

第 10 回 松代地震センター談話会発表記録

1. 日 時：昭和 43 年 7 月 18 日
2. 場 所：松代地震センター
3. 発表題目：松代群発地震地域の地震探査の結果について
4. 発表者：工業技術院地質調査所 物探部応用地球物理課長 瀬谷 清

重力探査と申しますのは、ある地域の大きな構造の変化、それが系統的にどのようなになっているかということ調べるためには非常に容易で簡便な方法ではありますが、こまかい議論をする段になるとどうしても数量的なことがあまりはっきりしなくなります。例えば、断層があるらしいということが判りましてもそれがどのくらいの落差があるかということが、いかながら確実には言えないことが多いのであります。ただ典型的なケースになりますと、非常にその点でも偉力を発揮することがありますけれども、そういうときには我々も計算しまして、食い違いがどれくらいあるか、例えば、カルデラ構造であればそれがどの程度の陥没をしているか、過去にどれくらいの岩石が噴出したか、というようなことを色々推察することもあるわけです。

しかし、この場合(松代地域の重力探査)には、重力異常の分布だけからそういう数量的な取扱いをするのはちょっと危険な点もありますので、今まで私の方では一部分を除いてそこまで突っ込んで議論してはおりません。(重力探査の説明)そこで量的な点をもう少しははっきりさせたいというので行いましたのが電気探査であります。

電気探査というのは電極を使いまして地面の中に電流を通すわけです。そして電流の通り方、電気を通しやすい層・抵抗の低い層があればそこに電流が密集するわけで、また、電流を通しにくい抵抗の高いものがあればそこに流れる電流が少なくなります。それにより生ずる地表面の電位は電流の地下における流れ方によって違ってくるわけです。それで或る一つの測線の上の電位、実際には 2 点間の電位差を測っていくわけです。この場合電流を流す電極の間隔が小さいほど浅い所が主に探れます。電極の間隔が大きく離れるほど、電流は深い所を流れてくるわけで深い所が探れます。このようにして地表で電位差の変化をいろいろ調べることにより、地下の構造、或いは異状物質の存在というものを調べることができるわけです。

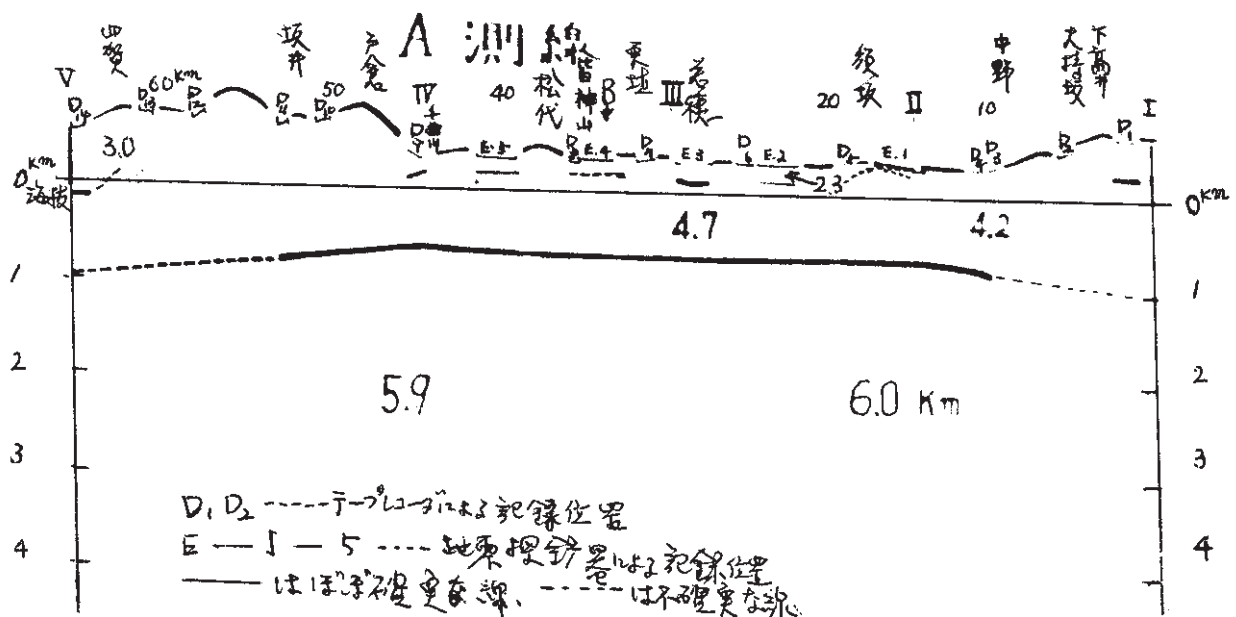
それではこの地域でどういう電気探査を行ったかということ、この A 測線、約 10 km くらいの長さの測線を昭和 41 年に行い、昭和 42 年度は更に本数を増やして、一つは若穂から長野にかけて長さ約 10 km の D 測線を行い、それから皆神山の構造、これが非常に問題でありますので、更に B 測線、C 測線をこのようにとり、この 2 年間を通じて合計長短合わせて 4 測線とったわけです。

