JNC TJ7420 2005-017

~~限定資料~~

図書室

多重逆解法による応力場の復元

（核燃料サイクル開発機構　契約業務報告書）

1999年 3月

サンコーコンサルタント株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課
Tel: 029-282-1122（代表）
Fax: 029-282-7980
e-mail: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)　2005

1999年3月

多重逆解法による応力場の復元
（核燃料サイクル開発機構契約業務報告書）

佐々木勝司※，福間　俊夫※，萩原　育夫※，黒木　久達※

要　旨

地質環境の長期安定性を検討する上で，地質環境に影響を及ぼす将来の隆起・沈降量を予測することが重要な課題であり，そのためには隆起・沈降のプロセスを把握することが必要である。

本業務では，隆起・沈降プロセスの把握に不可欠である第四紀の地殻応力の変遷を明らかにすることを目的として，西南日本太平洋側の3箇所（掛川層群，宮崎層群，瀬戸層群分布地域）を対象として，最新の小断層解析技術である多重逆解法を用いた応力解析を実施し，応力場の変遷に関して検討を加えた。

※サンコーコンサルタント株式会社

目　　次

1．業務概要 …… 1
　1．1 業務番号及び業務件名 …… 1
　1．2 業務目的 …… 1
　1．3 業務箇所 …… 1
　1．4 業務内容及び数量 …… 1
　1．5 業務実施期間 …… 1
　1．6 業務担当 …… 1

2．調査／解析方法 …… 2
　2．1 概　　説 …… 2
　2．2 解析データ …… 4
　2．3 応力解析方法 …… 6

3．調査／解析結果 …… 8
　3．1 掛川層群分布地域 …… 8
　3．2 宮崎層群分布地域 …… 19
　3．3 瀬戸層群分布地域 …… 32

4．考　　察 …… 38
　4．1 掛川層群分布地域 …… 38
　4．2 宮崎層群分布地域 …… 41
　4．3 瀬戸層群分布地域 …… 45

5．ま と め …… 46

（参考文献） …… 47

1．業務概要

1．1 業務番号及び業務件名　　多重逆解法による応力場の復元

1．2 業務目的

地質環境の長期安定性を検討する上で，地質環境に影響を及ぼす将来の隆起・沈降量を予測することが重要な課題であり，そのために隆起・沈降のプロセスを把握することが必要である。

本業務では，隆起・沈降プロセスの把握に不可欠である第四紀の地殻応力の変遷を明らかにすることを目的として，西南日本太平洋側を対象として，最新の小断層解析技術である多重逆解法を用いた応力解析及び応力場の復元を行った。

1．3 業務箇所

1)掛川層群分布地域（静岡県南部）
2)宮崎層群分布地域（宮崎県東部）
3)瀬戸層群分布地域（岐阜県南部）

1．4 業務内容及び数量

1)地表踏査・断層データ収集	計	272データ
2)応力場の復元		3地域
3)報告書の作成		1式

1．5 業務実施期間

自）1998年 10月 13日　　至）1999年 3月 12日

1．6 業務担当

業務実施責任者）　サンコーコンサルタント株式会社
取締役 名古屋支店長　　上神　正衛

業務実施担当者）　サンコーコンサルタント株式会社
関東支社　地質第一部　部長　佐々木　勝司
（技術士：応用理学，建設）
大阪支店　技術部　課長　　福間　敏夫
（技術士：応用理学）
関東支社　地質第一部　　萩原　育夫
南九州支店　技術課　　黒木　久達

2．調査／解析方法

2．1　概　　説

小断層による古地殻応力測定法は急速に発展している。それに伴なって，これまで小断層解析によって得られた結果の多くは再検討を迫られている。わが国では1960年代半ばから小断層による古地殻応力の推定が広くおこなわれてきたが，それはAnderson(1942)の断層理論に基礎をおくもので，共役断層の方向から断層が動いたときの応力主軸の方向が分かるという，「共役断層法」とよぶべき方法を使っていた。共役関係は観察した小断層のすべてで確認できるわけではないので，多くの場合，断層面の走向傾斜によって先ず断層群をグループ分けし，そのなかの一部のメンバー同士の切断関係から共役関係が判定されれば，そのグループが共役断層の集合であるとみなされた（岩松・横田，1989）。たがいに共役な断層の交線は，断層変位方向と直交するはずで，断層変位方向は断層面に残された擦痕と変位のセンスによって推定することができる。そうした関係が見られる断層ペアが，真の共役断層である。ところがこれまでおこなわれてきた小断層解析では，例外はあるものの（例えば児玉,1968），擦痕の観察はまったく無いか，応力主軸の方向を推定するための補助的データという位置づけであった。共役断層法による小断層解析の代表的成果として衣笠ほか(1969)の研究があるが，ほぼ同じ地域を調査した三野・山路（1999）は擦痕を丹念に観察し，上記の意味で真に共役であるとみなせる断層は，衣笠らが考えていたよりも少ないことを明らかにした。共役断層法によって古地殻応力が推定された地域では，再調査が必要になったわけである。

断層の真の変位ベクトルは，断層擦痕から露頭で認定することができる。そうして得られる断層スリップデータセットを使なら，共役断層でなくとも，断層変位をおこしたときの応力を推定することができる。応力を仮定し，当該の断層群がすべるべき方向を計算し，観察した変位方向との残差を最小にするというスキームで応力を推定できるわけである（Angelier，1979；1984）。これを小断層の逆解法という。逆解法は強力な方法で，いまや世界中で活用されている。わが国でも応用例が幾つかある（Amano，1991；Tokushige and Fabbri，1996；Hirono，1998）。しかし複数の応力状態を経験した地域に逆解法を適用しても，それらの応力を識別することは一般には容

易ではない。三野・山路（1999）は房総半島の更新統上総層群の中部にこの方法を適用したが，大田代層と梅ヶ瀬層から信頼できる解として得られたのは，それぞれだた一つであった。その上位の国本層では２つの応力状態が識別できた。このように，データセットによって複数の応力が分離できたりできなかったりするのである。

こうした限界に対してYamaji（1999a)は多重逆解法（multiple inverse method）を提唱した。上述の大田代層・梅ヶ瀬層・国本層のそれぞれの断層スリップデータから，上記の解をふくめて３つ以上の解が多重逆解法で得られている（Yamaji, 1999b）。従来の逆解法では，複数の応力を識別するには限界がある。とくに断層の数が少なくて，走向傾斜の似た断層群を解析するときには，多重逆解法との差がはっきり現れる。

こうしたことを背景とし，本業務では，静岡県掛川地域の掛川層群上部・宮崎県の宮崎層群・愛知県瀬戸層群から断層スリップデータを新たに収集し，多重逆解法による解析を行って，応力解析／応力場の復元を行い，さらに，従来の解析結果との比較検討を行った。掛川層群では既にHirono（1998)によって，宮崎層群では Tokushige and Fabbri（1996)によって逆解法による古応力測定がおこなわれている。

２．２　解析データ

既存文献調査を実施して調査地域の層序等に関する資料を収集した後，地表踏査を実施して小断層の観察を行い，下記の断層データを収集した。

1)地層の走向傾斜

2)断層面の走向傾斜

3)擦痕の方向（傾斜方位，プランジ角又はレイク角として記載）

4)変位タイプ（正／逆断層，左／右横ずれ断層）

5)変位量

6)その他（断層の新旧関係，断層ガウジの性状や規模など）

地表踏査には，国土地理院発行の縮尺：1/25,000の地形図を使用した。また，露頭観察では，上記データの観察と記載を行うとともに，露頭スケッチの作成／露頭写真の撮影を行った。

露頭では種々の形態の小断層が認められるが，今回の業務では、多重逆解法による応力解析を考慮して，断層データ収集時には下記の点に留意した。

1)鍵層等によって，断層変位量が明瞭な断層を対象とする。

2)断層面の擦痕によって，断層の変位センスを確認できる断層を対象とする。

今回の業務において，露頭観察及び断層データの収集を行った小断層の露頭業況例を，図-2.2.1～2に示す。

図-2.2.1　調査対象とした断層例

図-2.2.2　調査対象とした断層例
断層面に擦痕が明瞭に読みとられる。
（断層面ブロックを撮影）

２．３　応力解析方法

本業務では，多重逆解法による応力解析の他，補足的にダイヘドラ法による解析を行った。以下に，各方法の解析概念を示す。

（１）多重逆解法

断層面上の変位方向は，断層面の方向、主応力軸方向及び次式による主応力比によって決定可能である。

$$\text{主応力比} = \frac{\sigma 2 - \sigma 3}{\sigma 1 - \sigma 3}$$

$\sigma 1$：最大主応力

$\sigma 2$：中間主応力

$\sigma 3$：最小主応力

従来の逆解法は，複数の観察断層データに関して，計算による変位方向と擦痕に基づく変位方向との誤差を計算し，誤差の総和が最小となるような応力状態（主応力軸方向及び応力比）を探索し，このような最適解を応力状態の逆解析結果とするものである。このような逆解法は，１つの応力状態を求める手法であるのに対し，多重逆解法は，複数の応力状態（主応力軸方向及び応力比）を求めるものである。多重逆解法では，上記逆解法における断層データの与え方を工夫することによってデータを多重化し，結果として，応力状態に関する複数の解析結果を得ることが可能となっている。多重逆解法の詳細については、三野・山路(1999)，Yamaji(1999a)，Yamaji(1999b)によった（別冊資料集参照）。

（２）ダイヘドラ法

ダイヘドラ法の解析概念を，図-2.3.1に示す。

ダイヘドラ法は，主応力軸方向を一意に決定するのではなく，断層面方向と擦痕データをもとにして推定した領域内に存在するもと推定するものである（Angelier and Mechler, 1977）。図-2.3.1の概念図では，弧D-B-Eと弧D-A-Eに囲まれた球面内が，主応力軸Ｐが推定される範囲である。ダイヘドラ法では，このようなの領域による推定を複数の断層に対して行い，推定領域の重なりが多い箇所が主応力軸方向であるも

のとして推定・絞込む手法である。

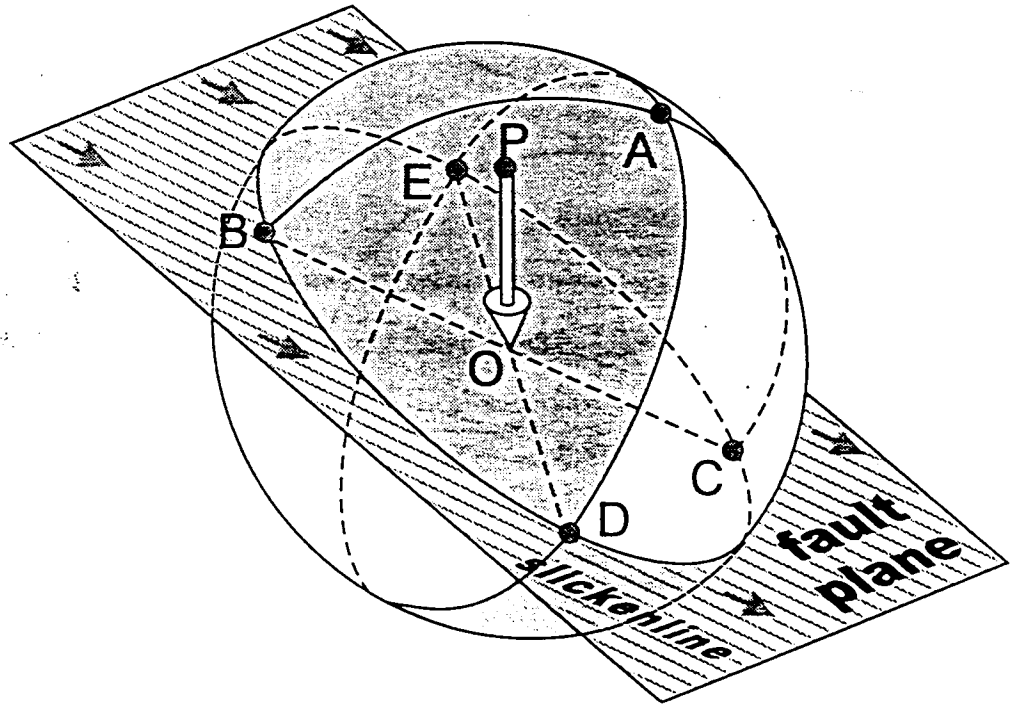


図-2.3.1　ダイヘドラ法　解析概念図

点Aは断層面の法線方向
B-Cは擦痕の方向
D-EはB-Cに直交

３．調査／解析結果

以下に各地域の解析結果を示す。なお，断層露頭台帳（スケッチ），露頭写真，断層露頭位置図を別冊資料集に示す。

３．１ 掛川層群分布地域

（１）地質概説

掛川層群の分布地域を調査位置とともに図-3.1.1に示す。掛川層群は全体的には南～西側に傾斜して分布しており、南西側上位の地質構造をなす。

掛川層群について詳細な堆積学的研究が Sakai and Masuda (1996)によっておこなわれている。それによると掛川層群は前弧海盆を埋積した地層であるが，今回データを得たのは陸棚堆積物から海盆中央へむけた海底斜面の堆積物である。掛川層群の堆積年代は前期鮮新世から更新世の最初期までをカバーするが（茨木，1986），データを得たのは鮮新統上部および更新統の部分である。

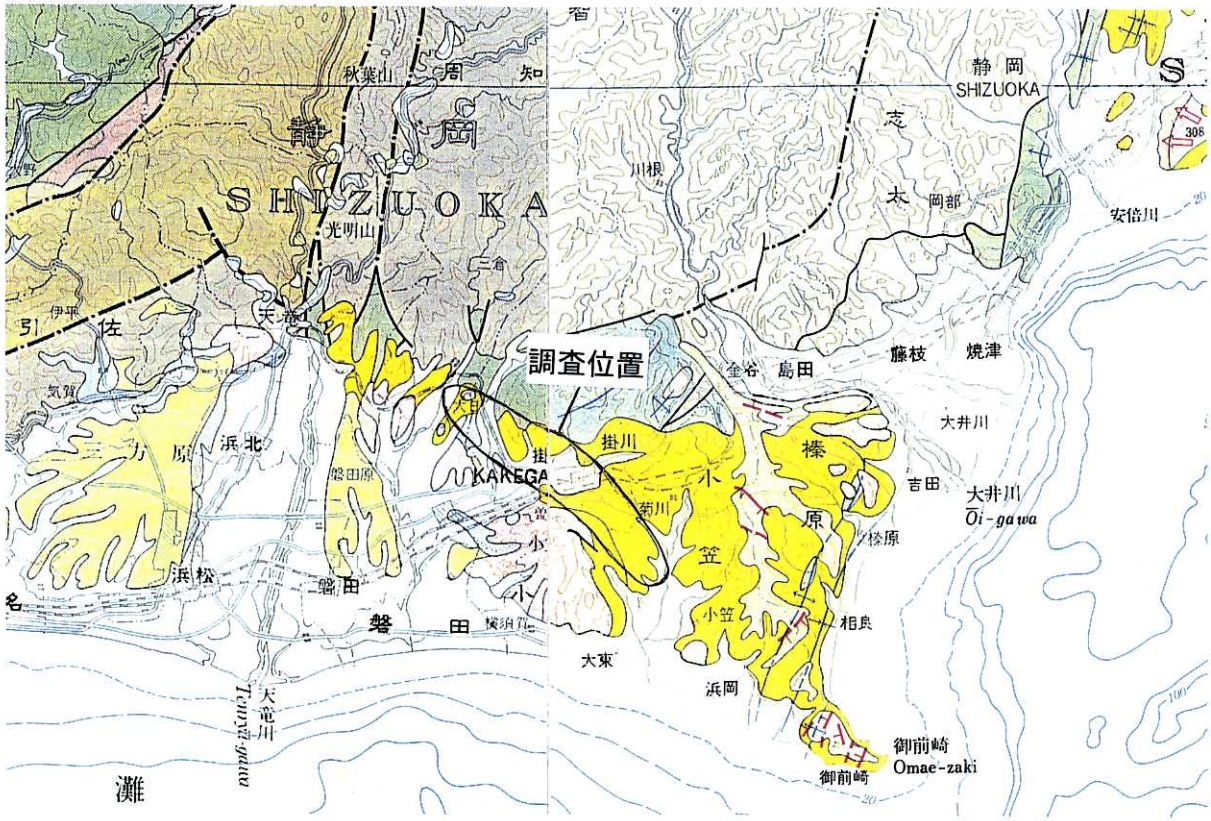
（２）現地調査結果

掛川層群分布地域の断層スリップデータ採取地点を図-3.1.2に、データの一覧を表-3.1.1に示す。調査地の掛川層群は砂岩泥岩互層からなり、走向傾斜は北西～北北西走向、10～15°程度南西傾斜を概ね示す。

