論文 Memoirs.

日本に於ける地震波動の傳播に關する研究 (第四報)

國 富 信 一

Note on the Propagation of the Earthquake Wave
of near Origin in Japan. (Forth Report)

By Shin'iti KUNITOMI.

本誌第二輯第三卷第三號、第七號及び第十一號に於て著者は日本島弧内を傳播する地震波動の速度に就て論じ、本邦に於ては地震波動が方向に依り速度を變ずると云ふ現象を注意したのである。本論文は其の連續した研究の一部であつて前回に發表した以後の結果に就て述べて見やうと思ふ。

既に述べた如く地震波動の速度の方向に依る變化はP波に於て特に顯著である事は筑波山附近に起つた地震及び相模灣附近に起つた地震の等發震時線より見ても極めて明瞭な事實である。(第三報自第一圖至第六圖參照) 又等發震時線の橢圓性は震央に近い等發震時線に於て形の上から特に顯著である事も、地殻が等質な媒體でなく dispersive な媒體であつて其の波動が群波を構成するものと考へると當然な結果であらうと考へられる。

從つて震央より少しく距たれる地域にては地殻の構造上の錯雜性からして各方面に依り dispersion の程度を異にし、週期の變化に伴ふ傳播速度の變化の増大する爲めに、等發震時線が不規則な形となつて來る事は當然免れぬのである、即ち前論文(第三報)中に掲げた第一圖より第六圖に至る六回の地震の等發震線に見るも、震央に最も近き等發震時線は極めて正しき橢圓形に近きも、第二本目の等發震時線(即ち次の十秒後に於ける等發震時線)には既に dispersion の結果として多少の不規則なる曲線をなす事が見受けられる。

又前論文第四圖より第五圖に至る相模灣附近に發現せる地震の等發震時線に於て甲府、松本を結ぶ線上に沿ふてP波の傳播速度が小なる事を示せる事實も其れがナウマン氏のフォツサ、マグナ西邊の斷層崖に沿ふて存在する地溝盆地を通過する爲めに生ずるものなるや否やは尙不明ではあるが、兎に角此の方面に進む震波が常に小なる速度を有する事は、此の方面に特に dispersion の著しく起るに依る爲めとも考ふる事を得るものである。要するに局部的の等發震時線の不規則さ

は dispersion と大なる關係を有するものゝ如く考へられる。

小局部地震に於ける等發震時線 小局部に互る地震に於て震央近くの等發震時線の形狀に就ては既に前論文に於て論じた所であるが茲には更に其の補足として鬼怒川流域、東京灣附近、本州中部地方、岐阜名古屋附近及び京畿地方に起りたる小區域性地震以上のものに就て論じて見やうと思ふ。此の研究の材料として用ひたものは次の如き地震に際し、各地方測候所に於て觀測せられた發震時である

1、關東地方

大正十四年五月十二日十五時八分頃 房總半島小櫃川流域の地震

大正十四年八月七日十一時五十二分頃

大正十四年九月八日五時二十九分頃

大正十四年十二月十日八時三十六分頃

大正十四年十二月十一日十六時十九分頃

大正十四年十二月二十四日二十三時零分頃

2、本州中部近畿地方

大正十四年三月五日十九時二分頃

大正十四年三月九日八時三十二分頃

大正十四年三月十六日十七時五十三分頃

大正十四年三月二十日二時五十五分頃

大正十四年四月二十日零時四十七分頃

大正十四年三月十七日二十時二十九分頃

大正十四年六月二十四日七時九分頃

大正十四年七月七日一時四十六分頃

大正十四年八月十九日二十一時五十一分頃

大正十四年十月十六日八時四十一分頃

大正十四年十月二十六日十一時六分頃

大正十四年十二月二十二日十六時五分頃

扱之等の地震及び著者が前回迄の調査に用ひた多くの地震に於ける等發震時線を畫いて、其れが形成する橢圓の長軸の方向を圖上に畫いて見ると第一圖の如くなる。此の方向は即ち縦波の速度の最大なる方向であつて、若し地殼の皮層が等質なものであるとの假定に従へば最も歪を受けた方向であらねばならない。即ち日本の島弧が此の方向に於て歪を蒙つた結果として屈曲をなし其の結果弧狀をなしたと考へ得るものである。

第一圖 等發震時線の爲す橢圓の長軸の方向を示す圖

勿論此の等發震時線のなす橢圓の長軸の方向は局部的には或る一點に收斂せずして其の土地に於ける歪の最大なる方向に向ふ筈である。故に尙部分的に詳細なる調査を遂げたならば日本島弧の彈性的歪の分布狀態を決定し得る事と思ひ尙進んで調査を進めて居る次第である。又此の線を書く際に於て等發震時線のなす橢圓の長軸の方向を求めるのは、前論文に掲げた筑波附近又は相模灣沿岸に起つた地震の等發震時線に於て見る如くに多少の誤差を許さねばならない。即ち著者の今迄書いた等發震時線の經驗に依れば最大±5度迄の誤差は免れ得ぬものと考へられる。

