

面積表示による地震記録表現について

—深部物理探査研究 第1報*—

南雲 昭三郎** 川島 威**

On the Variable Area Representation of the Seismic Record Section

by

Shōzaburō Nagumo & Takeshi Kawashima

Abstract

Usefulness of the method of variable area representation of the seismic record section is tested and proved by the field data.

要 旨

面積表示による記録表現方式が、地震探鉱記録のなかから反射波等の情報を取り出すのに有効な方法であり、日本のような複雑な地質構造、反射波の出難い地域においてはとくに効果があることはすでに指摘されていたところであるが、今回のテストによつて、その効果が充分実証された。また従来僅かしか検出しえなかつた地下深部の情報が、この方式によつてより多く得られるようになってきたことは、今後の探鉱法に希望と有力な手がかりを与えることになるであろう。

1. 緒 言

最近地震探鉱の記録を、濃淡表示 (variable density)、面積表示 (variable area)、あるいは多重スポット (multi spot) 等によつて表現する方法が行なわれてきている。これらの方法は地震探鉱の記録のなかに含まれている反射波をみやすくするとともに色々な情報をより正確に、より沢山取り出そうとする意図をもつたものである。すなわち、断層に関係ある色々な情報、経済的に重要な意味をもつことの多い弱い反射波 (poor reflection)、部分反射 (partial reflection)、また地下 2,000~3,000 m の深部からの弱い反射波等を、従来の記録に較べて、より精しく、またより多く取り出そうとするものである。

濃淡表示方式は、振動波形の振幅の大小を光の濃淡に変換する方式で、Palma (1957)¹⁾、Hammond and Hawkins

(1958)²⁾ の論文に器械の説明および記録断面図の例が示されている。面積表示方式は、2. に述べるような方法で、その効果を述べた文献はみあたらない。しかし最近 Snijders (1958)³⁾ の論文に、その記録が多数掲載されて (V.A. 方法については、一言もふれていないが) 面積表示方式を使用していることが明るみにでた。

地質調査所において、長年の希望がようやくかなえられて、磁気録音方式の地震探鉱器が輸入できるようになったので、そのさい解析用再生機 (Office playback machine) の機能を含めた磁気録音方式の利点を最大限に生かすように留意して設計し、とくに、面積表示方式を付加した。

面積表示方式の効果を吟味するためには、色々な地下構造の場合について、またかなり長い断面図が作られるような場合について行なう必要があるので、今回とくに石油資源開発 K.K. の厚意によつてそのような試験を行なわせていただいた。こゝに厚く謝意を表する。

面積表示方式の器械の調整は、筆者らのほかに地震研究室森喜義・古谷重政・井波和夫が共同して行ない、一部部品の製作については工作課および、明石製作所のお世話になった。

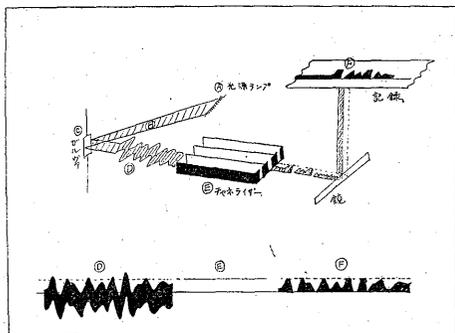
2. 面積表示の原理

面積表示は第1図に示すような方式によつて行なわれる。この方式は光学的な細工だけで実現されているところが特徴である。光源ランプ(A)に長いフィラメントを使用し細長い光束(B)を得る。この光束がガルヴァー(C)によつて地震波形に応じて振動すると、光束は(D)のように振

