

柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会

成果概要

1. 本検討委員会（第二期）の位置づけと議論，検討の経過

柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関して，平成 21 年度から平成 22 年度の第一期における議論，検討に基づき，平成 24 年度からは第二期として，議論の対象範囲を柏崎地域からその前面南方海域，長岡平野及び佐渡島の地質構造まで拡張し，新潟平野から高田平野に至る地域が新潟―神戸ひずみ集中帯のなかに位置しながらどのような地質構造発達を遂げてきたのかを議論，検討した。

第二期として全 4 回開催した検討委員会においても，第一期と同様，有識者から地球物理学，石油探査，海底地質構造などに関する最新の話題提供を受けながら議論を重ねた。

新潟平野から高田平野に至る地域には海陸を問わず地域地質及び石油探査による地下地質に関する多くの調査結果，研究成果がある（図 1 左）。これら研究成果の中で，柏崎平野及びその周辺の第三系及び第四系の褶曲構造の形成発達史は，陸域においては岸・宮脇（1996）が，高田沖から糸魚川沖にかけての海域においては Okamura（2003）（図 2）がそれぞれ明らかにしている。これらによれば，鮮新世～更新世以降，大局的には，それぞれの地域の褶曲構造は海域においては西方へ，陸域においては東方へ移動しながら成長を続け，現在に至っているとされている。ただし，これらの地域を包括し，海域，陸域を統合した新潟地域全域を対象とした褶曲構造の形成発達史は，未だ取りまとめられてはいない。したがって，上述の研究成果で示されている時代とともに褶曲軸が一定方向に移動していく傾向が，新潟地域全域において共通的な傾向として見出されるものなのか，地域的な特徴として見出されているものなのかについては議論の余地が残されていた。

本検討会では，既に既往研究成果によって明らかにされている柏崎平野及びその周辺陸域，高田沖から糸魚川沖にかけての海域における褶曲構造の形成発達史に加えて，特に新潟平野北部の下越地域から高田平野付近の上越地域に至る新潟地域全域の陸域及び海域について，褶曲構造の形成発達史とその褶曲を形成したテクトニクスに関する議論，検討を行った。

2. 現時点で考えられうる新潟平野から高田平野に至る地域の褶曲構造の形成発達史

検討委員会においては，3～3.5Ma 以降の新潟平野から高田平野に至る陸域，海域を統合した褶曲構造の形成発達史が，これまでの議論を踏まえた話題提供として示されている（図 3，図 4）。これは各種の既往文献に示されている地質構造断面（図 1 右），反射法地震探査断面（図 5，図 6）から，各地層の形成年代，背斜翼部における層厚変化，褶曲成長時の特徴的な堆積構造（growth strata）を読み取ることにより，まとめ

られたものである。また、前提条件として、この地域の褶曲構造の形成を逆断層の上盤側に形成された断層関連褶曲によるものとしており、逆断層の活動開始時期を褶曲構造の形成開始時期として扱っている。

以下に話題提供で示された褶曲構造の形成発達史について、活動域の移動という観点から、褶曲活動の方向と活動開始時期が異なるので、〈下越～中越地域〉と〈中越～上越地域〉に分けてその特徴をまとめる。

<下越～中越地域>

新津丘陵からその北方の阿賀沖にかけては、背斜群が大部分伏在して、ほぼ N-S 方向に連続しており、いずれの背斜東縁にも西上りの逆断層が推定される。これらの背斜はいずれも、その成長開始時期は 3.25Ma 頃であり (図 3 左)、約 1Ma 以降における成長は認められない (図 4 右)。一方、これらの背斜群の東方にも、岩船沖から新発田にかけてほぼ N-S 方向に連続した背斜群が伏在しており、これらの背斜群の活動はいずれも 1Ma 以降である (図 4 右)。これらの活動を対比すると西上りの断層の活動域が、時代と共に東方に移動している傾向が読み取れる。

ただし、この地域の東側に分布する楯形山脈断層帯及び月岡断層帯は 2Ma 頃に活動を開始し、その活動域は変わることなく現在に及んでいる (図 3 右、図 4 左、図 4 右)。この南方には東上りの構造である三条傾動帯、吉野屋断層及び悠久山断層が分布しており、その活動開始は約 1Ma 以降である (図 4 右)。さらに南方の六日町断層帯の逆断層としての活動開始時期は 3.5Ma 頃であり (図 3 左)、その活動は 2.3Ma 頃以降一旦停止しているようにみえるが (図 3 右)、0.85Ma 頃以降、再活動している (図 4 右)。したがって楯形山脈断層帯から六日町断層帯に至る地域については、活動域が南に延伸しているという傾向も読み取ることが可能である。

<中越～上越地域>

長岡平野西縁断層帯のうち、北部セグメントである角田・弥彦断層の活動開始時期は 3.25Ma 頃であり (図 3 左)、その後の活動域は、2.0Ma～1.5Ma には南方の寺泊・西山丘陵地域まで拡大し (図 3 右)、1.5Ma 頃では大河津分水以北に縮小したものと考えられる (図 4 左)。その後、約 0.7Ma 以降長岡平野西縁断層の中部セグメントである気比ノ宮断層及び同断層帯南部セグメントである片貝断層の活動に伴って褶曲構造が形成されている (図 4 右)。また、柏崎平野東側の中央油帯背斜南部の東翼には、西上りの中央油帯東縁断層が分布し、この逆断層上盤側に形成された背斜構造の形成時期は 2.8Ma～2.4Ma であり (図 3 左)、この時期の褶曲は米山地域及びその南側の広い範囲に及んだものと推定される。

前述した北部から南への活動域の延伸としてとらえた六日町断層帯の 0.85Ma 頃以降の再活動も含めて考えると、中越地域の信濃川以西の陸域 (東頸城丘陵) においては、西上りの断層によって形成される褶曲構造の活動域が、時代と共に東方に移動してい

る傾向も読み取れる。

一方、柏崎平野前面の海域には、2 条の背斜構造（以下、F-B 褶曲群と呼ぶ。）が NE-SW 方向に並走している。F-B 褶曲群の 2 条の背斜うち、東側の背斜の形成時期 1.5Ma あるいはそれより若干前であり、この背斜は約 1.4Ma 以降においては活動を停止し、西側の背斜の形成時期は 0.6Ma 以降と考えられる（図 5）。このことから、F-B 褶曲群については、断層関連褶曲形成の場が、時代とともに西方へ（陸域とは逆方向）断続的に移動している。

また、高田沖の海域に分布する F-D 断層及び高田沖断層についても、3.25Ma 頃に陸側において活動を開始し、その後の 1.4Ma 頃に、断層の先端が 15km 程度北西側に移動したものと推定される（図 6）。

ただし、柏崎平野前面海域の F-B 褶曲群、高田沖の海域に分布する F-D 断層及び高田沖断層については、いずれも、逆断層のフロントマイグレーションに伴って褶曲帯を構成する複背斜構造が移動したものと解釈され、前述の褶曲帯の形成活動域自体が移動するという現象よりも、小さいスケールの活動を見ている可能性もある。

以上のように、既往文献に基づく検討からは、新潟地域の陸域及び海域の断層関連褶曲には、時代とともに褶曲域が移動しているものと、ほぼ同じ場所で断続的あるいは連続的に活動しているものと読み取られた。また、大局的には、陸域では褶曲域が東方に、海域では北西方向にそれぞれ移動している傾向があるとも解釈できる。また、地質構造の連続性の観点等、活動域の対比の仕方によっては、活動場が走向方向に延伸していると解釈できる部分もある。さらに、これらの活動には開始時期の違いおよび断続性や再活動性が認められた（図 7 左）。

3. 褶曲構造の形成発達史に合理的な傾向を見出すことの難しさについて

前節で示されたことを踏まえると、新潟—神戸ひずみ集中帯という同一のテクトニクス場内においても、褶曲構造の形成発達史は、地域ごとに異なる傾向性を有していると解釈される。したがって、本検討委員会における議論の中心であった柏崎平野を含む地域において、現在までの褶曲形成過程に何らかの傾向性がみられたとしても、それはそれで決してご都合主義的な解釈ではなく、地質学的解釈の範疇としては、例外的なことではないと考える。

