

第III部 結論及び提言

第1章 結 論

1-1 地質鉱床

本地域の地質は、主として基盤の複合岩類 (pCCcb) 及び緑色岩類を含むグリーンストーン (pCCps, pCCsj, pCCag, pCCsjo), 古期花崗岩類 (pCCG), 新期花崗岩類 (pCC) からなる (Fig.II-3-2, PlateII-3-1~PlateII-3-4)。基盤の複合岩類は、片麻岩、片岩類、ミグマタイト、角閃岩等から成る。

花崗岩類は、pCCG 及び pCC 共に、中粒~粗粒で等粒状の角閃石-黒雲母花崗閃緑岩、中粒で斑状の角閃石-黒雲母花崗閃緑岩、中粒~粗粒の優白質花崗岩から成る。後者が多少不均質である。それぞれ、部分的にマイロナイト化を被り、面構造が認められる。年代測定の結果、pCC は Mal Abrigo (12 億年) を除いて約 17~20 億年の年代値を示し、既存資料にある Transamazonian (トランスアマゾン) 造山運動に関連したものと一致する。一方、pCCG の代表としての Mahoma (マホマ) 鉱山の母岩 (閃緑岩~花崗閃緑岩) は約 20 億年を示し、既存資料の 22 億年以前の年代値に比べて、鉱化変質によると考えられる若返りが推定される。

グリーンストーンのうち、調査地域の主体を成すサンホセ地域主要地区は、弱変成作用を被った中~東部の Paso Severino 層 (pCCps) 及び比較的高度の変成作用を被った西~南部の San Jose 層 (pCCsjo) から成る。サンホセ地域西部地区の Cerros de San Juan 層 (pCCsj) は弱変成作用を受けている。北部のアロジョグランデ地域の Arroyo Grande 層 (pCCag) は、弱~中程度の変成作用を被っている。

グリーンストーンは変火山岩類及び変堆積岩類からなる。変火山岩類は、塩基性の変玄武岩や緑色片岩を主体とし、角閃岩、酸性の変流紋岩を伴う。変堆積岩類は、石英片岩、珪岩、変砂岩、スレート~千枚岩から成る。San Jose 層 及び Arroyo Grande 層にはこれらのほかに片麻岩を、また、Cerros de San Juan 層には石灰岩及びドロマイトを僅かに挟在する。

現地調査の結果、石英脈が発達する箇所は、次の 13 箇所である (Fig.II-3-7)。それぞれの記載は、Tab.I-5-1 に示した。

① サンホセ地域主要地区 (10 箇所)

A: マホマ鉱山周辺 (東西 20km×南北 15km), B: Nueva Helvecia (地域西端部: 10km×18km), C: Arroy del Medio (6km×15km), D: Canada de Cabrera (8km×4km), E: Arroyo Charruzo (10km×12km), F: Tala I (3km×4km),

G: Tala II (9km×14km) , H: West of 25 de Mayo (6km×8km) , I: South of 25 de Mayo (10km×10km) , J: San Ramon (地域東端部 : 10km×5km)

② サンホセ地域西部 (1箇所)

K: San Carlos (21km×13km)

③ アロジョグランデ地域 (2箇所)

L: Rio Negro I (10km×15km) , M: Rio Negro II (25km×10km)

含金石英脈は、基盤岩類 (pCCcb) , 古期花崗岩類 (pCCG) , グリーンストーン (pCCps, pCCsj, pCCag, pCCsjo) に発達する。

母岩の変質については、石英脈の脈際の母岩中には、花崗岩類、グリーンストーンベル共に肉眼的には珪化、緑泥石化及び緑レン石化が認められる。X線回折の結果、石英脈脈際から外側に向かって、石英-セリサイト-(黄鉄鉱)帯、緑泥石-緑レン石-(アルバイト)帯の帯状分布が確認された。

石英脈の脈幅は、基盤岩類、グリーンストーン及び古期花崗岩類中では数m~数10mに達するが、新期花崗岩類 (pCC) 中では数mm~数cmと極端に劣化する。pCCは、金の鉱化に関与していたものと考えられており、同岩体の周辺部の被貫入岩類では石英脈が発達しているが、直接の関連火成岩類としての地質情報は得られてはいない。一連の鉱化を前提とすると、pCC中の石英脈の脈幅が小さくなる原因として以下のことが推定される。

