

深發地震發震機構調査方法に就て (序報)

本 間 正 作

1. 緒 言 深發地震の發震機構は地殻の自由表面(地表)の影響を蒙る事が少く、比較的簡単な弾性體理論と對照出来るので理論の檢證には屈竟の材料として近年その調査は頗る盛んである⁽¹⁾。又實測と理論は可成りまで一致して居る事も分つて來たが、而も尙ほ十分確定の域には達して居らず、今後の研究に理論の改良、補足を待つ所が残つて居る次第であるが、茲に私は從來行はれて來た調査方法に一應反省の必要を感ずるのである。

先づ震源の位置即ち震央と深さを求める事に就ては、P波の走時曲線其の他より相當詳しく之を定める事が出来る。中でも河角博士⁽²⁾の様に最小二乗法で發震時の實測材料から直接決定する時は、主觀的要素を除き、且つ決定結果の持つ誤差の程度を明らかにする事が出来る。それでは震源に於ける初動の配分即ち發震機構も同様にして、地上の振幅の實測材料から自然と誘導し、且つ結果の信用度を明示出来ないであらうか。勿論發震時の觀測が相當精密に行ひ得るのに反し、振幅の方は地殻構造の複雑な爲や地震記象の不完全な爲餘り精密ではなく、結局の解答は相當自由勝手に、目の子で合せても良いとも考へられるが實はさうであればこそ益々最小二乗法等で答を導き、信用度を示すことが必要なのである。

茲には先づ(i)實測材料から直接發震機構の要素を決定する方式を述べる。然しこの方法は理窟の上で不完全で實際の上からも拙い場合もあり得るので、(ii)要素の近似値を知り、補正值を求める方式も述べた。この時(i)で得た答を近似値に用ひると便利である。然し未だ考への序の口で、P波初動を用ひて

(1) [Geophys. Mag.] 本多弘吉 5. p. 301, 8 p. 153, p. 165, p. 327, [驗震時報] 驚坂清信 6 p. 15, 杵島 磨 9 p. 171, 森田 稔 p. 231, 竹花峰夫 p. 253, p. 261, 本多弘吉, 波佐谷慶孝 10 p. 8, 門脇關郎, 他二名, 10 p. 78, 本多弘吉, 伊藤 博 11 p. 1, 伊藤 博 11 p. 28.,

H. Kawasumi; Bull. Earthq. Res. Inst., 11 (1933), 12 (1934)

(2) H. Kawasumi; Bull. Earthq. Res. Inst., 11 (1933)

節線型發震機構の要素を定めることに依り、大體の方針を示すに過ぎない。今後種々材料を整へ完全にし度い。

2. 方法 本多博士の唱へられる節線型發震機構の理論に依れば、震源から十分遠方の地點でP波として觀測される波動が、震源を圍む假想球上を出發する時、其の振幅配分は

$$\mathcal{A} \sin 2\theta \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (1)$$

と言ふ形で與へられる。茲に θ , φ は假想球に就て定まる一つの極座標軸に對する餘緯度及び經度である。問題はこの極座標軸の方向及び \mathcal{A} の大きさを決定するにある。之が地表直下に到達した時の變位は近似的に、

$$\vartheta = \mathcal{A} f \cdot \sin 2\theta \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2)$$

但し $f = \sqrt{\frac{\rho v}{\rho_0 v_0} \cdot \frac{\sin \theta}{\Delta \sin e_0} \cdot \frac{d\theta}{d\Delta}} \dots\dots\dots (3)$

で ρ , v は震源に於ける密度及び P 波速度、 ρ_0 , v_0 はその地表に於ける値、 Δ は震央距離、 θ は震央距離 Δ の地點に入射する震波線の震源に於て鉛直線となす角、 e_0 はその地表に於ける入射角を示す。 f は地球内部の ρ , v の分布を知つて居れば、 Δ と震源の深さに應じて確定する筈の既知量である。⁽¹⁾ 震波線が途中で不連続面を通過すると考へ度いならば、其處に於ける反射屈折の影響も考慮すべきである。⁽²⁾ 又地表で觀測される振幅は、上の ϑ に e_0 に應じて定まる係數を乗じて補正せねばならない。⁽³⁾ (2) 式の f は之等總ての影響を盡く含めた係數と考へて置かう。⁽⁴⁾ さうすると ϑ は地表の觀測値となり既知量である。

扱て震源假想球の中心 O を原點に直角底標軸 (x, y, z) を採り θ は z 軸より測り、 φ は Ox_2 面より測るものとし、別に O を原點に鉛直上方に

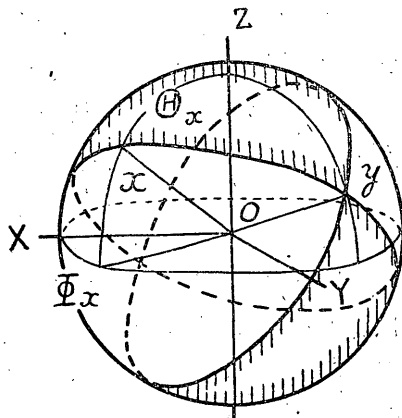
	X	Y	Z	
x	a_1	b_1	c_1	$\dots (4)$
y	a_2	b_2	c_2	
z	a_3	b_3	c_3	

- (1) 伊藤 博; 驗震時報, 11, (昭和15年)にこの表がある。
- (2) 河角 廣, 鈴木武夫; 地震 4, (昭和7年)
- (3) 松澤武雄; 地震 4, (昭和7年)
- (4) この意味の f を Δ と震源の深さに應じて表に作つて置くと便利であるが、地下構造に關する知識不十分のため目下の所では、その都度用ひた假定に従つて f を計算するより仕方がない。

Z 軸南に X 東に Y 軸を持つ座標軸を考へ、(X, Y, Z) 軸に對する (x, y, z) 軸の方向を (4) の如き方向餘弦で規定する。先の極座標の方向を決める事は結局この方向餘弦を決める事に他ならない。

