

南フェルガン地方にみられる水銀-アンチモン鉱化作用の地域性に対して
果している岩石の物理的・力学的な性質の役割について*

N. A. Nikiforov

Yu. A. Razanov

岸本文男 訳

浅成熱水鉱化作用の地域性を条件づける要素の1つとしての、母岩の多孔性が果す役割について、ここに報告するものである。

同時に、地質構造を形作る際に及ぼす、岩石の弾性や可塑性の影響を追究したのもでもある。その結果から、岩石の物理的・力学的な性質の研究、すなわち、熱水鉱床の生成を促がしている環境、物理的・化学的諸過程の進行する環境の研究が、いかに必要であるかを明らかにするものである。

水銀-アンチモン鉱床の成因の問題やその鉱化作用の地域性に関する問題を解明するためには、鉱石を胚胎する母岩の物理的ならびに力学的な特徴をつかむことが大切であると考えられる。岩石の力学的な性質は、鉱石を胚胎する構造の形成に対して大きな役割を演じ、またその物理的な性質は、鉱化作用の局地化現象に対し大きな役割を果している（物理的な性質とは、孔隙率・透水性・割れ目率などのこと）。

水銀-アンチモンの鉱化作用を局地化する岩石の物理的な性質に関する幾つかの興味あるデータが、コロレフ (A. B. Королев, 1948)、ニエフスキー (B. A. Невский, 1948)、スルガイ (B. T. Сургай, 1957)、ニキフォロフ (H. A. Никифоров, 1958)、ロザノフ (Ю. А. Розанов, 1961) その他の研究者の業績中にあり、その大部分は、岩石の節理率や割れ目率を基礎とした、以上の問題に関する報告であるが、ニキフォロフとロザノフの研究だけは、岩石の孔隙率を少数ながら測定したデータを導入している。

地質学的に十分に研究され続けてきた南フェルガンの鉱床地域から1つの地域を選んで研究したところ、私は岩石の物理的な性質や力学的な性質についての面白いデータを得ることができた。この研究対象とした地域の地質環境は、その鉱床地域に発達する各型の岩石の割れ目率・可塑性・脆さを量的に測定することのできたこれらのデータと、深い関係をもっている。

研究用として、約200個の試料を試錐コアと坑壁から選びとった。

この鉱床地域における地質学的な特徴の概略

この鉱床地域には、東西方向に褶曲する堆積岩層が広く発達し、沈降や隆起がからみあって複雑な構造を呈している。この、褶曲構造を示す一連の構造ブロックには、南北性およびそれに斜行する割れ目や断層が発達している。

この鉱床地域の堆積岩は、諸所で、南北に近い走向を示す輝緑岩質玢岩の小岩脈に貫かれている。主要な鉱体は、主として、交代性珪化作用をうけ、造構造変動作用によってジャスペロイド角礫岩化させられた中部石炭紀-深成石灰岩レンズ中に胚胎されている。この岩石は、熱水過程でいえば、その初期に形成され、断層のために複雑化した背斜軸の部分でもっとも厚くなっている。

* Н. А. Никифоров, Ю. А. Розанов: О роли физических и механических свойств горных пород в локализации ртутно-сурьмяного оруденения Южной Ферганы, Геология Рудных Месторождений, No. 3, p. 69~75, 1963

この背斜の翼部に発達する後ヘルシニアンの急斜断層こそ、鉍石の通路というべきものである。

いまいったように、鉍体の母岩は、通常、石炭紀のレンズ状石灰岩様の岩石であるが、それを覆う地層は、中部石炭紀の陸生累層で、半透膜(帽岩)の役割を果たした比較的可塑性のある岩石がその代表的なものである。次にその陸生累層を覆う形をもって、衝上断層沿いに広く発達するのが、シルリヤ紀とデボン紀の陸生層群である。

この地域の鉍床の主要な鉍石鉍物は辰砂で、時に輝安鉍を伴っている。鉍体上盤の粘板岩中には、鶏冠石と雄黄が産出する。また、共生する脈石鉍物は、石英・方解石・螢石・絹雲母、時に重晶石をみる。

