

休廃止鉱山から流出する酸性水の流量と元素濃度の特徴

石山大三¹、佐藤比奈子¹、水田敏夫¹、世良耕一郎²

¹秋田大学工学資源学部
010-8502 秋田市手形学園町 1-1

²岩手医科大学サイクロトンセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村字留が森 348-58

1 はじめに

休廃止鉱山の中には坑道から硫酸酸性の鉱山廃水が流出することがある。このような鉱山廃水には、重金属やヒ素などの有害元素が含まれることがある。これらの元素を含む鉱山廃水の流出量は、天候の影響を受け、雨が多い時期にはその排出量が多くなり、乾燥した時期には逆に減少する。このように気象現象に応じて変動する鉱山廃水の排出量の変化と化学成分の濃度変化の関連性について検討した例は多くはない。鉱山廃水の排出量変化と濃度変化の関連性を検討することは、鉱山廃水が流出する下流地域への影響や対策を考える際には重要なことである。本研究では、重金属元素の拡散機構の解明とその防止のための基礎データを得ることを目的に、坑内廃水対策がすすめられている休廃止鉱山において、地下水面より低いところに坑口を持つ旧坑と高いところに坑口を持つ旧坑と鉱山廃水について、鉱山廃水の流量変化と化学成分濃度変化を観測し、それらのデータに基づき、鉱山廃水を排出する地下水の流出機構を検討した。

2 検討対象休廃止鉱山の地質・鉱床概要および地下水系の概要

研究を行なった休廃止鉱山は、秋田県中部に位置する鉱床である。鉱床周辺の地質は、新第三系中新統の船川層の石英安山岩溶岩、同質凝灰岩類、黒色泥岩から構成されている¹⁾。鉱床は、おもに石英安山岩溶岩中に胚胎される金銀を伴う鉛-亜鉛-銅鉱脈鉱床である。同鉱床は、1591年(天正19年)から1971年(昭和46年)まで稼業され、1936~1966年の生産量は、粗鉱として約61,000 ton、その中には、Zn (6.5 wt %)、Pb (4.1 wt %)で、Cu (0.6 wt %)が随伴する。本鉱山は、1971年に閉山後、1972年に鉱業権の放棄により義務者不存在となった。開発終了後も本鉱床からはpH=3程度の硫酸を主とする酸性の坑内水が流出している。鉱山廃水の対策のために、秋田県によりセメントを用いた坑道閉塞や割れ目の充填工事が実施され²⁾、坑内水位を上昇させ、坑道の多くの部分を嫌気的な環境に保ち、黄鉄鉱の酸化による硫酸の形成を抑制することで水質改善を行っている。今回は標高の異なる3つの坑口(坑口L、M、U)と野外に形成されたズリ(鉱石鉱物含有廃石場、D)から流出する鉱山廃水について、年間を通じて継続的に観測と試料採取を行い、流

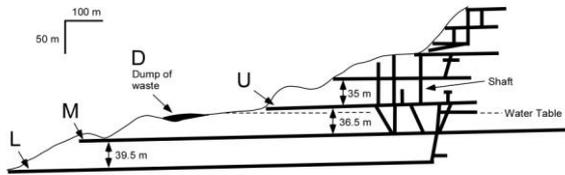


Fig. 1 Cross section of the abandoned mine.
Black lines show galleries and shafts.

量と化学成分の濃度変化について検討を行った (Fig. 1)。坑口 L、M については、坑口 M は L に比較して標高が高い位置にある坑口であるが、両者はともに地下水水面より低いレベルにある。坑口 U は、地下水水面より高いレベルにあると推定される坑口である。

3 試料採取法、試料調製法および測定法

鉱山廃水の採取を行う際には、現地で pH、Eh、流量、水温の測定を行った。流量の測定では、バケツを使い、直接流量を測定する方法を用いた。採水の際には、0.45 μm の濾紙 (ニトロセルロース製) で鉱山廃水をろ過したのち、イオンクロマトグラフ法で溶存主成分を測定するための溶液試料と PIXE 法による重金属成分測定用の試料溶液として現地で採取した。後者については、沈殿を防ぐために、3%硝酸溶液になるように現地で HNO_3 加えた。PIXE 法のための溶液分析試料は、試料溶液と等量の 10 ppm の In 溶液を加えた混合溶液を作成し、その溶液 10 μl をホルダーに貼られたポリプロピレンフィルムに滴下、乾燥し作成した。鉱山廃水中の 0.40 μm 以上の粒子については、0.40 μm のポリカーボネート濾紙を使い、ろ過を行い、その濾紙の上にトラップされた粒子を PIXE 法で測定した。濾紙の上にトラップされる粒子を補足するために使用したフィルターと溶液のろ過に使用したフィルターの孔隙径が若干異なるが、今回は 0.45 μm のフィルターを通過したものと補足されたものとして記載した。調整された試料は、乾燥後、NMCC の PIXE 装置で測定された。

