

2-2 地 表 調 査

2-2 地表調査

2-2-1 地質調査

地質調査は第2次現地調査及び第8次現地調査で実施した。

地質調査は、羊八井北部地域（ここでは中尼公路以北を称す）と周辺地域の地表踏査及び空中写真判読を行い、地質層序と基盤岩を確定し、地質構造と断裂系の調査並びに変質帯の調査を行い、岩石試料を採取した。第1次国内作業及び第4次国内作業では、岩石試料を用いて岩石薄片顕微鏡観察、X線分析、熱ルミネッセンス（TL）発光強度測定、流体包有物測定を行った。地質調査地点位置図を図2-2-1(1)、(2)に示す。

(i) 地質層序及び基盤岩調査

地表踏査によって地質層序と基盤岩調査を行い、中国側の地質調査の結果が追認された。羊八井地域と周辺地域の地質を表2-2-1と地質図を図2-2-2に示す。

今回の調査で特に、1)基盤岩である念青唐古拉群は、南東側（地溝帯側）の白亜紀花崗岩及び白亜系とマイロナイト帯で接しており、羊八井地域は構造帯に生成していることを確認し、2)第四紀砂礫層は、高位段丘を構成し中期更新世の可能性のある礫層、低位の段丘を構成する後期更新世礫層、並びに現河床の完新世礫層からなることが判明した。

(ii) 地質構造と断裂系調査

更新世礫層は北西側の念青唐古拉山脈から供給されて南東方向にゆるく傾斜しているが、一部地域においては断層により変位し、山脈側に逆傾斜している。

地表踏査で測定した64条の断層のπ-ポールダイアグラムを図2-2-3に、ローズダイアグラムを図2-2-4に示す。測定した断層は変位量が小さい断層がほとんどであるが、変位量の大きい断層を図2-2-5に示し、断層F1～F10と呼称する。これらの断層は中期更新世以降の地層を変位させていることから活断層と認定される。これらの断層は、羊八井地域の地殻変動（断層活動）が活発であることを示している。

