



Title	4. 1957年の夏に下川鉱山で行った地震探鉱の解析結果
Author(s)	田治米, 鏡二; TAZIME, Kyozi; 高田, 雄次 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 6, 25-34
Issue Date	1958-12-17
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.6.25">https://doi.org/10.14943/gbhu.6.25</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13815">https://hdl.handle.net/2115/13815</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6_p25-34.pdf



## 4. 1957年の夏に下川鉦山で行った地震探鉦の解析結果

田 治 米 鏡 二 ・ 高 田 雄 次\*

(北海道大学理学部地球物理学教室)

一昭和33年7月受理一

### I. ま え が き

従来、金属鉦山に於いて地震探鉦が行われた例は極めて少ない。地震探鉦は主として石油、石炭地帯の構造調査及び土木用基盤調査に対して行われている。金属鉦山に於いて地震探鉦を行うに就ては次の2つの決定的に不利な点が予想される。

(i) 金属鉦体そのものは、電気探鉦等の場合とは異なり、周囲の岩石と比較して特に著しい弾性学上の差異を示さない。

(ii) 若しも金属鉦体と周囲の岩石との間に或程度の弾性定数の違いがあつても、金属鉦体そのものの規模は一般の地震探鉦の対称とするには小さすぎる。

そもそも物理探鉦の中で地震探鉦は特に構造調査に適しているのであつて、鉦物の性質自体は何も観測に現われて来ない。故に金属鉦体そのものの検出は一応あきらめて、金属鉦体を持つていると考えられる構造探査に地震探鉦の焦点を絞ることにしよう。斯の如き譲歩しても尚且つ次の如き難点が予想される。

(iii) 金属鉦山は一般に地形が極めて複雑である。これに応じて、問題にすべき地下構造も極めて複雑であると考えられる。

(iv) 土木用基盤調査では表層の土をはぎとるのが主眼であるに対し、金属鉦山では先づ土をはぎとつた後に主要の任務が始まつて来る。

以上に述べた諸難点は何れも金属鉦山に地震探鉦を適用しうるか否かと云う問題に決定的な打撃を与えるに足るものであつて、とにかく容易ならざる隘路である。

これらの難点をいくらかでも救うために (i) に就ては P 波の速度のみを問題にする普通の解析法の他に、岩石の密度の違いを論じる解析法が試みられたこともある<sup>1)</sup>。然しこの方法は観測法にも解析法にもかなりの名人技を必要とするので、未だに普及するに至っていない。

(i), (ii) の難点を突破するのは直接的な探鉦法であり、(iii), (iv) の難点を切り抜けるのは間接的な探鉦法と称することができる。地表での一般の観測法では (iii) に活路を見出さねばならぬ。このためには予め鉦山地質学的見地から、鉦体と地質構造との関係が余程よく調べられていなければならない。

\* 現在の勤務先、防衛大学物理学教室。

1) 佐々憲三・河野広五郎；三成分微動計による地下探査。応用物理，8 (1939)，247。

## II. 下川鉾山における地震探鉾の計画

幸いにして、下川鉾山では銅鉾体とそれを含む構造との関係が、電気探鉾をもとり入れた鉾山地質学上の見地から既に非常によく調べられている。その結果下川鉾山では slate と diabase との境界面が最も重要視されているのである。この境界は下川鉾山附近では大体南北に走り、境界面の地表との傾斜は最大  $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$  と云つた急傾斜である。然もこの境界面は地表に露出していない処の方が多いので、今迄の探査では電気探鉾によつて非常な成果を挙げて来たのである。かくの如く、かぶりが比較的少ない地帯に就ては、地質調査、電気探鉾及び試錐ボーリングの3者が1体となつて、殆んど探査しつくしたかの如き感がある。

然るにかぶりの厚い地帯に就ては電気探鉾法の能力を越えていると思われるので、地震探鉾で slate と diabase との境界を検出しようか否かが問題になつて来たのである。

上に述べた如く、鉾山地質学の熟練者及び地震探鉾と同じく物探の一部である電気探鉾の熟練者が特に下川鉾山の鉾山地質の特長を熟知した上で、地震探鉾の採用を計画した。これを地震探鉾の担当者側から云えば、この様なお膳立があつて始めて、上述 (iii) の難点を或いは押し切れるかもしれないと云う見込が得られた訳である。かくの如く、地震探鉾を実施するに当つては、地震探鉾の受け持つべき役割を具体的に絞り上げることが最も大切である。地震探鉾の結果に就て述べるに先立ち、筆者等は特にこのことを強調しておきたい。

