

池田湖カルデラ西方金銀鉛床群

古宇田 亮 — (鉛床部)

Ryuichi KOUDA

1. はじめに

薩摩半島南東部 池田湖カルデラの西方には 明治以後開発された多数の金銀鉛床が知られていた。大部分は第2次大戦前までに稼行が終了している。開発が中止された主な理由は湧水処理困難なためという。生産量は低く 14の鉛床群の金属量は 確認できたものだけで金3t 銀52tしかなく 小規模であった。この金銀鉛床群は 詳しい研究がなされている池田湖カルデラに空間的にも時間的にも近接している。世に カルデラに伴う鉛床は数多いもの これほど時空的に密接な関係が明らかな鉛床群は それほど多く知られてはいないだろう。今後 カルデラに伴われる鉛床を探査する上でも多くの示唆を含むものと思われる。しかし 池田湖西方の金銀鉛床群は 大部分が第2次大戦前に採掘終了した上 詳しい研究例が無く わずかな報告書も60年代の高度成長期以前に出版されて後 更新されていない。鉛石資料も入手し難いばかりでなく 鉛脈位置の現地確認も少数例を除いて困難化している。

わが国産業の基礎素材提供に大きな役割を果たした国内金属鉛山は 今 次々に閉山しつつある。このまま情報逸散が進んで あと半世紀後に現在稼行中の鉛山をふり返るなら 池田湖西方の金銀鉛床群についての現在の研究上の困難さと同じ問題に直面するのではなからうか。ただ わが国には明治期以前から 先人達の努力で数多くの鉛山 特に金山が知られており 人々の血と汗と涙が幾度も流されたもの 必ずしも掘り尽くされたとは言えない。これは むしろ郷土の歴史的財産といえるのではないだろうか。

しかし わずかに残された資料を解析することで ある程度 池田湖西方の鉛化作用について新たな知見を得ることができる。又 同じようなタイプの鉛床の資源予測に使えるかもしれない。更に 現在 どのような情報を残していくべきかの示唆をも得られよう。池田湖カルデラ西方の金銀鉛床群は 比較的新しい鉛化年代を有するので 現世の指宿(いぶすき)温泉や 地熱系と対比することも可能である。わが国の金銀鉛床に関する資源解析研究の一年度目成果の一端をここに御紹介し 今後の郷土の金山を調べる御参考等に付したいと思



写真1 鬼門平断層北部 鬼門平断層崖。岩平鉛床を含む断層崖。

う。

2. 資源解析の方法

一般に 資源解析 (resource analysis) と呼ばれる手法は比較的近年のもので 地球統計学 (geostatistics) の資源分野での拡張と考えられることが多い。これは実際に用いられる数学的手法が統計学を柱にしているためであろう。しかし 元々 鉛物資源の評価法から発展した geostatistics が 既に「地球」を離れて 広義の空間統計手法として流体力学や構造力学 生物学などに応用されていることを考えれば もう少し特定する必要がある。空間的に特異な物質濃集の場を「鉛床」又は「天然資源」と定義すれば その特異点の空間統計的意義を明らかにし 特異な濃集場の評価と予測を行うことが資源解析の目的であろう。資源解析が良好な結果をあげたか否かは 最終的に 予測された特異点 鉛床が自然環境の中で発見できるか否か どのように発見できたか あるいはできなかったかによって計量される。特異点の存在は統計的な意味しか持たないので 天気予報の降雨確率と同じ程度の子測しかできないであろうが 精度が増せばそれなりの成果が得られる と考えるのである。精度の悪い 又は不揃いなデータを用いるなら 解析結果も又 それに応じて悪くなるであろうことは想像できよう。しかし Bayes 統計の観点によればその中に1つでも確実な事実があれば 精度の悪いデータを用いても それなりに結果を得ることができる。

その場合忘れてならないのは使われた事実の何が確実に何が不確かかという点を明らかにすることである。ここでは資源解析の最も低いレベル即ち初歩的な分布と統計量の吟味をすることにしましまず地質環境から考察してみよう。

3. 池田湖周辺の地質

池田湖周辺の地質特に火山岩については太田(1966)荒牧・宇井(1966)宇井(1967)通産省・資源エネルギー庁(1985;以下MMAJ(1985)と略す)及び新エネルギー総合開発機構(1986;以下NEDO(1986)と略す)等があるが火山属序構造等に未定の問題がいくつか残されている。ここではMMAJ(1985)の5万分の1地質図幅に沿って記述する。以下本地域とは池田湖を中心とする半径約5~10km圏を意味するものとしその西方を主とする。年代測定等の値は特に断らない限りMMAJ(1985)の値である。鉍脈の年代測定値は一般に母岩より新しく母岩の年代の上限を知る参考値として以外は母岩の年代とは無関係である。

本地域の重力基盤は四万十層の存在を予想させる。地表では西方の枕崎市周辺の地表と北方の地表に広く分布しているだけであって本地域には四万十層基盤岩の露出は知られていない。しかし西方の大野岳西部の孔井柱状図から海拔-200~-400m付近の緩傾斜の不整合面の下に白垂系川辺層群知覧累層に相当する薄い黒色頁岩を挟む緩化砂岩が分布している。

池田湖西方に部分的に露出する最も古い岩石は中新世後期の南薩層群上部層の酸性~中性火山岩類である。熱水活動による変質が著しいためその分布は確定できていない。枕崎市域の同様の安山岩が6Ma前後であることからみてほぼその時期の活動によるものと考えられている。西方の57MANU-1号井の南薩層群上部層上部のF.T.法による年代測定値は4.13±0.07Maであるため上部では鮮新世にかかるか又はその上位の南薩中期火山岩類に属する可能性がある。

南薩層群上部層は池田湖西部にNE-SWに走る鹿兒島湾地溝西壁ここでは阿多カルデラ西壁の鬼門平(おにかどひら旧おんかどひら)断層の西方に分布する。孔井データによれば50~10m厚程度の基底礫岩(輝石安山岩黒色頁岩花崗岩凝灰岩砂岩等の礫を含む)か又は50~100m厚の安山岩質凝灰角礫岩が知覧累層の不整合面上に接する部分を最下部としている。大部分は石英安山岩角閃石石英安山岩角閃石安山岩輝石安山岩の熔岩同質火砕岩火山礫凝灰岩凝灰岩からなる。部分的に水成堆積物の凝灰質シルト岩砂岩と互

