

音波探査の記録の解析

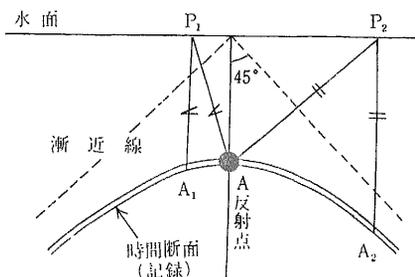
中条純輔

音波探査の記録は一見地下の断面図を思わせるものであり、いろいろの物理探査の記録の中でも最も地下構造の直観的なイメージに結びつくものである。しかし記録がそのまま地質構造の断面ではないことはいうまでもない。それには音波のさまざまな性質が関係している。多重反射、無指向性、散乱、伝播速度など種々の問題があるし、記録の表現方法によっても記録と地下の反射面の違いが生じてくる。

記録で認められた反射波から地下の反射面をだす過程を解析 migration と呼ぶ。これは、屈折法の解析 analysis のような面倒なものではなく、わりに簡単な幾何学的なものである。記録の反射面や解析された図面 profile から地質的な意味づけを行なうことは、解釈 interpretation といわれる。反射波の認定 pick up にはいろいろの地質的な意味づけを考えたり、音波の物理的性質を考えたりせねばならず、常に解釈と併行しながら進まなければならない。解析は反射波と認定さえできれば、ある程度は独立した作業としてできる性質のものである。次に解析の考え方と手続きを述べよう。以下の解析については説明を簡単にするために発振・受振ともに水面（解析基準面）上の同一個所で行なわれたことにする。それからとくにことわらないかぎり記録紙の垂直方向の掃引 sweep は、媒質の伝播速度で換算すると水平方向の尺度と同じになるとする。

独立した点の反射

海底面や地下構造の反射面が平面であるとき、それが記録上反射面として直線的に表現される。もし平面ではなく孤立した点が存在し、どちらからくる音波もそのくる方向に反射したとすると、記録はどのようなパターンになるのであろうか。水平と垂直のスケールが等しい場合にこれは直角双曲線になる（第1図）。



第1図 点の散乱と時間断面
A点の時間断面は直角双曲線になる
 $AP_1 = A_1P_1$ $AP_2 = A_2P_2$

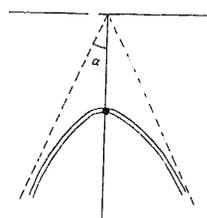
媒質中に反射点Aがあり、これをP₁で観測するとP₁Aの距離（時間）で観測される。記録方式としてはP₁の真下に表わされるからA₁に記録されてP₁AとP₁A₁は等しい距離である。同様にP₂で観測したAはA₂に表わされる。このA—A₁—A₂の軌跡は双曲線になる。双曲線の漸近線はAの真上の水面の点を通り直交する2直線である。こうして反射点Aは記録の上ではA点を頂点とする直角双曲線になる。このような記録の図を時間断面図 (Time Section, Vertical Representation) という。またこの反射点のように入射した音波をいろいろの方向に返す現象は広い意味で散乱 (scattering) と呼ばれる。しかし、波動論的には散乱と反射は現象として異なっても根本的には同じことである。散乱の起こることは点の場合だけに限らない。反射面が急に終わる場合、たとえば断層などでもその端からでることがある。このように双曲線状のパターンは構造そのものではないので記録上にでた場合は、それを構造と考えずにその発生する原因をよく調べなければならない。実際の記録では垂直と水平との尺度が違うことが多い。この尺度の比を尺度比あるいは誇張度 (exaggeration) と呼びSと表わす。尺度比が1より大だと双曲線の漸近線と垂直線のなす角は45°より小さくなり、その角をαとすると

