

深部地殻探査の関門—ノイズ—

横倉 隆伸¹⁾・宮崎 光旗¹⁾

1. はじめに

諸外国では十数年前より、主に反射法地震探査による深部地殻の探査が行われており、地殻の構造・変形・生成・進化等に関する多くの成果が得られている。その一端については既に本誌でも紹介されている(Küppers・鈴木, 1987; 横倉・宮崎, 1989)。しかし探査の多くは大陸地域で行われており、日本のような典型的島弧域ではほとんど例がない。地質調査所では昭和62年頃より、日本における深部地殻探査に関する研究の機運が高まり、地質、地球物理、地球化学、ボーリング、検層等の様々な観点からの検討が始まった。こうした情勢のもと、科学技術庁の特定調査研究の一つとして、「深部地殻に関する研究」が平成元年度より開始された。地質調査所は同研究において深部反射法を担当することとなった。小論では、同研究について紹介するとともに、日本における深部反射法の問題点等について述べてみたい。

2. 「深部地殻に関する研究」の概要

2.1 予算上の位置付け

科学技術庁で従来から実施されていた「海洋開発調査研究促進費」が、平成元年度より地球科学関連の研究を加えた形で、「海洋開発及び地球科学技術調査研究促進費」として衣替えをした。「深部地殻に関する研究」は、同促進費の中に新設された「地球科学技術特定調査研究」という研究項目に含まれている。ちなみに、同項目には他に「アジアモンスーン機構に関する研究」が含まれている。科学技術庁内の担当部局は研究開発局の中の地球科学技術推進室である。同特定調査研究の目的は、気圏・水圏、地圏、生物圏における諸現象の相互作用によって現れる地球規模の諸現象のメカニズムを総合的に解明するため、長期にわたる継続した観測に重点をおい

た研究を推進することである。なおここでいう長期とは10年程度の期間をいう。

2.2 研究の趣旨

大陸地域においては、深部反射法、超深部ボーリング等により地殻深部に関する極めて多くのデータが蓄積されつつある。一方地殻活動の活発な島弧においては、深部地殻探査がほとんど行われていない。このため本研究においては深部地殻探査手法の確立と、日本島弧の特徴ある複数の地域の横断的観測とを行い、島弧域の深部地殻に関するデータの蓄積を図る。探査方法として現在のところ、反射法地震探査と地磁気地電流法(MT法)探査が挙げられている。これらデータと他の地球科学技術分野の研究結果等を総合し、プレート沈み込み帯の深部地殻テクトニクスの総合的解明を目指す。なお当面は陸域のみを対象とした探査を行う。

2.3 実施計画

第1図に年次計画を示す。現在のところ全体で11年計画となっている。研究項目としては、

- (1) 反射法地震探査による深部地殻に関する研究
- (2) 地磁気地電流法(MT法)による深部地殻に関する研究
- (3) 深部地殻テクトニクスの総合的解明
- (4) 検討委員会の開催

が挙げられている。研究実施に当たっては、(1)を地質調査所が、(2)を国立防災科学技術センターがそれぞれ担当する。また(1)(2)の結果および他の地球科学データの比較・検討・総合等を行い、深部地殻テクトニクスの解明を目指す(3)の研究を地質調査所・国立防災科学技術センター共同により、平成3年度より実施することになっている。また測線の選定・探査諸元の決定・探査データの検討等を行うための、学識経験者からなる検討委員会が年2回開催される予定である。平成元年度～2年度においては、テスト観測の実施を通じ、反射法、MT法による

1) 地質調査所 地殻物理部

キーワード：深部地殻、反射法地震探査、探査ノイズ、地殻構造

研究項目	(1)反射法地震探査による深部地殻に関する研究	(2)地磁気地電流法(MT法)による深部地殻に関する研究	(3)深部地殻テクニクスの総合的解明	(4)検討委員会の開催
平成元	反射法による深部地殻観測手法の研究	起震車震源	長周期磁場検出器整備	
2		爆薬震源	長周期電場観測手法検出器整備	
3	反	M		
4	射	T		
5	法	法		
6	に	に		
7	よ	よ		
8	る	る		
9	深	深		
10	部	部		
11	地	地		
12	殻	殻		
13	探	探		
14	査	査		
15	((
16	本	本		
17	探	探		
18	査	査		
19	((
20	西	西		
21	南	南		
22	日	日		
23	本	本		

第1図 「深部地殻に関する研究」の年次計画。

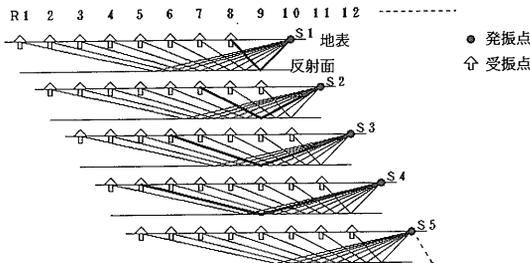
深部地殻の観測手法の確立を目指す。平成3年度以降は3地域において、各地域3年度にわたり順次本探査を行っていく予定である。現時点における本探査の順序は、東北日本、駿河・伊豆、西南日本となっているが、探査結果・検討委員会の討議結果等によって変更される余地がある。

反射法のテスト観測は、平成元年度は非爆薬震源の代表格ともいべきパイプロサイス(注1)を使用して行う。パイプロサイスはCOCORP, LITHOPROBE等において使用されており、大陸の深部地殻探査に多くの実績を有する。大陸に比して日本列島は地質構造が複雑で、しかも構造単位のスケールが小さいため、十分なエネルギーが深部へ透過するかどうか不明である。そこで手始めとしてパイプロサイス震源の透過力試験を行うのである。併せて震源の周波数テスト等の基礎的なテストを行う。平成2年度はダイナマイトを使用し、パイプロサイスとの比較を行う予定である。

