

# 対話型縞情報入力・処理システム (RIFRAN-II)

出澤 正徳 (理化学研究所)

1. はじめに 干渉法やモアレ法等の光学的な計測技術によれば計測すべき情報(形状や変形など)を二次元平面上に非接触で縞画像として瞬時に得ることができる。得られた等高縞縞画像は視覚的に理解し易く、定性的な判断には極めて有効である。そのため、縞画像を利用した計測法はきわめて広範な分野において利用されている。しかし、定量的な解析を行なおうとする場合、何らかの方法でこれらの縞画像から定量的な情報を得ることが必要となる。この定量化の過程は、容易であるとは言えず、かなりの労力と時間とを要することが多く、その自動化が切望されている。このため各所でコンピュータを利用した縞画像の解析、処理が試みられている<sup>1)</sup>。通常縞画像自身には、縞次数を定める情報が含まれていないため、完全な自動化は困難である。著者は、モアレトポグラフィにおけるモアレ縞の生成過程まで立戻って検討し、縞の高低を自動的に判定できる走査モアレ法を考案し、計測の自動化を実現した<sup>2)</sup>。しかし、この方法でも既に縞画像として記録、蓄積されている対象については無力である。多くの場合縞次数の決定に人間の介入が必要とされる。したがって、実用的な縞情報の入力システムを構築するには、人間による縞次数指示の操作を効率よく正確に行なえるようにすることが極めて重要である。このような観点より、著者は二つの型の対話型縞情報入力・処理システム RIFRAN-I および RIFRAN-II (RIFRAN: Riken Interactive Fringe Analyzer) を開発した<sup>3)</sup>。RIFRAN-I<sup>4)</sup> はテレビカメラで縞画像を入力し、画像処理技術を併用して何本かの解析線に沿った断面形状モデルを半自動的に構築するものである。RIFRAN-II は、座標入力装置を使用し、縞の尾根線に沿った等高線として二次元モデルを構築するものである。本報においては、後者の対話型縞情報入力・処理システム RIFRAN-II について紹介する。

## 2. 縞情報の入力と二次元形状モデル

縞画像は二次元的な情報(たとえば形状や変形等)を平面上に等高線状の縞模様として記録したものである。ここで縞情報の入力とは、縞画像から三次元的な情報を読取って被測定対象物の三次元モデルを構築することである。図1に縞画像から三次元モデルを構築するのに必要とされるプロセスを示した。すなわち、縞情報の入力には、

