

メタロジェニーリモートセンシング文献資料

岸本文男* 訳

553.04 : 778.35

鉱山地質学とリモートセンシング**

A. D. SHCHEGLOV**

(ソ連地質省)

鉱山地質学は, 新たな鉱床の発見, 鉱床の成因論, 地殻中における鉱床の分布法則の認識に大きな成果をあげて, 革命60周年へのすばらしい贈物とした。とはいえ, あらゆる工業部門における鉱物資源需要の急激な増大状況下では, 新たな鉱山の開設と既設鉱山の拡張が, 近代科学技術のすべての成果をとり入れた, 応用地質学の最重要課題となっている。

現在, ソ連のあらゆる国民経済圏を包みこんだ科学技術的進歩の達成点が地質学的研究に, 何よりも第一に, 鉱物物質の研究と電算機による地質情報の処理に物理学及び数学のすべての最新の成果が広く活用されている。数学的な方法は, 固体鉱物資源の定量的予測原理の組み立て, 地球化学異常と地球物理異常のノイズ除去という具体的な課題の解決, 鉱床生成過程のモデルの組み立てなどに広く導入されている。

地球の天然資源の研究では, 宇宙空間から得られる広範な情報の活用, すなわちリモートセンシングによる研究がとくに重要な地位を占めている。地殻内の地質研究と鉱床の発見を促進する問題の解決のために, リモートセンシングの結果を全面的に利用することは, 時間的にも, 地質研究効率の向上という点でも, 焦眉の急となっている。

鉱山地質学におけるこの新しい研究分野は特殊な方法と技術を必要とするが, そのような方法と技術はすでに創生期を過ぎつつある。宇宙から得られる情報の導入がすでに常識となりつつあるにもかかわらず, 鉱山地質学の領域では, その情報が応用課題の解決に役立つような, 特定の分野が予見されているにすぎない。

何よりもまず, 宇宙からの地表の撮映によって得られる撮像資料の研究について, その展望を明らかにする必要がある。関連する多くの問題, なかでも, 有人衛星や無人衛星を用いた, 地球の地球化学場と地球物理場の研究の問題はやっと思いついたばかりである。したがって, この全く新しいアプローチによる地球の金属資源分布の研究は, おそらく, はるかに先のことに違いないが, 全く意外ともいえる新発見の可能性を秘めている。人工衛星によって地球の地球化学的な特性についての幅広い情報が得られれば, そのことが探査方針の選択に直接結びついて, リモートセンシングによる研究結果の利用に重要な一歩を刻むことになるのは疑いもない。鉱山地質学に宇宙撮像資料の解析を広く導入することは, こんにちの一つの重要課題である。なぜなら, 宇宙撮像資料は全く新しい情報であり, その利用は或る地域の鉱床分布状況を展望するに当って, すでに必要な不可欠な要素となっているからである。

周知のように, 宇宙撮像を解読すれば, 第一に, 低空で撮映した, 限られた地積の撮像で読みとれない大規模構造が把握でき, 第二には, さまざまな岩層に被覆された深部構造が宇宙撮像に「浮きでる」場合が多く, したがってその深部構造も明らかにできるのである。リモートセンシングのこの二つの特徴は, 地質学にとっては巨大な意義があり, リモートセンシング情報だけが備えた特性といえる。

宇宙撮像資料の解読による資料分析の結果は, その資料が地表面の主要な構造特性を反映したと思われる, 上記とは別の, 重要な情報も含んでいることを示している。たとえば, 宇宙撮像の諸資料によると, 地表踏査では見ることのできない, さまざまな規模の断層・裂か, あるいはさまざまな成因の環状構造や求心構造がきわめて広範に発達している。その断層・裂か構造の現われ方

* 鉱床部

** A. D. Шеглов (1977): Рудная геология и космические исследования: «Советская Геология», no. 11, стр. 95-103 (A. D. shcheglov: Mining geology and cosmic studies: «Sovetskaya Geologiya», no. 11, p. 95-103, in Russian)

の強さが地質専門家にとって予想外のことでないといえれば、規模のさまざまな環状構造が断層・裂か構造とのさまざまな組合せでもって広く発達することは、地殻の発達上の特徴を新たに検討し直し、地球上にさまざまな成因の求心構造が広く現われている原因を追究するよう求めていることになる。

本論文は、そのような現象の原因を明らかにするのが目的ではなく、地表面の宇宙撮像の解説・分析によって得られた情報から、現在すでに鉱山地質学のどのような問題が解決できるようになっているかを明らかにするものである。

1. 広域メタロジェニー*

広域メタロジェニーの分野では、宇宙撮像による広域断層の研究、広域断層の分類、及び、鉱床の分布に対する断層の影響を明らかにするための構造地質図・鉱床生成図と宇宙撮像解析結果との比較分析がとくに大きな意味をもっている。これらの研究に際しては、超広域断層のメタロジェニー上の意義を確定すること、各種タイプの鉱床の生成作用に対する超広域断層の役割を明らかにすることが重要である。地塊構造及び地塊構造とそのほかの構造との接合帯を識別することは、とくに大きな意味をもっている。宇宙撮像には、中央山塊とそれを縁どる断層構造がはっきり写しだされる。リモートセンシングによって被覆構造が“透視”できるという特性を利用すれば、地表の構造よりも古い、中央山塊型の新たな剛性埋没地塊の識別が可能である。したがって、規模のさまざまな剛性構造体上の上部構造階中における鉱床生成位置の特徴も把握することが可能で、そのことは剛性地塊が鉱床生成位置の特定に大きな役割を果たしている火山帯でメタロジェニーを解析する場合にとくに重要である。

宇宙撮像による断層構造の研究は、現在すでに、あらゆる縮尺の鉱床生成図と鉱床予測図のための構造相的な基礎を組み立てる研究にとって欠くことのできない一部分となっている。

広域鉱床生成図の編纂への宇宙撮像の利用には、新しい鉱床分布法則がまず明らかにされなくてはならない。現在のところ、新たな鉱床分布法則を確定する点でもっともはっきりしている方向は、超広域断層の研究と地塊構造の研究、とくに被覆された地塊を「透視」する研究であろう。宇宙撮像によれば、断層構造の中で特別な位置を占めるのが大型弧状断層で、ときには求心状断層のこともある。それらの断層の性質は、鉱床の賦存位置としての役割の場合と同じように、まだ完全には明らかに

なっていない。しかし、これらの断層の鉱床規制現象が認められないわけでもないので、鉱床分布法則の解析に当ってこの現象が配慮される必要はある。

一般的には、広域メタロジェニーの研究に当って、小縮尺の宇宙撮像は重要な補助資料となり、それなしには鉱床分布法則の解析は不完全となる。同時に、鉱床そのもの、さらに鉱床域ないし鉱床生成区の宇宙撮像による発見の可能性について語ることは、まだ早すぎる。

中縮尺及び大縮尺鉱床生成図の研究への宇宙撮像の利用は、まだ限られた範囲でしか行われていない。何よりも第一に、中縮尺ないし大縮尺での研究では、しばしば鉱床の構造規制の働きをしていることがある断層の詳しい研究が優先される。その課題は、オーダを異にする断層の把握と分類だけでなく、それらの断層と「接する」地質生成体を解説するというに尽きる。第一に、多くの地域で断層に縫いつづられたように貫入岩体の連鎖状分布を形づくっている、割れ目に富んだ含鉱貫入岩体を把握することに心を配らなくてはならない。このことは、構造運動・火成活動アクチビゼーション区の解析にはとくに重要で、当該区では断層が地域の地質学的な発展を左右する主要構造要素となっているのである。

