

## 強酸性古洞水の湧出機構

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者名	渡部,景隆 高瀬,一男 須貝,貫二
発行元	水利科学研究所
巻/号	19巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 70-88
発行年月	1975年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 強酸性古洞水の湧出機構

渡部 景隆

高瀬 一男

須貝 貫二

---

## 目次

### 緒言

宮城県三本木亜炭田の強酸性古洞水の湧出機構

1. 亜炭田炭砒坑内水の性格
2. 坑内湧水関連地域の地質
3. 湧水の化学的性質
4. 湧水の湧出機構と起源
5. 湧水の長期的見通し

### 緒言

地下採掘によって地下に空洞が生じ、地表の自然環境に影響する場合が少なくない。直接的影響としては、直上の沈下、陥没などで、これらは復旧されることが多い。このほか水理地質学的問題も近年少なからず発生している。ここで指摘するのは後者である。

地下採掘によって生じた坑道や採掘跡は周囲の岩盤が均質で亀裂がない場合は地下水の滲透がなく、採掘跡は地下貯蔵庫として利用できる。栃木県宇都宮近郊の大谷石の採掘跡にはこの状態を保っていて、貯蔵庫として活用し得るものがあると筆者は予想している。これはむしろ特殊な例である。大谷石は新第三紀の爆発的噴火が継続して生じた厚い均質の火山灰層で、日本列島に広く分布する“グリーンタフ”の中でも特殊な堆積状況によるものであり、さらに生成後ほぼ水平層のままで大きな転位変形

を生ずる地殻変動を受けなかったからである。

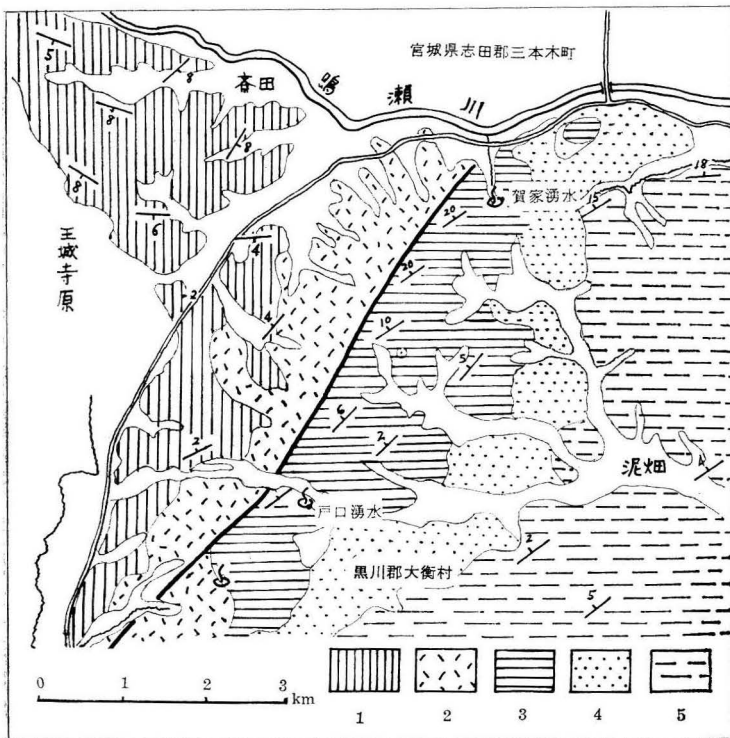
多くの地下採掘跡には地下水が滲透し、緑業中排水している場合が多い。石炭採掘時の坑内では一般に相当の排水量があり、近年多くの炭鉱が閉山したことにより、旧採掘跡に充満した地下水が湧出する例がある。この中には水質の問題が指摘されるものがある。

### 宮城県三本木亜炭田の強酸性古洞水の湧出機構

#### 1. 亜炭田炭鉱坑内水の性格

ここに述べるのは、仙台市の北、吉岡町と三本木町を結ぶ国道四号線の東に位置する三本木亜炭田地域の例である。

第1図 三本木亜炭田地域の地盤図



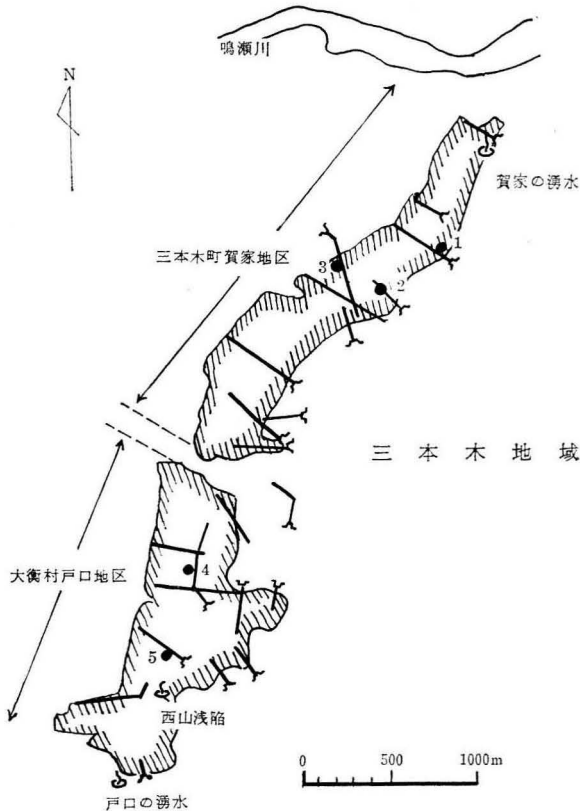
(庄司力偉による)

この地域は丘陵地が主で表流水が少ないこともあって、稼行時の坑内排水が灌漑水に混入することによって水田に被害が発生し、前田信寿<sup>1)</sup>(1967年)は、鉛毒水の性質、鉛毒水流入水田土壌、被害水田改善策など、広般な調査結果を報告している。被害田は鉛害復旧作業が進められている。

