

地震の分布と地震波伝播*

勝 又 護**

550.341

The Effect of Seismic Zones upon the Transmission of Seismic Waves.

M. Katsumata

(Seismological Section, J. M. A.)

In this paper, using the data of deep focus earthquakes which occurred in the central part of Honshu, the difference of seismological effect between the north-eastern part and south-western part of Japan upon the transmission of seismic waves was investigated. The results are follows:

- a) Seismic waves to the north-eastern part arrive earlier, in general, than the ones to the south-western part of the same distance. (As shown in Fig. 4, this is remarkable especially in *S* waves.)
- b) Seismic waves to the south-western part attenuate more rapidly, in general, than the ones to the north-eastern part. (As shown in Fig. 2, Photo. 1 and Photo. 2, this is remarkable especially in short period waves.)

On the other hand, as easily seen from the paths of seismic waves schematically expressed in Fig. 1, the seismic waves to the north-eastern part travel longer distances through the media of active seismicity, and, on the contrary, the ones to the south-western part travel longer distances through the media of nonactive seismicity.

The above mentioned results suggest that the seismic waves in the media in which earthquakes occurs frequently have larger velocities and attenuate more slowly than the ones in other media.

§ 1. ま え が き

日本列島の北東側と南西側とでは、地質学的に性質を異にしている他、種々の地球物理学的現象にも差異が認められており、両者の地下構造の相違についてもいろいろと議論されている。また、地震波の伝ばに関しても両者の相違が指摘されている¹⁾。

筆者は前に²⁾、日本付近の地震の立体的分布について調査し、北東側と南西側とでは、本州の中央部に貫入している深発地震帯を境とし、地震の発生の模様にも違った点が見られることを述べた。今回はその結果にもとづき——すなわち、地震を多く発生している地帯と、地震の起らない地帯とでは、そこを構成している物質あるいは構造等に差異があり、地震波に与える影響も異なると

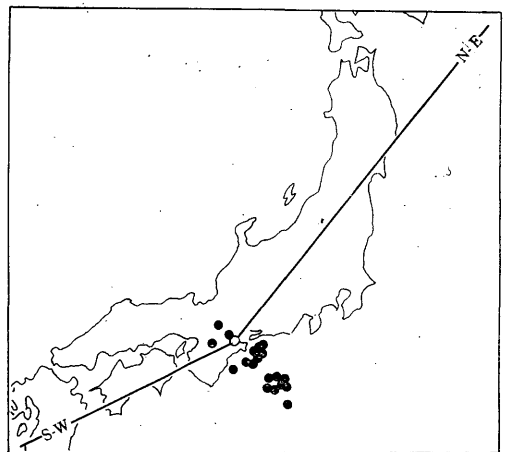


Fig. 1, a. The two thick lines show the cut of the cross-section in Fig. 1, b.
○; the epicenter of the earthquake whose line of propagation is shown in Fig. 1, b.
●; the epicenters of the earthquakes investigated in Fig. 2, b.

* Received Mar. 21, 1960.

** 気象庁地震課

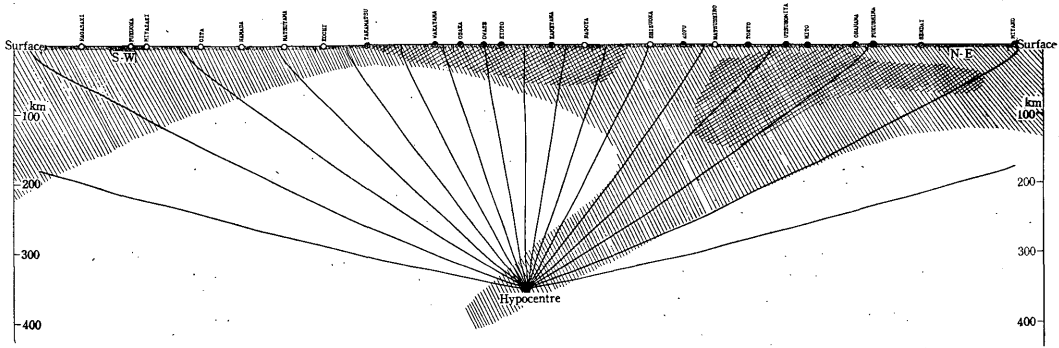


Fig. 1, b. Distribution of origins of earthquakes along the arc of Japan Islands and schematic lines of propagation of seismic waves in this cross-section.

