

# 地震波速度の時間的変化をとらえる

## ～地震予知をめざして①～

地震予知研究グループ 地震波速度観測班

### 1. はじめに

地震予知研究の一環として 地震波速度の時間的変化を調べる実験が地質調査所を中心に行なわれている。まだ始まったばかりの段階であるが これまでに行なわれた観測を整理した結果 注目すべき変化が現われたので ここに中間報告として紹介したい。

現在 ナショナルプロジェクトとして取り組まれている「地震予知研究計画」の内容 進展のようす 地質調査所の分担しているテーマとその意義 これまでに得られた成果などについては 次号以下に追って紹介するつもりである。

### 2. どんな方法で地震波速度の変化を観測するか

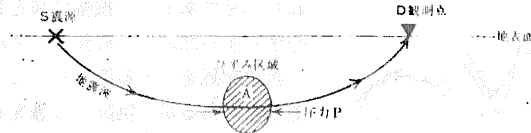
くわしいことは次号以下にゆずることにして ここでは結果を理解していただくのに骨子となる基本的なことを説明しておこう。この実験は「大地震の前で 震源域を通過する地震波の速度が変化する」という考え方に基礎をおいている。第1図で 地下のある領域Aになんらかの原因で圧力Pがかかり 徐々にひずみがたまっていく過程を考えてみよう。Aをつくっている物質(岩石)は弾性率が変化し その結果そこを通過する地震波の速度を変化させることになる。地震とは とりもなおさず 圧力がかかってひずみが蓄積され それがその岩石の強度限界を越えて破壊するとき たくわえられていたひずみエネルギーが 波動エネルギーとして放出される現象なのである。ひずみが変われば地震波の速度が変わることはすでに分かっているので 地震波の速度の時間的変化を追跡していけば ひずみの時間的変化がわかり それが地震予知の有力なデータになると考えるわけである。そこで実験のやり方としては この領域AをはさんでSから人工的に地震波を送り出してやり Oで観測するというやり方がある時間間隔(たとえば半年あるいは1年など)をおいて繰返してやれば 時間的変化がとらえられることになる。もちろん S

とOは同じ位置に固定しておかなければならない。また 人工地震としては火薬爆発を利用する。

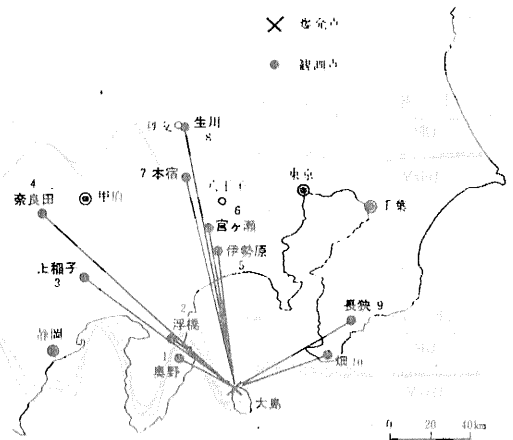
このような方法を 大地震の発生が予測されるような地域に適用して 予知に役立てようというのがこの研究のねらいである。しかしこの種の実験は地震国日本でも初めての試みであり 世界的にもあまり例がないのではたして変化が観測可能な量であるかどうか どのような観測方法が最適であるかなどまだ解明すべき課題は実に多い。以上のような状況のなかで 最初のフィールドとして関東地方南部が選ばれた。ここで確立される技術と方法が将来他の地域へも拡大されていくことになるわけである。

人工地震を発生させるための爆発点と観測点の配置は第2図の通りである(この中には東大地震研究所の観測点も含まれている)。爆発点は伊豆大島の北端 乳ヶ崎で 毎回直径10cm 深さ約50mの爆発孔を2孔掘り 約500kgの火薬を爆発させる。発生した地震波は 相模湾の地下を伝わって本土側に設置された地震計によってキャッチされ 磁気テープに記録される仕組みになっている。爆発の瞬間の時刻と地震波の到着時刻がわかれば 爆発点から観測点まで波が伝わるのに要する時間(これを走時という)がわかる。直接観測にかかる量はこの走時で 速度はこの値を使って計算される。

