

21. 地震動の尾部について (其の 1)

地震研究所 表 俊 一 郎

(昭和 17 年 10 月 15 日, 昭和 18 年 2 月 18 日 発表——昭和 18 年 12 月 20 日 受理)

緒 言

第 1 章 近地地震の地震動の尾部

- § 1. 週 期
- § 2. 週期頻度圖
- § 3. 平均週期曲線
- § 4. 尾部の卓越週期と震央距離との關係

第 2 章 東京及び横濱市内 9 ヶ所の同時観測より求められた 昭和 8 年 3 月 3 日三陸地震による尾部の卓越週期

- § 1. 東京及び横濱市内に於ける同時観測
- § 2. 積分による地動の算出
- § 3. 變位曲線
- § 4. 尾部の卓越週期

緒 言

地震記象の多くのものについては最初に P 波による小振幅の初期微動が現れ、次で S 波によつて始まる主要動が突然に大振幅を以て現れてくるのが見られる。主要動は S 波につづいて Love 型表面波, Rayleigh 型表面波による大振幅と大週期とを持つ波が現れるが、漸次にして之等の波は次第に小となり其の後には一見極めて規則正しい週期と振幅とを持つた振動の繰返しが長時間にわたつてつづけられてゐるのを見ることが出来る。最後にのべた振動の繰返しの部分は、主要動に較べて振幅は小さくなるが、振動は容易に消失することなく、極めて長い時間にわたつて持続せられる場合が多く、地震動の尾部と呼ばれてゐる。

震央距離極めて小なる地震の記象に於ては、主要動の中に於て L 相 M 相を指摘することは困難なことがしばしばであり主要動の中に極めて短週期の波も優勢に現れてゐるのが見られるけれども P の始めから数分後主要動と思はれる振幅大なる部分が終りとなつた後につづいて、相當に長い時間にわたり、振幅は小さいが週期の長い振動が繰返されてゐるのを見る記象は少くない。

震央距離 $20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 位の地震に於ては、L, M 相の始めも明瞭に見られるやうになり、極めて大きな週期と振幅とを持つ表面波型の波のあとに引きつづき略々一定の週

期の規則正しい振動の繰返しが数時間にわたって見られることがしばしばである。

震央距離 100° 以上の遠地地震に於て、大地震の記象になると、地球の劣弧に沿つて傳播してきた表面波が終つて後、程なくして優弧に沿つて傳播してきた表面波により再び週期も長く、振幅も大きい振動が顯著に發達するのが見られるが、それらのあとにつづいて尙非常に長い時間にわたり規則正しい振動が繰返されてゐる部分があるのが見られる。

之等地震動の尾部については、古くは大森博士¹⁾の調べられたものがあり、博士は明治 38 年 (1904) 4 月 4 日印度の Kangra 地震について尾部の週期をしらべられて 8.2, 11.2, 12.7, 15.5, 19.5, 22.6, 26.2 秒等色★の週期の波のあることを指摘せられてゐる。Gutenberg²⁾は Göttingen 及び Hamburg に於て記録せられた地震記象の中、震央距離 800 km から 1600 km 位の地震の尾部の週期をしらべ、海洋底を通つてきた波と大陸を通つてきた波とでは、週期の異なることを指摘して居る。Angenheiser³⁾は南太平洋サアモ島 Apia に於て觀測を行つた結果尾部の週期は震央距離及び波の経路により異なるが 9~12 秒及び 18 秒の波が多く見られるとのべてゐる。其の後河角博士⁴⁾が南北アメリカの太平洋岸の附近に起つた地震及び南洋に起つた地震の東京に於て觀測せられた記象について研究せられたことがあるが、いづれにしても Coda の部分には色★の週期の波が含まれて居ることが見られ、之等尾部の振動は土地の固有振動が誘發せられて生じてゐるのか、又は傳播性の表面波動的のものにより起されてゐるのかが明らかにせられてゐないやうである。この性質を明らかにする目的を以てこの調べを行ふこととする。

第 1 章 近地地震の地震動の尾部

§ 1. 週 期

地震動の尾部の性質を調べるにあたり、最も顯著な性質は一見極めて規則正しく見える尾部の振動の週期性である。併しその週期の大きさは近地地震の尾部の週期と遠地地震のそれとではかなりの相違のあることが一見して明瞭であるので、第 1 章に於ては東京からの震央距離 1000 km 位までの比較的近距离に發生した地震について尾部の週期を調べた結果が報告せられてゐる。更に、これら震央距離小なる地震に於ては、震源の深さ 4~500 km に及ぶ深發地震と、震源の深さわづかに 5~60 km 迄

1) F. OMORI, E. I. C., 24 (1907), 1.

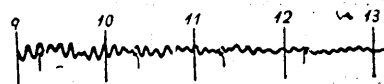
2) GUTENBERG, *Phys. Zeit.* 1926, III.

3) ANGENHEISER, *N. Z. Jour. Sci. and Techn.* 4(1921), 209.

4) 河角 廣 日本數學物理學會年會講演 (1928).

位の浅発地震とでは、表面波の生じる有様に著るしい差異のあるべきことが豫想せられるので、先づ第1にここには浅い地震のみについて考察を行ふこととした。

第1圖に一例として昭和11年2月21日の河内大和地震の記象の一部があげてある。圖に記入せられてゐる数字はPの始めよりの時間(單位分)であり矢印は1分毎のタイム・マークである。圖に明らかな如く、地震記象には相當に週期大なる波が存



第1圖 河内大和地震記象の一部
(原記象 $\times 1/3$)

在してゐるのが見られる故、地震記象を調べて尾部の週期を求めるにあたつては、地動にくらべ充分週期の長い地震計を用ひることが好都合である。此の條件をみたすために、東京帝國大學地震研究所耐震家屋内に設置せられてゐる長週期の水平振子型水平動地震計の記象を使用することとした。この地震計の常数は下表に示すごとくであつて、明治30年以來略々休みなく此の地震計によつて觀測が続けられてきてゐる。従つてある期間に於ては自己週期が第I表の値より短くなつてゐる場合もあるが大體に於て60秒附近に保つやう努力が拂はれてきてゐるので、特にことばりのない限り自己週期は60秒前後であつたと考へることとする。

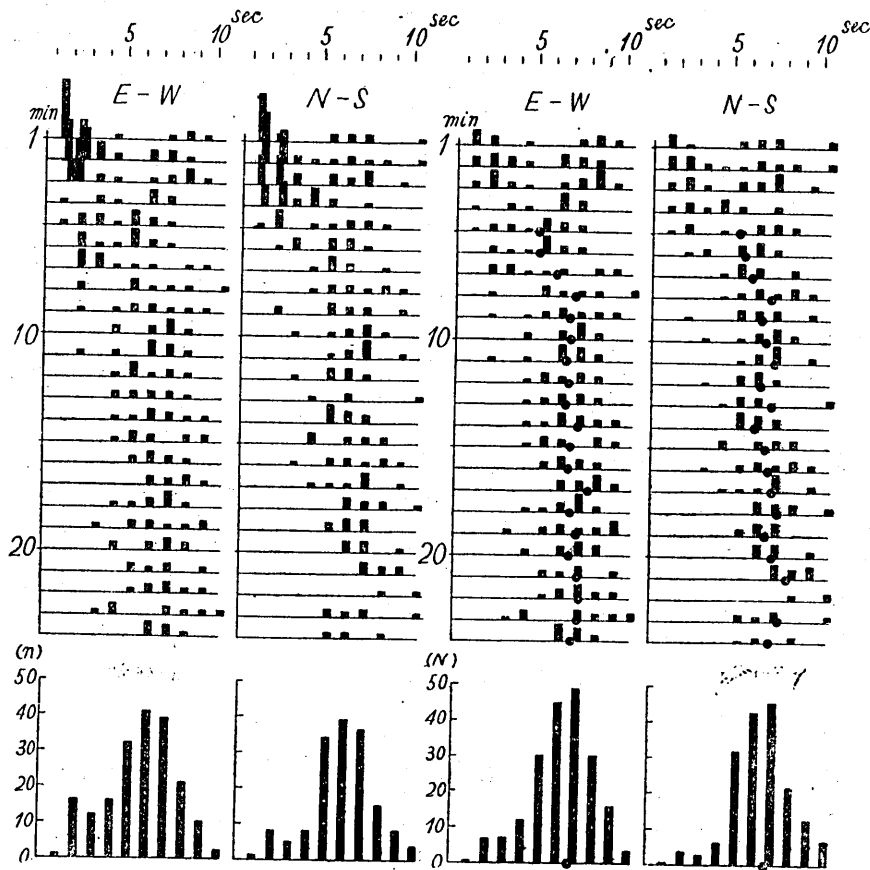
第I表 大森式地動計の常數

地震計	型	成分	重錘	倍率	自己振動週期	制振率
大森式地動計甲號	水子振子型	東西	kg 17	15	約 60 ^{sec}	約 4.5
大森式地動計乙號	"	南北	42	20	" 60	" 3.0

尾部の週期を求めるために記象から週期の讀取りをなすに當つては、全て、波の山と山との間の長さを記象より讀取り、之を1分毎に記入せられてゐるタイム・マークに準據して時間に換算したものを波の週期と考へることとした。振幅の大きい2つの山の間に振幅の小さい波が重つてゐる場合には、2通りの週期があるものと考へて解析を行つた。このやうにして地震記象より讀み取られた週期は極めて短いものから30秒位のものに至るまで様々であるが、以下問題としようとする週期は10秒乃至15秒位迄のものであるので、上に述べた程度の自己週期の長い地震計の記象について論ずる限りに於ては、得られた週期は大體地動の週期であると思へて差支へないと思はれる。

§ 2. 週期頻度圖

第2圖に、地震記象について上述の如き讀取りを行つて地動の週期を算出し、その頻度圖を求めたものの一例があげてある。之は昭和 11 年 2 月 21 日河内大和地震の記象から讀取りを行つて、1 秒毎の週期の波についての頻度圖をつくり、之をPの始めから1分毎に區切つて示したものである。A は東西成分より、B は南北成分より求



第2圖 河内大和地震 (n) 週期頻度圖

第3圖 河内大和地震 (N) 週期頻度圖

めたものである。併しこのやうにして求められた頻度圖に於ては 週期 1 秒の波が 1 個あつても、60 秒の波が 1 個あつても夫々の週期に相當する箇所に同様に 1 と書かれてゐるのであるが、之を同じく 1 と數へる事は適當ではないと思はれるので、次のやうに考へることとする。今説明の便宜のため第 2 圖 A の 15 分より 20 分までの 6 分間を書き改めて第 4 圖 A に示すこととする。此の圖に於て 15 分に 4 秒の波 1、5 秒の波 3 等といふことは P の始めから數へて 14.0 分から 15.0 分迄の 1 分間に、

4.0 秒から 5 秒未満の週期をもつ波の数 1, 5.0 秒から 6 秒未満の週期をもつ波の数 3, 等といふことを意味するのであつて, 以下 § 2 の週期頻度図について週期 p 秒の波 (p は整数) と呼ぶときには全て上の如き意味の週期を持つ波と考へることとする.

或限られた 1 分間に p 秒の波の数が n_p 個である場合この n_p に對應して次の式即ち

$$N_p = \frac{n_p}{n_p'} \times 10 \quad (1)$$

但し

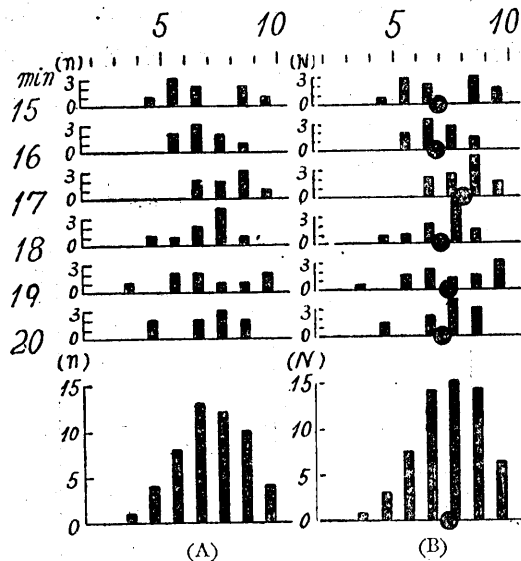
$$n_p' = \frac{60}{p+0.5}$$

で定義せられる N_p なる数を考へれば, N_p は若しその 1 分間が全て p 秒の波で占められたとした場合に比して, 實際に観測せ

られた p 秒の波の数 n_p は, その幾割に相當するかを示すものといふことが出来る. 例へば 6 秒の波 1 個, 即ち, $p=6$ の波に於て $n_6=1$ の時には, $N_6=1.05$ となり n_6 と略同じ大きさの数を與へることとなるので好都合である.

第 4 圖 A に示されてゐる n_p を上のべた数 N_p に置き換へて書き直したものが第 4 圖 B である. 第 4 圖に於ては極めて短週期の波は現れてゐないので, n_p を N_p に書き直した利點が顯著には現れてゐないけれども, それでも尙 15~20 分の間を合計した結果單に波の数のみから見れば頻度極大の週期を與へる波は 6 秒の波であることとなる (A 圖) が百分率の考へをいれれば (B 圖), 寧ろ 7 秒の波が頻度極大であると考へた方が妥當であることを示してゐる.