然し關東地方の如くに稠密なる觀測網を有する地方にあつては此の誤差は比較的僅少であるが然らざる地方では前述した如き誤差は起り得ぬものと考へられる。

等發震時線の橢圓性 扱斯くの如き橢圓の長軸の方向は大體に於て或る一點に收斂する如き傾向を示して居るが、此の事は日本島弧の成因、及び彈性的性質を決定する上に重要なものである。然らば何故に斯くの如く本邦附近に震源を有する地震の等發震時線が一般に震央を中心とする圓形をなさずして其れを圍む橢圓形をなすかと云ふ事は前論文迄に著者が度々問題とした所であるが、今之れに對する推論を地殼の皮層を等質であるとの假定の下に與へて見やうと思ふ。勿論此の假定は實際上には到底許す可らざるものであつて、地殼のプロック運動の如きものを考ふる時は成立し得べからざる事ではあるが其の場合には、等發震時線に對して或る局部性の不規則さを與へ等發震時線の大勢より見たる橢圓性は矢張り地殼を等質なれ共方向に依り其の彈性を異にするもの即ち彈性的異方體と考へても差支ないと思ふ次第である。

扱彈性體に於て其れが無數の質點の集合體であると考へて見る。然して今彈性體内に或る任意の曲線を與へて其れが未だ歪を受けざる狀態にあつては AB なる方向を有するものとすれば、前述した考へ方に從つて此の曲線は無數の質點の集合である。今此の曲線上に任意の一點 O を考へて其の坐標を x, y, z とすれば此の彈性體が歪を受けた狀態に於ては AB 曲線は其の形及位置を變じ A'B' となり、其の上に考へた O 點も O' 點に變位し、從て其の坐標は $x+u, y+v, z+w$ となる。

若し歪を受けぬ狀態にある場合に AB 上の一點にて極めて小なる長さ ds を取り其れに引いた切線のダイレクション、コサインを $\frac{dx}{ds}, \frac{dy}{ds}, \frac{dz}{ds}$ で表はせば此の量は歪を受けた狀態にあつては $\frac{d(x+u)}{ds_1}, \frac{d(y+v)}{ds_1}, \frac{d(z+w)}{ds_1}$ となる。茲に ds_1 は

ds の歪を受けた後の長さで u, v, w は分變位である。斯くして $\frac{dx}{ds}=l, \frac{dy}{ds}=m,$

$$\frac{dz}{ds}=n, \frac{d(x+u)}{ds_1}=l_1, \frac{d(y+v)}{ds_1}=m_1, \frac{d(z+w)}{ds_1}=n_1 \text{ と置けば}$$

$\frac{d(x+u)}{ds_1} = \frac{ds}{ds_1} \left(\frac{dx}{ds} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{ds} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{dy}{ds} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{dz}{ds} \right)$ 等から次の三つの關係が得

られる。

$$l_1 = \frac{ds}{ds_1} \left\{ l \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) + m \frac{\partial u}{\partial y} + n \frac{\partial u}{\partial z} \right\}$$

$$m_1 = \frac{ds}{ds_1} \left\{ l \frac{\partial v}{\partial x} + m \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + n \frac{\partial v}{\partial z} \right\}$$

$$n_1 = \frac{ds}{ds_1} \left\{ l \frac{\partial w}{\partial x} + m \frac{\partial w}{\partial y} + n \left(1 + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\}$$

之等の式から $\frac{ds}{ds_1}$ を歪を受けぬ状態にある時の切線のダイレクション、コサインで表はさしめる事が出来るが又一方此の式を l, m, n に就て解き、 $\frac{ds}{ds_1}$ を係數として含む l_1, m_1, n_1 の項で表はさしめた上、其等を平方して加へ合すれば

$$\left(\frac{ds_1}{ds} \right)^2 = (a_1 l_1 + b_1 m_1 + c_1 n_1)^2 + (a_2 l_1 + b_2 m_1 + c_2 n_1)^2 + (a_3 l_1 + b_3 m_1 + c_3 n_1)^2$$

なる形の式が得られる。茲に $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$ 等は單に $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}$ 等のみの函數として得られるものである。

而して之れより

$$(a_1 \xi + b_1 \eta + c_1 \zeta)^2 + (a_2 \xi + b_2 \eta + c_2 \zeta)^2 + (a_3 \xi + b_3 \eta + c_3 \zeta)^2 = \text{constant}$$

と云ふ式に依つて表はされる橢圓體は任意の方向に於ける其のセントラル、ラヂアス、ベクトル(中央動徑)が、歪を受けた状態にあつては、其の方向に横はる微線分の長さの變化する割合即ち $\frac{ds_1}{ds}$ なる比に比例するもので之れが所謂歪橢圓體 (Strain Ellipsoid) である。(Love: Mathematical Theory of Elasticity)

扱前述した如く本邦島弧が或る歪力の作用の下に歪を受けて太平洋側に凸形を爲した弧狀を爲すからには、其れは普通の彈性體の彎曲の場合と同等と見做す事は出来無いとしても、其の部分を構成する地殼の皮層が歪を受けた状態となつて居ると考へられる。而して此の如き歪が現に尙地殼の皮層に存在すると考へ得る事は長岡、日下部兩教授の研究に依る岩石の彈性履歴より見ても當然であるらしい。故に若し本邦島弧を構成する地殼の皮層が斯くの如き歪の状態に置かれてあるならば、其れを一つの彈性體と見做して其の中に歪橢圓體を想像する事が出来る。

