

西南日本で現在進行中の地殻変動と伊方原子力発電所

野津 厚

のづ あつし

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

伊方原子力発電所の基準地震動策定では、発電所の敷地前面海域に存在する中央構造線断層帯で生じる地震を考慮しているが、その際、傾斜角については、発電所から離れるセンスである北傾斜については30度まで考慮しているにもかかわらず、発電所に近づくセンスである南傾斜については80度までしか考慮していない。こうした判断は妥当なのだろうか？地殻変動の観測結果やエアガン探査断面にもとづいて考察する。

福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力発電所の審査体制が見直され、新規制基準への適合性に関する審査が行われるようになった。審査会合の資料は公開されており¹⁾、地球科学の専門家は審査の学術的妥当性をトレースできる状態にある。しかしながら、大多数の専門家は多忙であるため、よほど必要に迫られなければ、資料を開いてみようとは思わないであろう。筆者自身も基本的にはそうであったが、機会があり伊方原子力発電所の基準地震動策定に関する資料に目を通すことになった。その結果、より多くの専門家の議論の対象とすべきではないかと考えられる部分も存在した。その一つが本稿で紹介する断層傾斜角の問題である。本稿で報告する内容は、筆者自身が専門とする強震動シミュレーションに関するのではなく、テクトニクスに関することであるから、通常であれば筆者から報告すべき内容ではない。しかし、現時点でこのような報告ができる専門家が他にいない可能性が高いので、あえて筆者から報告するものである。本報告をきっかけとして、今後、専門家の間での議論が深まることを期

待したい。

発電所にとって厳しくなる傾斜角の条件が考慮されていない

伊方原子力発電所の基準地震動策定については2015(平成27)年3月20日の会合に事業者が提出した資料3-4-1²⁾に詳しい。発電所の敷地前面海域には中央構造線断層帯が存在しており(図1)、それによる地震動が基準地震動の策定において考慮されている。その際、傾斜角については90度を基本とし、角度のばらつきも考慮しているが、発電所から離れるセンスである北傾斜については30度まで考慮しているにもかかわらず、発電所に近づくセンスである南傾斜については80度までしか考慮していない(資料3-4-1のp.55)。つまり

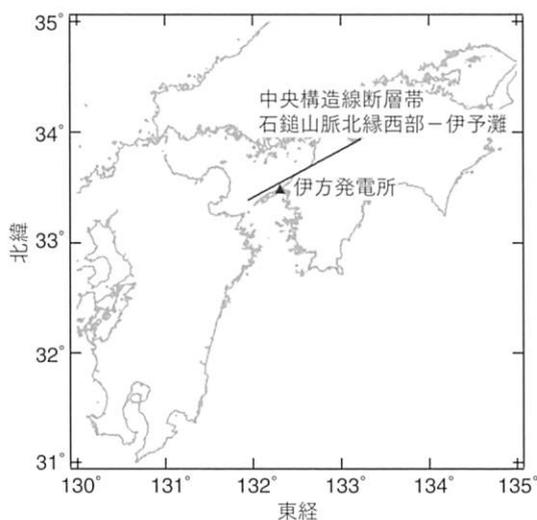


図1—伊方発電所と中央構造線断層帯のおよその位置関係(J-SHISの震源データを利用)