その結果、まず松代を通り皆神山の少し北側を通る A 測線ですが、上の方 (VES 曲線) の説明は省略しまして、大きな変化としては北側にはっきりとした違いが、千曲川を境として出てくることが分かりました。それから皆神山の所、これも電氣的にも地下の状態が北西側と少し違ってきます。それから電氣的な基盤、これは実際の地質学的な意味の基盤といいますよりも電氣的な方法で得られた異常を示す基盤という意味で電氣的な基盤という言葉を使っておりますが、これが次第に平野の方に深くなっています。これは先程私が重力の方から推定した構造と定性的に非常によく一致しているわけでありまして。同じような測線を長野から若穂にかけて観測した結果、これは D 測線ですが、同じような傾向が現れました。即ち、千曲川の所で大きな食い違いが出たし、若穂の辺りにも一つの食い違いが出てきました。

仮に電氣的基盤が今まで考えましたこの地域の古い第三紀層及び深成岩帯を含めたもの、それを基盤といたしまして、それを表すものとするれば、基盤は平野の方に向かって階段状に落ち込んでいるのだというように判るわけです、ただ今申し上げましたように、電氣的な食い違いが実際の地質的な何を意味しているのか。これが非常に問題でございまして、例えば、時代が全く同じでありまして、火成岩と堆積岩とではその電氣的な性質や抵抗が非常に違うし、同じ堆積岩でも礫層と砂層或いは頁岩層でもまた違ってきます。なお、それに含まれる水分の量によって比抵抗はかなり大幅に変化してきますので、比抵抗分布を直ちに岩石または地層と1対1に結びつけることは非常に困難で危険な場合が多いわけですが、前の重力探査の結果と電気探査の結果を対比してみますと、この地域の地盤というのはかなり浅く、それも平野部に向かってかなりな傾斜でもぐっていきます。そして基盤が階段状に断ち切られて落ちているのではないか、そういうようなことがほぼ確実にうかがえるのであります。ただその間に地域を二分するような大きな構造があるかどうか、これは非常に問題でありまして、なかなかそれを的確に知ることは困難なわけでありまして。

なおここで、いままで基盤基盤と言いましたが、非常に浅いせいぜい第三紀層と火成岩を一緒にした程度のことを考えて言っているわけですが、更に古い岩石、即ち日本列島を形づくるような、そういう意味の基盤と申しますと、先程最初に申し上げたように糸魚川-静岡ラインの存在で、この地域ががくんと下がっておりまして、かなり深い所にあると一応考えられるわけです。

