

## 特集「物理探査の最近の話題から」—続き

# ヒューストン大学SALの地震探査モデル実験装置

加野直巳<sup>1)</sup>

筆者はアメリカ合衆国テキサス州ヒューストン大学で研究を行う機会を得ました。この留学は科学技術庁長期在外研究員制度によるもので、期間は昭和63年3月20日から平成元年3月19日かけての1年間でした。大学ではAllied Geophysical Laboratories, The Seismic Acoustics Laboratory (SAL) において、客員研究員として研究を行ないました。ここではこのラボについて報告したいと思います。

## 1. The Allied Geophysical Laboratories の構成

The Allied Geophysical Laboratories (AGL) はつぎの4つの Laboratories からなっています。

- The Seismic Acoustics Laboratory (SAL)
- The Cullen Image Processing Laboratory (IPL)
- The Research Computation Laboratory (RCL)
- The Field Research Laboratory (FRL)

このうち FRL はオーストラリアの Curtin University of Technology との共同の Laboratory となっており実際の活動は主にオーストラリアで行われています。

それぞれのラボはコンソーシアムをくんで研究を行っています。実際には毎年各ラボは関連企業に対して研究内容のプロポーザルを行い(研究期間は10月からの1年間)、これをよしとする企業から資金(\$15,000/年)を集めます。このお金を計算機など各種装置の維持費、学生たちの研究費、あるいはコンソーシアム参加企業へのプレゼンテーションの費用として用いています。

## 2. SAL で行っている研究内容

SAL では地震探査反射法のデータの処理の研究を行っています。その中心となるのが、地震探査の物理モデ

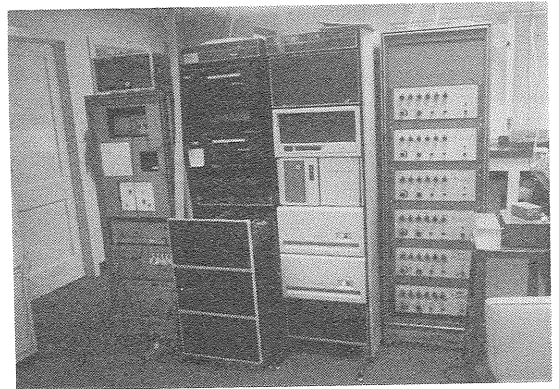


写真1 反射法地震探査物理モデル実験装置コントローラ (PDP-11)

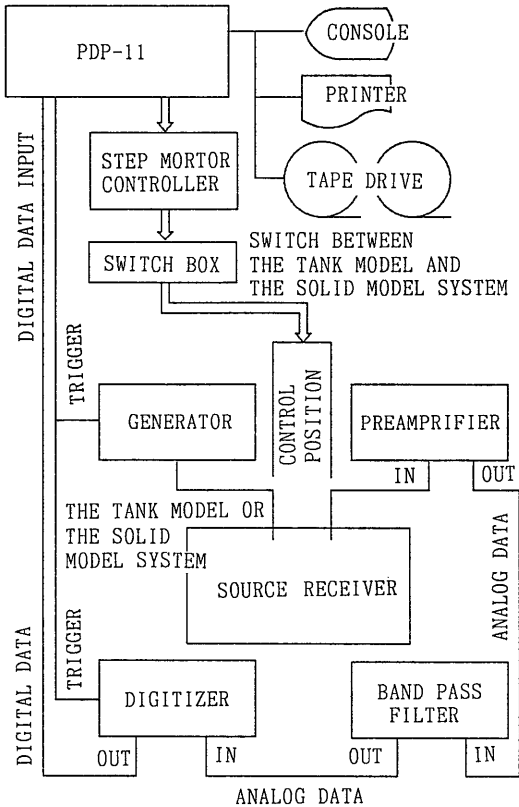
左からアナログ部、磁気テープドライブ、計算機本体および磁気ディスク、ステップモータのコントローラ(6台)

アナログ部は上から、オシロスコープ(波形確認用)、マイコン(発生波形データ収録用)、波形発生装置、バルスジェネレータ、バンドパスフィルタ(左)、アンプ(右)、A/D変換装置

