

2014年3月13日

東北電力東通原子力発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合 御中

東北大学理学研究科名誉教授 大槻憲四郎

標記有識者会合の佐藤比呂志委員から、東通原子力発電所敷地内断層の活動性等に関して科学的見解を寄せるようにとの依頼があったので、平成26年2月24日開催の第7回評価会合に東北電力から提出された『東通原子力発電所敷地内断層の活動性等の評価に係る追加地質調査報告書』、および添付資料1~9に書かれている事柄を中心に、以下に私の見解を述べます。

- ** 上記加報告書を以下の文中で引用するときは、単に「追加報告書」と略記する。
- ** 添付資料1から9を引用する場合、例えば添付資料4の21~26ページを引用する際には「添4-21-26」と略記する。
- ** 私はこれまで東通原発敷地内の活断層評価に係る科学的問題に関しては、すでに2012年11月26日付けのコメント(その1)、2012年12月1日付けのコメント(その2)、および2013年6月25日付けのコメント(その3)を有識者会合各位に送付してきたので、本見解書をコメント(その4)とする。

コメント(その4)

「東通原子力発電所敷地内断層の活動性等の評価に係る

追加地質調査報告書、平成26年1月、東北電力」等に関して

東北大学理学研究科名誉教授 大槻憲四郎

要旨

東北電力の『体積膨張説』が根拠を欠いた架空の説であることをはじめ、今回の「追加報告書」には科学の世界での許容限度をはるかに超えた誤りが含まれている。岩石密度の変化を体積歪に焼きなおす方法は、風化に因る溶脱・多孔質化を無視していて、明らかに誤りである(1)。新たに用いられたTiの濃度変化法は、Tiが移動しないという仮定を証明していない上、東北電力自らのデータがこの仮定を否定しているように見える(5)。東北

電力は岩盤劣化が著しい所ほどモンモリロナイト含有量が多く、体積膨張はモンモリロナイトの吸水膨潤に因ると唱えてきた。しかし、東北電力のデータでは両者にほとんど相関が無い (2)。それどころか、モンモリロナイトは劣化度が最低ランクの地下深所にも相当量含まれているので、風化によって表層部にモンモリロナイトが生成し、体積膨張が起きたわけではなさそうだ (4)。劣化岩石の SEM 像も、体積膨張に至るほどモンモリロナイトやハロイサイトが生成していないことを示している (3)。東北電力は劣化部の開口性割れ目が体積膨張の傍証であるかのような主張をしているが、これも誤りである (6)。ほとんど全ての小断層は現在の地殻応力場と同じ WNW-ESE 方向の水平圧縮応力場、および NE-SW 方向の水平圧縮応力場の存在を示唆し、体積膨張から期待されるような σ_{Hmax} がランダムな方向の応力場ではない (7)。地下深部の断層破碎帯の性状に関する東北電力のデータは、F-3, F-4, F-5 の断層系列と F-9-F-10/F-8 の断層系列とが新期に活動したことを示唆する (8)。東北電力の主張に反し、劣化度と基盤上面の凹凸との間にはほとんど相関が認められず、凹凸は体積膨張の傍証にもならないのが実態である (9)。東北電力は、原発敷地内の“変状”が活断層ではない理由、あるいは地震断層ではない理由として、変状の形態と断層変位量が連続性に乏しいこと、“根なし”で小さいことなどを挙げている。しかし、これらの問題は重要なのだが、内容が極めて乏しく、無邪気な主張である (11)。以上のように、『体積膨張説』は架空の主張であることが分かったので、現在の地殻応力場に矛盾しない“変状”の原因、とくに敷地南部の F-9 断層の東側の高まりに関して、伏在するとう曲性逆断層の存在を想定してみた (10)。

なお、11 で取り上げた問題に関しては、少なからぬ地形・地質の専門家がそれなりの基礎知識さえ持ち合わせていないようだが……

1. 密度変化から体積膨張を推算する方法は誤りである。

「東北電力株式会社 東通原子力発電所敷地内断層の活動性等に係る評価結果、平成 24 年 5 月 14 日、地震・津波 16-6 (地震・津波 15-4 改)」の p.17 には劣化度別の岩盤の密度 ρ と体積歪 ε_v に関する表が掲載されている。劣化度が A、B、C、D、E である岩盤の密度はそれぞれ 2.11、2.08、2.04、1.98、1.94 g/cm³ とされており、これらの値から、 $\varepsilon_v = (\rho_A - \rho_i) / \rho_A$ として体積歪が推算されていたことが分かる。ここで i は A~E のうちの任意の劣化度の岩石を意味する。

