

Magellan CD-ROM のデータ

中野 司¹⁾

1. はじめに

マジェラン(Magellan)探査船は1990年9月から1992年1月までに金星のほぼ全域のレーダーマッピングを終了し, 1993年4月現在は重力観測のフェーズに入っている(Saunders ほか, 1992). これまでのマジェランの観測によって, 以下の2種類の金星のリモートセンシングデータが得られた(マジェランのセンサやデータの詳細については Ford ほか(1989)や Pettengill ほか(1991)を参照のこと): (1) SAR (Synthetic Aperture Radar; 合成開口レーダー)による画像データ, (2)レーダー高度計やラジオメーターなどによる従来の惑星・衛星探査船のものと同様なリモートセンシングデータ.

これらのデータの多くはわれわれが取り扱うことのできる形に前処理・編集されて, NGDC (National Geophysical Data Center)から複数枚のCD-ROMとして公表されている(1992年夏前までは, これらのCD-ROMは研究者に無償で提供されていた). ここでは, われわれが入手したSAR画像データのCD-ROMとレーダー高度・ラジオメーターデータのCD-ROMについて, その内容と利用のしかた, そしてそこにおさめられているデータの詳細などについて紹介する.

2. マジェラン CD-ROM

CD-ROMとして公表されているマジェラン探査船のデータには以下の3種類のセットがある(NGDC, 1991).

ARGDR :

Altimetric and Radiometric Global Data Record,

ARCDR :

Altimetry and Radiometry Composite Data Record,

MIDR :

Mosaic Image Data Record.

これらのデータセットの処理は, ARCDR と ARGDR が MIT (マサチューセッツ工科大学)で, MIDR は JPL (ジェット推進研究所)において行なわれた. ARGDR の CD-ROM の公表については確認していないが, その内容として,

GTDR : Global Topography Data Record,

GEDR : Global Emissivity Data Record,

GSDR : Global Slope Data Record,

GREDR : Global Reflectivity Data Record,

がアナウンスされているので, それは ARCDR のデータをコンパイルしたものかもしれない.

われわれが入手したCD-ROMはARCDRとMIDRのセットで, それらの正式名称は以下のとおりである.

ARCDR :

NASA Mission to Venus, Magellan : Altimetry and Radiometry Composite Data, Data produced by MIT, 1~10巻,

MIDR :

NASA Mission to Venus, Magellan : The Mosaicked Image Data, Data produced by JPL, 1~50巻(このうち1~42巻だけを入手した).

これらのCD-ROM (ARCDRが10枚, MIDRが

1) 地質調査所 地質情報センター

キーワード: マジェラン探査船, 金星, SAR, レーダー高度, CD-ROM

第1表(a) ADF レコードのデータ

フィールド名	説明
nfoot	観測点の番号
flag	レコードの質を示すフラグ
scet	観測時刻(探査船時刻, 秒)
pos[3]	探査船の位置ベクトル (J2000 表現, km)
vel[3]	探査船の速度ベクトル (J2000 表現, km/sec)
lon	観測点の経度 (VBF85 表現, 度)
lat	観測点の緯度 (VBF85 表現, 度)
xfoot	軌道に沿った方向の観測点サイズ (km)
yfoot	軌道と垂直な方向の観測点サイズ (km)
rcal	受信側のノイズ校正データ (km ⁻²)
range	天底に対する未補正レンジ長 (km)
atmos	Range に対する大気補正值
radius	金星半径 (km)
slope	金星表面の傾斜の root mean square (度)
rho	フレネル反射率
rhocor	フレネル反射率の拡散散乱相関ファクター
error[3]	Radius, Slope, Rho の誤差公称値
correl[6]	Radius, Slope, Rho の相関公称値
drad	Radius に対する暦補正 (km)
dlon	Lon に対する暦補正 (VBF85 表現, 度)
dlat	Lat に対する暦補正 (VBF85 表現, 度)
partl[3][6]	Radius, Lon, Lat に対する探査船位置・速度補正用微係数
fit	non-range-sharpened あてはめの良さ
scale	Fit と Prof に対するスケールリングファクター
looks	non-range-sharpened ルック数
nprof0	Tmpl[0] に合う Prof 要素
prof[302]	non-range-sharpened エコープロファイル
tmpl[50]	最良 non-range-sharp モデルテンプレート
rsfit	range-sharpened あてはめの良さ
rsscale	Rffit と Rspof に対するスケールリングファクター
rslooks	range-sharpened ルック数
rsnprof0	Rstmpl[0] に合う Rspof 要素
rsprof[302]	range-sharpened エコープロファイル
rstmpl[50]	最良 range-sharpened モデルテンプレート
rhofact	Rho に加えた multi-peak 補正
radius2	threshold detector で得られた金星半径 (km)
sqi	signal quality indicator (dB)
thresh	threshold detector のインデックス

