

資源探査と高度情報処理

Resources Exploration and State of the Art Information Processing

森 俊 二*

Shunji Mori

はじめに

資源探査と高度情報処理というタイトルではあるがあまりにもこのタイトルの範囲は広く、とても著者の力を超えるものである。そこで著者の現在の仕事との関連と、石油は依然として主要にして重要なエネルギー源であることから、資源はここでは石油に限定させていただくことにした。とはいえ、石油探査についての技術は他の資源探査、にも基本的には応用され得るものと考えられる。一方高度情報処理の方もその範囲は非常に広い。しかし、これも著者の現在の仕事上大きく二つの分野に限定させていただくことにした。すなわちコンピュータ・グラフィックスと人工知能である。ところで前者は良いとしても後者の定義が実は極めてあいまいである。例えば、人間のすぐれた知的能力として、パターン認識の能力があるが、それは人工知能に入れるのかどうか、議論のあるところである。しかし一応学会レベルではこれらは二つの分野に分けられているが、例えばパターン認識の最も権威のある専門誌IEEE Trans Pattern Recognition and Machine Intelligenceで、画像認識についてのエキスパートシステムの応用の特集号¹⁾など出している。それで広義には人工知能にはパターン認識も含まれるものと考えられる。ともかく、ここでは人工知能を二つに分けて、パターン認識とエキスパートシステムにつき、その応用について述べることにする。

コンピュータ・グラフィックス (CG)

高価だったグラフィックエンジンが、安価に使用できるようになると共に、いわゆるCGは急速な進歩をとげたことは承知の事実である。地質屋の伝統的な仕事にマッピングというのがある。例えばそのマッピングに、等高線図を書くというのがあるが、現在で

はデータ点(高さ)を与えることにより自動的に地図を画くパッケージがいくつか商品化され、良く利用されている。例えばISM, G-MAP, CSP-1などが有名である。

この様なパッケージと地質学者との能力を比較した興味ある実験がある²⁾。既に知られた地域でデータ点を、地質屋とコンピューターに与え比較した所、結果は、コンピューターは平均点であったということである。特に優秀な地質屋にはかなわないが、しかし、並みの地質屋より良い結果を与えるということである。データ点が増大すると、ますますコンピューターの方が優利になることは予想されることである。

しかし、上に述べた話しは単なるマッピング能力の人間とコンピューターとの比較ということ以上に、実はより深い意味があると思われる。それは、特に優秀な地質学者はやはり、コンピューターを凌駕したということである。何故か、それは地図を書くということ、コンピューターの方は、簡単な原理(例えば minimum tensin)で一様に実行しているわけであるが、エキスパートの方はそれ以上に地質学に対する解釈が、加味されているということである。この意味において単に結果だけをターミナルなりハードコピーにして表示するという、いわば受身的なCGではなく、エキスパートが積極的にグラフィックスの作成に参加できるような、いわゆるマンマシン・インタラクティブシステムが望ましいのである。実はこの様なことは、高度情報処理システム全体に云えることであり、具体的にシステムを作る場合に、欠くことのできない一つの要素技術となっている。

勿論、データ量が膨大になり三次元となると、労力からしてエキスパートといえども手に負えなくなる。このような例として、三次元サイスマックスがある。もっともこの例はデータが、最終的な三次元地質構造から見れば、原始データであり、これをまた色々に解析処理を加えなければならない。そこでやはりエキス