- ▨ ; the zone where earthquakes take place.
- ▩ ; the zone where earthquakes frequently take place.
- Thick lines shows the lines of propagation of seismic waves. ($h : 350 \text{ km.}$)
- ; observation points.
- ⊙ ; observation points in the zone of abnormal seismic intensity.
- ; observation points in the zone of especially abnormal intensity.

いう立場から——地震波伝ばに見られる両者の相違を説明しようと試みた。

§ 2. 地震波の径路

このために、紀伊半島周辺の深い地震を用いて、日本列島の北東側と南西側とでの観測結果を比較した。Fig. 1, b は、日本列島に沿う縦断面 (Fig. 1, a 参照) での震源の分布状態と、この面における地震波線 (震央; 34.5°N , 136.5°E . 深さ: 350 km としたときの S 波の波線) の概略を示したものである。ここで、斜線を引いた部分はいままで地震を発生させた地帯、網目になっている部分は特に地震が多数発生した地帯、曲線は震波線を示す。

この図から、関東地方以北に到達する地震波は主として地震の発生している地帯を多く通過しているのに対して、近畿以西へ到達する地震波は地震の起っていない地帯を多く通過していることがわかる。

したがって、紀伊半島周辺の深い地震の資料は、地震の多く発生している地帯と、地震の起っていない地帯とでの、地震波伝ばに対する影響の相違を調査するのに好適である。

§ 3. 地震波の減衰

本州の中央部を横断している深発地震帯の地震が、その北東側には小地震でも比較的遠方まで記録されるのに

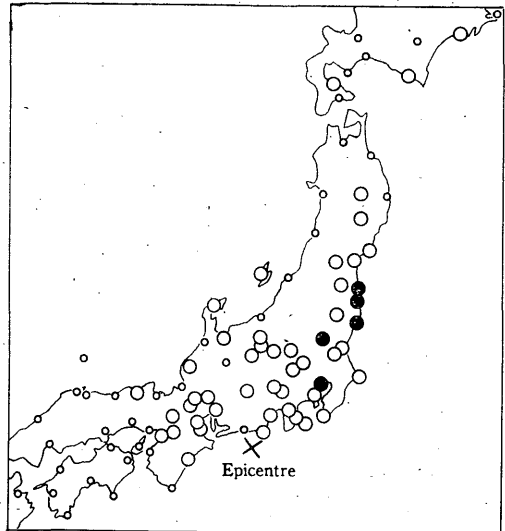


Fig. 2, a. Distribution of observation points of earthquake of the Feb. 23, 1958 (34.35°N , 137.95°E , $h : 300 \text{ km.}$)

- : observation points where this earthquake was felt by person.
- : " where this earthquake was recorded by seismograph.
- ⊙ : " " not recorded by seismograph.

対し、南西側には近距離にしか記録されないことはよく経験される。1例を Fig. 2, a に示すように、関東、東

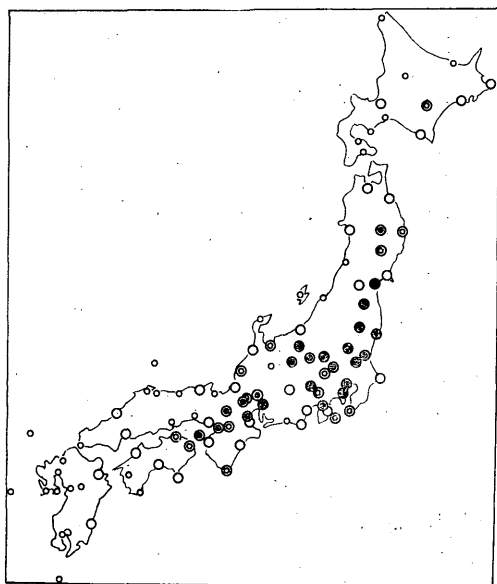


Fig. 2, b. Distribution of the number of the recordings of deep-focus earthquakes (total number of which are 19) in the central part of Japan.

