

アルゼンティン共和国 南部アンデス地域
資源開発協力基礎調査報告書

最終報告書

平成 13 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

は し が き

日本国政府はアルゼンティン共和国政府の要請に応え、同国のメンドーサ州、ネウケン州、リオネグロ州、チュプト州にわたるチリ共和国との国境沿いに位置する南部アンデス地域の非鉄鉱物資源賦存の可能性を確認するための衛星画像解析、地質調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質および鉱物資源の調査という専門分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は、平成11年度より2年間の予定で開始され、平成12年度が最終年次にあたる。金属鉱業事業団は6名の調査団を編成して平成12年11月13日から平成12年12月23日まで現地に派遣した。現地調査はアルゼンティン政府機関、経済省、エネルギー・鉱業庁の協力を得て予定どおり完了した。本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめ、かつ2年間の結果をとりまとめた最終報告書である。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたアルゼンティン共和国政府機関ならびに外務省、経済産業省、在アルゼンティン日本大使館および関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

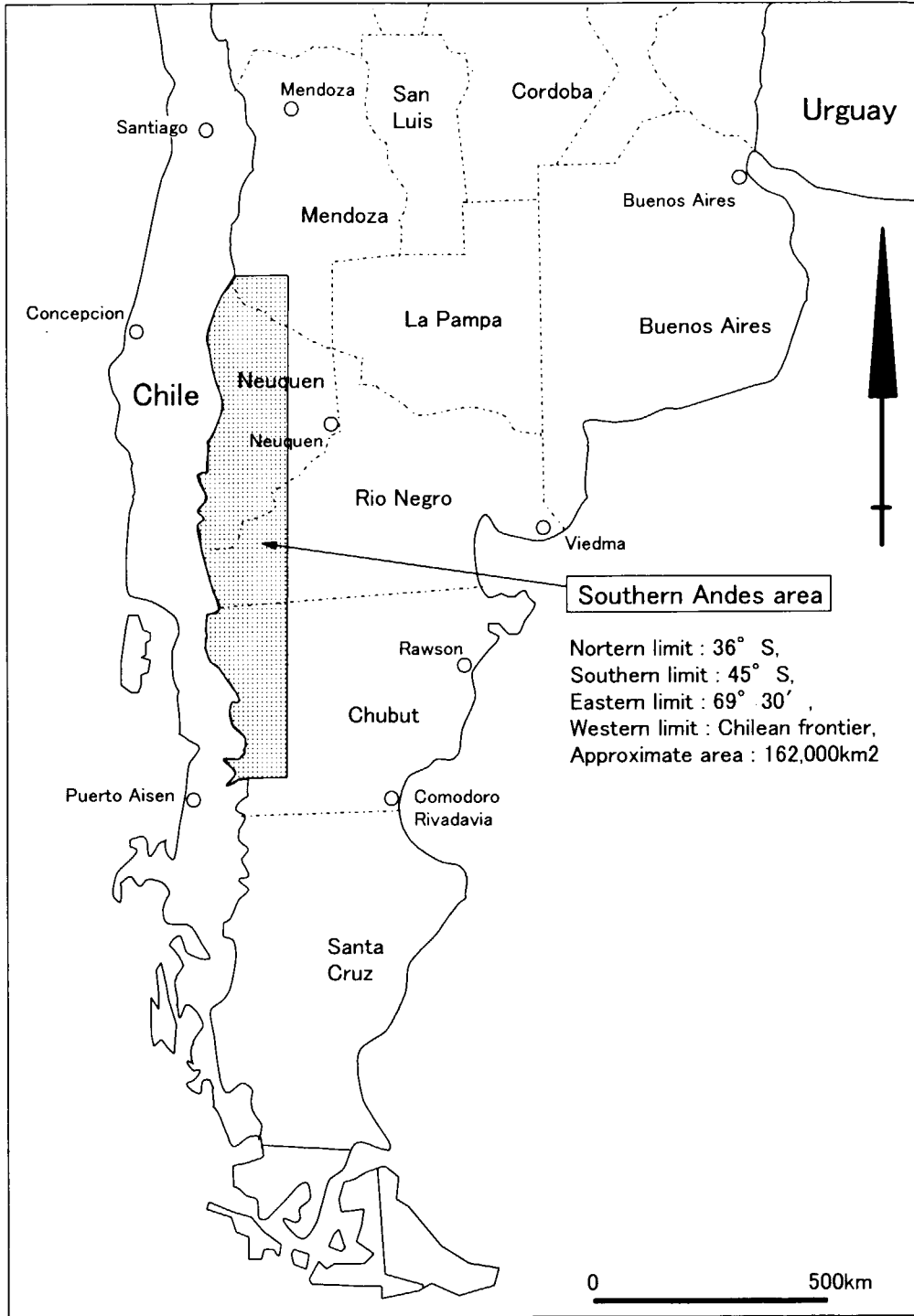
平成13年3月

国際協力事業団

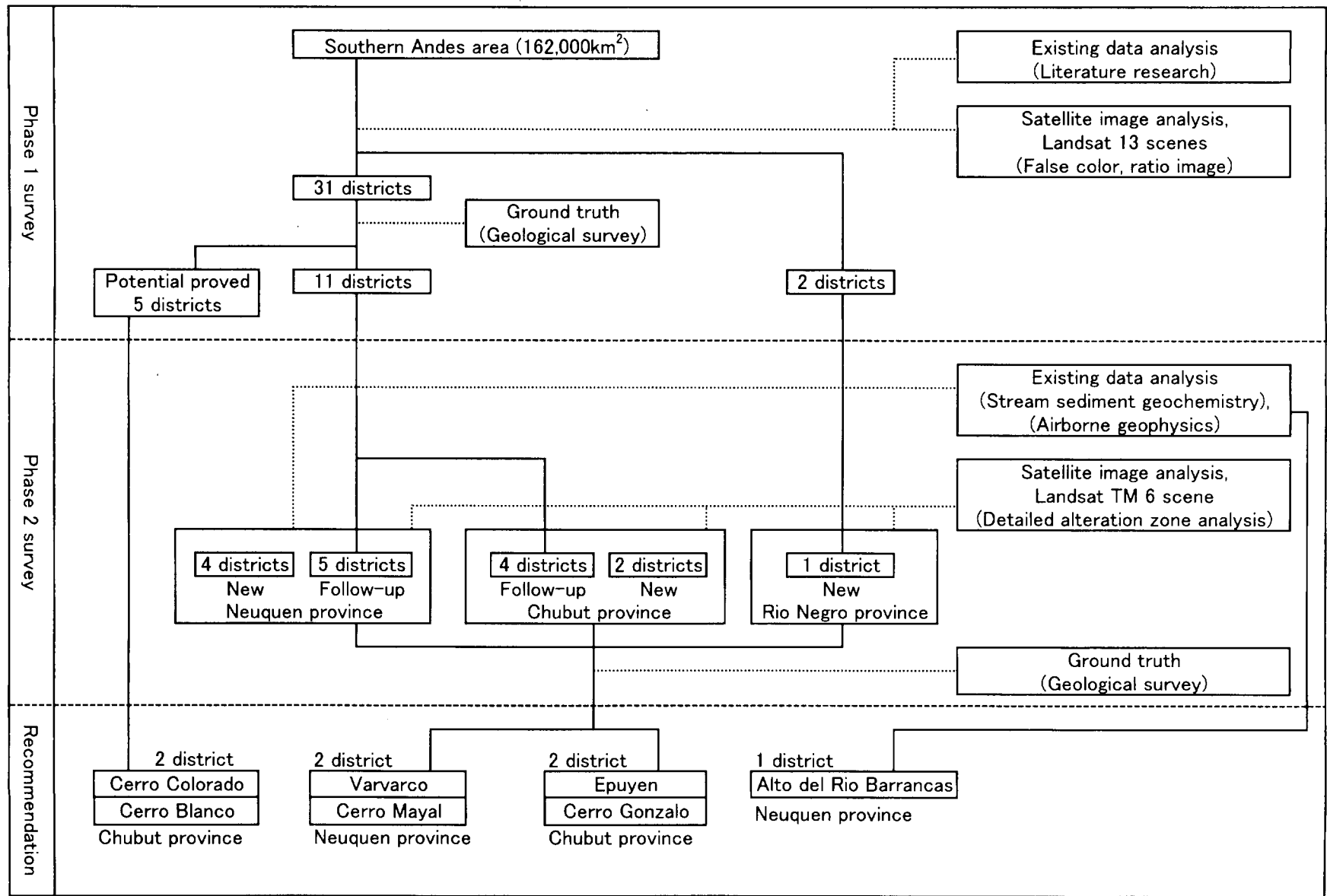
総 裁 齊藤 邦彦

金属鉱業事業団

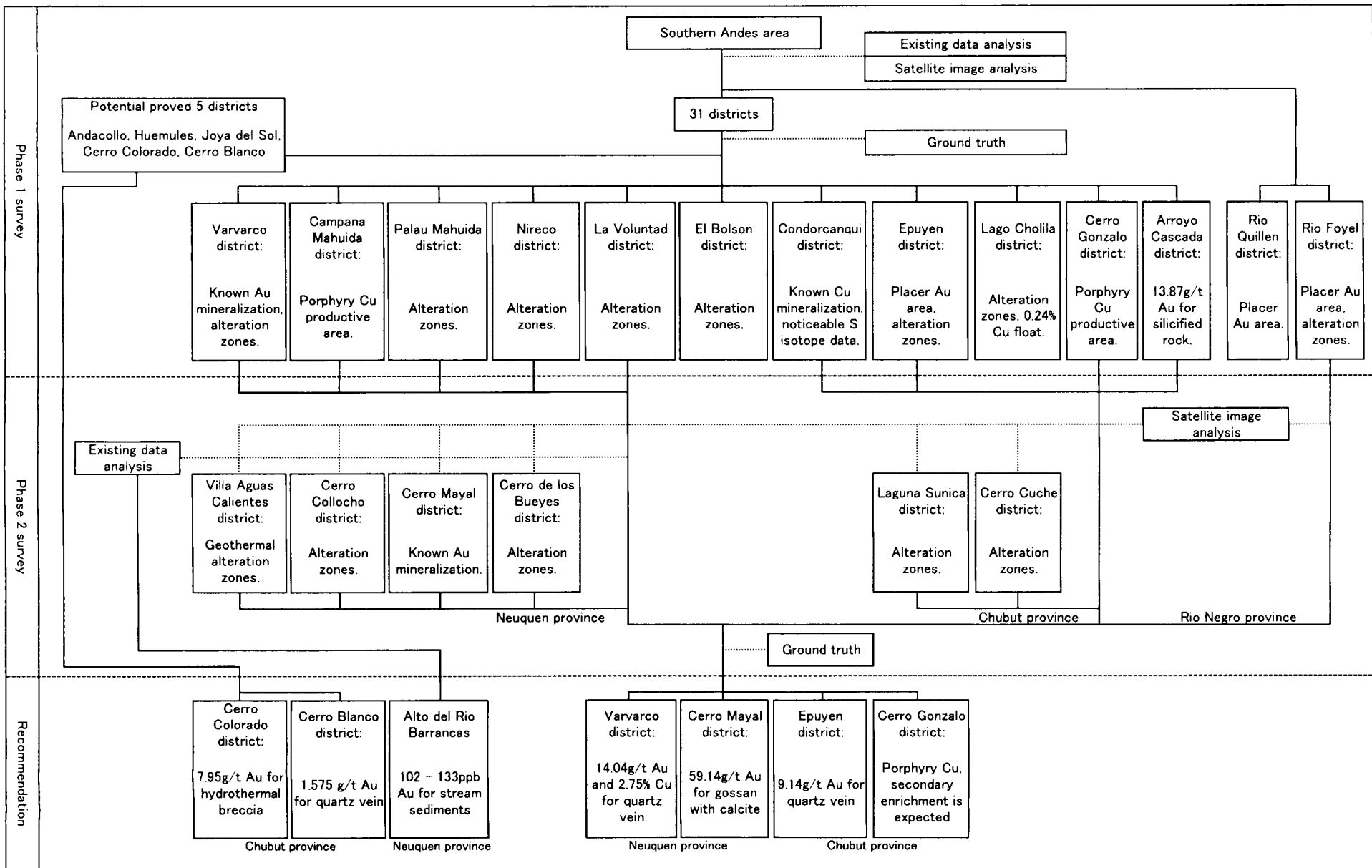
理事長 田代 直弘



Location map of the Southern Andes area, the Argentine Republic.



Flow chart of sequence of the survey.



Flow chart on process of the selection of promising districts.

要 約

南部アンデス地域は、アルゼンティン共和国の南西部の国境沿いに位置し、北限を南緯 36°、南限を南緯 45°、東限を西経 69° 30′、西限をチリとの国境とし、面積は 162,000km²である。