

宇部炭鉱坑内水水理の地球化学的研究

室 佐 正 世*

Geochemical Investigation of Hydrological Behavior of the Ube Coal Mine Waters

by
Masayo Murozumi

Abstract

In the Ube coal mine, sea water invades into coal seam when sodium ion in the former is replaced through cation exchange reaction by calcium combined with the latter, and sulfate ion in the former is also lost by deposition, reduction or anion exchange reaction. Until the equilibrium is established between both contents of sodium and calcium, the cation exchange reaction proceeds faster than does the anion exchange reaction between those of chloride and sulfate ions. Both reactions proceed so regularly that it is possible to clear the hydrological behavior of coal mine waters by geochemical method.

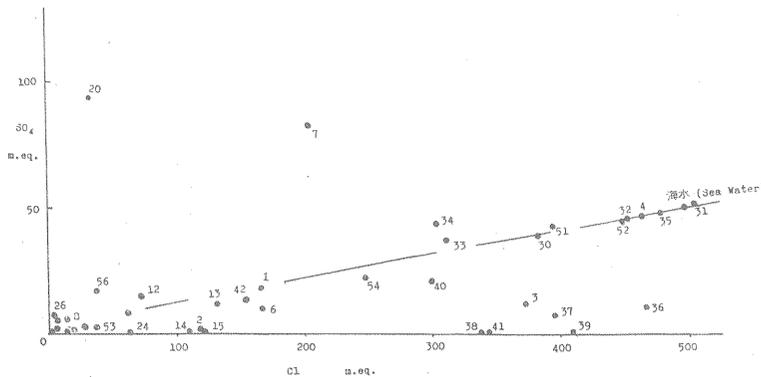
要 旨

宇部炭鉱においては坑内に海水が浸入することが知られているが、本報ではその場合に起こる地球化学的現象、とくに海水中の陽イオンが炭層夾炭層によってイオン交換される模様を解析し、海水中の Na^+ が炭層夾炭層中の Ca によって置換されることを明らかにする。解析に利用した資料は岩沢栄・植田豊年両氏の既発表論文の中の坑内水水質分析表である。

海水が炭層水と混合し、さらにイオン交換によって組成変化を進める模様を明らかにする地球化学的方法によって、坑内水水理を追究することが可能である。

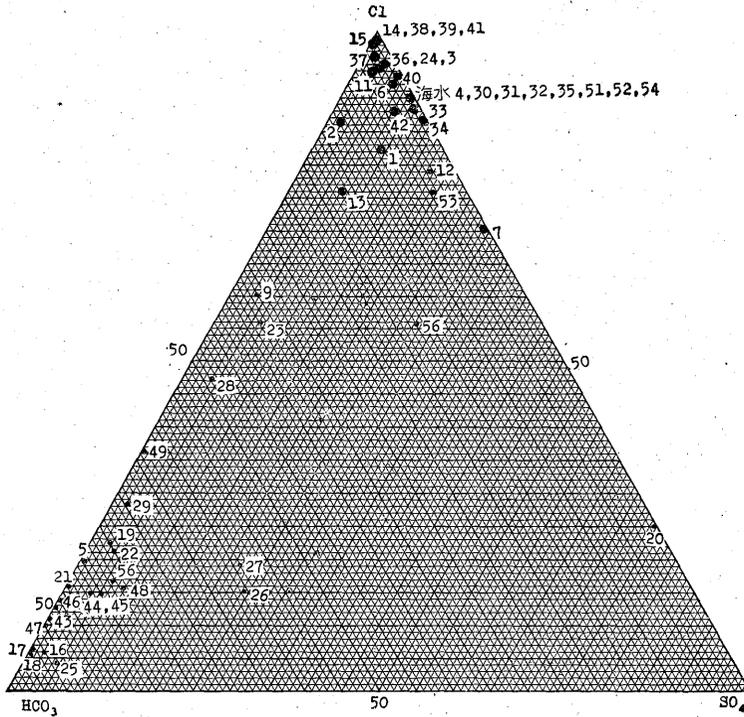
1. 緒 言

岩沢・植田両氏は宇部炭鉱について詳細な研究を行ない、地質概況、坑内湧水源と地質構造との関係、坑内水の性質、湧水量および湧出状況を明らかにし、坑内水処理の対策を論じている。特に坑内水については全坑にわたって 56 試料を採取分析し次の結論を得ている。すなわち(1)宇部海底炭田は第四系洪積層の非常に発達した粘土層によって海水と遮断されているので、坑内水は直接には海水と連絡されていない。(2)しかし津布田断層帯手前区域の坑内水には海水型のものが多く、露頭、断層、亀裂、浸透などによって海水の浸入もみられ