図-3.1.3には擦痕が観察できた85条の断層について，下半球ステレオネットで断層面とスリップ方向を示す。本地域ではWNW-ESE走向とENE-WSW走向の断層が卓説し，露頭面において正断層にみえるものが多い。しかし擦痕を丹念に観察すると，純粋な正断層よりもむしろ走向移動断層や斜めすべり正断層が圧倒的であることが分かる。図-3.1.3は断層面を示す大円のうえに擦痕方向が黒点でプロットされており，正断層なら基円の中心から外に向かう矢印が添えられている。逆断層なら反対向きである。走向移動断層では矢印が２本添付されており，右ずれなら黒点のまわりに右回りになるように矢印が添えられている。左ずれなら反対向きである。この図から明らかなように，断層面の方向が似通っていてもスリップ方向はまちまちであり，全部の断層が単一の応力ですべったわけではないことが見て取れる。データは複数の応力状態を記録

しているわけである。

対象とした層準は，調査地域西部ではWNW-ESE走向，東部ではNNW-SSE走向になっている。こうした構造との関係をみるために，東西地域に分けてデータを示したのが図-3.1.3(b)と図-3.1.3(c)である。両地域の境界は５万分の１地形図の境界とほぼ一致する。擦痕が観察できた断層は，24条であった。東部は露頭状況が良かったため，61条のデータがえらえた。



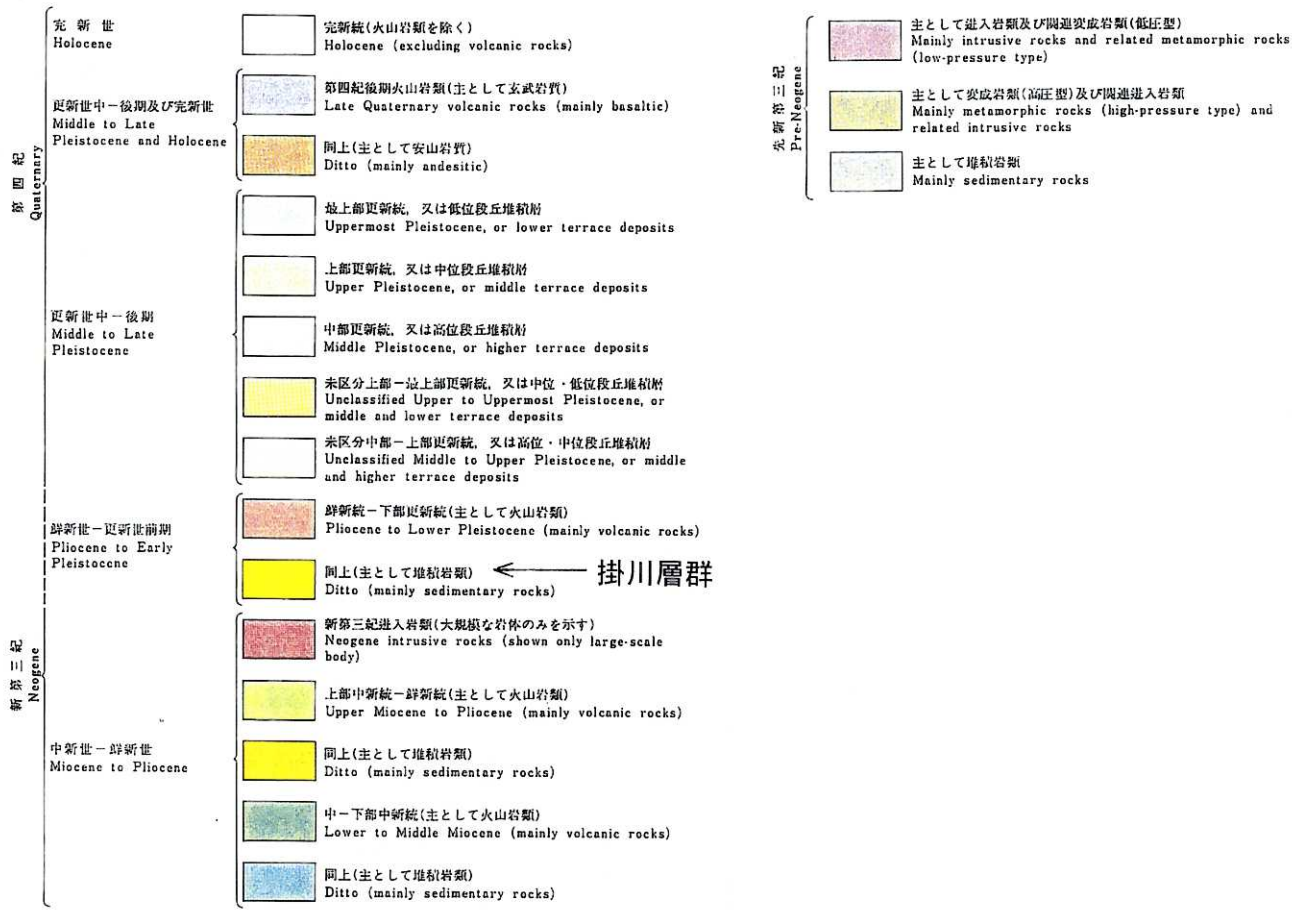


図-3.1.1　掛川層群分布域及び調査位置
（「50万分の1活構造図（東京・京都）」をもとに作成）

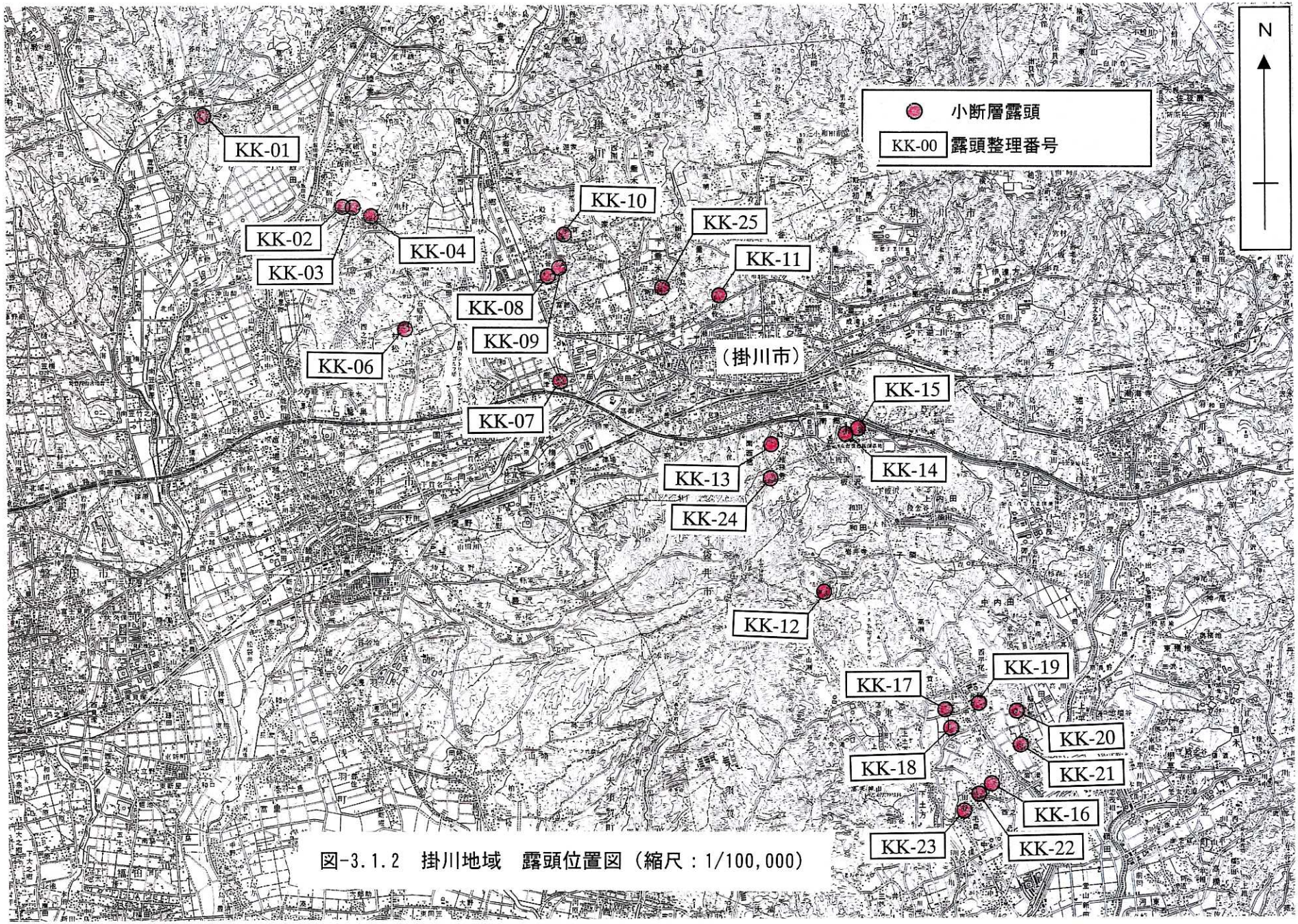


図-3.1.2　掛川地域　露頭位置図（縮尺：1/100,000）

表-3.1.1　掛川地域　断層スリップデータの一覧　(1／3)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
KK-01	98081801-1	宇刈層	N67W12S	N83W62N	R80E	N	20	固結，地層の走向傾斜暫定値
	98081801-2	宇刈層	N67W12S	N85E61S	R90	N	15	固結，rake不明確
KK-02	98081802-1	宇刈層	N49W12S	N40E85E	224/26	D	20	固結
	98081802-2	宇刈層	N49W12S	N73E60N	064/42	N	10	固結
KK-03	98081803	宇刈層		N68W66N	202/18	N	100	固結，str断層面の上に載らず
KK-04	98081804-1	宇刈層		N57W74N	308/22	N	1	固結
	98081804-2	宇刈層		N70W71N	305/18	N	3	固結
	98081804-3	宇刈層		N87W50N		N	500	固結，dispは層位隔離
	98081804-4	宇刈層		N63W80N	304/06	S	1	固結
	98081804-5	宇刈層		N65W89S	303/13	S	0.5	固結
KK-05	98081805	宇刈層	N3E65W	N78W81N	R90	N	15	固結
KK-06	98081901-1	宇刈層		N67W76N	R40W	N	15	固結
	98081901-2	宇刈層		N83E65N	R12W	N	1000	固結，変位量は概略
KK-07	98081902	宇刈層上部	N64W14S	N21W29W	A72W	R	10	固結
KK-08	98081903-1	宇刈層	N22W15W	N88E60N	A12E	N	30	固結
	98081903-2	宇刈層	N22W15W	N43E46W	A101W	N	30	固結
	98081903-3	宇刈層	N22W15W	N50E66W	A17W	N	50	固結
	98081903-4	宇刈層	N22W15W	N43E72W	A16E	N	80	固結
KK-09	98081904-1	土方層	N65W14W	N57E76S	R62E	N	20	固結
	98081904-2	土方層	N65W14W	N74E74S	244/32	N	10	固結
	98081904-3	土方層	N65W14W	N63E76S	R64E	N	10	固結
	98081904-4	土方層	N65W14W	N81W61N	R41W	N	1	固結
	98081904-5	土方層	N65W14W	EW75N	R46W	N	2	固結
	98081904-6	土方層	N65W14W	N89W77N	R28W	N	1	固結
	98081904-7	土方層	N65W14W	N69W82E	R14E	N	4	固結
KK-10	98081905	宇刈層	N50W14S	N39E81E	R19E	S	15	固結
KK-11	98081906-1	宇刈層	N31W11W	N69W68N	A40W	N	10	固結
	98081906-2	宇刈層	N31W11W	N79E80N	R31W	N	5	固結
	98081906-3	宇刈層	N31W11W	N77E62N	R42W	N	100	固結?
KK-12	98082001-1	小笠山層	N24W17E	N77E73N	R25W	N	15	固結
	98082001-2	小笠山層	N24W17E	N87W54S	A117	N	10	固結

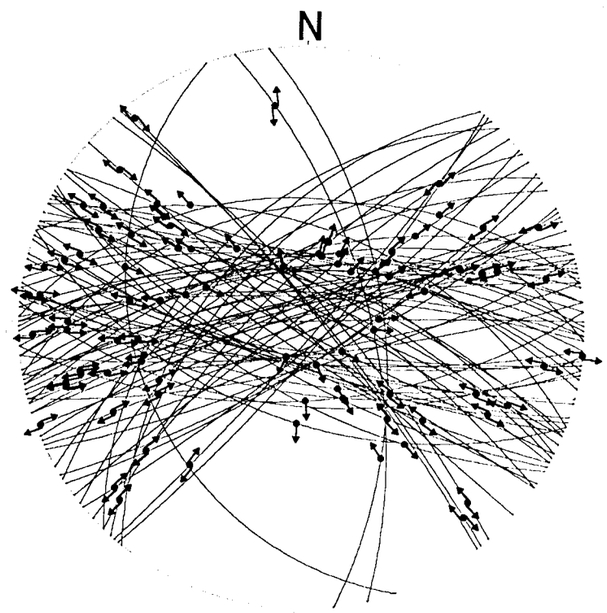
表-3.1.1　掛川地域　断層スリップデータの一覧　(2／3)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
KK-12	98082001-3	小笠山層	N24W17E	N87E93S	P3W	D	0.5	固結
	98082001-4	小笠山層	N24W17E	N78E74N	P22E	D	30	固結
KK-13	98082101-1		N56W11S	N46E79N	P20W	D	20	固結
	98082101-2		N56W11S	N63W77S	R34E	N	40	固結
	98082101-3		N56W11S	N50WV	R9W	D	20	固結
	98082101-4		N56W11S	N57W88S	R47S	S	100	固結（strややあやし）
	98082101-5		N56W11S	N79W60N	P50E	N	15	固結（strややあやし）
	98082101-6		N56W11S	N85E67N	P53E	N	10	固結
	98082101-7		N56W11S	N64W71N	P29W	R	5	固結
KK-14	98082102		N30W14W?	N8W57E	P33S	R	14	固結
KK-15	98082103-1		N23W16W	N71W50N	P29N	N	70	固結
	98082103-2		N23W16W	N65W65N	P26N	N	70	固結
	98082103-3		N23W16W	N72W74S	P18S	N	50	固結
	98082103-4		N23W16W	N61W64S	R36E	N	200	固結
	98082103-5		N23W16W	N84W81S	R8E	S	15	固結
	98082103-6		N23W16W	N76E78N	P18E	D	20	固結
	98082103-7		N23W16W	N66E81N	R5E	R	30	固結
	98082103-8		N23W16W	N89E61N	P60E	N	30	半固結断層角礫(8cm)
	98082103-9		N23W16W	N71E84N	P28E	R	70	固結
	98082103-10		N23W16W	N83E79S	R75E	N	15	固結
	98082103-11		N23W16W	N85W76S	R82E	N	10	固結
	98082103-12		N23W16W	N82W68S	R72E	N	10	固結
	98082103-13		N23W16W	N83W64S	R70E	N	15	固結
KK-16	98082201-1			N58W82S	R11W	S	3	固結，４番を切る
	98082201-2			N73W75S	R8W	S	3	固結
	98082201-3			N70W76S	R11W	S	20	固結，４番を切る
	98082201-4			N64E82S	R80W	N	100	固結
	98082201-5			N87W76S	R11W	S	20	固結
	98082201-6			N86W59S	ROW	S	15	固結
	98082202-1		N5W19W	N79E80S	R13W	D	20	固結
	98082202-2		N5W19W	N49E82S	P8S	D	30	固結