多くの研究者(コロレフ, 1948; ニイエフスキー, 1948; ニキフオロフ, 1958)によって、鉍床帯、各鉍体の形成条件に関する層位学的、岩石学的、造構造的な要素のそれぞれの果たしたおもな役割が報告されている。すなわち、層位学-岩石学的な要素とは、層位学的な断面の中でのおもな構造支配の形態・型式・位置を確かめることである。各鉍石や各鉍体の生成の際には、岩石学的な要素や造構造的な要素のもつ意味が大きい。

研究に用いた岩石の型

岩石の物理的な性質の研究には、各種の間隔で連続採取した試料を用いた。すなわち、含鉍石角礫岩層の部分では0.5m および1m 間隔に試料を採取し、その上盤や下盤の岩石では5~20m おきに、鉍体からずっと離れているところと、同一岩石の広く連続するところでは40~50m 間隔に試料を採取した。

こういった岩石試料ごとに、比重、孔隙率の測定や、力学的な方法(弾性波振動)による弾性係数の測定を行なった。また同時に、代表的な岩石試料の数に限りのあること故、試料の数をへらして、歪限界の研究を行ない、「重量-歪」システムを用いて歪を測定した。

岩石の組成と構造的-岩石学的な特徴によると、次のような各岩石型にわけることができる。

1) 下部石炭紀石灰岩: 大理石化し、塊状ないし粗層理構造をもつのが特徴、鏡下では、微粒状組織で、時には鱗状構造を示すことがある。

2) 中部石炭紀(下部モスコビアン)石灰岩: 鏡下では微寄木状ないし寄木状組織を示す特徴のある、灰色あるいは暗灰色の板状もしくは層状という多様性がみられる。柱状断面図でいえば、上部の石灰岩で、多量の粘土質の物質を含有することもある。

3) 中部石炭紀粘板岩: 絹雲母質で、部分的に石灰質、緻密で粗片岩質、鉍状断口を伴う。その組織は微鱗寄木状から寄木シルト状によく変化しているが、それは、石英小粒(0.01~0.1mm)の存在や長石・黒雲母・白雲母の葉片の存在、珪岩や石英-絹雲母片岩などの岩石破片の存在程度に左右されている。

この粘板岩の石基は、少量の緑泥石を伴った多量の石英と絹雲母からなるが、若干の粘板岩試料中には方解石も含有されている。

4) 下部デボン紀砂岩・シルト岩: 暗灰色・緻密で、薄板状のものである。その組織は、砂岩の場合は寄木砂岩状組織、シルト岩の場合は寄木シルト状である。その構成物質として、多数の絹雲母片岩の破片、少数の珪岩・ホルンフェルス・石灰岩・砂岩・シルト岩・変質安山岩などの各破片が含まれている。千枚岩状粘板岩は、黒色ないし暗灰色の岩石で、微鱗寄木状組織、縞状および鉍状構造をもっている。構成鉍物は、石英・絹雲母・緑泥石・黒雲母・白雲母が主である。この岩石には炭質物が細かく散在しているが、この炭質物こそ、この岩石を黒色にしているようである。ここで扱う砂岩・シルト岩中にみられる間層は、以上の炭質粘板岩を多量に伴っているものである。

5) シルリヤ紀砂岩-粘板岩層: 石灰質の砂岩・シルト岩の間層を挟在する千枚岩状粘板岩からなる。この千枚岩状粘板岩は、シルク様光沢をもった灰色の、細かい片状の、固い岩石である。細かく鉍物の分散する石基は、微寄木状組織であり、石英・方解石・炭質物からなっている。構造は片状ないし縞状で、絹雲母鱗片の配置が成層的分布であることのためと説明できる。この岩

石を構成する他の鉱物破片 (0.01~0.05 mm) は、石英で代表されるが、それだけでなく時に斜長石・白雲母・黒雲母も存在する。

石灰質砂岩とシルト岩——これらは、緻密・灰色の岩石で、微鱗状寄木状の石基組織や寄木シルト状組織を示している。後者は、石英-絹雲母-炭酸塩鉱物物質と、それらによってセメントされた石英・絹雲母化斜長石の破片 (0.01~0.1 mm) からなる。

