地震波研究のためのノモグラム

東京大学理学部

佐藤良輔・平沢朋郎・島村英紀

吉倉鶴子・古屋逸夫・小高俊一

鈴木保典・岡田義光・石橋克彦

(昭和 43 年 11 月 26 日受理)

Nomograms for Studying Seismic Waves

Ryosuke SATO, Tomowo HIRASAWA, Hideki SHIMAMURA, Tsuruko YOSHIKURA,

Itsuo FURUYA, Toshikazu ODAKA, Yasunori SUZUKI,

Yoshimitsu OKADA, and Katsuhiko ISHIBASHI

Geophysical Institute, Faculty of Science, The University of Tokyo

(Received November 26, 1968)

When analyzing seismic waves observed at a station, it is frequently required to know the take-off angle of the wave, the angle of incidence at the Moho, the deepest point of the ray, etc. as well as the travel time. Several nomograms to obtain these informations are presented.

§ 1. われわれが、ある観測点に到達した波を取り扱うとき、その波はどの位の深さのところを通つて来たのか、いいかえると、その波から地球内部のどの辺までの構造の information が得られるのか、また、震源からどんな角度で射出したのか、Moho 面へはどの位の角度で入射したのか、などを知る必要のあることが多い。

ここに載せる nomogram は、主として遠地震で観測される数多くの phase について、上記の information を得るためのものである。

§ 2. 用いた速度分布は、Gutenberg によるものである (Fig. 1, Table 1). crust は均質とする。mantle は 23 層から成るが、各層内での速度は、いわゆる Bullen の法則、すなわち

$$v = v_j \left(\frac{r_j}{r} \right)^{a_j} \quad a_j = \frac{\log(v_{j+1}/v_j)}{\log(r_j/r_{j+1})} \quad (1)$$

によつて与えてある (Table 1 には a_j の値も示してある)。従つて、各層の境界は、2 次の不連続面になつていることになる。

core 内を伝わった PKP, SKS 等の phase は, ここでは一切省いてある.

Fig. 2-(a)~(f) は, それぞれ深さ 100 km から 600 km までの地震に対するもので, 各図

Table 1. Velocity distributions used in the computation and α -values in equation (1)

R (km)	V_p (km/sec)	α	V_s (km/sec)	α
6370.0	6.30		3.55	
6338.0	8.16	-0.2769567	4.65	-2.4417258
6310.0	8.15	-2.9211318	4.60	-6.9900299
6270.0	8.00	-2.3640968	4.40	-1.4274369
6220.0	7.85	3.1171323	4.35	1.4160079
6170.0	8.05	3.3288448	4.40	2.7203889
6070.0	8.50	3.3952917	4.60	4.4371755
5957.0	9.06	3.9350590	5.00	3.9605433
5870.0	9.60	2.9548769	5.30	3.2044009
5770.0	10.10	2.2215828	5.60	2.9849506
5670.0	10.50	2.1011237	5.90	2.3322226
5570.0	10.90	1.9893498	6.15	1.3301481
5470.0	11.30	0.4775222	6.30	0.4284487
5370.0	11.40	0.9086015	6.35	0.6151291
5170.0	11.80	0.5313969	6.50	0.3869803
4970.0	12.05	0.4999474	6.60	0.5471371
4770.0	12.30	0.4697629	6.75	0.3433360
4570.0	12.55	0.4407690	6.85	0.3238646
4370.0	12.80	0.3309539	6.95	0.1530191
4170.0	13.00	0.3106305	7.00	0.2885992
3970.0	13.20	0.3629693	7.10	0.2705732
3770.0	13.45	0.3378631	7.20	0.1269585
3570.0	13.70	0.	7.25	-0.3053516
3490.0	13.70	-0.6361991	7.20	0.
3470.0	13.65		7.20

Fig. 1. Velocity distributions used in the computation.

Fig. 2-(a). H =focal depth, D_m =depth of the deepest point, θ_f =take-off angle at focus.

Fig. 2-(b).

Fig. 2-(d).

H=600 km

Fig. 2-(f).

(a) (b)
Fig. 3. Relation between θ_f and θ_{MoHo} , angle of incidence at the Moho.

の上から順に, $D_m-\Delta$ (D_m は, その ray の最深点の深さ), $\theta_f-\Delta$ (θ_f は震源における take-off angle), そして走時曲線である.

まず, 走時曲線については Gutenberg-Richter のもの, Jeffreys-Bullen のものなどが既に刊行されているので, ここではそれ程詳しくつくられていない. 例えば, mantle 上部の低速層の存在や, C 層で速度勾配が急に変わることなどのため, 当然走時は cusp や jump をもつ複雑なものなるが, これらは記入されていない (P や S の走時で一部点線になつてゐるのは, これらに起因する走時不連続に対応するところである). また, 各 phase で曲線の切れる点は, 必ずしもそれがその ray の終りをあらわすわけではない.

$\theta_f-\Delta$ 曲線の θ_f は, 震源における鉛直方向と ray の方向との間の角 (鋭角) である. 従つて, 例えば pP については鉛直上方から, PP については鉛直下方からの角になる. mantle 上部では, 速度構造が複雑なため奇怪な曲線になるものもある. しかし, この曲線は, 遠方程与えた速度分布に依存するので, 数度内外のこまかい議論はあまり意味がないであろう.

$D_m-\Delta$ 曲線も, mantle 上部では複雑である. この図で, 例えば PS(P) というのは, PS の P 波の部分の最深点である. D_m の場合も, 数 10 km 内外の議論はそう意味がない.

Fig. 3 は, 震源における take-off angle θ_f と, Moho 面への入射角 θ_{Moho} との関係である. (a) は震源から P 波として発する場合, (b) は S 波として発する場合で, (P) とあるのは, Moho 面へ P 波として入射するとき, (S) は S 波として入射するときである. 従つて, 例えば, 深さ 100 km のとき, $\theta_f=50^\circ$ で震源を発した PS という phase は, $\Delta \approx 102^\circ$ にあらわれ [Fig. 2-(a) から], P 波

Fig. 4. Relation between two epicentral distances where the same apparent velocities are observed.

および S 波の最深点の深さはそれぞれ約 500 km および 2200 km であり, Moho 面へは P 波として約 51° で入射し, さらに S 波としては約 26° で入射することになる.

次に Fig. 4 は, 走時曲線の勾配が同じになる震央距離 Δ_1 と Δ_2 ($\Delta_1 > \Delta_2$) の関係を示す. いいかえれば, 上に定義した θ_f で上方へ発した P あるいは S が到達する震央距離 (Δ_2) と, 同じ θ_f をもって下方へ発した波が到達する震央距離 (Δ_1) の関係を与えるものである.

Fig. 5. Relation between epicentral distances of direct waves and of once reflected waves where the same apparent velocities are observed.

最後に Fig. 5 は、直接波の到達する震央距離と、それと同じ θ_f をもつた、地表での1回反射波が到達する震央距離との関係を示した図である。これらは全て同じ apparent velocity, 同じ最深点, 同じ θ_{Moho} をもつものである。

§ 3. 最初に述べたように、core 内の速度分布がまだ明確でないという理由もあつて、ここでは core phase については述べていない。これらの phase に対する計算の program はすでに作製してあるので、これらは近い将来にとりあげるつもりである。また、不連続面（例えば core 面）での反射および透過係数、さらにいろいろな phase の振幅曲線なども有用であり、是非それらの nomogram もつくっておきたいものである。