

初動方向のかたよりについて*

宇 津 徳 治**

550.341

On Deflection of the Direction of Initial Motion of *P* Wave

T. Utsu

(*Seismological Section, C. M. O.*)

The directions of the initial motions of *P* wave are investigated about the 130 earthquakes which occurred in and near Kwanto District. The directions at 24 stations (Fig. 5) are shown in Fig. 1 by the arrows at each epicenters which are parallel to the directions at the stations.

The directions do not point toward the epicenter, but they deflect to the right and left sides. Such deflection will be partly due to the inaccuracy of observation, but mostly due to the structure of the earth's crust; and this deflection are qualitatively explained if the regions of high and low velocity (or thin and thick crust) are distributed as shown in Fig. 5.

§ 1. まえがき

近地地震の *P* 波初動の方向 (水平面上での) が、震央の方向にかならずしも正しく向かないで、多少左右にかたよっていることは、よく知られていることであるが⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾、筆者も関東周辺の多くの地震について、各地の観測所の初動方向のかたよりを求め、これが震央位置によって、それぞれ特徴あるかたよりを示すものか、もしそうだとすれば、これが地殻構造の地域的不均一によるものとして説明できるかどうか、また、各地のかたよりの程度から地殻構造の状態を推定することができるといえるかなど調べてみたので、その概要をここに報告する。

§ 2. 各観測所における初動方向のかたより

Fig. 5 に示す地域内の 24 か所の観測所について、同地域内に起った、震央距離 50~200 km、深さ 30~60km 程度の地震の初動方向を示したものが Fig. 1(1)~(3) である。この地域内にはこの 24 か所のほか新潟、高田、柏、長津呂、御前崎の各観測所があるが、この 5 か所については資料の数が少ないので省略した。

図で 2 重丸は観測所、矢印はその観測所における初動方向をおのおのの震央に平行移動して書い

* Received Mar. 26, 1956

** 中央気象台地震課

たもので、矢の形により、初動の大きさ（水平2成分合成）が 8μ 以上（矢の先が一つ）； 20μ 以上， 50μ 以上の3種に区別してある。白丸および黒丸はその初動が震央に向かってそれぞれ左および右にかたよっていることを示している。

これらの資料は1935~1942年および1949~1954年の地震年報，地震月報および気象要覧によりそれらに記載されてある初動の大きさの値をそのまま用いて，200万分の1地図上で，直接作図して求めたものである。用いた地震の数は全部で130で，初動の大きさ 8μ 以上の地震の観測所ごとの数の合計は505である。

なお，使用した地図の距離50~200kmにおける方位角度の誤差は最大 2° を越えることはないと確かめてあるが，初動の大きさのよみとりが片成分だけ 1μ 違ったり，震央位置が 0.1° ずれたりするとかたよりの角は最大 10° に近い誤差を生ずることがある。初動の大きさは，地震計の摩擦，検定後の常数の変動その他のため誤差があり，震央位置もすべて再調査して，決め直しを行ったが多少の誤差は避けがたいので，かたよりの角も相当の誤差が考えられるから，さしあたっては，多