層する。全体の層厚は池田湖西方で400m以上である。全体に珪化粘土化変質が進んでおり鉍化に伴う黄鉄鉱や方解石が一般に含まれる。

NEDO(1986)の孔井柱状図によれば鬼門平断層より東方に南薩層群が1000m以上の層厚を持って上中下部層に分類される。下部に石英閃緑岩(14~21Ma)が見られる孔井があるが知覧累層は確認されていない。MMAJ(1985)とNEDO(1986)とでは南薩層群の定義が異なっている。鬼門平断層西部に断層沿いに細長く分布する変質安山岩熔岩凝灰角礫岩類をMMAJ(1985)では南薩層群上部層に含めている。これは大野岳西方の孔井地質データとの連続性から支持できる。他方NEDO(1986)では南薩層群より上位の先阿多火山噴出物(後述)としており問題が残る。この変質安山岩類は池田湖西方の金銀鉍床の母岩となっている。花籠鉍山の脈中永長石のK-Ar年代測定が 1.1 ± 0.5 Ma(浦島・池田1987)~ 4.8 ± 2.9 Maのため母岩の年代はこれより古い筈である。次に述べるように南薩中期火山岩類かそれよりは古いと考えられる。NEDO(1986)の言う南薩層群上中下部層は孔井柱状図の記載から判断する限りMMAJ(1985)の孔井柱状図の南薩層群上部層に対比できる。その場合鬼門平断層の東方は西方より厚い堆積が存在するため既に南薩層群堆積時から火山活動と共に陥没が進行していたと考えてよいだろう。

南薩中期火山岩類は南薩層群上部層を不整合に被覆する火山岩類で一部に水成堆積物を伴う。フィッシュ・トラック法から 4.56 ± 0.38 Ma~ 2.28 ± 0.19 Maつまり鮮新世に相当する。これは南薩型金鉍床の時期でもある(井沢ほか1984)。下から角閃石安山岩質火砕岩角閃石安山岩熔岩同質火山礫凝灰岩凝灰岩シルト岩からなる水成堆積岩と重なる。最上部が流紋岩熔岩で全体の層厚は400m以上である。黒仁田鉍山(1.3 ± 0.7 Ma;浦島・池田1987)の胚胎層となっているが変質の程度は下位の南薩層群上部層より弱く新鮮な部分もある。大部分は陸成火山岩類と考えられている。

南薩新期火山岩類は南薩中期火山岩類を非整合に被覆する陸成黒雲母角閃石石英安山岩熔岩角閃石安山岩質火砕岩輝石安山岩熔岩同質火砕岩からなる。本地域北部に広く分布し150m以上の岩厚がある。変質は弱い。K-Ar年代測定で 2.1 ± 0.4 Maとされる。金銀鉍床生成時期の終わりを1.1Maとすれば鉍床生成より少し古くその帽岩として働いていたと考えられる。

先阿多火山岩類(宇井1967)は南薩層群上部層を不整合にアバットして被覆する。南薩新期火山岩類の上位

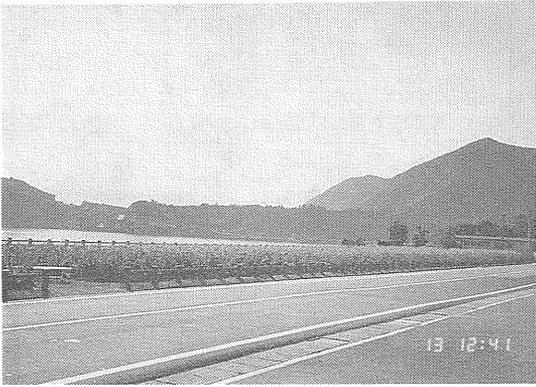


写真2 池田湖西部 立神鉱床周辺. 左側が池田湖 中央(遠方)に開聞岳 右側が立神鉱床を含む鬼門平断層中央部の山並み.

に非整合に分布する輝石安山岩熔岩 石英安山岩 同質火砕岩 角閃石安山岩熔岩 輝石角閃石安山岩熔岩からなる. 最大100 mから350 m以上の岩厚がある. K—Ar年代測定では 0.8 ± 0.6 Maである. 鉱化変質に相当するものは見られず 明らかに鉱床形成後の火山活動である. このうち輝石安山岩熔岩は池田湖西部の小浜火口から西方へ噴き出したことが認められている. 鉱化変質が認められていないこと 及びその年代測定値から これを鉱床母岩と同じものとすることはできない. むしろ時間的にも空間的にも鉱床と密接な関係があると見られる.

阿多火砕流(荒牧・宇井 1966)は鹿児島湾内の阿多カルデラ火口から噴出した熔結凝灰岩で 150 m以上の層厚を持ち ^{14}C 年代測定により2.38~4.15万年前(鈴木・宇井 1979)と推定されている. 鉱化変質は認められていない.

大野岳・清見岳・上野安山岩類は 池田湖周辺に分布する 阿多火砕流後に噴出した輝石安山岩熔岩 火山角礫岩 火山礫凝灰岩 スコリア 石英安山岩熔岩等からなるもので 火山地形を残す更新世後期の活動によると推定されている. 岩厚は80~350 m程度で点在する.

始良火山噴出物は火砕流と降下軽石 火山灰等からなり シラスと呼ばれ 鹿児島湾地溝北部の始良カルデラから噴出したものである. 1.6~2.6万年前(大塚ほか 1983)と推定されている. 本地域にも広い分布を示している.

現世の火山活動としては 軽石流 降下軽石層 熔岩円頂丘 マール噴出物からなる池田火山噴出物(ほぼ5000年前から)及び降下火山灰 成層火山 熔岩円頂丘からなる開聞岳火山噴出物が局在している. この火山活動

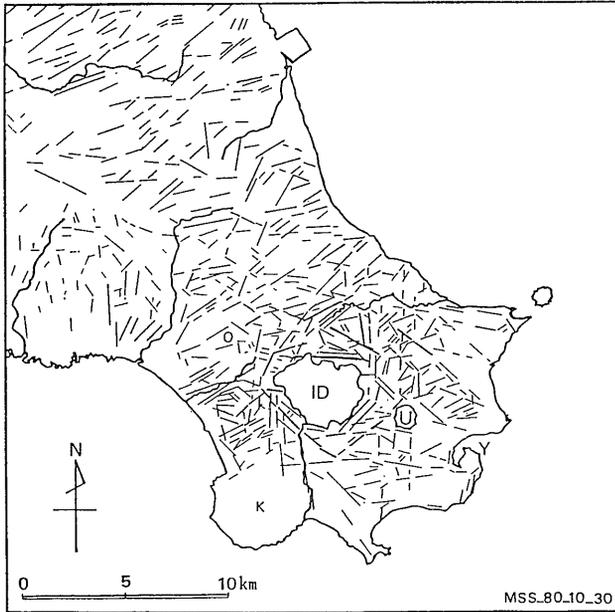
が現在見られる本地域の地形を形成した.

なお貫入岩類は本地域地表露頭ではほとんど見かけない. MMAJ(1985) 56 MANU—1号井の海拔—410 m以深に示される南薩層群上部層下位の花崗岩質貫入岩(上部削剝)は 他地域で確認されているフィッシュ・トラックと K—Ar年代測定による20.1 Ma~22.4 Maの古期花崗閃緑斑岩 又は 13.1 Ma~14.1 Maを示す新期花崗斑岩 花崗閃緑斑岩のいずれか 恐らく後者に相当すると考えられる. NEDO(1986)によれば 鬼門平断層より東部の花崗岩類は 14 ± 1 Ma~21 Maとなっている. ただし NEDO(1986)が池田湖北西岸標高66 m地点から垂直に1003 m掘削したN58—ID—2号井では海拔—392.3 mから—937 mまで花崗岩が存在し 部分的に石英安山岩質斑岩脈に抜かれている. この年代は測定されていないが 黄鉄鉱 石英脈などが多いことから 鉱化以前のものであり MMAJ(1985)の花崗岩類の年代と対比できよう.

