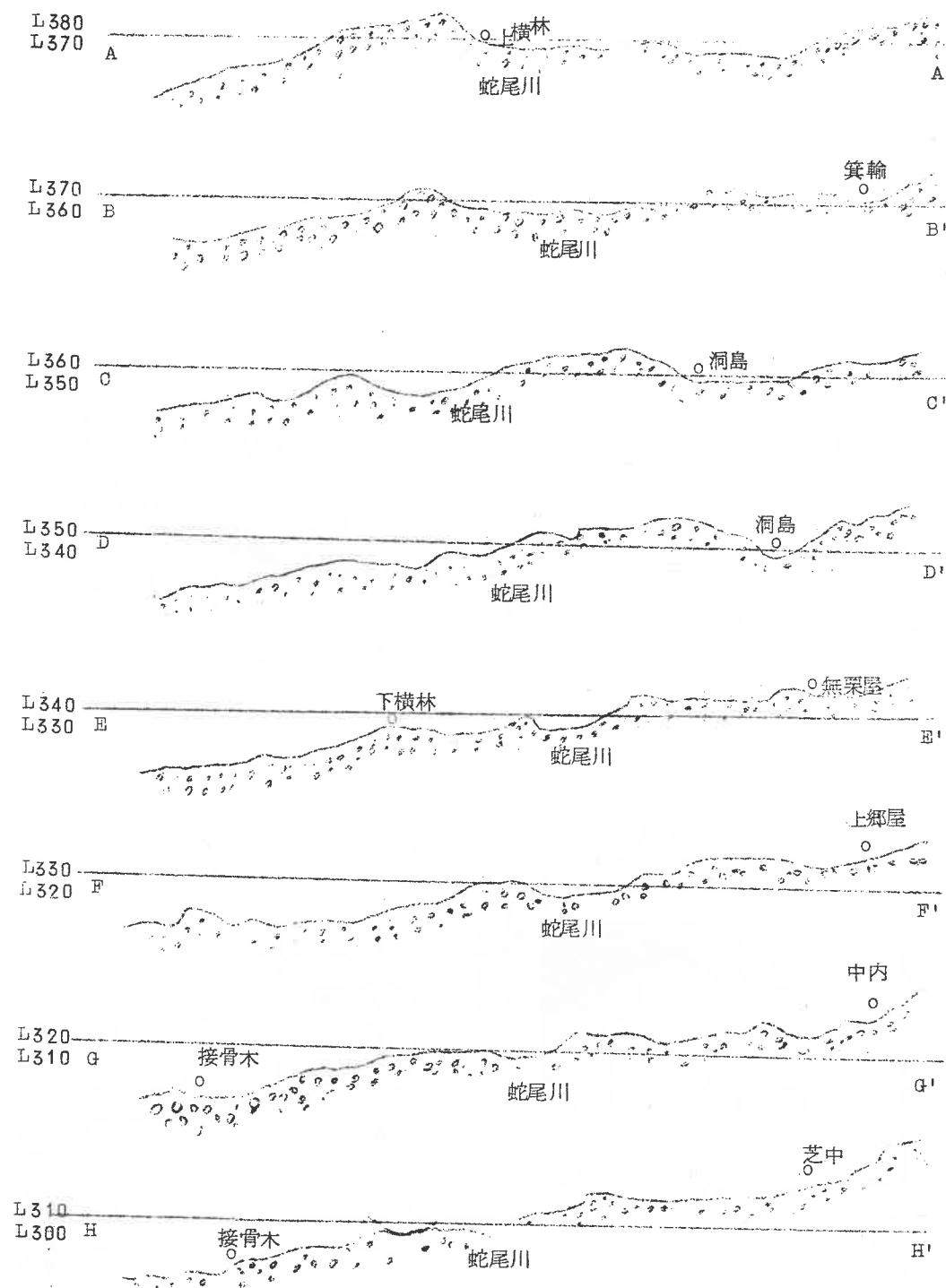


合流点
(蛇尾川)
片府田

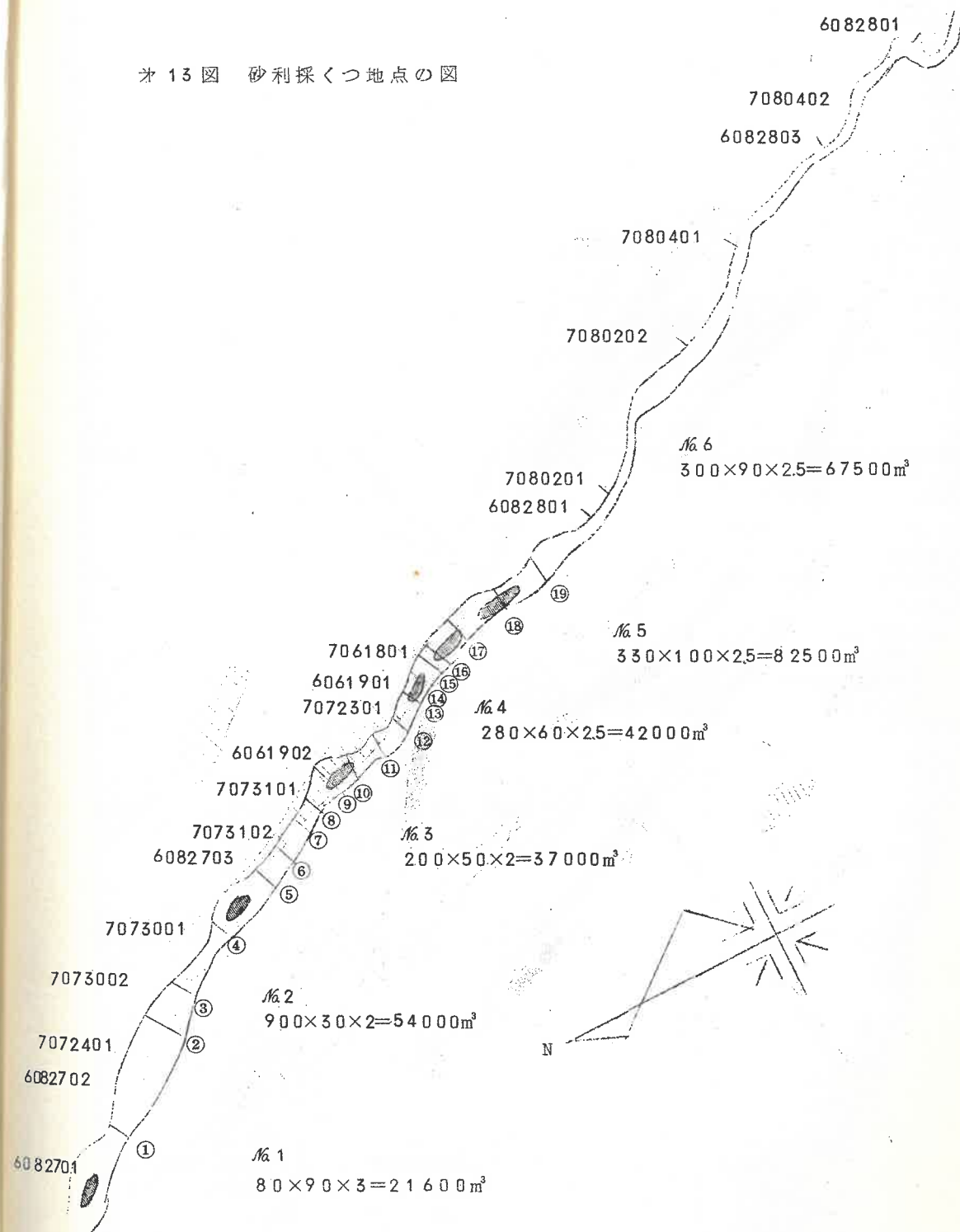


※11図 横断面測量地点および乱流地域

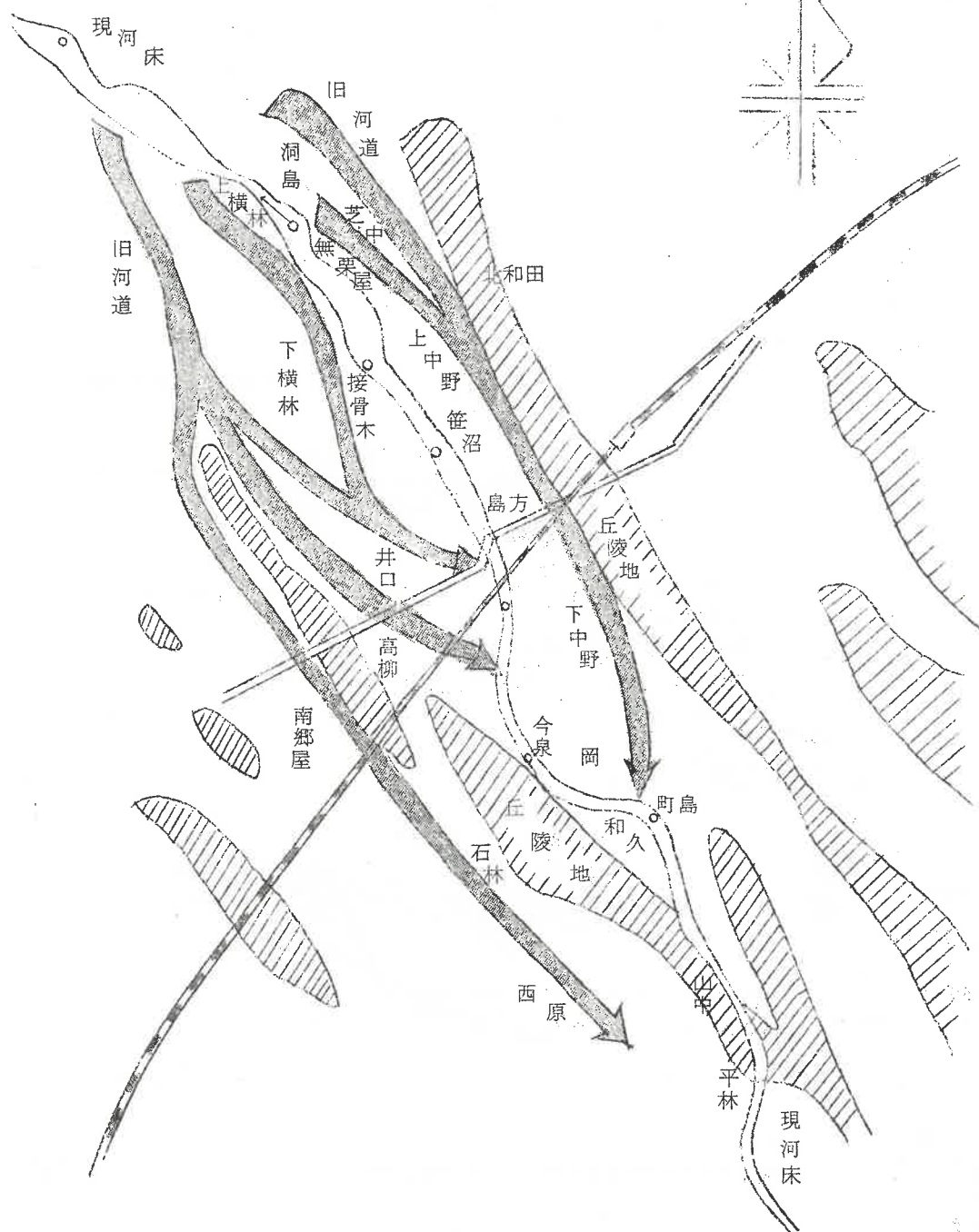
才 12 図 横林 - 洞島付近の地形横断面図 (天井川)



才 13 図 砂利採くつ地点の図



オ14図 過去の河道と乱流地域



上横林より下流になってきますと、河床は両岸よりわずかに低くなつており、自由学院付近になりますと約50cm程度の比高差がでてきます。しかし両岸とも急に高くなつてゐるわけではなく、肉眼ではほとんど差がないように感じます。さらに下流になり、遅沢(国道4号線)、関根(鉄橋)になりますと、河床はかなり低くなつて、両岸との比高が2m~4mと大きくなつてゐます。鉄橋より2km下流の西岸は権現山丘陵がありますので、蛇尾川は東に曲り戸野内で熊川と合流しています。この付近は、西岸が現河道との比高がほとんどなく、水田がかなりありますので大洪水の際には被害を受ける危険性があります。さらに下流では大和久、宇田川、片府田、花園などは現河床とほぼ同じ高さにあり、しかも河道はせまくなつてゐますので、洪水災害の危険性があります。また蛇尾川の河道は国鉄の鉄橋付近よりせまくなり、下流ではさらにせまくなつてゐますが、横林~東関根あたりまでは広く、河道と両岸との比高差はあまりないので、河道の広さを推定することばできません。このように私達は蛇尾川の現河床を調べてきましたが、これらの資料、および先輩が残して行つた資料などを検討しましたら、蛇尾川の現河床になるまでには、オ13図のように過去の流路があつたのではないかと推定しました。しかも乱流地域は、これら過去の部分であると思われます。

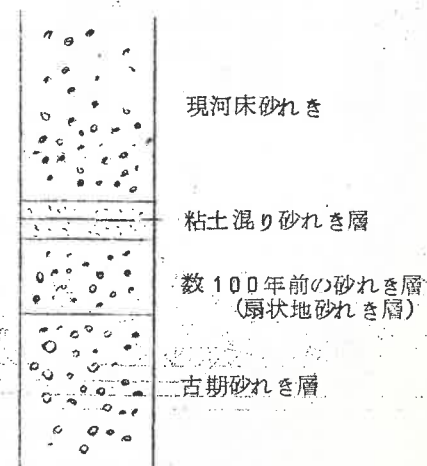
(2) 砂れきのたい積機構

ア、電気探査による地下構造調査

私達の先輩は、電気探査により地下水の研究を実施してきましたが、その資料を整理しているうちに、蛇尾川の河道の調査資料を見つけました。そこで私達も蛇尾川の河床砂れきのたい積状態を、電気探査により調べてみようということになり、電気探査を実施しました。それによりますと扇状地砂れき層が、墓沼の発電所、折戸橋、上横林では15m、無栗屋、接骨木、遅沢で10m、東関根で6m、今泉で4m、と下流になるに従つてうすくなつてゐます。またここでは扇状地砂れき層と一かつしておきましたが、河床砂れきは墓沼~今泉までは2m~3mたい積しており、それより深い部分は、ところにより粘土層(関根ローム層)を含みますが、(オ17図参照)この粘土層はレンズ状にたい積しておりますが、大部分は古期砂れきよりなつてゐます。この古期砂れき層は墓沼の発電所で28m、折戸で22m、上横林で10m、以下無栗屋、接骨木、遅沢、東関根、今泉となるにつれて8m、6m、5m、5m、3mとだんだんうすくなり、今泉の電気探査の地点より2km下流地点では、湧水があり、基盤の浮石凝灰岩が河床に露出してゐます。この湧水地点より下流は電気探査はせず、踏査により地質構造を調べました。浮石凝灰岩は湧水地点より約2.5km下流で、火砕岩層(相の沢)と整合のつており、この火砕岩層は宇田川の川毛でれき層と整合に重つてゐました。(このれき層は、柳林砂れき層と命名されているということを先生より教わりました。)

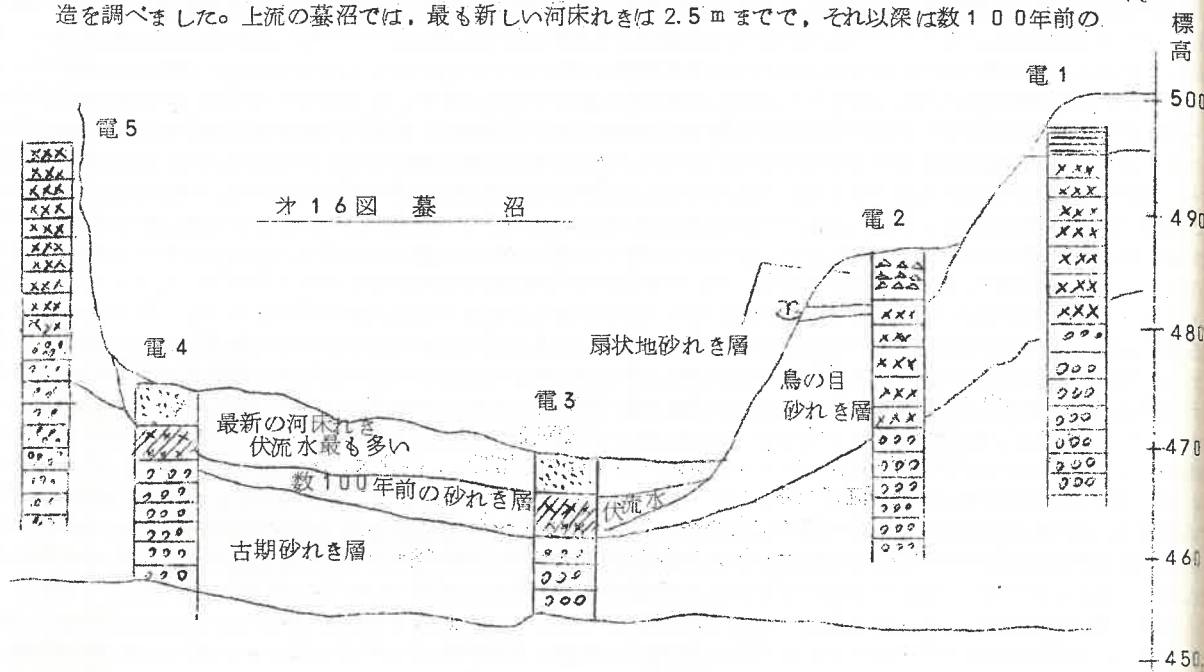
このように扇状地砂れきのたい積状態をつかむことはできましたが、なぜ扇頂部には50m以上もの砂れきがたい積しているのだらうという疑問がわきましたので、先生にお聞きしたところ、蛇尾川には、墓沼、箭川には関谷、那珂川には板室にそれぞれ大きな断層(落差約100m)があると教わりました。そこで私達は墓沼まで出かけ断層をさがすことにしました。しかしながら、断層と思われる地点には雑木がはえていたり、堤防が築かれていたりして、断層地点を見つけることはできませんでした。しかし、わずか50m位の差で、凝灰岩が砂れき層に交つてゐる地点がありましたので、この付近が断層であろうと推定し先生に訪ねたら、やはりその地点だということでした。この断層を加えて蛇尾川の砂れきのたい積状態を図にしますとオ14図のとおりです。この断面図から推定しますと地下水の滞水層となるのは、扇状地砂れき層と古期砂れき層ですが、この地質断面図は大きくわけたものでありますが、地下水を求めるにはもつとこまかい地質構造を調査する必要があります。

オ15図

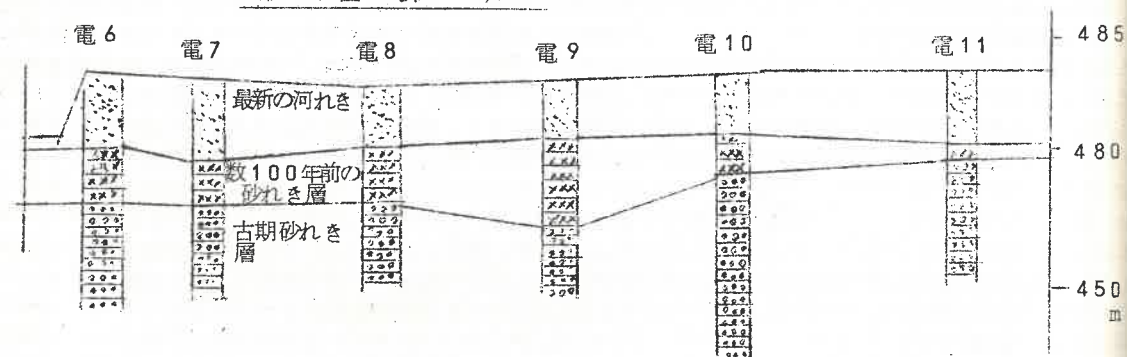


イ、れきの空隙と伏流水の関係

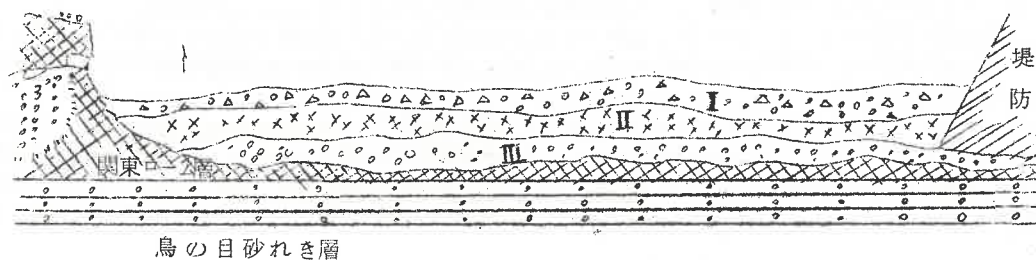
蛇尾川の地質断面図を作成すると同時に、砂れきの粒度分析を実施し、伏流水がどのようになっているかを調べることにしました。そのためには河床の地質構造をもっと詳しく知る必要があると思ひまして、上流は葦沼、折戸、下流は関根（鉄橋付近）の河床の電気探査を実施し、より詳しい地質構造を調べました。上流の葦沼では、最も新しい河床れきは2.5mまでで、それ以深は数100年前の



