

## 奈良県宇陀郡大和水銀鉱床地域における水銀の分布、態様について

上野 三義\* 加藤 甲 壬\*\*

**On the Distribution and Dispersion of Mercury Element in the Yamato Mercury Mineral Deposits Area, Uda-gun, Nara Prefecture**

By

Mitsuyoshi UENO &amp; Kōmi KATO

## Abstract

Many mercury mines in the Yamato district, Nara Prefecture, are located in the Ryoke granitic rocks which develop in the Inner Zone of Southwest Japan and distributed about 11 km E-W along the median tectonic line.

The mercury ore deposits belong to the type classified as epithermal fissure-filling controlled by the shear fracture and tensional fracture are connected with the tectonic movement.

The phenomena of mercury dispersion through the Hg-mineralization and secondary concentration or carriage of mercury are described in the report. The contents of mercury in all kinds of igneous rocks in this district is greater than those in other districts, where no mercury mine is found. For instance, country rocks of ore deposits gave the following values:

medium-grained biotite granite:	0.3–24.4 ppm	3.36 ppm in average
porphyritic biotite granite	: 0.2–36.8 ppm	4.12 ppm in average
biotite quartz diorite	: 0.2–18.5 ppm	3.31 ppm in average

Anomalies of mercury dispersion halos that occur in argillaceous and slightly silicified granitic rocks near the mercury deposits are 5–100 ppm. Mercury content in bottom sediments of each river in this district has a higher background value of 0.4–32.6 ppm Hg. than others.

Especially bottom sediments (mud sand gravel) of the Hōno river and the upper reaches of the Uda river have higher anomaly at every point. Mercury contents of the former being 5.21 ppm and those of the latter 4.30 ppm in average. Where a mineralized zone is located upstream, higher anomaly and concentration of mercury are commonly found in bottom sediments of the downstream.

In conclusion, it may be said that the mercury distribution as shown above is due to mineralization and that the district in question exhibits specific features of a naturally polluted area.

## 1. 緒 言

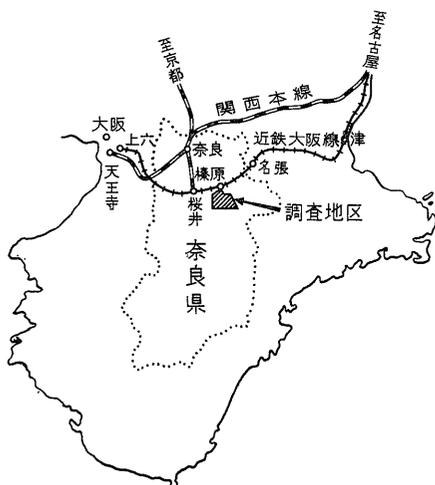
近年、金属鉱山の開発・製錬に伴う排液、媒煙等から公害要因の各種重金属が地域社会に影響を与え、水銀汚染もその一つとされている。一般に水銀は有機水銀の場

合に人体、生物に有害であることが指摘されているが、無機水銀を天然に包蔵する水銀鉱床地域においても、水銀の分布状態、微量水銀の挙動、態様が注目されるに至った。

筆者らは、これらの問題を含めて研究調査地区を選定し、大阪鉱山保安監督部の協力を得て、奈良県宇陀郡宇陀川上流域の水銀鉱床地域で、昭和44年10月調査研究を

\*大阪出張所

\*\*技術部



第1図 位置図

実施した。研究調査地域はわが国でも主要な水銀鉱床生成区に属し、研究の結果、水銀の分布、態様について幾つかの実態が明らかにされた。その概要は「宇陀川水系における水銀分布に関する地質調査委員会」で公表されたが、さらに諸資料を加えて報告するものである。当研究に当たり、京都大学滝本清名譽教授、奈良教育大学梅田甲子郎教授から種々助言をいただき、大阪鉱山保安監督部および大和鉱業所の各員から資料の提供を受けた。また大阪鉱山保安監督部長から出版の許可を受けた。ここに記して各位に深謝の意を表する。

## 2. 水銀鉱床地域の地理的環境

水銀鉱床は奈良県宇陀郡の大宇陀町・菟田野町地内にあり、宇陀川上流および芳野川流域一帯に点在し、その分布範囲は東西約 11 km, 南北 3~6 km におよび、鉱床胚胎地域の西端は桜井市東部山地にまたがっている。

宇陀川上流および芳野川流域を占める当地域の地形は、やや緩やかな起伏の小山地が多く、花崗岩類の風化が進み、地表下数10mの風化帯を形成している反面、腐植土層の厚さは薄い。

当地域は西部に桜井市との境界をなす音羽山(851.7 m)、熊ヶ岳(912m)、滝門岳(804.3m)、鳥壺屋山(659.3 m)などの急傾連峯があり、東側は台地状の伊那佐山(638m)、および深い侵食谷による急峻な山地で囲まれた小盆地状である。

当盆地内は海拔 300~ 400m程度の起伏山地を形成しているが気候は一般に高原性を示し、年間降雨量 1,860 mm (大宇陀町)である。各河川流域の平地面積は一般に狭く、沖積層は透水性に富み地表下数mで岩盤に達す

る処が多い。

当地区の主要水系は、大宇陀町中央部を北流する宇陀川で、北西に流れる芳野川とは、榛原町南の榛原大橋で合流し、これより下流を黒田川あるいは名張川と呼んでいる。

宇陀川および芳野川は、多くの支流を合わせて水量に恵まれてはいるが、これらは水銀鉱床の露頭または含辰砂熱水変質帯を少なからず侵食しているため、各河川堆積物の水銀汚染は免れない状態にある。また宇陀川および芳野川流域は、都市化による水質汚染が目立ち、流水停滞地区には腐敗泥土が堆積し、水銀を吸着濃集しやすい条件をそなえている。

## 3. 地質および鉱床

### 3.1 地質

水銀鉱床胚胎地域は中央構造線の北側、いわゆる西南日本内帯の領家帯にあり、各種の領家式花崗岩類が基盤をなし、これを覆って室生火山岩類と、第三紀の堆積岩が分布している。

当地域の領家式岩類は、中央構造線に平行した東西方向に長い分布を示すものが多く、半花崗岩岩脈、ミロナイト、片状花崗岩等の延長もほぼ東西性である。また斑状黒雲母花崗岩・角閃石黒雲母花崗岩中には、しばしば黒雲母に富む片麻岩質花崗岩が交錯している。