ここで用いられた劣化度は風化の指標とみなすことができるが、よく知られているように、風化とは Na、Mg、Ca、K などが溶脱・減少し、Al などが残留する過程であり、多孔質化・低密度化する。東北電力の言う「膨張」とは、風化による低密度化を考慮していないので誤りである。

2. 岩盤の劣化度とモンモリロナイト含有率とは相関しないので、「膨張」の原因をモンモリロナイトの吸水膨潤に求めることはできない。

2013年6月25日付けのコメントで既に指摘したように、Tr-20'-1(添7-42-54)とTr-20'-2(添7-55-61)で測定されたX線回折によるモンモリロナイト含有率分布は、劣化度分布とほとんど相関しない(下の図を参照)。陽イオン交換容量(CEC)、およびメチレンブルー(MB)吸着量の分布も同様で、詳細は2013年6月25日付けのコメントの添付図を参照されたい。今回、Tr-34トレンチ東面(添7-73-79)、および2k'トレンチ南面(添7-29-41)でのデータも提出されたが、上記の状況に変わりはないようである。**したがって、劣化度が増すほど低密度であることがモンモリロナイトの吸水膨潤による体積膨張に因るものとの解釈は、東北電力自らのデータで否定されている。**

3. 岩石組織のSEM像も「体積膨張」を支持しない

表層の高劣化帯は強風化の溶脱帯であり、溶脱によって多孔質になる。**第3.3-16図(3)**や添7-101-103に示されたSEM像は、まさにその状況を示していて、**密度低下には溶脱が大いに寄与していることは明らかである。**注目すべきことは、溶脱で出来た間隙にモンモリロナイトとハロイサイトが生成しているが、**体積膨張に至るほどに孔隙を埋め尽くす状況からほど遠いことである。**このことも“体積膨張”説が誤りであることを示している。参考までに、実験的にベントナイトが吸水膨潤して間隙を埋め尽くす様子は、Komine and Ogata (2004, J. Geotech. Geoenviron. Eng., @ASCE/August, 818-829)で見ることができる。

4. モンモリロナイトは風化の前に出来ていた？

2013年6月25日付けのコメントでも指摘したことだが、小断層s-19近傍のボーリングBQ-1の総合柱状図(東北電力株式会社 東通原子力発電所敷地内断層の活動性等に係る評価結果、平成24年5月14日、東北電力株式会社、地震・津波16-6, p.16)は興味深い。すなわち、岩盤劣化度がB以上になる深度、針貫入試験強度、弾性波速度、および岩石密

度が急に低下する深度が全て一致して 13m である（多分、ここが現在の地下水面）。そして、13m 以深は劣化度が最低ランクの A であり、そうであっても CEC (陽イオン交換容量) はすでに 33~46 meq/100g に達している。CEC はモンモリロナイト含有量を示す参考値でしかないが、この値は最高レベルの値の約 70% という大きさなのである。すなわち、**モンモリロナイトの 70% 程度は、地表近傍で風化を被る前にすでに（地下水で飽和された状態で）生成されていた可能性が高いのである。そうであるなら、“変状”の原因がモンモリロナイトの吸水膨潤であるとする考えは成り立たない。**

本来、モンモリロナイトを含むスメクタイトは中性~アルカリ性の雰囲気中で生成され易い。そのような所は地表付近の弱酸性・酸化雰囲気が及ばないより深い所である。モンモリロナイトの大部分は M1 層が堆積するずっと前に続成作用で生成されていて、“岩盤劣化”を伴う風化がこれに重複したのであろう。

今回の「追加報告書」の p.46 で、新事実として「岩盤表層部の劣化が強いところではハロイサイトが、下部の劣化が弱いところではモンモリロナイトが多く含まれていて」、第 3.3-16 図の説明書きには「ハロイサイト化が厚い箇所に変状が顕著に認められる」とある。これは東北電力による従来の「モンモリロナイト含有量は劣化度が高いほど多い」という主張と異なる。“膨張”の主役をモンモリロナイトからハロイサイトに代えたのか？

