

どのような訳か、平成 26 年 12 月 22 日の第 12 回評価会合、および平成 27 年 2 月 18 日のピア・レビュー会合の後、評価が中途半端のまま「評価書文案の詰めはメール等で」ということになって評価会合は打ち切られた。その際には、有識者による評価結果はあくまで参考資料であって、最終評価は親委員会の原子力規制委員会が行う旨、事務方から表明された。平成 27 年 3 月 25 日には原子力規制委員会に評価報告書が報告された。このような何とも釈然としない経緯の裏に何があったのかは分からないが、あくまで科学ベースでの評価をきちんと進めておくことが大切なので、以下に大槻が行った**評価書の評価**を公開しておく。

平成 27 年 5 月 7 日 大槻憲四郎

注：規制委員会に提出された評価書は付録としてこの HP に転載してある。以下の評価書の評価では、そこから評価書の本体だけを取り出し、項目毎に総計 123 のコメントを付してある。

資料 5 - 2

東北電力株式会社東通原子力発電所の 敷地内破碎帯の評価について

平成 27 年 3 月 25 日

原子力規制委員会東北電力東通原子力発電所敷地内
破碎帯の調査に関する有識者会合

目次

I. はじめに	1
1. 有識者会合の役割	1
2. 評価に係る経緯	1
II. 敷地内の地形及び地質の概要	3
III. 評価	4
1. 「第四系の変状」の成因について【論点 1】	5
(1) 東北電力による説明	5
(2) 主な議論	7

(3) 有識者会合による評価	16
2. 敷地に見られる地形の高まりの成因について【論点2】	16
(1) 東北電力による説明	16
(2) 主な議論	17
(3) 有識者会合による評価	21
3. 敷地内の断層で見られる横ずれ成分について【論点3】	21
(1) 東北電力による説明	21
(2) 主な議論	22
(3) 有識者会合による評価	25
4. 原子炉建屋付近の断層の活動性について【論点4】	26
(1) 東北電力による説明	26
(2) 有識者会合による評価	27
IV. まとめ	28
添付図(図1～図3 3-2)	32
参考(1～4)	70

I. はじめに

1. 有識者会合の役割

本有識者会合の役割は、東北電力株式会社（以下、「東北電力」という。）東通原子力発電所敷地内の破碎帯について、現地調査を実施するとともに、東北電力が行った調査結果等を用いて、これが現行の「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 5 号。以下、「設置許可基準規則」という。）及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（原規技発第 1306193 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）。以下、「設置許可基準規則解釈」という。）に規定する「将来活動する可能性のある断層等」であるかどうか等の評価を行い、その結果を原子力規制委員会（以下、「規制委員会」という。）に報告することである。

評価は、「設置許可基準規則」、「設置許可基準規則解釈」のほか、「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」（原管地発第 1306191 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）。以下、「ガイド」という。）などを勘案して行った。

2. 評価に係る経緯

東北電力東通原子力発電所敷地内には、新第三系中新統に断層が発達し、それらの断層を被覆する第四系上部更新統において、小断裂（小断層）、撓み、中新統の断層破碎部から

の粘土の注入、上部更新統基底面における小規模なずれ等の「第四系の変状」と呼ばれる変位や変形等が存在している。

平成8年8月に申請された設置許可時の安全審査において、「第四系の変状」は、走向方向の連続性に乏しい、変位量に累積性が認められない、変位方向が新第三系中の断層と逆のものが多い、一部の断層は基盤中で深部に連続しない等の特徴が認められることから、テクトニックな原因によって形成されたものではないと考えられるとし、耐震設計上考慮する活断層の動きに伴うものではない（旧耐震設計審査指針において5万年前以降活動したものではないこと）と評価していた。また、その成因については、審議において断層上盤側の岩盤劣化部が、モンモリロナイト等の粘土鉱物の膨潤、既存の割れ目の吸水・開口、シーティング節理の形成等により、体積膨張し、「第四系の変状」が発生したなどの議論があった。

コメント no.1:割れ目の吸水・開口, シーティング節理で膨張し!「第四系変状」が起こる!!
何と言うデタラメをやっていたのだ!驚くべきことだ!

その後、旧原子力安全・保安院（以下「旧保安院」という。）は、耐震バックチェックを行うにあたり、敷地内断層の第四紀以降の活動を否定するには東北電力の説明が不十分であると、平成23年11月に敷地内断層の活動性に関する再評価を指示した。それを受け、東北電力は、平成24年3月に「敷地内断層の活動性等に関する評価結果」を報告した。

さらに平成24年5月の旧保安院の意見聴取会の審議では、「第四系の変状」が認められる敷地南部の段丘堆積物中に傾斜の異なる2つの地層が確認されたことから、繰り返し活動した可能性があること、また、敷地南部の主要断層近傍で斜面地形・凹地、高まり等が確認されたことから、これらの地形の成因は断層運動に関連した可能性が指摘された。

旧保安院によるこれらの経緯を踏まえ、規制委員会は、平成24年11月に「東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」の開催を了承した。

有識者会合は、「第四系の変状」の成因並びに敷地内の断層が「将来活動する可能性のある断層等」に該当するかどうか、さらには「震源として考慮する活断層」であるかどうかを評価するため、現地調査や評価会合における議論を行った。

有識者会合は、4回の現地調査に加え11回の評価会合において、幅広く議論を行ったが、本評価書は、重要性の高い後述する4つの論点に関する議論のみを整理したものであり、全ての「第四系の変状」あるいは断層の活動性等の議論を整理したのではない。評価の根拠としたデータの範囲についても、4つの論点に関する議論に係るものに限定した。

コメント no.0:残りの問題点はどうする?

II. 敷地内の地形及び地質の概要

東北電力は、敷地内の地形及び地質について、以下のように説明している。

○地形

敷地は下北半島の太平洋側のほぼ中央部に位置し、標高約 40m～約 10m の台地からなり、西側は丘陵、東側には海岸線に沿って砂丘が発達している。敷地内の地形面は、中段丘面の M1.面、M1 面、M1' 面、M2 面、M2' 面、低位段丘面の L1 面、L2 面及び扇状地面（Ⅰ～Ⅲ）に区分される【図 1】。

○地質

敷地の地質は、新第三系と、これを不整合で覆う第四系より構成される【図 2、図 3】。

新第三系としては中新統の猿ヶ森層（地表には露出しない）、泊層及び蒲野沢層が分布し、中新世の安山岩岩脈が泊層に貫入する。泊層は主に安山岩の溶岩・火山砕屑岩からなり、蒲野沢層は泥岩・砂岩・礫岩からなる。

第四系は上部更新統の段丘堆積物及び扇状地堆積物、並びに完新統の崖錐堆積物、低地堆積物、新砂丘堆積物及び海浜堆積物に区分される。段丘堆積物は主に砂礫層からなり、M1 面段丘堆積物、M1' 面段丘堆積物、M2 面段丘堆積物、L1 面段丘堆積物等に細分される。段丘堆積物の上位に載る粘土層あるいはローム層中に挟まれる洞爺火山灰層（約 11.5～11.2 万年前）、阿蘇 4 火山灰層（約 9～8.5 万年前）、十和田レッド軽石層（約 8 万年前）及び十和田ビスケット 1 火山灰層（約 3.2 万年前）との層位関係から、M1 面段丘堆積物は酸素同位体ステージ MIS5e（概ね 12～13 万年前）、M2 面段丘堆積物は MIS5c（概ね 10 万年前）、L1 面段丘堆積物は MIS5a（概ね 8 万年前）に対比される。

○地質構造

敷地内の中新統に発達する断層は、主要な断層（以下、「F 系断層」という。）、その他の断層（以下、「f 系断層」という。）及び小断層（以下、「s 系断層」という。）に区分されている【図 1、図 3、図 4】。

F 系断層（F-1～F-10 断層）は、比較的変位量が大きく連続性がよい主要断層で、主に NNE—SSW～NE—SW 走向を示す正断層成分が卓越する高角の断層である。F 系断層によって、中新統には地塁・地溝状の地質構造が発達し、特に変位の大きな F-3、F-9、F-10 断層等によって形成された敷地中央部に南北に延びる地溝には主に蒲野沢層が分布し、この地溝の東側及び西側の地塁部分には泊層が広く分布する。

f 系断層（fa～fg 断層、fj～fp 断層）は、F 系断層と比較して変位量及び破碎幅が小さく、主要断層に会合するか、または切られて比較的連続性も乏しい。傾斜は高角～低角と様々である。また、上記の断層区分とは別に原子炉建屋設置位置付近には、3 条の同様の断層が認められ、それらは f-1～f-3 断層と称されている。

s 系断層は、主に中角～低角の逆断層センスを示す小断層で上部更新統も変位させている断層である。変位量及び破碎幅は極めて小さく、走向方向にも傾斜方向にも連続性も乏しく、基盤中では比較的浅所で消滅する。このため、s 系断層は図 1、図 3 及び図 4 には示されていない。

○第四系の変状

敷地内の中新統に発達する断層を被覆する上部更新統の一部には、段差（基盤中の断層位置を挟んで認められる上部更新統基底面の小規模な鉛直方向のずれ）、撓み（上部更新統及びその基底面に認められる撓みによる変形）、粘土注入（基盤の断層破碎部から上部更新統に粘土が注入した様子）、小断裂（上部更新統中に認められる小断層）等の変状が認められる。これら上部更新統中に認められる変位や変形を総称して「第四系の変状」と呼んでいる【図5】。

Ⅲ. 評価

有識者会合評価会合での議論を踏まえ、敷地内で見られる「第四系の変状」について、主な論点を以下の4つに整理した。本評価書では、これら4つの論点についての評価結果を記載した。

【論点1】「第四系の変状」の成因について

敷地内の断層の一部に、上部更新統に変位・変形が認められるのは事実である。これについて、東北電力は、「第四系の変状」は断層活動によるテクトニックなものではないと判断している。また、その判断のもとに、「第四系の変状」の成因は「岩盤劣化部の体積膨張」とするのが合理的であると説明している。このため、その判断と説明の妥当性を評価した。

【論点2】敷地内で見られる地形の高まりの成因について

敷地南部において F-9 断層を境として段丘面の東側（海側）が広範囲に高まっている様子が認められ、断層変位地形である可能性がある。これについて、東北電力は、地形の高まりの形成と F-9 断層に関連性は認められないと説明していることから、その妥当性を評価した。

【論点3】敷地内の断層で見られる横ずれ成分について

敷地南部の F-3 断層では、断層を覆う上部更新統に横ずれの可能性を示唆する変状が認められた。これについて東北電力は、同断層は横ずれ主体の断層ではないとし、変状の成因を「岩盤劣化部の体積膨張」とするのが合理的であると説明していることから、その妥当性を評価した。

【論点4】原子炉建屋付近の断層の活動性について

原子炉建屋付近に分布する断層の一部には「第四系の変状」が認められるものがある。東北電力はこれらの成因を断層活動によるテクトニックなものではないと判断している。また、その判断のもとに、「第四系の変状」、「岩盤劣化部の体積膨張」とするのが合理的であると説明している。これらの判断と説明の妥当性を評価した。

コメント no.2: 論点2の地形的高まりも“体積膨張”が原因だとされていて、4つの論点全てに“体積膨張”が登場するので、これが最も重要な論点であるべき。しかし、有識者会合は“体積膨張”そ

のものを吟味できていない。この評価書がしまりのないものになった要因の一つである。

アドバイス no.1: 以下、「(1)東北電力による説明」と「(2)主な議論」の中の(東北電力の説明)の2回東北電力の説明が紹介され、内容が大幅に重複している。読みにくい拙劣な文書構成なので改めるべし。これは既に有識者会合でも指摘されたコト。

1. 「第四系の変状」の成因について【論点1】

(1) 東北電力による説明

東北電力は、敷地内の断層の活動性については、断層活動を示唆するリニアメントや段丘面内の高度不連続等が認められないこと、主要な断層は正断層であって逆断層として反転した形跡は認められないこと、断層が地下深部に連続しないこと、断層破碎部のうち固化・岩石化していないのは地下浅部の一部に限られることなど、敷地の地形・地質構造等から、後期更新世以降の活動性はないとしている。また、「第四系の変状」については、新第三系の断層との系統的な関連性が認められず、ノンテクトニックな原因で形成されたものとしている。また、その判断のもとに、「第四系の変状」の成因としては「岩盤劣化部の体積膨張」とすることが合理的であると説明している。

コメント no.3:

- ・活断層であっても活動度がクラスC程度かそれ以下なので、明瞭なリニアメント・高度不連続が認められないのはあり得ること。
- ・全ての「第四系変状」を網羅した第9回評価会合配布資料の参考資料 2-1～2-6を参照すれば、古い正断層が逆断層に反転しているテクトニックインバージョンの事例は沢山あることが分かるし、東北電力も反転している事例は無いなど断言してはいないと思う。
- ・断層が地下深部に連続しないことがノンテクトニックであることの証拠にはならない。これは明白な誤りで、大槻からのコメント(その7)、および大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の3と4を参照されたい。
- ・固結破碎帯、未固結破碎帯、固結/未固結混在型破碎帯の意味する事に関しては、下のコメント no.5、大槻からのコメント(番外 or 9)、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の6を参照されたい。
- ・全ての「第四系変状」を網羅した第9回評価会合配布資料の参考資料 2-1～2-6を参照すれば、M1b～M1d 層あたりに裂罅や急傾斜の小断層(多くは正断層)が発達していることが稀ではない。それらの多くは M1a 層で消滅し、基盤岩に到達しない。これらが発達するのは、近傍の基盤岩中に逆断層がある所である場合もあるが、それが見当たらない所の場合も少なくない。このような状況を指して「新第三系の断層との系統的な関連性が認められない」という記述になっているものと思われる。しかし、この議論は有識者会合の中での「中立面」に関する議論の中で解決済みと思われるが、まだ決着していないというのであろうか。板が撓む(層理面の傾斜が変化する)とき、中立面を境に外側と内側にそれぞれ板に平行な引張応力と圧縮応力発生し、この引張応力で形成されるのが上の裂罅や小正断層であって、基盤岩中に断層を必要としない。この問題に関しては

