

東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所  
敷地周辺の地質・地質構造に関する補足説明

平成20年10月9日  
東京電力株式会社



東京電力

---

# ご指摘事項

指摘分類	指摘日	指摘事項	コメントの趣旨
合同WG	8月12日 (現地調査)	片貝断層については、活動性を考慮する区間の南端を小千谷市桜町までとしているが、片貝・真人背斜はその南部にも連続することから、念のため、南部にける活動性の有無等について検討すること	片貝断層南方延長部における片貝・真人背斜の活動性について検討すること 片貝断層南方延長部の変動地形の有無に関する説明、片貝断層周辺の活構造との関係の説明 (1章で説明)
	7月23日 (第14回)	時水付近以南は、地滑り状の構造が多数読み取れるので、リニアメントがマスクされている可能性もあるので再検討すること	
合同WG	8月12日 (現地調査)	離水ベンチなどの微地形の分布も把握すること	段丘面や離水ベンチの高度分布を詳細に把握し、その分布から考えられる隆起のメカニズムについて検討すること 段丘面及び離水ベンチの高度分布、断層モデルによる地殻変動との関係の説明 (2章で説明)
	8月26日 (第16回)	アトラスが示す米山海岸のM面がH面であることは理解したが、M面の高度は50m程度であり、その隆起のメカニズムを説明すること	
	9月11日 (第17回)	段丘面高度の分布については、M面だけでなくH面についても検討すること	
原発反対地元三団体申し入れ	1月11日	敷地周辺の段丘面の詳細調査を実施すること	

# ご指摘事項

原子力安全委員会耐震安全性評価特別委員会（平成20年9月25日）  
柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動策定に係る原子力安全・保安院における検討に際して  
の意見（案）（震動委第9 - 1号）からの抜粋

## F-B断層の長さについて

今後の地震動評価において、F-B断層の北方にある佐渡海盆東縁の大陸棚斜面部の下に断層活動が認められないこと並びにF-B断層の長さを約36kmまで考慮することとしたとの保安院の確認結果の報告については妥当と考える。

ただし、佐渡海盆東縁の大陸棚斜面部に活断層が存在するという指摘があることから、念のため、その根拠とされた角田・弥彦山周辺の海成段丘の高度分布と大陸棚外縁斜面の成因について、断層モデル等を用いて検討を行い、地形発達過程を総合的かつ科学的に説明すること。

佐渡海盆東縁部の大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造，角田山・弥彦山周辺の地形（段丘の状況）との関係，くいちがい弾性論に基づく検討を説明（2章にて説明）

# ご説明事項

---

1. 片貝・真人背斜南部の活動性について
2. 米山海岸付近，柏崎平野，角田山・弥彦山付近の段丘の分布状況と断層活動との関係について

段丘の分布について

佐渡海盆東縁部の東傾斜の断層の可能性について

- a. 石橋（2008a，2008b）の指摘について
- b. 佐渡海盆東縁部の大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について
- c. 角田山・弥彦山周辺の地形（段丘の状況）と大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について
- d. くいちがい弾性論に基づく角田・弥彦断層による地殻変動について

くいちがい弾性論に基づく敷地周辺の地殻変動について

- 
1. 片貝・真人背斜南部の活動性について
  2. 米山海岸付近，柏崎平野，角田山・弥彦山付近の段丘の分布状況と断層活動との関係について

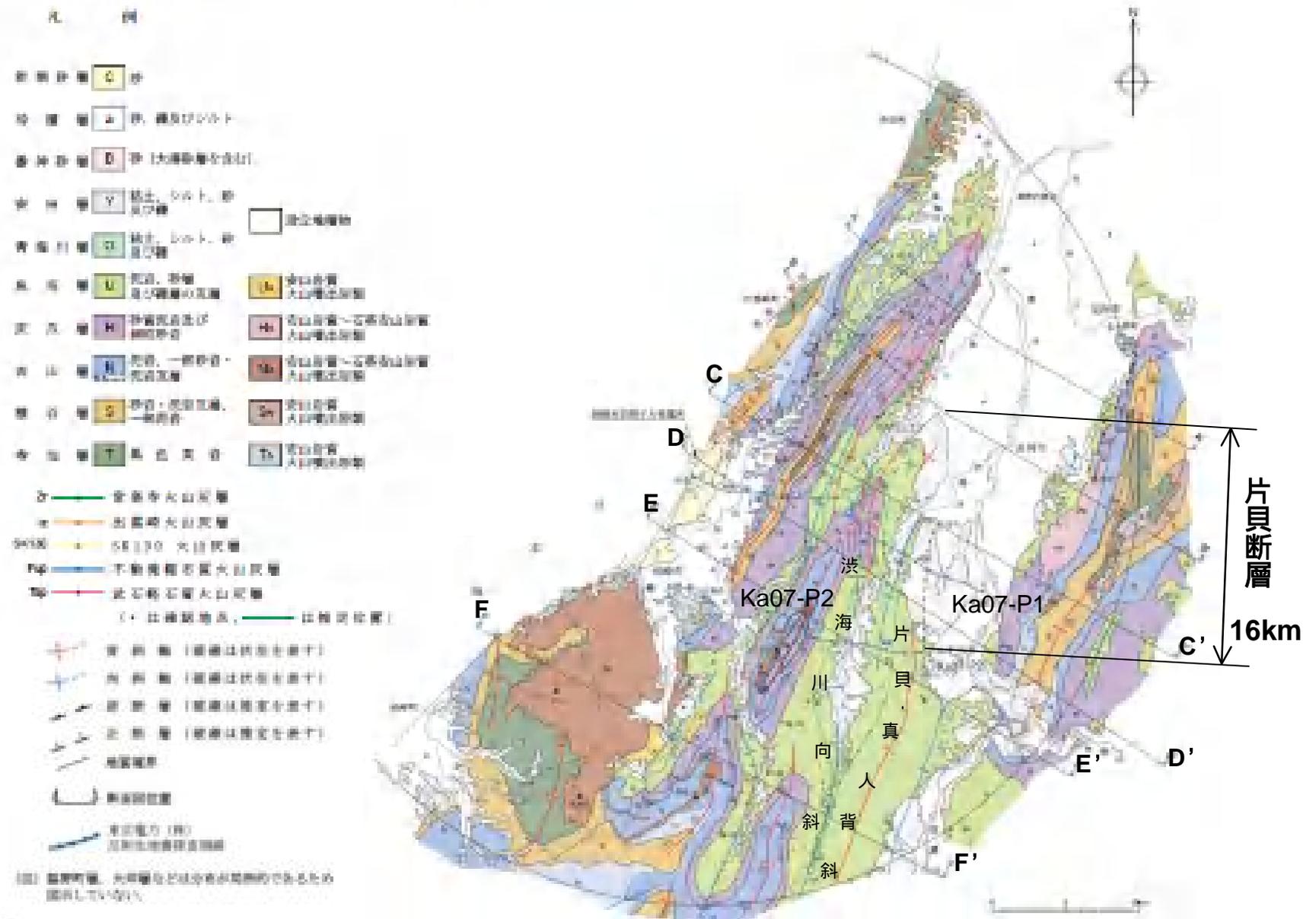
段丘の分布について

佐渡海盆東縁部の東傾斜の断層の可能性について

- a. 石橋（2008a，2008b）の指摘について
- b. 佐渡海盆東縁部の大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について
- c. 角田山・弥彦山周辺の地形（段丘の状況）と大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について
- d. くいちがい弾性論に基づく角田・弥彦断層による地殻変動について

くいちがい弾性論に基づく敷地周辺の地殻変動について

# 敷地周辺陸域の地質図





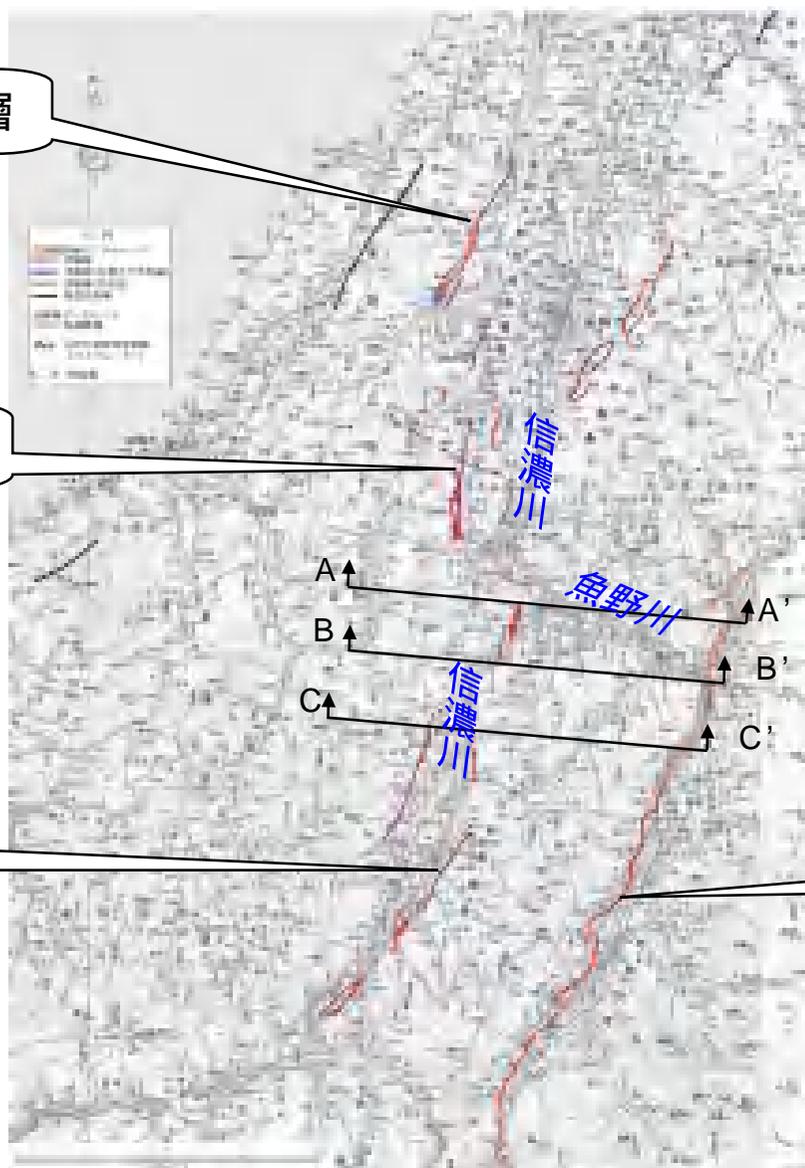
# 活断層詳細デジタルマップ・活断層データベースに示される活断層

長岡平野西縁断層帯

気比ノ宮断層

片貝断層

十日町断層帯



■ 片貝断層を中心としてみたときに、

1. 北：長岡平野西縁断層帯
2. 南：十日町断層帯
3. 東：六日町断層帯

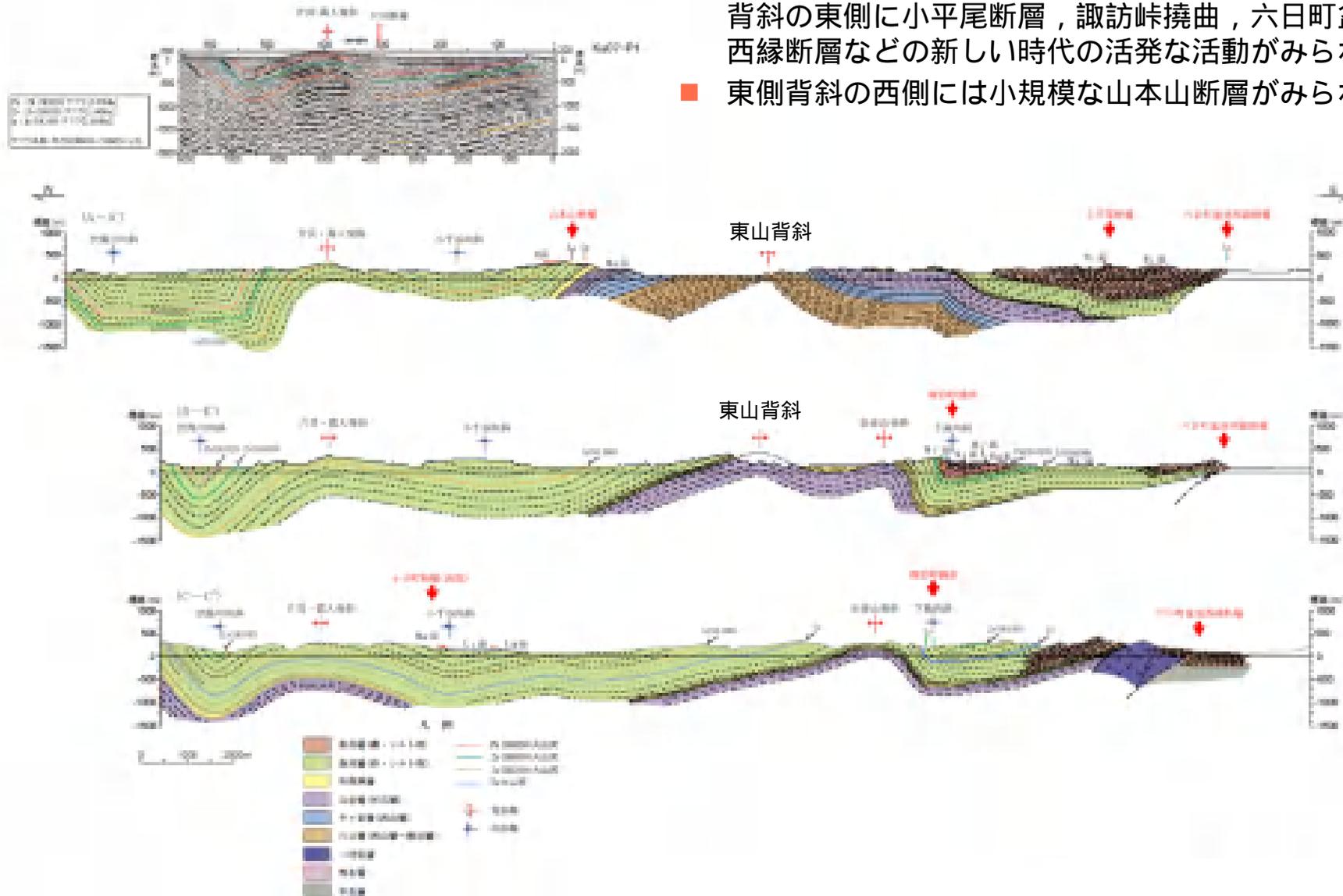
■ それぞれ主要な活構造が指摘されている

■ 魚野川付近が地形的な、構造的な境界になっている様子が伺える

六日町断層帯

# 澁海川向斜～片貝・真人背斜～六日町盆地西縁断層

- 片貝断層南方延長部（A - A'～C - C'）では，東山背斜の東側に小平尾断層，諏訪峠撓曲，六日町盆地西縁断層などの新しい時代の活発な活動がみられる
- 東側背斜の西側には小規模な山本山断層がみられる



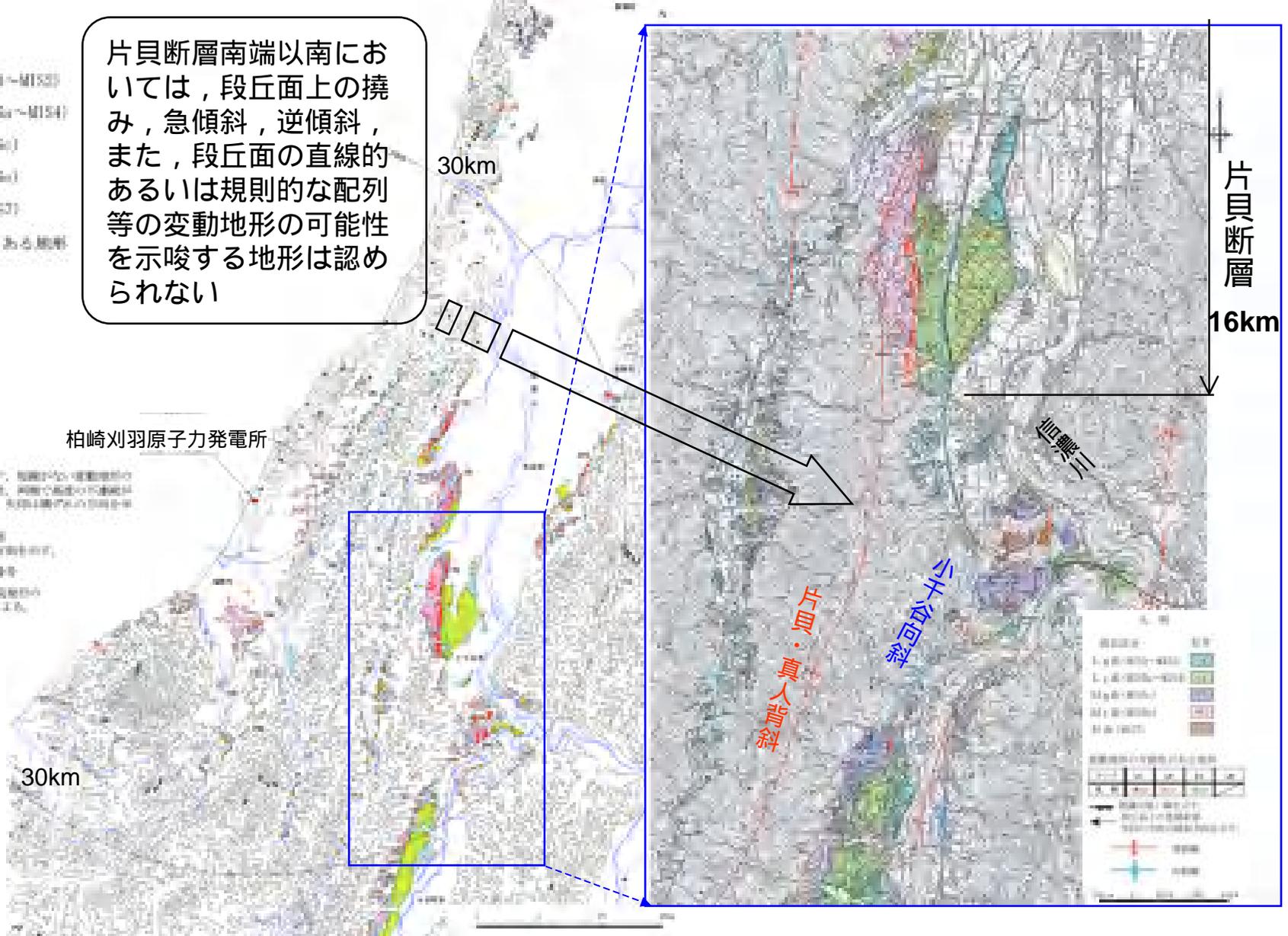
# 片貝断層南方延長部の空中写真判読結果

- 凡例
- 段丘
- L<sub>1</sub>面 (MIS3~MIS2)
  - L<sub>2</sub>面 (MIS5a~MIS4)
  - M<sub>1</sub>面 (MIS5c)
  - M<sub>2</sub>面 (MIS5e)
  - 日産期 (MIS2)

空襲地形の可能性のある地形

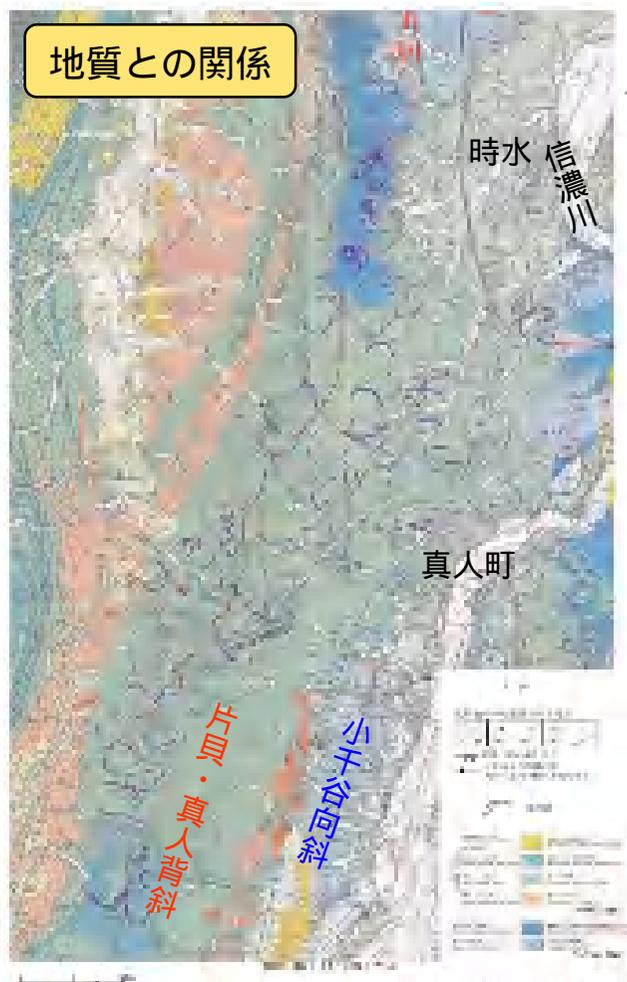
段丘	形状
L <sub>1</sub> 面	①
L <sub>2</sub> 面	②
L <sub>3</sub> 面	③
L <sub>4</sub> 面	④
L <sub>5</sub> 面	⑤

片貝断層南端以南においては、段丘面上の撓み、急傾斜、逆傾斜、また、段丘面の直線的あるいは規則的な配列等の変動地形の可能性を示唆する地形は認められない



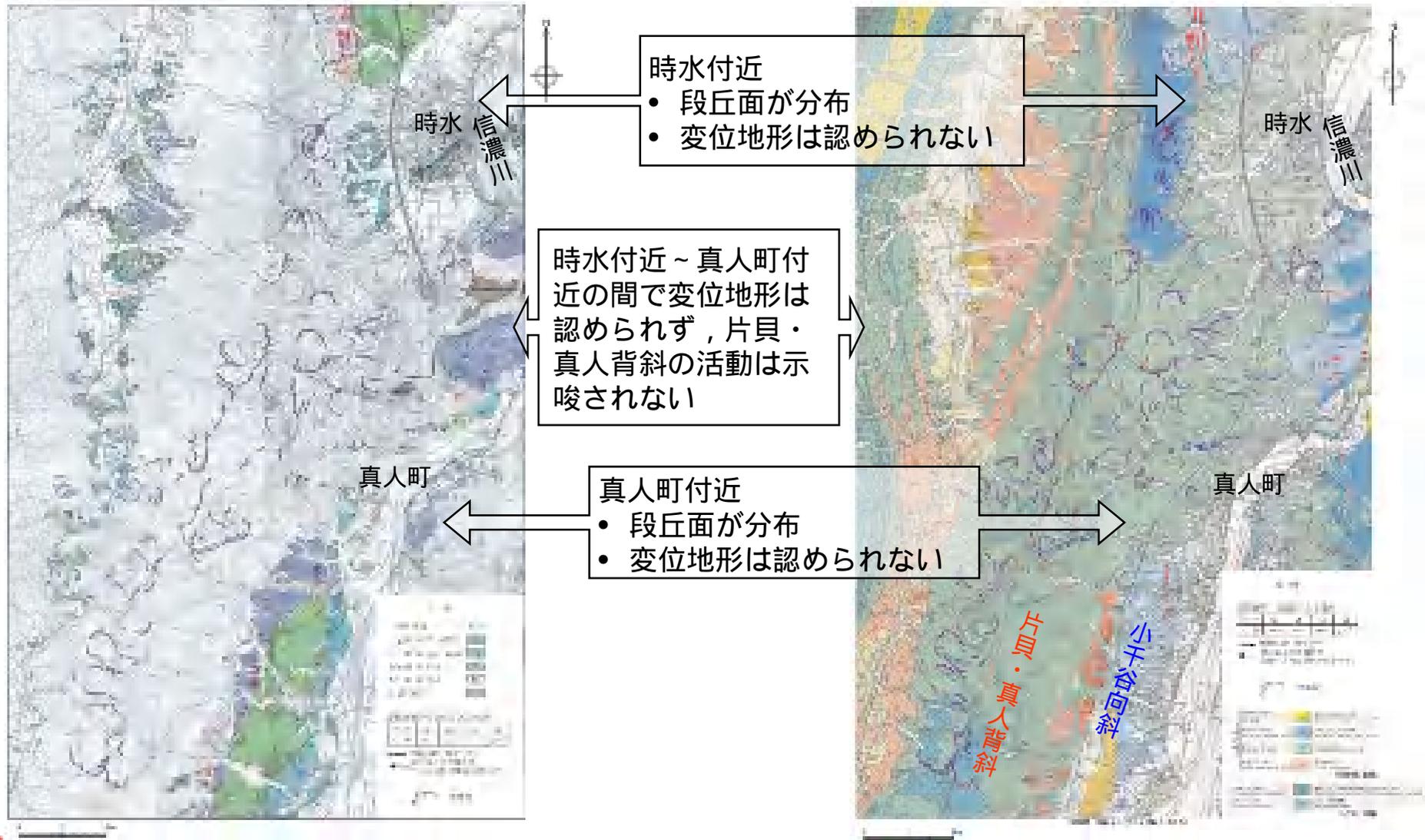
# 片貝断層南方延長部の地すべり分布（1）

- 国土地理院撮影の1/4万，米軍撮影の1/5万～1/4万の空中写真判読により地すべり地形を抽出した
- 片貝断層南方延長部には多数の滑落崖が認められ，そのほとんどは魚沼層分布域である
- 段丘面は信濃川左岸に発達しており，小千谷向斜沿いでは時水付近や真人町付近に地すべりにマスクされていない段丘面が認められる