本調査は非鉄金属鉱物資源のポテンシャルを評価するとともに有望地区を選定し、次段階の探査への指針を与えることを目的としており、2 ヶ年にわたり既存データ解析、衛星画像解析、グラントルースが実施された。本地域の地質は原生代の変成岩類を基盤とし、古生代後期の Patagonia 帯の衝突、ジュラ紀の伸長応力場、白亜紀から現世にわたるアンデス造山運動に関連する火山岩類および深成岩類と、各種堆積岩類から構成される。

既存データ解析の文献調査では、各種鉱床のうち経済的に価値の高い、金および含金多金属脈鉱床、高硫化系金鉱床、斑岩銅鉱床が探査の対象として重要であると考えられる。これら鉱床は白亜紀後期～古第三紀暁新世の火山噴出を伴わない貫入岩の活動に関連して生成した可能性が高い。これは火山噴出によってマグマから揮発成分が逸散しなかったために、マグマの鉱化能力が高かったためと考えられる。また、沢砂地化探データの解析結果として、Alto del Rio Barrancas 地区に Au の地化学異常の存在が把握された。

衛星画像解析では、リニアメントに関する系統的な解析は困難と判断されたが、鉱化作用には熱水活動とその熱水の通路となった断裂の存在が不可欠であることから、断裂に沿った熱水変質帯という観点で、リニアメント上もしくはリニアメント近傍に分布する変質帯が重要であると考えられる。

