

## 松代で観測された $PL_{22}$ 波の解析\*

山 岸 登\*\*

550.840

### On the Analysis of $PL_{22}$ Waves Observed at MATSUSHIRO SEISMOLOGICAL OBSERVATORY

N. Yamagishi

(*Matsushiro Seismological Observatory, J.M.A.*)

Normal dispersed wave trains appearing within the interval between  $S$  and  $P$  waves of 17 earthquakes, which occurred in and near Japan, are analyzed as higher leaking modes.

Observed periods for normal dispersed wave trains vary from 10.4 to 5.2 sec, and observed group velocities are from 7.7 to 3.3 km/sec.

In general, the particle motion of these wave trains is retrograde elliptical motion, but aftershocks of middle Gifu Pref. (No. 10 and No. 11) are progressive.

By using the theoretical group velocities and particle motion of  $PL$  mode for a crustal model JW-1 computed by YOSHII (1970), these wave trains are decided as  $PL_{22}$  of  $PL$  mode.

Crustal thicknesses determined from observed group velocities of  $PL_{22}$  wave agree well with those from  $PL_{21}$  wave except one or two examples.

Though four shocks regarded as  $PL_{23}$  wave and one shock showing inverse dispersion are observed, they are too few to analyze.

#### 1. まえがき

数多くの近距離およびやや中距離地震の記録中、 $P$ 波と $S$ 波との間にしばしば見られる分散性波群は、経験によればいろいろの波形を示し、特に地表面分子運動に着目すれば、時には波群出現後しばらくの間は linear な運動を示すこともあるが、その後は progressive または retrograde elliptical 運動の軌跡を描く。分散は正常または逆分散の両方が観測され、波群全体を代表する波の周期も長、短が存在するなど、異なるいく種類かの波動の到達が観測される。最近の研究によれば、これら分散性波群はいずれも leaking mode による  $PL$  波の形で地表面近くの wave-guide を伝播する一種の表面波として解釈され、観測の結果も理論による計算値ではほぼ説

明が可能である。筆者は以前、leaking mode で伝播する  $PL$  mode 波のうち、その fundamental mode 波と考えられる比較的周期の長い、progressive な楕円運動を示す  $PL_{21}$  波 (Laster & Gilbertによる命名) の解析を行なった。ここで述べるのは、日本本土およびその近海域に発生した近距離およびやや中距離地震の記録で、 $P$ 波と $S$ 波との間にしばしば出現するやや短周期波、すなわち波の周期約11秒から約5秒付近まで変化する、retrograde elliptical 運動を示す正常分散波群の松代での観測およびその解析結果である。既に理論計算から求められている JW-1 (吉井: 1970) モデルによる、波の分子運動、振幅の大きさ、分散曲線などの対比から、これら分散性波群は higher leaking mode の  $PL_{22}$  波と判断される。これら波群のほかに、周期約5秒から約3秒まで変化する progressive elliptical 型運動を示す正常分散波群の松代、水戸および長野地方気象台での記録

\* Received Oct. 22, 1972

\*\* 気象庁地震観測所

(No. P, Q, R, S の地震) や、周期約 8 秒から 13 秒まで変化する progressive 型逆分散波群 (No. 17 の地震) の記録から推測される、別種の PL mode による高次波も観測されたが、記録例が少ないため今回はただ参考として記録および得られた群速度分散値だけを掲げた。ここで用いた記録は、短周期型のものから長周期型をも含めたいろいろの機種による地震計のものである。地震計の常数や倍率曲線などは松代および気象庁刊行の地震月報に記載されている。震源要素は JMA によったが、震源の深さおよびマグニチュードなどは USNOS のものも表示した。比較、検討に用いた理論値は前述のモデルである。また、おのおのの記録で括弧を付けてあるのは地震計名の略号で、それらの説明は第 2 表の下に記してある。

## 2. 記録例とその解析

解析に用いた地震を Table 1 に、それらの震央位置を Fig. 1 にそれぞれ示した。記録はすべてトレースされたもので、極短周期波が複雑に混入しているような場合

は、いくらか正確さを欠く恐れもあるが、ここでの解析には差し支えない程度である。PL<sub>22</sub> 波は PL<sub>21</sub> 波にくらべ短周期波群の連続であるが、例えば (LP) のような長周期型地震計でも良く記録されるので、記録例中には 1 つの地震について異なる地震計による複数の記録を掲げ、数多くの記録例を特に示した。Fig 2 は上に No.1, 下に No. 2 および No. 6 の地震記録を掲げた。No. 1 は北海道はるか東方海域の地震で、ここでの資料中震央距離の大きいものの 1 つである。(A) は長周期型地震計によるインク書き記録で、おのおのの記録の下側に示した (A-F) は (A) の記録と同じものを磁気テープから取り出し、band-pass フィルターを用いて処理したものである。(A) では 3 成分とも極短周期波が混入しているが、目で波型をスムーズすれば正常分散した波群が見られ、P 波初動の到着直後から約 40 秒間、比較的上下成分に良く記録された PL<sub>22</sub> 波が出現している。また、(A-F) 記録から解析された波群の分散は、周期 10.8 秒から 8.4 秒まで変化し、波の分子運動は retrograde の楕円を描いているのが推察される。Table 2 に示

Table 1 List of earthquakes.

