

各成分間における初動時刻の差について*

宇佐美 竜夫**・小川 辰郎**

550. 341

§ 1.

走時曲線を引くときに、まず問題になるのは初動の発震時である。中央气象台では各成分ごとに分マークと次の分マークの間で記録紙の送りの早さは一樣であると考えて、内そうまたは外そうにより発震時を求めている。それは、各成分ごとに全く同じ相を読みとっているのならほぼ同じ値を示すはずであるけれども、実際はいろいろな誤差のために多少の差が生ずる。そこで、これらの値の中、最も早いものを初動の発震時として採用する習慣がある。それなら、このような発震時の決め方がはたして正しいのだろうかということが問題になる。それを問題にする前に、むしろ、3成分間の読みとりの差の性質を調べてみる必要がある。まず、誤差から考えよう。

考えられる誤差として次のものがあげられる。

1. 読みとりの誤差

- a. 各成分ごとに同一の相を初動として読みとっているかどうか
- b. 読みとりの個人差

2. Time keeping による誤差

- a. ドラムのひずみおよび回転の不整・記録紙のはり方
- b. 刻時用時計の日変化の不規則・報時受信の誤り
- c. relay およびタイムチェックによる遅れ

上述の 1, 2 の誤差を考えずに読みとり値そのままを使った議論⁽¹⁾もあるけれども、まず、1, 2 の誤差の程度を考えてみよう。

また、最近 1 の誤差のないと考えられる記録のよい例を得たけれども、走時曲線を引くについて問題が生じたので、あわせて、簡単に報告する。

§ 2.

例を示すまえに誤差の程度について考えてみる。

現在では 1/10s のけたまで読みとる習慣である。したがって、2.c による遅れは無視できる。

1 の読みとりの誤差には、相をはさむ 1min. の長さが読めないときに、代用する 1min. の長さと同じ 1min. の長さとの誤差も含むものとする（これについては 2a のところでのべる）。

* T. Usami and T. Ogawa: An Example of Time Differences of Initial Motion between Three Components

** 中央气象台地震課

1min. の長さを l mm, 分マークから相の立ち上りまでの長さを x mm とすると, x の読みの個人差は相が明りょうなときには 0.5mm を越えない. 大部分は 0.3mm 以下になる. 相が不明りょうなときには 1mm 以上に達する⁽²⁾. l の読みの個人差は 0.3mm 以下である. 相の立ち上りの時刻の分のフラクションを t sec とすると,

$$t = 60 \times x/l \dots\dots\dots(1)$$

$$\therefore \Delta t = \frac{60}{l} \Delta x - 60x \frac{\Delta l}{l^2} = \frac{60}{l} \Delta x - t \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots(2)$$

したがって, Δt は t を含むから t とともに変化する. したがって, t の値によっては考えている相のすぐ後の分マークを基準にして時刻を求めるほうが誤差が少なくなる.

2b の誤差のうち報時受信の誤りは 0.1s を越えないと考えられるし, 0.1s の精度なら個人差はないとしてよい. また, 記象紙からの読みとり値に加えられる ΔT は chronograph による正しいものと, 1日2回の報時受信から内そうしたものとの差は 0.5s に達することはほとんどなく, 大方は 0.3s 以内であることが筆者の実験からわかっている.

2a の誤差は (1) 式の x および l にきく誤差である. 分マークと次の分マークの間では回転は一樣と見れば, x の誤差は相がはっきりしていれば, 描線の太さによるものと紙のはり方, 延びによるものとに分けられる. 前者は 0.07mm 以下である. かりに大きく見積っても 0.1mm 以下と考えられる. 後者によるものは資料がないので除外する.

l の誤差には, l の読みの誤差, つまり, 描線の太さによる誤差 (変位式タイムチェックの場合. 吸上げ式のときにはこの誤差はない) および個人差と相をはさむ 1min. の l がよめないとき, これに代用する l と正しい l との差がある. 後者については宇田川⁽⁴⁾の例があるけれども, ドラムの回転の不整のためか, あまりよい例ではない. Fig. 1 は各測候所の記録紙から 1min. の長さを次々に読みとったもので, 大体周期的* に同じ形がくり返されている. この曲線を第1近似として