●; 19—15 ⊙; 14—11 ⊖; 10—6
 ⊕; 5—1 ○; 0

北地方、時には北海道まで記録される（関東、東北地方の一部で有感となることもある。）程度の地震でも、近畿地方以西では（時にはさらに震央に近い観測所でも）記録されないことがある。この、地震がよく記録される地域と、記録されない地域の分布は Fig. 2, b のようになる。これは、紀伊半島周辺の深い地震 19 回 (Fig. 1, a に示した地震、深さ 300~400 km) が各地の観測所で記録された回数を示したものである（全国的に記録されているような比較的大規模な地震は除いてある）。

Fig. 2 では、距離による振幅の減衰の量、地震計の性能による相違、観測所の地盤の条件、発震機構による地震波エネルギーの配分、記象の状況等についてはいっさい考慮されていないので、詳しい比較はできない。しかし、北東側と南西側とで著しい相違のあることは認められ、明らかに北東側にはよく伝はしていることがわかる。一方、浅い地震については、このような相違は明らかでない。

振幅を用いての比較は、種々困難な問題もあり容易ではないが、かつて森田は³⁾この付近の深い地震の S 波の初動振幅を、発震機構も考えに入れて調査し、“S 波初動の振幅の距離とともに減衰する割合は東北日本が西南

日本に比して小である。”と述べている。また最近井上⁴⁾が、深い地震の Magnitude を決めるために求めた地盤係数によれば、南西側では、北東側に比べ一般に補正值が大きい（したがって観測される振幅は小さい）傾向が認められる。

これらのことを、それぞれ両地域に到達する地震波の、径路における吸収の条件の相違と関連させて考えるならばよく説明できる。すなわち、地震の多く発生している地帯の構造あるいは物質は、地震の起らない地帯を構成しているものに比べ、地震波の減衰が小さいような性質を持っているといえる。

§ 4. 短周期の波と異常震域

紀伊半島周辺の深い地震も、関東、東北地方の一部に、いわゆる異常震域の現象を現わすことが多いが、まれに近畿地方の一部でも有感となることがある。Fig. 3 はこの異常震域の分布を示したものである（点で現わした地域は異常震域を示し、斜線の部分は特に異常度の高い地域を示す）。この図と Fig. 1, b を参照すればわかるように、異常震域は、地震の発生の多い地帯を通過した地震波の到達する地域に相当し、異常度の高い地域は、地震活動の特に活発な地帯の中を通過した地震波の到達する

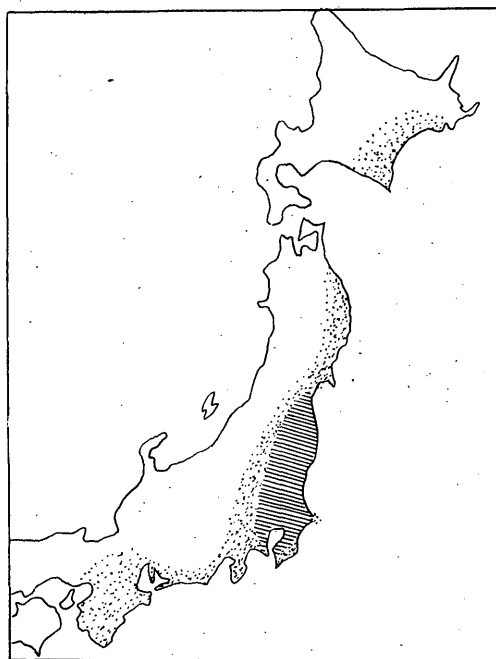


Fig. 3 Distribution of “the zones of abnormal seismic intensity” of deep-focus earthquakes in the central part of Japan.