ル実験装置です。まず興味ある構造の1/12,000のスケールモデルを作成します。このモデルの反射法探査データを収録し、それをデータ処理することにより、その処理法の問題点を探り、新しいデータ処理法を考えていきます。

モデリングの方法としては計算機を用いて数値的に行う方法もあります。しかし数値的にモデリングを行うためにはそのためのアルゴリズムが考えられているわけで、それとデータ処理のアルゴリズムとが理論的に反転させたものであれば、データ処理はうまくいって当然ということになります。また3次元の複雑な地層構造に対する数値モデリングはまだ十分実用になっているとはいえません。そこで新しいデータ処理法を考えていく第1ステップとして数値モデリングデータを用いた後に

1) 石油公団：〒100 東京都千代田区内幸町2-2-2



第1図 反射法地震探査物理モデル 実験装置のブロックダイアグラム。

は、もっと実際に近いデータに対して応用してみる必要があります。かといって実データでテストするのは、真の地下構造がわかっていないので問題があります。そこでこの物理モデル実験が重要になってくるわけです。データ処理によって実験で得られたデータから、真のモデルの構造により近い情報を抽出できればそれがよい処理法ということになります。

物理モデル実験装置はPDP-11をコントロールシステムとして用い(写真1)、ステップモータによる発振器・受振器の位置のコントロール、発振およびA/D変換のためのトリガ、変換データの取り込みなどができるようになっています(第1図)。実験データ収録の手順をこのコントロールシステムへの入力ファイルとして作成すれば(リスト1)、自動でデータを収録し、磁気テープに書き込むようになっています。データ収録は、3重のループが可能になっており、3次元地震探査のシミュレーションも行えるようになっています。

データのサンプリング間隔は0.5~2μsで、マニュアルで変更します。データ収録前には、連続発振のモード

```

PROJECT
SALNK SYSTEM TEST
SYSTEM
TANK
C TANK AQUISITION SYSTEM
RUNTYPE
1
C GEOMETRY DEFINITION
NUMRCVR
20
0 0 0 0 0 0
1 2
RCVRLINE
64
0 30 0 0 0 0
SHOT
12
0 30 0 0 30 0
1 2
SHOTLINE
1
0 0 0 0 0 0
1 2
:
NSAMP
4000
:
:
END
    
```

リスト1 システムのコントロール用プログラムへの入力パラメータファイルの例。キーワードの下にパラメータを書くようになっている。

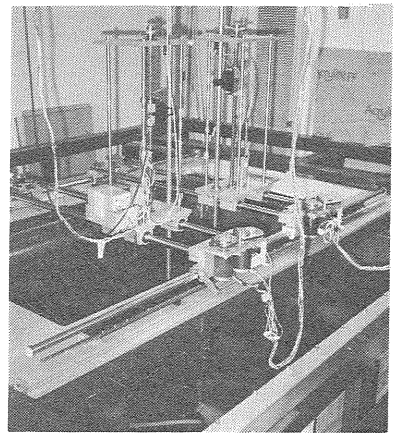


写真2 P波用の実験装置。水槽(音響モデル)

で発振を行い、受振記録をオシロスコープで確認し、バンドパスフィルタの設定を決めたり、記録長の確認を行ったりします。

実際にモデルを取り扱う部分は2種類あります。水槽中でデータ収録を行うP波用実験装置(写真2)とモデルに直接発振器・受振器を接触させデータ収録を行うP波S波両用の実験装置(写真3, 4)です。発振器・受振器にはどちらの装置でもピエゾタイプのものを用いています。この発振器・受振器を動かすステップモータのコン