グラントルースでは、第 1 年次の調査結果として、Andacollo, Huemules, Joya del Sol, Cerro Colorado, Cerro Blanco の 5 地区について既にポテンシャルの高さが証明されていると判断した。Andacollo 地区では既に含金多金属脈鉱床の採掘が行われている。Huemules 地区の含金多金属脈鉱床と Joya del Sol 地区の含金石英脈鉱床については Feasibility Study が実施されている。Cerro Colorado 地区の高硫化系金鉱床と Cerro Blanco 地区の含金多金属脈鉱床については有望鉱徴が把握されているものの、まだ精査段階に達していない。第 2 年次の調査結果としては、Varvarco, Cerro Mayal, Epuyen, Cerro Gonzalo の 4 地区が有望であると考えられる。Varvarco 地区では黄銅鉱と孔雀石を伴う石英脈に 14.04g/t Au, 524g/t Ag, 2.75% Cu, 2.69% Pb の分析結果が得られた。Cerro Mayal 地区では褐鉄鉱化した方解石細脈に 59.14g/t Au, 3.4g/t Ag の分析結果が得られた。Epuyen 地区では石英脈に 9.14g/t Au, 12.4g/t Ag の分析結果が得られた。Cerro Gonzalo 地区の Arroyo Luque 斑岩銅鉱床では下部に二次富化帯の存在が期待される。