さて 実験は昭和42年度からスタートしたが 現在までに行なわれた観測は 次の3回である。

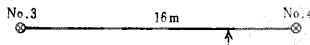


第1図 地震波の速度変化を検知するための実験の原理を示す模式図

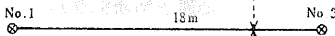


第2図 爆発点×と観測点●の位置図  
観測点 No.1 No.6 No.9 No.10 は地震研究所の観測点

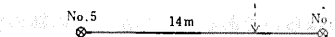
1969  
① 549kg  
② 499.5kg



1968 490kg

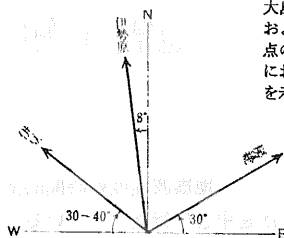


1970  
① 549kg  
② 499.5kg



第3図

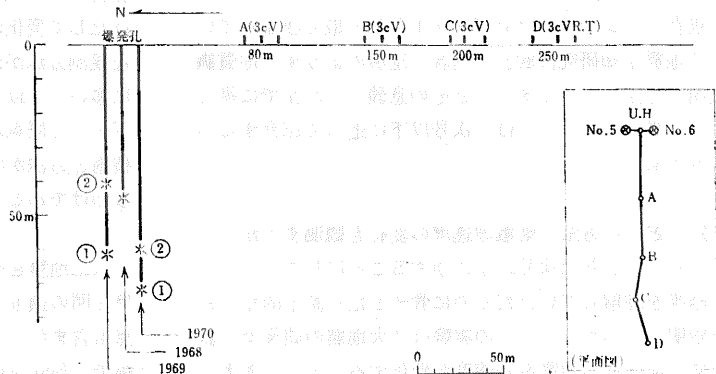
(a)  
大島北端の爆発孔の平面図  
および爆発点からみた観測  
点の方位。①②は各年度  
における爆発順序と爆薬量  
を示す



(b)  
爆発点近傍における地震計  
の配置と爆薬の深度  
\*印は爆薬の下底の位置  
①②は各年度における爆発  
の順序を示す

- 第1回目 昭43・3・18 (1回爆発)
- 第2回目 { 44・3・8 (2回爆発)
- 44・3・12 (2回爆発)
- 第3回目 { 45・3・11 (2回爆発)
- 45・3・15 (2回爆発)

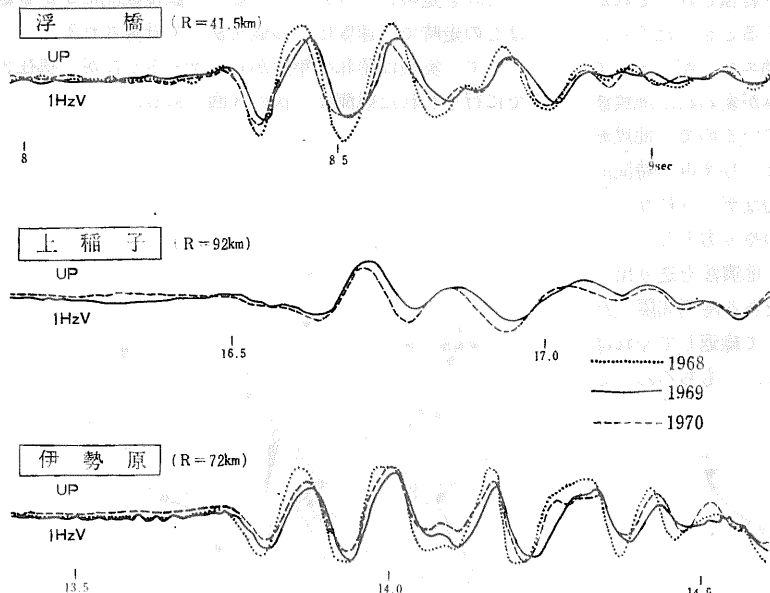
2回目から 4日間において2回爆破地震を起こしているが これは観測点の数を増すのがねらいである。爆発孔の配置 深度 火薬量などを第3図(a) (b) に示してある。この図には爆発点からみた本土側観測点の方位と爆発点近傍に設置した地震計の位置も示してあるが くわしい説明は今回は省略する。爆発孔は一度に2孔とも使い ほぼ等分に火薬を詰めて爆発させるが 崩壊して浅くなるので2回までが使える限度である。先にも述べたように