4 分析結果

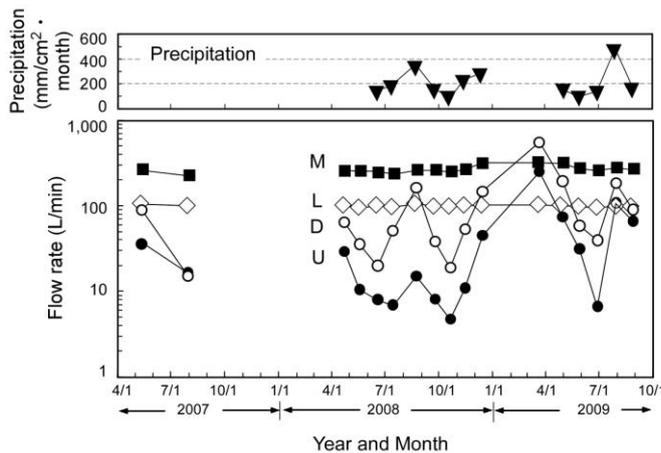


Fig. 2 Diagrams showing variations of flow rates of mine drainage water and precipitation. U: upper gallery, M: middle gallery, L: lower gallery, D: dump of waste.

各坑口からの鉱山廃水の流量変化と降水量変化を Fig. 2 に示した。地下水水面より低いレベルに存在する坑口 L、M から流出する鉱山廃水の流量は、それぞれ 94~108 l/min、224~320 l/min であり、その変化は小さく、ほぼ一定している。一方、地下水水面より高い位置に存在する坑口 U とズリから流出する鉱山廃水の流量は、8~250 l/min、15~558 l/min の範囲で変化し、雪解けの 3 月、4 月および梅雨の 7 月、8 月に増加し、降水の降水量変化と類似する変化を示す (Fig. 2)。

地下水水面より低い部分から流出する坑口 L、M の鉱山廃水と地下水水面より高い部分から流出する坑口 U の鉱山廃水、ズリから流出する

廃水の各 SO_4 濃度は、100 ppm、500 ppm、100-200 ppm、100-200 ppm 程度である。地下水水面より低い部分から流出する坑口 M の鉱山廃水の SO_4 濃度の変化は、ほぼ一定している。一方、地下水水面より高い部分から

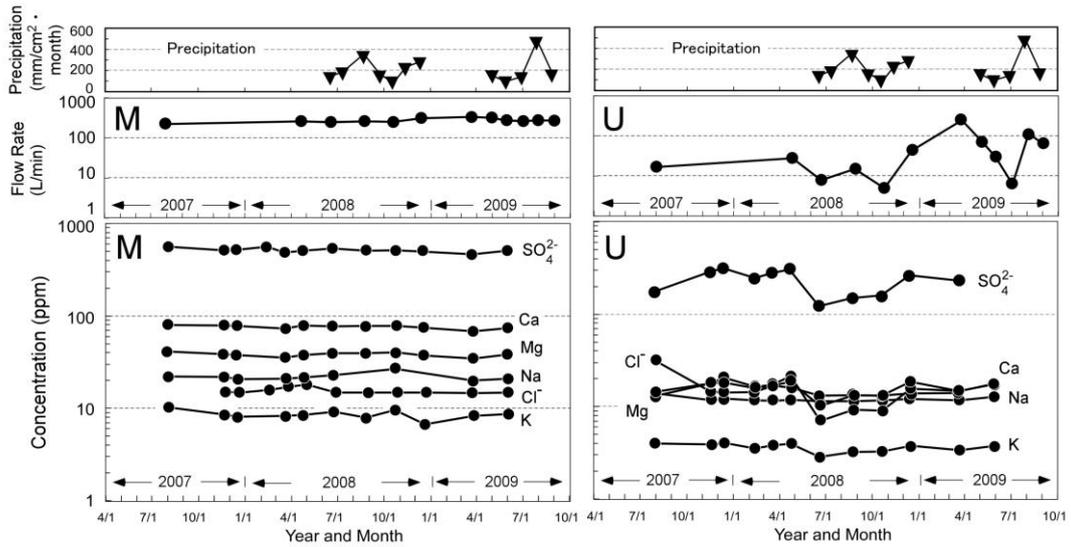


Fig. 3 Diagrams showing variations of precipitation, flow rates and chemical compositions of mine drainage water from galleries U and M.

