

第II部 各論

第1章 既存データ解析

1-1 既存データ収集対象機関

本調査地域における既存データは、平成10年度資源開発協力基礎調査アルゼンティン共和国プロジェクト選定調査、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（平成11年度、第1年次）により大部分が収集されており、今回の調査（平成12年度、第2年次）ではこれまでの未収集資料、新たに発行された資料を収集した。

収集の対象とした機関は SEGEMAR、州政府鉱山局、CORMINE S.E.P.である。また、第1年次調査では、鉱山開発・探査を実施している民間会社である Minera Andacollo Gold S.A.および Minera El Desquite S.A.を訪問しデータ収集を行った。

SEGEMAR については Buenos Aires 本部、Rio Negro 州 General Roca 支所および Chubut 州 Comodoro Rivadavia 支所にて資料収集を行った。General Roca 支所は Neuquén 州、Rio Negro 州および La Pampa 州を管轄している。Comodoro Rivadavia 支所は Chubut 州、Santa Cruz 州および Tierra del Fuego 州を管轄している。

各州政府の鉱山局（Dirección de Minería）のうち、Neuquén 州鉱山局は Zapala 市に所在する。Rio Negro 州鉱山局は出張所が SEGEMAR の General Roca 支所内に所在する。Chubut 州鉱山局は出張所が Esquel 市に所在する。CORMINE S.E.P.は Neuquén 州政府が創設した鉱山公社であり、Zapala 市に所在しているが、2000 年中頃に中央政府の鉱業政策によりその規模と権限を大幅に縮小された。

1-2 文献調査

各機関において収集した既存データの一覧表を巻末（Appendix-1）に示す。既知鉱徴地のデータは主に Zappettini（1998）および Zanettini et al.（1999）に基づいた。本地域における既知鉱徴地の一覧表を Table II-1-1 に示す。既知鉱徴地の分布は Fig. I-3-4 および Fig. I-3-5 に示してある。

Fig. II-1-1 図は既存データに基づくコンパイル図であり、既知鉱徴地をタイプ別に分類し、各時代のマグマ弧の分布とともに図示した。マグマ弧の分布は Zappettini（1998）の GIS データセットを編集したものである。熱水変質帯は第1年次の衛星画像解析によって抽出されたものである。

既知鉱徴地は金および金を伴うベースメタル、砂金、金を伴わないベースメタル、堆積性およびその他の5区分で図示を行った。堆積性はジュラ紀～白亜紀の堆積岩類を母岩として銅、ウラン、重晶石、セlestaitなど鉱徴地が存在する。その他としては鉄、マンガン、石墨の鉱徴地が存在する。なお、Fig. II-1-1 において Rio Negro 州の調査地域外に分布するその他鉱徴地には螢石の鉱徴地が含まれる。

各時代の火成活動と鉱化作用の関係については第I部3-2に既述してある。Fig. II-1-1 のマグ

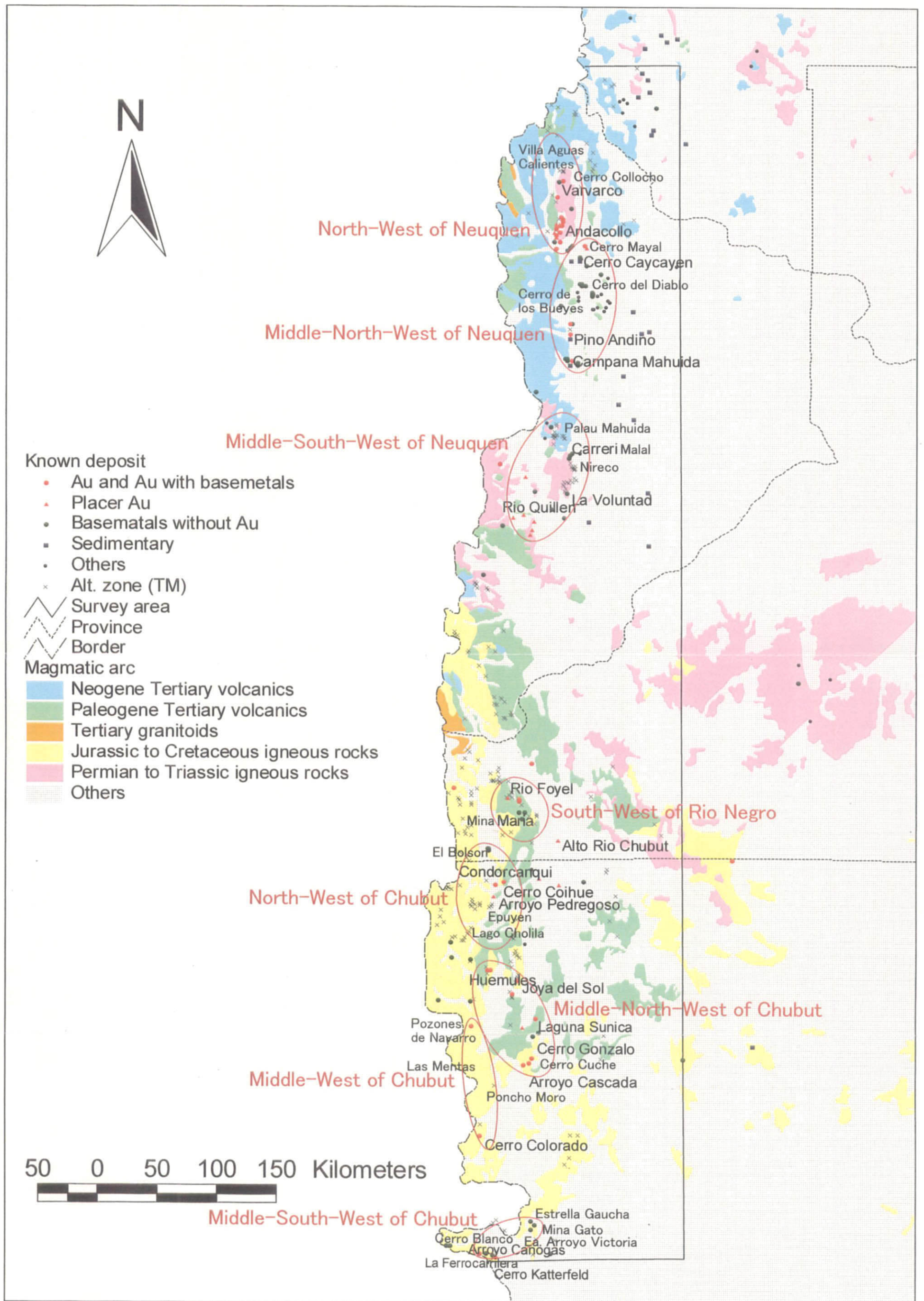


Fig. II-1-2-1 Compilatory result of the existing data analysis.

Table II-1-1 Data of all known mineral occurrences of the survey area.

No.	Name	Lat(D)	Lat(M)	Lon(D)	Lon(M)	Metal	Form	Strike	Dip	Host rock	Data	Reference
1	Mallín de los Caballos	36	3	69	51	Cu,Ag,Au	stratiform	N40E	32NW	Ksc		Plan Cordillerano C., 1969
2	Grupo Liu Cullín	36	6	69	48	Cu	stratiform	N20E		Ksc		Plan Cordillerano C., 1969
3	Sin Nombre	36	12	69	47	Cu	stratiform	N20E	3NW	Ksc		Zanettini, 1995
4	Sin Nombre	36	14	69	53	Cu	stratiform	N45W		Ksc		Zanettini, 1995
5	El Mayán	36	15	70	1	Fe	vein	N90E	90	Ksc		Mendez et al., 1995
6	Sin Nombre	36	16	70	3	Fe	vein	N	90	Ta1		Mendez et al., 1995
7	Piedra Parada	36	17	69	59	Fe	vein	N90E	90	Ksc		Mendez et al., 1995
8	Juan Carlos	36	19	69	43	Pb,Zn	vein	N25W	90	Ta2		La Rocque, 1964
9	Amelia	36	21	70	2	Fe	vein	N	90	Ta2		La Rocque, 1964
10	Pedro Pablo	36	27	69	55	Fe	vein	N	90	Ta1		La Rocque, 1964
11	César	36	29	69	45	Cu	stratiform	N20E	80NW	Ksc		Plan Cordillerano C., 1969
12	Arroyo Caimucó	36	31	69	46	Cu	stratiform	N20E	80NW	Ksc		Plan Cordillerano C., 1969
13	Varvarco	36	52	70	37	Au,Cu	vein	N30E	30NW	PTR	2.04% Cu, 0.11% Pb, 0.21% Zn, 16.97g/t Au, 302.25g/t Ag, average of 6 samples from vein and fracture zone	Zanettini y Deza, 1989; CORMINE, 1996
14	Sin Nombre	36	53	70	38	Cu	vein	N45W	90	PTR		Zanettini y Deza, 1989
15	Butalón Norte	36	59	70	39	Au	stockwork			PTR	0.05g/t Au, 0.51g/t Ag, average of 176 rock samples	Zanettini y Lopez, 1988; CORMINE, 1996
16	Aquihuecú	37	4	70	31	Cu	vein	N30W	40SW	PTR		Plan Cordillerano C., 1969
17	La Premia	37	8	70	37	Au	vein	N	90	C		Zollner, 1949
18	Sorpresa	37	9	70	36	Au	vein	N	90	C		Llambía y Maivicini, 1978
19	Erica	37	10	70	36	Au	vein	N75E	90	C	199,916t, 7.77g/t Au	Angelelli, 1984; CORMINE, 1998
20	Arroyo Huaraco	37	11	70	40	Au	placer			Qa		Zollner y Amos, 1973
21	Gpo. San Cayetano	37	12	70	37	Au	vein	N70E	90	C, Ta1		Angelli, 1984
22	Sofía	37	12	70	38	Au,Pb,Zn	vein	N70E	90	C	79,836t, 14.72g/t Au	Angelli, 1984; CORMINE, 1998
23	Los Maitenes	37	13	70	40	Cu,Au	stockwork			Kg	0.4g/t Au, 55m depth drilling	Plan Cordillerano C., 1969; CORMINE, 1996
24	Gripo Duranzo	37	13	70	40	Au	placer			Qa		Zollner y Amos, 1973
25	Helena	37	15	70	38	Pb,Zn,Au,Ag	vein	N70E	70SE	PTR		Zollner y Amos, 1973
26	Arroyo Colo	37	15	70	41	Au	placer			Qa		Zollner y Amos, 1973
27	Gpo. Milla Michicó	37	16	70	40	Au,Pb,Zn,Ag	vein	N68	72NW	PTR		Angelelli, 1984
28	Gpo. Arroyo Nuevo	37	17	70	40	Au	placer			Qa		Zollner y Amos, 1973
29	Sin Nombre	37	19	70	38	Au	vein	N	90	J, JK		Mendez et al., 1995
30	Gpo. Cura-Mallín	37	19	70	41	Cu,Pb,Zn	vein	N45W	70NE	Ta2		Barrionuevo y Nie, 1955
31	Cerro Mayal	37	21	70	24	Au,Fe	vein	N60E	85NW	Ta1	0.10% Cu, 0.11g/t Au, 0.87g/t Ag, average of 23 rock samples	Zollner y Amos, 1973; CORMINE, 1996
32	Arroyo Butalón	37	21	70	31	Cu	vein	N45W	70SW	J, JK		Mendez et al., 1995
33	Arroyo Mayal	37	22	70	23	Au	placer			Qa		Zollner y Amos, 1973
34	General Paz	37	22	70	32	Pb	vein	N	85NW	J, JK		Angelelli, 1984
35	Sin Nombre	37	22	70	40	Au	vein	N45W	90	J, JK		Mendez et al., 1995
36	Atahualpa	37	23	70	34	Pb	vein	N25E	80NW	J, JK		Angelelli, 1984
37	Cerro Caicayen	37	26	70	27	Cu,Fe	stockwork			J, JK	porphyry Cu, 0.64% Cu, 0.06g/t Au, 0.78g/t Ag, average of 98 rock samples	Zappettini, 1998; CORMINE, 1996
38	Don Oscar	37	27	70	26	Fe	irregular vein	N	90	J, JK		Elizade, 1961
39	Tres Chorros	37	27	70	27	Cu	vein	N5E	90	J, JK		Barrionuevo y Nie, 1955
40	Mallín Quemado	37	28	70	27	U,Cu	stratiform	N25E		Ki		Angelli, 1950
41	La Chupapay	37	28	70	32	U	stratiform	N20E		Ki		La Rocque, 1964
42	Sin Nombre	37	30	70	23	Cu	vein	N	90	J, JK		Mendez et al., 1995
43	Huantraico	37	31	69	32	Fe	stratiform			Tb2		Zappettini, 1998
44	Naunaucó	37	34	70	15	Cu	vein	N75E	90	Ki		Elizade y Gonzalez L., 1958
45	Sin Nombre	37	36	70	11	Fe	vein	N	90	Ki		Mendez et al., 1995
46	Cerro del Diablo	37	38	70	26	Pb,Zn	vein	N50E	90	Ki		Angelelli, 1950
47	Cerro del Diablo	37	38	70	27	Cu	vein	N15E	80NW	Ki, Ta1		Angelelli, 1950
48	Pichi Huemul	37	39	70	24	Fe,Cu,Pb	vein	N65E	45SE	Ki		Llambía y Maivicini, 1978
49	Aurelia	37	39	70	26	Cu	vein	N15E	80NW	Ki, Ta1		Angelelli, 1950
50	Augusta	37	42	70	20	Fe,Mn,Cu	vein	N	N50E	Ki, Ta1		Angelelli, 1984
51	Mallín Largo	37	42	70	28	Fe	vein	N70E	50SE	Ki		Angelelli, 1984
52	Sin Nombre	37	43	70	15	Fe	irregular vein	N	90	Ki, Ta1		Mendez et al., 1995
53	Sin Nombre	37	43	70	19	Fe	irregular vein	N	90	Ki		Mendez et al., 1995
54	Cerro Negro	37	43	70	20	Fe,Pb,Zn,Cu	vein	N40E	70NW	Ki, Ta1		Mendez et al., 1995
55	Adnana	37	44	70	17	Fe,Mn	irregular vein	N	90	Ki, Ta1		Angelelli, 1984
56	Sin Nombre	37	44	70	20	Pb	vein	N	90	Ta1		Mendez et al., 1995
57	Bajada de la Greda	37	44	70	28	Fe,Mn	vein	N50W	90	Ki, Ta1		Mendez et al., 1995
58	Adnana 1	37	46	70	11	Fe,Mn	irregular vein	N	90	Ki, Ta1		Angelelli, 1984
59	Sin Nombre	37	46	70	28	Fe	irregular vein	N	90	Ki, Ta1		Mendez et al., 1995
60	Agua del Toro	37	47	70	10	Fe	vein	N	90	Ki		La Rocque, 1964

Table II-1-1 Data of all known mineral occurrences of the survey area.

61	La Y	37	48	70	38	Pb,Zn,Ag	vein	N40E	75SE	Ki		Plan Cordillerano C., 1969
62	La Rosa	37	49	70	12	Fe	vein	N	90	Ki		La Rocque, 1964
63	Africana	37	49	70	17	Fe,Mn	irregular vein	N90E	90	Ki, Ta1		Elizalde, 1961
64	Santa Lucida	37	50	70	19	Fe,Mn	irregular vein	N90E	90	Ki, Ta1		Elizalde, 1961
65	Santa Olga	37	50	70	20	Fe	vein	N	90	Ki		Angelelli, 1984
66	Grupo la Cecilia	37	51	69	57	Sr,Ba	stratiform			J, JK	evaporite, 50t, 90% SrSO ₄	Zappettini, 1998
67	Santa Laura	37	51	70	13	Mn	vein	N40E	90	Ki, Ta1		Elizalde, 1961
68	Don Agustin	37	56	70	32	Pb	vein	N80E	90	J, JK		La Rocque, 1964
69	Pino Andino Norte	37	56	70	33	Cu,Au	stockwork			J, JK		Zanettini, 1995
70	Palo Quemado	38	0	69	48	U,V,Cu	dissemination			Ksc		Zappettini, 1998
71	Maria Teresa	38	1	69	52	U,V,Cu	dissemination			Ksc		Zappettini, 1998
72	Pino Andino Sur	38	1	70	33	Au	stockwork			J, JK, Ta1	porphyry Cu, 0.3% Cu, 0.14g/t Au, 6-30m depths of drill core	Zanettini, 1995; CORMINE, 1998
73	La Rosita	38	3	70	33	Ba	stratiform			J, JK, Ta1		Zappettini, 1998
74	Gpo.Cacque	38	12	70	35	Pb,Ag,Mn	vein	N75W	75SW	J, J K, Kg		Angelelli, 1984
75	Lastenia	38	12	70	36	Pb Ag Zn	vein			J, J K, Kg		Zappettini, 1998
76	Campana Mahuida	38	13	70	32	Cu,Au,Mo	stockwork			J, J K, Kg	porphyry Cu, 4,637,782.3t, 0.73% oxide Cu; 22,890,977t, 0.6% sulfides Cu	Zanettini, 1976; Mendez et al., 1995
77	Amelia, Belen, Teresa	38	13	70	35	Pb,Ag,Zn,Ba	vein			J, J K, Kg		Zappettini, 1998
78	Agustina y Otras	38	14	70	29	Pb Ag Zn	vein			Ki, Ta1		Zappettini, 1998
79	Grupo Huayelon	38	15	70	29	Pb,Ag,Zn,Cu	vein	N77E	90	Ki, Ta2		Angelelli, 1984
80	Candelaria	38	15	70	33	Fe	stratiform	N15W	10NE	J, JK		Angelelli, 1984
81	4 de Noviembre	38	20	70	3	Ba	stratiform			J, JK		Zappettini, 1998
82	Caferino Namuncurá	38	27	70	53	Pb,Ag	irregular			Ta2		Zanettini, 1995
83	Grupo Mallin Quemado	38	33	70	6	Ba	stratiform			J, JK		Zappettini, 1998
84	Barada Molina	38	40	69	57	Cu	dissemination			J, JK		Zappettini, 1998
85	Litrán	38	41	70	47	Fe	vein	N	90	PTR		La Rocque, 1964
86	Arroyo Manzano	38	43	70	45	Cu,Zn,Fe	stockwork			PC2, CPg		Plan Cordillerano C., 1969
87	Mallin Chileno	38	48	70	48	Fe	vein	N35E	90	PC2		Elizalde, 1961
88	Cerro Carren	38	55	70	28	Fe,Mn	vein	N37W	90	J, JK		Elizalde, 1961
89	Carren	38	55	70	33	Pb,Ag,Cu,Fe	vein	N50E	90	J, JK		Angelelli, 1984
90	Carreri 1,2,3,4	38	56	70	34	Pb,Ag,Zn,Cu	vein			CPg		Zappettini, 1998
91	Carren TG	38	57	70	35	Pb,Ag,Zn,Cu	vein	N35W	90	CPg		Angelelli, 1984
92	Sin Nombre	38	59	71	15	Au	vein	N50E	90	CPg		Mendez et al., 1995
93	Arroyo Polmar	39	5	71	0	Au	placer			Ogl		La Rocque, 1964
94	La Voluntad	39	13	70	36	Cu,Ag,Mo	stockwork			CPg	porphyry Cu, 0.10% Cu, 0.005% Mo, 0.04g/t Au, average of 538 rock samples	Angelelli, 1984; CORMINE, 1998
95	Sin Nombre	39	12	70	55	Cu,Co,Ni	vein	N20W	55NE	CPg		Mendez et al., 1995
96	El Provenir	39	13	69	49	Cu	dissemination			J, JK		Zappettini, 1998
97	Catatum	39	20	70	45	Pb,Zn	vein	N30E	90	J, JK		Naviones Unidas, 1970
98	Sin Nombre	39	22	71	2	Au	placer			Ogl		La Rocque, 1964
99	Rio Quillén	39	23	71	8	Au	placer			Ogl		La Rocque, 1964
100	1° de Mayo	39	24	70	38	Pb,Zn	vein	N45W	72NE	PC2		Angelelli, 1984
101	Sin Nombre	39	25	70	56	Au	placer			Qa		La Rocque, 1964
102	Estancia Charahuilla	39	26	70	24	Cu,Ag,U	dissemination			J, JK		Zappettini, 1998
103	Cerro Caballadas	39	27	71	14	Pb,Zn,Cu	vein	N70W	80NE	CPg		Naviones Unidas, 1970
104	Sin Nombre	39	29	70	57	Au	placer			Qa		La Rocque, 1964
105	Medialuna	39	31	70	58	Au	placer			Qa		La Rocque, 1964
106	Cerro Horqueta	39	37	69	49	Cu	dissemination			Ki		Zappettini, 1998
107	Arroyo Metrecó	39	49	71	26	Pb	vein	N50E	90	CPg		Mendez et al., 1995
108	Area la Veranada	41	15	71	0	Au,Cu,Pb,Zn	vein			Ta1		Zappettini, 1998
109	Cerro Alcorta	41	25	71	47	Au,Ag,Cu	vein			JBa	0.47% Cu, 0.01% Pb, 88g/t Au, 407g/t Ag, 20m width quartz vein and veinlets	Giacosa, 1986
110	Rio Foyel	41	30	71	15	Au	placer			Ta1	5,000,000m ³ , 175 to 200mg/m ³ Au	Zappettini, 1998; Mining Secretary, 1993
111	Innominada 3	41	31	71	8	Cu,Au	vein	N25W	90	Ta1		Dir. Min. Rio Negro, 1996
112	Cullin Mahuida	41	32	71	8	Au	vein	N	90	Ta1		Dir. Min. Rio Negro, 1996
113	Cóndor Huasi	41	37	71	5	Pb	vein	N10E	90	Ta1		Dir. Min. Rio Negro, 1996
114	Nina Petre	41	37	71	8	Pb,Zn,Cu	vein	N45W	55	Ta1		Dir. Min. Rio Negro, 1996
115	Maria	41	39	71	6	Pb,Zn,Cu	vein	N5E	74NW	Ta1	2% Cu, 12% Pb, 13% Zn, 3g/t Au, 45g/t Ag, vein 250m×1.6m	Dir. Min. Rio Negro, 1996; Mining Secretary, 1993
116	Alto Rio Chubut	41	50	70	45	Au	placer			T	10,000,000m ³ , 175 to 500mg/m ³ Au	Zappettini, 1998; Mining Secretary, 1993
117	Quillén Curá	41	53	71	27	Pb,Cu	vein	N26E	90	T		Dir. Min. Rio Negro, 1996
118	Naley Cullin	41	53	71	28	Pb	vein	N52E	90	T		Dir. Min. Rio Negro, 1996
119	La Esmeralda	41	53	71	28	Pb,Cu	vein	N7W	90	T		Dir. Min. Rio Negro, 1996
120	Nahuel Pan	41	54	71	27	Pb,Cu,Fe	vein	N5E	90	T		Dir. Min. Rio Negro, 1996
121	Indio	42	3	71	1	C	manto	N17E	40SE	Ta1		Berrello, 1956

Table II-1-1 Data of all known mineral occurrences of the survey area.

122	Roja	42	7	70	57	Au	placer			Qa		Marquez et al., 1994
123	Cerro Coihue	42	8	71	21	Cu,Au	irregular vein	N15E	90	Kg		Genini, 1987
124	Cushamen	42	9	70	30	Mo	irregular vein	N85W	90	TQb, PC2		Butron, 1995
125	Condorcanqui	42	9	71	23	Cu,Au	irregular vein	N30W	90	Ta1		Ametrano et al., 1979
126	Mata	42	10	70	45	Au	placer			Qa		Marquez et al., 1994
127	Arroyo Pedregoso	42	13	71	24	Au	placer			Qa		Marquez et al., 1994
128	Cerro Colorado	42	35	71	52	Cu	stockwork			Ta1		Sepulveda y Viera, 1978
129	Lepá	42	37	71	6	C	manto	N25W	23SW	Ta1		Borrello, 1956
130	Cerro Techado Blanco	42	42	71	52	Ag	irregular vein	N40W	80SW	Kg		Marquez, 1980
131	Cerro Riscoso	42	43	71	40	Cu,Pb	irregular			Kg		Herrero y Pansi, 1981
132	Huemules	42	48	71	28	Au,Ag,Pb	vein	N35W	90	JBa	750,000t, 9g/t Au	Viera et al., 1988; Viera and Hughes, 1999
133	Mallín del Bronce	42	48	71	30	Au,Ag	irregular			JBa		Viera et al., 1988
134	Joya del Sol	42	53	71	12	Au,Ag	vein	N15W	90	JBa	2,128,400 oz Au, 8.08g/t Au., 3,985,000 oz Ag, 15.1g/t Ag	Brancote Holdings PLC (1999)
135	Cerro Nahuel Pan	42	59	71	15	Au	stockwork			CP, Ka	0.1% Cu, 6.1% Pb, 0.19% Zn	Naciones Unidas, 1983; Mining Secretry, 1993
136	Cerro Poncho Blanco	43	1	72	1	Cu	vein	N20E	90	JBa		Marquez, 1980
137	Cordón Situación	43	2	71	41	Cu,Pb	stockwork			Ka		Marquez et al., 1987
138	Laguna Sunica	43	10	71	0	Au,Cu	vein			Ta1		Zappettini, 1998
139	Los Pozones	43	13	71	41	Cu,Au	vein	N	90	JBa		Marquez y Butron, 1987
140	Río Corintos	43	14	71	9	Au	placer			Qa		Angelelli, 1984
141	Arroyo Luque	43	19	71	1	Cu,Mo	stockwork			Kg		Marquez, 1988
142	Cerro Gonzalo	43	20	71	3	Mo,Ag	breccia			Kg	670,000t, 0.05% Cu, 0.048% Mo, 5g/t Au, 92g/t Ag	Marquez, 1988; Mining Secretry, 1993
143	Cañadon Bagual Victoria	43	30	69	30	Pb,Ag,Zn	vein			JBe		Zappettini, 1998
144	Princess	43	31	71	4	Au	stockwork			JBa		Marquez et al., 1994
145	Arroyo Cascada	43	32	71	7	Au	vein	N55W	25SW	JBa		Genini, 1989
146	Cerro Cuche	43	34	71	9	Mo,Au	stockwork			Kg, JBa		Pezzuchi y Takigawa, 1983
147	Cerro Riñon y Colorados	44	3	71	38	Au	stockwork			JBa, Kg	high sulfidation breccia pipe, 7.95g/t Au, 66 samples of 2,200km ²	Parisi, 1981; SEGEMAR, 1997; Perez and Sureda, 1999
148	Cerro Bayo	44	42	71	7	Ag	vein	N25W	75SW	Kim		Ramos, 1981
149	Cordillera Sakmata	44	44	71	5	Ag,Pb	vein	N30W	70SW	Kim		Ramos, 1981
150	Doña Isabel	44	46	71	7	Pb	vein	N20W	90	Kim		Ramos, 1981
151	La Fronteriza	44	52	71	59	Pb	vein	N35W	90	JBa		Dir. Gral. Min. Geol. Chubut, 1987
152	Lago Fontana	44	52	72	1	Cu	stockwork			Kg		Ramos, 1981
153	La Ferrocarrilera	44	56	71	36	Pb,Ag	vein	N35E	60SW	Jba	708,630t, 1.63% Pb, 4.49% Zn, 0.61% Cu, 0.1g/t Au, 14g/t Ag	Ramos, 1981; Secretaria de Minería, 1985
154	Arroyo Canogas	44	56	71	40	Au,Pb	irregular vein	N25E	90	Kim		Marquez y Parisi, 1995
155	El Solcito-El Abuelo	44	57	70	55	Fe,Cu	vein	N70W	90	JBa		Medina y Maisterrena, 1981
156	Cerro Blanco	44	57	71	32	Pb,Ag	vein	N10W	85SW	JBa		Marquez y Parisi, 1995
157	Arroyo los Alevinos, Cerro Katterfeld, Cerro Cono	44	58	71	30	Au,Ag,Cu,Pb,Zn	vein			JBa		Zappettini, 1998

マ弧のうち、二疊紀～三疊紀のマグマ弧は Patagonia terrane (Fig. I-3-1)が Gondwana 大陸に衝突した際のものである。ジュラ紀～白亜紀のマグマ弧は大西洋が開口して Gondwana 大陸が解体された際のもので、白亜紀における太平洋側からのプレート沈み込みに関するものが存在する。第三紀のマグマ弧は太平洋側からのプレート沈み込みによってアンデス山脈の造山運動が本格化した際のものである。第三紀のマグマ弧については古第三紀火山岩類、新第三紀火山岩類および第三紀花崗岩類に細分して表示した。

本地域における既知の鉍化作用のうち重要と考えられるのは、マグマ弧の火成活動と密接な関係を持つと考えられる金ないし金を伴うベースメタルの鉍脈鉍床と斑岩銅鉍床である。金鉍床の代表は含金石英脈の Joya del Sol 鉍床であり、金を伴うベースメタル鉍床の代表は Andacollo 鉍床である。また、斑岩銅鉍床の代表は Campana Mahuida 鉍床である。ここでは既存データ解析による考察結果を、8つの地域に区分し、Fig. II-1-1に基づいて記述する。

1) Neuquén 州北西部 (Villa Aguas Calientes 地区～Varvarvo 地区～Cerro Collocho 地区～Andacollo 地区)

Neuquén 州北西部の Villa Aguas Calientes 地区～Andacollo 地区にかけての地域には、二疊紀～三疊紀マグマ弧、古第三紀マグマ弧および新第三紀マグマ弧を構成する火成岩類が分布する。二疊紀～三疊紀マグマ弧は主に Choiyoi 層群の酸性～中性火山岩類であり、Choiyoi 層群の西側は古第三紀の中性～塩基性火山岩類・碎屑岩類が分布している。この両者の境界部に金を伴うベースメタルの鉍徴地が多く分布している。代表的なものは Andacollo 鉍床 (鉍山) であり、1999年～2000年にかけて青化精錬により金を生産していた。Andacollo 鉍床近傍には第三紀のデイサイト斑岩などの貫入岩が分布しており (CORMINE, 1998a)、鉍化作用は古第三紀以降の時期のもと考えられている。本地域には衛星画像解析によって古第三紀～新第三紀マグマ弧分布域に多くの熱水変質帯が判読されており、これらの箇所においても Andacollo タイプの金を伴うベースメタル鉍脈鉍床の賦存が期待される。

2) Neuquén 州中北西部 (Cerro Mayal 地区～Cerro Caicayen 地区～Cerro del Diablo 地区～Cerro de los Bueyes 地区～Pino Andino 地区～Campana Mahuida 地区)

Neuquén 州中北西部の Cerro Mayal 地区～Campana Mahuida 地区にかけての地域には、ジュラ紀～白亜紀の堆積岩類が広範囲に分布する。規模が小さく Fig. II-1-1には示されていないが、これら堆積岩類を貫いて白亜紀末～第三紀の花崗岩類が散在的に分布している。これら貫入岩の分布域に伴って、金を伴うベースメタル鉍床および金を伴わないベースメタル鉍床が分布している。Campana Mahuida および Pino Andino は斑岩銅鉍床の鉍徴地であり、Cerro Mayal、Cerro Caicayen、Cerro del Diablo、Cerro de los Bueyes は多金属型ベースメタル鉍床の鉍徴地である。

斑岩銅鉍床のモデル地区である Campana Mahuida は、数多くの探査が実施されており、Mendez et al.(1995)によれば鉍量は予想鉍量で酸化鉍 4,637,782 トン 0.73%Cu、硫化鉍 22,890,977 トン 0.6%Cu (カットオフ 0.3%) である。Campana Mahuida の関係火成岩とされている安山岩斑岩

