

地中を可視化する装置と技法—コンピューターグラフィックス—

Visualization of Exploration Data and Computer Graphics

太田 賢 治 (おおた けんじ)

応用地質(株)探査工学研究所電算センター 部長

土屋 浩 (つちや ひろし)

応用地質(株)東京事業本部MM推進室 室長代理

1. ま え が き

CG (Computer Graphics) といえ、リモートセンシング技術の一環としての画像処理技術を思い浮かべる。リモートセンシングの技術については、先進的な研究が各機関で実施され、雑誌、ポスター等でその出力画像を見かけることが多くなっている。画像処理技術について記述した優れたテキストも数多く出版されており¹⁾、画像処理に関する基本的なアルゴリズムについては、これらの文献から十分な情報を得ることができる状況になっている。また、アニメーションや放送用CG画像、ヴァーチャルリアリティー等というものも実用的に用いられている例が見られるようになっている。土木に関連したCG技法ということでは、構造物完成後の景観のシミュレーションといった手法も珍しくなくなっている²⁾。

このような、大きな計算機と膨大な計算時間を要するCG技術は、華やかでよく話題にのぼるが、現場技術者が手軽に自分の問題解決のために使える技術という観点で、CG技術について報告している例はあまりみない。

そこで、本稿では、現場技術者がある程度手軽に使えるワークステーション(EWS)、PCを中心にし

て、現場技術者の問題解決に役立つCGという観点で、最近のCG用機器とその利用例について紹介する。

2. CG用機器

2.1 PC関連のCG用機器

CG用機器といってもCRTディスプレイ、プリンター、プロッター、ディジタイザー、スキャナー、ビデオテープ、レーザーディスク等多岐にわたっている。CGの画像が大きなスクリーンに表示され、自由に回転したり、変形したりする技術は、非常に興味深いものであるが、その結果を報告書や論文に取り込むのは必ずしも簡単ではないというのが実情と思われる。

ここでは、現場技術者が、CGの技術を利用し、その成果を容易に出力できる機器として、プリンター、プロッターに注目し、それぞれの動作原理、システム構築の際に注意すべき点についてまとめる。

表-1に一般的なプリンター、プロッターの例を示す。プリンター、プロッターの機種によっては、SCSI、GP-IBやその他の専用バスで接続されるものもある。ここであげた8種類のプリンター、プロッターは、いずれもRS232C、セントロニクスインターフェースでPCあるいは、EWSと接続され

表-1 一般的なプリンターの例

	プリンター機種	コントロール言語	仕様
①	グラフィックマイプロットMP4400	HP-GL, オリジナル	A3, 分解能0.005mm, 8ペン
②	NEC PR3000 レーザープリンター	NPDL, ポストスクリプト, PC-PR201	A5~B4, 400~480 dpi
③	EPSON LP8000 レーザープリンター	ESC/Page, ESC/P, PR-201	A3, A4, 300 dpi (600 dpi 相当)
④	HP レーザージェット レーザープリンター	HP-GL, PCL5	A4, レター, etc, 300 dpi
⑤	CANON BJ880J カラーインクジェットプリンター	LIPS IV C	A3, 360 dpi, フルカラー
⑥	神鋼 CHC764-PS	ポストスクリプト	A3, 300 dpi, フルカラー
⑦	HP ペイントジェット	オリジナルコマンド	連続紙, 90~180 dpi, 8~330色
⑧	GS608 サーマルプロッター	オリジナルESCコマンド	連続紙, 203 dpi, 16階調

報文-2319

る機種である。最近では、ネットワーク上に一つの装置として、接続されるネットワークプリンターを採用する例も増えている。

以下、表-1に示す、それぞれのプリンター装置について動作原理を簡単に紹介する。

①ペンプロッターの場合、PCで発生したX、Yの数値座標を専用のライブラリーを使って、装置に送るだけでプロッターは線を引いてくれる。このX、Yの数値データはベクターデータと呼ばれている。

