

論 文

深い震源の深さを求むる一方法

鷺 坂 清 信

内 容 目 次

- 一、緒 言
- 二、地殻上層の疎密波の速度
- 三、震源に於ける初期微動時間と震源の深さとの關係
- 四、圖表と應用例
- 一、緒 言

近地震に就ては初期微動繼續時間を τ で示すと、震央距離 Δ を τ で割つたものの平均が七、四二籽
毎秒となる乃ち

$\Delta = K\tau$ 但し $K = 7.42$ 秒/秒

此の式を大森公式と云ひ、 K を大森常數と云ふ、又 Δ は震央に極めて近い場合は震源距離に略々等しく、遠方の場合は、震央距離としても又は震源距離として差支へがない、尙以上の常數は Δ が千籽位迄は勿論用ゐられるが、二千籽位迄は適用されるであらうと故大森博士は言はれた。

前掲の大森公式は四十一回の地震から求めたものである。其中震央に極めて近い観測の得られたものは、主として淺間山の噴火に因る地震（二十七回）なるが故に、之等の場合に於ては淺間山噴火孔は震央であり且又實際の震動起源點となるから、前の關係式から求めた Δ は寧ろ概畧の震原距離を示すものだ、と大森博士は説明してゐる。

尙此處に取扱はれた、四十一回の地震は淺間以外のものも、概ね通常の淺い地震のやうに、推察さるゝが故に、相當の距離（二三百籽）以上のものは大體に於て震央距離は震源距離に等しい。之大森公式に於ける Δ は震央、震源の何れの距離でもよいと云つた所以である。然れば大森博士は此の公式を Δ が〇から千籽迄全體に亘つて意味を有たせるためには、 Δ は震原距離と見るべきであると言はれて居る。斯かるが故に大森公式は震源の深さを求むる事に應用出来る。然し大森公式によりて求め得る震源の深さにつきて考察せざるべからざるものがある。

震源が比較的淺い場合に、震央の初期微動時間が求められるならば、之に大森係數七、四二籽毎秒を

乗じて該地震の震源の深さを知る事が出来る。而して此處に注意すべきは大森公式を震源の深さを求むるに應用する場合は必ず震央に於ける初期微動時間に就て適用するか、或は極めて震央に近い地點に關して適當なる方法をなすべきである。

如何にも震源の浅い地震に就いては右の様にして震源の深さを求め得るが、今若し震央の初期微動が三、四十秒もある所謂深層地震に上式が適用さるゝか否かは疑問である。

何故ならば大森係數を求むる材料は震波が地表に近き所を地表面と畧平行に走つた時の、ものみであるからである。想ふに大森公式は數十軒より深い震源の深さを求むるには不適當である。

又震源の深さを求むる方法として、和達氏の比例分割法なるものもあるが、之は同氏も述べて居られる如く或る假定を有するが故に、深い地震の深さを求む場合には避けなければならない。其の假定といふのは震源距離に $P - S$ 時差が比例するといふ事等である。換言すれば $P - S$ 波が直線的に進行するといふ假定を置かなければ、同氏の式は成立しないのである。

國富技師の十秒等 $P - S$ 線の楕圓の短軸の値から震源の深さを求む方法もあるが是等は何れも淺き地震にのみ用ひられる方法である。

深い地震の深さを求む方法としては、河角廣氏の $P - S$ 走時曲線による圖表が昭和二年十二月の氣象集誌に載せられてある。

著者が此處に論ぜんとするのは、震央に於ける初期微動時間が、六秒以上五、六十秒迄の場合である。換言すればモホロビチック層（四十籽）以下數百籽迄の所に起る地震の深さを求む方法である。

二、地殻上層の疎密波の速度

先づ地殻上層の震波速度を深さの函數として現はさう、和達氏、ツエプリツ・ガイガー氏、エス、モホロビチック氏及び著者等が求めた地殻上層の震波速度を表示すれば、第一表甲の如くなる。

第一表(甲) 地殻上層の震波速度

深さ	和達			巖坂			Zöppritz-Geiger			S. Mohorovicic P
	P 籽/秒	S 籽/秒	P/S	P 籽/秒	S 籽/秒	P/S	P 籽/秒	S 籽/秒	P/S	
0	籽/秒	籽/秒		籽/秒	籽/秒		籽/秒	籽/秒		籽/秒
40	8.00	4.47	1.79	7.50	4.30	1.75	7.17	4.01	1.79	
50	8.00	4.47	1.79							
100	8.98	4.62	〃	7.74	4.42	7.75	7.60	4.24	1.79	8.09
200	8.70	4.86	〃	8.16	4.62	1.77	8.01	4.47	1.79	8.32
300	8.96	5.00	〃	8.69	4.83	1.78	8.42	4.70	1.79	8.59
400	9.16	5.11	〃				8.83	4.93	1.79	8.90不連続面 8.70
500	9.36	5.25	〃				9.24	5.15	1.79	