| No. | Date           | Time(J.S.T.) | (E) (N)    | Location                 | Depth(km) |          | Station    | M        |
|-----|----------------|--------------|------------|--------------------------|-----------|----------|------------|----------|
|     |                |              |            |                          | JMA       | NOS      |            |          |
| 1.  | Aug. 12, 1969  | 20:21:21.6   | 148.9 43.2 | E. off Hokkaido.         | 50        | 29 1174  | MATSUSHIRO | 6.1(MAT) |
| 2.  | Nov. 14, 1968  | 03:41:44.7   | 142.8 40.2 | Off Iwate Pref.          | 30        | 49 566   | "          | 5.7( " ) |
| 3.  | July. 13, 1969 | 04:16:24.9   | 143.9 39.8 | Off Sanriku.             | 10        | N 613    | "          | 5.5( " ) |
| 4.  | Mar. 9, 1970   | 09:50:02.5   | 143.7 39.6 | E. off N. Honshu.        | 40        | 14 585   | "          | 5.5(JMA) |
| 4'  | July. 12, 1968 | 12:56:24.5   | 143.4 39.6 | "                        | 30        | 26 569   | "          | 5.8(MAT) |
| 5.  | Sept. 15, 1971 | 23:55:02.2   | 143.9 39.1 | "                        | 50        | 17 535   | "          | 6.2( " ) |
| 6.  | Sept. 17, 1971 | 03:51:38.9   | 143.9 39.1 | "                        | 50        | 43 579   | "          | 5.8( " ) |
| 7.  | May. 25, 1968  | 22:37:54.0   | 143.7 39.1 | "                        | 50        | 42 562   | "          | 5.1( " ) |
| 8.  | June. 18, 1968 | 03:57:22.1   | 144.2 38.6 | "                        | 40        | 17 579   | "          | 5.6( " ) |
| 9.  | Aug. 16, 1968  | 19:39:08.6   | 143.9 38.6 | "                        | 0         | 22 547   | "          | 5.6(NOS) |
| 10. | Sept. 14, 1969 | 23:31:13.7   | 137.1 35.8 | Middle of Gifu Pref.     | 10        | — 133    | "          | 4.8(JMA) |
| 11. | Sept. 12, 1969 | 02:01:52.5   | 137.1 35.8 | "                        | 10        | — "      | "          | —        |
| 12. | Jan. 7, 1968   | 20:12:28.8   | 142.0 33.6 | E. off Hachijojima.      | 40        | 48 490   | "          | 5.6(JMA) |
| 13. | Sept. 15, 1971 | 22:29:34.4   | 140.0 31.5 | South of Honshu.         | —         | 72 585   | "          | 5.2(NOS) |
| 14. | Sept. 18, 1969 | 03:40:44.8   | 131.7 30.9 | Near Yakushima.          | 0         | 8 867    | "          | 6.2(MAT) |
| 15. | Aug. 17, 1963  | 20:12:40.9   | 131.1 30.4 | Near Tanegashima.        | 80        | 33 944   | "          | 6.0( " ) |
| 16. | May. 14, 1968  | 23:05:03.3   | 129.8 29.6 | SW. off Yakushima.       | 160       | 168 1099 | "          | 6.0( " ) |
| 17. | Aug. 3, 1969   | 13:54:33.9   | 128.3 25.7 | Ryukyu Is.               | 100       | 19 1532  | "          | 6.0( " ) |
| P   | Aug. 28, 1966  | 13:09:20.1   | 138.1 36.5 | Near Matsushiro.         | 0         | — 196    | MITO       | 5.3(JMA) |
| Q   | Oct. 14, 1965  | 17:02:04.2   | 139.1 34.3 | Near Kozujima.           | 0         | 57 278   | MATSUSHIRO | 4.9( " ) |
| R   | Jan. 5, 1971   | 06:08:52.4   | 137.2 34.4 | Off coast of Aichi Pref. | 40        | 40 264   | NAGANO     | 6.1( " ) |
| S   | Aug. 2, 1971   | 16:24:55.1   | 143.7 41.2 | Off Erimomisaki.         | 60        | 51 696   | "          | 7.1(MAT) |

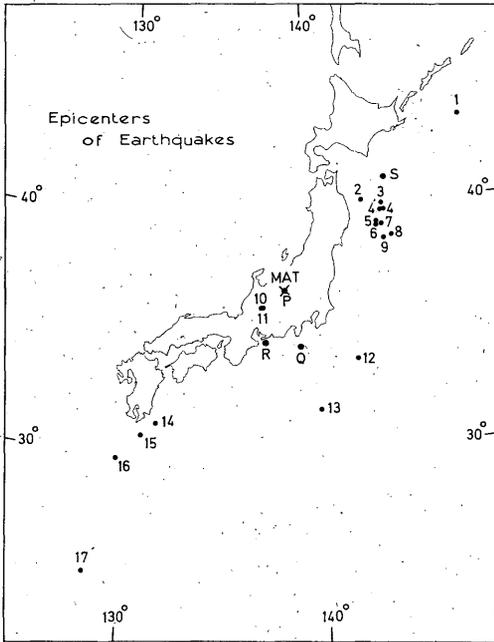


Fig. 1. The epicenters of the earthquakes used in this investigation. Numbers denote the earthquakes shown in Table 1.

した観測の周期は (A) のものである。5 番目の山付近から現われている波群は、別の phase であるからこの解析から除いた。下段の左側に掲げた No. 2 は岩手県沖の (LP) による記録で、長周期の  $PL_{21}$  波に重なった短周期の  $PL_{22}$  波に相当する 2 種類の分散波群が認められる。同図の最左端に画かれた波の運動軌跡から、波の動きは retrograde 型楕円運動を示すのが確認される。 $PL_{22}$  では上下振幅が水平のものより卓越して記録され、周期 7.6 秒の波から始まる分散は約 30 秒間につき、その後は、長周期の  $PL_{21}$  波に勢力を奪われている。なお、周期約 35 秒の波で始まる  $PL_{22}$  の分散波は  $PL_{22}$  波とは全く逆の動きを示す progressive 型の楕円運動で、記録の現われかたも水平成分に顕著である。観測による  $PL_{21}$  波の分散曲線を JW-1 の理論曲線に当てはめれば、地殻の厚さは 26 km—28 km の間に推定され、第 2 表に見られるとおり、 $PL_{22}$  波から推定されるものと良い一致を示す。No. 6 は同じく (LP) による本州北東海城の地震で、全般的に長周期の波の勢力が弱く、短周期の  $PL_{22}$  波は上下成分で特に良く記録されている。波の分子運動は最初 linear であるが、2 山目から上下成分を長軸とする retrograde 型楕円に変転し、分散は上下成分を対象にとれば、周期 8.6 秒の波から始まり、P 波初動直後から