- (1) 縞の位置(座標値)とそれらの結合関係の入力。
- (2) 縞の次数(等高線の高さ)の決定。
- (3) 計測空間から物体空間への変換。

などが必要とされる。各々の過程における操作、方法は構築すべき三次元モデルの型によってかなり異なるものとなる。三次元モデルの型としては、例えば、

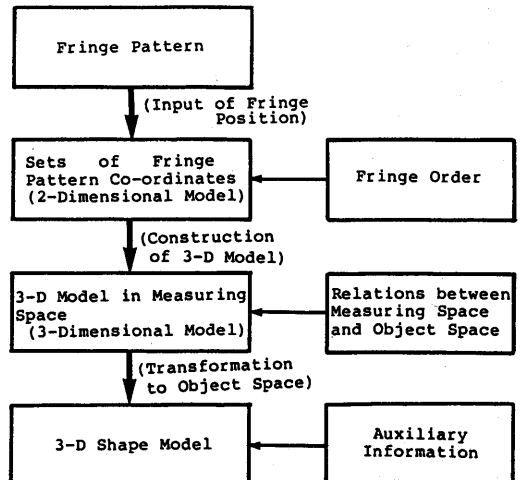


図1. 縞情報の入力

何本かの解析線に沿った断面形状によって表現する方法(断面形状モデル)、縞の尾根線をそのまま等高線として入力する方法(等高線型モデル)等がある。断面形状モデルの場合には、各解析線上で縞の尾根あるいは谷の位置を入力し、その解析線上で上り勾配あるいは下り勾配の区間を指定するなどで縞次数が決定される<sup>2)</sup>。また等高線型モデルの場合には、縞の尾根線あるいは谷線に沿った点列として各等高線を入力し、各々の等高線に次数を割振るとか、それらの等高線に交差する線分に沿った勾配の変化の情報を与える等して縞次数を決定する<sup>3)</sup>。このようにして、3次元モデルが構成されるが、これらはいくまでも計測空間におけるものであり、被測定対象物の情報を得るには実際の空間における3次元モデルへ変換する必要がある。このためには、計測空間と物体空間との間の関係(観測光学系の配置、縮小倍率、中心投影ひずみ、座標入力装置の定数など)を与え、計測空間から物体空間へ変換するための変換係数を定め、各計測点に対して座標変換を行なう。なお、以上のようにして構成された3次元モデルより、被測定対象物の種々の性質を調べるには、ここで述べた断面形状モデルあるいは等高線型のモデルはどのような場合の処理にも適しているとは言えない。それぞれの処理に適した型のモデルに変換できることがきわめて重要である。

本報で紹介する縞情報入力システム(RIFRAN-II)は等高線型の3次元モデルを構成するものであり、別途用意されたモデルの型変換プログラムにより、他の型のモデルへ変換することができる。

### 3. 対話型縞情報入力システム(RIFRAN-II)

IIは特にモアレトポグラフィによって複数方向から撮影された縞画像を解析入力し、これらを関連処理して全周計測を行なうことを念頭において開発されたものであるが、もちろん、通常の縞情報の入力にも使用できる。入力装置としては座標解析装置を使用し、等高線型の3次元モデルを構成するものである。

#### 3-1. ハードウェアの基本構成

RIFRAN-IIのハードウェアの基本構成を示した。座標入力装置ではカーソルを入力したい位置に合わせて、カーソルスイッチ(SW-2, SW-1, SW-2又はSW-3)を押すことにより、その位置のX-Y座標値とスイッチ認識番号とがミニコンピュータに入力される。後述する縞の尾根線あるいは谷線に沿った点列の入力、等高線の次数の指示、入力装置画面上に設定されたファンクションキーの選択などに使用される。図形モニタは着積型のグラフィックディスプレイで入力された等高線の確認、修正部分の表示および構成された3次元モデルの表示などに使用される。構成された3次元モデルは、2次元記憶装置(ディスク又はMT)に格納される。

ここで紹介するRIFRAN-II

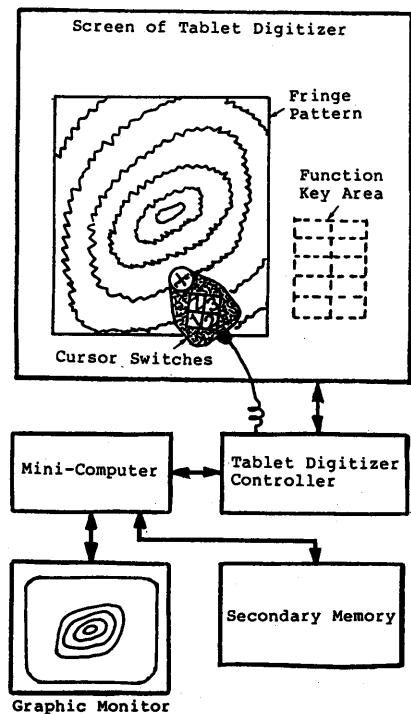
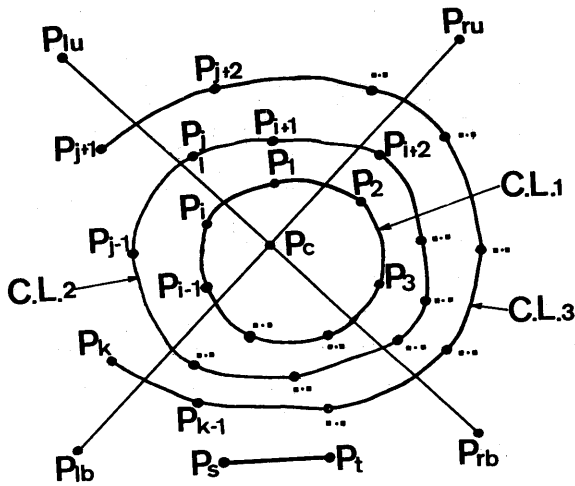


