



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コンピュータ・グラフィックスによる降雪観測用三次元レーダデータの表示
Author(s)	大井, 正行; OHI, Masayuki; 佐藤, 晋介 他
Citation	低温科学. 物理篇, 50, 37-43
Issue Date	1992-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18602
Type	departmental bulletin paper
File Information	50_p37-43.pdf



コンピュータ・グラフィックスによる 降雪観測用三次元レーダデータの表示*

大井 正行

(低温科学研究所)

佐藤 晋介

(北海道大学大学院理学研究科)

(平成3年10月 受理)

I. ま え が き

レーダや気象衛星などのリモートセンシング技術は、近年の気象観測には欠かせなくなっている。それにともない、得られた画像データを解析する過程で、まず第一に必要なのが画像の表示である。気象衛星「ひまわり」に代表されるような2次元画像は、既に一般にも馴染み深いものになっているが、3次元画像の表示については、技術的な環境がようやく整った段階である。

1985年、北海道大学低温科学研究所に可搬型の降雪観測用高速三次元ドップラーレーダが導入され、以来、主に降雪雲を対象とした観測を行っている。このレーダの最大の特徴は、短時間に3次元データを得ることができる空中線走査モードを有することである。このような3次元データを利用する際に最も困難な点は、3次元空間内の強度分布を同時に直感的に把握することである。なぜならば3次元的なエコー強度分布を2次元平面内に表現しようとするとき、3次元的なエコー域の形態を分かりやすく表現しようとするればその中の強度分布の表現が難しくなり、反対に強度分布の表現に重点をおけば立体的なエコー域の形態が分かりにくいものとなるからである。

当初、得られた3次元画像データの解析は主に北大の大型計算機に備えられた図形出カルーチンを利用して任意の断面をコンターマップで表すという方法で行ってきた。しかし筆者等はよりリアルな画像表示を必要としていた。1989年の末、ソリッド・モデリングによる表示を目的として、当時としては最高の性能といわれたグラフィックス・ワークステーション Apollo Domain DN590Tを導入した。

ここでは、3次元レーダによって得られる画像データの構造と、その処理過程、そしてマーチングキューブス法による雲画像データの立体表示の結果とそのアルゴリズムについて述べる。

*北海道大学低温科学研究所業績 第3510号

II. 三次元レーダによる画像データの構造とデータ処理

1. 3次元レーダデータの構造

本レーダは、主に降雪雲の微細構造を定量的に観測することを重点において設計された。性能および機能については文献¹⁾に述べてあるので省略する。

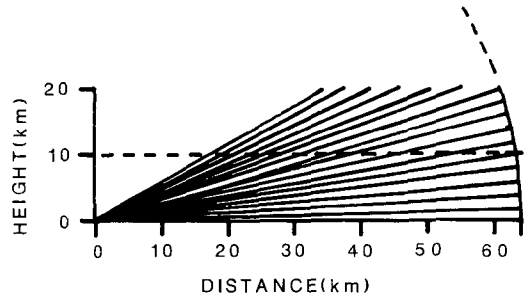
空中線の走査モードは7種類あり、それぞれの走査モードによってデータを取得できるが、ここでは先に述べた3次元走査を行うASIモードに限って説明する。このASI(Arbitrary Section Indicating)モードは、30 rpm(2秒に1回転)の高速でアンテナを360°回転させ、半径64 km内のデータを取得する。それを仰角0°から30°まで1°間隔で繰り返すことによって3次元データを取得する。雲頂は殆んどの場合高度10 km以下であるので、仰角30°までのデータを取れば半径64 km、高さ10 kmの円柱にほぼ等しいデータが得られる。これを第1図および第2図(A)に示す²⁾。この場合、データ取得に要する時間は約3分でありエコーの移動による3次元構造の歪は無視できると考えられる。