6) 含鉱石ジャスペロイド——基本的には珪質岩石 (SiO_2 : 70~90~95%) で、石灰岩と粘板岩の熱水変質生成物 (カオリン質粘土およびホルンフェルス) として、鉱石帯に広く分布するものである。このきわめて砕け易い脆い岩石は、割れ目や擾乱帯を作り易い。そのため、造構造的な変形過程の中で、これらの岩石は著しく大量に圧砕されたのである。

比較的大きな節理率をもっていることが、ジャスペロイドの特徴である (ニキフォロフ, 1958)。

熱水変質を受けた粘板岩は、おもに含鉱石ジャスペロイドと接して堆積している。こういった大規模な割れ目地帯に分布するこれらの岩石の拡がりについては、その上盤岩石中に 100 m 以上も試錐を入れて明らかにされている。

この粘板岩のうけた熱水変質作用は、おもに絹雲母化作用で、弱い方解石化作用を伴ったものである。他方、この岩石の中で観察される珪化作用と石英化作用は、法則のように、その粘板岩とジャスペロイドとの境界部 (石灰岩の場合には、石灰岩とジャスペロイドとの境界部) に限られている。

各岩石の物理的-力学的性質

研究の対象としたこの鉱床地域に賦存する岩石の物理的-力学的性質 (の研究) は、2つの方向をたどっている。すなわち、1つは、各岩石の各タイプ別の諸性質の特徴であり、他は、地質断面に現われる岩石のその性質変化の特徴を明らかにするという方向である。

各タイプにわけて求めた各岩石の示すそれぞれの測定値は、たとえば容積密度と有効孔隙率の変化状況のもたらす意味を、調査地域に関しては十分に特徴づけるものであった (第1表)。この地域で、もっとも多孔質の岩石はシルリヤ紀の粘板岩 (10.2%) である。この岩石は、下部および中部石炭紀層の上に押し上げられているが、その押し上げをうけたために高い孔隙率をもったと解釈できるものである。

もっとも緻密で孔隙率の低い岩石 (0.5%) ——これは含鉱層の下盤をなす下部石炭紀のレンズ

第1表 919号, 927号, 630号各試錐からの試料別岩石の比重および有効孔隙率

岩 石	試料数	容 積 密 度		有効孔隙率(容積%)		備 考
		測定値範囲	平均	測定値範囲	平均	
C ₁ -C ₂ のレンズ状・組成層石灰岩	44	2.67~2.70	2.69	0.25~0.92	0.50	下盤岩層
C ₂ の層状ないし粗層状石灰岩	2	2.62	2.62	2.72~2.86	2.79	
C ₂ の炭質化粘板岩	6	2.66~2.71	2.69	0.83~1.43	1.01	鉱体上部に直接堆積する層
C ₂ の粘板岩	5	2.63~2.70	2.68	1.45~4.15	2.60	上記の層の上に堆積する層
D ₁₋₂ の炭質粘板岩	11	2.48~2.70	2.67	1.68~3.93	2.64	衝上層
S ₂ の粘板岩	3	2.28~2.51	2.36	8.74~12.40	10.21	同上
非含鉱のジャスペロイド	8	2.54~2.69	2.61	1.56~3.66	2.42	鉱床層
非含鉱、晶洞あるジャスペロイド	2	2.41~2.57	2.49	4.13~6.03	5.08	同上
含鉱石 (辰砂を伴う) ジャスペロイド	5	2.56~2.77	2.68	1.63~2.10	1.84	同上
鉱石微理を伴う熱水変質ジャスペロイド	1	2.80	2.80	2.98	2.98	鉱床地帯
非含鉱熱水変質粘板岩	2	2.68~2.69	2.68	2.01~4.15	3.08	同上

状成層石灰岩である。

ニキフオロフ (1958) が確認したように、岩石孔隙率の増加は、先鉍石熱水作用の繰り返し働いた所と深い関連性をもっている。

筆者らの研究の結果、これらの変質規模を特徴づけている有効孔隙率の絶対値 (第2表) その他のデータが得られた。この孔隙率の増加状況は、粘板岩ではさほど大きくないのに (20~25%)、炭酸塩岩類ではきわめて著しい (4~5 倍)。