$$\cot \alpha = S$$

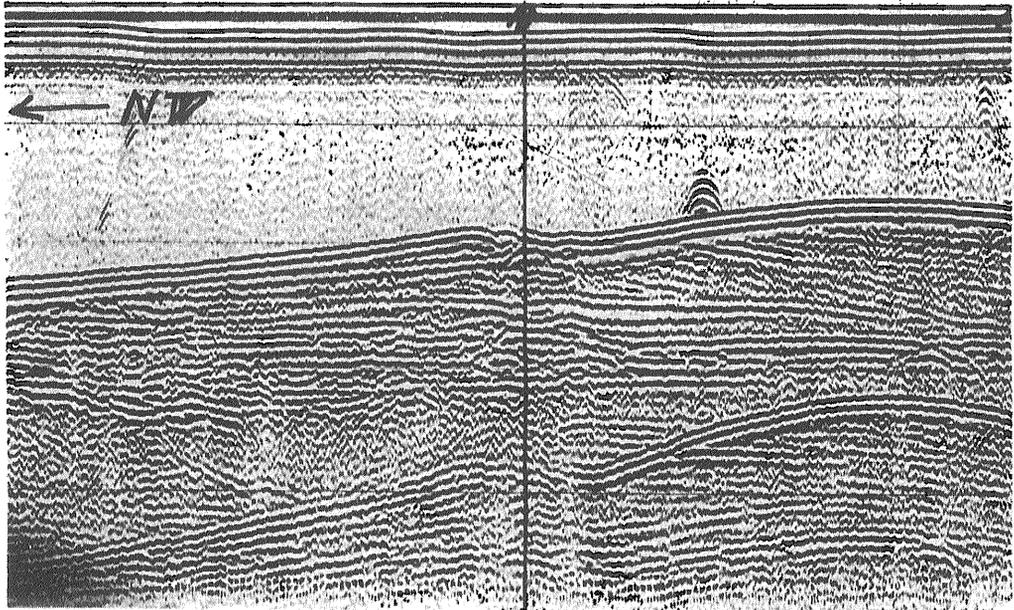
の関係がある（第2図）。

尺度比Sは構造が平坦で大規模なものならかなり大きくとる（大西洋の深海の構造などには10～15位にとっている例がある）が、普通は3～6位にする。それはその程度に構造を水平方向に圧縮して誇張すると見やすいということと、Sが3でαが18°、Sが6でαが10°位になるので双曲線状のパターンが他の地層の反射と区別しやすくなるという2つの利点がある。

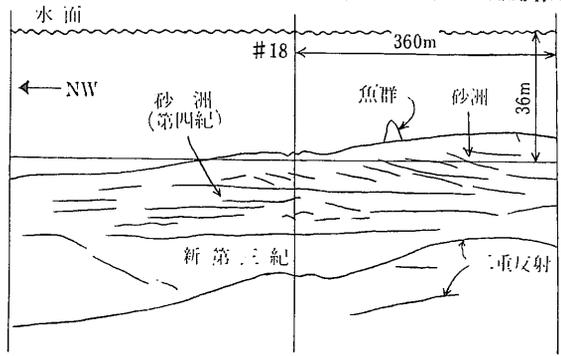
第3図の例は、島原海湾内の海底砂洲で観測した魚群の記録である。魚群は反射点の集まりなので統計的な要素も入ってくるが、とにかく明らかな双曲線状のパターンを示している。断層で地層の反射面が急に終わる末端からは散乱波が発生することがある。発生しないこともあり（それが何で支配されるかはわかっていない）散乱



第2図 散乱時の漸進線
垂直・水平の尺度をSとする
 $\cot \alpha = S$



第3図
有明海の三角沖における記録 魚群が双曲線状のパターンを示している



$\cot \alpha_1 = S \sin \theta$
となる(第4図)。

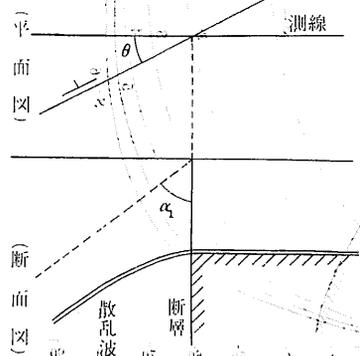
反射物が点でなく半径Rの球(上半分だけの半球も同じ)の場合には その時間断面は図に示すような双曲線になる(以下すべて $S=1$ とする)。すなわち 球の中心に反射点がある場合にできる双曲線を平行にRだけ上に移動したものであり したがって漸近線の中心も水面からRだけ上にあがる(第5図)。

P点からでてAで反射した音が A' に記録されたとする。OA は常に半径Rであるから A' はOの時間断面である双曲線をRだけ上にあげたことと同じである。

波は双曲線であり $S=1$ なら $\alpha=45^\circ$ であった。これは二次元的な場合であって 断層は観測船の進む方向に垂直(記録紙に垂直)に続いているときだが 断層の切り口の線が測線と斜交するときは 45° より大きくなる。測線と断層の切り口のなす角を θ とし 漸近線の角を α_1 とする。