オ16図 葦 沼

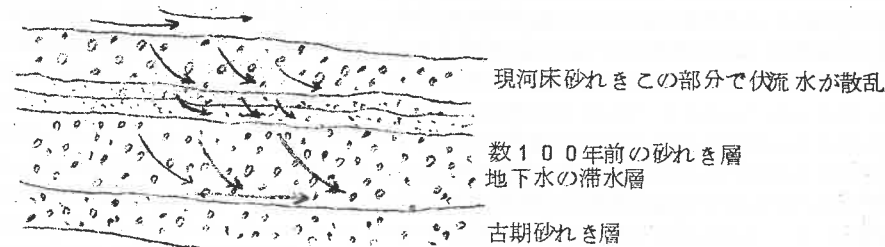


オ17図 折 戸



鳥の目砂れき層

オ19図 地下水の浸透経路 模式図

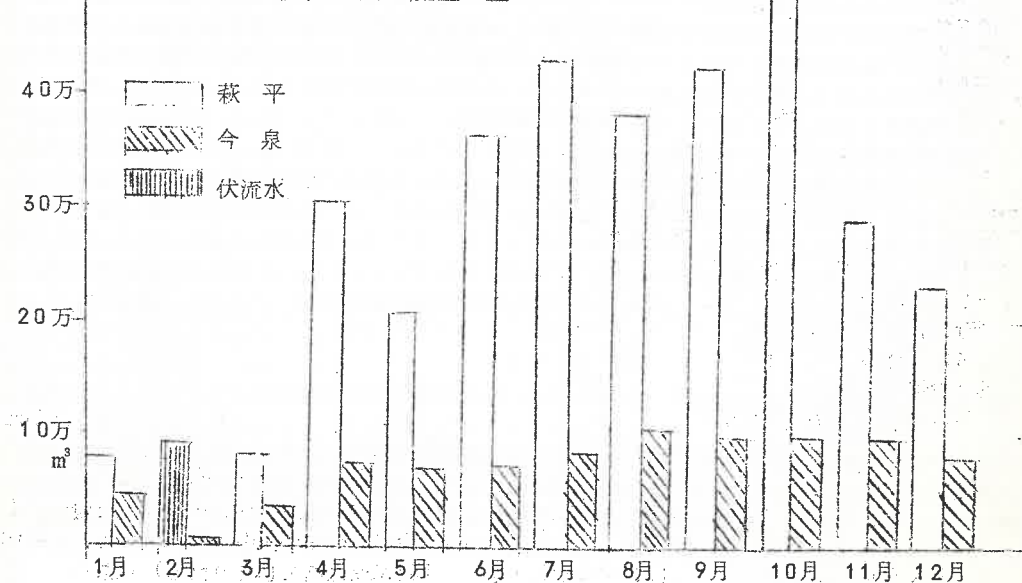


オ2表 昭和36年の萩平-今泉の流路の差 (m³/day)

場所	月	1	2	3	4	5	6
萩 平		74,672	93,312	86,400	309,312	209,952	358,560
今 泉		54,432	864		72,576	73,440	76,032
流量の差		20,240	92,452		236,736	136,512	282,528

	7	8	9	10	11	12
萩 平	429,408	352,512	427,680	501,984	293,760	216,000
今 泉	90,720	99,728	108,000	98,496	98,496	82,080
流量の差	338,688	252,784	319,680	403,488	195,264	133,920

オ20図 蛇尾川の伏流水の拡散量 (m³/day)
(萩平-今泉の流量の差)



れき層が10mまであり、それ以深は古期砂れき層となつています。現在の表流水は墓沼で地下水に浸透してしまい、それより下流は大田原の今泉まで、地表には流水はみられません。これは墓沼の地質構造からも、ある程度推定することはできると思います。これはオ15図からもわかりますように、透水性の砂れきが上部にのつているためであり、表流水は蛇尾川の上流の凝灰岩露出部から、わずか2kmで完全に浸透してしまうのだと思います。折戸付近になりますと、最新の河床れきが約4mとなり、数100年前の河床砂れきが川の中央部で約5mとなつています。鉄橋付近になりますと、最新の河床れき以外に、扇状地砂れき層は2つの部分にわけられ、しかも古期砂れき層との間にローム層があります。このローム層は上流に見られないところから、この地帯のみにレンズ状に存在するものと思われる。電気探査の資料から推定した地質構造は、最新の河床れきと数100年前の砂れき、古期砂れきの3つにわけられますが、私達はこの調査を実施しているときに、いくつかの砂利探検場所にてあいました。これらの探検場所の砂れきのたい積状態をみますと、最新の砂れき層が横林付近で2.5m、国道4号線上流約1kmの地点では2m、鉄橋付近で約2m、大田原の今泉付近では約1.5mとなつています。砂利探検はこの最新の砂れきをほとんどとっており、この下部にあるコピ砂利はとつてはいません。つまり最新の河床れきは、このコピ砂利の上部にのつているものです。しかしこのコピ砂利は、電気探査のデータにあらわれないところから推定しますと、厚さはわずかだと思ひます。しかもこのコピ砂利まで掘つてある地点でもまだ地下水がでてこないところをみますと、表流水が最新の河床れきを浸透し地下水となり、このうすいコピ砂利と河床れきの間を流れている間に、しだいに浸透し、扇状地砂れき層に滞水し、古期砂れき層との境を流下しているものと思ひます。これは、先聲が実施してきました。地下水調査の結果からもわかります。またコピ砂利は、上流に行く程粘土の混合割合が少なくなつていくことにより、上流の方が浸透量は多いものと思ひます。ところで蛇尾川が水無川となつているのは、地質断面図でもわかりますように、かなり厚い扇状地砂れき層が河床を構成しており、地表水は浸透し、地下水となつてしまうためであると思ひます。しかし台風時や、大雨のときなどは、表流水となつて流れる場合もありますが、これは砂れき層に地下水が滞水し、過飽和状態となるときのみであります。私達は蛇尾川の河床を調査していき、砂の少ないことに気づきました。そこで砂利探検跡で、この河床れきを詳しく調べてみることにしまして、砂の粒度分析の結果をもう一度検討してみました。粒度分析ではφ尺度で0~1の間の砂の量が少なくなつていますが、これらの砂の生産量が他のものの生産量と比較して少ないということは考えられません。そこで砂の流下実験のように大きなれきは比較的早く動きだしますが、流速がおとろえると急にたい積をはじめてしまい、そのままそこに居すわることになると思ひます。しかし粒径の1mm~0.5mm(φ尺度で0~1)の間の砂はあとまで動いているためと、そのために大きなれきとれきの空隙をぬつて、流下してしまうため、0~1(φ尺度で)の粒径の砂が少ないのだと思ひます。この砂の量が少ないということは、れきの空隙率が大きく、表流水の浸透が速やかに行なわれ、水無川の1つの要因とも考えられます。このような空隙率の大きな砂れき層は、現河床砂れきのみではなく、扇状地全般の砂れき層も同様な状態となつています。そのため伏流水はかなりの量が拡散し扇状地の地下水をうるおすこととなります。このような伏流水の拡散がどの程度であるかを、昭和36年の資料にもとづいて萩平の流量(伏流地点)、と今泉の流量(湧水地点)を調べてみました。つまり伏流水の拡散量は萩平の流量と今泉の流量の差として求めることができます。これによりますと今泉の流量は、年間を通じてあまり変化ありませんが、萩平の流量は、4月の雪どけ時期、6~7月の梅雨時期、9月~10月の台風時期に流量が多くなつています。また扇状地の伏流量もこれら豊水期には多くなり、地下水位も上昇しますが、11月~2月頃になりますと、表流水の絶対量が少なくなると同時に、伏流水も少なくなつていきます。(オ2表、19図参照)

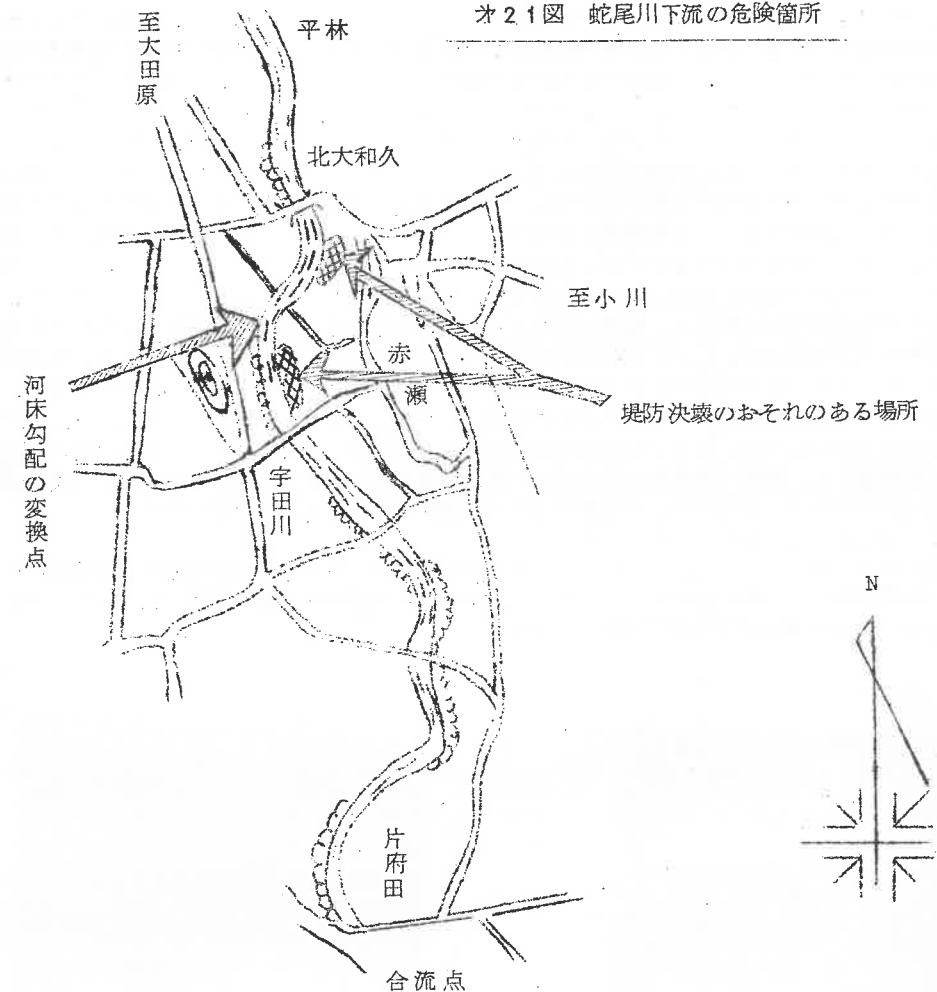
(3) 災害予防の対策

ア、洪水対策

現在蛇尾川には堤防がかなり築かれていますが、この堤防も洪水のために破壊されている部分がたくさんあります。

これらの堤防は古くから作られていたようですが、最近になつてかなりいたみがはげしくなつたように見受けられます。とくに折戸橋より下流2km~3km付近に多くみられます。それは河床勾配が変化(急になつた)したため、(前にも述べたように、洪水の際には流路が集中すると同時に、運搬作用もはげしくなり、これまでたい積していた河床れきが、下流に運ばれてしまうため)と思ひます。

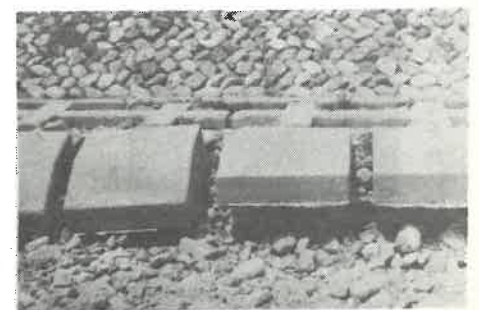
オ21図 蛇尾川下流の危険箇所



堤防の決壊調査



下部をえぐられた堤防



蛇尾川の上流には、最近砂防えん堤がたくさん築かれ、土砂の流出を防いでいますので、上流からの流出土砂量は、以前よりは少なくなっているものと思います。したがって下流で砂利を多量に採くつしますと、河床は低くなり、折戸付近はますます堤防の下部が、えぐられてしまい、堤防は決壊されてしまうのではないかと思います。しかも今回の調査でわかったことは、現在築かれている堤防は河床をほとんど掘っていない、河床砂れきの上にのせた堤防の作り方をしており、河床砂れきが移動すると、すぐ堤防の下部がえぐられてしまうようです。また上流の砂利採くつで河床勾配が急になり、流速が大になり下流の大田原市大和久付近では河道が急に曲つていきますので、堤防を洪水がのりこえる心配もありますし、土砂の運搬力も大きくなりますので、この地域および、大田原市川毛付近の河床勾配のゆるやかな地点では、土砂のたい積量も多くなり、蛇尾川の東側に流路が変わるおそれがあり、水田に被害をもたらす危険性があると思います。このような災害は毎年くるものではありませんが、種々の文献を調べてみますと、自然災害の周期は大きいもので約60年、小さいもので5年〜6年といわれています。私達は今回の調査では、5年〜6年周期といわれる災害はもちろん、60周期といわれる大きい災害にも、対処し得るような計画が必要ではないかと思ひました。そこでこのような洪水災害に対して、どのような防止策をとつたらよいかということになります。私達が一応考えましたことは、まず天井川となつてゐる横林付近の両岸には、高さ2〜3mの堤防を築き、3km〜4kmおきに砂防えん堤を築き、土砂の流出を防ぐこと。砂利採くつは狭く深く取ることとはさけ、広く取ることとはさけ、広く浅く採くつし流路の集中をできるだけ防ぐこと。下流の大和久付近の堤防をあと1m程度高くし、流路の急変する部分にたい積した土砂はとり除くこと。川毛付近には現在堤防が築かれていないので、東側の水田を保護するための堤防を築くことなどであります。

1. 砂利採くつ対策と伏流水の水脈維持対策
私達は農家の人々にたのまれて、地下水の調査に出かけますが、今年の6月頃黒磯町 東那須野の下中野や、西那須野町の石林に調査に出かけたとき、最近地下水が少なくなつて困つてゐるという話を聞きました。これまでの地下水調査の資料をみま

洪水による浸食



洪水によるたい積



ブルドーザーによる砂利採くつ



砂利採くつ跡(流路集中)



オ22図 砂利採くつによる地下水への影響

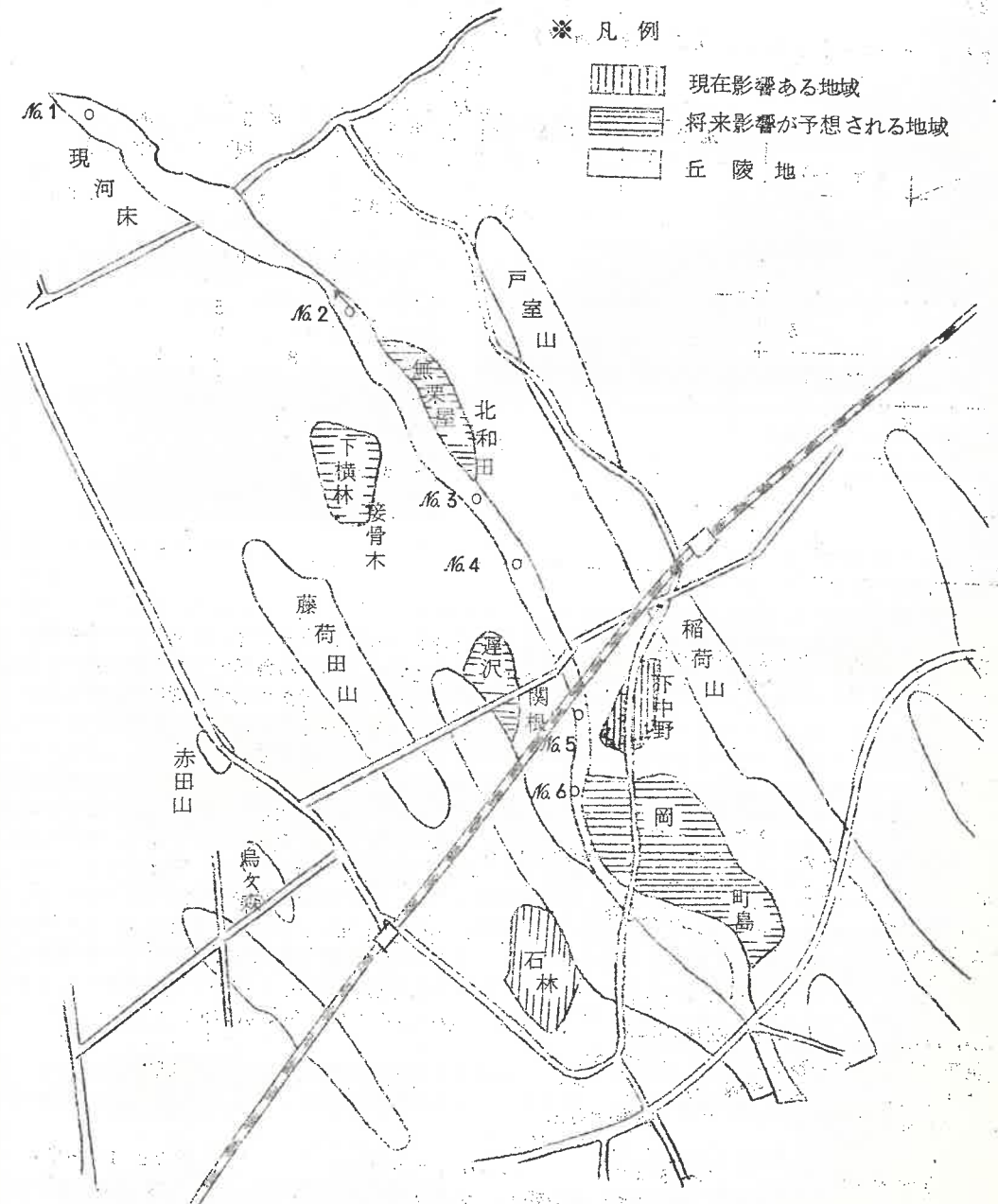


表3 砂利採くつ場所と採くつ量 (概算)

場所	№1 (折戸)	№2 (横林)	№3 (接骨木)	№4 (接骨木)	№5 (関根)	№6 (今泉)
たて(m)	80	900	200	280	330	300
横(m)	90	30	50	60	100	90
深さ(m)	3	2	2	2.5	2.5	2.5
採取量(m ³)	21,600	54,000	37,000	42,000	82,500	67,500
総採取量(m ³)	304,600					
総砂れきたい積量概算	1,838,000					
総採取量 総砂れきたい積量	1/60					

しても、この地域だけが地下水が少なくなるということは考えられず、今年は雨量が少ないから、石林や下中野で地下水が少ないのだらうと思っていました。ところがいろいろ調べてみたら、他の地域では地下水の不足があまりないようなので、何が原因なのだろうと考えまして、蛇尾川の河床調査の際や、電気探査の結果等を検討しているうちに、どうも砂利採くつや、昨年の26号台風の際破壊された鉄橋付近の堤防工事等が原因ではないだろうかということになり、その実態を調べてみました。蛇尾川で砂利採くつしている場所は表12図のように6箇所あります(表12図参照)これらの場所の採くつ量は表3表のとおりになっています。採くつ砂利の総量は蛇尾川の現河床砂れきたいの約60分の1となっています。採くつ場所は深さ約2~3mのコビ砂利の部分まで、しかもその距離は1~2kmにもおよぶ長いもので、洪水時や、出水時にはこれまでは河床全面に流れていた地表水が、砂利採くつ跡に流路が集中し、散乱する割合が少なくなっていることは確かだと思います。このように流路が集中しますと、流速も速くなったり、地表水の流下面積も減少したりして、地下に浸透する割合も少なくなっているものと思われる。したがって地下水への影響も、少なからず、あらわれているものと思います。それにこれまでの砂利採くつは、地元の業者が小規模に行なっていたが、最近京浜地方の業者が蛇尾川に進出し、大規模に砂利採くつをする傾向にあります。したがって現在地下水への影響はあまり目立っていませんが、このままの状態が無制限に砂利採くつを実施し続けると、地下水への影響もかなりあらわれてくるものと思われる。このような調査結果により、私は砂利採くつによる地下水の水脈維持対策として、

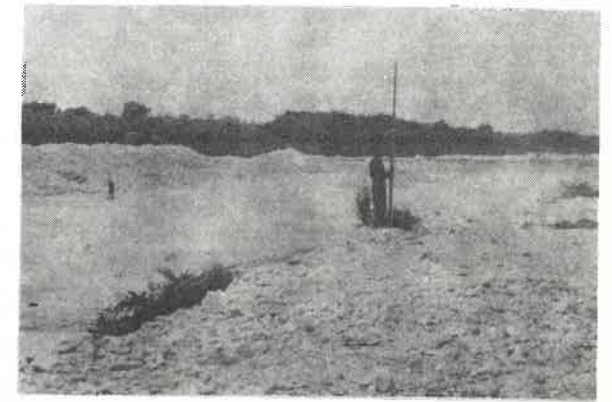
1. 無制限な砂利採くつは、やめるべきである。
2. 現河床砂れきたいは約2~3mであり、この砂れきたいの下部にあるコビ砂利などはとらず、1~2m程度にし現河床砂れきを、多少残し、流路の集中を防ぎ、できるだけ地表水、伏流水を散乱させる。
3. 上流の採くつはできるだけさける。

などの処置をとることが必要ではないかと思えます。また砂利採くつの他に、地下水への影響と思われるものには堤防工事があります。特に鉄橋付近の堤防工事の場合には、コビ砂利がでて約1kmの長さの掘っしまい、ここに石垣をつくり、石垣の目に、コンクリートをつめてむような工手法をとっていました。このため地下水への影響も少なからず、あると思えます。

