

常磐炭田坑内温泉水について

中村久由* 安藤 武*

Résumé

On the Thermal Water in the Joban Coal Field

by

Hisayoshi Nakamura & Takeshi Andō

By the study of geological structures and chemical Characters of the thermal water in the Joban Coal field, it become clear that source of the thermal water comes from the underlying mineral water filling up the fracture zone of granite trending from north to south, and that the water obtain its heat and CO₂ gas from the young volcanism. Diluted or oxidized thermal water found only in the shallow adits, but not in the deeper ones; the vadose water seems to percolate slowly through the whole area. Displacements of water and water heads show that the thermal water is reserved in the fracture zone having the same pressure indifferent to the centration or to the chemical composition of the water. Though the area belongs to the non-volcanic zone in Japan, it is suggestable that the heat resource of thermal water seems to be supplied by the young volcanism, the abnormally high temperature of the CO₂ contained in part.

1. 緒 言

温泉の地理的分布が、いわゆる火山帯上にほぼ一致することは、いまさら改めて説明するまでもない事実であるが、一方、第四紀以降の非火山地帯の構造区にも、30°C以上の温度をもつ温泉が数点存在することもまた注目をひく事柄である。このいわば、異常分布ともいえる非火山地帯温泉の代表的なものを北から挙げると、かつて湯本温泉として知られた福島県常磐炭田坑内温泉・紀州中南部温泉群・兵庫県有馬温泉・四国徳島県の祖谷^{いよ}註1)および愛媛県道後温泉等である。

これらのうち、常磐炭田は阿武隈古期変成岩類を基盤とし、地体構造上、東北日本のいわゆる塊裂地帯に相当する地域であるが、古くから、坑内温泉の湧出によつて有名である。近年、深部探掘の進むにつれて、温泉水による支障が著しく、わが国諸炭田の深部開発技術の上からいつても温泉水の実態すなわち熱源の問題、その賦存状態、地下水との関係等について、何らかの具体的な資料を必要とする段階に迫られるに至つた。

筆者等は、常磐炭田および好間炭田職員諸氏の協力によつて、まず第1段階としての基礎調査を行つた結果、坑内温泉水の地化学的な性質と、地質構造との関係につ

いて、若干資料を蒐集する機会を得た。

本文はその資料に基き、常磐炭田坑内温泉水の諸性質および温泉地質学的意義について、従来の資料より得た結果を参考として註2)、解釈の一端を述べたものである。

本稿を草するに当つて、調査中種々御便宜、御協力をいただいた磐城磁業所満田磁務課長・齋藤分析課長初め職員諸氏に対して、厚く感謝の意を表するものである。

なお、本研究費の一部は、文部省科学試験研究費の補助によるものである。附記して謝意を表する。

2. 坑内温泉水の概況

湯本温泉といわれ自然湧出していた1900年初頭から現在に至るまでの温泉水に関する物理・化学性および地質学的諸事項についての予備的な概念を擷んでおくことは、種々の点から最も基本的な必要事項であると考えられる。

温泉水の水利および地質との関係については、過去の記録を蒐集した徳永重康博士註3)の報告がある。この報告は今回に比べて、その開発状況もなお小範囲に限られ

註2) 中村久由：常磐炭田坑内温泉水について（講演要旨）
地質雑報，Vol. 56, No. 858, (1950)

註3) 徳永重康：常磐炭田地の地質 早稲田大学理工学部紀要
No. 5, 附2. (1927)

// : 常磐炭田地内の温泉
地質雑報, Vol. 31, No. 365, p. 41-p. 60,
大 13. (1924)

* 地質部

註1) 徳島縣三好郡西祖谷村眠谷附近。出合——宇間發電用隧道内
および祖谷川川岸に湧出。水温 38°C

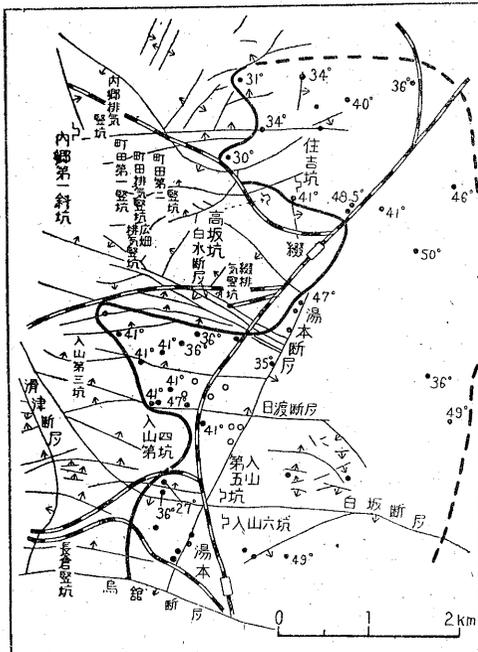
ていた段階に行われたものではあるが、その後の種々の共通した現象について詳細な説明を与えている。

ここでは、まずこの報告とそれ以後新しく加えられた資料の中から、主要な事項についての概要を記載し、今回の調査結果を考察する場合の参考に供したいと思う。

2.1 賦存範囲

常磐炭田の開発初期(1900年初頭)には、坑内温泉水の前駆として、湯本町附近に温泉の自然湧出が認められていたのであるが、坑道掘進に伴う出水およびその排水によって、温泉水位に著しい影響を与える結果となった。また一方、深部開発の進むにつれて、同時に出水および湧出個所の増加によって坑道の拡りも大となり、温泉の賦存範囲も漸次拡大することが明らかとなった。

徳永博士によると、当時(1927)の温泉水の賦存範囲を次のように説明している註4)(第1図)。



第1図 湯本鎮附近温泉分布略図
(徳永博士原図による)

「南は鳥館断層(最大落差1,500尺)辺を境として急に温泉の湧出は少なくなるようである。これは試錐の温度を測定した結果に由つたものである。西はほとんど各坑内採掘を施したため、明瞭に知られるが、その温泉賦存範囲は一種面白い分布を示している。その存在の境界が、基だ顕著なる線をなすのは、断層を境としている為である。次に北方は明瞭な線をなさない。多分高坂坑内の北坑の辺にて漸次温泉がなくな

り、普通泉と入換るようである。(その)東方は未だ坑内採掘を施さないため、その境界線は確言し得ないが、試錐の結果は西方に偏して著しい温泉が湧出するのが、東方に行くに漸次温泉の徴候を認めなくなる。」なお好間方面の温泉は、分析の結果その他から、直接の連絡はないものとして(間接にはあるが)、別個の温泉区域とみなしている。

現在の温泉湧出範囲は、第2図に示すように、上述の頃比べて遙かに広い分布を示している。もちろんこれは、深部開発の著しい発展によるものであり、従つて、今後の掘進によって、その範囲がさらに拡大されるであろうことも考えられる。好間方面の温泉水も、後述のように、同一性質のものともみなされるので、現在までに知られた温泉水の存在範囲は、ほぼ北は赤井断層から、南は湯本断層にわたっているということができよう。西の限界は、現在の資料によると、水位面の低下によって明らかでないが、幸いにも上述の説明文の中で明示されている。一方、深部に進む東および南の限界がどの附近にあるかということについては、種々の面から大きな問題の1つであるが、第三紀層下部の閉された地質構造に関連する事柄だけに、現段階でその実態を求めることは容易でない。将来、試錐による地下温度の分布あるいは既設坑道を利用しての物理探査等によって、さらに詳細な調査を期待するが、今回の調査資料の結果から求めた推定賦存範囲の解釈については、後章で再び取あげることとする。

2.2 出水状況および出水地点の分布

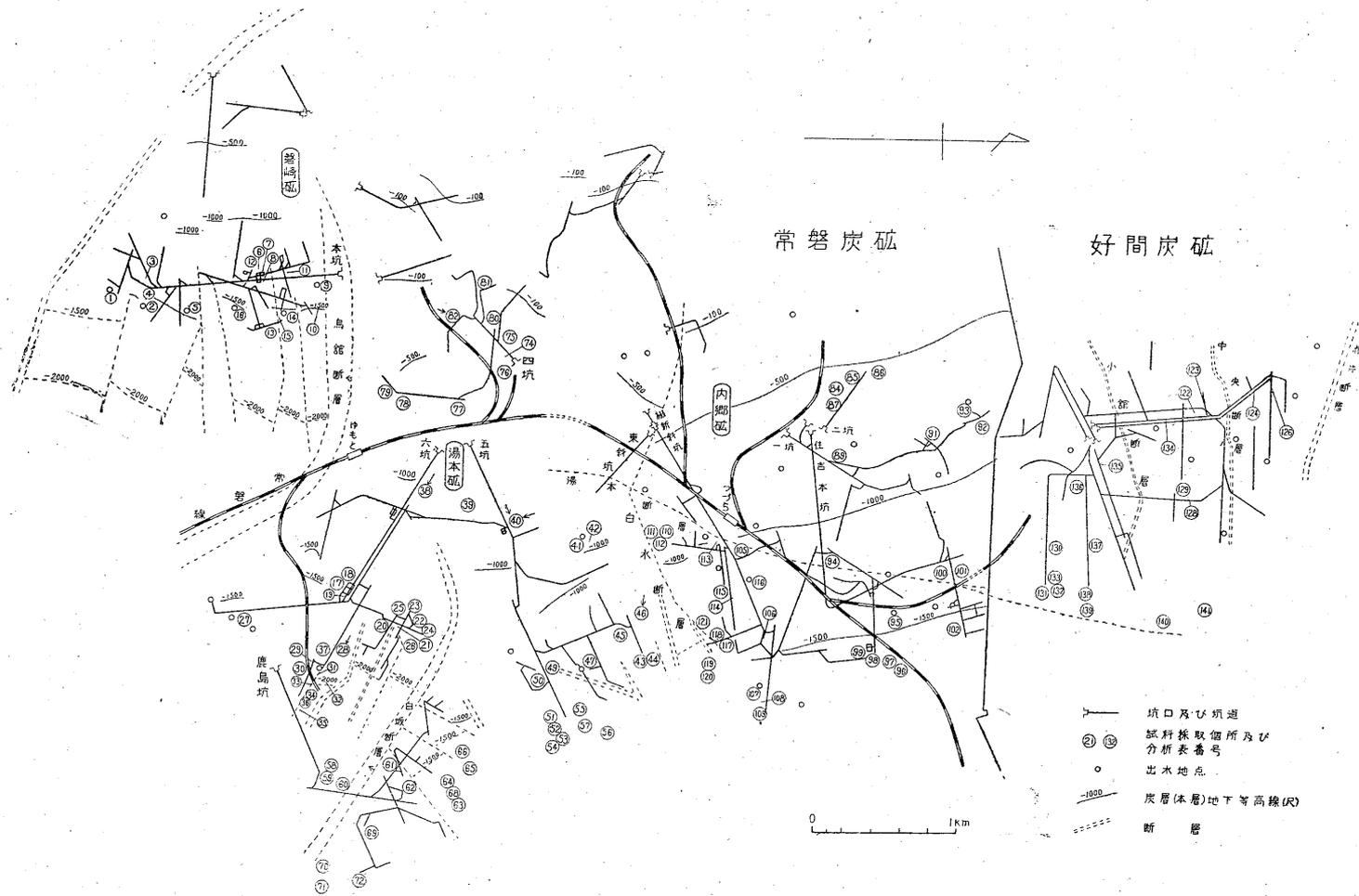
現在、坑道総面積の約3割を占める水没区域は、往時の出水による名残りであり、同時にそれに伴つて、探検技術・坑内保安に及ぼす影響もまた甚大なものがある。

現在までの資料によると、この区域内で100cf/m以上のいわゆる大出水と呼ばれるものが、常磐炭鉱では31回、好間炭鉱では8回記録されている(第3図 および第1表)。これらの出水状況については これまた、徳永博士によつて詳しく記載されているが註5)、炭鉱での記録をもあわせてその大要を述べると次の通りである。

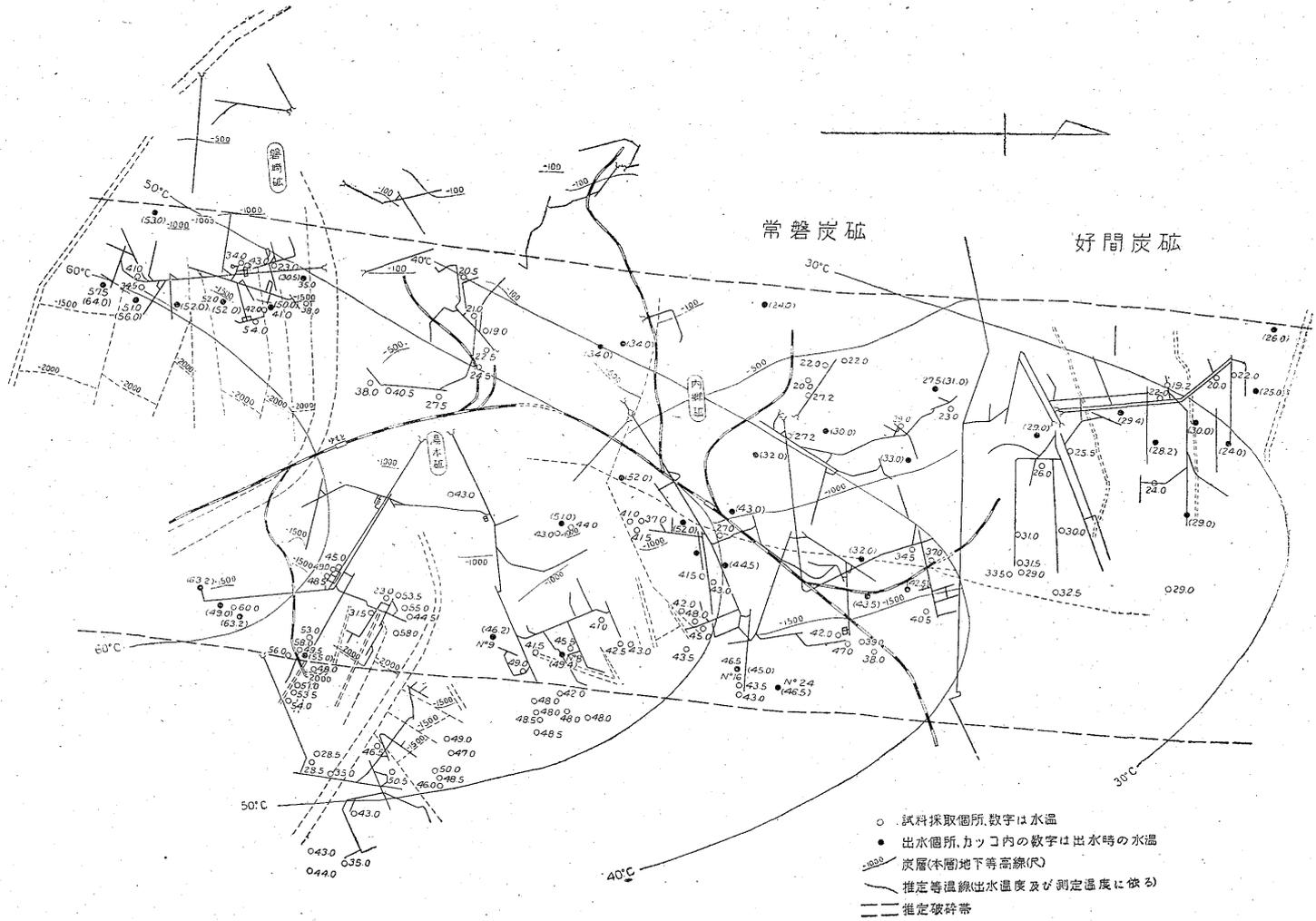
大出水の大半は坑道下盤(炭層下盤)からの湧出に始まる。しかもこの場合は、突発的に大量の温水が噴出することなく、まず下盤の膨脹水によつて亀裂を生じ、湧出量が漸次増加しやがて大量の噴出となる。この中には、断層に伴うものもあるが、それには特に落差が大きいというようなことはない。かつて、湯本断層が、地上においても、また坑内でも、多量の温水を包蔵していたことは、資料によつて明らかであるが、現在好間炭鉱内