断層であっても、そのほかの性質のものであっても、地質構造が一般化できる可能性や地質構造の「透視」効果を考慮しながら、その地質構造の特徴がソ連の卓状地地域の地質とメタロジェニーの研究に重要な意味をもっていることを推しはからなくてはならない。

シベリア卓状地範囲の宇宙撮像の解説によってキンバーライト岩筒の新たな規制要素が明らかになり、「透視」効果によってトラップ岩熔岩流に被覆されたキンバーライト岩筒の位置が決定できる場合もないわけではない。卓状地におけるダイヤモンド探査方針を正しく選択するために、リモートセンシング情報を利用することは興味深い問題である。あらゆる場合に、卓状地地域の宇宙撮像の解説とその資料の全面的な分析は、剛性大規模構造範囲での断層転位現象の特徴に関する新資料、したがって、断層構造と密接な関係を有する鉱物資源分布法則に対して別な解釈が可能な新資料を手に入れることにならなくてはならない。外国における盾状地と卓状地の宇宙撮像解説の試み、とくに西オーストラリアにおける試みは、含ボーキサイト風化殻を有する平坦化面をはっきり写しとっており、そのため、リモートセンシング資料はボーキサイトの探査にさかんに活用されている。

おそらく、宇宙撮像の情報は、成層鉱床、とくに鉛、亜銅、銅の成層鉱床を胚胎した含鉱層の存在位置の特徴を解明する上で、大きな関心をよぶだろう。この研究方

* 見出しは訳者による

向は、通常の航空写真と宇宙撮像資料の併用が上記含鉱層の露頭を「一般化」し、露出のない地域でもその含鉱量を追跡できる新しい地域（ヤクート地方、沿バイカル地方、タジック地方）の場合にとくに有望である。

2. 火山帯のメタロジェニー

宇宙撮像資料は火山帯の構造、たとえばオホーツク・チュコトカ火山帯や沿海州火山帯の構造の解明に、あるいは範囲が非常に狭い火山帯類似構造の解明に大きな役割を果たすはずである。たとえば、古生代後期火山帯のわずかな部分を占める天山山脈中央地域とギサル山脈地域では、宇宙撮像の解読の結果として、きわめて複雑な構成の古カルデラ構造がはっきり現われているが、その構造はタイプを異にした古火山群と求心弧状断層との組み合わせによって生じたものである。

火山帯の範囲では、鉱山地質学の目的にそった宇宙撮像の解読は、次のように方向づけされる必要がある。

- (a) 古火山の発見と古火山に特有な構造の把握、
- (b) 断層の発見とその性質的的確な把握、形成期別の断層の分類、断層の発達期間と成因別分類、
- (c) 若い火山生成体に被覆された火山帯基盤剛性地塊の、「透視」効果にもとづく確認。

これらすべての資料は、新しい鉱床分布法則の把握をめざすなら、ある地域範囲の鉱床胚胎状況に関する資料と併せて解析しなくてはならない。

火山性地体構造の解析へのリモートセンシングの適用について、最近来、興味深い文献がみられるようになったことは、特記に値する [1, 4, 5]。たとえば S. Ye. Aprel'kov, B. V. Yezhov, Yu. I. Kharchenko [1] は、宇宙撮像によるカムチャツカ半島の火山性地体構造の解析を試み、火山性構造の解明に当って、多くの識別規準がある中で、「リモートセンシング」による規準がもっとも効果的なものの一つであることを明らかにしている。その規準を用いて宇宙撮像を解読すれば、線状に延びた裂かや環状の裂かによる火山性地体構造の境界がはっきりと追跡できる。彼らは、カムチャツカ半島のすべての構造を切った、NW-SE 方向の「カムチャツカ貫通」断層が宇宙撮像によって識別できることも明らかにした。重要なことは、第1次オーダの環状火山性地体構造が NW 断層間に地塊として存在していることである。カムチャツカ半島の地塊構造、環状火山構造の交叉断層網との結びつき、第2次オーダの各種タイプの構造を随伴した火山性地体構造の複合性と多段階形成性は、すべて、地質調査資料だけでなく、宇宙撮像によって把握され、後者の比重はかなりのものである。鉱床分布現象の特徴

を分析するに当って、何よりも鉱床分布現象と各種オーダの環状火山性地体構造の諸要素との関連を確かめるためには、宇宙撮像情報を考慮する必要があることは疑いない。

I. G. Pavlova と V. V. Solov'ev [5] は、鉱床分布法則の分析に中心型形態構造の利用を試みた。その形態構造は環状構造と放射状構造の複合構造であり、多割れ目帯でもあり、彼らの見解によると、地表にでていない中心型構造の反映である。I. G. Pavlova らは、銅鉱床全体の約90%がその生成タイプや賦存地区に規制されず、さまざまな鉱石フォーメーションの銅鉱床の分布には、各種の形態構造群に関していくらか特徴がみとめられるが、しかし全体としては中心型構造に胚胎されている、と考えている。

I. G. Pavlova と V. V. Solov'ev は、中心型構造に胚胎される鉱床に4種の標式的な位置型式があるとし、通常の場合、鉱床の賦存位置はある構造群の特定の組み合わせのもとで作られた、中心型構造の微弱な求心・放射状構造帯にそった所である、としている。さらに I. G. Pavlova らは、中心型形態構造が後背地に比較して鉱化作用の拡がりの大きいことを特徴とし、多くの場合、鉱床規制構造及び鉱床胚胎構造となるもの、と考えている。

この考え方には、疑問がある。なぜなら、彼らはあまりにも単純化しすぎており、地質を異にする地域（カフカス地方、カザフ地方、極ウラル地方）の全く異なるタイプの銅鉱床の分布法則を本質的には同じことだと指摘しているからである。それにしても、I. G. Pavlova らの理論構成で心ひかれるのは、銅鉱床と環状形態構造との経験論的な関係を確定するという明確な目的をもった研究方向であり、当然のことながら、環状構造やその他の構造と鉱床との空間的な共存関係に注目し、その関係が生じた原因を追究していることである。

3. 環状構造とメタロジェニー

V. V. Onikhimovskii [4] の論文には、宇宙撮像の解読によって明らかになった、楕円状構造と環状構造のメタロジェニーについての新しい、興味深い情報が掲げられている。

宇宙撮像資料は、陸棚帯と沿海盆地の研究に貴重なものとなっている。とくに、ヤクート地方、チュコトカ地方、カムチャツカ半島で威力を発揮している。これらの諸地方で地質構造の「透視」効果を利用すれば、新期堆積物に被覆された古河床の発見に役立ち、その古河床には砂金鉱床ないし砂錫鉱床が発見できる可能性がある。

同じように、極東の海の陸棚の研究も興味深いもので、宇宙撮像を用いれば、おそらく、沿海水域の現世河川の河床延長部が追跡できるであろう。その結果が、海面下に沈んだ現世河床中の小規模な砂金鉱床とおそらく砂錫鉱床も発見に至ることはあり得るのである。

宇宙撮像の解読によって、地表の構造の一つの重要な特徴、すなわち多数の環状構造(楕円状構造)の存在が明らかになった(ただし、その説明はない)。これは、宇宙から地球を調べることによるのみ可能となった、基本的には新しい発見の一つである。宇宙撮像にそのような構造が広く認められ、地質構成を異にする地域でもそうなのである。環状構造(楕円状構造、円形構造)は規模がさまざま、V. V. Onikhimovskii [4]はこれを構造系と構造群に分類し、さらに各オーダ別の構造に区分している。多くの場合、大型環状構造は小型環状構造によって複雑化し、あたかも大型環状構造の周縁に小型円状構造が「寄生」しているように見える。この環状構造は必ずしも厳密な円形を示すとは限らず、しばしば楕円形、長楕円形を呈し、完全には閉じた形でないこともある。