地域北部の榛原町一桜井市境界地区に露出する角閃石斑岩を除いて、当地域における領家式花崗岩類を分類し、地質調査の結果および従来の研究 (YOSHIZAWA, H. et al., 1966) に基づいて岩石の生成順序を推測すれば、つぎのとおりである。

末期 半花崗岩 (岩脈)

- ↑ 半花崗岩質花崗岩  
(石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母)
- 中粒黒雲母花崗岩  
(石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母)
- 斑状黒雲母花崗岩  
(石英, 斜長石, カリ長石, 黒雲母, 角閃石)
- 角閃石黒雲母花崗岩  
(石英, カリ長石, 斜長石, 角閃石, 黒雲母)

古期 黒雲母石英閃緑岩

(斜長石, 角閃石, 黒雲母, 石英)

しかし、これら花崗岩類間には、相互関係が判然としないもの、例えば中粒黒雲母花崗岩と斑状黒雲母花崗岩との漸移状態、中粒黒雲母花崗岩と半花崗岩質花崗岩とに異相関係を推測させるような部分が認められ、詳しい広範な岩石学的研究を要する地域である。

### 3.1.1 領家式花崗岩類

#### 1) 黒雲母石英閃緑岩

調査地域のほぼ中央部に広く分布し、菟田野町古市場、東郷地区から大宇陀町南半地区一帯に露出している。本岩はさらに西方に延び音羽山、経ヶ塚山を経て桜井市東部各地に分布する。一般に細粒～中粒組織を示す本岩は有色鉱物に富み、大和鉱山付近では岩相変化が見られる。鏡下では角閃石、黒雲母、斜長石（灰曹長石）、燐灰石、磁鉄鉱、柵石を認め、クロライト、絹雲母、緑簾石などの二次鉱物が含まれる。当地域の水銀鉱床の多くは本岩を母岩として生成されている。

#### 2) 角閃石黒雲母花崗岩

本岩は大宇陀町南部地区栗野および上宮奥地内に露出し、ミロナイトを伴う岩体で、その分布は桜井市内に広い。

大宇陀町南東地区で中粒黒雲母花崗岩に捕獲された状態がよく観察され、桜井市との境界小峠付近に黒雲母石英閃緑岩を貫いた小岩体が露出している。

#### 3) 斑状黒雲母花崗岩

長径 6～15 mm 程度の長石類を斑晶とし斑状構造が明瞭な本岩は下芳野以東地区、芳野川に沿った東側山地一帯にわたって広く分布し、黒雲母石英閃緑岩との境界は入谷川口のやや西から大和、東和両鉱山を通り大宇陀町北部に至り弧状を示している。本岩は各所に黒雲母石英閃緑岩を捕獲し、半花崗岩岩脈に貫かれ、見田川および上谷川上流の地区には片麻岩質の部分がある。岩質はやや優白質粗粒組織を示し、岩相に変化が認められる。

#### 4) 中粒黒雲母花崗岩

四郷川および宇賀志川流域地区と大東鉱山付近に露出する。本岩は角閃石を認めない均質な粒状組織を示す花崗岩で半花崗岩質花崗岩とは密接な関係で接し、また黒雲母石英閃緑岩には明瞭な境界を示している。

#### 5) 半花崗岩質花崗岩

宇陀川の最上流大宇陀町宮奥地区に露出し、北に黒雲母石英閃緑岩、南に角閃石黒雲母花崗岩で挟まれた帯状に分布する小岩体であり、その露頭は西方熊ヶ岳付近に延びている。本岩は黒雲母が少なく、細粒緻密な岩石でアプライトに酷似している。

### 3.1.2 室生火山岩

室生火山の中心地は、当地域の北東、10数 km の曾兩村と室生村地内にあり、室生火山岩類の分布は東西約 28 km に及ぶ。室生火山は第三紀中新世末期に活動を開始したものと解され、瀬戸内火山岩類の一部に属している。噴出物のもっとも古いものは凝灰角礫岩であり、室生火山岩類の下底に占める礫岩層を含めて、都介野層群

と呼ばれる中新統堆積岩が榛原付近に露出している。

研究調査地域では伊那佐山および入谷奥の尾根の上部に、斑状黒雲母花崗岩を覆って分布するに過ぎない。

室生火山岩は柱状または板状節理が発達し、石英斑晶と流状構造が見られ、鏡下の組織構造からは熔結凝灰岩に分類されるものが多い。

室生橋付近のものは石英、斜長石、紫蘇輝石、黒雲母とガラス質熔結凝灰岩の特徴を示す基質部からなり、磁鉄鉱、ジルコン、方解石、クロライト、菱鉄鉱などが含まれる。

### 3.2 水銀鉱床の概要

当地域の水銀鉱床は中央構造線に沿って、その北側の西南日本内帯領家式花崗岩類、圧砕岩類中に胚胎する鉱床群の一部であり、同型の水銀鉱床の分布は大阪府金剛山より当地区「大和鉱床群」を経て三重県円生、佐奈などに点在している。

当地域で稼行中の水銀鉱床は現在大和鉱山だけであるが、菟田野町地内に平井、東和、入谷、神生、東郷等の鉱床が過去に開発稼行され、大宇陀町地内には藤井、岩清水、谷脇、大東、黒木、神戸、本郷などの鉱床が探鉱または採掘された。研究調査地域の西、桜井市内にも同型の水銀鉱床として音羽、桜井、多武峯、針道などの鉱山があり、一連の水銀鉱化地帯は東西約 11 km の範囲に及んでいる。そのほかこの地域内には新羅貴、栗原、大蔵など多くの水銀鉱候地が認められる。

当地域の水銀鉱床は、いずれも領家式花崗岩類中の、裂力に生成された浅熱水性脈状鉱床で、大和鉱山の鉱脈群を除くと脈幅数 mm～数10cm、脈の延長数10～100m 程度のものが多い。一般に、各脈にはカオリン粘土化帯と脈側に珪化部を伴うが、粘土化帯の幅は10数m前後で、カオリナイト、石英、モンモリロン石、クロライト、方解石、黄鉄鉱が生成されている。

水銀鉱脈の発達は、当地域の地質構造と裂力に密接な関係があり、中央構造線に関連して生じた花崗岩中の裂力、断層破碎帯中に上昇鉱液が浸透している。若林純一らの研究（若林純一・矢吹文輔、1967）によれば、裂力の発達は、NW-SE系、E-W系、NE-SW系、N-S系などがあり、前2系がとくに水銀鉱化作用が著しい。各脈は多くの場合、脈状部の外に平行細脈を伴い、鉱染状、網脈状、パイプ状、膨縮レンズ状をなし転々と富鉱部を造っている。富鉱部は、大和鉱山において最大幅約10 m、傾斜延長 120m以上で、Hg: 0.7～5%、まれに Hg: 20～53% の鉱石が含まれる。当地域の水銀鉱床の多くが、稼行休止と坑道埋没のため、詳細を明らかにし得ないが、概要を第1表に示す。