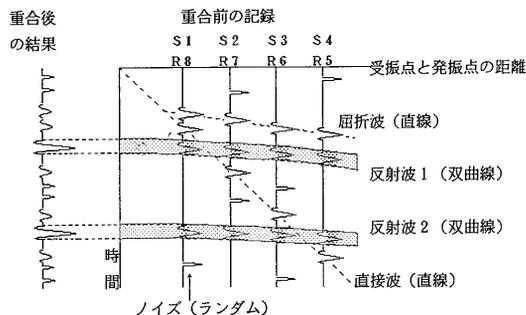
3. 反射法による深部探査

3.1 反射法の原理

反射法とは、地表近傍で人工的に発生させた地震動のうち、地下の地層境界等で反射されて地表に戻ってきた部分を利用し、地下の地層分布および速度分布を求める方法である。そのための様々な技術が開発されている



第2図 反射法のデータ取得法。同一の発振点に対し多数の受振点で同時にデータを取得する。同一の形態を保ったまま、発振点・受振点を順次移動させる。



第3図 CDP 重合の説明。反射波はほぼ双曲線上に並ぶ。双曲線に沿って重合することにより、反射波は強調され、ノイズ・直接波等はばらばらのままで相対的に弱まる。

が、最も基本となることは、多チャンネルでのデータ取得と、共通反射点重合とである。

多チャンネルでのデータ取得とは、同一の発振点に対し多数の受振点で同時に観測をすることである。同じ形態を保ったまま、発振点及び受振点を順次移動させて地震波を観測していく(第2図)。共通反射点(CDP)重合とは、このようにして取得されたデータから、反射点を共有する発振点一受振点の組(第2図の太線)に編集して解析し、重合効果によるS/Nの向上と速度情報の抽出とを図ることである。具体的には以下のとおりである。地層境界からの反射波は一般に双曲線上に並ぶ(第3図)。従って双曲線に沿って重合することにより、反射波は重ね合わせにより強調され、ノイズ・直接波等はばらばらのままで相対的に弱まる。またこれとは別に各双曲線の曲率から地下の速度情報が得られる。

3.2 スケールの比較

深部を対象としようと、浅部を対象としようと原理的には変わらない。しかし探査の諸量のスケールは大きく異なる。地殻物理部で従来から行われている浅層反射法、石油探査等の反射法、およびこれから目指す深部反射法のスケールの比較を第1表に示す。周波数を除き、

第1表 対象とするスケールの比較

	深部地殻反射法	石油探鉱の反射法	浅層反射法
深度	数10km	数km	数100m
展開長	数10km以上	数km以上	数100m
データ長	10s 以上	数s	1s以下
代表的周波数	20Hz	数10Hz	100Hz 以上

諸量は一桁ずつ違うと思えばよい。第1表の展開長とは、ある発振点とそれに対応する受振点群とがカバーする領域の長さである。例えば第2図では、発振点S1に対し、受振点群R1～R8で観測している。このS1-R1の距離が展開長に相当する。非常に大雑把に言えば、探査記録のうちで精度の良い深度は、