成因上の本質も含めて、この構造は何なのか、この構造と鉱床生成過程の結びつきはどんなものなのか、この構造は実際の地質学にとってどのような意味があるのか?これらの疑問すべてに解答が必要であるが、現在では、まだいずれにも答えることができない。「環状構造」の概念が、今のところ、幾何学的に類似した、楕円ないし輪の形をした地質構造群を一括するものであることは、明らかである。しかし、この種の構造の成因上の性質は場合によって異なるかも知れず、研究の現状ではまだ明らかでない。

さまざまな環状構造ないし楕円状構造を完全に列挙することは無理で、成因そのものを異にした地質構造を宇宙撮像の解読によって或る大型環状構造群、すなわち、(a) 先カンブリア系片麻岩層のドーム状の円状構造群、(b) 若い地層下で「透視」された場合も含めた岩塩ドーム構造群、(c) 油田・ガス田胚胎構造も含めた、さまざまな地質時代の堆積層系の円状、楕円状構造群、(d) 現世火山の熔岩形成体も含めた、古カルデラなどの多様な火山構成体を伴うさまざまな地質時代の火山性地球体構造群、(e) 爆発隕石孔、(f) 環状(形の丸い)貫入体・環状岩脈群、(g) さまざまな規模の環状・楕円状裂か群、(h) さまざまな成因の爆発岩筒群、にどうにかまとめられるだけである。

もちろん、そのほかの性質の環状構造も解読可能ではあるが、おそらく、上述のものの方がはるかに多いだ

ろう。その中でも、宇宙撮像の研究結果が示しているように、かつて地質図上にははっきり現われてこなかった環状裂か、楕円状裂かの分布は広い。予察資料によると、その種の環状裂かは、多くの場合、それを充填した火成岩体を伴っていない。火成岩体は一般にあらゆる地質生成体を切るが、おそらく、この裂かの大部分は比較的若い時代のものであろう。このような環状裂かや楕円状裂かは、地球の中心から外殻の方向に働いた、強い垂直(放射状)衝撃(爆発?)によって生じている。この場合、その環状裂かないし楕円状裂かは、強い垂直衝撃作用の結果生じた、さまざまな深度の円錐状裂かの水平断面をあらわすものとみることができる。いずれにしても、現在では、さまざまな成因の環状構造が地球の表面にきわめて広範に発達する事実は確認済みであり、その構造の全面的な研究と分類が必要になっている。

鉱山地質学の目的にそった最大の関心事は環状火山性地球体構造と、そして、火山構成体基盤の発達上の特徴及び火山規制裂かの性質上の特徴を含めた、環状火山性地球体構造の形成作用に関連あるすべての問題である。

主として鉱床探査方針を正しく選択するために必要な情報を得るといふ目的をもって、地表の宇宙撮像を解読し、説明することに関係のある2、3の全般的な問題について述べてきたが、そのほかにも重要な問題がある。

4. 地球化学的・地球物理的リモートセンシングとメタロジェニー

リモートセンシングによる地球表面の研究の見通しに関連して生じている、かなり重要な問題は、地殻の地球化学場と地球物理場を宇宙から研究できる、基本的に新しい可能性をきり開くことである。そのリモートセンシングは、多分、既知の鉱床胚胎地域を、何よりもまず鉱床生成区と鉱床生成域を決定できるパラメータが把握されるものでなくてはならず、新たな、それとよく似た鉱床胚胎地域の主要区分規準が類推できるものでなくてはならない。宇宙からのソ連領の地球物理的及び地球化学的研究は、地表での調査・観測と併用すれば、基本的に新しい資料にもとづいた鉱床生成区・城区分を可能にしてくれる。

現在すでに、リモートセンシング情報を基礎にして、鉱床予測の要素を備えた広域宇宙写真地質図(おそらく、宇宙写真鉱床生成図)を編纂できる可能性が開けている。何よりも先に、これはソ連全域に適用すべきもので、それには縮尺1/500万ないし1/250万の当該図の編纂がもっとも妥当であろう。また、すでに十分な量のリモートセンシング情報が入手されている中央アジア各地方

にも適用すべきもので、縮尺1/150万ないし1/100万の宇宙写真鉱床生成図の編纂がすでに可能となっている。これらの図の編纂は、既知資料の新しい解釈、リモートセンシング資料を考慮した、鉱床分布法則の新しい解析法を必要とするはずである。その編纂は、本質的には、メタロジェニーの研究における新段階の始まりを告げることになるだろう。

5. リモートセンシングと鉱床成因論

宇宙から直接に、あるいは宇宙撮像資料によって鉱床生成区と鉱床生成域を研究することは、いくつかの鉱床の成因を知る新しい可能性を開くことになるといえないもない。そのような鉱床としては、隕石や爆発隕石孔に関係ありと予想される鉱床、もしくは、爆発隕石孔の中かその近くに分布する鉱床がある。ここで、かつて伝統的に熔離鉱床とされていた、有名なカナダのサドベリー銅-ニッケル鉱床の隕石起源説〔6, 7〕が思い出されよう。

周知のように、サドベリー鉱床は楕円形を示すはんれい岩-閃緑岩岩体に胚胎され、その鉱床胚胎貫入岩体は2系の広域裂か系の交叉部に形成されている。新しい見方は、鉱床を胚胎したはんれい岩-閃緑岩の形成が大型隕石の地表への落下に原因するものと推論している。その大型隕石が地殻の岩石を粉碎し、塩基性マグマの上昇の通路を開いた、と考えるわけである。第24回万国地質学会総会のエクスカージョンの時にサドベリー鉱床の見学に加わった V. I. Smirnov は、サドベリーの構造が隕石の落下による生成体であることを証明する諸事実をエクスカージョン参加者に示した説明には深い感動を覚えた、と述べている。サドベリー含鉱床岩体の構造の隕石原因説に役だつ、説得力のある事実、(a) 月のクレーターによく似た、岩体構造の楕円状の性状、(b) 基盤の岩石中に存在する、特有の衝撃構造(爆発構造)、すなわち円錐状構造、(c) 周縁岩石中に発達する、隕石落下地に特有の割れ目に富んだ岩石と特殊な角礫岩、(d) 基盤の岩石中に存在する、核爆発の際に生じる衝撃変成型の構造がそれぞれ認められることである。この、サドベリー鉱床の成因に対する独特な観点は、現時点では外見上の不自然さが否めない〔6〕にもかかわらず、一定の魅力は失っていない。

ソ連での隕石孔の研究はまだ始まったばかりであるが、第1次の総括は終り、そのような構造の発達史とその特徴についてはすでに発表されている〔2, 3〕。この種の研究に地質専門家の目がひきつけられているが、この種の構造と関連のある鉱床はまだ把握されていない。

しかし、将来、宇宙から地表の構造の特徴についての大量の情報が得られたときには、古隕石孔の環状構造がもっと多く発見されることは疑いあるまい。その豊富な古隕石孔の研究が、新鉱床の発見、隕石の衝突・爆発と地殻中における含鉱マグマ活動との相互関係の解明に導くことは、あり得るのである。

