

図形読取装置の試作および応用例

大村 一夫

国立防災科学技術センター第3研究部

Trial Manufacture of a New Input Device of Figures and Its Application

By

K. Ohmura

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

For the purpose of making an inexpensive device for the input into computer of the figures such as contour lines of maps, multichannel records of pen recorders, etc., some modifications have been made to Toshafax, a popular business machine which produces a facsimile on stencil paper. Its price is about 200,000 yen (about 600 dollars), and it consists of two parts for reading and writing. As it is not made for input-output device of the computer, it runs independently of the computer, and so it is necessary to connect it with the computer by the external interruption and analog-to-digital converter of the computer.

After receiving the external interruption signal from the rotating drum of Toshafax, immediately begins the analog-to-digital conversion which makes the intensity signals of the figure into digital forms. In this way, the figure is scanned and turned into digits on rectangular meshes of about 0.1-mm square.

Then there come difficult problems, such as to obtain the areas of domains surrounded by contour lines, to transform the records by pen recorders into time series of digital forms, etc. Besides, there are many problems which must be solved by softwares, such as the elimination of noises, the judgement whether the given part of domain is connected with some of the formerly defined domains or not, etc. Results obtained are fairly good, and now, these results are supposed to be applicable to the calculations of topographic changes from landslide or erosion and of areal rainfall, to the Thiessen polygon method, and to the drawing of isohyets.

1. はじめに

従来、電子計算機に対する入力は、主としてカードまたは紙テープを媒体としていた。このような入力の方法は、計算機の側からみればデータの認識が容易であるという点で望まし

いことであるが、他方、人間がデータをせん孔するという単純でしかも膨大な労力を考えると、決して歓迎されるものではない。さいわい、国立防災科学技術センターのデータ処理機 TOSBAC-3400 には高性能の AD 変換器がつながっていて、データがアナログ電気信号の場合は、この AD 変換器を介して、直接、デジタル信号に変換することができる。

今日ではデータレコーダが普及していて、野外実験や観測の記録は磁気テープに収録され、AD 変換器に対する直接的なデータを提供するが、データレコーダの使用が許されない場合には、ペン記録計、ビジグラフまたは自記記録計等が使われることも多い。

このようなデータを解析するために、または地図に代表されるような二次元図形を処理するためには、まず図形を計算機に入力するための装置を考えなければならない。こうした要求から、われわれは図形読取装置の試作にとりかかった。経済性に重点をおいて検討した結果、市販のトーシャファックスの一部を改造して、これにあてた。

応用の一例として、地図を読み取り、等高線を境界とした各領域の面積算出を試みた結果、この方式が十分実用に耐えうることを確認した。具体的な応用としては、地すべり、河川の浸食等による地形変化、洪水計算における流域面積の決定、地域雨量等での Thiessen 法への応用等が考えられ、すでにこのいくつかを実行している。

2. トーシャファックスに至る過程

図形読み取りの手段として、すでに高速度のカーブリーダが試作されている。このカーブリーダは記録波形の読み取りを目的としており、種々の特長を備えてはいるが、一般的な二次元図形（たとえば、地図、写真）の読み取りには、二つの難点があった。

第一に、量子化されたデータのメッシュを十分細かくとることができない。

図1に示すように、カーブリーダは回転鏡 Mr を回転させることによって走査を行なうが、1回転の周期が約 1/16 秒で、走査点の回転半径 (\overline{MrO}) はおよそ 40 cm である。これから走査速度を算出すると

