

北薩 とくに菱刈の金鉱床： その構造規制と生成モデル

石原舜三・森下祐一（鉱床部）
Shunso ISHIHARA・Yuichi MORISHITA

1. まえがき

菱刈鉱床は1981年3月に 通商産業省 資源エネルギー庁の委託を受けた金属鉱業事業団の探査により鹿児島県北西部の北薩地域で発見され 鉱業権者である住友金属鉱山株式会社により 1985年11月に企業化された(写真1)。この鉱床は含金銀-氷長石-石英脈鉱床であって我が国にも例が多いものであるが 一般に6 ppm Au 以下の平均品位で採掘されている現在にあってその超高品位(80 ppm Au 近藤1986)の性格はまさに驚嘆に値するものであり 1980年代前半の世界の鉱業界の話題を独占した。また量的にも 我が国歴代1位の 佐渡鉱床(総生産量77トンAu)をはるかにしのぐ120トン Au 以上が期待されており 近年の最大の発見と言える。

菱刈鉱床の発見は学問的にも多くの話題を提供した。この鉱床と同一生成期の新生代後期の他鉱床は一般に安山岩類を母岩とするが 菱刈鉱床の鉱脈の大部分は安山岩下位の基盤である四万十累層群の堆積岩類を母岩としている。基盤岩類に胚胎する鉱床はこれまでも日本の数ヶ所で知られているが いずれも小規模なものであった。第2に鉱脈は不整合面にまたがって分布するから この発見は鉱脈形成に際しての不整合面による構造規制の重要性を再認識させるものとなった。第3に一般に存在量が低い金のこの様な異常に高い濃集の機構

を説明するに恰好の研究材料を提供した。

北薩地域には串木野(生産量46トンAu) 山ヶ野(同28トンAu) 大口(同22トンAu)などの主要鉱床のほか 多数の小鉱床があり 我が国で主要な鉱床生成期である新第三紀鉱床(第1図)のなかでも金鉱床開発の実績がある地域である。その北方延長部の豊肥地域には鯛生馬場などの鉱脈鉱床 また南薩地域には赤石 春日 岩戸などの南薩型の塊状金鉱床があつて 琉球弧の火成活動は金鉱化作用で特徴づけられる。ここでは北薩地域の鉱床を概観しながら 串木野鉱床についてややくわしく述べ菱刈鉱床が提起する基盤堆積岩類や不整合面が持つ意味 菱刈鉱床の高品位鉱の原因などについて考えてみたい。

2. 北薩地域の地質概況

北薩地域に限らず仏像構造線以南の南九州は一般に比較的単純な地質体からなる。基盤は四万十累層群の堆積岩類であり これに西南日本外帯の中新世チタン鉄鉱系花崗岩類が散点的に貫入し ついで琉球弧に属する新生代後期の磁鉄鉱系火山活動が重複して霧島-鹿児島湾以西においてみられる。外帯花崗岩類は錫山 屋久島においてスズ タングステン その他の地域で若干のベースメタル鉱床をもたらした。琉球弧の火山活動はべ

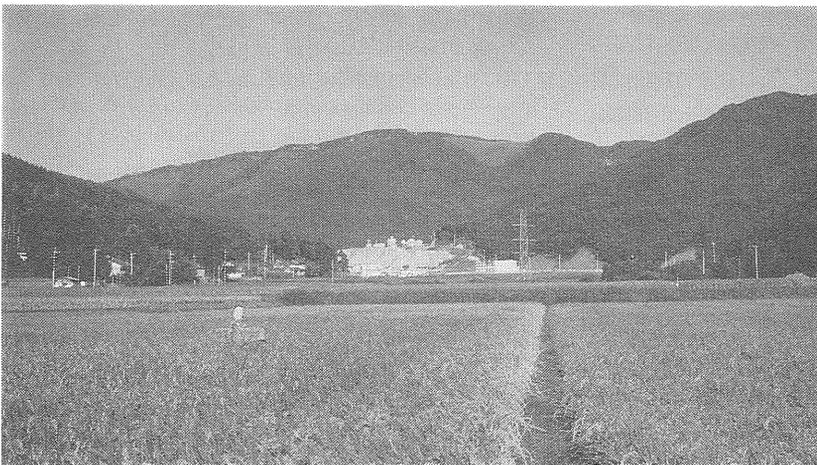


写真1 菱刈鉱山遠景。水田の途切れる所 加久藤カルデラの手前がある。東方をみる。

ースメタル鉱床をほとんど伴わず ここでのべる金銀鉱床と若干の硫黄鉱床をもたらすにすぎない。この点は東北地方のグリーンタフ地域と非常に異なる点である。またその火成活動は主として陸上で生じ 全体的に若い時代を持つことも東北地方と違っている。

基盤岩類

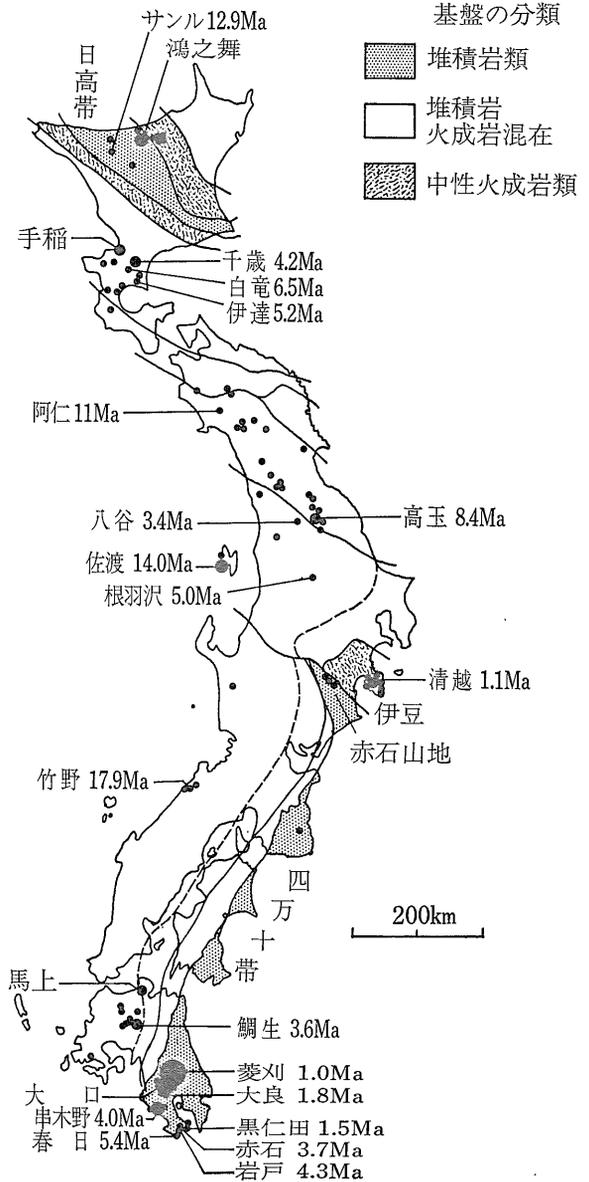
南九州の金鉱床は四万十帯に分布している。四万十帯の四万十累層群は琉球弧火山前線の外側である東部に広く 内側の西部では出水山地や鹿児島南西方のシラス台地などに限られて露出する。四万十累層群は露出がよい南九州東部を中心に寺岡 (1986, 私信) によって下記の様に分けられており 南東方へ時代が若くなる (第2図)。

- 諸塚層群 佐伯亜層群 (白亜紀) : 主に砂岩 > 頁岩
- 塚原断層 -----
- 蒲江亜層群 (上部白亜紀) :
- 主に頁岩と玄武岩 > 砂岩 (高変成)
- 延岡衝上 -----
- 神門一北川層群 (古第三紀) : 主に頁岩と玄武岩
- 大藪衝上 -----
- 日向一日南層群 (古第三紀) : 主に砂岩と頁岩

著名なキースラーガ鉱床は蒲江亜層群の一部層である槇峯層の玄武岩類に伴って産出する (寺岡 1979)。

南九州西部の四万十累層群は出水山地 薩摩半島南部のいずれにおいても白亜紀佐伯亜層群に相当するものと思われている。最近寺岡によって菱刈鉱床の試錐孔と霧島地熱井の岩芯の砂岩の鉱物容量比が明らかにされ菱刈鉱床のものは佐伯亜層群 霧島では蒲江亜層群に属することが明らかにされた (第3図)。