砂利採くつ跡のプール



砂利採くつ跡



5. まとめ

- (1) 蛇尾川の地下構造は、現河床砂れき層が2~3m、その下部にはコビ砂利(粘土混り砂れき層)が約20cmありますが、この粘土混り砂れき層はレンズ状に存在しています。その下部には数100年前の砂れき層、さらに古期砂れき層がたい積しており、扇状地砂れき層を構成しています。その下部には大田原浮石層、相の沢火砕岩層、柳林れき層がたい積しています。
- (2) 那須野が原扇状地は、上流の墓沼付近にある断層により、山間部が隆起、扇状地が下降して形成されたものと思います。
- (3) 現河床砂れきの状態は、岩質は流もん岩系のものが多く、円磨度は上流に角れき、亜角れきが多く存在し、下流になるにしたがい、亜円れきが多くなっていますが、円れきはあまりありません。これは蛇尾川が、いわゆる上流河川の様装を呈しているものと思います。
- (4) 砂の粒土分析の結果は、粒径1mm~0.5mmのものが少なくなっていますが、これは流水によつてこのクラスの砂が、最期まで移動しているものと思われる。
- (5) 洪水対策としては、塩原町横林付近の天井川となつてい部分の両岸には2~3mの堤防を築くこと。その堤防も現河床れきを少なくとも1m~2mは掘つて、基礎をしつかりうつことがたいせつだと思います。
- (6) 砂利採くつによつて堤防や河床に変化をもたせると、洪水の際に災害をおこす危険性があるので、砂利採くつは計画的に実施し、河床勾配に急変をおこさないように、3km~4kmおきに砂防えん堤を築くことが必要だと思います。
- (7) 砂利採くつによつて、伏流水に影響をもたらないようにするため、現河床れきの下部にあるコビ砂利までの採くつや、狭く深く取る方法をやめ、表流水の流路の集中化を防ぎ、できるだけ表流水、伏流水の散乱を心がけるようにする。
- (8) 地下水の水脈を維持するためには、できるだけ上流の砂利採くつはやめ、伏流水の量を多くすることが必要である。
- (9) このままの状態では、蛇尾川の現河床れきはとりつくされ、地下水への影響も大きくまた、洪水時の災害も大きくなる危険性がありますので、総合的な対策を講ずる必要があると思います。

指導教諭 伴 昭 男
助言者 提 橋 昇

研 究 者 名

大 貫 秀 人	高 野 岸 一 郎	磯 秀 一	吉 成 邦 和	五 月 女 光 男	寺 崎 ヒ 子
東 泉 幸 恵	青 木 寿 美	室 井 恵 子	渡 辺 美 知 子	磯 栄	藤 田 詳 慈
皆 川 良 一	宮 崎 栄	阿 久 津 正 徳	大 田 原 重 夫	花 塚 仁	伴 典 夫
星 野 昭 一	森 隆 道	大 竹 保 江	遅 沢 洋 子	榊 原 順 子	高 野 礼 子
印 南 ト 子	大 島 貴 美 枝	黒 谷 リ 子	蛭 田 君 枝	磯 智 信	川 島 守 雄
熊 田 隆 雄	田 代 功	平 山 光 一	今 井 俊 雄	小 林 義 一	榊 原 健
槐 孝 志	赤 羽 君 子	阿 久 津 英 子	伊 藤 良 子	稲 葉 美 知 子	土 屋 ひ ろ み
小 出 一 恵	高 野 ス ミ 子	村 上 和 子	八 木 沢 み ょ 子	山 田 明 美	川 野 輪 美 紀 子
君 島 陽 子	菊 地 澄 子	菊 地 き み 子			

昭和 43 年度

蛇尾川の地学的研究

その 2

おもに熊川について

はじめに

私達の地学クラブが発足してから18年を経過し、昭和38年度までは郷土における北那須野地域の地下水の研究をはじめ那須火山の研究、那須野ヶ原の自然の研究などを行ない多大の成果をおさめ、特に地下水についてはいまだに地域の人々から期待をかけられています。しかしながら地下水の研究は昭和38年度で一応の結論を得たので昭和39年度より研究テーマをかえ自然災害、とくに地学的災害についての研究を進めることにし、その研究の成果はそのつど学生科学展に出品し、諸先輩の御批判をいただいて来ました。私達地学クラブ員も先輩の残した実績に誇りを持つて受け継ぐためにクラブ員が一致団結をし研究を続け、これまで地下水中心に行なってきた研究を、自然災害とくに地学的災害の研究にとりくみました。そして昨年度、一応のまとまりができましたので発表しわけです。しかしながら私達の研究を進めて行く上で、

① 時間的余裕がないこと。

② 自然相手なのでつきり計画が立てられないこと。

など種々悪条件が重なり、資料を充分集めることできませんでした。そこで私達は少ない時間でより効果的な実験、資料の収集ができる場所として今年は蛇尾川の支流の熊川を選び昨年度蛇尾川で実施したような河床勾配測量、横断面測量、河床砂れきのたい積機構調査などを中心に昨年不足していたれきの運搬の実験を実験で確かめようと熊川上流に、3カ所の実験箇所を選んで着色れきを流下してみました。しかし今年は熊川、蛇尾川ともあまり大きな出水がなく実験は成功しませんでした。がここに昨年実施した蛇尾川と比較しながら、今年行なった熊川調査の実態を報告いたします。この研究にあたり忙がしい中を野外調査に、また室内整理に直接御指導下さいました伴先生、また地学クラブ創立者として蔭に陽に御指導下さいました提橋先生に一同心から感謝いたします。

1. 研究の動機

これまで先輩が残してきた地学的災害の研究資料を検討した結果、現河床の実際に重点を置いて調査しているように見受けられたし、昨年度の中央展において御指差のありました実験の不足など私達も痛感しましたので今年度は河床砂れき運搬の実態を把握しようと、実験をとり入れることにしました。その場所の選定にはクラブ員一同で選定した結果「昨年は那須野ヶ原扇状地の中心部を流れている蛇尾川について調査したのだから今年は同じ扇状地を流れていて、しかも蛇尾川と同様通常は水無川となつている支流の熊川ならば蛇尾川よりせまいし実験も効果的ではないか」ということになりましたので熊川上流の黒磯町高林のクラブ員に熊川の予備調査をしてもらったところ蛇尾川ほどの荒れ川ではないが上流には多数の砂防えん堤が築かれてあるし、また河床勾配への影響、砂れき運搬への影響も考えられます。堤防も簡易工事が多く地学的考察がなされていないように見受けられるということで、本年度は蛇尾川の支流熊川に重点をおいて調査研究し、昨年度および今年度に調査した蛇尾川と比較してみることにしました。これらの研究により熊川、蛇尾川の砂れきのたい積機構が解明できれば、那須野ヶ原全搬の砂れきのたい積機構がある程度解明できるのではないかと思いますのでこの点に焦点をあわせて、河道の問題、砂れき運搬の実態、えん堤の効用、砂利採くつ対策、伏流水の確保対策、洪水による災害予防対策のひとつの道しるべにしたいと思つています。

2. 熊川の概況

(1) 調 査

私達は先輩の資料をもとに熊川について昨年10月より夏休み全期間をかけて班別に、そして夏休みの前半は熊川上流に調査キャンプをしたりして徒歩と自転車で踏査し、資料を集めました。

(2) 熊川の概況

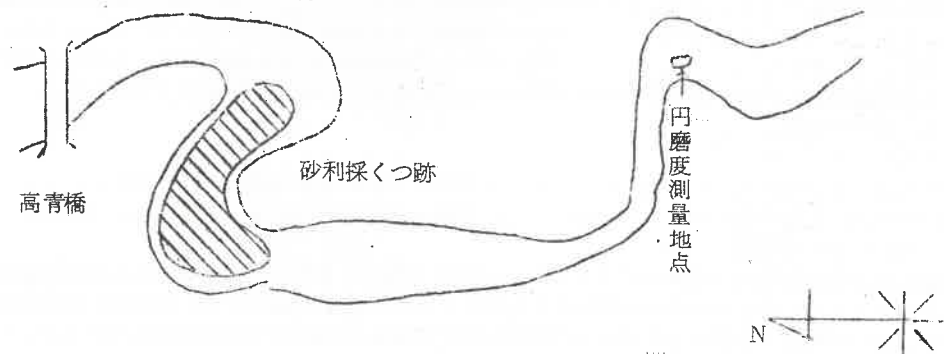
熊川は水源を黒滝山(標高1,727m)、百村山(標高1,085m)に発する大巻川と鳴内山(標高1,413m)に発する小巻川が茅の沢上流約500mで合流、熊川となり那須野ヶ原扇状地に出ます。山地の勾配は那須野ヶ原扇状地に関係する河川では最も勾配が急で兩岸は崩壊され多量の砂れきを

流しています。そのためこれらの砂れきの流下を防ぐために数多くの砂防えん堤が築かれていて河床勾配をゆるやかにし、砂の流出を防いでいます。しかしながらその砂防えん堤も古いものは完全に埋まってしまい、砂防としての用をなしていないのではないかと思います。熊川が扇状地に出ると2 Km (川原向) までは約50分の1の勾配で段丘を有する解析谷を流れ、以下9 Km (上中野) までは100分の1の勾配となり、兩岸の区別のはつきりしない平原を流れ、ところによつて(箕輪、上郷屋、中野内)は天井川の様相を呈しています。これは蛇尾川の天井川と思われる横林に匹敵する地域と思われます。さらに蛇尾川との合流点までは約60分の1の勾配となっており、蛇尾川の勾配とは大差なくなっています。平均川幅は蛇尾川が200mであるのに対し、熊川は60mとせまく、最大川幅も蛇尾川500mであつたが熊川は150mで全般的に蛇尾川より河床砂れきのたい積が少ないように思われます。熊川は茅の沢上流約1 Kmの標高540mより下中野の標高248mの間は表流水は伏流し蛇尾川と同様水無川となつています。熊川は蛇尾川に比較して蛇行が多く、ところどころで河川改修が行なわれていて直線的な河床になつていますが、まだ大部分が未改修であり、また改修されているところでも針金のカゴが使つてある古い部分は堤防の下部がえぐられてくずれかかっているところもみられます。とくに蛇行の著しいのは柏林付近で180度もの曲線を描いています。下中野より下流は湧水し、川幅もせまく水深1.5mという場所もあり調査には苦労しましたが、この付近は蛇行もゆるやかで稻荷山のおもとを通り蛇尾川と合流しています。

(3) 熊川の出水と雨量

熊川の出水の状態を過去の資料によつて調べようとしたがその資料がなく、昨年調べた蛇尾川の資料を参考にしてみました。蛇尾川も熊川も那須野ヶ原を構成している重要河川であり両川の距離も上流で3 Km、下流になるにつれてもとせまくなつていきますので、洪水雨量、洪水などはあまりかわらないと思われます。とすると熊川の洪水可能降水量は蛇尾川と同様日雨量100mmとなり、降水の型は雷雨と台風と予想され、しかも過去60年間の蛇尾川の資料からしますと年間約2回程度の洪水が予想されます。そこで私達は昨年10月よりこの洪水(あるいは出水)の実態を調べるべく計画を立てました。計画は10月～5月までは比較的雨量も少ないので今年の6月から高林(熊川上流)から通学しているクラブ員に雨量計をあずけ毎日雨量の観測をしてもらつと同時に国道4号線の熊川にかかつている橋でその流量を測定しようとしていました。しかしながら今年は降水量、とくに日雨量が少なく、出水量もあまりありませんでしたので流量測定はうまくできませんでした。上流の雨量と出水量との関係のある程度つかふことができたと思ひますので雨量と出水場所との状況をオ2図に示します。これによりますと6月6日(35mm)、6月16日(58mm)とかなり雨量があつたにもかかわらず、出水は国道4号線のところまでは来ず、6月18日から30日まで日雨量は少なかつたが毎日雨が降つたため国道4号線の下流まで出水し、しかも湧水といつしよになつて蛇尾川まで流れていました。このことから6月上旬、中旬の雨は単発的であり、しかも6月以前は雨量がなく(地下水位低下)その上熊川は砂れき層からなつていて伏流水となつてしまいます。これに対し、6月中旬～下旬にかけては毎日少量ではあるが雨が降つていたといへ、7月下旬の雨量と比較してみますと総雨量において大差ないのに6月のこの期間だけ国道より下流にまで流れていたということに疑問を感じ、扇状部の雨量と比較してみることになりました。

オ1図 高青橋付近の熊川の蛇行



扇状部の雨量は学校において私達地学クラブ員の手で毎日気象観測をしていますのでその資料をつかってみました。このオ2図からもわかりますように6月中旬から下旬にかけては山間部の雨量が少ないのに対し扇状部の雨量が多くなつていきます。したがつて扇状地の全域はこの雨のため浸透水が豊富になり飽和状態になつていて上流の少しの雨も表流水となつて流れてしまうものと思われます。ところが雨の降らない日があると降水量は少ないせいもあると思われるが、1日で表流水はひいてしまいます。以下7月上旬の出水では上郷屋、7月25日前後の約1週間では中内橋付近まで出水がありました。また8月7日～14日までの一週間は比較的雨量の多い日(総雨量364.2mm、1日平均雨量52.02mm)が続いたため出水も多く、国道4号線をはるかに越え、蛇尾川まで流下していました。8月下旬になりますと日雨量もかなり多くなつていて同時に表流水も国道4号線より下流に達していました。これらのことにより熊川も蛇尾川と同様、通常水無川であります70mm程度の日雨量になると表流水が全般的に流れ、それ以下の日雨量ですと途中までしか流れないということになりました。しかし日雨量は少くとも何日間か連続して雨が降ると表流水があらわれ、しかも扇状部の雨の地表面に対する影響も大きいと思われます。

4. 熊川の地学的考察(蛇尾川との比較をして)

私達は昨年得た蛇尾川の資料を再検討して本年度の計画を次のように立てました。

ア、河床勾配をハンドレベルにて実測し、河床勾配の変化をつかむ。これにより熊川の河床と扇状地との関係および河床砂れきの運搬の状態を調査し、同じく那須野ヶ原扇状地をつくつていく蛇尾川のそれと比較してみる。

イ、電気探査により熊川の地下構造を調べ、蛇尾川のそれと比較してみる。

ウ、河川改修、えん堤などによる河床への影響、熊川砂れき運搬の実態を知るために上流である百村本田、百村新田、川原向の3ヶ所にそれぞれ赤、黄、緑に着色したれきを配置し、出水のときの流下の状態を調べる。

エ、れきが運搬される時、形、大きさにどのような関係があるか調べるために学校の農場のU字管、川の模型、コンクリート河床の那須疎水、実際の河川である簗川でそれぞれ実験をする。

以上の計画にもとずき昨年10月から今年の8月にかけて熊川を上流は百村本田から下流は蛇尾川との合流点まで、また蛇尾川は昨年調査した地域(上流は大蛇尾川、小蛇尾川合流点から下流は簗川との合流点まで)を測量調査、電気探査、踏査を実施してまいりました。ここで私達は2年間の調査により得たことを発表することにいたします。

(1) 河床勾配と運搬力の考察

ア、河床の縦断面測量と最大れき径変化、および砂れきのたい積状態

調査の方法は昨年と同様、河床勾配はハンドレベルで測量し、最大れき径は円磨度の調査地点を中心にして現河床を横断する線上の最大のものをさがし、円磨度は現河床道と思われる地点より1m離れた場所において2m×2m範囲内の深さ10cmにあるれきを任意に500個選びだし、その粒径と磨耗度を調査し、10mm以下のものについては実験室に持ちかえり、粒度分析をしました。これによると本調査地域の熊川の河床勾配は百村本田より木綿畑新田までは50分の1となつており比較的急勾配ですが、木綿畑より上中野までは120分の1と緩傾斜になつていきます。このことから木綿畑付近より扇状地となるものと思われます。また上中野より町島までは60分の1とまた急勾配となつていきます。これと蛇尾川の河床勾配を比較してみますと扇状地を流れている部分は蛇尾川の方が急で熊川は比較的ゆるい傾斜となつていきます。(オ3図参照)このことは最大れき径変化にもあらわれており、熊川の最大れき径変化が上流から下流に100cm、85cm、60cm、55cm、25cmと小さくなつていきますが蛇尾川の最大れき径は90cm、110cm、150cm、80cm、60cm、55cm、20cm、28cm、25cmと上流は不規則になつており扇状地になつてやつと規則的に存在するように思われます。ところが山間部の勾配は熊川の方が大きく、川自体もせまくなつていて洪水の割合は蛇尾川より多いとされています。その理由としては熊川は山が浅く、雨が降ると一度に流れだしてしまうためと川幅がせまいため、はんらん危険性もあると同時に極端な蛇行なども考えられます。現河床の砂れきにつきましては蛇尾川は河床勾配とある程度関係があると思われますが熊川ではその関係がはつきりしていません。蛇尾川においては上流の河床勾配の急な地点では799mm～500mm(以下大れきとする)が、約1%、499～200mm(以下中れきとする)が約20%、以下は199

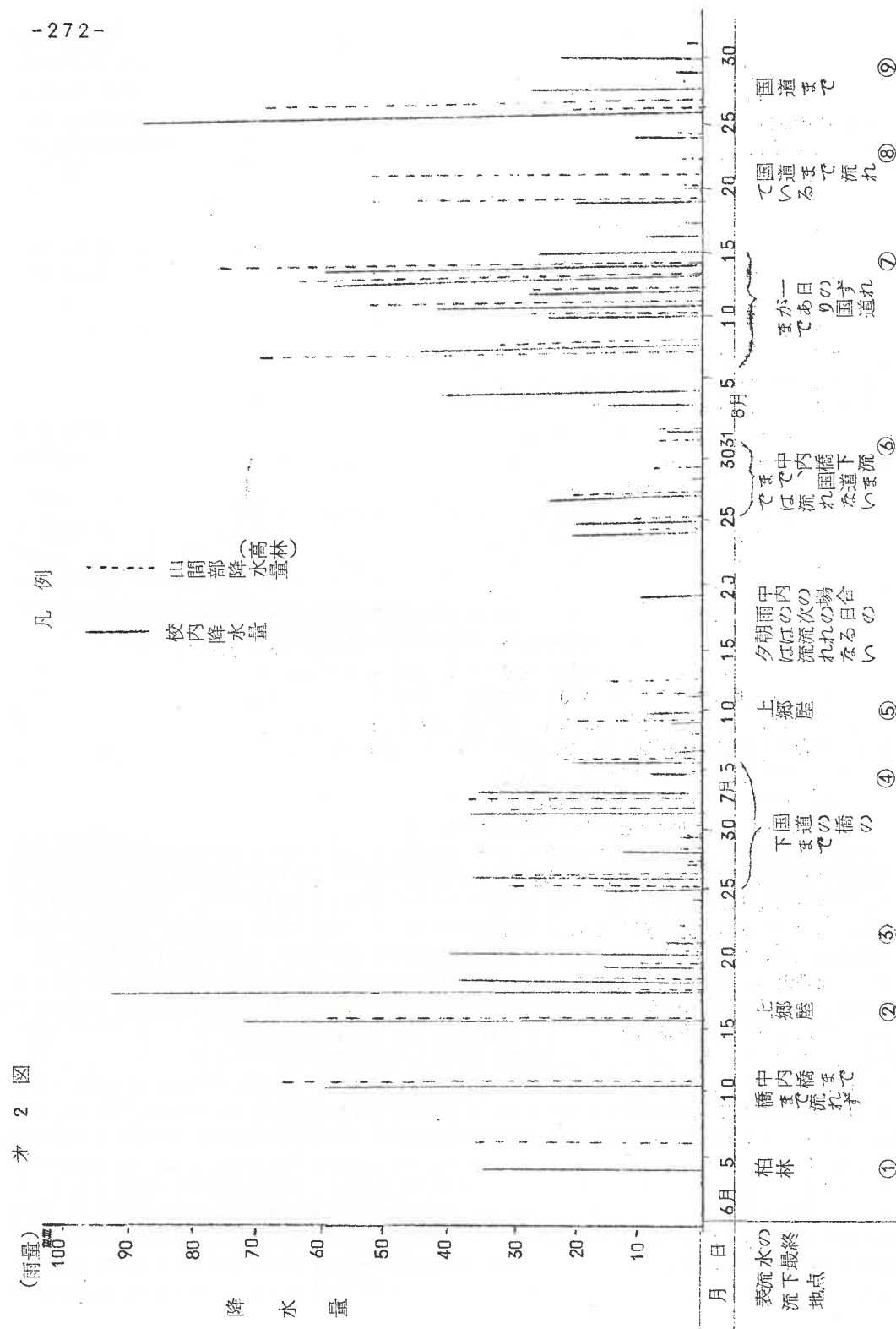
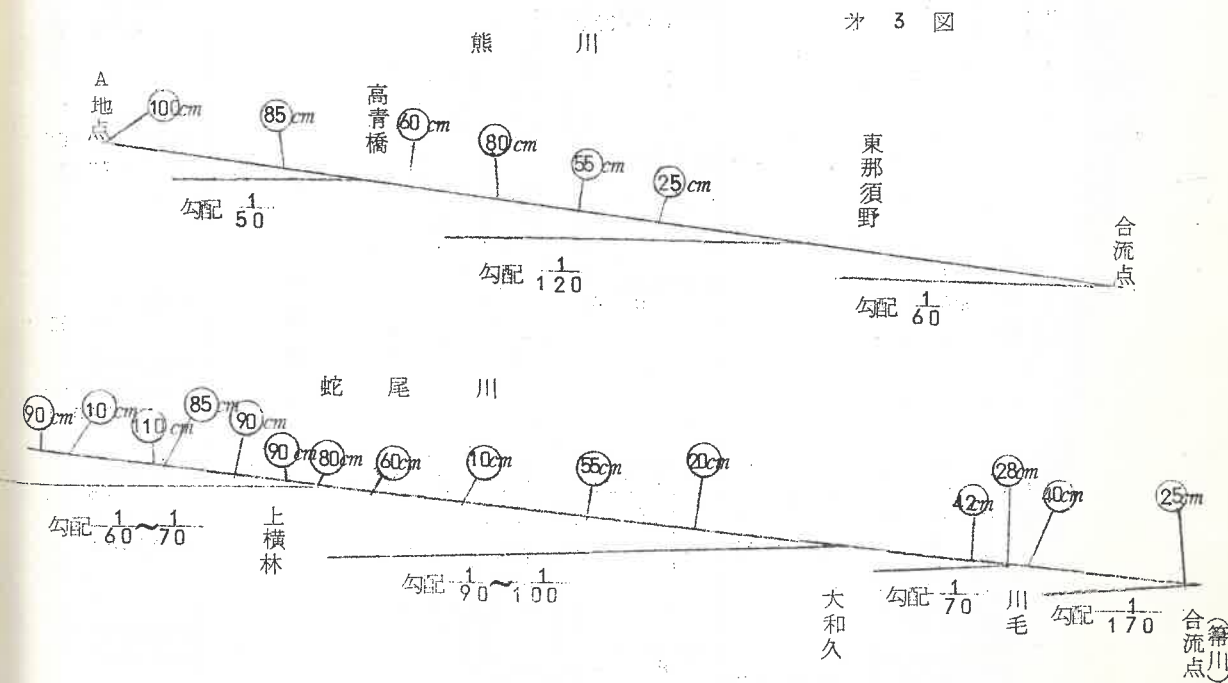


