



| | |
|------------------|---|
| Title | 9 . 走時偏差の地理的分布 |
| Author(s) | 飯塚, 進 |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 10, 111-117 |
| Issue Date | 1963-03-25 |
| DOI | 10.14943/gbhu.10.111 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/13852 |
| Type | bulletin (article) |
| File Information | 10_p111-117.pdf |



[Instructions for use](#)

9. 走時偏差の地理的分布

飯 塚 進

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和 37 年 8 月受理 —

I. ま え が き

走時偏差の地理的な分布、すなわち地震波速度の異常地域に関する研究は、すでに多くの研究者によってなされている^{1)~7)}。しかしながら、はせばてつや⁸⁾によるもの以外は統計的処理が不十分であり、その上現在よりも観測点が少ないこと、観測精度がおちることなどの難点があり、こまかい点まで議論されていない。

各地の観測点で得られる地震波の走時を使って走時曲線をかくと、一般に代数的な曲線にはのらないでばらつく。このばらつきの原因には次のようなものが考えられる。

- 1) 観測誤差 (刻時精度, 初動の判定など)
- 2) 震源および震央距離の決定誤差
- 3) 観測点固有の性質 (地下構造と関連した)

もしばらつきの主な原因が, 3) によるものであれば, 多数の観測値を統計的に処理することによって, 走時偏差は地理的にみて規則的な分布を示すことが予想される。そしてこれが地下構造を論じる場合に一つの情報を提供するであろう。ここでは最近の資料を使って, 可能な限り統計的処理を施して厳密さを増すことを考えてみた。

II. 資料と方法

資料は気象庁発行の地震月報の中から, 北海道南部襟裳岬附近に震源をもつ 13 個の顕著または稍顕著地震をえらんだ (Table I)。

各地震の走時曲線は次の順序でかく。

- 1) 震央位置は月報の数値を使い, 各観測点の震央距離は地心方向余弦 a, b, c の値を用いて計算する。震央距離 Δ (km) は

- 1) 国富信一: 気象集誌, **3-11**.
- 2) 本多弘吉: 験震時報, **5** (1931), 111-116.
- 3) Wadati, K.: Geophys. Mag. **4** (1931), 231; **6** (1932), 239.
- 4) 宮本正明: 気象集誌, **9** (1931), 1.
- 5) 益田クニモ: 気象集誌, **10** (1932), 572.
- 6) 飯田汲事・神原健: 地震, Ser. I., **6** (1934), 301-317.
- 7) 飯田汲事・早川正巳: 地震, Ser. II. **2** (1949), 23-25.
- 8) はせばてつや: 験震時報, **20** (1955), 13-20.

Table I.

| Date | λ (°E) | φ (°N) | Depth of the hypocentre (km) | Remarks |
|-------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|---------|
| 1956. 2. 14 | 143.1 | 42.3 | 60 | M |
| 1957. 3. 10 | 143.8 | 41.6 | 60 | M |
| 1959. 2. 18 | 143.25 | 42.1 | 70 | M |
| 4. 15 | 143.2 | 41.1 | 40 | M |
| 9. 8 | 143.1 | 42.25 | 60 | R |
| 1960. 1. 10 | 143.0 | 42.0 | 40 | M |
| 1. 22 | 143.15 | 42.25 | 70 | M |
| 3. 14 | 143 | 42.25 | 60 | M |
| 4. 15 | 144.8 | 41.5 | 40 | R |
| 5. 7 | 143.1 | 42.2 | 60 | M |
| 6. 25 | 143.6 | 41.4 | 60 | M |
| 6. 29 | 143.7 | 42.2 | 40 | M |
| 9. 6 | 142.7 | 41.9 | 60 | R |

Note R: Remarkable earthquake M: Moderate earthquake

$$\Delta = r\theta \quad (1)$$

ただし、 r は地球半径、 θ は球面三角法によってきめる。地球は厳密には楕円体であるから、 θ を計算するとき地理的緯度の代わりに地心緯度を使う。

2) 各観測点で P 波の到達に要した時間を計算する。

3) 1), 2) で得られた値をグラフにプロットすると、ほぼ直線状にならなければついでにすることがわかったので、走時曲線を

$$T = n + m \cdot \Delta$$

と仮定して最小二乗法により m , n をきめた (Fig. 1 に 2 例を示す)。

走時偏差は、観測走時 T_0 と、 $T = n + m \cdot \Delta$ で得られた平均走時 T_c との差 $T_0 - T_c$ で表わされる。このようにして得られた各観測点における走時偏差に、危険率 0.05 で Thompson の方法による標本としての棄却検定を行ない、飛び離れた値を捨てる。次に各観測点の走時偏差の平均値を求めて次の吟味を行なった。