新潟—神戸ひずみ集中帯という同一のテクトニクス場において褶曲構造の形成に傾向性が生まれることに関する合理性を高めるためには地下構造との整合が重要である。この地域において地質構造に非対称性を有する褶曲構造は、伏在する逆断層の活動に伴う断層関連褶曲である。したがって、その地質構造自体は逆断層の活動に伴って撓曲の前翼部を前進させて成長していく。地質学的な時間スケールにおいては、この現象の累積が褶曲域の成長として認識されることになる。ただし、この成長過程のさらなる累積

が、褶曲域の活動の場自体を移動させるような現象を生むのかという疑問は残る。

一方、褶曲構造の成長、移動が認識されないものについては、複背斜も含めてどの規模（例えば、褶曲帯の幅）の褶曲構造を検討対象にするのかによって、傾向性が変わって見える可能性もある。すなわち断層関連褶曲を前提とすれば、褶曲の規模によって地下のデタッチメントの深度は異なっており、デタッチメントが浅ければ変形域も狭くなり削剥等の影響も受けやすく見かけ上、成長、移動がないものとして認識されてしまう可能性もある。柏崎平野前面海域の F-B 褶曲群、高田沖の海域に分布する F-D 断層及び高田沖断層において褶曲構造の移動が認識されたのは削剥を受けていない明瞭な地下構造が把握されたためであり、陸域においては地質環境として認識することが困難な場合も多いと考える。

地震学的な意味では上部地殻の弱面が震源断層となる。すなわちその弱面を境にして幾何学的には上下と水平に変位が生じる。断層関連褶曲においては、それが地表部において堆積層の褶曲を伴う短縮として認識される。堆積層内に深度の異なる何枚かのデタッチメントが存在し、それぞれの深度で力学的に変位しやすい側に変位することで地殻全体の短縮を吸収しているとすれば、地殻の短縮を引き起こす地殻深部の断層と堆積層内の断層が、必ずしも同じセンスの断層傾斜を有する必要はなくなる（図 8）。この場合、褶曲構造は移動せず同じ場所で活動し続けるモデルも比較的シンプルに構築できる。また、これまでの断層関連褶曲の地質構造解釈として、深部の断層から水平方向に離れた位置に分布する浅部の断層までを一枚の滑り面として結びつけるために、フラットアンドランプを複数回仮定する必要があった場合などは、上述の考え方を導入することにより、地質学的な合理性がより高まる可能性もある。

4. 褶曲構造の形成発達史のさらなる解明に向けて

本検討委員会第一期、第二期を通して検討対象としてきた柏崎周辺地域は新潟県中越地震、新潟県中越沖地震という最近の 2 度の被害地震に見舞われており、そのことが契機となり地下構造探査や海底地質調査が行われ、余震データも加えて、地下構造に関するデータが他の地域に比べて格段に整備されている。さらに、油田地域でもあることから既存の深部坑井データにも恵まれている（図 9）。このような地域であるからこそ、地下構造に関する包括的なモデルが作成可能であり、合理的な褶曲構造の発達形成モデルの構築には地下構造との整合性は必要不可欠である。この点については、第一期のとりまとめにおいても記述した点である。

今回、第一期よりも検討対象地域を広げたことによって、褶曲構造の形成発達の過程における多様性が明らかになった。すなわち、①褶曲構造の発達形成が活動域を移動して進行する地域、②活動域を移動せずほぼ同じ地域で褶曲形成が進行する地域、③形成・活動時期の違いおよび断続性や再活動がある地域。さらに、活動開始時期についてもそれぞれ違いが認められた。それぞれ具体的にまとめると、以下の通りである。

①褶曲構造の発達形成が活動域を移動して進行する地域

- ・ 新津丘陵からその北方の阿賀沖にかけての背斜群と岩船沖から新発田にかけての背斜群（いずれもほぼN-S方向）において、西上がりの断層の活動域が、時代と共に東方に移動している傾向が読み取れる。
- ・ 櫛形山脈断層帯から六日町断層帯に至る地域については、活動域が南に延伸しているという傾向も読み取ることは可能である。
- ・ 中越地域の信濃川以西の陸域（東頸城丘陵）においては、西上がりの断層によって形成される褶曲構造の活動域が、時代と共に東方に移動している傾向も読み取れる。
- ・ 柏崎平野前面海域のF-B褶曲群については、断層関連褶曲形成の場が、時代とともに西方へ（陸域とは逆方向）断続的に移している。

②活動域を移動せずほぼ同じ地域で褶曲形成が進行する地域

- ・ 櫛形山脈断層帯及び月岡断層帯は2Ma頃に活動を開始し、その活動域は変わることなく現在に及んでいる。

③形成・活動開始時期の違いおよび断続性と再活動がある地域

- ・ 新津丘陵からその北方の阿賀沖にかけての背斜群はいずれも、その成長開始時期が3.25Ma頃であり、約1Ma以降における成長は認められない。
- ・ 六日町断層帯の逆断層としての活動開始時期は3.5Ma頃であり、その活動は2.3Ma頃以降一旦停止しているように見えるが、0.85Ma頃以降に再活動している。
- ・ 柏崎平野前面の海域F-B褶曲群の2条の背斜うち、東側の背斜の形成時期は1.5Maあるいはそれより若干前であり、約1.4Ma以降に活動を停止し、西側の背斜の形成時期は0.6Ma以降と考えられる。
- ・ 高田沖の海域に分布するF-D断層及び高田沖断層についても、3.25Ma頃に陸側において活動を開始した後、1.4Ma頃に断層の先端が15km程度北西側に移動したと推定される。

(1) 多様性が認識される要因には古い地層の年代精度、削剥による地層の欠如などが含まれている可能性はあるが、現時点の褶曲帯形成史に着目した地質構造発達モデルにおいて褶曲幅等の規模を検討することによりデタッチメント深度による褶曲構造の差別化を図り、褶曲形成の「傾向性」をより明確化することができると考えられる。すなわち地震発生層に至る最深部の大規模なデタッチメントの存在を考慮したうえで、地域性を考慮するため浅部にも褶曲の規模に応じたデタッチメントを配置するというモデルである。その際、深部と浅部のデタッチメントは必ずしも一つの面上に連続的に存在する必要はない。

(2) 現状の地下構造モデルに対する地質構造解釈においては、包括的なモデルとして広域的な現象においてはある程度の説明性は有していると考え(図9)。今回の検討委員会で議論された褶曲構造の発達形成過程の多様性はローカルな地質構造の発達を示しているものであり、地下構造モデルとの対応では浅部のデタッチメントの配置で規定されるものである(図8)。このような考え方で、地下構造モデルに対する地質構造解釈を再構築していくことで褶曲構造の形成発達史について多様性も含めた合理的な解明はさらに進めることができる。特に柏崎地域における褶曲構造の形成発達において、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震というものが果たした役割についても、より議論が深まると考える(図9)。

(3) 褶曲形成の傾向性の違いを規定する要因として、褶曲構造を横断する方向の非活動的な構造線との対応で検討することにより、褶曲形成の「地域性」をより明確化することができる可能性も本検討委員会でも度々議論に上った(図7右)。テクトニックインバージョンとして活動している逆断層も褶曲帯を横断する非活動的な断層も、日本海形成時のリフト期の地殻構造を反映したものだとすれば、柏崎平野を含む新潟平野から高田平野に至る地域のテクトニクスを規定するような規模の深部断層が空間的にどれくらいの頻度で分布している可能性があるのかを検討するためには、現在リフティングとしての活動をしている沖縄トラフ縁辺部、伊豆・小笠原弧の第四紀リフトの地殻構造において、正断層群が空間的にどのような規模を有しているのかが参考となる。

本検討委員会は、今年度をもって終了しますが、東京電力株式会社殿におかれましては、科学の進歩は日進月歩であり、慢心することなく、今後も引き続き地質学的な最新知見の拡充に努められていかれることを切に希望します。

本検討委員会で議論、検討を行った新潟平野から高田平野に至る地域の褶曲構造の形成発達史に関しては、地質学、地形学、地震学いずれの専門家のあいだでも100%合意が得られるようなモデルは提唱されていない。このような現状において、専門以外の方々に本検討委員会における議論、検討内容を御理解いただく事が、極めて困難である事は想像に難くない。

