

平成20年度 地球観測実習 構造探査班

臼井嘉哉・宮崎智詞

教官：平田 直・森田裕一・塩原 肇・飯高 隆

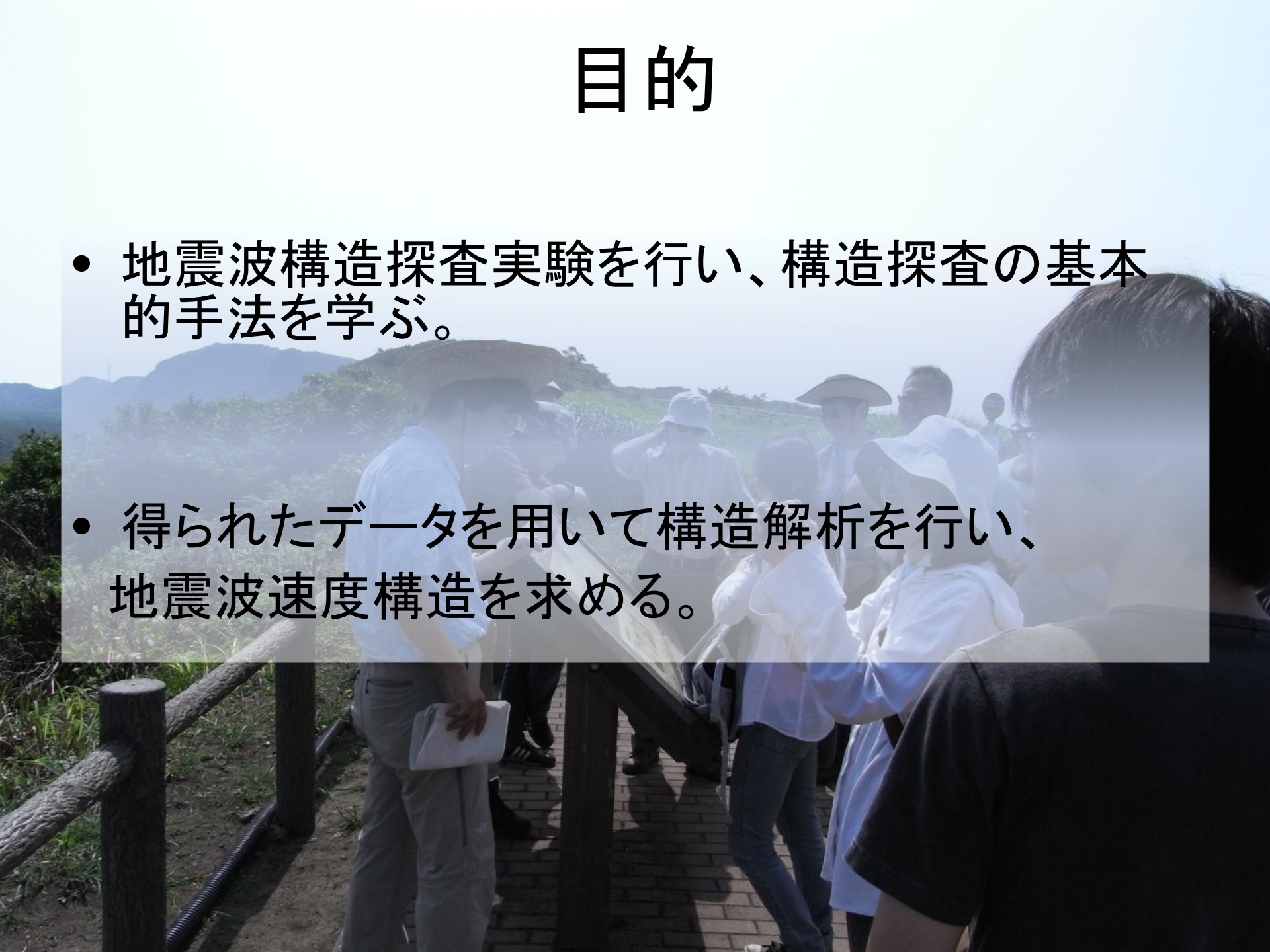
Mustafa Comoglu

目次

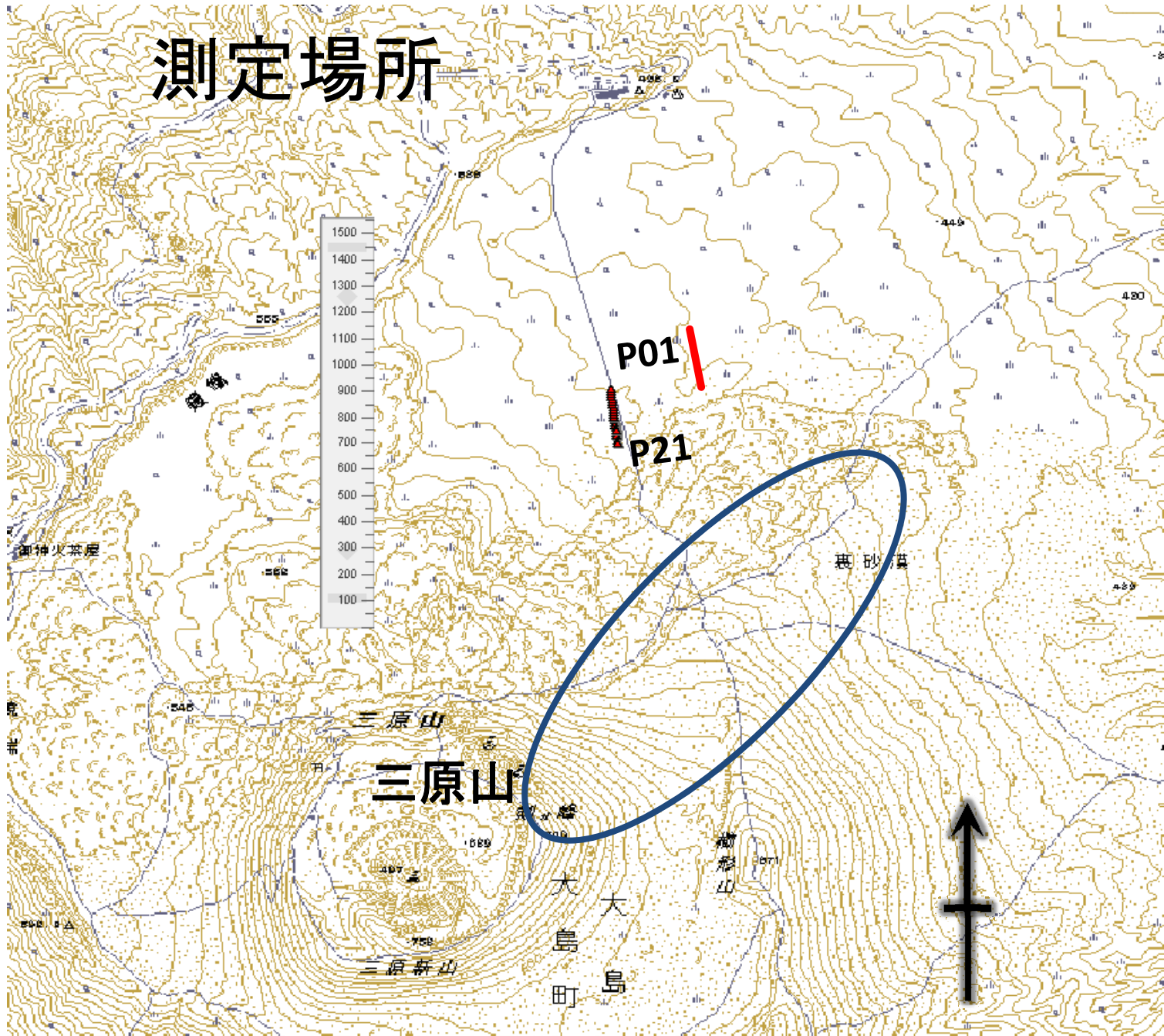
- 目的
- 観測の概要
- データ処理
- 結果(データ解析)
- 考察
- まとめ

