

北萨地区金矿床的构造控制和成矿模式——菱刈矿床和串木野矿床

石原舜三 森下祐

菱刈矿床位于日本鹿儿岛县西北的北萨地区, 1981年被发现, 1985年进行开采, 品位高达80g/t。

菱刈矿床的发现在学术上提供了许多研究素材: (1)与这个矿床同时形成的新生代后期的其它矿床, 一般都以安山岩类作母岩, 而菱刈矿床的大部分矿脉均发育在安山岩之下的基底四万十超群沉积岩类中, 且规模较大; (2)由于矿脉横穿不整合面, 需重新认识矿脉形成时不整合面构造控制的重要性, 这对于一般低含量的金具有高异常富集的机理提供了很好的研究材料。

北萨地区除串木野(46tAu)、山之野(28tAu)、大口(22tAu)等重要矿床外, 多数是小矿床, 其生成时代为第三纪。这些金矿床的开发取得了成就, 在向北延伸的广大地区有鲷生、马上等脉型矿床, 以及南萨地区的赤石、春日、岩户等南萨型块状金矿床, 琉球弧火成活动具有金矿化的特征。

北萨地区地质概况

北萨地区仅限于佛像构造线*以南的南九州, 一般由较简单的地质体构成。基底是四万十超群沉积岩类。在日本西南外带中新世有钛铁矿系列花岗岩类零星贯入, 属于琉球弧的新生代后期的磁铁矿系列火山活动在雾岛—鹿儿岛湾以西能经常见到。外带花岗岩与锡山、屋久岛钨、锡矿及其它地方一些贱金属矿床的形成有关, 琉球弧的火山活动也多与贱金属矿床以及金银矿床和一些硫黄矿有关。这点与东北地区的绿色凝灰岩带不同, 即这里的火成活动主要

发育在陆上, 且其形成年代较新。

基底岩类

南九州的金银矿床位于四万十超群内, 该群分布在琉球弧火山带前缘外侧东部, 局部出露在内侧西北出水山地、鹿儿岛西南的白色浮石台地等处, 有人以四万十超群发育好的南九州东部为中心划分地层(向东南其时代变新)如下:

诸塚群 佐伯亚群(白垩纪): 砂岩为主, 其次为页岩。

塚厚断层

蒲江亚群(白垩纪上部)

页岩和玄武岩为主, 少量砂岩(深变质)。

延冈逆冲断层

神门—北川群(早第三纪): 页岩和玄武岩为主。

大藪逆冲断层

日向—日南群(早第三纪): 砂岩和玄武岩为主。

著名的含铜黄铁矿矿床与蒲江亚群中的植峰层玄武岩有关。

南九州西部的四万十超群可能与出水山地, 萨摩半岛南部的白垩纪佐伯渡亚群时代相当。对比菱刈矿床岩心和雾岛地热井岩心中的砂岩矿物组成, 表明菱刈矿床赋存层位属于佐伯亚群, 雾岛的蒲江亚群。

四万十超群走向NE—SW, 在阿久根—紫尾山伴随秩父系呈南北向褶曲, 秩父系的岩石在川内久见崎出露很少。这个构造变形叫北萨褶曲, 除走向变化外, 还在褶曲轴部有平行的NWW—NEF断裂发育和玢岩贯入。另外, 四

* 为日本西南外带的一条NE向一级构造线。

万十超群的各群、层与NWW向老第三系地层呈突变接触。这个褶曲是北萨地区最古老的基本的基底构造要素。出水山地的紫尾山花岗岩体(13—15Ma)呈SN向延伸,褶曲的主要要素显示了它在中新世中期以前形成,下面描述的新生代后期的火山岩类以构造线褶曲端点为中心的扇形分布,表示北萨褶曲对晚期活动也有波及。

新生代后期火山活动

新生代后期火山活动在北萨地区围绕出水山地显著发育,以中新世安山岩为主,部分为流纹岩类和湖相沉积岩,其次是熔结凝灰岩、白河岩。然而在雾岛、樱岛等地则以安山质火山岩为特征。这些火山活动总体上由西向东进行。侵入岩活动仅限于串木野地区。

