

黄金を求めて

佐藤 英太郎¹⁾

プロローグ

串木野国家石油備蓄基地の岩盤タンク(写真1)の保守管理のため3度目の串木野勤務を始めた矢先, 金属鉱業事業団の中山事業部長から本特集号への寄稿のお誘いを受けた。

私が現在このような仕事をしているのも, 発端は, 串木野鉱山勤務時代に「昭和53年度広域調査北薩串木野地域地質調査」の野外調査を通じて, ここに割れ目が少ないため湧水が少なく比較的堅固かつ均質な岩盤があることを知ったこと, さらにその後の総合地化学探査の結果, 当該岩盤分布域は金の鉱化ゾーンから外れており, 将来とも金鉱床探査を行う可能性がないとの結論に達した(通商産業省, 1981)ことにある。串木野に串木野鉱山終掘後の新たな雇用の場の創設を渴望していたので, 国家地下石油備蓄基地の立地選定の動きがある話を聞いた折, 備蓄基地と岩盤タンクの掘削研による埋め立て地が一度にできるこの話に渡りに船の思いで串木野周辺の地質や土木工事に必要な技術要素を知る者の立場から誘致することを発案し, 会社や地元自治体と共に即座に名乗りをあげ, 地下石油備蓄基地の誘致に積極的に取組んだのである。さらに建設時には, 鉱山で得た知識をもって地質・水理担当として施工管理に従事した。

延べ8年以上に亘って直接的・間接的に私をこの地に縛ってくれた北薩串木野地域広域調査が終了すると聞くと, このプロジェクトに関わった頃の熱い思いと共に, 当時のことが鮮やかに胸中に蘇ってくる。その時々課題を背負い, 金鉱床探査に執念を燃やし, 若い日々を精一杯生きるきっかけを与えてくれたこのプロジェクトを振り返り整理してみたい。

1. ことの始まり

三井金属に入社して3年半経った1977年の9月, 当時の神岡鉱業所探査課長松任谷 滋氏から突然串木野鉱山への転勤を告げられた。赴任の直前に日本橋の本社で辞令を拝受したその夜, 当時既に第一線を退き顧問であった故岩舟達三氏に三井ビル地下の社員食堂に一人呼び出され, 一対一でビールを飲みながら次のようなことを告げられた。

「串木野鉱山は, 一時期三井財閥発展を支えた由緒ある鉱山で, 社内ではこれまで格調の高い鉱



写真1 串木野国家石油備蓄基地の岩盤タンク。海岸から約1,500m内陸に入った海拔-20mから-42mまでの地下に高さ22m×幅18m×長さ555mの巨大なトンネル(岩盤タンク)が10本掘削され, 約175万klの原油が貯蔵されている。奥に見えるのは原油を受け払いするための縦坑内配管。現在はプラグ閉鎖されているためタンクの内部を見ることはできない。当基地も北薩串木野地域広域調査の成果物の一つである。

1) 日本地下石油備蓄株式会社 串木野事業所

キーワード: 金探査, 熱水性金鉱床, 地化学探査モデル, 金の濃集機構, 串木野鉱床, 均質化温度, 変質鉱物の累帯配列, 地下石油備蓄

山として特別大切に扱われてきた。しかし知っているとおり、このところ長らく不調で、社内では整理を求める声も強い。ある者はまだ探鉱余地があると云い、ある者はもう終わりだと云う。何が本当かさっぱり分からん。しかし、いつまでも現状のまま続ける訳にもいかないから、お前はそれを見極めて来い」というものであった。

入社時の新人研修で見た申木野鉱山はいかにも古めかしく、その侘しい佇まいを寂しい思いで見たものであったが、衰えたとはいえ当時まだ100名以上の従業員を抱える鉱山の命運を託され、誰にも言えない重責をずっしりと背負って、10月に申木野に赴任したのであった。

2. 申木野鉱山

申木野鉱山は、現在約80名の従業員を擁し、枕崎市別府にある岩戸金山と知覧町に位置する赤石鉱山の2つの南薩型金鉱山を支山として稼行する一方、菱刈鉱山の低品位鉱の委託製錬とICスクラップからの貴金属類回収等により年産約2tの金を生産するわが国唯一の全泥式青化精錬所（採掘した鉱石を細粉化後、青化ソーダ溶液で金や銀を溶出し回収する精錬所）を有する鉱山である。1977年当時は、坑内採掘を行う申木野本山と南へ75km離れた枕崎市郊外の岩戸金山で金鉱石の露天採掘を行う傍ら、従業員の雇用維持対策として坑内から排出される温水を利用してセラピアという鮎に似た食用の淡水魚の養殖などを行っていた。

はや初冬10月の神岡から赴任すると、申木野はまだ眼底が痛いほど日ざしが強く、海紅豆（デイゴ）やブーゲンビリアが真夏を思わせる白い日ざしに輝いていた。冬の装いで来たため、汗だくになりながら一通り挨拶回りをした翌日から、夏服に着替え直しての勤務となった。

当面、探査課技術係長として、岩戸金山の探査と翌1978年から始まる金属鉱業事業団の広域調査を軸とする鉱山全体の長期的探査を命じられ、古い机を一つ貰った。

2.1 申木野本山

私が赴任した当時、申木野鉱山は主要部分をほぼ掘り尽くし、申木野1号鍾の戦前の高品位鉱掘場

跡の充填^{ずり}研や鉱柱の回収及び主脈周辺の細脈の採掘で何とか食いつないでいた。貧すれば探鉱資金もままならず、坑内はすっかり疲弊しており、そのままでは遠からず自然に力尽きることが明白な状況であった。申木野鉱山の立て直しには優良な探鉱余地や新規鉱床等、精錬所に供給する優良な鉱石源を緊急に獲得することが必須の状況であった。当時はどこの金山でもそうであったが、外れた探鉱ボーリングのコアが鉱床学的に検討され次の探鉱計画に生かされることも少なく、鉱床学を専攻した若い地質屋としては、歯がゆい思いをしたものであった。