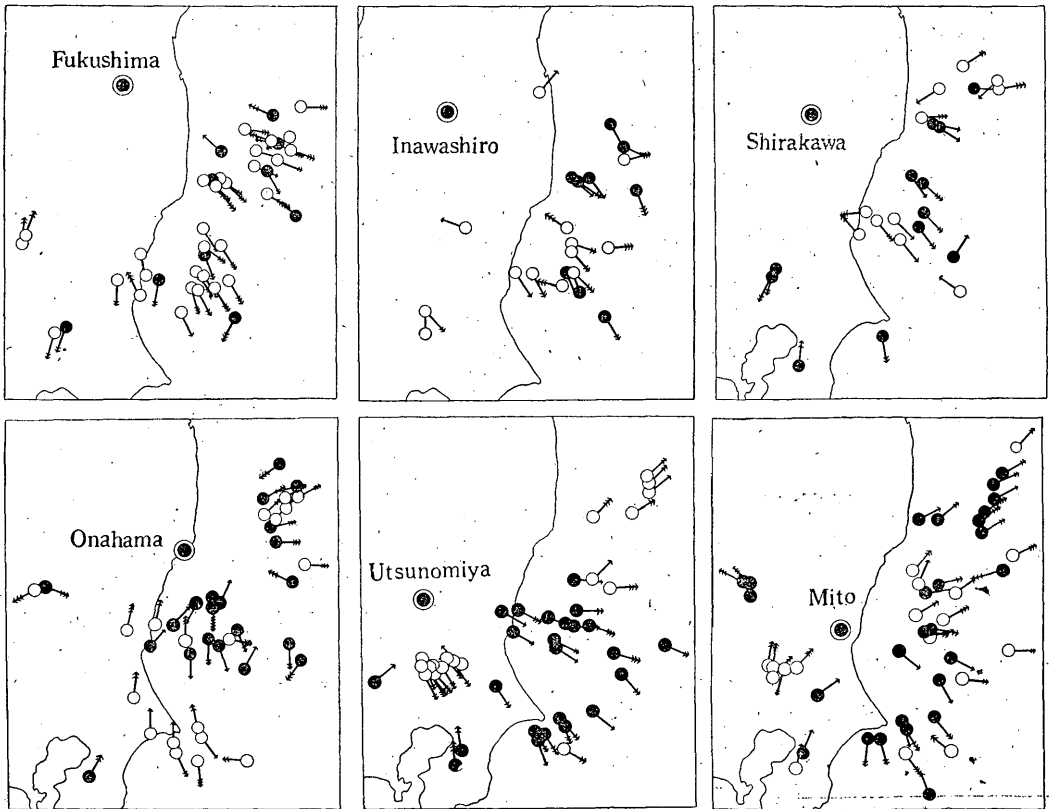


Fig. 1(1)

くの資料の平均的傾向をもととして、定性的に議論を進めていくことにする。震央位置の再調査は筆者（当時松代地震観測所勤務中）と独立に地震課技術係で行っており、その結果はいずれ印刷刊行されるはずであるが、両者とも方法が同じなので結果もほとんど同じものになっている。また、