第 1 圖

次に震央から見た觀測所の方位角を Φ とし、之は OXZ 面より測るものとする、此の觀測所に到達する震波の震源假想球上の極座標は、(XYZ) 軸に對して (r, θ, Φ) である。但し r は假想球の半径。然るに假想球上の一處では、



$$x = r \sin \theta \cos \varphi, \quad z = r \cos \theta;$$

$$X = r \sin \theta \cos \Phi,$$

$$Y = r \sin \theta \sin \Phi, \quad Z = r \cos \theta$$

にして、

$$x = a_1 X + b_1 Y + c_1 Z, \quad z = a_3 X + b_3 Y + c_3 Z$$

又 (1) にて $\mathcal{A} \sin 2\theta \cos \varphi = 2 \frac{\mathcal{A}}{r^2} \cdot x \cdot z$

故に (2) は

$$\vartheta = \mathcal{A} \cdot f \cdot [2a_1 a_3 A' + 2b_1 b_3 B' + 2c_1 c_3 C' + (b_1 c_3 + c_1 b_3) D + (c_1 a_3 + a_1 c_3) E + (a_1 b_3 + b_1 a_3) F] \dots \dots \dots (5)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} A' &= \sin^2 \theta \cos^2 \Phi, \\ B' &= \sin^2 \theta \sin^2 \Phi, \\ C' &= \cos^2 \theta, \\ D &= \sin 2\theta \cdot \sin \Phi, \\ E &= \sin 2\theta \cdot \cos \Phi, \\ F &= \sin^2 \theta \cdot \sin 2\Phi. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

この A', B', C', D, E, F は各觀測所毎に計算から求まるものである。 ϑ と f も既知の量である。又 a_1, b_1, \dots, c_3 量は次の 3 條件の爲 3 つしか獨立でない。

$$a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 = 1, \quad a_3^2 + b_3^2 + c_3^2 = 1, \quad a_1 a_3 + b_1 b_3 + c_1 c_3 = 0$$

最後の條件により例へば (5) の $c_1 c_3$ を除き得る。

$$\left. \begin{aligned} A &= A' - C' = \sin^2 \theta \cos^2 \Phi - \cos^2 \theta \\ B &= B' - C' = \sin^2 \theta \sin^2 \Phi - \cos^2 \theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

とおくと (5) の代りに

$$\vartheta = \mathfrak{A}f[A \cdot P + B \cdot Q + D \cdot R + E \cdot S + F \cdot T] \dots \dots \dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{茲に } P &= 2a_1a_3, \quad Q = 2b_1b_3, \quad \dots \quad P+Q = -2c_1c_3 \\ R &= b_1c_3 + c_1b_3, \quad S = c_1a_3 + a_1c_3, \quad T = a_1b_3 + b_1a_3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

で之等及び \mathfrak{A} を求めようとする。

(i) 直接に要素を決める方式

(8) の観測方程式に對し、基準のものを擇び之を

$$\vartheta_0 = \mathfrak{A}f[A_0P + B_0Q + D_0R \rightarrow E_0S + F_0T] \dots \dots \dots (10)$$

と置き (8) の各式に就き

$$F = kF_0 \dots \dots \dots (11)$$

なる k を求めると、(8) と (10) から

$$\vartheta - \vartheta_0 = \mathfrak{A}f[(A - kA_0)P + (B - kB_0)Q + (D - kD_0)R + (E - kE_0)S] \dots (12)$$

なる方程式の群を得る。之等を新に観測方程式と考へると

$$\mathfrak{A}P, \mathfrak{A}Q, \mathfrak{A}R, \mathfrak{A}S \dots \dots \dots (13)$$

の 4 量が最小二乗法で定まる。只 (10) なる基準方程式の採り方が問題となる。例へば (8) の観測方程式群の平均値を採れば材料を公平に使ふことになると考へられる。但しこの方法では振幅測定の系統的誤差でもあると著しく効いて來⁽¹⁾る。地上に節線上の一點と考へて十分確かな點でも見付かれば、この點の A, B, \dots を A_0, B_0, \dots に用ひ $\vartheta_0 = 0$ と置くのもよいように思ふ。

次に (13) の諸量より、欲する量を導く方法を述べる。(9) より

$$\frac{S}{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{c_1}{a_1} + \frac{c_3}{a_3} \right), \quad -\frac{P+Q}{P} = \frac{c_1}{a_1} \cdot \frac{c_3}{a_3}$$

之は $\frac{c_1}{a_1}, \frac{c_3}{a_3}$ が $\xi^2 - 2 \frac{S}{P} \xi - \frac{P+Q}{P} = 0$ の 2 根、即ち $\frac{S}{P} \pm \frac{1}{P} \sqrt{S^2 + P(P+Q)}$ なる事を示す。

$$\therefore \left(\frac{c_1}{a_1}, \frac{c_3}{a_3} \right) = \frac{\mathfrak{A}S}{\mathfrak{A}P} \pm \frac{1}{\mathfrak{A}P} \sqrt{(\mathfrak{A}S)^2 + \mathfrak{A}P(\mathfrak{A}P + \mathfrak{A}Q)} \dots \dots \dots (14)$$

(1) 次節例題参照

同様に、

$$\left(\frac{c_1}{b_1}, \frac{c_3}{b_3} \right) = \frac{\mathfrak{M}R}{\mathfrak{M}Q} \pm \frac{1}{\mathfrak{M}Q} \sqrt{(\mathfrak{M}R)^2 + \mathfrak{M}Q(\mathfrak{M}P + \mathfrak{M}Q)} \dots\dots\dots (15)$$

之で $\frac{c_1}{a_1}, \frac{c_3}{a_3}, \frac{c_1}{b_1}, \frac{c_3}{b_3}$ が定まれば

$$\left(\frac{a_1}{c_1} \right)^2 + \left(\frac{b_1}{c_1} \right)^2 + 1 = \frac{1}{c_1^2}, \quad \left(\frac{a_3}{c_3} \right)^2 + \left(\frac{b_3}{c_3} \right)^2 + 1 = \frac{1}{c_3^2} \dots\dots (16)$$