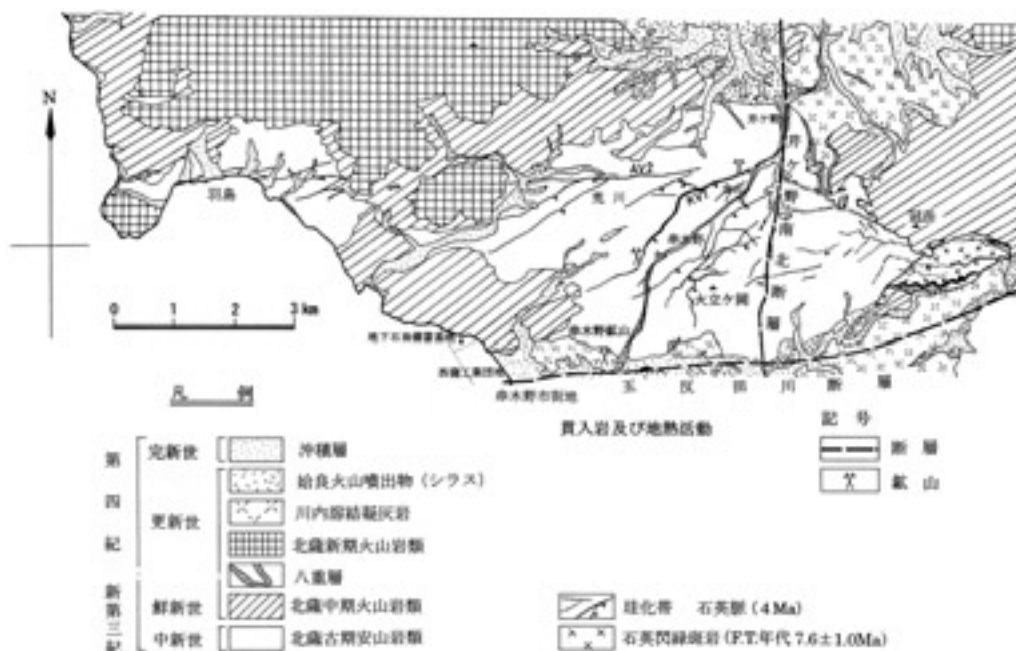
2.2 岩戸金山

一方、岩戸金山は、1965年以降申木野の支山として細々と銅精錬用珪酸鉱（カラミを造るために溶鉱炉に投入する溶剤）を生産していた。赴任直後に岩戸へ新任の挨拶に行った折、現場の探鉱責任者から残鉱余命3ヶ月と告げられ、一瞬ぼう然としたが、その場で露天堀跡に大量の掘り残し鉱が埋め戻されている可能性に気付いた。急遽鉱床研究を行った結果、大量の掘り残し鉱を発見することができた（斎藤・佐藤、1978；浦島ほか、1981a；浦島ほか、1981b）。1978年の早春、昭和53年度広域調査開始の直前のことである。探鉱屋さんとの連携プレーで鉱量切れの危機をぎりぎりのスケジュールで乗り切り、これにより、ひとまず「申木野を閉山せよ」との声を静め、申木野本山の坑内水位を揚水により海拔-150m以下に下げたまま、坑内の殆どの部分を総合地化学探査の実施フィールドとして提供する事が出来たのである。

3. 広域調査北薩申木野地域の始まり

3.1 昭和53年度調査

1978年度から、それまでの北薩地域に申木野地域が付加され、北薩申木野地域として広域調査が始まった。1978年度は、地質図作成のため、地質調査が行われた。私は全てをこの目で見、将来とも変わらない正確な地質図を作ろうと、周辺から「馬鹿みたいに歩くやつ」と言われつつ広域を詳細に調査した。この調査により申木野周辺の広域的な地質の詳細が明らかになり、高い精度の地質図を



第1図 串木野鉱山地質鉱床図。通商産業省資源エネルギー庁 (1979) から引用。

共有することにより、その後の作業を合理的に進めることができるようになった (通商産業省, 1979)。

1978年度の調査結果、芹ヶ野断層の東側、冠岳方面に巨大な石英脈や珪化岩を伴う広大な熱水変質帯が確認された。最大の石英脈は、最大脈幅が50m以上で、延長2,000mを優に超える巨大なものである。串木野鉱山坑内における串木野1号鍾の引きずりから芹ヶ野断層の東側ブロックは相対的に落ち込んでいると考えられていたこと、変質帯が白色粘土と珪化岩からなり地熱帯の地表付近の変質帯に酷似していることなどから、これこそ串木野の将来を託すべき探鉱余地となる潜頭鉱化帯ではないか、と、大きな期待を持ったのであった (第1図、第2図)。

