

■ 特 集 ■ 採鉱技術からみた資源開発

## バクテリアを利用した低品位鉱よりの金属資源の回収

### Application of Bacterial Leaching Method for Recovery of Metals from Low-grade Ores

伊 藤 一 郎\*  
Ichiro Ito

#### 1. はじめに

最近エネルギー問題が特に注目を集めているが、各種鉱物資源の安定供給の問題もこれに劣らず重要であることはいうまでもない。特に国内資源に乏しく、その多くを海外からの供給に仰いでいるわが国においては、官民をあげて真剣にとり組まなければならない大切な問題の一つである。しかも、鉱物資源の多くが天与の資源であり、有限なものである以上、われわれとしては積極的な採鉱により新しい鉱床の発見に努め、開発可能鉱量の拡大をはかるとともに、一方では既開発の鉱物資源をできるだけ完全に利用する技術開発に努力しなければならない。そのために、現在、代替材料の開発、資源再生利用（リサイクリング）、省資源などに関連する各種の技術開発が各方面で盛んに行われているが、さらに一方では、利用できないままで放置されている低品位鉱を活用するための技術開発も積極的に推進されてきている。ここに述べようとするバクテリアを利用した低品位鉱よりの金属資源の回収技術も、低品位鉱の利用技術の一環として国の内外において注目されているものの一つである。

さて、一般に、地殻内に埋蔵されている鉱物資源は露天掘あるいは坑内掘によって開発されているが、これらのいずれの方法による場合でも、採鉱、開坑（採掘準備）、採掘、鉱石運搬、選鉱、製錬、加工の各工程を経て得られた製品を市場に供給するというのが従来からの慣用的な方法である。いいかえれば、一定の性能をもつすぐれた製品が市場に供給されるためには、このような多くの工程に含まれる作業がバランスのと

れた状態で円滑に遂行されてはじめて可能となるものであるから、どうしても製品価格が上昇することになり、それらの価格に見合った可採品位というものが要求されることになる。いわゆる低品位鉱というのは、このような慣用的な方法によっては経済的に開発しえないような品位の低い鉱石を指すわけであるから、これらを有効に利用するためには、当然のことながら従来法とは異った特殊の開発方法が工夫されなければならないことになる。そのような特殊な方法の一つとしてほぼ実用化の域に近づきつつあるのがソリューション・マイニング（solution mining）であって、金属資源の回収への微生物の利用という問題も、このソリューション・マイニングに端を発しているものであるから、順序として、まず最初にソリューション・マイニングの概念について説明することとする。

#### 2. ソリューション・マイニング

ソリューション・マイニングとは、鉱床中に含まれている有価成分を、採掘という手段を用いて地表に取り出すことなく、鉱床原位置において適当な溶媒により溶出し、有価成分に富む溶液（これを貴液という）として回収したのち、さらにこれらを処理して有価成分を抽出し利用する技術をいう。

ソリューション・マイニングは、溶出過程における選択性の観点から、鉱体のすべてを対象としたソリューション・マイニング（complete solution mining）と、リーチング（leaching）またはリーチ・マイニング（leach mining）といわれている方法の二つに細分することができる。前者は、鉱物そのものが不純物の少ない溶解性をもつ単味の鉱物より成っており、溶出や処理に際して選択性が要求されず、鉱床全体が溶出の対象となるために、溶出跡には一般に大きな空洞を残

\* 京都大学名誉教授  
福井工業大学教授  
〒910 福井市学園3-618

すのが特徴といえる。これに対し後者は、鉱床中に賦存している鉱物中に可溶性の有価成分が数多く含まれているために、有価成分の溶出や回収処理に際して選択性が要求される場合に適用されている技術である。例えば、一般にカリ岩塩の鉱床には、カリ塩のほかに食塩成分も含まれているが、これらをともに全部溶出して利用する場合には前者の意味においてのソリューション・マイニングと考えてよいが、カリ塩のみを選択的に溶出して利用する場合には、厳密に言えばリーチ・マイニングと考えるべきである。

