

2004年新潟県中越地震震源域での地質構造を用いた伏在断層モデルの作成

Construction of balanced cross-section in the source area of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake

岡村行信¹・石山達也²

Yukinobu Okamura¹ and Tatsuya Ishiyama²

^{1,2} 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, okamura-y@aist.go.jp)

Abstract: We constructed fault models on sections in the source area of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake using structural and stratigraphic data of the Higashiyama and Uonuma hills. The key concept for the fault construction is the fault-related fold, which defines the relationship between fault and fold geometries. Basic concept of the fault related fold and methods for fault construction were explained briefly, and then more practical fault construction procedures were described using commercial software. For construction of a subsurface fault it is necessary to define geometries of initial and folded profiles of one horizon, and fault geometry at its leading edge connecting the edge of the folded and initial horizons. The commercial software is able to construct a topographic profile from digital mesh data of altitude and show dip angle on the sections from the digitized dip and strike data. The profile of a folded horizon was drawn taking into account of dips of all the beds and position of a key bed exposed on the cross section. Assuming a nearly flat geometry of the original layer, 15 km deep of the bottom end of the fault, and inclined shear for hanging wall deformation style, the software quickly shows a fault model. The modeled fault profile nearly agrees with the distribution of aftershocks of the 2004 earthquake, supporting that fault construction based on geologic structure is useful to infer source faults of future earthquakes.

キーワード: 2004年新潟県中越地震, 魚沼層群, 断層関連褶曲, 震源断層, 活褶曲

Keywords: 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake, Uonuma Group, fault-related fold, source fault, active fold

1. はじめに

2004年新潟県中越地震は新潟堆積盆地東縁の断層褶曲帯の中で発生した(第1図)。震源域の東山丘陵南部から魚沼丘陵北部には, 東山背斜や田麦山背斜など顕著な構造が発達し, 鮮新世後期から更新世前期に堆積した魚沼層群以下の地層が大きな変形を受けていることから, 最近100万年間に大きく隆起してきたことがわかる(柳沢ほか, 1986)。さらに丘陵に分布する更新世の段丘も褶曲構造に調和的な変形を受けており(金, 2004), 更新世中期以降も変動が続いていることは間違いない。このような褶曲の成長は丘陵の地下に活断層が伏在することを強く示唆している。

褶曲構造は地下の断層運動によって規制されているという断層関連褶曲の考え方をを用いれば, 褶曲構造の形態から地下の断層の形態を推定することが可能である(たとえば Shaw and Suppe, 1994; Okamura, 2003 など)。2004年新潟県中越地震の震源域は詳細な地質図が整備され(柳沢ほか, 1985, 1986; 小林ほか, 1991), 地下の断層の形態を推定するための情報は

揃っている。また, 2004年新潟県中越地震では詳細な余震観測によって, 震源断層の形態が精度よく明らかにされている(Kato *et al.*, 2005 など)。従って, 既存の地質構造データから地下の断層形態を推定できれば, 地震の震源断層と比較し, 地質構造から推定した断層の妥当性を検証できる。もし, その妥当性が確認されれば, まだ地震が発生していないところで震源断層の形態を推定することも可能になる。

本報告では, 地質構造から地下の断層形態を推定するために発展してきた断層関連褶曲の基本的な原理を簡単に紹介した後, 中越地震震源域の地質構造データとバランス断面作成ソフトを用いて行った地下の断層形態の推定手法を記述する。

2. 断層関連褶曲の原理

バランス断面法は断層上盤の体積や地層の長さが, 断層変位や褶曲の成長によって変化しないという前提で断面構造を解析する方法であるが, 実際にその手法を用いて地質断面図を作成するには, 断層と褶曲構造との関係を整理した断層関連褶曲の考え方を

理解しておく必要がある(岡村, 2000). 断層関連褶曲は dip slip 断層上盤の変形の違いによって, fault-bend fold, fault-propagation fold, detachment fold に区分されている(Jamison, 1993). Fault-bend fold は上盤と下盤の間が断層で完全に破断している場合に形成される褶曲(Suppe, 1983), fault-propagation fold (Suppe and Medwedeff, 1990) は伏在断層の断層先端周辺に形成される褶曲, detachment fold は伏在断層で断層面に沿って ductile な変形が生じる場合の褶曲である. ここでは最も単純化して考えやすい fault-bend fold についてのみ説明する(第2図).

断層面が完全な平面でない限り, 断層面に沿って変位があれば, 上盤と下盤との間の形態が一致しなくなり, 互いの形態が変化しなければ隙間が生じる(第2b図). 断層関連褶曲の考えでは, 上盤がその隙間を埋めるように変形し, その変形によって褶曲が形成されると考える. その上盤の変形様式を思い切って単純化することが, 断層関連褶曲のポイントである(例えば Suppe, 1983; Shaw and Suppe, 1994).

上盤の変形様式にはいろいろあるが(例えば Yamada and MacLay, 2004), 一般によく使われる変形様式は, layer-parallel slip (shear) (第2c図), flexural slip 及び inclined shear (第2d図)である. どの変形様式を採用するかによって断層と褶曲の関係は少し異なるが, 基本的な考え方は同じである. 層理面に平行な滑りを上盤全体に仮定することによって上盤を変形させるのが layer-parallel slip (Suppe, 1983) で, 紙の束を曲げるのと同じ原理である(第2c図). この場合地層の長さとは変化する. 堆積層の変形を考えるには適しているが, 直感的には基盤岩も同じ変形様式で扱えるとは考えにくい. 一方, 上盤の中に高角の多数の平行な滑り面を仮定するのが inclined shear で, 正断層に伴う上盤の変形を説明するために提案されたが(第2d図; Gibbs, 1983; White et al., 1986), 原理的には逆断層帯でも適用出来る. Yamada and MacLay (2004) は逆断層でも基盤を含む場合は inclined shear の方が適しているとしている.

第2図には layer-parallel slip と inclined shear を適用した場合の, 最も単純な断層と褶曲の関係も示した. 逆断層が滑ると上盤に背斜構造が形成される. 上盤の滑る方向に対して背斜の後側を後翼(backlimb)と呼び, 前側を前翼(foreside)と呼ぶ. また, 断層関連褶曲では, 褶曲を傾斜が一定の領域(dip domain)とそれらの境界の軸面(axial surface)で近似する. 軸面は地層が折れ曲がる境界に当たるが, 地層の厚さが一定であれば, その方向は両側の地層の傾斜を2等分する方向に伸びる. 軸面での折れ曲がりの上に凸の場合を背斜軸面(anticlinal axial surface)と呼び, 下に凸の場合を向斜軸面(synclinal axial surface)と呼ぶ.