白水晴雄著「粘土鉱物学」(1998、朝倉書店)によるハロイサイトとモンモリロナイトの特徴は以下の通り。カオリン鉱物の層間に 1 枚の水分子層が挟まれたのがハロイサイトで、底面間隔が 7Å から 10Å に広がる。この層間水は乾燥によって容易に失われて 7.5Å に縮小するが、その後は水を加えても 10Å の状態には戻らない。他方、層間水を含まない状態でのスメクタイトの底面間隔は約 10Å で、層間水が 1 枚、2 枚、3 枚と増えるにつれて底面間隔は 12~13Å、14~16Å、18~19Å と増加する。スメクタイトの一種であるモンモリロナイトが水中で膨潤した状態のときの底面間隔は 40~130Å にもなる。

したがって、“膨張”の主役をモンモリロナイトからハロイサイトに代えたのなら、劣化度と体積膨張との関係や膨張が可逆か否かなどの議論も変わってくる。いずれにしてもハロイサイト含有量の分布図、それと劣化度との定量的相関も示されなければならない。

5. Ti 濃度変化法では体積変化を検出できていない

体積歪を密度変化法で推定することの誤りは既に 1 で指摘した。今回の「追加報告書」の項目 3.3 (p.42-55) では密度変化法に代えて、Ti の濃度変化法を用いて体積膨張を推算している。これは東北電力がこれまで行っていなかったことなので、やや詳しく検討する。

まず、体積変化を推定する原理は、White, A. F. (1995, *Chemical weathering rates of silicate minerals in soils. in Reviews in Mineralogy (Mineralogical Society of America), V.31, Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals. A. F. White & S. L. Brantley eds., p.407-462*) が述べている。密度が ρ_p 、任意の元素の濃度が C_p の未風化母岩が表面から化学風化を被り、密度が ρ_w 、元素濃度が C_w に変化したとする。この過程に元素の出入り τ_w (流

入が正) と体積歪 ε_w (膨張が正) が伴われていたとすると、

$$\frac{C_w}{C_p} = \frac{\rho_p}{\rho_w} \cdot \frac{1 + \tau_w}{1 + \varepsilon_w} \quad \text{-----(1)}$$

が成り立つ。当該の元素に関して $\tau_w = 0$ が成り立てば、

$$\varepsilon_w = \frac{\rho_p}{\rho_w} \cdot \frac{C_p}{C_w} - 1 \quad \text{-----(2)}$$

となるので、原理的にはこの式から体積歪 ε_w を求めることが可能である。このように原理は至って簡単なのだが、問題は不動元素としてよく利用される Ti、Zr、Nb などに関してどの程度の近似として $\tau_w = 0$ が成り立つかである。これらの元素の濃度は一般に小さいため、不均質分布と測定に由来する誤差が大きくなるおそれがある。そこで、これらに次いで動きにくい Al などが不動元素として用いられることもある。

上記の A.F. White の論文と White et al. (1998, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, 209-226) は熱帯雨林気候のプエルトリコにある花崗岩 bedrock 表層の saprolite (母岩がそのまま風化したもの) を分析した。その結果、 ρ_p/ρ_w が表層 7~1 m までは約 2、地表に向かって 3.5 にまで増加する強風化であるが、Zr、Ti、Nb に関して式(2)を用いて計算した ε_w の値はほとんど 0 で、風化が等体積過程であることを示している。これは saprolite 中に花崗岩の texture が保存されていることとも調和的であるという。White (2002, *Chemical Geol.*, 190, 69-89) は、同様な研究を USA の Panola でも行い、同様の結果を得た。風化が等体積過程であることは Velbel (1990, *Chemical Geol.*, 84, 17-19) によっても主張されていた。

上の研究事例は、風化の前後で ρC が不変であったので、内部矛盾は表面に出てこない。問題はこれが不変でなかった場合で、最早 $\tau_w = 0$ が成り立っていないと疑う立場と変化分全てを体積変化に負わせる強引な立場があり得る。東北電力は後者の立場で、 $\tau_w = 0$ が成り立っているか否かを吟味せずに「体積膨張した」と結論してしまっているのである。