從つて週期の長い波について頻度を調べる場合には觀測より得られる n について考察を行つたのでは比較的數多く起り得る短週期の波の頻度は大であるため週期の長い振動の頻度が隠される畏れがある. それを避けるためには n についての頻度圖第 4 圖 A について考察を行ふよりも N についての頻度圖, 同圖 B について考察を行ふのが適當であると思はれる. 此の考へに従ひ第 2 圖の頻度 n を (1) 式による N に書き改めれば第 3 圖の頻度圖 (A 東西成分, B 南北成分) を得る. 第 2 及び 3 圖に於て, 各分毎の頻度圖の終りにそれらを合計した頻度圖が畫かれて居る, 圖に明らか



第 4 圖 河内大和地震 (No. 20)

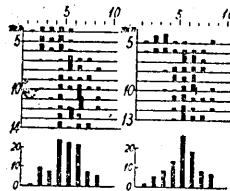
なごとく、P の始めより 4 分の終り頃までは 1 秒又は 2 秒位の極めて短い週期を持つ波が著しく優勢であるのに反し、それ以後短週期の波の数は急激に減少してゐるのが見られる。従つて P の始めからの全部の合計頻度圖を求めたのでは頻度圖の山の形は始めの方に現れる短週期の波のために著しい影響を被り、求めようとする尾部の週期はこれらの波のために隠されてしまふ恐れがある。尾部の卓越週期を求めるためには、たとへ近地地震の尾部についてであつても、少くとも始めの 4 分迄位は問題としなくてよいと考へられるので、始めの部分は取除いて考へることとし、第 2, 3 圖に示されてゐる合計頻度は第 5 分目の始めから週期の讀取りの行はれた終りまでの波の週期について合計せられた結果が現はされてゐる。従つてこれらの頻度圖に於ては、地震動の極く始めに現れる週期の短い波は大部分除外せられてをり、終りの方に見られる週期の長い波の特長が成る可く顯著に見られ得るやうになされてゐる。

第 2 圖と第 3 圖とを比較して頻度極大の週期を求め之より尾部の卓越週期を見出さうとするに當り、第 2 圖の合計頻度圖に於ては頻度極大を決める山の形が鋭くないので明確に卓越週期を斷定することに疑問があるが、數の上のみから云へば、東西、南北の兩成分について共に 6 秒の波が頻度極大であるといふことが出来る。之に反し第 3 圖に於ては、同じ 1 分の間には長週期の波の方が短週期の波に較べて存在し得る數は少いといふ不公平を (1) 式に従つて補正した結果が示されてゐるので、頻度極大の週期を與へる波は第 2 圖と異り 7 秒の波であることが相當に明瞭にあらはれてゐる。併し、東西及び南北兩成分について共に 7 秒の波が頻度極大であることにはたしかに間違ひないが、6 秒及び 8 秒の波の頻度を較べると、前者の方がはるかに優勢であり、若し週期の區切り方を 1 秒よりも更に細かく、例へば 0.5 秒毎に區切つたとしたならば 6 秒偏りの 7 秒の波が頻度極大となるであらうと豫想せられるけれども、現在得られてゐる結果のみからただちに其の結論を出すことは出来ない、兎に角、以上の如く地震記象を讀取つて得られる波について 1 秒毎の週期に區切つたときの數 n による頻度圖よりも、百分率の考へに従つて補正を加へられた N についての頻度圖に基いて考察を行つた方が、尾部の性質を明らかにするのに好都合であることとなる。

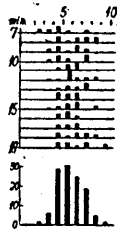
以下に於て近地淺發の 27 の地震の記象より讀取りを行ひ N についての頻度圖より尾部の卓越週期を求めたものが第 5 乃至 31 圖に震央距離の小さい地震から順次にならべられてゐるのが見られる。圖に於て横軸は 1 秒毎に區切られた週期 (單位秒) 縦軸は各分毎の百分率頻度 N を示すものである。圖に附記せられてゐる番號は第 IV 表の地震番號である。



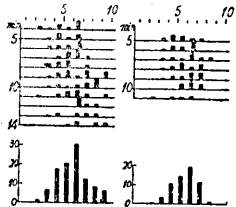
第 5 圖 手賀沼附近 (No. 1) 第 6 圖 水戸附近 (No. 2)



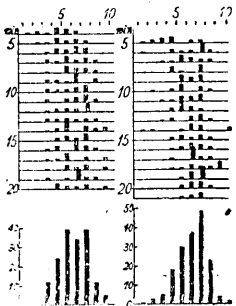
A: 東西成分 B: 南北成分
第 7 圖 印幡沼 (No. 3)



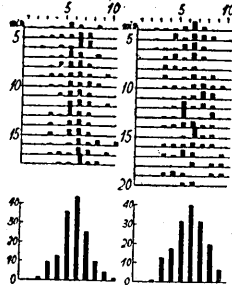
第 8 圖 房總沖 (No. 4)



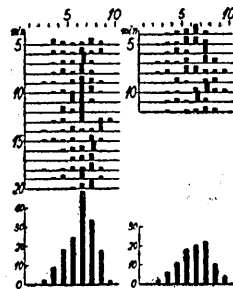
A: 東西成分 B: 南北成分
第 9 圖 伊豆半島 (No. 5)



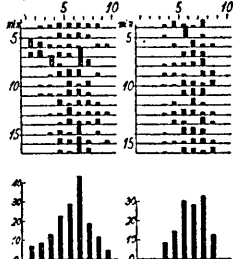
A: 東西成分 B: 南北成分
第 10 圖 神子元島沖 (No. 6)



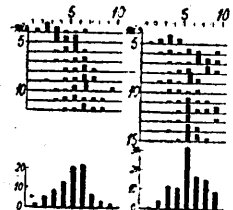
A: 東西成分 B: 南北成分
第 11 圖 伊豆新島沖 (No. 7)



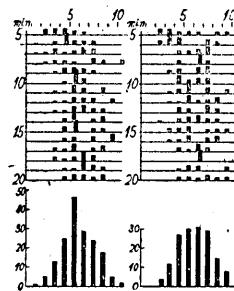
A: 東西成分 B: 南北成分
第 12 圖 新島地震餘震 (No. 8)



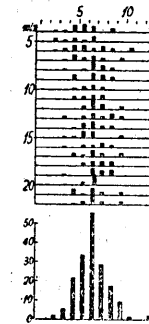
A: 東西成分 B: 南北成分
第 13 圖 新潟縣焼山附近 (No. 9)



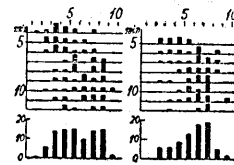
A: 東西成分 B: 南北成分
第 14 圖 天龍川中流域 (No. 10)



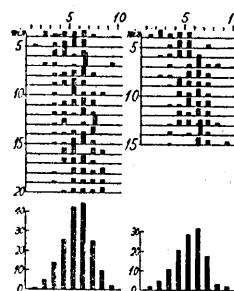
A: 東西成分 B: 南北成分
第 15 圖 鹿島灘 (No. 11)



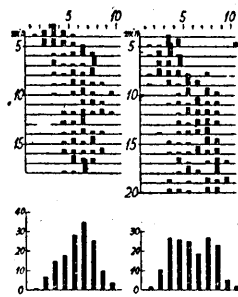
第 16 圖 鹽屋崎東南東沖 (No. 12)



A: 東西成分 B: 南北成分
第 17 圖 新潟縣名立沖合 (No. 13)



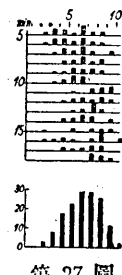
A: 東西成分 B: 南北成分
第 18 圖 岐阜八幡附近 (No. 14)



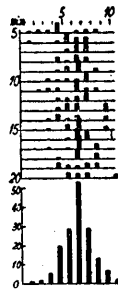
A: 東西成分 B: 南北成分
第 19 圖 福島縣東方沖
(No. 15)



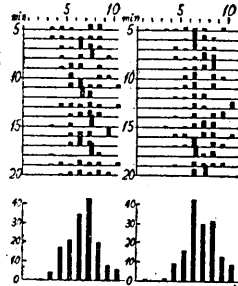
第 23 圖 気仙沼湾
(No. 19)



第 27 圖
山口縣室津半島沖
(No. 25)



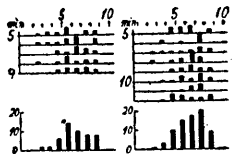
第 20 圖 鹽屋崎東北沖
(No. 16)



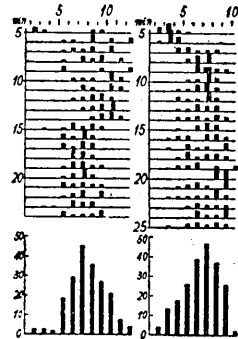
A: 東西成分 B: 南北成分
第 24 圖 男鹿半島餘震
(No. 21)



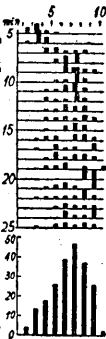
A: 東西成分 B: 南北成分
第 28 圖 日向灘北部
(No. 26)



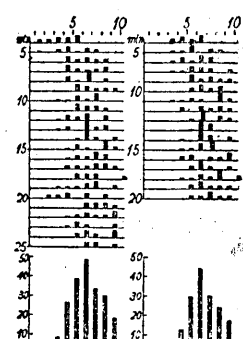
A: 東西成分 B: 南北成分
第 21 圖 御前崎南方沖
(No. 17)



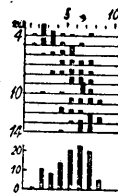
第 25 圖
岡山縣阿哲
郡南西部
(No. 22)



第 26 圖
岩手縣久慈
沖
(No. 24)



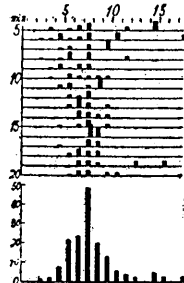
A: 東西成分 B: 南北成分
第 29 圖 浦河南西部
(No. 27)



第 22 圖 関ヶ原附近
(No. 18)



第 30 圖 鉤路南
東沖
(No. 28)



第 31 圖 屈斜路
湖附近
(No. 29)

之等の地震の頻度圖に於ても、先に河内大和地震の時に述べたと同一の理由に基き P の始めより 4 分又は 5 分迄の部分は除外せられ、5 分から 20 分乃至 25 分迄の部分について解析が行はれた。之等の圖より頻度極大の週期を求めれば、第 II 表の如き値を得る。

§ 3. 平均週期曲線

地震記象の中に現れる週期について論じる場合には、多くは上述の如き週期頻度圖に基いて如何なる週期の波が卓越するかを求めてきたのであつた。

第 II 表 頻度極大の週期

地震番	震 號	東 成	西 分	南 成	北 分	地震番	震 號	東 成	西 分	南 成	北 分	地震番	震 號	東 成	西 分	南 成	北 分
1		3 秒		— 秒		11		5 秒		6 秒		21		7 秒		6 秒	
2		2		—		12		6		—		22		7		—	
3		4		5		13		5		7		24		—		7	
4		—		5		14		6		6		25		7		—	
5		6		6		15		6		7		26		8		8	
6		5		7		16		6		—		27		6		6	
7		6		6		17		5		7		28		—		8	
8		6		7		18		6		—		29		7		—	
9		6		7		19		—		6							
10		6		5		20											

併し上述の如くして畫かれた週期頻度圖からは、5 分以後地震動全域についての頻度最大である週期は知り得るけれども、之が直ちに地震動の尾部について頻度最大の週期であり、尾部の卓越週期であると推論してよいことにはならない。實際に、夫々の圖に於て各分毎の頻度最大の週期は、P の始めからの時間が経つにつれて次第に變化してゐる様に見られるのでこのことによる影響も考慮にいれなくてはならない。併し、若しも各分毎の頻度最大の週期を正當に定め得れば、各分毎の卓越週期が時間の経過と共に次第に變化して行く有様を知り得る筈であり、これより尾部の卓越週期を求め得るかも知れないけれども、いづれの圖にも見られるごとく、夫々の 1 分間に 1 秒毎の週期に區切られた波が存在する数は略々 2~3 個宛であるに過ぎないので、各分毎の頻度最大の週期を定めることは全く不可能である。

更に又上に掲げられた第5~31圖の合計頻度圖に見られるごとく、いずれか一つの週期の波のみが特別に著しく大きな頻度を與へてゐると見ることは出来難く、寧ろ5秒乃至7秒位の週期が、いずれの圖に於ても大きな頻度を持つてゐるやうに見られる。このやうに、最大の頻度をもつ週期の波の數と、最大に近い頻度をもつ週期の波の數との差が僅かに2~3に過ぎない場合に於ては、いずれの週期の波が頻度最大となるかをきめる因子の中に統計現象と見なくてはならない要素も導入せられてくるので、單に見掛上最大の頻度を與へる週期を以てただちに卓越週期と決定することはむづかしくなる。

之等のことによる影響をのがれて、なるべく正しい尾部の卓越週期を見出すために各分毎の平均週期を求めることとする。併しその場合に於ても、限られた1分間に現れる全ての週期について算術平均を行つたのでは、1分の間に數多くは起り得ない週期の長い波も、數多く起り得る週期の短い波も、等しく一樣に起りうると考へられてしまふこととなつて不都合であるので、今限られた1分間に現れる週期を順次に t_1, t_2, \dots とし、夫々週期 t_i 秒の波は1分間の幾割を占めることにあたるかといふ指數 m_i を考へ、之をその波についての重みと見て、全ての週期についての重荷平均を求めることとすれば其1分間の平均週期 T_0 は次の式で與へられることとなる。

$$T_0 = \frac{\sum t_i m_i}{\sum m_i} \dots\dots\dots (2)$$

茲に

$$m_i = t_i \times \frac{1}{60} \times 10$$

先にあげた第4圖Bの頻度圖に(2)式より求めた各分毎の平均週期の値を記入すれば黒丸の如くなる。これによれば平均週期は略々頻度極大の週期の近くにある事が解る。同様に河内大和地震について平均週期を求めれば第3圖の黒丸の如くなり、之より第32圖に示される如き平均週期曲線を得る。圖に於てAは東西成分Bは南北成分についてのものである。A, B, いづれに於ても始めの2~3分の間は短週期の振動が多いが、10分近くからは週期はほぼ一定となり週期の讀取りの行はれた25分の終りまでは大約同一の週期がつづくことが見られる。地震動の記象に於ては、どの部分からを尾部と呼ぶかについて明らかな定義は與へられてゐないのであるが、平均週期曲線に於て一定の週期が現れるやうになつた部分以後を尾部と呼ぶことと定めれば、地震動の尾部といふ言葉に對して比較的明確な定義を下し得たこととなる。第32圖に於て10分以後の各分の平均週期は或る一定値を持つものと假定してその値を求

第 III 表
平均週期

地震 番號	分 成	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	東西	3.0	2.9	3.1	4.3	4.7	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
2	東西	3.0	3.1	3.5	3.9	4.1	4.3	4.3	6.1	6.4	5.6	6.5											
3	東西	3.7	3.9	—	6.2	6.2	6.1	6.4	6.0	6.3	6.2												
"	南北		4.4	4.3	6.2	5.9	5.8	6.0	5.8	5.9	6.3	5.5	6.0	5.4	5.7	6.6	6.4						
4	南北				4.5	6.2	5.5	5.7	5.8	6.6	6.2	6.2											
5	東西	5.1	5.6	5.6	6.3	4.9	6.6	6.6	6.2	6.6	6.2	6.2											
"	南北			5.8	6.3	5.9	6.2	6.4	6.3														
6	東西	4.8	5.4	5.9	6.0	6.2	6.0	6.0	6.6	6.2	6.1	6.2	6.3	6.5	6.5	6.4	6.2	6.5	6.9				
"	南北			6.4	6.2	5.9	6.4	6.1	6.3	5.9	6.6	6.5	6.3	6.8	7.0	—	7.0	7.0					
7	東西	5.9	5.8	6.5	5.9	5.9	6.1	6.5	6.1	7.0	6.0	6.6	5.9	7.2	6.5	6.5	6.0	6.5					
"	南北	6.0	6.1	5.9	5.9	6.1	6.1	6.3	6.2	6.6	6.1	6.3	6.6	6.2	6.3	7.0	6.0	6.5					
8	東西	5.3	5.9	6.2	6.0	5.9	6.2	6.3	6.8	6.6	6.6	6.8	6.1	6.7	6.6	6.9	5.9	6.6					
"	南北	5.9	5.9	6.1	6.3	6.3	6.7	6.8	6.1	6.6													
9	東西	5.6	5.6	6.4	6.2	6.3	5.7	5.9	5.9	6.4	6.5	6.6	6.2	6.1	6.5								
"	南北	5.7	5.7	6.1	6.2	5.9	6.2	6.4	6.2	5.9	6.4	6.6	6.3	6.5	6.7								
10	東西	3.4	4.4	5.2	6.1	6.2	6.3	6.3	6.1	6.4													
"	南北			4.2	6.4	6.4	6.5	6.3	6.1	6.4	6.0	6.2	6.0										
11	東西		4.0	4.5	5.0	6.8	6.1	5.7	6.4	6.5	6.5	6.3	6.1	6.8	6.4	6.1	6.3	6.4	6.4	6.5			
"	南北	3.1	3.9	3.7	6.4	6.4	6.3	5.8	6.2	6.5	6.4	6.3	6.4	6.6	6.1	6.3	6.6	6.5	6.4	6.5			
12	東西	5.0	6.2	6.3	6.3	6.7	6.4	6.5	6.6	6.3	6.8	6.6	6.7	6.6	6.7	7.0	7.3	6.3	6.4	6.5			

