2台の地震計の間の相関係数を計算する デカトロン計数器

東京大学理学部地球物理学教室 安 芸 敬 一

(昭和 31 年 7 月 12 日受理)

Automatic Computer of Correlation Coefficient between Signals sent from two Seismometers by the use of Decatron Counting Tube

Keiiti AKI

(received July 12, 1956)

A simple electronic computer was set up for the computation of correlation coefficient between signals sent from two seismometers. This computer is based on a simplified method of computing correlation coefficient proposed by Y. Tomoda, so that the components of computer are very simple; for instance, the multiplication can be done by the use of frequency converting tube and the addition by the Decatron counting tube.

The computation of correlation coefficient is performed at the same time as the observation. This computer was applied to clarify the characteristics of the tremor of ground and proved its effectiveness. The time required for the computation of one correlation coefficient was less than one minutes.

This computer will be applied most effectively to the following problems; 1) to determine the spacial mode of vibration of buildings, 2) to determine the direction of propagation of waves having rather long duration.

§ 1. 緒 論

地震波動、常時微動、脈動あるいは火山現象に附随する振動など、われわれの扱う土地の振動について、その時間的特性を統計的にしらべる試みは、すでに多くの人々によつて試みられている。しかし、その空間的特性を統計的にしらべたものは数が少い。又時間的特性については、電気計算器を応用して速やかに計算しようとする試みがあるが、空間的特性については、未だそのようなことは行われていないようである。

この論文では、空間的特性を統計的にしらべるという方法のなかで最も簡単なもの、つまり2台の地震計の画く振動波形の間の相関係数を計算する電子管装置を考えた。観測しながら2台の地震計から時々送られてくる振動波形を常にくらべあつて、観測終了と同時に計算が完了するのである。

相関係数の計算には、われわれがしばしば用いて来た友田の方法を用いる。即ち原振動を符号系列におきかえ、その符号系列について計算した相関係数から、真の相関係数を推定する。

一方の地震計を A, 他方を B とすると, 時々刻々お互いに符号をくらべあうと, 次の 4 つの場合がある.

A	B	
+	+	—
—	—	— n_+
+	—	—
—	+	— n_-

ある期間にわたつて, N 回符号をくらべたとし, その間に A, B の両方とも符号の同じであつた場合の数が n_+ , 符号が異つた場合の数が n_- とすると, $n_+ + n_- = N$ となる. ここで

$$r = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}$$

とおくと, 友田によつて, 真の相関係数は

$$\rho = \sin \frac{\pi}{2} r$$

となる.

以上の計算のプロセスを電子管回路で行うためには, 先ず振動波形を符号化する必要がある. 筆者の用いた地震計の固有周期は 10 c/s であるので, 相続く符号の間隔は 1/50 秒の程度とした. 一波の間に 5 個の点で符号をしらべることになる.

§ 2. 回 路

回路図はあとで一括して示すことにするが, 先ずパルス発生器から, 第 1 図 a のような 1/50 秒毎のパルス系列を得る. これはサイラトロン¹⁾の発振回路で, 1-shot マルチバイブレーターを駆動したものである. このパルス系列を用いて, 先ず地震計 A の振動波形が正の符号をもつ場合だけを選び出す. A の振動波形を第 1 図 b の如きものとする.

周波数変換管たとえば 6SA7 の 2 本の制御グリッドに, a, b の波形を入力として入れると, その出力に両者の積があらわれる. それは, 第 1

Fig. 1. a; pulses from a pulse generator, b; signal from the pick up A, c & d; series of pulse which exists at the time of positive $x_1(t)$. e; signal from the pick B. f & g; series of pulse which exists at the time of positive $x_1(t)$ and positive $x_2(t)$

つまり入力パルス 10 個毎に出力パルスが 1 個することになる、それ故 この出力パルスでもう 1 つデカトロンを働かせると、入力 100 個に対して 1 個の出力パルスが得られる。

ある時刻から、パルス発生装置を働かせ、ある時間後にそれを止めると、デカトロンは、そのときに放電していた状態で静止する。それ故 2 個あれば 100 までのパルス数が算えられ、3 個あれば 1000 まで算えられる。筆者は 100 以上を、リレーを通して度数計で算えさせた。

以上までの演算回路を、ブロックダイアグラムにして示すと、第 3 図のようになる。これは n_+ を計算する回路であるが、 n_- の計算には、Pick up A あるいは B のどちらかについて、Inverter の 2 つの出力を左右とりかえればよい。

具体的な回路として、Pick-up A 及び B の符号が両方とも正である場合の数 N_{++} を算える回路を、パルス発生回路からデカトロンの入力に入れるパルス系列をつくる所まで第 4 図に示した。

装置の概観を第 5 図の写真に示した。

Fig. 3. Block diagram of apparatus.

Fig. 4. Circuit to compute N_{++} .

Fig. 5. Main part of the apparatus.

Fig. 6. Distribution of correlation coefficient in the courtyard of our laboratory; the pick up A is located at a fixed point and the pick up B is moved to be located at the points in the figure.