の二次黒雲母について K-Ar 法により $74.2 \pm 1.4\text{Ma}$ の年代が得られている (Sillitoe, 1976)。これは白亜紀後期の年代であることから Andean events (I-3-2 参照) の先駆けをなすもので、太平洋側からのプレート沈み込みに関連したものと考えられる。これら鉱徴地は過去の調査により小規模・低品位であると判断されており (Méndez et al., 1995; CORMINE, 1996; CORMINE, 1998b)、現在は探査活動は行われていない。

3) Neuquén 州中南西部 (Palau Mahuida 地区～Carreri Malal 地区～Nireco 地区～ La Voluntad 地区～Rio Quillen 地区)

Neuquén 州中南西部の Palau Mahuida 地区～Rio Quillen 地区にかけての地域には、二畳紀～三畳紀マグマ弧、古第三紀マグマ弧および新第三紀マグマ弧が分布している。知られている鉱徴地は、Carreri Malal、La Voluntad、Rio Quillen などである。Carreri Malal は多金属型鉱脈鉱床、La Voluntad は斑岩銅型鉱床、Rio Quillen は砂金の鉱徴地である。Carreri Malal と La Voluntad はどちらも二畳紀～三畳紀 Choiyoi 層群の火山岩に貫入した二畳紀～三畳紀深成複合岩体中に胚胎している。この深成複合岩体のトータル岩の K-Ar 年代について、Sillitoe(1976)は $281 \pm 4\text{Ma}$ (二畳紀)、JICA/MMAJ(1984)は $225 \pm 11\text{Ma}$ (三畳紀) と報告している。La Voluntad については多くの既存調査が実施されており、ボーリング調査も行われているが、二次富化帯は捕捉されておらず、その後の有望鉱床の発見には至っていない。これら地区には衛星画像解析による熱水変質帯が多数判読されていることから、現地踏査によって変質状況、鉱化状況を把握することが望まれる。

4) Rio Negro 州南西部 (Rio Foyel 地区～Mina Maria 地区)

Rio Negro 州南西部の Rio Foyel 地区～Mina Maria 地区にかけての地域には、ジュラ紀～白亜紀マグマ弧と古第三紀マグマ弧とが分布する。古第三紀マグマ弧を構成する Ventana 層群火山岩類分布域に Rio Foyel と Mina Maria は位置する。Rio Foyel は砂金鉱徴地である。Mina Maria は鉛-亜鉛を主体とするベースメタル鉱脈鉱床の鉱徴地であり、過去に採掘された旧坑がある。これら鉱徴地は古第三紀以降の鉱化作用によって生成したものと考えられる。これら地区では砂金鉱床のソースとしての金鉱床と Maria タイプのベースメタル鉱床の賦存が期待される。

5) Chubut 州北西部 (El Bolson 地区～Cerro Coihue 地区～Condorcanqui 地区～Epuyen 地区 ～Lago Cholila 地区)

Chubut 州北西部にはジュラ紀～白亜紀マグマ弧と古第三紀マグマ弧が分布している。ジュラ紀～白亜紀マグマ弧を構成する花崗岩類分布域に、マント型とされる Condorcanqui 鉱徴地と斑岩銅鉱床とされる Cerro Coihue 鉱徴地が位置している (Zappettini, 1998)。両鉱徴地ともいくつかの探査が実施されており、Condorcanqui 鉱徴地においてはボーリング調査 (22 本、計 626m) もおこなわれているが、探査の継続を促すような良好な結果は得られていない。衛星画像解析による熱水変質帯も主にジュラ紀～白亜紀マグマ弧分布域と調和的であり、これら鉱化作用はジュラ紀以降の時期のものと考えられる。Epuyen 地区にはかつて砂金採取を行っていた Pedregoso

鉱徴地があり、また El Bolson 地区や Epuyen 地区～Lago Cholila 地区には、河川上流部に衛星画像解析による熱水変質帯が判読されていることから、砂金鉱床のソースとなる金鉱床が期待される。

6) Chubut 州中北西部 (Huemules 地区～Joya del Sol 地区～Laguna Sunica 地区～Cerro Gonzalo 地区～Arroyo Cascada 地区～Cerro Cuche 地区)

Chubut 州中北西部には多くの金および金を伴うベースメタル鉱徴地が知られている。これらはジュラ紀～白亜紀マグマ弧と古第三紀マグマ弧の分布と調和的である。衛星画像解析による熱水変質帯は両者分布域に判読されており、鉱化作用はジュラ紀以降であるとともに、古第三紀以降のものでもあることも示唆される。Joya del Sol 地区は浅熱水性金鉱床の鉱徴地であり、Huemules、Laguna Sunica および Cerro Cuche は金を含むベースメタル鉱脈鉱床の鉱徴地である。Joya del Sol および Huemules 鉱徴地における現在の探査状況は既述 (I-3-3 参照) のとおりである。一方、斑岩銅鉱床とされる Cerro Gonzalo 鉱徴地および金鉱床として知られる Arroyo Cascada 鉱徴地については、過去に物理探査、ボーリング探査が実施されているが、両者ともに現在探査活動は行われていない。これら鉱徴地のポテンシャルをより明確にするために現地踏査を実施することが望まれる。

7) Chubut 州中西部 (Pozones de Navarro 地区～Las Mentas 地区～Poncho Moro 地区～Cerro Colorado 地区)

Chubut 州中西部のチリ国境沿いにはジュラ紀～白亜紀マグマ弧が分布しており、これらマグマ弧分布域に衛星画像解析による熱水変質帯も判読されている。これら地区では金鉱徴地である Cerro Colorado、Cerro Riñon および金を含むベースメタルの鉱徴地である Los Pozones が知られている。Cerro Colorado の探査活動の概況については既述したとおりである (I-3-3 参照)。Cerro Colorado、Cerro Riñon は高硫化系の金鉱化作用としてモデル地区の一つであるが、メジャー系の民間鉱区が既に設定されており、その他の地区は第 1 年次調査で継続の必要なしと結論されたため、これらの地区は第 2 年次の調査対象から除外した。

8) Chubut 州中南西部 (Estrella Gaucha 地区～Mina Gato 地区～Estancia Arroyo Victoria 地区～Ferrocarrilera 地区～Cerro Blanco 地区)

Chubut 州中南西部にはジュラ紀～白亜紀の堆積岩類とジュラ紀～白亜紀マグマ弧が分布している。主な鉱徴地としては、Cerro Bayo、Cordillera de Sakmata、Cerro Katterfeld、Ferrocarrilera、Cerro Branco などの金を伴うベースメタルの鉱徴地がジュラ紀～白亜紀マグマ弧分布域に位置している。これら鉱徴地はジュラ紀以降の時期に鉱化作用が生じているものと考えられる。Ferrocarrilera の探査活動の概況については既述したとおりである (I-3-3 参照)。Estrella Gaucha 地区、Mina Gato 地区には過去のカオリン採掘場が存在する。Cerro Blanco 地区はメジャー系の民間鉱区が既に設定されており、その他の地区は第 1 年次調査で継続の必要なしと結論されたため、これらの地区は第 2 年次の調査対象からは除外した。

1-3 空中物理探査

1-3-1 調査概要および使用データ

Neuquen 州で取得された空中物理探査（磁気・放射能）データの地質学的解釈を行った。データは SEGEMAR の要請に基づき、カナダの SIAL Geoscience Inc. が固定翼機で 1999 年 3 月 8 日～6 月 7 日、8 月 9 日～24 日、11 月 25 日～12 月 5 日の 3 回に分けて取得したものである。調査範囲はチリとの国境沿いで、南北方向：北緯 37° 45' ～39° 30'、東西方向：西経 70° 25' ～チリ国境（範囲北側）、～西経 71° 00'（範囲南側）で境される範囲である（Fig. II-1-3-1）。調査面積は約 10,000 km² で、調査仕様は Table II-1-3-1 に示すとおりである。

Table II-1-3-1 Specification on the airborne geophysical survey, Neuquen Province

Survey type	Aeromagnetic, radiometric, digital terrain
Aircraft type	Piper PA-31T, Cheeyenne II
Total line kms	12,100 km
Flight-line direction	North-South
Flight-line spacing	1,000 meters
Tie-line direction	East-West
Tie-line spacing	7,500 m
Mean flight height	150 m

地質学的解釈には以下のデータを使用した。

1) 空中物理探査データ

a) 空中磁気データ

空中磁気データは Scintrex 社製 CS-2 型セシウム磁力計を用い、サンプリング間隔毎秒 10 回で取得された。調査測線は N-S 方向で 1 km 間隔、タイラインは E-W 方向で 7.5 km 間隔である。長周期の日変化成分と標準地球磁場 (IGRF) を除去した後、調査測線データとタイラインデータを用いて最終的なレベリングを行った。更に極磁気変換を施し、Geosoft 社製ソフトウェア・OASIS Mongaj で 200 m グリッドのデータに変換した。解釈には、このグリッドデータから起した縮尺 1:250,000 の全磁力図 (Fig. II-1-3-2)、及び極磁気変換全磁力図 (Fig. II-1-3-3) を使用した。

b) 空中放射能データ

空中放射能データは、256 チャンネルの γ 線スペクトルメーターと検知器からなるシステムにより取得された。生データ（毎秒のカウント数）はカリウム、トリウム、ウランの濃度に変換された。解釈にはこのうち縮尺 1:250,000 のカリウム濃度図 (Fig. II-1-3-4) を用いた。

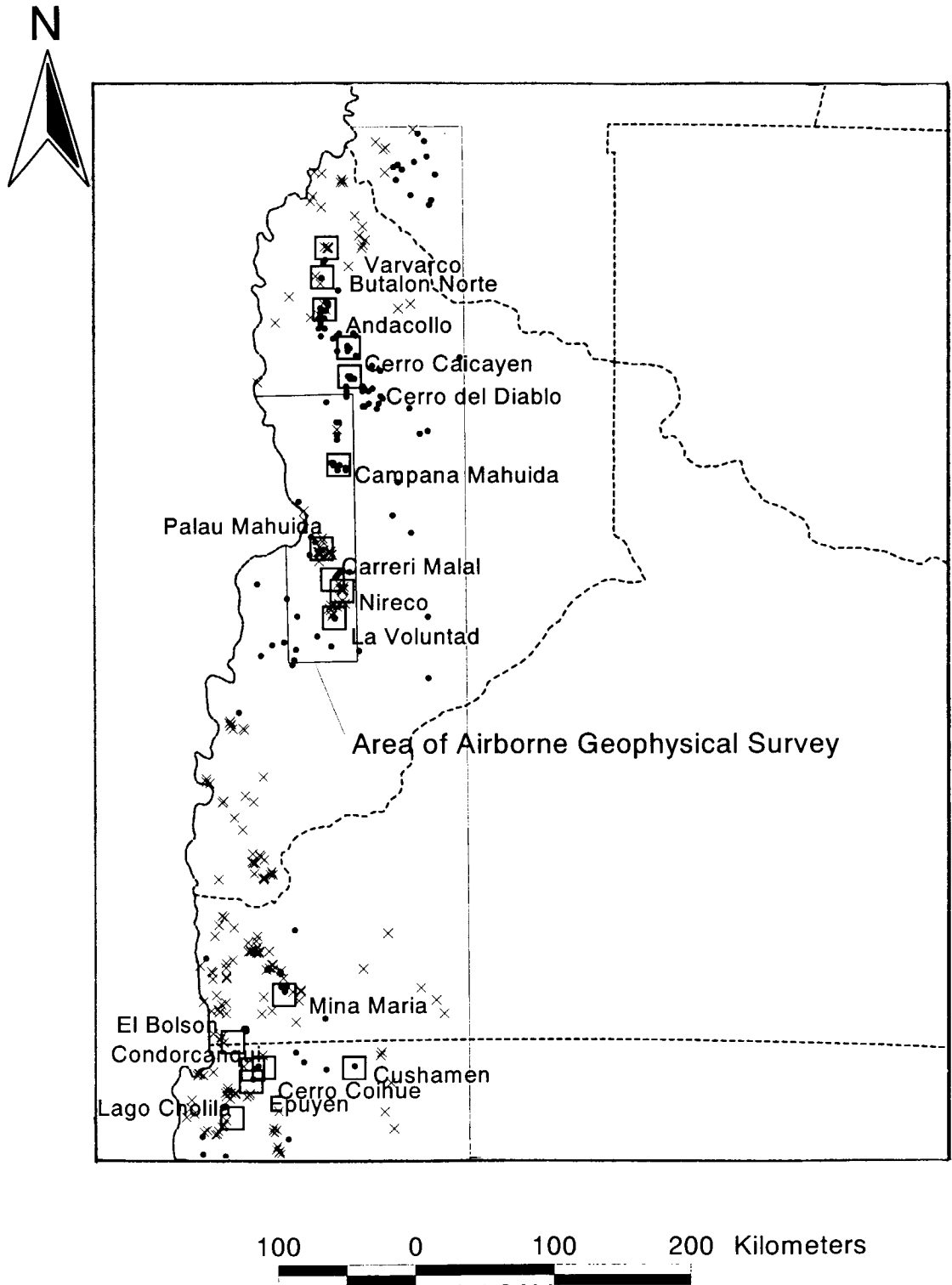


Fig. II-1-3-1 Location of the airborne geophysical survey

c) デジタル地形データ

デジタル地形データ (Digital Terrain Model) は固定翼機に取り付けられた GPS の高度情報と高度計の値から計算され、2~5 m の分解能を持つ。地形について精度の高い情報を提供し、地形の微妙な高・低や断層の位置を示すのに有効である。解釈には縮尺 1:250,000 のデジタル地形データ (Fig. II-1-3-5) を用いた。

2) LANDSAT TM フォールスカラー画像、比演算画像、解釈図

LANDSAT TM フォールスカラー画像、比演算画像、さらに昨年度実施したこれらの写真地質学的解釈結果 (いずれも縮尺 1:250,000) を解釈の参考にした (Fig. II-1-3-6)。

3) 既存地質図

SEGEMAR 発行の Neuquen 州地質図 (縮尺 1:500,000) を縮尺 1:250,000 に拡大し解釈の参考にした。

1-3-2 データ解釈結果

1) 調査範囲地質・鉱床

調査範囲には原生代から第四紀までの地層が分布する。第 1 年次調査の報告書に基づき、調査範囲の地質を以下にまとめる。

原生界は Paso de Pino Hachado の南に小規模に分布する。調査範囲の基盤をなし、泥質片岩、片岩、片麻岩などの低~高度の変成岩から構成される。Huechulafquen 湖付近の試料による Rb-Sr 年代測定の結果は 714 ± 10 Ma である (Parica, 1986)。

二畳系~三畳系は Zapala の西に広がる。この岩石は、前期二畳紀の地層に貫入した花崗岩類、及びそれと密接に関係する上部二畳紀~三畳紀の火山岩類から構成される。火山岩類は Choiyoi group (PTR) と呼ばれ、安山岩質~流紋岩質の溶岩及び火砕岩からなる。これらの花崗岩類・火山岩類は、太平洋側からのプレート沈み込みにより生成したと思われる。

ジュラ系は Andacollo と Zapala の間、及び Zapala の南に間欠的に産し、堆積岩、火山岩、深成岩からなる。堆積岩は碎屑岩、石灰岩、蒸発岩からなり塩基性火山岩を含む。これらは Neuquen 州では Cuyo group (J) と呼ばれる。

白亜系は Mendoza 州から Zapala の南西にかけて分布し、堆積岩、火山岩、花崗岩からなる。堆積岩は後期ジュラ紀 Tihonian 期から前期白亜紀 Albian 期にかけての下部層と、後期白亜紀 Cenomanian 期から Campanian 期にかけての上部層に分かれる。Neuquen 州では、この下部層は更に下位の Mendoza group (JK) と上位の Rayoso group (Ki) に分かれる。平均層厚は約 4,500 m である。上部層は Neuquen group (Ksc) と呼ばれ、砂岩、頁岩からなり、大陸性礫岩もわずかに見られる。層厚は 1,600 m に達する。

古第三系は Neuquen 州の北西に分布し、火山岩類及び花崗岩類からなる。火山岩類は Serie Andesitica と呼ばれ、主として安山岩溶岩と同質火砕岩からなる。花崗岩類は Andacollo と Cerro

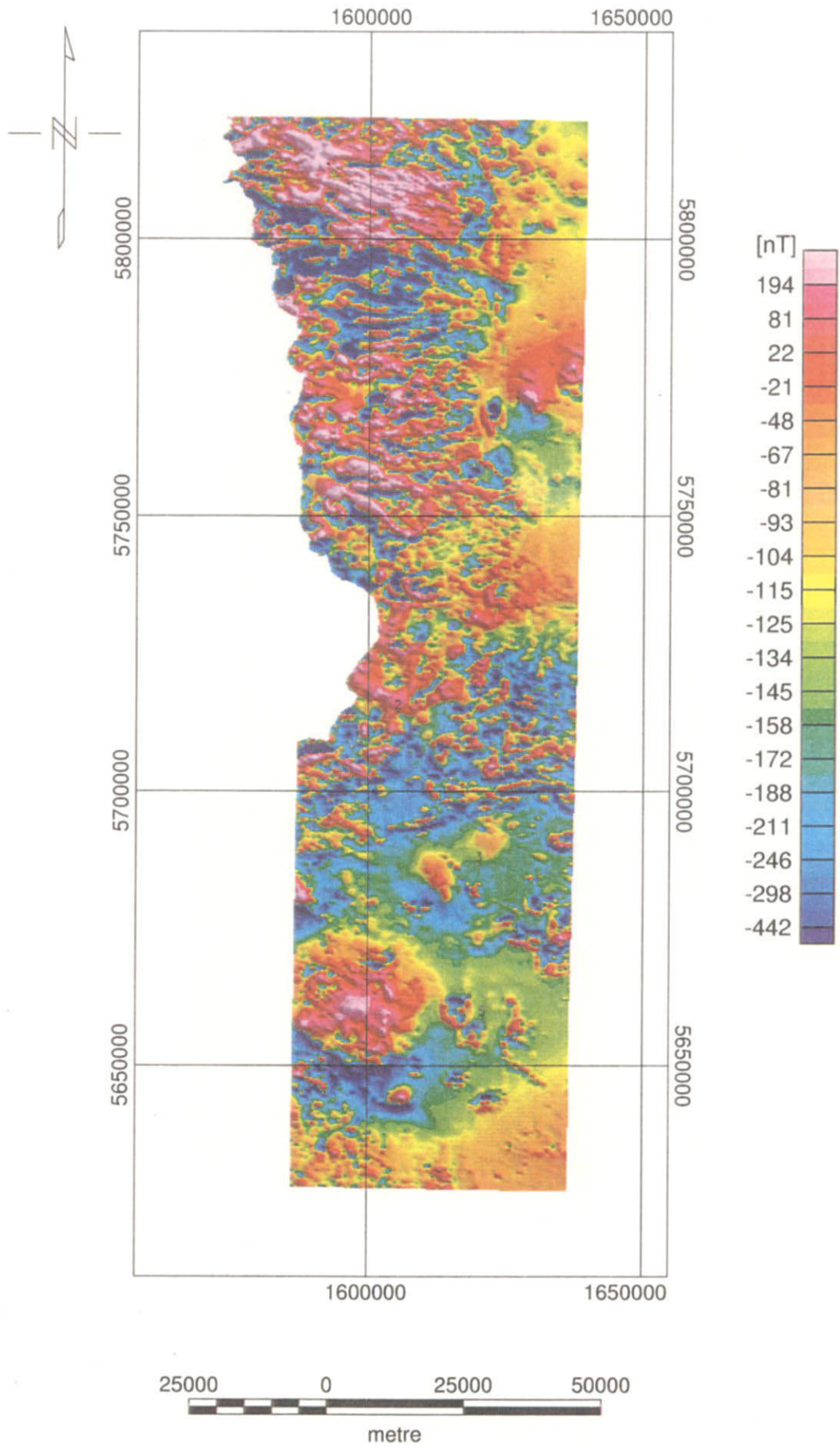


Fig. II-1-3-2 Total Magnetic Intensity image

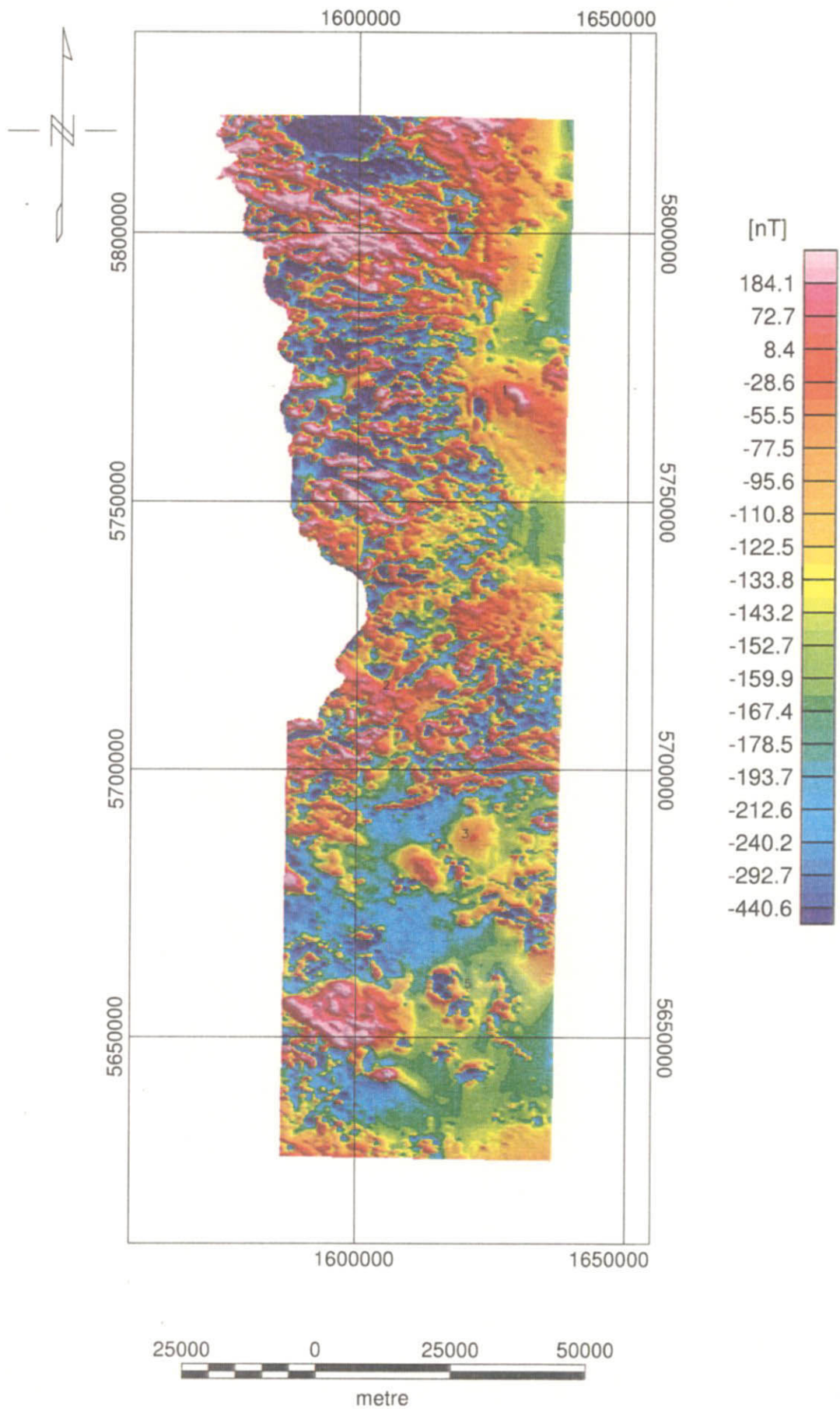


Fig. II-1-3-3 Total Magnetic Intensity (Reduced to the Pole) image

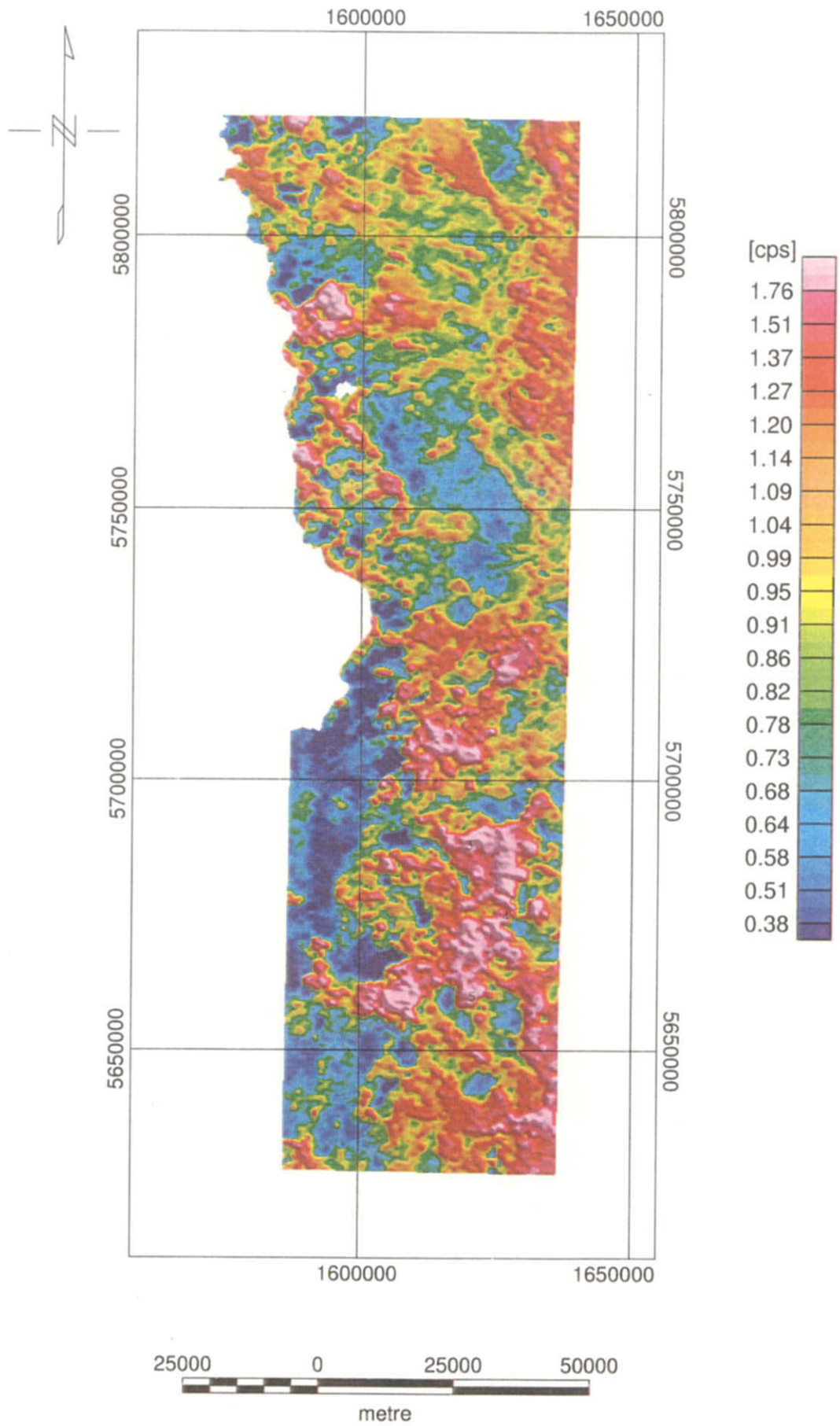


Fig. II-1-3-4 Radiometric image (K)

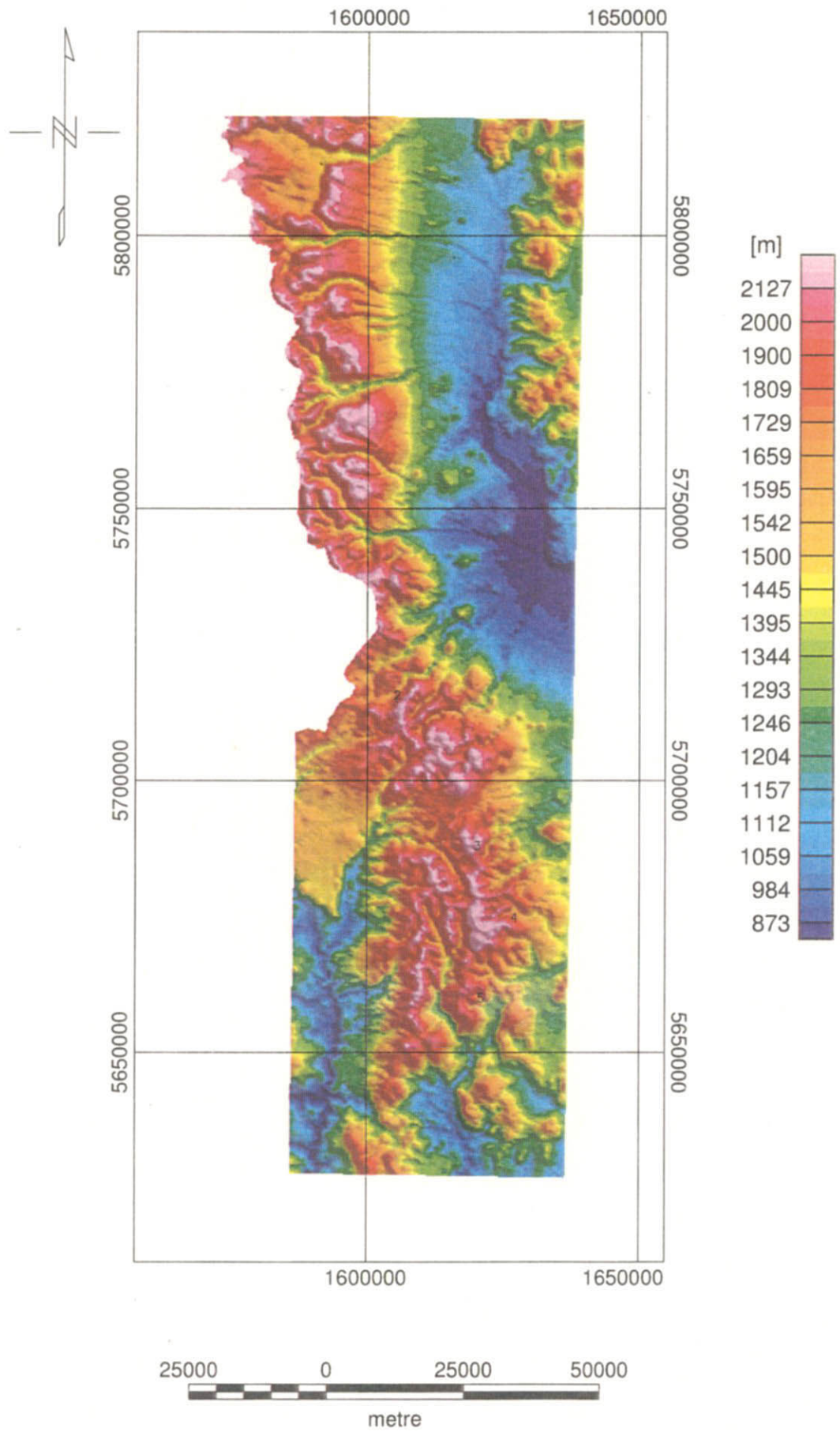


Fig. II-1-3-5 Digital Terrain Model image

Caicayen に小岩体が存在する。

新第三系は Neuquen 州北西部に広く分布し、火山岩類、堆積岩類、花崗岩類からなる。火山岩類は州北西端から Zapala 西方の山岳地帯まで広がる Cajon Negro 層と、Zapala 周辺に分布する Campos Basalticos de Zapala である。Cajon Negro 層は約 2 Ma に噴出したもので、主として安山岩質から玄武岩質の溶岩と集塊岩からなり、少量の酸性溶岩と溶結凝灰岩を含む。Campos Basalticos de Zapala の火山活動は更新世まで続き、Zapala 南西の Blanca 湖では完新世まで続く。これらは主として輝石安山岩とデーサイトを伴う玄武岩質溶岩からなる。