Ti はルチル (TiO_2) やイルメナイト (FeTiO_3) として岩石の中に入っている。Ti そのものは酸化され易いのだが、Ti が不動元素とみなされるのはその酸化物が化学的に極めて安定だからである。深成岩中の Ti もルチルやイルメナイトに含まれ、これらの鉱物は火山岩中のそれらに比べて粗粒である。速い冷却速度で形成される火山岩においては、Ti 鉱物は細粒で、Ti のかなりの部分は火山ガラス中に残される。ある玄武岩質火山灰に含まれる火山ガラス中の Ti の濃度は、同じ火山灰に含まれる斜長石や橄欖石中のその 1 桁以上高い (鹿園・瀧野・大谷, 2007, 地雑, 113, 593-610)。数万倍に拡大した火山ガラスの BEI 像 (後方散乱電子像) には Ti 鉱物は見えていなくとも、EPMA で Ti が普通に検出される。すなわち、このような場合の Ti 鉱物のサイズは 10nm オーダー以下なのである。

他の化学反応と同様、鉱物の溶解速度は比表面積に比例し、比表面積は粒径に反比例する。例えば、10nm の結晶粒子の溶解速度は 10 μm の結晶粒子の 1000 倍にもなる。1nm 程度以下の超微粒子はもはや結晶ではなくガラスに近いので、溶解速度はさらに増加すると考えられる。鉱物の溶解速度の粒子サイズ依存性に関しては、当然ながら White (1995, *Reviews in*

Mineralogy, 31, 407)も考察している。

上述したように、White が「体積変化がない」という結論に達したのは、花崗岩中の Ti 鉱物が粗粒なため、理想的な不動元素（化学種）により近かったためであろう。それに対し、火山岩やそれを起源とする堆積岩中の Ti 鉱物は細粒であるため、Ti を不動元素とみなすことが出来ず、より mobile であろう。そのような場合には $\tau_w = 0$ の仮定が成り立たず、その仮定の下に求めた体積歪は過大評価になる。東北電力による“体積膨張”はそのようなものである可能性がある。千木良・中田（2013、地質学会講演要旨）も、Ti を移動しないと仮定することの妥当性を検討していない。

ところで、「追加報告書」第 3.1-32 図のデータは、上記の問題との関連で興味深い。すなわち、「固結断層破碎帯」では母岩と比べて Al_2O_3 , CaO , Na_2O などが減少し、 SiO_2 が増加しているだけでなく、「固結断層破碎帯」中の TiO_2 濃度が母岩よりも 1 桁ほど小さいのである。このことは「Ti は移動しない」と安易に仮定してはならないことを東北電力のデータ自身が示しているのである。

元素の移動と mass balance を検討する場合、ISOCON diagram を作るのが普通であり、東北電力は、「膨張」の推算に用いた全元素の組成データを全て公表すべきである。

6. 劣化基盤岩中の開口性割れ目は体積の膨張ではなく収縮の指標

今回の「追加報告書」の複数個所に、多少意味不明瞭な部分があるのだが、「基盤岩中に亀裂が発達していることやスレーキングは、体積膨張を示唆する」という趣旨の記述がある (p.15 line17, p.46 lines5-6, p.46 lines12-14)。劣化度凡例中の劣化度 E に関する説明では「割れ目は開口することが多い」と述べられている。添付の「専門家からのご意見について」の中で、金折氏は「開口性割れ目の発達とは体積膨張の証拠」とまで断言している (p.69 lines16-17, p.72 lines25-28)。

言うまでもなく、開口性亀裂は引張応力で形成される。もし、基盤岩表層の劣化部のクラックの多くが開口性亀裂なら、そこには引張応力が作用していたはずである。そのような引張応力が発生する状況は、劣化表層がその内側の未風化部分に対して収縮する場合であって、その逆ではない。