次のコメント no.4 で少し詳細に述べる。なお、M1 層(板)が下方に撓めば、その下半部(M1a 層)中に裂罅や正断層が発達するはずだが、そのようなことは稀である。それは M1a 層が礫や粗粒砂で構成されるために、裂罅や断層の面が出来にくいためである。このようなことは、基盤岩に断層があつて、基盤上面に確かに食い違いあるのにもかかわらず、M1a 層中にまで断層面が追跡できない場合も同様な理由による。

したがって、「系統的な関連性が認められない」という主張は、東北電が問題をよく整理できていないということと、板曲げの力学をよく理解していないことによるのであって、原因をノンテクトニックなものに求める理由にはならないし、誤りである。まして、「岩盤劣化部の体積膨張が原因」だとの根拠は全く無い。

〔以下は、主に「第四系の変状」は断層活動によるテクトニックなものではないとする理由〕

○「第四系の変状」の分布・方向等

基盤中の断層を被覆する上部更新統に認められる「第四系の変状」は、**ずれの量が小規模で、累積性が認められないこと、変状の形態、変位・変形の量等に断層の走向方向に沿ったばらつきが認められる**ことなど、系統的な連続性に乏しい【図6、図7】。

また、「第四系の変状」形成時の応力軸の検討から、「第四系の変状」から復元される応力場は**最大主応力軸が多様で、かつ鉛直に近い最小主応力軸が卓越する**といった特徴から、上方にスリップしやすいものであったと考えられる【図8、図9】。さらに、「第四系の変状」**下方の基盤に断層が存在せず、断層とは無関係に形成されたと考えられる箇所がある。**

コメント no.4:

・変量が小さいことをノンテクトニックの根拠にするのは、全くの誤りである。大槻からのコメント(その7)、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の3と4参照されたい。

・断層の規模が小さければ、累積性が無い、あるいは認識し難い。しかし、「第四系変状」を網羅した第9回評価会合配布資料の参考資料 2-1~2-6 を参照すれば、累積性が認められる事例も少なくはないことが分かる(東北電力によるスケッチの解釈には、再検討を要する場合が散見される)。

・東北電力が変状形態を無暗に細分していることが、変状形態が「多様」に見える一因である。変位・変形の量のバラつき(連続性が乏しいこと)は、小規模な変形イベントが違った場所で起きただけの事である。“連続性”に関しては、大槻からのコメント(その4)の11、例えばF-3の具体例に関しては、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の7を参照されたい。したがって、これもテクトニックでない証拠にはならない。

・東北電力のデータは、最大圧縮主応力軸の方向がWNW方向に卓越した応力場と、最大圧縮主応力軸がNNE方向である劣勢な応力場の2種類が識別されるのであって、それほど“多様”なわけではない。他方、Ikuta et al. (2012, JGR, 117, B11408)の長期GPSデータ解析によれば、下北

半島の歪場の変化は年単位で変化している。具体的には、2000 年は西南西方向の短縮、2008 年は西北西方向の弱い短縮で、定常状態に近い。ところが、1996 年の歪の変化分は、1994 年 12 月の三陸はるか沖地震(M7.5)の余効すべりと 1996 年 1 月の余震(M6.9)の影響を受けて中立的、2004 年は 2003 年 9 月の十勝沖地震(M8.0)の影響で北東方向の伸びとなっている。さらに、3.11 の巨大地震を挟んだ期間では北西方向の弱い伸びである。したがって、当然のことながら、応力場が変化する事がノンテクトニックである証拠にはならないのである。この問題に関しては、大槻からのコメント(その 8)、および大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 2 を参照されたい。

・「“第四系変状”に対応する断層が基盤岩中に見当たらない」ことに関する議論は、すでに評価会合で解決されたはずのことで、板の曲げ(bending)や座屈(buckling)に伴って中立面を挟んでその上下に引張と圧縮応力が発生するということであった。この力学は Turcotte and Schubert による有名な教科書 Application of Continuum Physics to Geodynamics に丁寧に解説されていて、構造地質学の習得必須項目のひとつである。しかし、東北電力と有識者委員会の一部はこれをよく理解していないようなので、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 5 で改めて解説してある。そこでは Tr-20'-4 トレンチ南面・T-8 を例とし、基盤に断層が無くとも M₁ 層上半部にのみ裂罅が形成されている様子を示し、その形成メカニズムを解説している。要約して繰り返せば、背斜の頂部からその両側の inflection point までは傾斜が増加(または減少)し続けるので、板の上側(M₁ 層の上半部)に引張応力が発生して裂罅(または正断層)ができる。他方、向斜の底部からその両側の inflection point までは同じ理由で板の下側(M₁ 層の下半部)に裂罅(または正断層)ができる。ところが、M₁ 層の下半部は粗粒砂層や礫層であるため、裂罅面や断層面が生じにくいので、向斜には裂罅(または正断層)が認められないことが多いのである。被覆第四系が基盤岩中の逆断層によって撓んでも、勿論裂罅や正断層ができ得る。それらが基盤岩中の逆断層と連続しないのは、もはや説明するまでもなからう。

○断層の破碎部の固結

ボーリング調査によると、基盤中の断層の破碎部は、地下浅部においても固結・岩石化している箇所が複数認められ、理化学分析等によれば固結・岩石化した破碎部は、断層沿いに上昇した熱水によってセピオライト等に置換された変質岩である。熱水変質作用の時期は新第三紀中新世であり、セピオライトで置換された固結破碎部で約 10Ma の K-Ar 年代測定値が得られている。固結・岩石化した部分では新しいずれが認められないことから、敷地内断層は少なくとも第四紀後期更新世以降は活動していない【図 10】。

コメント no.5: セピオライトが沈殿した断層の活動時期が古く、新时期に活動していないことは正しい。他方、この“固結破碎帯”の他に“軟質破碎帯”と“固結/軟質混在破碎帯”があるという。固結破碎帯に特徴的なのは、文字通り固結していて、セピオライトを伴うことである。軟質破碎帯は文字通り軟質で、モンモリロナイトを特徴的に伴う。両者が混在する破碎帯の中の軟質破碎部にもモンモリロナイトが特徴的に産出する。軟質破碎帯であれ混在破碎帯の中の軟質破碎部であれ、

ボーリングコアの光学写真やソフトX線画像に剪断構造が認められるので、軟質破碎は断層運動によるものであり、混在型の破碎帯の固結破碎部は、軟質破碎時の破碎のされ残しである。すなわち、古い断層破碎帯が heal してしまった後に、軟質破碎帯を形成した新しい断層運動があつて、その破碎帯はまだ heal されずに今なお軟質のままに居るということである。軟質でモンモリロナイトを伴うという特徴は、敷地内の地表で活断層ではないかと疑われている断層破碎帯の特徴でもある。したがって、地下の軟質破碎帯と固結/軟質混在型破碎帯の軟質破碎部の広がり、地表と同様に活断層ではないかと疑われる代物なのである。断層運動は常に古い破碎帯を利用するとは限らないし、ジョグでジャンプする事もよくあることなので、一つの断層面に一か所でも固結破碎帯があれば、その断層全体が heal した後も動いていないという東北電力の解釈は、暴論である。彼らは軟質破碎も熱水変質によるもので、「破碎帯の固結/軟質の違いは熱水変質の程度、断層破碎部の透水性の違いによる」と述べている。透水率が違えば生成する鉱物種が異なる???!!! 無茶苦茶。この問題は大槻からのコメント(番外 or 9)、および大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 6 を参照されたい。

[以下は、主に「成因は岩盤劣化部の体積膨張であることが合理的」とする理由]

○岩盤の劣化度区分、理化学分析、物理試験

ボーリングコア及びトレンチから採取した試料の理化学分析等から、劣化岩盤には粘土鉱物（モンモリロナイトとハロイサイト）が多く含まれ、粘土鉱物の吸水膨張と岩盤の風化に伴う膨張が関与し、岩盤劣化部が体積膨張を起こしたと考える。ただし、詳細なメカニズムについては、さらなる検討が必要である【図11、図12、図13】。

コメント no.6:この問題は、大槻からのコメント(その5)、(その6)、(その7)、(その8)、(番外 or その9)で詳細・多面的に吟味されている。また、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file3.pdf> にはこれらのコメントが整理して示され、かつ新たな吟味が付け加えられている。これらの吟味によって、“岩盤劣化による体積膨張”が何の根拠も無い作り話であることが、白日の下に晒された。それどころか、“膨張”が無かったことを端的示している東北電力自身のデータがある。ここでそのことを繰り返してのべないので、上記の吟味結果を参照されたい。

○数値解析による変状の再現

岩盤劣化部のチタン量の変化に着目したマスバランス計算による体積膨張比を用いて数値解析を行い、岩盤の体積膨張によって岩盤上方の「第四系の変状」が生じる現象を再現することができた【図14、図15-1、2、3】。

コメント no.7:

・Ti法では信頼に足る体積歪が推定できないことを、大槻からのコメント(その4)、(その5)で吟味した。大槻からのコメント(その8)の補遺の2で指摘したように、Ti法による体積歪は劣化度毎に極めて大きくばらついている。Ti法では当該の風化岩とその原岩の密度およびTiの濃度が必要であるが、原岩と風化岩のペア毎の密度と全元素組成データを公表すべきである。同様の指摘は

ピア・レビューアーの藤本からもなされている。

粘土鉱物が生じても先ずは間隙を埋めるように成長し、充たし切ってからバルクとしての膨張が始まるが、モンモリロナイトの吸水膨潤実験での SEM 像と東通敷地からの試料のそれとの比較は、後者が全く体積膨張していないことを端的に示している(コメント(番外 or その 9)を参照のこと)。

・“数値解析”に関して、有識者会合はほとんど検討を加えなかったが、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 10 にはそれを吟味した結果が示されている。吟味の対象は、本評価書の図 14 と同じ f-1 断層と小断層の分布領域である。東北電力は、“圧縮解析”より“膨潤解析”の方がより良く「第四系変状」を再現出来たとしているが、後者では 2 つの断層で挟まれた区間の“ふたこぶ”状の隆起を全く再現出来ていない。他方、“圧縮解析”では“ふたこぶ”状の隆起を作ることに成功したが、f-1 断層を系の左端境界まで平面的に延長して過度に滑りやすくしたため、隆起が著しく非対象になった。f-1 断層を湾曲させるとか、下方延長部の途中で止めるようにモデル化すれば、“膨張解析”よりもより良く現実を再現できるであろう。なお、弾性体を仮定しているが、これは無茶で、せめて完全塑性体近似がよい。詳細は上記の大槻の HP を参照されたい。

○「第四系の変状」と類似する現象の事例

米国コロラド州で報告されている粘土鉱物を含んだ岩盤が体積膨張することによる地表の変位・変形の現象は、当該敷地内の「第四系の変状」と形態的に酷似している【図 1 6】。

コメント no.8: 東北電力は科学的証明というものを分かっていない。コロラドとの比較は“いが栗を指して、ウニだ”と言うようなもので、全く無意味である。その上、今となっては東通では劣化度が増してもモンモリロナイトは増加しないことが分かっているのである。この項目に関しては大槻からのコメント(番外 or 9)、および大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file3.pdf> を参照されたい。

2) 主な議論

○「第四系の変状」の分布・方向等

(東北電力の説明)

東北電力は、以下の説明のとおり「第四系の変状」には連続性がなく、分布・方向性が多様であることから、「第四系の変状」の成因はテクトニックなものではないことが支持されるとしている。

- ・断層の走向方向での「第四系の変状」の形態、ずれの性状、変位・変形の量等にばらつきが認められ、断層に沿う変状の連続性は乏しい。また、変状が全線にわたって連続する断層はない。

コメント no.9: 上記の事柄は既に上に在って重複している。煩雑なだけの拙劣な文書構成なので、改めよ。この項に関しては、上のコメント no.4 を参照されたい。

- ・「第四系の変状」下方の基盤に明瞭な断層が存在せず、明瞭な断層とは無関係に形成されたと考えられる箇所がある。その箇所では、「第四系の変状」の分布とその下方の岩

盤劣化部の上面の盛り上がりとが対応している。

コメント no.10: 上記の事柄は既に上に在る。重複してただ煩雑なだけの拙劣な文書構成なので、改めよ。この項に関しては、上のコメント no.4 を参照されたし。ただし、“盛り上がりと対応”は前には無かった記述である。この現象に関しても上のコメント no.4 の最後の・に解説してあるので参照されたい。

- ・ F-9 断層沿いに見られる「第四系の変状」は、不連続であり、かつ変位方向（隆起側）が敷地南端付近と北の方では逆となっている。

コメント no.11: 上記の事柄は既に上に在る。重複・煩雑・拙劣な文書構成。改めよ。この項に関しては、上のコメント no.4 を参照されたし。ただし、変位方向が北部と南部で逆になっているという現象の記述は初出なので、コメントする。F-9 断層の北部(トレンチ Tr-4, i, Tr-17, 2i)は W-up の撓曲 + 小逆断層のインバージョンで、変位は北端 Tr-4 の約 90cm から南端の 2i まで順次減少する。南部での広範囲な東側隆起は、Tr-20'-2 トレンチの F-9 → 群列ボーリング B の中央部 → 群列ボーリング A の東部 → Tr-31 トレンチ東端部 → 2k' トレンチ東端部 と続く線が境になっている。Tr-20'-2 トレンチ付近では偶々この境界線と F-9 断層が極めて近接しているだけで、東側の広範囲な隆起は、F-9 断層とは無関係なのである。したがって、変位のセンスが北部と南部で逆であっても何ら不思議ではなく、インテクトニックの根拠にもならない。