めれば

東西成分 $T_{EW} = 7.2 \text{ 秒} \pm 0.1 \text{ 秒}$

南北成分 $T_{NS} = 7.2 \text{ 秒} \pm 0.1 \text{ 秒}$

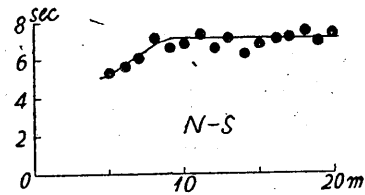
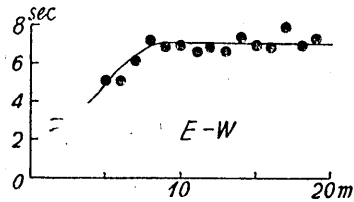
となり、兩成分について極めてよく一致した値が得られる。斯のやうにして定められた一定の値を以て、その地震について、観測せられた場所での尾部の卓越週期と呼ぶこととする。

先に河内大和地震の週期頻度圖(第3圖A, B)を求めたときに、東西、南北兩成分とも7秒の波(週期7.0秒乃至8秒未満の波)が頻度極大となり、更に、6秒の波と8秒の波との頻度を較べれば前者の頻度ははるかに大であるので、尾部の卓越週期は略々7.0秒乃至7.5秒に

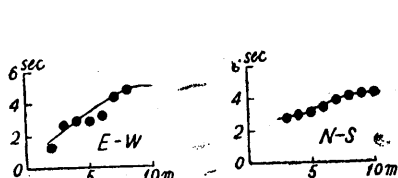
近い値であらうと想像せられたのであつたが、平均週期曲線より求めた結果は略々それに近い値となつてゐることが見られる。併し此の平均週期曲線の方法により得られた卓越週期は決して尾部の振動の中に7秒前後の波が多いといふことを示すものとは限らない。色々の週期が廣い帯域にわたつて存在してゐても平均すれば或る値になるといふことであつて、實際に7秒前後の波だけが極めて優勢であるかどうかは頻度圖より判定しなくてはならない事柄である。河内大和地震に於ては週期頻度圖(第3圖)からは7秒前後の波が卓越してゐることが見られ、平均週期曲線(第32圖)からは卓越週期7.2秒となることが示されるので地震動の尾部には7.2秒前後の波が實際に數多く含まれてゐると考へ得るであらう。

§2に於て週期頻度圖を求めた全ての地震につき、上述のやうにして平均週期を求めた結果は第III表に示すごとくである。第III表の地震番號は、後にあげる第IV表の地震番號に對應するものであり、夫々の地震についてPの始めから數へて4分又は5分以後各1分間毎の平均週期の値(單位秒)が表示せられてゐる。之等を圖示すれば第33乃至59圖の如くなる。

之等の平均週期曲線の大部分のものに於ても上にのべた河内大和地震の平均週期曲線について述べた特徴が同様に現れてをり尾部の卓越週期を決定することが出来る。又夫々の地震についても先の週期頻度圖と對比すれば、平均週期曲線より求められた尾部の卓越週期は實際に尾部の振動の中に多數に存在する波の週期に略々等しいことが推察せられる。

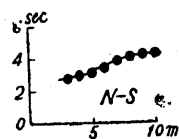


第32圖 河内大和地震平均週期曲線
 $T_{EW} = 7.2 \text{ sec}$ $T_{NS} = 7.2 \text{ sec}$



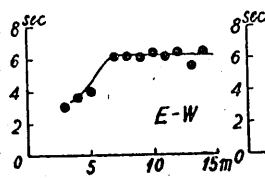
$T=4.7$ 秒

第 33 圖 手賀沼
(No. 1)



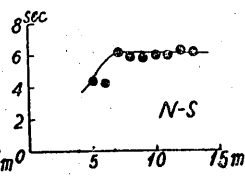
$T=4.3$ 秒

第 34 圖 水戸附近
(No. 2)

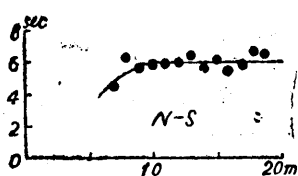


$T=6.2$ 秒

第 35 圖 印幡沼 (No. 3)

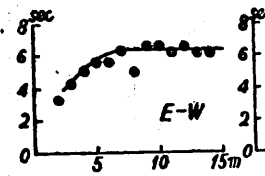


$T=6.1$ 秒



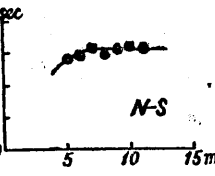
$T=5.9$ 秒

第 36 圖 房総沖 (No. 4)

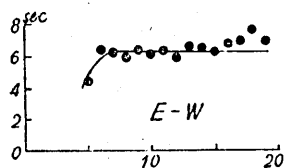


$T=6.4$ 秒

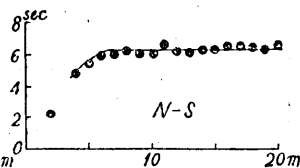
第 37 圖 伊豆半島 (No. 5)



$T=6.2$ 秒

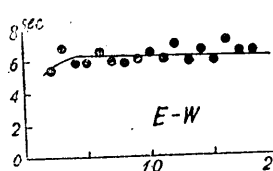


$T=6.2$ 秒

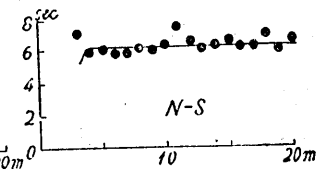


$T=6.3$ 秒

第 38 圖 神子元島沖 (No. 6)

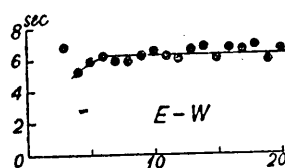


$T=6.3$ 秒

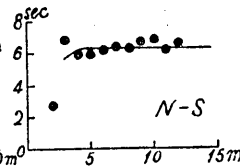


$T=6.3$ 秒

第 39 圖 伊豆新島沖 (No. 7)

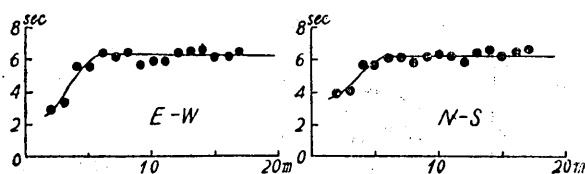


$T=6.3$ 秒

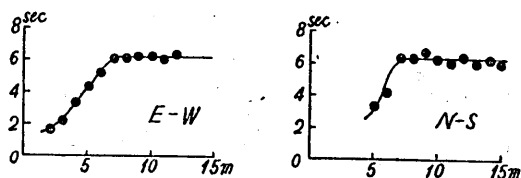


$T=6.3$ 秒

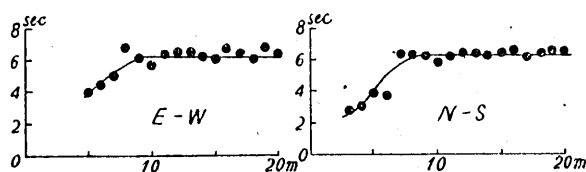
第 40 圖 新島地震餘震 (No. 8)

 $T=6.2$ 秒 $T=6.2$ 秒

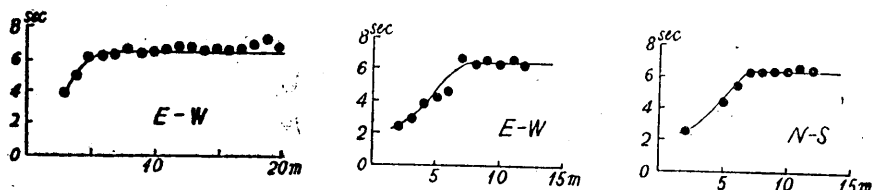
第 41 圖 新潟縣焼山附近 (No. 9)

 $T=6.2$ 秒 $T=6.3$ 秒

第 42 圖 天龍川中流域 (No. 10)

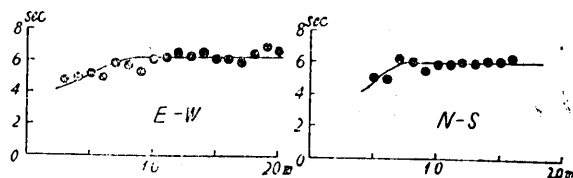
 $T=6.3$ 秒 $T=6.3$ 秒

第 43 圖 鹿島灘 (No. 11)

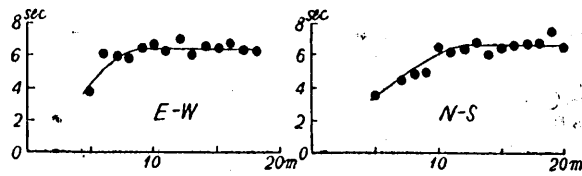
 $T=6.4$ 秒 $T=6.6$ 秒 $T=6.4$ 秒

第 44 圖 鹽屋崎東南東沖 (No. 12)

第 45 圖 新潟縣名立沖合 (No. 13)

 $T=6.2$ 秒 $T=6.1$ 秒

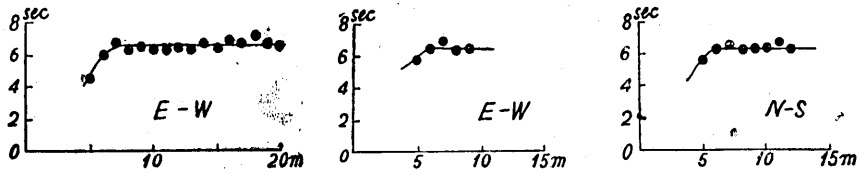
第 46 圖 岐阜八幡附近 (No. 14)



$T=6.5$ 秒

$T=6.6$ 秒

第 47 圖 福島縣東方沖 (No. 15)



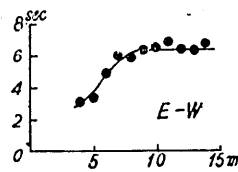
$T=6.5$ 秒

$T=6.3$ 秒

$T=6.3$ 秒

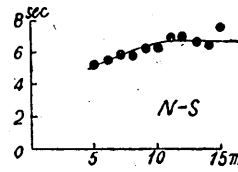
第 43 圖 鹽屋崎東方沖 (No. 16)

第 49 圖 御前崎南方沖 (No. 17)



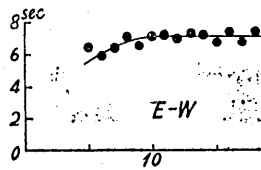
$T=6.5$ 秒

第 50 圖 關ヶ原附近 (No. 18)



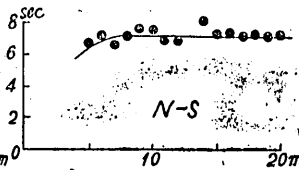
$T=6.8$ 秒

第 51 圖 氣仙沼湾 (No. 19)

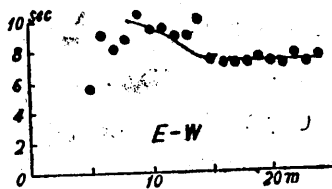


$T=7.1$ 秒

第 52 圖 男鹿半島餘震 (No. 21)

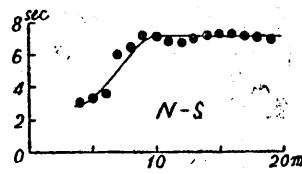


$T=7.1$ 秒



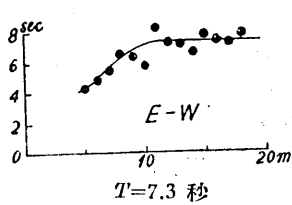
$T=7.3$ 秒

第 53 圖 岡山縣阿哲郡西南部 (No. 22)

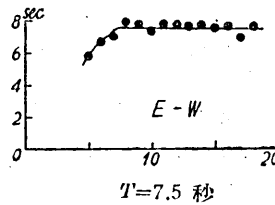


$T=7.2$ 秒

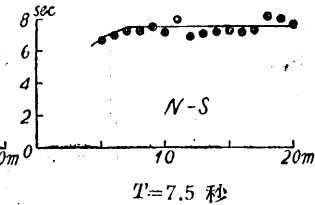
第 54 圖 岩手縣久慈沖 (No. 24)



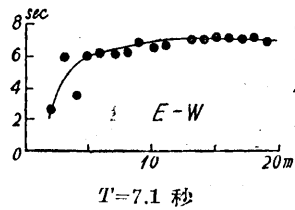
第 55 圖 山口縣室津半島 (No. 25)



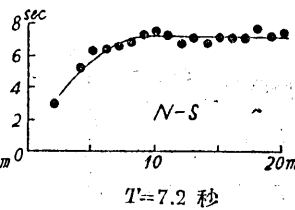
第 56 圖 日向灘北部 (No. 26)



第 57 圖 浦河南西沖 (No. 27)



第 58 圖 釧路南東沖 (No. 28)



第 59 圖 風斜路湖附近 (No. 29)

第 33, 34 圖は夫々手賀沼附近 (33 km)* 及び水戸附近 (94 km) の地震の平均週期曲線である。總震動時間が 10 分足らずで、卓越週期を確定するのに充分ではないが、終り頃に於ては夫々 4.7 秒, 4.3 秒の一定の週期が見られ尾部の卓越週期と看做し得る。震央距離小なる地震に於ては、地震の規模が大であれば記象の上の振幅が大となりすぎて良好な記録が得られず、比較的良好な記録を與へるものは、地震の規模小さく總震動時間も短くなり好ましくないのであるが、震央距離極めて小さい地震の例として上の二つを挙げてある。第 35 圖は印幡沼附近 (105 km) の地震である。之に於ては總震動時間も長く、東西及南北兩成分共に 7 分以後は平均週期略々一定となり尾部の卓越週期は 6.1 秒又は 6.2 秒となる。第 36 圖は房總沖 (122 km) の地震であり之の卓越週期は前のものに較べて稍短く 5.9 秒となつてゐる。第 37 圖は伊豆半島の地震であり、福富博士⁵⁾により調べられた所によれば震源の深さ極めて浅く 4 km と報告せられてゐるものであるが卓越週期は他の地震と大差なく東西 6.4 秒南北 6.2 秒となる。この南北成分は 11 分迄しか週期の讀取りがなされてゐないので東

* 震央地域のあとの括弧の中の數字は震央距離を現すものとする。以下同様。

5) T. FUKUTOMI, *Bull. Farthq. Res. Inst.*, 12 (1934), 527.

