

次に各部分品の説明に移る事とする（未完）

紹介

遠地地震波に就いて

(A. Sieberg: Erdbenkunde 中 G. B. Gutenberg に依る Theorie der

Erdbenwellen の遠地地震に關する事項を紹介せるものなり)

和 達 清 夫

●歴史的考察

最初地震波の理論的研究は J. Young に依つてなされ、其の考へは、地震の際に起る地面の運動を丁度空氣中に於いて音が傳はる時と同じ様に考へ、其れが Gay-Lussac に依つて、完成された。R. Mallet は始めて 1845 年に横波に依る運動が存在することを想定し一方 W. Hopkins は流體のマグマの上に浮ぶ地殻が地震の時起る運動を、水波の様な方法で附言した。地震の記象の上から二つの分離した波相即ち縦波と横波の波群を確定したのは G. Wertheim であつて、其の後この研究は進んで Mallet, H. L.

Abbot, J. Milne, Fonqué, Levy, A. v. Iasulix, V. Seebach 等に依つて爲られ、この頃より J. Milne の導入に依つて、地震計に依る研究が始められた。Ewing は前走波 (Vorläufer) を縦波、主要波 (Hauptwellen) を横波と扱ひ E. V. Reynir-Paschwitz は遠地地震の観測の重要なことを指示した。それから地震記象紙の研究は A. Schmidt, J. Milne, A. Cancani, G. Argemann, G. Visciani, G. Grabhoritz, R. Ehler, R. V. Kövesligethy, M. P. Rudzki, F. Omori, G. G. Knott 等に依つてなられ、其の後 E. Wiechert は 1899 年に観測を基礎として次の説を出した。

震央距離が二千呎以上の距りを持つ強い遠地地震の記象を見ると其の波群が常に三つの部分に分けられる。第一に前走波が来る其の週期は十三秒以下であつて一般に小さい波又は波群である。其の次に大きな週期を持つ主要波が来る。それが大體振動の最大部分を形成して居る。終りの方は後走波 (Nachläufer) であつてこの波は主要波との間に判然とした境目がなく繋つて居て、其の形は規則正しい波を打つて居る、この間に屢々主要動の反射最大波 (Wiederkehrende Maxima) が認められる。

地震波の波長は場所に依つて色々變ずる。近地地震では一呎位であるのに遠地地震の主要動であると、數百呎の波長があり得る。

遠地地震の前走波

自記地震計の記象紙から遠地地震では前走波は二つの波群に大別される。其の中第二番目のものは屢

々大きな週期と大きな振幅の波群から成つて居る。この第一第二の二つの相の間に、まだ色々の其の他の相 (Weitere Einsätze) が観測される。傳播速度を測定する事に依つてずつと前から、この前走波は地球の内部を傳はつて我々に到達すると云ふ結論に達して居たので、この種々の相に就いては長い間よく分らなかつた。

1899年に Wiechert は次の様な提案をした。「第一の相を縦波とし第二の相を横波とし、之等は地球の内部を傳はつて來るものと考へては？」と。併しこの考へは正しいものと認められるまでに、長い間疑はれて居た。Wiechert は其の後更に 1906 年に前走波中に存在して居る其の他の層について、「之等を前走波の地球表面に於いて反射して來た波と考へては？」との説を出した。一回反射した縦波は E. Rudolph に依り、又一回反射した横波は Zöpprits に依つて最初確定された。

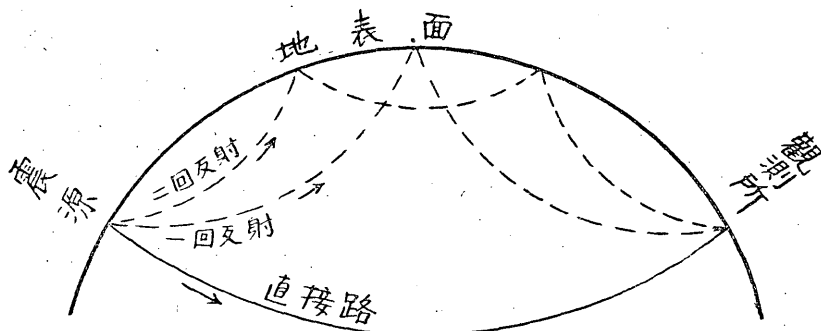
一、前走波の恰好と其の記號

多くの人は地震の記象紙の波の形で、前走波が記象されて居るだらうか、どれが前走波に概當するものだらうかなど、云ふ事は既に知つて居られるであらうが、其れ等を簡単に次ぎに枚擧して見やう。