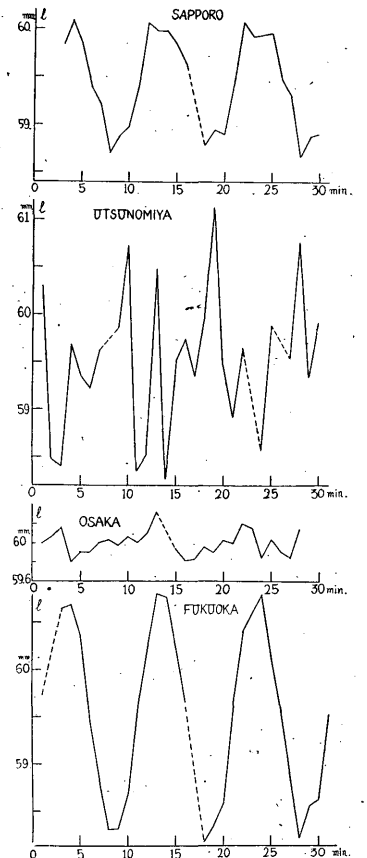


Fig. 1

* これは 1min.=60mm の送りの観測所についての話で 1min=30mm の送りの所では, 周期性を示す所は少ない.

$$l = A + a \sin \frac{2\pi}{T} t \dots\dots\dots (3)$$

とおく、これからわかるように、 l は毎分変化しているのに、相をはさむ l が読めないときに、その前の 1min または数分の平均の l をとることは正しくない。むしろ、1周期 (10min) 前の l を使ったほうが正しい。しかし、大阪、宇都宮のように、はっきりした周期性を示さないものもある。こういうときには地震の前の数分 (できるだけ長く) の平均をとれば、それは A に近づくから、そのとき $\Delta l \leq a$ となる。これがいちばんよい方法である。したがって、routine 観測に当ってはドラムの性質をあらかじめ調べておいて、それに応じて適切な l を使うようにしたほうがよい。しかし、普通は初動ならば l として地震のすぐ前の 1min. または数分の平均をとっている。そこで、 l として地震の前 $\frac{T}{n}$ 時間の平均をとるとすると、

$$l - A = \frac{a}{T/n} \int_s^{s+\frac{T}{n}} \sin \frac{2\pi}{T} t \cdot dt = \frac{an}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{n} + \frac{2\pi}{T} s \right)$$

$$\therefore \Delta l = \left\{ \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{n} + \frac{2\pi}{T} s \right) - \sin \left(\frac{2\pi}{T} s + \frac{2\pi}{n} \right) \right\} a \dots\dots\dots (4)$$

Table 1 は (4) から計算した $\Delta l/a$ の値である。表中の s が () 中の値をとるときには符号が変る。また、 Δl は s について周期 T を持つ。Table 2 は Fig. 1 から読みとった a の値である*。

Table 1

$n \backslash s$	$0 \left(\frac{T}{2} \right)$	$\frac{T}{8} \left(\frac{5}{8} T \right)$	$\frac{T}{4} \left(\frac{3}{4} T \right)$	$\frac{3}{8} T \left(\frac{7}{8} T \right)$
2	0.6366	0.257	1.0000	0.257
4	-0.3634	0.1944	0.6366	0.7071
10	-0.2838	-0.1107	0.1421	0.1284
20	-0.1540	-0.085	-0.004	0.131

Table 2

Station	a sec
Osaka	0.25
Mito	0.8
Utsunomiya	1.4
Nagoya	0.8
Fukuoka	1.3
Sendai	1.2
Sapporo	0.7
Tokyo	0.3