目的

- 地震波構造探査実験を行い、構造探査の基本的手法を学ぶ。
- 得られたデータを用いて構造解析を行い、地震波速度構造を求める。

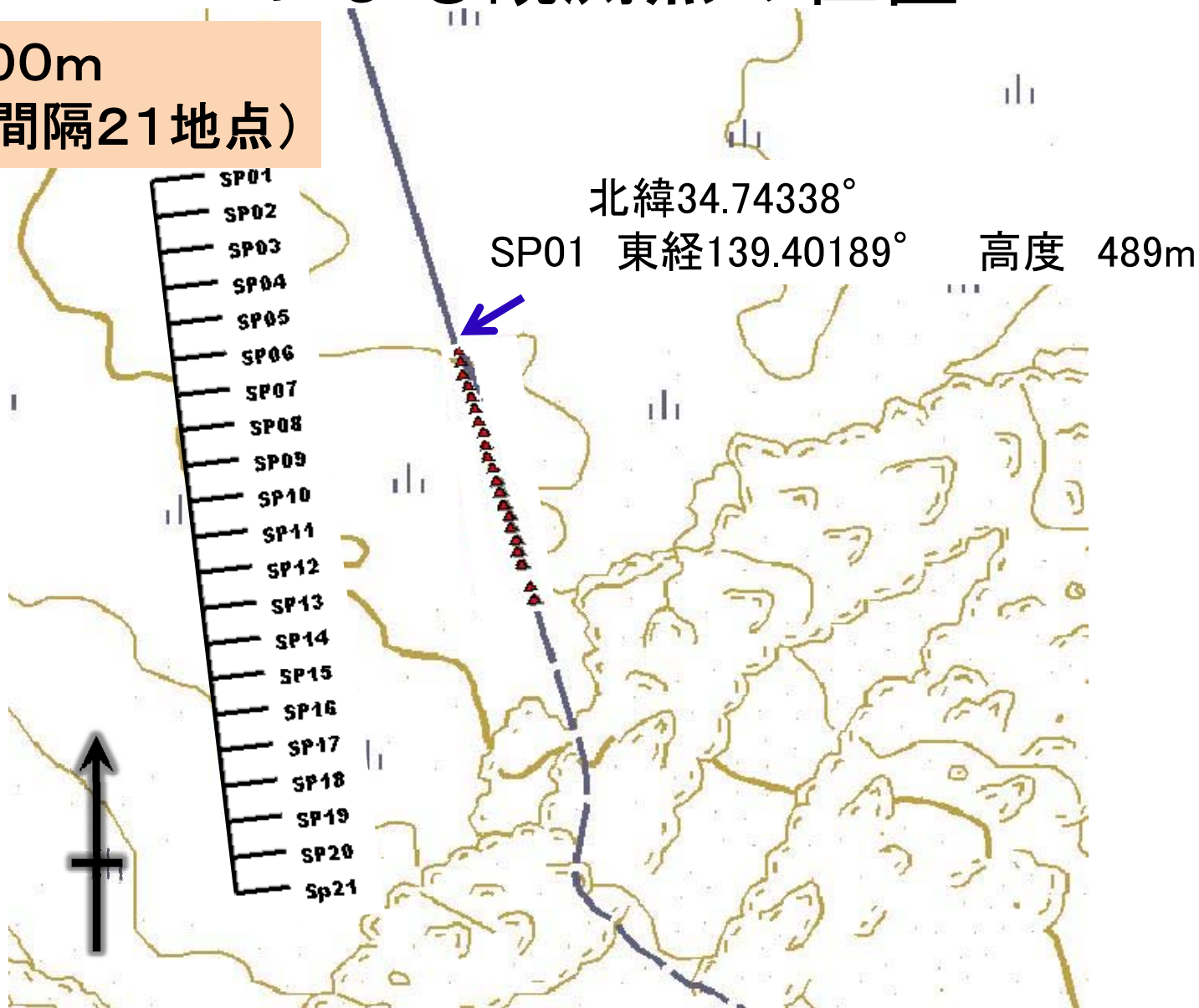


測定場所



GPSによる観測点の位置

測線200m
(10m間隔21地点)



観測手順

1. 地震波記録装置(ロガー)の設定
2. 装置の設置(N-S方向に10m間隔、21個)
3. 各地点近傍でハンマーで鉄杭を打ち、人工地震を発生させる。(各観測点で地震波、時刻、位置を記録) →図
4. 装置の撤収
5. 室内にてデータの回収、処理

1. 記録装置(ロガー)の設定

- ロガーに電池(単1、4本)を入れる。
- GPSから得た時刻をすべてのロガーに送る。
- 地震計のサンプリング周波数:1KHz



2.装置の設置（地震計、ロガー、GPSアンテナ）

- 水平な場所で南北に200mの測線をとる
- 10m間隔、21箇所の観測地点を決める
- 各地点に装置を設置
 - I. 地震計(センサー)を埋める
 - II. ロガーをセンサー付近に設置
 - III. ロガーにセンサー、GPSアンテナを接続して動作確認
 - IV. 野帳に観測点、装置の情報を記録



3. 人工地震の発生

- 地震計の近くに鉄塊を設置(少し埋める)
 - 鉄のハンマーで、鉄塊を打つ(10秒毎)
 - 各地点ごとに20回~40回行う
(測線の端と中間:40回、端に近い地点30回)
 - 測定場所、測定時刻(腕時計を使って)を記録
- ※測定中は、ノイズによる影響に考慮する。



4. 撤収

- 装置を撤収する(ロガーからセンサーを外す際、正常であったかを確認、記録)

5. データの抜き出し

- ロガーから、PCへデータを取り込む
(専用のボックスに入れ、ボックスからPCに接続)
- データを抜き出したロガーは、電池を抜いて回収

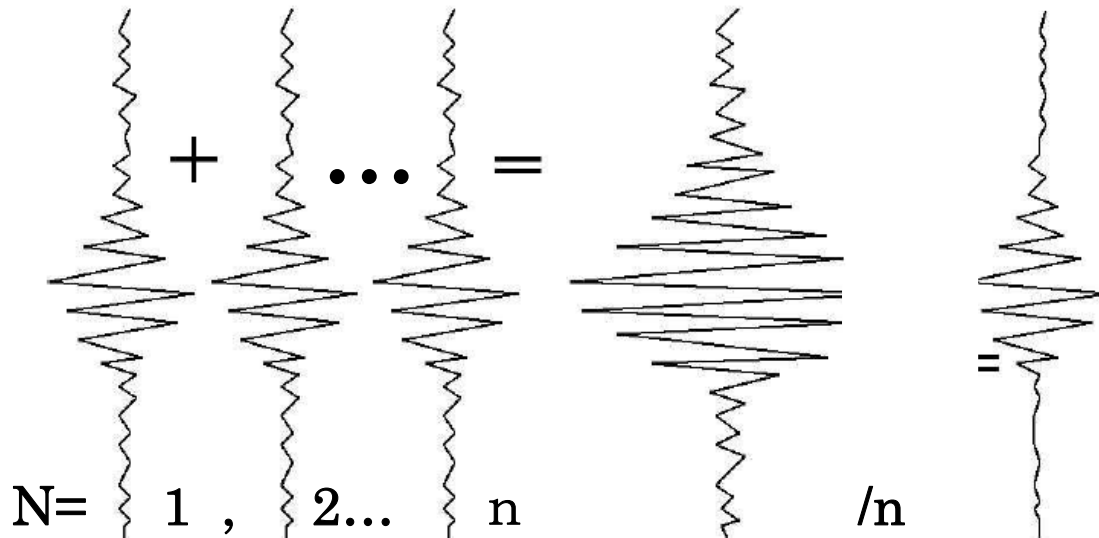


データ処理の手順

1. **人工地震発生時間の特定**
地震計で記録した波形と野帳の記録を照合
2. **波形データの切り出し**
ショット点の0.5秒前から3秒間
3. **スタック処理**
S/N (Signal/Noise) 比を向上させる為、波形データを選択しスタックする
4. **走時曲線の作成**
レコードセクションを作成し、さらにリダクションを行い、走時曲線を作成する
5. **地震波速度構造の計算**
屈折波の走時に関する式を用いて計算する

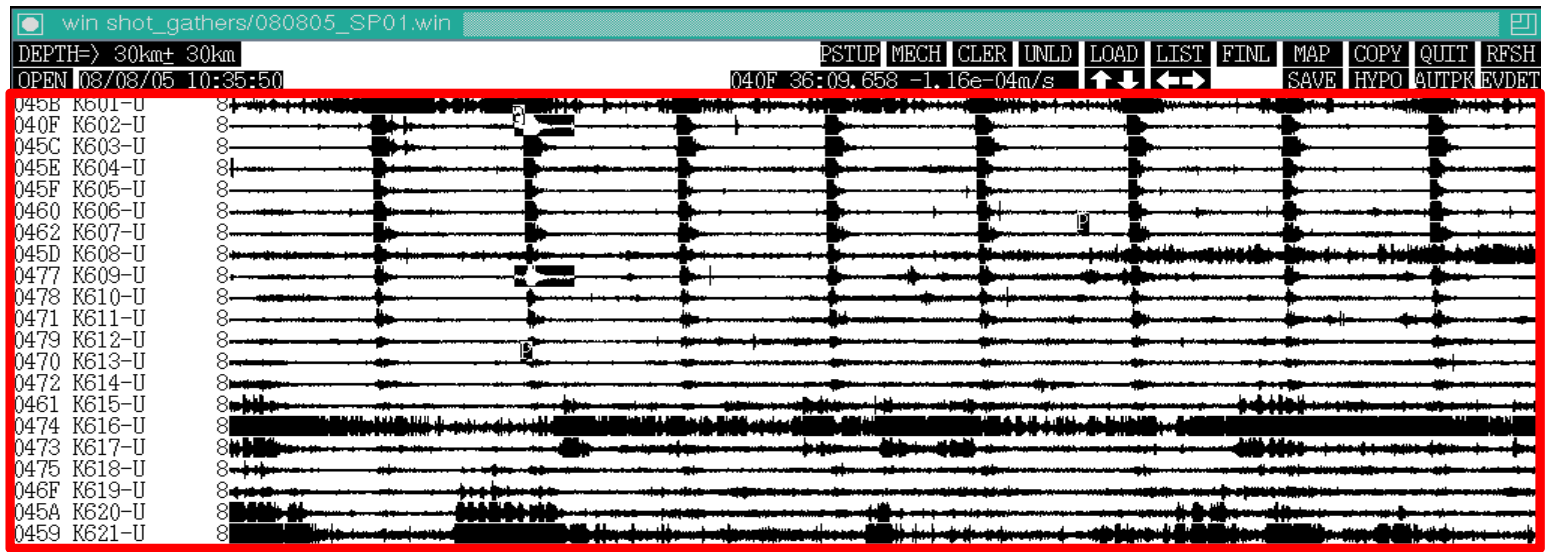
3. スタック処理

- 同じ地震計、震源 (SP) ごとに各ショットのデータを初動を重ね足し合わせ、データ数で割って平均を出す
 - 位相の違いにより、増幅または減衰されるため、波形の共通部分の増幅し、S/N比が向上する
(機器や無為なノイズをなくし、波形が見やすくなる)