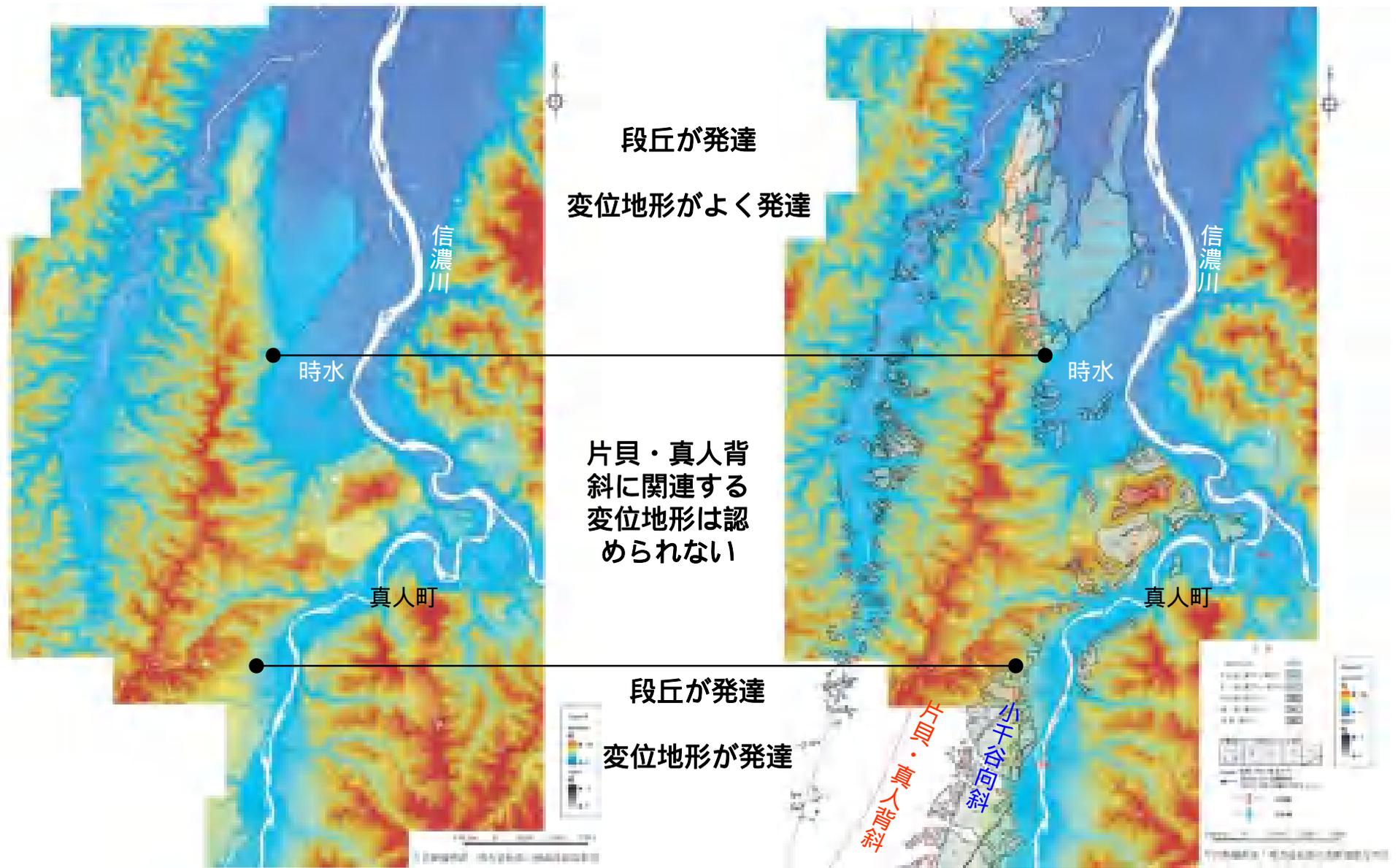


## 片貝断層南方延長部の地すべり分布（２）

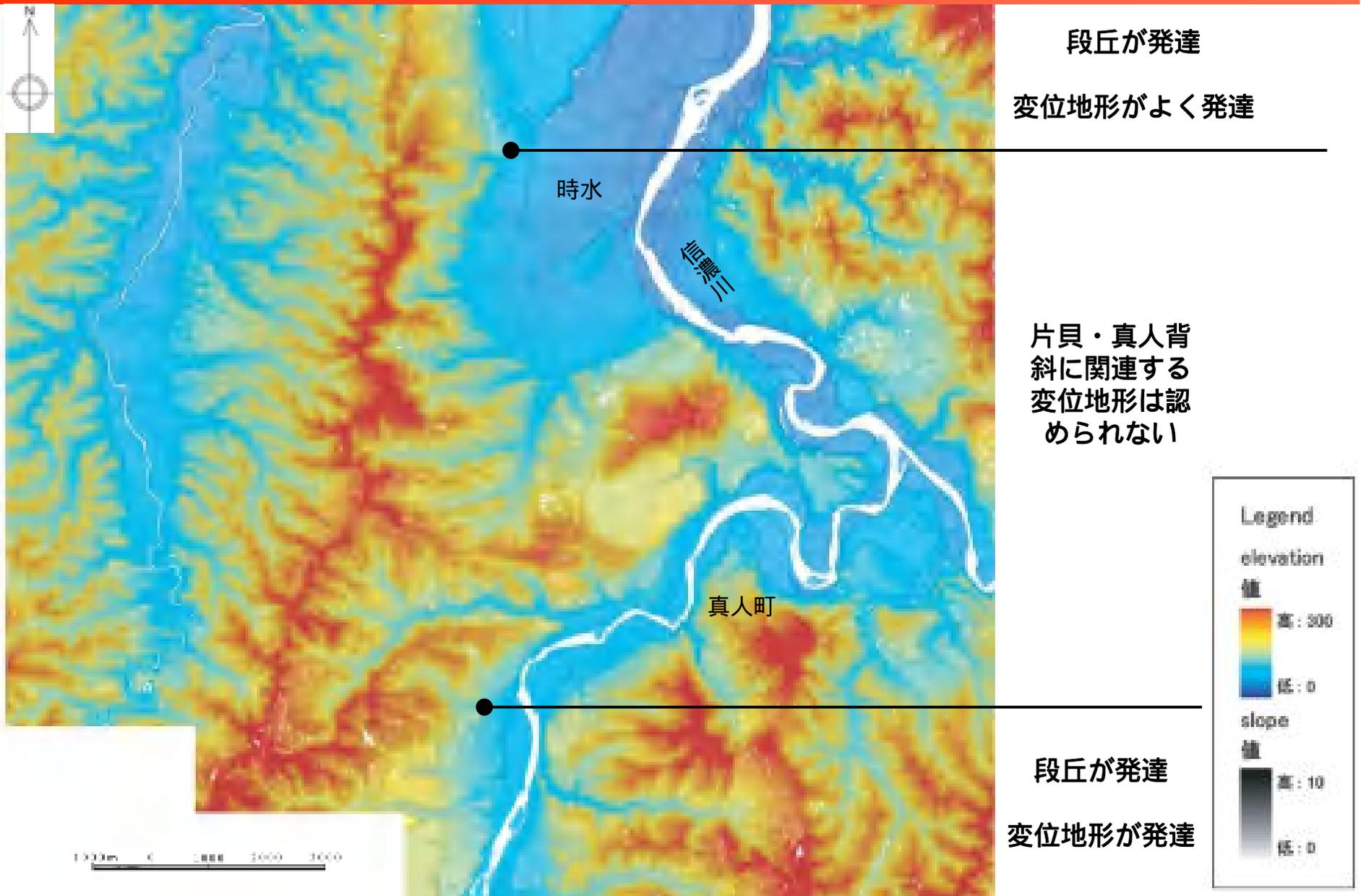
- 片貝断層南方延長の小千谷向斜沿いの時水付近及び十日町断層帯北方の真人町付近に分布する段丘面には、いずれも変位地形は認められないことから、その間の片貝・真人背斜の活動は示唆されない



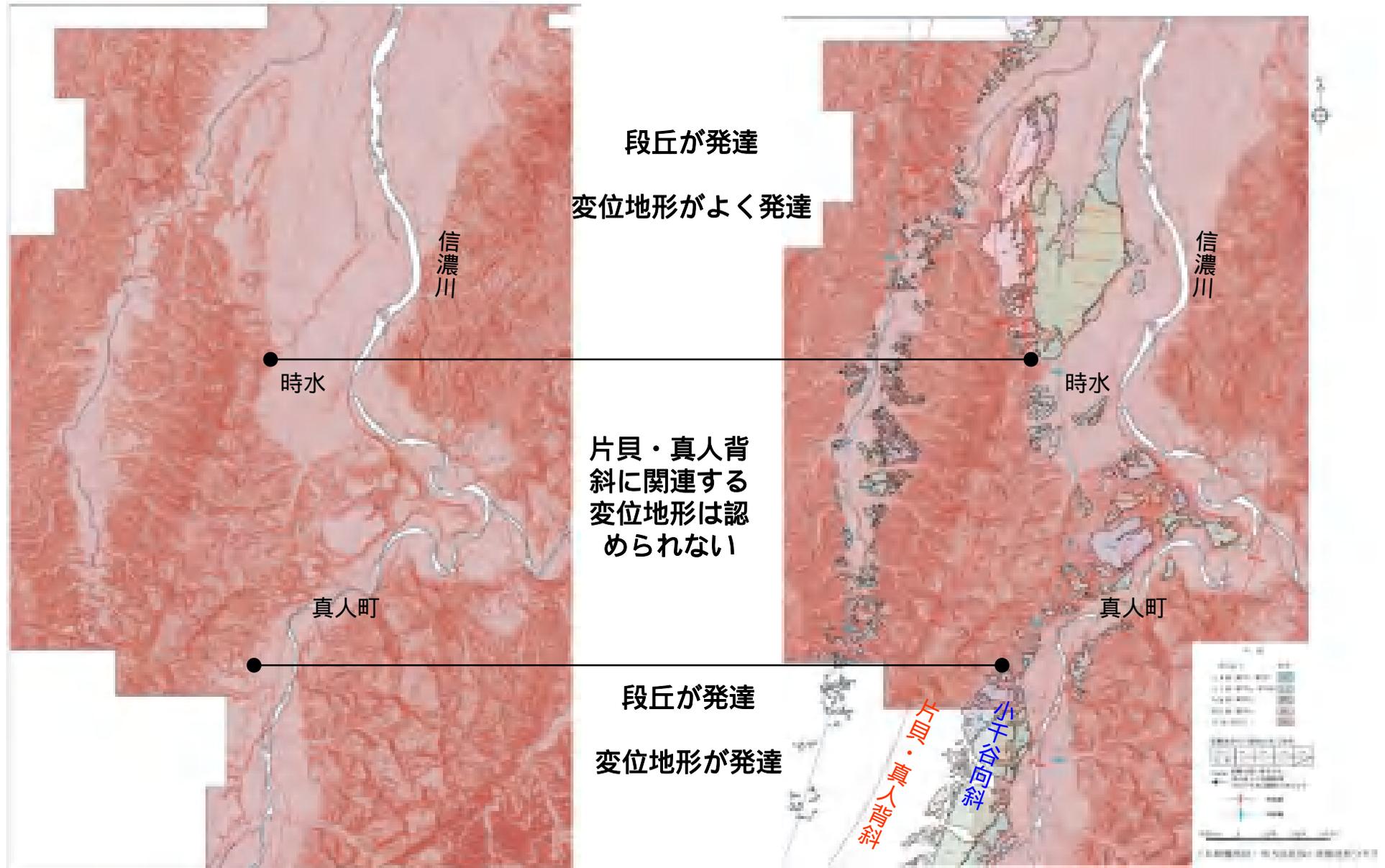
# 片貝断層南方延長部のDEM ( 1 )



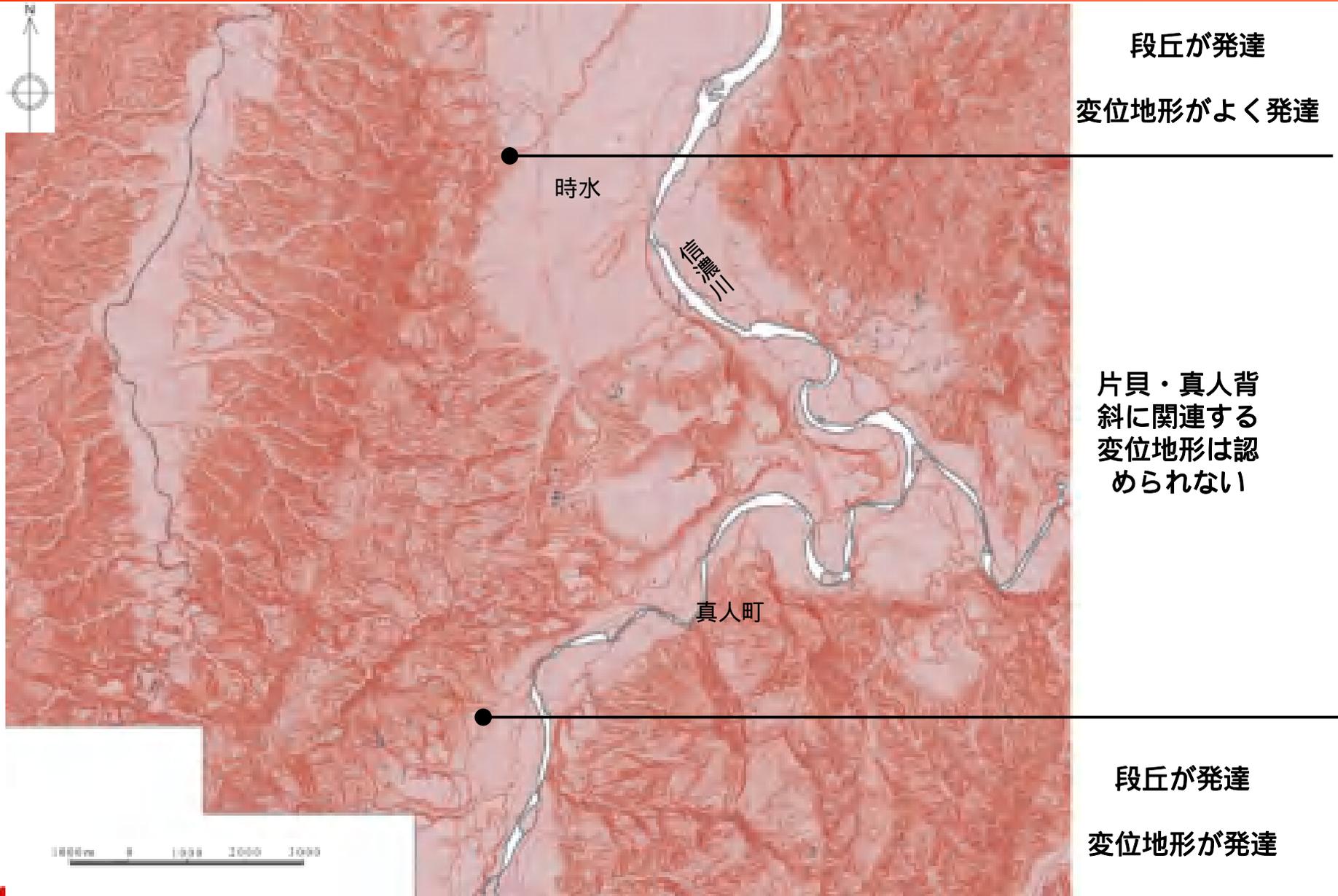
# 片貝断層南方延長部のDEM ( 2 ) : ( 1 ) の拡大



# 片貝断層南方延長部のDEM ( 3 )



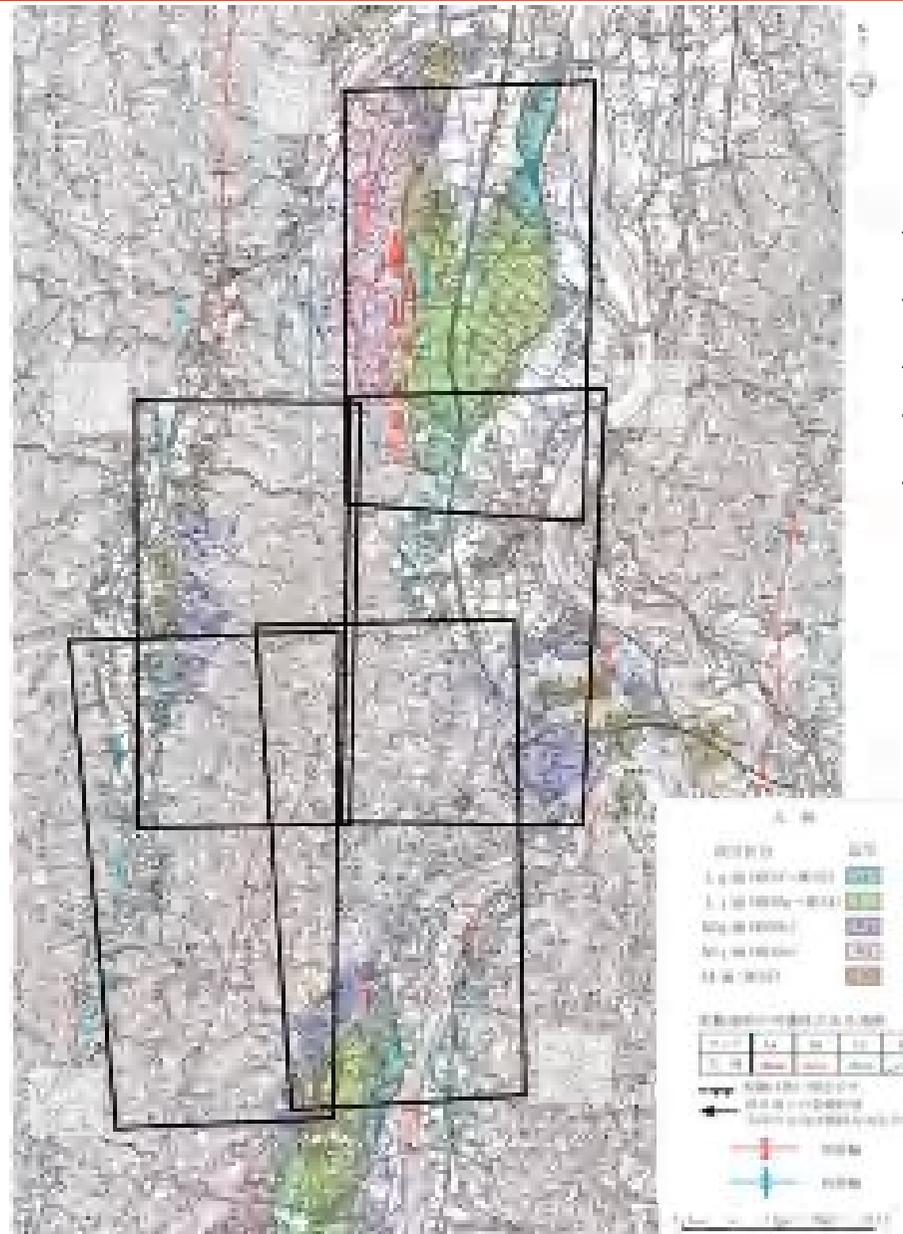
# 片貝断層南方延長部のDEM ( 4 ) : ( 3 ) の拡大



## まとめ

- 片貝断層南端と評価している小千谷市桜町付近以南においては，片貝・真人背斜西翼が急な構造を示すが，時水付近から真人町付近までの区間にその活動性を示唆する変位地形は認められない
- 片貝断層南方延長部には多数の滑落崖が認められ，そのほとんどは魚沼層分布域である。段丘面はこの魚沼層分布域東側の信濃川左岸部に発達しており，小千谷向斜沿いの時水付近や真人町付近には地すべりでマスクされない段丘面が認められ，いずれも変位地形は認められないことから，その間の片貝・真人背斜の活動は示唆されない
- 上記の片貝・真人背斜の活動性が認められない区間の東側には，小平尾断層，諏訪峠撓曲，六日町盆地西縁断層等に新しい時代の活発な活動がみられることから，片貝断層以南における活構造は東側にステップしているものと考えられる