$\cot \alpha_1 = \sin \theta$

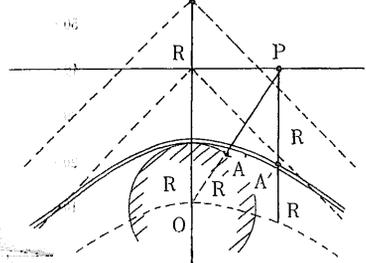
となり 尺度比があるときは



第4図 断層と測線が斜交する場合 $\cot \alpha_1 = S \sin \theta$ 記録は二重線で反射面はハッチで示す

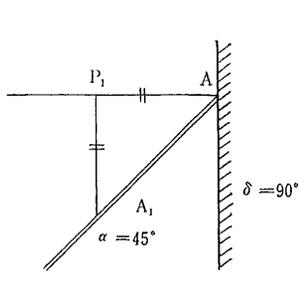
平面の反射

音波探査では 超音波の測深器のような指向性がないので どこから反射してきた音波でも記録では垂直の下方に描いてしまう。こうして時間断面が作られる。反射面が水平の場合にはちょうど一致した記録が表わされるが傾斜のある場合は違ってくる。またその反射面は立体的に見ると測線を軸として回してみてもさしつかえないという自由度が残る。反射面は測線を交差して取らない限り一義的には原理的に決まらない。しかし

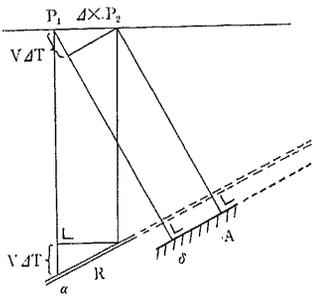


第5図 球の時間断面も双曲線である 双曲線の中心は水面より半径Rだけ高い

構造に対して垂直に測線がとられていれば一応二次元的に扱ってよいことになる。その二次元的な場合でも平面の反射面と記録とは一致しない。極端な場合として反射面の傾斜角 δ が 90° で垂直に立っている場合はその記録の傾斜角 α は 45° にな



第6図 傾斜角が90°の垂直な反射面は45°の傾斜した時間断面になる AP₁=A₁P₁



第7図 A—反射面 R—記録 この2線は測線上で交わる $\sin \delta = \tan \alpha$

りこの関係は第6図から容易に理解できる。δが0°のときはαも0°であり δが90°のときはαが45°であるが一般にはどうかというと

$$\sin \delta = \tan \alpha$$

という関係が成り立つ。

これについて第7図で説明しよう。反射面Aで音波は垂直に入射し反射する。この反射波は記録Rでは垂直下方に記録される。それで観測点 P₁, P₂ の距離を 4X とし P₁ と P₂ の反射波の走時差を ΔT とすると反射面については

$$\sin \delta = V \Delta T / 4X$$

が成り立ち 記録については

$$\tan \alpha = V \Delta T / 4X$$

が成り立つ。したがってこの2式から前記の関係が成り立つ。この2つの直線を延長すると水面で交わる。傾斜角があまり大きくない間は $\sin \delta = \tan \alpha$ をそのまま $\delta = \alpha$ とし すなわち解析を全く行なわないでも目的によってはじゅうぶんなこともある。たとえば地層の傾斜角 δ が 10° のときの記録の α は 9° 51' の傾斜であるから誤差は 1.5% にすぎない。しかし δ が大きくなると誤差も急激に大きくなってゆく。

傾斜面の2重反射では δ が2倍の面から反射したことと等しいが 記録の傾斜は α の2倍よりは小さくなる。いかなる反射でも多重反射でも α が 45° をこすことはない。もしこのような波が観測されたら それは雑音が偶然にならんだものか 幾何光学的な音波としてはありえない性質 (たとえば弾性体における表面波のような) のものである。

記録 (時間断面) に垂直水平縮尺比 S があるときは α は誇張されて大きくなり 前記の関係は次のようになる。

$$\sin \delta = \tan \alpha / S$$

この α と S に対する δ を表にすると第1表のようになる。

δ と α が小さければ

$$\delta = \alpha / S$$

なる近似式が成り立ち この近似が10%以内の誤差で成

	S=1	S=2	S=3	S=4	S=5	S=6
α	δ	δ	δ	δ	δ	δ
0	0	0	0	0	0	0
2	2°00'	1°00'	0°40'	0°30'	0°24'	0°20'
4	4°00'	2°00'	1°20'	1°00'	0°48'	0°40'
6	6°02'	3°01'	2°01'	1°30'	1°12'	1°00'
8	8°04'	4°02'	2°41'	2°00'	1°37'	1°21'
10	10°09'	5°05'	3°22'	2°31'	2°01'	1°41'
12	12°17'	6°06'	4°04'	3°03'	2°26'	2°02'
14	14°26'	7°10'	4°46'	3°34'	2°51'	2°23'
16	16°40'	8°15'	5°31'	4°07'	3°17'	2°45'
18	18°58'	9°21'	6°13'	4°40'	3°43'	3°06'
20	21°21'	10°30'	6°58'	5°14'	4°11'	3°29'
25	27°48'	13°29'	8°57'	6°42'	5°21'	4°28'
30	35°16'	16°41'	11°06'	8°18'	6°38'	5°31'
35	44°27'	20°29'	13°38'	10°05'	8°03'	6°42'
40	57°00'	24°48'	16°15'	12°07'	9°40'	8°02'
45	90°00'	30°00'	19°28'	14°29'	11°33'	9°36'
50		36°35'	23°24'	17°20'	13°47'	11°28'
60		60°00'	35°16'	25°40'	20°16'	16°47'
70			66°20'	43°23'	33°20'	27°15'
80						76°57'