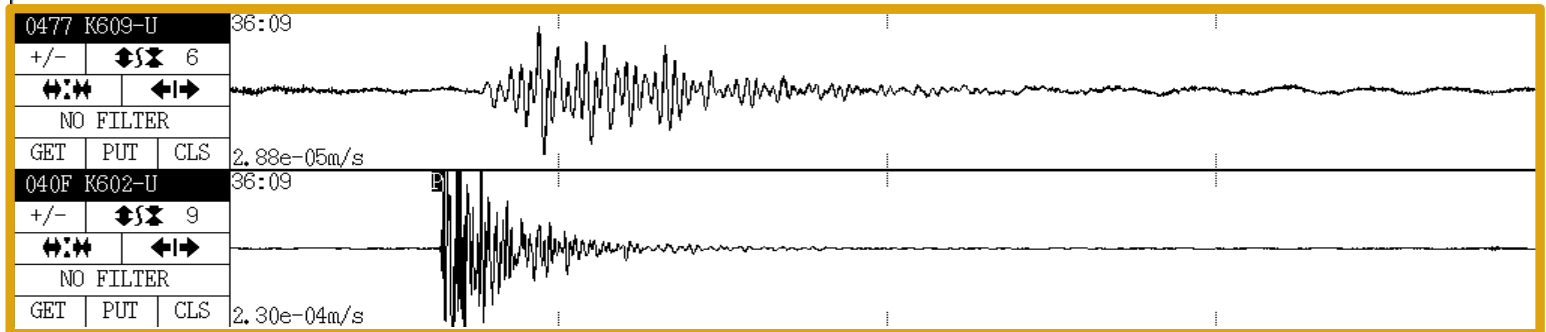


波形のチェック①

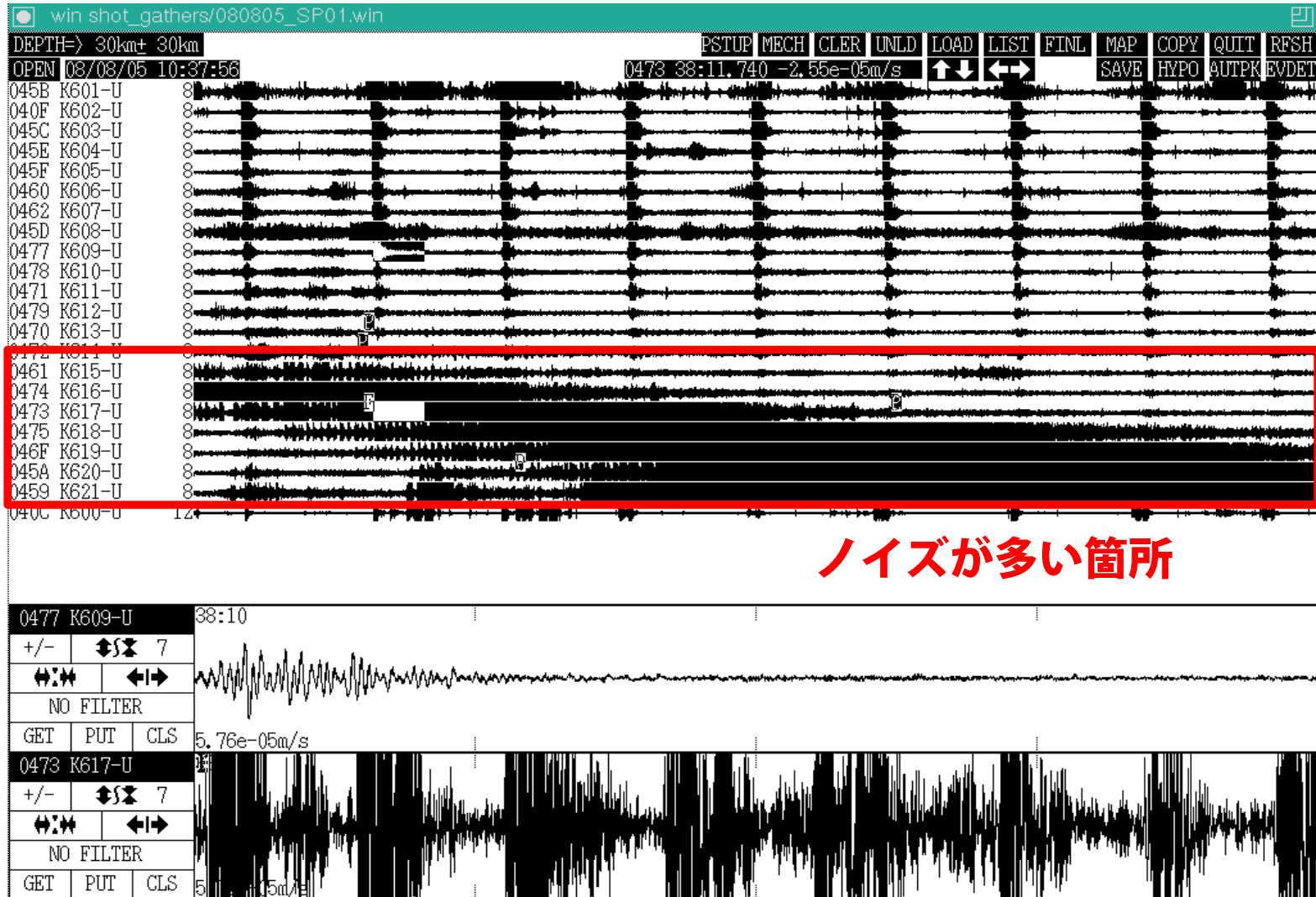
- 波形データを選択するためにWinというソフトで波形を見る



各ショットの波形データ SP01における各観測点の波形データ



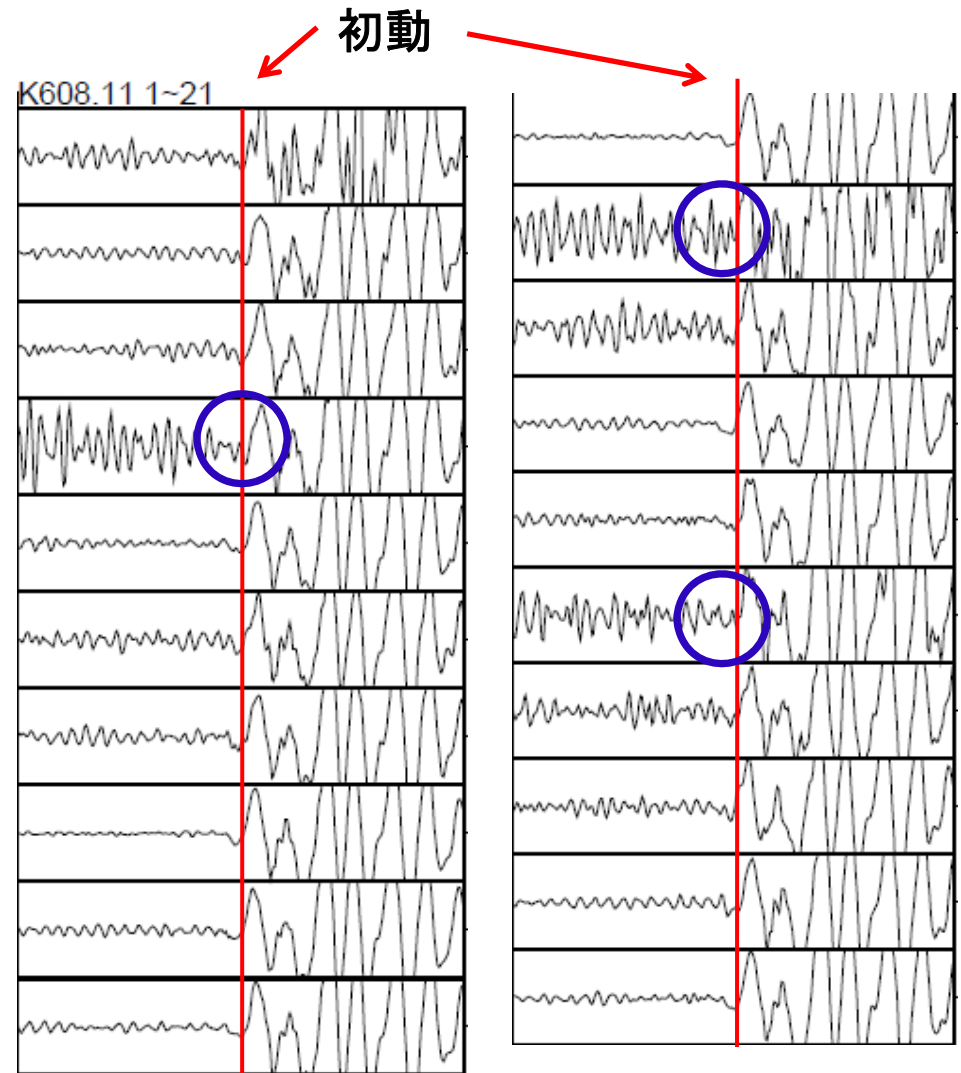
→Winからでは波形(特に初動)の様子が大まかにしかわからない



波形のチェック②

- 各SP、各観測点ごとに初動近傍のみの波形を表示させ、ノイズが影響している点を除く
- SHOT数分の波形を表示
- 初動の近傍でノイズがある観測点を探す

ex). SP11、K608
shot count 30

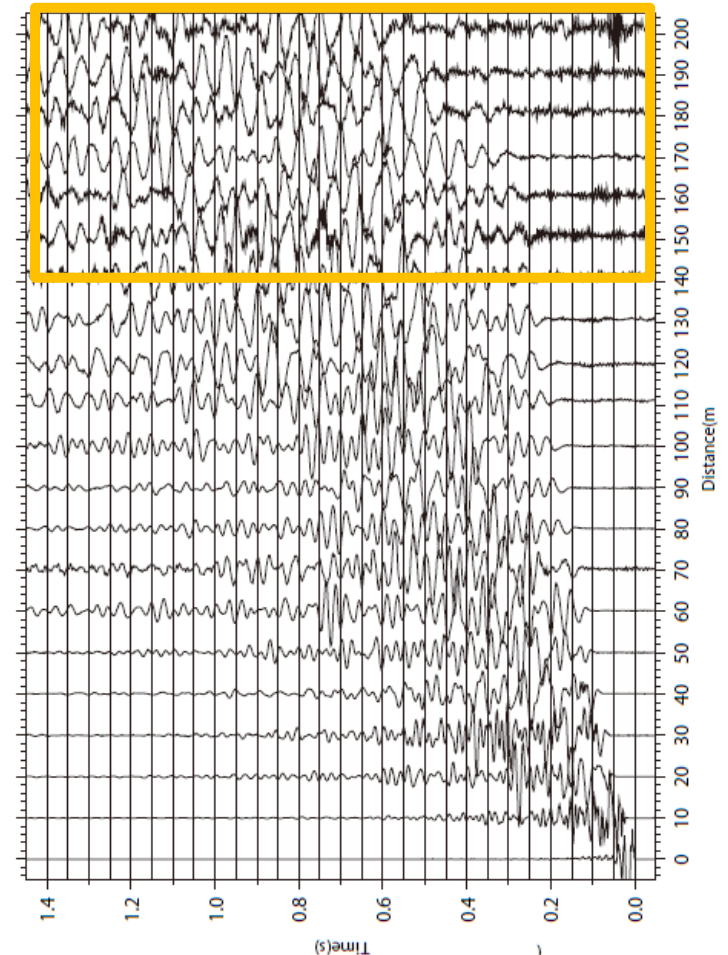
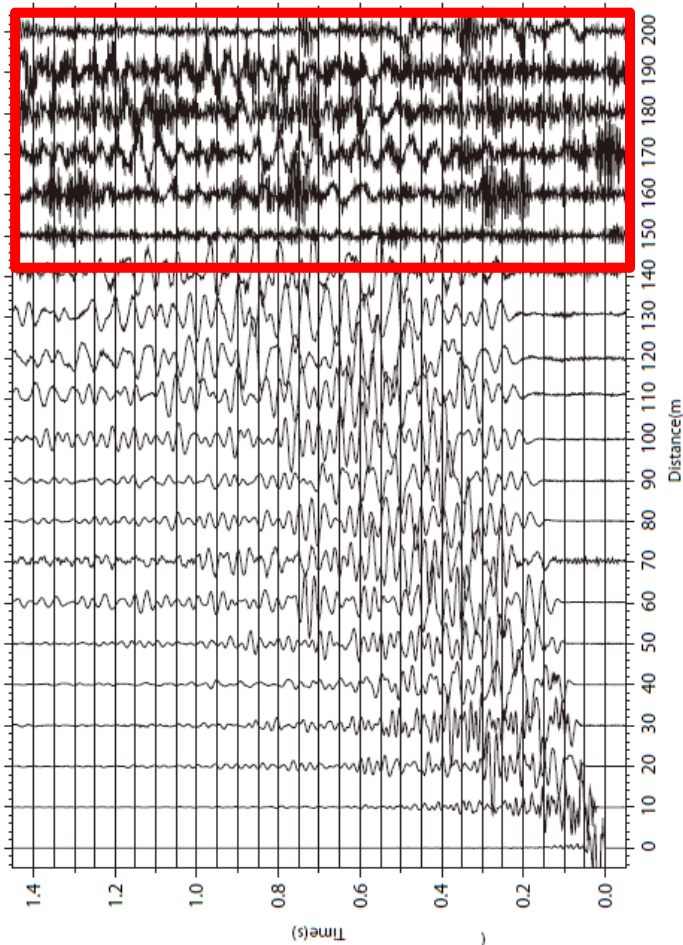


スタックの前後の波形の様子

波形を選択したデータからスタックを行うと、S/N比の向上が見られた

