

地質調査所の反射法処理システム

— 会話型高速処理システム —

加野直巳* 横倉隆伸* 渡辺史郎*

KANO, Naomi, YOKOKURA, Takanobu and WATANABE, Shiro (1983) Data processing system for seismic reflection method in Geological Survey of Japan—Fast interactive data processing system—. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 34(6), p. 311-327.

Abstract: We have developed a data processing system for shallow seismic reflection method which we intend to be easy to use and easy to extend. The system is installed in a minicomputer (HP-1000E series) to which an array processor (AP-120B) is attached. The processing speed is twice as fast as that of a main frame computer (FACOM M-200) due to effectiveness of the array processor.

The software is coded by FORTRAN. So new processing functions can easily be added to the software. The software consists of four modules: a data input module, a processing module, and output modules for numerical file and for displays as charts and cross sections. They run in parallel, and data can be transferred among them. The loss of time for I/O process thus can be reduced.

The processing module has many processing functions, e.g. bandpass filtering, deconvolution filtering, NMO correction, CDP stacking and so on. A user can easily evoke these functions through menu. Interactive processing makes it flexible to arrange an appropriate process flow. The system processes each trace or each CDP group in sequence according to an arranged process flow.

要 旨

会話型で使い易く, 大量のデータを高速処理できる浅層反射法処理システムを作成した。ハードウェアは, 高速演算処理装置アレイ・プロセッサ(AP-120B)を通常のミニ・コンピュータ(HP-1000 シリーズ)に接続したものをを用いた。ソフトウェアはフォートラン言語で書かれており, 拡張性に富んでいる。パラメータの入力は会話的に行える。処理の組立ても自由にできる。プログラムは①入力, ②処理, ③出力(数値型, 表示型)のモジュールからなる。それぞれが並行して実行され, データがその間を転送される。各トレースごと, あるいは各 CDP グループごとに指定した一連の処理(バンドパス・フィルタ, デコンボリューション・フィルタ, 動補正, CDP 重合など)を連続して行い, 途中段階での入出力をはぶいた。一つの処理プログラムの使用例を示し, 参考とした。

1. はじめに

地震探査反射法は, これまで石油探査に適用され, その要求に答えることで技術的な発展をとげてきた(たとえば DOBRIN, 1976)。その特徴は, 物理探査のなかで最も高い分解能にある。データの収録と処理の技術は, 計算機の発達とともに, 急速にデジタル化し, 高度化されてきた。世界各国の石油会社では, より精密で分かりやすい地下情報を得るために, 莫大な費用をかけて, 反射法の探査装置の改良及び高度なデータ処理システムの開発を行ってきた。また, 反射法のデータ処理を専門に行う企業も数多く設立され, それぞれ独自の技術の開発に努めている。我が国においては, わずかに石油関連の 2, 3 の法人が反射法を導入し, データ処理システムの研究開発を行っているにすぎない(井川 ほか, 1978; 大塚ほか, 1980)。

石油探査で発達した高度な反射法の技術を他の分野に適用すれば, 多くの地下構造探査の問題が解決することが期待される。事実, 地熱資源や石炭の探査, あるいは地殻構造の探査にもこの技術が適用されはじめた。石炭

* 物理探査部

について言えば、より深部を探索するというよりは、構造の分解能を上げるための努力がなされている(たとえば ZIOLKOWSKI and LERWILL, 1979)。

地質調査所物理探査部では、潜在活断層の探査をテーマに、昭和50年度から浅層反射法の研究を進めている。これは反射法を浅部地下構造の探査に適用し、高い分解能の地下構造を検出しようとするものである(渡辺ほか, 1981; 渡辺・加野, 1982)。これが実用化されれば、反射法の適用範囲が非常に広がることが期待されている。

この研究では、高分解能を得るために高周波帯域(100 Hz 付近)での反射波の S/N 比を向上させることと、実用的な調査技術を確立することが課題であった。その中で、各種の調査方法を検討してきたが、昭和55年度にミニ・ソシー¹⁾の探査システム(DHR-2400, INPUT/OUTPUT 社, U.S.A.)を採用することによって、はじめて実用的な意味でのデータ収録が可能となった。さらに、野外における計測技術の研究により、高周波帯域での S/N 比を改良し、より高い分解能の記録が得られるようになった。

こういった計測技術の研究と並行して、データ処理システムの開発を進め、処理結果を計測技術の研究にフィード・バックしている。データ処理技法の基本的な部分は公表されており(たとえば ROBINSON, 1967; ROBINSON and TREITEL, 1980)、これを参考にシステムを構築した。すでに稼動している大規模な反射法の処理システムを参考にすべきではあるが、細かなソフトウェア技術は公開されていないとか、ハードウェアに依存する(大型コンピュータ、専用のプロセッサ、大容量の磁気ディスク、高速のプロッタなど)部分があって移植性に欠けるなどの問題がある。そこで、ソフトウェアはすべて自主開発した。そのため、浅層反射法に特有の問題に対処し、試行錯誤を行うための柔軟性を生み出すことができた。システムの特徴は、会話型のパラメータ入力方式、入出力フォーマットの標準化、およびモジュールの体系化などにある。

データ処理システムが使用するハードウェアは通常ミニ・コンピュータに高速演算処理用のアレイ・プロセッサ(昭和54年度に導入)を接続したものである。手持ちの機器を寄せ集めた観があり、比較的小規模な予算で実現した。これが最良のシステムというわけではないが、大型は用計算機以上の処理速度を実現した。

ここ1, 2年の使用経験から、浅層反射法の規模に合った小さなシステムで、実用的な処理ができることを

確認した。処理効率は十分高く、使い易さも一応の水準に達したので、ここにその概要を報告する。

2. ハードウェアとオペレーティングシステム

2.1 ハードウェアの構成

システムのハードウェア構成を第1図に、その外観を第2図に示す。このシステムはミニ・コンピュータに高速演算ユニットとしてアレイ・プロセッサを接続した構成である。静電プロッタ出力はオフラインの NOVA システム(第3図)で行う。NOVA システムについてはここではふれない。

ホスト・コンピュータは HP1000E シリーズ(HEWLETT PACKARD 社, U.S.A.)である。入出力機器として、4.5 MB の磁気ディスク(以下ディスクと記す) 2台、800 BPI の磁気テープ1台、1600BPI の磁気テープ3台、プリンタ1台、4色カラー XY プロット1台、コンソール1台、グラフィック・ターミナル1台、ハードコピー1台を接続している。コンソールはターミナルとして使用できる。

アレイ・プロセッサは AP-120B (FLOATING POINT SYSTEMS 社, U.S.A.)である。プログラムソースメモリ(P S)として2キロワード、テーブルメモリ(TM)として4キロワード、データメモリ(MD)として128キロワードのメモリを持っている。

