

天津小湊松ヶ鼻の天津層の小断層群から検出された応力

Preliminary report on the stresses detected from mesoscale faults in the Middle Miocene Amatsu Formation at Point Matsugahana, Amatsu-Kominato, Chiba Prefecture

山路 敦¹・山田泰広²・有坂春彦³・平野真史⁴・飯田真司⁵・今村哲己⁵・加藤 新⁶・高橋利宏⁷・高尾晶彦⁵・山足友浩⁷

A. Yamaji¹, Y. Yamada², H. Arisaka³, M. Hirano⁴, S. Iida⁵, T. Imamura⁵, A. Katoh⁶, T. Takahashi⁷, A. Takao⁵ and T. Yamaashi⁷

2001年3月12日受付.

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

² 石油資源開発株式会社技術研究所
JAPEX ResearchCentre, Chiba 261-0025, Japan

³ 石油資源開発株式会社秋田鉱業所
JAPEX Akita Office, Akita 011-0901, Japan

⁴ ベネズエラ石油株式会社技術部
Teikoku Oil (Venezuela) Co., Tokyo 163-1037, Japan

⁵ 帝国石油株式会社国内本部開発部
Domestic Operating Division, Teikoku Oil Co., Niigata 950-8512, Japan

⁶ 株式会社地球科学総合研究所地質部
JGI, Inc., Tokyo 112-0012, Japan

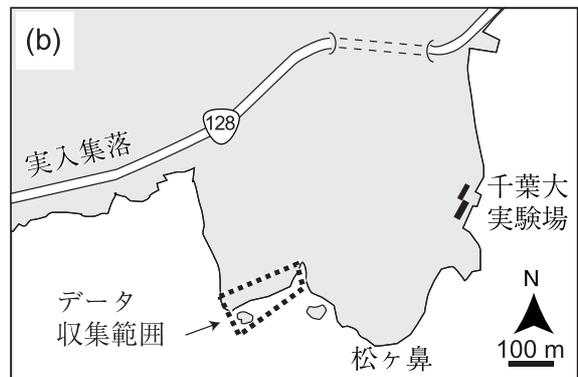
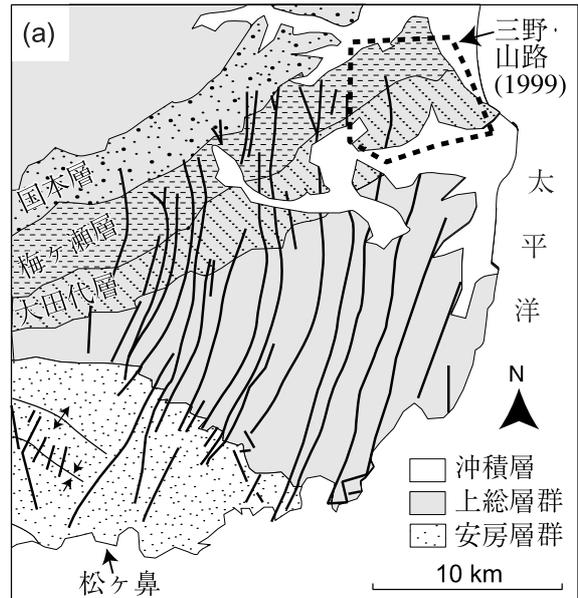
⁷ 石油資源開発株式会社探鉱本部
JAPEX Co., Tokyo 140-0002, Japan

Kew words : multiple inverse method, stress field, folding, polyphase tectonics, Boso Peninsula

はじめに

小断層解析に関する最近の方法論的進展を背景として、新しい小断層解析法に関する野外講習を房総半島でおこなった。その際得られた断層データと、それから多重逆解法で検出された応力について報告する。

小断層データは、千葉県天津小湊松ヶ鼻西側の海食台で採取した(第1図)。そこには、主として固結した泥岩が露出しており、凝灰岩の薄層が頻繁にはさまれる。中嶋ほか(1981)によると、それは安房層群天津層中部の小湊凝灰岩部層直下の層準であり、堆積年代は9~10 Maである(芳賀・小竹, 1996)。地層の傾斜はN64°E21°NWである。この傾斜は必ずしも無視で



第1図 小断層データ採取地点(千葉県安房郡天津小湊松ヶ鼻)とその周辺の地質。(a) 房総半島東岸の地質図。鈴木ほか(1995)を簡略化。上総層群の中は、中部の大田代層・梅ヶ瀬層・国本層に模様をつけて他の層と区別した。(b) データ収集範囲。