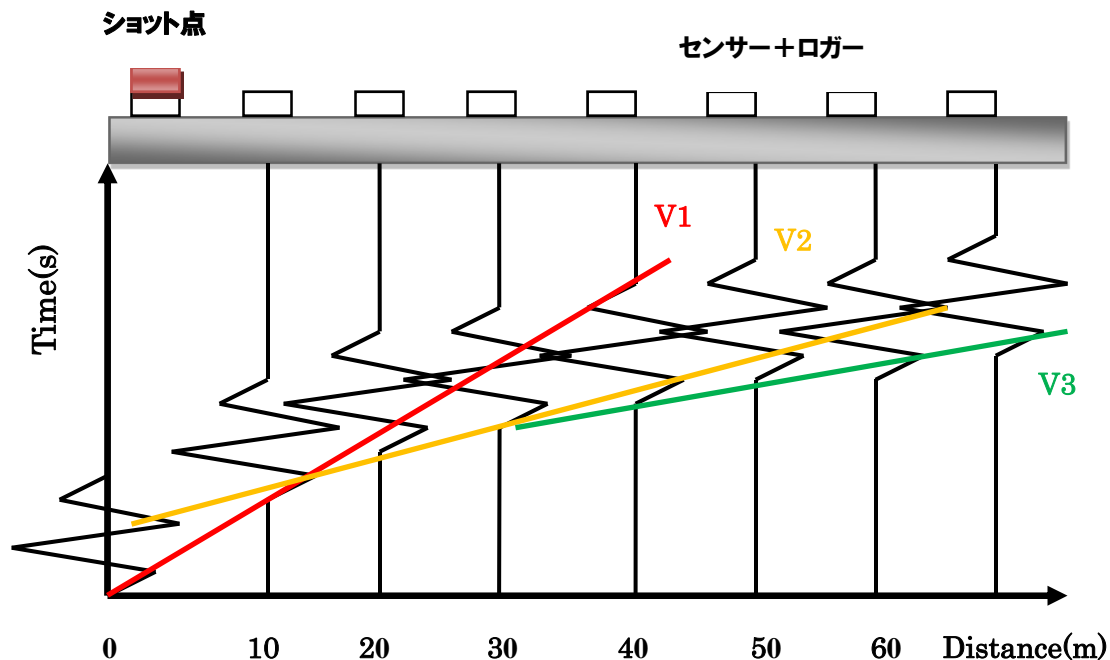
STACK前

STACK後



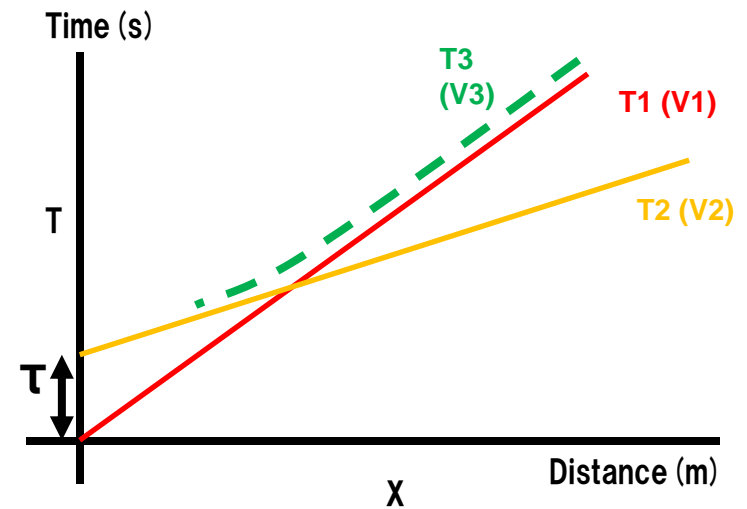
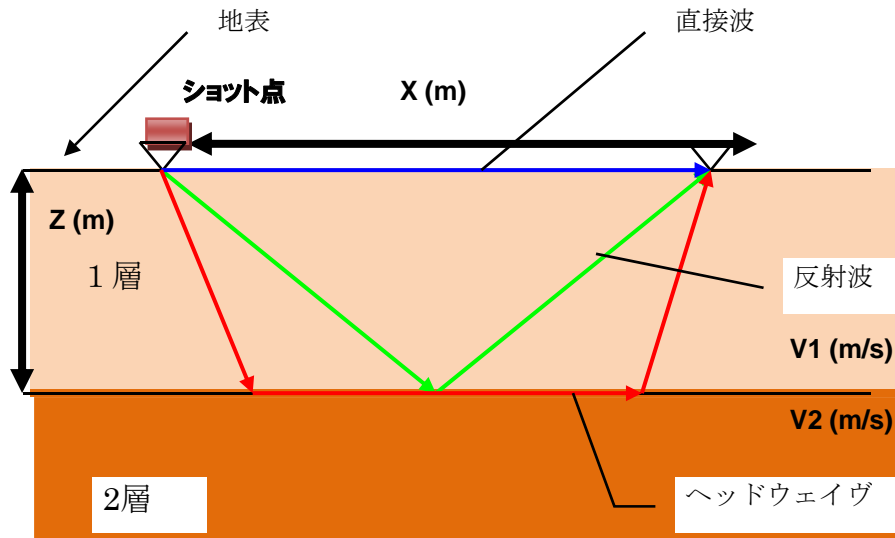
4. 走時曲線の作成

- スタックしたデータでレコードセクションを作成する
- 仮定した地震波速度でリダクションする
SPから観測点までの震央距離Dを速度Vで割った時間ずらすことで、読み取りやすくなる(時間: $T-D/V$)
- 走時曲線を読みとる
初動走時を読み取り、線を引いて地震波速度構造を考える



5. 地震波速度構造

- 地下構造を水平3層構造と仮定
- 走時曲線の傾き、切片あるいは座標(d,t)から地震波速度と層厚を求める



直達波 : $T1 = \frac{X}{V1}$ $V1 = (T1 \text{ の傾き})^{-1}$

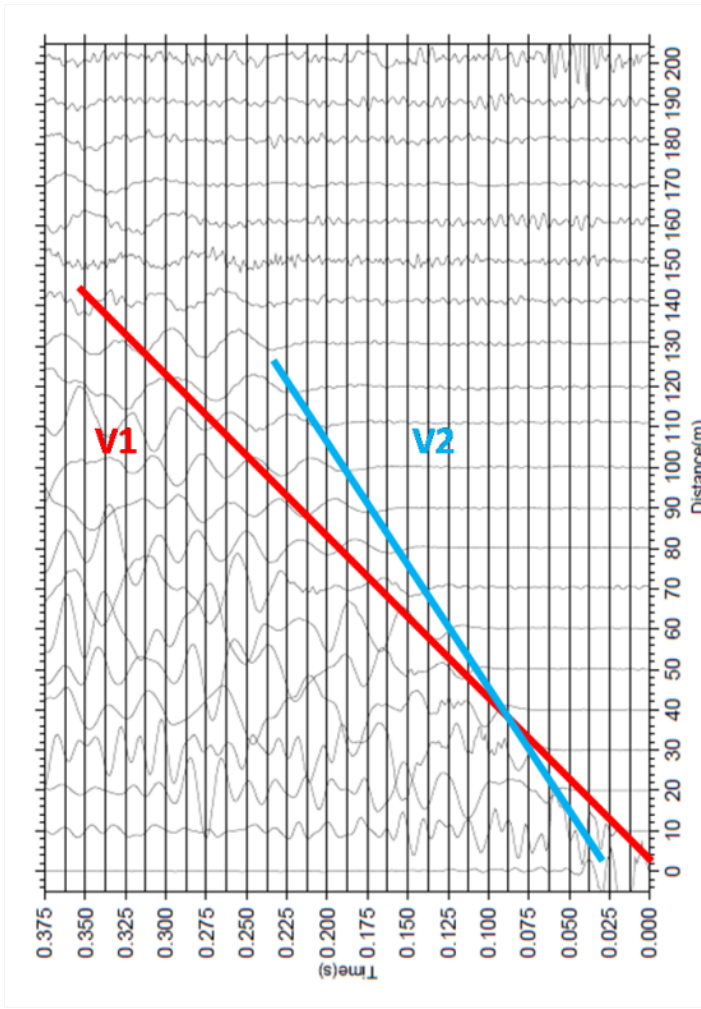
反射波 : $T_r = \frac{\sqrt{(2z)^2 + X^2}}{V1}$