に依り c_1, c_3 が決る。但し c_1, c_3 は恒に正と考へても \mathfrak{M} に正負の符號を與へれば一般性を失はない。 \mathfrak{M} の符號は實測の初動分布に應ずる様に定めればよい。 c_1, c_3 が定まれば従つて a_1, a_3, b_1, b_3 が定まる。 a_2, b_2, c_2 は

$$a_2 = b_3 c_1 - c_3 b_1, \quad b_2 = c_3 a_1 - a_3 c_1, \quad c_2 = a_3 b_1 - a_1 b_3 \dots\dots (17)$$

として求まる。 \mathfrak{M} は

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}P &= 2\mathfrak{M}a_1a_3, & \mathfrak{M}Q &= 2\mathfrak{M}b_1b_3, \\ \text{或ひは } (\mathfrak{M}R)^2 + \mathfrak{M}Q(\mathfrak{M}P + \mathfrak{M}Q) &= (\mathfrak{M}a_2)^2, & (\mathfrak{M}S)^2 + \mathfrak{M}P(\mathfrak{M}P + \mathfrak{M}Q) &= (\mathfrak{M}b_2)^2, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

等の諸式中どれか一つを用ひて求まる。

扱て (14), (15) より $\frac{c_1}{a_1}, \frac{c_3}{a_3}, \frac{c_1}{b_1}, \frac{c_3}{b_3}$ を決める時 4 通りの組合せが生じ得る。然し乍ら例へば

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{c_1}{a_1} &= \frac{\mathfrak{M}S}{\mathfrak{M}P} + \frac{1}{\mathfrak{M}P} \sqrt{\quad}, & \frac{c_3}{a_3} &= \frac{\mathfrak{M}S}{\mathfrak{M}P} - \frac{1}{\mathfrak{M}P} \sqrt{\quad}, \\ \frac{c_1}{b_1} &= \frac{\mathfrak{M}R}{\mathfrak{M}Q} + \frac{1}{\mathfrak{M}Q} \sqrt{\quad}, & \frac{c_3}{b_3} &= \frac{\mathfrak{M}R}{\mathfrak{M}Q} - \frac{1}{\mathfrak{M}Q} \sqrt{\quad}, \\ \frac{c_1}{a_1} &= \frac{\mathfrak{M}S}{\mathfrak{M}P} - \frac{1}{\mathfrak{M}P} \sqrt{\quad}, & \frac{c_3}{a_3} &= \frac{\mathfrak{M}S}{\mathfrak{M}P} + \frac{1}{\mathfrak{M}P} \sqrt{\quad}, \\ \frac{c_1}{b_1} &= \frac{\mathfrak{M}R}{\mathfrak{M}Q} + \frac{1}{\mathfrak{M}Q} \sqrt{\quad}, & \frac{c_3}{b_3} &= \frac{\mathfrak{M}R}{\mathfrak{M}Q} - \frac{1}{\mathfrak{M}Q} \sqrt{\quad}, \end{aligned} \right\} \dots\dots (19)$$

の 2 通りだけが異つたもので他の 2 つは x 軸と z 軸を入れ代へ、且つ y 軸の方向を逆に採ると (19) の何れかと同じものとなる事が容易に證明出来る。従つて \mathfrak{M} の符號を適當に附けると (19) と同じ初動分布を與へるに過ぎない。(19) の中一方は實情に適せぬ無縁根である。

(1) 證明後出 (21) 式

方向餘弦が求まると極軸の方位が決定出来る。例へば (X, Y, Z) 軸を基準に、 x 軸と仮想球の交点の徑度 Φ_x 、餘緯度 θ_x を求めるには、 $\cos \theta_x = \cos(Zx) = c_1$ 、又

$$\cos(Xx) = \cos(XZ) \cdot \cos(Zx) + \sin(XZ) \sin(Zx) \cos \Phi_x = \sin \theta_x \cos \Phi_x$$

他も同様にして、

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta_x &= c_1, & \cos \Phi_x &= \frac{a_1}{\sin \theta_x}, \\ \cos \theta_y &= c_2, & \cos \Phi_y &= \frac{a_2}{\sin \theta_y}, \\ \cos \theta_z &= c_3, & \cos \Phi_z &= \frac{a_3}{\sin \theta_z}, \end{aligned} \right\} \dots\dots (20)$$

従つて $a_1, a_2, a_3, b_1, \dots$ の符號に注意して各軸の位置する象限に注意すると $\theta_x, \Phi_x, \theta_y, \dots$ が定まる。

(ii) 第一近似値に對する補正を求める方式

(9) 式より

$$R^2 = (b_1c_3 + c_1b_3)^2 = (b_1c_3 - c_1b_3)^2 + 4b_1b_3 \cdot c_1c_3 = a_2^2 - Q(P+Q)$$

同様な計算を行ひ次の 2 式を得る。

$$a_2^2 = R^2 + Q(P+Q), \quad b_2^2 = S^2 + P(P+Q) \dots\dots\dots (21)$$

$$\text{又} \quad RS = b_1c_1a_3c_3 + a_1b_1c_3^2 + a_3b_3c_1^2 + a_1c_1b_3c_3 = c_1c_3T + 2a_1b_1c_3^2 + 2a_3b_3c_1^2$$

$$\therefore RS + \frac{P+Q}{2}T = 2a_1b_1c_3^2 + 2a_3b_3c_1^2$$

$$\text{又} \quad PT = 2a_1b_1a_3^2 + 2a_3b_3a_1^2$$

$$QT = 2a_1b_1b_3^2 + 2a_3b_3b_1^2$$

之等三式を邊々加へ合せると、

$$RS + \frac{3}{2}(P+Q)T = 2a_1b_1 + 2a_3b_3 = -2a_2b_2$$

$$\therefore [2RS + 3(P+Q)T]^2 = 16a_2^2b_2^2$$

(21) を代入すると、

$$[2RS + 3(P+Q)T]^2 = 16 \cdot [R^2 + Q(P+Q)] \cdot [S^2 + P(P+Q)] \dots\dots (1) \dots\dots (22)$$