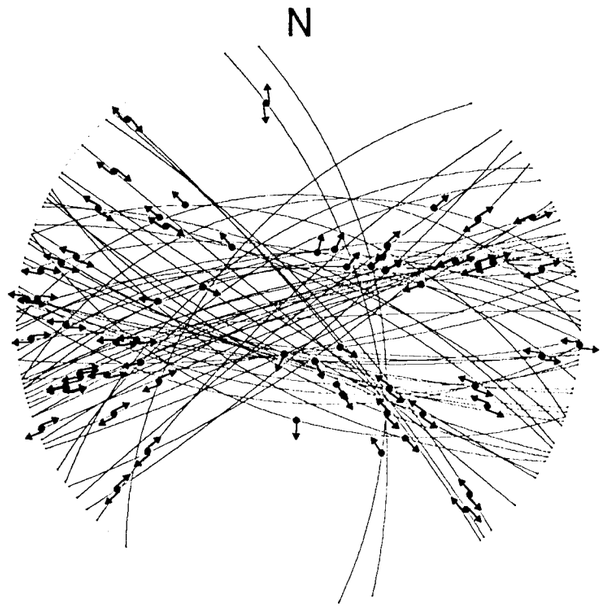
表-3.1.1　掛川地域　断層スリップデータの一覧　(3／3)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　考
KK-16	98082202-3		N5W19W	N65E88S	R18S	D	50	固結
	98082202-4		N5W19W	N76W78S	R24E	N	80	固結
	98082202-5		N5W19W	N15W62E	R15W	N	5	固結
	98082202-6		N5W19W	N71E78N	R20W	N	20	固結
KK-17	98082203		N13E15W	N80E66N	P7E	D	100	固結
KK-18	98082204			N41W81E	R7E	D	200	固結
KK-19	98082205-1			N68E88N	R1W	D	200	固結
	98082205-2			N77W76S	R4W	D	30	固結
	98082205-3			N75E79N	R13W	D	200	固結
KK-20	98082206			N56E55N	AN68W	R	1	固結
KK-21	98082207			N62W72S	AS45E	S	200	固結
KK-22	98082208-1			N43W77E	R9S	S	100	固結
	98082208-2			N55E76S	R18E	D	25	固結
KK-23	98082209		N25W18W	N84W79S	R2W	S	200	固結
KK-24	98082301-1			N73E81N	R9W	S	200	固結，1と2は露頭上部で合流するが，両者とも固結した正断層を切る
	98082301-2			N74E85N	R9W	S	20	
	98082301-3			N79E43N	AN49E	N	600	固結
	98082301-4			N87W67N	R45E	R	20	固結
	98082301-5			N89W40N	P4W	D	300	固結
	98082301-6			N71W54S	AS1W	N	80	固結
	98082301-7			N38E53N	AS68W	D	50	固結
	98082301-8			N83E61N	AS26W	N	150	固結，AN26Eの事か？
	98082301-9			N52E86N	P44E	N	200	固結
	98082301-10			EW66N	P60S	N	20	固結，このデータ使えない，STR記載間違い
	98082301-11			N40W82E	P3N	D	10	固結
	98082301-12			N59E62N	P30W	N	100	固結
KK-25	98082302			N41E60N	P7W	D	1	固結

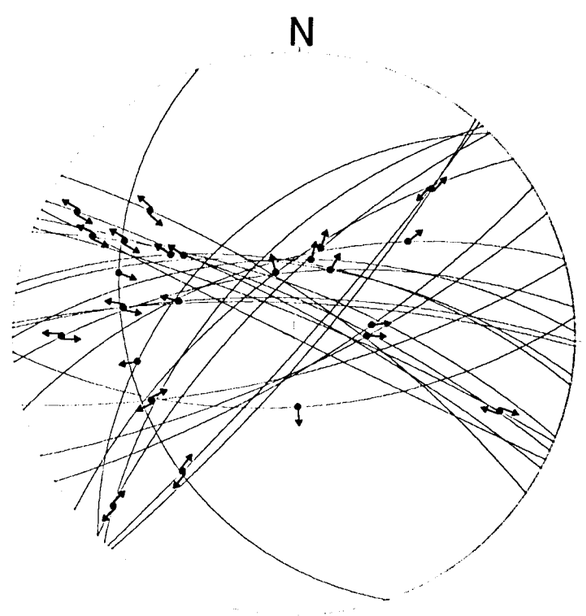
（a）全データ



（b）東　部



（c）西　部



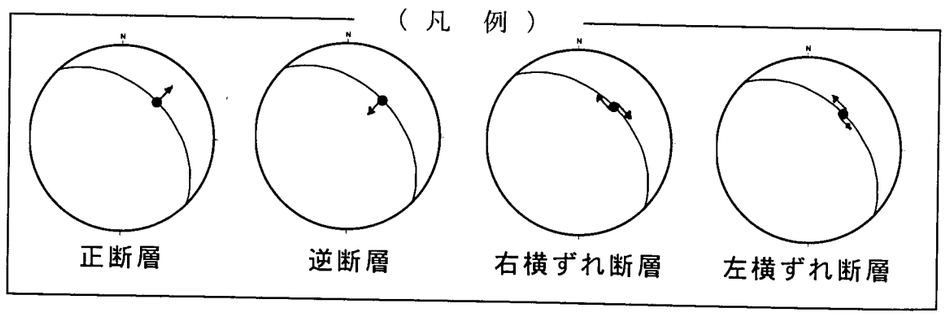


図-3.1.3　掛川地域　断層スリップデータ
下半球投影，● は擦痕の方向
矢印は上盤の変位方向
（ただし，右横ずれ：右回り，左横ずれ：左回り）

（３）応力解析結果

掛川地域でえられた断層スリップデータに多重逆解法を適用した結果は，従来の逆解法の結果（Hirono, 1966）よりも複雑であった（図-3.1.4）。

多重逆解法でわかるのは応力主軸の方向とロード数（Lode number）

$$\mu_L = \frac{2\cdot\sigma 2-\sigma 1-\sigma 3}{\sigma 1-\sigma 3}$$

μ_L：ロード数（Lode number）

$\sigma 1$：最大主応力

$\sigma 2$：中間主応力

$\sigma 3$：最小主応力

である。ロード数は －１ から ＋１ のあいだで変化するパラメータで，－１（$\sigma 2=\sigma 3$）なら軸性圧縮応力（axial compression）を，＋１（$\sigma 2=\sigma 1$）なら軸性伸張応力（axial extension）をあらわす。その中間なら三軸応力である。応力主軸の方向は$\sigma 1$軸と$\sigma 3$軸の方向で示すことができる。図-3.1.4ではロード数が色で区別できるようになっている。また主軸方向を示すために，丸印と棒を組み合わせたシンボルを使っている。ステレオネットがこの図では３対示されているが，左側の列は，ステレオネットのうえの丸印の位置で$\sigma 1$の方向を示し，丸印に添付された棒の長さと方向によって，$\sigma 3$軸の伏角と方位角を示している。同じ主軸方向，同じロード数の解がたくさん得られたなら，多重逆解法はそれが有意な解であるとみなすので，この図で同じ色・同じ棒の長さ・同じ棒の方向のシンボルがクラスターをなすならば，その応力状態が有意な解とみなされる。

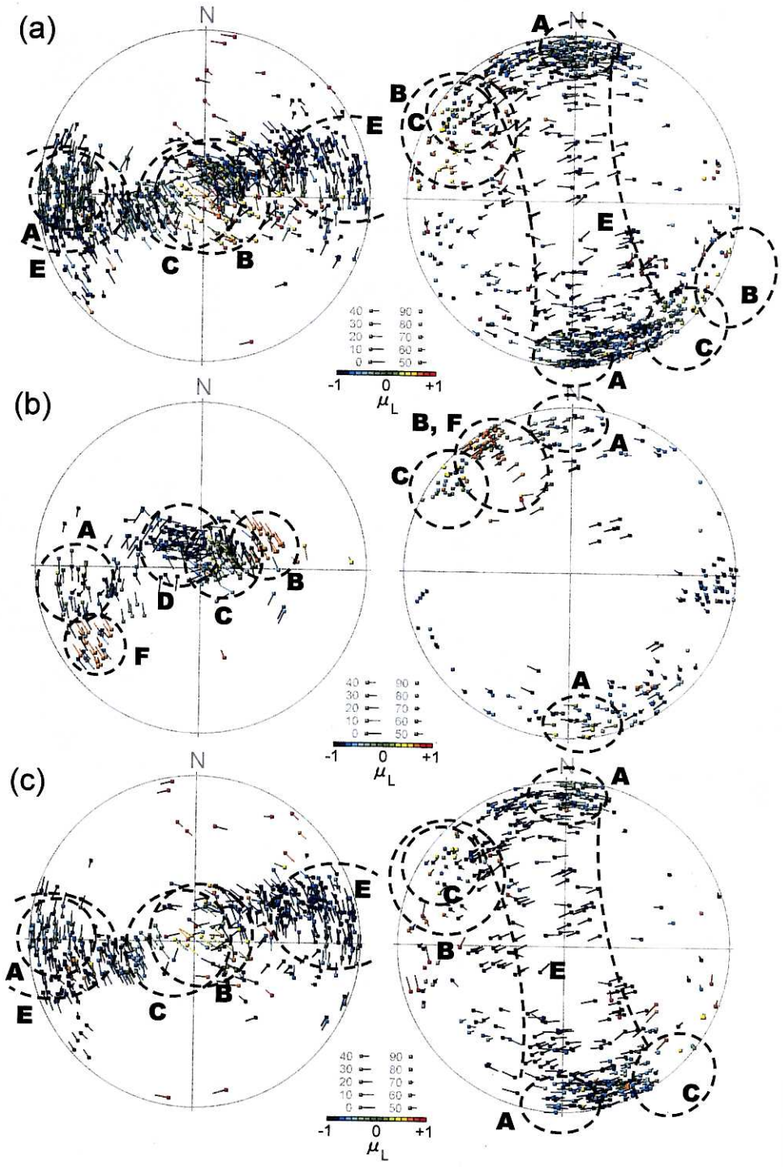
全データに適用した結果を図-3.1.4(a)に示す。クラスターが現れていることが分かるだろう。データを東西地域に分割して，それぞれに多重逆解法を適用した結果を図-3.1.4(b)と図-3.1.4(c)に示す。東部では断層の数が多いのでより多くの情報を含んでいて結果も複雑である。

西部の場合，目立ったクラスターとして４つの応力が認められる。図-3.1.4(c)の左側のステレオネットでは，西向きで伏角20°のところに緑色のシンボルがクラスターをなしている。これは全断層を処理した結果（図-3.1.4(a)）にも顕著なクラスターとして現れている。このクラスターに対応する$\sigma 3$軸の方向は水平で，南北を向いている（図-3.1.4(a)，(b)）。すなわち$\sigma 1$軸が西向きで伏角が20°程度，$\sigma 1$軸が水平で南

北，ロード数が0.0の応力状態である。これを掛川地域における応力Ａと呼ぶことにする。図-3.1.4(b)の左側のステレオネットに戻ると，他に顕著なクラスターとして黄色のクラスターＢがある。この色はロード数が0.6程度の応力状態であることを示している。σ3軸が北西方向を向く。σ1軸はENE方向に伏角70°。また，図-3.1.4(b)左側のプロットでは，中央の緑色シンボルのクラスターＣと，青色シンボルのクラスターＤがある。前者が表す応力Ｃは，σ1軸がほぼ鉛直，σ3軸がSE方向・伏角５°，ロード数0.0である。応力Ｄは，σ1軸がやはりほぼ鉛直で，ロード数がほぼ−1である。すなわち鉛直軸性圧縮応力であって，水平方向には等方的であるために，図-3.1.4(b)の右側のプロットでは，青色シンボルが基円に沿っている。最後に，黄色シンボルのクラスターがあらわす応力Ｆがある。これはロード数が0.6程度，σ1軸がSW方向で伏角15°，σ3軸がNW方向で伏角が10°である。

掛川地域東部で得られた断層スリップデータからは，上述の応力Ａ，Ｂ，Ｃが認められた。しかし西部のデータからは顕著なクラスターとしては得られなかったものがみえている。すなわちENE-SWS方向にσ1軸をもつ軸性圧縮応力Ｅである（図-3.1.4(c)）。そのかわりに西部で見られた鉛直軸性圧縮応力Ｄと三軸応力Ｆがはっきりしない。

東西両地域をあわせた全断層スリップデータを処理した結果（図-3.1.4(a)）では，応力Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｅが顕著なクラスターとして現れた。すなわち東西地域で違いがでた応力Ｄ，Ｅ，Ｆは，データ数の多い東部地域の応力Ｅが，全データの結果でも生き残ったわけである。両地域で共通に見られた応力Ａ，Ｂ，Ｃは，全データの結果でもやはり顕著なクラスターとして現れている。

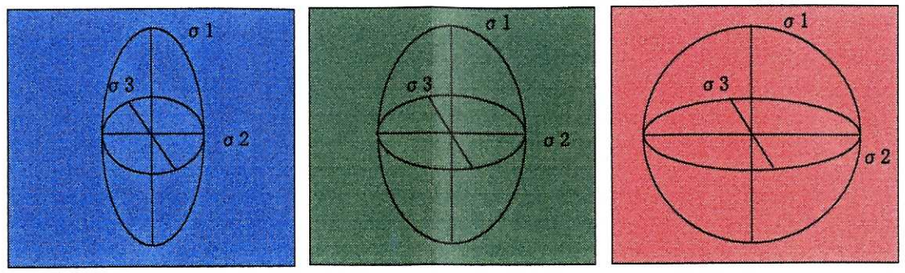


(a)全データ(85条)から得られる解
(b)掛川西部地域(24条)から得られる解
(c)掛川東部地域(61条)から得られる解

σ1軸とσ3軸の方向を丸印と棒で表す。左側の列はσ1軸の方向を下半球等積投影図上の丸印で示している。丸印に添付された棒の方向と長さが，σ3軸の方位角と伏角を表す。またロード数μ_Lを色で区別している。クラスターA～Eは，検出された有意な応力状態をあらわす。

表示方法説明

ロード数（μL）

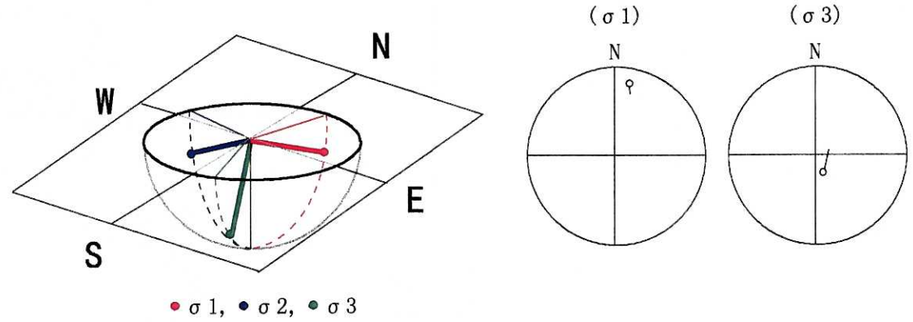


μL＝－1
σ1＞σ2＝σ3
（軸性圧縮）

μL＝0
σ1＞σ2＞σ3

μL＝＋1
σ1＝σ2＞σ3
（軸性伸張）

主応力軸方向　投影例



（応力状態例の説明）

1)最大主応力軸：北北東方向に緩傾斜
2)最小主応力軸：南南西方向に緩傾斜
3)中間主応力軸：西北西方向に緩傾斜

（σ1投影図の説明）

○が最大主応力軸（北北東・緩傾斜）の投影結果である。棒は最小主応力軸の方位（南南東）を示し、長さによって最小主応力軸の傾斜角（短い＝急傾斜）を表す。、

（σ3投影図の説明）

○が最小主応力軸（南南東・急傾斜）の投影結果である。棒は最大主応力軸の方位（北北西）を示し、長さによって最大主応力軸の傾斜角（長い＝緩傾斜）を表す。、

図-3.1.4　掛川地域
多重逆解法を使って検出された応力

３．２ 宮崎層群分布地域

（１）地質概説

宮崎層群の分布地域を調査位置とともに，図-3.2.1に示す。宮崎層群は全体的には東側に傾斜して分布しており、南西側上位の地質構造をなす。

宮崎層群からはN.17からN.22帯に対比される浮遊生有孔虫化石が産出しており，中新統最上部から第四紀最下部に対比される地層である（名取，1979）。本研究で対象にしたのは宮崎層群分布域の南部，宮崎市とその周辺部である。この地域の宮崎層群は，下位から上位に向かって，田野層・綾層・鹿野村層・生目層・瓜生野層・新名爪層・佐土原層・高鍋層からなる。田野層と綾層は浅海成で，その上位は沖合の前弧海盆堆積物である。

