

ドップラーレーダーデータ処理への3次元 コンピュータグラフィックスの利用

真木雅之*・大倉 博**・御子柴 正***

防災科学技術研究所

Applications of 3 dimensional computer graphics to the Doppler radar data processing

By

Masayuki Maki, Hiroshi Ohkura and Tadashi Mikoshiba

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

Abstract

Doppler radar data (radar reflectivity, Doppler velocity and the variance of Doppler velocity) were processed by three dimensional computer graphics (3D - CG). The analyzed case was typical longitudinal snow clouds which were observed by the Doppler radar in the Tsugaru Plain, Aomori Prefecture at 16:10 JST, January 28, 1989. A three dimensional view of the snow clouds was made by the volume rendering technique of 3D - CG. Vertical and horizontal cross sections of the snow clouds were also shown. The following conclusions were obtained from the consideration of the advantages of 3D - CG for the radar data processing.

- 1) 3D - CG is an intuitively clear way to express weather systems.
- 2) High speed image data processing and flexible operation of 3D - CG will enable us to investigate weather systems without any interruption for thinking.
- 3) It is expected that 3D - CG will be an effective method to investigate the evolution of weather systems three dimensionally.
- 4) A new monitoring system of disastrous weather systems will be possible in the near future.

Key words : 3 dimensional CG, Doppler radar, data processing, snow cloud

キーワード : 3次元CG, ドップラーレーダー, データ処理, 降雪雲

1. はじめに

自然災害の防止や日々の天気予報のために利用される気象観測には地上観測, 高層観測,

* 気圏・水圏地球科学技術研究部大気変動研究室 ** 先端解析技術研究部

*** 防災総合研究部耐震工学研究室

レーダー観測、気象衛星観測など様々なものがある。そのなかでもレーダーや気象衛星等のリモートセンシング技術は、近年、ますますその重要性を増してきている。その理由に、これらのリモートセンシング機器を用いることにより、広範囲の情報を一点の観測点から遠隔測定できるということのほか、近年の画像処理技術の進展に伴い大量のデータ処理が、短時間のうちに行えるようになったことも挙げられる。例えば、レーダーデータに関していえば、オシロスコープ上に表示するAスコープの解析から始まり、ブラウン管上に掃引されるPPIやRHI画像の写真撮影解析を経て、デジタル化データのコンピューター解析といった流れをたどってきた。気象衛星についていえば、新聞紙上の天気予報欄への雲画像写真の登場から、現在ではTVの天気予報で動画表示されるようになってきている。また、ある民間放送局では“立体天気予報”といった工夫が試みられている。このような状況は、必要な気象情報を収集し、ある現象を解明するという大気科学的な面から、収集した情報をいかに伝えるかといった気象工学的な面についても、着目され始めていることを示すものである。一方、レーダーシステムについても、アンテナのスキャンモードのコンピューター制御や高速スキャン化といった発展があり、大量のデータが短時間のうちに得られるようになった。例えば、防災科学技術研究所をはじめ、北海道大学低温科学研究所、名古屋大学水圏科学研究所の研究用ドップラーレーダーではアンテナの高速スキャンにより、時間的な変動が激しい大気現象の3次元的なデータが数分のうちに、数100mの空間分解能で取得できるようになっている。そして、このような3次元的なレーダーデータの表示手法の研究についてもなされ始めている（例えば、中北ほか、1989；藤吉ほか、1990；佐藤・大井、1991）。本報では、レーダー情報の処理において、近年、手軽に利用できるようになってきた3次元コンピューターグラフィックスの有効性と可能性について考察した。

2. ハードウェア、ソフトウェア

使用した3次元グラフィックコンピューターは、(株)KUBOTAコンピュータ所有のTITAN 3000（米国STARDENT社製）及び防災科学技術研究所のTITAN 1500である。TIATNは並列処理の概念を導入した64ビットコンピューターで、高速のグラフィックス処理が大きな特徴の一つである。TITAN 3000の主な仕様は次のとおりである。

プロセッサ

MIPS社R 3000 CPU

MIPS社R 3010 FPU

32 MHzクロック

128 KBキャッシュメモリ（1 CPUあたり）

最大4 プロセッサ並列処理

メモリ

128 MB (最大 512 MB)

グラフィックス

19 インチ, 1280×1024 ピクセル, 1670 万色

性能

32 MIPS, 32 MFLOPS (ピーク時は 128 MIPS, 128 MFLOPS)

一方, 使用したソフトウェアは科学技術シミュレーションの可視化用に開発されたAVS (Application Visualization System) である. AVSは1989年にバージョン1が出荷され, その後, 改良が加えられ現在ではバージョン3がでている. AVSは機能面から次の2つに分けられる.

