

東北本部応用理学部会 技術サロン
地熱調査のよもやま話
主に地質調査関係

黒墨 秀行

1. 自己紹介(行ってきたこと)
2. 地熱開発に関して
3. 地熱地質調査の内容・方法・成果
4. 地熱地質調査・解析の成果例(経験談)
5. まとめ





1. 自己紹介(行ってきたこと)

- ・1961年(昭和36年7月6日生まれ)
大阪府池田市→堺市→京都で一浪→仙台(東北大)
- ・1985年: JMC(JMCD・Geo-E)入社
1986～2002年: 地熱地質調査(主として森地熱地域を担当)
坑井地質調査→地質解析→貯留層解析(ターゲット選定)
その他に高精度傾斜計の事業化、土木地質への進出
- ・2003年Geo-E退社後、(株)総合土木コンサルタンツで土木地質調査関連、K2エンジニアリング(株)で地熱地質調査などを実施
- ・経験した地熱地域
森地域、松川地域、葛根田地域、奥会津地域、山川地域など
岩手山西部、秋の宮地域、姫川地域、佐渡地域、木地山・下の岱地域など



2. 地熱開発に関して 地熱三要素と地熱地質の位置づけ

＜地熱資源の三要素＞

①熱、熱源

温度・熱源：地熱地質調査から推定できる。

②流体(熱水・蒸気)、水

透水性：地熱地質調査から推定できる。

③地下き裂、構造、器

地質構造(岩相・き裂分布)の把握



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(1)

地質調査には、

目的別にすると、

- ・土木・建築(ダム、堤防、ビル、橋等)に伴う調査
- ・資源(鉱床、地下水、温泉、**地熱**等)に係わる調査
- ・地質汚染調査
- ・防災・災害(急傾斜地・土石流等)に係わる調査

等

手法別にすると、

- ・地表地質調査
- ・ボーリング調査(坑井地質調査)

等

と、それらの**解析**がある。



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(3)

＜地熱地表地質調査＞

・地表地質調査

- ・分布している岩石の確認
- ・岩石分布の確認→地質構造の確立
- ・フラクチャ(断層や破砕帯)分布の確認

・地表変質帯調査

- ・変質鉱物の確認(粉末X線回折分析)
- ・変質鉱物の分帯

* 地域・地表の状況によって、内容等は変わ
りうる。



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(4)

<地熱地表地質調査>

・地表地質調査

- ・分布している岩石の確認
- ・岩石分布の確認→地質構造の確立
→露頭での岩石確認→地質図作成
- ・フラクチャ(断層や破碎帯)分布の確認
→断裂系調査

* 地表の状況をどこまで地下に延長・推定できるか



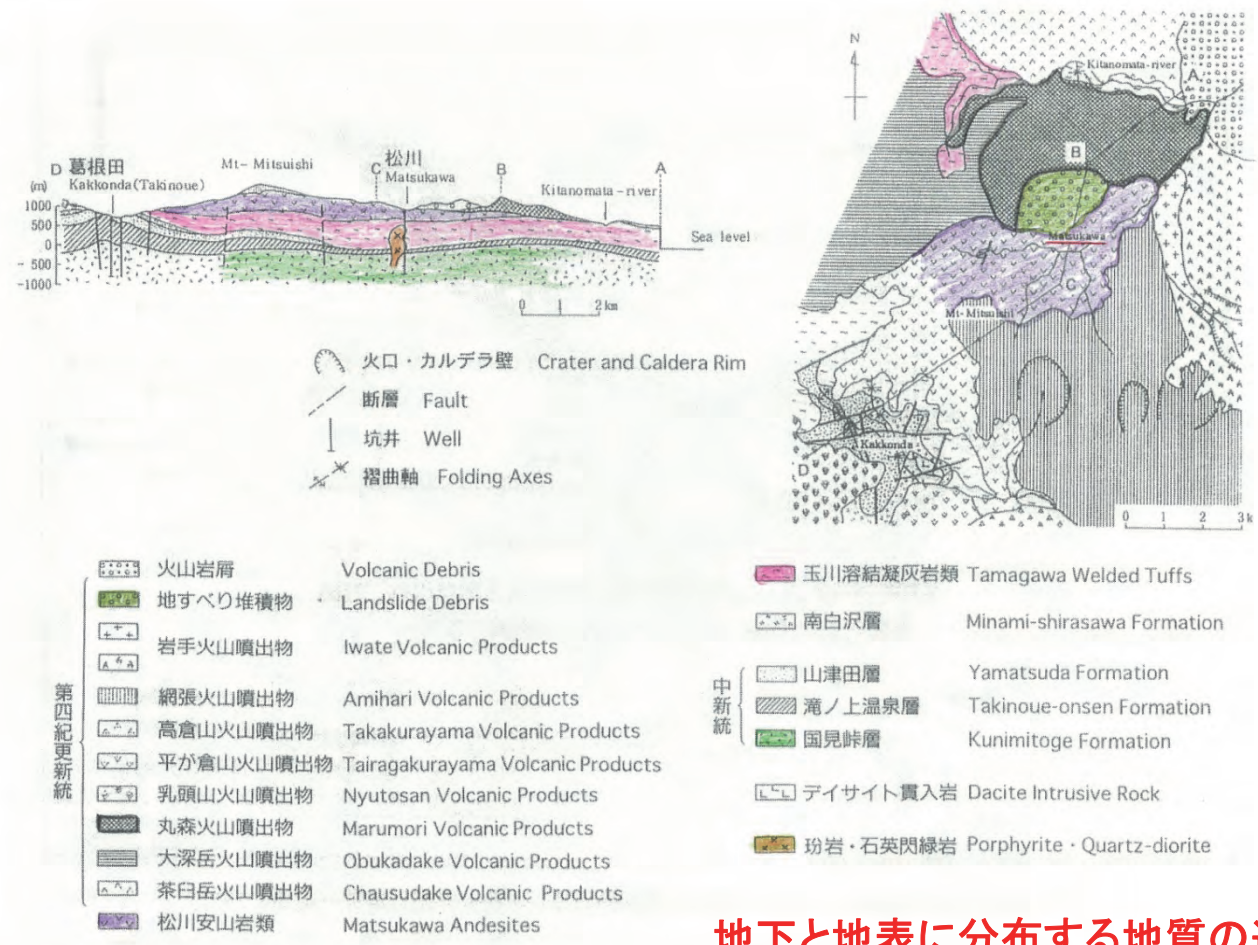
3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(5)

地質時代	地層名	坑井で確認される層厚(m)	地質柱状図	岩相	松川・湯ノ森地域に分布する地層・岩石		
第四紀	岩手火山群噴出物	焼切沢溶岩	34	▽▽▽▽▽	輝石安山岩	地層 砕屑脈貫入 ひん岩貫入 安山岩多数貫入 石英閃緑岩貫入 F: 断層	
		西岩手火山噴出物	179+	△△△△△	薄い多数の輝石かんらん石玄武岩(輝石安山岩をとまなう)		
		層準未詳火山噴出物	174+	▽▽▽▽▽	上部に砂岩挟在 安山岩質凝灰角礫岩 輝石安山岩		
		層準未詳火山噴出物	205+	▽▽▽▽▽	上部に砂岩・珪岩・礫岩 安山岩質凝灰角礫岩 オートリスを多量に含む 輝石安山岩 安山岩質凝灰角礫岩		
	松川安山岩類	280+	▽▽▽▽▽	輝石安山岩 安山岩質凝灰角礫岩 輝石安山岩			
	鮮新世	玉川溶結凝灰岩類	大深沢層	120	○●○●○●		軽石質溶結凝灰岩・凝灰岩
			櫻内層 (洗民溶結凝灰岩)	~270	○●○●○●		細粒安山岩
		関東森層	40	○●○●○●	デイサイト質溶結凝灰岩		
		小和瀬川凝灰岩類	110~155	○●○●○●	砂岩 軽石質凝灰岩 凝灰岩・砂岩		
			220~380	○●○●○●	デイサイト質結晶凝灰岩		
山津田層		90+	○●○●○●	薄成層シルト岩砂岩互層 軽石質凝灰岩 シルト岩砂岩互層 軽石質火山礫凝灰岩			
第三紀	滝ノ上温泉層	290~320	○●○●○●	砂質凝灰岩 デイサイト質火山礫凝灰岩			
		75~100	○●○●○●	頁岩 礫質凝灰岩 軽石凝灰岩			
	国見峠層	440+	○●○●○●	頁岩 安山岩質火山礫凝灰岩 デイサイト質(一部流紋岩質)礫凝灰岩 安山岩質火山礫凝灰岩 ~凝灰角礫岩 安山岩 安山岩質火山礫凝灰岩 安山岩			

大関・福田・奥村(2001)より



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(6)



地下と地表に分布する地質の違い

大関・福田・奥村(2001)より



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(7)

＜地熱地表地質調査＞

・地表変質帯調査

・変質鉱物の確認

→室内で粉末X線回折分析を行い、鉱物同定を行う。

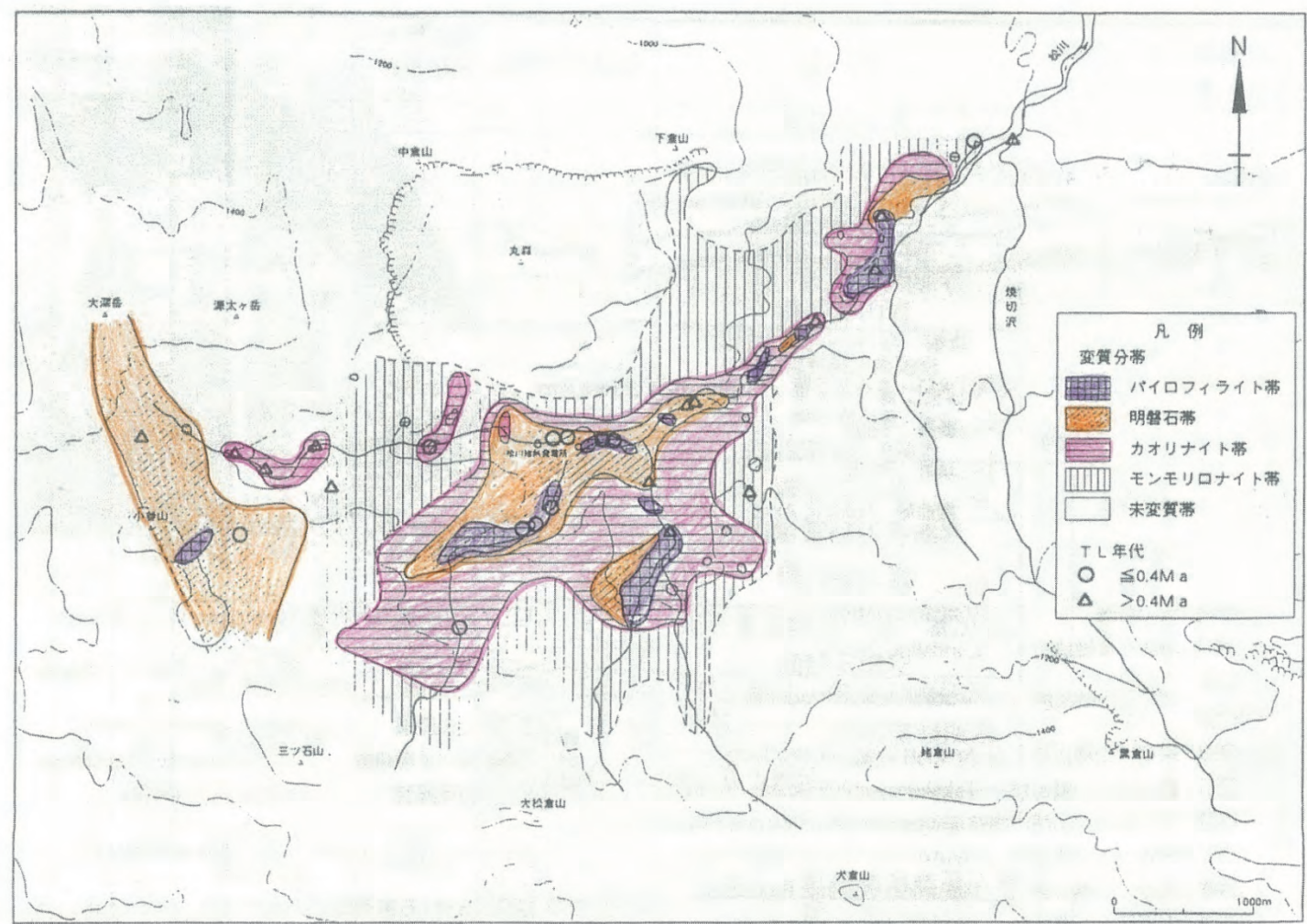
・変質鉱物の分帯

→同定された鉱物によって、変質状況下別に区分する。→変質分帯図の作成

*** 地表の状況をどこまで地下に延長・推定できるか**



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(8)



大関・福田・奥村(2001)より



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(9)

<地熱坑井地質調査>

- ・坑井地質調査
 - ・分布している岩石の確認
 - ・岩石分布の確認→地質構造の確立
 - ・フラクチャ(断層や破碎帯)分布の確認
- ・坑井変質帯調査
 - ・変質鉱物の確認(粉末X線回折分析)
 - ・変質鉱物の分帯
- ・その他
 - ・流体包有物試験
 - ・帯磁率測定

*** 地域によって、内容等(=重点調査項目)は変わりうる。**



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(10)

<地熱坑井地質調査>

・坑井地質調査

- ・分布している岩石の確認

- ・岩石分布の確認→地質構造の確立

 - コア・カッティングスでの岩石確認→坑井間地質対比

 - 図→地下地質断面図作成

- ・フラクチャ(断層や破砕帯)分布の確認

 - 鉱物脈の確認・逸泥解析→フラクチャの分布推

 - 定→地下地質断面図作成

* 地熱貯留層との関わりが重要。

* なぜ、このような岩相・き裂分布なのかを考える(成因論)→新規地域への展開が可能

3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(11)