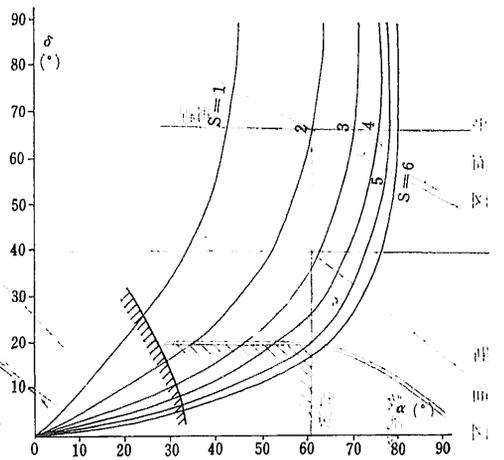
第1表

り立つ範囲を太線で示してある。これは実用上たいそう便利なことだ。たとえば記録上の傾斜角が30°で尺度比が5なら地層の傾斜は6°である。第8図は第1表を図化したものである。

曲線の反射

以上で点と直線の反射について述べたが 一般には反射面も記録も曲線の場合が多い。さらに一般には観測点も水平とは限らない。このような一般的な場合は次のようになる。

記録の座標を (x, z) 発振点(発振点および観測点)の座標を (X, Z) 反射点までの距離を R 反射点の座標を (u, w) とする。R は X の関数として記録から読み取られる量であり x, z は測量で測る量である。



第8図 $\sin \delta = \tan \alpha / S$ (第1表の図示) ハッチの線以内では $\delta = \alpha / S$ の近似 (直線近似) が10%以内の誤差で成立つ

求める (u, w) は 次の2つの微分方程式から (x, z) を消去して数値的に解いて求める。

$$(u-X)^2 + (w-Z)^2 = R^2$$

$$-\frac{u-X}{R} - \frac{u-Z}{R} \cdot \frac{\partial Z}{\partial X} = \frac{\partial R}{\partial X}$$

音波探査のように観測点が水平の場合には $x=0$,

$\partial z / \partial x = 0$ であるから

$$\left(\frac{\partial R}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{w}{R}\right)^2 = 1 \quad -\frac{u-X}{R} = \frac{\partial R}{\partial X}$$

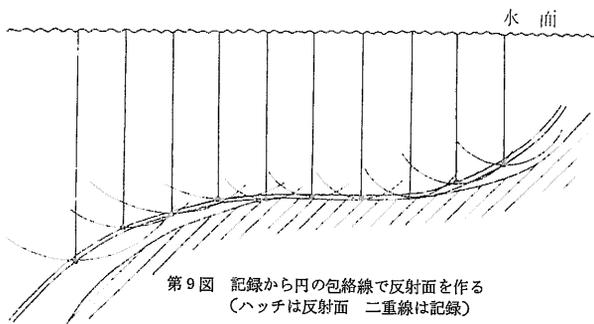
と簡単になる。 前述の双曲線や直線の場合も R にその式を入れて解析的に微分方程式を解けば結果が一致することはいうまでもない。

しかし 前述の式は理論的な扱いには必要でも実用上はたいして役に立たない。 幾何学的な考えとして役立つのは円による包絡線である ($S=1$ の場合に限る)。

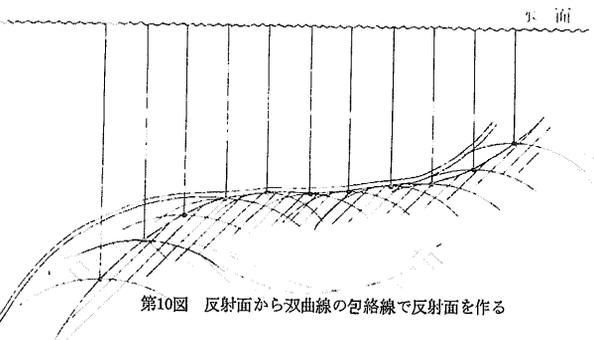
すなわち 記録に表われた各観測点と反射点の距離を半径として円を描いて進み その円群の作る包絡線が反射面であると考えることである (これは反射の法則に基づいている。(第9図)。