中新世北萨早期安山岩类不整合地覆盖在基底之上,主要由角闪石、含二辉石安山熔岩组成,夹有部分同成分的火山碎屑岩。该岩类在本区是金矿床的母岩(部分),以串木野为代表本地有几个矿化带,在各地段的相对下部层位该岩类遭受了青磐岩化。在串木野地区据化石、放射性年龄测定该岩类为中新世中期,而东部地区基岩的绝对年龄明显年轻(上新世以后),地层一般厚200—450m,在串木野地区可达700m以上。

北萨中期火山岩类分布在本区南部,不整合地覆盖在北萨早期安山岩类之上的上新世火山岩类,以安山岩质居多。但在大口地区是山野流纹岩,在山野地区含湖相沉积岩的永野层覆盖北萨早期安山岩类。水热蚀变一般较弱,仅局部发育。该岩类是入来矿床和八重山矿床的母岩,岩层最厚可达1000m以上。

北萨晚期火山岩类是在全区广泛分布的上新世晚期—更新世早期火山岩。岩性是二辉安山岩—角闪石流纹岩,层厚最大达900m,水热蚀变不发育。

黑园山流纹岩类为更新世,以本地区东北部黑园山附近为中心围绕加久藤火山口广泛分布。一般是具流动构造的斑状含二辉闪云英安岩—流纹岩。在大口地区有类似的含辉石黑云母

流纹岩类,大口地区与黑园山流纹岩的区别在于角闪石的有无,更新世—全新世的熔结凝灰岩和白河岩等覆盖于这些地层之上。

以上火山岩都含有粗粒状磁铁矿,而它们则应属于磁铁矿系列的火成岩,测定菱刈矿床附近北萨早期和晚期安山岩类磁化率一般为 $600-800 \times 10^{-6} \text{emu/g}$ 大于钛铁矿系列火成岩的临界值($100 \times 10^{-6} \text{emu/g}$),而矿床(体)旁侧的早期安山岩类一般显示钛铁矿系列磁化率的值,这是由于经水热蚀变磁铁矿产生黄铁矿化的缘故。黑园山流纹岩一般为 $100-400 \times 10^{-6} \text{emu/g}$,同样应属磁铁矿系列火山岩值。

金银矿床的区域环境和裂隙系统

北萨地区的金银矿床以围绕出水山地的四万十超群分布的北萨早期安山岩为母岩,然而矿脉形成的绝对年龄从串木野到菱刈为1—4Ma。后期火山岩类比早期安山岩中的矿床规模更小,菱刈矿床的矿脉大部分发育在基底沉积岩中,矿床由含金银石英脉组成,其 Ag/Au 比值约为1,与产在绿色凝灰岩带中的矿床相比具较低的银金比值,串木野矿床最富银处 Ag/Au 比约为8,矿石矿物除石英外一般还有方解石和冰长石。

矿床(体)赋存部位

北萨地区的金银矿床在区域上赋存于北萨早期安山岩类中,此外还与重力异常、火山口构造等有关。图1是北萨地区的等重力线图。矿床一般都明显地位于高重力异常的边部,在山花、山之野、西蒲、菱刈山田、真幸5个异常中,菱刈山田异常导致了后来菱刈矿床的发现。对高重力异常的解释,认为与地下浅部青磐岩化的存在有关。

对菱刈矿床进行精密重力测量,发现 $\text{N}60^\circ\text{E}$ 方向延长的 $3.3 \times 1.5 \text{km}$ 的“菱刈高重力区”,经三元解析后得出这样的结论:即菱刈高重力场推测其重力基底在深度500m以内有明显的隆起构造,且向南西及西北向延伸;深度100m以内的小范围异常显示与所见矿化带吻合。在

