日本附近の地殻および上部マントルの 構造について (その 1)

和 達 清 夫

国立防災科学技術センター 高 橋 末 雄

(昭和 48 年 10 月 3 日受理)

On the Structure of the Crust and Upper Mantle in Japan and Its Neighborhood (Part 1)

Kiyoo WADATI and Matsuo TAKAHASHI

National Research Center for Disaster Prevention

(Received October 3, 1973)

In the present paper the underground structure peculiar to Japan and its neighborhood is dealt with, based on the seismic activity in Japan and neighborhood, especially taking account of the fact that each of the seismic activity area and the seismic inactivity area shows in the subterranean space its respective space, and adding the authors' investigational result to the fruits of researches hitherto.

Main results of the present paper are:

- (1) The seismic activity area was divided into 3 zones: the shallow earthquake zone (particularly the existence of "a thick shallow earthquake zone"), the joint earthquake zone and the deep earthquake zone.
- (2) A concept that the seismic activity zone can be regarded as "the crust" has been proposed.
- (3) From the discussion of the travel time residual and the area of abnormal distribution of seismic intensities, the values of Low V and Low Q of the seismic inactivity area were obtained, and in particular the stronger point of that property was found at a comparatively small depth in the underground on the continental side along the volcanic front.
- (4) The mantle flow in Japan and neighborhood is assumed to be composed of its main flow (along the deep earthquake zone) which flows descending from the Pacific side to the continental side and from east to west, of a weak flow northward in the offing of Tosa and in Enshu-nada, and of flows eastward and southward from the direction of the Sea of Japan.
- (5) In general, where the mantle flow ascends, there exist Low V and Low Q and the area is related to volcanic activities, and where the flow descends, the area is related to the seismic activity area.
- (6) The joint earthquake zone is an area of the strongest seismic activity, and is closely related with large-scale earthquakes.

§ 1. はじめに

本論文は、最近、日本附近における地震活動が詳細に調査されその実態が分つてきたので、[勝又 (1970), 広野・望月・湯村 (1972)] これを基とし、従来の日本附近の地下構造に関する多くの研究成果を参照しつつ調査を行い、表記の問題を新しい角度から考究した。

筆者らは、マントル流の存在と、これが地球内部の構造と状態に重要な役目を受持つことを肯定し、その立場で議論する。いま、マントル内部が流動するとすれば、運動の遅速、構成物質の問題はあるにせよ、地球内部の状態や運動は、大気や海洋におけるそれらとの類似が考えられる。とくに地震および火山活動を擾乱と見れば、気象学における擾乱に対する考え方から現象を類推することができよう。本論文ではそうした考えを根底において書かれたところが多い。

本文は、まず地球内部には、地震活動域と地震不活動域とがはつきり区別されることから、この両空間域は性質のちがう物質の状態にあること、そして両者の空間分布は、日本のような大陸縁辺では、複雑なしかし模型化される様式をしていることを示した。そして両空間における物質的性質、すなわち、両者はそれぞれ“堅い”、“柔い”と表現される性質を持つことを、走時偏差および異常震域の資料によつて、従来のこの方面の研究に加えて、改めて調査した。

その中で、地震活動域をもつて、従来考えられた“地殻”というものと見なすという考えが述べられている。

さて、マントル流については、太平洋から西に向つて来る主流のほか、太平洋から西日本に南から来るもの、日本海方面から東または南に来るものの存在の推定、深発地震帯上面のマントル流、火山地域地下のマントル流、上昇あるいは下降するマントル流の状態などが論じられている。もちろんそれは地震活動域の分布と地震不活動域の特性を主な根拠としている。

なお、本論文の不十分な点は、地震活動の時間的分布（特に長期にわたる）の検討がないことであろう。次の機会に譲りたい。

§ 2. 日本附近の地震帯（地震活動空間）

……附 震源の深さによる地震の分類

ここに地震帯 (Earthquake zone) というのは、立体的の意味で地下の地震活動空間をいう。地震帯の概念を得るため、Fig. 1 (A), (B) の震央分布図および Fig. 2 の断面図で示す震源分布を掲げる。

これらの図によつて明らかのように、地震の起る空間域は明瞭であり、特異な形状をしている。その議論をする前に、筆者らは、震源の深さによる地震の分類を、新しく Table 1 に示

Fig. 1 (A). Distribution of seismic activity for shallow earthquakes (h : 0–60 km).

