

## 第 12 回 松代地震センター談話会発表記録

1. 日 時：昭和 43 年 12 月 9 日
2. 場 所：松代地震センター
3. 発表題目：北信地域の航空磁気測量の成果について
4. 発表者：東北大学理学部 高木 章雄

松代の航空磁気測量の結果について話をせい、というお話でしたので、私の方でやった松代周辺の航空磁気測量の結果についてお話申し上げたいと思います。結果だけでは身も蓋もないので、少しどういう意図でやっているのか、一応イントロダクション的に申し上げます。

10 年位前から、マグネット・メーター(プロトン磁力計)が発達し、割合楽に観測ができるようになった。そういうのをを使って、地下構造の特に浅所構造についていろいろな調査が試みとして行われ始めた。地下構造の研究の方法はいろいろあるけれども、磁気をもってその構造を調べるのは非常に曖昧なところがある。というのは、あくまでもその物質の磁氣的性質の如何に依るし、その磁氣的性質はいろいろなパラメーター(助変数)があり、観測できる量とアンノーン・パラメーター(未知助変数)の量とが非常にかけ離れている。いきおい仮定が多くなる。そのために、また話がこんがらがってくるということもあります。

実は、地球の内部、平均して 35 キロ位は温度 600 度位ですが、その 573 度位にキューリー・ポイントがあり、その下は一応磁氣的な性質を持っていない、いわゆるキューリー・サーフェスと言います。そういうことを考えると、磁氣的な構造を調べると一つの手掛かりが出る。特に最近、その温度の分布として 100 キロ近くまで温度が 500 度位の所があるのでは、と言われているので、そういう意味でのリージョナル(地域的)な、或いはローカル(局所的)の磁気異常は、大きな内部構造の研究に役立つだろうと考えるわけです。

もう一つ、石油資源の開発で、地表面以下 2～3 キロのところのセディメント(堆積物)が堆積していると、ベースメント(基盤)の凹凸などが割合に判りやすい。そうすると、そういうベースメントの凹凸を調べ、石油鉱床を知ることができようということで、これは物理探査の立場から非常に大きな研究になっています。

そんなイントロダクション(序論)をしましたが、よく考えてみると地下構造の研究で私達がよくお目にかかるのは、まず地質マップです。マップというのは二次元の表面を歩き、いろいろな組成、或いは年代に関して分類をし、そのことに関しては非常に精密なマップができる。しかし、ではそれが深さに対してどういう精度を持つか、二次元の測定だから三次元に関しては非常に精度が落ちる。

それに対して、磁氣的な異常を調べるのは、そのような地質構造の深さに対するインフォメーション(情報)を地質マップから更に掘り下げて行こう、初めはその大きな補助手段として考えたわけです。これは非常に大事なことである、というのは、例えば地震波、特に実体波は地下構造としては最も直接的な方法で、且つ仮定が少ないけれども地下構造を調べるには大きな問題点がある。

第一層のベロシティー(地震波速度)がノン(既知)でない限りは、地下構造或いは反射波に対しては—ある平均ベロシティーが知られない限りは—直接的で、もうこれ以上の方法はないけれども、盲点としてはそういうことがあるわけです。結局、もし水平方向にこういうバウンダリー(境界)があると、これはいきおい、これを知るためには膨大な労力と金がかかるから、なかなかやることはできても

大変だということになります。

それから、表面波を用いて地下構造を調べる場合にも、例えばこういう水平方向の不連続などがあると、これまた非常に困ることが起こる。特に表面波では、まだ傾斜法の問題が解決されていないことから考えても頷けると思います。

次に重力の問題ですが、重力に関しては宿命的にポテンシャルを扱っているから、深いものと浅いものに対するインフォメーションが自ら違ってくる。特に観測量と一先ほどマグネ(磁気)の方で申し上げたように一アンnoon・パラメーターとの数のバランスが違っていているから、これもある仮定が必要となっています。

さらに、電気的な性質、例えば比抵抗などを使って地下構造の探査をすることがあるけれども、現在キャパシティー(容量・機器の性能)の問題で大きな電流が流せない。深部探査については、物探の立場の深部探査はなされているけれども、地球物理的な深部探査はなされていません。しかしながら、最近、たぶん軍事的な目的だと思えますけれども、アンダー・グラウンド・コミュニケーションという研究があちらこちらでやられ始め、深さ2～3キロの堅抗に電極を入れ、10数キロワット位の電流を流し、地殻の電気伝導の非常に良い所を通し、それで通信を行うということが出てきた。そういうことも試みられているから、そういう意味では今後、地下構造の特に温度に対するインフォメーションを知る一つの行き方だと考えています。

5番目にヒート・フローがあります。これは熱流量の違いを求め、そこに於ける構造の差を考える研究です。

このように、地下構造に関していろいろな手段・方法などが考えられるけれども、私達が航空磁気測定をもとにしてやることについては、以上のようなものに比べてどういう得があるのか、何が非常にいいのか、ちょっと申し上げます。とにかく問題点は、重力以上に同じポテンシャルの問題を取り扱うから、且つ重力以上にアンnoon・パラメーターが増えるわけです。なぜならば、インテンシティー(強さ)とか形とか座標とかを全部決めなければいけない。ソースの\*\* (以下不明)。それになお且つ、重力にはなかった帯磁の方向を仮定し、或いは決めなければいけない。それはもう絶対に不可能なことであり、ユニーク(一意)に求めることは初めから考える方がおかしい。それをいかにして少なくするか、非常に容易にできる測定でカバーしていこう、そのような思想を持っているわけです。

且つ、地質マップの一つの説明にエアボーン(航空測量)のマップを使おうという意味を持っているから、非常に定量的に厳しいことは要求しない。考えることは要するに\*\* (以下不明)。地表面から数キロの所のバウンダリー(水平方向の)をまず探そう、その探し方としては、モデルなどは適当なダイク(岩脈)とかシート(岩床)とかいったようなものが存在するというだけで結構である。