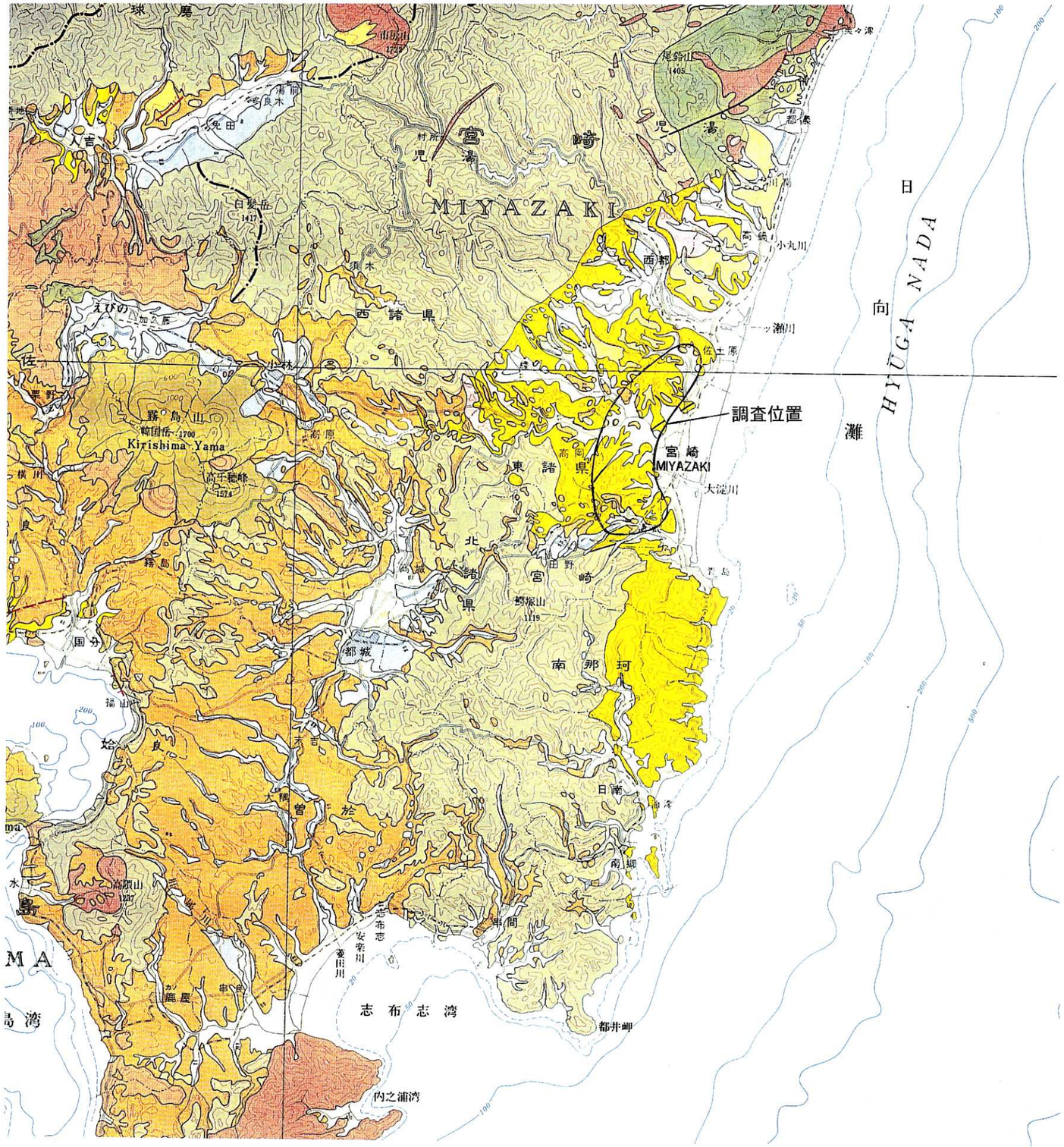
（２）現地調査結果

宮崎層群分布地域の断層スリップデータ採取地点を図-3.2.2に、データの一覧を表-3.2.1に示す。調査地の宮崎層群は砂岩泥岩互層を主体とする。地層の傾斜は概ね10～15°程度以下（局所的に25°）を示す。走向は、南北～北東走向を主体とするもの、やや変化に富んでいる。

本地域では200条近くの小断層データがえらえた。そのうち断層面の走向傾斜のみならず変位のセンスと擦痕から真の変位方向が判定できたものは図-3.2.3(a)に示したもの，182条である。数が十分多いので，田野層・生目層・新名爪～佐土原層という３層準に分けた解析を行った（図-3.2.3(b)～(e)）。観察した小断層はNE-SW走向のものが多いが，スリップ方向はほぼ純粋な傾斜すべりから左右両センスの走向すべり断層とまちまちであり，単一の応力場ですべてが動いたわけではないことが分かる。多くは正断層ないし斜めすべり正断層である。

田野層では例外的に逆断層24条が１露頭で観察された。そこでそれらを独立なグループとして解析した。図3.2.3(c)にその断層スリップデータを示す。それら24条は，方解石からなるslickenfiber lineationを伴う点でこの地域としては特異であり，それゆえそれらの活動期間は特定期間に限定される可能性がある。また断層面の走向傾斜とファイバーから推定される変位方向から，高角の１条をのぞいて，それらは共役断層であることが分かる。ただしこれらを逆断層とした根拠はslickenfiber lineati

onの非対称性であって，変位のマーカーから推定した場合より，センスの信頼性は劣るといわざるを得ない。これらの理由から，24条を独立なグループとして解析することにした。



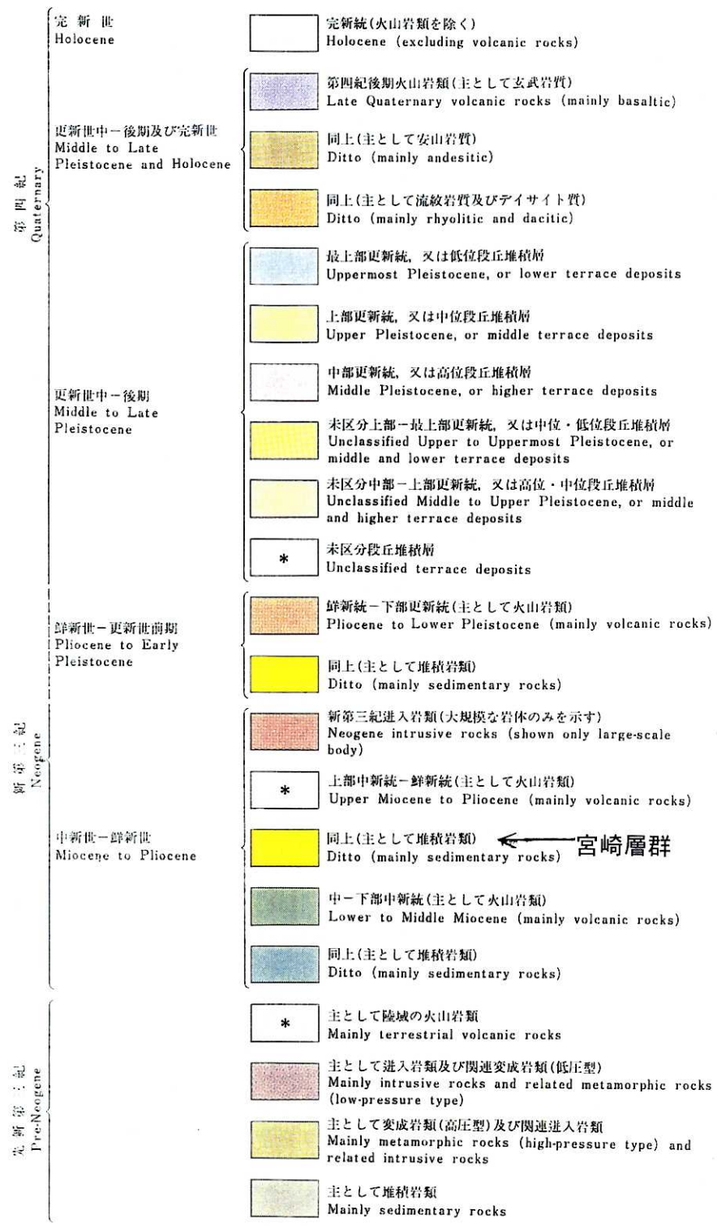


図-3.2.1　宮崎層群分布域及び調査位置
（「50万分の1活構造図（鹿児島）」をもとに作成）

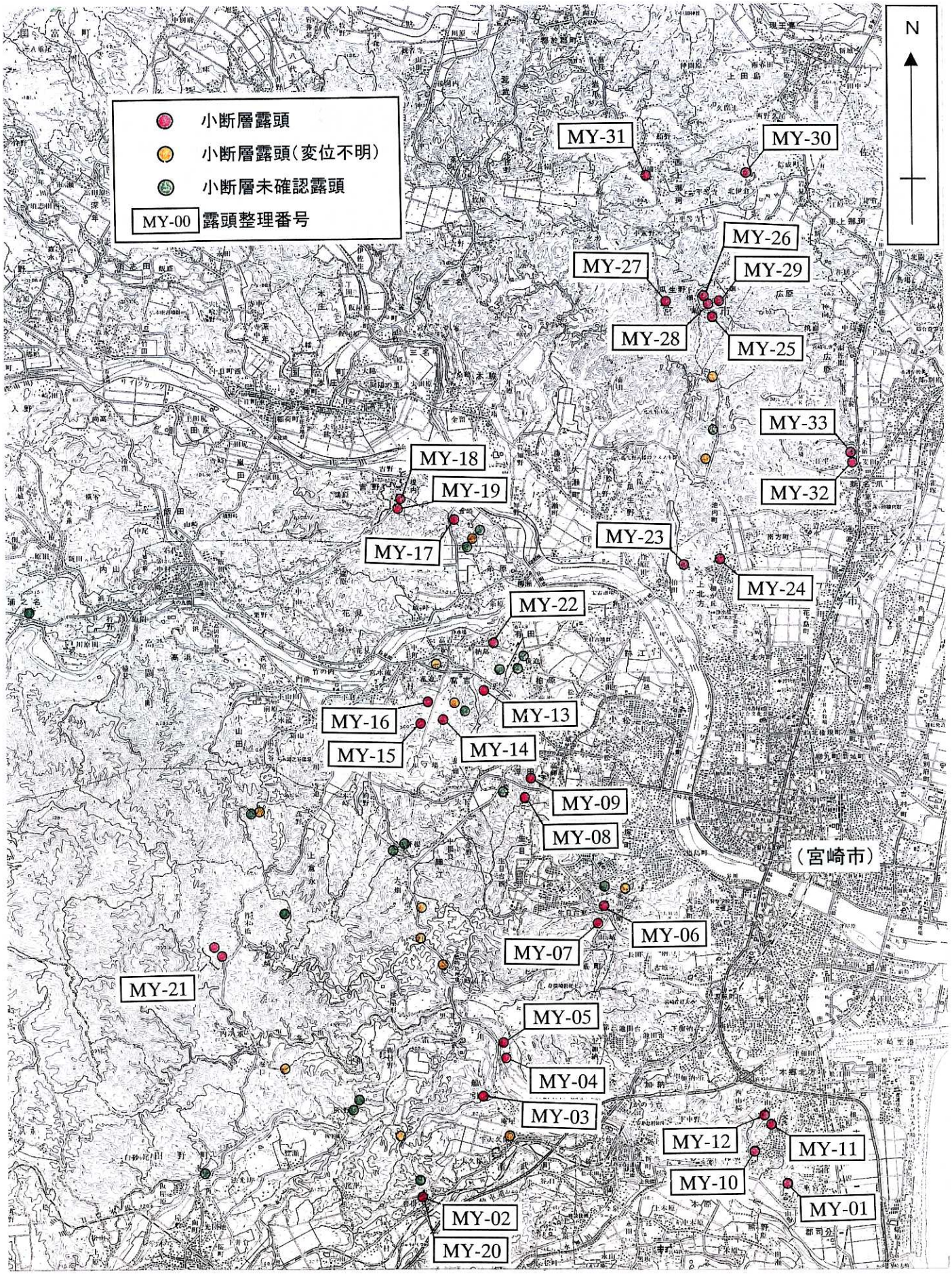


図-3.2.2　宮崎地域　露頭位置図（縮尺：1/100,000）

表-3.2.1　宮崎地域　断層スリップデータの一覧　(1／6)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　考
MY-01	98120101-1	生目層上部	N5W18E	N65E69N	P10E	S		固結，無ガウジ，露頭面N20W51E//断層//25cm
	98120101-2	生目層上部	N2W16E	N54E82N	P21E	D		固結，fbrec1cm，露頭面N36W43E//断層//25cm
MY-02	98120102-1	田野層	N53E15N	N30E83E	P42S	R		固結，無ガウジ，2以下のﾍﾟｲﾝﾌｧｲﾊﾞｰ断層を切る
MY-03	98120103-1	生目層	N30E21E	N80W83N	R84W	N	70	固結，赤錆
	98120103-2	生目層	N30E21E	N83E78N	R23W	N		固結，露頭面N3W48E//断層//5cm
	98120103-3	生目層	N30E21E	N5E85W	P32N	N	20	固結，剪断帯1cm，grooved
	98120103-4	生目層	N30E21E	N11E49W	R53N	N	17	固結，flat面雨だれ
	98120103-5	生目層	N30E21E	N33E65W	R35N	S	30	固結
	98120103-6	生目層	N30E21E	N30E8E	P24N	N	15	固結
	98120103-7	生目層	N30E21E	N74E70S	P36E	N	200	固結，ガウジ2mm，髪
	98120103-8	生目層	N30E21E	N55E38N	AN34W	N	3	固結，赤錆
	98120103-9	生目層	N30E21E	N16E46W	P39W	N	9	固結，未固結ガウジ2mm
	98120103-10	生目層	N30E21E	N18E50E	R66W	N		固結，露頭面N27W40W//断層//45cm
	98120103-11	生目層	N30E21E	N31E56W	AN40W	N		固結，露頭面N27W40W//断層面//105cm
	98120103-12	生目層	N30E21E	N7E53W	P23N	N		固結，露頭面N27W40W//断層面//23cm
	98120103-13	生目層	N30E21E	N32E66W	AN24W	N		固結，fbrec4cm，露頭面N27W40W//断層面//95cm
	98120103-14	生目層	N30E21E	N50E78N	P31N	R		固結，露頭面N27W40W//断層面//38cm
	98120103-14	生目層	N30E21E	N50E78N	P31N	R		固結，露頭面N27W40W//断層面//38cm
MY-04	98120201a-1	生目層中部	N22W34E	N70W47N	P32N	N		固結
	98120201a-2	生目層中部	N22W34E	N78E84S	R76E	N	90	固結，1に切られる
	98120201a-3	生目層中部	N22W34E	N45E58N	R88E	N	11	固結
	98120201a-4	生目層中部	N22W34E	N75E51N	AN38E	N	11	固結
	98120201a-5	生目層中部	N22W34E	N80W82S	R62W	N	30	固結
	98120201a-6	生目層中部	N22W34E	N86W60S	R72W	N	50	固結，無ガウジ
	98120201a-7	生目層中部	N22W34E	N43E53S	R60S	N		
	98120201a-8	生目層中部	N22W34E	N83W45N	AN60W	R		
	98120201a-9	生目層中部	N22W34E	N70W80N	R60W	N	1000	fbrec 40cm厚
	98120201a-10	生目層中部	N22W34E	N82W78N	R60W	R	50	
	98120201a-11	生目層中部	N22W34E	N70E68S	P28S	N	20	
	98120201b-1	生目層中部	N22W34E	N60E80N	R65W	N	80	固結
	98120201b-2	生目層中部	N22W34E	N62E85N	R53W	N	150	固結

表-3.2.1　宮崎地域　断層スリップデータの一覧　(2／6)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
MY-04	98120201b-3	生目層中部	N22W34E	N45E82N	R55S	N	100	固結
MY-05	98120202-1	生目層中部	N22W34E	N63E88S	R35N	D	35	
	98120202-2	生目層中部	N22W34E	N16E86E	R85N	N	500	変位量？
	98120202-3	生目層中部	N22W34E	N37E51W	P25N	D	25	固結
	98120202-4	生目層中部	N22W34E	N67E76N	P26E	N	200	ガウジ1cm
	98120202-5	生目層中部	N22W34E	N81E86S	P34E	R	200	ガウジ1cm
	98120202-6	生目層中部	N22W34E	N80W88S	P24E	N	200	ガウジ1cm
MY-06	98120203-1	生目層中部	N53E14S	N82W84N	R45W	N	10	フィルム状ガウジ
	98120203-2	生目層中部	N53E14S	N75E86N	R42E	S	10	フィルム状ガウジ
	98120203-3	生目層中部	N53E14S	N73E82N	R52W	N	20	フィルム状ガウジ
	98120203-4	生目層中部	N13E19E	N65E77W	R32E	S		ガウジ５～10mm
	98120203-5	生目層中部	N53E14S	N88E75N	P4W	S	20	固結
	98120203-6	生目層中部	N53E14S	N80E77N	R0E	D		フィルム状ガウジ
	98120203-7	生目層中部	N13E19E	N42E62W	R40S	R	3	フィルム状ガウジ
MY-07	98120204-1	生目層中部	N53E40S	N77E30N	AN27W	N	40	固結
	98120204-2	生目層中部	N53E40S	N52W78N	R36S	D		固結
	98120204-3	生目層中部	N53E40S	N80E68N	R62E	N	7	固結
MY-08	98120205-1	生目層中部	N31E16S	N39W76S	R72W	R		
	98120205-2	生目層中部	N31E16S	N27W89E	R68W	N	70	固結
MY-09	98120206-1	生目層中部	N68E18S	N38E75S	R74S	S		固結
	98120206-2	生目層中部	N68E18S	N75E72N	R45N	D		fbrec10cm
	98120206-3	生目層中部	N68E18S	N72E75N	R55E	N		fbrec10cm
	98120206-4	生目層中部	N68E18S	N33E43W	AN35N	N	110	ガウジ1cm
MY-10	98120301-1	生目層	N81W12N	N44E67W	P55W	N	9	固結
	98120301-2	生目層	N81W12N	N23E70N	R20E	S		filmgauge
	98120301-3	生目層	N81W12N	N68E77N	R64E	R		fbrec3cm
	98120301-4	生目層	N81W12N	N85E58N	P21E	N	50	固結
MY-11	98120302-1	生目層	N6E15E	N46E60E	R34E	N	10	固結
	98120302-2	生目層	N6E15E	N25E75W	R60S	N	5	filmgauge
MY-12	98120303-1	生目層	N60E13S	N57W34N	AN45W	N	37	固結
	98120303-2	生目層	N60E13S	N62E88N	R60E	N		固結，filmgauge