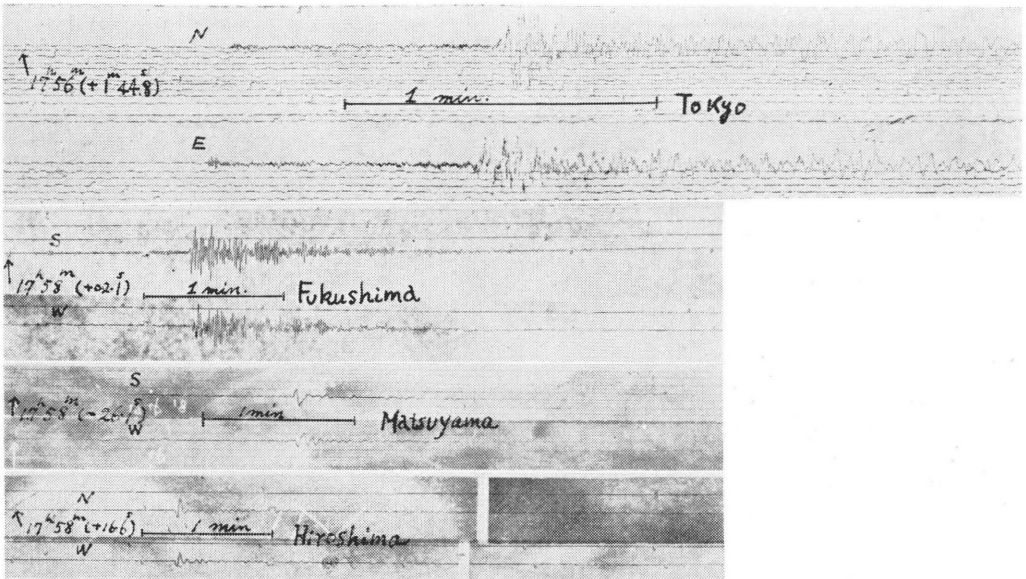


Photo. 1, a. Records of the earthquake of Dec. 17, 1958 ($32\frac{3}{4}N$, $137\frac{1}{4}E$, $h: 400$ km.)
 from the top Tokyo ($\Delta=400$ km.) } in the north-eastern part of Japan.
 Fukushima ($\Delta=620$ km.) }
 Matsuyama ($\Delta=430$ km.) } in the south-western part of Japan.
 Hiroshima ($\Delta=480$ km.) }

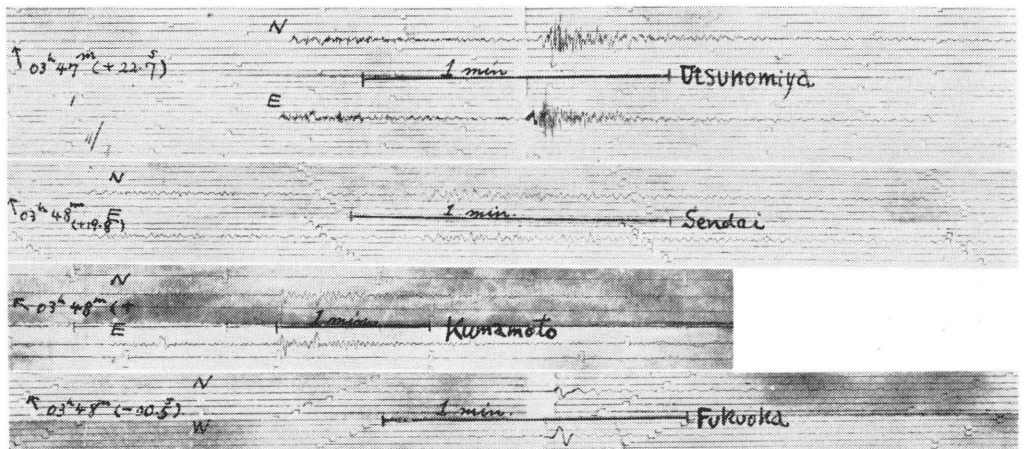


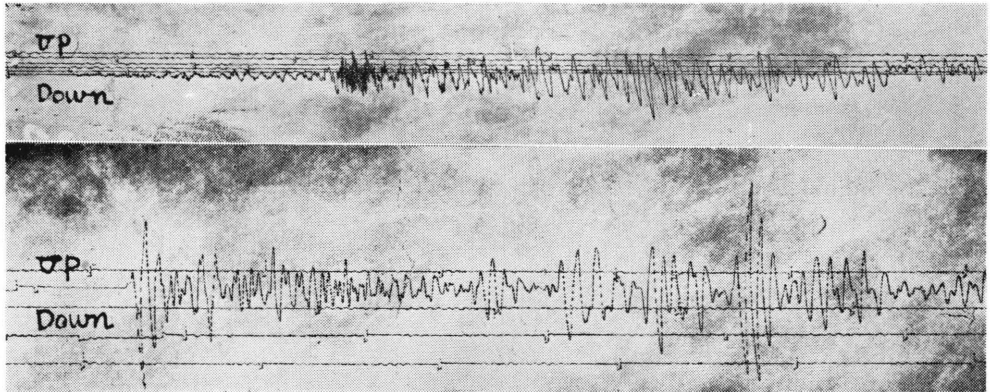
Photo. 1, b. Records of the earthquake of Sep. 28, 1957 ($33\frac{3}{4}N$, $136\frac{3}{4}E$, $h: 360$ km.)
 from the top Utsunomiya ($\Delta=420$ km.) } in the north-eastern part of Japan.
 Sendai ($\Delta=620$ km.) }
 Kumamoto ($\Delta=570$ km.) } in the south-western part of Japan.
 Fukuoka ($\Delta=590$ km.) }