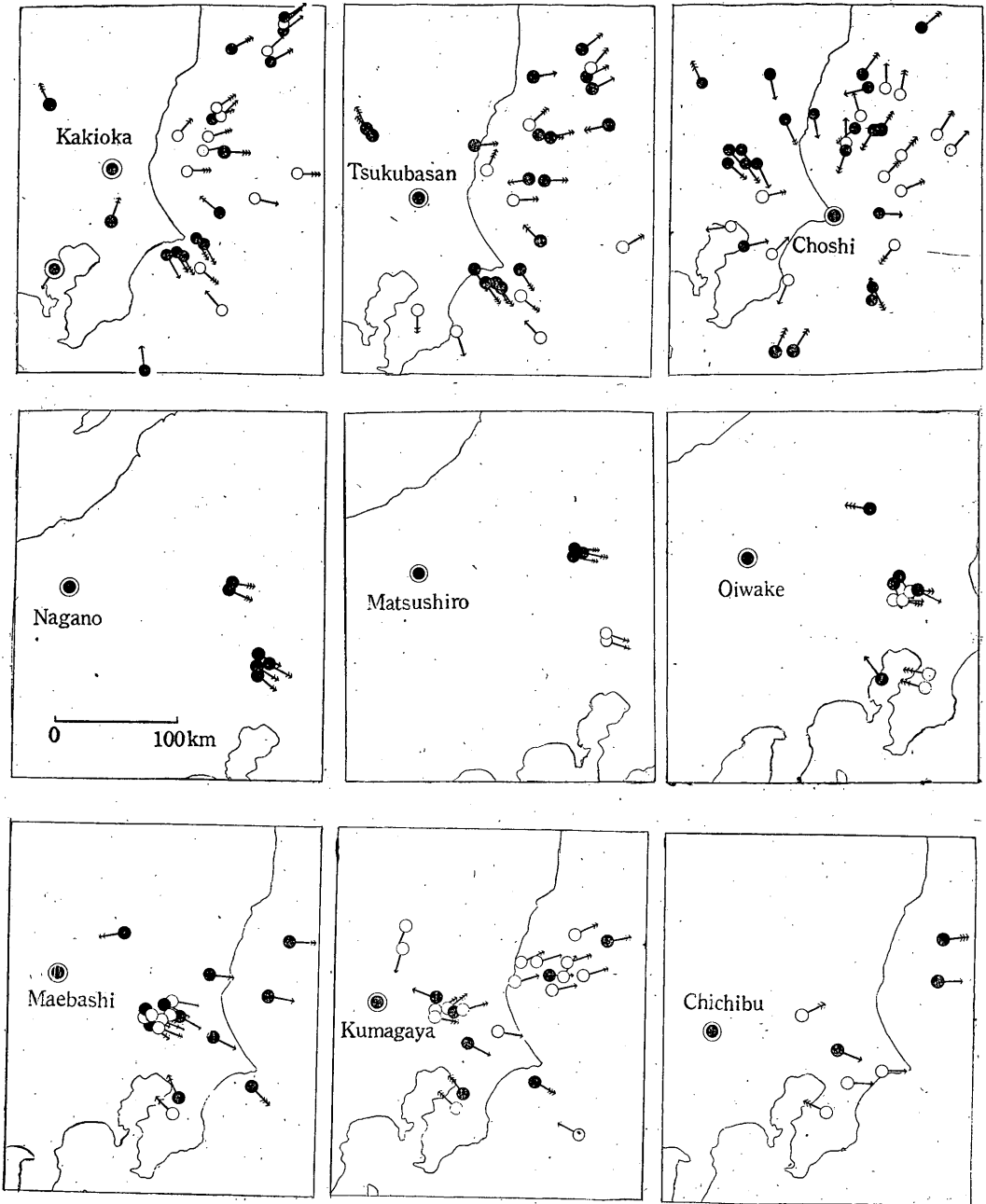


Fig. 1 (2)

かたよりの角の誤差の原因として、水平両成分のうち、一方が、初動でなく、そのあとの波を初動として験測報告していること、初動の波形が複雑で、両成分の対応がついていないことなども考えられるが、Fig. 1 の多くの矢印のなかには、震央方向と 90° 近く傾いているものもあり、これらは