(イ) 第一前走波

第一前走波は縦波から成り、それは地下の震源から出發して地球の内部を通り、地震計の場所に到達する。其れ故にある地震が同じ観測所に到達するのに色々ちがた道を通つて來る。

第一圖



前走波の反射路

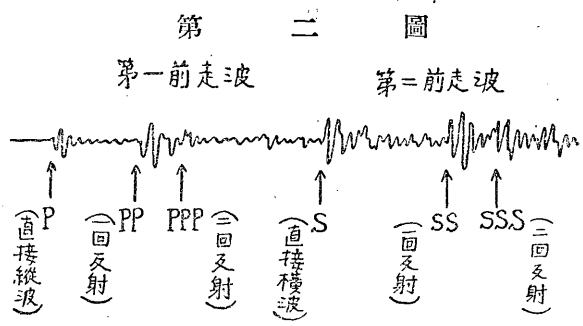
直接縦波 第一圖に直接路と書いた、震源から観測所まで直接の道筋を走る波であるがために、震源で引つ張つたか押されたかに依つて観測所に最初来る波が引くか押す即ち疎になる (Verdünnung) か又は密になる (Verdichtung) になる。

震央距離が可なり大きくなる時は観測所に到達した直接縦波は稍々強い垂直分力を持つ。それで震源に於いてある押しがある時は、観測所ではそれに對應した上を向いた垂直分力の相があらはれる。これが震源をさめるのに大切なものになつて来る。

萬國共通の記號法として直接縦波を P (*Undae primae*) と記し、之が存在する場合には地震記象の最初の部分を占める。其の現はれ方は屢々單獨の波をなさず、最初の認めらるべき相がだん／＼と出現して来る弱い波である事が多い。そう云ふものは P (*e=emergis*) と書いて特別に區別する。それに反して二三秒の間非常に鋭い相を示す時は P (*i=impetus*) と記號する。實際の地面の動きが前走波の間にとらなつて居るか云ふ研究は H. Arnold に依つてなされた。「前走波

と云ふもの二つの主要波を示めして居てそれはだん／＼小さな振動に消えて行く。それ故地球内の微片の動揺が與へる所の曲線はある波が小さな振動をしてだん／＼静止の位置に戻つて行くのである」と。

反射縦波 地球の内部を通つて地平面に突き出て來た縦波のために此の地表面では此の勢力の一部で振動を起すが、その一部は反射して又地球の内部の方に走つて行く。(第一圖)之は縦波に對しても横波



前走波の地震記象

に對しても行なはれることである。即ちある觀測所に到達する縦波は、直接來るものゝ外に、觀測所と震源との中央で一回反射したもの、又は其の間で二回又は數回反射したものがあつた。理論的に言へば何回も反射するであらうが、實際の觀測では二度反射の波になると稀にしか認められない。それに反して一度反射の縦波は震源から四千籽位離れた所では常に明瞭に見られるものであつて、その振幅の大きさに於いて、直接縦波より大きい事がある。

反射縦波の記號は

PR_1 , 又は PP (一回反射したもの)

PR_2 , 又は PPP (二回反射したもの)

など、書かれる。(第二圖参照)

(ロ) 第二前走波

第二前走波は横波から成つて居て、地下の震源から縦波と同時に發せられ、同じ様な通路を通つて地震觀測所に達するのであるが、其の速度は縦波より遙かに遅い。人に依つて屢々この横波の事を扭波 (Torsional wellen) と呼ぶ。