註4) 徳永：早大紀要, No. 5, p. 25

註5) 徳永：早大紀要, No. 5, p. 237



第2図 常磐炭砒・好間炭砒坑内図
(縮尺 1: 50,000)



第3図 常磐炭田坑内温泉推定等温線図
(縮尺 1: 50,000)

常磐炭田坑内温泉水について (中村久由・安藤 武)

の先進鑿孔の中で、湯本断層の延長部に到達している箇所から、約 18cf/m の温泉水が流出している。また湯本断層と同じく南北性の方向をもつ大沢断層は、多量とまで行かないが、例外なく温泉水を伴っていることもまた坑内で認めることができる。

一方、これまでの大出水の分布をみると (第3図および第1表)、ほぼ南北の配列を示していることは注目に

第1表 出水記録

番号	年	月	日	深度(一)尺	出水量 cf/m	温度 °C	
1	明大	38	5	10	219	480	24.0
2		2	5	22	676	30,000	52.0
3		5	10	8	430	100	34.0
4		8	6	15	450	250	34.0
5		8	12	5	730	531	30.0
6		10	3	10	710	150	31.0
7		11	11	25	772	850	32.0
8		12	12	15	1,334	500	49.4
9		13	3	9	1,380	2,000	46.2
10		13	7	27	965	148	33.0
11	昭	13	12	4	940	6000	51.0
12		15	11	10	944	410	43.0
13		4	5	12	1,200	120	32.0
14		5	7	26	904	1500	53.0
15		8	1	24	1,150	350	—
16		11	10	27	1,580	1500	45.0
17		11	12	17	1,020	25,000	52.0
18		12	3	4	1,187	1,500	44.5
19		12	6	20	1,408	100	43.5
20		13	4	15	1,405	500	42.5
21		14	10	23	1,400	247	52.0
22		14	11	26	1,455	115	56.0
23		15	5	28	1,680	100	49.0
24		16	3	30	1,778	10,000	46.5
25		16	6	5	1,550	320	52.0
26		17	5	23	1,625	146	50.0
27		18	2	18	1,440	190	63.2
28		18	2	27	1,550	100	63.2
29		22	11	30	1,272	130	64.0
30		23	7	20	2,102	190	55.0
31	大昭	24	7	10	1,470	200	30.5
32		13	10	19	923	1,300	29.4
33		4	8	27	855	3,000	29.0
34		9	4	16	1,082	450	30.0
35		12	1	26	1,229	438	29.0
36		13	11	26	600	300	26.0
37		15	6	21	1,040	204	28.2
38		8	4	3	1,084	100	25.0
39		8	11	—	1,082	450	24.0

値する。もちろん、出水の多くは、炭層の下盤には潜在する種々の構造的要素と、温泉水水圧との組合わせに基いていると考えられるので、以上の分布に対して速断を下すことは危険であるが、上述のように、現在の卓越した湧水個所の方向性と出水地地点の分布が同一傾向にある

ことは特筆すべき事柄であり、潜在せる温泉水の賦存状態の反映が、この分布によつて示されていると考えることができる。これについてはまた他の項目でふれることにする。

2.3 排水による水位・水頭の変化

排水による水位・水頭の変化、および出水に伴う水位の変動は、温泉水の賦存状態、その水理および温泉水相互の関係を考察する場合の重要な基礎資料である。

これについては、昭和19年より同24年(1944~1949)まで5カ年にわたつて蓄積した常磐炭硯電機課長小林世志三郎氏の貴重な資料^{註6)}がある。同氏はこの資料に基づき、温泉排水の重要性を明らかにし、さらに興味ある諸点を指摘している。その概要を示すと、

2.3.1 排水量 全排水量は約3,000cf/m(約100m³/m、昭和24年3月現在、ただし常磐炭硯のみ)であるが^{註7)}温泉水はそのうち2,400cf/mを占め、それ以外は地表水ないし地下水である。前者の湧水量は四季を通じてほとんど変化は認められないが、後者は降雨によつて著しく増加する。年間を通じ、温泉水は全排水量の75~80%程度である。

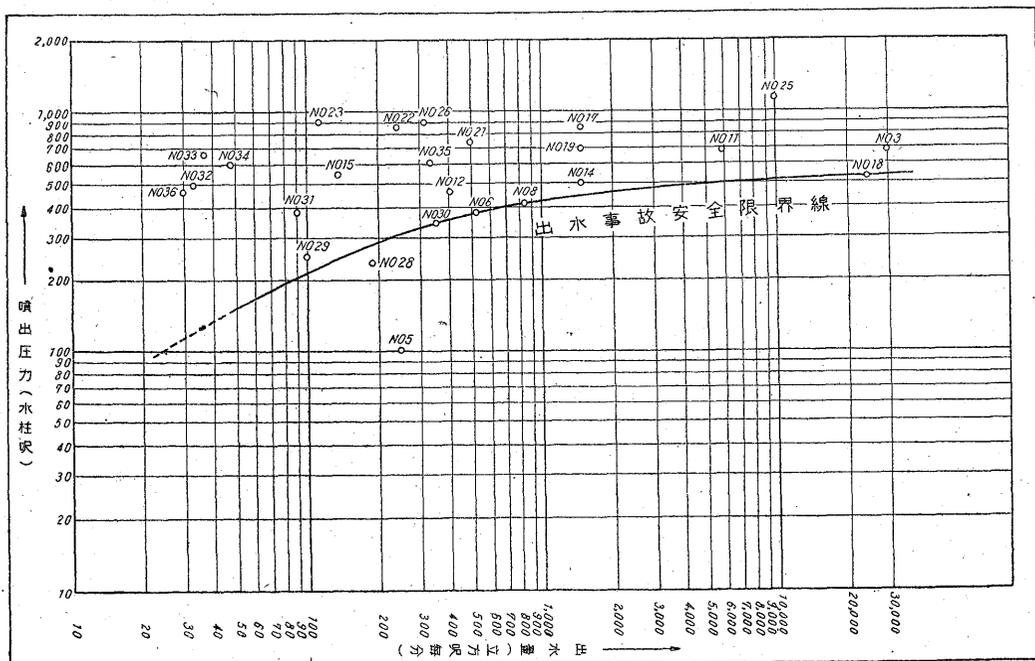
2.3.2 噴出圧力と出水量との関係(第4図) 出水に対する圧力と出水量との相互関係から、出水事故の上からみた出水量に対する水圧の安全限度、すなわち「出水事故発生限界線」を設定し、これについて、小林氏は「出水事故発生限界は、(上向の水圧と)坑道下盤の有する機械的強度と、その場合における層の厚さならびに広さによつて決定される安全限界である」と述べている。従つて切羽進行と温泉水位低下とは、同時に実施しなければならぬことを強調し、従つて、水位低下の唯一の手段として、排水設置強化の必要性を明らかにしている。

2.3.3 排水による水位の変化(第5図)この5カ年にわたる排水の一貫した方針として、水位の低い第五坑・第六坑では積極的な排水を行わず、比較的水位の高い鹿島坑・磐崎坑および特に緩新斜坑・住吉本坑にその重点を置いた結果、各坑の湧水量と水位との変化状態は、第5図に示すような関係で与えられている。これについて小林氏は、「温泉水位の高低著しき場合には、まず水位の比較的高き区域の排水によつて深部区域の経済的負担と危険性を軽減しうる。」と説明を与えているが、この変化の状態は、また温泉水の賦存状態によつて支配されていることを示しているともみることができる。

註6) 小林世志三郎：温泉排水の概要。東北鉱山、No. 2, 昭25。(1950)

註7) 現在(昭26.3)の全排水量は次の通りである。

常磐炭硯 上水 767cf/m. 温泉水 2,827cf/m.
 好間炭硯全排水量 367cf/m.



第4図 出水事故安全限界線図
(小林世志三郎氏原図による)

2.4 温泉水賦存地域の地質学的特性

常磐炭田の地質については、中村新太郎教授の湯本第

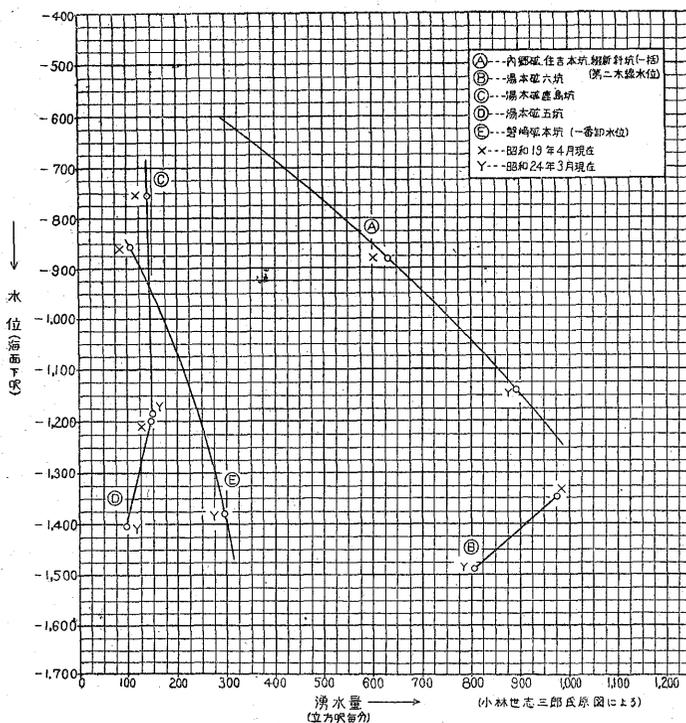
一区における層位・層序の確立に始まり、以来わが国でも最も多くの人々によつて踏査されている地域の1つであらう。ここでは、主として温泉に関係した地質学的諸

事項のうち主要部分を記載し、参考資料とすることに留めておく。

阿武隈古期岩類および花崗岩類を基盤とする第三紀層はほぼ南北の走向をもち、東方太平洋に向つて10°内外の傾斜を示している。

夾炭層は砂岩・頁岩・礫岩の累層よりなり、上層(二番層)は3m内外、本層(三番層)は上層の下約40mにあつて厚さ3m内外、この間は主として砂岩層よりなり薄い、砂質泥岩を挟んでいる。下層(四番層)は本層の下約0.6mにあつて厚さ1.5m内外、最下層の(六番層)は、本層の下約6mの附近にあり、厚さ1.5m内外である。本層の下部は、基底礫岩まで泥岩および炭質頁岩の互層よりなる。

第2図の坑内図からでもわかるように、本区域は断層が甚だ多く、しかもこれらはほとんど正断層である。方向性としては東西の走向を有するものが極めて優勢であるのに対して、南北性のそれは



第5図 主力深部坑坑内温泉水位と水量の変化
(小林世志三郎氏原図による)

極めて少なく、著しい対照を示している。前者に属するものは南より烏館(落差 350~500 m)・白坂(同 60~120m)・白水(同 97m)・中央(同 30m)・小館(同 57m)の諸断層で、後者は湯本断層(同 20m)・大沢(同 70m)両断層である。このように、東西性の断層群は落差において規模が大きく、一方南北性のそれは小さい落差にもかかわらず、その延長の比較的長いことおよび破碎帯の比較的巾広いことを以て特徴とする。この現象は断層運動を吟味する上に注目に値する事柄と思われる。

一方、基盤岩類の起伏により、第三紀層の堆積状態にも相当の影響を与えているが、坑内の個所で認められる。現在のみならず過去においても、温泉水の存在場所は、一般に第三紀層の最下部に近い部分であることが通性である。これについて徳永博士は註8)

「これは石炭採掘を目的とする坑内の掘進が多く第三紀層の下方部を進行する故に、出会うためのみでない。実際温泉は、第三紀層の下の花崗岩より上騰し来たりて、普通石炭層の下の地層中に貯つているか、或は或る特殊な断層や裂隙中に浸入しているかである。」と述べている。過去の湯本断層、現在の大沢断層のように或る特殊な断層に、ほとんど普遍的に温水を伴っていることは、実際確認できるのであるが、大出水と関連させて考える場合、主として基盤の花崗岩中に、優勢な断層あるいは裂隙の存在もまた推定しうるのであつて、全般的な温泉水の賦存状態を推定する時は、むしろこのような深部構造が大きな意味をもっているように考えられる。これについては後程触れることとして、これらの断層・裂隙のほかに、温泉がある特殊な部分に貯留されていることも、また知られている。すなわち、筆者の1人(中村)が昭和23年に調査の際、湯本磁五坑の本層上部約15mの位置にある礫質部より、さかんに温水の流出している箇所を観察したが註9)、これについては大塚博士註10)等の記載にもあり、また主として本層下部約10m内外の位置にある粗鬆砂岩の含水性については、徳永博士註11)も上述の説明で明らかにしている。しかし徳永博士は最後に註12)、

「石炭本層と花崗岩との間は平均100尺位であるが、この粗鬆砂岩の外には、別に湯の貯溜帯がないようである。また花崗岩と第三紀層との境界には湯の湧出し

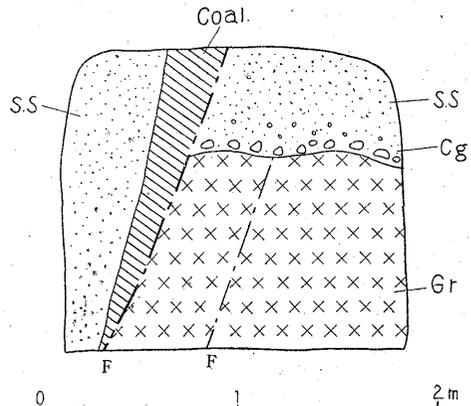
た例をきかない。」

と結んでいる。

前述のように、大出水の多くが下盤からの湧出を特徴とすることは、この下盤の含水性もまた1つの要素と考えられるので、基盤の起伏状態とあわせて第三紀層の下部構造についても、将来吟味する必要があると考えられる。

3. 調査資料(1) 深部構造

前項において、温泉水は主として夾炭層中の裂隙・断層あるいは本層上、下盤の粗粒部分に胚胎していることの説明を与えたのであるが、さらに、花崗岩を剪断する断層について、現在坑内外で観察される第三紀以後の運動に基くものの存在は明らかであるが、第三紀以前の運動にのみ関連したものの存在を裏づける証左は、少なくともこの地域内で従来明らかにされていなかったようである。この点について筆者等は、比較的基盤の起伏にとみ、かつ基底部の薄い湯本磁四坑南一片右四坑で、第6図に示すような夾炭層と基盤岩との関係を観察することができた。



第6図 湯本磁四坑南一片右一坑見取図
Coal: 炭層 SS: 砂岩 Cg: 礫岩(基底)
Gr: 花崗岩 F: 断層

この図で示される事柄は、いま改めて多言を必要としないが、少なくとも上記の古期断層の存在を意味づける一の場合には小規模であり、かつ方向性も明らかでないが、1つの資料とすることができるとと思われる。

4. 調査資料(2) 温泉水の化学性

温泉水の化学成分は、旧湯本温泉の湧出当時以来、断片的に示されているが註13)、その結果を総合しても温泉水そのものの本質についての特性を求めるには、充分で

註13) 日本鉱泉分析表
徳永: 早大紀要, No. 5
機械試験所所報 Vol. 4, No. 4, 昭25(1950)
常磐炭礦, 花間炭礦における分析資料。その他

註8) 徳永: 早大紀要, No. 5, p. 251

註9) 今回の調査では水位の変動により同位置での流水は認められなかった。

註10) 大塚源之助、露木利貞、嘉藤良二郎 } 湯本坑内温泉の研究 地質鉱床と物理探鉱(下巻), p. 55, 昭25(1950)