(1) 同様にして $[2ST - 3PR]^2 = 16[T^2 - PQ][S^2 + P(P+Q)]$,

$[2RT - 3QS]^2 = 16[T^2 - PQ][R^2 + Q(P+Q)]$

も得られ、従つて (23) に應ずる式も得られる。

この兩邊に \mathcal{M}^4 を掛けて對數微分を採ると、

$$\begin{aligned} \frac{6(\mathcal{M}P+\mathcal{M}Q)}{\Delta_1} \delta(\mathcal{M}T) &= \left[-\frac{6\mathcal{M}T}{\Delta_1} + \frac{\mathcal{M}Q}{\Delta_2} + \frac{2\mathcal{M}P+\mathcal{M}Q}{\Delta_3} \right] \delta(\mathcal{M}P) \\ &+ \left[-\frac{6\mathcal{M}T}{\Delta_1} + \frac{\mathcal{M}P+2\mathcal{M}Q}{\Delta_2} + \frac{\mathcal{M}P}{\Delta_3} \right] \delta(\mathcal{M}Q) \\ &+ \left[-\frac{4\mathcal{M}S}{\Delta_1} + \frac{2\mathcal{M}R}{\Delta_2} \right] \delta(\mathcal{M}R) \\ &+ \left[-\frac{4\mathcal{M}R}{\Delta_1} + \frac{2\mathcal{M}S}{\Delta_3} \right] \delta(\mathcal{M}S) \dots (23) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し } \Delta_1 &= 2\mathcal{M}R \cdot \mathcal{M}S + 3(\mathcal{M}P + \mathcal{M}Q) \cdot \mathcal{M}T, \\ \Delta_2 &= 2(\mathcal{M}R)^2 + (\mathcal{M}P + \mathcal{M}Q) \cdot \mathcal{M}Q, \\ \Delta_3 &= 2(\mathcal{M}S)^2 + (\mathcal{M}P + \mathcal{M}Q) \cdot \mathcal{M}P. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (24)$$

(8) 式で近似値の $\mathcal{M}P, \mathcal{M}Q, \dots, \mathcal{M}T$ より計算された ϑ を ϑ_{cal} とすると、之等に加ふべき補正值 $\delta(\mathcal{M}P)$ 等は

$$\vartheta - \vartheta_{\text{cal}} = f[A\delta(\mathcal{M}P) + B\delta(\mathcal{M}Q) + D\delta(\mathcal{M}R) + E\delta(\mathcal{M}S) + F\delta(\mathcal{M}T)] \dots (25)$$

之と (23) より $\delta(\mathcal{M}T)$ を消去すると、再び $\mathcal{M}P, \mathcal{M}Q, \mathcal{M}R, \mathcal{M}S$ が求まる。

i の方法に依る結果を第一近似値に採る場合には $\mathcal{M}T$ の近似値としては (10) に依り

$$\mathcal{M}T = \frac{1}{f} [\vartheta_0 - \mathcal{M}f\{A_0P + B_0Q + D_0R + E_0S\}] \dots \dots \dots (26)$$

を採ればよい。

iii 誤差の傳播

次に $\mathcal{M}P, \mathcal{M}Q, \mathcal{M}R, \mathcal{M}S$ の確率誤差 $\epsilon_p, \epsilon_q, \epsilon_r, \epsilon_s$ が所求の各量に如何に傳播するかを見る。一般に任意の量 f の誤差 ϵ_f は

$$\epsilon_f^2 = \left[\frac{\partial f}{\partial (\mathcal{M}P)} \right]^2 \epsilon_p^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial (\mathcal{M}Q)} \right]^2 \epsilon_q^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial (\mathcal{M}R)} \right]^2 \epsilon_r^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial (\mathcal{M}S)} \right]^2 \epsilon_s^2$$

で與へられる。要り ϵ_f^2 は $\epsilon_p^2, \epsilon_q^2, \epsilon_r^2, \epsilon_s^2$ の線型同次式になる。従つてその係數が計算出來ればよい。係數を表に作つて一括しておく、但し表中の α, β 等は次の量である。(273 頁)

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \frac{1 - \left(\frac{a_1}{c_1}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}P \frac{c_1}{a_1} - \mathcal{M}S\right)}, & \alpha_2 &= \frac{-\left(\frac{a_1}{c_1}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}P \frac{c_1}{a_1} - \mathcal{M}S\right)}, & \alpha_3 &= \frac{-2\frac{a_1}{c_1}}{2\left(\mathcal{M}P \frac{c_1}{a_1} - \mathcal{M}S\right)}, \\
 \alpha'_1 &= \frac{1 - \left(\frac{a_3}{c_3}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}P \frac{c_3}{a_3} - \mathcal{M}S\right)}, & \alpha'_2 &= \frac{-\left(\frac{a_3}{c_3}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}P \frac{c_3}{a_3} - \mathcal{M}S\right)}, & \alpha'_3 &= \frac{-2\frac{a_3}{c_3}}{2\left(\mathcal{M}P \frac{c_3}{a_3} - \mathcal{M}S\right)}, \\
 \beta_1 &= \frac{1 - \left(\frac{b_1}{c_1}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}Q \frac{c_1}{b_1} - \mathcal{M}R\right)}, & \beta_2 &= \frac{-\left(\frac{b_1}{c_1}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}Q \frac{c_1}{b_1} - \mathcal{M}R\right)}, & \beta_3 &= \frac{-2\frac{b_1}{c_1}}{2\left(\mathcal{M}Q \frac{c_1}{b_1} - \mathcal{M}R\right)}, \\
 \beta'_1 &= \frac{1 - \left(\frac{b_3}{c_3}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}Q \frac{c_3}{b_3} - \mathcal{M}R\right)}, & \beta'_2 &= \frac{-\left(\frac{b_3}{c_3}\right)^2}{2\left(\mathcal{M}Q \frac{c_3}{b_3} - \mathcal{M}R\right)}, & \beta'_3 &= \frac{-2\frac{b_3}{c_3}}{2\left(\mathcal{M}Q \frac{c_3}{b_3} - \mathcal{M}R\right)}, \\
 & \dots\dots\dots & & & & \dots\dots\dots (27)
 \end{aligned}$$