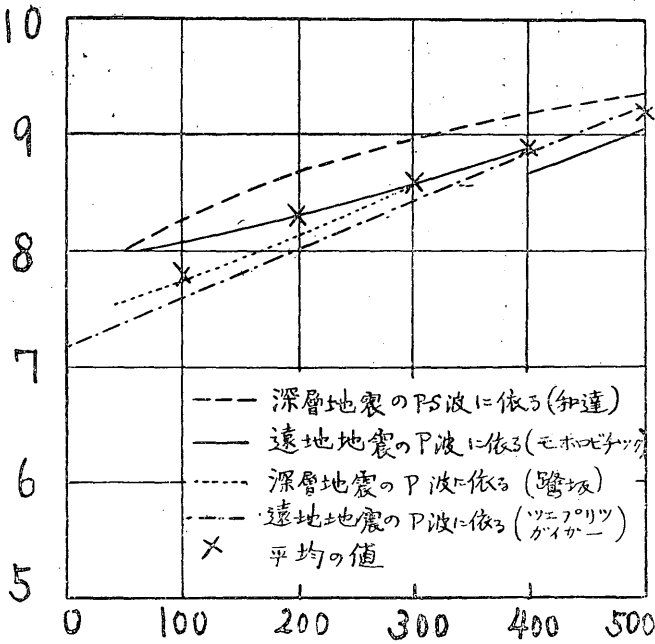
第一表(乙) 地殻上層の震波速度の平均の値

深 さ	P の 平均	P の 計 算 値	誤 差	大 森 係 数 $\phi(h)$
0	軒/秒	軒/秒		
40		(7.698)		(9.87)
50				
100	7.93	7.932	+ 0.002	10.17
200	8.30	8.298	- 0.002	10.64
300	8.64	8.634	- 0.006	11.07
400	8.93	8.940	+ 0.010	11.46
500	9.22	9.216	- 0.004	11.82

但し表中Pは縦波、Sは横波の速度を意味す。

第一表乙は各深さに於ける縦波の速度Pの平均の値を示す、又第一圖は是等P波の速度を示す、(此の第一表甲及び圖は和達技師が「深層地震の研究(其の三)」の中に掲げられたものに著者の値を挿入したものである)

第一圖 地殻上層の波速度



第一圖中の平均の値を示す曲線の形を観察するに、地表面からの深さ h 千に於ける震波の速度 v 毎秒は

$$V = a + bh + ch^2 \dots \dots \dots (1)$$

の式で表はされると假定す。但し a b c は常数である。今深さ百千以上五百千迄のP波速度の平均の値を用ひ最小二乗法により a b c を決定すれば

$$a = 7.536 \quad b = 0.411 \times 10^{-2}$$

$$c = -0.0150 \times 10^{-4}$$

となり、従つて式は次の如くなる。

$$v = 7.536 + 0.411 \times 10^{-2}h - 0.0150 \times 10^{-4}h^2 \dots \dots \dots (2)$$

此處に求めた(2)式に依つて各深さに就て v を算出し、之を第一表乙の「P計算値」の

欄に掲げた。此のPの計算値とPの實測平均値とがよく一致する事からして、此處に求めた(2)式が縦波の各深さの震波速度をよく表はして居る事が解る。

此の(2)式は地表よりの深さが百籽より五百籽の間に適用すべきものなれども、今此の式の表はず曲線を少しく延長して、我が國に於けるモホロビチック層の深さ四十籽の不連続面の下部に於けるの値を求めれば

$$[\sigma]_{H=0} = 7.698 \quad \text{キ/秒}$$

此の四十籽の深さに於ける σ の値は著者やツエツブリツ・ガイカー氏の觀測値よりも大である。それは五十籽或は六十籽以上の深さに於ける和達氏やエス、モホロビチック氏等の觀測値の影響を受けて居るからである。然れども其の差は小なるが故に今我が國に於けるモホロビチック層の深さを四十籽とすれば、(2)式は深さ四十籽の處より五六百籽の處迄應用さるゝものと推定するも可なるべし。