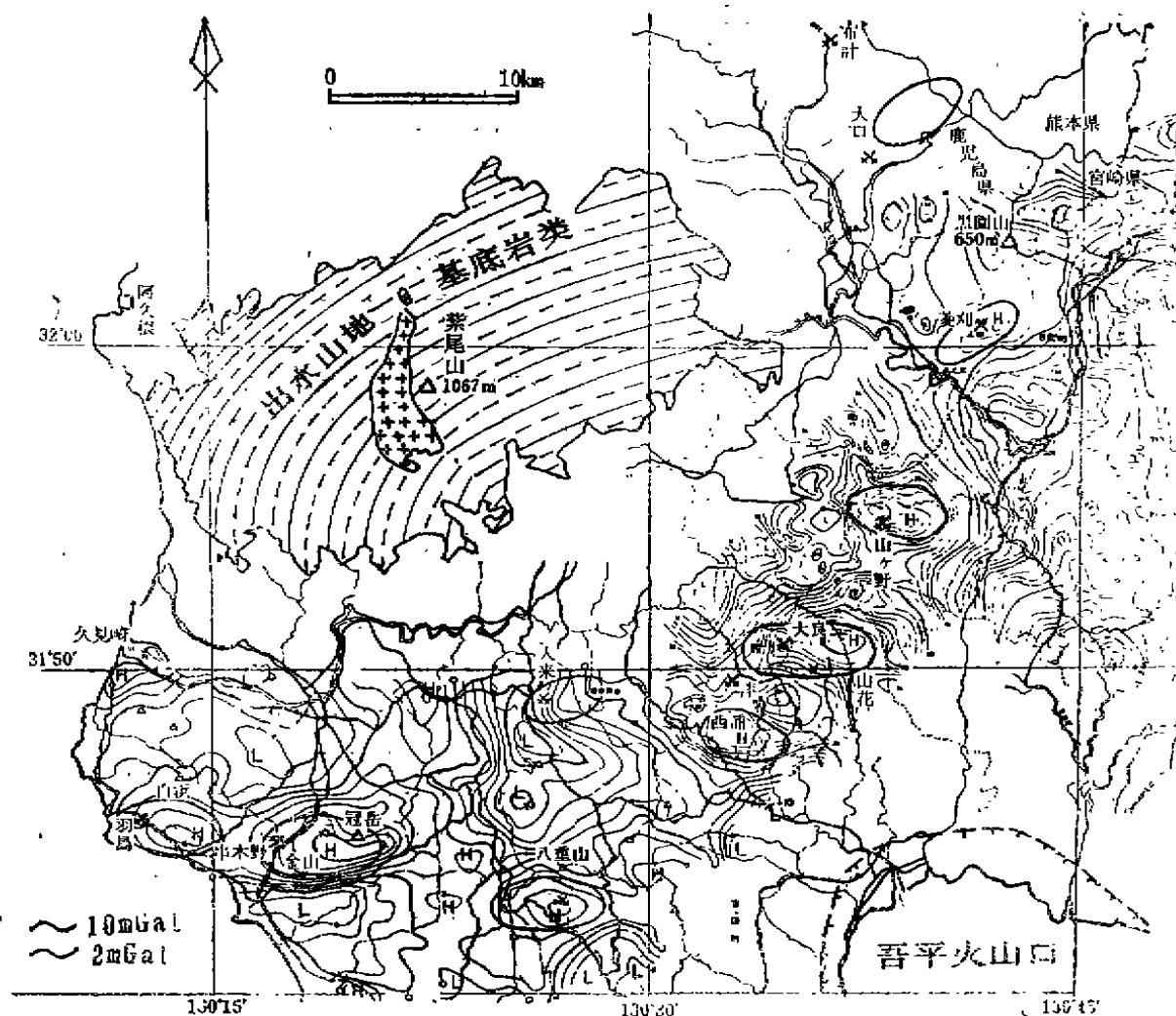


图1 北萨地区等重力线(密度 $\rho=2.4$)和重要矿床、远景地区的位置

(左侧的粗线和细线分别为10mGal和2mGal;右侧的等值线分别为5mGal和1mGal)