よって、グラントルースの調査結果として有望地区と選定されるのは Varvarco, Cerro Mayal, Epuyen, Cerro Gonzalo, Cerro Colorado, Cerro Blanco の 6 地区であり、今後は地質調査、地化学探査、物理探査の精査を行ったうえで、試錐調査を実施することが望まれる。また、既存データ解析の沢砂地化探データの解析結果として有望地区と選定されるのは Alto del Rio Barrancas 地区であり、今後は地質調査、岩石・土壌を媒体とした地化学探査の概査を実施することが望まれる。

目次

はしがき	
調査地域位置図	
調査フローチャート	
有望地区選定フローチャート	
要約	
目次	
図表一覧	

第I部 総論

第1章 序論	1
1-1 調査実施の経緯	1
1-2 調査の概要	1
1-2-1 調査の目的	1
1-2-2 調査地域	3
1-2-3 調査方法	3
1-2-4 調査団の編成	5
1-2-5 調査期間および調査量	6
第2章 調査地域の地理	8
2-1 位置・交通	8
2-2 地形・水系	9
2-3 気候	9
2-4 植生	10
第3章 調査地域の地質、鉱床および鉱業事情	10
3-1 地質概要	10
3-1-1 アルゼンティンの地質の概要	10
3-1-2 調査地域の地質の概要	13
3-2 鉱床・鉱徴地概要	24
3-3 最近の鉱業事情	28

第4章 調査結果の総合検討	34
4-1 既存データ解析	34
4-2 衛星画像解析	34
4-3 グラントルース	34
4-4 地質構造、鉍化作用の特性と鉍化規制	35
4-5 鉍床賦存ポテンシャルと有望地区の選定	36
第5章 結論および提言	37
5-1 結論	37
5-2 今後の調査への提言	40

第Ⅱ部 各論

第1章 既存データ解析	43
1-1 既存データ収集対象機関	43
1-2 文献調査	43
1-3 空中物理探査	56
1-3-1 調査概要および使用データ	56
1-3-2 データ解釈結果	58
1-3-3 まとめ	75
1-4 沢砂地化学探査	76
1-4-1 経緯	76
1-4-2 試料	77
1-4-3 分析法・分析成分・検出限界	78
1-4-4 評価	78
第2章 衛星画像解析	88
2-1 フォールスカラー画像および比演算画像解析	88
2-1-1 使用データ	88
2-1-2 画像処理・作成方法	90
2-1-3 画像判読・解析結果	95
2-2 変質帯精密解析	105
2-2-1 使用データ	105
2-2-2 画像処理・作成方法	106
2-2-3 画像判読・解析結果	133

第3章 グランドトルース	150
3-1 調査対象地区および選定理由	150
3-2 各地区調査結果	172
3-2-1 Villa Aguas Calientes 地区	172
3-2-2 Varvarco 地区	179
3-2-3 Cerro Collocho 地区	187
3-2-4 Butalon Norte 地区	193
3-2-5 Andacollo 地区	194
3-2-6 Cerro Mayal 地区	195
3-2-7 Cerro Caicayen 地区	201
3-2-8 Cerro del Diablo 地区	202
3-2-9 Cerro de los Bueyes 地区	203
3-2-10 Campana Mahuida 地区	210
3-2-11 Palau Mahuida 地区	222
3-2-12 Carreri Malal 地区	230
3-2-13 Nireco 地区	231
3-2-14 La Voluntad 地区	237
3-2-15 Rio Foyel 地区	239
3-2-16 Mina Maria 地区	246
3-2-17 El Bolson 地区	247
3-2-18 Cerro Coihue 地区	248
3-2-19 Condorcanqui 地区	249
3-2-20 Cushamen 地区	258
3-2-21 Epuyen 地区	259
3-2-22 Lago Cholila 地区	264
3-2-23 Huemules 地区	265
3-2-24 Joya del Sol 地区	266
3-2-25 Laguna Sunica 地区	268
3-2-26 Cerro Gonzalo 地区	271
3-2-27 Arroyo Cascada 地区	280
3-2-28 Cerro Cucho 地区	287
3-2-29 Gabros de Tecka 地区	291
3-2-30 Pozo de Navarro 地区	292
3-2-31 Las Mentas 地区	293
3-2-32 Poncho Moro 地区	294
3-2-33 Cerro Colorado 地区	295
3-2-34 Estrella Gaucha 地区	296