## 参考：片貝・真人背斜付近の空中写真範囲



片貝断層主部

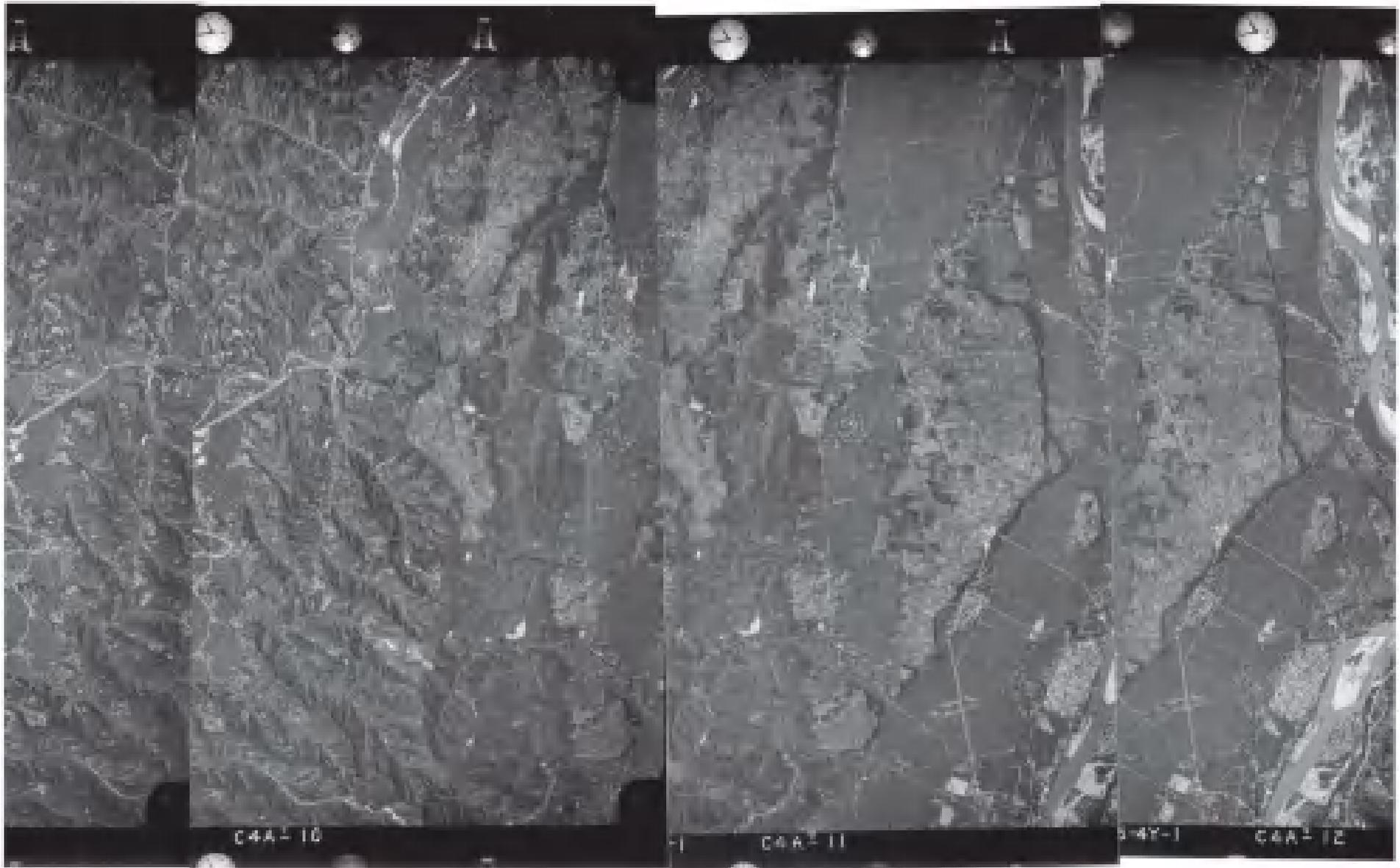
片貝断層南方延長西部

片貝断層南方延長東部

十日町断層帯北端部付近西部

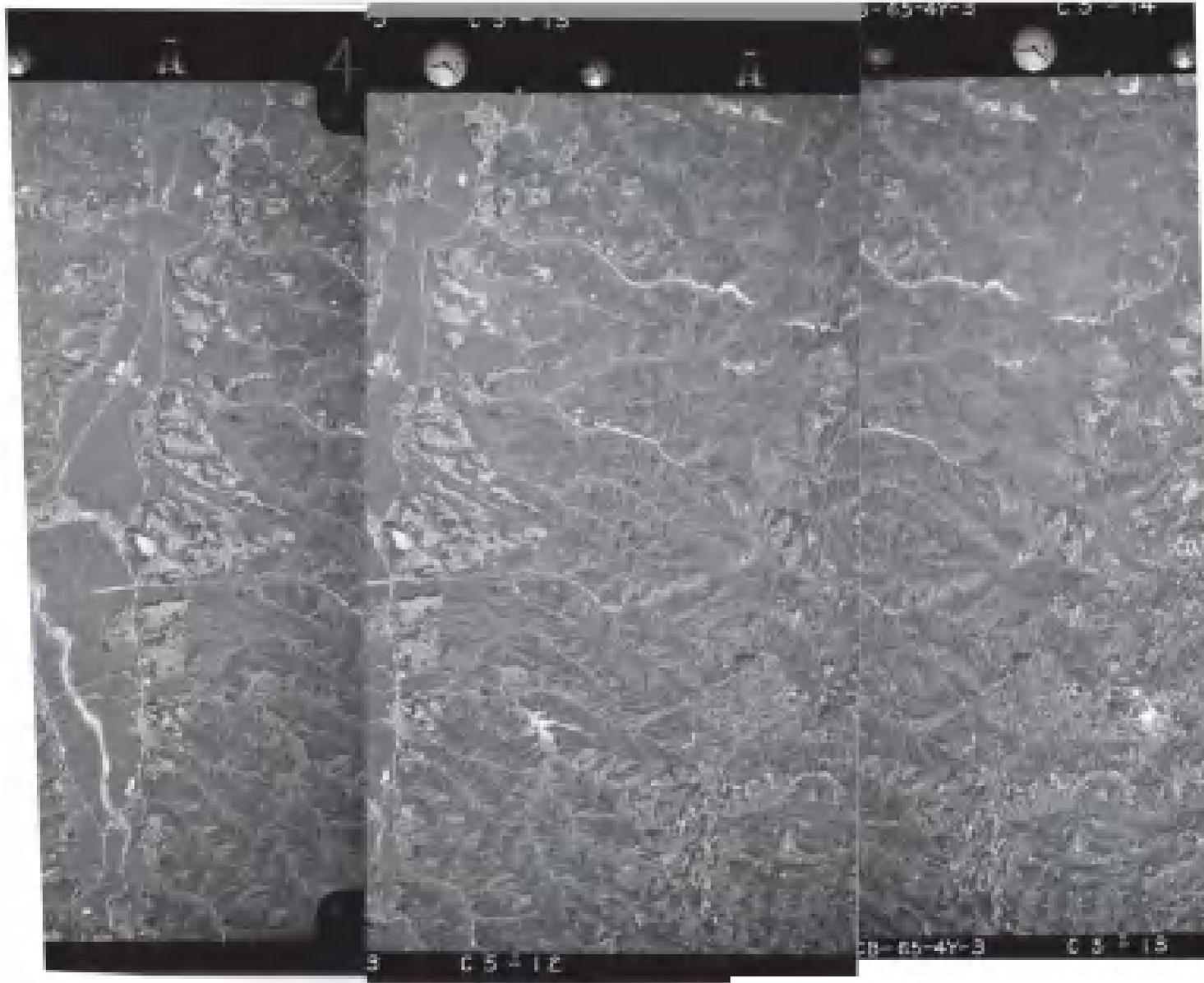
十日町断層帯北端部付近東部

# 参考：片貝・真人背斜付近の空中写真（片貝断層主部）



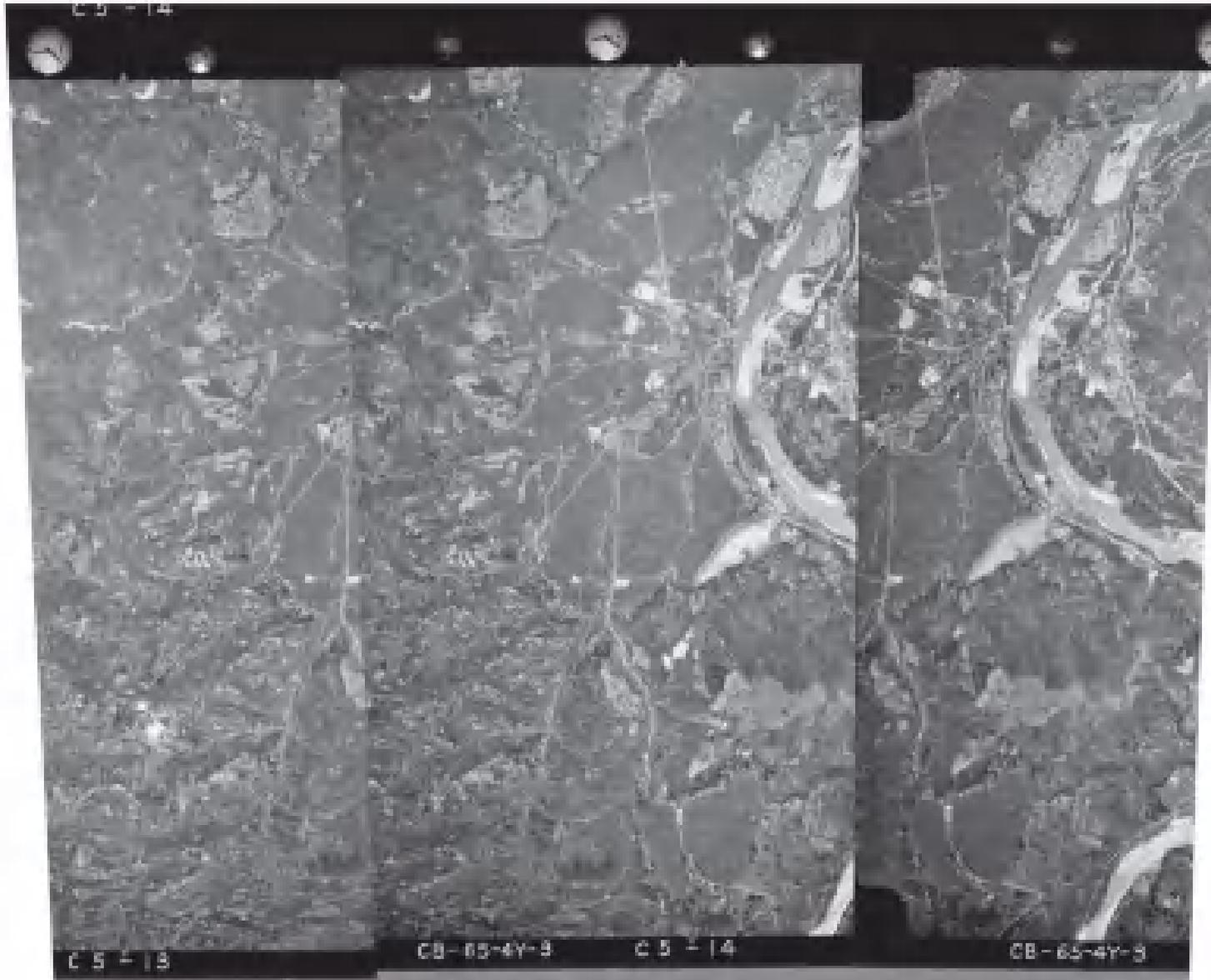
国土地理院撮影：CB-65-4Y-3, C4A-9～12

# 参考：片貝・真人背斜付近の空中写真（片貝断層南方延長西部）



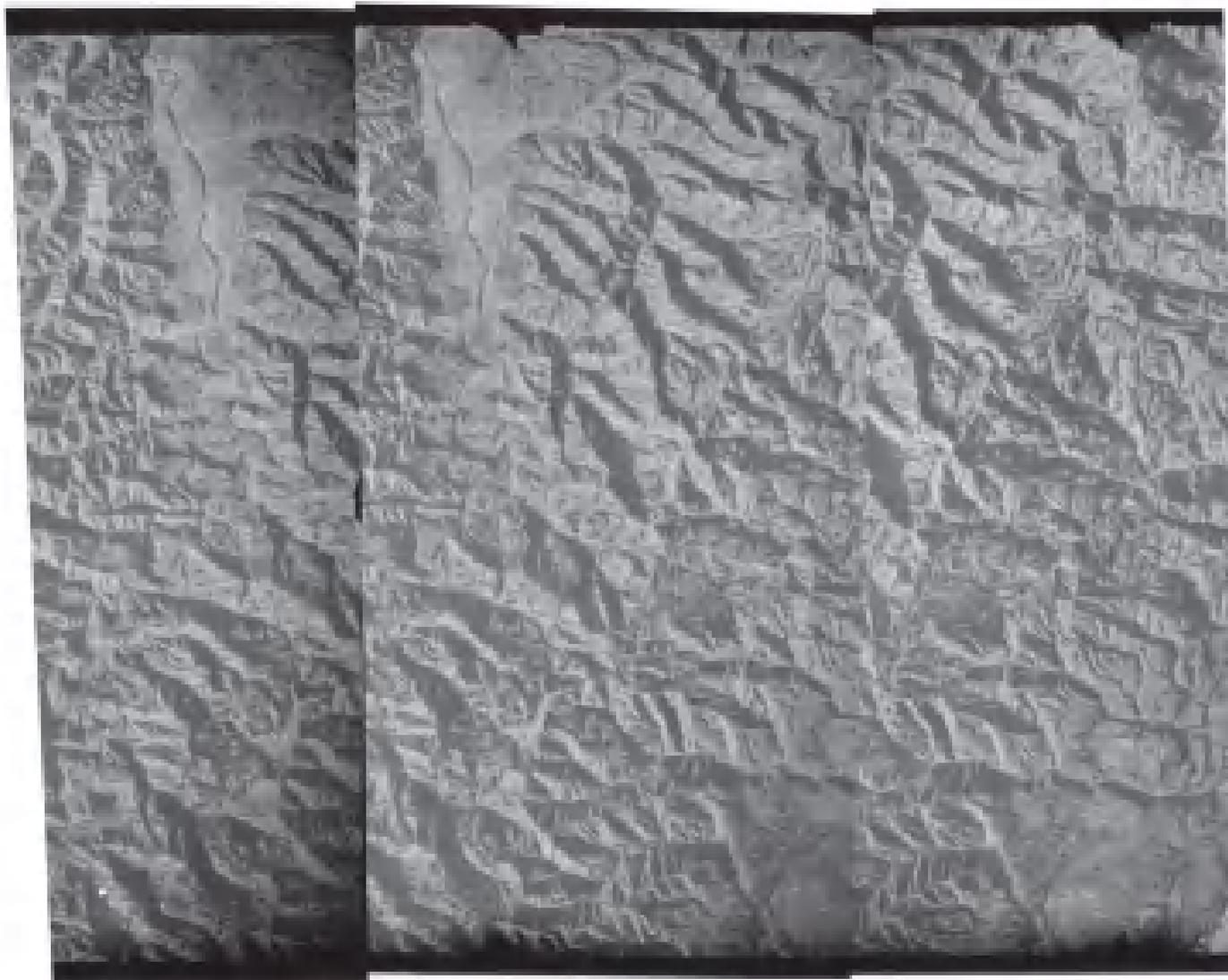
国土地理院撮影：CB-65-4Y-3, C5-11 ~ 13

# 参考：片貝・真人背斜付近の空中写真（片貝断層南方延長東部）



国土地理院撮影：CB-65-4Y-3, C5-13～15

## 参考：片貝・真人背斜付近の空中写真（十日町断層帯北端付近西部）



米軍撮影：M627-479～481

## 参考：片貝・真人背斜付近の空中写真（ 十日町断層帯北端付近東部）



米軍撮影：M627-480～482

- 
1. 片貝・真人背斜南部の活動性について
  2. 米山海岸付近，柏崎平野，角田山・弥彦山付近の段丘の分布状況と断層活動との関係について

段丘の分布について

佐渡海盆東縁部の東傾斜の断層の可能性について

- a. 石橋（2008a，2008b）の指摘について
- b. 佐渡海盆東縁部の大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について
- c. 角田山・弥彦山周辺の地形（段丘の状況）と大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について
- d. くいちがい弾性論に基づく角田・弥彦断層による地殻変動について

くいちがい弾性論に基づく敷地周辺の地殻変動について

---

# 段丘の分布について

## < 概要 >

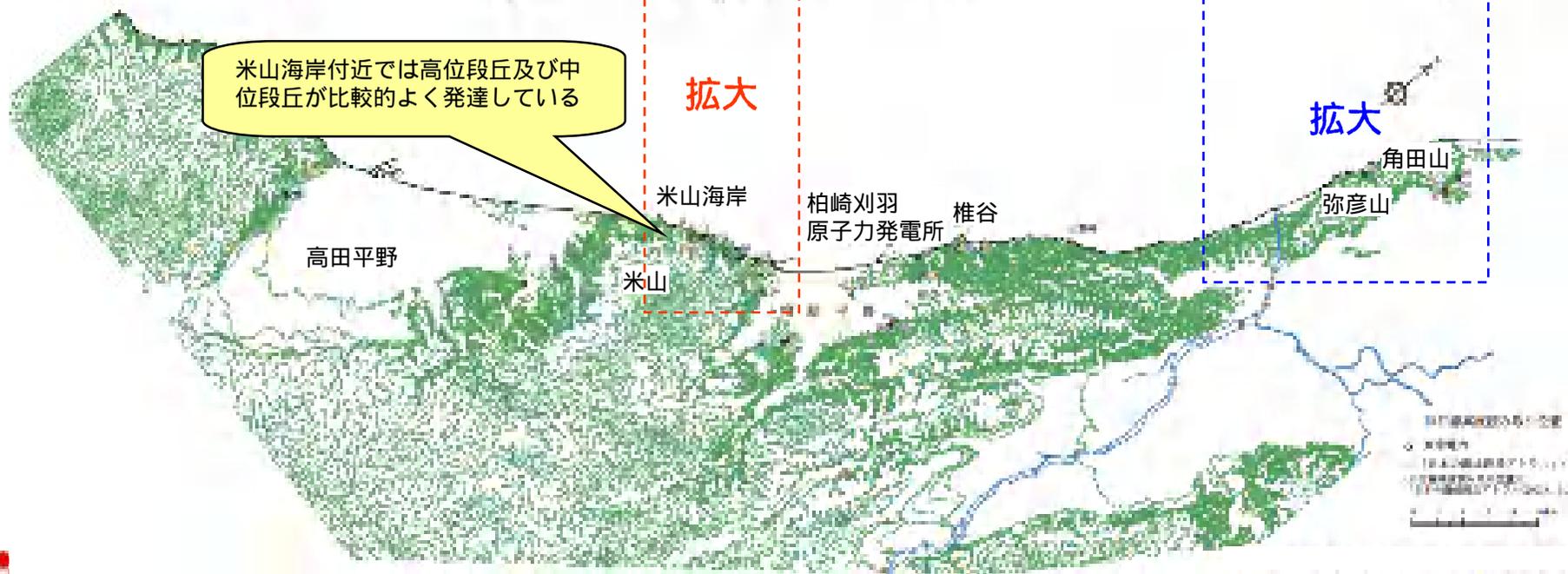
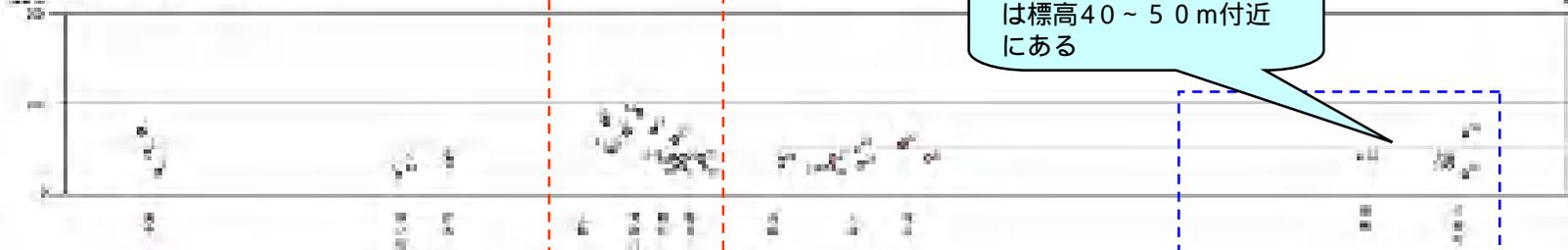
敷地周辺の海成段丘の分布について整理し、大陸棚斜面の形成や海成段丘の高度分布など地形・地質の発達過程に対する活構造の寄与について検討した。

# 敷地周辺の海成段丘の分布に基づく旧汀線高度分布

【「日本の海成段丘アトラス」(2001)による旧汀線高度分布】

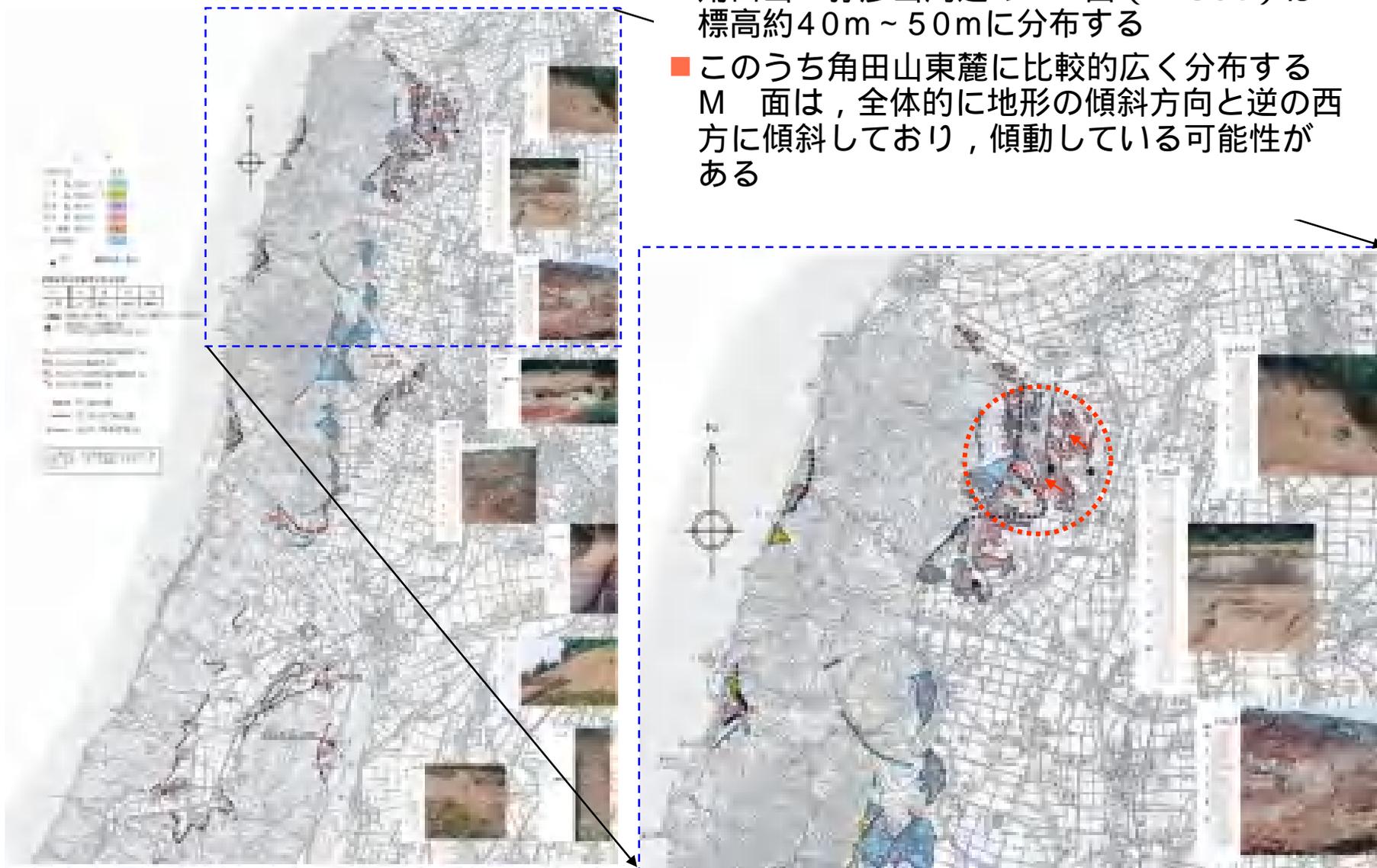


【東京電力調査結果による旧汀線高度分布】



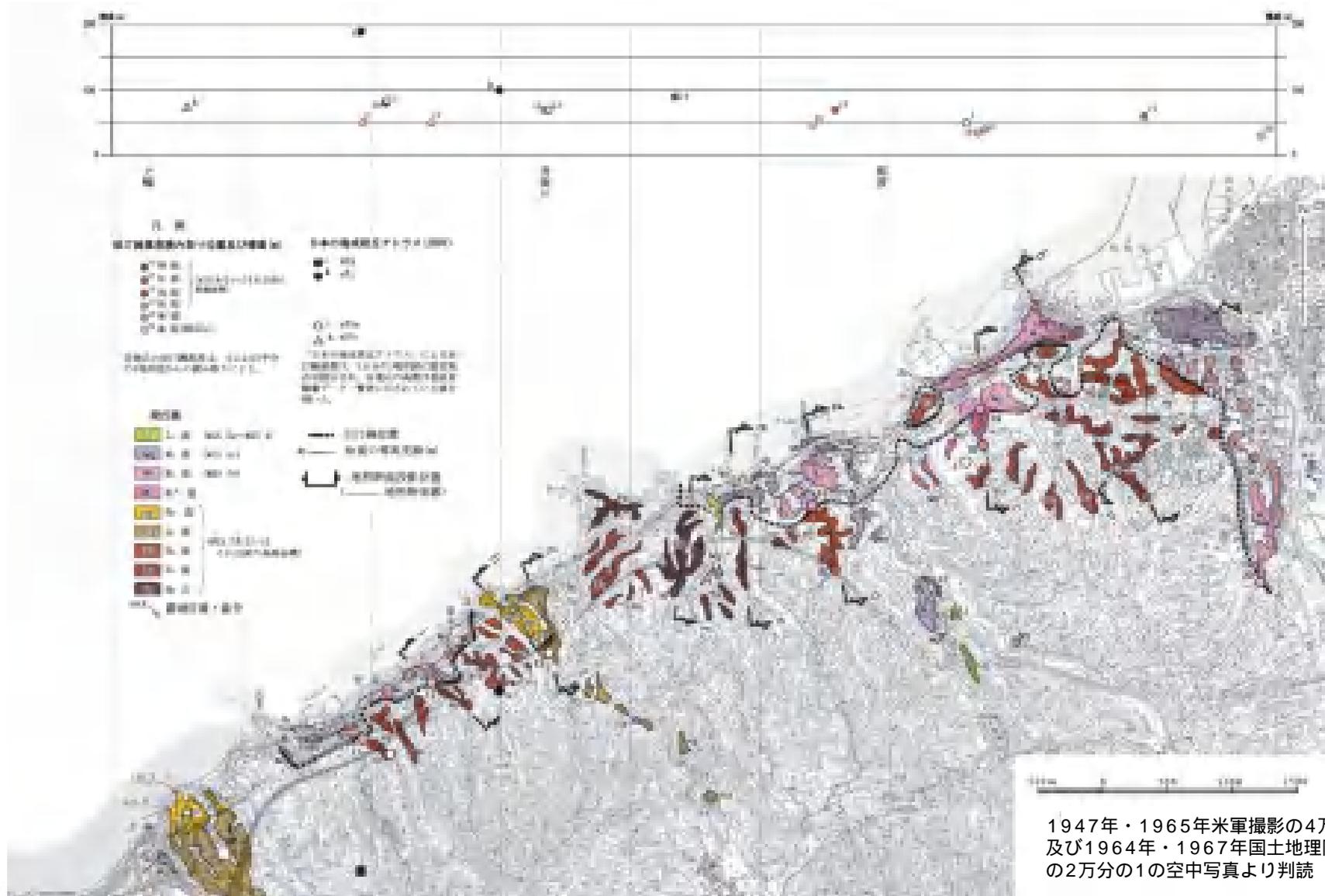
## 角田山・弥彦山周辺の段丘面分布

- 角田山・弥彦山周辺のM 面 (MIS5e) は 標高約40m ~ 50mに分布する
- このうち角田山東麓に比較的広く分布する M 面は, 全体的に地形の傾斜方向と逆の西方に傾斜しており, 傾動している可能性がある



# 米山海岸付近の段丘面分布

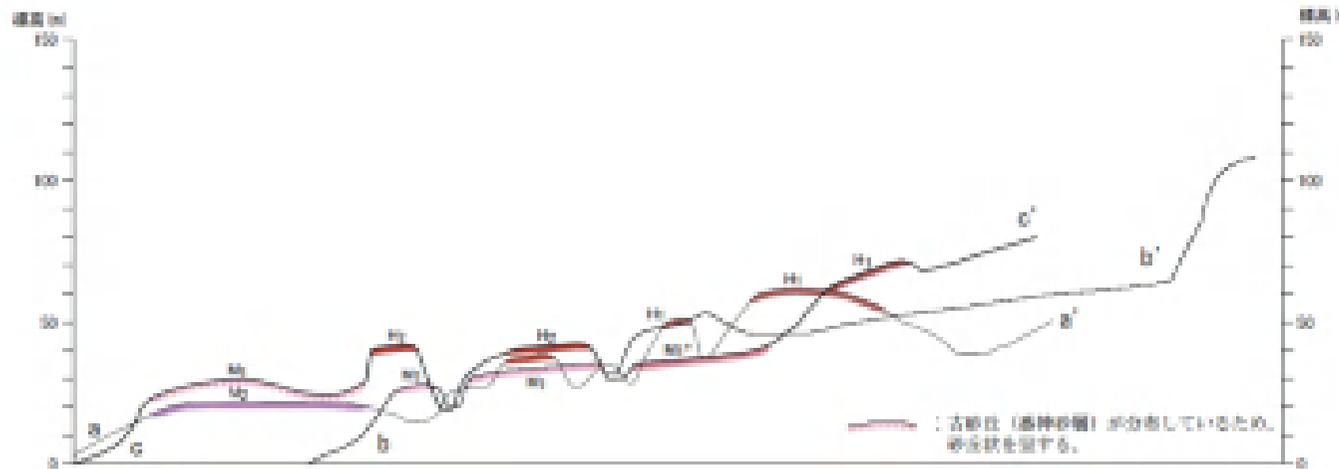
- 米山海岸付近におけるMIS5eの段丘面の分布，等高度線及び旧汀線高度を示す



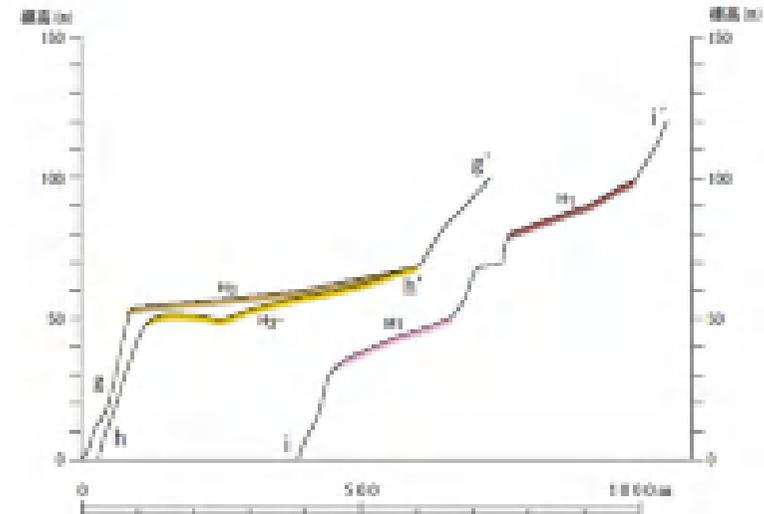
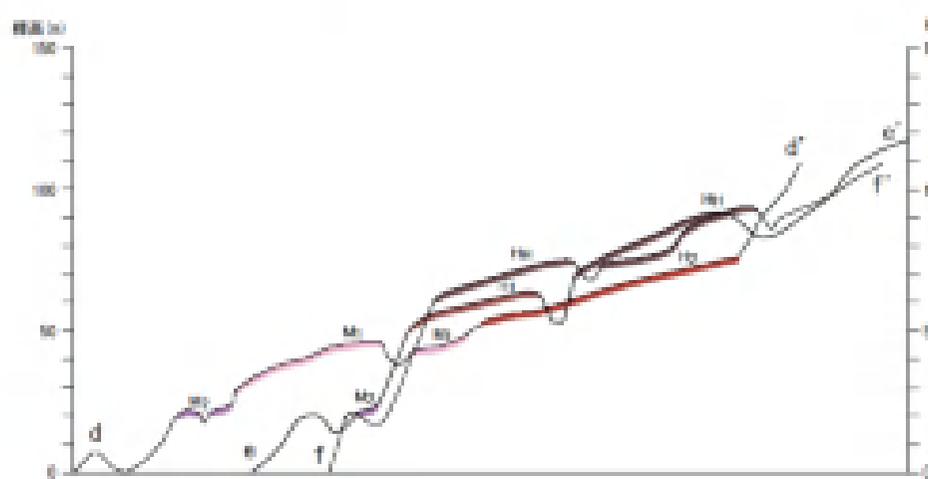
1947年・1965年米軍撮影の4万分の1  
及び1964年・1967年国土地理院撮影  
の2万分の1の空中写真より判読

# 米山海岸周辺の中位段丘面及び高位段丘面の傾斜

- 高位段丘面の傾斜は，中位段丘面の傾斜と顕著な差異がみられず，段丘の傾動を累積させるような動きが認められないことから，米山海岸近傍に局所的な変動を及ぼす活断層は存在しないと考えられる
- なお，柏崎平野及び角田山・弥彦山周辺では，高位段丘の分布に限られるため，米山海岸周辺を代表として検討した

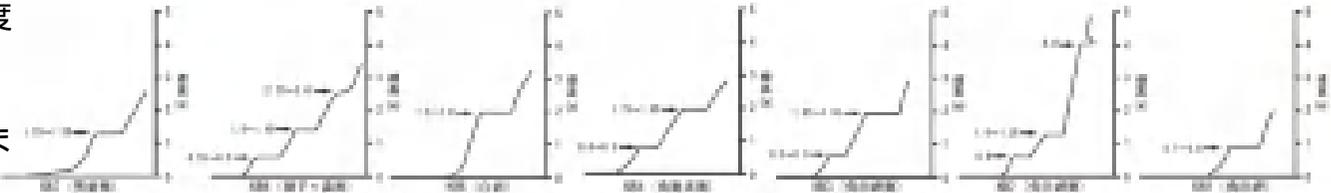


※この地形断面は、平成19年7月1日  
国土地理院発行の255千分の1地形図  
：「柏崎」より作成。  
地形断面は、断面線の近くに分布する  
段丘面の頂部の地形（——）を断面  
に投影したもの。

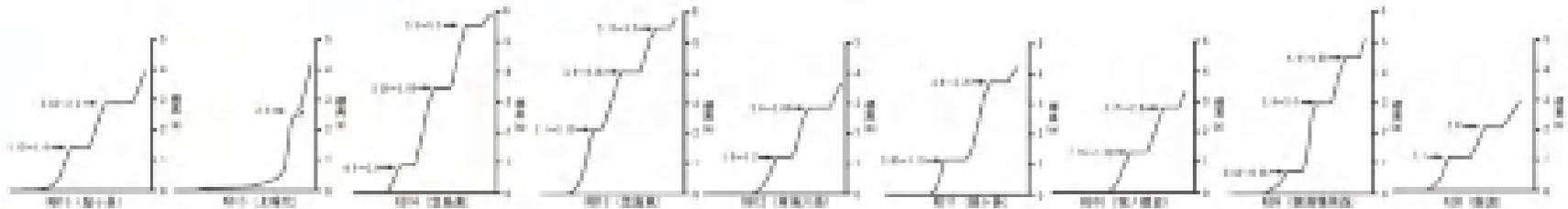


# 離水ベンチ・ノッチの分布と標高

- 間瀬（角田山・弥彦山）周辺では標高1m～2m付近に離水ベンチとみられる地形が，角田岬では標高4m付近にノッチとみられる凹部が認められる
- 椎谷（観音岬）では標高2m程度に離水ベンチとみられる地形が認められる
- 米山海岸周辺では標高5m程度までに複数段の離水ベンチとみられる地形が認められ，他の地域と比較してやや隆起傾向が大きい可能性が考えられる
- なお，その他のほとんどの海岸部は護岸されている，もしくは砂浜海岸となっている



ノッチ：波により侵食されて岩石海岸の海食崖の基部につくられる凹部



# 離水ベンチの露頭写真



## 小 括

- 敷地周辺の離水ベンチについて調査した結果，標高1m～5mに複数段の離水ベンチとみられる地形を確認した。離水ベンチは米山海岸周辺において比較的良く発達することから，この付近の隆起傾向が他の地域と比較してやや大きい可能性が考えられる
- 米山海岸周辺においては，中期更新世の高位段丘が比較的よく発達しており，隆起傾向が比較的大きい可能性が伺えるが，その傾斜は中位段丘面の傾斜と顕著な差異がみられず，段丘の傾動を累積させるような動きが認められないことからことから，米山海岸近傍に局所的な変動を及ぼす活断層は存在しないと考えられる
- なお，後述するように，米山海岸付近の段丘の高度分布には，活構造として考慮することとしたF - B断層，F - D断層，高田沖断層，気比ノ宮断層，片貝断層，それぞれの活動による隆起が寄与すると考えられる
- 角田山・弥彦山周辺のMIS5eのM<sub>1</sub>面は40m～50m付近に分布し，角田山東麓に比較的広く分布するM<sub>1</sub>面は，全体的に地形の傾斜方向と逆の西方に傾斜しており，傾動している可能性がある
- ただし，佐渡海盆東縁の大陸棚斜面部に活断層が存在するとの指摘があることから，念のため，その根拠とされた角田山・弥彦山周辺の海成段丘の高度分布と大陸棚斜面の成因について検討する（後述）

---

# 佐渡海盆東縁部の東傾斜の断層の可能性について

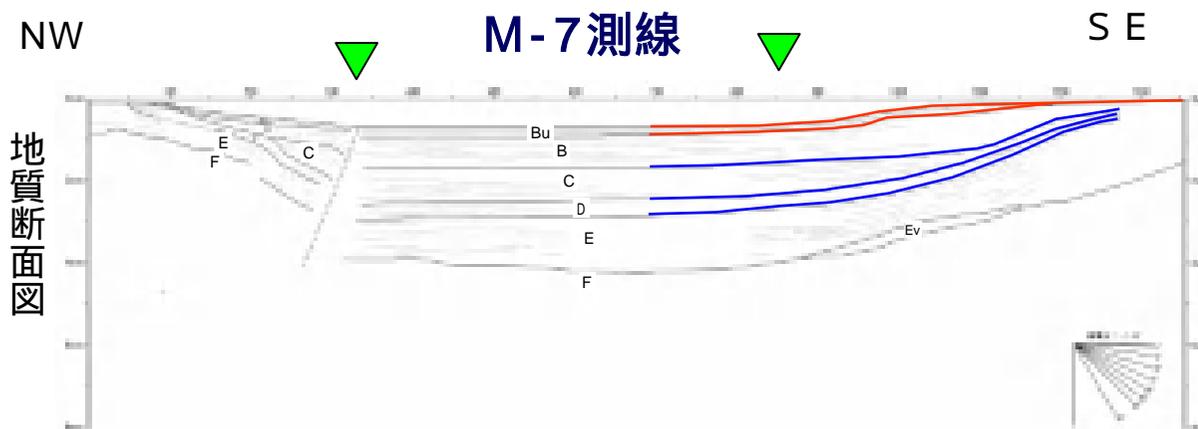
## 石橋（2008a,2008b）の指摘について

### < 概要 >

佐渡海盆の東縁部に，海域から陸域に傾き下がる東傾斜の逆断層の存在の可能性が指摘されていることから，その指摘の概要を示す

- 石橋（2008a）：石橋克彦，佐渡海盆東縁断層の存在の可能性について，新潟県「地震，地質・地盤に関する小委員会」第6回，」2008.6.11
- 石橋（2008b）：石橋克彦，柏崎刈羽原発の新たな基準地震動：内容と審議の大きな欠陥，岩波「科学」Vol.78, No.8, PP.819-823