$$2\pi \times 40 \times 16 \doteq 4,020 \text{ cm/s}$$

となる。また、AD 変換器の処理速度は、データ当たり約 $55 \mu\text{s}$ であるから、データ 1 個の変換に要する走査点の移動距離は

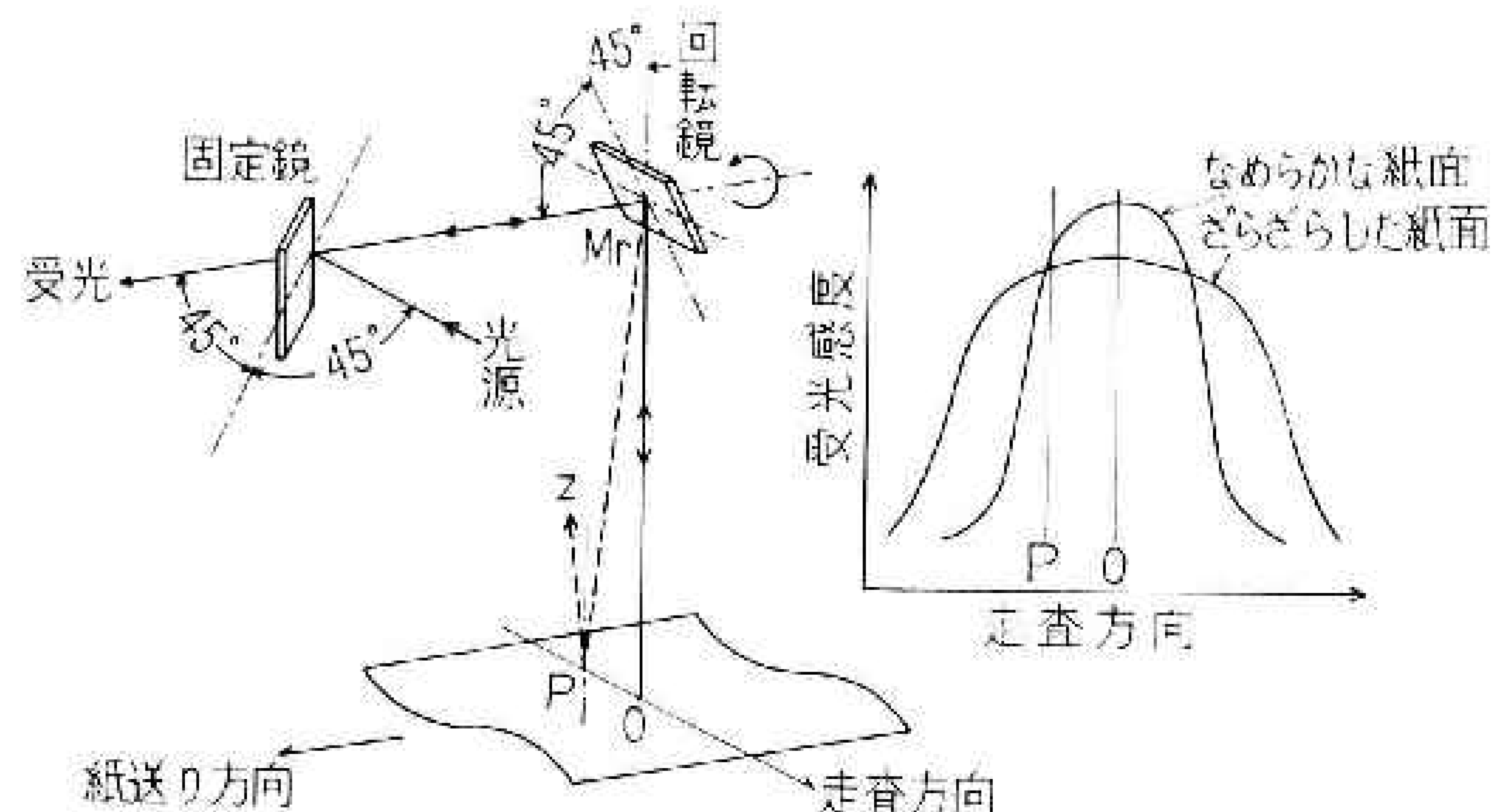


図1 カーブリーダの走査方式および受光感度特性

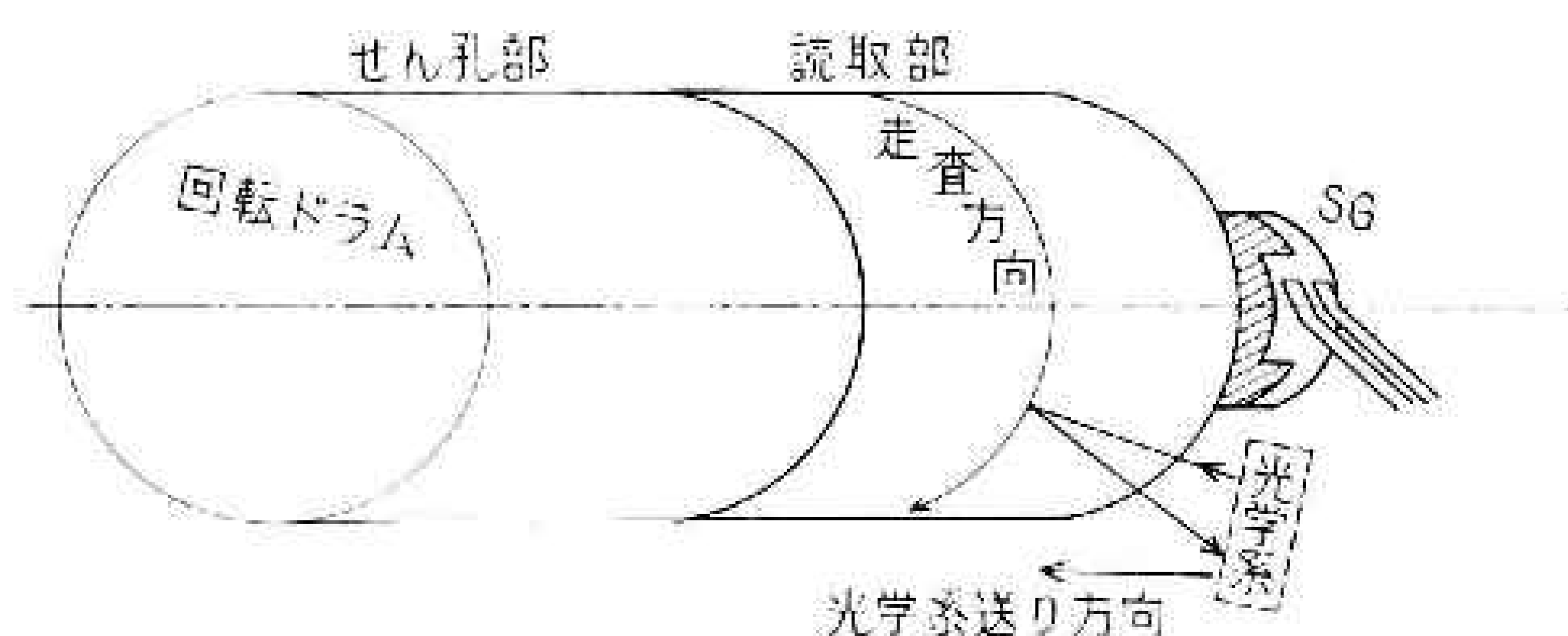


図2 トーシャファックスの走査方式

$$4,020 \times 55 \times 10^{-6} \doteq 0.2 \text{ cm}$$

である。識別の精度が 2 mm では、細かい地図の等高線などを読む場合、少しあらずぎる。

もう一つの問題は、光の応答特性にあった。

図 1 で光軸が MrO を結ぶ（紙面に垂直）場合は、中間媒質を無視して考えれば、受光の効率ほとんど 1 に近い。次にこれ以外の光軸、たとえば MrP を考えてみると、P 点に入射した光の大部分は光学の原理に従って反射角方向（z の方向）へと逃げてしまい、わずかに乱反射によるものだけが Mr に達して、信号伝達の役割を果たすのみである。このため、光の応答特性は山形となり、紙面がなめらかなほどこのカーブは急こう配になって、紙面の有効幅をせばめるといったはなはだ不都合な結果をもたらす。

以上の 2 点を解決するものとして、われわれはトーシャファックスの使用を考えた。

トーシャファックスは、図 2 に示すように原図をドラムに装着し、これを回転させて走査を行なう。このため、光学系についていえば、紙面に対する入射角と反射角はつねに一定であって、受光特性は完全にフラットである。このことは特に濃度の読み取りには非常に有利であって、紙質にもそれほど左右されない強みがある。

一方、識別の精度は、ドラムの円周約 41 cm、回転数 300 rpm（毎秒 5 回転）から、回転方向では

$$41 \times 5 \times 55 \times 10^{-16} \doteq 0.011 \text{ cm}$$

となる。また、走査線密度は歯車の切り換えによって、0.1 mm か 0.05 mm を選択できるから、0.1 mm を使用すればほぼ正方形のメッシュを得ることができて好都合である。

3. トーシャファックスと AD 変換器とのリンク

トーシャファックスの回路構成の概略を図 3 に示して、簡単に説明する。

ドラム読取部で得られた光は、ガス入り光電管によって電流に変換される。この電流は微小であるから増幅しなければならないが、濃度差を忠実に増幅するために、直流増幅が用いられる。直流増幅器出力端での信号のダイナミック・レンジは、そのピークピーク値 (peak-to-peak value) がおよそ 5 V であるが、約 35 V の直流バイアスが乗ってしまう。この直流バイアスを除去するために使用されるのが次段の差動増幅回路であって、Rb は信号の直流レベルを加減するための可変抵抗である。

このようにして得られた信号波形は、以後の処理を容易にするために交流に変換される。

すなわち発振器出力とともにリング変調され、AM（振幅変調）波となる。この信号を増幅して原紙に放電せん孔するわけである。ここで Ra は増幅度すなわち原紙上での濃淡の

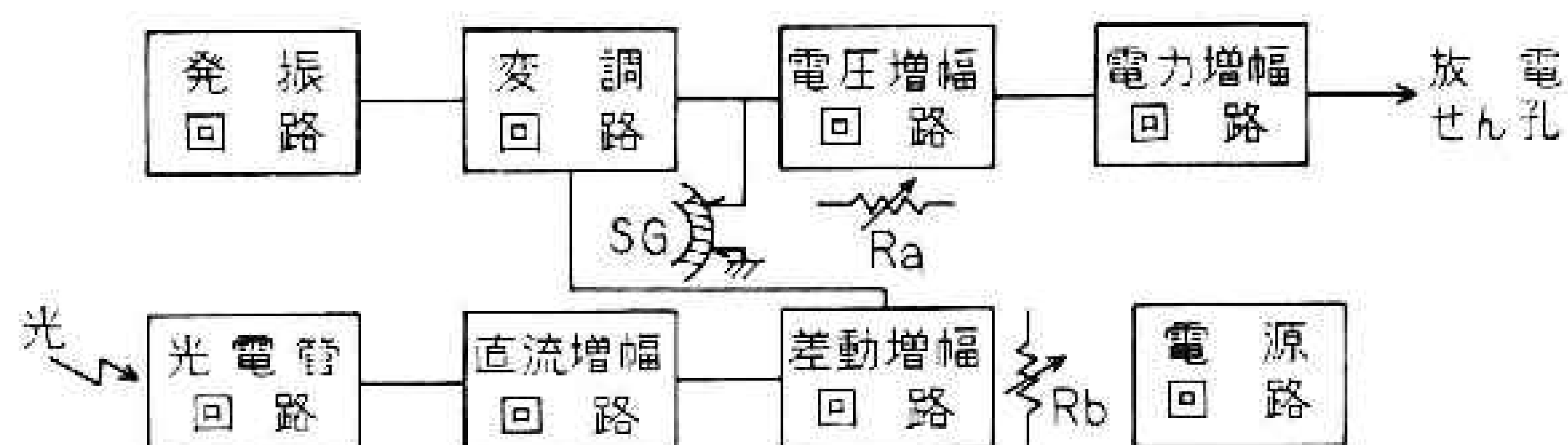


図 3 トーシャファックスの回路構成

度合いを調節するものである。

トーシャファックスでは原図（原稿）を固定するためにバー（押え金）が使われているが、これは金属であるために、この部分での反射光は非常に強い。この光は信号としての意味を持たないばかりでなく、出力（原紙）に悪影響を与えるから取り除かなければならない。この目的のために回転軸に直結したスライド・スイッチ SG（図2参照）がついていて、バーの部分での信号を短絡し、出力端にこれが現われないようにしている。