Each of them is the record of horizontal component of Wiechert seismographs.

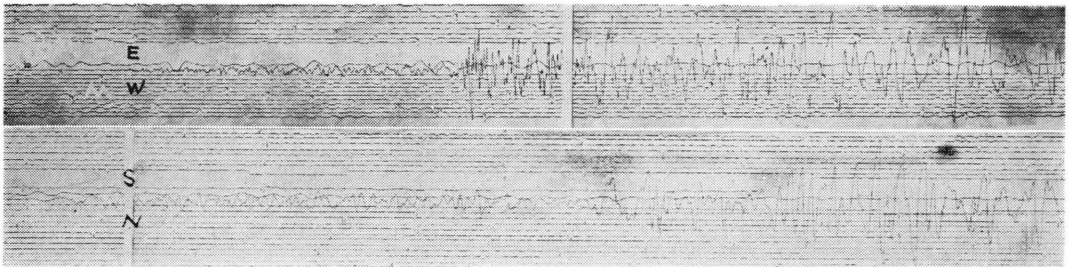
地域とだいたい一致している (Fig. 1, b で地表の観測点が○印の地点は異常震域となる観測点, ●印の地点は特に異常度の高い地域を示す). 他の地域の深い地震による異常震域も同様な傾向が認められる⁵⁾.

また, Photo. 1 は紀伊半島周辺の深い地震の, 各地の

記録であるが, 北東側の観測所における記録と, 南西側のものとは著しく異なっている. 一般に, 南西側のものは北東側のものに比べ振幅が小さく, 単純な波列から成立っている. また南西側のものが比較的周期の長い波から成立っているのに対して, 北東側のものは, 著しく



- a. The top photograph shows the record of the earthquake of Nov. 4, 1953. (42.8 N, 144.6E, h : 90 km.)
The bottom photograph shows the record of the earthquake of Mar. 14, 1952. (28.5N, 127.3E, h ; 240 km.) (Vertical component of Wiechert seismograph)



- b. The top photograph shows the records of the earthquake of Nov. 4, 1953. (42.8N, 144.6E, h : 90 km.)
The bottom photograph shows the records of the earthquake of Mar. 6, 1951. (28.3N, 129.3E, h : 200 km.) (Horizontal component of Wiechert seismograph)

Photo. 2. Some examples of Seismograms of earthquakes of Kyushu and Hokkaido region, recorded at Tokyo.

卓越した短周期の波が混合している。

異常震域の地震記象の特徴である短周期の波—この波により有感となっていると思われる—は、1) 重複反射、土地の固有振動等の比較的地表近くの地殻の条件により生成される⁶⁾、2) 震源からのものが地震波径路での吸収等の条件により、ある地域にはよく到達する、3) 前記の2つの影響が組合さって強められ(ある地域では弱められる)て卓越する……等が考えられている。

一方ある観測所では、どこの地震によっても、常に著しく卓越する周期の波が存在することもよく知られている*。

これに対して、Photo. 2は東京で記録された北海道方

* たとえば、八戸、盛岡、宇都宮等では0.2~0.4 sec、柿岡、福島、小名浜等では0.9~1.2 secの波が卓越する。

面の地震と九州方面の地震の記録の例であるが、両者の記象型は異なっている。すなわち、北海道方面の記象は、全般に周期が短かく、短周期の波が混合しているのに対して、九州方面のものは周期が長く、短周期の微動を混えていない(両者での有感距離の著しい相違—北海道方面の地震は東京地方でもしばしば有感となる—もこのことと関係しているものと思われる)。したがって、この例では、地震の発生した地域により、つまり、地震波の径路の相違により、短周期の微動を混えた記象となったり、それを混えない記象となったりする。このことは松沢⁷⁾も“西方日本の地下では短周期振動が余分に衰えるようにみえる”と指摘している。東京で記録される地震波の径路は、北海道方面の地震は、主として地震活動の多い地帯を、九州方面の地震は地震の少ない地帯を、多く通過して到達する。

