

## 光学フーリエ解析システム OFAS と方向性解析の研究

村岡洋文\* 長谷紘和\*

MURAOKA, H. and HASE, H. (1985) The Optical Fourier Analyzer System (OFAS) and preliminary study on the two-dimensional orientation analysis. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 36(10), p. 551-564.

**Abstract:** The Optical Fourier Analyzer System (OFAS) was assembled for rapid and quantitative analysis of two-dimensional data. The principal objective by OFAS is the analysis of airborne synthetic aperture radar image data obtained nationwide by the New Energy Development Organization in 1981.

The OFAS is composed of several parts, which are optics with HeNe laser as the coherent light source, sample controller, detector and sampler, and display. The polar coordinate photo-detector array and the high speed diffraction pattern sampler is the core part of the system and they are manufactured by the Recognition Systems Inc.

The on-line analysis is made by an on board personal computer and the display is given as table, histogram, and rose diagram. The software program includes a special function for the adjustment of illumination bias of the airborne radar data.

The preliminary measurements were done preparing standard test samples and the result gave a good prospect for practical application. There is a linear relationship between cumulative line lengths in a test sample and light intensity, and the accuracy showed  $\pm 6.9\%$  in terms of standard deviation.

## 1. ま え が き

わが国を全国的規模でカバーする画像データとして、空中写真や Landsat 画像があるが、これに加えて新エネルギー総合開発機構 (NEW ENERGY DEVELOPMENT ORGANIZATION: 以下 NEDO と略称) が「全国地熱資源総合調査」の一環として実施した、航空機合成開口方式によるレーダ画像が一般に利用可能となった。これらの各種画像は地表分解能と大観性においてそれぞれ特性が異なり、その組合せによって地形に反映された地質特徴を系統的に把握することが可能となってきている。

画像データによる地質情報の抽出は写真地質判読技術として基礎の確立をみているが、多様なリモートセンシング画像データを加えた地質分野への利用技術については、現在研究途上にあり多くの試みがなされている。われわれも地熱探査の観点から、断裂情報の抽出や火山地形の特徴抽出における画像データの有用性に注目している。大量かつ多様な画像データを用いて利用効果を高めるためには、迅速かつ定量的なデータの取り扱いが必要である。このような目的に対してデジタル画像処理技

術に立脚した多くの利用研究がなされている。われわれは利用者の立場から、光学フーリエ変換に注目しこの原理を応用した解析システムの開発を行ってきた。本研究はサンシャイン計画の一環として行ったものであり、システム開発についてはすでに中間報告を行った(村岡ら, 1983)が、実用面からはいくつかの問題が残されていた。その後装置の改良等手を加え、一応実用システムとして装置の完成をみたのでここに報告する。

## 2. 光学フーリエ変換と OFAS

光学フーリエ変換は1960年にレーザーが発明されて以来、パターン情報の解析に利用されるようになった。地球科学分野では、地震データ解析 (JACKSON, 1965; DOBLIN *et al.*, 1965), 断裂系解析 (PINCUS and DOBLIN, 1966) など1960年代半ばに応用が試みられている。また、1970年代半ば頃から Landsat データを用いた広域地質構造の研究が本手法を応用して行われている (PINCUS and DOE, 1974; CORREA and LYON, 1974)。断裂系解析において断裂の方向卓越性を把握するのにしばしば用いられるローズダイアグラムは、断裂の走向または地表面のトレース方向を極座標で表示したものであり、光学フーリエ変

\* 地殻熱部

換はこの点に関し応用上の利点をもっていると考えられる。

しかしながら断裂系解析におけるこれまでの光学フーリエ変換応用上の問題は、変換後の結果を回折画像としてアナログ的に用いてきた点にある。このため光学フーリエ変換の利点を、客観性・定量性・迅速性という観点で十分に活かすことができていない。

筆者らは1980年以来、リモートセンシング画像等の解析への光学フーリエ変換の応用について検討を進めてきたが、解析システム開発への具体的な取り組みが、村岡・長谷(1980)に紹介した極座標型光検知配列素子の利用により可能となった。すなわち、実画像にコヒーレント光を透過した結果生じるフーリエ変換回折像の結像面位置に本配列素子を置くことにより、回折画像情報をデジタルに取り扱える。

この配列素子を組み込んで試作した光学フーリエ解析システム(Optical Fourier Analyzer System)を OFAS と命名する。光学フーリエ変換における結像論については長尾(1978)、小瀬(1979)、日野(1979)などに詳しく、断裂系解析に应用する場合の基本的原理については村岡・長谷(1980)で既に述べた。ここでは OFAS の構成、機