尤も茲には

$$\left. \begin{aligned}
 \mathcal{M}P \frac{c_1}{a_1} - \mathcal{M}S &= -\left(\mathcal{M}P \frac{c_3}{a_3} - \mathcal{M}S\right), \\
 \mathcal{M}Q \frac{c_1}{b_1} - \mathcal{M}R &= -\left(\mathcal{M}Q \frac{c_3}{b_3} - \mathcal{M}R\right),
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

と云ふ關係がある。

本文の終りに附表として種々の θ, Φ に対する A, B, D, E, F の値を載せてある。この中 D と E の表では、 θ が $0^\circ \sim 90^\circ$ では D も E も正值を採り $90 \sim 180^\circ$ では表の値に負符號を付けて用ひるのである。

3. 實例 昭和 14 年 4 月 21 日 13 時 29 分頃日本海北部の東經 $140^\circ 12'$ 北緯 $47^\circ 36'$ に震源の深さ約 530 杆の深發地震が起り、之に就ては本多博士、伊藤技師の詳細な調査がある。その中に種々必要な量の計算結果が掲載されてあるから之を拜借して、i の方法を驗して見た。274 頁の表には本多、伊藤兩氏の表にあるものは略した。 θ は伊藤氏の表の震源の深さ 500 杆の値を用ひて出し、 Φ は震源に立つて真南より反時計向きに測つた觀測所の方角、 f は伊藤氏の表に依る。 H は初動の水平成分で之に松澤博士の表に當て嵌めて地中の振幅 ϕ が求め、更に f で割つて震源假想球上に引直した値を表中に $\bar{\phi}$ と書いてある。

	εp^2	εq^2	εr^2	εs^2
εa_1^2	$\{\alpha_1(c_1 - a_1^2) - \beta_1 a_1 b_1\}^2$	$\{\alpha_2(c_1 - a_1^2) - \beta_2 a_1 b_1\}^2$	$\beta_3^2 a_1^2 b_1^2$	$\alpha_3^2 (c_1 - a_1^2)^2$
εa_3^2	$\{\alpha_1'(c_3 - a_3^2) - \beta_1' a_3 b_3\}^2$	$\{\alpha_2'(c_3 - a_3^2) - \beta_2' a_3 b_3\}^2$	$\beta_3' a_3^2 b_3^2$	$\alpha_3' (c_3 - a_3^2)^2$
εa_2^2	$\left[\frac{a_1}{a_2} \{\alpha_1(c_1 - a_1^2) - \beta_1 a_1 b_1\} + \frac{a_3}{a_2} \{\alpha_1'(c_3 - a_3^2) - \beta_1' a_3 b_3\} \right]^2$	$\left[\frac{a_1}{a_2} \{\alpha_2(c_1 - a_1^2) - \beta_2 a_1 b_1\} + \frac{a_3}{a_1} \{\alpha_3'(c_3 - a_3^2) - \beta_2' a_3 b_3\} \right]^2$	$\left[\frac{a_1}{a_2} \beta_3 a_1 b_1 + \frac{a_3}{a_2} \beta_3' a_3 b_3 \right]^2$	$\left[\frac{a_1}{a_2} \alpha_3 (c_1 - a_1^2) + \frac{a_3}{a_2} \alpha_3' (c_3 - a_3^2) \right]^2$
εb_1^2	$\{\beta_1(c_1 - b_1^2) - \alpha_1 a_1 b_1\}^2$	$\{\beta_2(c_1 - b_1^2) - \alpha_2 a_1 b_1\}^2$	$\beta_3(c_1 - b_1^2)^2$	$\alpha_3^2 a_1^2 b_1^2$
εb_3^2	$\{\beta_1'(c_3 - b_3^2) - \alpha_1' a_3 b_3\}^2$	$\{\beta_2'(c_3 - b_3^2) - \alpha_2' a_3 b_3\}^2$	$\beta_3'(c_3 - b_3^2)^2$	$\alpha_3'^2 a_3^2 b_3^2$
εb_2^2	$\left[\frac{b_1}{b_2} \{\beta_1(c_1 - b_1^2) - \alpha_1 a_1 b_1\} + \frac{b_3}{b_2} \{\beta_1'(c_3 - b_3^2) - \alpha_1' a_3 b_3\} \right]^2$	$\left[\frac{b_1}{b_2} \{\beta_2(c_1 - b_1^2) - \alpha_2 a_1 b_1\} + \frac{b_3}{b_2} \{\beta_2'(c_3 - b_3^2) - \alpha_2' a_3 b_3\} \right]^2$	$\left[\frac{b_1}{b_2} \beta_3 (c_1 - b_1^2) + \frac{b_3}{b_2} \beta_3' (c_3 - b_3^2) \right]^2$	$\left[\frac{b_1}{b_2} \alpha_3 a_1 b_1 + \frac{b_3}{b_2} \alpha_3' a_3 b_3 \right]^2$
εc_1^2	$c_1^2 (\alpha_1 a_1 + \beta_1' b_1)^2$	$c_1^2 (\alpha_2 a_1 + \beta_2 b_1)^2$	$\beta_3^2 b_1^2 c_1^2$	$\alpha_3^2 c_1^2 a_1^2$
εc_3^2	$c_3^2 (\alpha_1' a_3 + \beta_1' b_3)^2$	$c_3^2 (\alpha_2 a_3 + \beta_2 b_3)^2$	$\beta_3'^2 b_3^2 c_3^2$	$\alpha_3'^2 c_3^2 a_3^2$
εc_2^2	$\left[\frac{c_1^2}{c_2} (\alpha_1 a_1 + \beta_1 b_1) + \frac{c_3^2}{c_2} (\alpha_1' a_3 + \beta_1' b_3) \right]^2$	$\left[\frac{c_1^2}{c_2} (\alpha_2 a_1 + \beta_2 b_1) + \frac{c_3^2}{c_2} (\alpha_2' a_3 + \beta_2' b_3) \right]^2$	$\left[\frac{c_1}{c_2} \beta_3 b_1 c_1 + \frac{c_3}{c_2} \beta_3' b_3 c_3 \right]^2$	$\left[\frac{c_1}{c_2} \alpha_3 c_1 a_1 + \frac{c_3}{c_2} \alpha_3' c_3 a_3 \right]^2$
$\varepsilon \mathcal{W}^2$	$\frac{1}{4 c_1^2 c_3^2} \left[1 + 2 \mathcal{W} c_1 c_3 \{ \alpha_1 a_1 + \beta_1 b_1 + \alpha_1' a_3 + \beta_1' b_3 \} \right]^2$	$\frac{1}{4 c_1^2 c_3^2} \left[1 + 2 \mathcal{W} c_2 c_3 \{ \alpha_2 a_1 + \beta_2 b_1 + \alpha_2' a_3 + \beta_2' b_3 \} \right]^2$	$\mathcal{W}^2 (\beta_3 b_1 + \beta_3' b_3)^2$	$\mathcal{W}^2 (\alpha_3 a_1 + \alpha_3' a_3)^2$