7. 基盤岩中の小断層から推定される主応力配置は“体積膨張”から期待されるランダムな方向を向く σ_{Hmax} ではなく、現在の地殻応力場のそれに近い

Tr-20'-4 の小断層群 (添 3 51)、Tr-20'-2 の小断層群 (添 3 77~83)、Tr-30 の小断層群 (添 4 21~44)、Tr-31 の小断層群 (添 4 59~81)、2k' の小断層群 (添 4 91~103)、Tr-28 の小断層群 (添 4 127~149)、Tr-32 の小断層群 (添 9 9~38、48~61)、Tr-33 の小断層群 (添 9 6 7~79、48-61)、Tr-29 の小断層群 (添 9-95~112、121)、Tr-20'-1 の小断層群 (添 9 133~143) の 80%以上は、走向が NS~NE 方向の逆断層である。これらは WNW-ESE 方向で水平の主圧力軸を示唆し、現在のテクトニックな地殻応力場で形成されたとしても、

主応力軸配置の点では何ら問題ない。小断層 s-14 (N22E58W) や s-19 (N31E48W) のように、既存断層ではない所に新たに形成された立派な小断層が上記応力場と全く調和的なことも上記の結論を補強する。

上記の NS~NE 方向の小逆断層群に次いで卓越するのが Tr-20'-4、Tr-11、2k'、Tr-30、Tr-31、Tr-32、Tr-33 に認められる 10 数本の NW 方向の小逆断層群である。原子炉建屋付近の f-1 と f-2 断層はこの系列に属する。

以上のように、ほとんど全ての小断層は上記の WNW-ESE 方向の水平圧縮応力場と NE-SW 方向の水平圧縮応力場の存在を示唆するのであって、“体積膨張”から期待されるような σ_{Hmax} がランダムな方向の応力場ではない。なお、小断層の断層面のオリエンテーションが上記のような系統性を示すことは、「東北電力株式会社 東通原子力発電所敷地内断層の活動性等に係る評価結果、平成 24 年 5 月 14 日、地震・津波 16-6 (地震・津波 15-4 改)」の p.12 に東北電力自らも示しているのである。

主要な断層沿いの「粘土注入」と「対照型撓みも」逆断層運動を伴っていて、断層面にほぼ直交する WNW-ESE 方向の水平圧縮によって柔らかな断層粘土や破砕帯全体が絞り出されたと解釈しても矛盾は無い。例えば、Tr-28 の F-3 は“粘土注入”だけでなく上盤側が上昇する高角逆断層であり (添 2 130)、東京電力敷地の H-2 断層は高角逆断層として inversion し、同時に軟質断層粘土が injection している (添 2-122,123)。主要断層面上の条線のレイク (「26 年 1 月追加報告書」、p.24) も WNW-ESE 方向の水平圧縮応力場に矛盾しない (古い正断層運動の条線を含んでいるかもしれないが……)。

水平断面観察によって F-3 断層には縦ずれが卓越し、横ずれ成分がわずかであることが新たに明らかになった (添 2)。これは確実な進歩のひとつだが、これも上記のテクトニック応力場と矛盾しない。

8. 地下深部での破砕帯の固結状況も主要断層の新期活動を示唆する。

今回の「追加報告書」にはボーリングで確かめられた主要断層の破砕帯の性状が取りまとめられている。その概要は以下の通り。

- ・ F-3 (添 5 11) : 軟質破砕帯が深度 300m まで普遍的に確認。含モンモリ
固結部にもモンモリ検出
- ・ F-4 (添 5 42) : 最深部 (150m) まで固結・軟質混在
- ・ F-5 (添 5 47) : 最深部 (150m) まで固結・軟質混在
- ・ F-7 (添 5 60) : 最深部 (200m) まで固結のみ
- ・ F-8 (添 5 64) : 150m まで未固結。200m 前後が固結
- ・ F-9 (添 5-67) : 300m 前後に 2 箇所 of 固結。他は未固結か混在
“固結”であっても含モンモリ
- ・ F10 (添 5 93) : 最深部の 280m までほぼ全て軟質

東北電力は、1 ボーリング地点だけででも固結した破砕帯があれば、新期活動が無いか

のように解釈しているが、それでは軟質部（多くはモンモリを含む）の存在を説明できない。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期破碎のされ残しで、軟質部が見落とされている可能性が高い。例えば、Tr-21 の F-3 の破碎帯の大部分は固結しているようだが、破碎帯東縁にはモンモリが含まれているという。