直接横波 直接横波も第一圖に示された直接縦波と殆んど同じ道筋を通る。その波が通る時に起る地球の微片の振動は衝撃を與へられた平面内で傳播の方向に垂直であるが、この振動平面が第一圖に示された其の平面内にあるか又はこの平面とある角度をなすかと云ふ所謂振動方向 (Schwingungswinkel) をなすかどうかは調べて見なければならぬ。ずつと震源から離れた所では兎に角振動は地表面と非常に小さい角度をなして振動するであらうから、遠地地震に於ける直接横波は單に水平動だけにしか現はれないであらう。その上この直接横波の振幅は比較的大きいが、その週期は普通の上下動地震計の固有週期に比べて大きい事が多いから一般に此の相の記象は上下動では見出しにくいのである。

萬國共通の記號では直接横波は S (*undae secundae*) を用ゐる。併し之は第一前走波の様に明瞭な S を作る事は少なく、前に續いて起つて居る振動のために、除々に現はれて來る。此になる事が多い。

反射横波 縦波の時に起ると同じ様な反射して到達する横波は、地震記象中に表はれて來るが既により強い運動が前に存在して居るために、其の相の始まりは反射縦波の時に比べるとずつと不明瞭な場合

が多い。

之等の記號は縦波の時と同じ様に SR_1 , SR_2 又は SS , SSS 等と書かれる。

(ハ) 交波

今迄述べて來た反射波は、色々の進路を通つて來るが兎に角縦波はあくまで縦波として反射して來るものを考へた。併し此處に交波 (*Wechsel wellen*) と云ふものがあつて、それは始め縦波 (又は横波) で進んで行く波が一度反射したがために其の振動が變じて横波 (又は縦波) となつて進むものを云ふ。即ち其の縦横交易性を云ふのである。一般に觀測される交波は一回反射のものである。勿論この反射點は震源と觀測地との中點ではない。この波は縦波か横波に轉じたものと横波から縦波に轉じたものと同時に到達する事は容易に考へられる。實際に於いて記象紙中の相の入いるの場所は第二前走波のすぐ後である。

地球内の不連續面で反射又は屈折した波 之等は理論的に前と同様現はれ得るものであつて、實際に現はれた時は、其の時其の時に通つた道筋に於ける其れに相當した記號を羅列させて書くのである。屈折した時は記號の上に一を附ける。そして不連續面は指數であらはされる。

例へば P_{1SS} は次の様な波をあらはす。先ず震源から出た縦波が地球内の第一の不連續面で屈折して横波となり、それより以後ずつと横波で、其の後第二の不連續面で反射して、それからもう一度第一

の不連續面で屈折して來た波である。

直接縱波であつて特に地球の心核を通して屈折しながら進んで來たものはP'の記號で書かれる。

二、走 時

走時と云ふのは一つの波が震源から觀測所に達するに要する時間であるから走時を確定するには地震の起つた時間から出發して、記象紙にあらはれた種々の波の到達した時間を知らねばならない。故に嚴格に言へば眞の走時を得る事は不可能と言へる。即ち衝撃を起した所の震源の深さが個々の地震で異なり、且地殻が完全な球狀的の對稱をして居ないであらうからである。實際には遠地地震の場合にはこれ等に依る差異は觀測の誤差より小さいものであるから考へては居ない。それで震源の代はりに其の眞上の地表面にある震央を用ゐる。この様にして我々は平均走時を得、之を圖に挿いて走時曲線を色々な波に對して震央距離の函數として得るのである。

走時曲線は今迄多くの人に依つて作られた、即ちそれは Wiechert-Zöppritz, O. Hecker, K. Wegener, C. Zeissig—O. Klotz, B. Gutenberg, E. W. Visser, A. Mohorovičić 等の人に依つてである。之等それらの走時曲線は震央距離があまり大きくない中はよく一致して居るが五千籽から一萬籽位の震央距離になると二十秒位の差異がある。而も一萬籽以上のものはまだ材料が充分にない。一萬五千籽以上では縱波と交波は大體確かに認められるが、横波の存在は未だに疑問にされて居る。