2.2 オペレーティングシステム

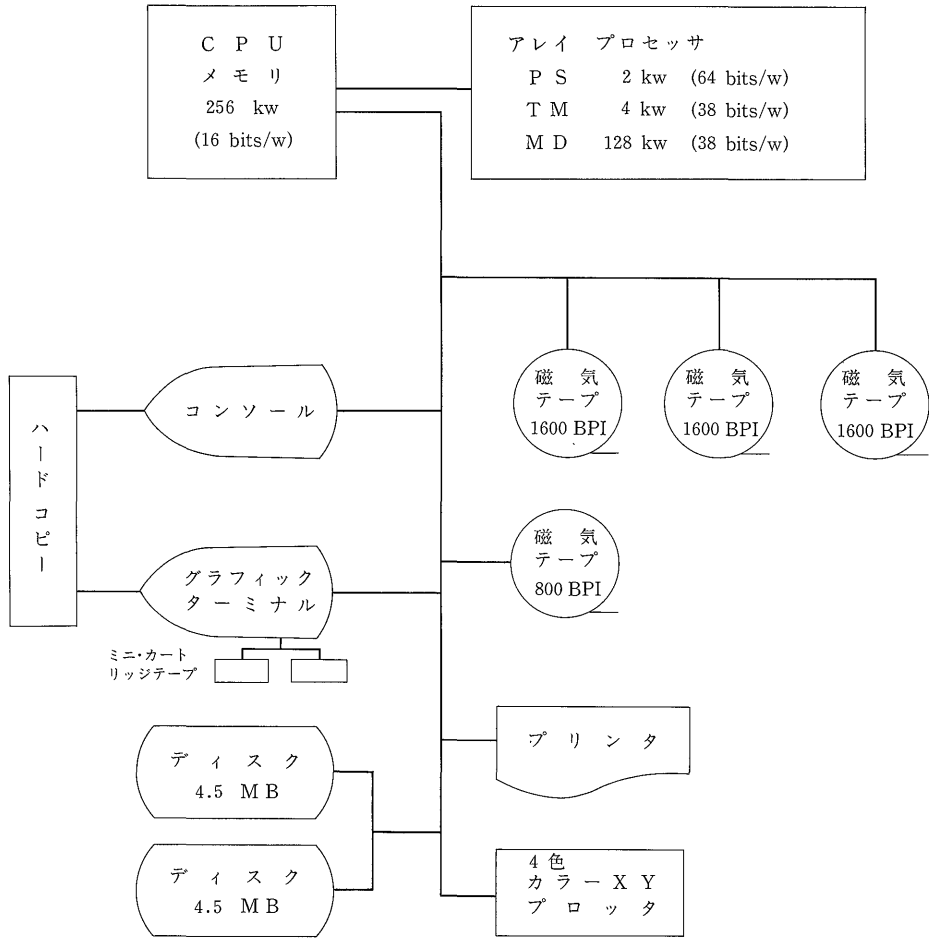
ホスト・コンピュータのオペレーティングシステム(以下 OS と記す)には RTE-IVA (HEWLETT PACKARD Co., 1979)を採用している。この OS のもとでは複数のプログラムを同時に実行できる。

このシステムの大きな特徴の一つは EXEC コールと呼ばれる機能である。EXEC コールを使えば、フォートランのプログラムから OS の大部分の機能を呼ぶ(コール)ことができる。たとえば、1)入出力機器を直接コントロールする、2)1つのプログラムから他のプログラムを起動し、2つ以上のプログラムを並行して実行する、3)並行して実行されているプログラム間でデータを受け渡しする、などがフォートランのプログラムで行える。

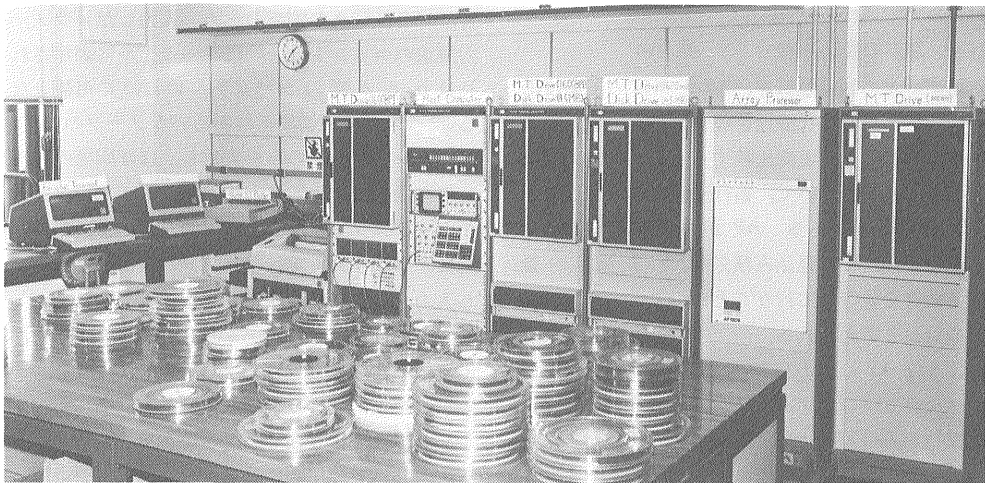
一方、この OS ではプログラム・サイズは29キロワードまでしか許されていない。このプログラム・サイズの制限は EXEC コールの機能で補われる。つまり大きなプログラムをいくつか分割し、1つのプログラムから、全体をコントロールして、プログラムを並行して実行するのである。

また、OS の機能を拡張し、ディスクとの入出力を簡

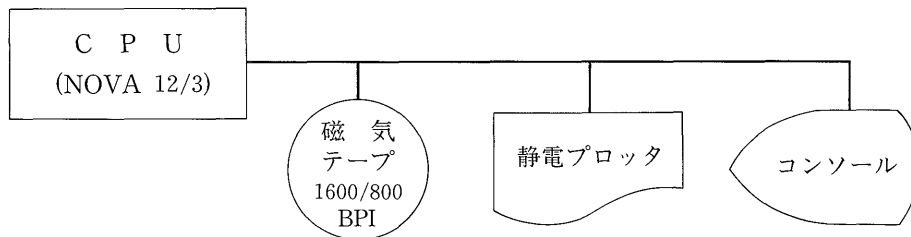
1) Mini-Sosie; Trade Mark of Société Nationale Elf-Aquitaine (production)



第1図 反射法処理システム ハードウェア構成



第2図 反射法処理システム外観



第3図 NOVA システム オフラインの計算機システム。反射法処理システムで作られた静電プロッタ出力テープ上のビット・イメージを静電プロッタに出力する。

単に行えるようにした FMGR と呼ばれるソフトウェアがある。反射法のデータ処理を行う上で、この FMGR のトランスファ・ファイルと呼ばれる機能を活用している。これはディスク上のファイル内容にしたがって、コマンドを順番に実行する機能である。処理の順序にしたがってディスク上のファイルにコマンドを入れておくと、順番に一連の処理を行うことができる。

2.3 アレイ・プロセッサについて

アレイ・プロセッサ(以下 AP と記す)はベクトル浮動小数点を高速で処理するための演算ユニットである。AP-120B(FLOATING POINT SYSTEMS Inc., 1980)では加算と乗算をそれぞれ1秒間に6,000,000回行うことができる。しかも加算と乗算を同時に実行できるため、1秒間に最大 12,000,000 回の浮動小数点演算が実行可能である。

AP-120B の演算速度の例を以下に示す。ここに示すのは AP 内部での処理時間であり、AP とホスト・コンピュータとの間のデータの受け渡し時間を含まない。

1024点の	実数 FFT	4.2ms(1/1,000秒)
1024点の	複素数 FFT	7.0ms
1024点の	乗算・加算	1.05ms
1024点×32点の	畳込み積分	6.6ms

2000点のデータの16回加算を、AP と RIPS(工業技術院筑波研究センターの研究情報管理システム、計算機本体は富士通 M-200)とで実測比較すると、AP では 21.5 ms(テーブルメモリを用いて、実行速度を向上させている)、RIPS では 40ms である。AP が M-200の2倍ほどの速さである。AP では畳込み積分や、FFT 演算の場合、加算と乗算を並行して行うことができるため、さらに差が出るものと考えられる。

以上のような AP の能力を有効に用いるため、フォートラン・コーラブルのサブルーチンが、加算・乗算などの簡単な演算から FFT、マトリックス演算などの複雑な演算まで、ライブラリとして供給されている。また使用者が特別な演算を行うサブルーチンを作るためのソフ

トウェアや保守用のソフトウェアも供給されている。

3. 会話型データ処理システム

3.1 ソフトウェアの構成

データ処理のソフトウェアはフォートラン言語で書かれている。これは、次のプログラム群から構成される(第1表)。

- a. ユーティリティプログラム
- b. 前処理プログラム
- c. 入出力プログラム
- d. 処理プログラム

このうち、c と d のプログラムの中には組で用いられ、前述の EXEC コールにより、並行して実行するものもある。

これらのプログラムでは、処理パラメータを2つの方式で入力する。一方は会話的にターミナルからの質問に答える型で入力する方式である。他方は、前もって磁気テープ(グラフィック・ターミナルに付いているミニ・カートリッジ磁気テープ、又は一般的な磁気テープ)に記録したパラメータを順次入力する方式である。後者の場合、パラメータの確認のため、入力したパラメータが入力要求のコメントと一緒にターミナルに表示される。これは b, c, d 群のプログラムにおいて可能となっている。2つの方式の切換えはあるパラメータの指定による。パラメータの一部のみを変更し、ほぼ同様の処理を繰返し行う場合には後者の方法は有効な手段である。前述したトランスファ・ファイル機能を用いて、ある回数連続的にプログラムを実行させ、パラメータは磁気テープから入力するという方法がとれるからである。