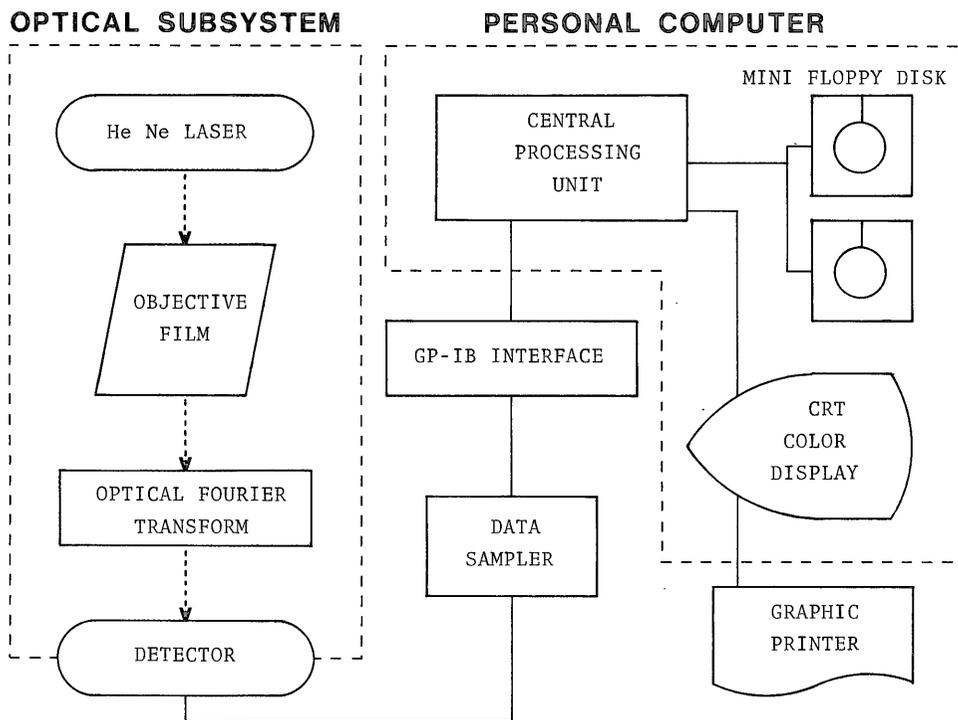
能と OFAS による解析に先立って行った基礎実験の結果について報告する。

### 3. システム構成

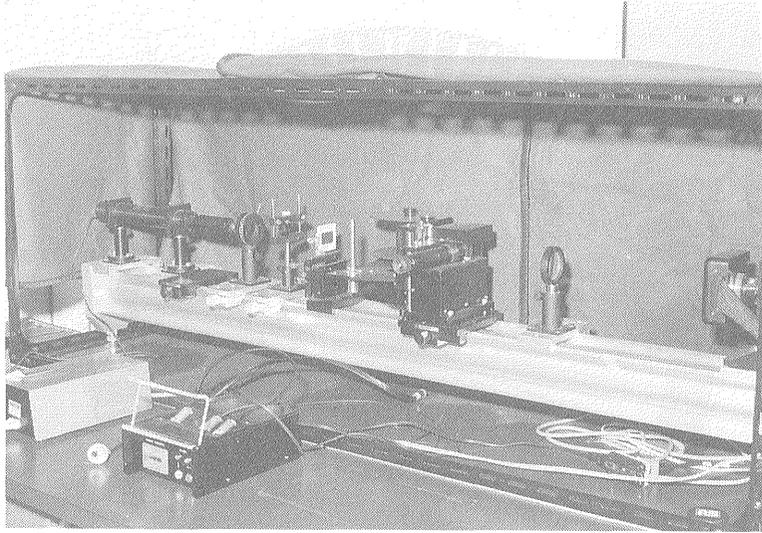
ハードウェアの構成を第1図に、その外観を第2図に示す。本システムはレーザー光源を含む光学系、測定試料制御部、検知測定部、処理解析および表示記録部からなる。処理解析は OFAS のために開発したプログラムを用い、オンラインで接続したパーソナルコンピュータで行う。被測定試料の操作は 70 mm レーダストリップフィルム試料の場合、機械走査により半自動的に行えるようにした。その他の試料操作は手作業によって行う。全体は暗室状態で測定がなされるようにフードがついている。

#### 3.1 光学系

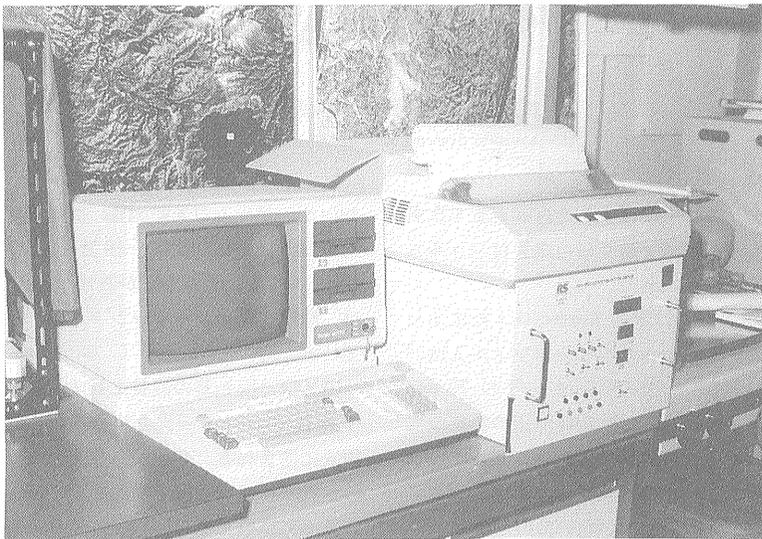
光学系はレーザー発光源、偏光板、レンズ等からなる。それら及び測定試料制御部、検知器は長さ 150 cm の光学ベンチに配列され、光軸に平行に移動できる。レーザー発光源は、カンタムエレクトロニクス社の HeNe レーザー、モデル LHP-120 を使用している。出力 2 mW で波長 6.328 Å の赤色レーザー光を発生させる。発光筒(レ



第1図 OFAS のハードウェア構成



第2図(a) OFASの光学系, 測定試料制御部および検知測定部の外観



第2図(b) OFASの処理解析および表示記録部の外観

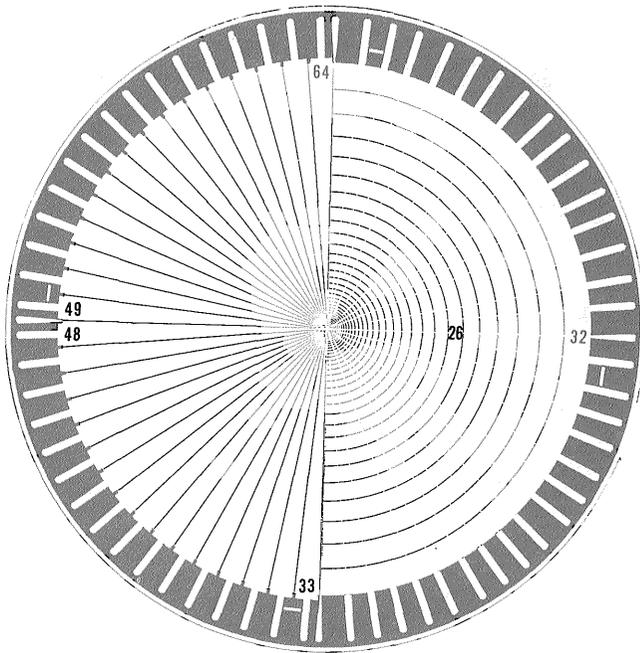
レーザーガン)先端にはコリメータレンズが内蔵されている。レーザービームの光束は直径1 cm あり中心で光量が大きく, 周辺に向かってガウス分布をとりながら弱まる。そこで被測定試料面での光束を光彩絞りにより直径6mmの一定光量に調整し, 合せて回折の影響も防ぐようにした。被測定面上の光量は検知測定の適正光量に比し過剰であるため, 2枚の偏光板からなる減光フィルターによって調整する。

### 3.2 測定試料制御部

NEDO が1981年に取得した 航空機合成開口 レーダ方

式によるわが国の Xバンドレーダ原画像データは70 mmのストリップフィルムで得られている(陶山他, 1981)。地質調査所ではこの原画像をコピーしたネガフィルムを用い, OFASによつて広域の地形・地質構造解析を行うことを考え, 本制御部を設計した。

すなわち, サーボモータ駆動によつてスプロケット付き70 mm リールに巻かれたフィルムは6 mm 間隔で自動的に前送りされ, スリットを通して被測定部のレーザー光の透過を受ける。この被測定部はファインダーによつて確認できる。フィルム送りの方向に直交する一列の



第3図 極座標型光検知配列素子  
(Recognition Systems Inc. 製モデル WRD 6400)

測定20(コマ)がボタン操作で終了すると自動走査で次列の測定開始位置へもどる。コマ送りの可動幅はフィルム幅に対してゆとりをもたせてある。

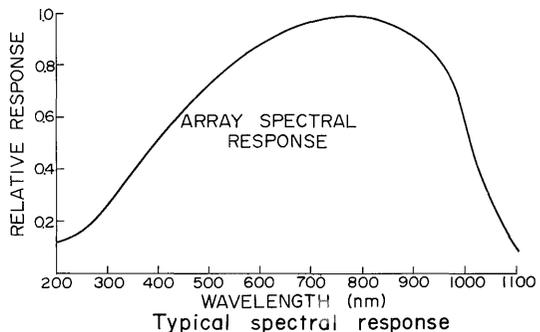
NEDOのレーザ撮像調査は米国 Aeroservice社によってなされたものであり、70mmストリップフィルムはパーフォーレーションがあるが、この間隔は一般の70mm映画撮影用フィルムとは異なり、航空機専用の特殊なものである。このためフィルム送りのためのスプロケットは特殊仕様となっている。また、コピーストリップフィルムの中にはパーフォーレーションがないものがあり、本制御部を介して測定を行う場合には、同一パーフォーレーションをもつフィルムに再度焼付けなければならない。