第一表に於て P の走時並びに PP, PPP, S, PS, 及び SS の P に對する走時差を震央距離十度から始まる一度毎に百度まで與へてある。

P の走時及び P-P 時間差に就ては A. Molodtsov の結果を基礎にしてある。反射した前走波に就いては前記の値からありさうな値を採用して居る。

第二表は百度から百八十度まで二度毎の震央距離に於いて前走縦波の走時を示めて居る。P は百度位から特に百十度から百四十度の間に於いて大變弱く、而も減多に觀測されない。百四十度から先は P' が弱く且可なり遅くなつて現はれる。E. Wiechert 及び Angenheister の報告に依ると、百四十度から先でも P が早く現はれて居て、又百四十度以内でも P' が遅れて現はれて居るが、併し共に甚だ微弱であるとの事である。(未完)

表の説明

第一表 * 反射波の走時は觀測を主としたのを示めすので、例へば $\Delta = 90^\circ$ の時の $T(P)$ の値は $\Delta = 45^\circ$ の時の $T(PP)$ の値の二倍になつて居る。但し之は觀測の誤差の範圍である。

第二表 (1) P-P' は共に縦波なれど、P' は特に地球の心核を通過せるものを示めす。

(2) 二回反射波 PPP 及び P'P'P' は始めの反射點が 90° 以上なる時は、對極を越えて達する。其の震央距離 Δ は 180° より大きいから。この表では $360^\circ - \Delta$ で與へられる。

(3) 觀測に依る走時が計算より遅いのは、反射の際其の振動の最初の波が失はれるのに起因するので $H(PPP)$ に於て特に著し。

第一表ノ一

Pノ走時及ビPトPP、PPP、S、PS及ビSSノPニ對スル走時差ノ表
 (Pニ對シテハ震源ノ深サ二十五秒其ノ他ノ波ハ深サ0トノ假定ノ下ニ)

震央距離		T(P)	T(PF)- T(F)	T(PPP)- T(P)	T(S)- T(P)	T(PS)- T(P)	T(SS)- T(P)
度	秒						
10	1110	2.26	0.01	0.02	1.54	—	2.06
11	1220	40	02	03	2.05	—	18
12	1330	54	03	05	16	—	31
13	1440	3.07	05	07	27	—	44
14	1560	21	07	09	37	—	57
15	1670	34	09	11	48	—	3.11
16	1780	47	11	13	58	—	24
17	1890	4.00	13	16	3.08	—	38
18	2000	13	15	19	18	—	51
19	2110	25	17	22	28	—	4.05
20	2220	37	20	25	38	—	19
21	2330	49	22	28	47	—	33
22	2440	5.01	25	32	55	—	47
23	2560	12	27	35	4.03	—	5.00
24	2670	24	30	39	12	—	14
25	2780	35	33	43	20	—	28
26	2890	45	36	47	28	—	41
27	3000	56	40	51	35	—	55
28	3110	6.07	43	55	49	—	6.09
29	3220	17	46	59	52	—	22
30	3330	27	49	1.04	55	—	36
31	3440	36	53	09	5.02	—	50
32	3560	45	57	14	09	—	7.03
33	3670	54	1.00	19	16	—	17
34	3780	7.03	04	24	23	5.23	31
35	3890	11	08	30	30	31	44
36	4000	20	12	35	37	38	58
37	4110	28	16	40	44	46	8.12
38	4220	35	20	46	50	52	26
39	4330	43	24	51	57	6.00	39
40	4440	50	28	57	6.03	10	53
41	4560	58	32	2.02	09	14	9.06
42	4670	8.05	36	08	16	22	20
43	4780	13	40	14	22	29	33
44	4890	20	44	20	28	36	46
45	5000	27	48	25	36	43	58
46	5110	34	52	31	41	50	10.11
47	5220	42	56	36	47	57	23
48	5330	49	2.00	42	54	7.05	36
49	5440	56	04	47	7.00	12	48
50	5560	9.03	07	52	06	19	59
51	5670	11	10	57	12	26	11.10
52	5780	18	13	3.02	19	33	21
53	5890	25	15	07	25	40	31
54	6000	32	18	12	31	46	42

