

パキスタン北部における地化学探査

鈴木 満¹⁾・Said Rahim Khan²⁾・Tahseenullah Khan²⁾

1. はじめに

パキスタン国北部のインダス川やその支流のギルギット川, フンザ川などでは, 地元の人たちが川砂から砂金を採取している. この砂金の量に関する正確な統計はない. しかし, 調査地域の中心都市であるギルギットの町における聞き取り調査では, 採取はいたる所で行われ, また場所によっては一時期に数百人もが砂金採取に従事したことがあるといわれる. さらに, 金のナゲット(塊金)が得られたとの話もあちこちにある. これらのことから, この地区に存在する金はかなりの量にのぼるものと推定される.

地元の人々は, この砂金の起源をギルギット川やフンザ川沿いに分布する変質帯(変質:熱水の作用により特有の鉱物が生じること)中の石英脈から流れ出したものであるとか, 氷河の下にあるとか漠然と思っているが, それは科学的根拠に基づいているものではない.

本調査では金の起源を明らかにすることを主目的として, 川砂を用いた地化学探査を実施した. 調査地域は地元での聞き込みにより, 金の採取実績があるインダス川支流のギルギット川, フンザ川の流域に設定した.

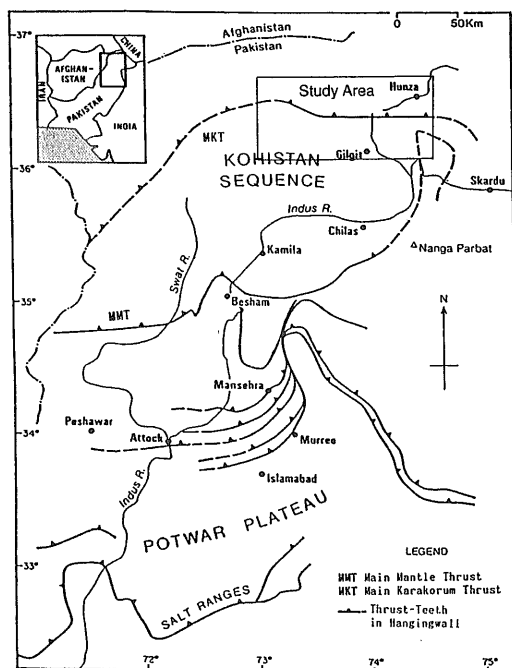
2. 地域概要

(1) 一般状況

第1図に調査地域位置図を示す. 調査地域はパキスタン国北部の北緯 $35^{\circ} 50'$ から $36^{\circ} 40'$, 東経 $73^{\circ} 0'$ から $74^{\circ} 40'$ の面積約 $12,000\text{km}^2$ の範囲である. 調査の入り口にはシルクロードの支道の一つ

である天山南路中の交易地として古くから栄えたギルギットの町がある. この町では, 大昔から続いていると思われるバザール(市場)がよく開かれる. そこでは, 真っ赤な鶏冠石(砒素鉱物, 金鉱脈に伴われることがある)や緑色の孔雀石(銅鉱物)なども売られている. 鉱床探査では, こんな所からも探査の糸口が得られることがある.

ギルギットの町の標高は約 $1,500\text{m}$ で, 付近にはナンガパルバット(標高 $8,125\text{m}$)やラカポシ($7,788\text{m}$)などの標高 $7,000\text{m}$ 以上の高峰がいくつもそびえる. 河川もこれらの山々を深く下刻し, 全体として非常に厳しい地形となっている(写真1). さらに, フンザの周辺では氷河が見られる. 従来こ



第1図 調査地域位置図.