第四系は更新世の水河堆積物と、完新世の沖積層と崩積層からなる。新第三紀に開始した玄武岩の活動は第四紀まで続く。

調査範囲内には第 1 年次調査でグランドトルースを行った地区を 5 つ含む。以下に各地区の鉱床概要をまとめる。

a) Campana Mahuida 地区

Campana Mahuida 地区は Zapala の北北西約 100 km に位置する。鉱床は Campana Mahuida 斑岩銅鉱床と、それを囲む形で Grupo Cacque, Lastenia, Amelia, Belen, Teres, Agsutina y Otras, Grupo Huayelon, Candelaria の多金属鉱脈型鉱床が分布する。Neuquen 背弧海盆に堆積したジュラ系の浅海性堆積岩が分布し、閃緑岩、花崗閃緑岩、トーナル岩、安山岩斑岩が貫入する。鉱化作用に関係する安山岩斑岩の二次生成した黒雲母について、 74.2 ± 1.4 Ma の K-Ar 法年代測定値が得られている (Sillitoe, 1976)。

Campana Mahuida 鉱床は Cerro Tres Puntos の南南西約 5 km に位置する。母岩は堆積岩で直径 2 km のフィリック変質とそれを囲む直径 10 km のプロピライト変質が観察される。ポーリングコアでは堆積岩類とこれに貫入する安山岩斑岩が捕捉されており、地表下約 50 m までの酸化溶脱帯、深度 50~58 m の輝銅鉱からなる二次富化帯、深度 58~84 m の黄鉄鉱と黄銅鉱からなる初生硫化物帯が観察される。

Campana Mahuida 鉱床の約 5 km 西方には、多くの方鉛鉱-重晶石脈が認められる。これらも堆積岩に胚胎するが、熱水変質帯は認められない。

b) Palau Mahuida 地区

Palau Mahuida 地区は Zapala の西北西約 75 km に位置する。ここの基盤は原生代の変成岩類であり、二疊紀の花崗岩類、二疊紀~三疊紀の火山岩類の Choiyoi group と、これらを不整合で覆う新第三紀の安山岩が分布する。銅・亜鉛の鉱染帯をなす Arroyo Manzano 鉱床は、本地区北西部の二疊紀花崗岩類の中に胚胎する。

c) Carreri Malal 地区

Carreri Malal 地区は Zapala の西方約 50 km に位置する。地質は二疊紀~三疊紀の Chachil 深成複合岩類と Choiyoi group 火山岩類、ジュラ紀の堆積岩類の Cuyo group、新第三紀安山岩の Cajon Negro 層からなる。

Carreri Malal 鉱脈型鉱床は、Chachil 深成複合岩類の花崗岩バソリスと三疊紀 Choiyoi group の境界に沿って胚胎する。鉱脈の走向は NW-SE で、傾斜は垂直である。花崗岩に貫入する幅 10 cm~1.5 m の珪化角礫岩脈が 3 箇所で見られ、これらは鉛・亜鉛・銅・銀の鉱化作用に関係して

いる。花崗岩の変質は弱く、マフィック鉱物の緑泥石化と斜長石の粘土化が認められるのみである。

d) Nireco 地区

Nireco 地区は Zapala の西南西約 47 km に位置する。地区西側は二畳紀の花崗岩、二畳紀～三畳紀の火山岩の Choiyoi group が、地区東側はジュラ紀堆積岩の Cuyo group が分布する。鮮新世～更新世の Campos Basalticos de Zapala がこれらの地層を不整合で覆い、溶岩台地を形成している。

本地区ではこれまで鉱床・鉱徴は確認されていないが、Landsat TM 画像解析では多くの変質帯が抽出された。

e) La Voluntad 地区

La Voluntad 地区は Zapala の南西 60 km、Carreri Malal 地区の南 25 km に位置し、地質は Carreri Malal 地区と類似している。La Voluntad 鉱床は花崗閃緑岩及びトータル岩に胚胎される。La Voluntad 深成複合岩類である花崗閃緑岩とトータル岩は変質を受けており、周辺の岩石も弱いながらも変質している。

2) 解釈の基本概念

a) 空中磁気データ

空中磁気データは、航空機の下にある全ての岩石の磁性鉱物（主として磁鉄鉱、イルメナイト、磁硫鉄鉱）の割合を凶化したものである。磁鉄鉱が最も普遍的に産する磁性鉱物なので、一般的に磁鉄鉱の量を表すと考えてもよい。磁鉄鉱の量は一次的な作用と二次的な作用の両方に依存する。

磁鉄鉱の分布を決定する一次作用は以下のとおりである。

- ・ 岩石中の合計 Fe 含有量（マグマの全体化学組成）
- ・ 冷却過程における温度と酸素フュガシティー：酸素に富んだ環境での冷却過程は鉄-チタン相から磁鉄鉱を結晶させる。結果としてより多くの磁鉄鉱が生成され、岩石はより高い帯磁率を獲得する。

火山岩はマグマの組成変化、及び冷却過程に影響を与える地表などの形態的違いに起因して、異なる帯磁率を持つことになる。岩相は類似に見えても異なる火山活動により生成した岩石は、マグマのソースが変化しており冷却過程も異なるので、異なる磁気応答を示すことになる。

帯磁率に影響を与える二次作用は、変成作用、高温交代・変質作用、変形作用を含む。これらの過程は磁鉄鉱の量を増減させる。

断層や断裂も磁気データのリニアな特徴や、磁気応答一連のものが止められたり切られたりする特徴から解釈可能である。貫入岩や変質帯も特徴的な磁気応答を示す。円形・楕円形の高磁気異常や低磁気異常は貫入岩、あるいは断層・断裂・弱線帯に沿った変質帯を反映する。

b) 空中放射能データ

空中放射能データは、露頭岩石、そして原位置または運ばれてきた風化物の自然放射能壊変の記録である。データは放射能カウント合計、及びカリウム、トリウム、ウランの個々のチャネル

ルに表示される。ある種の変質帯、例えばポタシック変質は放射能（カリウム）応答として検出されることが期待され、水系も運ばれた土壌や粘土がたまっているので放射能データに表れる。

c) デジタル地形データ

デジタル地形データは、地形情報を提供し微妙な高低や断層の位置を特定するのに有効である。このデータは、固定翼機に取り付けられた GPS の高度情報と高度計の値から計算され、2~5 m の分解能を持つ。

3) 解釈結果概要

解釈図 (Fig. II-1-3-7) は、主として空中磁気データの解釈結果をまとめたものである。磁気データを直接地質図と対応させるにはしばしば困難を伴うが、まず以下に列挙する特徴を磁気データから抽出する。

- ・ リニアな磁気ユニットは、既に地質図に描かれている独立した溶岩の流れにしばしば対応する。流れの方向が示唆される。
- ・ 独立した円形・楕円形の磁気の高/低異常は貫入岩を反映する。
- ・ 高い磁気異常が広範囲にみられる場合は、深部の貫入岩に起因すると思われる。
- ・ 広範囲の消磁域は、変質により磁鉄鉱が消滅した範囲を表す場合がある。
- ・ 断層や断裂はリニアな磁気トレンド、あるいは磁気ユニットが止められたり切られたりすることにより認められる。

いくつかの地域では磁気データは既存の地質図と良い一致を示すが、全体に渡って首尾一貫させるのは困難である。多くの地域では空中磁気データから得られた情報は、放射能データや LANDSAT TM データそして地質図とはかなり異なっている。それは空中磁気データが航空機の下磁性体すべてをマッピングしているのに対し、他のデータは地表のデータだからである。

磁気データの解釈の結果、調査地域はおおよそ3つのゾーン (Zone I, Zone II, Zone III) に分かれた。

Zone I: 調査地域北部の中央から西端にかけての範囲で、主として E-W 方向に伸びる磁気高異常と低異常により占められる。これらは新第三紀~第四紀の火山岩溶岩を表す。

Zone II: 調査地域北部の東側の範囲で、中庸で変化の少ない磁気応答で特徴付けられる。これはジュラ紀~白亜紀の堆積岩を表す。この中で見られる広い範囲の磁気高異常は深所に併入する花崗岩バソリスを、規模の小さい円形の磁気高/低異常は浅所に貫入する火山岩脈、半深成岩、あるいは深成岩ストックを示唆する。

Zone III: 調査地域南部は低くて変化の少ない磁気応答が支配的で、その中に広い面積を持つ孤立した磁気高異常が見られる。このゾーンの磁気応答は既存地質図との対応が良くなく、解釈が難しい。

4) 解釈結果各論 (地質構造、岩相、変質・鉱化作用)

a) 地質構造

Zone I と Zone II の間に N-S 系の磁気構造が見られる。これは複数の並行するリニアなトレン

ドからなる。そのうちの一つは変化に富んだ磁気ユニットと変化の少ない磁気ユニットの境界となっている。その他は小さな磁気高／低異常の列で、これらは貫入岩と解釈される。また、Zone I と Zone III の間に E-W あるいは WWS-EEN 方向の磁気境界が認められる。これは磁気高／低異常と変化に乏しい磁気応答との境界になっている。各々のゾーンの構造を以下にまとめる。

Zone I: 磁気の極端な高異常と低異常のコントラストで強調される NWW-SEE~E-W 系の磁気応答が、主としてこのゾーンの中の北側で顕著である。このトレンドは火山岩溶岩の流れの方向を表していると判断される。この E-W 系のトレンドを切る形で、NW-SE 系のトレンドが観察される。

Zone II: Zone I と Zone II の間の境界のすぐ東側に、比較的小さな磁気環状構造が N-S 方向に配列する。北部では N-S 系のリニアなコンターが見られ、これは堆積岩の下部へ併入する磁性岩体が西に向かって浅くなることを示唆する。南部では堆積岩の下の大きな磁性岩体は NW-SE 方向のトレンドを持ち、いくつかは Zone I からのトレンドの延長と思われる。

Zone III: このゾーンには数多くの円形の磁性体が見られる。磁性体それ自体及び磁性境界は、NW-SW あるいは NE-SW 方向のトレンドを持つ。

b) 岩相

磁気及び放射能データから、調査地域各ゾーンの岩相は以下のように識別される。

Zone I: NWW-SEE~E-W 方向に伸びる極端に高い磁気応答と極端に低い磁気応答が共存することは、正及び逆帯磁した残留磁気の強い火山岩溶岩と判断される。デジタル地形データによるとこの範囲の水系は主として E-W 方向であり、一部は SE 方向であるが、これも火山岩溶岩の流れの方向を示唆する。この範囲における放射能データの高カリウム応答は、とくに南側で卓越するデイサイトや流紋岩のような酸性火山岩を表す。逆に、低カリウム応答は玄武岩や安山岩の分布を示唆する。

Zone II: 面積の広い変化に乏しい中程度の磁気応答は、堆積岩を表す。北端と中央の 2 箇所磁気高異常が観察され、これは貫入岩と解釈される。磁気高異常のみが見られることから、残留磁気ではなく誘導磁気が卓越しており、地下深部に花崗岩バソリスが併入していると解釈される。Campana Mahuida の西に見られる同心円状の磁気低／高異常は、内側が逆帯磁し、外側が正帯磁した貫入岩と解釈される。Zone I との境界に沿って小さな磁気異常が配列しており、これも貫入岩と解釈される。この N-S 系の磁気配列は 50 km 程続き、おそらく局所的なテクトニクスに関係していると思われる。

Zone III: このゾーンは、磁気データから解釈される結果と既存の地質図との間にかかなりの違いがある。広範囲の中程度の磁気応答は堆積岩分布域と考えられる。その他に、長周期の磁気高異常と円形・楕円形の磁気高／低異常の両方が見られ、前者は深成岩バソリス、後者は地下浅所に貫入した深成岩~半深成岩ストックと考えられる。

c) 変質・鉍化作用

第 1 年次にグランドトルースを行った 5 地区における、鉍化・変質帯と磁気応答との関係を以下にまとめる。

(1) Campana Mahuida 地区

Campana Mahuida 鉱床は、周囲の磁気高異常から更に高い磁気応答の南の肩に位置する。磁気高異常は花崗岩バソリス、更に高い磁気応答は長径 5 km 程度の地下浅所への貫入岩と考えられる。既存資料には直径 2 km 程度のフィリック変質、及び直径 10 km 程度のプロピライト変質が記載されているが、これらの変質帯に対応する磁気応答は得られていない。

(2) Palau Mahuida 地区

Arroyo Manzano 鉱床は、磁気高異常の小体の頂上に位置する。周辺の磁気応答から火山岩溶岩の中に胚胎すると解釈される。これは地質図の新第三紀の安山岩の広い分布とも対応する。鉱化作用と磁気応答との関係を見つけるのはむづかしい。

(3) Carreri Malal 地区

Carreri Malal 鉱床は直径 10 km の、中程度ながら周囲よりは明らかに高い磁気応答の肩に位置する。この弱磁性岩体は併入した花崗岩体と考えられ、鉱化作用と関係しているかもしれない。

(4) Nireco 地区

Nireco 地区は磁気高応答と低応答の明瞭な境界に位置する。この磁気応答パターンは貫入岩と考えられ、地表で観察される熱水変質帯はこの貫入岩と関係あるかもしれない。

(5) La Voluntad 地区

La Voluntad 地区は磁気高／低異常のいくつかの組の外縁に位置する。この磁気応答は貫入岩に対応すると考えられ、鉱化作用と関係するかもしれない。

5) LANDSAT TM データとの比較検討

第 1 年次調査で調査地域の地質、鉱床、鉱徴地を十分理解するために LANDSAT TM 画像の写真地質学的解釈を行った。範囲は Mendoza 州、Neuquen 州、Rio Negro 州、Chubut 州の 4 州にわたり、チリとの国境沿いに N-S 方向に伸びる 250,000 km² の範囲である (Fig. II-2-1 参照)。解釈に用いた LANDSAT TM 画像 13 シーンのうち 2 シーン (Chos Malal 地域、Zapala 地域) が空中物理探査の範囲をカバーしている。この 2 地域についての LANDSAT TM 画像解釈結果を、空中磁気・放射能データと比較検討した。

a) リニアメント

Zone I : LANDSAT TM 画像では、NE-SW 及び NW-SE のトレンドを持つリニアメントの密集部が南側に抽出された。磁気データからは NNE-SSW 及び NEE-SWW のトレンドが認められるが、LANDSAT TM 画像で抽出されたリニアメントとの相関は見られない。

Zone II : LANDSAT TM 画像では、いくつかの小リニアメント (NW-SE, NE-SW) が、ジュラ紀上部～白亜紀下部の堆積岩に第三紀花崗岩が併入した部分で抽出された。磁気データではそのようなトレンドの磁気構造はみられない。

Zone III : LANDSAT TM 画像では比較的広い範囲において、NW-SE 方向の系統だった複数のリニアメントと、それを切る NE-SW 方向の長いリニアメントが抽出された。磁気データでは NE-SW 系及び NW-SE 系の磁気トレンドは見られるが、数は少なく系統的な特徴は示さない。

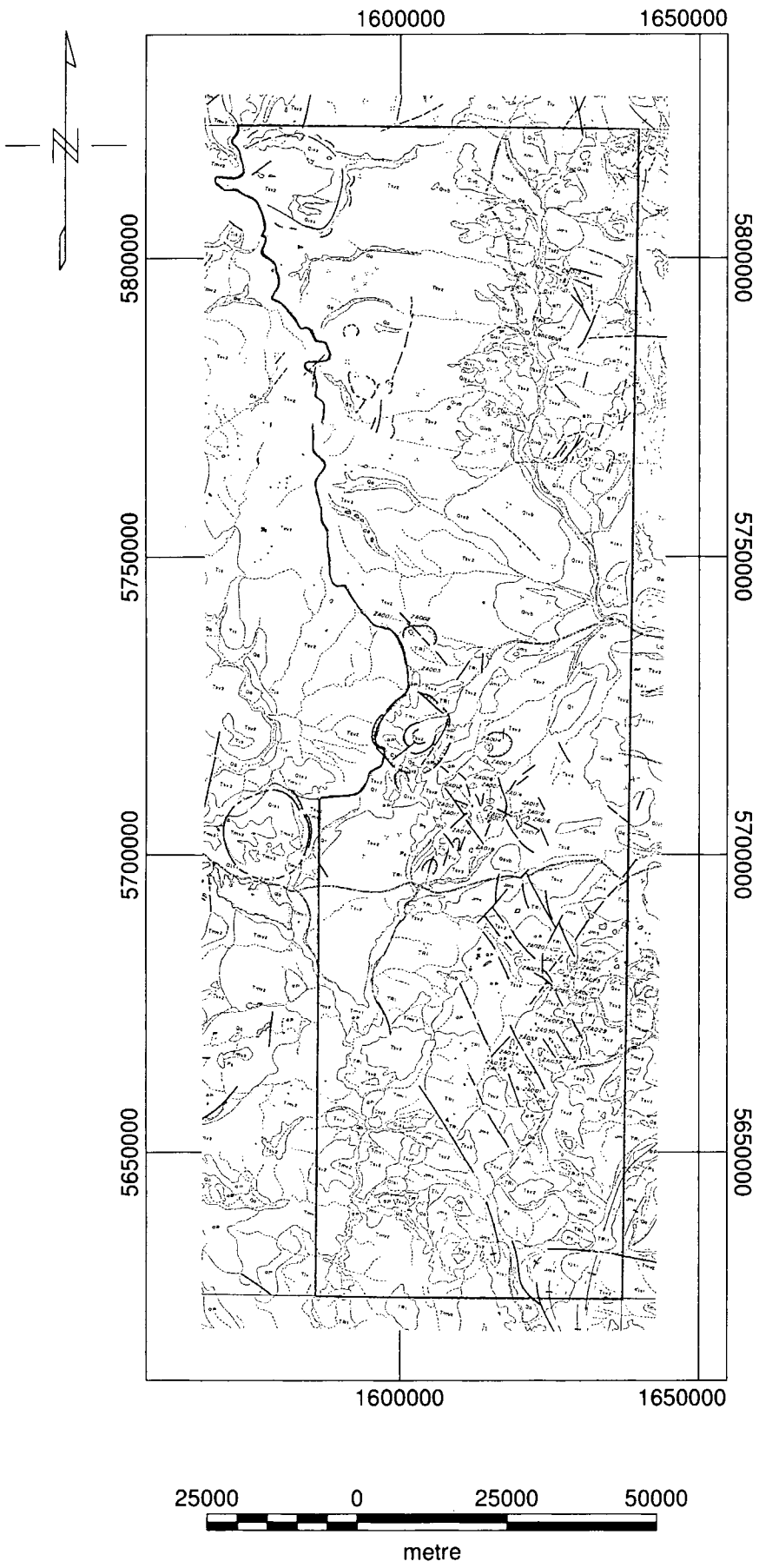


Fig. II-1-3-6 Interpretation map of the LANDSAT TM data analysis

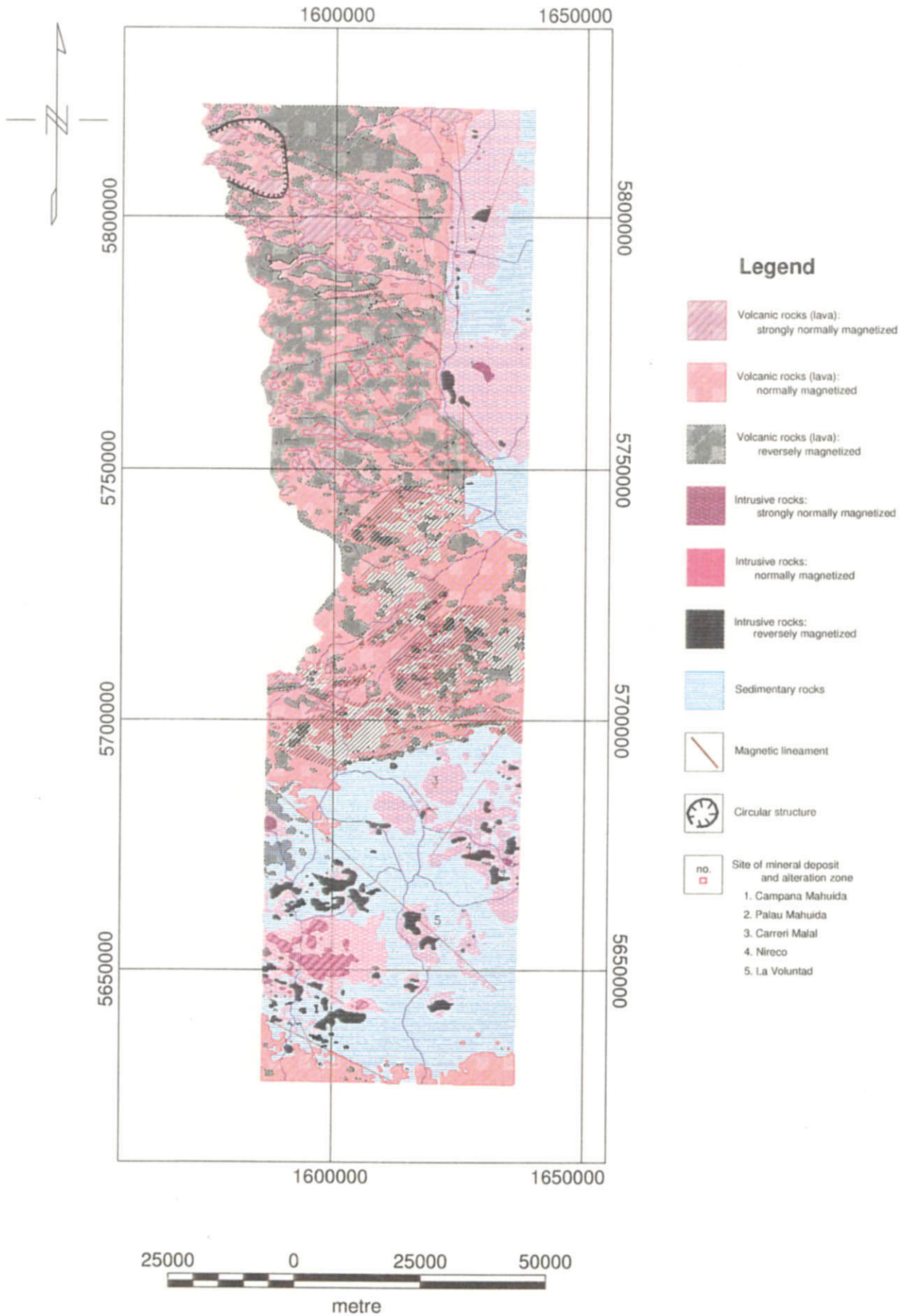


Fig. II-1-3-7 Interpretation Map of the airborne geophysics

b) 環状構造

Zone I : LANDSAT TM 画像から、いくつかの環状構造が特に第三紀と三畳紀の火山岩分布域において抽出された。北西端にある環状構造は磁気データからも認められる。極磁気変換全磁力図 (Fig. II-1-3-3) には無数の環状応答が見られるため、磁気データだけから環状構造を抽出するのは難しい。

Zone II : LANDSAT TM 画像から環状構造は抽出されていない。

Zone III : LANDSAT TM 画像から環状構造は抽出されていない。

c) 褶曲構造

いずれのゾーンにおいても、LANDSAT TM 画像から褶曲構造は抽出されていない。

d) 変質帯

いずれのゾーンにおいても、LANDSAT TM 画像から変質帯が抽出されているが、これらの規模は 1~2 km 程度である。空中物理探査データは 1 km 間隔の飛行測線で取得されたため、これらに対応する磁気応答及び放射能カリウム応答は得られていない。

1-3-3 まとめ

空中磁気・放射能データを解釈した結果、調査範囲は北西部の Zone I、北東部の Zone II、南部の Zone III の 3 つの地質ユニットに分かれた。Zone I は新第三紀以降の火山岩溶岩に対応するコントラストの強い E-W 系の磁気示徴が顕著で、既存の地質図とも良く一致している。Zone II は白亜紀の堆積岩に対応する平坦な磁気示徴の中に花崗岩のバソリスを示唆する広範囲の正磁気異常が 2箇所に見られる。Campana Mahuida 斑岩銅鉱床は、そのうちの 1 つの貫入岩に対応すると思われる更に強い磁気異常の肩に位置する。Zone III は堆積岩を示す平坦な磁気示徴の中に、花崗岩バソリス・火山岩貫入岩・火山岩溶岩に対応すると思われる様々な磁気異常が見られ、既存の地質図との一致は良くない。Carreri Malal や La Voluntad などの既知鉱徴地は貫入岩と思われる磁気異常の周辺に分布する。放射能 (カリウム) のデータは Zone I の火山岩分布域での酸性岩と塩基性岩の識別に、Zone II においては堆積岩分布域の把握に参考となった。

LANDSAT TM の画像解析で抽出されたりニアメントや環状構造は、磁気データとそれほど良い一致を示さない。これは主として対象とする物性の違いに起因するが、分解能の違い (磁気データ : 200 m grid, LANDSAT TM : 30 m pixel) や探査深度の違いも関係していると思われる。しかしながら、Zone III では LANDSAT TM 画像のリニアメントと磁気データから読み取れる構造の方向は一致している。

磁気データから既知鉱床・鉱徴地は貫入岩と密接に関係していることが明らかとなり、これは今後の探査指針になる。しかしながら、今回のデータは飛行測線間隔 1 km で取得されたため、熱水変質帯に対応した磁気示徴は捉えられていない。同様の理由で、地表にポタシク変質があったとしても放射能データ (カリウム) には表れていないと考えられる。有望地区を抽出するためには測線間隔 200 m の空中物理探査によるフォローアップが望まれる。

1-4 沢砂地化学探査

1-4-1 経緯

1960年代に実施された Plan Cordillerano Project では、アンデス山脈に沿った地域において鉱物資源の広域調査が行われた。当時採取された河床堆積物は銅・鉛・亜鉛についての分析を行ったのみであり、金・銀・モリブデンらの金属元素や、砒素・アンチモン・水銀といった鉱化指示元素は分析が行われなかった。また当時の分析精度は十分でなく、将来の他の元素も含めた再分析のために SEGEMAR が残試料を保管しておいたものである。これらの試料のうち、調査対象地域に含まれるのは Neuquen 州で採取された約 9000 個の沢砂試料である。残試料はすべて 80mesh に処理済で、各々 20~30 g (少ないものは 3~5 g) 程度が保管されている。また、Chubut 州においても過去のプロジェクトで採取された土壌、岩石試料が SEGEMAR に保管されており、今回合わせて化学分析を実施した。

近年、世界銀行による資源基本情報の取得・整備、カナダ政府による地化学分析の協力を契機に、資源評価の基本情報となる地化学探査による国土カバーの見直しが始まり、計画的に国による地化学探査の実施、手持ちサンプルの再分析を行うこととなった。今回調査対象としている地域は、上記計画の地域を含んでおり、SEGEMAR によって保管されていた残資料の分析を日本側に要請してきたものである。なお、平成 9~10 年に日本によって実施された東部アンデス地域の広域調査においても同様の要請を受けて分析をおこなっている。残試料は今回の分析で最後ということで、分析成分については、貴金属、レアアースまで分析することを前述の地化学探査計画の基本として、各国の協力にもそれを要請している。分析成分は金を含む 48 成分で、カナダの分析会社のパッケージを想定している。

本件については、現在鉱業政策を積極的に推進しているアルゼンチン政府に大きく貢献するものであり、また我が国が行っている資源調査の基礎データともなり得ることから、要請を受け分析を実施することとした。Neuquen 州の沢砂試料は、量不足のため分析不可能なもの、座標情報の欠如したものを含んでおり、最終的に地化学情報として使用可能なものは 9,060 試料である。Chubut 州の土壌、岩石試料は 782 試料である。

1-4-2 試料

沢砂試料は Neuquen 州の Fig. II-1-4-1 に示す地域から採取されたものであり、1/25 万地形図ごとに集計された数量は以下の通りである。

Table II-1-4-1 Number of samples for Neuquen Province

1/250,000 map	Quantity of samples
LAS CUEVAS	524
BARRANCAS	911
ANDACOLLO	1629
CHOS MALAL	917
PASO PINO HACHADO	1387
ZAPALA	369
JUNIN DE LOS ANDES	2000
PICUN LEUFU	367
SAN MARTIN DE LOS ANDES	957
Unknown	181
Total	9242

但し、このうち量不足のため分析不可能なもの、座標情報の欠如したものなどを差し引くと、地化学情報として使用可能なものは 9,060 個である。

土壌、岩石試料は Chubut 州の Fig. II-1-4-2 に示される地区で採取されたものであり、各地区ごとの数量は以下の通りである。

Table II-1-4-2 Number of samples for Chubut Province

District	Quantity of samples
Arroyo Luque and Cerro Gonzalo(soil)	387
(rock)	135
Arroyo El Rapido(soil)	86
(rock)	86
Arroyo de los Alevinos(rock)	25
Katterfeld(rock)	46
Arroyo Canogas(rock)	17
Total	782

但し、これらの試料の正確な採取座標はわかっていない。

1-4-3 分析法・分析成分・検出限界

分析法はアルゼンチン側の要望により、少ない試料でも対応でき、比較的安いコストで迅速に卑金属、貴金属、レアアースの分析が可能であるという事から、INAA法（28成分）とICP-AES法（20成分）のパッケージを採用することとした。

分析会社はアルゼンチン側の要望により、東部アンデス広域調査時にも使用したカナダのXRAL Laboratories, A Division of SGS Canada Inc.に依頼した。各成分の検出限界値は以下の通り。

Table II-1-4-3 List of elements and detection limits
(upper : INAA Method, lower : ICP-AES Method)

Element	D.L.	Element	D.L.	Element	D.L.
As	0.5ppm	Au	2ppb	Ba	50ppm
Br	0.5ppm	Ce	3ppm	Co	1ppm
Cr	5ppm	Cs	1ppm	Eat	0.2ppm
Fe	0.01%	Hf	1ppm	Hg	1ppm
Ir	5ppb	La	0.05ppm	Lu	0.05ppm
Na	100ppm	Nd	5ppm	Rb	5ppm
Sb	0.1ppm	Sc	0.1ppm	Se	3ppm
Sm	0.1ppm	Ta	0.5ppm	Tb	0.5ppm
Th	0.2ppm	U	0.5ppm	W	1ppm
Yb	0.2ppm				
Ag	0.2ppm	Al	0.01%	Be	1ppm
Bi	5ppm	Ca	0.01%	Cd	0.5ppm
Cu	0.5ppm	K	0.01%	Mg	0.01%
Mn	1ppm	Mo	1ppm	Ni	1ppm
P	0.001%	Pb	2ppm	Sn	10ppm
Sr	0.5ppm	Ti	0.01%	V	2ppm
Y	0.5ppm	Zn	0.5ppm		