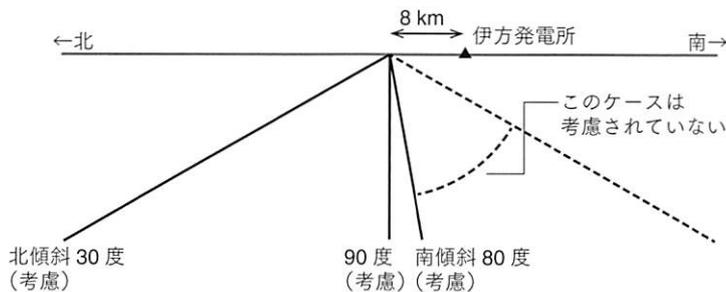


図2—断層の傾斜角と伊方発電所の位置関係の概念図

発電所にとって厳しくなる条件が考慮されていない(図2)。

中央構造線断層帯は、右横ずれを主体とし、上下方向のずれを伴う断層であるため³、可能性の一つとして傾斜角90度すなわち鉛直の断層を考えている点は妥当であろう。しかし、問題は、横ずれを主体とする断層であっても、実際に地震が起きてみれば、その傾斜角が鉛直と異なる場合もあるという点である。例えば、2016年熊本地震の本震は、右横ずれを主体とする地震でありながら、国土地理院⁴は地殻変動の解析結果にもとづいて傾斜角が60度の断層面を、瀨瀬・他⁵は強震波形データの解析にもとづいて傾斜角が75度の断層面を、Asano & Iwata⁶は強震波形データの解析にもとづいて傾斜角が65度の断層面を、それぞれ提案している(布田川区間に着目した数字)。これらの結果は、横ずれを主体とする地震であっても、傾斜角が少なくとも60度程度にはなり得ることを示している。また、同時に、事後解析であつてさえ、断層の傾斜角は研究者によってかなりばらついていることにも着目すべきである。まして事前の予測が難しいのは明らかであり、ここで対象としている施設の重要性、万が一被害が生じた場合の影響の甚大さなども考えれば、敷地前面海域の断層の傾斜角については相当の不確実性を見込むべきであると考えられる。

傾斜角の不確実性について、北傾斜については30度までを考慮しており、その理由として、物質境界が震源断層となる可能性が否定できないことを挙げている。確かに物質境界としての中央構造線は北に30~40度傾斜しているとの四国にお

ける調査結果があり⁷、物質境界としての断層と地震を引き起こす断層とは区別して考えられることが一般的ではあるものの(例えば文献⁷)、両者が一致する可能性は否定できないから、可能性の一つとして北傾斜を考えることは妥当である。問題は南傾斜の可能性を排除してよいかである。確かに南傾斜についても上述の通り80度までは考慮されている。しかし、90度と80度の違いは事後解析におけるばらつきの幅にも達していないので、事業者としては南傾斜の可能性はほぼないと判断しているように見える。この判断は妥当であろうか？

西南日本で現在進行中の地殻変動

1990年代に日本列島をカバーするGPS連続観測網が整備されたことにより、日本列島で現在進行中の地殻変動に関する理解が大きく進展した⁸。その成果の一つとして、九州地方は陸側プレートに対して反時計回りに回転していることは現在よく知られている(図3)^{9,10}。また、この運動と整合するように2016年熊本地震が発生したこともよく知られている。九州地方の回転運動は国土地理院のサイトにあるアニメーションがわかりやすい¹¹。このとき、上記のアニメーションや図3から明確にわかるように、四国西部は北西への移動を続けており、伊方発電所付近では、中央構造線を挟む南北の領域間で(右横ずれのひずみの蓄積とともに)少なくとも現在進行形としてはcompression(圧縮)が生じている。

このことは、傾斜角の想定において重要な意味

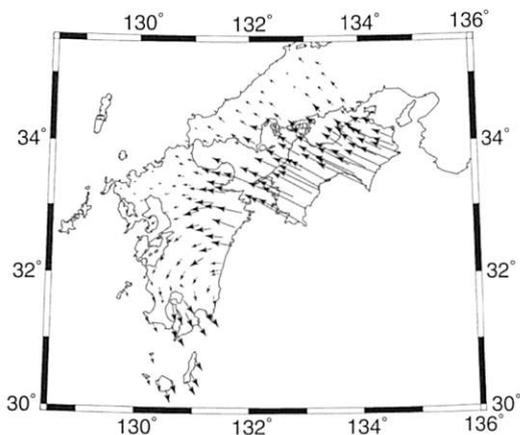


図3—GPS連続観測にもとづく西南日本における地殻変動の速度ベクトル(Nishimura & Hashimoto⁹の図をもとに作成：1996年3月21日～2002年3月20日)