屈折波 : $T2 = \frac{X}{V2} + \frac{2z \cos \theta_1}{V1}$ $V2 = (T1 \text{ の傾き})^{-1}$

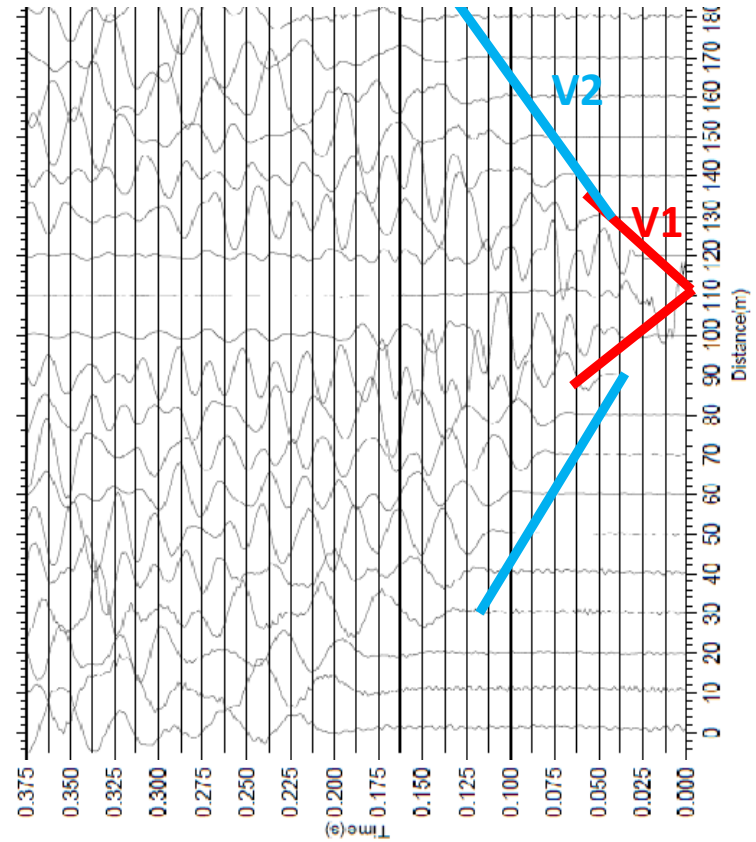
$\tau = \frac{2z \cos \theta_1}{V1} = \frac{2z \sqrt{1 - (V1^2/V2^2)}}{V1}$ 層厚 $\therefore z = \frac{\tau V1}{2 \sqrt{1 - (V1^2/V2^2)}}$

走時曲線

リダクションをかけていないレコードセクションをから読み取った走時



地震波速度が左右非対称



結果：1次元地震波速度構造①

上の図：SPから北方向の走時から読み取った構造

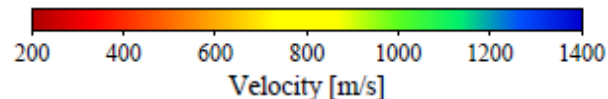
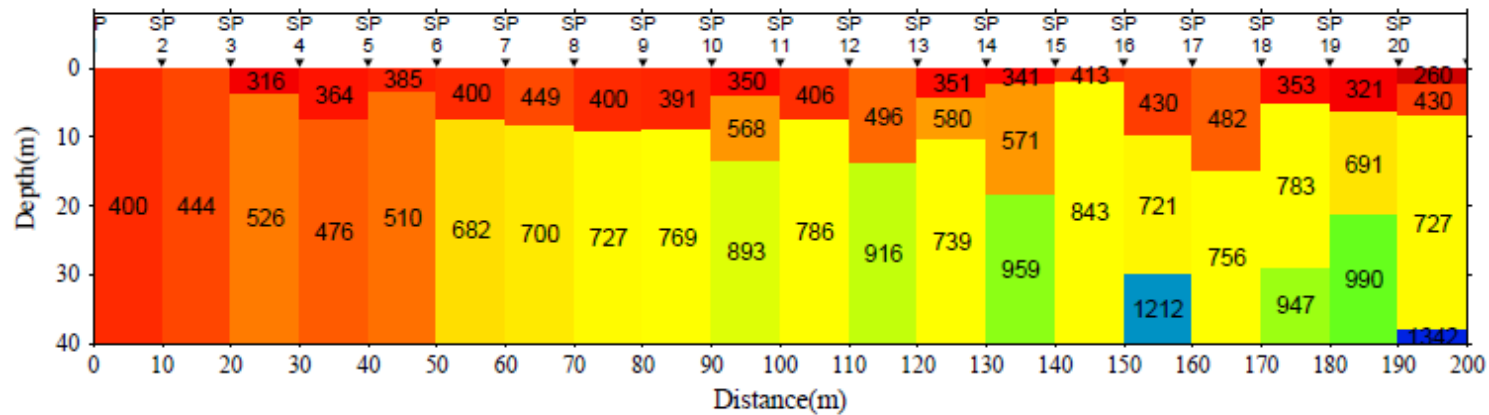
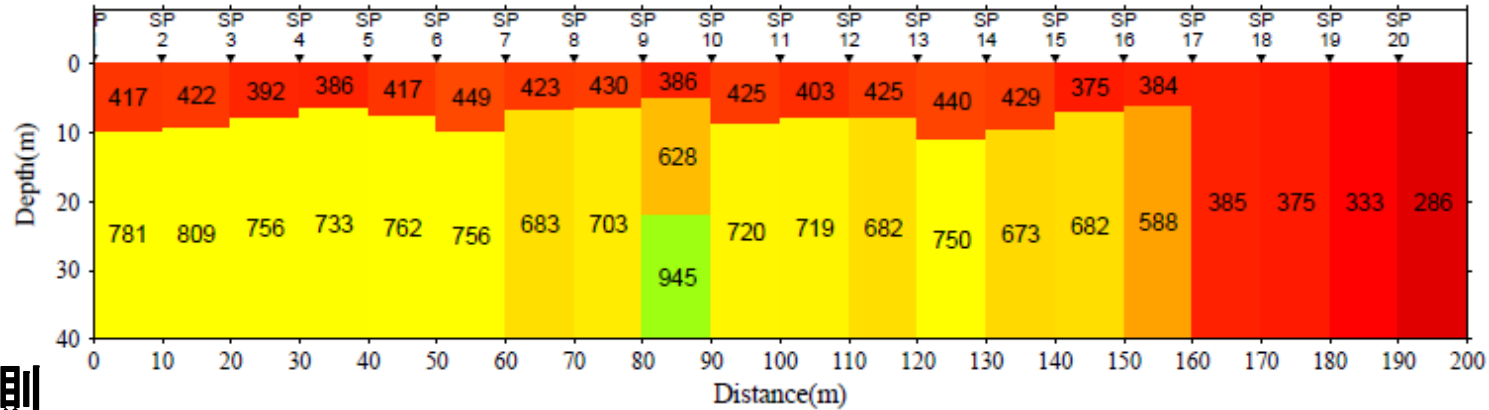
下の図：SPから南方向の走時から読み取った構造