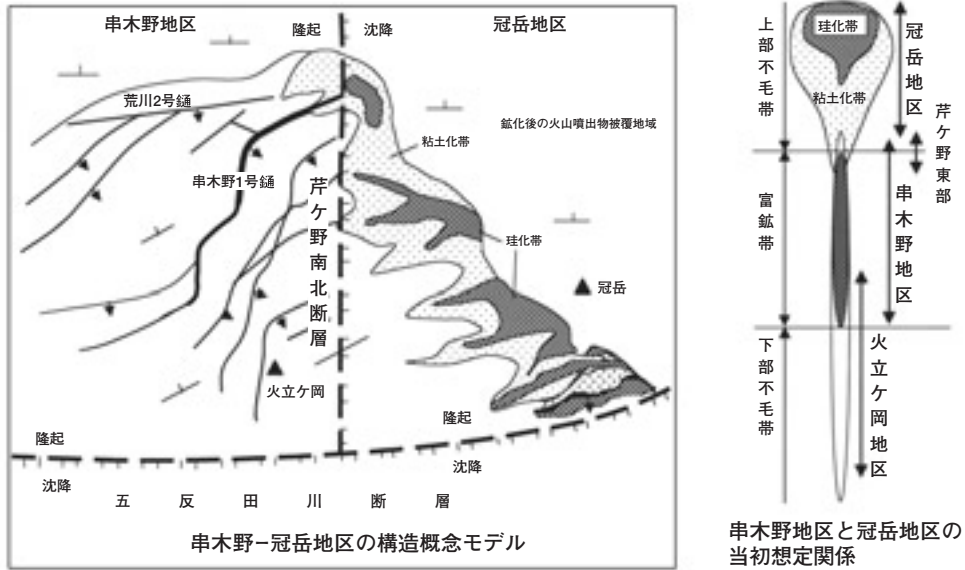
3.2 運命の出会い

当時、気鋭の鉱床学者佐藤壮郎さんが通商産業省工業技術院地質調査所から金属鉱業事業団に広域調査課長として赴任しておられ、昭和53年度調査の検討会に来られた。懇親会の席上、私は第2図のようなポンチ絵を書いて、「冠岳地区に巨大な石英脈を伴う変質帯があり、串木野の将来を託すべき探鉱余地として興味を持っているが、探査指針がない。ボーリングのコアや露頭から、それが

上部不毛帯であるのか、富鉱帯であるがたまたま低品位であるのか、下部不毛帯であるのか、それとも富鉱帯の側方にそれているのか、そのようなことを評価・判断するための道具が欲しい。串木野鉱山はいつまで持つかわからないが、下記のような条件が揃っており、浅熱水性金鉱床の総合地化学モデルを作るにはうってつけのフィールドである。鉱山にとっても日本の鉱床学にとっても今がラストチャンスであると思うので、やらせていただけませんか」と、串木野鉱山をフィールドとして総合地化学探査モデルを作成することを提案した。

- ①浅熱水性金鉱床の潜頭部から鉱床下限まで鉱床と鉱床母岩を縦横に切って多数の坑道が開削されている。
- ②鉱床生成後、五反田川断層より北側の串木野ブロックが北に20°前後傾動しており、鉱床の鉛直方向の変化を地表からも追跡することが可能。
- ③鉱床母岩が物性的、化学的に均質な分厚い安山岩質火山噴出物からなり、地化学モデルの作成に好都合。
- ④閉山する前に地化学モデルを作成し、知的財産を残したい。

話が通じる専門家との久しぶりの論議で、日ごろ一人考え、鬱積しているものを晴らすように概略の



第2図 佐藤課長に串木野地域の地質鉱床の状況を説明するために描いたポンチ絵。冠岳地区は芹ヶ野南北断層により串木野地区より相対的に落ち込んでおり、潜頭鉱床帯ではないか? と考えた。

調査構想まで勢い込んで話したように記憶している。

佐藤課長はその場で、「虎は死して皮を残す…か。ウム、君の話はストーリーがあって面白い。やっでござらん」と言ってくださった。が、それが、後にどれほど重く苦しい仕事を背負うことになるうとは、その時は知る由もなかった。研究はいつもそうであるが、データの積み上げは体力勝負、データが出てからも予想どおりに展開することは稀で、最後まで逆転劇が続く難儀なものである。

3.3 総合地化学探査の始まり

昭和54年度から串木野鉱床をモデルとして総合地化学探査が開始された。串木野における総合地化学探査は、対象地域が広いので、芹ヶ野南北断層で調査地域を2つに分け、1年次は標識地である串木野鉱山周辺地区で鉱床モデル(探査の道具)を作成し、第2年次はその道具を使って冠岳地区を調査・評価することとなった。1979年の夏は串木野地区の山々で、1980年の夏は冠岳地区の山々で、剣スコップと金てこを使い、来る日も来る日も蕪蚊や蛇にさされながら、鉱山の仲間達と泥と汗にまみれて穴掘り作業を行う暑い夏を過ごすこととなった。

(1) 昭和54年度調査

- 1) 調査面積：20km²
- 2) サンプルング：昭和54年度は、各地点ごとに脈、

脈際母岩、脈から0.5m、1.0m、2.5m、5.0mと、脈と脈の上下盤両側に10個の母岩からなる計11試料を坑内では坑道を利用し、地表ではピットを掘って採取した(第1表)。定められた位置で正確に試料を採取するため、脈の構造を勘案して予め測量し、試料採取地点を決めた。新鮮な試料を採取するため、地表におけるピットの深さは時に2mを超えた。

3) 分析・試験項目

分析・試験項目は、第1表に示すとおりである。試験項目の内、流体包有物の均質化温度測定は、九州大学の井澤英二先生に実施していただいた。

4) 調査結果

調査結果を第2表に示す。本調査では、現場で誰にでも使える道具を作ることをねらいとした。熱水性金鉱床と変質帯、微量元素及び流体包有物の均質化温度などの位置関係を体系的に把握する事に重点を置き、解析は、各指標の分布と富鉱部の位置関係から金が濃集している場の条件を指標ごとに読み取る方法で行った。ここで、富鉱部は、モデルとした串木野1号鍾において鉱量計算鉱画金品位3g/t以上(カット・オフ2g/t)の範囲とした。その結果、串木野鉱床の富鉱部の総合地化学探査像が明らかとなった(通商産業省、1980)。ここで、鉱量計算は層別チャンネルサンプリング品位による

第1表 総合地化学探査分析・試験項目一覧表.