以上の誤差を総括すると、

2c によるもの 0

2b によるもの $< \pm 0.3s$

1 によるもの (2) 式による

2a によるもの $\Delta l \leq a$

および l と a の読みの個人差がある。

これらのうち、2b によるものは同一の刻時用時計を使っている以上、各成分とも同じ sense の

* この a の値は次節にのべる房総沖地震のときの値ではない。

誤差となって現れるから、成分間の発震時の差を考えるとときには問題にならない。したがって、ここで問題になる成分間の差はすべて (2a) によるものも、1によるものも、個人差も) (2)式に要約される。Table 1, 2 および誤差 1 を考えると、つごうの悪いときには、相がたとえ明りょうであっても、上下・水平の成分の間に約 3s の差の生ずることがありうる。これは十分注意しなければならないことである。

§ 3.

最近、1953年11月26日02時48分ころの房総沖地震 ($\lambda=141^{\circ}55.3'$, $\varphi=34^{\circ}03.7'$, $H=76\text{km}$) の調査中に、初動の発震時が各成分で異なるために大いに困惑したので報告し、お教をを請いたい。

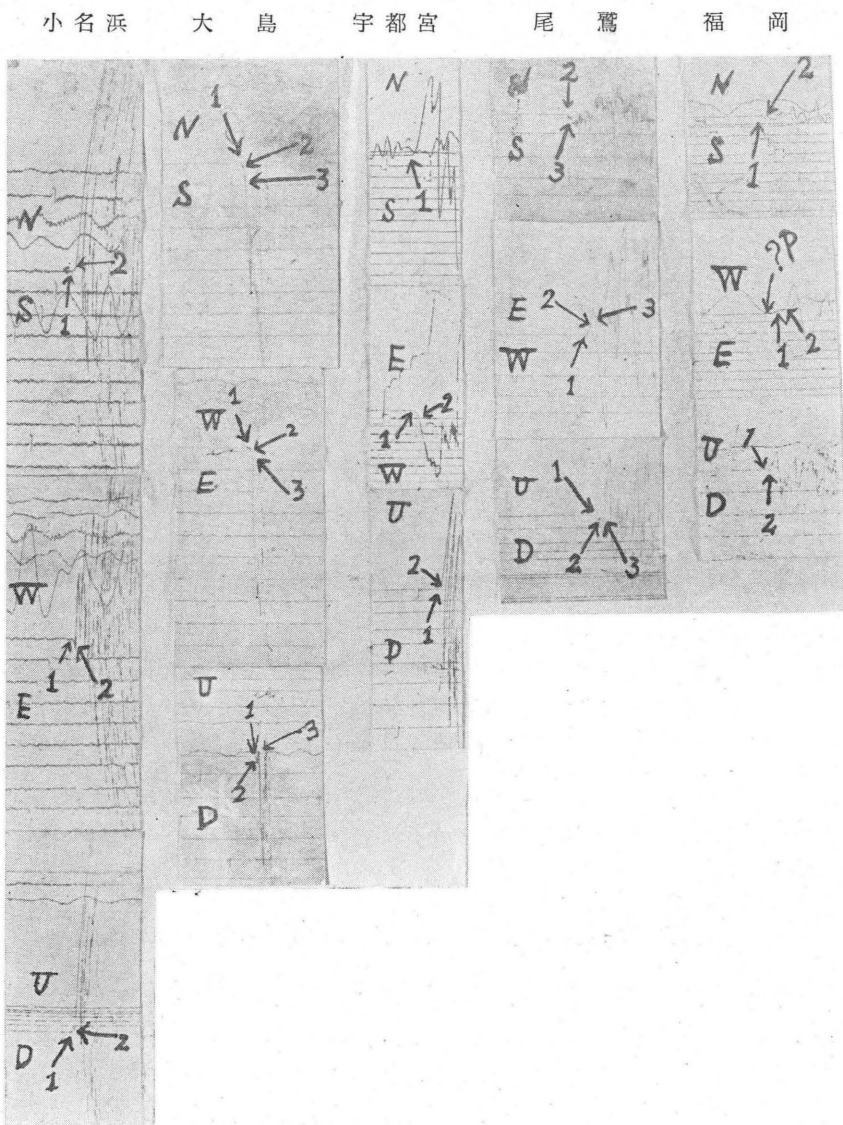
Table 3

		Phase			t_a 分と 時刻 の差	刻時 時計の 日 差	備 考
		Phase 1	Phase 2	Phase 3			
大 島	N	28.94	30.14	29.41	50	0.9	NとEとZの波形はよく似ている。しかもZはNやEより2s早い。各 phaseともN,E,Zの時刻差はほとんどひとしい。走時よりZの時刻を初動に採る。t _a より2sの差は生じうる。
	E	28.54	29.44	29.04			
	Z	26.74	27.74	27.14			
水 戸	N	37.26	37.66		17	-1.0	EとZの波形はよく似ている。しかも時刻は約2s異なる。走時よりZを初動にとる。t _a =17sだからこの差は説明しにくい。
	E		36.16				
	Z	35.36					
宇都宮	N	41.7	42.3		8	-2.4	波形も時刻も比較的よく合う例である。初動の時刻の成分間の差がこのくらいときには、いろいろの誤差を考えれば、どれを初動ととつてもさしつかえない。
	E	41.8	42.0				
	Z	41.5					
小名浜	N	41.3	42.2		55	-5.0	ZとNは波形から同じと考えられる。時刻上はZとEが一致する。ZとEが一致するとNとEの時刻差は1.2sとなり大きすぎる。この差は説明がつかない。
	E	42.5	43.2				