閾値は基本的には対数確率紙上の累積頻度分布に基づく方法（Lepeltier,1969; Sinclair,1974,1976）に従って分類した。但し、閾値は各階級ごとの頻度、図面上の見易さなどを考慮して適当な値に決定した。

1-4-4 評価

分析結果はAppendixのCD-ROMにArc Viewのファイルとして採取地点情報と共に格納してある。Neuquen州について、金、銅の分析値分布図の出力例をFig. II-1-4-3, Fig. II-1-4-4に示

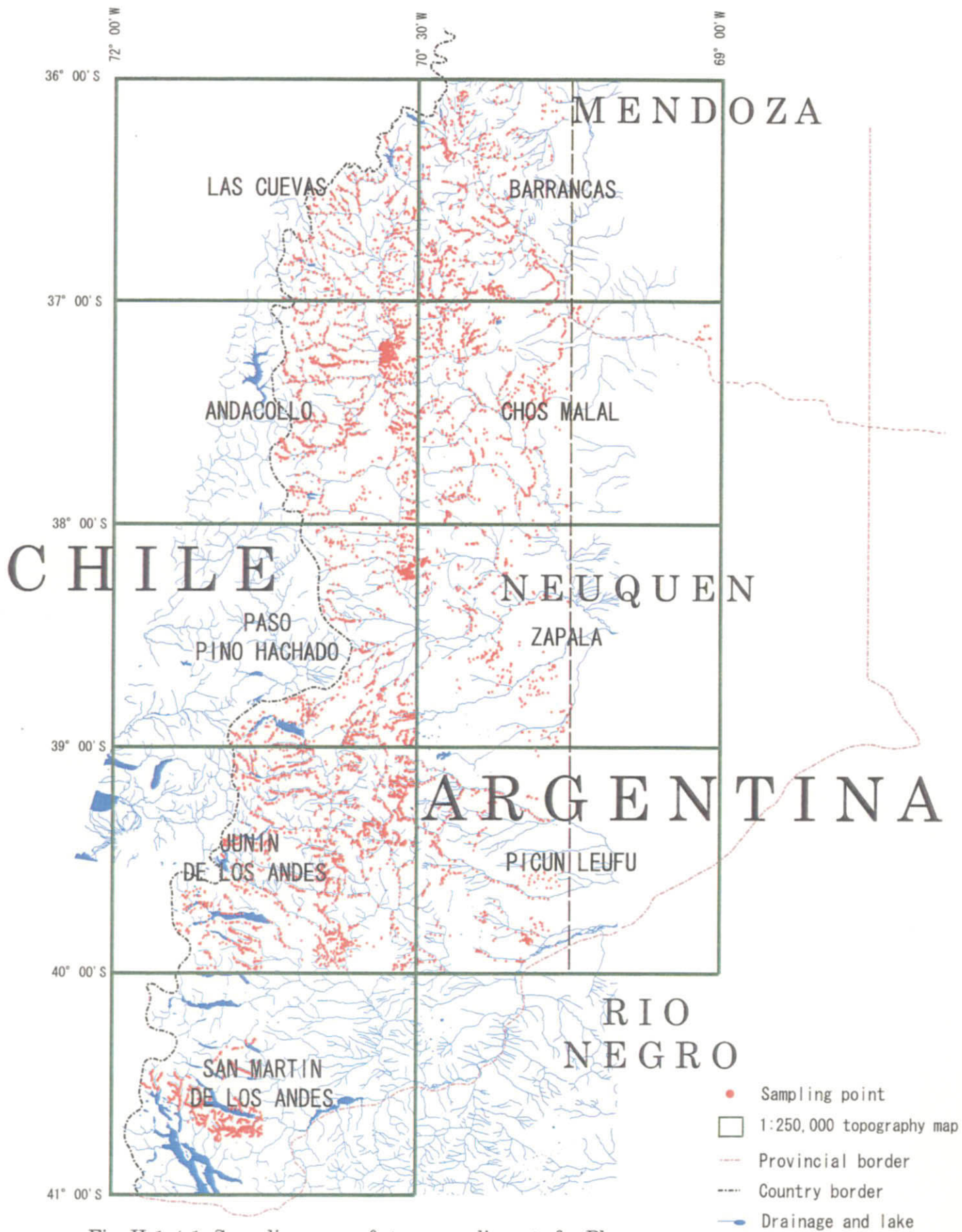


Fig. II-1-4-1 Sampling area of stream sediments for Plan Cordillerano Project in Neuquen Province, Argentine Republic

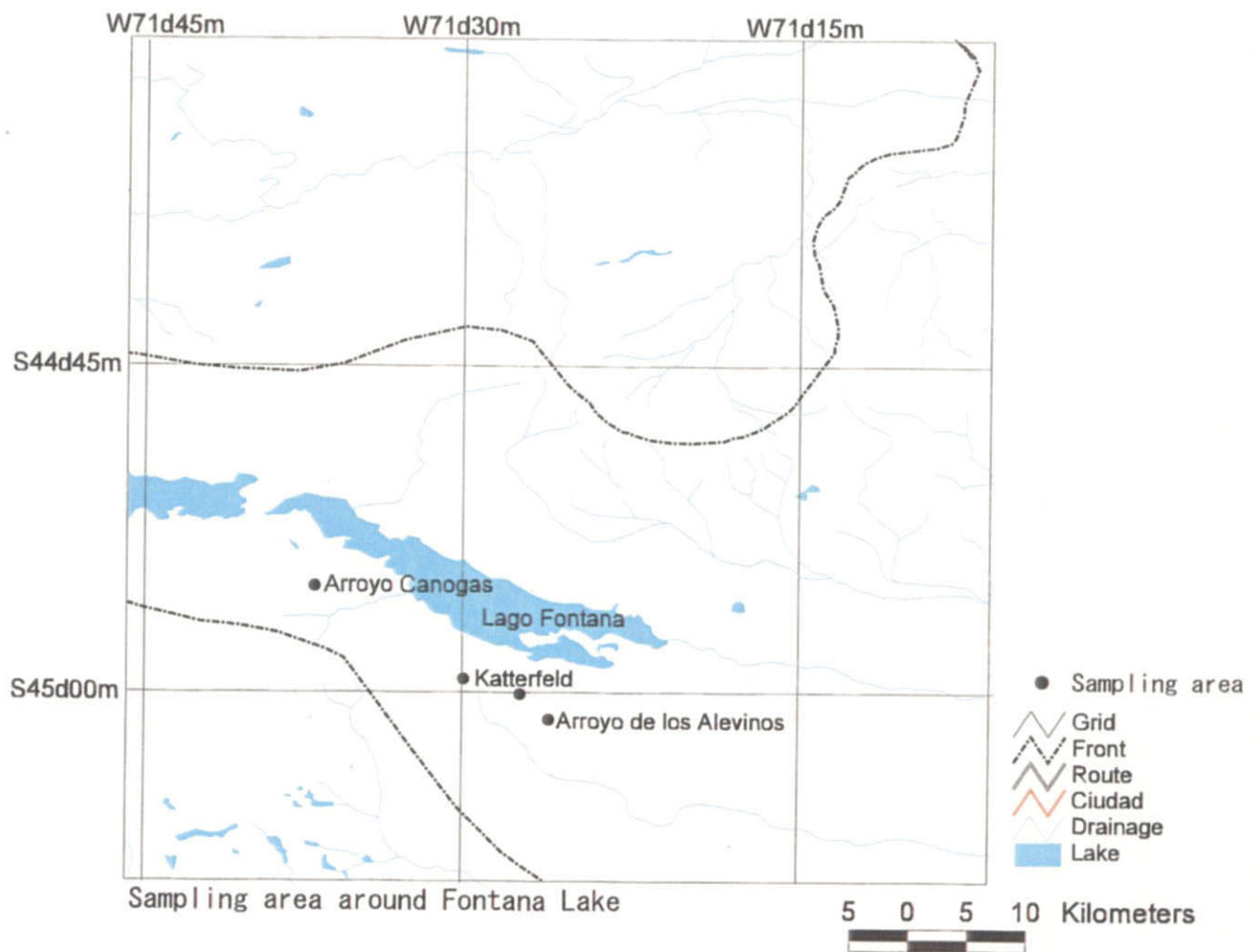
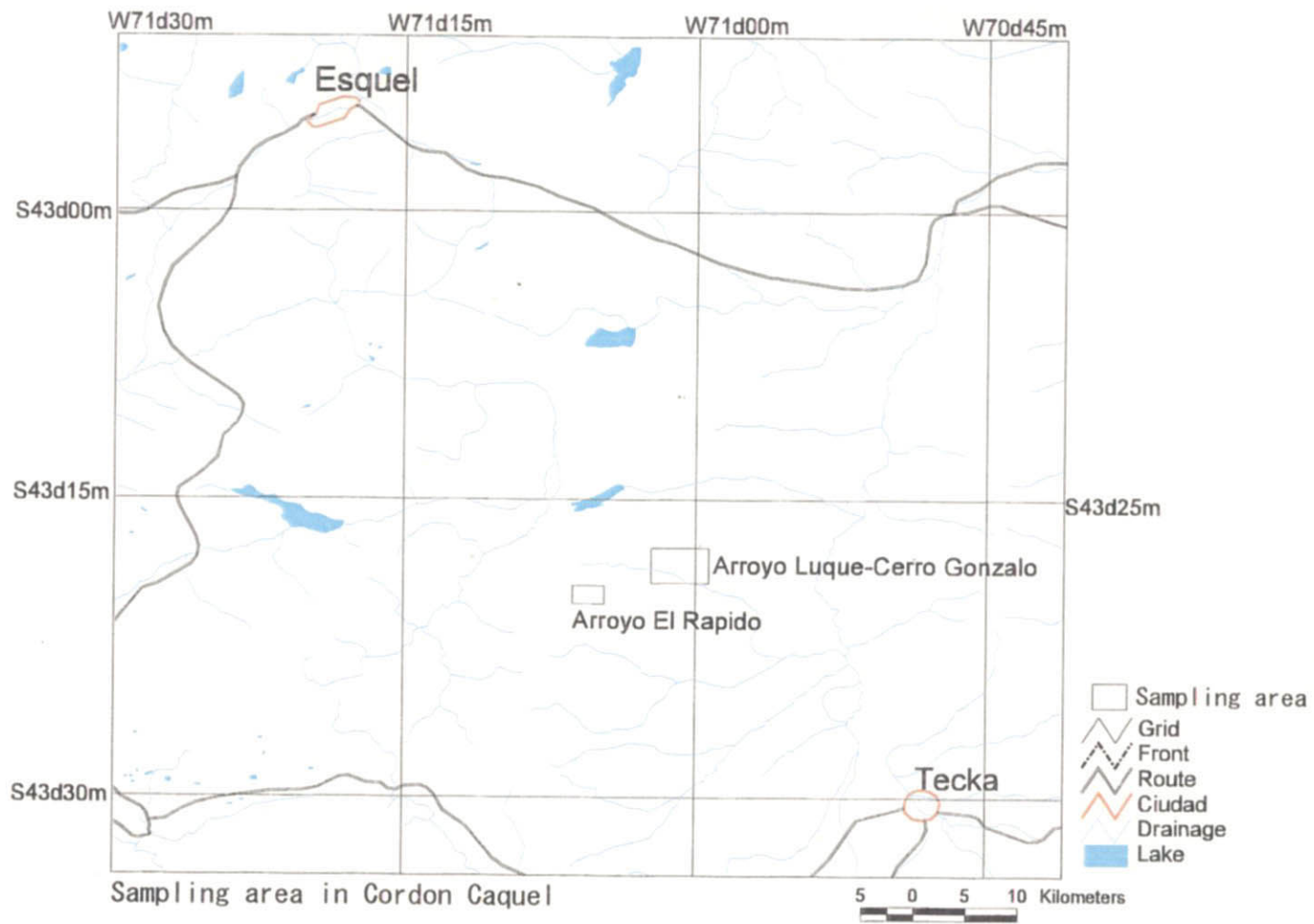


Fig. II-1-4-2 Sampling areas of soil and rocks in Chubut Province, Argentine Republic

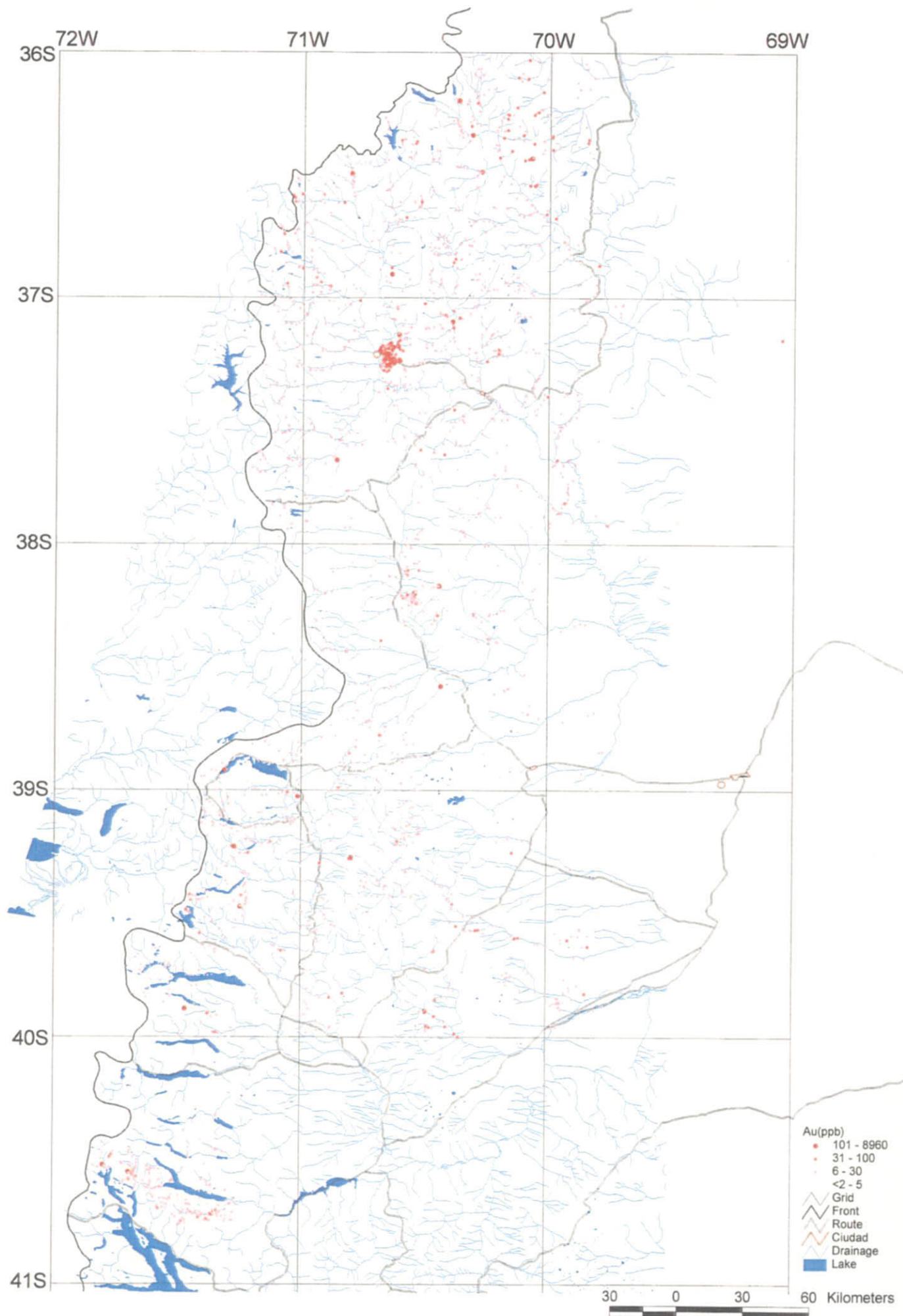


Fig. II-1-4-3 Distribution of Au(ppb) content in stream sediments, Plan Cordillerano Project

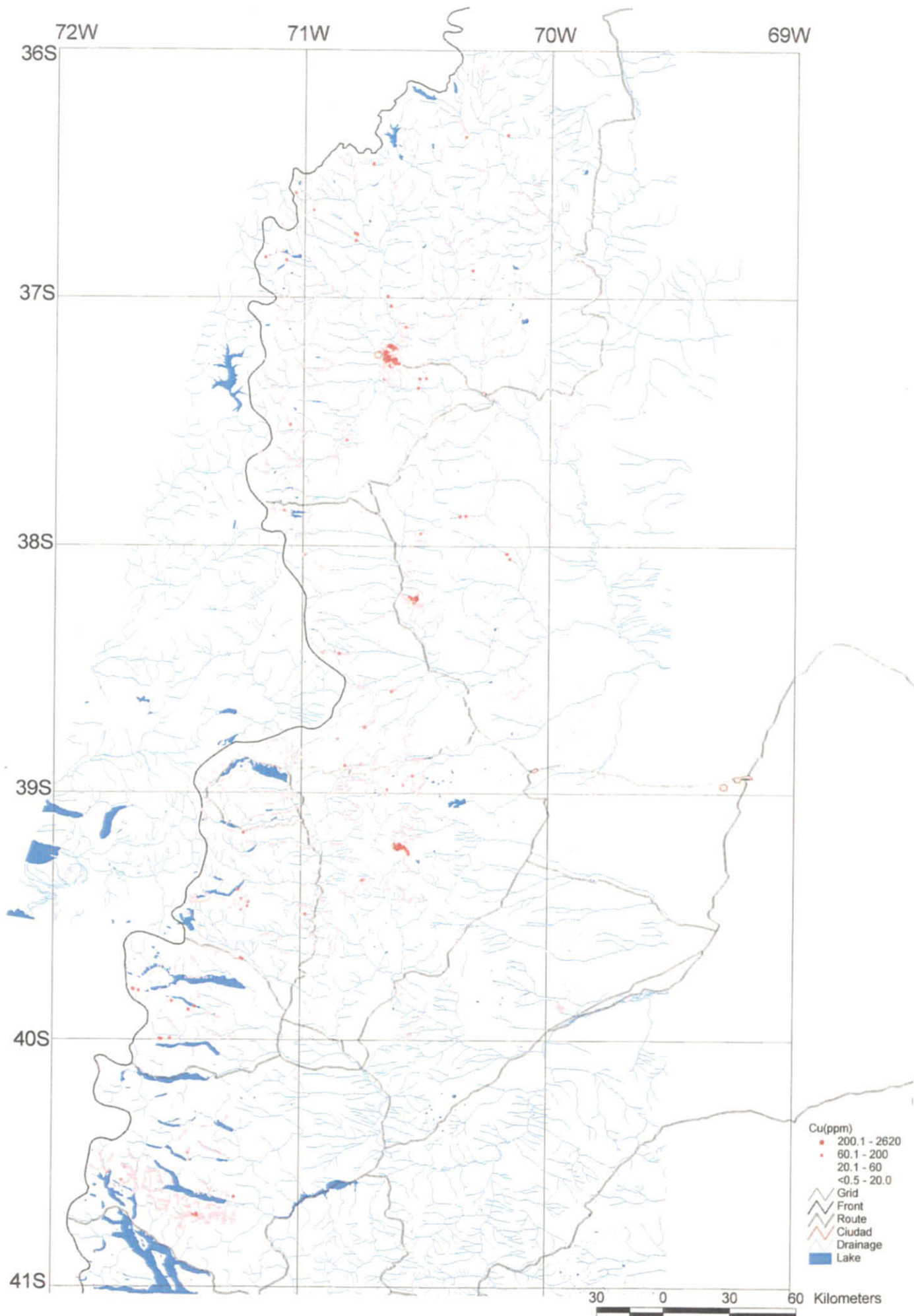


Fig. II-1-4-4 Distribution of Cu(ppm) content in stream sediments, Plan Cordillerano Project

す。両図において南緯 37° 15′ 付近と南緯 38° 15′ 付近に集中する金および銅の異常値は Andacollo、Campna Mahuida にそれぞれ対応し、Fig. II-1-4-4 で南緯 39° 15′ 付近に集中する銅の異常値は La Voluntad に対応する。これら既知鉱徴地以外では、Andacollo 鉱床から北方の Laguna Varvarco Campos 周辺にかけての地域に金の異常値が散在的に分布する。なお、Laguna Varvarco Campos 東方の Rio Barrancas 上流域から Mendoza 州にいたる地域は、102~133ppb Au の異常値が得られているものの、これまで詳細な調査が実施されておらず、また今回の衛星画像解析による変質帯も多く抽出されているため、今後の調査が期待される。この地域には、古第三紀安山岩・火山砕屑岩、中新世~鮮新世前期の安山岩~流紋岩質凝灰岩・イグニブライトなどが分布しており、この地域南西に位置する Andacollo 金鉱床の鉱化作用が第三紀の火成活動に関連するものと考えられることから、上記地域にもこれに関連する鉱化作用があったものと推測される。Chubut 州の土壌・岩石試料については正確な座標情報がないため、今回分布図の作成は行わなかった。Arroyo el Rapido では岩石で 1,410ppb Au、739ppb Au など、Arroyo Luque・Cerro Gonzalo では土壌で 542ppb Au など、Arroyo de los Alevinos では岩石で 86.8ppm Ag など、Katterfeld では岩石で 1,210ppb Au を最高に、11 試料で >100ppb Au、6 試料で >100ppm Ag、また砒素の高異常などが示された。Arroyo Canogas では 880ppb Au を最高に、7 試料で >100ppb Au、また砒素の高異常などが示された。これらの土壌・岩石試料は Chubut 州の既知鉱徴地周辺で採取されたとされるが、100mグリッドで採取されたとの記述以外、正確な試料の座標情報が無いため参考データとしておく。

第2章 衛星画像解析

衛星画像解析は LANDSAT TM 画像を用いて行った。第1年次は、調査範囲全域をカバーする13シーンについて、フォールスカラー画像及び比演算画像を用いて地質学的判読と解釈を行った。第2年次は、第1年次調査で絞られた有望地区を含む範囲の6シーンについて、等粒子モデルを用いた変質帯の精密解析を試みた。

本報告書では、第1年次のフォールスカラー画像および比演算画像解析について概要を述べることとし、その詳細については第1年次報告書の p 56~214 を参照されたい。

2-1 フォールスカラー画像および比演算画像解析

2-1-1 使用データ

本地域の地質・地質構造解析及び変質帯抽出作業に供するために、13シーンのフォールスカラー画像及び比演算画像を、さらに全域のフォールスカラー・デジタルモザイク画像及び比演算画像を作成した。使用したデータは、大部分が LANDSAT 5 号により観測され (Path 231/Row 91 については LANDSAT 4 号により観測)、バルク補正された CCT (コンピュータ適合磁気テープ) であり、(財)リモート・センシング技術センターを通じ、米国地質調査所 EROS Data Center から購入した。13シーンの各画像の位置を Fig. II-2-1 に、観測年月日、太陽位置情報を Table II-2-1 に示す。

Table II-2-1 Path/Row, date of acquisition, sun azimuth and sun elevation of 13 scenes of the LANDSAT TM image.

No.	Name of the scene (area)	Path	Row	Date of acquisition	Sun azimuth	Sun elevation
1	Malargue	232	85	Feb. 9, 1987	75°	44°
2	Chos Malal	232	86	Feb. 9, 1987	74°	44°
3	Zapala	232	87	Feb. 9, 1987	73°	43°
4	San Martin de Los Andes	232	88	Feb. 9, 1987	72°	42°
5	San Carlos de Bariloche	232	89	Feb. 22, 1986	65°	40°
6	Lago Menendez	232	90	Dec. 7, 1986	73°	50°
7	Plaza Huincul	231	87	Jan. 1, 1987	80°	50°
8	Laguna Blanca	231	88	Oct. 29, 1986	63°	46°
9	Ojo de Agua	231	89	Oct. 29, 1986	62°	45°
10	Esquel	231	90	Jan. 27, 1985	71°	46°
11	Senguerr	231	91	Feb. 24, 1992	68°	34°
12	Colelache	230	90	Dec. 9, 1986	73°	50°
13	Buen Pasto	230	91	Dec. 9, 1986	72°	49°

データの入手に当たっては、財団法人リモート・センシング技術センターを通じて米国 EROS Data Center に対象地域の LANDSAT TM データの取得状況を問い合わせ、さらにデータ欠損の

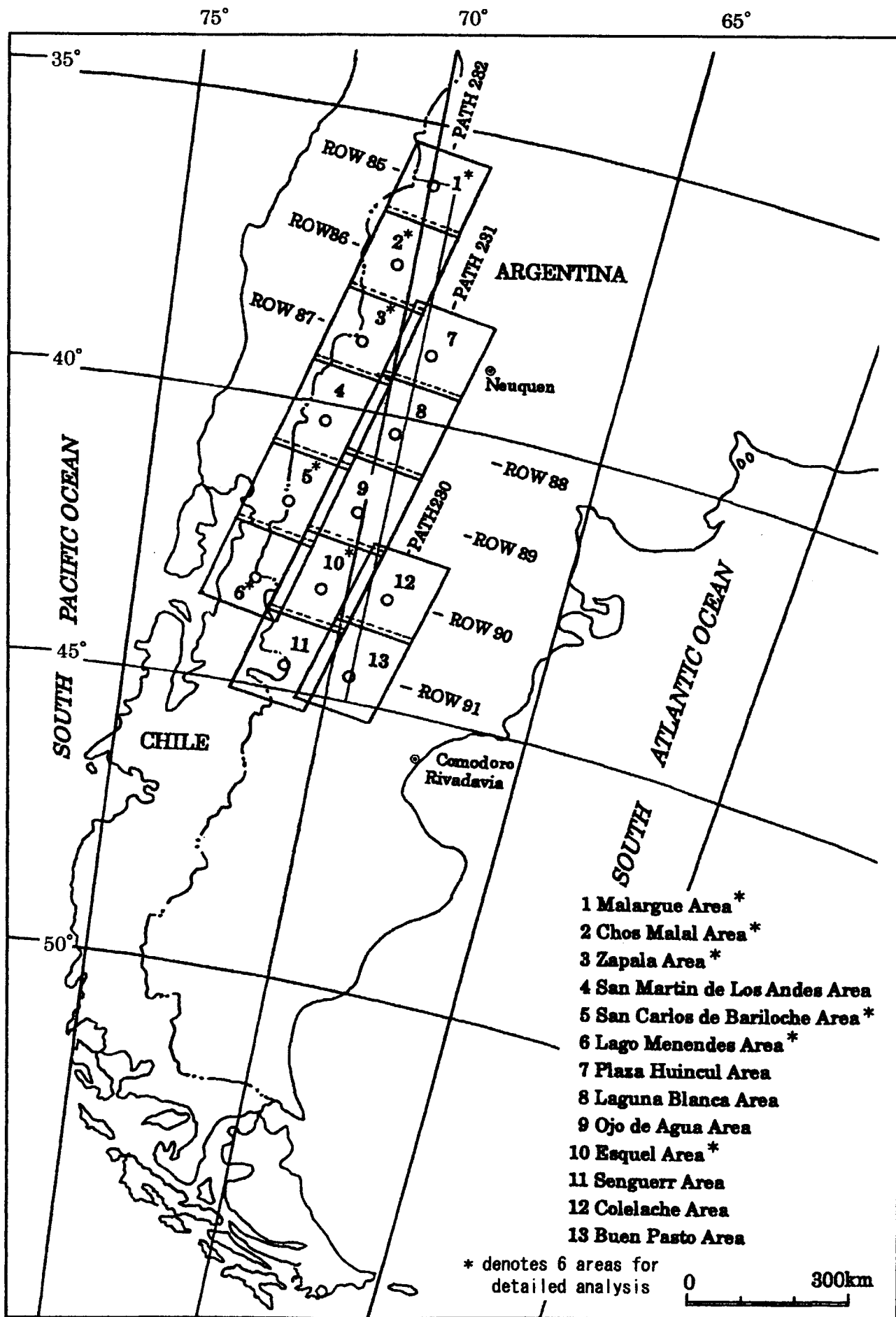


Fig. II -2-1 Index map of 13 scenes of Landsat TM image over the survey area

有無、雲量、積雪量及び観測時期などを考慮し、画像解析に最適と考えられるデータを選定した。なお、画像各シーンの地域名称については画像内に位置する代表的な地名を採用し、北西端から南東端に向かって通し番号を与えた。

フォールスカラー画像及び比演算画像の作成に当たっては、異なるシーンであっても同じ岩相及び同じ変質帯は同じ色調で表現されるような手法を開発した。また、フォールスカラー画像と同じバンド組み合わせにより、全地域をカバーする 13 シーンのデジタルモザイク画像を作成した。モザイク画像作成に当たり、隣接する画像間に色調の違いを生じさせないようにした。それぞれの画像作成方法について以下に述べる。

2-1-2 画像処理・作成方法

1) フォールスカラー画像の作成

a) 放射量補正

フォールスカラー画像を作成するためには、まず入射光量補正、大気補正及び方向性反射係数補正からなる放射量補正が必要となる。LANDSAT に搭載されている TM (Thematic Mapper) と呼ばれるセンサの観測波長域は、可視～近赤外域に 4 バンド、短波長赤外域に 2 バンド及び熱赤外域に 1 バンドの合計 7 バンドである。観測したアナログ画像データは、1 画素毎に 0～255 の 256 階調のデジタル値に変換される。

LANDSAT TM のような光学センサで得られた輝度値は、可視～近赤外域においては地表からの太陽光の反射を反映しているものであり、地表の対象物に固有の分光反射率の違いにより地表物質を識別することが可能である。衛星のセンサに入射する分光放射輝度は、太陽からの光が地表で反射され、さらに衛星まで到達する間に大気層を通る。このためセンサに到達する放射輝度は地表からの反射光の他に、大気からの放射光・散乱光・太陽光（パストラジアンズ）が大気中で散乱され全方位から入射してくる散乱放射（天空光）が含まれている。センサが直下を波長 λ で観測している場合の分光放射輝度は、次式で近似される。

$$L(\lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} K(\lambda) [\tau a(\lambda) \{ U(\lambda) + P(\lambda) \} \rho(\lambda) + b(\lambda)] d\lambda \quad \text{①}$$

- $L(\lambda_1, \lambda_2)$: センサに入力する波長 λ_1 から λ_2 までの分光放射輝度
- $K(\lambda)$: センサの応答特性
- $\tau a(\lambda)$: 反射光に対する大気の透過率
- $U(\lambda)$: 太陽直達光の放射輝度
- $\rho(\lambda)$: 地表反射率
- $b(\lambda)$: センサと対象物間の大気放射及び散乱光
- $P(\lambda)$: 太陽光の下方散乱光である天空光の放射輝度

これらの因子による影響は、大気中の水蒸気量やエアロゾル量などによって異なるため、観測

時期が異なれば同一物質を観測したとしても同じ値とはならない。また、これらの吸収光・散乱光の影響は波長依存性があるため、ある物質の分光反射率のバンド比は時期の異なる画像では一定値をとらない。このため各バンドの放射量を未補正のまま画像処理を実施した場合には、同一の物質が異なる色調で表現されるため、物質の比較・判別ができなくなる。

今回解析に用いた画像データは多時期にわたり、画像全体として同じ物質を同じ色調で表現するため、以下の仮定をもとに放射量補正を実施した。

- ・センサの応答特性は入射輝度に対して1次線形式、すなわち、 $y = ax$ で出力される。
- ・反射光に対する大気の透過率は1画像内のどの地域においても等しい。
- ・センサと対象物間の大気放射及び散乱は、1画像内のどの地域においても等しい。
- ・天空光の放射輝度は1画像内のどの地域においても等しい。