* 日本シュルンベルジェ(株)システム事業部地質モデル部長

〒229 神奈川県相模原市淵野辺 2-1-1

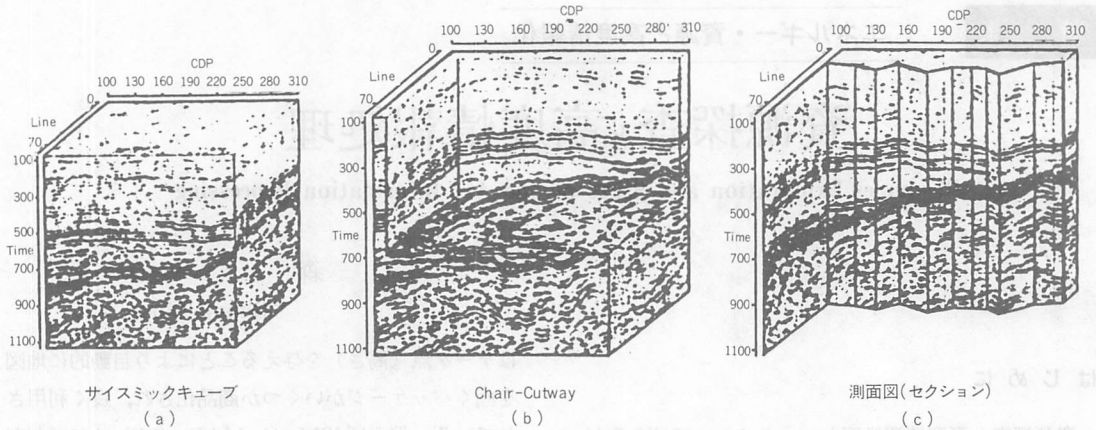


図-1

パートの解釈が必要となるのである。ともかく、三次元の生データ（反射波パターン）の表示は現在のCGからは決して困難な仕事ではない。いわゆるサイスマックキューブの、種々の処理パッケージが良く利用されている。図-1にその若干の例を示す。これは Adage といわれるグラフィックス装置上での、Seise 3000 なるパッケージを用いて画かれたものである。(a)はサイスマックキューブで、(b)はこのカットの形の如く、Chair cutaway と呼ばれるので、(c)は任意のセグメントでの側面図（セクション）である。その他に、Movie-looping と云って、例えば時間軸で、連続的にサイスマックキューブをカットしていく高級な処理も出来るようになってきている。これらはメニューによる会話形式で行われる。また勿論、印刷上図は白黒であるが、振幅よっての任意のカラー表示が可能である。

さて話を戻して、マンマシンインタラクティブ（インターフェース）システムの例を示そう。図-2に示したのは坑井対比（相関）図（WTW）を作成するためのマルチウエル・ウインドーと呼ばれるインターフェースである。WTWはこれまな地質屋の典型的な仕事で、等高線地図を作成するよりもっと困難で、エキスパートの深い経験が必要とする。実は後で若干述べる予定であるが、これを自動的に行わせようという試みが、幾多なされてきた。しかし、まだ決定的なものは出ていない。われわれ自身、半自動的WTWの研究プロジェクトを持っていて若干の基礎的実験・研究を行っているが、まずは、地質屋にまかせようということで、このようなインターフェースを、Reservoir Modelling Workstationの一つのサブシステムとしてXeroxのD-machine上に作ったものである。

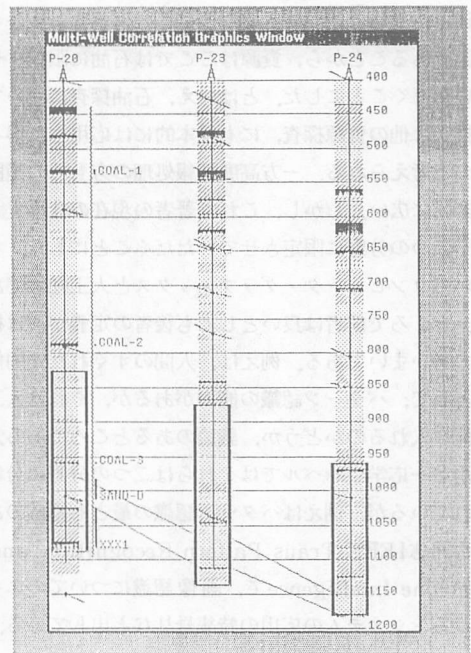


図-2 坑井相関図（Well-to-Well Correlation）のためのインタラクティブウインドウ。ゾーニングは、LITHOによる岩相分類で行われている。またディープメータによる地層の傾斜を示すスタックプロットも同時に表示されている。各坑井での柱状図で矩形で囲まれている部分は拡大されて、三つの坑井部分が、例えばGRと岩相で詳しく比較することができるようになってきている。なお、これは古いバージョンのもので、現在ではサイスマックマーカーによるホライゾン、垂直に簡略化した断層を同時に表示できるようになっている。