1) 住鉱コンサルタント(株):
〒160-0021 東京都新宿区歌舞伎町2-16-9
2) パキスタン地質調査所 地質科学研究所

キーワード: 地化学探査, 金鉱床, 単一変量解析, 多変量解析,
パキスタン

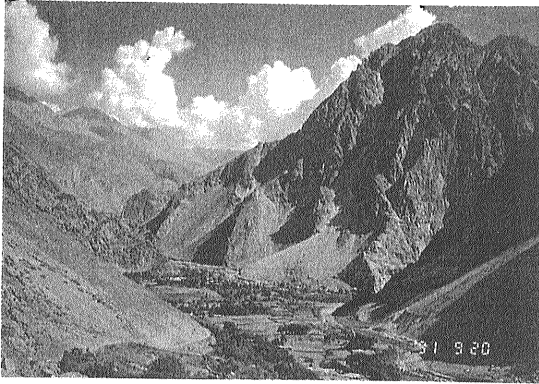


写真1 調査地域北東部フンザ付近の地形。

の地で活発な鉱床探査活動が行われなかったのは、このような厳しい地形によるのかも知れない。ギルキットの月別最高気温は5℃(1月)～35℃(8月)で、冬季は寒い。一年を通じてフィールド調査には適当な気温を示す。

地形が厳しいわりに地域内のいたるところに小さな部落がある。それらの部落へは4WDの車で走れる道路が通じている場合が多い。

(2) 地質概要

調査地域のほぼ中央部をMKT(Main Karakorum Thrust)と呼ばれる大断層(構造線)が東西に走り(第1図)、この断層の北側と南側で地質は大きく異なる。

北側はアジア(ユーラシア)プレート上にあり、主に古生代～中生代の堆積岩類と白亜紀～中新世にそれに貫入した花崗岩類(カラコルムバソリス)からなる。

南側はかつての島弧(現在の日本列島が典型的な島弧で、海溝・火山・地震などの現象が見られる所)の一部と考えられており、火山岩類を主とし、それに白亜紀～中新世の花崗岩類(コーヒスタンバソリス)が貫入する。

3. 地化学探査

資源の調査には地質学、物理学、化学をはじめ、あらゆる知識を活用して探査がおこなわれている。地球化学探査(地化学探査)はそのなかの一つで、鉱床の生成、風化、運搬などに関連して分散した元素の分布状況をてがかりに鉱床の存在を推測し

ようとするものである。

鉱床とは、有用元素が現在の経済状態で抽出可能な程度に濃集して含まれている地殻中の部分で、地殻の平均存在度に対して金や銀では1,000～数千倍濃集することが必要とされる。

このように鉱床と普通の岩石の間には有用元素の濃度に大きな差がある。したがって鉱床周辺にはその影響が広範囲におよび、経済的には採掘に結びつかないが、有用元素が異常に濃集した部分がひろがる。地化学探査は、この異常濃集帯(異常帯)をまず捕らえそれを手がかりにして鉱床を見つけようとする探査方法である。なお、鉱床周辺に異常帯を形成する元素は必ずしも目的とする有用元素に限らない。例えば、鉱脈型金鉱床にはしばしば砒素が含まれる。砒素は蒸気圧が高く金よりも広い範囲に分散するので金鉱床探査によく用いられる(このような元素は指示元素と呼ばれる)。

4. 試料採取分析

地化学探査を行う場合、河川堆積物、岩石、土壌などがよく用いられる。本調査のように非常に広域な面積から効率よく鉱床が賦存する有望域を探し出すには河川堆積物が優れている。これは、河川堆積物が採取地点よりも上流の岩石の混合物であり、1試料で広い地域を効率よくカバーできるからである。

試料の採取には80メッシュ(180 μ m)のフルイを用い、より細かいものを集め、粒度をそろえる。これは、粒度により同一地点で採取された試料でも化学組成に差異が有ることが知られていることに

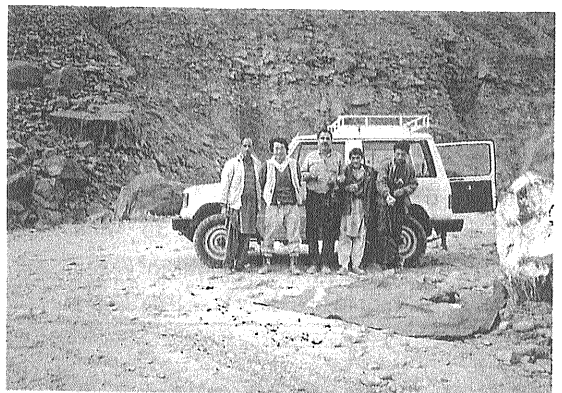


写真2 調査団メンバー



写真3 重鉱物を採取しているところ。パンニングという、原始的方法であるが、現在でも鉱床探査の最も有効な手法の一つ。

よる。また、パンニングにより重鉱物を採取するとともに、金粒の有無を確認しながら調査を行った(写真2)。調査団は地質技師2名、ドライバー1名、作業員3~4名計7~8名で構成される(写真3)。地質技師の役割は非常に重要で、試料採取位置を選定するとともに、付近の地質を十分に観察し、結果を解釈しなければならない。