上盤の変形様式にかかわらず, 背斜後翼の後端の境界である向斜軸面の下方延長上に断層面が立ち

上がる折れ曲がりがあり, 向斜軸面と背斜軸面との間の後翼全体の長さがほぼ滑り量になる(第2c, d図). 前翼では背斜軸面の下方延長上に断層面が平坦化する折れ曲がりがあり, 向斜軸面と背斜軸面との間の前翼全体の長さがほぼ断層の滑り量になる(第2c, d図). 複雑な形状を持つ断層や滑り量が大きい断層ではこの関係も複雑になるが, 基本的な考え方は同じで, 断層と褶曲形態の関連づけができる.

3. 断層モデルの作成

断層関連褶曲で断層モデルを作成する方法はいろいろあるが, ここでは褶曲の形態と断層の下端深度がわかっているという前提で断層モデルを推定した. モデル作成に必要な情報は, 断面図上で, 1) ある一つの層準の褶曲形態, 2) 同じ層準の堆積時(変形前)の形態及び3)断層先端の形態である(第3図). なお, モデルを作成する断面は断層の滑る方向に平行に設定するのが原則である.

褶曲形態は最も重要なデータで, 地表の地質構造だけでなく, もし可能であれば反射断面やボーリングデータを用いて, できるだけ正確に描く必要がある. 堆積時の地層の形態を正確に推定するのは容易ではないので, 一般には褶曲の両端を結ぶ直線かそれに近い単純な線で近似させることが多い. 堆積環境にもよるが, 現在の海底でも, 連続的な堆積物が広がる場所では, それほど複雑な地形は形成されないで, 近似的なプロファイルでも大きな問題はないと考えられる. 断層先端の形態は堆積時の地層の先端と褶曲した地層の先端を結ぶ部分である. その長さは地表での断層変位量に相当するが, 実際には地滑りや浸食によって一部が失われていたりすることがおおく, 正確な形態はわかりにくい. そこで, 深部での断層変位量 S が, $S=A/D$ で表されることを用いて断層変位量を求めた(第3A図). ここで A はある層準の堆積時と褶曲後の断面プロファイルで囲まれた範囲の面積で(第3A図の黄色の部分), D は断層下端部の深さである. A は断面図から求めることができ, 断層深度は余震深度の下限である 15 km と仮定した.

以上の3種類の線(ある層準の堆積時及び褶曲後の断面形態とそれらをつなぐ断層先端形態)が決まると, 上盤の変形様式を仮定して断層面の形状を推定できる. Layer-parallel shear を仮定すると, 以下のような手順で断層を描くことができる(第3B図).

まず, 褶曲した地層 $L1$ の左端に $Pin1$ を定義する. この位置より右側にのみ layer-parallel shear が発生するとする. 褶曲した地層 $L1$ の長さを測定し, 堆積時の地層 $S1$ の右端 $S1e$ から左側に同じ長さの線を描く. その左端の位置を $Pin2$ とすると, $Pin1$ と $Pin2$ の距離が後翼での断層変位量に当たる. 褶曲した地層 $L1$ に平行線な $L2$ を描き, $Pin2$ から $L2$ と同じ長

さの線を右に延ばす。その右端の位置 S2e が L2 右端 S1e の褶曲前の位置になる。すなわち、地層 S2 の右端は S2e から S1e に変位したことになり、その 2 点を結ぶ線が断層面であると考え。次に、S2e を通り L2 に平行な線 L3 を描きその長さを測って、Pin2 から右に延ばせば、S3e が決まり、S2e と S3e を結ぶ線が断層の下方延長に相当することになる。同じ作業を繰り返していけば、断層面の形態全体を明らかにできる。

Inclined shear は上盤内の平行な剪断面での滑りだけを考える (第 3C 図)。まず、L1 と S1 のそれぞれの先端に剪断面 (傾斜角は任意、第 4b 図では傾斜 80°E) の線を引き、その 2 本の線の間隔と同じ間隔の線を上盤全体に引く。その線を右から 1, 2, 3, 4.. と番号を付けると、2 と L1 との交点は、3 と S1 との交点に変形前にはあつたはずである。その 2 点を結ぶ線が断層変位によるパスを示しているの、断層面もそれと平行であるはずである。従つてその平行線を断層先端部の下側延長として付け加える。同じように 3 と L1 の交点は、4 と S1 の交点にあつたはずなので、その 2 点を結ぶ線に平行な線を断層の下側延長として付け加えていく。同じ作業を繰り返していけば、断層全体の形態を明らかにできる。この方法は一般的な図形作成ソフトでも作図可能である。

4. 市販ソフトを使った断層モデルの構築

4.1 データの準備

以上述べたように、ある層準の堆積時及び褶曲後の断面上での形態と、それらを結ぶ断層先端の形態から、地下の断層モデルを構築出来る。このうち褶曲の形態はできるだけ詳しい地質調査のデータを使って作成する必要がある。市販のバランス断面作成ソフトは断面上の褶曲の形態を、様々な地質データから構築するための支援機能を持っているので、それを用いることによって、断面図の作成を効率的に進めることができる。ここでは Midland Valley 社の 2DMove® を用いた例を紹介する。

2004 年新潟県中越地震の余震については Kato *et al.* (2005) が精度の高い 4 つの分布断面図を示しているの、それらと同じ位置を含めて平行な断面線に沿って地質断面図を作成した。ここでは、震央を通る断面について、断層モデルの作成方法を紹介する。震源域は 3 枚の 5 万分の 1 地質図、北から「長岡」(小林ほか, 1991)、「小千谷」(柳沢ほか, 1986) 及び「十日町」(柳沢ほか, 1985) にほぼ含まれる (第 1 図)。これらの地質図は竹内ほか (2004) によって数値地質図として公開され、その中には地層の数値化された走向傾斜のデータが測定地点の位置、標高及び層序区分の属性等とともにデジタル化されている。断面線から約 800 m 以内の走行傾斜データを選