50枚)には膨大な量のデータがおさめられている (ARCDR はおよそ4ギガバイト, MIDR は25ギガバイト)。また, それに加えて, データの処理レベルでの詳細な説明書, データ読みだしのための簡単なソフトウェアも CD-ROM もしくはそれに添付されてくるフロッピーディスクにおさめられている。

CD-ROM 上でデータはマジェランの軌道 (ARCDR) や画像のフレーム (MIDR) ごとに多数のファイルに分割されて格納されている。説明書やソフトウェアも含めたすべてのファイルの形式は PDS (Planetary Data System; Lee, 1991) の標準的なフォーマットになっている。すなわち, マジェラン CD-ROM のすべてのファイルは, データがアスキーかバイナリかにかかわらずアスキーテキストで書かれたデータの簡単な記述部(ヘッダ)とそれに続くデータ本体という構造をしている。以下では, 入手した CD-ROM にある様々なファイルから, ARCDR と MIDR のデータファイルだけを紹介する。

第1表(b) RDF レコードのデータ

フィールド名	説明
burst	レーダー burst 番号 (periapsis が 0)
flag	レコードの質を示すフラグ
scet	観測時刻(探査船時刻, 秒)
pos[3]	探査船の位置ベクトル (J2000 表現, 秒)
vel[3]	探査船の速度ベクトル (J2000 表現, km/sec)
lon	観測点の経度 (VBF85 表現, 度)
lat	観測点の緯度 (VBF85 表現, 度)
xfoot	軌道に沿った方向の観測点サイズ (km)
yfoot	軌道に垂直な方向の観測点サイズ (km)
sfoot[2]	SAR の観測領域径 (km)
sar[2]	SAR の後方散乱係数の平均値 (dB)
angle	入射角 (度)
bright-radius	輝度温度 (K)
radius	金星の平均半径 (km)
anttemp	アンテナのシステム温度 (K)
skytemp	表面での天の温度 (K)
rcvrtemp	受信機のシステム温度 (K)
surftemp	表面の輻射温度 (K)
emiss	表面の輻射率
partl[3][6]	Lat, Lon, Radius に対する探査船位置・速度補正用微係数
dedrad	Emiss に対する半径補正用微係数
phystemp	表面の物理温度 (K)
antval	ラジオメーターアンテナ値
loadval	ラジオメーター load 値
askip[2]	高度のスキップファクター
again[2]	高度のゲインファクター
acr	高度の粗い解像度

3. ARCDR

ARCDR のデータ(ファイル)には以下の4種類のものがある。

- OHF : Orbit Header File,
- EPF : Ephemeris File,
- ADF : Altimetry Data File,
- RDF : Radiometry Data File.

これらのうち, EPF にはアスキー形式で書かれたデータが, また, OHF, ADF と RDF には VAX 形式のバイナリデータがおさめられている。ファイルはマジェランの1829個の軌道(軌道は極周回で, 金星一周ごとに番号が与えられている)ごとにあり, 1枚の CD-ROM におよそ150軌道分がおさめられている(10巻だけ少し多い)。

OHF は小さなファイルで, 軌道の番号, 通過した時期, その軌道でサンプルされた高度・ラジオメーターデータの個数(これは対応する ADF, RDF ファイルに含まれるデータのレコード数に等しい)が書き込まれている。また, EPF には, マジェランが得た ADF と RDF の諸データに幾何学補正で必要な, 暦年補正のための金星の天体力学的情報がおさめられている(ただし, ADF, RDF のデータに

第2表 マジェランモザイク画像データレコード

略 称	意 味	解像度	サ イ ズ	画像枚数
F-BIDR	Full-resolution Basic Image Data Record	?	20~25 km (線)	?
F-MIDR	Full-resolution Mosaicked Image Data Record	75 m	5° (経度) × 5° (緯度) (正弦図法)	≥270
C1-MIDR	Compressed-once Mosaicked Image Data Record	225 m	15° (経度) × 15° (緯度) (正弦図法)	≥139
C2-MIDR	Compressed-twice Mosaicked Image Data Record	675 m	45° (経度) × 45° (緯度) (正弦図法)	≥11
C3-MIDR	Compressed-thrice Mosaicked Image Data Record	?	120° (経度) × 80° (緯度)	?
P-MIDR	Polar Mosaicked Image Data Record	?	80~90° N	?
F-PIDR	Full-resolution Polar Image Data Record	?	20~25 km	?