化学分析成分はAu, Ag, As, Ab, Cu, Pb, Zn, Mo, Hg, Biとし、分析試料数は92試料とした。なお、現在では化学分析はすべてパキスタン地質科学研究所で可能となっている。

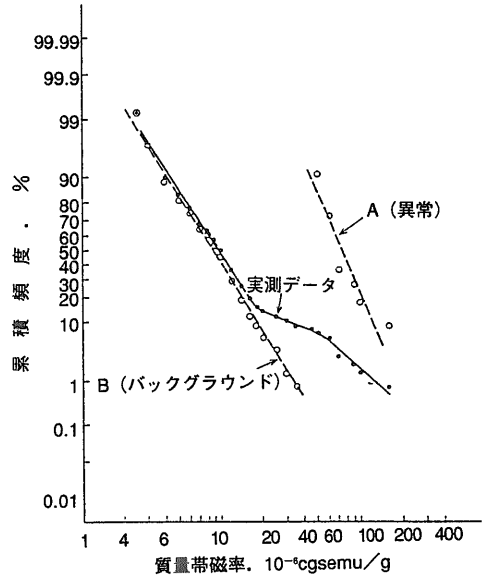
5. 解析作業

(1) 基本統計量

河川堆積物中の金は1~6,200ppbの範囲にあり、大部分の試料が10ppb以上の含有量を示した。金の平均地殻存在量は1~5ppbといわれる(例えば、Rickwood, 1981)。このことから本地区は金が異常に濃集しているといえる。以下に分析の結果から鉱化作用に由来すると推定される地化学異常をいかに抽出したかについて述べる。

(2) 単一変量解析

地化学データを統計的に処理し、鉱化作用に由来する地化学異常を抽出しようとする場合、頻度分布に関する解析は最も一般的かつ基本的なものである。一つの母集団に属する地化学データの統計的分布は、正規分布または対数正規分布で近似し

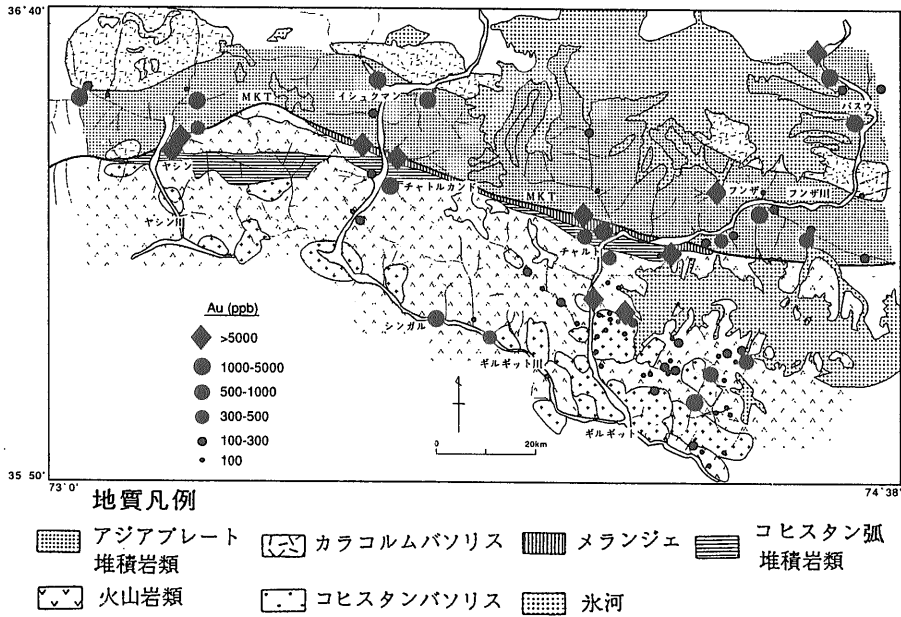


第2図 単一変量解析の例(大津ほか, 1984)。ここでは帯磁率を横軸にとっているが、化学分析値でも意味は同じ。このグラフ用紙を対数確立紙といい、正規分布を示す統計的分布は直線となる。