この様な短時間に取得した大量のデータは全て極座標のまま磁気テープへ収録され、観測終了後必要に応じて解析処理を行う。

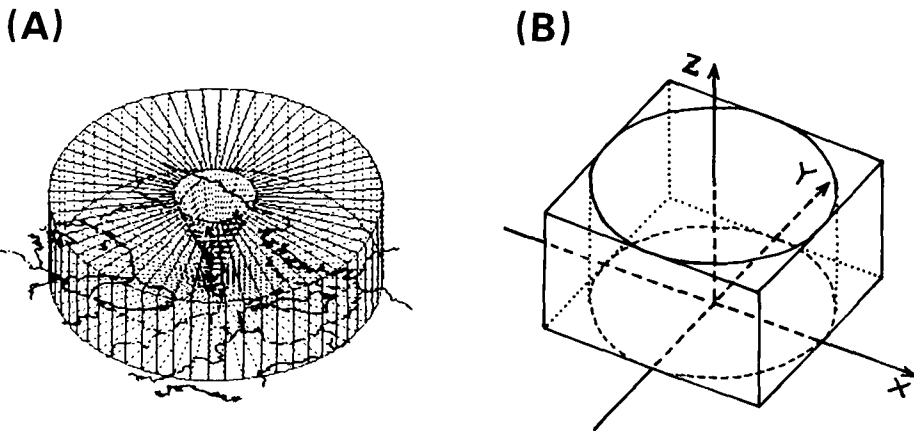
以下、第3図に示す3次元データ処理の流れに従って述べる。

2. 極座標→直交座標交換およびZ方向の引き延ばし

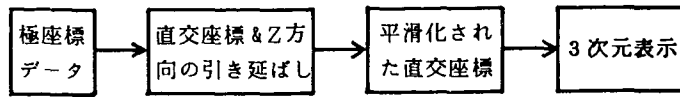
レーダによって得られるデータは距離と方位角によって示される極座標系となっている。しかし、降水強度分布の三次元画像を作成したり各種の解析を行う場合、データの空間的配置は直交座標系で示されて



第1図 観測範囲の鉛直断面をビーム走行線で表わしたもの



第2図 (A)極座標で表わした観測範囲
(B)x, y, z軸の直交座標系に処理されたデータ



第3図 3次元データ処理の流れ

いる方が都合が良い。故に第2図(A)に示すように放射状の分布で与えられるデータを3次元直交座標系における格子点上の値に交換する。

交換後の強度データは、第2図(B)のように X , Y , Z 軸の三方向 250 m 角(処理範囲が水平 64 km \times 2, 鉛直 10 km)の空間の状態を表す。この時、雪雲の場合などは特に高度が低いため、そのままのスケールで表示すると平坦な画像になってしまう場合が多い。そこで縦方向に引き延ばして鉛直方向の分布を強調することで見やすい画像にする。この引き延ばしアルゴリズムはデータ値を一旦レーダ方程式により交換しているため、単純な線形近似で実現できる。

3. フィルタリング

フィルタリングの目的は極座標-直交座標交換で生じたデータの不連続を滑らかにすることと、異常値の除去を行うために用いる。これは $3\times 3\times 3$ 個の格子点データを平均することにより行った。

III. 3次元レーダデータの立体表示

1. Apollo Domain DN590T

OSはAEGIS Ver 10.1, グラフィックパッケージは, 3DGMR(Graphic Metafile Resource)を用いた。3DGMRはZバッファやグラフィックアクセラレータおよびスムーズシェーディングなどをサポートしている。Zバッファアルゴリズムは数ある隠面消去アルゴリズムの中でも最も強力なアルゴリズムの一つである。今回用いたマーチングキューブスアルゴリズムが多数の平面を作成しているにも拘らず高速に動作しているのは、この機能に拠るところが大きい。

2. ボクセルデータの表示

3次元コンピュータグラフィックス(CG)では、まずモデルデータを定義(モデリング)し、次にCRT上に投影して可視化(レンダリング)する。

一般にモデリングで扱うデータは、連続的な3次元幾何学モデルと非連続的な3次元データとがある。我々が扱うのは後者で前節で述べた3次元空間に配置されたボクセル(Voxel)にデータが格納されたものである。