3-2-35	Mina Gato 地区	297
3-2-36	Eastacion Arroyo Victoria 地区	298
3-2-37	Ferrocarrilera 地区	299
3-2-38	Cerro Blanco 地区	301
第4章	考察	303
4-1	地質構造および鉱化作用の特性と鉱化規制	303
4-1-1	既存データ解析結果の考察	303
4-1-2	衛星画像解析結果の考察	307
4-1-3	グラントルース結果の考察	308
4-2	有望地区の選定	314

第Ⅲ部 結論および提言

第1章	結論	323
第2章	今後の調査への提言	326
参考文献		332

巻末資料

<Figures>

Preface	Location map of the Southern Andes area.
Preface	Flow chart of sequence of the survey.
Preface	Flow chart on process of the selection of promising districts.
Fig. I-1-1	Location map of the past projects.
Fig. I-1-2	Geographic map of the survey area.
Fig. I-2-1	Data of climate of the survey area.
Fig. I-3-1	Accretionary terranes of the southern region of South America.
Fig. I-3-2	Geological map of the survey area.
Fig. I-3-3	Legend of geological map of the survey area.
Fig. I-3-4	Distribution of major known mineral occurrences in the Provinces of Mendoza, Neuquen, La Pampa, Rio Negro and Chubut where almost of them belong to the Patagonia terrane of Fig. I-3-1.
Fig. I-3-5	Distribution of all known mineral occurrences in the survey area.
Fig. II-1-2-1	Compilatory result of the existing data analysis.
Fig. II-1-3-1	Location of the airborne geophysical survey.
Fig. II-1-3-2	Total Magnetic Intensity image.
Fig. II-1-3-3	Total Magnetic Intensity (Reduced to the Pole) image.
Fig. II-1-3-4	Radiometric image (K).
Fig. II-1-3-5	Digital Terrain Model image.
Fig. II-1-3-6	Interpretation map of the LANDSAT TM data analysis.
Fig. II-1-3-7	Interpretation map of the airborne geophysics.
Fig. II-1-4-1	Sampling area of stream sediments for Plan Cordillerano project in Neuquen Province.
Fig. II-1-4-2	Sampling area of soil and rocks in Chubut province.
Fig. II-1-4-3	Distribution of Au (ppb) content in stream sediments, Plan Cordillerano project.
Fig. II-1-4-4	Distribution of Cu (ppm) content in stream sediments, Plan Cordillerano project.
Fig. II-2-1	Index map of 13 scenes of LANDSAT TM image over the survey area.
Fig. II-2-2	Stratigraphic correlation among the survey areas based on the interpretation maps.
Fig. II-2-3	Compiled photogeologic interpretation map of the survey area.
Fig. II-2-4	Cumulative curve of DN of LANDSAT TM data (P232/R085).
Fig. II-2-5	Dispersion diagrams of DN between two bands of LANDSAT TM data.