爆発点は動かさないのが理想であるが それが不可能なので毎年孔の位置を約10mずらして掘っている。

### 3. 地震波速度にどのような変化が現われたか

さて このようにして大島で爆破により発生した地震波動を各観測点で記録し 年度ごとに重ね合わせて描いてみたのが第4図である。この図は観測点 No. 2 (浮橋) No. 3 (上稲子) No. 5 (伊勢原) の記録であるが 波の形が非常によく似ているのには驚ろかされる。いずれも固有周期1秒の上下動成分の地震計で記録したもので 後で述べる爆発点の位置のずれによって生ずる走時を補正した後 爆発時刻を基準にして重ね合わせてある。振幅は図を見やすくするために 磁気テープから再生記録をつくる際にだいたいそろえてあるが 実際には爆発孔 深度 周囲の地質 火薬量 火薬

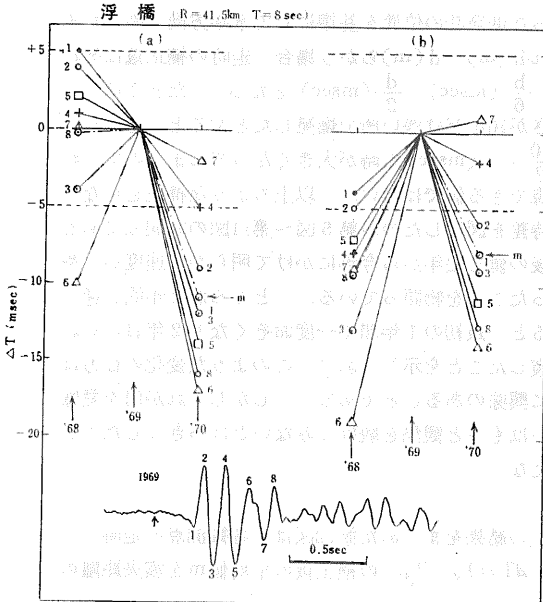


第4図 観測点 No. 2 (浮橋) No. 3 (上稲子) No. 5 (伊勢原) における固有周期1秒の上下動地震計による記録の初動部分の比較  
振幅は図をみやすくするためそろえてある。浮橋 上稲子は伊豆半島側 伊勢原は 北方向の観測点。Rは震央距離 Vは上下動成分を表わしている

のきき方などの爆破条件によってかなり異なることがわかっている。対応する波の山谷の到着時刻の微妙なずれに注目していただきたい。このずれが次に述べる走時の変化 すなわち速度の変化したことを表わしているのである。