第 1 表 調査地内の水銀鉱床一覧表

鉱山(鉱床)	位置	鉱床, 鉱石	母岩および変質
大和	菟田野町大沢榛原駅の南南東直距 6 km	脈状, パイプ状, 鉱染状, 辰砂, 水銀, 黄鉄鉱 (鉱脈群)	黒雲母石英閃緑岩, カオリン化, 珪化, 炭酸塩鉱物化
東和	菟田野町大神, 大和鉱山の東 1 km, 見田川上流	細脈~網脈状, 辰砂, 黄鉄鉱, 品位 Hg 0.1~0.6%	斑状黒雲母花崗岩, 弱珪化
平井	菟田野町平井, 平井川中流	辰砂	斑状黒雲母花崗岩, カオリン化
入谷	菟田野町東郷, 入谷川下流	細脈~鉱染状, 辰砂, 品位 Hg 0.2%以上	斑状黒雲母花崗岩, 弱珪化
東郷	菟田野町東郷, 芳野川南岸	脈状, 辰砂, 黄鉄鉱	黒雲母石英閃緑岩, カオリン化, 珪化
神生	菟田野町松井	脈状鉱脈群, 辰砂, 品位 0.1~0.5%	同 上
藤井	大宇陀町藤井	脈状, 鉱染状, 品位 Hg 約 0.3%	同 上
岩清水	大宇陀町岩清水	辰砂	同上粘土化
谷脇	大宇陀町谷脇	辰砂?	同 上
大東	大宇陀町大東, 宇陀川西岸	細脈, 辰砂, 品位 Hg 0.1~1%	中粒黒雲母花崗岩, 粘土化, 珪化
黒木	大宇陀町黒木川上流	脈状, 鉱染状, 辰砂, 黄鉄鉱	黒雲母石英閃緑岩, 粘土化
神戸	大宇陀町本郷, 本郷川上流	鉱染状, 辰砂, 黄鉄鉱, 輝安鉱	黒雲母石英閃緑岩, セリサイト化

水銀鉱脈の大半が黒雲母石英閃緑岩中に胚胎し、斑状黒雲母花崗岩, 中粒黒雲母花崗岩中の水銀鉱脈は水銀鉱化帯の周辺部にあるものと推定される。

#### 4. 水銀鉱床地域における水銀分布

##### 4.1 岩石中の水銀量

当地域の水銀鉱床は第 2 図のとおり広い範囲に分布し、鉱床付近および鉱化作用に関連した熱水変質帯は、当然水銀分散の影響を受けている。そこで各種岩石、風化崩壊物などに含まれる総水銀量についての検討を行なった。ここでいう総水銀とは有機水銀・無機水銀の総計である。

##### 4.1.1 試料の採取と分析

試料の採取に当たっては、岩石の場合、表層部の汚染または風化した部分をハンマーで除去し、できるだけ新鮮な岩石 200~300g を試料とした。また風化岩石および堆積物の場合は、表層の腐植土を排除し、下部の地表面に平行する幅約 1m の間から約 100g を分析した。

試料は赤外線電球により 60°C 以下の温度で乾燥したのち、鉄製乳鉢とメノウ乳鉢で約 200メッシュ程度に磨砕して分析試料にした。

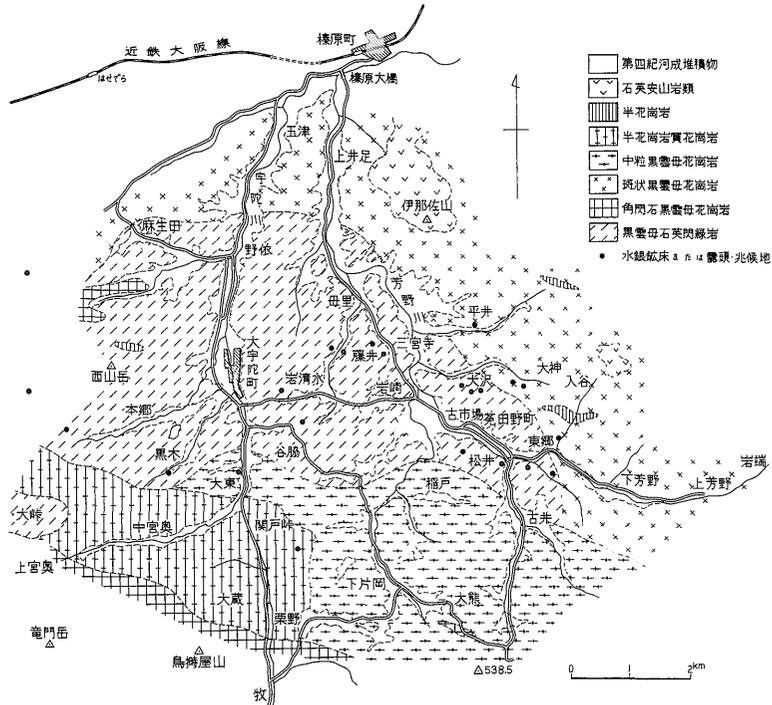
水銀の分析には、筆者の 1 人加藤が開発 (岸本文男・他, 1963) した溶媒抽出ジチゾン比色法を用いた。以下この報文中における総水銀量の定量は、すべてこの方法によるものである。なお各種花崗岩類の採取地点は、水銀鉱床が認められない所、あるいは水銀鉱床兆候地から 200m 以上離れた地点など、試料採取地の均等化を計って広い範囲にわたった。

##### 4.1.2 結果とその考察

肉眼的に全く新鮮な岩石、および風化の程度を異にする風化岩の水銀含有量は、第 2 表のとおりである。

第 2 表の各試料中、とくに高い水銀値を示すものは、

- 1) 菟田野町下宇賀志~古市場一帯の風化黒雲母石英閃緑岩: 18.5, 9.8, 8.9, 7.9 (総水銀 ppm)
- 2) 菟田野町上芳野~岩端地区の新鮮な斑状黒雲母花崗岩: 5.3, 5.8, 25.7, 36.8 (総水銀 ppm)