逆に考えて反射面が決まったときにどのような記録ができるかを調べる場合は各点を頂点とする直角双曲線を描いて進みその包絡線が記録になるのである (反射面はその各点がすべて散乱波をだし その合成として反射波が形成される。これはホイゲンスの原理である) (第10図)。記録から円の包絡線で解析 migrate する事と反射面から双曲線の包絡線でその記録を作ることはちょうど逆の変換に相当する。この変換をまとめると第11図のようになる。

円による包絡線の方法も音波探査に関しては考え方と



第9図 記録から円の包絡線で反射面を作る (ハッチは反射面 二重線は記録)



第10図 反射面から双曲線の包絡線で反射面を作る

しては大切だがあまり実用的でない。なぜなら記録はすべて尺度比 S が1でないのが普通だから 1度垂直水平と同じ尺度にもどす手間があるからである。それで最も実用的なことは曲線を幾つかの直線に分解して各直線につき前述の方法を用いることであろう。

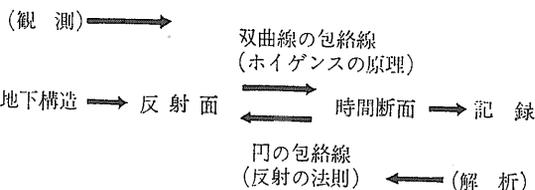
2, 3 の例

次に 2, 3 の例につき反射面の形を指定してそれによる記録を描く。第12図のように反射面が山の場合には山の頂点から散乱波が発生し 山の頂点と一致した双曲線として両側に作る。そして山の側面の反射が位置と傾斜角を変えた直線として記録される点において双曲線につながる。山の側面の記録は水平な反射記録と交差しさらに下に伸びる。山のすその折れ点ではやはり散乱波が双曲線の一部として広がり双方の直線と接する。

実例として天草下島本渡の沖で観測されたダイクを示す (第13図)。この記録では岩脈の側面で散乱波が海底面と交差しているが これはすでに説明したように記録上の変形のためであって 地層中の反射面 (ダイクの側面) ではない。それは2重反射を見るといっそうよくわかる。2重反射には散乱の双曲線はでていない。反射波より散乱波の方がエネルギーが逸散しやすいので観測されない。

第14図のごとき谷の場合にも記録はもとの反射面とはかなり異なったものとして観測される。谷の落ちはじめの点を頂点とする双曲線が両端から広がり 谷壁の直線部に接続する。この2つの線は真の谷底より浅くゆるい角度で交差する。谷間からは図のように回折波が発生する。これらの例が海底地形の場合には水面に近い浅い方はよく観測されるが 交差した点よりは深い方では観測がむずかしく見落とすおそれがある。

第15図は上記のケースの実例である。これは音波探査ではなく P. D. R. (precision deepsea recorder) によってニューヨーク沖のハドソン海谷を横切った例であり 底部の散乱波もよくでている。この記録で交差した反射がよくでているのは海底が深くて信号がよく分離



第11図 記録と反射面の変換の関係



第12図 山形の反射面の記録 山の頂点が散乱を出しみかけ上幅広くみえる

されていることも理由の1つである。

第16図の例は島原海湾の早崎海峡で観測された例である。記録上交差した谷底の反射波はかなり複雑である。

第17図のように正弦波形の反射面があるときの記録は図のごとく正弦波より波の山が広がり谷が狭くなった形になる。これは水面から記録までの長さを半径として円を描いてみればわかる。本図や第15図の例のように一般には山は見かけでは平らになる傾向に谷は狭くなる傾向に変形する。このような反射面で2重反射が起こる場合の音波の径路の決め方はかなりやっかいである。しかし山が谷壁等に比べると相等的には平らになり谷が鋭くなる傾向はいつそう強まる。

