

平成 23 年(ワ)第 1291 号, 平成 24 年(ワ)第 441 号, 平成 25 年(ワ)第 516 号, 平成 26 年(ワ)第 328 号, 平成 31 年(ワ)第 93 号伊方原発運転差止請求事件

原告 須藤 昭 男 外 1418 名

被告 四国電力株式会社

準備書面(71)
三次元物理探査の必要性

2019年10月24日

松山地方裁判所民事第2部 御中

原告ら訴訟代理人

弁護士	薦	田	伸	夫
弁護士	東		俊	一
弁護士	高	田	義	之
弁護士	今	川	正	章
弁護士	中	川	創	太
弁護士	中	尾	英	二
弁護士	谷	脇	和	仁
弁護士	山	口	剛	史
弁護士	定	者	吉	人
弁護士	足	立	修	一
弁護士	端	野		真
弁護士	橋	本	貴	司
弁護士	山	本	尚	吾
弁護士	高	丸	雄	介
弁護士	南		拓	人
弁護士	東			翔

訴訟復代理人

弁護士	内	山	成	樹
弁護士	只	野		靖

目次

(松山地決批判)

第1 芦田名誉教授の意見書(甲456).....	3
1 芦田名誉教授.....	3
2 地下を対象とする場合の調査手順.....	3
3 反射法地震探査—二次元探査と三次元探査.....	3
(1) 一次元, 二次元, 三次元探査(調査).....	3
(2) 1975年頃から, 三次元地下探査が一般的.....	4
(3) 二次元と三次元の違い.....	4
(4) 地下構造図の違い.....	4
(5) 三次元探査による地下構造の表示.....	5
(6) 三次元探査による地下構造把握の有効性.....	5
(7) 地下構造を立体的に把握.....	5
(8) 二次元探査の限界と三次元探査の重要性.....	5
4 原発敷地における反射法地震探査の在り方.....	6
5 四国電力の調査について.....	7
(1) 全体的な印象.....	7
(2) 地震波の到来方向による分析について.....	7
(3) 浅部地盤増幅特性の分析について.....	8
(4) PS検層について.....	8
(5) オフセットVSP探査.....	10
(6) 四国電力が主張する「三次元的な地下構造の把握を行うための調査」に ついて.....	13
(7) 中央構造線の三次元探査について.....	14
(8) 終わりに.....	15
6 四国電力の反論について.....	18
(1) 三次元調査の必要性.....	18
(2) 地下を対象に仕事をする場合の基本的な流れ.....	18
(3) 四国電力の調査に関する基本的な問題.....	19
第2 三次元地下探査の費用 上述のとおり(第1, 6(2)ウ。(3)セ), 三次元地	

下探査に要する費用は、数億円から数十億円である。	27
第3 伊予灘海上での三次元探査	27
第4 結論	27

第1 芦田名誉教授の意見書(甲456)

1 芦田名誉教授

芦田讓京都大学名誉教授は、社団法人物理探査学会の会長、経済産業省国内石油・天然ガス基礎調査実施委員会の委員長等を歴任した、地下物理探査の第一人者である(甲456・1頁。以下、甲456の該当頁だけを示す)。

2 地下を対象とする場合の調査手順

地下を対象に地下の形態、物性値を把握するため、通常、地表地質調査、物理探査を行い、坑井を掘削する。地表調査は、地表の地質、地層傾斜、断層等を調べることをいうが、物理探査は、物理現象を用いて、地表から数kmまでの地下内部構造を調べる技術であり、反射法地震探査、屈折法地震探査、電気探査、電磁探査、重力探査、磁気探査等がある。その中でも、最も精度がよく地下深部までの透過力があるのが反射法地震探査であり、反射法地震探査を実施する際には、まず、地表地質調査や物理探査を行い、そのデータを解析して最適な場所に坑井を掘り、その坑井を使って、コアサンプルや坑井内部の詳細なデータを取得する物理検層を行う。四国電力は、伊方原発建設にあたり、そのような物理探査を行っていると思われ、福島原発事故以降求められている最新の技術を用いた反射法地震探査等を行っている筈であるが、資料を見る限り、四国電力は、伊方原発の地下構造について、反射法地震探査を1本の測線のみ実施しているに過ぎない(1~2頁)。

3 反射法地震探査—二次元探査と三次元探査

(1) 一次元、二次元、三次元探査(調査)

地下探査(調査)の方法には、一次元、二次元、三次元探査(調査)があり、その違いを説明すると、次のようになる(2頁)。

ア 一次元

ボーリング調査であり、掘削地点のみのデータが詳細に得られる。医療分野

の外科手術に相当する。

イ 二次元

直線状に、震源、受信機を設置する。震源、受信機を設置した測線下の地下の二次元断面の形状が分かる。医療分野のX線撮影、超音波診断に相当する。

ウ 三次元

面的に、震源、受信機を設置する。調査地域を取り囲む地下断面の形状が詳細にわかり、データの量と精度は格段に詳細である。医療分野のCTスキャン、MRIに相当する。

(2) 1975年頃から、三次元地下探査が一般的

地価調査の技術は、主に石油、金属等の地下資源の炭鉱の必要性から発達してきたが、特に、反射法地震探査は、石油探査の現場では、1975年頃から、従来の二次元探査に代わって三次元探査が用いられるようになり、最近では三次元探査が一般的になっている(2～3頁)。

(3) 二次元と三次元の違い

ア 二次元反射法地震探査

二次元反射法地震探査は、調査地域の周辺に直線状に震源と受振器を設置した調査測線を設け、データを取得する。取得したデータの断面上の反射面を各測線の交点で移し替え、各測線にわたって追跡し、調査測線上の反射面の時間をプロットし、時間の等しい点を結んで、地形図の等高線図に相当する地下構造図を作成する。二次元反射法地震探査の場合、受振したデータには直下から反射して戻ってくるデータの他に、直下でない周囲から反射して戻ってくるデータが含まれるが、それらを全て直下からのデータとして処理するため、不正確、場合によっては誤って解釈してしまうことがある(以上、3～4頁)。

イ 三次元反射法地震探査

三次元反射法地震探査では、多数の震源と受振器を調査地域を取り囲むように面的に配置する。得られたデータを計算機によって映像化することにより、地層の境界や断層の傾斜、落差、連続製陶を正確にとらえることができる(4～5頁)。

(4) 地下構造図の違い

二次元探査による地下構造図と三次元探査による地下構造図を対比すると、背斜構造、断層について、三次元探査による地下構造図の方が遥かに詳細で複雑なものとなっていることが一目瞭然である(6頁)。

(5) 三次元探査による地下構造の表示

三次元地下探査によれば、三次元ボリュームがワークステーションと呼ばれる計算機の中に形成されているので、地下構造を三次元キュービック表示で示すことができ、任意の方向の鉛直断面、任意の深度の水平(スライス)断面や任意の角度の回転等が簡単に作成できる上、スライス断面をコマ撮りして映画にすることもできる(6～7頁)。