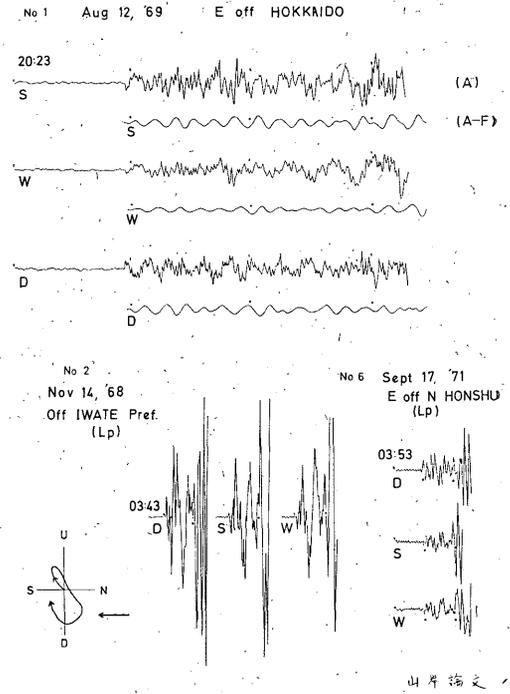


Fig. 2. Traced records of the earthquakes for No. 1, No. 2 and No. 6 at Matsushiro. In each record, parentheses are abbreviation for the name of seismograph.

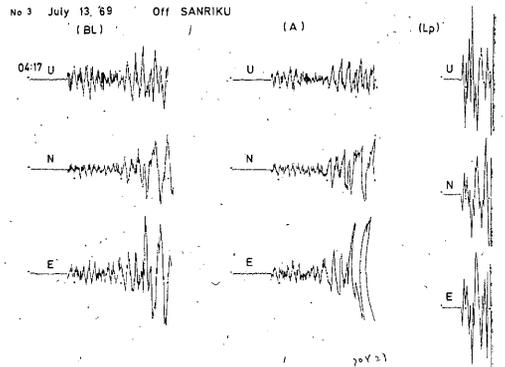


Fig. 3. Traced records of the earthquakes for No. 3 derived from three kinds of seismograph.

約 60 秒間経た S 波の直前までつづいている。Fig. 3 に掲げた No. 3 の No. 2 の地震よりやや東方に発生したもので、良く出現している 3 種類の地震計記録を特に示した。(LP) での  $PL_{22}$  波は最初から明瞭に retrograde 型楕円運動を示し、周期約 34 秒から始まる  $PL_{21}$  波の分散とは容易に識別される。(BL) および (A) では、P 波

初動の直後からしばらくの間 linear な運動を行ない、その後S波の直前まで retrograde 型の楕円運動を行なっている。3種類の記録中、特に (BL) の上下動振幅は卓越を示し、吉井、その他による理論結果を満足させる。周期8.8秒から始まるこの分散波群は5.6秒まで変化し、S波の直前における群速度は Fig. 11 に見られるように4.4 km/s である。Fig. 4 では上段に No. 4、下段に No. 4' の地震記録を示した。No. 4 は下の No. 4' とほぼ同じ位置にある本州北東海域のもので、(LP) によるこの記録は  $PL_{21}$  波および  $PL_{22}$  波がともに良く出現し、解析も両種のモードについて行なわれた。P波初動の到達直前に見られる零線の乱れは地震計の検定信号のためである。P波初動きは明らかに震央方向を指し、検定信号による地震波形への擾乱は影響を及ぼしていない。この地震の松代までの震央距離は585 kmで、周期約35秒から始まる長周期の  $PL_{21}$  波群の振動数はわずかに2山見られるだけである。しかし、 $PL_{22}$  波はP波初動直後から6山認められ、retrograde 型の分散波群は周期8.0秒の波から6.2秒のものまで解析された。下段の No. 4' の地震は、ストレイン短周期地震計によるもので、NS成分では周期7.4秒から周期5.4秒まで変化する良い分散波群が8山記録されている。この地震計では上下成分がなく、また一種の伸縮計でもあるため、波の分子運動を直接解析することはできないが、Fig. 6 に掲

げた No. 8 の地震での (BL) 記録に対立するストレイン地震計記録の場合と同様、走時によるこれら波群の群速度分散値だけで十分  $PL_{22}$  波と判断されよう。Fig. 5 には、No. 5 (上)、No. 7 (中)、および No. 13 (下) の地震記録を示した。No. 5 では (A) 地震計による松代だけの記録を掲げたが、波の解析には長野の59型電磁地震計記録も用いた。松代では、周期8.6秒から5.4秒、長野では周期8.4秒から5.8秒の分散波群が観測された。松代のものではP波初動直後から retrograde 型の楕円運動を示すが、長野では linear な運動を約8秒間行なったのち、retrograde 型に移行している。両観測所の観測結果は第2表に記してある。No. 7 は同じく本州北東海域の (LP) による記録で、No. 2 や No. 3 でも見られたように長、短2種類の波群がここでも認められる。

$PL_{21}$  波は progressive 型の楕円運動で、周期約32秒の波から分散をはじめ、約40秒間経た S 波付近では周期21秒の波に変わっている。 $PL_{22}$  波は上下成分に比較的良く現われ、 $PL_{22}$  波だけについて描かれた左端の波の