SP 1

SP 21

北側

南側



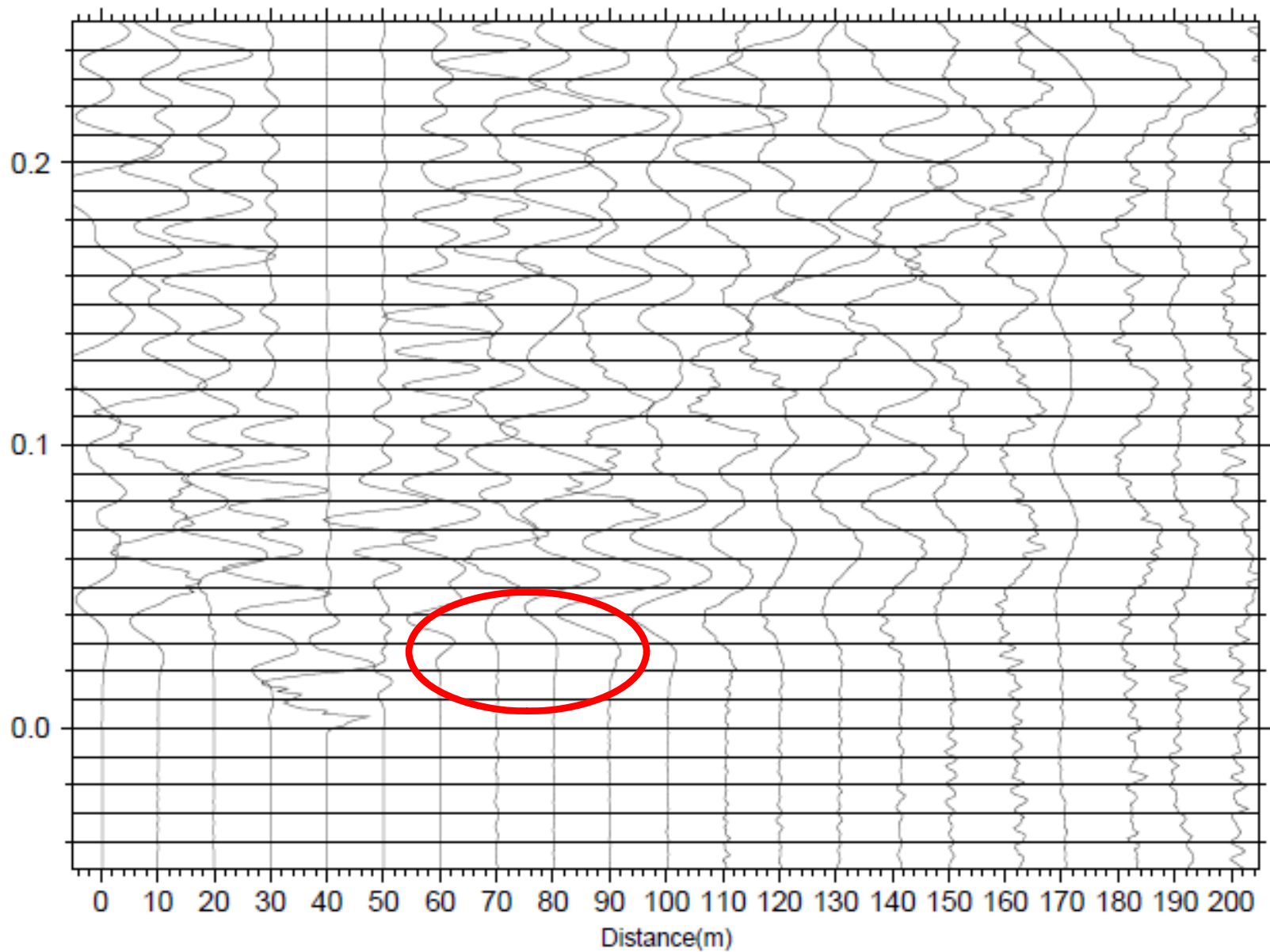
→2人の結果が合わず、正確さも欠ける

原因

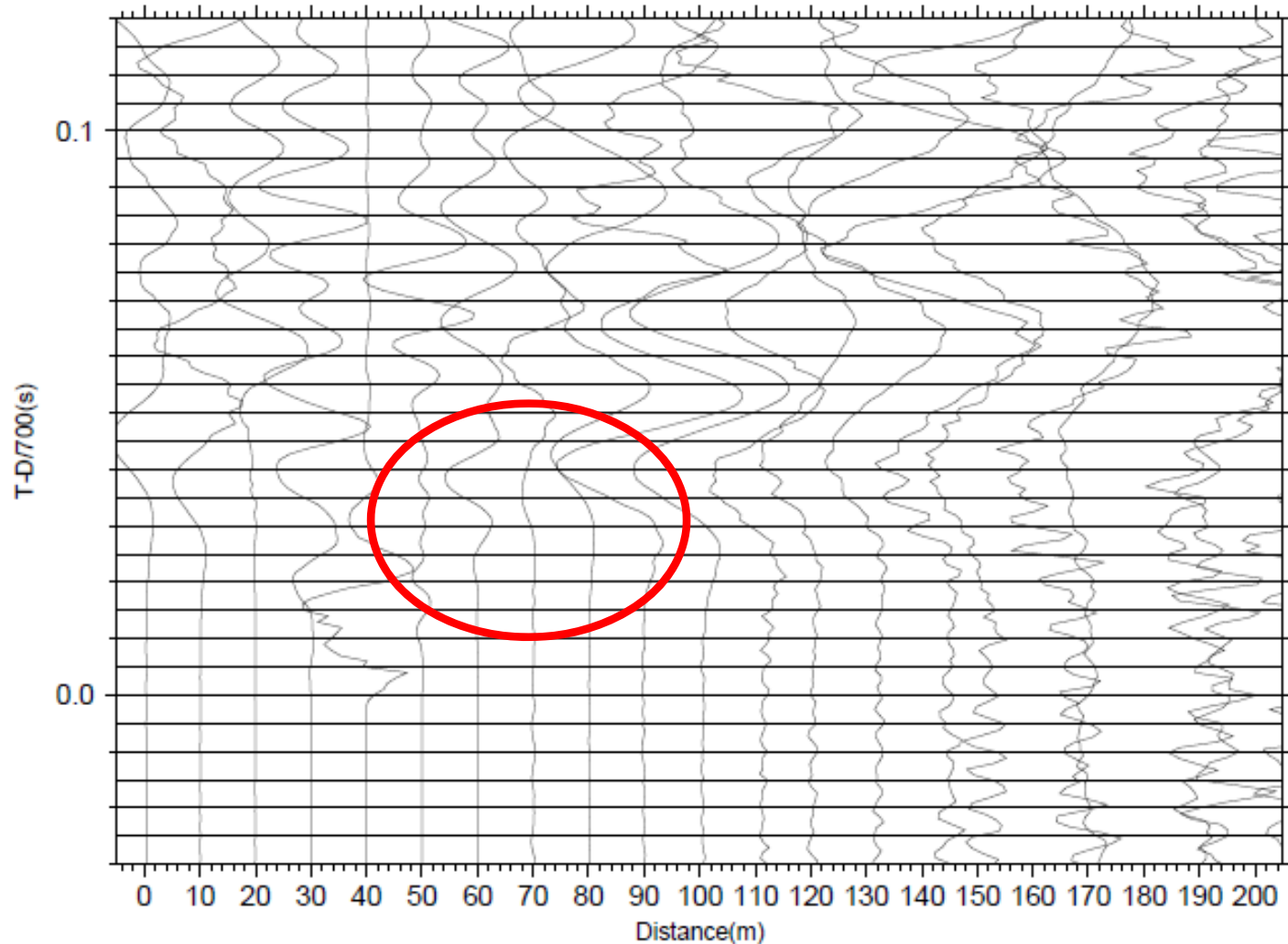
- 各観測点で相対的な振幅を表示したため、ショット点から遠い点では初動が読みづらい
- 走時の傾きを読み取る際の誤差がでる
- リダクションをかけていないレコードセクションでは大まかな地震波速度構造も読みづらい

→リダクションをかけ、走時を読み取る

リダクション(速度700m/s)



→さらにショット点からの位置によって振幅を変え、初動を読み取りやすくした。



走時曲線(リダクション)

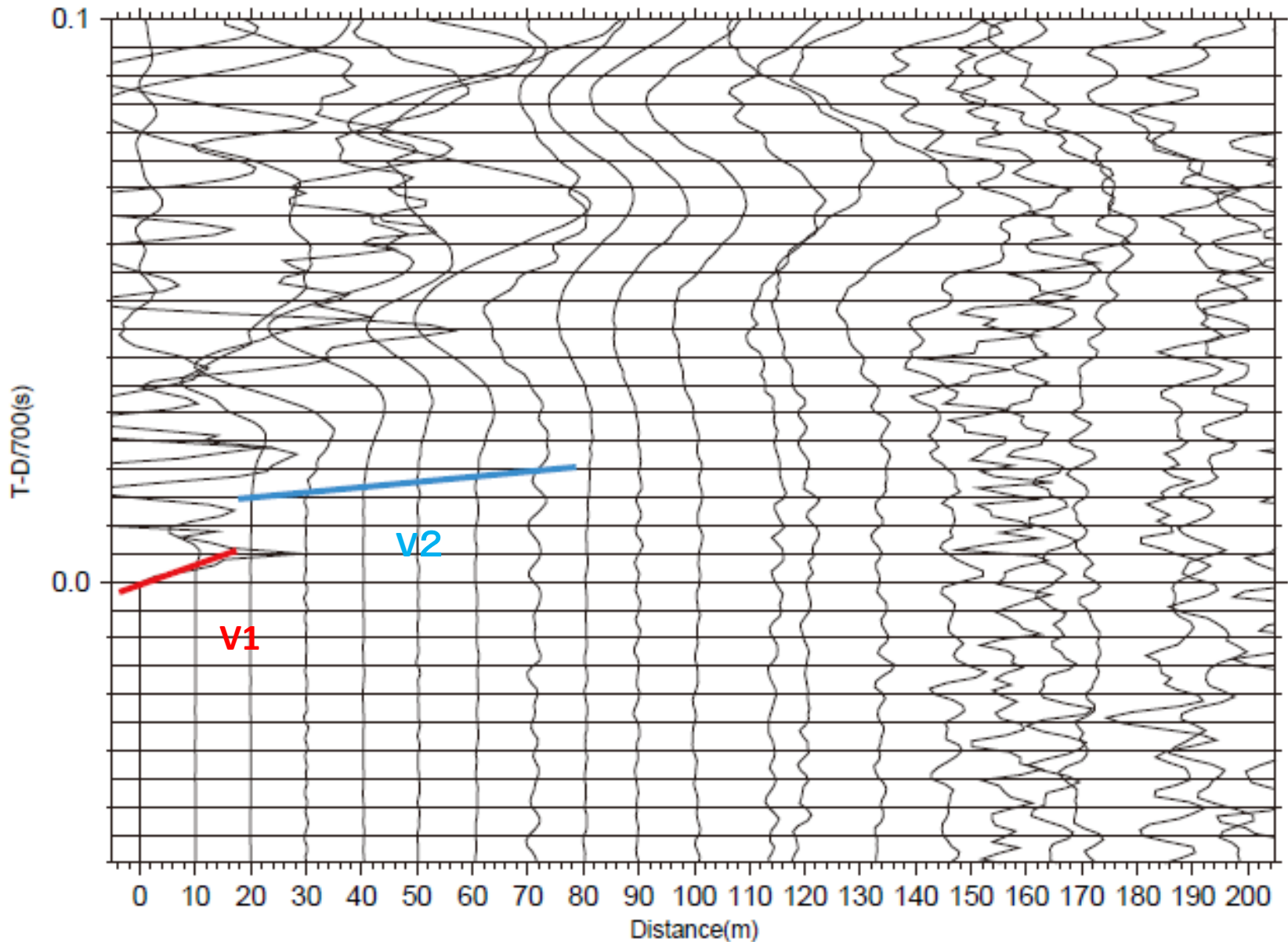
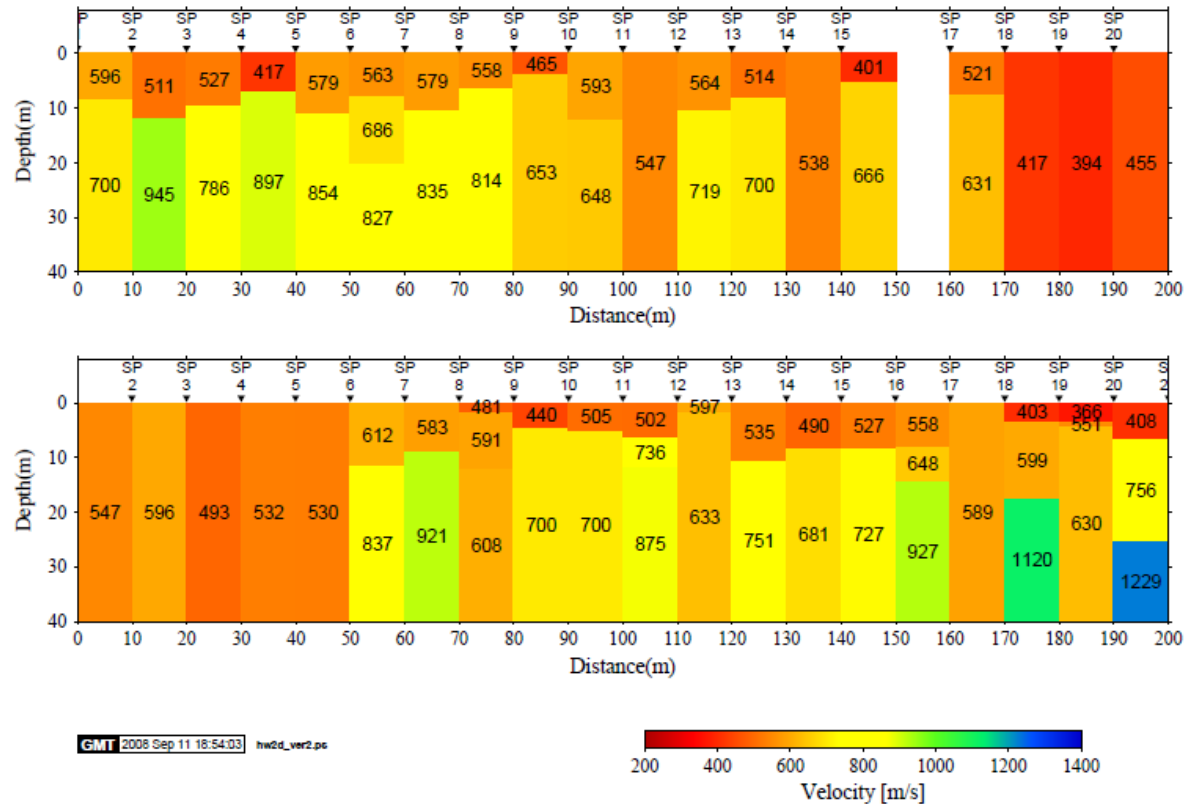


