

気象レーダのエコーを電子計算機により 実時間解析する可能性について

菅原正巳・勝山ヨシ子・八十島 久

国立防災科学技術センター第3研究部

On the Possibility of the Real-Time Data Processing of Radar Precipitation Echoes by Digital Computer

By

M. Sugawara, Y. Katsuyama and H. Yasoshima

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

By analog-to-digital conversion of the radar echo voltages modified by some analog transformation, the echo pattern on PPI scope is represented in digital form on polar coordinate meshes. Thus the amounts of rainfall at several selected points and for several selected areas can be integrated by summation on appropriate sets of these mesh points. Moreover, the calculated values can be calibrated by comparing them with the amounts of rainfall observed at several rain-gauge stations.

The weather radar is installed in kyūshū, but the computer in Tōkyō, and therefore the data must be sent from Kyūshū to Tōkyō. As a testing experiment, it is tried to record the data by some analog method, and after some trials the use of a video tape recorder (VTR) has been found to be successful. The difficulty of connecting the VTR with computer has been solved by the software using a test pattern which is set on the echo voltage waves.

1. はじめに

1.1 九州の人吉に人工降雨の研究のために、科学技術庁の試験研究費によって作られた、波長3cmの気象レーダがある。人工降雨の研究の終了に伴って、このレーダが昭和42年4月に国立防災科学技術センターに移管され、「プロセスモデルの研究」の一環として利用されることになった。

1.2 「プロセスモデルの研究」とは聞きなれない言葉であるが、災害現象を、自然現象およびそれに対応する人間側の反応までを含めて一つのプロセスと考え、それを種々のモデルによって近似し、解析を進めることによって、災害の予知、予報、予防、手当て等の対応策の開発を研究していこうというのが、この研究の目標である。

この「プロセスモデルの研究」の一つの主要目標に、電子計算機による災害現象の実時間解析法の開発がある。

このようないきさつから、気象レーダエコーの電子計算機による実時間解析が計画された。

1.3 レーダと電子計算機との結びつきの可能性は、次の理由により自明であると考えられた。現在軍事的目的から、レーダと計算機とが直結されていることは疑いないし、また近い将来、超音速旅客機が運航することになると、空港の管制は人間の手に負えなくなり、電子計算機が用いられるようになるという。したがって技術上の問題はあまいと思われた。

1.4 しかし、ここで問題になるのは、われわれのレーダが人吉にあり、計算機が東京にあることである。われわれは地震、風浪等の実時間解析への一段階として、データをデータレコーダにとり、これを計算機室に持ち帰って解析している。そこでレーダエコーの場合も同様に、現地でデータをとって持ち帰って解析すればよい。それにはビデオテープを利用すればよいと考えた。

これがわれわれがまず持った見通しであった。

1.5 レーダの電子計算機による実時間解析が技術的に可能であるということと、それが実現する可能性とは別問題である。ある計画が実現するためには、それによる十分の利益がなければならぬ。

1.6 人吉のレーダにはアナログ演算装置がついていて、つぎのことができる。

- (1) 種々の雨量強度について、等雨量線図をブラウン管 (PPI) 上に示す。
- (2) 指定された地点について、その地点の積算雨量 (時間積分) を出す。
- (3) 指定された領域について、地域雨量 (面積分) の積算値 (時間積分) を出す。

ここでいささか不便なのは、(2)、(3)の積算雨量において、地点や領域が固定されることで、いくつかの地点や、流域の積算値を知るためには、その数だけの演算装置を併置しなければならない。

1.7 電子計算機とレーダとを連動すれば、以上の難点は解消する。人吉のレーダで数値解析可能な範囲は半径 60 km の円である (エコーは 100 km 程度までうつる)。半径 60 km の円の面積は約 1 万 km^2 であるから、2 km のメッシュにわければ、点は約 2,500 で、われわれの計算機の磁心記憶容量が 16,000 語であるから、取り扱いには適当な大きさである。この格子点のうちの任意の部分和をとり、その時間的累積和を作ることはいわゆる容易であるから、多くの流域についての流域雨量を併列して出すことができる。

さらに都合なのは、レーダの雨量測定範囲内にいくつかのロボット雨量計があれば、その 1 時間雨量または 30 分雨量等を利用して、計算機に補正を行なわせることができることである。

そのうえ、流域雨量から河川流量を算出する計算を行なわせることもできる。

1.8 以上、電子計算機の利点は十分にあると思われるが、難点は電子計算機の値段が高いことである。しかし、人吉レーダの雨量測定可能範囲、半径 60 km の円内を見ると、市房、瀬戸石、上椎葉、一ッ瀬、綾南、綾北、鶴田と七つのダムがある。一つを 50 億円と見ても 350