このように、ソリューション・マイニングにおいては採掘作業を伴わないために、一部の準備作業を除いては原則として坑内作業を必要としない。したがって、保安上、経済上きわめて有利になるばかりでなく、条件さえ整えば、種々の制約のために稼行の対象とならなかった低品位鉱に対してでも応用することができ、限られた鉱物資源の有効利用にも役立つことになる。

なお、一般的にリーチングあるいはリーチ・マイニングといえば、主として金属鉱床から目的とする有価金属成分を溶出利用する技術として理解されている場合が多い。しかも、このような有価金属成分を溶出利用する技術としては、古くからダンプ・リーチング (dump leaching)、ヒープ・リーチング (heap leaching)、バット・リーチング (vat leaching) 等の各種の方法が用いられてきているが、これらの方法はいずれも、鉱床から採掘した鉱石の処理法として用いられてきているものであって、ここでいうソリューション・マイニングの定義にはそぐわない方法である。むしろ、これらの技術を基盤にして、鉱床内において有価金属成分の選択溶出を行う方法として発達してきたインプレース・リーチング (in-place leaching) あるいはインシチュ・リーチング (in-situ leaching) と呼ばれている技術のみがここでいうソリューション・マイニングの範疇に入るものである。

ソリューション・マイニングは、アメリカ合衆国南部に賦存する低品位ウラン鉱床の開発において実用化され、成果をあげている<sup>1)</sup>。ここで利用されている方法は、ボアホール・マイニング (bore-hole mining) と呼ばれている方法である。この方法は、油田の開発の場合と同様に、対象鉱体に向けて地表より数本の井戸を掘り、これらのうちのいくつかを注入井に用いて鉱体内のみに浸出液を圧入し、浸出液が鉱体内を流動しつつ行う浸出作用により生成したウランに富む貴液を残りの井戸 (回収井) から汲み上げて回収し、これ

らの貴液を処理工場に送って目的とするウラン成分を抽出して利用しようとする方法である。図-1に模式的に示したように、鉱床の上下には透水係数が数ミリダルシー以下のほとんど不透質と考えられる母岩が存在し、しかも鉱体自身の透水係数が大きく、注入した浸出液が都合よく鉱体内のみを流動して回収井に集めようような、きわめて恵まれた鉱床条件が付与されているところに適用されていることに注意してほしいと思う。井戸の配置は5点配置を原則としており、例えば図-2に示すように、開発対象区域をある一定間隔の碁盤目で区切り、この碁盤目の各頂点に注入井を、その中心に1本の回収井を配置し、生産量に応じてこれらの数組を同時に稼働させつつ操業する方式をとっている。この場合、井戸の間隔をどのように選ぶかは大切な問題であるが、これには鉱床や母岩の透水係数、鉱床内での空隙の連続性、浸出液の注入圧の大きさ等の関連する要因を十分考慮して決定されており、これらの状況いかによって井戸の間隔は必ずしも一定しないが、5~15 mの範囲に選ばれている場合が多い。

ソリューション・マイニングにより開発されているアメリカ南部のウラン鉱床は、第三紀の河成砂岩中に胚胎しているほとんど水平に近い鉱床で、厚さは1 m 足らずのものから10 m以上達するものまであり、か