び出し、断面図に投影した。また、国土地理院の 50 m メッシュの標高データを利用し、断面線から 50 m 以内のデータを投影して、地形断面を作成した。

2DMove® には、走向傾斜や標高データを UTM 座標の位置データとともに読み込んで、断面図に投影する機能がある。上記のデータをアスキーファイルとして保存し、2DMove® に読み込ませて描いたのが、第 4 図の断面図である。この断面図の位置は第 1 図に示した。標高データは常に断面線上に存在するわけではないので、地形断面と実際の地形図との間には若干のずれが生じる。走向傾斜は断面線の直交方向に投影した。地層の走向が断面線に斜交する場合には、その走向に沿って投影することも可能である。実際には、走向は断面線に対して直交しないことも多いが、その角度は一定でない。2DMove® は自動的に断面上での地層の傾斜を表示することができる。また、その傾斜線の色が属性 (層序区分) によって色分けされる (第 4 図)。この断面線に沿って幅約 2 km の範囲の地質図を、5 万分の 1 地質図から切り出し、断面に沿って表示した (第 4 図)。この地質図を参照しながら、地層境界や褶曲軸の位置を合わせつつ地質断面図を作成する。

4.2 断面の作成

断面図には地表付近に露出する層準の異なる地層の傾斜が示されるが、地下の断層形態を推定するためには、ある層準の褶曲形態をできるだけ正確に、丘陵全体にわたって作成する必要がある。東山背斜や田山背斜が発達する部分では、新しい地層が浸食によって失われているため、古い地層の構造から失われた地層の構造を復元しなければならない。また、信濃川付近では新しい地層が厚く発達して、丘陵に露出する地層は埋没しているため、地下の地層の形態を推定する必要がある。そのため、地表付近の層準の異なる地層の傾斜を参考に、浸食された地層や埋没した地層の形態を推定した。

2DMove® には、地層の傾斜データから断面図を作成するための支援ツールが用意されている。まず、地層の厚さが変形後も変化しないと仮定すると (layer-parallel shear を仮定)、ある層準の傾斜からその上下の堆積層の傾斜を推定して、平行線を引くことができる。それらの線をつなぎ合わせることによって、褶曲全体のおおよその形態を描くことができる (第 5 図)。ここでは地層の厚さが全て一定であると仮定した線を引いたが、地層がどちらかの方向に一定の割合で層厚が変化していると仮定することも可能である。

この地域には数多くのテフラが広く分布し、重要な鍵層となっている。断面線上に分布するテフラを用いることによって、大規模な背斜構造の両側で同層準の位置を確認することができる。実際に地層の厚さが一定であると仮定して作成した断面では背斜

構造の両側でテフラの層準が一致せず（第5図）、東に向かって地層が薄くなると考えることによって（柳沢ほか, 1986）、テフラの層準を合わせることができる。背斜の両側での層準のずれを、緩やかに解消するような線を描き、地質構造とした（第6図）。

4.3 断層面の推定

以上述べた方法によって作成した褶曲形態に加えて、変形前の地層の形態と断層変位量も仮定する必要がある。変形前の地層の形態は正確にはわからないが、ほぼ平坦であったと仮定する。もし、古水深に関する詳細なデータがあればそれを基にさらに正確な断面を復元出来るが、実際には容易でない。この東山丘陵や魚沼丘陵では東側に向かって浅くなっていたことが知られているので（柳沢ほか, 1986）、一様に西に傾斜する地層面を仮定したが、その面が褶曲した地層より浅くなる場合には、変形前の地層面を深くした（第7図）。

断層変位量は簡単に推定することはできない。ここでは、先に述べた断層変位量と断層下端の深さの積が断面上の隆起した範囲の面積に一致するという関係を用い、断層下端の深さを地震の余震深度から15 kmと仮定して断層変位量を求めた。実際には変位量を調整して、断層下端深度を15 kmに合わせている。

最終的に2DMove®で断層形態を求めるには、上盤の変形様式を決める必要がある。ここでは上盤を平行な剪断面に沿って少しずつ変形させる *inclined shear* を適用した。第8図の上盤に表示されている赤い平行線が剪断面に相当し、この線に沿った滑りだけで上盤を変形させることによって、断層変位によって生じた上盤と下盤の形の違いを修正するという考え方である。この考え方に従えば、東山背斜や田麦山背斜のような顕著な隆起帯の下では断層面の傾斜が大きくなり、隆起量の少ない部分では傾斜が緩やかになることが予想される。上記の手法と市販ソフトを用いて地質構造から推定された断層面も背斜構造の下で急傾斜し、その東側で緩やかになっており（第8図）、Kato *et al.* (2005) の地震の余震分布におおよそ一致する（岡村ほか, 2005）。

5. おわりに

魚沼丘陵と東山丘陵に発達する褶曲が断層関連褶曲であると仮定して、丘陵下に伏在する断層の形状を推定したところ、2004年新潟県中越地震の震源断層とよく一致することが明らかになった。新潟堆積盆地に広く分布する褶曲にも同じ手法を適用して、伏在する将来の震源断層を推定出来る可能性を示している。このような地下の断層面の推定は、バランス断面作成ソフトを用いることによって効率よくできるが、そのためには数値化した地質図データを用