各坑井は岩相でゾーニングされているが、各坑井をピックアップすることにより、それをより詳しく見ることも、またGR (ガンマー放射線)などの他のログの特性を見ることも出来る。実はゾーニング自身、各坑井を見るシングル・ウエル・ウィンドウ上で、マニュアルにまた半自動的に行うことができる。対比 (相関) が取られる地層は、一般にはコンポーネントと云っているが、地質的には例えばメンバー単位か、ベッド/マーカー単位かは、木構造エディターと呼ばれるこれまた一つのコンポーネントの分類、名前づけのインターフェースのウィンドウを開くことによって行われる。かくして、マルチウエル・ウィンドウ上で対比 (相関) はゾーンをただピックアップしていくことにより、簡単に行われる。このように、インターフェースでは、ウィンドウシステムが非常に重要な役割を演ずる。勿論、それはメニュー、ボタンイブントファンクションを含む。それらについてはまた後で話題となる。

パターン認識







先にも述べた如く坑井相関図を自動的に画かせようという幾多の試みがなされてきた。例えばGRなどのログ波形の対比 (相関) を取るのであるが、坑井間の距離が数百m以上も遠くなると、その中間に断層があったり、ある一つの坑井で明確に存在が認められる例えば砂の層が、ピンチアウトしているかも知れない。このようなことから、地質学上の知識を必要とし、実はこの問題は広い意味での人工知能の問題と考えられるのである。

波形だけに注目し、それを強引にマッチングさせようという試みが、実は音声認識におけるダイナミックプログラミング方式の成功から、行われたが、やはり限界のあることが分った。実は波形の対比 (相関) 以前に人間が行っているように、ゾーニングが大きな問題なのであり、まずこれを解決しなければならない。これには、波形からゾーニングを行う方法と、岩相から行うものに大きく分けられるが、勿論間隙率など他の特性量も考慮され得る。われわれはこの意味で、特にGRと比抵抗について、波形の分析を行い、図-3に示す如く、典型的な波形であるベル形、ファンネル形、シリンダー形、スパイク形などを記述する。Log Shape Anclzyer (LSA) を開発した。その一例を図-4に示す。これはそれ自身インタラクティブなシステムとなっており、地質屋が気にくわなければ、修正できるようになっている。LSAのアルゴリズムは簡単

で、平滑化を行った後一次、二次微分を取り、波形の急激な変化点を求め、それら変化点間を線形近似するものである。

一方岩相についてはLITHOと呼ばれる既に広く使用されている、当会社のパッケージを用いているが、これは5ヶ程度のログの総合判断により岩相の同定を

Classification

Type :	Attributes			
	slope	abruptness	thickness	smoothness
Bell 	\ominus	$A <$	$Ta \ll Tb$	smooth: $< E$ serrate: $E <$
Box (Cylinder) 	$= 0$	$A <$	$Ta \ll Tb$	$< E$ $E <$
Funnel 	\oplus	$A <$	$Ta \ll Tb$	$< E$ $E <$
Spike 		$A <$	$< Ta$	

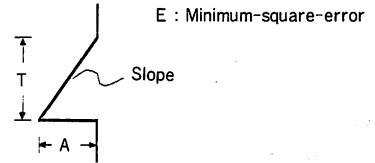


図-3 LSA (Log Shape Analyzer) における波形分類表、Attributes はこれら示された波形の属性で、slope (傾斜), abruptness (変化率), thickness (厚さ), smoothness (なめらかさ) を求めている。不等号は例えば $A <$ は、波形での A (表の下に表示されている) がある値以上、 $Ta \ll Tb$ は厚さ T が Ta と Tb の間を示す。