## III. 地震探鉾の実施

普通の地震探鉾法によつて2種の層の区別をすることが可能であるためには、夫々の層に固有な弾性波の速度比が1よりもかなり違つていなければならぬ。従つて下川鉾山附近の slate の内と diabase の内とで弾性波の速度がどれ程異なつているかが第一の問題である。次に diabase の上には slate の他に agglomerate とか andesite とかをかぶつている処も多いと考えられるので、これらの層内の弾性波の速度がどれ程になるかが問題である。

これらの岩石は何れも極めてもろい状態にあるので、標本を採つて実験室内で弾性波の速度を測定するには不向である。

故に今回は先づ坑内及び通洞内で、これらの岩層が露出している個所を選び、各岩層内の弾性波の速度を測定した。

次に坑外で slate と diabase との境が大体判明している場所を3ヶ所選び、この境が地表に於ける地震探鉾の測定結果から検出できるか否かを試験したのである。

使用した機械は秋大鉾山学部所有の E.T.L 製 PRA 1-12 型地震探鉾器<sup>2)</sup>である。上下動のみを観測した。

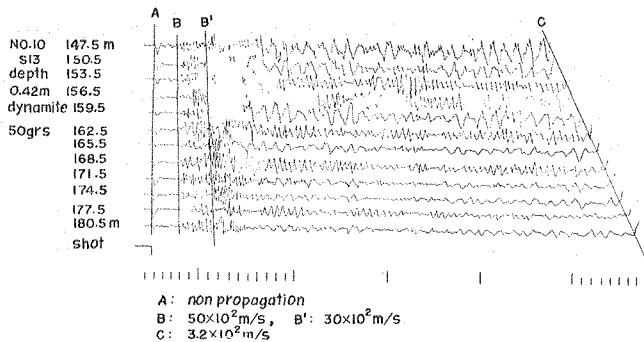
2) 田治米鏡二； E.T.L 地震探鉾器 (PRA 型) の性能試験について。秋大地研報告, 12(1954), 15.  
田治米鏡二・狐崎長良； 同上 (続)。秋大地研報告, 13(1955), 39.

測線の選定は下川鉱業所金子盈、賀来秀三及び秋田大学山下四郎、北海道大学田治米鏡二等が相談して行つた。

観測は主として秋田大学乗富一雄及び上田康熙が担当し、発破は下川鉱業所の火薬責任者が担当した。

#### IV. seismic records 所見

1) 坑内 S13 号 S27 号で観測した seismic records の 1 例は夫々第 1 図及び第 2 図に示すとおりである。

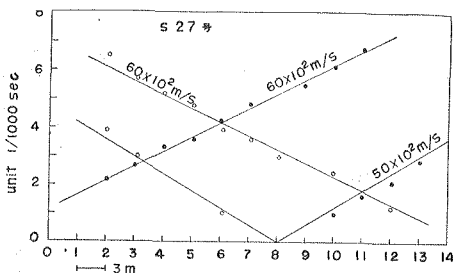


第 1 図 坑内 S13 号で観測した seismic record  
A seismic record observed at the position of S13 in the mine.

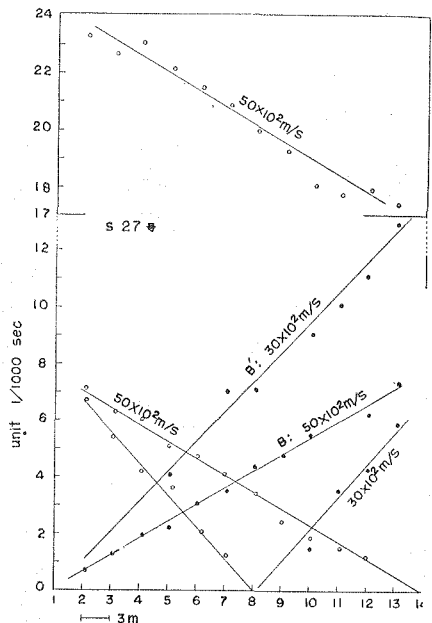
S27 号に於ける seismic records は初動以後を振り切つているので、初動以後の wave form を見る事ができぬ。初動の走時 plot を作ると第 3 図の如くなる。この様に大きな速度の観測に対しては今回の如き短い測線では速度決定の精度は余りよくなりえない。然し地質構造上長い測線を同一層内で採り得なかつたので止むを得ないのである。第 3 図から P 波の速度を求めると次の如くなる。