1. ネットワークエディター
2. ビューワー

ネットワークエディターは, ネットワークと呼ばれる, 可視化のための一連の手順を定義するためのソフトウェアである. 一つのネットワークは図1に示したようにいくつかの独立したモジュールから構成される. モジュールはグラフィックパッケージで言えばサブルーチンに対応するものであるが, AVSには約120種類のモジュールが用意されており, ユーザーはその中から必要なものを選択し, 対話的に, 簡単にネットワークを作成することができるようになっている.

ビューワーは用意されたデータを対話的に処理し, 可視化するためのソフトウェアで, 次の4種類のビューワーがある.

- a. ジオメトリ・ビューワー: 3次元幾何オブジェクトの幾何学的な変換, オブジェクトの表面特性 (例えば材質感), 光源の強さや位置などの設定を行う.
- b. イメージ・ビューワー: 2次元データを可視化し, 部分画像の抽出, エッジ検出, ヒストグラム, フィルタリング等の画像処理を行う.
- c. ボリューム・ビューワー: 3次元データの等値面表示, 任意断面表示, ボリュームレンダリング等を行う.
- d. グラフ・ビューワー: 様々な2次元統計グラフを作成・表示する.

ネットワークエディターもビューワーも, マルチウィンドウの環境下でアイコン形式で操作される. そのため, ユーザーは可視化のためのネットワークの作成や作図パラメーターの設定を試行錯誤的に, 対話的に行うことができ, 柔軟性に富む作業が可能となっている.