表-3.2.1　宮崎地域　断層スリップデータの一覧　(3／6)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
MY-12	98120303-3	生目層	N60E13S	N60W80S	R60W	N	2	固結
	98120303-4	生目層	N60E13S	N35E70W	R55N	N	20	filmgauge
MY-13	98120304-1	生目層中部	N46W12N	N65E85S	R3E	D	100	固結
	98120304-2	生目層中部	N46W12N	N21E80N	R71S	N	28	固結
	98120304-3	生目層中部	N46W12N	N50E55N	P58W	N	11	固結
	98120304-4	生目層中部	N46W12N	N63E43S	AN14W	N	7	固結
MY-14	98120305-1	生目層中部	N47W15N	N59E88N	AN30W	R	15	固結
	98120305-2	生目層中部	N47W15N	N64E79N	R30N	S		固結, filmgauge
	98120305-3	生目層中部	N47W15N	N41E63N	R11N	U		固結
	98120305-4	生目層中部	N47W15N	N39E80N	R60W	D		固結
	98120305-5	生目層中部	N47W15N	N40E63N	AN67W	N	6	固結
	98120305-6	生目層中部	N47W15N	N63E72N	R53W	N	5	固結
MY-15	98120306-1	生目層中部	N70E15N	N46W79S	R20E	D	3	固結, filmgauge
MY-16	98120307-1	生目層中部	N70W10N	N30E74E	R80N	N		固結
MY-17	98120308-1	生目層上部	N77W8N	N35E81S	R81E	N	10	固結
	98120308-2	生目層上部	N77W8N	N36E59E	P61S	R	150	固結
	98120308-3	生目層上部	N77W8N	N35E60N	R72N	N	20	固結, filmgauge
	98120308-4	生目層上部	N77W8N	N65E78S	R58E	N		固結
	98120308-5	生目層上部	N77W8N	N7W78W	R72W	N	130	gauge3cm
MY-18	98120309-1	生目層中部	N43W9E	N75W85N	R10E	S		固結
MY-19	98120310-1	生目層中部	N67W8N	N18N66E	P52S	N	20	固結
	98120310-2	生目層中部	N67W8N	N5E62E	R35S	N	45	固結
MY-20	98120401-1	田野層	N25W55W	N10E70E	P30N	N	4	固結
	98120401-2	田野層	N30W60W	N73E72N	R32W	S	5	固結, gauge5cm
	98120401-3	田野層	N30W60W	N15E89W	R31N	D	15	
	98120401-4	田野層	N66W16N	N45E73N	P62S	N	6	固結
	98120401-5	田野層	N66W16N	N56E72S	P19W	D	40	
	98120401-6	田野層	N66W16N	N45E70S	R40E	D	15	固結, filmgauge
	98120401-7	田野層	N21W9E	N71E67S	P10W	N	12	固結
	98120401-8	田野層	N21W9E	N50E55S	R32E	N	40	
	98120401-9	田野層	N21W9E	N25E87E	P22N	R	10	固結

表-3.2.1　宮崎地域　断層スリップデータの一覧　(4／6)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
MY-20	98120401-10	田野層	N21W9E	N79E63S	R1W	S	30	固結
	98120401-11	田野層	N48E16W	N85E82S	R62W	N	3	固結, filmgauge
	98120401-12	田野層	N48E16W	N78E76S	R65W	N	11	固結, filmgauge
	98120401-13	田野層	N48E16W	N42E70S	R15N	N	40	固結
	98120401-14	田野層	N30W60W	N13E70E	R28E	D	20	固結, gauge2mm
	98120401-15	田野層	N30W60W	N56E69S	R30E	D	27	固結, gauge5mm
	98120401-16	田野層		N36E50W	R35E	D	2	固結, filmgauge
	98120401-17	田野層	N57E15N	N6E70W	P52N	N	105	
	98120401-18	田野層	N57E15N	N50E56N	AN15W	N	70	
	98120401-19	田野層		N11E80N	R27E	D	10	固結, filmgauge
	98120401-20	田野層	N48E16W	N16E59W	R65N	N	15	固結, gauge5mm
	98120401-21	田野層	N57E10N	N35E60E	R62S	N	25	固結, filmgauge
	98120401-22	田野層	N57E10N	N48E78N	R52N	N	55	固結, filmgauge, 変位不正確
MY-21	98120402-1	田野層	N16E7W	N20E64E	P64S	R	30	固結
	98120402-2	田野層	N16E7W	N13E64E	R75S	N	60	固結, gauge3mm
MY-22	98120501-1	生目層上部	N79W11N	N26E77E	P12N	D		固結
	98120501-2	生目層上部	N79W11N	N14E63W	R42N	R		固結
MY-23	98120502-1	瓜生野層	N21E12W	N55E61S	AN49W	N	400	
	98120502-2	瓜生野層	N21E12W	N55E61S	N56E40	R		98120502-1 に切られる
	98120502-3	瓜生野層	N21E12W	N28E68E	R82N	N	12	
MY-24	98120503-1	瓜生野層	N86W19N	N3W86E	P54W	R	6	固結
	98120503-2	瓜生野層	N86W19N	N7E75W	R52N	R	10	固結
MY-25	98120504-1	新名爪層	N10W11E	N22E43W	AN69W	N	17	固結
	98120504-2	新名爪層	N10W11E	N16E77W	R57N	N	5	固結
	98120504-3	新名爪層	N10W11E	N10W83W	R60N	N	4	固結
	98120504-4	新名爪層	N10W11E	N9W	51W	N	15	固結
MY-26	98120505-1	新名爪層	N26W25E	N54E78N	R20N	D		gauge2mm
MY-27	98120506-1	新名爪層	N24W11E	N10E72E	P20S	S		固結
	98120506-2	新名爪層	N24W11E	N63E65N	R5N	S		固結, fbrec+gauge5mm
	98120506-3	新名爪層	N24W11E	N20E55W	R15E	S		固結, sheared zone15cm
MY-28	98120507-1	新名爪層	N55W6N	N23E76W	P36S	N	40	固結

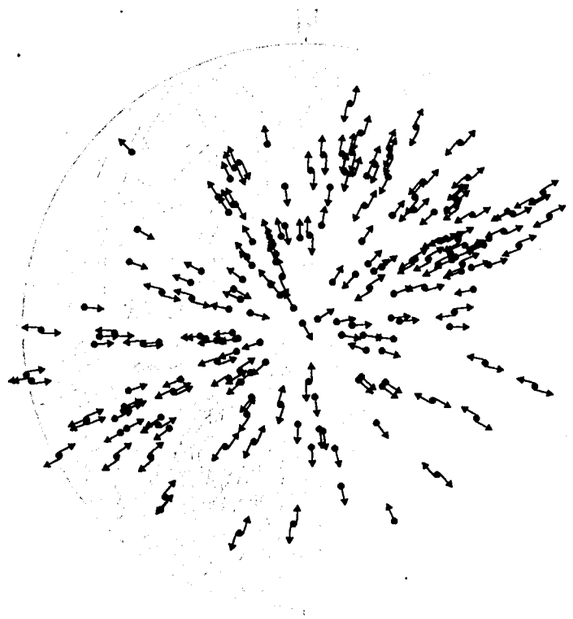
表-3.2.1　宮崎地域　断層スリップデータの一覧　(5／6)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
MY-28	98120507-2	新名爪層	N55W6N	N39E85S	P9N	S		固結
	98120507-3	新名爪層	N55W6N	N33E76E	R24E	S		固結, filmgauge
MY-29	98120508-1	新名爪層	N10W9E	N55E41N	R15W	S		固結,gauge3mm
	98120508-2	新名爪層	N10W9E	N22E87E	R58S	N	25	固結
	98120508-3	新名爪層	N10W9E	N18E88S	R15S	S		固結
MY-30	98120509a-1	佐土原層	N47W27E	N23E72E	R60N	N	18	固結
	98120509a-2	佐土原層	N47W27E	N11E46W	AN62W	N	25	固結
	98120509a-3	佐土原層	N47W27E	N12E72E	R53S	N	10	固結
	98120509a-4	佐土原層	N47W27E	N78W88N	R35W	N	30	固結
	98120509b-1	佐土原層	N7W22E	N82E62S	P62S	N	45	固結
	98120509b-2	佐土原層	N7W22E	N58E80E	R25N	S		固結
	98120509b-3	佐土原層	N7W22E	N63E77S	P32E?	N	20	固結
	98120509b-4	佐土原層	N7W22E	N58E65S	R70E	N	35	固結, filmgauge
	98120509b-5	佐土原層	N7W22E	N74E56S	P28W	N	47	固結
MY-31	98120510-1	新名爪層	N20W5E	N41W65N	R65S	R	17	固結
	98120510-2	新名爪層	N20W5E	N70W71S	P21E	N	19	固結
	98120510-3	新名爪層	N20W5E	N46E53N	R15W	D		固結
MY-32	98120601a-1	佐土原層最下部	N70W9N	N51E62S	P41E	U		みかの正断層，３通りの擦痕の第１に目立つもの
	98120601a-2	佐土原層最下部	N70W9N	N51E62S	P2E	U		みかの正断層，３通りの擦痕の第２に目立つもの
	98120601a-3	佐土原層最下部	N70W9N	N51E62S	R75E	U		みかの正断層，３通りの擦痕の第３に目立つもの
	98120601a-4	佐土原層最下部	N70W9N	N66E82N	P14E	R	26	固結
	98120601a-5	佐土原層最下部	N70W9N	N62E82N	P1W	D	20	固結
	98120601a-6	佐土原層最下部	N70W9N	N68E86S	P12E	D	20	固結
	98120601bc-1	佐土原層最下部		N45E68S	R15W	D		gauge5mm
	98120601bc-2	佐土原層最下部		N59E56S	P2E	D		固結
	98120601d-1	佐土原層最下部		N18E85E	R70E	N	11	固結
	98120601d-2	佐土原層最下部		N38E74W	R86N	N	40	固結
	98120601d-3	佐土原層最下部		N70E75N	R32Ww	N	7	
	98120601e-1	佐土原層最下部		N34E67N	AN25E	N	20	固結
	98120601e-2	佐土原層最下部		N36E61S	AN50E	N	12	固結
	98120601e-3	佐土原層最下部		N54E59S	P52W	N	120	固結

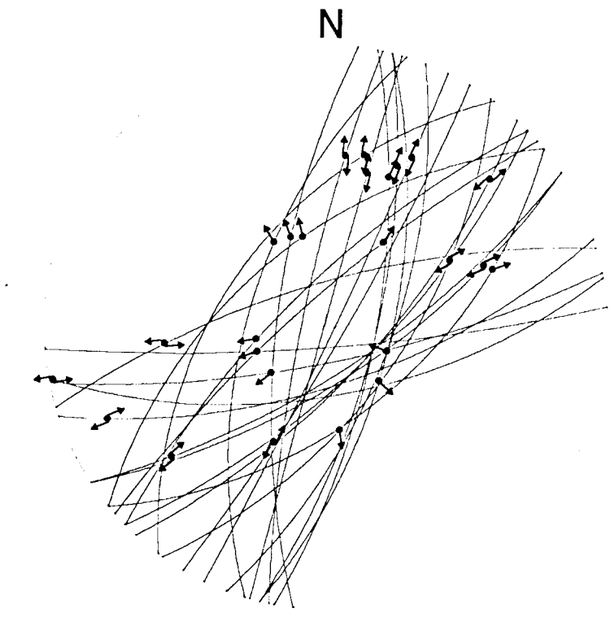
表-3.2.1　宮崎地域　断層スリップデータの一覧　(6／6)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　考
MY-33	98120602a-1	佐土原層最下部	N60W11N	N60E85N	P35S	N	1.5	固結
	98120602a-2	佐土原層最下部	N60W11N	N62E73S	P53E	N	18	固結
	98120602a-3	佐土原層最下部	N60W11N	N45E73S	P53E	N	7	固結
	98120602a-4	佐土原層最下部	N60W11N	N34E52E	P52S	N	110	固結
	98120602a-5	佐土原層最下部	N60W11N	N60E60W	P35S	N	15	固結
	98120602b-1	佐土原層最下部	N60W11N	N55E64W	R32E	D		固結
	98120602b-2	佐土原層最下部	N60W11N	N1E65W	AN34E	D		固結
	98120602b-3	佐土原層最下部	N60W11N	N13W68W	R40N	D		固結
	98120602b-4	佐土原層最下部	N60W11N	N12W70W	R28N	D		固結
	98120602b-5	佐土原層最下部	N60W11N	N10E42W	P27N	D		固結
	98120602b-6	佐土原層最下部	N60W11N	N47E52N	P16W	N		固結
	98120602c-1	佐土原層最下部	N23E12E	N33E78W	R75S	N	17	固結
	98120602c-2	佐土原層最下部	N23E12E	N49E76N	P26W	N	20	
	98120602c-3	佐土原層最下部	N72W12N	N51E76S	AN56E	S		固結
	98120602c-4	佐土原層最下部	N72W12N	N16E78E	R40N	N	3	固結

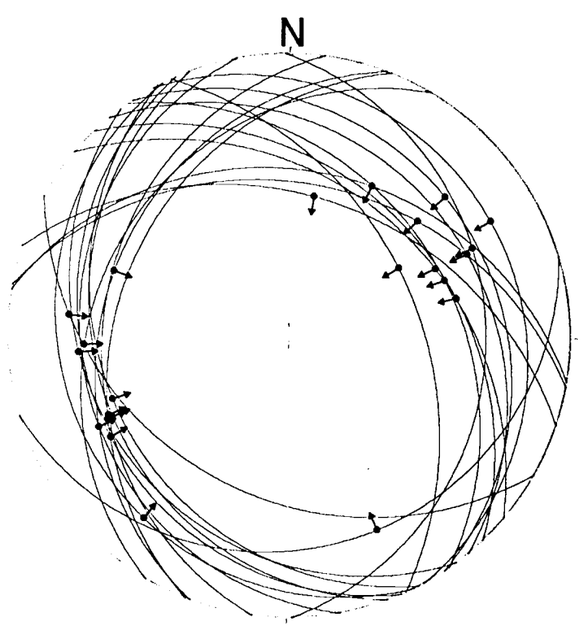
（a）全データ



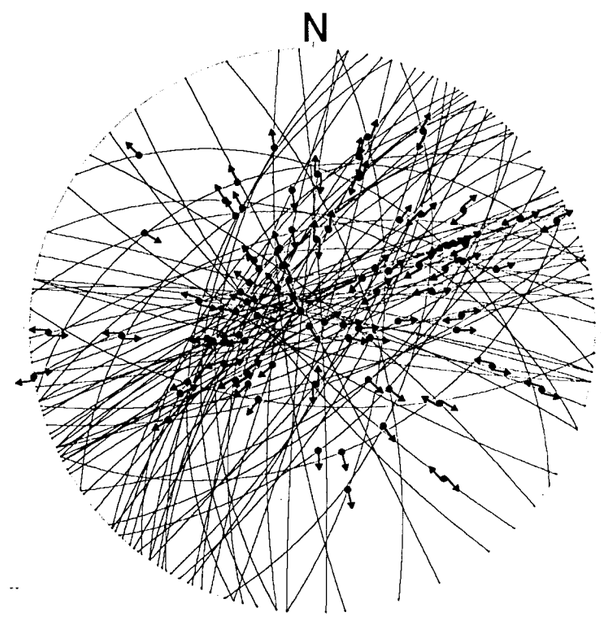
（b）田野層（slickenfiber無）



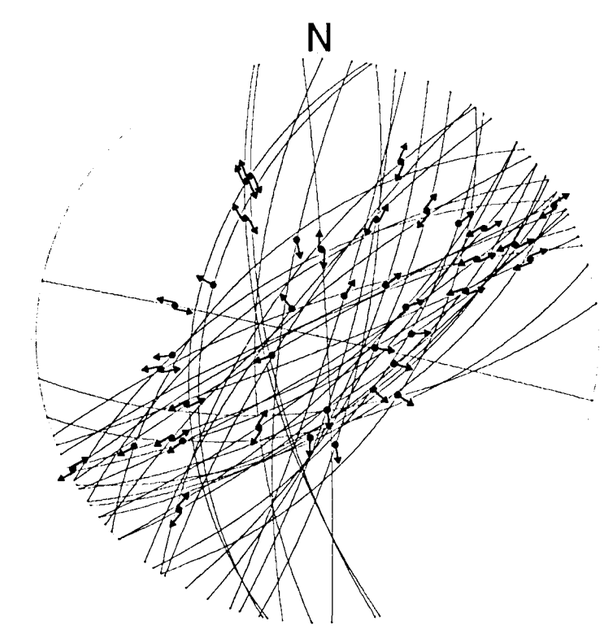
（c）田野層（slickenfiber有）



（d）生目層



（e）新名爪・佐土原層



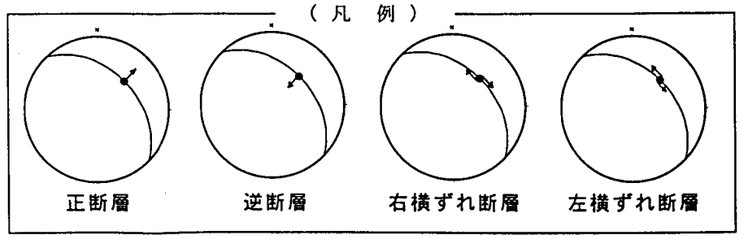


図-3.2.3　宮崎地域　断層スリップデータ

下半球投影，● は擦痕の方向

矢印は上盤の変位方向

（ただし，右横ずれ：右回り，左横ずれ：左回り）

（３）応力解析結果

全断層について多重逆解法を適用した場合、全データでは断層数が多いために計算量が膨大になりクラスターが不明瞭となる。そこで層準によって分けたデータについて多重逆解法を適用した。その結果を図-3.2.4に示す。

