

和歌山における局所地震前後の微細土地 変動の研究 (第3報)

田 中 寅 夫

STUDY ON RELATION BETWEEN THE LOCAL EARTHQUAKES AND THE MINUTE GROUND DEFORMATION AT WAKAYAMA (PART 3)

by *Torao TANAKA*

Synopsis

Tiltmetric or extensometric observation of the ground deformation is usually disturbed by meteorological, tidal and other unknown sources. So, for the investigation of the minute ground deformation related with earthquake occurrence, it is necessary to remove these disturbing effects from the observational results.

As one method available to this purpose, "filtering method" was devised and tentatively applied to the real observational data.

1. 緒 言

傾斜計あるいは伸縮計によって観測される地殻変動記録は、一般に地球潮汐、海洋潮汐による海水荷重、気圧、気温、降雨等の気象的变化、さらに地下水位の増減によって生じる土地の変形、その観測点個有の変形等がその主要部分を占めている。もし地震の発生と関連をもつ地殻変動が起ったとき、その量が上に述べた諸量（ここでは地震の発生と関係した地殻変動を観測する妨げになるものであるから擾乱要因と呼ぶことにする）より大きい場合には、その存在を検出することは比較的容易であるが、同程度あるいはそれ以下の微小な変化の場合には、何等かの方法によって、これらの擾乱要因を取除いて地震発生と関係した地殻変動を識別することが必要になる。この地殻変動を検出する方法として次の二つの方法が考えられる。

第1は上記の各擾乱要因によって生じる土地の変形を定性的、定量的に決定し、これを除去する方法、第2は適当な filter を使用して地震と関係した地殻変動のみを取出す方法である。第1の方法は、いわゆる正攻法であり、最も望ましいものであるが、これを完全におこなうことはもちろん不可能であるから何等かの近似的な方法を採用するより仕方ないと考えられる。その第一段階として、簡単な近似が成立するとの仮定のもとで解析した結果を、第1報および第2報で報告してきた。そこで得られた結論は、和歌山地方で発生する局所地震と1対1に対応する地殻変動が存在するとしても、たかだか擾乱の数分の1程度と考えられるので、更により精度をもつ近似方法で各擾乱を取り除くことが必要であるということである。したがってこの方法について更に追求していくことはもちろん必要であるが、今回はこれとは全く立場を変えて第2の方法を採用した予備的な考察をおこなったので、それについて報告する。

2. Filtering による解析

ある一つの観測された土地の変動量、例えばある方向の傾斜変化を、一つの時系列とみなす。地震の発生

と関連した地殻変動を信号、潮汐等によって生じる擾乱を雑音と考えるとき、我々の問題は雑音を含んだ時系列から信号のみを取り出す操作をおこなうことになる。一般的にみて雑音とみなした各擾乱は周期性を持ち、信号とみなした地震発生に伴う地殻変動は非周期性を示す(もし地震発生が周期的でないならば)と考えられる。もし我々がこの信号の性質を知っているときには、この信号のみを通過させ、他の雑音は通過させないような filter を使用することによって、信号を取り出すことが可能になる。しかしながら残念なことに我々はこの信号に関する何らの知識を持たないのみならず、その観測の可能性についても確証を得ていない段階にある。したがって第2の方法を採用するには、種々の filter を作りこれを与えられた時系列に一つずつ適用してみて、得られた時系列と地震発生との対応を検討することによって信号を識別するという方法をとらざるをえない。すなわち適当な filter を観測された時系列に適用することにより S/N 比を大きくする filter を見つけたという手続きを取るようになる。それでは一体どのような filter を使って filtering をおこなうかについては議論のあるところであるが、まず最初の段階としては、適当な帯域幅を持つ band-pass filter を採用し、これをそれぞれ異った周波数に関して作り順次適用していくという手続きをとることにする。なおこの方法と関連してスペクトラムによる方法、例えば地震前後の適当な期間と、地震の発生していない期間について、それぞれスペクトル解析しその比較より地震発生と関係した地殻変動を見出すという方法も考えられるが、これについてはこの報告では触れず又の機会にゆずりたい。

