

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11月18日

東京電力株式会社



東京電力

ご説明事項

1. 米山海岸付近の段丘面高度と断層活動との関係について

以下の指摘事項（主旨を記載）に対する回答；

- 米山海岸付近の段丘面（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（第16回，8月26日）
- 米山海岸付近の段丘面高度分布は南西側が若干高くなっていることから，その原因について検討すること（第19回，10月9日）
- 高田平野東縁断層の活動を考慮する場合は，以下の点を検討すること（第21回，11月6日）
 - ◇ 高田平野東縁断層の北端については，既存のボーリングデータ等に基づき，その妥当性について再検討するとともに，基準地震動Ssを上回らないか確認すること
 - ◇ 高田平野東縁断層の活動を考慮した場合の高田平野側の段丘面高度について説明すること

2. 渋海川沿いの段丘面の傾斜について

第19回（10月9日）・第21回（11月6日）における指摘事項に対する回答；

- 渋海川沿いの段丘面は傾斜しており，片貝・真人背斜の活動による可能性があることから，その原因について検討すること

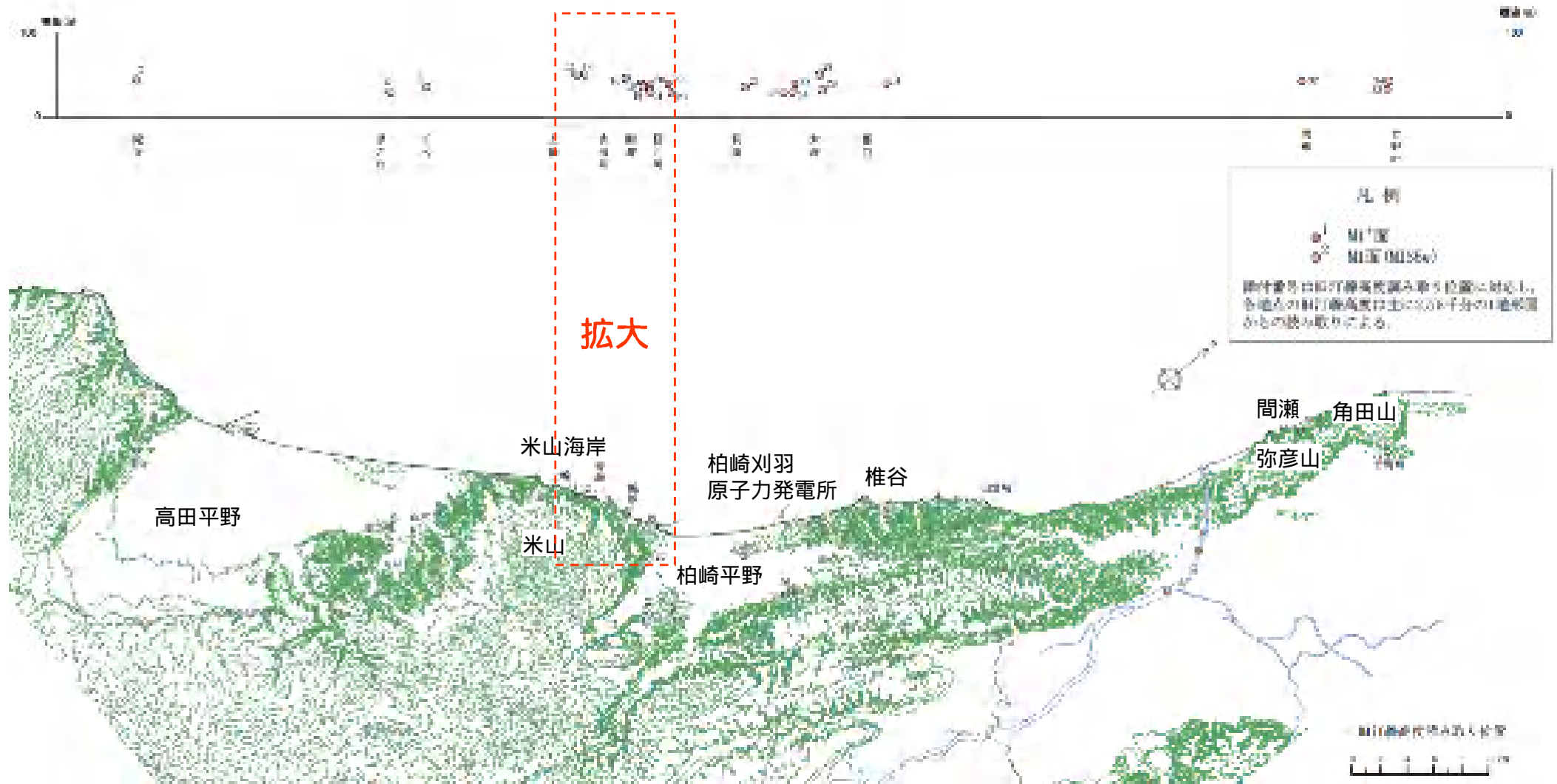
-
1. 米山海岸付近の段丘面高度と断層活動との関係について
 2. 渋海川沿いの段丘面の傾斜について

< 概要 >

米山海岸付近の段丘面の高度が約50m程度であること、南西側が相対的に高いことについて、くいちがい弾性論に基づき活断層・活褶曲の活動による地殻変動の寄与について検討した

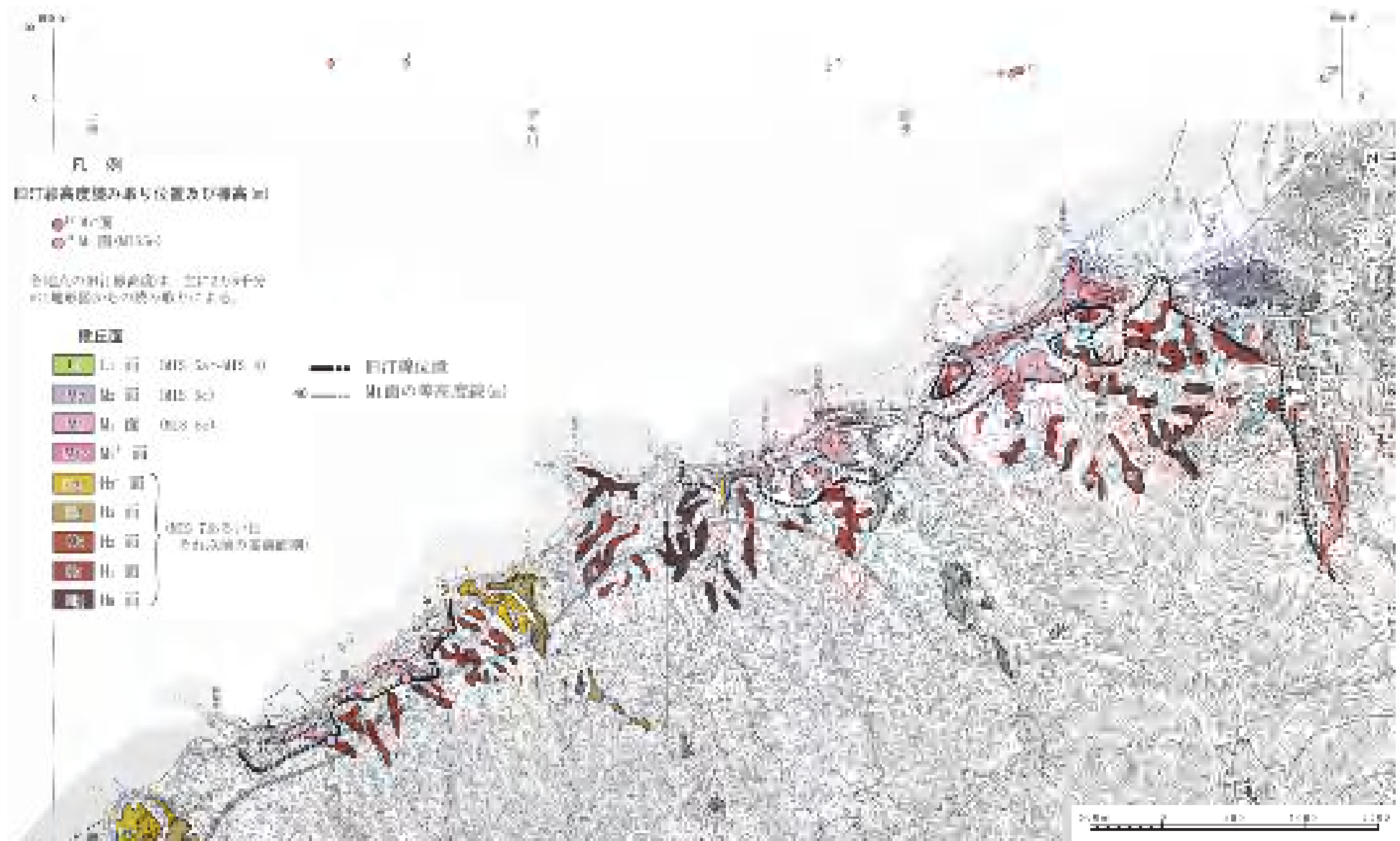
敷地周辺におけるMIS5eの段丘面高度分布

- 敷地周辺におけるMIS5e段丘面は標高30m～50m程度に分布している
- 高田平野及び柏崎平野におけるMIS5e段丘面は標高30m～35m程度に分布しており、海岸線付近の標高40m～50mと比較して若干低い傾向を示す



米山海岸付近におけるMIS5eの段丘面高度分布

- 米山海岸付近におけるMIS5eの段丘面高度分布は南西側が若干高くなる傾向があり、前回報告したくいちがい弾性論による地殻変動では、この傾向を十分に説明できていない（第19回合同WGでの指摘事項）



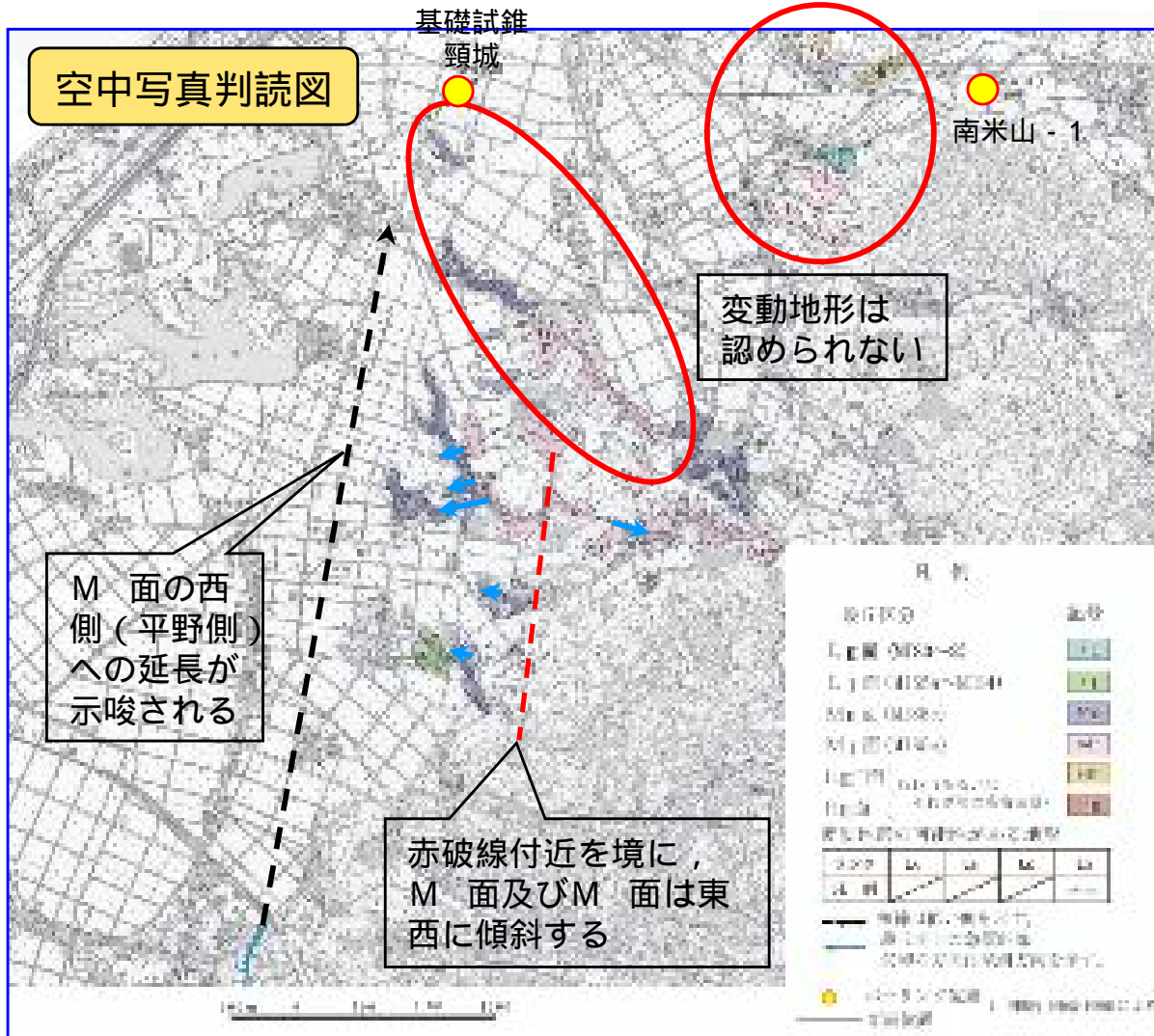
米山海岸周辺の主な活断層

- 米山海岸付近を隆起させる可能性がある主な活断層として、米山海岸を中心に
 - [海域] 北方向 ; F - B 断層 (褶曲群)
 - 西方向 ; F - D 断層 (褶曲群)
 - 南西方向 ; 高田沖断層 (褶曲群)
 - [陸域] 北東方向 ; 気比ノ宮断層
 - 東方向 ; 片貝断層
 - 南東方向 ; 十日町盆地西縁断層
 - 南西方向 ; 高田平野東縁断層
- 等が分布する



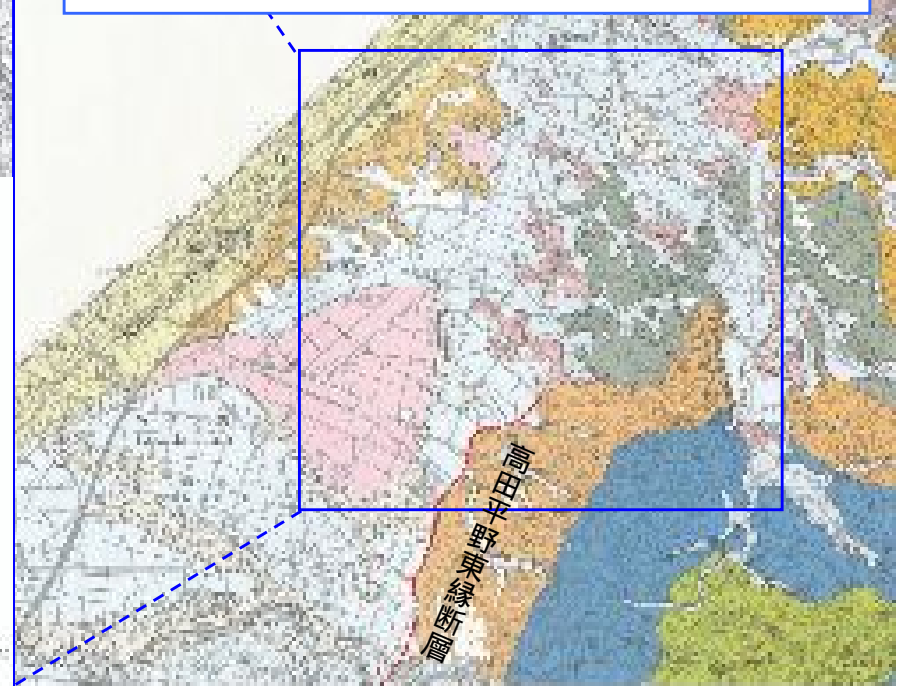
高田平野東縁断層北部の空中写真判読結果

- 高田平野東縁断層北部について空中写真判読等を実施し、北端の位置について検討した
- 空中写真判読結果によると、都市圏活断層図「高田」(2002)等が示す高田平野東縁断層北部に分布するM面及びM面は、下図の赤破線付近を境に東西に傾斜してドーム状をなしていることから、同断層の上記M面の西側(平野側)への延長が示唆される



段丘面の年代認定に関する補足説明:

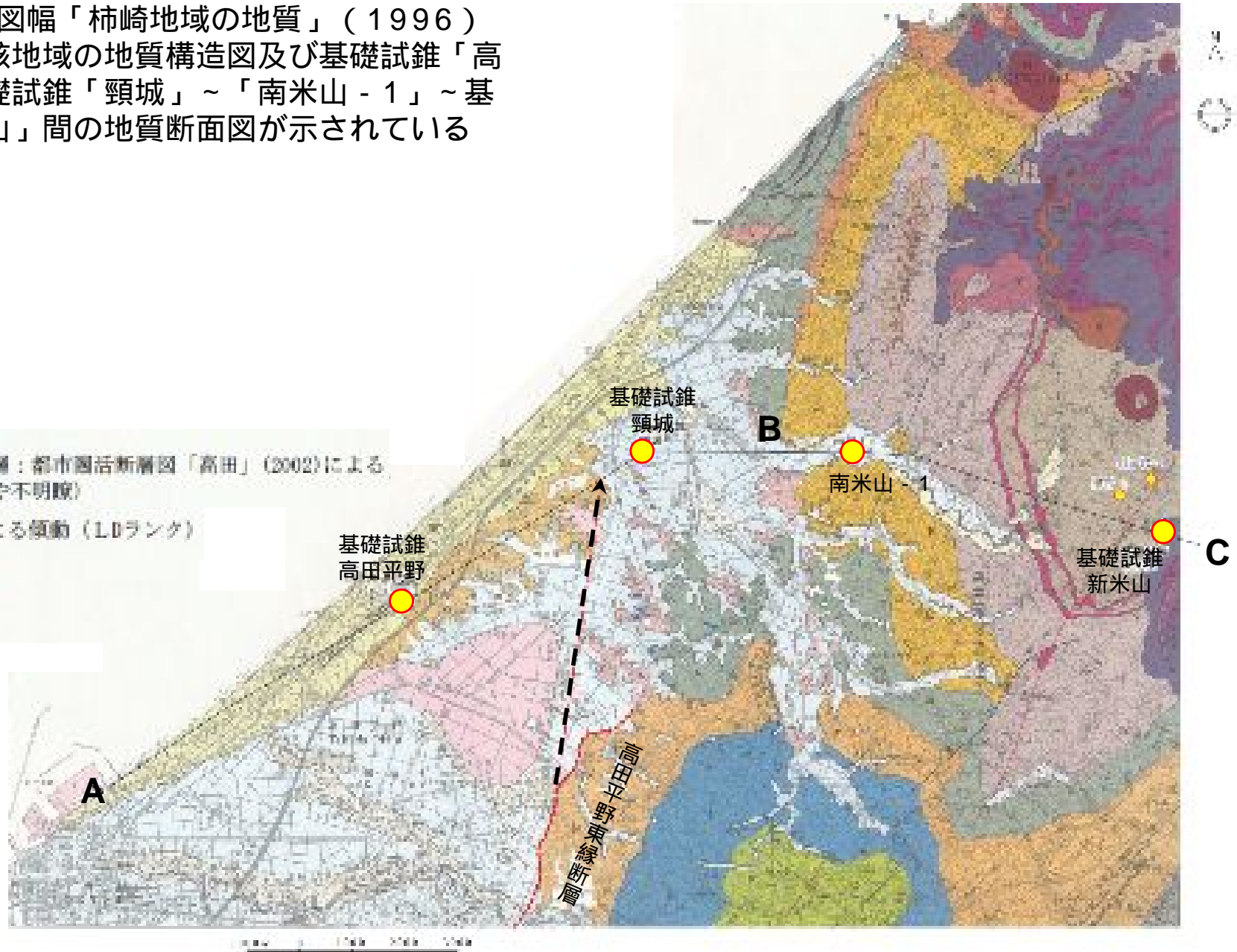
- 高田平野周辺の海成段丘面(平山面)については、構成層最上部に花房軽石(HB)が堆積し、古町軽石(FR)が平山面を覆っている(早津ほか,1982)
- 新編火山灰アトラス(2003)では、FRは、立山D(Tt-D, 12~13万年前)に対比され、その直下には妙高花房(My-Hb, 13万年前)が確認される
- 以上より、M面と区分される