		Θ	Φ	$f_{km^{-1}}$	H_{cm^2}	ϑ_{cm^2}
札森	幌町	58°	11°	0.26	- 3.37	- 5.91
		66	3	0.23	- 1.41	- 2.27
八盛	戸岡	77	8	0.19	- 1.61	- 2.33
		80	5	0.17	- 2.57	- 3.72
仙福	臺島	82	3	0.12	- 4.11	- 5.79
		83	1	0.12	+ 0.15	+ 0.21
水前	戸橋	92	1	0.145	0	0
		92	- 5	0.145	0	0
横岐	濱阜	98	- 2	0.135	0	0
		99	- 13	0.13	+ 0.95	+ 1.38
豊彦	岡根	100	- 20	0.12	+ 0.91	+ 1.32
		100	- 15	0.12	+ 1.08	+ 1.57
京龜	都山	101	- 16	0.12	+ 0.77	+ 1.12
		101	- 14	0.12	+ 0.45	+ 0.65
神大	戸阪	102	- 18	0.11	+ 0.83	+ 1.20
		102	- 17	0.11	+ 1.00	+ 1.45
洲和	本山	104	- 19	0.10	+ 0.66	+ 0.96
		104	- 18	0.10	+ 0.28	+ 0.41
濱廣	田島	104	- 29	0.099	+ 1.87	+ 2.71
		107	- 27	0.094	+ 1.13	+ 1.64
潮八	岬島	107	- 15	0.094	+ 0.72	+ 1.04
		107	- 1	0.094	+ 0.82	+ 1.19
松高	山知	108	- 25	0.090	+ 2.53	+ 3.83
		108	- 22	0.090	+ 1.15	+ 1.74
室福	戸岡	108	- 20	0.088	+ 0.83	+ 1.26
		109	- 31	0.082	+ 0.43	+ 0.65
飯熊	塚本	109	- 31	0.083	+ 2.16	+ 3.27
		110	- 29	0.076	+ 1.41	+ 2.14
長屋	崎島	111	- 31	0.073	+ 1.03	+ 1.56
		115	- 27	0.059	+ 2.72	+ 4.25
父臺	島北	118	5	0.050	+ 1.38	+ 2.23
		124	- 40	0.033	+ 1.34	+ 2.35
臺	東	126	- 38	0.030	+ 1.55	+ 2.72

H は南北成分と東西成分の動徑成分を加へ合せたもので、之を用ひる事と水平動の南北、東兩成分を別々の觀測方程式と見る事とは同一では無いが、前者の方は振幅に關する一種の Weight を附した事になつてゐるから良いと思ふ。A, B 等は θ, Φ を 5° 置きの値に繰上げ、或ひは繰下げて附表で求めた。

計算の結果は

$$\begin{aligned} \mathcal{M}P &= -0.99 \pm 2.42, & \mathcal{M}Q &= +2.71 \pm 3.99, \\ \mathcal{M}R &= +0.006 \pm 2.56, & \mathcal{M}S &= +4.38 \pm 1.41, \end{aligned}$$

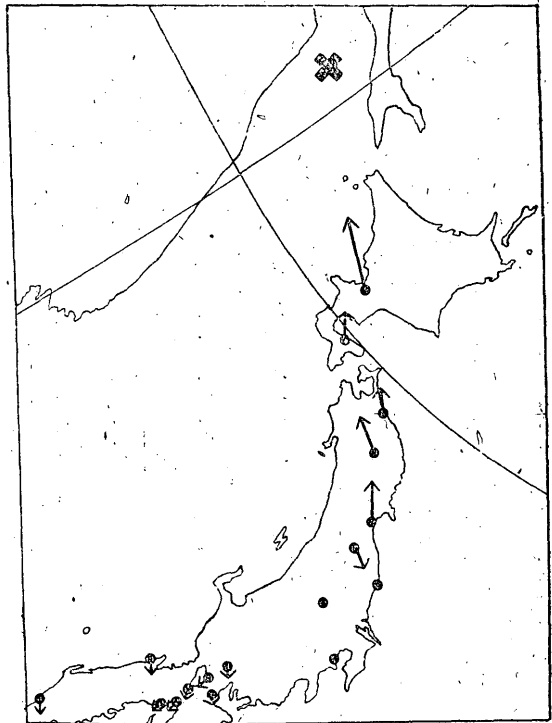
となり頗る大きな誤差を伴ふ。之は(10)の基準方程式として、平均値を採つた爲系統的誤差が非常に効いたらしい。