よく用いられるユーティリティプログラム群、入力プログラム群のうち KYCOZ, KYCOV, 出力プログラム群、処理プログラム群のうち KYALKなどは実行型式でディスク上に存在し、すぐ実行できるようになっている。それほど使用頻度の高くないプログラムは、ソース・プログラムの型でディスク上に入っており、コンパイ

第1表 反射法処理システム・プログラム

a. ユーティリティ プログラム群	
MTTET	磁気テープの内容を調べるために用いるプログラム。磁気テープの読み書きとポジショニング（位置決め）を行う。
MTCPY	磁気テープをデッド・コピー（そのままの複写）する。
MTCHK	磁気テープのファイル数、ブロック数を調べる。
b. 前処理プログラム群	
KDHTY	DHR-2400（地震探鉱器の型名）の出力テープを SEG-Y フォーマットに編集する。
KDHCP	DHR-2400 の数本の出力テープを1本のテープにまとめる（シングル・ファイル化する）。
KDALZ	DHR-2400 の出力テープのトレース（振動記録）を図化する。
KYTAN	データの振幅の時間的減衰を解析する。
KYCDP	録音順のデータを CDP ギャザリング（CDP のグループごとに集める）する。
c. 入出力プログラム群	
KDCOZ	DHR-2400 の出力テープを入力し、KDALZ, KSOOP を起動する。
KYCOZ	Y フォーマットのテープを入力、各種処理プログラム、KSOOP, KSOOW を起動し、データを処理プログラムに渡す。
KYCOT	KYCOZ のバリエーション。トレース読み込みのためのパラメータが KYCOZ と異なる。
KSOOP	処理プログラムにより作られた図化データを受け取り、磁気テープに書き込む。
KSOOW	処理プログラムにより作られた Y フォーマット・データを磁気テープに書き込む。
d. 処理プログラム群	
KYALK	基本になる処理プログラム。 (1)ミュート、(2)バンドパス・フィルタ、(3)デコンボリューション・フィルタ、(4)振幅調整 (AGC)、(5)動補正、(6)CDP 重合、(7)オートコリレーションの7種類の処理を行う。
KYALT	KYALK のバリエーション。T（時間）の α 乗タイプの振幅調整を行う。
KYALE	KYALK のバリエーション。動補正の替りに深度変換を行う。
KYMIX	KYALK のバリエーション。CDP 重合の替りにミキシングを行う。
KYSNV	KYALK のバリエーション。定速度走査法の速度解析に用いる。動補正は定速度で行う。動補正から CDP 重合（あるいはセンプランス）までを速度を変えながら繰返し行うことができる。
KYSTX	残留静補正量の計算を行う。
KYSTZ	静補正を行う。補正量は(1)補正量そのもの、(2)標高データ及び風化層速度、及び(3)KYSTX 出力、の3つのモードで与える。(1)と(3)、(2)と(3)の組合せも可能である。
e. その他	
KESAT	静電プロッタ出力を縦に並べた形に合成する。
KYVCN	KYSNV の出力テープを XY プロッタで図化する。
KINTV	区間速度と平均速度の間の変換、XY プロッタによる図化を行う。
KSOZI	傾斜構造の反射波、屈折波の走時を波線理論により計算する。XY プロッタによる図化、及び Y フォーマットでの磁気テープ出力を行う。
YLEV	水準測量データから標高データを作る。

ル、リンケージを行った後、実行させる。

3.2 データ処理の流れ

データ処理の大きな流れを第4図に示す。これらの各段階で処理結果を静電プロッタあるいは XY プロッタに出力し、処理効果を確認しながら試行錯誤でパラメータを決める。以下述べるデータ処理の項目番号は第4図に示す処理の番号に対応している。

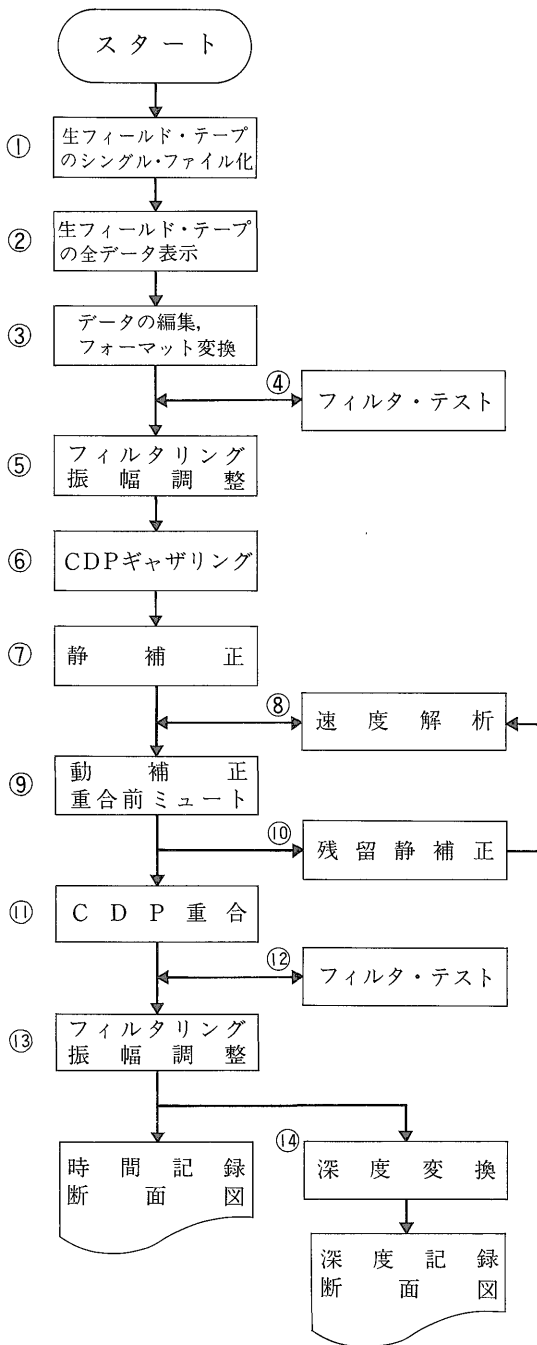
① シングルファイル化

編集処理をしやすいように、数本のフィールド・テープを1本のテープにまとめる。

② 全フィールド・データの図化表示

フィールドで収録された生データには以下のような処理の対象とならない記録も含まれている。

i) 機器チェックのためのテストオシレータ記録



第4図 データ処理の流れ 各段階で図形出力を見て、パラメータの適否を判断し、処理を進める。

- ii) 書込みエラーや誤操作による不要記録
- iii) 受振器が設置できないためのデッド・トレース
- iv) 発振ができない場所のデッド・ショット

このような不要データを除去するため、ここで表示した

記録を野帳と比較対照し、フィールド・データの編集に必要なパラメータを決定する。

③編集・フォーマット変換

前項のパラメータを用いて、フィールド・データを選択的に読み込むと同時に、DHR-2400磁気テープフォーマット (INPUT/OUTPUT Inc., 1980) から SEG-Y フォーマット (BARRY ほか, 1975) (以下 Y フォーマットと記す) に変換する。

この変換作業には、

- i) デッド・トレース、デッド・ショットへのフラグをたてること
- ii) 発振点・受振点の位置情報の付加
- iii) ヘッドへのコメントの書き込み
- iv) 整数型から浮動小数点型への変換
- v) 直流成分の除去

