

平成23年度 地球観測実習 構造探査

楠本聡・酒井浩考・関有沙
教官：森田裕一・塩原肇・飯高隆

調査目的

地震波構造探査を通して、構造探査の基本的
手法を理解する

取得したデータの解析を行い、地震波速度構
造を決定する



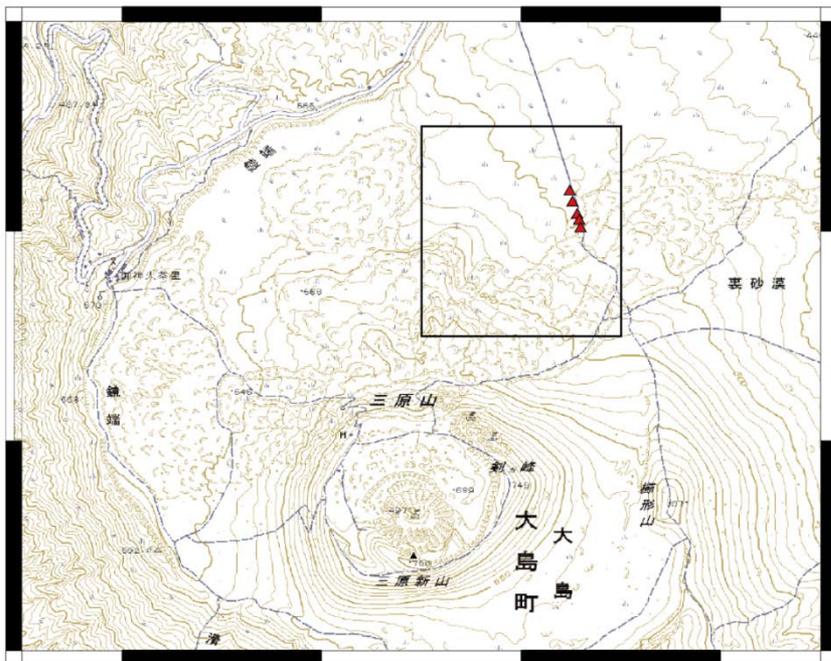
139°22'48" 139°23'24" 139°24'00" 139°24'36"

34°45'00"

34°44'24"

34°43'48"

34°43'12"



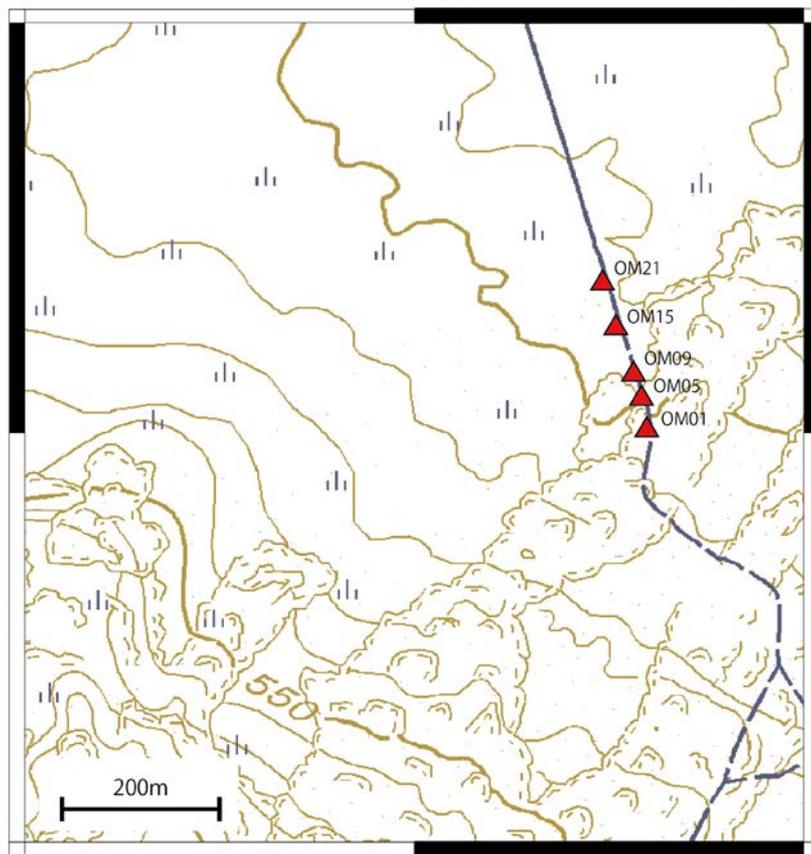
測定場所

139°23'42"

139°24'00"

139°24'18"

34°44'00"



34°44'24"

34°44'06"



観測手順

1. 地震波記録装置の設定

2. 装置の設置

3. 観測手法

4. データの回収



地震波記録装置(ロガー)の設定

1. 電池の挿入
2. 過去のデータの収集と削除
3. 測定時間をセット
4. サンプリング周波数は1kHzに設定



観測手順

1. 地震波記録装置の設定

2. 装置の設置

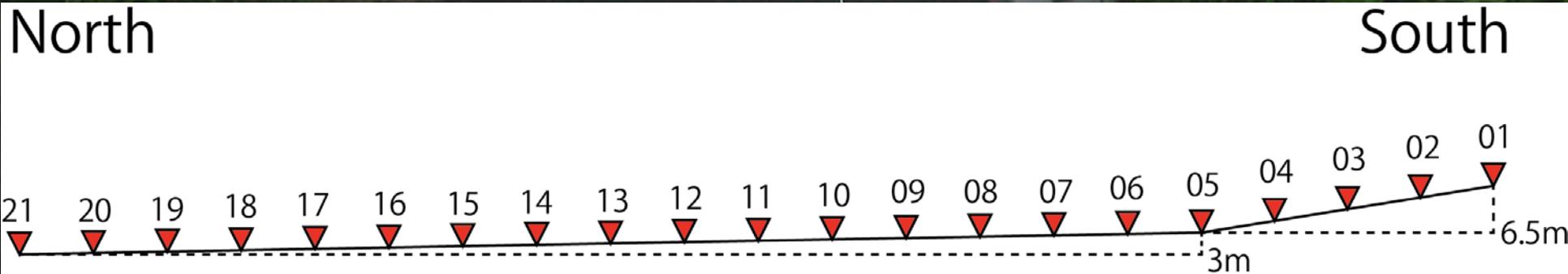
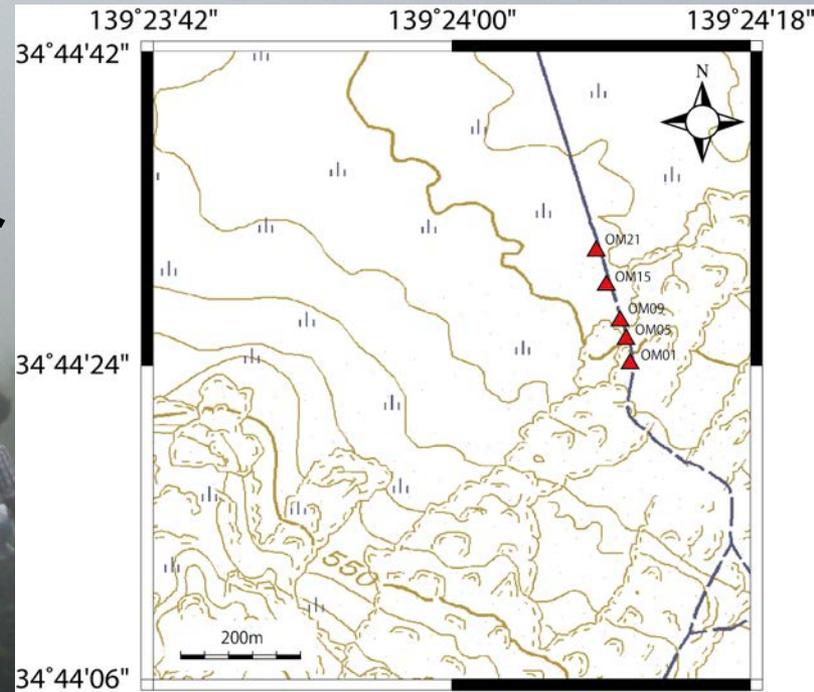
3. 観測手法

4. データの回収



装置の設置

- 10m毎に21箇所設置
- ロガー・地震計・GPSで1セット
 - 側線の距離は約200m



装置の設置手順

1. 使用機器名と観測点番号を記録
2. 地震計の設置
3. 地震計とGPSをロガーに接続
4. 動作確認(ロガーのランプ点滅を確認)
5. 機器名と観測点番号の再確認



観測手順

1. 地震波記録装置の設定

2. 装置の設置

3. 観測手法

4. データの回収



観測手法

- 観測手法:ハンマリング(約5kgを1.5~2mから振り下ろす)
 - 観測点毎に20回又は30回ハンマーで鉄杭をたたく
 - 側線の両端五つの観測点は30回, それ以外では20回
 - 叩いた時間, ミスなど全て記録
- ノイズの存在を考慮
 - 足音, 車, ... etc