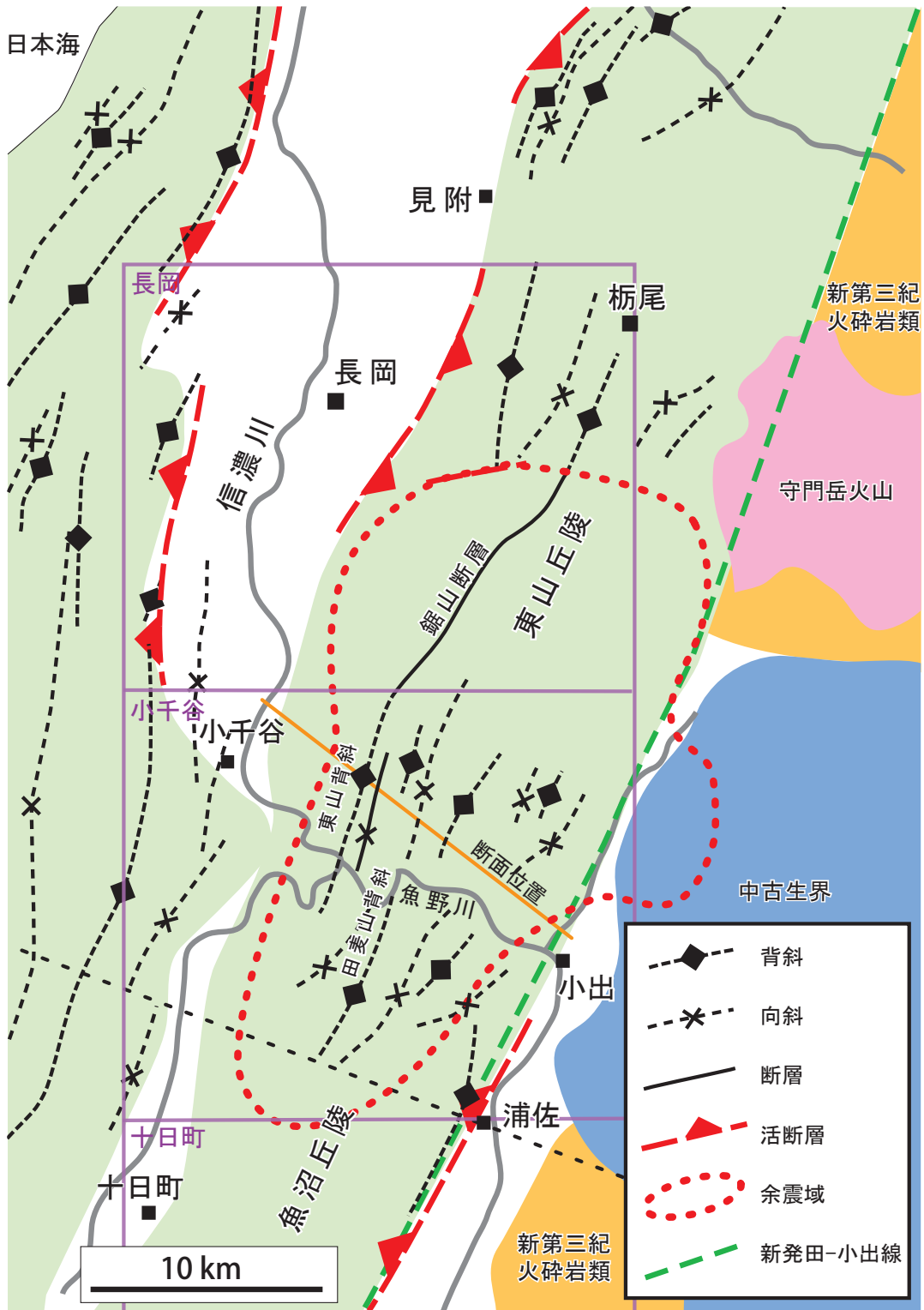
意することも重要である。5万分の1の地質図を区域的に数値化していくことによって、日本全国の様々な場所で、地下の断層形態を推定出来るようになり、活断層評価や災害予測にも有効な情報が整備出来ると期待される。

謝辞 地質調査情報センターの牧本 博室長には公表前のデジタル地質データを提供していただいた。地質情報整備室の川畑 晶氏にはデジタルデータの利用方法に関して貴重な助言を受けた。地質情報研究部門の柳沢幸夫主任研究員には、震源域の地質やテフラ層序について、貴重な情報を提供して頂いた。以上の方々に、深くお礼申し上げます。

文 献

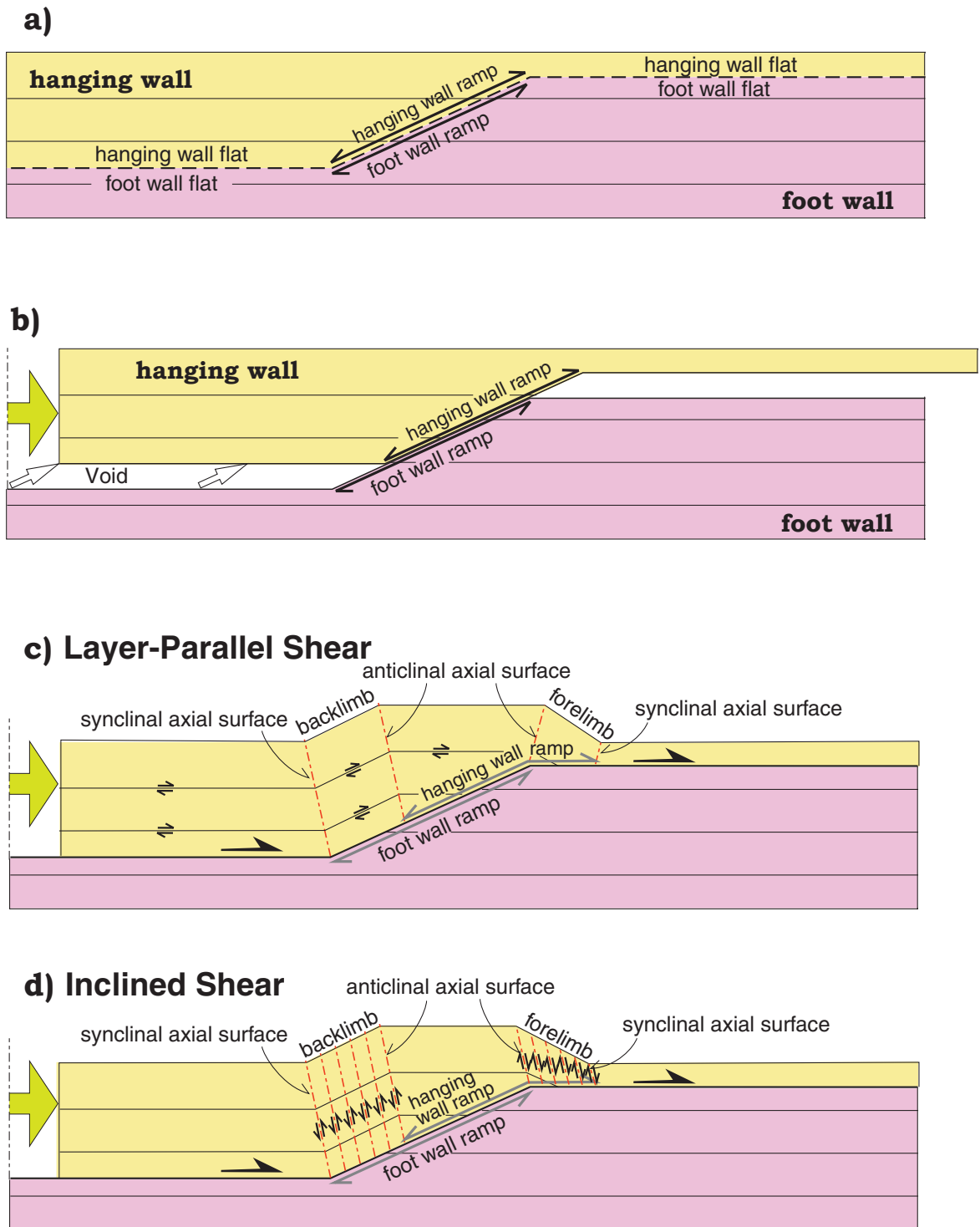
- Gibbs, A. D. (1983) Balanced cross-section construction from seismic sections in areas of extensional tectonics, *Jour. Struct. Geol.* 5, 153-160.
- Jamison, W. R. (1993) Stress controls on fault thrust style. In MaClay, K. R. ed. *Thrust Tectonics*, Chapman & Hall, London, 155-164.
- Kato, A., Kurashimo, E., Hirata, N., Sakai, S., Iwasaki, T., Kanazawa, T. (2005) Imaging the source region of the 2004 mid-Niigata prefecture earthquake and the evolution of a seismogenic thrust-related fold. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L07307, doi:10.1029/2005GL022366.
- 金 幸隆 (2004) 魚沼丘陵の隆起過程と六日町断層の活動累積, *活断層研究*, no. 24, 63-75.
- 小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光男 (1991) 長岡地域の地質. *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 132p.
- 岡村行信 (2000) 音波探査プロファイルに基づいた海底活断層の認定 - fault related fold, growth及び growth triangle の適用-. *地質調査所月報*, 51, 59-77.
- Okamura, Y. (2003) Fault-related folds and an imbricate thrust system on the northwestern margin of the northern Fossa Magna region, central Japan, *The Island Arc*, 12, 61-73.
- 岡村行信・石山達也・柳沢幸夫 (2005) 2004年新潟県中越地震震源域のバランス断面, *地球惑星科学関連学会2005年合同大会*, S101-001.
- Shaw J. H. & Suppe J. (1994). Active faulting and growth folding in the eastern Santa Barbara Channel, California. *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 106, 607-26.
- Suppe, J. (1983) Geometry and kinematics of fault-bend folding, *American Journal of Science*, 283, 68-721.
- Suppe, J. and Medwedeff, D. A. (1990) Geometry and kinematics of fault propagation folding. *Eclogae Geologiae*, 83, 409-454.