1) 危険率 0.05, 0.10, 0.20 での母平均に関する仮説の検定と母平均の信頼限界

2) 標本平均の有意水準

3) 二点での標本平均の差の有意性

1) の計算は次のように行なった。

一つの観測点で得られた各地震についての走時偏差は、正規母集団 $N(\mu, \sigma^2)$ から任意にえらんだ標本と考え、仮説 $H_0: \mu = \mu_0$ を検定する。ここで μ は母平均、 σ は標準偏差を表わす。この場合、偏差を問題にするわけであるから、 $\mu = \mu_0 = 0$ 、という仮説を立てることになる。そ

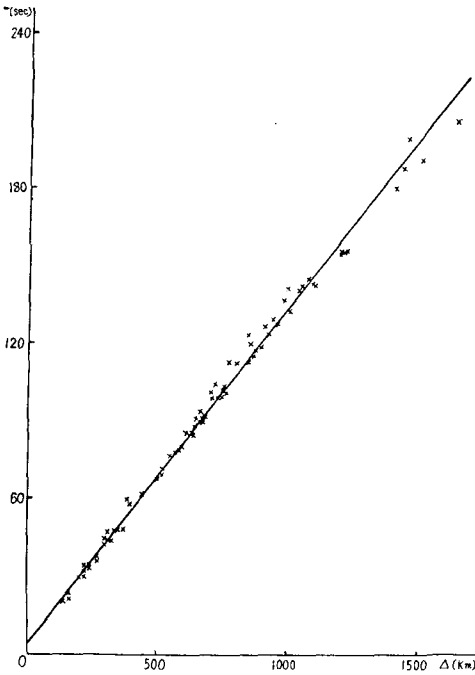


Fig. 1. (a) Travel-time curve.

$T = (3.38 \pm 0.62) + (0.1305 \pm 0.0001) \cdot \Delta$
 April 15, 1959, 00 h 15 m 24 s
 Epicenter: 41.1°N, 142.2°E
 Focal depth: 40 km.

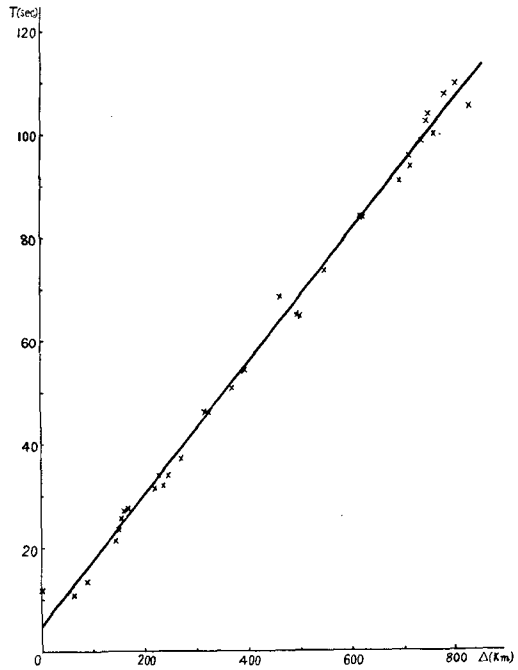


Fig. 1. (b) Travel-time curve.

$T = (4.62 \pm 0.63) + (0.1277 \pm 0.0013) \cdot \Delta$
 January 22, 1960, 02 h 14 m 23 s
 Epicenter: 42.25°N, 143.15°E
 Focal depth: 70 km.