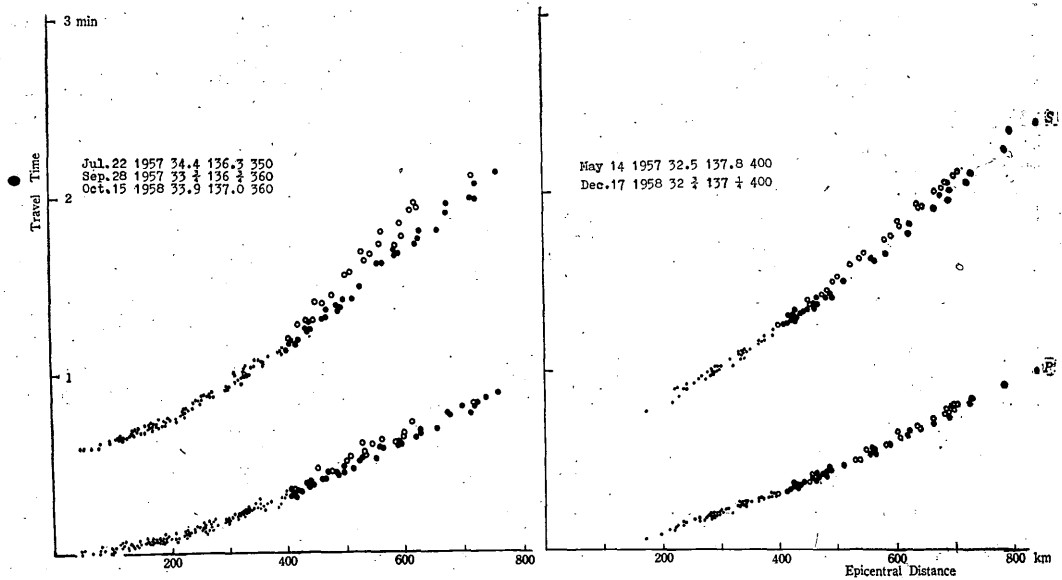


Fig. 4. Travel time of deep-focus earthquakes in the central part of Japan.

The left figure shows the superposed data of the three earthquakes mentioned in it.

(Jul. 22, 1957; 34.4N, 136.3E, h : 350 km. Sep. 28, 1957; 33 $\frac{3}{4}$ N, 136 $\frac{3}{4}$ E, h : 360 km. Oct. 15, 1958; 33.9N, 137.0E, h : 360 km.)

The right figure shows the superposed data of the two earthquakes mentioned in it.

(May 14, 1957; 32.5N, 137.8E, h : 400 km, Dec. 17, 1958; 32 $\frac{3}{4}$ N, 137 $\frac{1}{4}$ E, h : 400 km.)

●: data in the north-eastern part of Japan.

○: data in the south-western part of Japan.

以上のようなことから、短周期の微動は、地表近くの条件のみによるものでなく、地震波径路全般での影響も合せ考慮されねばならぬと思われる。すなわち、地震の起らないような地帯では、地震波、特に短周期の波の吸収が大きい。したがって、震源から発した地震波中の比較的周期の短い波は、ある地域には途中あまり減衰されずに地表近くに入射し、さらにそこでの特性に応じて短周期の微動が卓越するのではなからうか？ また、地震活動の特に活発な地帯中での地震波の影響も考慮されねばならぬものと思われる。

§ 5. 地震波の速度

地震波径路における地震発生の状態の相違が、地震波速度に与える影響を調べるために、前の場合と同様、紀伊半島周辺の深い地震を用いて調査した。この付近の深い地震の走時曲線の例を Fig. 4 に示す。これによると、北東側 (●印) の観測値と南西側 (○印) の観測値とでは、距離に比例して走時差がひろがり、S 波は 2 つの曲線に分れる。S 波は、北東側に到達するものが、南西側に達するものよりも早く (Fig. 4 左の例では約 10%)

