

光メディアを用いた物理探査データ処理システム

木村尚紀*・笠原敬司*

Geophysical Exploration Data Processing System with Optical Media

Hisanori KIMURA * and Keiji KASAHARA *

** Solid Earth Science Division,*

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

Abstract

A seismic reflection survey has been conducted since 1987, and the seismic data stored in IBM3480 type magnetic cartridges. Since data are recorded as a magnetic signal on the magnetic tape in this media, the depreciation of data quality is inevitable and not appropriate for long-term data storage. For this reason, data were transferred to optical media (CD-Recordable), which is considered able to store data with high quality for a long period, relatively easily. In addition, for the efficient usage of data, a classification rule of data arrangement in the hierarchy of the directory, which consists of the survey name, the line name and the process step was established before transferring the data, and then it was applied. In this way, the data of 19 surveys, which were conducted from 1987 to 1996, were transferred from 854 magnetic cartridges to 263 optical media in total. Furthermore, for the efficient usage of plural media, a data processing system, consisting of a CD-ROM changer, a changer server and a data processing terminal, was constructed. On this system, plural data on the plural media are expressed as one file system, and users can utilize them in the same way as that of usual local data.

Key words : Seismic reflection survey, Optical media, CD-R, Data storage, Classification of data

1. はじめに

我々は、1987 年以降主に日本列島の太平洋沖および関東平野において反射法地震探査による地殻構造調査を行ってきた（笠原ほか，1989；Kasahara *et al.*，1991 等）。その結果，日本列島下に沈み込む海洋性プレートの堆積層・地殻構造について連続的なイメージングが得られ繰り返し発生する海溝型巨大地震の一方の担い手となるプレート構造に関して詳細な知見が得られるとともに，関東平野における基盤構造・上部地殻構造に関して連続的な重断層が得られ関東平野の成り立ちや平野部活断層に関する知見が得られた。これらのデータは，日本において頻発する海溝型巨大地震や関東平野における直下型地震について議論する際に大変重要である。また，地殻構造と同時に関東平野を厚く覆う堆積層に関する構造も得られ，このような構造は地震観測時に不特定要因とな

る堆積層の影響や強震動予測の際にも基礎となるデータであり，これらのデータについて今後も継続して保管していくことは重要であると考えられる。

これまで，これらのデータは当分野において一般的に用いられている IBM3480 形式に代表される磁気記録媒体に保存されてきた。しかし，磁気記録媒体は長期間の保存には適切な管理が必要であり，今後継続してデータを保存するための媒体としては不適切であると考えられる。これに対し，光メディアにおいてはより容易に長期間のデータ保存が可能とされており，さらに CD-R と呼ばれる一回書き込み可能な光メディアが規格化され，データ記録装置が普及するとともに新たなデータ記録媒体として広く利用されるに至っている。この媒体においては，データ再生はレーザーを用いる非接触な方式で行われるため媒体の摩耗が生じにくく，またデータ記録方

* 独立行政法人 防災科学技術研究所 固体地球研究部門

式の特性から比較的容易にデジタルデータを長期間・高品質に保存可能とされている。このようなデータ保存の長期性に特に注目し、また、データ利用上の利便性の高さも考慮して反射法物理探査データを光メディアへ移設した。また、移設の際には効率的なデータ分類方法について検討し適用するとともに、さらに多数の光メディアを効率よく利用可能なシステムを作成した。その後、数年の試用期間を経てその利便性が実証されたのでここに報告する。

2. 記録媒体について

これまで、地震探査データの保存にはこの分野で一般的に用いられている IBM3480 形式磁気カートリッジを用いてきたが、今回データ移設先の新たな記録媒体として光メディア (CD-ROM, CD-R) を採用した (図 1)。両者の特性をまとめると表 1 のようになる。以下にデータ保存媒体としての観点から、両者の特徴を比較しつつ光メディアの利点について簡潔に述べる。

IBM3480 形式磁気カートリッジは通常の磁気記録媒体同様、データはテープ上の磁性粉に磁化情報として記録され、これを巻き取る形で保管される。そのため、時

間の経過とともにデータの劣化や転写による品質の低下が発生しやすくデータの消失も発生しうる。また、データ再生は磁気ヘッドをテープに接触させて行うため、繰り返し使用による摩耗が避けられない。このような問題を避けるためには、最適な温度・湿度等の保存環境の整備や定期的なデータの複写といった作業が必要となる。そのため、長期間の保存のための作業、保管環境とも大規模となりがちである。