測定した断層は、傾斜角が 53° 以上で、走向からNNE-SSW系、NE-SW系、及びN-S～NNW-SSE系の3系統に区分される。観察数が最も多い断層はN-S～NNW-SSE系で、熱水変質帯を切る小断層がほとんどであり、変位量の大きい断層はF2のみである。他の9本はNNE-SSW系とNE-SW系に属する（表2-2-2）。

当地域で変位量が最も大きい断層は断層F2で、断層F3とともに断層帯を構成する。断層F2は右横ずれを伴う東南東傾斜の正断層で、下盤側には幅50m以上にわたって小断層を多数生じている。断層F2の下盤（北西）側で掘削したZK4002は深度16mで基盤岩に入るのに対して、ほぼ同一標高の断層上盤（南東）側で掘削したZK320は深度230m、ZK4001は深度240mでそれぞれ基盤岩に入っており、断層F2で上盤側が200m以上落ち込んでいることがわかる。なお、ZK320とZK4001では、基盤岩との境界付近の礫層は厚さ60～156mにわたって珪化している。念青唐古拉山脈の南東側に発達する地溝帯は、南からNNE-SSW走向で当地域に達し、羊八井地域でNE-SW走向に屈曲してさらに北東に続いている。当地域に発達するNNE-SSW系及びNE-SW系断層は、地溝帯の南部と北部をそれぞれ形成している断層系であり、羊八井地域で両断層系が交差していると考えられる。

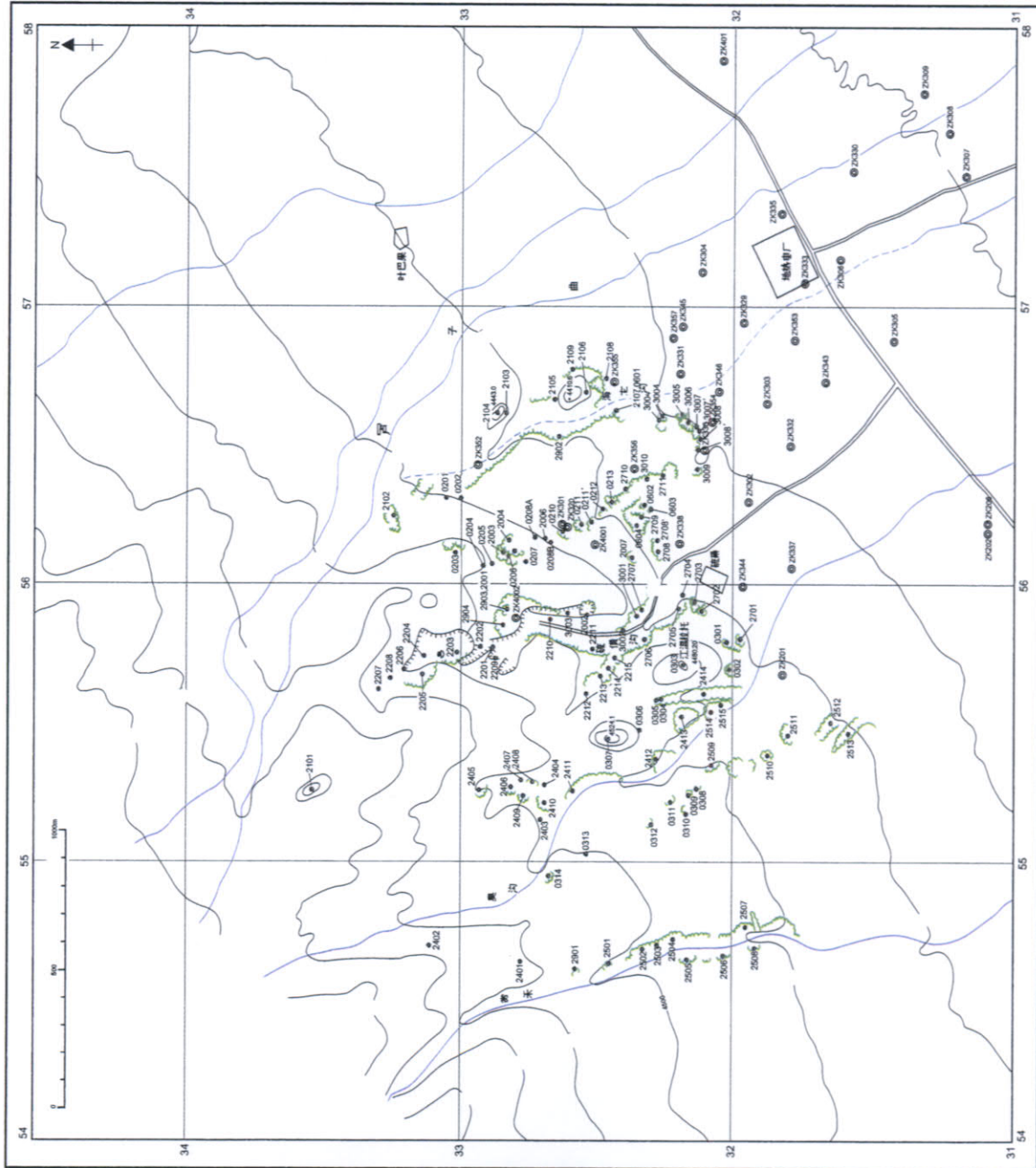
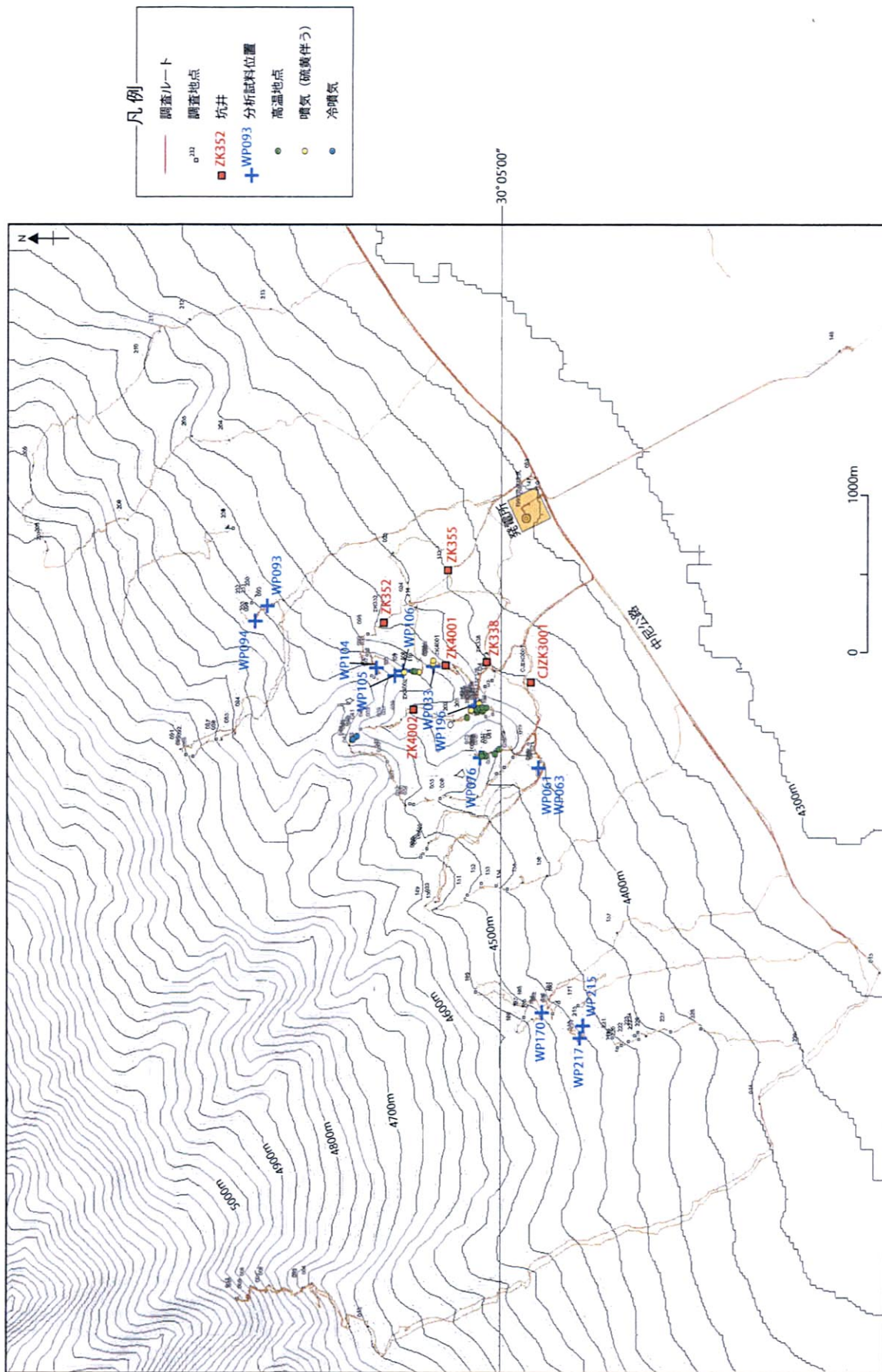