このことに関する予察的検討は大槻からのコメント(その 4)で既に行われていて、東傾斜の伏在逆断層を想定すればよく、その候補となる破碎帯が Tr-20'-1 トレンチの s-19 断層の近傍で掘削されたボーリング BQ-1 に記載されている旨を指摘した。上記の線は第 7 回評価会合において有識者の熊木が指摘した地形的リニアメントと一致している。これらのことに関する詳細は、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 9 で述べられている。

- ・ 東西圧縮の広域応力場と整合しない東西走向の逆断層性の小断層にも「第四系の変状」が認められる。

コメント no.12: 上記の事柄は既に上に在る。重複・煩雑・拙劣な文書構成なので、改めよ。この項に関しては、上のコメント no.4 を参照されたし。

- ・ 「第四系の変状」形成時の応力軸の検討から、「第四系の変状」を形成した応力場は最大主応力軸が多様で、かつ鉛直に近い最小主応力軸が卓越するといった特徴から、上方にスリップしやすいものであったと考えられる。

コメント no.13: この記述からは、「最小圧縮主応力軸が垂直で、水平面内にある最大圧縮主応力と中間主応力がほぼ等しく、容易に入れ代ることができるような応力場であった」ということだけが導かれるのであって、「第四系変状」がノンテクトニックであることの証明には全くならない。笑止である。このような幼稚なことは有識者会合で決着しておくべきこと。それとも、規制庁や評価会合は、このよう主張を多少なりとも科学的に価値があると認めてここで取り上げているのであろうか！

(有識者の意見：東北電力の説明を支持しないもの)

有識者会合では、「第四系の変状」の連続性、分布・方向等に基づく検討から“「第四系の変状」の成因はテクトニックなものではないことが支持される”との東北電力の説明に対しては、以下の理由から、それが妥当であるとは言いがたいとの意見があった。

- ・「第四系の変状」の走向方向での**変位・変形の形態、ずれの性状、変位・変形の量等**に**ばらつき**について、その成因を判断するに足りる定量的な調査結果がこれまでに示されていない。

コメント no.14:上に述べられている事柄に関しては、上のコメント no.4 ですでにコメントしている。評価としては受け入れられるのだが、例えば、第9回評価会合配布資料の参考資料 2-1~2-6 を参照して個々の変状を逐一検討すれば、現象論的な規則性とそれらの成因が見えてくる。その例として F-3 と F-9 断層に関して吟味し、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 7 と 8 に記述しているので、参考にされたい。

- ・ s 系断層には、NNE-SSW 方向に卓越する主要な逆断層集団と WNW-ESE 方向に卓越する少数の逆断層集団が認められ、前者は平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震以前の地震の発震機構の広域地殻応力場と調和的である【図 7】。後者は、最大主圧力軸と中間主圧力軸方向の応力が近接していれば、ほぼ同一の応力状態として理解することができる。

コメント no.15:この評価は OK。上記のことに関するコメントは、上のコメント no.4 で述べたので参照されたい。とくに、Ikuta et al. (2012, JGR, 117, B11408)の長期 GPS データ解析は、地殻応力場の時間的変化に関する我々の理解を大いに助けてくれる。

- ・地震時に破壊する断層の事例では、本体の連続性が長くても、その末端等では、断層が分散し、断続的となることがあり、また**断続的となった断層の区間毎に変位量が急変する**ことが知られている。したがって、周辺の断層も含めた定量的かつ詳細な検討なしにその成因を判断することはできない。

コメント no.16:この評価は一般的なお話としては受け入れることができる。

- ・断層変位地形が数百 m 程度ないしそれ以下しか認められない断層でも実際に地震を起こした事例があるので、地表での連続性に欠けるという理由のみでは活断層の可能性を否定することはできない。

コメント no.17:この評価も一般的なお話としては受け入れることができる。

- ・**延性的な断層ほど断層末端に向って変位量がより急激に減少する**。したがって、変位量が急変することを根拠にテクトニックな断層ではないと判断するのは誤りである。

コメント no.18:この評価は正しい。このことに関しては大槻からのコメント(その 2)の 4、(番外 or 9)の 2、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 3, 4, 5 で詳しく検討している。

- ・変位に累積性がないとしても、それだけでは「将来活動する可能性のある断層等」に該当しないことにはならない。

コメント no.19:この評価は正しい。ただし、第9回評価会合配布資料の参考資料 2-1~2-6 を参照すれば、累積性を示す事例は少なからず見つかる。東北電力は活動時期が 2 つあると述べたが、

そうではないようなので、要再検討。

- ・地震断層の調査・観測記録によれば、地下浅部にのみ分布し変位量数 10cm 程度の断層のずれでも地震波を生じさせた断層活動の事例がある。

コメント no.20:これは確かか？どの程度の深さか？事例を明示すべし。

- ・粘土注入が体積膨張の可能性を示唆するとの意見があるが、粘土注入は、断層粘土が膨張しても、あるいは母岩に作用する圧縮応力で絞り出されても出来る。他方、「岩盤が膨張」は別途実証が要求される事柄で、粘土注入を岩盤膨張の「証拠」としては採用できない

コメント no.21:この評価は正しい。

(有識者の意見：東北電力の説明を支持するもの)

有識者会合では、「第四系の変状」の連続性、分布・方向等に基づく検討から“「第四系の変状」の成因はテクトニックなものではなく、「岩盤劣化部の体積膨張」であることが支持される”との東北電力の説明について、以下のとおり「第四系の変状」の一部については妥当であるとの意見があった。

- ・「第四系の変状」として長さが短く、変位量の大きな断層（s系断層）が多数分布している一方で、現状のデータからはこれらの構造を形成する要因となる大きな断層が近くの地表（あるいは地下浅部を含む）では認められていない。

コメント no.22:この評価は全く正しくない。堆積岩中には変位量・長さ比が0.01程度の断層は普通に認められ、0.1前後のものも珍しいわけではない。このような断層は近傍に大きな断層が無くとも存在しているし、大きい断層を必要とする理由も無い。勉強して欲しい。この事項に関しては、大槻からのコメント(その7)の1, (番外 or 9)の2, 大槻のHP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の3, 4で詳しく検討してある。

- ・基盤の断層破砕部から第四系上部更新統に粘土が注入した様子（粘土注入）が認められる断層があり、その存在は、岩盤中の断層破砕帯の構成物が膨張した可能性を示唆する。

コメント no.23:古い主要な断層の軟質破砕部にモンモリロナイトが伴われるので、それが吸水膨潤することはあり得る。しかし、そのような破砕帯以外にも沢山の“第四系変状”があるので、この評価は見当違いである。念のため、モンモリロナイト中の層間水は水蒸気圧と上載荷重との平衡を保って存在しているので、水蒸気圧の上昇か上載荷重の減少のいずれが起こった時に膨張する。モンモリロナイトが“ある”だけでは何も起こらない。なお、粘土注入は破砕帯が横から押されて絞り出されても良い。Tr-28トレンチでのF-3断層に関して東北電力側有識者の千木良が指摘したように、東側の蒲野沢層に東上がりの逆断層が2, 3本発達していて、その上盤の移動がF-3破砕帯を押し縮めている。このような状況は、断層粘土が膨張したというよりも破砕帯が横から押されて断層粘土が絞り出されたことを示唆するのである。

- ・s系断層に多く見られる短波長（幅 10m程度）のバルジ状の変形は、これを作り出す

逆断層変位が非常に浅い部分のみに限られ、深部には続かないことを示している。

コメント no.24: 全ての「第四系変状」を網羅した第9回評価会合配布資料の参考資料 2-1~2-6 を参照すれば分かるように、“バルジ”の波長は 10 数 m から 20m 程度のものが多いようだが、80m に達するものもある。小断層を伴う“バルジ”も伴わない“バルジ”もある。伴う場合は小逆断層の方向とほぼ平行に伸びているようである。トレンチ Tr-20'-1 の場合は波長が 14m 程度で、南北両面のスケッチを比較すれば、それらはほぼ南北方向で、s-19 などの小逆断層の走行とほぼ同じである。また、s-19 は南面のみに認められ、北面には伸びて来ていない。北面の“バルジ”は左右対称だが、これと対応する南面の“バルジ”は s-19 による変形で著しく非対象になっている。すなわち、“バルジ”は小逆断層と密接な関係があり、主圧力軸に直交する方向に伸びている。これらのことから、“バルジ”は座屈褶曲であるとみなしてよからう。

s 系断層が作る変形域が狭いのは、単に小規模だからで、当然深部まで伸びない。サイズが小さいからノンテクトニックであるとの主張は、断層学のイロハもわきまえず、全く見当外れである。この詳細は大槻からのコメント（その 7）や（番外 or 9）と大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 3, 4 に述べられているので、参照されたい。

- ・ 敷地内には短波長のバルジ状の変形が平行に多く並び、かつこれらとほぼ直交する方向のバルジ状の変形も一部混在する。大地震に伴う地表地震断層・地表変形については世界で膨大な数の事例が報告されているが、このような特異な地表変形が出現した事例は知られていない。

コメント no.25: 地中レーダー探査の走査間隔が十分密ではないことと解像度が不十分なため、バルジの配置パターンは良く分からない。しかし、トレンチの両壁を見比べると、バルジと相伴って形成されている小逆断層は、互いに平行であるように見える。小逆断層集団にも優勢な NNE 系統と劣勢な WNW~WSW 系統とがあるので、バルジに 2 系統あっても良いが、断定するにはデータ不足である。これらの個々のバルジは、ばらばらに分布しているわけではなく、一定の波長を持っているので、undulation(波曲)と言った方が良い。それらと相伴っているのは逆断層で互いに平行なので、座屈褶曲である可能性が高い。そうであるなら、地震時に出現する必然性は無いので、“第四系変状”がノンテクトニックである証拠にはならない。以上のことから、上記の評価は不適當である。なお、バルジ /undulation/ 座屈褶曲に関しては、大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 3 と 5 で触れられている。

- ・ s 系断層の中には、1 m を超える逆断層変位が地下わずか数 m で消滅するものが存在する。断層上盤側が周囲に対して隆起したと考えられるので、断層に沿った引張性の線歪みは 10^{-1} 以上に達することになるが、断層周囲の岩盤中に多数見られる亀裂には開口した形跡は認められない。亀裂の多く発達した岩盤がこのような大きな歪みを延性的に吸収できるとは考えられず、何らかの原因による体積膨張を考えるのが自然である【図 17-1、2】。

コメント no.26: このコメントも基礎知識を欠いていることと事実を見ていないことによる誤りである。断層の変位量/長さ比が 0.01 程度の断層は普通であって、0.1 程度の断層も珍しいわけではない。

このように変位量/長さ比が大きいのは、堆積岩は花崗岩などと比べてずっと延性的だからである。東通の劣化岩盤も大変延性的なので、変位量/長さ比が0.1程度になって当然なのである。これら
のことに
関しては、大槻からのコメント(その 7)の 1, (番外 or 9)の 2, および大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 3, 4, 5 で触れられている。

上の評価文の後半は、①伸びの歪が 10%以上になっても開口亀裂が見当たらないということ、②多数の亀裂の発達した岩盤が 10%以上延性的に変形するとは考えられないということ、および③だから体積膨張が考えられる、というわけである。①は事実を見ていないことによる誤りである。評価会合の事前会合配布資料 過去の審議資料 平成 24 年 5 月 14 日には、まさに s-19 断層付近の Tr-20'-1 トレンチ南面で測定した小断層データが掲載されている。鏡肌なしのものが 117 個、鏡肌ありのものが 58 個で、大部分はともに NNE 方向の(おそらくは共役逆)断層である。鏡肌無しのものの中で面が水平の断裂は 6~8 レベルの極大を確かに作っているのである。②に関してはどのような理由で“考えられない”のか分からない。微小割れ目の約 30%に鏡肌が認められることから、それらのすべりがマクロには塑性変形に見えるのである。だから“考えられない”のはこの評価を述べた有識者だけが“考えられない”のであって、事実は延性変形しているのである。③に至っては①と②を理解できていないので、当該の有識者が苦し紛れに東北電力の“膨張”を借りたに過ぎなからう。原因も特定できずになぜ“体積膨張”と主張できて、“自然”なのか、奇怪。

○断層の破碎部の固結

(東北電力の説明)

東北電力は、以下の説明のとおり、基盤岩である中新統中では主要な断層の広い範囲で断層破碎部の固結・岩石化(中新世の熱水活動による)が認められているが、断層破碎部の固結・岩石化の存在は断層活動による破碎がなかったことを示すものであることから、固結・岩石化が部分的にでもあればその断層は固結・岩石化して以降の活動はないとしている。

- ・主要な断層の多くは、断層破碎部が固結・岩石化した範囲が広く分布し、深部ではより広く分布する【図 10】。

コメント no.27: データを正確に述べていない。F-3, F-9, F-10 は固結破碎部の分布範囲が狭く、深部で広く分布するわけではない。F-7 のみが固結破碎部のみだが、データは 4 点に過ぎない。

- ・固結・岩石化した部分に新しいずれがないことを確認した。また、続成作用による固結・岩石化も認められる。

コメント no.28: この記述は OK.

- ・敷地内断層破碎部の固結・岩石化は、理化学分析等から断層沿いに上昇した熱水によってセピオライト等に置換された後に固結・岩石化した変質岩であることを確認した。

コメント no.29: この記述も OK.

- ・熱水変質作用の時期は新第三紀中新世の蒲野沢層堆積後であり、セピオライトで置換された固結破碎部で約 10Ma の K-Ar 年代測定値が得られている。

コメント no.30: この記述もOK.