$5 \sim 6 \times 10^3$  m/s for S27 号

S13 号の seismic records で初動以後を振り切



第 3 図 S27 号における初動の走時 plot.  
The time-distance plots at the S27.



第 4 図 S13 号における走時 plot.  
The time-distance plots at the S13.

つている場合は速度は  $5 \times 10^3$  m/s となる。然るに第1図の如く、初動以後の相も読とれる record に就ては初動の次に顕著に見られる相 (B') をも plot してみると、第4図に示した如く、速度は  $3 \times 10^3$  m/s である。故に

$3 \times 10^3$  m/s 及び  $5 \times 10^3$  m/s for S13 号

となり、この中のどちらが S13 号附近の層内の固有な速度か決めかねる。尤も S13 号も S27 号も同じく diabase 内の速度測定を狙って選んだ地点なので、diabase 内の P 波の速度は元来  $5 \sim 6 \times 10^3$  m/s であつて、特に風化のひどい場合に  $3 \times 10^3$  m/s となると解釈することもできる。即ち S13 号では  $5 \times 10^3$  m/s 層の上に極く薄い  $3 \times 10^3$  m/s 層があるのであろう。

序でながら第1図で A と記した相の伝播速度は無限大に近い。又何れの trace に就ても極めて似た波形である。以上の2点から考えて A 相は発破の際の induction current を捨つたものと思われる。

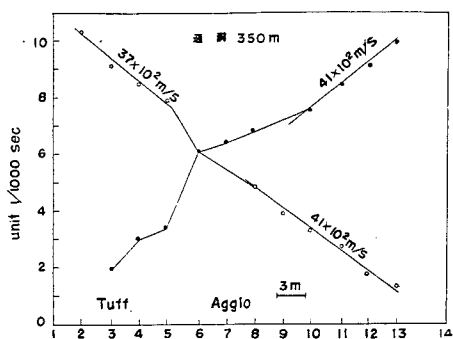
S13 号及び S27 号の seismic record は何れも大振巾で然も減衰の極めて少ない音波 (第1図, C 相) を記録している。又岩層を通つて来た波自身の振巾の距離的減衰も極めて小さいのが特色である。

2) 通洞内で観測した seismic records の数例を第5図に示す。これらの records を見て最も注意をひかれるのは通洞 (1300 m) 及び (1700 m) では振巾の減衰が極めて大きいことである。通洞内の他の場所ではこれらの2ヶ所程大きくはないが、それでも先に挙げた坑内の2ヶ所に比べれば減衰はかなり大きい。通洞内で得た records も全部初動以後を振り切つている。初動の走時 plot は第6~10図の如くなる。

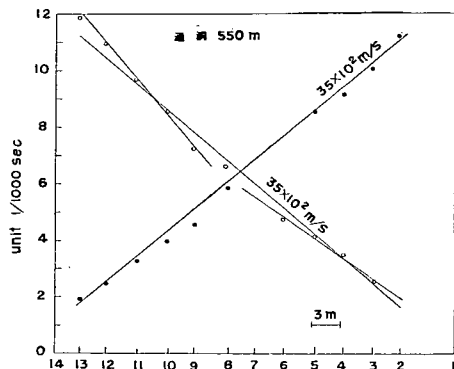
坑内及び通洞内に於ける数種の岩層内の P 波の速度の測定結果をまとめると第1表の如くなる。初動が岩層内を通つて来た弾性波であるとすればこの測定結果に関して解析上の問題は殆んどない。一応坑内及び通洞内の電線及び電車線路の影響が気になるが、geophone の配置の際に特に気を使つてこれらの影響を取除く様に工夫している。多くの場合、geophone は側