# 石橋 (2008a,2008b) の指摘について



▼ 渡辺ほか(2007)が示す活断層の位置



■ 渡辺ほか(2007)：2007年新潟県中越沖地震と活構造，日本第四紀学会講演要旨集

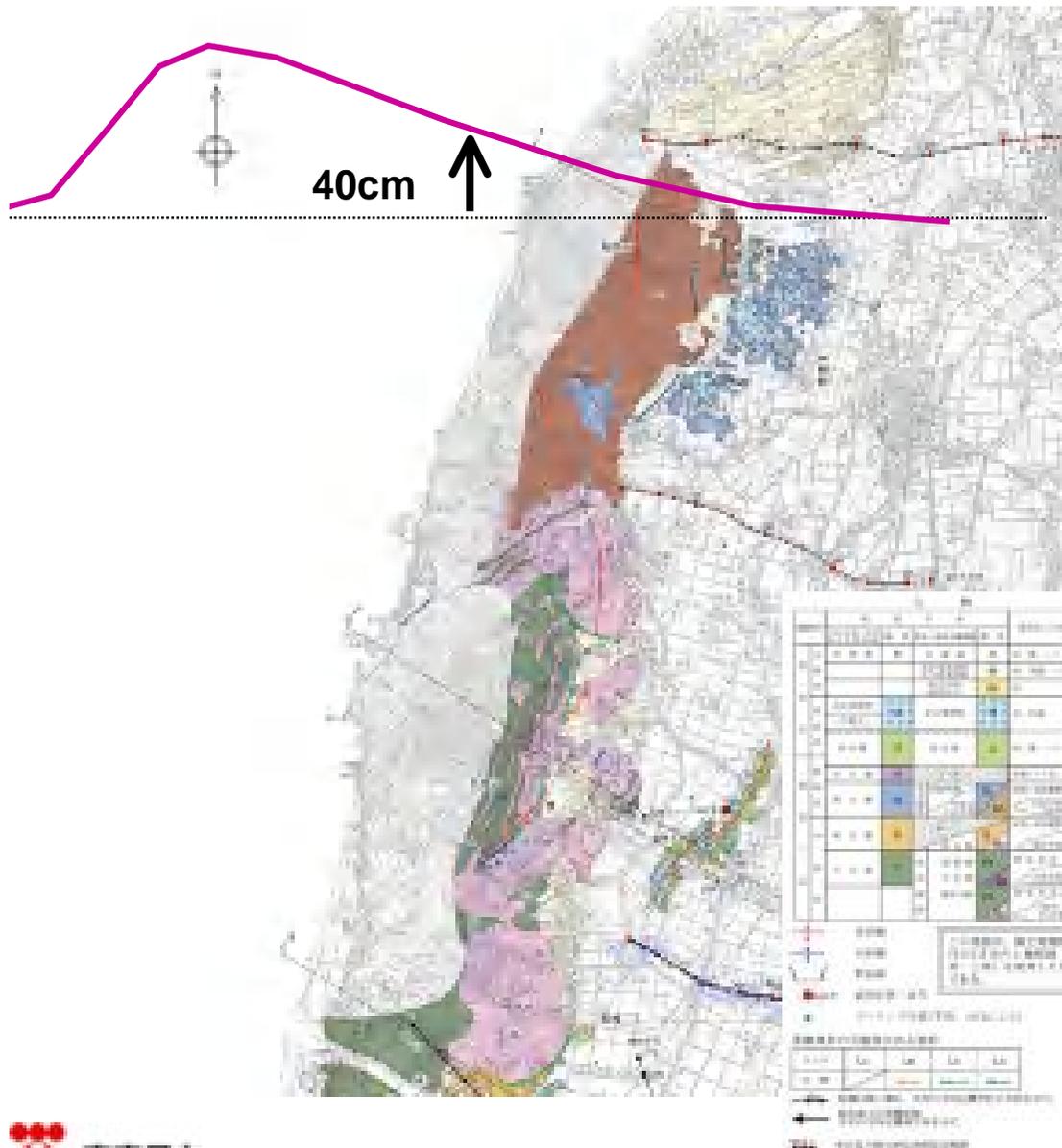
「石橋(2008a)より抜粋」

5. SBEM( )断層の存在を推論する根拠は、佐渡海盆東縁の一直線状の『撓曲崖的な大陸棚斜面』の存在、海岸線付近の海拔高度40~50mのMIS5e海成段丘面の存在と同段丘面の内陸での高度分布、前2項目が2007年新潟県中越沖地震の南東傾斜の断層モデルと整合することである。

9. 上端の深さが4km程度で海底に明瞭には現われていないSBEM断層を想定することにより、5項のとが統一的に説明されることを、断層モデルの計算によって示すことができる。

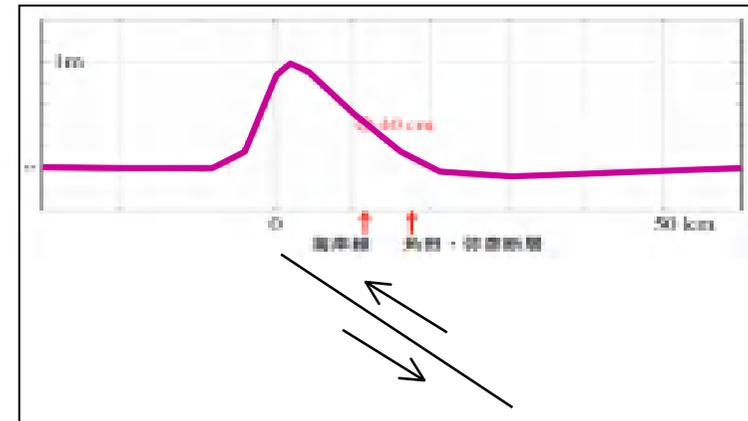
SBEM断層：佐渡海盆東縁の大陸棚斜面の基部付近から陸側に傾き下がる逆断層

# 石橋 (2008a) による指摘



石橋 (2008a) の指摘

- 段丘面の分布は、海域の断層（東傾斜，東側隆起の逆断層）が活動した場合の地表面の変動と対応



上記の地形変化のイメージは、石橋 (2008a) による

## Tabuchi et al. (2008) が指摘する中越沖地震の震源断層

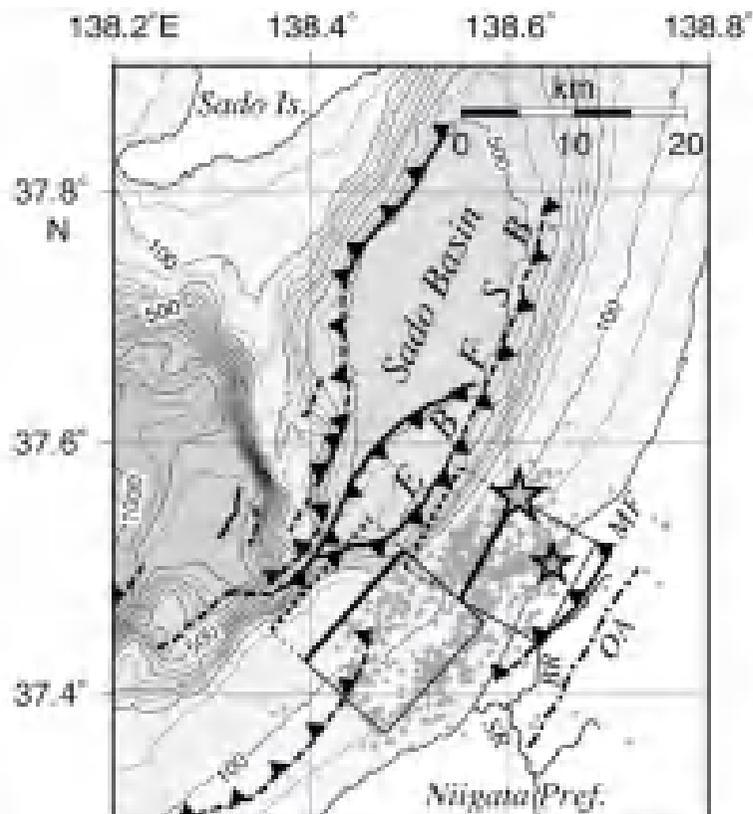


Figure 5. Active faults and the static fault model of the 2007 Chuetsu-oki earthquake. Solid and broken lines in the sea area indicate well-defined and inferred submarine active faults, respectively, with solid triangles showing dip directions (Watanabe et al., 2007). ENB58 denotes the Eastern boundary fault of Noto Basin (after Watanabe et al. (2008)). On land, the Madagasaka fault (MF) is after Taniuchi (1997) and Watanabe et al. (2007) and the axis of Oginojo anticline (OA) is after GSI (2007c). Two rectangles represent horizontal projections of fault planes of the southeasterly-dipping fault model. Thick and dotted lines indicate upper edges of fault planes and roughly sea-bottom (500 m deep) traces of shallower extensions of fault planes, respectively. Large and small stars and gray dots show epicenters of the main shock of the Chuetsu-oki earthquake, the largest aftershock and aftershocks during one-day period after the main shock, respectively (from the integrated hypocenter database prepared by JMA). Sabasaki River (SR) and Betsuyama River (BR) are also shown.

- 中越沖地震のメカニズム解・地震時地殻変動・津波・余震分布を検討して、南東傾斜の2枚の断層面（上盤の陸側ブロックが北西にのし上げる逆断層）から成る静的震源断層モデル（全長約23km，幅約12km，すべり量約1m，上端深さが北は約6kmで南や約2.5km，Mw6.6）を求め，2枚の断層面の海底への延長は佐渡海盆東縁断層のトレースと一致する（石橋,2008b）

- 指摘は，上記の2枚の断層と同様の断層が佐渡海盆の東縁に推定されるというもの
- 上記の2枚の断層モデルは，F-B褶曲群（活構造）を評価した範囲内である

■ Tabuchi et al. (2008) : 神戸大学都市安全研究センター研究報告, No.12

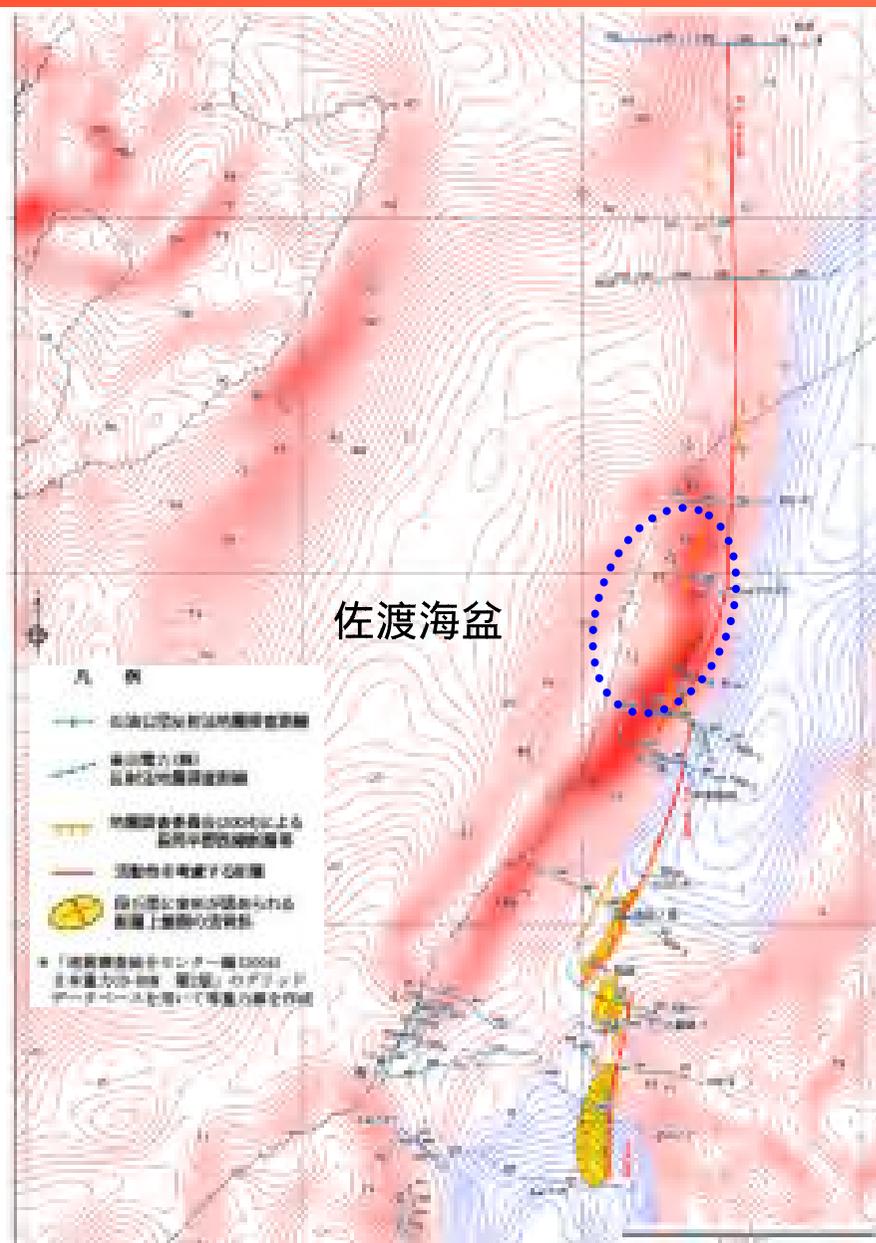
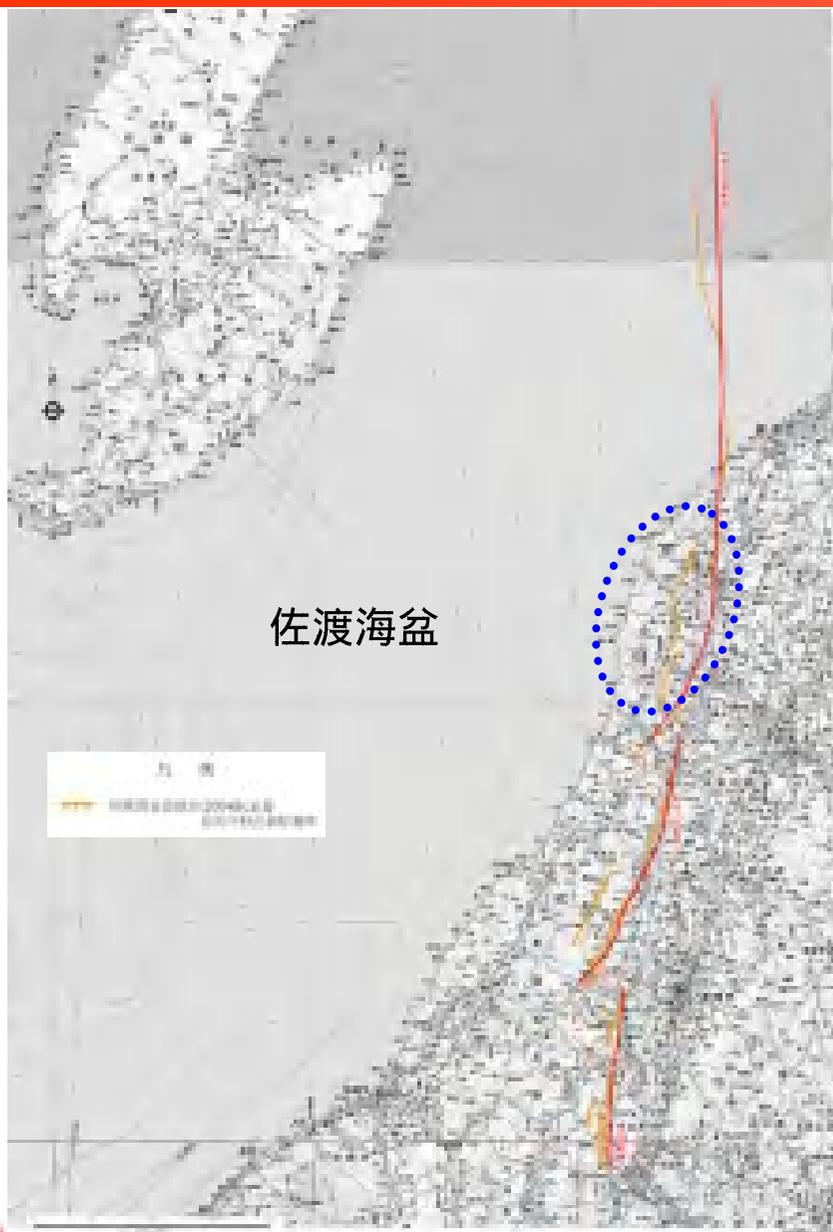
---

## 佐渡海盆東縁部の 大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について

### < 概要 >

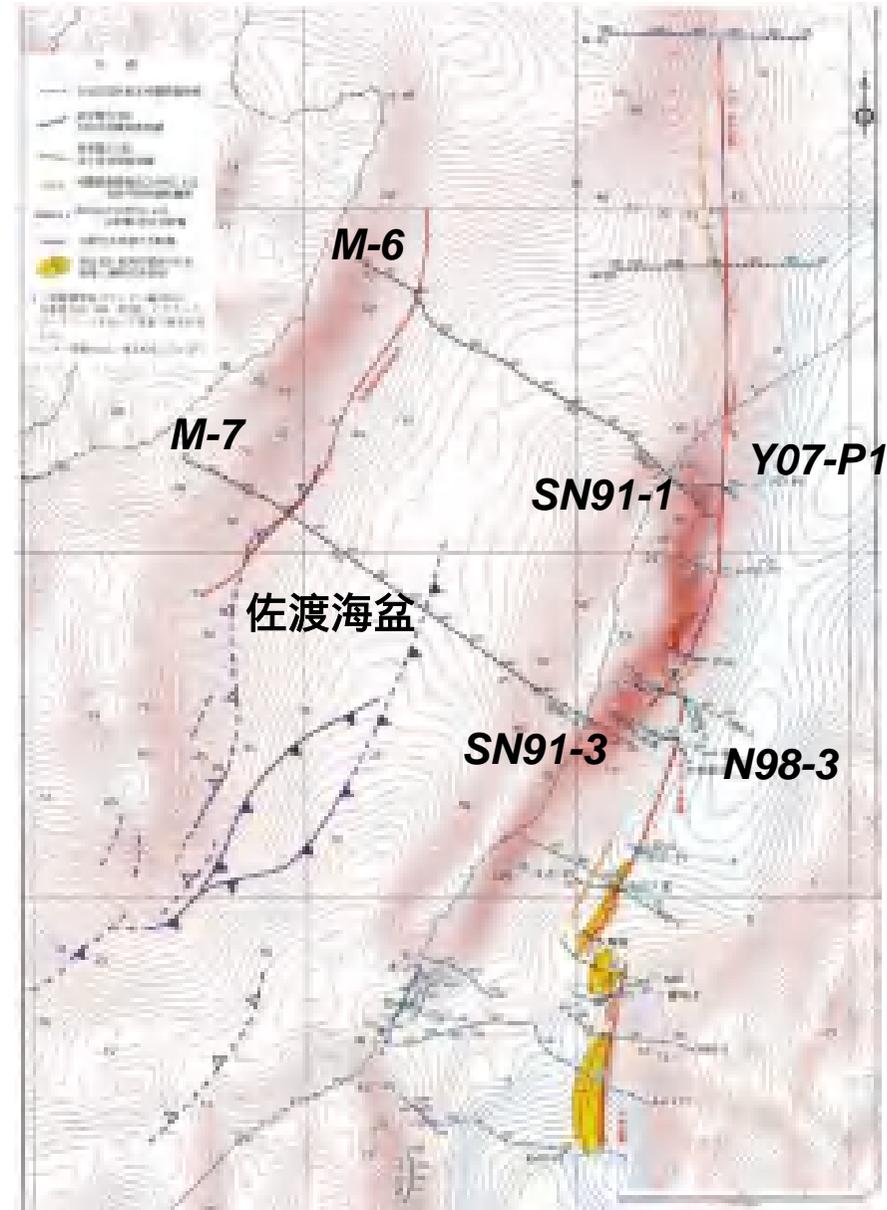
これまでの調査で把握された当該地域の地質構造についてとりまとめ、その地形及び地質構造の発達過程について検討した

# 大陸棚～大陸棚斜面の深部の構造について



# 大陸棚～大陸棚斜面の深部の構造について

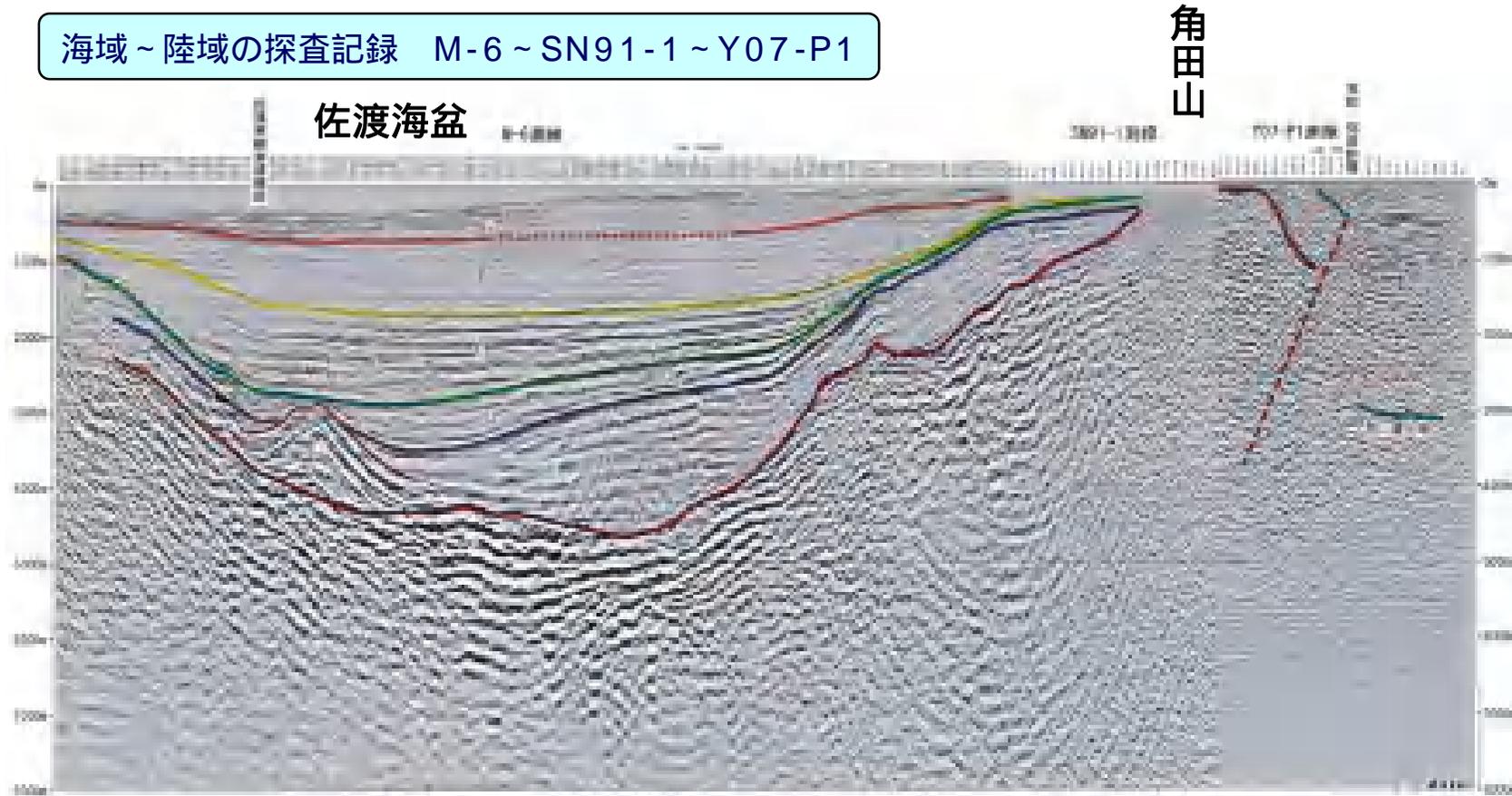
- 重力異常図に，海域から陸域にかけて連続させた探査測線の位置を重ね描いて示す
- 重力の勾配が最も急勾配となる角田山・弥彦山の東側には活断層として考慮している角田・弥彦断層がある
- 重力の勾配は，佐渡海盆の東縁では佐渡海盆の西縁と比較して緩やかなものとなっている
- 比較的急勾配を示す佐渡海盆の西縁には，佐渡島棚東縁撓曲（活撓曲）を考慮している



# 大陸棚～大陸棚斜面の深部の構造について

- 西傾斜の角田・弥彦断層が大陸棚斜面～大陸棚～角田山にかけて隆起させ、非対称の褶曲構造の形成に寄与している様子がある

海域～陸域の探査記録 M-6～SN91-1～Y07-P1



本図のうちSN91-1測線は、石油公団（現 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が実施した反射法地震探査記録を、東京電力（株）が独自に再処理・解析し、作成したものです。

# 大陸棚～大陸棚斜面の深部の構造について

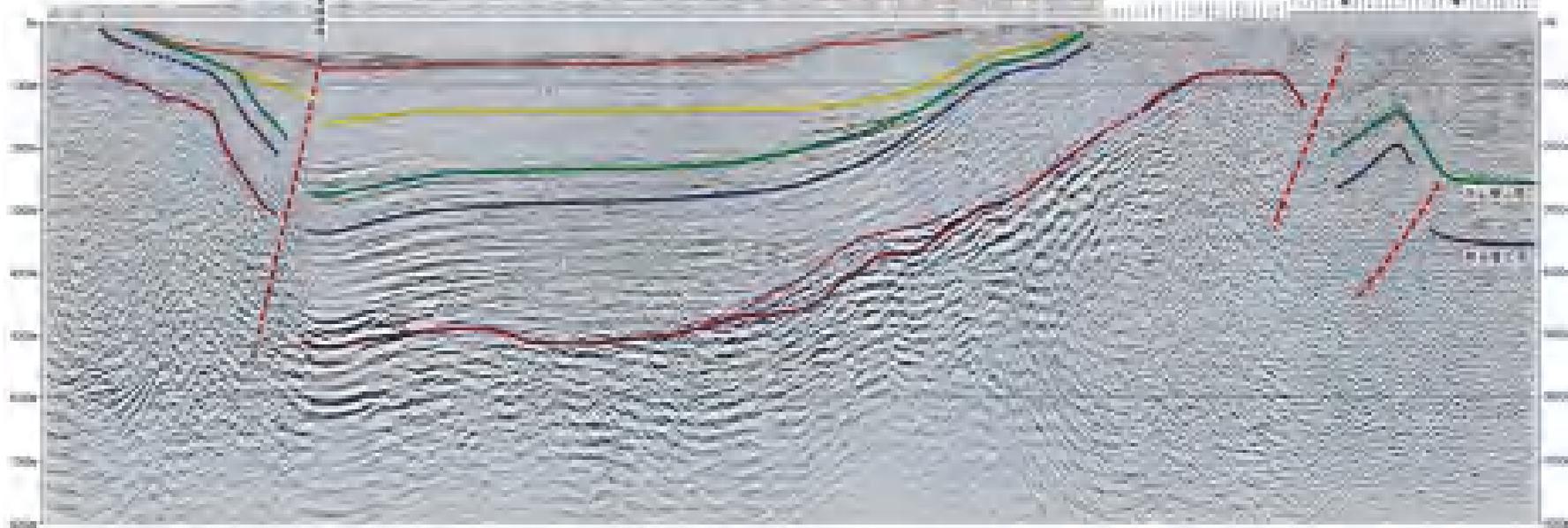
- 西傾斜の角田・弥彦断層が大陸棚斜面～大陸棚～弥彦山にかけて隆起させ、非対称の褶曲構造の形成に寄与している様子がある