ここで有意水準(危険率) α を定め、 t 表から自由度 $\phi = n - 1$ 、 $P = \alpha$ に対する値 $t(\phi, \alpha)$ を読みとり $t(\phi, \alpha) \times \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \frac{S}{n-1}}$ を計算する。 n は標本数、 $S = \sum (x_i - \bar{x})^2$ である。

次に $|\bar{x} - \mu_0|$ と、 $t(\phi, \alpha) \times \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \frac{S}{n-1}}$ とをくらべ、前者の方が大きければ仮説 H_0 を捨て、小さければ捨てられない。母平均 μ の信頼限界は

$$\bar{x} \pm t(\phi, \alpha) \times \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \frac{S}{n-1}} \quad (2)$$

で、信頼度は $1 - \alpha$ である。

2) の標本平均 \bar{x} の有意水準 P は

$$t(\phi, P) = \frac{\bar{x}}{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \frac{S}{n-1}}} \quad (3)$$

から、 t 表を使って逆に P の値を読みとった。

3) の検定は、各点での分散、自由度がすべて異なるので大まかな計算しかできない。おわりに、求めた平均走時偏差の地理的分布とその原因を検討した。

Table II. Mean deviations, confidence intervals and significance levels.

| Station | \bar{x} | α | | | P |
|------------|-----------|----------|-------|-------|--------|
| | | 0.05 | 0.10 | 0.20 | |
| Hiroo | - 4.3 | ± 1.9 | ± 1.5 | ± 1.2 | 0.001* |
| Urakawa | + 1.1 | 3.0 | 2.4 | 1.8 | 0.4 |
| Obihiro | + 0.3 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.6 |
| Kushiro | - 1.0 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.1 |
| Tomakomai | + 0.1 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | — |
| Sapporo | - 0.7 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.2* |
| Muroran | - 0.3 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 |
| Asahikawa | + 0.7 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.2 |
| Hakodate | - 1.3 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.001* |
| Mori | - 1.3 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.01* |
| Abashiri | + 0.6 | 1.3 | 1.0 | 0.8 | 0.3 |
| Hachinohe | + 0.2 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| Nemuro | - 1.5 | 2.4 | 1.9 | 1.4 | 0.2* |
| Suttsu | - 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.02 |
| Aomori | + 0.3 | 1.4 | 1.1 | 0.9 | 0.6 |
| Miyako | + 1.1 | 1.1 | 0.9 | 0.7 | 0.05 |
| Morioka | + 0.0 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | — |
| Wakkanai | + 0.9 | 1.8 | 1.4 | 1.0 | 0.2 |
| Mizusawa | + 0.1 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | — |
| Ishinomaki | - 0.7 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.2 |
| Sendai | - 1.1 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.05 |
| Sakata | + 4.5 | 2.7 | 2.0 | 1.4 | 0.01 |
| Yamagata | - 0.6 | 2.0 | 1.6 | 1.2 | 0.5 |
| Aikawa | - 0.5 | 2.0 | 1.6 | 1.2 | 0.6* |
| Fukushima | + 1.2 | 2.0 | 1.7 | 1.3 | 0.2 |
| Shirakawa | + 1.3 | 4.9 | 4.0 | 3.0 | 0.6* |
| Mito | - 0.3 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.6* |
| Utsunomiya | - 2.5 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.001* |
| Kakioka | + 0.2 | 2.9 | 2.3 | 1.8 | — |
| Maebashi | - 0.3 | 1.6 | 1.3 | 0.9 | — |
| Choshi | - 2.6 | 3.5 | 2.6 | 1.8 | 0.1* |
| Matsushiro | - 1.5 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.001* |
| Kumagaya | + 2.7 | 1.5 | 1.2 | 0.9 | 0.001 |
| Tokyo | - 1.5 | 2.4 | 1.9 | 1.3 | 0.2* |
| Oiwake | + 8.9 | 4.7 | 3.8 | 2.8 | 0.001 |
| Matsumoto | + 2.0 | 1.8 | 1.3 | 0.9 | 0.05* |
| Nagano | + 4.5 | 1.7 | 1.4 | 1.0 | 0.001* |
| Kofu | + 1.6 | 6.0 | 4.6 | 3.3 | 0.5 |
| Hikone | - 0.1 | 4.0 | 3.0 | 2.1 | — |
| Kyoto | - 0.4 | 5.1 | 3.8 | 2.6 | — |
| Kameyama | + 1.3 | 7.8 | 5.8 | 4.0 | 0.6 |

\bar{x} : Mean deviation, α : Confidence interval, P: Significance level.

* indicates values obtained by rounding up the next figures by 5 and over.