をもつ。なぜなら、次節で述べるように、敷地前面海域の中央構造線断層帯では(横ずれとともに)南側が北側に対して相対的に隆起するようなセンスの変位の累積が生じていることは間違いないためである。こうしたセンスの変位の累積が生じるためには、敷地前面海域の中央構造線断層帯で生じる地震は、右横ずれに加え、「北傾斜の正断層」か「南傾斜の逆断層」のいずれかの成分をもっていなければならない。そのどちらの可能性が高いかは応力状態に依存しており、南北方向の compression の作用下で地震が起こるならば、「南傾斜の逆断層」の成分が横ずれに加わる可能性の方が高いであろう。

ところで、一点注意すべきことは、四国西部の北西への移動は大部分はプレート間のカップリングによるものであり、いったん南海トラフ巨大地震が起こればキャンセルされるもので、そのすべてが中央構造線断層帯の地震によって解放されるべきものではないという点である。Nishimura & Hashimoto⁹は、西南日本内帯(中央構造線より北)、西南日本外帯(同じく南)、北部琉球ブロックの3つのブロックを考え、図3に示すような地殻変動ベクトルを、各ブロックの回転運動の寄与と、ブロック間やプレート境界のひずみの蓄積の寄与に分ける研究を行っている。また、これと類似の研究が Wallace et al.¹⁰ によっても行われている。い

ずれの研究も、中央構造線を挟む南北のブロック間で右横ずれのひずみの蓄積が生じていることを指摘しているが、南北方向の相対変位については言及していない。詳しく見ると、Nishimura & Hashimoto⁹の結果では伊方発電所付近では南北方向にわずかに拡張が生じているようであり、Wallace et al.¹⁰の結果では南北方向にわずかに収縮が生じているようである(Wallace et al.の結果は事業者が同じ会合に提出した資料 3-3¹²でも見ることができる)。おそらく、南北方向の相対変位は絶対値が小さいため、解析条件によっても結果が変わるのではないかと推察される。現時点では、伊方発電所付近の中央構造線を挟む南北方向の長期的な相対変位は、収縮の可能性が排除できないと考えるべきではないだろうか。そうであるとすれば、敷地前面海域の中央構造線断層帯を挟む南北間の鉛直方向の相対変位は、「南傾斜の逆断層」によるものである可能性が残る。

もう一つ、考えておかなければならないのは、南海トラフ巨大地震のサイクルに伴って、敷地前面海域の中央構造線断層帯には載荷と除荷が繰り返されるといふ点である。南海トラフ巨大地震発生の直前には、四国西部の北西への移動は大きくなっている。中央構造線断層帯に沿って右横ずれの断層運動がもっとも起こりやすいのはこのタイミングであろう。しかし、まさにそのタイミングにおいては、中央構造線断層帯を挟む南北のブロック間には compression が作用している。したがって、発電所前面海域の中央構造線断層帯で右横ずれを主体とする地震が発生するときには、正断層成分よりも逆断層成分が加わる可能性が高い。フィリピン海プレートの沈み込みに伴うひずみの蓄積により、そのような地震の発生の可能性が刻一刻高まっている可能性さえある。