図 2

～10mm(以下小れきとする)となっており、中れきについてみますと、不規則ながら下流にゆくにしたがいだんだん少なくなっているのがはっきりわかります。それに対し熊川は大れきはほとんどなく、中れきが上流である測点8072302の地点にわずかに0.4%、8072501で4%、8081401で2%とほとんど変化はみられません。したがって小れきの変化もないこととなります。このように熊川において粒径の変化がみられないのは、上流の山間部におけるれきの生産も関係があると思います。そこで私達は熊川の山間部のれきの状態を調べるために、川をのぼり調査してみました。蛇尾川上流ほどの大れきはなく、またあつたにしても数が少ないということに気づきました。また先聲を残していつた資料を調べても熊川の出水の際、大れきが選搬された様子はなく、現河床の砂れきの移動も少ないようです。とくに上流の山間部では前にも述べましたように、山は浅く急流なため降水があると急げきに出水、急げきに退水ということをくりかえしているようです。ところが砂泥の運搬量は多いらしく、現河床にも表面には砂泥がれきの間にたい積しているところが多くありました。このような砂泥の流出を防ぐために上流には砂防えん堤が、百村本田～茅の沢間には約60～100mおきに約30ヶ所もつくられておりますが、そのほとんどが、もうすでに埋まつてしまい砂防の用をなさないのでないかと思われます。そこでこの件につき先生におたずねしたところ、砂防えん堤の効果ははつきりしない、たとえば一度の出水でも完全に埋まつてしまいもう砂防の効果はないと思われるところでも多数のえん堤を連続的につくつておくことにより河床勾配がゆるやかになることもあり洪水の際の流速に影響を与え、案外効果を発揮することもある、ということでした。そこでもう一度熊川の河床れきに、変化のなかつたことを考えてみました。その結果、熊川の河床れきに大れき、中れきが少くないのは上流のこのえん堤のためと、さきに述べた上流のれきの生産が大れき、中れきの生産が大れき、中れきが少くない、との両方であるとの考えに達しました。また熊川の河床れきの円磨度をみてみますとオ5図のようになります。オ5図をみてみますと測点8072501(上郷屋太郎橋)でわずかに角れきが少なくなり、亜角れきが増しているほかはあまり変化ありません。また円れきは8072501(上郷屋)でわずか2%あるだけで他の測点にはみられませんでした。しかし国道4号線の橋から蛇尾川の合流点までは水が多く、草が生えていて円磨度の測定はできませんので下流の様子は、はつきりつかめませんが蛇尾川の資料と熊川のこれまでに調査した資料



才4図

各測点における岩石混合割合

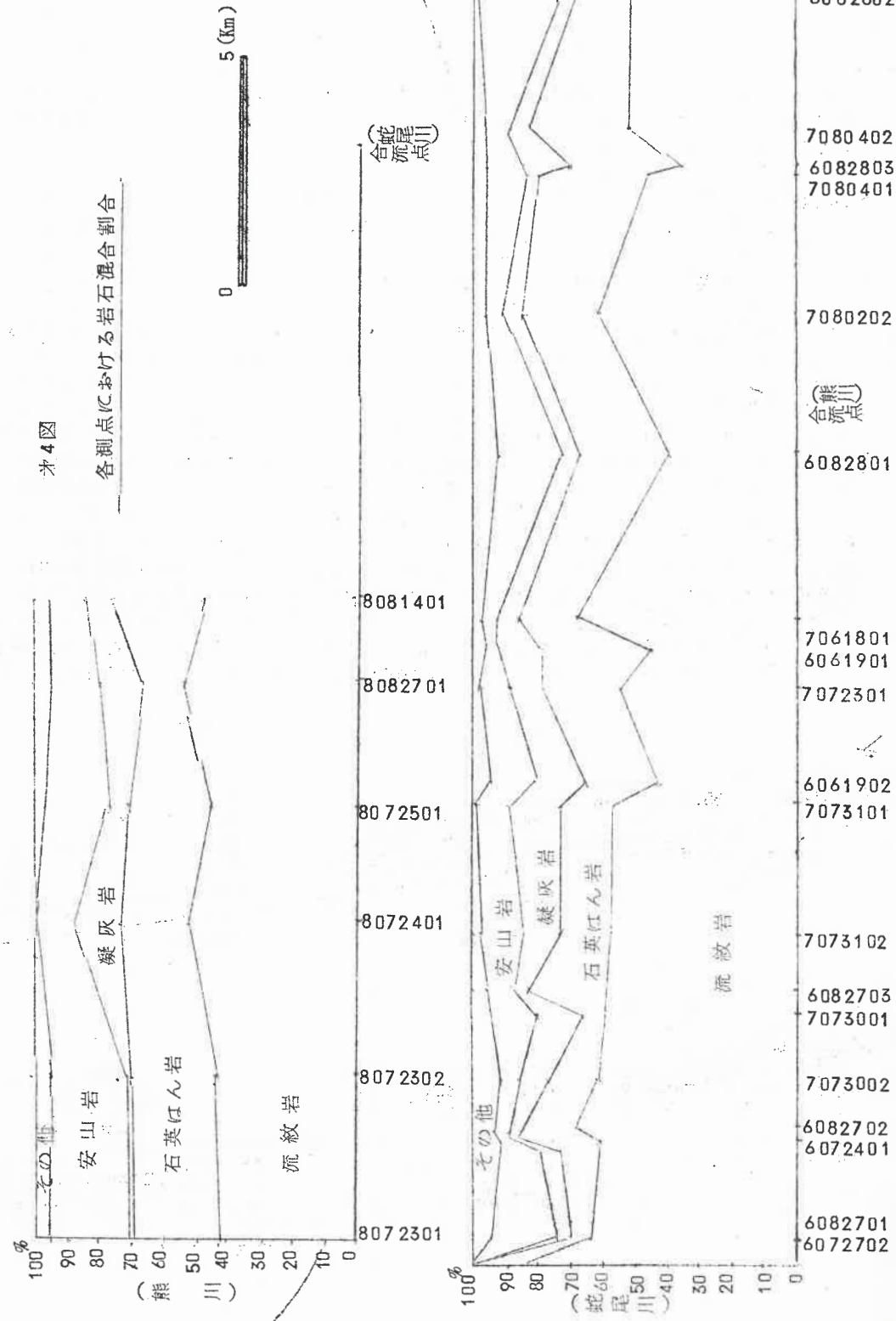
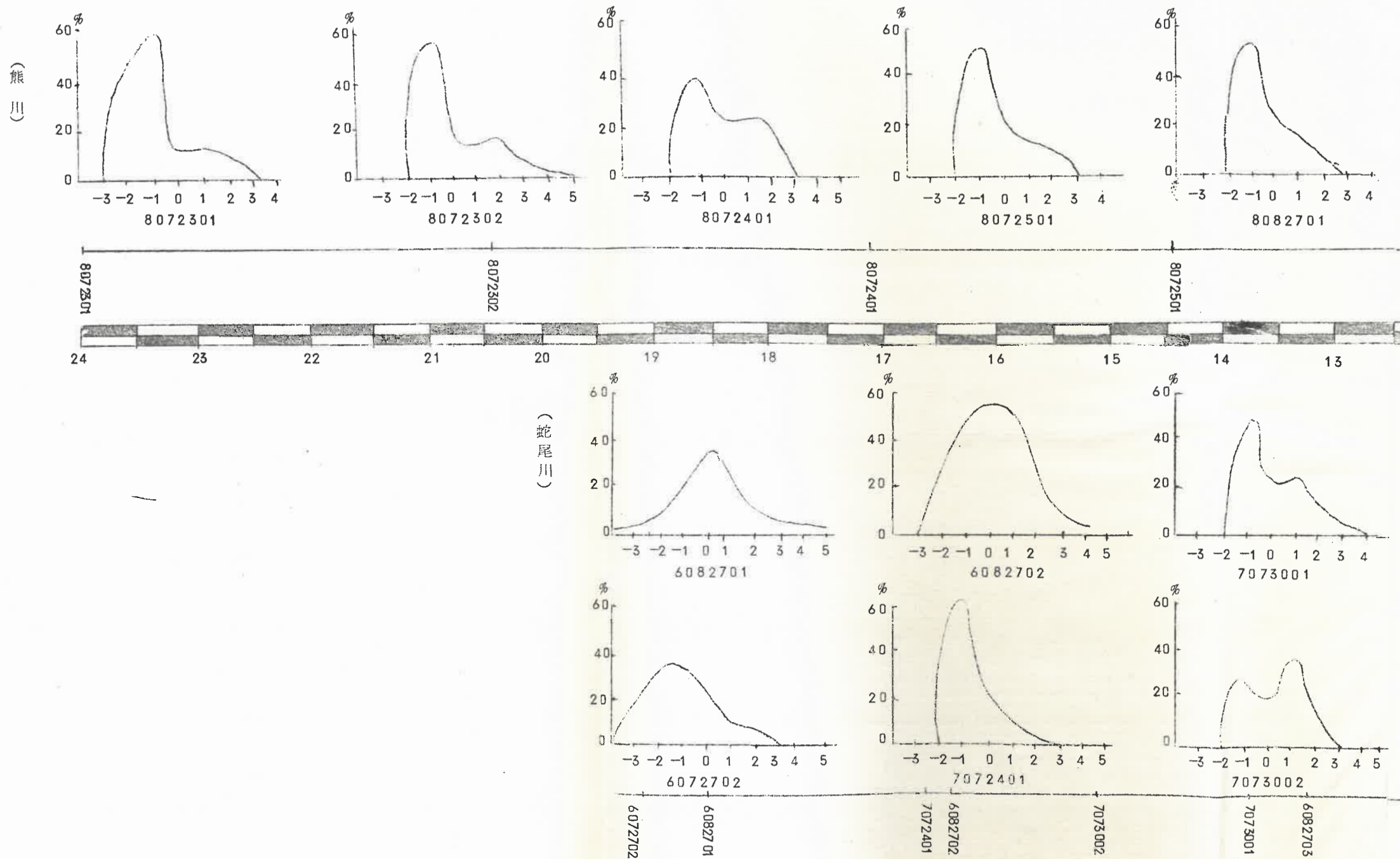
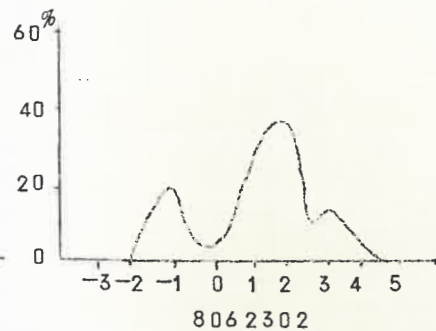
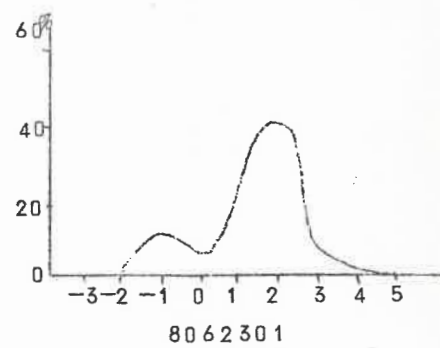
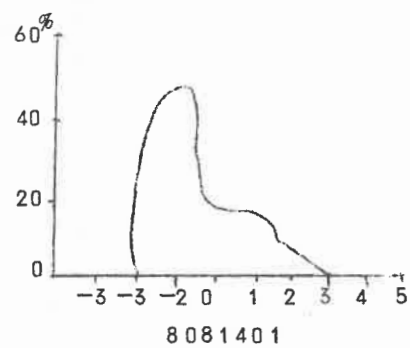


図6 尺度変化グラフ





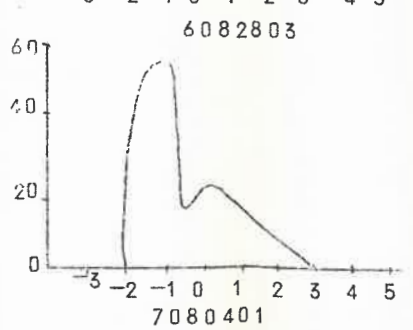
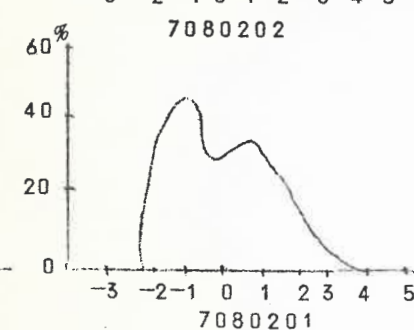
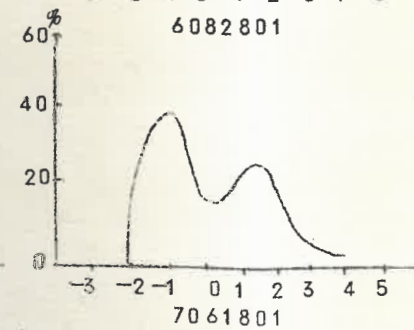
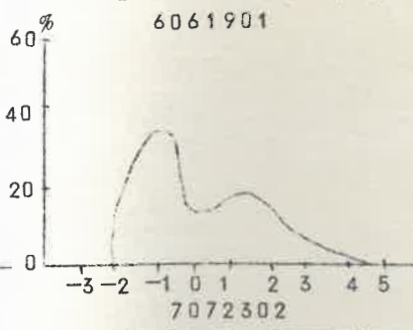
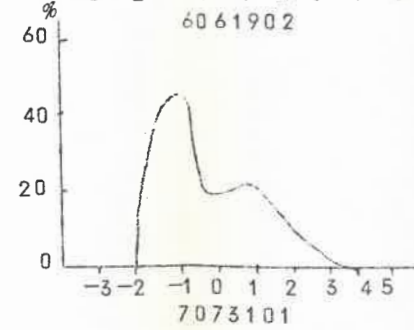
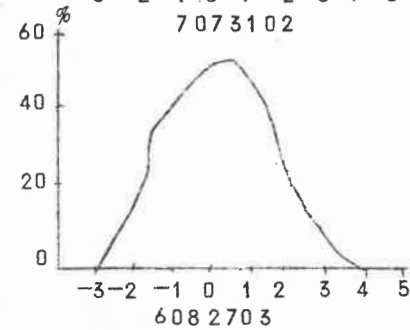
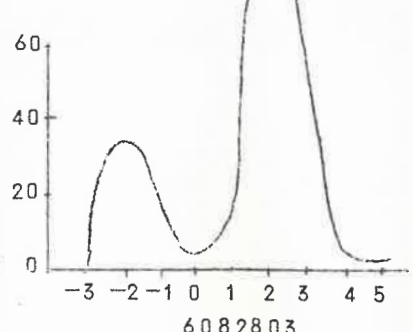
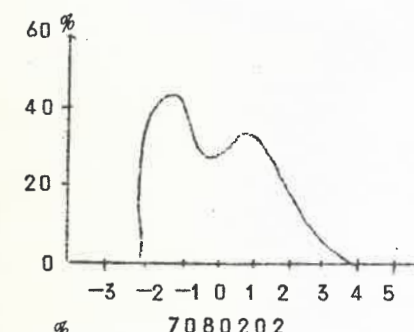
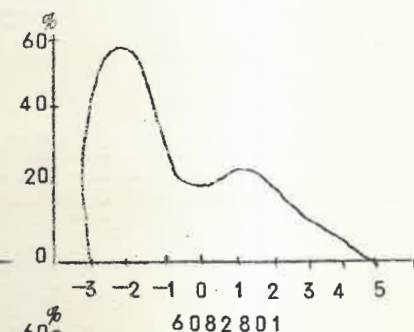
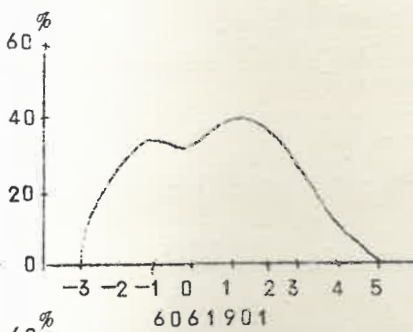
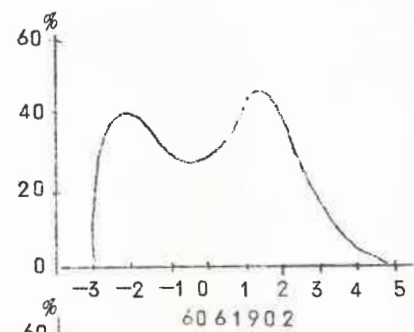
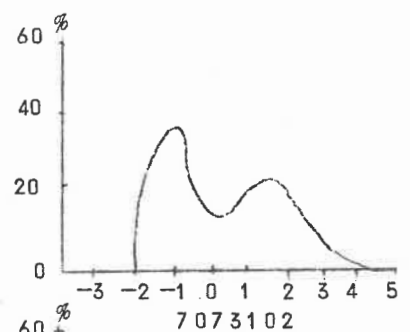
8082701

808140

8062301

8062302

上流へ
合流点 (蛇尾川)
下流へ



7073102

7073101

6061902

7072302

6061901

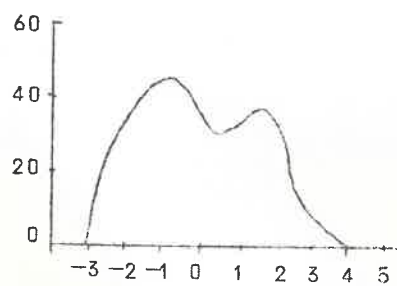
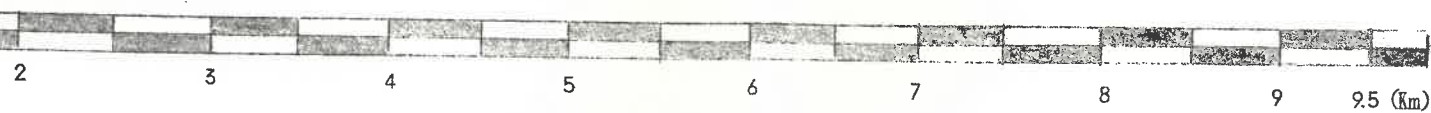
7061801

6082801

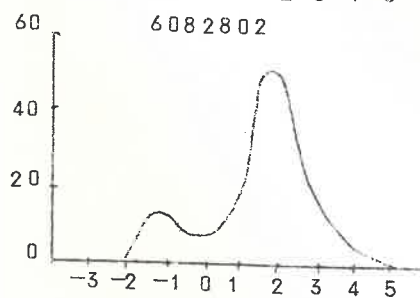
7080201

合流点 (熊川)