昭和44年に三本木町賀家(第2図参照)に上記の坑内排水と同性質の湧水が現われ、大衡村戸口にも46年に湧水が発生した。

筆者らは、両湧水の水理地質学的調査を続け、この特殊な強酸性湧水の発生機構について判明したといえる段階に達した。さらに環境保全の立場から将来に禍根を残さないよう正常な表流水に浄化する必要を、この基礎的資料も得られたと考える。これ

第2図 三本木・大衡地区の亜炭採掘範囲



(仙台通産局資料による)

らについて所見を述べる。

## 2. 坑内湧水関連地域の地質

第1図は庄司力偉(1952年)<sup>2)</sup>による関係地域の地質図である。この地域は新第三系によって構成され、爽炭層は広淵爽亜炭層、三本木爽亜炭層、王城寺爽亜炭層に分かれているが、2つの湧水に関係するのは三本木爽亜炭層の中にある厚さ約1.8mの主要亜炭層の採掘跡である。三本木爽亜炭層は走向が北東—南西で北西へ数度緩く傾斜しているが、庄司力偉(1945年)<sup>3)</sup>および尾崎金右衛門・小西泰次郎(1945年)<sup>4)</sup>が三本木構造線と呼んだ断層に引きずられて、断層に近づくと20°くらいの傾斜になり、断層の西側は三本木爽炭層の上に重なる宮床凝灰岩が広く分布している。

第2図は採掘範囲を示すもので、延長方向が亜炭層の走向、東縁が露頭線、西縁が三本木構造線に近いと考えてさしつかえない。

賀家の湧水は三本木地区の北端、戸口の湧水は大衡地区の南端にそれぞれ位置する。坑内図と2つの湧水地点の標高からみると、両地区の間にある未採掘地域によって区切られている。

なお、採掘した跡の地下の空洞を古洞(ふると)というので、本稿では旧坑内水を古洞水と呼ぶ。

## 3. 湧水の化学的性質

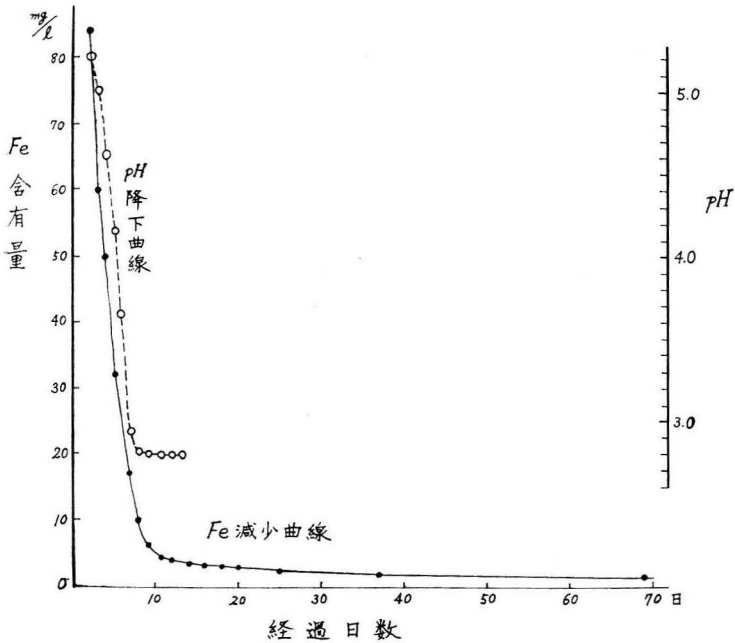
### (1) 賀家の湧水

三本木町当局の調査資料<sup>5)</sup>によれば、賀家地区の水田に昭和37年ごろから湿田化現象があらわれ、同年11月に田面に古洞水が湧出した。これが賀家(がけ)の湧水である。

賀家の湧水のpHは湧水発生後若干の変動が認められ、4.5~5.2の範囲にある。導水路を流下するものには大きな変化はないが、田面に広がる表流水は200m下流でpH3程度に急に小さくなる実測値が得られ、pHの減少に対応してヘドロ状の赤褐色水酸化鉄沈澱物を生ずる。現地調査でのpHのもっとも小さい値は2.9である。このようにpHが小さい値を示すのは水深のきわめて小さい表流水であって、pHの降下現象は空気にもふれるほど急速に進行する。

第3図は、室内実験による賀家湧水について経過時間に対応するpHの降下を示したものである。現実には容器の口径による空気にもふれる断面と水量の関係によって降下速度が規定されるが、時間とともに降下し、終点は2.8である。ほかの実験値では2.7である。したがって、田面で実測した上述のpH2.9は終点に近く、賀家の湧水は空気にもふれることの少ない古洞水であるといえる。なお第3図の全鉄(Fe)の減少はpHの降下と対応し、pH2.8になると鉄の含有量は2mg/l内外となり、1.2mg/lまで

第3図 賀家湧水の pH 降下曲線と Fe 減少曲線



減小する。

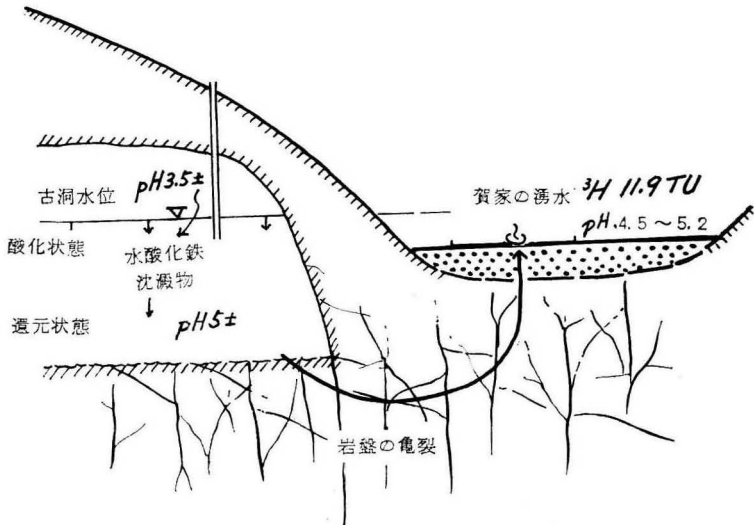
第4図は賀家湧水の湧出機構を示す概念図である。すなわち、採掘跡の古洞水の下半部は空気にふれることが少なく、pHの値の大きい湧出はこの状態の古洞水が岩盤の亀裂を通して湧出するものである。第4図で古洞表層水のpH3.5内外としたのは空気にふれたときの古洞水の推定値で、大衡村煤田で坑口から自然流下する古洞水が年間を通じてpH3.3~3.7の範囲を示すことなどを根拠とした。