ボクセルを表示する手法には、①パッチやポリゴンで表面を形成する方法と、②面で近似することなく、ボクセルデータ値を直接表示し、内部の様子も観察できる方法(ボリュームレンダリング)とがある。①の方法には更にしきい値法がある。ここで採用したのはこのしきい値法の中でも優れた手法であるマーチングキューブス法である。

3. マーチングキューブス法

マーチングキューブス法は先に述べたしきい値面表示法の一つで、与えられた強度の境界面を精度良く抽出して表示する。アルゴリズムを説明すると、まず8つのボクセルを頂点とす

る立方体(キューブ)を考える。この立方体を構成する辺に着目し、辺の両端の頂点の強度が与えられたしきい値と比較して大きいか小さいかを調べる。一方がしきい値よりも大きく、他方が小さい場合には辺を横切る境界面が存在するので、その交点座標をボクセルの強度から直線補間によって決定する。ここで求めた交点を結ぶことで、表示すべき立体の表面が求まる。表面を構成する交点を選ぶのは難しいように思えるが、予め作成したテーブルを参照することで容易に行える。すなわち、頂点のレベル(境界強度との大小)の組み合わせは全部で256通りあるが、反転や回転を取り除くと第4図に示すように僅か14通りの組み合わせで表現できるので、全ての組み合わせに対してテーブルを作成でき、作成しても大した負荷とはならない³⁻⁵⁾。

このようにして1つの立方体に対しての処理が終了したならば、立方体を1つ移動して(4つのボクセルを入れ替えて)処理を繰り返し、全てのボクセルについて処理を行ったならば終了する。

4. シェーディング

シェーディングは画像の最終的な見映えに大きく影響する。せっかく精度良く境界面を求めたとしても、平面のまま単色で塗り潰したのでは意味がない。レーダデータ等のようにある強度を持ったボクセルデータ(スカラーフィールド)で良く使われる手法としては、ある点でのグラジエントを求めそれを表示のための法線ベクトルとするものがある。我々もこの手法を採用している。キューブの頂点での法線は以下の式で求め、表示する平面の法線は交点の位置を重みを掛けて求めている³⁾。

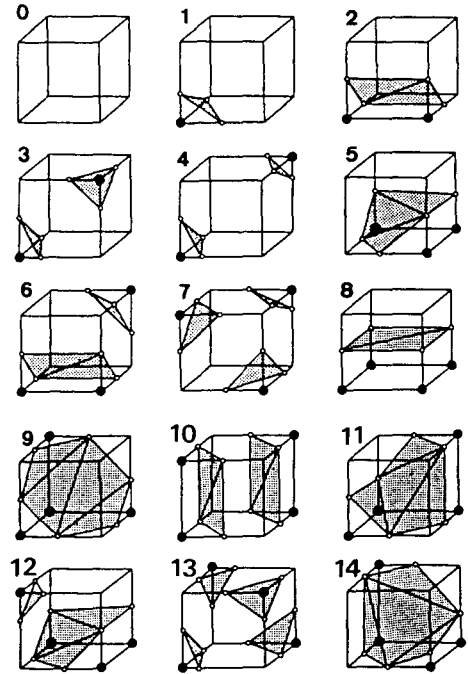
$$G_x(i, j, k) = (D(i+1, j, k) - D(i-1, j, k)) / \Delta x$$

$$G_y(i, j, k) = (D(i, j+1, k) - D(i, j-1, k)) / \Delta y$$

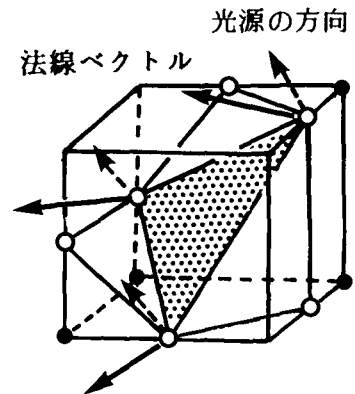
$$G_z(i, j, k) = (D(i, j, k+1) - D(i, j, k-1)) / \Delta z$$