6. ま と め

リモートセンシングによって得られた宇宙撮像の使用は、地球の地質構造のより完全な解明に利用する、基本的に新しい種類の情報の、新しい、きわめて有望な分野である。鉱山地質学の目的にそい、あるいはいくつかの実際の課題の解決のために、宇宙撮像を全面的に研究することは、重要な価値をもっている。この研究はまだ「生成」の段階にあるが、しかし現在すでに、地質現象の研究に新たな展望を開き、まず第一に地殻中の広域鉱床分布法則の把握に関連ある諸問題の本質的に新しい解決をもたらす道になろうとしている。その関連問題としては、鉱床生成位置に対する断層・裂かの役割の検討、成因のさまざまな環状構造の鉱床規制上の意義の解明、鉱床の分布に対する剛性基盤岩層の役割の解明をめざした火山帯の地質構造の正確化、新たな鉱床分布法則の確立のための地質構造「透視」効果・広視野効果の全面的な活用などの問題がある。

上記諸問題をうまく解決するのに一定の意義を備えているのは、宇宙撮像の全面的な分析もさることながら、その撮像の解読技術である。したがって、鉱山地質学への宇宙撮像の利用は、解読専門家と鉱山地質専門家との共同作業で、とくにその鉱山地質専門家は当該地域をよく知っているだけでなく、鉱床分布法則の科学的解明法に熟達していなければならない。

鉱山地質学でリモートセンシング情報をうまく活用するには、ソ連地質省の系列に特別な宇宙地質研究部門を組織し、リモートセンシング資料を利用した、目的とする研究を行う必要がある。おそらく、実際の地質調査にリモートセンシング情報を利用する研究分野では、統一された研究計画が、鉱床生成区と鉱床生成域の研究方針、さらに地質学的な目的にそったリモートセンシング情報のコンピューター処理の改善策も含めながら、目的にそって作られるに違いない。

近い将来に、具体的な鉱床胚胎地域でのリモートセンシング情報のもっとも効果的な利用方向が決定されること、類似性から鉱床や鉱床生成域が発見できる新たな展望を開くためにリモートセンシング情報を利用する目的でもって、そのための情報解析規準が確立されること

は、非常に重要である。

リモートセンシング情報を鉱山地質学に導入することは、地殻中における鉱床の新しい分布法則の確定を助けるはずであり、その新法則を基礎に新鉱床発見の事業での地質学的研究の効率を高めるはずである。

文 献

1. S. Ye. Aprelko et al. (1977): Volcanic-tectonic structures and ore deposits of Central Kamchatka: 《Geology of Ore Deposits》, no. 3, p. 82-89 (in Russian)
2. V. L. Masaitis (1973): Geological consequences of crater-formed meteorite falls: “Nedra” Press, Moskwa (in Russian)
3. V. L. Masaitis et al. (1975): Popigai meteorite crater: “Nedra” Press, Moskwa (in Russian)
4. V. V. Onikhimovskii (1977): Metallogenic significance of lineaments, oval and ring structures of Priamur region: 《Soviet Geology》, no. 9, p. 51-61 (in Russian)
5. I. G. Pavlova et al. (1976): Utilization of morphostructures of central type for the analysis of distribution regularities of copper ore deposits: “Nedra” Press, Leningrad (Trudy of VSEGEI, New series, vol. 227) (in Russian)
6. V. I. Smirnov (1973): Problems of geology of ore deposits at the International Geological Congress in Canada: 《Geology of Ore Deposits》, no. 1, p. 3-15 (in Russian)
7. V. I. Smirnov (1973): Meteoritic origin hypothesis of Sudbury: 《Geology of Ore Deposits》, no. 2, p. 3-12 (in Russian)

553.04 : 778.35

鉱物資源探査への宇宙撮像資料の利用*

V. A. BUSHCH, S. P. LEBEDEV, G. V. MAKHIN and V. M. MORALEV

(以上: 全ソ航空地質科学生産統一機構)

A.V. SADOV* (全ソ水理地質・土地地質研究所)

1980年と第10次5カ年計画全体の課題を完遂するためには、地質事業の効率の向上と鉱物資源基地の強化を助ける、新しい技術の活用が不可欠である。新たな、進歩した方法の一つが現在広く用いられているリモートセンシング地質研究法である。

宇宙からの地球観測資料は、地表に広がる地質生成体についての情報(岩石の組成, 岩石の産状の特徴, 断裂構造や褶曲構造についての情報)も、地殻深部層の構成についての情報も多量に含んでいる。今まで知られないままになっていた多くのものを含んだ、この地質学上の情報は、鉱床の予測と合理的な探査方針の選択に当って地質資料を補足する、新しい総合解析を可能にしてく

れ、地質調査・鉱床探査の質と効率をいちじるしく高めてくれる。

宇宙撮像資料は、鉱床探査に際しては、現在のところ、3種の基本的方向にしたがって使用されている。宇宙撮像は地質図幅作業で使用され、鉱床予測の基礎となる地質図の質、完全さ、詳しさ、客観性をいちじるしく高めている。そのほかに、宇宙撮像は或る鉱物資源の具体的な地質構造的及び構造相的空間配列規準を明らかにしてくれる。その際、主要な役割を演じるのは、各種のオーダの断層であり、環状構造である。鉱床規制要素が確定できれば、探査範囲は限定され、場合によっては、その宇宙撮像の解読結果から直ちに鉱床胚胎地域とすることができることもある。

以上のいずれの場合も、宇宙撮像は鉱物資源の予測に用いられ、一種の間接探査法となる。3番目の基本的方向は、宇宙撮像と航空写真を直接探査に使用することである。鉱物資源賦存の直接指標をリモートセンシングによって見出すことは、まだ研究・開発の段階にある。

V. A. Буш, С. П. Лебедев, Г. В. Махин, В. М. Моралев (НИО «Аэрогеология»), А. В. Садов (ВСЕГИНГЕО) (1980): Применение материалов космических съемок при поисках полезных ископаемых: 《Советская Геология》, no. 2, стр. 3-9 (V. A. Bushch, S. P. Lebedev, G. V. Makhin, V. M. Moralev (NPO «Aerogeology»), A. V. Sadov (VSEGINGEO) (1980): Utilization of cosmic survey materials for the prospecting of mineral resources: 《Soviet Geology》, no. 2, p. 3-9 [in Russian])

鉱床の予測と探査を含め、地質の研究には、電子システム、テレビジョンシステム、光学的-機械的の走査システム、光学写真システムによって得られる、あらゆる種類の宇宙撮像が使われている。

地表の宇宙撮像から有効な情報を導き出す、開発ずみの主な方法(すべてまだ不十分な方法であるが)は、専門家による肉眼的な地質解読法である。有効情報の自動抽出処理は、まだ実験研究の段階である。個々の狭い専門分野(たとえば、特定景観条件下にある岩石のタイプの識別)では、すでにかかなりの成果をあげている。

宇宙撮像は、分解能から、おおむね次の3群に分けることができよう。

1) 分解能が小さい撮像: 縮尺 $<1/10,000,000$ で、分解能 $1,000\text{m}$ 台。これに相当するのは、人工衛星「メテオール」と「メテオール-プリロダ」からの主としてテレビジョン撮像とフォトスキャンナー撮像である。

2) 分解能が中程度の撮像: 縮尺 $1/1,000,000-1/3,000,000$ 台で、分解能 $80-300\text{m}$ 。これに属するのは、「メテオール-プリロダ」シリーズのいくつかの人工衛星によるフォトスキャンナー撮像、最初の「ソユーズ」型有人宇宙船からの撮像、「サリュート」型軌道ステーションからの撮像である。アメリカの人工衛星「ランドサット」からの撮像も、この群に入る。

3) 分解能が高い撮像: 縮尺はさまざまだが、分解能は 50m ないしそれ以下。これに属するのは、たとえば、有人宇宙船「ソユーズ22号」と軌道ステーション「サリュート6号」からMKF-6型カメラで撮映した写真である。