註11) 徳永: 早大紀要, No. 5, p. 251

註12) 同前

なかつたようである。従つて、筆者等はできるだけ多くの資料を湧出(あるいは流出)状況の別に採取し、後述の各成分を検出した。流出量は、現場での概量または各坑における日々の記録によつたものである。測定結果は一括して第2表に示した。

4.1 測定方法

pH

坑内での測定に困難なる場合が多いので、出坑後可及的速かに比色法で行つた。

蒸発残渣

試水を蒸発皿にとり、重湯煎上で蒸発乾固し、110°Cで乾燥したのち秤量した。

CO₂

フェノールフタレインを指薬として、N/100 Na₂CO₃で滴定した。なお、Fe⁺⁺の多いものは滴定を妨げるので定量から除外した。

S (H₂S および HS⁻ の含量)

現場で試水を酸素瓶にとり、Cd CO₃ の懸濁液を加え、一晝夜放置後、CdS を HCl で溶解し、のち、N/100 I₂, N/100 Na₂S₂O₃ を用いて滴定した。

Cl⁻

モール氏法によつた。

SO₄²⁻

重量法 (BaSO₄ 法) によつた。

CO₃²⁻ および HCO₃⁻

フェノールフタレインアルカリ度およびメチルオレンジアルカリ度の滴定値から計算で求めた。

Na⁺ および K⁺

Na⁺ および K⁺ を塩化物として求め、塩化白金法により K⁺ を沈澱せしめ、容量法 (B, Novbery 法) により定量した。

Ch⁺⁺

容量法 (砒酸アンモン - 過マンガン酸加里法) によつた。

Mg⁺⁺

上記の濾液についてオキシソ法によつた。

Fe

Al⁺⁺⁺ が 1mg/L 以下であるので水酸化物の沈澱を灼熱秤量し全鉄として求めた。

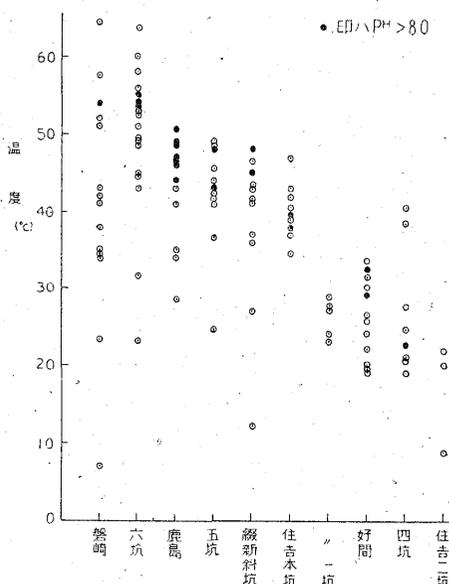
4.2 測定結果

4.2.1 温度 現在、坑内で流、湧出する温泉水の水温は、湯本六坑エンドレス坑ダム内の 60°C を以て最高とするが、過去の出水記録によると(第1表)磐崎砒南坑の 64.5°C、湯本六坑南四斜坑および三斜坑の 63.3°C という値が示されている。降雨による流、湧出量の増加

あるいは滲入系路の明らかなこと等の点から、既述のように温泉水とは別に一応浅所地下水として地域別に取扱われているものも、水温による区別は明らかでない。

最低 9°C から 60°C にわたる広い温度変化と成分その他の関係は逐次述べることにし、本項では主として温度の分布状態を考察してみることにする。

4.2.1.1 分布：本地域は構造的に東西性の断層によつて分割されており、しかもその各々が各砒別に採掘されているので註 14)、便宜上この各砒を単位として種々の比較を行えば、概略南から北、あるいは東から西にわたつての諸性質を表示することができる。第7図は各砒別の温度分布を示したものである。



第7図

これをみると、磐崎砒および湯本六坑が高温地帯に属し、約 10°C 内外の差を以て、鹿島坑・湯本五坑・綴新斜坑となり、さらに、10°C 内外の差で好間炭砒の低温帯となる。西側の浅所では、湯本四坑内にまだ温泉水系の混入を示す箇所を残しているが、同じ浅所でも住吉一坑・同二坑のほとんど大部分は、30°C 以下の地下水水系

註 14) 各砒の開鑿には、不時出水に備えて、採炭区域を断層で区別し、その間は少数の坑道で連絡して被害を最小に留める方式をとつている。その分割は次の通りである。

磐崎砒	鳥館断層以南
湯本砒	鳥館断層 - 白坂断層間 白坂断層 - 白水断層間
鹿島坑	同上、東側
湯本四坑	湯本断層以西
白水断層以北	
内郷砒	綴新斜坑 住吉一坑 二坑
好間炭砒	

常磐炭田坑内温泉水について (中村久由・安藤 武)

に属している。このように、南から北に移るほど、温度の低下する傾向はほぼ確認できるが、出水記録を参考に、基盤内における推定温度分布を图示すると第3図の通りである。

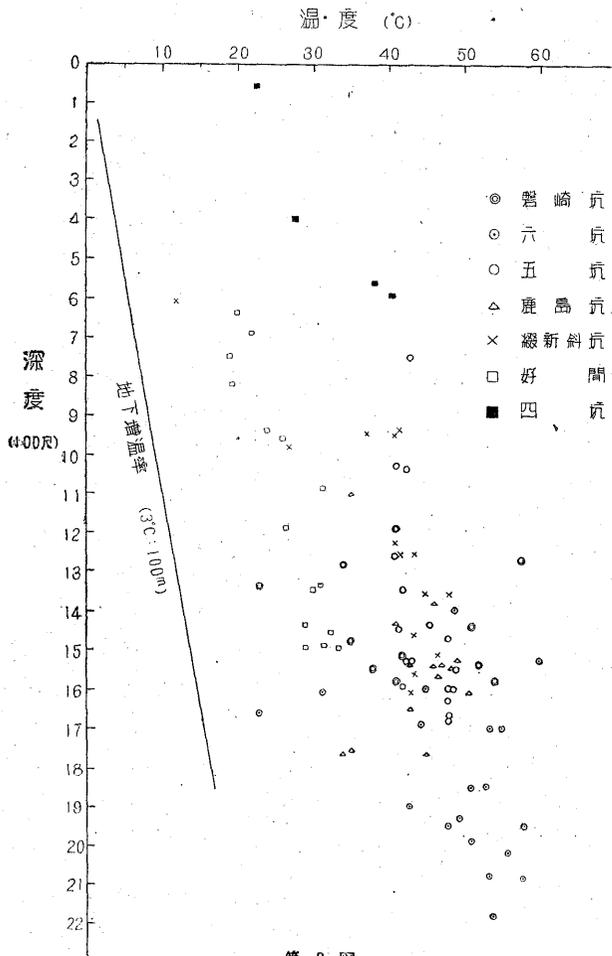
な場合を除き、その流出温度を以て、直接その深さにおける正しい水温とする訳にはゆかない。しかし、一応このような誤差も含めて、深度と水温との関係を示したのが第8図である。現在の流出個所の分布だけでは、同一

水系(脈)の垂直温度分布を求めることは困難であるが、この図で示される一般的な傾向として、やはり、深部ほど水温が幾分増加している。地温と水温との関係も、賦存状態に関連して大きな問題の1つであるが、これについては今後の研究にまつこととし、ここでは、一応一般にいわれる地下増温率との比較を図に示しておくことだけに留めておく。

4.2.1.3 排水量との関係： 現在行っている排水は、前項で述べた通り、出水による貯溜水の排除が目的である。従つて、坑内における現在の湧水量あるいは水抜試すい孔よりの流量は、温泉水位の変化によつて当然影響をうけることになる訳であるが、排水量として示される各砒の湧水量、または流量と深度との関係、および各砒における出水頻度の記録は、各砒を単位とした地域に包蔵される温泉水量の相対的な比較に、ある程度の意味をもつものと思われる。

次表は、高温地帯における温度と水量との関係を示したものである。湯本四坑・住吉一坑・同二坑はほとんど浅所地下水であり、好間炭砒は低温水と地下水との混合であつて、その区別が明らかでないため、一応比較から除外した。

下記の表で、温度に応じた湧水量と総排水量とが、かなりくい違いのあるのは、総排水量の中に測定個所以外の流入水や湧水量が混じているためである。



第 8 図

	磐 崎 坑	湯 本 六 坑	湯 本 五 坑	鹿 島 坑	綴 新 斜 坑
総 排 水 量	384.0 cf/m	1037	125	92	342
60°C 以上	—	235	—	—	—
59 ~ 50°C	21	751	—	0.4	—
49 ~ 40°C	240	36	95	18	216
39 ~ 30°C	115	0.2	2	30	26

4.2.1.2 深度との関係： 現在、坑内の断層あるいは裂隙から流出しているいわゆるなまの温泉水は、ほぼその地並(深度)における水温を示しているとみなすことができるが、出水後、貯溜の状態にあるものは、特殊

この表で注目をひくのは、湯本五坑と鹿島坑とが、総排水量においても著しく少量であることである。これは出水地点の分布(第3図)・温度分布(第19図・第7図)および排水量と水位の相関図(第5図)との比較からわかる

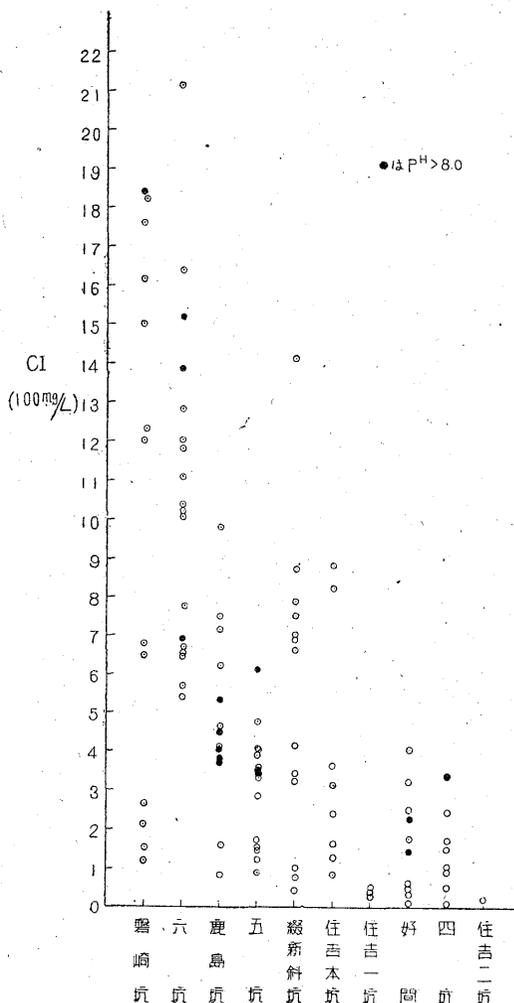
よりに、高温地帯にもかかわらず、温泉水の比較的小さい地域であることを暗示しているとみることができる。

4.2.2 Cl⁻ 分析結果をみると、坑内温泉水の主成分は、陰イオンでは Cl⁻ と SO₄²⁻、陽イオンでは Na⁺ と Ca²⁺ とによつて特徴づけられている。

温泉水の一般的な解釈として、Cl⁻ はいわゆる揮発成分の1つとみなされているものであるが、本地域のように、非火山地帯の花崗岩中より湧出する温泉水中に、最高値とはいえ、約21,00mg/Lに達する含量を有し、しかもその温度が60°C前後であることなどがらみて、まずCl⁻の性質を吟味する必要がある。いま、Cl⁻を2次的に混入したものとすれば、その根源としては、次のような場合が考えられる。すなわち、第三紀層中の化石水、地層中の可溶性充填物としての塩類、海水の滲透等である。しかし、現在までに化石水の存在については、地質学的にほとんどそれを裏づける明瞭な事実認められず、また温泉水成分相互の関係(例えばCl⁻とSO₄²⁻、Cl⁻とCaおよびMg等)および地質構造から推察して、海水の滲入についても、これを肯定する事実を見出すことが困難である。地層中の可溶性塩類は、炭層上下盤の粗粒部分に認められぬことはないが、後述のように、これは主として温泉水の影響をうけたもので、堆積当初からの残留物ではない。かつ、Cl⁻もまた微量である。以上の諸点に加えて、さらにCl⁻含有量の分布、陽イオンとの関係等からみても、Cl⁻を2次的な外来物とみなすことは全く困難であつて、やはり、初生的な温泉水成分として溶存していると考えられるものである。

4.2.2.1 分布: Cl⁻の分布状態をみる場合に、前項と同様に、断層で区画された区域ごとに比較してみると第9図に示す通りである。これによると、大体の傾向として磐崎坑・湯本六坑の南西端から北に向うほどCl⁻含量の減少が認められる。一方、深度とCl⁻含量との関係は、第10図に示す通りであるが、各磁ごともまた全般的にも、明瞭な相関関係をみいだすことは困難であり、むしろ、現在最も深く採掘の行われている湯本六坑の1,900~2,000尺附近では、その含量の比較的小さいことが注目をひく。

4.2.2.2 温度との関係: Cl⁻の水平分布が、温度のそれと同じ傾向にあることは前述したが、これも各磁ごとで比較すると、次のような興味ある諸点がみいだされる。すなわち第7図(各磁ごとでの温度分布)および第9図(各磁ごとでのCl⁻分布)との比較、および第11図(温度とCl⁻との関係)によつても明らかなように、Cl⁻と温度の水平分布をみると、北部の低温地帯との間に、鹿島坑・湯本五坑のように、Cl⁻含量の少ないにもか



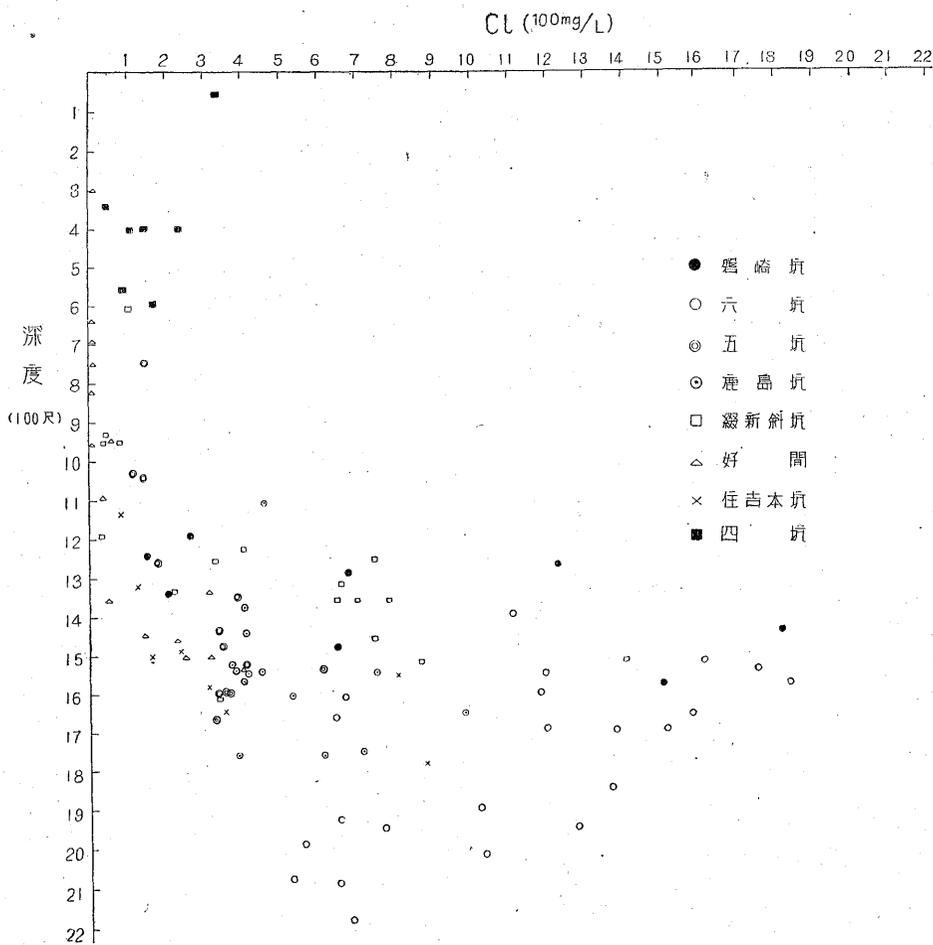
第9図

わらず、比較的高温の地域、あるいは綴新斜坑の北側のよりに、これとは逆に、Cl⁻含有量の多いにもかかわらず、比較的低温の地域が存在することである。換言すれば、温度とCl⁻の間には、少なくとも現在直接の関係をみいだし得ないといえるのであつて、両者の水平分布にこのような差異のあることは注目に値する事柄であろう。