第2図 奈良県宇陀郡水銀鉱床地帯の地質図

第2表 第2図地内の各種岩石中の水銀量

岩石	総水銀量 (ppm)	平均値 (ppm)	個数	5 ppm 以下試料平均値	個数
半花崗岩	0.4~0.7		3		
半花崗岩質花崗岩	0.7~1.5*		2		
中粒黒雲母花崗岩	0.3~24.4	3.36	29	1.02	24
斑状黒雲母花崗岩	0.2~36.8	4.12	25	1.44	21
角閃石黒雲母花崗岩	0.7**		1		
黒雲母石英閃緑岩	0.2~18.5	3.31	41	0.99	33

\*大宇陀町笹峠および菟田野入谷  
\*\*大宇陀町大熊地内

3) 菟田野町宇賀志~上宇賀志地区のやや風化した中粒黒雲母花崗岩: 6.6, 15.7, 16.7, 24.4 (総水銀 ppm) であり、2)および3)は鉱床が全く発見されていない地区であって、水銀鉱化作用の影響が予測されない試料から異常総水銀量を認めた。鉱床分布地域の中粒黒雲母花崗岩、斑状黒雲母花崗岩および黒雲母石英閃緑岩の総平均値はいずれも 3 ppm を超え、水銀鉱床から遠く離れたものでも 1± ppm 程度の総水銀量が含まれている。

調査地域外の若干の岩石について水銀含有量をみると第3表のとおりである。

第3表 水銀鉱床ない地域の水銀量

岩石	総水銀量 (ppm)	位置
熔結凝灰岩(室生火山岩)	0.4~0.6	室生村室生橋下
片状黒雲母花崗岩	0.6	名張市青蓮寺川 ダム下流
黒雲母花崗岩	0.6	

この値は試料数が不足ではあるが、水銀鉱床地域の岩石類よりも低い総水銀量である。

#### 4.2 一般岩石における水銀の地球化学的分布

水銀鉱床地域における地質環境と総水銀量は既述のとおりであるが、地殻をなす各種岩石に含まれる水銀量を比較することによって、水銀鉱化作用の影響度がある程度推測されよう。

個々の岩石中の地球化学的な水銀量に関する資料を総括して第4表に示した。この水銀量は水銀鉱床生成に影響されていない岩石、水銀の二次分散あるいは人為的水銀汚染のないものといえる。

水銀の地球化学的分布は酸性火成岩よりも塩基性火成岩類中にやや多く、粘板岩、頁岩など堆積岩類がさらに水銀含有量が多いようである。研究調査地域の花崗岩の平均値は、第4表のいずれの岩石よりも著しく水銀に富み、鉱化作用の影響によるものといえる。

第4表 水銀の地球化学的分布(ppm)

岩 石	STOCK, A. CUCUEL, F. (1934)	TUREKIAN, K. K. WEDEPOHL, K. H. (1961)	そ の 他*
花崗岩類	0.058	{0.08 (0.0×(閃長岩))	酸性火成岩(珪長質) 0.04, 0.064
斑 糲 岩	0.079		塩基性火成岩 0.09 (苦鉄質)
超塩基性岩		0.0×	花崗岩類 0.01
玄武岩類	0.19	0.09	超塩基性岩 0.01
粘板岩	0.48~0.53	0.4 (頁岩)	火成岩平均 0.06
砂 岩	0.033	0.03	石灰岩・ドロマイト 0.03
石灰岩・ドロマイト	0.033	0.04	砂 岩 0.03~0.1
石 炭 (ザール)	0.008		頁 岩 0.3
石 炭 (ルール)	0.01		クラーク数 0.08
粘 土		0.×	
土 壤	0.03~0.034	0.03~0.3	
海底炭酸塩堆積物		0.0×	
自然水平均	0.00005		

\*PREUSS, E. (1941) СЛАВКОВ, А. А. (1964) KRAUSKOPF, K. B. (1955)  
ВИНОГРАДОВ, А. М. (1956) GREEN, J. (1959) AHRENS, H., TAYLOR, H. J. (1961)

第5表 大和鉱山水銀脈と水銀の分散例

鉱 脈 名	脈内品位 (%)	脈との隔り	母岩および総水銀量 (ppm)
南 19L 1号下盤鍾立入	1	下盤より 3 m	白色粘土化黒雲母石英閃緑岩 9.7
同 上	0.6	上盤より 1.5m	弱珪化黒雲母石英閃緑岩 10.4
北 21L 南向立入 1号下盤鍾	1.2	上盤より 2 m	弱粘土化白色黒雲母石英閃緑岩 5.3
鍾 23L 南向立入 1号下盤鍾	2	上盤より 2 m	弱珪化白色黒雲母石英閃緑岩 106.0
N70°E 脈23L, 80m 鍾上盤立入	0.5	上盤より 3 m	弱粘土化黒雲母石英閃緑岩 6.1

第6表 水銀鉱化作用の影響を受けた試料の水銀量

鉱石または廃石		鉱床付近の変質母岩	
採取地, 試料	総水銀量 (ppm)	採取地, 試料	総水銀量 (ppm)
神戸鉱山坑内, セリサイト原土	2.6	大東鉱山旧坑口, 粘土化塊状	2.7
セリサイト, 石英, 黄鉄鉱	8.9	藤井鉱山北探鉱坑口, 弱珪化	21.9
同上 セリサイト粘土(精鉱)	3200.0	藤井鉱山南斜坑口, カオリン化	15.7
東和鉱山貯鉱, 褐色塊状	77.5	岩清水鉱山斜坑口, 弱粘土化	1.6
神生鉱山, 粘土化塊状研	6.0	谷脇鉱山探鉱坑口, 粘土化粉状	1.3~1.6
大東鉱山坑内廃石, 粘土化塊粉	3.0	大和鉱山, 地表カオリン化帯	8.9
黒木鉱山坑内研, 粘土化小塊	3.0		
平井鉱山坑内廃石, 表土混り	3.0		

### 4.3 水銀の一次分散と二次分散

水銀鉱床の盤際および鉱化作用に伴った熱水変質帯内には水銀が浸透して、いわゆる一次分散が行なわれている。一般に一次分散帯における水銀濃度は鉱化作用の強弱、鉱床の規模に比例関係を示す。