億円であるから、これらのゲート操作に対して十分有益な情報を与えうるとすれば、1億円程度の電子計算機をレーダに連結することの実現性はあると考えてよからう。

2. レーダと電子計算機とをつなぐときの問題点

2.1 われわれはレーダエコー、またはそれにある程度のアナログ演算を加えてできた電圧波形を、A-D変換し、得られた数値を計算機で処理することを目的とする。

光の速度は 3×10^{10} cm/s であるから、 $1 \mu\text{s}$ には 3×10^4 cm (300 m) 行く。レーダエコーは往復するから、時間 $1 \mu\text{s}$ は距離にして 150 m に当たる。

われわれの計算機 (TOSBAC-3400) の A-D 変換器のサンプリング間隔は約 $55.5 \mu\text{s}$ (18kc) であるから、距離にすると約 8 km おきになる。富士山レーダのような広範囲の場合は 8 km のメッシュでもよからうが半径 60 km の範囲に対して、8 km ではあまりにあらすぎる。

2.2 この問題は次のようにして解決する。人吉のレーダはパルスを 2,000 μs ごとに (500 c/s) 発射する。A-D 変換器のサンプリング間隔は 2,000 μs の約数でないから、サンプリングする時点が少しずつずれて、やがてサンプリングされた点が十分密に並ぶことになる。

レーダと計算機が連動しているときは、これを共通の時計で動かすことができるから、パルスとパルスとの間隔を適当に調節し、パルス周期ごとに、A-D 変換器のサンプリング間隔の $1/n$ ずつずれるようにして置けば、 n 周期かかって、 $1/n$ のサンプリング間隔で A-D 変換できることになる。

人吉レーダの場合であれば、 $55 \mu\text{s}$ の $1/4$ 程度にサンプリングするのが適当であろうと考えた。距離にして約 2 km である。

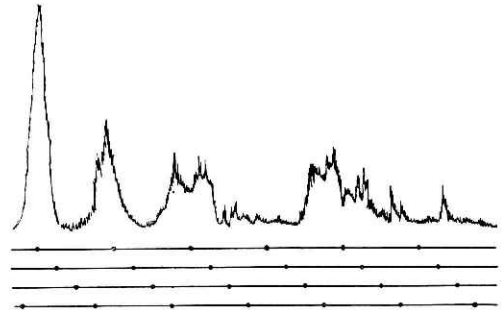


図-1

2.3 人吉のレーダの発射電波のビームの幅は 2° である。 $2^\circ \approx 1/30$ rad の角は 60 km 行けば 2 km に開く。距離の分解能と、方角の分解能とは、ほぼ同程度でよからう。これが、距離約 2 km のサンプリング間隔を適当と考えた理由である。さらにもう一つの問題がある。われわれの計算機は乗除算を除けば、1 演算およそ $5 \mu\text{s}$ 程度である。計算機とレーダとを連動すれば、A-D 変換の開始は割り込みで起こる。ある演算実施ちゅう (実際には A-D 変換が始まりそうなときまでに、一連の計算を終了して、無効な命令をくり返して待っていることになる)、A-D 変換開始の割り込みがかかったとすれば、その演算終了後に割り込みが有効になるから、結局 $5 \mu\text{s}$ だけの誤差は避けられない。 $5 \mu\text{s}$ は距離にして 0.8 km であるから、分解能を 2 km よりよくすることは、かなり無理であると思われる。

2.4 われわれはレーダエコーの電圧波形をサンプリングするのであるが、航空機のエコーを求める場合と異なり、ある点の値がほしいのではない。その点の付近の平均値がほしいので

ある。欲を言えばメッシュに切られた各区間の平均値がとればよい。そのためには、たとえば時定数 $10\sim 20\ \mu\text{s}$ 程度の一次遅れフィルタをかけたうえで、A-D 変換を行なってサンプリングすればよい。レーダエコーは、山のような固定点のエコーであっても、干渉により、絶えずゆれ動いているのであるが、時定数 $20\ \mu\text{s}$ 程度の一次遅れフィルタをかけて見ると、エコーはきわめて安定する。これによりサンプリングエラーは減少する。

2.5 平均は距離方向についてだけでなく、方位についても行なわれる。人吉のレーダアンテナは6秒間で1回転する。1秒間に 60° であるから、角度 3° を $1/20\ \text{秒} = 50\ \text{ms}$ で動く。パルスは $2\ \text{ms}$ ごとに出るから、角度 3° を動く間に25回のパルスが発射される。われわれは $55\ \mu\text{s}$ の $1/4$ でサンプリングするのを目標としているから、4回のパルスごとに一通りのサンプリングが終わる。アンテナが 3° 回転する間に25個のパルスであるから、 $25 \times 1/4 = 6$ で、 3° 回転する間にある地点について約6個の数値が得られる。雲の様子は急激には変化しないし、われわれがほしいのはある種の時間的平均値であるから、1分間ごとの値を求めることを考えるならば、1分間にアンテナは10回転するから、ある 3° の開きを持つ方向に対して、ある地点の観測値が約60個得られる。この60個のA-D変換された値の平均値を用いるのであるから、誤差は $1/\sqrt{60} = 1/8$ となり、精度はおよそ一けたよくなることが期待される。