3. 一つの解析例

従来より数日以上にわたる比較的緩慢な土地の変動を調べる目的でしばしば用いられている filter として、25時間の等加重移動平均がある。移動平均とは一般に t 時における、ある観測された値を x_t とするとき、総和が1となるような適当な常数 w_k (重み) をもちいて得られる新しい時系列 \bar{x}_t

$$\bar{x}_t = \sum_{k=-n}^m w_k x_{t+k} = w_{-n} x_{t-n} + \dots + w_{-1} x_{t-1} + w_0 x_t + \dots + w_m x_{t+m}. \quad (1)$$

を求める操作である。

今、重み w_k の包絡線の形を示すような重み函数 $w(t)$ を使用して近似的にこの加重移動平均の周波数 response $R(f)$ を求めると、よく知られているように

$$R(f) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t) \exp(2\pi i f t) dt \quad (2)$$

となる。

重み w_k の等しい移動平均の response は

$$w(t) = \begin{cases} 1/T & |t| \leq T/2 \\ 0 & |t| > T/2 \end{cases}$$

とおくことにより(2)式から

$$R(f) = 2 \int_0^{T/2} T^{-1} \cos(2\pi f t) dt = (\pi f T)^{-1} \sin(\pi f T) \quad (3)$$

と表わされる。ただし T は filtering interval である。したがって25時間の等加重移動平均の周波数 response は(3)より

$$R(f) = (25\pi f)^{-1} \sin(25\pi f) \quad (4)$$

となる。この response は **Fig. 1** の曲線 a に示す通りである。

図より明らかなように、25時間の等加重移動平均をとることにより25時間、12.5時間、……周期の変化は完全に取除かれるので、潮汐の1日項、半日項あるいは気象擾乱による日変化等はほとんど除かれ、約2日より長い変動のみを取り出すことができる。秋葉山観測所で観測された1960年5月24日から6月3日までの期間のN-S方向傾斜計の記録より読み取ったなまの値を **Fig. 4** に曲線 o で示したが、これの25時間の移動平均を取った結果が曲線 a である。 a の5月のおわりの曲りは降雨による土地の変動と考えられる。た

だし等加重移動平均の response が一部分で負になるため polarity の逆転が生じ、その結果見掛上の変動が混入するという欠点が存在する。このように25時間の移動平均を取ることによって、もし2日から数日にわたる地震と関係した変動が存在するならば、降雨等の気象変化による長周期の変動を含んではいるがかなり有効に検出できる。

次に1日以内の短かい変動に着目するために重み $w(t)$ が

$$w(t) = 1/\sqrt{2\pi} \cdot \exp(-t^2/2) \quad (5)$$

なる正規分布曲線で表わされる filter を作ってみる。(5) 式中の単位は時間とする。この $w(t)$ で表わされる filter の response は(2)式より計算され

$$R(f) = \exp(-2\pi^2 f^2) \quad (6)$$

となる。計算の便宜上 $w(t)$ の型は一定にして data interval をそれぞれ8時間、4時間、2時間、1時間とするならば、各々の response 曲線は **Fig. 1** 及び **Fig. 2** の b, c, d, e で表わされる。なお **Fig. 1** 中の曲線 d と **Fig. 2** 中の曲線 d は同じものである。前に述べた傾斜変化について、これらの filter を使用して求めた結果を **Fig. 4** の曲線 b, c, d, e で示す。

data interval が8時間の filter ではその response が25時間の移動平均のそれとよく似ているので、求められた曲線も互によく似た様子を示している。

次にこれらの各 filter を組み合わせることにより band pass filter が得られる。data interval が4時間と8時間、および1時間と4時間の各 filter を組み合わせて得られる2つの band pass filter の response および filtering の結果を **Fig. 3** および **Fig. 4** の曲線1と2で示した。両者はそれぞれ周期が約20時間および10時間の附近に response の頂点をもっている。したがってこの filter により計算された結果は、潮汐影響等の日変化あるいは半日変化の項をそれぞれ多く残した形となっている。またもとの時系列から data interval が1時間の正規分布曲線型 filter (曲線 e) を引くことにより high pass filter が得られる。この response は

$$R(f) = 1 - \exp(-2\pi^2 f^2) \quad (7)$$

で表わされ、**Fig. 2** の破線 (**Fig. 3** の曲線3も同じものである) で示されるような特性を持っている。同じ秋葉山でのN-S方向の傾斜変化について、この filter を使用したときの結果を **Fig. 4** の曲線3で示す。