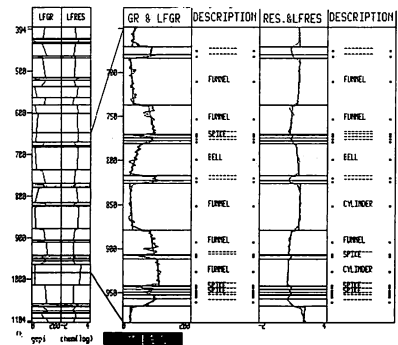


図-4 LSA の一例; 左にあるLFGFとLFRESのログはそれぞれGRと比抵抗のLSAの結果でその一部を拡大してエディットできるようになっている。

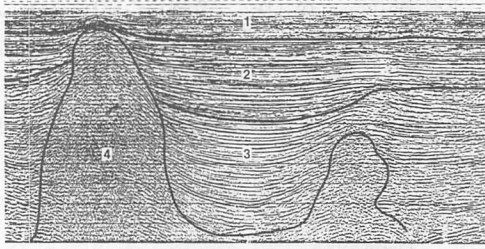


図-5 対象としたサイスミックセクション、この太い線で示されている地層の分割1, 2, 3, 4は専門家によってなされたものである。文献³⁾より。

行っている。数学的には主成分分析法であるが、これもまた、パターン認識の世界で、非常に良く利用される方法である。

ともかく、LSA, LITHOによるゾーニングがWTWの出発点であって、これらの結果から、坑井間の相関を、パターン認識の手法に地質学上の知識を援用して行うわけであり、この意味で、先にも述べた如く、広い意味での人工知能の典型的問題である。そこでこれについては、また次のエキスパートシステムの所で取り上げる。

さてパターン認識の応用分野として、大きなポテンシャルを持っているのがサイスミックセクションの解釈である。一般的には、これは非常に困難な問題で、WTWと同様、地質学上の深い知識が必要とされるので、これまた広い意味での人工知能の問題となるこれについて、対象を限定しているが、かなりうまくいった研究成果が発表された。実はモントリオールで開催された第6回パターン認識国際会議の時に、それに付属して地電波形へのパターン認識の応用というシンポジウムが行われ、そこで最初に発表されたものであるが、その後、“Patlern Recognilim”という専門誌に特集号としてまとめられた³⁾。ここでは、紙面の都合上、その一つを結果のみ紹介しよう。

対象セクションが人間による解釈と共に図-5に示されている。一見して分ることは岩塩ドームが二つあるということであるが、ともかくこれを、地質学上同一と見なされるこれら4つの地層に分ける(人間の解釈と合せる)ことが問題である。パターン認識の専門分野ではテクスチャー解析という領域にはいる。問題はいかにテクスチャーの特徴を表現するかということであるが、ここでは非常に単純な方法を取っている。即ちホライズンに注目して、まず対象図形を二値化し(黒白図形とする)、黒点のラン(連なりの長さを)を水平方向に各点で求めている。一方垂直方向には黒点

間の垂直間隔を取り、適当な小領域で、それぞれRMS (Root mean square)と平均を求め、二つの特徴軸を形成し、そこでこの二次元特徴空間で領域分割を行い、図-6に示す如く、ほぼ満足のいく結果を得ている。

なお、興味あるのは、テクスチャー、特徴だけによる領域分割のみならず、地質上の簡単な常識を導入し、より良い結果を得ているということである。例えば、この領域の下が1の領域となることはあり得ないといったことである。最終結果が図-7に示されている。ここで、パターン領域と知識との簡単ではあるが、有機的な結合例を見ることができよう。

なおパターン認識の応用として興味あるのはFMS (Formation Micro Scanner)なる当社で開発した二次元的比抵抗パターンで、現在の所より良く人間に見やすくするかという、画線強調の手法が応用されているが、今後、地質学上意味のあるキクスチャーの検出など試みられるであろう。

エキスパートシステム

昨年暮れに開かれたSPE(Society Petroleum Engineers)の大会で、先ほどから述べているWTWへのエキスパートシステムの応用が発表された。一つはTexas大学⁴⁾、他の一つはKansas Geological Survey⁵⁾のものであるが、後者は主に岩相に基づいており、坑井間に断層があってもうまく働くということに能書きは良いが詳細は不明である。一方、前者についてはかなり詳細な発表がなされているので、それについて、そのエッセンスを述べよう。