- 竹内圭史・柳沢幸夫・宮崎純一・尾崎正紀 (2004) 中越魚沼地域の5万分の1数値地質図 (Ver.1), 地質調査総合センター研究資料集, no. 412.
- White, N.J., Jackson, J. A., and McKenzie (1986) The relationship between the geometry of normal fault and that of the sedimentary layers in their hanging walls. *Jour. Struct Geol.*, 8, 897-909.
- Yamada, Y. and McClay, K. (2003) Application of geometric models to inverted listric fault systems in sandbox experiments. Paper 1: 2D hanging wall deformation and section restoration. *Jour. Struct Geol.*, 25, 1551-1560.
- 柳沢幸夫・茅原一也・鈴木尉元・植村 武・小玉喜三郎・加藤碩一 (1985) 十日町地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 104p.
- 柳沢幸夫・小林巖夫・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一 (1986) 小千谷地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 177p.
- (受付: 2005年10月17日, 受理: 2005年10月24日)



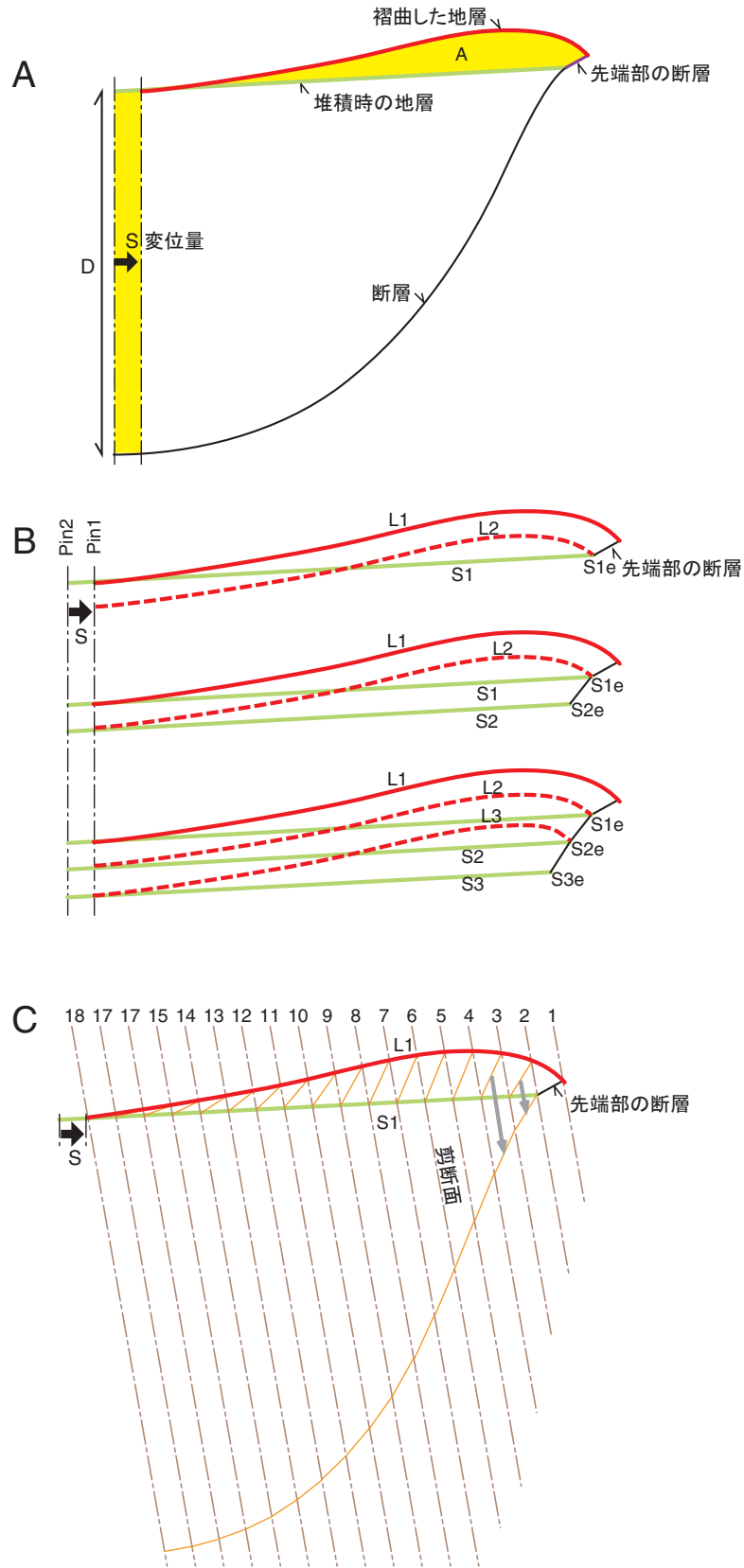
第1図. 2004年中越地震震源域周辺の地質構造. 紫の枠は5万分の1地質図の区画で, 上から「長岡」, 「小千谷」, 「十日町」. 赤の点線は余震域を示す.