菱刈高重力场的西南部深度250—350m处有小型隆起,在北西深部150m以内亦有隆起构造,这些局部的重力变化是隆起构造中小型起伏造成的。菱刈地区的重力主要受基底四万十超群的分布所控制,因而认为高重力场是四万十超群隆起的表现,这种解释已为坑探揭露的地质情况所证实,如在40m标高中段四万十超群的分布与高重力场一致(图2)。

另外在串木野矿床的东部冠岳南西方有一个最明显的高重力异常区(金山高异常),以及羽岛东面的“白滨高异常”。石英闪长斑岩(平均密度2.67)和四万十超群的各种岩石(平均密度2.62)都比安山岩类(平均密度

2.55)高,前二者是造成高异常的原因。

在与冠岳附近和金山高异常大约平行地露出了东西长2.4km,南北1km的石英闪长斑岩体,这种全晶质岩石是本区唯一的最老的岩石。在磁铁矿系列火成岩中,这样的斑岩向深部渐变成全晶质石英闪长岩。金山高异常区潜伏着大的深成岩体,这个斑岩体可能是现存火山道(颈)、热源和岩浆水的供给源,它与串木野矿床的成因有密切关系。

矿脉裂隙系统

北萨地区的金银矿床一般在大口、菱刈、西山、山之野、木津志、羽岛的大部分地区为NE—NNE走向,向北陡倾斜矿脉群为主体,

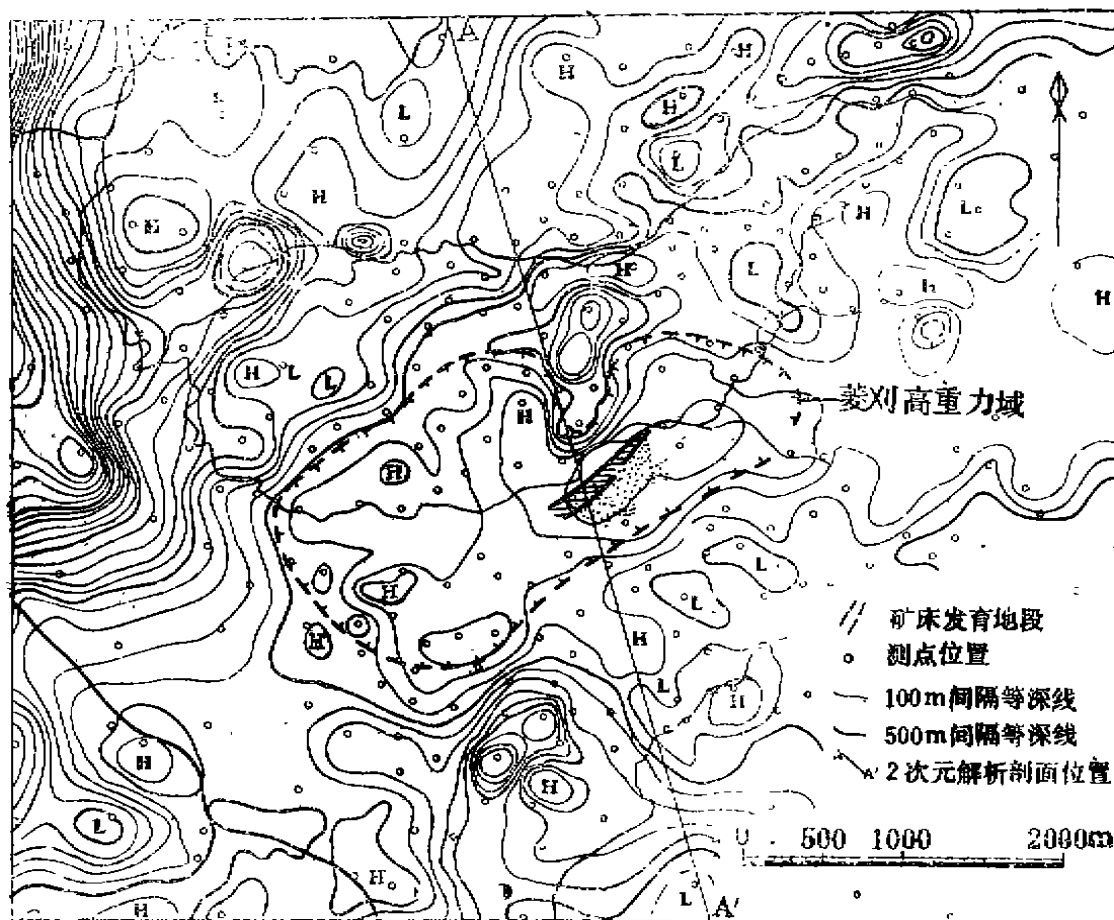


图2 菱刈矿床附近基底等深图
(在-400m海拔处四万十超群的分布)

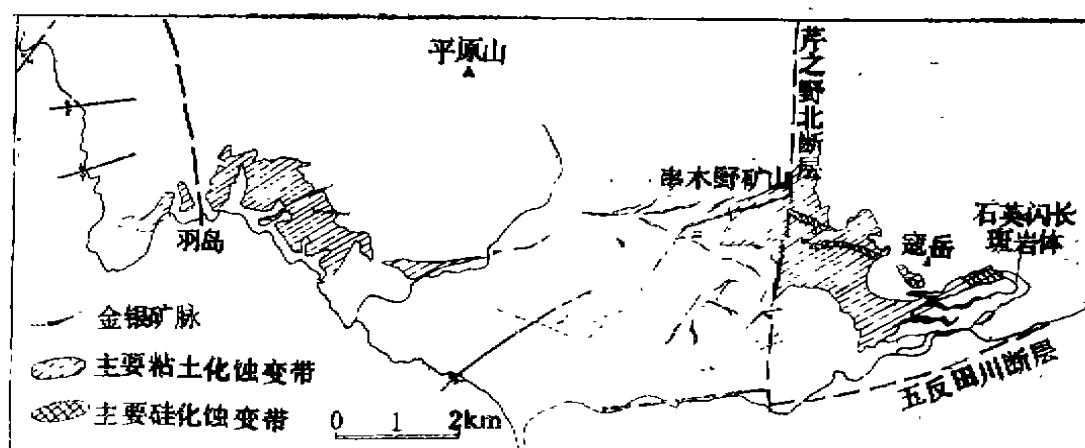