2.6 現在われわれの行ないうる実験においてはサンプリング間隔と、パルス間隔との関係はあなた任せである。双方が独立の時計で動くから、どのように狂うかわからない。したがって、約 $2\ \text{km}$ の間隔でメッシュを張ったとき、ある区間が何回サンプリングされるか見当がつかない。しかし、上記のように、1区間当たり、平均して約60個のサンプルがとれるのであれば、多分どの区間にもある程度のサンプルが行きわたるであろうと期待した。実際には不幸にして、サンプリング間隔とパルス間隔との比が整数に近く、サンプルの配置はいちじるしくかたより、ある区間には100個、他の区間には5個というような分布になった。

2.7 われわれの計算機の磁心記憶容量は16,000語、A-D変換器のサンプリング速度は18kcであるから、A-D変換を1秒と続けないうちに、記憶装置はあふれてしまう。そこである時間A-D変換を続けたら、少し休んでデータを整理し、またA-D変換を始めるようにする。われわれの計算機は2個のI/Oチャンネルを持っているから、A-D変換進行ちゅうに磁心記憶装置内のデータを処理し、その結果を磁気テープに格納したりすることができる。データ処理に要する演算時間は、処理の程度によって異なるから、はっきりとは言えないが、A-D変換されて磁心記憶装置に順々に詰め込まれたデータを、パルス間隔を法(modulus)にして重ね合わせて並べかえながら累積和を作り、個数をかぞえる計算は、A-D変換に要する時間の5割増し程度でできるようである。

したがってある時間A-D変換し、およそその半分の時間の休みを置いて、次のA-D変換を開始するようにすれば、データ処理がA-D変換とつり合うようになる。

たとえば0.3秒間A-D変換をし、つぎの0.25秒休むのをくり返せば(0.3秒の間にアン

テナは 18° 回転し、0.25 秒の間に 15° 回転する。この 1 サイクルで 33° 回転する)、それを 11 回くり返した所で、アンテナは 1 回転とさらに 3° だけ回転した位置に来る。1 回転と 3° の回転を 11 回くり返せば 11 回転と 33° になるから、その一つ手前、すなわち 0.55 秒のサイクルを $11^2 - 1 = 120$ 回くり返した所で、アンテナは 11 回転し、あらゆる方向は平等に 6 回サンプルされ、5 回休みとなる。これは組み合わせの 1 例であるが、ともかくこのような方法で、すべての方向が一様にサンプルされる。

さらに、1 分間サンプリングを続ければ、 $\Delta r = 2 \text{ km}$ 、 $\Delta \theta = 3^\circ$ の極座標メッシュにおいて、各点に約 60 個のデータがとれると言ったが、今のようにすると、11 回のうちに 5 回が休みであるから、66 秒で 36 個、2 分 12 秒で 72 個のデータがとれることになる。

2.8 TOSBAC-3400 はマイクロプログラミングの計算機であるから、データ処理用のマイクロプログラムをつけ加えることにより処理速度を上げることも期待できる。データ処理の時間が、A-D 変換の時間より短くできれば、一連の A-D 変換は休みなく続けることができる。

2.9 一連の A-D 変換を 1 分間か 2 分間続けた所で、A-D 変換を一応休止して計算を開始する。これが第 2 段階のデータ処理である。A-D 変換と併行して行なわれた第 1 段階のデータ処理により、極座標のメッシュの各点におけるレーダエコーの強さ、またはそれに簡単なアナログ処理をしたものが数値化され、その累積和と、累積回数とが磁心記憶装置に記録される。そこで次のような計算が第 2 段階のデータ処理となる。

(1) メッシュの各点におけるレーダエコーの強さを算出し (累積和を平均値にする)、これを記録として外部記憶装置にしまう。

(2) 各点のレーダエコーの強さを雨量強度に変換する。この場合、地上エコーの消去や、近い所の雨により、遠い所の雨のエコーが減衰する影響の補正を行なえる点で、デジタル処理はアナログ処理にまさる。

(3) 極座標メッシュで与えられた各地点の雨量を直交座標メッシュに変換し、10 段階に分け、空白、1, 2, ..., 9 の数字によりライプリンター上に打ち出す。これは数値化した PPI である。アルファベットその他の記号を用いれば、50 段階程度までを区別して打ち出すことができるが、実際には 10 段階で十分であろう。