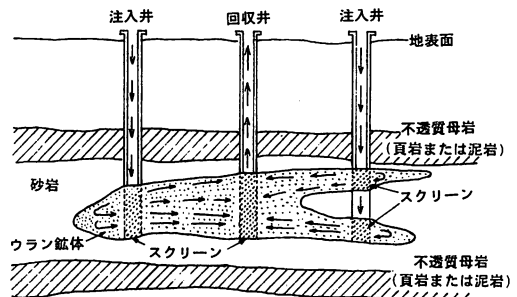


図-1 ウラン鉱のソリューション・マイニング模式図

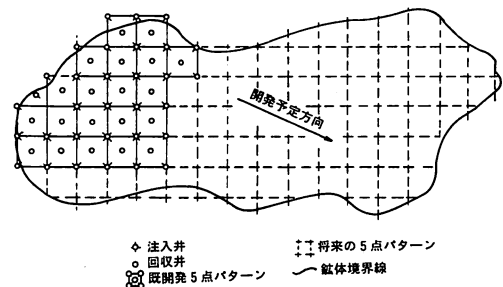


図-2 井戸の配置と開発の方向

なり変化に富んでいる。ウラン鉱物は主として閃ウラン鉱 (uraninite,  $\text{UO}_2$ ) やコフィン石 (coffinite,  $\text{UO}_2 \cdot \text{SiO}_x$ ) であり、また、脈石鉱物として粘土類や炭酸塩鉱物がかなり多量に含まれているために、注入する溶液には  $\text{H}_2\text{O}_2$  を混ぜて4価のウランを酸化して6価のウランにし、さらに  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  等の浸出剤によりウランを浸出している場合が多い。これらの溶液の注入量は鉱床条件や生産規模に応じて異なるが、多くは50~100 GPMの範囲にあり、一方、注入圧も数  $\text{kg}/\text{cm}^2$  と比較的低い。回収井より汲み上げられた貴液中には  $\text{U}_3\text{O}_8$  として100~200 ppm程度のウランを含んでいるが、これらは処理工場にパイプ流送され、まずイオン交換塔において樹脂表面に沈着させることによりウランを回収する。その廃液には前記の薬品類を必要量添加して注入液として再生し、注入井に供給してくり返し使用している。樹脂に沈着させたウランは分離塔に送られ、ここで酸または食塩水等を使って樹脂とウランを分離し、ウランを取り除かれた樹脂は再びイオン交換塔に戻して再使用するとともに、分離されたウランは沈殿槽に送られ、ここで  $\text{NH}_4\text{Cl}$  を用いてウランをアンモニウム酸ウランとして沈殿させ、乾燥後イエローケーキとして市場に供給している。

次に、インプレース・リーチングは、未採掘の鉱床に適用されている場合もあるが、過去に行われた採掘作業の際に採り残された残鉱や低品位鉱、または崩落鉱体等に対して適用されている場合が多い。いずれの場合にも、浸出効果を高めるためには、爆破その他の方法によって鉱体を破碎し、鉱体内の透水性を高めおく必要がある。紙数の関係で実施例について詳しく紹介する余裕はないが、1976年当時においてはアメリカ国内の8か所の銅鉱山においてインプレース・リーチング法による操業が行われていることが報告されている<sup>2)</sup>、わが国においても小坂鉱山元山坑においてはごく最近まで、また土畑鉱山においては現在もなおこの方法を適用した操業によって、低品位銅鉱からの銅の回収に貢献している<sup>3)</sup>。

### 3. バクテリアを利用した低品位鉱よりの金属資源の回収

#### 3.1 低品位鉱に適用されているソリューション・マイニングあるいはリーチング法

現在、低品位鉱の有効利用に適用されている方法としては、前節で述べたソリューション・マイニングのほかに、ダンプ・リーチングやヒープ・リーチングを

挙げる事ができる。特に、露天掘で稼行されているアメリカ西部の銅鉱山では、後者の方法によってかつてはアメリカにおける全産銅量の10~15%の銅を回収した実績が報告されている<sup>4)</sup>。しかし、これらの各方法の差異は、主として浸出対象鉱の種類や状態、効果的な浸出を行うために必要な準備作業の方法と規模、浸出方法や集水方法にみられるのみで、操業そのものは以下に述べる各方法に共通した工程で構成されている。

- (1) 浸出に適するように対象となる鉱床やたい積鉱の条件を整えるための浸出準備工程。
- (2) 鉱床内あるいはたい積鉱内に浸出液を送りこみ、目的とする金属成分をこれに溶出させる浸出工程。
- (3) 浸出工程で生じた貴液を集めて処理工場へ送る集水工程。
- (4) 処理工場において目的とする金属を貴液から回収する金属回収工程。
- (5) 目的とする金属成分を回収したのちの尾水を処理する尾水処理工程。