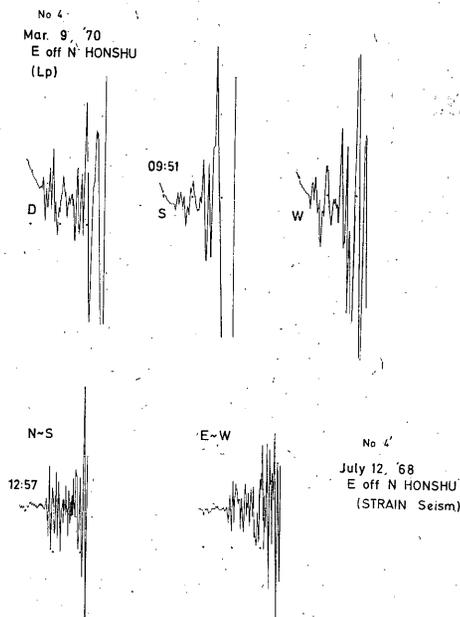


Fig. 4. Traced records of the earthquakes for No. 4 and No. 4'.

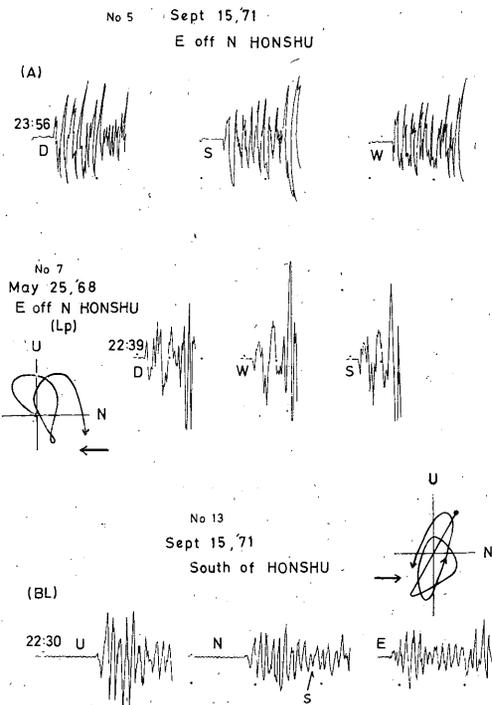


Fig. 5. Traced records of the earthquakes for No. 5, No. 7 and No. 13. Two illustrations are the surface particle-motion for No. 7 and No. 13.

運動軌跡図でも明らかなように、周期7.0秒の波から retrograde 型楕円運動を行ない、分散状態は約40秒間つづく。長、短両種のモードから推定される地殻の厚さは、第2表に示されるようにやや喰い違いを示す。No. 13は、これまで述べてきた一連の地震とは全く異なる震央のもので、松代から見れば南南東に位置する本州南方洋上の地震である。記録に見られるように、(BL)の上下成分は最も卓越した良い波形を示し、 $PL_{22}$  波の特徴を良く現わしている。南北成分と上下成分との組み合わせから波の運動を追跡すれば、右側上図に掲げたように  $P$  波初動直後から約20秒間は linear な運動を行ない、波群の3山目から長軸を上下成分にもつ retrograde 型の楕円を描き、 $S$  波まで連続しているのが見られる。周期7.2秒の波から始まるこの波群の群速度分散値から、平均として地殻の厚さ23kmが推定される。これは以前行なわれたこの付近の地震(山岸:1971—Arr. 23, 1964, 138.5 E, 32.2 N, H=10:05:08.6—)による  $PL_{21}$  波解析からもほぼ等しい値が得られている。Fig. 6にはNo. 8の地震によるストレイン地震計(左)および(BL)地震計(中)の両記録を、右には(BL)による波の分子運動図をならべて示した。このうちストレイン地震計記録は参考として掲げたものであるが、南北成分では分散が大変良く記録されている。(BL)の記録では、上下成分が特に卓越し、周期9.6秒から始まる分散は約60秒間経た $S$ 波までつづいている。波の進行方向に対する地表面での分子運動は、右端に示したように上下成分を長軸とする retrograde 型楕円運動を明瞭に行なっている。理論計算(吉井:1970)によれば、波の位相速度が大きく、波群の持つ周期がこの記録に見られるような場合は、特に上下振幅が卓越し、運動は retrograde の形を描くことが示されているから、No. 8は  $PL_{22}$  波の良い記録の代表例の一つである。吉井による  $H=3.8T$  ( $H$ : 地殻の厚さ,  $T$ :  $PL_{22}$  波の卓越周期)を基準にとれば、この地震から推定される地殻の厚さは約30kmとなり、第2表および Fig. 11に示されている観測分散値からの結果に良く適合している。No. 9も本州北東海域の地震で、(LP)によるこの記録でも前掲の数個の地震と同じく長および短周期2種類の分散波形が認められ、それぞれ  $PL_{21}$  波、 $PL_{22}$  波として触析が行なわれた。地震計記録の左端に掲げた  $PL_{22}$  の分子運動をみると、最初ほとんど linear な運動を行なっているが、番号3付近から retrograde 型楕円を描き、長軸は明らかに上下成分に属している。

長周期の  $PL_{21}$  波は複雑な波形をしているが、解析に

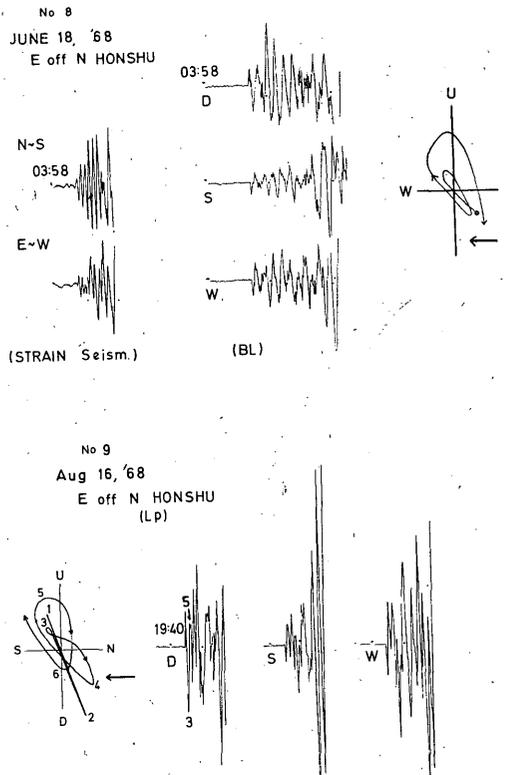


Fig. 6. Traced records of the earthquakes for No. 8 and No. 9. Two illustrations show the surface particle-motion of each earthquake.