- Fig. II-2-6 Dispersion diagrams of DN between two bands of LANDSAT TM data after removing effects of cloud, snow and water.
- Fig. II-2-7 Dispersion diagram of DN between Band 3 and Band 4 of LANDSAT TM data for removing effects of vegetation.
- Fig. II-2-8 Frequency distribution of ratio value of LANDSAT TM data (P232/R087).
- Fig. II-2-9 Dispersion diagrams of reflectance of soil and weathered rock between two bands.
- Fig. II-2-10 Dispersion diagrams of DN between two bands of LANDSAT TM data after removing effects of cloud, snow, water and vegetation.
- Fig. II-2-11 Spectral pattern of six minerals of Index 1 and Index 2.
- Fig. II-2-12 Spectral pattern of mixed phase of two minerals of Index and Index 2.
- Fig. II-2-13 Examples of result on the pattern matching between reflectance of the iso-grain model and LANDSAT TM data.
- Fig. II-2-14a LANDSAT TM image of the Malargue area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow).
- Fig. II-2-14b LANDSAT TM image of the Chos Malal area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow).
- Fig. II-2-14c LANDSAT TM image of the Zapala area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow).
- Fig. II-2-14d LANDSAT TM image of the San Carlos de Bariloche area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow).
- Fig. II-2-14e LANDSAT TM image of the Lago Menendez area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow).
- Fig. II-2-14f LANDSAT TM image of the Esquel area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow).
- Fig. II-3-1-1 Location map of the Phase 1 ground truth survey districts.
- Fig. II-3-1-2 Location map of the Phase 2 ground truth survey districts.
- Fig. II-3-1-3 Distribution of alteration zones for the area including the Villa Aguas Calientes, Varvarco and Cerro Collocho districts.
- Fig. II-3-1-4 Distribution of alteration zones for the area including the Cerro Mayal district.
- Fig. II-3-1-5 Distribution of alteration zones for the area including the Cerro de los Bueyes district and the Campana Mahuida district.
- Fig. II-3-1-6 Distribution of alteration zones for the area including the Palau Mahuida, Nireco and La Voluntad districts.
- Fig. II-3-1-7 Distribution of alteration zones for the area including the Rio Foyel district.
- Fig. II-3-1-8 Distribution of alteration zones for the area including the Condorcanqui district and the Epuyen district.

- Fig. II-3-1-9 Distribution of alteration zones for the area including the Laguna Sunica, Cerro Gonzalo, Arroyo Cascada and Cerro Cuche districts.
- Fig. II-3-2-1 Geological map with sampling points of the Villa Aguas Calientes district.
- Fig. II-3-2-2 Satellite image and ground truth results in the Villa Aguas Calientes district.
- Fig. II-3-2-3 Geological map with sampling points of the Varvarco district.
- Fig. II-3-2-4 Satellite image and ground truth results in the Varvarco district.
- Fig. II-3-2-5 Geological map with sampling points of the Cerro Collocho district.
- Fig. II-3-2-6 Satellite image and ground truth results in the Cerro Collocho district.
- Fig. II-3-2-7 Geological map with sampling points of the Cerro Mayal district.
- Fig. II-3-2-8 Satellite image and ground truth results in the Cerro Mayal district.
- Fig. II-3-2-9 Geological map with sampling points of the Cerro de los Bueyes district.
- Fig. II-3-2-10 Satellite image and ground truth results in the Cerro de los Bueyes district.
- Fig. II-3-2-11 Geological map with sampling points of the Campana Mahuida district.
- Fig. II-3-2-12 Satellite image and ground truth results in the Campana Mahuida district.
- Fig. II-3-2-13 Geology and RC-drill hole location in the Pino Andino project area.
- Fig. II-3-2-14 Geological map with sampling points of the Palau Mahuida district.
- Fig. II-3-2-15 Satellite image of the Palau Mahuida district.
- Fig. II-3-2-16 Geological map with sampling points of the Nireco and La Voluntad districts.
- Fig. II-3-2-17 Satellite image of the Nireco and La Voluntad districts.
- Fig. II-3-2-18 Geological map with sampling points of the Rio Foyel district.
- Fig. II-3-2-19 Satellite image of the Rio Foyel district.
- Fig. II-3-2-20 Geological map with sampling points of the Condorcanqui district.
- Fig. II-3-2-21 Plan of main mineralized zone of the Condorcanqui Cu deposits.
- Fig. II-3-2-22 Primitive mantle normalized pattern for Oligocene andesite lava of the Condorcanqui district.
- Fig. II-3-2-23 Rb - (Y+Nb) diagram for granodiorite of the Condorcanqui district.
- Fig. II-3-2-24 Geological map with sampling points of the Epuyen district.
- Fig. II-3-2-25 Geological map with sampling points of the Laguna Sunica district.
- Fig. II-3-2-26 Geological map with sampling points of the Cerro Gonzalo district.