1/2展開長<精度の良い探査深度<2展開長である。従って深部反射法において、精度良く深部を探査するためには、長い展開長が必要である。

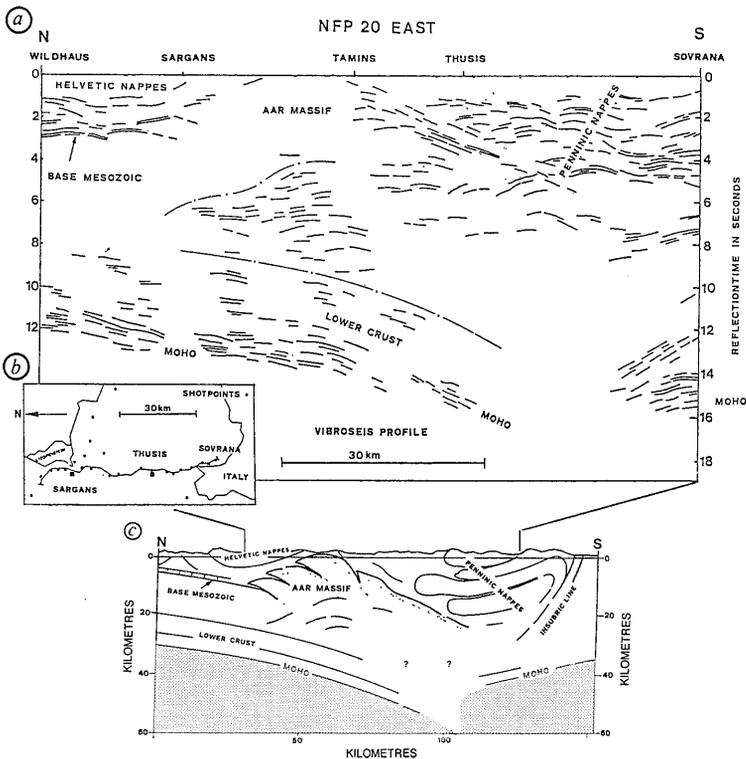
3.3 大陸での探査例

大陸での探査例のいくつかは既に横倉・宮崎(1989)で紹介してある。そこで小論では比較的に複雑な構造および地形を持つ造山帯での探査例をひとつだけ取り上げ

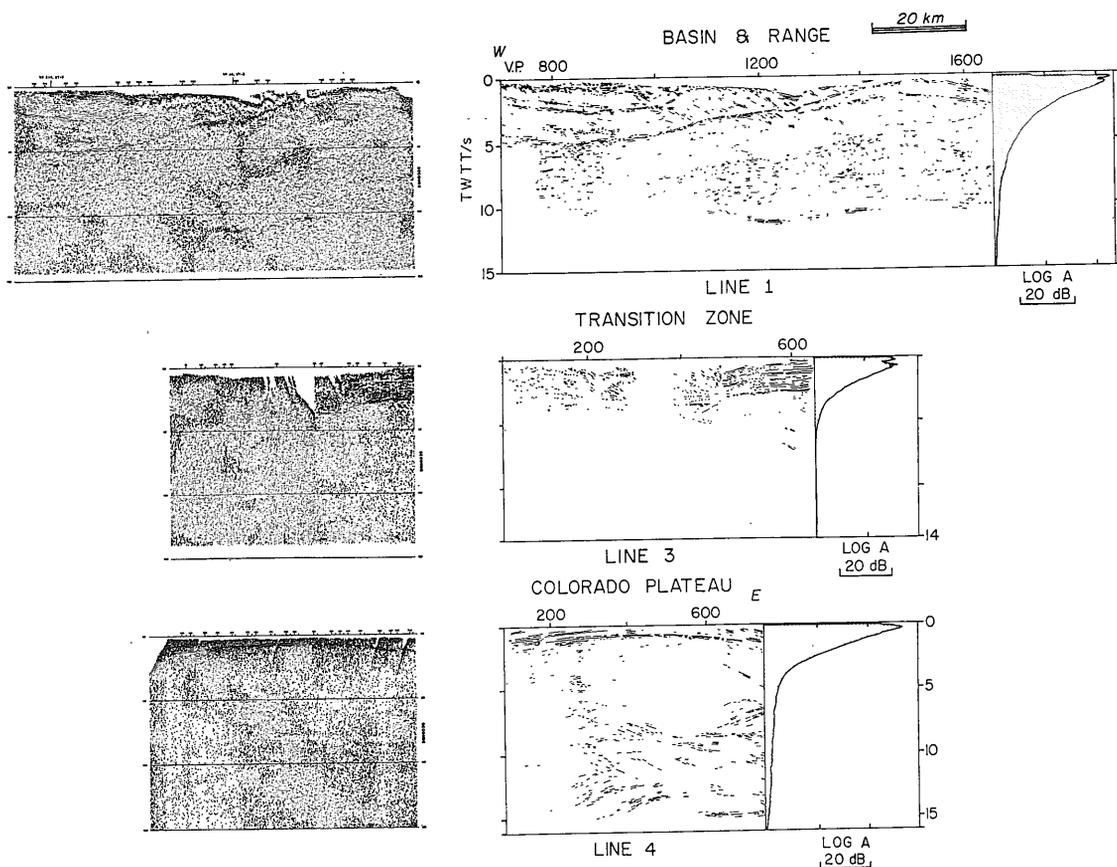
るに留めよう。第4図にNFP20によるスイス・アルプスでの探査結果を示す。残念ながら記録断面そのものの全容ははまだ公表されていない(一部は発表されており、横倉・宮崎(1989)にも掲げた)ため、線描図のみを示す(Frei et al., 1989)。プレートの衝突している、このような複雑なところでも、ナップ構造、両側プレートのモホの深化等が手に取るように良くわかるのは、驚きである。

4. 日本における探査上の留意点

アルプスのようなところでも良い結果が得られているということは、日本での探査を考える際に大いに元気づけられるところである。しかし日本での探査で最も問題と



第4図 NFP 20 によるスイス・アルプスでの探査結果の線描図。衝突している両側のプレートのモホが深くなっていることがよくわかる。Frei et al., (1989) による。



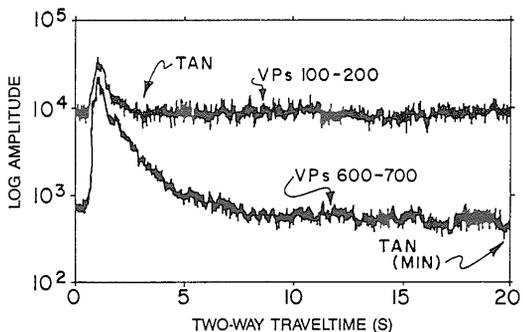
第5図 COCORP の Utah line 1, 3, 4 の探査結果と振幅分布。ここは Basin and Range から Colorado Plateau に到る部分に相当する。Basin and Range ではモホの深度がおおよそ 30km (往復走時約10秒)。Colorado Plateau ではおおよそ 45km (約15秒) であることがわかる。記録断面は Nelson (ed.) (1988) による。線描図および平均的振幅分布は Mayer and Brown (1986) による。詳しい説明は本文参照。

なるのは、そもそも日本の深部地殻に反射面として認識されるものが存在するかどうかということ、反射面が存在したとしてもその信号がノイズより有意に大きいかということである。以下に大陸との違い・ノイズ要因・ノイズ除去等について述べてみよう。

4.1 反射面が存在するか？

日本でも大爆破グループの観測記録の一部に反射波らしきものが捉えられることが時折ある。しかしこれは日本のほんの一部に限られており、極めて例外的であるらしい。従って日本においては大陸のように延々と続く反射面など期待してはいけないのかもしれない。こう書くと小論はここで終わりにしなければならなくなるが、本当に日本に反射面がないと結論するのはまだ早いと思われる。大爆破の観測条件 (例えば、観測密度、卓越周波数帯域、データ・レコーダーのダイナミック・レンジ等) を考えると、まだやるべきことは残されているように感じられる。水平スケールの小さい反射面が断続的に存在する場