年度	項目	試料採取方法	分析成分	地点数	試料数
昭和54年度	流体包有物	1個/地点(脈のみ)	均質化温度	100	100*註1
	地化学探査	5個/地点(脈, 1m, 5m:両側)	Au, Ag, As, Mn	42	210*註2
	変質帯調査	10個/地点(脈, 脈際, 0.5 m, 1.0 m, 2.5 m, 5 m:両側)	全岩粉末X線回折	42	420*註3
昭和55年度	流体包有物	1個/地点(脈のみ)	均質化温度	45	45
	地化学探査	4個/地点(脈, 脈際, 5m, 20m:下盤側)	Au, Ag, As, Sb	40	190
	変質帯調査	3個/地点(脈際, 5 m, 20 m:下盤側)	全岩粉末X線回折	35	105
	脈質調査	1個/地点(脈のみ)	肉眼及び顕微鏡観察	57	57

昭和54年度調査内訳 *註1 モデル作成60地点 60個, 調査40地点 40個
 *註2 モデル作成10地点 50個, 調査32地点160個
 *註3 モデル作成10地点100個, 調査32地点320個
 モデルは串木野1号鍾とし, 調査は調査地域内地表を言う。

が, スポットサンプリングによる総合地化学探査では誤差のため金品位0.5g/t以上の値が富鉱部の範囲に相当する結果となった。

全岩粉末X線回折データを整理する過程で1地点から採取したサンプルからは, 脈際の粘土もその脇の黒い変質安山岩も, さらに脈から5m離れた母岩も, 脈の上盤も下盤も, どれも区別がつかない位そっくりのチャートが得られることに気がついた。このことは, 地下数百m以上の深度において平面的に大きな広がりをもつ割れ目群を中心として形成された串木野鉱床の変質帯では, 広域的に緩慢な鉱物組成変化を示すものと考えられ, 翌年度の試料採取計画に反映された。

(2) 昭和55年度調査

1) 調査面積: 15km²

2) サンプリング: 昭和54年度の調査結果, 脈際母岩も5.0m地点の母岩も変わらない結果であったことを踏まえ, 昭和55年度は, 各試料採取計画地点で脈, 脈際母岩, 脈から5.0m, 20mと, 脈と脈の下盤側母岩を3個, 計4試料をピット掘りにより採取した。

3) 分析・試験項目

分析・試験項目は, 第1表に示すとおりである。

4) 調査結果

調査結果を, 第2表に示す。冠岳地区のほうが串木野鉱床より高温を示し, 串木野1号鍾をモデルとする判定基準では冠岳地区を評価できないことが分かった。

4. 地化学モデルの誕生と夢の崩壊

4.1 総合地化学モデル

作成された総合地化学モデルの一つを第3図に示す。総合地化学モデルから下記のこと分かった。

- ①全ての指標が, 串木野ブロックと冠岳ブロックが一続きの地熱帯であることを示した。
- ②全ての指標が, 冠岳地区を地熱中心とし, 地熱流体が西に向かって流動したことを示した。
- ③地熱流体の温度は冠岳地区で300℃近くに達し, 西方面に向かって温度が低下しており, 金の濃集は流体包有物の均質化温度225℃付近を中心として起こった(通商産業省, 1981)。
- ④変質帯との関係では, 金の濃集帯はセリサイト・スメクタイト混合層鉱物帯付近に位置し, 荒川地区潜頭鉱床帯の地表はカオリナイト帯～スメクタイト帯となっている。又, 金の濃集帯より高温側では, セリサイトやクロライト等, より高温で形成された鉱物が卓越している。

4.2 解析結果

芹ヶ野断層より東側に昭和53年度広域調査で発見された巨大な石英脈や珪化岩を伴う熱水変質帯が予想外に高温の均質化温度を示し, 串木野鉱床は, 冠岳付近を中心とする東西約14km×南北約6kmの規模を有する4百万年前の一つの大規模な地熱帯の西側の縁辺部に形成されたものであることが総合地化学探査の2年目に明らかとなった

第2表 総合地化学探査結果一覧表.