人吉レーダの雨量測定範囲は半径 60 km の円であるから、2 km のメッシュでは 60×60 の正方形に入る。われわれのライプリンターでは活字間隔と行間隔の比はおよそ 3 : 5 であるから、5 文字の所に 2 個空所を入れて 3 文字を打ち、100 字 \times 60 行になるようにすれば、ライプリンター用紙 1 ページの中に縦横の比もほぼ正確に雨量強度分布図が出て来る。

(4) 指定されたいくつかの領域の地域雨量を算出し ($\sum_{i,j} r_i P(r_i, \theta_j) \Delta r \Delta \theta$ により計算される)、指定されたいくつかの地点の雨量とともに、磁心記憶装置内のそれぞれの指定番地に累積和を作る。

以上の計算は、すべて磁心記憶装置の中で行なわれるから、計算時間はわずかなものである。ラインプリンターに雨量分布図を出すのにやや時間がかかるが1ページ分だから10秒以内とみてよい。命令を磁気テープから持って来るとき、レーダエコーを記録として磁気テープにしまうときにも、やや時間がかかるが、受け渡しの回数が少ないからたいしたことはない。なお大容量のランダム・アクセス外部記憶装置（つまり大型ドラムまたはディスク）があればさらに便利である（われわれの計算機にはついていない）。

2.10 以上のように A-D 変換とデータ処理とのくり返しが進行するが、30分おきまたは1時間おきに第3段階のデータ処理が行なわれる。

1時間ごと、または30分ごとに、いくつかの地点の地点雨量が集まるから、それを磁心記憶装置内の指定された番地にあるレーダエコーから出した積算雨量と比較する。実測雨量との比較により、レーダエコーによる測定値の補正が行なわれる。それによりいくつかの指定された領域の地域雨量の積算値も補正される。

これらの流域雨量を用いて、河川流量の推定値が算出される。

2.11 第3段階の計算は、外部からのデータの読み込みの手間がかかるが、計算そのものは簡単で、時間もあまりかからない。

2.12 計画をいよいよ実行に移すときになると、いろいろの要求が出るであろうが、計算機の方にはかなりのゆとりがあるから、かなりの要求に応ずることができるであろう。

たとえば、レーダの範囲内のどこかで、15分継続、30分継続、1時間継続の積算雨量がそれぞれ指定の値をこえたときに、ブザーを鳴らすことや、推定流量がある指定値をこえたときにブザーを鳴らすなどのことは容易にできる。

3. レーダエコーをアナログ記録する方法

3.1 われわれのレーダは人吉にあり、計算機は東京にある。そこでレーダの記録を何とかして東京に持って来て解析しなければならない。われわれが最初にビデオテープ（以下 VTR と略記）を利用しようと考えたことはさきに述べた。

3.2 われわれが VTR の利用を考えたのは、レーダのブラウン管 (PPI) 上のエコーを、カメラで VTR に記録しようとしたのではない。レーダのブラウン管は残光性の強いケイ光物質を使っているせいかしらないが、濃淡のニュアンスがよく出ないようである。したがってブラウン管に出す所で、多くの情報が失われてしまう。われわれは最初からエコーの電圧波形を直接記録することを目的とした。VTR の利用を考えたのは、ブラウン管の画像を記録できるほどの性能があれば、エコーの電圧波形の記録に十分であろうと、まず想像したからである。

3.3 われわれは人吉のレーダにおいて、距離 2 km 程度の分解能があればよかろうと考えた。時間にして $15\mu\text{s}=1.5\times 10^{-5}\text{ s}$ である。これは周波数にして 50~100 kc 程度のレコーダを要求することである。われわれはレーダエコーの点の値がほしいのではなく、メッシュに分

けられた区間の平均値の方がほしいのである。前述したように一次遅れフィルタをかけて平滑化したものを数値化した方がよいのである。その点から、ある限度以上の高周波はなくてもよいのではなく、ない方がよいのである。その点で VTR のようにメガサイクル級のレコーダは不適当であろうということに一応なった。VTR の専門家から、回転ヘッドは扱いにくいと忠告されたのである。50 kc 程度であれば、高忠実度 (hi-fi) のオーディオテープでも間に合うのではないかということであった。

3.4 レーダのエコー電圧波形を何かのテープレコーダにとり、これを東京に持ち帰り、再生して計算機に入れることになる。レーダの時計、データ採録時のレコーダの時計、再生時のレコーダの時計、計算機の時計がそれぞれ独立になる。このような悪い条件のもとで、パルス間隔がサンプリング間隔の整数倍でないことを利用して、メッシュをこまかくとることは、望み薄であろうと感じられた。そこでテープレコーダであれば再生の際に速度を落とすこともできるであろうと期待した。もちろん、スロー・モーション・ビデオはわれわれ日常テレビでよく見ているが、大仕掛けのもので、ポータブルで九州に持って行く訳にはいかないし、高価である。