Fig. 3 の response 曲線が示す通り周期が12時間程度の変化に対しても response が0.2という無視できない値を示しているため、この high pass filter によって求めた曲線 (**Fig. 4** の3) 中に半日周期の潮汐による影響が残っている。以上の計算は予備的な考察のためおこなったものであり、使用した band-pass filter あるいは high-pass filter 共、response の形は我々が望んでいるものよりかなり特性が悪いため、求めた時系列は相当幅の広い周波数までも含んでいる。したがってこれから直ちに地震発生と地殻変動の関係を議論することはさしひかえたい。

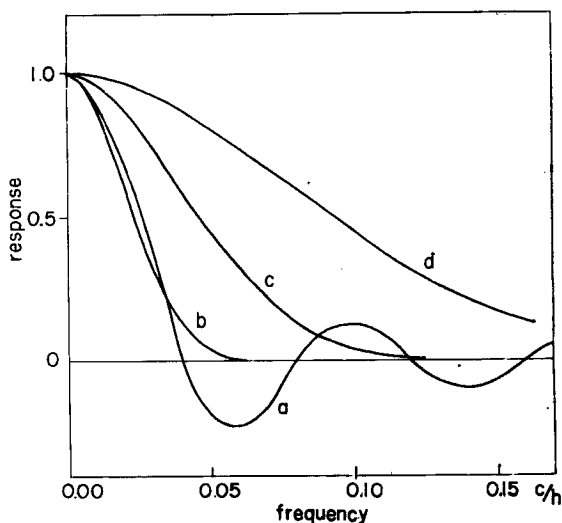


Fig. 1 Frequency response of an equally-weighted running mean and of normal probability curve smoothing function. Curve (a) is response of the 25-hour running mean. Curves (b), (c) and (d) are response of normal curve smoothing functions having 8-, 4- and 2-hour data intervals computed from equation (6), respectively.

4. 結 語

以上地殻変動観測結果から地震の発生と関連した地殻変動を検出する目的のもとに、filtering をおこなう方法を適用するための予備的な計算の結果を述べてきた。もちろん実際の資料を解析するときには、このような比較的なだらかな response をもつ filter では我々の目的に不充分であり、適当な帯域周波数をもち、できるだけ矩形に近い形の band pass filter を使用する方が効果的であると考えられる。そのような filtering をおこなった上でさらに第1報、第2報に述べたような方法を適用すると一層効果的であろう。現在、大浦および秋葉山地殻変動観測所で観測した1年間の資料に関して、この方法を適用するべく準備中であるので、その結果については次回に報告するつもりである。

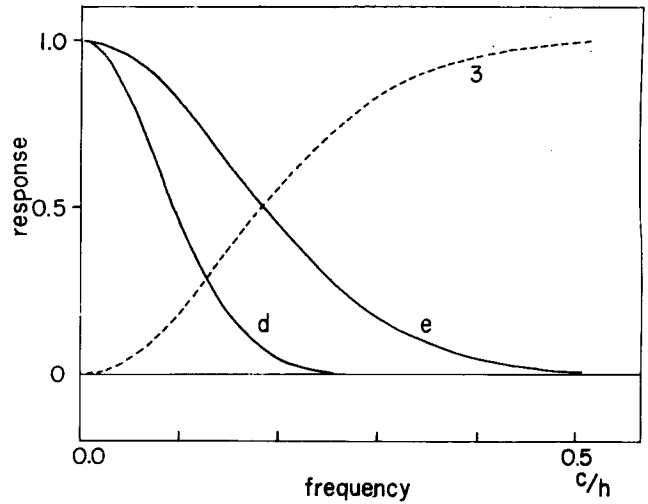


Fig. 2 Frequency response of normal probability curve smoothing functions. Curves (d) and (e) are response of normal curve smoothing function having 2- and 1-hour data intervals computed from equation (6), respectively. Dashed line is response of the high-pass filter generated by normal curve smoothing function having response of curve (e).