四万十累層群は北東-南西の一般走向をもつが 阿久根-紫尾山で秩父系を伴って南北方向へ屈曲し その南側では南北走向を示す (写真2)。秩父帯の岩石は川内市久見崎において少し露出する。この構造の変化は北薩の屈曲 (橋本 1962) と呼ばれ 走向変化のほか屈曲軸に平行な西北西-東北東の断層の発達や玢岩の貫入により示される。また 四万十累層群の諸層群は古第三紀層を含めて西北西方向に切られており (第2図) この屈曲は北薩地域で最も古い基本的な構造的要素であることがわかる。出水山地の紫尾山花崗岩体 (13-15Ma) は南北系の伸長方向を示し 屈曲の主たるフェーズは中新世中期以前に終了したことを示しているが 次ののべる新生代後期の火山岩類は仏像線の屈曲点を中心とした扇形に分布しており 北薩の屈曲はより後の時代の現象にも影響を及ぼしたことを暗示する。



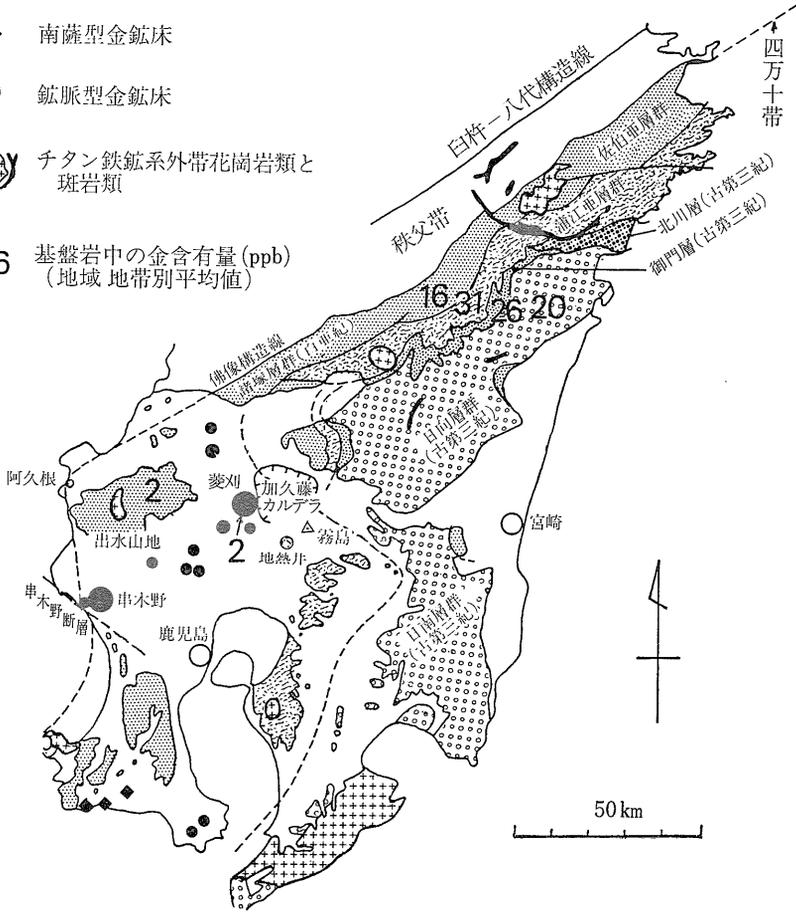
第1図 日本の新生代金銀鉱床の分布 生成年代と予想される基盤の種類 (Ishihara et al. 1986)。黒円は大きい方から小さい方へ生産量+残存鉱量 (推定) >100トン以上, 100-40, 40-10, 10-1トンAuを表わす

新生代後期火山活動

新生代後期の火山活動は北薩地域では出水山地を取り巻いて著しく発達する。中新世安山岩類が卓越し 一部に流紋岩類や湖成堆積物がみられ 最末期は溶結凝灰岩 シラス そして現世の霧島 桜島などの安山岩質火山で特徴づけられる。これらの活動は大局的には西から東方へ移動したものと考えられる (浦島・井沢 1986)。

- ◆ 南薩型金鉱床
- 鉱脈型金鉱床
- ⊕ チタン鉄鉱系外帯花崗岩類と斑岩類

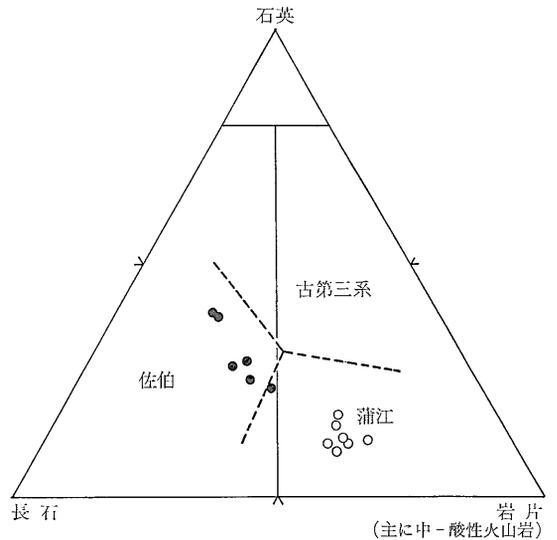
26 基盤岩中の金含有量(ppb)
(地域 地帯別平均値)



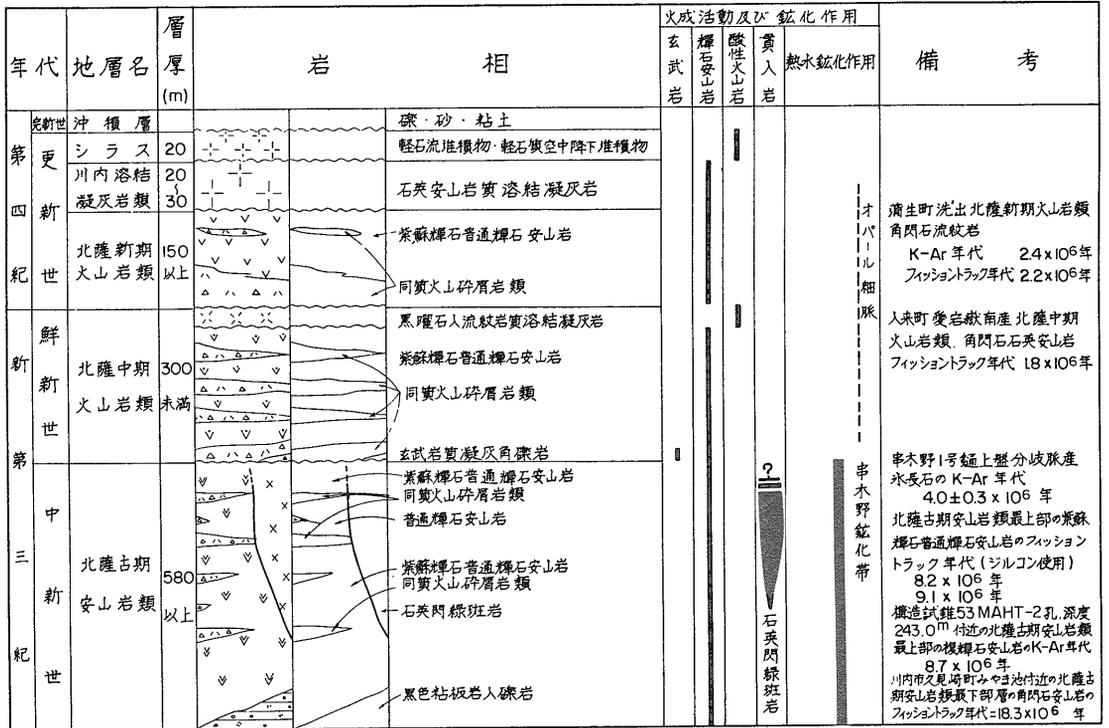
第2図
南九州の四万十層群の
分帯と金銀鉱床の分布
(Ishihara et al.
1986)



写真2 出水山地の四万十層群の砂岩(凸部) 頁岩(凹部) 互層。南北走向部分を北方にみる。



第3図 試錐岩芯の砂岩組成。黒円は菱刈鉱山産 白円は霧島地熱産 (Ishihara et al. 1986)



第4図 北薩地域西部 串木野地区の火山層序 (通商産業省 1980)