### 3.3 検知測定部

検知器は第3図に示す米国 Recognition Systems, Inc.の極座標型光検知配列素子(Polar coordinate photodetector array)モデル WRD 6400を用いた。これは第5図のように直径38.1mmの円形内に、64個のシリコン・ウェーファが埋めこまれているものである。中心部の素子を除く半環状の31個の素子は、中心から外側へ向って変化するレーザービームの光量分布(ガウス分布)を直線関数として検出するように、素子面積が与えられている。また、くさび状の32枚の素子は角度幅がそれぞれ5.625度である。中心部の円形素子は半径0.089mmで、

レーザービームの光軸調整、光量調整に用いる。半環状素子およびくさび状素子相互間には、それぞれ、0.025mm、0.033mmの間隙が設けられている。検知器表面は二酸化珪素でコーティングされ、保護と耐久が図られている。

第4図は検知器の波長に対する相対感度特性を示す。使用 HeNeレーザー光の波長6,328Å(632.8nm)は高感度領域に含まれる。各素子の感度は0.25Amp./Wattに設計されている。各素子間の感度の均一性は本研究の目的にとって重要であるが Recognition Systems, Inc.の技術説明書によれば10%以内としている。この問題は後述



第4図 検知素子の波長相対感度特性

の基礎的実験の項で再び取り上げる。

検知信号は同社製の測定装置 (High Speed Diffraction Pattern Sampler; 略称 HSDPS) によって増幅され, A/D変換される。本装置と検知器を組み合わせたときのダイナミックレンジは光量にして 0.83 nW-27,300 nW であり, 1:32,000以上のレンジをもつ。HSDPS が64個の素子の検知信号を測定するのに要する時間は 20  $\mu$ s であり, 各素子の測定結果を表示 (8進数で表示窓に表示) するのに要する時間は 30  $\mu$ s である。検知器と HSDPS との組み合わせによって測定結果がきわめて迅速に光量値として与えられる。

### 3.4 処理解析および表示記録部

測定結果を表示記録するとともに, 各種の処理解析を行うために, パーソナルコンピュータをオンラインで接続し, 処理解析に必要なソフトウェアの作成を行った。使用コンピュータは SEIKO 9500 で, 16ビット CPU, 主記憶容量は 512 KB である。5 インチミニフロッピー・ディスク (640 KB $\times$ 2 台) を用い, 表示は 14インチ

CRT 上になされる。HSDPS からの信号はインターフェイスを介してコンピュータに入力され, 各種処理演算がなされる。

第5図に MAIN と名付けたプログラムの流れ図を示す。本プログラムは Task ①-⑩ からなり, 各 Task の選択はメニュー形式でできるようにした。以下に各 Task の機能を略述する (詳細は村岡ら, 1983に記述した)。

Task ①-⑤: 測定条件 (光軸, 光量, 焦点) 確認, 測定, 出力。

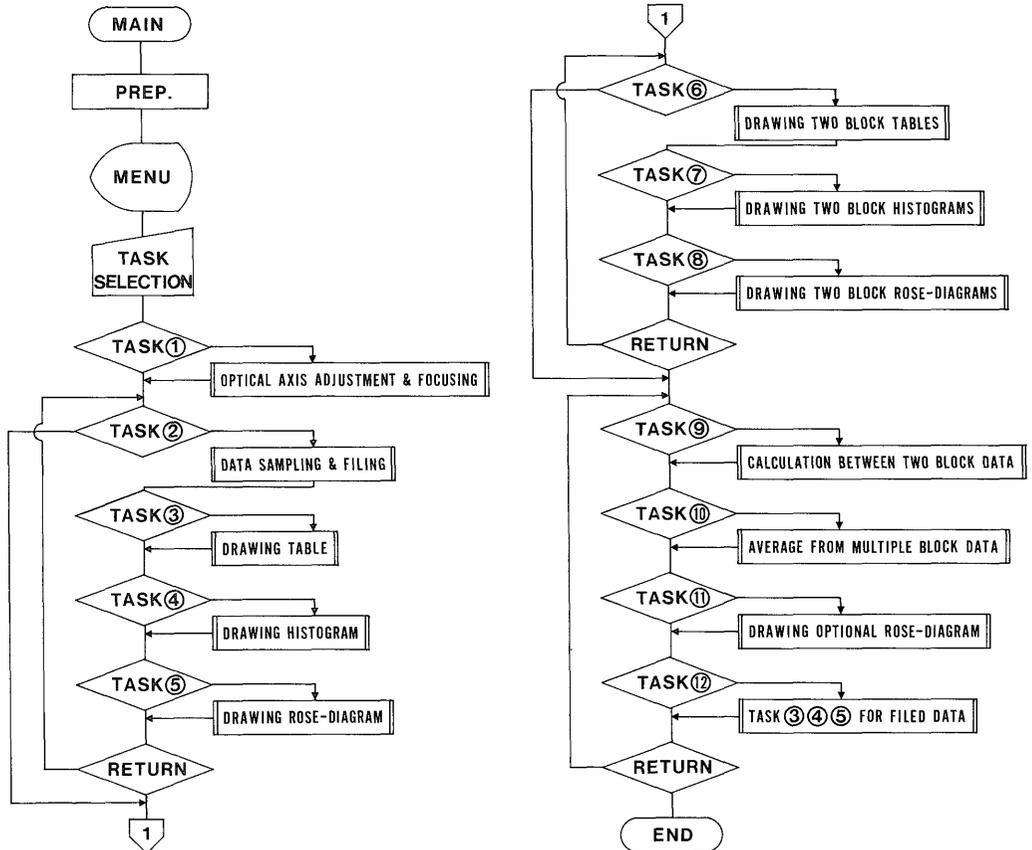
直径 6 mm までの被測定試料 (画像データ等) 域を光学フーリエ変換し, その結果を各素子毎に表示する。表示は第6図に示すように, 表 ヒストグラム, ローズダイアグラム (くさび状素子データによる測定) でなされる。

Task ⑥-⑧: 比較。

2つの被測定試料域の測定結果 (ブロック) の比較を, 上記と同様の表示様式で行う。

Task ⑨-⑩: 演算。

2-10ブロックまでの四則演算を行い, 結果を上記と同



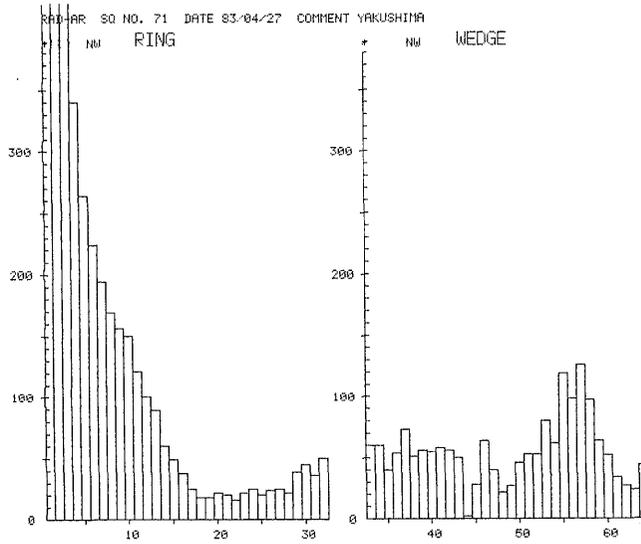
第5図 OFAS用ソフトウェア (プログラム名 MAIN) 流れ図

地質調査所月報(第36巻 第10号)