などが含まれる。

④フィルタ・テスト

反射波を孤立化させるフィルタのパラメータを決定するため、テストをする。フィルタにはバンドパス・フィルタとデコンボリューション・フィルタがある。

いくつかの記録を対象として、パラメータを変えながら、フィルタリングを行う。出力図を見て最適パラメータを決定する(第5図)。

⑤フィルタリング・振幅調整

テストにより決定したパラメータを用いたフィルタリングと振幅調整を行う。

⑥CDP ギャザリング

測線が直線であるとの仮定のもとに、ショットごとのグループから CDP (共通反射点) ごとのグループにトレースを編集し直す。

⑦静補正

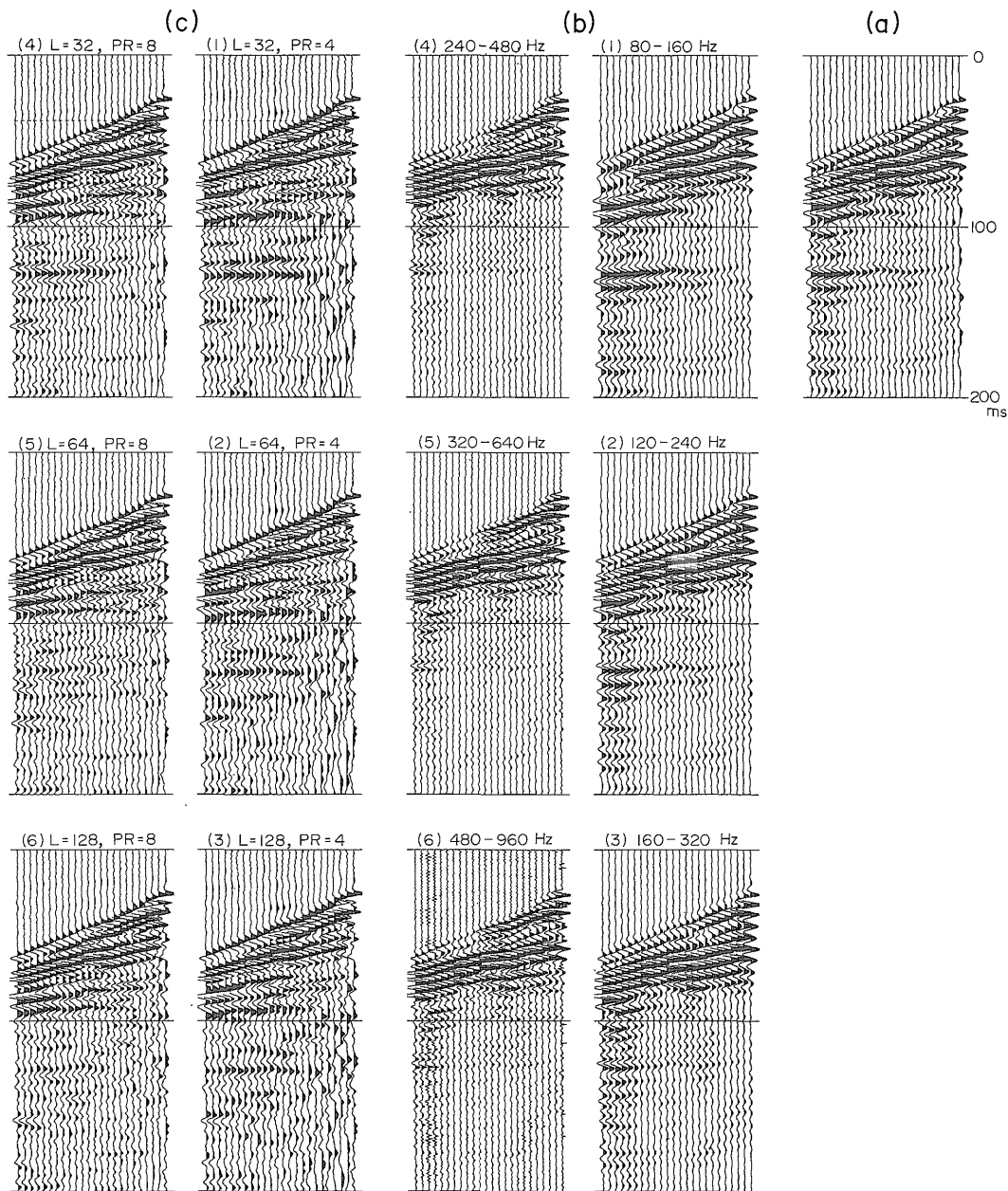
標高データ(第6図)と適当な表層の仮定速度を用いて地形の凹凸の補正を行う。

⑧速度解析

速度解析には定速度重合法と定速度走査法を用いている。両者を組合せて総合的に判断し、重合速度を決定する。

前者では、いろいろな重合速度で動補正、CDP重合を行い、数多くの図を出力し、実際に記録断面を得る。この記録断面から適切な重合速度を判断する(第7図)。

後者ではCDPにおける時間と重合速度の関数として、振幅あるいはコヒーレンシーを求める。すなわち、あるCDPグループに対し、まず連続した仮定重合速度により動補正を行う。次にCDP重合により振幅、あるいはセンプランスによりコヒーレンシー (NEIDELL and



第5図 フィルタ・テストの出力例

(a)原記録 (24トレース). (b)バンドパス・フィルタ後. 周波数帯域は図に示す6種類である. (c)デコンボリューション・フィルタ後. (L:オペレータ長, PR:予測距離).

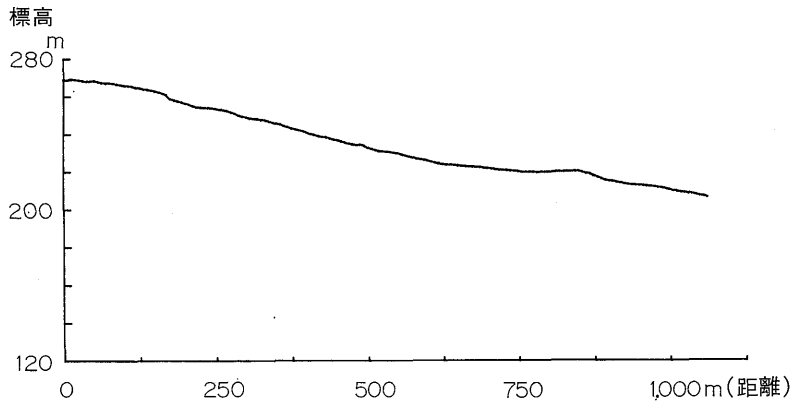
TANER, 1971) を計算する. これを重合速度と時間の関数として, XY プロットにコンタ表示する. この図のピーク位置から適切な重合速度を判断する(第8図). これを要所の CDP グループについて行う.

前者は全体の平均的な速度構造を見るのに適し, 後者

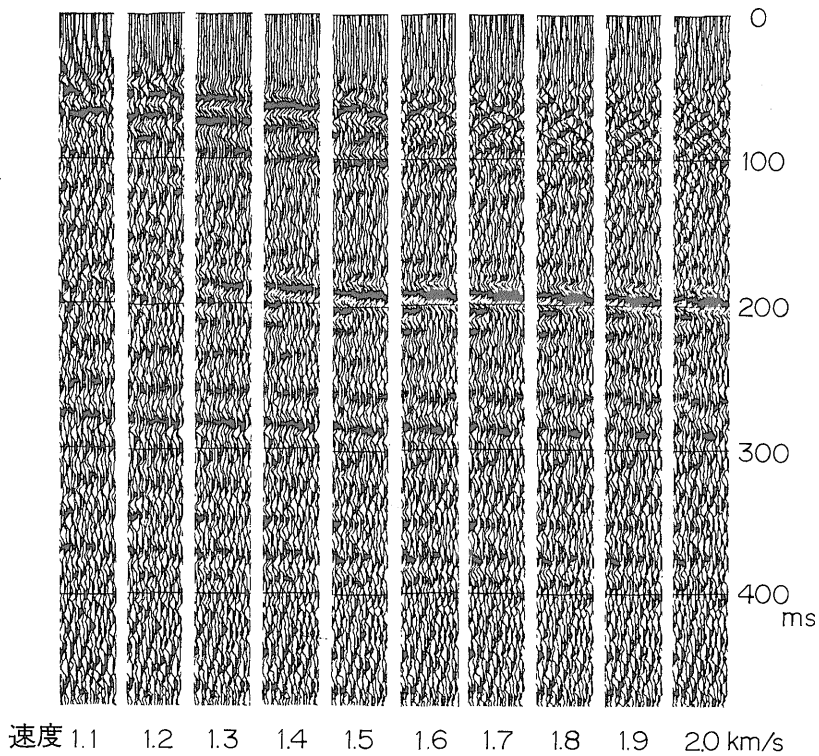
は部分的に詳細な重合速度を求めるのに適している. 前者は全体と部分とを補い合っている.