Fig. 1 (B). Distribution of seismic activity for intermediate and deep-focus earthquakes.

Fig. 2. A profile of vertical cross section along the Pacific coast of the Japanese island. The marks show a grade of seismic activity. ●: remarkable, ⊗: moderate, ○: recognize, △: supplement.

Table 1. Classification of earthquakes by focal depth.

Name	Depth of Focus	Frequency*	Relation to Earthquake Zone
a. Shallow Earthquakes 浅発地震	0~60 km	20.1/year 55.0%	Shallow Earthquake Zone 浅発地震帯
b. Intermediate Earthquakes 中発地震	70~290		(1) Thick Shallow E. Zone 厚い浅発地震帯 (その下部の深さ約 80 km)
b ₁ ...Shallow Intermediate Earthquakes 浅中発地震	70~140	6.8/year 18.7%	(2) Joint Earthquake Zone 結合地震帯 (その下部の深さ約 140 km)
b ₂ ...Deep Intermediate Earthquakes 深中発地震	150~290	5.0/year 13.5%	(3) Deep Earthquake Zone 深発地震帯 (孤立, 散在的に発現)
c. Deep-focus Earthquakes 深発地震	≥ 300	4.7/year 12.8%	Deep Earthquake Zone 深発地震帯

* 顕著地震以上の地震 (1961-1967) について統計した。

す如くしたことを述べたい。表中に、分類に関連する事項を掲げておいた。なお、従来の稍深発地震を中発地震と称し、それを浅中発、深中発地震の二つに分けている。

さて、日本附近の地震帯 (立体的) については、広野等の報文によつてもかなり明瞭に見られるところであるが、その概念を得るために Fig. 2 を作製した。これはいわゆる外側地震帯と呼ばれる地域、すなわち日本列島に近い太平洋沖にひいた線に沿う垂直断面によつて地震活動状態を示すものである。この図は、日本附近の地震活動を概観し得る断面図の一つであるが、ここに筆者らが提唱する各地震帯がよく現われている。

(1) 浅発地震帯 (Shallow Earthquake Zone あるいは Shallow Seismic Activity Zone, SSAZ)....附...厚い浅発地震帯。

これはわが国の地下一般に存在し、その深さは 40~50 km である。特別の場所、とくに火山地域の地下や遠海には存在しない。Fig. 2 で土佐沖には見られないが、この点は統計年数にも関係し議論の余地があろう。

Fig. 2 の断面図は切断面の両側の 20 km 程度の狭い空間に起つた地震だけを示してあるため、同図中にはないが、たとえば和歌山附近や紀伊半島内陸部などでは深さ 70~80 km におよぶ地震が発生している (Fig. 7 参照)。これらの地震は浅発地震帯が部厚くなつたところの下部に発生したものである。このように浅発地震帯は地域によつてところどころ部厚になつてはいるが、そのような場合には、地震帯のその部分を“厚い浅発地震帯 (Thick SSAZ)”と呼ぶ。

(2) 深発地震帯 (Deep Earthquake Zone あるいは Deep Seismic Activity Zone, DSAZ)