Fig. 1. Structural map around the source area of the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake. The purple quadrangles shows the are of geological maps, Nagasaki, Ojiya and Muikamachi from North to South.



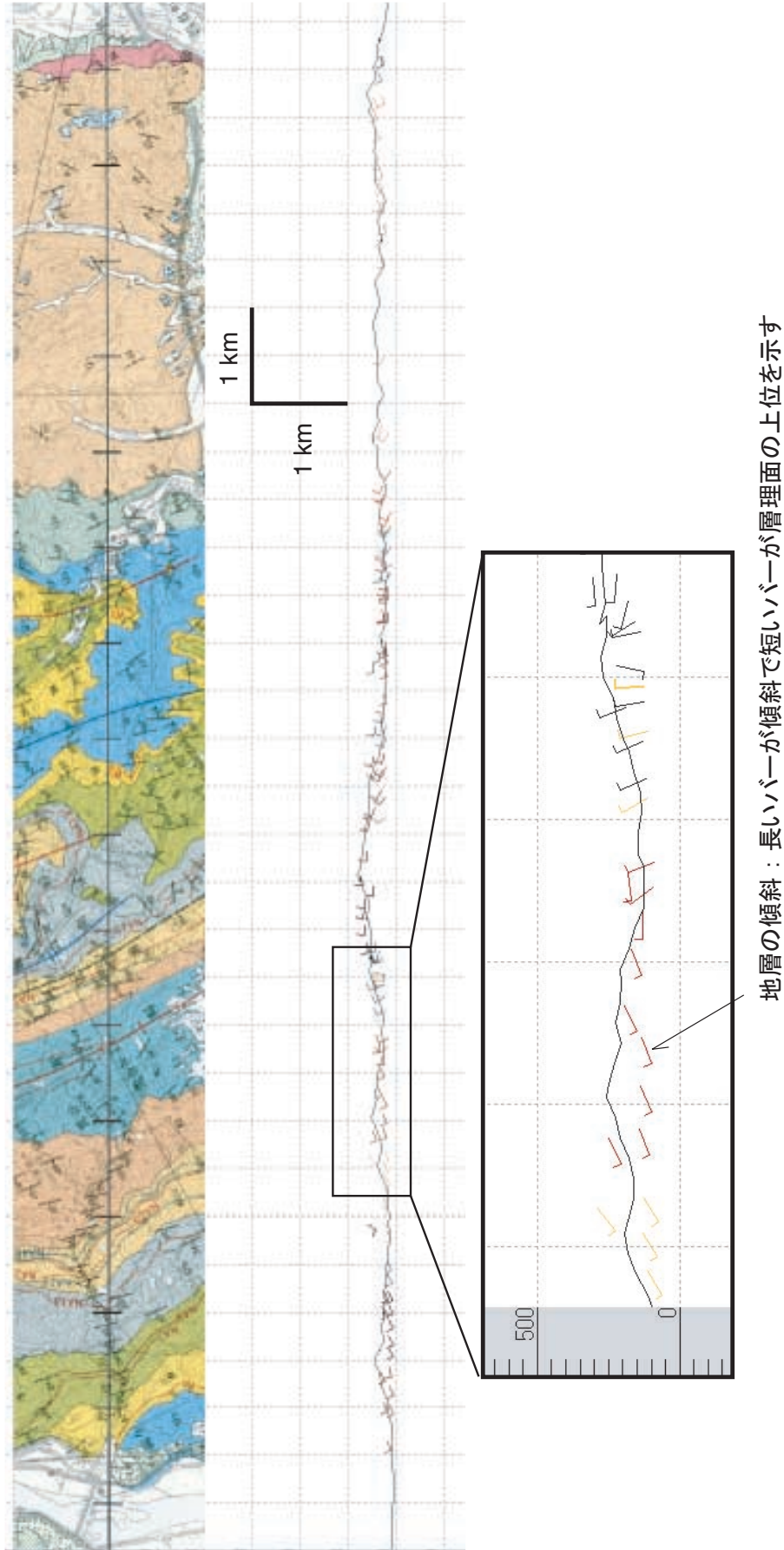
第 2 図. 断層関連褶曲の基本的考え方を示す模式図. a の点線に沿って断層が形成されると, 上盤が完全な剛体であった場合には b のように断層面に沿って隙間が形成されるが, 上部地殻にはそのような隙間を保持するだけの強度がない. そのため, 何らかの内部変形が生じて隙間が解消されると考えられる. c は layer-parallel shear によって上盤が変形する場合で, d は inclined shear によって上盤が変形する場合. 上盤の変形様式が変化すると, 断層の折れ曲がりに対して軸面の方向が変わるが, 断層と褶曲の基本的な関係は同じである.

Fig. 2. Schematic sections showing the concept of the fault related fold. A fault initiates along the broken line in figure a. If the hanging wall was rigid, voids form along the fault. The upper crust does not have such strength to keep the voids, hence the hanging wall is deformed to fill the voids. Figures c and d indicate the hanging walls deformed by layer-parallel shear and inclined shear, respectively. The difference of deformation style of hanging wall causes the change of the angles of axial surfaces, but basic relations between the fault bends and axial surfaces are the same.