図2. RIFRAN-IIハードウェアの基本構成



(a) 入力等高線模式図

{C.L.1, C.L.2, C.L.3}: 等高線

$$C.L.1 = \{P_1, P_2, \dots, P_i, P_i\}$$

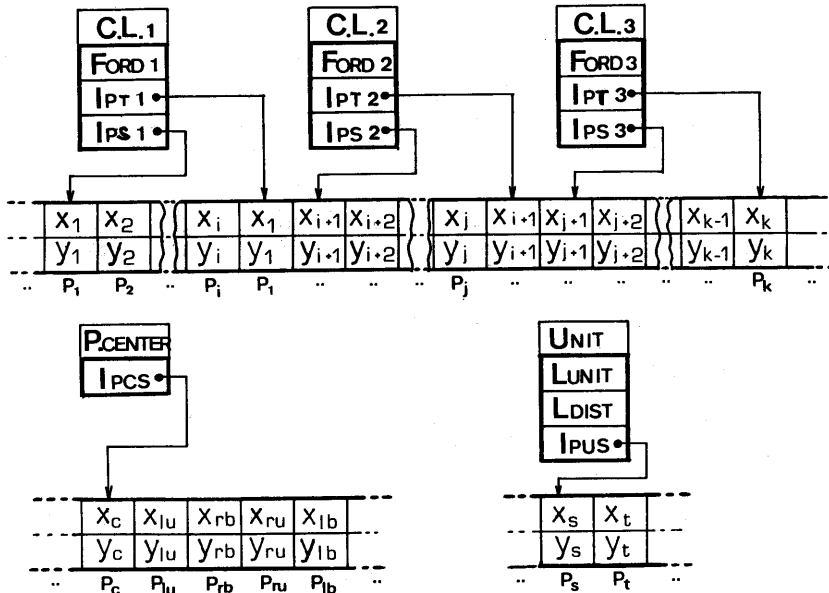
$$C.L.2 = \{P_{i+1}, P_{i+2}, \dots, P_j, P_{j+1}\}$$

$$C.L.3 = \{P_{j+1}, P_{j+2}, \dots, P_k\}$$

{P\_1, P\_2, ..., P\_i, ..., P\_k}: 等高線上の  
入力点

$\overline{P_{lu}, P_{rb}}$ ,  $\overline{P_{ru}, P_{lb}}$ : 投影中心を  
示すための線

$\overline{P_s, P_t}$ : 単位(既知)長を示す線



{FORD 1  
FORD 2  
FORD 3}: 輪次数

LUNIT: 単位長(既知)  
LDIST: 観測点と  
中心との距離

{IPS 1  
~ IPS 3  
IPT  
~ IPT 3  
IPCS  
IPVS}: ポインタ

(b) 等高線型モデル表現のためのデータ構造

図3. 輪情報入力におけるデータ構造

### 3-2. モデルのデータ構造およびソフトウェア構成

図3にRIFRAN-Ⅱにおける等高線型モデル表現方式を示す模式図を示す。各等高線はそれぞれに沿った点列と輪次数(高さの情報)とによって与えられる。たとえば同図(a)における等高線C.L.1は、点列{P\_1, P\_2, ..., P\_i, P\_i}および輪次数FORD 1とによって表現される。C.L.2, C.L.3についても同様である。P.CENTERおよびUNITは計測空間と物体空間との関係を示す情報である。P.CENTERには同図(a)に示すように、投影中心を示す線分 $\overline{P_{lu}, P_{rb}}$ 、および $\overline{P_{ru}, P_{lb}}$ の両端の4点と投影中心を示す点P\_cが与えられる。観測光学系の中心投影の補正と縮画像を座標入力装置へ設定する場合の回