ここで、 i, j, k は隣接したキューブ頂点のそれぞれ x, y, z 方向の並びであり、 $G_n(i, j, k)$ はグラジエント、 $D(i, j, k)$ はボクセルの強度、 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ はキューブエッジの長さである。

第5図に表示する3角形の各頂点の法線ベクトルの例を示す。最終的な平面の表示は3DGMRのフォン(Phong)・シェーディングに依存している。なお、ここで用いた光源



第4図 14通りの立方体と表示面

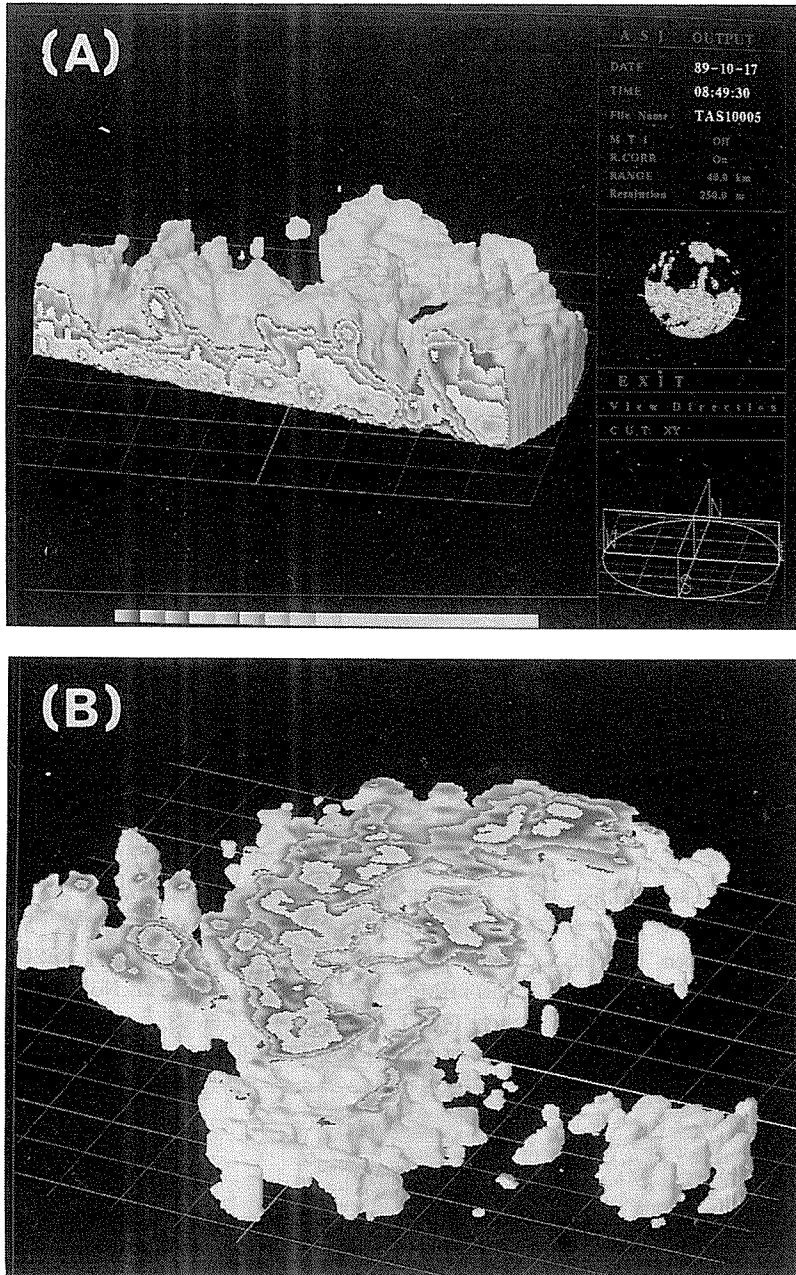


第5図 3角形各頂の法線ベクトル

については、まず太陽からのものとこれが地面に反射して出来るもの、および各方向からの拡散いわゆる環境光の計3種類をバランスを考えて設定した。

5. 3次元レーダデータの表示例

第6図(A)は、鉛直断面で切断したレーダエコーの表示例である。このエコーの表面は10



第6図 (A)1989年10月17日8時44分
(B)1990年1月23日, 11時03分

dBZ で、エコー頂高度は約 4 km である。また第 6 図(B)は、北海道西岸帯状収束雲のエコーで、高度 2 km の水平断面で切断している。

操作の手順は、①表示したいレーダデータの表面の値(反射強度：dBZ)を入力する。②水平断面を切断する場合はその高度を入力し、また鉛直断面で切断する場合は、第 5 図右側中央に示されている水平断面図において、マウスを使って任意に切断面を指定することができる。③一度表示された図は再度表面抽出計算を行うことなしに、視線の変更やズームアップ・ダウンが同図の右下のフレームを参考にしながら可能である。

IV. あとがき

3次元レーダデータの立体的な表示を、マーチングキューブス法によって実現するまでの過程を紹介した。結果としては、例えば雲頂の様子など予想した以上にリアル表示された。

今後は、3次元CGの動画化、例えば視点を連続的に変えて見せたり、エコーの時間的変化を追ってみること、および雲内部を透視化する表示法などを考えている。

最後に3次元表示による利点をまとめると、以下のようになる。①雲の全体的な形が分かる。言い換えれば顔が分かり特徴を捉えるのに便利である。②雲の相互の立体配置が分かり、相互作用の有無が明らかになる。③雲のどの部分が発達し雪や雨がどこで形成され、どのように落下して行くのかが容易に分かる。④最大のメリットとしては、これまで見たこともない雲情報が得られる楽しみがある。

この画像表示に当たり、構想から実現まで尽力をつくして頂いた、名古屋大学水圏科学研究所の藤吉康志助教授ならびに北海道大学名誉教授の若濱五郎氏、また3次元立体表示のプログラム開発を行って頂いた三研システム株式会社の浜安浩氏に心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) 藤吉康志・他 1986 降雪観測用三次元ドップラーレーダ. 低温科学, 物理編, 45, 134-137.
- 2) 中北栄一・他 1988 三次元レーダ-雨量計情報の可視化. 土木学会論文集第 393 号/II-9, 5 月, 161-169.