唯一の稼行鉱山である大和水銀鉱山で、水銀の分散程

度をみるため、若干の水銀脈と近接する母岩について水銀量を比較検討した。坑内から得た試料の分析結果は第5表のとおりであり、水銀の分布に大幅な変化が認められる。

大和水銀鉱山以外の、入坑できない鉱床については、坑口付近、露頭より20m以内の変質母岩、坑内廃石など

少なくとも、水銀鉱化作用の影響をこうむったものと推測される試料を採取した。各種試料の分析結果は第6表に示したが、鉱況不良で探鉱休止の兆候地以外はいずれも約 5ppm 以上の総水銀量を示している。

水銀鉱床の生成に伴う水銀分散状態は、矢島澄策の研究 (矢島澄策, 1961) によれば、一般に水銀鉱脈に近い所では 20~100 ppm の水銀量が検出され、芦沢峻の発表 (芦沢峻, 1961) では、広範な水銀鉱化帯からは、10~50 ppm 程度が変質母岩中に分散し、約 500コ の試料のうち半数は 10 ppm 以上の水銀を含んでいる。今回の研究調査結果を総合的にみると、水銀分散の程度は局部的に異なるが、鉱床に近い母岩では 5~100 ppm 程度の総水銀量を示している。

これに対し水銀鉱床分布地域の地表、または岩石風化帯における水銀の挙動、態様、すなわち二次分散の究明は鉱床探査、水銀公害対策などに必要である。しかしこの研究には調査の対象、地形との関係、試料採取の諸条件を十分検討しなければならない。

上記の問題を解明する一手段として、調査地域内約42 km<sup>2</sup> における、風化した岩石と全く新鮮な岩石を類別したものについての総水銀量を比較し、第7表に示す。

この結果第7表の中で一般的傾向として、粉砂状の地表直下、風化岩中には総水銀量：0.6~1.4 ppm 程度のものが多く、鉱化作用の影響がきわめて弱いと思われる地区での水銀量は、中粒質黒雲母花崗岩の場合を除き風化岩石中で減少している。

#### 4.4 河川堆積物における水銀の挙動

##### 4.4.1 概要

水銀鉱床が広範囲に分布する当地域は、多数の水銀鉱脈、含辰砂熱水変質部が露出し、それらの水銀兆候地ないし露頭を侵食して流れる河川がしばしばみられる。

このような自然環境における、風化、降雨、流水などの作用と、鉱山の開発、稼行に伴うズリの廃棄などによって、水銀鉱物が、水系へ移動し堆積することは当然考えられることである。その場合の水銀の挙動と、そのこ

とが河川水および河川生物にどのような影響を及ぼすか、その実態を明らかにするため、河川堆積物中の水銀分布について検討した。

調査した水系の選定には、水銀鉱床および露頭の有無、岩種の相違、小沢、支流堆積物の混入度合を吟味した。

試料の採取と処理に際し、つぎの点に留意した。

1) 有機水銀を吸着、濃集し、かつ移動しやすい泥土や有機水銀を含有する藻、苔などの混入は水銀値の偏差を大きくするので排除し、採取条件を均一にするよう努めた。

2) 100~400m等間隔で測定した河川では、川の合流点から約40m上流を基点とし、氾濫時に他の河川堆積物が混入しないものを採取した。

3) 採取試料はポリエチレン製試料袋に納め、他の試料からの汚染を防ぐようにした。

4) 川幅の広い土砂礫層では深さ 20cm 前後、川幅が狭く土砂礫層が数 cm の薄い場合は、川底土砂礫からいずれも流れの直角方向に数カ所から採取し、試料の均等化を計った。

当地域主要河川とその支流における堆積物中の総水銀量は第8表のとおりである。

鉱床分布地域から遠く離れた地域の、河川堆積物中の水銀量を比較検討するため、若干の河川から得た分析結果を第9表に示したが、いずれも傾家式花崗岩地帯を流れ、水銀露頭が知られない地域に属している。

これらの総水銀値は鉱床未発見地域でも、1 ppm 程度が含まれ、水銀鉱床周辺地帯を流れる四郷川、稲戸川のものと同様している。各水系について河川堆積物中の水銀含有量を測定した結果についての考察を略記する。

##### 4.4.2 宇陀川水系

1) 宇陀川に注ぐ黒木川の上流には黒木鉱山の旧坑があり、鉱山より約 100m下流の河床に水銀露頭があったといわれ、第二次大戦前出鉱の実績がある。したがって黒木川には、上記鉱化帯から流出した岩石が堆積してい

第7表 風化花崗岩類中の水銀量例

岩石名	未風化岩石			風化岩石		
	総水銀量 (ppm)	平均値 (ppm)	個数	総水銀量 (ppm)	平均値 (ppm)	個数
中粒黒雲母花崗岩	0.3~1.7	0.9	3	0.3~24.4	3.65	23
斑状黒雲母花崗岩	0.5~36.8	4.6	21	0.2~2.8	0.98	12
黒雲母石英閃緑岩	0.5		1	0.2~18.5	2.06	27
上記3種岩石総合粉砂状物				0.2~2.1	0.98	24

第8表 河川底堆積土砂礫中の総水銀量

河川名	総水銀量 (ppm)	支流名	総水銀量 (ppm)	平均値 (ppm)	個数	測定距離 (km)
宇陀川 総平均値 (ppm) 4.30(27コ)	— 関戸の上流部	宮奥川	0.5~3.6	1.13	11	約 2
		— 関戸—榛原大橋間	0.7~33.0	6.5	16	約 8
	— 本郷川	2.4~7.0	3.08	6	約 2.7	
	— 黒木川(下流)	4.0		1	湯立神社付近	
	— 中山川(下流)	8.1		1		
芳野川 総平均値 (ppm) 5.21(30コ)	— 入谷川以東上流区間 0.6~5.9 平均値 1.80(6コ)	— 山野川	0.6~11.6	2.5	8	1.4
		— 入谷川	0.4~5.0	2.14	17	1.6
	— 入谷川~平井川区間 1.1~19.3 平均値 7.53(15コ)	— 見田川	0.4~32.6	5.72	28	2.7
		— キサ谷川	0.4~0.7	0.50	9	1.4
		— 宇賀志川	0.6~2.0	1.25	8	1.4
		— 四郷川	0.3~0.9	0.61	21	2
	— 平井川~ 榛原大橋区間 2.5~5.6 平均値 3.53(9コ)	— 稲戸川	0.4~1.3	0.7	7	1.2
		— 平井川	0.8~6.1	2.28	14	2.6
		— 母里川上流 (ジョウキ谷)	1.0~15.0	4.82	4	0.9