第 1 表

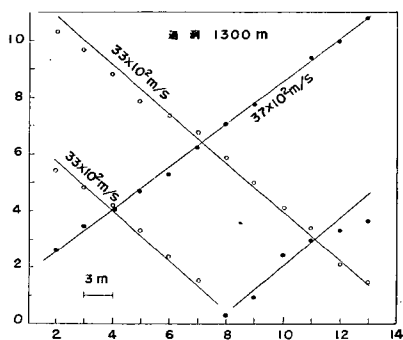
	測線名	岩質	速度 ( $10^2$ m/s)
坑内	S13号	Diabase	(30), 50
	S27号	Diabase	50~60
通洞	350 m	{ Tuff Agglomerate	41 37
	550 m	Andesite	35
	1300 m	Slate	30~40
	1700 m	Slate	30~40
	2040 m	{ Slate Diabase	30~40 50



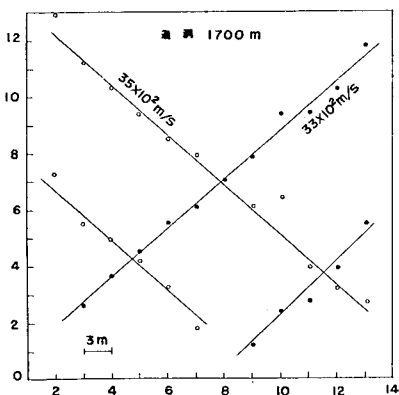
第 6 図



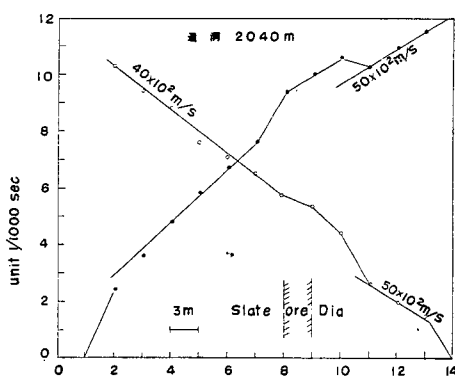
第 7 図



第 8 図

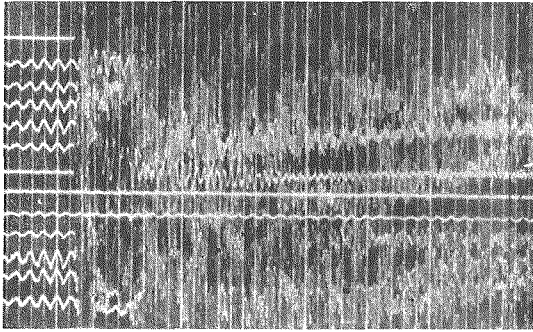


第 9 図

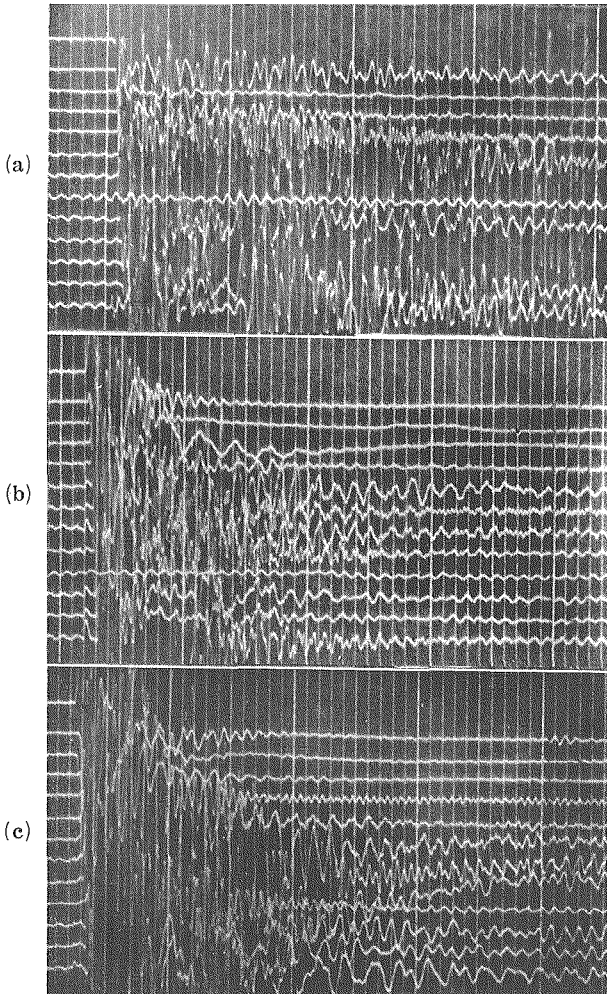


第 10 図

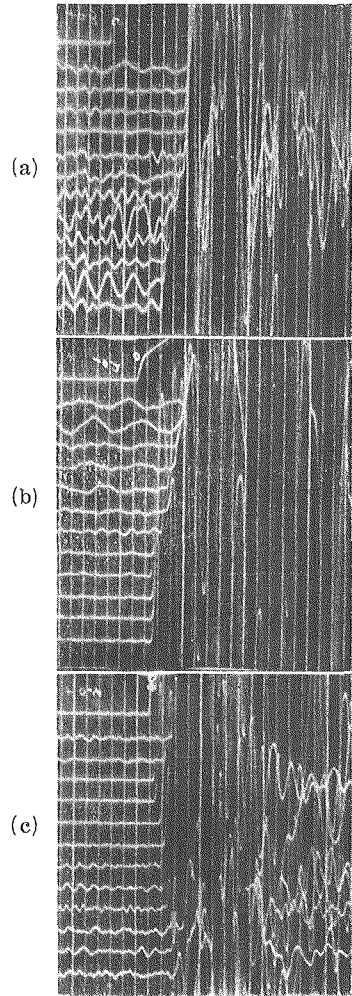
第 6-10 図 通洞内の走時 plot.  
The time-distance plots in the adit.



第 2 図 坑内 S27 号で観測した seismic record 刻時は 1/100 秒  
A seismic record observed at the position of S27 in the mine. Time marks indicate 1/100 sec.