3.5 データレコーダの記録時と再生時の時計が独立であることは、精密な観測においては大きな問題である。対象となる現象が低周波の場合 (100 c/s 以下) であれば、データレコーダの一つのチャンネルに水晶時計による正確な正弦波やのこぎり波を同時記録し、再生時にそれを基準にして補正を施すことにより正確な測定を行なうことができる。このためのソフトウェアも開発され、すでによりよい結果も得られているのであるが、レーダエコーのように高周波を要求される場合にはこの方法は利用できない。われわれの A-D 変換器が 55 μ s で動くのは、1 チャンネルだけを取り続けるときであって、標準波形との比較をしようとして 2 チャンネルをとることになると、サンプリング間隔は 100 μ s 程度に落ちてしまう。

3.6 なるべくならば速度変換可能という条件のもとで、50~100 kc/s までの性能を持つ、ポータブルなレコーダを探すことになった。

ソニーでは高周波までとれるポータブルのデータレコーダを日下開発中で、昭和42年9月に試作第1号ができて展示できる見込みということであったが、われわれは昭和42年9月の台風の観測を目指したから、今年の実験には間に合わない。

ものはためしであるから、われわれは手持ちのソニーの PFM-15 というポータブルのデータレコーダの性能を調べてみた。計算機から 20 μ s の間隔で乱数を発生させて、D-A 変換器で電圧にかえる。これで 25 kc まで一様のパワースペクトルを持つ白色雑音ができる。これをデータレコーダに入れ、再生波のパワースペクトルを見ると、5 kc の所までで、それからさきは急激に落ちている。カタログどおりの性能であって、データレコーダの利用は望みがなくなった。そこで音声用のテープレコーダの利用を考えた。

3.7 テープレコーダとデータレコーダの大きな相違は、前者が低周波成分を記録できない

ことである。人間は 16 c/s 以下の音に感じないから、テープレコーダに低周波は不要である。一方、われわれのレーダエコーはパルスの発射が 500 c/s である。したがって 50 c/s 程度以下の低周波の不規則変動（低周波ノイズ）があったところで、その影響は容易に除去できる。すなわち、パルス間隔が 2 ms であるから、かかる短時間内では低周波変動はほぼ一定値をとると見てよい。そこで図-2に示す

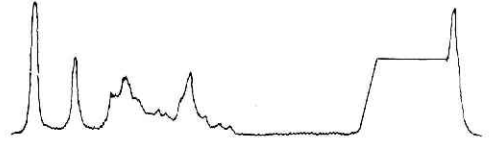


図-2

ように、エコー電波の後の方の雑音ばかりの場所に、何かの基準電圧を入れて置けば、これを使ってドリフトをソフトウェアにより容易に除去できる。問題はテープレコーダの高周波性能である。

3.8 国立防災科学技術センター手持ちのテープレコーダの性能を、データレコーダの場合と同じ方法で調べてみると、パワーは 9 kc まで徐々に直線的に下がっていく。われわれの A-D 変換器は 18 kc であるから、白色雑音を録音し、その再生音のパワーを調べる方法では、9 kc までしか調べられない。しかし、パワーの下がり方からみて、これからさきもこのようにゆるやかに下がっていくものと想像した。実はこれが誤りであったが、もしもパワーがゆるやかに下がっていくのであれば、磁気記録することが一次遅れフィルタのような役をするから、かえって好都合であろうと期待した。

3.9 テープレコーダを持って人吉に行き、レーダエコーを記録し、再生波をシンクロスコープで見ると、図-3の(a)のような山のエコーが、(b)のような波形で出てくる。波形がなまることは覚悟していたが、(c)のような形になることを期待していた。(c)のようであれば無害であるが、(b)のように負の側に振れるのでは補正の方法が思いつかない。思うに高周波で利得 (gain) が下がってくるのを防ぐために、20 kc/s あたりにピークを持つ二次遅れ系を入れているのであろう。その二次遅れ系がきいて(b)の応答曲線が出るのであろう。