転の補正等に使用される。UNITには縮画像撮影時に写し込まれた規準(既知の)長さ  
 を示す線分(図4(A)中  $P_s, P_t$ )の両端の点の座標値、その実際の長さ(LUNIT)  
 および実空間における投影中心(観測系レンズ  
 节点)の面からの距離(LDIST)とが与えられ、計測空間から実空間へ  
 変換する場合のサイズ係数を定めるために使用される。また、モアレトポグラフィ  
 により、複数方向から撮

1	ID1	ND1	ANG1	REC1	NREC1	NL1	NP1	VALID1
2	ID2	ND2	ANG2	REC2	NREC2	NL2	NP2	VALID2
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-

図4. 複数方向からの等高線情報の関連格納

影されたモアレ縮等高線画像を入力し、関連処理して全周計測を行なうため、図  
 4に示すように前述の等高線型モデルを磁気ディスクファイルに関連格納できるよ  
 うになっている。観測方向(ANG)、ディスクファイル内の格納場所(REC, NREC)、等高線  
 数(NL)および入力点数(NP)などがそれぞれの等高線モデルに対して示される。  
 また、データの名称、撮影の条件などその他の補助情報もキーボード等より入力  
 され、格納される。現在のシステムでは最大16方向までのものが扱えるように  
 なっている。結局、本報における縮情報の入力とは、与えられた縮画像に対し、

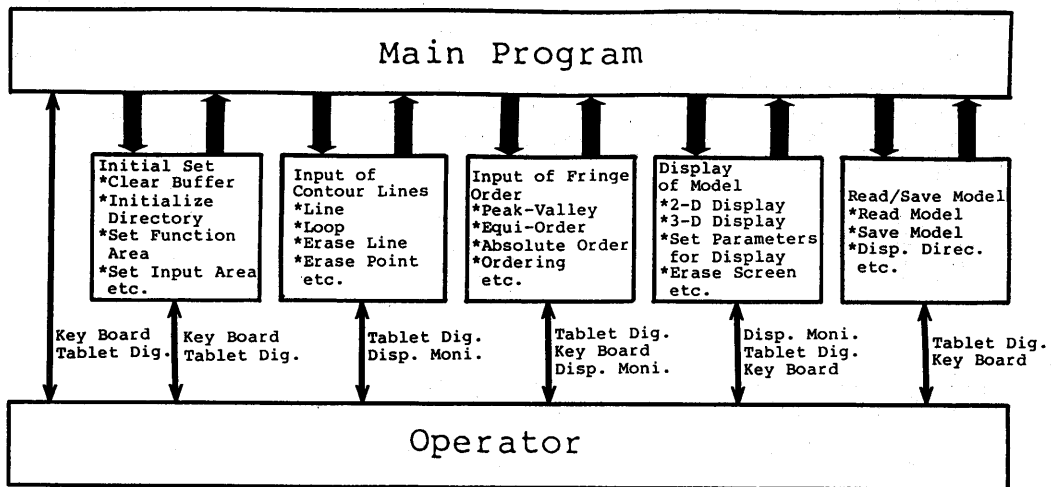


図5. RIFRAN-II ソフトウェア構成の概略

前述した型のモデルを構成することである。図5にRIFRAN-IIのソフトウェア構  
 成および操作者との関係の概略を示した。RIFRAN-IIは同図に示すように大きく分  
 けて初期設定(パラメタのキー入力、各種補助情報の入力も含む)、等高線情報  
 の入力(含修正)、橋次数の指示、入力モデルの表示および3次元モデルの読込・  
 格納の5つの部分より構成されている。デジタル画面には図6に示すファン  
 ションキー領域が設けられている。操作者は、デジタル画面にあるいはキー  
 ボードよりこれらの操作を選択したり、データを入力して所望の操作を実行でき  
 る。