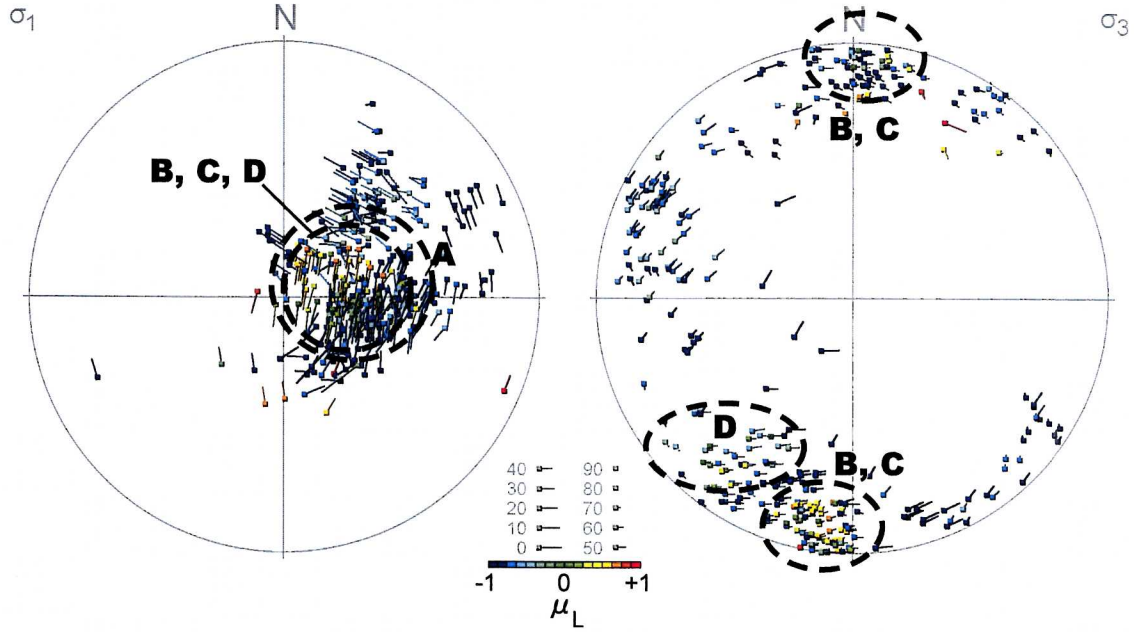
最下位層準の田野層の小断層で，slickenfiberを伴わないものからは，４つの有意な応力状態が認定された。図-3.2.4(a)左側の青色シンボルのクラスターが表す鉛直軸性圧縮応力Ａ，緑色シンボルのクラスターの応力ＢとＤ，黄色シンボルのクラスターの応力Ｃである。応力Ａのσ1軸は立っていて，東に向かって70°ほどプランジしている。軸性応力だから水平方向にはほぼ等方的である。応力Ｂはロード数がゼロの三軸応力で，鉛直圧縮，南北伸張という応力場である。応力Ｃはロード数が0.5程度の三軸応力で，やはり鉛直圧縮，南北伸張である。応力Ｄはロード数が0.0，σ1軸がほぼ鉛直，σ3軸がSSW方向で伏角が15°というものである。

田野層のslickenfiberを伴う逆断層では，４つの応力Ｇ～Ｊが識別された（図-3.2.4(b)）。応力Ｇはσ1軸がENE-WSWで水平，σ3軸が鉛直，ロード数0.0の三軸応力である。図-3.2.3(c)に示した断層面の走向傾斜のみから共役断層法で推定した応力主軸は，応力Ｇのそれと平行である。応力ＨとＩは，応力Ｇと主軸が平行である。応力Ｈは軸性圧縮（ロード数＝－1.0），応力Ｉは軸性伸張（ロード数＝1.0）である。応力Ｊはロード数が約0.5の三軸応力で，σ1軸が水平でNE-SW，σ3軸が鉛直である。

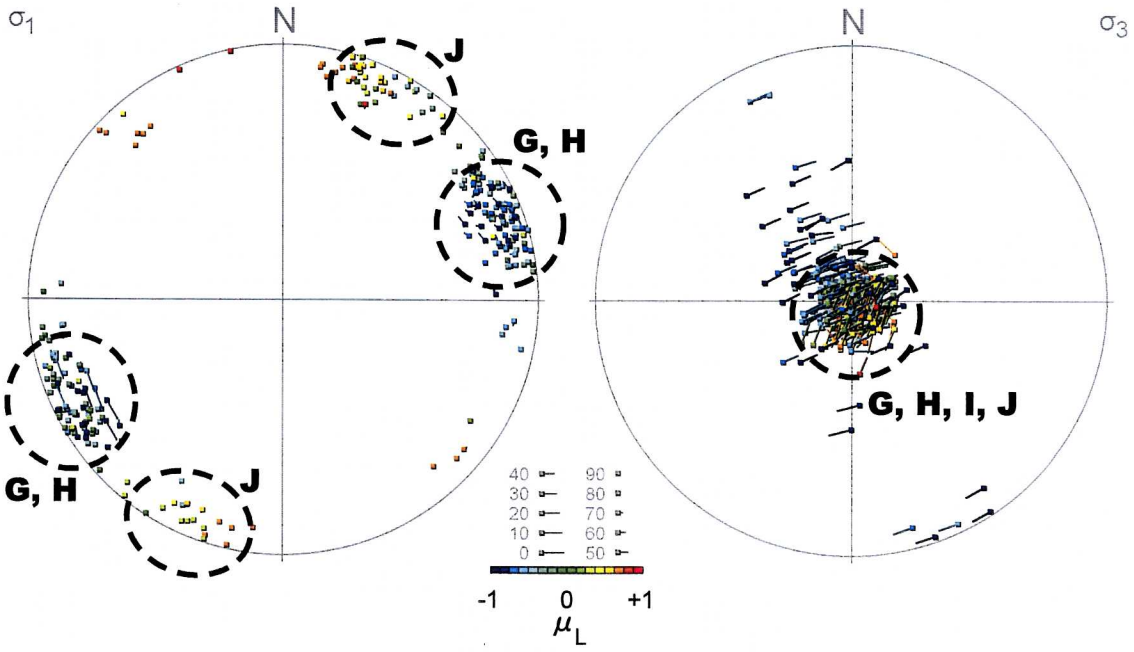
田野層の上位に位置する生目層では，鉛直軸性圧縮である応力Ａがもっとも目立った応力としてあらわれている（図-3.2.4(c)）。さらに上位の層準で認められる応力ＥとＦも認められる。

調査範囲では最上位にあたる新名爪層・佐土原層のデータからは，３つの有意な応力が認められた。応力Ａ（鉛直軸性圧縮応力）および応力Ｅ，Ｆである。応力Ｅは図-3.2.4(c)右側の緑色シンボルのクラスターが代表する，ロード数ゼロの三軸応力である。主軸はσ1軸が鉛直，σ3軸が水平で東西である。応力Ｆは同図の赤色シンボルのクラスターが表す，ロード数1.0の軸性伸張応力である。σ3軸は水平でENE-WSW方向である。

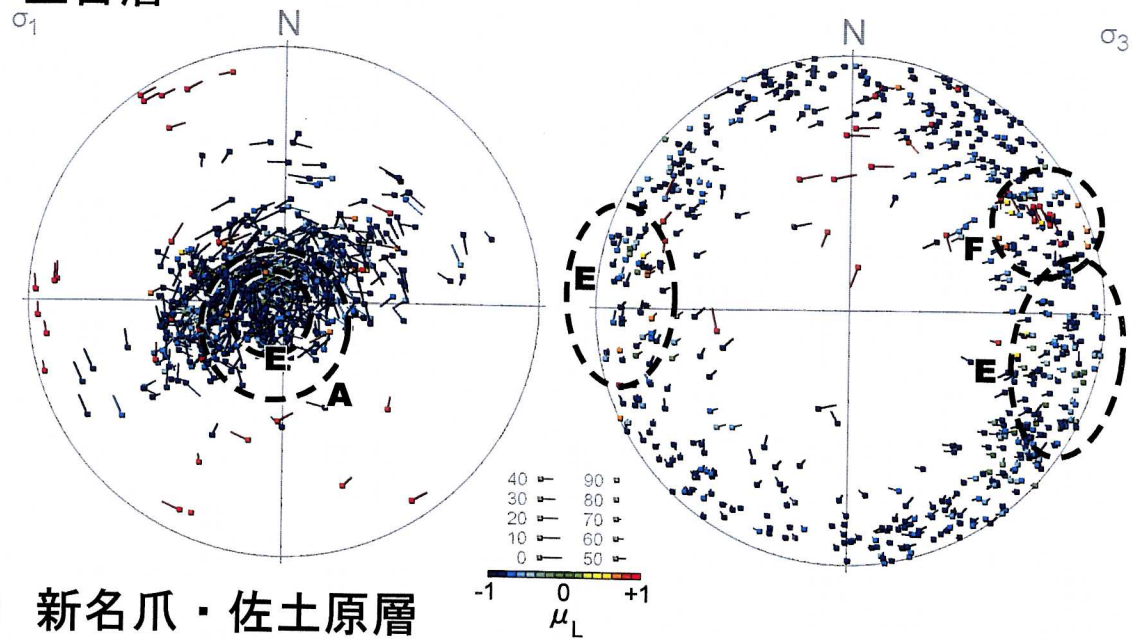
(a)　田野層（slickenfiberを伴わない断層のみ）



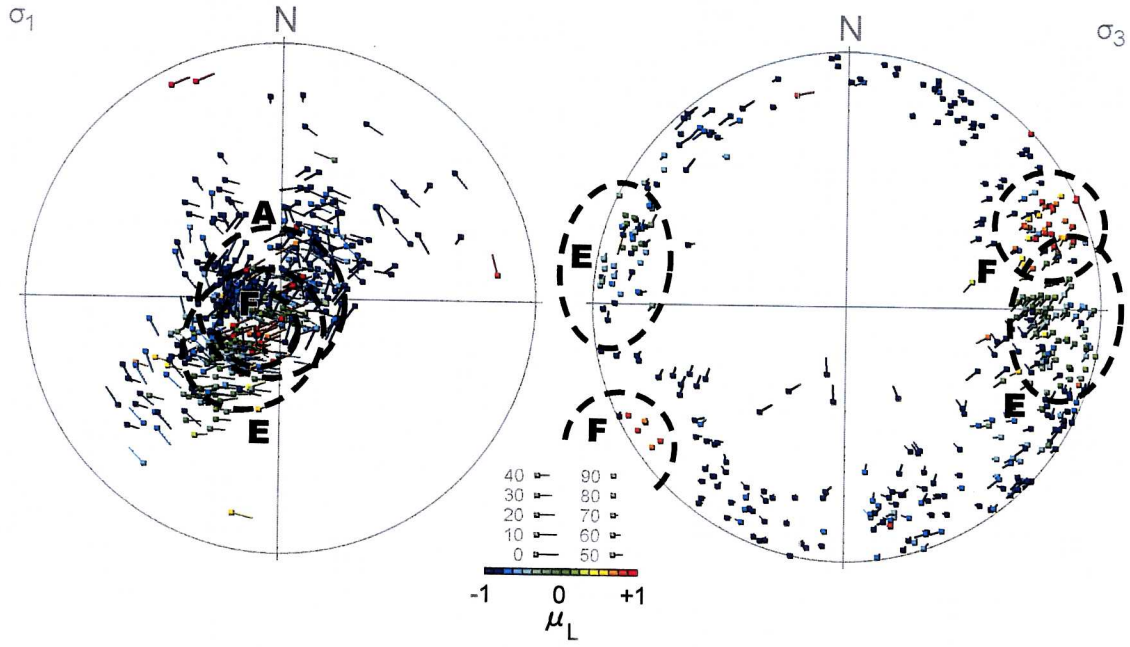
(b) 田野層（slickenfiberを伴う断層のみ）



(c) 生目層



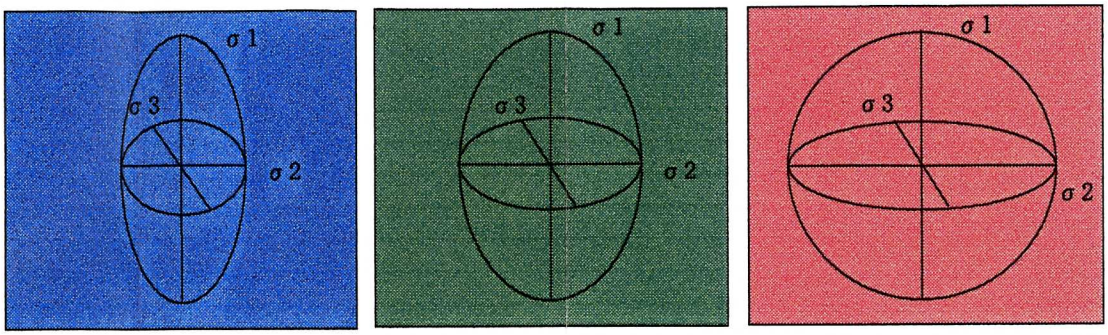
(d) 新名爪・佐土原層



(a) 田野層の断層データを処理した結果(k=6)
(b) 田野層のslickenfiber lineationを伴う断層のみを処理した結果(k=7)
(c) 生目層のデータを処理した結果(k=6)
(d) 新名爪層と佐土原層のデータを処理した結果(k=6)。