* この論文は特別研究費「深部物理探査研究」によつて実施されたもので、引き続き本誌に発表される予定である。

** 物理探査部

動する。これをチャネライザー②という間仕切りを通すと上下部分が切りとられて③のような記録が得られる。



第 1 図 面積表示方式の原理図

光源ランプ、チャネライザーの寸法と取り付け位置は光学的にかなり正確な設計が必要である。

このようにして再生された面積表示方式の記録を、従来の Wiggle Trace の記録と比較して示したものが第 2 図である。

3. 面積表示方式の効果

反射波の検出をよくすることは地震探鉱反射法の最も大切な基本的課題の 1 つであつて、いままでスプレッドの配置、爆発孔深度、薬量、多孔爆発法、受振器の群設置、フィルター等の操作について数多くの研究が行なわれてきている。これらの操作のほかに、記録の表現の仕方もまた反射波の検出にとても大きな役割を占めていることが、面積表示方式、濃淡表示方式等の表現方式が実現されることによつて着目されてきた。

従来の幅 15 cm の印画紙に 24 成分の振動を記録したレコードが反射波の検出に最も適した表現方法ではなく、例えばトレースの間隔を離したりレベルを変えたりするとみやすさが変わることはよく知られていることである。

このみにくいレコードのなかから反射波および色々な情報を、とくにそれが貧弱な場合、拾い上げることは解析者の経験に裏づけられた多かれ少なかれ名人芸であつたともいえるであろう。面積表示、濃淡表示という方式は、記録の表現を変え人間の心理的效果を利用して、反射波および諸情報の選択を容易にしようとするものと思われる。面積表示の特徴は、トレース間のオパー

ラッピングをなくし、山と谷を明瞭に表現することにあると思う。大きい振幅の波はその上、下部分がクリップされて、その情報は失われるが、波形の大部分の情報は残されている。一方、濃淡表示方式は振幅の大小が濃淡に変質されるため、山と谷は明瞭に表現されるが、波形をみることはできない。

今回の試験で得られた記録のなかから、面積表示方式によつて色々な情報の検出がよくなる例をいくつか述べてみる。

面積表示方式によつて反射波検出の grade が 1 段階良くなる。

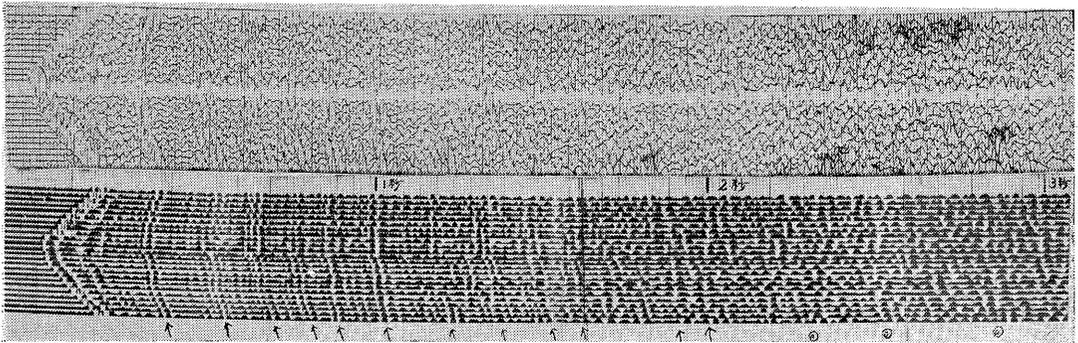
すなわち、従来の記録で Poor と判定されていた反射波 (あるいは揃つた位相) が、すなわち波の位相の line up があることには間違いのないであろうが、位相のつながり方、揃い方、振幅の変化が悪いという意味で Poor と判定されていた反射波が Fair として、位相の line up は確実に存在するものと判定される場合がある。また従来の Doubtful、位相の line up があるかないか疑わしいが、ともかく何らかの line up がありそうだという位相の line up が Poor として認められてくる。そして従来ではとでもとり上げられなかつた位相の line up のなかから Doubtful としてとりあげられるような位相の line up がみだされてくる。