鉍床地帯で、鉍化作用を確認するための一連の試錐が行なわれたが、その際、柱状図に記載された各岩石の有効孔隙率も同時に研究された。たとえば、ゼラフシヤンスク山陵の水銀-アンチモン鉍床でも本地域と同じように、中部石炭紀の炭酸塩化粘板岩からなる緻密な帽岩の存在が確認された (ロザノフ, 1961)。この場合、この帽岩となっている層の厚さは 10~20m で、この炭酸塩化粘板岩の有効孔隙率は、含鉍石層であるジャスベロイドの有効孔隙率が 1.56% から 3.66% までに及ぶのに対して、0.88% から 1.43% までと測定されている。一方、同じ中部石炭紀に属する砂岩の間層を挟有する砂質粘板岩がその上盤にあるが、その有効孔隙率は 1.45% ~ 4.15% という特徴をもっている。これは、前記炭酸塩化粘板岩が帽岩の役割を果たした所以を示すことでもある。

さてデボン紀とシルリヤ紀の粘板岩となると、それらは石炭紀層の上に衝上して、有効孔隙率ももっとも大きいことを特徴としている。

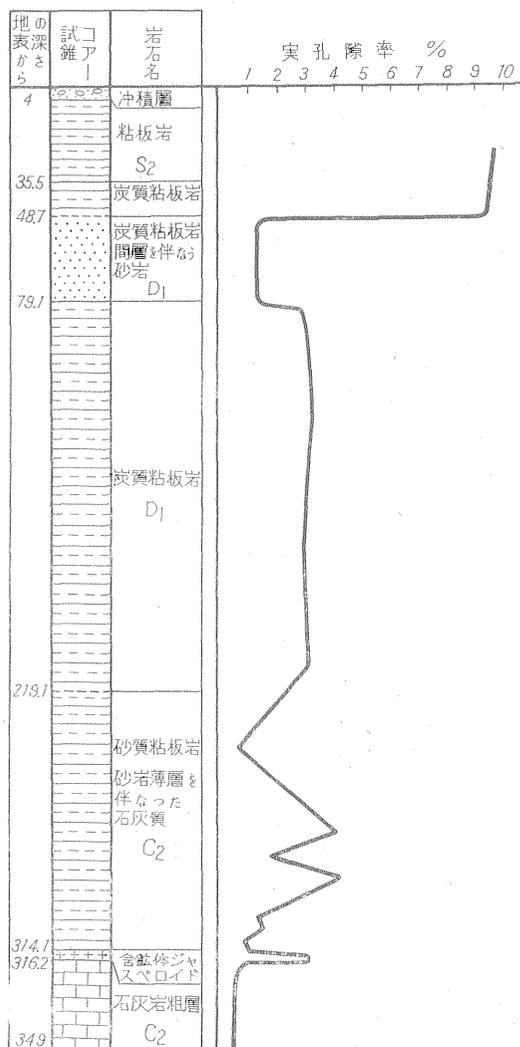
本地域の鉍床の上に屋根となって帽岩の役割を果たしている岩石の、鉍化作用に対する役割は、よく研究されてきたし、またこれが鉍床生成前の堆積物であることも明白にされてきた。それに加えて、この筆者らの研究は、この現象を数量的に解明し、含鉍石層を構成する岩石の孔隙率を急激に大きくした先鉍化期の造構造運動や熱水作用の規模を考察している。

試料は少なかったけれども、鉍石

第2表 熱水変質作用の結果として石炭紀石灰岩および粘板岩の孔隙率変化 (有効孔隙率, 容積%)