今後、本検討委員会に携わった研究者として、引き続きこの地域における褶曲構造の形成発達史の解明に向けてさらなる努力を積み重ねていく事は当然であるが、専門外の方々にも研究成果の現状、課題等を出来る限り御理解いただけるよう努力していきたいと考える。

新潟油田地域の地質構造

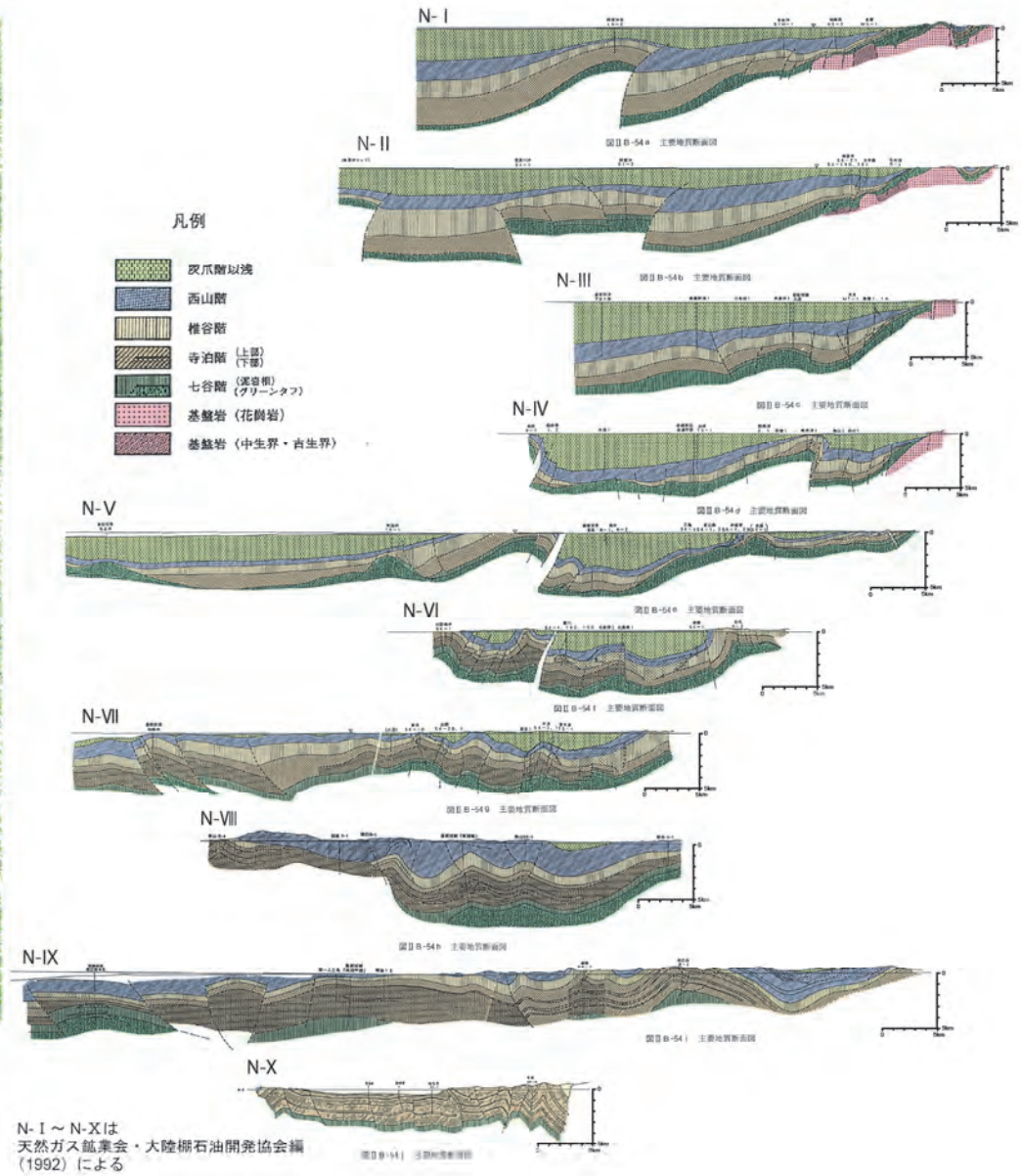
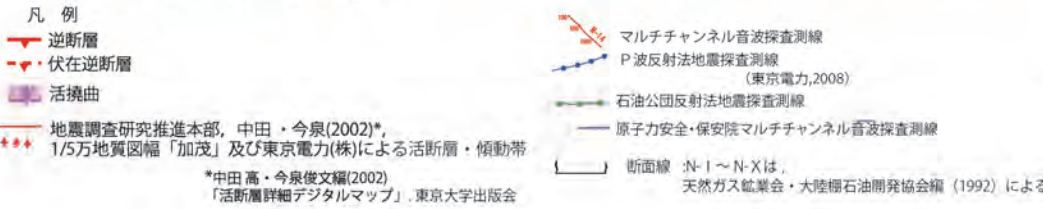
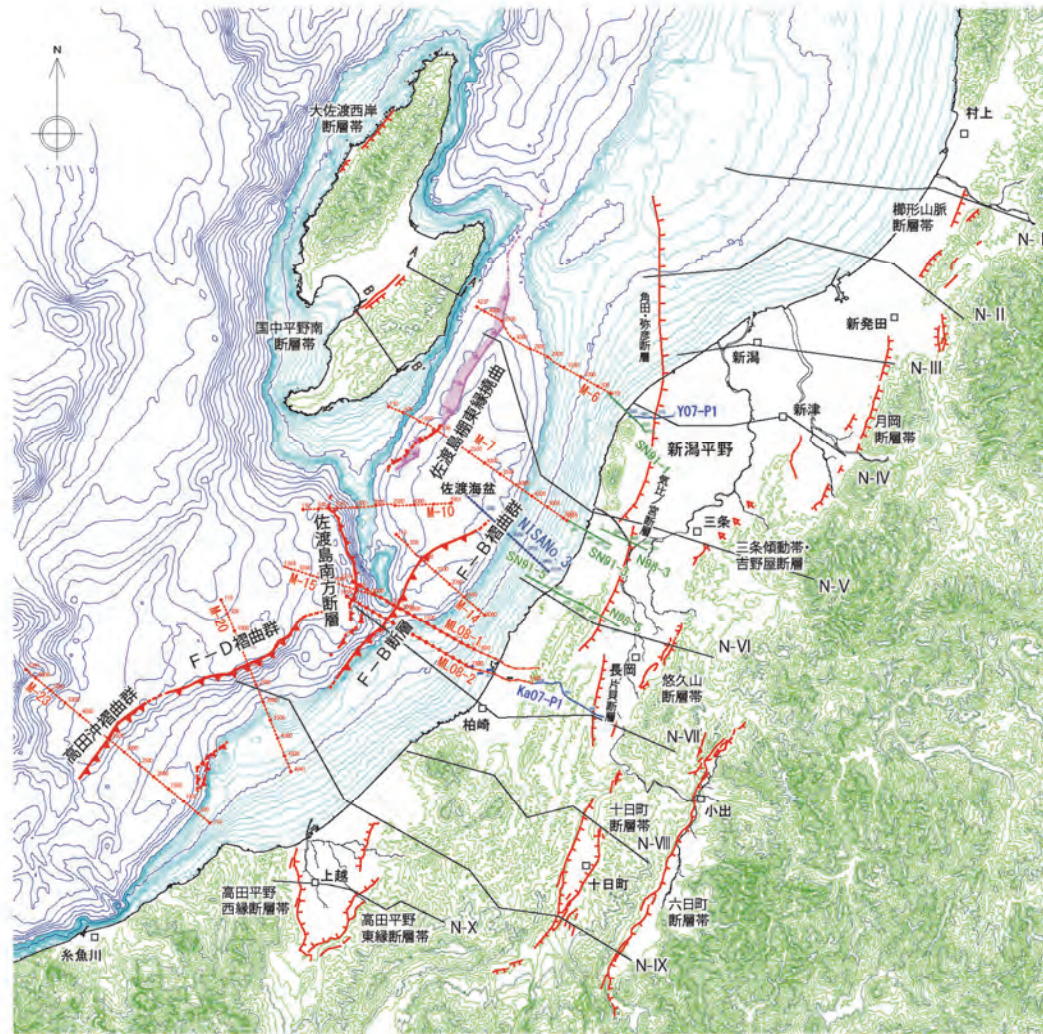
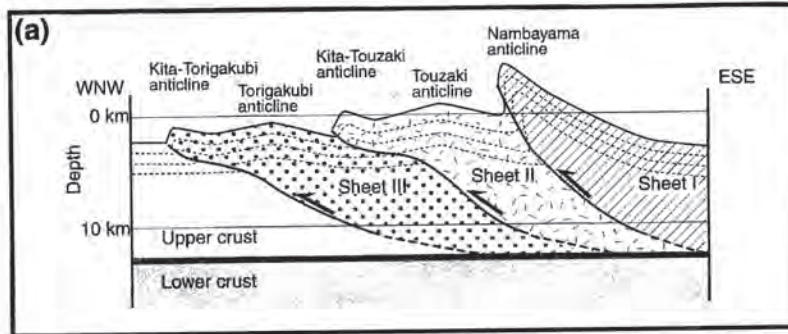