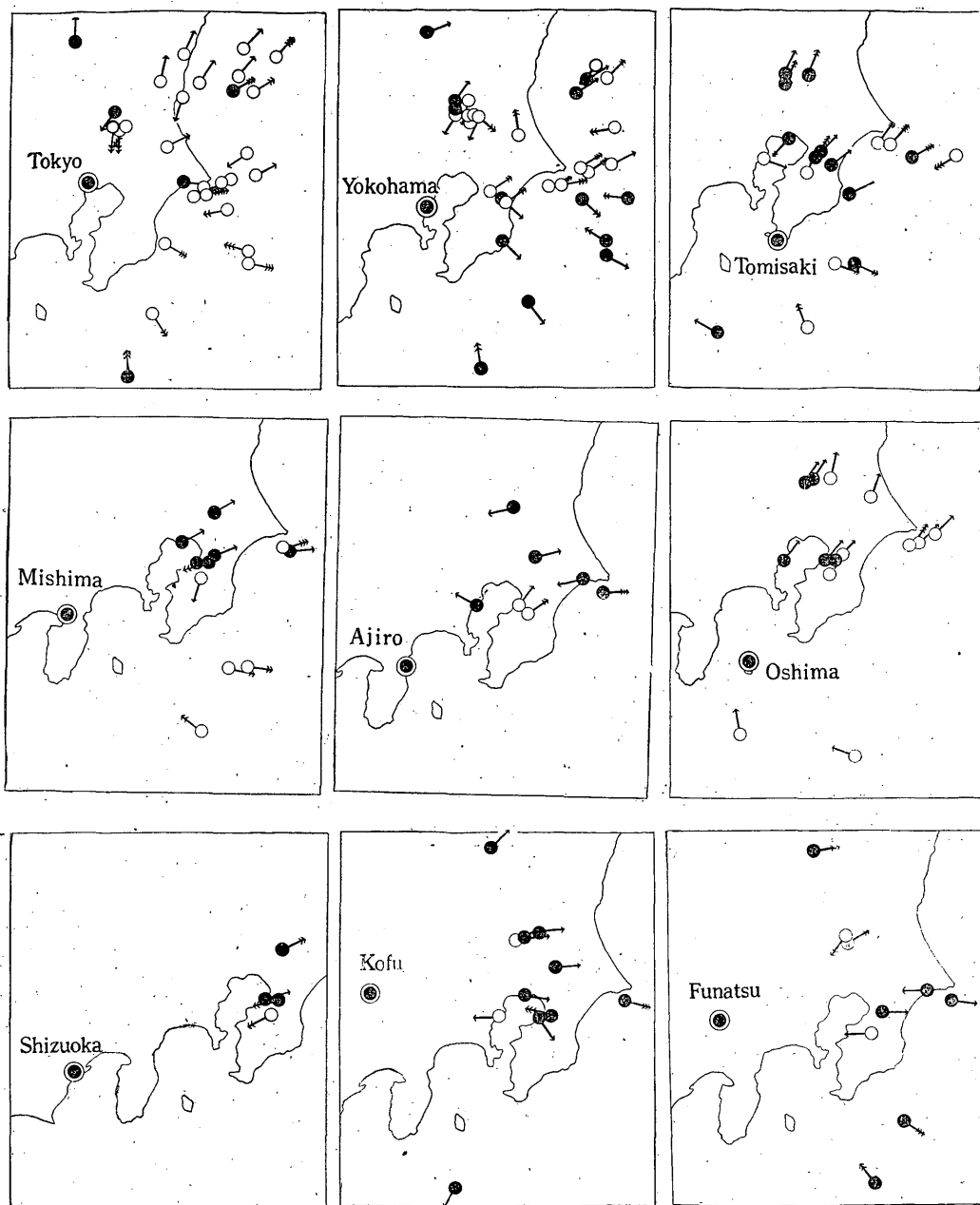


Fig. 1 (3)

あるいはこのような原因によるのかもしれない。

しかし、Fig. 1 をみると、黒丸と白丸の分布が、全然でたらめではなく、震央位置によって、かなり一致した傾向を示しているように思われるので（地震計の摩擦が大きいと、観測所の真東（西、南、北）に近い方向の矢印が真東（西、南、北）の方向に平行になる傾向がでてくるはずであるが、このような傾向は特にみとめられない。）、以下の考察をつづけることにする。将来、摩擦のない（電磁式または光学式）高倍率地震計が設置され高精度の観測が行われるようになれば、この調査のものよりはるかに短い期間ではるかに精度のよい豊富な資料が得られるわけで、この調査がそのときの研究の手がかりとなればさいわいである。

§ 3. 初動方向のかたよりと地殻構造

いま、Fig. 2 のように、地表面に x, y 軸をとり、 x 方向に P 波の速度が

$$v = A + Bx$$

のようにだんだん速くなっていく（ y, z 方向には一樣）場合を考えると、震源 C から観測点 O に至る P 波の波線は図のように半径

$$\rho = A / (B \sin i) \quad (i \text{ は } x \text{ 軸と初動方向のなす角})$$

の円をなして曲るから、初動方向は震波速度の速い方に角 θ だけかたよることになる。ここで、 θ は震央距離を Δ として

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta B}{2A} \sin i \right) \dots \dots \dots (1)$$

実際の地殻は上記のように上下方向に速度が一樣であるとするよりも、Fig. 3 のように、速度 v （一定）の層が速度 V ($v < V$) の層の上に重なっていて、その層の厚さ h が x 方向に

$$h = A - Bx$$

のようにだんだん薄くなっていく場合を考えたほうがよいであろうから、この場合のかたよりの角を計算してみると、簡単のため震源 C が両層の境界面上にあるとすれば、 C から出た P 波の波線は（ Δ がある程度より大きければ）境界面に沿って進み、 D 点で屈折して上層にはいり観測点 O に達するわけで、直線 CD の xy 面への投影と x 軸のなす角を

σ とすれば、初動方向は上層が薄いほうに角 θ だけかたより

$$\theta = \frac{\sigma}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{r-d}{r+d} \tan \frac{\sigma}{2} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{d}{\Delta} \sin \sigma \right) \dots \dots \dots (2)$$