合、たとえ大振幅の臨界反射波が存在しても観測密度が高くなければ反射波として識別できない。それに引換え、反射法は垂直反射に近い波(振幅は小さいが)を高観測密度で捉えようとするものであるから、スケールが小さくても面として識別できる可能性がある。大爆破で見ている周波数帯域は数 Hz~10Hz 程度であるが、もしかするともっと高い周波数帯域で見なければならないのかもしれない。また何らかの原因により、反射波の振幅が大陸に比して圧倒的に小さい場合、広いダイナミック・レンジを持つレコーダーを使用する必要があるだろう。このようなことを考えれば、深部反射法を行う余地はまだ十分あると思われる。ただし大陸での観測パラメーターを上回るような探査が必要であることは確かであろう。たとえ日本では反射面が存在しない、あるいは反射波を全く捉えられないという結果になったとしても、最善の観測パラメーターで探査を行う必要がある。



第6図 ノイズの有無による振幅の挙動の違い。環境上のノイズが大きいと意味のある信号を覆い隠す。Mayer and Brown (1986) による。

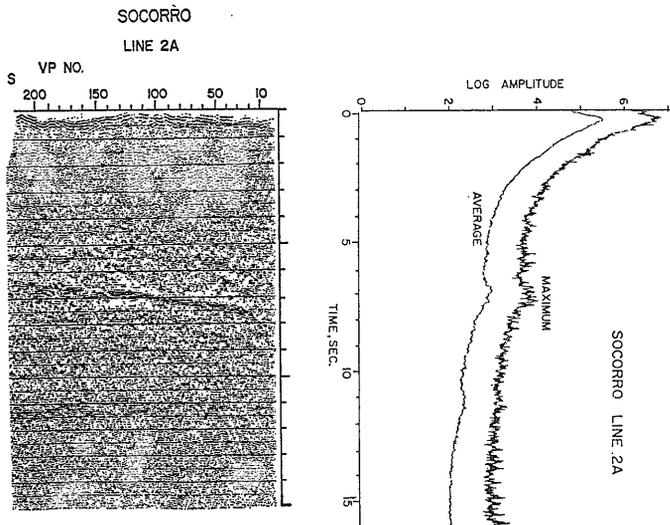
4.2 ノイズ要因

ここで扱うノイズには、構造上の要因によるものと、環境上の要因によるものが含まれる。構造上のノイズについては既に、横倉・宮崎(1989)、横倉(1990)で詳しく述べたのでここでは繰り返さない。ただ、表層あるいは上部地殻の地質条件によっては深部地殻に反射面が存在したとしても、記録断面上で認識できないことが往々にしてあるということだけを述べておこう。後でその実例を示すことにする。環境上のノイズは、狭い国土に多くの人間が生活する日本のようなところでの探査に最も深刻な影響を与えるものかもしれない。

以下にアメリカのいくつかの例を見ながらノイズについて考えていこう。第5図に COCORP の Utah line 1, line 3, line 4 の処理結果(Nelson (ed.), 1988), およびその線描図・平均的な振幅分布 (Mayer and Brown,

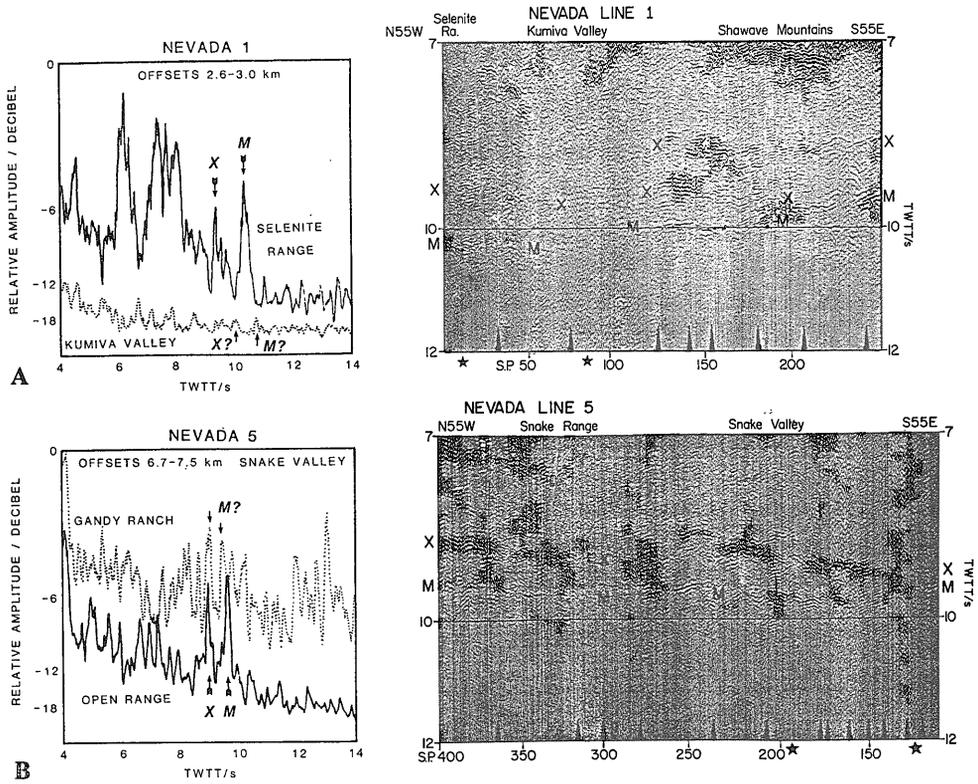
1986) とを示す。振幅は dB (デシベル) で表されている。ちなみに、20dB は 10 倍の、40dB は 100 倍の振幅に相当する。第 5 図の振幅は最小振幅から測った相対的なものである。これらの断面上にはいくつかの反射波の空白域が認められる。例えば、(1) line 1 の走時約 10 秒以上の部分、(2) line 3 の約 4 秒以上の部分、(3) line 4 の VP (Vibration Point) 200 以西の 3 秒以上の部分、(4) line 4 の VP 300~700 の 2~7 秒の部分、および (5) line 4 の 15 秒以上の部分、である。このうち(1)と(5)は、使用された周波数帯域に対してマントルが透明、すなわち構造がないことによっている。(4)は、同様にこの部分の上部地殻が構造を持たないためである。(2)は、断層などにより表層が複雑な構造を持つため、波が減衰したり波線が曲がったりして、十分下部に伝わらなかったことによる。すなわちこれが構造上のノイズである。(3)は、この部分が市街地であったため、周囲に比してノイズ(環境上のノイズ)レベルが一桁以上高かったことによる (Mayer and Brown, 1986)。 (3)と(4)の部分の振幅分布を比較したものが第 6 図である。VP 100~200 では 3.5 秒付近で既にノイズレベルになり、振幅がほぼ平らになっているが、VP 600~700 では 15 秒以上でも信号が存在しており、ノイズレベルより有意に大きい。