貫入岩類は浸食が進んでいる串木野地域で見られるにすぎない。火山層序の一例を第4図に示す。

北薩古期安山岩類は基盤を不整合に覆う中新世の安山岩類で主として角閃石含有両輝石安山岩溶岩からなり一部に同質火砕岩を夾む。本岩類の名称は本地域の金鉍床胚胎母岩に対して与えられたもので(通商産業省1977) 串木野地区をはじめ本地域のいくつかの鉍化地区に露出している。本岩類の多くはいわゆるプロピライト化変質を受けたような外観を示し各地区で相対的に下位にあり串木野地区では化石・放射年代で中新世中期の年代が得られている(通商産業省1979)が東部地区の原岩の絶対年代は著しく若く(鮮新世以降 阿部ら1986) 従来の横ならびの対比は修正する必要がある。層厚は一般に200~450mで串木野地区では700m以上に達する。

北薩中期火山岩類は本地域南部に分布し北薩古期安山岩類を不整合に覆う鮮新世の火山岩類であるが安山岩質のものが比較的多い。大口地区では山野流紋岩が山々野地区では湖成堆積物である永野層が北薩古期安山岩類を覆う。熱水変質は一般に弱く局所的なものに限られる。本岩類は入来鉍床および八重山鉍床の母岩である。層厚は厚いところで1,000m以上に達する。

北薩新期火山岩類は鮮新世後期~更新世前期の火山岩類で本地域全域に分布する。岩相は両輝石安山岩~角閃石流紋岩で層厚は最大900mに達する。熱水変質は見られず本岩類を母岩とする鉍床はない。

黒園山流紋岩類は更新世と考えられ本地域北東部の黒園山付近を中心に加久藤カルデラを取り巻いて広く分布する。一般に流理構造を持つ斑状の含両輝石閃雲ゲイサイト-流紋岩である。大口地区には類似する元古屋含輝石黒雲母流紋岩類がありこれは角閃石の有無で前者と区別される(通商産業省1977)。これらを覆って更新世-完新世の溶結凝灰岩やシラスなどが分布する。

以上の火山岩類はいずれも斑晶状磁鉄鉍を含むことから磁鉄鉍系に属するものと考えられる。菱刈鉍床付近の測定による北薩古期と新期安山岩類は一般に600~800×10⁻⁶emu/gの帯磁率を示しチタン鉄鉍系の限界100×10⁻⁶emu/gを超える値を示す。鉍床近傍の古期安山岩類はチタン鉄鉍系の値を一般に示すがこれは熱水変質によって磁鉄鉍が黄鉄鉍化されたためである。黒園山流紋岩は一般に100~400×10⁻⁶emu/gを示し同様に磁鉄鉍系の値を示す(第5図)。

3. 金銀鉱床の広域場と裂か系

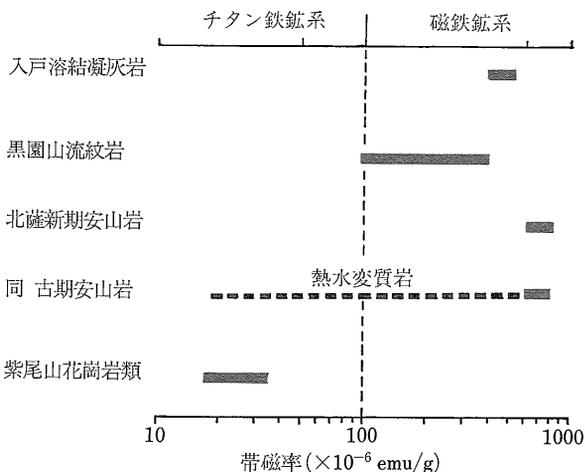
北薩地域の金銀鉱床は 出水山地の四万十累層群を取り巻いて分布する新生代後期火山岩類のうち 北薩古期安山岩類を母岩としてみられる。しかし 鉱脈形成の絶対年代には 4 Ma (串木野) から約 1 Ma (菱刈) に至る年代差が認められる。古期安山岩より後期の火山岩類中の鉱床は極めて小規模である。菱刈鉱床は後述するように基盤の堆積岩類中に鉱脈の主要部分が胚胎する。鉱床は含金銀石英脈からなり その Ag/Au はほぼ 1 であり グリーンタフ帯などの鉱床とくらべて同比較が低い特色を有する。串木野鉱床が最も銀に富み Ag/Au = 8 である (第12図参照)。脈石鉱物としては石英のほか方解石 氷長石が一般的である。

鉱床胚胎の場

北薩地域の金銀鉱床が広域的に占める位置については北薩古期安山岩類のほか 重力異常との関係 (通商産業省 1976) カルデラ構造 (古宇田ら 1986) などの提案がある。第6図は北薩地域の等重力線図であるがほとんどの鉱床が高重力異常の翼部に位置していることがわかる。通商産業省 (1976) は山花 山ヶ野 西浦 菱刈 山田 眞幸の5異常を特に重要視し そのうちの一つ菱刈山田は後の菱刈鉱床の発見へとつながった。高異常の解釈としては 地下浅所のプロピライトの存在が推定された。

菱刈鉱床においては その後精密重力が実施され N 60° E 方向へのびる 3.3 × 1.5 km の「菱刈高重力域」が発見され 三次元解析により (第7図) 次のように結論づけられた (川崎ら 1986)。菱刈高重力域から推定される重力基盤は 深度 500m 以浅の明瞭な盛り構造を示し 南西および西北西方向に連続する。深度 100m 以浅の小地域は鉱化帯と見事な一致を示す。菱刈高重力域の南西部には深度 250-350m の小規模な盛り上り 北西部には 150m 以浅の盛り上り構造が存在するが これら局部的重力変化は盛り上り構造中の小規模な起伏である。菱刈地区の重力は 基盤である四万十累層群の分布に大きく支配されており したがって高重力域は同累層群の隆起域を表したものである。この解釈は開坑後の坑内地質調査により明らかであり (阿部ら 1986) 40m レベルにおける四万十累層群の分布は高重力域と見事な一致を示す (第7図)。

一方 串木野地域には串木野鉱床の東方 冠岳 (写真3) の南西方に最も顕著な高重力域 (金山高異常) があり また羽鳥東方には「白浜高異常」がある。通商産業省 (1986) は石英閃緑斑岩 (平均密度2.67) や四万十累層群



第5図 菱刈鉱山付近火山岩類の帯磁率 (Ishihara et al. 1986)

の諸岩石 (平均密度2.62) がいずれも 安山岩類 (平均密度2.55) より高密度であることから 両者のいずれかが高異常の原因ではなからうかと指摘している。

冠岳付近では 金山高異常とほぼ平行に石英閃緑斑岩が東西2.4km 南北1kmの岩体として露出している (第8図)。このような完晶質岩が分布するのは北薩地域では時代的に最も古いこの地区のみであり 浸食が菱刈地区と比べて進んでいることを思わせる。磁鉄鉱系火成岩体では このような斑岩は深部に向うにつれて より完晶質な石英閃緑岩に移行することには多くの事例があり 金山高異常域においても大きな深成岩体が潜在するものと筆者らは考える。この斑岩は恐らく火山ネックであり 熱とマグマ水の供給源であって串木野鉱床の成因と密接な関係を持つものと思われる。