モデル地区における富鉱部賦存の場の条件 (昭和54年度成果)	冠岳地区 (昭和55年度)			
	評価	試料数	平均	範囲
A.地化学探査からみた富鉱部賦存の場の必要条件				ppm
1. 中のAu ≥ 0.5 ppmであること.	*	40	0.2	tr-0.8
2. 中のAg ≥ 2 ppmであること.	*	39	1.9	0.6-9.6
3. 脈中のAs < 25 ppmであること.	▽	40	44	6-236
4. 脈中のMn ≥ 200 ppmであること.	—	—	—	—
5. 脈中のSbが $1 \leq Sb \leq 5$ ppmであること.	▽	40	0.3	1-62
B.母岩の変質からみた富鉱部賦存の場の必要条件				(I.I.)
1. 珪化の程度が適当な範囲にあること ($65 \leq I.I. \leq 70$).	▽	35	78	19-91
2. カオリンが消失すること.	▽	35	5	0-63
3. モンモリロナイトが一定量存在すること ($0 < I.I. \leq 5$).	○	35	3	0-30
4. 絹雲母が存在すること.	○	35	5	0-14
5. 緑泥石が一定量以上存在すること ($I.I. \geq 5$).	▽	35	2	0-7
6. カリ長石が一定量以上存在すること ($I.I. \geq 5$).	▽	35	4	0-22
7. 方解石が存在すること.	▽	35	tr	0-tr
8. 斜長石が一定量以上安定に存在すること ($I.I. \geq 5$).	▽	35	3	0-19
C.流体包有物の均質化温度からみた富鉱部賦存の場の必要条件				°C
1.均質化温度が210°C以上250°C未満の範囲にあること.	△	28	253	232-297

註: 1. I.I.は、強度指数(intensity index)の略称.各試料ごとに出現する鉱物の最強ピークの高さの総和を求め,これに対する各鉱物のピークの高さの比率を百分率で求めたもの.全岩粉末X線回折データを,検量線を作ることなく半定量化・数値化する簡易手法として本調査において考案・提唱した指数.

2. モデル地区は,申木野1号鍾である.

3. 評価

▽ 深部又は鉱化帯の中心を探せ

○ 条件を満足

△ 上方又は外側帯を探せ

脈中の銀濃度については,高濃度の1データ(149.4 ppm)を計算から除外した.

* 条件を満足せず,方向は不明

— 測定せず

(通商産業省, 1981).そして流体の温度分布,変質鉱物の累帯配列及び微量元素の挙動など,申木野鉱化帯を取り巻く地化学像が多面的に明らかとなった(第2表).

4.3 夢の崩壊

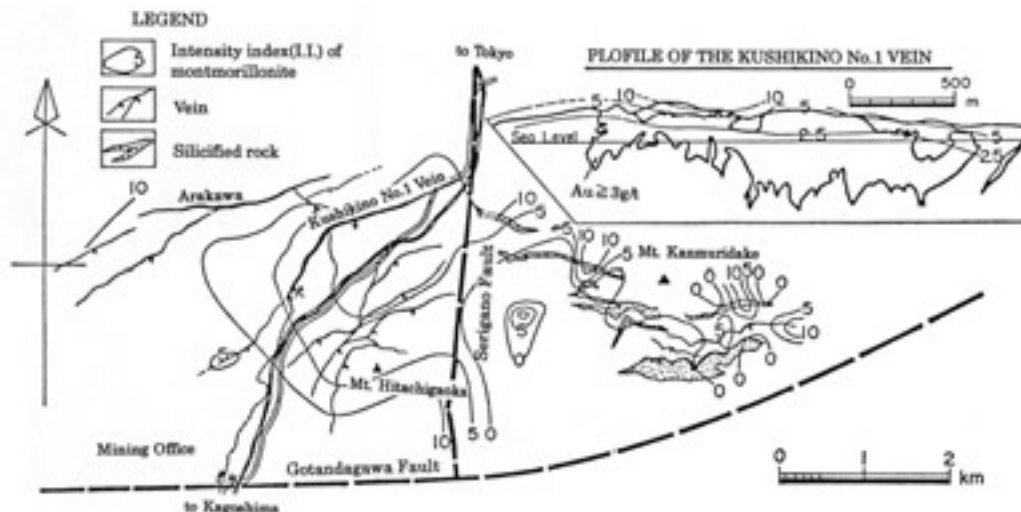
申木野1号鍾をモデルとして作成した総合地化学モデルは金鉱床探査の現場ですぐ使えるツールで,それまで冠岳地区を申木野鉱床より低温の潜頭鉱床帯ではないかと考えてきたので,次年度から冠岳地区で効率的な探鉱を行うはずであった.しかし,前節で述べた解析結果により,その目論見が根底から崩れてしまい,今後の探査ストーリーをどう構築するかという差し迫った問題で行き詰ってしまったのである.

話は変わるが,私が冠岳地区を相手に苦闘している頃の北薩申木野地域広域調査には独特の雰

囲気があった.少し前に閉山し,鉱山の再興を夢見て丁度この頃菱刈鉱区を獲得した鯛生鉱業の池田富男さんは,検討会の打合せのため申木野鉱山の藤沢事務所に訪ねて来られた折り,白髪の端正なやさしい顔に笑みをたたえ,上を向いて深呼吸しながらさも懐かしそうに「やっぱり生きた鉱山の匂いはいいなあ.佐藤さん,鉱山は絶対閉山してはいけませんよ」と言われた.最高の励ましであった.北薩申木野地域広域調査に関わる人は,企業の枠を超えて,金鉱業そのものの存続と発展を願う気持ちの絆で結ばれていたように思う.