4. 池田湖周辺の構造

本地域の断層系は NE—SW 系の鬼門平断層に平行する断層系と それに斜交する NW—SE 系の池田断層に平行するものが主である. 本地域を3~5 km 辺の四角なブロックに分けている. 林・井立田(1987)は本地域の応力場変遷について論じ 鬼門平断層と池田湖西方の金銀鉱床が同じ応力場で形成されたとしている. ランドサット衛星3号のMSS データ(80.10.30)の20万分の1地形図相当引伸ばしから抽出したリニアパターンを第1図に示す. 手元のTM画像(84.10.22)では 桜島火山灰の影響で気流の線が画像を覆っているため判読しにくく 参考のみ使用した. 第1図のリニアパターン(抽出法については 古宇田ほか 1984)の元になったランドサット画像では 鬼門平断層が明瞭とは言えない. この断層は太陽照射方向に直交に近く斜交しており 地表現地調査でも断崖を伴っているため 深部構造であればもっと明瞭な構造を示すべきものである. 個々の断崖は ランドサット画像に非常に明瞭なため やや問題が残る. 又 NW—SE系のリニアパターンは太陽照射方向に並行するため抽出しにくい.

この断層の東西の落差を知るために西方(MMAJ 1985)と東方(NEDO 1986)の孔井を比較すると 上部の削剝が明らかな花崗岩類上部不整合面が西方で海拔約—400 m 鬼門平断層のすぐ東部で同じく約—400 m 池田湖北東方で約—1500 m(ただし N59—ID—5という最東部の孔井では—1000 m以下まで上昇している可能性がある)となっている. 池田湖カルデラが陥没地域であることは確実



第1図 池田湖周辺のランドサット・リニアパターン解析。ランドサット3号MSS (80.10.30) 画像から。ID:池田湖 U:鯉池 Y:山川湾 O:大野岳 K:開聞岳。

ながら 鬼門平断層がどの程度の落差があるのか測定できない。林・井立田 (1987) によれば鬼門平断層は2.9 Ma の南薩中期火山岩類末期相当の火砕流と共に生成した正断層と考えられている。しかし 以下の可能性のうちのいずれ (複数) とも判定しかねる。

- A) 正断層に沿って大きく落ち込むところは池田湖中央西寄りを NNE—SSW に走るリニアメントであって 鬼門平断層は侵食により著しく西に後退したものである。そのため 全体的には NNE—SSW でありながら NS から NEE—SWW まで走向が細かくふれており 衛星画像でも判別しにくい。断崖として明瞭であるのは この断層に沿う強珪化帯が発達したためである。落差は1 km程度と見積もることができる。
- B) 鹿児島湾地溝の最外壁は数多くの小規模縦ずれ正断層系からなり 少しづつ落ち込んでいる。これは衛星画像に幾つかの NNE—SSW ないしは NE—SW 系の平行リニアパターンが見られることから十分考えられる。
- C) 阿多カルデラ西壁を形成した陥没はマグマ貫入による地表隆起型 (小出ほか 1987による機構と同じ) のため外壁に沿う所が隆起し 東西方向に伸張したため池田湖を含む東部が大きく陥没した。
- D) 鬼門平断層は小規模正断層がいくつか集合したものであって 鹿児島湾地溝の西壁とは言えない。断崖が明瞭であるのは金銀鉱床に伴う珪化が強いため断裂沿いに侵食し残された為と考えられる。鹿児島

島湾地溝の西壁は鬼門平断層より1~2 km 東に偏った地下深部に見られるはずである。MMAJ (1985) の重力異常図では 池田湖西方の高重力域から 池田湖の低重力域に向けて 水平に3 km 幅 12m gal 程度の重力的壁が観測されている。そこで N58—ID—2 (NEDO 1986) を地溝西壁のすぐ西であると考えたら なぜ池田湖西部が NE—SW に伸びる溝地形を有し かつ池田湖カルデラの火口縁がその東側にくるのかが説明できる。これはボーリングを東側に打つことで確認できよう。

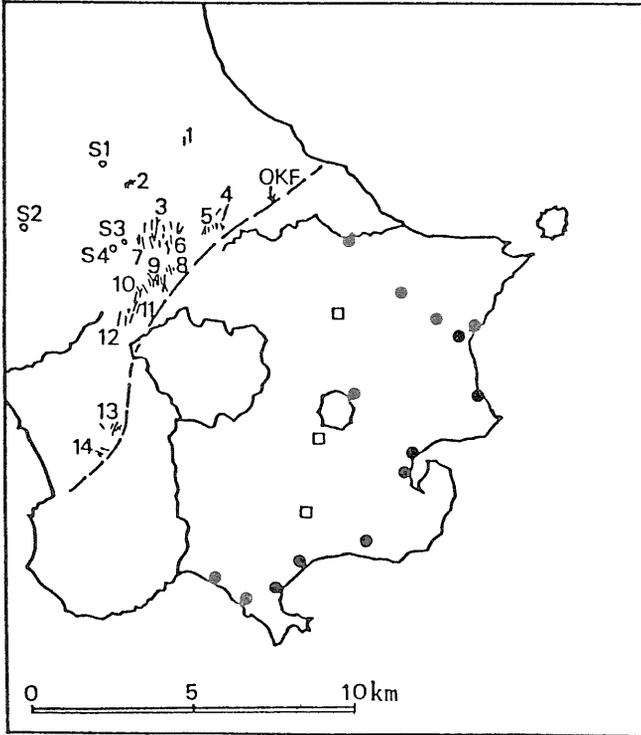
現地調査で鬼門平断層を確認したところ 正断層面は認められるものの 大部分の断崖は崩落著しく その南部から北部に至るまで侵食崖の割合が多いようである。正断層系は断層西方の鉱化域にもよく観察できるので 侵食が更に西側に進んでも 類似の断層崖が実現されると予想できる。

5. 池田湖西方の金銀鉱脈型鉱床群

池田湖西方の金銀鉱脈型鉱床 (第2図) の記載は宮久 (1966) に詳しく MMAJ (1985) はこれにその後のデータも加えて抄録している。以下 両者の記載と簡単な現地調査等を合わせて略述する。すべて石英—氷長石型鉱脈である。

1) 生見鉱床

池田湖北方 5 km ほどに存在する。南薩層群上部層の輝石—角閃石安山岩熔岩中に胚胎する。走向



第2図 池田湖周辺の鉱床と温泉の分布. 1~14は本文(5.)の鉱床名番号に対応. 破線は鬼門平断層 白丸は珪化岩体 黒丸は温泉 四角はカオリン鉱床.

はN S系 傾斜70°Eが多い. 脈幅2.5m以下の細脈~網状脈である. 鉱石は少量の黄鉄鉱・黄銅鉱と輝銀鉱を産する硫化鉱石である. 明治27~38年間で銀14tを生産 平均品位 Ag: 24kg/tであった. 金含有量は検出限界以下と報告されており Ag/Au比は9000以上(鉱石から)又はそれより大(生産実績から)と考えられる. 鉱石分析によれば%オーダー以下のCu Pb Znが検出されている. 石英の流体包有物均質化温度は189~210°Cであり平均197°Cである.