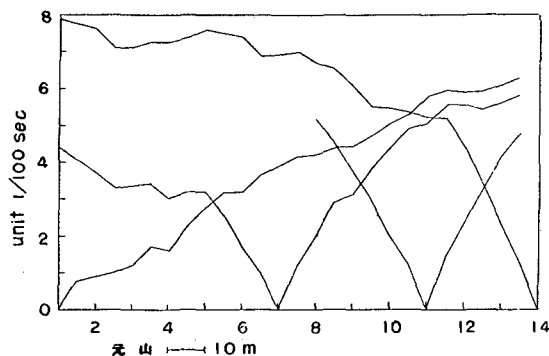
第 5 図 通洞内の seismic record.  
Seismic records in the transporting adit. (a), (b) and (c) indicate the distance from the entrance of the adit.  
(a) 350 m, (b) 1300 m, (c) 1700 m.



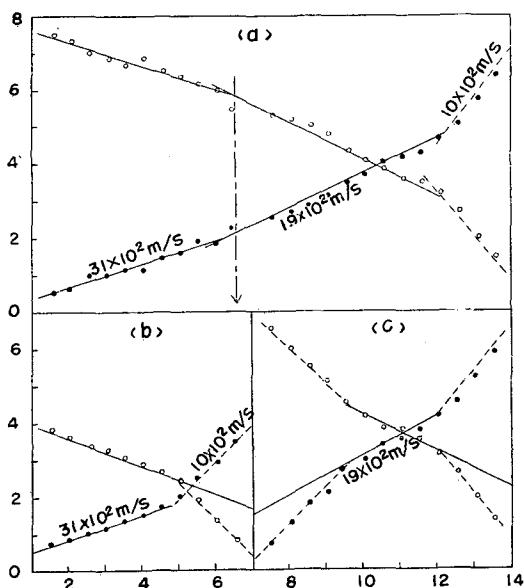
第 11 図  
(a) 元山, (b) 落合沢, (c) 五の沢  
(a) Motoyama  
(b) Ochiaizawa  
(c) Gonosawa

壁に穴をうがって、その穴に埋めて観測した。線路を伝わる弾性波の速度は測定しなかつたが、これは  $60 \times 10^2 \text{ m/s}$  よりも更に大きいものと考えられる。

3) 坑外で得た seismic records の数例を第 11 図に示す。今回は初動だけを使って地下構造の解析を行う方針であつたので、初動以後の相はよく見えない。従つて解析も当初の方針通り初動のみに頼ることにした。



第 12 図 元山測線の走時 plot.  
The time-distance plots at Motoyama.