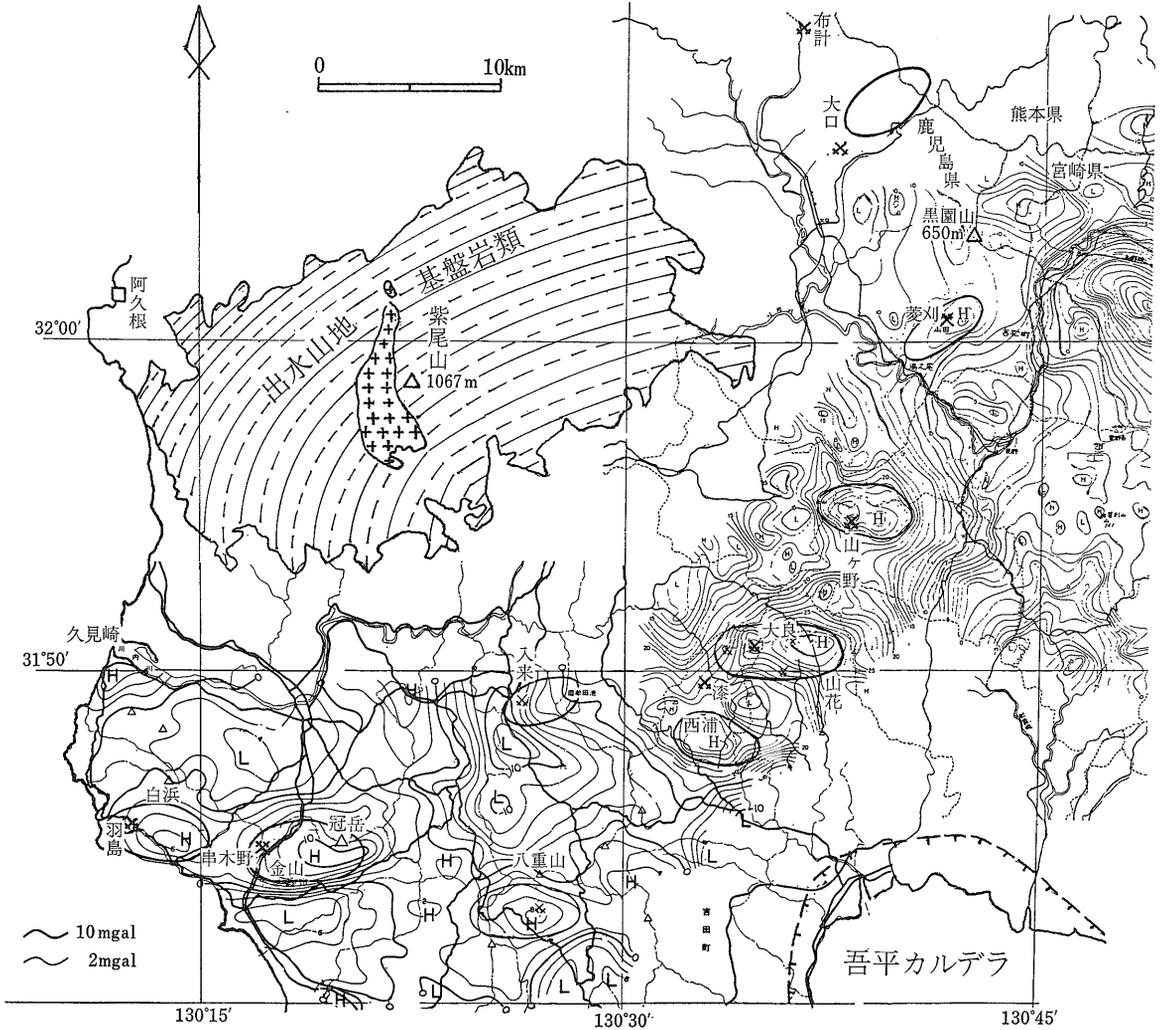
鉱脈裂か系

北薩地域の金銀鉱床は一般に布計 大口 菱刈 西ノ山 山ヶ野 木津志 羽島のほとんどの地区において北東-東北東の走向を有し 北に急傾斜の鉱脈群を主体とする。串木野地区のみがこれと逆に南傾斜を主体とする複数系統の鉱脈が規則的に連鎖する。代表例を第9図 第10図に示す。

金銀鉱脈を形成した裂か系はこれまで広域的な応力場のもとで生成されたと解釈された。たとえば 松任谷 (1967) は 串木野鉱床は下記の3群に分けられる 剪断裂かと展張裂かが東西方向の圧縮場で生じ 鉱脈が生成したことを明らかにした。

I 群: N45-65° E 40° S E (剪断裂か):

荒川鍾 串木野 1 15 18号鍾



第6図 北薩地域の等重力線図(補正密度 $\rho=2.4$)と重要鉱床 有望地区の位置(通商産業省 1976 1980から合成)。左側の太線と細線は10と2 mgal 右側の等高線はそれぞれ5と1 mgal

II群: $N40^{\circ}W - 70^{\circ}NE$ (剪断裂か):

十里塚鍾 串木野3号鍾の一部

III群: $E-W - 35^{\circ}S E$ (展張裂か):

串木野2 8号鍾 その他小鉱脈

串木野鉱床の鉱脈には一般に鉱脈の連鎖による菱形構造が顕著である。最大規模の串木野1号鍾では 西部で雁行する $N45^{\circ}E$ 系を主脈とし $E-W$ 系肥大部がこれを接続し 中央部と東部では $N65^{\circ}E$ 系と $E-W \sim N80^{\circ}W$ 系が接続して接続部に菱形構造を作る。そして $N45^{\circ}E$ から $N65^{\circ}E$ の屈曲部には $N40^{\circ}W$ 系の鉱脈が多い。これら鉱脈をステレオ投影すると それぞれの極はほぼ同

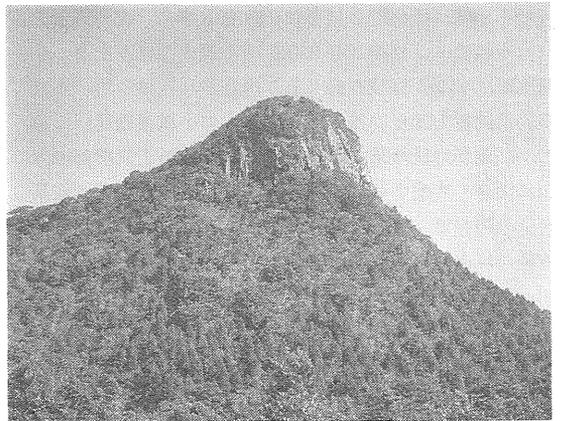
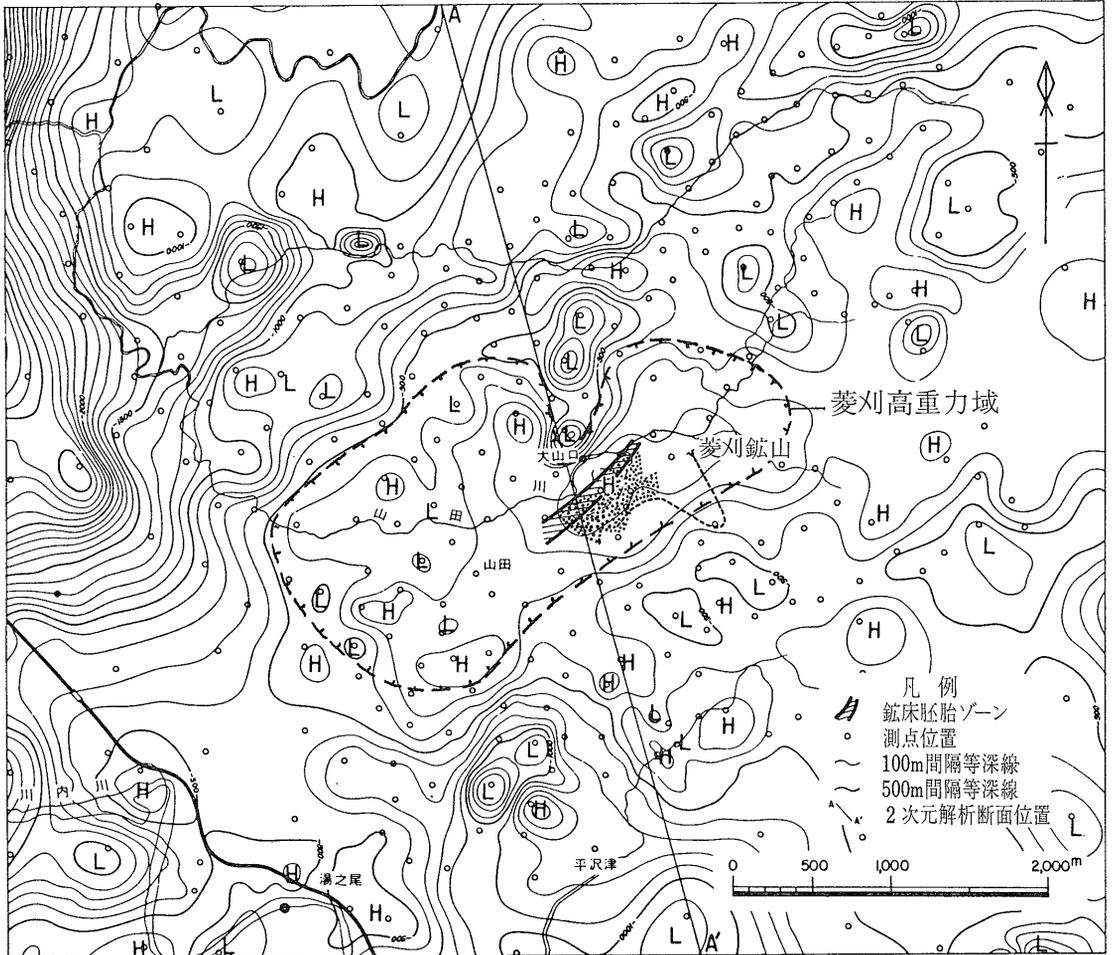
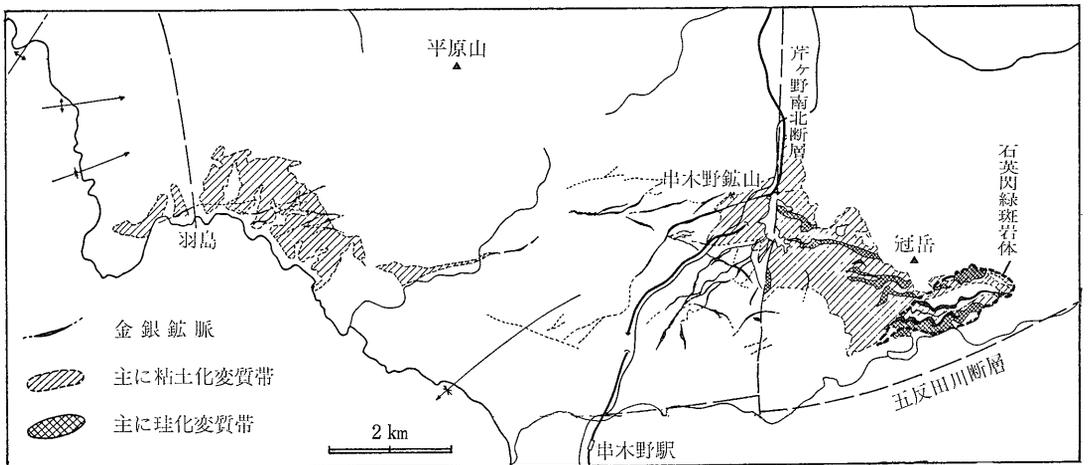