第 1 図 宇部炭鉱坑内水の水質 $\text{SO}_4 \sim \text{Cl}$ 相関図
Invasion of Sea Water into the Coal Seam and Loss of Sulfate Ion

* 技術部



第2図 宇部炭鉱坑内水の陰イオン組成
Chemical Composition of the Ube Coal Mine Waters

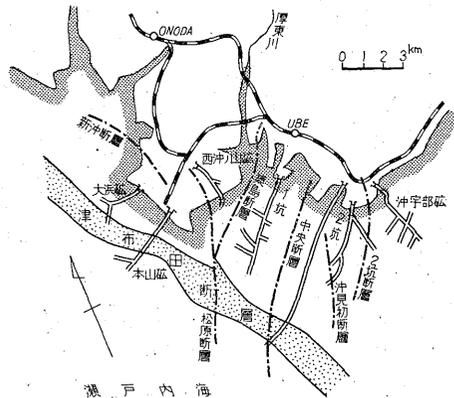
ること。(3)津布田断層帯沖区域の坑内水は HCO_3^- イオンが極端に多く、海水型とは異なるものであり、津布田断層帯を境にして坑内水質がまったく異なっていることなどを明らかにしている。

本報の目的は、海水が炭層中に浸入した場合に起こる地球化学的現象を論ずることであるが、そのための典型的な場として叙上のように研究解析の進んだ宇部海底炭田をえらんだ。その結果海水が炭層中に浸入した場合の化学成分の挙動を知ることができたが、また分析資料の地球化学的統計処理によって坑内水水理についても有効な知識が得られた。

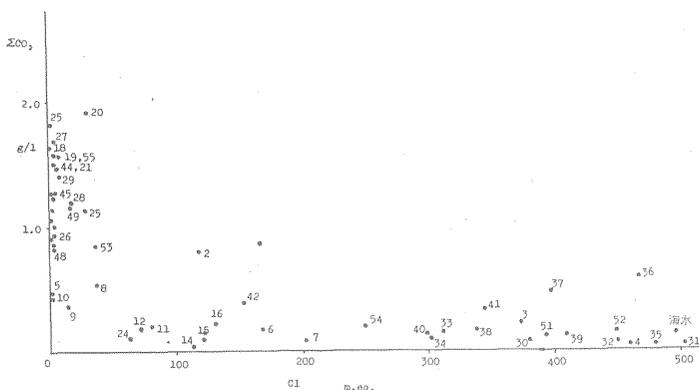
2. 海水の浸入と脱 SO_4^{2-} イオン

第1図は陰イオンの主成分である Cl^- と SO_4^{2-} を軸にとって宇部炭鉱坑内水の水質を示したものである。坑内水に2種類があり、すなわち1つは Cl^- , SO_4^{2-} 両成分の濃度が高く組成も海水にほとんど一致しており、海水が坑内に浸入したと考えられるものと、他は両成分ともに稀薄なものとであり、かつその間には中間的性質の坑内水が存在して海水と炭層水の混合現象が生じていることを反映している。第1図をよくみると、 SO_4^{2-} 濃度によって同一 Cl^- 濃度の坑内水でもなお2種類に分類されることがわかる。すなわち第1図で原点と海水点

とをつらねる直線上に分布する坑内水群と、それより低 SO_4^{2-} 濃度の坑内水群との2種類があることがわかる。特に高 Cl^- 濃度領域においては直線上に規則正しく位置するものが多く、海水が低 Cl^- , 低 SO_4^{2-} 濃度の炭層水と混合したままで、まだ陰イオンの化学組成上には沈殿、イオン交換等のための変化の起こっていない過程を示している。このような単純な混合になる坑内水は地域的には主として東2坑に分布しており、同坑において海水の浸入が容易であることを示している。一方、高 Cl^- 濃度、低 SO_4^{2-} 濃度の坑内水は上記の群が停滞する間