西成分にくらべ漸小さい値を與へてゐるのではないかと思はれる。第 38 圖は神子元島沖 (146 km) の地震で之の卓越週期は東西 6.2 秒南北 6.3 秒、第 39 及び 40 圖は新島地震 (154 km) 及び其の餘震の平均週期曲線である。本震と餘震とでは地震の大きさに相違があり總震動時間も餘震の方は南北成分は 12 分迄位しか讀取られてゐないにも拘はらず平均週期はいづれの地震に於ても略々同一であつて水平二成分とも 6.3 秒となり同一の値を與へてゐる。第 41, 42 圖は新潟焼山 (164 km) 及び天龍川中流域 (179 km) の地震である。共に陸上に震央をもつ地震であり平均週期が極めて一樣であつて、卓越週期は前者の水平成分につき夫々 6.23 秒、6.28 秒後者のは夫々 6.23 秒、6.25 秒となり極めてよく一致した値を與へる。第 43, 44, 47 及び 48 圖は鹿島灘から鹽屋崎沖にかけて海面に震央をもつ地震の平均週期曲線であり、それらの地震の震央距離は夫々 187 km, 206 km, 257 km 及び 259 km である。圖に見られるごとく平均週期は 7 ~ 8 分目以後は夫々一定となり、求められた卓越週期は鹿島灘 6.3 秒、鹽屋崎南東沖 6.4 秒、震央距離 260 km に近い後の 2 つの地震ではいづれも 6.5 ~ 6.6 秒となつてゐる。第 45 圖は新潟名立沖合 (226 km) の地震で、之の總震動時間は短く 12 分迄しか讀取られてゐないが卓越週期は東西成分 6.6 秒南北成分 6.4 秒となる。第 46 圖岐阜八幡附近 (250 km) の地震の平均週期曲線では必ずしも尾部の卓越週期が明瞭であるとはいひ難いけれども東西成分 6.2 秒南北成分 6.1 秒と求めることが出来る。この値は他の地震に較べ少しく小さいやうである。第 47 圖は御前崎南方沖 (283 km) の地震で、東西成分は總震動時間著しく短いけれども兩成分とも卓越週期は 6.3 秒となり、第 50 圖關ヶ原附近 (286 km) の地震にては陸上に震央をもつ地震であるが卓越週期は 6.5 秒、第 51 圖氣仙沼灣附近 (380 km) の地震にては卓越週期は比較的大きく 6.8 秒となる。第 52 圖は男鹿地震餘震 (449 km) の平均週期曲線である。本震の記象は表面波の振幅が極めて大であつたために中斷せられたのでここに調べられてゐない。餘震の記象について 20 分までの平均週期は圖に示すごとくである。南北成分第 13 分目には 10.5, 12.3, 11.5, 及び 10.1 秒等週期の長い波のみが現れ之等の平均週期は 13.2 秒となつたので第 13 分の平均週期は圖には示されてゐない。東西成分にてはそのやうな現象は見られなかつた。平均週期曲線より求められた尾部の卓越週期は兩成分共に 7.1 秒となる。第 53 圖は岡山縣阿哲郡南西部 (533 km) の地震の平均週期曲線である。南北成分の記象は地震計故障のため記録せられてゐないが、東西成分については、10 分頃まで表面波によると思はれる波が極めて優勢であつて、著しく大きな平均週期の値を與へてゐるのが見られる。13 分以後の平均週期より尾部の卓越週期を求めれば 7.3 秒となる。第 54 圖は岩手縣久慈沖 (589 km) の地震で

卓越週期 7.2 秒, 第 55 圖は山口縣室津半島 (728 km) の地震で卓越週期 7.3 秒である。第 56 圖は日向灘北部 (812 km) の地震の平均週期曲線である。之に於ても岡山縣阿哲郡の地震と同様 13 分頃まで 12~15 秒の週期の長い波が多く現れるのが見られたが, それらの波は除外して平均週期を求めてある。14~23 分の間の平均週期より尾部の卓越週期を求めれば水平 2 成分共に 7.5 秒となる。最後の 3 個第 57, 58 及び 59 圖は北海道及其の附近の地震の平均週期曲線である。浦河沖 (833 km) の地震では東西成分については 13 分頃までは 6.4 秒前後の平均週期が現れてゐるが, それ以後からは平均週期も長くなり卓越週期を求めれば 7.1 秒となる。之に反し南北成分については平均週期は 10 分頃から略々一定であつて卓越週期 7.1 秒となつてゐるが, 17~18 分頃から後平均週期が少しく大きくなる傾向が見えてゐる。釧路南東沖の地震では卓越週期 7.4 秒と求められるけれども, やはり 17~18 分頃から平均週期が大となる傾向が見えるやうである。最後の第 59 圖は陸上に震央をもつ屈斜路湖附近 (948 km) の地震の平均週期曲線であり求められた卓越週期は他のものよりは少しく小さく 7.3 秒となつてゐる。

§ 4. 尾部の卓越週期と震央距離との關係

上述の如く, 平均週期曲線より求められた夫々の地震の尾部の卓越週期は第 IV 表に示すごとくである。大多數の地震に於いて, 東西及び南北の水平 2 成分について夫

第 IV 表 尾部卓越震動週期

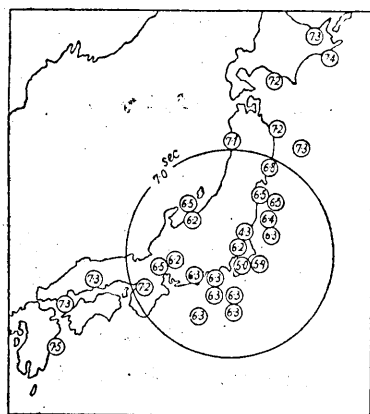
地震 番號	發 震 時 昭和年 月 日	震 央 位 置		震央 距離	尾部卓越振動週期				震源 深サ	最大 震度	
		ϕ	λ		地 域	東西成分		南北成分			
					km	秒	秒	秒	秒	km	
1	13 8 21	35.8	140.2	手 賀 沼	33	4.70±0.2	—	—	—	60	Ⅲ
2	7 12 2	36.4	140.5	水 戸 附 近	94	4.30±0.2	—	—	—	40	V
3	8 2 20	35.8	140.0	印 幡 沼	105	6.19±0.69	6.10±0.05	—	—	50	Ⅳ
4	15 6 12	35.3	141.0	房 總 沖	122	—	5.92±0.08	—	—	淺	Ⅳ
5	9 3 21	34.8	138.9	伊 豆 半 島	123	64.0±0.06	6.22±0.08	—	—	4	V
6	14 1 10	34.5	138.9	神 子 元 島 沖	146	6.24±0.04	6.26±0.07	—	—	淺	Ⅲ
7	11 12 27	34.4	139.2	伊 豆 新 島 沖	154	6.33±0.07	6.25±0.05	—	—	25	V
8	11 12 29	34.4	139.2	新 島 地 震 餘 震	154	6.31±0.06	6.30±0.08	—	—	淺	V
9	12 7 4	36.9	138.0	新 潟 縣 燒 山 附 近	164	6.23±0.06	6.28±0.05	—	—	"	V
10	10 4 9	34.9	138.0	天 龍 川 中 流 域	179	6.23±0.04	6.25±0.05	—	—	30	V
11	12 2 27	36.5	141.6	鹿 島 灘	187	6.34±0.06	6.34±0.04	—	—	60	V
12	14 2 17	36.8	141.6	鹽 屋 崎 東 南 東 沖	206	6.40±0.05	—	—	—	淺	Ⅳ
13	9 11 8	37.2	138.0	新 潟 名 立 沖 合	226	6.58±0.04	6.42±0.03	—	—	"	Ⅳ
14	9 8 18	35.7	137.0	岐 阜 八 幡 附 近	250	6.16±0.06	6.07±0.05	—	—	15	V

(次頁へ續く)

第 IV 表 尾部卓越震動週期 (續き)

地震 番號	發 震 時 昭和年 月 日	震 央 位 置		震央 距離	尾部卓越震動週期		震源 深さ	最大 震度
		φ	λ		東西成分	南北成分		
15	14 8 22	37.7	141.8	福島縣東方沖	km	秒 秒	秒 秒	km
16	10 3 31	37.4	141.8	鹽屋崎東北沖	257	6.50±0.06	6.56±0.06	淺
17	12 1 30	33.5	138.2	御前崎南方沖	259	6.50±0.04	—	Ⅲ
18	14 2 12	35.4	136.6	關ヶ原附近	283	6.30±0.12	6.33±0.05	Ⅲ
19	8 6 13	38.8	141.7	氣仙沼附近	286	6.50±0.06	—	Ⅲ
20	11 2 21	34.5	135.7	河内大和	380	—	6.77±0.13	Ⅲ
21	14 5 2	39.8	139.9	男鹿地震餘震	391	7.16±0.06	7.16±0.07	10
22	13 1 2	34.9	133.4	岡山縣阿哲郡南西部	449	7.07±0.05	7.11±0.06	淺
23	8 3 3	39.2	144.4	三陸沖	533	7.25±0.05	—	Ⅲ
24	12 3 22	40.2	142.2	岩手縣久慈沖	558	7.36±0.01	7.37±0.04	Ⅲ
25	12 2 27	33.7	132.1	山口縣室津半島	589	—	7.16±0.06	Ⅲ
26	14 3 20	32.4	131.8	日向灘北部	728	7.25±0.12	—	60
27	10 9 18	42.0	142.2	浦河南西沖	812	7.51±0.06	7.49±0.06	淺
28	10 9 11	42.7	145.0	釧路南東沖	833	7.09±0.04	7.19±0.05	Ⅲ
29	13 5 29	43.6	144.3	屈斜路湖附近	893	7.43±0.06	—	Ⅲ
					948	7.25±0.08	—	Ⅲ

々卓越週期が求められてゐるが、兩成分について得られてゐる値は全くよく一致してゐる。最も違ひの大きい No. 5 及び No. 13 の 2 つの地震に於ても、兩成分の違ひは 0.2 秒にしかすぎず、2 成分とも全く同一の卓越週期となつてゐるものが大部分であることが分る。従つて東西又は南北の 1 成分についてのみ卓越週期が求められてゐるにすぎない他の 12 個の地震に於ても、求められてゐる卓越週期はその地震の特質を示

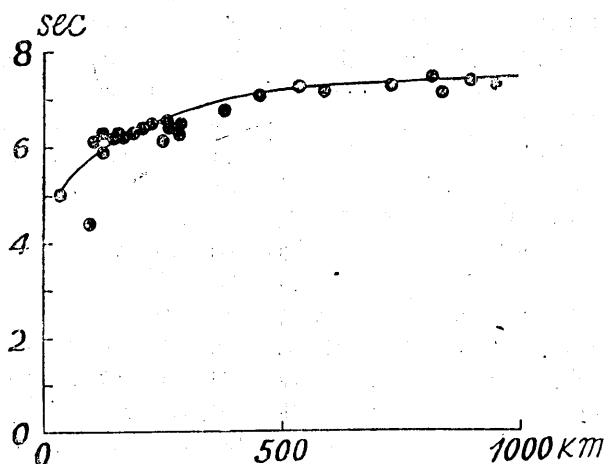


第 60 圖 ○: 震央 數字は其の地震による尾部の卓越週期

すものと考へて充分過りではないと思はれる。求められてゐる卓越週期の確率誤差も極めて小さく 1 秒以下であり之によつても夫々の地震について、尾部の各成分毎の平均週期は尾部全域にわたつてその地震については殆んど全て一樣のものであることを示してゐると見ることが出来る。尙第 IV 表 No. 23 三陸地震の卓越週期は次の第 2 章に於て述べる法方によつて得られた値があげられてゐる。

第 60 圖に此のやうにして得られた尾部の卓越週期の値が、夫々の地震の震央の位置に記入せられてゐる。之によつても卓越週期の値が地域別に特別な分布を示すやうな特徴は

見られない。寧ろ震央距離大なるもの程卓越週期も長くなつてゐる傾向が見られ、震央距離極めて小さいものでは 5 秒前後、400 km 位までは 7 秒以下、震央距離それ以上では卓越週期も 7.0 秒以上となつてゐる傾向が現れてゐる。この卓越週期の大きさを震央距離に對して圖示すれば第 61 圖の如くなる。第 IV 表に於て東西、南北成分で



第 61 圖 震央距離と卓越週期の関係

卓越週期を異にする地震については兩者の平均の値をその地震の尾部の卓越週期と考へて圖に記入せられてゐる。

圖に見られるごとく尾部の卓越週期は、震央距離 100 km 位の地震では 5 秒位であるが震央距離が増すと共に次第に長くなる傾向を示すやうであり 1000 km に近い地震では 7.4 秒位となる。併し震央距離に應じて週期の長くなる割合は極めてわづかであり、400 km 位迄の地震にては卓越週期 6.8 秒前後のものが多く、震央距離 500 km 以上のものにては卓越週期は急に大となり 7.3 秒前後となると考へられないこともない。

以上述べた如く、此の章に於ては近地地震の尾部の週期を地震記象より讀取り平均週期を算出して尾部の卓越週期を求めた結果、卓越週期は震央距離が増大すると共に次第に長くなる傾向が認められ、尾部の振動は一見土地の固有振動ではないやうであるが、週期の長くなる割合は極めて除々であり、一定の値に近づくのであるかも知れないと思はれる。

地震の大きさと尾部の卓越週期との間にも關係があるらしく、第 IV 表 No. 20, 23 等所謂大地震の卓越週期は確かに他のものに較べ大きいやうである。第 IV 表には地

震の大きさを示す一つの目安としてその地震が與へた最大震度の大きさが参考のために記入せられてゐる。併しこの値は決して地震の規模に比例した大きさを示すものとはならないので卓越週期と地震の大きさと細かい關係はここにはこれ以上は觸れない。

以上調べられた卓越週期は地震記象の上で P の始めから 20~25 分迄の波について求められたものである。大多數の地震記象にては 20~25 分よりは振動の振幅が極めて小さくなるので週期のよみとりを中止したのであるが、更に後の部分について調べられることも極めて必要であるので次の機會に述べることにする。