写真3 南方からみる冠岳。中期火山岩類からなる。「かんむり」の右端に石英脈がみえる。



第7図 菱刈鉱床付近の基盤深度図 (川崎ら 1986 阿部ら 1986)。打点部は-40mLにおける四万十累層群の分布



第8図 串木野地区における石英閃緑斑岩と変質帯の分布 (通商産業省 1979)

一大円上にのる。そしてE-W系を挟んでN45°WとN45-65°E系はほぼ共軛関係にある。そこで松任谷(1967)はこの鉱脈は東西方向の圧縮により生じたものと考えた。

大口鉱床の鉱脈(第9図)は鉱脈の性格から剪断裂かかN25°E系 展張裂かかN55°E系 開放裂かかN35°W系に分けられこれらはN55°E方向の圧縮応力により生じたものと考えられた。

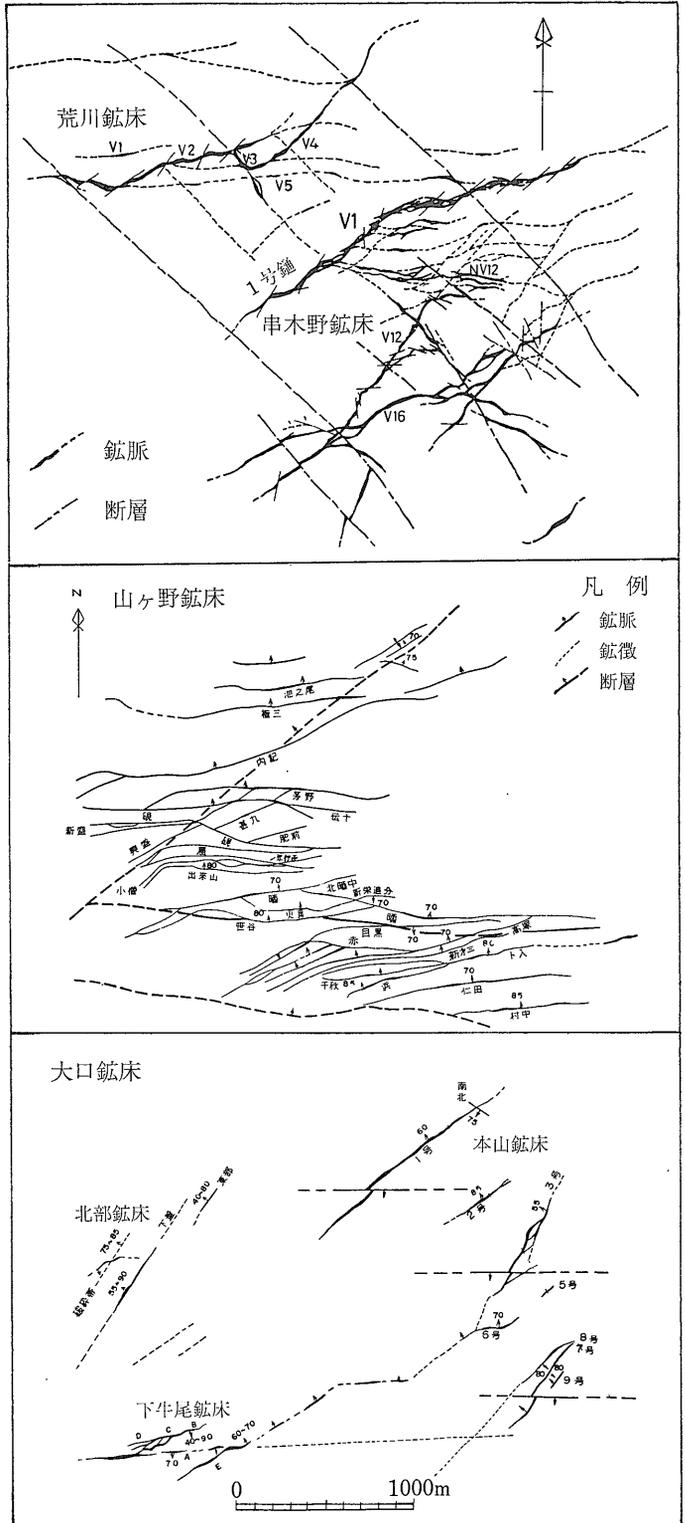
山ヶ野鉱床の主体はN60°W方向に雁行する30条に近いE-W系鉱脈である。西端はN45°Eに曲って粘土脈や断層に転じ 東部でもN45°E系の断層に吸収される。したがってこの鉱脈裂かか 東西方向の圧縮応力によって形成されたものと考えられた。

大良 漆を含む木津志地区の鉱床は ほぼ同一直線上に並ぶNE系 急傾斜の鉱脈からなる。優勢なもの全体として剪断的要素を持っている。大良 高嶺では主方向はN60°Eで E-W系との間に菱形構造をつくる。漆では主方向がN40°EであるがやはりN60°E系との間に菱形構造をつくる。したがってこの地区でもE-W~N60°E方向の圧縮力を持つ(松任谷 1967)。

一方 Morishita & Kodama (1986) は串木野地区において冠岳西南西方2km地点が隆起して串木野鉱床の鉱脈群が生成したとの発想のもとに有限要素法を用いて割目のシミュレーション実験をおこなった。その結果串木野地区では北薩古期安山岩類を任意の5層に分けたうちの中部層(第三層)で串木野1号鍾付近に明瞭な共軛断層が得られた(第11図)。1つは走向N45°E 傾斜20°SE他は同じ走向で80-90°SE傾斜である。したがって高重力域の隆起による変形でも串木野鉱床の主要鉱脈を説明することは可能である。

4. 串木野鉱床の生成モデル

北薩地域の金銀鉱脈の解析から松任谷(1967)によって導き出された東西方向に最大圧縮軸を持つ解釈にはその後のプレートテクトニクスの先見性をみることができる。北薩地域の新生代後期火成活動の場としてはその様な広域構造場が設定されようが 個々の



第9図 主要鉱床の鉱脈系統図(通商産業省 1977, Takeuchi & Shikazono 1984)