④動補正・重合前ミュート

速度解析により求めた重合速度による動補正・重合前ミュートを行う. ミュートとは, トレースの不要部分を



第6図 高度データの出力例 YLEVにより出力した。



第7図 定速度重合法による速度解析の例

KYALKによる処理の図化出力を整理した。この例では1.1から2.0 km/sの範囲で重合速度を変化させ、解析を行っている。

消去することである。この場合には、動補正による波形の歪みの大きな部分、初動部等を消去することになる。

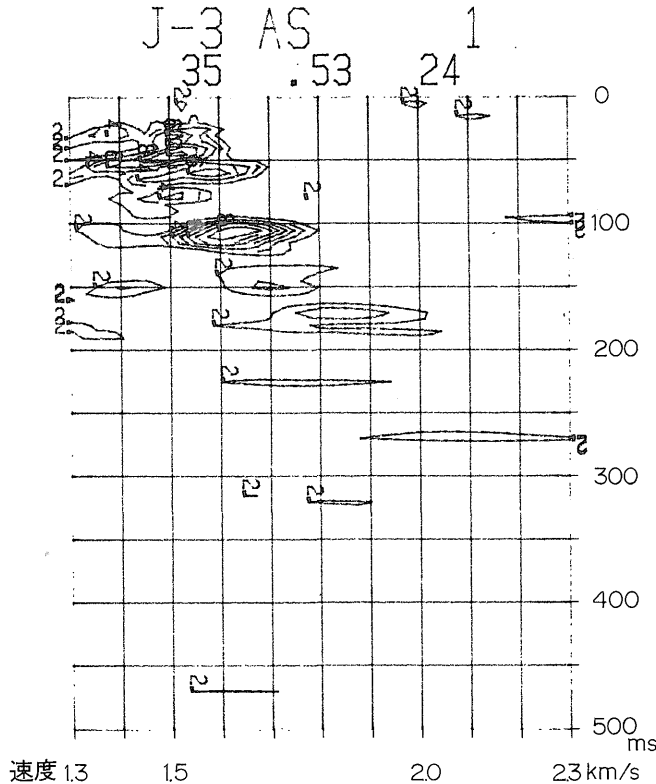
⑩残留静補正

WIGGINSほか(1976)の方法により、反復計算で残留静補正量を求める。この量を用いて静補正を行う。

残留静補正後、第4図にあるとおり、再度⑨速度解析を行う。改訂された重合速度を用いて、⑨動補正・重合前ミュートをを行う。

⑪ CDP 重合

全データのパワーで、振幅を正規化し、CDP重合する。



第8図 定速度走査法による速度解析の例

KYSNV の処理出力を KYVCN により図化した。横軸に速度、縦軸に時間をとり、24トレースのセンサランスをコンタ表示した。

⑩フィルタ・テスト

CDP 重合をした記録断面図をより見易くするために施すフィルタのパラメータを決める。

⑪フィルタリング・振幅調整

以上のような処理の結果として記録断面図を得る (第9図)。

⑫深度変換

地質解釈を容易にするため、さらに深度変換をすることもある。

3.3 処理プログラム KYALK について

処理プログラム KYALK (第10図) は、入力プログラム KYCOZ、並びに出力プログラム KSOOP 及び KS OOW と並行して実行される。KYALK は全処理プログラムの中核であり、一番よく用いられる。また、このプログラムは構成と設計方針、及びパラメータの入力法などの操作面で、他のプログラムの標準となっており、他の処理プログラムは、KYALK を基に作られている。このプログラムにそって、パラメータの入力法を例示す

れば他のプログラムについても類推できるものと思われる。

3.3.1 起動・入力

あらかじめ起動した入力プログラム (例えば KYCO Z) にプログラム名「KYALK」を入力することにより KYALK は起動される。処理するデータは入力プログラムから処理プログラムへデータ転送される。処理パラメータは会話形式でターミナルから、あるいはターミナルに付属したミニ・カートリッジ・テープから入力される。

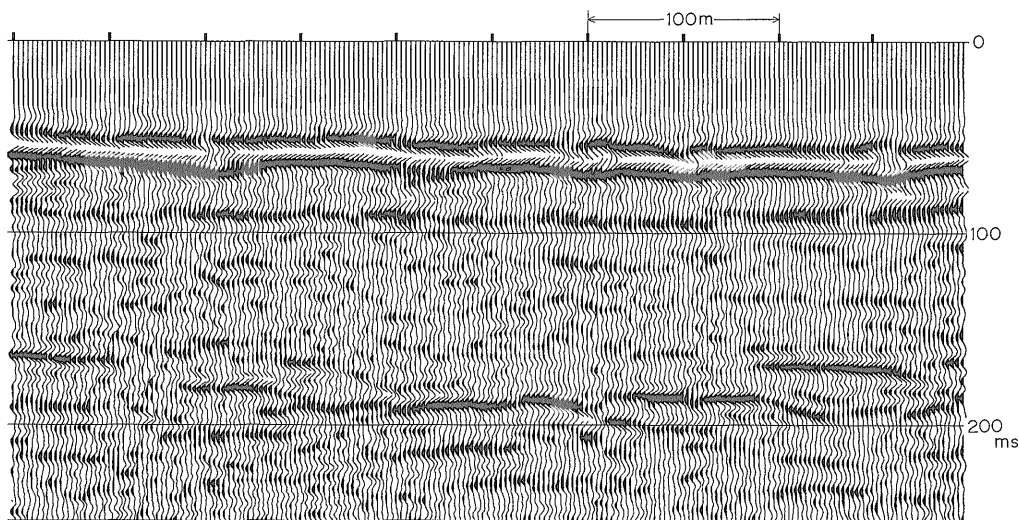
3.3.2 出力

指定された処理を行った後、Yフォーマット・データと静電プロット用データ的一方あるいは両方 (入力プログラムでの指定による) を、それぞれ KSOOW, KSOOP にデータ転送する。KSOOW, KSOOP は、必要に応じ、入力プログラムが前もって起動する。

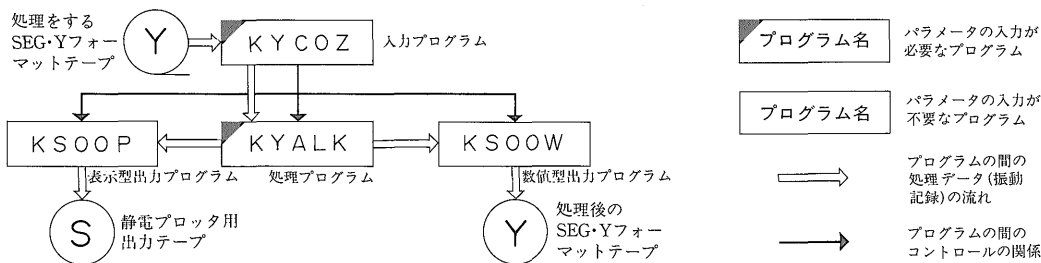
3.3.3 処理

次の7種類の処理をメニュー形式で選択する。

- 1) MUTE トレース (反射記録) の不要部分 (初動



第9図 時間記録断面の例



第10図 KYALK 実行時のプログラム関連図 4つのプログラムが並行して実行される。

- 2) FILT トレースにバンドパス・フィルタをかける。低周波雑音、高周波雑音を除去する。
- 3) DECON トレースにデコンボリューション・フィルタをかける。反射波形をスパイクに近い形にする (ROBINSON, 1967, p. 43-46)。
- 4) AGC トレースの振幅の時間変化を調整(振幅調整)する。指定した時間長のウィンドウ内にある波動のパワーの平方根を求めて、その逆数をウィンドウの中心点にかけるという操作をウィンドウをずらしながら全データについて行う (AGC)。
- 5) NMO 水平方向と時間方向で速度変化のある動補正(NMO 補正)を行う。