第9表 調査地区外の河川堆積物中の総水銀量

河川名	総水銀量 (ppm)
宇陀川下流(室生村大野, 室生橋下)	1.6
青蓮寺川下流( " )	0.5~1.1
青蓮寺川下流(名張市箕曲, 青蓮寺ダム名張駅間)	0.7~1.3 平均値 0.9(5コ)
津風呂川上流(大宇陀町関戸峠以南)	0.5~1.0

るものと推測され、下流では 4.0 ppm の総水銀量が検出された。

2) 本郷川の上流地点にある神戸鉱山の坑内水は pH 3.6 で鉱化帯との接触により、かなり酸性である。これに近い本郷川上流で、総水銀値 7.0 ppm、それから下流約 2,500mでの測点 6 コの平均総水銀値は 4.63 ppm で全般的に高い値であった。

3) 宇陀川本流は、上宮奥—関戸間約 3.4 km で半花崗岩質花崗岩中を流れ、水銀鉱床は認められていない。河川堆積物中総水銀量は 1 ± ppm と全般的に低く、11 測点の平均値は 1.13 ppm である。関戸より下流では、中粒黒雲母花崗岩に変わり、ついで石英黒雲母閃緑岩中を流れ、河川堆積物中の総水銀量は、大東地内 23.0 ppm 野依地内 17.6 ppm、五津地内 33.0 ppm の異常値を示すなど全般的に高くなる。このうち大東地内の異常値

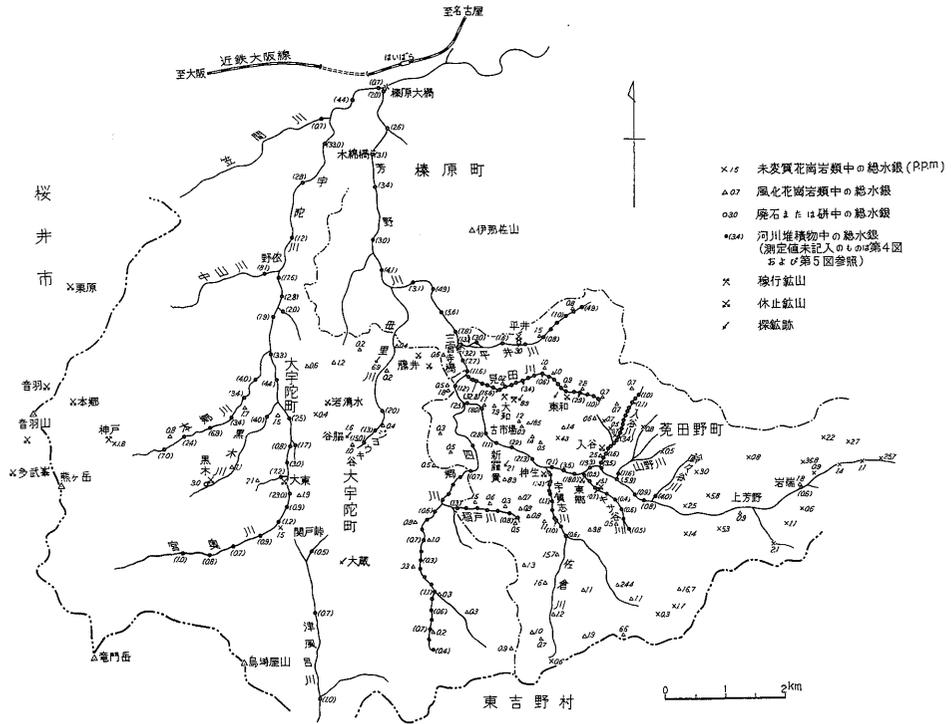
23.0 ppm, 7.2 ppm などは水銀鉱床ならびにその鉱化帯の影響によるものである。これより下流の宇陀川では東西両地区に水銀鉱化帯を控えてはいるが、野依、五津の両異常地点付近には、水銀鉱床は認められないので、水流の停滞により堆積した腐泥土に吸着、濃集した水銀の可能性もある。

#### 4.4.3 芳野川水系支流

1) 芳野川の支流のうち、鉱床分布地域の外縁部を流れる四郷川、稲戸川の河川堆積物中総水銀量は、0.4~1 ± ppm で周辺の中粒黒雲母花崗岩が風化したものと平均値はほぼ一致する。

2) 東側の宇賀志川では、神生水銀鉱山の鉱床に近接して流れるため 0.9~2.0 ppm と全般に高い総水銀値を示す。しかし神生鉱山の東約 1 km にある東郷鉱山付近で、地質的には神生鉱山地区と同じ黒雲母石英閃緑岩地帯を流れるキサ谷川においては、総水銀値が 0.4~0.6 ppm と低い。これは神生鉱山坑口付近の岩石中総水銀量 77.5 ppm に対し、東郷鉱山坑口付近では 0.7, 1.4, 5.1 ppm の総水銀値にみられるように、鉱化作用の強弱が及ぼす水銀分散の規模を反映したものである。

3) 芳野川中流には山野川、入谷川、見田川、平井川など水銀鉱化帯を通過した支流が注いでいる。これらの各河川堆積物中の総水銀量を示したのが第3図である。



第3図 水銀鉱床分布地域岩石および河川堆積物中総水銀量 (ppm)

見田川、入谷川は 100m 間隔、山野川、平井川では 200 m 間隔での総水銀量変化をグラフにした。

a) 山野川流域では、これまで水銀鉱床の兆候は認められていないが、3.6 ppm, 11.6 ppm の総水銀が検出された。この値は入谷川、見田川、平井川の旧坑ないし露頭付近における河川堆積物の水銀値に匹敵する値であることを重視しなければならない。とくに下流の 11.6 ppm は合流点付近の芳野川でも 5.9 ppm と高く異常点であることを示している。

b) 入谷川下流西岸には辰砂の細脈が露出し、上流にはかつて探鉱した跡がある。その付近の河川堆積物中総水銀量はいずれも 4.0 ppm 前後の高い値を示し、17 測点の平均値も 2.14 ppm と高い。

c) 見田川地域は東和鉱山、大和鉱山など水銀鉱化帯があり、見田川の砂礫中には高水銀量を示すものがある。東和鉱山付近の 25.5 ppm のほか下流域、とくに合流点までの約 600m は連続して 10 ppm 以上の異常値を示している。28 測点の平均値 5.72 ppm は調査河川中最高水銀量である。

d) 平井川は水銀鉱床分布地域の東縁部を西流している。総水銀量 2 ppm 以上の測点が約 40%、平均値 2.28

ppm は見田川に次ぐものである。この川の中流北岸には平井鉱山の探鉱坑道があり、この地点の河川堆積物中総水銀量は 6.1 ppm であった。これに近い 4.9 ppm を示す最上流部の測点付近には注意しなければならない。

