

中子軽石層 (NG) ・飯縄上樽cテフラ (Iz-Ktc) の年代②

- ・中子軽石層は、新編「火山灰アトラス」(2003)によると、飯縄上樽cテフラ(Iz-Ktc)に対比され、その年代は130kaあるいはそれ以前とされている。
- ・鈴木(2001)は、本テフラとその上位2枚のテフラを合わせて飯縄上樽テフラ群(上位からIz-Kta, b, c)と呼び、このテフラ群の年代をその上位及び下位のK-Ar年代などから120kaから150kaの間とし、飯縄上樽cテフラの年代は150kaよりも古くなるとは考えにくいとしている。

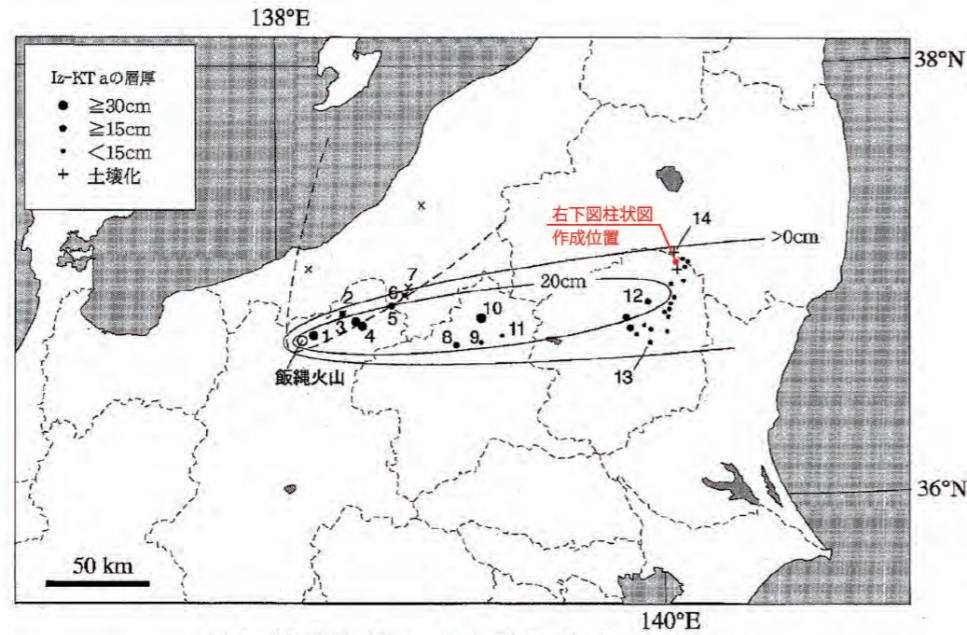


図1 飯縄上樽テフラ群の分布
 実線はIz-KT aの層厚等値線(cm), 破線は早津・新井(1982b, c)によるIz-KT cの分布域を示し, ×はIz-KT cが確認されている地点を示す, ゴシックの数字は地点番号.

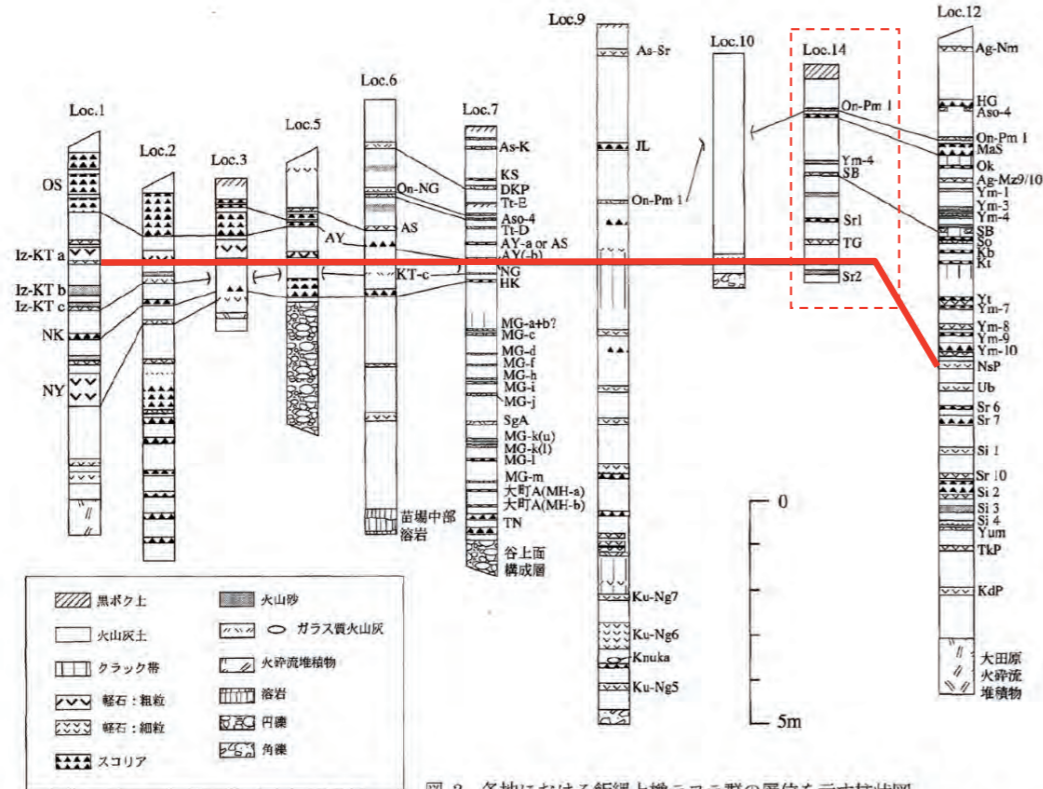
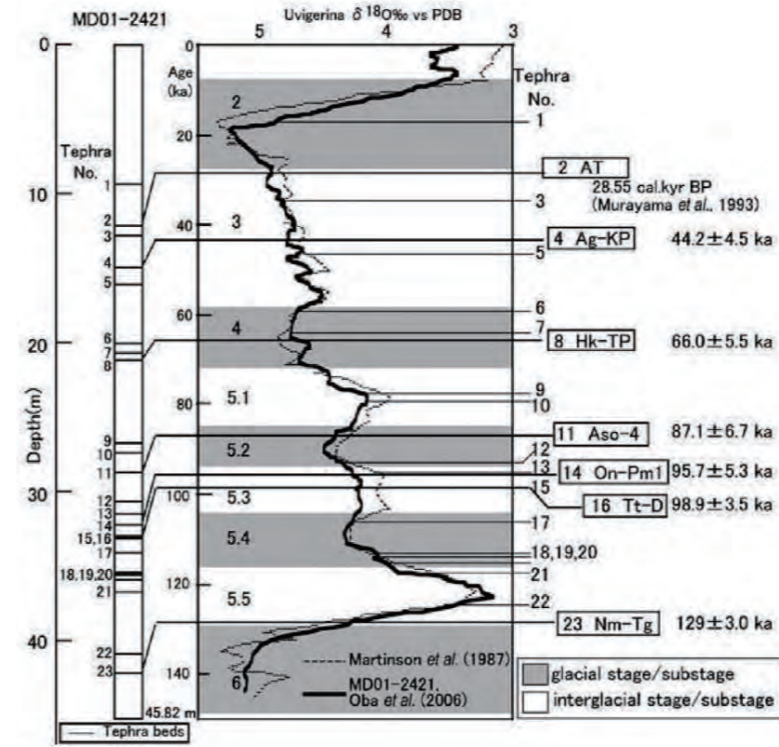


図2 各地における飯縄上樽テフラ群の層位を示す柱状図
 地点は図1を参照. テフラ層の名称は、本文または以下の文献を参照, Loc. 7(早津・新井, 1981; 早津, 1985), Locs. 14, 12(鈴木, 1992, 1993).

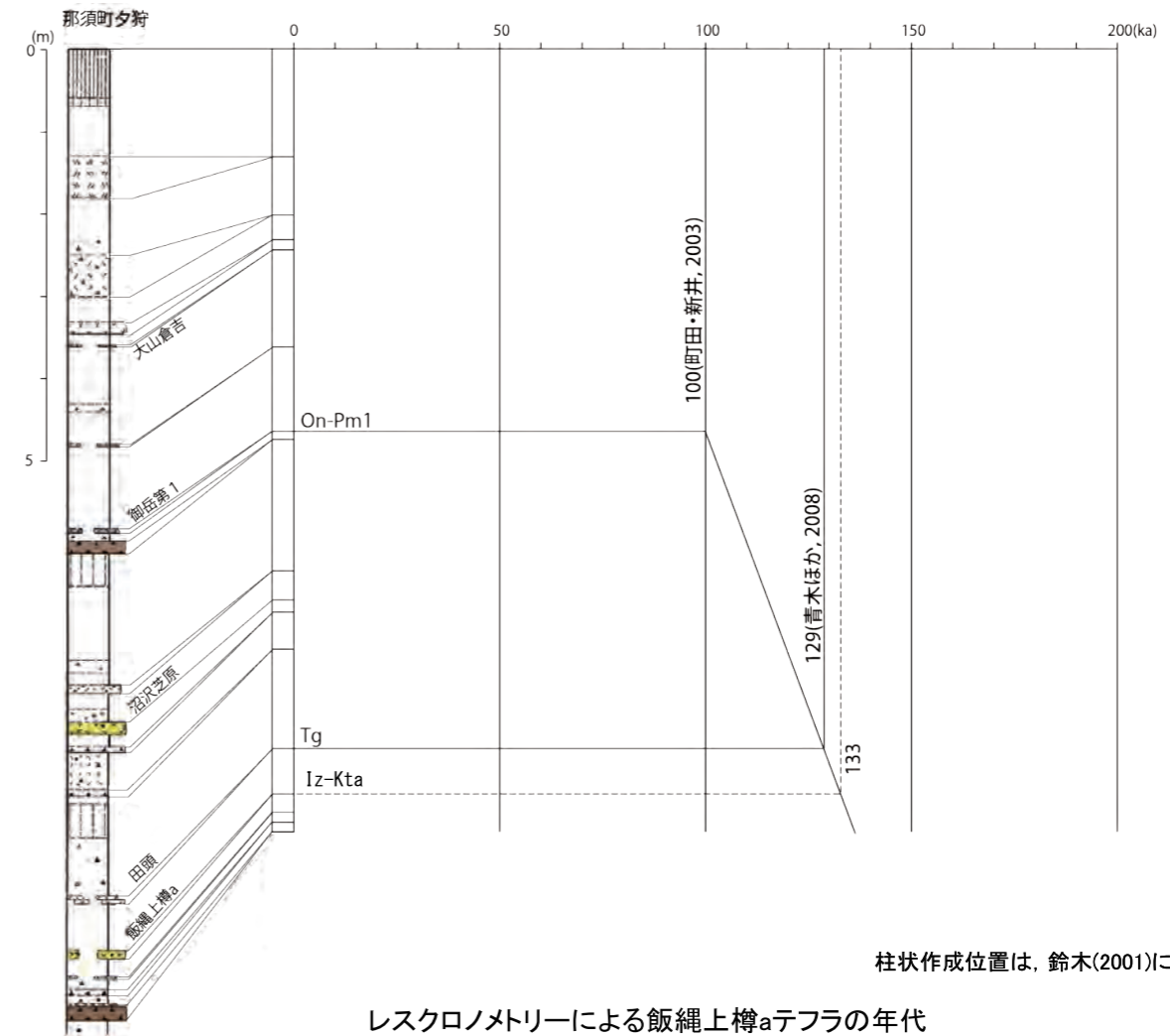
鈴木(2001)による飯縄上樽テフラ群(Iz-Kt)の分布



・青木ほか(2008)は、鹿島沖海底コア(MD01-2421)のテフラ層序について記載を行うとともに、酸素同位体層序に基づきテフラの年代を算出して、飯縄上樽テフラ群のうち最上部の飯縄上樽aテフラの上位に分布する田頭テフラ(Tg)の年代を129±3kaとしている。

図, MD*+, +コアの柱状図, テフラの層位および酸素同位体層序
 Martinson et al. (1987)とMD*+, +コア(Oba et al., **0)の酸素同位体比カーブは、それらの平均値が重なるように示されている, PDB: Peedee層のベレムナイト化石.