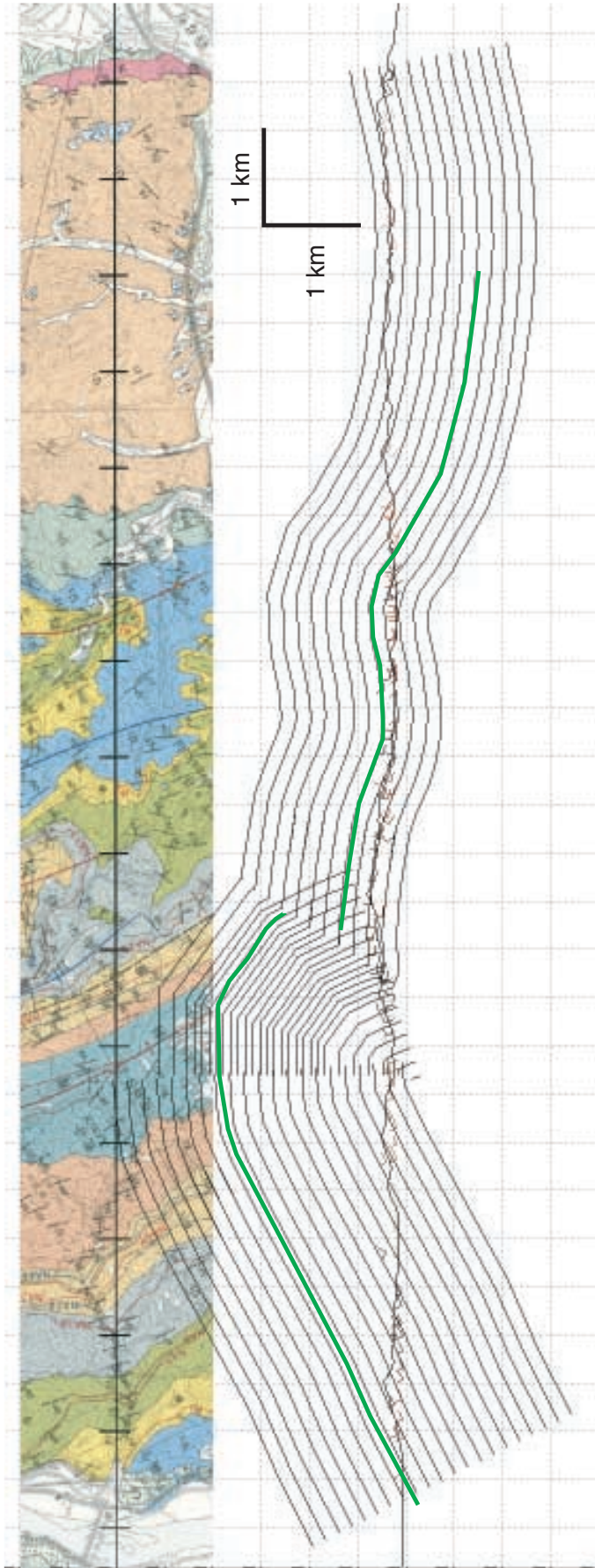


第3図. 断層モデルの構築方法を示す模式図. a: 断層の深度, 変位量及び隆起量の関係, b: Layer-parallel shearを仮定した断層モデルの作成方法, c: Inclined shearを仮定した断層モデルの作成方法.

Fig. 3. Cartoon showing how to construct fault model. a: relationship among fault depth, fault slip and uplift, b: fault construction assuming layer-parallel shear, c: fault construction assuming inclined shear.

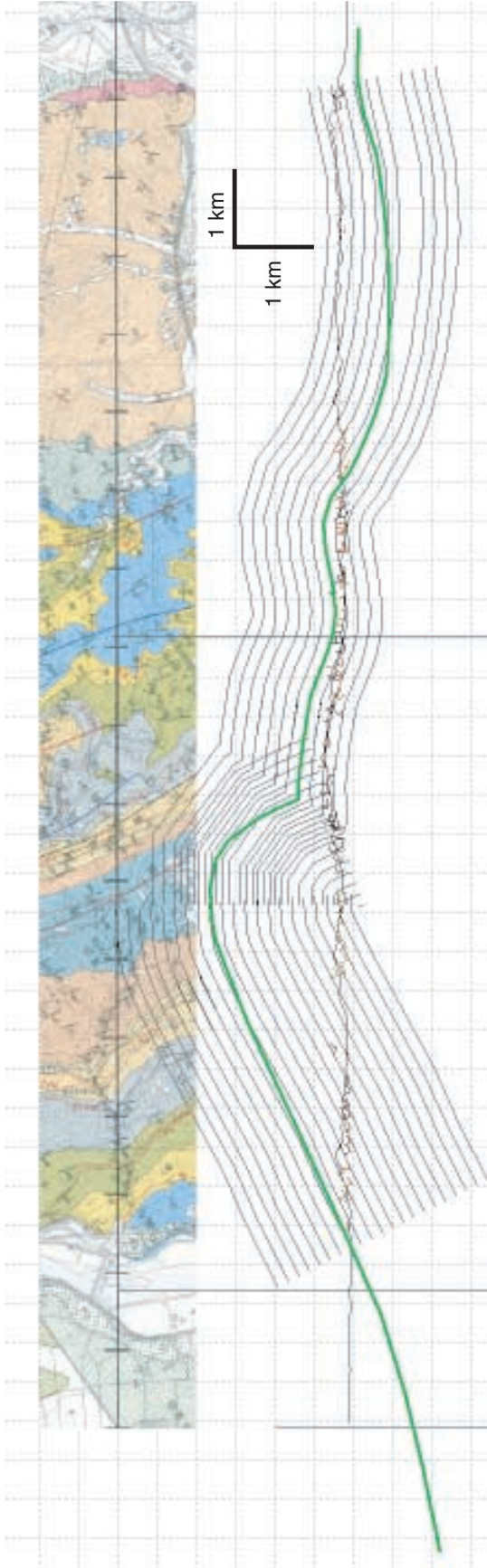


第4図. 2DMove®によって作成した地形断面と地層の傾斜 (下段) および同じスケールで貼り付けた地質図 (上段).
Fig. 4. Topographic profile and dips of beds (bottom) projected by 2DMove® along section line and stripped geologic map (top).