よれば progressive 型楕円を描き、分散は周期28秒から周期13秒の間で行なわれている。 $PL_{22}$  波から推定される地殻の厚さは25km—27kmで、 $PL_{21}$  波のものに比べいくらか異なっている。Fig. 7にはNo. 10, No. 11およびNo. 12の地震記録を示している。No. 10およびNo. 11は岐阜県中部地震(Sept. 9, 1969)の余震で、ここでの資料中、内陸に震源をもつものはただこの2つだけである。Leaking mode 波としては比較的マグニチュードが小さいけれども、震央距離が短かく、その極浅発地震であるから解析には充分使用できた。長周期地震計(LP)には、このほかにも全く良く類似した波形を示す余震記録が多く見られ、No. 11はJMAでは震源が求められていないが、発震時や震央距離を推定してNo. 10とともに解析を行なった。ここまで解析を行ってきた地震の  $PL_{22}$  波は、波の分子運動が retrograde 型の楕円を示し、波の群速度も7.2km/s—4.3km/sの間に収まったが、No. 10とNo. 11の運動は全く逆の progressive の動きを示し、また群速度も4.3km/s以

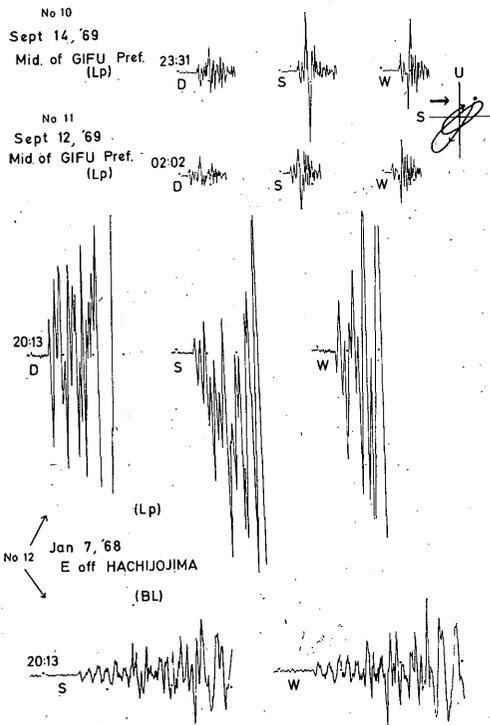


Fig. 7. Traced records of the earthquakes for No. 10, No. 11 and No. 12. The illustration is the surface particle-motion of No. 10.

下である。(Fig. 11 および Fig. 12 で示めされているように、branch の最高群速度は約 4.3 km/s である) 同記録の最右端に描かれた No. 10 の分子の動きを見ても明らかなように、運動は progressive 型である。両地震とも水平および上下の振幅はほぼ同程度の大きさで、周期約 7 秒から始まる分散は S 波の直前 (S-P 時間は約 16 秒間) までつづき、周期 5.2 秒の波では群速度 3.3 km/s である。JW-1 の理論分散曲線は Fig. 11 に見られるように、群速度の小さいところで別の分枝をもち、そこでは (点線の部分) 波の運動が全く逆の動きである。

No. 10 および No. 11 の地震の解析から得られた波の運動および群速度分散値は、この分枝に相当するものと考えられる。また、2つの地震から推定される地殻の厚さは約 32km で、表面波の解析などから得られている値とほぼ一致する。次に、中段および下段は No. 12 の地震で、八丈島東方沖のものである。震央方向は松代の南東で、両地震計の記録とも P 波初動の動きはこれを正しく示している。(LP) では上下成分が発達し、PL<sub>22</sub> 波は長周期の PL<sub>21</sub> 波に混入している。図に示されないが南北成分と上下成分との組み合わせから、PL<sub>22</sub> 波は retro-

grade 型の楕円運動を行ない、周期 9.8 秒から周期 8.4 秒の間で分散が行なわれている。(BL) の記録は上下成分が欠けているが、2成分とも約 50 秒間にわたって分散している状態がわかる。Fig. 8 には No. 14 および No. 16 の地震記録を示した。No. 14 は尾久島付近の浅発地震で、(A) は振動の勢力が微弱なためあまり良い波形を示さないが、これを増幅してフィルター処理した (A-F) の記録では、かなり鮮明な良い分散波形が見られる。[(A-F) の NS 成分は再生装置のペン先が 1 分の送り 60 mm の記録上で 1.0 mm 長い]。波の解析は (A-F) 記録で行なわれ、周期 10.0 秒から始まる分散は約 40 秒間つづき、周期 8.2 秒の波に変化している。NS 成分での第 6 番目の山から S 波の直前まで見られる波群は、別の phase であるから解析から除いてある。右側に掲げた (A-F) による、波の運動から retrograde 型楕円運動が確認される。下の No. 16 は尾久島南西沖の地震で、概して長周期の PL<sub>21</sub> 波のほうが良く発達し、分散も明瞭である。PL<sub>22</sub> 波の運動は、はじめ linear な状態を示すが NS 成分の 2 山目から、左側の下に掲げたように retrograde 型楕円に変わり、約 40 秒間つづいたところで PL<sub>21</sub> 波に勢力を吸収されている。また、分散