#### 3.2 バクテリア・リーチング

バクテリアを利用した金属資源の回収は、通常バクテリア・リーチングと呼ばれている技術によって行われている。この方法は、主として鉱石からの金属成分の浸出工程や貴液からの金属回収工程において、浸出や回収に効果的な作用をもつ細菌を利用して浸出や回収の効果を促進し、有利なリーチング操業を行おうとする技術である。したがって、バクテリア・リーチング法が普通のソリューション・マイニングやリーチング法と異っているところは、前者においては、浸出工程や金属回収工程において、細菌の有する特殊な機能を有効に活用しようという意図のもとにリーチング法が実施されているという点のみにあるのであって、浸出の実施法そのものは、従来法と本質的に何ら異るところはない。

リーチング操業において細菌を利用する方法としては、人工的な細菌の培養を何ら行うことなく、自然の環境下で生育している細菌を利用して浸出を実施しようという比較的消極的な方法と、人工的に培養した大量の細菌を浸出液とともに鉱床内あるいはたい積鉱内に送りこみ、より積極的に細菌を利用して浸出を行おうとする方法の二つが考えられるが、現在世界各国で利用されている低品位鉱を対象としたバクテリア・リーチングでは、今のところ前者の方法で細菌を利用しているところが多く、より積極的に細菌を利用しよ

うとする後者の方法は実験的に試みられているに過ぎない。

バクテリア・リーチングが世界的に注目されるようになってからすでに20年余が経過した。この間この技術に関する研究が進むにつれて、利用しうる細菌の種類も殖え、また適用鉱種も拡大されてきてはいるが、その基本をなし、またもっとも理解しやすく、しかも研究が進んでいるのは、硫黄酸化細菌や鉄酸化細菌を利用して行う硫化銅鉱物に対するバクテリア・リーチングである。そこで、バクテリア・リーチングについての理解を深めてもらうために、ここでは重点的にこの問題を取り上げて解説することとする。

#### 4. 硫黄酸化細菌、鉄酸化細菌を利用するバクテリア・リーチング

##### 4.1 利用されている細菌の種類とその特性

バクテリア・リーチングに従来から多く用いられてきている主な細菌は、*Ferrobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus ferrooxidans*などの鉄酸化細菌と、*Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus concretivorus*などの硫黄酸化細菌である。これらの細菌の一般的な特性を表1に示す。

硫黄酸化細菌は、元素硫黄あるいは無機硫黄化合物を酸化する際生じるエネルギーを利用して空気中の二酸化炭素を固定し、増殖していく好気性の独立栄養細菌である。これに対し、鉄酸化細菌は、いずれの菌種でも第一鉄を第二鉄に酸化する機能を持ち、これにより生じるエネルギーを生活エネルギーとして生長する。これらのうち、*F. ferrooxidans*は化学無機独立栄養細菌であるが、*T. ferrooxidans*は、エネルギー源および栄養源として第一鉄または無機の硫黄および二酸化炭素を利用しうるほか、ブドウ糖や特定のアミノ酸をもエネルギー源および炭素源として利用できること

が最近の研究<sup>5)</sup>によって明らかにされ、現在は通性化学無機独立栄養細菌と考えられるようになってきている。

さて、このような特殊な細菌を用いてリーチングを行った場合の浸出促進効果についてはすでに数多くの報告があり、枚挙にいとまがない。筆者ら<sup>6)</sup>もかつて小坂鉱山の坑内水中より分離培養した *F. ferrooxidans* を用いて、同鉱山産の黒鉱などを対象とした浸出実験を行い、筆者らの行った浸出条件のもとでは、例えば黒鉱については、実験開始後43日目の銅イオン浸出量が、着菌試料では無菌対照試料にくらべてほぼ300倍あまりにも達したことを示し、細菌のもつ浸出促進効果の顕著なことを報告した。一方、条件さえ整えば、鉄酸化細菌の行う酸化反応は、単なる化学酸化にくらべれば500,000倍も速いことがLaceyら<sup>7)</sup>によって指摘されている。また、これらの細菌のうちで、*T. ferrooxidans*はもっとも広く利用されている細菌であって、この細菌は銅以外にも、鉄、ニッケル、モリブデン、亜鉛、砒素、コバルトを含む硫化鉱物をも酸化することができ、これらの鉱物のバクテリア・リーチングに対しても有用であることがDuncanら<sup>8)</sup>によって示されている。

