

# 地球内核の表面に於ける地震波の 反射及び屈折

木 澤 綏

(1) 最近地震波の驗測は非常に發達して地球内核の表面で反射して再び地表に達する PeP, ScS 波或は内核を P 波として通過した P', P'P' 波等も精確に觀測されてゐる。稀ではあるが内核中を S 波として通過した S' 波の存在を認める人もある。

(2) 本多博士は ScS 波の調査から内核の内部は液體であると云ふ結果を得られ、その際地球内核の内部を液體として、此の表面に於て反射及び屈折する地震波の振幅の分布を計算された。

内核の剛性の問題に關して内核を、その表面に於ける地震波の反射、及び屈折の計算をして置く事も必要である。嘗て C. G. Knott (4) は内核を液體及び個體とした場合の反射波及び屈折波のエネルギー分布を計算したが、本文に於ては最近に於て最も確かと思はれる地震波速度を採用し且つ反射波及び屈折波の振幅分布を計算する事とする。内核の表面の外側を(1)とし内側を(2)とした。こゝに採用した地震波速度及び内核表面の内外の密度等を第1表に示す。

又振幅の符號は第2表の如きものを用ひて、凡て内核表面の外側を(1)とし

第 1 表

	密 度		P 波 の 速 度		S 波 の 速 度	
内 核 表 面 の 外 側	$\rho_1$	6.0	$V_1$	13.0 <sup>呎/秒</sup>	$v_1$	7.25 <sup>呎/秒</sup>
内 核 表 面 の 内 側	$\rho_2$	9.5	$V_2$	8.5	$v_2$	5.0

(1) L. Bastings: Proc. Roy. Soc. Vol. 149, P, 88, 1935.

(2) 本多弘吉; ScS 波の觀測と地球内核の剛性に關する問題, 驗震時報 第8卷, 1頁

(3) 本多, 杵島, 窪田; 地球内核の表面に於ける地震波の反射及屈折, 驗震時報, 第8卷, 115頁

(4) C. G. Knott; Proc. Roy. Soc. Edinb. 1919.

内側を(2)とした。尙内核表面は平面と看做し此處に平面地震波が入射する事とする。

(2) P 波入射：反射 P, S 波, 屈折 P, S 波を生ずる。計算式は次の様である。<sup>(1)</sup>

第 2 表

	入 射 波	反 射 波	屈 折 波		入 射 角
P 波 の 振 幅	$Ae$	$A_r$	$Af$	P 波	$i$
S 波 の 振 幅	$\mathcal{A}e$	$\mathcal{A}_r$	$\mathcal{A}f$	S 波	$i$

$$\begin{aligned}
 & Aesini_1 + Arsin i_1 + \mathcal{A}rcos i_1 - Af sin i_2 + \mathcal{A}f cos i_2 = 0 \\
 & Aecos i_1 - Arcos i_1 + \mathcal{A}rsin i_1 - Af cos i_2 - \mathcal{A}f sin i_2 = 0 \\
 & -Aesin 2i_1 + Arsin 2i_1 + \mathcal{A}_r \frac{V_1}{v_1} \cos 2i_1 + Af \frac{\rho_2}{\rho_1} \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \frac{V_1}{V_2} \sin 2i_2 \\
 & \quad - \mathcal{A}f \frac{\rho_2}{\rho_1} \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \frac{V_1}{v_2} \cos 2i_2 = 0 \\
 & -Aecos 2i_1 - Arcos 2i_1 + \mathcal{A}_r \frac{v_1}{V_1} \sin 2i_1 + Af \frac{\rho_2}{\rho_1} \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \cos 2i_2 \\
 & \quad + \mathcal{A}f \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 V_1} \sin 2i_2 = 0 \\
 & \quad \frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} = \frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{\sin i_2}{v_2}
 \end{aligned}$$