5. 転んでも

冠岳地区は一体探鉱する価値があるののかないのか,次年度調査計画提案期限でもある検討会を目前に厳しい判断を迫られることとなった.既に述べ



第3図 串木野地域におけるモンモリロナイトの強度指数分布図。通商産業省資源エネルギー庁(1981)に加筆引用。すべての指標が冠岳地区と串木野地区で滑らかにつながり、串木野鉱床は冠岳地区を中心とする地熱帯の下流側に位置するものであることがわかった。

たように冠岳地区の石英脈は巨大であり、かつてこの大地の割れ目を通して石英を沈殿させた熱水の量とこれに伴われたエネルギー量は膨大である。かつて地球内部から宇宙に向かって放出された膨大なエネルギーの通路となったこの割れ目のどこかに多量の金が濃集している可能性はないのか。この疑問に答えるためには、基本に立ち返って金の濃集メカニズムについて考察する必要があった。これについては、以下のように考察を進めた。

5.1 濃集するという事

鉱山山師になって巨大な高品位鉱床を発見・開発したいという子供時代の夢の延長で、学生時代に物質が濃集するという事の地球科学的な意味について考えたことがあった。その時たどり着いた結論に基づけば、冠岳地区の巨大な石英脈は、かつて大量の熱水が温度を低下させながら流出した証であり、冠岳地区に金が濃集するために必要な大量のエネルギーと大規模な空間が存在した事を物語っていると思えた。残る問題は、そこに金が沈殿・濃集する環境があったかどうかという点である。

5.2 串木野鉱山における既往の探査による知見

(1) 広域的脈質分布と金濃集部の位置関係

串木野鉱山では、幾つかの探鉱坑道が富鉱部帯の遙か外側まで掘削されており、坑内外から実施

されたボーリング結果と合わせて総合的に眺めると、串木野鉱床の脈質分布は下記ようであることが分かった。

- ①キノコ状に広がる石英脈帯の周辺を方解石脈帯が取り巻いている。
- ②石英脈帯と方解石脈帯は方解石と石英が交互に沈殿してできた縞状石英・方解石脈帯を挟んで漸移している。
- ③石英脈帯は、中心部の深部が粗粒石英、上部と外側部は玉髄質石英からなる。
- ④平面的には、粗粒石英は串木野1号鍾の中央部深部に分布するほか火立ヶ岡北東部から冠岳地域の五反田川沿いの低地に露出する、玉髄質石英は串木野1号鍾の中央部付近から火立ヶ岡北部に至る地域と荒川2号鍾中央部の地表に露出している。
- ⑤冠岳地区の地表は、高所は珉化岩、低地は珉化岩と粗粒石英脈(一部玉髄質石英)からなる。

さらに鉱化帯深部の粗粒石英脈と外側部の単純方解石脈は殆ど金を含まず、金は鉱化帯中央部の乳白色玉髄質石英から縞状方解石・石英脈帯にかけて濃集していることが分かった。

(2) 金鉱石中における金の存在状況

串木野の金鉱石には、下記のような種類がある。

- A.単純石英脈質鉱石：金は自然金粒として乳白色玉髄質石英に鉱染し、あるいは石英脈の割れ目

や晶洞などに銀鉱物などと共存する。

B. 縞状石英・方解石脈質鉱石：脈石英そのものは数g/t以下の金品位のものが多く、縞状方解石と縞状石英の境界にわずかに粘土鉱物を伴うはがれ易い面があり、金はこの面沿いに濃集している。串木野でオシロイ鉱と呼ばれる石英脈に伴われる粘土鉱は、この範疇に入れて良いだろう。一方、このような部分でも方解石は金を殆ど含まない。

以上から、串木野鉱山では、金は石英と方解石の境界又はこれに近い石英の沈殿領域で沈殿・濃集していることに気が付いた。

5.3 金が濃集する条件

地殻における金の平均存在量(1~3ppb)から、鉱石1t当たり10g金を含む鉱石をつくるためには、地殻における金の平均存在量に対して相対的に3,000倍から1万倍の濃縮が起こらなければならない。熱水溶液中の金の濃度はきわめて微量であるが、日本の温泉水や地熱水には金鉱石の主要脈石をなす石英の成分であるシリカ(SiO₂)や方解石成分である炭酸カルシウム(CaCO₃)が普通数百ppm程度含まれているので、熱水からこれらの主要脈石鉱物の沈殿を抑制し、金が選択的に沈殿する物理化学的な空間を探す必要がある。熱水から石英や方解石などの沈殿が抑制された環境では、微量ずつでも金が選択的に沈殿し続ければ、理論上は大量の熱水から長い時間をかけて高品位の金鉱石ができるはずである。手がかりは、鉱床周辺における石英と方解石のマクロな分布とその構造をうまく説明できる熱水流動モデルを構築できるかどうか、このモデルにおいて石英も方解石も沈殿しない領域又はこれに接する石英の沈殿領域側で金の沈殿・濃集が起こりうるかどうか、ということになる。

6. 黄金の空間

広域調査検討会が迫る中、佐藤課長に事情を話し、石英と方解石の溶解度に関する実験データがあったら送って欲しいとお願いしたところ、すぐにKennedy(1950)の水に対する石英の溶解度曲線図とHolland and Malinin(1979)の水に対する方解石の溶解度曲線図及びSeward(1973)の水に対

する金の溶解度曲線図を郵送してくださった。これらの資料に基づいて、早速熱水流動モデルを描きつつ思考実験を行った。

6.1 石英の溶解度特性

Kennedy(1950)によれば、石英の水に対する溶解度は330℃付近以下の領域で温度と正相関し、石英はこの温度領域では溶液の温度低下で沈殿し、下記の場合は石英が沈殿しないことが分かった。