もう一つ、先程石油資源のことでお話しましたが、ステップ・シェイプ(階段状)になっているこういうものに関して、もしこちらがほとんどノンマグネティック(非磁性)の場合はとりやすい。このようなモデルに関してのみ頭を働かし、後のことはなかなか難しいし、やっても意味がないから抜きにしておこう、と考えるのが磁氣的構造を調べる人達の立場だと思います。そうすると、地球物理的に考えて、磁気測定の場合の地下構造に対する寄与は一体何か。結局それは次のように考えることでよろしいと思っています。

まず、地表面は表面を自由自在に歩いたジオメトリー・マップ(形状図)による。地質のマップに表面は任せる。それから、その他にいろいろ地球物理の手段がなされているけれども、傾斜層を含めたほとんど水平方向に不連続の無いような構造がある。そうすると、この地表面から10キロや5キロとか以上にわたったそういう構造に対して、その間を全部埋めるのに、この手段を補助として使おうという立

場です。

先程からいろいろくどく申し上げたように、アンノーン・パラメーターと観測量との絶対的なアンバランスがあるから、それをどうやって解決していくのか、これから実際のものについて説明しながら、松代についてのお話しをしていこうと思います。スライドを・・・。

磁力計は非常に簡単であり、センサーといって航空機から吊り下ろすドームに入っています。センサーには、水と底に巻かれた2つのコイルが入っています。それがマグネット・メーターに入っている。これが航空磁気測量に使っているマグネット・メーターです。

これが、そのマグネット・メーターによって出された出力を自動的に記録している。記録方式は、地上に対して写真を撮り、その写真と観測地を同期させています。位置を決めて、その位置のインテンシティが分かるわけです。高さは精密高度計を使っているから、気圧の変動が非常に多い場合には、高さに対してはエラーが出るけれども、今迄の測定の結果からは、天気の良い日を選んでいる場合には、約40 m以内、少なくとも30 mから **\*\* (不明) \*\*** 位の間では、ずうっとコンスタント (**一定**) に飛んでいます。

これは、ドームを吊すヘリコプターで、このようなものを使っています。

これは、今のヘリコプターの中にマグネット・メーターとレコーダーを積んだあと、バッテリーなどがあり、カメラ装置とか高度計があり、非常に簡単にできる。

これは、飛んでいる時のヘリコプターで、ドームはほとんど真下、ほんの僅かすぐ後ろにドームが吊り下がっています。機体磁気を避けるために12 mばかり離しています。

これは、横になったけれども実際のデータで、6,000 フィートを飛んでいる時の例です。約150 m間隔に観測データを取っている。ここで、フル・スケール1,200 ガンマ ( $\gamma = n T$  : **磁場の単位**) になっていて、こちらがゼロ、こちらが1,200、そこで切り換えが行われる、データはこのような形で取っています。

ところが嫌らしいことには、地球磁気は日変化とか磁気嵐などかいうように、非常に変動がある。そうすると測定している最中に、そのような目的とする精度よりも大きな変動があると、重力と同じようにドルートになる。それを差っ引かなければいけない。そのために、ステーション (**観測点**) には同じプロトン磁力計を同時に持っていて、観測地域 ―ほとんど飛行場近くですが― の中心の草むらに磁力計を置いて、そこで日変化の監視をしています。これはそのプロトン磁力計のステーション用のやつです。

これは、同時にディップ (**伏角**) とディクリ (**偏角**) の変化も一緒に測定する。それがこの容器の中に入っています。その中身はこのようになっています。ディップとデクリネーションとが同時にプロトンの全磁力と一緒に測定されています。

これは、その記録計。ここに増幅器、ここに三成分を一度に記録する記録計がある。このようなものを、エアボーンをやっている最中にはステーションでやっているわけです。

これが一つの記録の例です。これが今の三成分の記録の例で、非常に感度をよくすると ―磁気嵐のあった日の例ですが― エアボーンを飛ばしてもなかなか大変で、ほとんど観測不可能です。というのは、こういう変化を差っ引けばいいということではあるけれども、インダクション (**電磁誘導**) の問題があって、地下構造に電氣的に非常にコンダクティブ (**伝導性**) なものがあると、そこで電流が流れ、その磁場がまた地表面に返ってくるから、場所によって変化が違うわけです。そういう意味で、こういう荒れている日にはもう観測をしません。

先ほどから申し上げたように、ポテンシャルで宿命的な問題がここに一つあります。例えばこうい

うダイク状のものと球状のものがあり、観測するレベルをこのレベルに考えると、これの影響とこれの影響とが出て、それはレザルタント(合成)でこの点線のような形になります。そうすると、こういう地表近くで観測していると、二つのものは自ら分離されるけれども、このレベルよりも少し高いレベルで観測すると、実に観測値はこちらのものに対する大きさがこうなり、こちらの方の大きさがこの実線で、足し算したものがこうなる。こうなると、全然別のモデルで充分間に合うような説明ができるわけです。これもポテンシャル量と考えた場合には必ず起こる、非常にまずいことになるわけです。このような問題をどうすればいいか、と言うことに対しては、エアポーンは非常に有効だ、という説明をこれからさせていただきます。

例えば今と同じ例ですが、こういうところにモデルが3つ並んでいて、それをそれぞれ低いレベルで観測する一つつまり非常に近くで観測する一と、個々独立に観測値が出る、逆Wのような形です。それが段々高くなると山が潰れてきて、一番高くなるとこのような形になる。相当深部にインテンシティーの大きくないのが一球でもなんでもいい存在するものと解釈しても、ほとんど間違いないような結果になっています。だから、私達が測定をしていて出てきたいろいろな形をまともに考えたら大間違いを起こす、という例です。