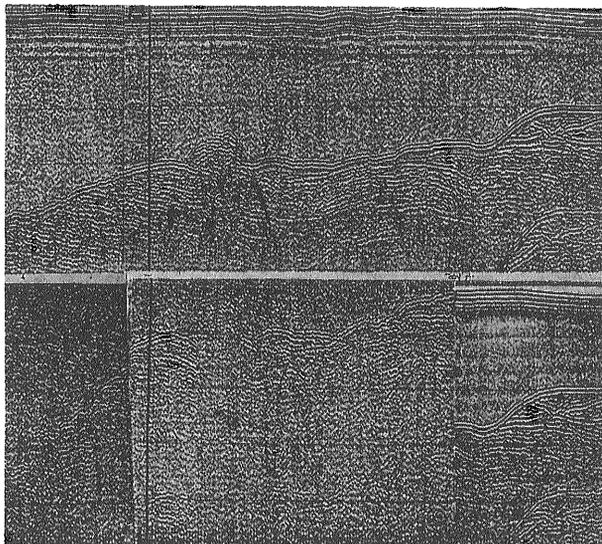
伝播速度

音波の媒質中の伝播速度はすべて一定として以上では考察してきたのであり記録紙には水の速度1,500m/秒に等しいと仮定して深度マークを書き込んでいる器械もある。しかし実際には媒質の伝播速度が変わるしまた変わらなければ反射という現象も起こらないはずである。一般には水に飽和した泥や砂等の石化してない堆積物は1,500m/秒より少し早い場合が多いが特別の状態では少し遅いこともありうる。岩石の場合には1,500m/秒より早い。多くの経験によると日本では第三系では2,000~4,000m/秒位中生界古生界では4,000~6,000m/秒位が多い。深成岩や変成岩も

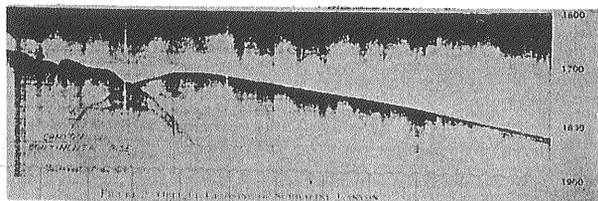
4,000~6,000m/秒位で水の伝播速度の2倍以上ある。したがって水に比べると深い所まで早く音が伝播するために見かけ上浅く見えてくる。そのために水の伝播速度によるスケールを使うと反射面の深さが誤って浅く読み取られることになる。真の深さを知るためにはどうしても媒質の伝播速度を知らねばならない。速度の決め方にはボーリング孔におけるウェルシューティングを行ったり孔井内の速度検層やコア資料の速度測定を行なうこともあるし屈折法によって速度を決める方法もある。しかしいずれにしても反射を用いる場合は屈折法のように速度と深さの両方を決めることはむずかしい。

これらの方法を海底で行なうことは技術的に非常に困難な場合が多くしかも費用のかかることであるからなかなか簡単に行なえない。それで反射面の深さを決めることはだいたいの地質的な状況から岩石を推定してすでに測定された岩石の資料や屈折法による速度分布と対応して決めるようなことなので精度は場合によってはかなり悪い。

反射法から媒質の速度を求めることはむずかしいと述べたが特別な場合には可能なことがある。媒質内に散乱源があつて散乱波をだす場合である。点や球の散乱波が双曲線状のパターンを示すことはすでに述べた。そして垂直方向の掃引が水中の音波の早さに等しければ直角双曲線になり漸近線は鉛直線と45°で交わった。



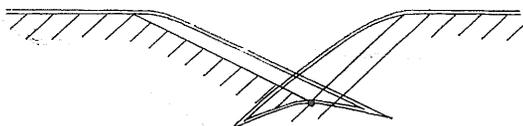
第13図 天草の本渡沖のダイクの例



第15図 ニューヨーク沖のハドソン海谷の例(B. Heezen になる)海谷で反射面が交差しているなおこの記録の上端は水面ではなく1,600ヒロである



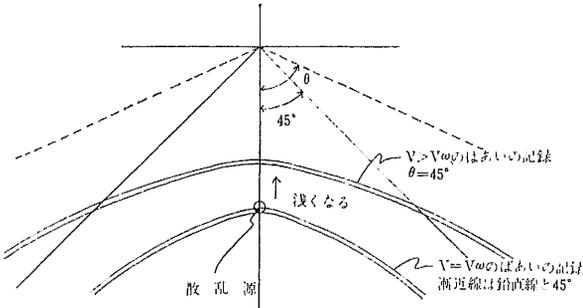
第16図 早崎海峡における海釜の記録例



第14図 谷形の反射面の記録谷側面が交差する



第17図 山は広がり谷はせまくなるような変形をする



第18図 速度の違いによる回折波双曲線の違い
 $V > Vw$ のばあいの記録 $\theta > 45^\circ$
 $V = Vw$ の場合の記録漸近線は鉛直線と 45°

しかし速度 V が水中の音速 Vw より大きいと漸近線と鉛直線のなす角 θ は 45° より大きくなり $\tan \theta = V/Vw$ なる関係で結ばれる。縮尺 S を考えに入れてとけば速度 V は

$$V = VwS \tan \theta$$

となる(第18図)。したがって求める手順は 観測された双曲線上のパターンから漸近線をだし それが鉛直線となす角 θ から解く。この際 漸近線は水面で交わる必要はなく 水面からの高さ r が散乱源の見かけ半径になる。双曲線が