これに対し、CD-ROM に代表される光メディアは次のような特徴を有しており、長期間のデータ保存に優れているとされている。CD-ROM と呼ばれる光メディアは直径 120mm の円盤状の媒体であり、データはピットと呼ばれるプラスチック基盤上の凹凸に保存される。このようなデータ保存機構からデータの劣化が生じにくく、比較的容易にデジタルデータを高品質に長期間保存可能とされている。また、データ再生はレーザーによりこの凹凸を識別する非接触な方式で行われるため、繰り返し使用による媒体の摩耗も生じにくい。当初はデータ記録のためには専用機器が必要であり記録媒体としての用途は限られていたが、比較的容易にデータ記録が行える媒体が規格化されデータ記録媒体として広く用いられるようになった。ここで、特に 1 回のみ書き込み可能な媒体が CD-R (CD-Recordable, CD-WriteOnce) である。CD-R においても CD-ROM 同様データは基盤上の凹凸として記録され、比較的容易にデジタルデータを高品質に長期間保存可能とされている。このような CD-R の長期間保存性については、高温・高湿度化における耐久試験等様々な検証が行われ、特にデータ記録層にフタロシアン (Phthalocyanine) を用いた媒体は耐熱・耐光性に優れているとされている。その特性は、高温・高湿度下における耐久試験において実証され、加速試験の結果からは室温において百数十年以上にわたって一定の品質が保持されることが推測されている (Doculabs, 1997)。

以上は、データ記録方式に着目したデータ保存期間についての議論であるが、データ利用時の利便性においても光メディアは次のような利点を有する。まず、データ再生速度に着目すると、磁気記録媒体においてはデータアクセスはシーケンシャルであり、目的のデータにアク



図 1 IBM3480 形式磁気カートリッジおよび光ディスク, CD-R. スケールは 10cm

Fig. 1 IBM3480 type magnetic cartridge and optical disk, CD-R. The scale is 10cm.

表 1 IBM3480 形式磁気カートリッジおよび光メディア (CD-ROM, CD-R) の特徴

Table 1 Characteristics of IBM3480 type magnetic cartridge and optical media (CD-ROM, CD-R).

	Magnetic tape IBM3480 magnetic cartridge	Optical media CD-ROM, CD-R
Size	Width 109 mm Height 125 mm Thickness 25.5 mm	Diameter 120 mm Diameter of hole 15 mm Thickness 1.2 mm
Method of data storage	Magnetic material on the tape	Grooves on the plastic basement
Method of reading data	Magnetic head touching the media	Optical head without touching the media
Capacity	200 MB 168 m, 38,000 bpi	650 MB 333,000 block/media 2,352 byte/block (user data block 2,048 byte)

セスするまで全てのテープを移動させる必要があるためデータの再生が低速となりやすい。これに対し、CD-ROMではランダムアクセスが可能であり、目的の位置に高速にアクセス可能でデータ再生に要する時間が格段に短縮される。次に、データ可用性からは、CD-ROMは一般的なデジタルデータ記録媒体として広く用いられており、その再生装置は現在ではワークステーションや一般のPCに標準的に装備されるまでに至っている。データ再生方式は両者で同一であり同一の再生装置を用いてデータ再生が行えるため、CD-Rに保存することによって幅広い環境で利用可能となる。また、このような理由から現時点で推測されているCD-Rの長期間保存性が仮に現実には成り立たない場合でも、他の新たな媒体への移設等その対応は容易であると考えられる。さらに、一度のみ記録可能なためデータの上書き等による消失も発生しないと利点もあげられる。