## (2) 戸口の湧水

戸口の湧水は、賀家の湧水から1年以上おくらせて46年に発生した。賀家湧水が標高23.7mの田面から湧出する被圧水であるのに対し、戸口の湧水は標高50.1mの丘陵斜面から溢流する不圧水である。この湧水のpHは3.7内外で、変動の幅が賀家湧水よりも小さい。

戸口湧水が賀家湧水に比してpHの値が小さいのは、空気にふれた古洞水の表層水が戸口湧水地点に近い斜坑口付近の岩盤の亀裂から地表に出たことによる。

第4図 賀家湧水の湧出機構概念図



### (3) 西山浅陥

戸口湧水地点の東数百mに西山浅陥所陥没地点(第2図参照)があって、古洞水を採取することができる。これは筆者らの結論を導くのに好適な資料を提供した。

大衡村当局者の談によると、昭和39~40年に西山の田面に数箇所浅陥、陥没現象が現われ、44年に田面を復旧した。その2年後、復旧田面に陥没地が井戸状に新たに発生したのが西山浅陥である。この浅陥現象にやや先だつて戸口の湧水が発生したといわれるので、戸口湧水の発生により、古洞水位がやや下がって西山浅陥現象があらわれたものと推定される。

西山浅陥では田面から1m内外に古洞水位があり、数十cmの水位の変動が認められる。これはやや強度の大きい降雨時に田面の地表水が流入するため、田面復旧後、溢流した痕跡もあるので、集中豪雨時には溢流することも考えられる。pHは地表水の混入によって変動するが、地表水流入時の浅陥表層水はpH5内外で化学成分は地表水に近似し(第2表参照)、降雨の影響の少ない時期にはpH4以下の実測値が得られた。

### (4) 強酸性となる理由

湧水の供給源となっている古洞水は、空気にふれない状態が保たれておればpHが4.5~5程度の弱酸性を呈するが、十分に空気にふれる状態のもとでは短時間にpH

第1表 三本木炭田地域の湧水などの化学分析値

成分	採水点	湧水	椋田湧水	戸口湧水	若瀬 (250m 試錐)
pH	6	4.8mg/l	3.3mg/l	3.6mg/l	6.1mg/l
	7	2.9	2.7	2.7	3.7
Cl		9.9	10.6	11.0	9.2
SO <sub>4</sub>		528	1,750	1,830	624
K		5.0	6.3	7.5	6.9
Na		20	28	33	75
Mg		30.6	219	130	122
Ca		110	225	300	125
Mn		7.3	15.0	15.0	7.3
Fe		82	165	282	47
Zn		0.08	0.83	0.72	0.05

(注) 昭和46年採水。

2.8内外の強酸性になる。この pH の値の降下に対応して水酸化鉄の赤褐色沈澱物の量が増加する。坑内水に関係ある採水の化学分析値では第1表に示すように、鉄(Fe)と硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)が目立つ。実測値によると、賀家・戸口湧水と古洞水的全鉄分のうちFe<sup>++</sup>は25~30mg/lである。これをもとにすると、強酸性になる理由は次のように考えられる。

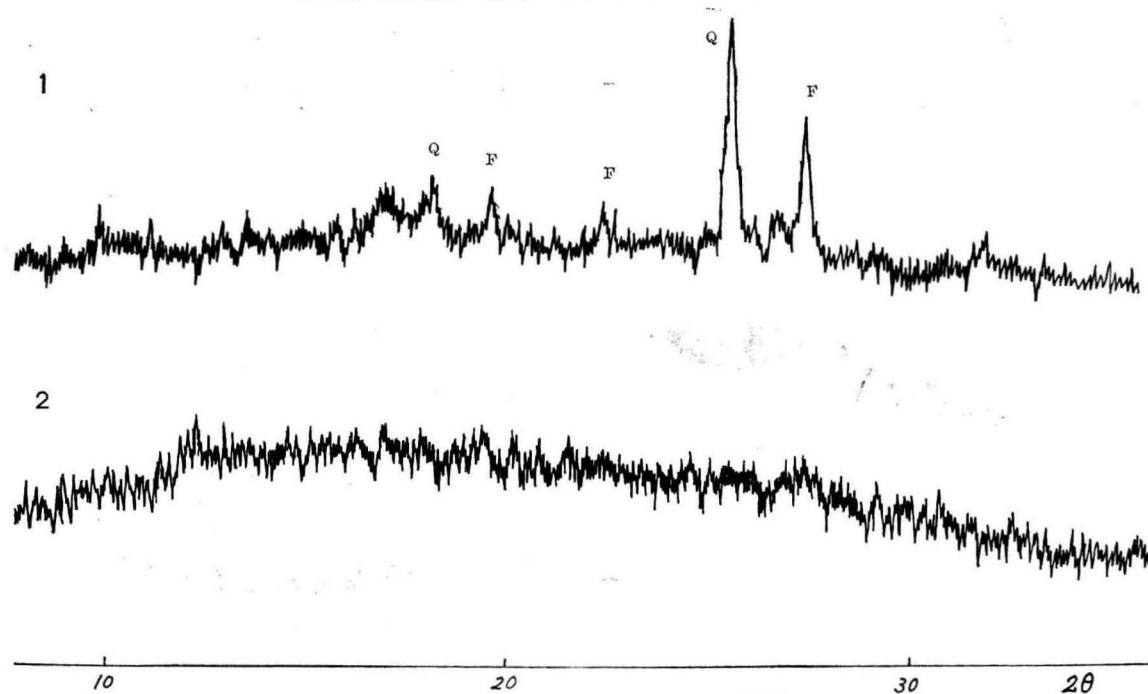
古洞水の強酸性を呈する起源物質でもっとも重要なものは黄鉄鉱(FeS<sub>2</sub>)である。三本木亜炭には黄鉄鉱の結晶が散在し、亜炭層の上下の凝灰質岩にも黄鉄鉱が含まれている。