图 2-2-1 (1) 地质调查地点位置图 (第 2 次地质调查)



90° 30'00"

図 2-2-1 (2) 地質調査地点位置図 (第 8 次現地調査)

表2-2-1 羊八井地域の地質層序総括表

地質層序	構成地質	主要地質イベント
沖積層	砂礫	
後期更新世礫層	砂礫	熱水変質を受ける。 高角度正断層の形成
中期更新世？礫層	砂礫	熱水変質を受ける。 高角度正断層の形成
中新世火山岩類	安山岩・粗面岩等	念青唐古拉剪断帯(NSZ)の形成 (NSZ 沿いにマイロナイト化作用) 喜馬拉雅期花崗岩貫入
漸新世～始新世火山岩類	流紋岩・安山岩・凝灰岩等	燕山期花崗岩貫入
白亜系(K1,K2)	K2: 泥岩・砂岩、砂礫岩、 凝灰岩等 K1: 砂岩・頁岩等	一部の白亜系に低度広域変成作用
時代未詳	マイロナイト	花崗岩マイロナイト帯の形成
先震旦系念青唐古拉群 (AnZnn)	片麻岩・角閃岩等	高度広域変成作用

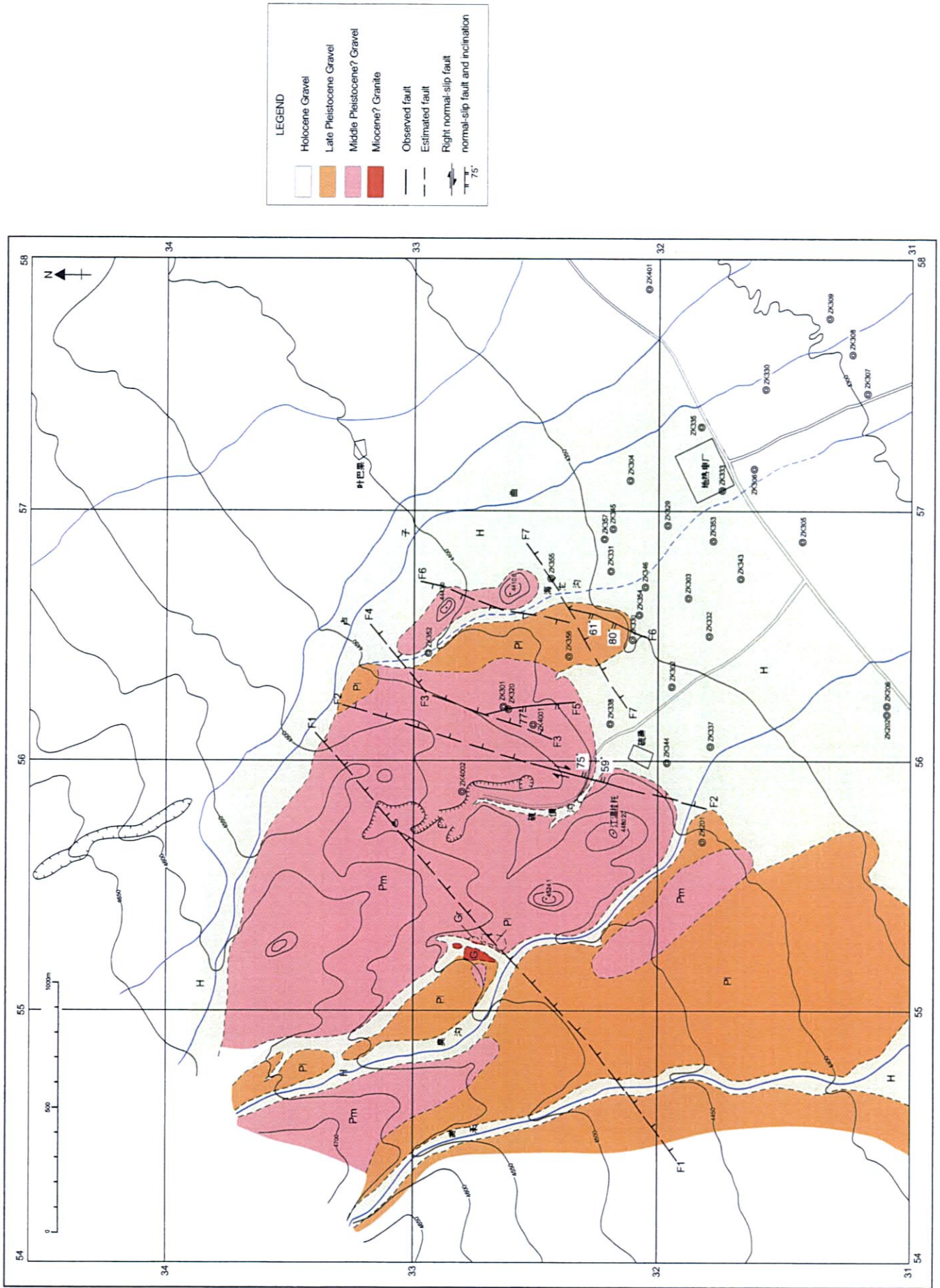


图 2-2-2 羊八井地熱地域地質圖

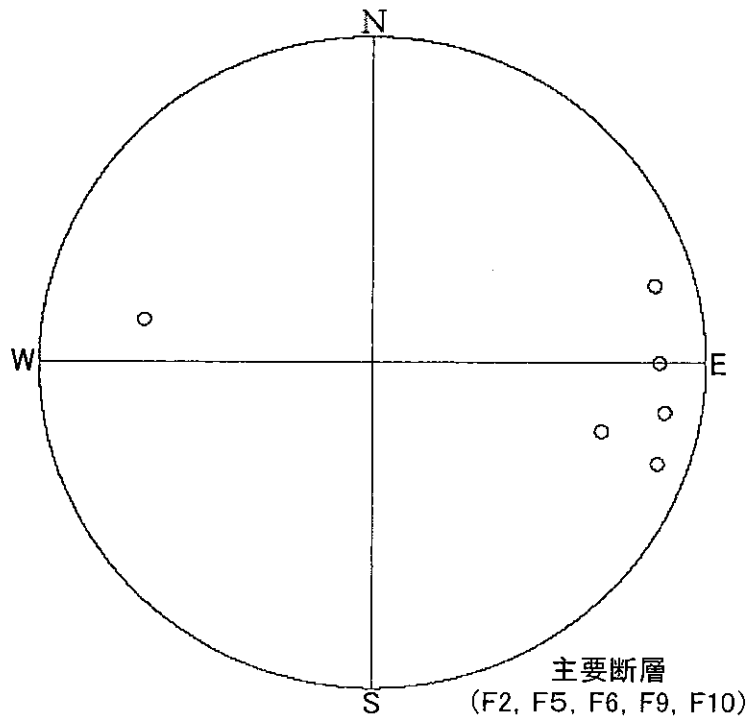
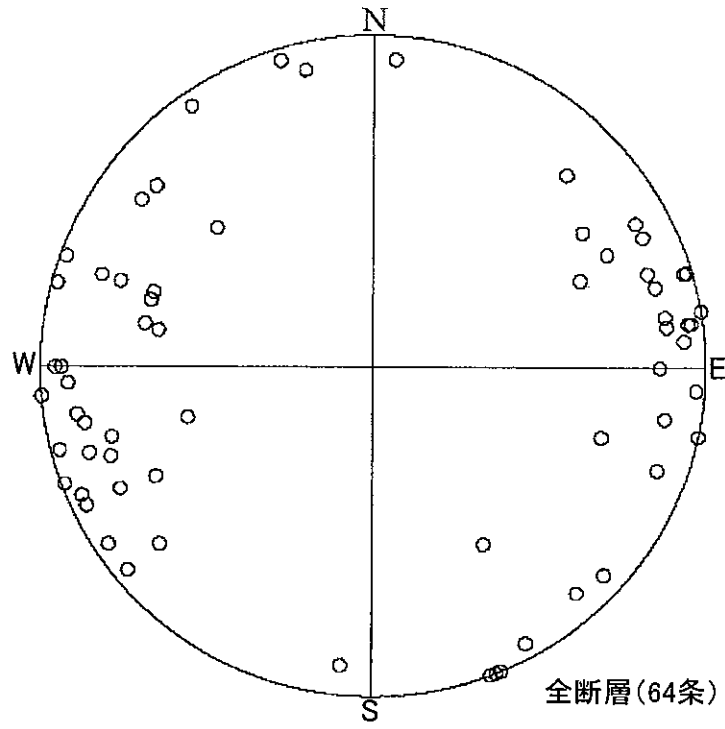


図2-2-3 羊八井地域の断層の π -ポールダイアグラム(下半球等積投影)