高田平野東縁断層北部の地質構造

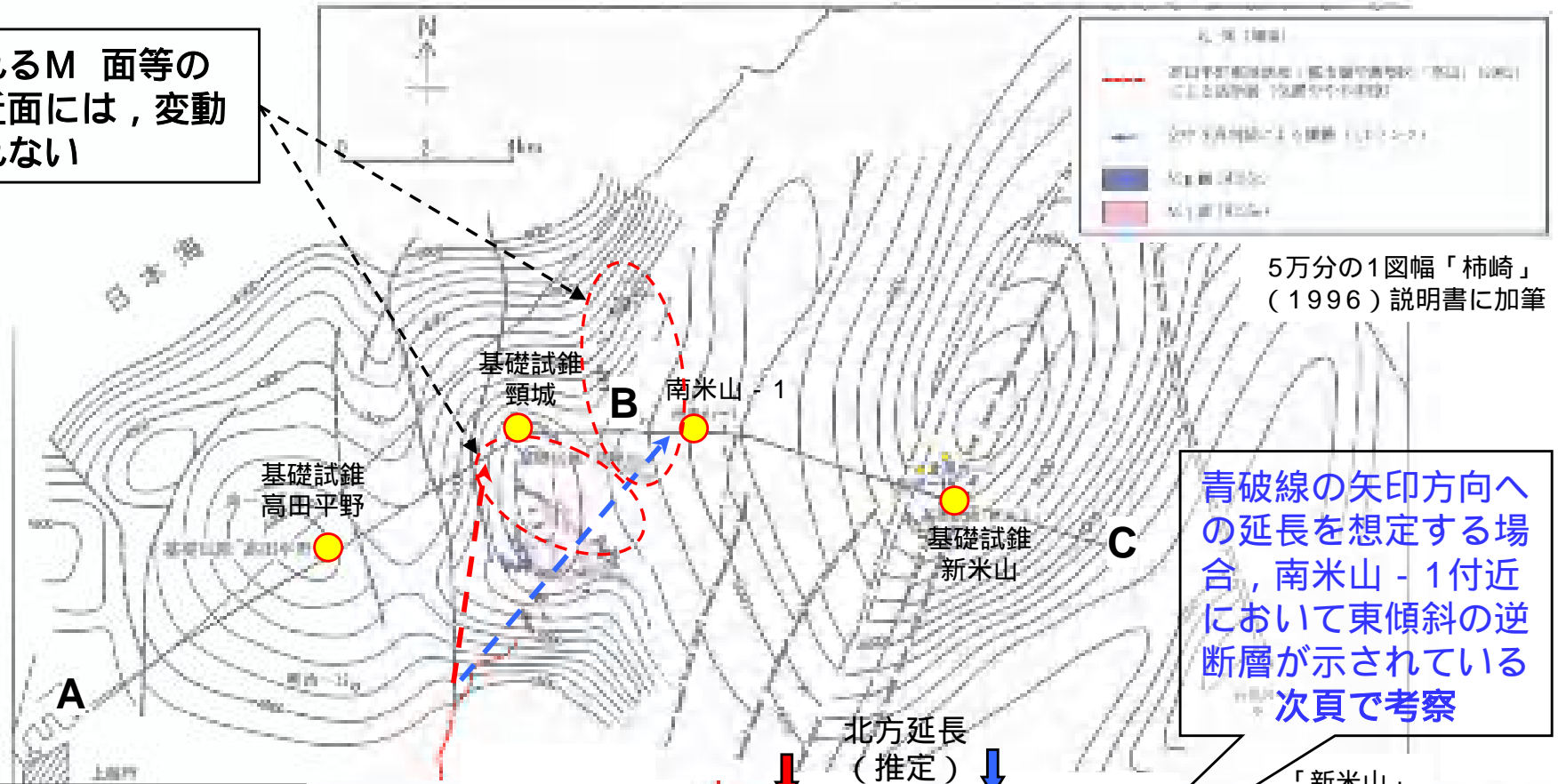
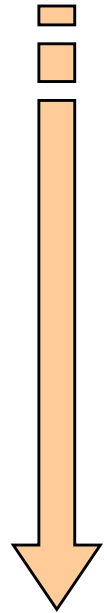
- 5万分の1地質図幅「柿崎地域の地質」(1996)によると、当該地域の地質構造図及び基礎試錐「高田平野」～基礎試錐「頸城」～「南米山-1」～基礎試錐「新米山」間の地質断面図が示されている

- 高田平野東縁断層：都市圏活断層図「高田」(2002)による活断層（位置やや不明瞭）
- ← 空中写真判読による傾動（LDランク）
- ボーリング位置
- A B C 断面位置



高田平野東縁断層北部の地質構造

傾動が認められるM面等の北側の中位段丘面には、変動地形は認められない

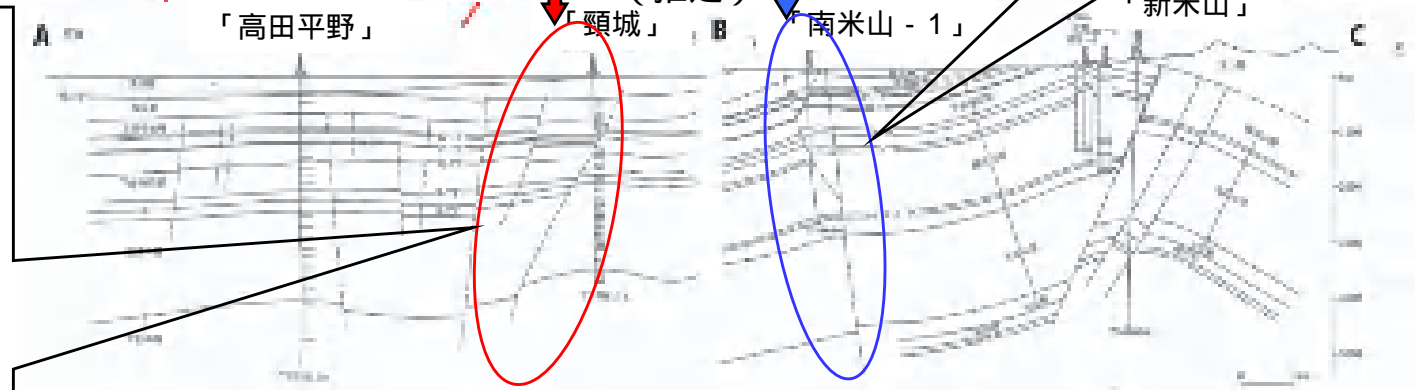


5万分の1図幅「柿崎」
(1996)説明書に加筆

青破線の矢印方向への延長を想定する場合、南米山 - 1 付近において東傾斜の逆断層が示されている
次頁で考察

A - B断面には高田平野東縁断層と同じ東傾斜の逆断層は示されていないこと、上記中位段丘面に変動地形が認めれないことから、断層延長部がA-B断面と交差する付近を北限と考える

高田平野東縁断層の長さを約28km (文献では約26km) と評価

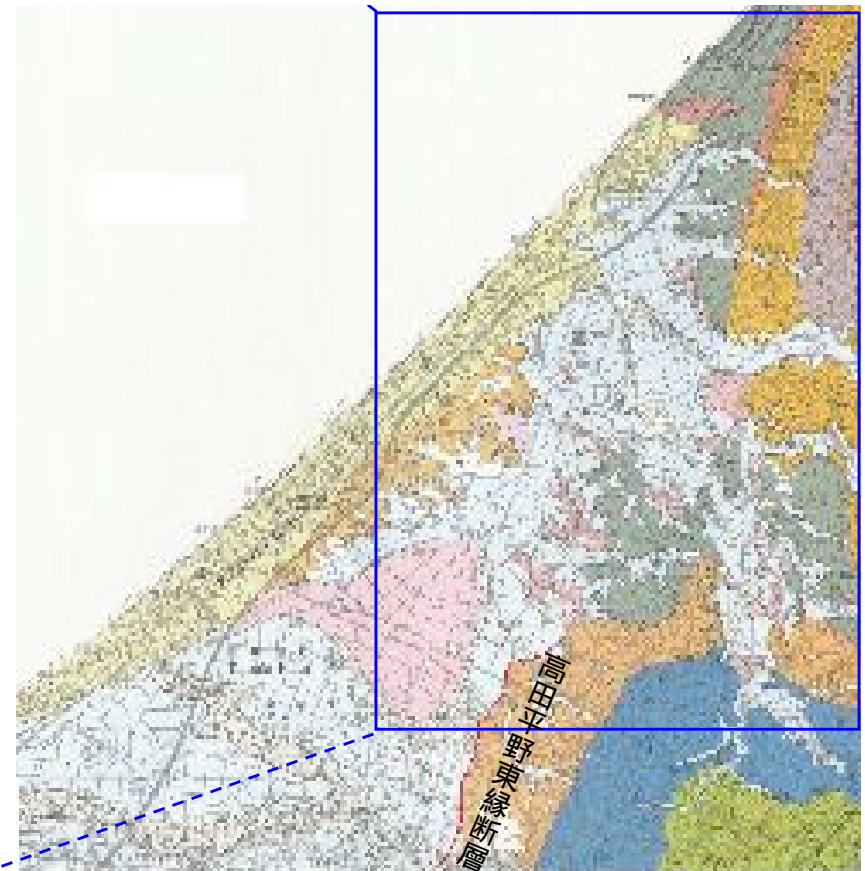


高田平野東縁断層北部の空中写真判読結果

空中写真判読図



- 高田平野東縁断層の延長がM面の東側に位置すると想定する場合，南米山 - 1付近に分布する中位段丘面等に変動地形の可能性の地形は認められない
- また，東傾斜逆断層の高田平野東縁断層が，南米山 - 1の方向に延長すると想定する場合，中位段丘面の傾動（左図の矢印）を説明できないことから，高田平野東縁断層は，同段丘面の西側へ延長すると考えられる



5万分の1図幅「柿崎」(1996)に加筆

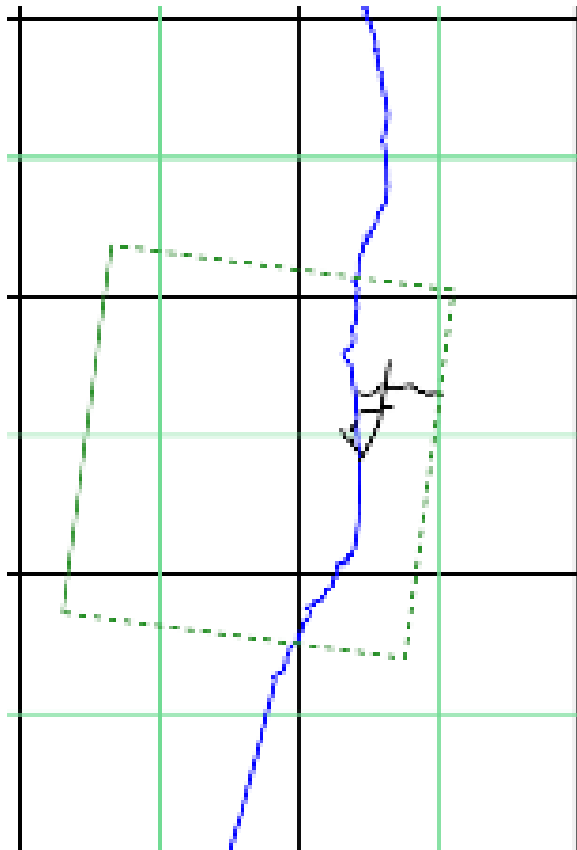
くいちがい弾性論による地殻変動の計算条件

- 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）を用いた
- 本検討では，Wang et al.（2003）に基づく多層モデルを用いて，隆起・沈降の傾向をみるためにすべり量は1 mとした
- 本検討では，米山海岸付近の段丘面の隆起及び南西側が相対的に高い傾向に寄与する下表の計算ケースについて，さらに検討を加えた

計算ケース (断層名など)	断層の諸元					米山海岸付近 の隆起量 (cm)
	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	10 ~ 20
F - D 断層 + 高田沖断層	55	35	0.1	17	1.0	0 ~ 2
高田平野東縁断層	28	45	0.1	17	1.0	0 ~ 2

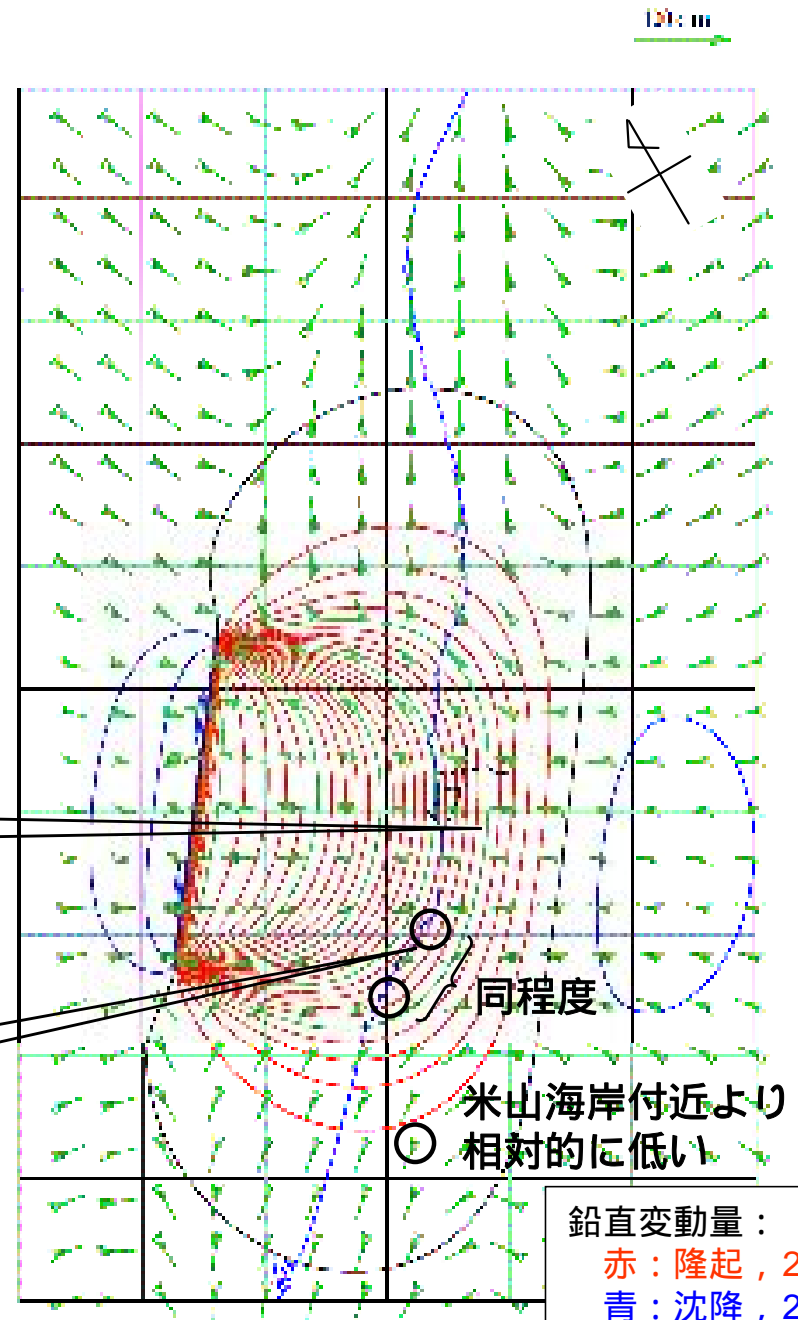
F - B断層による地殻変動（長さ27km）

- F - B断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：27km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：35°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では十数cm程度の隆起傾向を示す
- 高田平野付近では米山海岸付近より隆起が小さく（相対的に低い）なる傾向を示す



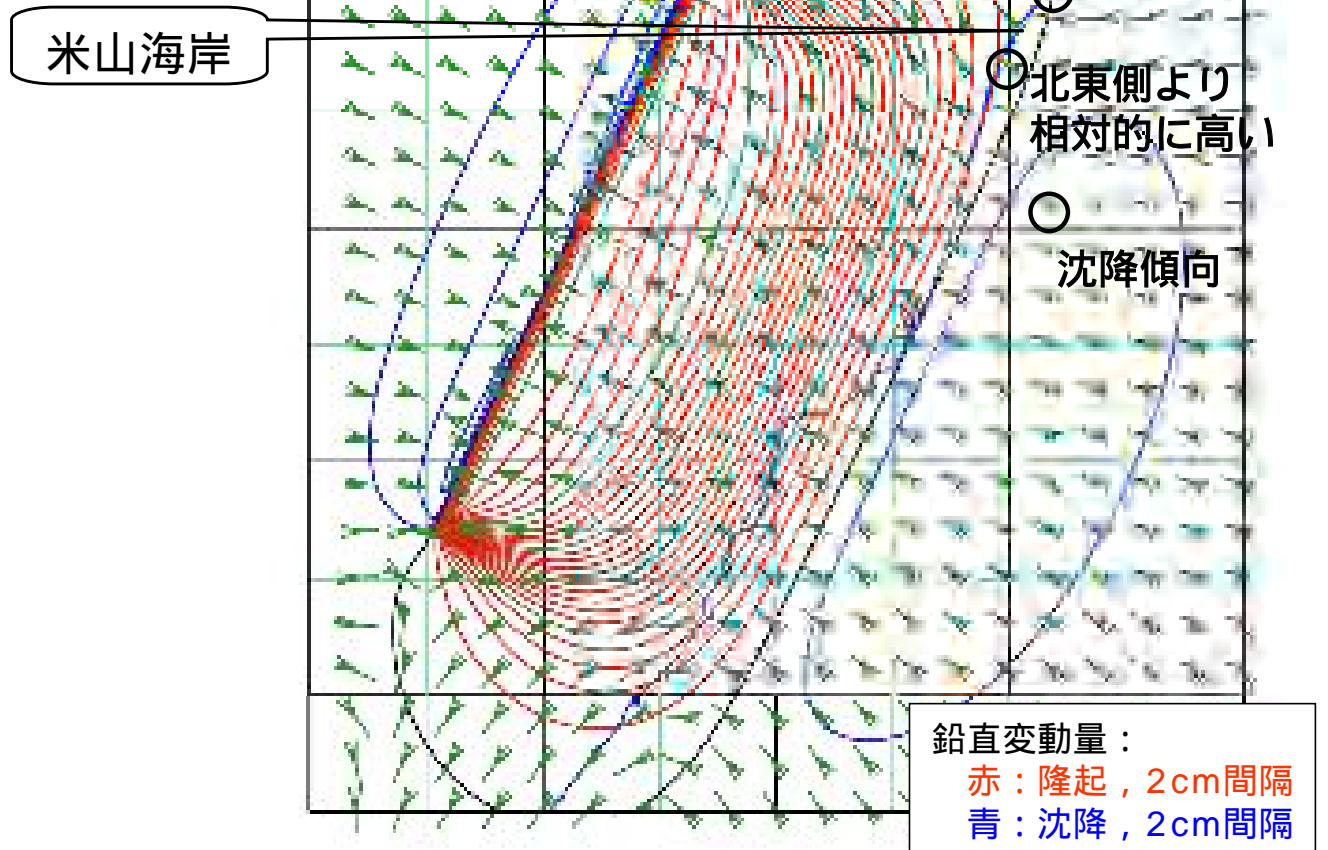
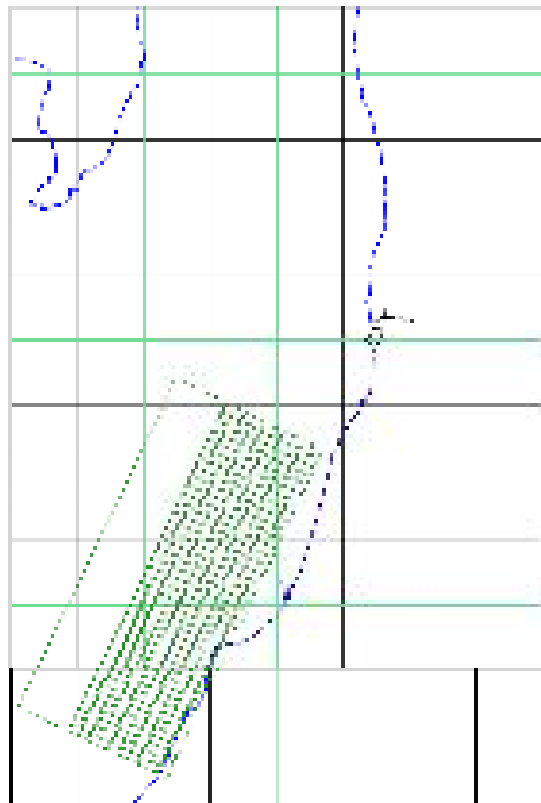
柏崎平野