### 3-3. 入力作業のための機能および手法

前述のようにRIFRAN-IIにおける入力作業は、大きく分けると5つの部分より構成されているが、そのために用意された機能及びその手法の概略は以下の通りである。

#### (1) 初期設定

入力作業に先立ち、必要とされる作業、ディレクトリ、入力バッファの初期化、座標入力装置画面の入力領域、ファンクションキー領域の定義、データ名等補助情報の入力等を行なう。たとえば入力領域の定義はキーボードよりAREAをキーインし、入力領域設定モードにし、入力すべき縮画像が含まれる矩形の対向する2頂点の座標値を順次SW-3, SW-1で入力することにより定義される。この情報は縮情報の入力作業時に入力された等高線群を過ぎるだけ大きく表示するために利用される。また、ファンクションキー領域の設定はSW-3で座標入力装置右端の点を入力し、ファンクションキー領域設定モードにして後に領域の四隅の点をSW-3あるいはSW-1により入力することにより設定される。いずれの場合においてもSW-3で設定モードより抜け出すことができる。ファンクションキー領域設定完了後はSW-3で領域内の対応したコマンドを指示することにより、それらを実行することができる。ファンクションキー領域は任意の時点で任意の場所に再定義することが可能であり、入力すべき縮画像と重なり合ってもかまわない。等高線の入力に先立ち、データ番号、撮影方向等をキーボードより入力し、必要があればファンクションキーのUNIT, CENTERを用い、単位長さ及び投影中心の情報を入力する。

(2) 等高線の入力 SW-3で点列を入力することができる。入力された点列はそれらを順次結んで折線として、グラフィックモニタ上に表示される。さらにSW-1で点を入力するとその点までの入力された点列が一本の線として登録される。またSW-2を用いるとその点と最初に入力された点とを結んでループとして登録される。点列の入力の際して誤りが発見された場合には、ファンクションキー領域のER.PONTをSW-3で指示することにより、入力された点列の最後の点を順次消去してゆくことができる。図7でPk-1, Pk-2で示すように、消去された点にはX印が表示され、消去さ

```
*****
Z-AXIS ON : POINT INPUT
FLAG1 ON  : END POINT OF LINE
FLAG2 ON  : END POINT OF LOOP
FLAG3 ON  : COMMAND INPUT
*****
FUNCTION KEY AREA
```

15	ER.LINE	ER.PONT	16
13	PK/UL	EQ.ORD	14
11	ABS.ORD	ORDER	12
9	UNIT	CENTR	10
7	CLEAR	DIREC	8
5	READ	SAVE	6
3	DISP3D	DISPXY	4
1	PAR.DIS	ERASE	2

```
*****
RIGHT MOST POSI. : SET FUNC.
.....          : RESET FUNC.
RIGHT & UPPER MOST POSI. : END
*****
```

図6. デジタイザ上のファンクションキー領域

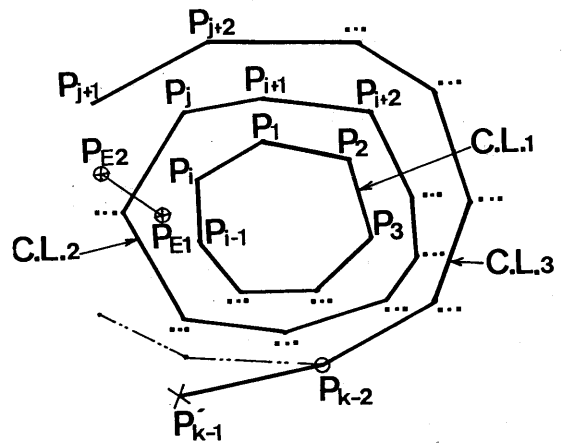


図7. 等高線の入力と修正

図7でPk-1, Pk-2で示すように、消去された点にはX印が表示され、消去さ

れた後の入力点列の最後の点には○印が表示される。誤入力点を消去した後、点列の入力を続行する。また等高線として登録してしまったものについては、ファンクションキー領域の **ER.LINE** を SW-3 で指示し、LINE 消去モードに設定した後、図 7 に示すように消去したい線 (C.L.2) に交差する 2 点 PE1 及び PE2 をそれぞれ、SW-1 及び SW-2 で入力し、グラフィックモニタ上でこれらを通る線が C.L.2 のみに交差することを確認してから SW-3 を押すことにより C.L.2 を消去できる。以上操作を繰返して等高線群を入力する。