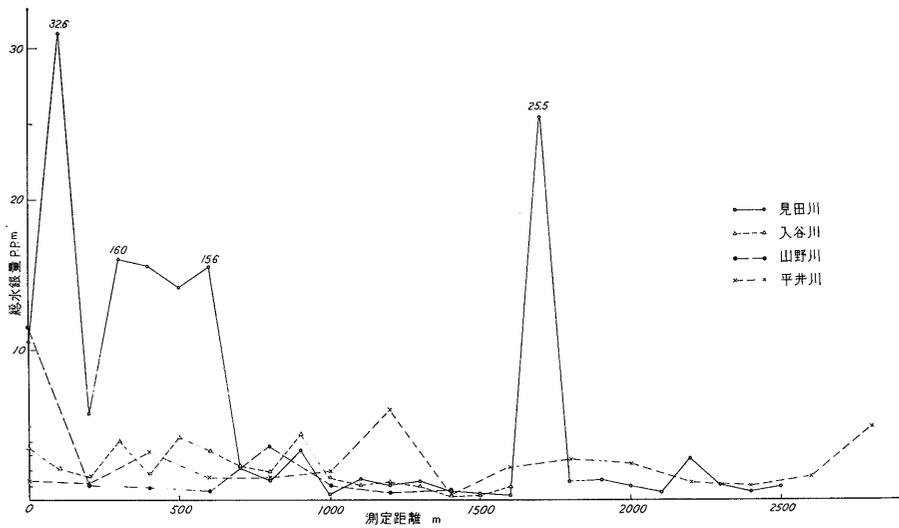
e) このほか母里川上流ジョウキ谷川で 15.0 ppm の異常値を得たが、上流約 400m の谷脇鉱山の影響によるものと思われる。

#### 4.4.4 芳野川水系本流

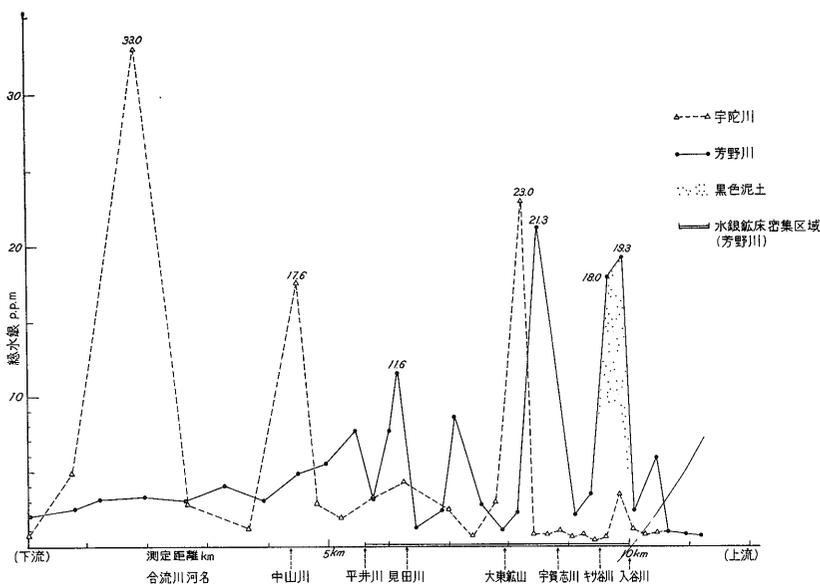
芳野川河川堆積物のうち各支流における総水銀の分布は第4図に示すとおりである。河川の流速と堆積物の量との関係、厚い土砂礫層中の水銀分布の問題などを残したが、今回の調査研究によって、おおむねつぎの水銀分布が明らかになった。

1) 芳野川全域の水銀分布を観察すると、水銀鉱床および鉱化帯に近い処で水銀量が多く、中流区間の山野川合流点から平井川合流点まで15の地点では、1.1~21.3 ppm を示し、過半数が 3 ppm 以上で、平均値 7.17 ppm であるが、その上流と下流で著しく減少している。とくに芳野川下流では、水銀供給源からの距離に比例して減る傾向がある。

2) 水銀鉱床付近を流れ芳野川に注ぐ支流では、本流と



第 4 図 河川堆積物中の総水銀分布 (ppm)



第 5 図 宇陀川および芳野川河川堆積物中の総水銀分布 (ppm)

の合流点よりやや下流で芳野川堆積物中に総水銀量が多い傾向が認められる。この例として、入谷川合流点の下 19.3 ppm, 宇賀志川合流点の下 21.3 ppm, 見田川合流点の下 11.6 ppm などが挙げられる。これは比重の大きい水銀鉱物が、水流の淘汰選別を受けて流速のゆるやかな合流点付近や、供給源から速くない範囲で沈積するものと考えられる。このことはまた厚い河川堆積物

の深部に水銀が沈積することを暗示させ、今後検討の要があろう。

3) 堰堤その他により水流停滞し、腐泥土が堆積した区間の試料からは多量の総水銀量が検出された。菟田野町東郷地内の臭気を発する黒色泥土の総水銀は 18.0 ppm, 19.3 ppm を示し、有機物あるいは、微生物の影響による水銀の吸着濃集が考えられる。

第10表 河川堆積物および藻類中の有機水銀量

採 取 地	堆 積 物			水 中 植 物		
	総水銀量 (ppm)	メチル水銀量 (ppm)	エチル水銀量 (ppm)	種 類	総水銀量 (ppm)	メチル水銀量 (ppm)
下 芳 野 (芳野川)	0.51	0.0060	0.008	藻 類	0.29	0.011
				水 草	0.12	0.0096
三 宮 寺 橋 ( " )	33.35	0.016	—	藻 類	0.95	0.016
				水 草	0.95	0.008
木 綿 橋 ( " )	1.86	0.006	0.0015	藻 類	1.03	0.017
				水 草	0.36	0.008
野 依 (宇陀川)	0.91	0.0080	0.0023	藻 類	0.10	0.004
				水 草	0.17	0.0064
平 井 (平井川)	0.34~1.94	0.0044	0.001×			