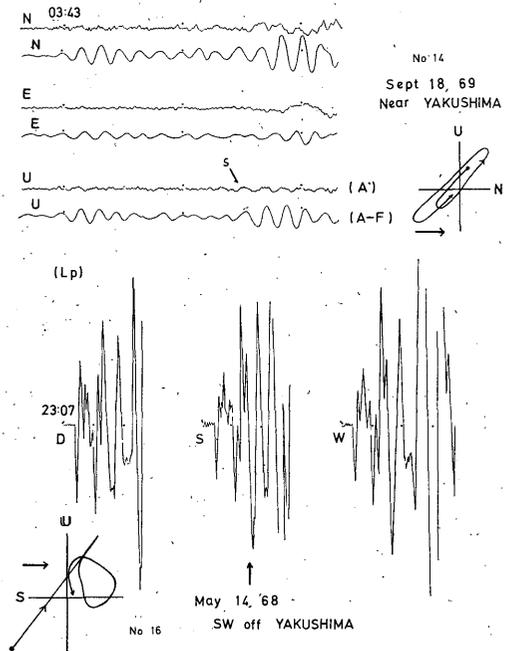


Fig. 8. Traced records of the earthquakes for No. 14 and No. 16. The illustrations show the surface particle-motion of each earthquake.

は周期 10.4 秒の波から周期 8.4 秒の波まで観測され、 $PL_{22}$  波としては波群のもつ平均周期がやや長い。 $PL_{21}$  波および  $PL_{22}$  波の分散曲線から推定される地殻の厚さはほぼ一致し、平均 33km に数えられる。この地震は震源の深さ  $h=160$  km で、USNOS によっても  $h=168$  km と報じられている。

Leaking mode による表面波も normal mode で伝播するレーリー波などのように、震源の深いものほど出現しにくいことが考えられる。

しかし、ここに掲げられていない (BL) およびストレイン地震計の記録をならべ、3 種類の地震記録からこの地震の波形全体を眺めたとき、約 200km ほどの深い型の地震とは見えないので、記録例としてとりあげ解析を行なった。Fig. 9 の No. 15 の地震は種ヶ島付近のガリツチン地震計記録で、この地震に以前行なった  $PL_{21}$  波の解析にも用いられた。周期約 36 秒の波で始まる  $PL_{21}$  の分散波上に重なって、5 山の  $PL_{22}$  波が見られるが、途中から全く長周期波に勢力を奪われている。震央距離がここでの調査としては比較的遠いため  $PL_{22}$  波の分散は、周期の比較的長い 10.4 秒の波から始まり、8.2 秒の

波まで観測される。長、短両種のモードから得られる地殻の厚さは Tadler 2 からほぼ等しいとみてよからう。下の No.17 は記録の参考として掲げた琉球付近の地震で、単周期波群が大変明瞭に卓越しているが、波の分子運動は波群の 5 山までは progressive 型で逆分散をしている。

Fig. 12 には、はじめの 5 山までの分散値を記した。6 山以降の約 40 秒間は retrograde 型の正常分散をしている。このような記録例が非常にすくないので、詳細な解析は行なわれなかったが、別種の higher leaking mode (例えば Su and Dorman による M モデルのようなものを考慮すれば) に属するものと推定される。Fig. 10 の No. P, No. Q, No. R および No. S は、それぞれ異なる地震計で記録した正常分散波群で、波の分子運動はいずれも progressive 型を示し、記録の解析から得られた群速度分散値は Fig. 12 に掲げた。吉井の JW-1 モデルによれば、4 つの地震記録は  $PL$  mode の中で  $PL_{22}$  よりさらに高次の  $PL_{23}$  波と推察されるが、事例がすく

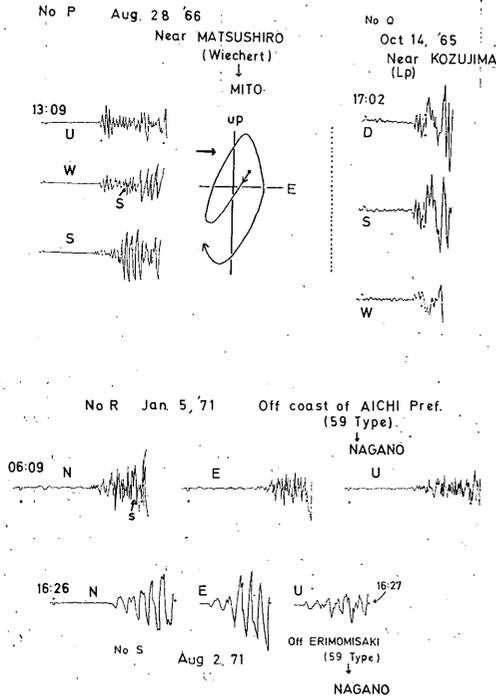


Fig. 9. Traced records of the earthquakes for No. 15 and No. 17. The wave trains of No. 17 are the inverse dispersion making the progressive elliptical motion.

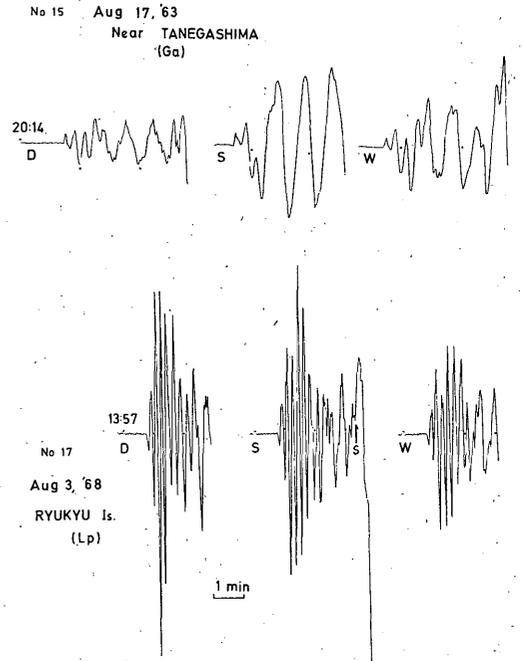


Fig. 10. Traced records of the earthquakes for No. P, No. Q, No. R and No. S observed at Mito, Nagano and Matsushiro Stations, respectively. The surface particle-motions derived from these four shocks show the progressive elliptical motion and the periods are shorter than that of  $PL_{22}$  waves.