深発地震帯については説明するまでもなく、世界の特定地域にそれぞれの特徴をもつて存在しているが、Fig. 2 においては二つの深発地震帯が見られる。右側のものは筆者の一人が始め横断深発地震帯 (Transverse Deep Earthquake Zone) と名付けたもので、沿海州から伊豆マリアナ諸島におよぶ顕著なものであり、本文では主深発地震帯と呼ぶ。これに対し左側には、深さ 300 km 程度のあまり深所までおよんでいないもので、南西深発地震帯と呼ぶものがある。深発地震帯の上部は後述の結合地震帯の下部につらなっている。強いて上限をいえば、やや地震発現が散在的になるあたり (深さ約 150 km) から下方を深発地震帯の主部分と考える。

(3) 結合地震帯 (Joint Earthquake Zone あるいは Joint Seismic Activity Zone, JSAZ)

Fig. 2 の右方、関東地方およびその東方沖の地下は、地震活動の最も盛んな地下空間である。その範囲は広く、深さは 100 km を越え 150 km におよんでいる。この空間域を結合地震帯と名付けた。すなわち浅発と深発地震帯との結合部分であるからである。いまマントル流が太平洋側、すなわち東から押し寄せ、これが後述するような西から東に向う別系統のマントル流と出合い、その押し合いの結果、地殻 (あるいは地震活動域) の部分が下方にひきずられてこうした地震帯を生じたと見れば、“交会地震帯 (Encounter Earthquake Zone)” と呼ぶのが適当かも知れない。結合地震帯は筆者らが地震帯としてあらたに提唱するもので本文の一つの主要項目であるが、島弧や大陸縁辺の地震活動を論ずる際に非常に重要な地震活動域であり、この存在が従来の地震を地殻地震とかマントル上部の地震とか呼んだことに、一つの解決を与えるものと思う。

筆者らは、Table 1 において深さによる地震の分類を提言した。しかしこれは機械的に地震の深さをもつて分類する場合に使用されるであろう地震の名称である。とくに日本附近に発生する地震に対し、従来用いられた分類法をも考慮して、定めたものといえる。

実際には後述するように、地震を単に深さだけで、浅発、中発、深発と分類することは、物理的に適当でない。それは各浅発、中発、深発地震がそれぞれに各地域の諸種地震帯中に起っているからである。

附 “厚い浅発地震帯” と結合地震帯との関係について

浅発地震帯は一般に深さが 40 km 程度であるが、ところどころ 70~80 km と部厚になっており、そこを“厚い SSAZ”と呼ぶと前述した。しかしそれを検討すると、たとえば紀伊半島内陸部における場合には、見方によつては、これは土佐沖、熊野灘沖方面を南から北に進み、地下に underthrust するマントル流によつて生じた結合地震帯とも見られる。この場合下部に深発地震帯を伴っていないのは、マントル流が弱いためか、または現在活発でないためと思

われる。もしそうだとすれば、この地域の地震活動域は結合地震帯ともいい得よう。

同様のことは日本海に沿う、いわゆる内側地震帯の諸所にも見られる。たとえば新潟附近において“厚い SSAZ”が見られるが、これは日本海方面より来るマントル流の *underthrust* によつて生じた結合地震帯とも見られる。

なお結合地震帯と大地震との関係は非常に興味ある問題であるが、別の機会に譲る。

§ 3. 地震活動域と地震不活動域における物質の状態および性質

地震活動域においては、一般的にいつて、その物質が High V ・High Q の性質を持ち、地震不活動域では Low V ・Low Q の性質を持つことは既に多くの研究によつて明らかにされている。平易に言えば、前者は相対的に“堅い”後者は“柔かい”といえよう。そして問題は“柔かい”地下空間部分のうちで、どこが特別柔かいが、すなわち Extremely Low V ・Low Q であるかということであり、このことは地下構造の状態を知る上で重要であり、また火山活動との関連、およびいわゆる低速度層との関連において興味深い。そして日本島孤下のように地下構造の複雑なところにおいて、この研究は一層の意味を持つものである。筆者らが本問題について従来この方面の研究に加えて、更に調査を行つたのもその故である。