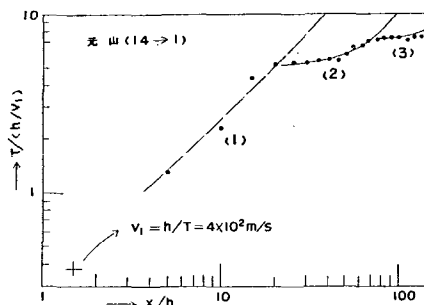


第 13 図 元山測線のはぎとり直線  
The straight line by the method of differences at Motoyama.

### V. 坑外の観測結果から解析した地下構造

1) 元山測線に於ける初動の走時 plot は第 12 図の如くである。この図を一見して想像される地下構造模型の第 1 近似は表土の下に右下りの岩盤がある 2 層構造である。然しこの図から直接更に近似のよい模型を作ることはできない。

故に「屈折法の解析に対する萩原の方法の拡張」<sup>3)</sup>を試みた。即ち地震波の経路の違いに意を止めず、とにかくすべての測定に就て「萩原のはぎとり直線」<sup>3)</sup>を作つてみた。これが第 13 図である。第 13 図の破線の傾斜は引用文献<sup>3)</sup>に依れば

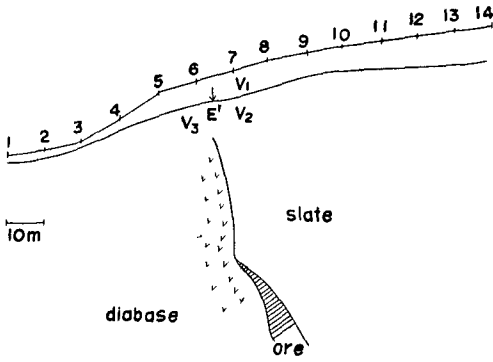


第 14 図 両対数目盛による  $v_1$  の決定  
Determination of  $v_1$ , considering of the focal depth.

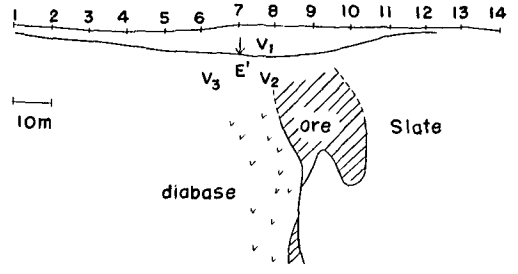
$2v_1$  に対応する可能性が強い。若しこの可能性を採用することにすれば、表層内の P 波の速度は  $v_1 = 4 \sim 5 \times 10^2 \text{ m/s}$  となる。一方第 12 図の右方の立上りは直接波の走時であると考えれば、 $v_1 = 4.3 \sim 4.7 \times 10^2 \text{ m/s}$  となる。このことは更に震源の深さをも考慮に入れて、第 14 図によつて

3) 萩原尊礼；物理探鉱誌、朝倉書店 (1951)。

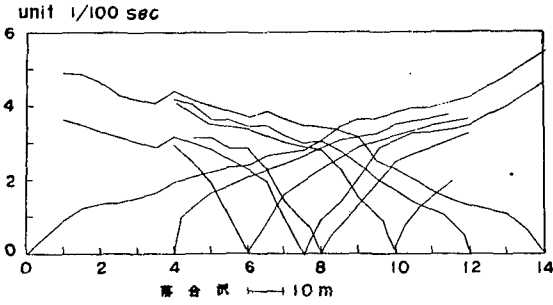
4) 田治米鏡二・武内俊昭；屈折法の解析に対する萩原の方法の拡張。物理探鉱, 11 (1958)。