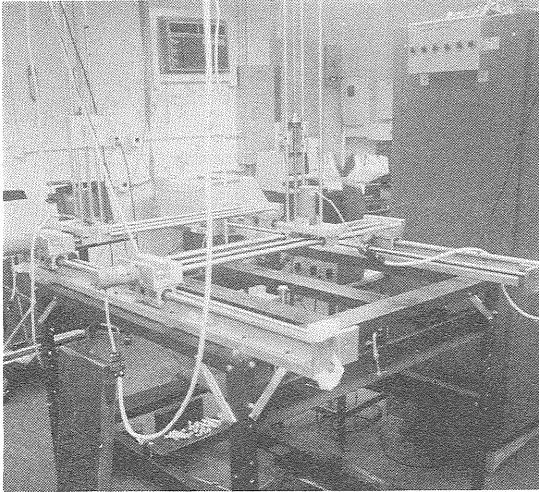


写真3 P波S波両用の実験装置全体像。

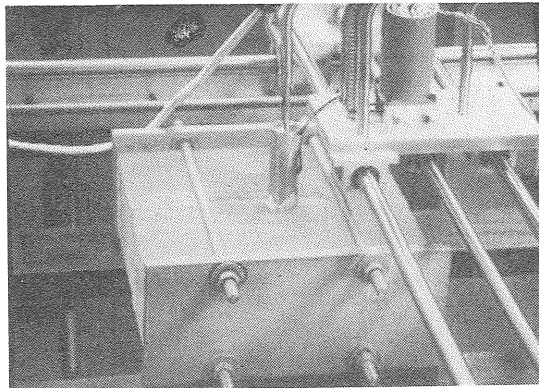


写真4 P波S波両用の実験装置，透過波実験中。

トローラは6チャンネル分有り，受振・発振それぞれ3方向（XYZ）の制御ができるようになっています。どちらの装置を使うかにより，手動でコントローラの出力を切り替えるようになっています。ステップモータの1ステップは，P波用実験装置では1/200 inch（スケール比で1.5m相当），P波S波両用の実験装置では1/400 inch（スケール比で0.75m相当）です。なおP波用の実験装置とP波S波両用の実験装置とでは発振器・受振器の移動のさせ方が異なるので，コントロールシステムへの入力ファイルのパラメータで指定するようになっています。

P波用実験装置では発振器・受振器とモデルは接触しておらず水を介しています。このため，発振器・受振器の移動が簡単でP波S波両用の実験装置に比べかなり効率よくデータを収録することができます。

P波S波両用の実験装置では目的に応じて発振器受振器を取り替えることによりP波あるいはS波に対応させています。さらにS波の実験のために回転用のモータも

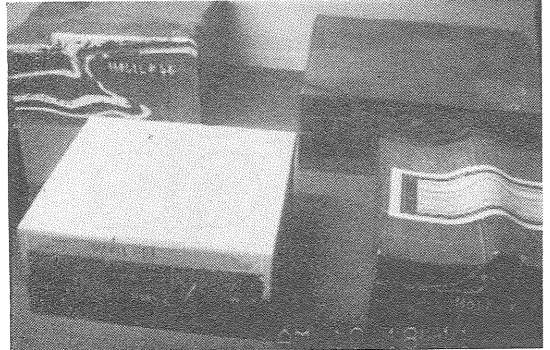


写真5 各種モデル。

右手前はリッジのモデル，右奥は褶曲のモデル，左奥はオーバースラストのモデルである。

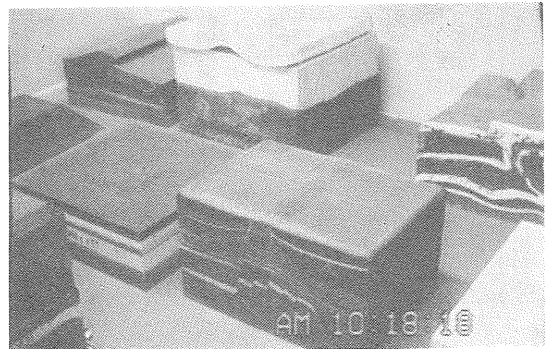


写真6 各種モデル。

右手前はリッジのモデル，その左はソルトドームのモデルであるが外見からはわからない。

用意しており，XあるいはY方向に発振器・受振器を動かすかわりに発振器・受振器の方位を回転させることもできます。このときモータの1ステップは4度になっています。

物理モデル実験に使うモデルは合成ゴム，合成樹脂を用いて作っています（写真5，6）。異方性を持ったモデルを作るため，薄いアクリル板を重ねたり，薄いアクリル板とアルミホイルを積層させたものを作ったり，木を試したりと新しい特性を持ったモデルの作成に努力もしていました。