LSAの如く、まず波形を分析し、それをゾーニングに用いている。そこでゾーニングの結果から、すなわちエキスパートシステムの所から話を始める。ゾーニングの結果、各ゾーンは名前づけられ、例えば以下の如く、それらの特徴が記述される。

(Zone-A 1 Interval {(-8478.0 71.72) [-8522.0 39.58]})

(Zone-A 1 Lithology Non-shale)

(Zone-A 1 Avg-amplitude 123.23)

(Zone-A 1 Position Upper-section)

(Zone-A 1 Shape Plateau-B)

これらが、エキスパートシステムでのワーキングメモリーでの事実となる。

これらの事実の集合に対して、規則が適用されるわけであるが、それはいわゆるプロダクションの形を取

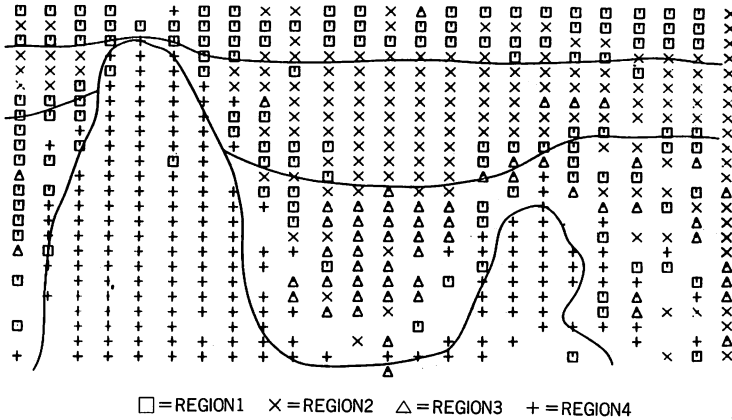


図-6 二種のテクスチャー特徴, 平均垂直間隔とRMSランレンジスによる図-5に示したサイスミックセクションの地層分割。文献³⁾より。

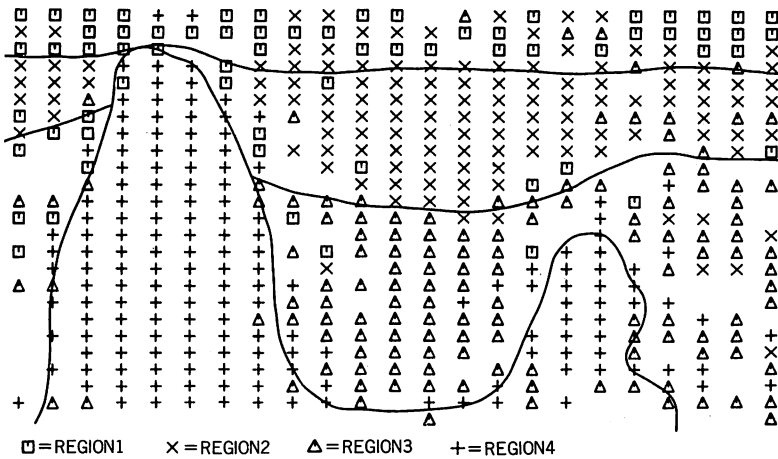


図-7 図-6の結果に対し, 簡単な地質上の4ヶの規則を導入することにより改善をはかったもの。文献³⁾より。

り, 以下の如き一般構造を持つ。

(RULE Rule-name)

IF (condition 1)

(condition 2):

(THEN (action))

ここで (condition 1), (condition 2) : はANDで宣言されている。このような形の規則が適用されて, またゾーン対についての事実が, ワーキングメモリーに貯えられていく。例えば (Zone-A 1 Zone-B2 position same) 等である。いわば各Zone対について, 各特性から見た類似性についての事実の集合が作られるわけである。

それからいよいよ対比(相関)についての規則が適用されて各ゾーン対の対比(相関)性がランクづけら

れる。例えば

(Rule Correlation- 1

IF (ZX ZY on different-logs)