図1 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会 (第二期)」話題提供資料より抜粋

XI- 1. 高田一糸魚川沖の地質構造(1)



- OKAMURA(2003)は、音波探査記録の解析などに基づき、高田沖から糸魚川沖にかけての海域にみられる褶曲帯は、3枚のスラストシートからなり、活動域が南東側から北東側へ移動していることを指摘している。
- OKAMURA(2003)は上記スラストシートの移動の年代について以下のように述べている。
 スラストシート I : 後期鮮新世
 スラストシート II : 前期～中期更新世
 スラストシート III : 中期更新世～現在

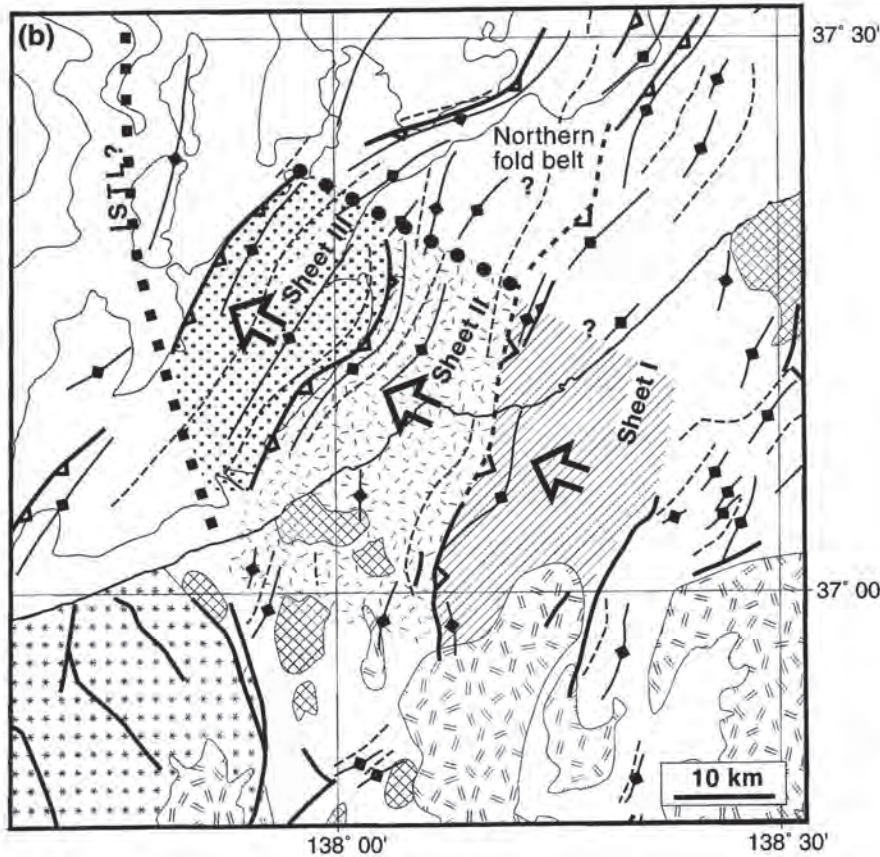


Fig. 7 Imbricated thrust model of the fold belt of the Nishikubiki Mountains and the northern offshore area. (a) Schematic cross-section of the thrust model. (b) Structural map of the thrust model. The northeastern margin of the thrust sheet cannot be clearly distinguished. The western margin of thrust sheet III apparently is bounded by the northern extension of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL).

図2 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会（第二期）」話題提供資料より抜粋

VIII-1. 新潟地域の褶曲形成史試案(1)

6

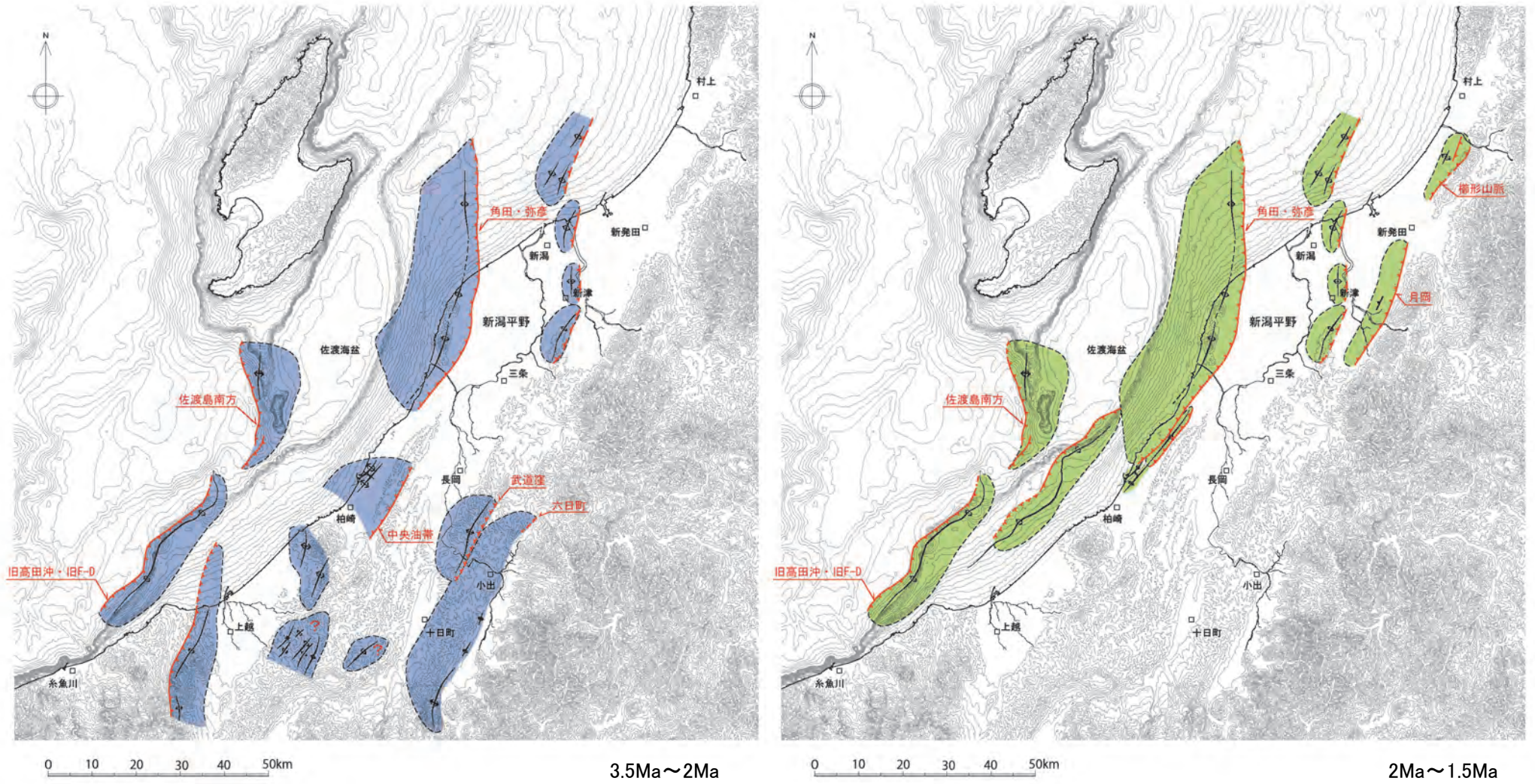


図3 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会（第二期）」話題提供資料より抜粋

VIII- 2. 新潟地域の褶曲形成史試案(2)