第 3 図は面積表示方式による記録断面の一例である。

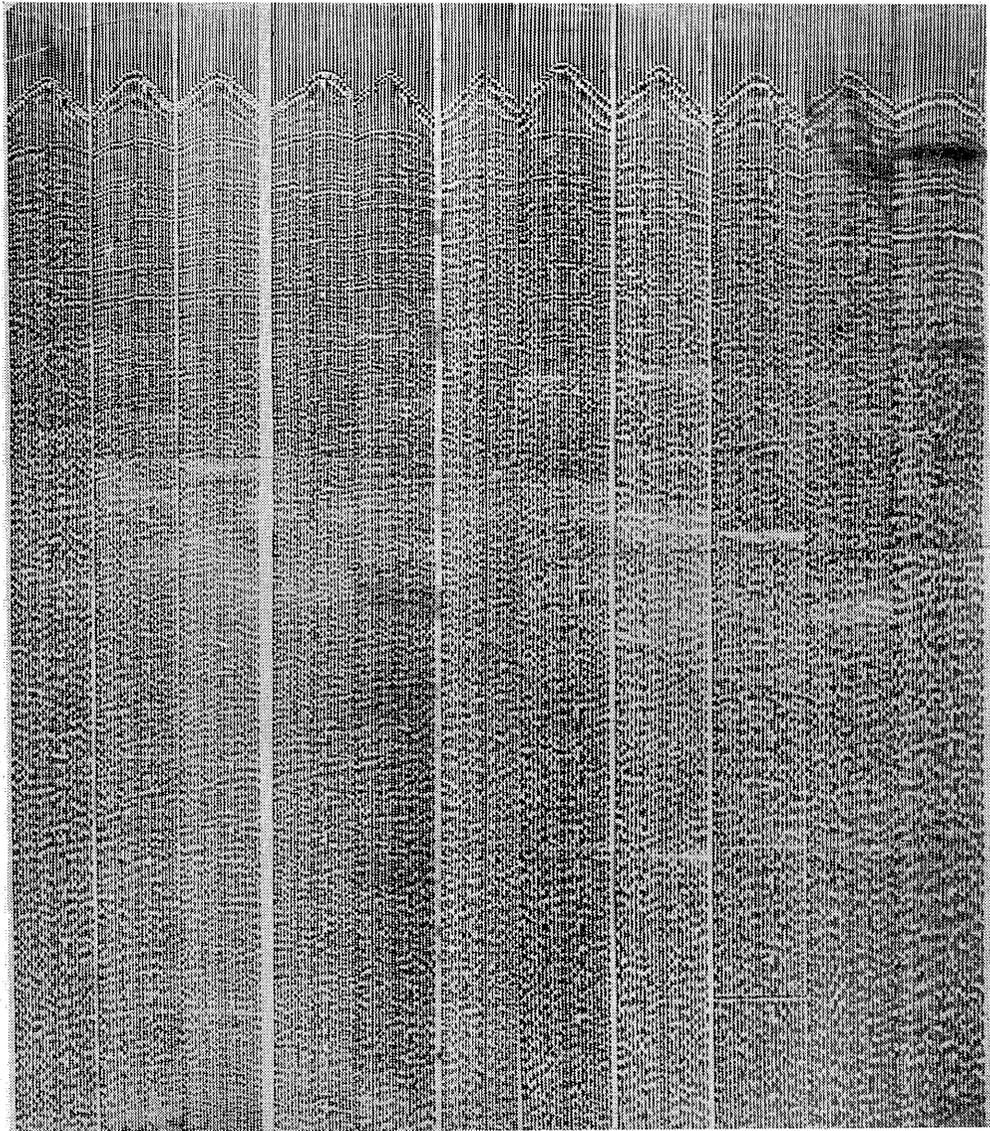
shot mark から 1 秒程度 (深度約 1,500 m) までの反射波は従来の記録でも Good, Fair, Poor の grade をもつたものであるが、この方式では Fair として認められ、また連続層準 (continuous horizon) としての追跡が可能になつている。連続層準としての追跡可能ということは、よく知られているように、結果の解釈において重要な役割を占めるものである。1 秒から 2.5 秒程度 (深度約 1,500~2,500 m) の範囲のなかに Poor の、所々 Fair の line up がみられる。これらは従来の Wiggle 記録ではいずれも Doubtful として取り扱われたり、あるいは全然取り上げられない、あるいは取り上げようとしても解析者の主観によるものとして批判が多く、非常に勇気のいるものであつた。反射面が深くなるにつれて反射波の検出が困難となつてくることは一般的傾向であるが、面積表示方式によつて検出の grade が 1 つ上ということは、地下深部からの反射波を従来より以上に検出してゆくことができることを意味する。そして、地下深部の反射面および地下構造について考察の対象となる基礎資料が従来より多く得られることを意味している。