このような問題を意欲的に解決するためには、結局、今の絵ですぐお分かりになったと思いますが、レベルを変えて分離するということになる。これがその分離の一つの例です。一応磁場がこういうもので与えられている、そうすると、同次方程式を持つようなオイラーの関係式が出るからこれになる。この「n」というのは、この「R」のべき乗です。もしこれを二次元に考えると、Y方向がゼロになるからこんな形になる。もし異常帯のあるソースの真上に行くと、その「X」方向はまたゼロになる。このような形になって、ここでこれをこのような形に置き換えると、 $R \Delta h$ だけ変えた時に、同じものを測った時、同じ場所で $\Delta h$ だけ離れて測った時には、それですぐ値の方を出せばそれでhが出てしまう。だから、ある構造の深さのエステメート(見積り)が非常に早くできる。ただし、ここでよく考えてみると、nというのがまだ決まらない。これは球か或いはダイクか、シートか。1/Rで減衰するものか、或いはRの自乗分の1で減衰するものか、そういうことの幾何学的なインデクサー(指数)です。それを知るためには、しょうがないからアノマリー(磁気異常)の頂上近辺でX方向に対する変化具合をデータから取って、同じようなことをやると、これでアンノーン・パラメーターがhとnになるから、その2つのデータを取ってくると、それでn、hが解決される。これはほとんどシートのものであり、これは球的なものである、というような認識ができるわけです。

そのというような形にして、地下構造を非常に厳密に考える場合には高度を必ず変える、そういう思想で測定しています。これは簡単なことであり、飛行機の飛ぶレベルを変え、且つ同じ測線を同じように飛ばせよ。非常に楽なわけです。或いはそれもできない場合には、あるピークの位置に行って、ヘリコプターならば上から下までずっと降りてくれば、こういう操作ができる。そうすると構造的に非常に薄いものがあるのか、或いは非常にマッシブ(塊状)なものであるのか、ということが出て来るわけです。こういうふうによれば出ます、というものです。地面の場合、3回飛んだ場合にはどうなるか、という問題をやったわけです。

今申し上げたことのエグザンプル(実例)を少し挙げるために、今までやったエアポーンの場所をお話しすると、大島、箱根、十和田…、これはカルデラ火山の研究で、カルデラの場合にマグネの異常と重力の異常とがどういう関係にあるかを研究するために、重力をマグネとを組み合わせで研究しました。それから、アップーマントル(上部マントル)のプロジェクトに参画して39度線、これは太平洋から日本海まで約200キロを南北100キロの測線で観測しました、それから、昨年終わり頃、この鳥取地

震帯で、実は松代で震源地の地下構造に対して、なぜ特定の場所に地震が起こるか、という答の一つになるだろうところの付近、特に浅発地震に関して浅い地下構造に関する特徴を調べるために松代に来ました。そういう問題を松代だけではなくて、少なくとも三つないし四つぐらいの同じような測定をし、一つの特徴を出そう、実はここに同時に挙げた宮城県北部地震の地域、松代、鳥取 — 実は鳥取地震の時、鳥取市と倉吉市とに全然分離した余震区があった — をやれば、共通の地下構造的なデータがどのようになるか、というのでやったわけです。

この12月には、福井の地震の震源地の約10倍位の広さの所で観測する予定にしています。今まで得られたデータについて、今申し上げた断面をどうするかとか、地下構造に対するインフォメーションのアンノーン・パラメーターを一つずつ潰していくというのが、実際にはどの程度になるのか、ということはこのエグザンプルでお話しします。

これが、伊豆の大島の全磁力の大きさです。これに6,000フィートで伊豆大島を全部スキーズした時に、大体側線間隔が1キロ、その時に高さは6,000フィートで、4,000ガンマプラスこういう値が出ています。そうすると、三原山がここにあるけれど、どちらかというと非常にすんなりした、ちょっと計算したくなる — 僕はそういう計算は嫌いだけれども — ような感じのするアノマリーが出ます。

次に5,000フィート、5,000フィートのアノマリーを出すと、先程よりも少し形が歪んでくる。4,000フィートになると、大島の火山のために出てきたいろいろな溶岩、或いは潜在的に溜まってしまったようなものがあるわけで、そういう浅い所の構造が段々と出て来る、分離されてくる。

これが3,000フィート。僕達が4,000フィートをやめたら水路部で3,000フィートをやってくれたので一緒にお目に掛けられた。こうなると、完全に三原山の先にある非常に浅い所の浅所構造がアノマリーに出るわけです。今、大島で起こっている地震は全てこの付近である。これは非常に興味があることです。

これは箱根の・・・ 今の大島の1つ前に凶面がなかったですか、これの前に抜けていますか？ では口で説明します。あのように6,000、5,000、4,000、3,000フィートの断面の磁気マップができたから、それをある方向にプロファイル(断面)を取ってみるわけです。そうすると、先程の勘定で絵に出したような個々のものが一緒になったり、或いは浅い所を飛んだために分離されたりすることがはっきり分かる。そういうプロファイルの一つ作ってきたはずですが、ないそうです。

もう一つ別の考え方があります。これは箱根のカルデラの磁気の異常図で、これが芦ノ湖。そうすると、こちらの方に今残っている大きな外輪山のアノマリーが出ている。ところが、こちらは断層で全部外輪山がすっ飛んでしまい無くなり、その断層の所にプラス・マイナスのアノマリーが続いている、そんなように解釈しています。

これが6,000フィートのデータ。それが5,000フィートになると、このように非常に浅所の構造がはっきり出てくる、アノマリーの位置が分かってくるわけです。それを今、絵にしたのがこれです。これが箱根の地形、たまたまアメリカの磁気を測る向こうのGS(地質調査所)が来て、向こうは地形のトポグラフィ(地勢図)に平行に飛んだわけです。実際にこのように飛んでいるかどうか分からないけれども、対地高度を一定にして飛ぶ方法もある。私達の飛び方は高度を一定にして飛ぶ。その時のデータが、対地高度一定の場合のがここにある。それから5,000フィートの場合、6,000フィートの場合です。

このような飛び方は、非常に浅い所の地下資源などの構造を探すのに有効だというわけです。そうすると、こういうものを含めて考えると、実に浅所構造がいかにはっきり出るかということがここで分かって、地下構造は簡単にいくものではなく、少なくとも数キロ位の所は水平方向にはいろいろなバウンダリーがあるんだということが分かる、それを示す図面です。