3. 反射法データについて

次に、データ移設の詳細について述べる前に、移設するデータの内容となる反射法探査についてその概要を簡潔に説明する。地震波反射法とは、人工的に弾性波動を生成し地下に入射させ、地下の不連続構造で発生した反射波を多数のセンサーにより記録し、適切な処理を行うことで地下空間における音響インピーダンスコントラスト分布を高精度・高分解能に得る手法である。地下構造の探査において同手法は特に分解能の高さが利点であり、防災上重要となる地質学的な構造区や地球物理学的に重要となる地殻構造・プレート構造に関するイメージングが高分解能に得られる。以下に、反射法地震探査におけるデータ処理の具体例について1989年伊豆半島東方沖エアガン探査(笠原ほか, 1989)におけるデータをもとに説明する。同探査は、伊豆半島東方沖の神津島西方沖から相模灘に至る領域で行われた。海域における反射法構造探査として一般的なエアガンを震源としたマルチチャンネル反射法探査であり、25m間隔で120個のハイドロフォンを内蔵したデジタルストリーマケーブルを船尾より曳航し、ショット間隔50mで発震し総測線長100.05kmのデータを取得した。次に、こうして取得されたデータを反射法探査において基礎的な概念となる水平成層構造を仮定した場合の共通反射点(Common Mid Point: CMP)(Yilmiz, 1987)を有するアンサンブルに編集する。次に、バンドパスフィルター、ゲインリカバリー、デコンボリューションなどの処理によってシグナルを強調した後、速度解析により得られた速度構造を用いてNMO補正を行い、重合処理(CMP stack)を行う。各処理段階における波形例を図2(a)に示す。重合処理によって共通反射点をもつデータを重合することにより、ランダムノイズは低減されシグナルはさらに強調される。重合するトレース数が多いほどS/N比は向上し、例えばN本のトレースを重合することによりS/N比は \sqrt{N} 倍に改善されることが期待される。さらに、重合処理結果にマイグレーション処理(Migration)を施すこと

により、傾斜した反射面が真の位置に引き戻された構造が得られる。このようにして得られた結果を図2(b)に示す。また、最近では解析の初期の段階から3次元的な構造を考慮して解析を行う重合前マイグレーション(Prestack migration)も一般的となりつつあり、同探査においてもこのような再解析が行われた。このように、より高度な再解析のためにショットギャザー・CMPギャザーのような原データについても引き続き保存しておくことは重要である。

4. データ分類及び移設

4.1 データ分類

今回移設するデータの量は膨大であるため、データ処理時の混乱を避け効率的な利用を実現するため予め系統的なデータ配置方法について検討した。その際、なるべ

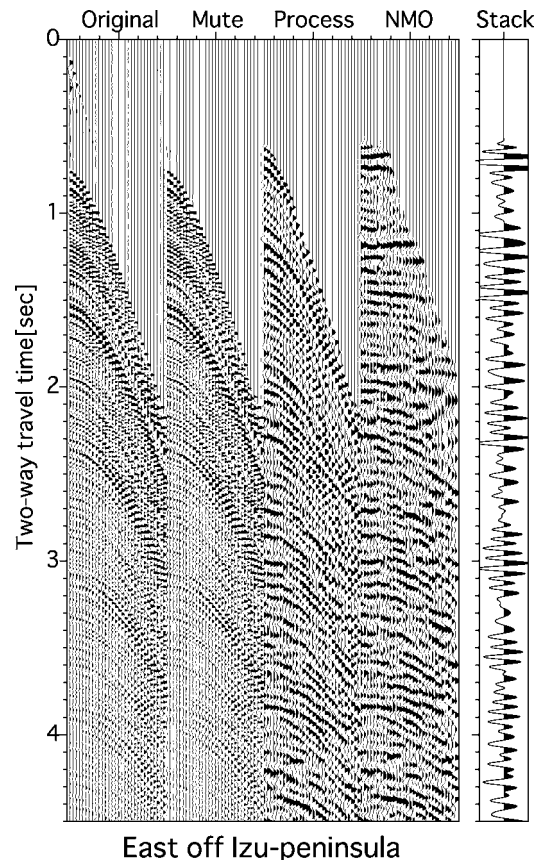


図2(a) 1989年伊豆半島東方沖地震探査における波形例(CMPギャザーの処理波形)。それぞれオリジナルデータ、ミュート後データ、バンドパスフィルター・AGC・デコンボリューション後データ、NMO補正後データ、重合後データを示す。

Fig. 2(a) Example of seismic record on multichannel seismic survey off the east coast of Izu Peninsula, 1989 (CMP gather). Each panel contains original gather, mute, result after the process of bandpass filter-AGC-deconvolution-NMO correction and stacked data.