種類・縮尺とも異にした宇宙撮像は、地質対象の「一般化」の程度を異にすることが大きな特徴で、さまざまな地質学的な課題の解決のために十分利用できる。

分解能が小さい撮像は、縮尺 $1/10,000,000-1/5,000,000$ の超広域の構造地質区区分と特別な「リモートセンシング構造地質図」の編纂に使われる。この種の図としては、北ヨーロッパ、東ヨーロッパ卓状地、西シベリア卓状地、ソ連北東地方の各構造地質図がすでにできている。広域地球物理、広域地質-構造地質の資料も導入して、当該宇宙撮像の解読資料を解釈すれば、大型地塊を識別し、その接合・変動帯を研究し、同地塊の内部構造平面を正確に把握し、超大型断層と地縫帯を図示し、環状構造とトランス断層も図示することができる。このような図は、一般的な鉱床分布法則を確定し、探査方法を選択するのに利用できる。

分解能が中程度の撮像は、縮尺 $1/2,500,000-1/500,000$ の褶曲区と卓状地の中の一部地域の特別な「リモートセ

ンシング地質図」の編纂に用いられる。この種の図では、構造地塊とそれを分ける地質帯、多くの構造構成要素、広域的及び局地的地質構造(各種のタイプとオーダーの断層を含め)、火山性地体構造、ドーム状隆起と地膨、地壘と地溝、各種の規模と成因の環状構造、地域深部構造の単元が区分される。

このような「リモートセンシング地質図」と通常の地質図にもとづいて、各種鉱物資源の広域予測が行われ、その場合、主として構造の鉱床規制要素の分析結果が利用されている。現在すでに、初歩的な、興味ある成果があげられている。例をいくつか紹介してみよう。

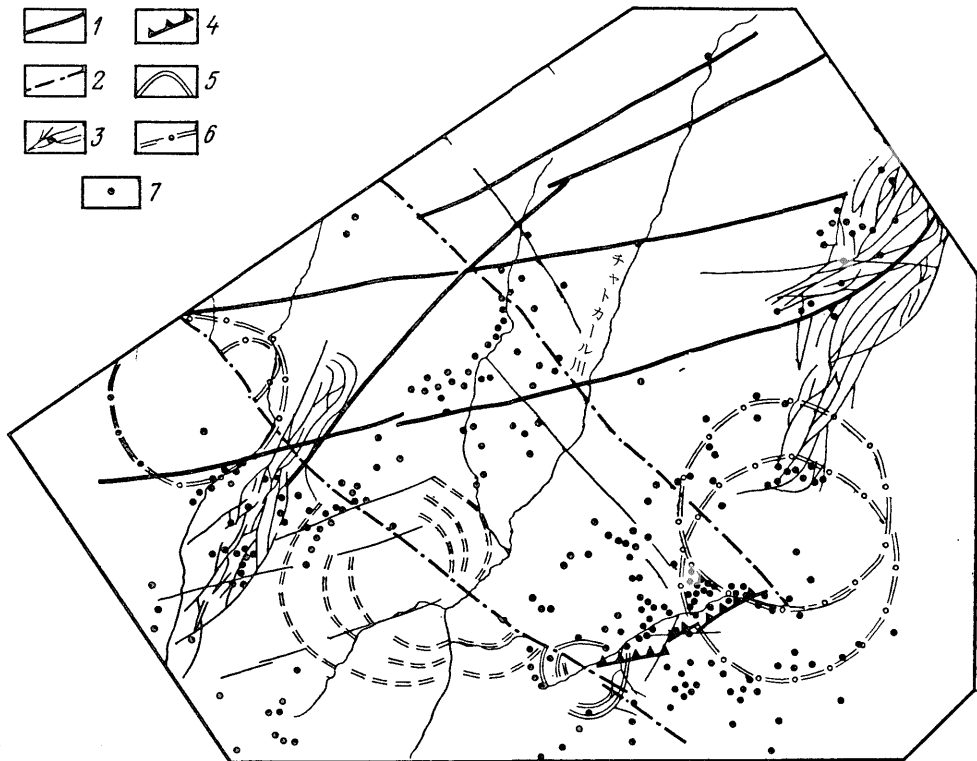
中央アジアでは、分解能中程度の宇宙撮像の解読によって、比較的安定した一連の構造地塊とそれを分ける比較の変動性に富んだ構造帯が識別できた。今までの中央アジアのメタロジェニー図式と比較し、変動性に富んだ構造帯の場合はタングステン-錫鉱床の分布が特徴的で、アンチモン-水銀鉱床の分布にもある程度特徴が認められ、安定した地塊の場合には多金属鉱床、螢石鉱床の分布が特徴的で、銅-モリブデン鉱床の分布にもある程度特徴が認められることが指摘されている。宇宙撮像で認められる、このような法則性は、中央アジアの鉱床生成区区分と探査方針を正確にしてくれている。

分解能が中程度の宇宙撮像によってチャトカール山脈の構造が研究され、いくつかの大規模な環状断裂が識別された(第1図)。そのうちの2断裂に既知の多金属鉱床と銅鉱床が胚胎され、その2断裂の交叉節の一つに集中していることが確認された。類似性からすると、も一つの交叉節も有望と考えられる。

オホーツク-チュコトカ火山帯では、宇宙撮像の解読によって、基本的には火山-プルトン成因の大規模環状構造が明らかにされた。その解読図上には、非鉄金属系列のすべての既知鉱床が現われ、その鉱床群は主として(80%)直径 $25-50\text{km}$ の環状構造の縁部に位置することが明らかにされた。このような構造が11体解読され、そのうちの8体は鉱床の存在を示しており、加えて、残る3体の環状構造中にも、空中直視観察と地表での概査によれば、鉱徴がすでに認められている。

オホーツク-チュコトカ火山帯では、宇宙撮像の解読資料と重力場資料の総合解釈という興味深い研究が試みられている。その資料の総合解析はコンピュータを用いて行われ、内因性鉱床の発見が大きく期待できる一連の地域が識別できたのである。

多数の事実資料の解析結果は、多くの鉱床が環状構造線と各種の方向の横断断層との交叉節に集中することを示している。このようなパターンは、たとえば、カザフ



第1図 チャトカール山脈地質構造解読図 (Yu. L. IVANOV 原図)

- 1—準東西性貫構造断層 (transstructure fault)
- 2—準南北性貫構造断層 (transstructure fault)
- 3—その他の断層・断層帯
- 4—カサンサイ地溝南限境界
- 多割れ目・高透水帯によって追跡された環状構造：
 - 5—小河谷の求心的分布によって決定されたもの
 - 6—大型河谷の分布と形態によって決定されたもの
- 7—非鉄金属の鉱床