- ・pCCGに比べて岩質が不均質である。
- ・ダクティリティが大きかったため、流動変形とり大きな割れ目が形成されにくい。逆に、ダクティリティが小さすぎたため、脆性変形となり、適度の脈幅を有するフラクチャーを形成するには至らなかった。

石英脈の卓越する方向はNE-SW~E-W系及びNW-SE系であり、前者は本地域で卓越する左横ズレを示す大規模な破碎帯とほぼ調和的である。一方、後者のNW-SE系はその雁行配列から右横ズレのセンスが予想され、同じセンスの断層も発達することから、両者は共役な関係にある可能性が考えられる。

石英脈及び鉱床母岩の鉱石研磨片観察結果によれば、石英脈中には少量の褐鉄鉱、一部のごく微量の黄鉄鉱以外の鉱石鉱物はほとんど認められなかった。グリーンストーン及び一部の石英脈に微量の黄鉄鉱-(黄銅鉱) 鉱染が認められた。

鉱石分析の結果、Auの最大値が19,890ppbを確認した。石英脈の脈質は、①乳白色の半透明石英、②無色~白色透明な石英及び③暗灰色透明石英に分類される。石英脈内部に局部

的に認められる帯状分布やその産状から、①、②、③の順に新しくなる関係が推定される。流体包有物測定の結果、均質化温度は最大 447.7℃、最低 85.6℃を示した。均質化温度のピークは 300℃、250℃、200～150℃の 3 つがあり、それぞれ乳白色半透明石英、無色～白色透明石英、暗灰色透明石英に対応する傾向が認められる。塩濃度は 4.2～35%を示し、高い圧力下で生じたものと、低い圧力下で生じたものが混在していることがわかる。

Au の鉍化と石英の脈質との関係について、鉍化帯ごとの差異はなく、一般に無色～白色透明石英、暗灰色透明石英に伴われる場合が多いようである。上記の脈質のほかに、黒色を呈し同定が困難な粘土鉍物（フィロ珪酸塩）を含有する石英も存在するので、Au を伴う鉍化ステージの検討には、より詳細な分析が必要である。

1-2 地化学探査

(1) 土壤地化学探査

河川堆積物が風化土壌化した試料 2,021 件を対象に、Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Co, Cu, Ga, Fe, La, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Sc, Ag, Na, Sr, S, Tl, Ti, W, U, V, Zn, Au の 34 元素について、化学分析を行った。分析結果を統計処理し、基本統計量を求め、単変量解析及び多変量解析を行った。

単変量解析の結果、Au 異常帯が鉍化帯 H, L に抽出された。また、As 異常帯が鉍化帯 B, E, G, G 北方, H, I, K 東方 L 及び M に抽出された。

多変量解析（因子分析）の結果、Au 鉍化作用に関連すると考えられる因子、苦鉄質岩や花崗岩類等の岩石特性に関連すると考えられる因子が抽出された。

Factor1: Co,Cr,Cu,Fe,Mg,Ni

Factor2: Ga,Al,Fe,K,Li,Pb,Y,Zn

Factor3: Ca,Na,Sr

Factor4: Au,As,K,V

地化学異常と鉍化帯との関係を検討すると、Au, As, Factor4 が重複する箇所は、鉍化帯 A, B, E, G, H 及び L となる。

(2) 岩石地化学探査

石英脈や鉍床母岩、607 件を対象に、Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Hg の 8 元素について、化学分析を行った。

Au の分析の結果、石英脈中では最大値 19,890ppb からなる比較的高品位鉍石を含む 23 件、塩基性変火山岩類、花崗岩類等の岩石中に含有される比較的低品位鉍石を含む 18 件を、異常値として抽出した。塩基性火山岩類中の石英脈は 19,890ppb～5ppb、花崗岩類中の石英脈は 5,370ppb～37ppm、その他の岩石中の石英脈は 562ppb～14ppb であった。鉍床母岩では、塩基性変火山岩類が 37ppb～5ppb、花崗岩類が 291ppb～9ppb、その他の岩石が 354ppb～9ppb であった。

単変量解析結果、Au 異常帯は、マホマ鉍山周辺の鉍化帯 A のほかに、鉍化帯 B,E,G,J,K,L,M に抽出された。因子分析の結果、岩石特性や Au 鉍化作用に関連した因子が抽出された。