III. 結果とその検討

各観測点の平均走時偏差, 有意水準 0.05, 0.10, 0.20 のときの信頼限界, この平均走時偏差の有意水準を Table II に示す。表中 P の値で * 印のついているのは五入して得た値である。そして, 平均走時偏差の地理的分布を示したのが Fig. 2 である。ただし, 標本としての棄却検定は, 4 個以上のデータの得られた観測点についてだけ行なったので, データの少ない近畿地

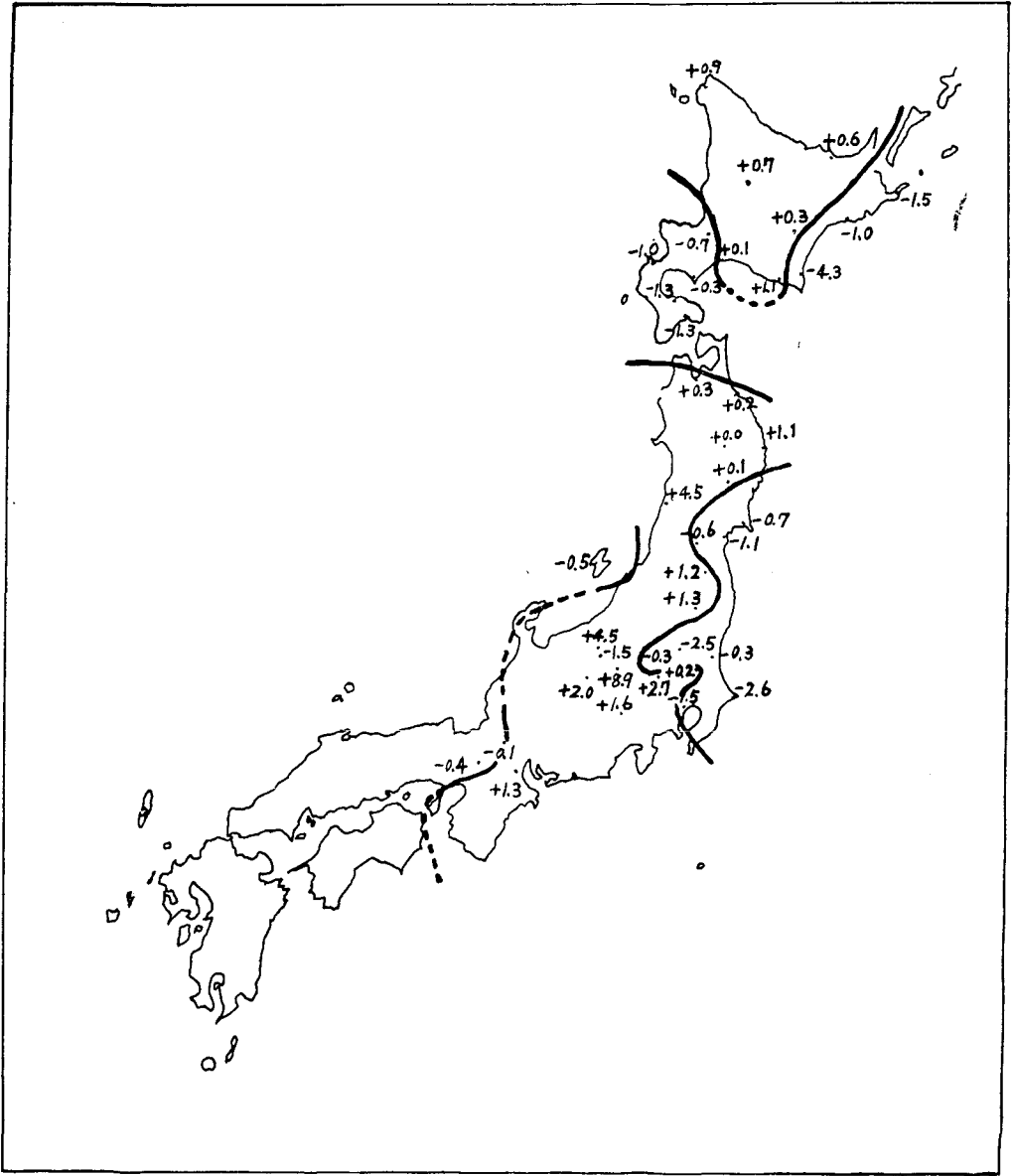


Fig. 2. Anomalous distribution of the arrival time of the seismic initial motion.