之等の値より極軸の位置及び \mathcal{M} を求めると、2組の値として、

$$\begin{aligned} \text{I} & \begin{cases} \lambda_x = -75^\circ, & \lambda_y = +83^\circ, & \lambda_z = -174^\circ, \\ \varphi_x = +52^\circ, & \varphi_y = +40^\circ, & \varphi_z = +80^\circ, \\ \mathcal{M} = 7.4 \times 10^5 \text{ cm}^2 \end{cases} \\ \text{II} & \begin{cases} \lambda_x = -146^\circ, & \lambda_y = -43^\circ, & \lambda_z = +115^\circ, \\ \varphi_x = +80^\circ, & \varphi_y = +40^\circ, & \varphi_z = +52^\circ, \\ \mathcal{M} = 7.4 \times 10^5 \text{ cm}^2 \end{cases} \end{aligned}$$

第 2 圖

(\mathcal{M} や φ にIとIIで同じ様な答の出たのは偶然である。)この中IIの方が實際の根になる事は少しく考へると分る。之等の位置及大きさの信用度が甚だ低い事は $\mathcal{M}P$ 等の確率誤差から明白であるし、又實際節線を描いて見ると觀測された押しきの境界から随分掛け離れた所を走る。(第2圖)之は即ち現在の振幅觀測精度及び地中の物性分布の知識から發震機構を決め得る程度を示すものである。尤も實際にはS波や



A→

附 表 (其の1)

φ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135
0	ī	0.9848	0.9397	0.8660	0.7660	0.6428	0.5000	0.3421	0.1736	± 0
5	ī	0.9849	0.9399	0.8665	0.7669	0.6442	0.5019	0.3446	0.1767	0.0038
10	ī	0.9850	0.9406	0.8680	0.7696	0.6482	0.5075	0.3520	0.1861	0.0151
15	ī	0.9853	0.9417	0.8705	0.7739	0.6548	0.5167	0.3641	0.2013	0.0335
20	ī	0.9857	0.9432	0.8739	0.7797	0.6637	0.5292	0.3806	0.2220	0.0584
25	ī	0.9862	0.9451	0.8780	0.7869	0.6747	0.5446	0.4009	0.2474	0.0893
30	ī	0.9867	0.9472	0.8828	0.7953	0.6874	0.5625	0.4244	0.2769	0.1250
35	ī	0.9873	0.9496	0.8881	0.8045	0.7016	0.5822	0.4503	0.3095	0.1645
40	ī	0.9879	0.9521	0.8937	0.8144	0.7166	0.6033	0.4780	0.3443	0.2067
45	ī	0.9886	0.9547	0.8995	0.8245	0.7321	0.6250	0.5066	0.3802	0.2500
50	ī	0.9893	0.9573	0.9053	0.8347	0.7476	0.6467	0.5352	0.4161	0.2934
55	ī	0.9899	0.9599	0.9110	0.8445	0.7626	0.6677	0.5629	0.4508	0.3355
60	ī	0.9905	0.9623	0.9163	0.8538	0.7768	0.6875	0.5889	0.4835	0.3750
65	ī	0.9911	0.9644	0.9210	0.8621	0.7895	0.7053	0.6123	0.5130	0.4107
70	ī	0.9915	0.9663	0.9252	0.8693	0.8005	0.7207	0.6326	0.5384	0.4415
75	ī	0.9919	0.9678	0.9285	0.8752	0.8094	0.7332	0.6491	0.5591	0.4665
80	ī	0.9922	0.9689	0.9310	0.8795	0.8160	0.7424	0.6612	0.5743	0.4849
85	ī	0.9923	0.9696	0.9325	0.8821	0.8201	0.7481	0.6686	0.5836	0.4962
90	ī	0.9924	0.9698	0.9330	0.8830	0.8214	0.7500	0.6711	0.5867	0.5000

←B

50	55	60	65	70	75	80	85	90	φ
130	125	120	115	110	105	100	95	90	
0.1736	0.3421	0.5000	0.6428	0.7664	0.8660	0.9397	0.9848	ī	90
0.1691	0.3370	0.4943	0.6365	0.7593	0.8588	0.9323	0.9773	0.9924	85
0.1559	0.3218	0.4773	0.6180	0.7394	0.8378	0.9104	0.9549	0.9698	80
0.1343	0.2972	0.4497	0.5877	0.7068	0.8035	0.8747	0.9182	0.9330	75
0.1049	0.2636	0.4123	0.5467	0.6626	0.7568	0.8263	0.8687	0.8830	70
0.0687	0.2222	0.3660	0.4961	0.6083	0.6993	0.7665	0.8075	0.8214	65
0.0268	0.1743	0.3124	0.4374	0.5453	0.6327	0.6972	0.7367	0.7500	60
0.0194	0.1214	0.2533	0.3726	0.4756	0.5592	0.6207	0.6584	0.6711	55
0.0689	0.0648	0.1900	0.3033	0.4011	0.4805	0.5389	0.5747	0.5868	50
0.1199	0.0065	0.1250	0.2321	0.3246	0.3995	0.4548	0.4886	0.5000	45
0.1707	0.0517	0.0599	0.1608	0.2478	0.3185	0.3706	0.4025	0.4132	40
0.2201	0.1082	0.0033	0.0917	0.1735	0.2400	0.2890	0.3189	0.3290	35
0.2665	0.1612	0.0625	0.0268	0.1038	0.1663	0.2124	0.2405	0.2500	30
0.3084	0.2092	0.1160	0.0319	0.0407	0.0996	0.1431	0.1697	0.1786	25
0.3446	0.2505	0.1623	0.0825	0.0137	0.0421	0.0833	0.1085	0.1170	20
0.3739	0.2841	0.1998	0.1236	0.0589	0.0045	0.0348	0.0589	0.0670	15
0.3955	0.3088	0.2274	0.1539	0.0904	0.0389	0.0009	0.0223	0.0301	10
0.4087	0.3239	0.2443	0.1724	0.1103	0.0599	0.0228	0.0006	0.0076	5
0.4132	0.3290	0.2500	0.1786	0.1170	0.0670	0.0301	0.0076	± 0	0