	Z	42.5	43.2				
仙 台	N	56.6	57.4		50	-4.4	EとZの記象はよく似ている。その時刻差約1sはt _a から十分ありうるということがわかる。走時よりNの時刻を初動とした。
	E	56.8	57.3				
	Z	57.6	58.2				
尾 鷲	N		05.9	07.1	55	3.1	記象の様子・時刻のどちらからも相の identification はむずかしい。t _a =55sだからEとZの時刻差は考えられる。また、EとZの時刻差は各 phaseともほとんど同じである。
	E	03.8	05.3	06.2			
	Z	02.7	03.9	04.8			
大 阪	N	09.3	10.2	11.5	15	-6.2	ZとNの記象がよく似ている。走時曲線からみてNを初動とした。各 phaseともNとZの時刻差はほとんど同じである。
	E	09.3	10.4	11.5			
	Z	08.1	08.9	10.4			
福 岡	N	11.6	13.2		13	-1.2	波形からだけでは相の identification はむずかしいので時刻を考えて相を定めた。水平動間で初動が約0.7s違う。これは紙の伸び縮みから考えられる大きさである。
	E	12.3	13.2				
	Z	12.0	13.0				
東 京	N	33.95	34.86		6	2.5	NとEは identify しにくいけれども phase 2 は identify できる。にもかかわらず phase 2 に 0.6s の差があり t _a =6s である。
	E	33.65	34.26				
	Z	33.5	34.3				
新 潟	N	02.4	04.1		40	-1.9	NとEの波形は似ているけれどもZとhorizontalは似ていない。波形などから表のように考える。しかし、NとEの差1.3sは大きすぎて説明できない。このNとEが異なる相とは波形から考えられない。
	E	03.7	05.5				
	Z		03.6				

使用した記象紙はすべて Wiechert 地震計によるもので、NS と EW 成分は同一記録紙上に記録さ

れる。これには変位式に分マークが毎分はいつている。分マークは各成分とも同一の刻時用時計で入れてあるので、たとえ異なるリレーを使っても、その差は無視できる。この地震は大きかったので、ほとんどの観測所では初動のすぐ後の分マークはわからない。こういう地震にくらべて、規模が小さく、初動前後に分マークがいずれもはっきりしている地震では、各成分間の初動時刻の差は少ないと思われる (Δt が小さいから) にもかかわらずこの地震を使ったのは、初動付近の波の形が各成分ごとに対応して、明らかに初動同志同じ波をみていると考えられる観測所が多いからである。