(6) 三次元探査による地下構造把握の有効性

三次元探査データによる地下構造把握の有効性を示すフェンスダイアグラムと呼ばれる図面を示すが、これは、ある深度におけるスライス断面上に直行する鉛直断面を丁度フェンスのように重ねて表示したものである。鉛直断面には多くの断層が見られるが、鉛直断面だけだとこれらの断層が水平方向にどのように伸びているか分からないが、これにスライス断面が組み合わさると、断層が伸びる方向や断層の落差など、複雑な地下構造が判断できる(7頁)。

(7) 地下構造を立体的に把握

三次元地下探査では、二次元探査では抽出できなかった複雑な地下構造を把握することができ、あたかも地下に潜っているかのような仮想現実(Virtual Reality)として地下構造を立体的に捉えることができる。その差は、医療分野に例えるならば、二次元探査は超音波診断のようなもの、三次元探査はCTスキャン、MRIのようなものといえることができる(8頁)。

(8) 二次元探査の限界と三次元探査の重要性

見方によっては、若い女性にも、老女にも見えるという有名なだまし絵がある。これは、もともと三次元のデータを二次元に閉じ込めたために生じたもので、二次元探査の結果をもとに地下構造の議論をするのは、いふならばこの絵をもとに若い女性なのか老女なのかを議論するようなものである。そのような不毛な議論をするより、三次元探査によって詳細かつ正確な情報を集め、解釈の入り込む余地をできるだけ少なくすることが重要

である(8～9頁)。



4 原発敷地における反射法地震探査の在り方

芦田名誉教授は、原子力発電所のような重要な施設の地下構造が、いまだに二次元探査のデータに基づいて解釈されていることに驚いている。芦田名誉教授は、2000年代の初頭から、関係機関に対し、原発敷地周辺の地盤調査を三次元探査で行わせるべきだと言いつけてきたが、いまだに行われていない。費用面では、三次元探査は二次元探査の2倍程度の費用が掛かり、調査面積にもよるが、数億円程度かかる。しかし、得られるデータの情報量や精度を考えると、決して高くはない。原子力発電所のような重要な施設の場合には、必要な費用の支出は惜しむべきではない。また、電力会社の財政規模、深刻な事故が起きた際の損害額に比べれば、三次元探査の費用は大した金額ではない。地下構造を高精度な手法で調査をし、より正確な地下情報に基づいて、地下構造形態や断層の存否、傾斜、落差、連続性を詳細に把握して議論すべきなのは当然で、そのために三次元探査は必須であると芦田名誉教授は考えている。「基準地震動及び耐震設計方針にかかる審査ガイド(平成25年6月19日、原子力規制委員会)(甲117)でも、「地盤モデルの設定にあたっては、解放基盤面の位置や不整形性も含めた三次元地盤構造の設定が適切であることを確認する。」(I. 7. 2. 1(1)(2))とされている。もっとも、「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準

に関する規則の解釈」(平成25年6月19日, 原子力規制委員会)(甲457)では、「なお, 評価の過程において, 地下構造が成層かつ均質と認められる場合を除き, 三次元的な地下構造により検討されていること」(4条5項四号①)とされ, 「地下構造が成層かつ均質」であれば, 地下構造の三次元的な検討を不要としている。しかし, 三次元探査をしないで, どうして「地下構造が成層かつ均質」だと判断できるのか。芦田名誉教授には全く理解できない。この例外規定は, 既に三次元地下探査が行われている場合等の特殊なケースに適用されるものではないか。四国電力の場合, 一本の測線だけで二次元地下探査を行っているだけであるが, 後に述べるように, 一本の測線だけで仮に水平だったとしても, 全域にわたって水平だと言えないことは明白であり, 四国電力の場合, この例外規定が適用されるケースでないことははっきりしている(9~10頁)。

5 四国電力の調査について

(1) 全体的な印象

芦田名誉教授は, 四国電力が原子力規制委員会に提出した平成25年7月31日付「伊方発電所の地震動評価のための地下構造評価について」(甲458。以下「四電資料」という)と, 四国電力が大分地方裁判所に提出した平成29年1月19日付準備書面(5)の補充書(3)(甲459。以下「四電準備書面(5)」という)を見たが, 全体的な印象として, 四国電力が示している調査結果は, かなり杜撰なものであると感じた。これで, 「詳細な調査により地域特性を十分に把握した」(四電準備書面(5)・1頁、甲460)などというのは間違っている。三次元調査をすれば, 地震の規模を表す地震モーメント=断層の落差×断層の長さ, 及び断層の位置が明らかになってしまうので, それを恐れて三次元調査をしないのではないかと考えてしまう(10頁)。

(2) 地震波の到来方向による分析について

四国電力は, M7前後の5地震の観測記録とM2~4程度の15地震の敷地観測記録を用いて Noda et al. (2002)による予測値の比較をしている(四電資料(甲458)スライド3~6)が, 1997年10月~2012年12月の気象庁一元化震源によると, 敷地周辺では12km以浅の範囲で

多数の微小地震が発生している(四国電力の平成27年3月20日付「伊方発電所地盤(敷地周辺の地質・地質構造)について」(甲461)スライド23)の
のに、どうして20個のみのデータを用いて一般化した結論を出している
のか疑問である。20個のデータは、四国電力にとって都合の良いデータ
のみを選別したのではないかと疑われる。また、四国電力は、伊方原発設
置当初の1975年から地震観測(強震及び微小地震)を実施している(四
電準備書面(5)・19頁)とのことであるが、何故そのデータを地震波の到
来方向による増幅特性の検討に使わないのか。さらに、四国電力が用いた
20個の地震動観測記録には震源特性が含まれており、原発敷地の増幅特
性を検討するには、その震源特性を除かなければならないが、そのような
検討もなされていない。これでは、地震波の到来方向による増幅特性に特
異性がないと判断できない(10～11頁)。

(3) 浅部地盤増幅特性の分析について

四国電力は、「地震動観測記録の分析によると、敷地の浅部地盤(GL-1
60m～地表間)による増幅はほとんどない」(四電資料スライド60)と
しているが、四電資料に示された5地震の観測記録を見ても、GL-5m
の観測記録(加速度)は、GL-160mと比較して、平均的に1.5倍程
度大きくなっており、3倍近くなっているもの(2001年芸予地震M6.
7・南北方向、2001年安芸灘M5.5・南北方向)もある(四電資料ス
ライド8～13)。「増幅はほとんどない」と評価できる観測記録ではない
(11頁)。

四国電力は、最大加速度10Gal以上の観測記録を平均した伝達関数を用
いて、設定した地盤構造モデルによる理論的伝達関数の検討をしている(四
電資料スライド19)が、理論的伝達関数は振動数4Hz、8Hz、12Hz
の付近に特異なピークがあり、観測記録と大きく乖離している。この乖離
の原因について何ら検討しないまま、「観測記録の伝達関数とほぼ整合し
ていることを確認した」というのは全く不可解である(11頁)。