他の地域の様子を調べるため、文献に見出せるいくつかの振幅分布の実例を示そう。第 7 図は Socorro line 2 A (Brown et al., 1980), 第 8 図は Nevada line 1 と 5 (Klemperer et al., 1986), 第 9 図は Nevada line 7 (Potter et al., 1987), 第 10 図は Nevada line 5 (Hauser et al., 1987), 第 11 図は Chugach line 2 (Fisher et al., 1989), 第 12 図は Oregon line 2 (Keach et al., 1989) か

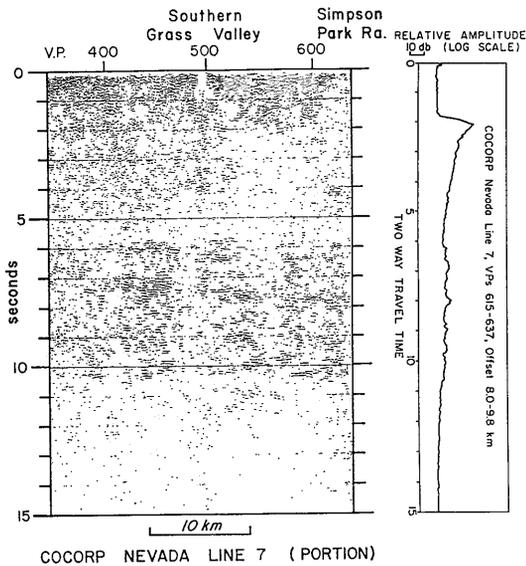


第7図

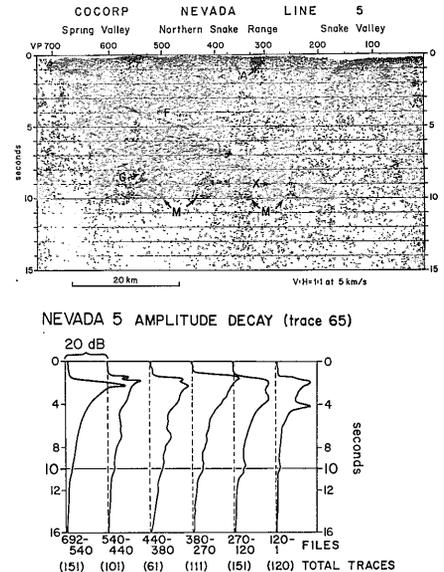
Socorro line 2A の探査結果と平均的な振幅分布。7秒および11秒付近にはっきりとしたピークが見られる。11秒付近はモホに対応する。7秒付近は地殻中部のマグマ溜りに相当すると考えられている。Brown et al. (1980) による。



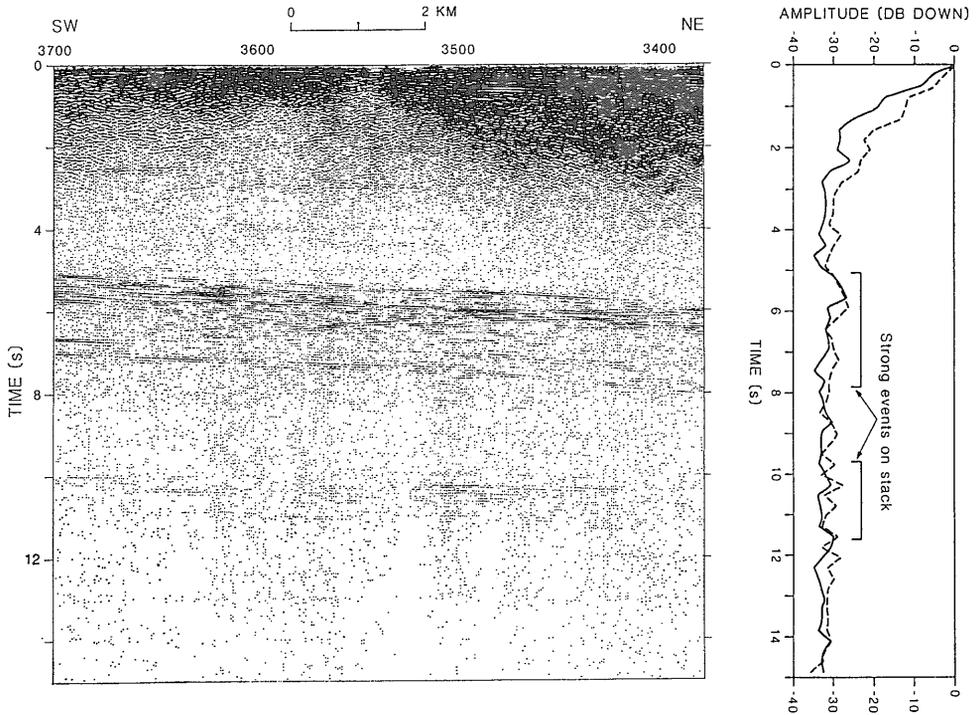
第8図 Nevada line 1 と 5 の探査結果の一部と振幅分布。それぞれ★印の部分の振幅を示す。実線は反射波の良く認められる部分。破線は構造ノイズ(Aにおいて)、環境ノイズ(Bにおいて)の大きい部分をそれぞれ示す。Klemperer et al. (1986) による。