②～⑥のプリンターは、受け取ったベクターデータをプリンター内部のメモリーに蓄え、イメージとして紙の上の白黒あるいはカラーの点の情報に変換する。この変換処理はベクター・ラスタライズと呼ばれる。あるいはラスタライズと呼ばれる。また、これら②～⑥のプリンターはページプリンターと呼ばれるが、1ページ分(A4、A3など)のラスタライズデータを扱うという意味でこの名称がある。これらのページプリンターは、ベクターデータを受け取ってメモリー上に重ね合わせて最終的な出力像を作るが、線を引いたり円を描いたりというコマンドをプリンター側で解釈して、メモリー上に画像イメージを作るといった作業を行っている。このようなプリンターの制御は、ページ記述言語と呼ばれる、プリンターに内蔵された独特の制御コマンド群によって行われる。ここに挙げた5種類のページプリンターは、それぞれ異なるページ記述言語を持っている。表-1には、プリンターとページ記述言語の組合せの例も併記しておいた。

一方、⑦～⑧に示したプリンターは、ラスタライズの機能をもっていない、いわゆるシリアルプリンターである。このプリンターは、もともと、文字の出力を主たる目的にしているため、ここに画像を出力する場合には、プリンターにビットイメージ等のラスタライズされたデータを送る必要がある。

前述のように、ページ記述言語は、プリンターごとに異なるため、ユーザーとしてはそれぞれのプリンターに合わせてプログラムを変更する必要があり、大変不便である。最近、PC上のソフトでプリンターの機種の相違を吸収する技術

が導入されつつある。一例が、WINDOWSのデバイスドライバーである。それぞれのプリンター専用のデバイスドライバーを利用すれば、WINDOWS用に作成されたアプリケーションからは、どのプリンターにも出力ができるようになっている。しかし、デバイスドライバーがサポートしていない、それぞれのプリンターの持つ特殊な機能を使おうとすると、それぞれのプリンターのページ記述言語でプログラムを作成しなければならない。場合によっては、それぞれのマシン用に準備されている描画ライブラリーを使用するのも効果的である。

2.2 EWS 関連の CG 用機器

EWS、ミニコンクラスのコンピューターでも前述の各プリンターを接続することができる。ページ記述言語で描画プログラムを作成することもPCと全く同じようにできるが、セントロニクスインターフェースを持たないEWS、ミニコンもあるため、もしEWSでセントロニクスを使う必要がある場合には、ハードウェアを確認しておく必要がある。

図-1にミニコンとEWSのラスタライズシステムとプリンター、プロッターの構成例を示す。

図-1上段にはUNIRAS (Universal Raster System) というシステムを示したが、これはデンマークのUNIRAS社が作成したラスタライズシステムである。UNIRASは、多くのライブラリー関数群からなり、FORTRAN、Cのライブラリーを提供するほか、画像のファイルとして、ポストスクリプト

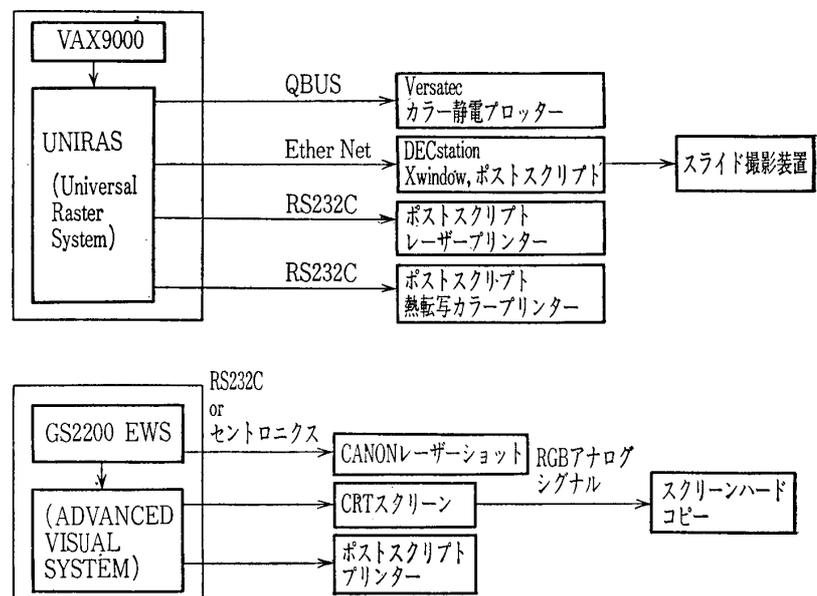


図-1 ミニコン、EWSによる描画システムの例

ト, CGM (Computer Graphics Metafile), その他のフォーマットのファイルを作成することができる。また, メニュー操作による描画ソフトが用意されており高機能であるが, 比較的高価である。