尙又始めに述べたとき方法により地震記象の讀取りを行つて得られた見掛けの週期が眞の波の週期であるか否かについては問題⁶⁾があるが之等についても週期分析を行つて確めて見る豫定である。

第2章 東京及横濱市内9ヶ所の同時觀測より求められた 昭和8年3月3日三陸地震による尾部の卓越週期

§ 1. 東京及横濱市内に於ける同時觀測

地震記象に見られる尾部の振動の卓越週期は夫々の地震毎に一定の値を與へるものであること前章に明らかにした通りである。併し求められた尾部の卓越週期は偶々本郷の地震研究所の觀測室に於て得られた地震記象に基いて解析が行はれた結果であつて本郷から少しく距つた地域で尾部の卓越週期が如何に變化するかは別に調べをして置かなくてはならない。

先に故石本博士⁷⁾は、東京及横濱市内に於ける土地の固有振動の問題を研究せられるため、東京市内に7ヶ所、横濱市内に2ヶ所地震計を設置して昭和7年6月より同9年10月に至る3ヶ年間にわたり觀測を繼續せられたことがあつた。此の時は、地震動の加速度の週期を測定することを目的とした爲に、自己振動週期0.1秒の石本式水平動加速計が使用せられ、東西及南北の水平2成分の觀測が行はれた。地震計の設置せられたのは、東京市内では所謂山の手に2ヶ所、即ち本郷の地震研究所内及び青山の青山師範附屬小學校内、下町に5ヶ所即ち、神田電機學校内、丸ノ内工業クラブ前空地、向島三共株式會社内、深川木場東京市柳橋場内及び赤羽内務省土木試驗場内である。この中地震研究所には水平成分の外に上下動加速度計も設置せられてゐた

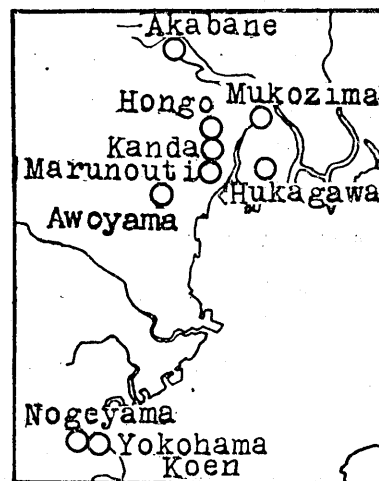
6) 萩原尊禮「異周期異振幅の正弦波の合成により生ずる見かけ上の周期について(其一)(其二)」地震研究所談話會 第190回、第193回。

7) 石本巳四雄 地震研究所彙報 12 (1934), 234. 13 (1935), 592.

が、他には上下動加速度計の設置せられた所のなかつたのは残念である。横濱市内に於ては、野毛山の震災記念館内及び横濱公園の2ヶ所に水平2成分宛の加速度計が設置せられたのであつて、之等の観測點の配置は第62圖に示されてゐるごとくである。

此の観測の行はれてゐる期間中に偶々昭和8年3月3日三陸地震が発生し、此等臨時に設置せられた全部の観測點に於て優良な記象を得ることが出来た。

此の時に得られた三陸地震の記象に基いて各観測點に於ける尾部の週期を求めることとした。併し先に述べたごとく、實際に得られた記象は加速度計による記象であるので、地動の週期を求めるためには、各記象について2回宛積分を行ひ實際の地動を算出しなくてはならない。併し9ヶ所の観測點で得られた東西及び南北2成分宛の記象について、2回宛の積分を尾



第62圖 観測點配置圖

部全域にわたつて遂行することは少しく勞力を要するので、地震記象の中の一部のみについて積分を行ひ全體の傾向を知り得れば甚だ好都合である。幸ひ、前章第33~59圖の平均週期曲線の示す結果によれば、夫々の地震について、Pの始めから5~6分を経た後に在いては平均週期は略々一定となり、尾部の卓越週期と考へて間違ひではない如くである。三陸地震の東京の観測に於て表面波が現れるのはPの始めから2分位であり、之による大振幅の波が終つた後即ちPの後數分目以後の週期を求めれば尾部の卓越週期と看做することが出来ると考へて過りではないと思はれる。従つて積分を行ふにあたり、積分を行ふべき區間は夫々の観測點の記象について、Pの始めから測つて第6分目から第10分目までの4分間に限ることとした。尙、地震研究所筑波山支所に於ても同様の加速度計による記象が得られてゐるので、比較のため之の記象についても他と同一の區間について積分を行ふこととした。

§ 2. 積分による地動の算出

地震計の運動方程式は普通に用ひられる記號に従つて書けば

$$\ddot{a} + 2\epsilon\dot{a} + n^2a = -Vz$$

となる。茲に a は記象紙上の變位、 x は地動、 ϵ , n , V 等は地震計に已有の常數である。記象紙上に得られた變位より土地の變位 x を求めるには、上式の兩邊を t につい

て各項毎に2度積分を行ひ、始めの條件

$$t=0; \quad a=0, \quad \dot{a}=-V\frac{dx}{dt}=0$$

をいれれば地動 x を求める式として次の式が得られる.

$$x = -\frac{1}{V} \left[a + 2\epsilon \int_0^tadt + n^2 \int_0^t \left\{ \int_0^tadt \right\} dt \right] \dots\dots\dots (4)$$

これより記象紙上の動き a 及びそれを組合せたものから振子に與へられた變位を求めることが出来る. 併し實際に積分しようとする範圍は今の場合に於ては $t=t_0$ 分からの a についてであるので、之は $t=0$ から $t=t_0$ 分までの積分の結果が知り得ない常數として加はつてくることを意味する. 併し元來加速度記象の零線の位置は不明であるため、充分注意して成可く眞のものに近いやう零線の位置を選定しても、之による誤差が積分の結果に混入してくることは避け得ないので、積分を行つて土地の永久變位の量を算出することは現在の所不可能の事である. 従つて、 $t=t_0$ 分までの結果が未知であつても、土地の變位の oscillatory な運動を問題とする 限りに於ては差支へを生じない.

今積分を行はんとしてゐる記象は第V表の如き常數をもつた加速度計による記象であるので、(3) 式の n^2 の値は當然大であり従つて(4) 式の右邊第3項は、第1項及び

第V表 加速度計の常數

地 震 計	重錘ノ質量	幾 何 倍 率	感 度	自己振動週期	制振器	制振度
石本式加速度計	kg 13	213	1 mm 1 gal	0.15 sec	空氣制 振 器	臨界制 振

第2項にくらべ著るしく大きな値となる故、地動 x の大きさを決定するものは殆ど第3項の値であり、第1及び第2項は無視して差支へない.

萩原博士⁵⁾ が先に加速度、速度及び變位計の記象を研究せられた際に、加速度記象を一度積分したものと速度記象とを比較し、速度記象を一度積分したものと變位記象とを比較した結果相互に極めてよく一致したものが得られ、地震計により記録せられてゐる記象は理論的に期待せられるものに較べて充分満足し得るものであることが實證せられた. 此の際加速度記象を積分するにあたり、記象について一定の間隔を以て區切られた時間毎の記象上の變位を Simpson の方法により數値積分を行つて得た振幅を直ちに速度の振幅と考へられてゐる. 即ち $n^2 \int_0^tadt$ の項のみが充分大きな役割をな

5) T. HAGIWARA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13 (1935), 138.

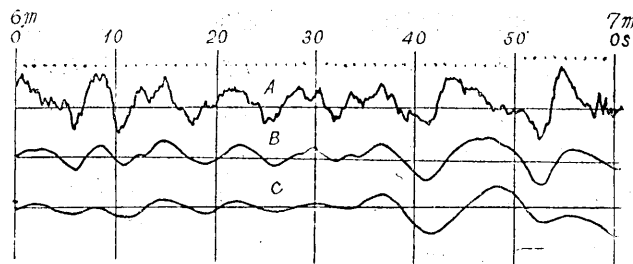
すと考へられて居る。

筆者も加速度記象の積分をなすにあたりこの考へに基いて計算を行つた。即原記象を寫眞により引伸しを行ひ、時間軸を 0.5 mm の等間隔に區切り、各々の點の振幅を 1 mm の端數まで讀取る。斯くすれば各觀測點に於て、記録用のドラムは電燈線より電源をとつた交流同期電動器を使用して回轉せしめられてゐるので、此の當時の交流周波數は正しく保たれてゐたとの假定が許されるとするならば、各觀測點について 0.25 秒毎の加速度の大きさを知り得たこととなる。

このやうにして知り得た振幅を始めのものより順次に y_0, y_1, y_2, \dots とすれば Simpson の方法により積分を行つて得る振幅 Y_n は

$$Y_n = \frac{dt}{3} \left\{ (y_0 + 4y_1 + y_2) + (y_2 + 4y_3 + y_4) + \dots + (y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) \right\}$$

となる。但し n は 2 の倍數、 dt は等間隔に區切つた時間の長さである。始めに加速度記象について次々の Y_n を求め速度曲線を算出し、得られた速度曲線につき再び上述の方法により積分を行ひ變位曲線を算出したのである。加速度記象を積分するに當り、零線を充分注意してきめて置けば、1 回の積分より求められる速度曲線の零線は幾分か波をうつとはいへ直線からの喰ひ違ひはそれ程大きくはない。併し之をそのまま再び積分したのでは零線からの倚りが極めて大となつて仕舞ふので、速度曲線の Y_n の前後 10 個宛の値の平均を求めて前の Y_n との間に引算を行ひ、零線を直線に引き直した速度曲線を求め之について同じく Simpson の方法により再び積分を行ひ變位を算出した。第 2 回目の積分を行つた結果は、零線の定め方に可なり誤差を持つことをまぬかれぬため求められた變位曲線は零線の正又は負の一方の側へ著しく傾いて仕舞ひ、零線の兩側に振動するやうな曲線とはならない。従つて、適當な二次曲線を求めて之と 2 回の積分を行つて得た曲線との間に引算を行はなくてはならない。此のやうにして求められた變位曲線の一例を第 63 圖に示してある。圖に於て A は觀



第 63 圖 神田電機學校東西成分。

A: 加速度記象 B: 速度曲線 C: 變位曲線

測より得られた加速度記象, B は速度曲線, C は變位曲線である. 加速度記象に於ては, 石本博士⁹⁾の指摘せられたごとく, 0.6 秒位の週期の波が卓越してゐるにも拘らず, 積分により得られた變位曲線に於ては, そのやうに短週期の波はも早見られず, 之に反して週期の遙かに長い, 略々 7 秒位の波がきはめて明瞭に卓越してゐるのが見られる.

上述の計算を各観測點に於て得られた加速度記象の全てについて行ひ變位曲線を算出した結果が第 64 圖及び第 65 圖の (B) に示されてゐる. 第 64 圖は東西成分第 65 圖は南北成分の變位曲線であり夫々の圖の (A) には比較のため原加速度記象が並べて示されてゐる.

地震研究所の變位曲線に重複して破線を以て記入せられてゐるのは, 變位地震計の記象より求められた地震動の變位である. 第 64, 65 圖に見られるごとく, 2 回の積分より算出せられた變位曲線は, 5 秒乃至 15 秒の週期をもつ振動曲線であるので得られた變位曲線が果して地動を現はすものかどうかを確かめるため變位計による記象と比較するに當つては, 使用すべき變位地震計の自己振動週期は, 上記の週期に較べて充分大きいものである事が望ましい. 前章尾部の週期を求めるために使用した長週期地震計によるこの地震の記象が見出し得なかつたので, 止むを得ず, 地震研究所観測報告¹⁰⁾の所載の圖版より地震學教室 1 倍半の變位計による記象を用ひることとした. この地震計の常數は下表の如くであつて, E'-W' 成分の自己振動週期は 50 秒

第 VI 表 教室 1 倍半變位地震計常數

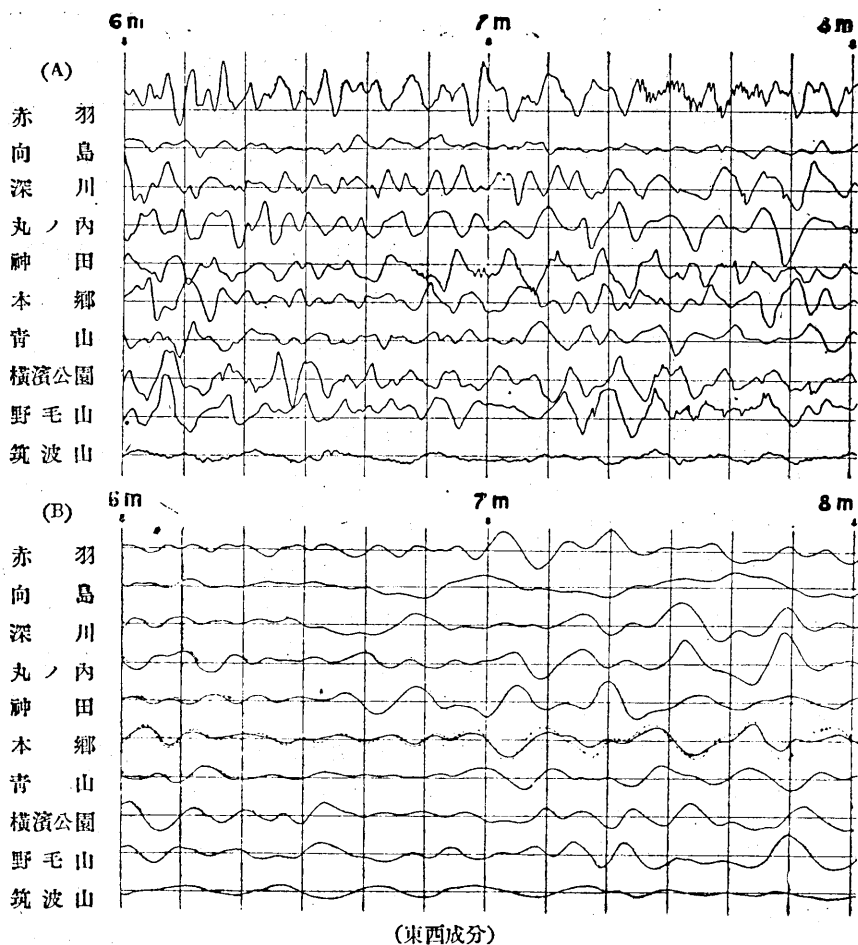
地震計	成分	重錘の質量	倍率	制振率	自己週期
變位計	E'-W'	15 kg	1.5	1.5	50 sec
"	N'-S'	15	1.5	1.5	33

であり比較的満足すべき状態であるが, N'-S' 成分の週期は 33 秒で充分とは云ひ難い. 更に振子の振動の方向は E'-W' 及び N'-S' と記入せら

れてゐて正しくは東西及南北の方向に向いてをらず N'=N13°E だけフレてゐるので眞の東西及び南北成分に書き改められねばならぬ. この場合上記の如く兩成分について地震計の自己週期が異なるので, 本來ならば各成分毎に得られた地震記象より地震動の加速度を算出し, それを 2 度積分して眞の地動の變位を求め, 斯くて得られた E'-W' 及び N'-S' 成分より眞の E-W, N-S 成分を求めることが望ましいのであるが, 地震動の中に現れてゐる週期の長い波にくらべても, 自己振動週期短い N'-S' 成分の自己週期は 2 倍以上であるので, 第一近似として記象そのものより E-W 及

9) 石本巳四雄 前掲.