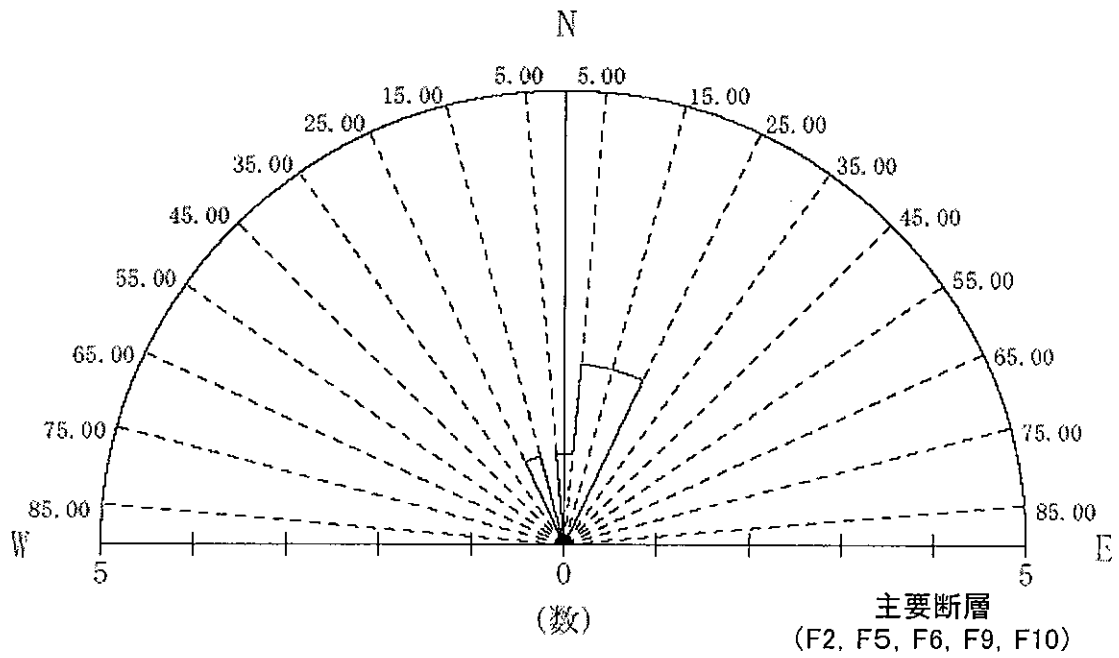
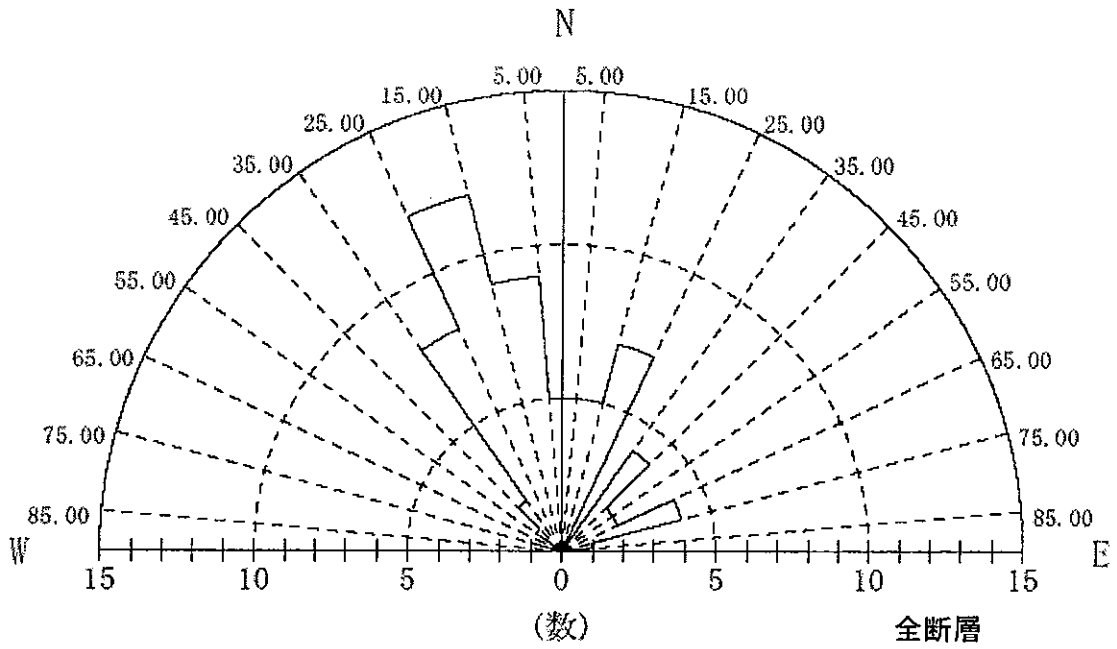


図2-2-4 羊八井地域の断層のローズダイアグラム

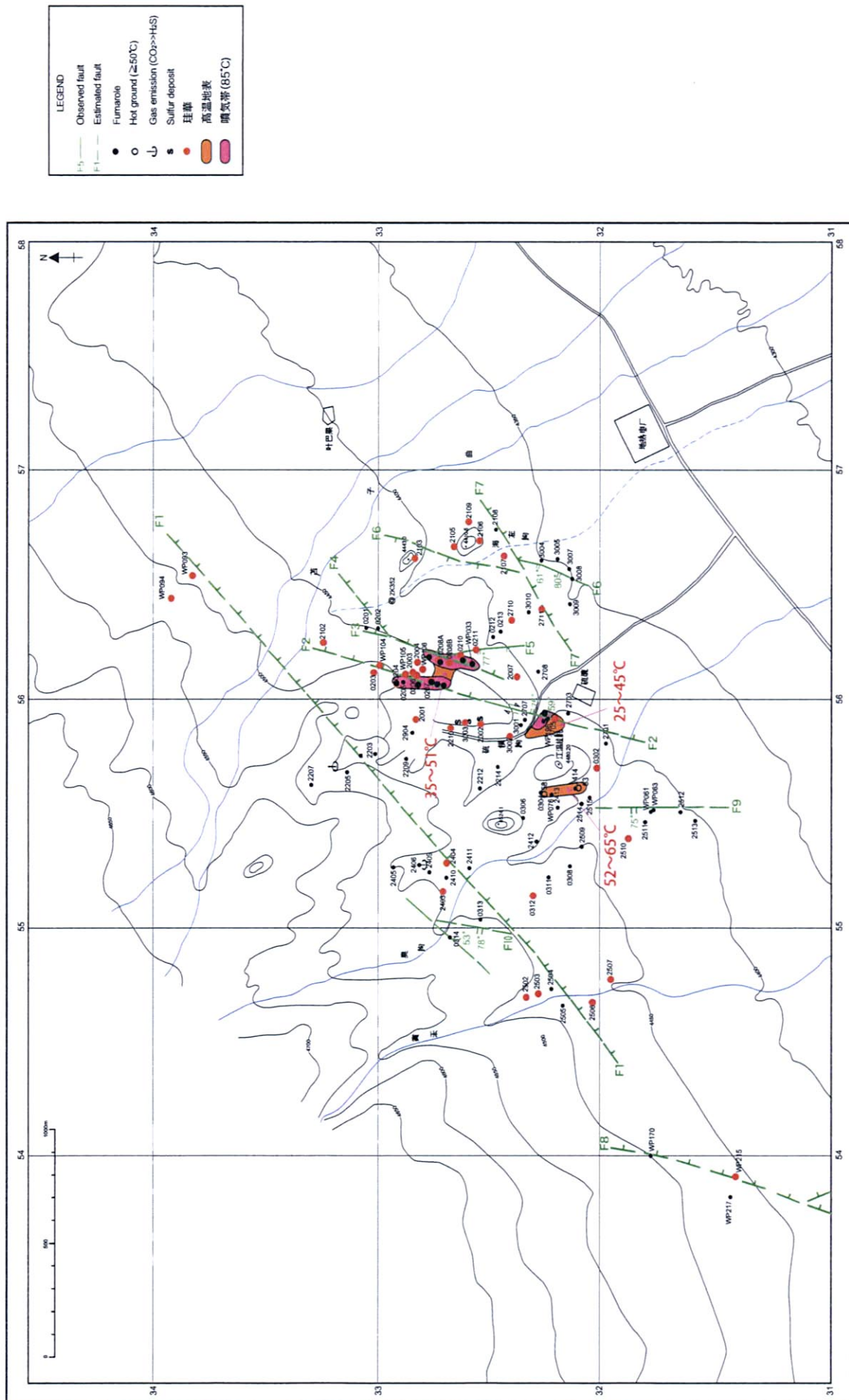


図 2-2-5 羊八井地熱地域の主要断層及び地熱地帯地熱地帯分布図

表2-2-2 地質図中の断層の性状一覧

断層名	断層の性状または推定の根拠	断層系
F1	推定断層。臭沢の基盤花崗岩が南側で消失し、花崗岩中にNE-SW系小断層が分布することから南落ち断層を推定。珪化変質帯の配列もNE-SW方向に配列し、断層に沿って冷噴気(CO ₂ ガス)分布。	NE-SW系
F2	実在断層。断層傾斜は59°、75°を計測。右横ずれ(45°の条線)を伴う正断層と推定。断層下盤側に幅広い珪化帯が分布し、硫黄が付着する噴気(約85°C)が多数配列する。	NNE-SSW系
F3	推定断層。細長い珪化帯の配列から推定。噴気が数箇所配列する。	NNE-SSW系
F4	推定断層。本来南東傾斜の段丘面が北西に逆傾斜していることから、段丘面を傾動させる南落ち断層と推定。	NE-SW系
F5	実在断層。断層傾斜は77°を計測。正断層。変質帯の分布を規制している。	N-S系
F6	実在断層。断層傾斜は61°と80°を計測。正断層。変質帯の分布を規制している。	NNE-SSW系
F7	推定断層。断層F6に変位が存在すること、傾動した段丘の南東境界を説明するために推定。	NE-SW系
F8	推定断層。変質帯(珪化、珪華)の伸長方向と段丘崖の方向から推定。段丘崖は断層崖と推定。	NNE-SSW系
F9	実在断層。断層傾斜は75°を計測。断層に沿って、5cm幅の珪化帯を伴う。断層面は鏡肌。	N-S系
F10	実在断層。断層傾斜は78°。正断層。熱水活動の痕跡はない。付近には同様の正断層が複数分布。	NNE-SSW系

