

地球科学的現象に関する数値シミュレーション結果の動画化

諸星敏一*・河合伸一**・松浦知徳***

防災科学技術研究所

Animation Display of the Results of Numerical Simulation on the Phenomena relating to Earth Science

By

Toshikazu Morohoshi, Shinichi Kawai and Tomonori Matsuura

National Research Institute for Earth Science

and Disaster Prevention, Japan

Abstract

The results of numerical simulation on Phenomena relating to earth science were visualized in animation by the UltraNet1000 included in the super computer system (CRAY Y-MP2E/264). These animations were realized by applying any one of the following three systems.

- (1) The first system is that the special users can make animation by their own methods. However this system has only basic functions.
- (2) The second system is that the displayed images by an X-window system can be animated.
- (3) The third system is that the general users can easily make animation with high-power graphic functions.

Two other examples of applications of the system are also presented.

Key words : Animation system, Super-computer, Phenomena on Earth Science, Numerical simulation, Numerical model

キーワード : 動画システム, スーパーコンピュータ, 地球科学的諸現象, 数値シミュレーション, 数値モデル

*先端解析技術研究部, **先端解析技術研究部数理解析研究室

***気圏・水圏地球科学技術研究部

1. はじめに

防災科学技術研究所では、地球温暖化等の最近の地球環境問題に防災の観点から積極的に対応するために、地球科学的諸現象の解明とこれに伴う災害予測に関する数値シミュレーション等の大規模計算を行うことになった。そのために防災科学技術研究所では、平成4年3月からスーパーコンピュータシステム（CRAY Y-MP2E/264）を導入し、今日までに各種の数値シミュレーションを行い、地球科学的諸現象の解明及び災害予測等に幾つかの成果をあげた。またそれらの数値シミュレーションを効率よく行うためのスーパーコンピュータシステムの利用技術の開発を行ってきた。

このうち、本文では当研究所のスーパーコンピュータシステムの特長の1つである、地球科学的諸現象及び災害予測等に関する数値シミュレーション結果の高速可視化及び動画（アニメーション）化システムの開発について述べる。なお、本文では数値シミュレーション結果の1画像（1コマ）を高速に作成することを高速可視化とし、これの繰り返しにより作成された数コマの画像を高速に表示することを動画化とする。

2. 目 的

地球科学的諸現象の数値シミュレーション（例えば、海洋大循環モデル、表層地盤の震動モデル等）では、広範囲な場を3次元の格子に分割し、その分割された各格子のある時間に対する物理量（例えば、海水温度、地盤変位等）を境界から順に求め、さらに次の時間に計算を進め、それを繰り返し行うことにより場の状況を予測していくことが多く、その対象となる格子の数は多量のものとなる。このような数値シミュレーション結果の高速可視化及び動画化システムの開発を行う目的として次の3点が挙げられる。

① 対象範囲全体に対する数値シミュレーションの最終結果を高速可視化すること。

各格子ごとの数値シミュレーション結果に任意の色（約1600万色）を与え、それを1画素として全格子分の結果を同時に画像として表示するもので、数値シミュレーション結果を大きな視野で捉えることができ、その良否の判定を行う際に有効な手段となる。またこのような表示を行う際に、最近の汎用グラフィックスソフトウェア相当の機能が使用できるようにする。

② 数値シミュレーションの中間結果を、リアルタイム（計算実行と同時に）で高速可視化すること。

対象範囲の規模によっては、スーパーコンピュータシステムを使用しても1ヶ月以上の計算時間が必要なものがある。このような数値シミュレーションの結果の良否を判定する際に、中間結果をその都度高速可視化することにより、最終結果を待たずに実行中の数値シミュレ

ーションの良否の判定を行う。否の場合は、実行中の数値シミュレーションを直ちに中断し、プログラムやパラメータ（初期値、境界条件等）を修正し、再度数値シミュレーションを実行する。

③ 数値シミュレーションの時系列的な結果を動画化すること。

地球科学的諸現象の数値シミュレーションでは、しばしば対象域の時間的な変化を捉える必要がある。そのために任意の時間間隔で数値シミュレーションの結果を求め、その結果を連続的に表示することにより、地球科学的諸現象の動画化を実現する。