10) 地震研究所地震観測報告 1933.



(東西成分)

第 64 圖 其 1 .

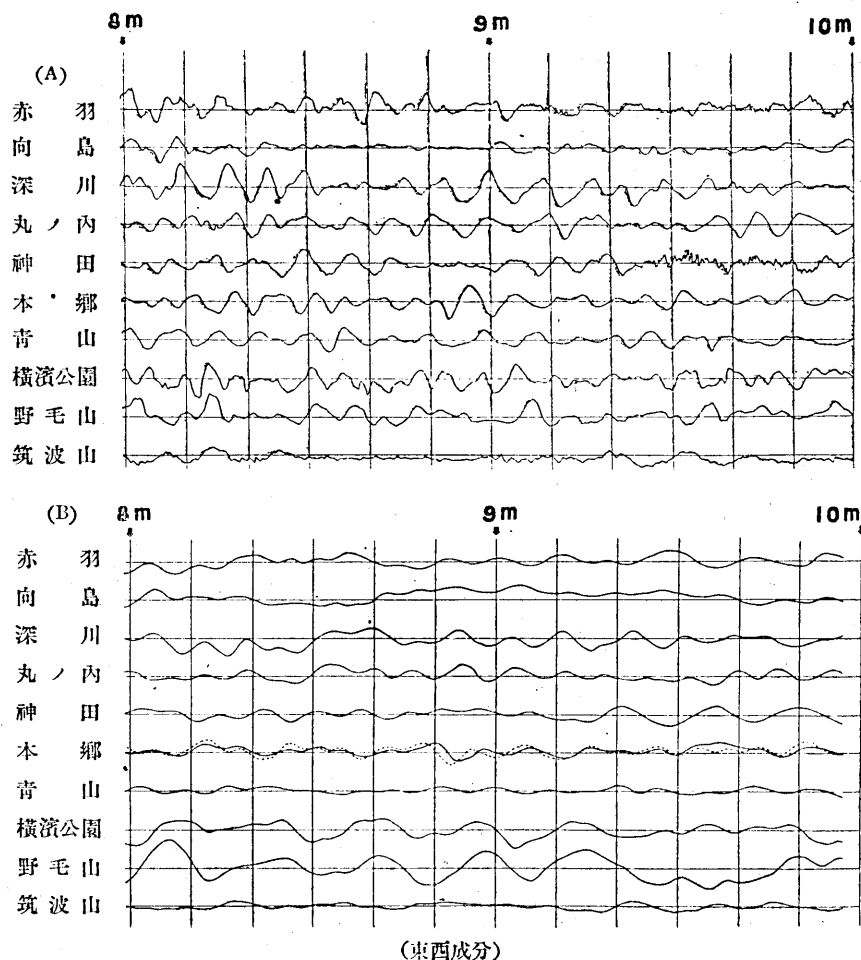
(A): 加速度記象 (B): 變位曲線

び N—S 成分の合成を行つた。記象より読み取られた 1 秒毎の波の振幅を E'—W' 及び N'—S' 成分について夫々 x' 及び y' とすれば、正しく E—W 及び N—S の方向に向いてゐるとしたとき x' , y' に應ずべき値 x 及び y は簡単に

$$x = x' \cos nt + y' \sin nt$$

$$y = x' \sin nt + y' \cos nt$$

(但し n は正の整数, t は一區切り毎の時間) で知ることが出来る。 x , y の値を倍率で除したものが第 64, 65 圖に破線で記入せられてゐる。併し實際に記入するに當つては、加速度記象から積分により得られた變位曲線と、變位計の記象から讀取つて得られた記象とは、3 秒だけ時間をづらして記入せられてゐる。即ち變位曲線の東西、南北兩成分共に、P の始めから 6 分 0 秒が、變位記象曲線 (破線) の 6 分 3 秒に合致す



(東西成分)

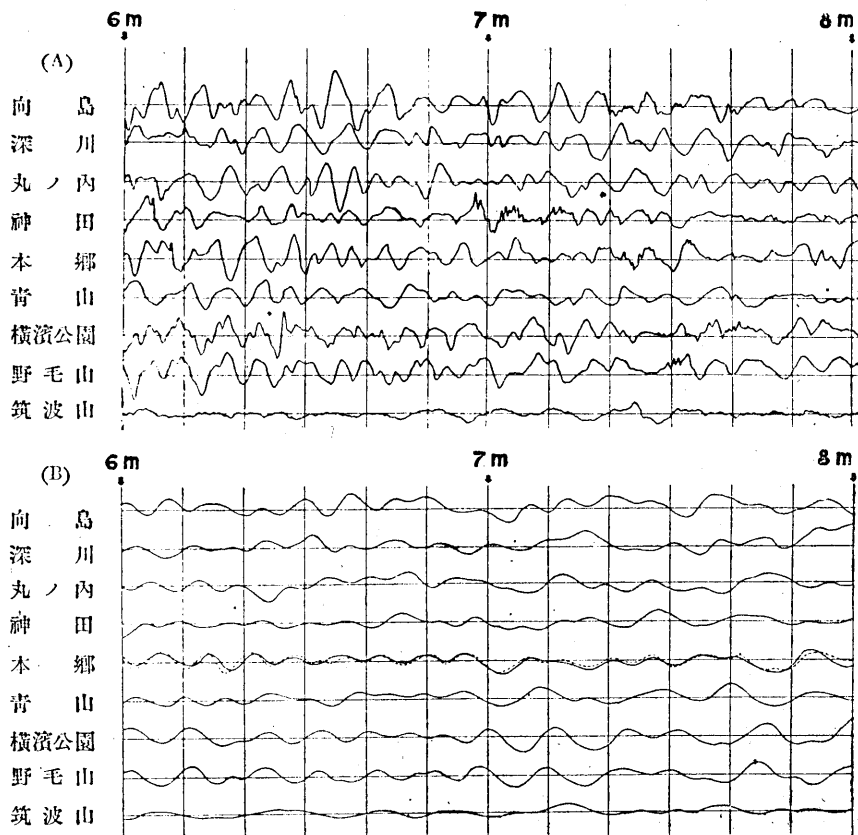
第 64 圖 其 2

(A): 加速度記象 (B): 變位曲線

るやう重ね合せられてゐる。其の結果二つの曲線は大體に於てよく一致してをり、地震研究所の加速度曲線より算出せられた變位曲線は略々その場所の土地の變位を現してゐると考へて誤りでないと推定せられる。

地震研究所以外の場所の變位曲線については、變位地震計が同一場所に設置せられてゐないので比較をなし得ないけれども、本郷地震研究所の場合と同様、略々地動をあらはすものと考へて差支へないと考へられる。

茲で 2 つの曲線を重ね合すに當り時間軸を 3 秒だけずらせたことに問題が存するが、變位記象の P の始めを定めるにあたり ± 1 秒の誤差を生ずる事はあり得ることであり、更に用ひた圖版の記象には原記象に見られる吸上げによる刻時が見られず、



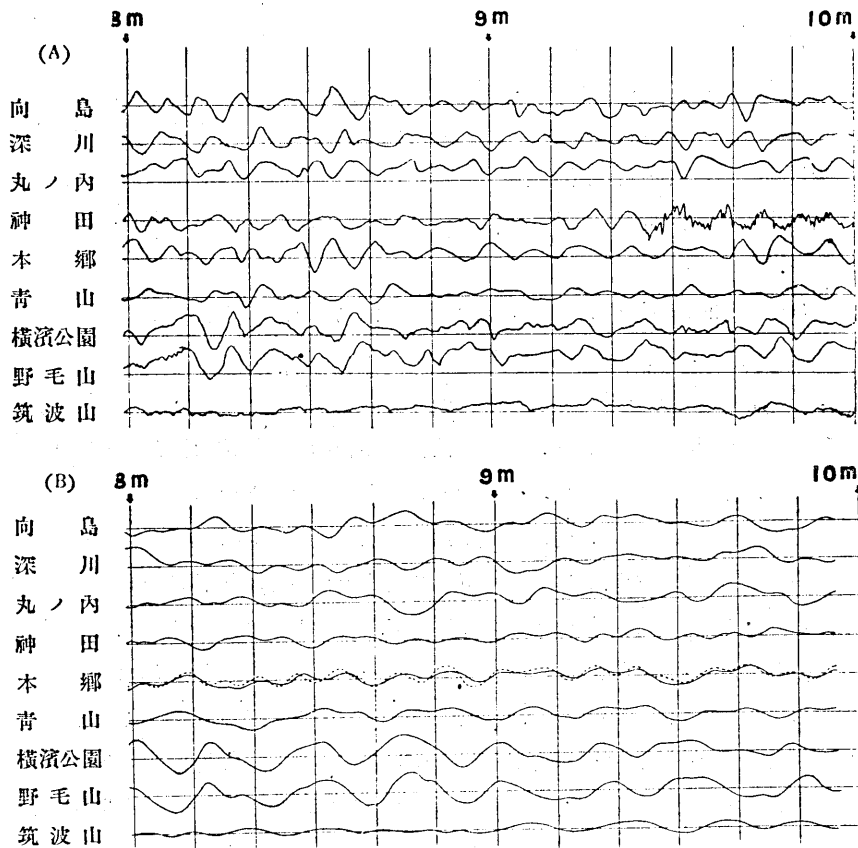
(南北成分)

第 65 圖 其 1

(A): 加速度記象 (B): 變位曲線

従つて地震記象と並行に記入せられてゐる刻時記録にたよつて時間の判定をなさなくてはならぬので P の始めより 6 分を経過する間に 2~3 秒の誤差を生ずべきことも可能であり、加速度計及變位計のドラムの回轉の不均一による誤差も混入し得るであらうから、3 秒の差についてくはしく論じることがをしない。地動の週期にくらべて變位計の週期は 2~3 倍も長いのであるから、變位計記象に位相の補正が加へられてゐないことによつて生じたくひ違ひではないと考へられる。變位地震計による記象を見ると、6 分乃至 10 分の間に於ては、顯著な地動の不連続が存在してゐる所は見當らないので、そのやうな振動に對しては、地動は定常状態にある單弦運動と見て補正を加へれば、充分信用出来る値を得る¹¹⁾ことが知られてゐる。只今の場合に於ては T/T_0 (T : 地動の週期, T_0 : 地震計の自己振動週期) が 0.5 以下であるので、制振率

11) 河角 廣 地震 4 (昭和 7 年), 7.



(南北成分)

第 65 圖 其 2

(A): 加速度記象 (B): 變位曲線

は比較的小さい地震計ではあるが、補正の値はほぼ 1 に近いと見て、特に補正を加へることは行はなかつた。併し圖に見られるごとく、週期 7~8 秒の波の部分に於ては積分より求めた變位曲線(實線)と變位地震計記象の振幅とが大體に於て同一であるが、15 秒前後の週期の長い波の部分に於ては變位地震計記象の方が明らかに振幅の大きいことが見られる。この事は積分により求めた變位曲線の方が寧ろ地動を忠實に現すに近いことを示すものとさへ考へ得る。

§ 3. 變位曲線

第 64, 65 圖に得られた變位曲線には原加速度記象に優勢にあらはれてゐる短週期の振動は見られなくなつてをり之に反し週期の長い振動が優勢に現れてゐる。變位曲線の形を見ると表面層の厚さ比較的に厚く、所謂下町と呼ばれてゐる地域にある向島深川、丸ノ内等に於ける變位曲線は大體に於てお互によく似通つてをり、又臺地の山

の手と呼ばれる地域にある本郷及び青山での變位曲線は大體に於てお互によく似通つてゐるといふことがいへさうである。之に對して兩地域の境目に近い場所である神田電機學校に於ける變位曲線はこの二つの群のいづれからも異つてゐるやうに見える。横濱に於ける二つの觀測點、横濱公園及び野毛山での變位曲線は極めてよく似通つてゐる。筑波山での變位曲線は振幅が著るしく小さいが、他の所の變位曲線と形が全く異つてゐる。

東西成分の變位曲線第 64 圖について見るに、向島の記録は振幅が小さくて明瞭を缺き、6 分の始めから 7 分の中頃までは深川、丸ノ内のものとあまりよく似てゐるとは云ひ難いが、それから後終りまでは多少の違ひはあるけれども、3 本の變位曲線は波を一つ一つ對應出來さうである。之等の曲線は亦、赤羽の變位曲線とも可なりよく似通つて居る。赤羽も臺地の上にはないので、表土層の厚いといふ點では下町と同様の性質を持つ地域と考へ得る。神田電機學校の記象に於ては、石本博士が加速度記象の卓越週期をしらべられた時には、その卓越週期は 0.6 秒となり下町の性質を示すことを指摘してをられるが、變位曲線の形は他の下町のものとは異つてゐる。本郷地震研究所及青山師範の變位曲線は 6 分の始めより 9 分の終りまで、全域にわたり可なりよく一致してゐるのが目立つてゐる。東京に於ける 7ヶ所の觀測點の變位曲線をしらべると、以上述べたやうに二つの群があるやうであるが、全體に共通の現象としていづれに於ても 6 分の終り又は 7 分の始めから 1 分半程の間、著るしく週期の長い波があるのが認められる。併しこの波の始りは明瞭を缺くので、位相の關係を直ちに求めることは出來ないが、後に述べるやうに、南北成分の變位曲線に於ても同じく 6 分の終り又は 7 分の始めから始まる週期の長い波が明瞭に認められるので、兩水平成分について波の合成を行ひ、振動の orbit をしらべれば、位相の始めを求め得るかも知れない。

横濱の二つの觀測點の中、野毛山は臺地上に横濱公園は沖積層厚い地域に設けられたのであるが、兩觀測點での變位曲線は著るしくよく似てゐることは注目せられる。横濱に於ても 7 分の中ば頃から週期の長い波が現れてきてゐるのが認められる。

筑波山の變位曲線は 6 分の始めに週期の長い波が見えてゐるのが注目せられる。筑波山の變位曲線の振幅は東京及び横濱のものに較べて極めて小さいのが見られるが、花崗岩よりなる山體の上に設けられてゐる觀測點の記象としては寧ろ當然のことといへる。