米山海岸



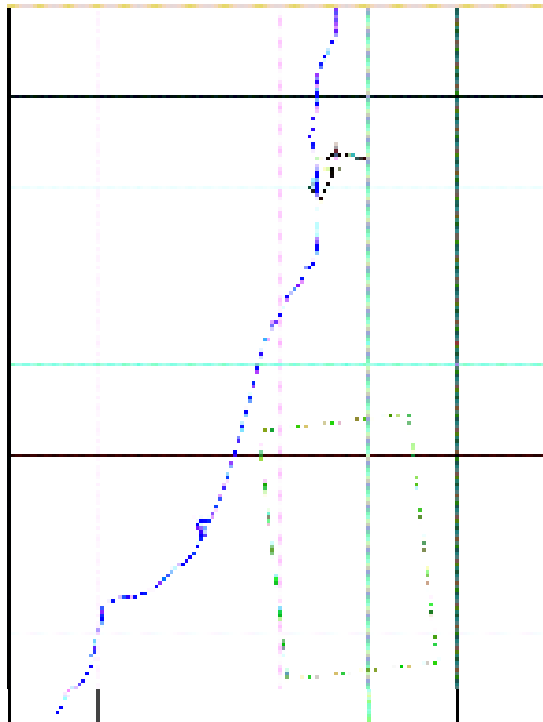
F - D断層 + 高田沖断層による地殻変動

- 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
 - 断層長さ：55km，深さ：0.1km ~ 17km
 - 傾斜：35°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では数cm程度の隆起を示し，南西側の隆起が大きくなる傾向を示す
- 高田平野付近では沈降傾向を示す

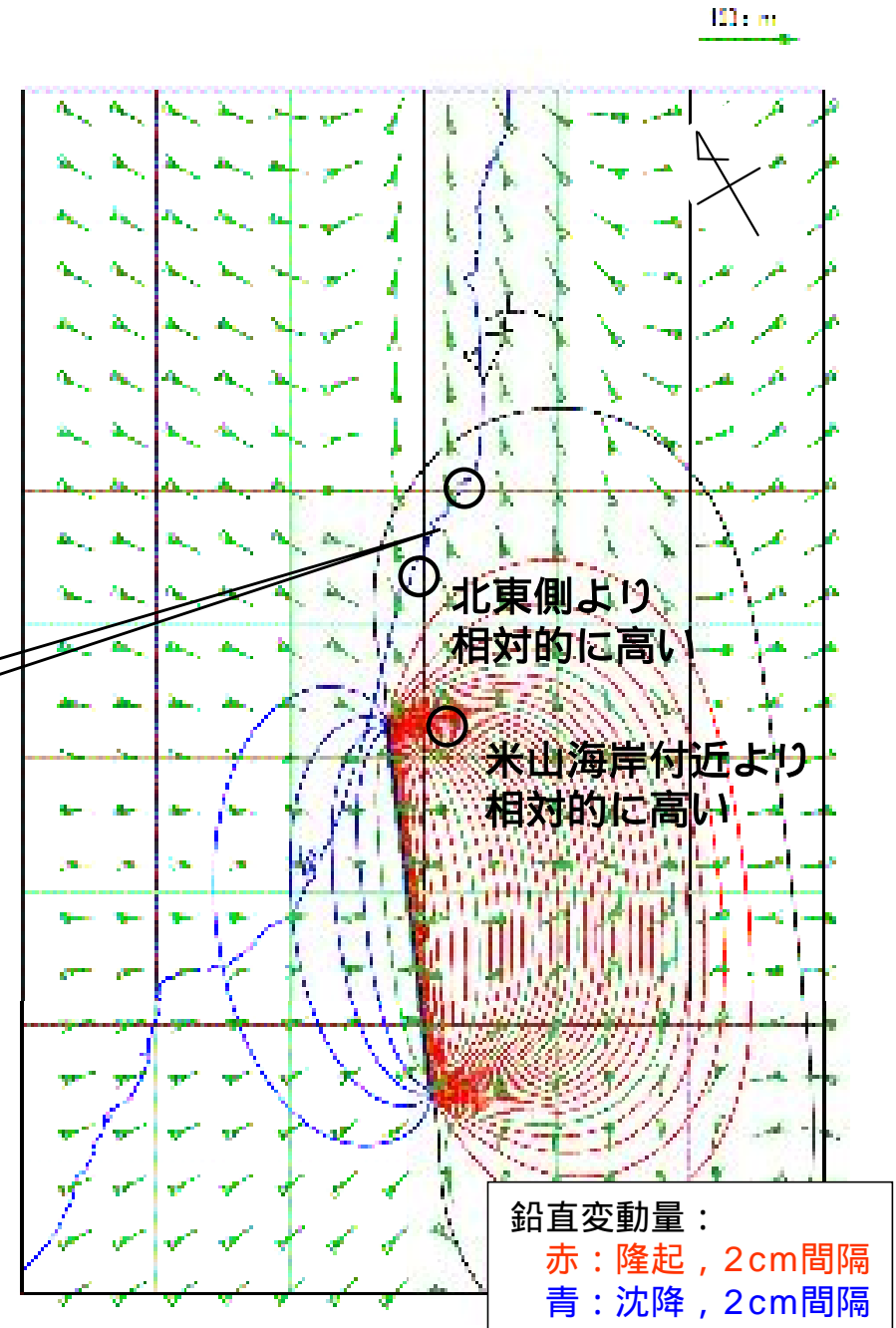


高田平野東縁断層による地殻変動（長さ28km）

- 高田平野東縁断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：28km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：45°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では数cm程度の隆起を示し，南西側の隆起が大きくなる傾向を示す
- 高田平野付近では米山海岸付近より隆起が大きく（相対的に高く）なる傾向を示す



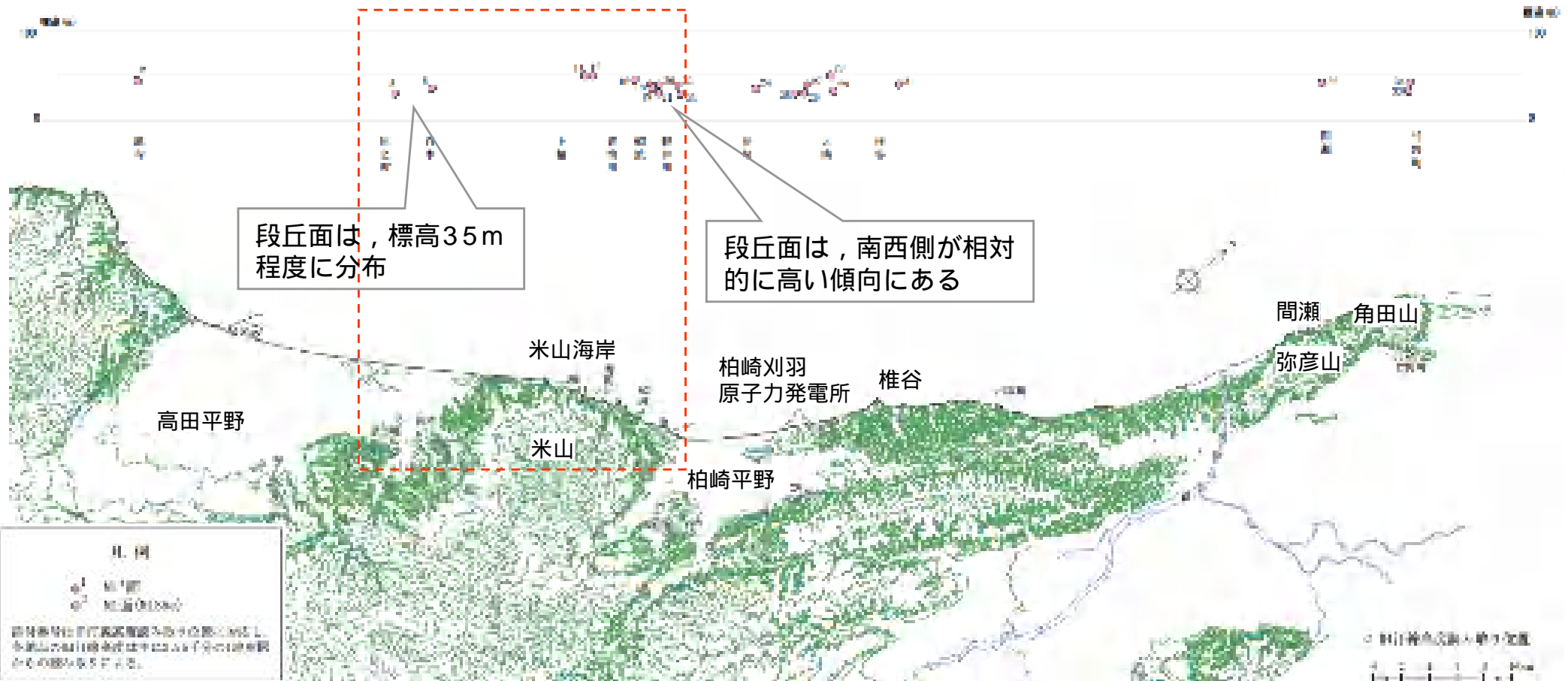
米山海岸



鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

米山海岸付近のMIS5eの段丘面高度分布

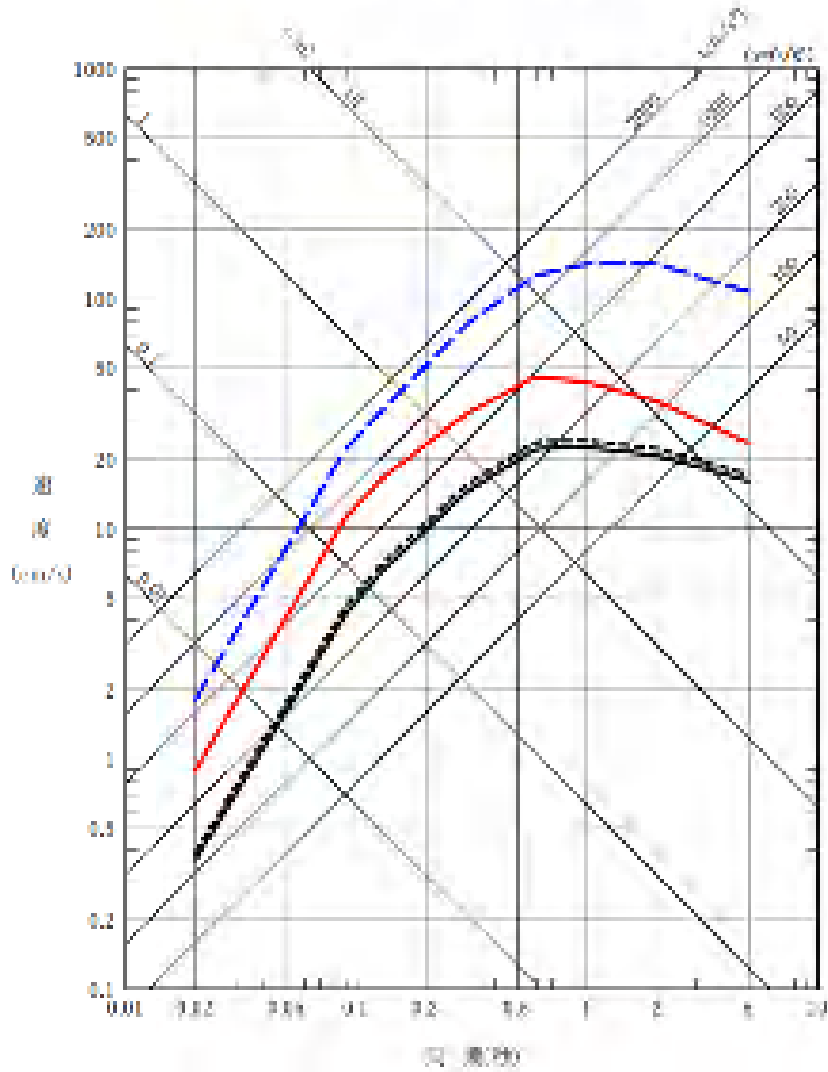
- 米山海岸付近の段丘面の隆起については，F-B断層（褶曲群）の活動の寄与が大きいと考えられる
- 米山海岸付近の段丘面が南西側で相対的に高い傾向については，F-D断層（褶曲群）及び高田沖断層（褶曲群）の活動，高田平野東縁断層の活動が寄与しているためと考えられる
- また，高田平野東縁部の百木，原之町の段丘面が標高35m程度に分布することについては，F - B断層（褶曲群）からの距離が米山海岸と比較して10km程度離れ，同断層の活動の寄与が小さくなるとともに，F - D断層（褶曲群）及び高田沖断層（褶曲群）の活動が寄与しているためと考えられる



高田平野東縁断層による地震の影響

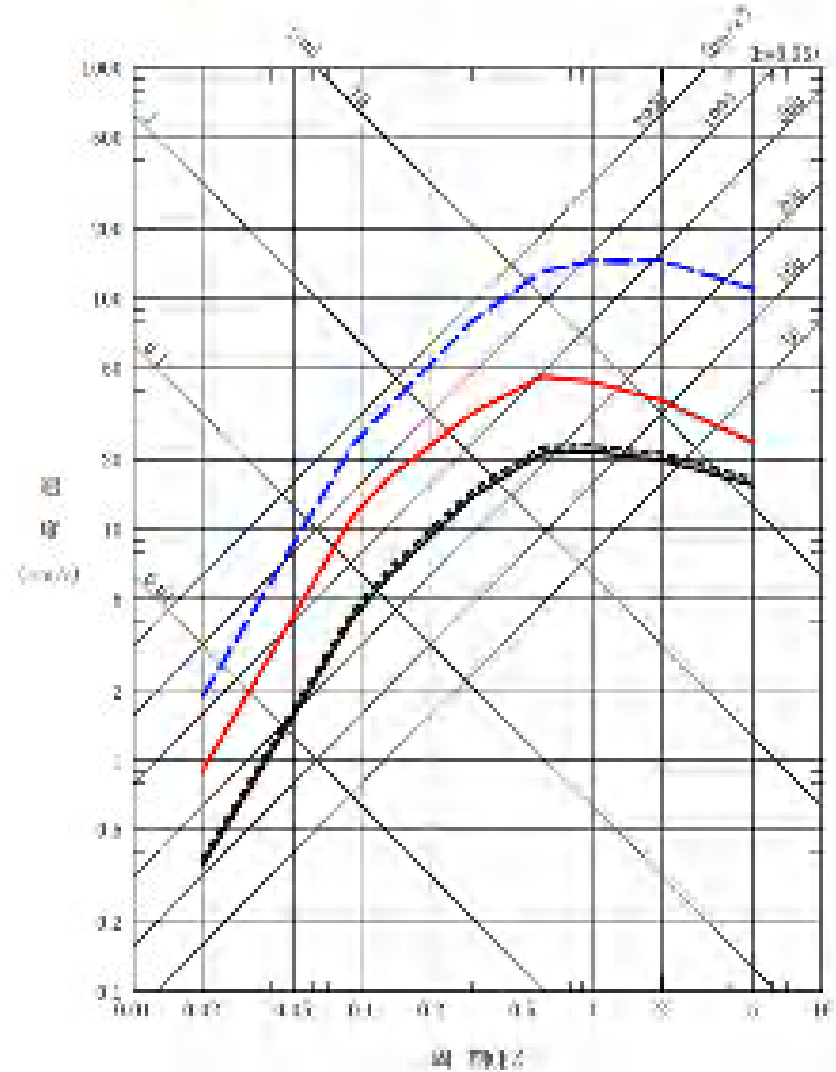
荒浜側

- 片立断層(M7.5, S_{wp}=1.7km)K1
- - 長岡平野東縁断層(M7.1, S_{wp}=0.8km)K1
- 高田平野東縁断層(M7.5, S_{wp}=1.8km)K1 断層長さ: 26km
- - 高田平野東縁断層(M7.5, S_{wp}=1.8km)K1 断層長さ: 28km



大湊側

- 片立断層(M7.5, S_{wp}=1.7km)K2
- - 長岡平野東縁断層(M7.1, S_{wp}=0.8km)K2
- 高田平野東縁断層(M7.5, S_{wp}=1.8km)K2 断層長さ: 26km
- - 高田平野東縁断層(M7.5, S_{wp}=1.8km)K2 断層長さ: 28km



まとめ

- 耐震設計上考慮しているF - B断層（褶曲群）、F - D断層（褶曲群）、高田沖断層（褶曲群）及び長岡平野西縁断層帯を構成する各活断層に加え、高田平野東縁断層について、くいちがい弾性論により地殻変動を試算した
- 米山海岸付近の段丘面の隆起については、F-B断層の活動の寄与が大きいと考えられる
- 米山海岸付近の段丘面高度が南西側で相対的に高い傾向については、F-D断層（褶曲群）及び高田沖断層（褶曲群）の活動、高田平野東縁断層の活動が寄与しているためと考えられる
- なお、高田平野東縁断層の北端については、空中写真判読結果、既存の基礎試錐データ等に基づき、都市圏活断層図「高田」（2002）、活断層データベース等に示される位置よりも北側に延長して評価したが、耐専スペクトルによる地震動評価において、片貝断層による地震の評価を上回らないことを確認した

一部の試算結果については、参考として整理

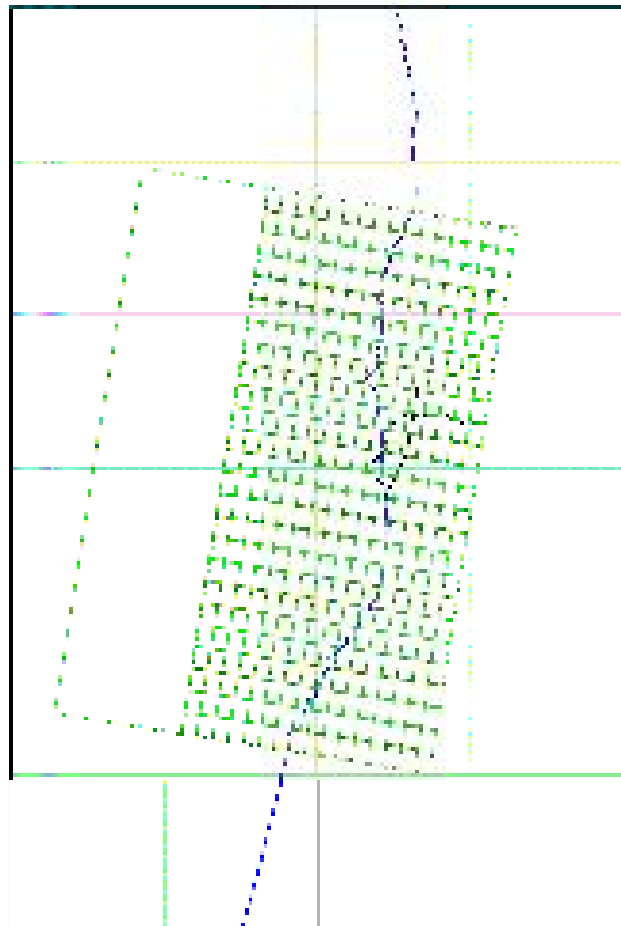
参考：くいちがい弾性論による地殻変動の計算条件

- 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）を用いた
- 本検討では，Wang et al.（2003）に基づく多層モデルを用いて，隆起・沈降の傾向をみるためにすべり量は1 mとした
- 計算ケースは各断層の個別活動に加えて，中越沖地震では柏崎平野～米山海岸付近において沈降が確認されたことから，国土地理院の計算結果との重ね合わせによる地殻変動の傾向についても検討した

計算ケース（断層名など）	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	36	35	0.1	17	1.0
気比ノ宮断層	25	50	0.1	17	1.0
片貝断層	25	50	0.1	17	1.0
	20	35	0.1	17	1.0
長岡平野西縁断層帯	91	50	0.1	17	1.0
	91	35	0.1	17	1.0
十日町盆地西縁断層	33	60	0.1	17	1.0
高田平野東縁断層	26	45	0.1	17	1.0
F - B断層 + 中越沖地震	27	35	0.1	17	1.0
	36	35	0.1	17	1.0