古洞水に黄鉄鉱の鉄分が溶け、還元状態から空気にあふれて酸化状態になると、Fe<sup>++</sup>はFe<sup>+++</sup>となり、褐鉄鉱(Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>・nH<sub>2</sub>O)ができて赤褐色沈澱物を生ずる。これはコロイド状でいわゆる赤褐色ヘドロ状を呈する。この反応により硫黄(S)は硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)となり、反応が進むほど古洞水の pH が低下する。また硫黄分(S)の一部は硫化水素(H<sub>2</sub>S)となり、空気と接触して硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)となるものもある。坑内では硫化水素臭が認められることがあるので、この反応も考えられる。

#### (5) 赤褐色沈澱物

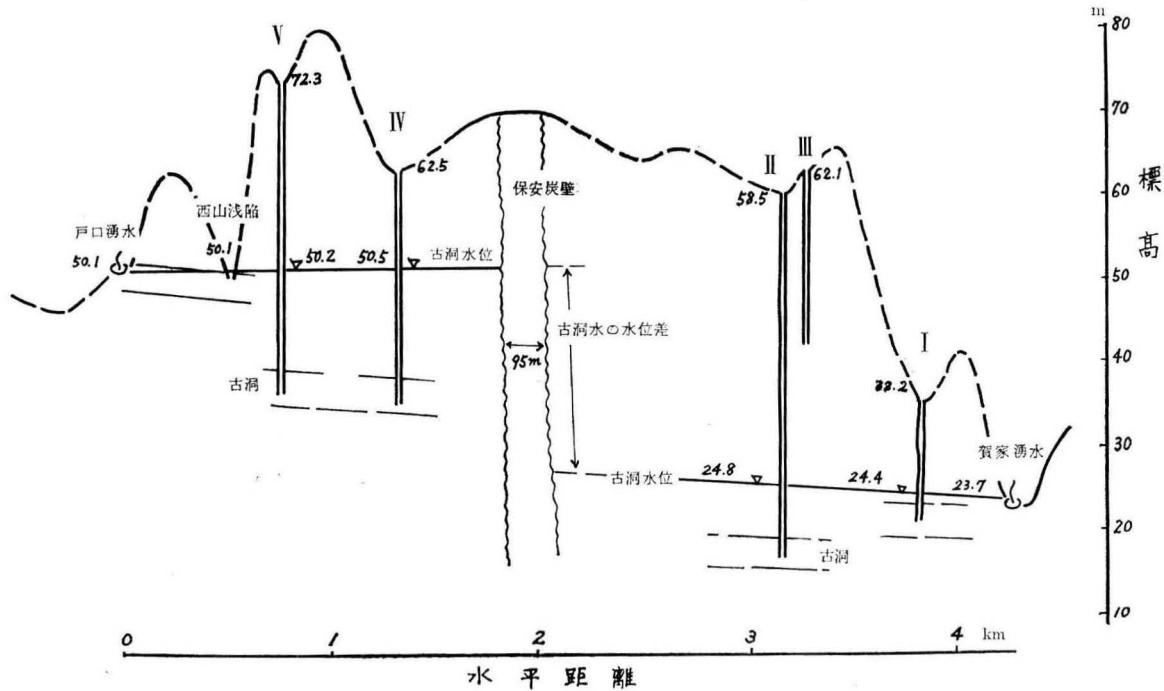
赤褐色水酸化鉄沈澱物の含有量は80~90mg/l程度であるが、はじめヘドロ状であるが固着すると硬くなる。この固化した部分に結晶質の Goathite ができている可能性を期待して、ヘドロ状のものとともにX線分析を行なった。第5図はその結果の一

第5図 賀家湧水の赤褐色水酸化鉄沈澱物のX線回折図



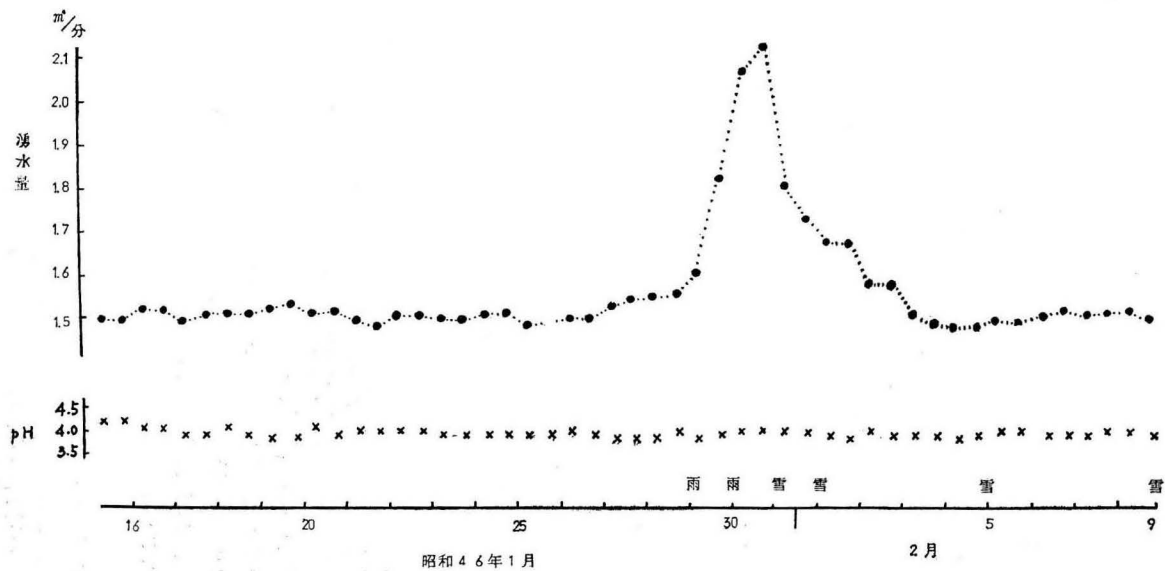
- (注) 1. 固化した沈澱物、ピークQは石英、Fは長石。  
2. ヘドロ状沈澱物。