2) 黒仁田鉱床

池田湖北北西約5kmの指宿スカイライン沿いに存在する. 南薩中期火山岩類の角閃石安山岩熔岩同質凝灰角礫岩 凝灰岩 水成岩 及び流紋岩分布域に胚胎する. 走向N60~70°E 傾斜20~30°S E 又は走向N S~N30°W 急傾斜の細脈が多い. 含金・銀石英脈で閃亜鉛鉱 方鉛鉱 四面銅鉱 黄銅鉱 黄鉄鉱 輝銀鉱が知られている. 金品位は不明だが少量存在したらしい. 銀黒鉱石の Au: tr Ag: 2378 g/t (浦島・池田 1987) なる値が報告されている.

3) 金切鉱床

池田湖北北西約3kmの指宿スカイライン沿いに存在する. 南薩層群上部層の輝石安山岩熔岩 同質火

砕岩中に胚胎する. 走向N30°E 傾斜70°E 脈幅30cm前後以下の細脈が多く 地表部では網状鉱体に近い. 含金量119g/tの鉱石を数百t/年生産した記載はあるが 銀量は不明である.

4) 仁田平鉱床

池田湖北約3km 鬼門平断層北東端の西側に存在する. 南薩層群上部層の凝灰角礫岩を下部に 同層角閃石安山岩熔岩を上部とする中に胚胎する. NNE系の走向をもつ. 数10cmから2m以上の脈幅の石英脈及び粘土質脈から成る. 鉱石鉱物は不明であるが金・銀鉱石を主としたものらしい. 明治38~41年間に 金154.2kg 銀470.0kgを生産 品位は Au: 25.3~40.0g/t Ag: 9~86.0g/tであった. Ag/Au比は生産量から2.6である. その後も12年間生産を続け 金量300~350kg程度生産したという.

5) 岩平鉱床

仁田平鉱床南西 鬼門平の断崖に露頭を有し 地質は仁田平鉱床と同じである. 鉱脈走向はNNW~NS系を主とし 1m程度の脈幅がある. 品位は Au: 0.8~27.2g/t Ag: 26~108/tで 平均的には低品位のものが多い. 昭和年代に稼行され 昭和16~18年の売鉱量では 金29.1kg 品位 Au: 7.43 g/t とある. 各鉱脈品位からみた Ag/Au比は

13.3~10.00までバラついている。

6) 花籠鉱床

金切鉱床の南 指宿スカイライン沿いに東西に広がって存在する。南薩層群上部層の輝石・角閃石安山岩を下位に 同層の同質火砕岩 頁岩を上位とする中に胚胎する。上部は阿多噴出物で被覆されている。走向はほぼNS系で 傾斜はEかWに65~85°傾く。最大2m幅の平行石英脈であり 一部粘土化している。黄鉄鉱 輝銀鉱 四面銅鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 閃亜鉛鉱 及びエレクトラムを産出する。花籠鉱床は昭和9年頃から生産を開始し 昭和13~17年間に 金37.6kg 銀319.3kgを生産し 平均品位 Au:16.2g/t Ag:137.7g/tであった。Ag/Au比は 従って生産量から 8.5である。浦島・池田(1987)の一鉱石のAg/Au比は23.5である。石英の流体包有物均質化温度は153~212°C(平均182°C)である。

東部にあった池田鉱床は昭和1~10年まで金銀鉱を産し うち 昭和7年は金0.3kg 銀0.23kg 昭和10年で品位 Au:7g/t 金量年間6~10kgを生産したという。この脈ではAg/Au比は昭和7年のデータから0.77と低いが 量的寄与が大変少ないので重視はできない。

7) 郡ヶ野(こおりがの)鉱床

花籠鉱床の西方に位置する。南薩層群上部層の凝灰角礫岩中に胚胎する。走向はNNW系 急傾斜である。30~40cm幅の含金銀石英脈が多い。鉱石は少量の黄鉄鉱を含むエレクトラム 自然金である。昭和7~18年に金50kg 又 昭和25~39年に金16.6kg 銀108.5kg(品位 Au:13.8g/t Ag:90g/t)を生産した。各年間の品位は Au:5.3~16.8g/t Ag:17~146g/tと幅がある。Ag/Au比は生産量から6.5である。

8) 河内山鉱床

花籠鉱床南方 池田湖の北北西1.5kmに位置する。南薩層群上部層の凝灰岩 凝灰質頁岩を母岩として 下位に安山岩質熔岩を伴う。走向N20~40°E 西傾斜である。10~30cm幅の含金銀石英脈 粘土脈であり 凝灰質頁岩中では網状脈となる。縞状金銀鉱石を主とし 酸化マンガンを含む部分があった。明治32年から開発され 明治35~36年頃は日産0.1~0.15kgの金を産し 大正から昭和年間に年産10kgの金を産出した。昭和15年の統計では金13.8kg 銀17.2kgを産出している。Ag/Au比は これより1.2である。

9) 大谷鉱床

河内山鉱床の南に位置する。南薩層群上部層の凝灰角礫岩を母岩とする。走向はNS系を主とし NEからNWまで多数のものからなり 傾斜は55~90°で一般に急であって 傾斜方向はEとW両方存在する。脈幅は1m以下である。上部では硫化物に乏しい含金白色石英脈で 下部では金・銀の他に 黄鉄鉱 黄銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱が増加している。明治30~37年は 金1~5kg/年 銀1~6kg/年 明治39~大正13年は金20~60kg/年 銀20~100kg/年 昭和9~18年は金10~30kg/年を生産した。又 昭和31~32年に金2.4kg 銀3.5kgを生産した。これより Ag/Au比は1.5程度である。一方 大谷鉱床西方の日影鉱床は 明治大正を通じて 金300kgを産出したと考えられており ほぼ同量の銀を出したらしい。従って この地域のAg/Au比は 1~1.5程度が妥当であろう。なお 大谷鉱床は銅も産出している。石英の流体包有物均質化温度は159~233°C(平均184°C)である。

10) 小釜鉱床

池田湖西北部中浜の北約1kmに位置し 日影鉱床の南方である。母岩は大谷鉱床と同様である。走向は30~45°E 傾斜はSEに急である。脈幅は1m以下である。鉱石は大谷一日影鉱床と同様である。大正昭和年代に 金2.17kgを生産した。銀量は不明である。鉱石の分析例に Au:2.096kg/t Ag:0.998kg/t が報告されており Ag/Au比は1以下だった可能性がある。日影鉱床と隣接するので0.5~1程度と見積ることができる。

11) 立神鉱床

小釜鉱床の南西に位置する。南薩層群上部層の安山岩熔岩 凝灰角礫岩 凝灰質頁岩を母岩とする。走向はNNE系で急傾斜である。巾40cm程度の石英脈を主とする。走向N70°W 傾斜65~80°Nの10cm以下の細脈もある。鉱石は肉眼的にも明らかな自然金を主としている。大正6~昭和9年の統計では 金34.8kg 銀19.1kgを生産した。これより Ag/Au比は0.55である。鉱石品位は褐色粘土で Au:34g/t Ag:12g/t 灰白色粘土で Au:712g/t Ag:472g/tとあるので ほぼ生産量の銀/金比に調和的なAg/Au比と考えられる。