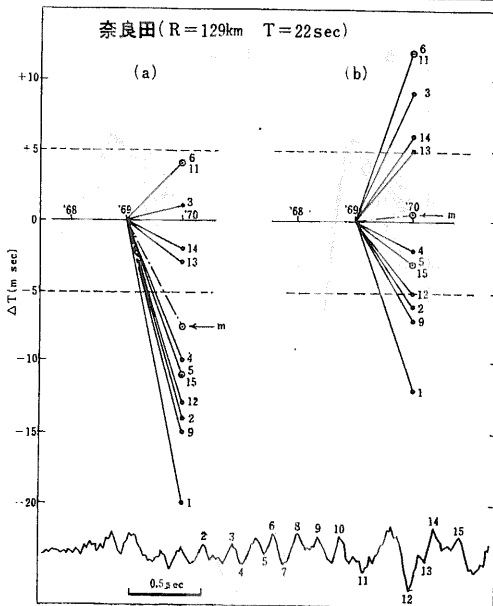
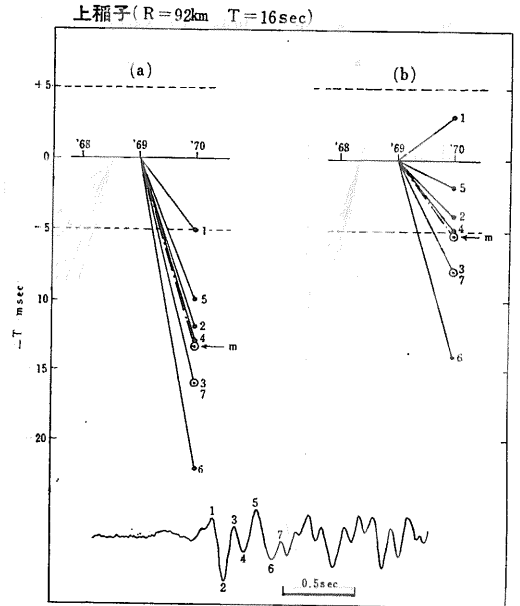
それでは次に走時の変化をどのようにして計算するかその手順について述べよう。まずはじめに地震波の記録から第一番目の山谷 第二番目の山谷……といった順序でそれぞれの到着時刻を読みとり走時を計算する。これらの走時からある年を基準にしてそれか

らのずれを計算してやればこの値が走時差すなわち走時の時間的变化を表わしている。ここでは第2回目(44年)の走時  $T_{44}$  を基準にして 走時差  $\Delta T$  ( $T_{48}-T_{44}$ ,  $T_{45}-T_{44}$ ) を計算することにした。このようにして対応する山谷の走時差を計算した結果を示したのが第5図～第11図の左側(a)の図である。点線で示した  $\pm 5$  msec ( $1 \text{ msec} = \frac{1}{1000}$  秒) の範囲は観測誤差の限界を表わしている。番号は下に描いてある記録に付した山谷の番号に対応する。かなりばらついているがこの原因は主として短周期の妨害波(ノイズ)の影響による



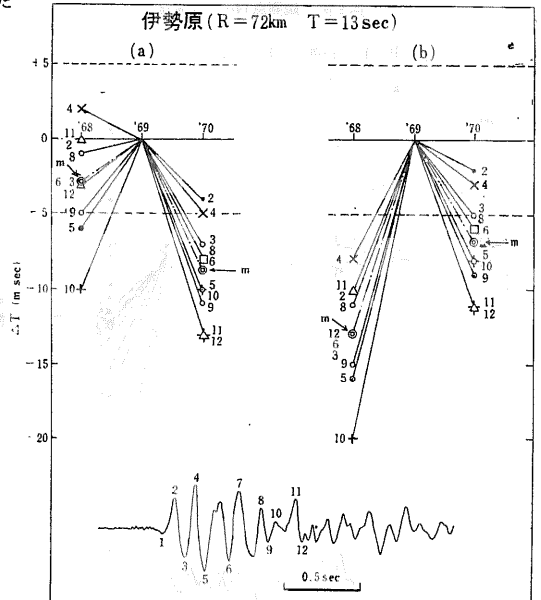
第5図 観測点 No. 2 (浮橋) における走時差の経年変化。44年を基準にとって  $\Delta T_{48} = T_{48} - T_{44}$ ,  $\Delta T_{45} = T_{45} - T_{44}$  を計算した。縦軸は走時差 横軸は年度を表わす。(a)は爆発点位置の補正前 (b)は補正後の値 m は平均値  $\pm 5$  msec の範囲は観測誤差の限界を示す。マイナスは走時が小さくなりしたがって速度がはやくなったことに相当する (R は震央距離 T は初動の概略の走時)