はすでにこの補正が加えられているらしいので、CD-ROMの説明書にもEPFファイルを使うための十分な説明はない。

ADFとRDFにはどちらも同様な形式で、軌道ごとにおよそ1500個ずつのデータレコードが含まれている。データレコードはデータの観測点に対応するもので、合計するとADF、RDFともに280万レコード以上になる。各レコードに書き込まれた情報の項目を第1表に示した。

第1表(a)、(b)を比較すればわかるように、ADFとRDFのデータレコードの情報は一部重複している(軌道の番号やサンプリング点の経度・緯度の情報はもちろんのこと、ADFにフレネル反射率が含まれていたりする)。また、エラーデータ(これは全体の数%以下)もすべて記録されており、これは「flag」フィールドの情報から判断するようになっている。このようにARCDRの中心となるADFとRDFにはマジェランからの生データに近いものが入っており、後述するようにその処理はかなりやっかいである。

4. MIDR

ARCDRに比べるとMIDRのデータは単純である。MIDRには、画像構成の処理が行なわれた結果の、金星表面をモザイク状に覆うように編集されたSAR画像が入っている。MIDRには、第2表に

示したような領域のサイズ(もしくは解像度)の異なる7種類の画像がある(ただし、そのうち3種類、F-MIDR、C1-MIDR、C2-MIDRだけしか手にしていないが)。

画像はPDSのVICARフォーマットと呼ばれる形式でファイル化されている。この形式のファイルでは画像に関する諸情報とともに、画像データが1画素1バイトでスキャンラインの順におさめられている。ただし、各フレームのモザイク画像は8,192(横)×7,168(縦)画素からなる巨大なもので、それらを8×8に64分割した小画像(framelet)ごとにファイル化されている。また、画像を素早く眺めるために8×8画素を1画素にまとめたブラウザ(browse)用の画像(サイズは1,024×896画素)も各フレームごとに用意されている。このようなモザイク画像が1枚のCD-ROMに10フレーム分ずつ、1~50巻で金星表面のほぼ80%を覆うだけある。