(1) 走時偏差による検討

わが国においては以前より地震波の伝播、すなわち走時曲線の調査から、地域によつて地震波の到達時刻に偏差のあることはよく知られている。そして古く和達 (1931)、飯田・神原 (1934) などより、玉城 (1961)、久本 (1965)、気象庁地震課 (1967)、吉井 (1971)、岡田 (1971)、高波・久本 (1972) など多くの調査がある。

それらの結果を総合し要約すれば、東部日本の太平洋側の地域に震波は早く到達し、日本海側および内陸に遅いこと、日本中央部に遅いこと、そして西部日本は複雑であるが、太平洋側、日本海側に早い傾向があること、そして北海道方面では太平洋側と日本海側に早く、その中間地域に遅いとなつている。

さて、この方法で地殻構造を求めるに当り、とくにマントル上部の複雑な構造に対しては深発あるいは中発地震の観測結果を用いることが有利である。ただし震源位置と、発震時の決定次第で結果が微妙に変化する点に注意を要する。筆者らは主として深さ 200 km 台の深中発地震の孤立、群発性に注目して調査を行つた。

(A) 新潟附近の深中発地震の走時偏差

新潟附近の海岸の地下 200 km 程度のところには群発的に地震が多発している。すなわち、1946 年 2 月 7 日、3 月 31 日、1957 年 9 月 15 日、1959 年 3 月 5 日、1960 年 10 月 4

Fig. 3. Deviation of arrival times of P -wave.

震を使つての研究と、だいたい似た結果といえる。図中に偏差の数値(単位 1/10 秒)の過大と思われるものもあるが、これは初動のとり方や、時刻精度のなお不十分なため、精度がこの程度であることは認めざるを得ない。ただし、本調査ではほぼ同じ場所に起つた数地震の場合と比較して、だいたい同じ傾向の偏差の分布を示すことを確かめた。結果を要約すると次の如くである。

- (i) 関東, 東北, 北海道地方の太平洋側で偏差は (－) である。
- (ii) 近畿, 中国, 四国では, 偏差 (－) の一般的傾向はあるが, 調査方法から生ずる系統的誤差の考慮を要する。ただし山陰方面の (＋) 傾向は注目される。
- (iii) 中部日本の偏差 (＋) は顕著である。
- (iv) 関東地方においても, 北関東は (＋) である。

さて、深発および深中発地震は異常震域を起すのが普通であり、異常有感区域においては走時偏差 (－) が予期されるところであるが、本調査では必ずしもそうでない。この理由は、 P 波走時に関しては、震波の最短時間経路(その場合吸収の強い地震不活動域)を通るものを見ているが、震度分布については、それを起す震波 (S 波) の堅い地層を迂回するものが寄与している故であろう。このことは新潟附近の地下 200 km の震源から、関東中北部にいたる初動の P 波は Low V ・Low Q の空間を通過することを意味する。Fig. 4 は新潟附近を通る南北の垂直断面図により地震活動域を示したものであるが、これによつても上述のことを窺うことができる。

日, 1962 年 7 月 5 日, 10 月 4 日, 12 月 9 日, 1963 年 2 月 21 日, 7 月 28 日, 1965 年 5 月 12 日

などである。なおこのような中深発地震と新潟地震 (1964 年 6 月) のような大地震との関係は興味ある問題と思われる。

さてこのうち, 1959, 1960 のものは規模が比較的大きいので、これらを主として P 波の走時について調べた。その結果の一例を Fig. 3 に示す。標準走時は和達・鷺坂・益田の表によつた。

Fig. 3 に見られるように、 P 波の標準よりの偏差の分布は、従来の種々の地震

Fig. 4. Seismic activity shown by the N-S vertical cross section along 139.0°E through Niigata Area.