(ZX ZY Lithology same)

(ZX ZY Thickness-difference almost-no)

(ZX ZY Shepe same)

(ZX ZY Position same)

(Then (ZX ZY Correlation possible excellent 10)))

ここで, ZX, ZYはゾーン変数である。これらの対比(相関)規則の適用の結果, 若干の対比(相関)可能なゾーンの候補が得られるわけであるが, それは, 他の規則集合, Confirmation Rules, Cross-over Rulesによって一意的に対比(相関)が決定される。図-8に

一つの最終結果を示す。なおこのシステムは二つの坑井の対比(相関)のみに限っている。

さて、最近エキスパートシステムに対する関心が非常に高まっているが、しかし実際のところ、実用になっているものは少ない。その中で、当社で開発した Dipmeter Adviserなるエキスパートシステムは、特に資源探査の分野で有効に利用されている数少ない例となっている。これは、Dipmeterの解釈を(半)自動的に行うものである。このシステムの特徴はディブパターン(グリーン形、レッド形等)の自動認識を行っていることと、ヒューマンインターフェースが非常に優れているということである。図-10にその一例を示すが、詳しくは、文献⁶⁾(翻訳あり)を参照されたい。

図-9で左側に示されているのが、D-machine 上でのスクリーン表示である。ここでは二つのウィンドウが表示されていて、ほとんどスクリーン全体にわたるウィンドウはいくつかのトラックに分離されている。一番右側には坑井全体のディブメータ表示とGRが表示されており、すぐ左側の細長いウィンドウの一番下に黒い部分があるが、実はそこに相当する坑井の一部が左側のトラック全体にわたって拡大表示されている。そのうち最上も左側にあるのがカリパーとGR、中間にディブメータのパターンが二つ表示されている。その内左側のものに、レッドパターンがシェードをかけられて表示されている。その右側にもう一つのディブメータ表示は、左側のものより構造的ディブを除去したもので、層別的構造特性を知るために用いられる。