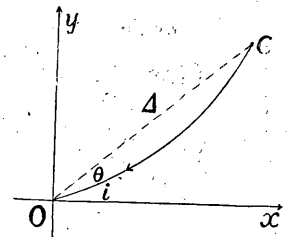


Fig. 2

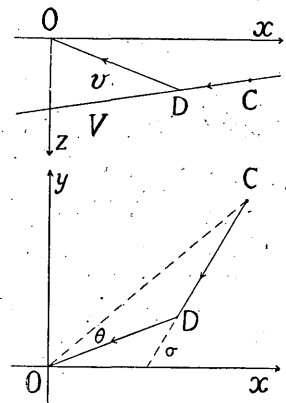


Fig. 3

ここに, r , d は

$$r = \frac{A \cos^2 \varphi \tan \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \sigma}}, \quad d = A \sin \varphi \cos \varphi,$$

$$\alpha = \sin^{-1}(v/V), \quad \varphi = \tan^{-1} B.$$

このように, 初動方向は P 波速度の速いほう, あるいは上層 (地殻) の薄いほうにかたよることがわかる. したがって, いま, Fig. 4 のように, E 方向と N 方向で白丸と黒丸の地域がいれば, その方向で速度が最大および最小に, あるいは地殻の厚さが最も薄くおよび最も厚くな

ているものと考えられる. 白丸の地域では時計回りの方向にゆくにつれて, 速度が小さくあるいは地殻が厚く, 黒丸の地域ではその逆になっているわけである.

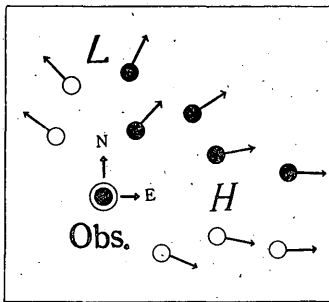


Fig. 4

§ 4. 各観測所における初動方向のかたよりの説明

Fig. 1 の東京では, 震央が東側のものはほとんどすべて白丸で左へかたよっており, これから推察して, 東京の東側では南から北へゆくほど速度が速く (あるいは地殻が薄く——以下いちいちことわらない) になっているものと思われる. 次に, となりの横浜をみると, 震央が東から北東に

あたるものは, やはり左へかたよっているが, 南東のものは逆に右へかたよっている. このことから横浜の東方で速度が最小になっており, また北へ向って速くなっている限界は茨城県南部あたりまで達しているらしく思われる. また, 水戸をみると, 南西方にかたよりが右から左へかわるところがあり, その方向で速度最大となっている. その他, 宇都宮, 前橋, 熊谷, 柿岡, 筑波山などのかたよりを, なるべく矛盾の少ないよう説明するために, 結局, 茨城県南部に速度の速いところを置くと, つごうがよいように思われる. このようにして, 速度の速いところ, おそいところを求めてみた結果は, Fig. 5 に示すようになり, 東京湾付近のおそいところのほか, 茨城県南部から鹿島灘にかけて, また, 相模湾に速いところがあることになる.

図に示した曲線は, ただ周囲にくらべておそいところ, 速いところの位置の輪郭を示しているだけで, 速度の等しいところを連ねた等速度線というわけではない.

なお, F. Kishinoue⁽²⁾が以前, 地震研究所の観測網によつて関東地方の数か所における初動方向のかたよりを調べた結果があるが, これも筆者の調査と非常によく似た傾向を示しており, たとえば, 東京 (本郷) の東側の震央のものはやはり左へ, 東金の西側の震央のものは逆に右へかたよっているほか, 三崎, 鎌倉などの観測は東京湾付近のおそい地域の存在を明りように示している.