百万馬力



百万馬力

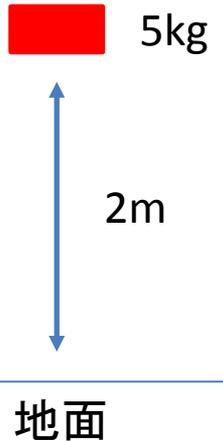




ハンマーで作った地震のマグニチュード



力自慢の飯高先生



エネルギーEが質量5kgを2m自由落下と等しいと仮定

$$\begin{aligned} E &= mgh \\ &= 2 \times 9.8 \times 5 \\ &= 98 \text{ [J]} \end{aligned}$$



研究室の蛍光灯32Wを約3秒間つけるのと等しい

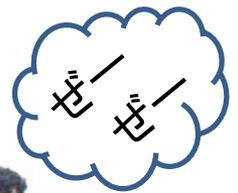
地震が発するエネルギーをE[J]、マグニチュードをMとすると

$$\log_{10} E = 4.8 + 1.5M$$

という関係がある。

これに先ほどのE=98[J]を代入

$$M \cong -1.87$$



バンテリンをください

観測手順

1. 地震波記録装置の設定

2. 装置の設置

3. 観測手法

4. データの回収



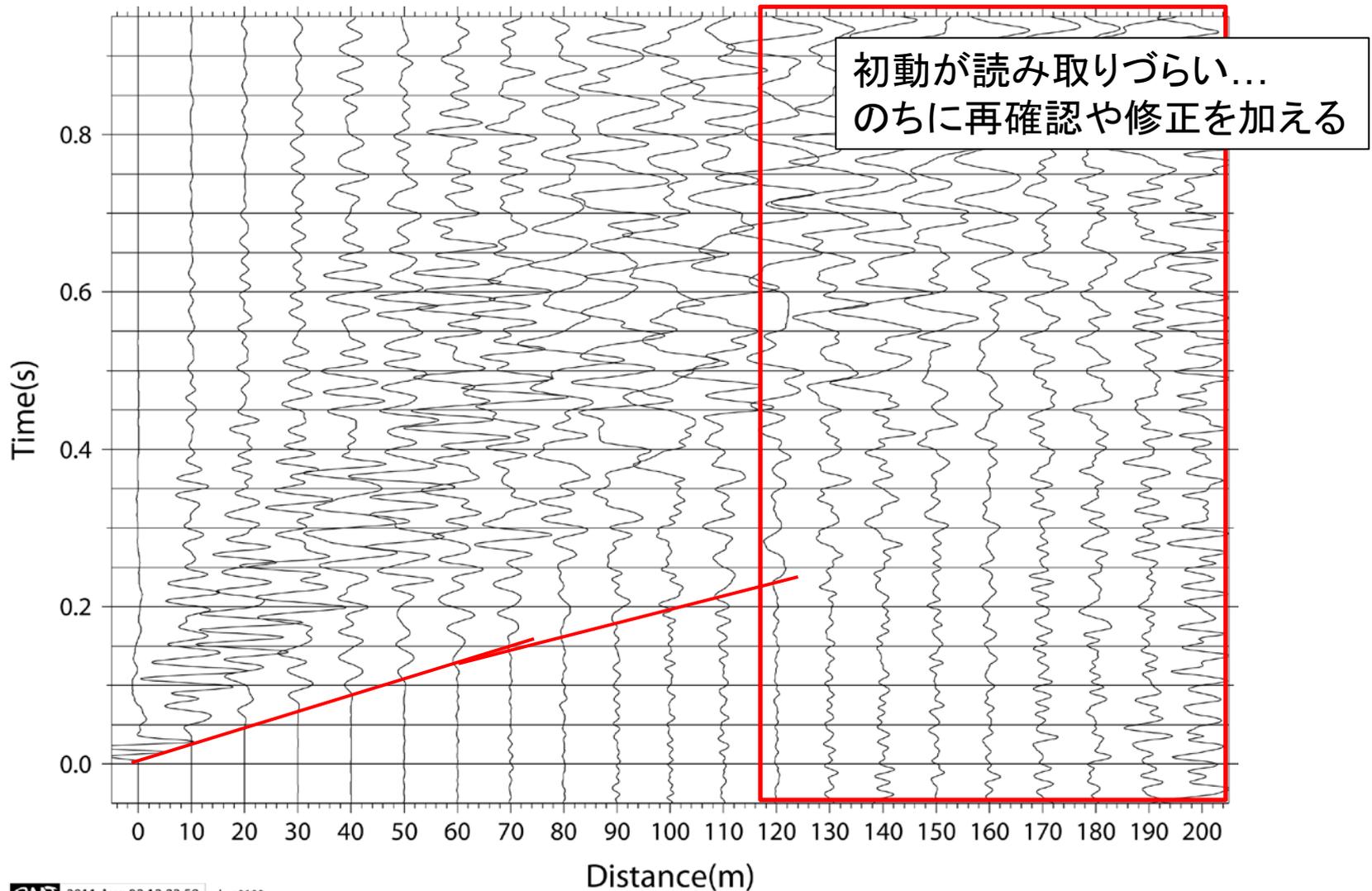
解析手順

1. スタック処理と下準備
先生がやってくれました！！
2. 走時の読み取り
3. 萩原のはぎとり法(傾斜二層構造)
4. 傾斜三層構造
5. Ray Tracing
6. 考察とまとめ

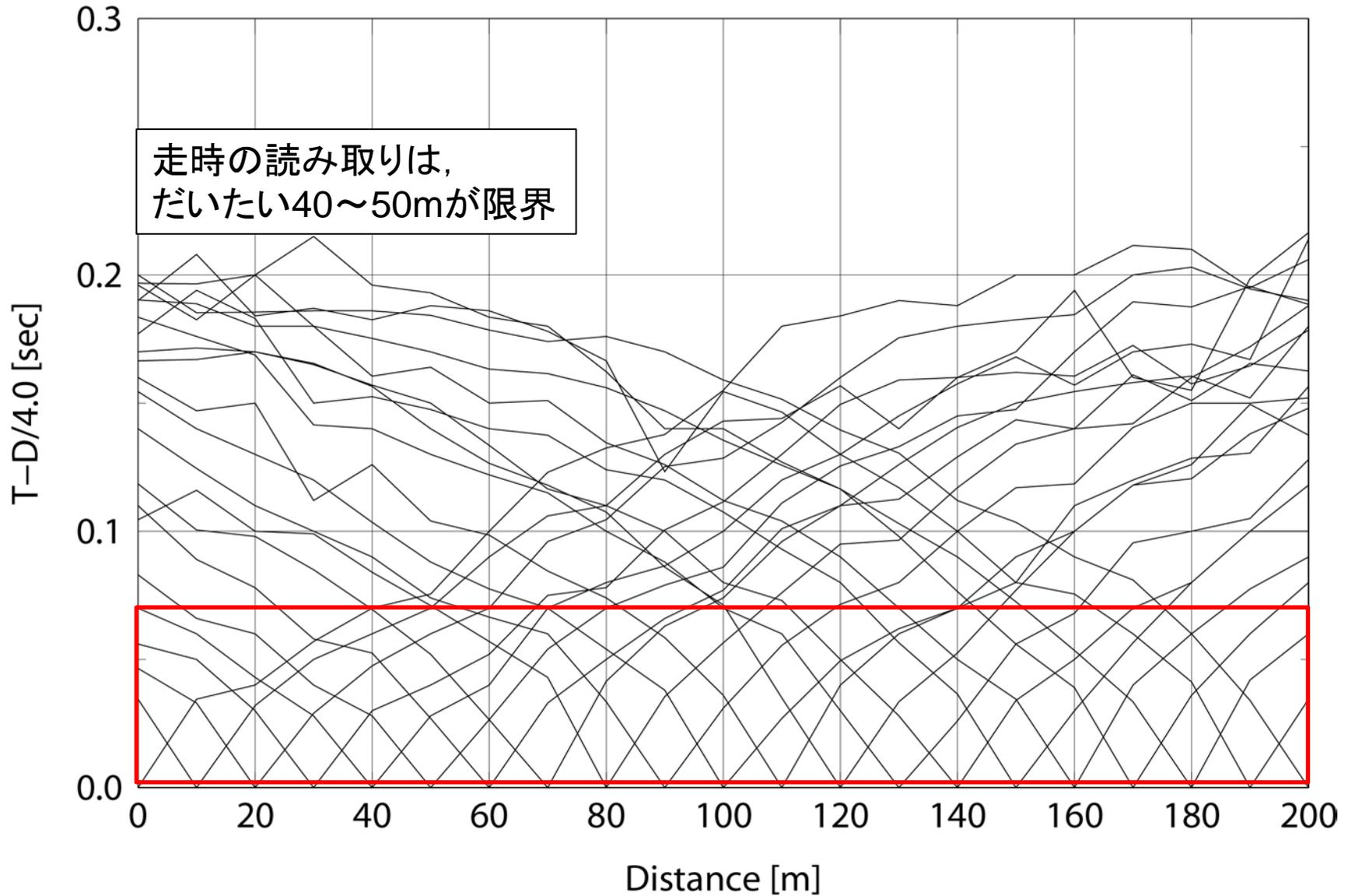
スタック処理と下準備

1. 観測データのうちショット0.5s前～3.0s後まで抜き出し
2. 同じショット点で観測された波形の初動を基準にして重ね合わせ・平均化
 - 位相の共通部は強調, 非共通部は減衰
 - S/N比(Signal/Noise)の向上
 - 波形(初動の読み取り)の明確化, ノイズの減少
3. 仮定した速度(4000m/s)で走時をリダクションする
 - 走時をTからT-D/4000へ(D:Distance)
 - 初動が読み取りやすくなる
 - 読み取り後, 解析に使うためにリダクションははずす