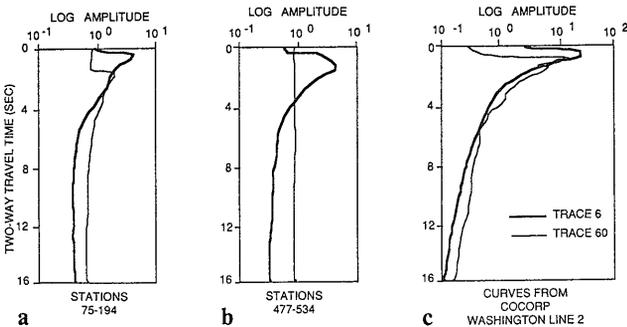
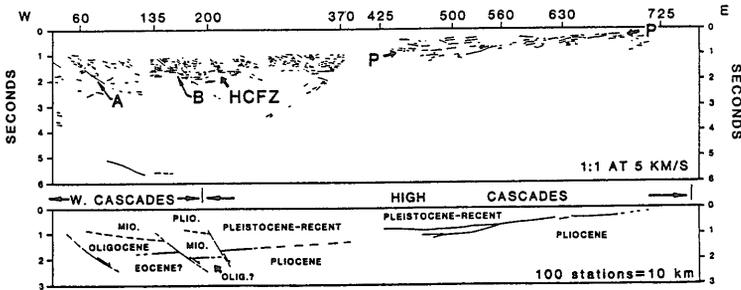
第9図 Nevada line 7 の探査結果と振幅分布。反射面の多い下部地殻に対応して 6 秒～11 秒で振幅が大きくなっている。Potter et al. (1987) による。



第10図 Nevada line 5 の探査結果(第8図より広い部分をカバーしている)といくつかの特徴的な部分の振幅分布。Hauser et al. (1987) による。



第11図 Chugach line 2 の探査結果（振幅調整はしていない）と振幅分布。破線は VP 3500，実線は VP 3600 の部分に相当。Fisher et al. (1989) による。



第12図

Oregon line 2 の線描図と振幅分布。太線，細線はそれぞれ震央距離0.9km，6.0kmにおける平均的振幅を示す。比較のため Washington line 2 の例も示されている。ノイズレベルが高く深部のことは全くわからない。特に震央距離が大きい部分では S/N が極めて悪い。Keach et al. (1989) による。

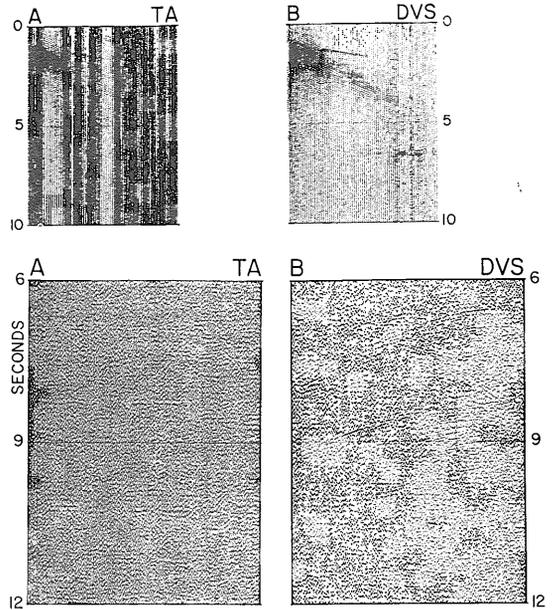
らの振幅分布である。これらの図で振幅がほぼ一定の値を示すところが環境上のノイズレベルである。第7図では最大振幅から約60 dB下でもまだノイズレベルに達して、7秒と11秒付近の反射に対応するピークがはっきりと認められる。第8図も構造上のノイズと環境上のノイズの良い例となっている。line 1の破線の場合、第四紀堆積物のある谷に発振点があり、十分にエネルギーが下部に伝わらなかったため振幅が小さくなり、実線に見られる顕著な反射X、Mは同定できない。すなわち構造上のノイズの例である。一方、line 5の破線の場合、環境上のノイズが大きく、反射波の同定はむずかしい。第9～11図では、減少していく振幅曲線上に、反射に対応して山あるいは高原状のピークがそれぞれ認められ、良い結果を得ている。第12図は、条件の悪い例のひとつで、3秒以上の部分に反射波は認められない。それに対応し、振幅も約4秒程度のところでノイズレベルに達している。これは大きな環境上のノイズによっているが、それ以外にも、同地域が火山地帯であり、表層での減衰が大きめという構造上のノイズにも恐らくよっている。

これら一連の振幅分布図からわかるように、深部反射波を捉えようとする、ノイズレベルは表層付近の反射波の振幅よりもおよそ20dB～60dBも小さく（言い換えると、1/10～1/1000）なければならない。COCORPの多くの地域で探査がうまくいった最大の理由は、環境上のノイズが非常に小さかったからである。特に人の住まない、岩石沙漠などでは本当にノイズがないと言っても良いほどだそうである。それに比べ、日本では環境ノイズがおそらく40dBあるいはそれ以上大きいのではないかとされている。従って、アメリカにおけるように深部地殻に大反射面があったとしても、それを捉えるのはかなり難しいということは確かである。

