

# 鑛物共生の 概念에 對한 問題點과 鑛脈鑛床의 macrostructure

— 특히 日本 大谷鑛山の 鑛脈鑛床에 對한 macrostructure —

金 炫 榮\* · 中 村 威\*\*

Some Problems on the Concept of Mineral Paragenesis and Macrostructures of Ore Veins, with special reference to those of Ore Veins at the Ohtani Mine, Kyoto Prefecture, Japan

Moon Young Kim and Takeshi Nakamura

**Abstract:** Concepts on mineral association, mineral paragenesis, and mineralization stage relating to macrostructures of vein filling in ore veins are briefly discussed.

As an example of plutonic ore vein, macrostructures of vein filling of plutonic tungsten-tin-copper vein at the Ohtani mine, Kyoto Prefecture, Japan, one of representatives of plutonic tungsten-tin vein related genetically to acidic magmatism of late Cretaceous in the Inner zone of Southwest Japan, are examined. Based on macrostructures of vein filling, three major mineralization stages, are distinguished by major tectonic breaks. Sequence of mineralization, characteristic features of each mineralization stage, and variations of filling temperature and salinity ranges of fluid inclusions in minerals from stage I to stage III are summarized.

## 序 言

鑛床學에 있어서 鑛物共生の 基本的인 概念은 研究者에 따라 다르다. 1982年 9월에 소련의 Tbilisi에서 開催된 IAGOD의 symposium의 會期中, paragenesis 委員會에서도 이 問題가 討論되어 次期開催까지 앞으로 4年間 同委員會의 活動方針의 하나로서, paragenesis의 用語와 名稱은 다시 問題로 삼을 것으로 決定하였다.

여기서 우선 이제까지 提唱된 鑛物共生の 概念에 나타나는 相違點을 밝힌 後 鑛脈鑛床의 ore body(單位鑛脈)單位에서의 macrostructure의 관찰에 의한 鑛化時期, 鑛物組合(mineral association), 鑛物共생을 取扱할 경우의 問題點을 討論하고 具體的인 例로서 日本 大谷鑛山の 深成 텅스텐-錫-銅鑛脈의 區分問題, 各鑛化時期의 流體包有物에 對한 充填溫度 및 NaCl 相當鹽濃度測定結果에 나타나는 變化의 特徵에 對하여 考察한다.

## 鑛物共生の 概念

鑛物共生の 概念을 처음으로 鑛床學에 導入한 것은

\* 韓國動力資源研究所

\*\* 大阪市立大學

Breithaupt(1949)에 의해 비롯되었다. 그 後 여러 研究者에 의해 여러가지 概念이 發表되었다. 또 鑛物共生の 概念을 zoning의 概念과 관련시킨 問題도 다루어졌다. 討議의 中心은 paragenesis와 zoning의 概念에서 time과 space의 取扱과 zoning의 單位에 關한 問題이다(Kujina, Park and V.S. Smirnov, 1965). 例를 들어 鑛物共생에 對하여 鑛物의 晶出順序로 할 경우, mineral assemblage에 對해 同時生成, 또는 漠然하게 “같이 產出한다”라고 限定할 경우, isogenetic(同期成)과 heterogenetic(多期成) paragenesis의 概念으로 鑛物共생을 보다 더 區分하는 경우와, mineral association과 mineral paragenesis로 區分하는 등, 그 取扱은 구구하다. 1966年 東獨의 Freiberg에서 開催된 Breithaupt-Kolloquium에서 論議한 結果, mineral association과 mineral paragenesis를 區別하여 사용할 것을 提唱하였다. 즉 mineral association에 對해서는 여러 生成過程에서 生成된 mineral assemblage에 對해 사용할 것을 提唱함으로써, mineral association에는 偶然한 mineral combination이 포함되어 있다.

한편, “mineral paragenesis”에 對해서는 mineral association이 特別한 경우로서 取扱되며, 그 生成過程에

있어서 時間的 및 空間的으로 限定되고, 特히 物理化學的으로 限定하여 사용할 것을 提唱하였다. 이 概念에는 元素, 同位元素까지 미치는 것으로 되어 있다 (Breithaupt-Kolloquim, 1966; 中村, 1967).