3. 高速可視化及び動画化システム

3.1 ハードウェア構成

高速可視化及び動画化で使用したハードウェアは、UltraNetwork Technologies社のUltraNet1000を中心とした構成である（図1）。UltraNet1000は、スーパーコンピュータのI/Oサブシステムに每秒100メガバイトの転送速度を持つANSI規格の超高速外部チャンネルHIPPI（High Performance Parallel Interface）を介して接続されている。また2組のフレームバッファを装備しており每秒20フレーム以上の速度で動画表示することができる。

フレームバッファは1280×1024×24bit×2組の容量を持ち、X方向1280、Y方向1024画素の画像を約1600万色（24bit）で表示することができる。また、2組のフレームバッファを交互に使用することによりフリッカー（画面のちらつき）のない滑らかな動画表示が行える。

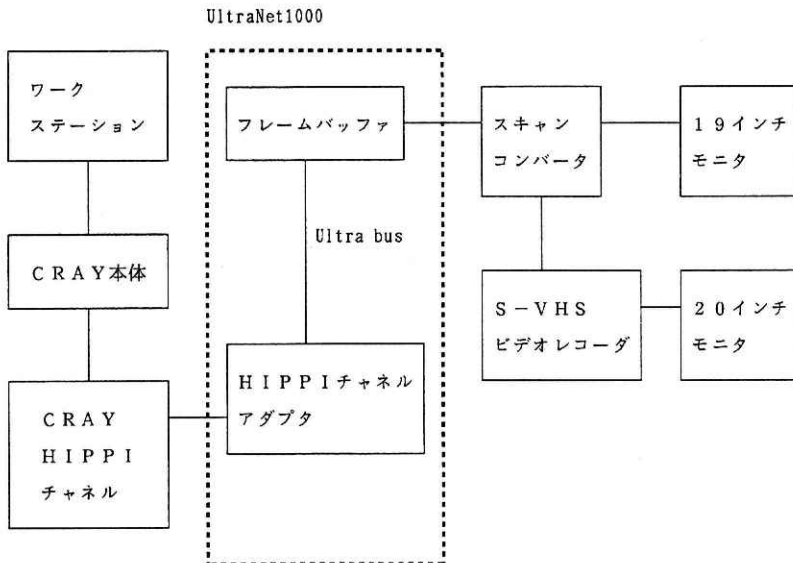


図1 ハードウェア構成図
Fig.1 Hardware configuration.

動画表示された画像はスキャンコンバータを介して、コマ取り等の制御が可能なS-VHSビデオレコーダに記録することができる。

3.2 ソフトウェア

今回開発した高速可視化及び動画化のソフトウェアは以下の3点である。

- ① メーカー提供のC言語ベースの超高速画像処理ソフトウェア (UGRAF; 東京エレクトロン) を基礎としたFORTRANベースの高速可視化ソフトウェア (BAS)。
- ② 最近の汎用グラフィックスソフトウェア (例えば, UNIRAS; CRC総合研究所) を使用してX-window上に作図した画像にフォーマット変換等の処理を加えて, Y-MP2E上のファイルに直接取り込み, それを動画の1コマとする操作を繰り返すことにより, 数コマの画像を作成し, その画像を連続的に高速表示するソフトウェア (XBAS)。
- ③ CRAY社のスーパーコンピュータ用高速画像処理ソフトウェアシステム (HI-SCORE) の機能を拡張し, 地球科学的諸現象の動画表示用に改良した高速画像処理ソフトウェア (BACAS)。

3.2.1 高速可視化ソフトウェア (BAS)

UGRAFは, 若干の応用機能 (拡大, 表示位置指定等) を有するが, 基本的には各画素 (24bit) をシーケンシャルにフレームバッファに転送するソフトウェアであり, 地球科学的諸現象の数値シミュレーション結果を可視化するには機能不足である。またUGRAFはC言語ベースのシステムであり, 現在はまだFORTRAN言語が主流である数値シミュレーションで使用するには不便である。このような状況から筆者らは, 独自の高速可視化ソフトウェア (BAS) を開発した。

BASは, FORTRANのサブルーチンとして使用できる11個のコマンド群によって構成される (表1)。BASでは, 任意の大きさの論理的プレーン (最大100プレーン) を設定し, その設定されたプレーンに対して表示色の指定, 点及び線の作画, 拡大等を行い各プレーンを完成させた後に, 任意のタイミングでフレームバッファに転送することにより動画表示を行う。