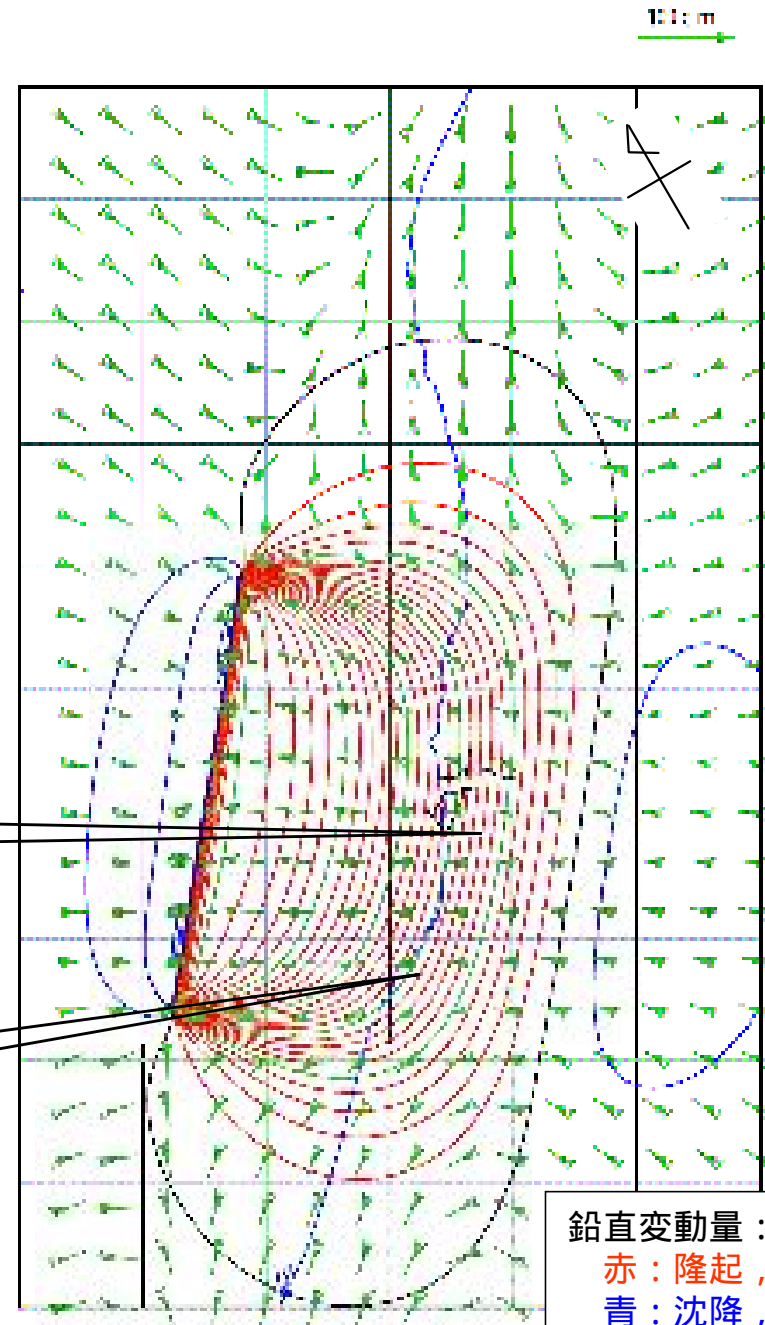
参考：F - B断層による地殻変動（長さ36km）

- F - B断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：36km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：35°，すべり量：1m
- 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



柏崎平野

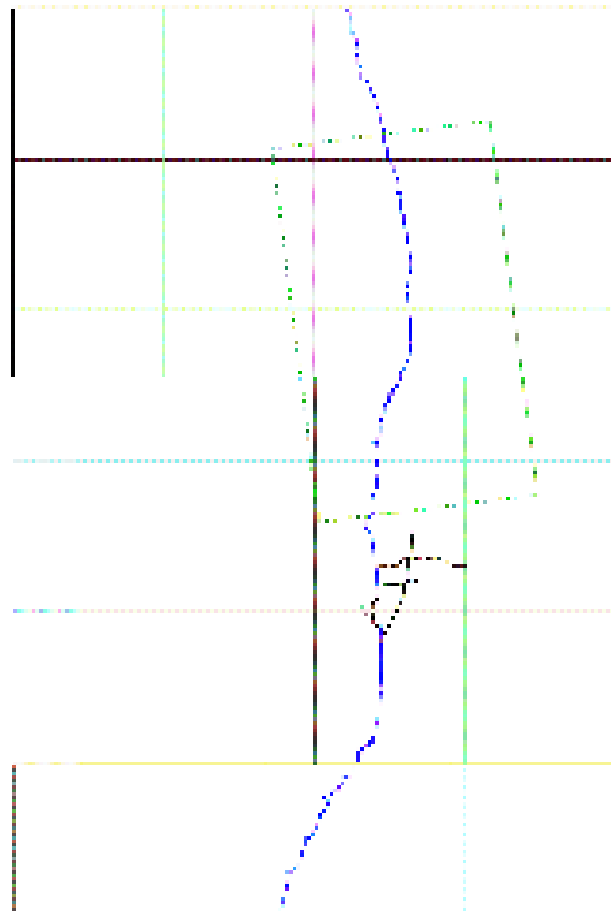
米山海岸



鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

参考：気比ノ宮断層による地殻変動

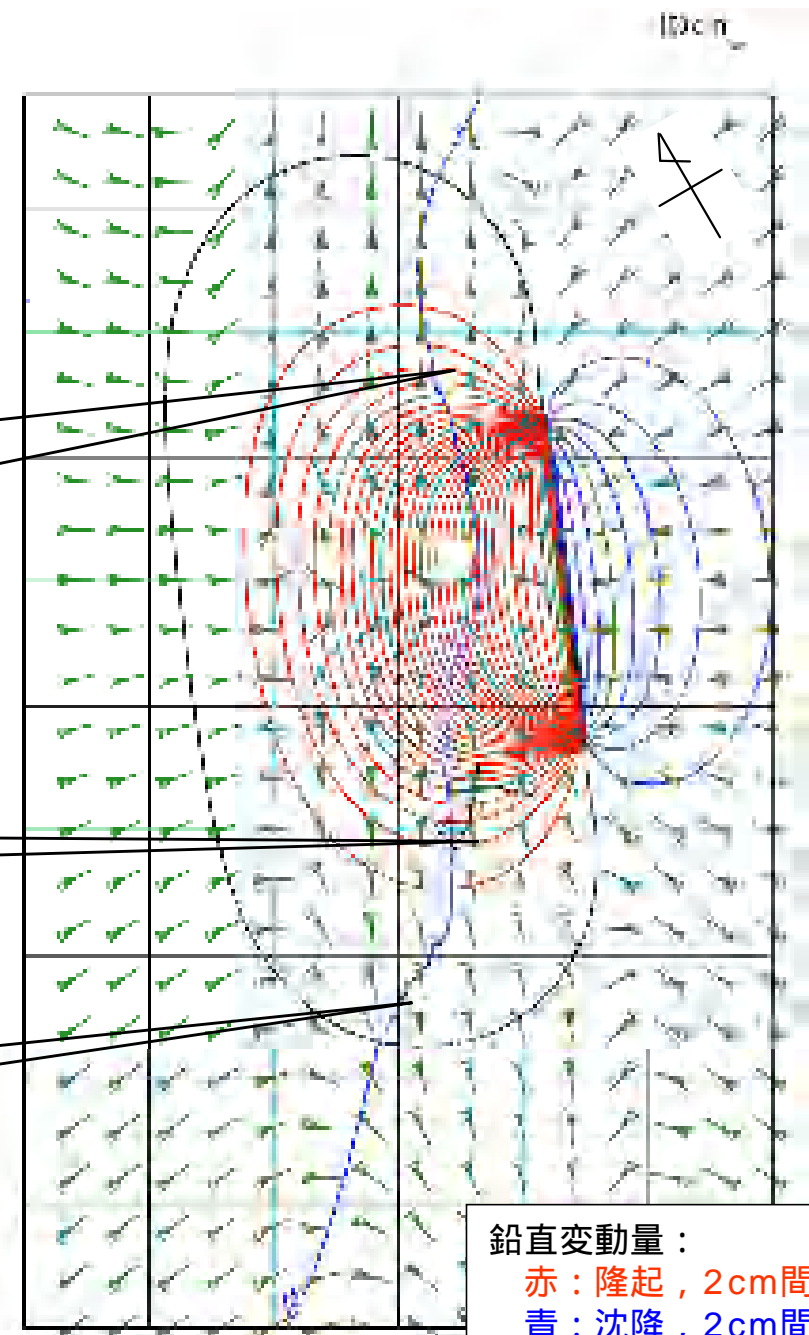
- 気比ノ宮断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：25km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：50°，すべり量：1m
- 角田山～弥彦山付近では数cm～十数cm，柏崎平野付近では数cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す



角田山
弥彦山

柏崎平野

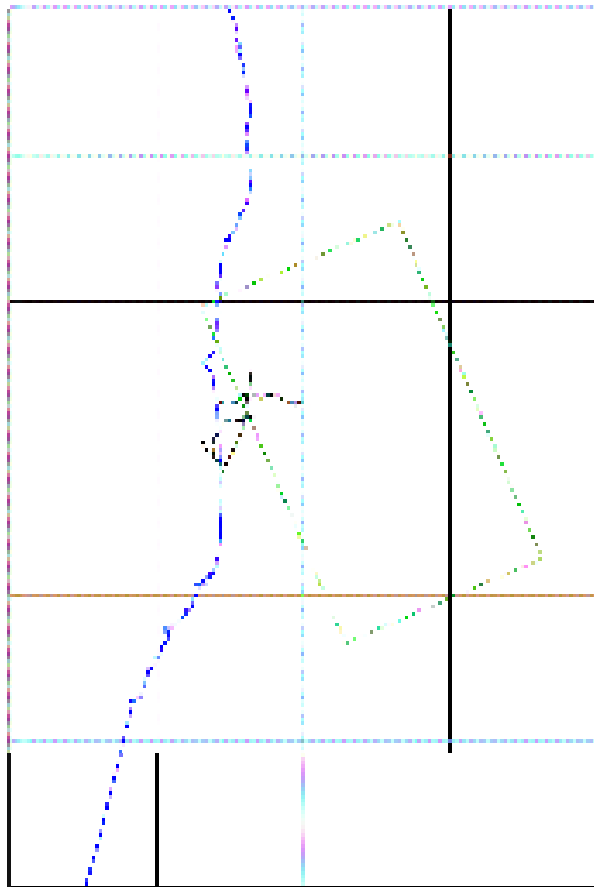
米山海岸



鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

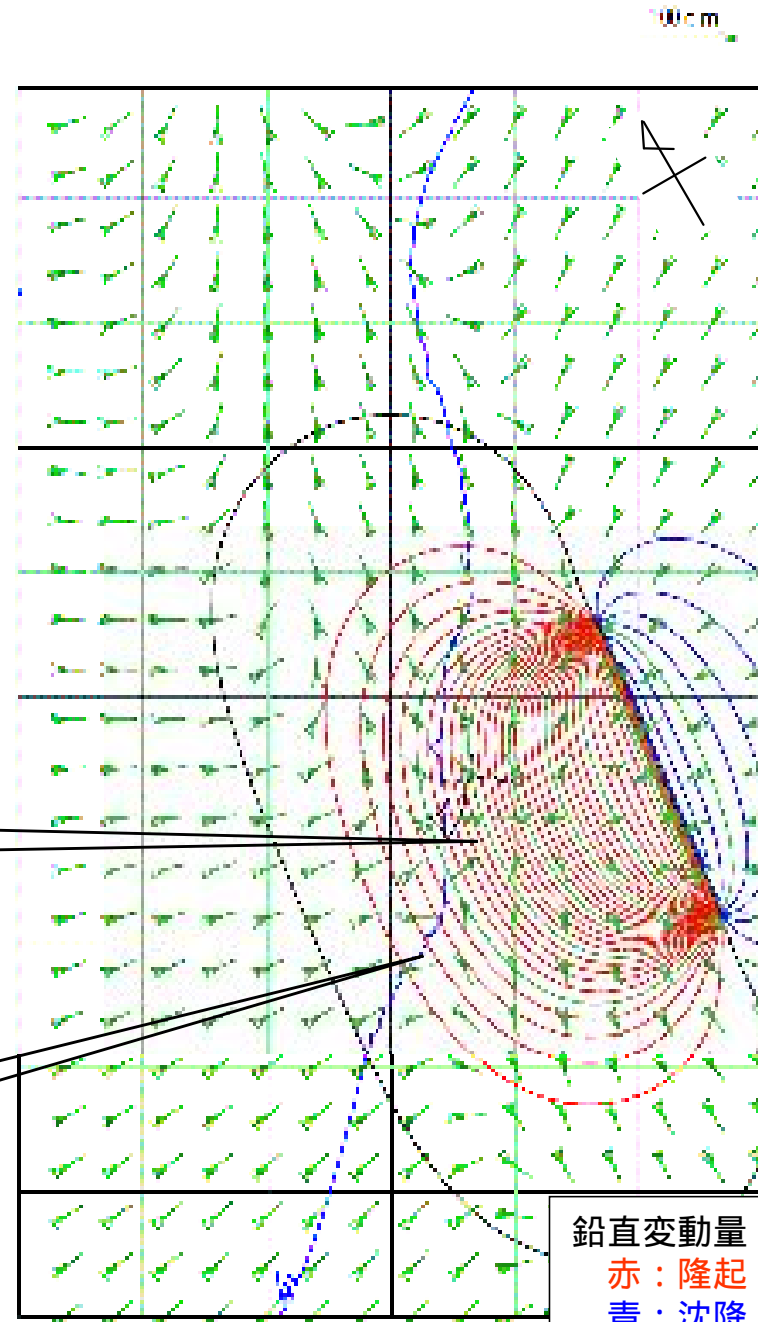
参考：片貝断層による地殻変動（傾斜角50°）

- 片貝断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：25km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：50°，すべり量：1m
- 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



柏崎平野

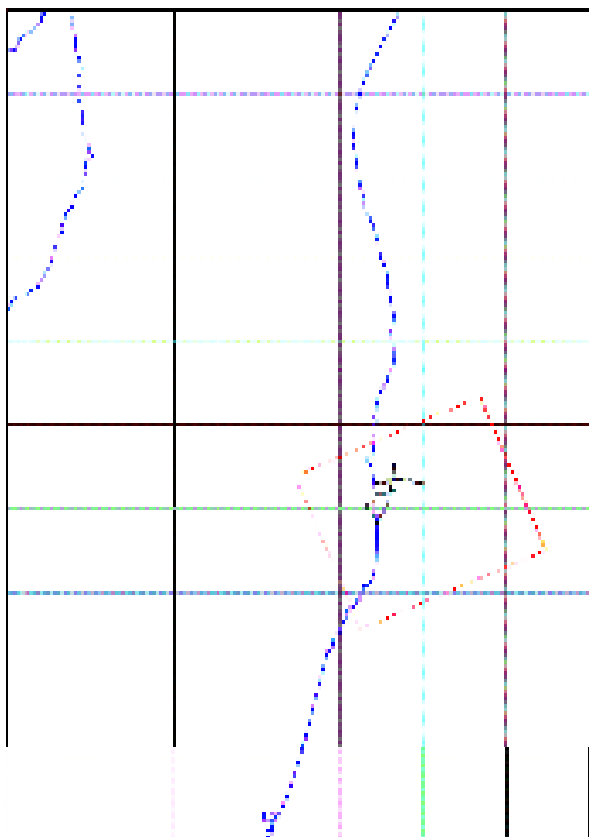
米山海岸



鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

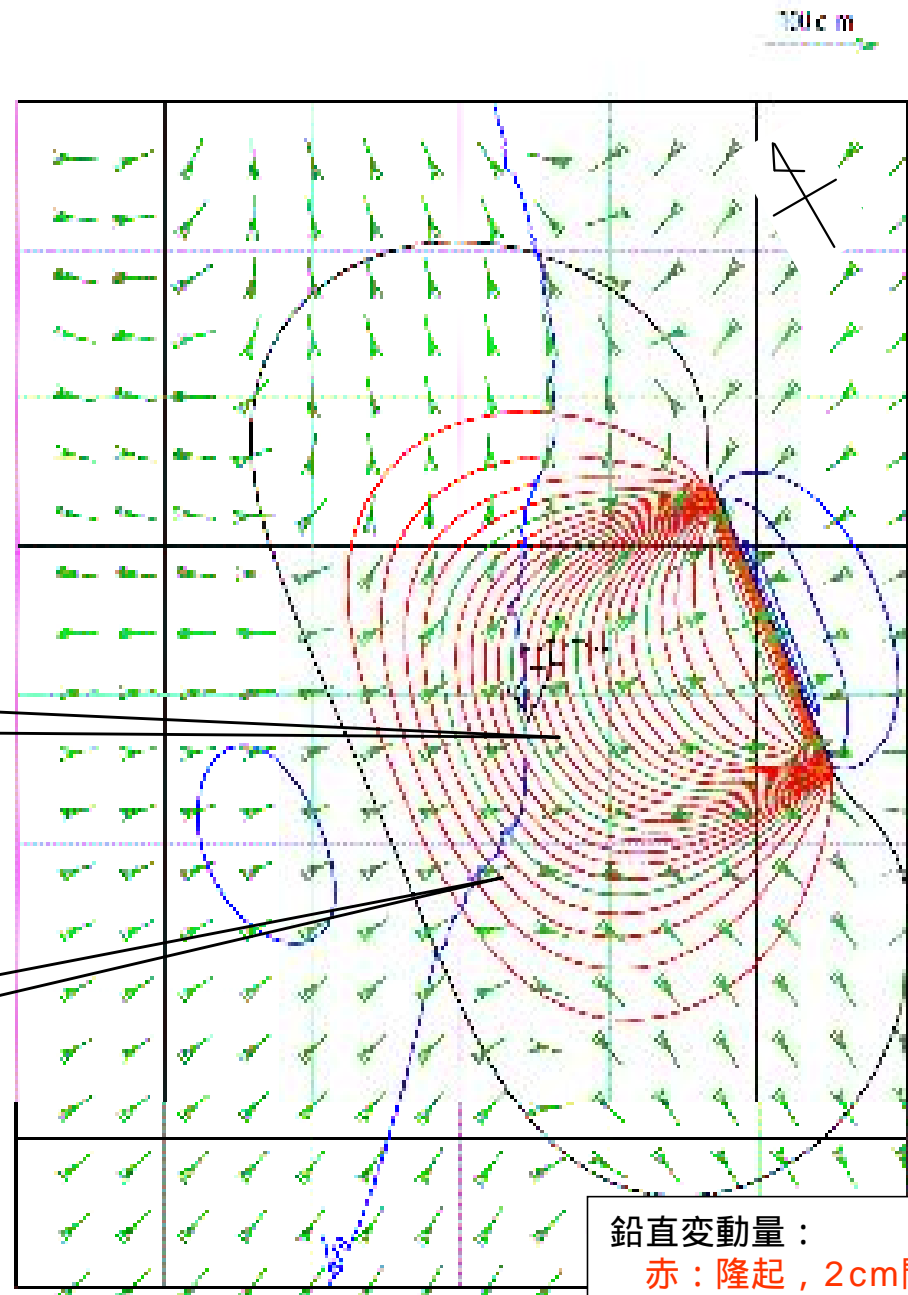
参考：片貝断層による地殻変動（傾斜角35°）

- 片貝断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：20km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：35°，すべり量：1m
- 柏崎平野付近では数十cm，米山海岸付近では数cm～十数cmの隆起傾向を示す