これは、同じ事を十和田湖で行ったトポグラフィがあり、これに対してアメリカが飛んだコースで

す。USA のやったのがこれ、私達のは 4,000 フィート、5,000 フィート。5,000 フィートのデータを眺めると、すぐこういう事情から昔だったら ーというところと失礼ですがー すぐ「アノマリーはここだ」と考えるんですが、どっこい、そうはなっていません。カルデラのリングがこういう所に出ています。これは中央火口丘のデータです。

そのように非常に浅い所の分解が良くなる。そういうことをしない限りは、地下構造の **\*\* (不明) \*\*** が間違えることがある。そういうことを示したかったのです。

これも一つの例。39 度線がこれです。東北地方の地質マップです。僕はよく地質マップを見て、複雑なものがあるとやってしまうけれども、地質の先生方はこれから下の方のインフォメーションをある程度推定なさる。そういうものに対してエアボーンのデータを使って、例えばこの花崗岩 **\*\* (不明) \*\***

完全に火成岩に覆われているけれども、固まってしまったこの地帯、こういう所のバウンダリーが一体どういう所にあるのか、それは前に坪井先生の有名な「盛岡・白河ライン」というのが、地質的でなく地球物理的に唱えられ、重力の結果から非常に素晴らしい一つの大構造線が分かっているわけです。

では、エアボーンではどのように出るかお示しします。これは、実は生の値を出して北から **\*\* (不明) \*\***、東から西まで飛んで作った、東北地方の 39 度線のマグネ異常分布図です。もちろん、こういう方法に一つのあれがある。それは、実は日本を含めたこの辺の地磁気の全磁力のエピコンターであります。だから磁場はこうやって変わっていくわけです。緯度経度を考えなくてもいいわけです。

ところが、その緯度経度はこの辺からは出るけれども、北上山地に対しては全然違った印象を与えている。ここは今日の話ではないから、こういうものが出たというだけですが、これが実は広域になると、アノマリーを出すためには緯度効果を差し引かなければならないわけです。

それを差し引くために、X・Y に関してこのような二次の曲線を考えた。緯度と経度とに関して二次の曲線で今の点から約 300 点のデータを使って **\*\* (以下不明) \*\***。これも係数を決めると、この付近の電磁場の緯度効果が出るわけです。このデータから、今度は先程の観測したデータを差し引き、そしてアノマリーを出すわけです。

今のアノマリーから出した緯度による今の二次曲線は太い実線になるけれども、ここに点線とか太い実線とかを描いたのは、それぞれ点線が水路部、実線が国土地理院で、エアボーンの結果から出したデータで非常に密な測定をして出したものと、100 キロ間隔で飛んで出したものと、あまり違ってないことを示しています。

それを差し引き、ここにいわゆる磁気異常図というものを出すと、こうなります。地質の先生に「どうじゃ」と言いたいのは、例えば鳥海山は地質マップでいうと、この辺まで雄大な溶岩の流れを出したものがあるけれども、なんと、本当に磁気的な性質を持っている柱になるようなものは、非常にローカルな小さなものである、且つそれが横になびいている。これは重力のマップと非常によく一致している。そのようなことが分かるわけです。

それから、湯沢付近の所は昔からグリーン・タフ(緑色凝灰岩)が非常に厚い所だと言われていたけれども、やはりベースメントに対しては非常に盆地をなしている、ということがこれで分かってくる。

その他、この辺に磁気異常の非常に多いところがあるが、これは実はウルトラベーシック(超塩基性岩)の岩がちょこちょこ顔を出している所であり、日本のモホール計画で抑える場所に、この辺が選ばれるらしい。

これに対して断面図を描いてもっと考えてみる。これは、太平洋から日本海まで、釜石から本荘の線です。これが脊梁山脈、これが北上山脈になっている。これを見ていただくと、これが東北線、これが奥羽本線、これが山、これが磁気異常のプロファイルです。もう山とかこういう地形のプロファイルと

かにはほとんど無関係、無関係というのは非常に悪い言い方ですが、この辺に山があり、ここはすごいマイナスのゾーン、そしていわゆる盛岡・白河ラインはこの付近ですが、非常に周期の長い、つまり深部まで及んでいる構造を表しています。それは、次の測線の酒田・一関を結ぶ線においても、同じような周期の長い、深部構造にまで及んでいる、盛岡・白河ラインと同じマグネのマイナスノードがある。非常にベースメントが厚くて、ここは潜り込んでいるんだということを証明してくれるようなプロファイルです。

ここでよく分かるのは、こんなふうに脊梁山脈をなしているけれども、マグネはそれにはほとんど関係が無くて、このデータがもっと深い、数キロ以上のインフォメーションを出しているんだと考えています。

こういう問題はいろいろある。例えば、多くの人達は先程言ったように、地質の補助的に使うんだというような考え方から \*\* (以下不明)。これは日本を含めての太平洋ですが、マグネのリニエーション(線構造)、要するに磁気異常プラスの所に色を塗っただけです。そうすると、地下構造のある方向性とか、そういうものをこれで多めに見てしまう。そういうように使われている一つの例です。こうして大きくクラスト(地殻)の構造を知っていかうというものに使われ、今はリニエーションということで最近盛んに使われている問題です。こういうものから大きな断層などが発見されたりもしています。

これは、余計なものを出しましたが、大西洋の割れ目の所の図です。こうなるとマグネのデータは構造というよりも、むしろその物性に非常に関係してくる。ここでは比熱と熱容量が \*\* (以下不明)。ここは、ちょうどいわゆる海嶺の割れ口ですが、ここを大きく描いた図面がこの地球図のデータです。

ここは、地震波から求められたもの。それに対して、この近辺は熱流量が非常に大きい、重力は非常に小さい、そしてここは実にマグネも小さく観測されているそうです。そのように、この辺は熱容量が大きいために温度が非常に高い、というのは、マグネチックの物質が少ないことになる。勢いそういうアップーマントルの問題に対しても大きな意味を持ってくると考えています。