青木ほか(2008)による田頭テフラ(Tg)の年代



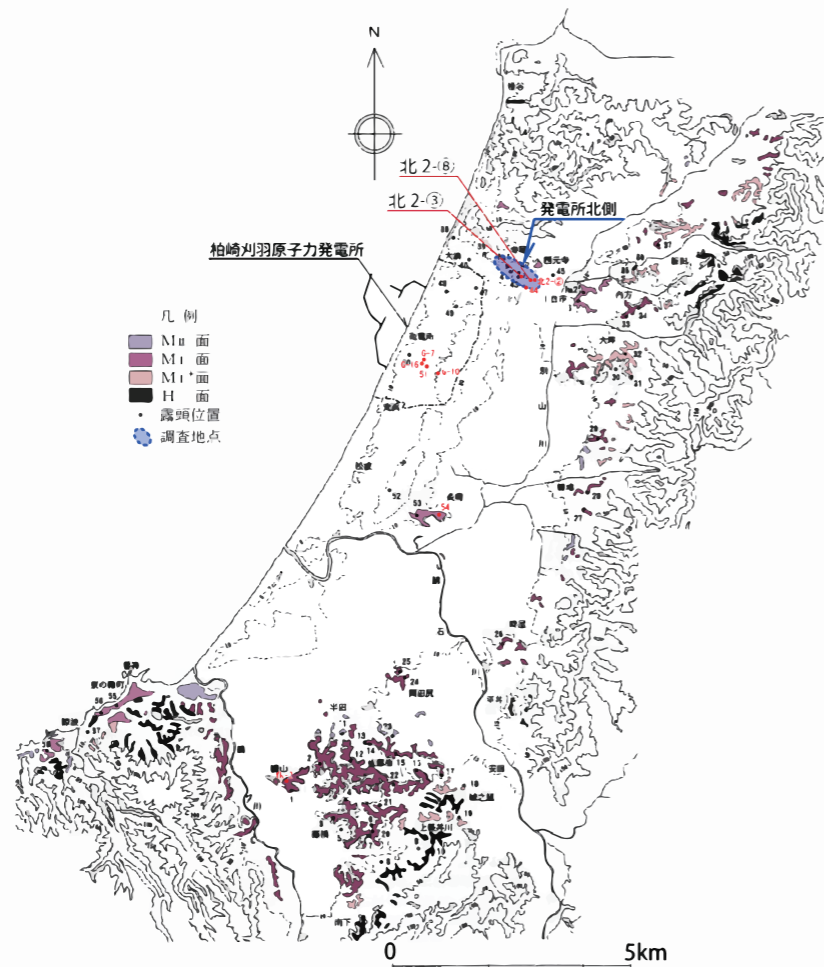
柱状作成位置は、鈴木(2001)に加筆

レスクロノメリーによる飯縄上樽aテフラの年代

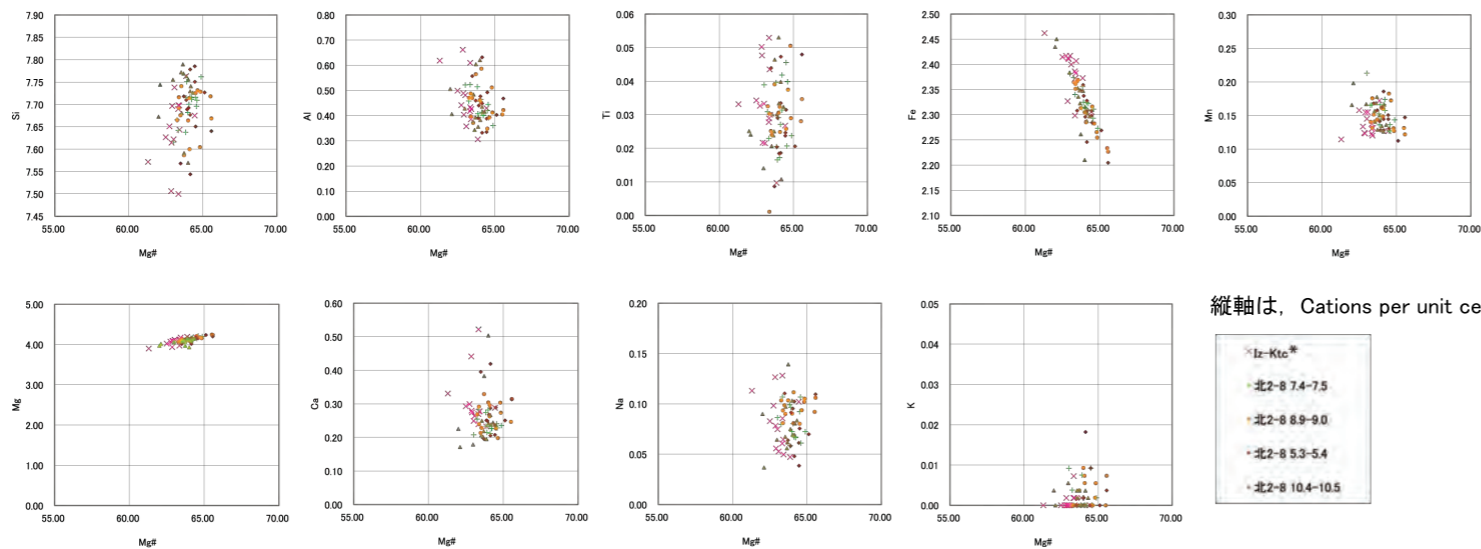
・飯縄上樽a及び田頭の両テフラが分布する那須町において、御岳第1テフラの年代を100ka、田頭テフラの年代を129kaとして、レスクロノメリーに基づき飯縄上樽aテフラの年代を外挿した結果、約133kaの値が得られた。すなわち、鈴木(2001)及び青木ほか(2008)に基づくと、飯縄上樽cテフラの年代はMIS6の後期あるいは末期となる。

中子軽石層 (NG) ・飯縄上樽cテフラ (Iz-Ktc) の年代③

・発電所北側地点において、安田層下部層及び大湊砂層・番神砂層についてテフラ分析を行った。その結果、安田層下部層からはカミングトン閃石は検出されず、大湊砂層最下部付近から上位にカミングトン閃石が連続的に産出し、その含有量は上位に向かって増加する。カミングトン閃石の含有量は、明瞭な産出ピークは認められないものの、大湊砂層と番神砂層との境界付近で極大となり、番神砂層中では減少し、連続的な産出も認められなくなることが明らかとなった。また、カミングトン閃石含有量の多い複数の層準について主成分分析を行った結果、飯縄上樽cテフラの主成分と一致することを確認した。

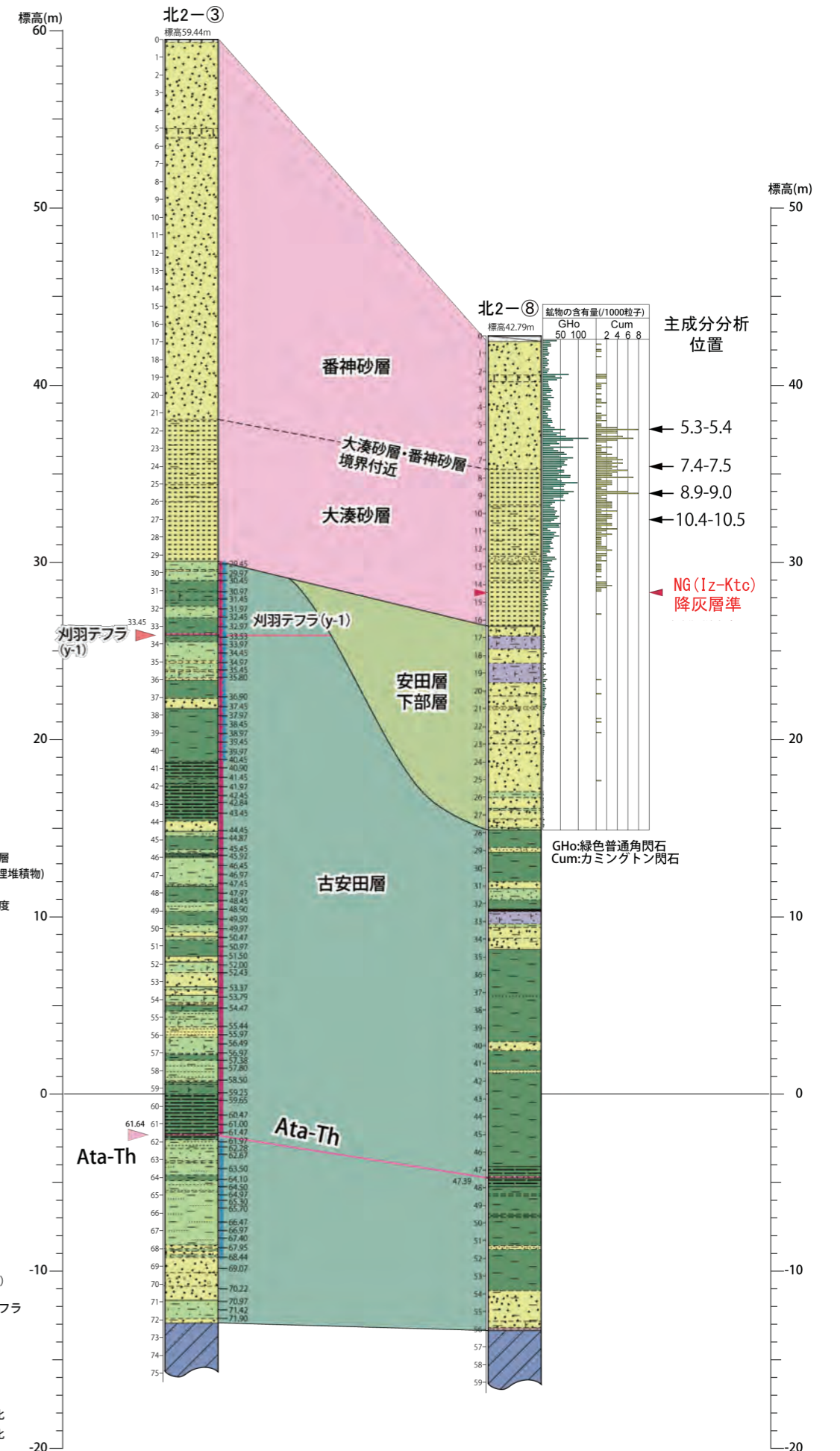


調査位置図



北2-⑧孔のカミングトン閃石主成分分析結果

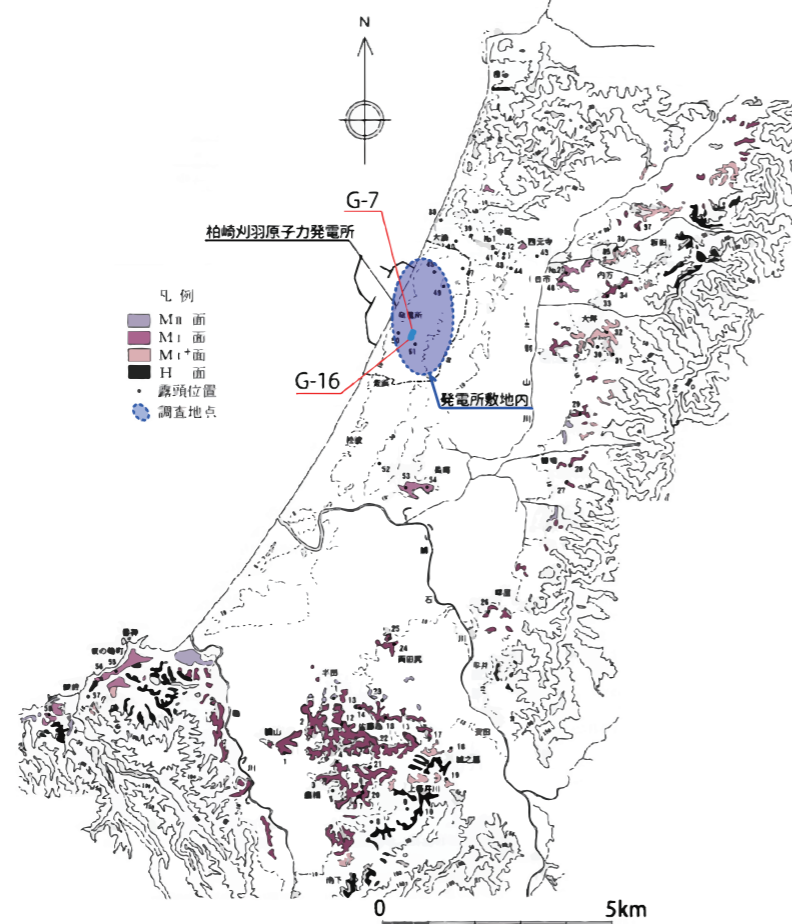
*: 鈴木 (2001) の飯縄上樽テフラ群の標識地 (長野県信濃町高山の Loc.1) の飯縄上樽cテフラ (Iz-Ktc) の分析値



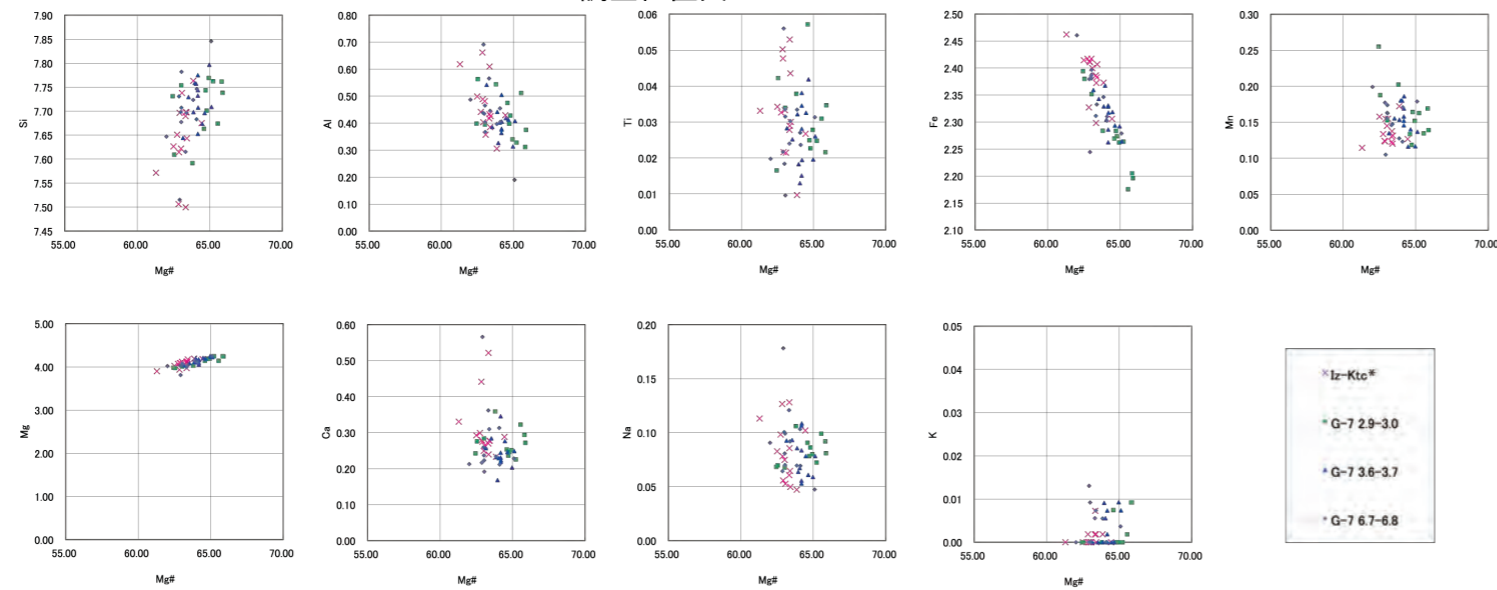
北2-⑧孔のテフラ分析結果

中子軽石層 (NG) ・飯縄上樽cテフラ (Iz-Ktc) の年代④

・発電所敷地内において、古安田層及び大湊砂層、番神砂層について、テフラ分析を行った。その結果、古安田層中からはカミングトン閃石は検出されず、発電所北側地点と同様、大湊砂層最下部付近から上位にカミングトン閃石が連続的に産出し、その含有量は上位に向かって増加することが明らかとなった。また、カミングトン閃石含有量の多い複数の層準について主成分分析を行った結果、飯縄上樽cテフラの主成分と一致することを確認した。