12) 鳥帽子鉱床

立神鉱床の南西 鳥帽子岳付近に位置する。南薩層群上部層の角閃石安山岩~石英安山岩熔岩中に胚胎する。NSからN15°Eの走向を有し 東に急傾斜する1m以下の幅の石英脈からなる。生産量の詳しい統計はないが 平均品位 Au:3~8g/t

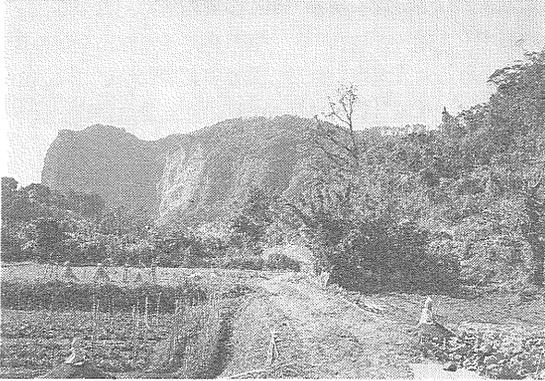


写真3 鬼門平断層南部 苴口(おろんぐち) 付近の断層崖手前 弁財天鉱床から鉱床の崖を遠望。

Ag : 20~100g/t 程度とされている。これが生産量の品位に比例するとすれば Ag/Au 比は2.5~33の間 大体 10前後と考えられる。

13) 弁財天(べざいてん) 鉱床

池田湖南西約2kmの苴口(おろんぐち)に位置する。南薩層群上部層の石英安山岩熔岩 同質凝灰角礫岩を母岩とし 上部は凝灰岩質の堆積層である。走向はNE系で傾斜はN75~S70°の急傾斜30cm~120cmの幅の石英脈 粘土質脈から成る。硫化鉱物は黄鉄鉱以外記載がなく量も少ない。黒色二酸化マンガンが産する点では河内山鉱床に似るが Ag/Au 比が大きく異なっている。明治33~昭和18年までに金138.5kg 銀22.1tを生産 特に明治33~40年がそのうちの9割を占めている。平均品位は Au : 5.15~6.7g/t Ag : 829.21~607g/t であり Ag/Au 比は161が妥当である。なお流紋岩貫入岩の記載があり 鉱化を受けているようである。

14) 穎娃(えい) 鉱床

弁財天鉱床の南西にある。母岩は ほぼ弁財天鉱床と同様である。走向はEW系であり 傾斜はN又はSに50~80° 10~30cm程度の幅の石英脈からなる。銀以外の硫化鉱物に乏しい。含金品位は多くても5~6g/t 銀は数100~数1000g/t 明治30~39年に 910kgの銀を生産した(平均品位 Ag : 453g/t Au は不明)。これからみて Ag/Au比は100以上と見て間違いなく 500以上であろうと考えられる。

15) 珪化岩体

鉱床として掘られたことは無いが 黒仁田鉱床北西(S1) 56MANU—1の西方 飯山(S2) 郡ヶ野鉱床西(S3 S4)に計4つの石英とカリ長石を

主とする緻密珪化岩体が産出する。南薩層群上部層最上部 又はその上位に分布する。第2節に示したようにS2近くの母岩のF.T.年代は鮮新世前期に属し 南薩層群上位の南薩中期火山岩類と区別することがむずかしい。又 S1は黒仁田鉱床近傍のため 南薩中期火山岩類を母岩とすると考えられる。

S1は東西100m南北150m程度で 鉱石の品位は Au : tr~0.2g/t Ag : 1.8~2.1g/t である。

S2は東西400m南北200m程度で 鉱石の品位は Au : tr~0.39g/t Ag : tr~2.5g/t である。この西側の南薩層群上部層の火砕岩変質帯のカリ長石からK—Ar法で 1.5 ± 0.1 Maなる年代測定値が得られている。

S3 S4は100m×200mと150m×100m程度の広がり度で 鉱石の品位は Au : 1.0g/t Ag : 5.6g/t である。

鉱石品位と生産量の金銀比は必ずしも調和的でない。前者は著しく変動する。弁財天鉱床の生産量の Ag/Au 比は161であるが 旧坑鉱石の比は10(Au : 3.4g/t Ag : 34g/t)であり 逆に大谷鉱床は生産量から1~1.5と見積られるのに 一つの鉱石では30(Au : 0.3g/t Ag : 9.0g/t)が知られている。鉱床の平均的値としては 生産量を選ぶべきであろう。S1~S4の珪化岩体は金銀鉱床として生産されていないので 鉱石のみの金銀比をみるなら S1が10以上 S2が1~25(平均的には10程度)

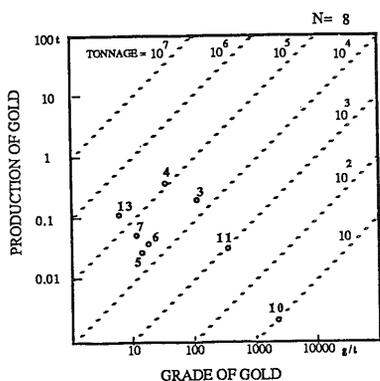
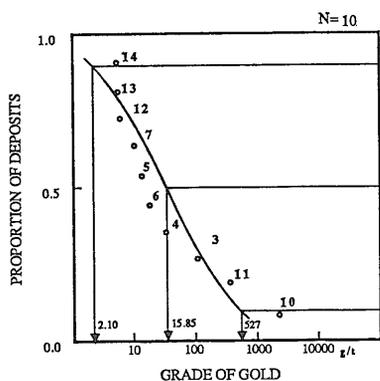
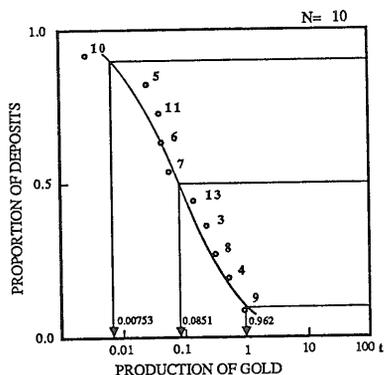
S3 S4では5.6である。

以上 宮久(1966) MMAJ(1985)等に基づいて略述した。現在稼行中の鉱床が無く しかも現状は茶畑豚舎等によって調査困難な所が多いため 鉱石試料の採集もむずかしい。なお 鉱床分布上特徴的なことは 1)と2)及び3)~12)の鉱床の間に珪化を伴いながら 鉱床を欠く“空白域”が見られることであり これは 3)~12)と13)~14)の鉱床群の間でも同様である。

6. 金・銀生産量の統計的意味

ここで初歩的な資源解析を試みよう。池田湖西方の金銀鉛床群は規模が小さいため大規模鉱床の典型として考えることは難しいが 無数に存在する日本各地の鉱脈型金銀鉛床の典型になりうる。従ってその解析には意味がある。