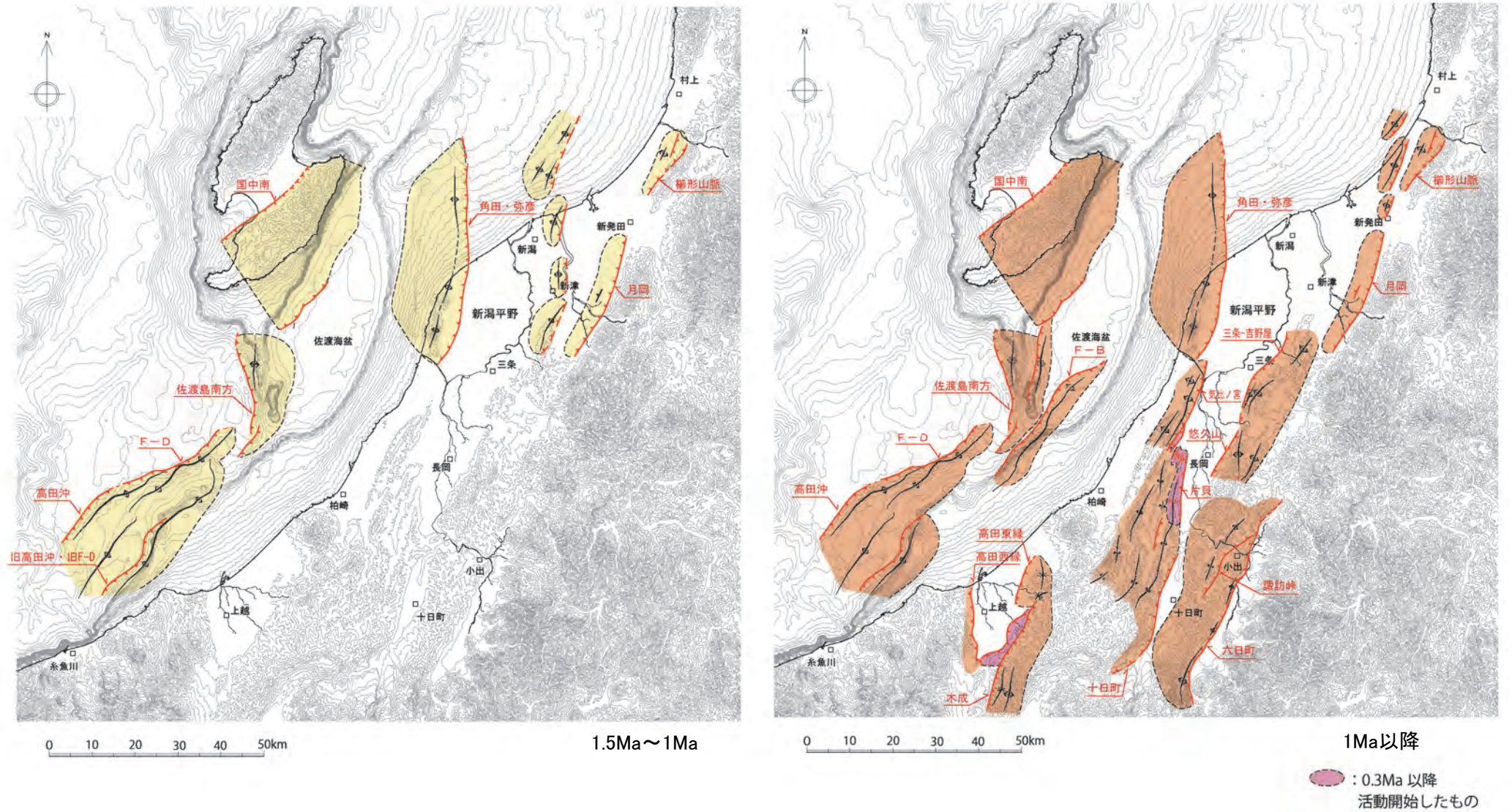
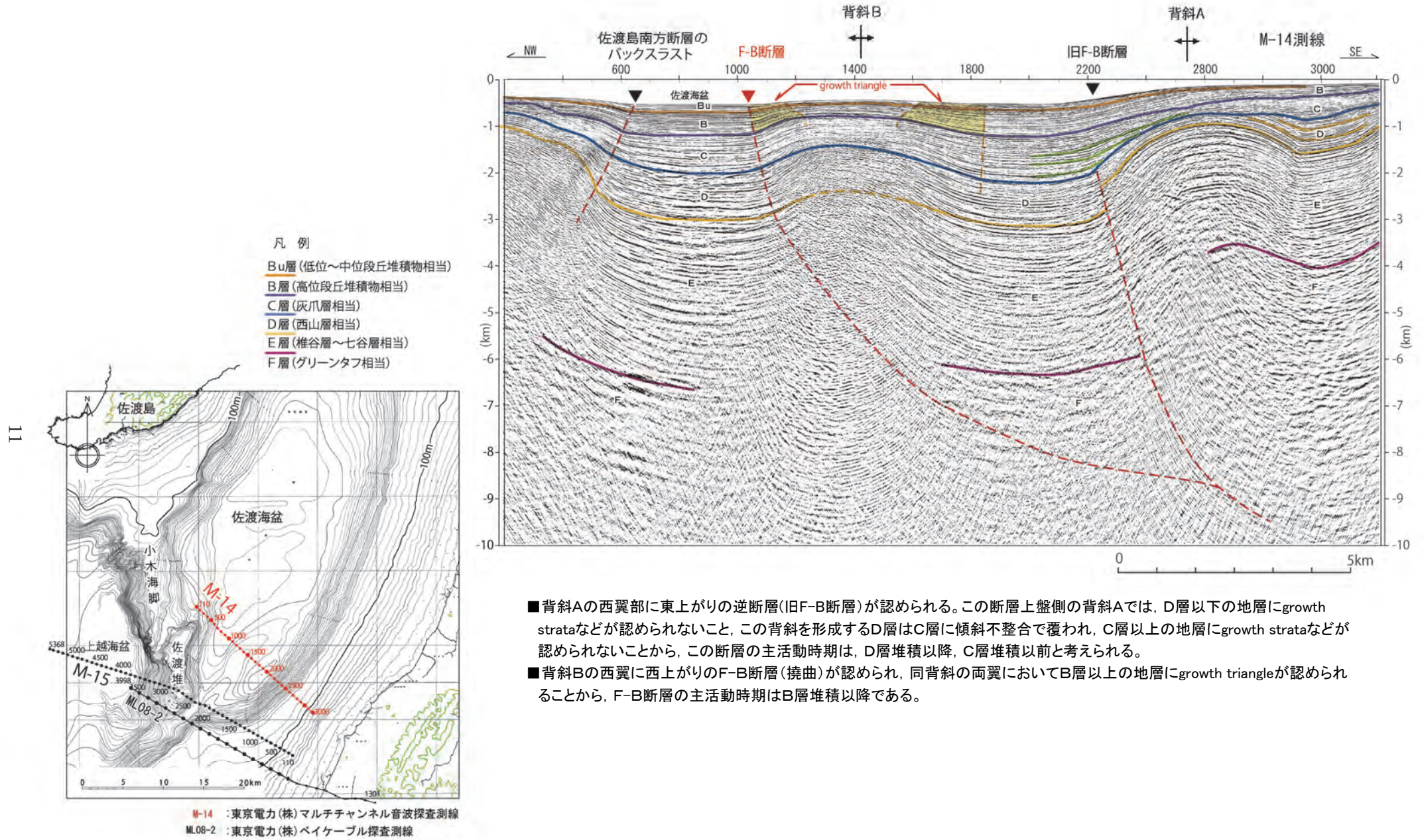