第6図 観測点 No. 3 (上稲子) 第2回目(44年)から観測を開始した



第7図 観測点 No. 4 (奈良田)

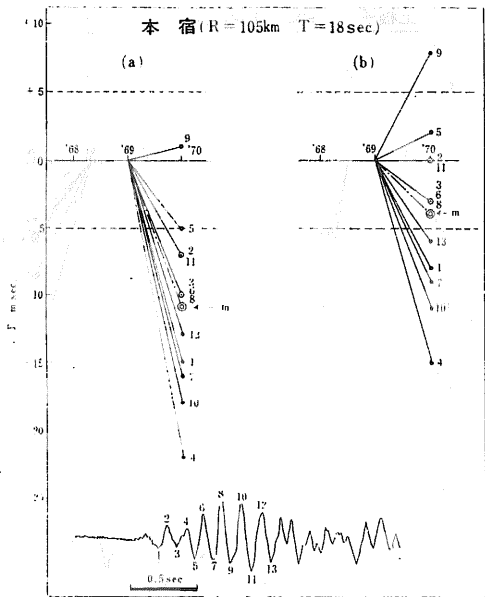
第8図 観測点 No. 5 (伊勢原)



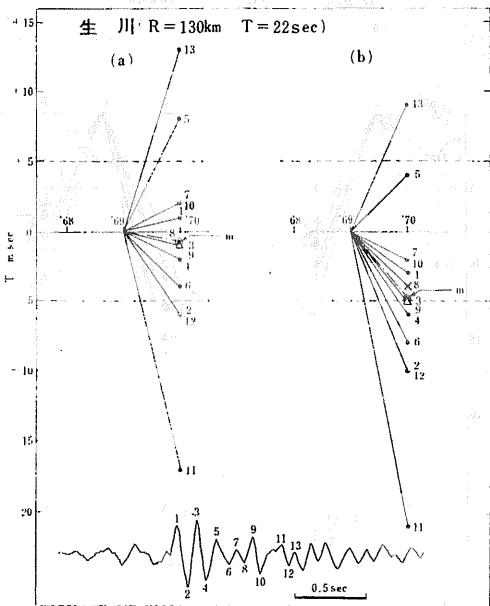
ものである(なおこのグラフの中で第1回目(43年)のデータがない観測点は第2回目以降に観測を開始した点である)。ノイズはランダムと考えられるので走時差のパラツキもランダムとみなして平均値を計算した。鎖線で結んだ矢印mの点がそれである。一見して気のつくことは第1回目と第2回目ではほとんど変化していなかったかあるいは変化しても誤差の限界内であったものが第3回目になって急に、変わったことである。走時差がマイナスの値になることは走時が小さくなったことを示したがって速度がはやくなったことを意

味している。この変化量は非常に大きいので種々検討した結果爆発点の位置がずれることによって生じる走時の量が影響しているのではないかとということになりこの値を補正することにした。火薬を装てんする位置すなわち水平および深さのちがいがわずかではあるが走時に影響を及ぼし特に深さのちがいは無視できない。ここでは深さのちがいによる走時の補正は爆発点近傍の観測から速度を2 km/sec 水平方向については成層構造を仮定し問題にしている地震波の通過する最下層の速度を6 km/secとして計算した。したがって44年に使った爆発孔の位置を基準にして水平方向深さがそれぞれh(m) d(m)ちがう場合走時の補正量はそれぞれ  $\frac{h}{6}$  (msec)  $-\frac{d}{2}$  (msec) となる。たとえばいま深さが10mだけ浅い所で爆発したとするとそれだけで  $\frac{10}{2} = 5$  (msec) 走時が大きくなってしまいますのでこれは無視できる値ではない。以上のような補正を行なった走時差を図示したのが第5図~第11図の右側(b)である。補正後の値も去年から今年にかけて明らかに速度がはやくなったことを物語っている。ところが2年間を通してみると最初の1年間で一度おそくなり2年目にそれを回復したことを示しておりこのような変化の仕方は非常に興味のあることである。しかしこれが何を意味するかはもっと観測を続けてみないとはっきりしたことはいえない。