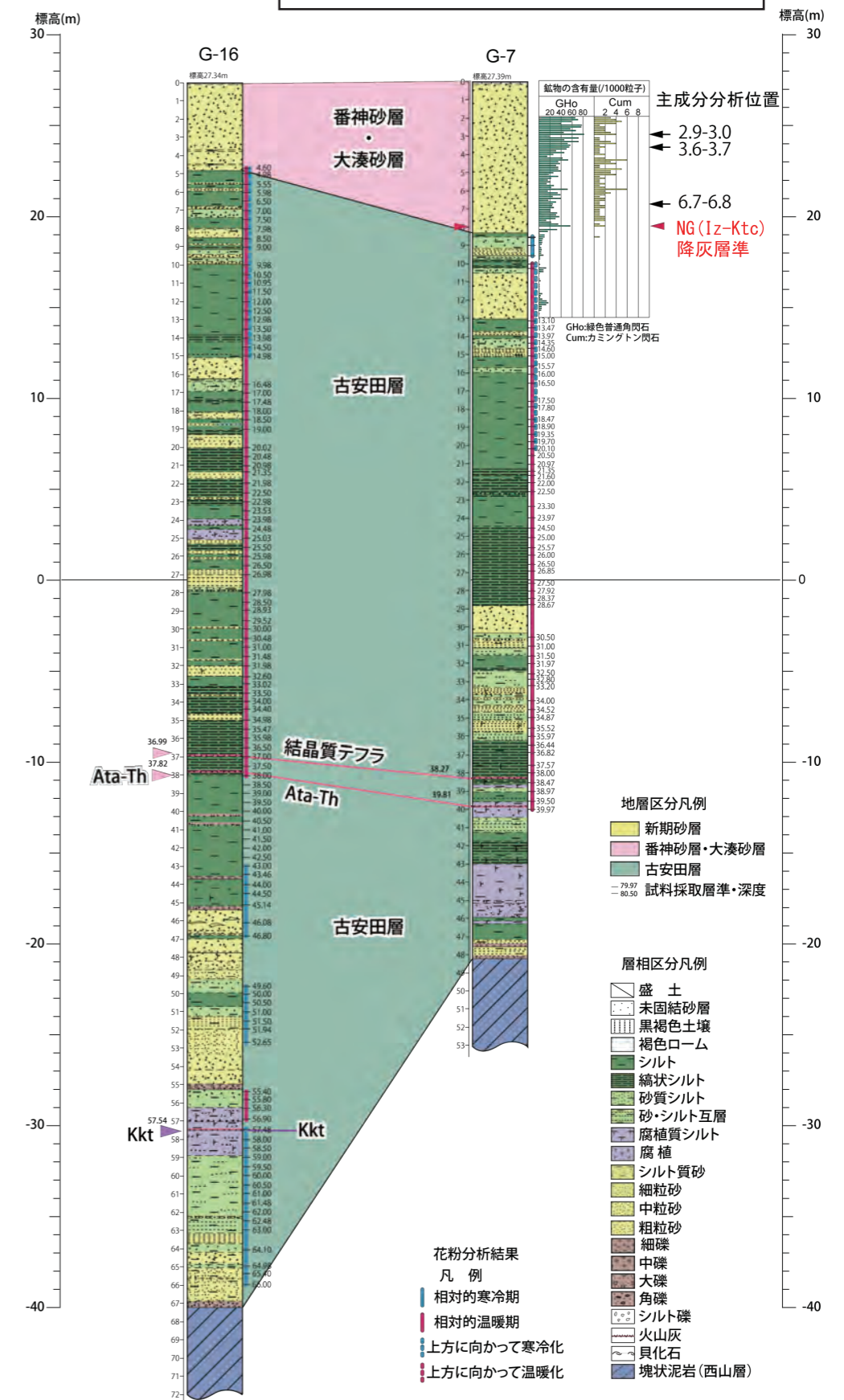
調査位置図



G-7孔のテフラ(カミングトン閃石)主成分分析結果

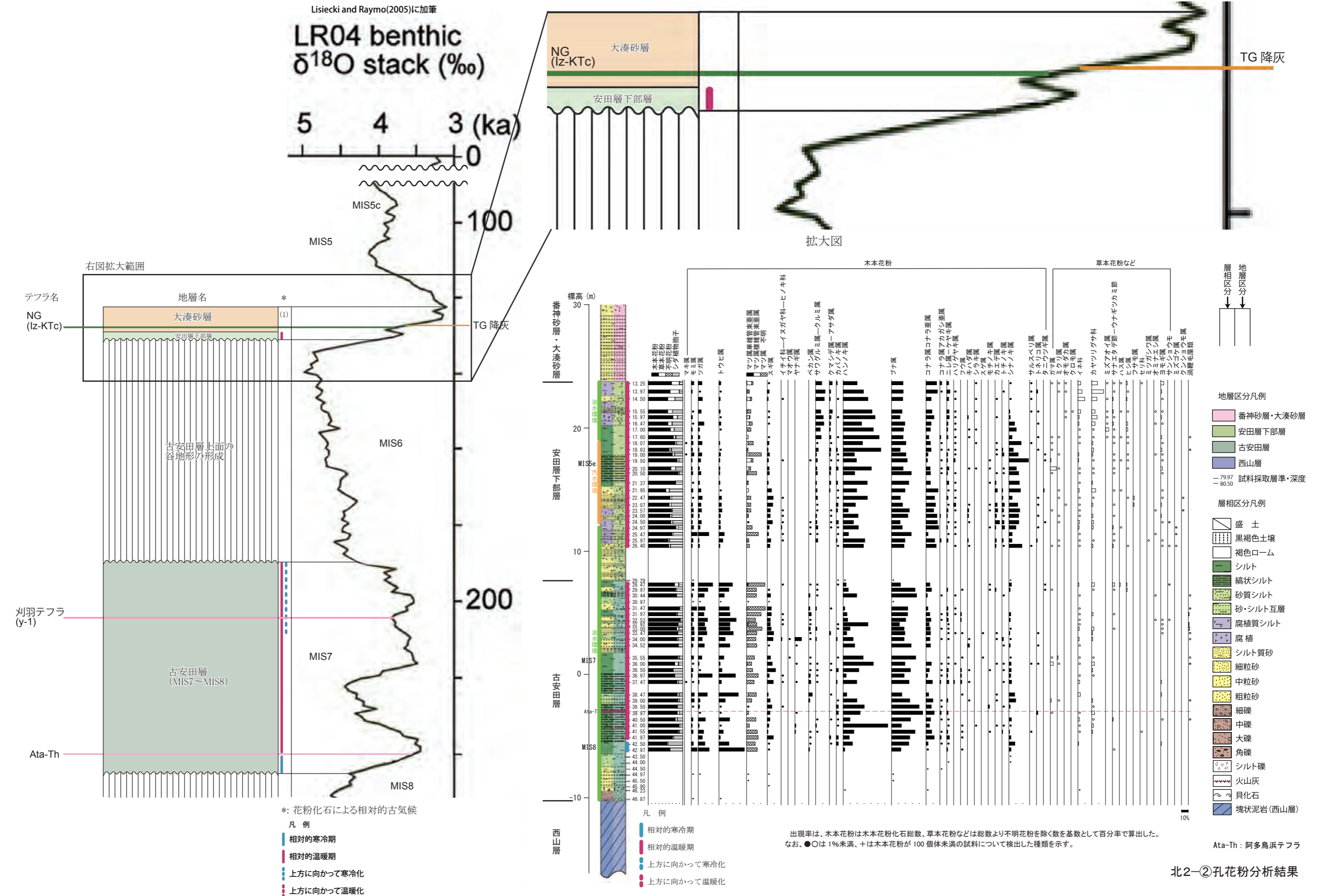
*: 鈴木 (2001) の飯縄上樽cテフラ群の標識地 (長野県信濃町高山の Loc.1) の飯縄上樽cテフラ (Iz-Ktc) の分析値

平成 27 年 3 月 31 日ヒアリング資料から追記・修正



G-7孔のテフラ分析結果

○飯縄上樽cテフラ起源のカミングトン閃石の含有量は、大湊砂層最下部から大湊砂層と番神砂層との境界付近に向かって増加するものの、明瞭な産出ピークが認められず、同テフラの降灰層準を認定することは困難である。大湊砂層と番神砂層との境界付近において検出された飯縄上樽cテフラ起源のカミングトン閃石については、再堆積の可能性は否定できないものの、同テフラの降灰層準は大湊砂層中に存在することは確実であり、飯縄上樽cテフラの降灰層準は、飯縄上樽cテフラ起源のカミングトン閃石の含有量が増加する下限を採用する。



*: 花粉化石による相対的古気候凡例

- 相対的寒冷期
- 相対的温暖期
- 上方に向かって寒冷化
- 上方に向かって温暖化

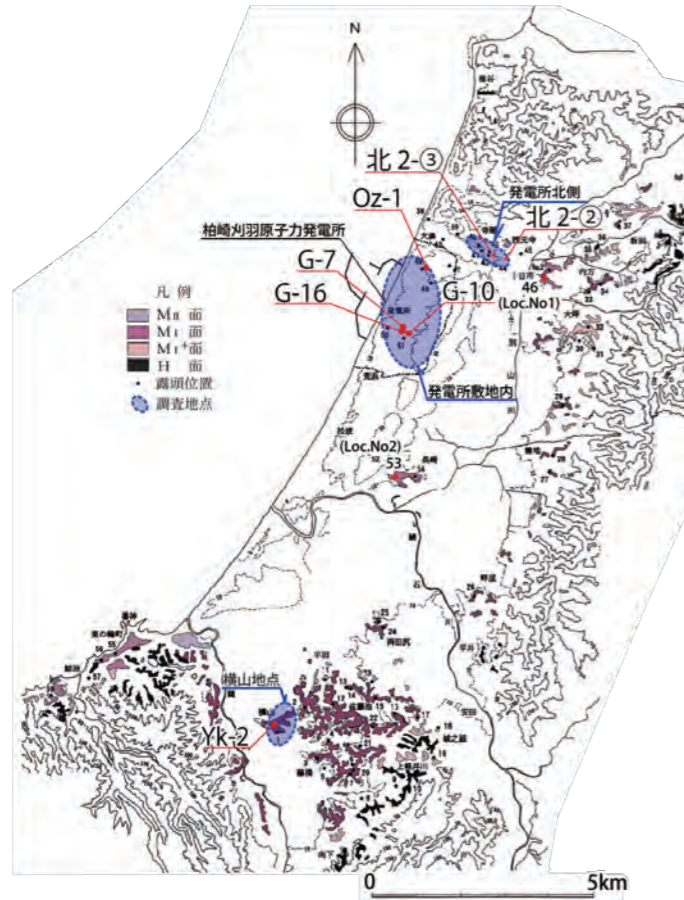
(1): 大湊砂層において、花粉化石分析を実施していない。

地層形成と海水準変動との関係模式図

○鈴木 (2001) 及び青木ほか (2008) によれば、飯縄上層 c テフラは田頭テフラ (TG, 129±3ka) の下位層準にあること、大湊砂層の下位の安田層下部層は花粉化石分析結果より温暖期の堆積物と考えられることを踏まえると、飯縄上層cテフラの年代は、MIS6とMIS5eとの境界付近と評価される。

まとめ

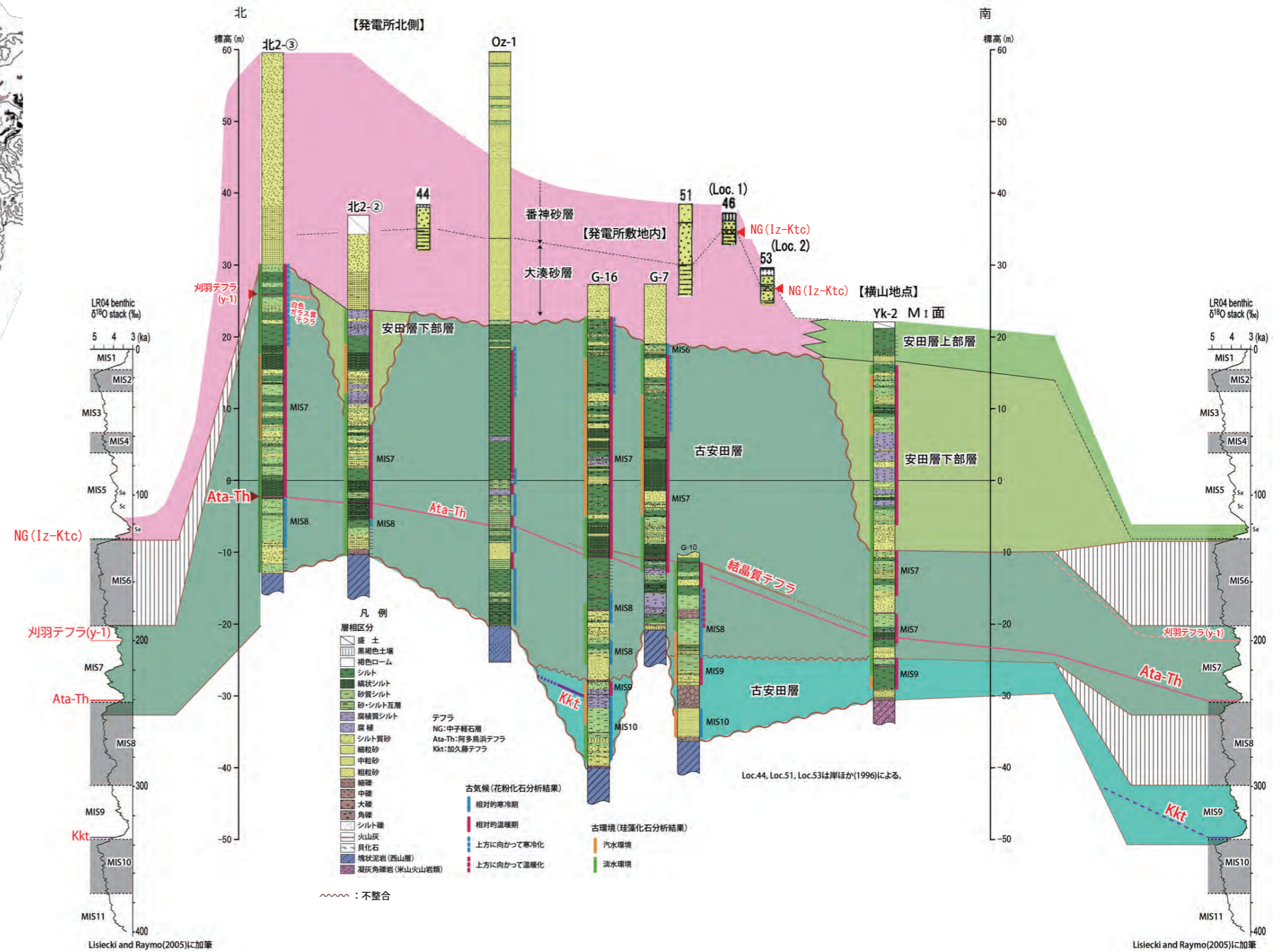
- ・古安田層最上部に挟在する白色ガラス質テフラ(刈羽テフラ(y-1))は、主成分分析結果によると北半島東方沖で実施された海底掘削コアで採取されたテフラ(G10)に対比され、年代は230~200kaであると評価される。
- ・飯縄上層cテフラに対比される中子軽石層については、鈴木(2001)及び青木ほか(2008)を踏まえ、安田層下部層、大湊砂層、番神砂層で実施したテフラ分析によると、当テフラの年代はMIS6とMIS5eの境界付近と判断される。
- ・以上より、古安田層の年代はMIS10からMIS7とMIS6の境界付近の中期更新世の地層であること、大湊砂層はMIS5e海進期の堆積物であると判断していたこれまでの評価と整合することを確認した。



敷地近傍の地質層序表

| 時代 | *1 テフラ | 陸域の層序区分 [寺泊・西山丘陵] [中央丘陵南部] | 海域の層序区分 | | |
|-----|-----------|-------------------------------|-----------------------|-----|-----|
| 第四紀 | 完新世 | 新期砂層・沖積層 | A層 | | |
| | 更新世 | 後期 On-Kt | 番神砂層 | Bu層 | |
| | | 中期 NG, Ata-Th, Kkt | 大湊砂層 安田層 古安田層 青海川層 | | |
| | 前更新世 | 中期 | 大坪層 | C層 | |
| | | 前期 | 灰爪層 | | |
| | | 期 IZ, Fup, Az | 福川不整合面 | | |
| | 第三紀 | 後新世 Nt16 | 寺泊層 | D層 | |
| | | 新世 Mm II, Ar II, Zn | 西山層 (下部は浜忠層) | | |
| | | 中新世 | 期 | | 椎谷層 |
| | | | 紀 | | 寺泊層 |

*1 テフラの名称・年代は、岸ほか(1996)などによる。
 *2 不整合の名称は、岸ほか(1996)による。
 *3 米山火山岩類・同火山岩類は米山海岸に広く分布するほか、柏崎市南部の南下付近で西山層中に挟在する。



安田層及び古安田層の柱状対比図

火山灰分析結果(屈折率)

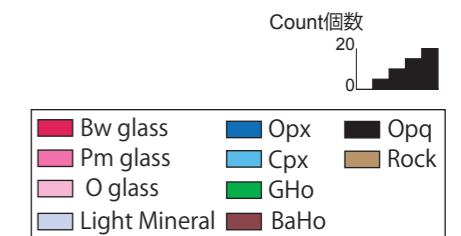
刈羽テフラ(y-1)に含まれる火山灰試料の分析結果(屈折率)

| 試料名 | 鉱物組成 (300粒子カウント) | | 火山ガラスの屈折率(nd) | | | | 斜方輝石の屈折率(γ) | | | | 角閃石の屈折率(n2) | | | |
|--------------------|---------------------|-----|---------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------------|-------|--|--|
| | 100 | 200 | 1.500 | 1.510 | 1.520 | 1.700 | 1.710 | 1.720 | 1.660 | 1.670 | 1.680 | 1.690 | | |
| 北-2-9 27.72-27.76 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-13 34.35-34.36 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-14 28.90 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-16 38.54-38.61 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-20 33.64-33.69 | | | | | | | | | | | | | | |