図4 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会（第二期）」話題提供資料より抜粋

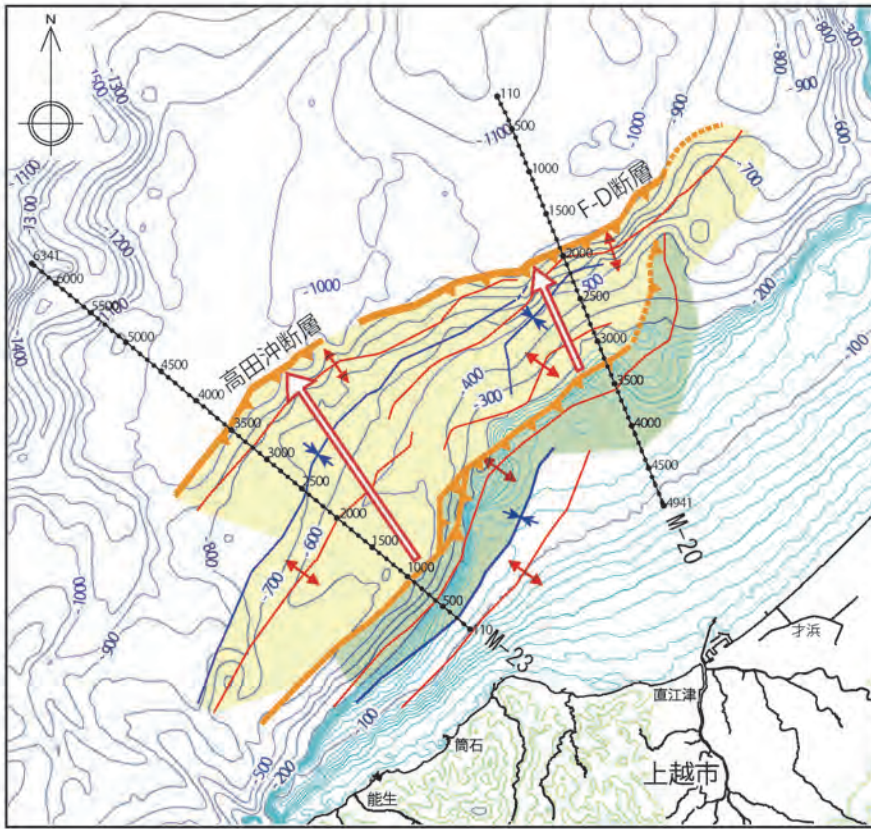
Ⅸ-3. 2007年中越沖地震源海域の活断層—F-B断層—(2)



- 背斜Aの西翼部に東上がりの逆断層(旧F-B断層)が認められる。この断層上盤側の背斜Aでは、D層以下の地層にgrowth strataなどが認められないこと、この背斜を形成するD層はC層に傾斜不整合で覆われ、C層以上の地層にgrowth strataなどが認められないことから、この断層の主活動時期は、D層堆積以降、C層堆積以前と考えられる。
- 背斜Bの西翼に西上がりのF-B断層(撓曲)が認められ、同背斜の両翼においてB層以上の地層にgrowth triangleが認められることから、F-B断層の主活動時期はB層堆積以降である。

図5 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会(第二期)」話題提供資料より抜粋

XI-4. 高田一糸魚川沖のまとめ



■ F-D断層及び高田沖断層のいずれも、上記のように、3.25Ma頃に陸側において活動を開始し、その後の1.4Ma頃に、断層の先端が15km程度北西に移動したものと考えられ、OKAMURA(2003)と同様の結果が得られた。