以上東西成分の變位曲線について看取せられた事柄が、南北成分の變位曲線第 65 圖に於ても同様に認められる。赤羽の南北成分は記録せられなかつたが、向島の變位

曲線は 6 分の始めから深川、丸ノ内のものとよく似通つてゐり；又神田の變位曲線も南北成分に於ては、深川、丸ノ内等下町のものの變位曲線とかなりの程度まで類似してゐるといつて差支へない。横濱の 2 つの觀測點での變位曲線も東西成分の場合と同様相互に極めてよく似てゐると云ふことが出来る。

筑波山の變位曲線の南北成分も東西成分と同様の性質を示し；振幅は極めて小さく；且つ週期の長い波が 6 分の始めから認められる。

§ 4. 卓越週期

上の如くして得られた變位曲線について波の持つ週期を調べて見よう。變位曲線の

第 VII 表 (其の 1)

變位曲線より讀取りたる週期 (東西成分)

	赤羽	向島	深川	本郷	神田	丸ノ内	青山	野毛山	横濱 公園	筑波山
6 分	6.8	7.0	7.9	7.5	6.0	8.5	6.5	9.0	9.8	
	4.0	6.0	6.5	8.8	6.3	5.8	7.3	8.3	8.8	
	8.5	7.3	6.0	9.0	7.8	7.5	6.3	6.8	6.0	
	8.8	7.3	5.0	6.8	7.5	7.8	5.8	7.5	6.3	
	4.3	7.8	5.3	8.3	7.0	7.8	8.0	7.3	5.3	
	8.8	6.0	6.3	6.5	8.0	7.3	6.5	7.5	5.3	
	6.8	8.3	9.3	7.0	8.0	6.0	4.8	6.3	6.3	
	6.8	4.0	8.5	5.8		4.0	7.3	8.0	7.0	
	7.3	9.8	6.0				7.8		6.3	
							10.5			
7 分	7.0	8.5	5.0	6.5	8.3	6.0	7.1	5.5	7.3	6.5
	8.3	7.8	7.8	7.0	7.5	5.3	6.0	6.5	5.8	6.3
	8.3	7.5	7.8	8.8	7.8	7.5	4.0	8.5	9.0	7.5
	7.5	8.3	8.3	8.3	7.3	8.8	8.0	7.8	8.8	9.0
	5.0	6.0	9.3	7.3	8.8	7.5	6.0	7.8	6.5	8.0
	6.0	5.5	8.0	6.8	6.5	9.0	9.3		6.8	7.0
	8.0	5.3	8.5	7.3	6.0		7.5		5.5	6.3
		7.0	7.0	5.5	6.0					
8 分	8.5	6.3	7.8	9.0	6.0	6.5	6.5	7.5	7.5	8.0
	7.8	7.8	6.8	5.8	6.3	6.3	7.8	8.8	5.8	8.3
	7.8	7.5	5.3	7.8	7.8	6.3	7.8	7.3	5.3	7.3
	3.8	8.5	7.0	6.0	8.5	5.0	6.3		7.0	8.0
	6.3	7.8	8.0	6.3	7.5	7.8	7.3		8.5	5.0
	7.8	5.8	7.3	7.8	7.8	7.3	5.8		8.8	7.8
	8.3	6.5	7.5	6.8	5.5	6.5	8.8		7.8	
	5.0	9.8	8.5	8.0	6.5	7.8	8.5			
				8.3	8.5	8.5				

(次頁へ續く)

第VII表 (其の1)
變位曲線より讀取りたる週期 (東西成分) (續き)

	赤羽	向島	深川	本郷	神田	丸ノ内	青山	野毛山	濱公 横園	筑波山
9 分	8.3	8.0	8.5	8.8		8.5	8.8	8.5	7.0	7.5
	6.8	7.3	6.3	5.8		7.0	5.3	7.3	8.3	7.3
		5.5	5.8	5.8		7.3	5.3	9.0	6.0	7.0
		6.0	8.5	7.5		6.5	6.3	7.0	7.5	7.5
		8.0	8.0	7.5		8.3	7.8	6.0		6.0
		7.8	5.3	8.0		6.3	8.3	5.5		9.5
		7.3	7.8			9.0	8.7	6.8		

第VII表 (其の2)
變位曲線より讀取りたる週期 (南北成分)

	向島	深川	本郷	神田	丸ノ内	青山	野毛山	濱公 横園	筑波山
6 分	7.0	8.5	7.8	6.0	7.8	8.0	8.8	9.0	
	5.8	6.3	8.0	7.5	7.5	7.0	7.5	7.0	
	9.5	6.0	6.0	5.5	8.3	7.5	5.5	6.0	
	7.0	7.3	8.3	7.8	7.3	6.5	8.8	8.8	
	7.3	6.8	6.0	6.5	6.5	7.5	8.8	8.8	
	7.5	7.0	7.8	8.8	6.3	5.3	6.3	6.5	
	5.3	7.3	6.0	6.0	8.0	6.0	4.5	5.5	
	6.3	8.5		6.3	8.3	7.5	7.0	7.0	
	8.0			7.8					
7 分	6.0	6.7	7.3	7.8	9.0	7.3	7.5	6.0	8.3
	7.0	9.0	6.5	6.5	7.0	8.0	6.8	6.0	6.3
	7.0	7.8	7.3	7.3	7.3	4.5	8.0	8.3	8.3
	7.0	6.5	6.8	7.0	8.0		7.0	6.5	
	6.0	7.8	8.8	7.0	6.0		6.8	7.8	
	5.5	6.8			4.8			7.3	
	7.5	9.3			9.8				
8 分		7.0			6.3				
	4.5	8.3	7.8	6.0	7.3	7.3	6.0	7.8	7.0
	6.0	6.5	6.8	7.8	8.0	7.8	8.3	5.3	8.3
	7.5	7.8	5.0	8.0	6.8	7.8	5.8	8.3	7.8
	7.8	7.3	6.5	6.8	7.8	6.5	7.0	5.5	7.5
	7.8	5.0	7.5	7.5	7.5	8.8	7.0	6.8	8.3
	8.0	5.8	9.0	6.8	7.3	7.0	8.5	8.5	
	8.3	9.0	7.8	8.5		6.5	6.5		
	9.3	7.3	9.0						
		7.3							

(次頁へ續く)

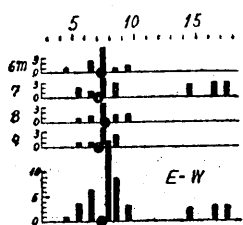
第 VII 表 (其の 2)

變位曲線より讀取りたる週期 (南北成分) (續き)

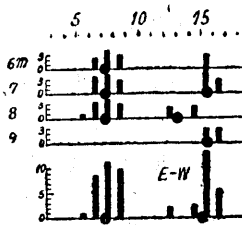
	向 島	深 川	本 郷	神 田	丸ノ内	青 山	野毛山	横 濱 公 園	筑波山
9 分	6.3	6.8	7.3	5.8	8.0	6.3	7.0	7.0	
	5.8	7.3	8.3	6.8	9.0	6.0	7.5	6.0	
	6.5	5.0	6.3	7.0	8.3	6.5	7.3	4.5	
	9.5	6.0	7.3	8.3	5.3	7.0		8.8	
	8.3	7.3	6.8	6.5	8.5	9.0		5.5	
		5.3	7.3	7.8	7.0	8.3		8.0	
		8.3		8.5	7.3	8.0		8.5	
					6.8			7.8	

6分から10分までを1分毎に區切れば夫々の1分間には第VII表にあげたとき週期の波が現れてゐるのが見られる。之より前章に用ひたと同様の方法により各分毎の頻度圖を畫けば第66~75圖 E—W (東西成分) 及び N—S (南北成分) の如くなる。これらの圖に於て横軸は1秒毎の波の週期、縦軸は前章(1)式により與へられる百分率頻度 N である。9分の終りに4分間の合計頻度が示されてゐる。いづれの觀測點に於ける頻度圖を見ても6~8秒の週期をもつ波が卓越してゐることが明瞭に現れてゐる。この他に主として7分~8分の間に於て15~18秒の週期の長い波が存在してゐることが目立ち、週期によつて分類すれば、7秒前後の週期をもつ波、15秒前後の週期をもつ波、との2群に分たれるといふことが出来る。之に對して週期の短い波は全く見ることが出来ない。上の各頻度圖に於ては、大部分の觀測點について頻度極大を與へる週期の山の形は、前章近地地震の週期頻度圖に見たときに較べてはるかに鋭く、頻度極大の週期を以て卓越週期と定めて大過ないごとくである。このやうにして求められた頻度極大の週期は後の第IX表に平均週期より求められた卓越週期と並べて比較せられてゐるごとく、赤羽、深川、本郷の東西成分、横濱公園、筑波山の南北成分にて8秒となるが他は全て7秒となる。

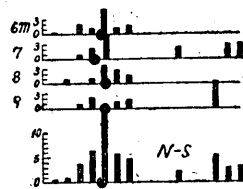
更にくはしくこの値を求めるために、前章に於て行つたと同様平均週期 T_0 を求めることとする。各分毎の平均週期は第VIII表のごとくなり週期頻度圖第66~75圖には黒丸で記入せられてゐる。これに於て最も注目すべきことは、全ての觀測點の平均週期が7.0~8.0秒の間にあることである。



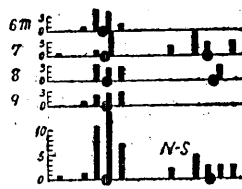
第66圖 向島



第69圖 神田



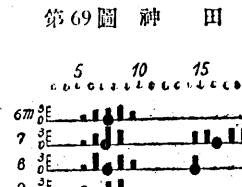
第67圖 深川



第70圖 本郷

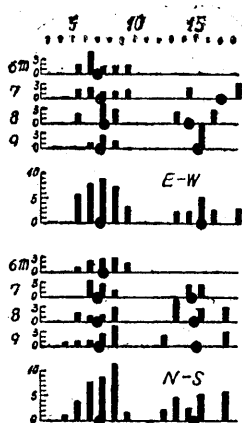


第68圖 丸の内

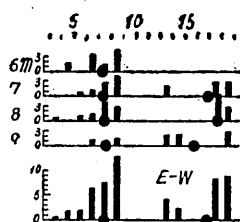


第71圖 青山

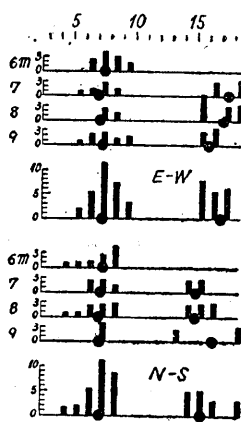
先に石本博士により上と同じ観測點について、加速度の卓越週期が求められた場合には、丸ノ内、神田等下町の観測點に於ては、0.6秒の週期の波が卓越し、之に反し本郷、青山等山の手の観測點に於ては、之より短い0.3秒の週期の波が卓越すると報告せられ、表面層の厚さの違いにより此の差違が生ずるものと説明せられたのであつたが、變位曲線より求められた週期についてはこのやな差異は全く現れてこない。第VIII表に各観測點について得られた平均週期の値が示されてゐる。之を見ると分毎に求められた平均週期の値の確率誤差が殆ど全部について ± 0.3 秒程度の大きさとなつてをり、之は求められた平均週期が、地動の中に實際に現れる波の週期と略々同等であることをあらはすものと見ることが出来る。之等を圖示すれば第76圖の如くなる。圖には震央距離の小さい観測點の順に並べて畫かれてゐる。唯筑波山のみは、他の場所に於けるよりも週期が長いやうであるので、最後にかかれてゐる。この圖より平均週期は震央距離にかかはらず略々一定であることが見られる。之等の表及び圖より各観測點の卓越週期を求めにあたり、夫々の1分の間の波



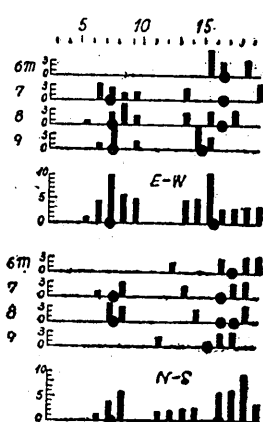
第72圖 横濱公園



第74圖 赤羽



第73圖 横濱野毛山



第75圖 筑波山

の数には著しく不等の見られるものがあるので1分毎の平均週期を6分~9分の4分間について平均したものを以て卓越週期とすることは適當でない。従つて各観測點毎に6分~9分の全區間の全ての波(但し後に述べる15秒前後の週期の長い波は除いて)について週期の長さに應じた重みを附した重價平均を求め、之をその観測點の卓越週期と定める。このやうにして求められた卓越週期の値は第IX表及び第76圖の第5本目の曲線に見られる如くである。之によると卓越週期は、いづれの観測點についても略同一であり、殊に東京市内7ヶ所の観測點について卓越週期の平均を求めれば

東西成分 7.36 秒 \pm 0.01 秒

南北成分 7.37 秒 \pm 0.04 秒

となり、兩成分について卓越週期の違ひは誤差の範圍内にあり兩者

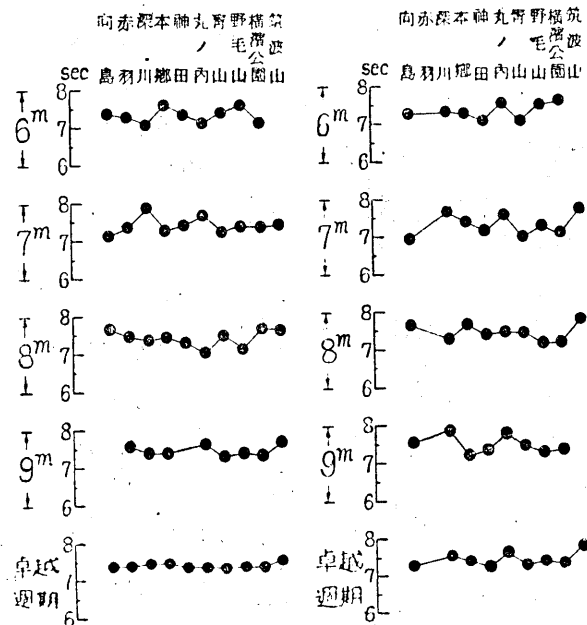
について同一であるといひ得る。確率誤差が極めて小さいといふことは、少くとも三陸地震について、東京市内にては尾部の卓越週期は山の手の観測點についても、下町の観測點についても差異のないことを示すものであつて、極めて注目すべき事柄である。

横濱の2ヶ所の観測點についても得られた卓越週期についての平均を求めれば、

東西成分 7.33 秒 \pm 0.02 秒

南北成分 7.32 秒 \pm 0.02 秒

となり東京の場合と同様のことを云ふことが出来る。且つ東京と横濱とでは震央距離にして横濱の方が30 km 位遠いにすぎないのであるから、兩地域の卓越週期が同一



第 76 圖 平均週期曲線
A: 東西成分 B: 南北成分

であることは寧ろ當然のことといへる。

筑波山の卓越週期は東西成分、南北成分夫々 $7.49 \text{ 秒} \pm 0.16 \text{ 秒}$, $7.75 \text{ 秒} \pm 0.17 \text{ 秒}$ となり東京及横濱よりやや大であることが認められる。