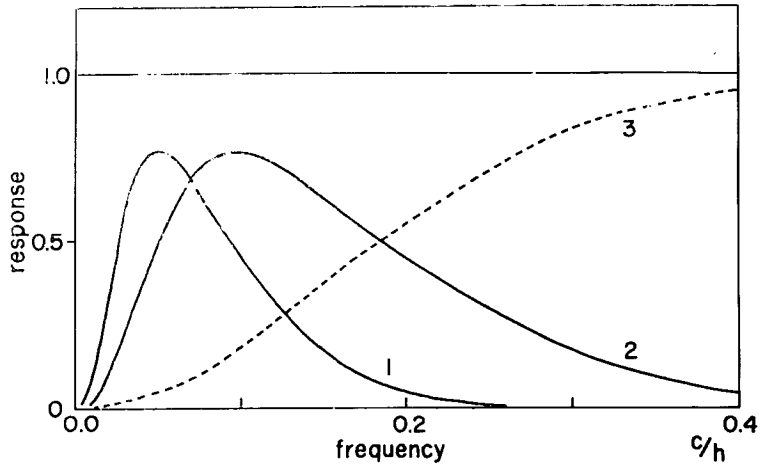


Fig. 3 Frequency response of same high-pass filter (dashed line) as shown in Fig. 2 and band-pass filters. Curve (1) is response of band-pass filter generated by two normal curve smoothing functions having 8- and 2-hour data intervals, and curve (2) is that having 4- and 1-hour data intervals.

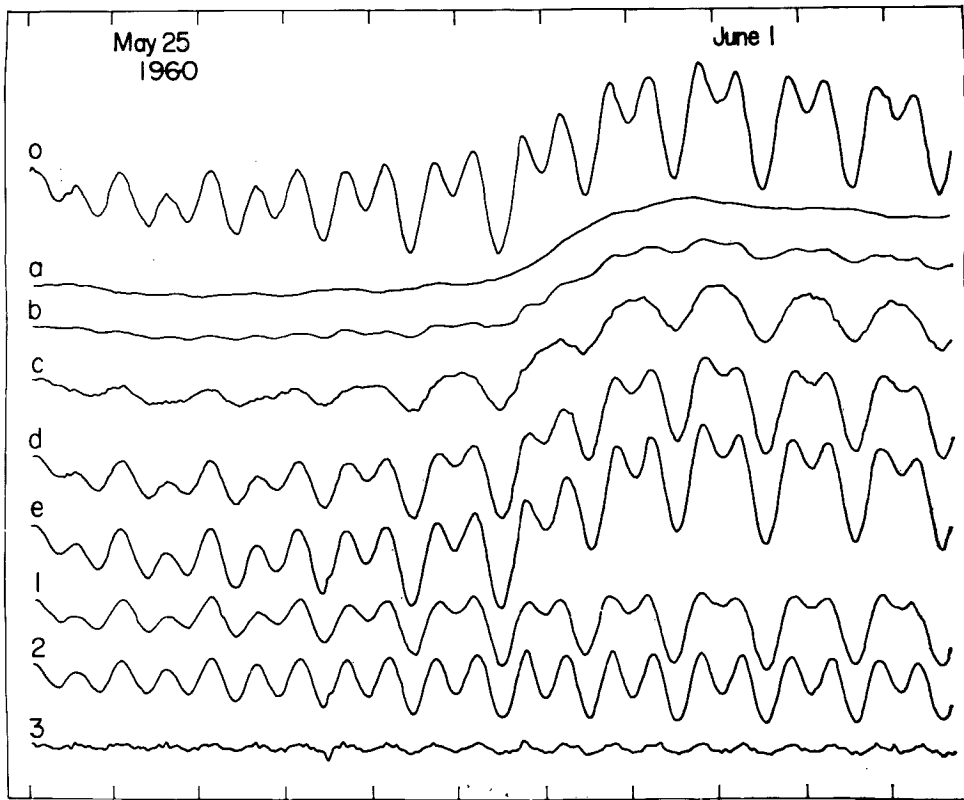


Fig. 4 Examples of filtering of the ground tilt in the N-S direction at Akibasan Observation Station in Wakayama City. Curve (o) is the original ground tilt. Curves (a), (b) and others are filtered time series by filters having response corresponding to curve (a), (b) and others in Fig. 1, Fig. 2 and Fig. 3.

終りに臨み、終始変らぬ御指導を給わった西村英一教授に深甚なる謝意を表すると共に、有益なる助言を頂いた岸本兆方助教授に厚く御礼申し上げる。また計算に御尽力頂いた松村律子氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

J. Leith Holloway, Jr. : Smoothing and filtering of time series and space fields, *Advance in Geophysics*, Vol. 4, pp. 351-389.

岸本兆方, 田中寅夫：和歌山における局所地震前後の微細土地変動の研究（第2報）*京都大学防災研究所年報*, 第6号, 1963, pp. 17-24.