(i) 入射光量補正

ある単位面積に入射する太陽直達光の放射輝度は1画像内でも場所により異なるため、画像に与えられた各ピクセルの地理的座標位置と太陽の方位角・高度から太陽高度 60° となるように入射光量補正を行った。

(ii) 大気補正

大気補正は、反射光に対する大気の透過率 $\tau_a(\lambda)$ 、及びセンサと対象物間の大気放射及び散乱光 $b(\lambda)$ の補正を行うものである。この補正を行うためには、入射光量 $\{U(\lambda)+P(\lambda)\}$ 及び地表反射率 $\rho(\lambda)$ が求められていなければならない。

入射光量補正は画像内の対象物がすべて平面であることを前提としている。しかしながら、現実には地形起伏があるため、異なる時期に取得した画像では太陽位置が異なることにより、同一地点においても $\{U(\lambda)+P(\lambda)\}$ は異なる。この $\{U(\lambda)+P(\lambda)\}$ を補正するためには精度の良い DTM (数値地形モデル) を用いて補正することが考えられるが、現状では精度の良い DTM を利用できる地域が限られていることから現実的な方法とは言えない。そこで2画像間で対応するピクセルを多数用い、画像重複部を統計処理することで地形起伏による依存性を除去する手法を用いた。

同一観測日間の大気補正は精度が高いため、13シーン全体の大気補正を以下の手順で実施した。

(a) 大気補正は各 Path 毎に行うものとし、各 Path の一番北側を基準画像とした。

(b) 各画像の大気補正は南側に向かって順次実施した。

(c) 3つの Path 間の大気補正は中央の Path(P231)を基準とした。

このような処理を加えることで、画像全体の大気の状態を画像中央北端(P231/R087)の大気の状態と合わせたものにすることができる。

(iii) 方向性反射係数補正

完全拡散反射体において、物質に垂直に入射した反射光を垂直に観測した場合の反射率を1で

あると定義する。この状態で観測位置を垂直から水平方向に変化させた場合に、反射率は1から0まで徐々に低下する。

LANDSAT TM の1画像の横方向（ほぼ東西方向）の視野角は約 16° である。このため画像右側から太陽光が照射している場合には、太陽-対象物-観測者のなす角は画像の右側と左側で約 16° 異なる。このような場合には、角度を変えて完全拡散反射体を観測した場合と同様の現象が生じる。この方向性反射率は物質及び波長によって異なり、また、地形に依存するため各画素毎に補正を加えることが不可能である。しかしながら、1画像内での画像東端と西端を比較した場合には（太陽は画像東側、方位角 90° 、高度 60° から照射し、地表に起伏が無く、月の玄武岩と同一の物質が分布していたと仮定）、太陽-観測物-観測者のなす角が大きくなる画像右（東）側で約10%の輝度低下を生じる。このため東西方向に3つの画像を接合した場合には、接合画像西端の輝度を1とすると東端では約27% (=0.9³)の輝度低下を生じることとなり、画像の東側が明らかに暗い画像となってしまう。

このため、大気補正を行った画像をもとに、画像全体の輝度値がどのように変化しているかについて統計量を用いて検討した。過年度に実施したアルゼンティン共和国東部アンデス地域の解析では、1シーンの東側で約7%の輝度低下が観測された。今回はこの係数を用いて1シーンあたり7%の輝度低下を補正した結果、画像左端（雪と海のある領域）およびデータ数の少ない右側の領域を除き、ほぼフラットな平均輝度曲線を得ることができた。

b) 輝度補正及びフィルタ処理

前述の放射量補正手法により、全てのシーンの輝度値はP231/R087を基準としたものに統一されている。しかしながらLANDSAT TM 画像データの統計量（平均値、標準偏差、歪度）は各バンド毎に異なり、データの分散は20~30（256階調）と一般に小さい。このため、そのまま用いた場合には色バランスのとれていない、かつ、データの分散が小さく色調差の乏しい、画像判読に不適な画像となる。

これらを改善して、全シーンの放射量補正画像が適切に表現されるように、非線形ストレッチを用いて全シーンに対して同一の輝度補正を実施した。今回用いた手法は、輝度値が115付近（256階調）に平均値を持ち、正規分布に近い分布形態となるように非線形にストレッチを行うものである。なお、正規分布の形態は、標準偏差の2.5倍が115階調となるように算出した。また、全域の統計量算出にあたっては雲、雪、水域を除いて行った。

画像を鮮鋭化する手法は、ラプラシアンやガウシアンフィルタあるいは局所鮮鋭化処理など様々な手法がある。しかしながら、ガウシアンフィルタや局所鮮鋭化処理などは、周囲の物質との差を強調するため、領域によって異なるストレッチ手法を用いている。その結果、例え同じ物質であったとしても領域によって異なる色調で表現されることがある。そこで、今回の画像鮮鋭化にあたってはこのような現象が生じないラプラシアンフィルタのみを用いた。

フォールスカラー画像のバンド組み合わせとしては、バンド1, 4, 5、バンド1, 4, 7、バンド4, 5, 7などの組み合わせを検討した。対象地域には中性火山岩類が広く分布しているが、中性火山岩類中の地質構造判読にはバンド1, 4, 5の組み合わせが適するので、バンド1, 4, 5に青色(B)、緑

色(G)および赤色(R)を割り当てた画像を作成した。

c) 幾何補正

作成したフォールスカラー画像と地形図(縮尺 1/500,000)を用いて画像の UTM 座標への幾何変換を実施した。入手可能な最も精度の高い地形図が 1/500,000 と小縮尺であること、および対象地域のほとんどが人工物の少ない山岳及び砂漠地域であり目印となる河川が発達していないことから、精度の高い GCP (Ground Control Point) を選択することが困難であった。そこで目印となる河川分岐点、道路交点などを GCP として用い、各画像とも 15~20 点を選択した。内挿法としては疑似アフィン変換を用い、最小自乗法による再計算結果との誤差が 30 画素以内(約 1 km)となるよう、精度の悪い GCP は削除した。

この 30 画素以内という誤差は縮尺 1/500,000 の地形図では約 2 mm となり、地形図の精度と地域性を考慮した場合の幾何補正誤差の限界に近い値であると考えられる。なお、幾何変換には共一次内挿法を用い、1 画素のサイズを 30 m としてリサンプリングを実施した。

2) 比演算画像の作成

a) 比演算の原理

LANDSAT TM は可視~近赤外、中間赤外域の 7 つの波長域(バンド)においてセンサへ入力する分光放射輝度を観測している。センサから見た地上物体の放射輝度 N_i (単位 $mW/cm^2 sr$) は次式で表現される。

$$N_i = (1/\pi)(H_i R_i T_i A_i) + N_{pi} \quad \text{②}$$

H : 太陽照射光の放射照度、R は地上物体の反射率

T : 大気の透過率(垂直方向)

A : 太陽と地表物体を結ぶ線が地表面となす角度、および地表物体とセンサがなす角度の両者により決まる係数

N_p : 大気のパスラジアン

i : センサのバンド

N_p が推定できれば、A はチャンネルに関わらず一定値をとり、H および T はチャンネルごとに一定値をとると考えられるので、2チャンネル間の比を求めることで分光的な特徴を強調できる。すなわち、ある鉱物の反射スペクトル・パターンにおいて極大値をとるチャンネルと極小値をとるチャンネルとの比をとれば、その鉱物が存在するピクセルは比の値が大きくなるので、存在しないピクセルとの区別が容易になる。

この特性を利用して特定の鉱物が分布する範囲を画像中で強調して表現するのが比演算処理の基本的な考え方である。

比演算処理はデジタル値の最小値を大気のパスラジアンとし、各バンドのデジタル値が

ら最小値を差し引いた値を求め、これらの値のバンド間比を求める。バンド間比（比演算値）は、通常、0 から 10 程度の値をとるが、バンド間比を画像として表現するためには前項「フォールスカラー合成画像の作成」で述べた濃度変換が必要となる。濃度変換は以下の手順によって行った。

既存地質資料に記載されている既知変質帯を参考にして、変質帯上での比演算値の分布を求める。この比演算値の分布よりわずかに広い値の分布範囲を決め、この分布範囲から外れる比演算値を持つ画素に 0 の値を代入する。比演算値 0 を除くと、残りの比演算値の分散はもとの比演算値の分散に比べ小さなものとなるので、濃度変換すれば多様な濃度で表現することができる。

b) バンド間比演算の検討

対象地域には斑岩銅鉱床や浅熱水性金鉱床が分布し、それらは特有の熱水変質帯を伴っている。これらの熱水変質帯を LANDSAT TM データから抽出するには、バンド間比 5/7, 4/5 および 3/1 の比演算処理が有効であることを、チリ共和国エスコンディダ地域やペラグワ・プログレソ地域などの過去の作業で確認している。

今回は既知変質帯が分布する P232/R085 及び P232/R086 の 2 地域において、バンド間比 5/7, 4/5, 3/1 および 5/7, 4/7, 4/5 の 2 つの組み合わせによる比演算処理画像を比較した。この結果、変質帯抽出に最も有効な組み合わせは 3/1, 4/5, 5/7 に青色(B)・緑色(G)・赤色(R)を割り当てた比演算画像であることが解った。この組み合わせでは、変質帯は赤桃色および白桃色で表現される。なお、それら以外の地域の画像処理では、これら 2 地域で最適となったゲインおよびバイアスの平均値を用いた。

c) 主成分分析

比演算画像ではその特性により地形に起因する陰影を除くことができる。その一方、地形的特徴が失われるため、地域の特定がしにくい面がある。このため今回は地域を特定しやすくするため、比演算画像に地形情報を付加した画像を作成した。

地形特徴を表現するためには、地形特徴を反映するといわれているバンド 5 を用いる方法と、地形情報を反映するとされている主成分分析の第 1 主成分を用いる方法などがある。今回は主成分分析の第 1 主成分を用いた。

なお、幾何補正はフォールスカラー合成画像の作成で行った幾何補正と同じ GCP を用い、同様な手法で UTM 座標系へ幾何変換した。

3) モザイク画像の作成

a) 画像圧縮と幾何変換

全域をカバーする 13 シーンのフォールスカラー・モザイク画像を作成するために、画像サイズを縮小する圧縮処理を行った。圧縮処理を行わずモザイク画像を作成した場合には、モザイク作成後の画像が 17,000 画素×41,000 画素×6 バンド=4.2GB の容量で、フィルム出力の物理的制限を超える膨大なデータ量となる。

既に述べた各シーンの放射量補正後の画像から、共一次内挿法により 16 画素 (4×4) を 1 画

素とする幾何変換法を用いて圧縮を行った。次に 2 画像の重複範囲から 10~20 点の対応点を目視によって選択し、最小自乗法を用いたヘルマート変換によって幾何変換係数を算出した。なお、この過程で再計算後の誤差が 1 画素以内に収まるように誤差の大きなデータを削除し、ヘルマート変換の変換係数を求めた。幾何変換は共一次内挿法を用いて実施した。

b) 画像接合

異なる時期に取得した画像では地表被覆物の変化、影の位置及び雲などにより、2 つの画像の接合部において色調が明瞭に異なる地域が生ずる。この明瞭な色調差は地質判読の妨げとはならないが、モザイク画像の仕上がりに不完全な印象を与える。このため画像の色調差が小さい地域を探索しながら画像接合を行う「千鳥足式画像接合法」を新たに開発し、これを用いて接合を行った。この手法では、雲がある場合や影の位置が違う場合などの地域がある場合に、これらの地域を迂回して接合を行うことができる。

画像の接合は各 Path の一番北側の画像を基準に順次接合していくもので、P232/R085~090、P231/R087~091 及び P230/R090~091 の縦に長い 3 つのモザイク画像を作成した。次に P231 のモザイク画像を基準として、東西両側の画像との対応点を取り、ヘルマート変換による幾何変換後上述の手法により画像接合を行った。3 つの Path を接合した画像は約 4,400 画素×10,200 画素の画像サイズとなった。

c) 幾何変換

モザイク画像は西経68~73°、南緯35°30'~45°15' と南北に細長い。このため、南北方向に歪の小さな投影法である UTM 投影法を用いて地図投影を実施した。中央経線は W69 を中心とする Zone 19 を用いた。また、回転楕円帯は International 1909 を用いた。リサンプリングは、共一次内挿法により 120 m/pixel として幾何変換を実施した。

2-1-3 画像判読・解析結果

1) 解析方法

本解析は、対象地域について LANDSAT TM 画像を使用した写真地質学的判読作業を実施し、得られた判読結果及び種々の既存データを合わせ、地質、鉱床、鉱徴地の賦存状況などを総合的に検討し、有望地域を抽出することを目的とする。

対象地域は、Fig. II-2-1 に示すようにアルゼンティン共和国とチリ共和国の国境沿いにほぼ南北に延び、南緯 35° から 45° に至る広大な範囲である。面積は約 25 万 km² で、LANDSAT TM 画像合計 13 シーンでカバーされる。

衛星画像を用いた写真地質判読解析は、通常以下の5段階の作業によって行われる。

- (1) 準備（衛星データの入手・標定、既存の地質・鉱床資料の収集とレビュー）。
- (2) 画像処理・作成。
- (3) 写真地質判読と総合解釈（総合解釈図の作成：既存資料との対比を行う）。
- (4) フィールドチェック調査とそれに基づく再判読。
- (5) 解析結果のまとめ。

今回、項目(4)の中のフィールドチェック調査は後述するグランドトルースで一部実施したが、それに基づく再判読は実施していない。

写真地質学における判読基準とそれらの表現方法は以下のとおりである。

(A) 写真的特徴 (Photo-characteristics)

- ・色調 (color tone) : 白, 灰白, 灰, 青灰, 灰緑, 緑, 暗緑, 灰紫, 褐色など
- ・肌合 (texture) : 細粒, 中粒, 粗粒, 滑らかななど

(B) 地形的特徴 (Morphological expression)

- ・水系パターン (drainage pattern) : 樹枝状, 平行状, 格子状, 羽毛状など
- ・水系密度 (drainage density) : 極低, 低, 中, 高, 極高
- ・抵抗度 (岩石の風化・侵食に対する程度; rock resistance) : 極低, 低, 中, 高, 極高
- ・断面 (cross section) : 斜面の形態
- ・ベディングの発達度 (development of bedding) : 発達, 一部で発達, 塊状など

(C) 地表被覆 (Superficial cover)

- ・植生 (vegetation) : 密, 中, 疎
- ・耕作地化 (cultivation) : 密, 中, 疎

衛星画像から判読・抽出されるリニアメントは、地表または地下浅所の断裂を反映したものと
いわれており、一般に写真地質学の手法では次に掲げる地形現象の認識に基づいている。

- (a) 断層崖 (fault-scarp) の存在
- (b) 直線的な広い谷 (断層谷: fault valley) の存在
- (c) 河川の流路が著しい直線状を示す場合
- (d) ケルンコル (断層鞍部: kerncol)、ケルンバット (断層突起: kernbut) の存在
- (e) 山腹斜面の傾斜変換点が直線的に連続する場合
- (f) 緩傾斜を示す堆積岩類が急激に急傾斜層に変化し、それが直線的に連続する場合
- (g) 稜線や川の流路にズレがある場合
- (h) 水系アノマリー (格子状の1次水流が直線状に配列する場合、または角状水系など)

- (i) 湖沼、温泉、火口、湧水地点、崩壊、あるいは地すべりなどが一直線上に配列している場合
- (j) 扇状地ズレがある場合
- (k) 河成段丘面（一般には平坦面）が直線的な境界をもって落差もしくは水平ズレを生じている場合

上述した判定のキーとなる地形現象は、対象地域に分布する岩石や地質構造、または地質時代などの差によって地域特性があり、地域ごとに現れる程度が異なる。本対象地域では (a)、(b)、(c) および (e) の地形が多く、(f)、(g)、(h) および (i) も部分的に認められた。なお、(i)、(j)、(k) の地形を判定するためには大縮尺の画像を使用するか、スポットHRV画像や航空写真を立体視する必要がある。

2) 解析結果

a) 13 シーンの解析結果

13 各シーンの画像ごとに地質・地質構造判読及び変質帯抽出を行った。解析に用いた画像は、LANDSAT TM フォールスカラー合成画像 (BGR = 145 ; 縮尺 1:250,000) 及び比演算処理画像 (BGR = 3/1, 4/5, 5/7 ; 縮尺 1:250,000) で、地質判読による地質単元区分、変質帯分布、リニアメント、褶曲構造・環状構造について記述した。

地質・地質構造判読及び変質帯抽出の結果は地質判読図としてまとめた。地質層序については、Chubut 州地質図 (縮尺 1:750,000)、Rio Negro 州地質図 (縮尺 1:750,000)、Neuquén 州地質図 (縮尺 1:500,000)、Mendoza 州地質図 (縮尺縮尺 1:500,000)、Chile 地質図 (縮尺 1:1,000,000) とを対比し、これらの結果を判読結果表に記載した。詳細については第 1 年次報告書の p 69~200 を参照されたい。

b) 全域モザイク画像解析結果

(1) 地質ユニット

全 13 シーンの画像地質判読の結果、本地域の地質は古生代から第四紀にかけての堆積岩類および火山岩類 35 単元、古生代から第三紀にかけての貫入岩類 11 単元、第四紀の未固結堆積物 5 単元、合計で 51 の地質単元に区分された。地質時代及び岩相ごとの詳細は Table II-2-2 のとおりである。また、各地域ごとの地質層序対比を Fig. II-2-2 にまとめ、全域の解釈結果を Fig. II-2-3 にまとめた。

Table II-2-2 Geological age of 51 geological units of the mosaic image of the survey area.

Geological age	Geological unit	Geological age	Geological Unit	Intrusives	Geological unit
Quaternary	1 Qa	Cretaceous	1 Kss	Unknown	1 d
	2 Qt		2 Kss2	Unknown	2 dy
	3 Qsv		3 Kss1	Tertiary	3 αTm
	4 Qis3		4 Ksv		4 αTi
	5 Qis2		5 Kis2	Cretaceous	5 αK
	6 Qis1		6 Kis1	Tertiary-Cretaceous	6 αKT
	7 Qiva		7 Kiv	Tertiary-Cretaceous	7 αJT
	8 Qivb	Triassic	1 TRs	Jurassic	8 αJ
	9 Qivr		2 TRss		9 αJm
Tertiary	1 Tss	Triassic	3 TRif	Triassic	10 αTR
	2 Tsv2		4 TRi	Paleozoic	11 αP
	3 Tsv1		5 TRiv	2 nd suffix I; inferior m; middle S; superior	
	4 Tsv		1 Cv		
	5 Tms	Carboniferous			
	6 Tmv2				
	7 Tmv1	Proterozoic to Paleozoic	1 Ps	3 rd suffix S; sedimentary rocks v; volcanic rocks F; pyroclastic rocks	
	8 Tmv				
	9 Tiv				
	10 Tis2				
	11 Tis1				
	12 Tis				

Fig. II-2-2 から明らかなように、対象地域全体における地質層序の大きな特徴は、南半部で三畳系が分布しない、中央西部～南部の San Martin de Los Andes 地域と Lago Menendez 地域で上部白亜系が分布しない、Lago Menendez 地域のみで上部第三系が分布しないことである。

縮尺 1:1,000,000 のモザイク画像上でコンパイルする作業においては、鉱床の生成と密接に関係すると考えられる断層の分布状況、地質構造及び火成活動についての解釈を行う目的で、対象地域全体の構成岩類を以下の7つの地質単位に区分した。

①第四紀の未固結堆積物及び火山岩類

主として地形的低地に堆積した沖積層や洪積層（氷河堆積物を含む）などの未固結堆積物および安山岩ないし玄武岩質の火山岩類から構成され、主として対象地域の北東部および南部に広く分布する。変質帯は認められない。

②第三紀の堆積岩類及び火山岩類

主体は火山岩類で、対象地域の北西部から中央東部を経て南東部まで最大 35km±の幅をもって広く分布する。堆積岩類は北西部に NNW-SSE 方向で帯状に分布するほか中軸部に散在する。特に火山岩類中には多くの変質帯が認められた。

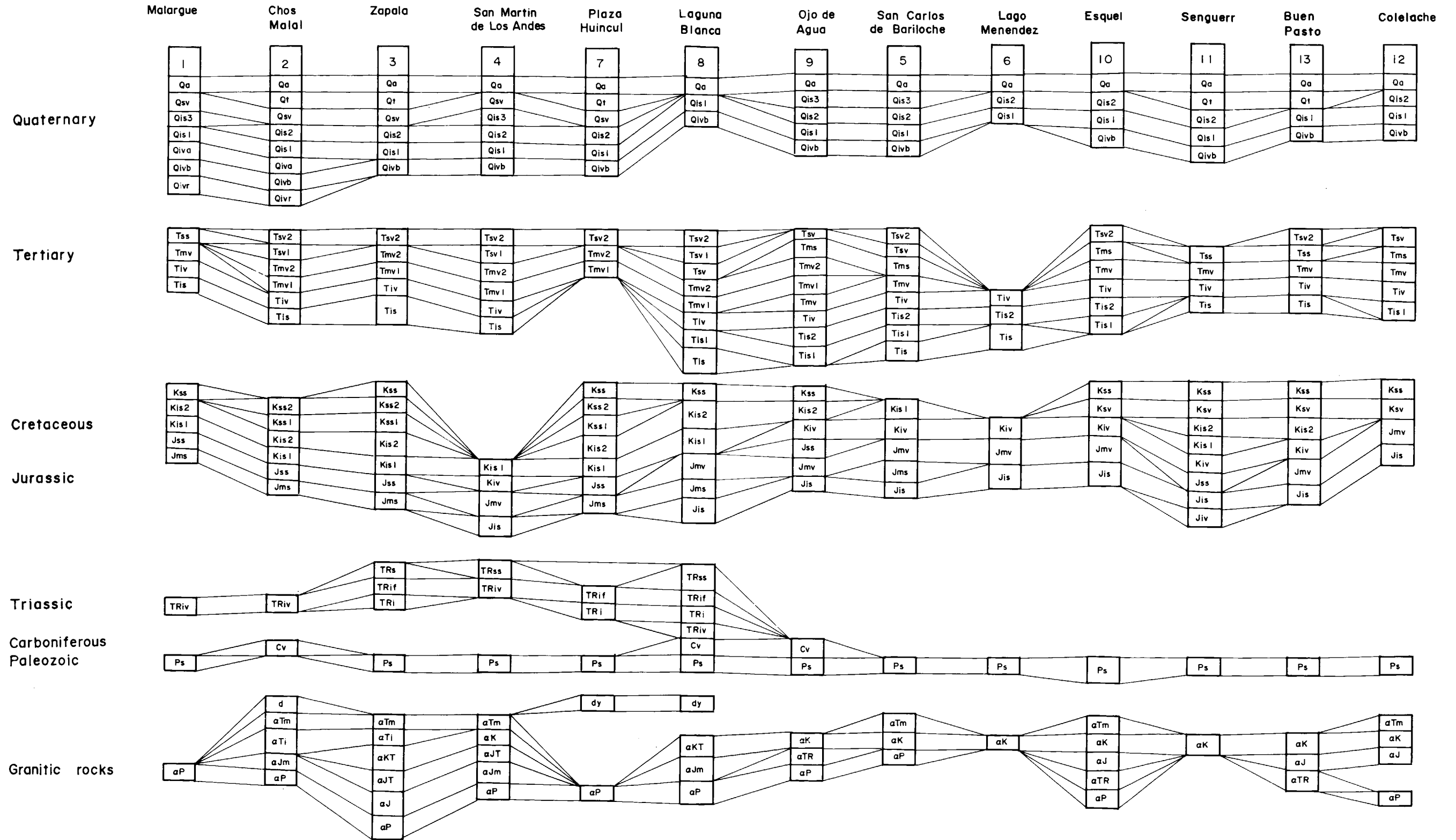


Fig. II -2-2 Stratigraphic correlation among the survey areas based on the interpretation maps

- Legend
1. Q Quaternary System
 2. T Tertiary System
 3. K Cretaceous System
 4. J Jurassic System
 5. TR Triassic System
 6. C Carboniferous System
 7. PS Undifferentiated Paleozoic Group
 8. o/TJK Jurassic to Tertiary Granitic Rocks
 9. o/P Paleozoic Granitic Rocks

- Alteration Zone
- Mineral Deposit
- △ Mineral showings
- Lineament Certain
- - - Lineament Uncertain
- + Anticlinal Axis
- + - Synclinal Axis
- ⊖ Annular Structure
- ⊙ Lake

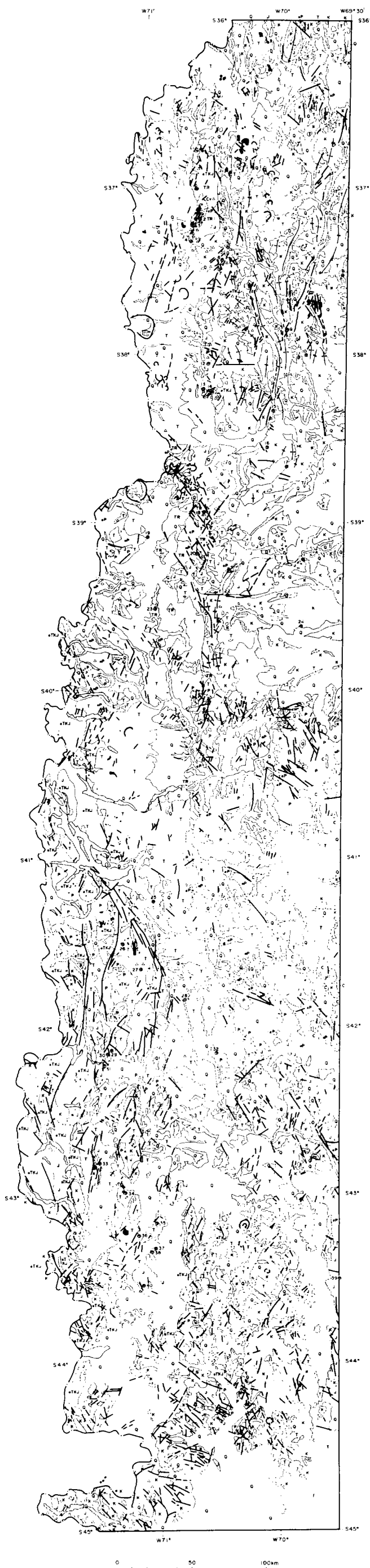


Fig. II -2-3 Compiled photogeologic interpretation map of the survey area

③白亜紀の堆積岩類及び火山岩類

北東部と南西部に分かれて分布する。北東部は堆積岩類によって構成され、おおむね N-S 方向の軸をもつ背斜・向斜が繰り返して認められる。南西部では火山岩類が卓越し、Epuyen 市街地の西方から Esquel 市街地を経て Alto Rio Senguerr 市街地にかけておおむね NW-SE 方向に断続して分布する。火山岩類中には多くの変質帯が認められた。

④三畳紀の堆積岩類及び火山岩類

北部の中軸部に約 10km の幅をもってほぼ南北方向で散在する。Andacollo 市街地及び Zapala 市街地西方の岩体には変質帯の密集域が認められる。

⑤石炭紀以前の堆積岩類及び火山岩類

主として石炭紀以前の原生代～古生代の片岩類からなり、石炭紀の火砕岩類及び堆積岩類を含む。原生代～古生代の片岩類は対象地域の基盤をなす。北端部と中央部に位置する San Martin de Los Andes 市街地及び南部の Ñorquinco 市街地の西方から Jose de San Martin 市街地にかけて断続的に分布する。Ñorquinco 市街地西方に分布する原生代～古生代の片岩類には幾つかの小規模な変質帯が認められた。

⑥三畳紀から第三紀にかけての貫入岩類

主としてチリとの国境沿いの山岳地帯に南北方向で帯状に分布する。このほか、白亜紀の貫入岩類は Tecka 市街地から Jose de San Martin 市街地にかけて、第三紀の貫入岩類は Chos Malal 市街地の北方及び南方に散在する。多くの変質帯が認められた。

⑦古生代の貫入岩類

San Martin de Los Andes 市街地の北方から Ñorquinco 市街地の東方にかけておおむね NW-SE 方向で断続して分布する。分布範囲は石炭紀以前の堆積岩類及び火山岩類と密接な関係にあり、⑤の地質単位と共に対象地域の基盤を形成している。変質帯はほとんど認められない。

(2) 変質帯

対象地域全体から抽出された変質帯の出現状況をまとめると Table II-2-3 のようになる。この表のとおり、変質帯の総数は全体で 244 箇所である。地質単位では第三紀の火山岩類中に 93 箇所と最も多く認められ、次いでジュラ紀～第三紀にかけて生成した貫入岩類中に 55 箇所が認められ、白亜紀の火山岩類中に 30 箇所、ジュラ紀の火山岩類中に 26 箇所が抽出された。

これらの変質帯は、全体としてみるとほぼ N-S 方向に配列した密集域を形成しており、大きく以下の 6 地帯の高密度域としてまとめられる。

- ① Andacollo 市街地北部：7 箇所からなる密集域
- ② Zapala 市街地西方域
- ③ San Martin de Los Andes 市街地西方域
- ④ Ñorquinco 市街地～Esquel 市街地域
- ⑤ Ñorquinco 市街地南東方域：4 箇所からなる密集域
- ⑥ Jose de San Martin 市街地～Alto Rio Senguerr 市街地域：4 箇所の密集域から形成

Table II-2-3 Number of alteration zones of 13 scenes of LANDSAT TM image.