以上によつて、本州中部地域の地下における Low V 層の存在は確かめられ、これが地震不活動域であることはいうまでもない。強い低速度層が少なくとも 200 km より浅いところに存在するであろうことは、震源から西方に伝播するものは、震央距離が小さい間は走時偏差が(+)であるが、350 km 程度より大きくなるにつれて(-)となる傾向のあることから察せられる。これらのことからこの低速度層は中部日本では 150 km 程度より浅いと思われ、さらに火山地帯の地下において一層浅いところまで顕著に存在することが推察される。

なお、走時偏差は浅発地震によつても従来しばしば調査され、前述とほぼ同様の結果を得ている。普通浅発地震の震波は $\Delta < 800$ km の範囲では、だいたい深さ 100 km 以浅を通るのであるから、もし走時偏差が上述の如く求められるとすれば、Low V 層の深さは 100 km より浅いところにおよぶと思われる。宇津(1966)は異常震域の調査から、顕著な Low V・Low Q 層は、日本島弧下では地殻の下に近い部分から始まるように結論しているがそれと符号する。

(B) 飛騨地方の深中発地震の走時偏差

飛騨地方には、深中発地震が 1926 年以来、22 回ほど発生している。これらと福井地震(1948 年 6 月)との関係は今はおくとして、本州中部のほぼ同じ場所に多発する深中発地震として本調査に有力な資料を提供するものと考えられる。その中の顕著なもの数個について走時偏差を調べたが、全体的に同じ傾向の偏差分布を示した。Fig. 5 (A), (B) に結果を図示する。

Fig. 5 (A) および (B) の両者における偏差分布は、必ずしも一致しないが、傾向は同じであり、そして前掲の新潟の場合とも同傾向である。共通して北海道における(-)、とくに南東部において(-)が著るしい。東北地方の太平洋側の(-)は関東南部におよぶが、関東中部

Fig. 5. Deviation of arrival times of P-wave.

および北部は(+)が顕著である。中部地方は区々であるが、伊勢湾方面の(-)が目立つ。近畿以西は日本海岸では一般に(+)で、太平洋側は(-)となる。全般的に震源から遠く離れた地域が(-)となる傾向が見える。これは日本の地下の低速度層の存在場所と強さによるものと思われるが、一方、基準走時表にも検討の余地があろう。

Fig. 6. Deviation of arrival times of P-wave.

(C) 京都附近の深発地震の走時偏差
本州内陸部の地下に起る深発地震における走時偏差の一例を Fig. 6 に示す。それは Fig. 5 に似た傾向を示しているが、

- (i) 関東南部が(+)になっている
 - (ii) 近畿一帯が(-)になっている
- 点にかなりの相違を示している。この理由として深発地震帯は、一般に 200 ~ 300 km の深さの辺で、地震の起るところが散在的でかなり空隙のあること、および深発地震帯の彎曲が影響することが考えられる。

(2) 震波伝播における吸収および震度分布 (異常震域) による検討

地震活動域と不活動域における震波の吸収については、地震記象における振幅および周期の調査によって行われてきた。宇津 (1966), OLIVER and ISACKS (1967), 和達・広野・湯村 (1969), BARAZANGI and ISACKS (1971) その他多くの調査により、マントル上部における吸収の強い地層の存在場所と強度が次第に判明してきた。日本附近の地下の吸収帯について研究が多いが、それらは異常震域現象と関連して興味ある結果を得ている。とくに宇津 (1966) の調査はかなりまで異常震域問題を解明し、地下の Low Q 層の分布を示唆しているの、その補足の意味で震源の深さ 70~80 km の地震の資料による調査を行つた。

この程度の深さの地震は“厚い浅発地震帯”の下部に発現した場合は、正規の震域分布を起こす。この例を吉野地震 (1952 年 $h=70$ km) にとり、震度分布と、震源を通る緯度線に沿う垂直断面図で示した地震活動状態を Fig. 7 に掲げる。

Fig. 7. Distribution of seismic intensities and profile of vertical cross section along 34.5°N.