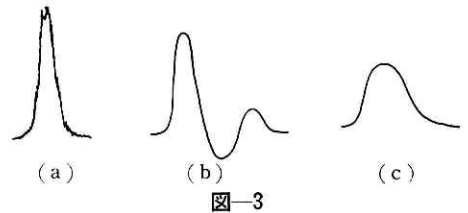


図-3

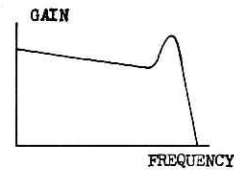


図-4

こうなるとは VTR の利用以外に方法はない。急いで東京に帰って VTR を入手することにした。

4. VTR の利用

4.1 ソニーの家庭用ポータブルの VTR に、水晶発振器の 100 μs の方形波を微分して得た図-5のようなパルス波を記録し、再生してシンクロスコープで見ると、見た目にはほとんど

ど変形しないで出てくる。入れたパルス波形は、レーダの山のエコーとはほぼ似た形であるから、この程度にいけばと安心した。

4.2 この試験をした翌日に、ソニーの技術の人から、あの VTR はテレビ・カメラまたはモニター用テレビと結んだときに、それに同調して動くものであって、任意の電圧波形を記録する目的に対して

は、種々の都合の悪い点があるという注意があった。当方としては、もとより覚悟のうえで、すべての不都合は計算機のソフトウェアで補正するつもりであると答えると、それをご承知のうえで、お使いくださいということであった。

なお VTR をレーダに接続するとき、インピーダンスの点で問題があり、適当なインピーダンス整合回路を作り、それを通じて接続した。

4.3 テレビの画面には、図-6 に示す、実線、点線の2種類の走査線が交互に 1/60 秒ずつ現われる。各走査線は画面を約 250 回横切るから、1 回横切るのにかかる時間は $1/(60 \times 250) = 1/15,000$ 秒である。その間に、その 1/100 程度の精度で模様を表わそうとすれば、 $1/(1.5 \times 10^6)$ 秒の精度、つまり周波数でメガサイクル級の精度が必要になる。

かかる高周波までを磁気テープに記録するためには、テープ速度を上げなければならない。テープ速度だけでは上げきれないから、ヘッドを回転して、テープとの相対速度を上げているのが VTR である。

VTR では、図-7 に示すように、テープは回転ヘッドに対して斜めに走る。したがって電圧波形はテープ上に斜線となって記録される。テレビの電圧波形は画面と画面との間にシグナルが入れてあって、この 60 c/s のシグナルに同調して VTR は動き、テープ上の斜線 1 本が画面 1 枚分を記録する。VTR をレーダに接続した場合には電圧波形上に 60 c/s のスプロケットがないのであるから、VTR がどのように動くか、不安な訳である。

ソニーの家庭用 VTR では、書き込み用の回転ヘッドが 1 個あって、画面を一つおきに記録する。図-6 の走査線の片方だけを記録するのである。再生のときは、読み取りヘッドが 2 個あって、同じ画面を 2 度ずつ再生する。

テレビ用としてはこれでよかるうが、データ記録用としては迷惑な話で、たとえば、これに図-8 のように正弦波を入

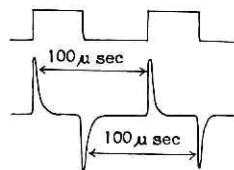


図-5

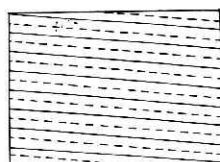


図-6

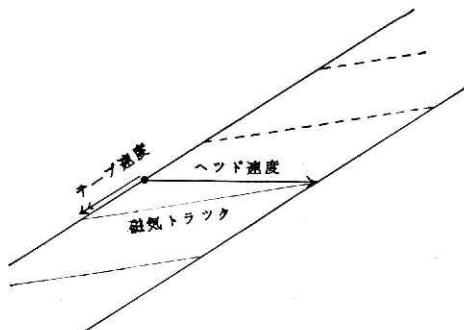


図-7

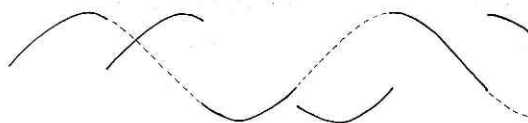


図-8

れると、一部が消え、一部は2度ずつ現われてくる。

4.4 われわれは 50 c/s の電源で用いる VTR を 60 c/s の地域に持って行って使った。実は当方の手落ちであって、うまく動くかと心配したが、50 c/s の電源で 60 c/s のテレビ画面に同調して動く機構は、60 c/s の電源につなぐと 72 c/s 相当の速度で安定して動いた。テレビカメラやモニタと連動しないときは、VTR の動きの調整がとれないという心配も、案ずるほどのことはなく、始動後しばらくは不安定であるが、やがて安定する。