同様のシステムで, AVS というシステムが良く用いられる。このシステムは, Advanced Visual Systems Inc. の製品で, 三次元データの描画, ハンドリング, レイトレーシング等に優れた機能を持っており, ポストスクリプトファイルへの出力機能も持っている。

3. CG 技術の利用例

近年, サイスマットモグラフィ, 比抵抗トモグラフィ, 地下レーダー等の探査手法が新しい探査手法として話題になっている。また, 海上探査の手法として, サイドスキャンソナーのような探査手法も実施例が増えている。これらの探査では, 探査結果をカラー画像として表現することが重要になっている。すなわち, 平面的に分布する値を紙の上に表現しようとする時には, 色を変数として使うのが有効となる。こういった物理探査手法に関連する CG の利用例として, ここではレーダー, サイドスキャンソナーの探査例について紹介する。

また, 地質調査, 測量の成果を CG によって表現しようという試みも, 積極的に進められつつあり, 日本情報地質学会などでも活発な報告が行われている。CG による地質断面図作成の試みも行われ, システムの開発例の報告も目にするようになってきている。このような, 地質断面図作成システムでは, EWS によるかなり規模の大きなシステムになるが, 本稿では, 稼働中の CG システムの開発例を紹介する。

まず, 実際の物理探査の出力の例を見ながら, 物理探査結果の画像出力の表現方法について紹介する。

3.1 物理探査における CG 技術の利用例

(1) 地下レーダーの探査結果の出力例

地下レーダー, サイドスキャンソナー, 反射法探査等の技術は, いずれもパルス波を送信し, 反射物によって反射した波形を観測することによって, 反射物の形状, 分布, 反射強度, その他の性質を探査する技術である。探査の成果として得られるデータは, 一連の波形データであり, このままでは知りたい情報を読み取ることは容易ではない。そこで, データ

の特徴を強調するさまざまな CG の表現技法が用いられる。**口絵写真-3**に, レーダーの探査結果を表示する方法の1例を示した。バックグラウンドは, 各波形の振幅をカラーコードで示している。そして, バックグラウンドの上には, 波形を線で示すウイグル表示が重ね合わされている。**口絵写真-3**の中央部の赤, 紺で目立っているところが, 地下の反射面(ここでは, 測定現場の状況から, 砂と花崗岩の境界面であることがわかっている)である。カラーコードによる表現法は, やはり視覚に訴えるものがある。ここで, 読み取れる構造をどのように解釈するかは, CG とは別の問題であるが, 波形の変化, 反射位相のつながりから, いかん特徴をきわだたせて表現するかが, 解釈者に大きな影響を与える。また, 最終的に, 探査結果をプロットする前には, バンドパスフィルター, スタック, マイグレーション, ヒルベルト変換, 二次元フィルターなどが適用されるが, これらについては, 多くの信号処理関係の文献が出版されているのでこれらを参照されたい(例えば, 文献3))。次に, **口絵写真-4~7**には, 同じ探査データを4種類の異なるカラーコードによって出力した例を示す。出力図のイメージは, 色調とガンマ補正係数で決定されるが, 各図の右端のカラーバーが, ガンマ補正を施した振幅値が示すカラーとなる。**口絵写真-8**に示すように, ガンマ補正係数は, 波形の振幅を, 色調に変換するための対応表である。

口絵写真-4, 5は, 同じ色調で, ガンマ補正係数を変えた出力である。**口絵写真-6, 7**は, ガンマ補正係数が同じで, 色調が異なる出力例である。このように, 探査結果に対する解釈によって, 何を強調すべきか決まり, そのために, 色調, ガンマ補正を適切に決定することが必要になる。このような, 反射波を用いる探査データの解釈作業に関連して, 色調に関して議論した文献も見られる⁴⁾。

(2) サイドスキャンソナーによる探査結果の出力例

サイドスキャンソナーは, 海底面の凹凸を探査するための装置であり, 海底に向けて発信した音波の反射の様子から, 海底面の地形を描きだすことができる。構造物計画地の海底面地形の調査, 漁礁の調査, 海底ケーブルのための海底面地質の調査等に用