第3図 宇部海底炭田図
Map of the Ube Coal Mine

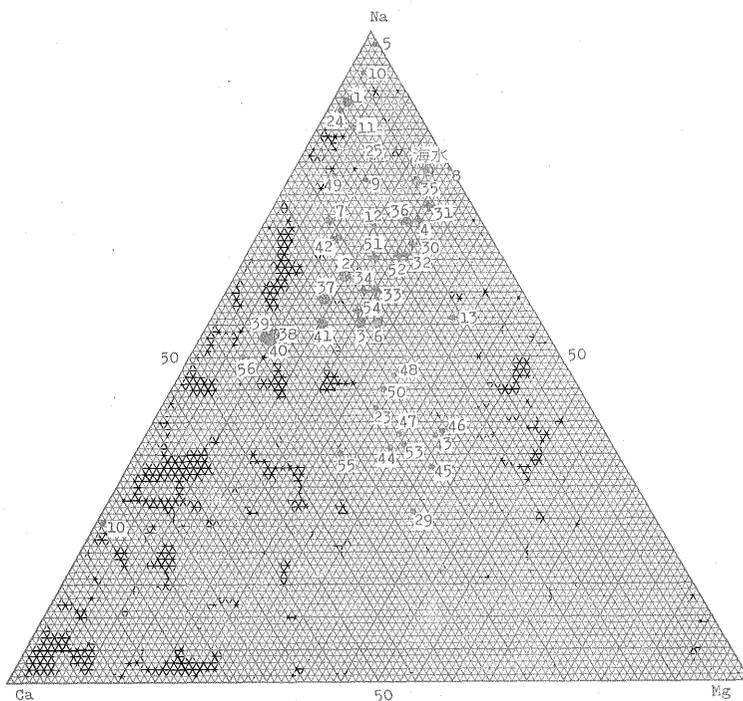


第4図 宇部炭鉱坑内水全炭酸 ~ Cl⁻ 相関図
Concentration of Carbonaceous Compounds in the Ube Coal Mine Waters

に、還元、沈殿、吸着、交換等によって SO_4^{2-} 成分を失ったものと考えられるものであるが、このような性質の坑内水は西沖の山坑方面に主として分布しており、すなわち同方面の坑内水は海水の浸入後、陰イオン組成の変化をきたすような時間的あるいは空間的経路をへていることを示している。

第2図は Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 3成分の三角座標を用いて坑内水の水質の遷移する模様を示したものであるが、 HCO_3^- 成分は全炭酸量より換算してある。この図

で●印は高 Cl^- 濃度のもの、○印は低 Cl^- 濃度の坑内水である。この図は、高 Cl^- 濃度のものについては、海水と炭層水の単純混合によって生成した坑内水が脱 SO_4^{2-} 現象によってほとんど Cl^- 成分だけの化学的性質に移行していく模様を示している。一方、ほとんど HCO_3^- 成分からなる炭層水があって、全坑としては高 Cl^- 濃度と高 HCO_3^- 濃度の両坑内水の混合現象が行なわれていることがこの図に表われている(第4図参照)。この図と坑内図とを対照すると海水に近い組成のものは



第5図 宇部炭鉱坑内水の陽イオン組成
Chemical Composition of the Ube Coal Mine Waters

第1表 坑内水水質表

坑内水 番号	Cl ⁻ (m. eq.)	Na ⁺ /Cl ⁻	Ca ²⁺ /Cl ⁻	Mg ²⁺ /Cl ⁻
海水	496	0.85	0.035	0.176
31	505	0.68	0.055	0.195
35	478	0.88	0.062	0.195
36	467	0.73	0.11	0.190
4	463	0.65	0.084	0.214
32	451	0.68	0.130	0.215
52	450	0.68	0.143	0.204
39	410	0.51	0.353	0.094
37	496	0.57	0.258	0.137
51	394	0.70	0.182	0.186
3	374	0.54	0.240	0.195
30	381	0.71	0.125	0.215
41	345	0.52	0.280	0.141
38	339	0.51	0.362	0.087
40	300	0.52	0.364	0.094
34	303	0.70	0.253	0.216
33	311	0.69	0.237	0.228
54	249	0.60	0.255	0.197
7	204	0.79	0.228	0.094
6	168	0.63	0.261	0.261
1	167	0.99	0.099	0.023
13	130	0.57	0.325	0.565
15	121		0.263	0.184
2	119	0.66	0.241	0.156
14	114		0.444	0.007