さて、ここでトーシャファックスが計算機の入力装置となりうるための諸条件を考えてみよう。

データの密度については、前項で触れたとおりほぼ満足できるものである。

データの精度（濃淡の度合い）は、光電管の直線性と AD 変換器入力信号のダイナミック・レンジとで決定される。ガス入り光電管の特性は厳密に直線ではないが、動作範囲内においては、近似的に直線と考えてさしつかえない。いま、われわれは濃度差そのものがほしいから、差動回路からの出力を取り出して AD 変換する。前述したように、このときの電圧範囲は約 5 V である（零レベルは R_b によって加減できる）。当所の AD 変換器の入力信号範囲が +10 ~ -10 V であるから、デジタルされたデータは AD 変換器の最大精度の 1/4 程度となる。しかし、この場合でもデジタル信号は 2 進 9 bit の精度を有する。すなわち、およそ 500 段階の濃淡が識別できることになり、紙面での乱反射や電気回路で発生する雑音、さらに光電管の直線性等を考慮すれば、データとしての精度は十分すぎると思われる。

最大の課題はトーシャファックスと計算機との同期の問題であった。トーシャファックスはもともと他の機器との同期機構などを持っていないから、計算機とは独立に動作する。したがって、この場合、同期信号はトーシャファックスの側でつくる必要がある。具体的には、ドラムの回転に応じた制御信号をつくり出し、計算機に伝えなければならない（このような制御信号は割込信号と呼ばれ、われわれは TOSBAC-3400 の外部割込機能を活用して、各種の制御を計算機の外部から行なうことができる）。

AD 変換のためのアナログ信号は差動増幅器から取り出されるから、図3上段の各回路はいま不要である。このため、ドラムの回転に同期する機構として前述したスライド・スイッチ SG を利用して、割込信号を発生させることを考えた。

まず、スライド・スイッチのオン、オフを電圧に変換し、これを飽和増幅して波形を整形する。機械的なスイッチではチャタリング（接点が切り換わる微小時間に数回オン、オフをくり返す現象）が避けられず、これを防止するために、次段に単安定マルチバイブレータを置いた。単安定マルチバイブレータのもう一つの効果は、割込信号発生の時点を、実際に SG がオンになった時間から遅らせることができる点

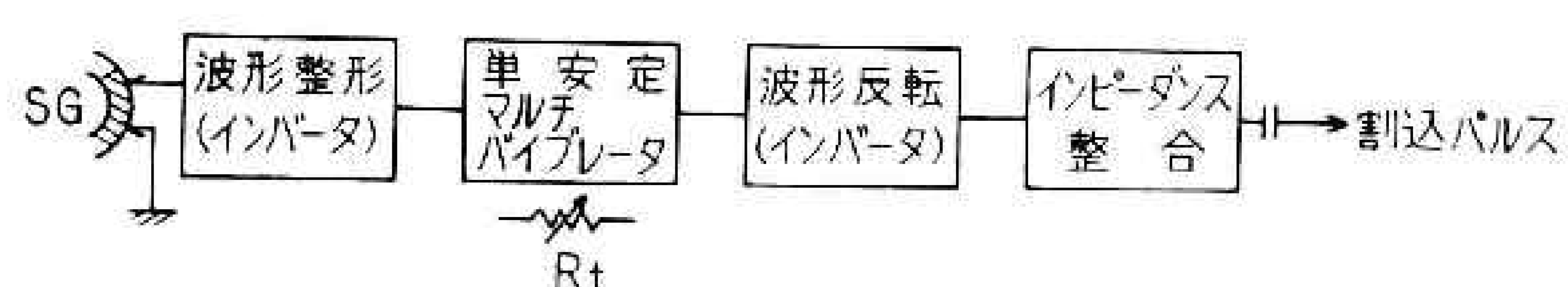


図4 外部割込発生回路

にある。図4に示す R_t を加減することによって遅れ時間（時定数）をある程度調節することができる。この機構によって必要なデータの位置まで割込時点をずらすことができ、不要な AD 変換を省くことができる。現在、時定数の可変幅は 22.5 ms, ドラム上の距離にして約 4.5 cm に相当する。

4. AD 変換とデータの作成

トーションファックスにおける有効画面は、最大 260 mm × 350 mm である。このとき、数値化されたデータの量はどのくらいになるであろうか。便宜上、画面の長軸方向（走査の方向）を V, 短軸方向（光学系の移動方向）を H として計算してみよう。

まず、V 方向でのデータの数は、メッシュ間隔 0.11 mm として最大 3,200 個である。H 方向を 0.1 mm の間隔で走査することにすれば、走査線の本数は最大 2,600 本となって、全体では $3,200 \times 2,600 = 832$ 万個のデータが得られる。この膨大なデータを主記憶装置にしまうことは不可能であるから、磁気テープに順次記録していく（実際には 800 bit/in, 2,400 ft の磁気テープ 1 巻はこの半分程度の記憶容量しか持たないから、前述のメッシュで AD 変換した場合、有効画面はこの半分以下であることになる）。

この場合、AD 変換と磁気テープ操作の同時処理が行なわれるわけであるが、AD 変換を正常に実行するためには、磁気テープ処理時間が制約される。すなわち、磁気テープ処理時間は、AD 変換および本体の処理時間の和を越えることはできない。いま、3,000 個のデータを磁気テープに書き込む場合、所要時間は約 490 ms となって、ドラムの回転周期すなわち 1 本の走査線の AD 変換に要する時間 (200 ms) の 2.5 倍となる。磁気テープの処理時間を 200 ms 以内に押えるためには、データは 1,000 個が限度である。これは V 方向で約 9 cm に当たる。H 方向での間隔があらくてもよい場合は、数回転に 1 度 AD 変換をするようにすれば、有効画面を広げることができる。

H 方向で 0.1 mm の精度を得るために、われわれは次のような方法をとった。まず、走査線密度として 0.05 mm を選び、2 回転に 1 度 AD 変換を行なう。さらに、AD 変換が 2 回行なわれるたびに、H 方向で対応する各 2 個のデータを 1 語に詰める。なお、TOSBAC-3400 は 1 語 24 bit, AD 変換器出力は 11 bit で、データの精度を 8 bit に落とせば 3 個のデータを 1 語に詰めることも可能である。以上の操作はドラム 4 回転 (800 ms) に対して行なわれるから、この間に磁気テープを 1 回動作させる時間 (3,000 語として 490 ms) は十分に得ることができる。

以上の方法を使って、AD 変換が行なわれた。写真や絵のように、濃度差そのものが直接処理の対象となる場合は、これでデータはでき上がりである。この場合の例として、写真および文字をラインプリンタで再現してみた (写真 1, 2)。写真 1 は濃度差を 10 段階に分け、それぞれに適当な文字・記号を割り当て、さらに活字間隔の縦と横の比を補正して打ち出し

たものである。なお、写真2の文字は、この文の活字と同じもの（9ポイント活字）であって、この場合は1種類の記号しか使用していない。

いま、地図の等高線や観測波形記録のように“線”で代表されるものを考えると、データはたとえば黒の部分（線の一部）を1、白の部分（線のないところ）を0とするような2値信号であることが要求される。

このデータ変換の方法としては、まず、適当なレベルを定めて、濃度がそれ以上の場合をすべて1とするやり方がある。この方法は紙面が比較的均一な場合には、プログラムのやさしさと処理時間の速さという点で最も効果的であるが、線の濃度差が大きかったり、紙面そのものが濃度こう配を持つ場合（たとえば写真の現像ムラ）には、データの欠損や雑音の発生が多くなって、あまり好ましくない。