海域～陸域の探査記録 M-7～SN91-3～N98-3

渡辺ほか(2007)が示す活断層の位置

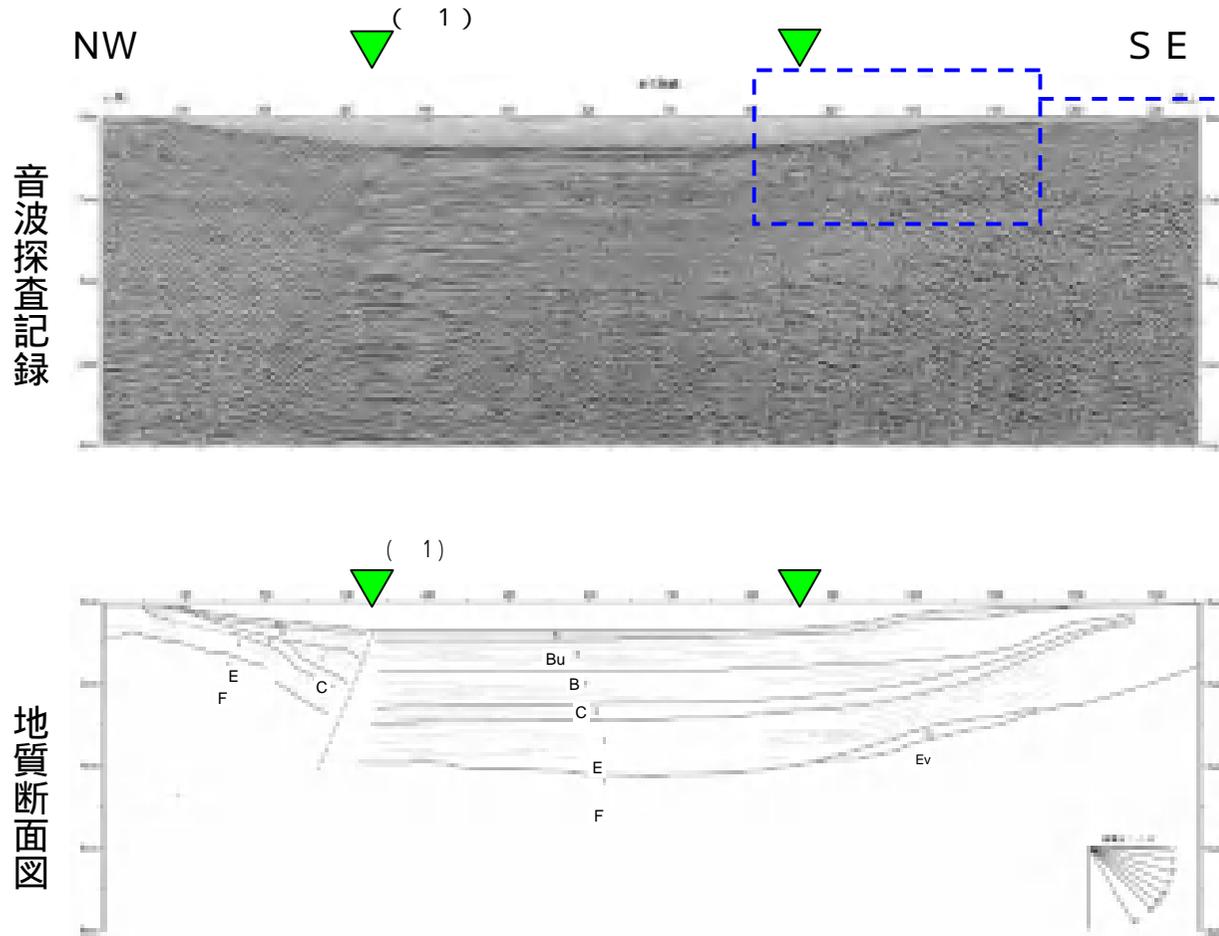
佐渡海盆

弥彦山



本図のうちSN91-3及びSN98-3測線は、石油公団（現 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が実施した反射法地震探査記録を、東京電力（株）が独自に再処理・解析し、作成したものです。

# 大陸棚斜面部の構造について : M-7測線



▼ 渡辺ほか(2007)が示す活断層の位置



1 当該位置には佐渡島棚東縁撓曲を活構造として評価

【地質区分】  
 A:沖積層相当層 B:低位～中位段丘堆積物相当層 B:高位段丘堆積物相当層 C:灰爪層相当層 D:西山層相当層 E:椎谷層～七谷層相当層 (Ev:グリーンタフより上位の火山噴出物) F:グリーンタフ相当層

# 大陸棚斜面部の構造について : M-7測線 (拡大)



- 大陸棚斜面に緩やかに傾斜した地質構造が認められるものの、南側の測線で認められるような短波長の褶曲構造は認められない
- 非常に緩やかな長波長の構造であって、growth triangle などの活構造の存在を示唆する地質構造は認められない
- 大陸棚外縁部の斜面の形態は、その付近においてB層及びB<sub>u</sub>層の上部に前置層的な反射パターンを示し、堆積構造を反映したものであると判断される

**【地質区分】**

A:沖積層相当層 B<sub>u</sub>:低位～中位段丘堆積物相当層 B:高位段丘堆積物相当層 C:灰爪層相当層 D:西山層相当層 E:椎谷層～七谷層相当層 (E<sub>v</sub>:グリーンタフより上位の火山噴出物) F:グリーンタフ相当層

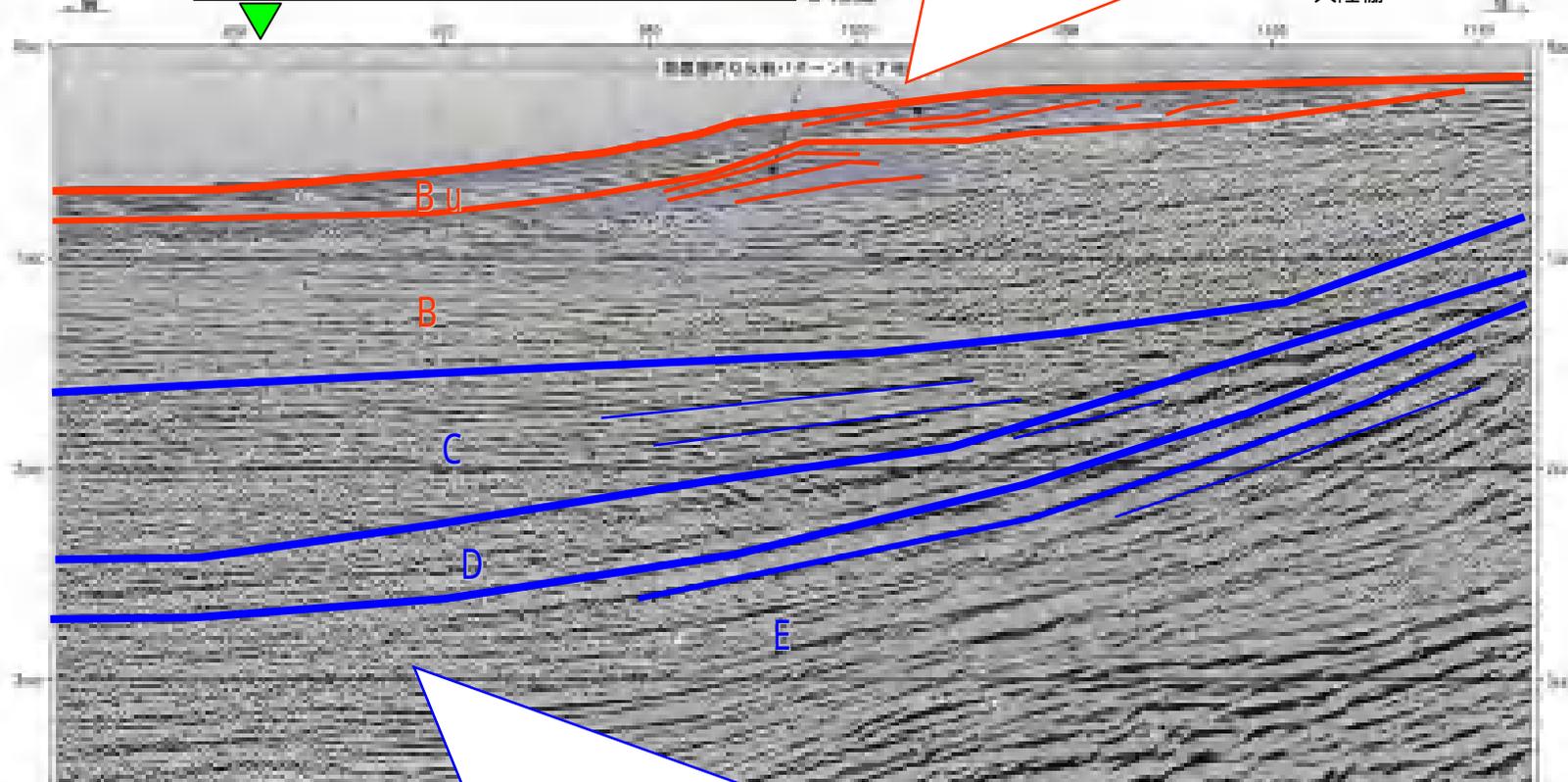
# 大陸棚斜面部の構造について : M-7測線 (拡大)

NW : Bu層, B層は, Progradationによるforeset bed構造を示す SE

佐渡海盆

渡辺ほか(2007)が示す活断層の位置

大陸棚



: C層, D層, E層以下の地層は, 緩やかに西に傾斜する構造  
断層は認められない  
構造(緩やかな凹状)は, Bu層, B層の構造と調和的でない  
Bu層, B層の構造は, 地下の断層活動によるものではない

## 小 括

---

- 佐渡海盆～佐渡海盆東縁～陸域にかけての地下探査結果によれば，陸域の西傾斜の角田・弥彦断層が大陸棚斜面～大陸棚～角田山・弥彦山にかけてを隆起させ，非対称の褶曲構造の形成に寄与している様子がある
- この探査記録において，佐渡海盆東縁に断層は認められない
- 大陸棚斜面に緩やかに傾斜した地質構造が認められるものの，非常に緩やかな長波長の構造であって，growth triangle などの活構造の存在を示唆する地質構造は認められない
- 大陸棚外縁部の斜面の形態は，その付近においてB層及びBu層の上部に前置層的な反射パターンを示し，堆積構造を反映したものであると判断される

---

## 角田山・弥彦山周辺の地形（段丘の状況）と 大陸棚斜面～大陸棚～陸域の地質構造について

### < 概要 >

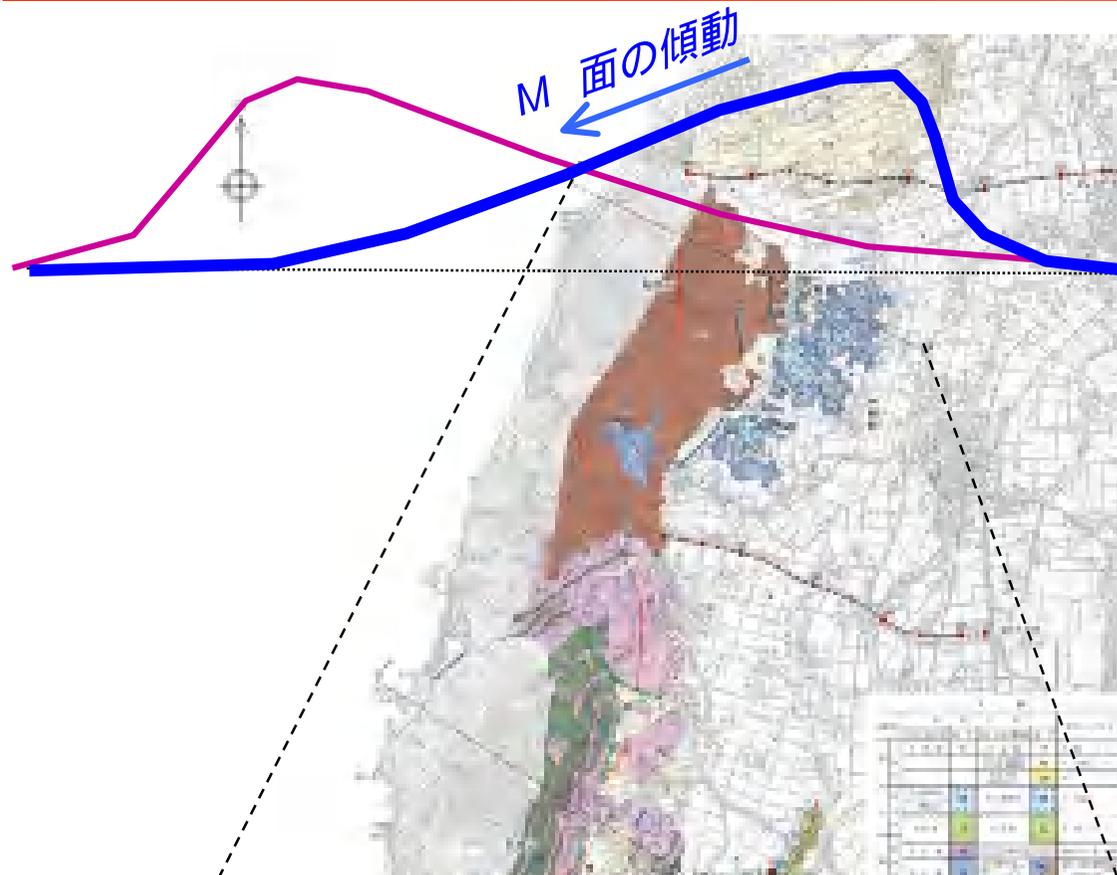
これまでの調査で把握された当該地域の地質構造についてとりまとめ、その地形及び地質構造の発達過程について検討した

# 角田山・弥彦山周辺の段丘面分布

- 角田山・弥彦山周辺のM 面 (MIS5e) は 標高約40m ~ 50mに分布する
- このうち角田山東麓に比較的広く分布する M 面は, 全体的に地形の傾斜方向と逆の西方に傾斜しており, 傾動している可能性がある



# 角田・弥彦断層周辺のM面の傾斜（傾動）



石橋（2008a）の指摘：

- 段丘面の分布は、海域の断層（東傾斜，東側隆起の逆断層）が活動した場合の地表面の変動と対応（図の赤線）

現地の状況

- 角田山東方の竹野町付近では，M面が西に傾動する様子を確認している

当社（東京電力）の評価

- 段丘面は西に傾動（傾斜）しており，段丘面より東側に西傾斜，西側隆起の逆断層の活動が推定される
- 段丘面の東側には，角田・弥彦断層（西傾斜，西側隆起の逆断層）が位置しており，段丘面の傾動（傾斜）は，この断層がした場合の地表面の変動と整合的（図の青線）
- 段丘面の分布から，海域の断層よりも陸域の断層の寄与が考えられる



## 小 括

---

- 海域～陸域の地下探査の結果，石橋（2008a，2008b）が指摘する『撓曲崖的な大陸棚斜面』の地下深部にはそれに対応する断層構造はみとめられず，海岸付近の海成段丘の隆起に寄与する活構造としては角田・弥彦断層が考えられる

---

## くいちがい弾性論による 角田・弥彦断層による地殻変動について

### < 概要 >

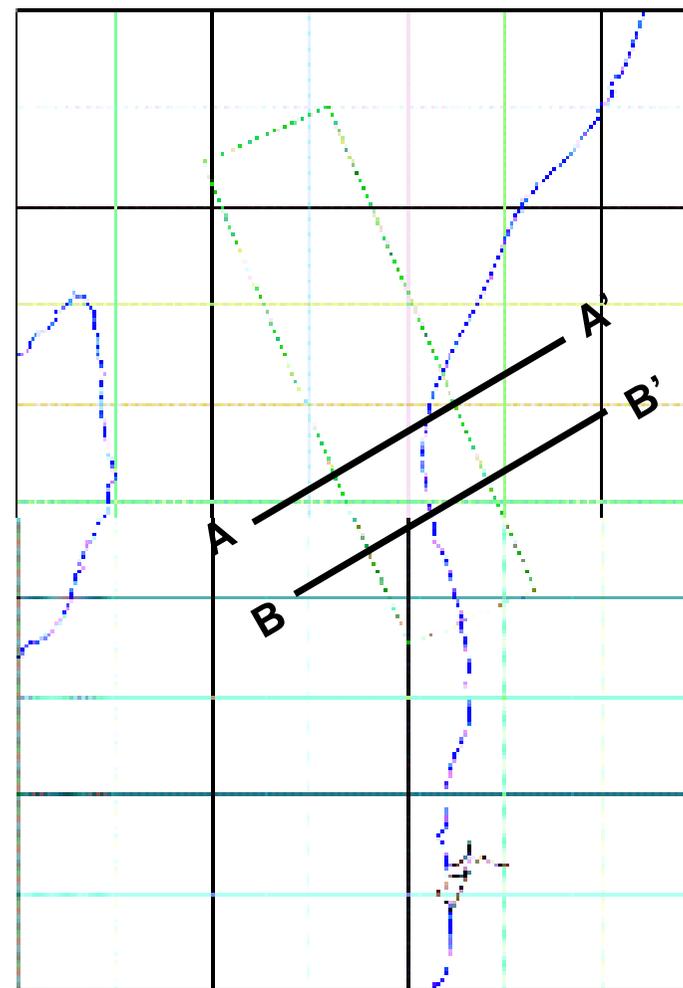
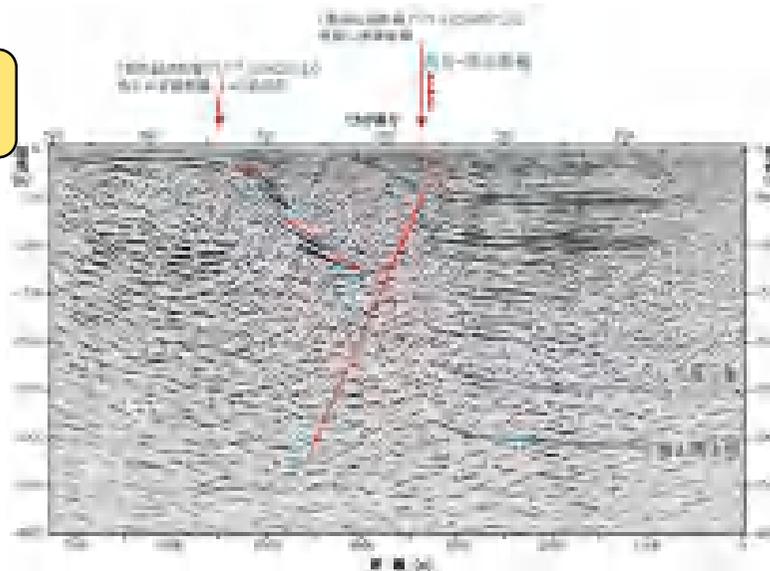
地質構造や段丘面の分布から，石橋（2008a，2008b）が指摘する角田山・弥彦山の西側の間瀬周辺の間瀬周辺の段丘面高度については，佐渡海盆東縁の海域の活断層よりも陸域の長岡平野西縁断層帯（角田・弥彦断層）の活動による寄与が考えられることから，くいちがい弾性論による地殻変動を試算し検討した

# 角田・弥彦断層による地殻変動の解析条件

- 基準地震動策定に用いた断層モデル（強振動モデル）は，エネルギーを発する断層面を地震発生層内に設定しているため，必ずしも地表付近の地殻変動を適切に表現できるものではない
- 反射法地震探査結果等において確認された断層変位は地表付近まで及んでいることから，断層面を地表付近まで延長したモデル（地殻変動モデル）により地殻変動を検討した
- 本検討では，隆起・沈降の傾向をみるためにすべり量を 1 m とした
- 解析方法：Wang et al. (2003)に基づく多層モデル
- 解析条件：

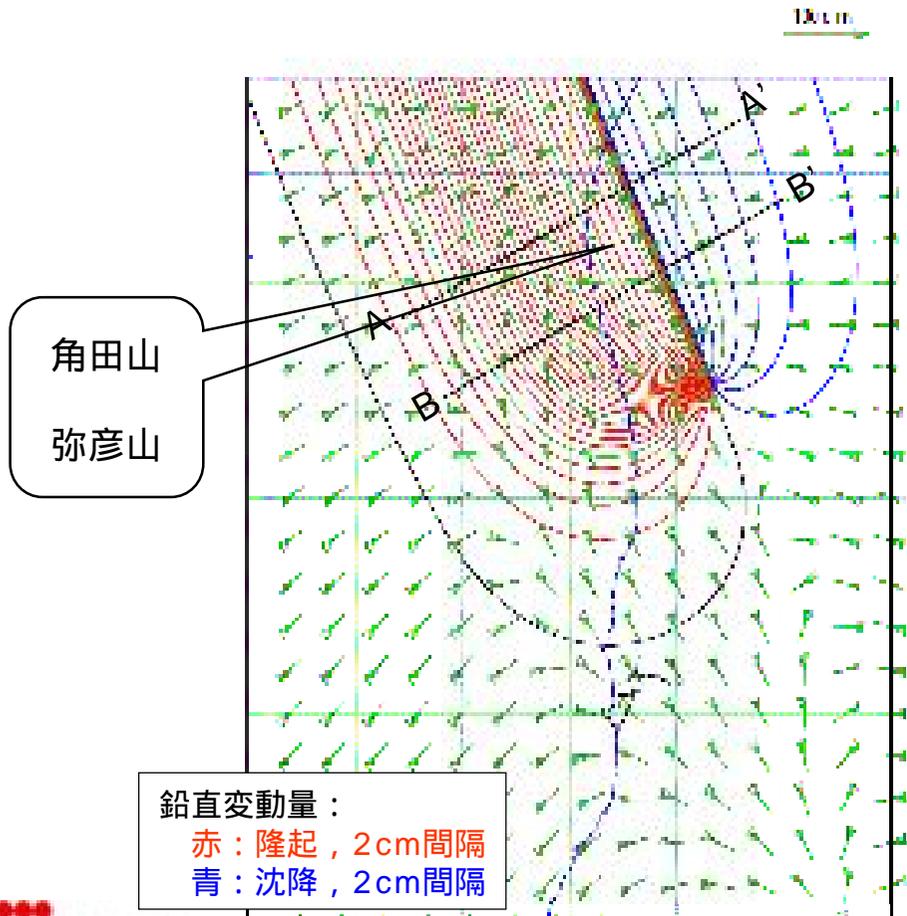
長さ (km)	傾斜 (°)	上端深さ (km)	下端深さ (km)	すべり量 (m)
54	50	0.1	17	1.0

角田・弥彦断層の  
反射法地震探査結果

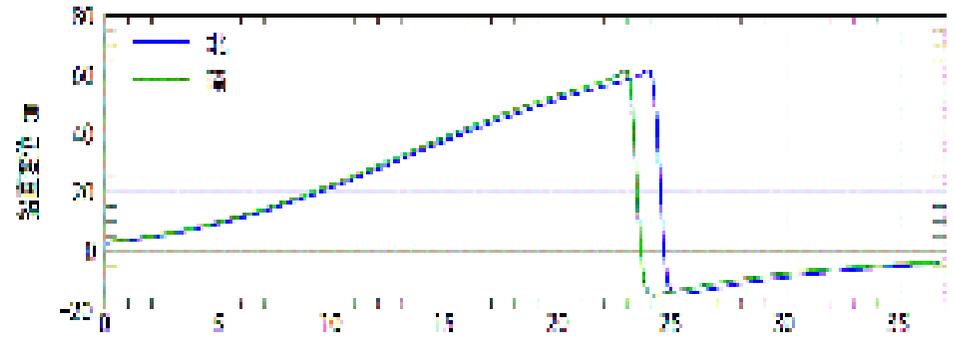


# 角田・弥彦断層による地殻変動の試算

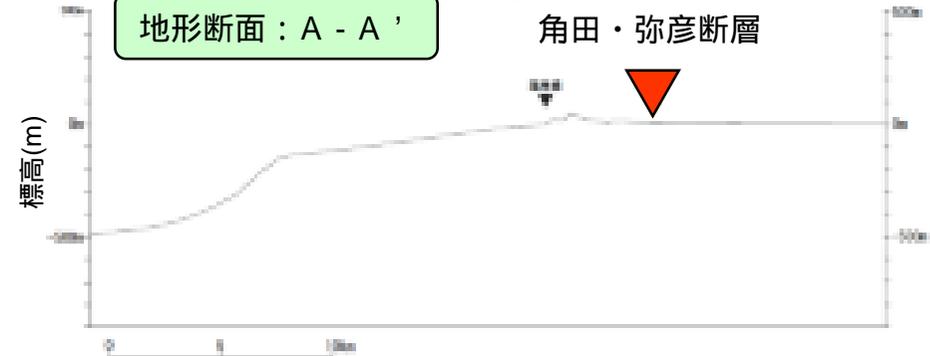
- 断層モデル（地殻変動モデル）により角田・弥彦断層による地殻変動を試算した
- 断層位置から西側の大陸棚から大陸棚斜面にかけて，西に傾動しつつ隆起する傾向を示す
- 前述の段丘面の傾動（西傾斜）と調和的



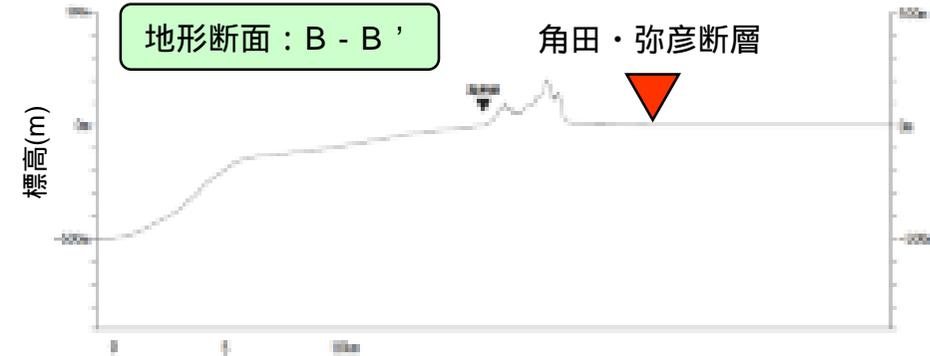
断層モデルによる試算結果



地形断面：A - A'



地形断面：B - B'



## 長岡平野西縁断層帯による地殻変動の試算

- 仮定した断層モデル（地殻変動モデル）の単位すべり量を1mに対し，角田山・弥彦山周辺～野積や間瀬にかけての隆起量は約0.5mと試算される
- 地震調査委員会（2004）によれば，想定される長岡平野西縁断層帯の単位変位量は，2m / 回（渡辺ほか（2000）による）ないし6～7m / 回（松田（1975）の式と断層長さ約83kmによる）とされる
- また，地震調査委員会（2004）によれば，想定される長岡平野西縁断層帯の平均活動間隔は1200年～3700年とされる
- この単位変位量及び平均活動間隔を用いて，M 面（約125,000年前）形成後の隆起量を試算した結果，ケース の隆起量は当該付近のM 面の高度分布に近い値となっているが，それ以外のケースは相当に大きな値となっている
- 現地調査の結果，角田・弥彦断層付近では沖積層基底には試算されるような累積変位量は認められないことなどから，地震調査委員会（2004）の想定は，相当に保守的なものであると考えられる

ケース					備考
単位変位量 (a)	2m / 回		7m / 回		
単位隆起量 (b)	1m / 回		3.5m / 回		(b) = 0.5 × (a)
平均活動間隔 (c)	約1200年	約3700年	約1200年	約3700年	
M 面形成後の活動回数 (d)	約100回	約30回	約100回	約30回	(d) = 125,000 / (c)
隆起量 (e)	約100m	約30m	約350m	約100m	(e) = (d) × (b)

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004）：長岡平野西縁断層帯の長期評価について．地震調査委員会（平成16年11月13日）
- 渡辺ほか（2000）：越後平野西縁，鳥越断層群の完新世における活動性と最新活動時期．地震第2輯，53，153-164

## まとめ

- 海域～陸域の地下探査の結果，石橋（2008a，2008b）が指摘する「撓曲崖的な大陸棚斜面」の地下深部には，それに対応する断層構造は認められない
- 角田・弥彦断層の上盤側には非対称の褶曲構造が形成されていることから，同断層の活動が弥彦山～大陸棚～大陸棚斜面の隆起に寄与しているものと判断される
- また，大陸棚外縁斜面付近のB層及びBu層には前置層的な反射パターンが認められることから，同斜面の形態は，この堆積構造を反映したものと判断される
- さらに，くいちがい弾性論により地殻変動を試算した結果，角田山・弥彦山周辺の段丘面高度には，角田・弥彦断層の活動による隆起が寄与していることが確認された
- 以上のことから，石橋（2008a，2008b）が指摘する角田山・弥彦山西側の間瀬周辺の段丘面高度については，海域の佐渡海盆東縁断層よりも陸域の角田・弥彦断層（長岡平野西縁断層帯）の活動による寄与を考えた方が合理的であると判断される