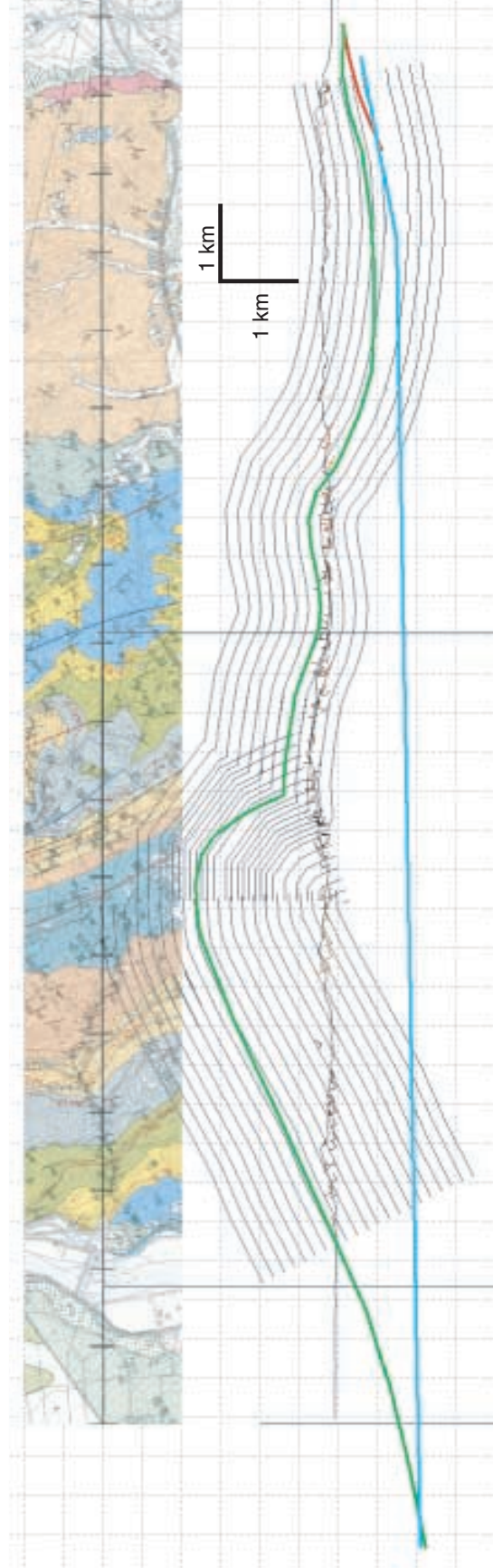


第5図. 地層の傾斜に平行な線を引く. 緑の線は背斜構造の東西両側で露出するほぼ同じ層準のテフラの露出位置から平行線に沿って延ばした線. 西側はKo, 東側はOKIを使っている. OKIの方がやや上位に当たるが, この図ではKoの方が上位になってしまう. 地層の厚さを一定であると仮定するだけでは背斜構造の正確な形態を描くことができないが, テフラを用いることによって, より正確な背斜構造の形態を明らかにできる.

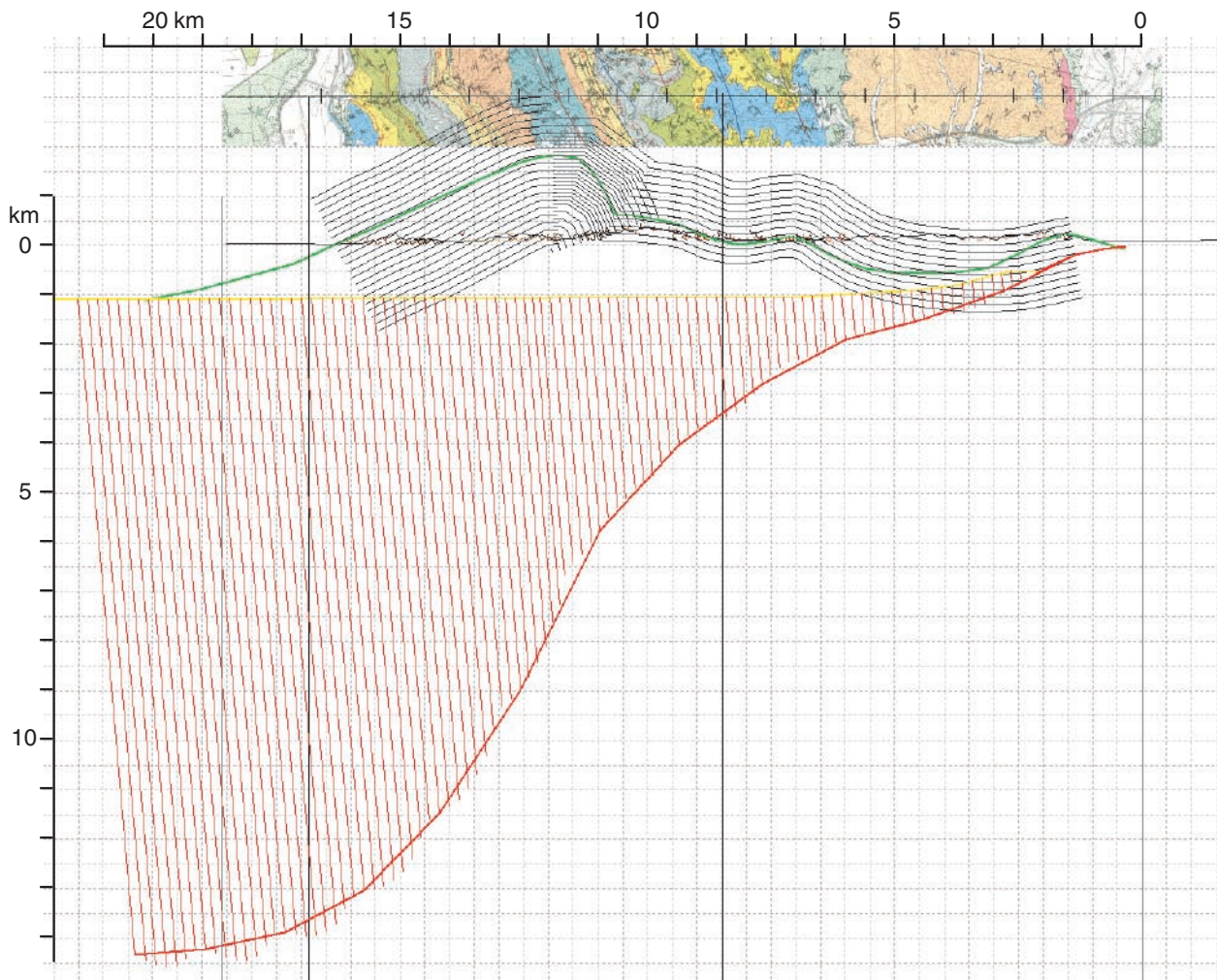
Fig. 5. Parallel lines drawn by 2DMove® concordant to dips of beds. Green lines shows tephra layers extended from the locations of exposures, east and west of the anticline. The lines in the west and east are tephra Ko and OKI, respectively. OKI is a little younger than Ko, however, the Ko horizon is located higher than OKI horizon if we assumed constant thickness layer-parallel shear. We can draw more precise geometry of folded layer by using stratigraphic position of tephra layers.



第6図. 地層の傾斜に平行な線とテフラの位置を参考に Ko と Oki が同じ層準であると仮定して断面を作成 (緑).
Fig. 6. The geometry □



第7図. 現在の構造に加えて, 堆積時 (変形前) の地層の形態 (青) と断層先端部の形態 (赤) を仮定する.
Fig. 7. The initial geometry of the sedimentary layer (blue) and the fault shape at the leading edge (red) were added.



第 8 図. 第 7 図の断面に対して **inclined shear** を適用して推定した断層. 赤の平行線は東に 85° で傾く剪断面を示す. この線に沿った滑りだけで上盤を変形させ, 褶曲を作ることができる.

Fig. 8. Fault model constructed from Fig. 7 assuming inclined shear at angle 85° . The red lines indicate shear surfaces dipping at 85° to the east. The fold of the hanging wall has grown only by slips along the shear surfaces caused by the slip along the fault.