最近의 例로서 AGI의 地質學用語集 第2版(1979)에 서는 paragenesis를 同時生成의 意味로 鑛床內의 特定한 association, 特定한 產出狀態의 minerals, 特定한 mineral assemblage에 對해 사용하고 있으며, 또 Craig and Vaughan(1981)의 著書에서는 paragenesis를 time sequence로 다루고 있으나, 脚註에 유럽에서는 特定한 鑛石鑛物의 集合體에 對해 사용하는 것으로 되어 있다. 個個의 研究者에 의해서 表現된 paragenesis의 概念에 對해서는 詳細하게 記述하지 않았으나, 一般的으로 美國에서는 paragenesis의 概念을 鑛物의 晶出順序(mineral sequence, 또는 sequence of deposition of mineral)로 取扱하며, 유럽에서는 同時生成의 特定한 mineral assemblage에 對해 取扱하는 傾向이 있다. Paragenesis의 概念은 研究者에 따라 달리하나 이 概念의 用語를 사용할 경우는 概念의 內容을 잘 파악한 뒤 사용할 必要가 있다.

本 論文에서는 Breithaupt-kolloquim(1966)에 따라 mineral association과 mineral paragenesis를 區別하여 사용하며, mineral paragenesis를 mineral association의 特別한 경우로서 다루었다. mineral paragenesis에 對해서는 同時生成의 特定한 mineral assemblage로 取扱하여, 鑛脈鑛床의 경우에 對해 考察한다.

鑛脈鑛床의 鑛化時期의 區分에 있어서 問題가 되는 것은 macrostructure로 확인되는 tectonic boundary(構造의 境界)의 取扱에 있다. Tectonic boundary는 既存의 鑛體中, 또는 鑛床과 母岩과의 境界等に 開裂 또는 再開裂한 斷裂, 既存의 鑛床의 crushing 또는 brecciation에 依해 形成된 斷裂等に 鑛化流體가 上昇하여 鑛物이 晶出되어 생긴 境界이다. 境界에는 構造運動에 의해서 鑛化作用이 中斷된 時間的인 間隙, 즉 tectonic break(構造의 間隙)가 나타난 것으로 된다. Tectonic break에는 여러가지의 時間的인 間隙이 있으나, tectonic boundary의 規模에 따라서 時間的인 間隙을 檢討할 必要가 있다. 그러므로 鑛化時期 또는 鑛物의 晶出順序에 關한 問題를 取扱할 경우, 처음에 tectonic boundary의 規模에 따른 tectonic break에 의해서 鑛化時期를 區分하여, 區分된 各鑛化時期에 對해서, macrostructure로서 볼 수 있는 growth boundary와 顯微鏡觀察 結果를 근거로 하여 鑛物의 晶出順序를 나타낼 必要가 있다. Tectonic boundary에서 接하는, 鑛化時期를 달리하는 鑛物의 集合體는 偶然한 mineral combination에 있기

때문에 mineral association으로서 取扱하였다. 個個의 鑛化時期의 사이에 同時에 生成된 特定한 mineral assemblage에 對해 mineral paragenesis의 概念을 鑛石鑛物의 集合體뿐만 아니라, 脈石鑛物을 포함한 特定의 mineral assemblage에 對해서 適用해야 된다.

### 大谷鑛山의 深成 텡스텐—錫—銅鑛脈에 있어서 macrostructure에 의한 鑛化時期의 區分

大谷鑛山地域의 地質은 주로 丹波層群과 이것을 貫入한 岩株狀 花崗閃綠岩體 및 小規模의 岩脈으로 構成되어 있다(長原, 1969; 今井外等, 1972; 高田, 1978; Kim, 1981). 大谷鑛山의 鑛床은 岩株狀 花崗閃綠岩中에 存在하는 多數의 石英脈群으로 된 深成텡스텐—錫—銅鑛脈이며, 西南日本內帶의 白堊紀 後期의 花崗岩의