報文-2319

いられることが多い。

口絵写真-9, 10は、同一の探査データを2種類のプロッターで出力した例である。プロッターの機種は、それぞれGS608サーマルプロッター、CANON BJ880J インクジェットプロッターである。2種のプロットのスケールが異なるので印象が異なるが、カラープロットで黒く見えている部分が、突出部の影になっている部分である。すなわち、砂の上に露岩した部分によって音波が遮られ、後ろの部分が影になって黒くみえている。口絵写真-9は、GS608と呼ばれる16階調のグレイスケールによるプロット能力を持っているサーマルプロッターの出力例である。通常、グレイスケールによる表示では、階調を表現するために、分解能を犠牲にするが、サーマルプロッターでは、中間階調を1ドットで表現できるため、高分解能のプロットが可能である。しかも、感熱プロッター装置はインク、トナーを使用しないのでメンテナンスが容易であり、現場用の出力装置として使われはじめている。

3.2 地質断面図作成システム開発へのCG技術利用例

ここでは、EWSによるCGの利用例として、地質断面図の作成システムの開発例を紹介する。

このシステムは、地盤に関する情報を機能的に集積し、過去の経験と情報を生かした地質調査報告書を作成するための道具である。「地質断面図作成システム」と呼ばれているが、「報告書作成総合支援システム」⁹⁾という上位のシステムのサブシステムに位置づけられている。このサブシステムは、地質調査報告書の成果品となり得るA0判のカラー地質断面図を作成するためのシステムとして設計されたものである。

(1) ハード・ソフトの構成

地質境界線を対話的に作成すると同時に、数百本のボーリング情報を処理できるハードとして、次のものが選定され、図-2のように構成されている。

ワークステーション:

主記憶: 24Mバイト

外部記憶: 1300Mバイト

カラー静電プロッター:

解像度: 400ドット/インチ, A0幅

最大プロット長: 11m, シングルパス

表-2 断面図作成の作業項目

作業項目	作業内容
平面図作成	ボーリング位置を記入 断面線を記入
断面図作成	投影孔を決定 地表線を記入 柱状図を記入 地層境界線を記入 地層名を記入 他断面の境界を記入 地層境界線を修正
総合断面図作成	凡例類を作成 図面類を配置

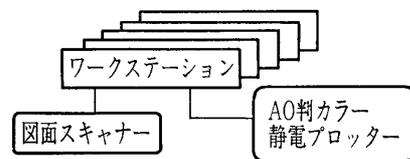


図-2 ハードウェア構成

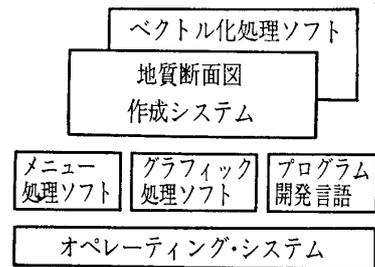


図-3 ソフトウェア構成図

図面スキャナー:

サイズ: A1判, 400ドット/インチ

読取り速度: A1判図面を約20秒

これらのハードウェアをコントロールするために基本OS・グラフィック処理ソフト・メニュー処理ソフト・ベクトル化処理ソフトが装備されている。開発言語はC言語であり、ソフトウェアの構成は図-3のようになる。

(2) システムの機能

このシステムは、手作業で地質断面図を作成する場合の作業項目(表-2)の内、コンピューターで機械的にできる作業を徹底的にコンピューター化することを目的としたものであり、主な機能は以下のようなものである。

- ① パソコンで別途作成した柱状図データを受け取って地層境界線を対話的に入力し、地層ごとに着色してカラー出力する。

- ② 断面図の交点では、交差する相手側の断面図における地層構成を表示させ、矛盾がないよう対話的に修正する。
- ③ 地質調査の成果品とするために、平面図・断面図・層序表・柱状図凡例・方位・縮尺・表題などをレイアウトできる。
- ④ 既存および計画の構造物を平面図および断面図に表示したり、断面図の下に距離程とともに縦断線情報を記載したりする CAD 機能を持っている。
- ⑤ A1判スキャナーを用いて既成図面を読みとり、ベクトル化処理を行うことによって、等高線や構造物の形状データを容易に入力できる。
- ⑥ 作成された二次元断面図を、三次元的な位置関係に配置した上で任意の方向から見た形の鳥瞰図を作成できる。