图3 串木野地区的石英闪长斑岩和蚀变带的分布

仅串木野地区为反倾斜的复脉控制。

金矿脉的裂隙系统是在区域应力场作用下

形成的，如串木野矿床是在EW向应力作用下形成的三组断裂控矿。

I 组: 走向 $N45^{\circ}$ — 65° E, 倾向SE, 倾角 40° (剪性断裂);

荒川脉、串木野1、15、18号脉;

II 组: 走向 $N40^{\circ}$ W, 倾向NE, 倾角 70° (剪性断裂);

十里塚脉, 串木野3号脉的一部分;

III 组: 走向EW, 倾向SE, 倾角 35° (张性断裂);

串木野2、8号脉, 其它小矿脉。

串木野矿床的矿脉一般由两组断裂交切而成明显的菱形网状构造, 在串木野最大的1号脉中, 西部主脉呈 $N45^{\circ}$ E雁行排列, 在与EW向组交接部位膨大; 在中部和东部 $N65^{\circ}$ E向和EW— $N80^{\circ}$ W向断裂交接形成菱形构造, 并且在 $N45^{\circ}$ E向 $N65^{\circ}$ E转变部位, 即 $N40^{\circ}$ W向断裂中往往矿脉发育。

大口矿床的矿脉按矿脉性质分为剪切断裂 $N25^{\circ}$ E组、张性断裂 $N55^{\circ}$ E组和开放性断裂 $N35^{\circ}$ W组, 它们是在 $N55^{\circ}$ E向压应力作用下形成。