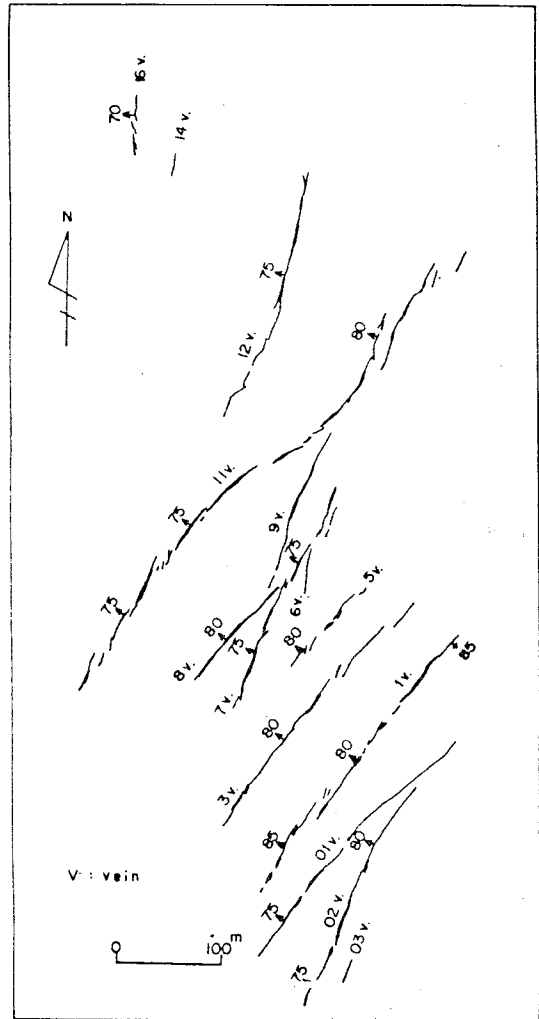


Fig. 1 Vein pattern of the Ohtani mine.

活動과 成因의 由로 密接한 關係를 가지고 生成된 鑛床이다. K-Ar法에 의한 年代測定結果에 依하면 花崗閃綠岩中의 黑雲母는  $93.0 \pm 3.7\text{Ma}$ , 變質帶의 白雲母는  $90.0 \pm 3.6\text{Ma}$ , 또 脈石鑛物中의 白雲母는  $91.4 \pm 3.7\text{Ma}$ 이다 (Shibata and Ishihara, 1974).

大谷鑛山의 鑛脈群에는  $N20^\circ E$ 系 鑛脈群(走向  $N10-25^\circ E$ , 傾斜  $70-80^\circ NW$ )과  $N40^\circ E$ 系 鑛脈群(走向  $N40-45^\circ E$ , 傾斜  $80-85^\circ NW$ )이 있다.  $N20^\circ E$ 系 鑛脈群은 03, 02, 6, 7, 9, 12, 15番脈等에,  $N40^\circ E$ 系 鑛脈群은 主要脈인 11番脈을 위치하여 01, 1, 3, 4, 16番脈에 發達되어 있다 (Fig. 1). 鑛脈에는 單位鑛脈이 走向 및 傾斜方向에서 雁行狀으로 配列하는 경우가 있으나, 全體의인 鑛脈의 走向延長은 約 1000m이며, 脈幅은 0.3~5.5m이다.  $N20^\circ E$ 系 鑛脈群은 粘土를 수반하지 않고, 또 슬릭켄사이드(slickenside) 및 條線(striation)이 鑛脈쪽에서는 確認되지 않아, 張力斷裂(tension fracture)이 鑛脈生成의 자리(揚)로 되어 있는 것으로 생각되며, 한편  $N40^\circ E$ 系 鑛脈群은 多量의 粘土를 수반하여 粘土의 slip plane에 水平方向의 條線을 나타내는 wrench fault가 鑛脈側에 發達하여 wrench fault의 運動이 單位鑛脈이 賦存하는 裂隙(fracture)의 形成에 큰 役割을 한 것으로 생각된다.

大谷鑛山에서 稼行對象으로 된 鑛石鑛物은 灰重石, 錫石 및 黃銅石이며, 이의 主要 鑛石鑛物은 磁硫鐵石, 閃亞鉛石, 스텐나이트, 黃鐵石, 규-베나이트(cubanite), 自然蒼鉛, 輝蒼鉛石, 硫砒鐵石, 方鉛石 等이며 脈石鑛物은 石英을 위치한 白雲母, 少量의 螢石, 方解石 等이다.