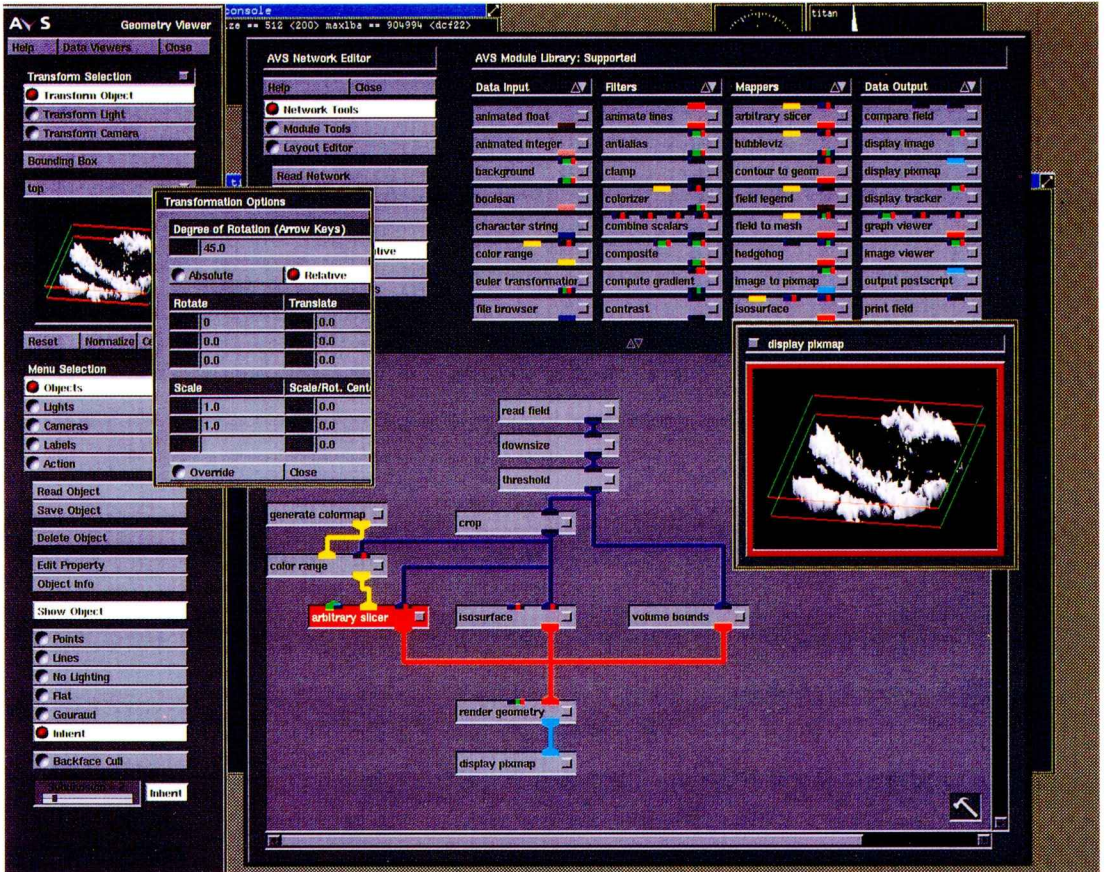


図1 AVSのネットワークの一例。

Fig. 1 An example of networks of AVS (Application Visualization System).

3. データ

3.1 ドップラーレーダーデータ

本研究で使用したデータは、当研究所が青森県津軽平野で行っている吹雪のドップラーレーダー観測のデータで、1989年1月28日に得られた事例である。この事例についての気象学的な解析は、真木ほか(1992)が吹雪の発生との関連で詳細におこなっている。1989年の観測では10分毎に降雪雲の3次元レーダーデータが得られているが、本研究で使用したデータはそのうちの16時10分に得られた典型的なLモード(Longitudinal mode)の降雪雲(図2)のデータである。オリジナルのデータは、合計19の高度角のPPIスキャンで得られた極座標データで、方位角方向の角度分解能は 1° 、レンジ方向の距離分解能は250mである。このデータをニアレストネイバー法を用いて水平、鉛直方向共に250mの格子間隔の直交座標データに交換し、その後、AVSが扱えるファイル形式へフォーマット変換した。極座標から

GMS-3 VIS (03Z, JAN 28, 1989)

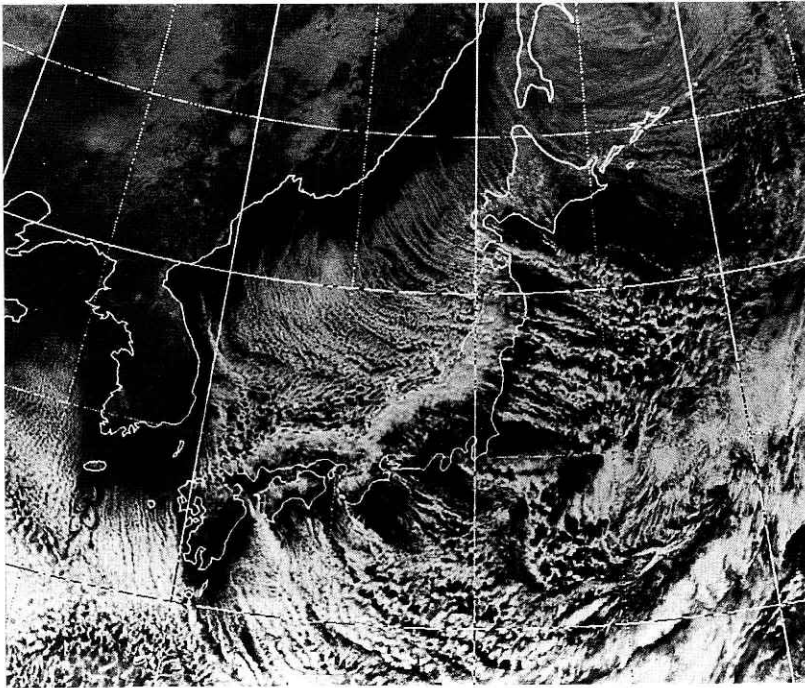


図2 GMS可視画像、1989年1月28日12時JST。西高東低の冬型の気圧配置のもとで大陸沿岸から約100km沖合いの日本海上で発生した線状の降雪雲が青森県津軽平野へ進入している。線状の降雪雲の雲列の走向は北西から南東で一般風の方向にほぼ一致する。

Fig. 2 Visible-band GMS image of snow clouds at 12 JST, January 28, 1989.