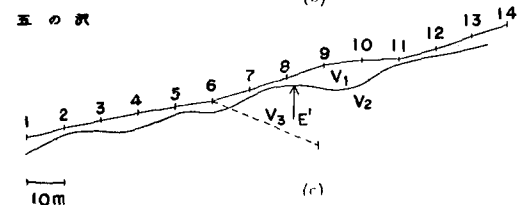
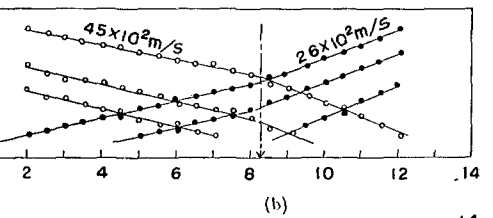
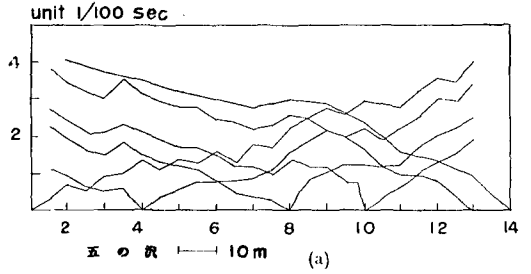
第 15 図 元山測線の地下構造  
The seismic model of the underground at Motoyama.



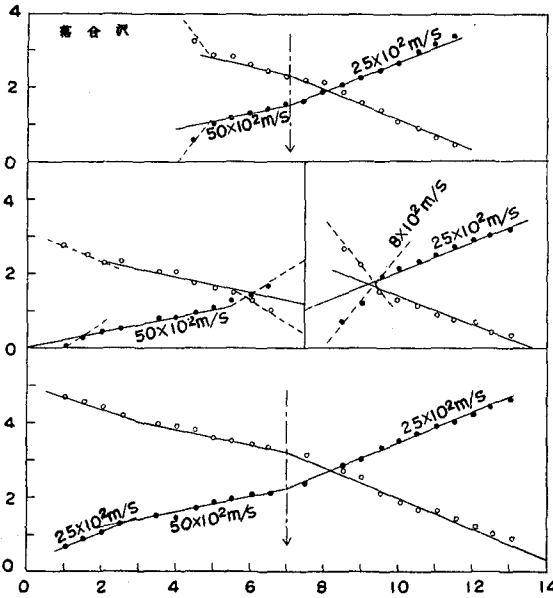
第 18 図 落合沢の地下構造  
The seismic model of the underground at Ochiaizawa.



第 16 図 落合沢の走時 plot.  
The time-distance plots at Ochiaizawa.



第 19 図  
(a) 五の沢の走時 plot.  
The time-distance plots at Gonosawa.  
(b) 五の沢のはざとり直線  
The straight line by the method of differences at Gonosawa.  
(c) 五の沢の地下構造  
The seismic model of the underground at Gonosawa.



第 17 図 落合沢のはざとり直線  
The straight line by the method of differences at Ochiaizawa.

確めることもできる<sup>5)</sup>。要するに上に挙げた  $v_1$  の2つの値はお互いによく一致している。故に第13図の破線部は直接波の影響を受けている部分である。すると同図の実線部は屈折波のみが観測されている部分であることも判明した。第13図(b), (c)では屈折波の速度は夫々  $31 \times 10^2$  m/s 及び  $19 \times 10^2$  m/s となり、お互いに異なるが、(a)図によればその境は測点6と7との間にあることが判る。以上の解析法によつて求めた元山測線の地下構造模型は第15図の如くなる。但し岩層の境に就ては今回の解析法では第15図のE'点が与えられるだけで、境界面の傾斜角は不明である。尤もこの傾斜角が  $10^\circ \sim 30^\circ$  と云つた緩いものでないことだけは第12図或いは第13図に依つて明らかである。何となれば、 $v_2$  層と  $v_3$  層との境界面を経路の一部とする屈折波は観測されていないからである。

2) 落合沢測線に於ても元山測線と全く同様な解析法を採用した。初動の走時 plot, はざと直線及びこれから得た地下構造模型を夫々第16, 17, 18図に示す。

3) 五の沢測線に就て同様なことを行つた結果が第19図(a), (b), (c)である。第19図(c)には地表からのボーリングが slate に達した位置をも記入してある。但しボーリングの方位と地震探鉱の測線の間とが  $30^\circ \sim 35^\circ$  位違つているので、ボーリングの斜距離は測線上では図に記入したものよりはいくらか短くなる筈である。然し吾々の解析法ではE'点が求まるだけで、 $v_2$  層と  $v_3$  層との境界面の傾斜角は求まつていない。故に吾々の解析結果とボーリングの結果とを余り厳密に比較することはできない。