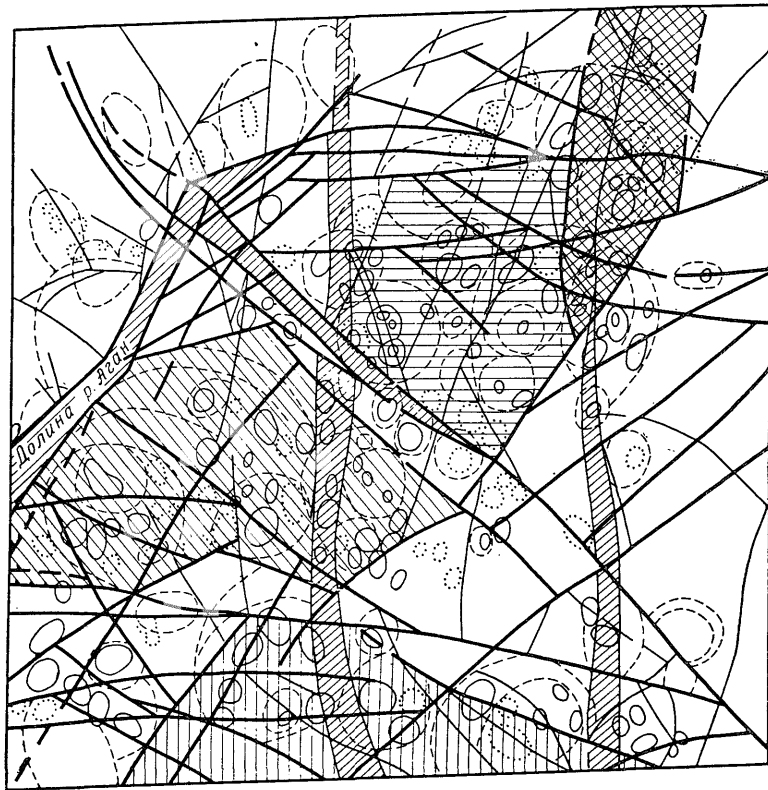
地方にみられ、同地方の斑岩銅鉱床は環状裂かどと直線状裂かとの交叉節に位置する。

分解能が中程度の宇宙撮像によって鉱床胚胎線状裂かを解読した興味深い結果(小縮尺航空写真を併用)が、コラ半島南東部の地質学的な研究の際に得られた。かつて同半島南東部の中縮尺地質図幅だけでなく、大縮尺地質図幅調査でも識別されなかった大型分散断層帯が明らかになったのである。この断層帯の延長は200 km、その幅はところによって15-20 kmに達する。この断層帯範囲に対する地表チェック踏査によって、数10 kmにわたって断続する硫化物鉱床が発見された。

分解能が中程度の宇宙撮像は、石油と天然ガスの探査に使用される。西シベリアのヤマール半島とニジュネヴァルトフスク地膨、トゥラーン盾状地、カスピ海沿岸凹地では、有望油層及び天然ガス層胚胎構造のすぐれた予

測結果が得られた。宇宙撮像の解読資料と地震探査資料の総合解析結果から明らかになった、ニジュネヴァルトフスク地膨内の局地性構造は、試錐によってすでに実証されている(第2図)。

宇宙撮像の解読結果を基礎に、地球物理学的研究の資料を参考にして編纂した、縮尺1/2,500,000の、ユニークなアラール海-カスピ海油田・ガス田区リモートセンシング構造地質図は、たしかに注目に値する。この図には、さまざまなオーダの確定断層、基盤の地塊、卓状地被覆堆積層の地膨状隆起、個々の局地性構造が表現されている。そのほかには、岩塩ドームと考えられる、多数の撮像異常も記入されている。この油田・ガス田区でもっとも注目しなくてはならないのは、岩塩層下位累層の大規模な隆起構造である。岩塩層下位累層の既知構造の宇宙撮像を詳細に研究することは、そのような構造が以前に



第2図 西シベリア卓状地中央部オビ河中流地域の地質構造解読図

- 1—地形にわずかに現われた先新生代の断層(a)と断層帯(b)
- 2—地形に明瞭に現われた新生代の断層(a)と断層帯(b)
- 3—宇宙撮像から解読された地形隆起の輪郭
- 4—宇宙撮像から解読された鮮明なドーム(a)と不鮮明なドーム(b)
- 5—8—各種の隆起落差(5→8に大から小)を備えた地壘-地塊

は知られていなかった地域を類似像類推法によって把握できる可能性を与えてくれる。

この図にもとづいて、地質区分が行われ、有望油層・ガス層胚胎区域が把握され、そのことによって、地質調査・油田ガス田探査の主な実施方針と実施順序が決定できたのである。

分解能が大きい宇宙撮像は、航空写真及びレーダー航空撮像とともに、地質図の作製に用いる基本資料、縮尺1/200,000と1/50,000の地質図の修正資料、鉱床の局地的予測と探査実施の資料となる。これらの研究への補足資料として、いくつかの種類の分解能が中程度の宇宙撮像も用いられることがある。

分解能が大きい宇宙撮像は、造鉱物質供給構造だけでなく、鉱床胚胎構造の解読も可能であり、地質生成体の物質組成もほぼ完全に確認できるもの、すなわち、鉱床

の層相規制や岩石学的規制の要素も明らかにできるものである。現在すでに、鉱床や有望露頭の発見も含めた、各種の鉱物資源の探査に高分解能宇宙撮像が有効に使用された例は、かなりの数に達している。

カザフ共和国バルハシ湖沿岸地方の一地区では、高分解能のスペクトル帯宇宙撮像から、以前に知られていた、硫化物鉱床の散在する露頭群は一つの連続鉱化帯にまとまるものであることが判明した。この解釈は野外探査で証明され、その後同地区では、有望な一連の銅鉱床が発見されるに至ったのである。

オホーツク-チュコトカ火山帯の中央部では、宇宙撮像によって延長およそ200 kmの南北性大規模断層が解読され、以前からよく知られていた2体の非鉄金属鉱床がその断層帯に胚胎されていることが指摘された。この2鉱床と発見された断層との成因的な結びつきが確認され

たことは、非鉄金属鉱床の有望地域を拡大し、探査範囲を限定し、探査目標をしぼる上で役立っている。

鉱物資源の直接探査法の開発に関してもっとも期待できるのは、狭いスペクトル帯でのリモートセンシング情報の利用及び鉱床・鉱床帯のスペクトル特性・幾何模様組み合わせの解読へのコンピュータの利用である。合成カラー映像の解読は、新しい、多くの地質学的な資料を生む。たとえば、トルケスタン山脈とアライ山脈を例にとれば、そのことがよくわかるだろう。両山脈では、合成カラー映像の解読によって、多数の断層（とくに主要褶曲構造に直交及び斜交する断層）、構造的節理に富み、かつ透水性の大きい地帯、熱水変質岩体などの存在が明らかになったのである。

ハイダルカン鉱床田では、かつて知られていなかった一連の断層が解読されたが、その中には厚さ数10mのルーズな地層に被覆された断層も含まれている。これらの断層の地球化学的な研究の試行結果は、それにアンチモン-水銀鉱床が胎胎されていることを示唆し、そのことが新しい探査方針を立てる上で効果的であった。宇宙撮像と高高度航空写真が、地球物理探査資料と併せて、ウズベク共和国クラミンスク地区における地質学的な予察と縮尺1/25,000の探査で広く用いられ、同地区での精密探査対象面積は当初の案の1/7に縮小することができた。

地質情報の入手のほか、リモートセンシング資料（航空写真も含め）は、坑道掘進方向、試料採取点、地球物理観測グリッドの設定、さらにあらゆる種類の図の編纂のそれぞれを基礎として、きわめて効果的に使用できる。

リモートセンシング法によれば、地下水の生成条件について必要な情報を入手し、その推定分布範囲を明らかにし、地下水資源の広域予測を行うことができる。このような課題を解決するには、地下水資源発見の可能性を直接ないし間接に示す自然界の要素（探査指標）とその組み合わせが宇宙撮像によって把握されなくてはならない。

地下水資源の間接探査指標、すなわち、地質構造、堆積相、水理地質、地形、地球生物上の指標が宇宙撮像からかなり完全に把握できる。宇宙撮像の解読によって、断層系、破碎・高割れ目帯、アーテシアン盆地構成向斜