東2坑方面に、Cl⁻ 頂点に近いものは西沖の山坑方面に、HCO₃⁻ 頂点に近いものは津布田断層手前の炭層水および津布田断層沖区域の坑内水である。HCO₃⁻ 成分にとんだものも断層を境として陽イオンの組成に著しい差があって区別し得られるが、このことは次にのべる。

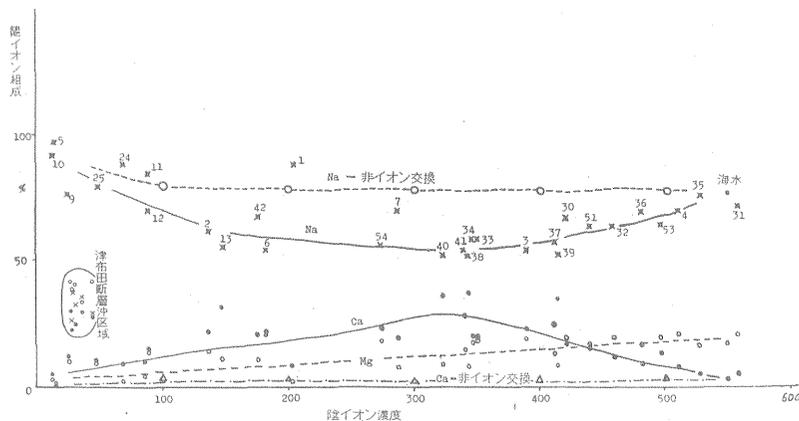
以上のべたように、坑内水の性質は地区別に特徴のあることがわかる。

3. 陽イオン交換現象

第5図は炭層水と海水の混合現象により、さらにそれにひきつづく過程によって、坑内水の陽イオンの組成が遷移する模様を表わしたものである。✦印は第1図で単純混合を表わす直線上に分布したものであり、●印は脱SO₄²⁻現象をへたもの(以上高Cl⁻濃度の坑内水)、○印は低Cl⁻濃度の坑内水である。

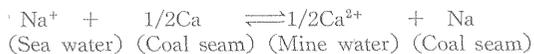
まず高Cl⁻濃度の坑内水についてこの図と第1表のCl⁻濃度とを併せ考えるとCl⁻濃度の高いほどNa⁺組成が大で海水の組成に近くCl⁻濃度の低いほどCa²⁺組成が大きくなることがわかる。さらに●印のものは✦印のものよりCa²⁺組成が大きいことが明らかである。これらのことは、海水が坑内に浸入し坑内水に稀釈されあるいは停滞するとNa⁺に対しCa²⁺が増大することを示している。一方低Cl⁻濃度の坑内水については、高Na⁺群と高Ca²⁺、Mg²⁺群との2つにわかれ津布田断層を境にして手前区域が高Na⁺群、沖区域が高Ca²⁺、Mg²⁺群である。低Cl⁻濃度の坑内水は同断層によって明瞭に区別されていることがわかるが、このことは地表水の浸入に対し暗示を与えるものかと考えられる。

岩沢、植田両氏のDataより高Cl⁻濃度のものを抜すい



第6図 宇部炭鉱におけるイオン交換現象
Cation Exchange Phenomenon Observed in the Ube Coal Mine Waters
(第1図~第6図岩沢・植田両氏の資料による)

さて高 Cl⁻ 濃度の坑内水について特に注目すべきことは第2図において陰イオン組成が、海水にほとんど一致している No. 4, 30, 31, 32, 35, 51, 52, 54 等の坑内水が、陽イオン組成についての第5図では Cl⁻ 濃度に従って規則正しく展開していることである。すなわち低 Cl⁻ 濃度になるに従い Ca²⁺ 組成を増大していることである。この事実は、坑内水中の陽イオンと炭層夾炭層中の陽イオンとの間に交換反応が起こり海水中の Na⁺ が失われ、炭層夾炭層よりその代りとして Ca²⁺ が溶出してくることによると考えられる。



すなわち、この場合イオン交換反応は右に進行するものと考えられる。なおまた、海水と炭層水との混合、それにひきつづく炭層夾炭層との接触によって陽イオンの交換速度の方が、陰イオンの脱 SO₄²⁻ 速度より迅速に進むことがわかる。しかし一方陽イオンの交換反応はあるところで平衡に達するが、脱 SO₄²⁻ 現象は完成するという差もみだされる。さらに検討してみよう。