きる小ささではないが、傾動の問題を扱うには富田・山路(2001)のように、走向傾斜を異にするいくつかの地点のデータを多重逆解法で処理して得られるクラスターの集中度に注目するなどの手続きが必要である。したがって、松ヶ鼻のデータから得られる結果に関する本報告では、これを議論しない。

データ

天津層は刷毛ではいたように多数の断層によって切られている(中嶋ほか, 1981)。松ヶ鼻においてもN-SからNE-SW走向の小断層が蜜に分布する。それらの方向に直行方向に歩くと、10 mあたり数条の小断層がみられる。しかし露頭の岩石が風化していて、擦痕を観察するために断層面をはがすことが比較的難しく、データの得られない小断層も多かった。われわれは約1時間の観察時間のあいだに19条分のデータを

第1表 断層スリップデータ。1行が1条の断層のデータ。
第1・2列が断層面の最大傾斜方向の方位角・伏角，第3・4列
が擦痕の方位角伏角，第5列がセンスを normal, reverse,
sinistral, dextral の頭文字で表す。

122 81	32	1 S	276 78	2 18 D
308 80	22	57 N	95 70	178 19 D
306 88	33	60 N	2 90	272 34 S
127 78	204	47 N	306 88	33 60 D
155 74	91	56 N	114 72	90 70 N
306 69	5	53 R	106 61	29 23 D
92 84	180	22 D	108 58	90 57 N
102 46	105	46 N	100 80	12 11 N
310 74	24	45 N	100 84	188 22 N
145 80	58	19 N		

結 果

断層組み合わせ数 k を2から7まで変化させ、収束した多重逆解法の結果を第3図に示す。図中の応力比 $\Phi_B = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ の値が0なら軸性圧縮応力，1なら軸性伸張応力，それらの中間なら三軸応力を表す。第3図には一組の下半球等積投影図が描かれ，オタマジャクシの形をした印が多数プロットされているが，それぞれの印が1つの応力状態を表す。左の投影図では，オタマジャクシの頭の位置が σ_1 軸の方向を表し，尾の出ている方向と長さが σ_3 軸の方位角と伏角をあらわす（山路，1999；Yamada and Yamaji, 2002）。尾の長さとは伏角との関係は，左上に示されている。右の投影図では，頭と尾の役割が逆になっていて，投影図中の頭の位置が σ_3 軸の方向，尾が σ_1 軸の方向を表す。応力比は色で区別される。

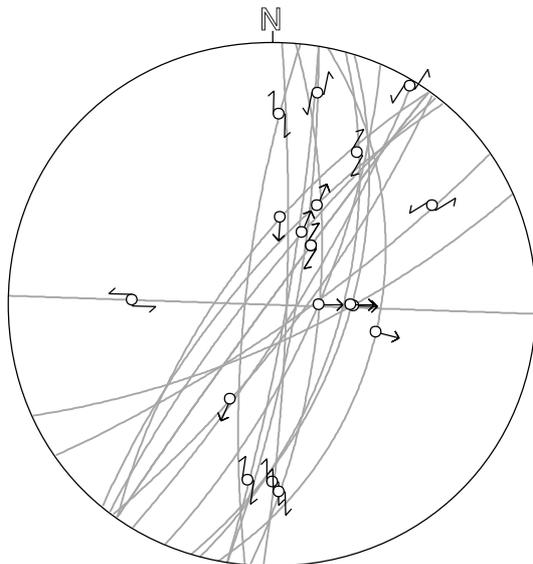
クラスター $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ が，それぞれ検出された応力 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ を表す（第2表）。検出された6つの応力においては normal faulting regime が主体で，strike-slip regime を交えるが，reverse faulting regime の応力は検出されなかった。密でまとまりの良いクラスターが有意な応力を表す。まとまりの良いクラスターは， $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ であり， ε と ζ の有意性は低い。

議 論

従来の逆解法を使った南関東における小断層の研究は，Angelier and Huchon (1987) によって先鞭が付けられた。彼らは松ヶ鼻において3つの応力を認定した。古い方から NE-SW 方向の圧縮，NNW-SSE 方向の圧縮，NW-SE 方向の伸張である。第1および第3の応力は，それぞれ今回の応力 β および α と合うように見える。しかし彼らの論文には主軸の方向と応力比が十分記載されていないため，同一の応力か検証できない。