第一表

等發震時線のなす橢圓の橢圓率

Table I Eccentricity of the ellipses formed by isochronous lines of several earthquakes

震 央 地 Epicentre	發 震 年 月 日 Time of occurrence	橢 圓 率 Eccentricity	V_1/V_2
筑 波 山 附 近 Neighbourhood of Mt. Tsuba	Dec. 24, 1925	0.62	1.40
	Feb. 2, 1925	0.68	1.30
	May 11, 1925	0.61	1.24
	June 12, 1925	0.67	1.38
	Sept. 8, 1925	0.69	1.35
	Aug. 7, 1925	0.60	1.26
	平 均 Mean	0.645	1.32
相 模 灣 附 近 Sagami Bay	June 23, 1924	0.64	1.33
	July 15, 1925	0.60	1.25
	Sept. 1, 1923	0.65	1.26
	平 均 Mean	0.630	1.28
東 京 附 近 Neighbourhood of Tokyo	Dec. 10, 1925	0.72	1.41
	Dec. 11, 1925	0.72	1.38
	平 均 Mean	0.720	1.39
房 總 半 島 Bōsō Peninsula	May 12, 1925	0.66	1.37
	平 均 Mean	0.66	1.37
	May 5, 1925	0.70	1.27
三 河 附 近 Neighbourhood of Mikawa	Mar. 9, 1925	0.61	1.36
	Apr. 20, 1925	0.68	1.32
	平 均 Mean	0.663	1.32
	Mar. 20, 1925	0.62	1.42
近 畿 地 方 Neighbourhood of Kinki District	May 17, 1925	0.67	1.33
	Aug. 19, 1925	0.73	1.50
	Oct. 16, 1925	0.63	1.40
	Oct. 26, 1925	0.68	1.33
	Dec. 22, 1925	0.67	1.40
	平 均 Mean	0.667	1.40
岐 阜 附 近 Neighbourhood of Gifu	June 24, 1925	0.72	1.62
	July 7, 1925	0.71	1.46
	平 均 Mean	0.715	1.54
Mean of means	總 平 均	0.672	1.37

斯くして等發震時線の橢圓形は此の歪橢圓體の地表面との切面であると考へ得る。然も斯かる歪橢圓體は其の土地に於ける歪力の傾斜に依り橢圓體の軸の方向を異にするから、其の地表面との切面の爲す橢圓の橢圓率も土地に依つて其の値を異にせねばならない。即ち一般に本邦島弧に作用する歪力は場所に依り其の傾斜の角度が變る結果として等發震時線の橢圓の形が變化するのが至當であると考へられる。其處で各地に起つた地震の $\bar{P}$ 等發震時線の形から其の橢圓率を求めて見ると第一表の如くなる。尙表中には此の橢圓の長軸と短軸との長さの比、即ち本邦島弧に直角な方向と其れに沿ふた方向とに進む縦波速度の比 V_1/V_2 を掲げてある。

これから見る時は橢圓率は所に依つて多少其の値を異にするが其の差は極めて僅少である。只東京地方と岐阜地方とに於て特に際立つて橢圓率が大となつて居るが、然し何れも二回の材料よりしか持たぬから、其れに斷定的結論を與へる事は出来ない。只之等二ヶ所の地方が特に相似した地形、地質状態を有すると云ふ點は注目に値すると思ふ。

扱橢圓率は全平均が 0.672 となり、 V_1/V_2 の平均は 1.37 となつて居る。此の結果は可なり迄確からしい値を有するものである故、若し島弧に沿ふて進む場合の縦波の方の速度を尋常なものと考へ、一般に認容されて居る値 $V_2=5.6$ 哩/秒を採用すれば V_1 即ち島弧に直角に進む方の縦波の速度は $V_1=7.7$ 哩/秒となつて来る。

又一方から考へれば斯かる等發震時線の爲す橢圓の橢圓率の大小は歪橢圓體の軸の傾斜のみで無く、其の土地に於ける歪力の大きさ、従つて歪の大小からも説明され得るものである。然して以上二様の説明の何れか、主となつて居るかを決定する事は頗る困難な事であらねばならない。兎に角何れにしても斯く地殻の皮層に彈性的異方性が存在するとの假定が許され得るならば、其の中を通過する彈性波動はルズキ氏(M. P. Rudzki)が行つた様に、異方體中に三つの對稱面を考へ、九箇の彈性率を用ゐて出した彈性波動の基本方程式から誘導し得るものである。

以上の如き著者の考へ方はあまりに地殻を構成する媒體の連續性のみに拘泥し過ぎたかの感もあるが、然しブロックの如き複雑なる構造を考へる前に著者は先づ出來得る限り簡單なる見方から始めの斷定を與へんとするものである。

終りに臨み種々有益なる御助言を忝うした岡田臺長に深厚な謝意を表するものである。