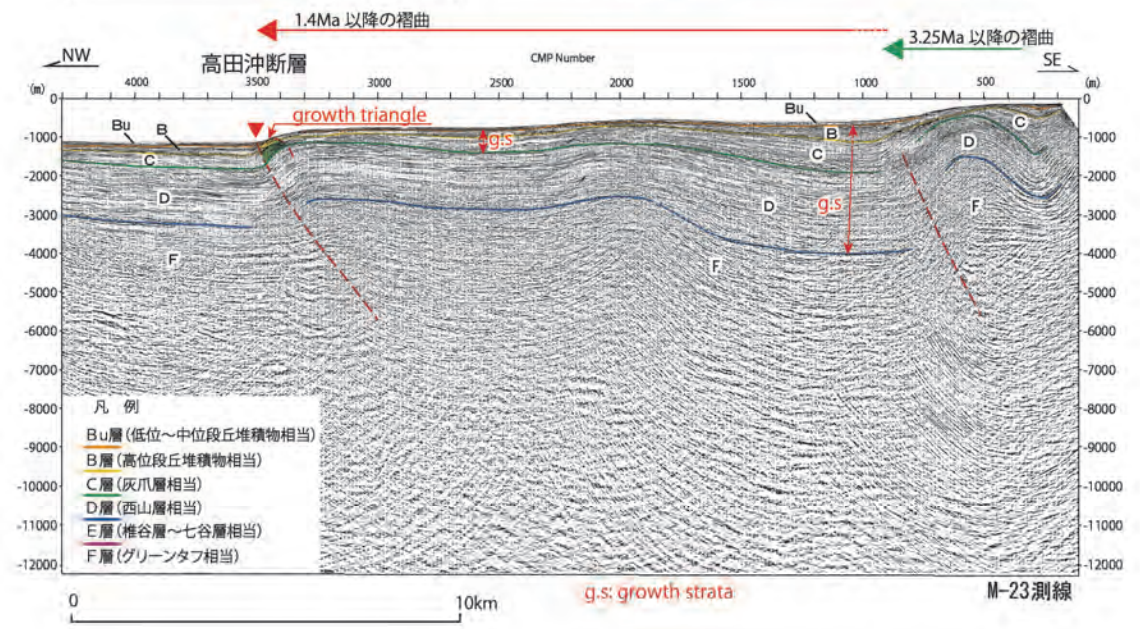
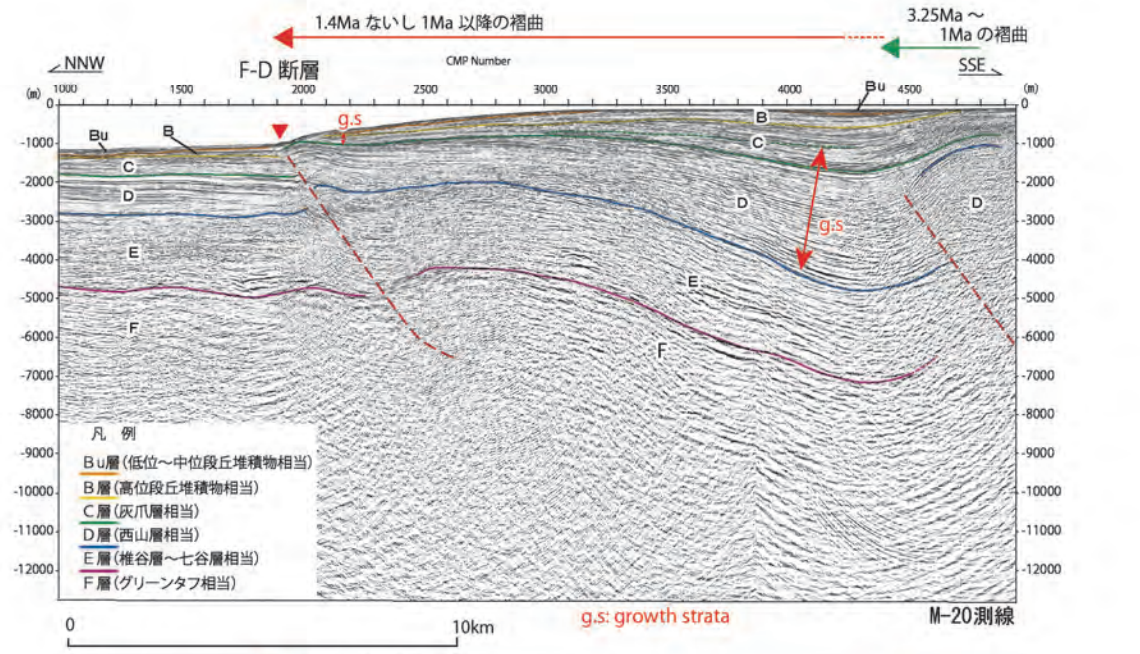
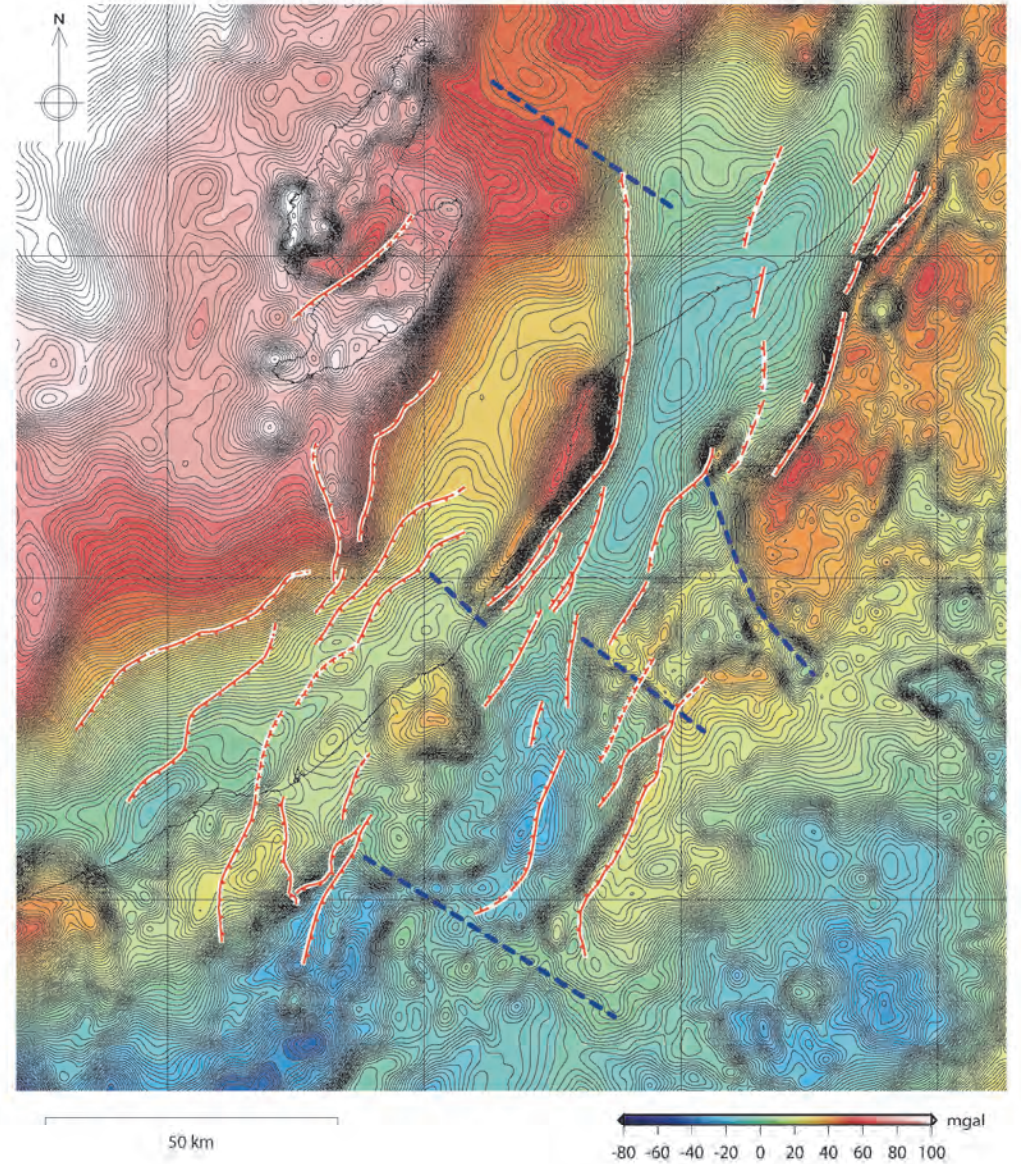
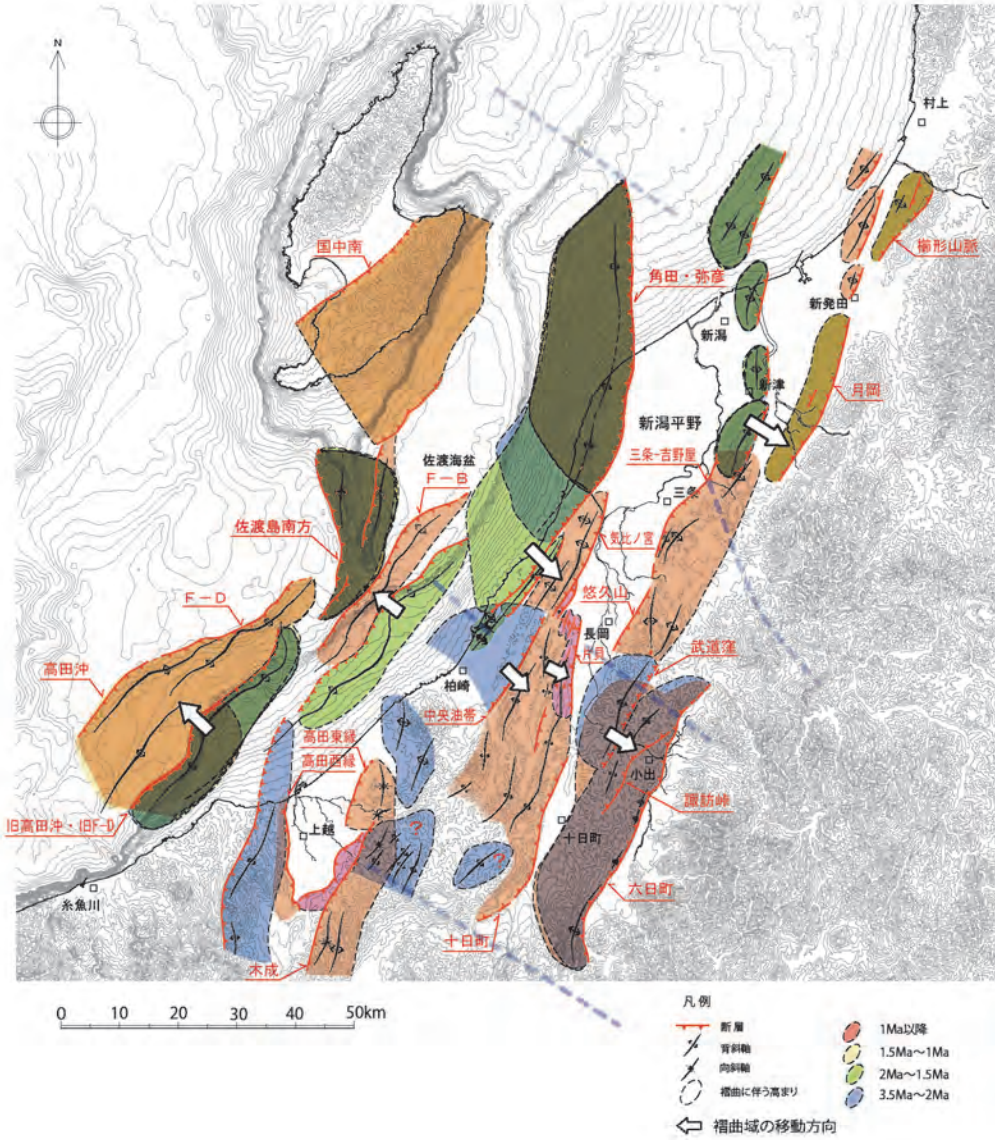


図6 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会（第二期）」話題提供資料より抜粋

VIII-3. 新潟地域の褶曲形成史試案(3)