及び背斜構造、山間盆地などが把握できる。宇宙撮像によって、さまざまな層相構成の岩層とそれに応じた浸透性、すなわち地下水の重要な探査指標が区分できる。地下水資源の生成には、砂層、砂礫層、そして弱膠結砂岩と同石灰岩がもっとも適している。地下水資源の生成に適した条件の特徴をあらわす水理地質学的な指標も、宇宙撮像からかなり明瞭に読みとれる。また、宇宙撮像は地下水の地形学的探査指標、すなわち扇状地、河谷などの把握と評価に対する情報にいちじるしく富んでいる。

リモートセンシング資料から地下水資源の直接探査指標を決めることは、非常に難しい。好適な条件下では、親緑植生の成長の大きな源泉ないし関与物の形で、地下水の自然上昇帯が直接探査指標となることがある。地下水資源は、河川網の特徴ないし宇宙撮像の暗色トーンからも判別することができる。

宇宙撮像での指標の組合せから、淡水成又び弱塩成地下水資源の探査にとって有望な水理地質構造、すなわち、山間盆地、前陸盆地、河谷、大型アーテシアン盆地、褶曲山地アーテシアン盆地、裂か水・裂かカルスト水随伴局地性構造が明らかにできる。

以上のように、現在までのリモートセンシングによる研究の試行結果は、鉱床分布法則と鉱床探査の多くの研究方法の中でリモートセンシング法が信頼できるものであることを示している。リモートセンシングの利用は、創造的なアプローチ、当該地域の特徴の配慮、他の探査法との併用を必要とする。宇宙撮像の地質学的な解読は、他の方法にすべてとって代るものではないが、ある特定目的に利用し、有望でない地区を前もって選定し、そのことによって予測・探査事業の経費を節減する可能性を与えてくれる。

鉱物資源の分布予測と具体的な探査計画立案の基礎として、個々の地域のリモートセンシング地質図の準備が急がなくてはならない。とくに重要なことは、リモートセンシング地質学的研究資料で識別された有望鉱床帯、有望産油・ガス構造、推定地下水分布地区の検討組織を作ることである。

金鉱床探査への宇宙撮像の適用*

A. L. STAVTSEV and V. N. FROLOV*

(全ソ航空地質科学生産統一機構)

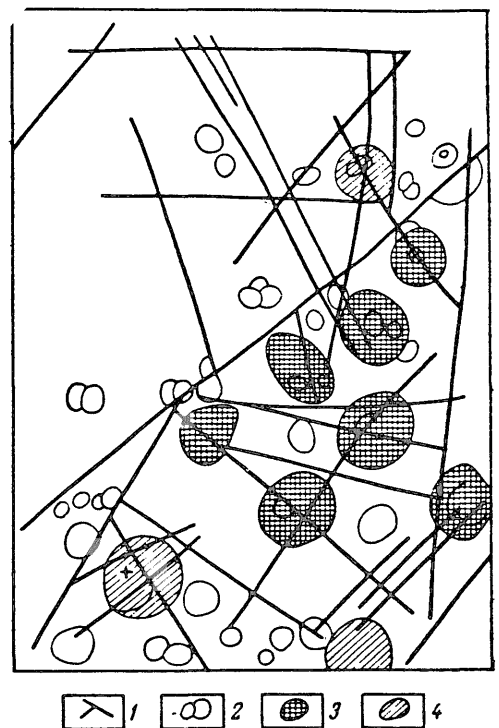
地表の宇宙撮像は地質学的研究、とくに小縮尺地質図と広域地質構造解析にますます広く利用されるようになってきた〔2, 3など〕。ごくまれながら、宇宙撮像は鉱床探査にも用いられている。宇宙撮像の綿密な研究、既知鉱床の空間的位置と宇宙撮像の解読結果との比較は、ある種の鉱物資源の分布法則が判断できる、新たなアプローチの可能性を与え、具体的な探査地域が判定できる可能性を与えてくれる。

この小論の研究対象地域には、始生代と原生代前期の変成岩層、リーフェイ期と古生代の転位した陸源岩層と陸源岩-炭酸塩岩層をさまざまに被覆した、ほぼ水平に近く分布する、中生代の主として中性組成と酸性組成の火山岩層が広く発達している。多数の断層(主として正断層、まれには衝上断層と水平転位断層)が認められる。

浅浅成金鉱床・金銀鉱床が上記火山岩層中において、一般に酸性火山底火山岩体と同噴出岩体中に胚胎されている。その鉱体は、石英脈、網状体、珪化角礫岩帯で、ときには石英-炭酸塩脈、石英-螢石脈のこともある。

母岩は一般に、珪化(二次珪岩の形成)、粘土化、プロピライト化されている。鉱床の構造規制は、明瞭に現われていない。鉱床は、一般に陥没凹地である、大規模な火山-造構造成構造の縁部に胚胎されるものと思われる。鉱床の配列上とくに大きな意味をもっているのは、大規模断層群、なかでも潜頭大規模断層群である。大規模な火山区の縁部が有望という推定が行われ、それと同時に鉱床が当該火山区の中央部にも記録されている。金鉱床の構造地質的な規準の把握は、きわめて困難である。火山-造構造成構造の判定には、火山岩相の綿密な解析を伴った精密地質図化が必要である。潜頭断層帯は、地質図と広域地球物理場の総合解析によってのみ、決定可能となる。この地域における金鉱床分布法則につ

いて、宇宙撮像の研究から、新しい、興味ある資料が得られた。人工衛星から入手した、本地域の縮尺1/1,000,000宇宙撮像によって解像基礎図が組み立てられた。この解像基礎図の解読によって、多数の直線状断層と環状構造が把握された(第1図)。そのうちの環状構造の直径は、5 km から60 km までさまざまである。この環状構造の圧倒的大部分は解像基礎図の研究によって発見されたもので、既存の縮尺がさまざまな地質図では、明らかになっていなかった。



第1図 宇宙撮像解読図

- 1—断層
 - 2—環状構造
 - 3—既知金鉱床胚胎構造
 - 4—未知金鉱床胚胎有望構造
- +印は、検討のために選定した構造

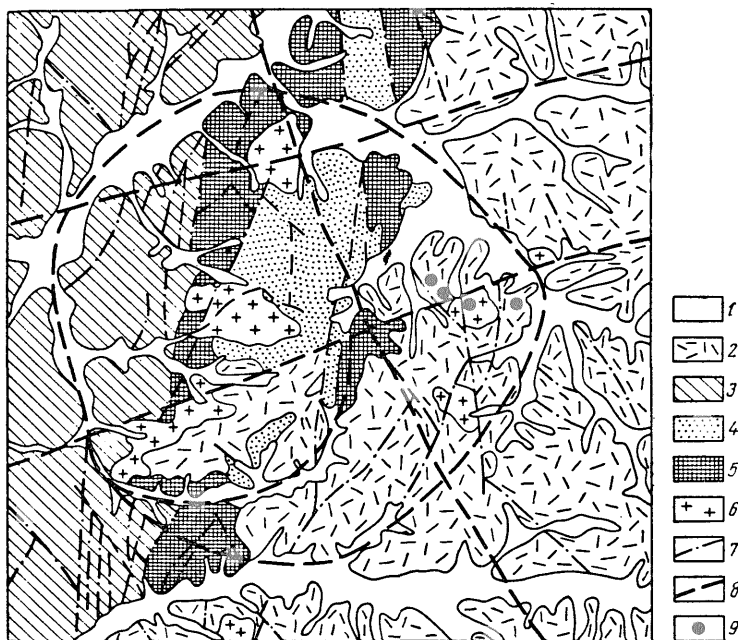
* A. Л. Ставцев, В. Н. Фролов (1980): Использование космических снимков при поисках золотого оруденения: «Разведка и Охрана Недр», no. 1, стр. 22-25 (A. L. Stavtsev, V. N. Frolov: Application of cosmic photograph to the prospecting of gold ore deposits: «Prospecting and Conservation of Mineral Resources», no. 1, p. 22-25, in Russian)