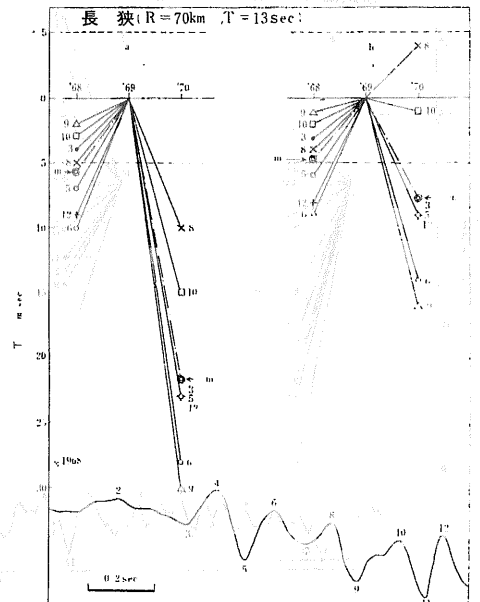
以上の結果をまとめた第12図は各観測点の走時差のうち  $4T = T_{45} - T_{44}$  の補正後の平均値mを震央距離の



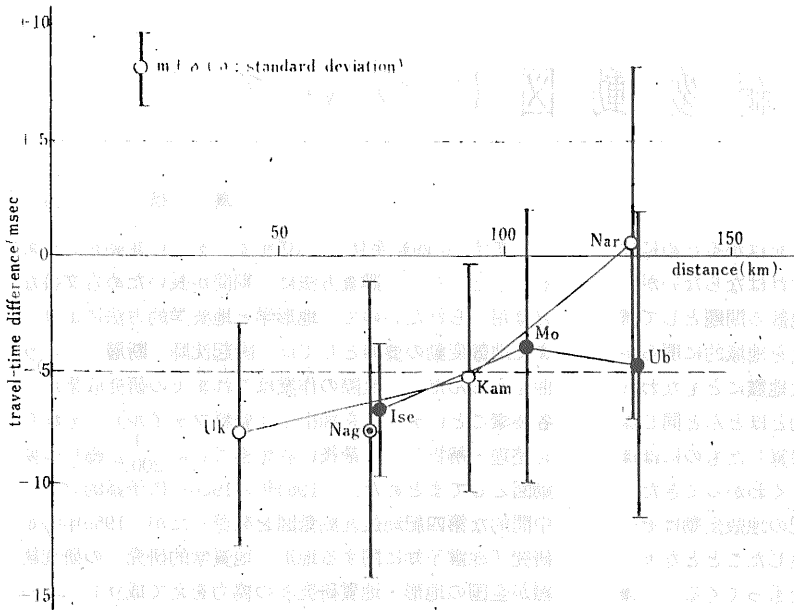
第9図 観測点No. 7 (本宿)



第10図 観測点 No. 8 (生川)



第11図 観測点 No. 9 (長狭)



第12図

各観測点における走時差の平均値の比較  
44年を基準にした場合の45年の変化を表わした  
もの。走時差がマイナスの場合は速度  
がはやくなったことに相当する。各観測点  
の棒線の長さは  $m \pm \sigma$  ( $m$  は平均値  $\sigma$  は標  
準偏差) を  $\pm 5$  msec の点線の範囲は観測  
誤差の限界を表わしている。