阿多鳥浜テフラ(Ata-Th)に含まれる火山灰試料の分析結果(屈折率)

| 試料名 | 鉱物組成 (300粒子カウント) | | 火山ガラスの屈折率(nd) | | | | 斜方輝石の屈折率(γ) | | | | 角閃石の屈折率(n2) | | | |
|--------------------|---------------------|-----|---------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------------|-------|--|--|
| | 100 | 200 | 1.500 | 1.510 | 1.520 | 1.700 | 1.710 | 1.720 | 1.660 | 1.670 | 1.680 | 1.690 | | |
| Oz-1 65.94-65.96 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-10 61.17-61.20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-11 56.90-56.92 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-T3 41.37-41.38 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-T4 26.12-26.13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-T5 30.61-30.62 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-T6 27.27-27.28 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北-2-T7 43.72 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ns-4 44.36-44.38 | | | | | | | | | | | | | | |

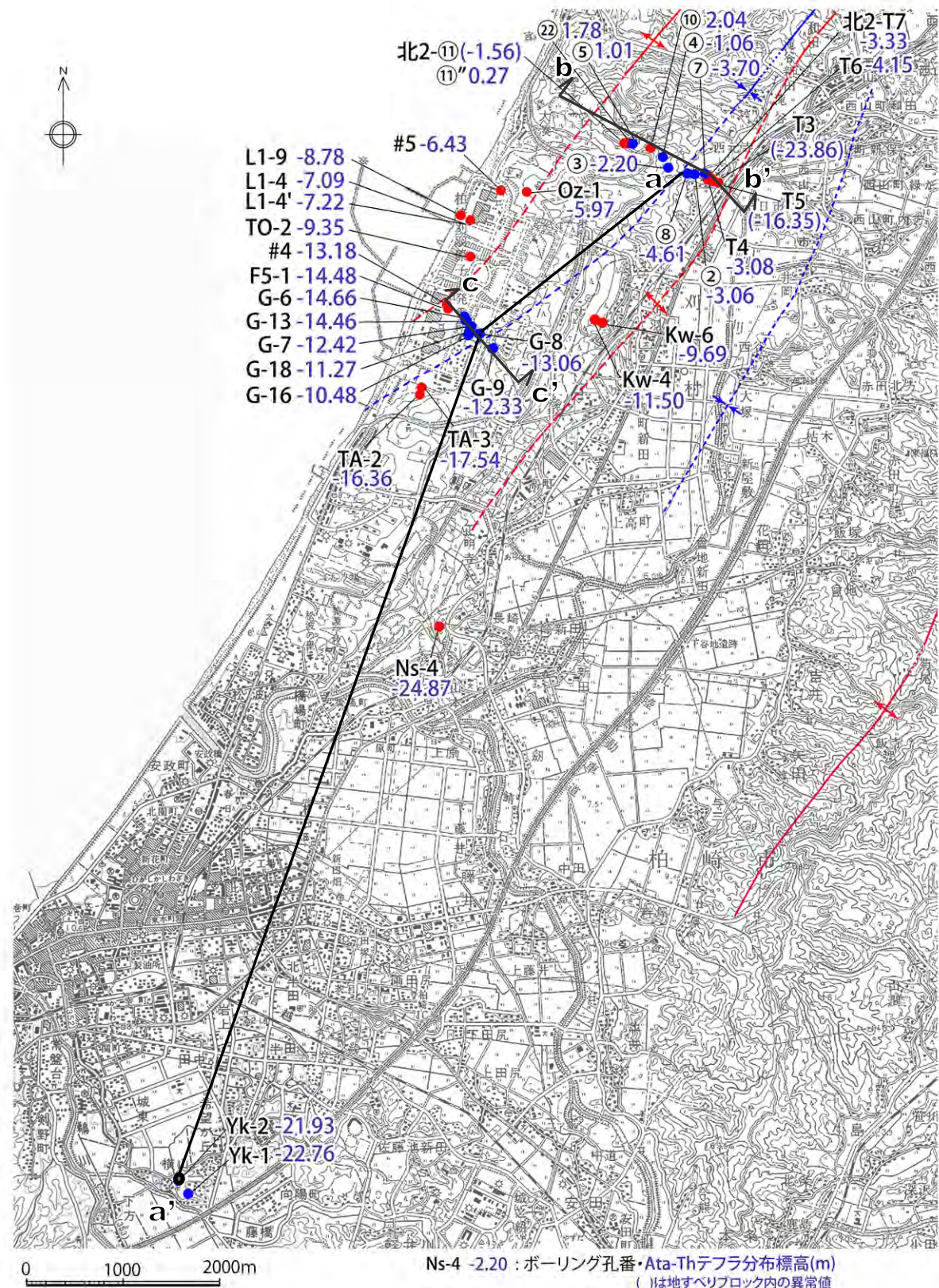
※新編 火山灰アトラス(2003)による阿多鳥浜テフラ(Ata-Th)の屈折率
 火山ガラス: 1.497~1.501
 角閃石: 1.667~1.678



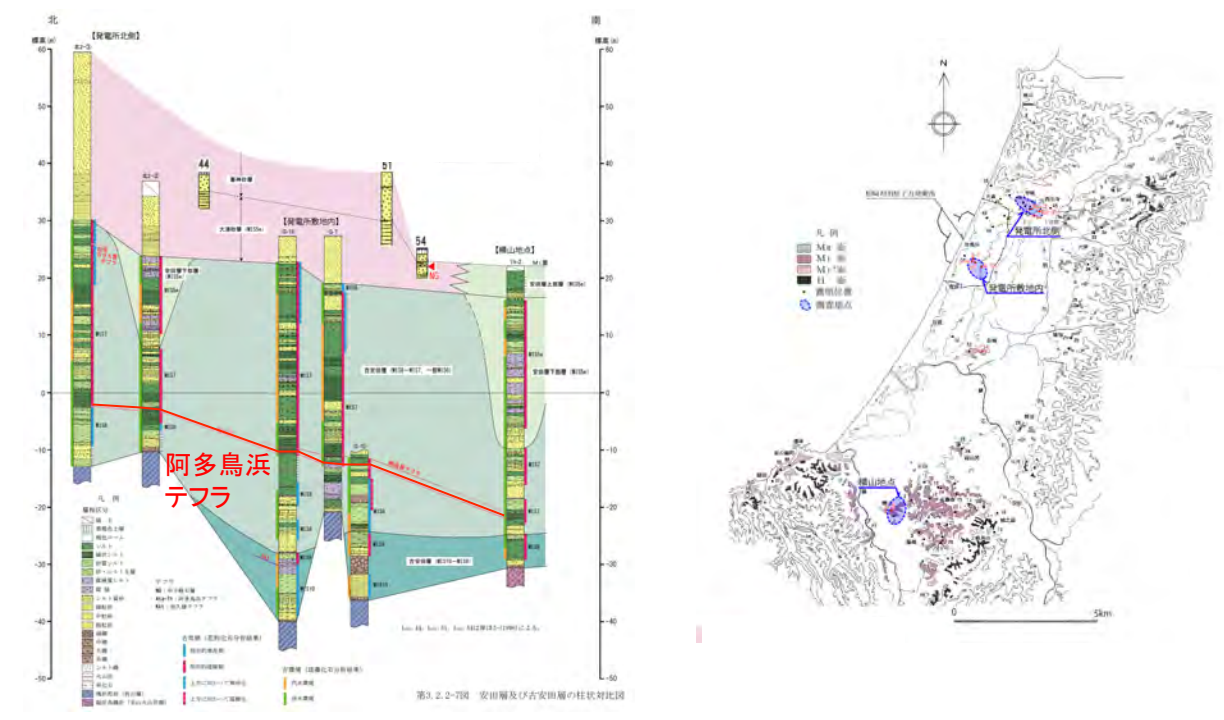
阿多鳥浜テフラの分布標高に関するコメント回答

| コメ ント | 指摘時期 |
|--|----------------------|
| 阿多鳥浜テフラの標高分布が、断層の組合せによって説明ができるのか詳細を説明すること。 | H 2 7 / 2 / 2 7 審査会合 |
| 椎谷層上限面コンターに示している北-2測線を横断する断層について説明すること。 | H 2 7 / 2 / 2 7 審査会合 |

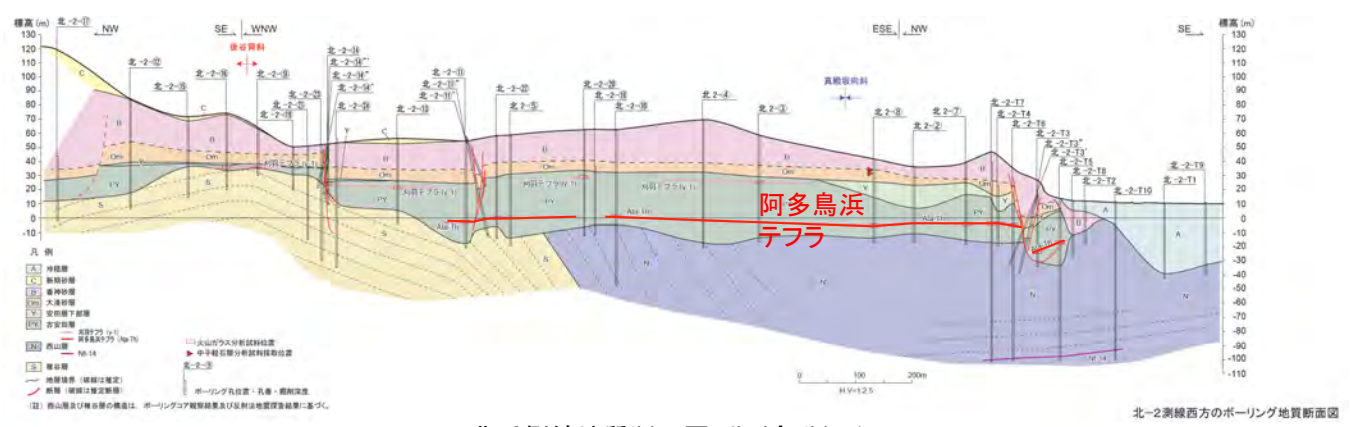
敷地および敷地近傍の阿多鳥浜テフラの分布



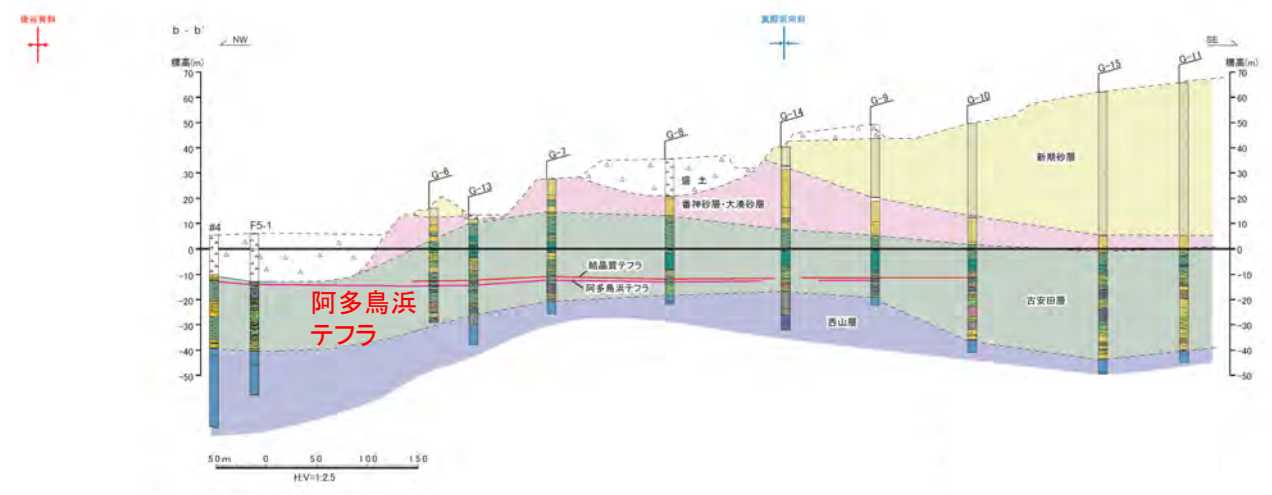
敷地近傍における阿多鳥浜テフラ分布図



敷地周辺模式柱状図 (a-a' 断面)



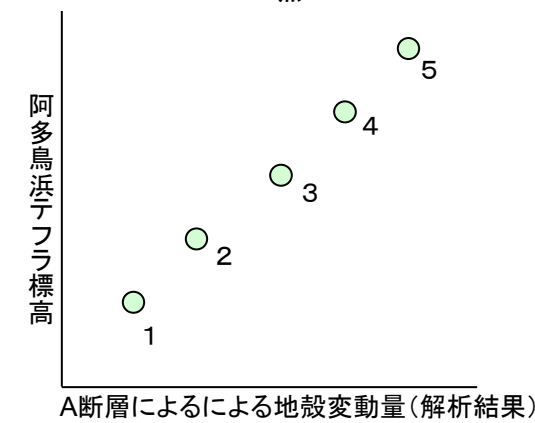
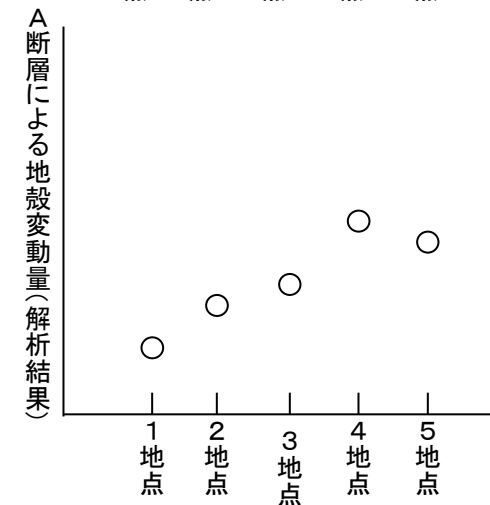
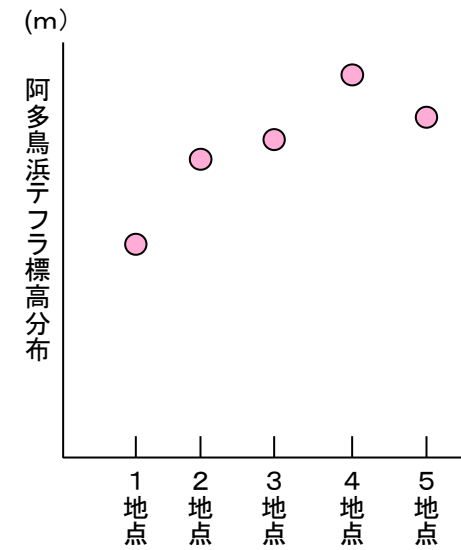
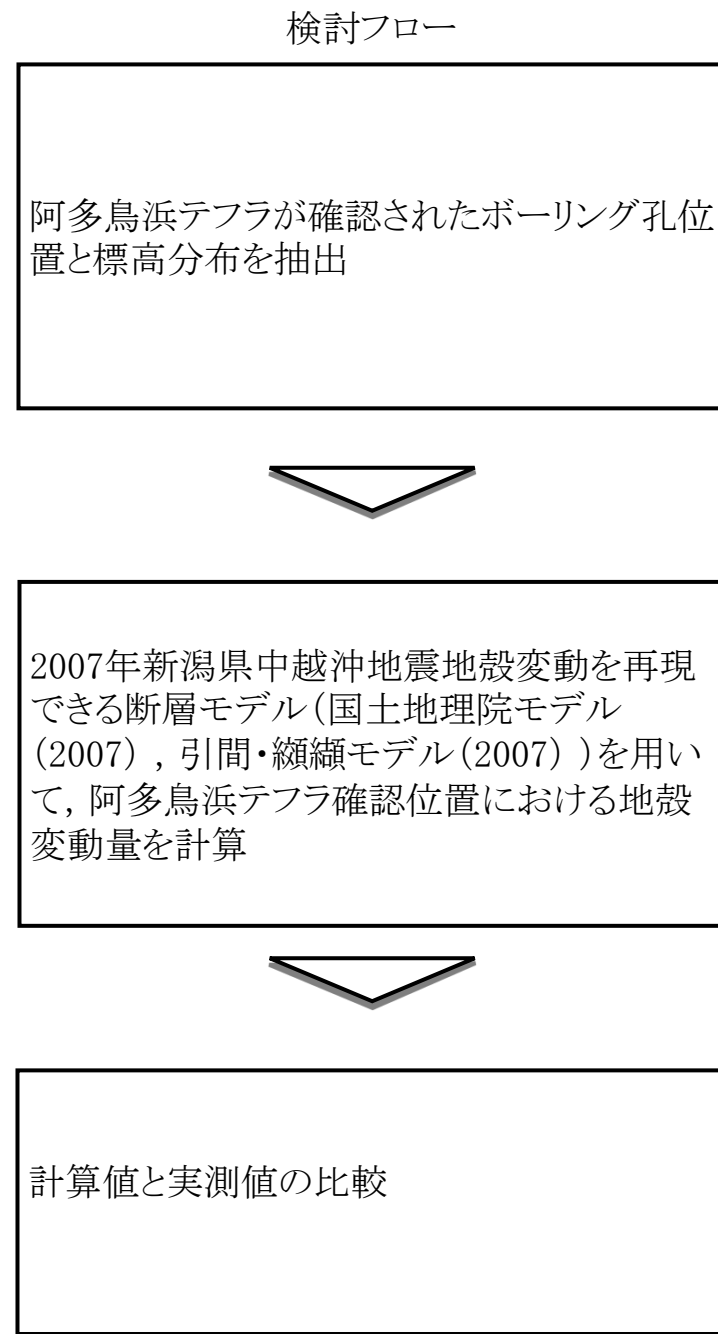
北-2側線地質断面図 (b-b' 断面)