7080202



6082802



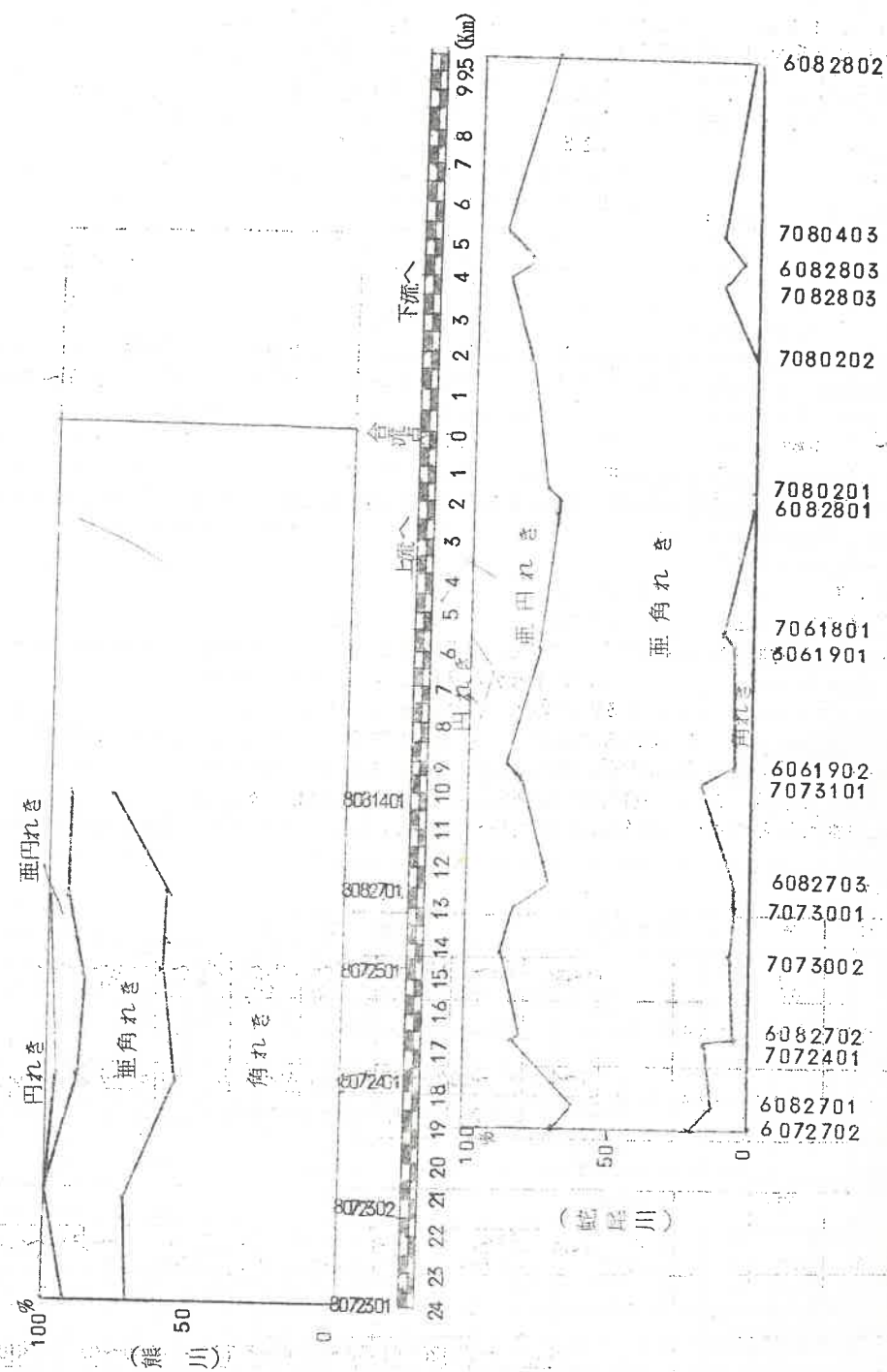
7080402

7080401

6082803

708402

(霏川)
合流点



から推察してみますとあまり変化はないものと見られます。これに対して蛇尾川は上流には角れきが多くなっている様子がわかります。以上のことは粒径が10mm以上のれきについて行なった調査であり、10mm以下のものについては円磨度測定をした地点より資料を実験室に持ちかえり、各資料1000gをとり粒度分析をしました。その結果はオ6図のとおりになっております。これによりますと熊川の今年度の調査地域最上流である測点、8072301では円磨度で-1（粒径2mm）に極大値があらわれており、以下8072302、8072401、8072501、8082701、8081401の地点では同様に-1（粒径2mm）に極大値があります。また熊川では下流になる測点、8062301、8062302では-1（粒径2mm）と2（粒径0.25mm）のところに極大値をもつ双頭曲線となっております。これら2つの地点は河床勾配がゆるやかな120分の1地域でありこれより下流では河床勾配が急（70分の1）になっておりますが表流水が多く調査することができず残念に思っております。ところでこの粒度分析の結果8072401の地点の双頭曲線が他の地点と変わっているため河床勾配との関係を見ましたところ勾配が60分の1から120分の1に変る地域であることに気づき、河床勾配により砂泥のたい積状態も変ることを知る一つの手がかりになるものと思われまゝ。粒度分析の結果を蛇尾川のそれと比較してみますと極大値のあらわれ方や双頭曲となる地域など非常に良く似ています。次にこの熊川における岩質の混合割合を調べてみますと蛇尾川と同様、流もん岩類が最も多く各測点とも全体の約80%を占め、つぎに安山岩、凝灰岩が15~18%を占め、ひん岩が5~2%となりわずかにその他の岩石（砂岩や泥岩）が存在しています。これらの岩石の粒径をみますと蛇尾川は499mm~200mmのものがかかり含まれているのに対し熊川ではほとんどが199mm~10mmのものであります。これらにより熊川の現河床砂れきのたい積状態は蛇尾川のものと比較してみますと粒径の変化、円磨度の変化ともはつきりとはあらわれず、わずかに粒径分析の結果が蛇尾川の結果と同様になっているにすぎません。これは蛇尾川より熊川が出水量が少なく同時に上流のれきの生産量、えん堤の数などのちがいに由来するものと思われまゝ。

1. 熊川におけるれきの選搬力の実験

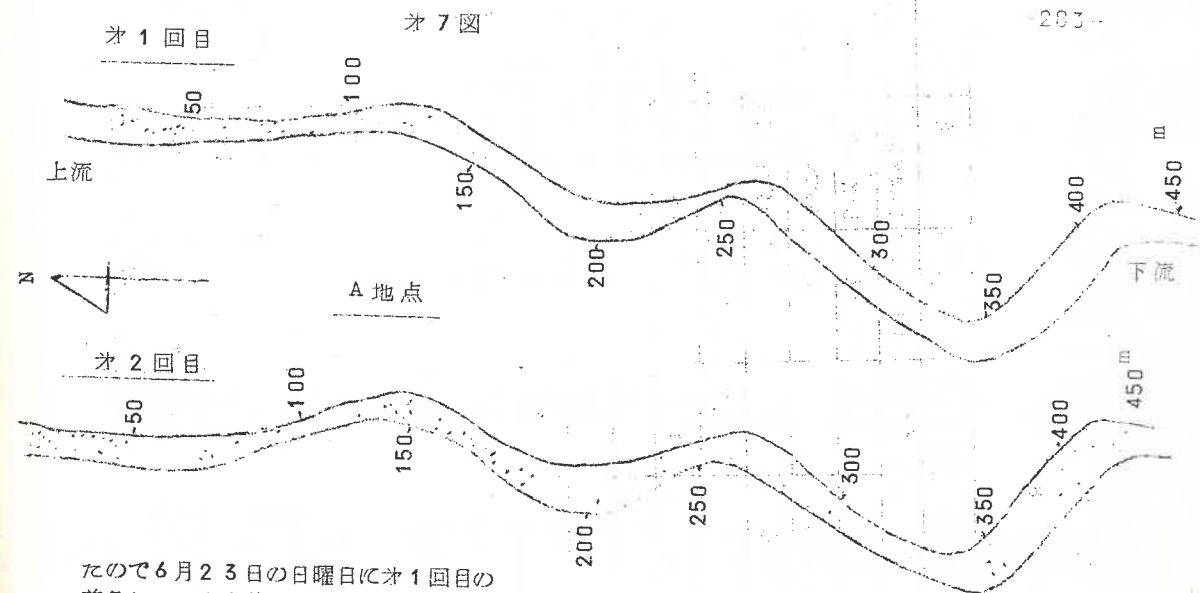
私達は昨年は蛇尾川で今年は熊川で河床の砂れきの調査をしました。が現河床れき調査では動きがなく、またどの石が1回の出水でどの程度、流下されるかを確かむことができませんでしたので今年度は6月~7月にかけての梅雨期、8月末から9月にかけての台風期をねらい実際に着色した重さ約30kg（粒径にして約20×30×15cm）のれきを流下することになりました。そこで地形図と高林（熊川上流）より通学しているクラブ員の意見とを考慮して百村本田（A地点）、百村新田（B地点）、木綿畑新田（C地点）の3ヶ所に着色れき（A地点赤、B地点緑、C地点黄）を配置し出水を待つて回収することにした。着色れきは梅雨時の降雨期を予想して6月8日に配置してみました。が約1週間出水はみられず6月16日にやつと高林の雨量で58mmの雨が降り、熊川全域に出水がありまし

オ1表 [オ1回目]

	実験れき	流下個数	残個数	不明個数	流下距離									
					1~50	50~100	100~150	150~200	200~250	250~300	300~350	350~400	400~450	450~
A地点	250	54	165	31	40	6	6	1	0	1	0	0	0	
C地点	1000	107	776	117	1~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
					4.6	2.2	8	10	12	4	4	1	0	0

[オ2回目]

	実験れき	流下個数	残個数	不明個数	流下距離									
					1~50	50~100	100~150	150~200	200~250	250~300	300~350	350~400	400~450	450~
A地点	250	61	145	44	27	5	5	8	4	2	3	1	6	
C地点	1000	132	727	141	1~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
					4.7	1.7	1.9	1.8	1.5	8	3	3	1	1



たので6月23日の日曜日にオ1回目の着色れきの移動状態を調べに行きました。ところが上流は案外出水は少なく現河床と思われる部分の着色れきだけ働いていて他はもとのままでガツカリしてしまいましたが何個かの着色れきの移動がありましたのでその測量をしました。その結果はオ7図、オ1表の通りでA地点においては配置れきが250個、B地点では300個、C地点では1000個であるのに対し流下れきはA地点54個、B地点13個、C地点107個でありました。また残っていたれきはA地点165個、B地点285個、C地点776個となっており、A地点の31個、B地点の0個、C地点の117個は埋もれてしまったらしく、見つかることができませんでした。また各地点における最大流下距離はA地点で265m、B地点ではほとんど流されておらず、C地点では72mとなっていました。この結果より、やはり上流の流量流速は下流のそれと比較した場合、大きいということがわかると思えますがB地点はえん堤とえん堤の間の河床勾配がないところに配置したため流されなかつたものと思われまゝ。しかしながらこのオ1回目の調査からはこの実験は初期の目的を達し得なかつたと思われまゝ。オ2回目の調査は8月末~9月上旬にかけて高林雨量で280mmあり、国道4号線付近もかなりの出水がありましたので9月8日に実施しました。その

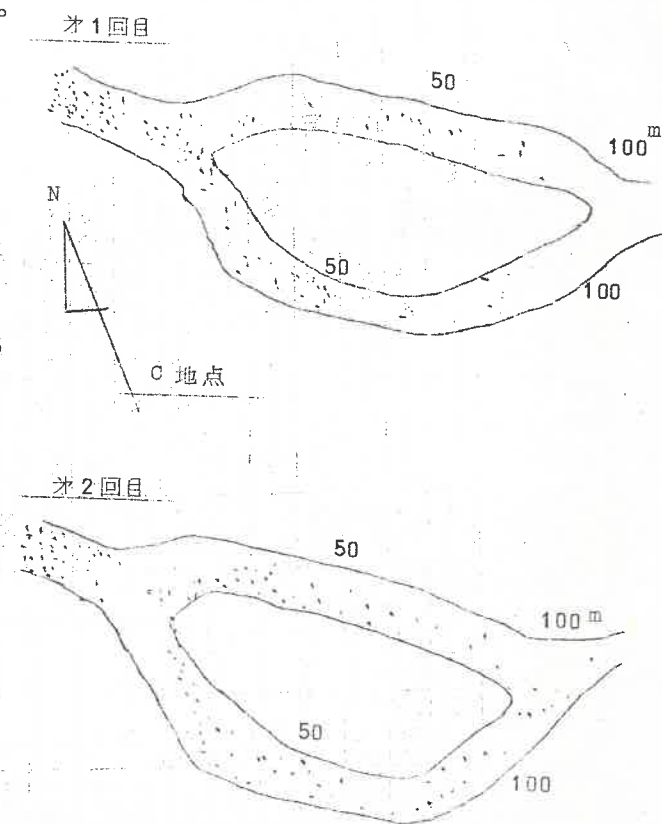


表2

1. 流量 0.50315 m³/s 流速 1.41 m/s 実験距離 11 m
 所要時間 (秒) 1回目 2回目 3回目 4回目 5回目 平均
 3.1 7.4 8.0 7.9 7.6 7.8

2. 流下実験

重量	流下の有無	時間	流下の状態	流下距離	岩質	粒径	秒速 (m/s)
1 0.3Kg	有	24.2	川底を滑走しながら流下する	11 m	石英はん岩	5×4×5cm	0.45
2 0.7		14	最初ゆっくりに流下したが次第に速く流れる	〃	流紋岩	5×10×9	0.79
3 0.9		28.3	何度行っても押し流されるように滑走しながら流れる	〃	〃	8×7×9	0.39
4 3.0			幾度か回転して流れたが安定面が底になると停止する	〃	〃	12×10×13	
5 3.0	無		安定な面が多いため回転を与えても流下しない	0.3	石英はん岩	13×11×12	
6 3.9	有	21.8	比較的角が安定しているため回転しながら流下する	11	安山岩	15×12×10	0.5
7 0.2		13.2	回転しながら順調に流下する	〃	流紋岩	4×5×3	0.84
8 0.1		12.4	軽いので浮きあがるように感じて流下する	〃	石英はん岩	4×3×3	0.89
9 1.9		14	不規則な回転だが最後まで流れる	〃	流紋岩	6×5×6	0.79
10 2.4		12.4	円に近い形を呈しており回転がスムーズに流れた	〃	石英はん岩	10×12×8	0.89
11 3.3		18.8	重量が重いいため比較的ゆっくりに流下した	〃	〃	13×14×9	0.59
12 6.0	無 (実験不能)		大きすぎてU字管内に入らないため実験不能		流紋岩	17×20×11	
13 0.1	有	24.7	滑りながら最後まで流下する	11	〃	3×2×4	
14 0.3		32	時々途中回転し、また停止しながら滑りながら9mまで流下	〃	安山岩	5×2×4	0.34
15 0.4		15	滑走しながら最後まで流下する	9	石英はん岩	6×3×4	0.6
16 1.0	無		180度回転して安定してしまふ。もう流下しない		〃	8×4×6	
17 2.2			安定面が川底につき全然流れない		流紋岩	9×7×4	
18 2.9			安定面が川底について流下は全くない		石英はん岩	10×12×8	

結果は表7図表1表のとおりです。これらの図表からもわかりますように前回と大差はありませんでした。それは国道4号線橋付近の出水で予想したほど上流の出水はなかつたためと思われます。しかしながら前回よりは出水量も多かったため各地点とも流下れきは多く、しかも最大流下距離も、A地点で44.8 m、B地点で9.5 mとそれぞれ1.83 m、2.3 m多くなっていますがB地点はあまり変化ありませんでした。これらのことから推定されることが洪水の際、運搬される砂れきは一度に多くの距離を流下するのではなく何回かの洪水により、下流に運搬されるものと思われます。ところで私達は着色れきを配置し表1回目の調査後実際に運搬されるれきの状態を目で確かめたいと思いクラブ員全員でその方法について話し合いましたところ、①学校の農場にU字管の使用してあるところがあるのでそれを借り実施したら、②那須疎水で両岸底がコンクリートでできている川ばかり使ったのでは実際の河床とかなり異なるので箒川の関谷に良い実験場所があるからそこで実験したら④砂れきの形により流下の距離、流下の状態などが違うと思われるのでそのことも実験してみた方がいいと思うなど種々な意見がでましたが上記4つの実験をしてみることを全員が賛成しましたのでこれらの実験を実施することにしました。

① 学校農場 (二ツ室) のU字管における実験

この実験では約0.2 Kg〜約4 Kgぐらいのれきを18個集め、これを各石ごとに重量を測定し、円れき系、角れき系、偏平なれき系の3つに分け、流路の長さ14 mに規定 (14 mとしかとれなかつた) し、それぞれのれきについて流下距離、流下時間を測定し秒速も計算してみました。これにより表2表のとおりとなり、円れきは0.1 Kg〜3.9 Kgまで全部流れました。しかも流下距離はすべて11 mとなっており、これらの所用時間、秒速をグラフにしましたのが表8図であります。この表8図により表すと、円れき系は小さいもの程所要時間は短かく、大きなれきほど長くなっています。角れき系は0.3 Kg〜0.9 Kgのもの3個が流下しましたが所要時間は0.3 Kgのれきで2.45秒、0.7 Kgのれきで1.4秒、0.9 Kgのれきで2.83秒と不規則でした。これを円れき系の同程度の重さのれきの流下時間と比較してみますとかなり多くの時間を要しています。また偏平なれきは0.1 Kg、0.3 Kg、0.4 Kgの3個が流れましたがその時間は円れきよりかなり多くなっていますがその傾向はつかめませんでした。このようにU字管を使った実験では円れきのみで流下に要した時間の傾向があらわれています。しかし私達はこの実験をとおして、円れき、角れき偏平なれきの流下状態をつかむことができました。つまり、円れきはすべて回転 (転動) しながら流れるが角れきは回転したり、すべったり (掃流) して流れ、偏平なれきはすべて掃流であつたこととあります。これらをもとにしまして、もつと水量の多い場所での実験を試みてみようとな須疎水 (千本松) のセキ (コンクリートでできているセキ) に、でかけて実験してみました。

② 那須疎水における実験 (千本松地内)

ここではU字管を使つてできなかった重量の大きな4 Kg〜5.2 Kgまでについて実験を行なうことにしました。まず円れき系は1.2 Kg〜4.1 Kgまでのれきを角れき系では6 Kg〜5.2 Kgまでのれきを、偏平なれきは4 Kg〜2.7 Kgのものを流下することにしました。またこの場所の流速は2.8 m/s、流量は2.24 m³/sです。その結果は表3表、表8図のとおりです。これからもわかりますように円れきは重量の大きなれき (4.1 Kg) まで流れましたが角れきは1.65 Kg、偏平なれきでは1.58 Kgまでのものしか流れませんでした。しかも円れき、角れきの流れたものは実験距離である11.5 mまで流下しましたが、偏平なれきは4 Kgのものだけが11.5 m流れ、他は9.8 m、9.3 mと途中でとまってしまいました。これは偏平なれきの底面が河床に安定な状態で接してしまふため流水の圧力を受ける面が、円れき、角れきより少ないためと思われます。このようにれきの形によりかなり流下する度合いが変わっていますが、これまでの2回の実験はすべて川底がコンクリートでできている場合でしたのでこんどは実際の河川で実験してみようということになり、箒川の関谷地域まで出かけました。

③ 箒川 (関谷地域) における実験

ここではまず河床にれきがたくさんあり、しかも流速の速いところを選んで実験してみました。しかしながら流速が2.76 m/sもあるのに1.6 Kgという軽いれきまで流れませんでした。(表4表参照) その理由としてれきは河床にそつて転動、掃流を行なうので河床れきが疎であるために底にひつかかつてしまい実験れきが動かなくなつてしまいました。(実験は失敗) そこでもつと河床条件の良いところをと、探しましたところ、この実験場所より下流500 mのところの河床に凝灰岩が露

表 3

1968. 8. 29 千本松地内 那須疎水における実験

1. 流量 $2.24 \text{ m}^3/\text{s}$ 流速 2.8 m/s 実験距離 11.5 m

所要時間 1回目 2回目 3回目 4回目 平均
(秒) 4.0 4.5 4.0 4.0 4.125/s

2. 流下実験状態

偏平な岩	重量	流下の有無	時間	流下の状態	流下の距離	岩質	粒径	秒速 m/s
1	15.75kg	有	12	石は細長く横になって回転しながら流下する	11.5 (m)	凝灰岩	$40 \times 20 \times 13$	1.64
2	13.5	〃	15	川底を滑走するよりに流下する	9.8	流紋岩	$40 \times 27 \times 13$	1.68
3	4.0	〃	10	回転しつつ流れるが安定面が底になると滑走する	11.5	〃	$22 \times 12 \times 8$	0.87
4	10.5	〃	〃	ゆつくりと滑走して流下するが途中で止まる	9.3	凝灰岩	$30 \times 28 \times 13$	1.08
5	27.0	無	〃	回転を与えても少し滑走するだけで流下しない	〃	〃	$35 \times 28 \times 13$	〃
6	12.5	有	10	割れ目があったため回転しながら流下する途中で割れる	11.5	流紋岩	$40 \times 20 \times 17$	0.87
7	12.0	〃	〃	横に回転しながら流下する	〃	〃	$35 \times 23 \times 15$	0.87
8	14.0	〃	14	滑走しながら流下するが途中で止まる, 回転を与えても同じ	8.3	石英斑岩	$37 \times 23 \times 20$	1.61
9	41.0	〃	15	立方体であるため角がとれるよりに回転し流下する	〃	流紋岩	$33 \times 28 \times 28$	1.81
10	33.0	無	〃	安定していて回転を与えても流れない	〃	〃	$40 \times 35 \times 23$	〃
11	52.0	〃	〃	重すぎるため回転を与えても流れない	〃	凝灰岩	$40 \times 35 \times 23$	〃
12	42.0	〃	〃	重すぎるためと立方体であるので流下しない	〃	〃	$30 \times 28 \times 23$	〃
13	43.0	〃	〃	重すぎるため回転を与えても流下しない	〃	〃	$40 \times 30 \times 18$	〃
14	16.5	有	16	回転を与えても安定面になり滑走して流下する	11.5	流紋岩	$38 \times 23 \times 20$	1.39
15	8.5	〃	38	〃	〃	〃	$25 \times 22 \times 15$	0.77
16	6.2	〃	10	滑走して流下するが時々回転する	〃	〃	$23 \times 20 \times 15$	0.87
17	6.6	〃	9	回転しながら最後まで流下する	〃	〃	$21 \times 18 \times 17$	0.78