(iii) 肉眼観察結果に基づいた変質帯調査

羊八井北部地域の地表地熱微候として、①約 85°C の硫黄を伴う噴気帯、②50°C 以上の地温を示す高温地域があげられる (図 2-2-5)。前者は断層 F 2 沿い、断層 F 3 と断層 F 5 の交差部付近に分布する。後者は江温拉托の西側に、走向 N10° W・長さ 150m にわたって分布する。

羊八井北部地域では、温泉湧出は確認できなかった。羊八井北部地域の熱水変質帯は更新世砂礫層に広く分布し、非変質～極く弱い粘土化帯、粘土化帯、及び珪化帯の 3 帯に区分され、珪化帯は熱水上昇の中心域と推定される (図 2-2-6)。

第 8 次現地調査では、羊八井北部地域のランドサット画像を用いて、より広範囲に白色変質帯を見出した。この白色変質帯は過去に高温熱水が湧出したことを示す珪華 (非晶質シリカ) が特徴的に分布している。珪華の一部は砂礫層を完全に膠結し珪化岩と類似の産状を示し、一部は白色の微細物として砂礫層の空隙に産し白色粘土化帯と類似の産状を示すことがある。

当地域の珪化岩には熱水流動で岩石中の諸成分が溶脱した結果、シリカ (SiO₂) が濃縮した溶脱型珪化岩と、熱水の温度低下に伴ってシリカが熱水から沈殿した沈殿型珪化岩があり、当地域では溶脱型珪化岩が主体を占めている。珪化帯には噴気孔又は冷噴気が伴われる。

珪化帯の多くは断層に沿って分布する (図 2-2-7)。珪化帯には、断層の下盤側が広い幅で強く珪化するタイプ (Type A) と、断層の上盤側が強く珪化するタイプ (Type B) がある。Type A は珪化帯の下盤側が幅狭く珪化している事例である。

当地域で最も広い珪化帯は NNE-SSW 系の断層 F 2 に沿うものである (図 2-2-6)。断層 F 3 に沿う珪化帯はこれに平行している。この他、NE-SW 系の断層 F 1、NS 系の断層 F 5、NNE-SSW 系の断層 F 6 に沿っても珪化帯が生成している。

(iv) 岩石薄片顕微鏡観察

岩石薄片顕微鏡観察は、顕微鏡下で岩石を詳細に観察することで、当地域及び周辺地域の地質現象の性状を明確にすることを目的とする。岩石薄片顕微鏡観察結果を表 2-2-3 (1), (2) に示す。

この観察により念青唐古拉山脈と地溝帯の地質境界は花崗岩マイロナイト帯であり、羊八井地域はこの構造帯上に生成していることを確認した。熱水変質帯の岩石のうち、珪華が沈殿し膠結している場合、長石類は非晶質シリカに交代されている。

(v) X線分析結果に基づいた変質鉱物分帯

X線分析は熱水変質帯を構成する変質鉱物を同定し、変質鉱物の性状及び組み合わせ等にもとづいて熱水変質作用の特徴や分布を明らかにし、地熱流体が上昇する高温域を特定することを目的とする。