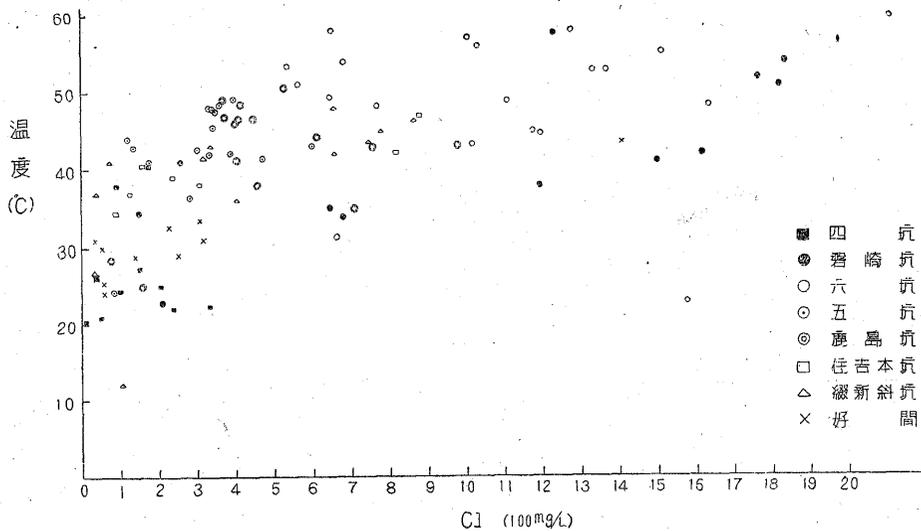
4.2.3 H₂S (+ HS⁻) と SO₄²⁻ 温泉水のSO₄含有量については、まず次の事項を一応吟味してみることとする。

4.2.3.1 SO₄²⁻ と Cl⁻ との関係: これは第12図に示すように、大体負の相関関係にあることが知られる。特に磐崎坑・湯本六坑におけるCl⁻含有量の多い温泉水の大部分は、50mg/L(最低6mg/L)という低含量によつて特徴づけられている。このように、高温帯のしかも出

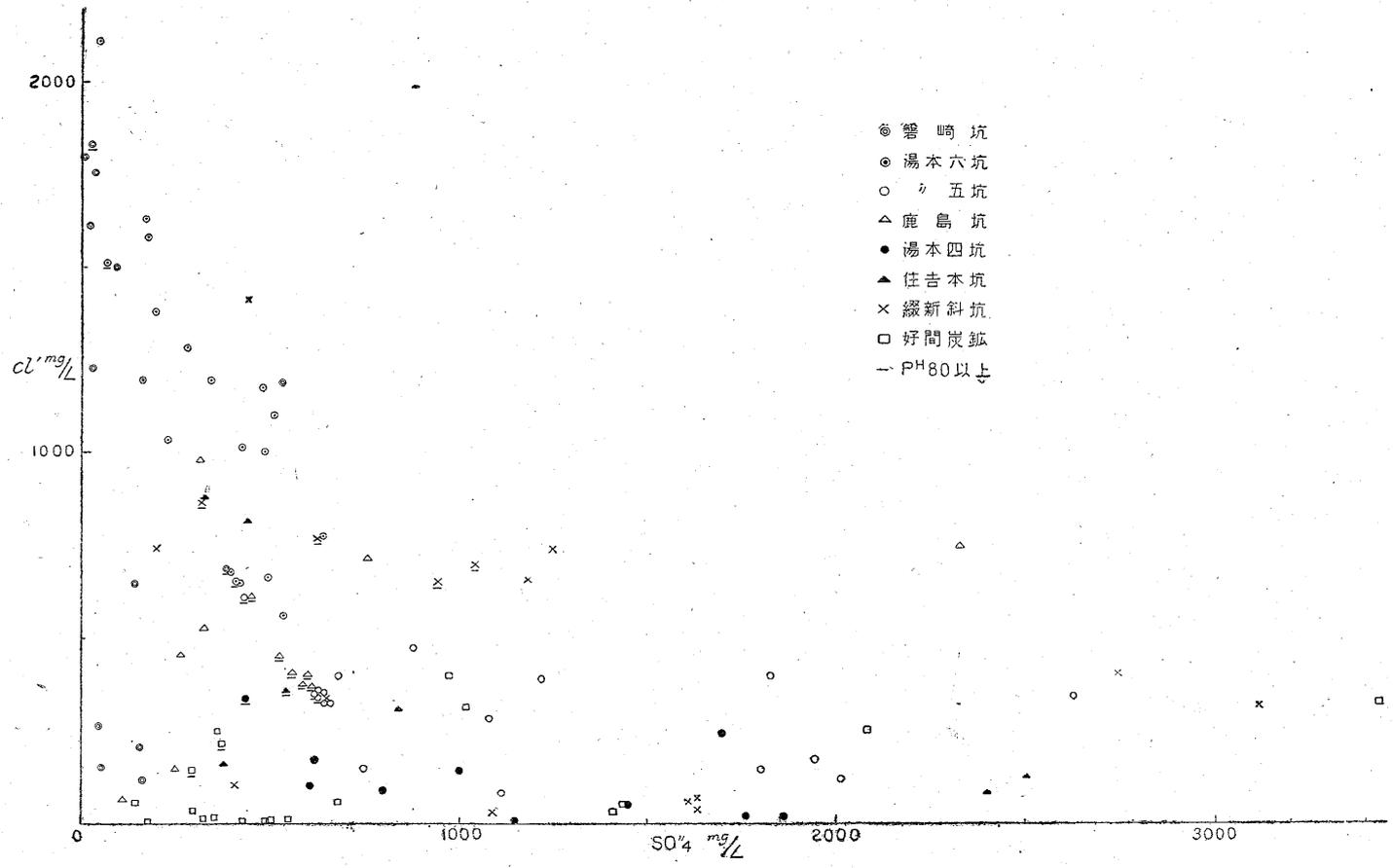
常磐炭田坑内温泉水について (中村久由・安藤 武)



第 10 図



第 11 図



第 12 図

水によつて貯溜状態におかれていないいわゆるなまの温泉水は、初生的に SO_4^{2-} が極めて少量であること、換言すれば SO_4^{2-} の大部分は、2次的な他の要素によつて生成されたことを意味するものと考えられるのである。一方 Cl^- の減少に伴い、なまの温水であつても、 SO_4^{2-} が増加する傾向のみられることから、 SO_4^{2-} の生成過程として次の場合を考えることができる。

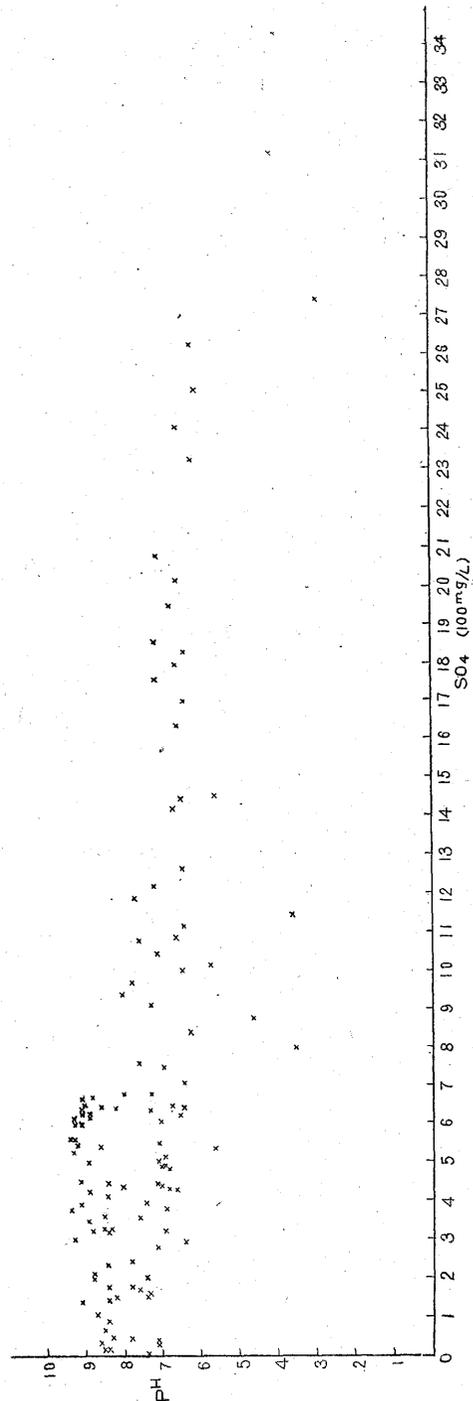
- 1) SO_4^{2-} を主成分とする別系統の温水(または地下水)の混入、同時に Cl^- の稀釈。
- 2) 硫黄化合物の酸化(地下水の滲透による場合も含む)。

このいずれであるかを考察する前に、 SO_4^{2-} と他成分との関係を吟味してみることとする。

4.2.3.2 SO_4^{2-} と PH との関係：温泉水の湧出状況により、裂隙あるいは断層および先進鑿孔から流、湧出するなまの温水と、出水後貯溜状態にあつて、現在排水(排水)により流出しているものを区別する場合、比較的明らかに各々の性質を示すものは、 SO_4^{2-} と PH との関係である。第13図はこの関係を示すものであるが、 SO_4^{2-} 約 750 mg/L 以上は例外なく PH 8.0 より低く、また CO_2 の溶存を示し、さらに、中には遊離硫酸を含有するものすらある。高温帯における数個の試料を除いて、なまの温泉水のほとんど大部分が PH 8.0 以上であり、しかも比較的低温のものでも、この性質を留めていることは、まず第一にこの種の温水が、初生的に CO_2 の供給を直接うけていないことを示していると考えられるのである。なまの温泉水におけるこの特性にもかかわらず、貯溜状態の温水のみ CO_2 を溶存していることは、これまた何等かの2次的な影響、すなわちこの場合は、温泉水の気循環酸化(atmospheric oxidation)に伴う結果であると考えられるのであつて、これについては、次のような説明を与えることができる。すなわち、貯溜状態の自由表面附近における H_2S の酸化に伴い H_2SO_4 の生成をきたし(註15)、それによつて温泉水自体の HCO_3^- 、 CO_3^{2-} が分解し、 CO_2 を発生すると考えられるのである。そして、 H_2S の溶存量と酸化の度合によつては遊離硫酸の生成する場合もあり、試料の中では、比較的浅所にこの傾向が認められる。しかし遊離硫酸の含有は、温泉水による附着生成物の影響をうける場合も考えられる。ともかく、初生的な温泉水が、出水後2次的な影響によつて、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} の増加をきたし、対照的な特徴を示すに至ることは興味ある現象である。

以上の説明からでも明らかなように、比較的 SO_4^{2-} 、含

註15) 火山地帯の噴気孔周辺の土壤に、微量の H_2S ガスの影響により、遊離硫酸を含むことがしばしば知られている。



第 13 図

有量の高いなまの温泉水の場合もまた、 H_2S の酸化に関連があると考えられるが、この点については、 Cl^- および SO_4^{2-} と Na^+ 、 Ca^{2+} との関係を考察する際に取上げることにする。

第 2 表

番号	試料採取箇所	流出量	深度	温度	pH	蒸発 残渣	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	K	Na	Ca	Mg	Fe	F	HBO ₃	CO ₂	S(H ₂ S+HS)
							g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	南坑ダム内	14.0	-1272	57.5	7.12	4.7	1231	29	—	124.5	22	687	112	12.2	—	4.4	21.6	5	3.5
2	中央第二斜坑(溜水)	0.5	-1445	51.0	7.43	5.6	1818	6	—	207.1	20	971	139	6.5	—	—	—	6	—
3	藤原堅坑側壁崩落箇所よりの温水	4.0	-1190	41.0	7.80	6.7	264	47	—	152.8	—	—	9	tr	—	—	—	7	—
4	同上側壁(試錐孔より)	1.0	-1240	34.5	8.30	4.9	152	52	3.6	186.1	—	—	3	tr	—	1.6	7.6	—	—
5	中央第一斜坑(溜水)	0.1	-1300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	北進斜坑総排水(730Mポンプ座)	384.0	~1500	43.0	7.32	5.4	1202	161	—	71.5	—	—	144	tr	—	4.0	21.6	16	—
7	入気本線(上水)	6	—	6.8	7.40	5.0	119	153	—	62.8	—	—	54	4.8	—	—	—	2	—
8	北進坑+南坑混合排水	20~30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	660m坑(溜水, 水抜パイプから)	114.0	-1480	35.0	8.41	3.4	648	142	6.6	67.8	—	—	80	tr	—	—	—	—	9.1
10	280m払跡(溜水)	31.0	-1550	38.0	5.63	0.2	1195	536	—	41.9	—	—	228	5.8	—	—	—	+	—
11	340m本線途中(滴水)	1.0	-1340	23.0	8.20	9.7	210	153	66.6	299.5	—	—	56	tr	—	0.7	7.6	—	—
12	旧藤原坑滲出水(0m坑にて)	4.0	-1285	34.0	7.42	1.9	680	396	—	590.5	—	—	142	5.3	—	0.8	18.8	5	—
13	北排水坑(垂直試錐孔より)	—	-1578	54.0	8.54	0.5	1836	20	13.3	32.0	29	878	208	tr	—	—	—	—	10.5
14	三番卸(溜水)	211.0	-1577	41.0	8.43	10	1502	89	5.4	36.3	—	—	166	tr	—	3.6	24.8	—	7.1
15	二番卸(//)	25.0	-1520	42.0	8.43	21	1615	20	9.7	43.1	—	—	160	1.4	—	3.6	24.8	—	11.2
16	一番卸(//)	16.0	-1540	52.0	8.63	29	1757	37	15.1	42.5	—	—	184	tr	—	5.2	24.0	—	10.5
17	旧新坑滲出水(第二斜坑土手下ポンプ座)	5~6	-1400	49.0	6.92	9.3	1108	516	—	335.4	26	920	236	9.5	—	—	—	12	—
18	旧第三水平坑(溜水)	10	-1600	45.0	6.82	9.7	1180	486	—	362.4	—	—	240	2.0	—	—	—	+	—
19	第二エンドレス坑ダム内溜水 北二斜坑	365.0	—	48.5	7.63	4.8	1636	169	—	46.8	—	—	216	tr	—	—	—	4	2.4
20	北光斜坑一目抜下(滴水)	0.05	-1612	31.5	8.91	9.7	666	496	13.9	3.0	—	—	82	tr	—	—	—	—	—
21	“ 一, 二目抜間(//)	0.1	-1657	23.0	8.43	2.0	1582	176	6.0	11.0	—	—	168	tr	—	—	—	—	—
22	“ 二目抜(試錐孔, 白坂断層より)	10	-1697	55.0	8.52	8.1	1513	66	31.5	50.5	—	—	174	0.6	—	6.0	21.6	—	27.9
23	“ “ (// //)	5	“	53.5	8.82	6.3	1383	198	21.8	41.9	14	796	126	tr	—	—	—	—	30.3
24	北光斜坑第二水平坑二目抜手前(断層よりの滴水)	0.1	-1692	44.5	8.92	6.2	1195	345	13.3	11.0	—	—	136	tr	—	—	—	—	—
25	“ 水平坑二昇連(溜水)	0.05	-1660	23.0	7.52	9.4	644	—	—	80.2	—	—	—	—	—	—	—	5	—