第一表ノ二

震央距離		T(P)	T(PP)- T(P)	T(PPP)- T(P)	T(S)- T(P)	T(PS)- T(P)	T(SS)- T(P)
度	料						
55	6110	9.39	2.20	3.16	7.38	7.54	11.53
56	6220	46	23	21	44	8.00	12.04
57	6330	52	26	26	51	07	15
58	6440	59	29	31	57	16	25
59	6560	10.05	32	36	8.04	24	35
60	6670	11	34	41	10	32	45
61	6780	17	37	46	17	39	55
62	6890	23	39	51	23	45	13.05
63	7000	29	41	56	29	52	14
64	7110	35	44	4.01	36	59	24
65	7220	41	46	06	42	9.06	33
66	7330	47	48	10	48	13	42
67	7440	52	51	15	55	20	51
68	7560	58	53	20	9.01	28	14.00
69	7670	11.03	55	25	07	35	09
70	7780	09	58	30	14	42	18
71	7890	15	3.00	35	20	49	27
72	8000	21	02	40	26	57	36
73	8110	27	04	44	32	10.04	45
74	8220	33	06	49	37	11	54
75	8330	39	08	53	43	18	15.03
76	8440	45	10	57	49	26	12
77	8560	51	12	5.02	54	34	21
78	8670	56	14	06	10.00	42	30
79	8780	12.01	16	10	05	50	39
80	8890	07	18	14	11	58	48
81	9000	12	20	18	16	11.06	56
82	9110	18	23	22	21	13	16.04
83	9220	24	25	26	26	20	13
84	9330	30	27	30	31	26	21
85	9440	35	29	34	36	32	30
86	9560	41	32	38	41	38	38
87	9670	47	34	43	45	43	47
88	9780	53	36	47	50	49	55
89	9890	58	39	52	54	54	17.04
90	10000	13.04	42	56	58	59	12
91	10110	09	44	6.01	11.01	12.04	21
92	10220	15	47	06	05	09	29
93	10330	20	49	10	09	14	37
94	10440	25	52	15	11	19	45
95	10560	30	54	20	14	25	54
96	10670	35	57	25	17	30	18.02
97	10780	40	59	30	20	36	10
98	10890	45	4.01	34	23	42	19
99	11000	50	04	39	28	48	27
100	11110	55	06	44	31	54	35

第二表

前走縦波ノ走時

(震央距離百度以上)

震央距離		T(P)	T(P')	T(P'')	t(PPP)	t(PPP')
度	分					
100	11110	13.55	17.50	18.01	20.39	39.0
102	11330	14.04	58	17	57	38.8
104	11560	13	18.06	33	21.15	38.6
106	11780	22	14	49	32	38.4
108	12000	31	22	19.07	48	38.2
110	12220	40	30	23	22.04	38.1
112	12440	50	38	39	20	37.9
114	12670	59	45	54	36	37.7
116	12890	15.09	52	20.09	53	37.5
118	13110	18	58	23	23.09	37.3
120	13330	27	19.03	38	25	37.2
122	13560	36	07	52	40	37.0
124	13780	45	11	21.06	56	36.8
126	14000	55	14	20	24.12	36.6
128	14220	16.04	18	33	27	36.4
130	14440	13	22	46	42	36.3
132	14670	22	26	58	57	36.1
134	14890	31	24	22.10	25.11	35.9
136	15110	40	33	23	25	35.7
138	15330	49	37	35	38	35.5
140	15560	58	41	47	52	35.3
142	15780	17.07	44	59	26.06	35.1
144	16000	16	48	23.10	20	34.8
146	16220	25	52	22	34	34.6
148	16440	34	57	34	48	34.4
150	16670	43	20.01	46	27.03	34.1
152	16890	—	05	58	17	33.9
154	17110	—	08	24.10	32	33.6
156	17330	—	12	22	47	33.4
158	17560	—	15	34	28.02	33.2
160	17780	—	18	47	17	33.0
162	18000	—	20	59	32	32.7
164	18220	—	21	25.11	47	32.5
166	18440	—	22	23	29.02	32.3
168	18670	—	23	35	17	32.1
170	18890	—	23	47	32	31.9
172	19110	—	24	58	47	31.7
174	19330	—	24	26.10	30.02	31.5
176	19560	—	25	21	17	31.3
178	19780	—	25	31	32	31.0
180	20000	—	25	40	47	30.8