§ 3. 応 用 例

その 1. 東京大学の地球物理教室構内での常時微動の空間的相関性をしらべた。その結果を第 6 図に示す。Pick-up A を坪井実験室のコンクリートブロックの上に置いて、Pick-up B を各点に移動させて、相関係数を求めた、振動方向は建物に沿った線に直角な方向とした。先ずコンクリートブロックの上では、どこにおいても、 $+0.99$ の値が得られた。これが丁度 $+1.00$ にならないのは、2 つの地震計の特性の相異が僅か乍らあるためであろう。次に Pick-up B をコンクリートブロックから、板間に移すと、途端に $+0.85$ に値が下る。図中には示さなかったが、B をたとえば机のようなものの上におくと、相関は殆んど零になる。B を建物の外におくと、窓の直ぐ下で $+0.60$ となる。興味あることは、2 つの建物の間にはさまれたこの中庭では、相関係数の負の値が生じていることである。これは、中庭の中央部と坪井実験室のコンクリート・ブロックが互いに逆方向に(建物の線と直角な方向で)振動していることを示す。

又図の右下で相関係数が建物に沿って右に行くと急に小さくなり、更にはなれるとやや大きくなるのは、丁度そのそばに、人の出入の激しい研究室があつて、そこから、雑音が発生しているためである。

その 2. 同じく地球物理教室構内で表玄関の前に、今度 2 台とも表へ出して、地上の常時微

動の空間的相関性をしらべた。第 7 図上に示したように、振動方向を 2 台とも同じにとり、そ

Fig. 7. Correlation coefficients between ground tremors at two points apart r m from each other.

の振動方向に沿つて距離をかえて観測した。昼と夜について行つたが、常時微動は昼と夜で顕著に異い、昼は 6 m もはなれると無相関になる。一方夜は、12 m 位はなすと負になり、20 m 位はなすと再び正となつて、明らかに波動性が見られる。この相異は、昼間は建物の中、あるいは外に大勢の人々がいて、それによつて遠方から来る比較的規則正しい波が乱されるためと考えられる。

浅田・赤松によると、地球物理教室で観測される常時微動には 10 c/s、の周波数の波が卓越している。今常時微動のモデルとして、次のようなものを考える。周波数 10 c/s の平面波があらゆる方向から出たためにやつてくるとしよう。どの方向も振巾 2 乗平均は同じで、且つ方向について互いに独立とする。 θ 方向から来る平面波だけを x 方向の測線で観測すれば、測線上の波長は $\lambda/\cos \theta$ である、それ故これだけならば、相関曲線は $\cos 2\pi\{(\cos \theta/\lambda)x\}$ となる。あらゆる方向から一様に波がくるとして、それらが互いに独立であれば、 θ 方向の平面波によつて点 A に生ずる振動を $y(\theta, A)$, B に生ずる振動を $y(\theta, B)$ とおいて、

$$\overline{\sum_{\theta} y(\theta, A) \times \sum_{\theta'} y(\theta', B)} = \sum_{\theta} \overline{y(\theta, A) \times y(\theta, B)} \quad (1)$$

となる。 θ と θ' の値のちがうものは互いに独立だから、掛けて平均すると零になる。

同様振巾自 2 乗平均も、

$$\overline{\sum_{\theta} y(\theta, A) \times \sum_{\theta'} y(\theta', A)} = \sum_{\theta} \overline{y(\theta, A) y(\theta, A)} \quad (2)$$

となる。あらゆる方向で振巾 2 乗平均が等しければ、(1) 式と (2) 式の比である相関係数について、

$$\rho = \sum_{\theta} \rho(\theta)$$

となる。 θ 方向について、一様であるから、 $\cos \{2\pi(\cos \theta/\lambda)x\}$ を θ について集めればよい。

$$\rho = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \cos \left\{ 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \theta \right\} d\theta = J_0 \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right)$$

平面波があらゆる方向から独立にくるとすると、ある測線に沿った相関曲線は $J_0\{2\pi(x/\lambda)\}$ であらわされる。

実際の常時微動は、定った波長をもつ平面波のあつまりではなく、遠くはなれると無相関になるようなものであるから、 $J_0\{2\pi(x/\lambda)\}$ に e^{-kx} が掛つたような形になるであろう。いずれにしても、零点はたいして変らぬから、波長を相関曲線から求めることが出来る。

この場合には、波長は 20 ± 1 m の程度に得られるから、周波数 10 c/s として、波の伝播速度は 200 m/s ということになる、

§ 4. その他の用途

i) 建築の振動の空間的モードを極めて速やかに調べることが出来る。たとえば前節でのべた例では、各点の相関係数の値は 1 点について 1 分以内でしらべたものである。

ii) 火山性微動、あるいは脈動のような定常的振動源の方向を簡単にきめることが出来る。波面に沿った方向には、相関曲線は理想的には至る所 1 であつて、仲々減衰しない。又波面に直角な方向に沿った相関曲線は、直接波長を与える。

iii) 磁気テープ、磁気ディスクのような遅延回路を入れれば、時間的に亡らした 2 点間の相関係数、即ち A と B との相互相関係数が求められる。その場合には 2 点を固定しておいても、伝播速度がわかつていれば、伝播方向を知ることが出来る。3 点観測すれば、両方ともきめられる。この方法は 3 点に地震計を固定しておけばよいから地震波動のような、短時間の現象でもその方向をある程度定めることが出来ると考えられる。

iv) 2 台の地震計を 10 m もはなすと、常時微動に対しては、相関係数が大体において 0 に近づく。これに対して、地震波は比較的波長も長く、10 m 程度では、どの方向に対しても、相当大きい正の相関をもつのではないかと考えて、この装置を微小地震の検出という目的に応用して見たが、交通機関の不一樣な活動に乱されて、効果は上らなかつた。

§ 5.

おわりに終止激励下さつた坪井先生、貴重な助言を頂いた浅田、友田両氏に厚く感謝する。なお本研究の一部は文部省科学研究助成補助金によつて行われた。