表 4

1968. 9. 8 塩原町関谷藩川 A

1. 流速 2.76 m/s

所要時間 1回目 2回目 3回目 4回目 平均
(秒) 5.05 5.05 5.05 5.04 5.05

2. 流下実験

偏平な岩	円磨度	重量	流下の有無	時間	流下の状態	流下の距離	岩質	粒径	秒速 m/s
1	角	12.5	有	〃	流れない	〃	流紋岩	$36 \times 18 \times 8$	〃
2	円	15.5	有	〃	沈むまでに 1.5 m 流れた	1.5 m	〃	$32 \times 26 \times 7$	〃
3	偏平	8.6	無	〃	3.5 m	3.5 m	〃	$25 \times 18 \times 10$	〃
4	〃	8.5	〃	〃	流れない	〃	緑色凝灰岩	$27 \times 22 \times 12$	〃
5	〃	10.5	有	〃	沈むまでに 2 m 流れた	2 m	〃	$32 \times 23 \times 10$	〃
6	角	3.3	無	〃	流れない	〃	〃	$21 \times 14 \times 6$	〃
7	偏平	2.0	〃	〃	〃	〃	流紋岩	$19 \times 9 \times 5$	〃
8	角	1.6	〃	〃	〃	〃	〃	$16 \times 12 \times 5$	〃
9	円	2.2	〃	〃	〃	〃	安山岩	$20 \times 14 \times 5$	〃
10	〃	3.0	有	〃	流れたが追跡不可能	〃	流紋岩	$16 \times 17 \times 9$	〃
11	角	2.6	〃	〃	〃	〃	〃	$19 \times 13 \times 10$	〃
12	〃	3.8	無	〃	2 m	2 m	凝灰岩	$16 \times 16 \times 9$	〃
13	〃	2.8	〃	〃	流れた	〃	流紋岩	$13 \times 10 \times 7$	〃
14	円	0.8	有	〃	流れたが追跡不可能	〃	緑色凝灰岩	$10 \times 9 \times 8$	〃

表 5 1968. 9. 8 塩原町関谷寄川B
 1. 流速 2.8m/s 実験距離 9m
 所要時間 1回目 2回目 3回目 4回目 平均
 4.0 4.5 4.0 4.0 4.0 (秒)

流下実験

断面	重量	流下の有無	時間	流下の状態	岩質	粒徑	流速m/s
円	1 95 (Kg)	有	10.0秒	ころがりながら	凝灰岩	40×45×55	1.89
れ	2 75	〃	17.1	〃	〃	48×45×35	1.9
き	3 56	〃	13.9	〃	〃	40×34×39	1.54
系	4 41.5	〃	13.1	〃	〃	39×30×30	1.46
	5 24.0	〃	11.3	〃	〃	25×27×26	1.26
	6 10.7	〃	14.4	回転 だ円体のような形	〃	19×20×20	1.6
	7 59.0	無			安山岩	56×34×25	
角	8 41.0	〃		置き方により流れる	〃	50×32×27	
れ	9 15.7	有	6.8	安定におくと流れない	凝灰岩	40×20×18	3.4
き	10 18.1	〃	5.5	安定な所についてしまふと流れない	〃	28×29×18	3.67
系	11 11.0	〃	14.2	回転しながら流れる	砂岩	26×24×12	2.15
	12 8.8	〃	6.9	回転	安山岩	27×18×18	2.68
	13 3.2	〃	17.1	すべつたり回転したり	泥岩	24×16×12	1.9
偏	14 43.0	無			安山岩	36×45×18	
平	15 24.0	〃			凝灰岩	43×34×11	
な	16 12.7	有	3.1	2回転で終り	〃	32×27×17	2.38
岩	17 9.7	〃	4.7	回転とすべり	安山岩	24×30×12	1.88
	18 8.5	〃	6.1	回転よりうきながら	〃	21×27×13	3.81
	19 4.0	〃	8.0	横にすると流れる 縦は流れない	凝灰岩	62×15×4	2.22
	20 6.5	無			安山岩	26×24×10	
	21 3.6	有	4.5	すべる方が多い 回転もある	流紋岩	25×20×6	1.8
	22 3.3	〃	6.2	すべりと回転	安山岩	22×16×7	2.48

表 6 大山農場野菜圃場揚水井戸による実験結果

1. 流 量 実験距離 2 m

流量 7.75 (cm³/s) 水深 3 cm

所要時間

1回目 2回目 3回目 4回目 5回目 平均
5.5 5.5 5.5 5.2 5.3 5.3 (秒)

流量 18.02 (cm³/s) 水深 5 cm

1回目 2回目 3回目 4回目 5回目 平均
3.7 3.7 3.62 4.0 3.8 3.76 (秒)

2. 流下実験

	重量(g)	岩 質	粒 径	A 流 量 (7.75 cm ³ /s) 水深 3 cm				秒速 (m/s)	B 流 量 (18.02 cm ³ /s) 水深 5 cm				秒速 (m/s)
				流下の有無	時間	流下の距離	流下の状態		流下の有無	時間	流下の距離	流下の状態	
円 れ き 系	1	6	安山岩	24×24×13	無		扁平なため安定な面が底にスキ流れない		有	1.20	2 m	回転しながら飛び上がるような形で流下する	0.166
	2	12.8	流もん岩	30×22×21	〃		細長い石のため長径が流れに平行になつて流れない		〃	7.3	〃	回転しながら川底を流下する	0.274
	3	15	流もん岩	32×25×18	〃		同 上		〃	12.1	〃	横になり回転しながら流下する	0.165
	4	15	安山岩	26×23×22	有	10	底に接する面が少ないため流下する	0.2	〃	6.5	〃	回転しながら川底を流下する	0.37
	5	19	流もん岩	31×29×21	〃	15.1	どの面をとつても同じような水圧をうけるため流下する	0.132	〃	6.2	〃	回転をしながら川底をほう様に流下する	0.322
	6	21.1	石英はん岩	38×29×12	〃	11.8	横になつて回転しながら流下する	0.139	無			やや扁平であり安定な面があるため流れない	
	7	50	安山岩	38×38×29	〃	9.4	安定な面があり重量も大きい流れない	0.212	有	5.5	2 m	回転しながら川底を流下する	0.362
	8	56.2	凝灰岩	46×34×34	〃	10.3	重要が大きく回転を与えても流れない	0.194	〃	5.8	〃	横になり回転しながら流下する	0.344
	9	83.1	凝灰岩	49×49×31			同 上		〃	6.1	〃	回転しつつ流れるが安定な面になるとすべつて流下する	0.328
	10	116	安山岩	61×50×33	無		同 上		〃	6.4	〃	横になり回転しながら流れに安定な面になるとすべる	0.312
	11	147.4	流もん岩	64×52×46	〃		扁平なため安定な面が底につき流れない		〃	5.7	〃	河床をすべりながら横に回つて流下する	0.351
偏 平 な 石	12	248.4	石英はん岩	79×58×50	〃		同 上		〃				
	15	3.3	流もん岩	25×16×5	〃		同 上		無			扁平であるために安定な面が底についてしまい流れない	
	16	4.4	流もん岩	28×21×4	〃		同 上		〃			同 上	
	17	8.2	流もん岩	28×26×8	〃		同 上		〃			同 上	
	18	8.3	流もん岩	32×22×9	〃		同 上		有	7.3	2 m	流れを受ける面が大きいので川底をすべつて流下する	0.274
	19	8.5	流もん岩	26×26×7	〃		同 上		無	33.8		極めて安定な面があり水力を受ける面積が小さく流れない	0.059
	20	14.8	安山岩	38×34×8	〃		同 上		有	6.1	2 m	曲面力があり河床に接する面が小さいため流下する	0.328
	21	13.3	流もん岩	38×34×9	〃		同 上		〃		〃	平らな面が流れに平行になつて回転しながら流下する	
	22	19.3	安山岩	39×36×10	〃		同 上		無			安定な面が河床についてしまい流下しない	
	23	16.8	流もん岩	37×35×10	〃		同 上		〃		0.1 m	曲面がありやすべつて流れるが底についてしまい止まってしまう	
	24	27	流もん岩	48×42×10	〃		同 上		〃			安定な面があるのと重量が大きいので流れない	
	31	2.9	安山岩	17×14×16	〃		安定した面が多く回転を与えて流れない		有	7.3	2 m	回転しながらとびはねるように流下する	0.274
角 れ き 系	32	7.6	流もん岩	25×21×14	〃		同 上		無			安定な面があり河床についてしまい流下しない	
	33	6.6	石英はん岩	28×17×12	〃		同 上		〃			長辺が流れに平行になり水力を受ける曲が小さく流れない	
	34	8.2	集塊岩	27×19×12	〃		同 上		〃			安定な面が底につくと同時に長辺が流れに平行になり流れない	
	35	21.9	流もん岩	30×27×23	〃				〃			回転しながら少し流れるが安定な面が底についてしまい流れない	
	36	24.4	流もん岩	47×35×18	〃		やや扁平で重要も大きいので回転を与えても流れない		〃			極めて安定な面があり底についてしまい流れない	
	37	25	集塊岩	40×28×20	〃		安定な面があり回転を与えても流れない		〃			横に回転して流れるが安定な面が底につくと止まる	
	38	35.3	流もん岩	50×28×19	〃		同 上		〃			長辺が流れに平行になり安定な面があるので流れない	
	39	48.4	流もん岩	47×44×23	〃		安定な面があり重量も大きい流れない		〃			極めて安定な面があり重量の大きいのも手伝つて流れない	
	40	67.7	流もん岩	55×43×27	〃		同 上		〃			安定な面があり河床についてしまい流れない	
	41	69.6	流もん岩	49×42×27	〃		同 上		〃			重量が重い為と安定な面が床についてしまい流れない	

流量 24.03 (cm) 水深 6.3 (cm/s)
 1回目 2回目 3回目 4回目 5回目 平均
 3.5 3.5 3.2 3.5 3.5 3.44 (秒)

C 流 量 (24.03 $\frac{cm}{s}$) 水 深 6.3 cm.					秒 速 ($\frac{m}{s}$)
流下の有無	時間	流下の距離	流 下 の 状 態		
有	6.9	2 m	回転しながら河床をとびはねるようにして流下する	0.289	
〃	7.3	〃	河床をころがりながら後半にスピードを上げて流下する	0.274	
〃	7.3	〃	横になつて河床を回転しながら流下する	0.274	
〃	5.5	〃	河床をころがりながら後半にスピードを上げて流下する	0.363	
〃	6.3	〃	底を横に回転しながら流れる	0.317	
〃	7.9	〃	横になり回転しながら流下する	0.253	
〃	6.4	〃	接地面が少ない為簡単に回転しながら流れる	0.312	
〃	6.2	〃	横に回転しながら河床を流下する	0.322	
〃	6.8	〃	初め回転しながら流れに安定な面がつくとすべつて下る	0.294	
〃	6.0	〃	回転して河床を流れるがやや安定な面がつくとすべつて流下する	0.333	
〃	5.9	〃	多面体である為、初め回転しながら流れるが安定な面が床につくとすべつて流下する	0.339	
〃	7.0	〃	卵形で横になつて底を流下する	0.288	
〃	7.5	〃	浮きさがつて回転しつつ河床を流れ安定な面が底につくとすべつて流下する	0.266	
〃	8.5	〃	やや浮き上がった感じで河床をすべるように流れない	0.235	
無			安定な面があるとともに重要増加も手伝つて流れない		
〃			安定な面が底についてしまい流れない		
〃			極めて安定な面があるとともに水力を受ける面が少ないので流れない		
〃			安定な面があり、ほどよく流線形を程する為に流れない		
〃			安定な面が河床についてしまい流れない		
〃			極めて安定な面があり底についてしまい流れない		
〃			やや安定な面があり河床についてしまい流れない		
〃			極めて安定な面とともに重量も大きい為流れない		
有	8.0	2 m	回転しつつ跳やくしながら流下する	0.250	
無			安定した面があり流線形を程する為流れない		
有	19.8	2 m	横になり回転しながら河床を流下する	0.100	
無			長辺が流れに平行にない安定な面があり底について流れない	0.100	
有	20.0	2 m	回転しながら河床を流下する		
無			安定な面と重量の大きいのが作用して流れない		
〃			長辺が流れに平行になり安定な面が底について流れない		
〃			同 上		
〃			極めて安定な面が底についてしまい流れない		
〃			重量の増大と安定な面により流れない		
〃			同 上		

-293-

出しているところがありましたので、そこで実験してみました。その結果はオ5表、オ8図のとおりです。この場所は流速が 2.8 m/s ありましてので大きなれきも流れるだろうと最高 9.5 Kg のれきまで流してみました。(実験距離は 9 m)これによりますと円れきは 9.5 Kg のれきが流れてしまいましたが、すべて転動であり、掃流することはありませんでした。角れきは比較的重量の少ないれき($3.2 \text{ Kg} \sim 5.9 \text{ Kg}$ までのれき7個)を流下してみました。実験距離である 9.0 m で流下したのは 3.2 Kg のれきだけで、それ以外は途中でとまってしまいました。これら途中でとまつたれきを何回も流してみましたがいずれも同じ結果でした。このように途中でとまってしまうのは流下の状態が転動であり、角れきでもあるためにいくつかの面を持つていて、そのうち一番安定な面が川底についてしまうためと思われまふ。軽いれき(3.2 Kg)になりますと流れより浮力を受けるためか、転動、掃流をしたりして流れまふ。また偏平なれきは流れないか、途中でとまってしまうかのどちらかでした。しかも 1.27 Kg くらいのれきで、すでに流れなくなつてしまい、しかも流れたとしても掃流ですぐとまってしまう。このようにれきの形により流下されるれきの重量が異なることがこれらの実験でわかりました。そこで円れき系、角れき系、偏平なれき系のそれぞれについて、流量と流される重さの関係をつかもうと、川の模型をつかい実験してみることにしました。

④ 大山農場野菜圃場揚水井戸による実験

この実験では流量による運搬力のちがいをつかもうと川の模型をつかい(長さ 2 m 、高さ 1.0 cm 、幅 8 cm)、 3 cm 、 5 cm 、 6.3 cm と水深をかえ、実験してみました。

(A) 水深 3 cm 、流量 $7.75 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流速 0.38 m/s 、実験距離 2 m

この水深では流されたれきが円れき系で、しかも転動であり、重さは $5.6.2 \text{ g}$ までのものしか流れませんでした。しかも流されたれきの重量と 2 m 流下するのに要した時間との関係はつかめませんでした。角れき偏平なれきは流下しませんでした。(オ6表、オ8図)参照

(B) 水深 5 cm 、流量 $18.02 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流速 0.53 m/s 、流下距離 2 m

この深さになりますと流速もやや速くなりますので、前回より流下されたれきの数、重量とも多くなつています。つまりオ6表、オ8図にありますように、円れきは 14.5 g のものまで流下しました。が 2 m 流下するのに要した時間は 6 g 、 16 g のれきが 1.20 秒 、 1.21 秒 となつており、それより重いれきが $5.8 \text{ 秒} \sim 6.4 \text{ 秒}$ と速くなつています。これは理由がはつきりわかりませんがれきの形によるものではないかと思ひます。角れきは 4 g 、 6 g のものが流れまふが、他のれきは流れませんでした。偏平なれきは2個(重さ 8 g 、 14 g)のものが流されましたがその傾向はつかめませんでした。

(C) 水深 6.3 cm 、流量 $24.03 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流速 5.8 m/s 、流下距離 2 m

流下されたれきのうちでは円れきがほとんどで前回と同様、角れき、偏平なれきはオ6表、オ8図のようにそれぞれ2個ずつしか流れませんでした。しかも流下された数の多い円れきも重量によつて流下に要した所要時間はあまり変化ありませんでした。また円れきは転動、角れきは転動、掃流、偏平なれきは掃流というようにそれぞれ流れ方が異なつていました。

以上の4ヶ所の実験で私達が得たものは、最初計画したときの目的であつた流量と運搬量の関係はつかめませんでした。また形によつて流下されるれきの重さのちがひもつかむことができませんでした。これらの流下実験から

(1) 流下の状態は、円れき系は転動、角れき系は転動、掃流、偏平なれき系は掃流となつて流れる。

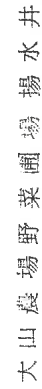
(2) 同一流速、流量の場合重さによつての流下、所要時間にはあまり差がない。

(3) 偏平なれきは安定な面が河床に接すると軽いれきもほとんど動かない。その理由としては流水から受ける圧力が少ないからと思われまふ。

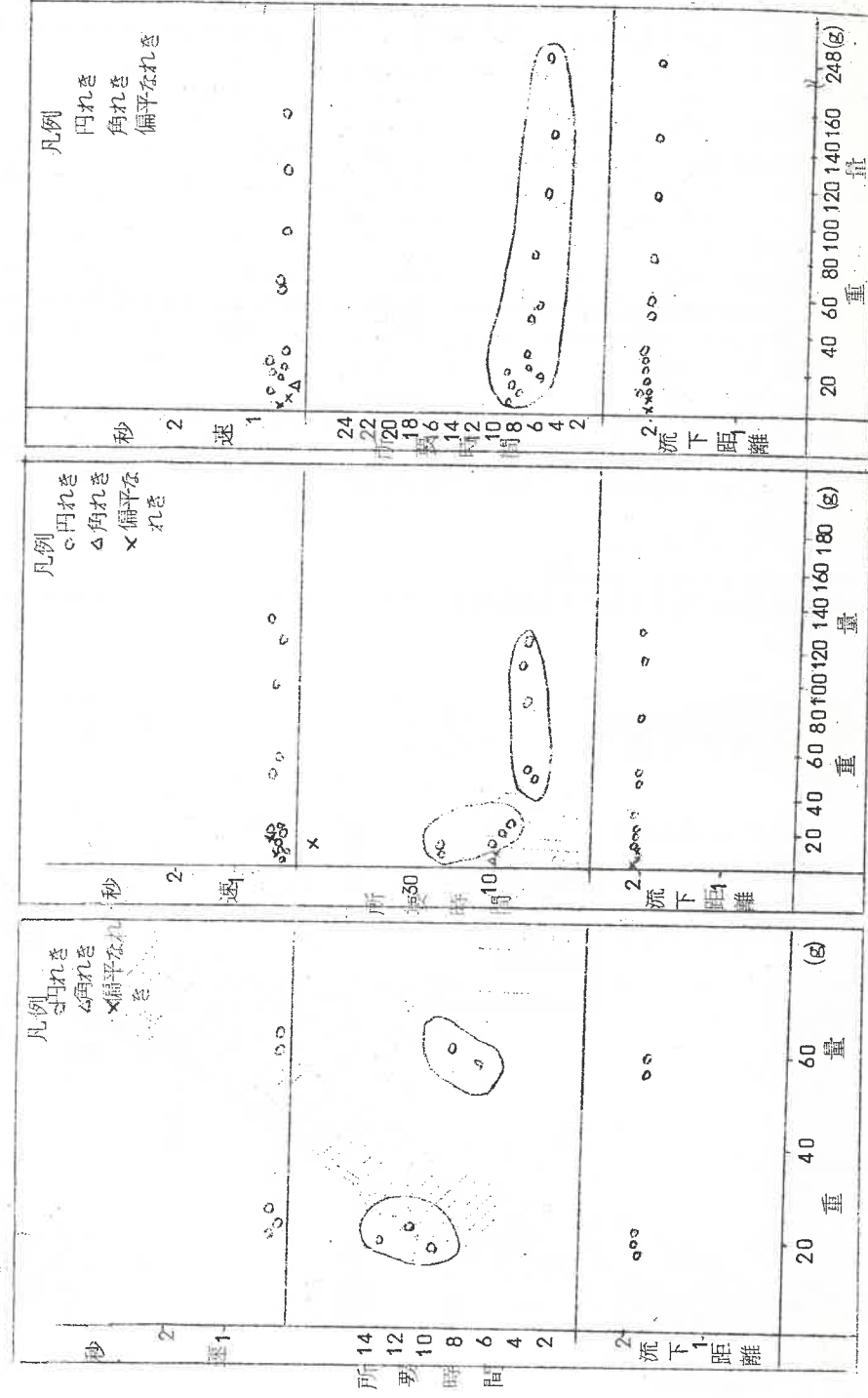
ウ、河道の横断面と流路の変化

私達は昨年蛇尾川の河床横断面測量でこれまであまり知られていなかった天井川をみつけることができました。そこで熊川も那須扇状地のほぼ中央を流れているもので天井川となつていふ部分があるのではないかと思ひ、熊川の河床横断面を測量することにしました。また最近の建築、道路、宅地造成などによつて、河川の砂利が異常に採くつされているので熊川の採くつ状態を調べ、これが地下水、流路にどのように影響しているかを考えてみました。熊川の現河床は通常、茅の沢付近で表流水は浸透し、黒磯町島方にて表流水となつています。その間約 7 km は水無川といわれ一面の砂れき帯となつ