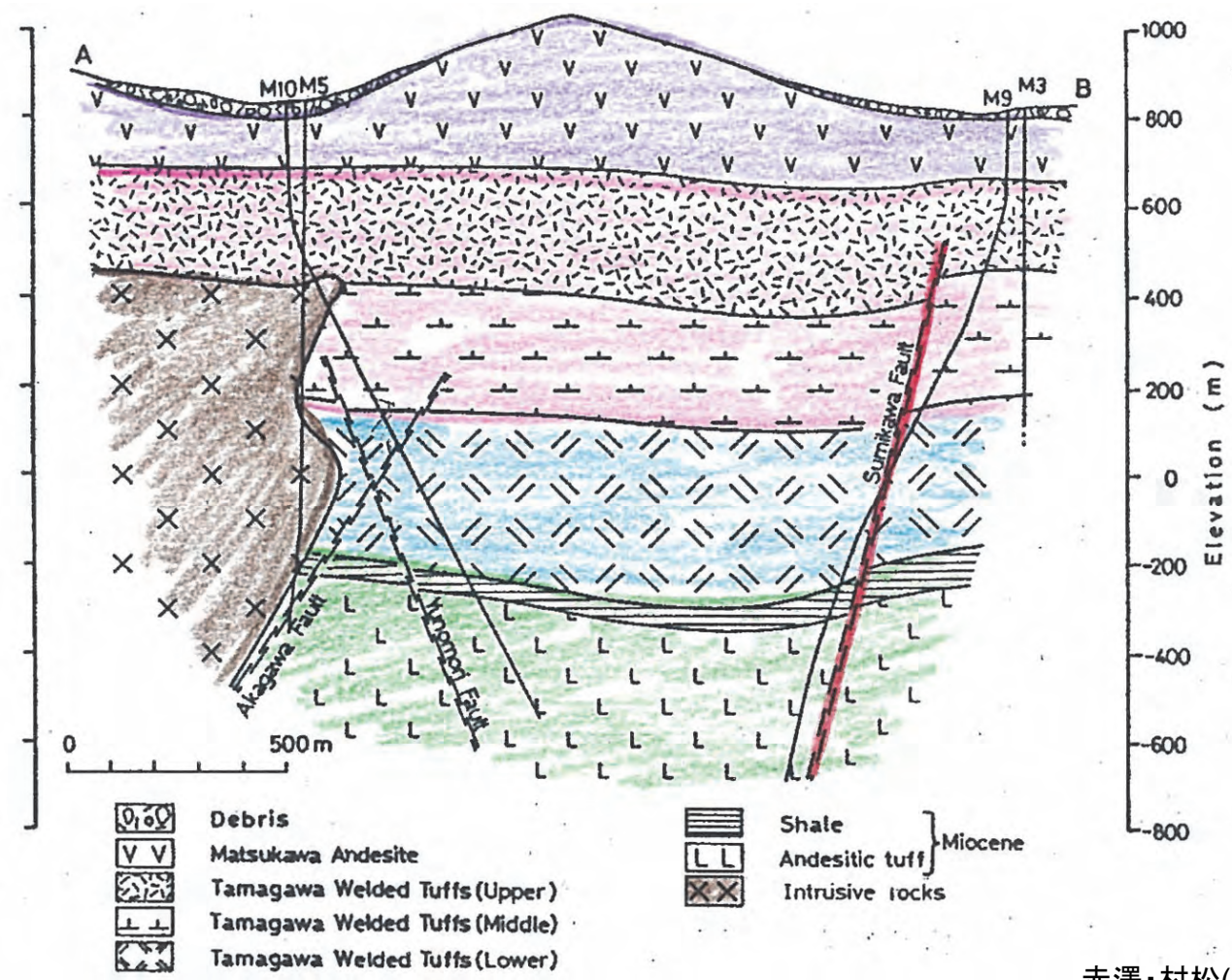


地熱井・地質柱状図									
日本重化学工業(株)・地熱事業本部									
松川地域・23号井 (No.1) ・坑底深さ 701.5 m (掘進長)									
傾斜(方位 — ・偏距 — m)、坑口標高 918 m、垂直深度 701.5 m									
深度 目盛 (m)	掘進長 目盛 (m)	垂直深度 目盛 (m)	柱状図	岩石名	カッティングによる岩相		深度 目盛 (m)	区 分	そ の 他 (透泥、ケーシング など)
					色調	岩質・変質などの特徴			
35	35			砂層	雑		35	岩層	1111 1/2° C.P. 27.25m
100				安山岩 MA	黒	輝石安山岩で上部ほど変質強い。斑晶多数、安山岩で全粒長石(一部方解石化)、輝石(一部モノロライト)少量の石英斑晶を認め、石英は変質し二次石英・セロサイトを生ず。	185	松川 安山岩類	69.5m 0.444 2.61m 2.0
200	185	185		安山岩 Tw-U 凝灰岩	灰・緑	197.8-201.6m(28%)コア 灰白色質に赤ロウロとワリ、斑晶化した長石目立つ。鏡下では斑晶斜長石は角閃石化し、基質はモノロライト二次石英を生ず。 222.8-227.8m(25%)コア 緑色に赤長石目立つ。斑晶斜長石は著しく角閃石化し、基質には二次石英・モノロライト・角閃石を生ず。 229.6-236.8m(10%)コア 緑色で細粒細結晶、暗緑色に染み出した白色化斜長石と細かな角閃石斑晶目立つ。角閃石二次石英・珪石・モノロライトを伴う。	185	玉 川 凝 灰 岩	1111 1/2° C.P. 25.25m 以下解孔。
300	312	312		安山岩	緑・緑灰	352.8-353.7m(100%)コア 斑晶多数の安山岩で、1mm前後の斜長石・輝石多数、角閃石は緑泥石化し、石英は二次石英目立つ。 372.8-373.1m(12%)コア 緑色に染み出した長石で角閃石二次石英・珪石を伴う。	385	玉 川 凝 灰 岩	
400	385	385		テフサイト質 凝灰岩	白灰 緑	400.6-403.1m(12%)コア 基質・長石がほとんどは硬質緑泥岩で角閃石・二次石英を生ず。	423	玉 川 凝 灰 岩	
500	423	423		テフサイト質 凝灰岩	白灰 緑	426.8-427.8m(100%)コア 灰白色で斑晶粗粒を示し、斜長石斑晶と変質した基質を伴う。基質は斜長石・石英・珪石を伴う。	499	玉 川 凝 灰 岩	
500	499	499		テフサイト質 凝灰岩	白灰 緑	426.8-427.8m(100%)コア 灰白色で斑晶粗粒を示し、斜長石斑晶と変質した基質を伴う。基質は斜長石・石英・珪石を伴う。	499	玉 川 凝 灰 岩	

松川23号井: 0~500m



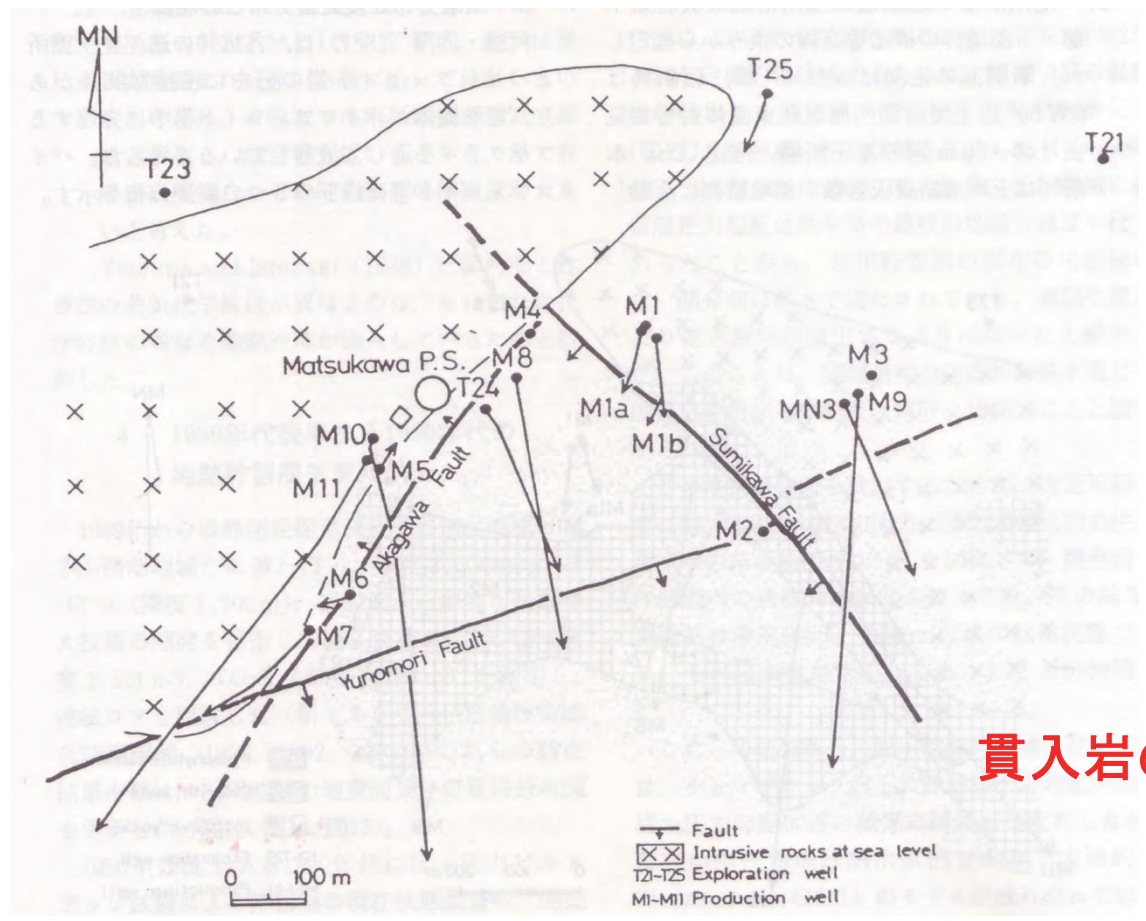
3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(12)



赤澤・村松(1988)より



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(13)



貫入岩の分布と断層分布

赤澤・村松(1988)より



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(14)

<地熱坑井地質調査>

・坑井変質帯調査

・変質鉱物の確認

→室内で粉末X線回折分析を行い、鉱物同定を行う。

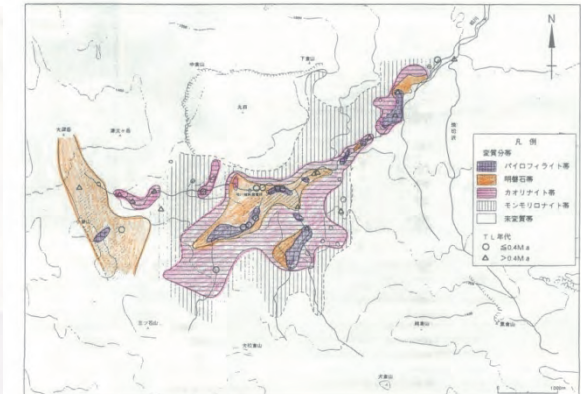
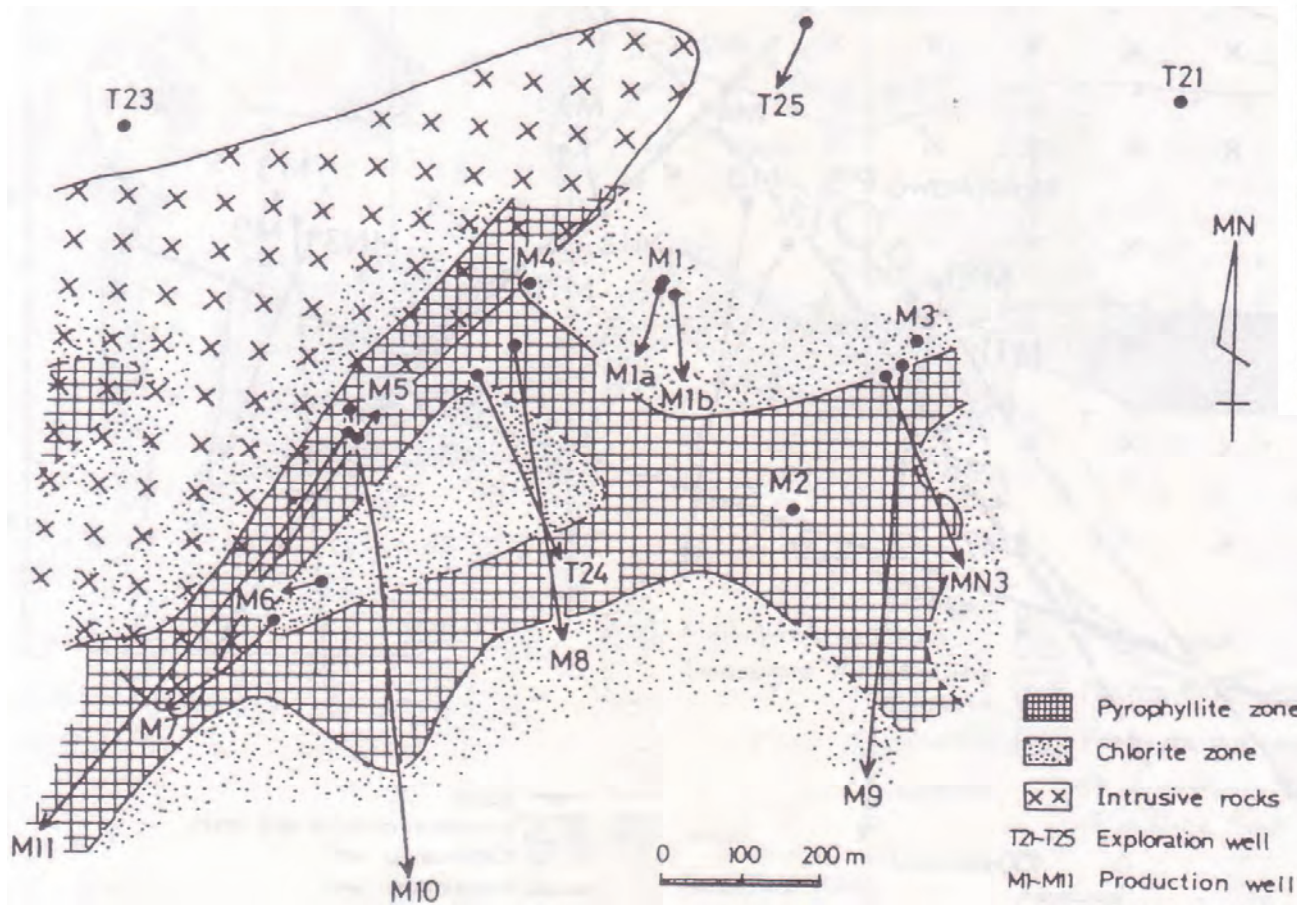
・変質鉱物の分帯

→同定された鉱物によって、変質状況下別に区分する。→地下変質分帯図の作成

* 地熱貯留層との関わり、フラクチャとの関わりが重要

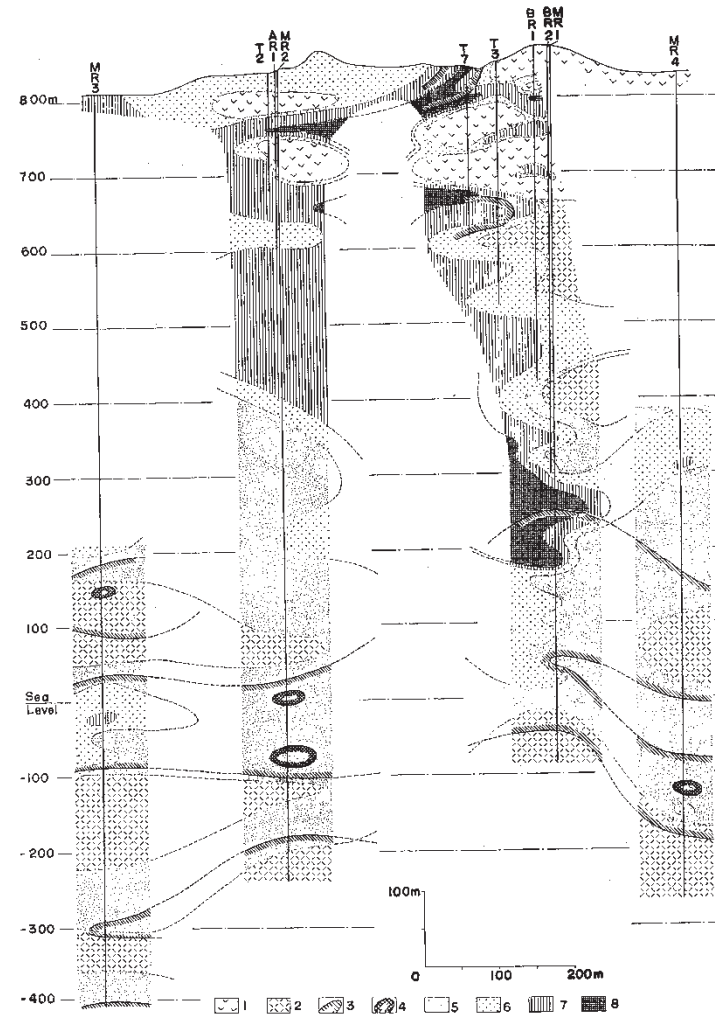
* なぜ、このような変質帯なのかを考える(成因論)→新規地域での展開可能

3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(15)



赤澤・村松(1988)より

3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(16)



1: カボナイト, 2: 緑泥石・絹雲母, 3: パイロフィライト, 4: ディツカイト, 5: 混合層鉱物, 6: モンモリロナイト, 7: カオリン, 8: 明ばん石. これら8つの変質帯は生成順序にしたがって系列A (1→2), 系列B (3→4) および系列C (5→6→7→8) の3系列に分類される.