この日本列島の骨格になるような古い基盤がこの地域に存在するのかどうか、或いは、存在するとしてその深度はどれくらいになるか、これらの問題は今までの調査ではちょっと大雑把な推定もつかないわけです。そして実はそれが地震の発生にかなり密接な関係があるのではないかと考えられます。そこでこの地域の地質構造・基盤岩の分布・その形などを更に明確にするために、地震のおさまりかけた昭和42年の11月から地震探査を行ったわけでございます。



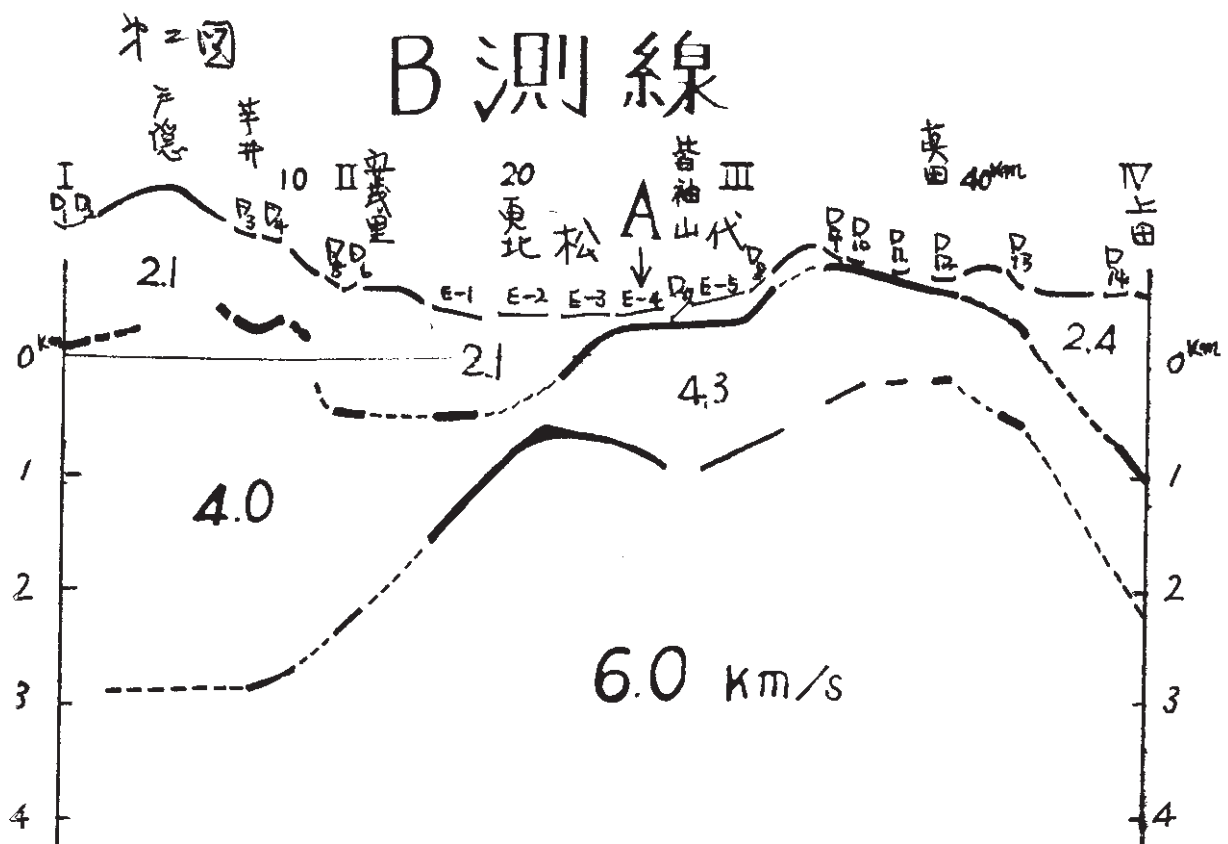
第1図 A測線

これが測線図でございまして(第1図)、A測線と名付けますのが山ノ内から東筑摩郡四賀村にかけてこのように設定されましたが、この測線の長さは66 kmばかりあります。この上に多くの地震計を配置したわけですが、この図でD14とかD12とか書いてありますがデータレコーダーを主にしたもので、地震計3個1組にしてこれらをこのようにほぼ500 m間隔に配置し、それを記録計につないだものです。