そんなような前置きを長々として申し訳ありませんでしたが、私達はそのような目で、頻発した地震や大きな地震があって後で余震が続いた場合に、そこになぜ地震が起こるかということに対して、やはりその地下構造を知ることが大事なことのひとつである、と、そうするとその地下構造はいろいろな手段があるけれども、まずエアボーンで一体どんな特徴があるかを調べることは大いに意味があることです。たまたま 1965 年にアップーマントルのプロジェクトに沿って 39 度線を測定しましたが、非常に快調にいて飛行代が浮いた。それをすぐ松代の地震について測定したわけです。大体 1965 年 10 月にできました。

その時には、今申し上げたような、どうしてそういう場所に震源が集中するのかというのは、一つは地下構造に何か関係がある。もう一つは、もしでき得れば活動時期と活動の終わった頃と、非常に浅い構造に対する熱とかいった問題が絡んでいるんだしたら、磁気のアノマリーも変わるだろうと。それはむしろステーションでやるのが非常に良いんだけど、ステーションもたまたま或るマグネチックなアノマリーがあった場合、これがもし変化すると、小さくなった場合にはこうなるわけで、そうするとこの付近にステーションがあってもほとんど変わらないけれども、ステーション自身によっては非常に変わるかもしれない。そうすると、ステーションで観測することも、こういうものを知らない限りは分からない。むしろ、二次元のマップの二次元の相関を取って、変わったか変わらなかったかというものが出るものか出ないものか、そういうような考えで松代で 1965 年に測定を行いました。

その時は、非常に小さな範囲で、ここにあるような範囲で測定した。これは上田、長野、この頃はまだ初期の頃です。初期のころの震源の位置はこの位である。震源は 7 キロから、この位の値に入っている。

そのような時でしたから、今くらいの測線でやったわけです。

これは測線の図面。約1キロ間隔にこのような測線を作って、この付近の磁気の異常を測定した。高さは4000フィート、5000フィートの両方。このようにまっすぐ描いてあるけれども、自動制御の機械をパイロットが持っていないので、自分の感とあれて観測した。このコースから時々外れたり、或いは間違っって次のコースに行ってしまったたりしたことも2、3あったけれども、比較的コースを飛んでいました。

これが、これから何枚も同じようなものが出ますが、4,000フィートの時のこの近辺の磁気異常図です。非常に特徴的なことを言うと、とにかく松代の近辺から千曲川位先、長野地区にはほとんど磁氣的に異常がない。それから、この近辺にはプラスの大きなのがある。ここにマイナスの、それに相当する大きなのがある。皆神とか奇妙山というのは、このプラスからマイナスへのグラジェントの間にポコポコ非常にローカルに起こっているものなんだ、というようなことがこれで分かったわけです。

これが5,000フィート。当時4,000と5,000と両方やって、磁気異常の高さに対するインフォメーションを得ようというわけで、このように行ったわけです。最後に、広域でやった図面とほとんど同じになりますから次々にやっていきます。

これは、次の年66年9月。非常にまた激しくなった頃の磁気異常図で、やはり同じように千曲川から先は、今はゼロに等しい **\*\* (不明) \*\*** に対して、この区域は完全にプラスのゾーンです。それに対抗してこちらがマイナスのゾーン。やはり同じように出ています。皆神山よりも少し南にずれてプラスが出ているわけです。

同様にして、2回目の5,000フィートの図面。実は、この頃から何か広域に震源が広がって来ているということでしたから、5,000フィートのデータの測線を増やしている。そして、一応先程はこの位からこの位までしかやらなかった測線をずうっと東西南北に広げて行った。先程に対して、次のようなデータが得られた。

先程と同じように、この近辺はやはり同じようなプラス。その中に一つ、ローカルのいろいろインテンシティーが強いような場所、或いは浅いようなものが、この近くしてオーバーラップしているものもあるけれども、プラスのゾーン **\*\* (不明) \*\***、それから同じようにマイナスのゾーン、ただし、ここでこちらからの関係が非常にあって、ここにグラジェントが広く、プラスからマイナスに変わります。ただし、ここはインテンシブとしてはほとんど6,900から6,950、7,000位で、この辺の6,900の **\*\* (不明) \*\*** あまり変わらないわけです。

こちらの方は、トータル・インテンシティー(全磁力)の緯度効果を表す面で、大体トータルの方向はこちらに向いているから、磁氣的なものはこのような形になっています。こういう所はほとんど異常がない。これに対して、ここからこの間は非常な異常の地域です。且つ、ここはプラスのゾーン、これはマイナス、これがプラス・マイナスの大きな分かれ目になっている。こういう異常帯が、実はずうっと北上して長野の付近まで行っている、大きな特徴があるわけです。

これは、同じ第3回の時の4,000フィート。3枚のマップを二次元で相関を取ろうというのに、わざわざ4,000フィートを使ったわけです。これでやっても、先程の図面のように、こちらにプラスがあってこちらにマイナスがある。片方は6,550位、これは7,200位、大体この近辺は6,850或いは6,900のアノーマルしかないわけです。このような異常なものがある。

第3回目に、これからお話しするような広域調査をしたわけです。その図面を見ていただきます。或いは、例えば聖山とか大町とかの方にも地震があるというお話しをお伺いしてから、いっちょう私達のアノーマルも途中で中途半端になっているから、そういうもののクロージット(閉じた所)はどの辺だろ



うかと。今度は北信の隆起帯に同時に関係するから、そういうものの南限はどこか、或いはフォッサマグナの頭が一体エアボーンに出るか出ないか、といったことを調べるために、延々大町の北から上田、松本まで、こういう広域の調査をしたわけです。