以上のような機能を用い、実際に断面図を作成する手順は、概ね次のようになる。

＜ボーリングデータの編集＞

適切な座標系(緯度・経度, 国家座標, 現場座標)を選択してボーリングデータを登録する。

＜平面図の編集＞

等高線や構造物とともにボーリング地点を表示した平面図の上で、断面線の位置を指定する。断面図を作成してしまった後でも、断面線の延長・削除・複写ができる。

＜断面図の編集＞

断面図に投影するボーリング孔を指定して画面上に表示し、地層境界線を折れ線で指定する。境界線は整合・不整合を区別するほか、地表線や着色範囲を示す線も合わせて対話的に入力する。これらの線が閉じた多角形を形成しているかどうかをチェックした上で、多角形ごとに相当する地層を指定して着色する。また、適当な位置に地層記号を配置する。単独の断面図についてはこの段階でプロッターに出力する。ボーリング情報としては、柱状記号・N値・地下水位・サンプリング位置などを含んでいるが、それらはすべて個別に出力するかどうかの指定ができる。したがって、小縮尺で作成した図面を大縮尺で出力する際には、出力情報を少なくして図面が煩雑になるのを避けることができる。

＜総合図編集＞

複数の断面図を平面図と組み合わせて一つの図面に配置し、方位・縮尺・表題・凡例を付ける。これらはすべて個別に出力するかどうかの指定ができる。したがって、作成済みの平面図・断面図については、任意の組み合わせで図面に仕上げることができる。

(3) システム利用例

このシステムによる地質断面図の作成例⁷⁾の図面をこのシステムで再構成したものを口絵写真-11, 12に示す。

このシステムでは、これまで100例ほどの実績を持っているが、システムが効果をあげた事例を以下にまとめる。

- ① 延長10数kmに及ぶ路線調査について、三つのルートを比較検討した例では、断面線の複写機能が効果を発揮した。各ルートの共通区間は、全く同一の断面図でなければならないので、断面線の複写機能を用い、矛盾のない断面図が作成できた。
- ② 広域の既存ボーリング資料整理を行い多数の直交する断面図を作成する例では、断面の交点の地層構成表示機能が効果を発揮した。すなわち、東西方向の断面図の作成後、直交する方向の断面図の作成の際に、交点の地層構成を表示させて、整合性をチェックできた。
- ③ 多くのコピーを要する例では、カラー静電プロッターが持っている出力枚数設定機能が効果を発揮した。断面図を2種類の縮尺で数10部ずつ出力する場合でも、縮尺も変え、それに合わせて表示する項目を変更してそれぞれ見やすい図面を出力できた。

(4) このシステムの今後の展開

現在のシステムは、トレース・色塗りなど、単純作業を中心に、省力化に大きな効果を発揮している。今後は、地質学的な検討を行う際の支援機能として、ルートマップから地質平面図を作成する機能、地層境界の幾何学的な作図、水平断面図の自動作成などの機能を組み込むことを検討中である。また、物理探査結果を地層境界に重ねて表現するような断面図の作成も今後の重要な課題であろう。

報文-2319

4. あとがき

以上、本稿では、EWS, PC 上で比較的容易に現場技術者が利用できる, CG 装置と幾つかの簡単な CG 技術とその実際的な利用例について紹介した。関連業界の現場技術者が, CG の活用を考える時の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 高木幹雄・下田陽久：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，1991.
- 2) 立花 隆：電腦進化論，朝日新聞社，1993.

- 3) 有本 卓：信号・画像のデジタル処理，産業図書，1982.
- 4) Russel, B: Using color in seismic display, GEOPHYSICS: The Leading Edge, pp.13~18, SEP, 1992.
- 5) 田中荘一・土屋 浩・鈴木 健：地盤情報データベースとそのデータを利用した2次元カラー断面図作成システムの開発，地盤情報のデータベース化に関するシンポジウム，土質工学会，1991.
- 6) 東京都地質調査業協会：技術ノート (No.1 東京のベイエリア)，1993年10月.
- 7) 東京都港湾局：東京臨海副都心付近の地下地質，1993.

(原稿受理 1994.2.1)