(4) PS検層について

四国電力は、深部ボーリングにより深度2,000mまでの地盤物性を測定
したとしている。2,000mまでのボーリングをすること自体は結構なこ

とであるが、深部ボーリングの掘削位置の選定が問題である。折角地震探査に比べて高額な費用をかけて掘削するのなら、どうして3号炉心から1 kmも離れた場所に掘ったのであろうか。何らかの事情で炉心付近を掘れなかったとすれば、炉心と深部ボーリングを含む地域に三次元探査をすべきである。

四国電力は、掘削したボーリング孔を使って、地表から深度2,000 mにかけてのP波・S波速度を測定するために、ダウンホール法とサスペンション法という2種類のPS検層を実施している（四電資料スライド38）。ダウンホール法では四電資料スライド39に示されているように、坑井口に震源を、坑井内に受振器を設置し、坑井内をこの場合10 m毎に上方へ移動させながら地震記録をとる。各受振点における地震記録上の地震波の到達時間(t)と受振器の深度(d)から、 d/t で、受信器が設置された地層までの平均速度(m/s)を求める。各深度での平均速度から各深度間（この場合最短で10 m）の地層の地震波伝播速度を計算することができる。一方、サスペンション法は四電資料スライド42に示されているように、坑井内に測定器（四国電力が使った物は全長9.5 m）を挿入し、測定器の発振部から地震波を発振し、それを受振部で受振し、地震波の到達時間(t)を測定し、発振器および受振器の孔壁との距離と測定器間の距離の和(d)から d/t で連続的に地層の地震波伝播速度(m/s)を計算する。

四国電力が示したこの2種類の調査結果には、一見して、かなりの乖離がある（四電資料スライド43）。四国電力は、なぜそのような乖離が生じているのか、精査、分析をする必要がある。ダウンホール法とサスペンション法での速度を比較するなら、ダウンホール法の最短10 m毎の地層の速度とサスペンション法のそれとを比較すべきである。しかるに、四電資料スライド43ではダウンホール法では長いもので600 m～1,280 m、1,280 m～2,000 mと信じがたい間隔の地層の伝播速度とサスペンション法の連続的なデータと比較して、速度値はほぼ同等であるとまったく誤った評価をしている（四電資料スライド43）。この誤った評価に基づいて設定された四電資料スライド49の地盤モデルは信頼性がない。

四国電力はサスペンション法で連続的に地層のP波とS波の地震波の伝播速度を取得している(四電資料スライド43)。このデータをよく見ると、深度1,800m~1,900mでP波速度が最大6km/sから最小3km/sと変化している。また、密度検層のデータ(四電資料スライド45)も同様に最大3.2g/cm³から最小1.6g/cm³と変化している。さらに、コア写真(四国電力スライド27~29)によると各深度にわたってコアの中に割れ目がみられるが、速度と密度が大きく低下している深度1,800m~1,900m部分のコア写真がなぜか提示されていない。ひょっとして、この部分は破碎帯でコアサンプルが取得できなかったのではないかとの疑問を抱く。

坑井を掘る場合、四電資料スライド42の図に示されているように、孔壁が深度方向に一定ではなく変化する。孔壁が変化すると地震波が伝播する経路の距離が変化し、求められる速度が真の値と異なる。データの補正するには孔径のデータが必要になる。さらに、通常は坑井内の地層傾斜を傾斜計で測定する。傾斜データにより、反射法地震探査、オフセットVSPデータによる傾斜と対比が可能になる(以上、12~13頁)。

(5) オフセットVSP探査

オフセットVSPと反射法地震探査データの比較(四電資料スライド56, 57)において、四国電力は、「地下深部までほぼ水平な反射面が連続(する)」、「1~3号炉の下方に水平な反射面が連続(する)」等と評価しているが、1~3号炉の右側の往復走時で0.5秒以浅に右肩上がりの急傾斜の反射面が見られる。芦田名誉教授は水平層とこの急傾斜層の境界は断層だと解釈する(図8)。この断層は炉心直下に向かって延びている。これと四国電力が3号炉直下に存在するとしている

Fa-1, Fa-2, Fa-3断層との関連性を検討するために、詳細な三次元探査を行い、断層上にトレンチを掘ってこの断層が活断層かどうかを調べる必要がある。

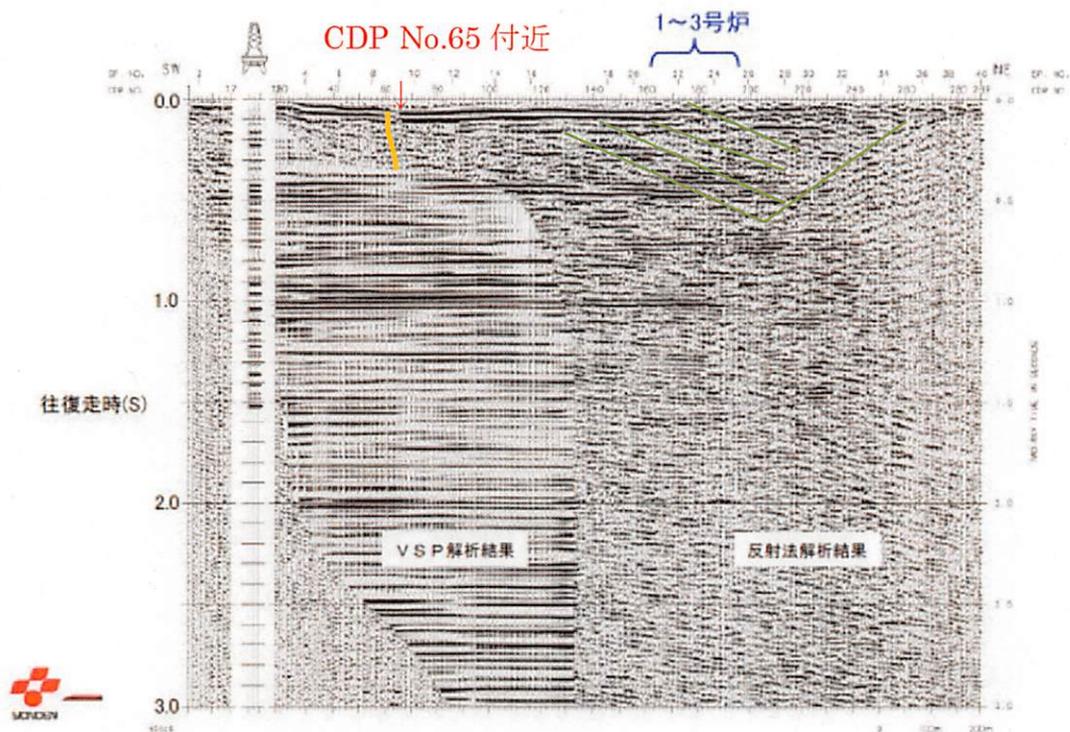


図8 反射法地震探査記録の解釈

さらに、CDP No. 65 付近にも反射面の不連続部がみられる。四国電力はここについては追加解析を行い、この不連続部の解釈として解析測線の設定位置による影響と速度フィルターを原因としている（平成25年7月31日付「伊方発電所深部地震観測に係る工事・調査結果について（詳細データ集）」（甲462。以下「詳細データ集」という）スライド87～90）。