註: 総硫黄Sは、H₂S、HSの含量をSとして表したるもの

番号	試料採取箇所	流出量	深度	温度	pH	蒸発残渣	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	K	Na	Ca	Mg	Fe	F	HBO ₂	CO ₂	S(H ₂ S+HS)
							mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
26	北光坑ダム内	558.6	1950	58.0	7.1	—	1282	284	—	64.1	—	—	172	tr	—	—	—	3	7.1
27	第二エンドレスダム内	235	1530	60.0	7.14	6.66	2113	40	—	59.1	25	1006	288	fr	—	3.6	28.4	5	9.1
28	北一斜坑詰所下 (旧坑よりの滲出水)	0.5	1850	51.0	6.92	2.57	1007	491	—	149.1	—	—	204	tr	—	—	—	12	tr
29	北二斜坑ダム内	133.0	2090	58.0	8.91	1.85	652	426	13.3	17.2	—	—	80	tr	—	4.4	20.8	—	2.7
30	北一斜坑四電卸 (溜水)	34	2020	56.0	8.42	2.20	1035	233	9.7	60.4	—	—	108	tr	—	—	—	—	1.1
31	〃 水平坑 (断層よりの滴水)	1	1927	49.5	8.91	1.84	652	418	9.0	21.5	—	—	—	—	—	—	—	—	1.9
32	〃 三卸下盤流下水	18	1950	48.0	6.42	2.42	773	641	—	69.0	—	—	192	tr	—	—	—	+	—
33	〃 18片 (旧坑滲出水)	2	1900	43.0	6.62	2.60	1021	428	—	61.6	—	—	—	—	—	—	—	+	—
34	〃 一電卸一目抜 (断層よりの滴水)	2~3	1990	51.0	8.61	1.83	567	540	7.5	32.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	〃 〃 引立 (試錐孔)	3	2185	54.0	9.11	1.80	688	391	48.5	4.9	—	—	78	—	—	4.8	18.8	—	—
36	〃 〃 三目拔上 (断層よりの滴水)	2	2080	53.5	9.11	1.92	538	—	18.1	27.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	〃 旧三電卸 (滲出水)	3	1850	53.0	7.4	—	1368	—	—	83.2	—	—	—	—	—	—	—	8	—
38	六坑総排水	1037	—	—	7.4	—	1585	—	—	58.5	—	—	—	—	—	—	—	6	—
39	旧右坑滲出水	2	750	43.0	6.91	1.60	148	750	—	171.3	—	—	180	—	—	—	—	9	—
40	五坑斜坑 (上水)	2	600 ~700	24.5	6.42	2.15	85	1114	—	138.0	—	—	278	tr	62	—	—	+	—
41	内郷坑東斜坑溜水 (水抜試錐孔より)	26	1031	43.0	6.63	3.32	145	1800	—	352.5	—	—	484	tr	94	—	—	+	—
42	〃 〃 (〃)	14	1035	44.0	6.63	3.67	120	2017	—	421.6	35	461	536	tr	48	2.0	12.0	+	—
43	北三斜坑右一又卸右二片 (N15E.断層よりの滴水)	} 11 ~12	1528	42.5	8.01	1.81	404	679	4.8	48.6	—	—	62	tr	—	—	—	—	—
44	〃 右二又卸 (炭層上盤クラックよりの滴水)		1535	43.0	8.01	1.75	610	435	4.8	44.3	19	483	60	1.1	—	3.5	20.8	—	—
45	北三斜坑右一片 (旧坑溜水, 水抜試錐孔)	3.5	1350	42.0	7.22	2.93	390	1222	—	519.0	—	—	244	tr	—	—	—	12	—
46	〃 左一片 (〃 〃)	7.5	1260	41.0	6.83	3.56	177	1954	—	305.7	—	—	490	tr	14	—	—	39	—
47	北二斜坑 (溜水)	—	1440	45.5	6.24	2.87	344	2628	—	671.8	51	736	560	1.0	168	—	—	+	—
48	五坑総排水	125	—	36.5	7.62	2.27	284	1079	—	135.6	—	—	222	tr	25	—	—	9	—
49	東斜坑南一斜坑第一電卸巻場裏 (天盤クラックより)	0.06	1450	41.5	4.62	2.14	475	878	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	東斜坑五目抜排気試錐孔 (南卸の水)	7	1550	49.0	6.43	3.79	397	1832	—	376.0	—	—	498	tr	32	—	—	+	—

常盤坑田坑内温泉水について (中村久由・安藤 武)

番号	試料採取箇所	流出量	深度	温度	pH	蒸発 残渣	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	K	Na	Ca	Mg	Fe	F	HBO ₂	CO ₂	S(H ₂ S+HS)
		cf/m	尺	°C		g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
湯	51 東斜坑連(試錐孔, N20Eの断層よりNo.1)	0.5	-1627	48.0	8.6	16.2	344	627	14.5	12.3	20	426	64	tr	—	—	—	—	1.0
	52 " (" " No.2)	7	-1476	48.0	8.9	1.60	348	620	20.6	1.2	—	—	60	tr	—	5.2	18.0	—	—
本	53 東斜坑連下盤よりの湧水	1	-1600	48.0	9.1	—	355	641	20.6	2.4	—	—	62	tr	—	—	—	—	—
	54 鹿島坑連絡坑左連引立 (No.45 Eの断層より)	14	-1600	48.5	9.1	1.62	362	628	24.2	0	—	—	62	tr	—	—	—	—	—
五	55 北水平坑天盤(滴水)	0.1	-1595	42.0	8.8	1.64	337	668	10.9	17.2	—	—	52	tr	—	—	—	—	—
	56 第一電卸左〇片(滴水)	0.1	-1670	48.0	8.6	1.63	331	645	7.8	22.8	—	—	40	tr	—	—	—	—	—
	57 " 右〇片(")	0.1	-1676	48.0	9.1	1.57	333	663	14.5	10.9	—	—	52	tr	—	—	—	—	—
坑	58 鹿島坑鹿島坑第一本線入排気坑(上水)	15	+101→ -772	25.0	7.8	0.72	157	245	—	81.3	—	—	54	tr	—	—	—	—	—
	59 " 試錐孔(上水)	15	+8	28.5	8.7	0.43	79	103	9.7	46.8	—	—	16	tr	—	—	—	—	—
	60 第二本線390m目貫(天盤よりの滴水)	0.5	-1105	35.0	8.8	1.17	461	211	36.9	1.2	—	—	30	2.6	—	—	—	—	—
	61 西部一斜坑右三片試錐孔(250尺先の断層より)	0.3	-1383	46.0	9.1	1.66	403	595	16.9	12.3	—	—	52	tr	—	4.8	17.2	—	—
	62 中段排気坑途中(天盤, 断層より)	0.5	-1438	41.0	9.3	1.66	410	563	23.0	2.4	—	—	52	tr	—	—	—	—	—
	63 鹿島連絡坑引立(試錐孔, 断層より)	0.7	-1544	46.0	9.3	1.63	450	526	24.2	0.6	—	—	58	tr	—	5.2	22.4	—	—
	64 " " (" ")	0.4	-1609	50.5	8.3	1.49	533	323	10.3	58.5	—	—	42	tr	—	4.8	17.2	—	7.5
鹿	65 坪下坑三日抜先試錐孔(断層より)	1.5	-1537	47.0	9.3	1.60	382	593	20.6	0	—	—	54	tr	—	4.8	18.0	—	—
	66 坪下引立試錐孔	1	-1530	49.0	9.3	1.61	372	610	20.6	2.4	—	—	56	0.8	—	5.2	13.6	—	—
	67 坪下坑連一目抜試錐孔(断層より)	3	-1570	46.5	9.4	1.62	408	563	24.2	0	—	—	58	tr	—	4.8	6.8	—	—
島	68 " " (" ")	10	-1548	48.5	9.4	1.60	416	560	23.0	0	—	—	56	tr	—	4.0	17.2	—	—
	69 左二斜坑(溜水)	0.7	-1537	43.0	6.2	5.14	752	2325	—	326.4	—	—	600	15.3	191	1.4	—	+	—
	70 左三斜坑引立方面(溜水)	0.5	-1653	43.0	8.8	2.17	982	318	8.4	8.6	—	—	—	—	—	4.0	—	—	—
坑	71 左三斜坑三又卸, 右六片試錐孔	2	-1765	44.0	9.1	1.75	617	449	16.9	12.3	—	—	70	tr	—	4.4	20.8	—	—
	72 " " " 捲立(滴水)	0.5	-1755	35.0	7.6	2.48	713	760	—	187.3	—	—	148	tr	—	—	—	3	—
	73 鹿島坑総排水	92	-1765	34.0	6.4	1.80	386	711	—	36.9	—	—	145	tr	42	—	—	+	—
	74 人道途中(クランクより流出)	4.2	-60	22.5	7.0	1.33	333	440	—	146.5	—	—	138	tr	—	0.8	—	5	—
	75 右0上層坑(流下水)	4	-137	19.0	3.6	1.78	9	1145	—	—	—	—	169	tr	29	—	—	—	—

番号	試料採取箇所	流出量	深度	温度	PH	蒸発 残渣	試料採取箇所													
							Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	K	Na	Ca	Mg	Fe	F	HBO ₂	CO ₂	S(H ₂ S+HS)	
		cf/m	尺	°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
湯本四坑	76 旧第三テール坑(流下水)	15	-407	24.5	7.0	1.27	102	608	—	271.2	—	—	151	tr	—	—	—	—	9	—
	77 五卸テール坑左五片卸	7	-395	27.5	6.4	1.89	148	1002	—	91.2	—	—	215	tr	—	—	—	—	18	—
	78 南斜坑水平坑左方面よりの湧水	0.5	-591	40.5	6.5	—	174	621	—	172.5	—	—	158	tr	—	—	1.0	25	—	—
	79 南斜坑電昇	2	-563	38.0	3.5	—	91	799	—	—	—	—	142	1.1	46	—	—	—	—	—
	80 右一上層坑	7	-340	21.0	5.6	1.37	50	1454	—	—	—	—	239	2.4	97	—	—	—	—	—
	81 磐崎四坑からの流下水	11	-235	20.5	7.2	3.05	12	1861	—	278.6	—	—	544	8.5	15	—	—	—	+	—
	82 左坑一電卸旧右片盤	5	-400	22.0	6.4	1.69	246	1700	—	163.9	—	—	502	8.0	18	—	—	—	44	—
住吉二坑	83 四坑総排水	187.3	—	25.0	7.3	—	213	911	—	179.9	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—
	84 南坑(戸部上層方面よりの流下水)	80	-430	20.0	6.3	—	21	—	—	132.5	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	85 北斜坑坪水(戸部本層よりの流下水)	25	-520	22.0	7.2	—	20	1760	—	351.3	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	86 旧北電車坑(戸部上層方面よりの流下水)	80	-447	22.0	6.3	—	23	—	—	92.4	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	87 二坑本線三目抜天盤浸出水(湯本上水道沈殿濾過池下)	4	-460	9.0	7.2	—	11	—	—	30.8	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	88 二坑総排水	200	—	—	6.6	—	25	—	—	121.7	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
住吉一坑	89 下部電車坑連滲出水(二坑方面上層払跡よりの流下水)	16	-891	27.2	6.5	—	28	—	—	326.6	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	90 一坑総排水	4.2	—	24.3	6.9	—	38	—	—	151.0	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	91 700m坑払跡滲出水(本層払跡流下水)	3	-791	29.0	6.2	—	23	—	—	144.8	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	92 上部電車坑上層坑試錐孔(旧坑からの滲出水)	5	-688	23.0	7.8	—	42	—	—	123.2	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	93 西進坑本線左五片滲出水(本層旧払跡からの流下水)	4	-734.5	27.5	6.6	—	54	—	—	271.2	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
住吉本坑	94 住吉本坑総排水の大部分(総排水=94+98)	620	—	43.0	8.0	—	713	—	—	40.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	95 北卸 180m坑下盤よりの湧出水	0.5	-1480	39.0	6.3	—	240	—	—	92.4	—	—	—	—	—	—	—	—	23	—
	96 採炭卸 170水抜試錐孔(北卸下部の溜水)	5.6	-1580	38.0	6.7	1.95	312	842	—	170.1	—	—	159	0.9	14	4.4	17.6	—	+	—
	97 採炭卸28m 垂直試錐孔(410尺で基盤 昭25.3水圧420 Pbs. 現在なし)	3.8	-1638	39.5	9.2	1.50	358	545	18.1	4.9	—	—	60	tr	—	4.8	19.2	—	—	1.7
	98 旧第二本線溜水水抜試錐孔(更生第二斜坑 510mポンプ座にて)	600	-1775	47.0	8.5	2.12	883	328	10.9	60.4	—	—	83	tr	—	3.4	13.6	—	—	10.5
	99 南溜水水抜 試錐孔(同上ポンプ座にて)	9	-1550	42.0	7.1	2.17	816	446	—	170.1	—	—	168	tr	—	3.0	12.0	6	—	—
	100 北電車坑連(住吉一坑方面よりの流下水)	28	-1130	34.5	6.6	4.09	85	2408	—	369.8	—	—	526	5.8	50	—	—	—	+	—

番号	試料採取箇所	流出量	深度	温度	PH	蒸発 残渣	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₂	K	Na	Ca	Mg	Fe	F	HBO ₂	CO ₂	S(H ₂ S+HS)
		cf/m	尺	°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
住吉本坑	101 更生三斜坑200m水抜誰錐孔 (200m坑の溜水)	10	-1318	37.0	6.1	4.23	127	2507	—	318.0	—	—	518	tr	46	—	—	+	—
	102 66m坑水抜試錐孔 (旧第三本線の溜水)	35	-1503	40.5	6.9	0.97	160	381	—	113.4	—	—	58	tr	4	5.2	12.8	19	0.5
	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	104 川平坑総排水	—	—	—	6.7	1.31	11	644	—	115.8	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	105 中段本線ダム放水 (総第一壑坑の溜水)	72	-978.1	27.0	6.7	1.91	37	1084	—	277.3	—	—	322	1.7	21	—	—	+	—
	106 総排水の大部分 (総排水=105+106)	270	—	43.0	7.3	2.18	691	633	—	77.6	—	—	444	tr	—	—	—	8	—
	107 住吉第二本線水抜試錐孔 (更生一斜坑五目抜ポンプ座にて) 水位-1279.3尺	140	-1515	46.5	8.4	2.07	869	320	9.7	56.7	—	—	131	tr	—	4.8	—	—	6.7
	108 更生一斜坑連卸五目抜下部 (N70Eの断層下盤からの湧水)	42	-1566.6	43.5	8.4	1.90	1411	445	4.8	73.9	—	—	92	tr	—	5.2	—	—	7.5
	109 更生一斜坑 9目抜天盤クラックからの滴水	0.5	-1609.2	43.0	6.6	1.59	340	651	10.3	13.5	—	—	—	—	—	5.2	—	—	—
綴	110 南部第一斜坑電卸 8目抜水抜試錐孔 (東斜坑の溜水) 水位-854.3尺	25	-946.2	37.0	9.0	2.83	40	1634	—	343.9	—	—	157	tr	36	—	—	+	—
	111 // 電昇南部連水抜試錐孔 (// 溜水) 水位 -906.99尺	7	-948.2	41.0	6.6	2.91	75	1617	—	363.6	—	—	406	tr	18	1.0	—	+	—
新	112 同上個所の断層上盤からの滴水	2	-937.2	41.5	6.7	2.90	75	1635	3.0	363.6	—	—	406	0.9	26	—	—	+	—
	113 綴新斜坑連卸坑口より700m (天盤クラックからの滴水)	1	-610	12.0	8.4	0.96	105	410	—	173.8	—	—	67	tr	—	—	—	—	—
斜	114 第二本線四目抜左 (北斜坑溜水)	2	-1256	43.5	7.5	1.78	748	200	—	244.0	—	—	78	tr	—	2.8	—	3	3.2
	115 // 右 (第一南部右電卸溜水)	12	-1256	41.5	4.1	5.14	322	3120	—	—	—	—	514	tr	415	—	—	—	—
	116 北斜坑電卸溢流水 (北斜坑 170m本線排気連にて)	2	-1230	46.0	2.9	4.86	408	2742	7.2	—	—	—	553	1.3	136	—	—	—	—
	117 第二南部斜坑坪下 坑底よりの湧水	1	-1359.3	45.0	8.2	2.28	787	637	—	44.3	—	—	105	tr	—	3.0	18.8	—	—
坑	118 // (白水断層より)	0.5	-1360.2	48.0	8.0	2.54	656	942	—	93.6	—	—	151	tr	—	2.6	18.0	—	0.9
	119 第一斜坑本線左二片一卸 (炭層中のクラックからの湧水)	7	-1466.2	43.5	6.4	3.13	745	1267	—	88.1	—	—	283	tr	54	—	—	+	—
	120 // 左五片 (EWの断層からの湧水)	1	-1465.8	—	7.1	2.84	702	1041	—	135.6	—	—	261	tr	—	3.0	18.8	6	—
	121 一斜坑本線昇左四片卸 (天盤クラックからの滴水)	1	-1320	42	7.7	3.08	666	1185	—	241.6	—	—	259	7.6	—	—	—	3	—
	122 二斜坑方面総排水 (同上本設ポンプ座にて)	263.44	—	22.0	7.1	0.97	18	548	—	111.5	—	—	80	tr	—	—	—	+	—
	123 // 760排気ダム放水 (76立入溜水)	72.36	-750	19.2	6.8	0.82	11	431	—	175.0	—	—	58	tr	—	—	—	+	—
	124 北電車坑 580立入ダム放水	18.80	-640	20.2	7.1	0.97	9	501	—	207.7	—	—	48	tr	—	—	—	6	—
	125 北電上層斜卸 (滴水)	0.4	-820	19.5	6.8	0.44	7	178	—	159.0	—	—	18	tr	—	0.5	—	2	—