- ・断層破砕部が固結・岩石化した箇所があれば、その断層は活動しなかったことを示すものであり、断層深部が活動し、地表に変位が及ぶ場合には、固結破砕部が破砕されると考えられ、固結破砕部より浅部に分布する軟質な破砕部だけが変位した事例は知られていない。

コメント no.31: 固結破砕帯, 軟質破砕帯, 固結・軟質混在型破砕帯の意味する事は, コメント no.5 でやや詳しく述べたので繰り返さない. 軟質破砕帯であれ, 固結・軟質混在型破砕帯であれ, 軟質破砕部は新期の(おそらくは第四紀の)断層運動を強く示唆するというのであった.

ここでの東北電力の主張の誤りは, 一か所でも固結破砕部があれば, 新期の断層運動は無いという解釈である. 断層すべりは常に同じ断層面上で起こるとは限らない. 例えば, 1999年台湾集々地震の際に活動した車龍埔断層に関しては, 深層ボーリングでは1136~1314mにわずか4枚の断層帯が認められにすぎないが, 浅いパイロットボーリングでは深度150~450mの間に10枚もの破砕帯が確認されたのである(例えば, Otsuki et al., 2005, *Island Arcs*, **14**, 12; Otsuki et al., 2009, *Tectonophysics*, **469**, 13). また, 断層すべりはジョグでstep overすることが稀ではない. したがって, ボーリングコア試料に一か所でも固結破砕帯が認められたからといって断層全体が新期に活動しなかったと主張するのは誤りである.

上記の問題に関しては, 大槻からのコメント(番外 or その9)のIIの1, 大槻のHP

<http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の6に詳述してある.

(有識者の意見)

有識者会合としては、“固結・岩石化が部分的にでもあればその断層は固結・岩石化して以降の活動はない”ため「第四系の変状」が断層活動によるテクトニックなものではないとする東北電力の説明に対しては、以下の理由から、合理性がないと考える。

- ・断層破砕部が固結・岩石化しているので活動がないと説明するが、断層の全体が固結しているわけではなく深さ 100~200m 程度までの部分は比較的軟質である。地震断層の事例から判断すると、小規模な地震時の変位であればその軟質部だけで十分に生じる【図10】。

コメント no.32: 深さ 100~200m程度までの範囲が動いても地震が起こる?もしこれが Sylvester and Heinemann (1996, *Seismo. Res. Letters*, **67**, 11) による珪藻土採掘に伴う地震のことを念頭において述べているなら, 要検討である.

- ・固結破砕帯に未固結破砕部が重複している観察事例が多く示され、非固結破砕帯にはモンモリロナイトが普通に伴われていて、かつ剪断構造が発達している写真もあった。また、軟質部をほとんど含まない断層は F-7 のみであって、F-3、F-4、F-5、F-8、F-9、F-10 には軟質部が卓越し、所々に固結部が混ざっている。これらの固結部は新しい活動で破砕され残った部分で、軟質部が見落とされている可能性がある。

コメント no.33: この評価はOK.

- ・セピオライトが多く含まれる固結破碎帯は、古い断層とみなしてよい。しかし、これに重複する軟質の破碎帯が重要であり、これらにはモンモリロナイトが含まれ、剪断変形構造が伴われるので、新しい断層活動によって出来たものである可能性がある。

コメント no.34: この評価もOK.

- ・東北電力によるセピオライトという鉱物の同定結果（化学分析値）は、少なくとも純粋なセピオライトのものではない【図18】。

コメント no.35: 上記のことは、「第四系変状」がテクトニックかノンテクトニックの問題とは無関係、削除すべし。

○岩盤の劣化度区分、理化学分析、物理試験（「第四系の変状」の成因が岩盤劣化部の体積膨張であるとする根拠）

（東北電力の説明）

東北電力は、先述のとおり「第四系の変状」はノンテクトニックなものと判断し、岩盤劣化部で体積膨張が生じていることは事実であり、その現象にはモンモリロナイト、ハロイサイト等の粘土鉱物が関与しているとしている。

- ・理化学試験の結果、モンモリロナイトは岩盤劣化部に限らず、浅部～深部まで普遍的に含まれている。一般に、モンモリロナイトは、続成作用、熱水変質作用、岩盤劣化によって生成される。一方、ハロイサイトは、岩盤劣化部に含まれており、岩盤の風化・劣化によって生成される【図12、13】。

コメント no.36: 岩盤劣化部で膨張が起きている証拠は皆無である。これまでに、膨張にモンモリロナイトとハロイサイトが関与していることも、東北電力自身のデータで否定されてしまった。

当初、東北電力は岩盤劣化とともにモンモリロナイトが増加し、その吸水膨潤によって体積膨張が起きると主張していた。しかし、大槻はモンモリロナイト濃度と劣化度との相関やモンモリロナイト濃度の分布図を示すことが最低限必要だと指摘していたし、劣化度Aであっても相当量のモンモリロナイトが含まれているのだから、モンモリロナイトは続成作用ですでに生成していて、その表層部だけに後で化学風化が重複しただけであることも指摘していた。今では岩盤劣化してもモンモリロナイトは増えないどころか減っていることが明らかになったし、表層の溶脱帯では斜長石とモンモリロナイトが溶解してハロイサイトが沈殿し、その下の集積帯（東北電力のいう岩盤劣化部の下）に移動した溶液からはモンモリロナイトが沈殿するというごく普通の化学風化作用が起きているに過ぎないことも指摘した。

岩盤劣化部（溶脱帯）ではモンモリロナイトは増えないし、ハロイサイトは溶脱帯の中で加水ハロイサイトとして生成するので、岩盤劣化では膨張は起らない。

- ・新鮮な岩盤では、モンモリロナイト（膨潤性を有する鉱物）は基質に封じ込められているため体積膨張することはない。岩盤の風化・劣化が進行し、モンモリロナイトの吸水膨潤、ハロイサイトの結晶成長により、体積膨張が発生する。

コメント no.37: 上記の前半は地学の基礎をわきまえぬ無茶苦茶な主張である。“基質”とは何を

指す？モンモリロナイトは水が無い所では生成しないので、モンモリロナイトが在るということは、生成時にはすでにそこに水が在った(透水的であった)ということ。モンモリロナイトはそこでの水蒸気圧および上載荷重に平衡する層間水を有して生成するので、生成時には膨張を伴わない。ハロイサイトも加水ハロイサイトとして生成するので、膨張は起らない。

この項目に関することは、大槻からのコメント(その3)、(その4)の2~4、(その6)、(その7)のII、(その8)の1~3、(番外 or その9)の1~3、大槻のHP <http://aobatotoro.info/img/file3.pdf> に詳述してある。

- ・第四系の変状は、トレンチ壁面の観察結果から、敷地山側では、洞爺火山灰層堆積後～M2面段丘堆積物堆積前、敷地海側ではM2面段丘堆積物堆積後～十和田レッド軽石層堆積前の2時期に発生した。

コメントno.38:第9回評価会合配布資料の参考資料2-1~2-6を参照すれば、“第四系変状”が上記のような2つの時期に限って発生したわけではなさそうであることが分かる。要吟味。

- ・モンモリロナイトは原岩状態または湿度が保たれた状態では膨潤しないが、乾燥によりII相に変化し、再度吸水することで膨潤する。この相変化を模擬するためにF-9断層の破碎部粘土を対象に粉碎・乾燥を行った試料について膨潤試験を行ったところ、断層破碎部粘土は上載層に変状をもたらす膨潤能力を有することが示された。

コメントno.39:これも間違いか見当違いの記述である。そもそも東通の表層部がII相(層間水1層の状態)にまで乾燥したことはなかったようである(大槻からのコメント(その8)の3)、(番外 or 9)の3)。また、II相を経なければ爆発的な膨潤は起きないということも誤りで、十分反応時間が長ければ、I相から直接III相になっても起こるようである(大槻からのコメント(その8)の1, 2、(番外 or 9)の2)。

行われた膨潤試験では、収縮限界にまで乾燥させた上で吸水・膨潤させているから大きな膨潤圧になるのであって、自然界ではすでにある程度(相対湿度60%以上)吸水してしまっているので、その分膨潤は小さくなる。膨潤試験はとて不十分である(大槻からのコメント(その7)のIIの2)。

(有識者の意見)

有識者会合としては、“岩盤劣化部の体積膨張にはモンモリロナイト、ハロイサイト等の粘土鉱物が関与している”との東北電力の説明に対しては、以下のとおり、十分なデータが示されているとは言えず、またその説明には合理性がないと考える。

- ・「第四系の変状」を形成したとされたモンモリロナイトとハロイサイトの膨張に関して、それぞれの膨張のメカニズムや時期、変状に対する影響の度合が、定量的・経時的に十分に検討できていない。

コメントno.40:この評価はOK。そもそも“膨張説”には何の証拠も理論もなく、完全に架空の話である。

- ・分析結果からは、モンモリロナイトの含有率と岩盤劣化度との間に相関性はない。強劣化部で著しく増加するのはハロイサイトである。これは層間水を一層だけ含む加水ハロイサイトとして生成し、それ以後はいくら水に浸かっても膨張しない。したがっ

て、強劣化部で膨潤するという主張は受け入れられない。

コメント no.41:この評価はOK.

- ・一般に、風化部では斜長石とモンモリロナイトが溶解し、アルカリ・アルカリ土類金属元素など移動度の高い元素は下方と側方に浸透・移流する。風化部からは元素の流出が著しく、土壌からを除いて流入はほとんど無いので、孔隙率の高い岩石になる。残存しやすい主要元素は移動度が小さい Al と Si など、これらは酸性環境下で安定なハロイサイトができる。これらは孔隙率の高い部分を埋めるように成長するが、流出した元素の量が多いので、孔隙を充填しつくすほどの量にはならない。このことは、岩石試料の電子顕微鏡写真が明白に示している。したがって、膨張は起きていない。

コメント no.42:この評価はOK. 膨張が起きていないことを示す電子顕微鏡写真に関しては、大槻からのコメント(番外 or 9)の1を参照されたし。

- ・新鮮な岩石でも膨張する鉱物が入っていれば、膨張に伴う放射状の割れなどの現象が認められることがよく知られているが、東北電力による岩盤劣化部の性状を示す模式図や顕微鏡写真にも、膨張した鉱物の周囲の鉱物にそのような現象があることが示されていない。

コメント no.43:この見解は石渡委員長の見解だが、あれはザクロ石が上昇・減圧されるときにそれに含まれるコーサイト(石英の高圧相のひとつ)が石英に相転移して膨張し、ザクロ石に放射状クラックができるという事例。これは膨張するコーサイトを包んでいるのが結晶であって、事実上孔隙率ゼロ。他方、東通のモンモリロナイトを含む劣化岩盤は、大変多孔質であって、放射状クラックなどは出来そうにないから東北電力は四苦八苦している。したがって、コーサイトを包むザクロ石の件は、一種のついでのお話のようなもので、評価とは関係ない。

- ・モンモリロナイトの相変化に関する試験では、いったん試料を乾燥させたとしているが、自然環境の地下でありえないような極端な湿度で議論されている。また、同実験では断層破砕部粘土を用いて実験しているが、岩盤劣化部が膨潤するとの説明には検討不足である。

コメント no.44:この評価は OK. 理由はコメント no.39 を参照をされたい。

- ・モンモリロナイトの膨潤に関する室内実験によれば、高い上載圧下でも小さいながらも体積増加が認められているが、岩盤の膨潤による影響の考察においては、体積増加率が小さくとも層厚が厚い岩盤深部の挙動が検討されていない。

コメント no.44:この評価は問題あり。まず、体積膨張の原因は膨潤性粘土鉱物以外にも複数あるので、乾燥した試料を浸水すれば、多少とも膨張する。これを東通で議論になっている粘土鉱物による膨潤と混同してはならない。岩盤深部のモンモリロナイトの膨張はほとんど問題にならないだろう。なぜなら、そこは地下水面以下で、そのモンモリロナイトは上載荷重と平衡しているので、それが変化しない限り、体積変化は起こさない。風化帯の溶脱帯を通して集積帯に下りてきた溶液からモンモリロナイトが沈殿した場合には、そこでの上載荷重と平衡する層間水を持って晶出するので、モンモリロナイトそのものは膨張しない。

- ・海水準変動に伴う乾湿の変化により体積膨張が生じているが、実際には氷期や間氷期の繰り返しや降雨等の影響もあり、敷地全体にわたって、比較的特定した時期に膨潤現象が起こることの説明が十分ではない。

コメント no.45:この評価はOK. これに関しては大槻からのコメント(その7)のIIの1, (その8)の3, (番外 or 9)の3で詳細に検討されている.

- ・モンモリロナイトの膨潤による成因の説明では、上記の岩盤深部の挙動も含め、完新世において膨潤による地表変形が確認できていないことの説明が困難である。

コメント no.46:この評価はOK. 要するに現場で降雨量, 深度毎の湿度, 膨張量を 2, 3 年継続観測すればよいのである.

- ・岩盤劣化部が膨張して「第四系の変状」が生じたとすれば、トレンチ壁面やコアでも相当な膨潤現象が見られるはずだが、その顕著な例は見られていない。

コメント no.47:尤もな評価である.

○数値解析による「第四系の変状」の再現

(東北電力の説明)

東北電力は、Tr-20'-1 トレンチ南面 (s-19 付近) 及び Tr-34 トレンチ東面 (f-1 断層) を対象に、有限要素法による膨張解析を実施している。解析にあたっては、不動元素としてチタン (Ti) に着目した分析結果に基づく体積膨張比を与えており、その体積膨張比は、岩盤の劣化度と正の相関があり、浅部に分布する劣化程度の大きい領域 (劣化度 D、E) において大きな値をとっている。東北電力は、膨張解析の結果、実際の変状の形状が概ね再現できたとしている【図14、15-1、2、3】。

コメント no.48:Ti 法では体積歪を測ることができない. このことは、大槻からのコメント(その4)の5, (その5), 大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file3.pdf> の7に詳しく述べてあるので参照されたい.