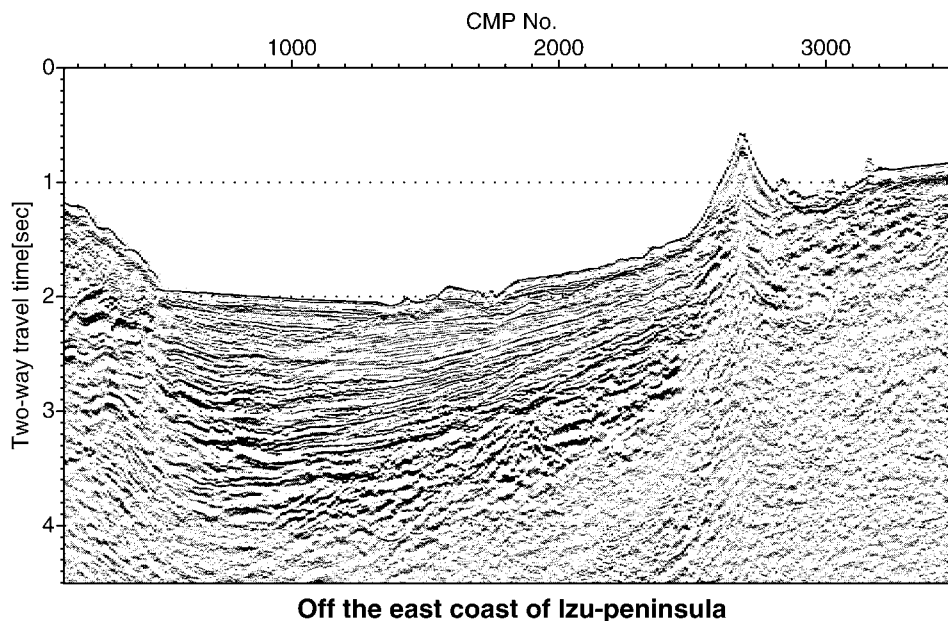


図 2 (b) 1989 年伊豆半島東方沖地震探査における波形例 (マイグレーション断面)

Fig. 2(b) Example of seismic record on Multichannel seismic survey off the east coast of Izu Peninsula, 1989 (Migrated section).

く他の情報がなくともその場で直感的にデータの内容が把握しやすくなるよう配慮した。その結果、図 3 に示すように探査名、測線名、処理の段階よりなる階層化されたディレクトリ構造上にデータを分類することとし、各階層において要素毎にディレクトリ名称を与えることとした。各階層における名称は表 2 に示すような方針で定めた。以下に、このような分類方法の利点について簡潔に述べる。まず、探査毎の分類であるがデータ処理を行う際には探査毎・測線毎に一括して行うことが一般的であるため、最も基本的な分類と考えられ、またこのような分類によってユーザがデータ処理を行う際に必要なデータが一瞥されるため有用であると考えられる。また、処理段階による分類は処理あるいは出力の目的に応じて必要となる処理段階のデータが異なるため有用であると考えられる。また、処理段階によってデータ容量が大きく異なることからこれらを分割しておくことは有用であろう。ファイル名によってデータの特性を示すことも考えられるが、冗長となるためここでは見送ることとした。

4.2 データ移設作業

以上の考察に基づき後述するような書き込みフォーマットに留意しつつ予め表 3 のように各名称を一意に定めた。データファイル名称には、予め磁気カートリッジに一意の通し番号を与えこれを用いている。このリストに基づき、IBM3480 上のデータをフタロシアニン製光メディア (三井化学社製 CD-R) に移設した。データ書き込みには通常の PC (Pentium 166MHz, 64Mb RAM, 2Gb HDD) を 3 台使い、効率的に作業を行うことができた。データ書き込みフォーマットにはいくつかの選択肢が存在するが、ここでは可用性を考慮し最も汎用性の高

いフォーマット (ISO9660) を用いた。その内容は表 4 のようであるが、各名称を定める際に特に問題とはならなかった。データ書き込み後、オリジナルデータとビット毎にデータの比較を行いデータが正常に記録されていることを確認した。以上の作業により、最終的に 1987 年から 1996 年の期間に行われた 19 探査について合計 854 巻の磁気カートリッジ上のデータを 263 枚の光メディアに移設した。今回移設した探査の一覧と磁気カートリッジ巻数および光メディア枚数の内訳を表 5 に示す。なお、光メディアはすべて正副 2 重化しデータ保存の信頼性を向上させた。また、データ書き込み後の比較においてエラーは一度も検出されなかった。