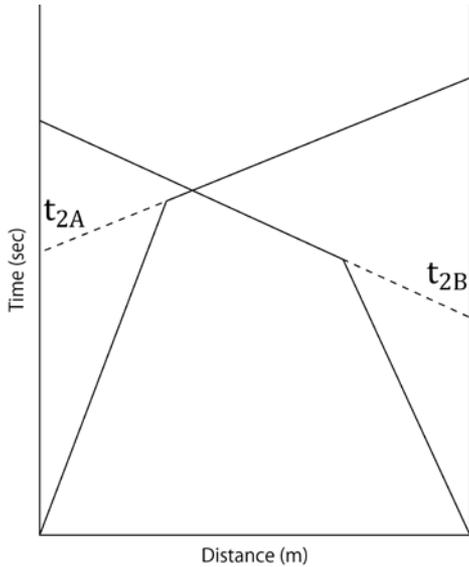
走時の読み取り



Travel time (reduction)



傾斜が一様な二層構造



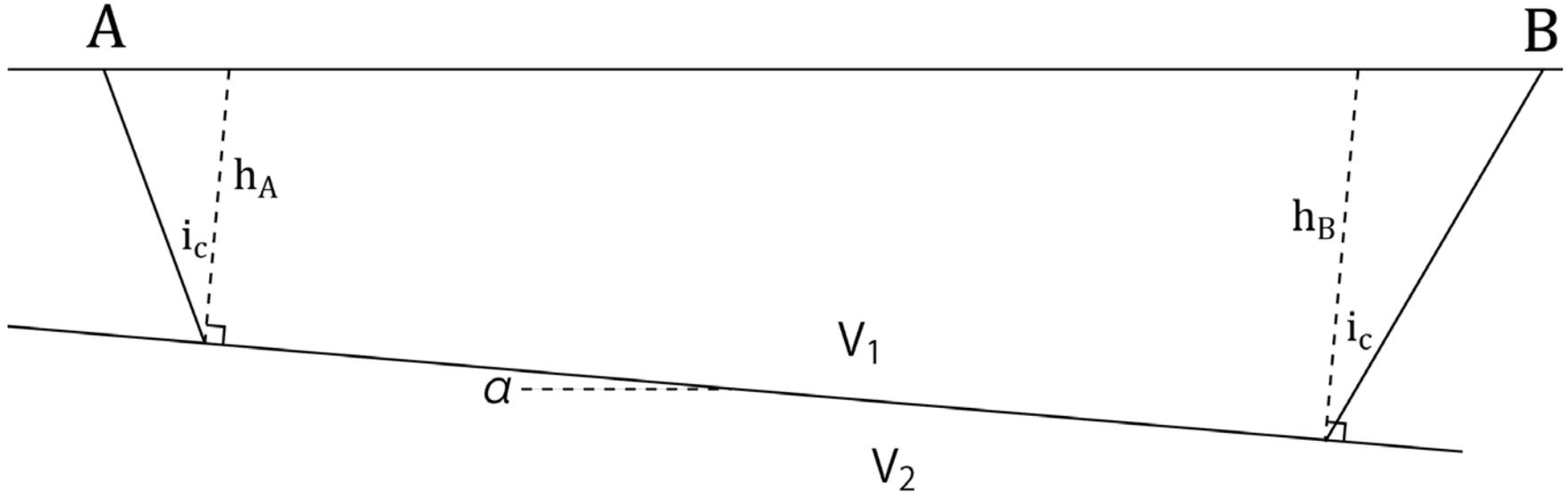
$$\frac{2\cos\alpha}{V_2} = \frac{1}{V_{2A}} + \frac{1}{V_{2B}}$$

$$h_A = \frac{V_1 t_{2A}}{2\cos(i_c)}$$

$$h_B = \frac{V_1 t_{2B}}{2\cos(i_c)}$$

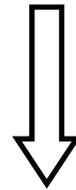
スネルの法則

$$\sin(i_c - \alpha) = \frac{V_1}{V_{2A}} \quad \sin(i_c - \alpha) = \frac{V_1}{V_{2B}}$$

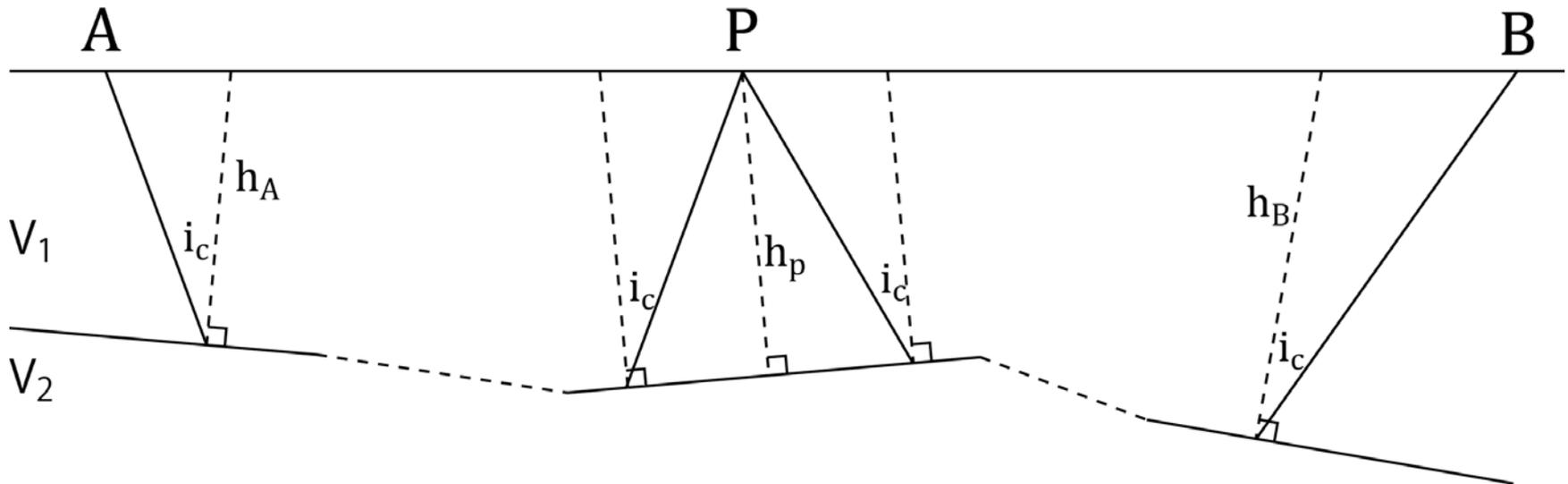


傾斜が一様でない二層構造

実際の地下構造の傾斜は一様ではない
一様でない傾斜二層構造は計算が複雑...