写真 4 菱刈鉱山東方のカルデラ壁から北東にみる加久藤カルデラ

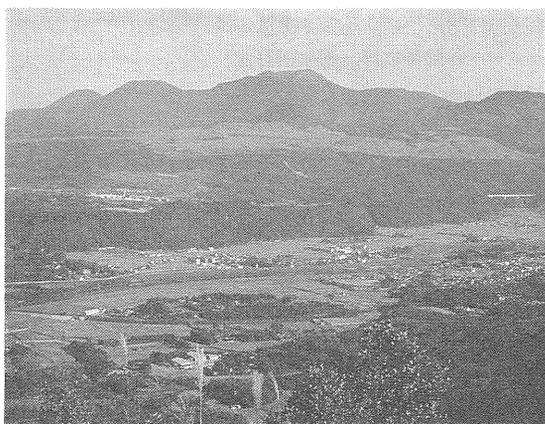


写真 5 同南東にみる霧島連峰。中央は韓国岳 (1,700m)



写真 6 流理構造が発達する黒園山流紋岩



写真 7 黒園山流紋岩中の石英脈鉱床

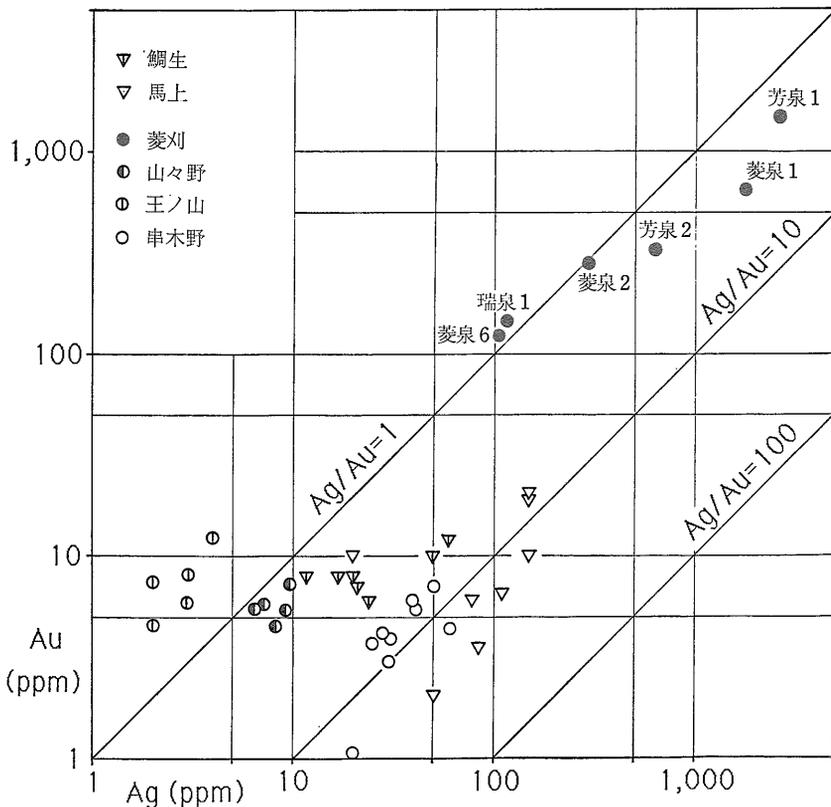
し 広域応力場とマグマ貫入に伴う隆起によって生じていた割目に至って金銀が沈澱した。すなわち 串木野鉱床は基本的には石原 (1986 第23図) が示した安山岩質成層火山に関連するタイプであり その北西側に金高濃度マグマ水と下降天水との混合によって生成された鉱床とみることができる。斑岩が露出することから 串木野鉱床は生成時の鉱化系の深部をみているものと思われる。

5. 菱刈鉱床の概要と構造規制要因

以下の記述は主に近藤 (1986) 阿部ら (1986) に基づく。菱刈鉱床付近には北薩古期安山岩類が地塊状に北薩新期火山岩類 (北側) や黒園山流紋岩 (南側) 中に産出する。西側には入戸火砕流が上記を広く覆う。古期

安山岩類は層厚 200-500m 溶岩と火砕岩からなり共に陸成層と考えられ 一部に湖成層を夾む。全般的にプロピライト化がみられ 一部では著しい粘土化をうけ、そこには山田旧坑の鉱脈が存在している。発見された新鉱床はその下位にみられ 安山岩類と不整合をへて四万十累層群の砂岩・シルト岩・頁岩中に分布する。これら基盤岩類は海拔 70m 以下にみられ (地表の水田地並は 230m) 走向 NE-SW 北にゆるく傾斜する。

鉱脈は N50-70° E 70-90° N 傾斜で 北西側から菱泉 瑞泉 芳泉の主要 3 脈 (第10図) と多数の小鉱脈とからなる。最大脈幅は 8 m 走向延長は 700m 以上 傾斜方向は 100m 以上と推定されている。菱泉脈群は基盤のみならず安山岩類中にも分布し 南東に向けて基盤岩類中の比率が高まり 芳泉脈は全て基盤岩類中に胚胎する。全体として これまでのところ鉱石量の約 1/3 が安



第12図 九州における主要金銀鉱床の鉱脈別平均品位 (Ishihara et al. 1986). 菱刈鉱床は100 mLの 菱泉1 2 6号脈 85 mLの 瑞泉1 芳泉1 2号脈の平均値 (阿部ら 1986) に基づく.

山岩類 2%が基盤岩類を母岩とする。鉱脈は含金銀 (水長石) 石英脈で 脈際変質作用は若干の珪化 絹雲母化 緑泥石化などで比較的弱い。鉱脈上部の安山岩には粘土化変質が広く発達する。鉱脈の著しい特徴はその高品位にあり 錘押探鉱レベルの平均品位はその他鉱床の脈別平均品位とくらべて突き抜けて高い (第12図)。

母岩と鉱脈の絶対年代については下記の値が報告されている (西沢・茨城 1985)。

鉱脈 K-Ar法 水長石 0.98 ± 0.04 0.97 ± 0.04 Ma
(0.86 ± 0.12 Ma)

黒園山流紋岩 K-Ar法 全岩 1.0 ± 0.1 Ma 長石
 1.1 ± 0.1 Ma

北薩新期安山岩 K-Ar法 全岩 1.3 ± 0.1 1.6 ± 0.1 Ma

同古期安山岩 K-Ar法 全岩 1.7 ± 0.6 Ma フィッ
ジョン飛跡法 ジルコン 2.8 ± 0.6 Ma

以上からこの地区の火成活動は串木野地区とくらべて著しく若く (第4図参照) 新第三紀最末期から第四紀にかけて生じたことが明瞭である。鉱床が潜頭性であること 鉱脈裂かが温泉水で満たされていた事実はこの若い年代に関係している。

鉱床胚胎の場合は既述のように NE-SW 方向を長軸と

する高重力域 (3×1km) であり (川崎ら 1986) そこは構造的に著しくじょう乱されている。基盤岩類は周囲とは断層で画され かつ上位の安山岩類と正断層で境されることが多く 不整合面そのものも断層面として滑動している (図II-4)。この事実は基盤岩類が安山岩類噴出後に下方から突き上げられたことを示す。

鉱化規制要因としては不整合 断層 裂かの発達 岩質と変質帯などが考えられる。開発対象の鉱脈は 80-110m Lを上限とし 大局的には不整合面規制をうける。大きな鉱脈は不整合 (断層) を切ることが多いが 小鉱脈は上位には連続せず また肥大化したりして消滅し (図II-4) 鉱化作用は明らかに基盤岩類における割目の出来易さやしゃへい岩としての断層帯や安山岩類の規制をうけている。安山岩類中では溶岩で割目の発達がよく 凝灰質岩 とくに粘土化凝灰角礫岩は割目を伴わず帽岩の役割を果たしている。