---

## くいちがい弾性論による地殻変動について

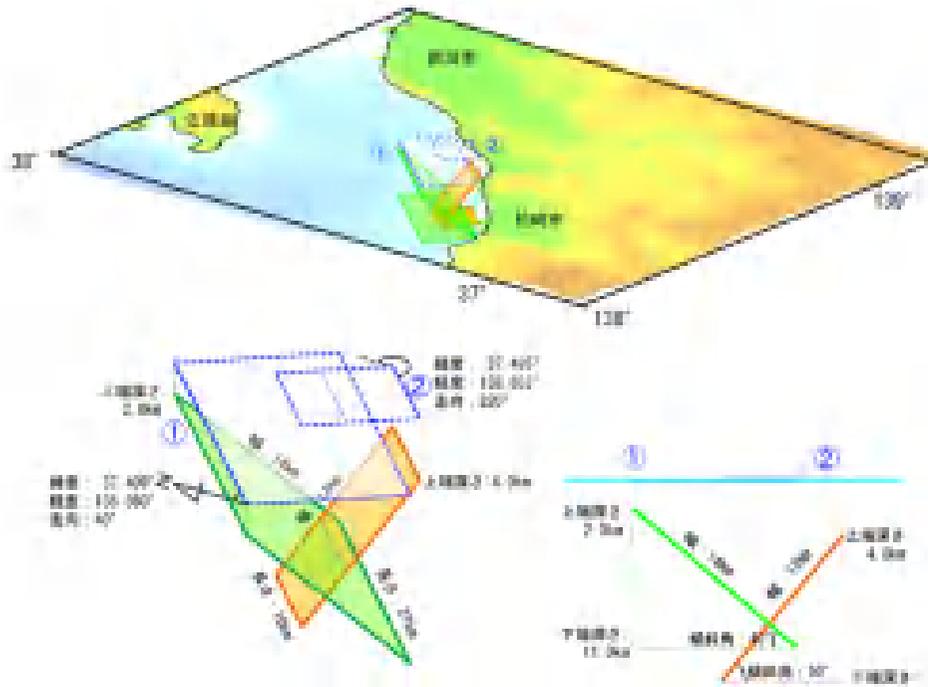
### < 概要 >

活断層等に関する安全審査の手引き（2008）が要求するところの段丘面の高度分布から考えられる広域的な地殻変動（隆起）の原因として，耐震設計において考慮する活断層・活褶曲の寄与について検討した

# 参考情報：新潟県中越沖地震に関する国土地理院の解析結果

- 鉛直方向：敷地前面の海域は全体的に隆起し，敷地から敷地北側にかけても隆起する。敷地は0～6cm程度隆起し，敷地北側の観音岬付近では20cm以上となる
- 水平方向：敷地前面海域から敷地北側にかけて，北～北東方向に移動し，敷地付近から南側にかけて南西～北西方向に移動する傾向に変わる

解析に用いた主要な滑り面の概念図



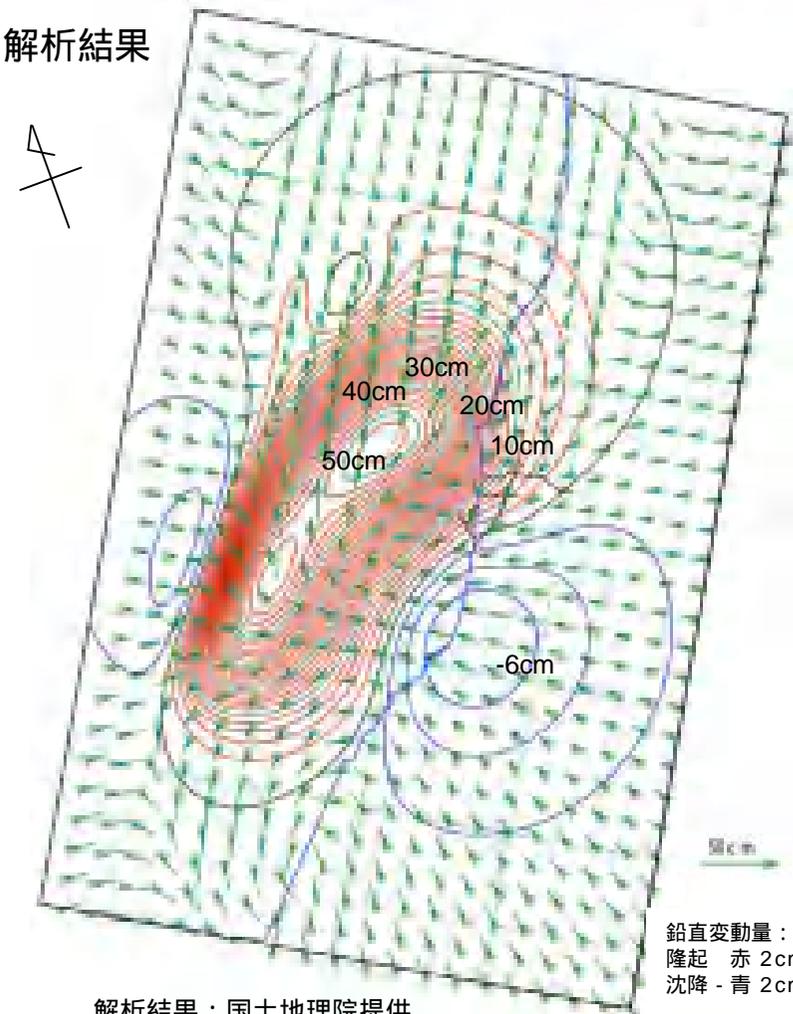
断層面の概略パラメータ

	緯度	経度	上地深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	モーメント係数
①	37.406°	138.800°	2.0km	27km	14km	40°	40°	6.64
②	37.465°	138.653°	4.0km	19km	12km	220°	50°	6.24

Total 断層 6.70

国土地理院HP

解析結果



鉛直変動量：  
隆起 - 赤 2cm/間隔  
沈降 - 青 2cm/間隔

解析結果：国土地理院提供

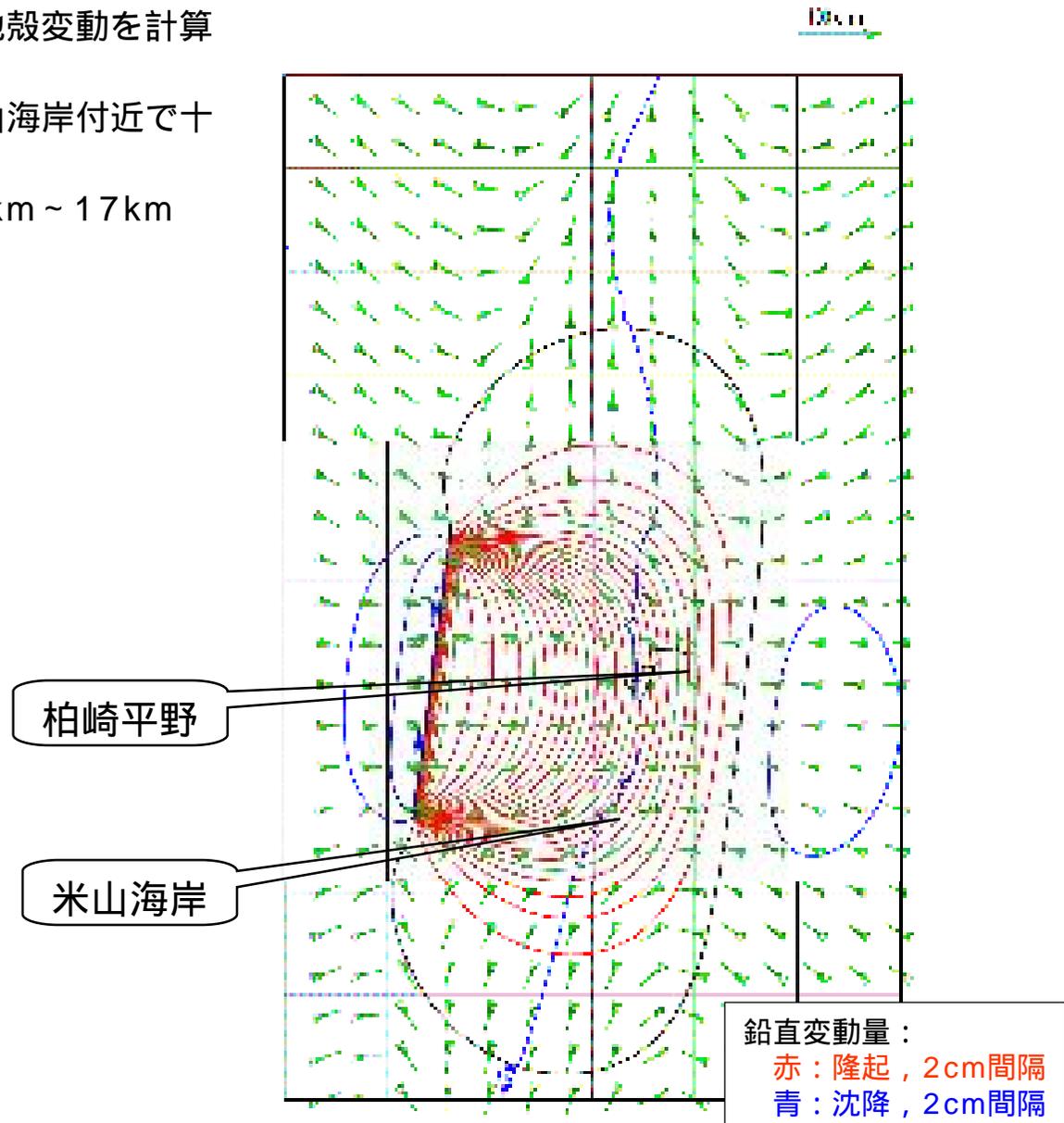
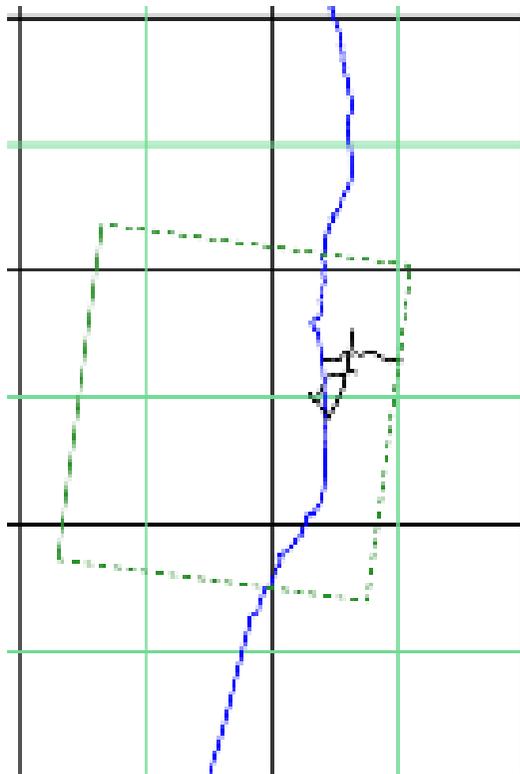
# くいちがい弾性論による地殻変動の計算方法

- 基準地震動策定に用いた断層モデル（強震動モデル）は，エネルギーを発する断層面を地震発生層内に設定しているため，必ずしも地表付近の地殻変動を適切に表現できるものではない
- 地質調査結果を踏まえて断層の長さを設定し，反射法地震探査結果等において確認された断層変位が地表付近まで及んでいることから，断層面を地表付近まで延長したモデル（地殻変動モデル）により地殻変動を検討した
- 本検討では，隆起・沈降の傾向をみるためにすべり量を1 mとした
- 解析方法：Wang et al. (2003)に基づく多層モデル
- 解析条件：

断層名	断層の諸元				
	長さ(km)	傾斜角(°)	上端深さ(km)	下端深さ(km)	すべり量(m)
F - B 断層	27	35	0.1	17	1.0
	36				
F - D 断層 + 高田沖断層	55	35	0.1	17	1.0
角田・弥彦	54	50	0.1	17	1.0
気比ノ宮	25	50	0.1	17	1.0
片貝	25	50	0.1	17	1.0
長岡平野 西縁断層帯	91	50	0.1	17	1.0
		35	0.1	17	1.0

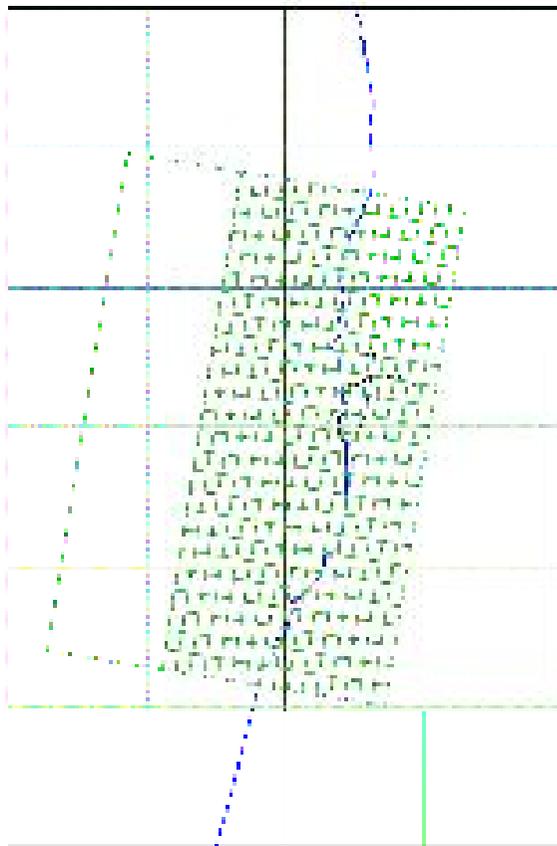
## F - B 断層による地殻変動

- F - B 断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
- 柏崎平野付近で数cm ~ 十数cm , 米山海岸付近で十数cm程度の隆起傾向を示す
  - 断層長さ : 27km , 深さ : 0.1km ~ 17km
  - 傾斜 : 35° , すべり量 : 1m



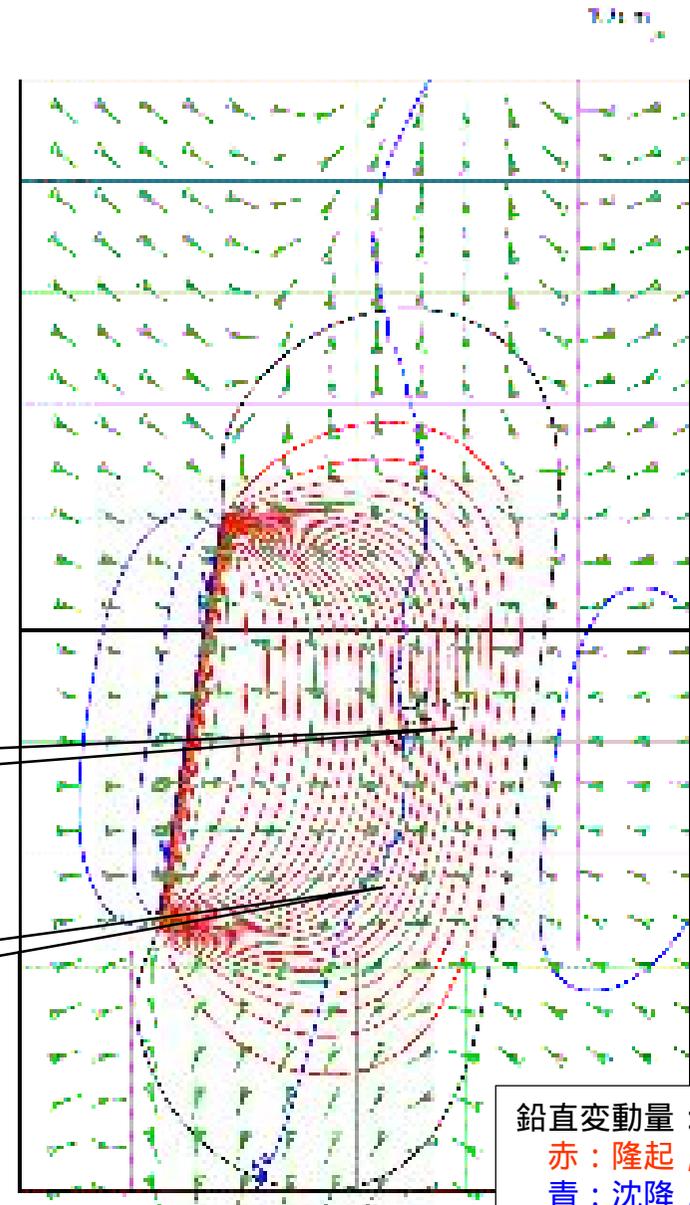
## F - B断層による地殻変動

- F - B断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
- 柏崎平野付近で十数cm，米山海岸付近で十数cm程度の隆起傾向を示す
  - 断層長さ：36km，深さ：0.1km～17km
  - 傾斜：35°，すべり量：1m



柏崎平野

米山海岸



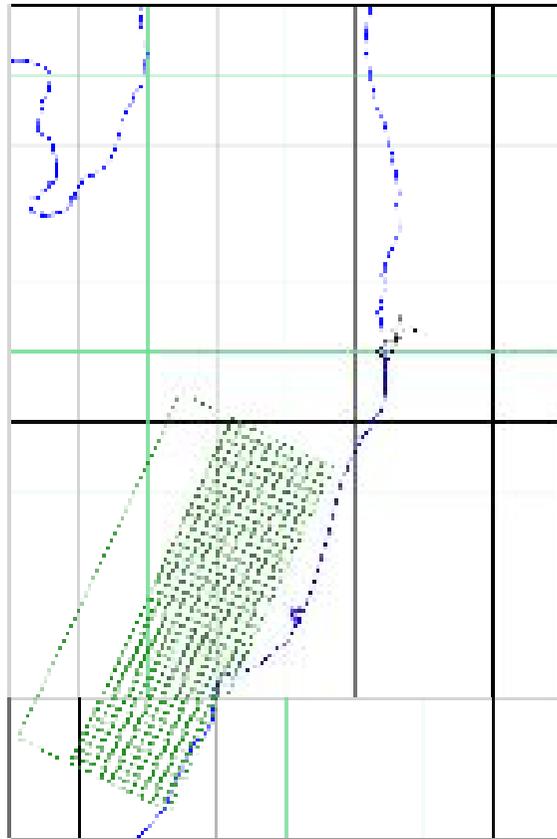
鉛直変動量：

赤：隆起，2cm間隔

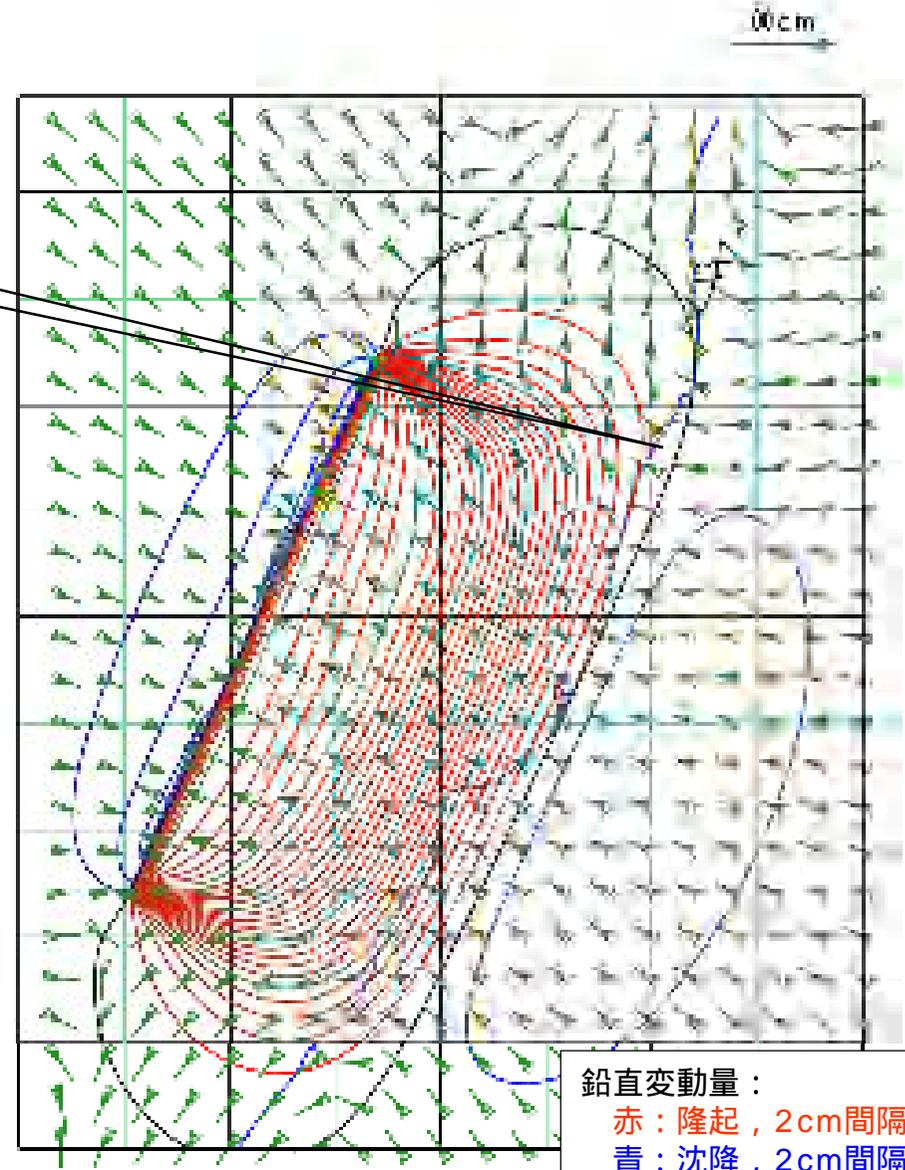
青：沈降，2cm間隔

# F - D断層 + 高田沖断層による地殻変動

- F - D断層 + 高田沖断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
- 米山海岸周辺で数cmの隆起傾向を示す
  - 断層長さ：55km，深さ：0.1km～17km
  - 傾斜：35°，すべり量：1m



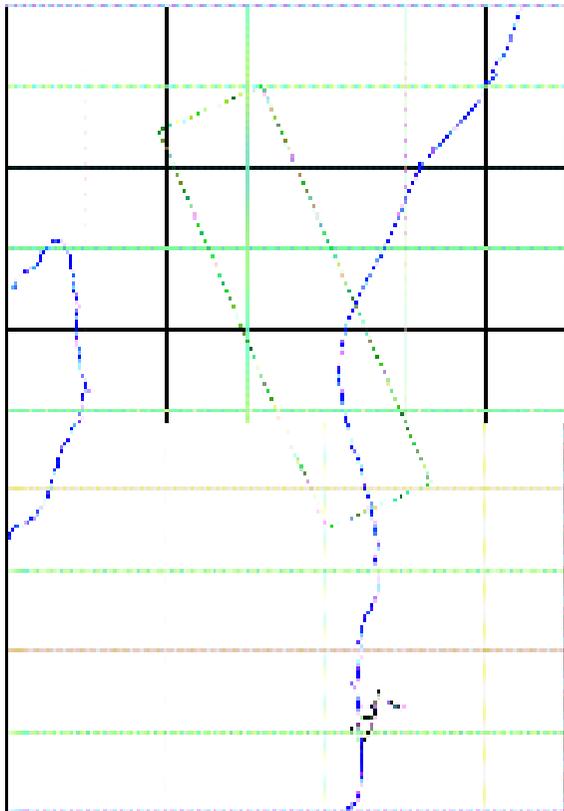
米山海岸



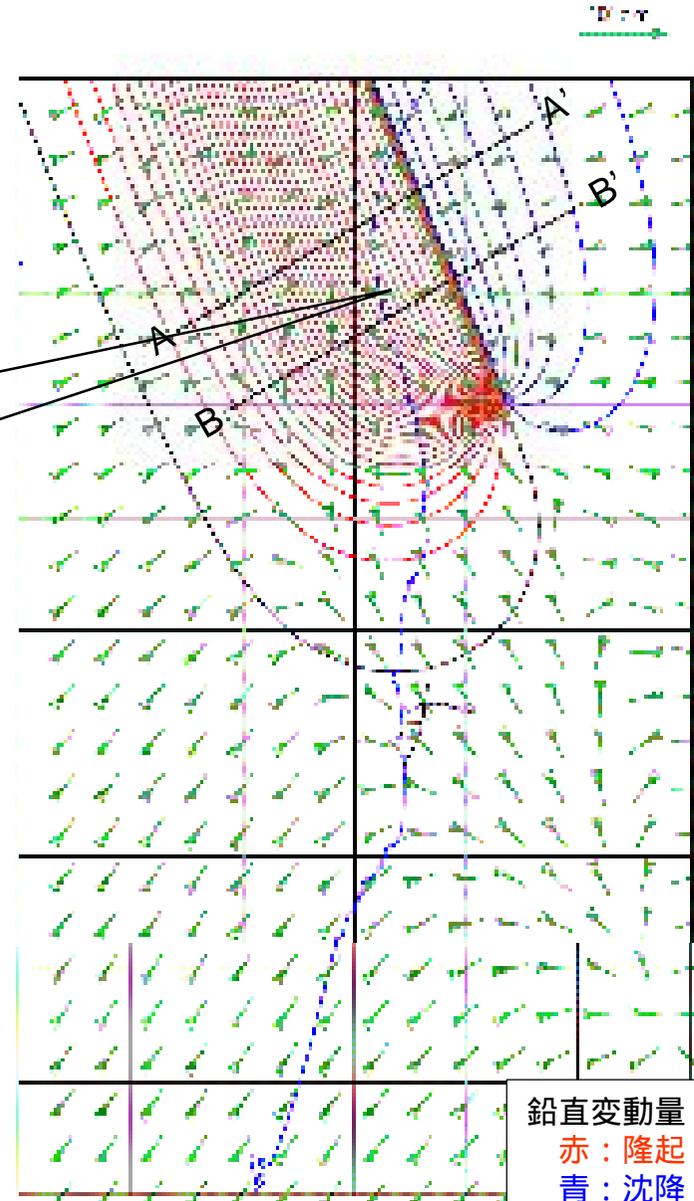
# 角田・弥彦断層による地殻変動

- 角田・弥彦断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
- 角田山～弥彦山付近では数十cmの隆起傾向を示す

- 断層長さ：54km，深さ：0.1km～17km
- 傾斜：50°，すべり量：1m



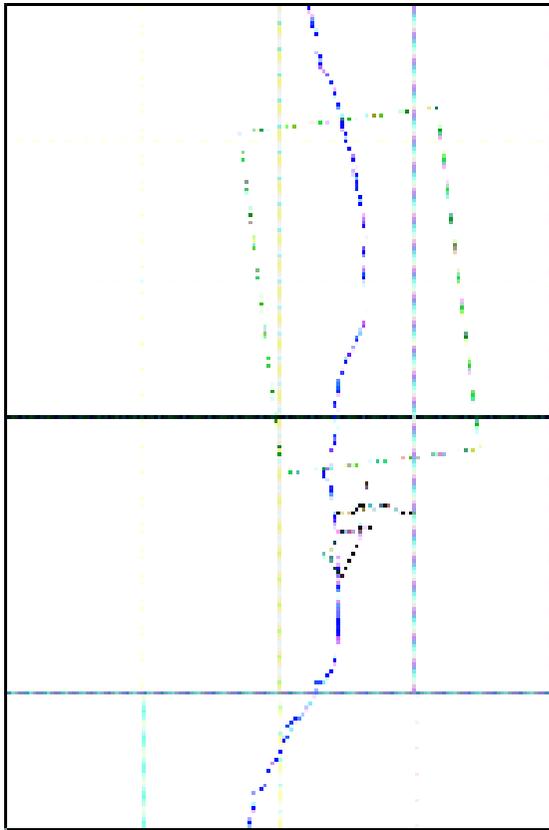
角田山  
弥彦山



鉛直変動量：  
赤：隆起，2cm間隔  
青：沈降，2cm間隔

# 気比ノ宮断層による地殻変動

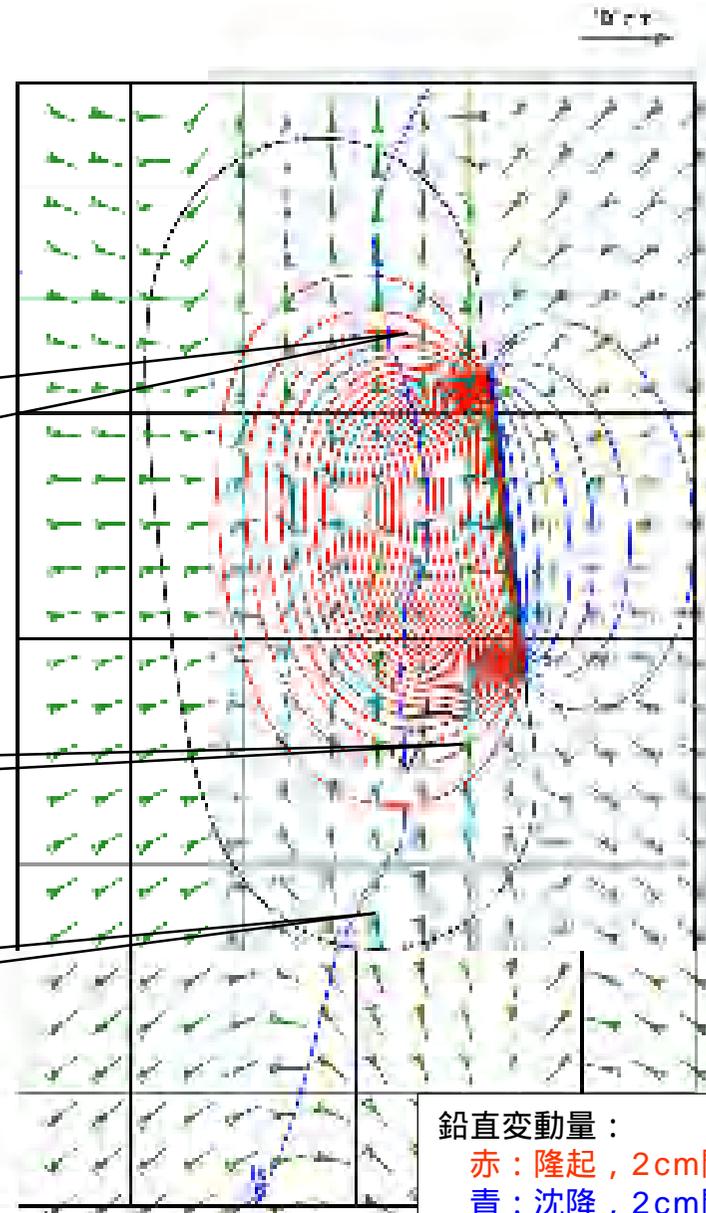
- 気比ノ宮断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
- 角田山～弥彦山付近では数cm～十数cm，柏崎平野付近では数cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す
  - 断層長さ：25km，深さ：0.1km～17km
  - 傾斜：50°，すべり量：1m