- 6) CDP CDP 重合を行う。全データのパワーで振幅を正規化して加算する。指定されたウィンドウでの残留静補正(反復計算無し)を行うことができる。
- 7) AUTO 指定したウィンドウ内でのデータの自己相関関数を求める。デコンボリューション・フィルタの予測距離を決定する際の参考とする。

以上7種類の処理のうちから、実行するものを番号で指定すると、その処理内容に合わせて、質問ないし入力要求(プロンプト)が表示される。この質問に答える形で処理パラメータを設定する。パラメータ入力が終わると再び処理メニュー選択へ戻る。この手続きを繰り返すことにより7種類の処理を自由に組合せることができる。

このシステムはディスク容量が小さく、大量のデータを記憶することができない。したがって、データの入出力は磁気テープが基本となっている。磁気テープを入出力の手段とすると、ディスクに比して入出力時間がかか

る。そこでこのプログラムでは、1トレースごと、あるいは1CDPグループごとに一連の指定した処理を連続して行い、途中段階の入出力をはぶき、処理時間を短縮した。

その他、静電プロッタの表示の大きさ・間隔の設定、ヘッダのコメント部の変更・追加を行うことができる。

3.4 処理プログラムの使用例

実際の使用例を第11図に示す。これはターミナルの管面をコピーしたものである。囲いをつけた数字・文字はオペレータが入力したものである。その他はコンピュータからの出力である。

上部Aと下部EはKYCOZによるものである。B、C、D部は処理プログラムKYALKによるものである。

A部では入出力機器の指定、処理プログラムの指定、及び処理すべきテープ上のデータの指定を行っている。この例では装置番号8番の磁気テープから処理データの入力、装置番号9番の磁気テープにYフォーマットでの出力、装置番号40番の磁気テープに静電プロッタ用データの出力を行う。KYCOZは、Yフォーマット出力の装置番号がゼロでないで、KSOOWを起動する。また、静電プロッタ用データ出力の装置番号がゼロでないでKSOOPを起動する。また処理プログラムKYALKも起動する。パラメータは装置番号1番のコンソールから入力する。処理データは12トレースを1ブロックとみなし、1から575ブロックまでを入力し、処理プログラムKYALKに引き渡す。7184から7181までの番号はプログラム間のデータの受け渡しに用いられる数字である。

B部ではヘッダの変更、静電プロッタ出力のための大きさの指定を行っている。

ここではYフォーマット・テープのJOB番号を100に指定している。静電プロッタ出力は全トレース連続で、1000点のデータをリサンプリしないで、全振幅を0.3cm、トレース間隔を0.1cmで表示するように指定している。また、後で処理の履歴がわかるように、ここで行おうとしている処理内容にしたがって、ヘッダーのコメント部の25-33行目を変更している。行番号に0を指定することにより、コメントの変更を終了する。

C部が処理の中心部である。まず処理のためのメニューが表示される。そして「WHICH (1)?」と処理メニューの選択を求められる。そこで、メニューの番号を使って、希望する処理を指定すると、その処理に必要なパラメータの入力を求めてくる。パラメータの入力が終われば再度「WHICH (2)?」と聞いてくるので、希望する

処理手順に従って、順次入力する。最後に「-1」を入力すれば、計算機は与えられた処理手順に従って、処理及び出力を行う。

ここでは、4)振幅調整、5)動補正、1)ミュート、6)CDP重合、4)振幅調整の処理を行っている。これは以下のように行われる。

- ① 1 CDP グループ(12トレース)のデータを読み込む。
- ② 12トレースに対し、4)振幅調整、5)動補正、1)ミュート、の各処理を行う。
- ③ 12 CDP 重合し、1トレースとする。
- ④ 振幅調整する。
- ⑤ Yフォーマット出力を行う。
- ⑥ ビットイメージ化し静電プロッタ用出力を行う。
- ⑦ 以上①-⑥までの処理を575組のCDPグループに対して行う。

出力プログラムのKSOOW、KSOOPは前述のように、前もってKYCOZにより起動されており、KYALKが出力するたびにデータを受け取り、磁気テープに書き込んでゆく。

D部ではKYALKの処理開始時刻及びその終了時刻を表示している。この場合は、上で指定した全処理を行うのに37分25秒かかったことを示している。1CDPグループあたりでは3.9秒という計算になる。

E部はKYALKの処理が終了、KYCOZも終了するという、KYCOZによる表示である。

4. 特徴と問題点

ここで述べた反射法処理システムのハードウェアは、通常のミニ・コンピュータに高速演算処理装置アレイ・プロセッサを付加したものである。アレイ・プロセッサの高速性により、このシステムは汎用大型計算機(RIPS)と同等以上の処理速度を持っている。

システムの特徴は以下のとおりである。

プログラムはフォートラン言語で作られており、プログラムの改良・追加が容易である。また会話型で処理を行えるよう、入力の要求をターミナル上に表示(プロンプティング)しているため、パラメータの入力が容易になっている。またモジュール化やプログラムの工夫により途中段階でのデータの入出力を最小限にとどめるなど、総処理時間の短縮をはかっている。

一般に反射法のデータ処理では、

- 1) 入力データ量が非常に大きく、
- 2) 処理方法は試行錯誤的で、
- 3) 出力のほとんどすべては、図形表示であり、
- 4) パラメータの適否の判断と決定を図形を見て行い、

:(RU,KYCDZ)

/KYCDZ (VN.SEP./81) START
 YEAR- 1982 DAY- 180 HOUR- 13 MINUTE- 29
 MT INPUT,OUTPUT, AND DISPLAY LU#=(8 9 40)
 PARM. INPUT LU#=(1)
 JOB NAME = (KYALK)
 FILE# DATA NUMBERS & BLOCKS = (1 12)
 INPUT FILE#!

(575)
 7184 7183 7182 7181
 JOBNO=(100)
 FROM-TO BLOCK#=(1)
 DISP. NUMBERS AND INTERVAL=(1000 1)
 XBAND,SHIFT AND SPACE(CM)=(3 .1)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(25)

(AGC 200 0 0)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(26)

(NMD 5, 60 1750,180 1820,250 1860,300 2050,1000 3000)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(27)

(110, 60 1750,170 1880,295 1900,360 2030,1000 3000)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(28)

(280, 90 1800,200 1890,270 1910,320 2030,1000 3000)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(29)

(400, 80 1680,170 1720,270 1950,340 2100,1000 3000)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(30)

(520, 110 1700,190 1830,290 1920,370 2000,1000 3000)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(31)

(MUTE 2 0 0.8)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(32)

(CDP STACK 12 0 0 0)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(33)

(AGC 200 0 0)
 LINE# AND COMMENT(76 CHAR.)(0)

PROCESSING MENU

MUTE	I	1	I	WINDOW	I	STATIC	I	VELOCITY	I
FILT	I	2	I	LENGTH	I	FREC(L/H)	I	DB(C/L/H)	I
DECON	I	3	I	LENGTH	I	PARM,CRDS	I	WINDOW,ETC	I
AGC	I	4	I	WINDOW	I	STATIC	I	VELOCITY	I
NMD	I	5	I	STATIC	I	VELOCITY	I		I
CDP	I	6	I	TRACES	I		I		I
AUTO	I	7	I	LENGTH	I	WINDOW	I	STATIC,VEL	I
END	I	-1	I						

第11図 処理 プログ
 コンソール表示のハードコピー、囲いをつけた数

WHICH(1)? ④

AGC START POINT=A+B*R(M)

INPUT WINDOW,A AND B (200 0 0)

WHICH(2)? ⑤

LATERAL CONTROL TRACES =⑤

LATERAL POSITION(TRACES)[1] = 1

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(1) = (60 1750)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(1) = (180 1820)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(1) = (250 1860)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(1) = (300 2050)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(1) = (1000 3000)