柏崎平野

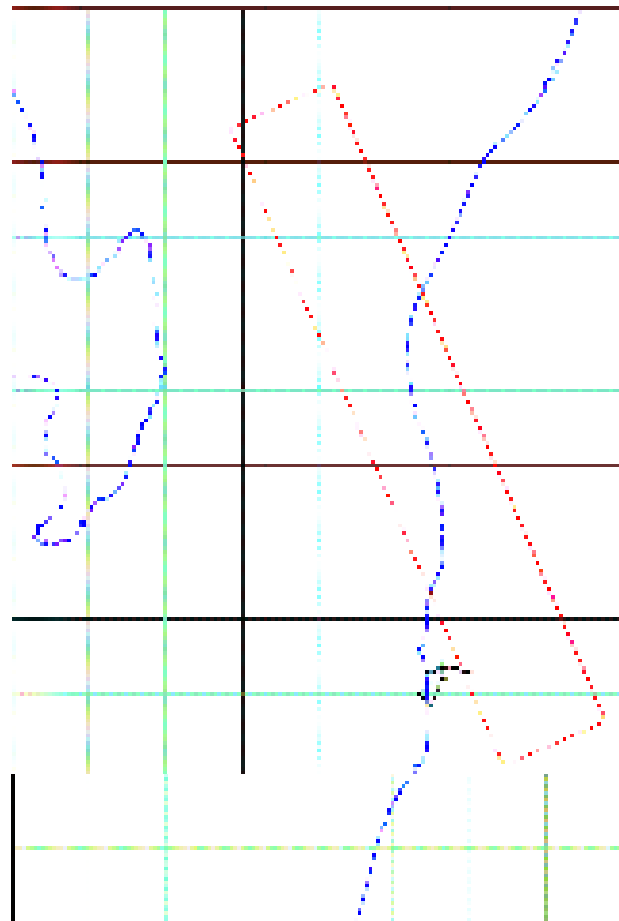
米山海岸



鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

参考：長岡平野西縁断層帯による地殻変動（傾斜角50°）

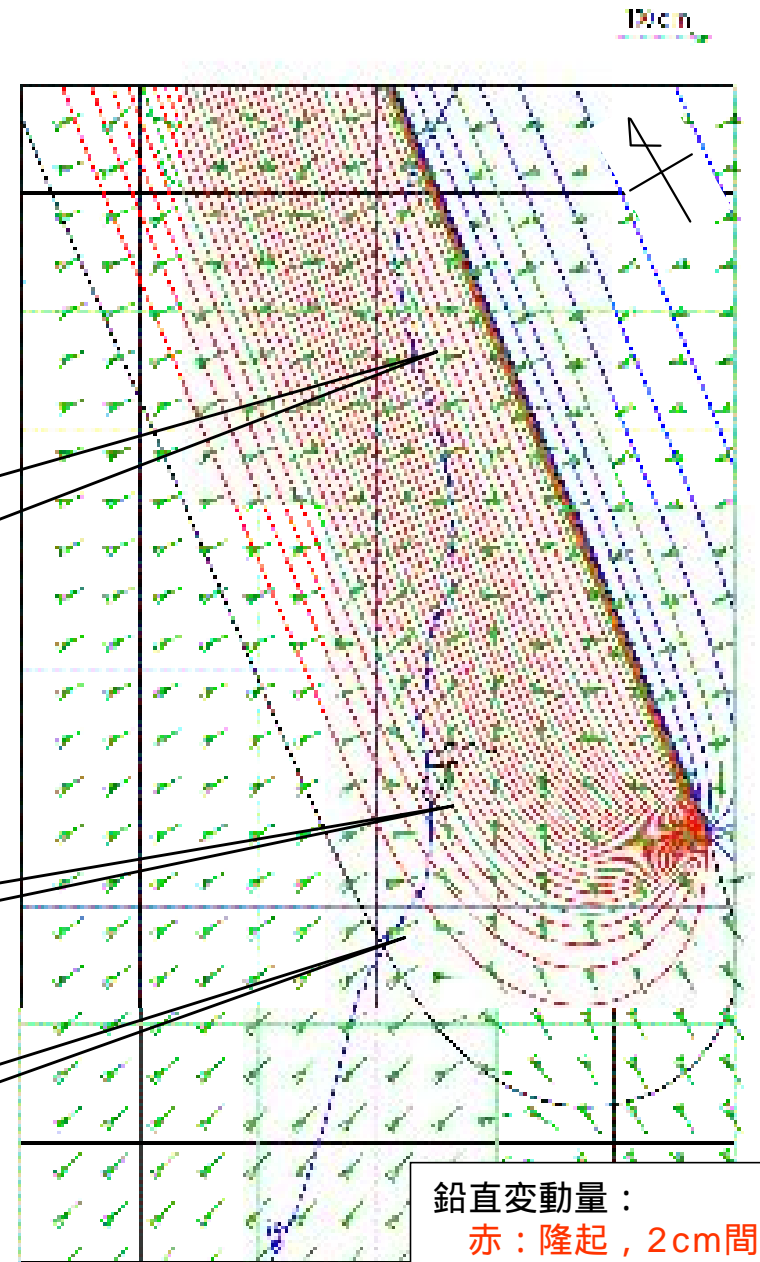
- 長岡平野西縁断層帯の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：91km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：50°，すべり量：1m
- 角田山～弥彦山付近では数十cm，柏崎平野付近では十数cm～数十cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す



角田山
弥彦山

柏崎平野

米山海岸



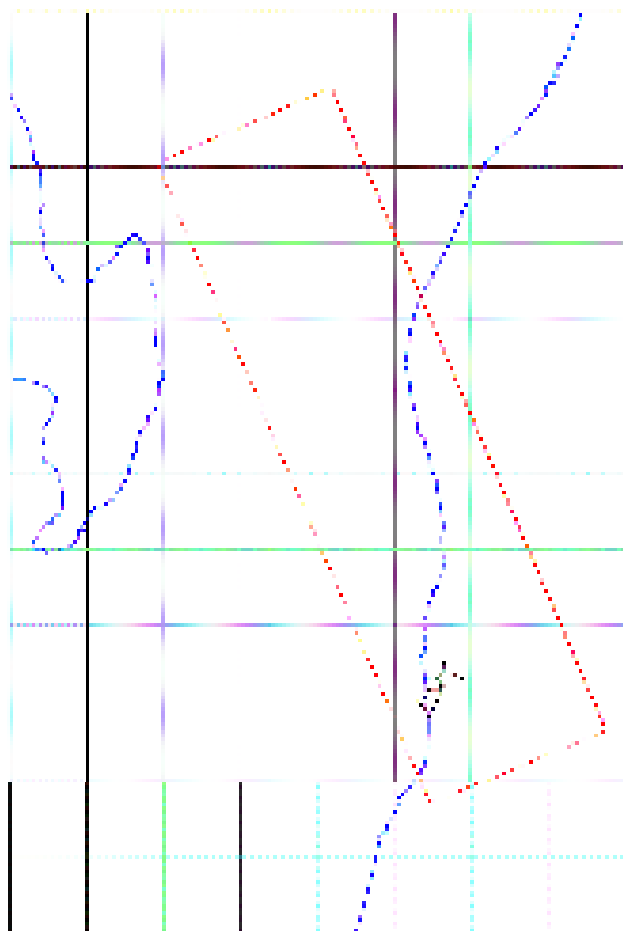
鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

参考：長岡平野西縁断層帯による地殻変動（傾斜角35°）

- 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

- 断層長さ：91km，深さ：0.1km～17km
- 傾斜：35°，すべり量：1m

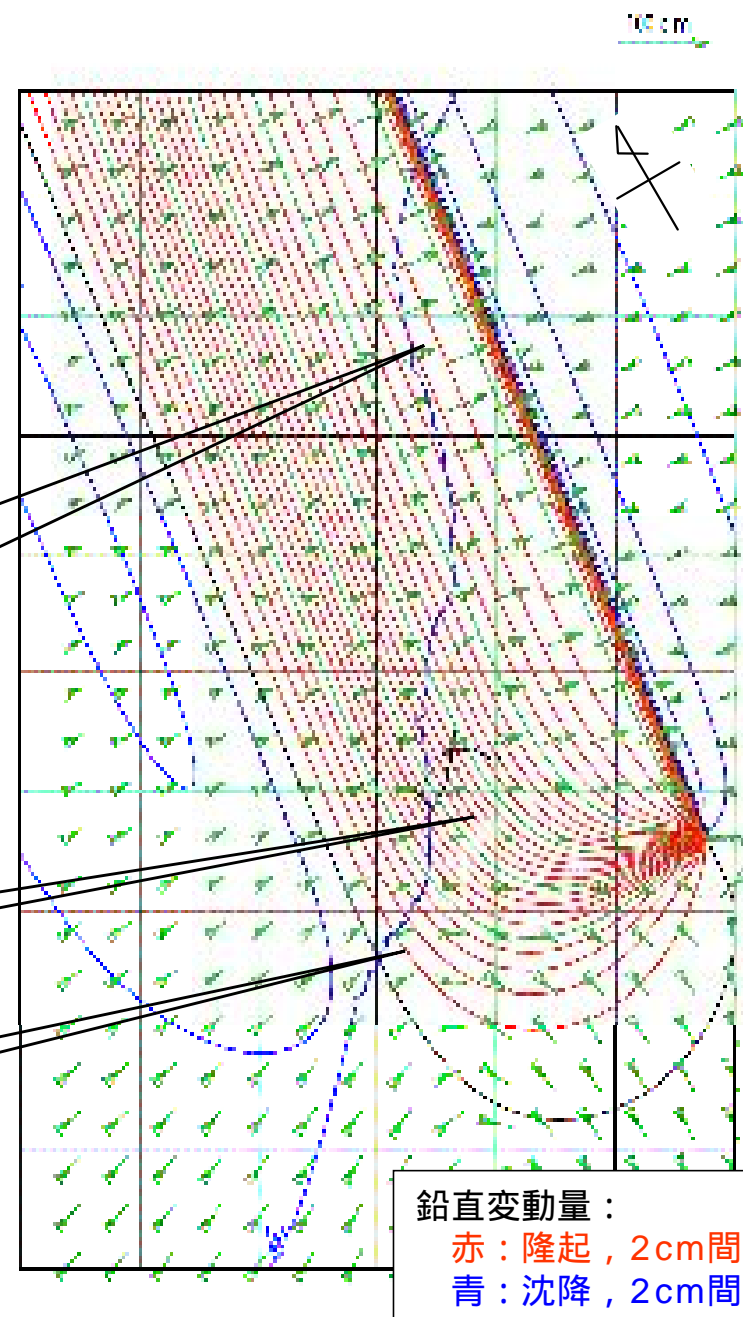
- 角田山～弥彦山付近では数十cm，柏崎平野付近では数十cm，米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す



角田山
弥彦山

柏崎平野

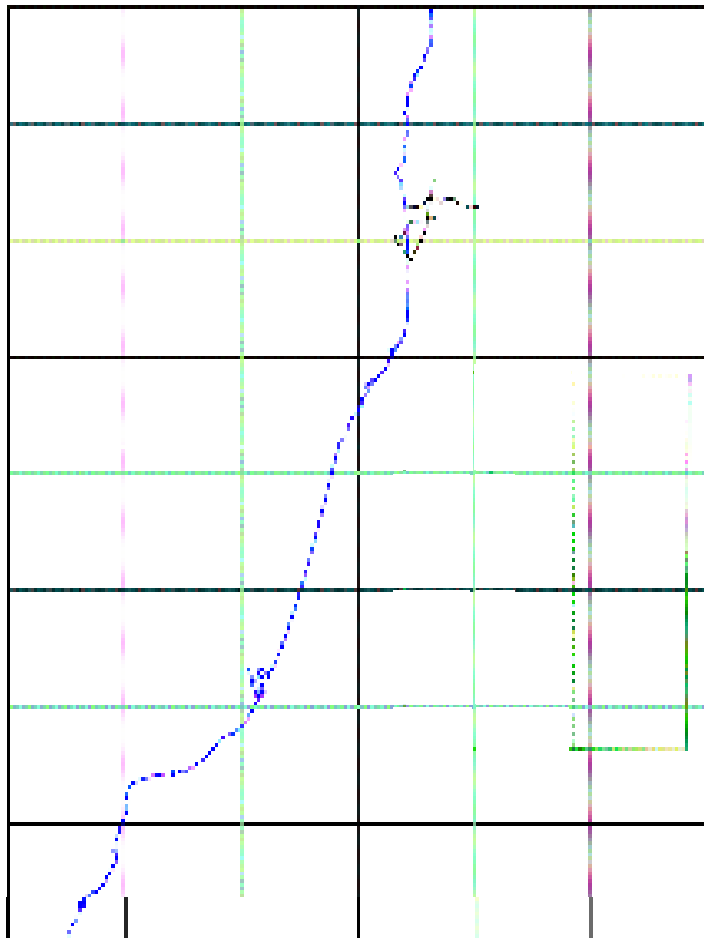
米山海岸



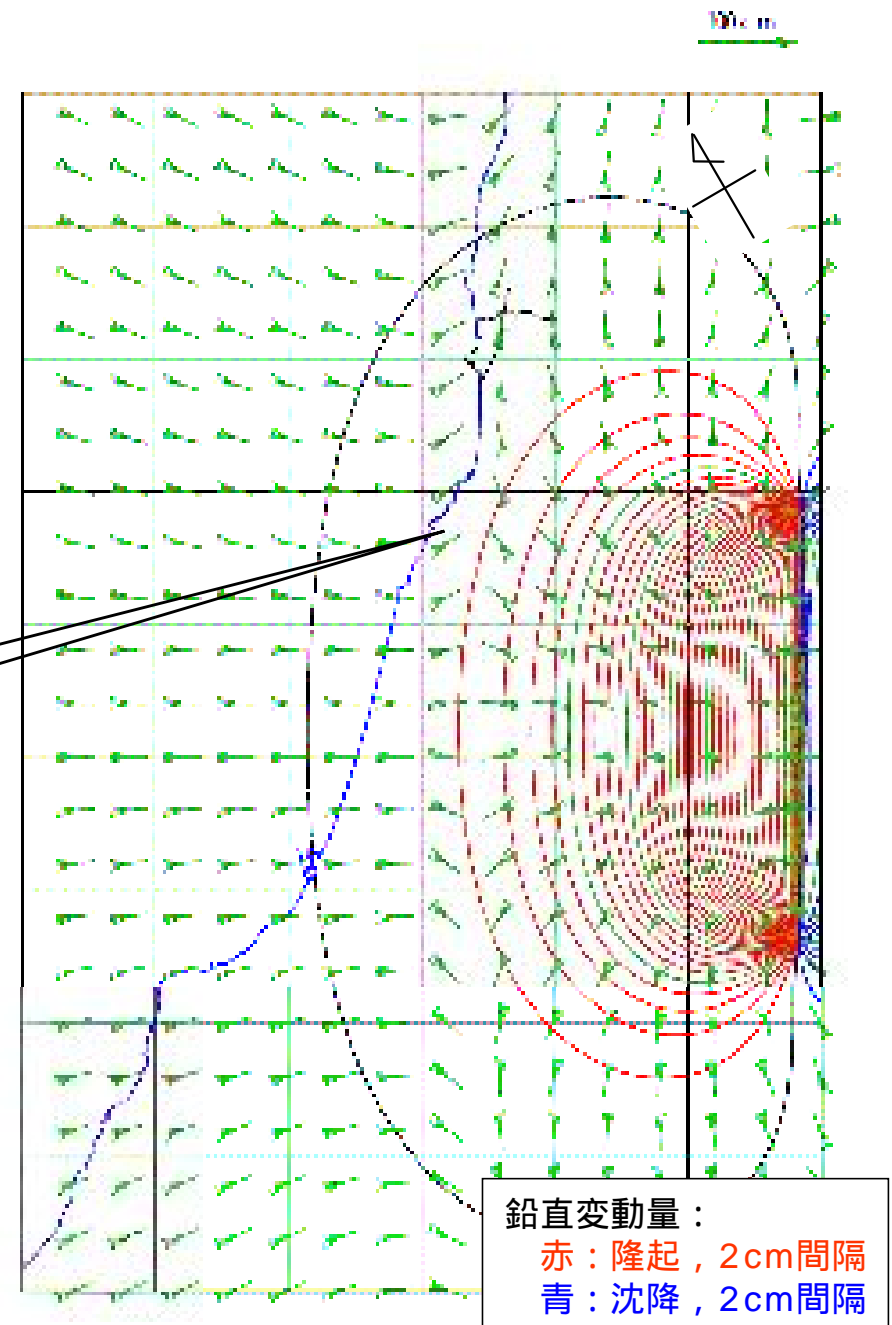
鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

参考：十日町盆地西縁断層による地殻変動

- 十日町盆地西縁断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：33km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：60°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では数cmの隆起傾向を示す



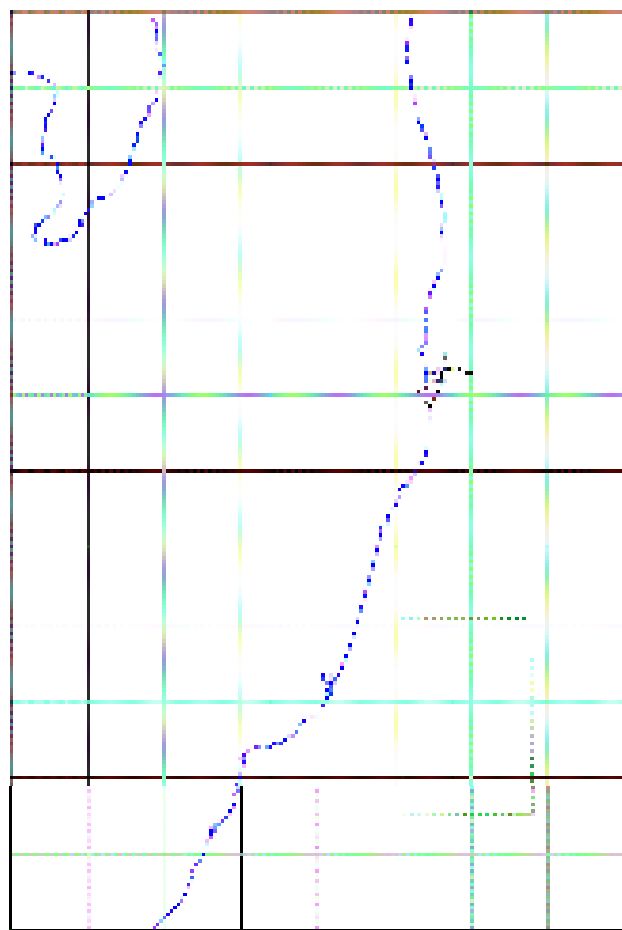
米山海岸



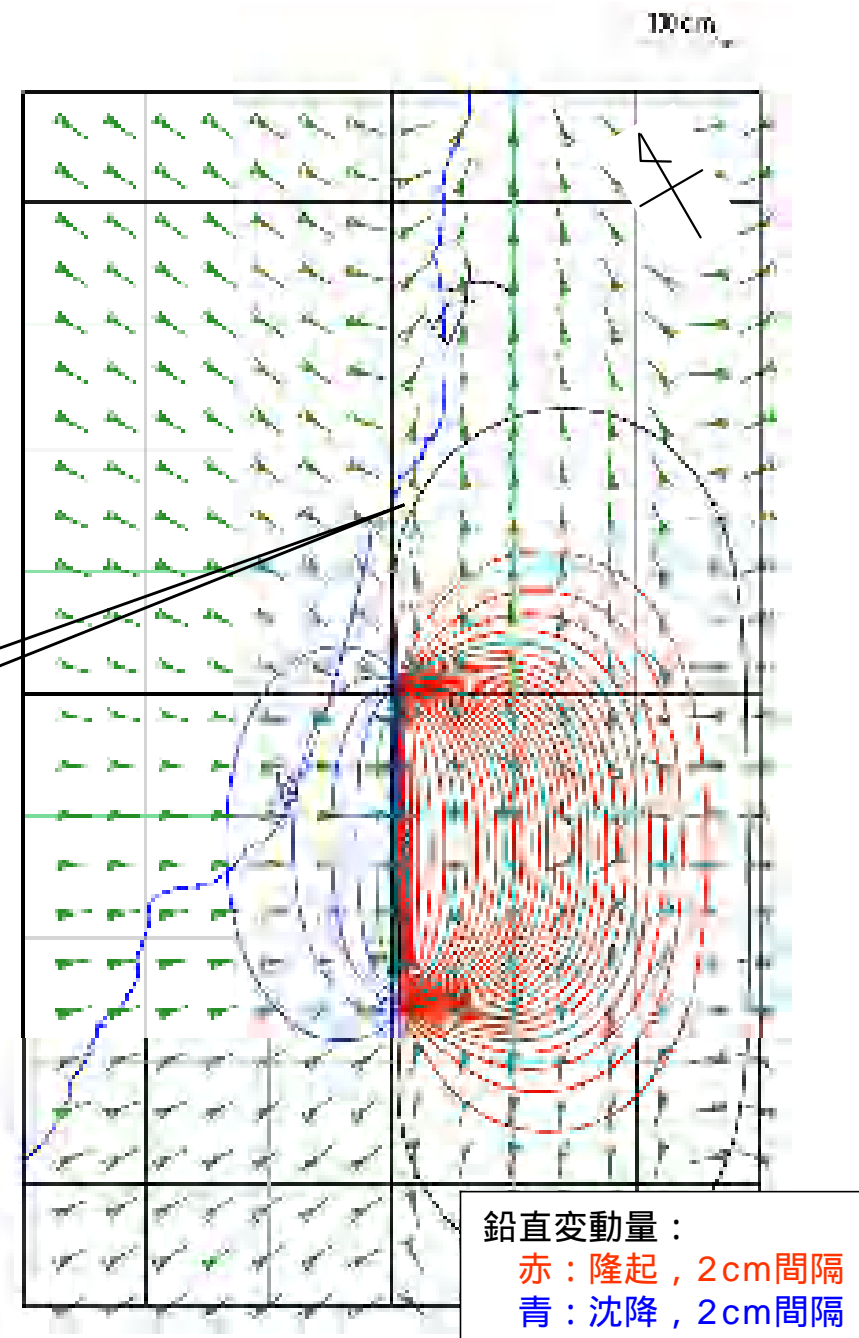
鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