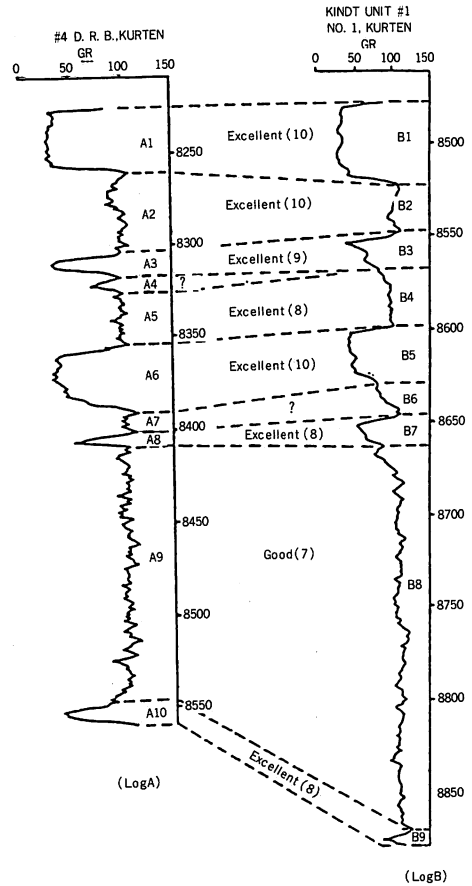


図-8 自動的な坑井相関の一例。文献⁴⁾より。

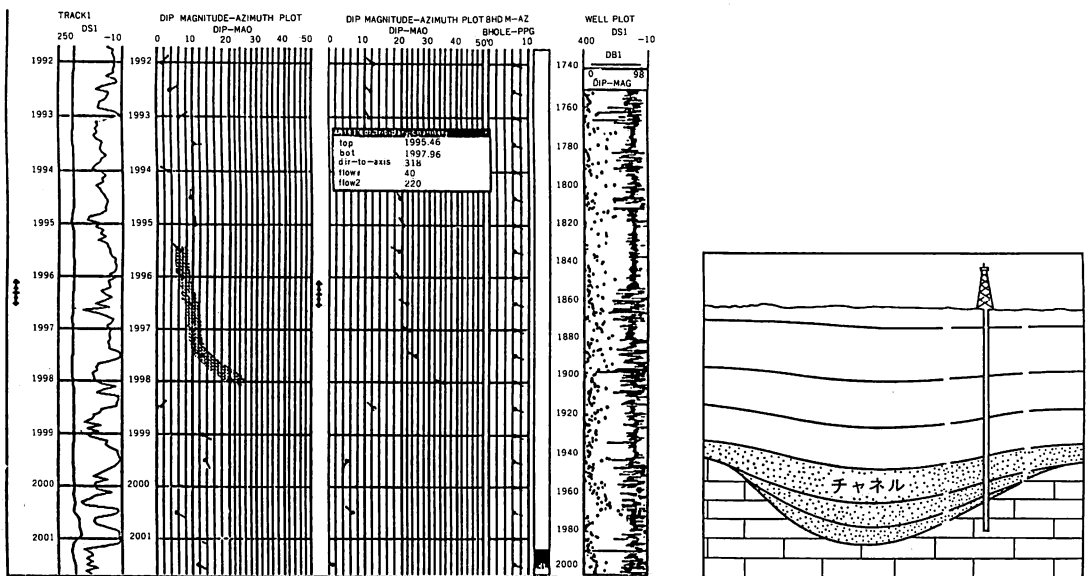


図-9 ディブメータアドバイザーにより認識された分水流堆積物

このディープ表示の上に一つのウインドウが開かれているが、これはこのレッドパターンの特性、TOP, BOTTOM, 角度, 方位などである。これが実はワーキングメモリー内にある事実の一つであり、これらの事実と、分水流堆積物に関する規則に基づき、この堆積環境が推論されるわけである。なお、実際のスクリーン上では一番左側に、各推論ステップとワーキングメモリーの内容が表示され、それらは全てメニュー形式となっているのであるが、これが省略されている。

あとがき

以上述べて来た如く、一般に高度情報処理と云っても、完全な自動的情報処理を行うには、まだまだ現在の技術は未熟であり、結局インタラクティブシステムが重要な役割を演んぜずを得ないのである。その意味から分かりやすいグラフィック表示が非常に重要となる。とはいえ、CGを出発点とし、しだいにシステムは利口になっていくものと予想される。実際、人工知能とグラフィックスの両方を兼ねそなえたワークステーションが作られつつある。当会社でも、先意 Seismics から、Geology, そして Reservoir Dynamics と石油探査の全処理システムを一貫して行う Reservoir Modelling Workstation を開発中であり、昨年の終りには完全ではないがこの全処理を行う新しいバージ

ョンがリリースされた。我々はこのシステムが、多くのユーザーに使用されることにより、よりユーザーフレンドリーでかつインテリジェンなものへと進展していくことを期待している。

参考文献

- 1) M. S. Fox, ed, "Special Section Expert Systems" IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-7, No 5, Sep. 1985.
- 2) E. C. Dablberg, "Relative effectiveness of geologists and computers in mapping potential hydrocarbon exploration target" Mathematical Geology, Vol. 7, pp. 373-394, 1975.
- 3) P. L. Love and M. Simaan, "Segmentation of a seismic section using image processing and artificial intelligence techniques" Pattern Recognition, Vol. 18 No 6, pp. 409-419, 1985
- 4) R. A. Startzman and T. B. Kuo, "A Rule-Based System for well log correlation" SPE 15295, 1986.
- 5) R. A. Olea and J. C. Devis "An Artificial Intelligence approach to lithostratigraphic correlation using geophysical well logs" SPE 15603, 1986.
- 6) R. G. Smith and R. L. Young, "The design of the Dipmeter Adviser System" Proceeding of the ACM Annual Conference, ACM, New York, October, pp. 15-23, 1984.

(翻訳 日経マグローヒル, データプロ出版エキスパートシステムなる本中に著者による訳がある)