角田山  
弥彦山

柏崎平野

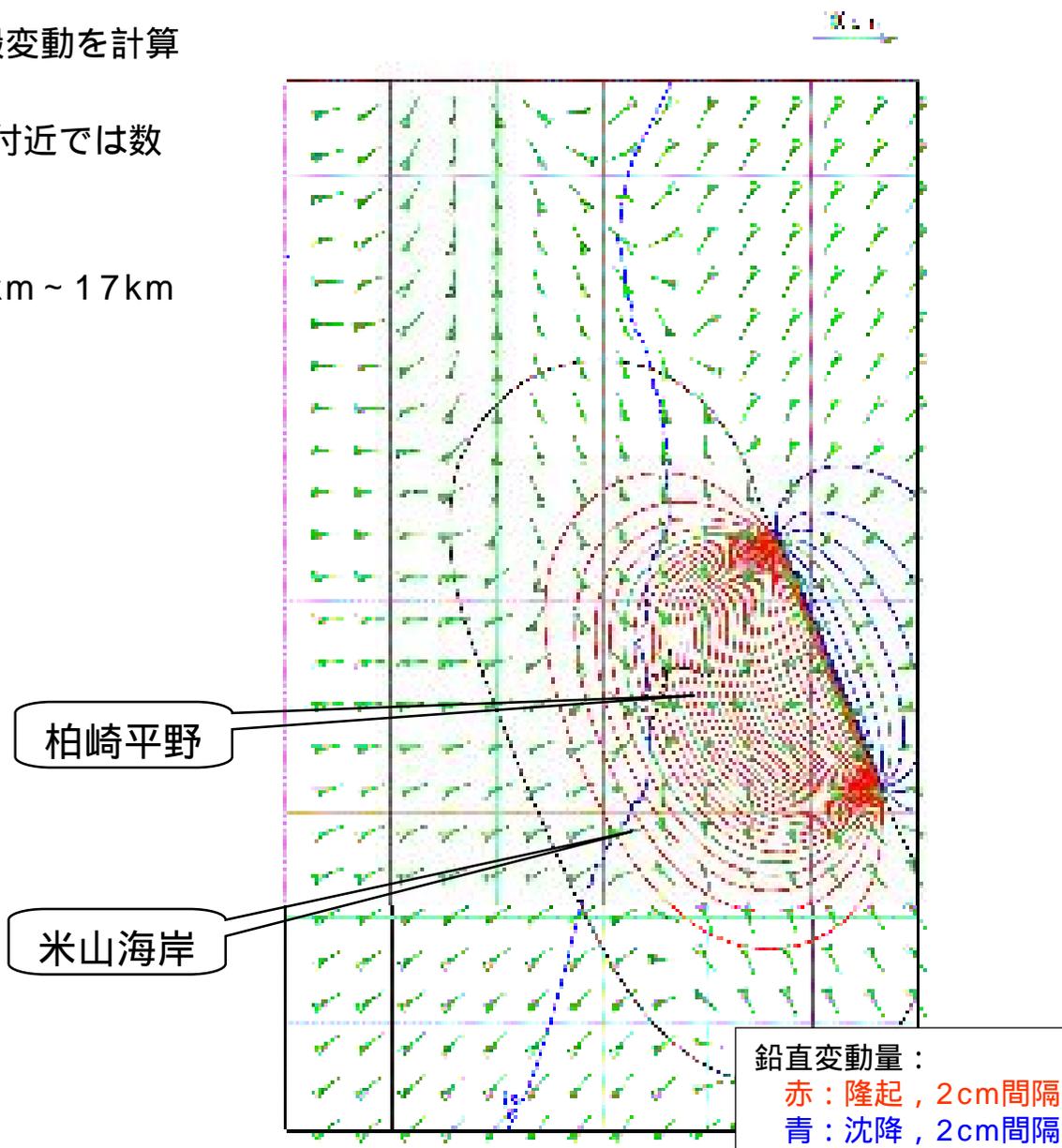
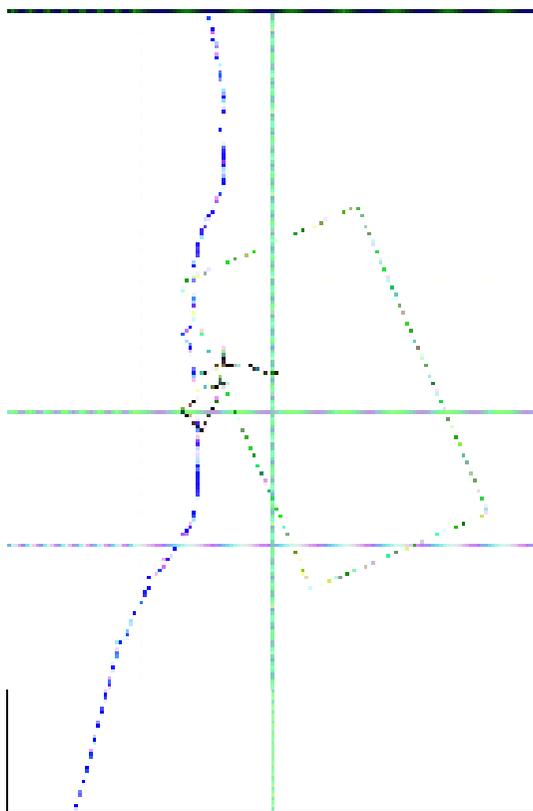
米山海岸



鉛直変動量：  
赤：隆起，2cm間隔  
青：沈降，2cm間隔

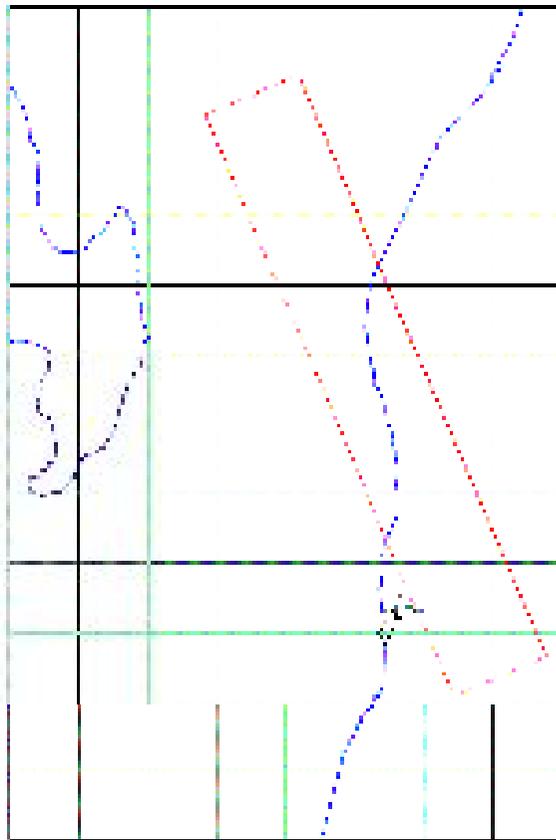
# 片貝断層による地殻変動

- 片貝断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
  - 柏崎平野付近では数十cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す
- 断層長さ：25km，深さ：0.1km～17km
  - 傾斜：50°，すべり量：1m



# 長岡平野西縁断層帯による地殻変動

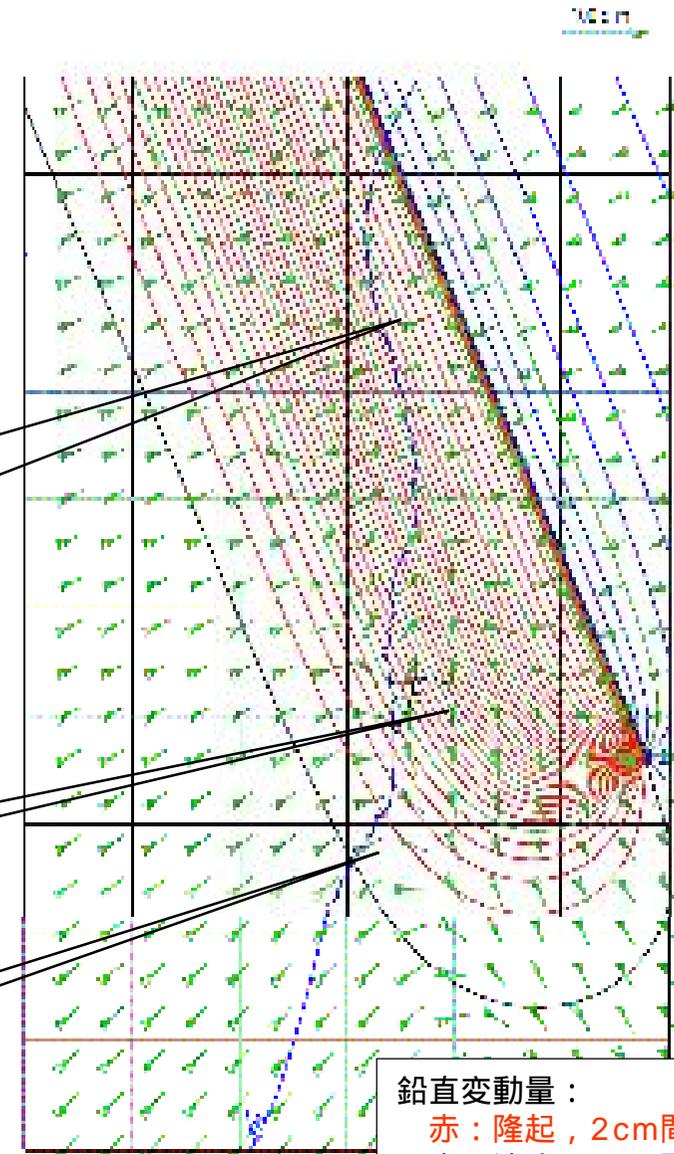
- 長岡平野西縁断層帯の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
  - 角田山～弥彦山付近では数十cm，柏崎平野付近では十数cm～数十cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す
- 断層長さ：91km，深さ：0.1km～17km
  - 傾斜：50°，すべり量：1m



角田山  
弥彦山

柏崎平野

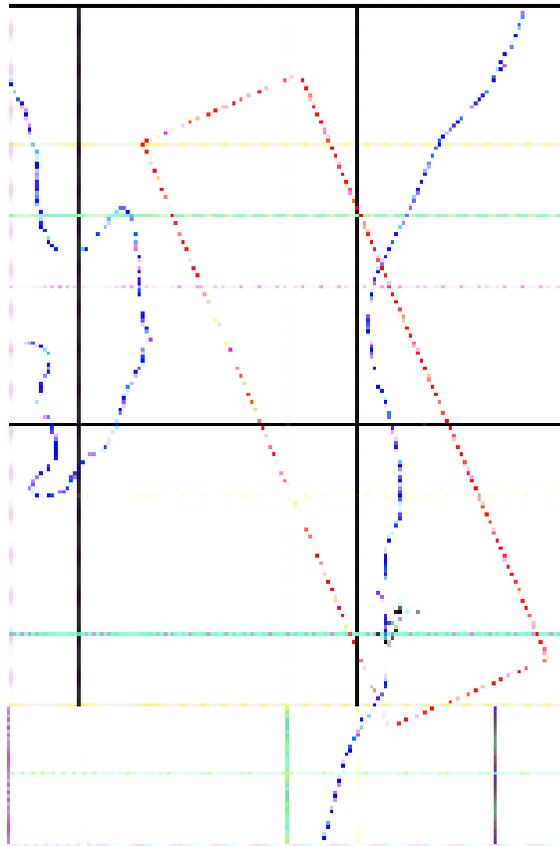
米山海岸



鉛直変動量：  
赤：隆起，2cm間隔  
青：沈降，2cm間隔

# 長岡平野西縁断層帯による地殻変動

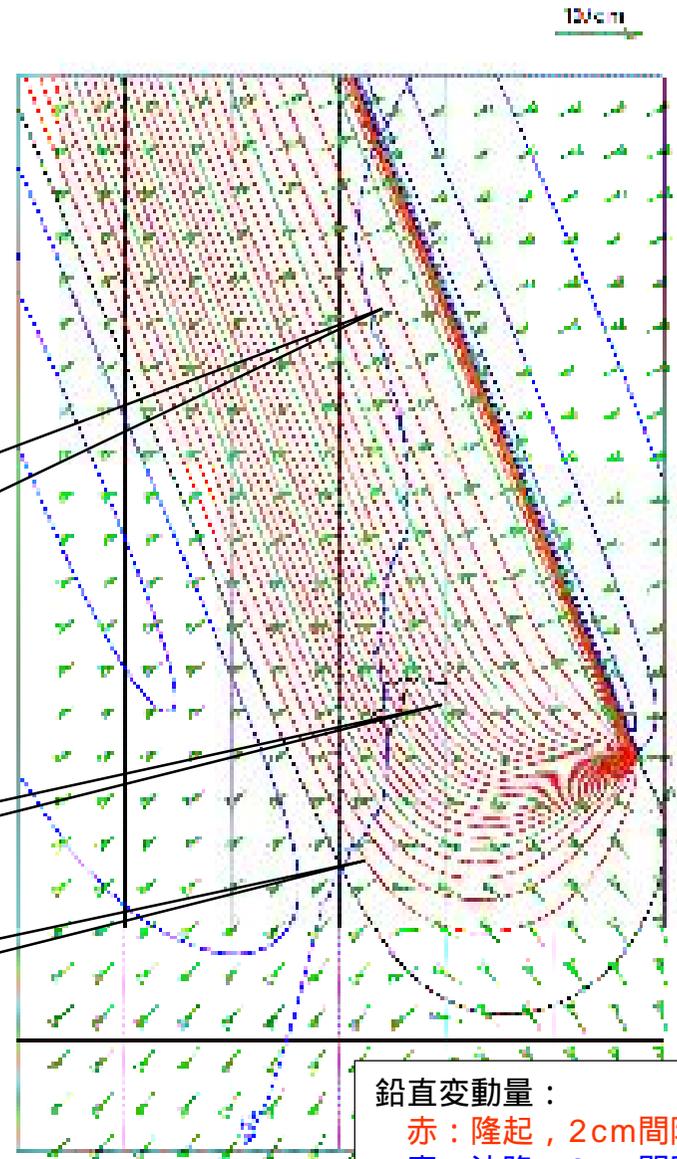
- 長岡平野西縁断層帯の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
  - 角田山～弥彦山付近では数十cm，柏崎平野付近では数十cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す
- 断層長さ：91km，深さ：0.1km～17km
  - 傾斜：35°，すべり量：1m



角田山  
弥彦山

柏崎平野

米山海岸



鉛直変動量：  
赤：隆起，2cm間隔  
青：沈降，2cm間隔

## まとめ

- 断層モデルにより地殻変動を試算した結果，段丘面及び離水ベンチの高度分布には，活構造として考慮することとしたF - B断層，F - D断層，高田沖断層，長岡平野西縁断層帯を構成する各活断層，それぞれの活動による隆起が寄与することが確認された
- 以上のとおり，活断層等に関する安全審査の手引き（2008）が要求するところの段丘面の高度分布から考えられる広域的な地殻変動（隆起）の原因に係る検討を行い，耐震設計において考慮している活構造の寄与が考えられることを示した
- 「活断層等に関する安全審査の手引き」平成20年6月20日から抜粋  
・耐震設計上考慮する活断層の認定について  
耐震設計上考慮する活断層の認定については、次に示す各事項の内容を満足していなければならない。  
(2) 後期更新世以降の累積的な地殻変動が否定できず，適切な地殻変動モデルによっても，断層運動が原因であることが否定できない場合には，これらの原因となる耐震設計上考慮する活断層を適切に想定すること。

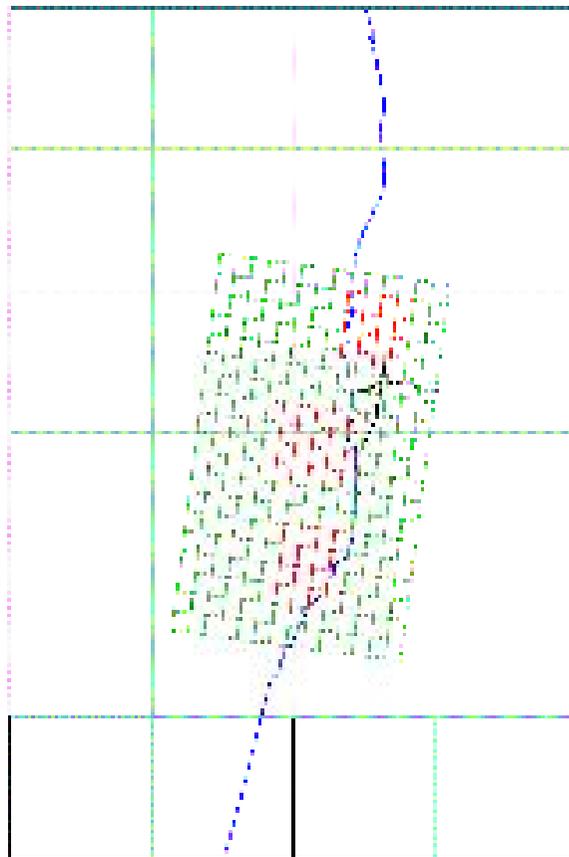
## 参考：くいちがい弾性論による地殻変動の計算方法

- 参考として、基準地震動策定に用いた断層モデル（強震動モデル）による解析結果を整理する
- 解析方法：解析方法：Wang et al. (2003)に基づく多層モデル
- 解析条件：

断層名	断層の諸元				
	長さ(km)	傾斜角(°)	上端深さ(km)	下端深さ(km)	すべり量(m)
F - B断層	27	35	6	17	強震動モデル による
	36				
F - D断層 + 高田沖断層	55	35	6	17	
気比ノ宮	25	50	6	17	
片貝	25	50	6	17	
長岡平野 西縁断層帯	91	50	6	17	
		35	6	17	

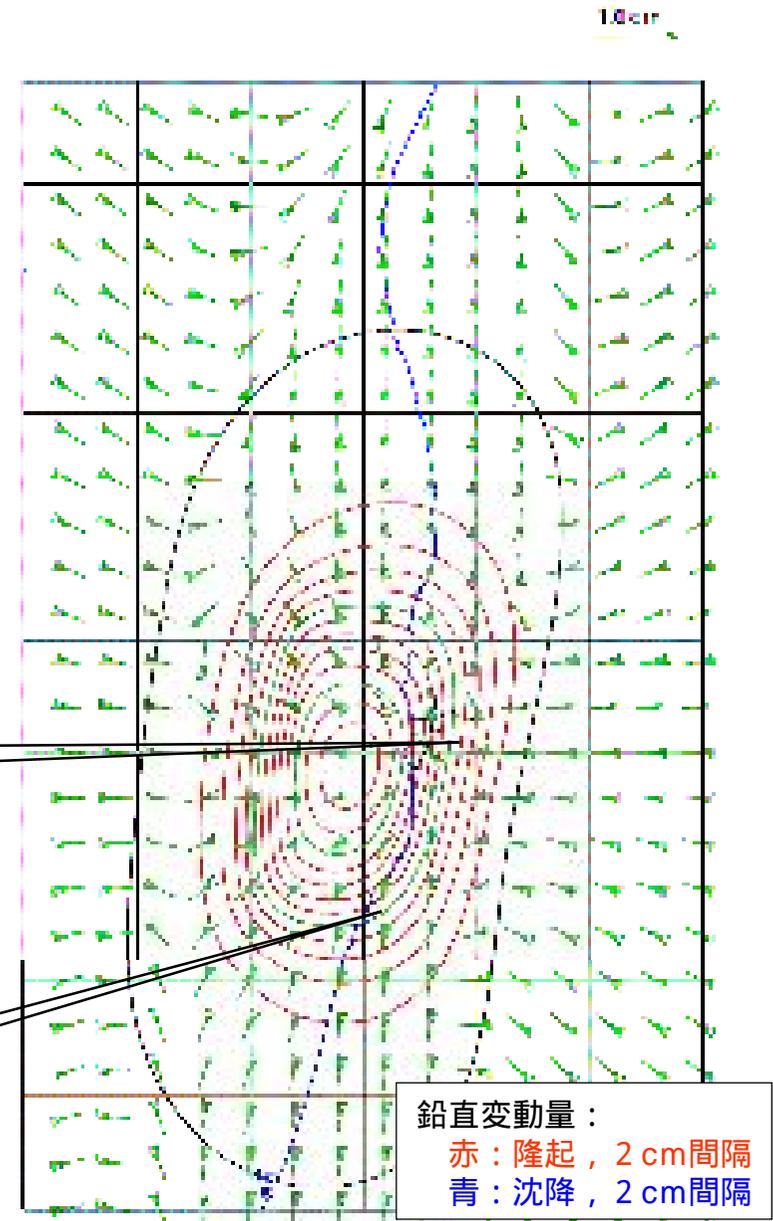
## 参考：F - B断層による地殻変動（強震動モデル）

- 比較・参考として，F - B断層の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの，アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：27km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：35°，アスペリティ：3個



柏崎平野

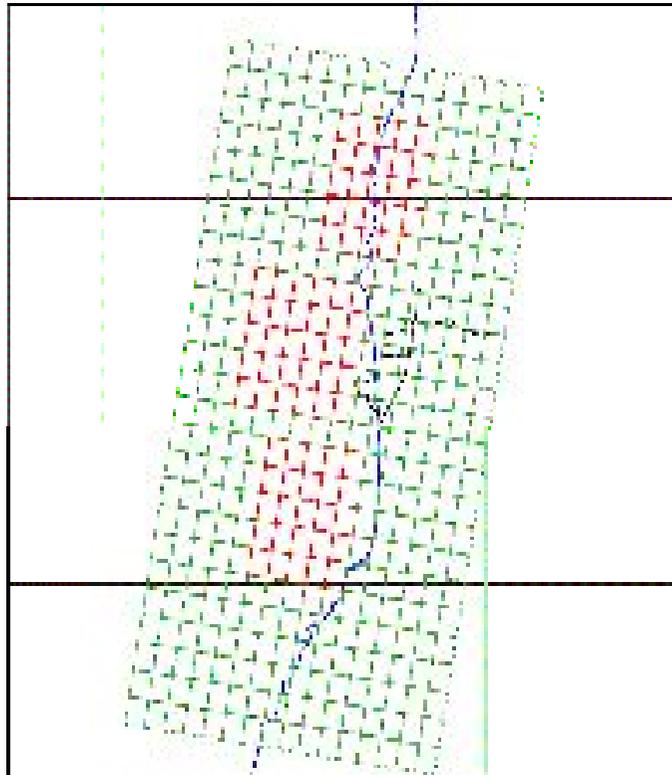
米山海岸



鉛直変動量：  
赤：隆起，2 cm間隔  
青：沈降，2 cm間隔

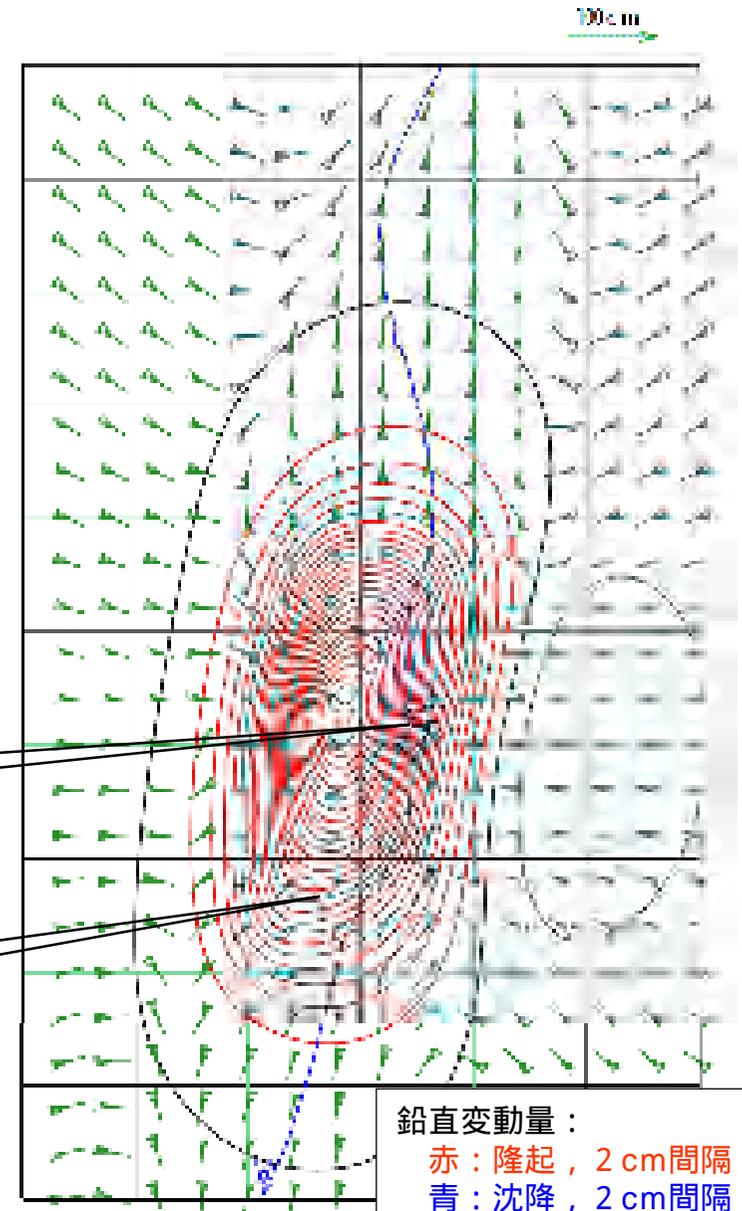
# 参考：F - B断層による地殻変動（強震動モデル）

- 比較・参考として，F - B断層の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの，アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：36km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：35°，アスペリティ：3個