Table 2 Instruments used in this investigation and observed results.

| No. | Instruments        | Particle Motion                  | Observed Period (sec) | Depth of Crust (km) |         |
|-----|--------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|---------|
|     |                    |                                  |                       | PL 22               | PL21    |
| 1.  | A, A-F             | Retrograde elliptical            | 10.6 - 9.2            | 33 - 36             |         |
| 2.  | Lp                 | //                               | 7.6 - 6.6             | 25 - 27             | 26 - 28 |
| 3.  | Lp, BL, A          | //                               | 8.8 - 5.6             | 22 - 30             | 24 - 31 |
| 4.  | Lp                 | //                               | 8.0 - 6.2             | 22 - 28             | 23 - 28 |
| 4'  | Strain             | //                               | 7.4 - 5.4             | 22 - 26             |         |
| 5.  | A, 59 type(J.M.A.) | Linear→Retrograde elliptical     | 8.6 - 5.4             | 21 - 29             |         |
| 6.  | Lp                 | //                               | 8.4 - 5.8             | 22-28(Nagano)       |         |
| 7.  | Lp                 | //                               | 8.6 - 6.4             | 27 - 30             |         |
| 8.  | BL, Strain         | //                               | 7.0 - 6.2             | 24 - 25             | 28 - 32 |
| 9.  | Lp                 | Linear→Retrograde elliptical     | 9.6 - 5.8             | 23 - 32             |         |
| 10. | Lp                 | Progressive elliptical           | 7.8 - 6.6             | 25 - 27             | 21 - 25 |
| 11. | Lp                 | //                               | 7.0 - 5.2             | 32                  |         |
| 12. | BL, LP             | Linear→Retrograde elliptical     | 6.8 - 5.2             | 32                  |         |
| 13. | BL                 | //                               | 9.8 - 8.4             | 34                  |         |
| 14. | A, A-F             | Retrograde elliptical            | 7.2 - 5.4             | 21 - 24             |         |
| 15. | Ga                 | //                               | 10.0 - 8.4            | 31 - 35             |         |
| 16. | Lp                 | Linear→Retrograde elliptical     | 10.4 - 8.2            | 30 - 33             | 29 - 31 |
| 17. | Lp                 | Progressive (Inverse dispersion) | 10.4 - 8.4            | 31 - 34             | 31 - 34 |
| P   | Wiechert           | Progressive elliptical           | 8.4 - 12.6            | —                   |         |
| Q   | Lp                 | //                               | 4.0 - 3.0             | —                   |         |
| R   | 59 type (J.M.A)    | //                               | 3.6 - 3.2             | —                   |         |
| S   | 59 type (J.M.A)    | //                               | 4.4 - 2.8             | —                   |         |
|     |                    |                                  | 5.4 - 4.6             | —                   |         |

A: Long period seismograph with magnetic tape recorder.

A-F: Record processed by band pass filter.

BL: Long period Benioff seismograph.

Ga: Galitzin seismograph.

Lp: Long period world wide seismograph.

ないためただ参考として掲げておいた。No. P は松代地震を水戸地方気象台のワイーヘルト地震計が記録したもので、その動きを拡大して描いた真中の図から、波の運動は progressive 型楕円を示していることが知れる。

No. Q は神津島付近の地震の松代での記録で、周期約18秒で始まる  $PL_{21}$  波に重なった短周期波群がS波の直前まで明瞭に認められる。また、No. R と No. S は長野地方気象台の59型電磁地震計のもので、波群の平均周期が短いのに記録紙の送りが比較的早い (60mm/s) ので、分散波の識別は容易になされ、特に No. S では良い記録が見られる。いずれの地震も分散は周期約5秒から3秒の間で行なわれ、分散の状態も  $PL_{22}$  波のものよりさらに急激である。これら波群についてはもう少し記録例を増して詳細な解析を行ないたい。

### 3. 結果に対する考案

地震計の機種や震央位置にはほとんど関係なく、震央距離 133km から約 1200km 位の間に発生した比較的マグニチュードの大きい17この地震の、P波とS波との間に出現している短周期分散性波群を  $PL$  mode による  $PL_{22}$  波と解釈し、波群の群速度、分子運動などに着目して解析を行なった。得られた解析結果をまとめて Fig. 11, Fig 12 および Table 2 に示した。両方の図で実線および点線は吉井の JW-1 モデルによる理論分散曲線で、左側は  $PL_{22}$ 、右側は  $PL_{21}$  に相当する。筆者は以前、同じくP波とS波間の長周期分散性波群の解析を行ない、特に波の位相速度や減衰の状態などから、これら波群は  $PL_{21}$  波であろうことを述べた。

自然地震の  $PL_{22}$  波では位相速度を求めることは困難

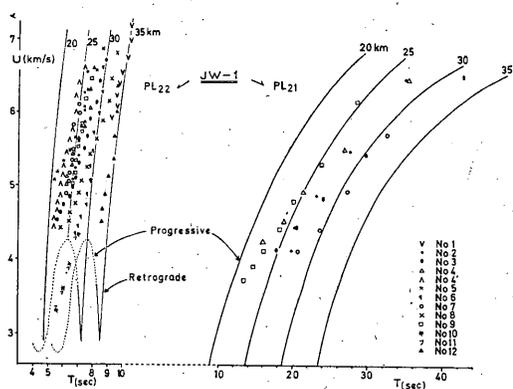


Fig. 11. Observed group velocities derived from  $PL_{22}$  (the left) mode and  $PL_{21}$  (the right) mode, respectively.