二次元調査では測線を直線にとれず、やむなく屈曲した測線に設定せざるを得ないのが常態であるが、三次元地震探査の場合は、三次元ボリュームデータが計算機内にあるので、任意の直線の測線を設定できるのでこういう問題は生じない。

また、速度フィルターは通常の反射法の処理では使われないものである。四国電力が消そうとした傾斜の波は、むしろ断層の端から派生する特徴的な回折波であり、断層の存在を示している可能性がある。

四国電力のオフセットVSP記録の解釈には根本的な誤りがある。上記オ

フセット V S P 解析結果には、数多くの水平な反射波が見られる。素人目にはオフセット V S P 解析結果の方が高品質であるかにみえるが、オフセット V S P 記録の解釈に精通している人ならば、これは真の反射波以外に数多くの地層間の繰り返し反射(重複反射)や孔壁を伝播する表面波の一種であるチューブ波を含む、偽りの反射波であることがわかる。四国電力はオフセット V S P データについて、偽りの地層間繰り返し波を、あたかも真の反射波と誤って解釈し、「地下深部までほぼ水平な反射面が連続し、褶曲構造は認められない。速度構造は成層かつ均質」と評価している。四国電力は、反射法地震探査のデータ処理において C D P 重合の後にマイグレーション処理を行っている(詳細データ集スライド 6 8, 7 3, 7 5, 8 4)。三次元反射法地震探査データを取得し、重合前の深度マイグレーションを行えば周辺からの反射波を除去でき、正確な地下構造図が得られる。しかし、二次元の重合後のマイグレーション処理では、処理に用いる速度値に誤差があると、とくに地下深部においてスマイリングと呼ばれる水平な波が現れ、あたかも地下の水平な反射面と誤って解釈されることがある。詳細データ集スライド 7 3 は典型的なスマイリングの例である。

オフセット V S P データを取得するために、同一地点で何回も発振し、そのデータをたし合わせるが、信号理論による信号対ノイズ比 (S/N比) は信号もノイズもたし合わされるために、S/N比は向上しない。一方、反射法探査では、経路の異なるデータをたし合わせる共通反射点重合を行うので、その場合たし合わせる回数を n とすると、S/N比は \sqrt{n} だけ向上する。

四電資料スライド 5 6 では、坑井で得られたサスペンションデータによる P 波速度と密度データから、合成地震記録を作成し、V S P 記録と反射法記録とを比較しているが、V S P 記録より坑井左側の反射法記録の方が合成地震記録とよく対応している。

また、四国電力はトモグラフィ解析を行ったとしている。詳細データ集スライド 7 8 ~ 8 5 にかけてのトモグラフィ解析については、設定する地下構造が反射法地震探査のデータからなのか屈折法のデータからなのか、解析の際の格子間隔はどの程度なのか、初期速度構造モデルの拘束条件として検層データをどのように用いたのか等が不明である。スライド 7 8 によ

ると、屈折法データから読み取った初動走時を与えるとされているが、深度2,000 mからの屈折波を得るには、少なくとも4,000 m～5,000 mの測線が必要となる。ところが、反射法探査に含まれる屈折波のデータを用いたとしても、その測線長は1,780 mに過ぎない。特別な長測線の屈折法探査を実施したのだろうか？

さらに、詳細データ集スライド82の平均波線密度をみると深度100 m以深では波線密度が少なく、トモグラフィ解析において速度の修正を行おうとしても、初期モデルからの修正はほとんどなされていないと考えられる。四国電力のトモグラフィ解析結果（四電資料スライド57）は、せいぜい深度150 mまでのP波速度分布を求めているにすぎないと推測される。

そもそも、1本の測線のみでどのようにしてトモグラフィ解析ができるのか原理的に不明である。1本の測線のみでは、測線に直交する方向に金太郎飴のように同じ地下構造が続いているという仮定が成り立たない限り正しい構造とは考えられない。すなわち、測線方向の地層傾斜が水平だとしても、測線に直行する方向の地層傾斜は分からない。坑井を取り巻くあらゆる方向の地層傾斜を把握するには三次元探査が必要になる。このデータが得られるのが三次元探査の有効性である。

四国電力は深部ボーリングによる調査結果と、従来3号炉心付近において実施していたPS検層結果を組み合わせる地盤モデルを設定している（四電資料スライド49, 50）。その際、オフセットVSPの結果では水平としていながら、一番重要な3号炉心の地盤モデルでは深部ボーリングの130 mを炉心では350 mに、1,280 mを1,500 mに平行移動して対応させる傾斜層として地盤モデルを作成している（四電資料スライド48）。これはある地点のデータがない場合に、周辺のデータで補完するという根拠のない非科学的な手法である。この矛盾した考え、しかも二次元地盤モデルによる結論は信頼性がない。三次元探査をすればこの問題は解決する（以上、13～17頁）。

（6）四国電力が主張する「三次元的な地下構造の把握を行うための調査」
について

四国電力は、藤原広行氏の指摘する三次元的な地下構造の把握を行うための調査として深部ボーリング等を行っていると主張している（甲459・23頁）。四国電力の資料を見ても、「深部ボーリング等」がなぜ「三次元的な地下構造の把握を行うための調査」に当たるのか理解不能である。四国電力は深部ボーリングによって検出した岩石コアの観察や、深度ボーリング孔を利用しP S 検層、密度検層をしているが、いうまでもなくこれらは基本的に一次元の調査である。

四国電力は、深部ボーリング孔を利用したオフセットV S P 探査もしているが、これは二次元の地下構造調査である。しかも四国電力が実施したオフセットV S P 探査の測線は、原子炉の南東側を通る1本しかない（四電資料スライド55）。二次元地下構造図を作成するには、図1に示したように少なくとも4本以上の測線が必要である。四国電力は、2009年駿河湾の地震において浜岡原発5号機での揺れの増幅原因となるような低速度層が存在しないことを確認できたと主張している（甲459・21頁）。四国電力の1本の測線のみで駿河湾の地震で見られたような局所的な低速度層を捕捉できる保証はない。また、四電資料スライド43の深度1,800～2,000mの低速度、低密度層はどう解釈するのか？四国電力は屈折法地震探査を行っているが、屈折法は原理的に高速度層に挟まれた低速度層は検知できない。三次元反射法地震探査であれば、高速度層に挟まれた低速度層の検知も可能である。

原子力規制委員会平成24年12月7日「発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム第3回会合の議事録」（甲463）（46～48頁）を見ると、三次元地下構造の把握については、藤原広行氏が「必須」、「常識的」と指摘したほか、徳山英一氏も「非常に重要」「石油業界では一般的」と発言している。お二人のことは芦田名誉教授もよく知っている。四国電力は、検討チームが求めたような三次元地下構造調査を実施せず、専門家以外には理解できない低レベルの調査及び誤った解釈で済ませようとしており、看過できない（以上、17～18頁）。