以上のことから、東北電力のデータは F-3, F-4, F-5 の断層系列と F-9-F-10/F-8 の断層系列とが新期に活動したことを示唆している。

9. 基盤上面の凹凸と岩盤劣化度の分布は相関しない

東北電力は、基盤上面の凸部が高劣化部の分布によく対応し、凸部の形成は岩盤劣化に伴う膨張によるという趣旨の主張を随所で述べている。そしてこのことを“変状”が体積膨張によるという主張の傍証として用いている。ところが、未だに基盤上面の凹凸と劣化度との相関が定量的に示されていない。

劣化度がマッピングされた最も長いトレンチは Tr-20'2-Tr-20'4 で、約 250m である（添 3 88-99, 添 3 39-50）。これらの図によれば、最大波長の変化はトレンチ東端から西端近くの F-9 断層まで単調に劣化度が上昇し、F-9 の西で急に低下する。これは大局的には基盤上面比高と調和的である。しかし、より短波長では両者に明瞭な相関が認められず、凹凸はむしろ小逆断層によって規制されている。例えば、Tr-20'4 北面の 2 つの小逆断層（N33E48W と N16E66E）の間が落ち込んでいて、後者の東にも東上がりの段差あるといった具合である（添 3 17）。その他のトレンチに関しては以下の通り。

Tr-30（添 4 45～53）は長さ 120m 弱だが、劣化度と凹凸には何の相関もない。

Tr-31（添 4 82～90）は長さ 130m 程度で、波長 100m 程度のスケールでは劣化度と凹凸は相関する。

Tr-2k'（添 4 105～121）は長さ 60m 程度。東が少し劣化 (C,D) して低く、西は新鮮 (A) であるにもかかわらず高く、無相関。

Tr-28（添 4-152～160）は長さ 140m 程度で、劣化度は大局的には東端から F-3 断層までがやや高く、F-3 の西側で低くなった後、西に向かって増加する。局所的に n54 付近の V 字型の 2 本の小逆断層の所は凹凸と正相関しているが、全体的には無相関

Tr-34（添 7 74～79）は長さ 33m 程度と短く、相関を見るには不十分な長さのトレンチ。

2 つの小逆断層に挟まれた 20m 区間がわずかな高まりをなして、劣化度との相関がある典型例のひとつとされている。しかし、劣化度 D と E はこの 2 本の小断層の両側とほとんど変わらない上、凸部は 2 こぶになっていて 2 つの逆断層による隆起とそれらの間の凹部とも解釈できる。

Tr-32 東西（添 9 39～45）は長さ 92m 程度で、波長 60m 程度で相関があると言えるかもしれないが、有意とするにはトレンチが短すぎる。

Tr-32 南北（添 9-62～64）は長さ 50m 程度で、劣化度は全て E。波長 15m 程度の凹凸

は小逆断層による。

Tr-33 (添 9 80~82) は長さ 40m 程度で、劣化度はほぼ一様に C。凹凸は少ない。

Tr-29 (添 9 115~120) は長さ 80m 程度で、劣化度と凹凸には相関は無く、凹凸は小断層 s-14 などによる。

以上のように、東北電力の主張に反し、劣化度と基盤上面の凹凸とは、明瞭な相関が認められず、凹凸は体積膨張の傍証にもならないのが実態のようである。

劣化度分布も基盤上面の凹凸分布も様々な空間スケールのものが重なり合っているので、狭い範囲を観察しただけでは正しい対応関係を把握し難い。スペクトル解析を行い、波長毎の相関を定量的に示さなければならない。

10. 敷地南部の F-9 断層の東側の高まりの成因

標記の地形的・地質的高まり(「追加報告書」 p. 113~127)の成因は、議論の焦点のひとつであった。「追加報告書」の p.116 に示されているように、Tr-20'2 に認められる F-9 断層を境に基盤上面の段差は 5m に達する。巨礫を含む M1a 層は F-9 の東側にもわずかに分布し、そのかなりの部分は削剥されているように見える。この M1a 層の上面の高さは、F-9 の東側で 3m も高い。すなわち“変位”は累積している。F-9 断層の破砕帯を覆う M1 層から十和田レッド火山灰を含む L1 層(?) までは上に撓んでいて、母岩より軟質の断層破砕帯だけが絞り出されたことを示す。Tr-20'2 の南面での F-9 破砕帯東縁は下盤の泊層にのし上がっていて(「追加報告書」の第 2.2-2 図、または添 3 83)、いわゆる inversion とみなしてよい。しかし、これは断層破砕帯が絞り出されるときに非対称に上昇したためであって、西側が広域的に上昇したわけではない。