今回は**萩原の方法(はぎとり法)**を用いた



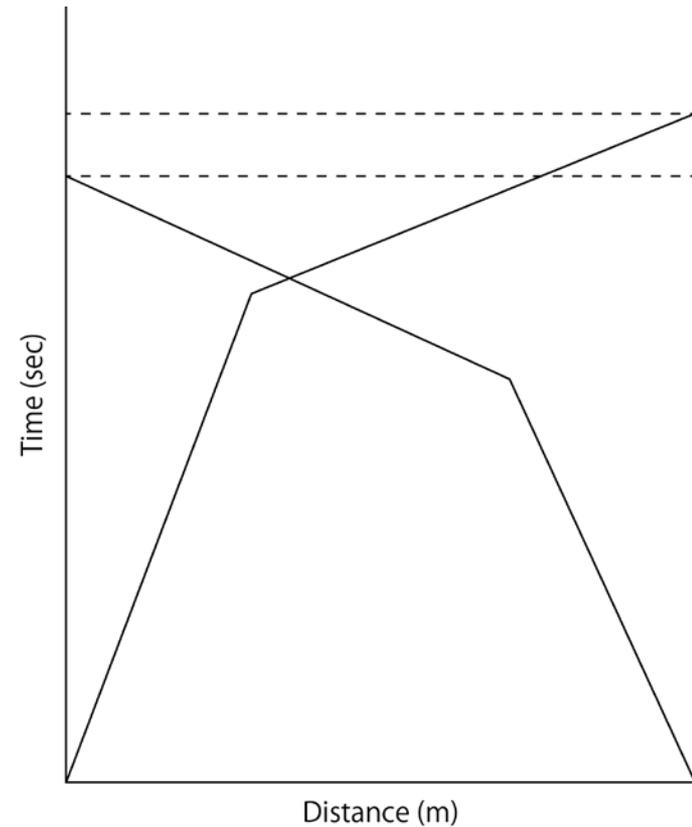
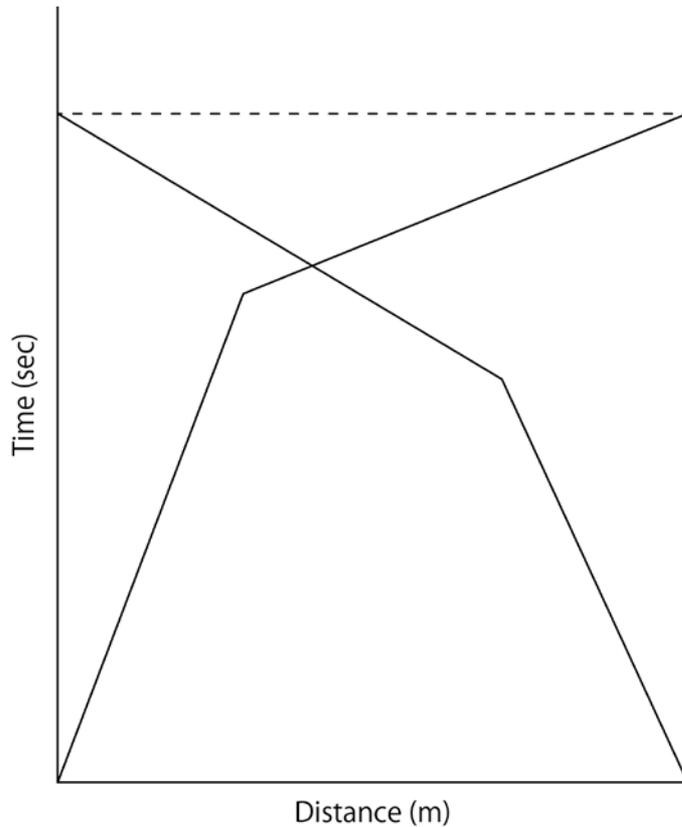
萩原の方法（はぎとり法）

- はぎとり法とは？
 - 深度走時から層厚を算出
 - 複雑な形状をもつ速度層境界を表現できる

- 一方で...
 - 地表が水平とみなせる場合のみ
 - 走時曲線の整合性が必要

走時曲線の整合性

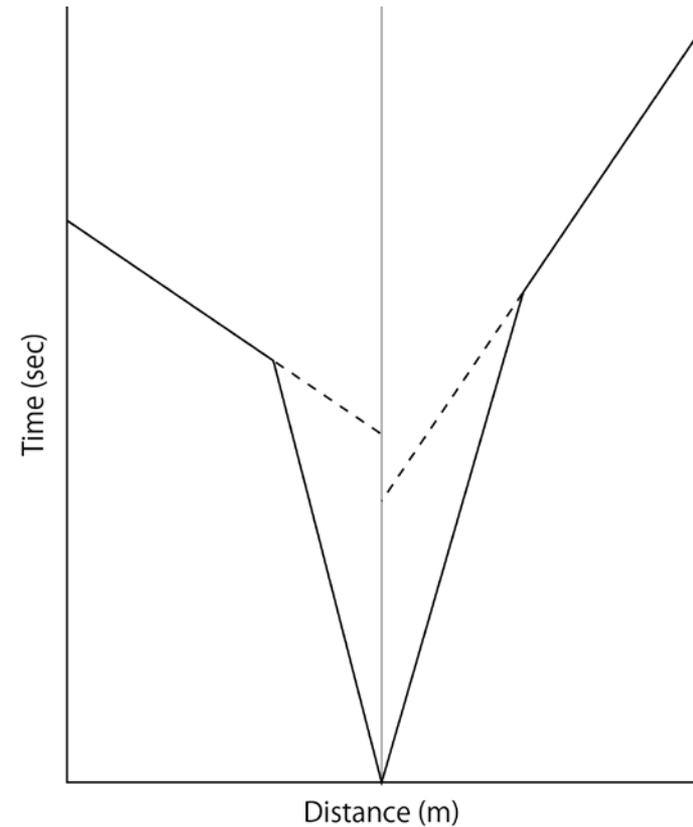
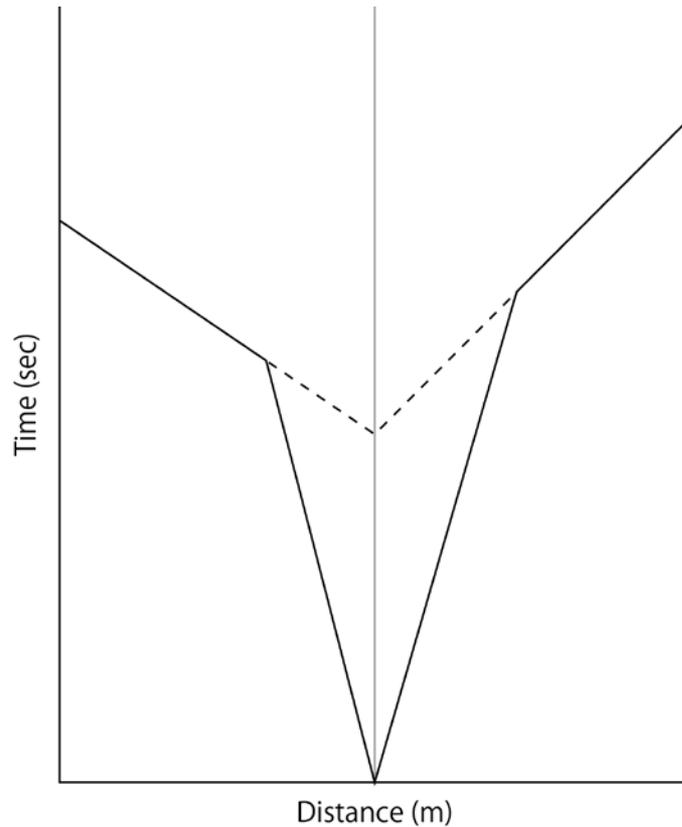
往復走時の一致