（7）中央構造線の三次元探査について

伊方原発が中央構造線による地震のリスクが高いことは明白である。四国電力は、敷地沖合の中央構造線断層帯に係る海上音波探査を実施している（四国電力平成27年3月20日付「伊方発電所 地盤（敷地周辺の地質・地質構造）について」（甲461））。この調査では一部震源としてジオパルス、ウォーターガンを用いているが、これらは高周波、小出力の震源で地下への透過力が小さく、せいぜい深度100m迄の記録しか取得できない。また、水中残響と呼ばれる海面と海底間の繰り返し偽像が生じる。エアージェンはそれらより透過力はあるが、所詮二次元探査に過ぎない。したがって、より詳細なデータが得られる三次元探査を実施すべきである。四国電力は、敷地周辺の地質構造を解明するために、ヘリコプターによる重力測定を行っている。ヘリコプターを用いた重力測定データからのブーゲー異常値は、ヘリコプターの加速度変化の影響等により、地表における重力測定や地震探査に比べて分解能、精度において劣り、基盤構造の概略的な資料を提供するにすぎない。ただし、伊予灘の低異常帯と敷地周辺の高異常帯の境界の急激な異常値の変化は重要である。これは断層の存在によるものでないかと解釈される。

中央構造線は、白亜紀の頃から繰り返し地震を引き起こしてきた大断層であるから、周辺の地質構造が複雑であることは優に想像ができる。陸上での三次元探査よりも海上での三次元探査の方が技術的には容易である。四国電力は震源断層が伊方原発から水平最短距離8km、深さ2kmにあるとしている。そうなら、震源としてもっと空気容量の大きなエアージェンを用いて震源断層から伊方原発敷地までの詳細な三次元探査を行い2km以上の深度までの地質構造図を作成すべきである（以上、18～19頁）。

（8）終わりに

上述した、四国電力が原子力規制委員会に提出した資料（伊方発電所の地震動評価のための地下構造評価）に対する疑問、矛盾を以下にまとめると、次のようになる。

- ① 地下構造を調査する物理探査のうち、最も有力な反射法地震探査は少なくとも原発建設当時の段階では実施されていない。多分、精度の劣る屈折法地震探査のデータといくつかの浅層ボーリングのデータで岩盤モ

デルを作成したと考えられる。反射法地震探査で地下構造図を描くには少なくとも井桁型の4本以上の測線が必要だが、最近になって1本の二次元の測線が実施されたにすぎず、これでは詳細な地下構造図は作成できない。

- ② 地震波の到来方向による分析（四電資料スライド3～6）については、数多くの観測記録がありながら、20個のみのデータで、また震源特性を除去しないで解析している結論は信頼性がない。
- ③ 浅部地盤増幅特性の分析（四電資料スライド60）については、理論的伝達関数と観測記録とは大きく乖離しているにもかかわらず、観測記録と伝達関数はほぼ整合していることを確認したと結論しているのは不可解な評価である。
- ④ P S検層については、ダウンホール法とサスペンション法でP波、S波速度を求めているが、両者の値が異なっているにもかかわらず、ほぼ同等だと誤った評価をしている。
- ⑤ オフセットV S Pと反射法地震探査データとの比較（四電資料スライド56、59）をしているが、オフセットV S P記録の解釈において、偽りの地層間繰り返し波および孔壁を伝播する表面波の一種であるチューブ波を恰も真の反射波と誤って解釈し、地下深部までほぼ水平な反射面が連続し、褶曲構造は認められないし、速度構造は成層かつ均質であると評価している。かつ、1～3号炉の北東部分から直下に向かって延びる断層が認められる。この断層を詳細に把握するには三次元探査が必要である。
- ⑥ 四電資料スライド48の地盤モデルが最も大きな問題と矛盾を含んでいる。オフセットV S Pと反射法地震探査データの解析結果から、深部ボーリングから3号炉に向けて地層が水平であると結論しておりながら、地盤モデルの作成にあたっては、深部ボーリングの深度130mと深度1,280mの物性値を、3号炉付近の深度350mと深度1,500mにさせている。これは深部ボーリングから3号炉にかけての地層は水平ではなく北東落ちであるとしていることになる。この非科学的な矛盾をどう説明するのか？何のために反射法地震探査やオフセットV S

P調査を実施したのか？この矛盾はこの地域周辺で三次元反射法地震探査を行えば明らかになることである。

結論として、四国電力が原子力規制委員会に提出した「伊方発電所の地震動評価のための地下構造評価について」（平成25年7月31日付け）

（「四電資料」）と準備書面（5）の補充書（3）（平成29年1月19日付け）を見る限り、調査方法は不十分で、かつ取得したデータの解釈は専門家からみると誤謬とみられる部分があり、それらから導かれた二次元の地盤モデルは適切でないと考えられる。

原子力規制委員会が制定した「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」のまえがきには、可能な限り最先端の調査手法が用いられていることが重要と書かれている。原子力発電所が地震などによって深刻な事故を引き起こしたときの影響の大きさからすれば、これは当然の原則である。

ところが四国電力は、石油探査のためには30年以上前から当たり前に行われている三次元探査をまったく実施していない。原発の敷地周辺で地下構造の不整形等が発見されると四国電力にとって不都合になるのだろう。これでは周辺住民の安全確保よりも、企業の論理を優先させていると考えられても仕方がない。これで想定を超える地震動によって深刻な事故が起きても、論理的な根拠なく「想定外」と言い張るつもりだろうか。

原発に関し、感情論的な賛成、反対に流されるのではなく、科学的に根拠のある議論に充分耐えうる三次元探査をして、その結果に基づいて客観的に安全性を吟味すべきと考える。四国電力は公益性の高い企業として、率先して原発周辺の三次元探査を実施し、高精度な解釈に基づき、詳細な地下構造モデルを構築されることを切望する。三次元探査を実施しないのであれば、上述した通り安全性に関する十分な議論は不可能であり、単に規制委員会に報告するためのデータを作成したに過ぎない。裁判所には、客観的に科学的根拠のある安全性の議論が示されない限り直ちに原発の稼働を差し止めるという厳しい態度を示していただく必要がある（以上、19～21頁）。

6 四国電力の反論について

上述したところとほぼ同じ内容の芦田名誉教授の2018年（平成30年）3月30日付意見書に対し、四国電力が高松高等裁判所第2部に提出した平成30年7月13日付準備書面（23）（甲465。以下「四電準備書面（23）」という）で反論しているので、この反論に全く理由がないことを明らかにしておく。

（1）三次元調査の必要性

地震予知連絡会は、場所、時期、規模を特定する地震予知については、現在の科学的見地からは確度の高い予知は難しいとし、地震の起こる確率を公表している。確率の高いとされた東日本大震災でもあれほどの規模の地震が起きるとは予測できなかった。また、中央構造線上で日本人が初めて経験した熊本地震、大阪北部地震は確率が低いとされていた所で起こった。しかし、地震予知はできなくても、災害を少なくする防災は日頃の準備で可能だ。原子力発電所の事故の場合には、一旦大事故が起こると、その後処理のために莫大な費用がかかるだけでなく、被害回復は不可能である。