面積表示方式によつて交錯する反射 (crossing reflection) が見分けやすくなる。第 4 図はその例である。2 つ

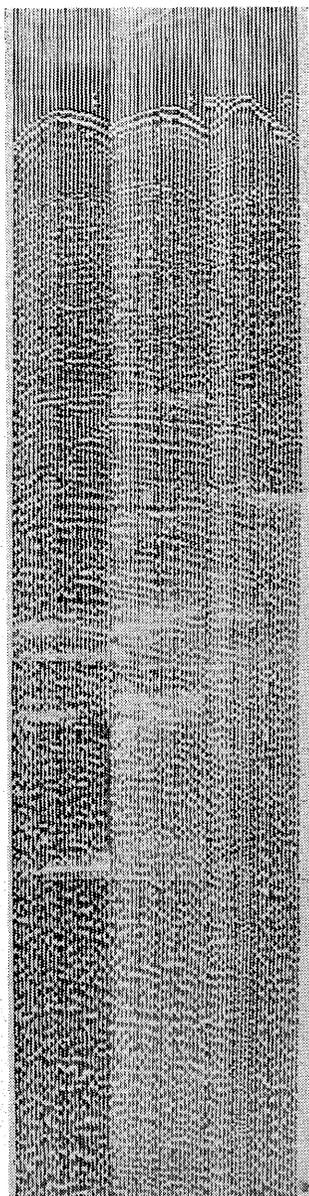
註 1) The actual process of picking reflections has been a kind of private art each picker having his own little tricks and ways of looking at the problem. (Dix 1952, p. 205)



第2図 Wiggle record と面積表示記録の比較。矢印は line up の認められる所, ⊗印は Doubtful signal

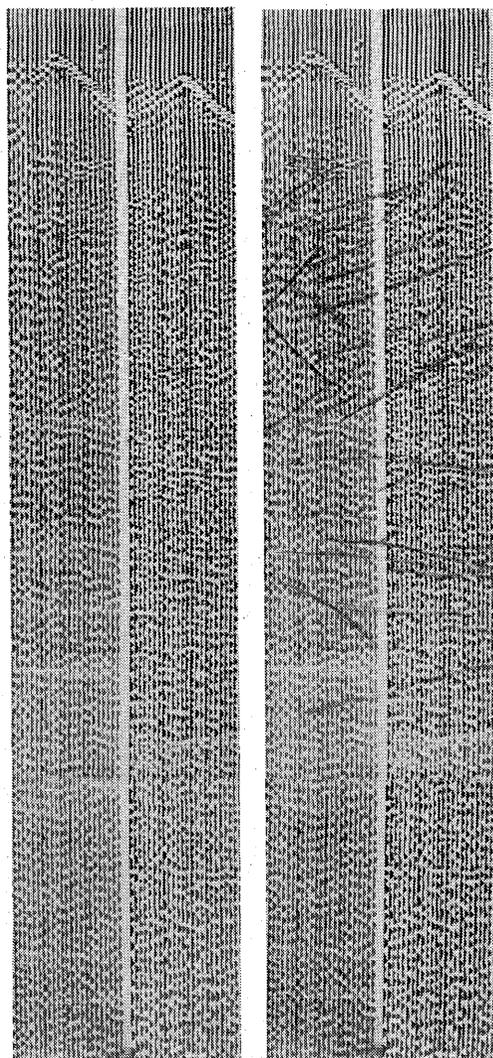


第3図 面積表示方式による記録断面



第4図 反射波の干渉(I)

あるいはそれ以上の反射波の波面がほぼ同時にスプレッドに到達する場合、それぞれの波は互いに干渉し合い、その結果、振幅が強められたり、弱められたりまた山谷の位相がずれたりして、反射波の line up が乱されてくる。そのためそれぞれの反射波を拾い上げることは、従来の記録表現ではとても難かしいことで、豊かな経験と、十分な知識が必要であつた。面積表示では、各トレース間に overlapping (重なり合い) が無いこと、山谷が明瞭に表示されていることなどから波の干渉の様子がとつ