敷地内荒浜側G測線地質断面図 (c-c' 断面)

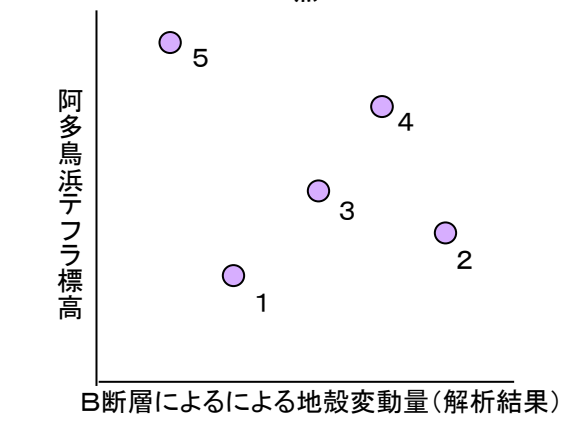
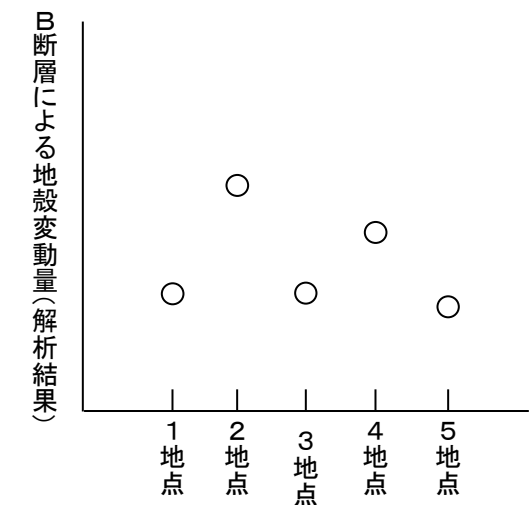
- ・敷地および敷地近傍で実施したボーリング調査によって阿多鳥浜テフラ(Ata-Th, 約24万年前)が多数確認されている。
- ・阿多鳥浜テフラの標高分布は、南北方向は発電所北側の北-2測線で標高約0m、敷地内では標高約-5~-18m、横山地点では標高約-20mであり、北から南に下がっていく傾向にある。東西方向は北-2測線、敷地内ともに概ね水平に分布している。

阿多鳥浜テフラの標高分布と新潟県中越沖地震による地殻変動の関係



A断層による地殻変動量(解析結果)

相関が高い
 ≡
 A断層による地殻変動量の累積によることを支持

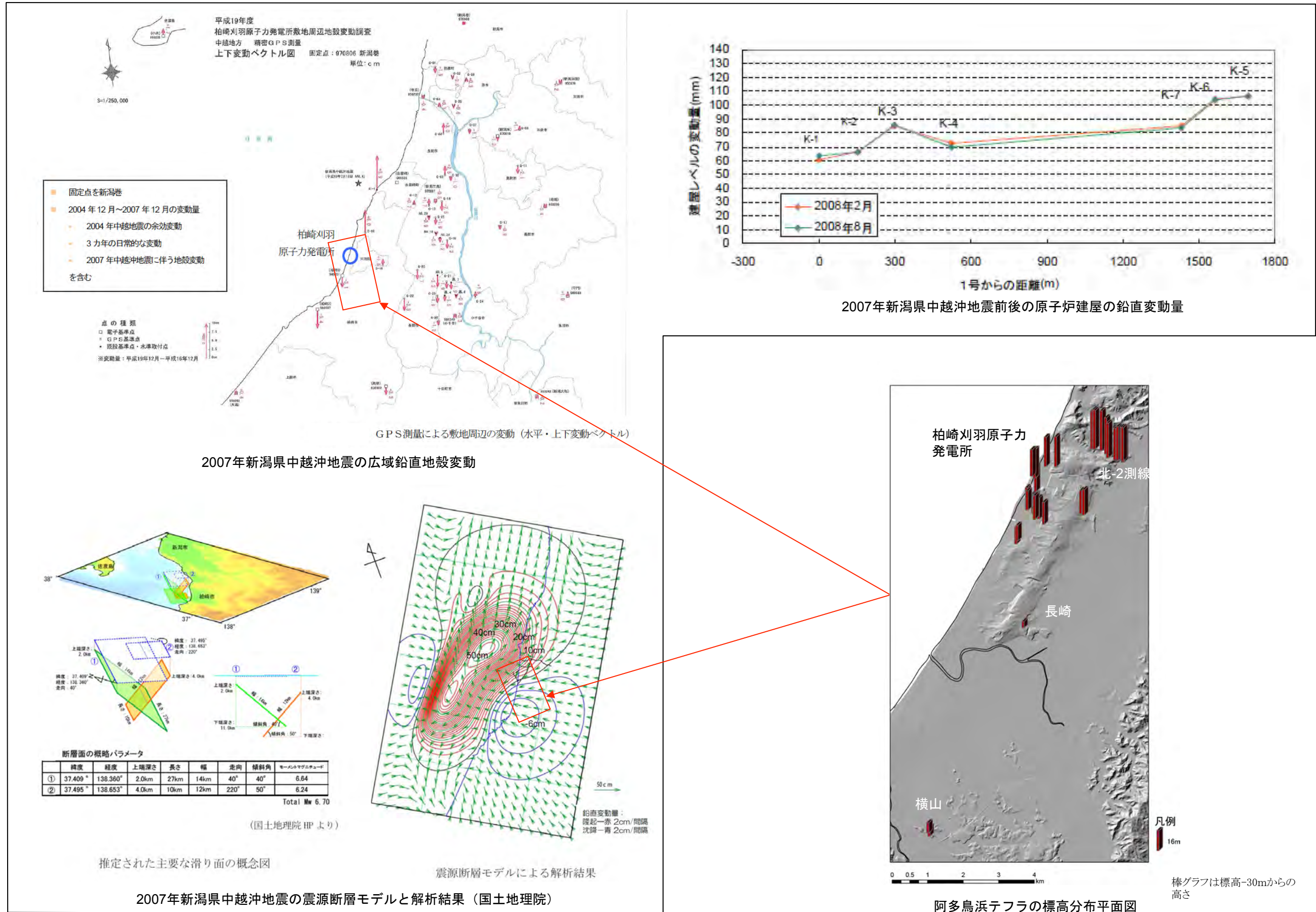


B断層による地殻変動量(解析結果)

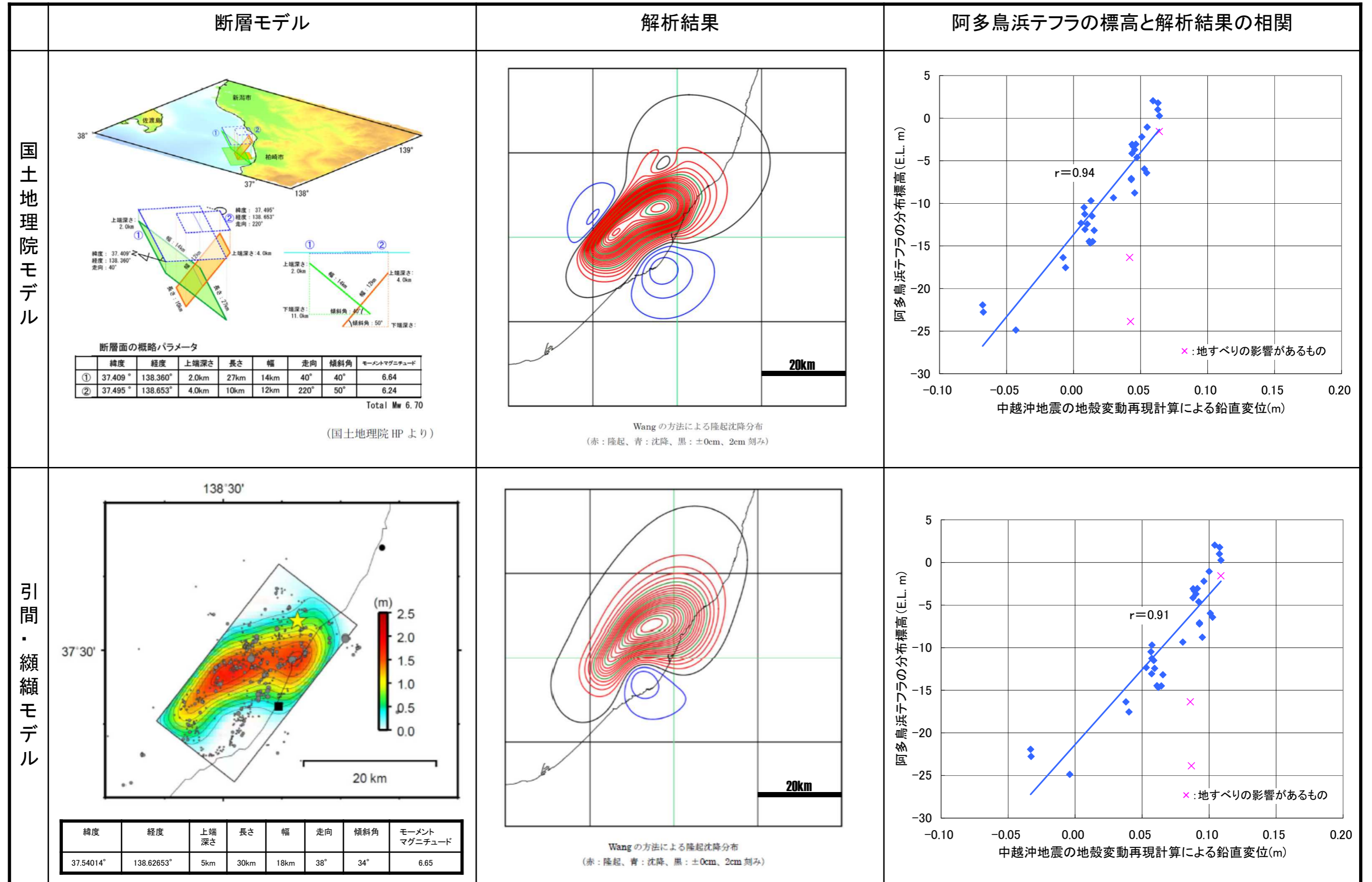
相関が低い
 ≡
 B断層による地殻変動量の累積で説明できない

・地質調査から得られた阿多鳥浜テフラの標高分布と2007年新潟県中越沖地震の地殻変動を再現できる断層モデルによって生じる地殻変動量(隆起・沈降量)の関係を比較し, 両者の相関関係を調べた。
 ・地殻変動を再現する断層モデルは, 国土地理院(2007)[南東傾斜と北西傾斜の2枚モデル]と引間・瀨瀬(2007)[南東傾斜の1枚モデル]の2ケースとした。

2007年新潟県中越沖地震の地殻変動

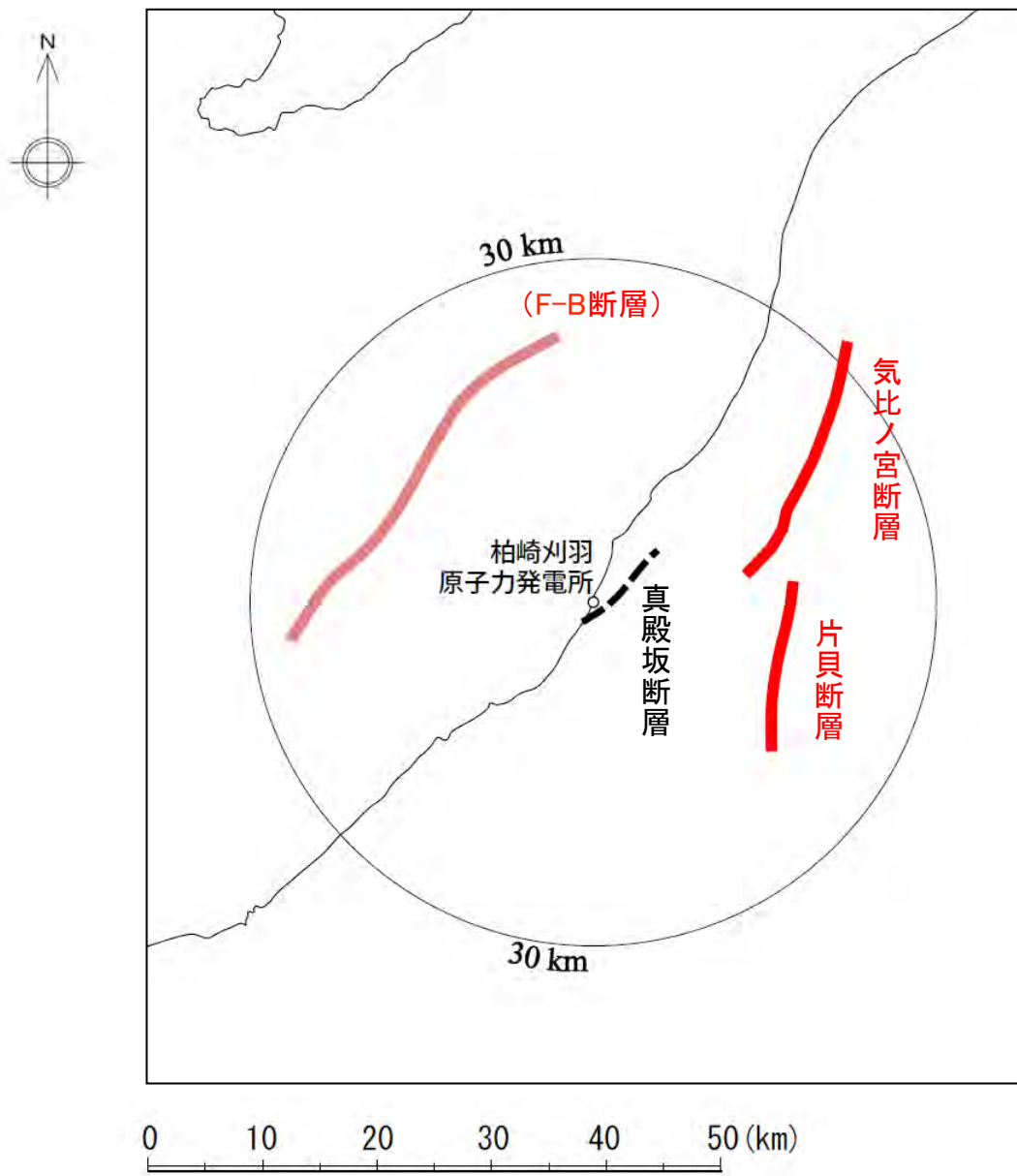


・2007年新潟県中越沖地震では、広域の地殻変動が観測され、敷地内でも測量結果から、大湊側で約80～110mm、荒浜側で約60～90mmの隆起が確認された。



・2007年新潟県中越沖地震による地殻変動と阿多鳥浜テフラの標高分布は、相関係数が0.91~0.94と高い相関が認められる。このことは、阿多鳥浜テフラの標高分布は、同地震の地殻変動量の累積によって説明できることを示唆している。