3.2.2 X-window上に表示された画像の動画化ソフトウェア (XBAS)

数値シミュレーションモデルの多くは, その結果の表示に汎用的なグラフィックスソフトウェアを使用しているものが多い。また今日のグラフィックスソフトウェアは高度の画像表示機能を有し, 地図情報等のデータベースもかなり完備している。また, その多くは現在急速に普及されてきたX-window対応のソフトウェアになっている。

汎用的なグラフィックスソフトウェアを用いてワークステーションのX-window上に作成された画像は, Ximage構造体と呼ばれるファイルにより管理されている。そこで筆者らは

表1 BAXのコマンドと機能
Table 1 Commands and their functions of BAS system.

コマンド名	引数	機能
OpenPlane	width, height, number	width(横幅)×height(縦幅)のプレーンを作成する。 numberは作成されたプレーンの番号である。
ClosePlane		全てのプレーンを消去する。
SetRGB	color, R, G, B	色番号(color)に対するRGBの輝度(0~255)を指定する。
Plot	pn, x, y, color	指定したプレーン(pn)のx, yの位置に点(color番号の色)を打つ。
Line	pn, x1, y1, x2, y2, color	指定したプレーン(pn)のx1, y1からx2, y2までに線(color番号の色)を引く。
LineRGB	pn, x1, y1, x2, y2, R, G, B	指定したプレーン(pn)のx1, y1からx2, y2までに線(RGBで指定した色)を引く。
SetZoom	zx, zy	X方向(zx), Y方向(zy)の拡大率を指定する。
ChangeBuffer		フレームバッファのダブルバッファ制御モードを指定する。
Put	pn, dx, dy	指定した(pn)の画像をディスプレイの指定位置(dx, dy)から出力する。
ClearScreen		ディスプレイ上の画像を全て消去する。

Ximage構造体に着目し、その情報をY-MP2Eに転送し、フォーマット変換を施した後にUltra Net 1000のフレームバッファに出力するソフトウェア(XBAS)を開発した。

XBASは大略すれば以下の2段階からなっている。

- ① ワークステーションのXimage構造体ファイルをY-MP2Eに転送し、動画表示用の独自の形式(flm形式)のファイルに変換する。この機能の実行はコマンド(Xwd2flm)あるいはサブルーチン(Make Amime Flame)を用いる。
- ② flm形式に変換されたファイルをUltra Net 1000のフレームバッファに転送し動画表示を行う。この際に動画の速度、繰り返し表示回数、拡大倍率等の制御が行える。この機能の実行はコマンド(Anime)により行う。

flm形式では画像のサイズを先頭の8文字(X方向4ケタ, Y方向4ケタ)で表し、以下各画素の揮度を24bit(RGB各8bit)のバイナリーで連続的に格納する。

3.2.3 汎用高速画像処理ソフトウェア(BACAS)

上述のBAS及びXBASソフトウェアは、特定ユーザ(中級プログラマ以上)を対象とした

小回りのきく基本的なソフトウェアであり、一般のユーザには向かないソフトウェアである。そこで一般ユーザが容易に利用できる高速可視化及び高速画像処理ソフトウェアを開発することにした。

BACASは、このような観点から開発されたもので、高級な画像処理機能（例えば、ベクトル表示、文字表示、断面表示、等値面表示等）をワークステーション上に表示されたメニューを操作することにより、手軽に高速可視化、高速画像処理及び動画化が行えるソフトウェアである。またBACASの多くの機能は、Y-MP2E上で作成されたプログラムからサブルーチンCALLで利用できるようになっており、ユーザ独自で高速可視化を含むソフトウェアの開発が行えるように設計されている。

BACASの機能は、CRAY社のHI-SCOREの機能に、筆者らの経験から幾つかの機能を付加したものである。その付加された機能の代表的な点は以下の2点である。

① 従来のHI-SCOREの入力ファイル形式はCRAY社独自のもので、座標（GEO）ファイル、スカラーファイル、ベクトルファイルの3種の形式のファイルから構成されている。これはHI-SCOREの原形であるCRAY社の汎用グラフィックスシステム（MPGS）と同じものであり、特定の画像（例えば、自動車の車体等）に対して、回転・拡大・断面図表示・等値面表

表2 BACASの入力ファイル形式
Table 2 Input file format of BACAS.