非常に面倒です。というのは失礼ですが、実はこういうマップをとるには、この位のデータを使っています。大体データとしては、これだけ写真で読んで、その時の位置を決めて、データを入れて、そして \*\* (以下不明) 。実は、この間が非常に細かくやってみて、なお且つ横が非常に広く、少し間が抜けているようにお感じになるかも知れませんが、マップを描くにはこれとこれとの相関を取っているわけです。

こちらに同じような相関が出る場合には、マップとしては地下構造として深い、或いは広範囲なものがあるということで繋いでいます。だから、こんなふうになんか丸を描いているのは手の勢いで、ほとんど小さいものであまり意味がない。というのは、地下構造を見る時に、そんなにきつく考えないでよろしいデータです。大体このくらいの混み方、粗さのデータからこういうマップができます。

先程から同じようなのが一杯出てきますが、これがラストに行った広域調査の結果です。先程は、大体この位しかデータがなかったけれども、豊野の国道から松本まで、こちらは青木湖の先までのデータが出ています。これで、いよいよ松代の磁気的な異常図ができた。では、これから大体磁気的に考え得る構造はどんなものか、ということになるわけです。

先程から馬鹿の一つ覚えのように言ったようなプラスの領域、これが全部大体プラスの領域になっています。こちらに伸びて行って、ほとんどインテンシティー 7,000 位で、プラスと言ってもゼロみたいなのがこの辺にある。実はプロファイルが今出てきますが、山やなんかにはほとんど関係なくこの辺は相当高いですけども、あまりインテンシティーが大きくない。この辺は非常に高い山があるにもかかわらず、ここは非常に小さな 6,500 位の大きなゾーンがある。先程からお目に掛けていた図面と余り変わらない、且つ、このプラスの大きなゾーンとマイナスのゾーンとを結ぶ線は大体こんなように形成しているけれども、それが \*\* (以下不明) 。僕らはこういうのを \*\* (不明) \*\* がアノマリーにあると、ベースメントがこんな凹凸をしているんだな、と考えているけれども、そういうのがずっと続いている。これは地質マップによく出てくる非常にインテンシブの大きいもので、プラス・マイナスがあって教科書にも書いていいようなものです。

この \*\* (不明) \*\* にも非常に大きなインテンションがあるけれども、実はこれは、プラスのそういう大きな構造にオーバーラップして存在すると考えていいようなものです。それから、松本付近に関しては、アノマルがこちらにかけては完全に異常の少ない所になっている。且つ、ここは中央構造線の層がここに描かれているわけですけども、エアボーンの数値にもこれが大きく同じようなのが出てくるのも非常に興味深いわけです。

では、これをどのように考えるか。今までの結果は、第 1 番目から申し上げると、例えば地質的に考えられる隆起帯は、こういう \*\* (以下不明) 。これを説明します。図面の上下がちょっと欠けていますが、フルに出していただきます。

これは、いわゆる測線を描いて、それから皆神山を中心にして南北の断面、磁傾場プロファイルを描いたわけです。そうすると、例の私がさっきから申し上げているマイナスの領域がここに相当する。それからこちらがプラス、それが段々とマイナスのゾーンが少なくなっていく、マウント奇妙などが出てきます。この辺は両方のものがある。次にマウント皆神です。測線は段々こちらに移動している。

今度は皆神山が済むと、こちらの今までマイナスだった所がほとんどゼロになって、プラスの領域がずっと隆起してくる。どうしてもここに一つのバウンダリーを考える。構造的には先程ステップ・シェー

プスで描いたけれども、こういう構造に関してはどうしてもステップ・シェープのものを考える。且つここは、後で重力の方と話が一緒になるけれども、\*\* (以下不明)。

これも同じような \*\* (以下不明)。先程のは 4,000 フィートで、これは 5,000 フィートの断面図。高くなればなるほど、短周期が全部消える、というのは地下構造の浅い浅所構造は姿を消す。もう深部構造だけの結果になってくるわけです。そういう境界面に、こういう奇妙や皆神が現れています。

それを非常に分かり易く考えるわけです。例えば、これは 4,000 フィート、これは 5,000 フィート、これが地形、4,000 フィートで得たデータがこれ、5,000 フィートのデータがこれ、その時にほとんど奇妙山などは減衰が非常に激しくてすぐなくなる。それは皆神山も全く同じことで、北側にあるプラスなどもここでは直ぐゼロになる。且つ、こういうベースメントの深いものは、4,000 フィートで飛ばうと 5,000 フィートで飛ばうとほとんど一定です。

そうすると、こういうものによる構造というのは相当深部まで影響しているけれども、こういうものは非常に浅い所である。しかも、これで 2 コードを出しているから、プラスのエスチメートも一応できるわけです。

これは僕の趣味にはあまり合わないけれども、すぐ計算するのはあまり意味ないんですけども、計算しても大体マウント皆神では、直径が (球にしたけれども) 560 m 位で、多分重力のディメンジョン (次元) でもみんな合ってしまう。あまり深い所の影響は出て来ない。

奇妙山なんかも 700 m 位の表面からやれば、十分このデータで説明が付く。これは球にしてあるけれども、球は計算が簡単でやっているわけですけども、別に球でなくても何でもいい、球に固執するほどこういうものに意味があるとは思っていません。

実はこの図面が非常にここでお話したいものです。先程のような、いろいろ変化したプロファイルをフルに展開して、高周波を全部とって \*\* (以下不明)。というのは、浅所構造の影響を全部抜いてしまい、深所構造のものだけにしてマップを書き換えた。そうすると、ここにプラスの大きなものがある、こちらにマイナスがある、ここはあくまでバウンダリーである、これは磁力は奥に行っていない、こちらから先は構造としては相当ギャップの深いものになっている。

ここでまた問題があります。磁気には実は非常に困ったことがあります。今、こういう球でも何でもいいけれども、例えばこの付近だと 50 度近辺だけでも、このようにして帯磁してこちらに来ている場合には、これによる異常は北側にかけて少しマイナスで、こうプラスになるわけです。こういう異常が出る。