附 表 (其の2)

D →

(+)

← E

Φ	D										Φ
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
Φ	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	Φ
0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	90
5	0.	0.0151	0.0298	0.0436	0.0560	0.0668	0.0755	0.0819	0.0858	0.0872	85
10	0.	0.0315	0.0594	0.0868	0.1116	0.1330	0.1503	0.1632	0.1710	0.1736	80
15	0.	0.0450	0.0885	0.1294	0.1663	0.1983	0.2241	0.2432	0.2448	0.2588	75
20	0.	0.0594	0.1169	0.1710	0.2199	0.2619	0.2962	0.3215	0.3367	0.3420	70
25	0.	0.0734	0.1445	0.2113	0.2716	0.3237	0.3660	0.3971	0.4162	0.4226	65
30	0.	0.0868	0.1710	0.2500	0.3214	0.3830	0.4330	0.4699	0.4924	0.5000	60
35	0.	0.0996	0.1961	0.2868	0.3687	0.4394	0.4967	0.5390	0.5648	0.5736	55
40	0.	0.1116	0.2198	0.3214	0.4131	0.4924	0.5567	0.6041	0.6330	0.6428	50
45	0.	0.1228	0.2418	0.3535	0.4544	0.5416	0.6123	0.6645	0.6963	0.7071	45
50	0.	0.1330	0.2620	0.3830	0.4924	0.5867	0.6634	0.7199	0.7544	0.7659	40
55	0.	0.1423	0.2801	0.4095	0.5166	0.6275	0.7094	0.7699	0.8068	0.8192	35
60	0.	0.1504	0.2962	0.4329	0.5567	0.6634	0.7500	0.8138	0.8529	0.8660	30
65	0.	0.1574	0.3098	0.4531	0.5825	0.6942	0.7849	0.8517	0.8925	0.9063	25
70	0.	0.1632	0.3212	0.4698	0.6040	0.7198	0.8138	0.8831	0.9253	0.9397	20
75	0.	0.1677	0.3303	0.4830	0.6208	0.7399	0.8365	0.9078	0.9512	0.9659	15
80	0.	0.1710	0.3368	0.4924	0.6330	0.7544	0.8528	0.9255	0.9698	0.9848	10
85	0.	0.1730	0.3406	0.4980	0.6403	0.7631	0.8627	0.9362	0.9810	0.9962	5
90	0.	0.1737	0.3419	0.5000	0.6428	0.7660	0.8660	0.9398	0.9848	1.0000	0
Φ	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	Φ
Φ	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135	Φ

(-)

附 表 (其の3)

F

Φ	D									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Φ	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135
0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
5	0.	0.0013	0.0052	0.0116	0.0203	0.0310	0.0434	0.0571	0.0718	0.0868
10	0.	0.0026	0.0103	0.0229	0.0400	0.0611	0.0855	0.1125	0.1413	0.1710
15	0.	0.0038	0.0151	0.0335	0.0585	0.0893	0.1250	0.1645	0.2066	0.2500
20	0.	0.0049	0.0194	0.0431	0.0752	0.1148	0.1607	0.2115	0.2655	0.3214
25	0.	0.0058	0.0231	0.0513	0.0896	0.1368	0.1915	0.2520	0.3165	0.3830
30	0.	0.0066	0.0261	0.0580	0.1013	0.1547	0.2165	0.2849	0.3578	0.4330
35	0.	0.0071	0.0283	0.0629	0.1100	0.1678	0.2349	0.3092	0.3883	0.4699
40	0.	0.0075	0.0297	0.0660	0.1152	0.1759	0.2462	0.3240	0.4069	0.4923
45	0.	0.0076	0.0301	0.0670	0.1169	0.1786	0.2500	0.3290	0.4131	0.5000

附 表 (其の3)

50	55	60	65	70	75	80	85	90	⊙ Φ
130	125	120	115	110	105	100	95	90	
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	90
0.1019	0.1165	0.1302	0.1426	0.1533	0.1620	0.1684	0.1723	0.1737	85
0.2007	0.2294	0.2564	0.2808	0.3019	0.3190	0.3317	0.3393	0.3420	80
0.2934	0.3355	0.3749	0.4107	0.4415	0.4665	0.4949	0.4961	0.5000	75
0.3772	0.4314	0.4821	0.5279	0.5696	0.5996	0.6233	0.6379	0.6428	70
0.4494	0.5141	0.5745	0.6012	0.6764	0.7147	0.7435	0.7602	0.7660	65
0.5081	0.5811	0.6495	0.7113	0.7647	0.8080	0.8398	0.8594	0.8660	60
0.5514	0.6307	0.7047	0.7719	0.8298	0.8768	0.9115	0.9326	0.9397	55
0.5778	0.6609	0.7386	0.8089	0.8695	0.9188	0.9550	0.9773	0.9848	50
0.5867	0.6711	0.7499	0.8214	0.8831	0.9330	0.9698	0.9924	1.0000	45

ScS 波の振幅分布も考慮に入れるから、之より遙かに良く分るのである。茲では P 波だけで論じたので上記の様になり本多、伊藤兩氏と甚だ異つた解になつたが、將來は S 波等も考へて取入れて計算の系統を組立てる事が出来ればもつとよく合ふ様になると思ふ。ii の値は大體手頃な値となつて居る。ii の方法の驗はこの地震が餘り良い例で無かつた様に思つて別の機會に譲る。

4. 結 論 發震機構の決定を觀測材料から最小二乗法で決める試みの第一歩として P 波初動を用ひて節線型機構を定める一案を述べた。色々不満の點も少くなく、之等は漸次改良せねばならないが、今の範圍でも觀測値から決定される結果の持つ意義に就き可成りはつきりした知識が得られた様に思ふ。

終りに臨み常に御鞭撻下さる本多博士外地震課諸氏に深謝の意を表する。

昭和 16 年 1 月

(於 中央氣象臺)