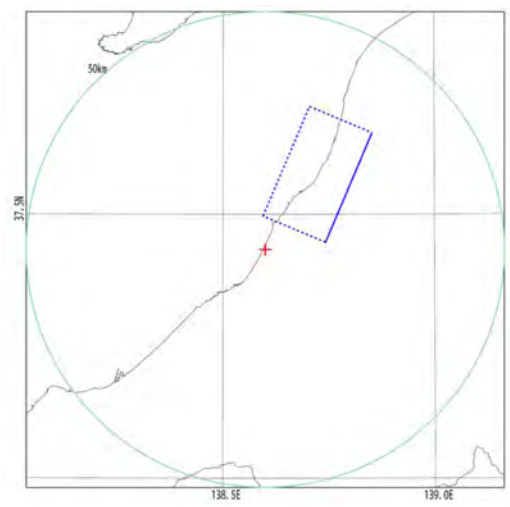
その他の断層の影響に関する検討(1)



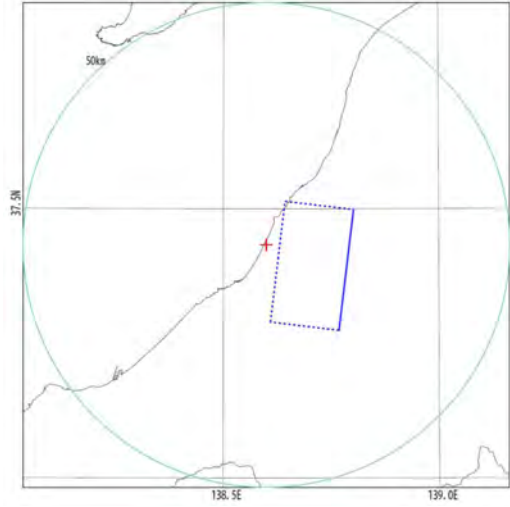
敷地周辺活断層分布図

解析条件一覧表

| 断層 | 長さ (km) | 傾斜角 (°) | 上端深度 (km) | 下端深度 (km) | 変位量 (m) |
|--------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| 気比ノ宮断層 | 25 | 50 | 0.1 | 17 | 1 |
| 片貝断層 | 25 | 50 | 0.1 | 17 | 1 |
| 真殿坂断層 | 9 | 60 | 0.3 | 3 | 1 |



気比ノ宮断層の断層モデル

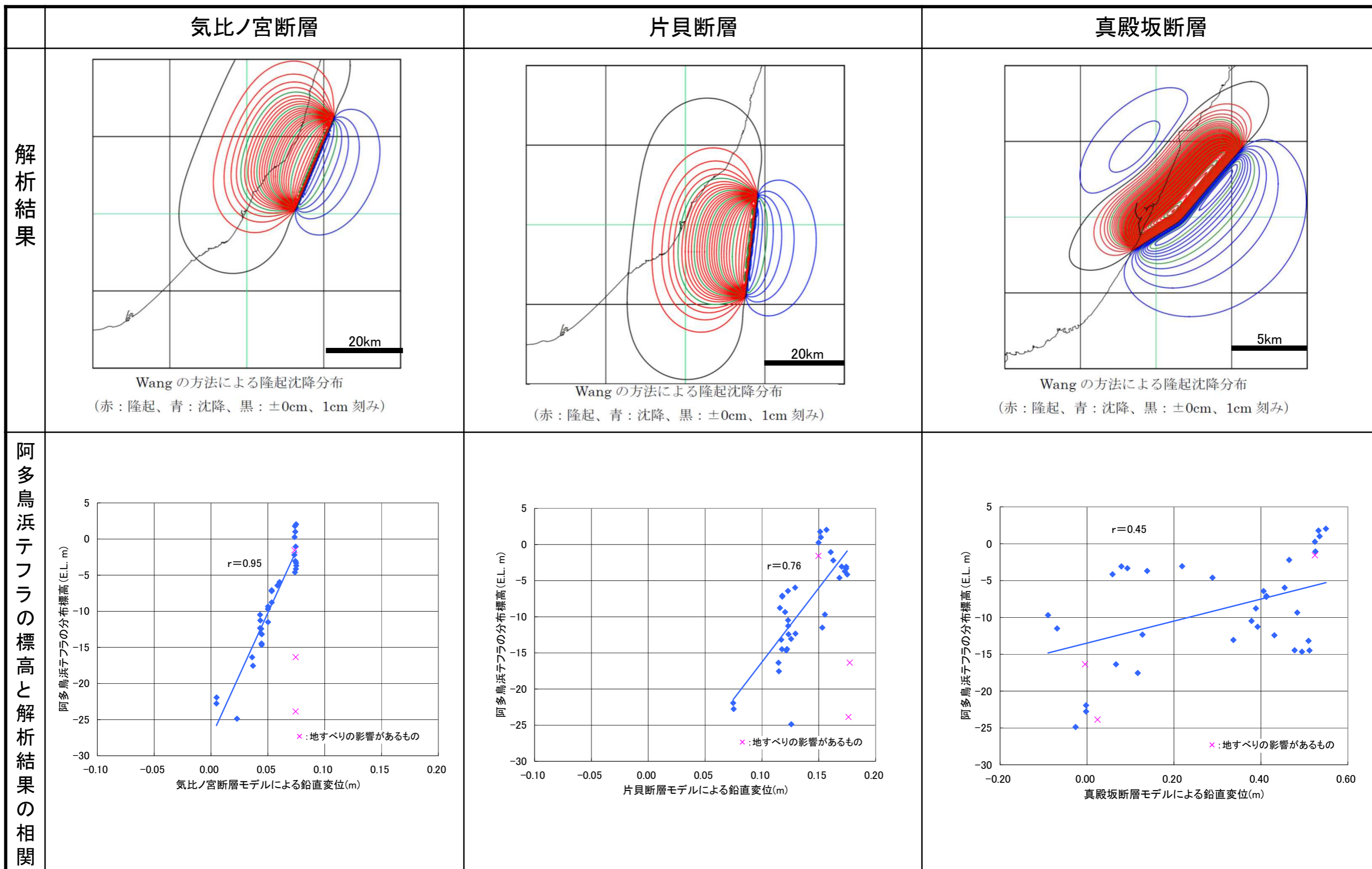


片貝断層の断層モデル



真殿坂断層の断層モデル

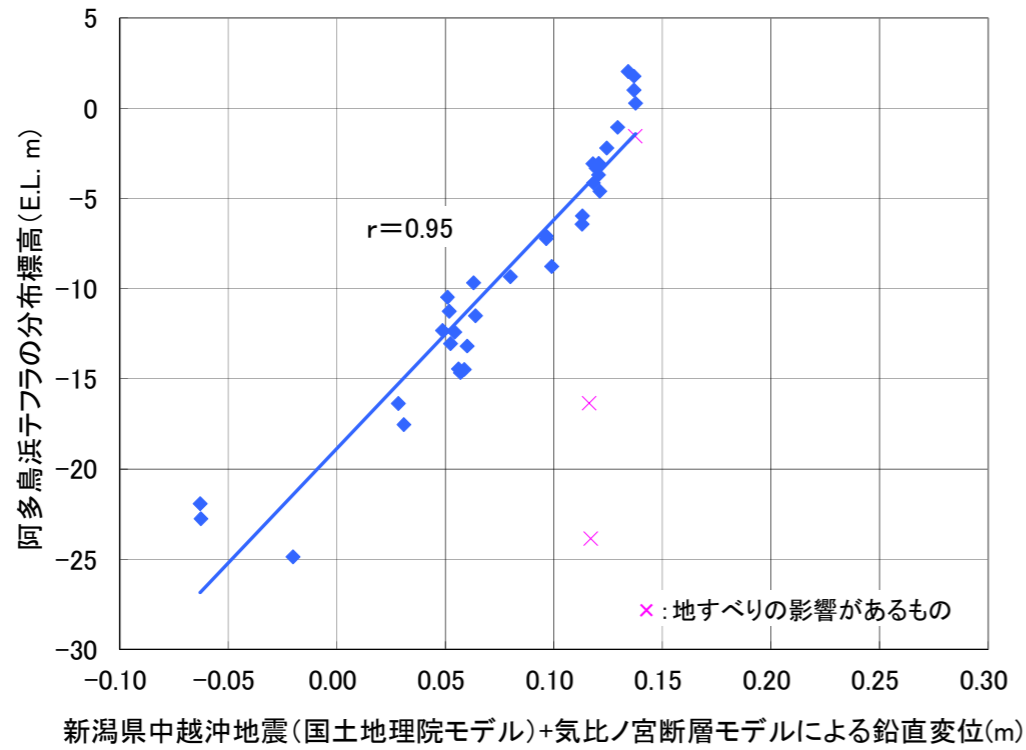
・敷地周辺には、2007年新潟県中越沖地震の震源断層(F-B断層)以外にも活動度の比較的高い活断層が分布しているため、阿多鳥浜テフラの標高分布とこれらの断層による地殻変動の関係について検討を行った。
 ・検討にあたっては敷地からの距離が近く、地殻変動の影響が大きいと考えられる気比ノ宮断層と片貝断層を対象とした。なお、後期更新世以降の活動はないと評価している真殿坂断層についても比較のため検討を行った。



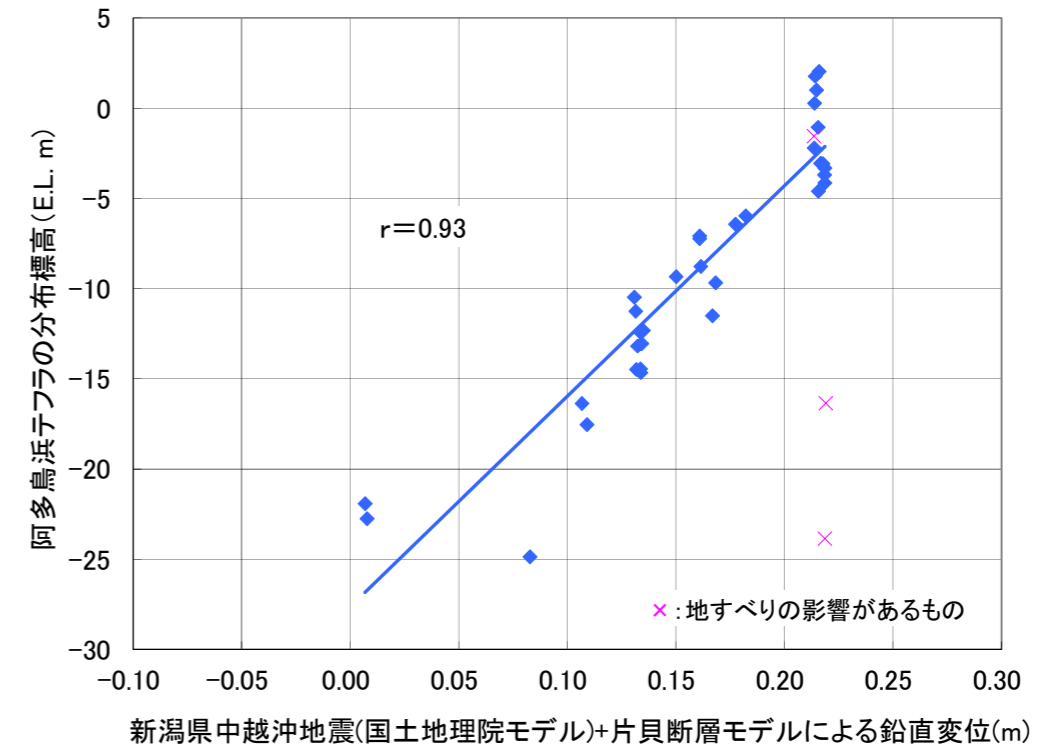
・検討の結果、気比ノ宮断層の相関係数は0.95と相関が高く、片貝断層は0.76と新潟県中越沖地震や気比ノ宮断層に比べてやや低い。一方、真殿坂断層モデルについては相関係数が0.45と相関が低い。
 ・このことは、阿多鳥浜テフラの標高分布は、敷地周辺の活断層の地殻変動量の累積によって説明できることを示唆している。