4.3 ノイズ除去法

上記のようなノイズを少しでも抑えるための方法についてここで少しふれておこう。そのための方法としては、

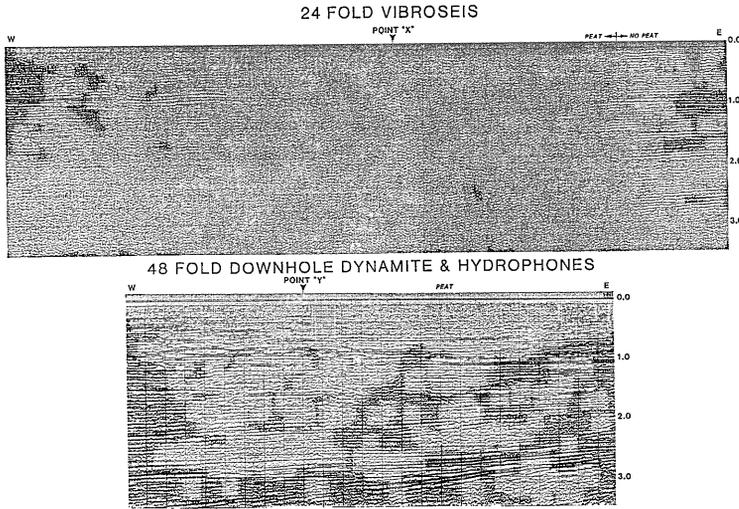
- (1) 震源の出力を大きくする
- (2) CDP 重合数を増やす、あるいは CDP 間隔を狭くする
- (3) 垂直重合（注2）の数を増やす、あるいは垂直重合の方法を変える
- (4) 受振器や震源を地下の比較的固くなった地層まで埋める
- (5) 風雨のないときを選んで探査する
- (6) 交通の幹線から離れたところで探査する
- (7) 夜間に探査する
- (8) 発想を転換して、地質構造に平行に測線を設定す



第13図 垂直重合法の改良によるS/Nの改善。A：何の操作もほどこさずにそのまま重合したもの。B：diversity stack という特別な重合法によるもの。上段は垂直重合後のショット・ギャザー、下段は処理断面の一部。特に斜めの反射に注意。Klemperer (1987) による。

る

といったことが挙げられる、あるいは、といったことしか挙げられないと言った方が適切かもしれない。(1)～(4)は積極策、(5)～(8)は消極策と言えらる。 (1)は例えばダイナマイトの薬量を増やすことである。(2)は有効な方法である。重合数を増やすと相対的に信号が強調される。また CDP 間隔を狭く設定すれば、小さいスケールの構造を見つけ易くし、結果的にS/Nを上げたことになる。しかし CDP 重合の場合、使用する探査機材による制限がある。従って狭い CDP 間隔と、深部を高精度で求めるための長い展開長とは、あちら立てればこちらが立たずという関係にある。(3)は、同様にして重合することにより S/Nを上げる。また同一発振点で取得したデータをそのまま現場で重合するのではなく、データ処理の段階で様々な工夫をしてノイズを抑えることも必要である。例えば詳細は述べないが、diversity stack と呼ばれる重合法を使用すると、単純な重合よりもはるかに良い結果を得ることができる。第13図にその例を示す(Klemperer, 1987)。(4)はかなり有効である。第14図に震源・受振器とも埋設した例を示す(Vuillermoz et al., 1987)。これは深部反射法ではないが、その有効性は一目瞭然であろう。(5)に関しては、風や雨があるとノイズレベルは20～40 dB程度簡単に上がってしまうので、避け



第14図
震源・受振器の地表設置と地下15m設置との探査結果の比較。地表にはピークが堆積しており、そこでエネルギーの多くが減衰するため、地表震源・受振器ではS/Nが悪い。探査条件および諸元に多少違いがあるが、地下設置の有効性は明らかである。Vuillermoz et al. (1987) による。

た方がよい。特に台湾低気圧（東シナ海低気圧）、台風の時期には注意が必要である。また(6)と(7)に関して、環境ノイズを避けるため、幹線道路から離れたり、夜間に探査を行うことも必要であるかもしれない。例えば第4図のアルプス越えの探査の際には、ほとんどすべての探査が夜間に行われたという(Werner, 1987)。この場合、30 km 近い展開長があったため、昼間は常にどこかで交通ノイズが入ってしまう。そのため交通量の少ない夜間に行わなければならない。また(8)は、構造ノイズを抑えるため、複雑な反射面が予想される構造線等を横切らずに、各構造単位内で測線を設定し、反射面を捉え易くしようというものである。ただし各構造単位毎に測線を設定しなければならず、効率が悪い。この他にも、障害物等による発振点・受振点の欠落を極力抑え、重合数のばらつきを少なくするような、努力も必要であろう。

ひるがえって我々の探査について考えてみると、限られた予算の中ではここで挙げた方法ですら実行するのはなかなか困難である。(1)から(8)までのすべてが実は、人件費・探査日数の延長等により、大幅に探査費用をふくらませるものとなる。こういった条件の中で、実行可能なノイズ対策を講じなければならない、という立場に我々は置かれているのである。