又計算結果を確める爲に用いた、エネルギーの和の式即ち入射波の勢力は生じた反射波、屈折波のエネルギーの凡ての總和に等しいと云ふ式は

$$1 = \frac{Ar^2}{Ae^2} + \frac{\mathcal{A}r^2 \sin 2i_1}{Ae^2 \sin 2i_1} + \frac{Af^2 \rho_2 \sin 2i_2}{Ae^2 \rho_1 \sin 2i_1} + \frac{\mathcal{A}f^2 \rho_2 \sin 2i_1}{Ae^2 \rho_1 \sin 2i_1} \text{ である。}$$

SV 波入射：(入射面内に振動する S 波) 反射 P, S 波屈折 P, S 波を生ずる。

$$\begin{aligned}
 & -\mathcal{A}ecos i_1 + \mathcal{A}rcos i_1 + Arsin i_1 + \mathcal{A}f cos i_2 - Af sin i_2 = 0 \\
 & \mathcal{A}esin i_1 + \mathcal{A}rsin i_1 - Arcos i_1 - \mathcal{A}f sin i_2 - Af cos i_2 = 0
 \end{aligned}$$

(1) B. Gutenberg: Hand. d. Geophys. Bd. IV Lief 1. § 19

$$\begin{aligned}
 & \mathcal{U}_e \cos 2i_1 + \mathcal{U}_r \cos 2i_1 + Ar \frac{v_1}{V_1} \sin 2i_1 - \mathcal{U}_f \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} \cos 2i_2 \\
 & + Af \frac{\rho_2 v_2^2}{\rho_1 V_2 v_1} \sin 2i_2 = 0 \\
 & - \mathcal{U}_e \sin 2i_1 + \mathcal{U}_r \sin 2i_1 - Ar \frac{V_1}{v_1} \cos 2i_1 + \mathcal{U}_f \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} \sin 2i_2 \\
 & + Af \frac{\rho_2 V_2^2}{\rho_1 v_1} \cos 2i_2 = 0 \\
 & \frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{\sin i_2}{v_2} = \frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}
 \end{aligned}$$

エネルギーの和の式は、此の場合には、

$$1 = \frac{\mathcal{U}_r^2}{\mathcal{U}_e^2} + \frac{Ar^2 \sin 2i_1}{\mathcal{U}_e^2 \sin 2i_1} + \frac{Af^2 \rho_2 \sin 2i_2}{\mathcal{U}_e^2 \rho_1 \sin 2i_1} + \frac{\mathcal{U}_f^2 \rho_2 \sin 2i_2}{\mathcal{U}_e^2 \rho_1 \sin 2i_1}$$

**SH 波入射**：(入射面に直角に振動する S 波) 反射 SH 波，屈折 SH 波を生ずる。

$$\begin{aligned}
 & \mathcal{U}_e + \mathcal{U}_r - \mathcal{U}_f = 0 \\
 & \mathcal{U}_e - \mathcal{U}_r - \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} \frac{\cos i_2}{\cos i_1} \mathcal{U}_f = 0 \\
 & \frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{\sin i_2}{v_2}
 \end{aligned}$$

エネルギーの和の式は：—

$$1 = \frac{\mathcal{U}_r^2}{\mathcal{U}_e^2} + \frac{\mathcal{U}_f^2 \rho_2 \sin 2i_2}{\mathcal{U}_e^2 \rho_1 \sin 2i_1}$$

(3) 計算結果 P 波 (1)→(2)，P 波 (2)→(1) (内核表面の外側を(1)とし内側を(2)とする)入射角，反射角，屈折角の關係及び各波の振幅を第 3, 4 表，第 1, 2 圖に示す。本文を通じて圖中，實線は P 波破線は S 波を表はし，振幅を示す白點は内核の外側を，黒點は内側を示す。P (2)→(1)の場合入射角が 40°50' より大きい時は全反射の現象が起る。但し表の中で括弧を附けた値は境界面に於ける大略の値で P(1)→(2) にても P(2)→(1) でも Af が非常に卓越してゐるのが目出つ。P(1)→(2)では Ar が入射角の 30° 附近で 0 となつてゐる。