第6図 試錐による古洞水位と湧水の関係(断面図)



(注) 古洞は同一層準(三本木本層)であるが、試錐地点が亜炭層の走向上の一直線上に位置しないため、この断面では試錐によって標高が異なる。

第7図 賀家湧水の湧水量と pH の変動



部であるが、鉄分はすべて非晶質の褐鉄鉱で、結晶質になったものは見出されなかった。なお第5図の1のQとFはそれぞれ鉄分が付着した岩石の石英と長石のピークである。

湧水の金属元素を主にした含有成分と含有量は第1表に示されている。すなわち、Ca, Mg, Na が多く、Mn, Znも少量存在する。

#### (6) 下位の爽炭層に賦存する地下水の性質

第1表の若瀬は稼行炭層が賦存する地域の地表から移行炭層を突き貫いて深さ250mに達する灌漑用電気揚水井の水であるが、分析値から古洞水と等しい性格の地下水であることが判明した。この地下水のpHは揚水時6.1で正常値に近いが放置すればpH3.7となり、ほかの化学成分を合わせると、三本木爽炭層より150mも下位の広瀬爽炭層に賦存する地下水も三本木亜炭層の坑内水と同一の性格をもつものといえる。

### 4. 湧水の湧出機構と起源

#### (1) 古洞に達する試錐の実施

強酸性になる本地域の湧水の処置を考えると、現在の湧出量が今後どのように変動するのか、含有成分量が変動するかの2点が主要な基礎資料となる。このためには古洞水と含有物質の起源と量を規定する湧出機構を明らかにすることが要請される。これらの資料を得るため、古洞に達する試錐4本と古洞に達しない試錐\* 1本を掘った。三本木亜炭田の炭鉱はすべて小炭鉱であるが、4本の試錐とも筆者らの目的にあう広い坑道でしかも坑内水のある古洞に達した。これは坑内図の正確さを実証したことになる。

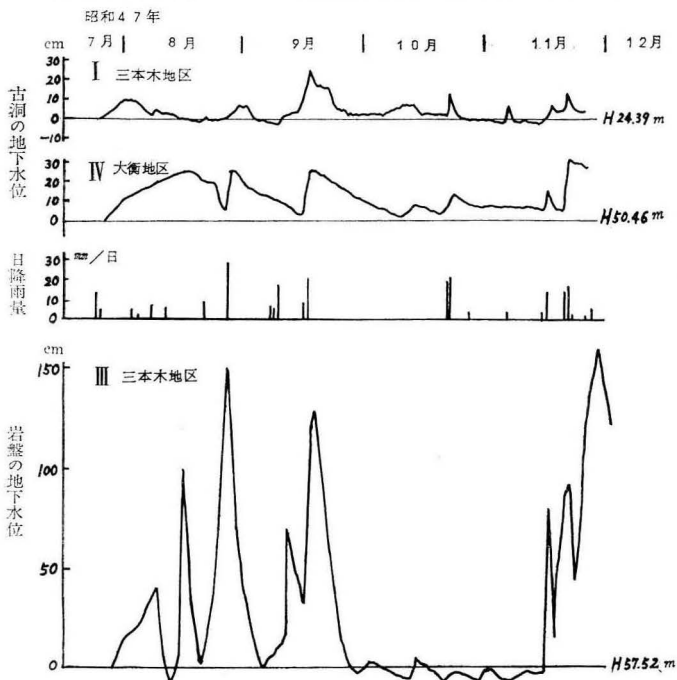
第2図に5本の試錐地点が示されている。これを断面図で示すと第6図のとおりである。炭層が傾斜し、上述の条件を備えた試錐地点が炭層の走向方向の一直線上に位置しないため、この断面では古洞の標高が異なるが、同一の稼行炭層の古洞である。なお第9図は賀家・戸口の湧水標高と各試錐の古洞の標高を基準にした断面図で、稼行炭層が等しいことを示すように考慮して描いた。

5本の試錐のうち、1号と2号は賀家湧水関連、4号と5号は戸口湧水関連古洞水を目的とし、3号井は稼行炭層の数十m上位の岩盤で孔底を止め、岩盤の地下水と古洞水との関連を求めるために実施したものである。

#### (2) 賀家および戸口湧水の湧水量

\* 筆者らの調査の後半に東北大学理学部地質学古生物学教室の北村信教授が参加された。この岩盤の試錐は主に同教授の見解によるもので、感謝の意を表する。

第8図 試錐孔における古洞および岩盤の地下水位の変動



三本木地域の賀家湧水は湧水量が $2 \text{ m}^3/\text{分}$ 内外 ( $3,000 \text{ m}^3/\text{日}$ )、大衡地域戸口湧水もほぼ $2 \text{ m}^3/\text{分}$ 内外である。湧水の発生の初期および降雨により湧水量に若干の変動があるが、精度の高い長期の継続観測は実施していない。