5. データ蓄積システム

以上のようにデータを移設することにより、比較的容易にデータを長期間保存可能となった。データ保存の観点からは以上で十分であるといえるが、データ処理の際にこれら多数の媒体を手動で扱うことは煩雑であり現実的とはいえない。そのため、媒体を機械的に選択する CD チェンジャを導入し、図 4 に示すようなデータ蓄積システムを作成した。同システムは CD チェンジャ、チェンジャサーバ、処理用端末からなり、処理用端末におけるユーザからのリクエストに応じ目的のデータを再生しユーザに提供するものである。以下その概要を簡潔に述べる。

CD チェンジャは、内部に格納された複数枚の媒体から目的の媒体を機械的に選択しデータ再生を行う。今回用いた機器では 100 枚の媒体を格納可能であり 50 枚ごとにマガジンパックに収納され必要に応じ入れ替えが可能となっている。CD チェンジャはチェンジャサーバに

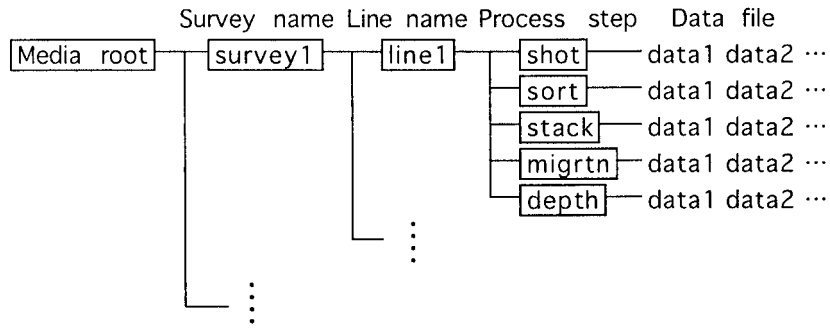


図3 探査名，測線名および処理段階に基づいて階層化したデータ分類

Fig. 3 Hierarchy of classification of reflection data based on the survey name, the line name and the process step.

表2 各階層における名称

Table 2 Name of each class.

depth	classification	Name of directory
1	Survey name	Shortened name of real survey name
2	Line name	Real Line name
3	Process step	Shot data(shot), CMP sort data(sort), stack data(stack), migration data(migrtn), depth conversion data(depth).

表4 ISO9660 level 1 によるファイル名，ディレクトリ名の制限

Table 4 The restriction of the file name and directory name due to ISO9660 level 1 format.

Possible characters for the name	Alphabets(a-z), Digits(0-9), underscore "_". Large character and small character are not distinguished.
File name	Not exceed 8chars+suffix 3chars.
Directory name	Not exceed 8chars.
depth of directory	Max 8

表3 探査名，測線名一覧

Table 3 List of survey name and the line name.

No.	Year	Survey name	Survey name	Line name
1	1987	伊豆大島地下構造	izuosm	cdp88
2	1989	伊豆周辺バイプロサイス	itovbr	cdp89a, cdp89b
3	1989	伊豆東方沖エアガン	izuair	i89_1
4	1990	伊豆東方沖再処理	izuair2	i89_1re
5	1990	小田原 A+B	odawara	90as
6	1990	南海トラフ	nankai	90ph
7	1991	プレート構造解明(H3)	plt91	91pl2b, 91pl3, 91pl3a, 91pl3_3a, 91pl3_a
8	1992	プレート構造解明(H4)	plt92	91pl1
9	1992	丹沢バイプロサイス	tanzawa	t91va
10	1992	関東平野バイプロサイス	kantovbr	line1
11	1992	下総V S P	shimousa	Vsp
12	1993	プレート構造解明(H5)	plt93	91pl2, 91pl2a, 91pl2_2a
13	1994	プレート構造解明(H6)	plt94	94pl4, 94ph, 94plc1, 94plc2, 94plca
14	1995	プレート構造解明(H7)	plt95	jn95_1, jn95_2, jn95_2_1, jn95_2_2, jn95_3, jn95_4, jn95_4_2, jn95_4_3, jn95_423, jn95_4123
15	1995	関東平野 '95	kanto95	kan95
16	1995	大洋村バイプロサイス	taiyoh	ty95a, ty95_1
17	1995	館林バイプロサイス	tatebys	tat95_1
18	1996	プレート構造解明(H8)	plt96	96c, 96ba
19	1996	館林(B)(成田)	narita	n96_1

表 5 データ移設を行った探査一覧及び探査毎の磁気カートリッジ巻数および光メディア枚数
Table 5 List of surveys whose data are transferred and the No. of magnetic cartridges and optical media for each survey.