入手した画像はすべて、正弦図法、

$$x=R(\lambda-\lambda_0) \cos \phi$$

$$y=R\phi$$

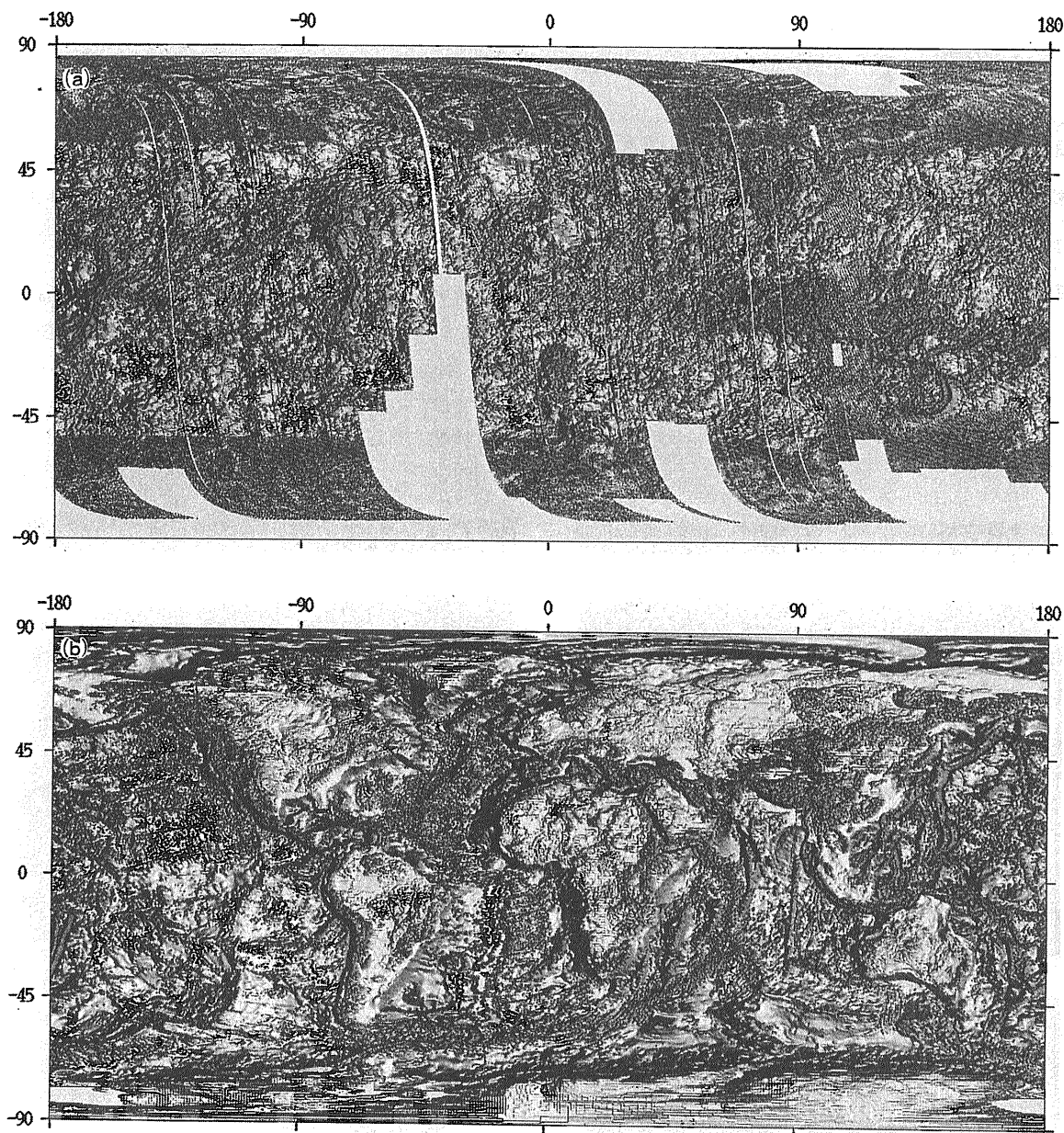
(x, y) : 画像上の位置

(λ, φ) : 金星上の経度と緯度

λ₀ : 図の中心経度

R : 金星の平均半径(~6,051 km)

で投影されて描かれたものであった(極周回軌道を



第1図 (a)マジェラン ARCDR CD-ROM のすべての ADF を用いて作成した金星の陰影地形図。ADF の各レコードのデータ(第1表)のうち、経度 lon, 緯度 lat, 半径 radius を用いて作成した。高度(金星半径)の範囲は6045.9~6071.4 km である。(b)第1図(a)との比較のために作成した地球の高度分布の図。ETOPO-5 地形データ(NOAA, 1988)を使って、陰影の表現を金星の場合と同じにして描いた。高度の範囲は-10,800~9,000 m。

とっているマジェランの軌道間の「あき」を目立たなくするためだろう)。画像の範囲や地図投影のパラメータ λ_0 は、画像の入ったファイルの先頭にヘッダ情報としてアスキー形式で書き込まれてい

る。画像の位置決め精度が非常によいので、次節で述べるように、これらを利用して隣り合う画像をつなぎ合わせてもとのフレームにまたがるような画像を作成することも、また、正弦図法以外の投影法