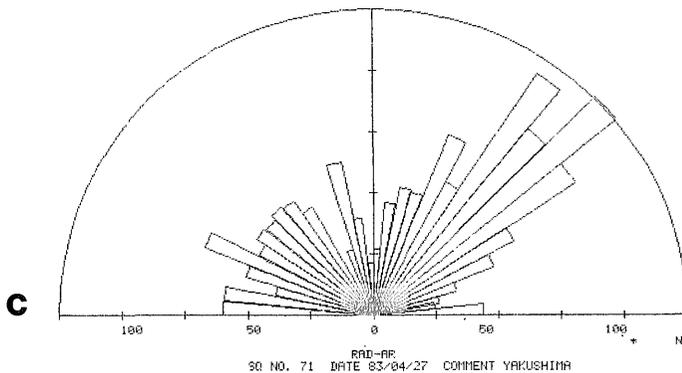
SQ NO. 71 DATE 83/04/27 COMMENT YAKUSHIMA

BLOCK #	RIN	1	2	3	4	5	6	7	8
RAD-AR		7568.000	2880.000	568.0000	348.0000	284.0000	224.0000	184.0000	169.0000
		9	10	11	12	13	14	15	16
		156.0000	150.0000	120.5000	89.50000	89.00000	59.75000	49.00000	37.75000
		17	18	19	20	21	22	23	24
		25.00000	17.75000	18.00000	21.75000	20.25000	16.00000	21.75000	24.50000
		25	26	27	28	29	30	31	32
		19.75000	24.00000	25.25000	22.00000	39.50000	45.00000	36.00000	50.00000
BLOCK #	RED	33	34	35	36	37	38	39	40
RAD-AR		60.00000	59.75000	39.75000	53.50000	72.50000	51.25000	55.75000	55.00000
		41	42	43	44	45	46	47	48
		57.50000	56.00000	49.75000	2.000000	28.00000	63.50000	39.75000	21.50000
		49	50	51	52	53	54	55	56
		27.00000	46.00000	53.00000	52.50000	79.50000	61.50000	118.5000	98.00000
		57	58	59	60	61	62	63	64
		126.0000	97.00000	63.75000	51.75000	34.25000	26.50000	24.25000	44.00000

a



b



c

SQ NO. 71 DATE 83/04/27 COMMENT YAKUSHIMA

第6図 出力表示例 (a, 各素子の光量値表示 nW, b, ヒストグラム, c, ローズダイアグラム)

様の形式で表示する。

Task ⑩：方向性をもつデータの重みづけ

レーダ画像のようにマイクロ波照射方向に関連して陰影効果が人為的に発生する場合の補正を考慮して作成した機能で、だ円関数を組み込んで補正し、上記と同様の形式で表示するようにしたものである。

Task ⑪：ファイル結果の呼び出し

記録済みブロックデータを1つつつ呼び出し、表、ヒストグラム、ローズダイアグラムで表示する。

#### 4. 基礎的実験

##### 4.1 検定用試料

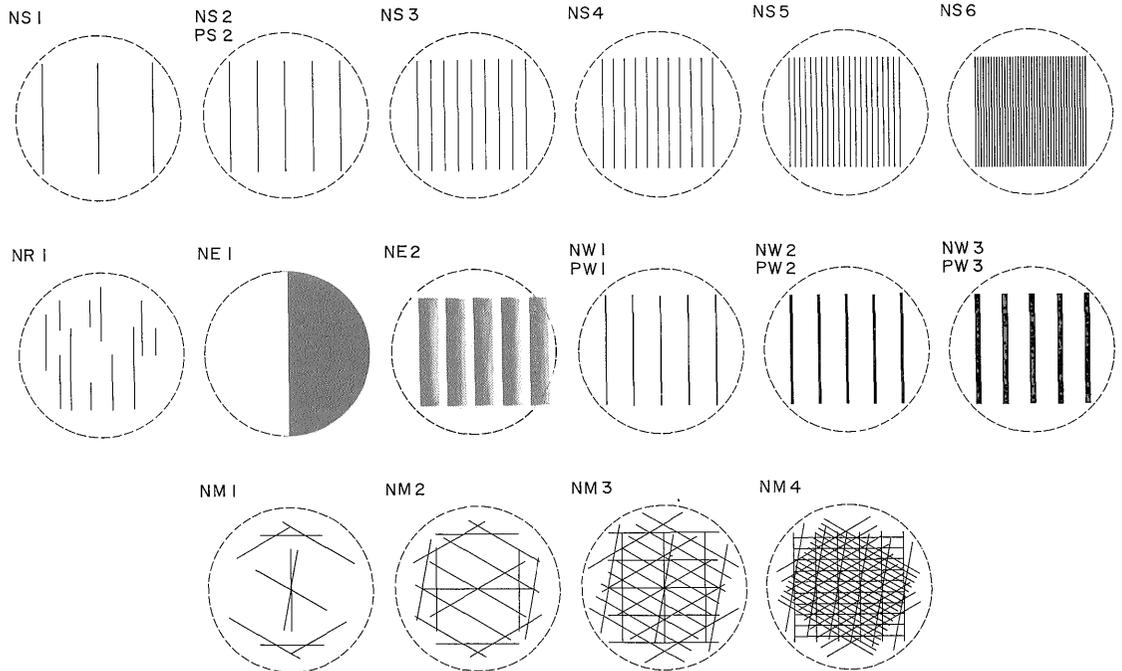
OFAS のもたらす情報の意味を検討し、その実用性や精度を評価するために、一連の検定用標準試料を作成した。その基本パターン16種を第7図に示す。ここでは被測定試料としてリモートセンシング画像データを想定し画像データに内蔵される断裂情報を第一義に考えている。すなわち、基本パターンで与えられた線分の長さや方向性が、OFAS により光学フーリエ変換され、たとえばローズダイアグラムとして表示した際にどの程度の精度をもっているかの検定を行うことが目的である。図中それぞれのパターンの外郭の円(点線)はレーザービームの照

射範囲を示している。この円は測定用のスライドを作成した際には直径 6 mm の大きさになるようにし、かつ輪郭がスライドフィルム上に残らないようにした。第9図の各パターンの記号でNの筆頭字はネガ像を示し、Pはポジ像を示す。テストパターンは全部で20種あり、線分の積算長と間隔をあらかじめ測定してある。これらの各パターンの上方を北と想定してローズダイアグラムに示す場合、第3図に示した検知器では2つのくさび状素子(48と49)に分かれて検出される。このため、ここでは5.625度の半分程度試料を回転して装着し、仮想南北方向の線分が第48素子の側に検出されるようにした。

以下の記述で頻繁に言及される測定光量については、電流値をそのまま用いている。これを nW(ナノワット)単位での光量値で表わす場合には係数として 3.264 を掛ける必要がある。本報告ではこの係数を C と表わし、光量値の単位を便宜的に CnW と表わすことがある。

##### 4.2 測定準備

前述のように極座標型検知配列素子は中心部の円形素子を除き半円(光学ベンチにセットしたとき左半円)がくさび状素子、残りの半円が環状素子配列となっている。測定に先立って光軸、焦点調整が必要であるが、これは検知器に付属している X、Y 軸微動ネジおよびレンズ位



第7図 検定用標準試料

(Nはネガ像、Pはポジ像を示す)