三、震央に於ける初期微動時間と震源の深さとの關係

今地殻内部を地球の半径の方向に進行する震波を想像するに、地震學に於いて通常なす假定は、地球の中心からの距離が相等しい地層内に於ける屈折率は一定の震波に對しては相等しい、然れば最初地球の半径の方向に出發する震波は最後まで、地表に對して鉛直の方向を取る。

今地表Oより深さ h なる一點A(第二圖)を取り、之より縦波及び横波が夫々 v_p 、 v_s なる速度で同時に

A|Bなる方向（地表に鉛直）に出發したと考へる。但し速度は深さに關して連續的に變化するものとす。それが時間 δt の後に於いてP波はBにS波はDに到達し、D|Bなる隔りを生じたりとすれば

$$DB = v_p \delta t - v_s \delta t \dots\dots\dots (5)$$

而してD點に於けるS波の速度は $v_s + \frac{dv_s}{dt} \delta t$ である。

此の速度でD|Bを通過するに要する時間はB點に於ける初期微動時間である。

$$\delta \tau = \frac{v_p \delta t - v_s \delta t}{v_s + \frac{dv_s}{dt} \delta t} \dots\dots\dots (4)$$

此の際B點に就いて觀れば、A|Bは震源距離であり、之を得るがために初期微動時間 $\delta \tau$ に乗すべき値を $\varphi(h)$ とすれば

$$AB = \delta h = v_p \delta t = \varphi(h) \delta \tau \dots\dots\dots (5)$$

或は
$$\varphi(h) = \frac{dh}{d\tau} \dots\dots\dots (6)$$

此の式を見るには $\varphi(h)$ は單位の初期微動時間に相當する震源距離を表はすが故に大森係數に相當し、深さの函數であつて、A點に於ける大森係數と見るべきである。

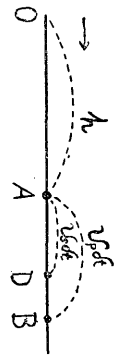
今 $\delta \tau$ が充分に小さければ

$$\varphi(h) = \frac{v_p v_s}{v_p - v_s} \dots\dots\dots (7)$$

此のhは和達技師の(P-S)波の速度に外ならず、又國富技師も此の右邊の形は屢震源の深さを求むる際に使用されてゐるものであるが、著者は本節の論點を明かにせんがため諄々しく解き來つたのである。

(7)式を變化して

$$\varphi(h) = \frac{v_p}{v_s} \frac{v_p}{v_p - 1} \dots\dots\dots (8)$$



第二圖

此の式中 v_p は前節に於いて深さの函數として決定した、又 v_p/v_s は前節第一表甲を見るにツエツブリツ・カイガーの値は一、七九なる一定の値を有し、著者のも殆んど一定して、之より僅かに小さい。今是等の平均の値一、七八を採用する(但し和達技師の此の値は假定である。)依つて式は次の如くなる

$$\varphi(h) = \frac{7.536 + 0.411 \times 10^{-3}h - 0.0150 \times 10^{-4}h^2}{0.78} \dots\dots\dots (9)$$

此の(9)式からして各深さに於ける大森係數を算定し、其の値を第一表乙に掲げてある。大森係數七、四二に比して遙かに大である。

式(6)と(8)からして

$$\int_{\tau_0}^{\tau} d\tau = \int_{40}^h \frac{h v_P}{v} - 1 \frac{dh}{v_P} = \left(\frac{v_P}{v_S} - 1 \right) \int_{40}^h \frac{dh}{40^2 \alpha + 2h + ch^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_P}{v} &= 1.78 \\ \frac{v_P}{v_S} - 1 &= 0.78 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

式(10)及び第一表甲の $\frac{v_P}{v_S}$ のフレを見るに、 $\frac{v_P}{v_S}$ を一、七八と置いた爲めに初期微動時間に及ぼす誤差は極めて小であることが解る。即ち五十分一乃至百分一位の誤差である。又(10)式の積分の下限四十はモホロビチック層の深さを意味し、 τ_0 は此の層によりて生ずる初期微動時間を表はす。

(10) 式を積分すれば

$$\tau' = [\tau]_{\tau_0}^{\tau} = \frac{0.78}{2\sqrt{(\frac{b}{2})^2 - ac}} \log_e \frac{\left(\sqrt{(\frac{b}{2})^2 - ac} - \frac{b}{2} \right) - ch}{\left(\sqrt{(\frac{b}{2})^2 - ac} + \frac{b}{2} \right) + ch} \Big|_{40}^h \dots\dots\dots (12)$$