座標ファイル	スカラーファイル	ベクトルファイル
コメント	コメント	コメント
座標系の指定 直交座標 極座標 円柱座標	格子点の数	格子点の数
各格子点の 座標値	各次元の数 N X	各次元の数 N X
	N Y	N Y
	N Z	N Z
	スカラー値	ベクトル値
	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.

示等を高速に行うことを目的に設計されており、その機能のパフォーマンスを上げるために複雑なデータ形式を要している。グラフィック表示の際の少ないデータ量ならば、MPGSのデータ形式でも実用に供せるが、地球科学的現象の数値シミュレーション結果の画像表示のように扱うデータの量の多いものには向かない。そこでBACASでは表2に示すような画像表示用のデータ形式を作成した。このデータ形式は基本的には、従来のHI-SCOREと同様に3種のファイルからなり、その個々のファイル形式を単純にし、数値シミュレーションの結果がそのまま格納できるようになっている。

② 従来のHI-SCOREで回転等の処理を行うには、ワークステーション上に表示された画像を見ながらマウスを移動させ、その移動量により回転角を設定し、画像をその角度分回転させる。すなわち回転角をアナログ的に指定するもので、この方法のみでは数値シミュレーション結果の可視化処理には十分ではない。なぜならば地球科学的現象を視覚的に捉える際には、デジタル的な回転角の指定（例えば、回転角が時計方向に45度）を行う必要がある。これは物理的な量を検討したり、現象を再現させる際に不可欠である。このことからBACASでは回転角、拡大率等を整数でも入力できるようになっている。

4. 応用例

4.1 海洋大循環シミュレーション

海洋大循環モデルを使って予測した海洋大循環の季節変化をBACASにより動画化した。なお海洋大循環モデルは、米国のGFDL (Geophysical Fluid Dynamics) から導入し、防災科学技術研究所で全球基礎モデル (気候モデル) を作るために変更したものである (松浦他, 1993)。

モデルの計算領域は全球とし、経度方向と緯度方向の格子間隔は $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 、鉛直レベルは15層とした。よってその結果の表示は、 $180 \times 90 \times 15$ 格子の3次元動画表示ということになる。シミュレーションは外力として年平均気候値を使って2000年間の海洋大循環を計算して定常状態をつくり、その後1000年間の季節変動を計算し、さらに1年間計算した結果を1日ごと365日分として求めた。

以上のようなシミュレーションを行った結果から、全海洋の表層水温及び流速ベクトルの季節変化を動的に見るために、1年分の計算結果をBACASを使用して6日ごとに画像 (62画像) 化した。そのうちの2月 (冬) と8月 (夏) の代表的な画像を図2に示す。

図2は第1層目の海水温分布 (疑似カラー表示) と海流の流速ベクトル (矢印) を示している。また位置の確認が行いやすいように図2に全世界の陸域部 (黒色) を付加した。図2のカラーバーの左側の数字の単位は $^{\circ}\text{C}$ であり、最大値 (赤) は 30°C である。