流出する坑口 U の鉱山廃水とズリから流出する廃水の SO_4 濃度の変化は、地下水面より低い部分から流出する坑口 M の鉱山廃水の SO_4 濃度の変化に比較すると大きい (Fig. 3)。本地域の鉱山廃水の Cl 濃度は、流出する坑口の標高に関係なく、4 か所の廃水とも 15 ppm 程度の濃度である。これらの Cl の起源となる降水の Cl 濃度は、0.4~9.2 ppm まで変化する。鉱山廃水中の Na 、 K 、 Ca 、 Mg の濃度は、坑口 M の鉱山廃水の各成分の濃度が高く、坑口 U の廃水のこれらの元素濃度は、低い。前者と後者の鉱山廃水の季節変化に伴う Na 、 K 、 Ca 、 Mg 含有量変化を比較すると、地下水面より低い部分から流出する坑口 M の鉱山廃水でのこれらの元素の含有量変化は、小さいが、地下水面より高い部分から流出する坑口 U の鉱山廃水のこれらの元素の含有量変化は、 SO_4 の濃度変化と同様に大きい (Fig. 3)。

PIXE 法により鉱山廃水中の Fe と Zn の濃度と鉱山廃水の流量の関係を検討した (Figs. 4 & 5)。鉱山廃水の流量変化がほぼ一定の坑口 L、M では明瞭

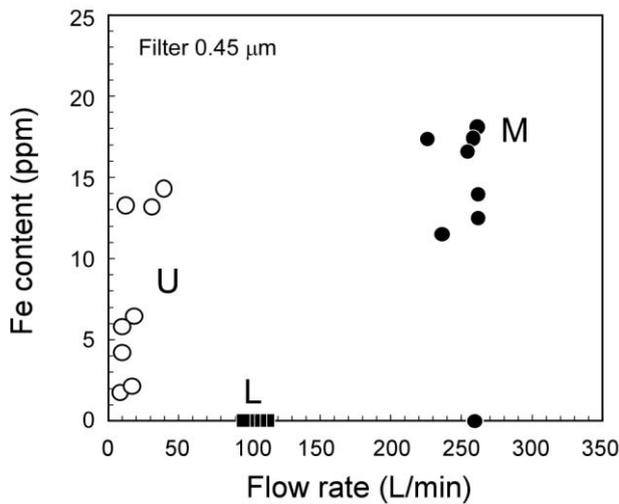


Fig. 4 Relation between Fe content of solution passing through a 0.45- μm filter and flow rate of mine drainage water from galleries U, M and L.

ではないが、流量変化が認められる坑口 U では、流量が増加すると、0.45 μm の濾紙を通過した溶液に含まれる Fe の濃度が増加する傾向がある (Fig. 4)。坑口 L、M、U の 0.45 μm の濾紙を通過した溶液に含まれる Fe と 0.45 μm の濾紙に捕捉された Fe の排出量の比率は、 pH が中性で最も標高の低い坑口 L から流出する鉱山廃水では、1 : 1 に近い。坑口 M、U から流出するそれらの Fe 排出量の比率は、坑口 M については、10 : 1~100 : 1 程度、坑口 U については、100 : 1~1000 : 1 程度であった (Fig. 5)。0.45 μm の濾紙を通過した溶液に含まれる Fe の排出量は、鉱山廃水の pH が中性の坑口 L で

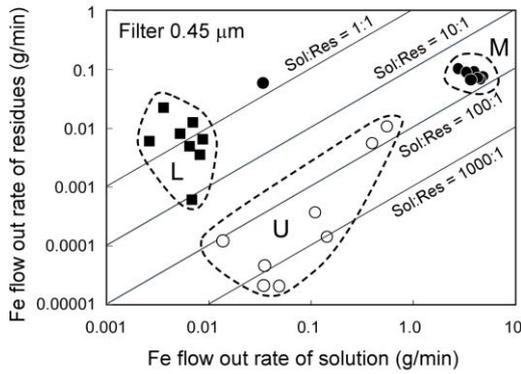


Fig. 5 Relation between Fe flow out rate as solution passing through a 0.45- μm filter and residues trapped on the filter. U: upper gallery, M: middle gallery, L: lower gallery.