※ 走時が一致しない = 読み取りが不十分である可能性

走時曲線の整合性

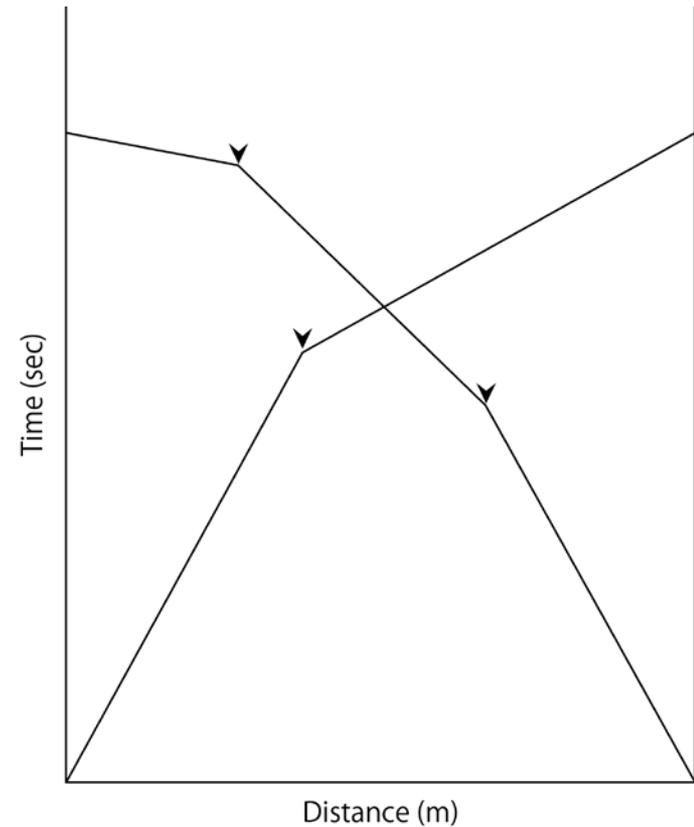
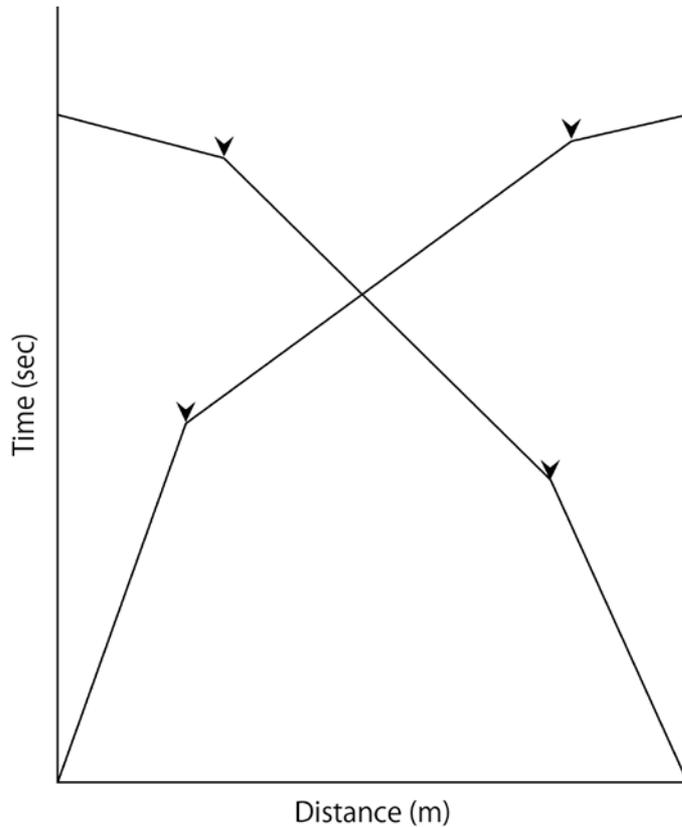
原点走時の一致



※ 走時が一致しない = 読み取りが不十分である可能性

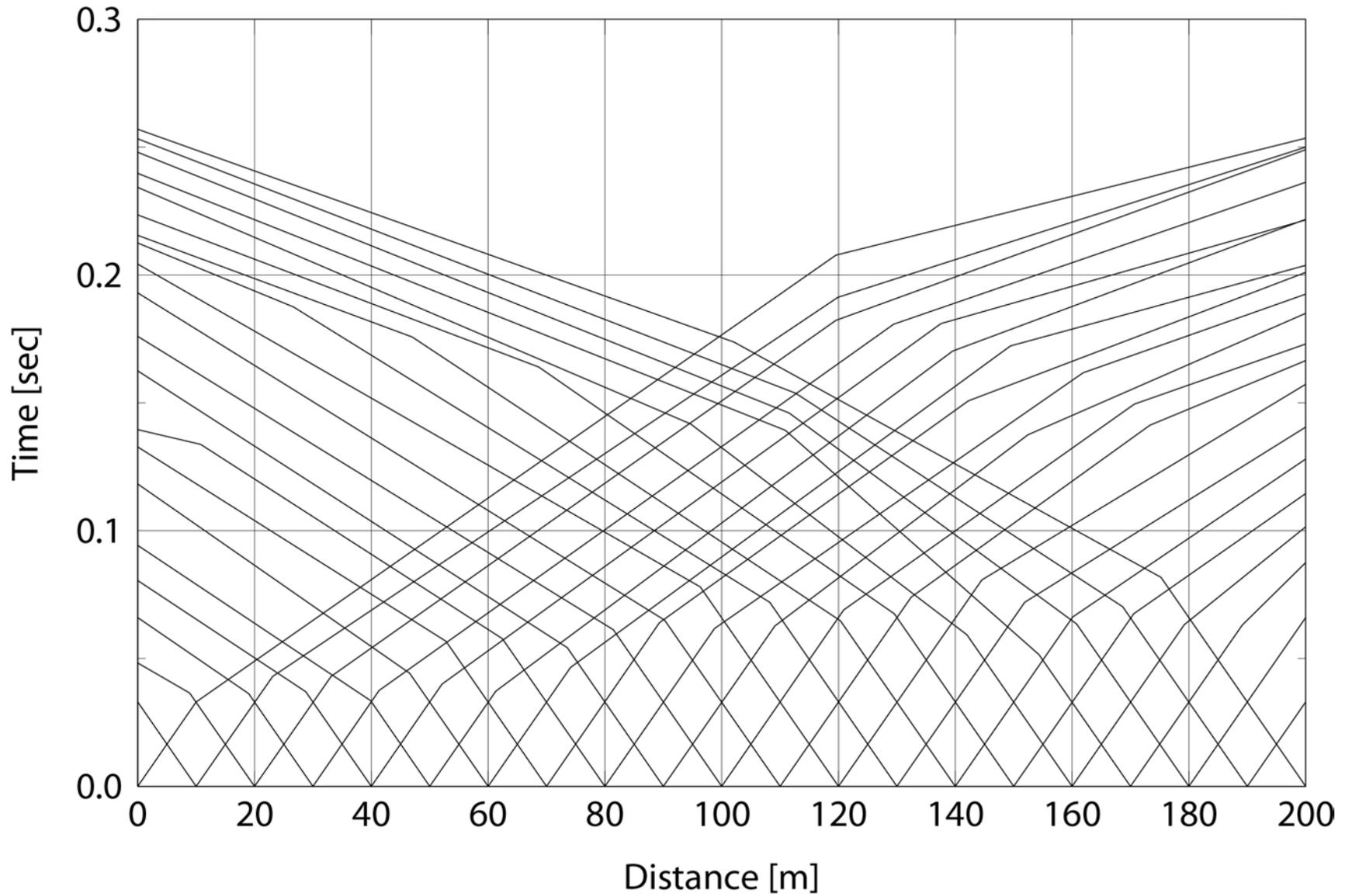
走時曲線の整合性

折れ点の一致

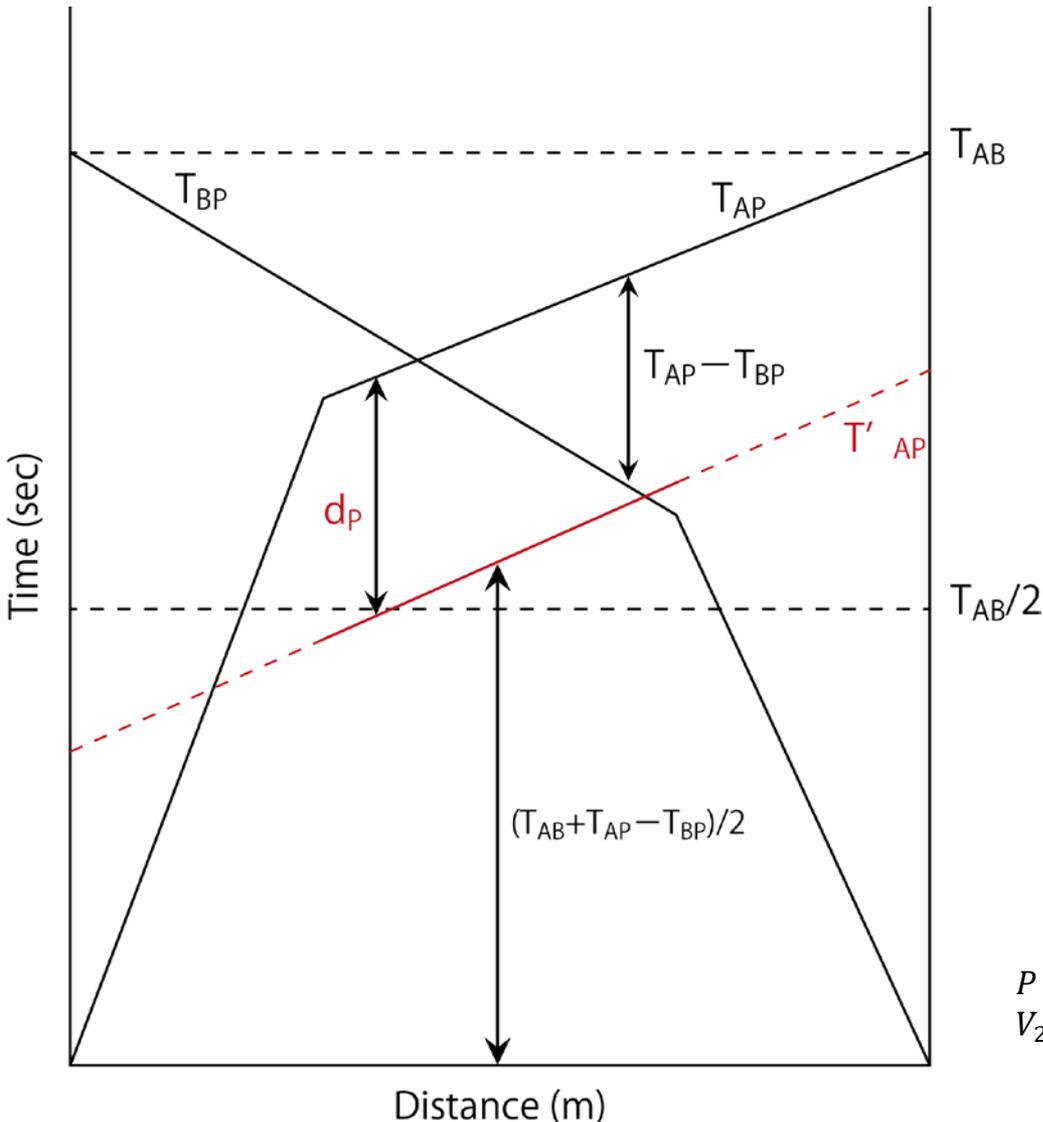


※ 走時が一致しない = 読み取りが不十分である可能性

Travel time (no reduction)