ところで, Fig. 5 のように, 適当に速度の速いところ, おそいところを分布させても, 各観測所のかたよりをすべて矛盾なく説明することはできない. しかし, 地震のべ総数 (白丸と黒丸の総

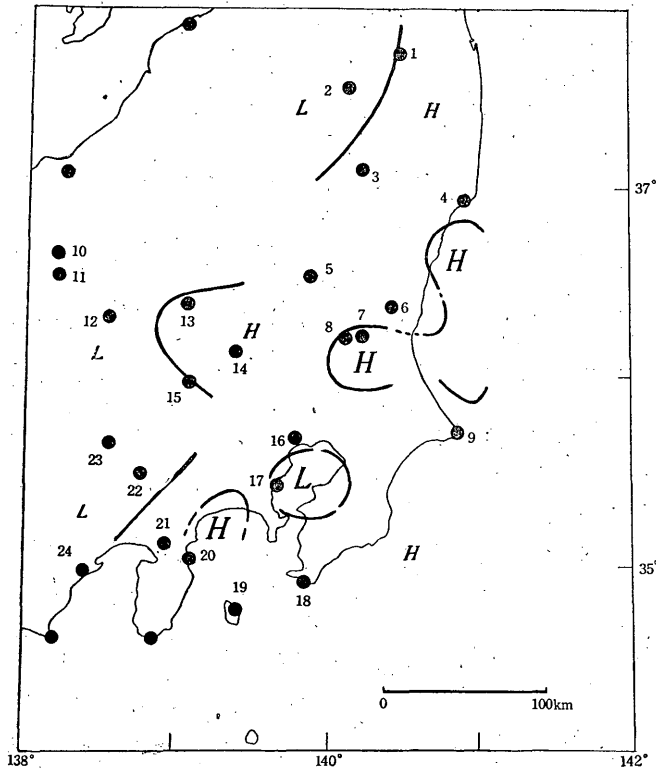


Fig. 5. *H* : Region of high velocity or thin crust,
L : Region of low velocity or thick crust,
 ● : Weather stations equipped with seismographs,
 1 : Fukushima, 2 : Inawashiro, 3 : Shirakawa,
 4 : Onahama, 5 : Utsunomiya, 6 : Mito, 7 : Kakioka,
 8 : Tsukubasan, 9 : Choshi, 10 : Nagano, 11 : Matsushiro,
 12 : Oiwake, 13 : Maebashi, 14 : Kumagaya, 15 : Chichibu,
 16 : Tokyo, 17 : Yokohama, 18 : Tomisaki, 19 : Oshima,
 20 : Ajiro, 21 : Mishima, 22 : Funatsu, 23 : Kofu, 24 : Shizuoka

数) 505 個のうち, 390 個, すなわち, 77% はかたよりが右か左かの定性的説明はつく. そして, Fig. 5 のような速度分布 (あるいは地殻構造) は, 重力の異常や⁽⁶⁾, 自然地震の走時偏差の分布⁽⁷⁾ とも, かなりよく一致するから, 初動方向のかたよりは, この程度の大きさ (数十 km 程度) の構造と密接に関係していることがわかり, 将来, さらに精度のよい観測網が整備されるならば, かたよりをしらべることによって, ある程度まで, 地殻の構造の状態を知ることができるようになると思われる.

なお, この問題については, 量的考察も含めて, 二, 三調べたものがあり, これについては次の機会に述べることにしたい. 御教示をいただいた井上地震課長, 鷺坂地震観測所長にお礼を申し上げ

げる。

文 献

- (1) 中村左衛門太郎：活火山と地震，地震 **1** (1929) 336—337.
- (2) 岸上冬彦：関東地方の地震の初動に就いて，地震 **4** (1932) 18—25.
- (3) 松沢武雄：地震の初動のかたよりの例，地震 **7** (1935) 179—184.
- (4) 国富信一：西埼玉地震に於ける初動の方向に関する考察，験震時報 **5** (1932) 223—234.
- (5) 井上宇胤：初動方向のかたよりについて，地震学会 (1950) 講演.
- (6) C. Tsuboi : Gravity Survey along the Lines of Precise Levels throughout Japan by means of a Worden Gravimeter, Part 4, B. E. R. I. Suppl. IV(1954) Part III.
- (7) たとえば, K. Wadati : Shallow and Deep Earthquakes (3rd paper) , Geophys. Mag. **4** (1931) 231~283. 飯田汲事・早川正己：震波速度の異常区域，地震 (II) **2** (1949) 55~57.
はせば てつや：わが国における地震波初動の走時偏差について，験震時報 **20** (1955) 93~100.