われわれの計算機は 60 c/s 電源であるので、VTR は 60 c/s で再生した。

4.5 図-9 はレーダエコーの再生電圧波形を 55 μ s の間隔で A-D 変換し、その結果をさらに D-A 変換してペンレコーダに描かせた結果である。

パルスからパルスまでの間の1サイクルの後の部分に入れてある台形の波形は、いわばテストパターンで、基準電圧を与えるとともに、立ち上がりの部分が時計の役目をする。

人吉レーダの1サイクルは 2,000 μ s であるから、55 μ s の間隔で A-D 変換すれば約36個の数値がとれる。テストパターン電圧の立ち上がりの所に3個(まれに4個)、上の平らな部分に約10個の数値が得られる。雨量測定用に用いられるのは、前半にある約10個ほどの数値である。

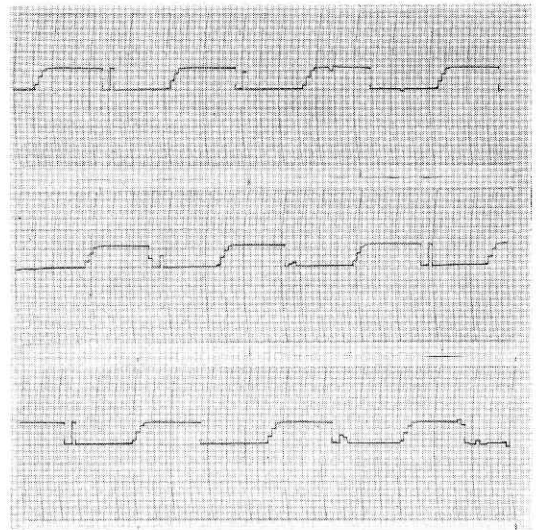


図-9

VTR は 72 c/s 相当の速さで動くから、斜め1本の磁気トラック(元来ならばテレビの1画面に相当)は $1/72 \text{ 秒} = 13.9 \text{ ms}$ となる。これはレーダの1サイクル 2 ms の約7倍である。つまり1トラックにレーダの約7サイクルがのっているが、切れ目の所ではノイズが入ったりするし、つなぎ目が、重なっているのか、少し切れ目があるのか、はっきりしない。どうも規則的ではないらしい。

VTR を本来のテレビに用いる場合には、画面と画面のつなぎの所、つまり磁気トラックの両端の部分はテレビ画像のわくの外に出ようになっているので、このあらは見えないのである。

4.6 磁気トラックのつなぎ目の所が、いくぶん不規則であっても、多数重ね合わせていくうちに誤差は消え、エコーの形が現われてくるであろうと期待した。

実験時の電源の状況により、VTR の速度も、計算機の速度もいくぶん動くであろうから、レーダエコーを重ね合わせるときの法(mod.), すなわちレーダのパルス間隔と、A-D 変換

のサンプリング間隔との比も、変動するであろう。そこで mod. の値を 36 のあたりで、微調整しながら重ね合わせをくり返し、レーダエコーの形がきれいに出る所に、mod. の値を固定すればよい。この微調整のときにエコー波形の後半に入れた台形がテストパターンの役目をすることを期待した。

しかしこの方法はうまくいかなかった。重ね合わせの回数が増していくうちに、像がボヤけてしまう。磁気トラックのつなぎ目の不規則性のためであろう。

4.7 いたし方ないから、テストパターンを基準にして重ね合わせを行なうことにした。テストパターンの立ち上がりの所を探し、その上の 3 点の平均値の高さから、その点の横座標を定める。それを基準にして重ね合わせる。なお磁気トラックのつなぎ目の上に来たパルスサイクルのデータは捨てる。



図—10

図—10 はこの方法で得られたレーダエコーで、人吉の東方 33 km の地点にある市房山に向けてレーダを固定し、そのエコーを記録したものである。なお図—9 の電圧波形を A-D 変換した結果は、この 図—10 の原資料であって、あるサンプリングでは市房山に当たり、他の時には市房山に当たらないから、図—9 では市房山は現われたり消えたりしている。

この 図—10 を出す所までがむずかしかったが、あとは容易である。

4.8 図—10 は市房山方向に固定した場合のレーダエコーであるが、回転するレーダの場合には、たとえば 360° を 3° ずつの 120 区間に分けて、同様のデータ処理をすれば、図—10 のようなエコーが 120 枚得られる。これが $\Delta r \approx 2 \text{ km}$, $\Delta \theta = 3^\circ$ の極座標メッシュに対するレーダエコーの図である。これを直交座標のメッシュに変換したものが 図—11 である。

中央にあるのが山のエコーで、南東にあるのが宮崎方面で降っている雨である。

われわれは今回の実験では北の方角を記録に入れるのに失敗した。VTR には音声用の磁気トラックがあり、制御用のトラックもあるから、それらの利用を考えれば、種々のシグナルを