参考：高田平野東縁断層による地殻変動（長さ26km）

- 高田平野東縁断層の地殻変動モデルにより地殻変動を計算した
 - 断層長さ：26km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜：45°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では隆起する傾向は認められない



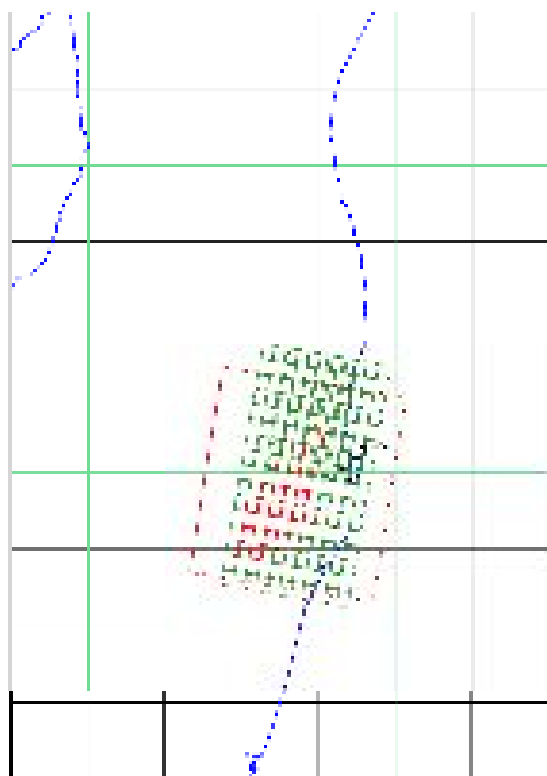
米山海岸



鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

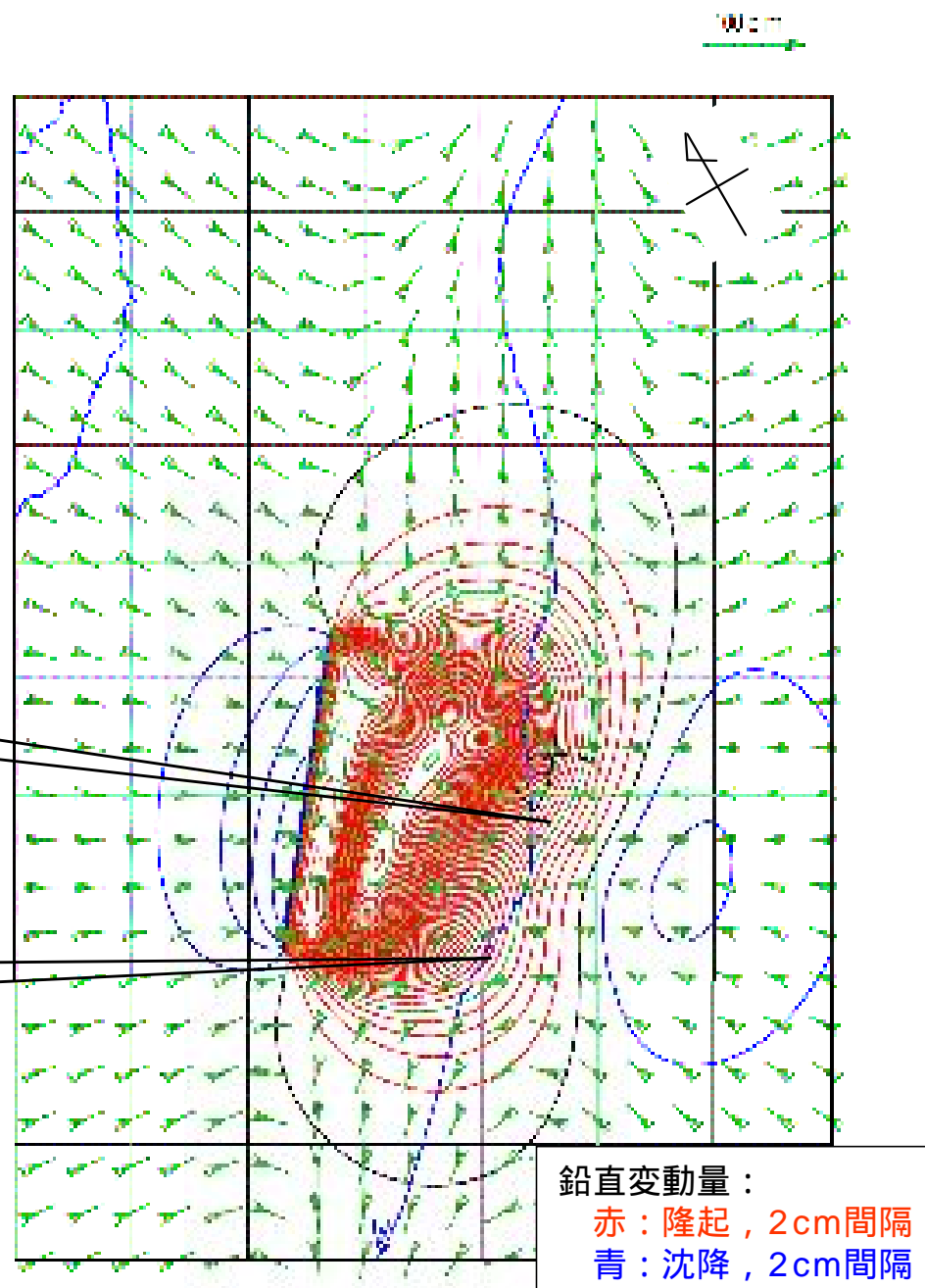
参考：中越沖地震 + F - B断層（長さ27km）による地殻変動

- 国土地理院による中越沖地震の解析結果にF - B断層（長さ27km）の地殻変動モデルによる計算結果を加えて地殻変動を計算した
 - 断層長さ：27km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜角：35°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では十数cm程度の隆起傾向を示し，南西側の隆起が大きくなる傾向を示す



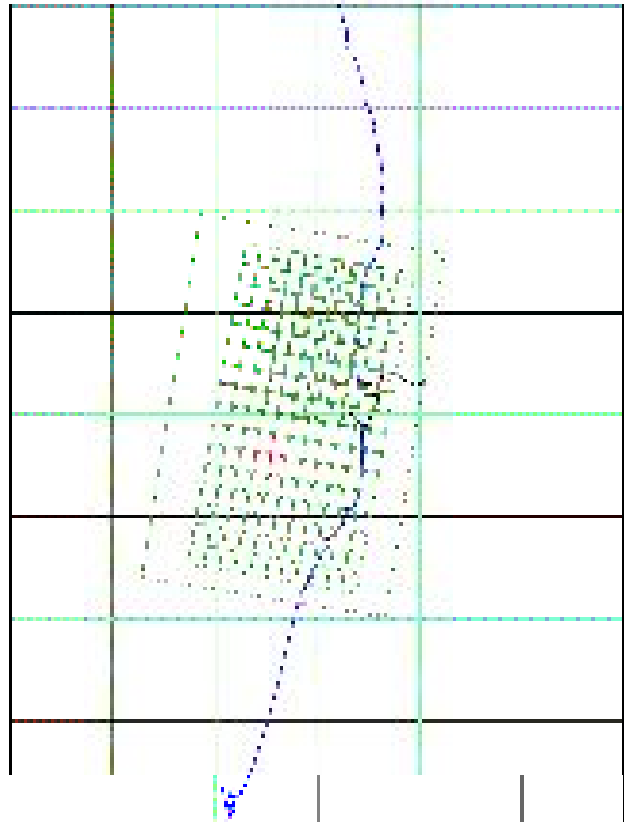
柏崎平野

米山海岸



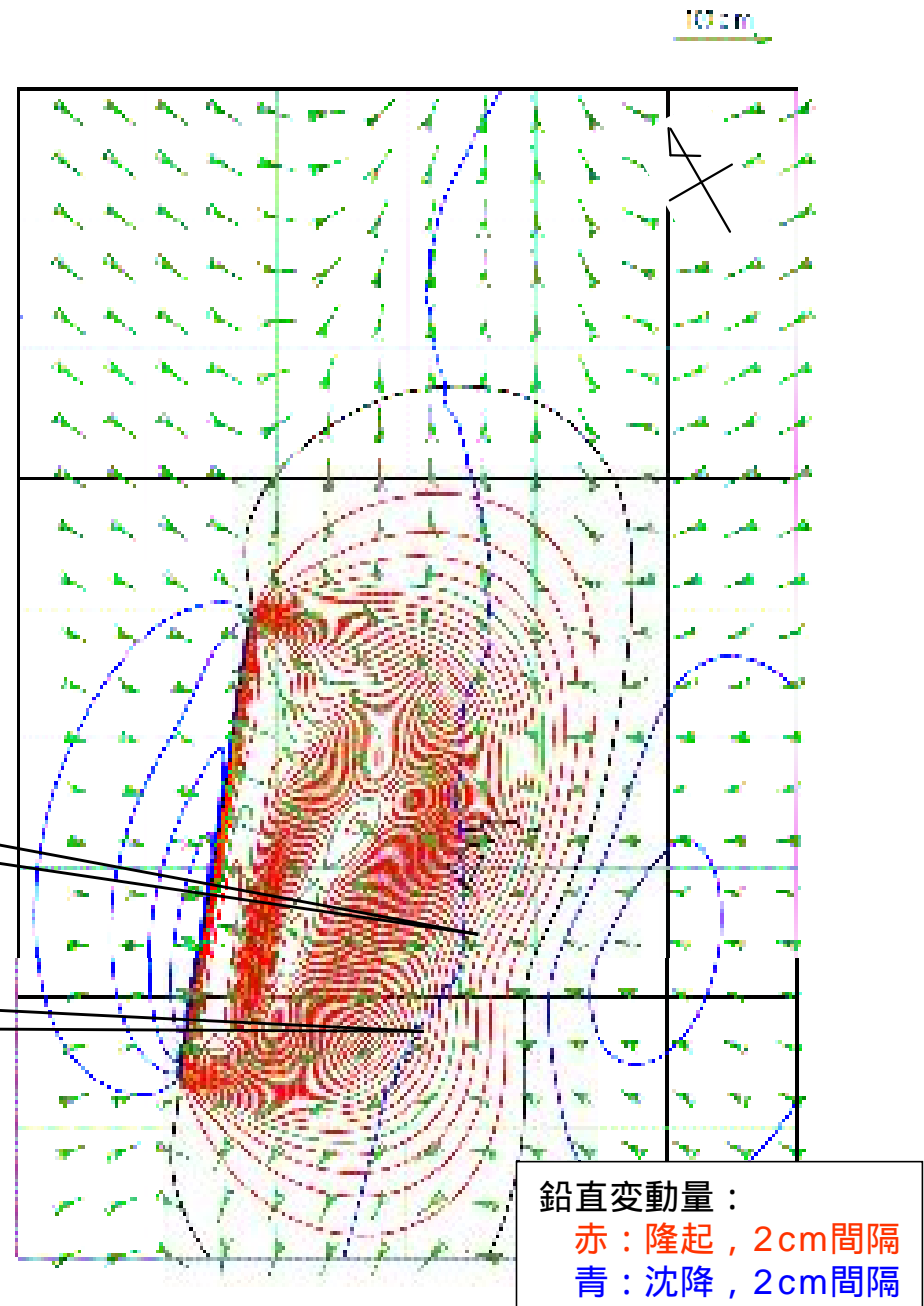
参考：中越沖地震 + F - B断層（長さ36km）による地殻変動

- 国土地理院による中越沖地震の解析結果にF - B断層（長さ36km）の地殻変動モデルによる計算結果を加えて地殻変動を計算した
 - 断層長さ：36km，深さ：0.1km～17km
 - 傾斜角：35°，すべり量：1m
- 米山海岸付近では十数cm程度の隆起傾向を示し，南西側の隆起が大きくなる傾向を示す



柏崎平野

米山海岸

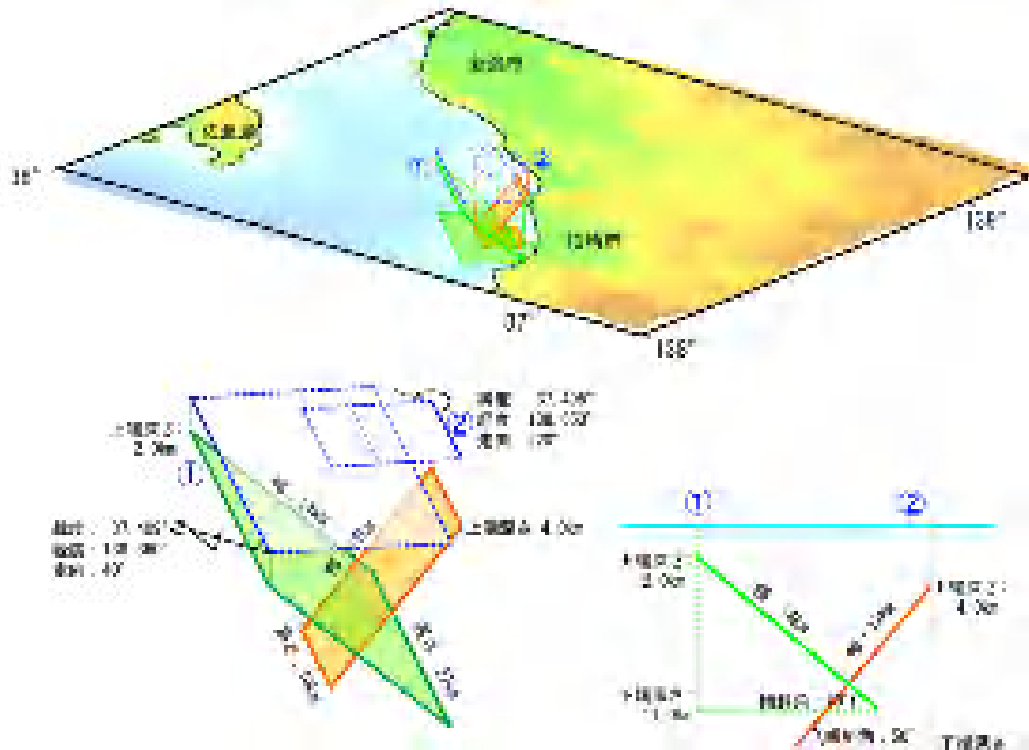


鉛直変動量：
赤：隆起，2cm間隔
青：沈降，2cm間隔

参考：国土地理院による新潟県中越沖地震の解析結果

- 敷地前面の海域は全体的に隆起している
- 敷地は0cm～6cm程度，敷地北側の観音岬付近では20cm以上隆起している
- 敷地南側～柏崎平野～米山海岸付近にかけては，沈降している

解析に用いた主要な滑り面の概念図



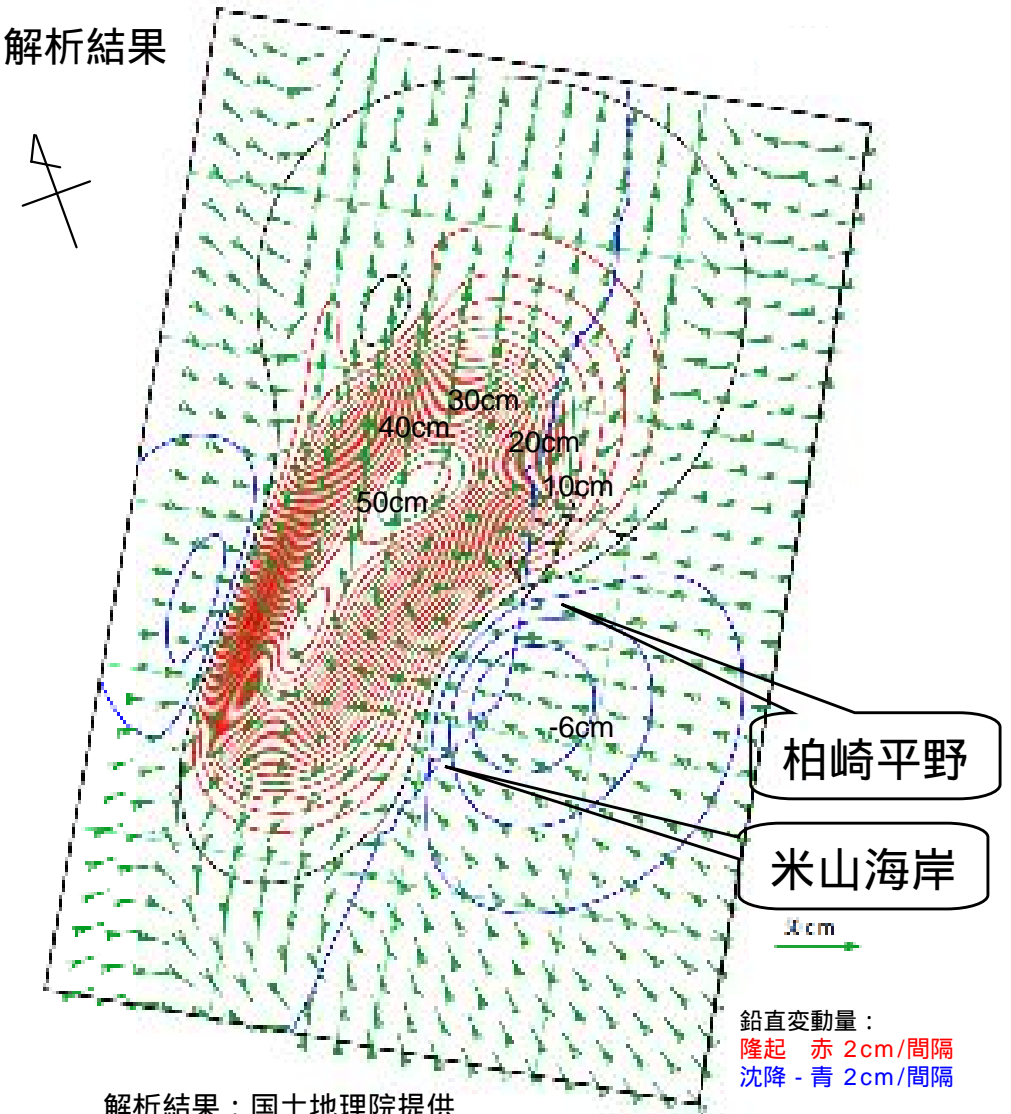
断層面の概略パラメータ

	経度	緯度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	モーメント・マグニチュード
①	137.409°	37.390°	2.0km	27km	14km	40°	40°	6.64
②	137.495°	37.653°	4.0km	10km	12km	220°	50°	6.24