第5図 反射波の干渉(II) marking のないもの (a) marking したもの (b)

てもみやすくなっている。交錯する反射波は背斜の先端部、褶曲の激しい断層が多く発達している所など各層準 (horizon) の走向・傾斜が局所的に大きく変動する地下構造では必ず現われるものである。

このような構造に対しては、多孔爆発法 (パターン)、群設置法 (グループ)、フィルター、爆破深度等いわゆる表面を伝わる妨害波 (ground roll) や偶然的妨害波 (random noise) を小さくする操作はある程度以上行なえば、それ以上の統御 (control) によつて、従来の Wiggle 記録上において反射波の質を向上させることにあまり効果がないのではなかろうか。むしろこのような構造に対しては、反射波の干渉を分離してみやすくするという面積表示方式の機能を使用すべきと考えられる。

もちろん、面積表示方式はパターン、グループ、フィルター等に対して本質的に独立した機能をもつ操作である。それゆえ面積表示を使用するからといって、パターン、グループの方をおろそかにしてはならない。

反射波の干渉の例をもう1つ第5図に示す。図(a)にみられるように、この記録には所々部分的な line up がみられて、一見するとそんなに悪い記録とは思われないが、いざ picking しようとするとき非常に難しくなってくる。面積表示方式によってもこの程度にしか見えない記録のなかから、反射波の干渉し合っている様子を見つけたことは、従来の記録では非常に困難なことである。

一応位相の line up を分離して干渉の様子を解釈してみたのが図(b)である。こゝには3つの方向からの波がきているように解釈される。

すなわち、この記録の部分には、3つの異なった方向の地下構造の情報が重なり合っており含まれている。このように幾つかの方向からきている波を解析して地下構造を求める場合は、三次元的処理がぜひとも必要になってくる。

いわゆる strike-dip control のためのスプレッドを数多く配置しなければならない。

面積表示方式と strike-dip control のためのスプレッド配置を組み合わせることによって複雑な地下構造の解析が従来以上に行なわれるようになるであろう。

面積表示方式は、反射の picking の精度を良くするのに役立つ(情報の picking については、稿を改めて報告する)。

4. 面積表示使用上の注意

面積表示方式の効果を充分表わすためには、その使用にさいして、2, 3の点について注意しなければならない。面積表示の効果は記録の level に大きく依存する。level を大きくすると、クリップされる山谷の部分が多くなって、波形の情報が失われる。そのため、一見すると山谷の連続する様子が強調されるように見えるが、poor reflection で位相のつながり方に疑問の起こる場合、間違つた line up をつなげることがある。また1つの反射波 train の最大振幅の位相が不明瞭になり、また僅かの時間をおいて到達する反射波があるような場合、1つのものかあるいは2つのものかのみわけができなくなる。またあまり level が大きすぎると、山谷だけが強調されるので、偶然的位相の揃いが表われる確率が大きくなってくる。一方 level が小さすぎるとトレースの分離が強調されてきて、位相の揃いがみにくくなる。したが

って面積表示方式においては、従来の Wiggle 記録の時より level を小さくし、大きい振幅だけがクリップされる程度の適正な level に増幅器の出力レベルを調整する必要がある。

面積表示方式のみやすさは記録紙の送り速度や記録の大きさにも依存する。これは面積表示方式が人間の心理的效果に訴えることから当然のことである。反射波の曲率を吟味して、反射波か、回折波か、あるいは真下からきた反射波か、斜めからきた反射波か、あるいはまた反射波から回折波に移行しているかどうか等を吟味するためには従来程度の記録の大きさが必要である。

一方 poor reflection や急傾斜の位相の line up をみいだすためには、縮尺された記録断面図が効果的である。全体が一時に視野に入り、着目する位相の line up を他の色々の line up と関連させながら考察できるからであろう。