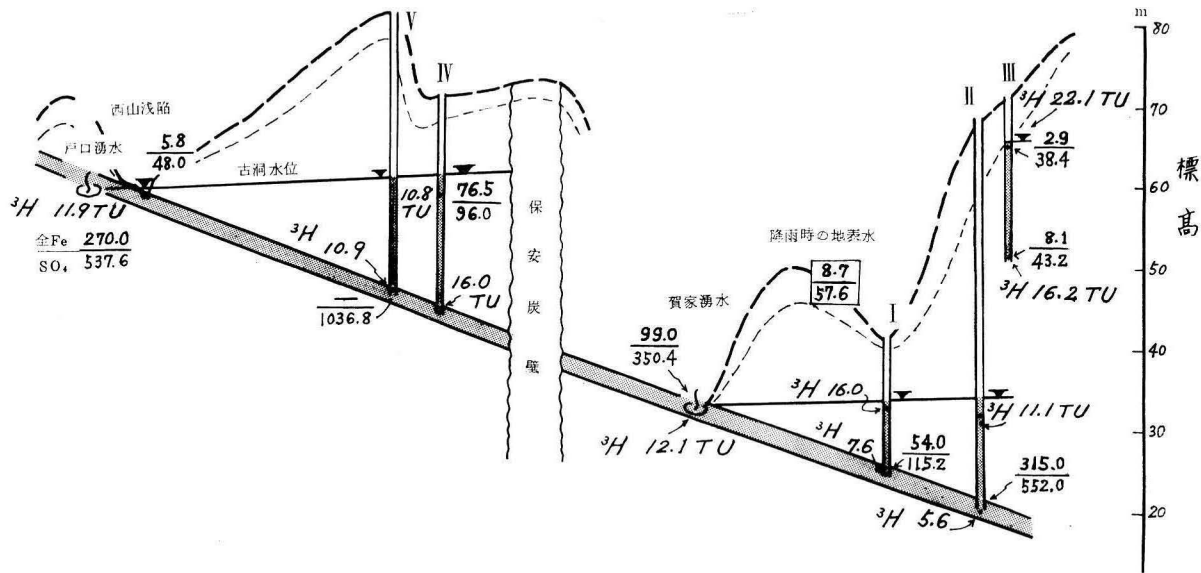
賀家地区には三本木町当局が実施した湧水量の資料があり、これに基づいて第7図を作成した。この資料は湧水発生初期で筆者らの調査以前の実測値であるが、1~2月の渇水期の湧水量が $1.5 \sim 1.6 \text{ m}^3/\text{分}$ で、降雨があると直ちに湧水量が急増して $2.1 \text{ m}^3/\text{分}$ に達してから急に降下し、降雪では徐々に増加する傾向が認められる。この半年後から始まった筆者らの調査期間にもこのような傾向は認められるが、基準の湧水量がやや多くなり、調査期間中に顕著な集中降雨がなかったことも関係して、降雨による湧水量の増加はそれほど目立たなかった。

湧水量の変動は坑内の古洞水位に関連するはずで、その調査に重点を置いた。

### (3) 古洞水位の変動

5本の試錐による水位観測は、昭和47年から約1年間自記水位計によって行なった

第9図 古洞水と湧水の Fe, SO<sub>4</sub> 含有量およびトリチウム (<sup>3</sup>H) 濃度 (断面図)



が、1週間おきのため、観測資料は断続的である。

第8図は古洞水位の変動曲線の一例で、昭和47年観測期間中の最高水位を含むものである。降雨量30mm/日で、賀家側の1号井も戸口側の4号井も基準水位（47年7月25日現在）の約30cm上昇した。古洞水位は、10mm/日以上のおきに上昇し、20～30mm/日の降雨では5日以内に上昇のピークを示す傾向がある。したがって、湧水の起源となる古洞水が降雨に由来することは明らかである。この観測後50mm/日、100mm/日などの降雨量に対応する古洞水位の上昇量が実測できれば、湧水量に対する将来の適切な処置の基礎資料が得られると考えたが、観測期間内には異常降雨がなかった。

#### (4) 雨水の古洞水への供給機構

以上のことから、雨水はかなり直接的に坑内に供給されて古洞水となり、これが湧出することになるので、湧水量が容易に減少しない理由が判明した。これは滲透による供給量としては多すぎるので、別の機構による供給のほうが大きいと考えられる。

岩盤内の試錐3号の水位変動曲線はこの1つの資料となる。第8図の下図はその例で、古洞水位が30cm以内の上昇を示す降雨量に対し150cm程度の上昇を示し、降雨後急に孔底近くまで降下する。これは亀裂を通る地下水位変動の型であって、ピークは降雨と等しいか1～2日遅れる程度に直接的に変動することは、岩盤の亀裂を通して雨水が古洞に供給されることを示している。試錐地点は凝灰質岩盤で、断層や浅所陥没の存在しない乱されないところであるが、亀裂の発達はかなり顕著であることが考えられる。

#### (5) トリチウム ( $^3\text{H}$ ) 濃度の測定

坑内水に供給される雨水に関する数量的資料を得る目的で、トリチウム ( $^3\text{H}$ ) をトレーサーとすることを企画し、組織的な採水について測定した。トリチウムについては筆者の一人渡部(1974年)<sup>9)</sup>の報告を参照されたい。近年における降雨のトリチウム濃度についてはほとんど報告がないので、筆者の手取川上流における継続的測定値を入れた濃度の変動傾向図を報告の中に入れてある。要約すると、人為的トリチウム濃度の異常な値は熱核爆発によるもので、1963年ごろ5,000TU以上であったのが、その後波動しながら全体として減少しつつあり、昭和47～48年、本地域で測定した時期には最大値が50TU程度で、15～30TUの値の時期が多い。

第2表 戸口湧水と西山浅陥の水質 (mg/l)

	RpH	K	Na	Ca	Mg	Fe	SO <sub>4</sub>
戸口湧水	3.3	7.5	23.0	150.0	30.0	270.0	537.6
西山浅陥	4.9	1.4	6.0	13.0	4.0	5.8	48.0

第3表 試錐3号の表層水と下層水の水質 (mg/ℓ)

昭和47年	RpH	K	Na	Ca	Mg	Fe	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	
11月23日	表層水	6.5	1.0	8.0	41.0	2.4	2.9	38.4	39.8
	下層水	8.4	1.7	9.0	37.0	9.6	8.1	43.2	89.8
12月25日	表層水	6.6	1.6	8.2	5.7	2.5	0.2	25.3	39.8
	下層水	9.1	2.0	11.0	17.6	2.3	5.7	25.9	107.0