図 1次元地震波速度構造②

- 速度の差が小さくなった
- 表層部分の速度が速くなった
- 2層目と3層目の速度境界が曖昧
- 全体的に不均質



- 地震波速度、層厚にばらつきがみられ、信憑性に欠ける

— $V1: 350 \sim 600$ (m/s)、 $V2: 630 \sim 850$ (m/s)

- 厳密な傾斜構造を考えるのは困難

→ Ray tracing (Mac Ray)を使って

地震波速度構造を求める

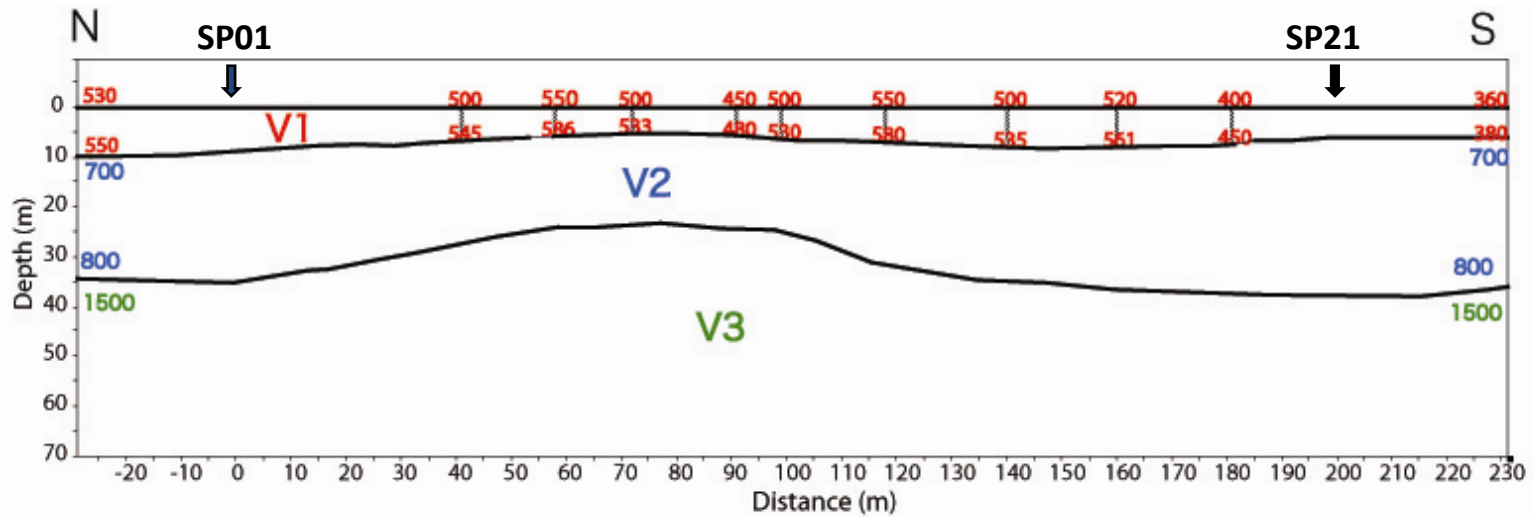
Ray tracingによる2次元速度の推定

- Mac Ray を使い、初動のデータと大まかな(速度、層厚が均一)速度構造モデルから、表層の構造から決定する

初期モデル	1層目	530(m/s)	0~8m
	2層目	700(m/s)	8~30m
	3層目	1000(m/s)	30m~

- 観測から得られた走時曲線を再現できるようなモデルを推定する

レイトレーシングの結果:2次元速度構造



測線の中央付近で極大を取るような凸状の構造が存在。

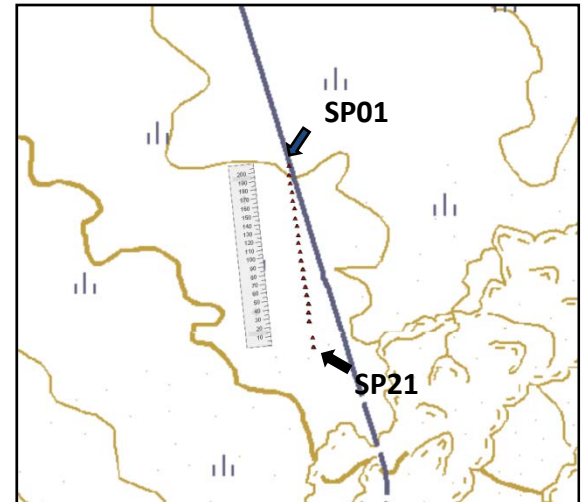
1層目: 厚さ→5m~10m

速度→上面で360(m/s)~550(m/s)、
下面で380(m/s)~590(m/s)

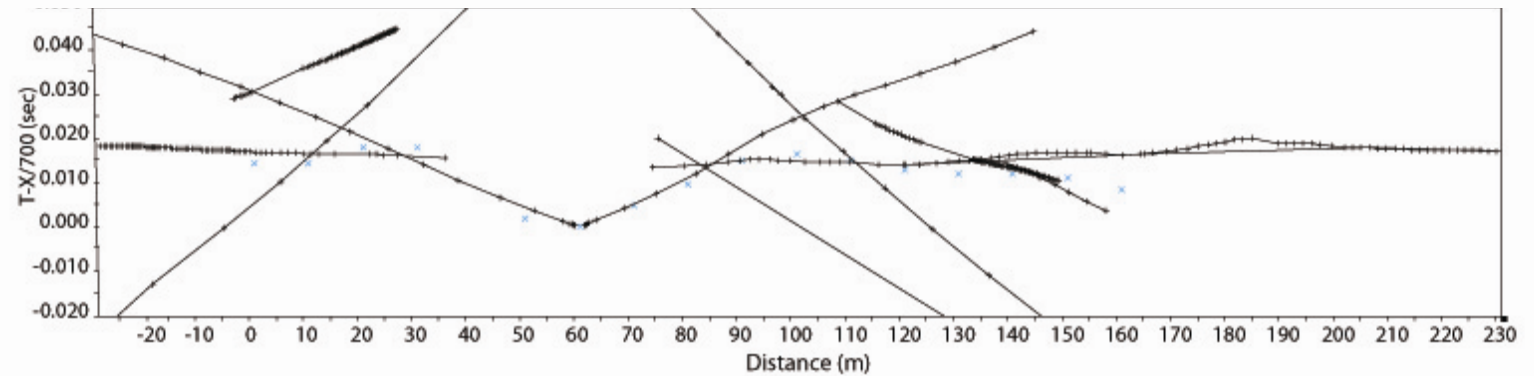
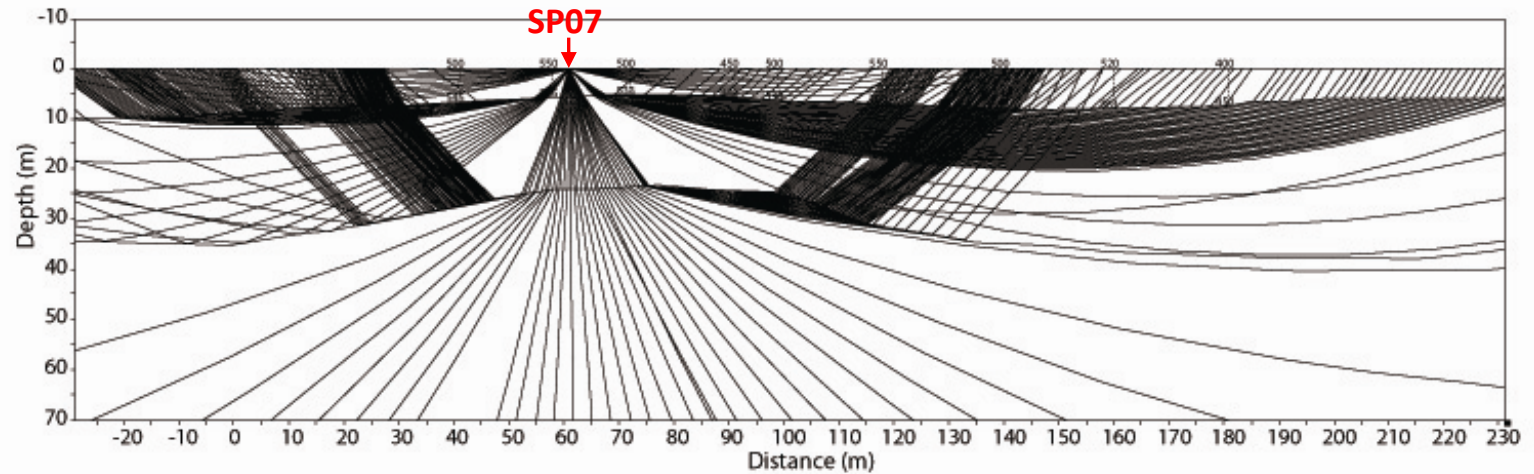
2層目: 厚さ→18m~30m