地震の揺れは、断層の落差と長さの積で決まる。したがって、原発周辺に活断層があるか否か、あるとすればどの位の規模の断層か、それが最近いつ地震を起こしたのかを知ることは必須事項である。30年前から地下構造を詳細に把握する三次元反射法地震探査が実用化されている。これは医療診断におけるCTスキャン、MRIに相当する革命的な技術である。原発賛成、反対とかを議論する前に、地下の状態を正確に調べることが必須である（21～22頁）。

以上の観点から、以下に三次元調査の必要性を敷衍して述べる。

（2）地下を対象に仕事をする場合の基本的な流れ

ア 地表地質調査

地質技術者が地表を歩いて、地表状況、露頭、地層傾斜、および岩石採集を行う。最近では人工衛星からのデータも併用することがある。この調査結果はあくまでも地表のデータであり、地下内部を解釈するための初期値に過ぎない（22頁）。

イ 物理探査

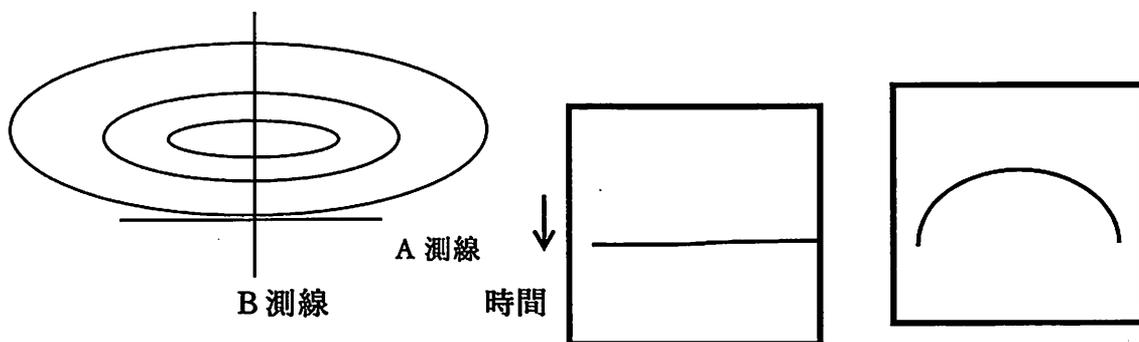
地下内部の構造形態と物性値を把握するために物理探査を行う。物理探査技術には、地震探査（屈折法，反射法），重力・磁気探査（地球の重力，磁気データを観測），電気探査（地下の比抵抗値を測定），電磁探査（磁場，あるいは磁場と電場を測定）等の各種の技術が開発され，対象物の物性，特性に応じて最適な技術が適用される。場合によっては複数の技術を用いて，地下内部を詳細に把握することもある。石油探査の場合には，反射法地震探査，重力・磁気探査，金属資源の探査の場合には，電気，電磁探査が多用される（22頁）。

ウ 掘削（ボーリング）

地表地質調査，物理探査データを総合解釈し，最もコストのかかる坑井を最適な場所に掘る。坑井掘削時にコアサンプルを採集するとともに，物理検層により弾性波伝播速度，密度，比抵抗等のデータを測定し，物理探査データとの対応付けを行い，物理探査データを再解釈し，対象物の形態，拡がり等を詳細に把握し，次に掘るべき坑井の位置を決定する。コストについては，石油探査の場合，調査面積により異なるが一般的に物理探査で1～数億円，ボーリングには陸上か海上か，掘削深度により大きく異なるが10～数10億円かかる（22～23頁）。

（3）四国電力の調査に関する基本的な問題

ア 二次元調査の場合の測線配置により得られる断面の相違



(a) 地下構造の平面図と測線

(b) A測線の断面図

(c) B測線の断面図

いま，平面図で(a)に示す山形の構造に対して，Aという二次元の調査測線を設けて，反射法地震探査を行った場合に得られる時間断面は，(b)に示す水平構造になる。Bの測線の場合には，(c)の時間断面が得られ，両者はま

まったく異なったものになる。二次元調査で地下構造を正確に把握する場合には、調査地域内に少なくとも数本の測線が必要になる。しかるに、四電は地下構造がわからないのに、一本の測線で二次元調査を行い、それでもって全域がすべて同じであると誤った判断をしている(23頁)。

イ 三次元探査の場合

一個の震源に対して面的に配置した受振器から、各方向のデータが返ってくる。こうしてすべての震源のデータを集めると、調査地域全域のデータが得られる。それをある深度でスライスすると(スライスとは輪切りにすること)医療診断のCTスキンの断面が得られる。データが全域に分布しているので、必要なら任意の方向の二次元断面も得られる(23頁)。

ウ 四電準備書面(23)・6, 9頁(図2)

6頁の上から8~14行目「本件発電所の敷地及び敷地近傍の地盤は三波川変成岩類に属する塩基性片岩、泥質片岩といった結晶片岩から成り、大局的には地下深部まで同種の堅硬で均質な地層が連続していることから、基礎地盤となる良質な岩盤(三波川変成岩類に属する結晶片岩)が十分な広がりをもっており、堅硬かつ均質な地下構造であることが分る。そして、南北断面ではやや斜めに傾いた地質境界が見られる」との説明に基づいた9頁の図2の敷地近傍の地質構造は、深度2,000m迄の地質構造が、地表からの地表地質調査でこれほど詳細に描かれるのだろうか?四電準備書面(23)の6頁上から3行目に、「地表調査等により、地表で確認される珪質片岩及び泥質片岩を鍵層として地質断面図を作成し、敷地近傍の三次元的な地質構造がほぼ水平であることを把握している。」とあるが、地質技術者には地下を透視する能力があるのだろうか?そうだとすると、物理探査の必要はなくなってしまふ。深度2,000mの坑井が何本、どこに掘られているのだろうか?四国電力はこのデータが正確であるとして、以下の論理を展開していることから、この図面は重要な図面である(24頁)。

エ 四電準備書面(23)・15頁の7~10行目

「敷地近傍の三次元的な地下構造が、大局的には佐田岬半島と並行する東西方向にほぼ水平であり、これと直行する南北方向で地層の傾斜が最大になることを踏まえ南北方向の二次地下構造モデルを設定し」とあるが、このモデ

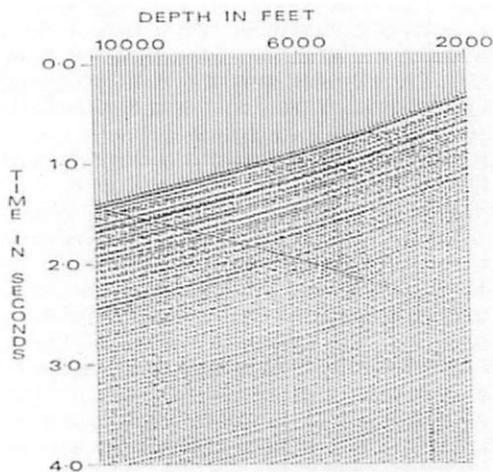
ルは物理探査の調査測線もないし、まして、佐田岬半島と原発敷地と遠く離れた場所の地下構造を持ってきて、敷地近傍の地下2 kmまでの地下構造モデルを設定するとは全く理解できない。また、図2の「南北断面」-2 kmから-8 kmの地下に、泥質片岩か～泥質岩の挟み込みがあるが、地表に露頭もないのに、どうしてこの挟み込みがわかるのか？(24頁)