直交座標へ変換する方法としては、本研究で用いた最近接 (Nearest Neighbour) 法のほかに、バイリニア (Bilinear) 法、キュービックコンボリューション (Cubic Convolution) 法などがある。最近接法は直交座標のあるグリッド点の値を、その点から最も近い位置にある極座標の点の値で置き換える方法である。バイリニア法は直交座標のあるグリッド点の値を、その回りの極座標の4点の値を距離の重み付きで平均する方法である。キュービックコンボリューション法は直交座標のあるグリッド点の値を、その回りの極座標の16点の値にコンボリューション関数 ($\sin x/x$) をかけて平均する方法である。バイリニア法とコンボリューション法は、それぞれスムージング効果やエッジ強調効果をもった変換方法で、見栄えのする画像を得るためには有効である。しかし、レーダーのデータに関しては、レーダービーム幅のために、データの空間分解能はレーダーから遠くなるほど悪くなるという性質を持っている。当研究所のドップラーレーダーの場合、ビーム幅は -3 dB電力値で約 1.1° で、レーダーから 40 km離れた点では約 840 mの広がりを持つことになる。このようなレーダーデータの本質を常に意識しておくことは、レーダーで観測される現象を解釈する上で重要である。この理由から、本研究ではあえて、スムージングやエッジの強調といった画像処理は行わず、最も簡単な最近接法を用いた。また、レーダーから得られる3次元データは膨大な量であるため、複雑な変換方法や画像処理方法だと時間がかかりすぎるという点もある。これについては、将来のハード、ソフトウェアの発展によって解決されるであろうが、現時点ではまだ制約がある。

従来、この種の研究では降水強度に対応するレーダー反射因子の表示についてのものが主であったが、本研究では、そのほかに、降水粒子の動きのレーダー方向の成分であるドップラー速度と降水粒子の動きの乱れの強さを表すドップラー速度の分散についても表示した。

3.2 標高データ

より具体的なイメージを得るために、ドップラーレーダーの情報の他に、地形情報の3次元表示も同時に行った。その際、国土情報整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された標高データに関する国土数値情報資料を使用した。国土地理院から提供される標高データは磁気テープに収められており、当研究所の汎用コンピューターACOSで読むことができる。しかし、一定量のデータを扱う画像処理を行う場合には、汎用機よりもワークステーションレベルの方が操作性の点から優れている場合が多い。そこで、ワークステーションやパソコンでも扱えるように、標高データを光ディスク上にデータベース化した。標高データは第1次地域区画 (経度 1° 幅、緯度 $40'$ 幅の領域で 20 万分の1の地勢図に相当する領域)、第2次地域区画 (経度 $7'30''$ 幅、緯度 $5'$ 幅の領域で 2 万 5 千分の1の地勢図に相当する領域)、第3次地域区画 (経度 $45''$ 幅、緯度 $30''$ 幅の領域で約 250 m間隔のメッシュで構成される) と階層構造をしている。最下層の第3次地域区画は8桁のメッシュコードで識別されるが、こ

のメッシュコードを利用することにより、指定された緯度、経度から日本全国の任意の矩形エリアを抽出することができる。標高データの水平方向の空間分解能は250 mで、これはレーダーデータのレンジ方向の距離分解能と同じである。現在、テスト段階ではあるが、パソコンレベルで任意エリアの抽出、等高線図や鳥かみ図の作成が可能となっている。

4. 出力例

データ処理の手順は前述したように、まずレーダーの生データである極座標データを直角座標データに座標変換したのち、AVSが扱えるようにフォーマット変換した。座標変換はACOS 830 (NEC) を用いたが、その時間は $320 \times 320 \times 13$ グリッド点の値を求めるのに約2分を要した。図1枚をディスプレイ上に表示するのに要する時間は3次元CGの有効性を考える上で重要であるが、地形データ、レーダーデータを同時に表示する場合には約1分、レーダーデータだけの場合には数10秒であった。また、データを間引いて表示する場合には数秒であった。

降雪雲のレーダー情報の3次元表示例を図3から図7に示す。図3の(a)は俯角が 30° の眺めを、(b)はトップビュー、(c)はサイドビューで、レーダー反射強度が13 dBZの等値面を表している。一方、図3の(d)と(e)は20 dBZの等値面である。光源(太陽)の高度角は現実的ではないが、真西 35° を想定してレーダー画像と地形に陰影がつくようにした。図の四角の箱のサイズは水平方向の一辺が80 kmである。高さ方向のスケールは水平方向に対して2倍に引きのばして、最下辺の位置が地上0.25 km、最上辺の位置が地上3.5 kmである。図3(a)、(b)、(c)によれば、レーダー観測範囲内に北西から南東に走向を持ち、幅が約10 km、エコー頂の高さが3 kmから4 kmの線状の降雪雲の列が3本表れている。雲列の水平スケールと高さスケールの比を表すアスペクト比は約10である。図3(d)と(e)は降雪の強い部分を表示したものであるが、線状降雪雲はその走向に配列するいくつかのエコーセルから構成されているのがわかる。このほか、上陸後のエコーセルの変質、津軽山地による新しいエコーの発生や八甲田山地による降雪エコーの発達等がこれらの図から直感的に理解できる。内部の構造については後の任意断面図で述べる。