表 示 方 法 説 明

ロード数（μL）

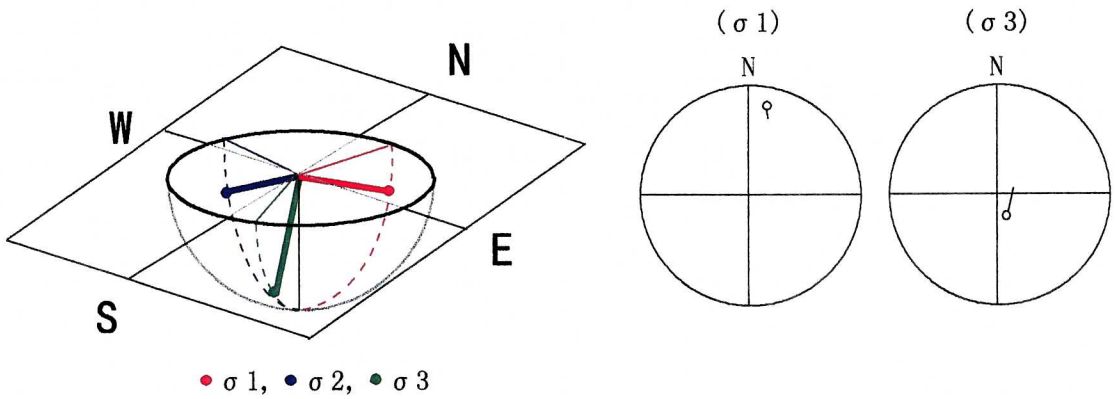


μL＝－1
σ1＞σ2＝σ3
（軸性圧縮）

μL＝0
σ1＞σ2＞σ3

μL＝＋1
σ1＝σ2＞σ3
（軸性伸張）

主応力軸方向　投影例



● σ1, ● σ2, ● σ3

（応力状態例の説明）

1）最大主応力軸：北北東方向に緩傾斜
2）最小主応力軸：南南西方向に緩傾斜
3）中間主応力軸：西北西方向に緩傾斜

（σ 1 投影図の説明）

○ が最大主応力軸（北北東・緩傾斜）の投影結果である。棒は最小主応力軸の方位（南南東）を示し、長さによって最小主応力軸の傾斜角（短い＝急傾斜）を表す。、

（σ 3投影図の説明）

○ が最小主応力軸（南南東・急傾斜）の投影結果である。棒は最大主応力軸の方位（北北西）を示し、長さによって最大主応力軸の傾斜角（長い＝緩傾斜）を表す。、

図-3.2.4　宮崎地域
多重逆解法を使って検出された応力

３．３　瀬戸層群分布地域

（１）地質概説

瀬戸層群の分布地域を調査位置とともに，図-3.3.1に示す。瀬戸層群は層相変化に富むものの概ね水平をなす地質構造を示している。

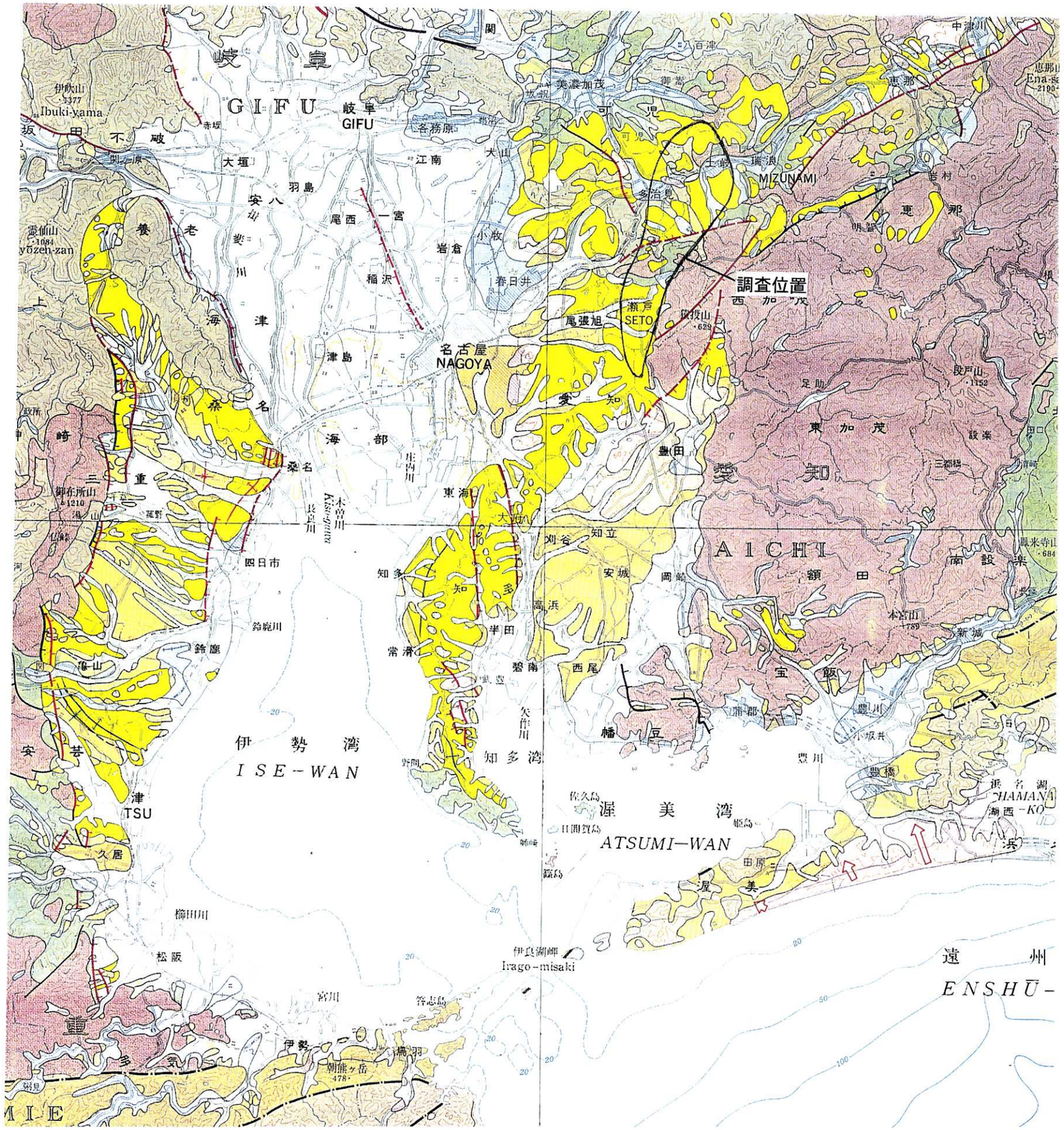
最近報告されている放射年代によると，瀬戸層群の堆積年代は中期中新世のはじめから鮮新世にわたっている（吉田ほか，1997）。

（２）現地調査結果

瀬戸層群は，上部の砂礫層と下部のシルト層に大別される。全体に上部の砂礫層が厚いが、多治見付近及び瀬戸付近では比較的厚くシルト層が分布する。シルト層中には砂層や炭化物が挟在し、全体的に層相変化に富む。小断層の観察にはシルト層が好条件であるが、シルト層は砂礫層に覆われるて露頭が限られることから、現地調査は主に陶土鉱山等を対象に実施した。

瀬戸層群に関する露頭調査位置を図-3.2.2に、データの一覧を表-3.2.1に示す。

瀬戸層群においては小断層の分布密度が前２地域にくらべて著しく低く，表-3.3.1に掲げたものしか見られなかった。そのうちでも解析に使えるのは断層面と擦痕の方向および変位のセンスがわかっているわずか５条の断層である。すべて斜めすべり正断層だが，変位のレイク角は大きい（図-3.3.3）。



第四紀 Quaternary

- 完新統 Holocene
  - 完新統(火山岩類を除く) Holocene (excluding volcanic rocks)
- 更新世中－後期及び完新世 Middle to Late Pleistocene and Holocene
  - * 第四紀後期火山岩類(主として玄武岩質) Late Quaternary volcanic rocks (mainly basaltic)
  - * 同上(主として安山岩質) Ditto (mainly andesitic)
  - * 同上(主として流紋岩質及びデイサイト質) Ditto (mainly rhyolitic and dacitic)
- 更新世中－後期 Middle to Late Pleistocene
  - 最上部更新統，又は低位段丘堆積層 Uppermost Pleistocene, or lower terrace deposits
  - 上部更新統，又は中位段丘堆積層 Upper Pleistocene, or middle terrace deposits
  - 中部更新統，又は高位段丘堆積層 Middle Pleistocene, or higher terrace deposits
  - 未区分上部－最上部更新統，又は中位・低位段丘堆積層 Unclassified Upper to Uppermost Pleistocene, or middle and lower terrace deposits
  - 未区分中部－上部更新統，又は高位・中位段丘堆積層 Unclassified Middle to Upper Pleistocene, or middle and higher terrace deposits
  - * 未区分段丘堆積層 Unclassified terrace deposits
- 鮮新世－更新世前期 Pliocene to Early Pleistocene
  - * 鮮新統--下部更新統(主として火山岩類) Pliocene to Lower Pleistocene (mainly volcanic rocks)
  - 同上(主として堆積岩類) Ditto (mainly sedimentary rocks)

新第三紀 Neogene

- 新第三紀進入岩類(大規模な岩体のみを示す) Neogene intrusive rocks (shown only large-scale body)
- 上部中新統－鮮新統(主として火山岩類) Upper Miocene to Pliocene (mainly volcanic rocks)
- 中新世－鮮新世 Miocene to Pliocene
  - 同上(主として堆積岩類) Ditto (mainly sedimentary rocks) ← 瀬戸層群
- 中--下部中新統(主として火山岩類) Lower to Middle Miocene (mainly volcanic rocks)
- 同上(主として堆積岩類) Ditto (mainly sedimentary rocks)

先新第三紀 Pre-Neogene

- 主として陸域の火山岩類 Mainly terrestrial volcanic rocks
- 主として進入岩類及び関連変成岩類(低圧型) Mainly intrusive rocks and related metamorphic rocks (low-pressure type)
- 主として変成岩類(高圧型)及び関連進入岩類 Mainly metamorphic rocks (high-pressure type) and related intrusive rocks
- 主として堆積岩類 Mainly sedimentary rocks

＊本図幅内には分布しない

図-3.3.1　瀬戸層群分布域及び調査位置
（「50万分の1活構造図（京都）」をもとに作成）

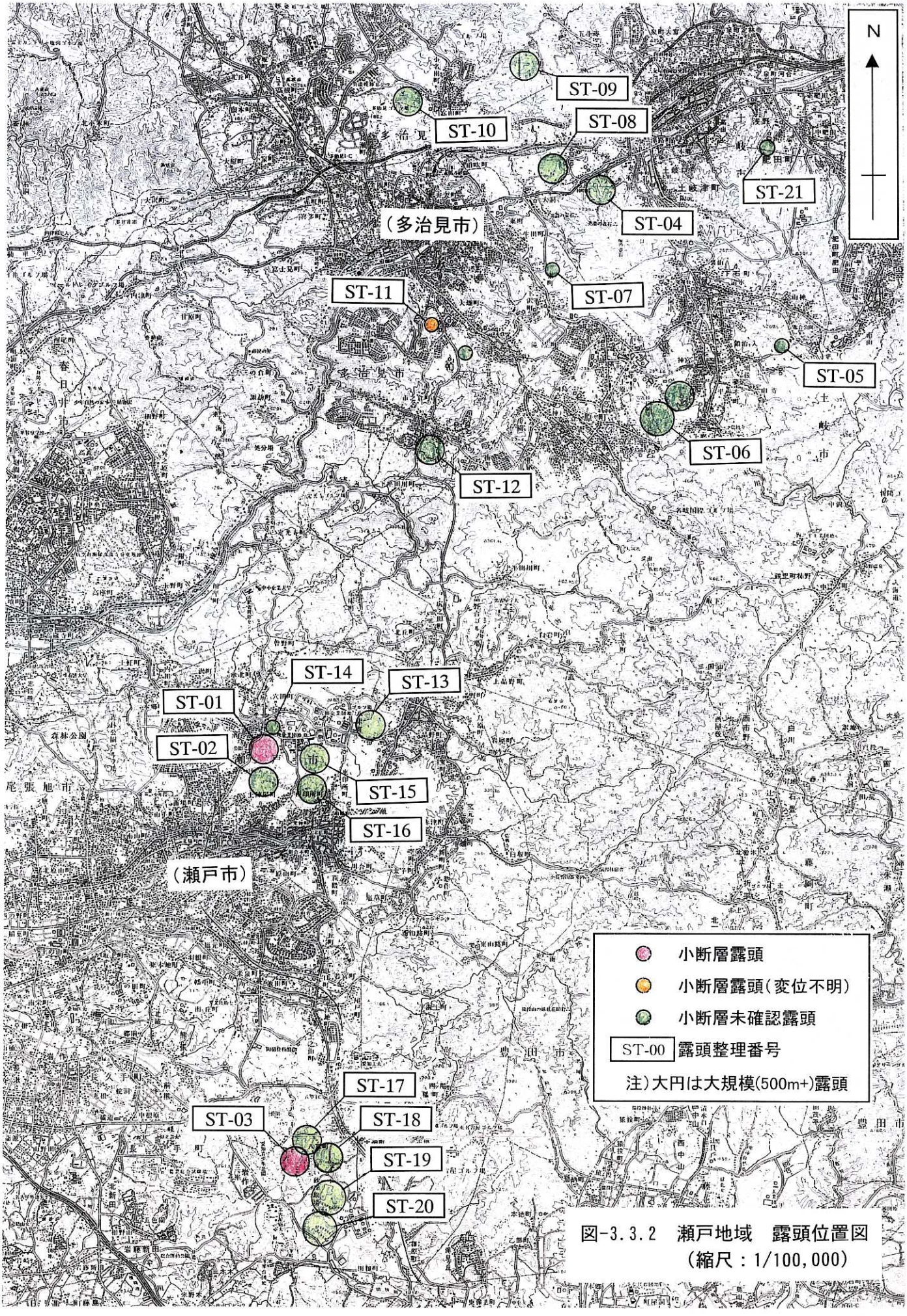


図-3.3.2　瀬戸地域　露頭位置図
（縮尺：1/100,000）

表-3.3.1　瀬戸地域　断層スリップデータの一覧　(1／1)

露頭位置整理番号	断層番号	層　準	層　理	断層面	擦痕	変位型	変位量(cm)	備　　考
ST-01	99021301-1	シルト層	N75E･8S	N41W82S	R87N	?	?	固結・密着
	99021301-2	シルト層	N75E･8S	N57W85S	R88S	N	7	固結・密着
	99021301-3	シルト層	N75E･8S	N55W65S	AS32W	N	3	固結・密着
ST-02	99021302-1	シルト層	N3E･59N	N55W59N	AN30W	R	25	5mm固結・風化花崗岩
ST-03	99021303-1	シルト層	N45E･6S	N80W49S	P33S?	N	8	固結・密着
	99021303-2	シルト層	N45E･6S	N73W60S	P49S	N	20	固結・密着
	99021304-1	シルト層	-	N80W52S	ANS	N	80	固結・密着

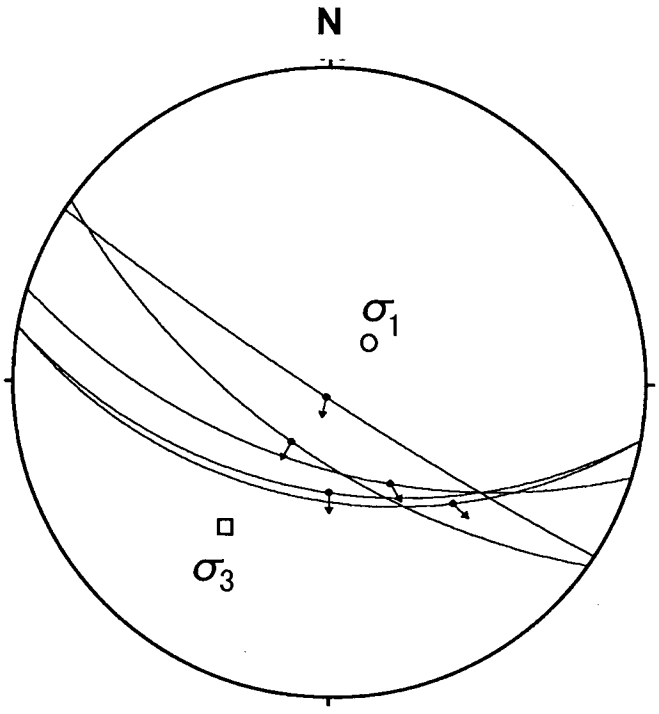


図-3.3.3　瀬戸地域　断層スリップデータ
下半球投影，● は擦痕の方向
矢印は上盤の変位方向

（3）応力解析結果

多重逆解法は断層数が20程度より多くなければ意味がないので，従来の逆解法（Angelier, 1984）とダイヘドラ法（Angelier and Mechler, 1977）で応力を推定した。結果は図-3.3.4に示すように，σ1軸がNE方向に60°の伏角，σ3軸がSW方向に伏角30°という結果になった。

ダイヘドラ法では使った断層の方向が偏っていると，応力主軸の存在確率が高い領域が，真の応力主軸からずれることがある。この場合も逆解法で求まったσ3軸の方向は，σ3軸の存在確率が大きな領域（図-3.3.4の紫色の部分）の縁辺部である。