**sv (1)→(2)，sv (2)→(1)** 第 5, 6 表及び第 3, 4 圖に示す。入射角が

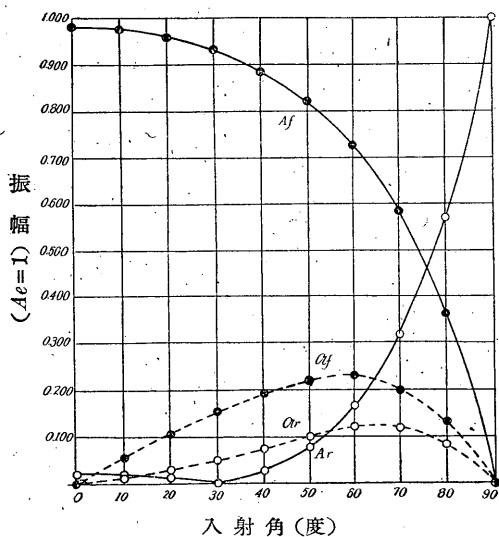
SV(1)→(2)の場合は  $33^{\circ}53.8$ , SV(2)→(1)では  $40^{\circ}49.9$  を越えると全反射をする。共に  $\mathcal{R}_f$  が卓越して  $\mathcal{R}_r$  即ち S 波としての反射波は小さい。

SH(1)→(2), SH(2)→(1) 第 7, 8 表及び第 5, 6 圖に示す。SH(2)→(1)の場合に入射角の臨界は  $43^{\circ}36.2$  である。第 9, 10 表及び第 7, 8 圖に、内核の内部の S 波の速度を 0, 1, 3, 5, 7(°/秒)と與へて見た時に SV, SH 波が入射した時に生ずる各反射, 屈折波の振幅を示す。但し此の場合には入射角は境界面の鉛直線に對して  $0^{\circ}$  の場合のみである。此際 P 波は一定値を採る。

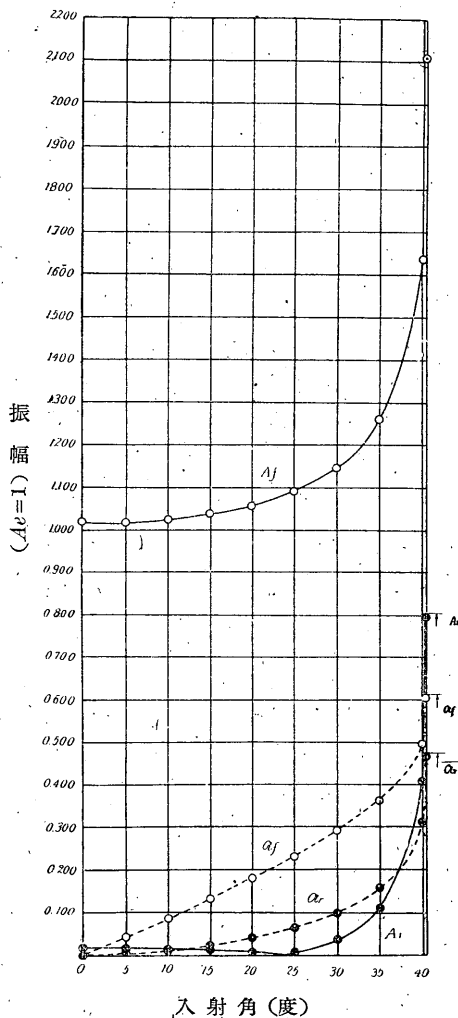
第 7 圖を見ると SV, SH(1)→(2)の場合で S 波としての反射波の振幅  $\mathcal{R}_r$  は  $v_2$  が 0 に近づく程大きくなる。此は ScS 波の實測と比べて見て面白い。又  $\mathcal{R}_f$  は  $\mathcal{R}_r$  よりも大である。尙各挿圖を通して圖中黒點は地球内核の内部を表はし、白點は内核の外部を表はしてゐる。終りに臨み本題を與へられ且色々御指導下さいました、本多先生に厚く御禮申し上げます。又製圖計算等に御助力下さいました佐藤薫氏に感謝致します。

(昭和 15 年 6 月中央氣象臺にて)

第1圖 P波(1)→(2)



第2圖 P波(2)→(1)



[ (1); 内核表面の外側 (○) ]  
 [ (2); 同 内側 (●) ]

第 3 表

P (1)→(2)