石英脈의 macrostructure로서 transecting, crushing (또는 brecciation), intersecting 등의 tectonic boundary가 顯著하게 確認된다. 이러한 tectonic boundary의 規模를 100~200m坑準(level)의 鑛脈群에 對한 調査結果 2개의 時期에 해당하는 tectonic break에 依해 鑛化時期는 I, II, III의 3개의 鑛化時期로 區分되며, 다시 局部的인 tectonic break에 依해 鑛化時期 I에서는 IA, IB, 鑛化時期 II에서는 IIA, IIB로 細分된다.

各鑛化時期의 石英에 對해서는, 早期의 鑛化時期 I의 石英은 Q I, 鑛化時期 II의 石英은 Q II, 鑛化時期 III의 石英은 Q III로, 各 鑛化時期의 石英을 記載했다. 各 鑛化時期의 特徵과 磁硫鐵石의 產狀은 다음과 같다.

鑛化時期 I: 石英(QI)과 磁硫鐵石을 主要 하는 時期이다. 이 時期는 灰重石을 수반하지 않는다. 主要 構成鑛物인 石英(QI)은 白色, 粗粒으로 때로는 角礫化하여, 石英(QI)의 角礫사이에 塊狀 磁硫鐵石이 充填되어

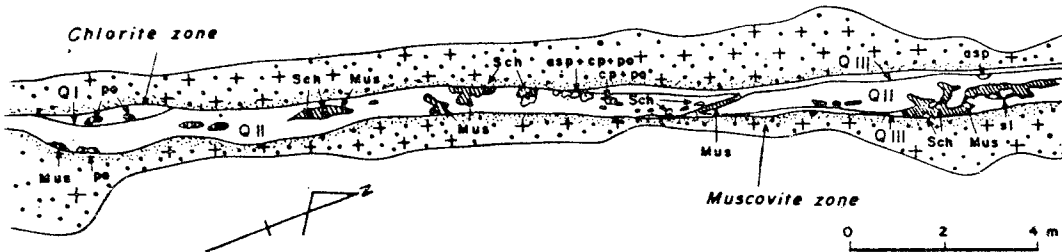


Fig. 2A Underground geological map in the No.12 vein on the 100m level. The vein filling consists of quartz I (Q I), quartz II (Q II), and quartz III (Q III) separated by tectonic boundaries. Sch: scheelite, Mus: muscovite, po: pyrrhotite, cp: chalcopyrite, sl: sphalerite, asp: arsenopyrite.

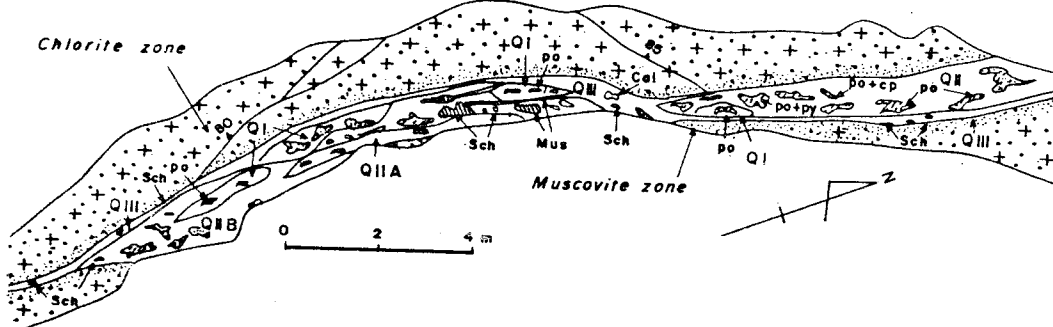


Fig. 2B Underground geological map in the No. 11 vein on the 126m level. Tectonic boundaries are recognized among three quartz generations, quartz I (Q I), quartz II (Q II), and quartz III (III). In this case, quartz II is further subdivided into earlier quartz IIA (Q IIA) and later quartz IIB (Q IIB). Sch: scheelite, Mus: Muscovite, po: pyrrhotite, cp: chalcopyrite, py: pyrite, Cal: calcite.