面積表示方式による記録断面図は反射波のつながりがみやすくなるので、地下構造と対応させながら考察するのに便利になっている。このさい記録断面図は地下構造に直接には対応していないことに充分注意する必要がある。記録断面図はいわゆる時間断面図(time section)であり、これから構造断面図に移行するには horizon の migration (位相および傾斜の移動)を行なわねばならない。T, ΔT が小さい場合は、migration の量は小さいので、記録断面と地下構造断面との差は小さいが、Tが大きくなると(深部の反射) ΔT が小さくとも水平位置が非常に大きく移動する。この点はとくに注意する必要がある。これらの migration の量は、反射計算用の波面、波路(wave front, ray)、チャートを見ると容易に見当がつけられる。次にその migration を行なつても、それはまだ垂直断面図ではない。すなわちその断面図は測線から色々の角度で切つた(反射面に直角に投影)断面が重なり合つたものである。

この三次元的考慮はクロススプレッドを参照して行なわれるが走向・傾斜の計算によつて反射波をその到来方向について分類して考察しなければならないので、記録断面図上だけからでは非常にむずかしい。したがって面積表示方式の記録断面図を、地下構造と対応させて考察するにさいしては、horizon の migration, 断面の方向を考慮して行なわねばならない。

5. 結 語

今回面積表示による地震記録表現について試験を行なつた結果次のような結果を得た。

- 1) 面積表示方式によつて反射波検出の grade が 1

段階良くなること。

2) 従来の Wiggle 記録において poor reflection で断片的に連続している反射面が連続断面として追跡が可能になること。

3) 地下深部からの poor reflection が従来より以上に検出され、地下深部の地下構造を考察する基礎資料が多く得られるようになること。

4) 面積表示方式は交錯する反射波をみやすくする長所を有すること。

5) 面積表示方式と走向・傾斜を求めるスプレッド配置を組み合わせることで複雑な地下構造の解析が従来より以上に良く行なわれうる見通しを得たこと。

6) 反射波 picking の精度をよくするのに役立つこと。

7) 面積表示の効果は、記録の level に存在すること、および記録断面図の大きさにも存在すること。

8) 記録断面図は、反射波の層準 (horizon) がみやすいために、地下構造と対応させながら考察するのに便利であるがそのさい、horizon の migration 断面の方向を考慮する必要があること。

面積表示あるいは濃淡表示による記録表現方式が、地震探鉱記録のなかから反射波等の情報を取り出すのに有効な方法であり、日本におけるような複雑な地質構造、反射波の出難い地域においてはとくに効果があることはすでに指摘されていたところであるが、今回のテストによつて、その効果が充分実証されたといえるであろう。また従来僅かしか検出しえなかつた地下深部の情報が、

この方式によつてより多く得られるようになってきたことは、今後の探鉱法に希望と有力な手がかりを与えることになるであろう。最後に付言したいことは磁気録音方式の効果についてである。今回のような記録表現、さらに立入った地下構造の解析が行ないうるのは、まったく磁気録音方式地震探鉱器および解析用再生機 (Office playback machine) の機能によるものである。磁気録音方式によつてはじめて地震探鉱記録がいつでも必要に応じて繰り返し再現できるように保存され、解析技術の進歩とともに地震記録のなかに含まれている色々な情報が従来より以上にとり出され、役立たされてゆくのである。多くの費用を投じて行なつた地震探鉱調査の記録が、探鉱開発のあらゆる時期において容易に繰り返し再検討され得、解析技術の進歩とともに一層役立つ情報を与え、調査結果の内容が増大してゆくのである。

(昭和34年6月稿)

文 献

- 1) Hammond, J. W. & Hawkins, J. E.: Getting the most out of present seismic instruments, Geophys., Vol. 23, No. 4, p. 785~822, 1958
- 2) Palma, E. M.: The Gulf seismic printer, Geophys., Vol. 22, No. 2, p. 286~308, 1957
- 3) Snijders, G. H. F.: Reflection shooting techniques in the Netherlands, Geophys. Prosp., Vol. 6, No. 3, p. 167~193, 1958