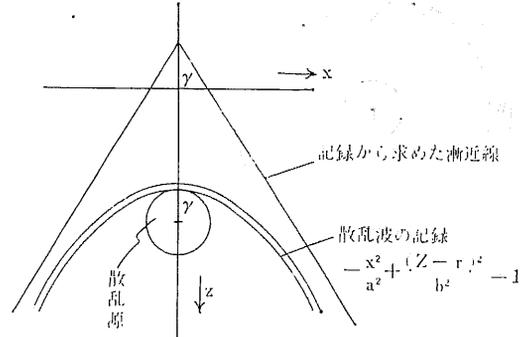
$$-\frac{x^2}{a^2} + \frac{(z-r)^2}{b^2} = 1$$

の形で表わされれば $\tan \theta = a/b$ であり r が見かけ半径であって $V = SVw a/b$ である(第19図)。この方法にはいくつかの難点がある。

- (1) 媒質内部の散乱波の発生がわりに特殊なものである。
- (2) 双曲線が漸近線にじゅうぶん近づかないと速度の精度がでないが 実際にはよく観測されない。
- (3) 散乱源は球に限らないが球で近似している。
- (4) 水の層があると屈折のため非常に複雑になる。
- (5) 散乱源が2次元的に広がると(例; 断層)速度に関係なく双曲線が広がることがある。

これらの理由で散乱波で速度を示す方法は精度が悪い。実際には比較的海底に近い第四紀の堆積層などの場合には水の速度と大差ないから概査程度の目的には1,500m/秒としてじゅうぶんであるし 何本かの測線の記録を相対的に比較検討する場合もこのような近似が許されることがある。

速度が深さとともに増加する現象はミラージュといわれ

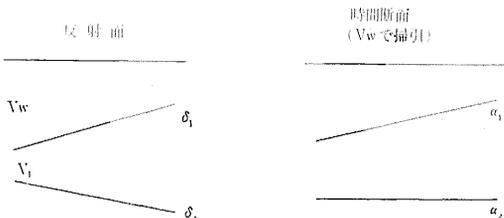


第19図 散乱時から速度を求める

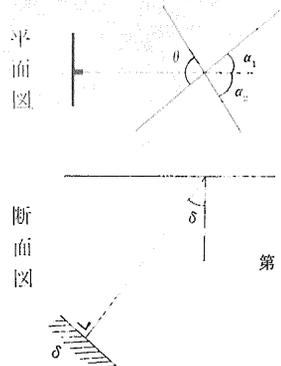
$V = V_0 + kz$ 等の式で表わされる(これ以外にも種々の近似式がある)。たとえば 東北日本のある油田地帯では経験的に $V = 1,650 + 0.6z$ を用いたり 北九州のある古第三紀の地方では $V = 3,410 + 1.0z$ を用いたりする。このようなミラージュ層では音波は直進せずに円弧を描いて進む。地震探査反射法ではその円弧にしたがって解析するのであるが 音波探査の場合には探査深度が浅いので その平均的な速度を用いても誤差は大きくない。速度が一定の場合 散乱波は双曲線(2次曲線)になったが ミラージュ層の場合は3次曲線になり漸近線は存在しなくなる。速度の変化による影響は深さの変化のほかに見かけの傾斜角の変化にも表われる。探査の目的によっては深さの絶対値はさほど重要でないが 反射面の傾斜角は正しく必要な場合がある。速度が変わると傾斜角が変わって記録にでるばかりでなく 極端な時は逆転することもありうる。第20図反射面のようなケースに Vw より V_1 が大きいとすると Vw で掃引された時間断面では δ_1 は α_1 になって $\sin \delta_1 = \tan \alpha_1$ の関係があり δ_2 が α_2 に変わるとする。 α_2 が水平 0° になる条件は $\delta_1 \delta_2$ が小さければ近似的に

$$\delta_2 = \left(\frac{V_1}{Vw} - 1 \right) \delta_1$$

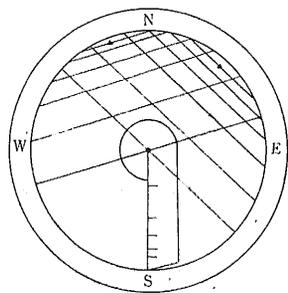
であって これより V_1 が大きいと δ_2 が小さいと α_2 は δ_2 の傾斜と逆になってしまう。(符号が逆になる) 実際



第20図
 $V_1 > Vw$ $\sin \delta_1 = \tan \alpha_1$
 α_2 が 0° (水平) になる条件は近似的に
 $\delta_2 = \left(\frac{V_1}{Vw} - 1 \right) \delta_1$ でこれより
 V_1 が大きいと δ_2 が小さいと δ_2 は逆の符号になる