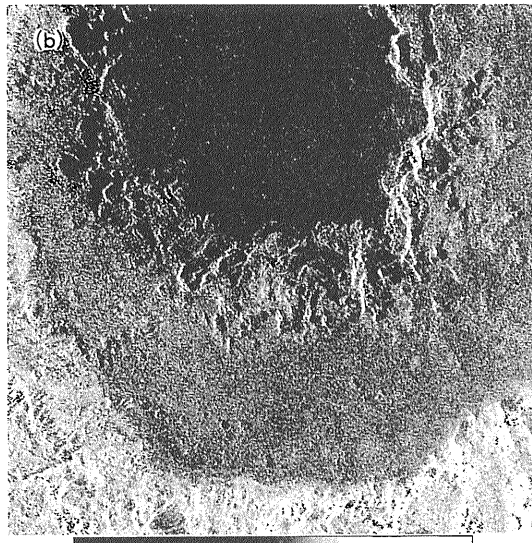
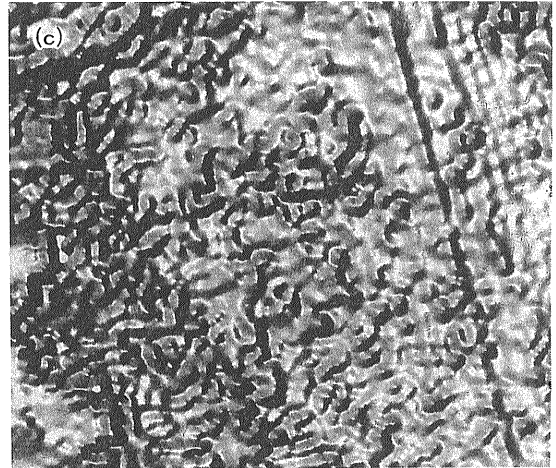
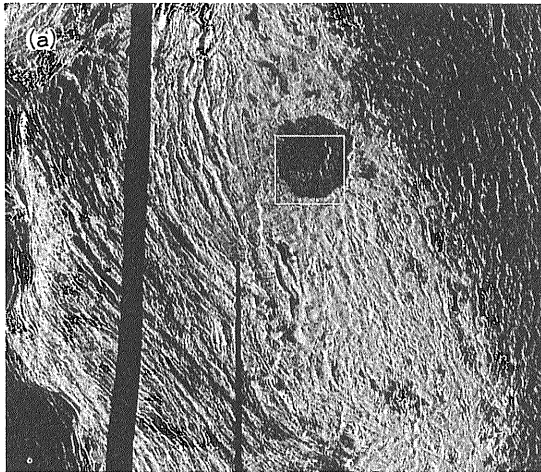
第3表 マジェラン探査船とPVOのレーダー高度データの比較

	マジェラン探査船	PVO
観測点の数	約 280 万点	約 14 万点
緯度の範囲	70° S~80° N	60° S~70° N
空間分解能	およそ 25 km	およそ 100 km
高度の誤差	およそ 20 m (公称誤差 30 m)	およそ 50 m (公称誤差 100 m)