うる場合が多いが、バックグラウンドと鉱化作用などのように2つ以上の母集団で構成される複合母集団では、正規型の分布を示さないのが普通である。そこで、複合母集団からいかに異常母集団を抽出するかが地化学探査のテーマの一つとなり、各種の方法が提案されてきた。ここでは、大津ほか(1984)の提案した以下の方法により異常母集団を抽出した(第2図参照)。

一般に地化学データは対数確立紙上で一直線には乗らず、対数正規分布を示さない。そこで、最も高い値を除去し、改めて累積頻度分布を描くと直線性は前のものよりよくなる。このような除去操作を次々と実施し、直線性が最もよくなるまで計算を繰り返した。

解析は各元素別に行い、地化学異常を抽出した。さらに地化学異常をいくつかに分け、分布図に示した。第3図には重鉱物中のAuの濃度分布を示す。なお、重鉱物中の金は300ppb以上が地化学異常と推定された。金の高含有量を示す試料はヤシン、チャトルカンド、チャルト、フンザ、パス付近のほかギルギットの東北方にも数点高濃度を示す地点が見られる。地質との関係では、チャトルカンド、チャルト、フンザ付近はMKTと関係があるのが明



第3図 河川堆積物(重鉱物)中の金含量分布図.

瞭である。パスウ付近、フンザ付近の一部、イシュクマンの異常はアジア(ユーラシア)プレート上の堆積岩類中の異常である。ギルギットの東北方の異常は花崗岩類に関係しているかも知れない。

次に因子分析という統計的手法によってこれらの金の異常がどのような鉱化作用と関連しているかを検討する。

(3) 多変量解析

地化学探査では、金が高い含有量を示す試料は、同時に砒素やアンチモンの含有量も高いというようなことがしばしば起こる。これはこれらの元素の分布に共通した要因が働いているからと推定される。金-砒素-アンチモンという元素組み合わせは浅熱水性金鉱床によく見られる。そのような関係を検討するため、全データについて因子分析を行った。因子分析は元素間の相関を明らかにするための統計解析で、関係が強い元素は成因的に関連が深いと推定される。

因子分析では、各元素間の相関の強さに基づいて、数学的な手法により、元素濃度の大小を支配する因子を抽出する。その結果、各因子ごとに因子負荷量及び因子得点が計算される。因子負荷量は、各元素ごとに算出され、値が大きいほど因子

第1表 因子分析の結果.

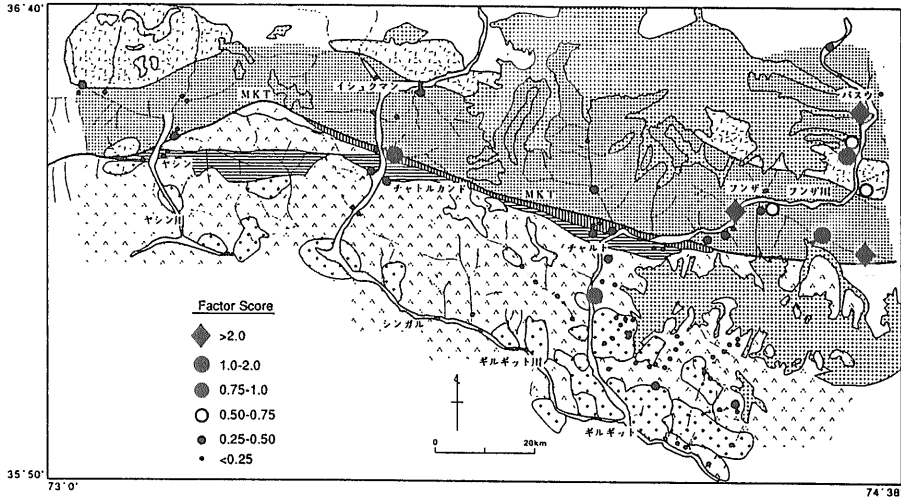
因子	構成主要元素
ファクター1	Pb > Ag
ファクター2	Bi > As > Ag > Au
ファクター3	Cu > Mo > Ag
ファクター4	Sb > Au > Ag > As
ファクター5	Zn