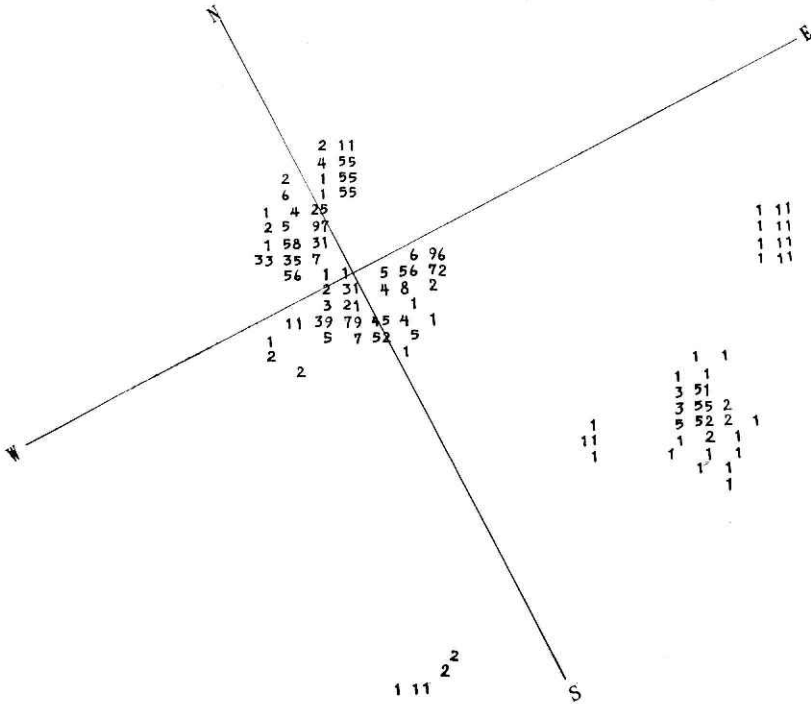


図-11

入れることができる。北の方角は、たとえば首声用トラックに入れ、そこからの再生シグナルで計算機に割込みを掛けて A-D 変換を開始すれば、北の方角が確定する。

図-11では、山のエコーの形が既知であるから、これをもとにして、方位を定めることができる。

4.9 われわれは9月10日から9月末まで人吉にいて雨を待ったが、昭和42年はまれに見る干天で、雨らしい雨はついになかった。山のエコーをVTRにとり、A-D変換の可能性を確認するだけで、今回の実験は終わりかと思ったが、帰る直前になって、宮崎方面に雨が降り、図-11のようなエコーが得られた。ただし降雨域は人吉から60kmほど離れており、これ以上の解析には適していない。したがって、エコーを雨量に変換し、実測雨量と比較し、補正をし、流域雨量を算出する等のプログラムを実施することはできなかった。

5. おわりに

5.1 今回の実験は雨らしい雨がなかったという不幸により、可能性の確認程度に終わった。第2章に述べた実時間解析の問題の大部分のプログラムは、実際にためす機会がなかった。プログラムというものは、実際に組んで動かしてみると、思わぬ所に難問が出てくるものであるが、それらの検討は後日にまきたい。

5.2 今年の実験のむずかしさは、大部分が VTR の扱いであった。レーダと電子計算機との連動という本筋から見れば、VTR の利用は協道であるが、市販の既製品を利用するのではないと、価格がきわめて高くなる所に問題がある。性能のよい音声用テープレコーダの中には 40 kc 程度までの周波数帯域のものがあるようであるから、50~100 kc 程度までのテープレコーダでしかも高周波部分に利得のピークがないものを作ることは、あるいは容易かもしれないが音声用の需要がないから市販されていない。

レーダ用の VTR というものも作られているようであるが（芝電気）、高価である。

5.3 この研究において、計算機のソフトウェア方面の仕事は勝山ヨシ子が担当し、レーダと VTR とのつなぎ、その他の回路の仕事（レーダエコー電圧波形にテストパターンを入れたり、一次遅れを通したり）は、八十島久が担当した。人吉における実験は、菅原、勝山、八十島のほか、幾志新吉氏、渡辺八重子氏の 5 名が当たった。なお VTR にパルス波形を入れ、その再生波を見るなどの予備実験は大村一夫氏が行なった。

5.4 この研究の最初の見通しを立てるとき、東芝中央研究所の渡辺一郎氏（電子計算機）、鷲見氏（レーダ）、八木基氏（VTR）と一緒に検討した。

また、沖電気の伊藤勝氏は、人吉レーダとレコーダとの連結について、種々検討していただいたし、また、9 月末に人吉レーダの修理に来たおりに、VTR のつなぎに協力していただいた。

VTR を本来の目的と異なる高周波用のレコーダに使うことについては、ソニーの方々にいろいろ親切なご協力を得た。

ここにあわせて感謝したい。

(1967年11月29日原稿受理)