これに対して、結合地震帯中に発現した場合は、一般に異常震域を起こす。その例を小名浜附近の地震 (1959 年, $h=80$ km) を例にとり、震度分布と震源を通る二つの断面図によって示した地震活動状態を Fig. 8 に掲げる。

これらの図によつて明らかなように、吉野地震の場合は震波は浅発地震帯を通過して有感域を生ぜしめ、小名浜地震の場合は震波は SSAZ と DSAZ の間の空間、そして火山帯地下および浅発地震帯の下は無地震域で 50~80 km の深さのところを通過する際に強い吸収をうけて、そのため異常震域を起すことがわかる。すなわち、これによつて強い吸収帯の存在が、この地域ではかなり浅いところまでおよんでいることが推定される。この点は BARAZANGI and ISACKS (1971) の求めた Extremely Low Q の区域に大勢はよく似ているが、本調査では Low Q は上記区域の中の浅処で顕著である。なお、異常震域は、通常人身感覚で調べられ

Fig. 8. Distribution of seismic intensities, and the seismic activity zone projected on the vertical section along 37.0°N and the Pacific coast of northern Japan.

るものであるが、同一型地震計による各観測所の観測報告の有無、すなわち、地震計の有感分布によつても、従来いわれてきた異常震域現象がよく観察されることを附言する。

§ 4. いわゆる“地殻”について

“地殻”と現在考えられているものについては今更いうまでもないが、その下部はホモ不連続面であり、面の深さは震波速度とその変化とによつて、内陸では $30 \sim 40 \text{ km}$ 、大洋下では 10 km 程度と求められている。しかし島弧の地下のように複雑な構造を持つところでは、新しい考え方をする必要があると思われる。本論文において地震活動域を種々の断面図によつて示したが、地震の起るところと起らないところが判然と分れて存在していることは、地下において性質の異なる物質の分布を示すものである。そして地震活動域は、とくに浅発地震帯は、従来地殻とされていた区域とかなり一致している (Fig. 9 参照、図中に示す地殻の底の深さは主として、神沼 (1966) による)。

筆者らはここで、日本のような地震活動の盛んな地域においては、地震活動域を地殻とするという考えを述べ、大方の批判を受けたく思う。少くとも、地殻の状態の考究やその厚さを決定する際に地震活動域は十分に考慮されるべきものと信ずる。従来 $50 \sim 60 \text{ km}$ の深さに地震が発生すると、これはホモ面以下、すなわちマントル上部の地震であると呼んだ。しかし上記の考えからは、今後これらは地殻内の地震ということになる。

わが国のような地域の地下構造では、水平の Heterogeneity は無視できない。従つて浅い

地震,あるいは爆破地震の資料による地殻構造の解明には大きな困難を伴う。そのことは地震活動域の分布から推察できる。地震活動域は“堅い”区域であり、地震不活動域は“柔かい”区域であるということから、従来震波速度から決めた地殻というものを考え直すことも意義があるろう。

上述の地殻の考えでは、日本列島のような地震・火山地域の地下構造においては、地殻と従来称せられた性質を持つ地球内部の部分は、一応浅発地震帯が、そしてこれを拡張すれば、地震活動域全部がそれを具現していることになる。そうとすれば“厚い浅発地震帯”においてはもちろん、深さ 140 km にもおよぶ結合地震帯においても、さらに延長されて、地下深くに潜入する深発地震帯にもつながり、これらの部分は地殻ということになる。

そのような深所のものを地殻と呼ぶのは適当ではないが、考え方としてはあり得よう。深発地震帯は別として、少くとも浅発そして結合地震帯の部分は地殻と呼べるであろう。もつとも震波速度は深さとともに増大するので、新しい意味の地殻内でも速度は増大する。しかし従来の震波速度を主として地殻を定義するのとは異なり、その物質の性質を主眼とするので、震波速度の絶対値でなく、深さに対する速度の変化によつて、そして Q 値を合せ考えて定められることになる。