がその元素に及ぼす影響が大きい。また、因子得点は各試料ごとに算出され、値が大きいほど因子とその試料との関連が強い。第1表に第5因子まで計算した結果を示す。5個の因子で全分散の82.5%までが説明される。

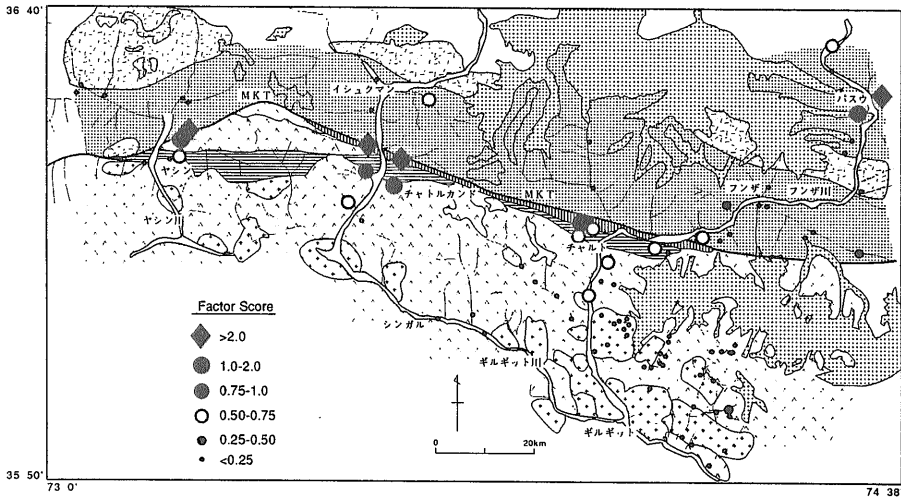
金の鉱化作用に関連する因子として第2因子と第4因子が抽出された。第4, 5図に各因子の因子得点分布図を示した。

第2因子はAg-As-Bi-Auの因子負荷量が高い。因子得点はフンザ周辺からパスウにかけての地区で、高い得点を示した。この付近の氷河直下から採取した石英脈の金含有量が7ppmと比較的高い含有量を示したこととBiがこの因子中に含まれることから比較的深部で形成した深熱水性鉱床を示している可能性が考えられる。ただし、この因子の高得点の位置のほとんど全てが氷河直下から採取した試料なのでこの型の鉱床が発見される可能性は低い。

第4因子はAu-Ag-As-Sbの組み合わせを示し、こ



第4図 因子得点分布図(ファクター2).



第5図 因子得点分布図(ファクター4).

これは浅熱水性金鉱床を示す因子と考えられる。チャルトからチャトルカンドを経てヤシンにいたるMKT沿いの沢で高い因子得点が得られた。このことからMKTは金鉱化をもたらす熱水の通路となった可能性がある。

第2因子はCuとMoの因子負荷量が多い。この因子の得点が高い地区には斑岩銅鉱床が存在する可能性がある。

まとめ

川砂を用いた地化学探査によりチャルトからチャトルカンドを経てヤシンにいたるMKT沿いが浅

熱水性金鉱床が賦存している可能性が高い地域として抽出された。この地域は地形が急峻ではあるが氷河には覆われておらず、次段階の調査の第一候補地点である。また、フンザ付近のMKT沿いにも中～深熱水性金鉱床の賦存が期待できるが、多くは氷河に覆われ、調査・開発は困難であろう。

地化学探査は最近になり急激にその有効性が高められた探査手法の一つであるが、その要因の一つとして、多元素を多量に処理できるICP等の分析機器の発展、および分析結果を直ちに解析できるパソコンの普及があげられる。本調査当時はまだプロジェクトの進行段階にあり、試料の分析、統計解析ともにパキスタン国外にて行った。特に分析