Area	Total Number	Net Number※	Number of alteration zones in each geological unit							
			Tv	Kv	Jv	TRv	Ps	α TKJ	α P	others
Malargue	20	20	18	0	0	0	0	0	1	1
Chos Malal	21	17	6	0	0	7	0	3	0	1
Zapala	37	37	14	0	0	18	0	0	5	0
San Martin de Los Andes	32	32	22	0	0	0	4	3	3	0
San Carlos de Bariloche	89	89	21	12	1	0	8	44	0	3
Lago Menendez	33	21	4	9	0	0	2	5	0	1
Plaza Huincul	9	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Laguna Blanca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ojo de Agua	25	9	3	0	0	0	3	0	1	2
Esquel	28	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Senguerr	12	12	0	9	2	0	0	0	0	1
Colelache	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Buen Pasto	7	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Total	-	244	93	30	4	26	17	55	10	9

※ Net number after excepting alteration zones in overlapped area, Tv: Tertiary volcanics, Kv: Cretaceous volcanics, Jv: Jurassic volcanics, TRv: Triassic volcanics, Ps: Paleozoic sedimentary rocks, α TKJ: Jurassic to Tertiary intrusives, α P: Paleozoic intrusives

(3) 断裂系

対象地域には断層を示唆する多数のリニアメントが抽出された。これらリニアメントを広域的に概観すると方向及び頻度によって以下の3つの領域にまとめられた。

①南緯 36° ~40°

本領域は、対象地域の北限から San Martin de Los Andes 市街地の北方約 20km を南限とする範囲で、4つの断裂帯高密度地帯を含む。これらの地帯には、N-S、NNE-SSW、NE-SW 方向などのリニアメントが卓越し、全体としては N-S 方向に伸長するリニアメント卓越帯となっている。

②南緯 40° ~43° 30′

本領域は上述した範囲の南限から Tecka 市街地付近までの範囲で、6つの断裂帯高密度地帯を含む。これらの地帯には N-S、NW-SE、NNE-SSW、E-W 方向のリニアメントが卓越し、全体としては N-S、NW-SE、NNE-SSW 方向に伸長する3系統の卓越帯となっている。

③南緯 43° 30′ ~45°

本領域は上述した範囲の南限から対象地域南端部までの範囲で、Tecka 市街地周辺及び Alto Rio Senguerr 市街地東方域を除いてほぼ均一な断裂帯高密度域となっている。この範囲には WNW-ESE、NNW-SSE、N-S、ENE-WSW、E-W、NW-SE 方向のリニアメントが認められ、全体としては多方向帯としてとらえられる。

対象地域に認められた変質帯のほとんどは、各範囲内のリニアメント高密度地帯に位置している。この現象は重要であり、鉱床生成に伴って発達した変質帯と断裂には密接な関係があることを示唆する。

2-2 変質帯精密解析

本年度の衛星画像解析は、LANDSAT TM データから抽出された変質帯の分類を行うことを目的としている。変質帯を構成する鉱物は 1.0~2.5 μ m 付近の短波長赤外域に特徴的な吸収スペクトルを示すものが多い。これは水分子 (H₂O)、水酸イオン (OH⁻)、炭酸イオン (CO₃²⁻) および硫酸イオン (SO₄²⁻) の基準振動の調和振動、及び混合振動が原因となっている。この吸収スペクトルの特徴からカオリナイト、明礬石などのような変質鉱物を推定することができる。LANDSAT TM (バンド 5, 7) は、この短波長赤外域に観測波長を有する光学センサである。

地表に分布する岩石・土壌は、種々の鉱物が混合したものから構成されている。岩石・土壌を構成する鉱物の種類・量比を知ることができれば、変質帯と非変質帯を識別することができ、変質帯を構成する変質鉱物をも知ることができる。

等粒子モデル (Hiroi and Pieters, 1992) は、粉体鉱物混合物の構成鉱物が既知であるならば、粉体混合物の反射率から混合物の構成鉱物量比 (容積比) を精度良く推定する光学モデルである。本解析ではこの等粒子モデルを応用し、地表に分布する鉱物の種類・量比を求めることとした。

2-2-1 使用データ

解析の対象としたのは、調査範囲全域の 13 シーンのうち、第 1 年次調査で抽出された有望地区を含む 6 シーンの LANDSAT TM 画像である (Fig. II-2-1)。使用した 6 シーンの画像の観測年月日、太陽の位置などの情報を Table II-2-4 に示す。

Table II-2-4 Path/Row, date of acquisition, sun azimuth and sun elevation of 6 scenes of LANDSAT TM image of for detailed analysis

No.	Name of the scene (area)	Path	Row	Date of acquisition	Sun azimuth	Sun elevation
1	Malargue	232	85	Feb. 9, 1987	75°	44°
2	Chos Malal	232	86	Feb. 9, 1987	74°	44°
3	Zapala	232	87	Feb. 9, 1987	73°	43°
5	San Carlos de Bariloche	232	89	Feb. 22, 1986	65°	40°
6	Lago Menendez	232	90	Dec. 7, 1986	73°	50°
10	Esquel	231	90	Jan. 27, 1985	71°	46°

2-2-2 画像処理・作成方法

本年度行った画像処理・作成方法について、以下に順を追って述べる。

1) 放射輝度と擬似反射率

等粒子モデルを用いて衛星データから地表に分布する鉱物の判別を行うためには、衛星データの DN 値 (Digital Number ; LANDSAT TM の場合は 0~255 の整数値からなる) を擬似反射率に変換する必要がある。DN 値からは、以下の理由により反射率ではなく擬似反射率しか求められない。

地表が 1 種類の鉱物粉体から構成されているとする。鉱物粉体は十分に微小であり、かつ鉱物の表面はあらゆる方向を向いているとする。ある波長での 2 方向性反射 (試料に対する光の入射方向、角度と輝度測定器の位置が固定されたもの) を考えると、光源及び輝度測定器の位置を変化させると測定器に入射する放射輝度の値は変化する。

衛星が見ている地表の 1 ピクセル範囲の広さは一定であり、その 1 ピクセル範囲に入射する光エネルギーの量 (ある波長) は地表面と太陽とのなす角度により決まる (大気の透過率は場所によらず一定としている)。太陽入射方向に垂直な単位面への入射エネルギーを S 、地表面と入射方向とのなす角度を Q とすると、単位地表面への入射エネルギーは「 $S \times \cos Q$ 」と表せる。

粉体粒子があらゆる方向を向いているとする。光が地表面に入射すると各鉱物の表面では完全～不完全鏡面反射が生じる。さらに反射・透過した光の鏡面反射が生じる。このように地表からの反射成分はいずれも鏡面反射からなっている。鏡面反射のエネルギー反射率は鉱物表面と入射光とのなす角度、さらに鉱物の屈折率により決まる (フレネルの式)。従って、ある波長 (屈折率は一定) における粉体からの反射エネルギーは、入射角によって変化することがわかる。ある一定の入射角において、反射エネルギーの立体的分布はその鏡面反射位置で最も強くなる。

太陽からの入射光と地表面のなす角度、地表面と衛星の観測方向とのなす角度は、地表の地点毎に異なる。このことは、仮に地表が同一の物質で構成されていても、地表面と太陽または衛星とのなす角度が異なることから、各地点からの衛星方向への放射輝度は一定ではないことを示している。波長が異なってもこれら角度が放射輝度へ与える影響は一様であると考えられるので、地表面と太陽または衛星とのなす角度を知ることができれば放射輝度を反射率へ変換することも可能となる。

しかしながら、各地点の地表面の傾斜角方向を知ることが困難である。そこで、地表面と太陽または衛星とのなす角度の放射輝度へ与える影響は波長に依存しないので、波長毎の反射率にある一定の値を乗じたものを波長毎の擬似反射率とすると、波長毎の放射輝度から擬似反射率を求めることが可能となる。

2) パスラジアンズ値の決定

LANDSAT TM では、観測された放射輝度 (単位 mW/cm^2sr) は DN 値で出力される。地上で補正された DN 値は衛星での観測放射輝度と線形関係にあるので、LANDSAT TM の絶対放射輝

度は次の式で求めることができる。

$$R = (R_{\max} \cdot R_{\min}) * V / D_{\max} + R_{\min} \quad \text{①}$$

ここで、 $D_{\max} = 255$ (DN の最大値)、 V は補正済み DN 値、 R はその時の絶対放射輝度、 R_{\max} 、 R_{\min} は検出器の最大および最小放射輝度である (リモート・センシング技術センター, 1990)。衛星に到達する地表からの上向き放射は次式で表される。

$$I_n = (I_s)_n T_n + P_n \quad \text{②}$$

②式での添え字 n はセンサーのバンド番号で、 I_n と $(I_s)_n$ は衛星に到達する放射輝度と地表面放射輝度である。 T_n は大気の透過率、 P_n は衛星に到達する大気からの散乱光でパスラジアン (Path Radiance ; 光路輝度ともいう) と呼ばれ、地表面状況の情報を得るための目的には除去されなければならない (土屋編, 1993)。

バンド毎のパスラジアンスの推定を以下のとおり行った。対象地域の中には、地表面反射輝度が 0 もしくは 0 とみなせる地点が存在すると仮定する。その場合、衛星に到達した放射輝度はパスラジアンのみである。パスラジアンは対象地域全体において一定であると仮定するので、この場合に衛星に到達する放射輝度は全体の最小値である。すなわち DN 値は最小値となる。

各シーンについては 50,000,000 以上の画素が存在し、その DN 値の累積度数曲線を得ることができる (Fig. II-2-4)。約 50,000,000 の中の最小値を求めるには、曲線が DN 値の低い領域で直線になっている所を選び、その直線を DN 値の低い方へ延長し「{累積頻度} = 1」付近の累積確率密度となる値を最小値とする (Fig. II-2-4 参照)。

各シーンについてバンド別の累積頻度分布を得てパスラジアン (輝度最小値) を推定した。また、各バンドのパスラジアン値を Table II-2-5 に示す。

Table II-2-5 Path Radiance (minimum DN)

Path:Row	DN1min	DN2min	DN3min	DN4min	DN5min	DN7min
P232:R85	43	12	7	2	-1	-4
P232:R86	43	12	7	2	-1	-4
P232:R87	43	12	7	2	-1	-4
P232:R89	40	10	5	1	-2	-4
P232:R90	52	12	8	1	-3	-5
P231:R90	48	13	9	3	-1	-4

3) 散布図の作成

前項で求めたパスラジアン値を差し引いた各バンドの DN の 2 成分散布図を作成した (Fig. II-2-5)。ほとんどの土壌や岩石の反射率は、可視域の赤 (LANDSAT TM のバンド 3) と近赤外域 (LANDSAT TM のバンド 4) の間で、なだらかな分光反射率のパターンを示す。この 2 バン

ド間で散布図を作成すると、植物はバンド 4 の反射が強いため近赤外域に近い側にプロットされる。これに対して、土壌や岩石は 2 バンド間の相関が非常に高いため、傾きが一定の回帰直線の周囲に集中する。土壌・岩石が示すこのような直線状の分布パターンをソイルラインと呼ぶ（斉藤ほか, 1998）。

4) 雲域・積雪域・水域の除去

Table II-2-4 に示した 6 シーンについて画質、雲域、積雪域及び水域を確認するために、フォールスカラー画像（BGR = 754）を作成した。このバンド組み合わせのフォールスカラー画像では、雲域は白～クリーム色、積雪域は赤色、水域は黒暗色で表現される。雲域、積雪域、水域の各除去に用いた条件を以下に示す。

$$\text{雲域： DN1} > 200 \quad \cap \quad \text{DN5} > 100 \quad \cap \quad \text{DN7} < 96 \quad \textcircled{3}$$

$$\begin{aligned} \text{積雪域： (DN1} > 200 \quad \cap \quad \text{DN5} \leq 100) \\ \cap \\ (\text{DN7} < 96 \quad \cap \quad (\text{DN5} - \text{DN5min}) / (\text{DN2} - \text{DN2min}) < \text{dip } 25) \end{aligned} \quad \textcircled{4}$$

$$\begin{aligned} \text{水域： (DN5} + \text{DN7} < 20 \quad \cup \quad \text{DN5} < 7) \\ \cup \\ (\text{DN7} < 7 \quad \cup \quad (\text{DN5} - \text{DN5min}) / (\text{DN2} - \text{DN2min}) < \text{dip } 25) \end{aligned} \quad \textcircled{5}$$

各バンド間の散布図と画像を検討した結果、バンド 2, 5 の散布図において、最も積雪域と露岩地域の分布が分離した。dip 25 はバンド 2, 5 からそれぞれの最小値を差し引いた値の比の閾値である。Table II-2-6 に各シーンで用いた dip 25 を示す。なお P232:R85~87 の 3 シーンは連続して取得されたデータであるため閾値は等しい。

Table II-2-6 Value of dip 25

Path:Row	P232:R85	P232:R86	P232:R87	P232:R89	P232:R90	P231:R90
dip 25	1.230	1.230	1.230	1.620	1.931	1.390

5) 植生地域の除去及び処理

雲域、積雪域、水域の除去を行った画像のバンド 3, 4 の散布図（Fig. II-2-6）から、前述したソイルラインを決定し傾きを算出する。その傾きを dip 34 とし、散布図上で下式により表される直線を植被率 0% とみなす（Fig. II-2-7 参照）。

$$\text{DN4} = \text{dip } 34 * \text{DN3} \quad \textcircled{6}$$

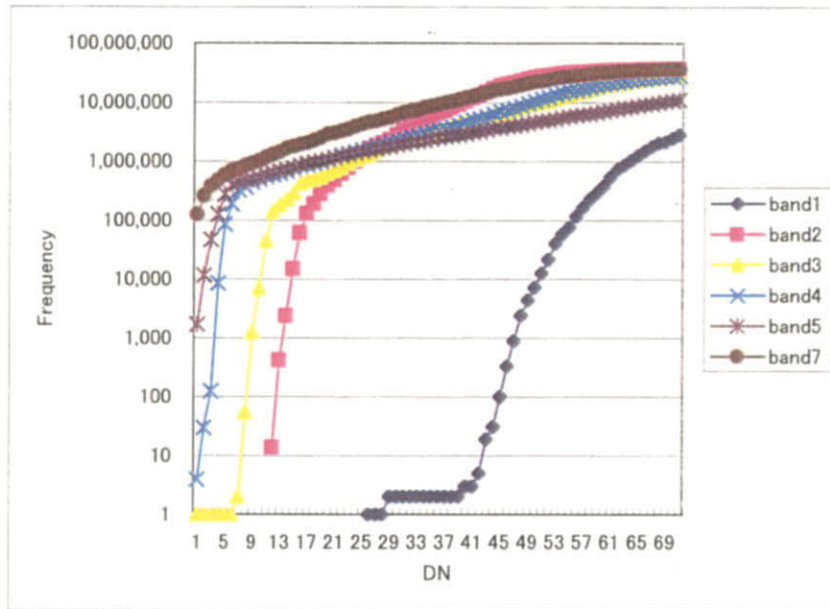


Fig. II-2-4 Cumulative curve of DN of LANDSAT TM data (P232/R085)

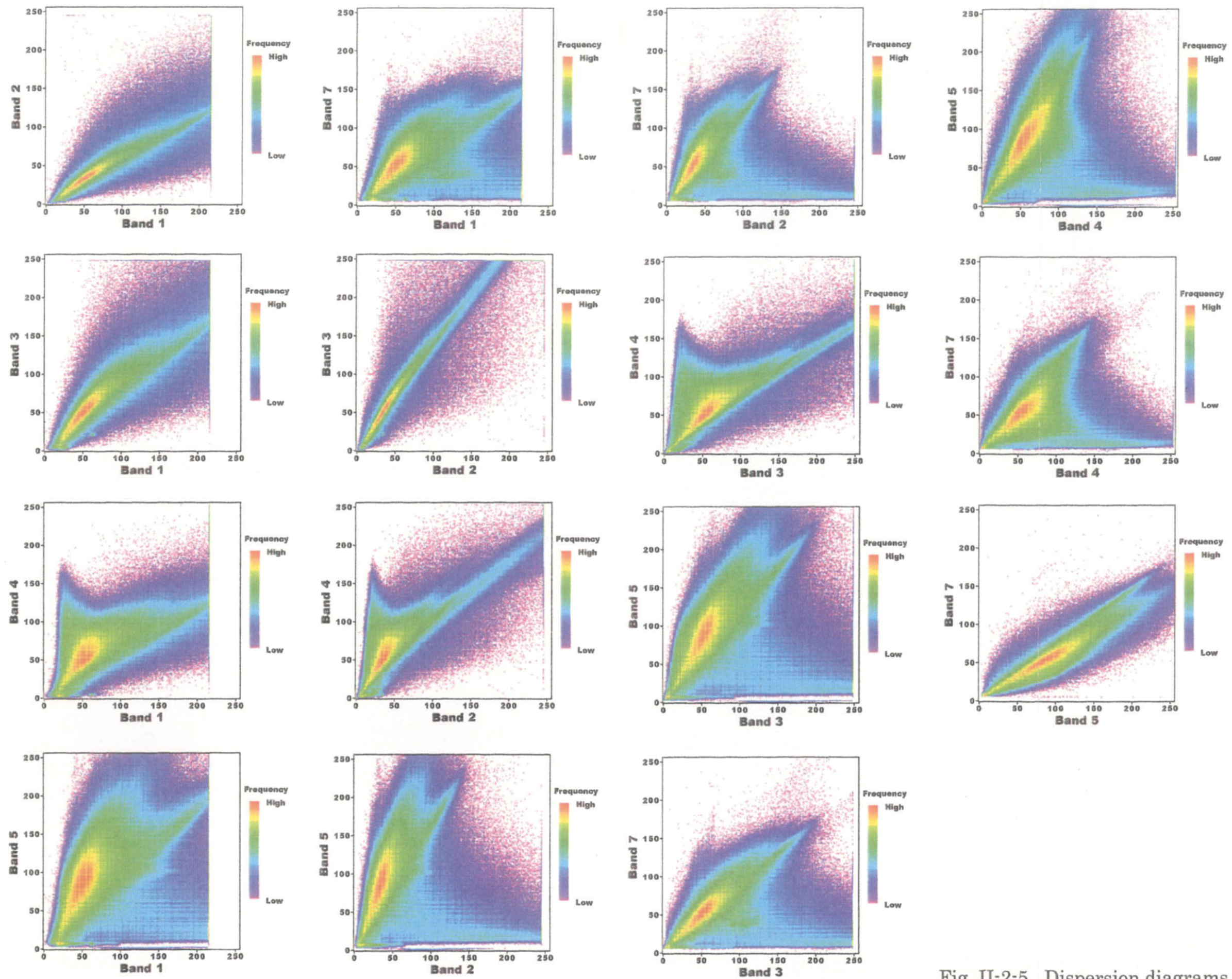


Fig. II-2-5 Dispersion diagrams of DN between two bands of LANDSAT TM data

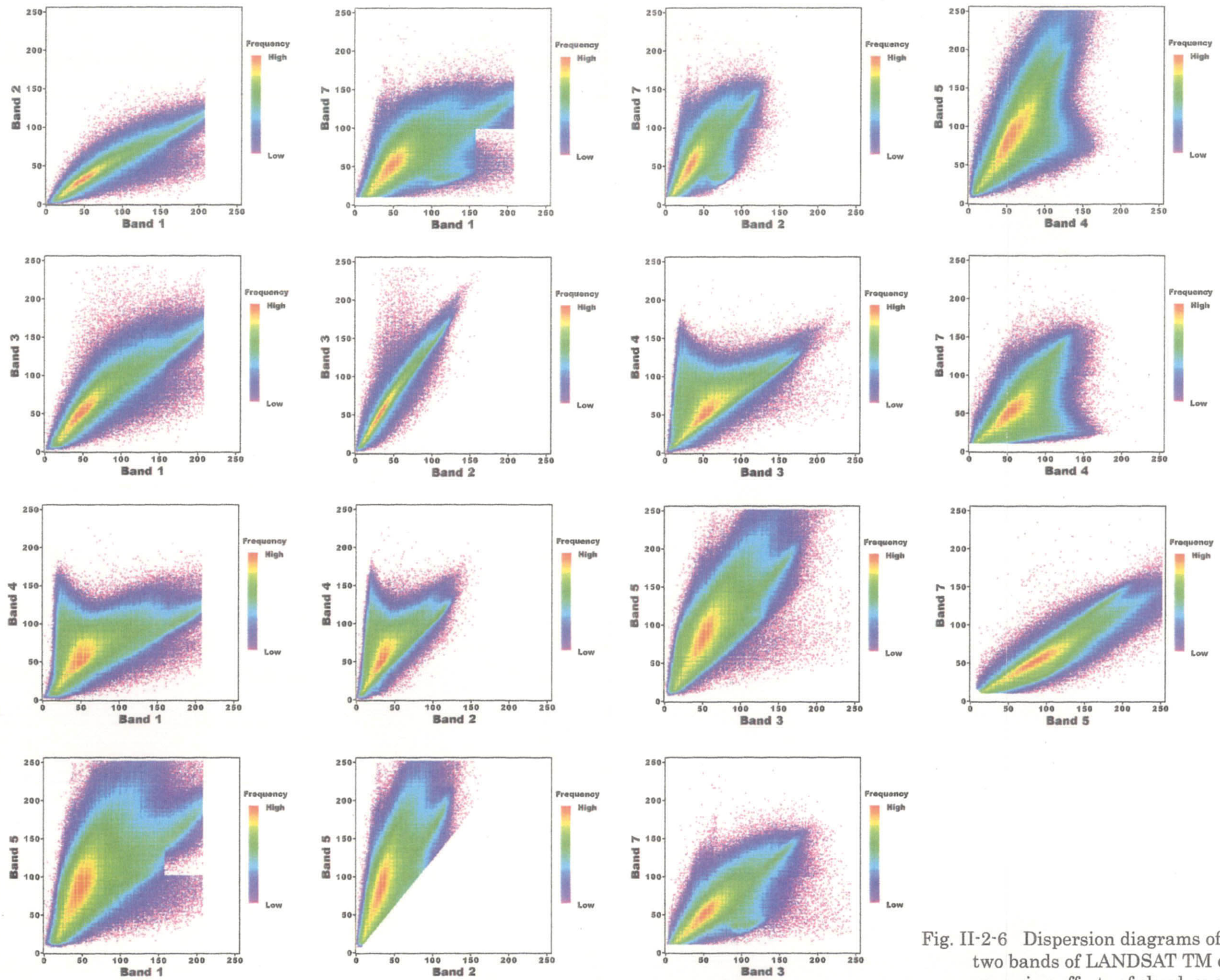


Fig. II-2-6 Dispersion diagrams of DN between two bands of LANDSAT TM data after removing effects of cloud, snow and water

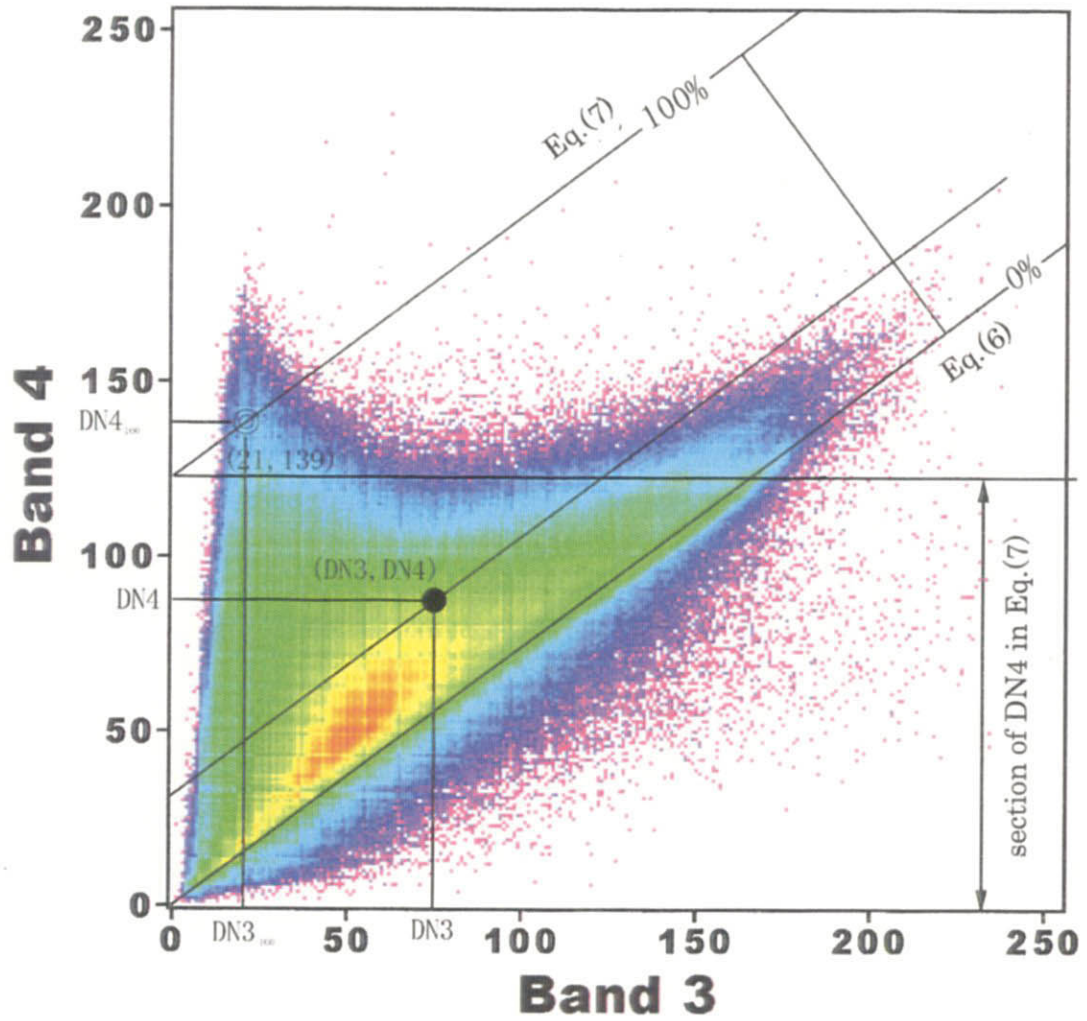


Fig. II-2-7 Dispersion diagram of DN between Band 3 and Band 4 of LANDSAT TM data for removing effects of vegetation

次に、ソイルラインを底とする三角形の頂点付近を植被率 100%とし、この点付近の各バンドの DN 平均値を DN_{i100} ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 7$) とする。バンド 3, 4 の散布図上で、植被率 100 % の点を通りソイルラインに平行な直線の方程式は下式となる。

$$DN4 = \text{dip } 34 * (DN3 - DN_{3100}) + DN_{4100} \quad (7)$$

上式の DN4 切片を植被率 100 %に、ソイルラインの DN4 切片 (原点) を植被率 0 %に対応させる。任意の画素の植被率 V は下式で表せる。

$$V = (DN4 - DN3 * \text{dip } 34) / (DN_{4100} - \text{dip } 34 * DN_{3100}) * 100 \quad (8)$$

各バンドの DN を仮想植被率 0 %の場合の DN に変換する。植被率 0 %変換は以下の式による。

$$DN_{i0} = (DN_i - V/100 * DN_{i100}) / (1 - V/100) \quad (9)$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 7$

Table II-2-7 に各シーンで用いた植被率閾値、dip 34 及び DN_{i100} を示す。

Table II-2-7 Threshold, dip 34 and DN_{i100} of vegetated area in 6 scenes

Path:Row	Threshold(%)	dip34	DN_{1100}	DN_{2100}	DN_{3100}	DN_{4100}	DN_{5100}	DN_{7100}
P232:R85	20	0.788	26	21	21	139	80	30
P232:R86	20	0.788	26	21	21	139	80	30
P232:R87	10	0.788	26	21	21	139	80	30
P232:R89	4	0.810	26	18	17	149	85	26
P232:R90	5	0.861	30	23	20	167	94	30
P231:R90	5	0.843	23	16	15	148	81	26

6) 変質帯の抽出

最初、変質帯画素を際立たせるために、バンド 1、バンド 5、バンド 7 を用いた画像を参考にした。しかし、この方法では、鹹湖堆積物が変質帯とみなされ、かつ、弱変質帯を拾えないなどの不都合が生じた。これを克服して第 1 年次調査の判読結果との整合性をとるために、判読の参考に用いられた比演算画像に関して、何らかの条件を与えて変質帯画素を抽出することを試みた。その結果として、本地域はシーンによって変質帯抽出閾値を適宜変更し抽出を行うべきと判断された。

第 1 年次調査の判読に用いられた比演算値の組み合わせは、バンド 3/バンド 1、バンド 4/バンド 5、バンド 5/バンド 7 である。各々の比演算値 R_{31} , R_{45} , R_{57} は以下のように表せる。

$$\begin{aligned}
R_{31} &= (DN3 \cdot DN3min)/(DN1 \cdot DN1min) \\
R_{45} &= (DN4 \cdot DN4min)/(DN5 \cdot DN5min) \\
R_{57} &= (DN5 \cdot DN5min)/(DN7 \cdot DN7min)
\end{aligned}
\tag{10}$$

通常比演算値は 0~10 程度の値をとる。Fig. II-2-8 は P232/R087 のシーンの比演算値の頻度分布である。

比演算処理画像を作成する場合には、比演算値をゲイン・バイアスによって 0~255 の値に変換する。この変換は、頻度分布に基づき次式により行った。

$$\begin{aligned}
Y_{31} &= R_{31} \cdot 300 - 405 \\
Y_{45} &= R_{45} \cdot 425 - 170 \\
Y_{57} &= R_{57} \cdot 400 - 340
\end{aligned}
\tag{11}$$

⑪式は、 R_{31} 、 R_{45} 、 R_{57} (正実数) の分布の上限値を 255、下限値を 0 に対応させる線形変換である。ここで、300、425、400 の各値は感度、-405、-170、-340 の各値はバイアスである。⑪式によって得られた Y_{31} 、 Y_{45} 、 Y_{57} に関して、⑫式の条件を満たす画素を変質帯と見なした。ただし、 Y_{1min} 、 Y_{2max} 、 Y_{3min} は閾値である。各シーンで用いた閾値を Table II-2-8 に示す。

$$Y_{31} > Y_{1min} \quad \cap \quad Y_{45} < Y_{2max} \quad \cap \quad Y_{57} > Y_{3min}
\tag{12}$$

Table II-2-8 Threshold for extracting alteration zones

Path:Row	P232:R85	P232:R86	P232:R87	P232:R89	P232:R90	P231:R90
Y_{1min}	150	150	130	110	110	110
Y_{2max}	90	90	300	130	130	130
Y_{3min}	150	150	130	110	110	110

7) 擬似反射率変換の手法

擬似反射率変換の手法として、従来から良く知られている方法としては次のものがある。

- (i) 反射率既知のピクセルの反射率と輝度値を対比させる方法
- (ii) シーン全体における各バンドの輝度値の最大値を反射率 100%に対応させる方法
- (iii) シーン全体の各バンドの輝度値平均値を反射率 100%に対応させる方法

このうち(i)の方法は最も精度の高い方法と言うべきである。ただし、一般に反射率既知のピクセルが存在する場合は稀であり、本調査対象地域でもこの方法は使用できない。(ii)と(iii)の方法

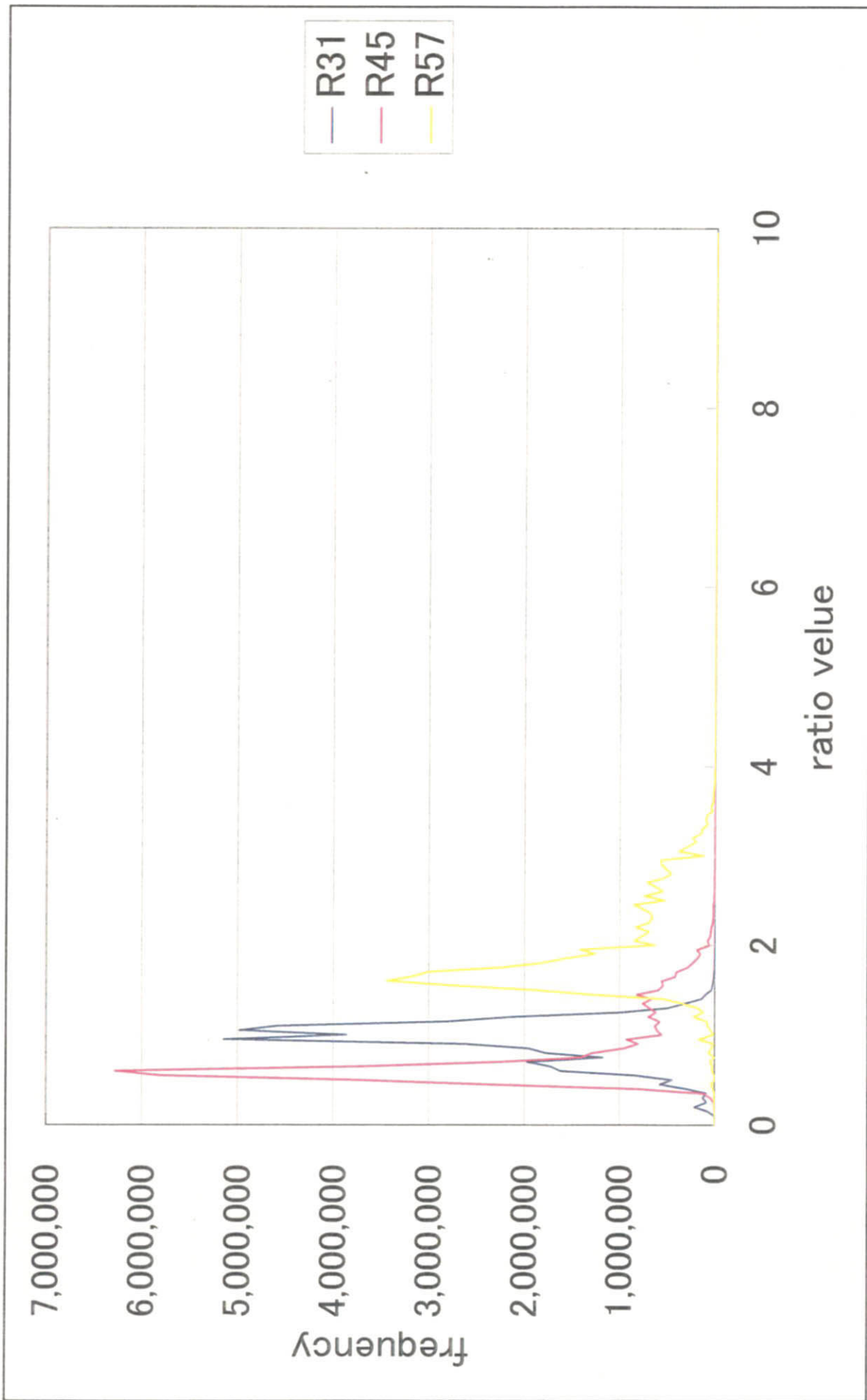


Fig. II-2-8 Frequency distribution of ratio value of LANDSAT TM data (P232/R087)