〔内核表面の外側を(1)とし内側を(2)とする〕

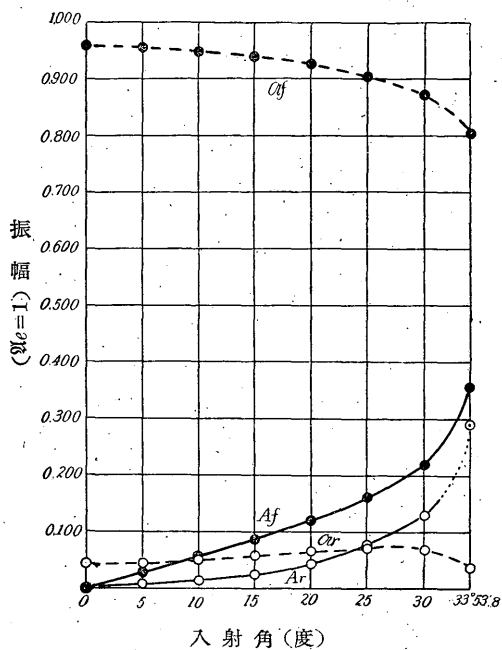
$i_1$	$i_1$	$i_2$	$i_2$	$Ar/Ae$	$\mathcal{V}r/Ae$	$Af/Ae$	$\mathcal{V}f/Ae$
0°	0°	0°	0°	+0.017	0	+0.983	0
10°	5° 33.4	3° 49.8	6° 31.2	+0.016	-0.012	+0.977	-0.054
20°	10° 59.8	7° 33.6	12° 55.4	+0.012	-0.028	+0.961	-0.105
30°	16° 11.5	11° 05.2	19° 04.9	+0.000	-0.048	+0.933	-0.152
40°	21° 00.4	14° 18.8	24° 51.2	-0.025	-0.074	+0.888	-0.190
50°	25° 17.5	17° 08.1	30° 03.4	-0.075	-0.099	+0.823	-0.216
60°	28° 52.8	19° 27.4	34° 29.3	-0.164	-0.117	+0.727	-0.222
70°	31° 36.3	21° 11.3	37° 54.5	-0.316	-0.116	+0.585	-0.198
80°	33° 18.8	22° 15.4	40° 05.1	-0.570	-0.081	+0.363	-0.131
90°	33° 53.8	22° 37.2	40° 50.1	-1	0	0	0

第 4 表

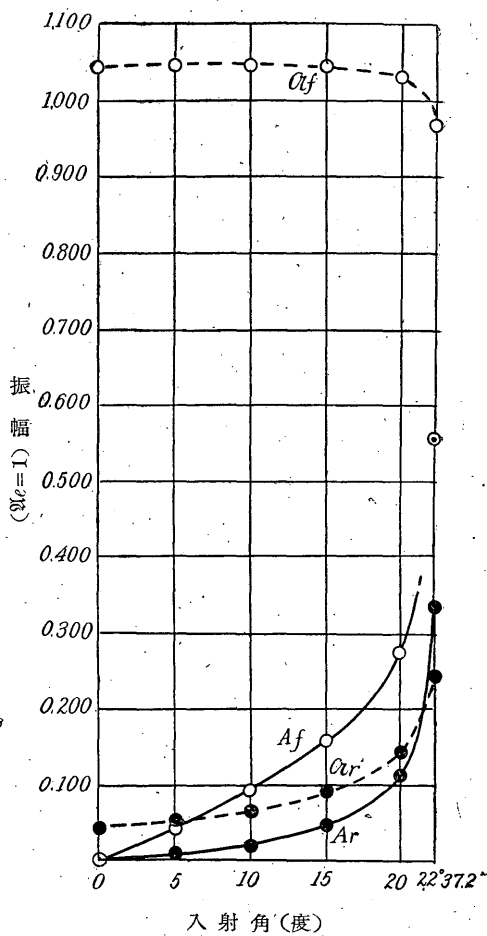
P (2)→(1)