### (3) 縞次数の入力

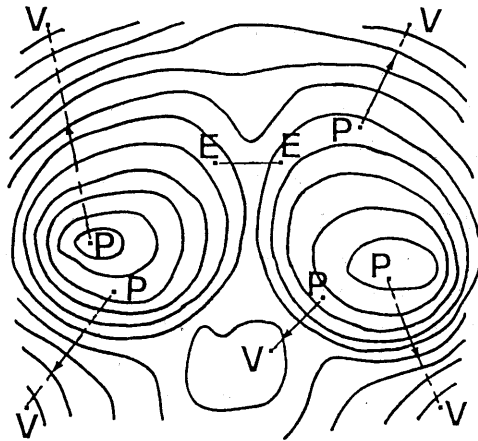
縞次数の入力にはファンクションキー領域の **PK/VL**, **EQ.ORD**, **ABS.ORD**, **ORDER** コマンドを使用する。

**PK/VL** は下り傾斜の部分を示す場合に使用されるもので、SW-3 で **PK/VL** を指示しこのモードに設定し、図 8 に示すように P 点及び V 点を順次 SW-2 及び SW-1 で入力する。P 点及び V 点を結ぶ直線がグラフィックモニタ上に表示されるので、正しく入力されていれば SW-3 を押して登録する。誤って入力された場合には、SW-2 で消去して入力をやり直す。以上の操作を繰返して P, V の対を入力する。

**ORDER** コマンド実行時に線分 PV に交差する等高線は P から V へ向う順序で次数が増大するようにされる。**EQ.ORD** は次数の等しい等高線を指示するコマンドであり、SW-3 で **EQ.ORD** を指示してこのモードに設定し、SW-2, SW-1 で図 8 に示すように次数を等しくしたい 2 本の等高線に交差する 2 点 (E, E) を入力する。**ABS.ORD** は絶対次数を入力する場合に使用する。SW-3 で **ABS.ORD** を指示しこのモードに設定する。キーボードより絶対次数を数値として入力した後、絶対次数を指示したい等高線に交差する 2 点を図 7 の PE1, PE2 の入力と同様に入力する。SW-3 を押すことにより入力された 2 点を結ぶ直線に交差する等高線の次数は数値として入力された値となるよう処理される。**ORDER** は次数決定を実行するためのコマンドであり、これを SW-3 で指示することにより前述の操作で入力された指示に従って縞次数が決定される。次数決定に際して矛盾が生ずる場合あるいは次数が決定できない等高線がある場合には、その旨メッセージが表示されるので前述の次数指示の操作をやり直す。以上により、計測空間における 3 次元モデルが構成される。

### (4) モデルの表示

入力作業に際して、入力された等高線が表示されてゆくが、蓄積型のグラフィックモニタを使用しているため修正等の作業を行なうと、その過程で描かれた図形はすべて表示されたままの状態となる。このため画面を消去し、入力されたモデルを表示し直す機能 (ERASE, DISPX) が用意されている。また、縞次数決定後、入力された 3 次元モデルの斜投影を表示するための機能 (DISP3D) も用意されている。これらは、それぞれ SW-3 でファンクションキー領域の **ERASE**, **DISPX** あるいは **ERASE**, **DISP3D** を順次指示することにより実行される。**PAR.DIS** は、