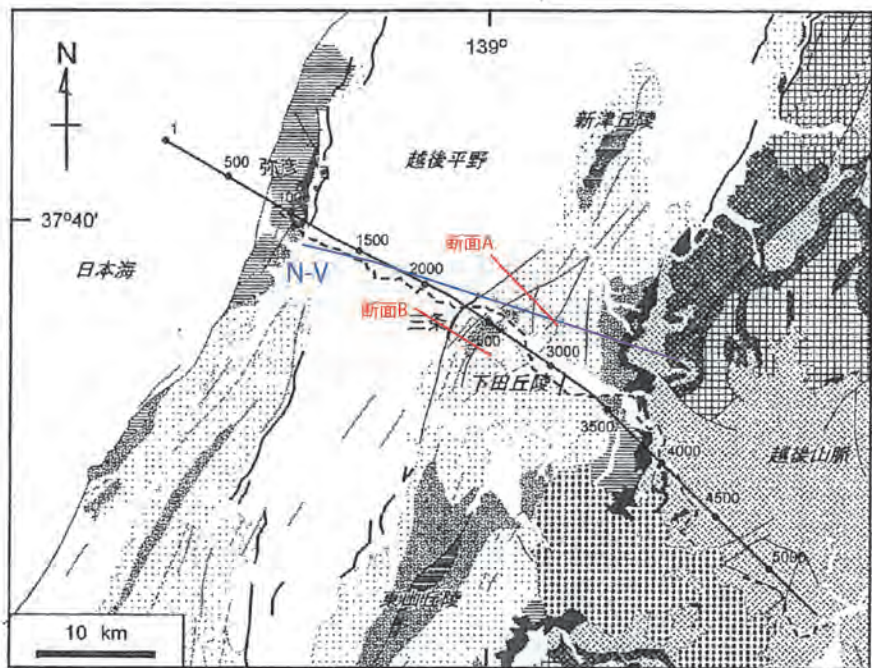


- 褶曲帯には、時代とともに褶曲域が移動するものと、同場所で断続的あるいは連続的に褶曲が進行しているものが認められる。
- 褶曲域が移動する褶曲帯では、大局的には、海域では褶曲域が北西方向に、陸域では褶曲域が東方にそれぞれ移動している傾向がある。

- ブーゲー異常におけるNW-SE~WNW-ESE方向の不連続線は褶曲域あるいは断層帯境界との対応が認められるものがある。

図7 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会（第二期）」話題提供資料より抜粋

V-3. 下田丘陵: 庄川複背斜(2)



- 凡例
- | | | | |
|--|--------------|--|------------|
| | 新規火山堆積物 | | 背斜 |
| | 魚沼層群・灰爪層・西山層 | | 向斜 |
| | 椎谷層相当層 | | 活断層 |
| | 寺泊層相当層 | | 探査測線 |
| | 七谷層相当層 | | 重合測線・CMP番号 |
| | 津川層相当層 | | |
| | 先新第三系堆積岩 | | |
| | 花崗岩 | | |

図1 三条-弥彦地殻構造探査測線位置図。地質図は北陸地方土木地質図編纂委員会(1990)^[5]、活断層の位置は池田ほか編(2002)^[6]による。

■佐藤ほか(2010)は、反射面のパターン・速度構造の逆転から、下田丘陵下に伏在する東傾斜の逆断層(越後平野東縁断層帯)を推定し、庄川複背斜は、上部でこの断層がウエッジ状となり、その先端部において水平短縮が卓越したためとしている。

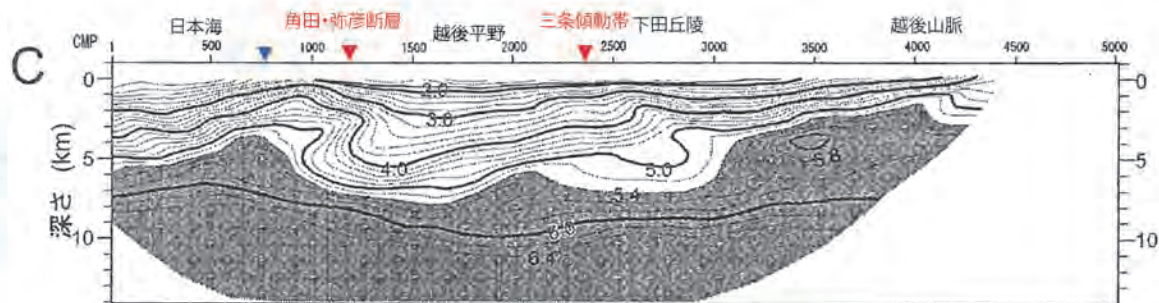


図3 地殻構造探査断面図。

C: 屈折トモグラフィー解析によるP波速度構造。

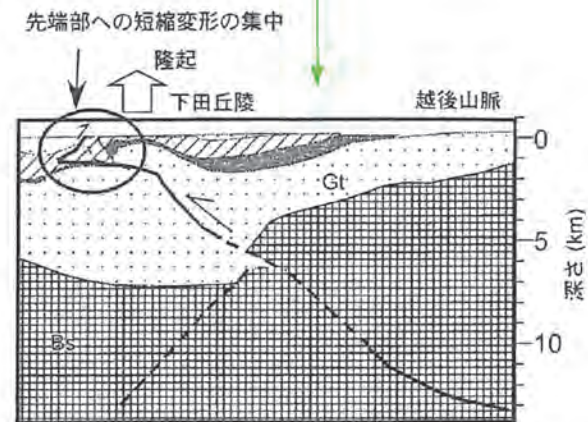
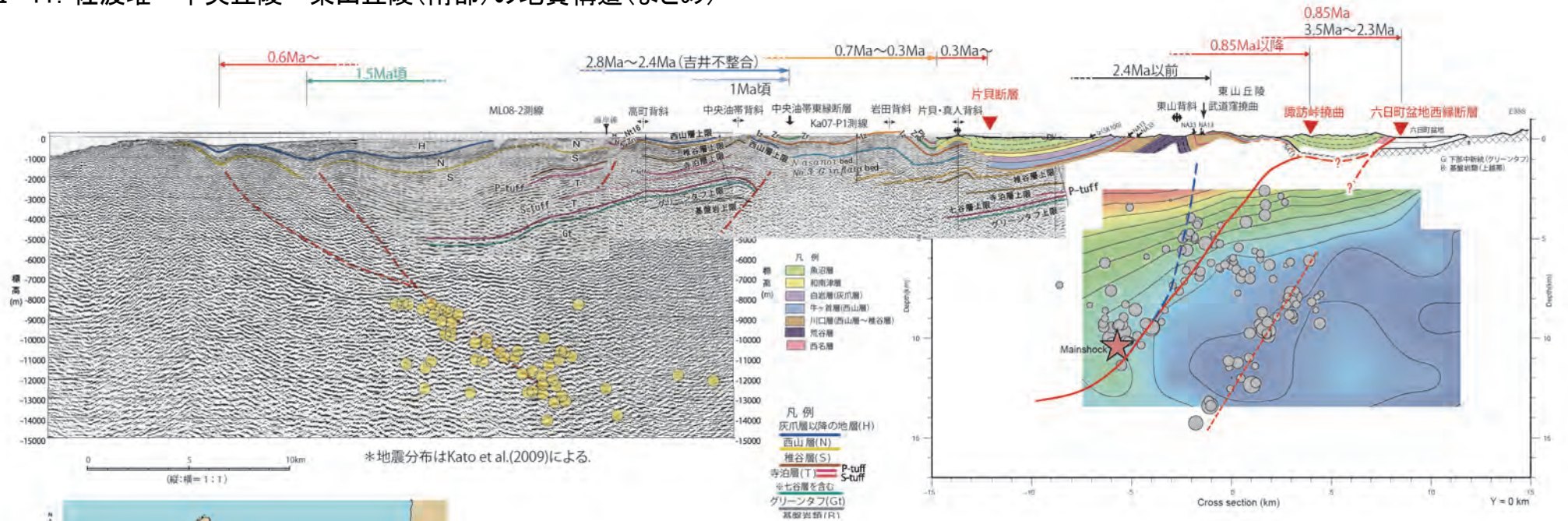


図4 下田丘陵下の構造形成概念図。

佐藤ほか(2010)

Ⅸ- 11. 佐渡堆—中央丘陵—東山丘陵(南部)の地質構造(まとめ)



- 中越沖地震(2007)の震源断層の先端は、1.5Ma頃は旧F-B断層の位置で、0.6Ma以降はF-B断層の位置でそれぞれ活動。
- 中央油帯東縁断層は2.8Ma~2.4Maに活動、その後1Ma頃に再活動。
- 0.7Ma~0.3Maに長岡平野西縁断層上盤側の岩田背斜などが形成され、0.3Ma以降片貝断層が活動。
- 東山背斜東翼の武道窪撓曲は2.4Ma以前に活動。この撓曲を形成した深部の東上りの断層の先端は、その後、0.85Ma以降、諏訪峠撓曲の位置に東進。
- 六日町断層帯の活動史は後述。

図9 平成24年度第2回「柏崎地域の地形及び地質構造の形成過程に関する検討委員会(第二期)」話題提供資料より抜粋