##### 4.2 細菌による金属硫化鉱物からの金属の浸出機構

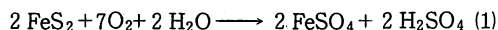
細菌による金属硫化鉱物からの金属の浸出機構については、今日までに、間接作用機構と直接作用機構の二つの考え方が提示されている。

間接作用機構は、細菌そのものが鉱物や鉱石中の金属成分に直接作用して浸出を促進するのではなく、金属の浸出は浸出剤による純化学的な反応によって行われるのであるが、浸出に有効な浸出剤が細菌の作用によって大量に、しかも急速に生成されるために浸出が促進されると考える説である。一例として、鉄酸化細菌による硫化鉱物からの銅および鉄の浸出について述

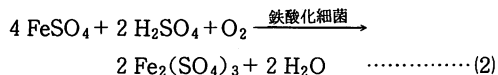
表1 バクテリア・リーチングに利用されている細菌の一般的特性

菌種	<i>F. ferrooxidans</i>	<i>T. ferrooxidans</i>	<i>T. thiooxidans</i>	<i>T. concretivorus</i>
細菌の大きさ ( $\mu\text{m}$ )	(0.6~1.0) $\times$ (1.0~1.6)	0.5 $\times$ 1.0	0.6 $\times$ 1.0	0.5 $\times$ (1.5~2.0)
最適温度( $^{\circ}\text{C}$ )	15~28	30	28~30	28
最適pH値	3.5	2.5~3.8	2.0~3.5	2.0~4.0
グラム染色	陰性	陰性	陰性	陰性
運動性	あり	あり	あり	あり

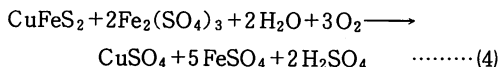
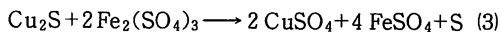
べてみよう。多くの金属硫化鉱物より成る鉱石は、必ずといってよいほど黄鉄鉱 (FeS<sub>2</sub>) を含んでいるが、この黄鉄鉱は酸素と水との存在のもとで徐々に酸化され、硫酸第一鉄と硫酸を生成する。



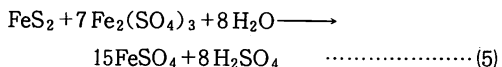
鉄酸化細菌は酸素と硫酸の存在のもとで硫酸第一鉄を酸化するが、その反応は一種の触媒的な速さで行われ、急速に硫酸第二鉄を生成する。



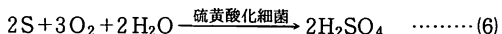
このようにして生成した硫酸第二鉄は、金属硫化鉱物に作用して目的とする金属を金属硫酸塩の形で溶出する。その例として、輝銅鉱 (Cu<sub>2</sub>S) や黄銅鉱 (CuFeS<sub>2</sub>) に作用した場合には、次の(3)式あるいは(4)式に示す反応が行われ、硫酸銅、硫酸第一鉄、硫黄あるいは硫酸を生成する。



また、黄鉄鉱は硫酸第二鉄と作用して硫酸第一鉄と硫酸を生成する。



(3)式~(5)式の反応で生成した硫酸第一鉄は鉄酸化細菌によって再び酸化され硫酸第二鉄となる。したがって、鉄酸化細菌が存在すれば、上記のような反応が浸出液中でサイクル的により返されつつ浸出反応が進行していくことになる。もし、この浸出液中に硫黄酸化細菌が存在していれば、(3)式の反応で生成した硫黄はこれらの細菌によって酸化され、(6)式の反応によって硫酸が生成するから、この硫酸も浸出剤として有効な浸出作用を行うことになる。



Sutton ら<sup>9)</sup> は、多くの硫化銅鉱物からの銅や鉄の浸出機構は、このような間接作用機構によって説明が可能であると述べている。

一方、直接作用機構は、鉱物や鉱石中の金属成分に細菌が直接作用し、細菌の営む何らかの生化学的な反応によって金属の溶出作用が効果的に行われていると

表 2 無細胞抽出液の酸化活性 (今井らによる)