7 分の前後に見られる週期の長い波について讀取りを行つて求められた週期は第 X 表に示すごとくである。各観測點毎に第 X 表の全ての波について平均週期を求め之をその観測點の卓越週期と考へれば長週期の波の卓越週期は第 XI 表及び第 77 圖

第 X 表 (其の 1, 東西成分)

	赤羽	向島	深川	本郷	神田	丸ノ内	青山	野毛山	横濱	築波山
6 分	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
										15.5
										16.8
										15.0
										18.5
7 分	17.5	16.3	16.0	18.0	16.0	11.5	18.0	18.5	18.8	13.0
	16.5	17.3	17.3	15.5	15.8	16.3	15.3	16.5	14.5	19.0
	12.5	14.5	15.0	17.0	15.0	16.5	11.0			
				14.0	15.3	18.8				

(次頁へ續く)

第 X 表 (其の 1, 東西成分) (續き)

	赤 羽	向 島	深 川	本 郷	神 田	丸ノ内	青 山	野毛山	横 公	濱 園	筑波山
8 分	秒 16.3	秒	秒	秒 14.5	秒 12.0	秒 12.8	秒	秒 18.8	秒 13.3	秒	秒 17.0
	17.3				14.0	12.8		15.8	16.5		15.5
	16.0					14.3		17.8	13.3		13.0
								15.8			
9 分	17.3				15.0			15.8	15.0		14.3
	13.8				16.0			16.0	15.3		14.5
	12.3				15.5						15.5

第 X 表 (其の 2, 南北成分)

	向 島	深 川	本 郷	神 田	丸ノ内	青 山	野毛山	横 公	濱 園	筑波山
6 分	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒		秒 20.0
										16.8
										12.0
										18.5
7 分	10.5	15.8	13.3	14.3	17.3	15.3	14.8	14.3		18.0
	13.0	14.5	13.8	15.5	14.8	16.0	15.5	15.0		17.5
	17.5	14.3	18.8	14.3	18.8	14.0				13.5
	18.5	16.3	16.5	17.8	14.8					
6 分		14.8	12.8	16.0	15.5	13.8	16.0	17.0		14.0
					14.5	15.0	14.0	13.8		18.5
							15.0	15.3		
9 分	14.8						18.5	17.0		17.0
	16.8						13.5	12.8		16.3
	16.8									11.0

の如くなる。之によると各観測点について 15~16 秒の一定の週期をもつやうであるが、確率誤差の値が大きく、実際には 12~18 秒の広い帯域にわたり色々の週期の波が現れて居るのが見られる。東京及び横濱について卓越週期の平均を求めれば

$$\begin{array}{l} \text{東京} \left\{ \begin{array}{l} \text{東西成分} \quad 15.58 \text{ 秒} \pm 0.11 \text{ 秒} \\ \text{南北成分} \quad 15.48 \text{ 秒} \pm 0.13 \text{ 秒} \end{array} \right. \quad \text{横濱} \left\{ \begin{array}{l} \text{東西成分} \quad 16.17 \text{ 秒} \pm 0.51 \text{ 秒} \\ \text{南北成分} \quad 15.20 \text{ 秒} \pm 0.18 \text{ 秒} \end{array} \right. \end{array}$$

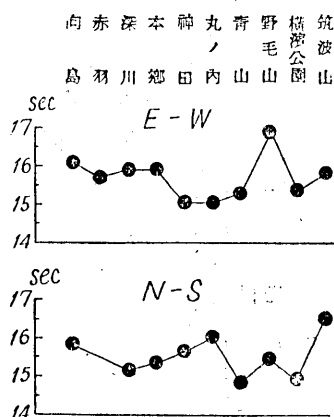
となる。筑波山にては東西成分 15.84 秒 \pm 0.12 秒、南北成分 16.54 秒 \pm 0.19 秒となり他より長いやうである。此の長週期の波は第 64, 65 圖に見られるごとく、筑波山に

ては 6 分の始めに現れ、本郷にては 6 分 55 秒頃、横濱にては 7 分 10 秒頃に現れてゐる。

昭和 8 年 3 月 3 日の三陸地震を東京市内 7ヶ所、横濱市内 2ヶ所及び筑波山支所の合計 10ヶ所の観測點に於て同一加速度計により観測せられた記象に基き、P の始めから數へて 6 分乃至 10 分の 4 分間を 2 回宛積分することにより各観測點での地動の變位を算出した。斯くて得られた變位曲線より地動の週期を読みとり、各観測點について卓越週期を求めた結果、加速度計の設置せられた場所によつて、表面層の厚さには著しい

差異があるにも拘らず、求められた卓越週期は相當に廣い地域にわたつていづれも 7.3 乃至 7.4 秒の極めて齊一の値を與へることが判明した。第 1 章近地地震による平均週期の研究の結果、P の始めより數分後に於ては、地震動の中にあらはれる波の週期は略々一定となり尾部の卓越週期と着倣し得ることが明らかにせられたので、上の變位曲線より得られたそれらの値を三陸地震の尾部の卓越週期と考へれば、東京市内全域についての尾部の卓越週期 7.36 秒、横濱のもの 7.33 秒と求められる。東京からの震央距離 558 km の三陸地震について求められたこの値は第 1 章に於て種々の震央距離の地震について求められた尾部の卓越週期の値と矛盾しない。

此の研究をなすにあたり終始懇切なる御指導と御鞭撻とを與へられた萩原博士に深甚なる謝意を表する次第である。尙本研究は文部省科學研究費に負ふ所大であり關係當局に對し感謝する次第である。



第 77 圖

第VIII表 (其の 1)
各分毎の平均週期 (東西成分)

	赤 羽	向 島	深 川	本 郷	神 田	丸ノ内	青 山	野 毛 山	横濱公園	筑 波 山
	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
6 分	7.26 ± 0.38	7.36 ± 0.35	7.03 ± 0.36	7.59 ± 0.27	7.30 ± 0.20	7.09 ± 0.31	7.36 ± 0.32	7.54 ± 0.21	7.07 ± 0.37	—
7 分	7.33 ± 0.30	7.16 ± 0.29	7.87 ± 0.27	7.27 ± 0.24	7.39 ± 0.25	7.66 ± 0.39	7.21 ± 0.49	7.35 ± 0.34	7.30 ± 0.36	7.36 ± 0.26
8 分	7.47 ± 0.36	7.66 ± 0.32	7.37 ± 0.22	7.41 ± 0.24	7.29 ± 0.24	7.00 ± 0.24	7.47 ± 0.25	7.10 ± 0.51	7.62 ± 0.32	7.55 ± 0.29
9 分	7.56 ± 0.51	7.23 ± 0.24	7.36 ± 0.35	7.37 ± 0.32	—	7.60 ± 0.23	7.23 ± 0.30	7.34 ± 0.32	7.23 ± 0.32	7.60 ± 0.33

第VIII表 (其の 2)
各分毎の平均週期 (南北成分)

	赤 羽	向 島	深 川	本 郷	神 田	丸ノ内	青 山	野 毛 山	横濱公園	筑 波 山
	—	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
6 分	—	7.26 ± 0.26	7.29 ± 0.22	7.23 ± 0.23	7.04 ± 0.25	7.50 ± 0.20	7.02 ± 0.21	7.44 ± 0.36	7.53 ± 0.33	—
7 分	—	6.65 ± 0.18	7.67 ± 0.26	7.38 ± 0.28	7.13 ± 0.15	7.57 ± 0.32	6.93 ± 0.65	7.23 ± 0.17	7.03 ± 0.27	7.70 ± 0.42
8 分	—	7.64 ± 0.32	7.28 ± 0.23	7.64 ± 0.30	7.39 ± 0.22	7.44 ± 0.12	7.42 ± 0.22	7.14 ± 0.27	7.16 ± 0.37	7.78 ± 0.20
9 分	—	7.52 ± 0.49	7.84 ± 0.41	7.22 ± 0.24	7.32 ± 0.25	7.79 ± 0.29	7.43 ± 0.30	7.26 ± 0.10	7.30 ± 0.34	—

第 IX 表
尾 部 卓 越 週 期

卓越週期	測觀點		赤羽	向島	深川	本郷	神田	丸ノ内	青山	野毛山	横濱公園	筑波山
	成分											
卓越週期	東	西	秒 7.37±0.18	秒 7.36±0.15	秒 7.41±0.15	秒 7.42±0.13	秒 7.32±0.13	秒 7.31±0.14	秒 7.34±0.18	秒 7.36±0.14	秒 7.29±0.17	秒 7.49±0.16
	南	北	—	7.27±0.16	7.51±0.13	7.38±0.17	7.22±0.11	7.59±0.12	7.25±0.14	7.34±0.15	7.29±0.16	7.75±0.17
頻度週期	東	西	秒 8	秒 7	秒 8	秒 8	秒 7	秒 7	秒 7	秒 7	秒 7	秒 7
	南	北	—	7	7	7	7	7	7	7	8	8

第 XI 表
長い週期の波の卓越週期

観測点		成分																				
東	西	赤	羽	向	島	深	川	本	郷	神	田	丸ノ内	青	山	野	毛	山	横濱公園		筑	波	山
		秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
		15.72±0.14	16.03±0.17	15.92±0.14	15.94±0.16	15.04±0.03	15.06±0.21	15.31±0.10	16.92±0.10	15.42±0.16	15.84±0.12											
南	北	—	15.84±0.21	15.14±0.09	15.35±0.25	15.65±0.14	16.07±0.16	14.85±0.09	15.47±0.14	14.93±0.12	16.54±0.19											

21. *On the Coda Waves of the Earthquake Motions. (Part 1)*

By Syun'itirô OMOTE,

Earthquake Research Institute.

The earthquake motion due to a distant origin consists generally of a series of different sections or stages. F. Ōmori divided the motion into three main parts, namely, "the preliminary tremor," "the principal portion," and "the end portion" purely on the bases of its appearance. The preliminary tremor, which consists principally of vibrations of small amplitudes and short periods, is divided into two parts, the first part being a series of P waves and the second that of S waves. The principal portion, or that of "the large waves" as some researchers call this section of the motion is considered to consist mostly of surface waves, since the travel time of the waves in it is approximately proportional to the arcual distance from the epicenter to the station where the observation is made.

The large waves of the principal portion are usually followed up by a feeble finishing part of the earthquake motion, which is called the end portion or the coda waves. The oscillations of the coda waves frequently last three or more hours with an almost uniform amplitude and period. Both the P and S waves of the preliminary tremor and the large waves of the principal portion have been exhaustively studied by numerous investigators, but as yet little is known even to day, on the coda waves.

In Chapter I of this report have been studied the oscillation periods of the coda waves which are seen in the seismograms of near earthquakes. In the case of near earthquakes whose epicentral distances are less than 1000 km, the mode of oscillations somewhat differs from that of distant earthquakes. Records of near earthquakes are generally characterized by the great complexity of form and the relatively short duration of the entire motion. Such records begin with P waves of relatively small amplitudes and short periods and then proceed to S waves of large amplitudes. These are sometimes followed by large surface waves, though sometimes they are followed up by none at all. After them come the coda waves with an almost uniform amplitude and period.

In studying the period of coda waves, the records taken by means of the Ōmori seismograph of the horizontal pendulum type have been used, the free oscillation period of the seismograph being throughout kept up at about 60 seconds. Figs. 5~36 show the frequency distribution of different periods of coda waves as recorded in the seismogram. In preparing these figures, the relative frequency N_p

has been used, which is given by the formula $N_p = \{n_p/n_p'\} \times 10$, $n_p' = \frac{60}{p+0.5}$, where

n_p and p denote the frequency and period of the wave whose period is p second, and N_p the relative frequency of that period. The peaks of the diagrams in Figs. 5~36 are not sharp enough to enable one to determine the predominant periods from these figures.

In order to determine more exactly the predominant period of the coda waves

the mean period T_0 of every one minute has been determined by the formula $T_0 = \frac{\sum t_i m_i}{\sum m_i}$ where t_i denotes all the periods that is seen during the one minute from the beginning of the $(i-1)$ 'th minute to the beginning of the i 'th minute after the commencement of the P waves, and $m_i = t_i/60$, T_0 the mean period of that one minute. In other words, the value of the weighted mean of all the periods that are found in any one minute has been defined as the mean period of that one minute. In this the length of the respective period itself has been taken as the weight of the respective period.

The mean period of every one minute of coda waves has been determined with 29 earthquakes, the results of which are shown in Table III and in Figs. 40~69. These figures show that the mean period curve of any earthquake can be represented by a straight line parallel to the abscissa. This means that with any earthquake the mean period of every one minute of coda waves is almost uniform. This constant period has been defined as the predominant period of the coda waves of that earthquake.

The determined predominant periods of the coda waves of the twenty-nine near earthquakes are tabulated in Table IV. In the map of Fig. 70 are given the epicenters of these earthquakes together with the predominant periods of the coda waves of the respective earthquakes.

It will be seen from these figures that the epicentral distance is an important factor in determining the period of coda waves. The nearer the epicenters are, the shorter are the predominant periods; the greater the distance, the longer the periods. In the Teganuma earthquake of August 21, 1938, the nearest of the 29 earthquakes ($\Delta=33$ km), the coda waves had a predominant period of 5.0 seconds, while the Kusiro earthquake of ($\Delta=893$ km), September 11, 1938, the most distant of the 29 the coda period was found to be 7.4 seconds. The curve in Fig. 71 shows the relation between the predominant period and the epicentral distance.

In Chapter II is studied the coda period of the Sanriku earthquake which occurred on March 3rd, 1936, an earthquake whose epicenter was located in the ocean depth off the Sanriku coast. The waves proceeding from it were recorded at the ten stations, that had about that time been temporarily established in Tokyo and Yokohama. Since each of these stations had been equipped with two horizontal components of Ishimoto's acceleration seismographs of the same type, very reliable records could be obtained. The displacements of the earthquake motions have been computed from the actual acceleration seismograms, and the twice numerical integrations had been laboured out according to Simpson's rule with the original acceleration curves. The displacement curves obtained in this method are shown in Figs. 64, 65. From these curves the predominant periods of coda waves as observed by the respective stations have been calculated. The determined predominant periods are tabulated in Table IX. From this it will be clear that the periods of coda waves are not dependent on the conditions near the observing stations i.e., the nature of the ground on which the station stands. The periods of coda waves of the Sanriku earthquake were determined to be 7.36 ± 0.02 sec in Tokyo districts and 7.32 ± 0.02 sec. in Yokohama. As the epicentral distances of Tokyo and Yokohama only differs 30 km, it is but natural that the coda periods should be almost equal.