第4表 賀家湧水などの水質表

(単位: mg/ℓ)

	pH	RpH	K	Na	Ca	Mg	Fe	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
賀家湧水	5.2	3.1	4.5	17.0	56.0	27.2	99.0	350.4	—
試錐1号底	5.3	3.5	4.0	13.0	38.0	16.8	54.0	115.2	—
試錐2号底	6.7	6.5	9.0	29.0	98.0	64.8	315.0	552.0	30.8
雨水の表流水	—	5.9	3.8	8.0	3.0	3.2	8.6	57.6	14.7

湧水・古洞水・降雨の関係からみると、湧水の起源となる水の相当部分が自然トリチウム濃度をもつ1950年以前の1TU程度の値は期待できないが、賀家湧水は被圧水であるから古洞水の上層ほど新しい雨水が混合し、下層ほど古い雨水起源のものが多いと予想し、古洞水の上下でトリチウム濃度に差異があれば、湧水機構を解析する場合のトレーサーの役に立つという仮説をたてた。このため、5本の試錐について上層と下層の水を採取し、賀家湧水・戸口湧水とともにトリチウム濃度を測定した。これらの値を断面図(第9図)から読みとり、次のようにまとめることができる。

① 岩盤の試錐3号では上層水のトリチウム濃度が22.1TU、孔底近くの下層が16.2TUである。この採水は昭和47年7月23日で、この時期の降雨は上層水の22TUに近い値と推定される。

② 賀家側の古洞水のトリチウム濃度は、1号井では上層が16.0TU、下層が7.6TU、2号井では上層が11.1TU、下層が5.6TUで、いずれも下層水の値が小さい。

賀家の湧水は12.1TUであり、近接する1号井の上層水より小さいので、筆者の予想に近い。これによって賀家湧水が被圧水でpHの値が大きいことも納得できる。

③ 戸口湧水のトリチウム濃度は11.9TUで、賀家湧水に近い。また戸口側の試錐4号の上層水が16.0TUで、下層水が10.8TU、5号井の下層水が10.9TUで、下層水は賀家側より大きい値を示す。これらの値を比較すると、戸口湧水も賀家同様下層水が混入していることになり、pH3.7で自然流下する古洞表層水と推定した筆者の見

解と一致しない。戸口湧水の鉄分と硫酸根 ( $\text{SO}_4^{--}$ ) の含有量が下層水の性質を示すことや、賀家側に比して古洞水が約25m高く、戸口湧水が西山浅陥水と等しいことから、戸口側古洞の大部分が満水に近く、古洞水位の勾配が1/2,000ときわめて小さい点が賀家側と異なる。これらを考慮に入れてトリチウム濃度分布を説明するために古洞を通路とする還流などによって下層水が戸口側に移動して上層水となり、戸口から湧出しているという仮説をもっているが、未だ実証する機会がない。この仮定を容認できるとすれば、雨水から供給された古洞水が湧出する機構が説明できたことになる。

#### (6) 化学成分含有量からみた降雨と古洞水・湧水との関係

降雨が短期間に坑内へ供給されるとすれば、坑内古洞水の下層は溶解成分含有量が多く、上層は少ないはずである。この予想のもとに調査を繰り返したが、主な項目を一例をあげて述べる。採水時期は主に47年11月21～22日の降雨のあった時である。

##### ① 戸口湧水と西山浅陥表層水との比較

戸口湧水と西山浅陥古洞水面は標高50mで等しいが、西山浅陥の採水は表流水が流入する降雨のあった時期のものである。両者の分析値を示すと第2表のようになり、戸口湧水は、Fe含有量が約47倍、 $\text{SO}_4$ が約11倍である。なおこの西山浅陥の表層水は後述する雨水の表流水（第4表参照）とほぼ等しく、古洞水とほとんど混合しない状態のものであるといえる。

##### ② 試錐3号の上層水と下層水の比較

凝灰質岩に掘った試錐3号の地下水位の変動と降雨との関係からみると、岩盤の亀裂を通して降雨が古洞へ直接的に供給される状態にあることはすでに述べたが、孔底1m内外には掘さく時の泥水が残った仕上げの不良もあって常時湛水している。しかし、岩盤には黄鉄鉱の結晶が散在し、岩盤から古洞水に供給される溶解分量を推定する一つの方法として、上層水と下層水を採水した。第3表はその2例を示す。両者とも下層水のRpHが異常に大きい値を示すのは試錐作業による人為汚染による。し

第5表 賀家湧水のFe,  $\text{SO}_4$  の分析表 (昭和44～48年)

(単位: mg/l)

採水年	昭和44年 6月16日	45年 1月20日	45年 1月29日	45年 8月17日	47年 11月21日	47年 12月20日	48年 6月2日	48年 9月28日
Fe	84.0	94.5	140.0	84.0	99.0	85.0	84.0	84.0
$\text{SO}_4$	—	1,040.0	—	—	350.4	388.0	365.7	363.7
分析者	A	B	A	A	C	C	C	C

(注) A: 宮城県衛生研究所。B: 仙台市水道局国見浄水場水質検査係、  
以上三本木当局提供。C: 高瀬一男。

たがって、表層水に比して下層水の含有量が多いことは認められるが、表層水との差がただちに表層水の供給源となった降雨以前に岩盤から溶出した量を示すというわけにはいかず、岩盤から溶出する量を推定する精度の高い現地調査資料はまだ得ていない。

### ③ 賀家湧水と試錐1号・2号の水質

賀家湧水地区には試錐1号と2号がある。第4表はこれらの分析値を示す。1号、2号とも表層水の不攪拌採水ができなかったので、下層だけを採水した。1号井の近くに旧斜坑口があり、分析値はここから降雨の表流水が流入する時期のものであり、表には流入直前の地表水を雨水として掲載した。この分析値によると、賀家の湧水は1号と2号の古洞水の中間的性質を示すものといえる。