山之野矿床主体是 $N60^{\circ}$ W向雁行排列的约30条近EW向矿脉, 矿脉西端转变成 $N45^{\circ}$ E弯曲的粘土脉和断裂, 东部为 $N45^{\circ}$ E向断裂复合。所以这些矿脉是东西向压应力作用形成。

大良、漆的木津志等地区的矿床, 大致由在同一直线上排列的NE向陡倾斜的矿脉组成, 全部矿脉以剪切性质为主。在大良、高岭主方向是 $N60^{\circ}$ E, 与EW组间形成菱形构造; 在漆主方向是 $N40^{\circ}$ E, 同样与 $N60^{\circ}$ E组间构成菱形构造。所以这个地区具EW— $N60^{\circ}$ E方向的压应力。

串木野地区冠岳西南方2km处的隆起和串木野矿床矿脉群形成之间的关系用有限要素法进行裂隙节理的模拟实验, 其结果是在串木野地区, 在把北萨早期安山岩类分成5层的中部层(第3层)中得到1号脉附近有明显的共轭断裂。一组走向 $N45^{\circ}$ E, 向SE倾斜角 20° , 其余为走向相同, 倾向SE, 倾角 80° — 90° 。因此, 说明高重力场的隆起变形生成串木野矿床的主要矿脉是可能的。

串木野矿床的形成模式

根据北萨地区金银矿脉的解析, 该区具东西向最大压应力轴的解释与板块运动一致。北萨地区是新生代后期火成活动的地区, 若在这种区域应力场条件下, 由于各个地区岩浆突然上涌而导致火山口塌陷并伴有派生裂隙。

在串木野地区石英闪长斑岩脉和矿脉具相同的NEE走向。斑岩体明显地硅化、黄铁矿化、粘土化等, 蚀变带向串木野矿床方向不断延伸。有人测定了冠岳附近的氧、碳同位素的比值, 这种细脉的生成温度比串木野矿床的高, 但矿液的氧、碳同位素的比值的变化趋势相同, 表明串木野-冠岳的矿脉由同一热水系统形成的可能性较大, 而且矿液的水大部分来自天然水。

根据对串木野矿床液包体的研究结果, 同一矿床的形成都有几个高温点的矿脉。这些高温点的部位应为矿液上升中心, 从而得出富矿部位的生成温度 210° — 250° C, 深度450—850m的结论, 因此推测热液高温部位应在东边的冠岳方向。

冠岳地区伴随基底隆起岩浆贯入上升形成的石英闪长斑岩是石英闪长岩体浅部相。这种斑岩是安山质火山的通道, 热和岩浆水的供给口, 包括串木野地区火山周围存在着控制上升热水的派生断裂, 岩浆水在上升过程中与地下水相遇、混合, 受火山斜坡控制并运移到西北部串木野地区, 伴随区域应力场, 岩浆贯入引起隆起变形生成的断裂裂隙中沉淀了金银。因而串木野矿床的形成主要是与安山岩质成层火山活动有关, 其北西侧高含量金的岩浆水和下降水混合可生成矿床。从斑岩的出露可推测串木野矿床形成时矿化系统在深部。

菱刈矿床概况和构造控制因素

菱刈矿床产于北萨早期安山岩类的北萨晚期火山岩类(北侧)和黑园山流纹岩(南侧)。

中,在西侧入户火山碎屑灰流覆盖上述岩层。早期安山岩类由层厚200—500m熔岩和火山碎屑岩组成,都属陆相,夹有部分湖相地层,全都发育青磐岩化,粘土化较明显。那里的山田旧采坑中有矿脉存在,新矿床位于老矿区的下部,矿脉分布在安山岩类和靠近不整合面的四万十超群的砂岩、粉砂岩和页岩中,而基底岩石在海拔70m以下发育(地表水田标高230m),走向NE—SW,向北缓倾斜。