次に、微分によって判定する方法を考えた。この方法では、データの欠損が少なくなるかわりに、小さな雑音が微分によって増幅される危険がある。また、H, Vの両軸について、それぞれ微分しなければならないから、プログラムが複雑になり、時間もかかる。しかし、アナログ信号で見るかぎり、線の部分での波形の立ち上がりは、雑音のそれに比較してかなり急であり、この方法は相当有効であると思われた。

それぞれの方法を試みながら段階的に修正を加えた結果、両者を組み合わせて次のような方法をとった。まず、雑音レベルより少し高いレベルを設定し、これより低いデータはすべて0

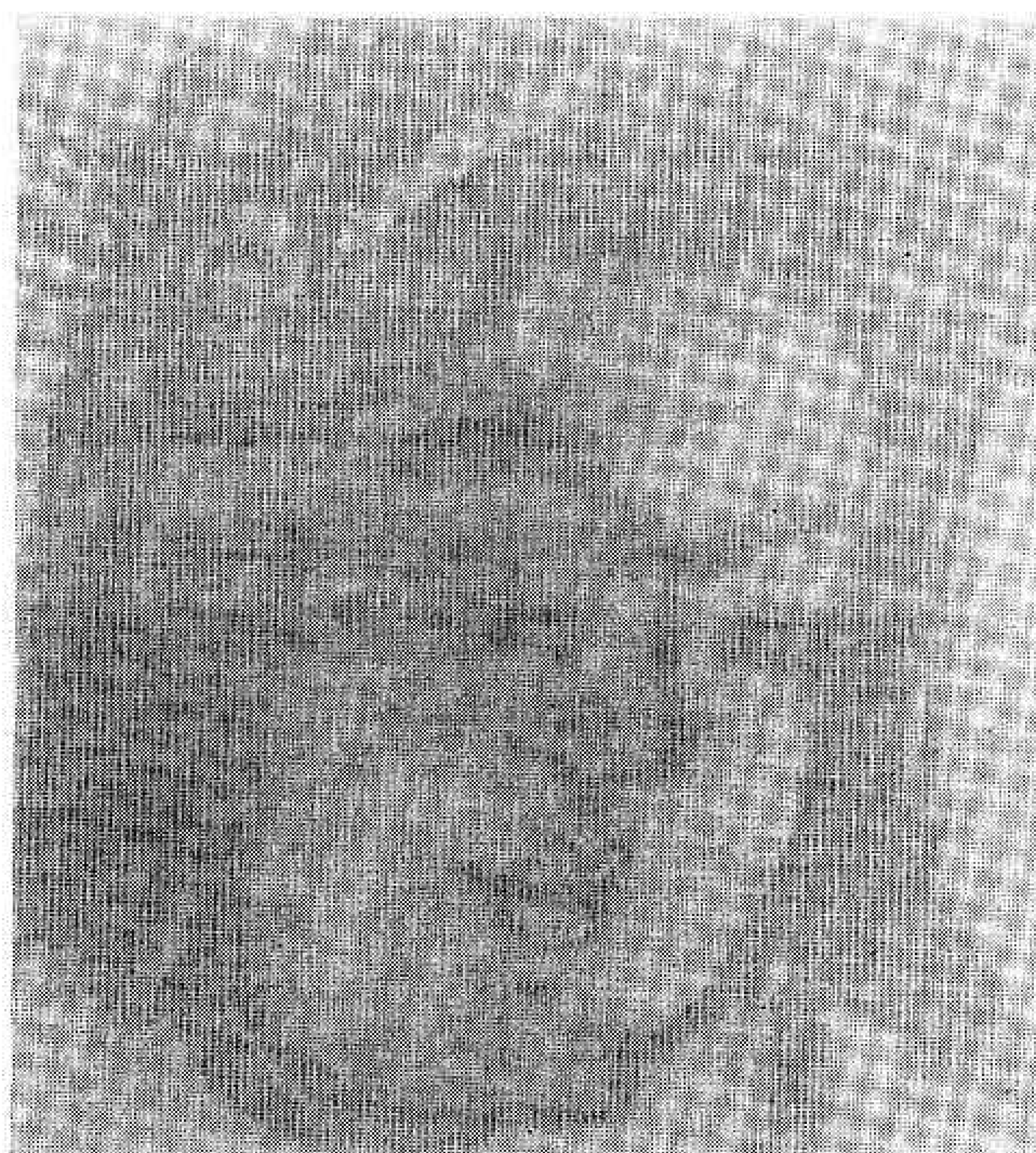


写真 1

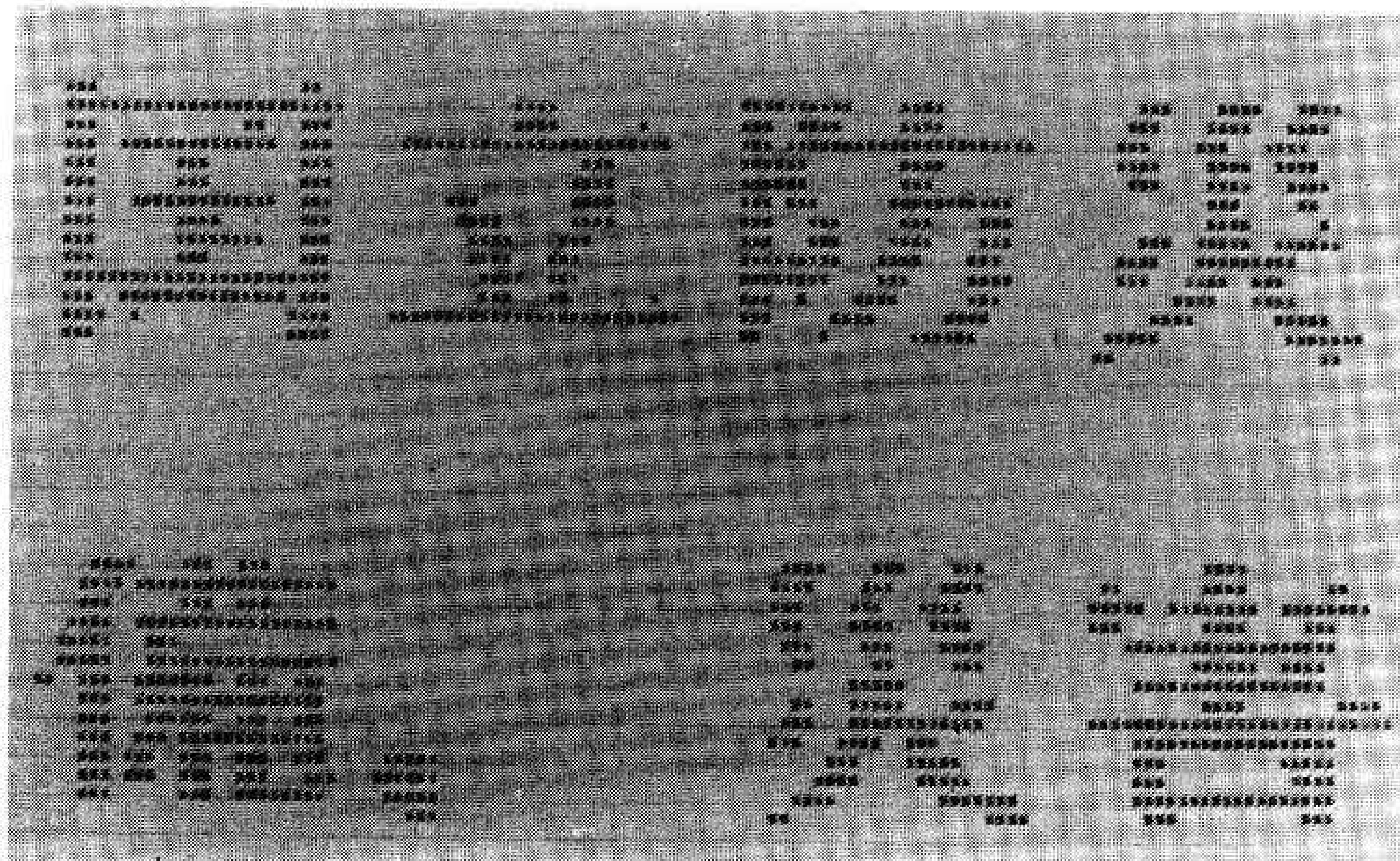


写真 2

とする。つぎに、二つずつのデータの移動和をとって平滑化し、差分をとる。形式的には $(1, 1) \times (-1, 1) = (-1, 0, 1)$ のウェートを掛けることである。こうして作られた差分データに対し、再び一定のレベルを定め、いったん、このレベルを越えたものが続いて零を切ったときにデータを1とするのである。これを H, V の両方向について行ない、両者の論理和 (or. 少なくとも一つが1なら、その点は1とする。) をとって最終的な2値データとする。