大関・福田・奥村(2001)より



3. 地熱地質調査の内容・方法・成果(17)

＜地熱地表地質調査＞

・その他

・流体包有物試験

→温度分布の推定

・帯磁率測定

→岩石分布(貫入岩等)の確認

その他に、坑井地質調査時のデータ収集には、掘削情報(掘進率、ポンプレートの変化等)を収集し、岩石・岩質変化やフラクチャ遭遇等を推定していく。

岩質を示徴するもの(エビデンス:evidence)を利用していくことが重要。



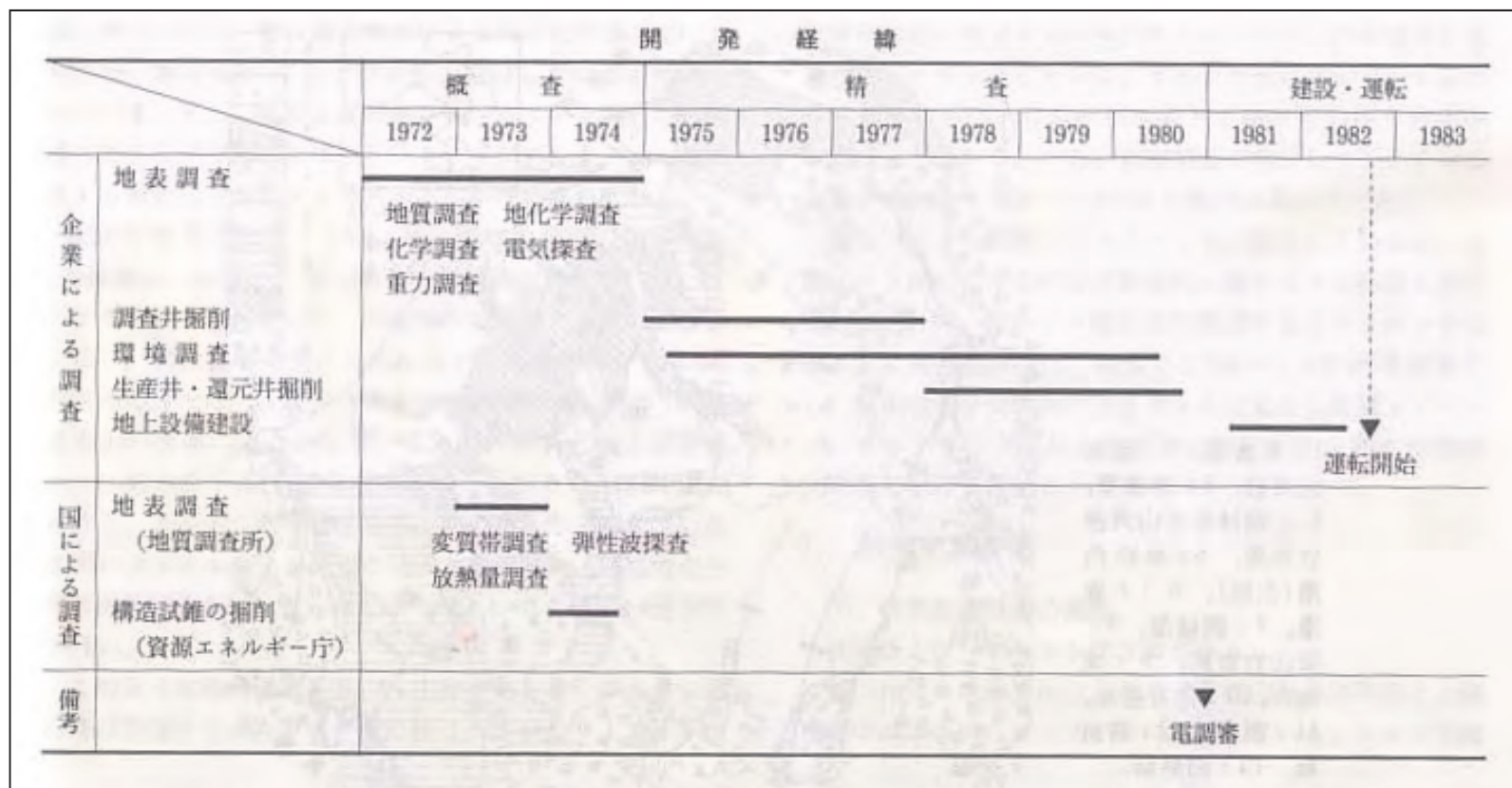
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(1)

- * 森地熱地域における地熱地質調査・解析の実例
 - 地質屋と地熱開発の関わりを知ってほしい。
 - 実例をお話しすることで、地熱開発の大変さや課題、重要なこと、どんな調査や解析をしているかを知ってほしい。

→松川地域(来年度現場見学会?)
に関しては、別途説明する機会がある?



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(2) 森地熱発電所の開発経緯(1)



(社)日本地熱調査会(2000)より



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(3) 森地熱発電所の開発経緯(2)

- ・1982年(昭和57年)運開→5.5万kW
- ・1983～1985年:まもなく減衰→ND-7の掘削開始→ND-7c成功→5万kW
- ・1986年～:地質・貯留層再解析の実施
 - 地質構造:3つの断層+岩相規制型き裂
 - NF-7・NF-9シリーズの失敗・KXシリーズの掘削
 - 貯留層解析:2.3～2.8万kW?(かさ上げ報告書もあり:青本)
 - 地化学性状(3成分系)、貯留層シミュレーション
 - 生産域と還元域の地域分け**
 - 還元域:B・C基地(NC-3、NC-5)
- ・1992年～:濁川カルデラ解析・貯留層再解析の実施(継続)
 - 地質構造:カルデラ規制と岩相規制のき裂
 - 貯留層構造:アップフローと流動の解明
 - 生産域:カルデラ深部(ND-11、NF-10、NF-11)

4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(4)

濁川カルデラ解析と森地熱地域貯留層解析



濁川カルデラ解析

なべ型



じょうご型

↓(安藤,1982)

カルデラ内壁・外壁



カルデラ規制型(形成時のフラクチャ:カルデラ内外)
岩相規制型(F II ~ IV)

貯留層解析(地質解析)

水平き裂+たて型き裂

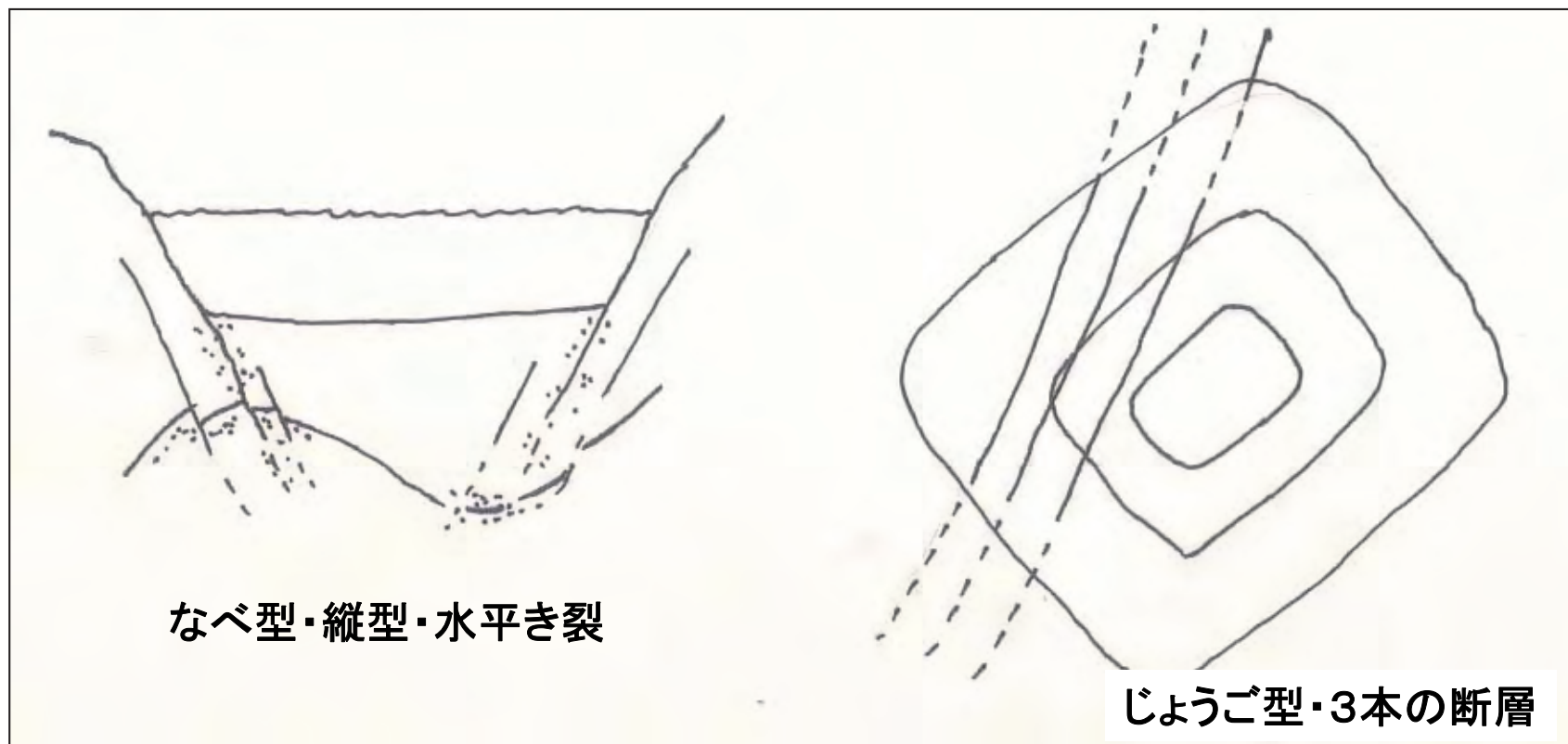
(カルデラ西方部の3本の断層)



3本の断層(中の川、東山、澄川)
岩相規制型(フラクチャ II ~ IV)



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(5) なべ型/水平き裂→カルデラ西方部の3本の断層



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(6) じょうご型カルデラ(安藤,1982)

- ・坑井地質調査
- ・カルデラ内の岩片比率
- ・カルデラ構造等高線の作成

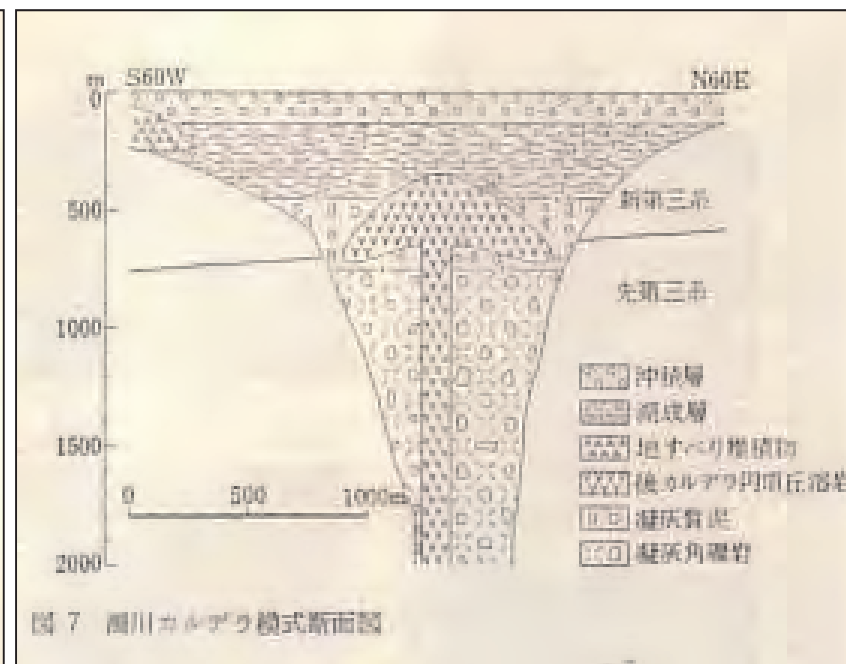
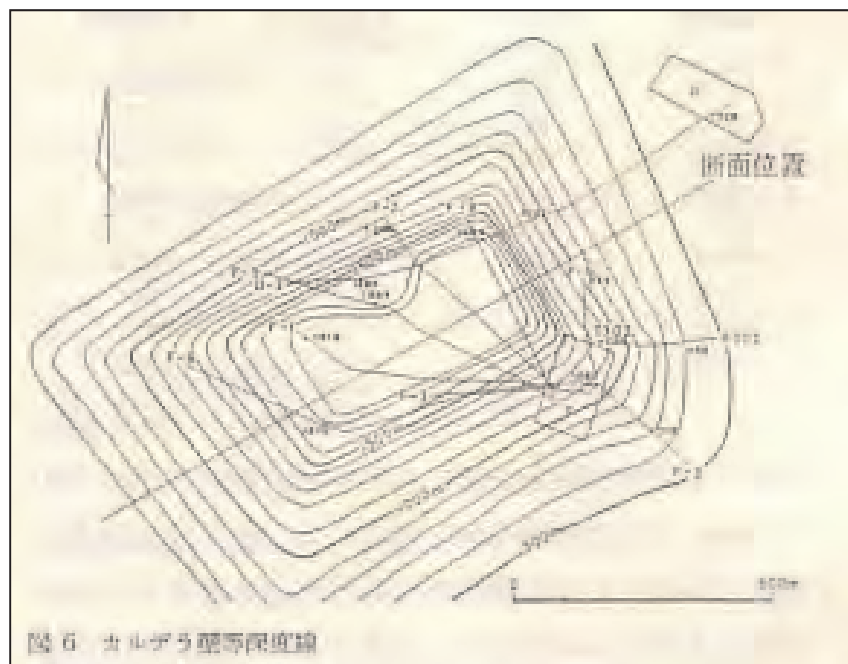


- (1)小型のクレーターレイク型カルデラ(称して良いかは別)
- (2)傾斜60~70° のカルデラ壁を有するロート型
- (3)地表のカルデラ形状は、断層に規制
- (4)フォールバック堆積物で充填





4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(7) じょうご型カルデラ(安藤,1982)



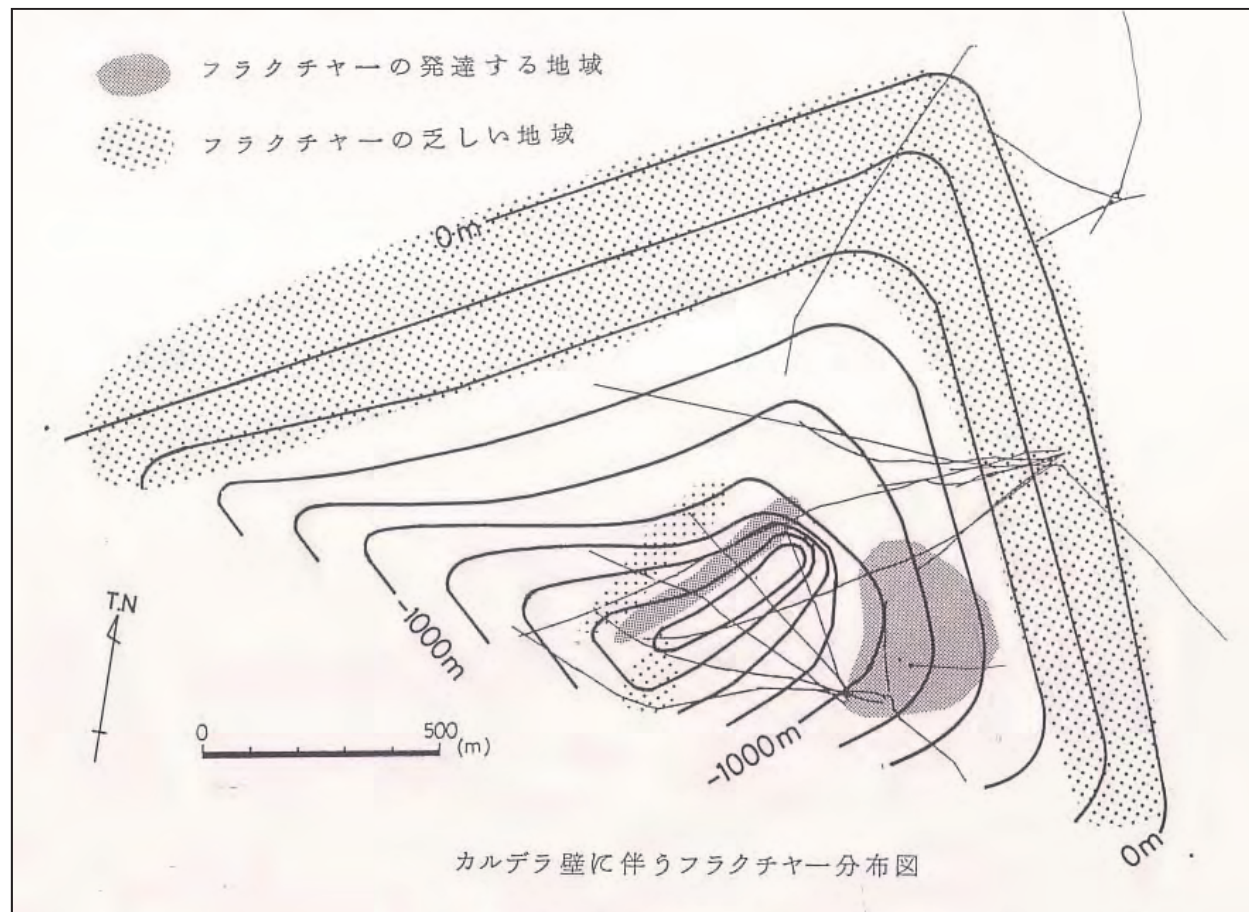
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(8)