種 別	酸化活性 ( $\mu\text{LO}_2/60\text{min}/40.7\text{mg}$ タンパク)				
	基質 Cu <sub>2</sub> S	Cu <sub>2</sub> S+Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	S	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
無細胞抽出液のみ	26	115	337	0	153
無細胞抽出液にキナクリン ( $5 \times 10^{-3}$ M) 添加	28	35	50	0	36

考えるものである。例えば今井ら<sup>10)</sup> は、前処理によって酸可溶性の鉄および遊離硫黄を完全に除去した Cu<sub>2</sub>S、Fe<sup>3+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、S および S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> のそれぞれを基質とし、これらを鉄イオンを含まない緩衝液 (pH2.5) 中に懸濁し、さらにこれに鉄酸化細菌を処理して作った遊離の鉄イオンをまったく含まない無細胞抽出液を加え、30°Cの恒温下で振とうし、それぞれの基質の酸化溶出活性を調べた。その結果は表 2 に示すとおりである。表 2 より、無細胞抽出液は Fe<sup>2+</sup>、S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> および Fe<sup>3+</sup> 添加の Cu<sub>2</sub>S に対しては強い酸化活性を示し、また、その程度はさして強くはないが、鉄を加えない Cu<sub>2</sub>S に対しても酸化活性を示すこと、さらに、Fe<sup>2+</sup> 酸化酵素の強い阻害剤であるキナクリンを上記の反応液に加えた場合にも、Fe<sup>2+</sup>、S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> および Fe<sup>3+</sup> 添加の Cu<sub>2</sub>S に対する酸化活性は著しく阻害されたにもかかわらず、鉄を加えない Cu<sub>2</sub>S に対する酸化活性は何ら阻害されていないことがわかる。このように、鉄が存在しない場合の Cu<sub>2</sub>S の酸化活性がキナクリンの添加によっても何ら阻害されず、浸出活性が維持されているのは、細菌そのものが浸出に対する何らかの直接作用をもつためであると、今井らは推論している。このような浸出における細菌の直接作用を裏付ける実験的研究は、このほかにも Corrans<sup>11)</sup>、Duncan<sup>12)</sup>、Silverman<sup>13)</sup> 等の多くの人たちによって行われているが、今のところそのいずれもが実験結果よりの推論の域を出ず、細菌の営むどのような生化学的な反応が金属の浸出を促進する直接作用として行われているのかなどについての明確な説明はまだ十分与えられてはいないと思われる。

4.3 実施例

硫黄酸化細菌や鉄酸化細菌が坑内に生息していることが確認され、浸出に対してこれらが寄与していると考えられている実施例として、小坂鉱山元山坑におけるインプレース・リーチングについて簡単に説明する。図-3は、元山坑におけるインプレース・リーチングの

実施法を模式的に示したもので、まず露天堀跡および上部坑道各所から浸出液 (pH1.8 の H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) を散水して鉱体中のきれつに浸透するように流下させ、鉱床中に残存している低品位珪鉱 (銅品位平均0.25%) から銅分を浸出させる。貴液は坑内各所から湧出するが、これらを巧に誘導し、坑内において含有 Cu<sup>2+</sup> 量の多少に応じて高品位貴液と低品位貴液にしわけられる。高品位貴液はポンプで揚水して坑外に設けられている取銅工場に送られ、セメンテーション法によって沈殿銅が回収される。脱銅液の大半は坑外貯水池に導き、そこで低品位貴液と混合し、さらに硫酸を添加して pH を 1.8 に調整したのち上部坑道に揚水し、浸出液としてくり返し使用されている。残余の脱銅液には硫化水素を通じて残存している銅分を硫化銅として回収したのち廃水処理設備に送り、そこで中和処理を施し、沈殿物は貯泥ダムに、廃水の水質基準を十分満たすように処理された上澄み水は河川に放流されている。元山坑では、多少の変遷を経つつもほぼ上記のような方法を用い、1946、7年ごろからごく最近に至るまでのほぼ 35 年間にわたってリーチングのみによる操業をつづけ、銅品位 75% の沈殿銅を月間 60~90 t 採取してきた。また、元山坑の坑内には硫酸化細菌や鉄酸化細菌が生息していることがほぼ 15 年あまり前に明らかにされたが、それ以来同鉱山においては細菌の活用に関心を持ってきた。表 3 は、元山坑坑内における細菌の生育分布や環境条件を調査した結果の一例を示したものである。しかし、この鉱山では、坑外で積極的に培養した細菌を浸出液に混入する方法はとられておらず、坑内の自然環境下で生育している細菌が利用されているのみである。なお、アメリカの銅鉱山