続いて、解説図上にすべての既知初成金鉱床が記入された。それで判ったことは、環状構造内に既知初成金鉱床のおよそ80%が分布し、しかもそのまた大部分が直径25-50 kmの環状構造内に集中することである。一般にこの金鉱床は環状構造の内縁部に位置することが多く、中央部に位置することはまれである。環状構造の境界線は、しばしば河谷と一致する、細い、明るい、まれには暗い線帯として解説される。環状構造の内側には、一般に、火山底火山岩体と噴出岩体が分布し、ときには半深成岩体が存在することもある。いくつかの環状構造は、磁気場と重力場の中に形を浮かぼりにしている。このような環状構造の解明をめざした研究は始まったばかりであるが、すでに現在では、かなりの確からしさをもって、この種の環状構造が深部マグマ溜りに対応し、火山活動の中心をあらわし、おそらく環状境界線は構造的節理ないし断層であろうと推定されている。

環状構造の縁部に多く集中する、金鉱床の経験的に知られている分布法則は、熱水鉱液と成因的に結びついた

マグマが環状境界線で浸透しやすかったためと解されてよいだろう。解像基礎図の解説によって、直径25-50 kmの10体の環状構造が発見され(第1図参照)、そのうちの7体が既知金鉱床を胚胎するものであった。このことは、未知の金鉱床が賦存するという点で、環状構造が有望であることを示している。しかし、環状構造は、地質学的にも鉱床探査の面でも、研究がまだ進んでいないのが特徴である。

検討のために、上記10体の環状構造のうち、広い火山区の端に位置した1環状構造が選ばれた。この環状構造は、主として河谷と一致した、細い線として読みとれる。その直径は約40 kmである。また、この環状構造は、細い線として読みとれる、多くの場合、河谷と一致した、いくらか幅のある直線状断層と交叉している(第2図)。この環状構造範囲の大部分に原生界下部統と始生界の変成岩層が発達し、リーフェイ統と古生界の陸源岩-炭酸塩岩層に蔽われている。別に、基盤の不均一な変成岩層上には、およそ500 km²にわたって、層灰岩と凝灰質砂岩



第2図 環状構造の地質概図

- 1—沖積第四系
- 2—白亜系安山岩, 石英安山岩, 同凝灰岩, 同凝灰質砂岩, 同層灰岩の準水平層
- 3—リーフェイ統-古生界下部系転位陸源岩-炭酸塩岩層
- 4—古生界上部系弱転位陸源岩-炭酸塩岩層
- 5—原生界下部系-始生界変成岩層
- 6—中生代花崗岩類
- 7—地質図幅調査の際に確認された断層
- 8—宇宙撮像から解説された線状、弧状、環状構造要素
- 9—金鉱床

の薄層を伴った白亜紀の安山岩, 石英安山岩, 同質凝灰岩が被覆, 分布する. この火山岩層の最大の厚さは700-1,000mと見積られる. この環状構造内に存在するすべての生成体は, 白亜紀の花崗閃緑岩, 花崗斑岩, 花崗閃緑斑岩の岩株とラコリス状岩体にきられている. 断層は主として NE-SW 方向のものが広く発達し, 環状境界線を強調するものもある.

火山区内でのヘリコプターによる直視観察の結果, 石英脈群からなる3鉱化区が発見され, そのうちの2鉱化区では斜積層と崖錐層中に脈状石英の堆石が, 第3の鉱化区では山腹斜面に脈状石英の露出が認められ, 3鉱化区のうち1鉱化区では, トレンチが掘られた. 同鉱化区では, 尾根と山腹の中性凝灰岩層からコロホーム状縞状石英の塊が多数産出した. 同鉱化区で, 脈状石英の点試料2個と大型研磨用試料1個が採取され, そのすべての試料の研磨片から自然金が確認された.

それから地表調査が行われ, 探査坑道が掘進され, 溝サンプリングが行われた. これらの調査・探鉱の結果として, 石英脈群からなる新たな鉱化区が発見され, 計4鉱化区の暫定的な評価がなされた. 金鉱化作用は, 石英脈, 網状鉱体, 直線状細脈珪化帯に集中し, 石英脈の幅は0.5mから6m, 延長は200mから最大800mである. 個々の網状鉱体の規模は0.2 km², 直線状細脈珪化帯の延長は500-1,000m, その幅は最大150mである. 網状鉱体と直線状細脈珪化帯の石英脈・脈状石英の量は5-30%を占める. 盤際変質帯では, 石英脈が石英角礫岩に変わることが多い. 母岩である凝灰岩と花崗斑岩は粘土化, プロピライト化及び珪化されている. 脈状石英には, 2世代のものがある. 第1世代のものとしては, 白色及び淡灰色の, ところによっては微細に分散する硫化物 (輝銀鉱, 黄鉄鉱, 方鉛鉱, その量は全体として石英量の1%以下) に富んだ, 塊状, 薄板状, 陶土状の石英がある. 第2世代の石英は周期的縞状構造を備え, 透明度と色調を異にした縞で構成されていた. その縞の幅は1-25mmで, ときには石英の縞と縞との間に微細鱗状絹雲母-緑泥石-氷長石集合の薄い縞がみられることもある. 金の鉱化現象は, 両方の世代の石英中に認められる. 自然金は針金状を示す場合が多く, そのことが浅成金鉱床の典型をあらわしている[4]. この鉱化区から産出する自然金の結晶形 (八面体, 菱面八面体) は, 細脈-鉱染帯と網

状帯の鉱体の上部レベルに特有のものである[1].

以上のように, 解像基礎図の研究及び解読結果と既知金鉱床の分布位置との比較検討は, 探査対象地積を局限できる可能性を与えてくれる. 当該地積の範囲に対する航空直視観察も, 効果的であることが判った. これらの研究・比較検討・直視観察は, 地表探査を実施すべき具体的な地区の選定にきわめて有効である. 加えて, 労働時間, 労働手段, 労働経費が大きく節約できる. 鉱床探査へのリモートセンシング資料の利用は, ほかの地域でも, まず第一に広く火山岩が発達した地域でとくに効果が大きいと思われる. 個々ばらばらな宇宙撮像でなく, 広大な地積を抱括した解像基礎図を研究することは, 非常にすぐれた成果をもたらす, 当該地方における鉱床分布の一般構造的な法則の解明を大いに助けてくれる.

文 献

- 1) R. A. Amosov, Yu. R. Berman (1974): On the skeleton crystals of native gold from Khakandzha deposit: in book "Minerals and mineral paragenesis of hydrothermal ore deposits", Leningrad, p. 122-129 (in Russian)
- 2) I. I. Bashilova, V. K. Kremin, G. V. Makhin (1973): Cosmic television photographs as a medium of tectonic zoning of large territories and prognosis of mineral resources (on the example of West-Siberian platform and its adjacent districts): in book "Research of the natural agent of cosmic medium. Geology and geomorphology", Moskwa, [VINITI], p. 102-110 (in Russian)
- 3) V. N. Yeryukhanov, V. K. Yerebin, B. N. Mozhaev (1977): Cosmic exposure in geology: <<Sovetskaya Geologiya>>, no. 11, p. 86-94 (in Russian)
- 4) N. V. Petrovskaya: Native gold: Moskwa, 1973 (in Russian)

(受付: 1980年9月26日; 受理: 1980年10月2日)