ドップラー速度およびドップラー速度の分散についても同様に3次元的な表示が可能である。それらを図4と図5に示した。図4の(a)、(b)はそれぞれ、ドップラー速度が2 m/s、20 m/sの等値面を現わしているが、このようなドップラー速度の表示については、1台のドップラーレーダーから得られる速度場の情報はレーダー方向の成分だけであるということから、現象を理解する上ではさほど有効とは考えられない。しかしながら、2台、3台のドップラーレーダーを用いることによって風のベクトル場が求められるので、そのような場合の表示には有効であろう。図5のドップラー速度の分散は、レーダービーム幅とパルス幅で定義されるサ

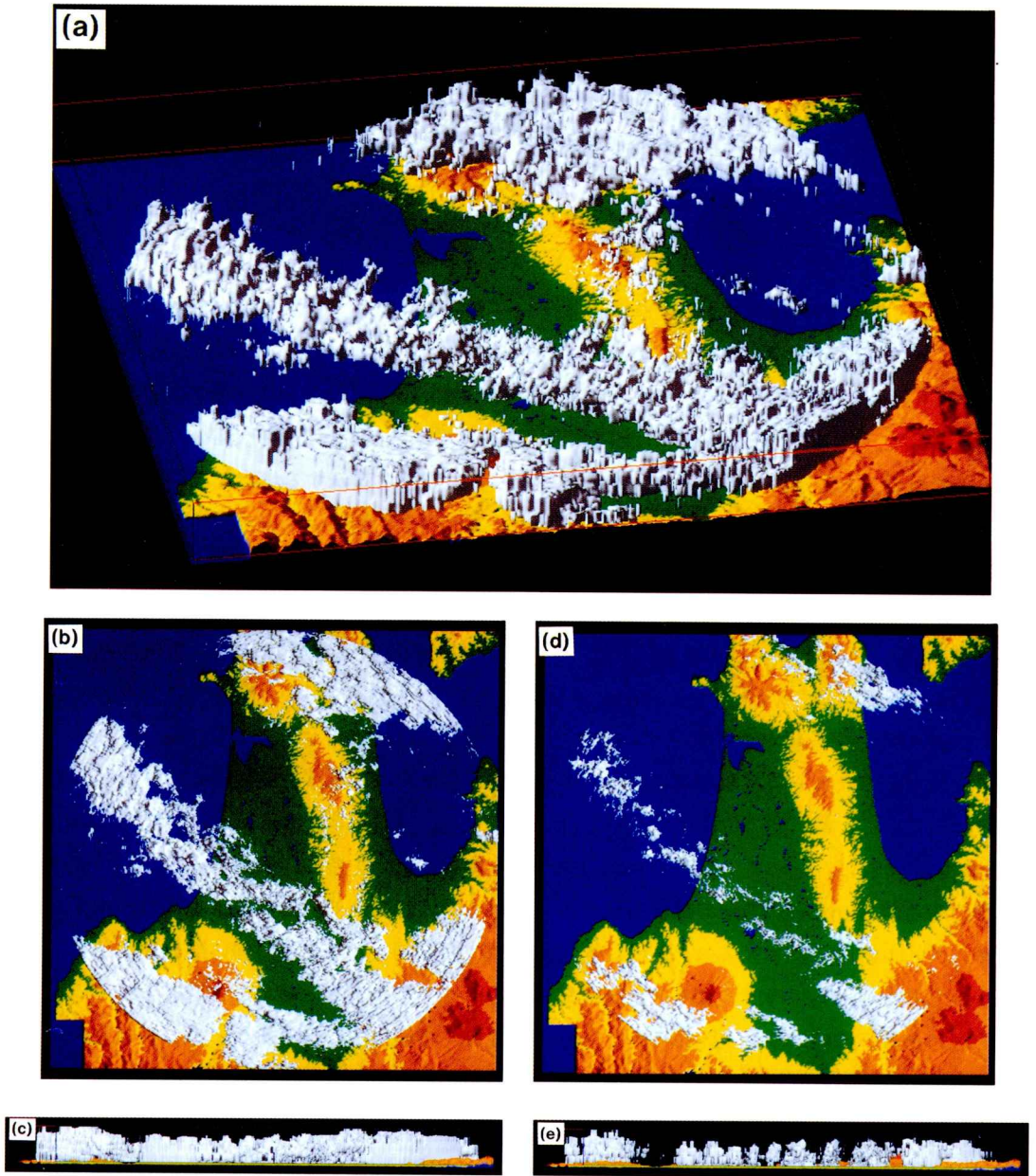


図3 3次元CGで表示された線状降雪雲(1989年1月28日16時10分, 青森県津軽平野で観測). (a), (b), (c)はレーダー反射強度が13dBZの等値面を, (d)と(e)はレーダー反射強度が20dBZの等値面を表している. 地形は緑色が0m以上, 黄色が100m以上, おうど色が300m以上, 茶色が1000m以上の所を表す.

Fig. 3 Three dimensional view of snow clouds. Figures (a), (b) and (c) are for the isosurface of the