置を移動させて行う。光源のレーザー光量は測定に対して過大なため偏光板で減光する。光量は最大光量が26,700 nW になるように調整するが、HSDPS では最大光量表示が26,700 nW (8,160 CnW)でこれ以上の光量に対して表示は変化しない。このため、光量が26,700 nW に達したらコンピュータがブザーで知らせるようにしておき偏光板を回転させて光量を少しずつ増加させてブザーが鳴り出したときをもって適正光量とした。光量が26,700 nW 以下の場合、測定は適正になされるが過大光量下では測定結果にダミーが生じることがある。これについては後述する。

光軸調整後の光束は検知器の中心に位置する円形素子上にあって、光量調節が適正なら光量は26,700 nW であるから、均一回折パターンをもつ試料を測定した場合には、くさび状素子と半環状素子のそれぞれの合計光量は等しく、13,350 nW (4,080 CnW)となる。

測定準備実験結果では適正調整がなされた場合、中心から2番目の半環状素子の光量が若干増す。この量は中

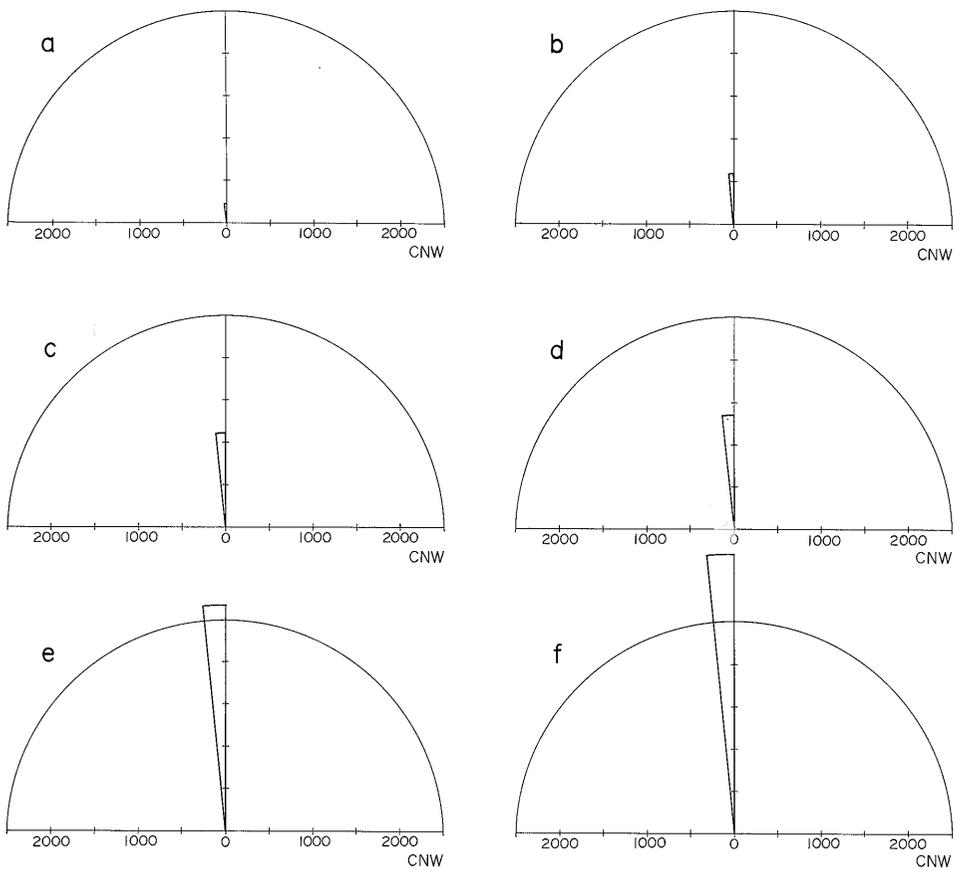
心値に対し1.3-1.5%程度(素子固有の雑信号も含めて)である。

検定用測定試料はx, y軸方向に可動調整ができるマウントを光学ベンチ上に配置し、スライドフィルムをこれに装着して測定を行うことにした。

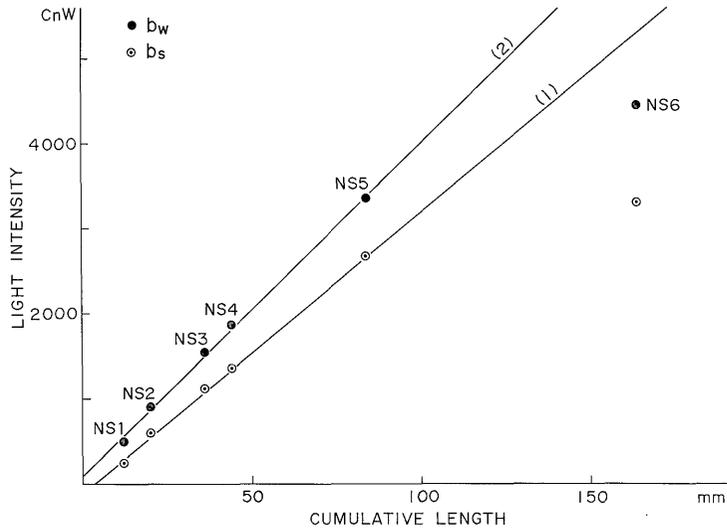
なお、検定試験を行うに先立って散乱光の影響について検討した結果無視できないことがわかった。その影響は集光面積の大きい外側の半環状素子に強くあらわれる。このため測定は完全な暗室条件下で行うようにした。

### 4.3 一方向線分の検定

各試料の出力結果を第8図及び第9図に示す。第8図にみられるように、方向性については変換結果が正しく表示されている。また測定光量値と積算長との関係についても、標準試料NS1-NS5では直線的な相関関係が得られた。NS6ではこの関係から大きくずれるが、この点については後述する。ここではNS1-NS5の関係について議論する。

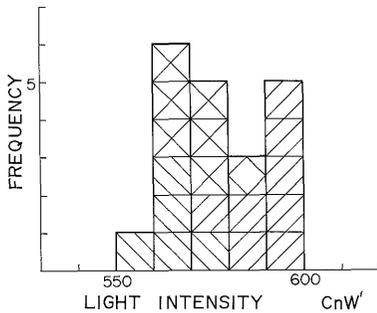


第8図 検定用試料NS1(図中a)-NS6(図中f)のローズダイアグラム



第9図 検定用試料 NS1-NS6 の線分積算長と光量との関係

( $b_s$ : 第48番くさび状素子光量と線分積算長,  $b_w$ : くさび状全素子の光量合計と線分積算長)



第10図 検定用試料 NS2 による測定再現性

(1つの四角が1回の測定を示し, 4種の模様は4回のフィルム装着を示す)

今, 光量の集中したくさび状素子(第48素子)の光量 $b_s$ と積算長との関係(第9図中(1))をみると相関係数0.99918という高い相関性を持ち, 最小二乗法でその回帰直線を求めると

$$b_s = 33l - 119 \quad (1)$$

が得られる。ここに $l$ はmmで表わした積算長である。背景雑信号の影響を考慮してくさび状素子全体(32素子)の合計光量値 $b_w$ と積算長との関係を求めたものを第9図中(2)に示すが, この相関係数は0.99891, 回帰直線は

$$b_w = 39l + 88 \quad (2)$$

となる。

また, 再現性を検討するため NS2 を用いて合計 20 回の測定を行った結果を第10図に示す。この間フィルム装

着を4回行いその都度1-8回測定を繰り返した。この時の光量平均は, 578.2 CnW (1,887 nW), 標準偏差 $\sigma$ は13.2 CnWであった。平均値に対する標準偏差 $\pm\sigma$ は $\pm 2.2\%$ であり, 高い再現性が得られた。