Fig. 2



したがって、この場合、入りこむ誤差は 1b, 2a で、それらのうち、2a が最も大きい。つまり、下表の各相の差はおもに 2a によると考えられる (2b は各成分間の時刻差を問題にするから考えなくてよい)。

Table 3 には、おもな観測所10か所を選んである。大島、水戸のように初動がはっきりして、同じ相を読んでいても、その時刻が 2s もちがうと、発震時としてどれをとってよいかわからない。走時曲線によくのるほうをとることもできる。まして、初動が波形上から対応していることが不明のときには、なおさらである。逆にいえば、現状では、time keeping の誤差は同じ測候所内でも 2s に達することがありうるわけで、このことは前節からも十分うかがえる。したがって、走時曲線を議論するときに 2s 以内のバラツキをうんぬんすることは無理と思われる。また、time keeping を改良すれば、誤差は 1s 以内におさめる可能性がある。

この表のような場合、どういうふうに出震時を処理したらよいのだろうか。お教を願いたい。

§ 4.

前節では、いくつかの測候所で、房総沖地震の成分ごとの初動の時刻がどのように異なるかをのべた。ここでは、この地震のすべての測候所における初動時刻の様子をまとめて考えることにする。Table 4 は波形から各成分お互いに対応のつくものだけを選んだ。*印は波形上の対応がわからないので、初めにゆれた所を初動と考えた場合である。この表から次のことがわかる。

Table 4

Station	N-Z	E-Z	Station	N-Z	E-Z	Station	N-Z	E-Z	Station	N-Z	E-Z
富 崎	sec 1.0*	sec 0.8*	小 名 浜	sec -1.2	sec -0.1	富 山	sec 1.3?	sec -0.1	高 松	sec -0.8	sec -0.7
大 島	2.2	1.8	宇 都 宮	0.2	0.3	彦 根	0.7	0.2	八 戸	0.2	0.4
横 浜	0.9*	0.7*	前 橋	0.8*	0.1	輪 島	0.3	0.0	高 知	-0.3	-0.3
東 京	0.5	0.2	福 島	0.2	0.3	京 都	0.8	0.8	清 水	0.6	0.3
三 島	0.3	0.3	松 代	0.0	0.0	大 阪	1.2	1.2	広 島	—	-1.0
柿 岡	0.0	0.1	名 古 屋	0.6*	0.0	宮 古	0.7	1.6*	浜 田	-0.8	0.4
水 戸	—	1.9	仙 台	-1.0	-0.8	和 歌 山	0.9	0.9	森	0.5*	—
静 岡	1.2*	0.3	岐 阜	-1.6	-1.9	洲 本	-0.3	-0.7	大 分	1.8*	0.0
甲 府	1.5*	0.05	新 潟	-1.2	0.1	盛 岡	-0.2	0.0	熊 本	—	1.0*
熊 谷	-0.1	-0.1	龜 山	0.0	0.4	豊 岡	0.1	0.1	富 江	0.2	-0.3
御 前 崎	1.2*	1.2*	尾 鷲	3.2*	1.1	秋 田	0.2	0.0			

1. *印のないものでは $N-Z \approx E-Z$ で、かつ、 $|(N-Z) - (E-Z)| \leq 0.5s$ である。これは EW と NS の両成分は同一記録紙上に平行に記録されることから考えて当然である。これには紙の不規則な延びと読みとりの誤差しか含まない。その差は相がはっきりしていれば 0.5s を越えないことが Table 4 からわかる⁽⁵⁾。小名浜と新潟は例外である。