radar reflectivity of 13dBZ. Figures (d) and (e) are for the isosurface of the radar reflectivity of 20dBZ.

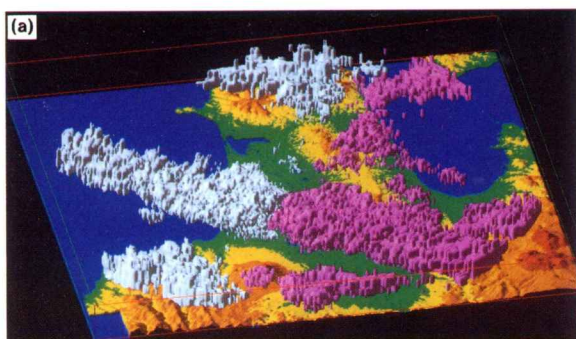


図4 ドップラー速度の分布。(a)は2 m/sの等値面、(b)は20m/sの等値面。白色はレーダーに向かう方向を紫色は遠ざかる方向を表す。

Fig. 4 Same as Fig. 3 but for the isosurface of the Doppler velocity of (a) 2m/s and (b) 20m/s.

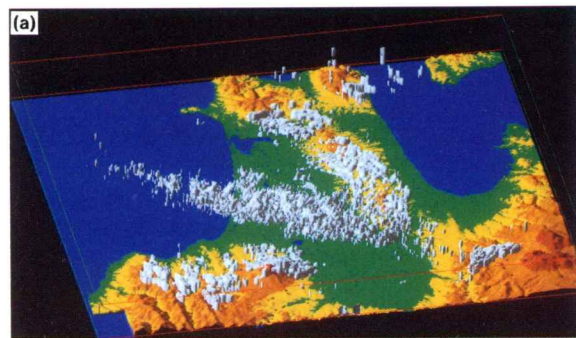
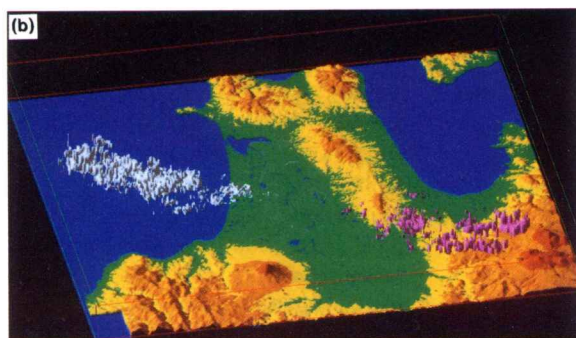
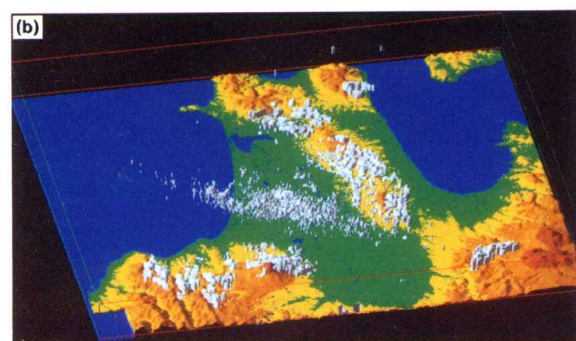


図5 図4と同じ、ただし、ドップラー速度の分散。(a)は1 m²/s²の等値面、(b)は2 m²/s²の等値面。

Fig. 5 Same as Fig. 4 but for the isosurface of the variance of the Doppler velocity of (a) 1m²/s² and (b) 2m²/s².