はぎとり法の計算方法



速度走時

$$T'_{AP} = \frac{T_{AB}}{2} + \frac{T_{AP} - T_{BP}}{2}$$

深度走時

$$d_p = T_{AP} - T'_{AP}$$

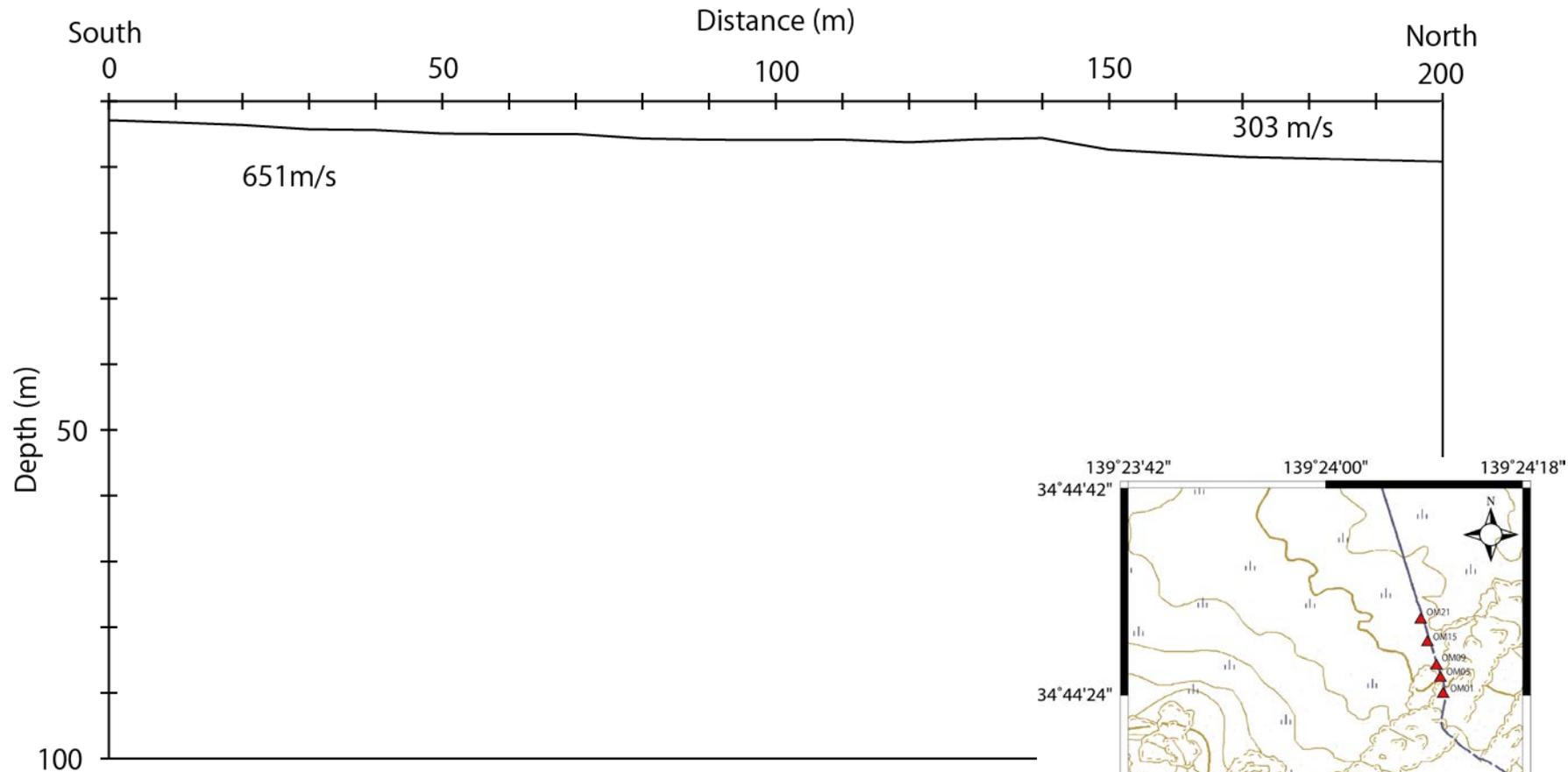
層厚

$$h_p = \frac{d_p V_1}{\cos i_c}$$

P : AB 間の任意の点

V_2 : 速度走時の傾斜より算出(一次の回帰直線を使用)

結果（傾斜二層構造）



地震波速度は算出された各々の速度の平均値を表す

$$\sin\alpha_{13} = \frac{V_1}{V_{3A}}$$

$$\theta_{13} = \alpha_{13} + \omega_1$$

$$\frac{\sin\theta_{13}}{\sin\alpha_{23}} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$i_3 = \frac{\alpha_{23} + \beta_{23}}{2}$$

$$V_3 = \frac{V_2}{\sin(i_3)}$$

$$\sin\beta_{13} = \frac{V_1}{V_{3B}}$$

$$\varphi_{13} = \beta_{13} - \omega_1$$

$$\frac{\sin\varphi_{13}}{\sin\beta_{23}} = \frac{V_1}{V_2}$$

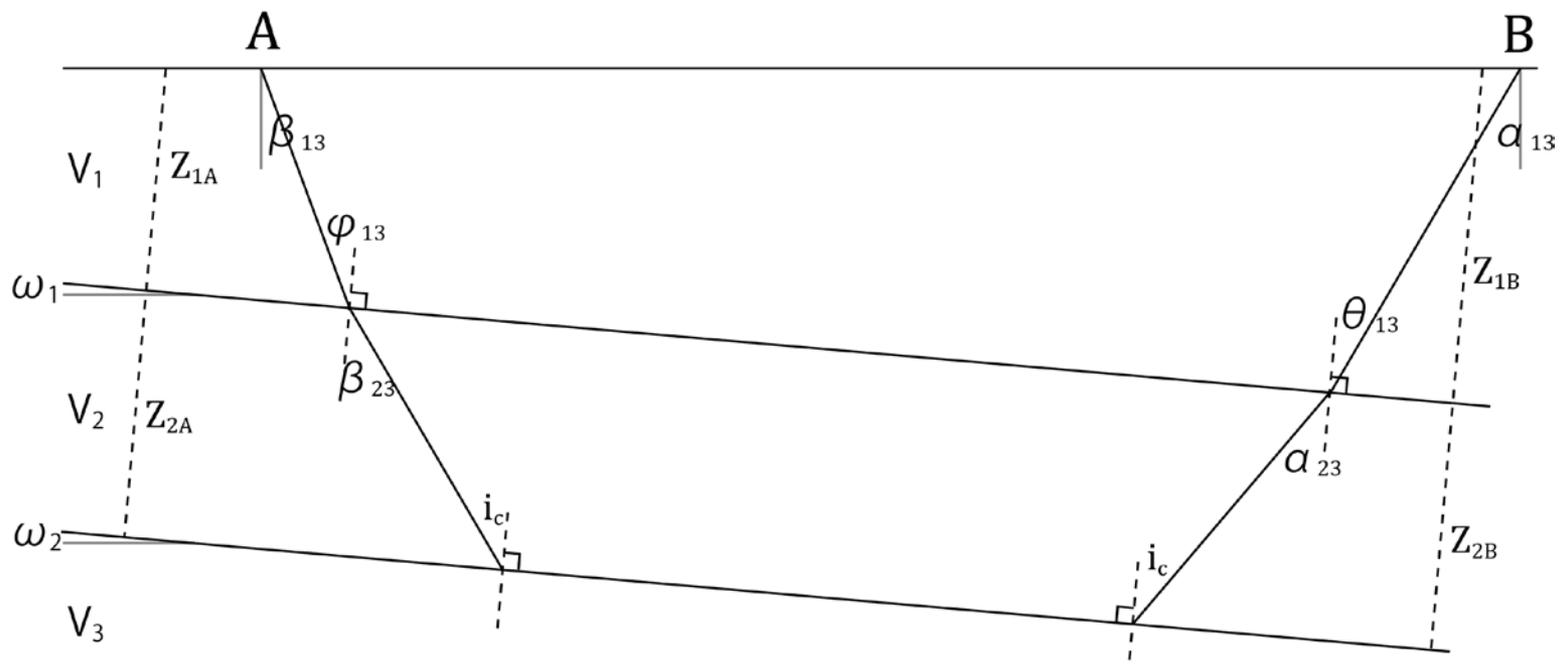
$$\omega_2 = \frac{\beta_{23} - \alpha_{23}}{2} + \omega_1$$