LATERAL POSITION(TRACES)[2] = (110)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(2) = (60 1750)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(2) = (170 1880)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(2) = (295 1900)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(2) = (360 2030)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(2) = (1000 3000)

LATERAL POSITION(TRACES)[3] = (280)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(3) = (90 1800)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(3) = (200 1890)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(3) = (270 1910)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(3) = (320 2030)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(3) = (1000 3000)

LATERAL POSITION(TRACES)[4] = (400)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(4) = (80 1680)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(4) = (170 1720)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(4) = (270 1950)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(4) = (340 2100)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(4) = (1000 3000)

LATERAL POSITION(TRACES)[5] = (520)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(5) = (110 1700)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(5) = (190 1830)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(5) = (290 1920)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(5) = (370 2000)

NMO POINT AND VELOCITY(M/SEC)(5) = (1000 3000)

WHICH(3)? ①

MUTE START POINT=A+B*R(M)

INPUT WINDOW,A AND B ! (2 0 0.8)

WHICH(4)? ⑥

STACK TRACES,XCDR. START POINT,POINTS,MAX STATICS=(12 0 0 0)

WHICH(5)? ④

AGC START POINT=A+B*R(M)

INPUT WINDOW,A AND B (200 0 0)

WHICH(6)? (-1)

START TIME= 13 40 30 70

END TIME= 14 17 55 40

/KYCOZ(KYALK) END

:

C

D

E

ラムの実行例

字・文字は、オペレータが入力したものである。

5)最終的には結果を図形で評価する。

したがって、電子計算機へのデータ及びパラメータの入力には多大の労力と時間が必要となる。

このシステムでは、

- 1)磁気テープによる大量データの入力、
- 2)高速処理による余裕のある試行錯誤、
- 3)静電プロッタによる高速図化出力、

が可能になっており、パラメータの決定とその入力を容易にしている。

次に現システムの問題点を考えてみる。次の3点が考えられる。

1)ディスクの容量が小さいため、データの入出力は磁気テープが主体となっている。磁気テープはランダム・アクセスに向いておらず、これが処理上の障害となる場合がある。たとえば、CDP ギャザリングの処理では、大量のデータの並べ換えを行う。磁気テープを用いてこれを行うには、テープのフォワード・スキップ、バックワード・スキップを頻繁に行わなければならない。その所要時間は極めて大きい。したがってこの処理は本来、ランダム・アクセスのできる高速大容量のディスクを用いて行われるべきものである。高速大容量のディスクが使えれば、その他の処理時間も大幅に短縮できる。

2)静電プロッタ出力がオフラインであるため、多少時間のロスがある。

3) OS により、プログラムサイズが制限されており、本来1つであるべき処理プログラムを分割せざるを得ない。

また今後の進む方向としては、次のような点が挙げられる。

1)さらに正確で有効な静補正のプログラムを開発する。

浅層反射法では、高分解能を得るため、在来の反射法よりも高い周波数帯域の波を用いる。このため、数ミリ秒の静補正の誤差は致命的ですらあり、在来の反射法より厳密な静補正が要求される。

現在のシステムの静補正、残留静補正のプログラムでは、よい反射面がない場合には、残留静補正のためのシフト量の計算がかならずしも正確ではないため、必要な精度を得られない場合が多い。

2)マイグレーション処理プログラムを開発する。

断層構造を始めとする複雑な地下構造はマイグレーション処理により、より明瞭に表示される。

3)深度変換プログラムの改良を行う。

本システムの深度変換プログラムでは、浅部の深度は静補正量に大きく影響を受ける。

4)三次元的なデータ処理を行えるようにする。

非常に複雑な地質構造に対しては、三次元的なデータ処理が必要となる。

5)システム・ソフトをバージョンアップする。

6)各種入出力機器を追加する。

高速大容量ディスク、レーザ・プリンタプロッタ、デジタイザ、カラープロッタ等を追加する。

1), 2), 3), 4)はプログラムの改良・開発に係わることであり、5), 6)はシステム構成に係わることである。

以上6点が実現されれば、処理時間の大幅な短縮が可能となり、より高精度の解析が容易に行えるであろう。

5. おわりに

地質調査所物理探査部で作上げた会話型反射法データ処理システムについて述べた。このシステムはまだ完全なものではなく、現在も改良を加えている。このシステムは、ミニ・コンピュータの使いやすさと、アレイ・プロセッサによる、はん用大型計算機(RIPS)に負けない処理速度とを合せ持ったシステムになっている。

今後もこのシステムの改良を続け、より使いやすい、より高性能のシステムへと作り上げてゆきたいと考えている。

謝 辞

このシステムを作っていく上で、東京大学工学部石井吉徳教授には基本的考え方で、有益な御助言をいただいた。物理探査部中塚正技官、海洋地質部宮崎光旗技官には、ソフトウェアのプログラミング上で、御教示いただいた。また、サブルーチンの原形をいくつかいただいた。

またこの資料をまとめるにあたって物理探査部花岡尚之課長には有益な助言をいただいた。

各氏に感謝する。

文 献

- BARRY, K. M., CAVERS, D. A. and KNEALE, C. W. (1975) Recommended standards for digital tape formats. *Geophysics*, vol. 40, p.344-352.
- DOBRIN, M. B. (1976) *Introduction to Geophysical Prospecting* (3rd ed.). McGraw-Hill Inc., New York, 630 p.
- FLOATING POINT SYSTEMS Inc. (1978) *Programmer's Reference Manual*, Part 1, 2. Oregon.
- HEWLETT PACKARD Co. (1979) *RTE-IV Programme Reference Manual* (2nd ed.). California.

井川 猛・岩城弓雄・青木 豊・橋田 功・山崎
 喬・鳥羽武文(1978) 地震探鉱におけるデ
 ータ処理システムの進歩. 物理探鉱, vol.
 31, p. 140-155.

INPUT/OUTPUT Inc. (1980) *DHR-2400 Digital Tape
 Format*. Texas, 11p.

NEIDELL, N. S. and TANER, M. T. (1971)
 Semblance and other coherency measures
 for multichannel data. *Geophysics*, vol. 36,
 p. 482-497.

大塚俊道・佐木和夫・和知 登・金田義行(1980)石
 油開発技術センターの電算処理ソフトウエ
 ア(その2). 石油技術協会誌, vol. 45, p.
 148-158.

ROBINSON, E. A. (1967) *Multichannel Time Series
 Analysis with Digital Computer Programs*
 (Revised Edition). Holden-Day Inc., Cali-
 fornia, 298 p.

———— and TREITEL, S. (1980) *Geophysical Signal
 Analysis*. Prentice-Hall Inc., New Jersey,
 466 p.

渡辺史郎・加野直巳・田中信一・駒井二郎・小野吉
 彦(1981) 弾性波による手法の研究. 活断
 層探査手法の研究, 平野部における活断層
 探査手法および活断層の活動度に関する総
 合研究報告書, 科学技術庁研究調整局, p.
 32-49.

———— (1982) 浅層反射法. 物理探鉱,
 vol. 35, p. 290-300.

WIGGINS, R. A., LARNER, K. L. and WISECUP, R. D.
 (1976) Residual statics analysis as a general
 linear inverse problem. *Geophysics*, vol.
 41, p. 922-938.

ZIOLKOWSKI, A. and LERWILL, W. E. (1979) A
 Simple Approach to High Resolution
 Seismic Profiling for Coal. *Geophysical
 Prospecting*, vol. 27, p. 360-393.