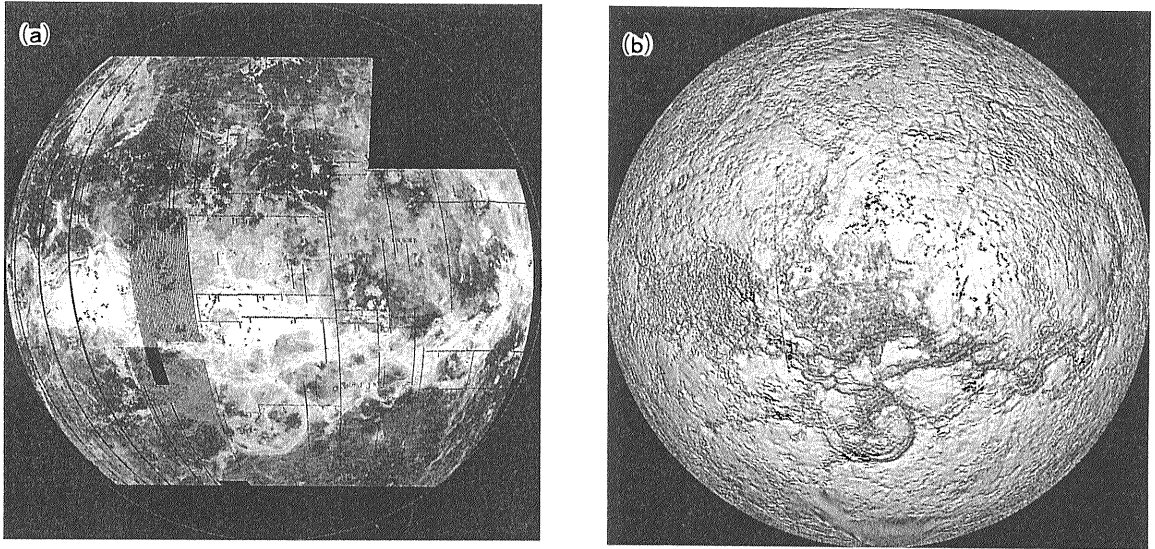
で画像を再描画することも可能である。

5. データの利用のしかたとその例

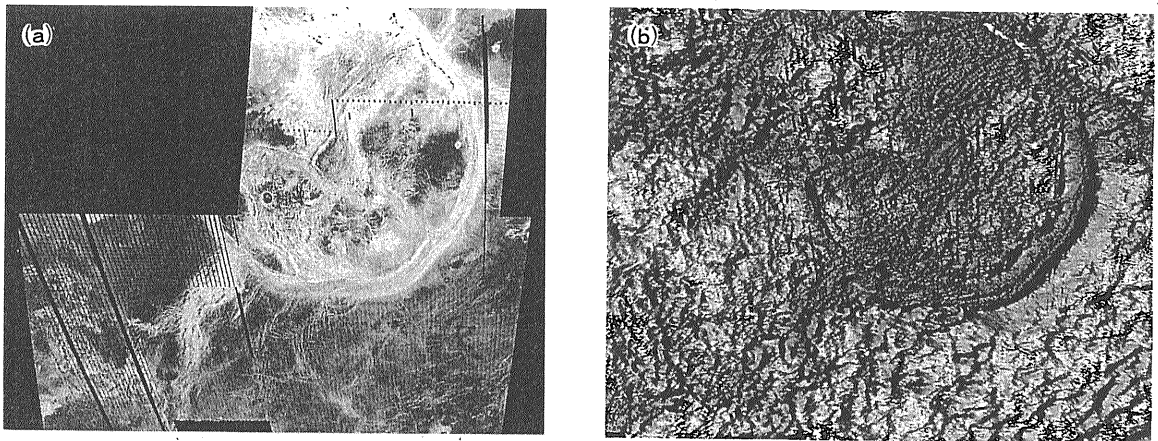
マジェラン CD-ROM には、それらに含まれているデータを処理するための簡単なソフトウェアが添付されている。ARCDR では、UNIX, MSDOS, MacOS で走らせることのできるデータのリストア(バイナリ形式で書かれたデータをアスキーに変換する)プログラムがある。また、MIDR には、IBM-PC と Apple-Macintosh で画像表示するためのプログラムが用意されている。しかし、ここでは、これらとは独立に以下のようなソフトウェアを作成し、UNIX マシン上で ARCDR と MIDR を加工して第



第2図 (a) マジェラン MIDR CD-ROM の SAR 画像の例。マックスウェル山(65°N, 6°E)周辺、特にクレオパトラクレーターが映っているフレーム(f65n006)のブラウザ用画像に若干の画像処理(輝度の強調)を加えたものを示した。画像の幅はおよそ600 kmである。(b)第2図(a)の白枠で示したクレオパトラクレーター付近の映っている小画像(#21)。F-MIDRの小画像の解像度は1画素あたり75 mでマジェランの SAR の性能(およそ150 m)を越えている。そのため、画像の粗さが目立つ。(c)マジェラン ARCDR CD-ROM の ADF から作成した、第2図(a)とまったく同じ領域の陰影地形図。この領域のレーダー高度(金星半径)の範囲は6052.96~6063.2 km、マジェランの観測点数はおよそ5,000点である。この図より、第2図(a), (b)のクレオパトラクレーターはマックスウェル山の山頂ではなく東斜面にあることがわかる。



第3図 (a) マジェラン MIDR CD-ROM の11枚の C2-MIDR(第2表) 画像をはりあわせて、若干の画像処理を加えたもの。経度 135°E 、緯度 0°N の真上、無限遠点から見た図法で描いた(金星の半径はおよそ $6,051\text{ km}$ である)。図の中央の白い部分はテチス地域、そこから西に延びている部分はアフロディテ大陸、図中央下のリング状のものはアルテミスコロナと呼ばれる大地形である。(b) マジェラン ARCDR CD-ROM の ADF のデータから作成した、第3図(a)と同じ領域について同じ投影法で描いた陰影地形図。



第4図 (a) マジェラン MIDR CD-ROM の3枚の C1-MIDR(第2表) 画像をはりあわせて作成したアルテミスコロナ周辺の画像(ただし、表示に際して若干の画像処理を加えた)。もとの C1-MIDR 画像と同じに中心経線が図の中央を通る正弦図法で描いた。図の横幅はおよそ $3,800\text{ km}$ 、縦幅はおよそ $3,000\text{ km}$ である。(b) マジェラン ARCDR CD-ROM の ADF のデータから作成した、第4図(a)と同じ領域について同じ投影法で描いた陰影地形図。この領域の高度(金星半径)の範囲は $6048.975\sim 6055.375\text{ km}$ 、マジェランの観測点数はおよそ7万点である。