岩石の変質段階	石灰岩	粘板岩
非変質	0.50	2.60
弱変質	0.72	—
強変質 (鉍床地域)	2.42*	3.08

* 石灰岩からのジャスベロイド



第1図 試錐柱状における孔隙率の測定値

南フェルガン地方にみられる水銀-アンチモン鉱化作用の地域性に対して果している岩石の物理的・力学的な性質の役割について（岸本文男訳）

第3表 力学的方法を用いて測定した試料の弾性

試料番号	岩石	容積密度	μ (ポアソン定数)	$E \times 10^5$ (kg/cm ² (コング)係数)	試料番号	岩石	容積密度	μ (ポアソン定数)	$E \times 10^5$ (kg/cm ² (コング)係数)	
4417 a	レンズ状石灰岩 C ₁	2.69	0.22	7.41	4509	砂質粘板岩	2.66	0.18	6.68	
3693		2.69	0.28	6.59	3699		2.69	0.19	4.96	
3694		2.69	0.27	6.72	3701		2.66	0.25	5.98	
3706		2.70	0.31	6.93	平均	2.67	0.21	5.87		
3707		2.69	0.29	7.49		3703	ジャスベ	2.56	0.06	6.62
4413		2.69	0.30	7.83		4592	ロイド	2.60	0.22	5.79
	平均	2.69	0.28	7.16	平均	2.58	0.14	6.20		
3677	石灰質砂岩 D ₁	2.67	0.22	5.08						

帯の岩石の弾性についても研究を進めている。

第3表に示すように、研究に用いた全試料の中で、炭酸塩質岩石は砂質粘板岩よりも弾性率 E とポアソン係数 μ の両方の値がかなり高いという特徴を確認することができる。

ジャスベロイドは、弾性率があまり高くはないといった程度なのに、ポアソン係数の値がかなり低く、固くて、可塑的な変形作用のあらわれが岩石断面にわずかにしか認められないという特徴をもっている。その岩石断面にみられる変形度に関する研究は、緒についたばかりであるが、

若干の試料を用いて求めた結果について幾らか関心をよび、その結果から大雑把に解明されたことは時宜に適していたように思う。

それは、2つのタイプの岩石、すなわち、下部石炭紀のレンズ状石灰岩と中部石炭紀の砂質粘板岩の相対的な変形度を研究したことである。

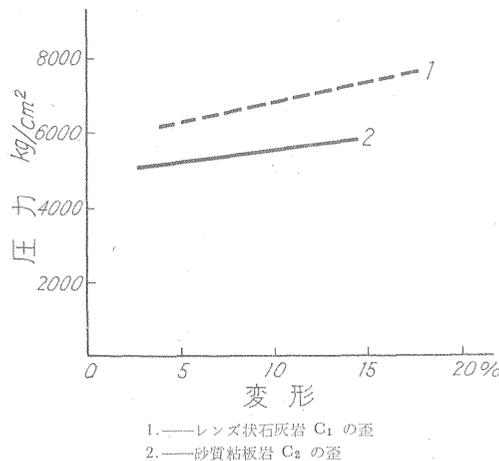
これらの岩石試料の変形試験は、2,100 kg/cm² 以上に相当する圧力をかけて行なった。試験に供した試料ごとに組み立てた「重量-歪」グラフ（第2図）は、粘板岩について得た値が、同一容積・同一条件の下で得た石灰岩の示す値よりも1,000~1,200 kg/cm² も少ないことを明らかにしている。

この試験で得られた圧力の差についてのデータは、一定方向に加えた圧力の増加による変形容積の変化が、石灰岩よりも砂質粘板岩の場合の方がより迅速であることを意味し、したがって、砂質粘板岩の方が可塑性の大きいことを証明している。

お す び

鉱石帯の地質の特徴を背景として、岩石の物理的および力学的な性質を研究し、検討したところ、調査した地域の水銀鉱床や水銀-アンチモン鉱床の生成過程の特徴に関する若干の推定を行なうことができた。

ここでもう1度、鉱床下盤に分布する石灰岩の孔隙率がきわめて低いことを、強調する必要がある。このことからわかるように、変形作用をうけた結果、粘板岩よりも可塑性の小さい石灰岩



はむしろ一連の裂かを形成し、その裂かに沿って鉍化作用の働いたことが、はっきりと観察できるのであるが、その際、その石灰岩の孔隙率が低いことは、温度や圧力を基本的には低下させることなく、割れ目沿いに上昇してくる鉍液を濾過するという条件を作ったといえる。ジャスペロイドの中の鉍液の移動は、前記石灰岩よりもずっと孔隙が多いためにジャスペロイド自身を媒体として鉍液の圧力と温度の低下をもたらし、鉍石鉍物の沈殿を招いたのである。