この方法が実用性の上で最適であるかどうかについては、なお検討の余地があるが、今回はこれによってデータの変換を行なった。いずれにせよ、紙質や線の濃度が均一ならば、どんな方法で変換しても良質のデータが得られることは自明である。

5. 面積の算出

計算機による図形処理が容易でない理由の一つに、大量のデータを、しかも二次元情報として扱わなければならないという問題がある。前述したように、計算機の内部記憶容量はパターン全体をたくわえるだけの大きさを持っていないから、実際には、何本かの走査線を少しずつ読み出して処理するような方法をとらなければならない。もっと一般的にいいかえれば、図形上に走査線数本に相当する幅を持つスリットを見立て、これを移動しながら二次元処理を行なうわけである。

面積の算出に先だって、われわれはまずそれぞれの等高線に番号を割り当て、この番号によって各領域を知ろうと考えた。つまり、1本の等高線に当たる連続した点には、すべて同じ番号をつけるのである。しかし、この方法はスリット中の点のつながりを追跡していかなければならないから、スリットの移動方向は一定せず、時によって前にも後にも移動しなければならない。これを計算機に当てはめて考えると、データ供給源としての磁気テープは、プログラムの要求にしたがって前後にその読み出し位置を移動させなければならない。本来、磁気テープは機構的にこのような読み出し方法には適さない。すなわち、手前の走査線を読み出すために磁気テープをその位置まで巻きもどすことは、データの読み出しに対する待ち時間を極端に増加させるのである。もともと、計算機本体の処理時間に比べて、入出力機器のデータ転送時間はけた違いに大きいから、これらを考え合わせると、磁気テープからの読み出しは1回だけ、しかも読み出しの方向は、つねにテープの送り方向であることが望ましい。データの読み出しにこのような制限を加えると、線を追うことはいささか困難である。

次に、スリットの移動がつねに1方向であるという前提のもとに、われわれは線（データが1である点）を除くすべての格子点（データが0である点）に領域ごとの番号を割り当てることを考えた。こうすれば、同じ番号の点を数えて面積を割り出すことができる。

等高線であることに着目して、われわれは一つの仮定を設け、これに従って領域番号をつけることにした。つまり、等高線は決して交わらないから、新しく検出された線はたとえ何