は、強い吸収スペクトルを有する特殊な鉱物が極端に濃集して地表に偏在する場合、単にその存否を判定するときのみ使えるが、一般的な変質岩の構成物質の量比の判定に耐えうる精度を得ることは原理的に不可能である。そこで、以下に述べる手法で擬似反射率変換を行った。

a) 土壌・岩石サンプルのソイルライン

室内分光分析により実測した土壌と風化岩の反射率データを収集し（約 200 サンプル）、LANDSAT TM の観測波長緒元に合わせた波長帯において反射率の平均値を求めた。次に、このデータから 2 バンド間の反射率散布図を作成した（Fig. II-2-9）。

本解析に用いた画像は、南方のものほど植生が優勢となる。室内分光測定のようにバンド間の相関の高いデータを得るためには、植生画素を厳しく除外する必要がある。

b) 変換係数

当初、山の陰など輝度の低い画素の反射率変換結果が不安定となり、続く鉱物判定の結果も妥当性を欠いたものとなった。よって、雲・雪・水域および植生画素を除いた後に、以下の画素を除外したデータについて検討した。

- ・変質帯
- ・各バンドについてある閾値以下の画素
- ・各バンドで $DN_i > 250$ の画素（受信エネルギーが飽和している可能性のあるデータの除去）

上記の除外から免れた画素は、オーバーサンプリングされず、しかも全バンドの輝度値が大きい。200 の土壌・鉱物参照サンプルのうち、こうした特徴（明るい反射率）を持つのは石英であると考えられた。そこで、変換係数を求めるための参照サンプルとして、混合物ではなく石英のみの反射率データを用いた。

実際の処理では、雲・雪・水域および植生画素を除いた画像の散布図（Fig. II-2-10）において、分布の重心付近を通り、原点から最も離れた分布の尾の方向にソイル・ラインを想定し、画像データにおけるバンド間輝度比を求めた。このバンド間輝度比（ソイル・ラインの傾き）に変換係数を乗じたものが、室内分光分析から求めた石英のバンド間反射率比になるように変換係数を決めた。Table II-2-9 に各シーンで用いた変換係数を示す。

Table II-2-9 Transform coefficient used in 6 scenes

Path:Row	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
P232:R085	0.325	0.544	0.357	0.430	0.305	0.640
P232:R086	0.325	0.544	0.357	0.430	0.305	0.640
P232:R087	0.325	0.544	0.357	0.430	0.305	0.640
P232:R089	0.359	0.544	0.358	0.432	0.257	0.530
P232:R090	0.318	0.538	0.383	0.450	0.259	0.580
P231:R090	0.348	0.553	0.358	0.422	0.269	0.593

8) 変質帯の分類

本解析では等粒子モデル (Hiroi et al., 1985; Hiroi and Takeda, 1989; Hiroi and Pieters, 1992) による疑似反射スペクトル合成と、パターンマッチング法を応用した変質鉱物の半定量化手法を用いた。

a) 変質鉱物の反射スペクトルインデックスの作成

等粒子モデルでは、ある鉱物群の波長帯ごとの表面反射率及び吸収率が与えられれば、各波長での計算反射率は次式の鉱物の容積比と鉱物の粒子サイズの関数として表現される。

$$X_{\lambda} = f_{\lambda}(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n, d_1, d_2, d_3, \dots, d_n) \quad (13)$$

X_{λ} : 波長 λ での計算反射率

q_i : 各鉱物の容積比

d_i : 各鉱物の粒子サイズ

よって、粒子サイズを仮定すると、観測波長数が n 個であれば、波長数 n の方程式を解くことで n 個の鉱物の容積率を求めることができる。しかしながら、個々の画素についてこの計算を行うには長時間が必要であり有効な手法とはいえない。そこで、鉱物を様々な容積比によって混合させた疑似反射率を計算したインデックスを事前に作成し、このインデックスと各画素の疑似反射率を対比することで鉱物判定 (分類) を行った。

この手法の特徴は検索時間が比較的短いこと、また、方程式を解く必要がないため鉱物の種類を波長数の制限なく設定できる点にある。しかし、波長数に対して多くの鉱物数を変数として与えた場合は、検索結果の信頼性が低下する点に注意する必要がある。

本解析では、以下の二種類のインデックスとの対比を行った。Index 1 には中性～アルカリ変質の鉱物が、Index 2 には酸性変質の鉱物が含まれている。各々のインデックスの各鉱物が単体で存在する場合の反射率を Fig. II-2-11 に示す。

各鉱物の混合率は 10% 刻みとした結果、変質鉱物を混合させた計算反射スペクトルのインデックスは、Index 1、Index 2 とも 3,003 件のデータとなった。

b) 2 相混合時の反射スペクトル変化

2 相の変質鉱物を混入させたときの反射スペクトルは容積率に対して非線形に変化する。Fig. II-2-12 は 9 種の変質鉱物から 2 種類を選択し、混合率を 20% ごとに変えたときの反射スペクトルの変化である。この図のうち、混合比に対してスペクトルが線形で変化するものとしては、針鉄鉱-モンモリロン石、針鉄鉱-セリサイト、明礬石-石膏、針鉄鉱-カオリンがある。これに対して、針鉄鉱-石膏、針鉄鉱-明礬石は針鉄鉱の影響が大きく、カオリン-明礬石はカオリンの影響が大きく、前者では針鉄鉱、後者ではカオリンがわずかに混入しただけでそれぞれの混入率 100 % の反射スペクトルに近くなる。

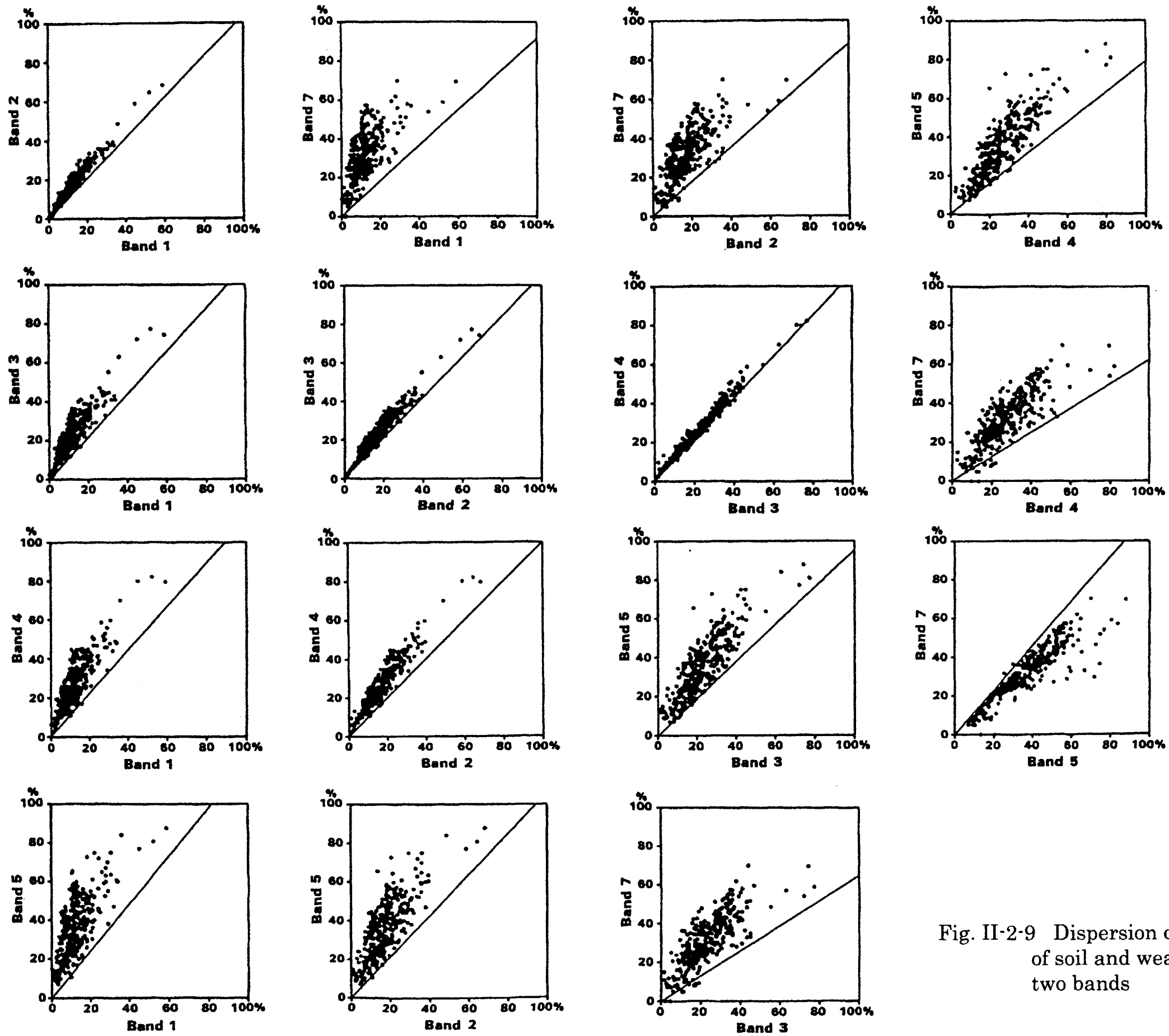


Fig. II-2-9 Dispersion diagrams of reflectance of soil and weathered rock between two bands

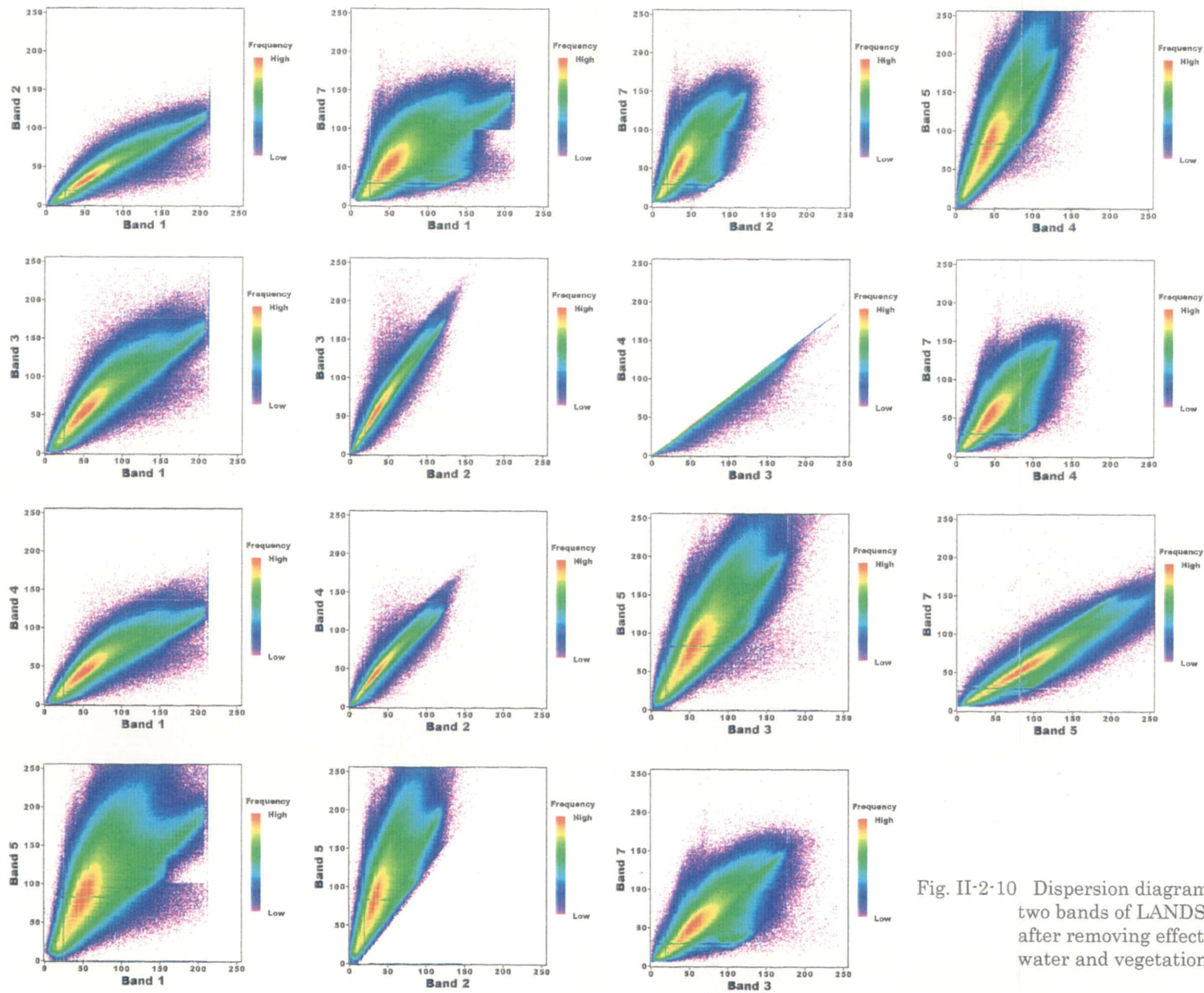
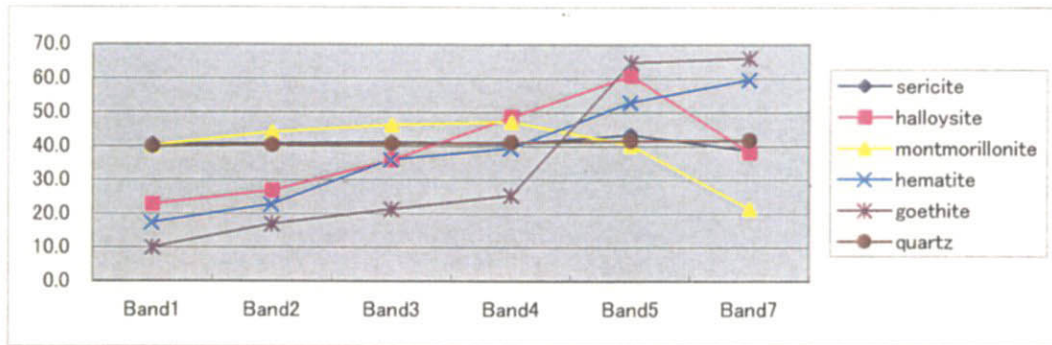
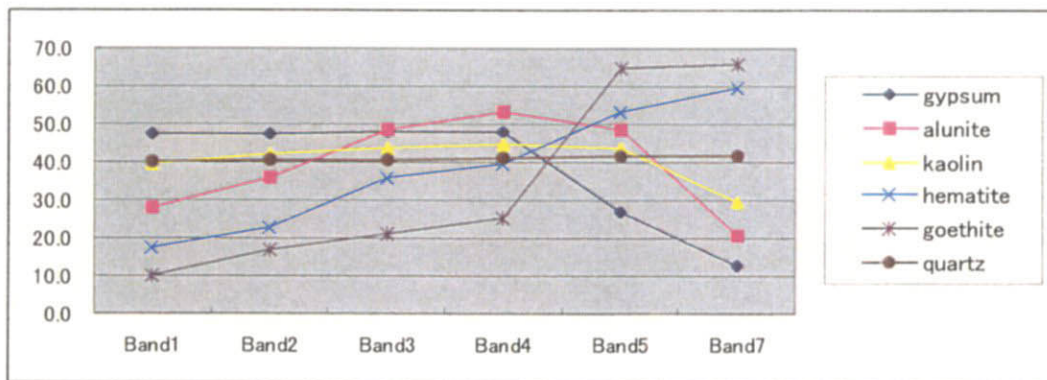


Fig. II-2-10 Dispersion diagrams of DN between two bands of LANDSAT TM data after removing effects of cloud, snow, water and vegetation

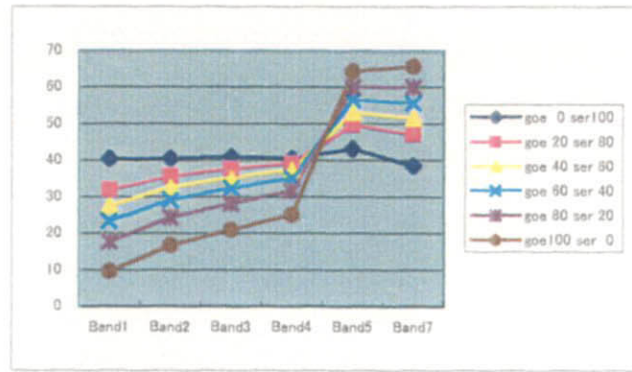


Index 1 : quartz, goethite, hematite, montmorillonite, halloysite, sericite



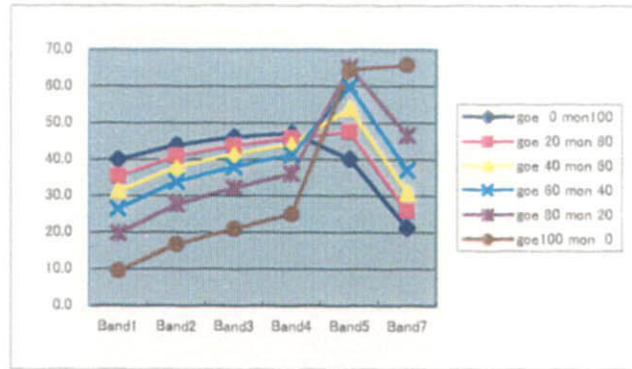
Index 2 : quartz, goethite, hematite, kaolin, alunite, gypsum

Fig. II-2-11 Spectral pattern of six minerals of Index 1 and Index 2



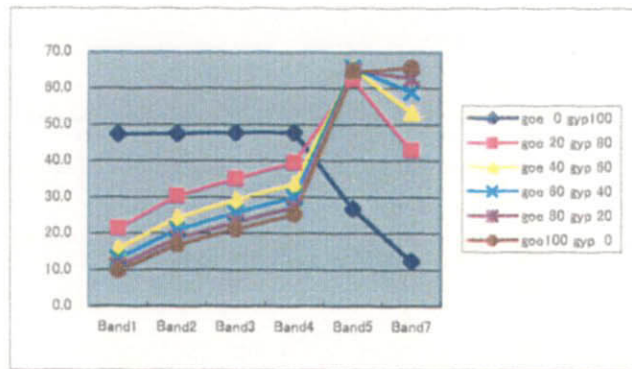
Mixed phase of goethite and sericite

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
0 0 0 0 0 100 goe 0 ser100	40.5	40.7	41.1	40.6	43.3	38.6
0 20 0 0 0 80 goe 20 ser 80	32.0	35.8	37.9	39.3	49.8	47.2
0 40 0 0 0 60 goe 40 ser 60	27.7	32.7	35.4	37.6	53.3	51.6
0 60 0 0 0 40 goe 60 ser 40	23.3	29.2	32.5	35.3	56.6	55.7
0 80 0 0 0 20 goe 80 ser 20	17.9	24.6	28.4	31.8	60.2	60.3
0 100 0 0 0 0 goe100 ser 0	9.8	16.9	21.2	25.3	64.6	66.0



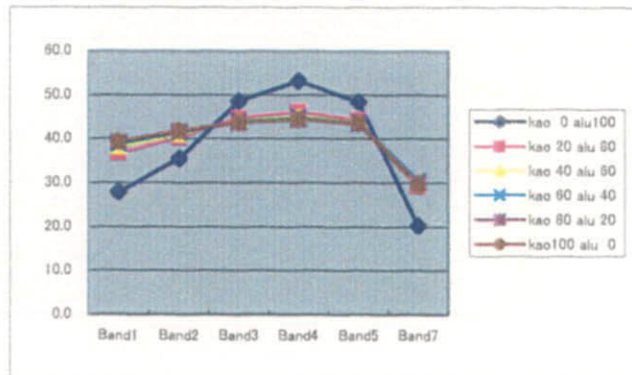
Mixed phase of goethite and montmorillonite

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
0 0 0 100 0 0 goe 0 mon100	40.1	44.1	46.2	47.2	40.3	21.5
0 0 20 80 0 0 goe 20 mon 80	35.7	41.1	44.1	46.1	47.9	26.2
0 0 40 60 0 0 goe 40 mon 60	31.5	38.0	41.5	44.3	54.0	31.0
0 0 60 40 0 0 goe 60 mon 40	26.6	33.9	38.1	41.5	60.0	37.1
0 0 80 20 0 0 goe 80 mon 20	20.1	27.9	32.4	36.4	65.3	46.7
0 0 100 0 0 0 goe100 mon 0	9.8	16.9	21.2	25.3	64.6	66.0



Mixed phase of goethite and gypsum

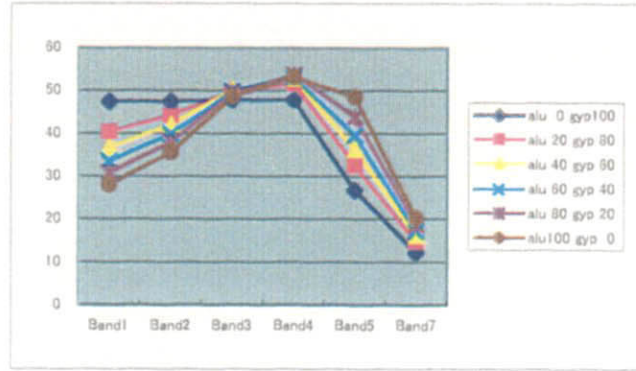
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
0 0 0 0 0 100 goe 0 gyp100	47.6	47.6	48.0	48.0	26.8	12.4
0 0 20 0 0 80 goe 20 gyp 80	21.7	30.5	35.4	39.8	62.5	43.1
0 0 40 0 0 60 goe 40 gyp 60	16.0	24.4	29.4	33.8	65.6	53.3
0 0 60 0 0 40 goe 60 gyp 40	13.1	21.1	25.8	30.1	65.7	59.1
0 0 80 0 0 20 goe 80 gyp 20	11.3	18.8	23.3	27.5	65.3	63.0
0 0 100 0 0 0 goe100 gyp 0	9.9	17.0	21.3	25.4	64.6	65.9



Mixed phase of kaoline and alunite

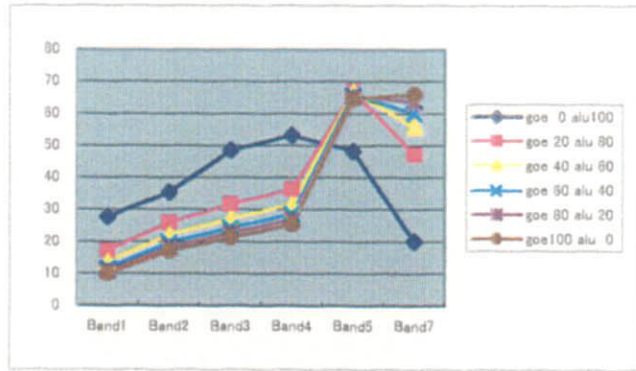
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
0 0 0 0 100 0 kao 0 alu100	28.0	35.6	48.6	53.2	48.5	20.3
0 0 0 20 80 0 kao 20 alu 80	36.9	40.4	44.9	46.4	44.6	29.4
0 0 0 40 60 0 kao 40 alu 60	38.3	41.1	44.2	45.2	43.9	30.3
0 0 0 60 40 0 kao 60 alu 40	39.0	41.5	43.9	44.7	43.7	30.5
0 0 0 80 20 0 kao 80 alu 20	39.3	41.8	43.7	44.5	43.6	30.2
0 0 0 100 0 0 kao100 alu 0	39.5	42.0	43.7	44.5	43.7	29.6

Fig. II-2-12 Spectral pattern of mixed phase of two minerals of Index 1 and Index 2



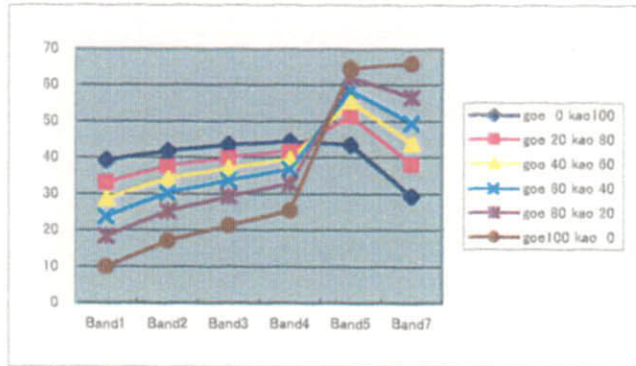
Mixed phase of alunite and gypsum

									Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	
0	0	0	0	0	100	alu	0	gyp	100	47.6	47.6	48.0	48.0	26.8	12.4
0	0	0	0	20	80	alu	20	gyp	80	40.3	44.2	49.8	51.6	32.6	14.8
0	0	0	0	40	60	alu	40	gyp	60	36.8	42.1	50.2	52.8	36.3	16.2
0	0	0	0	60	40	alu	60	gyp	40	33.8	40.0	50.1	53.4	39.9	17.5
0	0	0	0	80	20	alu	80	gyp	20	30.9	38.0	49.6	53.6	43.8	18.8
0	0	0	0	100	0	alu	100	gyp	0	28.0	35.6	48.6	53.2	48.5	20.3



Mixed phase of goethite and alunite

									Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	
0	0	0	0	100	0	goe	0	alu	100	28.0	35.6	48.6	53.2	48.5	20.3
0	0	20	0	80	0	goe	20	alu	80	17.2	25.8	31.8	36.3	66.9	47.3
0	0	40	0	60	0	goe	40	alu	60	13.8	22.0	27.2	31.6	66.9	55.8
0	0	60	0	40	0	goe	60	alu	40	12.0	19.8	24.6	28.9	66.1	60.4
0	0	80	0	20	0	goe	80	alu	20	10.8	18.3	22.8	27.0	65.3	63.5
0	0	100	0	0	0	goe	100	alu	0	9.9	17.0	21.3	25.4	64.6	65.9



Mixed phase of goethite and kaoline

									Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	
0	0	0	100	0	0	goe	0	kao	100	39.5	42.0	43.7	44.5	43.7	29.6
0	0	20	80	0	0	goe	20	kao	80	33.2	37.6	40.1	41.9	51.6	38.2
0	0	40	60	0	0	goe	40	kao	60	28.8	34.3	37.3	39.8	55.6	44.0
0	0	60	40	0	0	goe	60	kao	40	24.2	30.5	34.0	37.1	58.9	49.8
0	0	80	20	0	0	goe	80	kao	20	18.4	25.3	29.4	32.9	62.1	56.7
0	0	100	0	0	0	goe	100	kao	0	9.9	17.0	21.3	25.4	64.6	65.9

Fig. II-2-12 (Continued)

c) 判定

以上のように求めたインデックスと画像から得た疑似反射率との対比を、パターンマッチングにより行う。前項で求めた変換係数は、バンド間輝度比の補正を行うためのものであり、絶対反射率への変換係数ではない。つまり変換された輝度値は、バンド1の輝度値を基準とした相対的な関係のみを示している。これは地形起伏によって地表面に対する入射光量が異なるため、同一物質であっても観測輝度値は異なることによる。従って、画像輝度値へ係数を乗じて直接インデックスとの比較は出来ない。このため、疑似反射強度を方向余弦へ変換することで疑似反射率への変換を行った。

疑似反射率 R_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 7$) は、下式で表される。ただし、 I_j ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 7$) は各画素の輝度値に変換係数を乗じた数値である。

$$R_i = I_i / (\sum I_j^2)^{1/2} \quad (14)$$

一方、前項で作成した変質鉱物を混合させた計算疑似反射率値も方向余弦に変換する。以上により、変質鉱物の計算疑似反射率と各画素の疑似反射率とを直接比較することができる。両者の疑似反射率を比較し、バンドごとの差の二乗和が最小となるものを適合スペクトルとした。上述の判定結果の一例を Fig. II-2-13 に示す。

9) 幾何変換

幾何変換を変質帯抽出および鉱物判定後に各シーンごとに実施した。GIS データを用いて各シーンにおいて 14~20 点の GCP (Ground Control Point) を選定し、UTM 座標系へ幾何変換した。なお、GCP は河川の合流点もしくは屈曲点、湖岸の突起部もしくは尖峰で選定した。

幾何変換を施した各シーンの変質帯分類図を Fig. II-2-14a~f に示す。本処理では、2 種のインデックスのいずれに適合したかを、Index 1 の場合は緑、Index 2 の場合は黄で表した。また、第 1 年次調査の比演算画像から目視で抽出された変質帯の輪郭を、赤で表示した。

2-2-3 画像判読・解析結果

以下に各 6 シーン地域の画像判読・解析結果をまとめる。ここで、第 1 年次調査の比演算画像から目視で抽出された変質帯については「変質帯¹⁾」、本年度の変質帯精密解析で抽出された変質帯 (Index 1, Index 2) については「変質帯²⁾」と呼ぶこととする。

1) Malargue 地域 (Fig. II-2-14a)

比演算画像で明るい赤紫色を示す変質帯¹⁾の部分では、変質帯²⁾も抽出されているが、やや薄い赤紫色の部分では変質帯²⁾は抽出されていない。一方、比演算画像でそれほど鮮やかでない赤紫色を示し、変質帯¹⁾が抽出されなかった箇所に、変質帯²⁾が何箇所か抽出されている。

2) Chos Malal 地域 (Fig. II-2-14b)

西部の Cordillera de Los Andes 帯の 3 箇所の変質帯¹⁾ について、範囲内の限られた部分に変質帯²⁾ が抽出されている。

中央部の Cordillera del Viento 帯の 12 箇所の変質帯¹⁾ について、範囲内あるいは極近傍に変質帯²⁾ が抽出されている。それ以外の所でも変質帯²⁾ が抽出されており、特に南側でこの傾向が強い。これらはほとんど比演算画像の赤紫色域に対応することから、第 1 年次調査で抽出し得なかった変質帯と解釈される。