阿多鳥浜テフラの標高と解析結果の相関

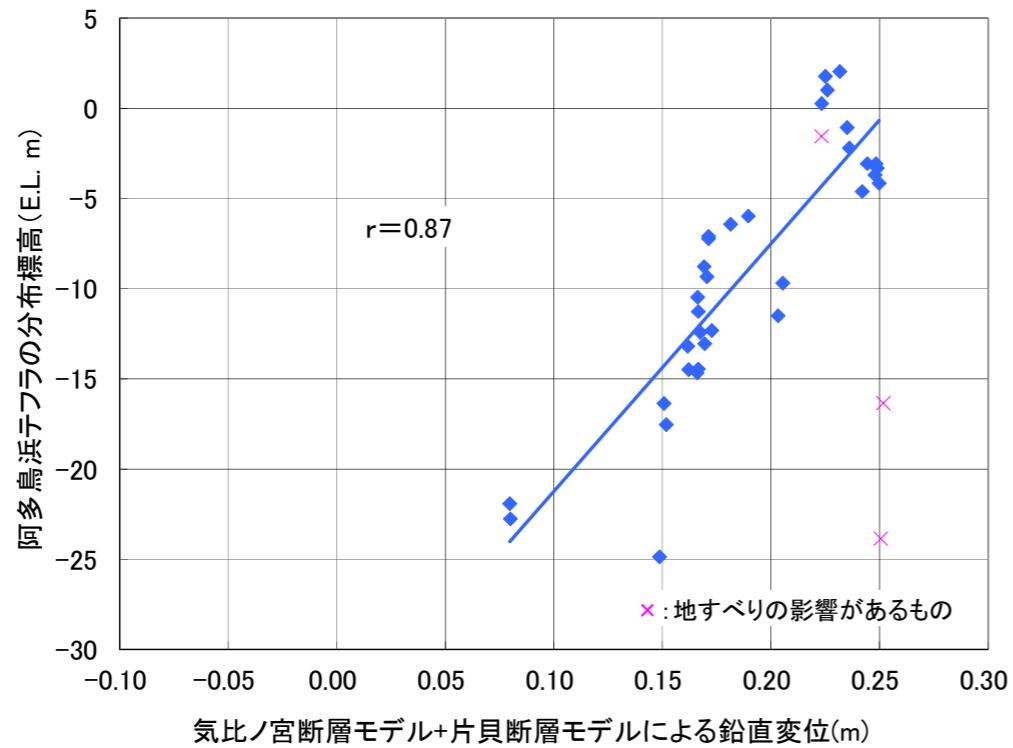
新潟県中越沖地震(国土地理院モデル) + 気比ノ宮断層



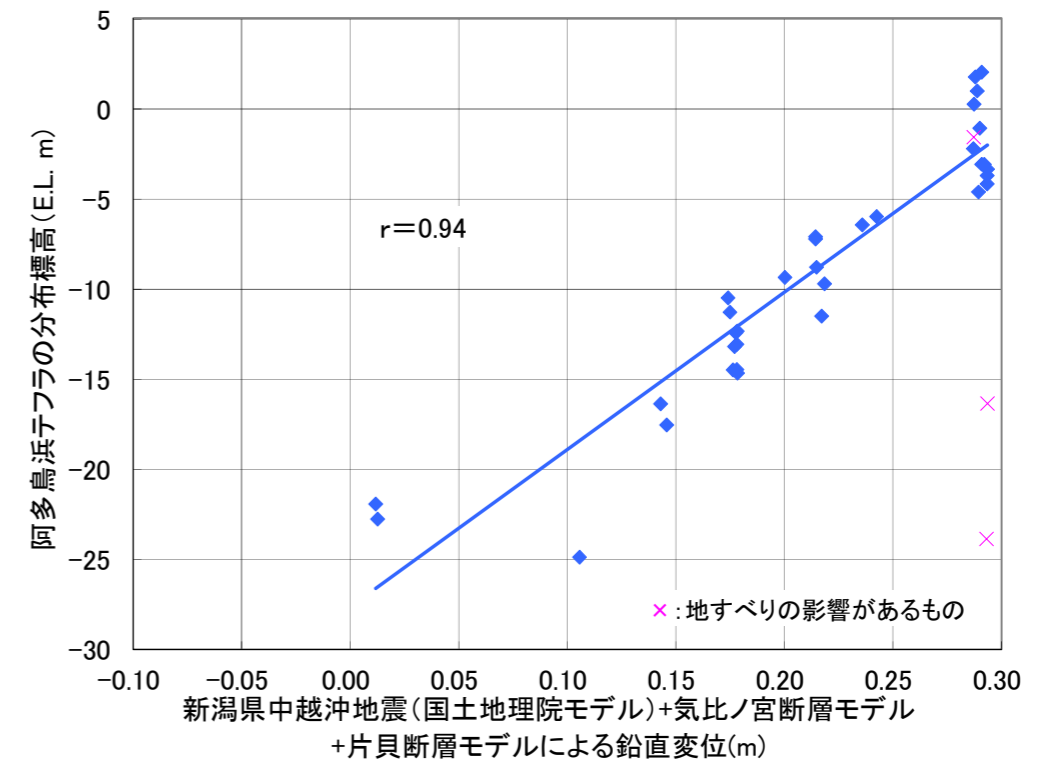
新潟県中越沖地震(国土地理院モデル) + 片貝断層



気比ノ宮断層 + 片貝断層



新潟県中越沖地震(国土地理院モデル) + 気比ノ宮断層 + 片貝断層

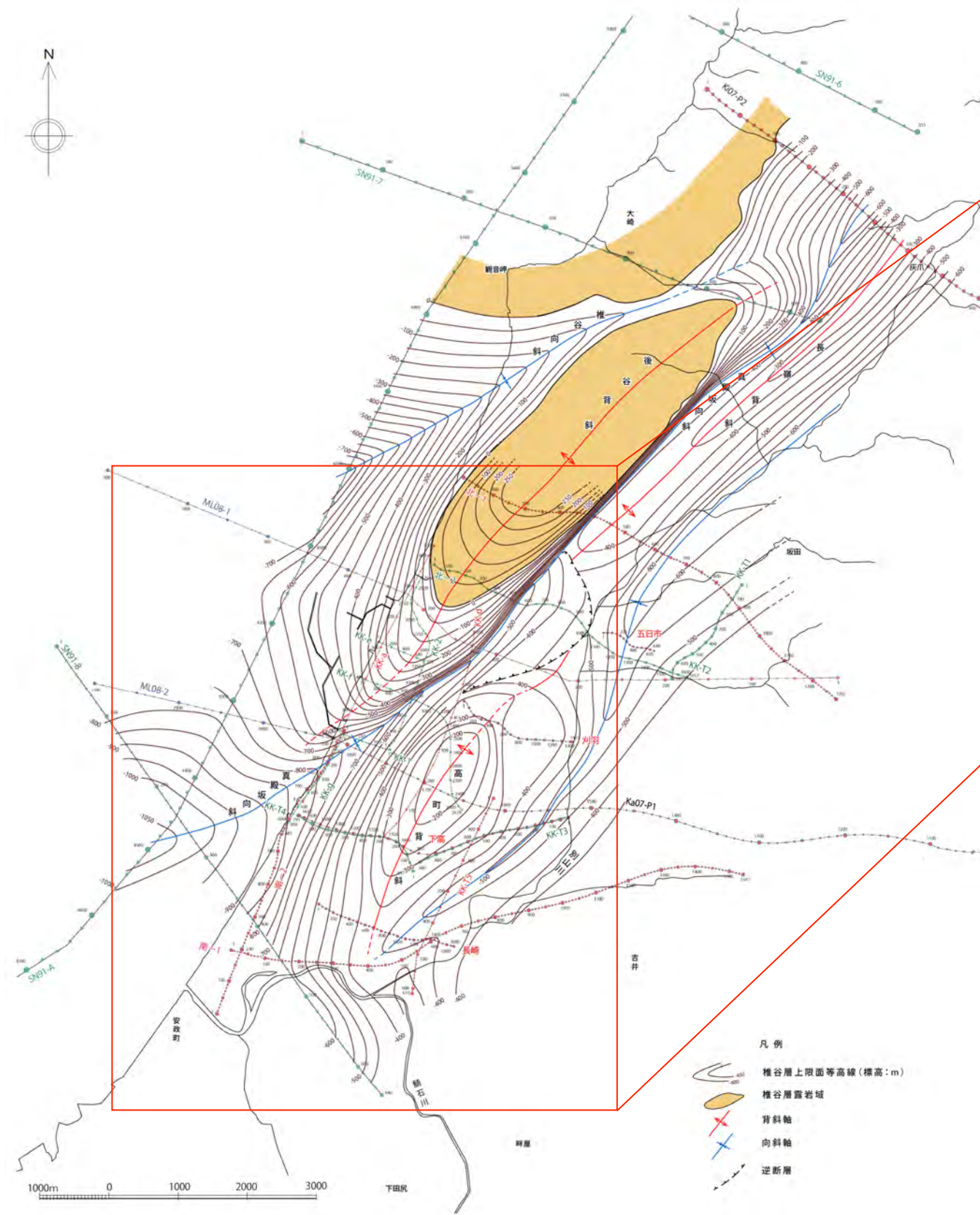


・新潟県中越沖地震(国土地理院モデル), 気比ノ宮断層, 片貝断層の組み合わせによる検討を行った。各断層の活動頻度を同一と仮定し, 1回当たりの鉛直変位を単純に加えたもので整理した。気比ノ宮断層, 片貝断層は1枚モデルであるものの, いずれのケースでも阿多鳥浜テフラの標高と良好な相関が認められる。

まとめ

- ・ 敷地および敷地近傍で実施したボーリング調査によって、阿多鳥浜テフラ(約24万年前)が37カ所のボーリング孔で確認された。
- ・ 阿多鳥浜テフラの標高分布は、北から南に下がっていく傾向にあり、東西方向はおおむね水平に分布している。
- ・ この標高分布は、大局的には約24万年間に生じた地殻変動の累積と考えられることから、周辺の断層活動による地殻変動との関係について検討した。
- ・ 周辺の断層のうち2007年新潟県中越沖地震については広域の地殻変動が観測されており、国土地理院他によって、地殻変動を再現する断層モデルが提案されているため、これらのモデルを使用することとした。
- ・ その他の断層については、地震観測の実績がないため、精度は低いものの一様モデルを使用した。
- ・ その結果、新潟県中越沖地震の再現モデルを用いた地殻変動と阿多鳥浜テフラの標高は、高い相関が認められた。また、長岡平野西縁断層帯を構成する気比ノ宮断層および片貝断層モデルによる地殻変動と阿多鳥浜テフラの標高分布は比較的相関が高い。
- ・ 一方で、真殿坂断層モデルによる地殻変動と阿多鳥浜テフラの標高分布は相関が低い。また、地表地質踏査や反射法地震探査から解釈される敷地及び敷地近傍の西山層および椎谷層の褶曲構造と阿多鳥浜テフラの標高分布の比較を行った結果、両者の相関は低い。
- ・ 以上のことから、阿多鳥浜テフラの標高分布は周辺の活断層による地殻変動で形成された可能性があることを示唆している。

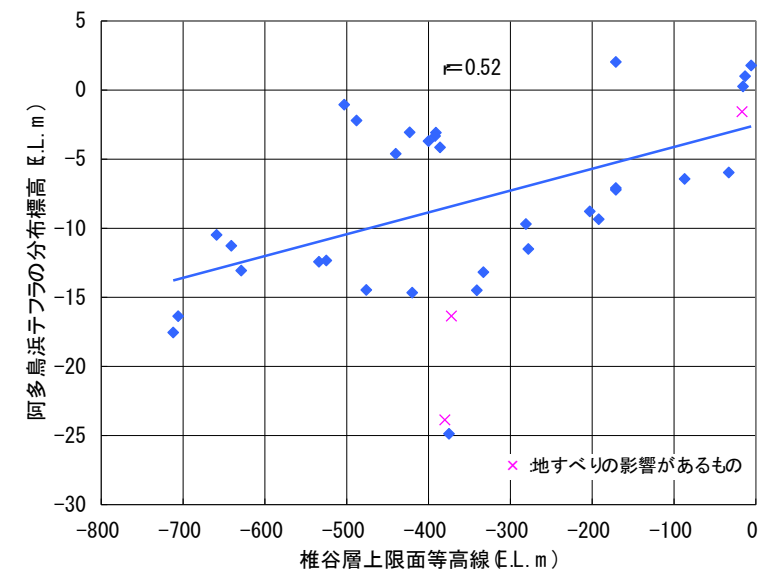
敷地および敷地近傍の地質構造と阿多鳥浜テフラの分布(その1) (参考)