[total] M 6.70

国土地理院HP

解析結果



解析結果：国土地理院提供

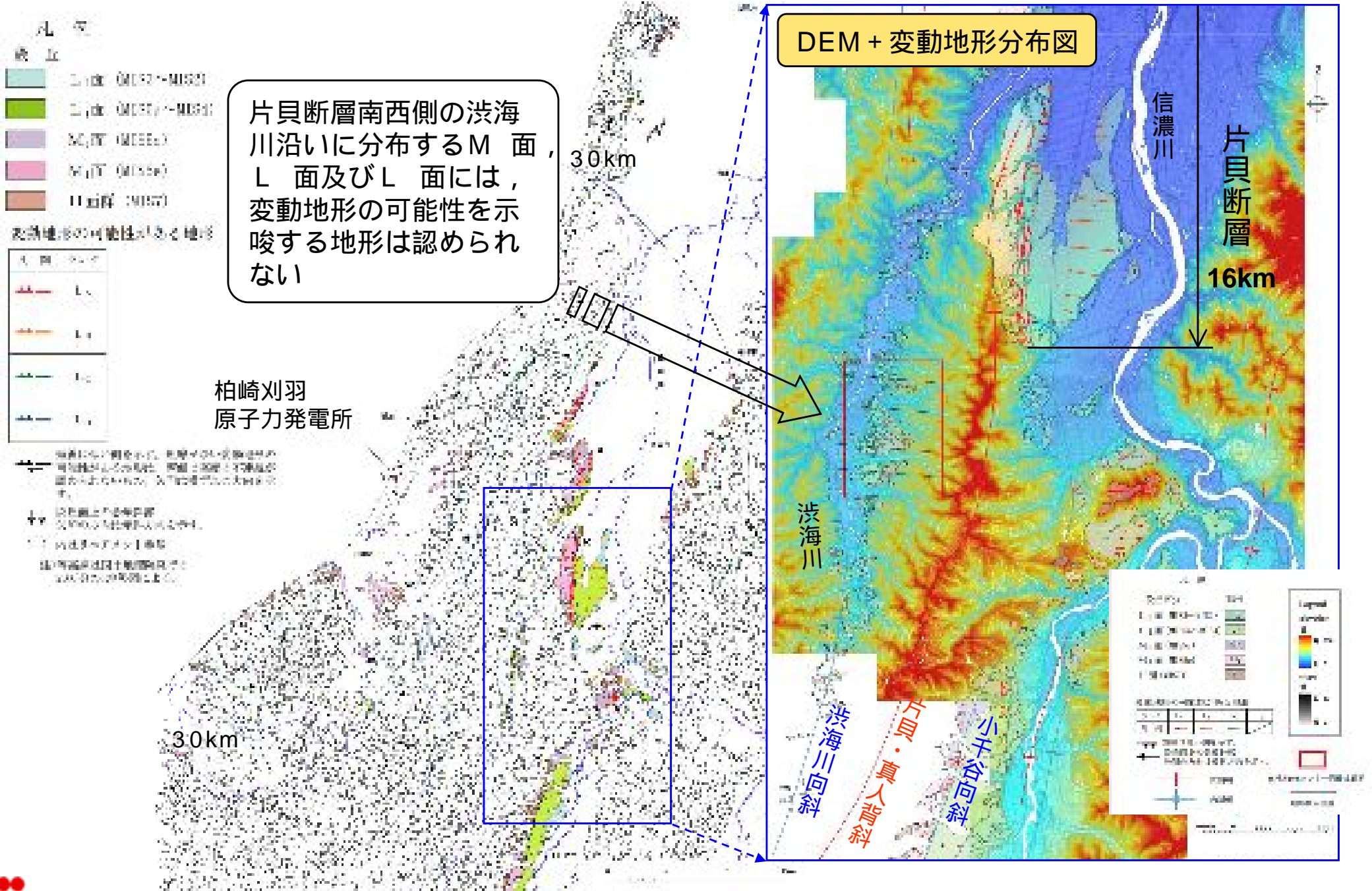
鉛直変動量：
隆起 - 赤 2cm/間隔
沈降 - 青 2cm/間隔

-
1. 米山海岸付近の段丘面高度と断層活動との関係について
 2. 渋海川沿いの段丘面の傾斜について

< 概要 >

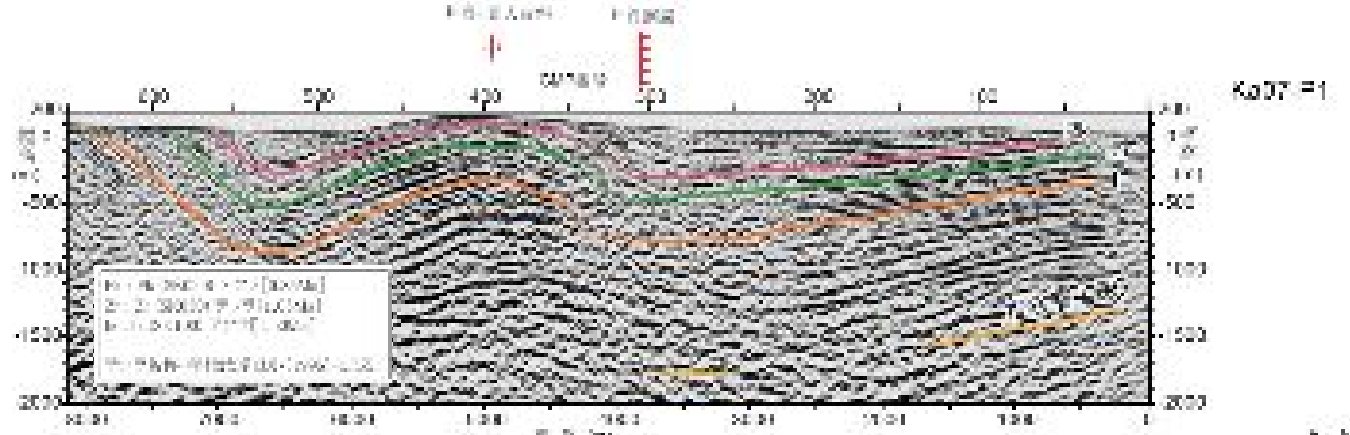
渋海川沿いに分布する段丘面の傾斜について，地形と地質構造との関係，詳細な段丘面区分を作成することにより，その原因について検討した

澁海川沿いの変動地形学的調査結果

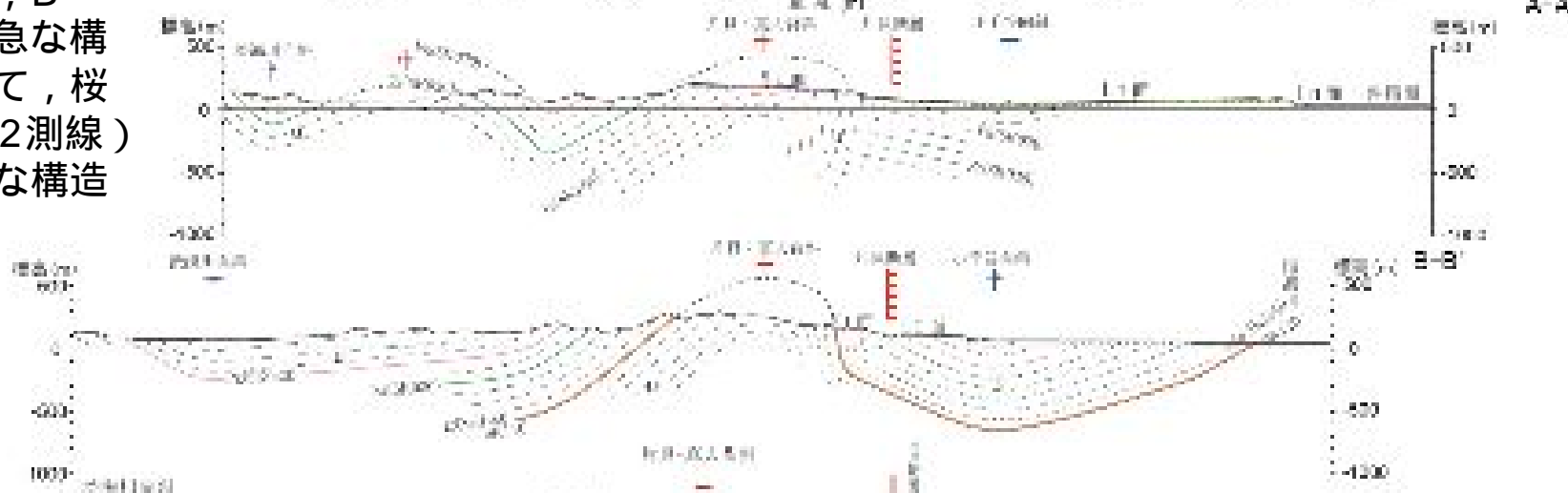


片貝・真人背斜の地質構造

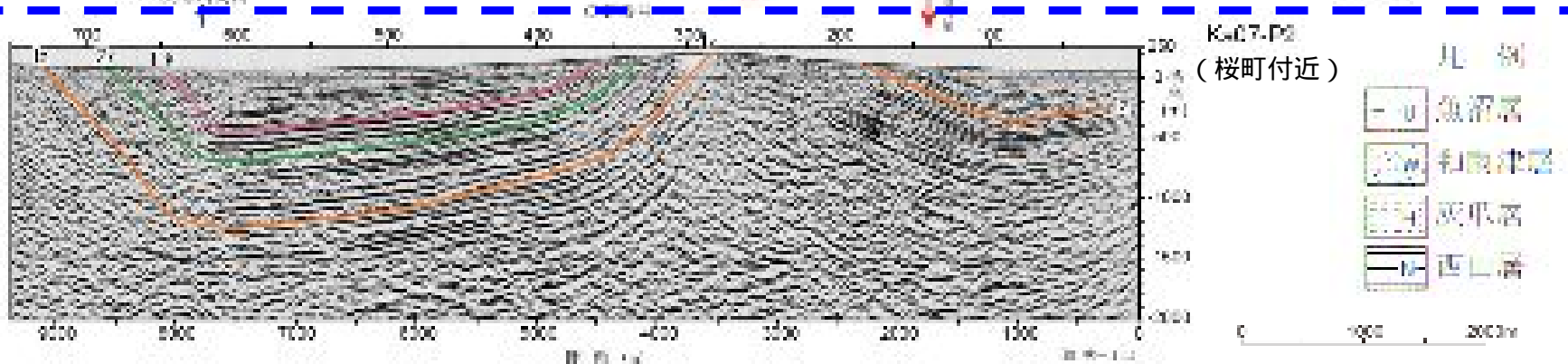
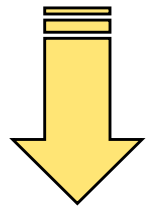
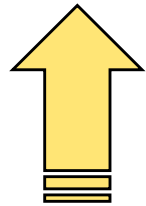
- 片貝・真人背斜は、その軸長が30kmに達する長大な背斜構造であり、Pkテフラ（0.85Ma）以下の地層がほぼ平行の褶曲構造を示すことから、Pkテフラ降下期以降に形成されたと考えられる



- 片貝・真人背斜は、B-B'以北では東翼が急な構造を示すのに対して、桜町付近（Ka07-P2測線）以南では西翼が急な構造を示す

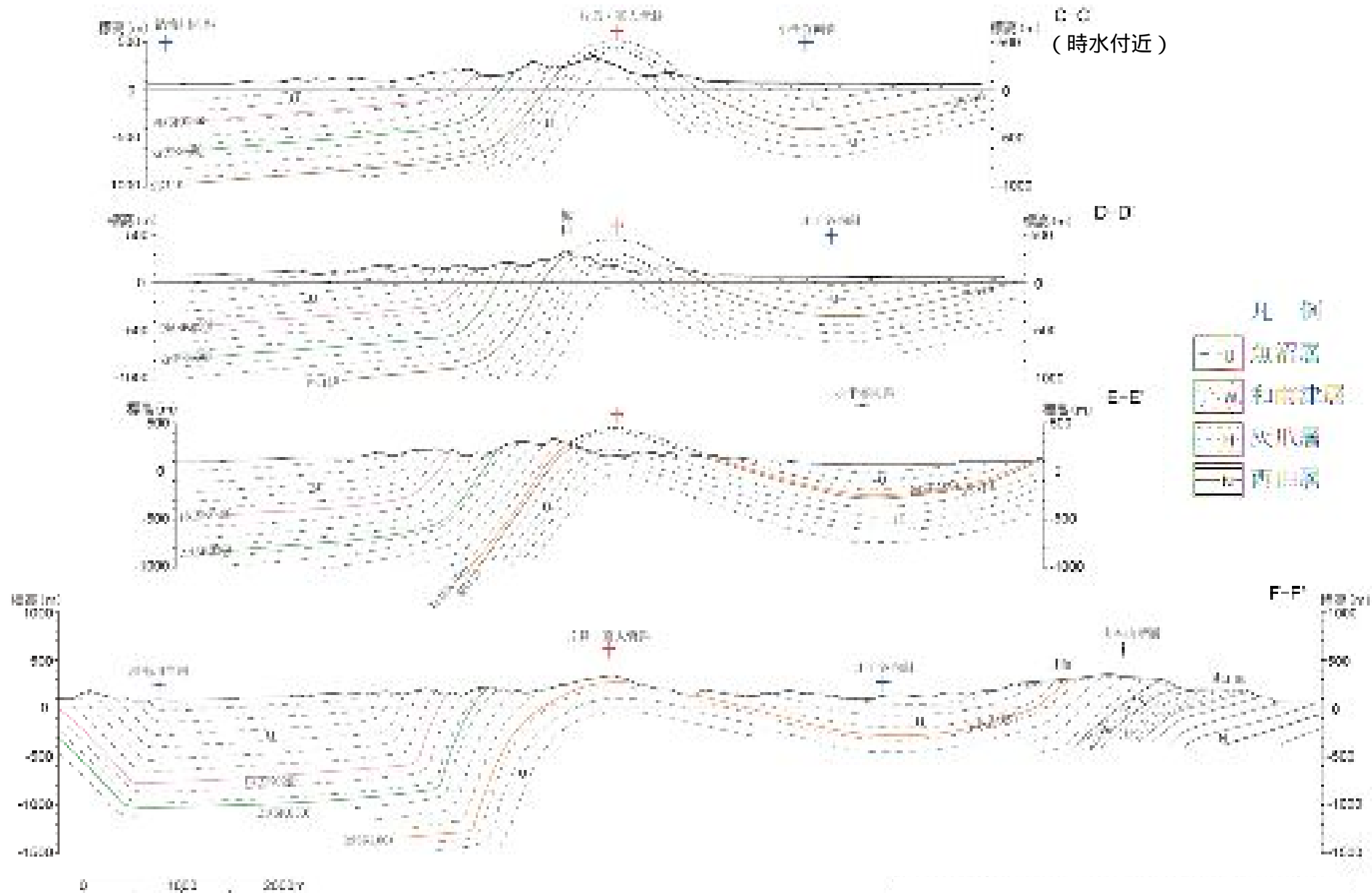


構造が異なる



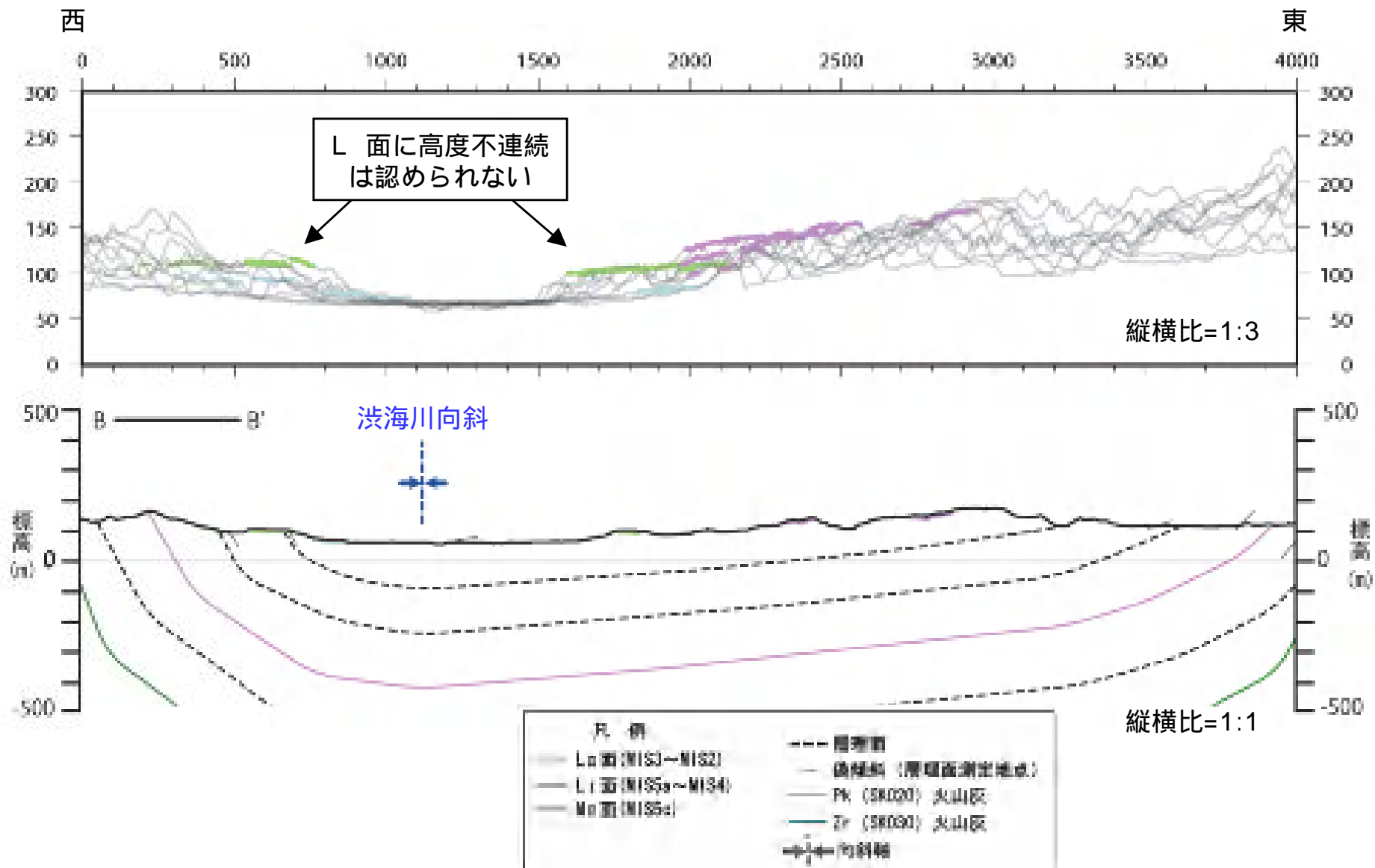
片貝・真人背斜の地質構造

- 時水付近以南（片貝断層南方延長部）においては，南になるに従い片貝・真人背斜西翼は急な構造を示し，同背斜東翼の小千谷向斜は緩やかな長波長となる



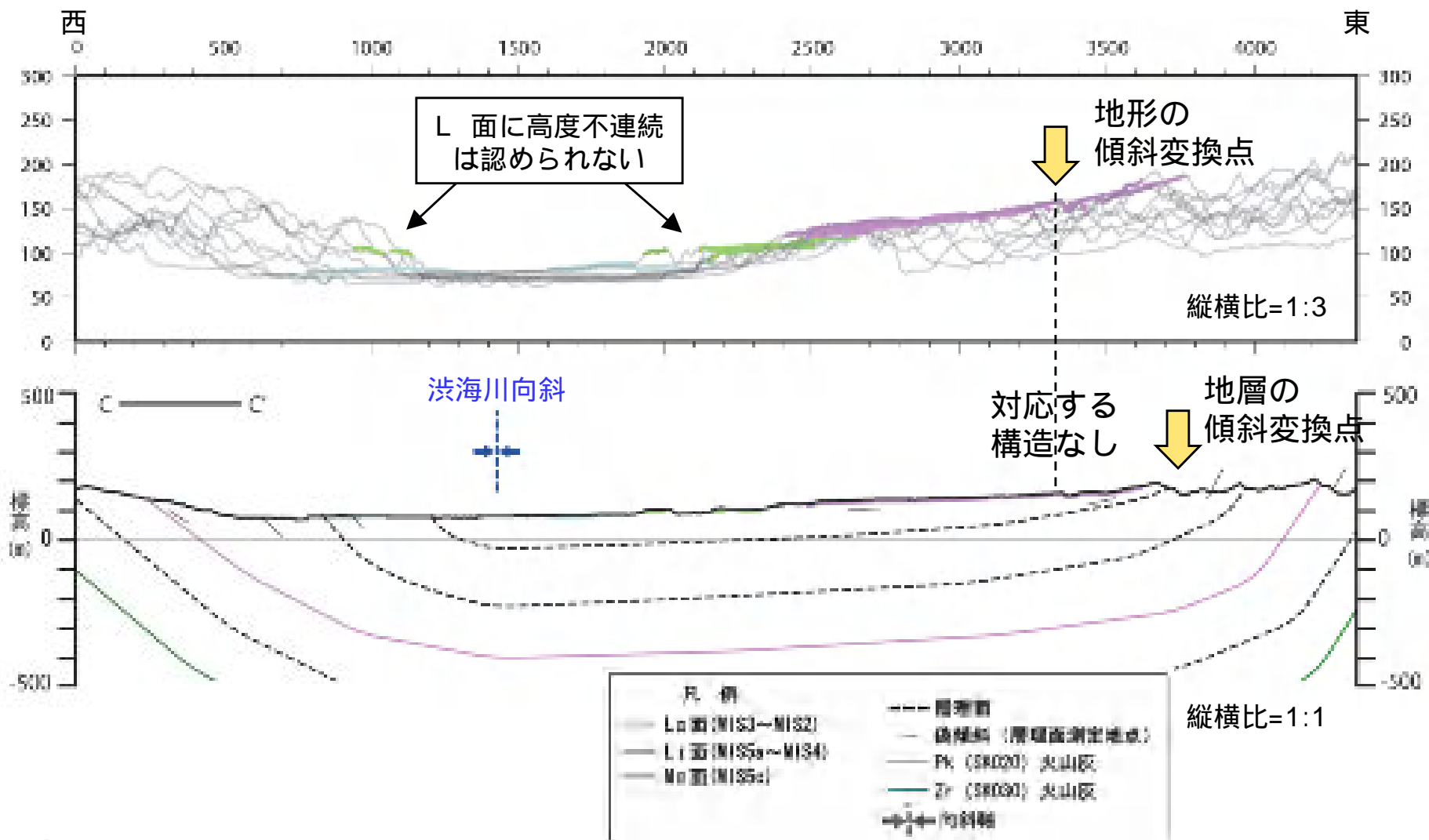
渋海川沿いの段丘面と地質構造との関係 (B - B')