松ヶ鼻の天津層からは， α から ζ までの6つの応力が検出された。それらは，もっと上位を占める上総層群中部から検出される応力（Yamaji, 2000 a）とくらべて，似たもの（応力 α と δ ）とそうでないもの（応力 $\beta, \gamma, \varepsilon, \zeta$ ）とがあって興味深い。上総層群と違う理由が，年代の違いなのか場所の違いなのか，あるいはその両方なのかは今後の課題である。さらに色々な場所と層準でデータを採って検討する必要がある。

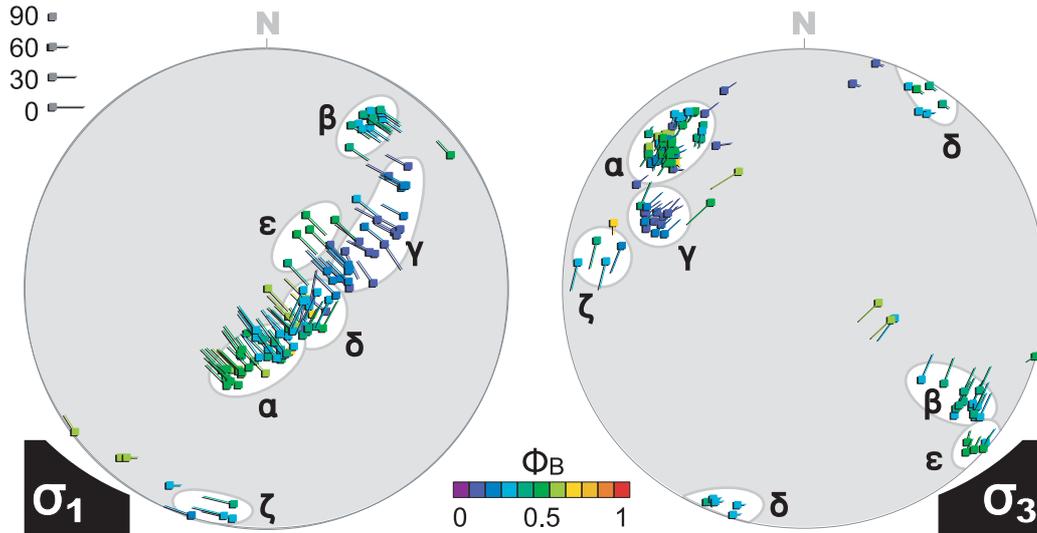
応力 α と δ は normal-faulting regime であり，房総半島でもっと若い上総層群中部から検出される2つの応力と似ている。天津小湊から25 km ほど北上した岬町～茂原市の丘陵地域（第1 a 図）において三野・山路（1999）が大田代層と梅ヶ瀬層（堆積年代は1.0 Ma 前後）から収集した小断層データからは，3つ



第2図 第1図の地点の天津層上部から得られた19条の小断層データ。2つの図とも下半球等角投影図。断層面を大円で表現した図。大円上の丸印が擦痕の方向。矢印に添付した矢印がセンスを表現する。矢印が2本互い違いに出ているのは横ずれ成分が大きな断層で，2本の矢印が時計回りになっていると右ずれ，反時計まわりなら左ずれを示す。1本の矢印がステレオネットの基円の外側に向かって描かれたものは正断層，逆向きなら逆断層。

集めることができた（第1表）。

この地点の小断層は，strike-slip ないし斜めすべり正断層を主として dip-slip 正断層を交える（第2図）。横ずれは，左右両センスがみられる。走向については N-S から NNE-SSW までのものと，NE-SW に近いものと2群に分かれそうだが，スリップ方向が画然とそれら2群に分かれるわけではない。面の方向とスリップ方向からみて複雑なデータであるが，破砕物の性質などによってグループ分けすることはできなかった。そこで，多重逆解法（山路，1999；Yamaji, 2000 b）を適用した。



第3図 多重逆解法の結果。ただし、強調パラメータ (e 値) および断層組み合わせ数 (k 値) が、それぞれ10および8の場合。左右の円は、それぞれ σ_1 軸と σ_3 軸の方向を下半球等積投影で示した図。 α から ζ までの6クラスターが現れている。クラスターを構成するオタマジャクシ状記号は、おのおのが1つの応力状態を表す。 Bishop の応力比 Φ_B が色の違いで表現されている。頭の位置が左の図では σ_1 軸の方向を表し、尾の出ている方向と長さが σ_3 軸の方位角と伏角を表す。

第2表 検出された応力、応力の型は、NF : normal faulting regime, SF : strike-slip faulting regime.