- 印は 伊豆半島方向
- 印は 北方向
- ◎印は 房総半島方向の観測点

いまわれわれが考えている範囲では  
4P は深さによらず一定と仮定すれ  
ば、速度の変化率  $\frac{\Delta v}{v}$  は P に逆比  
例し P が小さい時 (これは地下の浅  
い所に相当する)  $v$  も小さいので  
 $\frac{\Delta v}{v}$  は大きな値をとる。このと  
き(1)式から走時差  $\Delta T$  も大きな値  
をとることがわかる。

(1) (2)式を組み合わせて走時の変  
化から速度の変化をさらに地殻内

でのストレスの変化量を見積ることも一応は可能である。  
しかしながら(2)式の比例定数を実験的に決めた例はきわ  
めて少なく、今後の課題の一つとして残されている。

これまで述べてきたような  $\frac{1}{1000}$  秒のオーダーの時間  
変化を問題にする場合、地震波の伝播経路にそった地下  
構造がわかっていないことがデータの解釈をひどく困難  
なものにしてしまっている。この点についても機会を  
あらためて詳述したいと思っているが、ここでは地殻構  
造の解明はあらゆる地球科学分野の基礎として今後ま  
ず重要視されねばならないことを強調しておきたい。

はじめにお断わりしたように、今回はわれわれのグル  
ープが行なってきた実験のうち一部の注目すべき結果に  
ついて紹介した。順序としては逆になってしまうが  
次号以下に地震予知研究計画の進展と内容など全体的な  
ことも含めて、われわれグループの研究活動を順次紹介  
していきたいと考えている。

謝 辞：

この観測を実施するにあたり、深いご理解とご協力をいた  
だいている下記の機関と関係者の方々に心からお礼申し上げる。

大島町役場 東京都大島支庁 大島警察署

またこの実験の当初より独自の立場で観測に参加され、毎回  
データを提供していただいている東大地震研究所の関係者の方  
々に深く感謝する。最後に地質調査所の一員として第2回目以  
降、この実験に参加されご協力いただいている国立防災科学技  
術センターの方々に感謝の意をささげる。これらの方々を含  
む非常に多くの関係者の協力と共同の上になわれわれの研究はな  
り立っていることを忘れることはできない。

(文責：物理探査部 飯塚 進)

順にプロットしたもので、棒線の長さは  $m \pm \sigma$  ( $\sigma$  は標  
準偏差) を示している。2回目(44年)にくらべて3  
回目(45年)は No. 2 No. 5 No. 9 など爆発点に近  
い観測点で7~8 msec 走時が小さくなった。すなわ  
ち速度がはやくなったことになる。震央距離100km以  
上の観測点では、約5 msec 走時が小さくなっているが  
この値は誤差限界内とみなさざるを得ないだろう。

全観測点で走時の変化が同じ傾向に出るのはいささか  
気になるところで、あるいは補正が完全でないことを示  
しているのかも知れない。しかしながら、走時差がす  
べて爆発点のみに起因するのであれば、全観測点に同じ  
影響を与えるはずであるから、やはり速度が変化して  
いるとみるのが妥当であろう。

次に爆発点に近い観測点で走時差が大きい。その理  
由は次のように説明できるであろう。近い観測点で初  
動として観測される波は、遠い観測点よりも浅い層すな  
わち速度のおそい層を通過してきた波と考えられる。い  
ま速度変化が波の通過する経路全体にわたって生じたと  
仮定すると、走時は  $T = \frac{x}{v}$  ( $x$  は震央距離  $v$  は速  
度を表わす) であるから、走時の変化は対数微分して

$$\frac{\Delta T}{T} = - \frac{\Delta v}{v} \quad (1)$$

となる。

一方、岩石試料を用いた高圧実験の結果によると、圧  
力 P と速度との間には次の関係が近似的に成り立つ。

$$\frac{\Delta v}{v} \propto \frac{\Delta P}{P} \quad (2)$$