番号	試料採取箇所	流出量	深度	温度	PH	蒸発 残渣	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	K	Na	Ca	Mg	Fe	F	HBO ₂	CO ₂	S(H ₂ S+HS)
126	北電卸坑800m立人試錐孔放水	2.5	- 690	22.0	7.1	1.05	9	491	—	342.1	—	—	72	tr	—	0.9	9.2	7	—
127	一卸190卸左三片 天盤クラックからの湧水	2	-1192	26.4	6.4	2.61	36	291	—	64.7	—	—	—	—	—	3.6	6.8	+	—
128	堅坑一斜坑の連絡坑道 クラックからの滴水	1	- 942	24.0	9.1	—	60	140	21.2	44.9	—	—	12	tf	—	2.8	6.8	—	—
129	連絡坑700本層水抜試錐孔 (流下水)	2	-1090	31.5	6.7	2.27	35	1416	—	302.0	—	—	—	—	—	—	—	+	0.2
130	520卸右一片払跡からの滲出水	0.5	-1340	31.0	4.0	5.91	326	3437	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
131	〃 右五片 下盤からの湧出水	0.5	-1500	33.5	5.7	2.12	318	1015	—	24.6	—	—	188	tr	—	4.8	24.0	16	—
132	〃 〃 天盤からの滴水	0.5	-1498	29.0	8.5	—	253	362	4.8	19.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
133	〃 本設ポンプ座入口走向断層からの滴水	1	-1495	31.5	7.1	3.96	254	2083	—	400.6	—	—	436	tr	52	—	29.2	+	0.9
134	二斜坑中段ポンプ座 (上水)	10	- 302	—	7.6	—	18	356	—	83.8	—	—	—	—	—	—	—	4	—
135	堅坑総排水 (堅坑本設ポンプ座にて)	130.53	—	25.5	7.3	1.26	61	681	—	119.5	—	—	—	—	—	—	—	+	—
136	第一斜坑よりの流下水 (堅坑電車坑, 中央坑入口にて)	52.20	- 960	26.0	6.9	0.57	14	322	—	78.8	—	—	52	tr	29	—	—	+	—
137	本層払跡溜水 (中央坑左区垂直試錐孔より)	4	-1350	30.0	6.5	2.54	55	1438	—	297.9	—	—	287	tr	36	—	—	+	—
138	660本層溜水 (第二南電車坑350. 卸溜水)	—	-1536	—	7.8	0.99	401	972	—	302.0	—	—	—	—	—	—	—	< 1	1.7
139	第二南電車坑先進試錐孔より (湯本断層からの湧水)	—	-1459	32.5	9.4	1.69	227	376	24.2	0	—	—	34	tr	—	5.2	17.2	—	—
140	第二電車坑本設ポンプ座	—	—	—	8.0	—	176	—	—	123.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
141	第二北電車坑排気引立 (先進試錐孔よりの湧水)	—	-1440	29.0	9.3	—	142	296	20.6	7.3	—	—	18	tr	—	4.8	13.6	—	—
142	本卸左8片 (断層より, 旧坑へて下盤へ流下)	160	- 150	17.2	6.9	—	8	29	—	115.8	—	—	—	—	—	0.4	—	+	—
143	本卸左2片 (断層より旧坑へ流下)	170	- 139.7	14.5	7.0	—	7	30	—	56.7	—	—	—	—	—	—	—	+	—
144	日進坑左0片 (断層より)	8	- 34.6	17.5	6.5	—	8	—	—	117.1	—	—	—	—	—	—	—	+	—
145																			

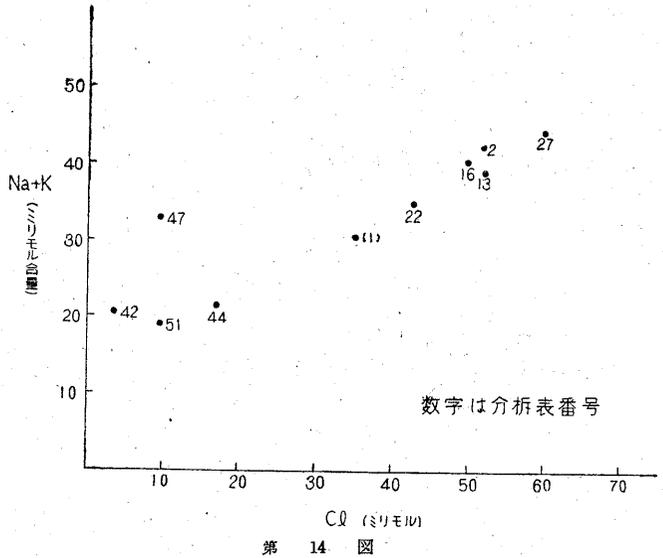
4.2.4 CO_2 , HCO_3^- および CO_3^{2-} 前項においていわゆるなまの温泉水の大部分が、PH 8.0、以上であることから、少なくとも温泉水の初生的な特徴として、ほとんど CO_2 の供給を受けていないことを明らかにした。そしてまた、出水後貯溜の状態にある温泉水の大部分が、これと対照的に、 CO_2 , HCO_3^- の増加をきたし、 SO_4^{2-} もまたこれと相関関係を有することから、この種の CO_2 の生成は H_2S の酸化に伴って、 HCO_3^- , CO_3^{2-} の分解に基く結果であると考えた。

さて一方、磐崎坑・湯本六坑等の高温帯の温泉水中に、貯溜の状態ではあるが、PH 7.0 前後の値を示すものがある(第2表, No. 1, No. 2, No. 27)。これらの性質を他の温水と比較して注目をひく特徴は、 CO_2 の存在にもかわらず、 SO_4^{2-} 含有量の小さいこと、また CO_2 は H_2S と共存するか、あるいは H_2S を欠いていること、および温度の低下するほど HCO_3^- を増加していること等である。この場合の CO_2 を、上記のように、二次的な生成物と考えることの困難なことはいうまでもない。流出箇所は少ないが、温水賦存範囲の南端を占めるその分布を考えると、この場合の CO_2 は、むしろ深部から、いわゆる温泉成分として供給されていると考えられるのである。さらに温度との関係を見ると、現在の流水箇所では、No. 1: 57.5°C, No. 2: 51.0°C, No. 27: 60°C の値を示しているが、出水当時の記録によると、No. 1 (第3図 No. 29): 64.0°C, No. 2 (同, No. 22): 56.0°C, No. 27 (同, No. 27): 63.2°C であつて、過去の総出水記録においても最高の順序を示している。

以上のように、 CO_2 の溶存箇所が、最高温地帯に属することは注目に値する。しかも温度が Cl^- と直接関係なく北方に低下している事実より判断すると、少なくとも CO_2 と温度との間に、 Cl^- よりはより密接な関係をもつていると考えられるのである。従つて Cl^- と H_2S とによつて特徴づけられる成分供給作用と、 CO_2 を伴い現在の温度分布を支配する供給作用とは、一応區別して考えられるのであつて、この点著しく特徴的であるといふことができる。

4.2.5 成分相互作用 これまでの説明は主として主成分のうち、陰イオン相互の関係について述べたのであるが、ここでは陽イオンとの関係を若干考察してみたいと思う。

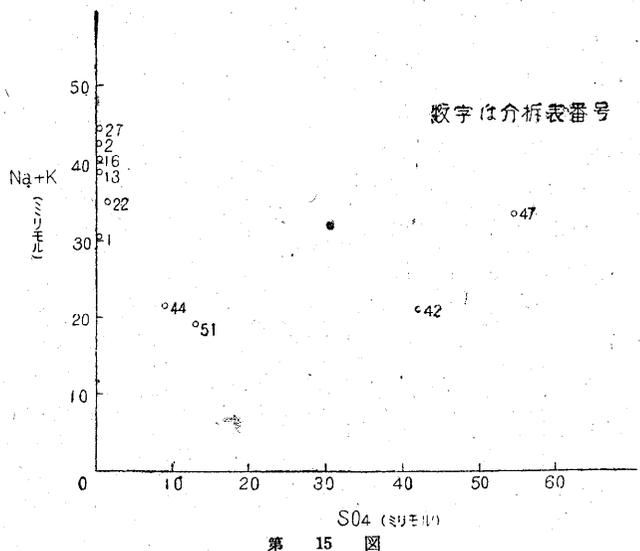
陽イオンの主成分としては、アルカリ (Na^+ および K^+) およびアルカリ土類 (Ca^{2+} , Mg^{2+}) で



第 14 図

あるが、分析表で示すように、 K および Mg^{2+} の含有量は極めて微量であつて、実際には Na^+ または Ca^{2+} のいずれかによつて特徴づけられている。

4.2.5.1 アルカリと Cl^- : アルカリの分析を行つた 10 個の試料について Cl^- との関係を見ると、第 14 図の通りである。この場合、アルカリはミリモル数に換算した含量と Cl^- のミリモル数で比較した。図で明らかのように、ほぼ Cl^- とアルカリとは正の相関関係を示すが、No. 42, No. 47 はむしろアルカリの増量を示している。この両者は流出状況からみると、貯溜の状態にあるもので、 SO_4^{2-} 含有量もまた著しく増加している。この点から判断すると、各成分の当量値を示した第 3 表をみて



第 15 図

第 3 表

No. イオン	1		2		13		16		22	
	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量
Cl	1231	34.68	1817	51.18	1836	51.71	1757	49.49	1513	42.62
SO ₄	29	0.40	6	0.12	20	0.40	37	0.76	66	1.36
CO ₃	—	—	—	—	13.3	0.44	15.1	0.50	31.5	1.04
HCO ₃	124.5	2.04	207.1	3.40	32.0	0.52	42.5	0.70	50.5	0.82
K	22	0.56	20	0.51	29	0.74	26	0.66	14	0.36
Na	687	29.86	971	42.21	878	38.17	920	40.0	796	34.61
Ca	112	5.6	139	6.94	208	10.40	184	9.2	174	8.70
Mg	12.2	1.0	6.5	—	—	—	—	—	—	—

No. イオン	27		42		44		47		51	
	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量	mg/L	mg 当量
Cl	2113	59.52	120	3.38	610	17.18	344	9.69	344	9.63
SO ₄	40	0.82	2017	42.02	435	9.06	2628	54.74	627	13.06
CO ₃	—	—	—	—	4.8	0.16	—	—	14.5	0.48
HCO ₃	59.1	0.97	421.6	6.91	44.3	0.72	671.8	11.01	12.3	0.20
K	25	0.64	35	0.90	19	0.5	51	1.31	20	0.51
Na	1006	43.74	461	20.04	483	21.0	736	32.0	426	18.52
Ca	288	14.40	536	26.80	60	3.0	560	28.0	64	3.20
Mg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

21—(375)

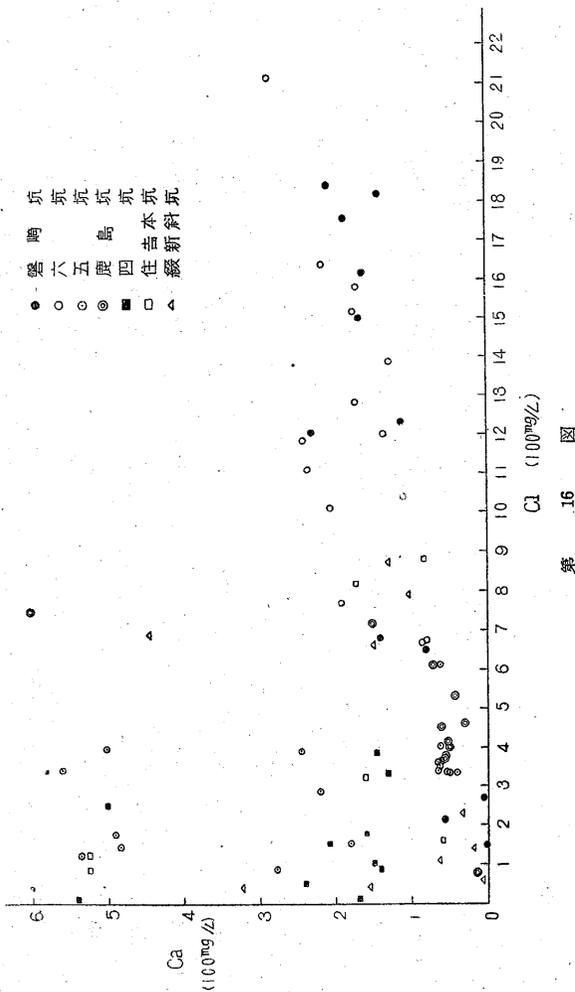
常磐炭田坑内温泉水について (中村久由・安藤 武)

も解るように、アルカリの増量は SO_4^{2-} に関係があると考えられるのである。このように、 SO_4^{2-} の増量に伴うアルカリの増加に対して、単に H_2S の酸化に伴い接触する岩層から、アルカリを抽出すると考えることは困難であつて、むしろ H_2S と共存するアルカリおよびアルカリ土類の水硫化物 (MHS') または硫化物が、硫酸塩に転じたものと考えられる。従つて、アルカリと SO_4^{2-} との間には第15図で示すように、明瞭な関係を示さぬことはむしろ当然であつて、後述の Ca^{2+} の場合は、やや対照的な性質を示すものである。