No.	Survey name	No. of magnetic cartridge						No. of CD-R
		Shot	Sort	Stack	Migrtn	Depth	total	
1	izuosm	2	0	1	0	0	3	1
2	itovbr	2	2	1	0	0	5	1
3	izuair	22	22	1	1	0	46	15
4	izuair2	9	6	0	1	0	16	5
5	odawara	2	2	1	0	0	5	1
6	nankai	59	59	3	0	0	121	41
7	plt91	42	22	5	6	0	75	23
8	plt92	69	21	6	3	0	99	31
9	tanzawa	0	2	1	0	0	3	1
10	kantovbr	3	3	1	0	0	7	2
11	shimousa	4	1	1	0	0	6	1
12	plt93	24	12	1	1	0	38	13
13	plt94	0	13	11	8	7	39	7
14	plt95	78	50	17	3	1	149	43
15	kanto95	4	3	1	0	0	8	3
16	taiyoh	5	5	1	0	0	11	3
17	tatebys	4	2	1	0	0	7	1
18	plt96	135	66	3	3	4	211	70
19	narita	4	0	1	0	0	5	1
total		468	291	57	26	12	854	263

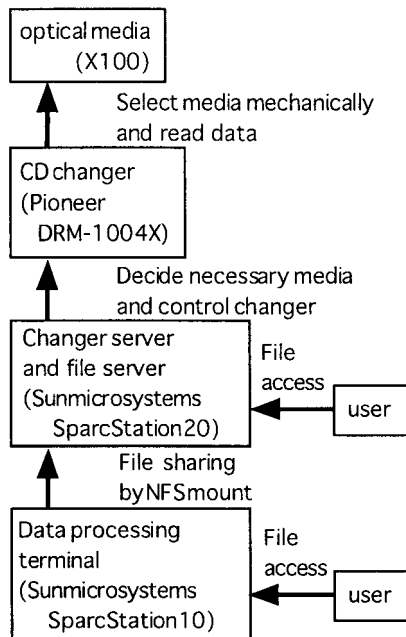


図 4 データ処理システム構成図
Fig. 4 Block diagram of data processing system.

より制御される。チェンジャサーバは CD チェンジャ内に格納された媒体のデータリストを保持し、みかけ上通常のファイルシステムと同等の形式でユーザに提供する。その際に、媒体上で同一のディレクトリ構成をもったデータはすべて一元化されるため、先に一貫した名称を用いた利点が活かされる。ユーザが目的のデータにアクセスすることにより、サーバが必要となる媒体を判定

し CD チェンジャを制御して目的のデータをユーザに提供する。このため、ユーザはどのデータがどの媒体に格納されているかといった詳細について意識する必要がない。また、通常の磁気ディスク上のデータと同様の形式でデータを利用可能な機構となっているため、CD-R 上のデータが磁気ディスク上のデータかについても意識せず利用可能である。さらに、UNIX における一般的なファイル共有手法 (NFS mount) に対応しており、データ処理端末がサーバと同一である必要はなく、また、処理端末からも通常のファイルと同様に利用可能となっている。

最後に、実際のデータ利用形態についてフリーの反射法処理ソフト SU (Cohen and Stockwell, 2001) を例に紹介する。まず、SU を用いて磁気ディスク上のファイル 0001.dat (SEG-Y) を利用する場合は、

```
segypread tape = ./0001.dat( SU の処理 )..
```

となる。今、チェンジャサーバ上で CD チェンジャ内のデータが /changer としてマウントされている場合、同チェンジャに格納された /survey1/line1/stack/0001.dat というデータは、

```
segypread tape = /changer/survey1/line1/stack/0001.dat|  
( SU の処理 )..
```