じょうご型・岩相規制型・3本の断層(黒墨,1987)

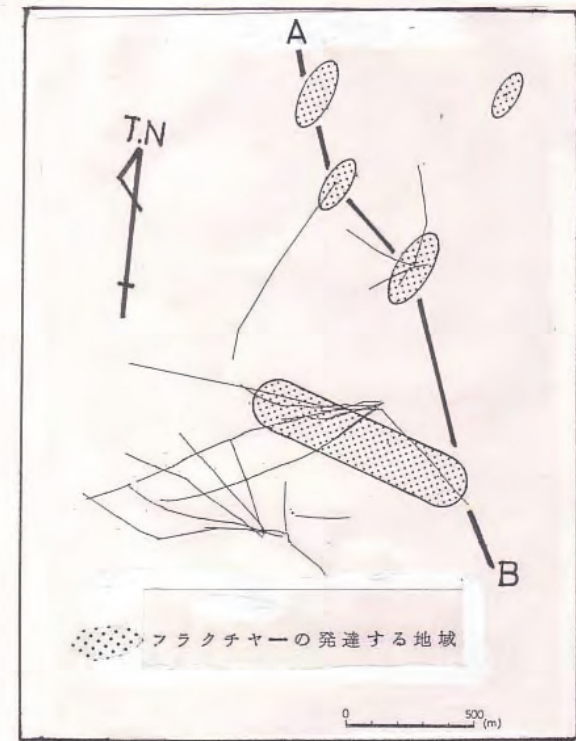
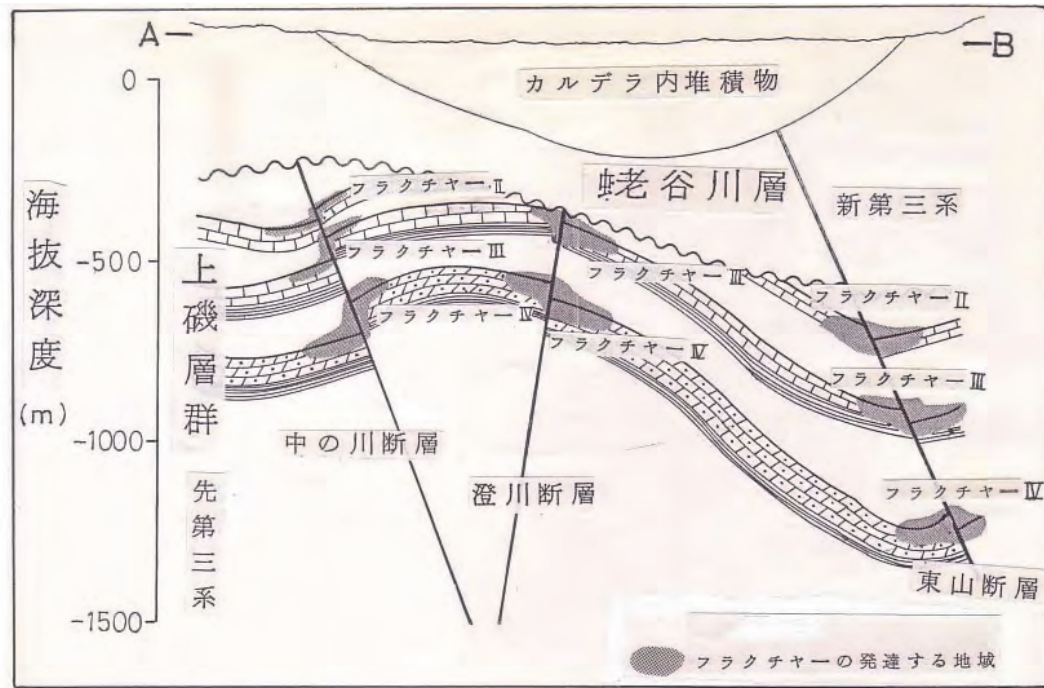
- ・岩相の見直し:地層の境界を再定義
- ・カルデラの外壁、内壁の構造等高線の作成
- ・上礫層群の構造等高線の作成
- ・逸泥の見直しと発生の原因分け
 - カルデラ内、カルデラ内壁・外壁
 - 岩相規制(石灰岩、チャート)
 - 断層→逸泥から構造等高線を作成し設定
 - 成因論をあまり考えていない。**
- ・逸泥の大きさから透水性分布を推定



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(9) じょうご型・岩相規制型・3本の断層(黒墨,1987)

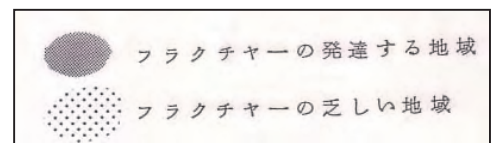
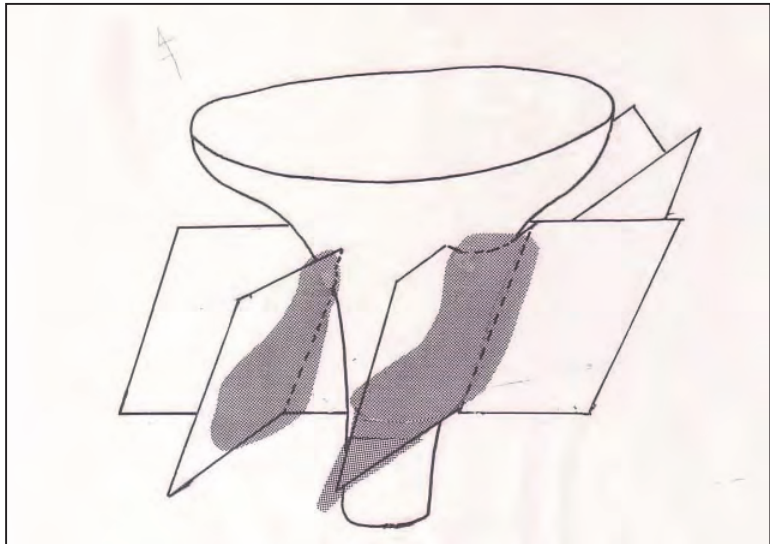
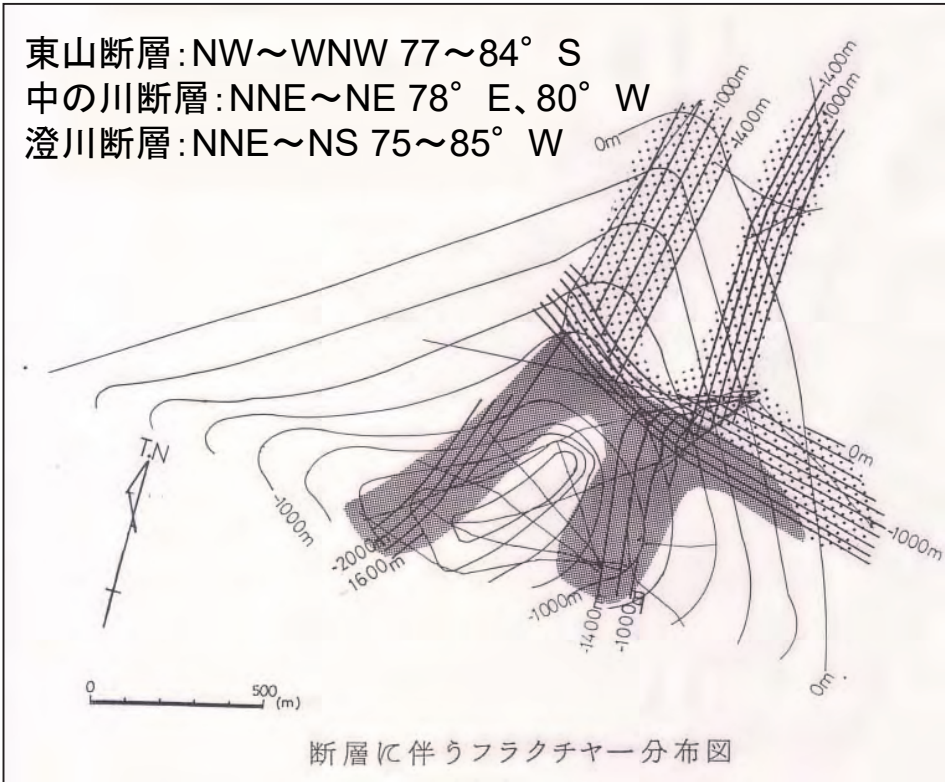


4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(10) じょうご型・岩相規制型・3本の断層(黒墨,1987)



特定の地層に伴うフラクチャー分布図

4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(11) じょうご型・岩相規制型・3本の断層(黒墨,1987)



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(12)

じょうご型/カルデラ規制・岩相規制型(黒墨・土井,2003)

- ・N2-KX-3を利用したカルデラ内堆積物とカルデラ壁の精査
- ・カルデラ噴出物(石倉層)の調査
- ・カルデラ構造等高線の作成
- ・カルデラの地質構造
 - 岩相分布
 - 火道充填物の特徴
 - カルデラ壁周辺の破碎状況

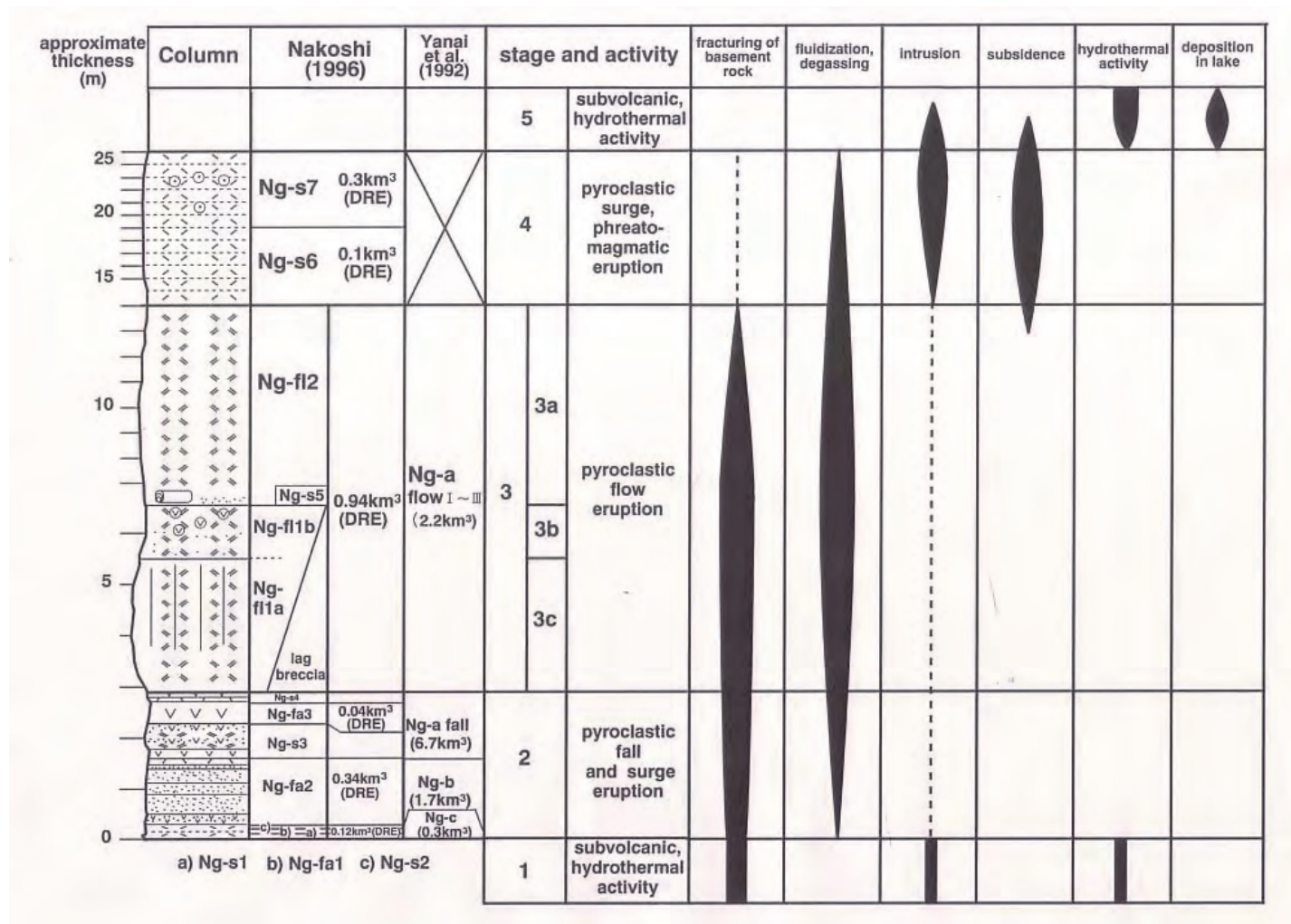
etc





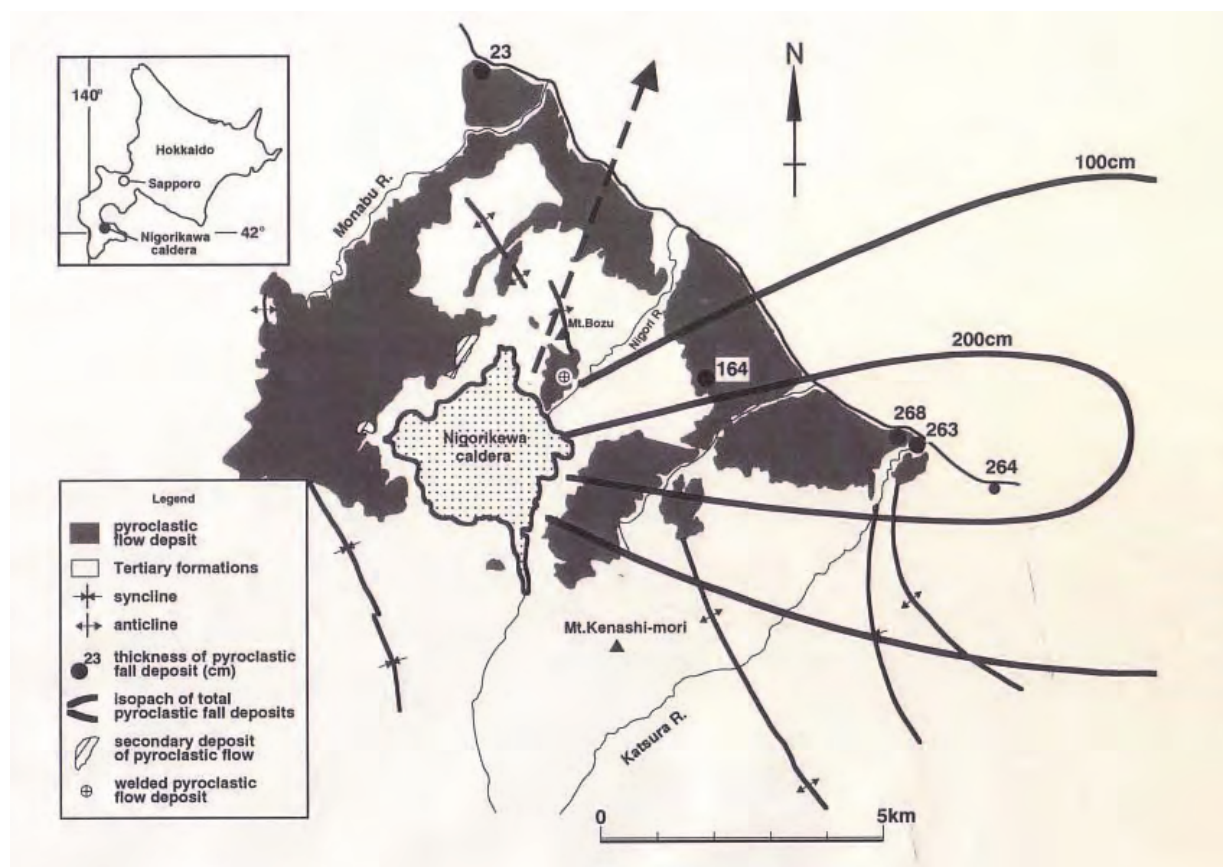
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(13)