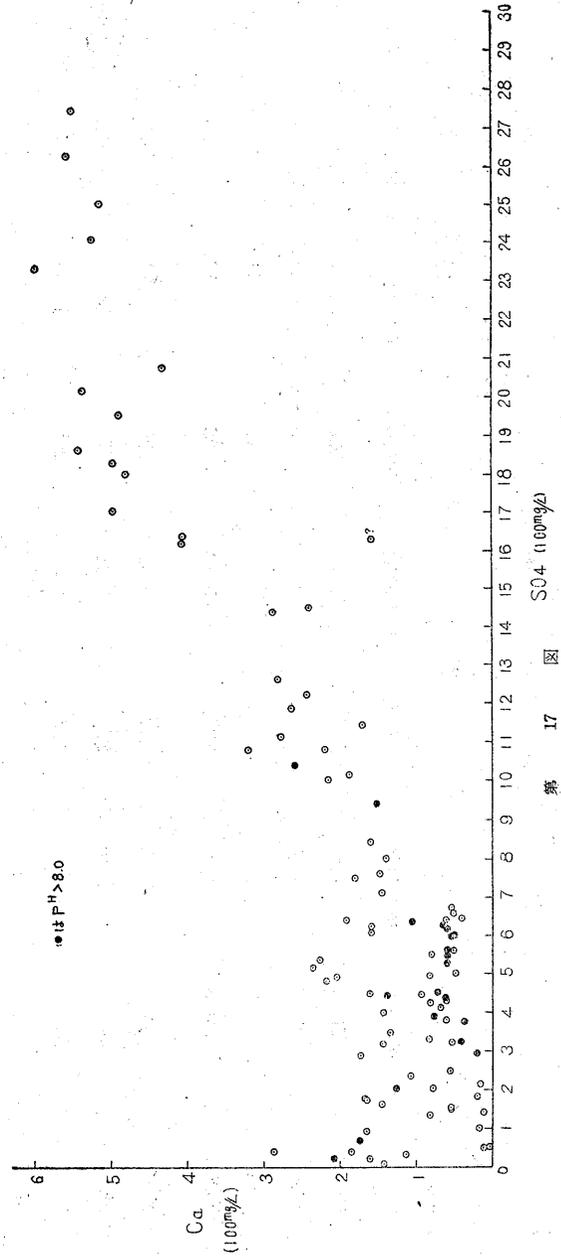
4.2.5.2 Ca^{2+} と Cl^- および SO_4^{2-} : この関係は第16図および第17図に示す通りである。第16図は一見散点するようであるが、PHを考慮にいれると Ca^{2+} と Cl^- とはほぼ正の相関関係にあり、この関係からはずれるものは、 SO_4^{2-} の含量に支配されている。第17図はこの関係を示すものであるが、概略次のような傾向を示している。すなわち Ca^{2+} が初生的に存在する場合は、アル

カリと同様 Cl^- と正の相関関係にあるが、2次的に SO_4^{2-} を伴う場合はアルカリとは逆に、 SO_4^{2-} とも正の相関にあることが知られる。従つてこの場合の Ca^{2+} は H_2S の酸化によつて、接触する岩層から抽出されたものとみなすことができる。

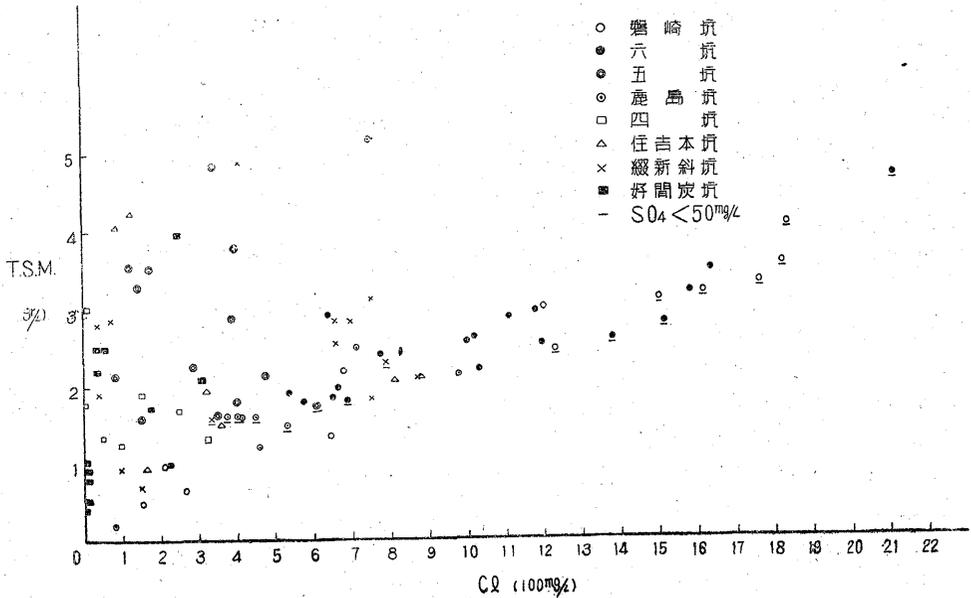
4.2.5.3 蒸発残渣と Cl^- : 初生的な温泉水の主成分が、前述のように、 Cl^- 、 Na^+ および Ca^{2+} であり、かつこれらに各々相関関係のあることは、既に説明し



第 16 図



第 17 図



第 18 図

た通りである。一方二次的に生成増加した成分を有する場合—それが上昇途中の変化によるときでも、また貯溜水の自由表面附近でも—この両者の区別は二次的な変化に与らぬ Cl^- と、全固形成分としての蒸発残渣との関係によつて示されるはずである。第 18 図はその関係を示したもので、 SO_4^{2-} 50 mg/L 以下の点を見ると、ほぼ直線上に分布している。この線上よりはずれるものは、多かれ少なかれ SO_4^{2-} の影響をうけており、前項までの説明に対する補足的な裏づけを示しているとみなすことができる。

4.2.6 温泉水に関係ある固形生成物 現在、坑内の各所で温泉水に関係ある固形生成物が認められる。これを産出状態からみると次の 2 種類にわけて考えることができる。

- 1) 脈状をなすもの。
- 2) 主として炭層上、下盤の粗粒部からの浸出液が通気良好な坑壁に析出したもの。

1) は鹿島坑内でみられる方解石の細脈である。前述のように、温泉水の成分供給状態における特徴の一つとして、現在、区域南端の小範囲以外に CO_2 の初生的な存在を認めることができない。従つて、この炭酸石灰の細脈は、少なくとも現在の坑内温泉水の成分供給期と直接の関係がないと考えられるものである。

2) は湯本六坑第二エンドレス坑ダム附近の坑壁に厚く附着し、その他主要坑道の所々でみられる白色の固形物である。この固形物は Pickeringite; $Mg, Al_2(SO_4)_4 \cdot 22 H_2O$ であり 化学成分は次の通りである。

Al_2O_3	12.96 %
FeO	0.56
MgO	4.04
CaO	tr
SO_3	33.16
$\pm H_2O$	48.64
Cl	0.48
NH_3	none
K_2O	tr
Na_2O	tr
	99.84

なお、炭層上、下盤の粗粒砂岩を試料とし、その浸出液を検出すると、上記とほぼ同性質の塩類を含み、かつ浸出液の液性は酸性を呈する。これには、少量であるが Ca^{++} の存在が認められるが、固形物はほとんど Ca^{++} を含ない。この点からみると、湿潤状態から析出する迄の間に、 $CaSO_4$ の移動が考えられ、あるいは温水の中に、一部この影響をうけたものの存在も考えられるが、その詳細は将来の吟味にまつこととする。

以上のように、粗粒部とはいえ、この種の成分の濃集を、流動する温泉水からの沈澱生成物と考えることは、種々の点から困難である。むしろ温泉水から拡散し、粗粒部に滲透した H_2S がその酸化により、遊離硫酸の生成に伴つて、岩層から上記の諸成分を抽出したものと考えられる。通気の良い坑壁に固化した附着物のみられるのは、当然、浸出液の蒸発が活潑に行われたためと考えることができよう。また、主成分が Na Cl の固形物も認

められるが、これは、Cl⁻ 含量の高い温泉水が、直接、蒸発析出したものである。

4. 3 測定結果の要約

温度

1) 磐崎坑および湯本六坑南端を中心として、最高60°C (出水時 64°C) の水温は、北に移る程低下する。その関係は、本地域を東西方向の断層によつて分割した探掘区域を以て比較する時、一層明らかである。

Cl⁻

2) Cl⁻ 含量として 2,100 mg/L を最高とするが、他成分との関係、分布などから判断すると、その全量を初生的な温泉成分と考えられる。

3) Cl⁻ の分布を 1) と同様の方法で比較すると、傾向としては、北に移る程含量は減少するが、各区域では、温度との平行関係がみられない。すなわち、温度と Cl⁻ とは、現在、直接の関係を有しないものと考えられる。

H₂S (+HS⁻) および SO₄²⁻

4) 地域南部の高温帯における温泉水は、SO₄²⁻ 50mg/L 以下という低含量によつて特徴づけられている。従つて温泉水は、初生的にほとんど SO₄²⁻ を伴っていないと考えられるが、Cl⁻ と負の相関関係を示す SO₄²⁻ の増大は、温泉水の上昇途中あるいは出水後 H₂S およびそれと共存する水硫化物または硫化物の2次的な酸化に基く結果であると考えられる。

5) SO₄²⁻ と PH との関係は、気循環化の度を示し、貯溜状態にあるものは、ほとんど遊離炭酸ガス (CO₂) を含有する。

一方、なまの温泉水が PH 8.0 以上であり、初生的な CO₂ の供給をうけていない (例外後述) と考えられるので、CO₂ の発生は、H₂S の気循環化による重炭酸塩および炭酸塩の分解によるものと考えられる。

CO₂, HCO₃⁻ および CO₃²⁻

6) 一方、貯溜状態はあるが、高温帯の温泉水中に、SO₄²⁻ の低含量にもかかわらず、PH 8.0 以下の CO₂ を溶存するものについては、出水個所の分布、出水時の水温より考えて、初生的な成分の一つとして、深部より供給されたものと考えられる。そして温度の分布状態はむしろ CO₂ を伴う供給作用と関連があると考えられる。

成分相互の関係

7) アルカリと Cl⁻ とは、正の相関関係を示すが、SO₄²⁻ の増加もまたアルカリの増量を示している。これは H₂S 気循環化だけによるものではなく、H₂S と共存するアルカリの水硫化物または硫化物もまた硫酸塩に転ずる結果であると考えられる。

8) なまの温泉水では、Ca²⁺ もほぼ Cl⁻ と正の相関

を示すが、SO₄²⁻ の増加する場合もまたそれに伴つて増加する傾向がある。この場合の Ca²⁺ は、H₂S の酸化に伴い接触する岩層から抽出されたものと考えられる。

9) 比較的2次的な影響をうけぬ温水と、上昇または貯溜によつて2次的に成分増加をきたした温水とは、Cl⁻ と蒸発残渣との関係によつて区別される。

5. 坑内温泉水についての 2, 3 の解釈

以上で坑内温泉水に関連した種々の資料を基礎としてまず温泉水の概況を説明し、ついで、今回の調査結果から主として化学性の概要を述べたのであるが、これらの結果を総合して、従来、問題とされている 2, 3 の点を考察してみたいと思う。

5. 1 温泉水の進化系統 ここでは、前述の特徴的な化学性を整理し、常磐炭田坑内温泉水の初生的な成分供給作用あるいは2次的な酸化作用によつて示された成分変化過程、すなわち、温泉水の進化系統をまず吟味してみることとする。説明の便宜上、別表の分析表の中から、温泉水賦存地域の南端—北端にわたる範囲内の代表的な分析値とその進化系統を示すと次頁の通りである。

前述の通り、温泉水の化学性は、地域南端の最高温帯における CO₂ の溶存によつて、他の一般的な、なまの温泉水から明らかに区別される。すなわち進化系統の面からみると、Cl⁻ と H₂S (+HS⁻) を含み、アルカリ性の液性を呈するいわば地下水性の鉱泉が賦存の状態にあり、さらに、より新しい供給源から熱および成分供給作用によつて、一部に CO₂ を註16)、また地下水性鉱泉の全般にわたつて、熱の供給を直接あるいは間接に与えているとみることができる。従つて、最高温地帯であり、かつ CO₂ を溶存する地域南端の磐崎坑および湯本六坑深部が、このより新しい供給源の中心あるいは中心により近い部分であることは推定に難くない。

ここで地下水性鉱泉と称したのは、花崗岩中の破碎帯を充填し、主として坑内温泉の物理性を支配する性質のものであるが、その成分供給機構については勿論明らかでない。ただ共通した特性は、成分濃度に関係なくアルカリ性を呈し、地域北端では、初生的な成分と考えられる Cl⁻, H₂S 等が稀薄となり、漸次地下水に移化する傾向を示すことや、環元状態における SO₄²⁻ が極めて少量であることからみて、恐らくすでに花崗岩中の破碎帯を充填していた地下水に、Cl⁻ を主成分とし、H₂S を含有する熱水性温泉の供給が行われ、いわゆる地下水性鉱泉を形成したのと考えられる。

註 19) Cl⁻ のほかに Cl⁻ を伴っているかどうかは明らかでない。

	最高温部の 代表的な試料	一般的な坑内湧水の代表的な試料			貯溜状態にある 代表的な試料
		(1)	(2)	(3)	
温度	60°C	55°C	43.5°C	29.0°C	42°C
PH	7.1	8.5	8.4	9.3	7.2
Cl'	2113	1513	1411	142	390
SO ₄ '	40	66	445	296	1222
HCO ₃ '	60	50	74	7	519
CO ₃ '	—	31	5	21	—
S (H ₂ S + HS')	9.1	28.0	7.5	tr	—
CO ₂	5	—	—	—	12

特 徴	(分析表 No. 27) 温度高く (出水時 63.5°C) CO ₂ 含 むにかかわらず SO ₄ ' 僅少	(1) (分析表 No. 22) は高温帯 (2) (" No. 108) は中間帯の Cl' 含量高い地域 (3) (" No. 141) は低温帯 (地域北部) いずれもアルカリ性で S (H ₂ S+HS') 含有	(分析表 No. 45) H ₂ S の酸化により 2 次的に SO ₄ ' の 増大および CO ₂ の発生と HCO ₃ ' の 増加
温泉水の 進化系統			
成分及び熱 の受授関係			

出水後、貯溜状態にあるものは、大気に接して、2 次
的な酸化作用が増進し、泉質に著しい相違をきたしている
が、同時に、Cl' 成分もまた、幾分稀釈されていること
は地下水の滲潤によるものと考えられる。

5.2 温泉水の賦存状態

温泉水の賦存状態を決定するのは、地質構造特に深部
構造であると考えられる。

本地域の地質構造上の特性として、東西性の断層が優
勢であり、現在、温泉水の賦存範囲も、知られる限りに
おいて、その南限と北限は、ほぼ湯の岳断層～赤井断層
によつて区画された区域内にある。

一方、温泉水の湧出状況からみて、その本質的な賦存
状態は、含炭層下部あるいは基盤の花崗岩類内に閉され
たいわゆる深部構造に関連していることは、まず疑いを
いれぬところである。しかし、含炭層下部の構造につ
いては、現在、坑内試錐の資料があるけれども、これは、
基盤の起伏状態を知る上に有効であつても、基盤内の構
造を直接推定する手掛りとするのになお不十分である。

深部構造についてはこのような状況であるため他の面
で、間接的に、何等かの関連性をみいだす必要がある。

これについて、まず考えられることは、地質構造と湧出
個所との関係である。そして、これ迄の資料から注目を
引くのは、湯本断層に伴う湧出状況と、坑内出水地点の
分布である。

まず、湯本断層とそれに伴う湧出状況であるが、かつ
て、湯本温泉として自然湧出していた当時の状況による
と註17) の間に密接な関係のあつたことは明らである。
温泉湧出は、単にこの地点に限らず、その延長方向
の地点でも著しく多量の出事故のあつたことや、現在
でも、好間炭鉱における先進鑿孔の結果からこの断層の
約 4.5km の延長部でも、なお温水を伴っていることが
認められている。方向として南北性で特徴づけられるこ
の断層のほか、湧出量は著しくないが、大沢断層もま
た坑道との交点でほとんど例外なく温水を伴っている。
一方、東西性の断層には、このような共通した性質は知