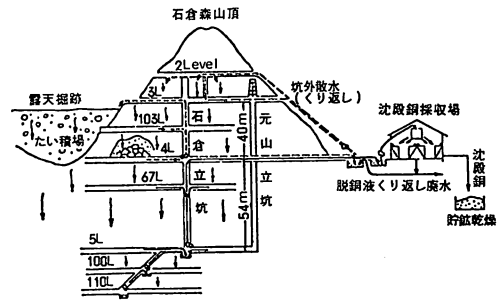


図-3 小坂鉱山元山坑におけるインプレース・リーチング法模式図 (阿部による)

で実施されているインプレース・リーチング法<sup>14)</sup>も元山坑におけるそれとほぼ同じであるが、貴液からの銅の回収に溶媒抽出法を採用している鉱山もあることを付記しておく。

### 5. おわりに

最近にはバクテリア・リーチングに関する研究も進み、有用新菌種の発見にともない適用鉱種も拡がりつつあるし、また、リーチングへの細菌の利用のみにとどまらず、精鉱処理や微量金属成分の回収、廃水処理、低品位鉄スクラップの処理等の新しい分野への細菌の利用についても実りのある成果が挙げられている。これらについてここで詳しく解説することはできなかったが、例えば、ここに述べたバクテリア・リーチング一つをとり上げてみても、現時点ではまだ十分に確立された技術とはいうことができない。特に、実際の適用にあたって公害を生じることなく効果をあげるためには、鉱床条件や実施法をも含めて今後の検討にまたなければならぬ問題が多い。一方、既開発の国内鉱山

表 3 元山坑における坑内水中の菌体数, Eh, pH および坑内環境 (阿部による)

項目 種別	菌体数 (×10 <sup>7</sup> /ml)	Eh (mV)	pH	水温(°C)		坑内環境	
				夏	冬	夏	冬
高品位貴液	0.16	370	1.7 1.8	21 23	17 19	温度 19°~24°C	温度 17°~23°C
低品位貴液	0.23	400	1.7 1.9	21 23	15 19	湿度 92~98%	湿度 92~100%
浸出液	0.21	360	1.7 2.0	21 23	15 17	CO <sub>2</sub> 0.12~0.35%	CO <sub>2</sub> 0.05~0.30%
寒天状物質	144.0	350	1.7	22	19	O <sub>2</sub> 21.0%	O <sub>2</sub> 21.0%
くり返し 脱銅液	0.11	280	1.8 2.1	21 23	15 17		

中に利用されないままで放置されている低品位鉱だけを考えてみても、鉱種によっては金属量にしてなお数100万tないしは数1,000万tにも達する鉱量を期待することができる。将来インプレス・リーチング技術あるいはバクテリア・リーチング技術の実用化が進み、これらの技術が残存低品位鉱に対して適正に応用されれば、かなりの量の未利用資源が活用できることになり、資源の有効利用に役立つものと考えられる。そのような意味で、できるだけ多くの方が今後ともこれらの技術に関心を持たれ、さらに研究を積み重ねることによって、この技術が有用適切な技術として一日も早く確立されるようになることを願っている次第である。

### 参 考 文 献

#### 1) 例えば

J. S. Anderson and M. I. Ritchie : Mining Congress Jour., Jan. 1968, p.20 G. R. Davis, G. S. Swift and R. E. Miller : Paper presented at the Int. Atomic Energy Agency, Nov. 24~26, 1975, Washington D. C.