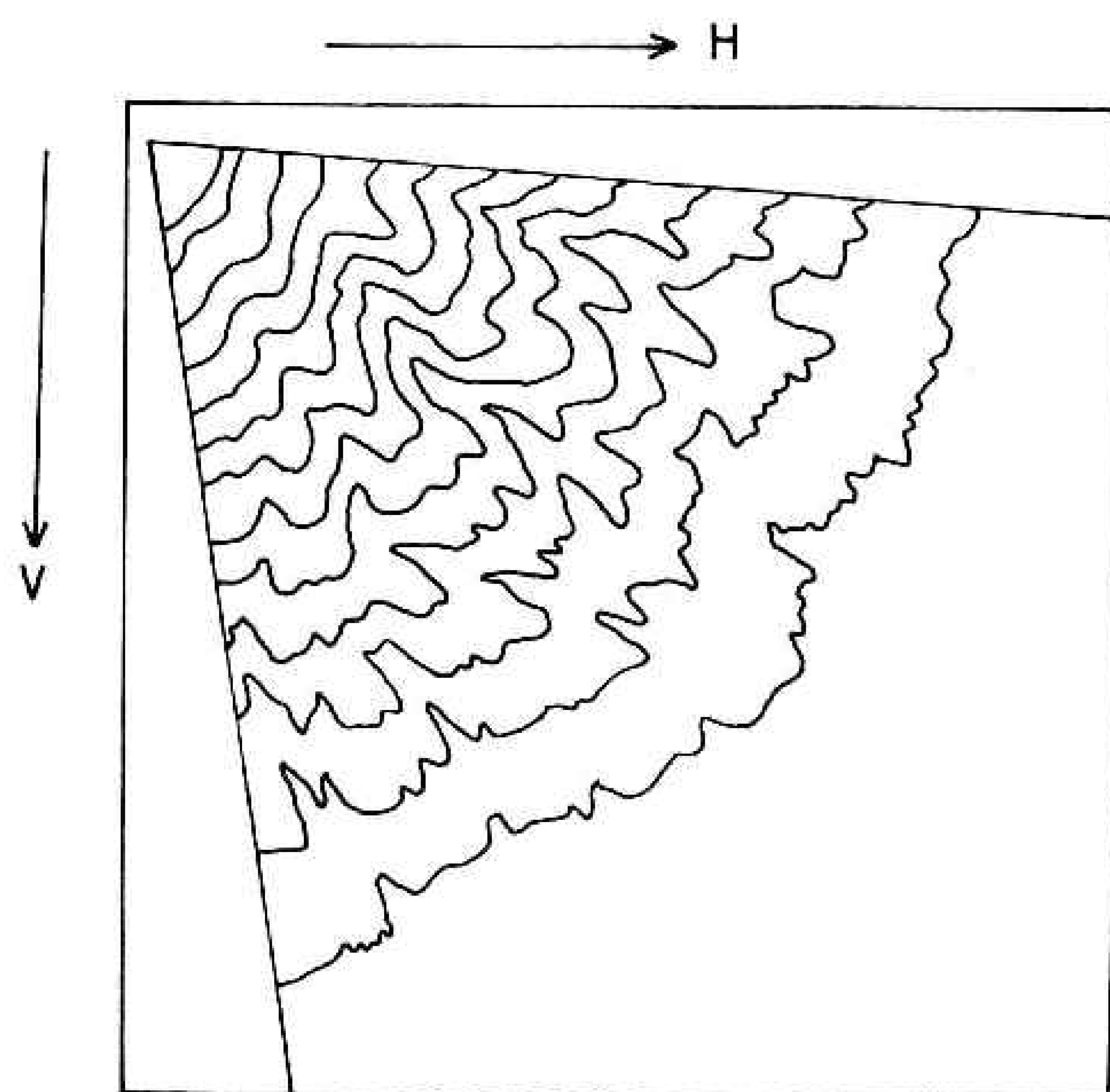


図 5

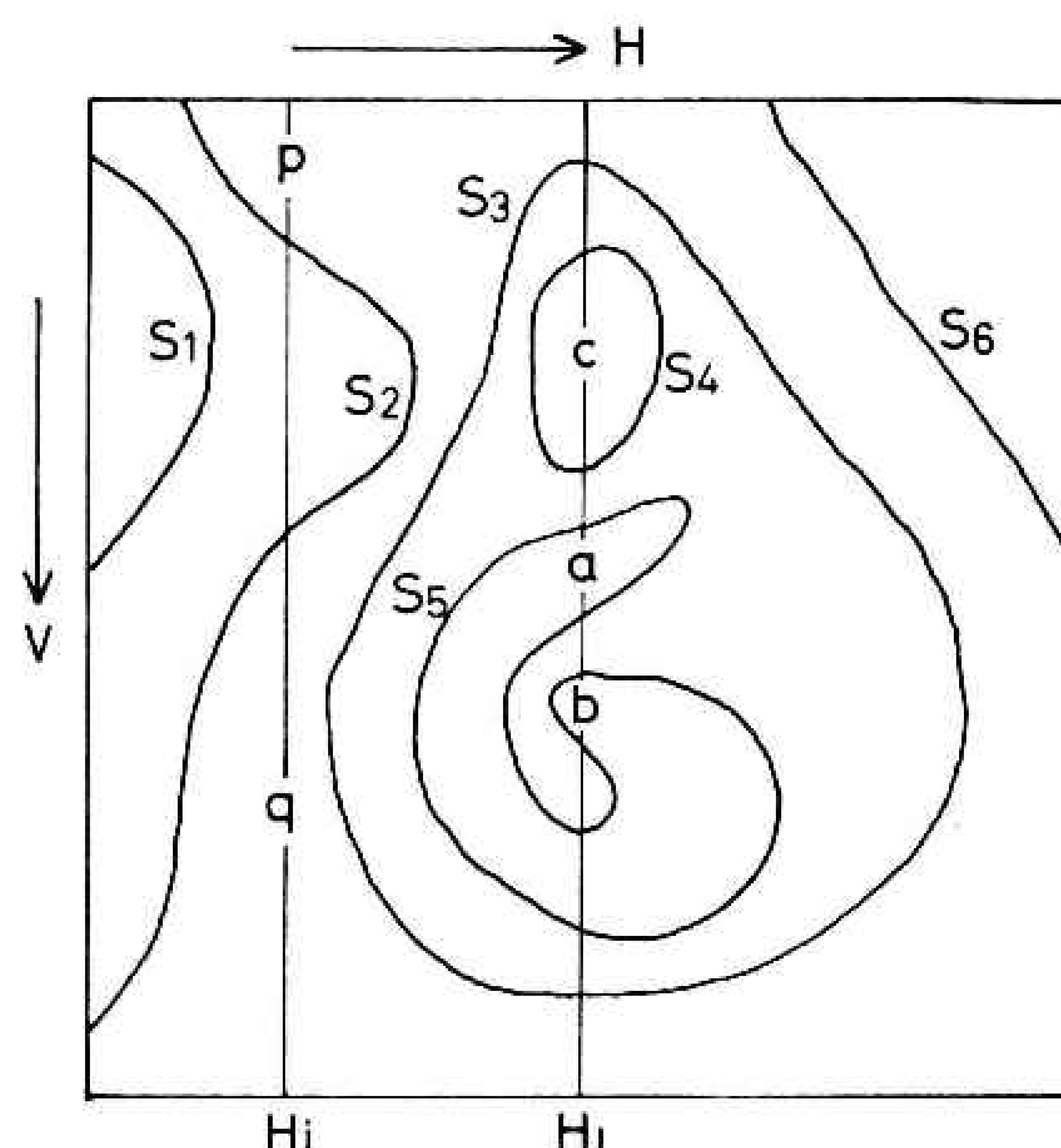


図 6

回発見されようとも、その前の領域の番号さえ同じであれば、それぞれは同じ等高線の一部であるに違いない。したがって、これらの線による新しい領域には同じ領域番号を割り当ててよかろうと考えたのである。図6で走査位置 H_i における p と q が、この方法によれば同じ番号として割り当てられる。等高線が図面上で必ず閉曲線を描くという保証はない（小さな島のように、1枚の図に等高線全部がおさまる場合は実際にはまれである）から、図面のわくにあたる部分に若干の修正を施したのち、これを実際の地図に応用してみた。図5に示すようなパターンであって、これについては期待どおりの結果を得ることができた。

しかしながら、図5の例はあまりにも条件が整いすぎていて、もっと一般的な例を考えると、前述の仮定がまったく成り立たないことを知った。図6でスリットが H_j にあった場合、前述の方法によれば、この時点で s_4 と s_6 は1本の線と考えるから、 a と c には同じ番号が割り当てられるが、 a と c が（等高線の範囲で）同じ高さに存在するかどうかについては判定のしようがないし、たとえそうだとしたとしても、同じ領域に組み入れてよいかどうかは目的によっても異なるだろう。また、 a と b が別の領域として判断されるという不都合も生じる。結局、われわれは先の仮定を撤回して、新しい方法をさがさなければならなかった。

われわれは等高線にこだわりすぎたようである。高さの判定ができないのだから、等高線は単に領域を区切るものとしての意味しか持たない。地図としての特性を考慮することをやめて、一般的な閉曲線の集まりとしての図形を考えることにしたほうがよさそうである。そうすれば、線が交わったとしてかまわないし、実際の利用価値も大きいだろう。

前の経験から、1回の操作で領域を確定するのは不可能に近いと思われたから、二つの段階に分けてこれを行なうことにした。

第一段階として、新しい領域が発生するごとに必ず新しい領域番号を割り当てることにする。図6についていえば、スリットが H_j の時点で a, b, c にはそれぞれ別の番号がつけら

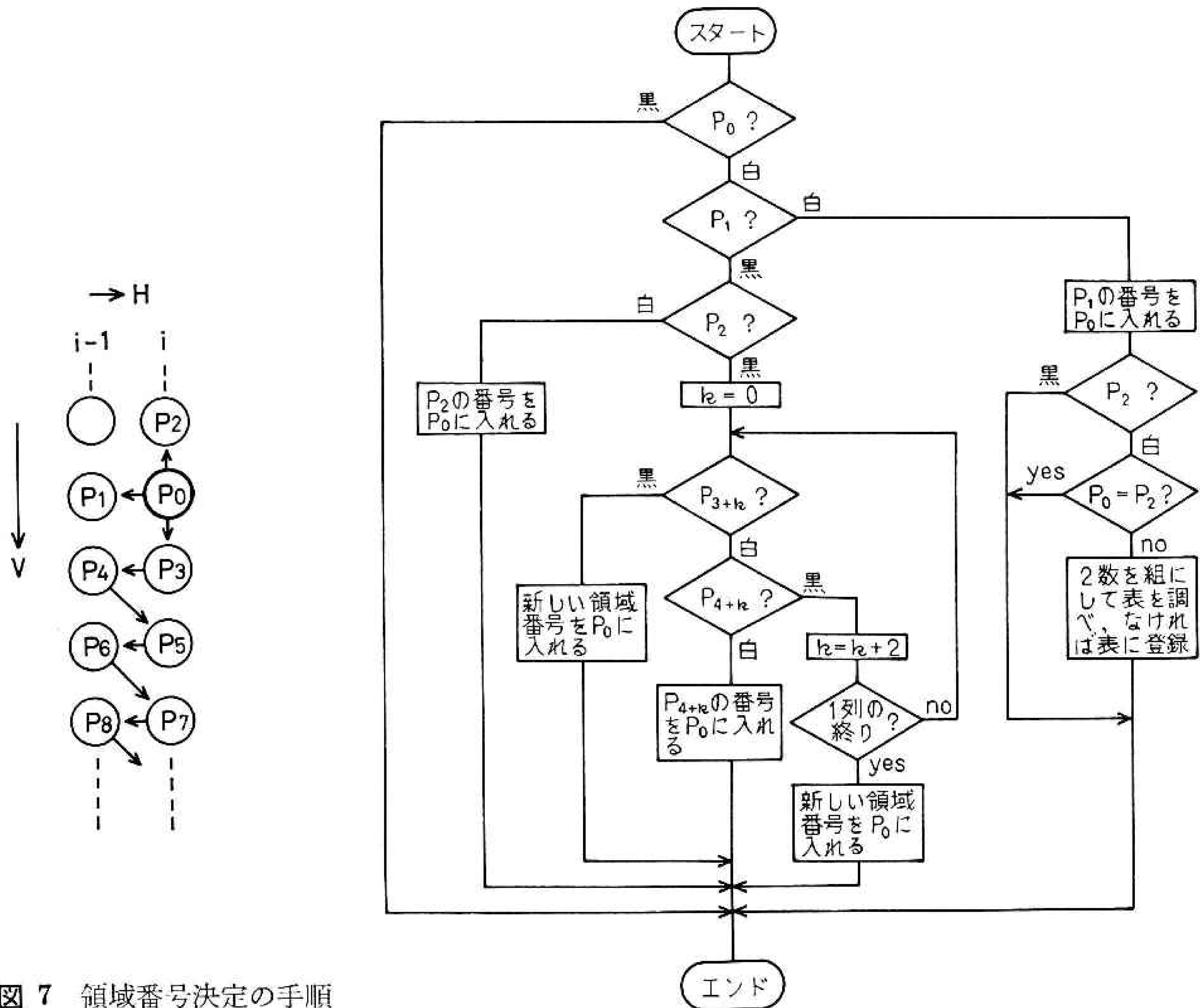


図 7 領域番号決定の手順

れる。そして、二つの領域、たとえば図の a, b が同じ領域に属さなければならないことを知った時点で、この二つの領域番号を一組として、あらかじめ設けられた表に登録する。この過程を図 7 に従って、具体的に説明する。