- 3) William E. Lorensen, Harvey E. Cline 1987 MARCHING CUBES: A HIGH RESOLUTION 3D SURFACE CONSTRUCTION ALGORITHM. *Computer Graphics*, Vol. 21, No. 4, July, 163-169.
- 4) 柴木 猛 1989 ポリウム・レンダリング. *PIXEL* (No. 77), 2月号, 55-58.
- 5) 稲蔭正彦 1989 ポリウム・レンダリングの基礎. *NIKKEI COMPUTER GRAPHICS*, 4月号, 188-194.
- 6) 佐藤晋介, 大井正行 1991 北海道大学大型計算機センターニュース. Vol. 23, No. 3, 62-76.

Summary

Three-dimensionally scanning Doppler radar is useful to study the 3D structure of meso-scale severe weather phenomena. Until now, we plotted the data as a 2D computer map, using the software package of Hokkaido University computer center. Recently, we have been investigating the use of Computer Graphics software to produce more realistic 3D image of the three-dimen-

sional radar data.

At the end of 1989, a graphics workstation : Apollo Domain DN590T was obtained for the development of 3D solid modeling. Data of the echo intensity is obtained in cylindrical polar coordinates using the ASI(Arbitrary Section Indicating) antenna scanning mode, which is the main characteristics of the radar.

The first step is to map this data on to a 3D cartesian coordinate system. The 3D volume elements(voxels) were then given a solid representation using a MARCHING CUBES algorithm and Phong-shading.

Results from Computer Graphics, software of the surface images of clouds illustrated high quality, realistic images beyond our expectation.