X線分析で以下の鉱物が同定された (表 2-2-4 (1), (2))。

粘土鉱物：スメクタイト、カオリナイト、ディッカイト、ナクライト、緑泥石、セリサイト

沸石鉱物：斜プチロル沸石、束沸石、濁沸石

シリカ鉱物：非晶質シリカ、 α -クリストバライト、石英

珪酸塩鉱物：斜長石、カリ長石 (微斜長石、正長石)、白雲母、黒雲母

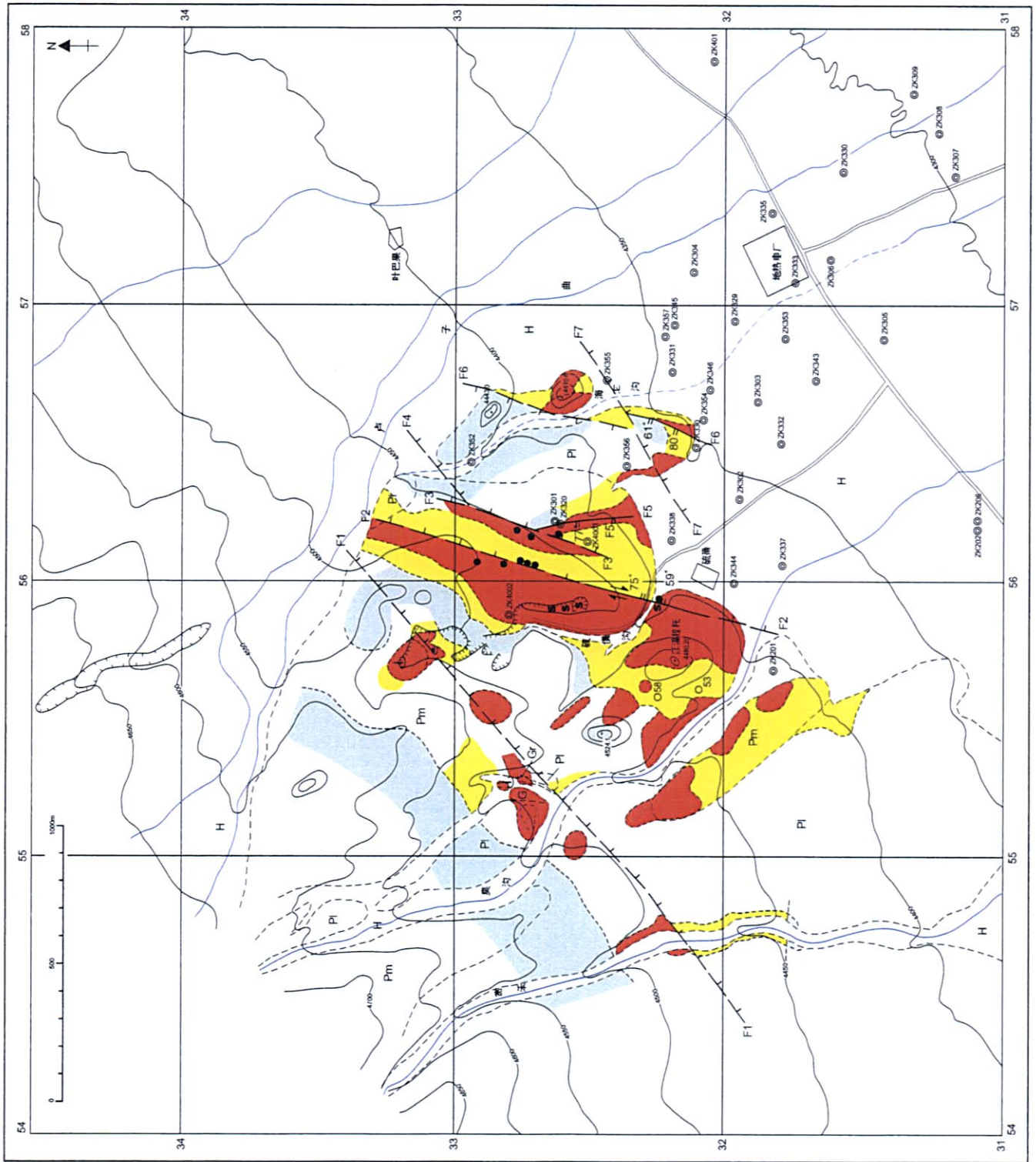


图 2-2-6 羊八井地熱地城變質帶分布圖

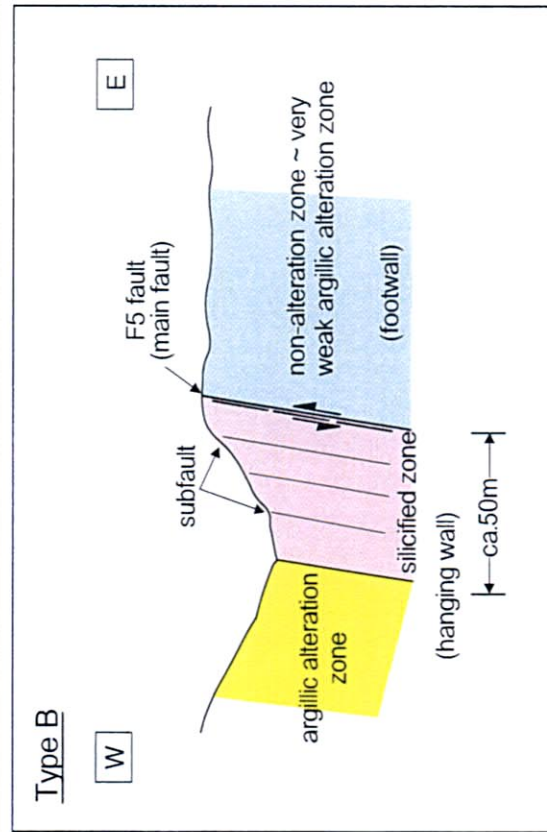
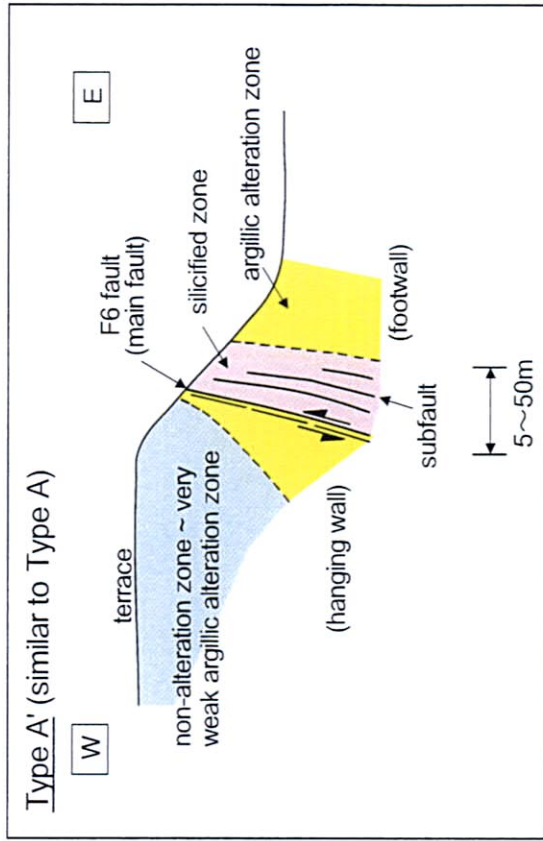
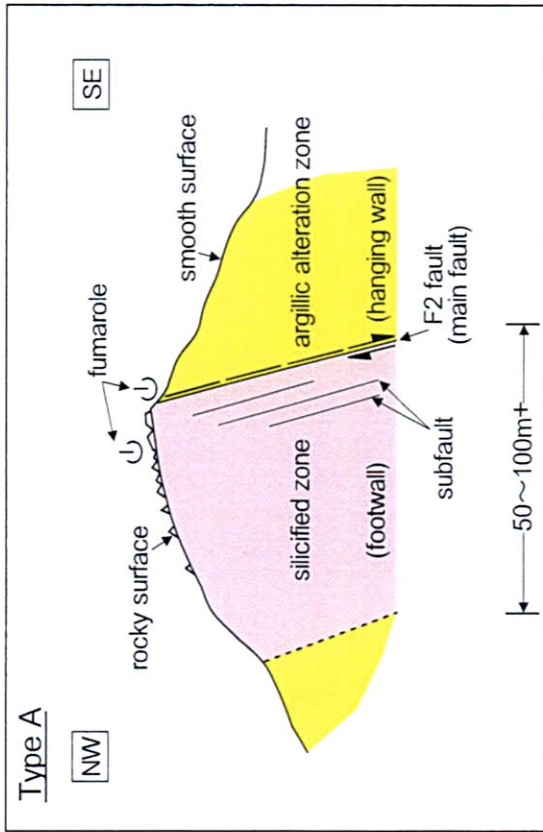


図 2-2-7 断層と変質帯の関係

表2-2-3 (2) 羊八井地域における岩石薄片顕微鏡観察結果

No.	Geological Age and Name	Sedimentary rock & Accidental fragment										Igneous & Metamorphic rock				Alteration degree	Remarks									
		Sample		Crystal		Lithic		Texture	Groundmass/Accessory mineral	Alteration minerals																
		No.	Rock name	Qtz	Kfs	Pl	Ms			Wl	Zrn	Amo	#1	Stb	Sm			Src	Kln	Lx	Im	Amo	#1			
1		WP063	fault gouge (fault rock)	•																			5			
2	Quartzite	WP093	sand and gravel	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3	porous.		
3		WP091	sand and gravel	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3-4	porous.		
4		WP170	sand and gravel	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3-4		
5		WP215	sand and gravel	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3-4	
					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		

[Abbreviations]

Qtz: Quartz, Pl: Plagioclase, Kfs: K-feldspar, Ms: Muscovite, Wl: Wica,
 Zrn: Zircon, Stb: Stibbite, Sm: Smeelite, Src: Sericite (Illite), Kln: Kaolin,
 Lx: Leucocene, Im: Limonite, Amo: Amorphous, #1: Cryptocrystalline minerals

[Volume]

30% <
 10-30%
 3-10%
 < 3%

abundant
 common
 sporadic
 rare

[Alteration degree]