矿脉走向N50—70°E,向N倾(70—90°),从北开始有菱泉、瑞泉和芳泉三条主脉和多数小矿脉组成。最大脉宽8m,走向延长700m以上,倾向上推测延深100m以上。菱泉脉群只分布在安山岩中,向东南矿脉在基底岩石中赋存比率上升,到芳泉脉则全部发育在基底岩石中。从整体来看,目前矿石量的1/3分布在安山岩中,2/3在基底岩石中。矿脉是含金银(冰长石)石英脉,围岩蚀变有较弱的硅化、绢云母化、绿泥石化等,而矿脉上部安山岩中粘土化蚀变发育好。矿脉的特征是高品位,沿脉坑道的平均品位比其它矿床的矿脉平均品位高得多。

母岩和矿脉的绝对年龄为:

矿脉 K-Ar法:冰长石, $0.98 \pm 0.04 \text{ Ma}$,
 $0.97 \pm 0.04 \text{ Ma}$ ($0.86 \pm 0.12 \text{ Ma}$);

黑园山流纹岩 K-Ar法:全岩, $1.0 \pm 0.1 \text{ Ma}$;
 长石, $1.1 \pm 0.1 \text{ Ma}$;

北萨晚期安山岩 K-Ar法:全岩, $1.3 \pm 0.1 \text{ Ma}$, $1.6 \pm 0.1 \text{ Ma}$;

北萨早期安山岩 K-Ar法:全岩, $1.7 \pm 0.6 \text{ Ma}$;

径迹裂变法:锆石, $2.8 \pm 0.6 \text{ Ma}$ 。

据以上数据可知,这个地区火成活动明显比串木野地区的年轻,是在第三纪末期到第四纪期间形成。矿床形成的深度及矿脉裂隙中充满温泉水也证实了这一点。

矿脉赋存环境为上述的NE—SW向延长的高重力场($3 \times 1 \text{ km}$)。那里的构造非常复杂,基底岩石与周围地层为断层接触,同时与

上部的安山岩类多以正断层为界,沿不整合面出现层间滑动,这一事实说明基底岩石在安山岩类喷发形成后曾发生过突然上升运动。

矿化控制因素是不整合面、断层裂隙发育的岩石和蚀变带等。开采的矿脉以80—110m标高为上限,总体受不整合面控制,大的矿脉多切过不整合面(断层);小矿脉在其上部不连续,有时膨大,有时尖灭。矿化作用在基底岩石中易形成于裂隙中或屏蔽岩石的断层带,或受安山岩类的控制。在安山岩类中的熔岩裂隙发育好,凝灰质岩、尤其是粘土化凝灰角砾岩中裂隙不发育而起着岩盖作用。

金的来源

菱刈矿床的矿脉具有明显的高品位,矿脉显示出有规律的构造及有明显重复沉淀迹象。重复沉淀导致矿脉的金银量增加,高品位矿脉是由高浓度溶液沉淀而成。

同串木野矿床一样,对浅成热水金银矿床的稳定同位素研究认为,与矿床形成有关的矿液中水一般来自天然水。在那里金通过循环水从母岩中萃取、运移。金在岩石中含量很低,一般在1ppb以下,要成矿需从沉积岩类(如泥岩和燧石),部分绿色岩(凝灰岩)含金多的地层中富集10—100倍,南九州金银矿床以四万十超群沉积岩作母岩。

根据对四万十超群的砂岩、页岩最新分析结果,它们的含金量从赤石山地(8.9ppbAu)到四国西部(13.1ppbAu),再到东九州(22.7ppbAu)逐渐增加,而在出水山地降到1.6ppbAu,同带的玄武岩也呈非常低的值。另外在鲕生地区的鲕生矿床及其西北方的矿床的母岩变质岩类也没有显出特高的值。菱刈矿床基底的正常砂岩、页岩也同出水山地一样具低的平均值1.6ppb。这表明九州的金银矿床基底中的金含量不高,即使高温热水通过岩石,热水中的金含量增高的可能性仍很小。