これは、今地球の地盤の方向に対する場合を仮定した図面ですが、もし帯磁率が非常に小さくて残留磁気しかなくて、しかもいろいろなクラストの運動によって、或いは地殻変動が何かによってこれが移動して、このように帯磁したものがアノーマル・ソースになっているとすると、実にここではマイナスが非常に大きくなってプラスがこうなる。そしてプラス・マイナスのインテンシティーが分からなくなる。

だから、こういうインテンシティーからものを言うのは、必ず方向を決めなければならない。或いは決めない場合には、強引に測定しサンプルからエスチメートして決める。そのデータを使わなければいけないわけです。ここでは、一応北の方向にノーマルに帯磁していると考えて、この場合にはどうなるかということを考えるわけです。

そうすると、これは完全にステップ・シェープの緩やかな境界のモデルになる。こちらの方とこちらの方は、少なくとも地表面までのことに関しては物質が違うというよりも、ここに境界がなくてはいけないという結論になる。その境界をどう考えたらいいか、物が違うのか、物が違っていいのか、という

考えがあるんですけども、これに対して重力のマップがここにあります。この重力のマップは、やっぱりこのエアボーンの方と全く同じ。違いがあるのは、実は重力はここがプラスに出ている。ここがマイナス \*\* (不明) \*\*、ここがゼロ・ライン、その北側がマイナスになっている。ここがマイナス 15 ミリから、ここがゼロ。それからゼロ・ラインはここです。こちらがプラス領域、ここに非常に優勢なプラスゾーンがある、ここいらは等磁力線が引っ込んだ形をしている、こちらがまた急激に増加している。

今ご説明がありました、この辺が非常にプラスの傾向のある所、これがプラスよりもマイナス \*\* (以下不明) 。というよりも、小さくなっている傾向である、また大きなプラスになっていく傾向にある、こういうようなお話です。

そうすると、ここでマグネで考えなくてはいけないことがある。こういうプラス・マイナスを、一応帯磁の方向を今の地球の磁場の方向から考えると、模型的に考えればこういう模型で考えられるわけです。こちらが北側、そうすると磁気はここでプラスになり、ここでマイナスになる。ところが重力はここがで、ここが小さくなって、また大になる。マグネでは、あるマグネチックな物質があって、上はセディメントですうっと落っこって、ここにまた同じ物があっても、それは説明が付くわけです。ところが重力では、ここもデンシティー(密度)な物でなければいけないということになると、ここにどうしても違った物を考えざるを得ないと思っています。

それからもう一つ、これは飯島先生にお伺いしたら「中央隆起帯は自分等は今一応この辺までは考えているけれども、この西側というか、南側の付近はどの辺だか、ちょっと見当がつかない。」とおっしゃっていました。このマップを見ると、少なくともこの近辺で隆起帯は終わるんじゃないか、そう一応考えられます。

その一つの根拠にはならないけれども、考えとしては地殻変動のデータがあります。これはここでいただいたんですが、この辺が \*\* (以下不明) 。これは松代のある期間、例えば 6 ヶ月の間に隆起した非常に大きな異常量のデータを描いた図面です。この図面を見ると、長野付近からずっとここまで来て、ここを取り巻いて、ここで隆起がクローズしている。そうすると、やはりその短期間の隆起帯と \*\* (不明) \*\* という隆起帯とは全然別のものかも知れないけれども、隆起帯ということで共通のものは、一つのブロック的にこういう所はバウンダリーがあるんだと考えれば、それは別に矛盾しない、と今考えています。

もう一つ、これは私などが申し上げなくても皆さんお分かりと思いますが、今まで北信全域は除いて、狭義の意味で松代に起こっている地震の震源地は、多分このベルトのこの辺にほとんど集中しているんじゃないかと考えています。この辺も論文で読んだだけですから、或いは違っているかも知れませんが、こちらの斜面側 \*\* (以下不明) 。こちらは斜面側で起こり、且つ聖とか四阿屋とかの近辺の、非常にどちらかというところの峻しいのは、ステップ的に考えられるような構造変化がこういう所に起こり、且つここはマイナスのゾーン、ここをバウンダリーにしてこちらに起こっているんじゃないか、地下構造に共に良く合うことは、結論はともかくとして、興味深い点だと思います。

これは、今出てきた中央隆起帯、この辺が松本、もう少し先まで行っているんじゃないかしら、という感じです。これは、今出てきた瀬谷さんの重力のマップ。

松代のことばかりでなくて、実は \*\* (以下不明) 。ここで鳥取の話をするのは恐縮ですが、これは鳥取の磁気異常図で、ここが鳥取市です。これが倉吉市、鳥取地震の時の本震はこの辺にあり、吉岡断層とか鹿野断層とかはここに出ています。この辺に盛んに余震が起こり、且つこの辺に余震が起こっています。素人が非常に強調するのはいつも、ここが全部プラスのゾーンで、ここがマイナスの領域、こちら

もマイナスの領域、構造としてはもしこれが一応ステップ・シェープ的なものだと考えると、ベースン(盆地)があって、隆起したものがあり、またベースンがあり、それがここでプラス・マイナスの大きなバウンダリーとなっている。そのバウンダリーの所に断層か何かができている。これは、マップからいうと非常に似たような関係である。これにいかに関係を付けるかは、また別の問題ですが、今日お話し申し上げたことが松代ばかりでなくて他の所にもある。むしろ、何にも地震がない所にこういうのがべた一面にあるんじゃないか、そういうことを一応チェックするのが、これからの任務ではないかというわけです。

大変おおざっぱな話で、且つ定性的な話ばかりでしたが、一応このようなことで終わらせていただきます。先程のフィルターをかけた場合の地下構造は、大体海水面から上のアップパー・サーフェスが約1キロ、ローワー・サーフェスが約7.5キロ、そのような一応の結果が出ています。私はマグネのことに關して、あまり定量的なことを言うのは、先程から度々言っているように、少し高さのインフォメーションが狂ってしまうと大変なことになるということがあるので \*\* (以下不明)。一応そのくらいにしておきます。