として利用される。これを、外部の処理用端末から利用する場合、例えば処理用端末 host2 の /mnt に NFS マウントされている場合は

```
segypread tape = /mnt/survey1/line1/stack/0001.dat|  
( SU の処理 )...
```

として利用される。いずれの場合も基本的なデータの利用形態は通常のファイルの場合と同様である。

6. まとめ

これまで磁気カートリッジ上に蓄積されてきた反射法物理探査データを光メディアに移設することにより以下のような利点が得られた。

- (1) 長期間のデータ保存が比較的容易になった。
- (2) データ再生・利用がより容易になった。

これらは主に光メディアの特徴におうところが大きいですが、移設前の磁気媒体はデータ再生が低速であること等の理由からデータが活用され易いとは言えず、データの光メディアへの移設によるデータ利用の効率化の効果は大きい。しかし、多数の光メディアを手動で扱うことは現実的とはいえず、ここではさらに次のようにしてデータ利用時の利便性を向上させることができた。

- (3) 一貫したデータ分類を行い、直感的にデータアクセスが可能となった。
- (4) 多数のメディアを自動的に取り扱うシステムを作成しデータ利用時の利便性を向上した。

以上によって、データの長期間の保存を可能としつつ同時に利用時の利便性も実現することができた。今回作成した分類規則、データ処理システムは十分な拡張性を有しており、今後探査が追加して実施される度に同一の内容でデータを追加していくことが可能である。今後、さらにデータが蓄積されていくとともに、これまでのデータが新たな観点から整理されることが期待されるが、そのような場合にもデータの利用は容易でありこのようなデータによって地殻構造に関する研究が進展されることが期待される。

謝辞

データを移設するにあたり磁気カートリッジの整理には地球科学総合研究所・川中卓氏に大変お世話になりました。また、データ移設作業の際には地震予知総合研究振興会・菊地昌江氏、筑波大学の柳谷正章・池間健仁の両氏に多大な協力をいただきました。さらに、匿名の読者には本稿を改善する上で有益なご指摘をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Cohen, J.K. and Stockwell, Jr. J.W. (2001): CWP/SU: Seismic Unix Release 35: a free package for seismic research and processing, Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines.
- 2) Doculabs, Inc. (1997): Compatibility of CD-R Media, Readers, and Writers, Prepared for National Media Lab, Doculabs Test Report: Doculabs, Inc., Chicago, Illinois
- 3) 笠原敬司・鈴木宏芳・山水史生・岡田義光・黒田 徹・井川 猛・岩城弓雄・浅田正陽 (1989): マルチチャンネル反射法地震探査による伊豆東方沖地下構造調査. 日本地震学会講演予稿集, No. 2, 200.
- 4) Kasahara, K., F. Yamamizu, A. Takahashi, and T. Ikawa (1991): Reflection Profiles of the active seismic and volcanic region off the east coast of Izu Peninsula, J. Phys. Earth., **39**, 361-370.
- 5) Yilmaz, O. (1987): Seismic Data Processing: Investigation in Geophysics, Volume 2, edited by S.M. Doherty, Society of Exploration Geophysics.

(原稿受理: 2002年3月22日)

要 旨

我々は、1987年以降地殻構造調査のための反射法構造探査を行ってきたが、それらのデータはIBM3480と呼ばれる磁気カートリッジに保存されてきた。このメディアは通常の磁気記録媒体同様、データはテープ上の磁性粉に記録されるため、データの劣化が避けられず長期間の保存に適切であるとはいえない。そのため、我々はより容易にデジタルデータを高品質に長期間保存可能とされる光メディア(CD-R)へ移設した。データ移設にあたっては、データ処理時の効率的な利用を実現するため、あらかじめデータ配置方法について検討し探査名、測線名、処理段階により階層化されたディレクトリ構造にデータを配置する分類規則を定め適用した。このようにして1987年から1996年の期間に行われた19探査のデータについて移設を行い、合計854巻の磁気カートリッジ上のデータを263枚の光メディアに移設した。さらに、多数の光メディアを効率的に利用するため、CDチャージャ、チェンジャサーバおよび処理端末からなる処理システムを作成した。このシステムにより複数にわたる光メディア上の複数のデータが単一のファイルシステムとして表現され、通常のファイルと同等の形式で利用可能となった。

キーワード: 反射法地震探査, 光メディア, CD-R, データ保存, データ分類