まず、相隣る 2 本の走査線（格子点列）をコア内に読み込む。図に示す i 列と $i-1$ 列であって、 $i-1$ 列の各格子点にはすでに領域番号が割り当てられている（最初の格子点列については後述する）。

いま、格子点 P_0 が処理の対象となっているものとしよう。この点が黒、すなわち線の部分であれば番号を割り当てる必要はない。白ならばまず P_1 を調べることにする。 P_1 が白であれば領域番号がつけられているはずであるから、この番号を P_0 に割り当てたのちに P_2 をみる。 P_2 もまた白であれば、 P_2 の領域番号と、すでに P_0 に割り当てられた番号とを比較する。両者が等しくなかった場合には、この二つの番号を組にして表に登録する。もちろん、この数値の組がすでに登録されていれば、これを行なわない。 P_1 が黒で P_2 が白だったならば、 P_2 の番号を P_0 に割り当てるだけでよい。もし、 P_1, P_2 がともに黒であった場合には、 P_3 を調べる。このとき P_3 が黒ならば、 P_0 に新しい領域番号を与える。もし、 P_3 が白であれば P_0 と同じ番号となるのであるが、 P_3 にはまだ番号がつけられていないから、 P_4 をみることにする。 P_4 が白であれば、 P_4 の番号は P_3 および P_0 の番号としてよい。

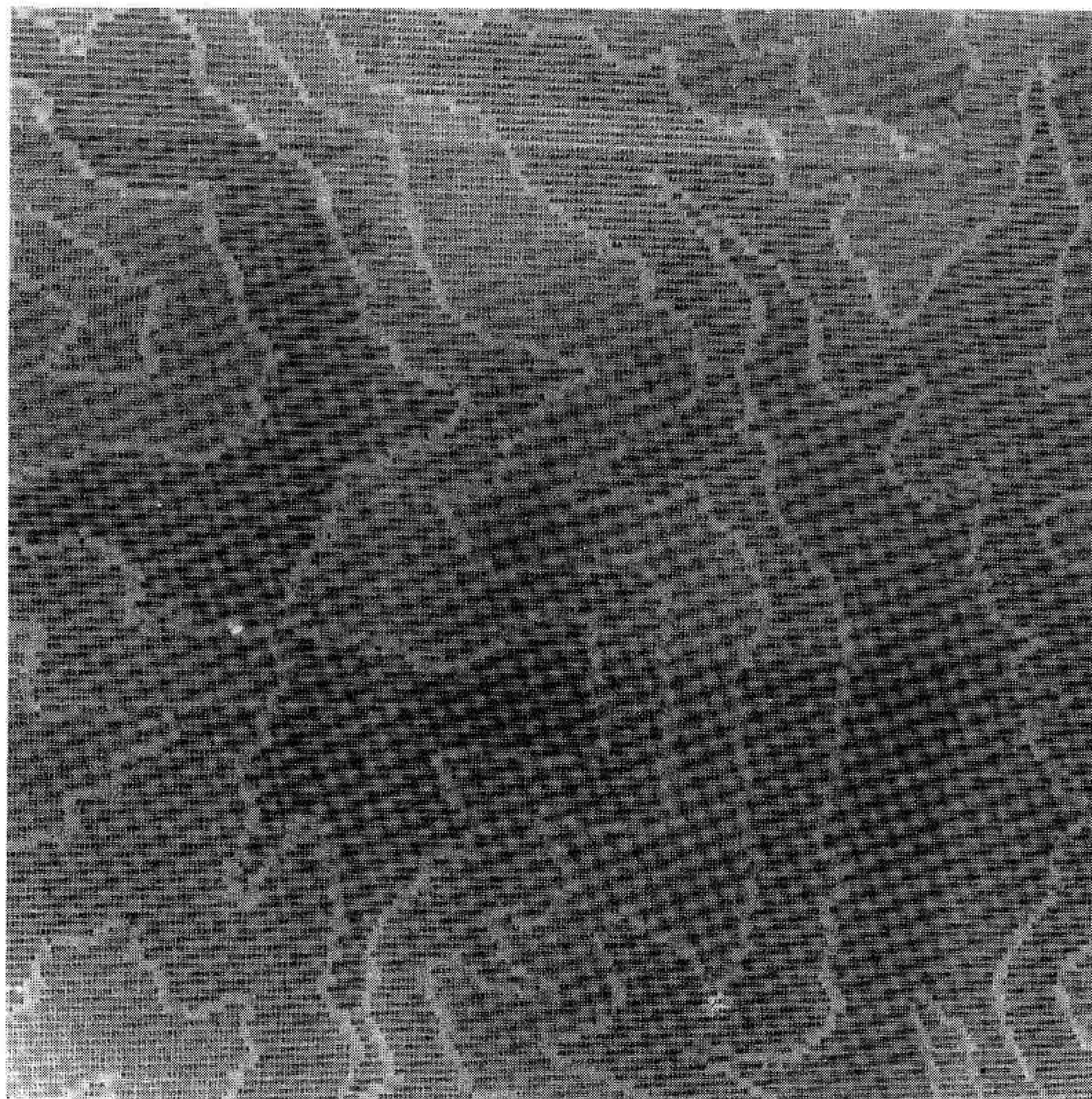


写真 3 等高線による領域決定の実例. 五万分の一地形図「左沢 (あてらざわ)」の一部, 等高線間隔 100 m (白抜きが等高線にあたる).

P_3 が白で P_4 が黒だったら P_5 と P_6 を, さらに条件が満たされなければ P_7, P_8 という順に調べてゆく. この過程で i 列に黒が現われないうちに $i-1$ 列に白が現われれば, そのときの領域番号を P_0 に与えることができる. 逆に $i-1$ 列に白が発見される前に i 列に黒が見つかった場合, および $i-1$ 列の最後まで白が現われなかったときには, P_0 は P_3 が黒であったときと同じように, 新しい領域が発生したとして処理できる.

i 列のすべての点についてこのような処理が終わったら, i 列のデータを補助記憶装置 (磁気ディスクを使用) に書き込んだのち, $i-1$ 列に移し, 新しいデータを再び i 列に読み込んで同様の処理をくり返す.

最初の格子点列 ($i=1$) については $i-1$ 列を考えることができないから, 検索の対象は一つ手前の点 (たとえば P_0 に対しては P_2) のみにかぎり, 最初の領域番号から割り当ててゆく.

こうしてディスク上にでき上がったデータに対して, 最終的な領域番号を決定しなければならない. このためにさきほどの表が使われる. 表に登録された番号の組は, 各組の二つの領域番号が同じ領域内に存在することを示している. したがってこの表を参照することにより, 領域ごとに一つの番号をつけ直すことができる.