このように海洋大循環モデルによるシミュレーション結果を動画表示することにより、全

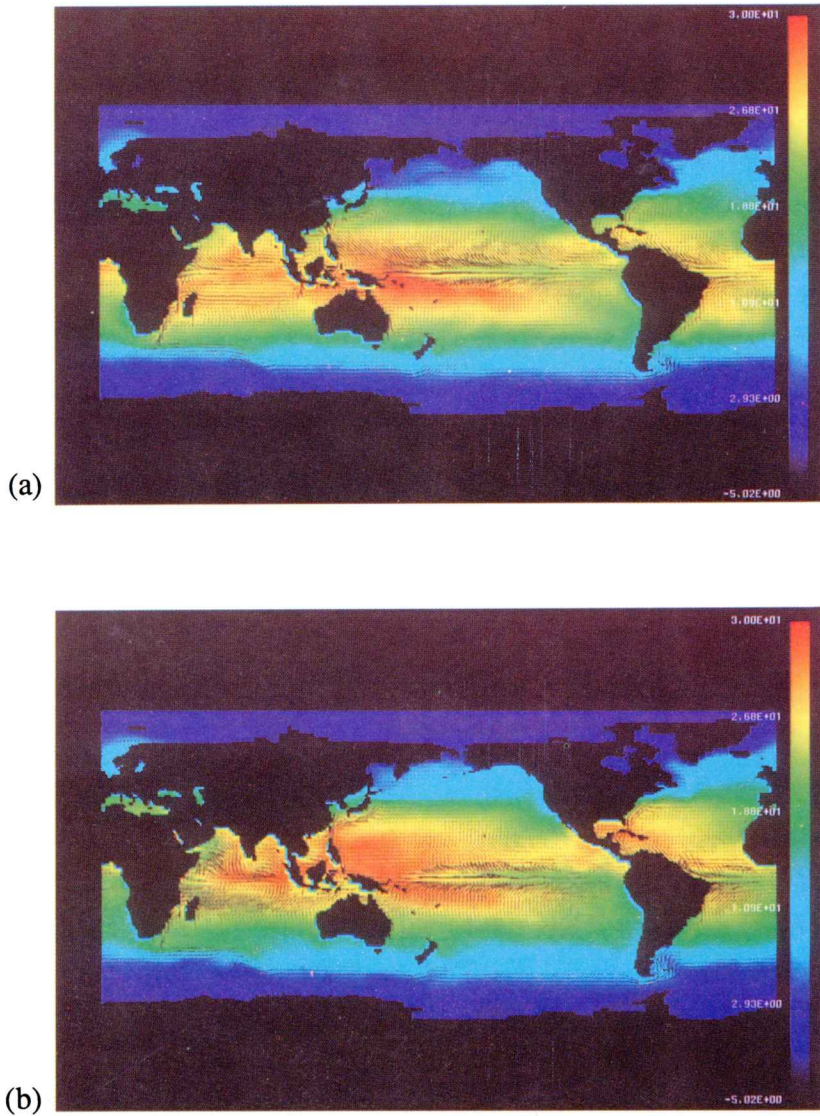


図2 海洋大循環モデルによる水深15mの水温分布と流速ベクトル（2月-a, 8月-b）
Fig.2 Distributions of the water temperatures and the current vectors by ocean general circulation model at the depth of 15m.(February-(a),August-(b))

球的な海水温の季節変化及び黒潮等の流速・流れの方向等の季節変化が視覚的に捉えられ、シミュレーション結果を検討する際に有効な手段となった。

4.2 表層地盤の震動シミュレーション

防災科学技術研究所では地盤と地震被害との関係を研究するために、土質柱状図の広域データベースを開発し、それを利用して想定地震に対する表層地盤の最大加速度予測図の作成等を行っている。その過程で筆者らは、地震による被害（例えば、地盤の液状化）を検討する場合に、ある地震における地震動を予測することが重要であると考え、上記広域データベースを用いて、ある想定地震に対する表層地盤の地表面変位をシミュレートし、その結果の動画表示を行った（諸星他，1993）。

動画表示を行う時の各画像（コマ）の作成には、3.2.2で述べた手法を用いた。すなわち各コマをUNIRASのコンタ機能、鳥かん図表示機能、文字表示機能等を使用してX-window上に作成し、その後フォーマット変換等の処理を行ったうえでUltra Net 1000のフレームバッファ上で動画表示する。