5. おわりに

以上しまりのない文章になってしまったが、「深部地殻に関する研究」の経緯、COCORP等の結果に見られるノイズ状況、日本において予想される状況等について

述べた。我々としては、日本における深部反射法が非常に難しいものであるということはよく認識している。特に平成元年度のテストは諸般の事情により、地質構造の複雑な北海道の日高地域で行うことになっているため、環境上のノイズばかりでなく、構造上のノイズも大きな影響を与えるかもしれない。今は探査を行う前である(小論が出版されるのは、テスト探査の終了直後の頃であろう)から、このような気楽な紹介の文章を書いていられる。しかし実際に探査を行ったら、とても紹介の文章を書く気にならないような結果しか出ないのではないかと、ひたすら恐れているのが実情である。

現在の心象としては、日本でも東北の北上地域とか中国地方の一部などでは、反射波が得られるのではないかと予想している。本来はそういう反射波の最も捉えやすいところでテストを行うべきであることは、我々も良く理解している。そういう意味では平成3年度の東北での探査が、特に北上地域での探査が最初の真の意味でのテストと言えるかもしれない。

まだすべての面で手探りの段階であるため、こういった深部探査に興味を持つ多くの方々から意見を戴きたいと考えている。また将来、深部反射法によって良好な結果が得られるならばデータを公開し、他機関の研究者とも連携して、深部地殻の研究を突き進むものとしていきたいと考えている。

注 1 Conoco Inc. の登録商標。

注 2 同一の発振点において何度もデータを取得し、重ね合わせることで、信号を強調し、ランダムノイズを相対的に抑えること。

参 考 文 献

- Brown, L. D., Chapin, C. E., Sanford, A. R., Kaufman, S., and Oliver, J. (1980) Deep structure of the Rio Grande rift from seismic reflection profiling. *J. Geophys. Res.*, **85**, 4773-4800.
- Fisher, M. A., Brocher, T. M., Nokleberg, W. J., Plafker G., and Smith, G. L. (1989) Seismic reflection images of the crust of the northern part of the Trans-Alaska Crustal Transect (TACT). *J. Geophys. Res.*, **94**, 4424-4440.
- Frei, W., Heitzmann, P., Lehner, P., Müller, St., Olivier, R., Pfiffner, A., Steck, A., and Valasek, P. (1989) Geotraverses across the Swiss Alps. *Nature*, **340**, 544-548.
- Hauser, E., Potter, C., Hauge, T., Burgess, S., Burtch, S., Mutschler, J., Allmendinger, R., Brown, L., Kaufman, S., and Oliver, J. (1987) Crustal structure of eastern Nevada from COCORP deep seismic reflection data. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **99**, 833-844.
- Keach II, R. W., Oliver, J. E., Brown, L. D., and Kaufman, S. (1989) Cenozoic active margin and shallow Cascades structure: COCORP results from western Oregon. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **101**, 783-794.
- Klemperer, S. L. (1987) Seismic noise-reduction techniques for use with vertical stacking: An empirical comparison. *Geophysics*, **52**, 322-334.
- Klemperer, S. L., Hauge, T. A., Hauser, E. C., Oliver, J. E., and Potter, C. J., (1986) The Moho in the northern Basin and Range province, Nevada, along the COCORP 40°N seismic-reflection transect. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **97**, 603-618.
- Küppers, A. N.・鈴木尉元 (1987) ドイツ連邦共和国の大型プロジェクト“DEKORP”と“KTB”. *地質ニュース*, no. 396, 9-13.
- Mayer, J. R., and Brown, L. D. (1986) Signal penetration in the COCORP Basin and Range-Colorado Plateau survey, *Geophysics*, **51**, 1050-1055.
- Nelson, K. D. (ed.) (1988) *The COCORP Atlas*. INSTOC, Cornell Univ., Ithaca, NY.
- Potter, C. J., Liu, C., Huang, J., Zheng, L., Hauge, T. A., Hauser, E. C., Allmendinger, R. W., Oliver, J. E., Kaufman, S., and Brown, L. (1987) Crustal structure of north-central Nevada: Results from COCORP deep seismic profiling. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **98**, 330-337.
- Vuillermoz, C., Bertagne, A. J., and Delzer, R. (1987) Sacramento delta: new approach to seismic exploration in area of near-surface problems. *Oil and Gas J.*, Nov. 16, 63-66.
- Werner, H. (1987) Seismische Geotraversen quer die Alpen. *Prakla-Seismos Report*, 1+2/87, 46-61.
- 横倉隆伸 (1990) 地質調査所の陸上反射法地震探査—より浅部へそしてより深部へ—. *月刊地球*, **12**, 印刷中.
- 横倉隆伸・宮崎光旗 (1989) 反射法地震探査による深部地殻探査. *地質ニュース*, no. 414, 29-47.
-
- YOKOKURA Takanobu and MIYAZAKI Teruki: Seismic reflection profiling of deep crust in Japan
-
- <受付: 1989年12月22日>

新 刊 紹 介

「きょうりゅうのはかば」たかしよいち著

3月10日より5月27日まで、上野の国立科学博物館で大恐竜展が開催されるという。さて、上記の本は、子供のために書かれたものであるが、大人が読んで十分魅力のある本である。恐竜の生きていた世界だけでなく、これを発掘した人々の様子が感動的に描かれているためであろう。恐竜の卵や足あとの発見のようすが、最初の発見から、半信半疑ながらも推論し、それが次の発見へと続き、終いには恐竜が生きた世界の再現へと進んでゆ

くという描写はみごとである。この本を読んだ後では、地質標本館の卵や足あとと化石の展示が前にも増した輝きをもってきた。

同じ著者の別の本を買ってきた時、息子は、「発掘の場面があるか。」と最初に聞いた。この言葉が、この本の魅力を言い得ていると思う。ぜひ一読をおすすめしたい。(フォア文庫, 理論社 470円)地殻化学部 富樫茂子

<受付: 1990. 2. 26>