있다. 이외의 鑛物로는 약간의 閃亞鉛石, 黃銅石, 스텐나이트가 수반된다. 石英(QI)과 磁硫鐵石사이에는 tectonic break에 의해 鑛化時期 I을 IA와 IB로 細分할 수 있다. 鑛化時期 I의 石英(QI)과 磁硫鐵石으로 된 鑛體는 鑛化時期 II 또는 III의 灰重石을 포함한 石英脈에 의하여 둘러 쌓여 있거나, 切斷되어 있다(Fig. 2A, 2B). 이들 사이에는 顯著的 tectonic boundary가 確認된다. 鑛化時期 I의 母岩의 變質作用으로는 綠泥石化作用이 顯著하다.

鑛化時期 II : 鑛化時期 II는 鑛化時期 III과 같이 灰重石의 富鑛部를 形成하는 石英脈의 時期로서 重要하다. 鑛化時期 II에는 灰重石, 錫石, 黃銅石을 수반하는 石英이 形成되며, 이외에 磁硫鐵石, 閃亞鉛石, 硫砒鐵石, 스텐나이트, 黃鐵石, 약간의 自然蒼鉛, 輝蒼鉛石, 卍一베나이트, 方鉛石, 또 脈石鑛物으로서 白雲母, 螢石, 方解石이 確認된다. 鑛化時期 II의 石英(QII)은 鑛化時期 I의 石英(QI)보다 약간 透明하다. 이 時期는 小規模의 tectonic boundary로 나타낸 tectonic break에

依해 IA, IB로 細分되는 경우도 있다(Fig. 2B). 鑛化時期 II의 石英(QII)脈에는 黃銅石, 閃亞鉛石, 磁硫鐵石, 硫砒鐵石, 黃鐵石 등의 硫化鑛物이 수반된다. 母岩의 變質作用으로서는 白雲母化作用이 顯著하다.

鑛化時期 III : 前述한 바와 같이 鑛化時期 III은 鑛化時期 II와 같이 灰重石의 富鑛部를 形成하는 石英脈의 時期로서 重要하다. 鑛化時期 III은 灰重石, 白雲母를 수반하는 石英(QIII)脈이 形成되며, 이 時期에는 이외에 黃銅石, 閃亞鉛石, 磁硫鐵石, 黃鐵石 등이 確認된다. 鑛化時期 III의 石英(QIII)은 鑛化時期 II의 石英(QII)보다 透明하다. 鑛化時期 III의 灰重石-石英脈에서는 石英脈의 兩盤에 따라 灰重石이 配列되며 典型的인 單位脈(monoascendant)의 産狀을 나타낸다. 鑛化時期의 變質作用으로서는 白雲母化作用이 顯著하다.

100m坑準의 12番脈에 있어서 各鑛化時期에 對한 鑛物의 晶出順序를 坑內調査 및 顯微鏡觀察의 結果를 綜合하여 表示한 것이 Fig. 3이다. 이 경우 鑛化時期 I, II, III의 各各의 鑛化時期內에서 同時に 生成된 鑛物의