(有識者の意見)

有識者会合としては、“数値解析により第四系の変状が再現できた”との東北電力の説明に対しては、以下のとおり、十分なデータが示されておらず、またその説明には合理性がないと考える。

- ・体積膨張比の設定にあたって反応性に乏しいということを理由にチタンを不動元素として使っているが、nm (ナノメートル) サイズになればチタン鉱物の溶解度も増加し、移動度も高くなり、不動元素としては使えない。

コメント no.49:基本的には溶解速度は固体溶質のサイズに逆比例する. このことから、例えば深成岩に含まれるルチルが 10 μ m で、火山ガラスふくまれるルチルが 10nm なら、それだけで溶解速度は 1000 倍になる. Ti が immobile だというのはあくまで近似であって、本当の mobility を知らなければ、近似の精度も分からないままなのである. それを知る際には、溶解速度のサイズ依存性も考慮しなければならないのは当然である.

- ・東北電力の分析結果によれば、断層破碎部のチタン含有量は、母岩より顕著に低い。
このことは、チタンが移動したことを示唆する。

コメント no.50:この問題は、セピオライトが沈殿した破碎帯中のTiがどこから来たのかということである。単に断層運動で母岩が粉碎されただけなら、破碎岩のTiの濃度は母岩のそれに等しい。ところが、測定された含セピオライト断層岩のTi濃度は母岩のそれより1桁ほど小さかったのだ。この事実から2つのエンドメンバーが考えられる。ひとつは、断層岩のTiは熱水が運び残したものであるという可能性で、もう一つのエンドメンバーは、断層岩のTi濃度はそこを通過し続ける熱水中のTi濃度であるという可能性である。前者の場合はTiが熱水によって運搬されることを意味し、後者の場合は熱水がどこかでTiを溶かし込んで断層の所まで来たことを意味する。どちらの場合であっても、Tiは熱水によって運ばれることを意味している。つまり、Tiは完全に immobile ではないということである。

- ・浅部続成環境下であってさえ碎屑性チタン鉱物が溶解し、自生のチタン鉱物が晶出している事例が報告されているので、チタンを不動元素であるとは仮定できない。

コメント no.51:正しい評価である。大槻のHP <http://aobatotoro.info/img/file3.pdf> の7には、河川水中での懸濁粒子内の元素濃度/イオン濃度比のデータが紹介されている(J. E.アンドリュースほか著、渡辺 正訳、2007、「地球環境化学入門」、シュプリンガー)。それによれば、Ti⁴⁺に関するこの比はFe³⁺やAl³⁺と同じオーダーなのであって、Tiは思ったほどより mobile なのである。

- ・岩盤劣化度とチタン法で推定された体積歪の関係には相関性が低い【図15-3】。

コメント no.52:図15-3を見れば分かるように、劣化度毎の膨張比のバラつきが大変大きい上、本来“膨張”となるべき各劣化度の膨張比データの中には、全劣化度に渡って **20%に達する収縮**を示すデータが少なからず存在しているのである。このことは各種の誤差が大変大きいのか、Tiが移動し、濃度がポイントごとに増加したり、減少したりしていることを示唆する。このような問題点をクリアしなければ、Ti法は使えない。

上記のことに關しては、大槻のHP <http://aobatotoro.info/img/file3.pdf> の7に詳細が述べられている。

○「第四系の変状」に類似する事例（東北電力の説明）

- ・国内外で「第四系の変状」と類似する事例が確認されており、特にコロラド州で確認されているヒービングベッドロックの事例とは形態や規模が酷似しており、岩盤が膨潤性の粘土鉱物を多く含む等の共通点があることから、この事例は東通の「第四系の変状」の類似事例として否定されるものではないとしている【図16】。

コメント no.53:コロラドとの比較は何の証明にもならない。この件に関しては、コメント no.8 ですでに述べた。

(有識者の意見)

有識者会合としては、“東通敷地の「第四系の変状」とコロラドの事例には類似性がある”との東北電力の説明に対しては、以下のとおり、十分なデータが示されているとは言えず、

またその説明には合理性がないと考える。

- ・コロラド州の事例と東通敷地の「第四系の変状」では、気候や人為的関与の有無の点で、条件が異なる。

コメント no.54:コロラドとの比較は何の証明にもならないので、ここでの評価もどうでもよいこと。

- ・コロラドの隆起の原因はモンモリロナイトの膨張である。他方、東通敷地では膨張が大きくなるはずの劣化度 D、E の岩盤でむしろモンモリロナイト含有量がやや低下傾向にある。従って、コロラドの事例を東通敷地の「第四系の変状」の類似現象とみなすことはできない。

コメント no.55:正しい評価である。

- ・コロラド州の事例は 1 km 四方程度の範囲の中に点々と線状に変状が出ていることが図示されているだけであるのに対し、東通敷地の「第四系の変状」は、敷地外も含めて最大 2 km にも連続し、また広範囲が台地状に隆起している現象もある。規模の点から十分に比較検討できているとは言えない。

コメント no.56:コロラドとの比較は何の証明にもならないので、ここでの評価もどうでもよいこと。

- ・力源の大きさと広がり特定しないままに、コロラドの事例と東通敷地の「第四系の変状」とを比較することには意味が無い。すなわち、両者でのモンモリロナイト濃度、層間水が何層か、モンモリロナイトの膨張によるバルクでの体積歪をバッファーする孔隙率の相違、それらの 3 次元的な分布などを知らないままに比較はできない。

コメント no.57:正しい評価である。

- ・コロラド州の事例として報告されている変状の露頭記録は、それに酷似する地震断層の露頭記録もある。したがって、東通敷地の「第四系の変状」との類似について、十分に比較検討できているとは言えない。

コメント no.58:コロラドとの比較は何の証明にもならないので、ここでの評価もどうでもよいこと。現象のメカニズム・原理に遡った吟味が必要なのである。

(3) 有識者会合による評価

有識者会合は、「第四系の変状」の分布や規模については定量的な調査結果が示されておらず、「第四系の変状」を構成する断層の一部は平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震以前の地震の発震機構から求めた広域地殻応力場と調和的であり、地下の断層破碎帯は少なくとも浅部では固結していない部分があることから「第四系の変状」の成因の全てをテクトニックなものでないとする東北電力の主張には、十分なデータが示されていないと考える。

また、「第四系の変状」の主な成因を岩盤劣化部の体積膨張とするには、膨潤性鉱物の吸水膨張の影響や岩盤の風化による影響を定量的・経時的に立証できる証拠あるいは理論がほとんど提示されていないので、その解釈が適切と判断できないこと、数値シミュレーションによる再現性についても、解析条件の信頼性、精度が確認できないことなどから、「第四系の変状」の主な成因を岩盤劣化部の体積膨張として説明できるものではないと考える。

しかし、「第四系の変状」のうち少なくとも s 系断層については、連続性が極めて乏しく方向が定まらないこと、深度方向でも消滅すること、このような地表変状が地震時に出現した事例は知られていないこと等、一般的な活断層の特徴とは異なり、テクトニックなものとは考えられず、何らかの原因による体積膨張などを考える必要があるという見解もあった。

コメント no.59: 評価項目毎にコメントを述べたので、ここで改めて繰り返ささない。

s 系断層に関する最後の段落に関しては、評価会合は科学の場なのだから、このようなことを主張する有識者にはもっとしっかり勉強しなさいと言うばかりである。

2. 敷地に見られる地形の高まりの成因について【論点 2】

(1) 東北電力による説明

東北電力は、有識者会合において段丘面上に地形の異常な高まりが存在すると指摘されたことを受け、この高まりと断層との関係を明らかにするために、トレンチ調査 (Tr-20'-2~4、Tr-31、2k' など)、ボーリング調査、反射法地震探査及び地中レーダー探査等を実施した。

有識者が指摘した M1 面上の地形の高まりの西側近傍を F-9 断層が通過する地点で掘削されたトレンチ (Tr-20'-2) の壁面では、F-9 断層を境にして基盤上面に高度差がみられ、M1 面段丘堆積物の下部 (M1a~M1c 層:海進期~高海面期の堆積物) の分布は F-9 断層の西側の低まりに限られており、また、F-9 断層上の M1 面段丘堆積物には上向きに突出した変形構造を示す「第四系の変状」が認められる【図 19】。これらの観察結果について東北電力は、基盤上面の高度差は侵食によるものであり、M1 面段丘堆積物が堆積した時には F-9 断層西側の低まりが既に存在していたこと、「第四系の変状」は断層破碎部の膨潤によって形成されたと解釈した。

さらに、同じく Tr-20'-2 の北方で F-9 断層が地形の高まりの縁を通過する地点で掘削されたトレンチ (Tr-31、2k')【図 20】では F-9 断層を覆う M2 面段丘堆積物に変状が認められないことから、東北電力は F-9 断層を活断層ではないと評価した。また、既知の断層の通過位置とは関係なく分布する地形の高まりを調査するために掘削されたトレンチ (Tr-30) では、地形の高まりは人工的な盛り土であることが確認された【図 21】。

このほか、地形の高まりを横断する複数の測線で群列ボーリング【図 22】、反射法地震探査【図 23】、地中レーダー探査【図 24】を実施し、地形の高まりの地下には段丘面に東側隆起を生じさせるような断層が地下には存在していないとしている。

これらの調査結果に基づき、東北電力は、敷地内の段丘面上に認められる地形の異常な高まりは、後期更新世以降の断層活動の存在を示すものではないと説明している。

コメント no.60: F-9 断層の東側に認められる広範囲な地形的高まりの成因に関して、ここで一括してコメントし、ここで触れない個々の問題については、“主な議論”で逐一コメントする。

熊木委員は第 4 回と第 7 回評価会合において、Tr-20'-2 トレンチでの F-9 断層から北に延びる地形的リニアメントは、一旦 F-9 断層から西にずれて群列ボーリング 2L80 の孔井 H25B-2L5 と

H25B-206の間、およびその北の群列ボーリング 20の孔井 H25B-2012とF-9の間を抜け、その後F-9断層の東側に曲がってTr-31トレンチの東端を通り、さらに北の2k'トレンチ東端を通過することを指摘した。大槻からのコメント(その4)の10も東側隆起と西側沈降の境界線が熊木のリニアメント一致する事を指摘し、併せてTr-20'-1のs-19断層近傍に掘削されたボーリング孔BQ-1の深度12.19~12.36mに“砂状破碎帯”, 13.06~13.12mに“岩片状破碎部”が記載されていて、これが東側隆起と西側沈降をもたらした伏在逆断層ではないかと問題提起した。大槻のHP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の9にはこれらの詳細が述べられている。

Tr-20'-3~20'-2~20'-4トレンチでは、引きずり変形をも考慮した場合と考慮しなかった場合の基盤岩上面の食い違いは、それぞれ3.9mと5.6mで、変位の下限値と上限値を与える。これに対してM_{1d}層上限の食い違いは約1mなので、食い違いは明らかに累積的である。M_{1a}層は礫層だが、F-9断層を越えて東側の基盤を覆っている。Tr-20'-2の北140mにある群列ボーリング2080によれば、M_{1a}層は基盤の食い違い境界を越えて東に50m以上も広がっている。このことは、M_{1a}層堆積時には東西両側での地表高低差は無かったことを示唆する。M_{1b}層とM_{1c}層下半部は東側の高まりにアバットして堆積し、しかもその後西側が撓み下がる変形を受けているので、堆積時とその後西側が沈降したことは明らかである。東北電力は先ず西側に浸食性の溝状凹地(チャンネル)在りきで、そこを堆積物が埋積するだけだと主張するが、それでは上に述べた諸現象を説明できない。

上に述べた東側の広域的上昇は、Tr-20'-2トレンチ付近の伏在逆断層による撓曲で3.9~5.6m東上がりであり、Tr-31トレンチ(ここでのF-9断層は動いていない)東端付近の背斜状撓曲の両振幅は2.3mで、頂部に東上がり40cmの小逆断層を伴い、トレンチ2k'東端にも50~60cm東上がりの撓曲があつて、31cm E-upの小逆断層を伴っている。このように、敷地南部の広域的な東側上昇運動はF-9断層とは別の長さ800m以上のおそらくは伏在逆断層の活動によるものであつて、変位量は南から北へ系統的に減少する

Tr-20'-2トレンチ付近の変形は、上に述べた伏在逆断層による撓曲にF-9の軟質断層粘土の絞り出しによる変形が重複した結果である。

(2) 主な議論

○「第四系の変状」と基盤中の断層との関係

(東北電力の説明)

東北電力は、敷地内に段丘面上に認められる地形の高まりは、後期更新世以降の断層活動の存在を示すものではないと評価した理由として、以下の点を挙げている。

- ・ Tr-20'-2トレンチで認められたF9断層付近の基盤上面の高度差については、M1面段丘堆積物の下部がF-9断層西側の岩盤上面の段差にアバットしているだけであり、断層活動を示唆する急崖は基盤上面には認められない。したがって、この構造はM1面形成期初期に形成された不整合面である。

コメントno.61: 事実認定が間違っている。上に述べたように、M_{1a}層はF-9断層を跨いで一様に分

布しているのに、この層堆積時には地形的段差は無かった。M_{1b} と M_{1c} 層は東側の高まりにアバットして堆積しているのに、堆積中に東側が上昇したのである。これらの層は西側が撓み下がるような変形を受けているのに、堆積後も東側が上昇したのである。

- ・ F-9 断層が活動して断層の東側が高くなったのであれば、西傾斜する同断層に正断層運動が生じたことになる。しかし、敷地は東西圧縮の広域応力場にあるのでほぼ南北走向の F-9 断層が正断層運動をするとは考えにくい。

コメント no.62: 上述したように、東側が上昇したのは F-9 断層の運動に因るものではなく、したがって F-9 の運動を想定する必要も無い。

- ・ F-9 断層の東側に認められる地形の高まりを横断する複数の測線で実施した地中レーダー探査の結果【図 2 4】から、地形の高まりの範囲には伸張方向の異なる多数の撓みが散在して分布しており、特定の断層（F-9 断層）に規制されるものではない。