エアガン探査断面

図4(上)は敷地前面海域のエアガン探査断面である(資料 3-3¹²の p.48)。中央構造線断層帯は横軸の数字で 1700～1800 付近に存在している。この

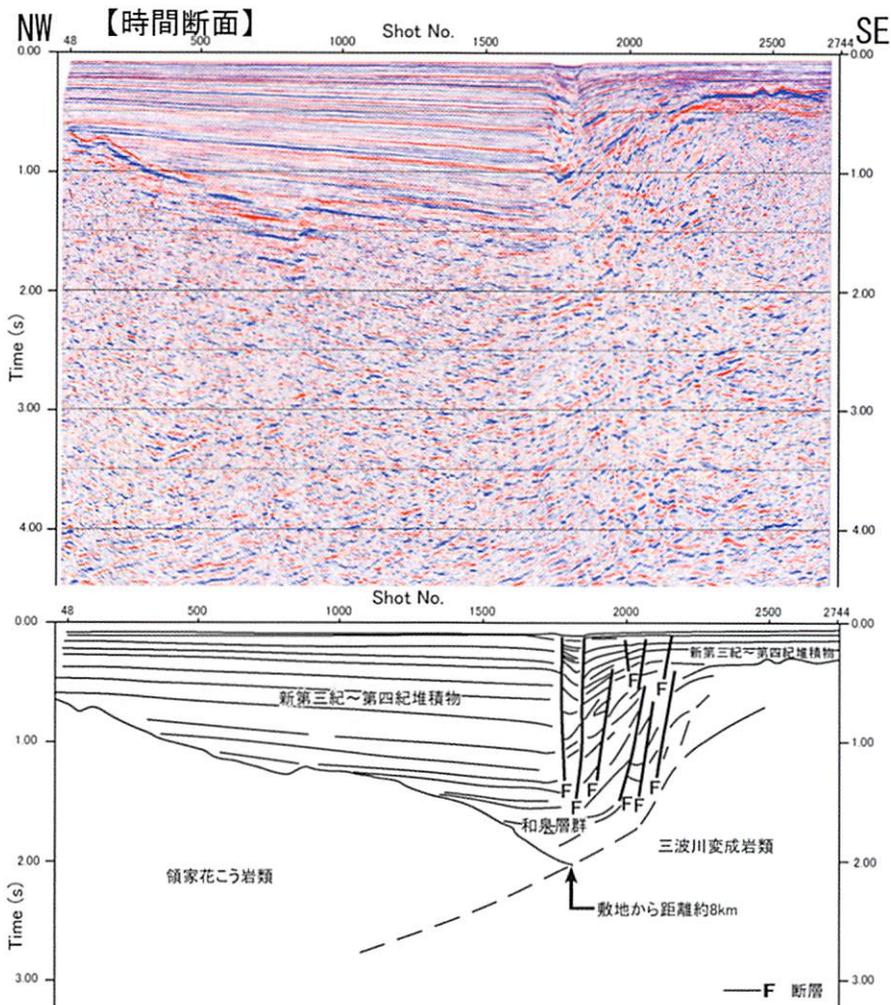


図4—敷地前面海域のエアガン探査断面(上)と事業者による解釈(下)¹²⁾

図からまずわかることは、新第三紀～第四紀堆積物の基底が、断層を挟んで左側(北側)より右側(南側)でだいぶ浅くなっていることである。したがって、敷地前面海域の中央構造線断層帯では(横ずれとともに)南側が北側に対して相対的に隆起するようなセンスの変位の累積があると言える。この図面では「新第三紀～第四紀堆積物」と幅をもった年代が示されているため、鉛直変位の生じているのがどれくらい新しい地層なのかかわからないが、事業者が審査会合に提出した別の資料¹³⁾では、敷地前面海域における更新世の地層上面の標高(図5)が示されており、更新世の地層上面にも高低差があり断層の南側が高いことがわかる(横に並んでいるバルジや地溝を境にして、南側は黄の色が濃くなっており、

北側は色が薄くなっている)。これは、更新世から完新世に入ってから(1万年前以降も)繰り返し断層運動が起こり、南側が相対的に隆起したことを意味する。これらの傾向は、断層線の南側が高い(半島が存在する)という地形的な特徴とも整合する。

図4(下)は敷地前面海域のエアガン探査断面の事業者による解釈である(資料3-3¹²⁾のp.48)。この解釈では、浅部において高角で北傾斜の断層面が読み取られている。しかし、この解釈は「南傾斜の断層は存在しないはず」との先入観に引っ張られているように筆者には思える。図4(上)の時間断面の解釈方法について、利害関係のない複数の専門家による検討がなされるべきであると考えられる。