§ 5. マントル対流と地殻およびマントル上部の構造と状態

地球内部構造と地震・火山活動に対して、マントル流が重要な役目をしていることを前提として、地球内部物質が流動すると考えるならば、それは気象および海洋現象と相似点がある筈であり、筆者らはこの観点に立つて議論をすすめる。

いま地震、火山活動は地球内部における擾乱と見る。大気中の擾乱は大別して垂直不安定と水平不安定とによつて起され、前者は雷雨、後者は前線 (Front) に伴う低気圧などで代表される。地球内部では、一般論として前者は火山 (火成) 活動であり、後者は地震活動と見られる。換言すれば、火山活動は dilatation に、地震活動は shear に関係する。そしてその原動力は熱 (潜熱を含む) であり、温度分布と物質の状態変化が運動を起す力を与える。

地震は一般に、地球内部のフロントに生ずる shear によつて起される。shear はフロントにおける相対的に逆向きまたは速度差のあるマントル流によつて生ずる。その例は深発地震帯において見られる。結合地震帯は相対するマントル流の衝突によつて生成され、内部に複雑な断層面の存在が考えられ、地震活動が活発である。そして浅発地震帯はその下部の一般的マントル流の中に存在する乱れ (一種の渦乱流) によつて shear が与えられる。

火山活動は、深発地震帯の上面における高温 [長谷部・藤井・上田 (1970)] によつて生じた

Fig. 9. Schematic representation of mantle flows presumed in this investigation by vertical section along 36°N under the island arc of Japan with seismic activity zone and regions of high absorption. The marks show a grade of seismic activity.

垂直不安定のために起る物質および状態変化の上昇によつて起される。

なお一般的にいつて、マントル流とともに地震活動域は下降、地震不活動域は火成活動と関係して上昇の傾向にある。結合地震帯中の地表附近の浅所の一部が地震不活動域となつていることも関連して注目される。これらのことを Fig. 9 に模式的に示す。

Fig. 9 に 36°N に沿う垂直断面図に地震活動域を記入し、そこに筆者らの推定するマントル流などを示したものである。図中には既述した吸収域について、および従来求められている地殻の範囲が示されている。

§ 6. ま と め

本論文でいままで述べて来たことは、ほとんどが Fig. 9 に示されている。図によつて明らかであるから詳しい説明を省略し、次に本調査の結果をまとめて述べることとする。

- (1) 地震活動域（地震帯）と地震不活動域（無地震帯）が明瞭に分れて存在する。前者は“堅い”部分、後者は“柔かい”部分であり、一般的に前者は下降、後者は上昇傾向を持つ。
- (2) 地震活動域を浅発（厚いものを含む）、結合、深発の三種の地震帯に分類した。それとともに従来の稍深発地震を中発地震と呼び、それをまた浅中発地震と深中発地震とに分けた。

- (3) 地震活動域を、いわゆる“地殻”と見なす考えを提言した。
- (4) 走時偏差、震波減衰、異常震域等により、地震不活動域の Low V ・Low Q とくに火山地域の下およびその大陸側にその性質が強く、また浅発地震帯の下に近いマントル上部に強いこと。
- (5) 日本附近のマントル流は、太平洋を東から *underthrust* して来る主流のほか、日本海側から東または南に向うもの、また熊野灘、土佐沖を北に向う弱いものが推定された。
- (6) 結合帯は東西から来るマントル流の衝突の結果、地表に近い層が地下に引きこまれる。その結合の場所に生じた肥厚拡大された地震帯と見られる。その部分は最も地震活動が盛んであり、大地震との関係も深い。
- (7) 地震はマントル流の不連続面で起り、火山活動は地中の垂直不安定によつて起る。両者の活動は密接に関連する。