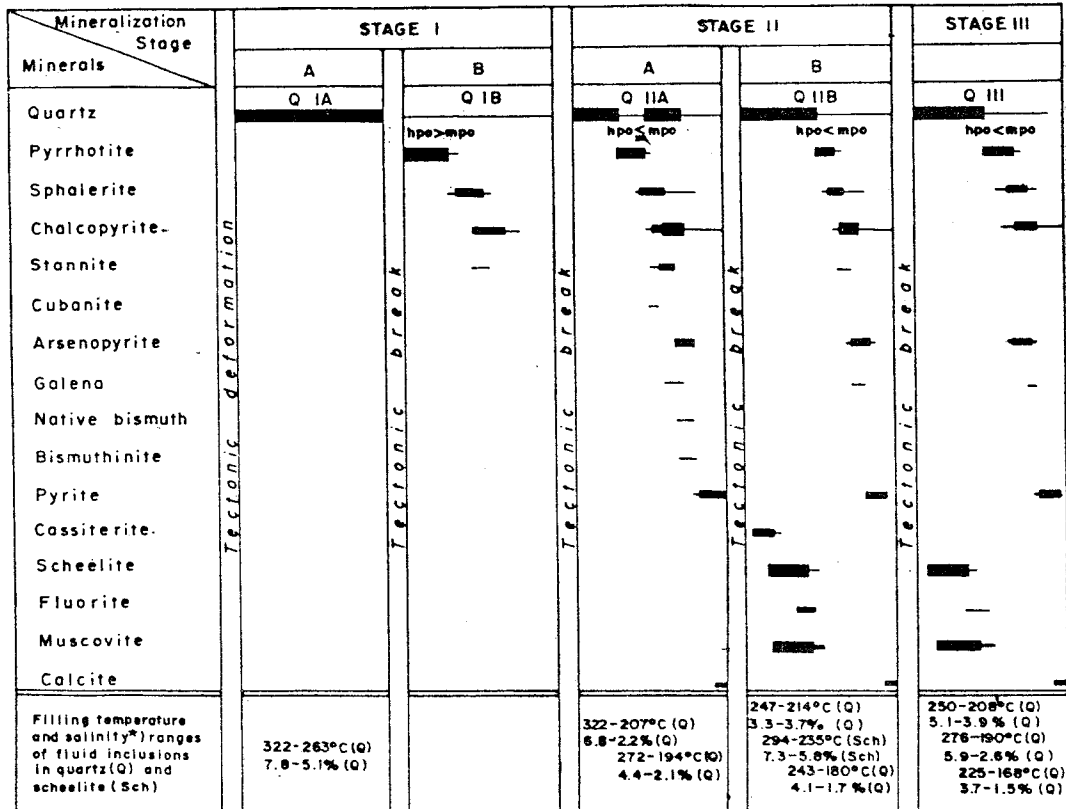


Fig. 3 Sequence of mineralization in the No. 12 vein on the 100m level. Three major stages, I, II, and III of mineralization are separated from one other by major tectonic breaks.

★) Equivalent wt. % NaCl. hpo: hexagonal pyrrhotite, mpo: monoclinic pyrrhotite.

■ abundant — moderate — scarce

集合體에 對해 鑛物共生の 概念을 適用하는 것이 妥當하다고 생각된다. 규-베나이트-黃銅石의 離溶組織, 스텐나이트-黃銅·閃亞鉛石의 離溶組織은 鑛化時期Ⅱ에서만 볼 수 있는 特徵이다. 또 같은 種類의 鑛物의 性質이 鑛化時期에 따라 다르다. 예를 들면, 磁硫鐵石은 鑛化時期Ⅰ에서는 六方型>單斜型인 반면에 鑛化時期Ⅱ에서는 六方型≤單斜型 및 鑛化時期Ⅲ에서는 六方型<單斜型 또는 單斜型만 나타난다. 또 閃亞鉛石의 化學組成에 있어서도 各 鑛化時期에 따라 FeS함량이 變化하는 特徵을 나타내고 있다.

灰重石의 富鑛部가 鑛化時期ⅡB 및 Ⅲ의 鑛化作用에 依해 形成되는 것은, 鑛化作用의 斷續性에 關聯된 것으로 보인다. 100m~200m 坑準의 鑛脈群에 對한 調査結果로서, 이러한 鑛脈群에는 tectonic break에 의해 區分하는 세 鑛化時期, I→Ⅱ→Ⅲ이 普遍的으로 確認되므로, 이러한 鑛脈群에서는 반복된 開裂 또는 再開裂한 張力裂隙에 斷續적으로 鑛化作用이 이루어져 特히 鑛化時期ⅡB, Ⅲ에서 灰重石의 富鑛部가 形成된 것으로 생각된다.

### 各種의 石英 및 灰重石의 流體包有物

大谷鑛山産 鑛物中の 流體包有物에 對해서 加熱顯微鏡法에 依한 充填溫度(均質化溫度), 冷却顯微鏡法에 依한 NaCl相當濃度, decrepitation法에 依한 破裂溫度의 測定結果는 金外(1972), Imai et al(1978)에 의해 報告된 바 있다. Tectonic break에 의해 區分된 各 鑛化時期의 石英(QⅠ, QⅡA, QⅡB, QⅢ) 및 鑛化時期ⅡB의 灰重石中の 流體包有物에 對하여 加熱 및 冷却顯微鏡法에 依한 充填溫度 및 NaCl相當濃度(wt. %)의 測定을 實施한 結果로 充填溫도의 範圍 및 NaCl相當濃도의 範圍를 나타낸 것이 Fig. 3이다. 測定試料, 測定方法, 測定結果는 Kim(1981)에 의해 詳細하게 報告되었으므로 여기에서는 省略한다. 全體的으로 鑛化時期Ⅰ의 石英(QⅠ)은 充填溫度가 높고(322~263°C), 또 NaCl相當濃度(7.8~5.1wt.%)도 높으나, 鑛化時期Ⅱ, Ⅲ末期の 晶洞中の 石英(QⅡB末期, QⅢ最末期)에서는 充填溫度도 낮고(QⅡB末期에서 243~180°C, QⅢ最末期에서 225~168°C), NaCl相當濃度도 낮은(QⅡB末期 4.1~1.7wt.%, QⅢ最末期 3.7~1.5wt.%)傾向을 나타낸다.