2. *印のないものでは $|H-Z| \geq 2.0s$ になるものがほとんどないことは注目すべきである。

Table 5

$H-Z$	Freq.	$H-Z$	Freq.	$H-Z$	Freq.	$H-Z$	Freq.	$H-Z$	Freq.
sec		sec		sec		sec		sec	
2.2	1	0.9	2	0.4	3	-0.1	3	-1.0	2
1.9	1	0.8	3	0.3	7	-0.2	1	-1.2	2
1.8	1	0.7	2	0.2	7	-0.3	4	-1.6	1
1.2	2	0.6	1	0.1	7	-0.7	2	-1.9	1
1.1	1	0.5	1	0.0	9	-0.8	2		

3. *印のないものの頻度は Table 5 のとおりで、+ は 39 回、- は 18 回である。このように、+ が - の倍もあるのはなぜだろうか。原因として、a. 地震計の構造による。b. 同じ対応する相をよんだと思って、実は異なった相を読んだための 2 つが考えられるが、いずれも、この場合には当てはまらないと思う。ことに、後者は注意して調べたので、心配はない⁽⁶⁾。そこで、全体をまとめて考えてみよう。

$H-Z$ の平均は $\bar{x}=0.135$ 、また、 $\sigma=0.729$ となる。 \bar{x} は 66 個の平均であるけれども、わずか 0.135s という値であり、この程度の誤差はいたる所ではいることが考えられるから、 \bar{x} が + であるとして、その値 0.135s に physical meaning を求めることは、現状では、例も少ないし nonsense であると思う。むしろ、この程度ならば、 \bar{x} は予想どおり、ほとんど 0 であるとみても、さしつかえないだろう。または、お互いに対応することがはっきりしている相を読みとれば、各成分間の差は平均として、ほとんど 0 とみなしうる程度に time keeping および読みとりの精度が達していると考えられる方が妥当と思う。逆にいえば、こゝでお互いに対応すると思って読みとった初動は、事実大部分、対応しているもので、理想的には、各成分とも同時刻になるべきはずのものと考えられる。

また、この例は相の対応がはっきりしている場合だから、将来、相の対応のはっきりしない場合をしらべるときの規準になれば幸です。

References

- (1) 高谷：「上下動および水平動の初動発現時の遅れについて」*験震時報* 2 (1926)p.186
T. Matuzawa, K. Hasegawa & S. Haeno: "On the Forerunners of Earthquake-motion of Certain Earthquakes", *B. E. R. I.*, 4 (1928), p. 85
後者によると関東地方では水平動が約 1.5s 上下動より遅れて現れる。つまり、水平動では初めの相が読みにくく、それより約 1.5s おそい相が初動としてよみとれるからである。しかし、この論文には実際のよみとりの data を示していない。
- (2) 宇田川：「地震記象の験測の時間に関する誤差」*験震時報* 14 (1950), 35~39
地震技術通信 No. 4 (1955)「地震記象の読みとりについて」中央気象台地震課発行。
- (3) (2) の宇田川の文献

- (4) 萩原尊礼：「振動測定」183 ころでは強震計については考えないことにする。
- (5) (3) の宇田川の文献によると読とりの個人差は iP のとき 0.3mm 以下で $1\text{min}=30\text{mm}$ とするところの場合と一致する。
- (6) 小さな地震では Z が明らかに H より早く現れる場合がある。つまり、 H の初動は小さくて読めないで、次の相を初動と間違える場合である。

次の地震は Wiechert では H は分マークの後に始まり、 Z は分マークの前にゆれ出している。しかも、石本式微動計 (H) では Z と同じように分マークの前に初動がみえている。

1955年5月12日17時36分 $iP_Z=26.6\text{sec}$ $iP_N(\text{石本式})=26.6\text{sec}$ $iP_E=27.4\text{sec}$ $iP_N=28.5\text{sec}$ ($\Delta T=+28.1$)。したがって、小さい地震をとれば、 $H-Z$ は $+1\sim 2\text{sec}$ となり、その数値に物理的な意味づけをすることができると思う、(1) の松沢の文献を参照