いずれにせよ瀬戸層群から検出された応力は，N-SないしNNE-SSW方向の伸張応力場である。

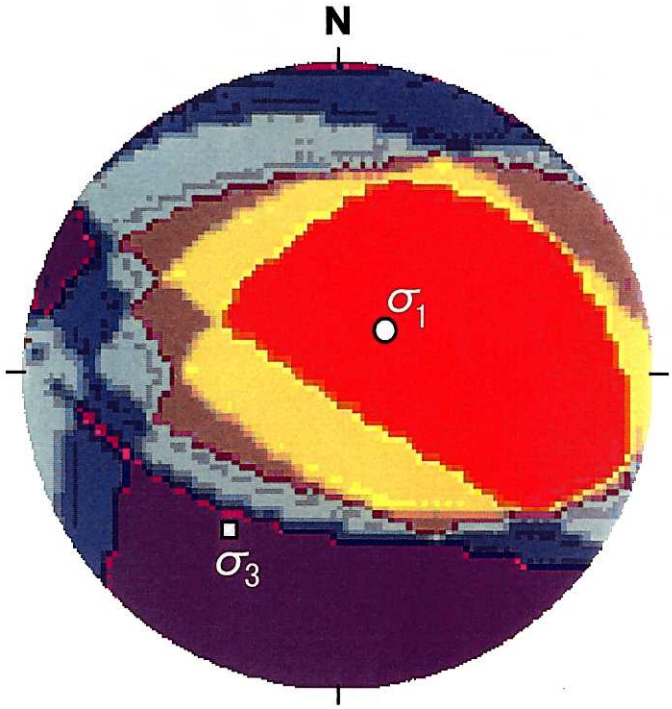


図-3.3.4　瀬戸地域　従来の解法を使って検出された応力

(a) σ1, σ3は従来の逆解法による解析結果
(b)着色部はダイヘドラ法による主応力軸の存在確率
　赤：最大主応力軸（σ1）、紫：最小主応力軸（σ3）

4．考　察

4．1　掛川層群分布地域

多重逆解法によって掛川地域では表-4.1.1に示すＡ～Ｅの応力が検出された。この地域でではHirono (1998)によって最近，逆解法による小断層解析がおこなわれたが，その結果，掛川層群からは東西圧縮・南北伸張というひとつの応力状態が検出された。この状態は，今回検出されたもののうち，主軸方向がほぼ一致することから応力Ａに相当すると考えられる。掛川層群の上位の小笠層群からは，解析に十分な小断層データを今回は集められなかったのだが，Hirono (1998)は小笠層群からも同様の応力場検出している。応力Ｂのσ1軸は，御前崎付近において地殻応力測定で決められた水平最大圧縮軸（N70～75° W；池田・塚原，1987）とおおむね一致する。したがって応力Ａは，最新期の応力である可能性がある。

多重逆解法によって複数の応力が検出される場合，すべてが真の応力というわけではない。幾つかの応力状態が，同一の断層群を同一の方向に変位させることがあるからである（Yamaji，1999a）。その場合，それらの応力のどれが妥当なのか，断層スリップデータのみから決定することができないわけである。どんな場合に複数のそうした解が得られるかというと，扱っている断層面の方向が，十分にランダムとはいえない場合である。今回観察した断層も，南北走向のものがほとんどなく，データに偏りがある。またどんな応力が分離できないかというと，主軸を同じくする三軸応力と軸性応力である。掛川地域における三軸応力Ａと軸性圧縮応力Ｅはσ1軸がほぼ一致し，片方が他方の影のような存在で，どちらか一方が真の応力で，他方が虚像という可能性がある。また両方とも真の応力である可能性もある。同様に，軸性伸張応力Ｂと三軸応力Ｃとはσ3軸の方向がおおむね一致する。さらに鉛直軸性圧縮応力Ｄのσ1軸は，三軸応力Ｃとほぼ平行である。これらは断層スリップデータをつかう逆解法では避けがたい不確定性であって，不確定ながら複数の応力状態が解の候補として自動検出されるという点で，多重逆解法は従来の逆解法よりも優れている。実際，従来の逆解法を使ったHirono (1998)は，応力Ａ以外には検出できなかったわけである。

このように，断層群を同じ方向にスリップさせるがゆえに分離できない複数の応力状態を，Yamaji (1999a)は「解として得られる応力同士がassociation関係にある」と

いう表現を使った。特別な場合として，断層面の走向傾斜が，観察した断層群のなかでばらつきが少なく，しかもそれらが共役断層として期待される方向にスリップしている場合には，association関係の応力が現れる。軸を共有するロード数－１，０，１の応力状態が分離できないのである。

そのような関係が，掛川層群から今回検出された応力のあいだに４つ見られる。図-4.1.1で実践で結ばれた応力のペアがassociation関係にある。異なるassociation関係の間では，一方が他方の影のような存在ということはなく，独立な応力といえる。掛川地域で観察した小断層の動きを説明するために最小限必要な応力は，図-4.1.1から分かるように２つである，すなわち応力Ｃは絶対に必要で，さらにもう一つ，それとは独立である応力Ａと応力Ｅのうちの片方である。

これらの解のうちでは，応力Ａに対応するクラスターがもっとも集中度が良い。ただしデータ数の少ないほうの西部地域では応力Ａは認められない。従来の逆解法を使ったHirono（1998)の解析では，この応力のみが識別できたわけである。

従来，共役断層法による小断層解析では走向傾斜によってグループ分けし，異なるグループに属する断層間の切断関係から，応力場の時間的前後関係を推定していた。しかし逆解法では数値解析の結果として複数の応力が分離され，それによってはじめて問題の断層がどの応力で動かされたかが判定できる。断層面の走向傾斜からグループわけが露頭でできる共役断層法とは，手続きが逆になっているわけである。そのために切断関係から検出された応力の前後関係を推定することが，共役断層法の時にくらべて困難になっている（三野・山路，1999）。

以上のように、今回のデータでは解析結果のassociation関係等によって、応力場の前後関係の議論が困難となっている。今後は，詳細な地表踏査調査等を実施することによって，断層データのデータ密度の向上や切断関係の観察事例の追加等を図ることが必要である。

表-4.1.1　掛川層群で認められた応力

軸対称応力の場合，対称軸に直交する主軸の方向を省き，代わりに横線を掲げている。

	σ1軸	σ3軸	ロード数
応力A	W方向，伏角20°	NS方向，水平	0.0
応力B	WNW方向，伏角70°	NE方向，伏角10°	0.6
応力C	鉛直	SE方向，伏角5°	0.0
応力D	鉛直	－	－1.0
応力E	ENE-WSW方向，水平	－	－1.0
応力F	SW方向，伏角15°	NW方向，伏角10°	0.6

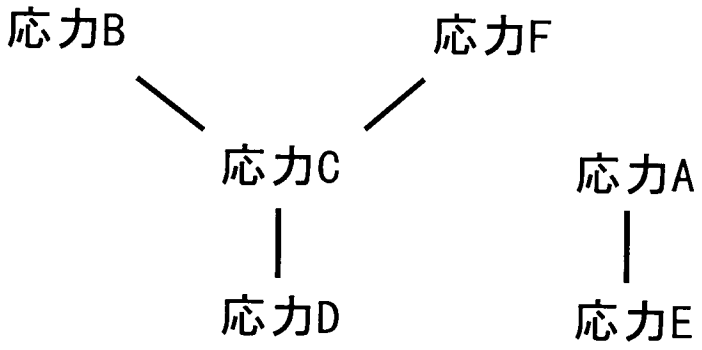


図-4.1.1　掛川層群から得られた応力のassociation関係。

実線で結ばれた応力のペアがひとつのassociation関係を表す。直接線で結ばれていない応力どうし，例えば応力BとDはassociation関係ではない。

４．２ 宮崎層群分布地域

多重逆解法によって宮崎地域から得られた応力Ａ～Ｊが，表-4.2.1にまとめられている。それらの応力の間にもassociation関係が認められる（図-4.2.1）。独立な解は，応力Ａ，Ｄ，Ｅ，Ｆ，Ｊおよび，（Ｂ，Ｃ）のうちのひとつ，および（Ｇ，Ｈ，Ｉ）のひとつである。

応力Ｇ，Ｈ，Ｉ，Ｊは，slickenfiber lineationを伴う断層から推定したわけだが，前の節で述べたように，ファイバーの非対称性から推定した逆断層というセンスは信頼性が劣る。正断層の可能性も否定しきれない。これらが正断層であるとすれば，応力Ｇ，Ｈ，Ｉ，Ｊはロード数の符号を反転し，σ1とσ3を逆にして考えればよい。

今回データを得たのとほぼ同じ地域においてTokushige and Fabbri (1996)が小断層から古応力場を推定している。結論として彼らはダイヘドラ法を使ったのだが，この方法は複数の応力状態を記録しているデータセットに適用しても，正しい応力を分離する能力が低い（三野・山路，1999）。Tokushige and Fabbri (1998)の結論は，σ3軸がNW-SE方向を示し，σ1軸は場所により鉛直の場合とNE-SWの場合があるといっている。今回の調査で得られた全データをダイヘドラ法で処理してみると，彼らと同様の結果がえられた（図-4.2.2）。したがって，観察した断層スリップデータには大差がないと思われる。ダイヘドラ法で処理するには宮崎層群のデータは複雑にすぎたということであろう。

さて，検出された応力状態は，田野層と生目層以上とで大きな違いが見られる。田野層では鉛直軸性圧縮とN-Sないし NNE-SSW方向の伸張応力が検出されたのに対し，上位の層準では鉛直軸性圧縮とE-W伸張応力場がみられたことである。この差は応力が作用した年代の差を表していると解釈できる（図-4.2.3）。他の解釈は，応力場の時間的変化ではなく，空間的変化を見ているという者である。どちらが妥当であるか決めるためには，同じ層準でもっと広い範囲から小断層データを集める必要がある。

表-4.2.1　宮崎層群で認められた応力

軸対称応力の場合，対称軸に直交する主軸の方向を省き，代わりに横線を掲げている。

	σ1軸	σ3軸	ロード数
応力A	鉛直または東に高角でプランジ	NW方向に伏角5°	0.6
応力B	EW方向，水平	NS方向，水平	0.0
応力C	鉛直	NW-SE方向，水平	0.0
応力D	鉛直	EW方向，水平	0.0
応力E	−	ENE-SWS方向，伏角5°	1.0
応力F	鉛直，	ENE-WSW，水平	0.7
応力G	ENE-SWS方向，	鉛直	0.0
応力H	ENE-SWS方向，	鉛直	−1.0
応力I	−	鉛直	1.0
応力J	NE-SW方向，水平	鉛直	0.5

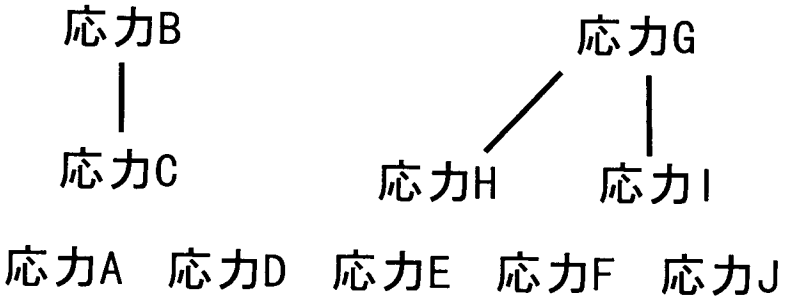


図-4.2.1　宮崎層群から得られた応力のassociation関係。

実線で結ばれた応力のペアがひとつのassociation関係を表す。直接線で結ばれていない応力どうしはassociation関係ではない。

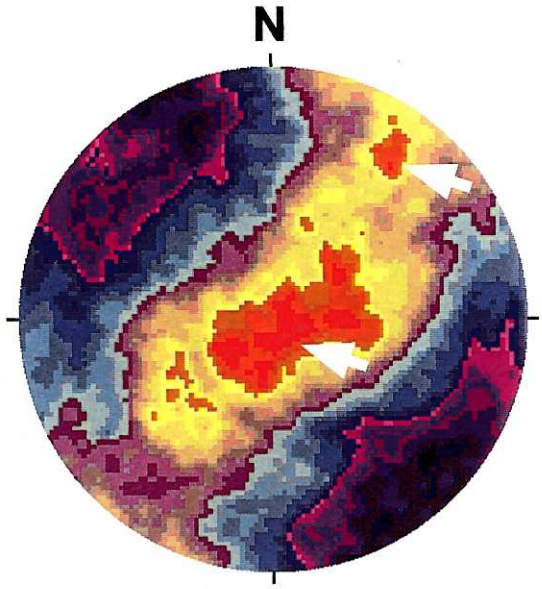


図-4.2.2　宮崎地域　ダイヘドラ法を使った応力解析結果（下半球投影）

解析結果を下半球等角投影図で示す。濃紺と紫の領域が，それぞれσ3軸とσ1軸の存在確率の高い領域を表す。後者はほぼ水平でNW-SE方向にまとまっているが，σ1軸の方向はそれを極とする大円ガードルに拡がっている。ただし矢印で示した鉛直方向と，水平に近いNE方向にσ1軸の存在確率が高い領域がある。

表-4.2.2　宮崎地域　解析結果に基づく応力場の変遷

層序	生層序	地質年代		多重逆解法による応力の解析結果	応力状態	
高鍋層		更新統	1.9Ma	A　E F	鉛直応力	EW系伸張応力
佐土原層						
新名爪層	(N19)		5.1Ma			
瓜生野層						
生目層						
鹿村野層	N18	鮮新統		B/C　D　G/H/I　J	?	
綾層						
田野層					鉛直応力	NS～NNE系伸張応力
	N17	中新統	5.4Ma			

(地層名及び年代等木野ほか(1983)によった)

４．３ 瀬戸層群分布地域

瀬戸層群に関しては、小断層が少なく解析に十分な断層データが得られなかった。そのことから逆に，この地域の歪み量の少なさが分かる。瀬戸層群の形成（開始）年代は、掛川層群や宮崎層群にくらべて倍近く古いにもかかわらず断層が少ないからである。前２者が前弧海盆堆積物であるのに対して，東濃地域の瀬戸層群は前弧の陸成堆積盆である。

5．まとめ

掛川層群・宮崎層群・瀬戸層群において断層スリップデータを収集し，十分多数のデータが集められた前２層群の小断層には多重逆解法，少数のデータしか集まらなかった陶瀬戸層群では従来の逆解法で古地殻応力を求めた。

その結果，掛川層群では断層スリップデータを説明するために，少なくとも少なくとも２つの応力状態が必要なことが分かった。従来の方法では，その片方しか検出できなかったが，多重逆解法ではそれらをふくめ，ほかにも解の候補を挙げることができた。この地域における応力場の時間発展を明らかにするためには，今回データを採らなかった掛川層群の下部および上位の小笠層群からデータを集める必要がある。

宮崎層群ではダイヘドラ法で分離しきれなかった複数の古応力が，多重逆解法によって分離することができた。検出された応力場は，下位の田野層と上位の生目層以上とで著しい違いが見られた。下位ではN-S伸張なのに上位ではE-W伸張になっていることである。これが表しているのが，応力場の時間的変動なのか空間的それなのかを明らかにするためには，さらに広い範囲で小断層データを収集する必要がある。

東濃地域では小断層が少なく，信頼できる古応力を得られなかったが，逆にそのことによって，前弧海盆堆積物である掛川層群や宮崎層群にくらべて東濃地域の中新世以来の歪みの小ささが示唆された。

（参考文献）

Amano, K., 1991, Multiple collision tectonics of the South Fossa Magna in central Japan. Modern Geology, 15, 315-329.

Anderson, E. M., 1942, The Dynamics of Faulting. Oliver and Boyd, London, 183p.

Angelier, J., 1979, Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. Tectonophys., 56, T17-T26.

Angelier, J., 1984, Tectonic analysis of fault slip data sets. Jour. Geophys. Res., 89, 5835-5848.

Angelier, J. and Mechler, P., 1977, Sur une methode graphique de recherche contraintes principales egalement utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des diedres droits. Bull. Soc. Geol. Fr., 19, 1309-1318.

Hirono, T., 1998, Paleostress reconstruction using the stress inversion method in the eastern Tokai district, central Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, 104, 143-146.

茨木雅子, 1986. 掛川地域新第三系の浮遊性有孔虫生層序基準面とその岩相層序の関係との関係. 地質雑, 92, 119－134.

岩松 暉・横田修一郎, 1989, 断層調査法—野外における断層のみかた—. 地団研, 東京, 140p.

衣笠善博・垣見俊弘・平山二郎, 1969, 房総半島東海岸の小断層. 地調月報, 74, 13-38.

木野ほか, 1983, 地域地質研究報告 5万分の1図幅：宮崎地域の地質, 地質調査所, 100p

児玉喜三郎, 1968. 城ヶ島における小断層解析. 地質雑, 74, 265-278.

三野浩一朗・山路 敦, 1999. 複数の応力状態を経験した地域における小断層解析：房総半島の更新統を例として. 地質雑, 印刷中.

名取博夫, 1979. 宮崎地域. 土 隆一（編）, 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料, p. 7-9.

Sakai, T. and Masuda, F., 1996. Sequence stratigraphy of the upper part of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, western Shizuoka, Japan. Jour. Sediment. Res., 66, 778-787.

Tokushige, H. and Fabbri, O., 1996, Mesofaults and associated stress field in the Late Miocene to Pliocene forearc deposits of the Miyazaki district, southeast Kyushu, Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, 102, 622-634.

Yamaji, A., 1999a. The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. Jour. Struct. Geol., submitted.

Yamaji, A., 1999b. The multiple inverse method applied to meso-scale faults in mid Quaternary fore-arc sediments near the triple trench junction off central Japan. Jour. Struct. Geol., submitted.

吉田史郎・中山勝博・壇原徹, 1997. 瀬戸層群下部のフィッション・トラック年代. 地球惑星科学合同学会演旨, p. 584.