①溶液の温度が上昇する場合、②溶液の温度が変しない場合、③上昇する熱水溶液が下降水と地下で混合した場合。

又、300℃以上の3相領域では水に対する石英の溶解度は臨界温度から330℃付近までは温度の低下により石英の溶解度が増加するため、石英の沈殿は起こらない。

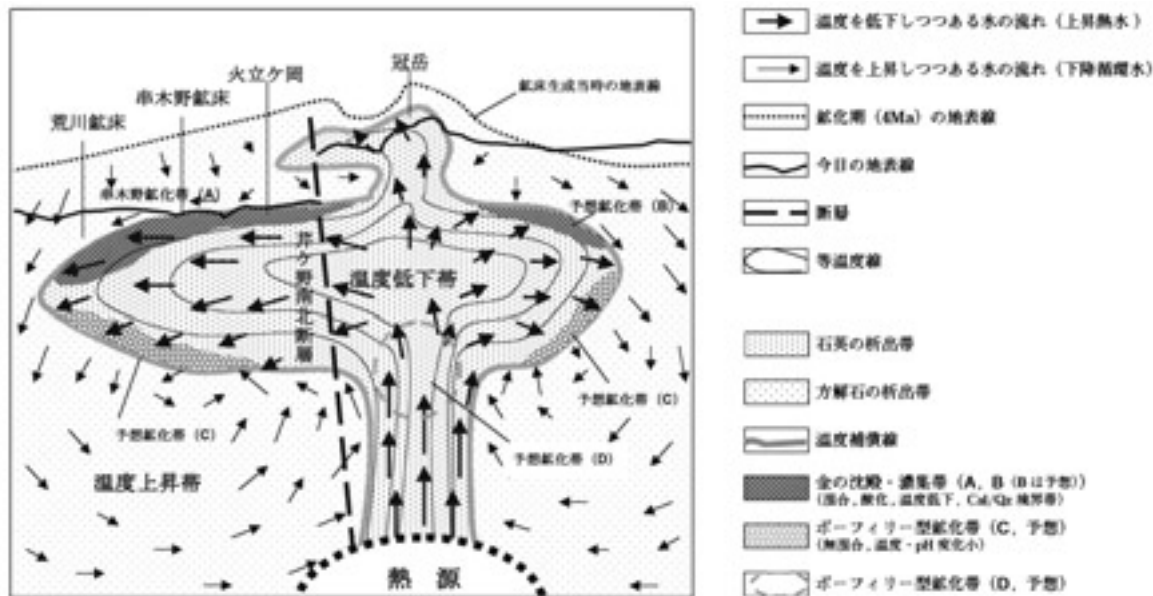
6.2 方解石の溶解度特性

Holland and Malinin(1979)の実験データによれば、溶解・沈殿反応に気相(CO₂ガス)が関与する方解石の水に対する溶解度は、温度と圧力の両方の影響を受け、温度に対して負の相関、圧力に対して正相関を示す。これより方解石は、①溶液の温度が上昇した場合、②沸騰などによりCO₂分圧が低下したとき、③方解石成分に飽和した下降天水がより高温の上昇熱水と地下で遭遇・混合した場合などに沈殿し、下記の場合には方解石が沈殿しないことが分かった。①CO₂分圧の低下なしに溶液の温度が低下するとき、②CO₂分圧が上昇したとき、③CO₂分圧も溶液の温度も変化しないとき。

6.3 石英も方解石も沈殿しない空間の発見

以上から、下記の場合は石英も方解石も沈殿しないか又は沈殿が抑制されることが分かった。

- ①熱水対流系において上昇熱水が下降天水と混合後も上昇を続けた場合、方解石の沈殿後、石英の飽和点まで溶液の温度が低下するまでの間。
- ②熱水対流系における全ての温度補償面付近(=石英と方解石の境界;温度変化≒0のため)。
- ③熱水と下降水が混合した後ラテラル・フローを形成した場合。
- ④温度低下率が小さいラテラル・フロー面上。



第4図 串木野鉱床生成の場の熱水流動モデル図, 通商産業省資源エネルギー庁 (1981) に加筆引用.

⑤水の臨界温度付近から330℃付近まで温度が低下するとき.

6.4 金の沈殿条件

Seward (1973) の実験データによれば、金が還元イオウ種と化合して水に溶けている場合、溶液のpHが7付近からpH4.5にいたる過程で、金の溶解度は約100分の1に低下する。これは地下深部から上昇した熱水が地表近くで酸素に富む下降天水と遭遇すると、地下深部の還元環境で形成された金のチオ錯体が壊れて金が沈殿することを示し、前述の2液混合モデルにおいて石英も方解石も沈殿しない空間と重なって、金の選択的な濃集に好都合であることが分かった。

6.5 黄金の空間の発見

以上を踏まえ、総合地化学探査結果判明した冠岳地区を地熱中心とし串木野鉱床をその下流側に置く地熱系モデルをベースとし、串木野地域全体の脈質分布と金の濃集帯の関係を総合して、串木野の浅熱水性金鉱床の総合地化学探査モデルと地熱流体流動モデルを矛盾なく説明する統一モデルが昭和55年度総合地化学探査検討会の間際について誕生した(第4図)。この中で石英帯は温度低下