まず統計的意味を知るために その母集団について考えよう。鉱床は複数の鉱脈からなる。通常 大規模



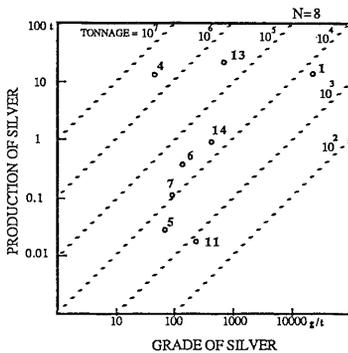
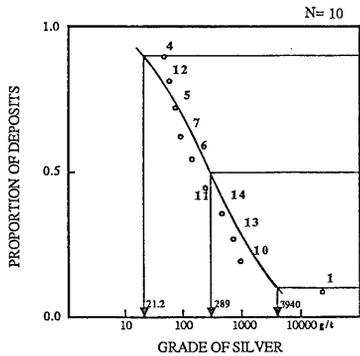
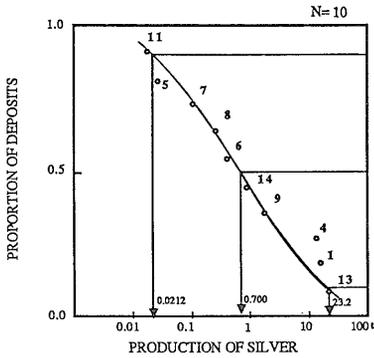
第3図 金の生産量 品位関係。A：金属生産量累積頻度分布 B：生産品位累積頻度分布 C：生産量—品位関係。A Bの曲実線はt分布近似 Cの破線は生産量から見た推定鉱量 白丸でプロットされた付近の数字は本文(5.)の鉱床名に対応。

な鉱床では各鉱脈の規模や生産量を均質に把握することは必ずしも簡単ではない。特に生産量は鉱山全体の量で計られることが多いため 個々の鉱脈についてはわからない。鉱量計算では採掘鉱区の生産量の推計を行うため 鉱脈そのものの規模を示すことには必ずしもならないことがある。複数の鉱脈にまたがることもある。「空間的に特異な金属濃集場」としての 個々の鉱脈の規模は 例えば鉱脈の推定平均品位に 鉱脈の厚さ 巾長さ 平均密度の積 即ち重量を掛けることで求めうる 考えることができる。この 各鉱脈の規模の値こそ自然科学的な濃集場としての意義がある。大規模な鉱床でデータが豊富であればこの推定にも意味があるが 池田湖西方の金銀鉱床群の場合には 小規模なため 品位や密度のバラツキが結果を大きく左右する。特に品位のバラツキは対数的に大きく変化することが特徴なため 推定そのものに意味を持たせることができない。従って ここでは 生産量にのみ意味があると考えられる。

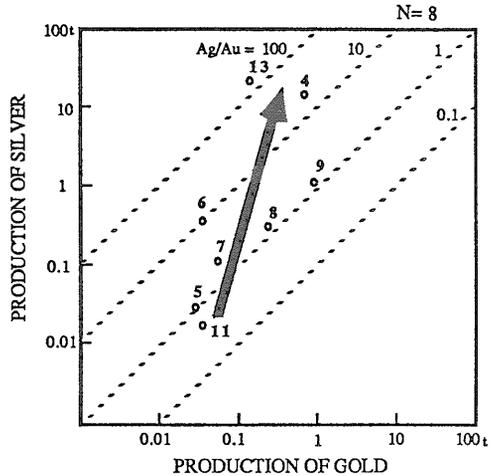
次に 歴史的に見て鉱床は品位の高いものから見つけられ開発が進むという一般法則がある。生産量は複数の鉱脈を包含する鉱床単位で見ても統計的に意味があるだろう。もし 個々の鉱脈の規模を標本集団にとるなら 歴史的な一般法則から それは品位の高い母集団にシフトしてしまい 別の統計的集合を観察していることになる。これは 世界の既存データと比較することができないので 重要な値であるが 資源予測の基礎データにし難い。従来から集められたデータは 鉱床単位であって 鉱脈単位まで掘り下げていないからである。鉱脈でなく鉱床単位でデータを集めようとすると大規模鉱床の場合は各鉱脈が 一般にまとまって存在するために分離することが難しい。ところが 池田湖西方の金銀鉱床は小規模なために分離が明らかという利点がある。

上にあげた14の鉱床(鉱脈群)の中には大谷鉱床と日影鉱床のように 一応別の鉱床ながら 谷一つ越えて隣り合っているものもあるし 又 池田鉱床のように鉱脈が数本しかなく 花籠鉱床に隣接すると考えられるものもあり これらは1つにまとめている。小金鉱床は 立神鉱床と日影鉱床の中間に存在し 日影鉱床に隣接すると見なすこともできるが 大谷鉱床よりは明らかに分離すべき位置であるため 独立して扱うことにした。このようにして 報告された生産量のみから金・銀の累積頻度等を示したものが 第3図(金) 第4図(銀)である。

元にしたデータの信頼性が問題であったが これらの図からみて 個々のデータには問題のあるものがあって



第4図 銀の生産量、品位。A B C : 第3図に同じ。



第5図 金—銀 生産量関係。破線は等銀/金比線でその値も示した。白丸でプロットされた付近の数字は本文(5.)の鉱床名に対応。矢印太線は鉱液の推定流れ方向に沿う傾向を示す。

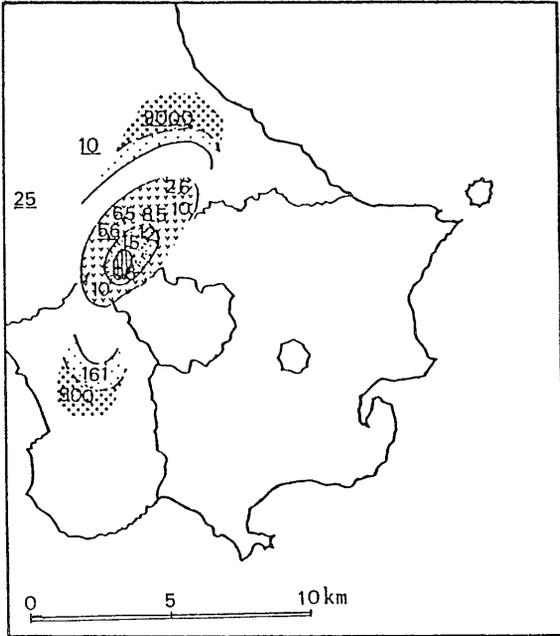
入るのは わずかに花籠 郡ヶ野 立神 弁財天であり 仁田平 岩平各鉱床の推定値はひとけたほど異なっている。ただし 池田湖西方の金銀鉱脈鉱床の場合 必ずしも生産統計がそのまま鉱量を示すわけではなく (5.) に記述したように系統的に下回っていることだけが明らかである。従って 各鉱床の鉱量は生産量/品位よりずっと大きいことが推定される。品位の分布は逆に大きい方にシフトしている。従って もし鉱脈ごとの鉱量推定を行うなら 品位の推定を改善しなければはるかに大きなものにシフトしてしまうだろう。この場合は 品位の正しい見積りが必要であり 現時点ではもはや不可能である。