合成樹脂では樹脂の種類，硬化剤の種類・量，添加物（ガラス玉，金属など）によって，P波速度・S波速度・密度が変わります。モデルの作成に際しては，これまでで作ったモデルの音波速度，密度の記録がしっかりしているため，望みの特性を持ったコンポーネントを組み合わせ，新しいモデルを作成することができるようになっています。モデル中に気泡があると，大きなノイズのもととなるので，真空にひきながら樹脂と硬化剤を混ぜるな

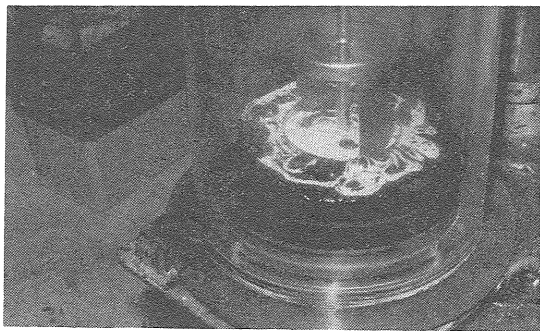


写真7 合成樹脂を真空中で攪拌しているところ。  
4種類の物質を混ぜていること、真空にひくことにより泡が出てきていることがわかる。

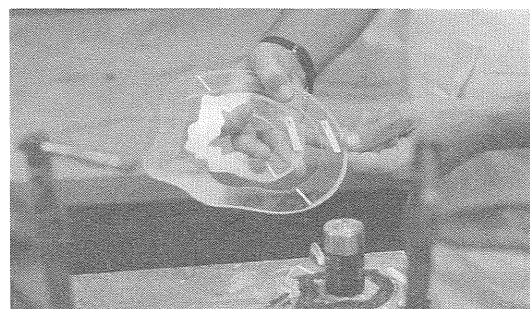


写真8 モデルの一部を作っているところ（薄い層）。  
合成樹脂でモデルを作り出す前にネガティブな型を作る。ここではアクリルを切り抜いて各部分のポジティブな型を作っている。2つのポジティブな型の間をネガティブな型となっている。1つおきにモデルを作っていくとそのモデルをネガティブな型としてつかえる。硬化後のモデルが砕からきれいに離れるようにグリスを塗っておく。

ど気泡の除去には気を使っていました(写真7, 8)。またモデルの各構成部分のテストブロックを作って、速度・密度を測定し、特性の確認をしていました(写真9)。

モデルにより得られたデータと、実際のデータとの対応のためには、時間では1,000~5,000 (1~5 kHz/1 Hz) の、距離では12,000 (1 inch/1,000 feet) のスケールファクタを用いています。実際に即していえば、このようなスケールファクタを念頭において、モデルの作成を行います。こうして収録したデータを地震探査反射法データ処理用のコンピュータ(RCLが管理、後述)により処理を行い、研究を進めてゆきます。

モデル化する対象となる地下構造としては、色々な形のソルトドーム、リッジ、EOR (Enhanced Oil Recovery) を想定したもの、異方性を持つものなどがありました。このようなモデル上で3次元地震探査や2次元地震探査

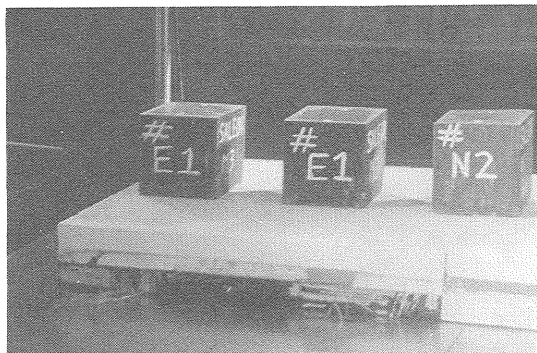


写真9 テストブロックの速度測定。  
モデルを構成している物質の速度を求める。

を行うわけです。

このデータ処理用のコンピュータを用いて新しいデータ処理法の開発も行っています。たとえば、DMO (Dip Move Out Correction), AVO (Amplitude Versus, Offset), 深度に対する速度変化が線形である場合の Migration などです。新しい情報源として表面波の研究を始めようともしていました。