ここまでは大方の事実認識は一致するであろう。問題は F-9 断層の東側の上昇が F-9 断層の新期の活動に因るとすれば、F-9 断層が正断層的な運動したことになってしまい、現在の地殻応力場と矛盾するということである。そこで、東北電力はこの断層活動が岩盤劣化に伴う体積膨張によると考え、有識者会合の一部は横ずれ運動をしたのではないかと考えた。しかし、後者も東北電力の最新のデータによってほぼ否定されたし、すでに指摘したように、「岩盤劣化による膨張」という解釈の根拠が全てほぼ架空のものであると分かった。そこで、最初に述べた 5m に達する東側上昇を、F-9 断層そのものに囚われず、テクtonic な変形であるという視点から検討してみる。「追加報告書」と同時に配布された「補足説明」東通・現調 8-1, 3-9 & 3-10 に示されているように、この構造は Tr-20-4 の東端を超えた広がりを持ち、水平スケールが 250m 以上である。これと対を成すように、F-9 断層の西側には M1 層が厚く一様に広がっている。このような全体像は、地表の F-9 付近に向かって伸びる東傾斜の逆断層が伏在していて、地下浅部はどう曲になっている可能性を示唆する。この想定とう曲の位置を添 3-114~117 のボーリング資料で検討すれば、Tr-20'2 の F-9 断層から北に延び、H25B-205 と H25B-206 の間 (F-9 より 50m ほど西) を通り、さらに北の H25B-2012 と F-9 との間を通過するように見える。このトレースは F-9 のトレ

ースよりは添 3-114 の地形図の 20m より 2 つ高い等高線に沿っている。この想像の当否は H25B-m10 などのボーリングコアに断層破碎帯が在るか否かで分かるだろう。この点に関しては、Tr-20'1 の s-19 近傍に掘削されたボーリング BQ-1 (「東北電力株式会社 東通原子力発電所敷地内断層の活動性等に係る評価結果、平成 24 年 5 月 14 日、東北電力株式会社、地震・津波 16-6」の p.16) に注目すべきである。深度 12.19~12.36 m に「砂状破碎部」、13.06~13.12m に「岩片状破碎部」が記載されているからである。

なお、東北電力は F-9 断層の西側に南から北に流れるチャンネルを復元していて、その凹地形成が差別浸食によるとしている。しかし、これでは M1a 層の分布が F-9 断層の東側で高いことを説明しにくい。

上記のようなとう曲を想定することには無理がない。なぜなら、**とう曲と考えられる構造は他にも多く認められるからである**。例えば、Tr-20'4 の n60 (添 3-21) と s53 (添 3-33) に見られるものは比高が 2m に達するスロープである。これは上で想定した大きなとう曲性逆断層の back-thrust と位置づけられよう。その他、例えば、Tr-20'3 の n0 (添 3-57)、s5 (添 3-65)、Tr-30 の n22-35 (添 4-37) と s28-35 (添 4-29)、Tr-31 の n59 (添 4-69) と s61 (添 4-77)、n17 (添 4-65) と s13 (添 4-73)、Tr-28 の n50-64 (添 4-135) と s50-66 (添 4-143)、s77 付近 (添 4-145)、Tr-32 の n1 (添 9-17)、s8 付近 (添 9-23) にもとう曲があるようだ。

11 断層の連続性

東北電力は“変状形態”と断層変位量が連続性に乏しいこと、断層が地下浅部で消滅してしまうものがあることから、これらは活断層でないとしている。しかし、それは明らかに誤りである。分類された“変状”の中、R 型段差、R 型小断裂、NR 型小断裂、非対称型撓みはひとつのグループにまとめられる。粘土注入と対照型撓みも一つのグループである。これらのグループ内のバリエーションはほとんど重要でない。残りは N 型段差と N 型小断裂だが、これらに該当する事例はほとんど無い。**「変状形態の連続性が乏しい」という観察結果は無暗に形態を細分化した人為的結果である**。基盤が上下に変位すれば、上昇したブロック肩から下降した側の斜め上に逆断層が、上昇した側の斜め上には正断層が出来やすい。断層が出来ずに撓むこともある。このようなことは古典的に知られたことである。