コメント no.63: これには 3 つの問題がある。レーダー探査断面を見ると、撓みが明瞭な場合と不明瞭な場合とがあって、撓みの認定にかなりの主観が入り込んでいる。2 つ目は、撓みのサイズに比較してレーダー探査の走査間隔が十分に密ではない所が多く、撓みの 2 次元分布が捉えきれないおそれが十分あるということである。3 つ目は、2 つ目と相まって、側線間の撓みをどのようにつないで分布図とするかという問題である。図 24 をみれば、ここにも無視できない恣意性が入り込む余地があるに気付くであろう。分かっているとは思いますが、褶曲(上で言う撓み)は分岐も合体もすることを付け加えておく。

(有識者の意見)

東北電力の説明に対して、有識者は下記の点を挙げ、Tr-20'2 で観察される F-9 断層の東側における地形や地層の高まりが断層運動によって形成された可能性は否定できないことを指摘した。

- ・ F-9 断層両側での基盤上面の高度差は約 5m に達するが、一方、M1 面段丘堆積物の上面及び洞爺火山灰の高度差は約 2m であり、この差は断層変位の累積性を示している可能性がある【図 25-1, 図 25-2】。

コメント no.64: すでにコメント no.60 で述べたように、高度差の累積性は明らかである。

- ・ トレンチで見られる F-9 断層付近の基盤上面の落差はチャンネルによる侵食構造であると説明されているが、断層変位によって先に崖が形成されており、その崖に片側を規制される形でチャンネルが形成された可能性も考慮すべきである。

コメント no.65: これもすでにコメント no.60 で指摘した。東北電力が主張するように、単に浸食でできたチャンネルを埋積したのであれば、M_{1a} 層が層厚一定のまま F-9 断層を越えて 50m 以上も広がっていること、M_{1b} 層と M_{1c} 層が東側の高まりにアバットして堆積している事、それらが西側が撓み下がるように変形されていることを説明できない。

- ・ M1 面段丘堆積物と基盤との間の不整合が形成された時期に発生した事象については証拠がなく、その間に断層運動がなかったとは断定できない。

コメント no.66:それはその通りである.

- ・ M1 面段丘堆積物とその基盤に変位・変形が生じていることは明らかであり、これらが F-9 断層の活動によるものでないとする場合には、これらの変位・変形をもたらせた別の断層等の何らかの構造について詳しい調査がなされるべきであるが、そのような調査はなされていない。

コメント no.67:すでにコメント no.60 で述べたように、東側隆起の変形は F-9 断層とは別の伏在逆断層によるものである可能性が高い。このことは第 4 回評価会合で熊木委員が最初に指摘し、大槻のコメント(その 4)でも主張され、佐藤委員も評価会合で述べた。しかし、東北電力からの検討結果は未だ示されていない。

○地形の高まりと活断層の連続性

(東北電力の説明)

東北電力は、F-9 断層に沿って実施した複数地点の調査結果に基づき、以下の理由から地形の高まりの形成に断層運動は関与してないと説明している。

- ・ Tr-20 ' -2~ 4 の北側に分布する M2 面上に認められた地形の高まり付近で掘削した 2 地点のトレンチ調査 (Tr-31、 2k ') では、 F-9 断層が M2 面段丘堆積物を変位させていない【図 2 0】。

コメント no.68:上記 2 つのトレンチでの F-9 とされる断層は、確かに活動していない。コメント no.60 でのべたように、地形的高まりは F-9 断層とは別の構造で形成されているのである。

- ・ F-9 断層に伴う「第四系の変状」は敷地の北部と南部に認められるが、敷地中央部の多くの箇所に変状がなく、かつ変位の方向が断層の北側と南側で逆となっている。

コメント no.69:F-9 断層は、北端の Tr-4 での 78~107cm W-up 撓曲主体 → i トレンチでの 23~32cm W-up の撓曲 → Tr-17 での 15cm W-up の逆断層または撓曲というように、南に向って約 300m の区間で鉛直変位が系統的に減少する(東北電力は誤った変位測定をしていることがあるので、ここでの変位量は独自に計測し直した結果である)。このような変形は、F-3 断層のインバージョンと言ってよい。これより南方での F-9 断層は基本的に活動していない。他方、南部で活動しているのは、すでにコメント no.60 で述べたように、F-9 とは別の長さ 800m 以上で東上がりの伏在逆断層である。したがって、北部と南部とでは活動している断層が違うので、変位のセンスが逆になっても不思議ではないのである。

- ・ 地形の高まりの多くは、基盤中の断層に沿って連続するのではなく、段丘面を構成する堆積物の境界に相当しており、侵食及び堆積作用により形成された地形であると解釈される。

コメント no.70:上記のよう誤った見解になる理由は、東北電力が M₁ 層を浸食性凹地(チャンネル)を埋積したものだとして単純に考えたことによる。

(有識者の意見)

上記のような東北電力の説明に対して、有識者は下記のような点を指摘した。

- ・変位地形が延長数百m程度ないしそれ以下しか認められない断層でも実際に大地震を起こした事例があるので、連続性に欠けるという理由だけでは活断層の可能性を否定することはできない。

コメント no.71: 上記のことは正しいが、間接的な証拠である。F-9 断層に関わる“連続性”に関しては、コメント no.60 や no.69 のように具体的な事実即して述べるのが良い。

- ・地形の高まりは F-9 断層ではなく他の何らかの構造の活動によって形成された可能性もある。F-9 断層と断層西側の低まりの分布や変位の方向が一致しなければならないという必要性はない。

コメント no.72: 上記のことは正しいが、コメント no.60 や no.69 のように具体的な事実即して述べるのが良い。

- ・敷地南部の F-9 断層東側のトレンチ壁面に点在する、地層が波打つ様子が確認されるような規模の小断裂、小変形については、一般的な活断層や地震断層の特徴とは異なっている【図 25-2】。

コメント no.73: “一般的……特徴”とは、“小断裂、”が無いということか？ それらが無いというが一般的だと言える証拠は？ 単にこれまで注意を払ってこなかっただけでは？

小断裂の多くは逆断層で、それらが一定の波長で“波打つような変形”と相伴うことが多く、互いに平行であるようなので、後者は座屈褶曲であろう。このことに関しては、大概の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 3 と 5 で触れている。褶曲であるなら、地震時に形成される必要もない。

○断層運動のセンスについて

(東北電力の説明)

東北電力は、F-9 断層の運動センスについて、F-9 断層が東側の高まりを形成したと想定するとこの断層は正断層となるが、東西圧縮応力場である東北日本において、F-9 断層が正断層運動をすることは不合理であると説明している。

コメント no.73: すでにコメント no.60 と no.69 で述べたように、F-9 断層の東側の高まりを作ったのは F-9 断層とは別の伏在逆断層のようである。したがって、F-9 が正断層運動をしたと無理に想定する必要はないのである。

(有識者の意見)

この説明に対して有識者からは、下記の各点が指摘された。

- ・傾斜方向が異なる断層がくさび状に配置するような（地表の断層とは異なる形状をもつ）構造が地下に存在することもあるので、広域地殻応力場と変位センスが合っていない（西傾斜の断層で東上がり）ということでテクトニックな成因を否定するのは難しい。

コメント no.74: 上記の解釈は苦しい。上のコメントで述べたことが事実なようなので、このような解釈は必要無い。

- ・新第三系の地質構造が正断層を示すことだけでは、その断層が後期更新世以降に逆方向に変形した可能性を否定できない。

コメント no.75: このことも、上と同様.

- ・東北日本太平洋側では、日本海溝で起きる巨大地震によって内陸で正断層型の大地震が誘発された例もあるので、類似の条件下にある当該敷地内で正断層の活動を想定することは必ずしも不合理とは言えない。

コメント no.76: 下北半島付近のテクトニックな応力場が日本海溝や千島海溝の大地震によって頻繁に変わっていることは、Ikuta et al. (2012, JGR, 117, B11408)による長期的 GPS データ解析で明らかになっているので、上に述べられているようなことはあり得る。ただし、何度も述べているように、F-9 断層の東側の高まりを作ったのは F-9 断層とは別の伏在逆断層のようである。したがって、F-9 が正断層運動をしたとする必要はないのである。

- ・上部更新統に変位をもたらした何らかの運動があったことは確かであり、それが F-9 断層の活動によらないとしても、他のテクトニックな原因による可能性がある。

コメント no.77: その“他のテクトニックな原因”が、上で何度も述べている F-9 断層とは別の伏在逆断層のようなのである。

○地形の高まり周辺の地下構造

(東北電力の説明)

東北電力は、反射法地震探査、ボーリング調査等の結果から、地下に東上がりの断層や深部で傾斜が逆になるウェッジ（くさび状）スラスト構造を持つ逆断層は認められないとしている。

コメント no.78: すでにコメント no.60 や no.69 で、F-9 とは異なる東上がりの伏在逆断層が想定される旨を述べた。併せて Tr-20' -1 の s-19 断層近傍に掘削されたボーリング孔 BQ-1 の深度 12.19 ~ 12.36m に“砂状破碎帯”，13.06 ~ 13.12m に“岩片状破碎部”が記載されていて、これが伏在逆断層ではないかと問題提起した。しかし、東北電力からはこれを吟味した結果が未だ報告されていない。

(有識者の意見)

それに対して有識者は、下記のような点を指摘した。

- ・ F-9 断層の東側にみられる地形の高まり付近の構造は、東傾斜の伏在逆断層の存在と表層部での撓曲を示唆する。

コメント no.79: 正しい評価である。

- ・反射法地震探査の結果【図 2 3】に、上部更新統に認められる 2~5m 程度のわずかな断層変位を検出する分解能があるのか示されていない。

コメント no.80: 尤もである。

- ・台地状の高まりについては、両側が断層で限られてやや広域に持ち上がっていることがないかといった観点での検討がなされていない。

コメント no.81: 逆断層による地塁のことで、正しい評価である。

- ・レーダー探査の測線間隔では、上部更新統の撓みの分布方向が「ランダム」とは認定できないのではないか。

コメント no.82: 正しい評価である。レーダー探査のチャートで撓みを認定する際に、任意性がかなり入り込む余地があるように見える。

(3) 有識者会合による評価

トレンチ調査結果から地形の高まりの形成が断層運動とは関係がないことがいくつか示されたが、Tr-20'-2、3で観察された F-9 断層両側での基盤上面の高度差と段丘面の高度差に差があることなどから、断層変位の累積性を示しており、「第四系の変状」は断層活動によって形成された可能性がある。また、仮に地形の高まりの形成が F-9 断層の活動によらないとしても、この断層の東側に分布する基盤上面とそれを覆う上部更新統が、地形面と同様に東上がりに変位していることは事実であり、その近傍に東側隆起の変位をもたらす断層あるいは何らかの構造が地下に存在していることを否定できる十分な情報は得られていない。

したがって、有識者会合は、敷地内に認められる地形の高まりの主な成因が岩盤劣化部の体積膨張として説明できるものではないと考える。

コメント no.83: Tr-20'-2 での地形的・地質的食い違いは、F-9 断層によるものではなく、伏在逆断層による可能性が高いということを指摘することが重要である。このことによって活動性評価が大変違ったものになる。

3. 敷地内の断層で見られる横ずれ成分について【論点3】

(1) 東北電力による説明

現地調査の結果、Tr-28 トレンチの F-3 断層において「第四系の変状」に伴って基盤岩中の断層破碎部に上部更新統に由来する細礫が巻き込まれて断層に沿って再配列しており、上部更新統中に花卉状構造を示す小断裂が発達するなど、横ずれ断層による変形に特徴的な現象が認められるという指摘が有識者から出された。このため、断層上にみられる「第四系の変状」と横ずれ運動との関連性を調べるため、東北電力は Tr-28 において水平掘削面調査を実施し、F-3 断層上の「第四系の変状」にみられる小断裂の分布及び条線や小断裂によるずれの方向の計測を行った。

その結果、東北電力は、上部更新統中の小断裂の分布や礫の配列等からは、横ずれの存在を示す特徴は見られなかったとしている。また、断層破碎部を覆う上部更新統中の礫や注入粘土に破壊や擾乱は認められず、断層活動による高速な運動を受けたものではないとしている。

以上の調査結果から、東北電力は、F-3 断層に伴う「第四系の変状」は横ずれを主体とする断層ではなく、岩盤浅部の体積膨張によって形成されたと説明している。

コメント no.84: 他のことは以下にコメントするが、『「第四系の変状」は横ずれを主体とする断層で

はなく、岩盤浅部の体積膨張によって形成された』という主張には、何の根拠もない。

(2) 主な議論

○礫の再配列等について

(東北電力の説明)

東北電力は、F-3 断層の基盤岩中の破碎帯に取り込まれた上部更新統由来の礫に横ずれ断層に特徴的な再配列がみられたという有識者会合の指摘に対し、その後実施した水平掘削面等の調査結果に基づき、礫の再配列は認められないとしている。ただし、有識者会合が現地調査で指摘した礫の再配列は、十分な確認がされないままトレンチ法面の削剥によって失われている。

- ・水平掘削面全体、及び F-3 断層直上での上部更新統中の扁平礫のオリエンテーションの計測結果から、扁平礫の長軸は一定の方向に集中する傾向は認められない。

コメント no.85: 変位量が小さいので、被覆第四系の礫の回転を証明するのは難しい。

- ・断層破碎部直上の礫には、回転や大きく擾乱を受けた痕跡である表面の擦痕、定向配列は認められない。

コメント no.86: 変位量が小さいので、被覆第四系の礫の定向配列を認定するのは難しい。擦痕は微妙なので、現場にデジタルハイスコープのようなものを持ちこんで、その場で観察すべきであった。