塩原町関谷簗川B



2



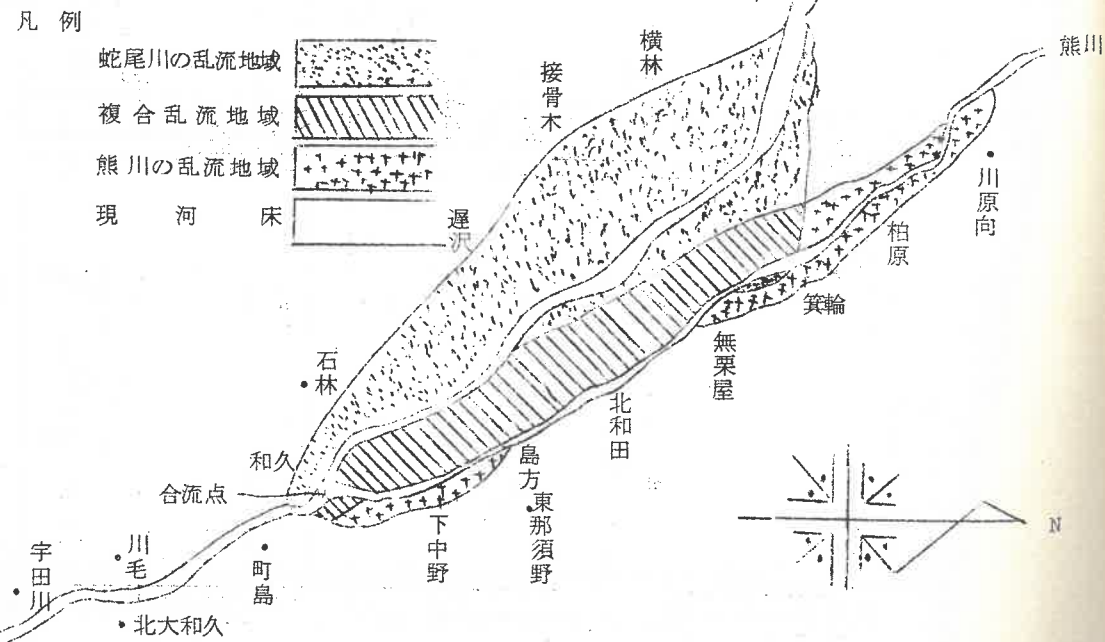
ています。そこで私達はこの水無川となつてゐる部分を重点的に河床の横断面測量を実施し、河道の蛇行なども調べてみました。この測量によりますと上流の百村本田あたりから茅の沢付近までは河川改修も進み、兩岸には堤防が築かれ河床も直線的となつておりしかもえん堤が約30ヶ所もつくられており、河道もはつきりとしておりますが木綿畑新田、川原向と下流になるにつれて兩岸との比高はだんだん少なくなつてゐます。またこの付近になりますと上流ほど堤防は築かれていませんが河道が兩岸をけずりつつしまつてゐますので自然に堤防ができ上がったようなものです。高林、箕輪、上郷屋あたりになりますと兩岸との比高はほとんどなくなり、河道には雑木（おもにカワヤナギ、タチヤナギなど）がところどころに生えてゐました。この雑木の年輪を調べたところ 6~8年ということでした。また上流百村本田でも中州に生えてゐる樹木を調べたところ同じような年輪を示しました。このことにより過去8年ぐらゐまでは大きな出水（洪水）がなかつたものと思われまゐります。上郷屋から下流、塩野崎までは左岸（下流に向つて）には丘陵地があり熊川はこの丘陵地にそつて丘陵地の西側（蛇尾川寄り）を流れてゐます。しかも無栗屋、芝中、北和田、上中野付近は熊川の河床が右岸より高くなり天井川を形成してゐます。この付近は昨年の資料によりますと蛇尾川の旧河道ということになつてゐますが、熊川の旧河道でもあると推定され、しかも蛇尾川の乱流地域であると同時に熊川の乱流地域であると推定されます。したがつて洪水の際の一番危険な区域となります。（オ9図参照）さらに島方、下中野、戸野内と下流になるにつれ、蛇尾川の河床が熊川より高くなつており、町島にて熊川と合流してゐます。これらの河床横断面測量にて気のついたことは熊川の流路は蛇尾川より蛇行してあり、とくに高青橋付近はオ1図のように、180度近くもう回してゐるその上流の河床勾配が急で、しかも河床改修がじてあり、河道が直線的でありますので出水の際危険性は大きいと思ひます。

（2）砂れきのたい積機構

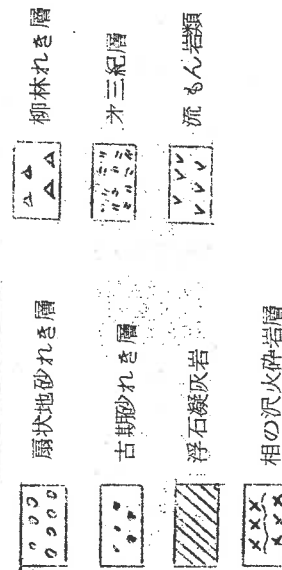
ア、電気探査による地下構造の調査

私達は昨年蛇尾川で電気探査による地下構造を調べましたが熊川も那須野ヶ原を構成してゐる主要

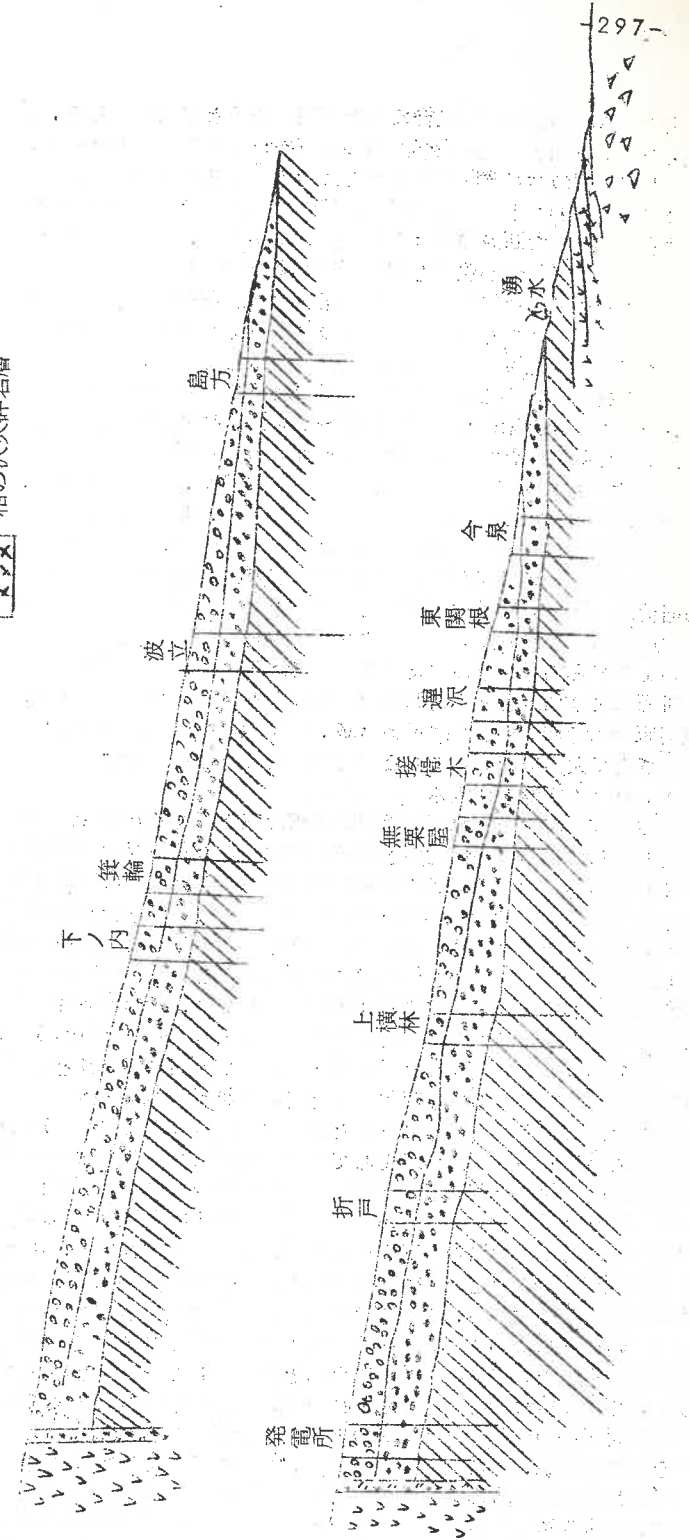
オ9図 乱流地域



凡 例



オ10図 蛇尾川・熊川の地質横断面図



河川であるから蛇尾川と同様な地下構造だろうと推定しまして、電気探査により地下構造を調べ熊川の地質縦断面を作ってみました。これと蛇尾川の地質縦断面を比較したのがオ10図です。

この図からもわかりますように山間部と扇状地との境は蛇尾川の墓沼付近でさがした断層の続きと思われ断層があり、この断層より山間部が隆起、平野部が沈降して那須野ヶ原を構成したものと思われます。この断層は蛇尾川のもので電探の資料から判断するに、この熊川の部分においても100m前後の落差があると思われます。したがって熊川の上流には厚い砂れきがたい積しており、これらの砂れき層を蛇尾川、あるいは那須野ヶ原の地質を参考にわけてみますと、上部より現河床砂れき(層厚2~3m)、粘土混り砂れき(場所によって層厚が異なる)、扇状地砂れき層、古期砂れき層となっています。しかも古期砂れき層は発電所で29m、折戸で24m、下の内、箕輪、波立、島方でそれぞれ14m、13m、10m、6mとだんだん薄くなり戸野内では古期砂れき層はみられず、その下部層である大田原浮石層(浮石凝灰岩)が河床に露出していました。しかし稲荷山(下中野)付近で湧水があることからこの浮石凝灰岩はこの付近から河床に露出しているのではないかと思います。このように那須野ヶ原の中央部を流れている熊川、蛇尾川の河床地質断面図より推定しますと那須扇状地の地下構造は大きくわけて、現河床砂れき層、粘土混り砂れき層、扇状地砂れき層、古期砂れき層、さらに大田原浮石層よりなっているものと思われます。

1、れきの空隙と伏流水

私達は昨年蛇尾川で墓沼、折戸、関根の三ヶ所でくわしい電気探査をしました。熊川も蛇尾川と同様通常は上流の茅の沢付近で伏流してしまひ湧水地点の国道4号線橋の下流の約2km間は水無川となっています。そこで熊川の地下構造をよりくわしく知るために電探を実施しました。しかし上流の電探の資料がなかったため、過去の資料を参考に箕輪、波立、島方の3ヶ所を選定し、地下構造を調べました。これによりますと箕輪ではオ12図のように現河床砂れきが3m、ローム層が0.5m、扇状地砂れき層が約10m、古期砂れき層が約10m、その下部は大田原浮石層(浮石凝灰岩)よりなっているものと推定されます。さらに波立では現河床砂れき層が3m、ローム層が0.5m、扇状地砂れき層が10.5m、古期砂れき層が13m、以下大田原浮石層となっています。これによりますと箕輪、波立とも地下構造はあまり変化ないと同時に蛇尾川の地下構造ともほとんど同じようになっています。しかしながら島方付近になりますと熊川の左岸(下流に向つて)に稲荷山丘陵があるため、箕輪、波立などとはかなりちがった構造をしています。すなわちオ12図のように現河床砂れきが2m、古期砂れき層(粘土混り砂れき層)が3m、以下大田原浮石層となつてしまひ、いままであらわれたローム層、扇状地砂れき層がなくなつてしまひます。これは稲荷山丘陵地の影響と考えられます。これらの資料より推定するに那須野ヶ原の地下構造は上部より現河床砂れき層、ローム層、扇状地砂れき層、古期砂れき層、大田原浮石層となつていゝるものと思ひます。しかし現河床砂れき層の厚さは場所によりほとんど変化はありませんが、ローム層は場所によりたい積してゐなかつたり、扇状地砂れき層も層厚がちがつてゐたりしてゐます。これらのことより那須野ヶ原扇状地は砂れき層がかなり厚いためその主要河川である熊川、蛇尾川は通常水無川となつてしまふのだということがわかります。また表流水が浸透し、さらに拡散してゐると思ひれる現河床砂れき層の伏流水に与える影響は大きく、もし熊川、蛇尾川の両河川の砂れきのところまで取つてしまふと、これまで伏流水であつたものが表流水となつて流下し、浸透量が少なくなり、地下水に与える影響は大きいものと思ひます。

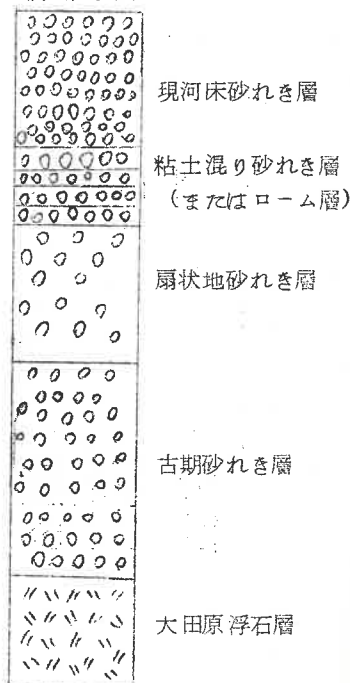
(3) 災害予防の対策

ア、洪水対策

私達は昨年蛇尾川の調査で堤防の破損、決壊が以外に多くあることを知りましたので、熊川でも堤防の状態を調べてみました。熊川の上流百村本田~百村新田にかけて数多くのえん堤が築かれており

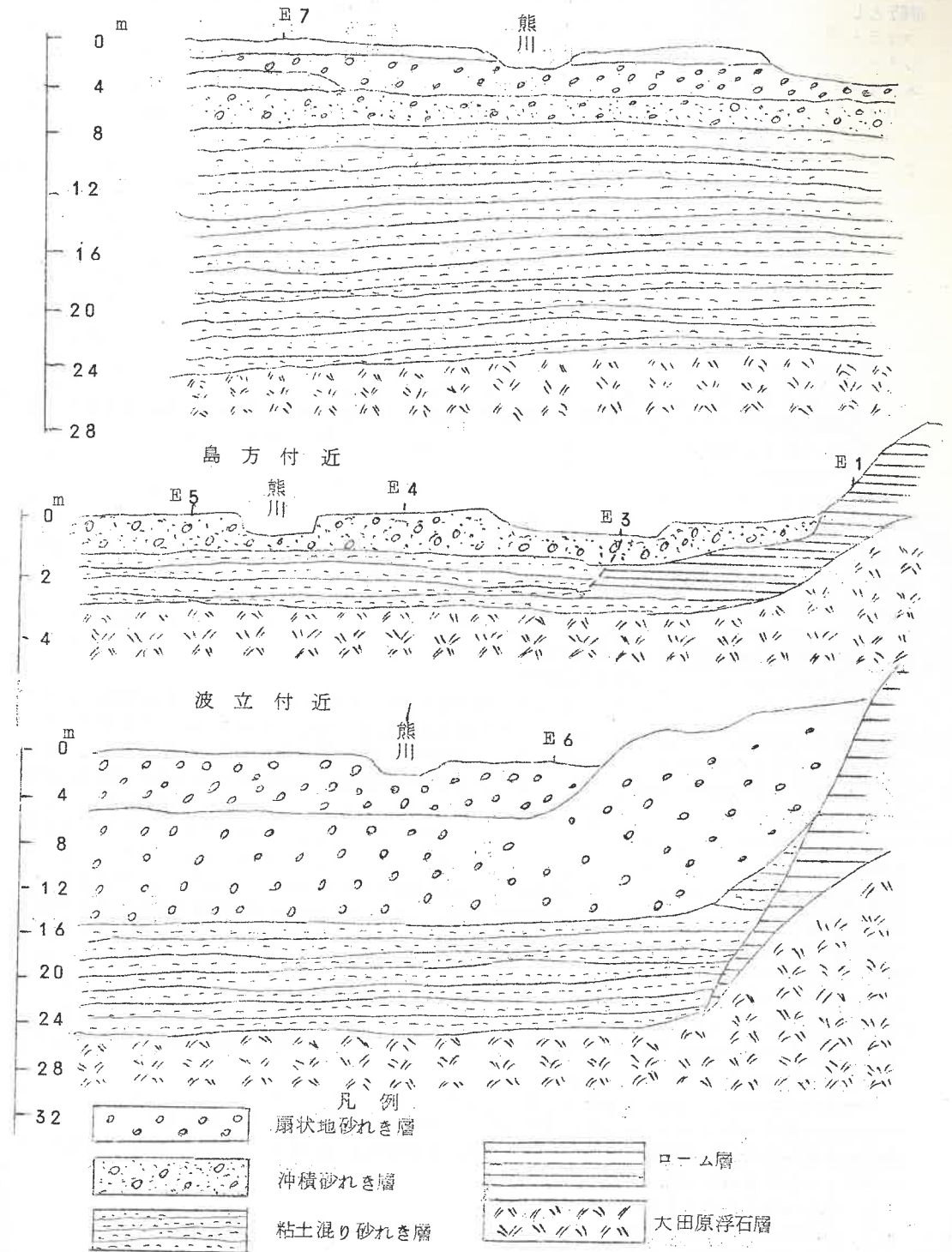
オ11図

模式柱状図



オ12図

箕輪付近



さらに現在でもえん堤工事が行なわれています。これらのえん堤は古いものは完全に埋まつてしまい砂防としての働きを失なつてしまつたものもいくつかありました。そこでこのように埋まつてしまつたえん堤をさらに高くし、砂防の能力を回復させているところもありました。このようにして多数のえん堤を築くことは砂れきの流出を防ぐ上である程度、効果があると思われます。洪水によりえん堤に土砂がたい積しますと河床が高くなると同時に河床勾配はもとにもどつてしまうため乱流の危険が生ずるのではないかと考えられます（オ13図参照）。とくにこの付近は河川改修をし、流路を限定し（約30m）、直線的にしてあるため洪水の際の流速も速く、しかも運搬量も多くなると考えられます。これにより下流茅の沢付近になると民家も熊川の近くにあり、しかも河床勾配が上流に比べゆるやかになつていまして土砂のたい積の可能性はあると思います。両岸の堤防は百村本田から木綿畑新田までの約2Km、上郷屋、波立、島方、富池、荒井の各地域にそれぞれ0.2Km、1Km、0.3Km、1Km、0.4Kmとありますが大巻川、小巻川合流点付近はくずれおちており、上郷屋太郎橋、波立、富池の堤防は下部がえぐられています。また蛇尾川の堤防は墓沼、上横林、東関根などで下部がえぐられてくずれかかつたものもありました。これら堤防の破壊されているところとか、下部がえぐられているところを調べてみますと、いずれも簡易工事であり石垣は一例程度しか並べておらず、しかも堤防は現河床砂れきの上にそつとのせてあるように感じられました。このような工事の方法では現在のように砂利採くつが著しく、しかも流路が集中するような採くつをしている場合、洪水が起こつたときの堤防決壊は多くなるものと思います。そこで私達はどのようにしたらよいかを考えてみましたが、なかなか結論が出ず困つてしまいました。しかし熊川も蛇尾川も現河床砂れきが3m程度ありますのでこの深さまで掘り、基礎をしっかりとせればある程度洪水による堤防決壊も防げるのではないかと思います。また熊川の島方付近になりますと河床勾配もゆるやかで、上流の砂れき運搬のたい積地点となつてしまうようです。また国道や東北本線鉄橋などでは熊川の河床があとわずかで鉄橋にかかつてしまひそうです。昨年私達がこの熊川を調査したときは河床から鉄橋までは、約2m程度ありましたが今年の6月末に行つてみましたところ、あと50cm程度で鉄橋にかかつてしまひそうです。それ以後この付近の砂利をとり防いだようですが8月末にはまた同じように埋まつてしまひました。このことは熊川が少しの出水でも（6月～8月まではあまり雨量がなかつた。）土砂が運ばれることを物語つていっていると思います。したがつて、この鉄橋付近はときどき河床砂れきの取り除きを実施しないと川床が高くなり乱流の危険も生じるわけです。

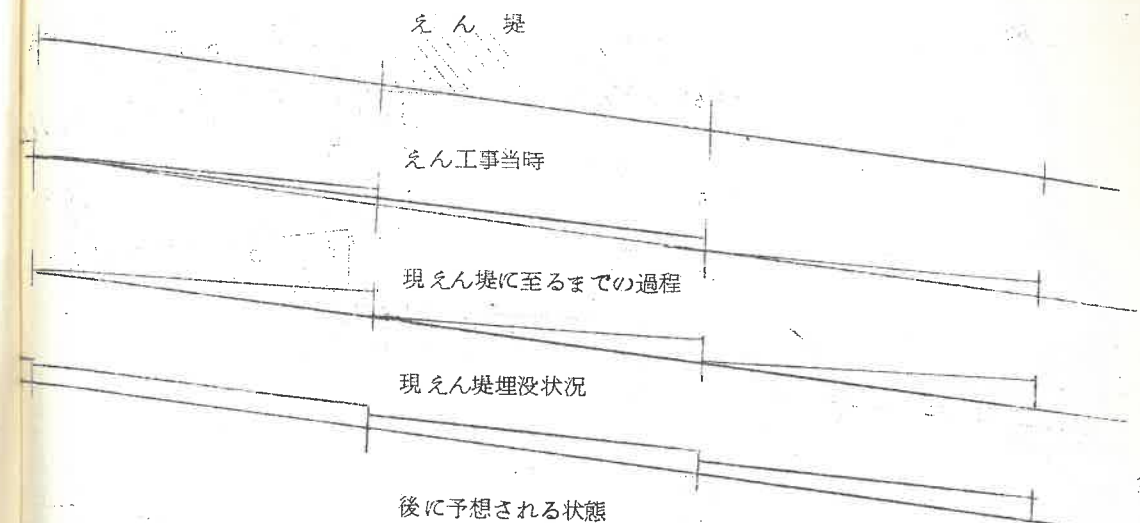
イ、砂利採くつの河川および伏流水の影響

私達は昨年蛇尾川を調査した際、これまでになく砂利採くつが盛んになつていることを感じ、今年度も蛇尾川の砂利採くつ量を調査しました。その結果を昨年と比較して全般的に採くつ量は多くなつています。とくにこれまで採くつをしていなかった折戸橋付近に最近新しく採くつ場ができ大規模に採くつしています。昨年に比較して採くつ量の多くなつた場所は、大田原市今泉の採くつ場で、昨年17,500m³であつたのが今年度は180,000m³と約10倍になつています。その他の採くつ場所でも昨年の約2倍の採くつ量になつていまして、全体的にみましても昨年の2倍、現河床砂れきの概算量18,380,000m³に対し660,700m³となつており現河床砂れき量の約30分の1を採くつしております。（昨年は60分の1でした。）しかも蛇尾川の砂利採くつが始まつたのは5年ぐらゐ前で本格的に始まつたのは昨年からとされます。したがつて過去4年間で採くつした量と今年1年間で採くつした量がほぼ等しいということになります。この調子で採くつが進みますと2～3年で蛇尾川の現河床砂れきは取りつくされてしまうこととなります。とくにここ数年間、河床砂れきをうるおすほどの出水がありませんので河床砂れきは減少する一方です。しかも砂利採くつ方法も幅はせまく直線的に深さ3mのローム層まで採くつしているために地下への拡散が少なくなるおそれがあります。しかもこれまでの湧水地点が大田原市今泉であつたのが今年には国道4号線の上流1Kmの地点（遅沢）と約3Km上流になつてしまひました。