$$D_{1A} = \frac{Z_{1A}(\sin\theta_{13} + \cos\varphi_{13})}{V_1}$$

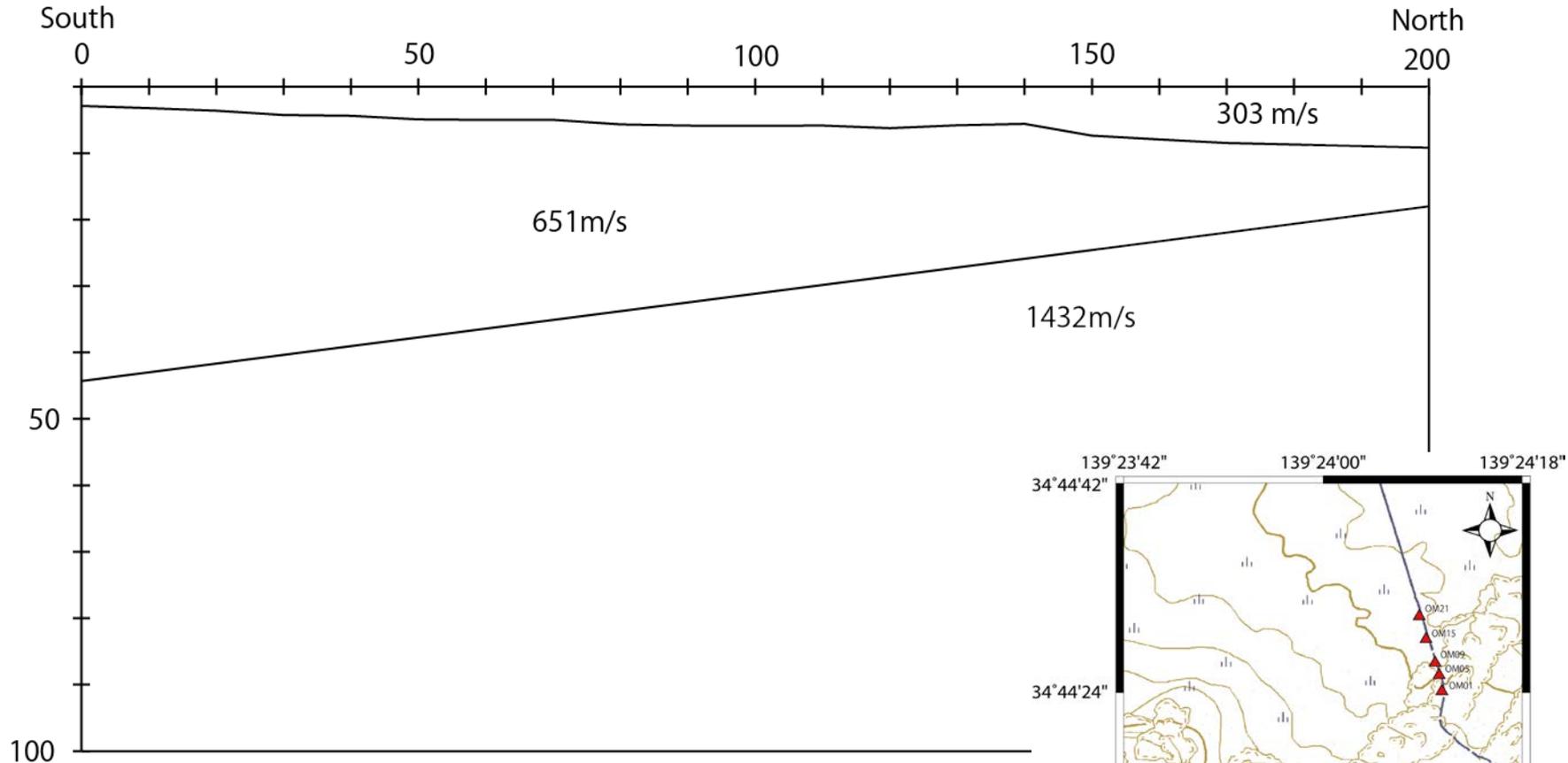
$$D_{2A} = t_{3A} - D_{1A}$$

$$Z_{2A} = \frac{D_{2A}V_2}{2\cos(i_3)}$$

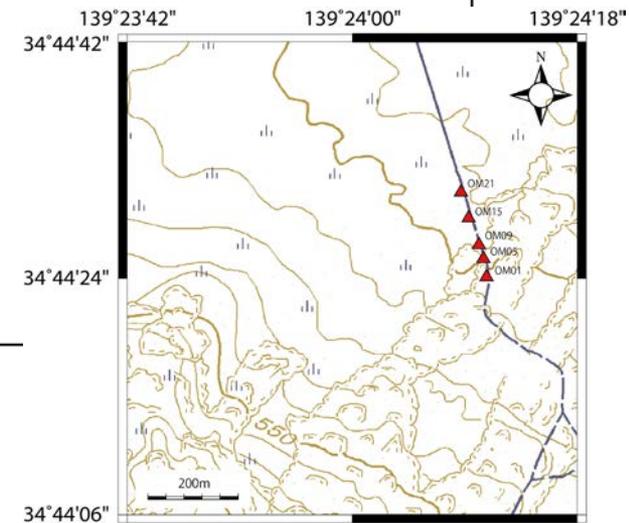
Aの部分すべてをBに変えればZ_{2B}も計算できる



結果(傾斜三層構造)



地震波速度は算出された各々の速度の平均値を表す



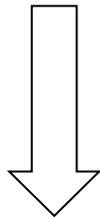
走時曲線の再考

- はぎとり法は地表面が水平とみなせることが前提
 - 側線上の地表面はわずかに北傾斜を示す
- 補正を与えた走時曲線は正しいのか？
 - “往復走時, 原点走時, 折れ点の一致”のためやや強引に読み取り
 - 始めの主観的な読み取り値とは異なる
- 初期の読み取り値を用い, 地表の傾斜を考慮して“Ray Tracing”を行う