これまで線分の積算値との光量値と関係を見たわけであるが, 線分の間隔と光量値との関係は第11図に示すように, 線分間隔に対して双曲線状に光量値が減少する。これは矩形パルスから得られるフーリエ成分のパワースペクトル式からもうなずかれる。すなわち第12図(a)に示すような矩形パルスのフーリエ成分は同図(b)で示され, このフーリエ成分は

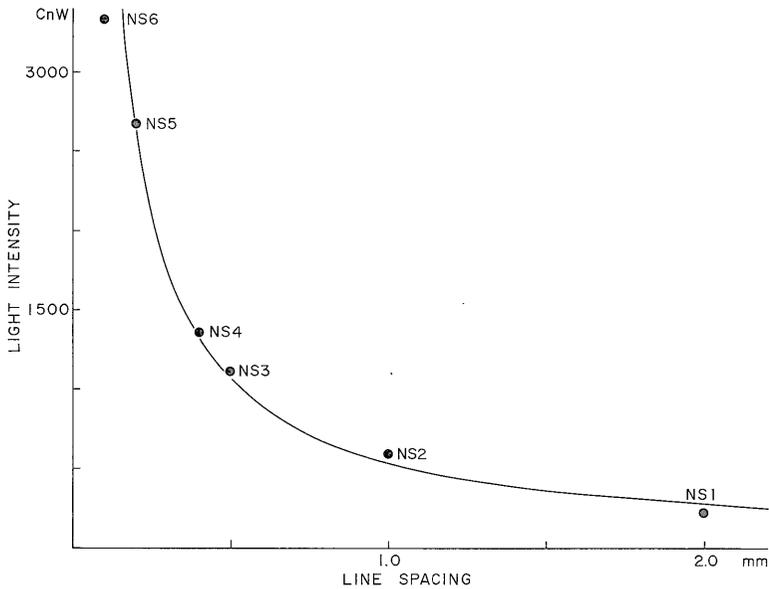
$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt = \frac{Kb}{2\pi} \cdot \frac{\sin(\omega b/2)}{(\omega b/2)} \quad (3)$$

パワースペクトルは

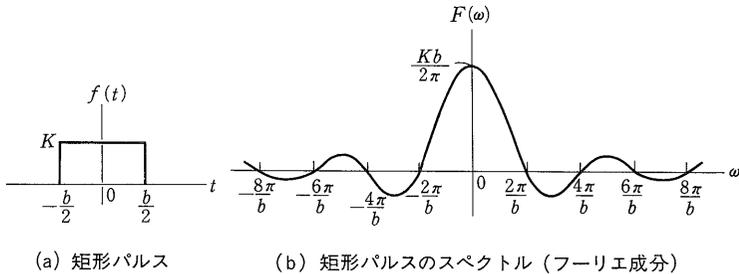
$$|X(\omega)|^2 = \frac{1}{2\pi} K^2 b^2 \left( \frac{\sin(\omega b/2)}{\omega b/2} \right)^2 \quad (4)$$

で示される(日野, 1979; 記号は第12図参照)

また線分の間隔, 長さともランダムにとった試料 NR1 では上記に示した矩形パルスのランダムな配列を示すことになり, そのパワースペクトルは上式(4)と同様にとり扱えることが示されている。すなわち NR1 におけるピーク光量値は結果的には線分の積算長に比例する。NR1 では線分の積算長は NS2 と同一であり線分の本数は NS4 と等しい。また, 線分間隔は NS3 にほぼ等しい



第11図 線分間隔と光量との関係 (NS1-NS6)



第12図 矩形パルスとそのフーリエ成分 (日野, 1979, p. 68)

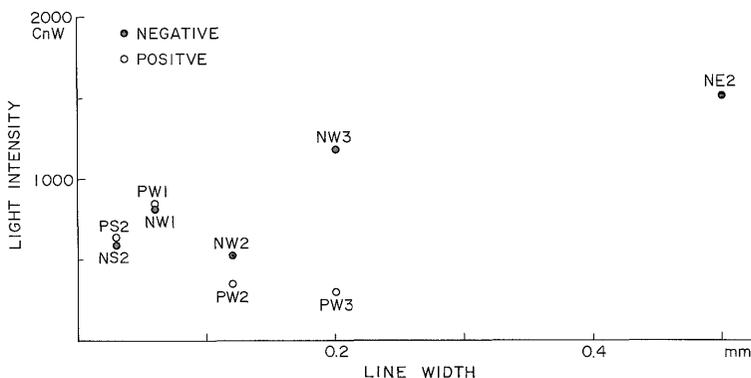
試料である。NR1, NS2, NS4, NS3 の最大光量値は、それぞれ、660 CnW, 588 CnW, 1360 CnW, 1112 CnW であり、NR1 は誤差が大きい NS2 の値に近く、実験結果もこれを支持していると考えられる。

試料が測定視野内で明暗二分されるようなパターン例である NE1 ではくさび状素子にはピークはあらわれない。これは NE1 の濃度変化がただ1つのステップを含む階段関数であって周期性を欠くためと解釈される。連続的に濃度変化する試料 NE2 では明瞭なピークが第48素子に生じ、その光量値は 1512 CnW であった。

#### 4.4 線分幅およびネガ像ポジ像の効果

本項では線分の幅が異なる場合およびネガ像をポジ像にかえて行った場合の影響についてふれるが、この問題の検討は十分ではない。ここでは標準試料 NS1, NW1, NW2, NW3, NE2, PS2, PW1, PW2, PW3 を用いた。

その測定結果を第13図に示す。この図では横軸は線分幅を表わしている。NS2, NW1, NW2, NW3 は線分の積算長と間隔が同一であり、フィルム上での線分幅がそれぞれ 0.03 mm, 0.06 mm, 0.12 mm, 0.2 mm である。また、NE2 は線分の片側に濃度勾配をつけたもので変則的であるが、その線分幅はおよそ 0.5 mm とみなすことができる。これらを比べると、全体として線分幅が大きいほど、ピーク光量値は増大する傾向があるが、NW2 はこの傾向からはずれている。他方これらのポジ像である PS2, PW1, PW2, PW3 を測定すると、PS2 から PW1 に向かって増大するが、PW2, PW3 で再び減少する。この中で、PS2 や PW1 のピーク光量値はネガ像の NS2 や NW1 とほぼ一致する。これらの試料に関するもう一つの特徴は、線分幅が大きいと、そのピークが3-6個のくさび状素子に分散して現われることである。