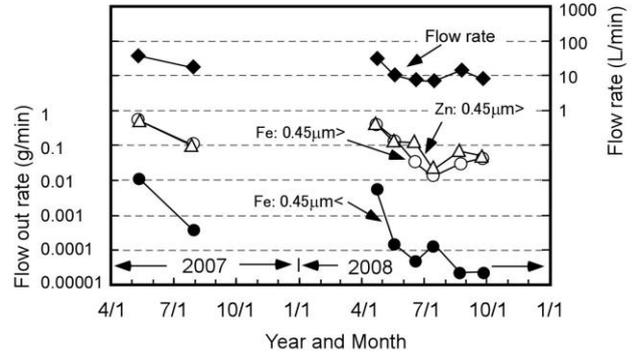


Fig. 6 Variations in Fe and Zn flow out rate as solution passing through a 0.45- μm filter and Fe flow out rate as residues trapped on the filter in mine drainage water from gallery U.

は低く、鉱山廃水の pH が酸性の坑口 M、U では高い (Fig. 5)。また、坑口 U に認められるように、流量が増加する時期に、0.45 μm の濾紙を通過した溶液に含まれる Fe の排出量が増加し (Fig. 4)、その排出量と 0.45 μm の濾紙に捕捉された Fe の排出量の比率が、1000 : 1 から 100 : 1 に低下する傾向があることは、坑口 U のような流量変化が大きい坑口から排出される鉱山廃水については、流量の増加とともに 0.45 μm 以上の粒子として Fe が排出量される割合が高くなる可能性を示している。

鉱山廃水中の Fe 濃度と流量から 1 分間当たりの Fe の排出量の季節変化を坑口 U について検討した (Fig. 6)。鉱山廃水の流量が大きく増加する雪解け時と梅雨時に Fe の流出量が大きくなる。特に、この現象は、雪解け時期に顕著である。Zn についても同様な傾向が認められる。鉱山廃水の流量の変化は、雪解けや梅雨などの時期に地下に大量の水がしみこむことで鉱山廃水の流量が増加することに対応しているが、流量の増加に伴う希釈現象が認められないことは、地下にある鉱山廃水のレザーバーがある程度大きいことを示している。雪解け時期には今回検討した地域の他の河川でも河川水の流量が増加するので、これらの河川が、鉱山廃水が流出する河川と合流した下流域では、通常の河川水による鉱山廃水の希釈が進むため、あまり大きな影響を与えない可能性もあるが、鉱山廃水の対策では濃度についての対策に加えて、流量の検討に基づく対策も重要である。

5 まとめ

休廃止鉱山から流れ出る鉱山廃水について、現地調査、イオンクロマトグラフ法による同廃水の主成分、PIXE 法による Fe、Zn 濃度について検討した。その結果、鉱山廃水の流量は、雪解け時期と梅雨時に増加すること、鉱山廃水の流量が多くなるときに重金属成分濃度が高くなる場合があること、鉱山廃水中の重金属元素流出量は、流量によりコントロールされていることが明らかになった。それらのことは、休廃止鉱山地下に存在する鉱山廃水を貯留しているレザーバーが大きいことを意味している。このことは、鉱山廃水対策にとどまらず、トンネル工事の重金属元素を含む残土の管理や産業廃棄物場の廃棄物の管理の際に環境汚染を防止するためには、これらの対象物に水が浸透しないようにしなければいけないことを示唆している。

文 献

- 1) 土谷信之, 吉川敏之, 5 万分の1「刈和野地域の地質」図幅および同説明書, 地質調査所, (1994) 63p.
- 2) 秋林 智, 日本鉱業振興会助成 研究成果報告書, (2003) 51.

Characteristics of flow rate and chemical concentrations of mine drainage water

Daizo Ishiyama¹, Hinako Sato¹, Toshio Mizuta¹ and Koichiro Sera²

¹Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

1-1 Gakuen-Machi, Tegata, Akita 010-8502, Japan

²Cyclotron Research Center, Iwate Medical University

348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

Abstract

Flow rate and chemical compositions of mine drainage water from galleries and a dump of waste of an abandoned mine were examined on the basis of data obtained by a field survey and chemical analyses using ion chromatography and PIXE analyses. It was founded that the flow rate of mine drainage water from galleries and the dump of waste increases in snow melting season and rainy season and that iron and zinc contents of mine drainage water increase with increase in flow rate. Dilution of mine drainage water caused by melting snow and by increase in the amount of precipitation during rainy season was not observed. Amounts of iron and zinc discharged with mine drainage water are controlled by the rate of discharge of mine drainage water. The fact that dilution of mine drainage water was not observed suggests that the reservoir of the mine drainage is large. Thus, the dump of waste should be isolated from percolating water of precipitation and snow melting to prevent environmental problems. The same care is needed for dumps of waste containing heavy metals from civil engineering works such as tunnel construction and for dumps of industrial waste at a storage sites.