- ・第四系に注入した断層破碎部の粘土には、せん断面がなく、礫の取り込みが見られる等、粘土注入は断層活動による高速な運動により生じたものではない。

コメント no.87: 断層粘土の注入は流体としての運動あり、流体の主要な運動は剪断変形によるので、剪断面は必ずある。無ければ注入出来ないのですヨ！剪断面が無いというのは、観察の仕方がまずいからである。礫が取り込まれると何故高速運動ではない？乱流が起こればいいのでは？Otsuki et al. (2005, *Island Arcs*, 14, 22)によれば、台湾の集々地震のときに動いた車龍埔断層のコア試料には、沢山の粘土注入脈が観察されたという。彼らはそのメカニズムをも考察している。

(有識者の意見：東北電力の説明を支持しない意見)

- ・横ずれに伴う扁平礫の回転は認められないが、上下変位に伴う回転も認められない。上部更新統が F-3 断層に伴う「第四系の変状」によって上下変位を受けていることは確実であることから、検討に用いられた礫の配列は、断層センスの判定には使えないと判断される。

コメント no.88: いずれの軸の周りでも回転は無いというのだから、回転で運動のセンスを決めるのは、変位が小さい時は難しいということ。

- ・変位量が小さな横ずれ変位では大きな礫が回転して並びにくく、それを確認するだけの精度はない。

コメント no.89: 多分、その通り。

(有識者の意見：東北電力の説明を支持する意見)

- ・断層粘土が膨潤したとしか思えないような注入構造がいくつか確認できており、例えば礫が2つあって礫の間に粘土が注入したり、膨れ上がったような構造については、断層変位だけではできない。

コメント no.90: 2つの礫の間に粘土が注入したり、膨れ上がった事があるが膨張につながってしまう？両方の現象とも圧力勾配があればよいだけ。圧力勾配は粘土の膨張であっても良いし、両側の壁で粘土が押されて絞り出されても良い。何度も述べているように、この2つのメカニズムを形だけで識別する事は困難である。ただし、コメント no.23 で指摘したように、後者の絞り出しを支持する現象が千木良によって指摘されている。

- ・礫の落ち込み・再配列および小断裂の形成は、波により差別侵食を受けた波食溝への上部更新統の堆積とその後の断層粘土の膨潤の複合からなる現象でも説明できる。

コメント no.91: 波食溝への堆積はよいが、礫が認められた最深部まで波食溝が出来たというなら、オーバーハングした上盤側の断層粘土はなぜ剥がれ落ちなかったのか？波食するほどの波があったというのに！

ここでも“膨張”が出てきたが、根拠は無い。どのように“複合”する？

○小断裂の形状について（東北電力の説明）

東北電力は Tr-28 の水平掘削面等で観察された以下のような上部更新統中の小断裂の形状に基づき、F-3 断層は横ずれ主体の断層ではないと説明している。

- ・横ずれ断層の断面形態を走向方向に追跡すると、断裂パターンが短区間で変化することが知られているが、F-3 断層ではそのような変化がみられない。

コメント no.92: 「断裂パターンが短区間で変化する」とはどのような変化？

- ・斜めずれ断層の模型実験によると、正断層変位成分を有する断層と逆断層変位成分を有する断層はリーデルセン断として連続しており、特に逆断層変位成分を有する断層群の雁行状配列が顕著である。一方、Tr-28 における F-3 断層近傍の M1 面段丘堆積物内の小断裂群の特徴は、実験で確認された断層群の発達形態の特徴と大きく異なる。

コメント no.93: どのように違い、それは何を意味するというのか？

- ・粘土注入を模擬した模型実験によると、水平掘削面調査で観察された小断裂の分布形態とよく類似した断層の形成が観察された。

コメント no.94: 雁行配列も純粋な注入メカニズムで出来た？そうなら、力学系が対称なのに、結果する現象は非対称になる？絵合わせだけではダメ。メカニズムも！

(有識者の意見)

- ・Tr-28 の段丘堆積物中に発達する小断裂は、西側（沈降側）が逆断層群に、東側（隆起側）が高角度の正断層に分類され、これらのうち正断層には F-3 断層の一般的な走向に対して反時計回りに狭角をなす雁行配列が認められる【図 2 6】。このことは、既往事例との類似性から、F-3 断層に沿った「第四系の変状」が左横ずれ成分をもつ変

形によって形成されたことを示している。

コメント no.95:これは正しい.

- ・東北電力が例示した模型実験は横ずれが卓越する斜めずれ断層の例であり、縦ずれ成分が卓越する斜めずれ断層には適用できない。また、断裂パターンが断層の走向方向に短区間で短縮性と伸張性に交互に変化する現象は、横ずれ地震断層に特徴的な構造であり、Tr-28のF-3断層に伴う「第四系の変状」とは異なる。しかし、この現象も、縦ずれを主成分とし、横ずれを副成分とする地震断層では顕著でない。

コメント no.96:よく分からない. 砂箱実験結果のパターン比較で良いのか? そのパターン形成メカニズムは? 砂箱実験は相似則を満足していないはずだが, どこまで東通に適用できるのか?

- ・東北電力が示した模型実験は、横ずれ成分が相対的に大きくて逆断層成分が小さい断層の事例であり、たとえばその逆の、逆断層成分が相対的に大きくて横ずれ成分が小さい断層の事例には適用できない。

コメント no.97:これも上と同じ理由で分からない.

- ・Tr-28の水平掘削面では、「第四系の変状」が左横ずれ成分を有することを示す系統的な雁行断裂群が数10mの範囲にわたって系統的に認められる。これを基盤の表層数mの膨潤で説明することは極めて困難である。なお、このような雁行断裂群の分布形状が、基盤上面の浸食抵抗による凹凸や上部更新統中の巨礫に影響されることは当然であり、横ずれ成分を持たないことの根拠とならない。

コメント no.98:小断層の雁行パターンは明らかに左横ずれを示唆する. このパターンが基盤上面の凹凸や巨礫に影響されるというが, 根拠は?

○条線方向・ずれの縦横比について

(東北電力の説明)

- ・Tr-28においてF-3断層に伴う「第四系の変状」破砕部で計測された条線のレイクは、いずれも75°以上の高角度を示しており、左ずれを示すレイクと右ずれを示すレイクの数と同程度である。

コメント no.99:これは有識者側と事実認定が異なる. このようなことは, ともに事実をしっかりと確認し合えば済むこと. それをちゃんとやるべし.

- ・断層を挟んだ岩盤上限面には、トレンチ内の広い範囲での高低差（上下変位）は認められない。

コメント no.100:では, 高角レイクの条線は中新世に正断層運動したときのものと言うのか? 有識者側は上下変位があると述べているが……

(有識者の意見)

- ・条線方向の計測によって求められたレイク角は、F-3断層の破砕帯を構成する個々の小断層の走向・傾斜に対する値である。個々の小断層の走向・傾斜はF-3断層の一般走向・傾斜と異なることから、それらのレイクは直接的にはF-3断層の変位の向きの

検討には使えない。

コメント no.101:とはいえ、縦ずれ主体であることに変わりはない。

- ・ 上部更新統中に発達する断層群のうち、低角逆断層成分を持つ小断層群で計測された個々の小断層の条線から F-3 断層に対するずれの一般的な方位と傾斜を推定すると、F-3 断層は左横ずれ成分を持つと言える【図 2 7】。それより下部の上部更新統基底付近の F-3 断層で計測された小断層の条線は、概ね高角の縦ずれ断層であることを示し、横ずれ成分は顕著でない。しかし、一回の地震断層の変位においても、小断層群毎に変位の向きが異なることや、変位の過程で向きが変化する例がある。

コメント no.102:いずれにしても縦ずれ主体で、わずかの左横ずれをとまなうというのが実態。

最後の“しかし…”以降のことは、そういうこともあるということ。

- ・ 東北電力が実施した F-3 断層に関連した上部更新統中の高角小断層群に切られた礫の CT スキャンの 2 例の観察結果では、せん断面に切断された礫の変位は縦ずれが卓越するものの、いずれも縦ずれ 3 cm 程度に対して左横ずれが 1 cm 程度認められる【図 2 8】。したがって、F-3 断層のうち、少なくともそれらの礫を切るものは縦ずれ成分に対して 3 分の 1 程度の横ずれ成分を有している。上部更新統基底付近の F-3 断層で計測された小断層の条線が概ね高角の縦ずれを示すとしても、それは断層が変位する過程のうち最終段階のずれ方向を反映している可能性がある。

コメント no.103:いずれにしても縦ずれ主体で、わずかの左横ずれをとまなうというのが実態。

(3) 有識者会合による評価

Tr-28 トレンチの平面掘削で観察された上部更新統中の小断層では、個々の断層等の条線は F-3 断層に対して系統的な左横ずれ成分を示すこと、破断した礫のずれにも左横ずれ成分が伴われること、伸張性の小断層の平面での分布形状は F-3 断層の一般的な走向と低角度で斜交する左横ずれ断層に特徴的な雁行配列を示すことから、横ずれを主体とする断層でないとしても有意な横ずれ成分を有していると推定できる。

したがって、有識者会合は、Tr-28 で観察された F-3 断層に伴う「第四系の変状」は有意な左横ずれ成分を有しており、この横ずれ成分の主な成因が、岩盤劣化部の体積膨張では説明が難しいと判断した。

コメント no.104:「条線は……系統的な左横ずれ成分を示す……」は東北電力の事実認定が異なる。このような単純な事は一致するまで観察しあうべし。縦ずれ主体で僅かな横ずれが伴うという評価は OK。体積膨張の有無はこんな現象で判断することではなく、膨張現象そのものとそのメカニズムから検討すべきことである。

ところで、上の内容には F-3 の活動性に関する評価がほとんど欠落している。これではいけない。大概の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 7 に詳述してあるので、参照すべし。

4. 原子炉建屋付近の断層の活動性について【論点 4】

原子炉建屋付近の基盤中には、f-1断層及びf-2断層が分布している。f-1断層は、耐震安全上重要な施設の直下を通過し、f-2断層は、原子炉建屋直下を通過している【図29】。f-1断層については、その活動性を評価するため新たにTr-34トレンチを掘削し、追加調査を行ったが、f-2断層については、断層を被覆する適切な上載層が分布しないことから追加調査は行われなかった。

なお、設置許可時に起振実験ヤード南側法面に認められたf-2断層は、その上方延長部が、新第三系の泊層中で消滅し、これを被覆する上部更新統M2面段丘堆積物及びその基底面に変位、変形が認められていない【図30】。ただし原子炉建屋設置位置内の別の掘削法面では、基盤中のf-2断層から離れている上盤側近傍のM2面段丘堆積物中に、変位のない断裂群が認められている【図31】。これらの断裂群については、十分な評価ができるような精度の調査データではないが、その調査結果では変位が認められていない。

(1) 東北電力による説明

f-1断層について、東北電力は、以下の説明のとおり、同断層を被覆するM2面段丘堆積物の膨らみと同堆積物中の小断裂の成因を岩盤劣化部の体積膨張によるものとし、f-1断層は、第四紀後期更新世以降の活動性はなく「将来活動する可能性のある断層等」に該当しないとしている。

- ・ Tr-34トレンチ法面では、f-1断層と小断層に挟まれた範囲の岩盤劣化が顕著であり、この部分に対応したM2面段丘堆積物の基底面に小規模な膨らみが認められる【図32】。

コメント no.105: 確かに膨らみがあり、しかも小断層寄りで低くなる“ふたこぶ”隆起が特徴である。

- ・ f-1断層を直接に被覆する上部更新統のM2面段丘堆積物の基底面に段差がなく、f-1断層の直接の延長上の砂層、砂礫層に変位・変形等が認められない。

コメント no.106: “小規模な膨らみ”で、明瞭な段差がないので、撓曲的である。

- ・ Tr-34トレンチ法面のf-1断層を被覆するM2面段丘堆積物の上部には引張性の小断裂が認められているが、下位に向かって変位がせん滅している。

コメント no.107: これはとても重要で、“小規模な膨らみ”を伴う撓曲であるから、撓みによって被覆第四系M₂層中の中立面の外側(上側)に引張応力が発生し、それによって小断裂が発生したのである。この力学に関しては、コメント no.4 に詳しく説明した。

- ・ 基盤中のf-1断層はM2面段丘堆積物の膨らみからは逆断層センスが認められ、M2面段丘堆積物上部の小断裂は正断層センスであり、変位センスが逆である。

コメント no.108: f-1断層は逆断層である。上のコメント no.108 で述べた力学では、中立面の上(外側)に引張性割れ目が出来るはずなので、全く理論通りなのである。

- ・ 岩盤劣化部の体積膨張を模擬した数値シミュレーション(膨張解析)により、岩盤上面の緩やかな撓み形状が概ね再現され、第四系に引張力が作用する状況を確認した【図14】。一方、水平圧縮力を作用させる数値シミュレーション(圧縮解析)においては、

f-1 断層がせん断変形し、延長上の第四系に局所的な変形が発生すること、f-1 断層に近づくほど盛り上がり、断層部で段差が生じていることなど、実現象とは異なる変形モードを確認した【図 3 3 - 1、2】。

コメント no.109: この件に関してはコメント no.7 の後半でやや詳しく検討している。“圧縮解析”の方が現実を説明していないように見えるのは、f-1 断層のモデル化が拙いからである。“圧縮解析”は変形の非対称性が強いので現実を説明していないように見えるが、“ふたこぶ”の隆起が顕れている点で“膨張解析”より優れている。f-1 断層を下方延長部の途中で止めるとか、湾曲させるとかすれば滑りにくくなり、実際の“ふたこぶ”隆起を再現できる。他方、“膨張解析”はこれを再現できない。したがって、“膨張解析”より“圧縮解析”の方が現実を説明できるのである。このことは大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 10 に詳しく述べているので参照されたい。