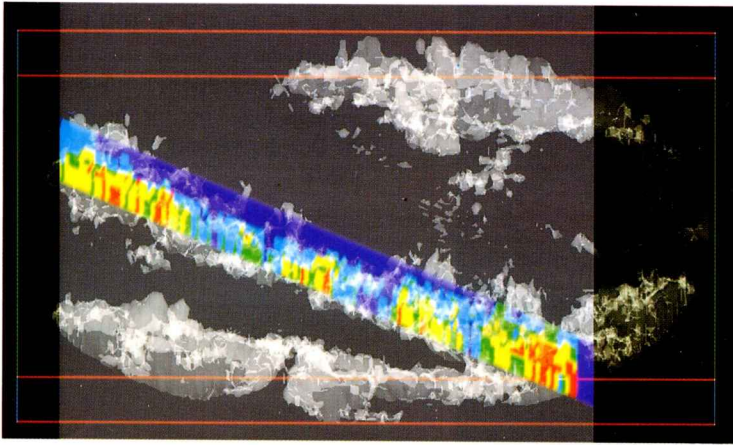
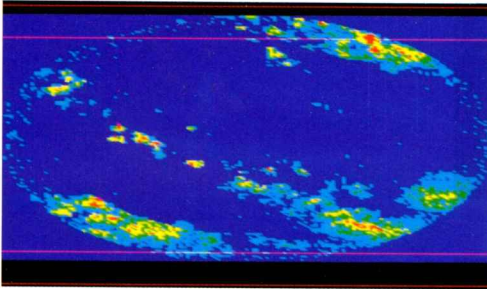


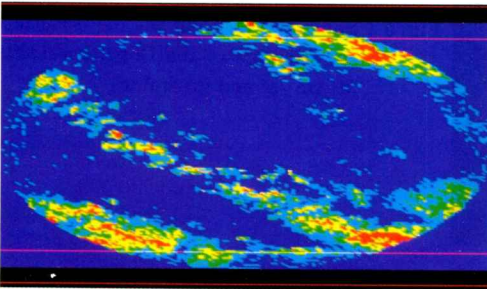
図6 線状降雪雲の走向レーダー反射強度の鉛直断面図。色分けは、水色が13dBZ以上、緑色が15dBZ以上、黄色が20dBZ以上、赤色が25dBZ以上である。

Fig. 6 Vertical cross section of snow clouds. Blue, green, yellow and red show the radar reflectivity of 13dBZ, 15dBZ, 20dBZ, and 25dBZ, respectively.

(a) Z=2.85KM



(b) Z=1.875KM



(c) Z=0.9KM

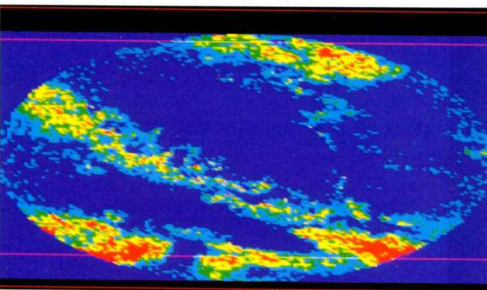


図7 線状降雪雲のレーダー反射強度の水平断面図。

Fig. 7 Horizontal cross section of snow clouds. The height is (a) 2.85km, (b) 1.875km and (c) 0.9km.