- Fig. II-3-2-27 Plan of the Cerro Gonzalo Sector 1 (Arroyo Luque) Cu mineralized zone.
- Fig. II-3-2-28 Ternary variation diagram of Qz-Or-Pl CIPW normative compositions for granitic rocks of the Cerro Gonzalo district.
- Fig. II-3-2-29 Rb · (Y+Nb) diagram for granodiorite of the Cerro Gonzalo district.
- Fig. II-3-2-30 Geological map with sampling points of the Arroyo Cascada district.
- Fig. II-3-2-31 Plan of the Arroyo Cascada Au mineralized zone.
- Fig. II-3-2-32 Geological map with sampling points of the Cerro Cucho district.
- Fig. II-4-1 Relation between magmatic activities and mineralization
- Fig. II-4-2 Interpretation result of the existing data analysis.
- Fig. II-4-3 Interpretation result of the satellite image analysis.
- Fig. II-4-4 Interpretation result of the ground truth survey.
- Fig. II-4-5 Synthetical interpretation result for the survey area.
- Fig. III-1 Location map of the recommended districts for further exploration in the survey area.

<Tables>

Table I-1-1	Record of the ground truth survey.
Table I-1-2	Amount of the laboratory works.
Table I-3-1	Simplified stratigraphy of the survey area.
Table I-3-2	Major known mineral occurrences shown in Fig. I-3-4.
Table I-3-3	Data of major deposits of the survey area.
Table II-1-2-1	Data of all known mineral occurrences of the survey area.
Table II-1-3-1	Specification on the airborne geophysical survey, Neuquen Province.
Table II-1-4-1	Number of samples for Neuquen province.
Table II-1-4-2	Number of samples for Chubut province.
Table II-1-4-3	List of elements and detection limits.
Table II-2-1	Path/Row, data acquisition, sun azimuth and sun elevation of 13 scenes of LANDSAT TM image.
Table II-2-2	Geological age of 51 geological units of the mosaic image of the survey area.
Table II-2-3	Number of alteration zones of 13 scenes of LANDSAT TM image.
Table II-2-4	Path/Row, data acquisition, sun azimuth and sun elevation of 6 scenes of LANDSAT TM image for detailed analysis.
Table II-2-5	Path radiance (minimum DN).
Table II-2-6	Value of dip 25.
Table II-2-7	Threshold, dip 34 and DN_{i100} of vegetated area in 6 scenes.
Table II-2-8	Threshold for extracting alteration zones.
Table II-2-9	Transform coefficient used in 6 scenes.
Table II-3-1-1	Phase 1 ground truth survey conclusions.
Table II-3-1-2	Phase 2 ground truth survey districts and reasons to be selected.
Table II-4-1	List of age data to interpret the mineralization periods.
Table II-4-2	Phase 2 ground truth survey conclusions.
Table III-1	Recommendation for further exploration in the survey area.

<Appendixes>

- Appendix-1 Collected literatures for the existing data analysis, sorted in order of category and year.
- Appendix-2 Samples taken for the survey.
- Appendix-3 Observation results of thin sections.
- Appendix-4 Observation results of polished thin sections.
- Appendix-5 Powdery X-ray diffraction results.
- Appendix-6 Bulk chemical analysis results for the geochemical survey.
- Appendix-7 Bulk chemical analysis results including PGM elements for the geochemical survey.
- Appendix-8 Bulk chemical analysis results for the petrochemical study.
- Appendix-9 Chemical analysis results for pan concentrated samples.
- Appendix-10 Ore grade assay results.
- Appendix-11 Homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions.
- Appendix-12 Measurement results of sulfur isotopic composition.
- Appendix-13 Measurement results of oxygen isotopic composition.
- Appendix-14 K-Ar radiometric measurement results.
- Appendix-15 Basic knowledge on stable isotopes and rare earth elements.
- Appendix-16 Photographs of the field survey.