Solid and dotted lines are theoretical dispersion curves for model JW-1, computed by YOSHII, 1970

In the case of  $PL_{22}$  mode, solid lines are retrograde elliptical motion and dotted lines progressive one.

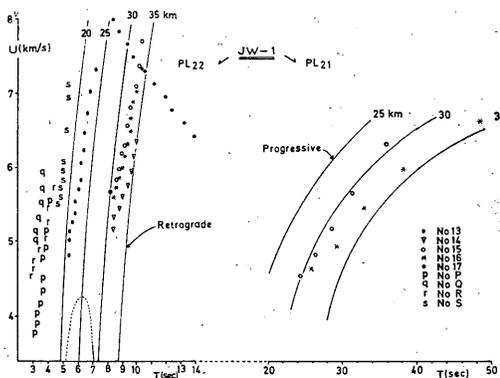


Fig. 12. Observed group velocities of five earthquakes and theoretical dispersion curves of  $PL_{22}$  mode and  $PL_{21}$  mode for Model JW-1. Observed group velocities from four earthquakes showing on the most left side are for reference.

で、解析も主として群速度と波の運動だけについて行なわれた。一つの地震から得られた長および短周期分散波の、観測による群速度分散値を、JW-1モデルによる fundamental および higher mode の理論分散曲線に当てはめるとき、おのおのから推定される地殻の厚さは Fig. 11 および Fig. 12 に見られるように 1, 2 の例を除いてほぼ合致を示している。吉井も述べているように、lea-

king mode は理論的にまだ完全に確立されたものではなく、またここでの資料も sub-oceanic 構造を伝播するものが多いから、2層構造からなる陸的モデル JW-1 を解析の対象に選んだこと、その常数および地殻の層の構成などの細かい検討も問題になろう。

したがって、 $PL_{22}$  波の群速度だけから詳細な地殻構造を決定することは無謀であり、また価値のないことである。しかし、Table 2 に記した波群の運動型、観測された波群の周期などはいずれも JW-1 モデルから与えられる理論結果によく適合している。その上、同表には  $PL_{21}$  および  $PL_{22}$  から推定される地殻の厚さも記されているが、これは地殻の厚さを決定することを終局目的としたのではなく、位相速度や減衰常数などが求められなくとも、兩種の波群から得られる情報がほぼ一致することから、逆にこれら分散波を  $PL$  mode の高次波として説明し得ることを裏付けているものと主張したい。地震を観測し、得られた記録を験測し、その結果を報告する作業過程からは、地震予知分野に対する直接の寄与を生じないが、未知の phase を解析し、それを理論的に解釈することができれば、それぞれで地震学の一つの目的達成になると考えられる。

#### 4. ま と め

自然地震の記録に出現した  $PL_{22}$  波の解析を行なった。得られた結果を簡単に要約すれば次の通りである。

(i) 波の伝播は  $S$  波と同じ方向を示し、条件さえよければ  $P$  波初動直後から現われ、長周期型地震計では  $PL_{21}$  波に重なった状態で  $S$  波付近までつづく。

(ii) 得られた結果を  $PL_{21}$  と比較すれば (括弧の中は  $PL_{21}$  波のもの)

- a) 波群の平均周期は短かく、観測された周期は約 11 秒から約 5 秒である (平均周期は長く、波群の持つ周期は以前の調査を含めて約 45 秒から約 15 秒)。
- b) 分散の状態は急激である (ゆるやか)。
- c) 一般に地表面での分子運動は retrograde 型楕円である (progressive 型楕円)。
- d) No. 10 のように、全く逆の運動をする低群速度のものが観測された (以前の調査でも branch に相当する記録例なし)。
- e) 波群の上下振幅が卓越し、分散も上下成分のほうが良く記録される (水平成分が卓越し、分散状態も水平のほうが明かである)。

(iii)  $PL_{23}$  と考えられる高次波を参考に掲げたが、

JMA の 59 型地震計ならこの波群を十分良く記録するから、今後詳しく調べたい。

おわりに、記録のコピーをいただいた長野および水戸地方気象台の担当官にお礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- Gilbert, F. and S. J. Laster (1962) : Experimental Investigation of  $PL$  Modes in a Single Layer, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **52**, 59~66.
- Ibrahim, A-B. K., (1969) : Leaking and Normal Modes as a Means to Determine Crust-Upper Mantle Structure for Different Paths, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **59** 1695~1712.
- Oliver, J. and M. Major (1960) : Leaking Modes and the  $PL$  Phase, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **50** 165~180.
- Oliver, J. and M. Major (1964) : Propagation of  $PL$  Waves across the United States, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **54**, 152~160.
- Phinny, R. A. (1961) : Leaking Mode in the Crust Waveguide, *J. Geophys. Res.*, **66**, 1445~1469.
- Su, S. S. and J. Dorman (1965) : The Use of Leaking Modes in Seismogram Interpretation and in Studies of Crust-Mantle Structure, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **55**, 989~1021.
- 山岸 登 (1971) : 松代で観測された  $PL_{21}$  波の解析, 験震時報, **36**, 1~11.
- 吉井敏尅 (1969) : いくつかの形の leaking mode の性質, 北大地球物理学研究報告, **21**, 117~131.
- 吉井敏尅 (1969) : 自然地震の記録に見られる leaking mode について (その1), 地震, **II**, **22**, 54~65.
- 吉井敏尅 (1970) : 自然地震の記録に見られる leaking mode について (その2), 地震, **II**, **22**, 318~327