ンプリングボリューム内でのドップラー速度の変動の大きさを表すが、分散の大きい領域は乱流状態の激しい領域や、風向風速の急変する領域に対応する(例えば, Doviak and Zrnić, 1984). 図5と図3を比較すると、ドップラー速度の分散の大きい領域はレーダー反射強度の大きい領域付近で見られるが、よく調べてみると両者の位置は必ずしも一致しておらず、降雪域の前面付近でドップラー速度の分散の値が大きくなっているようである。ドップラー速度の分散についての情報は突風域や風のシア領域の検出に利用できる可能性があり、災害防止という実用的な観点からも有効な情報である。

3次元CGの最も有効な点のひとつに立体的に表示された現象を見ながら任意の断面図を作成することができる点がある。その例として、線状降雪雲の走向に沿った方向のレーダー反射強度の鉛直断面を図6に、3高度での水平断面を図7に示す。図6において、降雪エコーの13 dBZの等値面は半透明にして表現している。図6と図7から線状降雪雲はその走向に沿って配列するエコーセルから構成されていることがわかる。そのエコーセルの水平スケールは5 km程度、エコー頂は3 kmから4 kmである。

本論文では図示できなかったが、視点を連続的に変えて眺めた様子をビデオに収録した。まだハード的な制約があって短時間でというわけにはいかないが、データを間引けばほぼリアルタイムで視点の変更が可能である。

5. 最後に

近年のハード、ソフトを含めた画像処理技術の発展に伴い、従来では考えられなかったようなレーダーのデータ処理システムがワークステーションレベルで可能となってきた。特に3次元コンピューターグラフィックスは、従来の2次元平面内に制限されていた解析を3次元空間内での一歩進んだ解析へと発展させる可能性がある。そこで、レーダー情報の処理において、3次元CGの有効性と将来の可能性について調べた。使用した3次元グラフィックコンピューターは(株)KUBOTAコンピュータ所有のTITAN 3000(米国STARDENT社製)及び防災科学技術研究所のTITAN 1500で、ソフトウェアは科学技術シミュレーションの可視化用に開発されたAVS (Application Visualization System) である。処理した事例は1989年1月28日に青森県津軽平野で観測されたLモードの線状降雪雲である。レーダー反射強度の3次元表示、水平断面図、鉛直断面図の作成、連続的に視点を変えて眺めたときのビデオ撮影を行った。3次元CGの有効性、将来の可能性として次の点が考えられる。

- (1) 3次元的なレーダーデータの表示は現象のより直感的な理解に有効である。
- (2) グラフィックコンピューターとの間で対話的にデータ処理を行えるために、研究者はプログラムの作成やバグの除去作業から解放される。
- (3) 断面図の作成や視点の変更が短時間のうちにできるようになれば、思考を中断すること

なくレーダーデータを解析できる。

- (4) 本研究所のドップラーレーダーは約5分間隔で現象の3次元的なデータを取得することができるので、現象の時間的な変化を3次元空間内で追っていくことも可能である。したがって、雲の発生、発達、消滅までの一連の過程を理解するのに有効で、従来の2次元平面での解析では見逃しがちだったことも見えてくる可能性がある。
- (5) 災害防止のための新しい監視システムが可能である。(4)にも関連するが、今後、レーダーデータの収録、処理システムに3次元CGを組み込むことにより、リアルタイムで、災害をもたらす現象を3次元空間内で監視できるようになるであろう。

このうち(3)、(4)、(5)についてはまだワークステーションのハード的な制約があつて、処理時間の面で十分とは言えないが、1年前の状況と比べればずいぶん進歩してきている。この分野は今後ますます発展すると考えられる。

謝 辞

気圏・水圏地球科学技術研究部の八木鶴平氏には本報告をまとめるにあたって有益なコメントを頂いた。ドップラー速度の折り返し補正のアルゴリズムについては気象研究所の山田芳則氏に、座標変換アルゴリズムについては先端解析技術研究部の幾志新吉氏の助言を頂いた。また、クボタコンピューター株式会社の宮地英生氏にはTITAN 3000の使用および画像出力にあたって様々な便宜を計って頂いた。

参 考 文 献

- Doviak R. J. and D. S. Zrnić(1984) : *Doppler radar and weather observations*. Academic press, 458pp.
- 藤吉康志・大井正行・若濱五朗 (1990) : レーダーエコーの3次元立体表示, 日本気象学会1990年春季大会講演予稿集, 57, 180pp.
- 真木雅之・中井専人・八木鶴平・中村秀臣 (1992) : 吹雪のドップラーレーダー観測: 事例解析, 天気 (投稿中).
- 中北英一・椎葉充晴・池淵周一・高塚磨 (1989) : 三次元レーダー雨量計情報の可視化, 土木学会論文集, 393号/II-9, 161-169.
- 佐藤晋介・大井正行 (1991) : 3次元レーダーの画像処理システム, 北海道大学大型計算機センターニュース, 23, 62-76.

(1991年12月18日原稿受理)