第2表 単位  $10^2$  m/s

	落合沢	元山	五の沢
$v_1$	8.0	4.3	7.0
$v_2$	25	19	26
$v_3$	50	31	45

坑外に於ける速度観測の結果をまとめると、第2表の如くなる。

## VI. 結 論

第1表と第2表とを対比すると、落合沢及び五の沢の  $v_2$  は slate 内のP波の速度に相当し、 $v_3$  層は diabase に相当するものと考えられる。元山に於ては  $v_1$ ,  $v_2$  及び  $v_3$  の3つ共夫々他の測線における値より小さい。これは他の2測線はいづれも沢地であるのに反し、元山測線だけが山の尾根沿いであることと関係しているものと思われる。

元山に於ては全般的に速度が小さいのであつて、 $v_1$ ,  $v_2$  及び  $v_3$  の違い方は他の測線におけると同様に明瞭である。この点は元山に於ても  $v_2$  層と  $v_3$  層との境界を検出し得たことに大いに幸いしている。

第1表によれば tuff, agglomerate, andesite 及び slate 等に比し、diabase は最も大きい

5) 田治米鏡二; 初動の走時図に現われる震源の深さの影響. 秋大地研報告, 12 (1954), 9.

田治米鏡二; 同上 (2). 物理探鉱, 10 (1957), 179.

田治米鏡二・音田功; 同上 (3). 物理探鉱, 11 (1958), 1.

速度を持つている。又萩原の方法の拡張は地表の凹凸の如何に拘らず適用できる。今回は特に被りの厚くない測線を選んで実験したのであるが、今回の解析法は被りの厚さそのものとは何の関係もない。故に下川鉱山のもつと被りの厚い場所に於ても *diabase* と *slate* との境を検出する見込は充分にある。但し、問題は被りの厚さそのものにあるのではなくて、被りの中に *tuff*, *agglomerate*, *andesite* 等の種々な層が入り込んで来る可能性が多い点である。今回の被りは単なる土だけであつたので解析は極めて容易であつた。坑内からの地質観測によつて鉱山側で作られた地質断面を、地震探鉱から求めた地下構造模型に重ねてみると、第 15 図及び第 18 図の如く、夫々両者は極めてよく一致している。被りの構造がもつと複雑な場合にも果して今回と同じ様な好結果が得られるかどうか、これが実際問題としても、又解析法のテーマとしても次回の観測に期待される最も重大な点である。

境界面の急傾斜角度を量的に求めることは、実際的には不可能であると云う結論を得ている<sup>6)</sup>。

表面波の観測から上述の  $v_2$  層と  $v_3$  層との境を求める方法も考えられる。実際的にもかなり有効な手段の如くに予想されるが、初動以後の波形をも完全に捕えねばならぬので、観測に手間をとる難点がある。

この報文を作り得たのは秋田大学の観測陣がとられた *seismic records* を筆者等に整理させて下さつたお蔭である。筆者等はこのことに感謝すると共に、又この報文を作る機会を与え更に公表を許された三菱金属 KK に対しても謝意を表したい。最後に筆者等はこの報文に眼を通し、2, 3 の御注意を頂いた秋田大学山下四郎教授及び下川鉱業所金子盈地質課長に特にお礼を申し上げる。

#### 4. Results of Analyses due to Seismic Prospecting at Shimokawa Mine in Summer 1957.

By Kyozi TAZIME and Yuji TAKADA\*

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

It was the most important aim in this investigation to examine the possibility of finding the boundary line between the *diabase* and the *slate*. Velocities of compressional waves in various rocks, a *tuff*, an *agglomerate*, an *andesite*, a *slate* and a *diabase*, have been observed at first in the mine. The results are tabulated in Table 1. Then ordinary refraction shootings were tried at several testing places on the ground.

A new method of analysis<sup>3)</sup> has been developed for obtaining the subsurface model from the seismic data. Results of the analyses are illustrated in Figs. 15, 18 and 21. These results are shown to be correspondent very well with the geological construction already known by the geologists in the Mine.

6) 東山俊博・田治米鏡二；急傾斜な境界面の頭上を横切つている *spread* の走時曲線。物理探鉱に発表予定。

\* Department of Physics, Defence Academy.