オ 四電準備書面(23)・14頁の図4

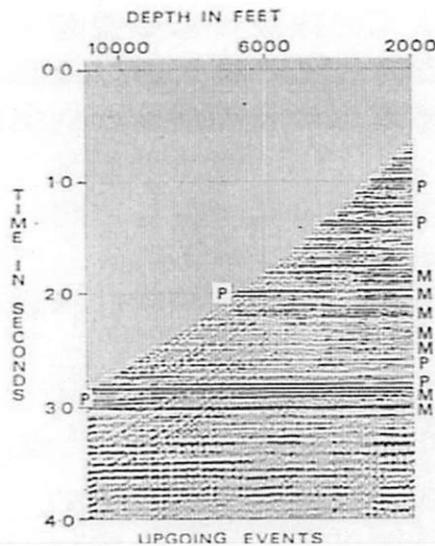
四電準備書面(23)14頁の図4の深部ボーリング孔の下にある縞状の図は、地質柱状図のように思われるが、何なのか？坑井と反射法断面や、VSP記録との対比をとる時には、坑井データの密度と速度データから合成地震記録を作成して対比するのが通常である(24～25頁)。

カ VSPデータの解釈

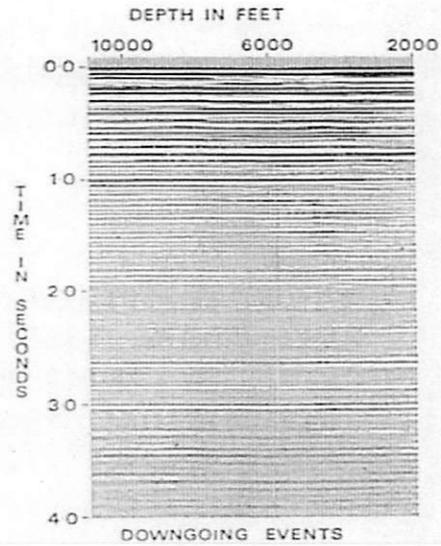
VSPデータの解釈にあたっては、VSPデータを上方伝播波と下方伝播波に分離し、下図に示すように重複反射の同定を行うのが常套手段である。たとえば、(b)にみえる2.0秒のところから横に延びる記録は1.0秒の反射波の重複反射であり、真の反射ではなく偽りの波である(25頁)。



(a) VSP記録の一例



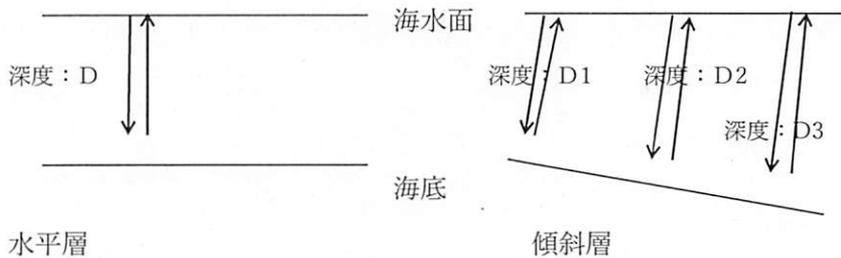
(b) 処理後の上方伝播波記録



(c) 下方伝播波記録

図中の P は反射波, M は重複反射

キ 四国電力準備書面 (23) の 27, 28 頁
典型的な重複反射の例を図に示す。



重複反射 (マルチプル反射) とは, 海底面で反射した波が, 海水面で再び反射して時間記録上に繰り返す現象である。繰り返し間隔(s)は, 水深(m) $\times 2$ / 海水の弾性波伝播速度(m/s)である。したがって, 海底面が傾斜していても繰り返し間隔は変わらない。海水面の反射係数は, その下にある地層間の反射係数に比べて, 1桁大きいことから, 重複反射が下からの反射波を覆ってしまい, 重複反射を真の反射と誤認してしまい間違った解釈をすることがある。老婆心ながら, 図9 (図7. 5. 7) の解釈は再検討さ

れた方がいい。海水面の反射係数は-1であることから、海底面反射波と1回目の重複反射波は極性が反転する。図での重複反射は水色で引いている波ではなく、その少し上の極性が反転している波である(26頁)。

ク 四国電力準備書面(23)の25頁, 上から14行目

「そもそもオフセットVSP探査によって確認できるのは速度構造である。敷地近傍の地質構造は、図2に示すとおり、東西断面でほぼ水平、南北断面で北に緩く傾斜する構造を有している。」については、岩相と音響インピーダンスの不一致をいっているのではなく、何の根拠もなく、岩相が斜めに平行移動していること非科学性を指摘しているのである。対比している岩相境界は密度と速度が異なっていることから、上層の密度と速度と下層のそれらを、それぞれ ρ_1, V_1, ρ_2, V_2 とすると、境界の反射係数 r は密度と速度との積である音響インピーダンスから、波が垂直入射する時は $r = (\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1) / (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2)$ となり、岩相境界は反射境界となる。とすれば、VSP断面には斜めの反射波がみられないことから、設定した斜め傾斜は根拠がないことになる。ということは、四電が設定した二次元地質モデルはまちがっていることになり、四電の主張の正当性が崩れることになる(26~27頁)。

ケ 詳細データ集スライド(98)「4. 2地盤モデルの妥当性確認の考え方」

上記クに関連することだが、非常に重要な点であるのでもう一度指摘する。深部ボーリングの深度130mの岩相を、3号炉心付近の350mに対比し、それを何の根拠もなしに平行移動して、さらに二次元反射法断面において確認することもなく、平行移動して深部ボーリングの深度1,280mを3号炉心付近の深度1,500mに対比するという、データがない時によくするこの手法は科学的でなく、説得力はない。これでは二次元反射法調査を何のために実施したのか意味がないといわざるを得ない。深部ボーリングの深度350mにある岩相とその上の層との境界の反射係数はいくらか?密度と速度検層データがあるから計算できる。それを使えば、その岩相境界と反射法地震探査データとの対応が付き、反射法地震断面でその反射波を追跡すれば、深部ボーリングで深度350mの岩相の深度が何か分かるはずだ。これは物理探査で地下構造図を求めるために、常態的

に用いられている手法である。四電は三次元的に地下モデルを作成したと
いっているが、作成した南北方向の地質モデルはどうなっているのか？四
電準備書面（23）・9頁の図2であるというなら、このデータの作成方
法を明らかにすべきである。図2の南北断面は水平ではない。要するに、
四電のいう地下モデルは、東西方向の岩相モデルであり、反射法地震探査
は地下が水平であることを主張するためのものであるといわざるを得な
い(27頁)。