Factor1: Cu,Zn,As

Factor2: Au,Ag

Factor3: Pb,Zn

地化学異常と鉍化帯との関係を検討すると、Au, As, Factor2 が重複する箇所は、鉍化帯 A, E, G, H, K 及び L となる。

1-3 鉍床賦存のポテンシャル

鉍床には断裂系に伴う構造規制が認められること、複数の鉍化ステージが存在すること、岩石の種類と Au の含有量との間に関係が認められないこと、関係火成岩が特定しにくいこと等から、破碎帯に関連した含金石英脈鉍床が期待される。つまり、共役なセットとしての NE-SW～E-W 系及び NW-SE 系の断裂帯に沿って、Au を含有する鉍化流体が上昇し、ある酸化還元条件で Au が沈殿した可能性が考えられる。

岩石地化学探査結果から、マホマ鉍山を含む鉍化帯 A の石英脈中に特に高い Au 含有量が得られた。このほか、鉍化帯 B, E, G, J, K, L, M にも地化学異常が抽出された。土壌分析結果から、鉍化帯 A, B, E, H, L 中の試料に Au,As 異常を示す試料が多い。各鉍化帯の産状、規模等の地質的記載、室内試験・分析結果、総合的な評価について Tab.I-5-1 にまとめた。各鉍化帯の位置を Au 異常とともに地質図上に示した (Fig.I-5-1)。

その結果、鉍化帯 A では剪断帯に沿った Au の地化学異常が抽出されている。また、鉍化帯 B, E, K 及び L においても剪断帯の近傍に Au の地化学異常が抽出されている。したがって、このことから剪断帯に沿った金鉍床の賦存する可能性が十分考えられる。

第2章 第2年次調査への提言

上記の対象範囲のうち、土壌及び岩石分析の結果抽出された地化学異常域や、各種試験の結果得られたデータを総合的に解析し、最終的に抽出された鉱床賦存の可能性のある有望地区を、赤枠で示した (Fig.I-5-1)。これらの有望地区に対して、次の探査手法が有効であると考えられる。また、Tab.I-5-1 には、総合評価に A~D の優先順位と探査手法を示してある。

- ①マホマ鉱山周辺を含む鉱化帯 A：地質精査・岩石地化学探査，精密土壌地化学探査
- ②鉱化帯 H~G：地質精査・岩石地化学探査，精密土壌地化学探査
- ③鉱化帯 L~M の一部：地質精査・岩石地化学探査，精密土壌地化学探査
- ④鉱化帯 B：地質精査，精密土壌地化学探査
- ⑤鉱化帯 E：地質精査，精密土壌地化学探査

探査手法の詳細は以下の通りである。

- ①地質精査・岩石地化学探査（露頭状況が悪い箇所では、トレンチ開削による石英脈追跡調査を含む）
- ②精密土壌地化探（10 件/km²：河川沿いは比較的植生が繁茂しているため、グリッドサンプリングに比べてランダムサンプリングが効率的）

初年度の調査は限られた露頭データに基づくものであり、潜頭性の鉱化帯や鉱化規制構造を把握する目的で、空中物理探査により広域調査を実施する必要がある。また、マホマ鉱山南西方へもポテンシャルが広がっており、約 100km² の地域に対して、河川沿いの風化土壌を対象に地化学探査の実施を提案する。

参 考 文 献

参考文献

1. 地質・鉱業関係

American Resource Corporation (ARC), Corporation Report(1992, Feb)

ARCHEAN CRUSTAL EVOLUTIOND evelopments in Precambrian Geologyll, (Edited by K.C. Condie) 1994 ELSEVIER

CARTA GEOLOGIA DEL URUGAY A ESCALE 1:500,000 (ウルグアイ国地質図) 1985.

CARTA GEOLOGIA DEL URUGAY A ESCALE (1:10,000) Puntas del Yerbal

CARTA GEOLOGIA DEL URUGAY A ESCALE (1:10,000) Fuente del Puma

CONTRIBUCUONES A LA GEOLOGIA DEL URUGUAY No.3

CONTRIBUCUONES A LA GEOLOGIA DEL URUGUAY No.4

CONTRIBUCUONES A LA GEOLOGIA DEL URUGUAY No.5

CONTRIBUCUONES A LA GEOLOGIA DEL URUGUAY No.9

Correlation of Uranium Geology Between South America and Africa Technnical Reports Series No.270, IAEA 1986

Cristallex International Corp. H.P. cristallex.com

DINAMIGE (ウルグアイ, 工業エネルギー鉱山省, 国家鉱山地質局) H.P.