此の式に依りてモホロビチック層以下の初期微動時間が知れれば該層以下の震源の深さが知れる然るに

$$\tau' = \tau - \tau_0 \dots\dots\dots$$

なるが故に震央に於ける初期微動時間 τ が知れ且つ、 τ_0 が知れて居れば直ちに τ が知れ(12)式によりて震源の深さを求められる。

然れども著者は便宜の爲めに積分の下限即ち τ_0 及び四十籽とあるを零に置きかへ次の如き公式を得た

$$[\tau]^T = \frac{0.78}{\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - ac}} \left| \log_e \frac{\left(\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - ac} - \frac{b}{2}\right) - ch}{\left(\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - ac} + \frac{b}{2}\right) + ch} \right| h$$

$$T = 114.54 - 228.0 \log_{10} \frac{0.001885 + 0.0150 \times 10^{-4} h}{0.005995 - 0.0150 \times 10^{-4} h} \dots\dots\dots (13)$$

此處にTはモホロビチック層以下のP波、S波の速度變化の有様を地表まで及ぼした時、震央の有する初期微動時間にして、hが四十籽(モホロビチック層の深さ)の時のTの値を T_0 とすれば

$$T = \tau - (\tau_0 - T_0) \dots\dots\dots (14)$$

扱著者は震央の實際の初期微動時間 τ と震源の深さとの關係を求むる代りに、Tとhとの關係を第十式として求めた。此の式に於いてhが四十籽のとす

$$T_0 = 4.1 \text{秒}$$

次に τ_0 即ちモホロビチック層四十籽を通過して生ずる實際の初期微動時間を求めんとするに、大森公

式に依れば

$$40\text{ 軒} = 7.42 \tau_0 \quad \therefore \tau_0 = 5.4\text{ 秒}$$

又中央氣象臺刊行の和達清夫著「地震學」の中のP波S波の速度は夫々五、七軒毎秒及び三、一軒毎秒である。然れば縦波がモホロビチツク層（四十軒）を通過するに要する時間は七、〇秒にして、横波は一、二、九秒である故其の差は五、九秒である。

隼田氏の求めたP波S波の速度は夫々五、六軒毎秒及び三、二軒毎秒であり、之より求むれば五、五を得る。他の方々が求めた値も大體同様である。然れば此處に得た三つの値を平均して

$$\tau_0 = 5.6\text{ 秒}$$

を得る。依つて τ_0 とT₀との差は約一、五秒である故(14)式より

$$T = \tau - 1.5 \dots\dots\dots (15)$$

然れば震央に於ける初期微動時間 τ を知れば(13)式より震源の深さを算出することが出来る。

四、圖表と應用例

前に掲げた第十三式に依りTとhとの關係を表示すれば第二表の如くなる。然るにTは震央に於ける初期微動時間から、前に説明せるが如く、一、五秒を減じたる値である事に注意を要す。又此のTとhとの關係を第三圖に示した。

然れども此の表に四十軒以下を缺如せるは甚だ不便である。今大森博士の表と、和達氏の「深層地震

の研究」の第二報中にある表とから、初期微動時間が六秒迄のものを、括弧を附して表中に挿入した。然れば前節に説明せる理由に依り、震央の初期微動時間が五、六秒迄は括弧内の値を用ひよべし。

第二表 震央の初期微動時間より震源の深さを求むる表(秒, 籽)

一位 十位	0秒	1秒	2	3	4	5	6	7	8	9
0	(0)	(6)	(13)	(20)	(27)	(35)	(43)			
1	99	109	119	130	140	151	161	172	182	193
2	203	214	225	236	246	257	268	279	290	301
3	313	324	335	346	357	368	380	391	403	414
4	426	437	449	461	472	484	496	507	519	531
5	543	555	567	579	591	603				

震央のP-Sより1.5秒を減じて本表は用ふべし。但し震央のP-Sから6秒未満の場合は5.0秒を引かずに其の儘の値を用ひ、且つ括弧内の値を使用すべし。

例一、昭和四年六月三日志摩半島に震央を有する地震の震央に於ける初期微動時間は三十六秒である。其れ故之より一、五秒を引き三十四秒五を得て、第二表から深さを求むれば三百六十三籽となり、著者が先に調査せる値三百籽より約六十籽も大きい。