### 結 言

本 論文에서는 鑛脈鑛床의 macrostructure에 근거로 하여, mineral association, mineral paragenesis를 다루는 경우의 問題點을 삼았고, 特히 tectonic boundary에

對해 考察하였으며, 鑛化作用의 時期를 tectonic break에 의해 區分하는 데 重要性을 두었다.

本 論文에서는 深成 鑛脈鑛床의 하나인 日本 大谷鑛山의 텅스텐-錫-銅鑛脈의 macrostructure에 중점을 두어, 100~200m level의 11番脈, 12番脈에 對해 鑛化時期의 區分과 各各의 鑛化時期의 特徵을 考察하였으며, 特히 灰重石의 富鑛部를 形成한 鑛化時期의 問題에 對해 討論하였다. 또한 100m level의 12番脈을 對象으로 各 鑛化時期의 鑛物(主로 石英)中の 流體包有物에 對한 充填溫도와 NaCl相當濃度の 測定結果를 鑛物의 晶出順序와 對比하여 綜合하였다.

### 謝 辭

本 研究를 遂行하는데 鑛床調査에 便宜와 支援을 하여 주신 大谷鑛山의 藤井實氏, 金子盈氏, 長原正治氏, 井上修氏께 깊은 感謝를 드립니다. 또한 本 論文을 作成하는데 便宜와 配慮를 주신 韓國動力資源研究所 朴育植所長님께 感謝 드리는 바입니다.

### 參 考 文 獻

- American Geological Institute (1979) Glossary of Geology (R.L. Bates and J.A. Jackson ed.). p. 455.
- Breithaupt, A. (1949) Die Paragenesis der Mineralien, Freiberg Verlag von J.G. Engelhardt.
- Breithaupt-Kolloquium (1966) Abschluss-Zirkular zur Breithaupt-Kolloquium. Bergakademie Freiberg.
- Craig, J.R. and Vaughan, D.J. (1981) Paragenesis, formation condition and fluid inclusion geothermometry of ores. Ore Microscopy & Ore Petrography (J.R. Craig and D.J. Vaughan ed.), John Wiley & Sons, p. 142-143.
- 今井秀喜·金汶榮·藤木良規 (1972) 京都府大谷鑛山および鐘打鑛山地域の地質構造と鑛化作用. 鑛山地質, v. 22, p. 371-381.
- Imai, H., Kim, M.Y., Fujiki, Y. and Takenouchi, S. (1978) Geologic structure and fluid inclusion study at the Ohtani and Kaneuchi mines, Kyoto Prefecture. Geological Studies of the Mineral Deposits in Japan and East Asia(H. Imai ed), p. 27-40.
- Kim, M.Y. (1981) Fluid inclusion studies relating to tungsten-tin-copper mineralization at the Ohtani mine, Japan. Jour. Geosciences, Osaka City Univ., v. 24, p. 109-162.
- 長原正治 (1969) 京都府大谷鑛山の地質鑛床について. 水曜會誌, v. 16, p. 697-700.

中村威 (1967) Breithaupt-Kolloquiumについて—Mineral Paragenesis についての討論—。鑛山地質, v. 17, p. 58.

Shibata, K. and Ishihara, S. (1974) K-Ar ages of the major tungsten and tin molybdenum deposits in Ja-

pan. Econ. Geol., v. 69, p. 1207-1214.

高田雅介 (1978) 京都府行者山産出鑛物報告〔1〕, 京都府龜岡市行者山の石英脈とそれに含まれる錫石について。地學研究, v. 29, p. 55-70.