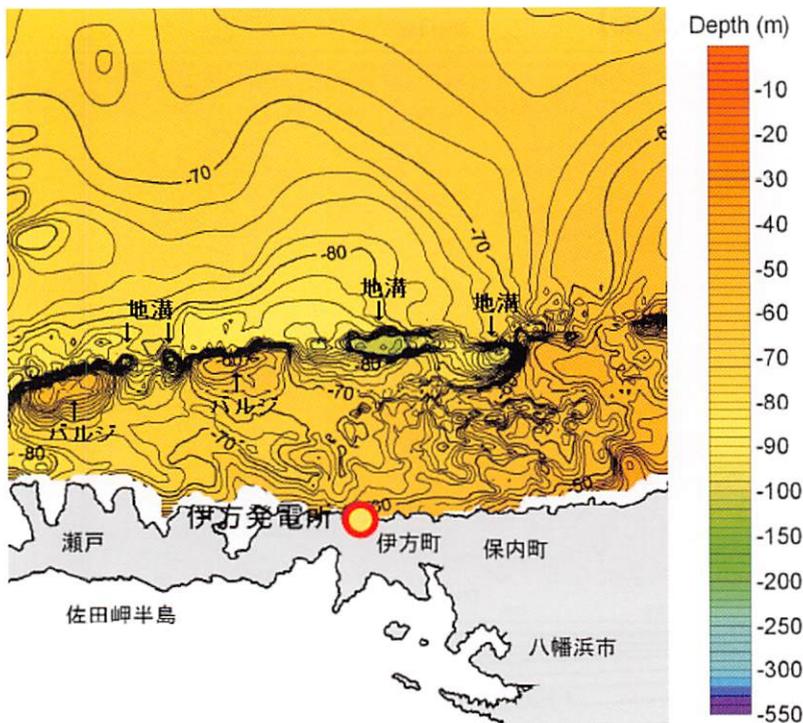


図5—敷地前面海域における更新世の地層上面の標高¹³

Ikeda et al.¹⁴ は、敷地前面海域の中央構造線断層帯の東側の延長上にあたる伊予断層付近で反射法地震探査を行い、南向きに約 50 度の角度で傾斜する逆断層 (F2, 文献 14 の Figure. 7 (b)) を見いだしている。Ikeda et al.¹⁴ はこれを伊予断層の延長と解釈している。このことは、前節で述べたような「右横ずれを主体としつつも南傾斜の逆断層の成分が混じる地震」が中央構造線断層帯に沿って発生する可能性があることを裏付けているように思われる。

* *

伊方発電所の敷地前面海域の中央構造線断層帯において、南傾斜の断層面上で地震が生じる可能性は否定できないと考えられる。南傾斜の断層面で地震が生じれば、北傾斜の断層面よりも発電所までの距離が短いため、より大きな地震動が作用する可能性がある。このような観点から基準地震動について再検討する必要があると考えられる。

文献

1—原子力規制委員会: 新規規制基準適合性に係る審査会合,

<http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisyu/tekigousei.html>

2—四国電力株式会社: 資料 3-4-1, 伊方発電所 地震動評価について (2015), <http://www.nsr.go.jp/data/000100928.pdf>

3—地震調査研究推進本部地震調査委員会: 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁—伊予灘) の長期評価 (一部改訂) について (2011), http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/81_83_85_86_89_chuo_2.pdf

4—国土地理院: 平成 28 年熊本地震の震源断層モデル (暫定), <http://www.gsi.go.jp/common/000140781.pdf>

5—嶺嶺一起・小林広明・三宅弘恵: 2016 年 4 月 14・16 日熊本地震の震源過程, <http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/2016kumamoto/index.html>

6—K. Asano & T. Iwata: Earth Planets Space, **68**, 147 (2016)

7—伊藤谷生・他: 地質学雑誌, **102**, 346 (1996)

8—鷲谷威: 地震, 第 2 輯, **61**, S479 (2009)

9—S. Nishimura & M. Hashimoto: Tectonophysics, **421**, 187 (2006)

10—L. M. Wallace et al.: Geology, **37**, 143 (2009)

11—国土地理院: 九州の地殻変動ベクトル, <http://www.gsi.go.jp/kyusyu/test.html>

12—四国電力株式会社: 資料 3-3, 伊方発電所 地盤 (敷地周辺の地質・地質構造) について (2015), <https://www.nsr.go.jp/data/000100929.pdf>

13—四国電力株式会社: 資料 1-3, 耐震バックチェックにおける中央構造線断層帯の断層傾斜角に関する審議状況について (2015), <https://www.nsr.go.jp/data/000034438.pdf>

14—M. Ikeda et al.: Tectonics, **28**, TC5006 (2009)