$i_1$	$i_1$	$i_2$	$i_2$	$Ar/Ae$	$\mathcal{V}r/Ae$	$Af/Ae$	$\mathcal{V}f/Ae$
0°	0°	0°	0°	-0.017	0	+1.017	0
5°	2° 56.3	4° 15.8	7° 39.6	-0.017	+0.006	+1.019	+0.044
10°	5° 51.8	8° 31.3	15° 24.1	-0.015	+0.014	+1.026	+0.089
15°	8° 45.5	12° 45.2	23° 19.1	-0.014	+0.025	+1.038	+0.134
20°	11° 36.4	16° 57.6	31° 32.4	-0.006	+0.041	+1.058	+0.182
25°	14° 23.7	21° 07.7	40° 16.1	+0.007	+0.064	+1.091	+0.233
30°	17° 06.3	25° 14.6	49° 52.8	+0.038	+0.100	+1.146	+0.291
35°	19° 43.1	29° 17.4	61° 18.6	+0.112	+0.159	+1.258	+0.362
40°	22° 13.1	33° 14.9	79° 27.1	+0.408	+0.313	+1.638	+0.497
40° 50'	22° 37.2	33° 53.8	90°	+0.794	+0.467	(+2.103)	+0.602

第3圖 SV波(1)→(2)



第4圖 SV波(2)→(1)



〔 (1); 内核表面の外側 (○) 〕  
〔 (2); 同 内側 (●) 〕

SV (1)→(2)

第 5 表 [内核表面の外側を (1) とし内側を (2) とする]

$i_1$	$i_1$	$i_2$	$i_2$	$\mathcal{A}_r/\mathcal{A}_e$	$A_r/\mathcal{A}_e$	$\mathcal{A}_f/\mathcal{A}_e$	$A_f/\mathcal{A}_e$
0°	0°	0°	0°	+0.044	0	+0.956	0
5°	8° 59.5	3° 26.8	5° 51.9	+0.046	+0.006	+0.954	+0.028
10°	18° 08.5	6° 52.7	11° 44.8	+0.051	+0.014	+0.949	+0.057
15°	27° 39.1	10° 16.9	17° 39.9	+0.058	+0.026	+0.939	+0.087
20°	37° 49.6	13° 38.6	23° 38.4	+0.066	+0.045	+0.925	+0.121
25°	49° 16.3	16° 56.7	29° 42.1	+0.071	+0.076	+0.904	+0.161
30°	63° 42.5	20° 10.3	35° 53.3	+0.069	+0.130	+0.871	+0.218
33° 53.8	90°	22° 37.2	40° 50.1	+0.037	(+0.290)	+0.804	+0.356

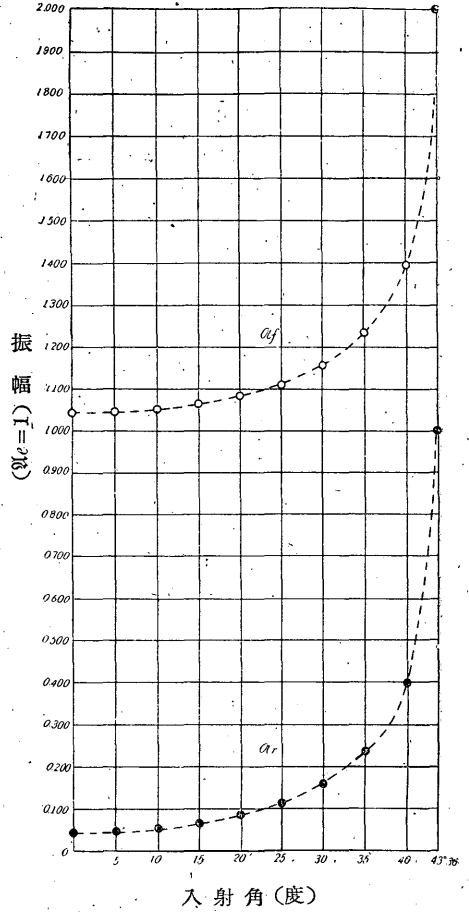
SV (2)→(1)