この真ん中あたりにE5、E3とかありますが、これは地震探鉱器と申しまして、これは非常に間隔を短く、ほぼ100 mおきぐらいに地震計を設置したもので、24個を1組にして考えております。データレコーダーが14で、地震探鉱器が5台このように配置されております。

次にこのB測線ですが(第2図)、戸隠から上田にかけて長さは約46 kmであります。地震計はだいたいA測線と同様の配置でありまして、そしてこの探査の目的の一つ、これはただ今お話したようにこの地域の中央隆起帯というのが地震発生に関して重要な意味をもっているわけですが、この部分をよく調べるためにこのように測線がとられているわけです。なお、多くの地震が一つのベルト状の長楕円形状の範囲に起きておりますので、その中で基盤構造がどう変化しているか、それをできれば深さ10 kmあたりまで調べたい、こういう考えで調査を始めたわけで、そのためには測線の長さは最小この程度は必要なわけです。

このような計画でありますので、今回の調査にはかなり大勢の人員が参加したわけでありまして、我々地質調査所、気象庁、防災センター、大学関係等の直営班だけで37名という日本でも前代未聞の観測陣をひいたわけであります。



第2図 B測線

これが記録の一例でございますが、これは地震探鉱器の記録でありまして、今申し上げたように24個の地震計を並べておいて、それを1台の観測器に入れるようにしておりますから、記録は24成分が一つのペーパー、或いは磁気テープに取れるようになっております。だいたいこの辺で爆破したわけですが、それがA2ですから中野です。ここで爆破したものを川田で受けたという記録です。即ち地震の波の到達するのにこれだけ時間がかかり、この場合100 m 間隔に地震計を配置していますが、それぞれの距離に応じ又地下の構造に応じた時間の遅れを示して波が到達したことを示しております。これでは一応波が到達したのはこの点(時刻)だと思われそうですが、遠い記録になりますと変化が緩やかなため、その波がどこで到達しているかははっきりしない場合が出てくるわけで、その時間を読み取るのが非常に大変なわけでありまして。

次にこれは四賀村で爆破したものを中野辺りで記録した例であります。次は全体の記録を並べてみまして、波が次々に到達するのにどんなふうに遅れているか、それをわかりやすく一括して示したものでありまして、これは山ノ内町で爆破した結果ですが、勿論近いものほど到達が早く、だんだん遠くなるに従って時間がかかります。唯これは素直に並べたものではなく距離の補正を大雑把にして、もし地層を伝わる速さが同じであれば垂直になるように並べます。この場合垂直になる速さというのが毎秒5 km であります。

このような記録の上から波が到達した時間を読み取り、それをグラフの上にプロットしますが、その場合に横軸を距離にとります。また縦軸には時間をとります。これを走時曲線と言っておりますが、この例では横軸のこの長さが1 km で全長2 km、1 コマが0.2 秒にとられています。これは何をやったかということ、このように測線の上に数多くの地震計を並べますが、この場合地形は平ではありませんので、地震計はある場合には山際、ある場合は平野部に置かれます。なおその下に沖積層が発達していたり、風化層が発達していたり、いろいろ表面ほど細かな変化が激しいものであり、それが解析に大きな影響をもって来る。このような表面付近の模様を調べるために行うのを表層観測と言いますが、この表層観測もやったわけです。この結果、地表面の極く薄い層に速度の遅いものがあります。すなわち0.数 km から1 km 位の遅い速度層があり、常識でいいますと風化してフワフワしたような状態、或いは非常に新しく堆積した地層、そういうものを示しています。