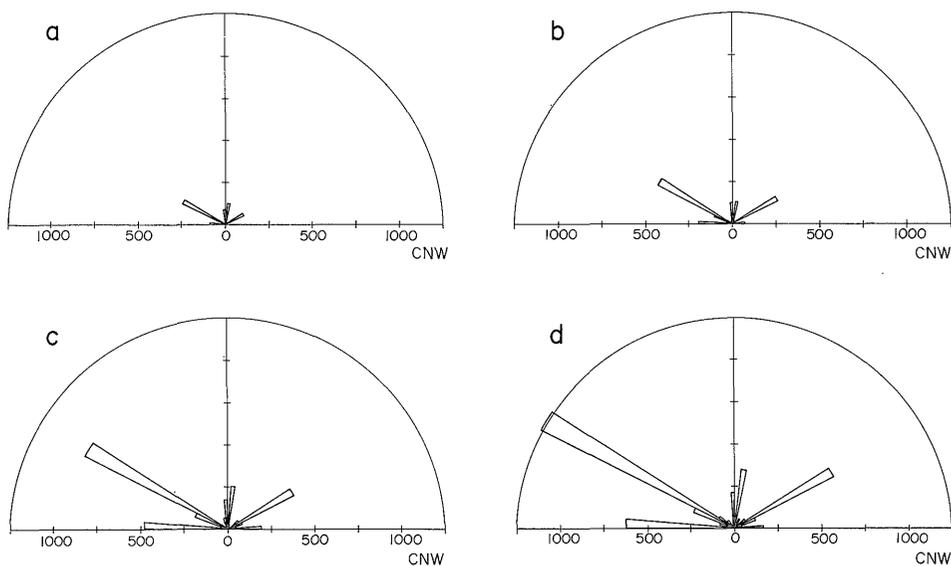
第13図 9種の検定用試料による線分幅とネガ像ポジ像の効果 (詳細は本文参照)

上述のデータのみから、ネガ像における線分幅の効果  
を単純な関数で表現するのは困難であるが、概して線分  
幅の大きいものほど、くさび状素子で検知される光量は  
増す。その増大傾向は、NS2 から NW3 へと幅が約7倍  
になっても光量値は2倍程度であり、積算長さなどの効  
果に比べると小さい。また、ポジ像の場合、PS2, PW1  
など線分幅が狭い範囲ではネガ像と同等に検出され、実  
用的な特性を示すが線分幅が広がると、光量値が減少  
し、実用に耐えなくなる。

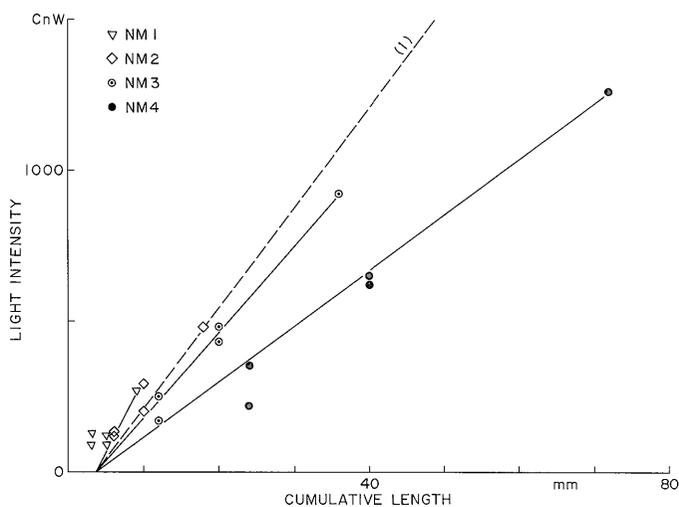
このことは実際の測定時における試料の選択(ポジ像、  
ネガ像、あるいはエッジ強調画像の採用など)にあたり  
検討が必要なることを示しているがこれ以上ふれない。

#### 4.5 多方向線分の検定

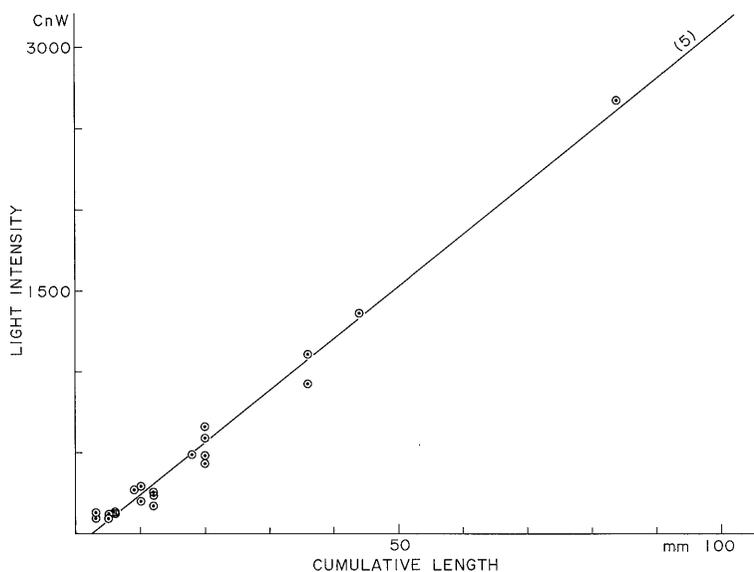
検定試料 NM1-NM4 を用い、4.3項で実施した一方向  
線分の検定と同様、多方向線分の検定を行った。測定結  
果出力されたローズダイアグラムを第14図に示す。NM  
1-NM4 のそれぞれの試料は方向性(第7図上方を北と想  
定)ならびに積算長さ(L)比が、 $N60^{\circ}W : E-W : N60^{\circ}E :$   
 $N-S : N10^{\circ}E = 9 : 5 : 5 : 3 : 3$  にとつてある。各々の試  
料中の各方向の線分積算長と光量値との関係を第15図に  
示す。図中には前出第9図(1)式の回帰直線が破線で示し  
てあり、この破線が光量値0を示すときの見かけの積算  
長を示す点と、 $N60^{\circ}W$  方向の線分が示す積算長と光量  
値の交点とを実線で結んで示してある。図から明らか  
のように、積算長に対する光量値は、NM1-NM4 にかけて  
順次割合が減じており、とくに NM4 のずれは他に較べ



第14図 多方向線分(検定用試料 NM1(a)-NM4(d))のローズダイアグラム表示例



第15図 検定用試料 NM1-NM4 中の各方向の積算線分長と光量との関係  
(破線, 直線については本文参照)



第16図 21個のピーク光量値と積算線分長との関係

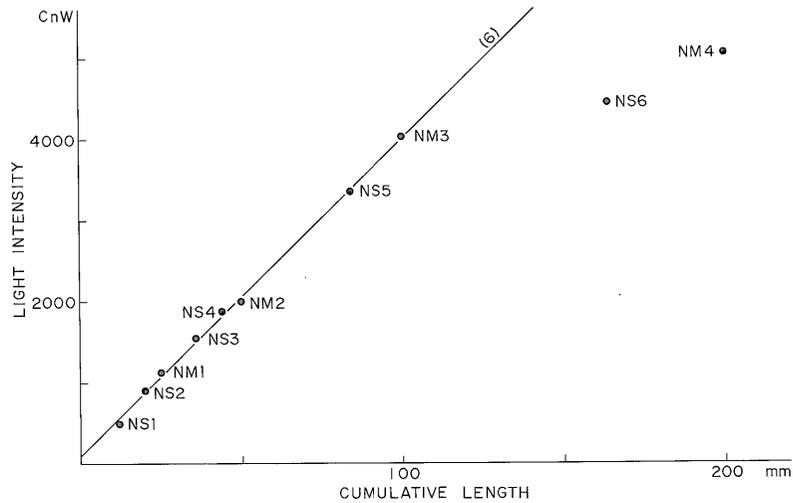
て大きい。これは4.3項で検定した際に得られた NS6 の他試料に対する偏りと類似の現象である。