另一方面,在金银矿床的脉旁热水蚀变岩伴有黄铁矿,形成硫异常。众所周知,沉积岩中

厌氧细菌活动可形成低的硫同位素比值, 四国西部的四万十带沉积岩类的平均值为 -12% , 而菱刈矿的平均值为 0% , 二者差异很大。热水向上迁移, 越向浅部温度越低, 形成酸性很强的热液脉体, 热水体系中含有的 SO_2 逸出, 使 $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 比值变小, 达到 12% 是非常困难的。故而菱刈矿床的硫不可能来自基底, 而主要来自岩浆。由于高温岩浆过程比低温热水过程更易得到特高浓度的矿液, 所以在菱刈矿床的高品位矿脉形成中, 岩浆过程中金银显著富集起了很大作用。

菱刈矿床的形成模式

通过对菱刈矿床矿脉的概述可以了解到矿脉是热水由基底流入并突然上升至北东东向裂隙中而形成的。北东东向裂隙特别发育的原因是区域应力场的作用, 而更直接地是受基底突起和母岩种类的影响。岩浆贯入产生的上升运动造成基底突起。阿部等矿化年龄与黑园山流纹岩的一致以及黑园山流纹岩中有微弱金银矿化表明, 矿化与流纹岩的成因有关。黑园山流纹岩主要分布在加久藤破火山口西侧。在其西南相邻的破火山口内赋存有菱刈矿床。此矿床 (上接第22页)

1. 对于被侵蚀的矿床来说, 发育密集的大量的含有金-银矿化的冰长石-绿泥石-石英脉, 蔷薇辉石-冰长石-石英脉和硫化物-绿泥石-石英脉。而在隐伏矿床的上面, 发育绿帘石-红帘石-碳酸盐-石英脉和细脉-浸染型矿化;

2. 交代蚀变作用的带状分布及其标型的地球化学组合;

3. 不同世代矿石和脉状矿化的带状分布;

4. 银的原生地球化学晕, 含量为10个假定单位;

5. 原生地球化学晕的化学成分和形态;

6. 地球化学晕的分带性, 矿体不同标高的分带系数值;

7. 按照元素的浓度克拉克值序列, 表现

是矿液沿加久藤火山口周围裂隙贯入而形成, 即串木野矿床产于安山岩质层状火山活动中, 而菱刈矿床则是和火山口有关的长英质火山活动有关。

形成菱刈矿床的矿液中的S、Au是由黑园山流纹岩那种磁铁矿系列英安岩-流纹岩质的贯入岩浆带来的。岩浆水沿侵入岩上部的裂隙上升, 在不整合面附近与地下水相遇, 向四周扩散迁移, 导致温度下降, 与四万十超群相比, 上覆的脆性小的安山岩, 特别是粘土化岩层起着屏蔽层作用, 促进矿液浓集, 金银沉淀; 基底岩石除利于形成断裂外, 其中所含炭质物还可作还原剂。形成一个有利于金银矿物沉淀的环境。

按矿脉及其它岩石中石英生成的温度——基底岩石和安山岩中石英的充填温度分别为 $210-260^\circ$ 和 $160-220^\circ$ 。成矿深度可参考雾岛地热区的实测值, 因为这里和菱刈矿床的主脉旁侧蚀变岩具有相同的组合绿泥石-绢云母蚀变带, 该带沿 $225-250^\circ\text{C}$ 等温线分布, 深度约500m。所以菱刈矿床在约100万年前, 形成于同样的深度, 且有300多米被剥蚀。

朱西养 译
黄志章 校

出的晕中诸元素的数量关系。

在模式的基础上, 已经研究出的普查预测准则, 可以规定为:

a. 潜在的矿田和矿床, 可以根据地球化学的、交代作用的和矿物的综合晕圈确定;

b. 矿床的建造类型, 可以按照元素的排列顺序、区域的和局限于矿体附近的交代蚀变类型以及细脉-浸染型矿石和脉石矿化的成分来确定;

c. 靠近矿床的程度, 可以按照横向距离确定。矿体被侵蚀断面的标高, 可以根据地球化学、交代作用和矿物晕的标高与垂直分带来确定。

王德生译自《Советская Геология》,
(3), 45—53 (1980)

张淑琴 校