東部の Chos Malal 市街地北東の山岳帯の 6 箇所の変質帯¹⁾ について、範囲内あるいは極近傍に変質帯²⁾ が抽出されているが、一致の程度は場所により差がある。また、CM020 を中心として直径 30 km 程度の環状構造が見られるが、その中に変質帯²⁾ が散点的に抽出されている。

なお、中央部～東部間の変質帯¹⁾ の空白地帯について、南側で広範囲に変質帯²⁾ が散点的に認められる。地質単元は鮮新世の安山岩、玄武岩質火山岩類と判読された箇所であるが、その産状から変質帯とは解釈しがたい。

3) Zapala 地域 (Fig. II-2-14c)

本地域の変質帯¹⁾ は地域中央～東部にかけての比較的狭い範囲で NNW-SSE 系のトレンドで抽出されている。これらは、抽出されたりニアメントの高密度部と密接に関係しているのが特徴的である。変質帯²⁾ はゾーンとしては変質帯¹⁾ とほぼ同じ範囲に抽出され、やはり NNW-SSE 系のトレンドを持っているが、個々の独立した変質帯としてみた場合は、それほど良い一致を示さない。変質帯¹⁾ が抽出されていない場所では、地域南東部のジュラ紀堆積岩分布域に変質帯²⁾ が抽出されている。

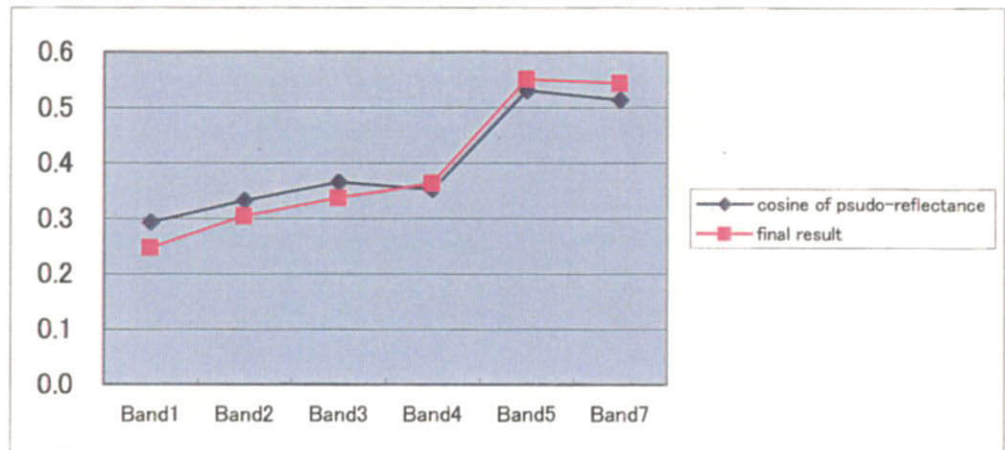
4) San Carlos de Bariloche 地域 (Fig. II-2-14d)

本地域の変質帯¹⁾ は、地域中央～東部の南北方向のゾーンに小規模なものが多数抽出されている。変質帯¹⁾ と変質帯²⁾ の一致はそれほど良くないが、変質帯¹⁾ の近傍にはほとんど全て変質帯²⁾ が抽出されている。このことは、比演算画像から変質帯を目視で抽出する場合の精度の限界を示していると考えられる。本地域の特徴としては変質帯¹⁾、変質帯²⁾ とともに分布域が限られている。

5) Lago Menendes 地域 (Fig. II-2-14e)

画像 1 シーンの西側 2/3 がチリ共和国に属し、本地域はシーンの東側 1/3 に相当する。変質帯¹⁾ は地域東端付近の N-S 方向のゾーンに抽出されている。変質帯²⁾ は、ほぼ変質帯¹⁾ と同じ位置で抽出されている。しかし、変質帯¹⁾ が抽出されているものの、変質帯²⁾ が抽出されていない箇所が認められる。比演算画像を再度チェックしてみた結果、これら変質帯¹⁾ は誤抽出されたものと考えられる。変質帯²⁾ のみが抽出された箇所は存在しない。

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7							
DN	72	34	45	33	79	34							
Dnmin	40	10	5	1	-2	-4							
coefficient	0.359	0.544	0.358	0.432	0.257	0.53							
pseudo-reflectance	11.49	13.06	14.32	13.82	20.82	20.14							
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7							
alteration mi	Q	Goe	Hem	Mon	Hal	Ser	cosine of psudo-reflectance	0.293	0.333	0.365	0.353	0.531	0.514
ratio of mixt	0	50	10	0	0	40	final result	0.248	0.305	0.337	0.363	0.551	0.544
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	calculated reflectance	24.78	30.47	33.73	36.34	55.12	54.42



Result on referring the most fitted pseudo-reflectance of pixel to index 2

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7							
DN	105	60	92	69	165	58							
Dnmin	43	12	7	2	-1	-4							
coefficient	0.325	0.544	0.357	0.430	0.305	0.640							
pseudo-reflectance	20.15	26.112	30.345	28.81	50.63	39.68							
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7							
alteration mi	Q	Goe	Hem	Kao	Alu	Gyp	cosine of psudo-reflectance	0.2412	0.3126	0.3633	0.3449	0.6062	0.4751
ratio of mixt	20	20	0	0	60	0	final result	0.1928	0.2724	0.324	0.3645	0.6365	0.4956
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7	calculated reflectance	19.3	27.2	32.4	36.5	63.7	49.6

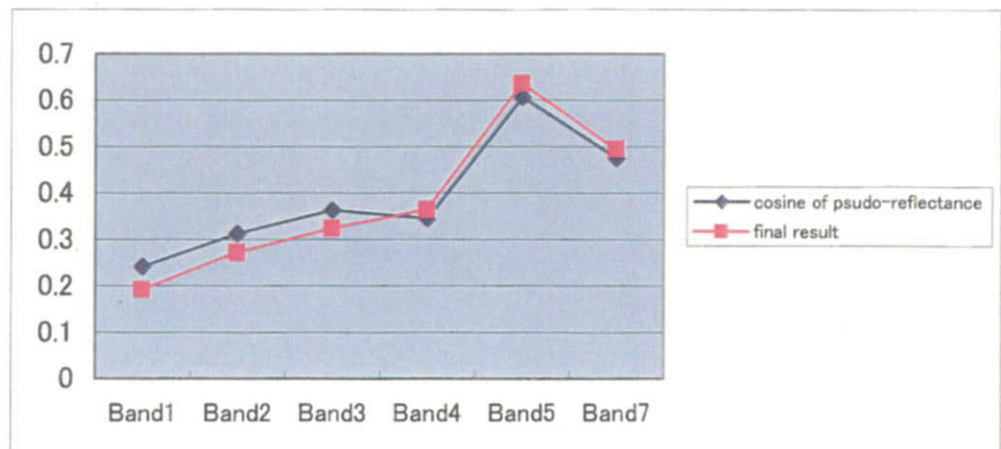


Fig. II-2-13 Examples of result on the pattern matching between reflectance of the iso-grain model and LANDSAT TM data

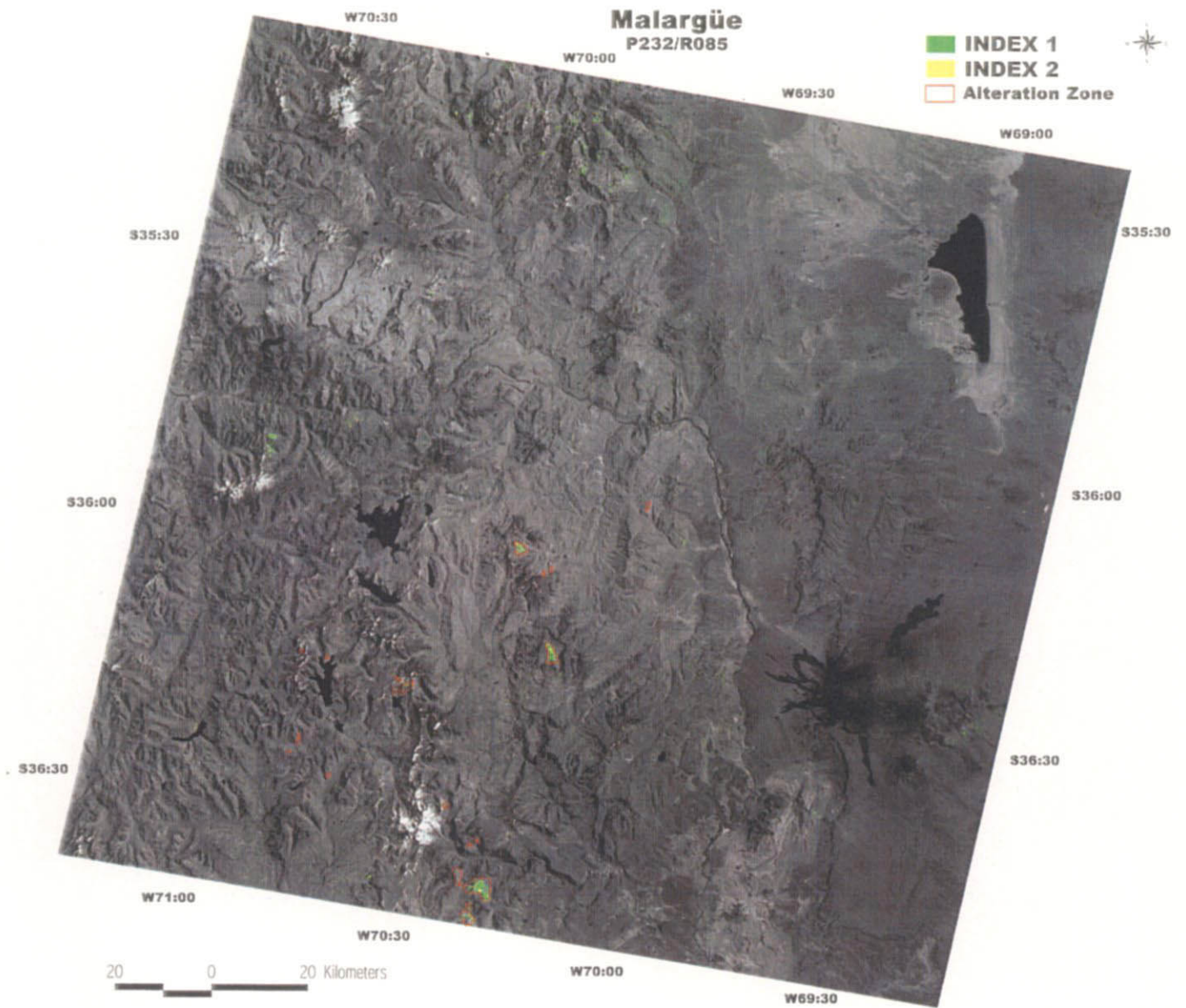


Fig. II-2-14a LANDSAT TM image of the Malargüe area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow)

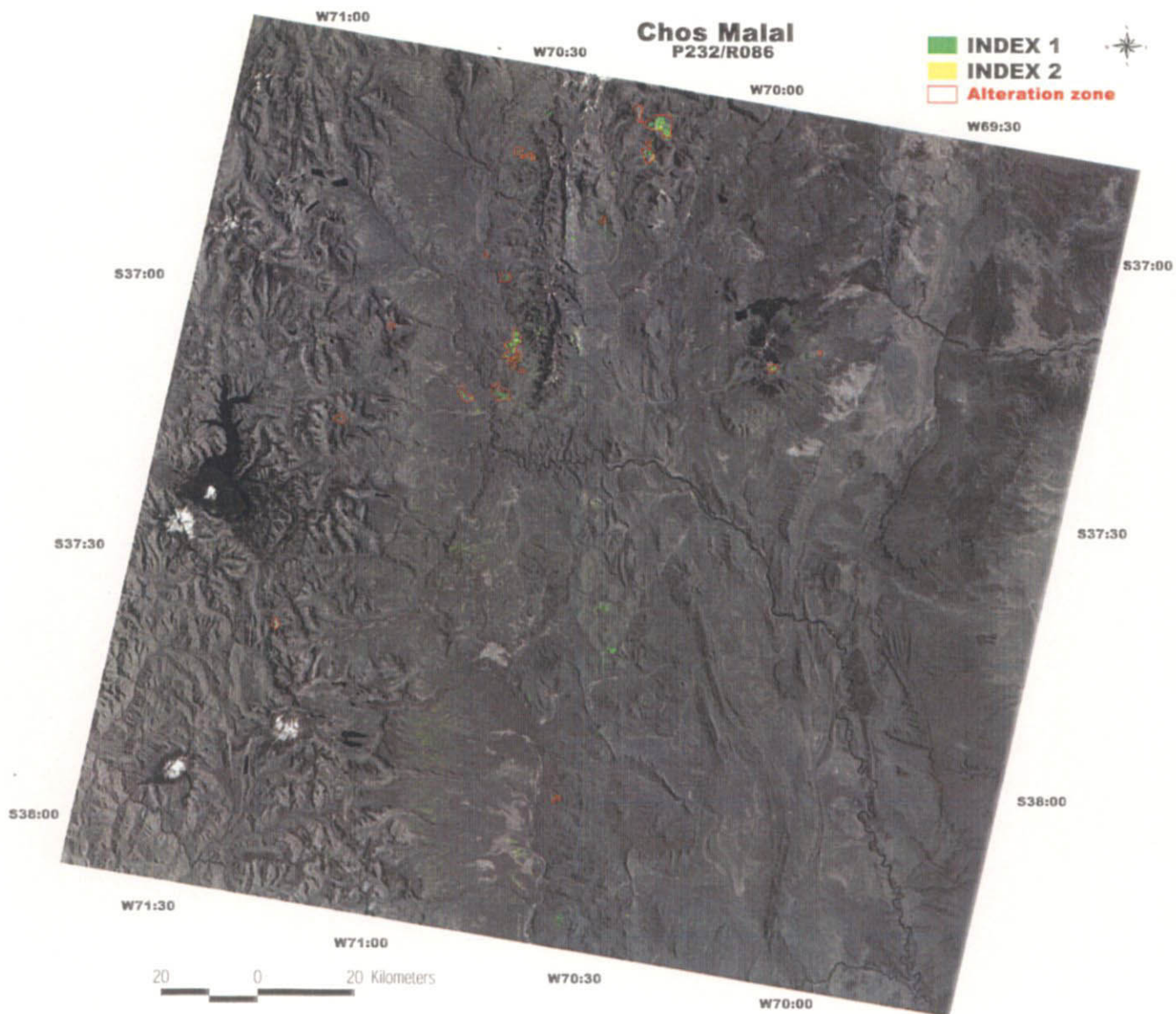


Fig. II-2-14b LANDSAT TM image of the Chos Malal area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow)

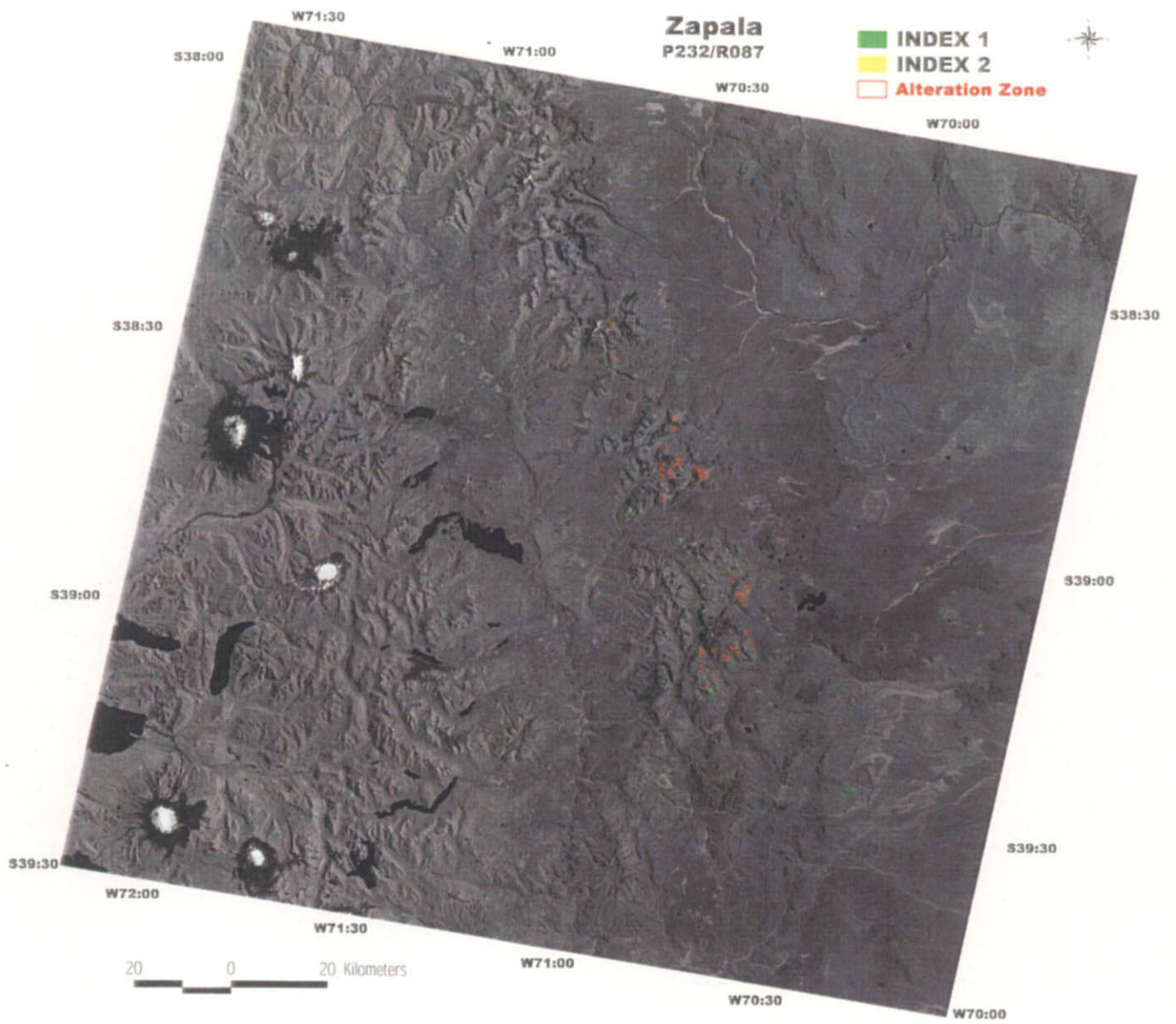


Fig. II-2-14c LANDSAT TM image of the Zapala area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow)

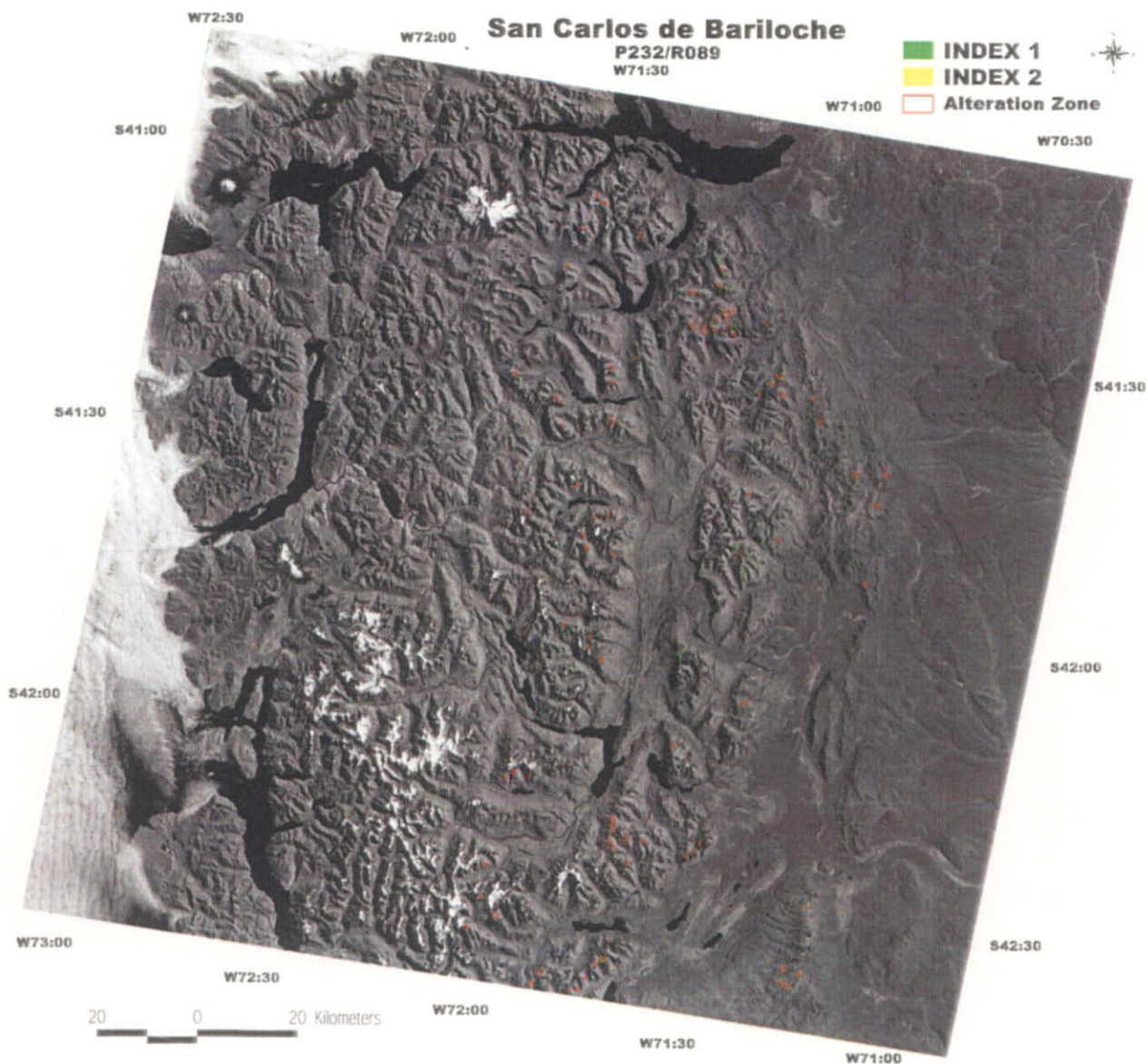


Fig. II-2-14d LANDSAT TM image of the San Carlos de Bariloche area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow)

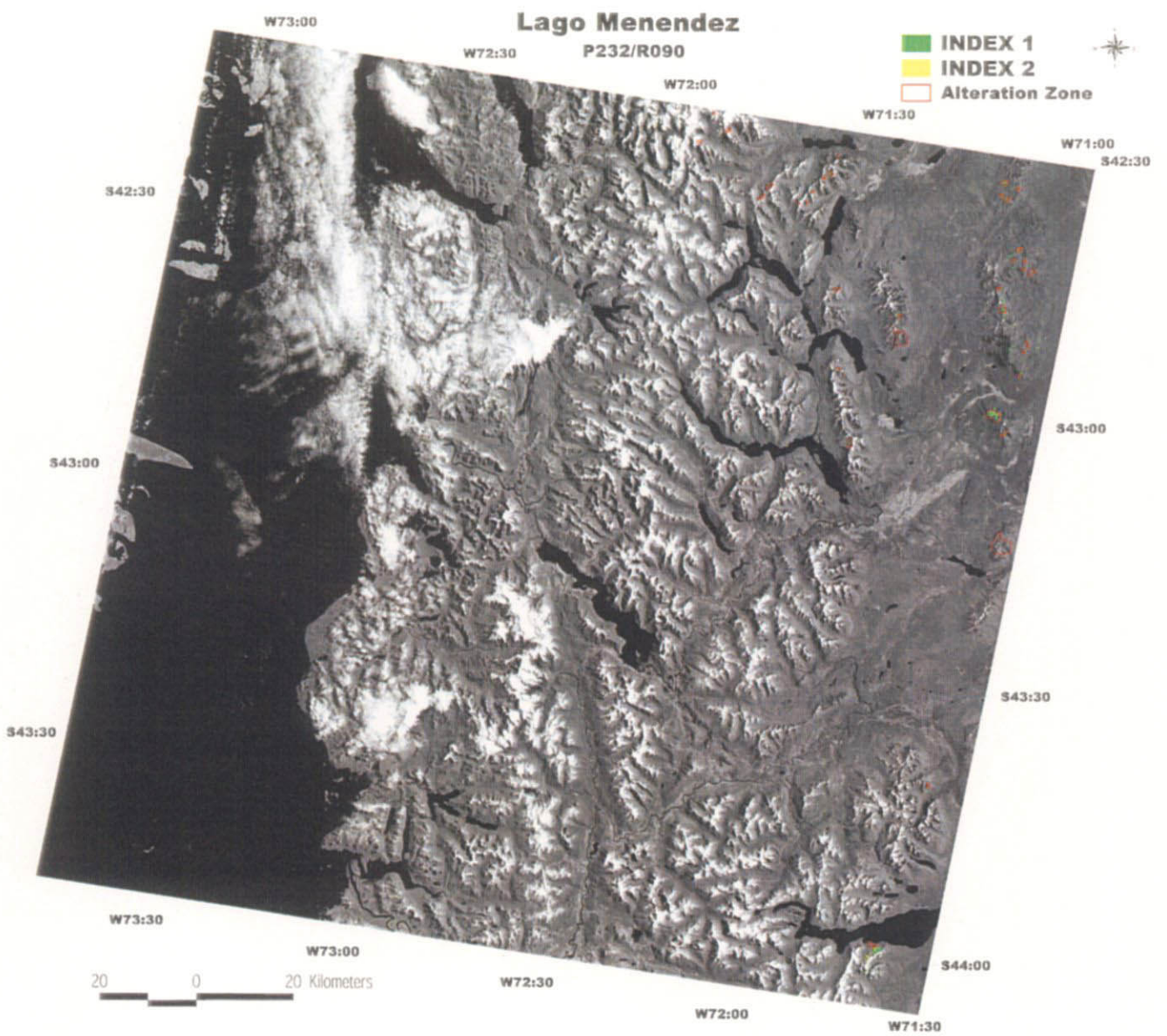


Fig. II-2-14e LANDSAT TM image of the Lago Menendez area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow)

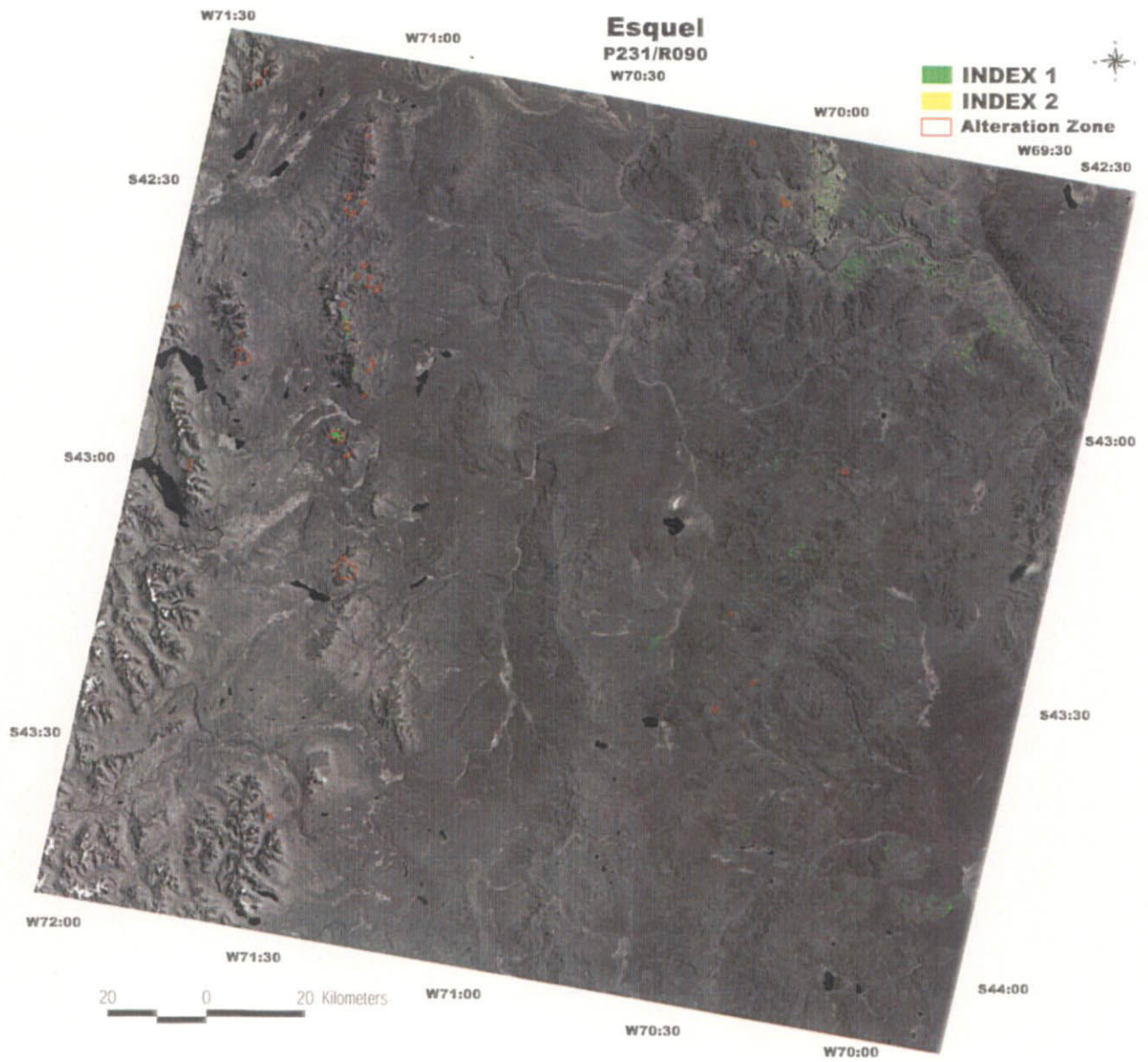


Fig. II-2-14f LANDSAT TM image of the Esquel area displaying alteration zones of Index 1 (green) and Index 2 (yellow)

6) Esuquel 地域 (Fig. II-2-14f)

本地域の西側にゾーンとして、N-S 方向の 2 列のトレンドを持って抽出された変質帯¹⁾については、範囲内あるいは近傍に変質帯²⁾が抽出されている。N-S 方向のトレンドを持つゾーンとしては一致しているが、変質帯¹⁾が抽出されていない所で変質帯²⁾が抽出されている場合も多い。

本地域の東側では、変質帯¹⁾は散点的に 6 箇所抽出されているだけで、その範囲内にわずかに変質帯²⁾が小分布する。なお、変質帯¹⁾の空白地帯に Index 1 を主体とする変質帯²⁾が広範囲にわたり面積の広い分布を示す。これらは、ジュラ紀～白亜紀の堆積岩、第三紀の火山岩の分布域にあたり、熱水変質帯を表すものではない可能性がある。

実際のフィールドとの対応については「第 3 章 グランドトルース」で述べるが、第 1 年次調査で抽出した変質帯と比較検討した段階では、本年度の解析結果は以下のようにまとめられる。

- ・熱水変質帯が分布するゾーンについては、変質帯精密解析はより高い精度で熱水変質帯を抽出していると判断される。これは主として比演算画像での目視抽出の精度の限界に起因すると思われる。
- ・本手法による解析結果を検討・解釈する際には、フォールスカラー画像や比演算画像を参考にして地質単元・地質構造などをまず解釈した上で行うことが望ましい。