応力	σ_1 軸	σ_3 軸	Φ_B	応力の型
α	SSWに高角プランジ	NWに低角プランジ	0.3~0.5	NF
β	NEに低角プランジ	SEに低角プランジ	0.4	SF
γ	NE~ENEに中~高角プランジ	WNWに低角プランジ	0.1	NF~SF
δ	ほぼ鉛直	NNE-SSW	0.3~0.4	NF
ϵ	NNEに高角プランジ	SEほぼ水平	0.4	NF
ζ	SSWほぼ水平	WNWに低角プランジ	0.3	SF

の応力が検出された (Yamaji, 2000 a)。それらのうち独立な解は Yamaji (2000 a) の応力 B および C で、応力比 Φ_B はともに 0.5 である。松ヶ鼻の応力 β と γ の応力比はそれよりわずかに低い。しかし主軸方向が大略一致するので、応力 β および γ は上総層群の応力 B および C と同じ応力場が検出されたと考えられる。すなわち、応力 β =応力 C、応力 δ =応力 B という対応である。上述の応力が検出されるか否かということと層準との関係から、Yamaji (2000 a) は応力 B が大田代層・梅ヶ瀬層の堆積期、応力 C が 0.5~1.0 Ma に作用したとみなしている。

今回データを得た地点より西方の内陸部で坂ほか (1990) は古応力を推定し、マッパブルな褶曲の成因を論じている。そうした規模の構造と小断層との関係はおもしろいテーマであり、彼らのアプローチは手本になる。しかし彼らは共役断層法を使っているため、新しい小断層解析法を用いて房総半島の褶曲構造を再検

討する必要がある。今回は松ヶ鼻という狭い範囲の限られた数の小断層から応力を検出したわけだが、房総地域のテクトニクスを議論するには、さらに広い範囲から多数の小断層データを収集する必要がある。

謝 辞

著者の所属する会社 (石油資源開発株式会社・帝国石油株式会社・ベネズエラ石油株式会社・株式会社地球科学総合研究所) には、データの公表を許可していただいた。記して感謝の意を表す。

文 献

Angelier, J. and Huchon, P., 1987, Tectonic record of convergence changes in a collision area : the Boso and Miura peninsulas, central Japan.

Earth Planet. Sci. Let., **81**, 397-408.

- 芳賀正和・小竹信宏, 1996, 房総半島南部中新統天津層下部の珪藻化石年代. *地質雑*, **102**, 758-760.
- 三野浩一郎・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. *地質学雑誌*, **105**, 574-584.
- 中嶋輝允・牧本 博・平山次郎・徳橋秀一, 1981, 鴨川地域の地質. *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 106 p.
- 坂 靖範・橋尾宣弘・山田将史・小室裕明・山内靖喜・三梨 昂, 1990, 房総半島清澄背斜の形成機構の実験的研究. *地質学論集*, no. 34, 117-126.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨 昂・岡 重文・卜部厚志・遠藤 毅・堀口万吉・江藤哲人・菊地隆男・山内靖喜・中嶋輝允・徳橋秀一・楡井 久・原雄・中山俊雄・奈須紀幸・加賀美英雄・木村政昭・本座栄一, 1995, 東京湾とその周辺地域の地質, 1:100,000, 第2版, 地質調査所, 109 p.

- 富田 智・山路 敦, 2001, 共役断層による小断層解析はすべて誤りか? 新潟県新津丘陵における多重逆解法と共役断層法との比較. *地質雑*, **107**, 711-721.
- 山路 敦, 1999, 多重逆解法: 複数の応力を検出する小断層解析の新手法. *構造地質*, **43**, 79-88.
- Yamaji, A., 2000 a, Multiple inverse method applied to mesoscale faults in mid Quaternary sediments near the triple trench junction off central Japan. *J. Struct Geol.*, **22**, 429-440.
- Yamaji, A., 2000 b, Multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. *J. Struct Geol.*, **22**, 441-452.
- Yamada, Y. and Yamaji, A., 2002, Determination of paleo-stresses from mesoscale shear fractures in core samples by means of the multi-inverse method. *Jour. Petrol. Geol.*, **25**, 203-218.