P — V : Peak-Valley (Down Slope)  
E — E ; Equi-Order Contour Lines

図 8 縞次数情報の入力

3次元モデルの表示における表示パラメタ(大きさ, 視点, 方向等)を変更するためのコマンドで, SW-3でこれを指示することにより, キーボードより表示パラメタを変更して3次元モデルを表示できる。

#### (5) 構成されたモデルの読出し, 格納

前にも述べたように RIFRAN-II では, 最大16方向から撮影された等高線縞画像情報の関連入力が可能である。一つの縞画像情報の入力作業は, 入力されたモデルを既に入力されているものと合わせて2次記憶装置へ格納することで完了する。このためのコマンドが **SAVE** である。**DIRECT** は既入力モデルがどのようなものか, そのディレクトリを表示するためのものである。既入力モデルをグラフィックディスプレイに表示して見たい場合, 又は修正を行ないたい場合は, データ番号をキーボードより指示し, **READ** コマンドをSW-3で指示することにより既入力モデルを読出せる。このモデルに対して, 前述の(2)~(4)の操作を実行することが可能である。なお, 入力作業に際し, 既入力モデルと同じデータ番号(あるいは角度)で入力しようとする, 既入力モデルと置き換えるか否か確認のメッセージが表示され, そうであると指示すると格納時に前のものは消され, 新たに入力されたモデルに置き換えられる。

#### (6) 実空間への変換

等高線の入力に先立って, 入力された計測空間と実空間との関係を示す情報(単位長さ: UNITや投影中心: PCENTER等)を用いて入力された点, に対して座標変換を行なうのであるが, 座標変換係数の求め方は計測法(干渉法かモアレトポグラフィかなど)によって非常に異なったものとなる。そのため, RIFRAN-IIにおいてそれぞれを求めるために必要とされる情報の一部を3次元モデルと合せて入力しておき, これらのモデルを用いて種々の処理を行なう場合に撮影条件等の情報を付加して, 実空間におけるモデルへの変換を行なうようにしている。

#### 4. 縞情報の入力と処理

図9に入力されたモアレ縞の例を図10にRIFRAN-IIにより入力構成された等高線型の3次元モデルの例を示した。これらの入力に要する時間は各画面当たり約7分程度である。図10はホログラフィック干渉法で得られた縞画像を入力し, 面の傾きを補正した後に等高線型モデル(内挿処理を施した)及び断面形状モデルに変換し表示したものである。これらのプログラムは, 断面形状モデルを構成するRIFRAN-Iと共通に開発されたものである。等高線モデルから断面形状モデルへの変換は, 実空間へ変換後に切断面群と等高線群との交点を求め, それらの点列を結ぶ線をSpline曲線でfittingして求められている。格子点状のデータが欲しい時には, 前の切断面群と直交する才之の切断面群を設定し, 求められた断面形状線群との交点を求めて得ている。さらにそれぞれの目的に応じた処理プログラム, 例えばモアレトポグラフィにより複数方向から撮影された縞情報を接合し, 全周計測するためのプログラムなどを開発中である。

#### 5. おまけ

本報では, 座標入力装置を用いた対話型縞情報入力・処理システム RIFRAN-II について紹介した。入力された情報を入力すべき縞画像に重ね合わせて表示できないため, 修正等の作業が RIFRAN-I に比べやや厄介ではあるが, 1桁以上高い精度でモデルを構成することが可能であり, 種々の縞情報の解析・処理に際してきわめて有用な道具を提供し得るものと考えられる。

- 文献
- (1) 出澤, 谷田貝: モアレトポグラフィ: テレビジョン学会誌, 第34巻, 第9号, 800(1980)
  - (2) M. Idesawa, T. Yatagai & T. Soma: Scanning Moiré Method and Automatic Measurement of 3-D Shapes, Appl. Opt. 16, 8, 2152 (1977)
  - (3) 出澤, 谷田貝: 対話型縞情報入力・処理システム, 縞情報処理学会第22回全国大会(前期), 997(1981)
  - (4) T. Yatagai, M. Idesawa: Interactive Fringe Analyser: Application to Moiré Topography, Moiré Fringe Topography and Spinal Deformity, Pergamon Press, (1982)
  - (5) 出澤: 全周計測法における接続法について, 第6回モアレ研究会, 6(1981)