濁川カルデラ噴出物(石倉層)(1)



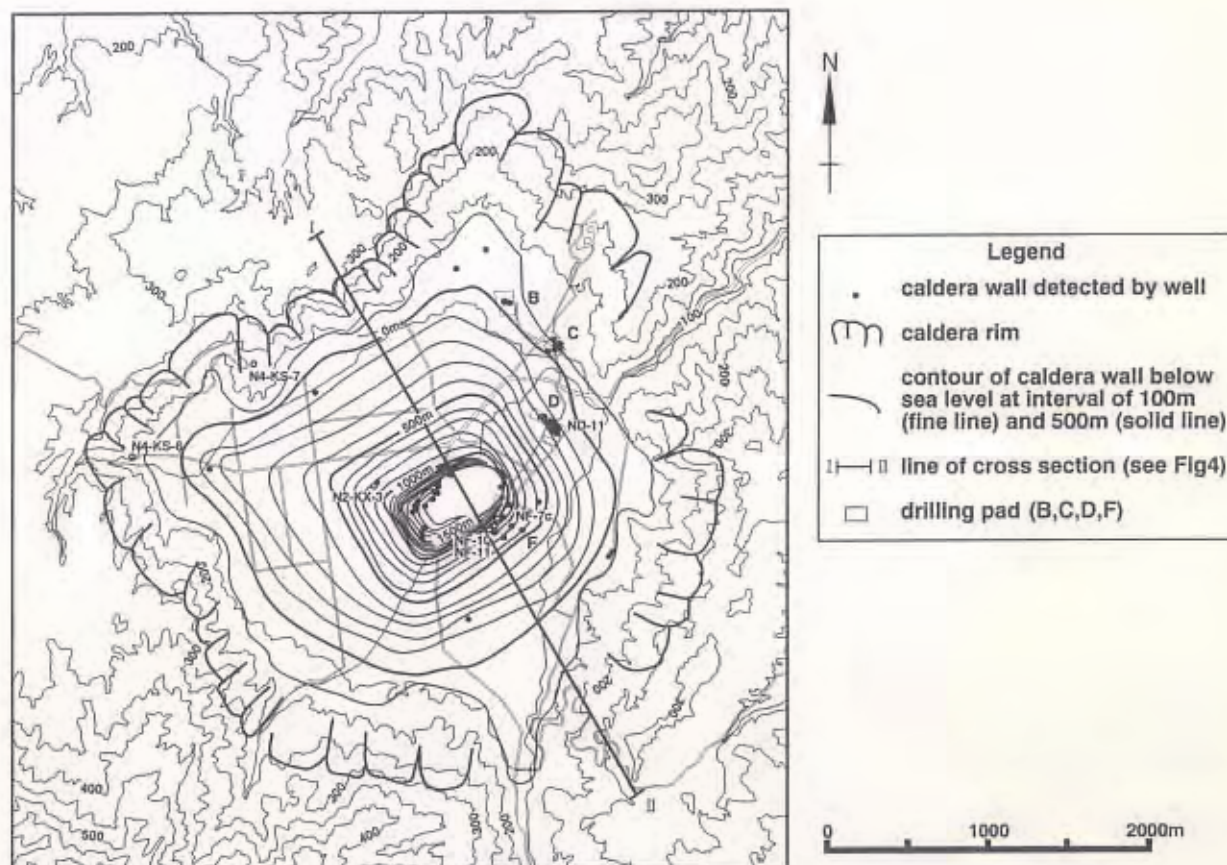


4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(14) 濁川カルデラ噴出物(石倉層)(2)





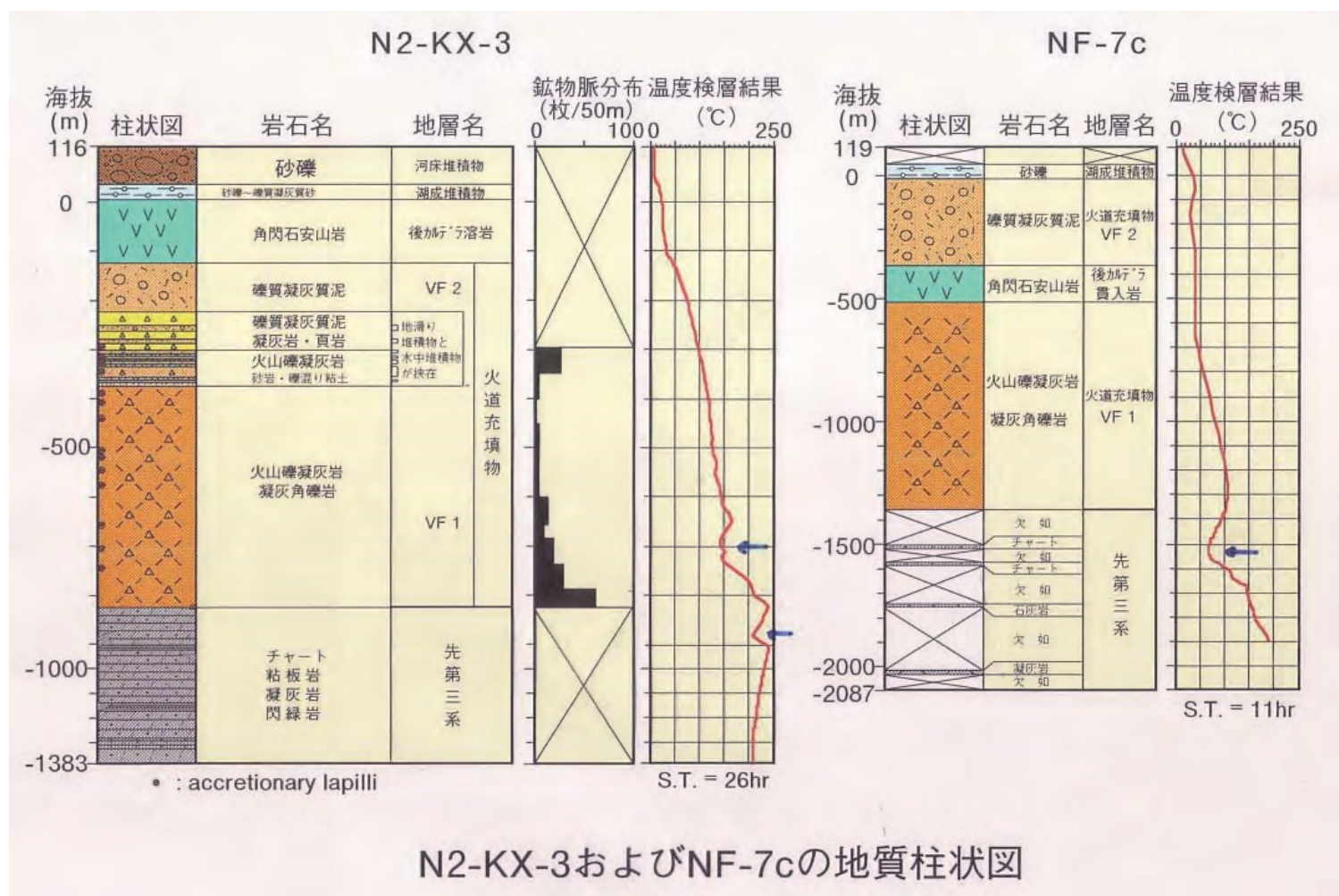
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(15) 濁川カルデラの地下構造





4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(16)

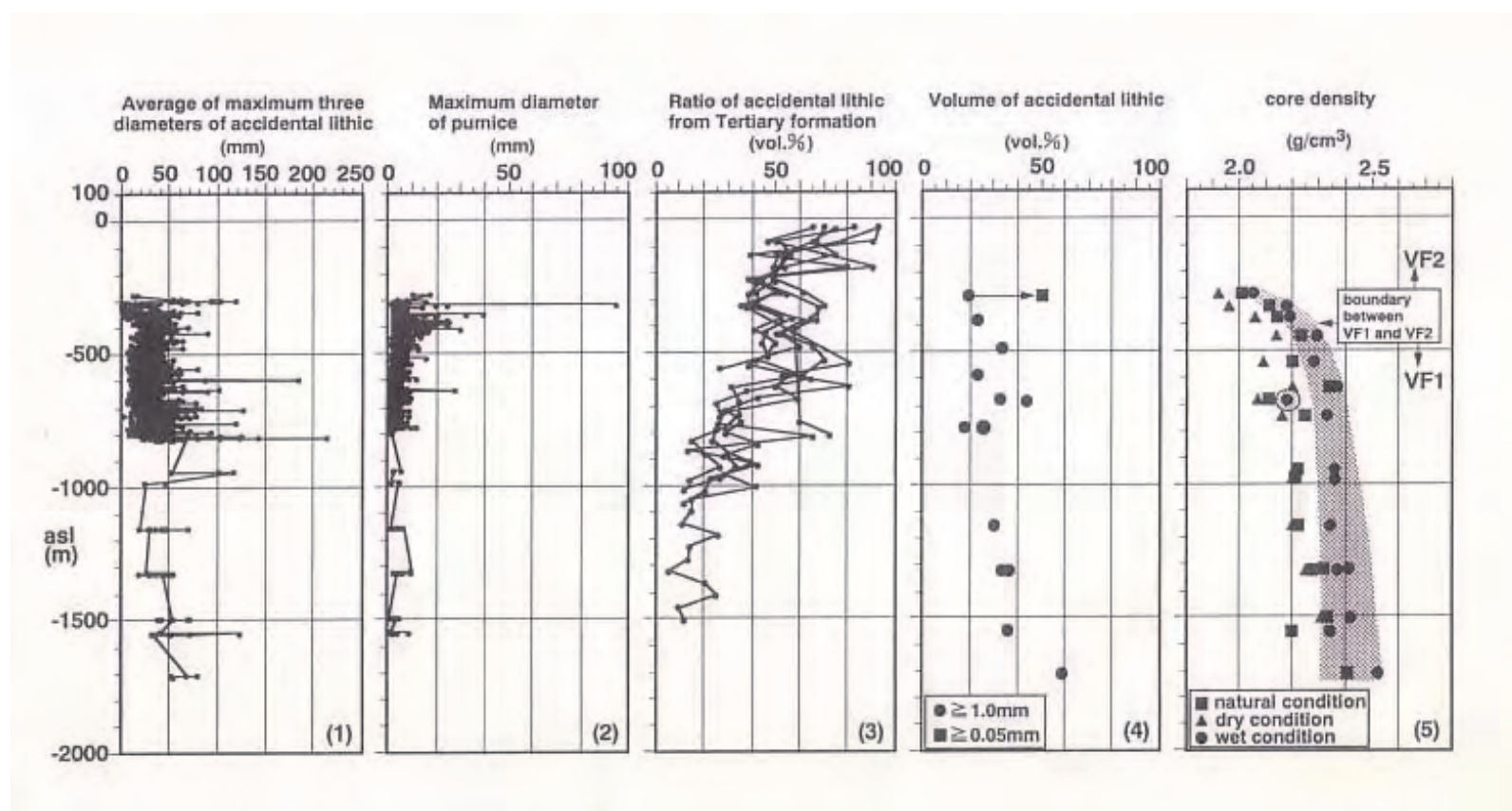
濁川カルデラの地下地質(黒墨・土井,1996)





4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(17)

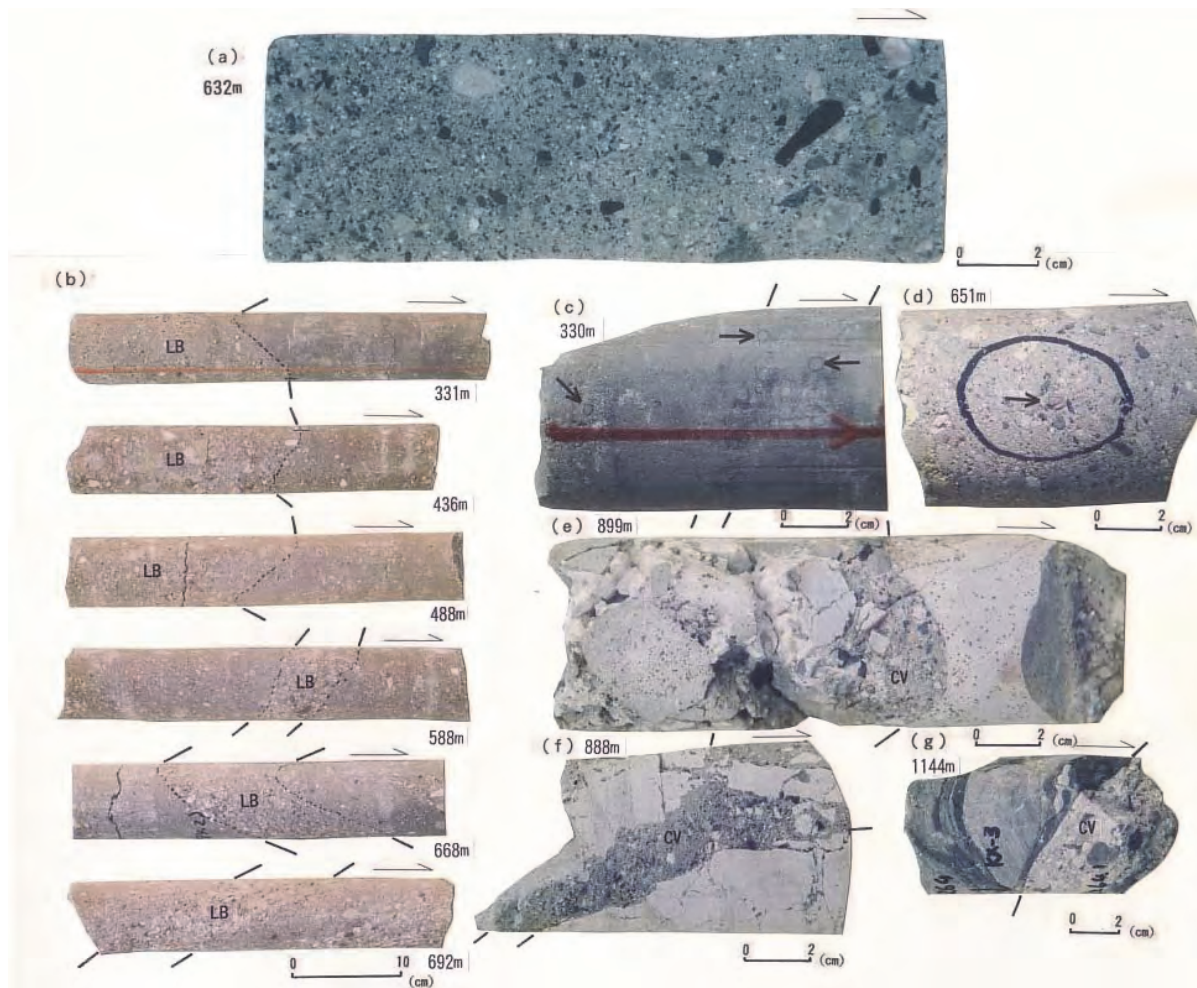
火道充填物の特徴(1)