帯、方解石帯は温度上昇帯、縞状方解石石英脈帯は温度補償面の揺らぎにより形成されたことを示す。串木野鉱床は冠岳地区を地熱中心とする熱水流動系西翼の下降天水が混入するラテラル・フローの上面、温度補償面付近で225℃前後の温度領域で形成されたものであり、金の濃集は下降天水が混入するラテラル・フローで、石英と方解石の沈殿が抑制され、かつ熱水溶液の温度低下と酸化によって金が沈殿した部分、すなわち縞状方解石石英脈帯からこれに接する石英の沈殿領域で起こったと考えるに至った(第4図のA)。また、熱水対流キノコの傘の反対側にも串木野鉱床と同様の生成機構による金鉱床が存在する可能性を指摘した(第4図のB)。さらに、熱水対流キノコの傘の下にも温度が微かに低下又は無変化かつ圧力が一定～上昇するため石英も方解石も沈殿しない物理化学的な環境(第4図のC)や、3相領域における水の臨界温度付近から330℃付近までの高温領域では、溶液の温度の低下によって石英も方解石も沈殿しない空間(第4図のD)が予測され、その環境で金が沈殿するかどうかは説明できないが、新しい型の鉱床(ポーフイリー型鉱化帯)がある可能性を指摘することができた(通商産業省, 1981; 浦島ほか, 1981c)。

エピソード

上記の申木野熱水キノコについては、その後、広域調査や企業探鉱により追跡されたが、冠岳東方の新时期溶岩の下では、鉱床母岩である北薩古期安山岩が急激に沈んでおり、申木野鉱化帯の東側延長を捉えることができなかった(通商産業省, 1983)。又、冠岳地区深部の“ポーフィリー型鉱化帯”については、微量の黄銅鉱と閃亜鉛鉱の鉱染を認めたと留まった(通商産業省, 1981; 通商産業省, 1982)。

その後を考え至ったことであるが、地下深部から上昇してきた熱水は、その地域のマクロな地形に支配されて熱水キノコの傘を舌状に下流側にのみ出し、その他の方向には傘が存在しない可能性が大きいであろう。仮に小規模な傘が地熱中心の上流側に形成されたとしても、そこを通る熱水の量が少ないため、濃集金属量の点で地熱中心の下流側に形成された鉱化帯に比較してはるかに劣る可能性が高いと考えられる。また、“ポーフィリー型鉱化帯”については、当地域の鉱化作用に関係した熱水の塩濃度が低く、鉱液中の有用金属の濃度が鉱床を形成するほど高くなかったと考えられる。“ポーフィリー型鉱化帯”における金の濃集の可能性については、申木野鉱床の生成に必要な要件であった溶液の酸化過程が欠落していること及び高温すぎることを等のため、金が沈殿する可能性を見出せていない。

申木野地区では、結局新しい鉱床の獲得には至らず、浅熱水性金鉱床の形成機構に関する知識を残すに留まったが、1981年度末に金属鉱業事業団が菱刈旧坑の直下をねらって実施した1本目の短いボーリング55MAHT-5が幅15cm金含有量290.3g/tの高品位金鉱脈を捕捉した年の北薩地区検討会で、一連の探査活動を通じて到達した知識により、「ここには金が濃集する環境があることが分かったので、次は入れ物を効果的に探しましょう。この地域の鉱脈の一般的な走向・傾斜は分かっているので、次はこれをクロスカットする方向にできるだけ長い緩傾斜ボーリングを打ちましょう」と、探査理論に則って次年度の探査ボーリングのデザインを提案した。そのボーリングが、翌年に幅5.45m、金含有量220.3g/tをはじめとする複数の高品位金

鉱脈を捕捉し(通商産業省, 1983)、菱刈鉱山の開発に一気に火がついたことは、資源探査屋冥利に尽きる幸せであった。

北薩・申木野地域における一連の探鉱活動期間中、これは佐藤壮郎さんのお力だったのではないかと思うのだが、活動的で著名な内外の学者や企業人が多数申木野を来訪された。北薩・申木野地域プロジェクトを通じてこれらの多くの方々と交流を持つことができたことこそが、我が人生で掘り当てた決して掘り尽くす事のない黄金であった。本稿の取り纏めに当たり、九州大学の井澤先生と編集者森下祐一博士には、校閲とその後の関連する研究成果を紹介していただき、「黄金の空間」の思想が今も生きていることを確認させて頂いた。お世話になった全ての方々はこの場を借りてあらためて心より感謝申し上げる。

文 献

- Holland, H. D. And Malinin, S. D. (1979) The solubility and occurrence of non-ore minerals. in *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd edn. (Barnes, H. L. ed), 461-508, John Wiley & Sons.
- Kennedy, G. C. (1950) : A portion of the system silica-water. *Econ. Geol.*, 45, 629-653.
- 斎藤正夫・佐藤英太郎(1978) : 岩戸金山の最近の探鉱について. *鉱山地質*, 28, 191-202.
- Seward, T. M. (1973) : Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37:379-399.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1979) : 昭和53年度広域調査報告書, 北薩・申木野地域.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1980) : 昭和54年度広域調査報告書, 北薩・申木野地域.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1981) : 昭和55年度広域調査報告書, 北薩・申木野地域.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1982) : 昭和56年度広域調査報告書, 北薩・申木野地域.
- 通商産業省資源エネルギー庁(1983) : 昭和57年度広域調査報告書, 北薩・申木野地域.
- 浦島幸世・斎藤正夫・佐藤英太郎(1981a) : 南薩型金鉱床, とくに岩戸鉱床について. 昭56全地資合同秋季大会分科研資料, M1, 1-4.
- 浦島幸世・斎藤正夫・佐藤英太郎(1981b) : 岩戸金鉱床. *鉱山地質* 特別号, 10, 1-14.
- 浦島幸世・佐藤壮郎・斎藤正夫・佐藤英太郎(1981c) : 申木野鉱床の総合地化学探査像について. 昭56全地資合同秋季大会分科研資料, M2, 5-8.

SATO Eitaro (2004) : *Life of gold hunting*.

< 受付 : 2004年7月12日 >