註 17) 中村新太郎：福島縣石城郡湯本温泉調査報告 地調報., 14,
明 42, (1909)

山根新次： " " 地調報., 47 大 3, (1914)

佐藤傳誠：磐城郡湯本温泉 地学., vol. 32, No. 382, 大 9 (1920)

河村信一：磐城郡地下温度調査報告 地調報., 31,
明 44, (1911)

られていない。そして、この両方向性の断層の性質を比較すると、既述のように、南北性のそれは、落差小さいにもかかわらず、破碎帯の巾が比較的広く、延長距離の長いことが特徴的である。このような性質をみると、南北性の断層は、断層運動そのものに、東西性のそれと同一におかれぬ要素を備えているように考えられる。すなわち、現在、第三紀層の分布地域において、直接確認できる断層運動は、主として第三紀以後のものであつて、先第三紀のそれは、第三紀層下に潜在するため、単に地表からでは、推定す困難である。しかし、既述のように、坑道内の観察により、少なくとも本地域でもその運動の形跡を認めることができるので、さらに、その方向性を考えてみる必要がある。

ここで、再び南北性断層の吟味に戻り、前述の種々の点から、先第三紀の潜在断層が第三紀層以後の運動によつて、再び転移したと考へてみよう。しかるときは、落差と延長距離あるいは破碎帯の意味も一応合理的に首肯できるのである。従つて、落差そのものは小であつても、基盤内を剪断する深さは、第三紀以後にのみ関連するものと比較して、同時期の断層運動であつても、質的、量的に著しい相違のあることもまた当然考えられるところである。

以上の観点から、基盤内に潜在する南北性断層(破碎帯)の存在が推定されると同時に、潜在破碎帯と温泉水賦存状態との関係性を重視する必要も生じるのである。

さて、一方、上述の(他の資料、すなわち出水個所の分布をみると、その方向性が、ほぼ南北性に近い傾向をもつことはすでに述べた通りである。出水が温泉水の水圧と、含炭層下部地層のもつ機械的強度と、払跡の広さに関係することは、第三紀基底が、基盤内の裂罅あるいは断層を充填する温泉水によつて、常に上向きの水圧をうけている状態を考えざるを得ない。含炭層下部の局部的な貯溜部分の存在は、基盤の起伏形態と同様に、出水を生ぜしめる一つの適当な条件となることはあつても、本質的な必要條件は、矢張り、基盤内における温泉水の存在、従つて構造的な要素であると考えられる。この意味から出水個所の分布は、湯本断層の方向性とあわせて、基盤内の先第三紀の断層あるいは破碎帯に関係ある裂罅の方向とみなすことができよう。そして、この場合、次の問題は、この破碎帯の幅すなわち東西方向における温泉水の賦存範囲である。これについて、西側の限界がすでに与えられており、現在および将来の課題として、種々の点から最も注視の焦点となるのは、その東方限界である。

さて、出水個所の分布から注目をひくことは、磐崎坑、

湯本六坑、綴新斜坑東側の未開発地域はともかく、湯本五坑の東側にある鹿島坑についてである。排水量の多少は、勿論、出水個所の数々、温泉水頭とに關係があり、出水地点の多い諸坑道は、排水量もまた増加するのは当然であるが、鹿島坑をみると、これは例外的な無出水区域であり、その排水量もまた、小規模な裂罅あるいは断層からだけのものであつて、全量で 100cf/m にも満たない程度である(温度と排水量との關係参照)。この状況は、湯本五坑東側においてもほぼ同様の傾向を示し、この区域を含めると、湯本五坑より鹿島坑にわたる無出水地域は、比較的巾広いものと考えられる。

一方、この区域の Cl⁻ 含量をみると、一般に 300~500 mg/L という比較的低い値を示している。しかし、白坂断層を境として、その南側の湯本六坑から磐崎坑にわたる区域は 1,000 mg/L 以上の高含量を示し、また北側の綴新斜坑東端には 1,400 mg/L を有する湧出地点がある。このような Cl⁻ の分布から推察すると、鹿島~湯本五坑地帯の成分供給は、供給状態で何等かの制約をうけた結果であると考えられる。鹿島坑でも、西端に近い白坂断層に接した地点に 900 mg/L の湧出個所のあることは、この一端を示すように考えられる。第2図の出水地点分布において No.24, No.16, No.8, No.9 の各点における出水時の Cl⁻ 含量は明らかでないが、(No.16附近に現在 1,400 mg/L の湧出地点がある)この方向性から考えると、各点が 500~1,000 cf/m にわたる多量の出水量を有する共通性の意味も認めることができる。従つて、これらの地点から東側に、出水事故のないことや、湧水の Cl⁻ 含量の比較的低いことは、成分供給がある制約された状態すなわち、深部迄剪断する断層あるいは裂罅が存在しない(あるいは少ない)地帯に相当していると考えられるのである。

勿論、以上の解釈も、現在の資料だけでは推測の域を出ず、今後の調査を必要とするが、以上の結果を一応推し進めると、破碎帯の東限すなわち温泉水賦存範囲の東限は、この無出水地域に関する限り No.24~No.9 を結ぶ一線と考えることが可能である。

5.3 湧出機構

前項において、温泉水の賦存状態は、深部構造に支配され、主として第三紀層下に潜在する南北方向の破碎帯に關係をもつものと解釈した。このような破碎帯を充填する温泉水から出水を生ぜしめる程の水圧と湧出量がいかなる要素によるものか、また排水によつて水位、水頭を与える影響がいかなる意味をもつか等を含めた湧出機構の問題が次の大きな課題であろう。

前項の説明で、温泉水の特徴的な化学性の吟味から、

その主体は花崗岩類の中に賦存する地下水性鉱泉の性質を示していると考えたのであるが、湧出地点の分布範囲と温水の成分濃度から判断すると、この地下水性鉱泉は、深部構造すなわち破碎帯に関連して既存の状態にあり、いわゆる温泉水とは、たんに熱および成分供給をうけた度合の相違にすぎぬと考えられるので、温泉水の賦存範囲は、結局、地下水性鉱泉の賦存範囲とみなすことができる。そして、その推定賦存範囲は前述の通りである。

次に、現在、坑内深部において上部から滲透あるいは流入する地下水は、試すい孔あるいは堅坑からのような特殊な場合を除きほとんど認められない。そして、また、温泉水の化学性からみても、深部における坑内湧水箇所および出水箇所の試料には、機械的な地下水の混入によつて著しく影響をうけた形跡がほとんどなく、温度分布の点からみても、水温異常地帯も存在しないようである。

ただ、例えば、湯本四坑、住吉一坑、同二坑のように、地表に近い採掘地域では、降雨量の増加によつても水位の上昇が認められ、また成分の上にも幾分その影響が示されている。

一方、徳永博士の報告でも述べているように註18)、温泉水相互の関係では、大出水によつて相当距離の温泉水位面に影響をきたすこと、またその影響が大なり小なりほとんど全域の水面に及んでいることから考えると、この水位の変動という現象は、温泉水の賦存状態あるいは破碎帯そのものの性質を反映しているものとみることができる。ただ、出水地点の中には、鎌田氏註19)も指摘しているように、上部坑道に貯溜している浅所地下水が断層を通して流入する場合もあるが、少なくともこの場合は、温度、成分の上に相当著しい影響をきたしている。

以上の事柄を総括して推定すると、いわゆる深部地下水は、特殊な地質構造の条件によつて徐々に滲入し、少なくとも深部においては、常時地表水ないし浅所地下水によつて涵養されるような循環状態にあるのではなく、浅所地下水との直接の結びつきは、出水による自由表面附近、すなわち、むしろ地表部に近いところにあり、それより深所は破碎帯を充して貯溜の状態にあると考えられるのである。これを前提として温泉水の成分濃度、温度分布、後述の排水による水位の影響等を吟味すると比較的不都合なく説明できるようである。

このような状態で、地下水が賦存していると考えるとき、その水圧、特に第三紀層下の潜在破碎帯を充填する

ものの水圧は、これまでの出水箇所の示す特異性すなわち高温地帯や成分濃度の高い地域にのみ限らず、低温、低含量区域でもその方向性に従つて分布しているということからでも判るように、地下水の滲入に伴う水理学的な要素によつて大きく支配されていると考えられるのである。従つて出水量(湧水量)についても、この破碎帯における裂隙あるいは断層の大きさによつて圧力が解放される時、その規模に従つて、水位への影響も当然生じるものと考えられることができる。

このように考えると、第三紀層下の潜在温泉水の水圧も、同一条件では、理論的に各々一致すべきものであるが、実際は、第4図のように、種々の要素が加わるため各々の測定値は不同である。しかし、坑道掘進と水位とはある程度調整されている限り、噴出圧力もある範囲内にあることもこの図から知ることができる。しかも出水量とは無関係に、出水事故限界線が、噴出圧力すなわち水頭として約300 ft (100 m) の値を示していることは、賦存状態と水圧、水圧と炭層下盤の岩石強度との間に、察接な関連性のあることを明らかに示すものである。従つて、南北性断層と潜在破碎帯を除き、現在、坑道でみられる裂隙あるいは小断層は、第三紀以後の断層運動に関連した派生的なものであり、温水の賦存状態を考えても、その流出(湧出)は、坑道面までの水位低下にのみ関係する一時的な現象にすぎない。

5.4 いわゆる熱源

冒頭でも述べた通り、本地域はいわゆる非火山地帯に属し、少なくとも地表では、現在、直接、新期の火山作用の形跡を認めることができない。しかし、温泉水の吟味から、われわれの考えうる構成地質の系内で、熱と成分との供給源を求めることはほとんど不可能であるばかりでなく、むしろ成分の一部と、温度分布との間に、間接的ではあるが、関連性の存在すること、およびその成分が、火山地帯の温泉に普遍的な CO_2 であることから推察して、少なくともいまのべた熱および成分を生ぜしめた地質現象は、帰納的に火山作用を意味していると考えられるのである。

火山地帯に分布する温泉は、火山作用の進化過程、火山性揮発成分と温泉成分との関係から、噴気性温泉と、熱水性温泉とに大別される。前者は、いわゆる噴気地帯に伴うもので、地表水あるいは地下水が、噴気ガス(一般に、水蒸気が大部分を占め、 CO_2 および H_2S を伴う)の気化熱によつて加温されたもので、一般に Cl' の供給がほとんど認められない。これに対して熱水性温泉は、噴気地帯以外のいわゆる火山地帯に広く分布するもので、多かれ少なかれ Cl' が主成分の一部を占めており、

註 18) 徳永：早大紀要，No. 5，p. 241

註 19) 鎌田泰彦：常磐炭礦における坑内出水と温泉湧出に関する一考察，常磐技報，3巻3号，昭. 25 (1950)

Cl' の供給機構と火山作用の進化過程から、熱および成分供給が、いわゆる熱水の状態で行われていると考えられるものである。

さて、常磐炭田坑内温泉水の特異性は、進化系統からみると、少なくとも二度の供給作用すなわち地下水性鉱泉の存在と、地下水性鉱泉に対する CO₂ を伴う熱および成分供給によつて特徴づけられることは既述の通りである。

このうち、地下水性鉱泉は Cl' と H₂S および炭酸塩によつて特徴づけられ既存の地下水に、熱水の状態で成分供給が行われたと考えられる。ただ、この成分供給がいかなる火山作用あるいは火成作用に関係したかということについては明らかな資料がない。ただ、破碎帯を充填する地下水の存在という点を考えると、少なくとも本地域の地質構造運動以後とだけいえるようである。

一方、上記の地下水性鉱泉は、より新しい熱および成分供給によつて、温度分布の支配をうけ、地域南部にその中心を置いておられる。従つて、坑内温泉水のいわゆる熱源とは、当然このより新しい供給源を意味するものであり、そしてその供給作用が、火山作用に通ずることは既述の通りである。しかし、地下水性鉱泉に対する成分供給状態が、火山地帯における噴気性温泉あるいは熱水性温泉のいずれの形式をとつているかについて、これまでの資料だけから、遠断を下すことは困難である。

いわゆる非火山地帯に分布する代表的な温泉の中、常磐炭田坑内温泉水の特徴は以上の通りであるが、さらに、非火山地帯温泉の全般に共通した特徴は、他の温泉群の各々について、将来吟味する必要があると考えられる。

5.5 要 約

1) 常磐炭田坑内温泉水の進化系統は、Cl' と H₂S を含む地下水性鉱泉に対して新しい成分供給源から一部に CO₂ を、また地域全般に熱の供給が直接あるいは間接に与えられている。他方、出水後、貯溜状態にある温泉水は、H₂S の 2 次的な酸化作用によつて特徴づけられる。

2) 坑内温泉水すなわち地下水性鉱泉の賦存状態は、第三紀含炭層下部に潜在する基底花崗岩のいわゆる深部構造に支配されている。すなわち、湯本断層の性質、それに伴う出水状況および出水地点の分布等の吟味から、花崗岩中における南北性の潜在破碎帯が推定され、破碎帯の東側限界は、概略出水地点 No. 24~No. 9 を結ぶ一線に近いものと考えられる。

3) 出水地点の分布と成分濃度との関係から、地下水性鉱泉は、花崗岩中の破碎帯およびそれに伴う断層、裂隙を充填するものと考えられる。そして、現在、坑内深部において、地下水の影響が顕著でないのに対して、上

部坑に近い温泉水が、稀釈および酸化の度合の著しいことからみて、深所地下水は、特殊な地質構造の条件によつて極めて徐々に透過し、浅所地下水との直接の結びつきは、出水による自由表面にあると考えられる。

4) 温泉水の水圧は、成分濃度と直接関連性がなく、むしろ全地域にわたつてほぼ同程度の水頭をもつものと考えられる。そして、排水の結果から示された水頭と流出量との関係においても、温泉水が破碎帯を充填して貯溜の状態にあることを示している。

5) 現在の坑内温泉水を特徴づける熱および成分との間に、間接的ではあるが、関連性のあることおよびその成分が火山地帯の温泉に普遍的に存在する CO₂ であることから推察して、熱および成分の供給作用は、本地域の構造運動以後の新しい火山作用を意味するものと考えられ、供給源すなわちいわゆる火山性の熱源は、地域南部に中心をおいていると考えられる。

6) いわゆる非火山地帯を代表する常磐炭田坑内温泉水の諸性質が、火山地帯と比較して著しい特徴を示すことから、今後の問題として、非火山地帯の他の温泉水についても同様の吟味が必要である。

6. 結 論

以上で、常磐炭田坑内温泉水の諸性質のうち、特に地質構造と化学性との関連性について、若干の解釈を試みた。本文中では、具体的な防排水対策にはほとんど触れなかつたが、取あげた項目は、一応、直接、間接にその点を念頭にいらしたつもりであるが、その結果から考えると、効果的な防排水対策は困難のようである。すなわち、浅所地下水の浸透は、ほぼ全地域にわたるため、透過を阻止することはほとんど不可能である。一方、火山性熱源の中心が地域南部にあるので、高温帯の分布は相当広汎にわたり、深部に至るほど温度上昇の傾向もあり、採掘に著しい支障をきたすことは免れ得ない。また採掘範囲が、破碎帯に関係する限り、恐らく多かれ少なかれ湧水を伴うものと考えられる。従つて、少なくとも現段階においては、排水と冷気に主力を置くことが最も妥当であると考えられる。

最近、炭鉱においても、積極的に温泉水問題をとりあげ、また、この問題に関心をもつ人々註 20) によつて興味ある結果が取められている。さらに将来、学術的にも、技術的にもこの問題が広く発展することを期待して止まない。

(昭和 27 年 5 月稿)

註 20) 西島要三：塩素含有量よりみた常磐坑内温泉に關する一考察
日本礦業会誌, vol. 67, No. 753, p. 74.

昭. 26 (1951)

杉本正雄} 常磐炭田におけるポンプ消耗について (第一報)
小沼一郎} 炭礦試験所所報, vol. 4, No. 4,
磯野 稔} 昭 25 (1950)