金は品位と生産量が反比例するようにみえるが 銀は逆に比例的関係がみられる。いずれも分布のパラッキが大きいので 明確なことは言いがたい。しかし これらの不確かさが残るとしても 統計的には意味のあるデータであり 何よりも確実なデータが少なくとも3割以上7割程度までは含まれているようである。ここではこれ以上議論を展開しないが 少なくとも 金・銀の生産量関係を示した第5図は確実な結果であり 銀/金比がこの分布に示す展開を持つことは疑う余地がない事実といえよう。そこで 銀/金比の問題を次に考察しよう。

7. Ag/Au 比の対称的な分布から見た鉱脈生成熱水の流動

池田湖西方の金銀鉱床の Ag/Au 比の平面的分布を第

も 意味のある標本集合であることがわかる。特に 金 銀の金属生産量は 生産品位に比べて t分布への適合性がよい。従って Ag/Au 比を見るときは 品位よりも金属生産量から算出すべきであることがわかる。Cox 他 (1986) の示す「佐渡金脈」に属するモデルらしい。生産量—品位関係図の直線は 生産量/品位即ち鉱量を意味するが 金・銀共推定値が同じレンジに



第6図 銀/金 比の分布. 数字は生産量の銀/金比. アンダーラインのある数字は鉱石品位による比. A: 1以下 B: 1~2 C: 2~20 D: 不毛帯 E: 100~500 F: 500以上の銀/金比.



6 図に示す. これより 池田湖西北部の中浜北 立神-小金鉱床群を中心にした 帯状構造が明らかである. 即ち 内側で Ag/Au が低く 外側(北は黒仁田-生見鉱床群 南は弁財天-類桂鉱床群)に向けて高い Ag/Au比が観察される. Ag/Au 比の高い帯と低い帯の中間に 変質・珪化があるものの 鉱脈の存在が確認できない不毛帯がある. この不毛帯は 鉱脈が確認できないことから考えられるため その信頼性は低くなる. ただし 少なくとも 不毛帯の内側に Ag/Au 比の帯状構造が存在することは確実であって動かし難い. 各鉱床はほぼ 1.1~1.5Ma 程度の時代に一齐に生成したと推定できるので 金銀鉱床を生じた熱水の流動に関して [A] 断裂系に沿う垂直流 [B] 断裂系にまたがる水平流の2つの成分を以下のように論じることができる.

[A] 垂直方向の流れ

石英の流体包有物均質化温度が生見 花籠 大谷各鉱床で測定され 大体182~197℃の間に入り 大きな違いは見られない. 従って 帯状構造の成因を単純な温度分布で説明することは 困難である. ここに各鉱床とも断裂系の下方に熱水源を有するとして そこから同じような熱水が上昇してくるとすれば 各鉱床の母岩と断裂系には大きな差は無いので 鉱床下部から上部に向かって何らかの帯状構造が見られ 全体の Ag/Au比は大差無いことになるであろう. その場合 現在見られる差が削剝の違いを示すことにな

る. 例えば 位置的に高所にある中心部が削剝が少なく 低所にある周縁部が多いとする. しかし これは否である. なぜなら まず第一に 各鉱床の下にそれぞれ(火山性)の熱源が単独に存在したと考えるために十分な事実が得られていない. そして 周縁部には南薩中期・新期火山岩類が分布するのに 中心部にはなく 黒仁田鉱床は南薩中期火山岩中に胚胎している. 侵食の程度としてはむしろ逆とも考えられ 今のところ 侵食の程度に大きな差を認め難い. 問題となるのは各鉱床そのものの下部ほど 金銀どちらかの品位が顕著に高いわけではなく 生産量の年次変化にも目立って Ag/Au 比の変化が現れてはいない点である. 削剝の程度のみによる説明は困難と言えるだろう.

次に 帯状構造を単純な上昇流で説明するには 各鉱床ごとに熱水の組成が異なると考えることができる. ただし 帯状構造が中心を持つ同心円の分布特性のあることから 各断裂系を流動する溶液が各々無関係な異なる熱水源からもたらされたと考えられることには 地質的理由を欠き 無理がある. そこで 中心域深部に共通の熱水源を有し そこから南薩群層上部層の断裂系に至る経路の距離に比例して 化学的条件が変化したと見ることができる. これは水平方向の成分も含むので 次項とも重複するが 各断裂系内では垂直方向の移動になっていればよい. しかし こ

の考え方が成立するなら 中心から外側に向けて 距離に比例してより大きな温度変化が観察されるべきと思われる。流体包有物データが 中心が特に高く 周縁が低いという値を示していない以上 結局 この考え方にも無理がある。鉱床内の上下方向の顕著な Ag/Au 比の変化が見られないことから 垂直的の流れを実証するには情報が不十分である。

〔B〕 水平方向の流れ

熱源と重力(浮力)による対流が熱水流動の特徴なので 水平のみの熱水の流れは考えられず 当然垂直方向の成分をどこかで持つはずである。ここで問題にしているのは Ag/Au 比の帯状構造の場合(断裂系)における流れである。

まず 周縁から中心に向かって流れたとする。これは 生見鉱床の均質化温度がやや高いために考えられることである。この場合 弁財天鉱床からも中心に向かって流れ 中心域の1カ所で予定調和的に混ざる必要がある。ところで Ag/Au 比の高い周縁部には特別な地質構造は見当らない。逆に中心部には鬼門平断層上央部と池田湖カルデラが存在するので積極的な地質学的事実がある。周縁部に2つの熱水源を考える時 なぜ池田湖西北部に向かって 北と南から同時に熱水が流れたのかの説明がつかない。又 東西方向からの流れを考えることは 同様の理由から地質構造的にも無理がある。水平方向の流れを考えるなら Ag/Au 比の低い立神一小金鉱床を中心とし 鬼門平断層に平行する断裂系に沿って NNE 方向と SSW 方向に熱水が分かれて流れたと考えることが今のところ最も困難が少ない。この熱水流動に関与した火山活動は南薩新期火山岩類から先阿多火山岩類を生じた活動までの間に位置すると考えられる。池田湖西部の小浜火口の活動が鉱床生成後間もなくと推定できることは象徴的であろう。池田湖カルデラ形成初期の火成活動がこの地域で行われていたことと 鉱化作用の中心がほぼ同じ所に時間的に相前後して重複することは注目される。少なくとも 両者の熱的活動には密接な相関を認める必要があり 深部で共通していると見てよいだろう。

この水平方向の流れが広い自由地下水面を有した熱水と見ることはむづかしい。その場合は周辺に向かって著しい温度下降が認められるだろうし 沸騰すれば直上に気化して移動してしまい 5 km 以上も流動するとは考えにくいからである。従って 水平方向の流れを可能にするには 大部分の地域で熱水が封圧水として挙動したこと 即ち 帽岩の存在を必要とする。現在見られる鉱床分布地域では帽岩の多くは削