謝 辞

本調査に対して、種々貴重な資料を供与され多大の援助を与えられた気象庁地震課に深甚なる謝意を表する。

文 献

- 浅野周三・吉井敏尅, 1973, 爆破地震による日本およびその周辺の地殻上部マントル構造, 関東大地震 50 周年論文集, 227-238.
- BARAZANGI, M. and B. ISACKS, 1971, Lateral Variations of Seismic-Wave Attenuation in the Upper Mantle above the Inclined Earthquake Zone of the Tonga Island Arc: Deep Anomaly in the Upper Mantle, *J. Geophys. Res.*, **76**, 8493-8516.
- FEDOTOV, S. A., 1963, The Absorption of Transverse Seismic Waves in the Upper Mantle and Energy Classification of Near Earthquakes of Intermediate Focal Depth, *Izv. Akad. Sci. USSR, Ser. Geophys.*, 509-520.
- HASEBE, K., N. FUJII and S. UYEDA, 1970, Thermal Processes under Island Arcs, *Tectonophysics*, **10**, 335-355.
- 久本壮一, 1965, 東日本にあらわれる S 波の著しい異常走時について, 地震, **2**, 18, 142-153, 195-203.
- 飯田汲事・神原 健, 1934, P 波の伝播異常について, 地震, **6**, 310-317.
- ISHIDA, M., 1970, Seismicity and Travel-Time Anomaly in and around Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**, 1023-1051.
- KAMINUMA, K., 1966, The Crust and Upper Mantle Structure in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 418-518.
- 勝又 護, 1970, 日本列島およびその周辺におけるサイスミシティとそれに関連する諸問題, 験震時報, **35**, 75-142.
- 気象庁地震課, 1967, 日本における地震波の走時および振幅, 気象庁技術報告, 第 55 号.
- 気象研究所地震研究部, 1972, 日本附近の地震活動分布図, 一とくに無地震帯の分布について一, 気象庁技術報告, 第 81 号.
- 岡田 弘, 1971, 浦河で観測された ScS 波の先駆波と上部マントル構造, 地震, **2**, **24**, 228-239.

- OLIVER, J. and B. ISACKS, 1967, Deep Earthquake Zones, Anomalous Structures in the Upper Mantle, and the Lithospheres, *J. Geophys. Res.*, **72**, 4259-4275.
- 多田 堯, 1972, 深発地震帯中の P 波の速度分布, *地震* **2**, **25**, 310-317.
- 高波鉄夫・久本壮一, 1972, 1971 年 9 月 6 日サハリン南西沖地震の走時解析と北海道北西部の地殻構造上の考察, *地震* **2**, **25**, 353-361.
- 玉城逸夫, 1955, 日本における深発地震の P 波走時異常について, *地震* **2**, **8**, 48-54.
- TAMAKI, I., 1961, Seismicity in Relation to the Crust Structure, with Special Reference to Japanese Area, *Mem. Osaka Inst. Tech. A*, **7**, 45-139.
- UTSU, T., 1966, Regional Differences in Absorption of Seismic Waves in the Upper Mantle as Inferred from Abnormal Distributions of Seismic Intensities, *J. Faculty of Sci. Hokkaido Univ. Ser. 7*, **2**, 359-374.
- 宇津徳治, 1969, 西日本の異常震域, *北大地物理研究報告*, **21**, 45-52.
- 宇津徳治, 1969, 日本列島下の上部マントルにおける V_P/V_S について, *地震* **2**, **22**, 41-53.
- WADATI, K., 1931, Shallow and Deep Earthquakes (3rd paper), *Geophys. Mag.*, **4**, 231-283.
- WADATI, K. and T. HIRONO, 1956, Magnitude of Earthquakes—especially, of near, deep-focus earthquakes, *Geophys. Mag.*, **27**, 1-10.
- WADATI, K., T. HIRONO and T. YUMURA, 1969, On the Attenuation of S -waves and Structure of the Upper Mantle in the Region of Japanese Islands, *Papers in Meteorology and Geophys.*, **20**, 49-78.