速度→上面で700(m/s)、下面で800(m/s)

3層目: 速度→上面で1500(m/s)

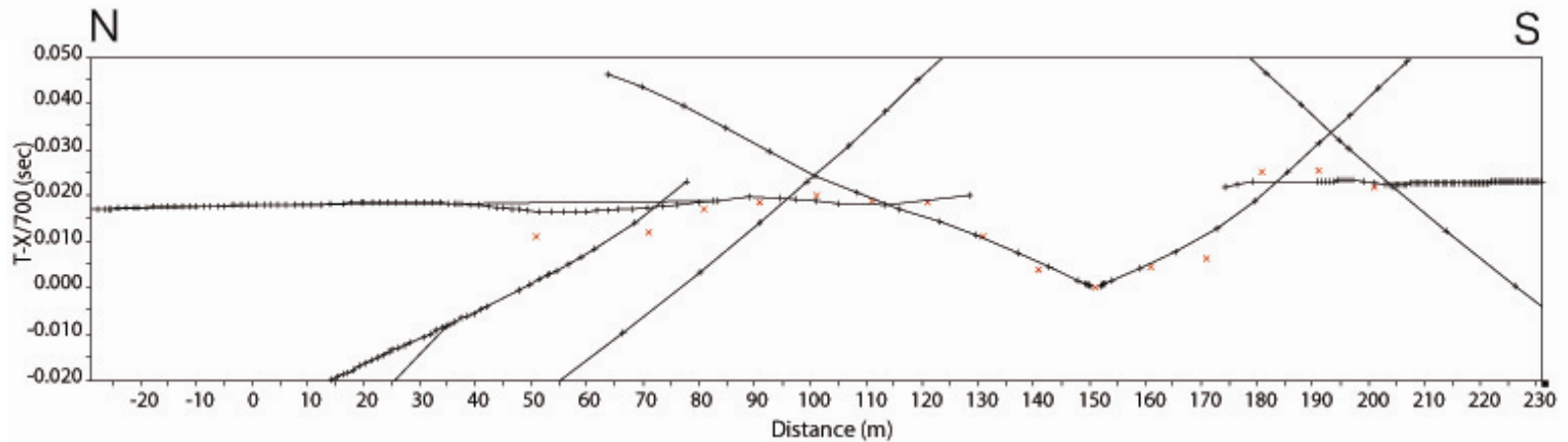
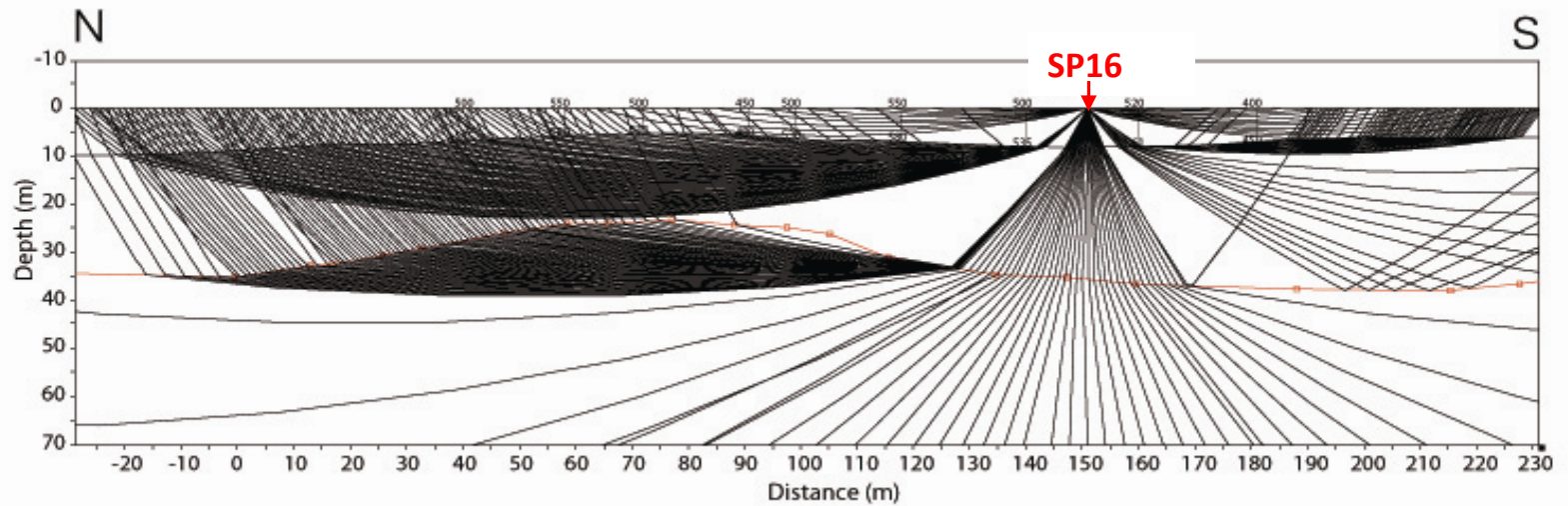


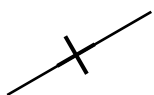

モデルと観測値との比較: SP07



-  : モデルから計算された走時曲線
-  : 実際に観測された走時曲線

モデルと観測値との比較: SP16



-  : モデルから計算された走時曲線
-  : 実際に観測された走時曲線

考察

1. (波形を見たところ) 振幅の減衰が大きい。

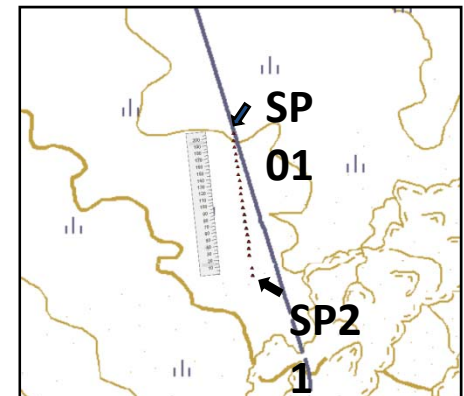
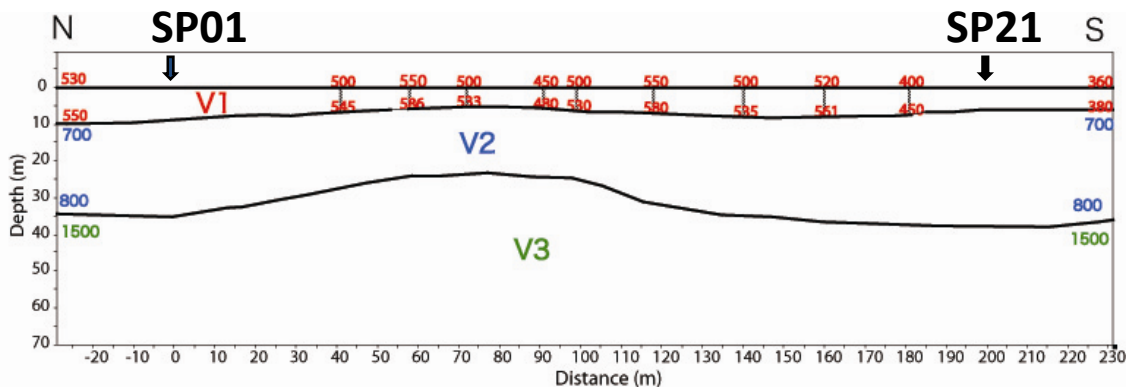
→ 観測地周辺は火山性の堆積物で構成されている。それゆえ、空隙が多く、減衰も大きくなる。

2. 1層目は速度のばらつきがある

→ 風化の影響により、不均質な構造をしている可能性がある。

3. 測線の中心付近で極大を取るような凸状の構造

→ 3層目または3層目以深が凸状の構造であるため、その上に積もった堆積物もその形を反映しているのか。



まとめ

- ・伊豆大島三原山のふもと(火口から2kmほど)で、地震波構造探査を行った。
- ・200mの測線上、10mおきに地震計を設置し、人工地震を記録させた。
- ・質の良いデータのみを使って波形をスタックし、レコードセクションを作成した。
- ・レコードセクションをもとに、各観測点における1次元構造を推定した。
- ・レイトレーシングを行い、2次元速度構造を推定した。その結果、測線の中心付近に極大を取るような凸状の構造があることがわかった。
- ・また、1層目の速度がばらついており、不均質な構造をしていることがわかった。
- ・さらに、1層目、2層目、3層目の速度はそれぞれ、500(m/s)、750(m/s)、1500(m/s)であることがわかった。

皆様、お世話になりました！