この結果から、同じ番号の格子点の数を数えれば、相対的な面積比はそのまま出てくる。既知の大きさのわく、または線分を、同時に読み込んでいれば、簡単な比例計算から面積の絶対値を知ることができる。

6. おわりに

図形読取装置の試作は一応完成したが、不満足な点も少なくない。以下、これらについて考察を試みる。

まず、トーシャファックスを中心としたハードウェアについて考えてみよう。

トーシャファックスは、構造上、読み取りとせん孔が同軸のドラムで行なわれるから、ドラムの回転ムラはこの場合にはほとんど影響を与えない。しかし、計算機と結んだ場合には、この回転ムラはひどく気になるところである。このため、比較的安定と思われる計算機用の電源を使用して実験を行なった。結果的にはほとんど影響は認められないが、今後、より小さな図（たとえば写真のベタ焼き等）の読み取りが必要になる場合には、もっとしっかりした回転機構を選ばなければなるまい。ただし、この場合には経済性はそこなわれよう。

われわれはいま、0.1 mm のメッシュを得ることができるが、AD 変換のスタートを決定する割込信号を機械的なスイッチにたよっているために、どうしてもいくらかのバラツキができる。このため、V 方向ではいくつかの和をとって、結果的にはメッシュをあらくしなければならぬ。割込信号も光学的に検出すれば、このバラツキを軽減することができると思われる。

濃淡のレベルの精度は、その処理目的によっても異なるが、せいぜい 4 bit (16 段階) から 6 bit (64 段階) あれば十分であろう。いま、変換の精度を 6 bit と考えれば、24 bit には 4 個のデータを詰めることができ、磁気テープの処理回数はもっと少なくなり、いいかえれば AD 変換のために走査線をまびく必要はなくなって、処理時間を速めることも可能である。

AD 変換器の出力が 6 bit でよいとすれば、bit 当たりの変換時間はもっと大きくてもかまわないから、AD 変換器はかなり安価なものでも十分実用になろう。なお、この場合には可変増幅または減衰器を AD 変換器の前に置いて、できるだけ有効ビット数をふやすことが必要である。

次に、プログラムの面での問題を考えてみよう。

われわれは線の太さについては、ほとんど考慮しなかった。いま、データ変換に際して前に述べたような微分方式を採用した場合、受光スリットに比べて線が太すぎるようなときは、微分の方によって点の位置がずれるおそれがある (図 8)。このような場合には、あらためて線の決定方法を考えなおさなければならない。

原図の質が悪い場合、たとえば線が鉛筆で描かれているようなときには、線のカスレによ

って、データの欠損が生ずることがある。この欠損が少ない場合は、この部分のデータを強制的に作り換えることができる（現在はこの方法によっている）が、あまり望ましい方法とはいえない。この面においても、検討の余地がある。

地図の場合、等高線はあくまで概念的なものでこれは太さを持たないから、面積算出の上では、線となる格子点をどちらかの領域に含む必要がある。正確な方法としては、線となる格子点を数えて、その1/2を両側の領域に振り分けるのがよい

と思われたが、この方法ではプログラムがかなり複雑になるので、われわれは黒の格子点を、つねに手前の領域の一部と考慮して処理した。誤差は両側でほぼ相殺されるから、通常はこの方法で十分実用になると思われるが、場合によっては修正を加える必要もあろう。

トーシャファックス（他のメーカーからも同様のものが販売されている）は、事務器として一般に市販されているから比較的廉価で得られる。データの種類や計算機との接続について確定しない要素が多かったために、われわれはできるだけ多くの機能を持ったものを購入したのであるが、これでも約20万円ではいった。経済性を第一に考えたが、結果から見ると、十分な成果が得られたと思われる。

今回の実験に関しては、国立防災科学技術センター第3研究部長菅原正巳博士から多くのご指導とご助言をいただいた。また、プログラムの開発については同研究部勝山ヨシ子技官から、トーシャファックスの機構の詳細に関しては東京航空計器株式会社事務器技術課長神田久正氏、同課相原靖知氏から、多くのご助言をいただいた。なお、予備実験、回路製作およびソフトウェアを含む回路検査等に関しては、第3研究部村上義隆君のご協力によるところが大きい。諸氏のご協力にあらためて感謝いたします。

(1970年12月8日 原稿受理)

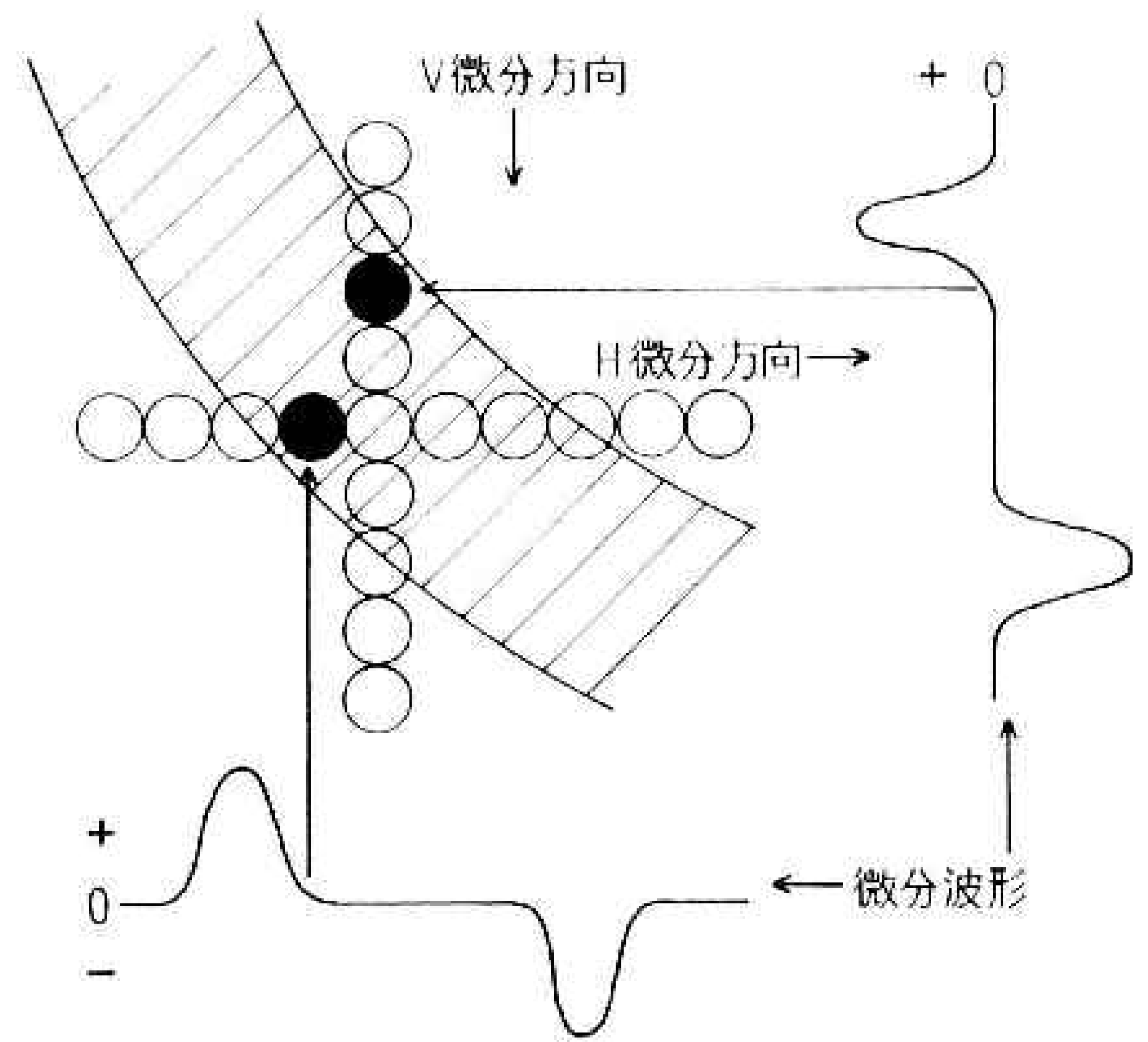


図 8