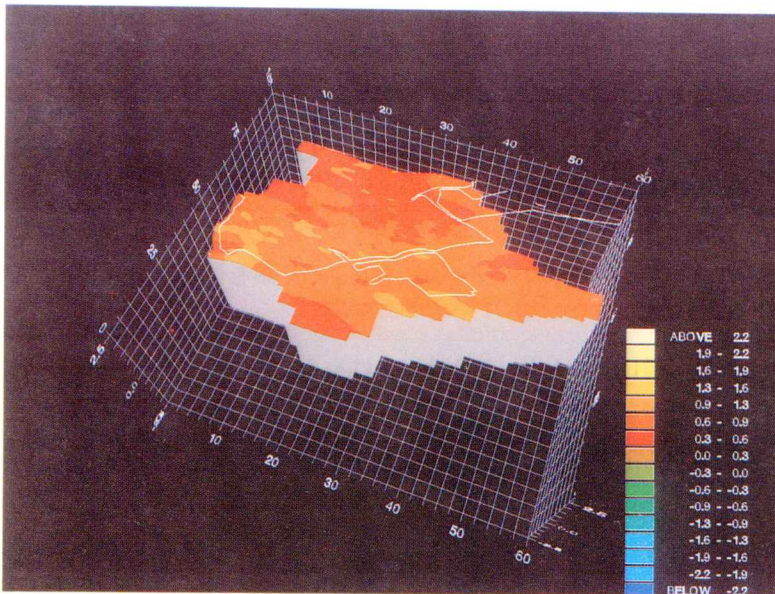


図3 地表面変位シミュレーション結果（1コマ）

Fig.3 An simulated map of the displacements of the ground surface (1 frame)

図3に今回実験的に行った動画表示（256コマ）の1コマを表示する。図3は国土地理院の25,000分の1地形図の浦安の部分であり、100mメッシュでの地表の変位の予測値を鳥かん図として示している。この時に各予測値にコンタ処理を施し、その領域ごとに疑似カラー表

示を行っている。図3のカラーバーの左側の数字は、入力地震波に対する地表での地震波の増幅度を示しており、入力地震波の振幅にこの増幅度をかけ合わせたものが地表における振幅となる。

1コマの容量は約3Mバイトであり、Y-MP2Eのメモリに約60コマが同時に格納でき、それを最大20コマ/秒で表示できる。また磁気ディスクを用いれば、転送時間は遅くなるが数千コマが同時に格納でき、長時間の地表面変位の動きを表す動画表示を行うことができる。

5. おわりに

地球科学的諸現象の数値シミュレーションの結果をスーパーコンピュータ (Y-MP2E) の超高速画像表示装置 (Ultra Net 1000) を利用した高速可視化システムを開発した。またそのシステムを繰り返し使用して作成した数コマの画像を高速に表示することにより動画化するシステムを開発した。それらのシステムの特長は可視化の目的等により次の3種類のソフトウェアを使い分けることである。

- ①. 基本的な機能 (例えば、線を引く、点を打つ等) しかないが、特定ユーザー (中級プログラマ以上) が自分のプログラムに組み込んで独自の可視化が行えるソフトウェア (BAS)。
- ②. 汎用的なグラフィックスソフトウェア (例えば、UNIRAS等) を用いてX-window上に作成した画像を動画化するソフトウェア (XBAS)。
- ③. 一般ユーザを対象とした可視化ソフトウェアで、高度なグラフィック機能がメニュー形式で容易に利用でき、ユーザープログラムにも若干の制限を付ければ組み込めるソフトウェア (BACAS)。

以上の3種類の可視化ソフトウェアを使い分けることにより、地球科学的諸現象等の数値シミュレーション結果を包括的かつ視覚的に捉えることができる。その結果、いままで捉えにくかった諸現象の判定が行いやすくなった。

今回開発したシステムにより、おおかたの地球科学的諸現象に関する数値シミュレーション結果の高速可視化及び動画化を行うことができるが、地球科学的諸現象は多岐かつ複雑な現象であり、それぞれの現象に沿った個々の動画化システムの開発が必要であろう。

一方、数値シミュレーションを用いて動的な諸現象を捉える必要がある各分野において、上記システムが有効利用されることを確信している。

6. 謝 辞

今回のシステムの開発にあたり筑波大学院生有馬秀樹君、同大学生栖原哲也君には、今回開発したBAS及びXBASのシステム設計に協力し、かつプログラムの作成をしていただいた。

数値シミュレーションによる地表面変位の動画表示の有効性に関して、浦安市総務部防災課長星野 隆氏に御助言をいただいた。BACASの開発に関し、日本クレイ株式会社三上和徳氏、佐藤一茂氏にシステム設計およびプログラムの作成をしていただいた。ここに、謝意を表します。

参考文献

- 1) 松浦知徳・諸星敏一 (1993) : 海洋大循環モデルによる季節変動のシミュレーション, CRAY, WOLD, 1993, WINTER.
- 2) 諸星敏一・河合伸一 (1993) : 表層地盤震動の3次元動画表示, 第28回土質工学研究会表会論文集.

(1993年6月3日原稿受理)