6. 金の起源

菱刈鉱床の鉱脈は明らかに高品位である。鉱脈は周律構造を示し 繰返し沈澱により生成したことは明らかである (写真10 11)。繰返し沈澱は鉱脈の金銀量の増加

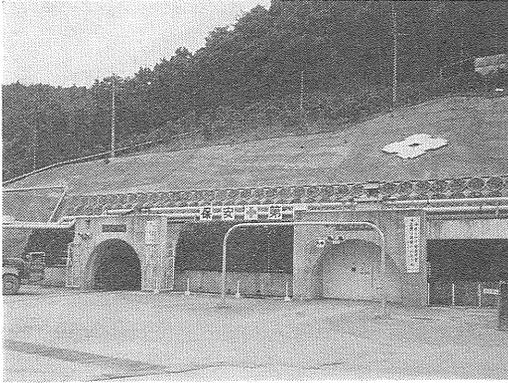


写真 8 菱刈鉱山斜坑. 2本の斜坑で坑内に通ずる

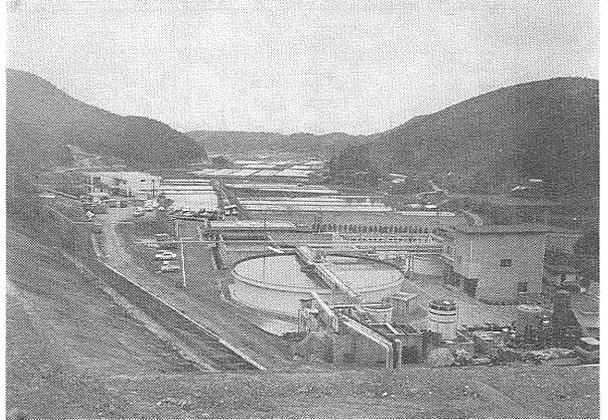


写真 9 菱刈鉱山風景. 左手白い建物が鉱山事務所

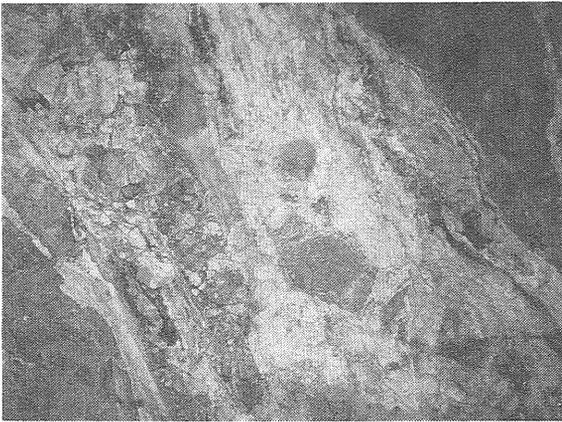


写真10 菱刈鉱床瑞泉1号脈. 海拔70m L西部

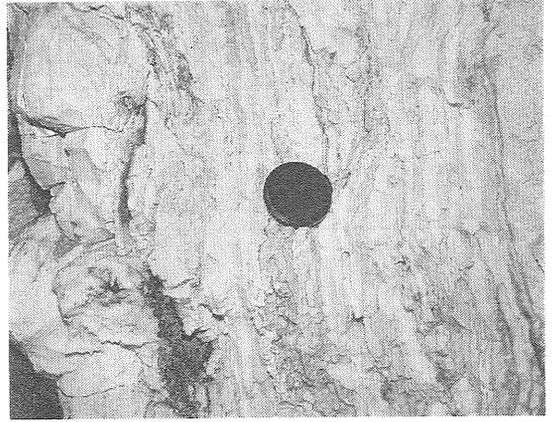


写真11 菱刈鉱床菱泉6号脈. 海拔70m L東46B (浦辺 徹郎 撮影)

は説明するが、高品位鉱床はやはり高濃度溶液からの沈澱によって生ずると考えることが自然であろう。菱刈鉱床では何故に高濃度溶液が生じたのであろうか。

串木野鉱床 (Matsuhisa et al., 1985) その他でみられるように、浅熱水金銀鉱床の安定同位体研究は鉱床生成に関与した鉱液の水は一般に天水起源と考えられている。そこで金も母岩や基盤から循環熱水で抽出、運び込まれたであろうと考えることが可能である。金は一般岩石には 1ppb 以下含まれる程度に低濃度であるが、それが 10~100 倍に濃集された岩石は堆積岩類 (とくに泥質岩やチャート) 一部の緑色岩に多い。南九州の金銀鉱床は四万十累層群の堆積岩類を基盤としている。

四万十帯の砂岩・頁岩類の最近の分析結果によると、これらの金平均含有量は赤石山地 (8.9ppb Au) から四国西部 (13.1ppb Au) 東九州 (22.7ppb Au) と増加するが、

出水山地では 1.6ppb Au へと低下する。同帯の玄武岩類も非常に低い値を持つ。また鯛生地区の鯛生やその北西方の鉱床の基盤をなす変成岩類も特に高い値を示さない (第13図)。菱刈鉱床の基盤の未変質砂岩・頁岩も出水山地のものと同様に低く、平均 1.6ppb である (Ishihara et al. 1986)。以上の事実は九州の金銀鉱床が基盤としては特にすぐれた金含有量を持たず、高温熱水がたとえ循環しても、他の岩石を通過する場合よりも特に熱水中の金濃度を高める可能性が少ないことを示している。

一方、金銀鉱床は鉱脈や周囲の熱水変質岩に黄鉄鉱で代表される硫黄異常を伴っている。堆積岩類は一般に嫌気性細菌の活動によって小さい硫黄同位体比を持つことが知られている。四国西部の四万十帯堆積岩類は平均 $-12\% \delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ を持つ (Sasaki & Ishihara, 19

79). 一方菱刈鉱床は 最近の佐々木の測定によると平均0%であり その差は著しく大きい. 熱水が上方へ流入し 浅所へ向ってより低温 より酸化性となる熱水鉱脈の形成過程で SO_4 酸化種硫黄の熱水系からの逸散によって $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 比を小さくすることは容易であるが 12%も大きくすることは非常に困難である. したがってこれまでのところ 菱刈鉱床の硫黄は基盤からもたらされたものではなく 主にマグマ起源を考えることが合理的である. 高温のマグマ過程ではより低温の熱水過程よりもメタル高濃度の鉱液が得易く 菱刈鉱床の高品位鉱の形成にはマグマ過程における著しい金銀の濃縮が大きな役割りを果たしているものと考えられる.

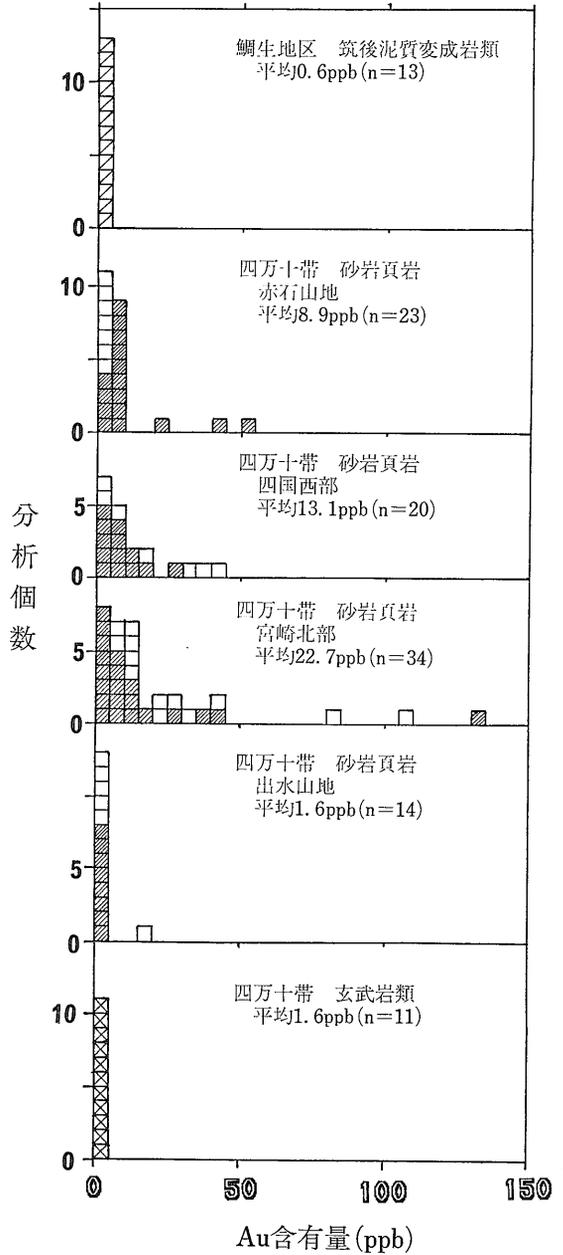
7. 菱刈鉱床の生成モデル

菱刈鉱床の鉱脈は既述の記載から基盤の突き上げにより発生した東北東系割目に熱水が流入して 生成されたことは明らかである. 東北東系裂かが卓越する遠因としては広域的応力場の影響があろうが 直接的には突き上げと母岩の種類が影響している. 突き上げの原因としては貫入斑岩マグマによる上昇運動が考えられる.