第6図は、陽イオン交換の程度と陰イオン濃度との相関関係を示したもので、縦軸には各陽イオンの百分率、横軸には陰イオンの当量和をとってある。Na⁺ 組成は陰イオン濃度に対し凹の関係にあり 300 m. eq. の位置に極少値があるのに対し、Ca²⁺ 組成は Na⁺ と反対で陰イオン濃度に対し凸の関係をもち、300 m. eq. に対し極大値をもっている。イオン交換が充分に進んだと考えられる Ca²⁺ の極大値と Na⁺ の極少値の比はおよそ 1:2 であることは興味深い。Mg²⁺ は Na⁺ と Ca²⁺ とも異なり陰イオン当量和の多いものに高い。

次に陽イオン交換について、その存否をより定量的に検討してみよう。炭層水と海水が単純に混合しただけでイオン交換がまだ起こっていないと仮定した場合のそれぞれの陽イオンの組成は次式によって求められるが、第6図には破線で示してある。

$$N(\%) = \frac{N_s(A-14.4) - N_c(A-549)}{C_s(A-14.4) - C_c(A-549)}$$

この式で、

A : 任意の坑内水の陰イオン濃度のミリ当量

C_s : 海水の陽イオン濃度のミリ当量

C_c : 炭層水の陽イオン濃度のミリ当量

N_s : 陽イオン (Na, Ca, Mg) それぞれの海水中の組成

N_c : 陽イオンの炭層水中の組成

14.4 および 549 : 炭層水および海水のそれぞれの陰イオン濃度

第2表 海水と炭層水の単純混合を仮定した場合の、坑内水の Na⁺ および Ca²⁺ の組成 (%) 計算値

陰イオン濃度和	Na ⁺ %	Ca %
100	88.8	4.05
200	79.2	3.68
300	78.8	3.68
400	78.6	3.65
500	78.5	3.63

上式を任意のAの濃度についてとくと第2表の解が得られる。このような単純混合による陽イオン組成の変化は陰イオン濃度和に対してほぼ直線的な関係をもつことがわかるが(第2表)、観測結果はそれとは異なり Na⁺ と Ca²⁺ とが対称的な変化を示して坑内水中の Na⁺ と炭層夾炭層中の固体の物質中の Ca との間にイオン交換反応が行なわれていることを表わしている。なお Na⁺ 組成は陰イオン濃度の全領域で Ca²⁺ および Mg²⁺ 組成より大きい、Mg²⁺ 組成は陰イオン濃度が 420 m. eq. 以上では Ca²⁺ 組成より大きくそれより低濃度では小さいという例外のない特徴がある。すなわちこのように陽イオンの交換反応は坑内水の化学的性質を本質的に変化せしめるものであることがわかる。

津布田断層帯沖の坑内水は、いままで述べた混合系列とは隔離されたものであることが第6図よりわかる。すなわち断層帯沖区域においては海水の浸入は、手前区域にくらべ著しく少ないと考えることができる。

4. 結 語

宇部炭鉱坑内水は、炭層水と海水との単純な混合によってなるばかりでなく、かくして生成した坑内水は炭層夾炭層とイオン交換し陽イオン組成が著しく変化していること、陰イオン組成については脱 SO₄²⁻ 作用がはたっていたことがわかる。この組成変化は第1図～第6図に示したように規則的に起こっており、したがってある地点の坑内水についてその化学的性質を知れば、これらの図と対照することによってその履歴を推定することが可能である。組成変化の進む方向を坑内図上に追跡することによって坑内水の分布停滞と流動の状況を推定しうる可能性がある。

本解析はすでにのべたように岩沢・植田両氏の資料によるものであるが、なお植田氏より有効な助言をいただいた。感謝申し上げる。

本報では、海水の浸入に関しての理論的考察にとどめ、現場について坑内図との対比による水理の解明は当事者たる宇部興産株式会社にゆずりたい。

(昭和 36 年 6 月稿)

文 献

- 1) 岩沢栄・植田豊年：宇部鉱業所における坑内水について，日本鉱業会誌，Vol. 77, No. 875, p. 341, 1961