- ・設置許可申請時に掘削したこの露頭とほぼ同じ位置の起振実験ヤード北側法面でも、基盤中の f-1 断層の上端を覆う M2 面段丘堆積物中に変位量数 cm 以下の小断層が認められたが、この段丘堆積物の基底面に段差は認められなかった。

コメント no.110: 上の観察結果はコメント no.105～109 に述べたことからの期待通りで、“劣化膨張”など根も葉も無い作り話を持ち出す必要は全くないのである。

(2) 有識者会合による評価

有識者の中では、Tr -34 トレンチ法面における f -1 断層の上盤側近傍の M2 面段丘堆積物基底面の膨らみ及びその上方の段丘堆積物中の小断層に関する変形構造の成因について以下のような複数の見解に分かれた。

一つ目は、この小断層は、以下の理由から基盤のポップアップ状の隆起で形成されたテクトニックな変形構造である可能性が否定できないという見解である。

- ・Tr -34 トレンチで見られる基盤中の f -1 断層は、F 系断層から続いているような断層ではなく、後期更新世以降に繰り返し動いた断層でもないが、f -1 断層の上盤側近傍に見られる小断層は、M2 面段丘堆積物の基底面の隆起により段丘堆積物の上部に引張応力が生じて割れ目が形成された変形構造である可能性がある。

コメント no.111: それで良いのである。

二つ目は、この小断層は、以下の理由から基盤のポップアップ状の隆起では起こりえず、テクトニックなものではないという見解である。

- ・f -1 断層と小断層の間で基盤がポップアップ状に隆起して、その曲げ変形で段丘堆積物中に小断層が生じたならば、ポップアップ状隆起の頂部付近に最も強い引張応力が働いて正断層群が形成されるはずであるが、実際にはポップアップ隆起の端部に小断層が形成されているので、この隆起とは無関係である。

コメント no.112: 結論を先に言えば、上に述べられていることは全くの誤りである。まず、この主張はコメント no.105 で述べた隆起が“ふたこぶ”である事実が気が付いてない。この“ふたこぶ”はやや非対称であって、こぶとこぶの間の低まりが“小断層”寄りになっている。ここで dislocation

model を思い起こせば、f-1 断層と“小断層”はともに逆断層であって、f-1 断層の深い方の先端は“小断層”のそれより深くまで延びていると予想するはずである。データが有ってかどうかは不明だが、FEM 数値実験ではそのようにモデル化されている。そうしたので“圧縮解析”では“ふたこぶ”隆起が現れたのである。コメント no.109 で述べたように、東北電力のモデル化は、f-1 の深さ方向の先端をまっすぐに左側の境界まで延ばしてしまったことを除いては正しかったのである。

・f-1 断層をどのように滑らせてもこの小断層を形成させるのは難しい。

コメント no.113:いいえ、理論通りである。自然はなるべくしてそうになっているのだ。

・敷地内にはテクトニックなものでない小規模な断層(s系断層)が多数認められるという前提に立つならば、f-1 断層近傍の岩盤のわずかな体積膨張などにより当該箇所に正断層性の断層が生じることはあり得る。

コメント no.113:s 系断層がノンテクトニックなどではないことは、コメント no.22 にすでに述べた。この事の詳細は大槻からのコメント(その 7)の 1, (番外 or 9)の 2, 大槻の HP <http://aobatotoro.info/img/file4.pdf> の 3, 4 で詳しく検討してあるので参照されたい。

三つ目は、段丘堆積物基底面の膨らみの成因が変形であるかどうか不確かであり、段丘堆積物中の小断層の成因を検討する十分なデータが得られていないという見解である。

・f-1 断層と小断層の間では M2 段丘堆積物基底面に膨らみによる変形が生じているとされるが、その膨らみは不明瞭であり、段丘堆積物自体には基底礫層を除くと構成層の分布高度には明瞭な高度差が認められないことから、基底面の膨らみが変形であるかどうか不確かであり、M2 面段丘堆積物中の小断層の成因を検討する十分なデータが得られていない。

コメント no.113:確かに膨らみが明瞭ではないが、トレンチ壁面のスケッチの縦横比を誇張して見れば、基盤上面の“ふたこぶ”の隆起ははっきりとする。そのような事情があっても、コメント no.7, no.109, no.112 に述べたように、観察されたことが理論的に矛盾なく理解できるのである。

IV. まとめ

1. 「第四系の変状」の成因について、有識者会合は、「第四系の変状」の分布や規模については定量的な調査結果が示されておらず、変状を構成する断層の一部は平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震以前の地震の発震機構から求めた広域地殻応力場と調和的であり、地下の断層破碎帯は少なくとも浅部では固結していない部分があることから、「第四系の変状」すべてをテクトニックなものでないとする東北電力の主張には、十分なデータが示されていないと考える。

コメント no.114:「第四系変状」の規模や分布のデータはかなりある。しかし、第 9 回評価会合配布資料の参考資料 2-1~2-6 に示されている生データ(スケッチ)を逐一検討してみると、東北電力はこれらから情報を読み切っていないし、誤読したり、解釈が恣意的であるケースもあるように思う。まずは、ここを改めることが必要である。応力場の件は上記のような評価を補強する文献を既に紹介した。地下の破碎帯の性状は、古い heal した断層の再活動を示唆するので、東北電力の解釈はどう見ても恣意である。

また、岩盤劣化部の体積膨張とするには、膨潤性鉱物の吸水膨張の影響や岩盤の風化による影響を定量的・経時的に立証できる証拠あるいは理論がほとんど提示されていないので、その解釈が適切と判断できないこと、数値シミュレーションによる再現性についても解析条件の信頼性、精度が確認できないことなどから、「第四系の変状」の主な成因を岩盤劣化部の体積膨張として説明できるものではないと考える。

コメント no.115: 体積膨張に関しては、粘土鉱物や化学風化に関する東北電力の知識が極めて乏しく、誤りに充ちている。理化学分析値のデータ解析が不十分で、その意味に関する理解も大変低いレベルである。論文のレビューも全く足りない。このような欠陥が架空の“膨張説”を作り出したのである。有識者達もこの方面に疎く、正しく評価できていない。評価会合による数値シミュレーションの検討も非常に不足している。注意深く検討すれば、コメント no.7, 109, 112 で述べたような東北電力とは正反対の結論に達するのだから、ことは重大である。

一方、「第四系の変状」のうち、少なくとも s 系断層については、連続性が極めて乏しく方向が定まらないこと、深度方向でも消滅すること、平面分布ではバルジ状の変形が多数現れること等から、テクトニックなものではなく、何らかの原因による体積膨張などを考える必要があるという見解もあった。

コメント no.116: s 系断層がノンテクトニックであるという見解が全くの誤りであることは、丁寧に何度も説明した。このような見解は、一部有識者の無知によるものだ。それをそのままこの評価書に含めるとは、評価会合の見識が疑われる。全てを理解している者は一人もいないわけで、大切なことは分からないことに気づくこと。気付いたら後は勉強すればよい。

2. 敷地南部で見られる地形の高まりの成因について、有識者会合は、Tr-20'-2、3 で観察された F-9 断層上の「第四系の変状」は断層活動によって形成された可能性は否定できず、仮に地形の高まりの形成が F-9 断層の活動によらないとしても、この断層の東側に分布する基盤上面及び上部更新統が地形面と同様に東上がりに変位していることは事実であり、その近傍に東側隆起の変位をもたらす断層あるいは何らかの構造が地下に存在していることを否定できる十分な情報は得られていないことから、F-9 断層東側の地形の高まりの主な成因が岩盤劣化部の体積膨張として説明できるものでないとする。

コメント no.117: 敷地南部の地形的高まりは F-9 断層とは別の伏在逆断層の活動による可能性が高く、それは熊木委員が指摘した地形的リニアメントとほぼ一致している。長さは 800m 以上で、変位量は南から北に向かって系統的に減少する。すなわち、Tr-20'-2 トレンチ付近では 3.9~5.6m 東上がりの撓曲、その北の群列ボーリング B の中央部と A の東部を通り、Tr-31 トレンチ東端部では両振幅 2.3m の背斜状撓曲、トレンチ 2k' 東端では 50~60cm 東上がりの撓曲である。Tr-20'-1 トレンチの s-19 断層の近傍で掘削されたボーリング BQ-1 には、この断層の破碎帯と思われるものが 2 本記載されている。この伏在断層の変位累積性は、Tr-20'-2 トレンチで明らかである。以上のことから、この伏在断層は活断層である。

3. 敷地内で見られる断層の横ずれ成分について、有識者会合は、水平掘削面調査で観察された第四系の小断裂では、個々の断層の条線は F-3 断層に対して系統的な左横ずれ成分を示すこと、破断した礫のずれにも左横ずれ成分が伴われることなどから、横ずれを主体とする断層でないとしても有意な横ずれ成分を有していると推定でき、岩盤劣化部の体積膨張による変位では説明が難しいと判断する。

コメント no.118: Tr-28 トレンチでの F-3 断層は、撓曲を含めた鉛直変位が東上り 1m で、インバージョン性の逆断層である。水平掘削面に現れた小断層群の雁行状配列、破断した礫の変位などから、わずかの左横ずれ変位成分を伴っていることが判明した。横ずれは「体積膨張による変位では説明が難しい」というが、既に多面的な検討結果を示したように、体積膨張説は根拠の無い作り話なのである。

さて、抜け落ちていた F-3 の活動性評価をしなければならない。F-3 全体としての特徴は、部分毎に、インバージョン、破砕帯部分の上昇による撓みと粘土注入、F-3 を利用しない新たな小断層の形成などが起こっている事である。すなわち、北から、中央トレンチと Tr-11 の F-3 は動いていないが Tr-11 の西隣接部では 2m W-up の新しい撓曲を伴う小断層が形成されている。Tr-15 では F-3 がインバージョンしていて、わずか(17~40cm)の E-up である。Tr-10 の F-3 は動いていない。その約 400m 南の Tr-6' では F-3 の破砕帯が 45cm 上昇、Tr-27 でも破砕帯の上昇(21cm)、粘土注入、15cm E-up の小断層が見られる。南 No.2 では F-3 から小逆断層が伸びている。さらに 50m 南の Tr-6 での F-3 は動いていないが、F-3 断層追跡坑口法面の F-3 は 19cm E-up の逆断層で粘土注入を伴っている。南 No.1 では動いていない。すなわち、Tr-6' から 250m ほど南までの区間での F-3 は、F-3 の破砕帯が 45cm を越えない程度に上昇していて、粘土注入やインバージョン的な小逆断層を伴っている。孤立している Tr-28 での F-3 は 40cm E-up のインバージョン性の逆断層で、その 5m 西にも 50cm E-up の低角逆断層が有る。南端の Tr-21 の F-3 は動いていない。

F-3 全体を通して見ると、変形様式と変形量がまとまった領域は 1200m を越えることはない。ただし、Tr-11 の場合のように、F-3 から離れた所に予期しないほどの大きな逆断層がある可能性は排除できない。このことは、Tr-29 の s-19 や Tr-7 の s-12 などを参照すれば明らかで、F-3 などの古い大きな断層だけに注目することは、大変危険であることを教えている。

以上の 3 点から、有識者会合は、少なくとも F-3 断層及び F-9 断層については、現在までに得られたデータ等により評価した結果、「将来活動する可能性のある断層等」に該当するものであると結論した。なお、今後、その起因となる地下深部や周辺の断層などについて、十分な調査・評価が必要であると考えます。

4. 耐震安全上重要な施設の直下を通る f-1 断層について、有識者会合は、Tr-34 トレンチ法面において、f-1 断層の上盤側近傍では M2 面段丘堆積物の基底面に膨らみが認められ、その上方の段丘堆積物中に正断層性の小断裂が生じているものの、段丘堆積物基

底面には f-1 断層のずれによる変位が認められないことを確認した。

コメント no.119: f-1 が基盤上面を不連続的にずらしているかどうかは、ずらしているとしても判別が難しい程度の大きさである。しかし、f-1 と“小断層”を含む範囲の基盤上面の凹凸は、“ふたこぶ”の撓曲になっていて、東北電力が FEM 用にモデル化した形態が基本的に正しい。

有識者会合の中では、M2 段丘堆積物中の小断裂や基底面の膨らみの成因について以下の三つの見解に分かれた。

- ・ Tr-34 トレンチで見られる f-1 断層の延長部にある M2 面段丘堆積物上部にみられる小断裂は、基底面の隆起によって生じた引張応力で生じたもので、テクトニックな変形構造である可能性がある。

コメント no.120: 数値実験の“圧縮解析”や理論的検討は、テクトニックであることを示唆していて、ノンテクトニックである理由は皆無なのである。したがって、テクトニックである旨をより強調すべきである。

- ・ この小断裂は、基盤の f-1 断層との位置関係等から、基盤のポップアップ状の隆起では起こりえず、テクトニックなものではない。

コメント no.121: コメント no.112 ですでに述べたように、上の見解は全くの誤りである。

- ・ 段丘堆積物基底面の膨らみの変形であるかどうか不確かであり、段丘堆積物中の小断裂の成因を検討する十分なデータが得られていない。

コメント no.122: この件についてはコメント no.113 で既にのべた。スケッチの縦横比を誇張して見れば、基盤上面の“ふたこぶ”の隆起ははっきりとするし、観察されたことが理論的に矛盾なく理解できるので、膨らみがあるとしてほぼ間違いない。

これらのことから、有識者会合は、耐震安全上重要な施設の直下を通る f-1 断層については、現状のデータからは、「将来活動する可能性のある断層等」に該当するかどうかは、判断できなかった。

コメント no.123: コメント no.120～122 から、「将来活動する可能性のある断層等」と評価するのが妥当である。

なお、この評価書は、第 11 回評価会合（平成 26 年 10 月 27 日）までの情報に基づき、有識者会合のメンバーが評価した結果を取りまとめたものである。