### 【質疑応答】

質問) 最後に出されたプロファイルは？

答) 鳥取の地震の断面です。横の方向をコンスタントにし、縦の方向を少し広げてある。ここが海岸です。やはりマイナスのゾーン、プラスのゾーン、またマイナスのゾーン \*\* (以下不明)。

質問) 黒板にお書きになったのをもう一度説明していただけませんか。

答) これはこう描きます。これが表面です。マグネの立場ではこういう構造が考え易い。ところが、ここの近辺ではマグネではプラスの領域になって、ここではマイナスの領域になっている。ところが、重力ではここが大きくて、ここが小さくて、またここが大きくなる。マグネ的には、ここの上なんかは何でも結構、ここがうんと大きくて、ここがゼロに近いようなものであれば説明が付くけれども、言うなればセグメントのようなものがあったとしてもいいけれども、重力の場合には大きくなっている。こちらとは絶対 \*\* (以下不明)。マグネが大で重力がプラス、マグネが小で重力が大、どうしてもこっちとこっちとは物質が違わなくてはいかんだろう、と考えているわけです。ここに重力の小さい所があるのは、何か知らんがとにかく非常に興味を持っています。

実は、こういう所に小さなローカルの磁気異常があるわけです。そしてやらなくてもいいことをやって計算すると、シー・レベルからここが約1キロ、ここが7.5キロ。これはあまりお考えならないでいい、というのは、先程からあんまり定量的にいうことはけしからん、と自分で言っておきながら、こういう数字を出すのはおかしい。

質問) それは、地殻の断面図ですか。南西ではなくて。

答) そうです。だから一つのソリューション(解)で、そこからデビエート(逸らす)することは勿論できます。ただ、オーダーとしてはあの位になるだろう。

質問) 北から南というより、長軸の方向ということじゃないんですか。

答) そうですね。

司会) 千曲川断層を切って、ということではない・・・。

質問) 北東の方で重力が大きいというのは、どの辺・・・。

答) 多分この辺ではないかと思います。

司会) 瀬谷さんから意見を兼ねて、少し思っていることを言ってもらって・・・。

瀬谷) 重力をやりましたので、私からちょっとご説明します。しかし、高木さんの今のお話の範囲内でご質問を聞いた方がいいんじゃないですか。

質問) 今まで、方々でエアボーンマグネの調査をされたようですが、その時に過去に地震が起こった所で、今の松代や鳥取で起こったそのような例はあるのでしょうか。何か鬼首の辺でも昔地震があったということですが・・・。

答) あります。鬼首は今の火山のガレ場の上で、鬼首の近くで地震を起こしていますが、あの場所は少し違う。スライドがもう1枚ありますから・・・。

これは宮城県北地震の近辺の重力異常図とマグネ異常図です。たまたま宮城県の北の近辺で、非常に精密に瀬谷さんが県から依頼されて重力のマップをお作りになった。瀬谷さんの許可を得て、県からそのマップを頂いて断面を描いたのが、この実線です。それに対して、エアボーンの結果を描いたのが点線です。ここが清水、地震の起こった場所は、この辺で本震、この辺に余震があった。それをこちらに、こういう断面のプロファイルをとってみると、盛岡・白河ラインがこの辺を走っているから、重力異常はすごいグラジエントで東から西にかけて小さくなっていく。これがその辺、鞍部になる手前でこういう重力異常が起こり、この付近を中心にしてまた段々元に戻る。いわゆる盛岡・白河ラインの構造線に非常にデペンド(依存)しています。

そうすると、この重力の図面から瀬谷さんはいみじくも、ここにどうしても突き上げてくる構造を考えざるを得ない、と、しかもその上の面はたかだか1キロ位しかない、そういう結論を出されたわけです。ではマグネはどうなっているか。これもそれと全く同じものが、重力がプラスだとマグネもプラスに出て異常が出ている。この点線が同じ異常で、段々ところら辺から大きくなって、ここではゼロになる。そうすると、この近辺には盛岡・白河ラインに相当する重力異常による大きな構造線 \*\* (以下不明)。というのは、水平方向には全然物質が違うようなものの中に、もっと下から突き上がって来ているような、言うならば構造線が谷などになっていると、そういう所が一番割れ目になりやすいから、下からインタラクション(相互作用)が出てくるわけですね。そういう構造を考えざるを得ない、それがこれです。

質問) エアボーンは、松代の上はまだ1回しか・・・。

答) 3回やっています。最初は1965年、次が66年、次が67年。

質問) 差があったんでしょうか。

答) 差を調べるには、あまりにもラフな測定をしすぎた。本当は差を見たかった。今でも差があると言えはるような感じはしているけれども、測線と測線で \*\* (以下不明)。ここにデータがあるけれども、これとこれとの相関がない場合は、ローカルの方であやしくなってくる。そういう意味では、これを1 kmの間隔に取ったのはまずかった。というよりも、金のない悲しさで、250 m間隔にしたらよかったけれども、それができなかった。違うようなデータがあっちこちに出るので、それを全部ならして、皆神近辺で有意差があるかないか考えると、なきそうです。

ただ、同じ測線を1本飛んでいる場合に、皆神山の周りの位置が少しずれていると言うことは、データとしてはある。数十 m、100 m以内、それだけですから何ともし難い。或いはカメラが少し横にぶれていたんじゃないか、そうすると30 mや50 mはずれる可能性がある。風によってはヘリが傾くこともある。二次元的にやらない限りは、はっきりは言えないと思っています。250 mにとらなかつたことが大失敗でした。

質問) 将来250 m間隔でやっても、最初に1 kmでやっているから、もう取り返すつかないわけですか。

答) 将来やる場合には、むしろヘリコプターを止めて昔の測線の通りに行くデータを2本も3本もやって、ある場所が空間的に \*\* (以下不明)。平面的にですが、その差が出たということをやれば、250 mの方もカバーできるわけです。

今度は僕が聞いてよろしいですか。人工地震のデータはどうなっていますか。

(続いて瀬谷氏の講演へ)