また熊川については、現在のところは3ヶ所の砂利採くつ場所がありますがいずれも小規模なものでたいした量ではありません。しかし今後、東北自動車道の補装工事や宅地造成などがはじまると熊川の砂利もどんどん利用されることと思います。そこで私たちが憂えるのは河川の現状を無視した砂利採くつが行なわれた場合

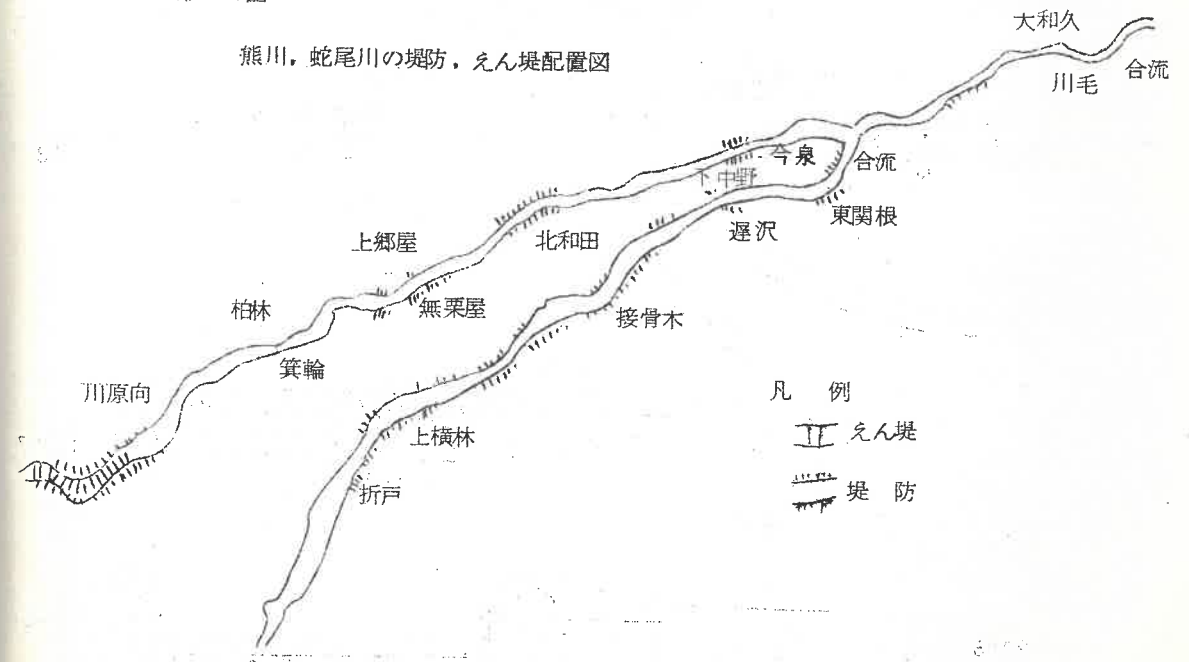
- ① 流路の集中化により下流域への影響。
- ② 現河床にある堤防の破壊。
- ③ 伏流水の表流化による地下水への影響。

オ13図 えん堤の一生

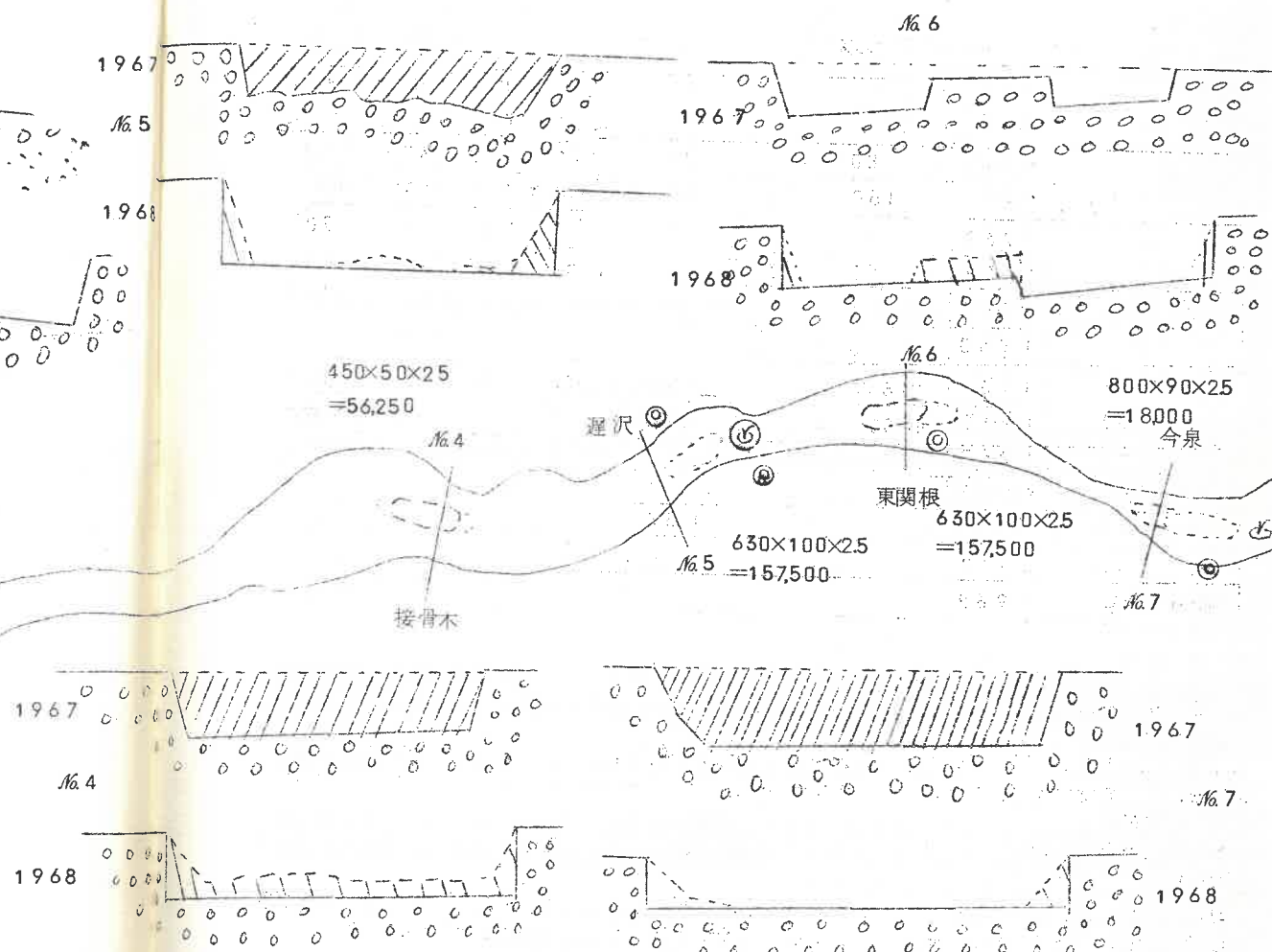
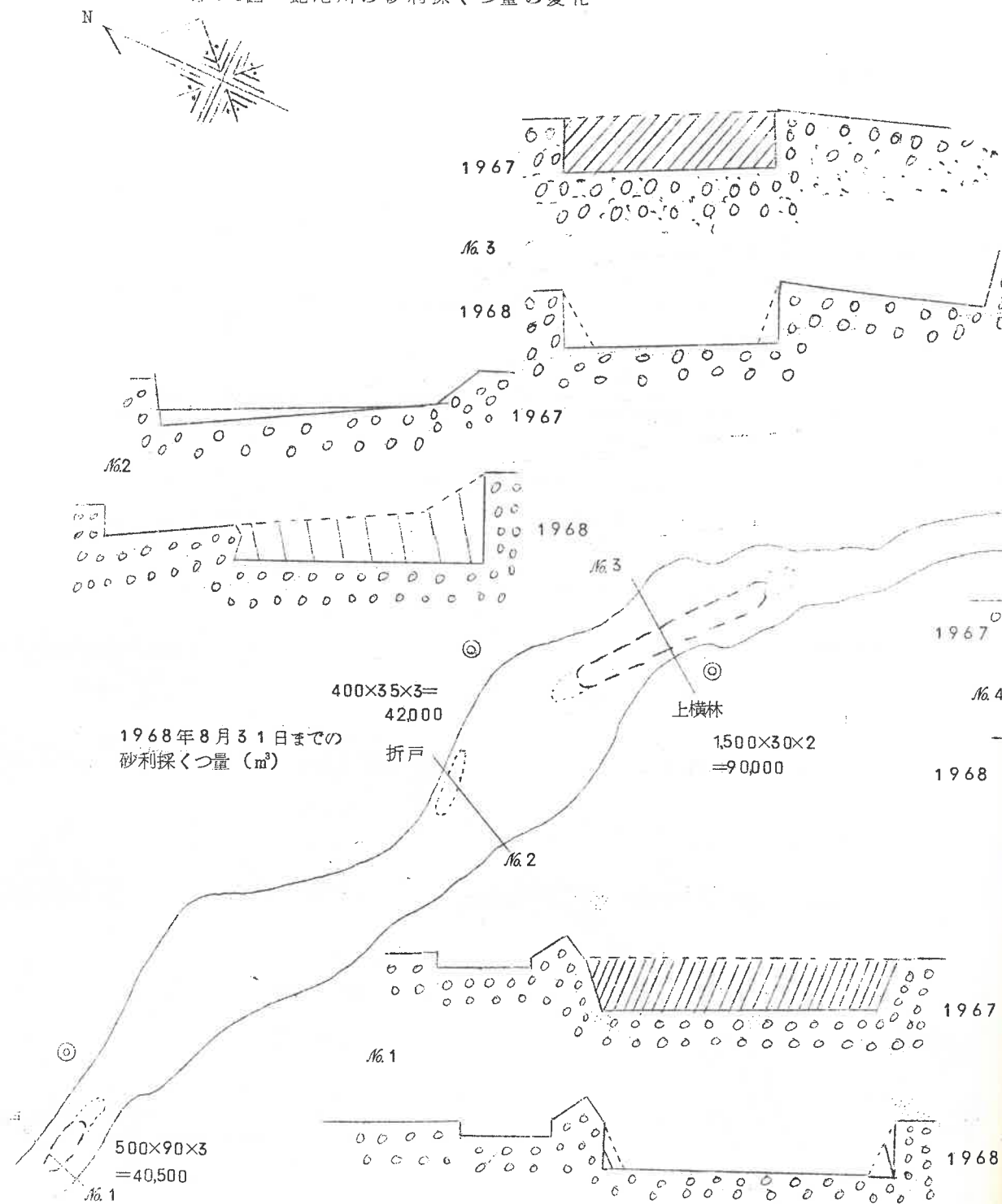


オ14図

熊川、蛇尾川の堤防、えん堤配置図



オ15図 蛇尾川の砂利採くつ量の変化



凡 例

— 現河床

1967年8月31日までの採くつ状態

1967年9月1日より1ヶ年の採くつ状態

現河床砂れき (横断面図)

◎ 砕石所

砂利採くつ跡

Ⓔ 本年度5月より湧水を続けている

◎ 中心となる湧水地点

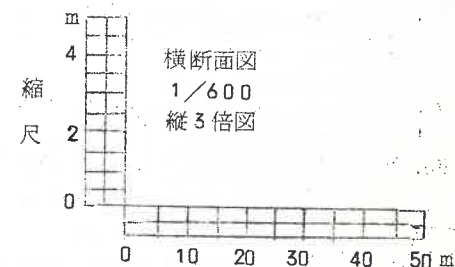


表7 蛇尾川の砂利採くつ量の変化

		№1 折戸	№2 折戸	№3 上横林	№4 接骨木	№5 遅沢	№6 東関根	№7 今泉
長さ (m)	1967	80		900	200	280	330	300
	1968	150	400	1,500	450	630	630	800
幅 (m)	1967	90		30	50	60	100	90
	1968	90	35	30	50	60	100	90
深さ (m)	1967	3		2	2	2.5	2.5	2.5
	1968	3	3	2	2.5	2.5	2.5	2.5
採くつ量 (m³)	1967	21,600		54,000	37,000	42,000	82,500	17,500
	1968	40,500	42,000	90,000	56,270	94,500	157,500	180,000
総採くつ量 (m³)	1967	304,600						
	1968	660,700						
総砂れきたい積量 (m³)		1,838,000 (概算)						
総採くつ量	1967	1/60						
総砂れき体積量	1968	1/30						

などがあります。

5. まとめ

(1) 熊川の地下構造は現河床砂れき層が2~3m、この下部に粘土混り砂利層（またはローム層）が50cm、さらに扇状地砂れき層、古期砂れき層がたい積して砂れき層を構成しています。その下部には大田原浮石層があります。

(2) 熊川の地下構造は蛇尾川の地下構造と一致していることより扇状地（那須野ヶ原）の地下構造とみなしてよいと思います。

(3) 現河床砂れきの状態は蛇尾川ほど変化はなく、粒径の小さな（20~1cm）の砂れきが多く存在しています。岩質は流もん岩系のものが多く、円磨度の変化はあまりありませんが、亜角れきが多いので河川としては上流の様装を呈しています。

(4) 砂の粒度分析の結果は蛇尾川と同様粒径1~0.5mmのものが少なく、上流では1~2mmを極大とする一頭曲線となり下流では1~2mmと0.5~0.25mmを極大とする双頭曲線となっています。

(5) れきが選搬される状態は円れきは転動、角れき系は転動、掃流、偏平なれきは掃流の場合が多い。しかも流れにくさは偏平なれき程大で次いで角れき、円れきの順になっています。これは河床砂れきの円磨度の相違の一つの原因となっていると思います。

(6) 砂防えん堤は土砂流出をある程度防ぐことはできると思いますがえん堤がうまつてしまうと河床が高くなると同時にどのような河床勾配になつてしまうと思いますのでその対策も必要だと思います。

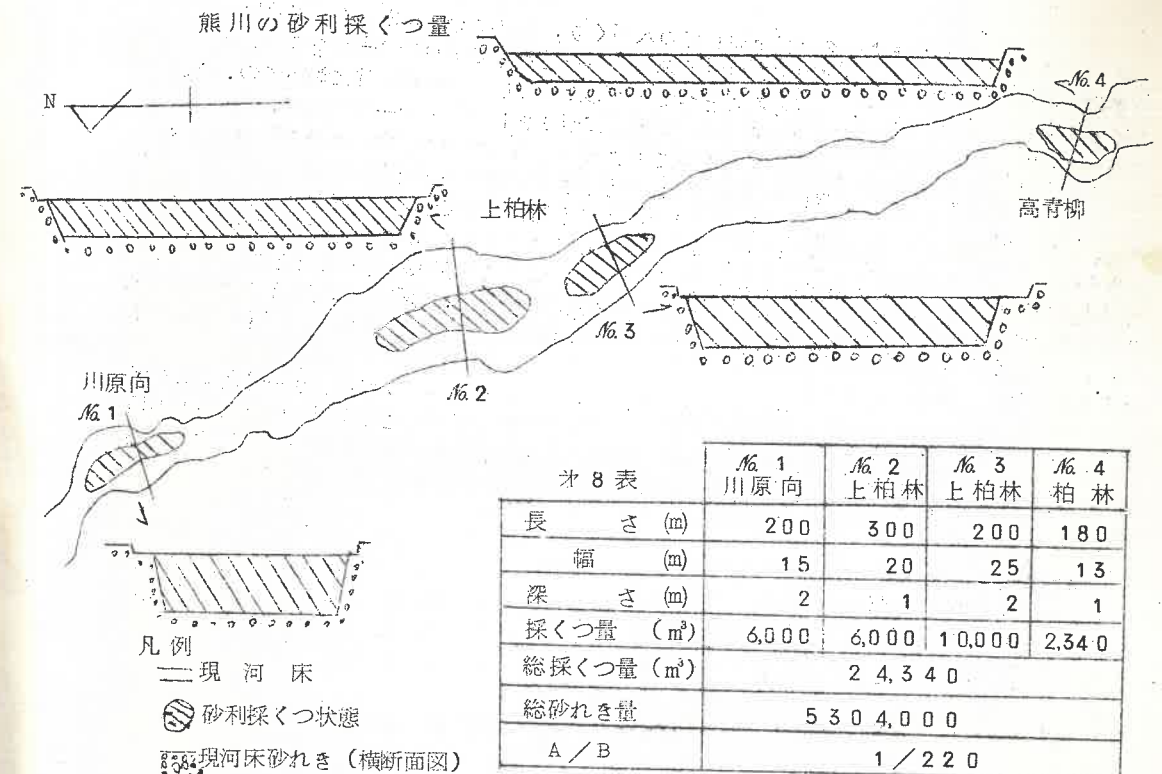
(7) 熊川の河道は蛇尾川に比較して蛇行が多く、とくに中流地帯の蛇行が激しいので河川改修の必要があると思います。

(8) 蛇尾川の砂利採くつ量は、今年の2倍となつていますが、このまま採くつを続ければあと2~3年で河床砂れきを取りつくされてしまい、これまで伏流していたものが地表水となつて流下してしまい、地下水への影響は大きいと思います。また今後熊川河床の砂利採くつ量も増加すると思いますので何らかの方法で扇状地の地下水をうるおすことを考えなければならないと思います。

(9) 無栗屋、上郷屋、中内、波立、北和田などの地域は熊川と蛇尾川の両河川の乱流地域になつていいますので熊川、蛇尾川などに堤防を築くなどの対策が必要だと思います。

(10) 熊川、蛇尾川は那須野ヶ原扇状地を構成している主要河川であります。そのため無計画な河

表16 熊川の砂利採くつ量



	№1 川原向	№2 上柏林	№3 上柏林	№4 柏林
長さ (m)	200	300	200	180
幅 (m)	15	20	25	13
深さ (m)	2	1	2	1
採くつ量 (m³)	6,000	6,000	10,000	2,340
総採くつ量 (m³)	24,340			
総砂れき量	530,400			
A/B	1/220			

改修・砂利採くつなどをさげ地下水維持、および洪水災害に対する堤防など総合的な那須野ヶ原開発計画を立てないと将来地下水の水脈不足、洪水災害などの危険性があると思われます。

43年 研究者

指導教諭 伴 昭夫

宮崎 栄	阿久津 正	徳 儀	栄	藤 田	詳 慈	皆 川	良 一	大田原 重
花 塚 仁	伴 典	星 野	昭	森 大	隆 道	高 野	礼 子	竹 保 夫
遅 沢 洋	榊 原	印 南	トシ子	大 島	貴 美枝	平 山	谷 リ子	蛭 田 君
磯 智	川 島	熊 田	隆 雄	阿久津 功	英 子	伊 藤	良 子	今 井 俊
小 林 義	槐 孝	赤 羽	和 子	八木沢 一	みよ子	山 田	明 美	稲 葉 美
小 出 一	高 野	村 上	章 子	磯 光	一 男	大 金	欣 一	川 野 輪
君 島 陽	菊 地	阿 野	隆 志	蓮 実	一 男	人 見	文 男	小 沼 祥
伊 藤 智	津久井 清	野 崎	義 治	齊 藤	政 子	高 久	功 子	室 井 信
森 義	小 貫 雄	菊 地	陽 子	吉 田	秀 子	伊 藤	と も 子	田 野 子
土 屋 真	平 山 喜	山 田	文 子	石 崎	栄	井 上	和 江	川 辺 佳
菊 地 良	高 野 紀	荒 川	み 子					大 森 栄
鈴 木 恭	小 藤 久	菊 地						

編集後記

編集者代表 宮崎 栄

人づくりとよく言われます。クラブを通しての人づくり、私達はその自分をクラブ活動に、真夏の焼けつくような大地で、雨の河川で、真白く輝やく雪を足もとに立つてボールをさし、休むことなく働く大自然を相手にして、学びとることができました。そして学生科学賞においての、その発表へとくり返し、その結果は多大なるものを納めるに至りました。一つ一つの写真、作品の中にもそれぞれの思い出させられるものがあることでしょう。若かつた学生時代の成長の階段が個々多様に高校時代に何でも吸収し、自己の発展確立して行くこの青春のひとつときにおいてのクラブ活動では、それを果たすところの溶媒は言葉で言う程のまでも無きものです。とかく倒れることのあるような短いひとときではあつたにしても、横にそして縦にスクラムを組んだ仲間での意義は大きいと言える事でしょう。それらの思いあるものを、ここに一貫して研究集録としてまとめられました事は誠に一筋ならぬものが得られます。これらもひとえに諸先輩や、提橋先生、伴先生、校長先生、そしてたくさん人達方の熱い思いのあつてこそであり、これを編集しました。私達一同も身に深くそれらを感じ受けた次です。

この集録発行に当つてもまた数々の御協力を抑ぎ、そして今後も地学クラブをより一層良きクラブとし、たくさんの成果を上げられますことを願つて絶いません。最後にこの発刊は編集に一年半程前から始まりながらも、今頃までになつてしまいましたことを、深く御詫びすると共に私達の編集の不慣れな事も付け加え、恐縮致す次でございます。

編集者

宮崎 栄	阿久津 正徳	磯 栄	大田原 重夫	花塚 仁
伴 典夫	藤田 詳逸	星 野 昭一	皆川 良一	森 隆道
高野 礼子	印南 トシ子	大島 貴美枝	大竹 保江	遅 沢 洋子
榊原 順子	黒谷 リイ子	蛭田 君枝		
大貫 秀一	磯 秀一	五月女 光男	高野 岸一郎	吉成 邦和

昭和45年 1月15日 印刷
昭和45年 2月20日 発行 (非売品)

編集 栃木県立那須農業高等学校
発行 地学クラブ

印刷所 大田原市 大塚 膳写堂
TEL(02872)2864

〔無断転載禁止〕