その下に1.7～2.0 km 位の少し早い層があります。これらは古い沖積層から洪積層にかけてのものをあらわしています。そして4 km 層、おそらく第三紀層或いは一部の火成岩に該当するものではないかと思えます。これが200 m 以内の非常に浅い所に存在するということがわかりました。今のは表層観測の例でございます。

次はB測線の走時図でございます。このような走時図は、横軸に距離をとりまして、縦軸に時間をとる関係上、速いものほど曲線がねてしまい、遅いものほど立ってしまいます。即ち速度の逆数がこの直線の傾きになっているとみればよいと思えます。これを見ますと、どの場合でも爆破点に近くなるとこのように傾きが大きいわけです。これは地表面の新しい堆積層に該当するというふうに考えてよいわけです。ところが、よく見ると途中で傾きがねてきたり、或いは立ってきたり又ねてきたり、いろいろ複雑な変化を示しています。この場合大雑把に言いますと、この爆破点付近は別として、ある程度速くなるとだいたいにおいて速度値が大きくなります。そういうことは分かるのですが、なおその中にねてきたり、立ってきたりする細かい変化が出てくるわけです。実はこの場合もかなりいろいろな問題がございます。

これからお話申し上げる解析結果というのは最終的なものでなく、中間結果でありますので、この点お含み置き頂きたいと思えます。現在なおこのような変化について精密に我々は研究を行っている段階

であります。

これはA測線の走時図ですが、A測線とB測線の記録を比べてみますとすぐ分かるように、B測線の方はデコボコの変化がありましたが、A測線の方は長い距離の間点がほとんど一直線上に乗ってくるような傾向を示しています。これは何を物語るかといいますと、B測線の方は測線が短いにもかかわらず少し複雑な走時曲線を描いており、地下の構造が複雑に変化しています。これに対して、A測線の方はどれも遠くから見ますと平行し過ぎているような感じさえ受けます。これは調査範囲の中におきまして非常に深い所までほとんど一様な岩石で構成されているであろうこと、また第一層・第二層辺りの変化も案外広がっていないこと、そのことはこの範囲内で上の速度の遅い層が非常に薄くて、一様な傾向を示す速度の速いものが非常に浅い所から始まって来ているというようなことを示しておるわけでございます。

このわけであります、ここでは中間的報告ということになりますが、A測線の範囲は山ノ内町、中野市、松代町、東筑摩郡四賀村ですが、この結果図を見ますと、いま概略ご説明しましたように、我々が一番知りたいと思っておりましたこの速度の非常に速い層、これが海拔での深さを示しておりますが、この層が海拔1 km以内に存在するのではないかと、地表の標高は姨捨山付近を通る測線で7 - 800 mですから、地表面からの深さを考えてもだいたい1 kmとちょっと、この辺に6 km層がきています。なおその上には4.7 ~ 4.6と5 kmに満たない層があり、その上は2 ~ 3 km、更にその上にも層がありますが、これは厚さがこういうスケールではほとんど出てきませんので描いてありません。ですから、地表の極浅い速度の遅い土壌を含めると4層の構造になっているということがいえます。この結果と先程ご紹介しました重力或いは電気探査の結果、更には地質との関係など細かい検討は最終の解析が終わった時点で行おうと思っておまして、まだ詳しくはしていません。

ただ、この6 km層がこの地域で考えられる、かつての日本の古い骨組みを造っていた古生代のものから下になってくるだろうということは、ほぼ間違いないものと思っております。そしてこの上の地層、これが第三紀層に火成岩を含んだもの、そしてその上は地質的にいえば若い年代の岩石層及び火山から噴出されたもの、熔岩やいろいろなものを含んだそういう地層であると、このように考えております。