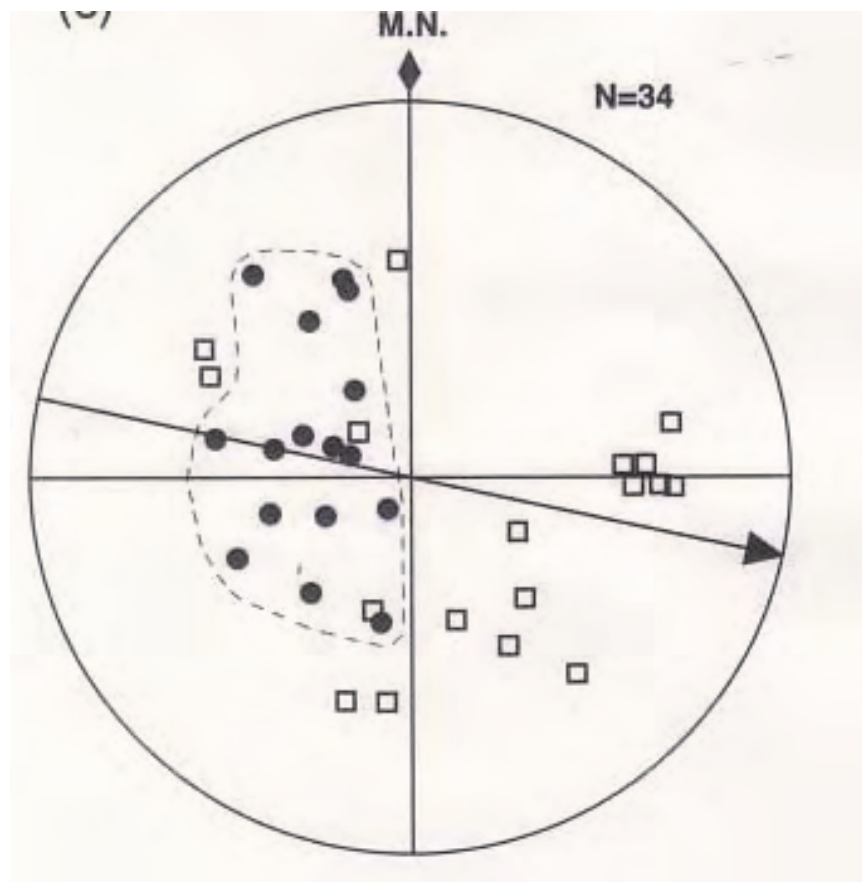
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(18)

火道充填物の特徴(2)



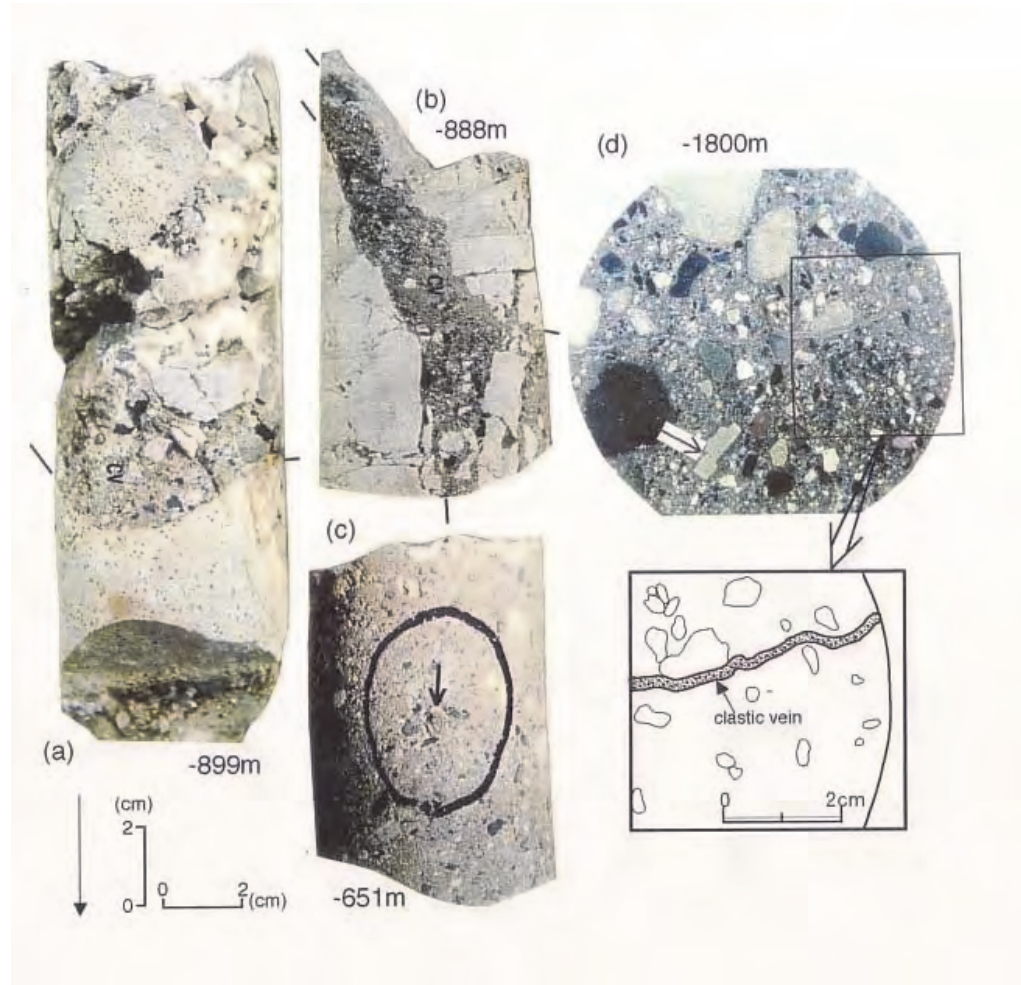
技術サロン(20111209)

4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(19) 火道充填物の特徴(3)



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(20)

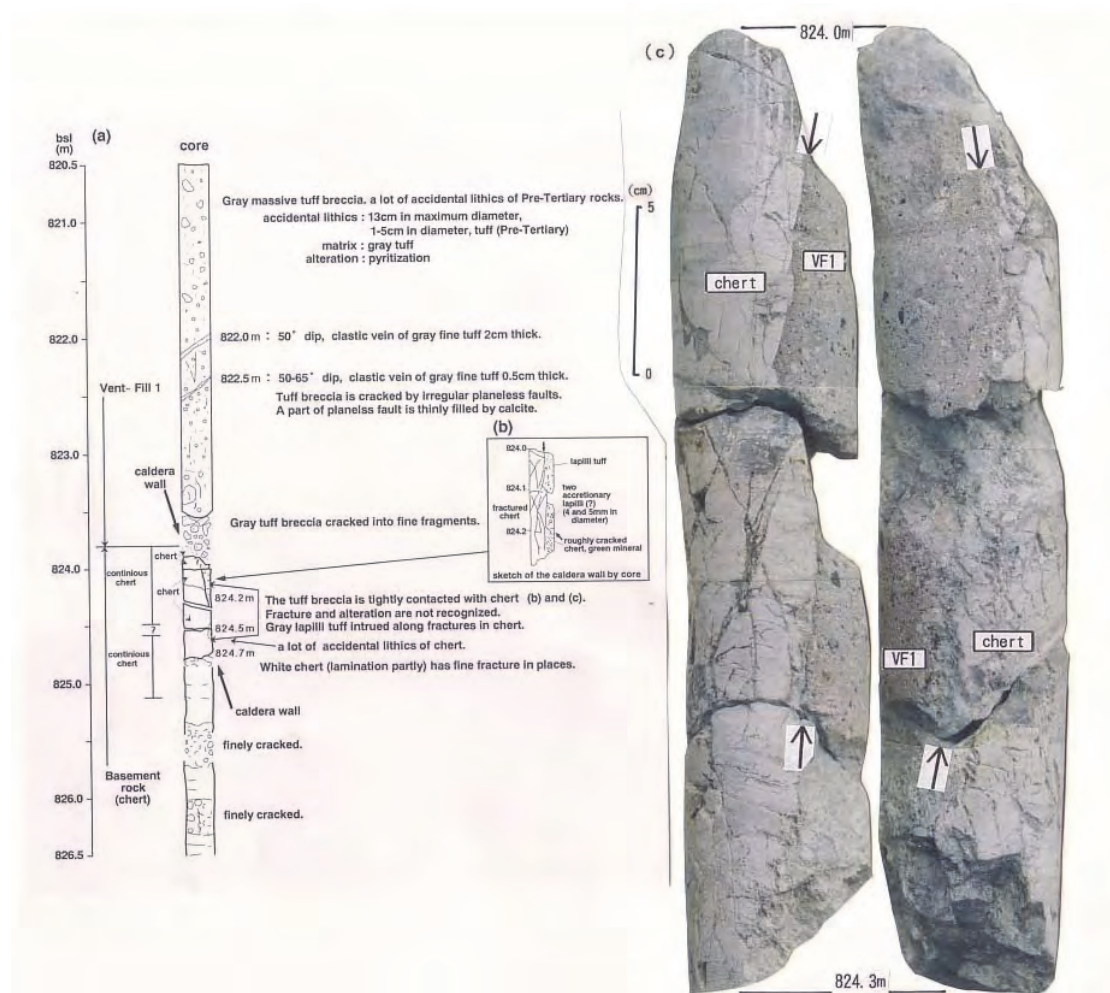
火道充填物の特徴(4)





4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(21)

カルデラ壁近傍の破碎状況(1)

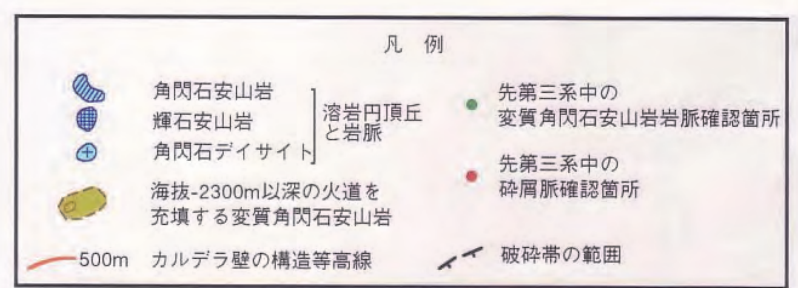
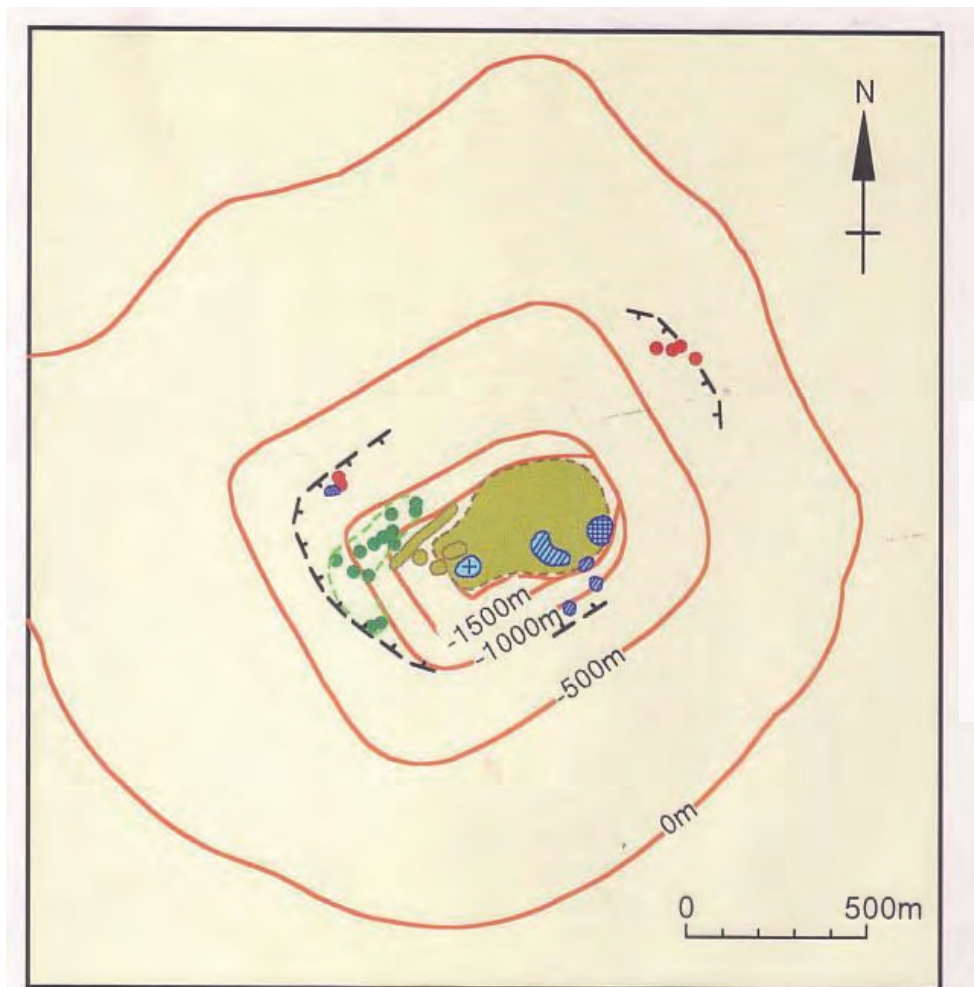


技術サロン(20111209)