INVENTARO MINERO DEL URUGUAY, RESULTADOS DE LA PROSPECCION GEOQUIMICA DEL POTOPLANO FLORIDA (BRGM, 1982)

Geological Comparison of Precambrian and Early Paleozoic Terrains Between the Southern West Coast of Africa and The South-East coast of South America By A. Bernasconi. Precambrian Research, 23(1983)9-31, Elsevier Science Publishers.

INDICADORES GENERALES DEL URGUAURUGUAY-ANUARIO ESTADISTICCC 1999.

Law of Environmental Protection No.16. 466

Law of Forest No.15. 939

LAW MINING CPDE (ウルグアイ国鉱業法) 1982

MAPA DE INTEGRACION GEOLOGIA DE LA CUENCA DEL PLATA Y AREAS ADYACENTES (メルコスール編纂地質図 1:2,500,000)

MineSearch mrtalseconomics.com

Ore Deposit Models by R.G. Roberts and PA Sheahan. Geoscience Canada 1988, Mining Journal Vol.329, No.8455, November 1997

Reglamentario de Evaluation del Impacto Ambiental No.435/994

Santa Fe Pacific Gold Corporation. Report, Uruguay Portfolio(1995,Oct.)

Uruguay Goldfield Inc. Project Profile (1995)

Uruguay Gold Fields Inc., H.P. uruguaygoldfields. Com

2. 一般概要・その他

外務省H. P. 各国・地域事情と日本の関係, ウルグアイ東方共和国

在ウルグアイ日本大使館 ウルグアイ事情

外務省H. P. 海外安全情報(国・地域別海外安全情報)ウルグアイ東方共和国

国際協力事業団H. P. 任国情報「ウルグアイ東方共和国」

圖表一覽

List of figures

| | |
|---|-------|
| Fig.1 Location map of the project area | |
| Fig.I-3-1 Major tectonic features of South America and Africa | 11 |
| Fig.I-3-2 Geological map of Uruguay | 13 |
| Fig.I-3-3 Main promising areas | 15 |
| Fig.I-3-4 Location map of geology and geochemical survey areas | 17 |
| Fig.I-5-1 Survey results and recommendation for future survey | 29 |
| Fig.II-2-1 Coverage map of satellite imagery | 43 |
| Fig.II-2-2 Digital mosaic of JERS-1/SAR imagery | 45 |
| Fig.II-2-3 Digital mosaic of LANDSAT/TM imagery | 47 |
| Fig.II-2-4 Band ratio imagery of LANDSAT/TM data | 49 |
| Fig.II-2-5 Geologic interpretation map | 51 |
| Fig.II-2-6 Lineament extraction and its density map | 53 |
| Fig.II-2-7 Interpretation map of satellite imagery | 55 |
| Fig.II-3-1 Location of the area for geological survey | 71 |
| Fig.II-3-2 Geological map | 73 |
| Fig.II-3-3 Schematic stratigraphic column of the San Jose are | 75 |
| Fig.II-3-4 Schematic stratigraphic column of the Arroyo Grande are | 76 |
| Fig.II-3-5 TAS diagram for granitic rocks | 77 |
| Fig.II-3-6 Harker variation diagrams for granitic rocks | 78 |
| Fig.II-3-7 Location map of the quartz vein zones with location of geochemical rock samples | 79 |
| Fig.II-3-8(1)(2) Histogram of fluid inclusions of quartz veins | 81~82 |
| Fig.II-3-9 Geological sketch of quartz vein of the Mahoma mine | 83 |
| Fig.II-4-1 Schematic cross section of fluvial system showing the sampling horizon for soil geochemical survey | 101 |
| Fig.II-4-2 Location map of soil samples | 103 |
| Fig.II-4-3(1)-(9) Histogram, EDA and cumulative frequency of each element of soil samples | 105 |