なっている。P 波については、あまり明りように分離されないが、同様な傾向は認められる*。

森田⁹⁾も前記の地震の調査結果から“S 波の速度は東北日本が西南日本に比して大である”と述べている。また、日本における走時の地域的異常については、多くの研究があるが⁹⁾、それらは主として、比較的浅い部分の地殻構造の差違にもとづくものとされている。しかし、多くの走時異常の研究においても、用いた地震により、各地の偏差は必ずしも一定ではない。また、Fig. 4 に示した走時差を、浅い部分のみに起因すると考えるには、その差が大にすぎると思われる。この走時差が、どの部分の深さにおける速度分布の相違によるものかは、いろいろな深さの地震の走時を調べなくてはならないが、い

* この調査に用いた地震の震央位置は、近くの観測網の配置から、一方に偏することはさけられる。また、前記した吸収の相違等により、西側の観測値においては、発現時(特にP波について)見誤りを生ずる可能性は否定できないが、S波については、深い地震のS波の出現状況から考えて、その可能性は少ないものと思われる。しかし、このことはより高性能の地震計によってさらに調査しなければならぬ。

ままでのところ資料が不足している (Fig. 4でも左のほうは右の場合よりも速度差が大きいことがわかる)。

Fig. 4に見られる走時差を、地震波径路全般についての速度の相違の結果として考えると、よく説明できる。すなわち、地震を多数発生しているような地帯を構成している物質は、地震の起らない地帯の物質に比べ、地震波の速度 (特に S 波の速度) が大であるような性質を持っている。したがって、北東側へ到達する地震波は、地震活動の盛んな地帯——地震波速度の大きい所——を多く通過し、南西側へ到達する地震波は、地震の起らない地帯——地震波速度の小さい所——を多く通過することにより、走時に差を生ずる。しかし、速度の相違を量的に、あるいは、特に S 波の速度を増大 (または減少) させるような弾性常数の相違等について論ずるには、現在の観測精度は不十分である。

§ 6. む す び

紀伊半島周辺の深い地震から発する地震波の伝ばについて、日本列島の北東側と南面側とでは、差違がみとめられる。この相違を、地震活動の多い地帯と、地震の起らない地帯とでは、そこを構成している物質、あるいは構造に相違がある——すなわち、地震活動の活発な地帯の中では、地震の起らない安定した地帯の中に比べ、1) 地震波の減衰が小さく (特に短周期の波について)、2) 地震波の速度が大きい (特に S 波について)、という条件を満足するような性質を持っている——として説明を試みた。ここでは量的な研究は全くなされてないが、これはより高性能の観測網の完成をまって詳細に調査したい。それにより、両者の構造、物性の相違を明らかに

したい。

参 考 文 献

- 1) 森田 稔: 昭和6年6月30日熊野灘深発地震に現はれたる東西日本の特異性, 驗震時報, **9** (1936), 231~251.
- 2) 勝又 護: 日本付近の地震の垂直分布, 驗震時報, **20** (1955), 59~63.
- 3) 1) に同じ.
- 4) W. Inouye: Magnitude of Deep-focus Earthquakes in and near Japan. Paper in Meteorology and Geophysics, **9**(1959), 177~192.
- 5) 大倉達雄: 異常震域, 驗震時報, **24** (1959), 19~24.
- 6) たとえば, 本多弘吉: 地震学概要, p. 130.
- 7) 松沢武雄: 地震学, p. 124.
- 8) 1) に同じ.
- 9) 最近のものを2, 3例をあげれば,
はせばてつや: わが国における地震波初動の走時偏差, 驗震時報, **20** (1955), 93~100.
- 久本壮一: 西日本の浅発地震について, 驗震時報, **23**(1958), 149~154.
- 玉城逸夫: 浅発地震の走時より出された日本の表層構造, 地震, **II**, **7** (1954), 1~7.
- 〃: 浅発地震の走時による日本の表層構造 (続), 地震, **II**, **7** (1954), 226~232.
- 〃: 深発地震の走時偏倚について, 地震, **II**, **8** (1955), 48~54.