第21図



第22図
2つの測線の反射面から
点の反射面を出す器具

上このように記録上の傾斜が逆になってしまうケースはたくさんあるとは思えないが その可能性は忘れてならないことだろう。

固体内の弾性波

音波はもちろん弾性波の1種である。ここで音波探査ということばを用いたのは 水中ではP波(たて波)しか存在せず空中の音波とその意味で似ていることと使用する周波数がおよそ可聴周波数で 耳で聞こえるという程度のことに発している。

水中ではS波(横波)や表面波(いわゆる海の表面をうねって伝わる波ではなく 弾性体内のレーリー波やラブ波に相当するもの)は存在しないし 反射や屈折の法則も非常に単純である。しかし 海底の地層については水中からP波が入射してもP波とS波の両方を発生するケースもあり しかもそのS波のエネルギーは無視できない場合もある。しかし 実際に観測された記録からそれがP—S—Pかどうかを決めることはできないので一応すべてP波として扱っている。

弾性波は速度の違う媒質に入ると屈折を起こすことはよく知られている。しかし音波探査の記録の解析方法としては屈折による径路の変化は多くの場合無視される

(第21図の場合も屈折は無視されている)。

2 測線からの真の傾斜角の決定

1つの測線だけの反射から反射面を立体的に決めることは原理的にできないので 2つの交差する測線で観察し 同じ反射面で反射した音波と認められれば反射面の走行や傾斜角を決めることができる。

交差する2測線が θ なる角を有し 反射面の見かけの傾斜角を δ_1, δ_2 とする。これは観測でわかっている量である。次に真の傾斜角を δ 反射面の傾斜方向と測線のなす角を α_1, α_2 とすると(第21図)

$$\sin \delta_1 = \sin \delta \sin \alpha_1$$

$$\sin \delta_2 = \sin \delta \sin \alpha_2$$

$$\theta = \alpha_1 + \alpha_2$$

となって これを解くと

$$\sin \delta = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\sin^2 \delta_1 + \sin^2 \delta_2 + 2 \sin \delta_1 \sin \delta_2 \cos \theta}$$

となり α_1, α_2 も δ がわかればすぐ求まる。これを求めるには数値の演算で解いてもよいし 計算図表で求める方法もある。Dix が地震探査の教科書で述べている方法は器具を作る手間がいるが直観的に理解しやすい点がある。

これは第22図に示すように方位盤の上に正弦函数による平行線を引いた板2枚と同じスケールを1枚中心を重ねて回るとする。各測線方向に平行線がそれぞれ垂直になるように置き それぞれの傾斜角の示す値の線が交わる点をスケールで読み取る。このスケールの値が傾斜角であり 方向が傾斜方向である。

記録上で認められた反射面から断面図を作る上での基本的な考え方や手段の概略を述べた。今回は反射波のピック・アップの仕方と地質的な解釈について述べよう。
(筆者は物理探査部)

(55頁からつづく)

申込んだ。この計画については広くヘリコプターを使用する計画である。1958年鉱山省はこの国の諸州から30人の若者を選んで探鉱家として訓練するためにアジス・アベバで30カ月の教育過程を与えた。学生はオーガステス(S.S. Augustithis)博士によって教えられ多くは探鉱家として 能力に応じて鉱山省に雇われている。1963年7月44人の学生の第2群は探鉱家としての3カ年の教育過程を始めた。1961年おそく地質学科がアジス・アベバのハイレーセラシエ1世大学に創設された。これには専任教授3人を迎えた。最初の2学生は1963年6月に地質学の理学士になった。多くのエチオピア学生は野外調査に興味をもたなかったから 地質学の学級は非常に小さいもので発展までの現段階では

わずかの主要都市で机上かまたは楽な仕事を選んでいるに過ぎない。

1957年小さい地球物理観測所が国際地球物理年(1957年7月1日~1958年12月31日)の計画に参加するために アジス・アベバの大学の理学部に創設された。1958年1月1日に操業を開始した。この観測所はゴウイン(Piere Gouin)理学士指導のもとに拡大され 今はハイレーセラシエ1世大学の一部となっている。この観測所は北緯 $9^{\circ}01'45''$ 東経 $38^{\circ}45'56''$ に位置し 地震・磁気放射能損失・気象状態・太陽輻射・宇宙音響を測って記録している。

クイン(Harold A. Quinn): エチオピア(Ethiopia)の地質・岩石・鉱物・鉱山(World Mining 1964年2月と3月)より 宮本弘道訳