元素数がものたりなかった。現在ではICPをはじめとする各種の分析機器やパソコンも導入され、この点に関して大幅に改善され、同様な調査が各地で実施され新規鉱床の発見の手がかりとなることが期待される。

本調査の実施中に痛感したのは、本地域のような地形急峻な地域で効率よく調査を行うための、車載可能な高性能分析機器の導入である。これにより調査結果の解析・評価およびそれに基づく次段階の作業展開が現場で可能となり、非常に効果的な探査活動が可能になると考える。

最後に本調査を実施するにあたりご援助・御協力いただいた地質科学研究所並びに国際協力事業団イスラマバード事務所の方々にお礼申しあげる。

文 献

- 大津秀夫・窪田 亮・松田陽一(1984): 地化学データの頻度分布。鉱山地質, 34, 51-56.
- Richwood P. C. (1981): Crustal abundance, distribution and crystal chemistry of the elements. Handbook of Exploration Geochemistry, Vol. 3, Elsevier, 390-403.
- SUZUKI Mitsuru, KHAN Said Rahim and KHAN Tahseenullah (1998): Geochemical exploration in the northern Pakistan.

<受付: 1998年4月2日>

パキスタンから日本へ逆技術移転

—パキスタン料理講習会—

プロジェクト方式技術移転協力により日本からパキスタンへ技術移転を行ってきたイスラマバードの地質科学研究所には、食堂が設置されており4人の職員が働いている。所内でも最も広く、ゆったりとくつろげるスペースとなっており、10時半のお茶に、1時の昼食に、3時半のお茶に、職員の憩いとコミュニケーションの場でもある。

パキスタンでは、大都会であれ田舎であれ、どのどんな食堂に入ってもそこそこ食べられる料理を口にすることができ、とても食べられないで苦勞するという事は少ない。この点は店によりレベル差の激しい日本と著しく異なる好印象を与える。食材や調理法の種類が限られているためと思われるが、地方には地方でその地域の独特の調理法によるおいしい有名料理もある。イスラマバードにはそれらの出店もあり味わうことができる。

一方、世界の国々の料理と勝負できるかという観点から入念に味見してみると完成度の高いものは多いとはいえない。辛いだけで食材の味が全く生きていないもの、加熱しすぎて菌の立たないもの、油がぎとぎとのものなど様々である。イスラマバード市内の一流有名レストランにおいても然りである。こうして食べ歩くなかで、結局、研究所の食堂の料理が最も完成度の高いパキスタン料理であると確信するに至った。この味を覚えて帰国したいという気持ちが募った。

食堂のシェフ、ラーナ・ハニフ氏は講習会の頼みを快く引き受けてくれた。相談の結果、ラマザンに入り勤務が昼までとなる期間の午後、6回にわけて教えてもらえることになった。プロジェクトの専門家夫婦のほか、通訳も兼ねて毎回2~4人の青年海外協力隊のお姉さん、お兄さんも参加、協力してくれてわが家の台所は賑わった。内容は一回に3種類(スープ、ピラフ、肉料理)の10人前を実際に作りながら教えてくれるというもので、シェフの帰った後、参加者全員でこれをいただくディナーパーティとなる楽しくかつ有り難い講習会であった。こうして計18種類の料理を直接シェフの指導で学ぶことができた。これまでの海外出張でかつてなかった貴重な経験になった。

講習会の中でもっとも印象的だったのは、料理に取り組むシェフの姿勢と執念だった。常に自分のできる最高のものを作り上げようとする注意力、観察力を最後まで集中し続けるその態度がああ味を生み出していたことが理解でき合点がいった。そして我々の技術移転においてこれだけの姿勢を示し得たか、ふと不安になった。

講習会のことは研究所のカウンターパートたちも皆知っていた。彼らのシェフの味に対する評価はまちまちであるが、「パキスタンにおけるパキスタン人専門家から日本人専門家への逆技術移転」の一句は彼らの喝采を受けた。(J. Y.)