剥され 鉱床が地表露頭に見られる。しかし 黒仁田一見見鉱床群の北方や 中心部鉱床群の西方には南薩中期火山岩類以後の地層が広く分布しているため 帽岩とその下の未発見鉱床群が予想される。帽岩の下を流動するとき 水平に5 km 程度では鉱床形成の場の流体包有物均質化温度が150~200℃の幅の中ではほぼ保たれたと見られるが その理由はわからない。

この推論が最も無理の少ないものであるが やや信じ難い気もするので その可否を検証すべく 流通系の数値実験を準備中である。

このようにして流動した熱水も 対流のために一部は冷却して地下へ下降し 又 一部は地表に出て 温泉やカオリン粘土鉱床を生じたと見られる。実際 この帯状分布の外側に分布する珪化岩体は南薩層群上部層の上部で 上位の地層の切れ間か上位の地層そのものに存在しているようであり 温泉型活動の下部相当と見られる。帽岩の一部は切れているとするのが合理的であろう。

中心部鉱床群(前節の3~12)と周辺の間が存在する南北の鉱床空白珪化帯の存在は 各鉱床がそれぞれ独立の熱水から生成されたのではなく 共通の封圧熱水の水平的流れによって生成し 連続していたことの証拠の一つであろう。この空白帯を境に溶液の組成か 又は温度以外の物理・化学条件が変化したものであろうか。封圧熱水が共通しなければ これほどの対称性は得られなかったであろう。少なくとも珪化帯の連続性(ただし 強弱はある)は明らかである。

8. 現世地熱系

浅熱水性金銀鉱床と地熱系とは密接な成因の相関がある。池田湖カルデラの東方 阿多陥没域は現世の温泉・地熱地帯であり 多数の温泉や粘土鉱床(神谷ほか1978)が分布している(第2図)。NEDO(1986)の孔井の南薩層群流体包有物均質化温度測定結果では 100~391℃までの広い分布があり 現在の検層温度曲線と沸騰曲線上の2つのピークに分かれている。即ち 120~130℃と270~280℃前後が平均的であり 後者の温度は(5.)に示した金銀鉱床の値よりかなり高い。NEDO(1986)によれば 熱水及び温泉水は化学組成と同位体組成から現海水を起源とすることは考えにくく 阿多カルデラ外壁及び池田湖を水源とし 南東方に傾斜する地質構造に規制されて その辺りから東方 南東方 南方へと流動したと考えられている。これに浅所地下水や海水が混合したと考えられている。水素・酸素同位体比から 温泉水は次の3型に分けられる(NEDO 1986):

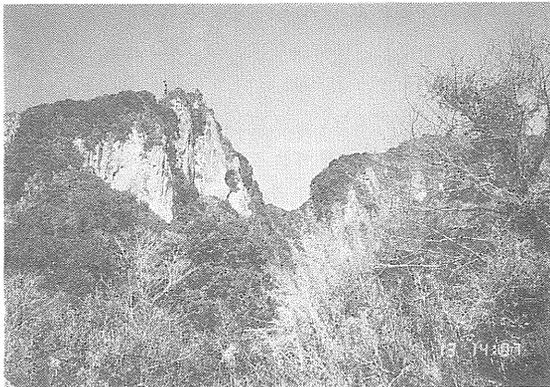


写真4 大谷鉱床旧坑。

池田湖西方金銀鉱床中最大の大谷鉱床は指宿スカイライン出口のすぐ南の奥にある。草木に覆われた断崖のところどころに坑口跡が見られ、今でも木立の陰に鉱石残骸が所々に散在している。



写真5 弁財天鉱床坑口跡の一つ。

願娃北東の銀の多い弁財天鉱床の手堀坑口跡。現在は社の裏にあり、鉱石が入口付近に少し残っている。一人一人がやっと入れるこの坑口は江戸～明治期のものと思われるが、昭和30年頃まで、個人採掘師が出入していたようである。

- [1] 浅部地下水起源の冷泉及び温泉：唐船峽
- [2] 深部熱水に大量の地下水が混合：田之畑 二月田 成川 小塚浜 池尻
- [3] 深部熱水に比較的少量の地下水が混合：伏目。

これらの温泉水は地下浅部の熱水貯留層を形成するがカルデラあるいは環状構造の陥没周縁部と断裂系の組合ったところが最も好適な場とされる (NEDO 1986)。池田湖東方の孔井の割れ目つまり地下の割れ目から現在も100℃を超える地下水の流出が観察されている。これらの地下水は地表を被覆する先阿多火山岩以降の安山岩類の割れ目(鰻池温泉や指宿粘土 山川粘土等)やその先端(指宿温泉群 伏目温泉 大山粘土等)で地表に出てきており これらの安山岩類を帽岩とする封圧水と考えることができる。帽岩の切れ間が地表徴候(温泉噴気 粘土)であり第2図でもリニアメントに沿うことが見られ 深部断裂とも相関するであろう。池田湖東方の地熱水の対流は 過去1.1～1.5Maの時代の金銀鉱床生成時の熱水対流の現在のモデルと考えることができよう。

9. おわりに

小論の解析結果はまだ初歩的段階であるものの、カルデラと鉱化中心を探索することに一定の意義が見出されるものと思われる。特に 帽岩の必要性を新たに強調したつもりである。日本国内で大規模な地下資源開発の機会はますます制約されつつあるため 従来型の探査法は国内的には考え直していくべき時期がきている。

しかし わが国は歴史的に多数の鉱床分布の知識を蓄積しており 郷土史にも数多く登場している。このような知識を整理し 科学的方法で再調査していくなら海外の資源国では得られない知的方法を生み出すこともできよう。それは海外資源の探査開発に役立つこともできる。このような知識処理の可能性を我々に残してくれた わが先人たちに大いに感謝しなければいけないのではないだろうか。

なお資料を御提供され 多数の引用を御許容いただいた金属事業団調査部 新エネルギー総合開発機構地熱調査部 又 貴重な資料を御貸与いただいた塚田新市串木野市長と調査に御協力された串木野市役所の皆さんに厚く感謝申し上げる次第です。いつもながら 本文は岸井範子氏によって美しく仕上げることができました。

文 献

- 荒牧重雄・宇井忠英(1966) 阿多火砕流と阿多カルデラ。地質雑 72, (7), 337-349.
- Cox, D. P. and Singer, D. A. (1987) Mineral Deposits Models. U. S. G. S. Bull., 1693, 379p.
- 林 正雄・井立田修(1987) 南九州薩南地熱域における応力場の変遷。藤田至則編：中生代～現世における陥没の形態とその発生機構に関する総合研究報告。(2), 125-134.
- 井沢英二・浦島幸世・大久保義和(1984) 南薩型金鉱床の生成時期—春日, 岩戸, 赤石産明ばん石のK—Ar 年代—。鉱山地質, 34, (5), 343—351.
- 鹿児島県(1953) 鹿児島県地下資源概観。鹿児島県, 278p.
- 神谷雅晴・中川進・西村進・角清愛(1978) 鹿児島県指宿市指宿郡指宿地熱地域の熱水変質帯。地質調査所報告, No. 259, 537-582.