東北電力は「変位量が水平方向に変化し過ぎる」とも言うのだが、どの程度なら活断層だというのだろうか？ 変位勾配は歪であり、それは岩石が破壊する臨界歪以下でなければならぬ。これまで世界中で調査された地表地震断層の変位分布は 200 以上あり (例えば Wells & Coppersmith, 1994)、大変変化に富んでいるが、東北電力はこれらをレビューすべきである。その際に注意しなければならないのは、東通の活断層はせいぜい C クラスであって、地震が起こったとしても小さいものであったろうから、そのような地震断層の事例に注目すべきである (野島断層は不適當)。私がすぐに思いつくのはいずれも横ずれ断層なのだが、例えば、1987 年 11 月 24 日の Superstition Hill earthquake にトリガーされて

動いた Coyote Creek fault (Hudnut & Clark, 1989, BSSA, 79, 451-465)、1981年4月26日の Westmorland earthquake にトリガーされて動いた Imperial fault と Superstition Hill fault の変位分布 (Sharp et al., 1986, BSSA, 76, 949-965)、1987年11月24日 Elmore Desert Ranch earthquake で動いた Superstition Hills fault と Brawley seismic zone の間に出来た NE 方向の地震断層 (Hudnut et al., 1989, BSSA, 79, 282-296) などである。根拠無くして「変位量が水平方向に変化し過ぎるから活断層ではない」などと言ってはならない。

「地下浅部で消滅してしまう断層は活断層ではない」というのも全く根拠がない。断層の幅が地震発生層の厚さ程度以上なら、その先端部は地表に現れる。地表に現れた部分の長さや変位は小さくとも、それは“根あり”の立派な活断層である。他方、小さい断層は地殻内のどこかに閉じ込められているし、それが地表近傍にあれば“根なし”になる。断層のサイズはべき分布するので (Otsuki, 1998, Geophys. Res. Lett., 25, 671-674)、現在の応力場でできた小さな活断層も無数にあって、至る所で観察できる。例えば仙台付近でも小さな逆断層は数十個も計測されていて、その中のごく一部は段丘礫層を変位させていること、およびこれらから求められる主応力軸の方向は現在の地殻応力場と全く同じであることなどから、これらの小逆断層は第四紀の応力場で形成されたことが確実である (中田・大槻・今泉, 1976, 東北地理, 28, 111-120; 大槻・中田・今泉, 地球科学, 31, 1-14)。それらは“根なし”であっても正真正銘の活断層である。同様に、東通源発敷地内に認められる断層が“根なし”だから活断層ではないという主張は誤りである。

そのような小さな活断層が地震を起こすかどうかは別の重大な問題である。それには摩擦構成則と剛性に係るすべり不安定性の問題であるとともに、震源核のサイズに係るからである。それだけにこの件に関しては膨大な研究があり、ここに枚挙できるようなものではない。もし、東通の断層が地震を起こすとか起こさないということに言及したければ、それらをレビューした上で原発敷地内断層から必要なデータを得、しかるべき検討しなければならない。「26年1月追加報告書」ではそのような検討は全く見当たらないので、これ以上言及しない。

追記

上では主要な問題点だけを指摘したのだが、無数にある些細な問題は書ききれないのでこの見解書では省略した。必要とあれば改めて述べる。やや重大だが今回は触れなかった問題は、膨潤試験結果と体積膨張に伴う断層変位に関する有限要素法数値実験である。これらも看過できない欠陥を含んでいるが、上に指摘した体積膨張説の誤りに関する検討が進んだ段階で必要なら指摘する。

モンモリロナイトの膨潤に伴う現象は地学・土木学で古くから知られている現象であって、コロラドの heaving bedrock の例を持ち出すまでもない (青函トンネル掘削工事中に膨潤が起り、トンネルが閉塞してしまったことは、大変有名)。モンモリロナイトが含ま

れていても膨潤現象が顕著に顕れる場合とそうでない場合があるようである。コロラドの含モンモリロナイト層の孔隙率は東通のそれよりずっと小さいのではないか？コロラドの事例に関しては、がそれらの原因を示すのが肝心であって、単に他の膨潤事例を挙げただけでは東通の証明にはならない。