| | |
|---|-----|
| Fig.II-4-4 Distribution map of Au anomalies of soil samples | 115 |
| Fig.II-4-5 Distribution map of As anomalies of soil samples | 117 |
| Fig.II-4-6 Distribution map of Cu anomalies of soil samples | 119 |
| Fig.II-4-7 Distribution map of Pb anomalies of soil samples | 121 |
| Fig.II-4-8 Distribution map of Zn anomalies of soil samples | 123 |
| Fig.II-4-9 Dendrogram of cluster analysis of soil samples | 125 |
| Fig.II-4-10 Factor score diagram of Factor 1 to Factor 4 | 126 |
| Fig.II-4-11 Distribution map of factor1 scores of soil samples | 127 |
| Fig.II-4-12 Distribution map of factor2 scores of soil samples | 129 |
| Fig.II-4-13 Distribution map of factor3 scores of soil samples | 131 |
| Fig.II-4-14 Distribution map of factor4 scores of soil samples | 133 |
| Fig.II-5-1(1)-(2) Histogram, EDA and cumulative frequency of each element of rock samples | 145 |
| Fig.II-5-2 Distribution map of Au anomalies of rock samples | 147 |
| Fig.II-5-3 Distribution map of As anomalies of rock samples | 149 |
| Fig.II-5-4 Distribution map of Cu anomalies of rock samples | 151 |
| Fig.II-5-5 Distribution map of Pb anomalies of rock samples | 153 |
| Fig.II-5-6 Distribution map of Zn anomalies of rock samples | 155 |
| Fig.II-5-7 Dendrogram of cluster analysis of rock samples | 157 |
| Fig.II-5-8 Factor score diagram of Factor 1 to Factor 3 | 158 |
| Fig.II-5-9 Distribution map of factor1 scores of rock samples | 159 |
| Fig.II-5-10 Distribution map of factor2 scores of rock samples | 161 |
| Fig.II-5-11 Distribution map of factor3 scores of rock samples | 163 |

List of tables

| | |
|--|----|
| Tab.I-1-1 Summary of work amounts | 4 |
| Tab.I-1-2 Work amounts of laboratorial studies | 4 |
| Tab.I-3-1 List of mineral showings | 19 |

| | |
|--|-----|
| Tab.I-5-1 Survey results and evaluation of mineral showings | 31 |
| Tab.II-2-1 Image data used | 57 |
| Tab.II-2-2 Image products | 58 |
| Tab.II-2-3 Geologic interpretation chart | 59 |
| Tab.II-3-1(1)-(4) Descriptions of thin sections | 84 |
| Tab.II-3-2(1)(2) Results of whole rock analysis | 88 |
| Tab.II-3-3(1)(2) Results of radiometric dating | 90 |
| Tab.II-3-4(1)(2) Results of X-ray diffractive analysis | 91 |
| Tab.II-3-5(1)(2) Description of polished sections | 93 |
| Tab.II-3-6 Homogenization temperature and salinity of fluid inclusions | 95 |
| Tab.II-4-1 Statistics of soil geochemical data | 135 |
| Tab.II-4-2 Correlation coefficient of each sample of soil geochemical data | 137 |
| Tab.II-4-3 Results of the EDA analysis of soil geochemical data | 139 |
| Tab.II-4-4 Results of factor analysis of soil geochemical data | 140 |
| Tab.II-5-1 Statistics of rock geochemical data | 165 |
| Tab.II-5-2 Correlation coefficient of each sample of rock geochemical data | 165 |
| Tab.II-5-3 Results of the EDA analysis of rock geochemical data | 165 |
| Tab.II-5-4 Assay results of rock geochemical samples | 166 |
| Tab.II-5-5 Results of factor analysis of rock geochemical data | 167 |

List of appendix

| | |
|---|-------|
| Appendix 1 Basic data of fluid inclusion | A-1 |
| Appendix 2 List of soil samples | A-9 |
| Appendix 3 List of soil geochemical samples | A-43 |
| Appendix 4 List of rock geochemical samples | A-123 |

List of plates

Plate II-3-1 Geological Map and Geologic Profile with Location of Rock Samples of the Main Part of the San Jose Area(WEST)

Plate II-3-2 Geological Map and Geologic Profile with Location of Rock Samples of the Main Part of the San Jose Area(EAST)

Plate II-3-3 Geological Map and Geologic Profile with Location of Rock Samples of the Western Part of the San Jose Area

Plate II-3-4 Geological Map and Geologic Profile with Location of Rock Samples of the Arroyo Grande Area