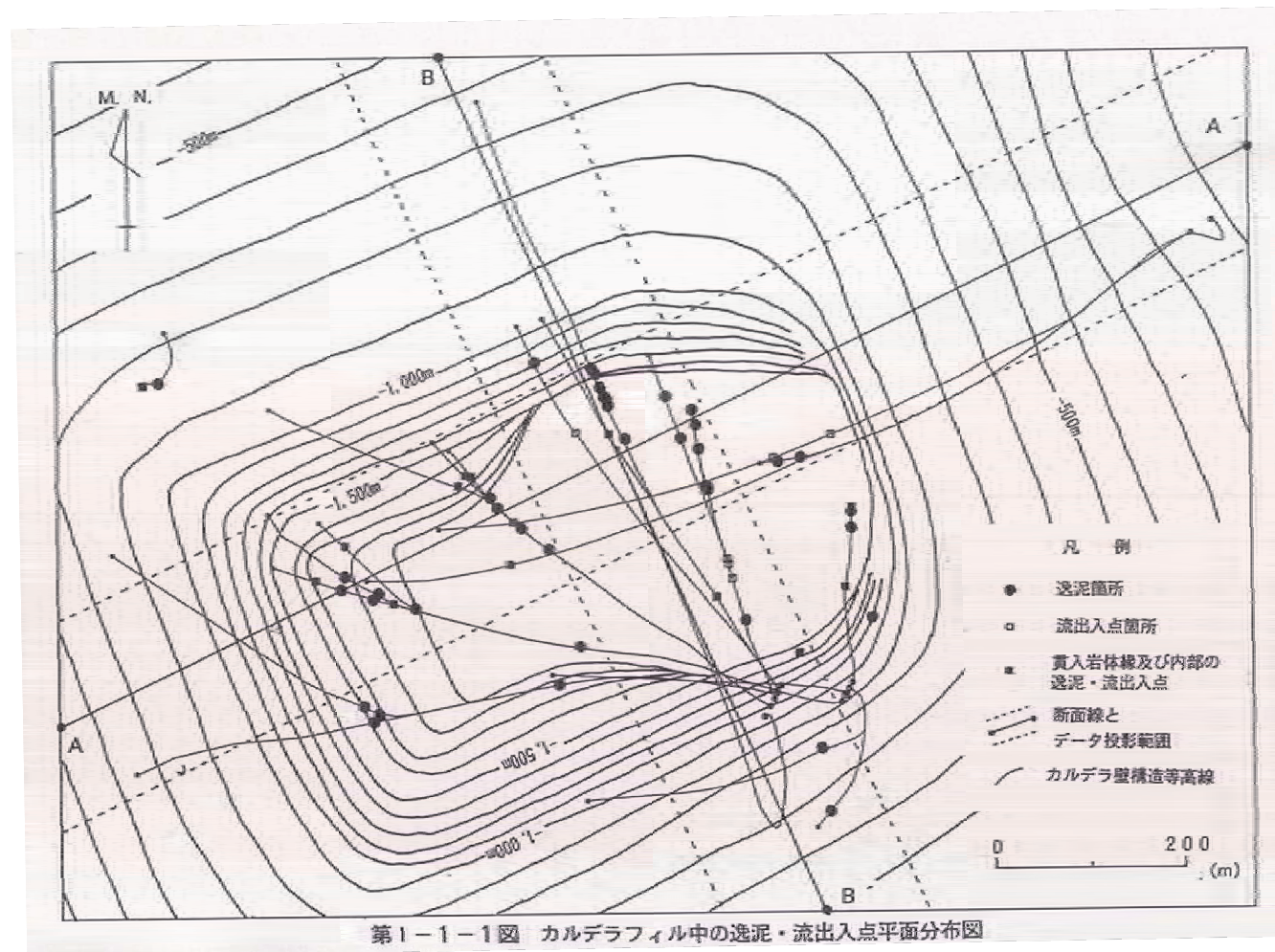
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(22)

カルデラ壁近傍の破碎状況(2)(黒墨・土井,1996)



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(23)

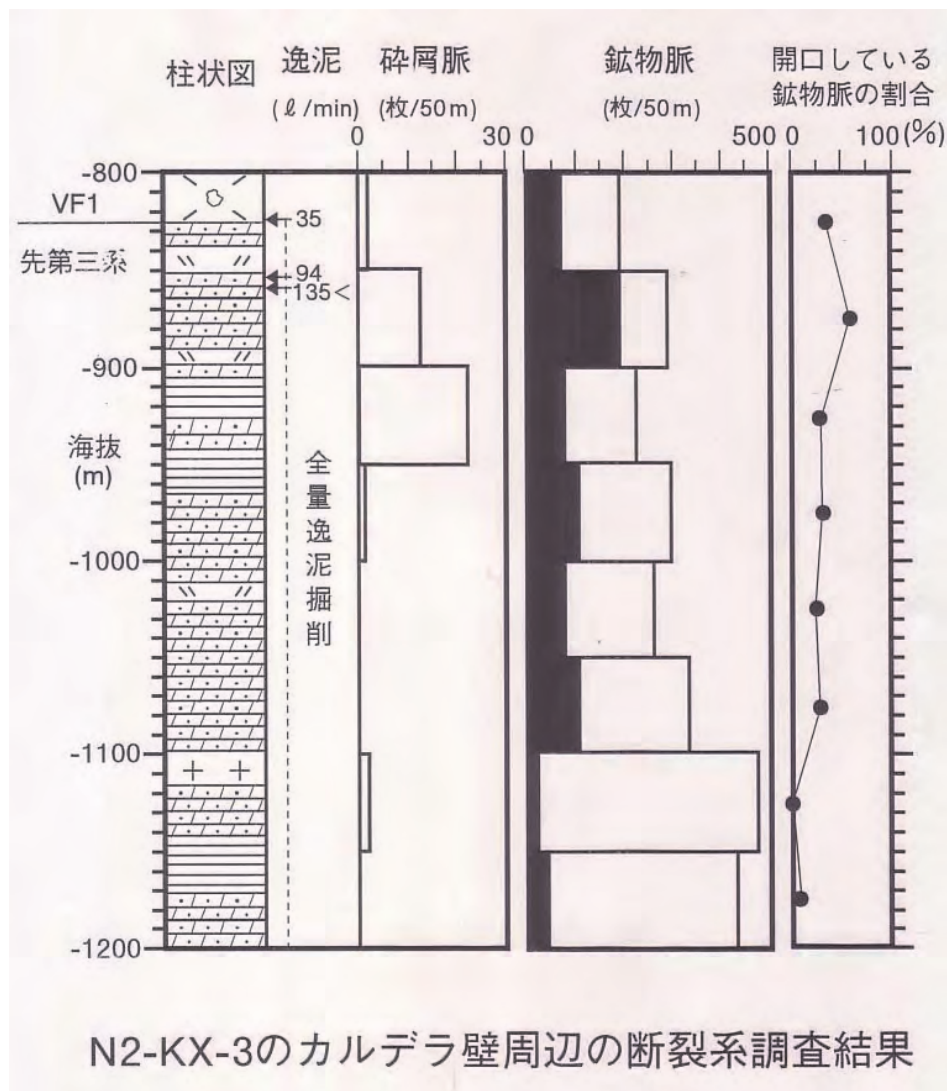
カルデラ壁近傍の破碎状況(3)(黒墨・土井,1996)





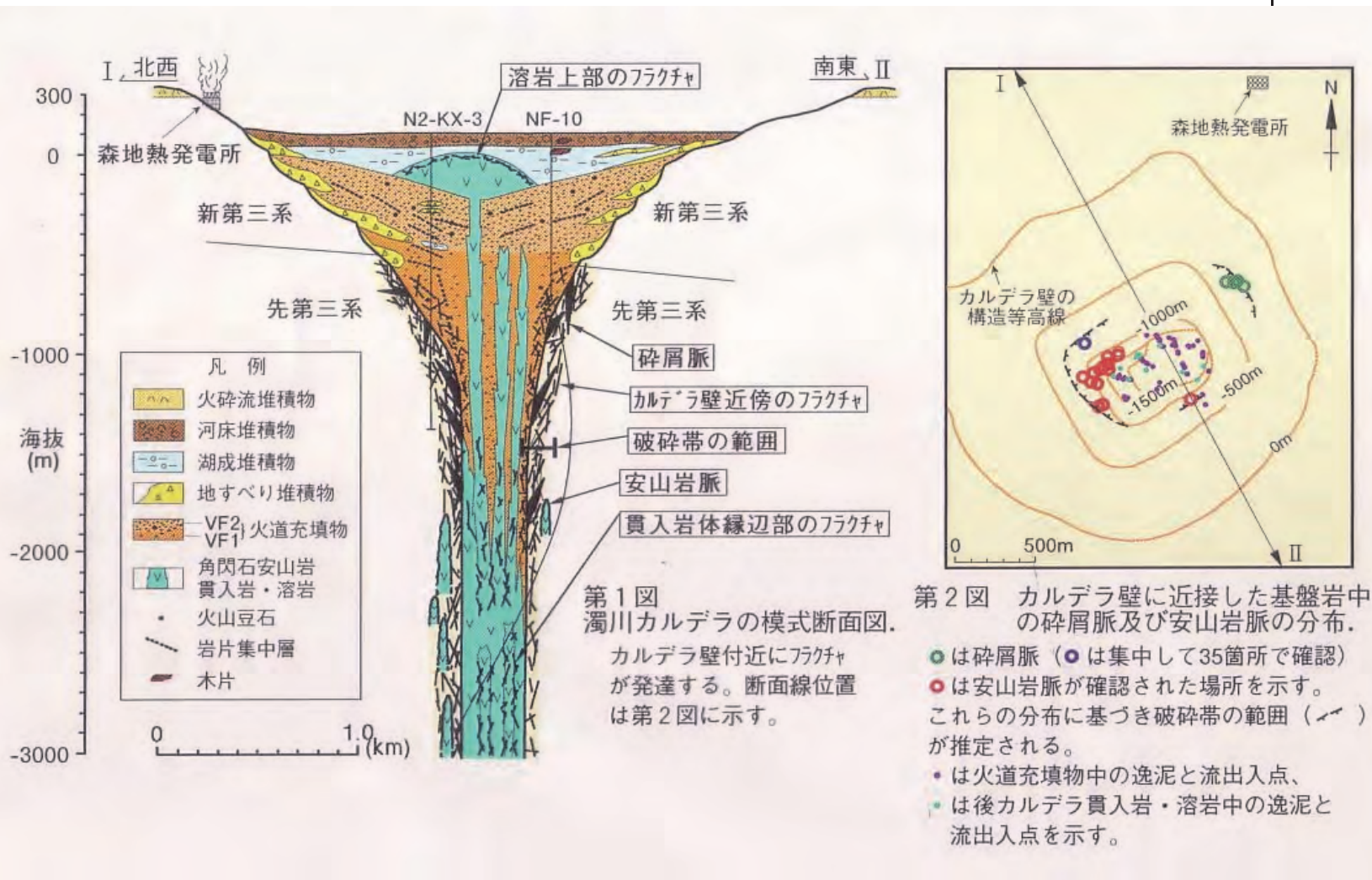
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(24)

カルデラ壁近傍の破碎状況(3)(黒墨・土井,1994)



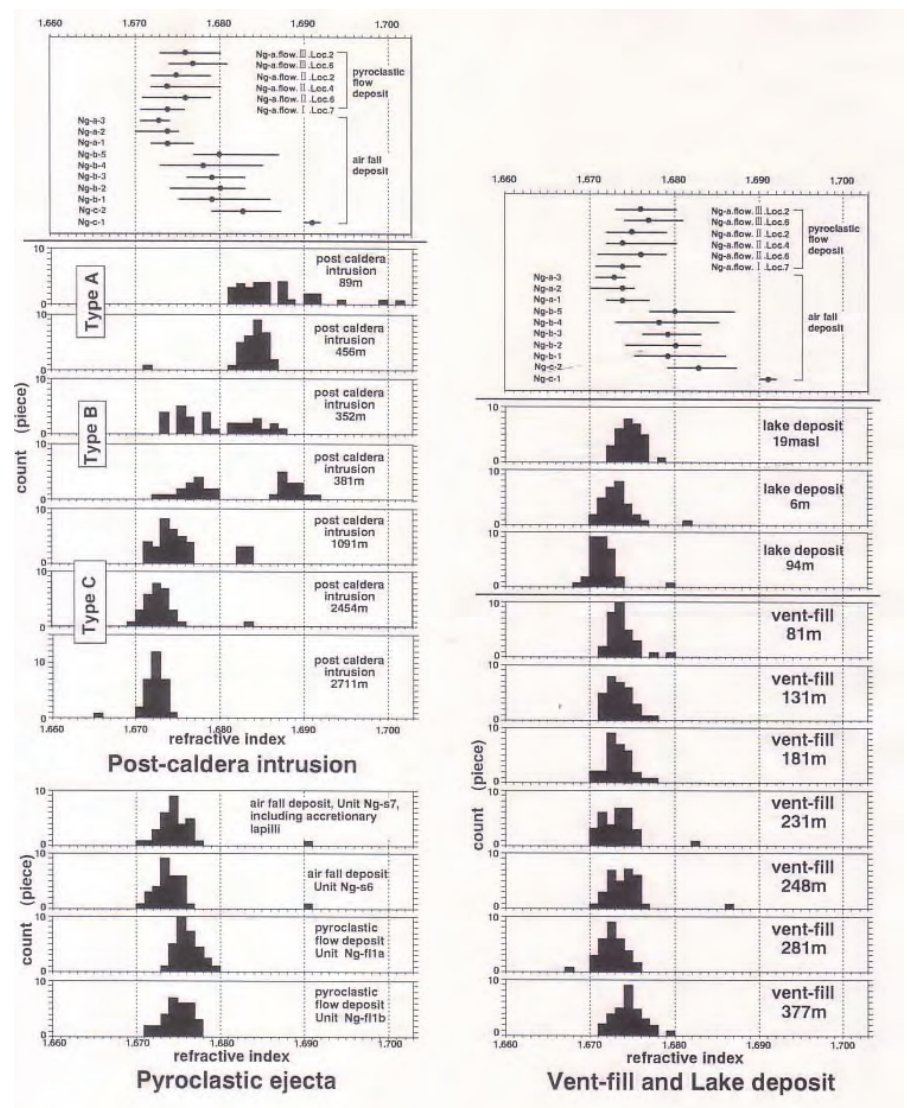
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(25)

濁川カルデラ模式断面図(黒墨・土井,1996)