(a) 45° (b) 0° (c) -45°  
 図9. 入力横画像の例

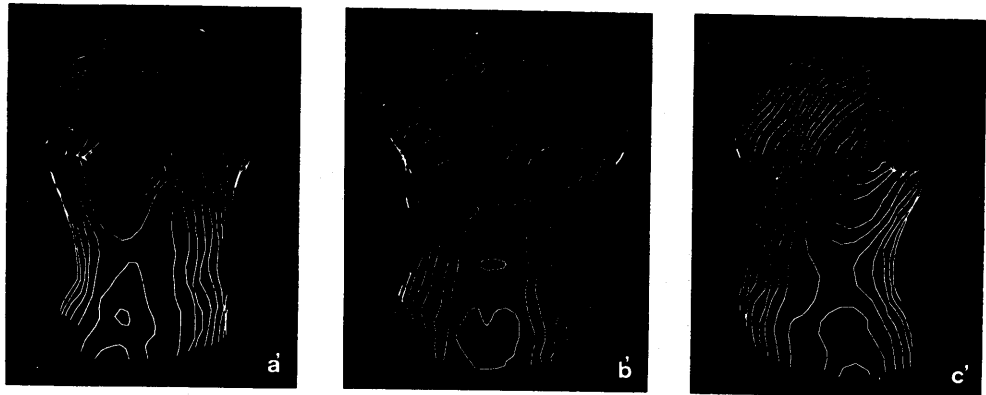
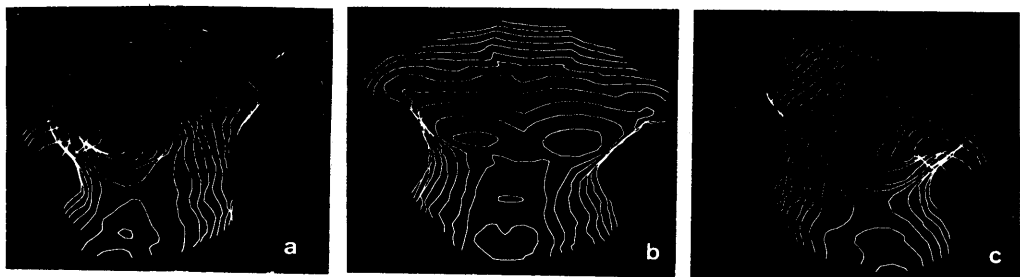
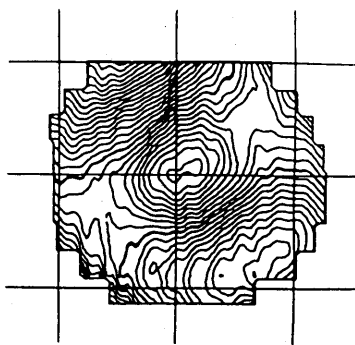
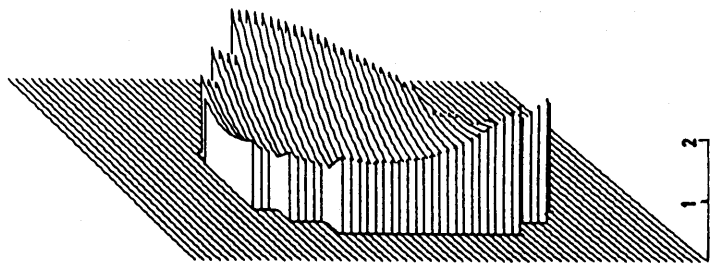


図10. 入力された3次元モデルの表示例 (a, b, c: 上方向60°より, a', b', c': 上方向30°より)



④ 等高線モデル



① 断面形状モデル

図11. ホログラフィック干渉法による横画像の入力処理例