1: unaltered - very weak
 2: weak
 3: intermediate
 4: strong
 5: very strong

表2-2-4(2) 羊八井地域における岩石試料のX線分析結果一覧表

鉱物	粘土鉱物		シリカ鉱物		珪酸塩鉱物			硫酸塩	元素	酸化物	
	スメク	カオリ	石英	クリ	斜	カ	東	明	硫	鈍	
	0.5		104.3								
	0.3	9.1	12.5	2.8							
		3.5	10.6								
	0.3	0.2	72.1					0.6			
	2.0		31.8		201.9	2.5	15.8				
	0.8		44.6		222.1		7.4				
WP094(細粒部分)	1.2	0.2	27.3		206.8	3.0	4.9				
WP104			53.7		260.8						0.6
WP105	0.8	○	13.0		335.8		5.4				2.0
WP106	0.9		40.7		252.1						5.6
WP170	4.1		24.3			2.5	19.4				
WP196	1.5		45.8				1.1				1.9
WP215	○	2.9	34.5		142.3		22.3				
WP217	3.8	2.2	22.8			11.5	21.3				
01092109(細粒部分)	0.5		14.1		756.9		7.7				
01092203(細粒部分)	0.9	0.2	21.9			8.6	8.5	0.2			
01092502(細粒部分)	0.9		21.1		176.5	7.1	4.3				
01093003A			12.1		242.5						9.0
01100208(赤色部を含む)	0.6		24.8		253.2		4.7				0.5

炭酸塩鉱物：方解石，菱苦土石

硫酸塩鉱物：ジャロサイト，明ばん石，石膏

硫化鉱物：黄鉄鉱

酸化鉱物：鋭錐石，金紅石，赤鉄鉱

その他：岩塩，硫黄

羊八井北部地域で同定された熱水変質鉱物は，酸性熱水条件で生成する鉱物が主体であり，原岩の残存鉱物等も検出されている。

変質鉱物の産出状況と鉱物組み合わせから，当地域の変質帯は，流体上昇域の中心から周辺側に向かって，珪化帯→明ばん石帯→ディッカイト帯→カオリナイトB帯→カオリナイトA帯→スメクタイト帯の6帯に分帯される（表2-2-5）。スメクタイト帯の外側は非変質帯となっている。ここで，カオリナイトの(001)ピークの半価幅が広く結晶度が低いタイプと半価幅が狭く結晶度が高いタイプをそれぞれA帯，B帯と区分した。また，熱水活動が活発であったことを示す斜長石完全消失帯や高温流体の流出を示す珪華が変質帯区分とは無関係に分布する。

変質鉱物分帯図において珪化帯や明ばん石帯は流体上昇域の中心を示す（図2-2-8）。珪化帯は点在して分布するが，明ばん石帯は断層F2と断層F6に沿ってNNE-SSW方向に伸張して分布する。また，臭溝より西部に珪化帯と明ばん石帯が分布するがその広がり是不明である。

珪華は羊八井北部地域にほぼ全域にわたって分布する。断層F1沿いでは約4kmにわたって確認された。これは過去に高温流体が広範囲にわたって流出し，砂礫層中を流動したことを示す。変質帯は広範囲に分布するが，現在の地表地熱微候（図2-2-5）と変質帯分布から，当地域の主要な熱水上昇域は，NNE-SSW方向に伸張した断層F2に沿う地域であることが分かる。

(vi) 熱ルミネッセンス(TL)発光強度測定

熱ルミネッセンス発光強度測定は，熱水変質帯中の石英粒子を用いて蓄積放射線量を熱発光値（積分発光量）として測定するもので，高温に曝される地熱地域では蓄積放射線量が減衰することを用いて，高温の熱水上昇域を特定することを目的とする。

本測定に用いた試料は，第四紀礫層中の礫に含まれる石英斑晶である。一部の試料は基質中の石英である。測定には太陽光による蓄積線量の減少を除去するため，地表下10~15cmから採取した岩石試料を用いた。発光量を評価するための基準岩石は，羊八井部落入り口の未変質の白亜紀花崗岩（図2-2-9の試料2601）であり，この発光量を100%としたときの相対量で各試料の強度を表示した（表2-2-6）。発光強度測定の結果を図2-2-9に示す。

発光強度値が低い地域は，断層F6沿いと断層F1沿いである。また，ZK4001付近（断層F3延長部）とZK4002付近にやや低い箇所が分布する。これらの地域は地下からの熱的影響が強い可能性がある。

(vii) 流体包有物測定

流体包有物測定は，熱水変質帯中の石英に取り込まれた流体包有物の均質化温度と塩濃度を測定して，高温で高塩濃度流体の上昇域を特定することを目的とする。

当地域の地表石英中の二次流体包有物には4つのタイプがある（表2-2-7）。流

表2-2-5 羊八井地域の変質分帯における変質鉱物組合せ表

minerals	zones	Non- alteration Zone	Smectite Zone	Kaolinite Zone (A)	Kaolinite Zone (B)	Dickite Zone	Alunite Zone	Silicified Zone (other minerals:OI<2.6)
Smectite			■■■■■					
Clinoptilolite			■■■■■					
Stilbite			■■■■■					
Laumontite (relic mineral)								■■
Kaolinite			← broad peak ■■■■■	■■■■■ →	■■■■■	■■■	■■■	■■
Dickite (incl. Nacrite)					■■■■■	■■■■■	■■■	
Alunite						■■■■■	■■■	■■
Quartz			■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Amorphous Silica (sinter)		■■■	■■■	■■■	■■■		■■■	■■■
Calcite								■■
Magnesite								■■
Gypsum			■■■					■■
Jarosite			■■■					■■
Pyrite			■■■		■■■		■■■	
Hematite			■■■					
Sulfur							■■■	
Halite								■■
α -cristobalite							■■■	
Anatase							■■■	■■
Rutile							■■■	■■