方以西は除外した。

平均走時偏差に有意差がみとめられる観測点の数は、信頼度 95% の場合 41 点中 12 点, 90% で 14 点, 80% で 20 点であり, その他の点はいずれも信頼限界が正負の領域にまたがるほど広く, 平均走時偏差を定量的に問題にすることはできない。

二点での平均走時偏差の相違の有意性の検討は, 北海道, 本州, 全体の三つの場合について行なった。北海道の場合は, 危険率 $\alpha=0.05$ では 1.2 sec 以上, $\alpha=0.10$ では 1.0 sec 以上, $\alpha=0.20$ では 0.7 sec 以上の差がなければ有意とはいえない。同様に本州の場合には, $\alpha=0.05$ で 1.6 sec 以上, $\alpha=0.10$ で 1.3 sec 以上, $\alpha=0.20$ で 1.0 sec 以上の差があれば有意である。最後に全体的にみると, $\alpha=0.05$ で 1.1 sec 以上, $\alpha=0.10$ で 0.9 sec 以上, $\alpha=0.20$ で 0.7 sec 以上の差が二点間になければ, 少なくとも有意性を問題にすることはできない。

走時偏差の原因としては, まえがきでのべたように次のようなものが考えられる。

1) 観測誤差: 刻時誤差と初動判定誤差とが考えられるが, 鈴木次郎⁹⁾によれば, 前者の確率誤差は, Wiechert 式地震計の場合で ± 0.2 sec, 後者については現在のところ定量的に論ずることは不可能に近い。したがって, 観測誤差を除く方法としては, 多くの観測点と多くの観測値の平均をとる以外にない。

2) 震源および震央距離の決定誤差: 鈴木次郎⁹⁾によれば, 震源の位置の誤差は水平および垂直方向に 10 km 程度あるのが普通であり, このためだけでさえ走時に 1 sec 内外の誤差は優に生じてくる。しかしながら, この誤差は全観測点に系統的に影響を及ぼすので, 相対的な偏差を問題にする場合には消去できる可能性もある。

3) 地下構造: 観測点に到達する地震波の経路に波の伝播の速い層があれば走時偏差は負になり, 遅い層があれば正になる。もし, 地殻に水平方向の構造差がないものとするれば, 走時偏差は地殻の構造を反映したものであると考えられる。次に weathered layer の影響も無視できないと考えられるが, 現在のところこれを分離することは不可能である。今回の計算に使った地震は, すべて 40 km 以深で起ったものであるから, 観測点附近の地下構造をかなりよく表わしているものと考えられる。このことはまた重力の Bouguer 異常から推定される地下構造と, 大まかな一致を示していることから裏付けられる。

IV. あとがき

襟裳岬附近は, 日高山脈の南端に位し, 北海道では地震の発生回数の最も多い地域である。この附近に震源をもつ地震をえらんだのは, 特にこの地域の地下構造を探るという目的があったからである。しかしながら, 現在の観測精度では, 定性的な議論はできても定量的に地下構造を論じることにはできない。したがって, 観測値の処理方法をいくら正確にしても, 観測値そのものの精度が上らない限りそれだけでは無意味である。

9) 鈴木次郎: 地震, Ser. II, 9 (1956), 81-120.

さらに、狭い地域の地下構造を論じるためには、観測点をふやし、観測の精度を可能な限りそろえて、正確なデータを得ることが必要不可欠である。

おわりに、終始御指導いただいた松沢武雄先生、いろいろと議論して下さった横山泉先生をはじめ地球物理学教室の諸氏に感謝する。

9. Geographical Distribution of Travel-time Deviations of Seismic Waves

Susumu IIZUKA

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

It has been tried by many investigators to discuss the underground structure from the geographical distribution of travel-time deviations of seismic waves. But, strictly speaking, results of these investigations were not satisfactory, because distribution of stations was not sufficient and the accuracy of observed values was rather low. The author attempts to discuss the underground structure as exactly as possible by using the latest data and by applying statistical methods.

Mean travel-time deviation at each station shows systematic geographical distribution. This fact is probable indication of underground structures. Furthermore, this result reconciles roughly with underground structures which are supposed from the distribution of the Bouguer anomalies. Results obtained by statistical methods are as follows. Travel-time deviations are significant for 12 of the 41 stations at the level of significance 5%, for 14 at 10%, and for 20 at 20%. For the other stations, it is difficult to discuss quantitatively. Therefore, it may be impossible to discuss the underground structure enough quantitatively, till the accuracy of observations is improved.