阿部ら (1986) は鉱化年代と黒園山流紋岩との時代的一致性 黒園山流紋岩中の弱い金銀鉱化の存在から 同流紋岩の成因的関連性を示唆している. 黒園山流紋岩は加久藤カルデラの西側に主に分布し 古宇田ら (1986) はその南西方に隣接するカルデラを提案し カルデラ内に菱刈鉱床を位置づけているが その存在は地質学的には加久藤カルデラほど確立されていない. 現時点の知識に基づき筆者らは 菱刈鉱床は加久藤カルデラ沿いに発達する弱線に貫入したマグマ活動によって生成したものと考えておきたい. すなわち 串木野鉱床は安山岩質成層火山に 菱刈鉱床はカルデラに関与した珪長質火山に伴うものとして位置づけられる.

菱刈鉱床を生成した鉱液の S Au は黒園山流紋岩のような磁鉄鉱系サイト~流紋岩質の貫入マグマからもたらされたものであろう. マグマ水は貫入岩直上の弱線に沿って上昇し不整合面付近で地下水に遭遇 側方に展開し (第14図) 温度の低下を招いた. 四万十累層群にくらべて脆性が少ない安山岩類 特に粘土化岩は帽岩の役割を果たし 鉱液の集中と金銀の沈澱を促進せしめたものと思われる. 基盤岩類は構造的役割りの他 含まれる炭質物が鉱液を環元し 金銀鉱物が沈澱し易い環境をもたらしたかもしれない.

生成温度は鉱脈の石英その他から 基盤岩中で 210-260℃ 安山岩中で160-220℃の充填温度が得られている (井沢・浦島 1983). 形成深度は霧島地熱地帯の実測値



第13図 四万十帯および鯛生地区における基盤岩類の金含有量頻度分布と地域別平均値 (Ishihara et al. 1986)

が参考にできる. ここでは菱刈鉱床の主要部の脈際変質岩と同じ組合せの緑泥石-絹雲母変質帯は225-250℃の等温線に沿って 深度約500mに分布している. したがって菱刈鉱床も約 100 万年前に同様な深度で形成されたものであり これまでに 300m 余り浸食されているものと解釈できる.

8. あとがき

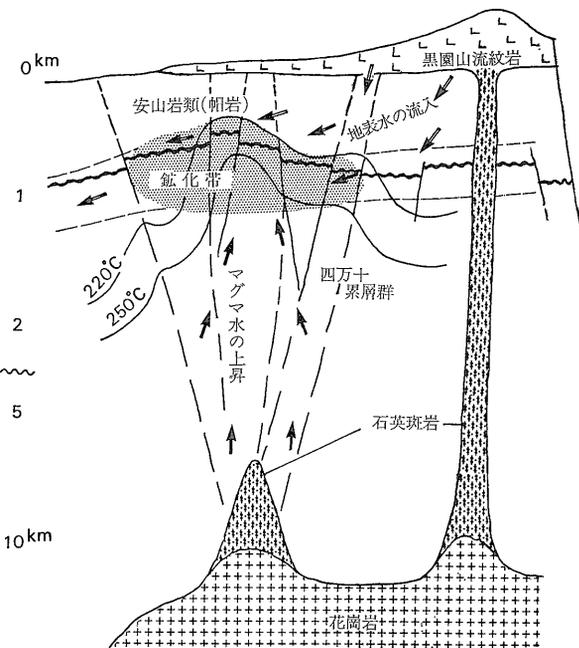
菱刈鉱床は既知鉱床と高重力異常とが一致する経験則から 通商産業省資源エネルギー庁が委託した金属鉱業事業団の広域調査で その異常を逐次追跡する過程で発見されたが 菱刈鉱床の上部に存在した菱刈山田旧坑は高品位であったために この地区は一部有識者によって注目されていたらしい。 重力異常の発見 (昭和50年度調査) から5年後に鉱床は発見され さらに5年後の昨年3月に企業化に成功し一般に公開された。 円高不況下のこの成功は我が国にも稼行に耐える鉱物資源がまだ豊富に潜在していることを意味し 特に非黒鉱地帯の潜頭鉱床探査を勇気づける意義を持つ。

菱刈鉱床の開発はまだ緒についたばかりで 今後の進展によって更に多くの地質情報が得られるであろう。 現時点における知識に基づく解釈には今後大幅な修正が必要であろうが この“世紀の発見”を紹介し 今後の研究の問題点を探るためにあえてこの小文をおこした。

資料を集めるに当っては住友金属鉱山株式会社 特に本社の近藤皓二 内田欽介 茨城謙三の諸氏をはじめ現地の阿部一郎 鈴木良一の各氏のほか 多数の関係者にご盡力を賜った。 この小文を終るに当り深甚なる感謝の意を表したい。

文 献

阿部一郎・鈴木英雄・磯上篤生・後藤寿幸 (1986) 菱刈鉱山の地質と探鉱開発. 鉱山地質 36巻 p.117-130.
 石原舜三 (1986) フィリピン金の鉱床: そのタイプと生成モデル. 地質ニュース 384号 p.6-25.
 ISHIIHARA, S., SAKAMAKI Y., SASAKI A., TERAOKA Y. and TERASHIMA S. (1986) Role of the basement in the genesis of the Hishikari gold-quartz vein deposit, southern Kyushu, Japan. Mining Geol. v. 36, p. 495-509
 IZAWA E., YOSHIDA T. and SAKAI T. (1981) Fluid inclusion studies on the gold-silver quartz veins at Kushikino, Kagoshima, Japan. Mining Geol. Spec. Issue, no. 10, p. 25-34.
 井沢英二・浦島幸世 (1983) 菱刈金鉱床の試錐コアにおける熱水変質 (演旨). 鉱山地質 33巻 p. 50.
 川崎潔・岡田和也・窪田亮 (1986) 菱刈鉱山における物理探査. 鉱山地質 36巻 p. 131-147.
 近藤皓二 (1986) 菱刈鉱山の探鉱開発について. 鉱山地質 36巻 p. 1-9.
 古宇田亮一他 8名 (1986) 多角形カルデラの再発見と浅熱水性金鉱床. 地質ニュース 385号 p. 34-43.
 MATSUHISA, Y., MORISHITA, Y. and SATO, T. (1985) Oxygen and carbon isotope variations in gold-bearing hydrothermal veins in the Kushikino mining area, southern Kyushu, Japan. Econ. Geol., v. 80, p. 283-293.



第14図 菱刈鉱床の生成モデル (Ishihara et al. 1986)

松任谷滋 (1967) 串木野鉱山の鉱脈構造について. 鉱山地質 17巻 p. 139-150.
 MORISHITA Y. and KODAMA K. (1986) Simulation analysis of the gold-quartz vein systems in the Kushikino mine area, southern Kyushu, Japan. Mining Geol. v. 36, p. 475-485.
 森下祐一・松久幸敬 (1986) 串木野金鉱床地域の鉱化熱水系—安定同位体による研究—. 地調月報 37巻 p. 155-156.
 西沢徳雄・茨城謙三 (1985) 菱刈鉱山の探査. 日本の金銀鉱石 第3集 p. 1-17.
 SASAKI A. and ISHIIHARA S. (1979) Sulfur isotopic composition of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Japan. Contrib. Mineral. Petrol. v. 68, p. 107-115.
 TAKEUCHI K. and SHIKAZONO N. (1984) Mineralization of the Arakawa No. 4 vein of the Kushikino mine, Kagoshima Prefecture, Japan. Mining Geol., v. 34, p. 187-195.
 寺岡易司 (1979) 砂岩組成からみた四万十地向斜堆積物の起源. 地質雑 85巻 p. 753-769.
 通商産業省 (1976) 金鉱山の基礎的地質調査報告書. 「北薩地域」昭和50年度 p. 21.
 — (1977) 同上 昭和51年度 p. 21.
 — (1979) 広域調査報告書「北薩・串木野地域」昭和53年度 p. 92.
 — (1980) 同上 昭和54年度 p. 69.
 — (1986) 同上 昭和60年度 p. 99.
 浦島幸世・井沢英二 (1986) 浅熱水金鉱床の生成モデル (演旨). 鉱山地質 36巻 p. 49-50.