企業の要望で、特別のプロジェクトを行うこともあります。筆者がいる間に行われたのは、企業が興味のある特別のモデルを作成し、その3次元のデータ(約1,700,000トレース(376×376×12=1,696,512))を取得するというものでした。企業はこのデータを新しいデータ処理法のテストに使っているようです。ただこのデータの取得には約2ヶ月近くかかり、効率が悪いので、同時に8チャンネルのデータを収録するマルチチャンネルのシステムを開発するプロジェクトもすすめていました。

### 3. その他のラボで行っている研究内容

IPL では反射法データを中心としてその表示のしかたの研究を行っています。

3次元地震探査データやボーリングコアのCAT (Computer Aided Tomography) データの表示法として、等振幅の面を立体的に表示する方法を用いたり、このとき穴となっている低振幅部の連続した体積を計算することなどの研究が印象に残っています。SALで作成するモデルの立体視のためのデータをカメラにより撮り(写真10)、モデル表面の標高データの取得のために利用する研究も行っていました。

RCL では反射法の処理プログラムのインプリメントを中心に研究を行っています。具体的には CRAY や NEC のスーパーコンピュータ(いくつかの大学で共用で用いたためのセンタにある)上に DMO のプログラムや既存の

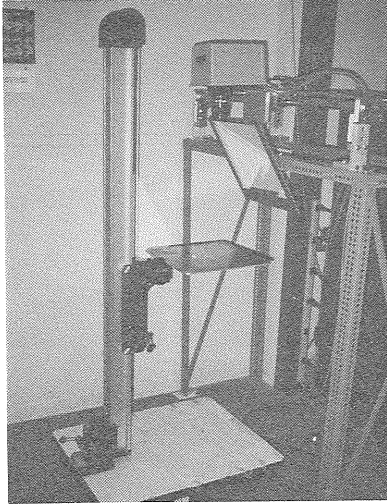


写真10 モデル表面の標高データの取得のための撮影装置  
モデルの立体視のためのデータをカメラにより撮り、  
モデル表面の 標高データの取得のために利用する。上  
部の鏡は スライド装置からグリッドを モデル表面に投  
影するためのものである。

プログラムのオプティマイズのための preprocessor を  
インプリメントしたりしています。AGL で所有してい  
る VAX 11/780 システム (FPS-500 2台, 磁気テープドラ  
イブ5台, 静電プロッタ 2台, ターミナル 8~10台など) に反  
射法データのデータ処理システムの DISCO や数値モデ

リングシステムの AIMS などがインストールされたシ  
ステムの管理も行っています。このシステムは AGL で  
研究を行っている学生はもちろんのこと, SAL のふた  
りの Director の授業を受けている学生も宿題のために  
使っています。

FRL では実際に 現場でのデータ収録を通じて, 3次  
元地震探査などの反射法地震探査の研究を行っていま  
す。

#### 4. おわりに

ヒューストンは「石油の首都」とよばれるだけあり,  
世界各国から AGL に研究にきていました。博士号をと  
るために会社を辞めて入学してくる人もいました, また  
コンソーシアムをくんで企業から資金を集めているだけ  
に企業との関係もかなり深いようです。こういったこと  
は研究を進めていく上で大きな刺激となっており, 活発  
な研究が行われています。筆者も有意義な刺激を得るこ  
とができました。最後にこのような機会を与えてくだ  
さった関係諸氏に深謝して報告を終わらせていただきま  
す。

---

KANO Naomi (1990): Seismic experiments using scale  
models in SAL, the University of Houston.

---

<受付: 1990年1月16日>