総水銀：紫外線分光分析法

メチル、エチル水銀：ガスクロマトグラフ分析法

#### 4.5 河川水質と生物への影響について

当地区の水銀分布はすでに述べたように、水銀鉱床周辺、鉱床生成に関連する熱水変質帯などの鉱化作用に伴い多くの地区で、水銀濃度が高く、また地域全体の花崗岩類、その風化物、鉱化帯より運ばれた河川堆積物なども総水銀量が多い。これらの水銀はほとんど水銀鉱床と岩石圈を根拠とする無機水銀（辰砂）であるが、もっとも安定した水銀化合物である辰砂（HgS）は水に対する溶解度がきわめて低いため、それ自体が河川の水質を汚染することはないが、そのほかの水銀化合物、例えば水銀製錬の排出物としての水銀塩化物、硫酸塩などは水溶性のため河川の汚染源となり得る。最近の研究（大阪鉱山保安監督部、1970; JENSEN, S. & JERNELÖV, A., 1969）によれば自然環境における無機水銀が、泥土中で微生物の作用によりメチル水銀化合物に変化すると報告されており、河川生物にこれが取り入れられる可能性がある。現実の問題として、厚生省の報告（厚生省環境衛生局、1969）によると芳野川の魚類から1~1.8 ppmの水銀濃度が検出され、奈良県民の飲料水利用に当たって芳野川の水質が問題にされている。また芳野川、宇陀川の河川表流水の分析結果は総水銀量

不検出~0.002 ppm 以下（奈良県衛生研究所）

0.00009~0.00029 ppm（神戸大学医学部公衆衛生教室）であり、神戸大学医学部喜田村教授の研究による各種採取試料中における水銀量の1例を挙げると第10表のように微量の有機水銀が検出されている。また当地区河川に生棲する魚介類からも、総水銀量0.15~1.34を認め、0.09~1.01 ppmのメチル水銀を含むことが報告（喜田村正次・他、1970）された。

河川水中の水銀濃度について大西富雄（大西富雄、1965）は九州全域の河川水を調査して、0.00009~0.0007 ppmの水銀量を測定し、無機水銀よりも有機水銀化合物

として存在する割合が高いと述べている。

有機水銀を生産または使用する工場のない当地区で、有機水銀の存在することは、無機水銀が有機化したものと考えらるべきであろう。このことから水銀鉱床とその周辺における水銀存在量の多い当地区では、無機水銀のメチル化現象による河川の有機水銀量について継続的な計測の実施と、無機水銀ならびに有機水銀化合物の測定技術の向上についてなお一層の研究が痛感される。

#### 5. 結 び

大和鉱山の水銀鉱床を含め20余の水銀鉱床、露頭、兆候地が散在する当地区はわが国の主要な水銀鉱床区に挙げられ、潜在鉱床の重要な探査地区に属している。

水銀の鉱化作用および二次分散が及ぼす水銀量ないし汚染度の概要は次のとおりである。

1) 広範な地域における岩石中の総水銀量は半花崗岩、半花崗岩質花崗岩を除き、水銀鉱床の母岩である中粒黒雲母花崗岩、斑状黒雲母花崗岩、黒雲母石英閃緑岩中で平均値が3 ppmを越え、水銀鉱床のない地域の岩石に比べて著しく高い水銀量である。

2) 風化した花崗岩類および土壌中の総水銀量も全般的に一次および二次分散によって、他地域のものより高い値を示し、当地区全体が鉱化作用に基因した自然汚染地域になっている。とくに水銀鉱床に近接した部分、水銀鉱床の生成に関連した熱水変質帯からは、1.6~100 ppmの総水銀が検出された。

3) 河川堆積物においても当地区の各水系の調査結果は他の地域のものより水銀含有量が多く、見田川、平井川、入谷川、黒木川、芳野川、宇陀川など鉱床が開発、採掘された地点、および水銀鉱化作用の影響を強くこうむった地区に接する河川ではとくに高い総水銀値を示している。

4) 当地域でもっとも重要な水銀鉱化帯を横切り、開発された鉱床を控えた芳野川では、辰砂などの供給源に近いため、水銀汚染度は高く、とくに中流域の入谷川合流地と平井川合流点との間が最も濃集し、平均値 7.53 ppm を示した。

5) 各河川堆積物にみられる水銀の挙動、態様は一般に小沢の場合には各川の下流平坦地に水銀濃度が高く、また主要河川では支流との合流地点よりやや下流で高い水銀値を示す傾向がある。また芳野川の河川堆積物中水銀濃度は平井川との合流地より下流区域では、水銀供給地からの距離に比例して減少する傾向が現われ、黒色腐泥土の多い滞流区域からは、18 ppm 以上の異常値が現われている。

以上のように特殊な自然環境と地理的条件のもとで水銀汚染防止の対策はきわめて難しい状態にあるが当面幾つかの措置として、鉱山開発、製錬過程に生ずるズリ、廃石、坑内水、煤煙、廃液などの排出防止処理による水銀の河川流入防止、微生物を培養蓄積する河川底の改修工事等が考えられる。しかし水銀鉱床地域における水銀の分布、態様に関してさらに詳細な地球化学的研究が必要であり、無機水銀が有機化する生成過程の究明は自然汚染の対策に重要な課題を提供しているようである。

文 献

芦沢 峻 (1961) : 微量水銀のジチゾンクロマトグ

ラフ分析法, 分化, vol. 10, no. 5

JENSEN, S. & JERNELÖV, A. (1969): Biological Methylation of Mercury in Aquatic Organisms. *Nature*, vol. 223, p. 753~754.

岸本文男・他 (1963) : 金銀鉱床に対する地化学探査法の研究—大口鉱山における水銀分散例—*鉱山地質*, vol. 13, no. 61

喜田村正次・他 (1970) : 宇陀川水系水銀調査報告, 奈良県水道局

厚生省環境衛生局 (1969) : 昭和43年度水銀による環境汚染調査について, 厚生省公害部編

大西富雄 (1965) : 九州地方河川水中の重金属含量ならびにその存在状態, 工業用水, no. 87

大阪鉱山保安監督部 (1970) : 宇陀川水系における水銀分布に関する地質調査報告書

矢島澄策 (1961) : 水銀鉱床の探査について, *鉱山地質*, vol. 11, no. 45~46

YOSHIZAWA, H. et al. (1966): The Ryoke Metamorphic Zone of the Kinki District, Southwest Japan. *Memoirs College Science, Kyoto Univ. Series B*, vol. 32, no. 4, Art. 11.

若林純一・矢吹丈輔 (1967) : 大和水銀鉱山における鉱床と裂カとの関係について, *鉱山地質*, vol. 17, no. 82~83