コ 詳細データ集スライド82, 「3. 6. 4 (5) トモグラフィ解析結果 (全
受振点)」

四電は詳細データ集スライド82, 「3. 6. 4 (5) トモグラフィ解析
結果 (全受振点)」において、P波速度分布、標準偏差分布、平均波線密度
を示しているが、トモグラフィ解析において、地下を格子に区切り、各格
子に初期値として速度を与えて、波線経路を計算し、SIRT法で観測値と
計算値の誤差を波線が通過した格子に割り当て、誤差が小さくなった時点
での速度値を表示することで地下構造を求める。したがって、波線が通ら
ない格子では速度の修正が少なくなることになる。

初期に格子に与えた速度値はいくらだったのか？トモグラフィ解析の結
果、深度約100m以深で速度が概ね5 km/sといわれても信用できな
い。これではトモグラフィ解析を行って、地盤特性モデルを作りましたと
いうことに意味がない(27~28頁)。

サ 詳細データ集スライド72 「3. 6. 2 (5) 重合時間断面図 (反射面の
特徴の解釈)」

区間⑤, 区間⑦の重合数の低い測線両端ではクリアなイメージが得られて
いないといっているが、重合数はどのくらいなのか？図面が不鮮明で読み
取れない。重合数をnとすると、信号 (この場合反射波) 対ノイズ比(S/N
比)は、 \sqrt{n} だけ向上する。いほどの重合数の低下があり、S/N比の向
上がなかったのかをはっきりさせるべきである。また、反射法データの処
理の段階で速度解析を行い、地下の弾性波伝播速度が得られるが、区間速
度に変換しコアサンプルの速度値と比較すべきである(28頁)。

シ 四国電力準備書面 (23) の21頁下から5行目~2行目

「したがって、仮に、相手方の地下構造モデルの設定が不合理であるとしても、基準地震動評価及び基準地震動に基づく施設の耐震安全性評価の不合理性には直接繋がらないのである」とは、とんでもない主張であり、言語道断と言わなければならない(28頁)。

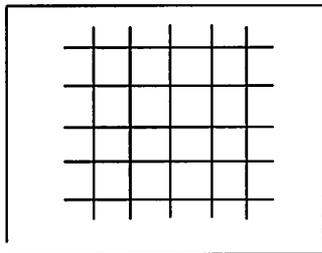
ス 詳細データ集スライド74「3. 6. 2 (7) 深度断面図 (マイグレーション適用なし)」

深度断面図 (マイグレーション適用なし) の CDP 番号240~260付近の0~1.0秒にかけて、右肩上がりの反射波および断層の可能性を示す反射波の途切れは、重合数が小さくてクリアなイメージが得られていないでは済ませない大問題である。これをクリアにしなければ、四電の原発周辺地域の地層は水平であるとの主張が覆ることになる(28頁)。

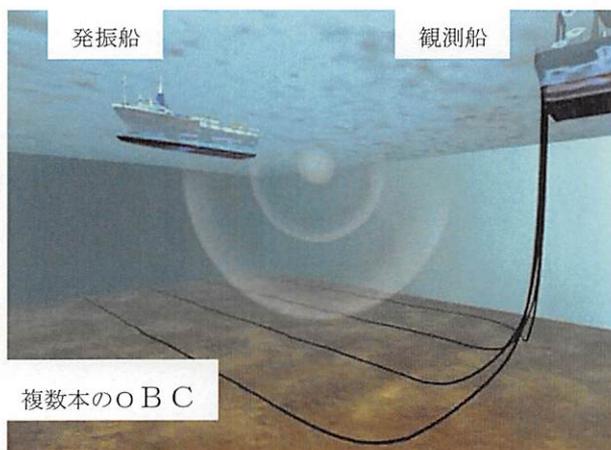
セ 四国電力準備書面(23)の35頁6行目~14行目

四電は、海上での三次元探査は、調査船から数千mの長大な受振ケーブルを数百mの幅にわたって複数列曳航する必要があるため現実的には極めて難しいと主張している。

伊予灘における海上の三次元調査では水深が深い(たとえば、100m以上)場合、一隻の船に震源(エアージェン)、コンプレッサー、観測機器を搭載し、ミニストリーマーカーケーブル(二本以上)を曳航してデータをとることで可能である。ただ、漁業関係者との交渉が必要な場合がある。



三次元調査の場合の船の航跡



OBCによる観測図

水深が100m以浅の場合、OBC (Ocean Bottom Cable) を複数本海底に設置し、震源船が移動して発振し、データをとる方法が実用化されている。コスト的には1か月の調査で数億円とされている。伊方原発の沖合の水深は100m以浅なので、OBCによる調査が可能である。

したがって、四電がいう「海上での三次元調査は極めて難しい」という主張は根拠がない。

陸上の場合、無線でデータを送信するテレメトリー方式の受振器を一挙に多数設置しておき、震源を非爆薬震源のバイブロサイスで移動して発振する方法が実用化されている。その場合、住宅や道路がある場所では、そこから発生するノイズで海上に比べて記録の品質の低下は否めない(以上、29～30頁)。

ソ 終わりに

四電準備書面(23)は「一次元及び二次元の調査結果を総合して、地下構造を三次元的に把握した」(19頁, 23頁)とか「これらの二次元探査結果等を基に地下構造を三次元的に把握した」(35頁)と主張している。

これは、医療分野で例えると、レントゲン撮影だけでCTやMRIの画像が得られたと主張しているもので、子供でも騙されないのではないか。

原発のような重大な施設について、あの福島原発事故を経験しながら、原発の安全性に直接影響する地下構造について、三次元地下探査が行われないうまま再稼働が認められるようなことが許されていいはずがない(30頁)。

第2 三次元地下探査の費用

上述のとおり(第1, 6(2)ウ。(3)セ), 三次元地下探査に要する費用は, 数億円から数十億円である。

三次元地下探査は, 伊方3号炉の安全性に直結する極めて重要なものであるから, 本来, いくら費用が掛かろうとも, 必ず行わなければならない性質のものである。

報道によると, 四国電力は, 伊方3号炉の再稼働のために, 約1900億円の安全対策費を負担している(甲466)が, 伊方3号炉の安全性の根幹にかかわる数億円ないし数十億円程度の三次元地下探査は, 当然実施されるべきである。

第3 伊予灘海上での三次元探査

伊方3号炉沖合の伊予灘の水深は50m前後であり(甲467), 上述した(第1, 6(3)セ)水深100m以浅の場合のOBC(Ocean Bottom Cable)による海上三次元探査が可能であるから, 当然, これを行うべきである。

第4 結論

以上述べたところから, 伊方3号炉の安全を図るためには, 敷地及び中央構造線における三次元地下探査が不可欠である。ところが, 被告は, ただ1本の測線を用いた二次元探査しか行っていないにもかかわらず, 「一次元及び二次元の調査結果を総合して, 地下構造を三次元的に把握した」等と詭弁を弄して, 三次元地下探査を行わないまま, 伊方3号炉の運転を強行している。よって, 少なくとも, 敷地及び中央構造線における三次元地下探査により, 伊方3号炉の耐震安全性が確認できるまで, 伊方3号炉の運転は差し止められるべきである。

以上