1, 2, 3, 4 図のような表示を可能にした。

ARCDR に対しては、以下のように ADF から金星の高度分布を求める処理を行なった。まず、ADF の各レコードから高度(半径 radius)とサンプ

リング点の位置(経度 lon と緯度 lat)だけを抜き出し、VAX 形式から IEEE 形式へと浮動小数点数の変換をしたバイナリファイルを作成した。このデータファイルのサイズは約65メガバイト(サンプリ

グ点の数にしておよそ280万点)であった。観測点の空間密度はそれ以前にPVO (Pioneer Venus Orbiter; バイオニア金星周回船)の得たレーダー高度データ(NASA, 1988)に比べて非常に大きい(第3表)。それで、解像度を低くすればこれらを単純にプロットしても金星表面を覆い尽くした高度分布図を作成することができる(第1図(a), 第3図(b))。しかしながら、狭い領域についての高度分布を知るためには、適当な方法で観測値を空間補間する必要がある。第2図(c), 第4図(b)では、Briggs (1974)のスプライン関数で補間した結果を示した。これらの図のように、金星上の任意の地域の高度分布図を作成できるようにした。

MIDRについては、まず、VICAR フォーマットの画像(ブラウザ用画像と小画像)を読みだして、CRT(X-window)上に表示するソフトウェアを作成した(第2図(a), (b))。また、MIDR CD-ROM 1~42巻におさめられていたすべてのブラウザ用の画像を新たなCD-ROMに書き込んだ。そして、それを検索・表示するシステムを作成した。CD-ROMに書き込んだ画像をはりあわせて、金星の任意の地域のSAR画像を描かせることができるようにした(第3図(a), 第4図(a))。その際、もとの画像とは異なる中心経度 λ_0 でプロットすることも、正弦図法以外の投影法でプロットすることも可能にした。

以上の結果、ARCDRから得た金星の高度分布のデータとMIDRのSAR画像を組み合わせて利用することが可能になった(第3図, 第4図)。

6. おわりに

PVOやベネラ探査船のデータにもとづいていた金星のテクトニクスの研究(たとえば、川上(1990)を見よ)は、マジェランによる新データによって新たな展開を見せている。たとえば、地球の島孤・海溝系に対応する大地形(McKenzieほか, 1992a; Sandwell and Schubert, 1992; Fujiiほか, 1992)や金星の応力場(McKenzieほか, 1992c), 火山の形態学(Head et. al, 1992; McKenzieほか, 1992b; Pavriほか, 1992)などの研究はSAR画像と地形データを組み合わせた解析によって非常な進展を見せている。また、従来のデータに比べてマジェランのSAR画像は非常に高解像度なので、金星全体を対

象としたグローバルなものばかりでなく、地球上で地質学者が取り扱うような広がり(地域)についての研究、すなわち惑星地質学も米国では盛んに行なわれていると聞く(小松五郎・並木則行, つくば支援センター講演会, 1992)。マジェランCD-ROMが非常に早く公表されたこともあって、それを用いた金星のテクトニクスや地質学的な研究の余地はまだ残っていると思われる。

謝辞: マジェランCD-ROMはDr. G. H. Pettengill (マジェランチームリーダー), PDSおよびNGDCに提供していただいた。藤井直之氏(名古屋大学)はARCDR CD-ROM 1~10巻を貸して下さった。高木靖彦氏(東邦学園短期大学)にはマジェランCD-ROMについての諸情報をお教えいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- マジェランCD-ROM(およびそれに含まれている説明書)については本文中に記した。NGDCのアナウンスメントはCD-ROMに添付していた書類等に記されてあったものなので、ここには記載しない。マジェランのSAR画像とレーダー高度データを組み合わせた研究成果は、本文で紹介したもの以外にもJ. Geophys. Res. 97 (E8 および E10)などに多数掲載されている。
- Briggs, I. C. (1974): Machine contouring using minimum curvature, *Geophys.*, **39**, 39-48.
- Ford, J. P. ほか (1989): Spaceborne radar observations, 126pp, JPL Publication.
- Fujii, N., Y. Takagi, T. Nakano, and A. Tanaka (1992): A model of coronae formation on venus—A possibility of down welling tectonics at eastern Aphrodite—, *Proc. 25th. Lunar. Planet. Symp.* ISAS.
- Head, J. W., L. S. Crumpler, J. C. Aubele, J. E. Guest, and R. S. Saunders (1992): Venus volcanism: Classification of volcanic features and structures, associations, and global distribution from Magellan data, *J. Geophys. Res.*, **97**, 13153-13198.
- 川上紳一・金折裕司・早川雅彦 (1990): 金星にプレートテクトニクスはあるだろうか, *地質学雑誌*, **96**, 297-318.
- Lee, S. W. (1991): The planetary data system, *Rev. Geophys.*, supplement, 338-341.
- McKenzie, D., P. G. Ford, C. Johnson, B. Parsons, D. Sandwell, S. Saunders, and S. Solomon (1992a): Features on venus generated by plate boundary processes, *J. Geophys. Res.*, **97**, 13353-13544.
- McKenzie, D., P. G. Ford, F. Liu, and G. H. Pettengill (1992b): Pancakelike domes on venus, *J. Geophys. Res.*, **97**, 15967-15976.
- McKenzie, D., J. M. McKenzie, and R. S. Saunders (1992c): Dike emplacement on venus and on earth, *J. Geophys. Res.*, **97**,