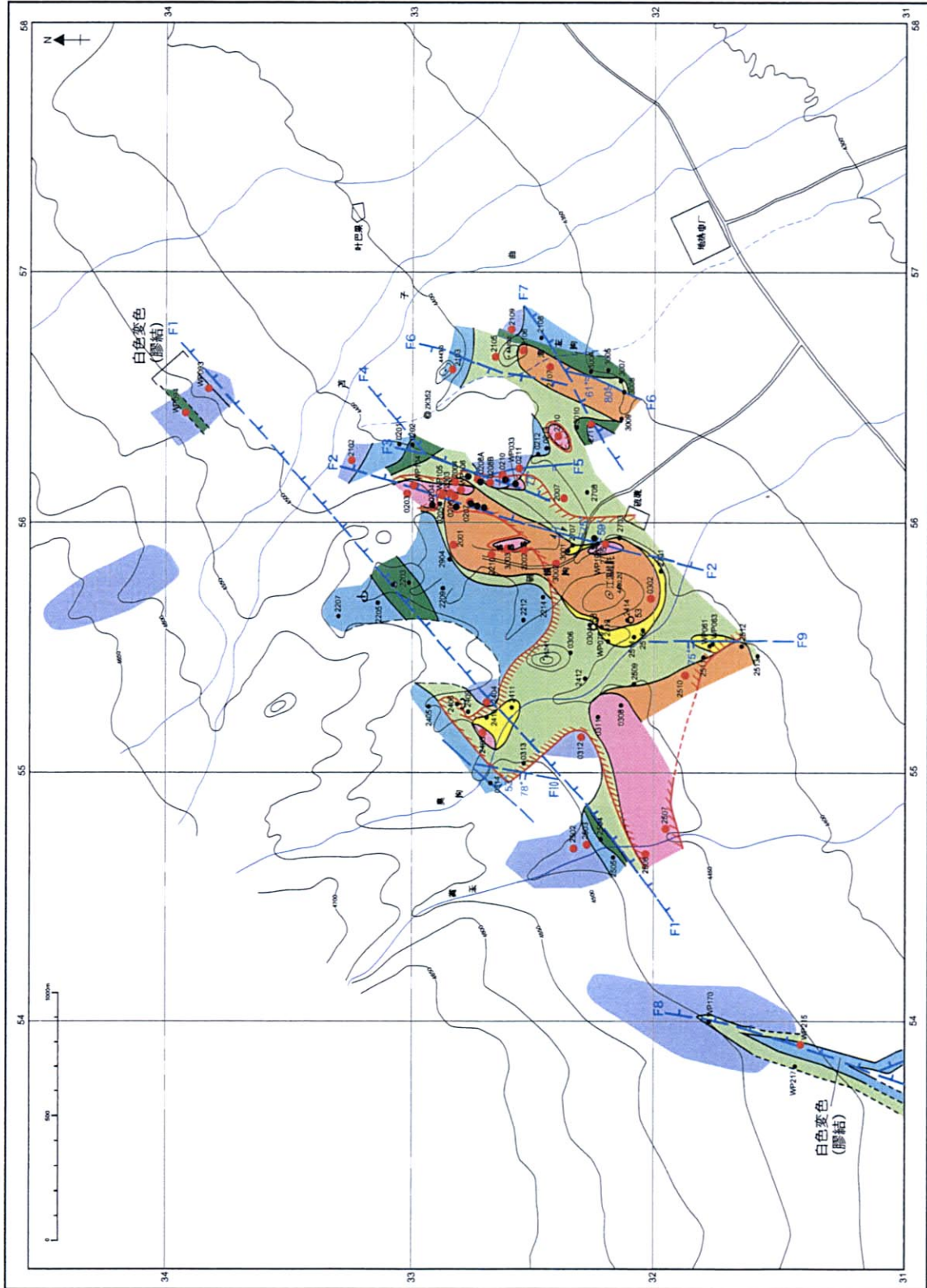


図2-2-8 羊八井地熱地域熱水変質鉱物組合せによる変質分帯図

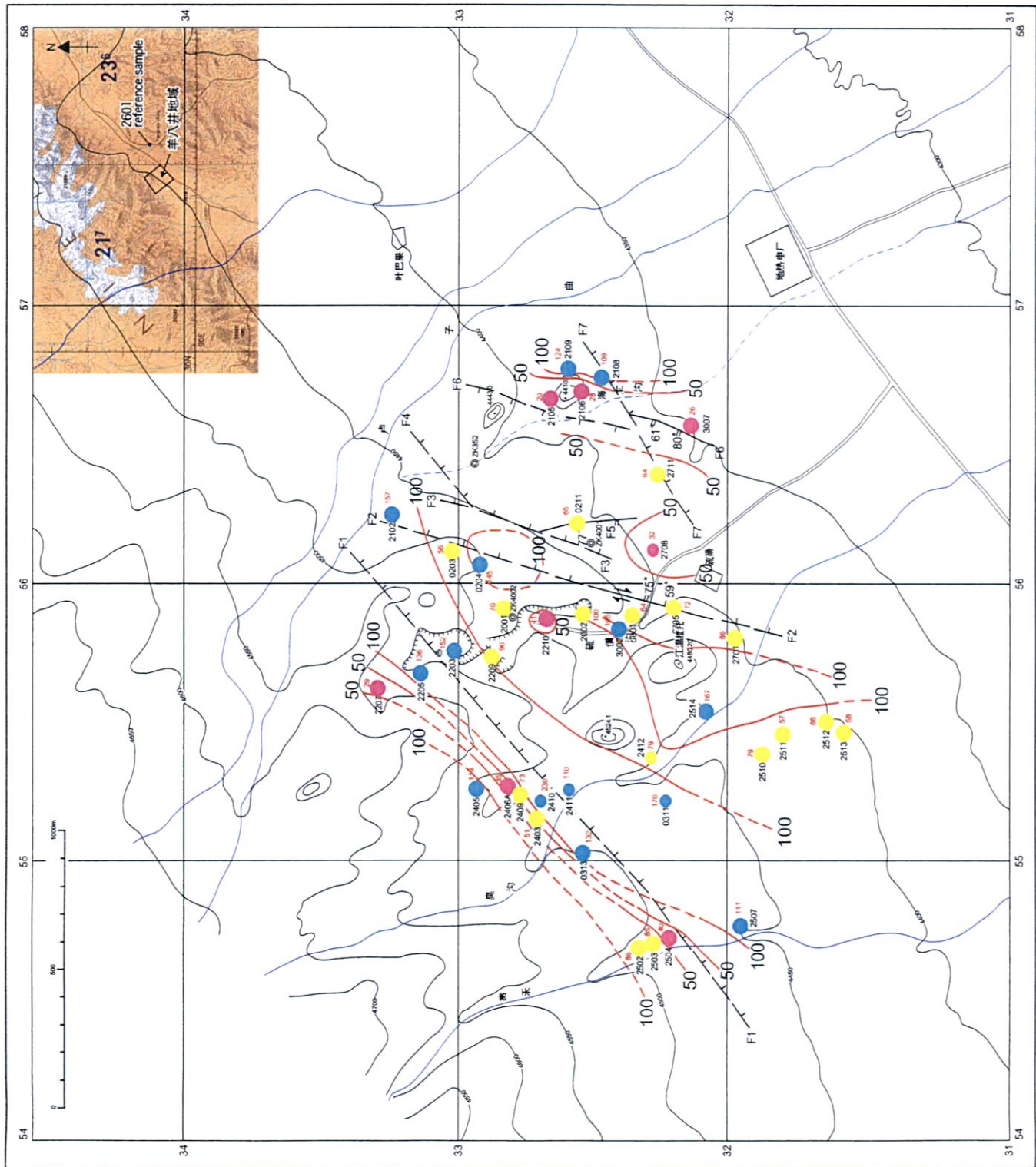


図2-2-9 羊八井地熱地域石英熱ルミネセンス発光強度比の分布図

表2-2-6 羊八井地域における石英の熱ルミネッセンス発光強度比

試料採取位置	相対強度 (試料2601を100とする)
2001礫	70
2002	100
2102	157
2105	20
2106	28
2108	109
2109	124
2203	152
2205	136
2207	29
2209	90
2210	41
2403	51
2405	119
2406A	35
2409	73
2410	230
2411	110
2412	79
2502	86
2503	85
2504	40
2507	111
2510	79
2511	57
2512	86
2513	58
2514	167
2601(基準試料)	100
2701	86
2705	72
2708	32
2711	64
3001	64
3002	105
3007	26
0203	56
0204	145
0211	65
0311	170
0313	132

表2-2-7 羊八井地域における石英斑晶中の流体包有物のタイプ

Type (all secondary inclusion)	Type1	Type2	Type3
Relative chronology (by textural position and shape)	recent ← →		
Occurrence	healed crack		
Shape	irregular(feather, synapous, amoeba etc, ordinarily with hornlike rim) very thin, platy < boiling point (about 90°C) -0.8~+0.1°C (very low salinity)	irregular~partially irregular (rarely negative crystal) platy~expanded n.d.~362°C -5.5~+0.2°C (very low to low salinity)	crack, cluster, solitary nearly negative crystal 131~343°C -17.0~+0.4°C (low to high salinity)
Characteristics	monophasic liquid in progress?	liquid rich (sporadically~trace: very low V/L to monophasic liquid by necking down) in progress?~finished	liquid rich finished
necking down			

* Th(L-V): disappearance temperature of bubble in liquid-rich inclusion

** Tm(ice): final melting temperature of ice in the presence of vapor phase

n.d.: non determined