#### 2) F. Milton Lewis, C. K. Chase and R. B. Bhappu :

World Mining and Metals Technology, Vol. I, Alfred Weiss editor, 1976, p. 333

#### 3) 日本鉱業会, インプレス・リーチング特別委員会編 :

インプレス・リーチング(1), 日本鉱業会, 1974, p. 12

#### 4) L. G. Evans and H. W. Sheffer : Mining Congress Jour., Sept. 1968, p. 96

#### 5) 例えば

今井和民 : 日本鉱業会誌, 88巻 1972, p. 879

#### 6) 伊藤一郎, 若園吉一, 近藤正義, 八木正一, 香月裕彦 : 日本鉱業会誌, 76巻 1960, p. 524

#### 7) D. T. Lacey and F. Lawson : Biotechnol. Bioeng., Vol. 12 1970, p. 29

#### 8) D. W. Duncan, C. C. Walden and T. C. Trussell : Trans. Can. Min. Metals, Vol. 69 1966, p. 329

#### 9) J. A. Sutton and J. D. Corrick : Mining Eng., June 1963, p. 37

#### 10) K. Imai, et al.; Jour. Ferment. Technol., Vol. 51 1973, p. 865

#### 11) I. J. Corrans, B. Harris and B. J. Ralph : Jour. South African Inst. Min. Metals, Vol. 72 1972, p. 221

#### 12) D. W. Duncan and C. C. Walden : Develop. Ind. Microbiol., Vol. 13 1972, p. 66

#### 13) M. P. Silverman : Jour. Bacteriol., Vol. 94 1967, p. 1,046

#### 14) 例えば

日本鉱業会インプレス・リーチング特別委員会編 : インプレス・リーチング海外調査報告, 1975, 日本鉱業会, p. 31

伊藤一郎; バクテリアリーチング, 講談社, 1976, P. 79, P. 101

## 泉 の 話

### 日本の技術開発は“超後進国型だ” (其の3)

~~~~文化外交で国威発揚はムリ 科学技術こそがわが国の将来をひらく~~~~

ポスト・インダストリアル・ソサエティという言葉初めて使ったのはハーバード大学のダニエル・ベル先生です。彼によると“インフォメーション” “ナレッジ” が将来重要だという。インフォメーションは情報ですね。彼のいう“ナレッジ”はただ情報じゃなしに一つの体系づけられた思想のようなもの。あるいは自然、工学の分野だと観察とか実験、分析とか、推理、そういうものをもとにしてする一つのディスクリプション。つまり論文なんかがいわゆる知識ですね。日本の科学、技術を進展させなければならないということになると知識をつくりだす能力をつけ、その知識を活用する能力をつけることが必要であるわけです。

グラフを書いて、縦軸に発明、発見の数、横軸に時間をとると、創造度が表わせる。創造度ゼロは“模倣”で、右下がりに非常に立った直線で左に寄っていて“後進国型”です。欧米型は右の方へほぼ横に寝たような右下がり直線が伸びて、今後の発展性があまり期待できない。わが国は後進国型の線をダイナミックにしたもので、悪くいえば“超大型後進国型” スロープをしていて、そこ

にいろいろな問題点がある。言い換えれば基礎研究、応用研究から大きな創造度が生まれる。

将来志向型に大きな創造性があり、現実的なものに小さな改良がある。

「わが国は国際分業でこの辺だけをやればいい」という経営者、先生方がおられる。ところが、国際分業は金がかかるからやるのだというのでは世界に通用しない。世界のGNP(国民総生産)中、わが国は10%を占める。

科学技術の研究開発費のわが国の負担額は約12%だから、日本もかなりのところにいつている。しかし、考え方によると、国家の影響力はGNPだけで説明できない。政治、文化、学術、あるいは社会の活性度、人権問題、もろもろの要素、むしろ軍事力も入る。それら総合的なものを考えると、わが国はとて10%の座を占めているとは言えない。

将来、日本人の夢は科学技術の進歩以外にはない。伝統的な日本文化を幾ら輸出しても、それはおのずから限度がある。まず科学技術の振興が日本全体のコンセンサスを獲得していると思う。

(K)