椎谷層上限面等高線図

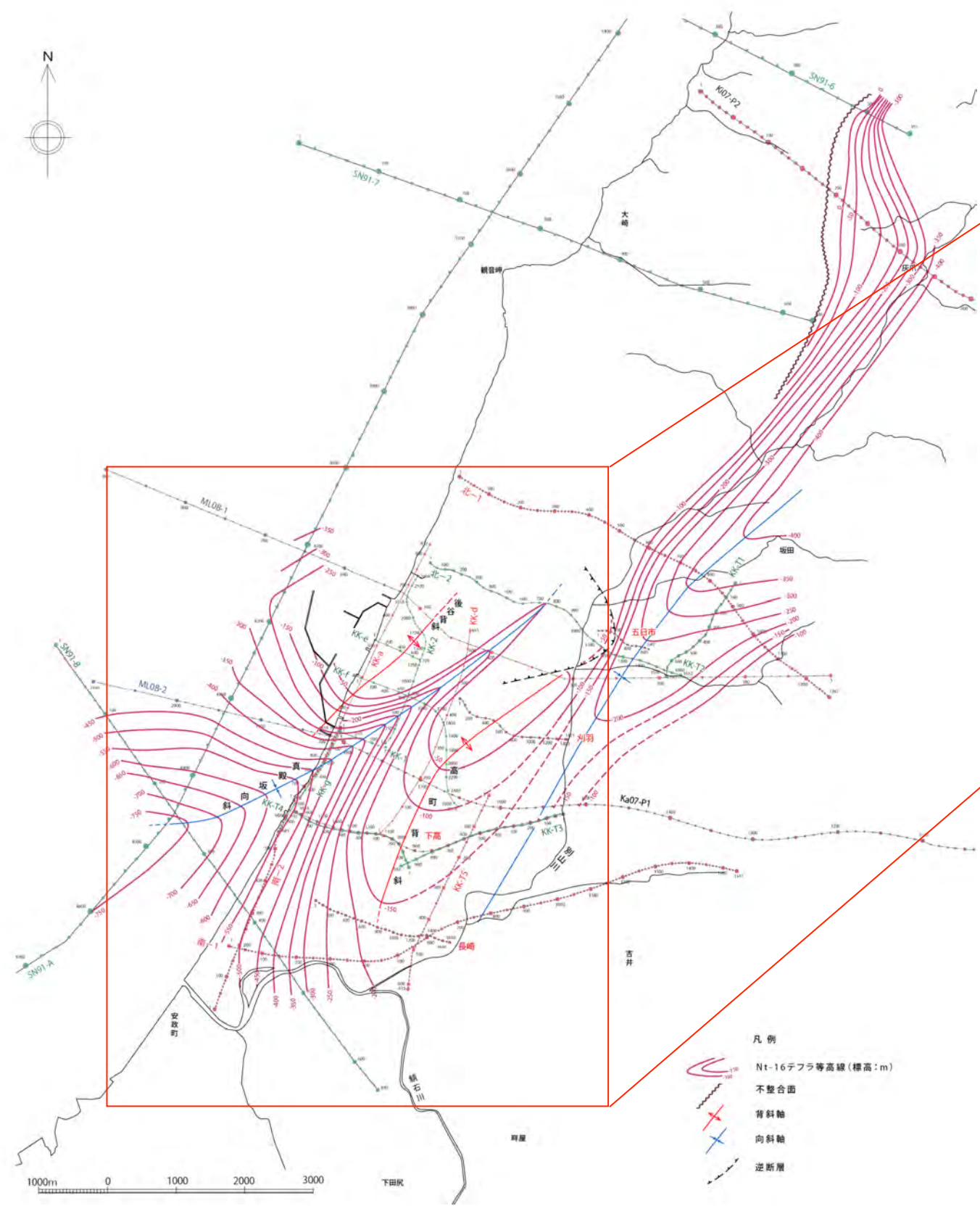


阿多鳥浜テフラの標高分布平面図

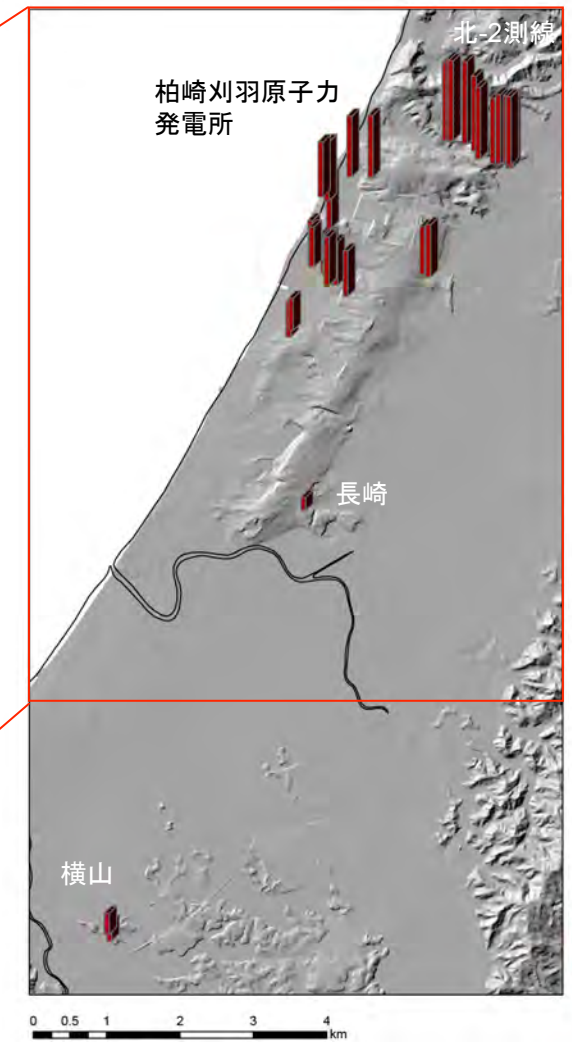


阿多鳥浜テフラの標高と椎谷層上限面等高線図の相関

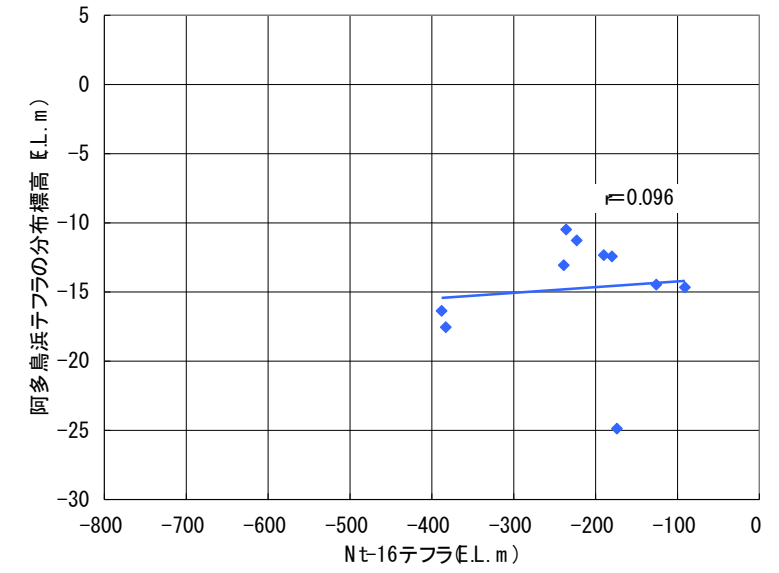
敷地および敷地近傍の地質構造と阿多鳥浜テフラの分布(その2) (参考)



Nt-16テフラ等高線図

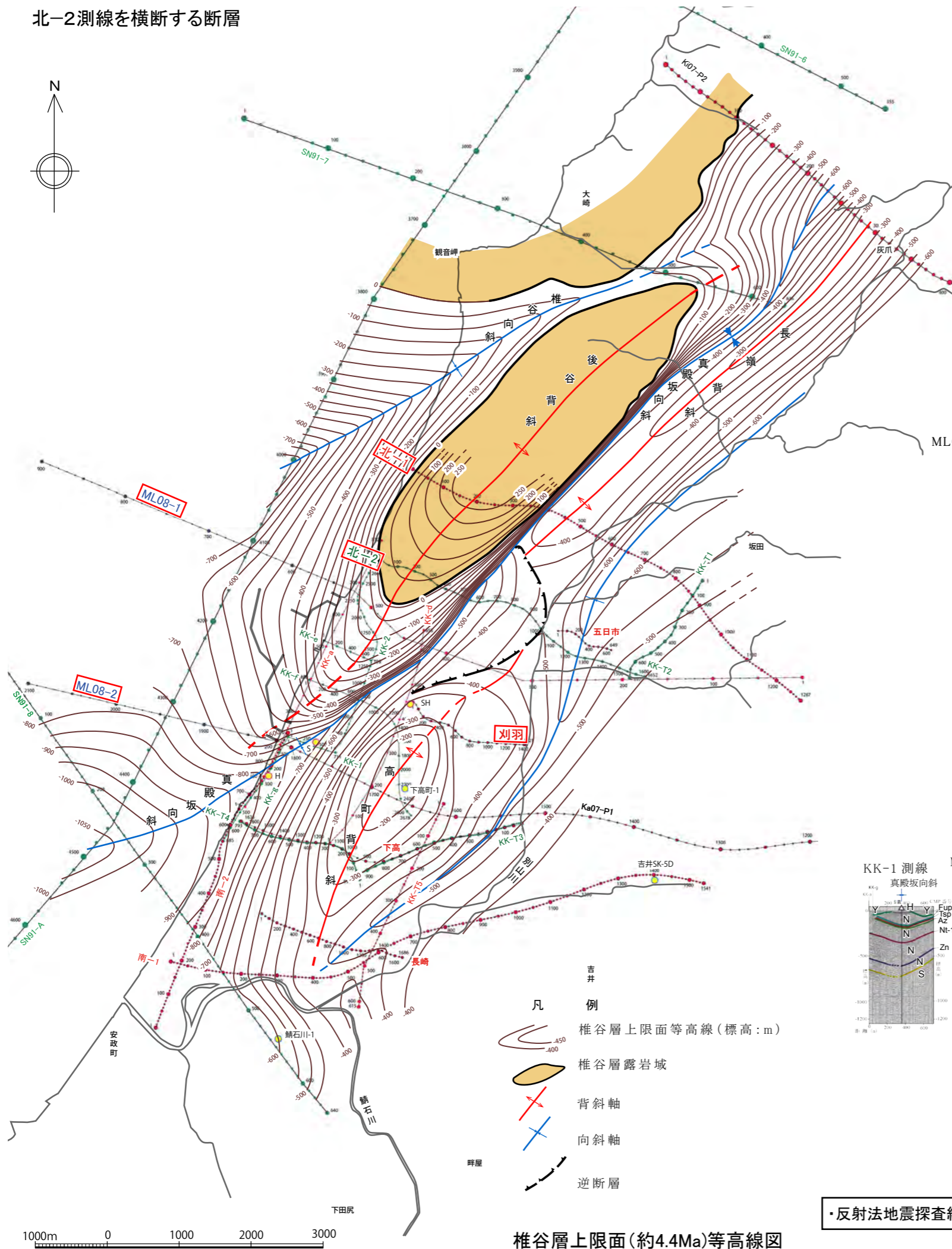


阿多鳥浜テフラの標高分布平面図



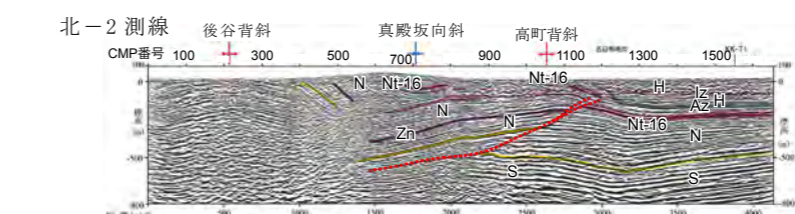
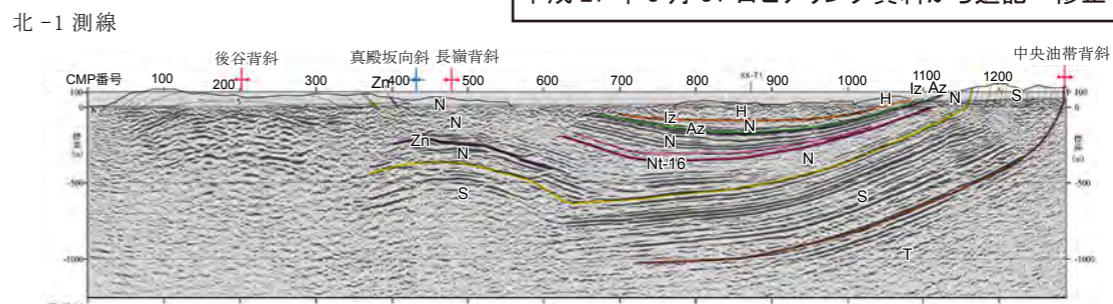
阿多鳥浜テフラの標高とNt-16テフラ等高線図の相関

北-2測線を横断する断層

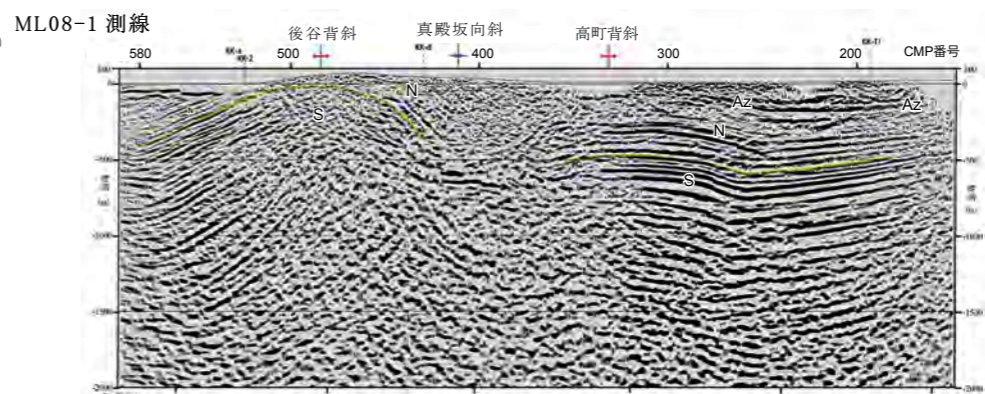


椎谷層上限面(約4.4Ma)等高線図

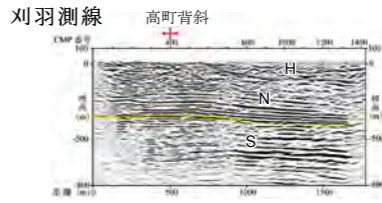
平成 27 年 3 月 31 日ヒアリング資料から追記・修正



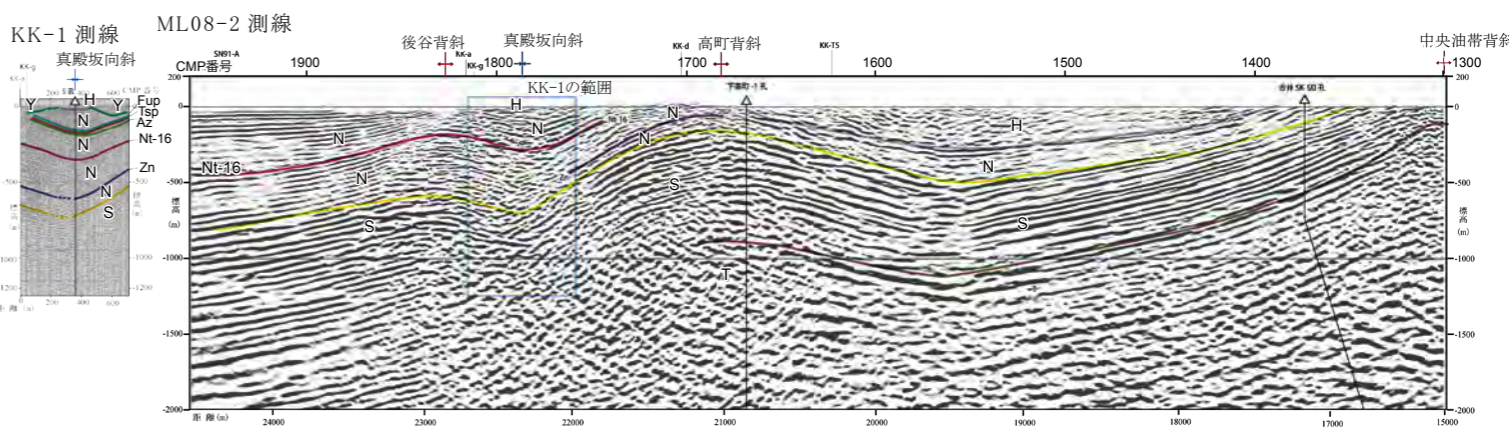
北-1測線には、北-2測線で認められる断層は存在しない。



ML08-1測線ではCMP350付近に断層が存在する可能性がある。



刈羽測線ではCMP400付近で反射面が乱れているが、逆断層パターンは認められず、本測線に北-2測線で認められる断層は延長していないと判断した。



(縦:横=1:1)

ML08-2測線には北-2測線で認められる断層は存在しない。

敷地・近傍の反射断面図(海山方向)

・反射法地震探査結果によると、北-2測線及びML08-1測線において、長嶺・高町背斜軸部付近に西上がり断層の存在が推定される。

参考文献

荒浜砂丘団体研究グループ(1993)新潟県荒浜砂丘地域に発達する後期更新世の断層, 地球科学, 47, pp.339-343

東京大学出版会(2003):新編火山灰アトラス-日本列島とその周辺 p.336

Tabito Matsu'ura, Akira Furusawa, Kota Shimogama, Norihisa Goto, Junko Komatsubara(2014) : Late Quaternary tepthrostratigraphy and cryptotepthrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan, Quaternary Geochronology 23, pp.63-79.

Domitsu Hanako, Uchida Jun-Ichi, Ogane Kaoru, Dobuchi Nana, Sato Tokiyuki, Ikehara Minoru, Nishi Hiroshi, Hasegawa Shiro, Oda Motoyoshi(2011) : Stratigraphic relationships between the last occurrence of Neogloboquadrina inglei and marine isotope stages in the northwest Pacific, D/V Chikyu Expedition 902, Hole C9001C, Newsletters on Stratigraphy, 44-2, pp.113-122(10).

堂満華子・西弘嗣・内田淳一・尾田太良・大金薫・平朝彦・青池寛・下北コア微化石研究グループ (2010) 地球深部探査船「ちきゅう」の下期亜半島沖慣熟公開コア試料の年代モデル, 化石, 87, pp.47-64.

青木かおり・入野智久・大場忠道 (2008) : 鹿島沖海底コア MD01-2421 の後期更新世テフラ層序, 第四紀研究, 47-6, pp.391-407.

鈴木毅彦 (2001) : 海洋酸素同位体ステージ 5-6 境界に降下した飯縄上樽テフラ群とその編年学的意義, 第四紀研究, 40-1, pp.29-41.

岸 清・宮脇理一郎・宮脇明子 (1996) : 新潟県柏崎平野における上部更新統の層序と古環境の復元. 第四紀研究, vol.35, no.1, pp.1-16.

Lisiecki, L.E., Raymo, M.E., 2005. A Pliocene e Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography* 20, PA1003.

国土地理院 (2008) : 「平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新 (主に断層面に関する評価). <http://www.gsi.go.jp/cais/topics-topic080111-index.html>

引間和人・瀬藤一起 (2008) : 波形記録と測地データを用いた 2007 年新潟県中越沖地震の震源過程解析, 地球惑星科学連合 2008 年大会, S146-015