次にB測線の解析結果でございますが、先程の走時図からも概略想像できたわけですが、ご覧のようにこちらとは異なって少し複雑な形をしています。こちらも同様に、ゼロというのは海拔0 mということになりますが、従って、この部分は(-)何 kmということになります。これを見ますと、このB測線の方はかなり疑問がありますけれど、大きくいって海拔(-)3,000 mよりも浅い所に基盤が現れてきています。一番浅い所は海拔(-)100、(-)200というような所にきており、そしてその上に4 km層がきています。これがまた非常に面白い分布をしておりまして、こちらの4 km層に比べると少し速度が遅いようですが、上田付近でまず4 km層がガクンと落ちてきています。須坂付近では非常に盛り上がってきていて、ほとんど地表面に出ているといってもよいほどです。

それから、皆神山を含んで川中島橋まで地表面に近いですが、千曲川の辺でガクンと落ちてきます。そして長野西方の山中に入る所で疑惑を思わせるような急激な変化が非常に浅く出ているというように面白い分布を示しています。

今まで重力とか電気探査とか地質調査など、そういうものが従来行われるまでに知られていた知識というのは、むしろ4 km層の構造、ここらを出していたのだということが判明したわけです。この図でやはり重要なことは長野盆地ですが、この平野部の地下で4 ~ 6 km層がかなり大きく変化していて、ここでこの地表面付近だけでなく3 ~ 4 km、或いはそれよりもっと下まで続くような大きな、この地域とこちら側の地域とを分けるような構造があるかもしれないということが、かなりはっきりしてき

たわけであります。

ただいまお話ししたように、このように深い構造になりますと、たかが 100 m や 200 m の断層状の食い違いがありましても、そういうものはこういう解析の精度の範囲内になってしまいますので、そういうことははっきりとは言えないわけです。それですから、実際はここに多くの切れ目があって階段状になっているかも知れないし、その裂け目が地下深くまで更に続いているかも知れません。しかし、そういうことは実際には分からないわけですから、大きな意味で、先程いろいろなデータから推測したように、基盤の構造として平野部で非常に急激に下がっていて、この傾向がつかめたということが一番大事なことであります。おそらくこのような測線に直交するような地殻の切れ目・大規模な断層が存在してもおかしくないのではないかと思わせるような結果でございます。

そしてこれは長野盆地というものが形成されてきた、そういう構造運動に関連のある構造を反映しているのではないかというように考えたいのであります。

ここでまた A 測線に戻りますが、これはまた非常に単調なわけございまして、特にはっきり申し上げて、私の予想を裏切ったのは、この 4 km 層がほとんど同じように中野辺りから変化しておらないことです。ここらの構造で私いろいろ想像しておったのですが、ただその信頼度というものにかなり疑問がありますので、實際上この千曲川沿いに一つの構造があって、こちら側とこちら側では構造上も違いは或いは出てくるかもしれませんが、この程度の限りでは分かりません。ただこの場合で一番問題になりますのは、6 km 層の深さ、それからその下の構造、一番最初に地震探査の目的として申し上げたように、この地域をいくつか区分するような大きな構造の違いを見出すこと、それから地下 10 km あたりまで調べ、特に B 測線の方は無理であっても、この A 測線の方は少しくらいでも下の方が出てくるのではないかという点で一部期待を持っておったわけですが、それが出てきません。これは結果でございますが、出ていないということはまた非常に重要な地質学的な意義を持つてくると、このように考えております。

6 km 層が浅く出ている、それから 10 km あたりまでねらったにもかかわらず、現在まで検討した段階では下の方が出ていない、そうしますとこの地震が起きているこの区域では、地震は 6 km 層の内部で特に起きているということになります。特に B 測線の方で明らかなように、この範囲は地質上の隆起帯、或いは重力の高重力域と一致してくるわけですが、こういう範囲の中で地震が起きている、そしてこういう結果を見ますと、地震探査の方ではその差別が見出せないような、ほぼ均質な岩石の中で破壊現象が起きている、そういうことが言えるわけです。このような結果を更に地震との関連でいろいろ論ずるのは、むしろ今後に残された問題だと思しますので、ここではこれ以上立ち入った議論をしないことに致したいと思います。