第 6 表

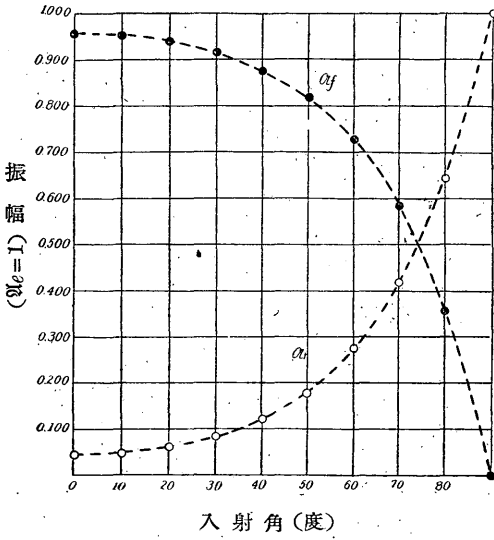
$i_1$	$i_1$	$i_2$	$i_2$	$\mathcal{A}_r/\mathcal{A}_e$	$A_r/\mathcal{A}_e$	$\mathcal{A}_f/\mathcal{A}_e$	$A_f/\mathcal{A}_e$
0°	0°	0°	0°	-0.044	0°	+1.044	0°
5°	8° 31.2	7° 15.6	13° 05.9	-0.049	-0.007	+1.044	-0.043
10°	17° 10.2	14° 35.1	26° 50.3	-0.064	-0.019	+1.045	-0.092
15°	26° 06.2	22° 02.5	42° 17.6	-0.091	-0.045	+1.044	-0.157
20°	35° 33.1	29° 43.9	62° 46.8	-0.142	-0.114	+1.032	-0.274
22° 37.2	40° 49.9	33° 53.8	90°	-0.243	-0.335	+0.976	(-0.557)



第 6 圖 SH 波 (2)→(1)



第 5 圖 SH 波 (1)→(2)



- [ (1) 内核表面の外側 (○) ]  
 [ (2) 同 内側 (●) ]

SH (1)→(2)

第 7 表 [内核表面の外側を (1) とし内側を (2) とする]

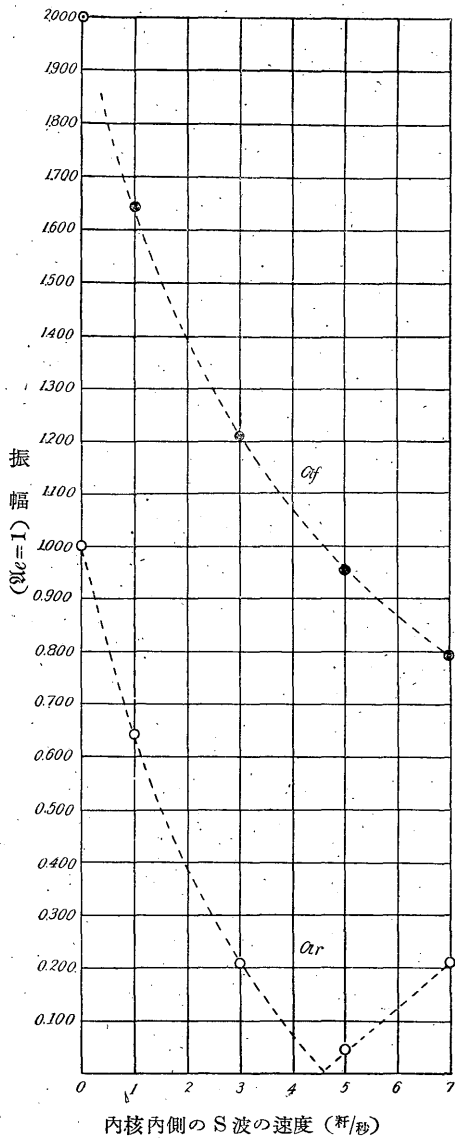
$i_1$	$i_2$	$\mathcal{U}_r/\mathcal{U}_e$	$\mathcal{U}_f/\mathcal{U}_e$
0°	0°	- 0.044	+ 0.956
10°	6° 52.'7	- 0.048	+ 0.952
20°	13° 38.'6	- 0.061	+ 0.939
30°	20° 10.'3	- 0.084	+ 0.916
40°	26° 18.'9	- 0.122	+ 0.878
50°	31° 53.'4	- 0.181	+ 0.819
60°	36° 40.'4	- 0.273	+ 0.727
70°	40° 23.'7	- 0.417	+ 0.583
80°	42° 46.'8	- 0.644	+ 0.356
90°	—	- 1	0