(受付: 1982年12月23日; 受理: 1983年2月23日)

付録 アレイ・プロセッサについて

一般にはなじみのうすいアレイ・プロセッサ(以下AP
 と記す)について詳述する。

AP はベクトル浮動小数点演算を高速で行うものであ
 る。AP の内部構造から見てゆく。第A図はAP-120B

の内部バス・機能を示したものである。以下に内容を示
 す。

データ語長

38ビット。指数部10ビット, 仮数部28ビットからなる。

内部レジスタ

○ はん用レジスタ(データ・パッド X, データ・パ
 ッド Y)32個+32個。それぞれ 38ビット。

○ アドレスレジスタ(S-パッド・レジスタ)16個。
 16ビット/個。

メモリ

○ メインデータメモリ(MD) 128キロワード。38ビ
 ット/ワード。

○ テーブルメモリ(TM) 常用定数用 ROM 2.5 キロ
 ワード, RAM 4キロワード。38ビット/ワード。

○ プログラムソースメモリ(PS) 2キロワード。64
 ビット/ワード。

演算

○ 16ビット整数演算 内部アドレス演算及び論理演
 算。

○ 浮動小数点加算回路 2ステージ・パイプライン方
 式。13通りの演算を行う。3ビットのエキストラ・ビ
 ットを持つ。

○ 浮動小数点乗算回路 3ステージ・パイプライン方
 式。

プロセッサ・コントロール

○ 64ビットの命令語長。これにより最大10種類の命令
 を167 ns サイクルタイム内に実行。加算と乗算を同時
 に行うことができる。

双方向ハードウェア・フォーマッタ

○ 以下の4種類のフォーマッティングをハードウェア
 で行う。

ホスト・コンピュータ	AP-120B
16ビット整数型	38ビット浮動小数点型
32ビット整数型	38ビット浮動小数点型
IBM32ビット浮動小数点型	38ビット浮動小数点型
HP32ビット浮動小数点型	38ビット浮動小数点型

以上のような AP の能力を有効に用いるために次の
 ソフトウェア・パッケージが用意されている。

① フォートラン・コーラブルのサブルーチン・ライ
 ブラリ

- 1) 実数値ベクトルに関する演算
- 2) ベクトル, ベクトル要素の最大最小に関する演算
- 3) ベクトルのフィルタリングに関する演算
- 4) 複素数を要素とするベクトルに関する演算
- 5) マトリックスに関する演算

AP-120B機能ユニット

バス入力:

DPBS - データ・パッド・バス(38: Data Pad Bus)

DPX PS VALUE

DPY SPFN ZERO

INBS SWR

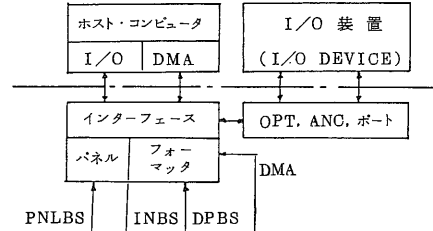
MD TM

INBS - 入力バス(38)フォーマッタ(Input Bus Formatter)

PNLBS - パネル・バス(16: Panel Bus)

DPA PS PSA

MA TMA



機能ユニット出力:

DPX - データ・パッドX出力

DPY - データ・パッドY出力

MD - データ・メモリ出力

TM - テーブル・メモリ出力

FA - 浮動小数点加算回路出力

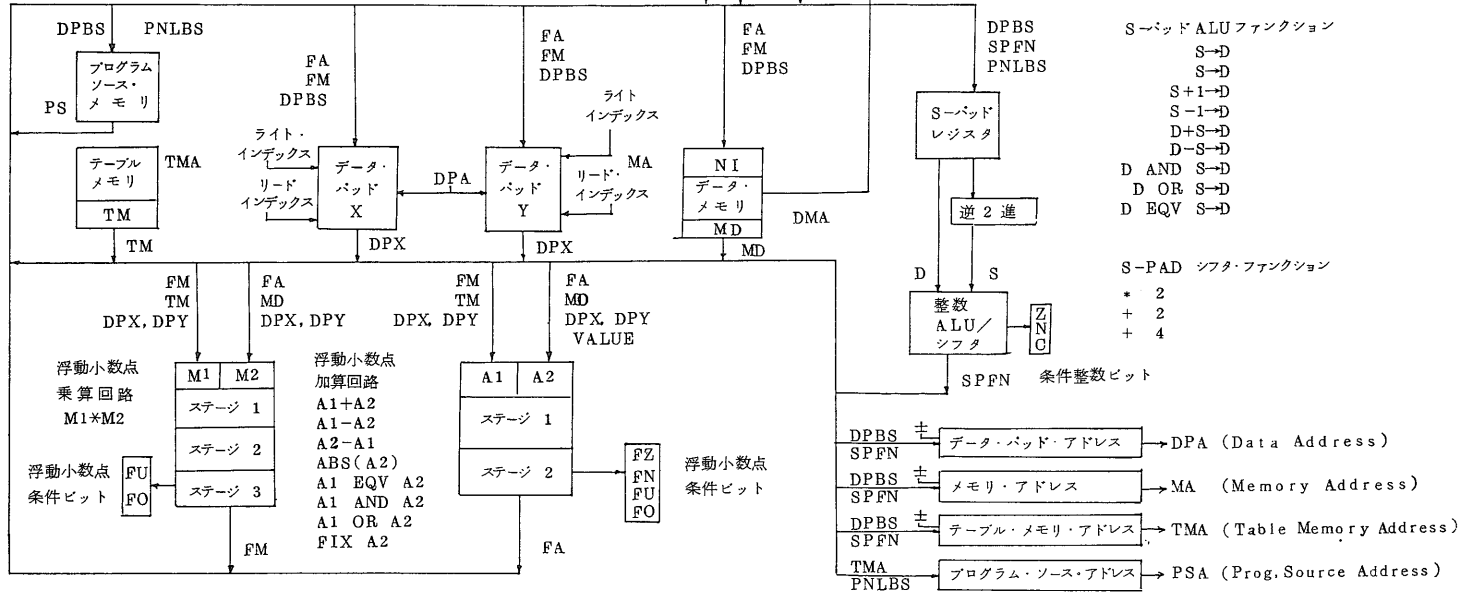
FM - " 乗算回路出力

SPFN - S-パッドALU出力

DMA - 直接メモリ・アクセス

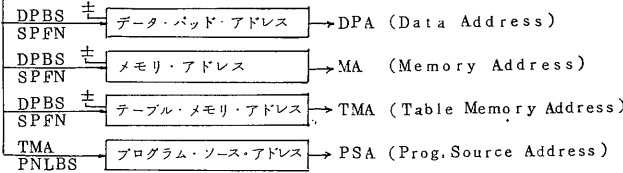
PS - プログラム・ソース出力

INBS - 入力バス



- S-パッドALUファンクション
- S→D
 - S→D
 - S+1→D
 - S-1→D
 - D+S→D
 - D-S→D
 - D AND S→D
 - D OR S→D
 - D EQV S→D

- S-PAD シフト・ファンクション
- * 2
 - + 2
 - + 4
- SPFN 条件整数ビット



第A図 AP-120Bの機能ユニット

AP-120B Processor Handbook, FLOATING POINT SYSTEMS Inc. より

- ・6) FFT に関する演算
- 7) 信号処理に関する演算
- 8) 画像処理用パッケージ
- ② APAL
AP-120B のサブルーチンのクロスアセンブラ。
AP-120B 用オブジェクト・モジュールを出力する。
- ③ APLINK
AP-120B 用オブジェクト・モジュールのリンケージ用プログラム。フォートランのソース・プログラムを出力する。
- ④ VECTOR FUNCTION CHAINER (VFC)
フォートランに似た文法により、複数の AP サブルーチンを 1 つにまとめる。APAL 用のソース・プログラムを出力する。
サブルーチンが 1 つになることにより、サブルーチンの転送・起動時間を短縮し、ホスト・コンピュータの負担の軽減がはかれる。一般的には AP の演算速度が高速であるため、AP のサブルーチンの転送・起動時間により全体の処理速度が決定される。したがって、フォートランによる DO 文で AP のサブルーチンをループさせているような部分を、VFC を用いて AP 内部に取り込めば、全体の処理速度は大幅に向上する。直接 APAL を用いてプログラミングすることが最良であることはいうまでもない。しかし、VFC の文法がフォートランに似ていること、それまでに作ったサブルーチン群が使えることから、非常に便利なプログラムである。
- ⑤ APDEBUG
AP-120B のソフトウェアのデバッガ。
- ⑥ 4 種の AP のシステム・テスト・プログラム
AP の動作チェックを行う。
これらのソフトウェア・パッケージを用いて、反射法データ処理のプログラムを作成している。