このように、その高い孔隙率は、鉍液の大部分とその中に溶けている鉍石成分の大部分を移動・沈殿の過程にくりこむことを、法則のように保証している。しかし、別の地域に分布するきわめて高い孔隙率をもった一部のジャスペロイド (孔隙率6%) は、辰砂と輝安鉍の沈殿をもたらしていない。みたところ、このような地域では、鉍液の移動する速さが早くなりすぎて、圧力と温度の比較的早すぎる下がり方もあって、水銀-アンチモンを鉍化作用の進行とその局地化の進行には不都合だったと考えられる。鉍化過程に適した最大有効孔隙率があることは推定できる。われわれの観察によると、その大きさは1.5%から3.0%の間にある。

弾性係数の変化は、岩石組成別の各岩石でも、岩石学的な岩石グループでも、それらの孔隙率の大きさの違いで説明できるものではないが、それでも孔隙率がその岩石の弾性に影響していることは疑いもない。研究に供した試料の範囲では、各岩石の平均孔隙率は0.50% (下部および中部石炭紀のレンズ状石灰岩) から2.60% (別の中部石炭紀石灰岩) におよび、その測定時の各弾性係数は $5.87 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ から $7.16 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ におよび、その差は $1.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であった。このような各岩石の弾性の違いは岩石孔隙率の変化だけで説明することができず、一見、岩石組成や組織の違いに基づくものと思われる。

また、岩石の相対的な変形の度合を研究した結果から、幾つかの比較考察を試みた。たとえば、石灰岩と粘板岩の変形までの比負荷量の大きさに関するデータとして重視すべき差、 $1,000 \sim 1,200 \text{ kg/cm}^2$ は、孔隙の多かった岩石 (粘板岩) 内にかくされている孔隙の部分の影響のあらわれ、したがって可塑的な変形のあらわれも、岩石組成と組織の違いの影響も説明する数値である。

この引用した数値で特徴づけられている、鉍石帯の岩石の弾性と変形度に関係ある相違点は、鉍床を規制する構造を形作った圧力と岩石とのさまざまな関係を説明している。たとえば、石灰岩、とくにジャスペロイドでは、圧力が弾力的な変形や脆弱な変形の形をとらせるのに、粘板岩では可塑的な変形の形であらわされる。可塑的な変形をして粘板岩が転移すると、裂か系の生成はほとんどみられなくなるが、石灰岩やジャスペロイドの圧力変形は逆である。真正ジャスペロイドでも、その下盤に広がる岩石でもそうなのだが、とくに、高い割れ目率をもつジャスペロイドの高い孔隙率との組合せ (下盤岩層を通つて鉍液が移動する可能性を保証する) は、大雑把にいって、その層中の、とくに主要な鉍化作用を局地化させる可能性を付与している。

岩石の物理的な性質や力学的な性質を研究することは、あれこれの成因上のメカニズムを解明するための補足的なデータを与えてくれる。このような研究は、地質学者や鉍石学者の実用的な仕事にも、一般的な岩石学上の研究にも寄与するであろう。

文 献

- Королев А. В. Состояние представлений о генезисе и условиях локализации ртутных месторождений Средней Азии и методы их изучения. Тр. САЗПИ, вып. 2, 1948.
- Невский В. А. Тектонические брекчии структур расланцевания сурьяно-ртутных месторождений Средней Азии. Докл. АН СССР, 61, No. 6, 1948.
- Никифоров Н. А. Значение литологических и геолого-структурных факторов в размещении ртутно-сурьяного оруденения на месторождениях Южной Ферганы. Закономерности размещения лезни. исколаемых, выл. II, Изд-во АН СССР, 1958.

南フェルガン地方にみられる水銀-アンチモン鉱化作用の地域性に対して
果している岩石の物理的・力学的な性質の役割について (岸本文男訳)

Розанов Ю. А. Пористость горных пород и ее роль в локализации эндогенного оруденения. Геол. рудн. месторожд., No. 2, 1961.

Сургай В. Т. Околорудные изменения вмещающих пород как поисковый признак сурьмяно-ртутных месторождений Киргизии. Тр. Ин-та геологии АН Кирг. ССР, вып. 9, 1957.