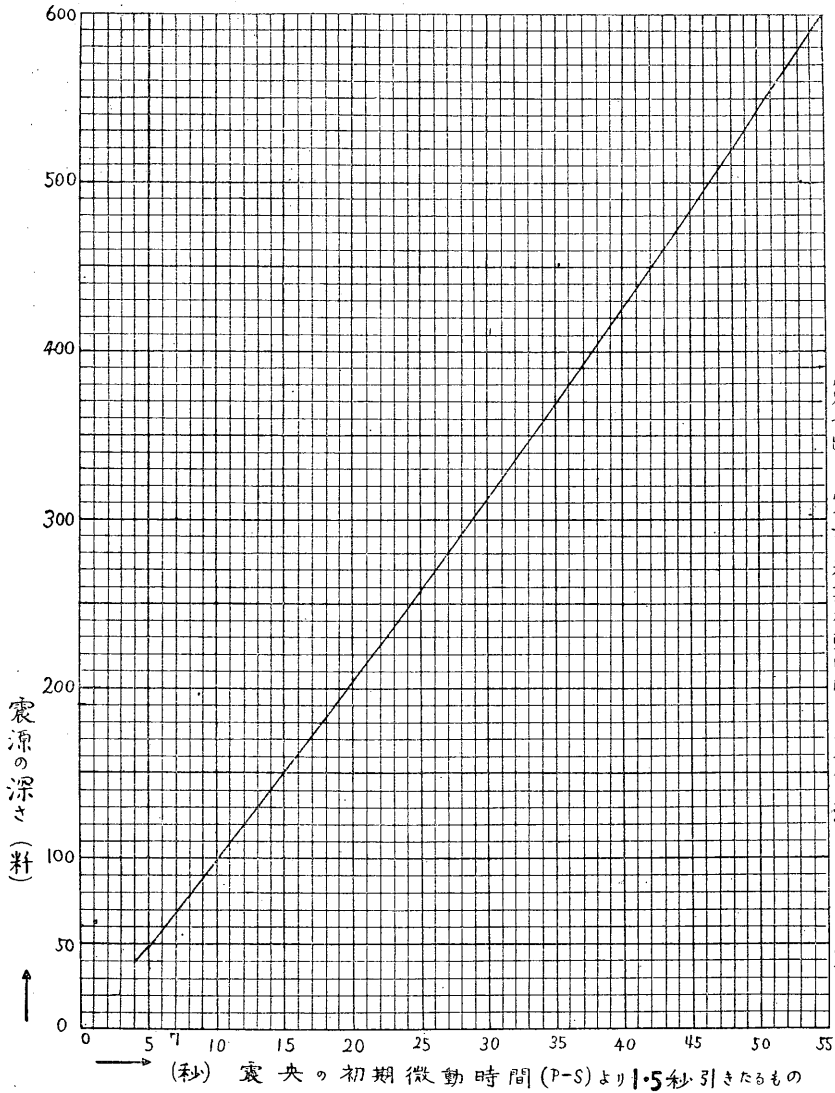
例二、昭和二年一月十五日經ヶ岬の地震の震央の初期微動時間は河角氏により四十秒六である。之より一・五秒を減じ三十九秒一を得て、本表によりて深さを求むるに四百十五籽である。然るに河角氏の求めた値は四百五十籽にして三十五籽深い。

此の二つの例題に於ける、各個人の求めた値と表から求めた値との差は全く反對になつてゐる。而して此の表は其の中間の値を與へるものである。而して河角氏はP—S波を用ひ、著者はP波及びS波を用ひたのである。又表面の條件即ちモホロビチツク層直下の各波の速度の相違もある。是等のために深さを求めた結果に甚だしく相違を來たしたのであらう。

例三、昭和三年五月二十一日東京灣東北部に震央を有する地震の震央の初期微動時間は八秒〇である。之より一・五秒を引き六・五秒に對する深さを表で求むれば、六十四籽となる。

例四、大正十五年八月三日東京灣中部に震央を有する地震の震央の初期微動時間は五・五秒である。此の場合には五・六秒未滿なる故一・五秒を引かずに其の儘五・五秒を用ひ、且つ表中括弧を附した値を用ふ。而して五秒と六秒との間を内挿法で求めて、三十九籽なる深さを得る。

終りに臨み有益なる御助言を賜つた岡田臺長に深謝する次第である。



引用文献

- (一) 大森房吉 近距離地震の初微動繼續時間ニ競キテ(震災豫防調査會報告第八十八號甲)
- (二) 和達清夫 深層地震の研究(氣象集誌第二輯第六卷第六號)
- (三) 和達清夫 近地地震に就いて(驗震時報第一卷第三號)
- (四) 國富信一 日本に於ける地震波動の傳播に關する研究(第六報)(氣象集誌第二輯第六卷第三號)
- (五) 河角 廣 昭和二年一月十五日經ヶ岬の地震の震源の深さに就いて(氣象集誌第二輯第五卷第十一號)
- (六) 鷺坂清信 昭和四年六月三日深層地震調査(驗震時報第三卷第三號)