- 魚沼層の地質構造は，渋海川向斜の西翼部では東傾斜，東翼部では緩やかな西傾斜を示す。
- 渋海川向斜を挟んで，L 面に明瞭な高度不連続は認められない



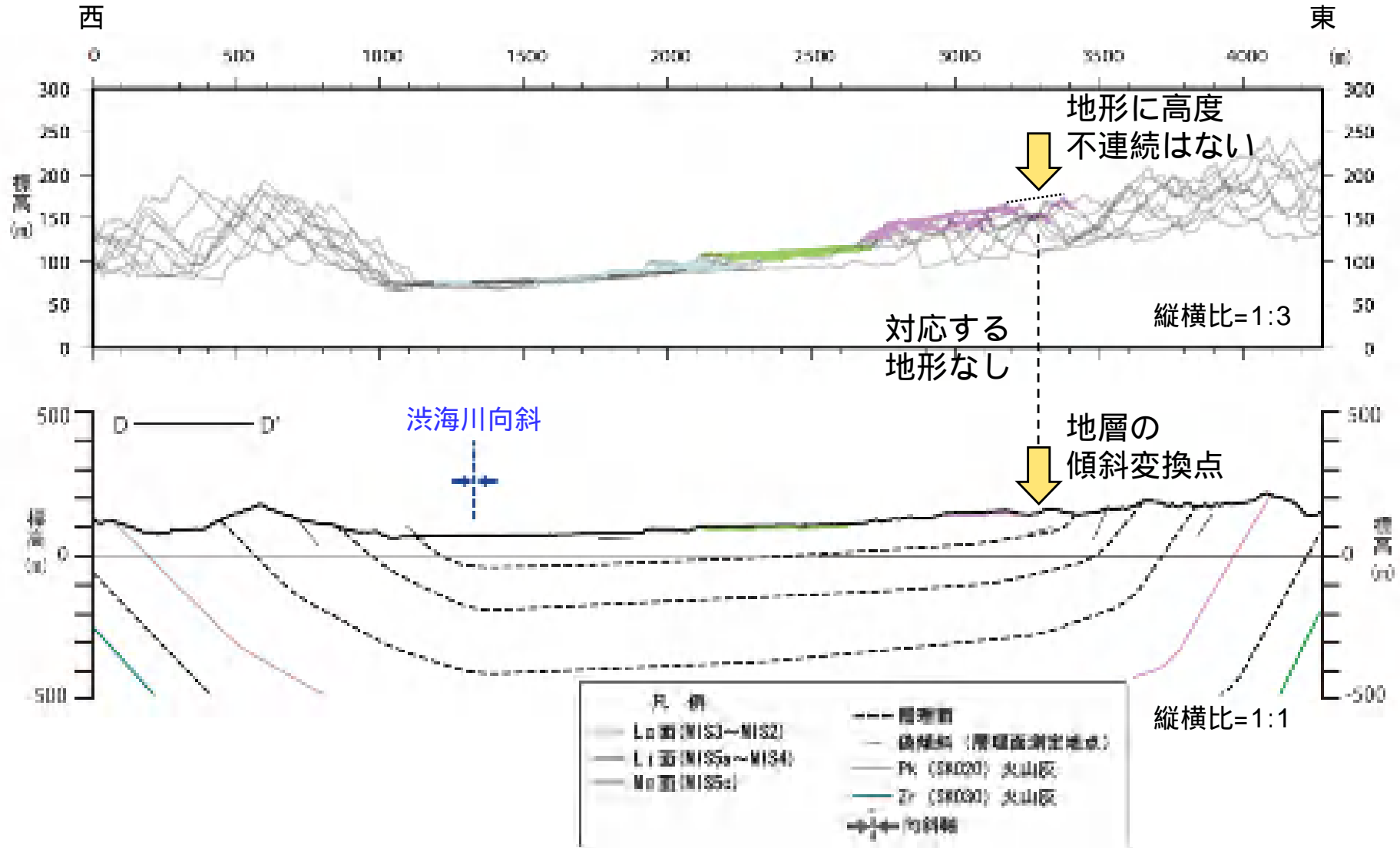
渋海川沿いの段丘面と地質構造との関係 (C - C')

- 魚沼層の地質構造は、渋海川向斜の西翼部では東傾斜、東翼部では緩やかな西傾斜を示し、さらにその東側で地層の傾斜は大きくなる様子を示す
- 渋海川向斜を挟んで、L 面に明瞭な高度不連続は認められない
- M 面の傾斜変換点は断面起点から3300m付近にあるが、魚沼層にみられる地層の傾斜変換点は断面起点から3800m付近にあり、M 面の傾斜変換点に対応する構造が認められない



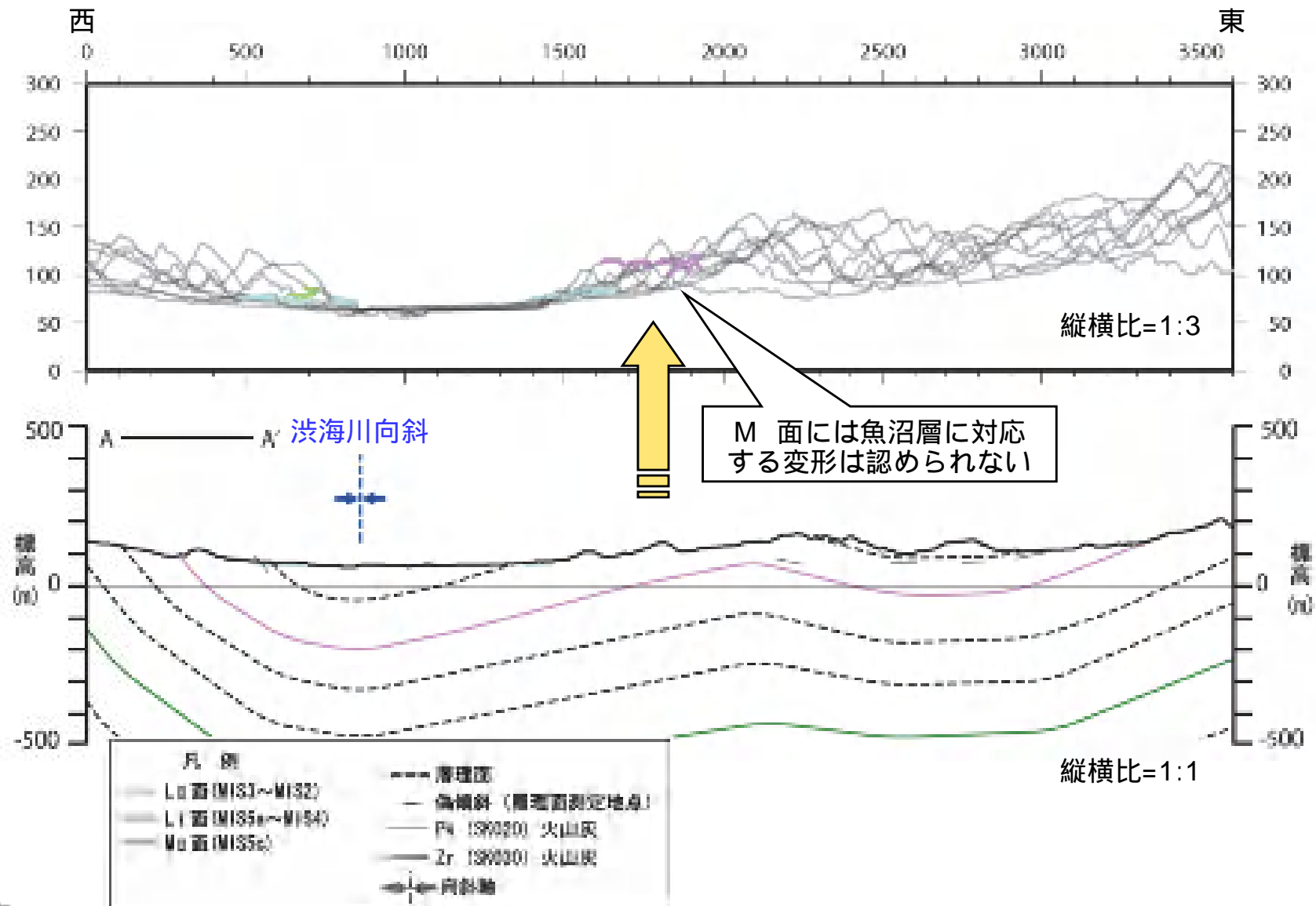
渋海川沿いの段丘面と地質構造との関係 (D - D')

- 魚沼層の地質構造は，渋海川向斜の西翼部では東傾斜，東翼部では緩やかな西傾斜を示し，さらにその東側で地層の傾斜は大きくなる様子を示す
- 魚沼層には，地層の傾斜変換点が断面起点から3300m付近にみられるが，M面に高度不連続はなく対応する地形は認められない



渋海川沿いの段丘面と地質構造との関係 (A - A')

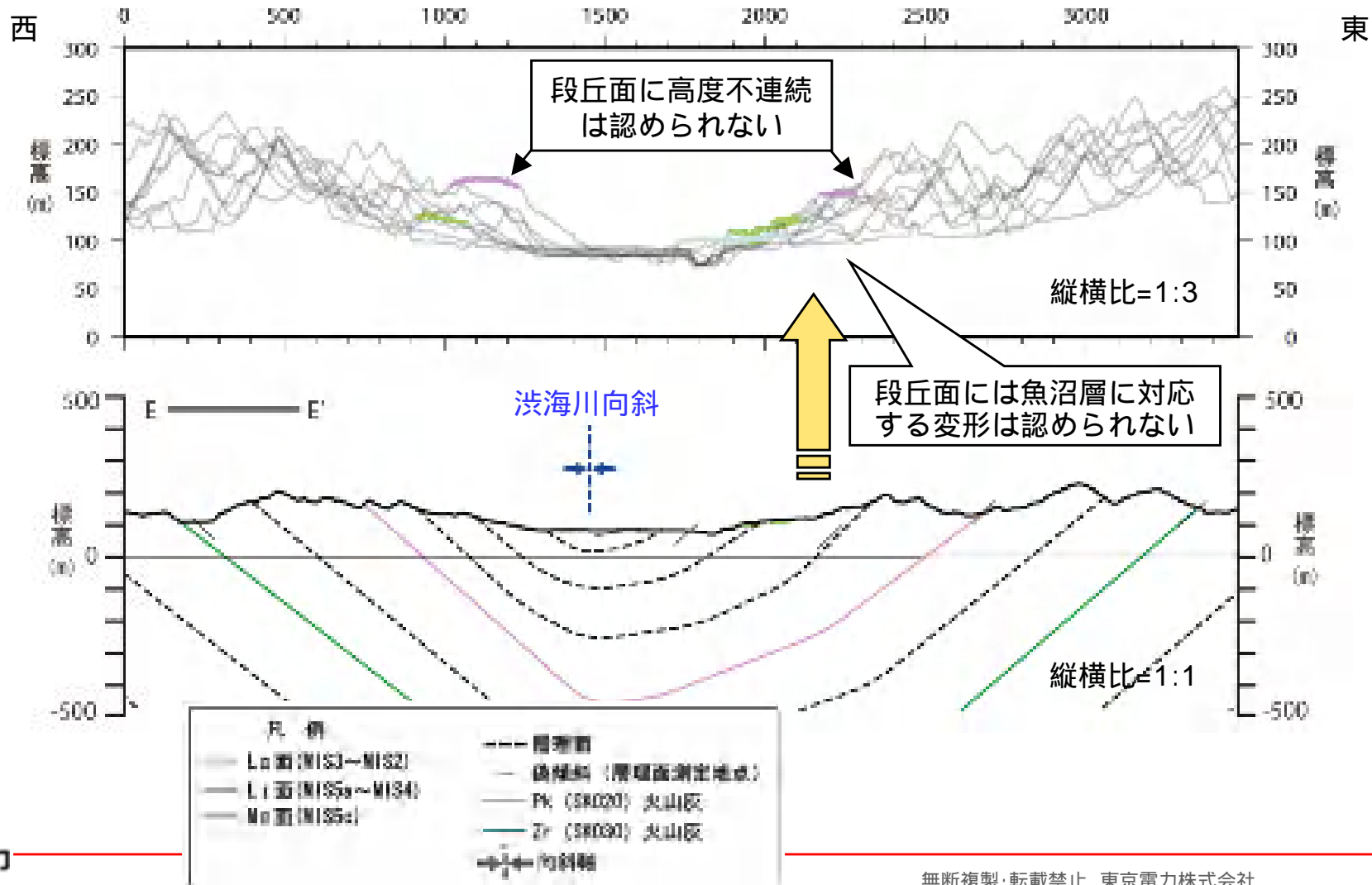
- 魚沼層の地質構造は，渋海川向斜の西翼部では東傾斜，東翼部では西傾斜を示す
- 魚沼層は褶曲しているが，M 面に対応する変形は認められない



渋海川沿いの段丘面と地質構造との関係 (E - E')

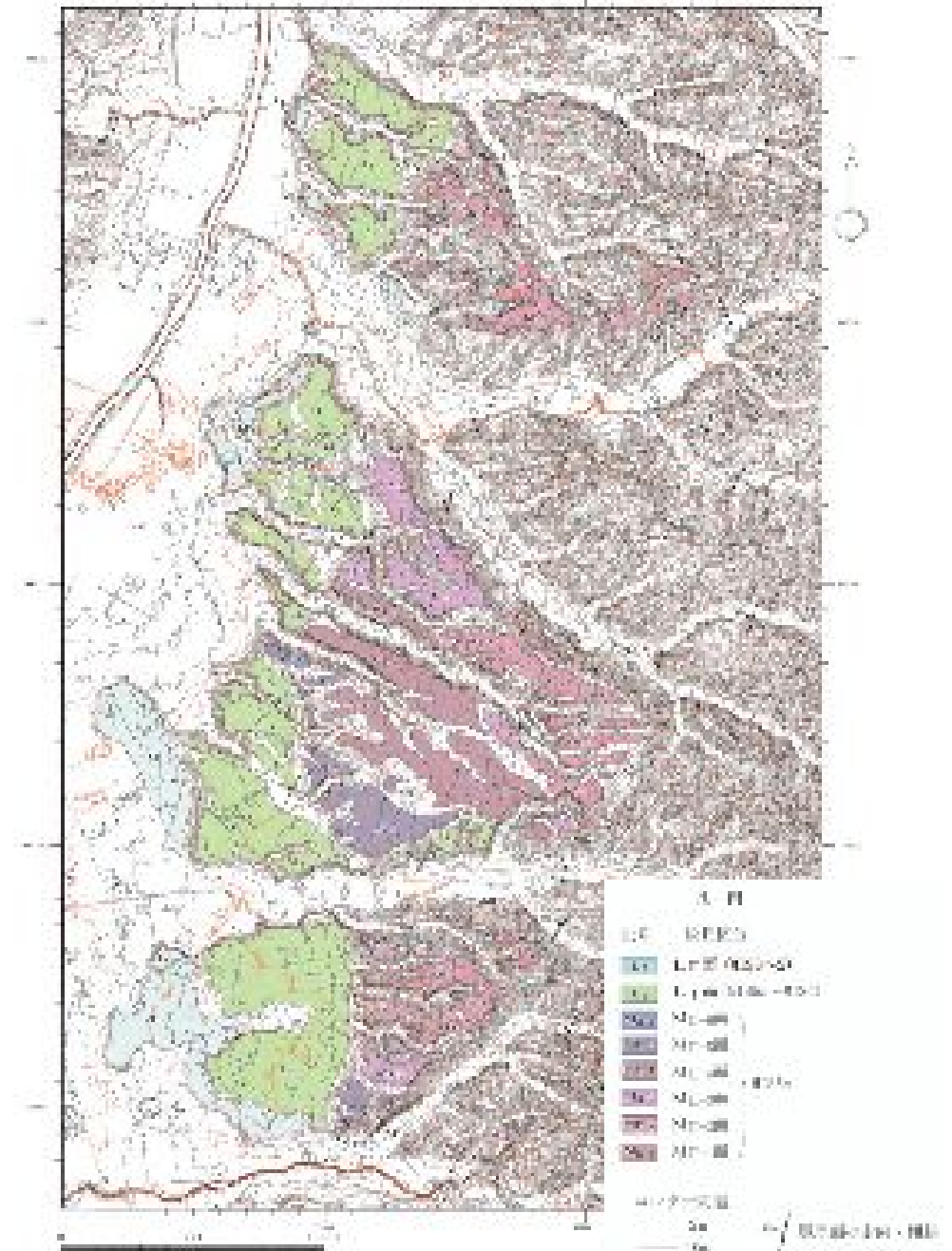
- 魚沼層の地質構造は，渋海川向斜の西翼部では東傾斜，東翼部では西傾斜を示す
- 渋海川向斜を挟んで，M₁，L₁ 面に明瞭な高度不連続は認められない
- 渋海川向斜東翼部では，魚沼層は西急傾斜を示すのに対して，M₁ 面等に対応する変形は認められない

以上から，A - A'断面から E - E'断面において，渋海川沿いに分布する段丘面と地質構造に明瞭な対応は認められない



段丘面の傾斜の成因

- M面の微地形に関して、詳細な判読を行った。判読に際しては、面の高度分布、開析の程度、面上に認められる比高が数mの崖地形などに着目して、微地形を抽出した
- その結果、M面は、高位から1～6の6面に細分され、これらの細分した各面は、いずれもほぼ東西方向の崖で接しており、かつ、渋海川本流に向って面は傾斜し、分布も広くなる
- このことから、M面は、渋海川本流に向って西流する支流により形成された扇状地性の段丘面と判断される



まとめ

- 片貝・真人背斜は、地表地質調査、反射法地震探査等の結果によると、片貝断層の南端としている小千谷市桜町付近を境にその構造が異なる
- また、片貝・真人背斜は、地質構造と段丘面の変形との関係から、Pkテフラ降下期（0.85Ma）以降に形成され、桜町付近以北では中位段丘面形成以降、現在も成長しているが、桜町付近以南の時水や真人町付近では、中位段丘形面形成以降の活発な活動は認められない
- 片貝断層の南西方向の渋海川沿いに分布する段丘面は、魚沼層の構造との対応が明瞭ではない
- 渋海川沿いに分布する中位段丘面について、微地形の詳細な判読を行い細分した各面は、いずれもほぼ東西方向の崖で接しており、かつ、渋海川本流に向って面は傾斜し、分布も広くなる
- 以上のことから、渋海川沿いの段丘面が傾斜しているのは、渋海川本流に向って西流する支流により形成された扇状地性の段丘面であるためと判断される

参考文献

- 渡辺満久・堤浩之・宮内崇裕・金幸隆・藤本大介（2002）：2万5千分の1都市圏活断層図「高田」．国土地理院技術資料D・1-No.396．
- 中田 高・今泉俊文編（2002）：活断層詳細デジタルマップ．東京大学出版会
- 地質調査総合センター（2007）：活断層データベース．
<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/>
- 竹内圭史・吉村尚久・加藤碩一（1996）：柿崎地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所．
- 早津賢二・新井房夫・白井 亨（1982）：新潟県高田平野の中位段丘と古砂丘 - 形成時代についての火山灰編年学的考察 - ．地質雑誌，91，1-16．
- Rongjiang Wang, Francisco Lorenzo Martin, Frank Roth (2003) : Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust – FORTRAN programs EDGRN/EDCMP. Computers & Geosciences 29.