### ④ 分析値の精度

試錐孔の表層水・下層水の採水は繰り返し行なったが、水質分析値は上述の11月22～23日採水のもの以外は精度が低下する。これは試錐後日数の経過に対応して孔壁にへドロ状の沈澱物が付着し、孔口から20～50m下の水を孔壁に接することなく採水することは技術的に不可能であったからである。したがって、今後この種の調査によって精度を高め、経年変動を知ることは不可能であると判断した。

### ⑤ 要約

以上の分析値より、雨水が古洞に供給されて古洞水の溶解成分が増し、これが湧出するという機構は水質の点からも確かめられたものといえる。

## 5. 湧水の長期的見通し

この湧水の処置を考えると、残る大きな基礎資料として、含有成分の長期的変動の見通しの問題があり、もう1つは沈澱物とpHの処置の問題がある。前者に関連して量的な検討を加えると、湧水の起源を再検討する必要がおこる。

### (1) 湧水中の主要成分(Fe, SO<sub>4</sub>)含有量の経年変動

湧水のpHに直接的関連をもつ成分は水酸化鉄の生成の過程で生ずるFe(Fe<sup>++</sup>, Fe<sup>+++</sup>)とSO<sub>4</sub>に関係があるので、Fe, SO<sub>4</sub>について筆者らの分析値に既存の資料を加えて、これらの経年変動について考察する。

第5表はこの基礎資料である。すなわち、筆者らの調査期間昭和47～48年を通じて全鉄分(Fe<sup>++</sup>+Fe<sup>+++</sup>)は88～99mg/l、硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>--</sup>)は350～388mg/lであって、採水と分析の精度を考えると変化がないといえる。またこの時期以前の分析値は分析者が異なるが、大きな差異は認めがたい。したがって、昭和44年以後48年の5年間にFe, SO<sub>4</sub>の含有量からみて、水酸化鉄含有量が減少する傾向はなく、今後数年で急速に減少するとは考えがたい。湧水のpHは古洞水の酸化還元状態によって変化が

あるはずであるが、実測値では賀家・戸口湧水とも一定の範囲内にある。これは、この水酸化鉄含有量に大きな変化のないことにもっとも大きく規定されていることは疑いない。以上のことから、処置の基礎としては、含有量がやや長期にわたって容易に減少しないという前提に立つべきであると考ええる。

## (2) 起源に対する再検討

湧水の供給源は主に雨水であり、溶解成分の主な供給源は炭層およびこの上位に重なる地層に含まれる黄鉄鉱 ( $\text{FeS}_2$ ) であることは確かである。しかし、岩石中の黄鉄鉱の量はそれほど多いわけではなく、岩石中の黄鉄鉱から鉄分が溶出する実験値からみて、水酸化鉄の含有量が多すぎるという問題が残る。

本地域の地質学的環境からみて、ほかの起源として、現在も継続的に古洞水に熱水が供給されているという仮説が考慮の対象となる。

試錐 2号の下層水は水温が約 $30^\circ\text{C}$ で、古洞水より $10^\circ\text{C}$ 以上高く、Fe が $315\text{mg}/\ell$ 、 $\text{SO}_4$  が $552\text{mg}/\ell$ で、これらの含有量も多い。

湧水・古洞水の水酸化鉄の主要な起源とする岩石中の黄鉄鉱は、爽炭層を含む新第三紀層堆積時の火山活動に関連ある熱水の鉱染によるものである。火山活動を示唆する凝灰岩の存在と、これに相当量の黄鉄鉱が含まれていることから熱水に伴う化学成分の供給が現在も続いている可能性が考えられる。これは興味ある研究課題として今後も検討したいと思っている。

## (3) 処置に対する見解

賀家および戸口湧水の湧出量と溶解成分の含有量が短月日の間に減少しないという前提に立つと、やや長期の浄化処理を必要とすることになる。

浄化には pH と水酸化鉄沈澱物の 2つの問題がある。賀家湧水の鉄分含有量が $100\text{mg}/\ell$ 弱であるから、目掛けの量は相当多い。これを古洞内に沈澱させる案が考えられる。

賀家湧水は被圧水のため pH 4.5~5.2を示すが、古洞水の上層水が pH 3.5内外でこの状態で地表に導けば第 2 図に示した実験値からみて、水酸化鉄の含有量を約 1/2 に減少させることができ、賀家湧水では実施も可能である。ただし、この場合 40~ $30\text{mg}/\ell$ の水酸化鉄を湧出後に処理し、さらに pH の低下分を中和することが余分に加わるという難点がある。

以上のことを考慮して、湧水の pH は 6.5 程度になるようにし、ヘドロ状赤色沈澱物は固化する必要がある。浄化した水は新たな水資源として活用することができる。

環境保全の立場からすみやかにこの処置がとられることが望まれる。

この報告をまとめるに当たり、調査にご協力いただいた東北大学理学部地質学古生物学教室北村信教授のほか、資源エネルギー庁石炭部、仙台通産局、三本木町、大衡村など関係当局に感謝の意を表する。

#### 【参考文献】

- 1) 前田信寿 (1967年)『亜炭鉍毒水被害調査報告書』(宮城県大衡村駒場北) 1～35頁。
- 2) 庄司力偉 (1952年)『宮城県葉菜山及び三本木近傍の亜炭田の地質について』(宮城県商工部) 1～28頁。
- 3) 庄司力偉 (1945年)『宮城県塩釜・富谷・三本木地塊の地質に就いて』(東北大学理学部地質古生物学卒業論文)。
- 4) 尾崎金右衛門・小西泰次郎 (1947年)『宮城県三本木 炭田吉 岡地区調査報告』(地質調査所)。
- 5) 宮城県三本木町 (1971年)『宮城県三本木町蟻ヶ袋地内賀家地区鉍害水 湧出状況概要説明書』(手記)。
- 6) 渡部景隆・山崎良雄 (1974年)「扇状地の水理地質——手取川扇状地を例として(Ⅱ)」『水利科学』No.100, 70～99頁。

(渡部：東京教育大学理学部教授  
高瀬：茨城大学教育学部教授  
須貝：大成建設〈株〉顧問)