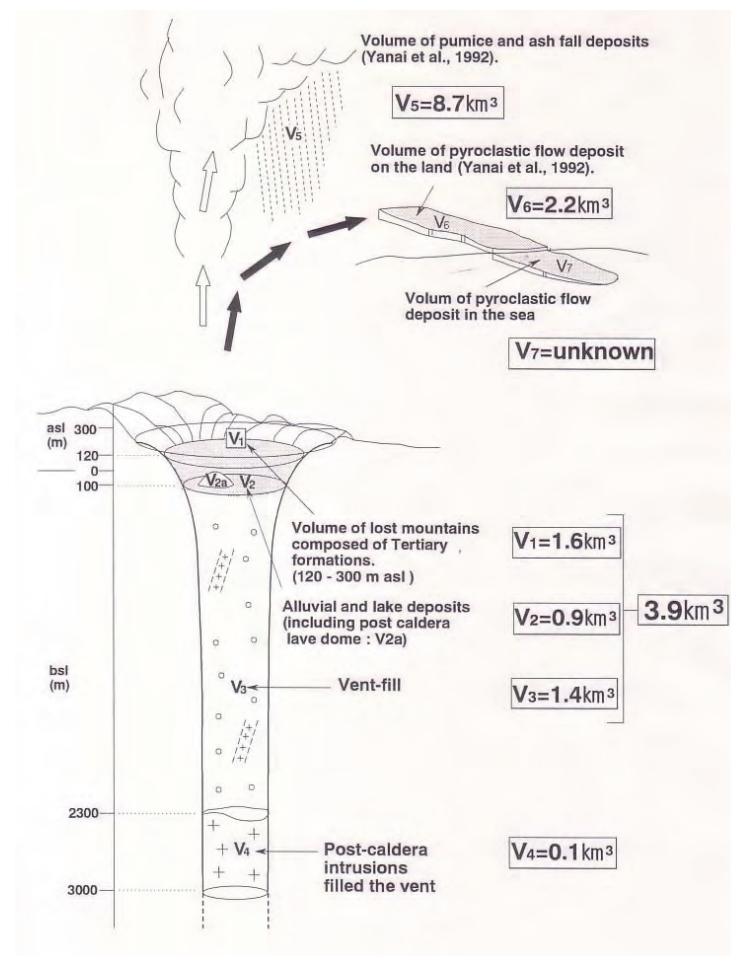


4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(26) 濁川カルデラの形成時期

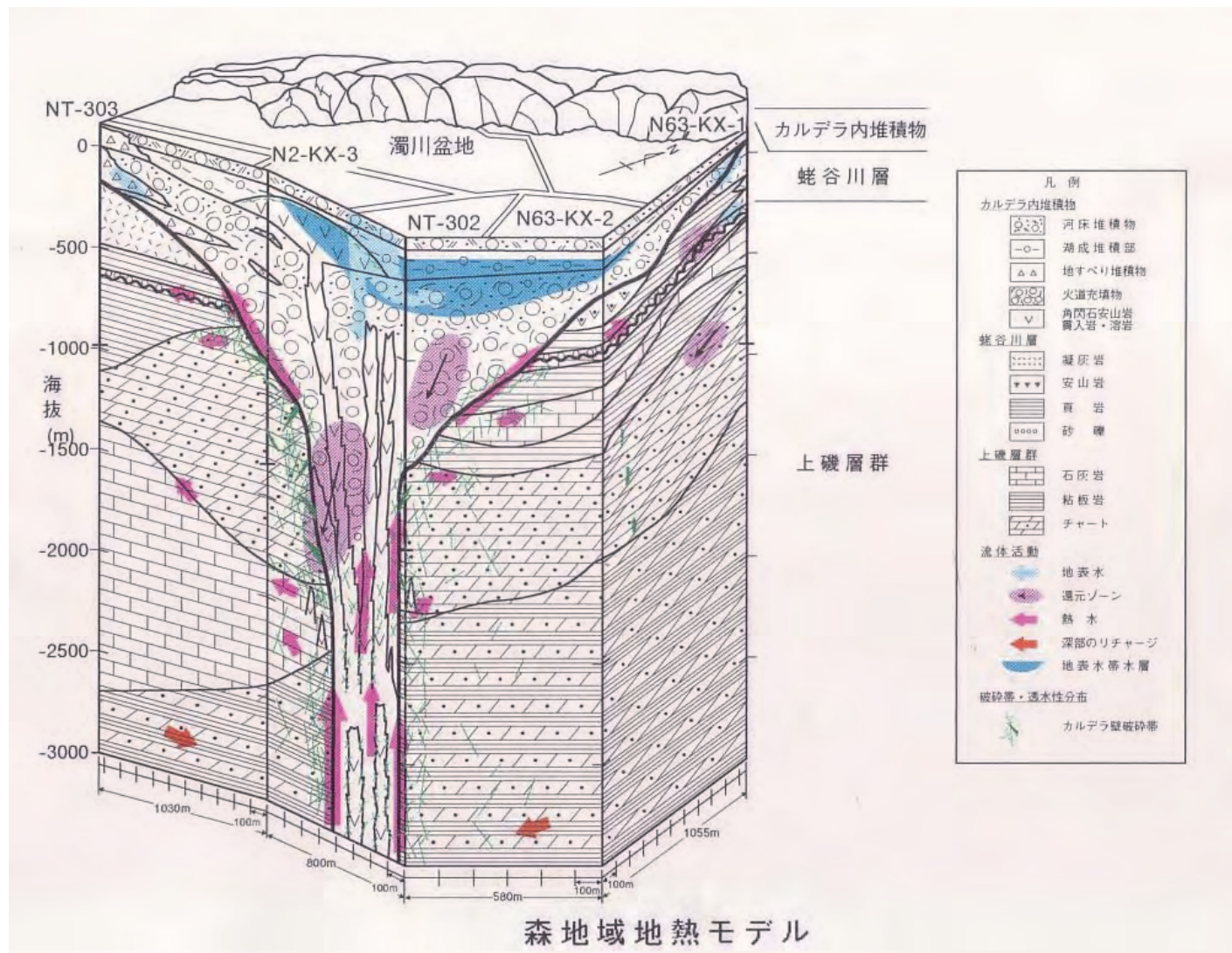




4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(27) 濁川噴出物の量(爆発の規模)



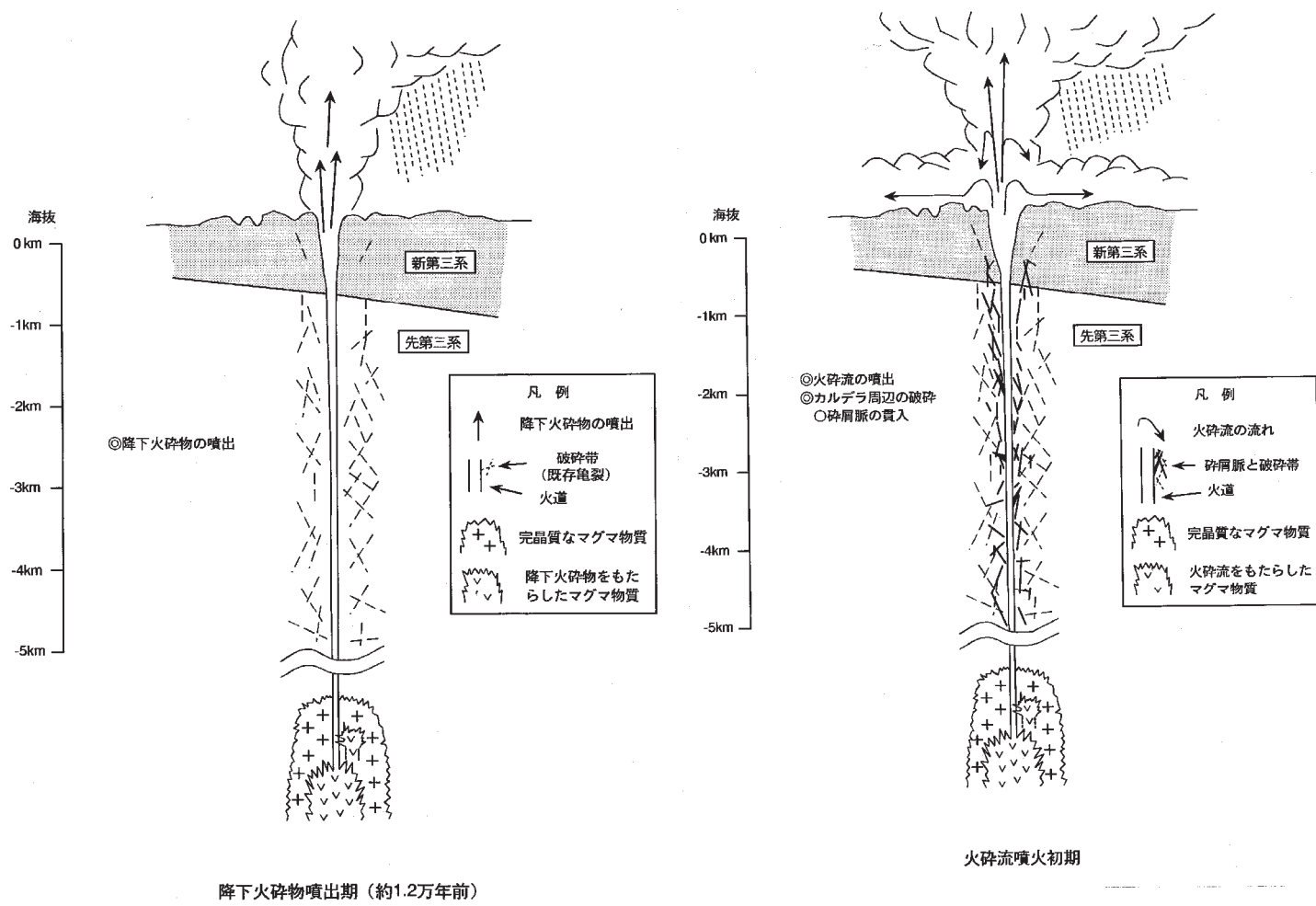
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(28) 森地熱モデル(黒墨・土井,1996)





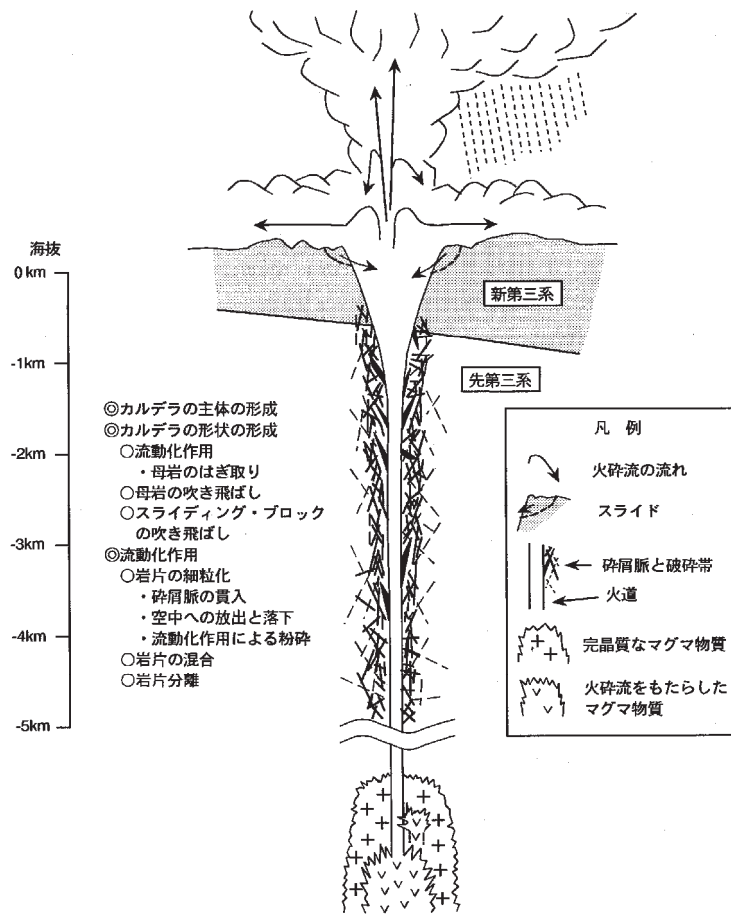
4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(29)

濁川カルデラの形成史(1)(黒墨・土井,1994)

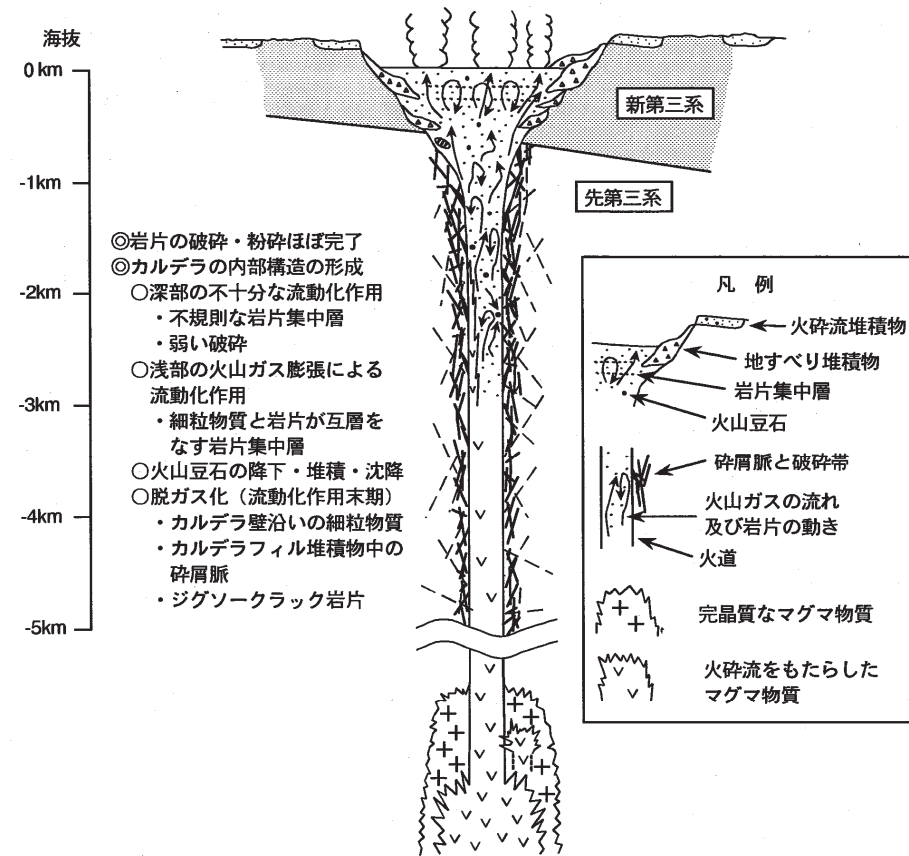


4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(30)

濁川カルデラの形成史(2)



火砕流形成最盛期
(カルデラ形成最盛期)

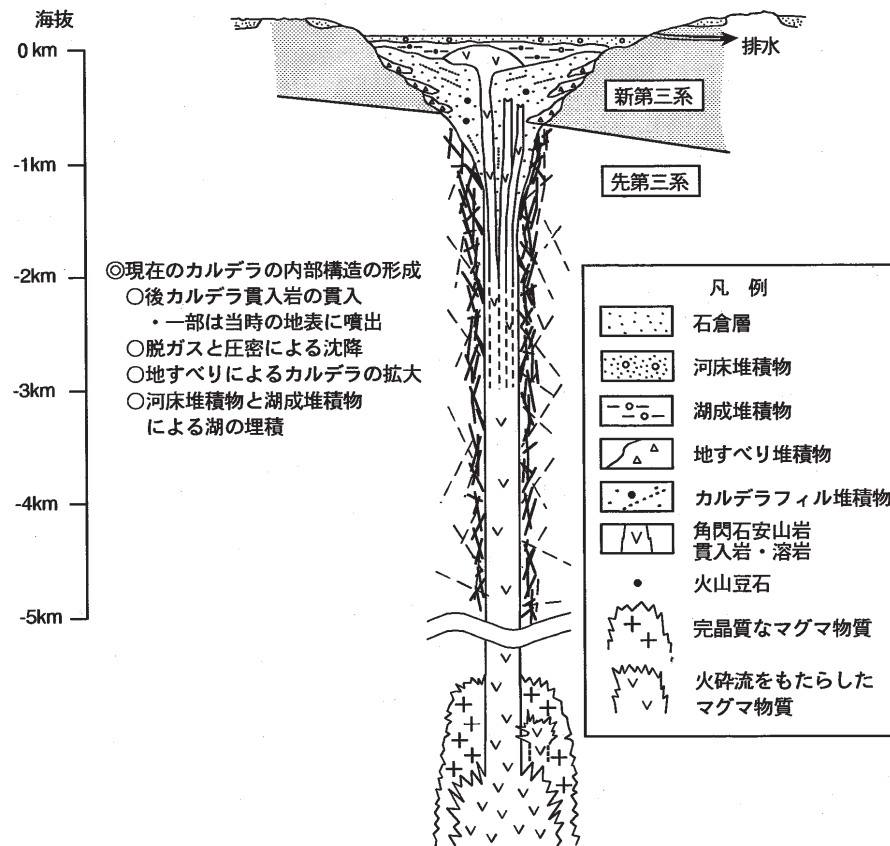


カルデラ形成後期



4. 地熱地質調査の解析成果例(経験談)(31)

濁川カルデラの形成史(3)



カルデラ形成末期
 (約1万年前より古期)
 技術サロン(20111209)



5. まとめ

- ①地熱三要素における地熱地質の位置づけ
特に、「き裂・構造・器」への貢献大
- ②地熱地質調査の内容や成果
調査方法・成果の紹介
- ③地熱地質を理解する上で重要なこと
成因を常に考える、エビデンスをしっかりと見る

<今後>

来年の現場見学会が松川地熱地域となった場合、松川地域の貯留層解析やターゲット選定結果など(その他の探査・調査結果を含めた総合解析)をご説明できたらと思います。

参考文献

- 赤澤司史・村松容一(1988)松川地熱地帯における地下フラクチャー分布.日本地熱学会誌、Vol.10,no.4,p.359-371.
- 安藤重幸(1982)ボーリング結果からみた濁川カルデラの構造.月刊地球, Vol.5,no.2,p.116-121.
- 大関仁志・福田大輔・奥村貴史(2001)松川地熱貯留層モデルの歴史的変遷.地熱,Vol.38, No.4,p.27-56.
- 黒墨秀行(1987)北海道濁川地域の地下構造について.日本地熱学会昭和62年度学術講演会講演要旨週,p.93.
- 黒墨秀行・土井宣夫(1994)濁川カルデラの内部構造(その2).日本火山学会学術講演予稿集,no.2,p.138.
- 黒墨秀行・土井宣夫(1996)濁川カルデラ形成史の1考察.日本火山学会学術講演予稿集,no.2,p.192.
- 黒墨秀行・土井宣夫(2003)濁川カルデラの内部構造.火山,vol.48,no.2,p.259-274.
- 日本地熱調査会(2000)新版 我が国の地熱発電諸設備要覧.
- 武田裕幸・今村遼平(1996)応用地学ノート第15章 温泉調査. p.166-172.