ここで NM4 と NS6 の試料を除き, NS1-NS5, NR1, NM1-NM3 の測定結果から, 単一のくさび状素子の光量値 ( $b_s$ ) 21個と対応する各方向の積算線分長との関係をみてみたのが第16図である。このときの相関係数は, 0.99196, 回帰直線は

$$b_s = 32l - 82 \quad (5)$$

となる。

また, NS1-NS6 および NM1-NM4の10試料についてくさび状素子の合計光量値 ( $bw$ ) と, 多方向の積算線分長 ( $l$ ) との関係を示したのが第17図である。前述のように, NS6 と NM4 のみが他と大きく偏ってプロットされている。この2個を除く8個の相関係数は 0.99914 であり,



第17図 検定用試料 (NS1-NS6 および NM1-NM4) 10試料のくさび状素子合計光量値と積算線分長との関係

回帰直線は

$$b_w = 39l + 94 \quad (6)$$

となる。

第17図から、くさび状素子の合計光量 ( $b_w$ ) が 4,100 CnW 程度を超えると回帰直線から大きくずれることがわかる。この値は全光量の半値に相当する。くさび状素子に関与する光量は光量調節が適正の場合検知素子配列から 4,080 CnW (13,350nW) が上限であり、検定試験の条件下では NS6 と NM4 の結果は測定限界外にあるといえることができる。OFAS では測定限界内では妥当な測定結果が得られることが示されたが、測定限界を超えても光量値がダミー出力されることは注意すべきで、実際にはこのチェックが必要と考えられる。このチェックはくさび状あるいは半環状検知素子の全光量値を知ることによってなし得る。

### 5. 考 察

OFAS を用いて線分試料と同様な未知試料を測定対象にした場合、今回行った試験結果から未知試料の光量値を測定し、線分 (リニアメントなどが考えられる) の積算長を推定することが考えられる。この場合の精度について考察する。

線分が単一方向の場合、単一のくさび状素子によって与えられた光量値と(1)式、あるいは第9図における直線との交点から積算長が求まる。いま(5)式を導いた21個の結果をもとに測定精度を考える。

(5)式から推定された線分の積算長を  $lm$  とし、原データの実測線分積算長を  $lx$  とするとき、正規化された百分率  $100(lx-lm)/lm(\%)$  からこの値の二乗の総和を個数 21 で割って母分散  $\sigma^2$  を得、標準偏差  $\sigma$  を求めると、(5)式を用いて積算長を求める際の測定誤差 (標準偏差  $\sigma$ ) は  $\pm 22.8\%$  となる。

次にくさび状素子 (32素子) 合計光量値と第17図に示した 8 個の測定値 ( $b_w$ ) から (6)式にもとづいて積算長を求める際の測定誤差 (標準偏差  $\sigma$ ) は同様に  $\pm 6.9\%$  となった。

単一のくさび状素子から積算長を求める場合は誤差も大きく、地質分野への応用に当っては実用的ではない。他方くさび状全素子 (または半環状全素子) の光量値を用いて測定を行った場合には相対的に測定誤差が小さくなる結果が得られたし、多方向に発達する線分の積算長を求めるという観点ではより実的である。

OFAS を用いて標準試料による検定結果から得られた測定誤差に関する結果は他の測定機器等と較べるとかなり大きい。しかしながら本検定では実施しなかったが、半環状素子の光量とのクロスチェックによって測定精度の向上が見込める期待がある。OFAS による測定に当って光軸調整は均一回折試料を用いた場合、くさび状全素子の光量と半環状全素子の光量は等しくなる筈である。光軸調整がわずかに狂っている際には測定精度の劣化が推定される。

いずれにせよ OFAS に用いた極座標配列素子は素子

間で感度差が±10%以内とされており、基本的に本システムは精密測定用ではなく大量試料の迅速測定に向いている。

われわれは OFAS によって、たとえばリモートセンシングデータのような実画像に含まれるテクスチャの解析を行うことも目的の一つとしているが、従来テクスチャを定量的に表現する実用的な方法はなく、現在模索中であるといえる。OFAS は半定量的ではあるが、テクスチャ情報についても光量値として測定が可能であり、システムを用いた基礎的実験の結果は満足すべきものであった。

本報告にはふれていないが、半環状素子に含まれる情報をもとにパターン情報の周波数解析が考えられる。これは上述のテクスチャ解析等に重要であるが、この点については今後の検討課題としてとらえたい。

## 6. ま と め

1. リモートセンシングデータのような面的地質情報を定量的に解析するために、光学フーリエ解析システム(OFAS)を開発した。

2. OFAS の構成について述べるとともに、パーソナルコンピュータを介してオンラインで解析を行うためのプログラムを開発したのでその機能について述べた。本システムは全国をカバーして得られた航空機合成開口レーダ画像の解析が主目的であり、ハードウェアやソフトウェアはこの目的に沿った特徴を有している。

3. OFAS の実用化に先立って標準試料によって基礎的検定試験を行った。検定は線分からなるパターンをスライドに撮影したものをを用いて行い、線分の卓越方向性の検出と線分積算長の定量測定を中心に行った。

4. 検定の結果、OFAS による卓越線分情報の検出と線分積算長の定量測定とについて満足すべき結果を得、実用的利用化の見通しが得られた。

5. 光学フーリエ変換から考えられるパターンの周波数解析については今後の検討課題であり、本報告では扱わなかった。

## 謝 辞

OFAS のソフトウェアは筆者らの仕様に基づいて、カンタムエレクトロニクス社が作成したものである。同社の上浦秀之氏およびプログラム作成を担当したシステムコミュニケーション社の竹内徹氏には惜しめない御協力を受けた。航空機合成開口レーダ画像解析のための測定制御部作製については(株)ナックに御協力いただいた。地

質調査所小川克郎博士にはハードウェア構成の段階から貴重な御意見を賜った。以上の方々に厚く感謝する。

## 文 献

- CORREA, A. C. and LYON, R. J. P. (1974) An application of optical Fourier analysis to the study of geological linear features in ERTS-1 imagery of California. *Proceedings of the First International Conference on the New Basement Tectonics*, p. 462-479.
- DOBRIN, M. B., INGALLS, A. L. and LONG, J. A. (1965) Velocity and frequency filtering of seismic data using laser light. *Geophysics*, vol. 30, p. 1144-1178.
- 日野幹雄(1979) スペクトル解析. 朝倉書店, 300p.
- JACKSON, P. L. (1965) Analysis of variable-density seismograms by means of optical diffraction. *Geophysics*, vol. 30, p. 5-23.
- 村岡洋文・長谷紘和(1980) 断裂系評価のための光学-電子フーリエ解析法. 地質ニュース, no. 311, p. 52-59.
- 村岡洋文・長谷紘和・山口 靖(1983) 光学フーリエ解析装置(OFAS)の開発とその基礎的実験. 昭和57年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書. 国土地熱資源基本図作成に関する研究, p. 83-113.
- 長尾 真(1978) 監訳: デジタル画像処理. 近代科学社, 481 p.
- 小瀬輝次(1979) フーリエ結像論. 共立出版. 226p.
- PINCUS, H. J. and DOBRIN, M. B. (1966) Geological applications of optical data processing. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 71, p. 4861-4869.
- PINCUS, H. J. and DOE, T. W. (1974) Spatial analysis of basement and cover linears by optical diffraction-methods, results, and interpretation. *Proceedings of the First International Conference on the New Basement Tectonics*, p. 423-436.
- 陶山淳治他 5 (1982) 合成開口レーダによる日本列島の地熱資源調査. 日本リモートセンシング学会誌, vol. 2, no. 4, p. 57-65.

(受付: 1985年 4月22日; 受理: 1985年 7月 5日)