- 15977-15990.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) (1988) : PDS Interactive Data Interchange, CD-ROM.
- Pavri, B., J. W. Head, K. B. Kloese, and L. Wilson (1992) : Steep-sided domes on venus: Characteristics, geologic setting, and eruption conditions from Magellan data, J. Geophys. Res., **97**, 13445-13478.
- Pettengill G. H., P. G. Ford, W. T. K. Johnson, R. K. Raney, and L. A. Soderblom (1992) : Magellan: Radar performance and data products, Science, **252**, 260-264.
- Sandwell, D. T., and G. Schubert (1992) : Evidence for retrograde lithospheric subduction on venus, Science, **257**, 766-770.
- Saunders, R. S.ほか(1992): Magellan mission summary, J. Geophys. Res., **97**, 13067-13090.
-
- NAKANO Tsukasa (1994) : Data on the Magellan CD-ROM's
-
- 〈受付 : 1993年 5月21日〉

第4回地質調査所研究講演会 「惑星地質とリモートセンシング」 のアンケートから

昨年6月16日に東京・赤坂の三会堂ビル石垣記念ホールで第4回地質調査所研究講演会「惑星地質とリモートセンシング」が開催された。この講演会は毎年2回開かれている恒例の行事で、当日は民間企業や国立研究所、官庁関係、そして各地の大学からおよそ200名に及ぶ多数の参加者があった。当日の講演内容は以下の通り。

- 特別講演
「日本の惑星探査計画の現状と将来」
文部省宇宙科学研究所惑星研究系教授 水谷 仁
- 特別講演
「宇宙資源
—地球外惑星における水の存在とその意義」
文部省名古屋大学理学部教授 田中 剛
- 講演
「地球と惑星のリモートセンシング」
地質調査所国際協力室 山口 靖
- 講演
「同位体から見た太陽系年代史」
地質調査所地殻化学部 平田岳史
(現 : 東京工業大学理学部)
- 講演
「リモートセンシングによる惑星地質学」
地質調査所地質情報センター 中野 司

1994年1月号

特別講演を行った宇宙科学研究所の水谷 仁教授は、我が国が1996, 1997年に打上げを予定している火星探査「PLANET・B」計画や月探査「LUNAR・A」計画の内容を詳しく紹介し、我が国の宇宙開発がいよいよ目前に迫りつつあることを示した。名古屋大学の田中 剛教授や地質調査所研究者の講演については本特集号で詳しく紹介されている。

講演会の終了後に集計した参加者のアンケートには、「本講演会を聴講して初めて日本でも惑星探査計画を前向きに考えていることを知り大変興味深かった(学生)」、「地球で成されてきた地質に関するデータ解析の技術が、今後、惑星探査に利用されていく様子が具体例を通して良く理解できた(大学院生)」、「地質調査所が常に新技術に意識的に取り組む姿勢を今後も続けて欲しい(会社員)」、「基礎研究は個人的に進んでしまいがち。実用面を含めて、社会的ニーズを考慮しつつ先導・先駆的な研究をお願いしたい(会社員)」、「地質調査メーカーが手伝える部分を積極的に相談してもらい、研究開発に協力したい。衛星を利用した探査をもっとやって欲しい(メーカー・会社員)」、「惑星地質のデータを地調でも整備して広く誰でも容易に利用できるように情報提供の体制を整えて欲しい(学生・会社員)」、「タイムリーな企画だった。一層のPRが必要だ(財団職員)」などの意見が寄せられていた。

今後の地質調査所における研究の方向や方法を検討する上に、これらの意見を参考にしていきたい。

(研究発表会運営委員会 : 小玉喜三郎)