SH (2)→(1)

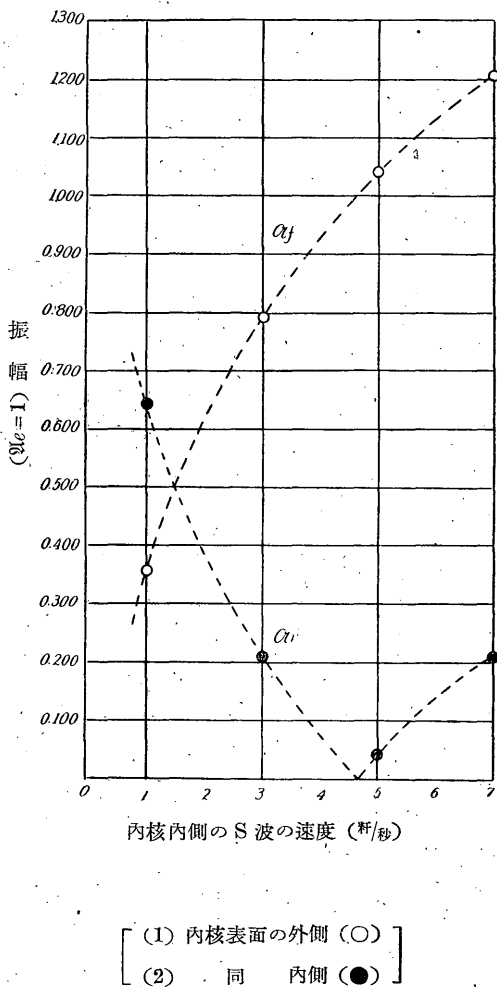
第 8 表

$i_1$	$i_2$	$\mathcal{U}_r/\mathcal{U}_e$	$\mathcal{U}_f/\mathcal{U}_e$
0°	0°	+ 0.044	+ 1.044
5°	7° 15.'6	+ 0.046	+ 1.046
10°	14° 35.'	+ 0.053	+ 1.053
15°	22° 02.'5	+ 0.065	+ 1.065
20°	29° 43.'9	+ 0.083	+ 1.083
25°	37° 47.'5	+ 0.112	+ 1.112
30°	46° 28.'2	+ 0.157	+ 1.157
35°	56° 16.'4	+ 0.234	+ 1.234
40°	68° 45.'4	+ 0.396	+ 1.396
43° 36.'2	90°	+ 1	(+2)

第 7 圖 SV, SH 波 (1)→(2)



第 8 圖 SV, SH 波 (2)→(1)



- (1) 内核表面の外側 (○)  
 (2) 同 内側 (●)

第 9 表

内核の内側に於けるS波の速度 (軒/秒)	SV (1)--(2)		SH (1)--(2)	
	$v_r/v_e$	$v_f/v_e$	$v_r/v_e$	$v_f/v_e$
0	- 1	(+ 2)	+ 1	(+ 2)
1	- 0.642	+ 1.642	+ 0.642	+ 1.642
3	- 0.208	+ 1.208	+ 0.208	+ 1.208
5	+ 0.044	+ 0.956	- 0.044	+ 0.956
7	+ 0.209	+ 0.791	- 0.209	+ 0.791

第 10 表

内核の内側に於けるS波の速度 (軒/秒)	SV (2)--(1)		SH (2)--(1)	
	$v_r/v_e$	$v_f/v_e$	$v_r/v_e$	$v_f/v_e$
1	+ 0.642	+ 0.358	- 0.642	+ 0.358
3	+ 0.208	+ 0.792	- 0.208	+ 0.792
5	- 0.044	+ 1.044	+ 0.044	+ 1.044
7	- 0.209	+ 1.209	+ 0.209	+ 1.209

[内核表面の外側を (1) とし内側を (2) とする]