柏崎平野

米山海岸



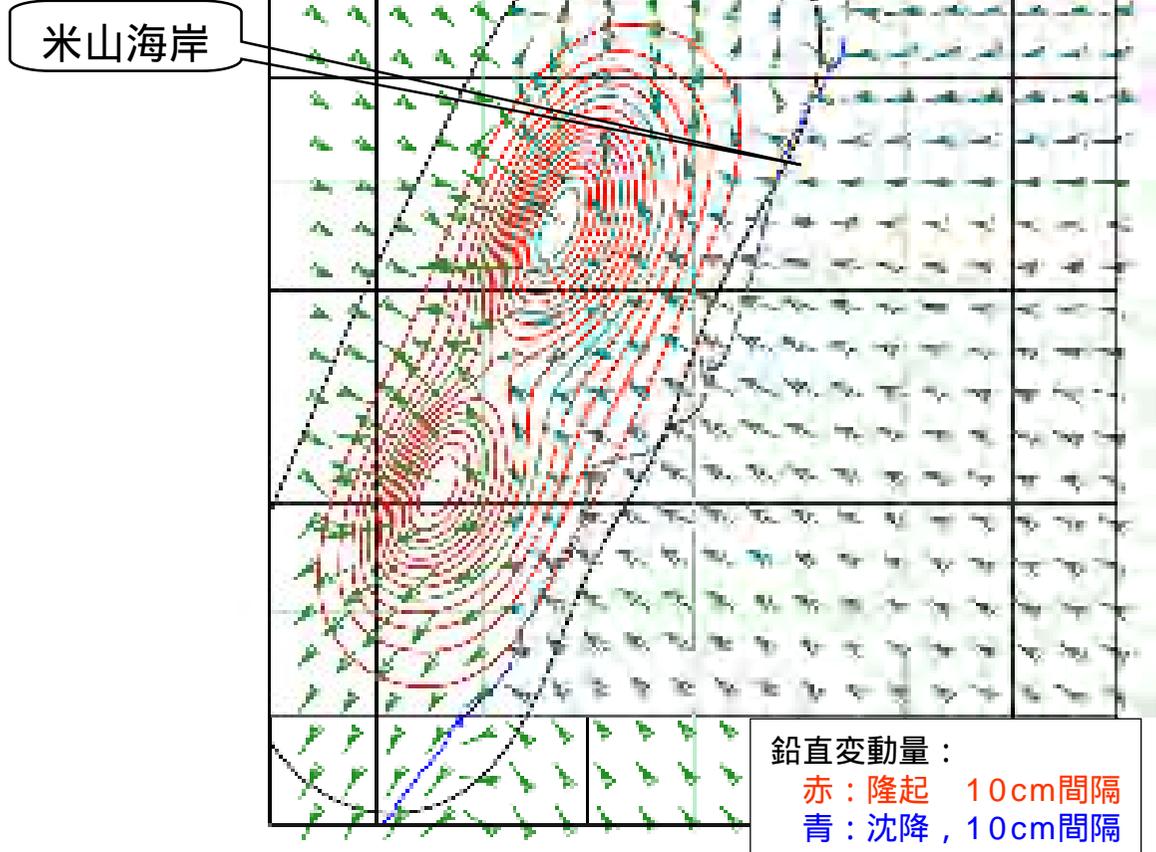
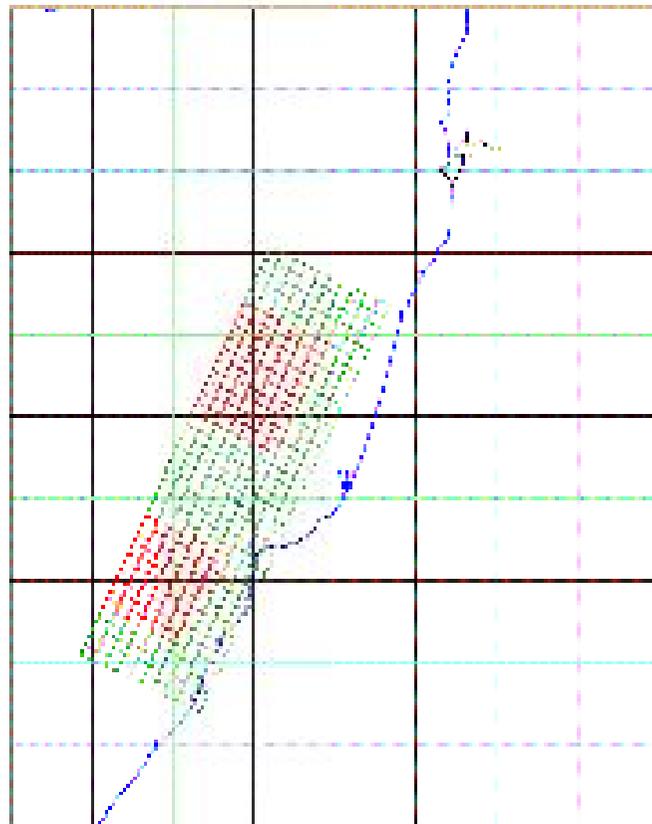
鉛直変動量：

赤：隆起，2 cm間隔

青：沈降，2 cm間隔

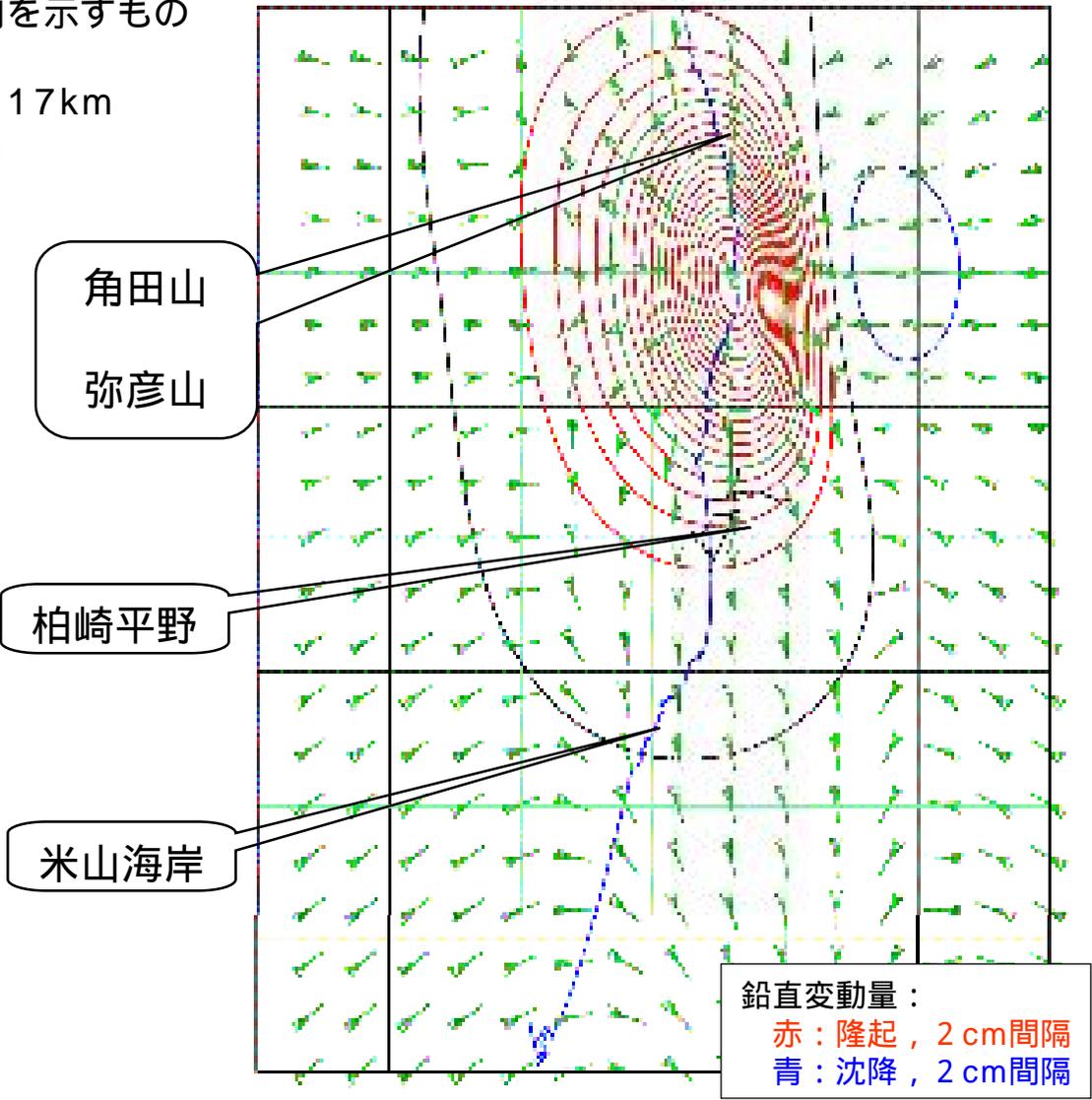
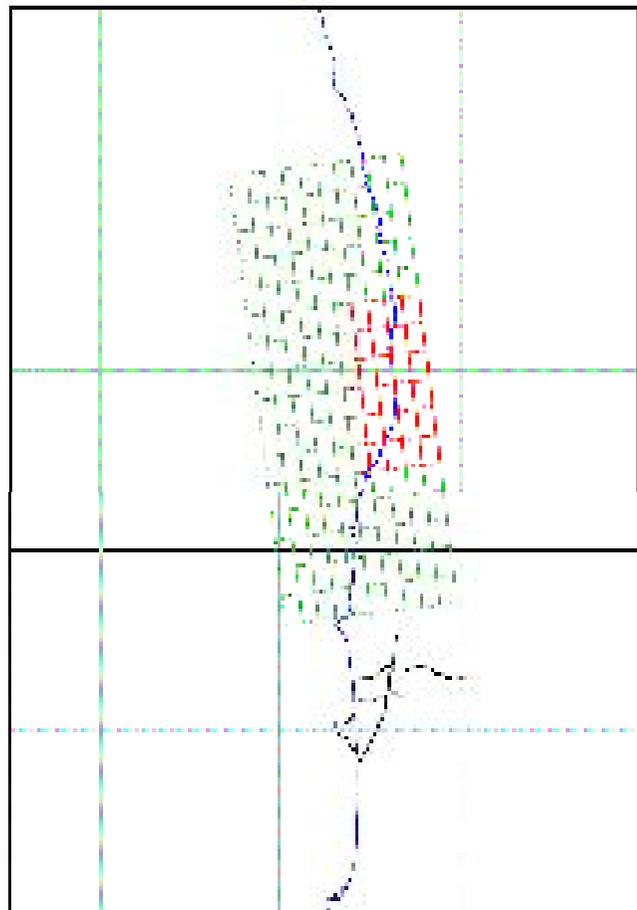
# 参考：F - D断層 + 高田沖断層による地殻変動（強震動モデル）

- 比較・参考として、F - D断層 + 高田沖断層の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの、アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：55km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：35°，アスペリティ：2個



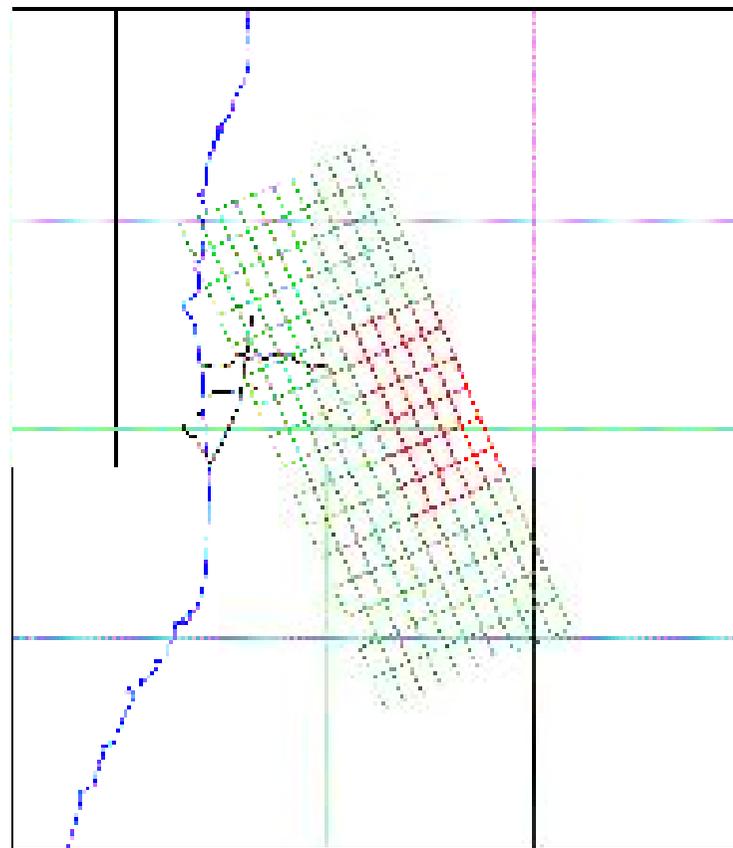
# 参考：気比ノ宮断層による地殻変動（強震動モデル）

- 比較・参考として，気比ノ宮断層の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの，アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：25km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：50°，アスペリティ：1個



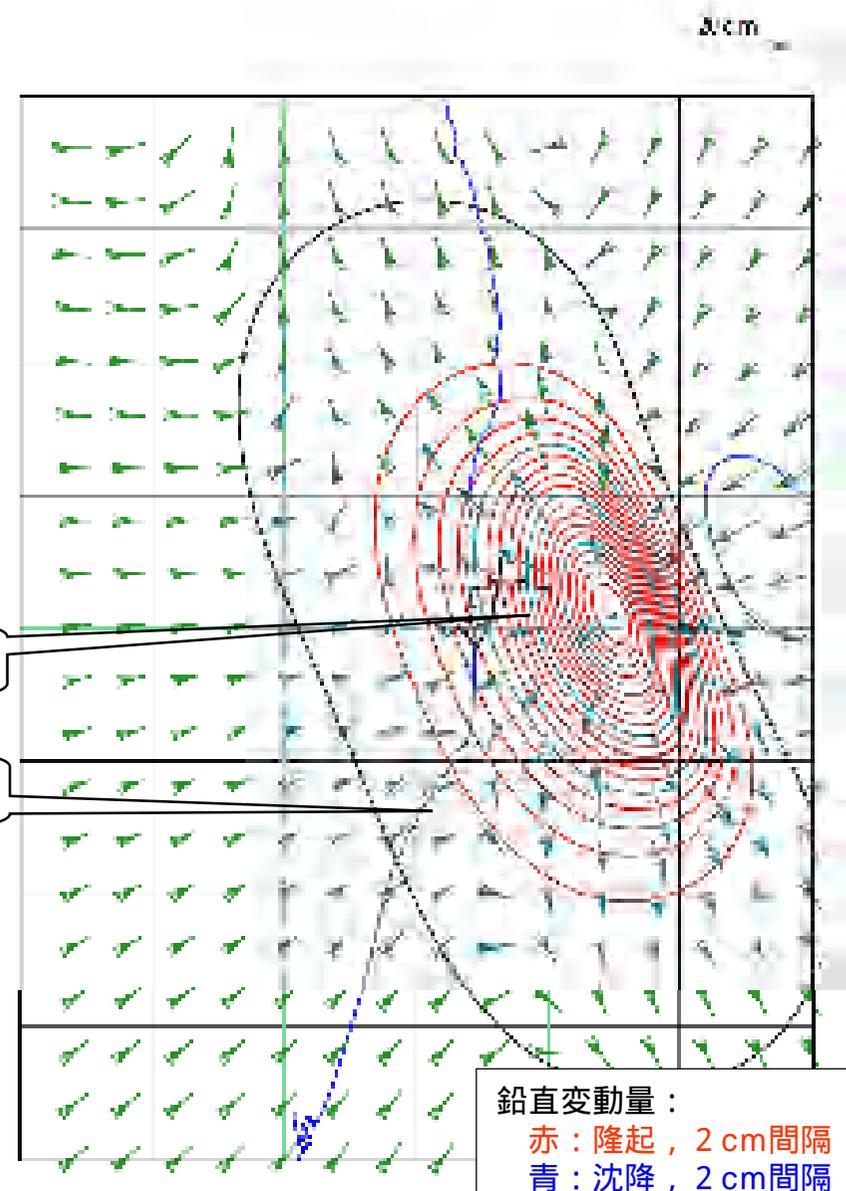
## 参考：片貝断層による地殻変動（強震動モデル）

- 比較・参考として，片貝断層の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの，アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：25km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：50°，アスペリティ：1個



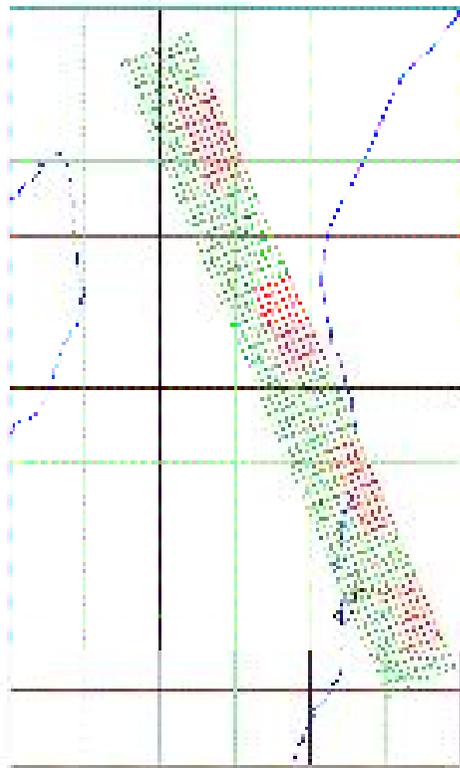
柏崎平野

米山海岸



# 参考：長岡平野西縁断層帯による地殻変動（強震動モデル）

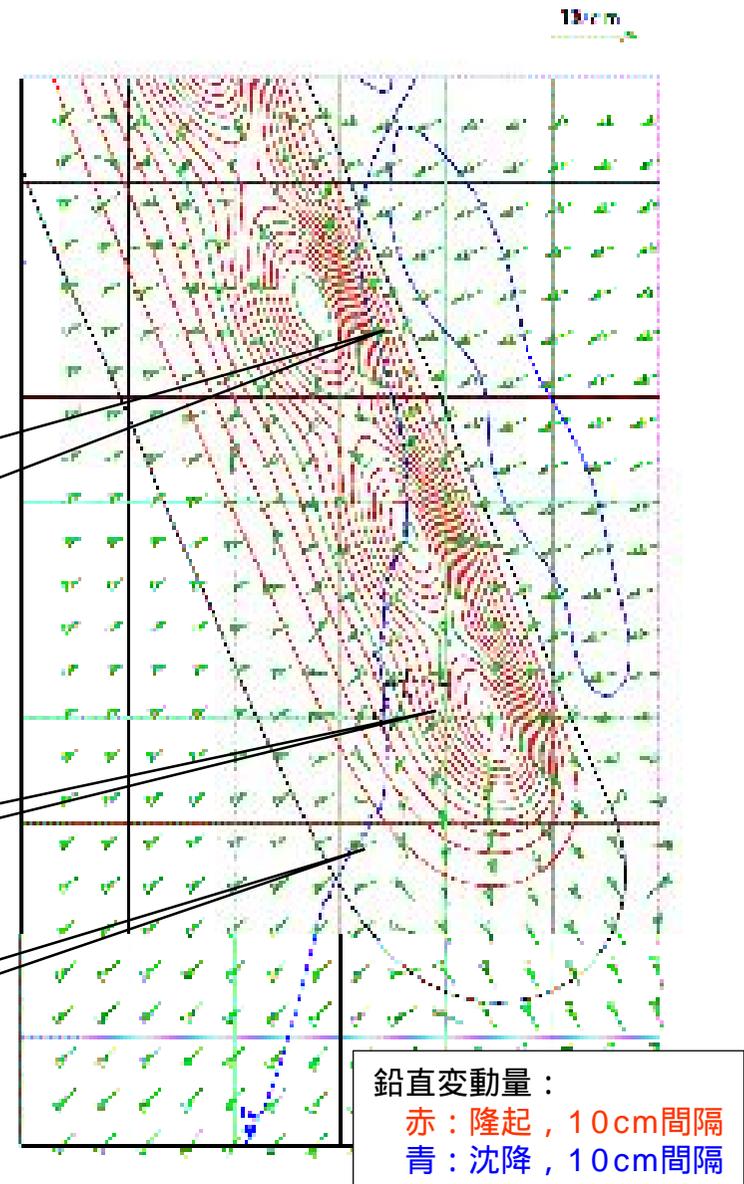
- 長岡平野西縁断層帯の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの、浅部の断層変位を考慮していないため、アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：91km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：50°，アスペリティ：4個



角田山  
弥彦山

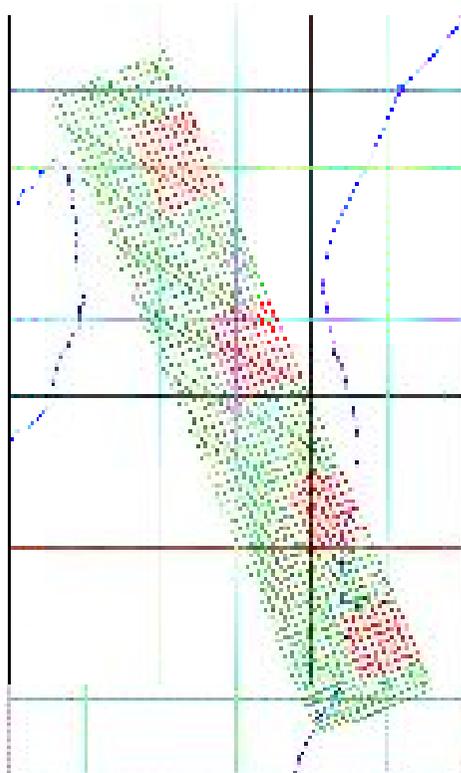
柏崎平野

米山海岸



# 参考：長岡平野西縁断層帯による地殻変動（強震動モデル）

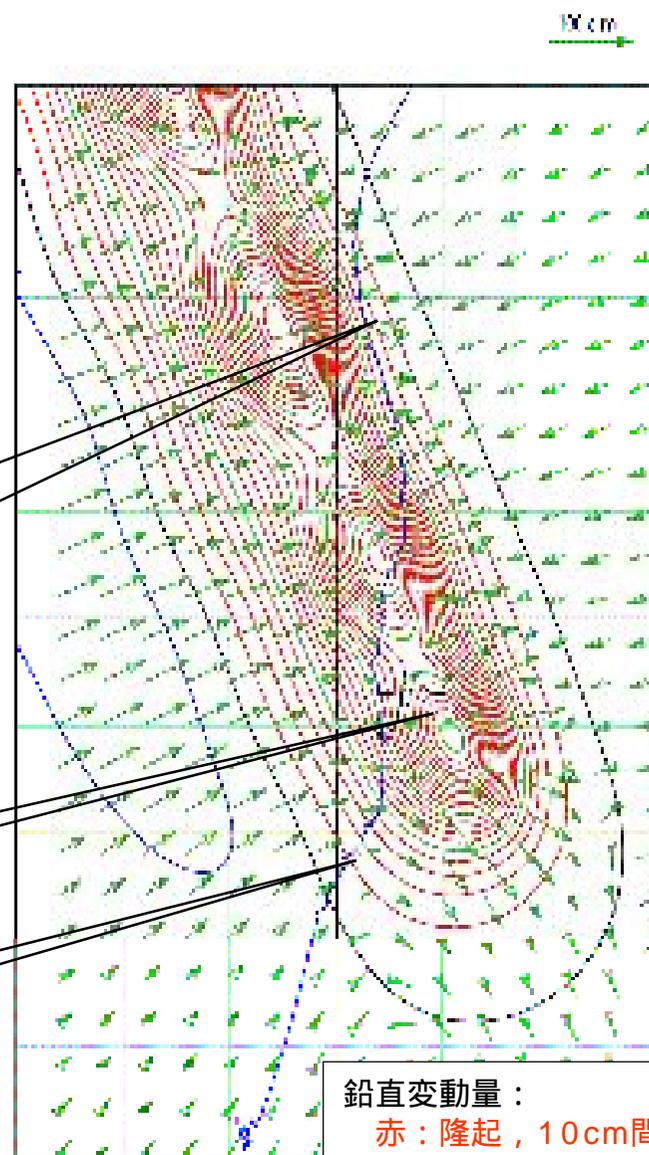
- 長岡平野西縁断層帯の強震動モデルにより地殻変動を計算した
- 大局的には地殻変動モデルと同様の傾向を示すものの、浅部の断層変位を考慮していないため、アスペリティ直上の隆起が大きい
  - 断層長さ：91km，深さ：6km～17km
  - 傾斜：35°，アスペリティー：4個



角田山  
弥彦山

柏崎平野

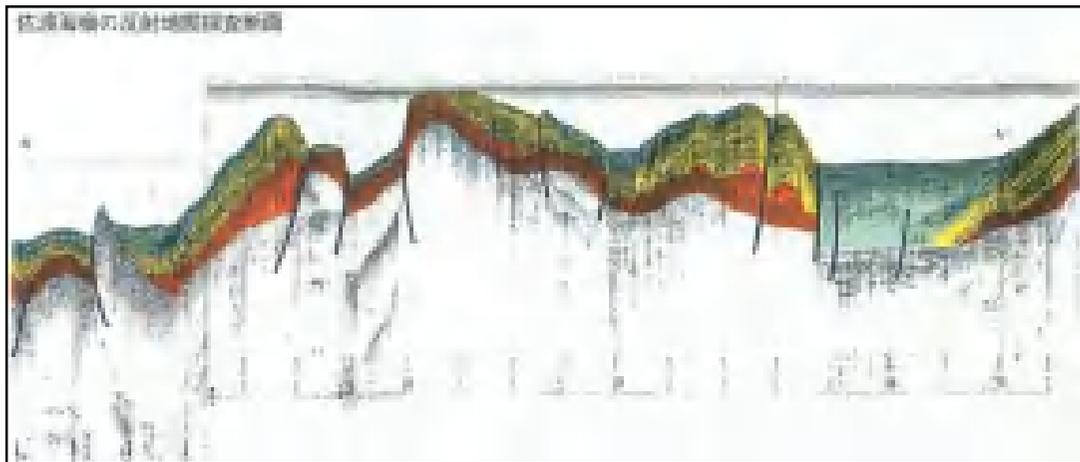
米山海岸



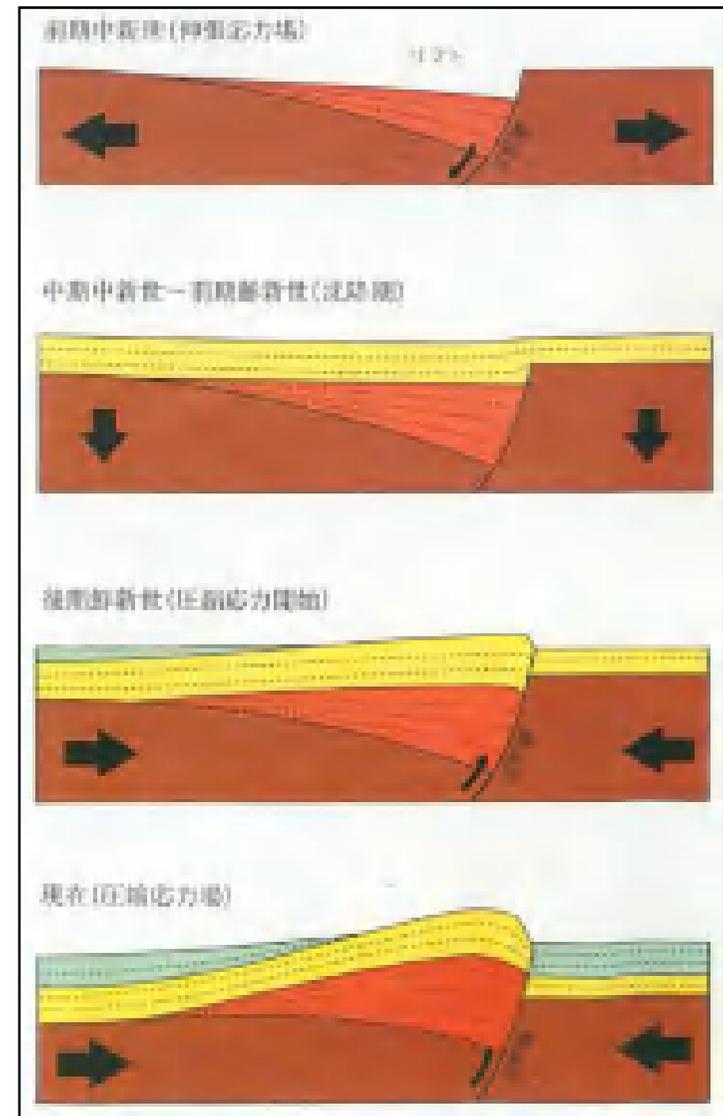
鉛直変動量：  
赤：隆起，10cm間隔  
青：沈降，10cm間隔

## 補足：大陸棚～大陸棚斜面の深部の構造について

- 文献によれば「盆地は日本海の形成時期と同時に伸張応力によって形成されたリフト（地溝）で，周囲を正断層によって限られたが，後期鮮新世から第四紀にかけて圧縮応力が強まることによって，正断層が逆断層として再活動し始めたためにリフトが隆起し，現在見られるような地質構造と地形が形成されたと考えられている」としている



佐渡海嶺の反射地震探査断面(佐渡島北方の断面図)



小海嶺の構造発達史

図は，日本列島の地質編集委員会 編（1996）による