Ray Tracingとは？

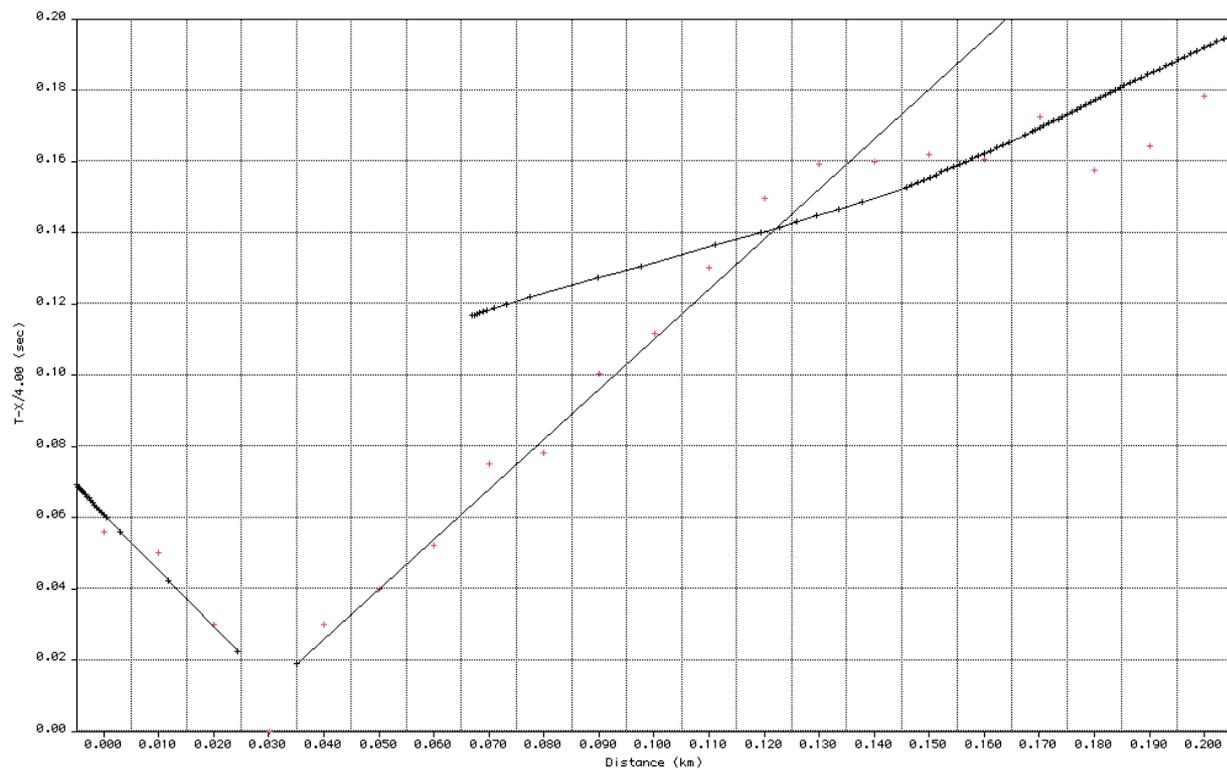
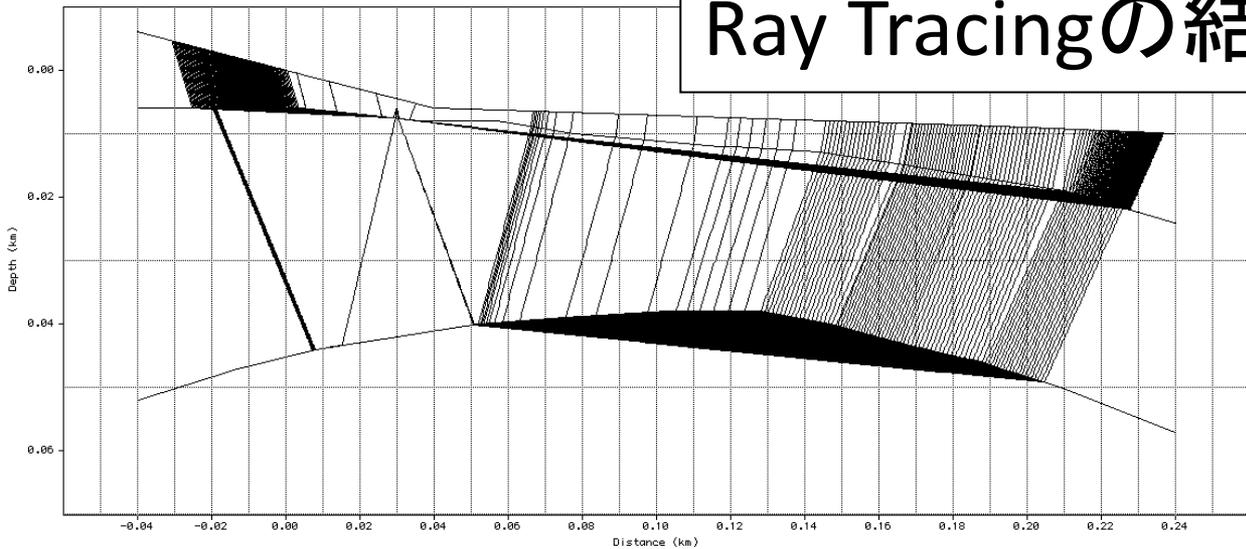
パラメータを与えて走時を求める(走時曲線を描く)

- 1. 抽象的な速度構造
- 2. 弾性波速度 V_1, V_2, V_3
- 3. レイヤー毎の層厚

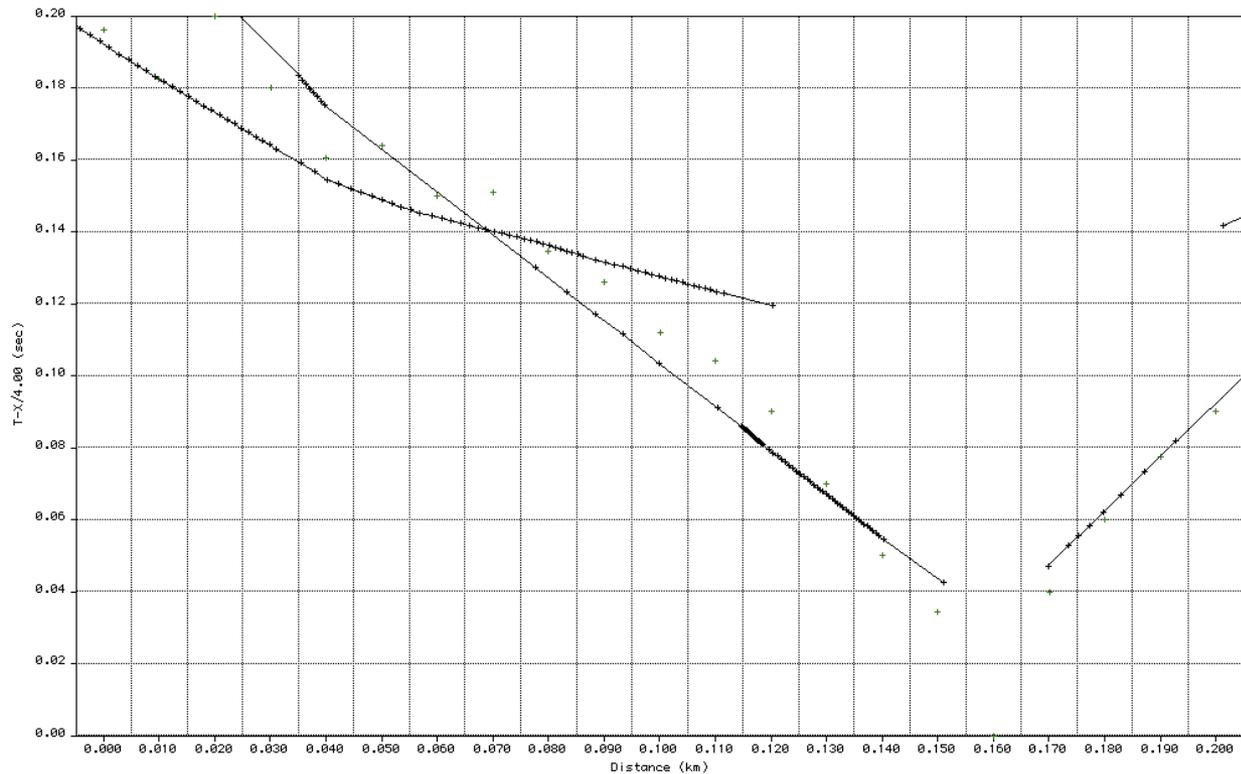
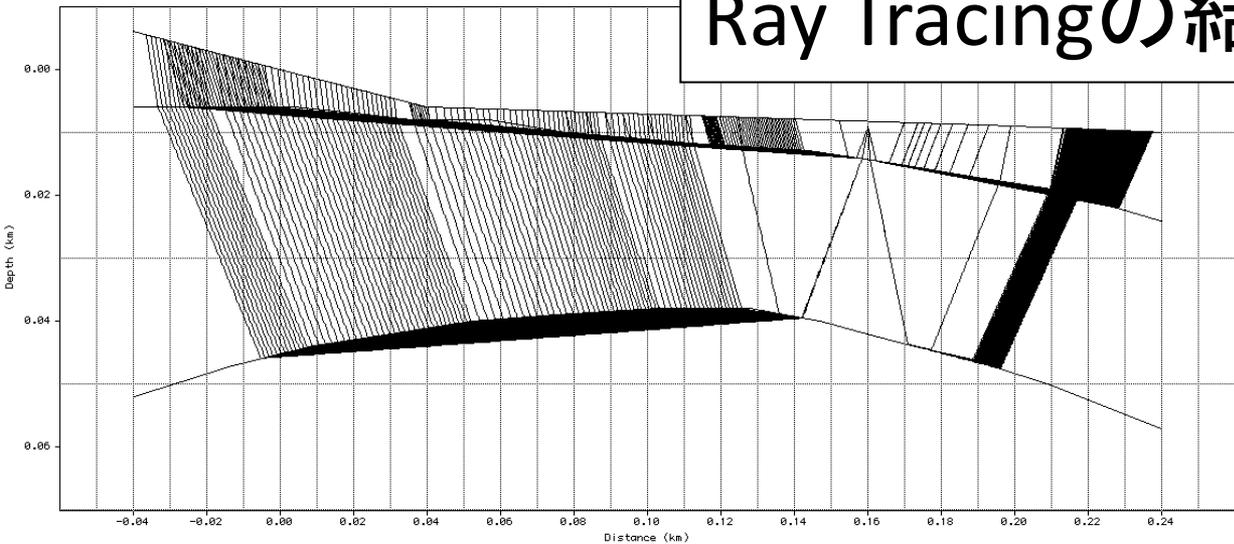


実測と計算の走時曲線が一致する構造モデルを決定する

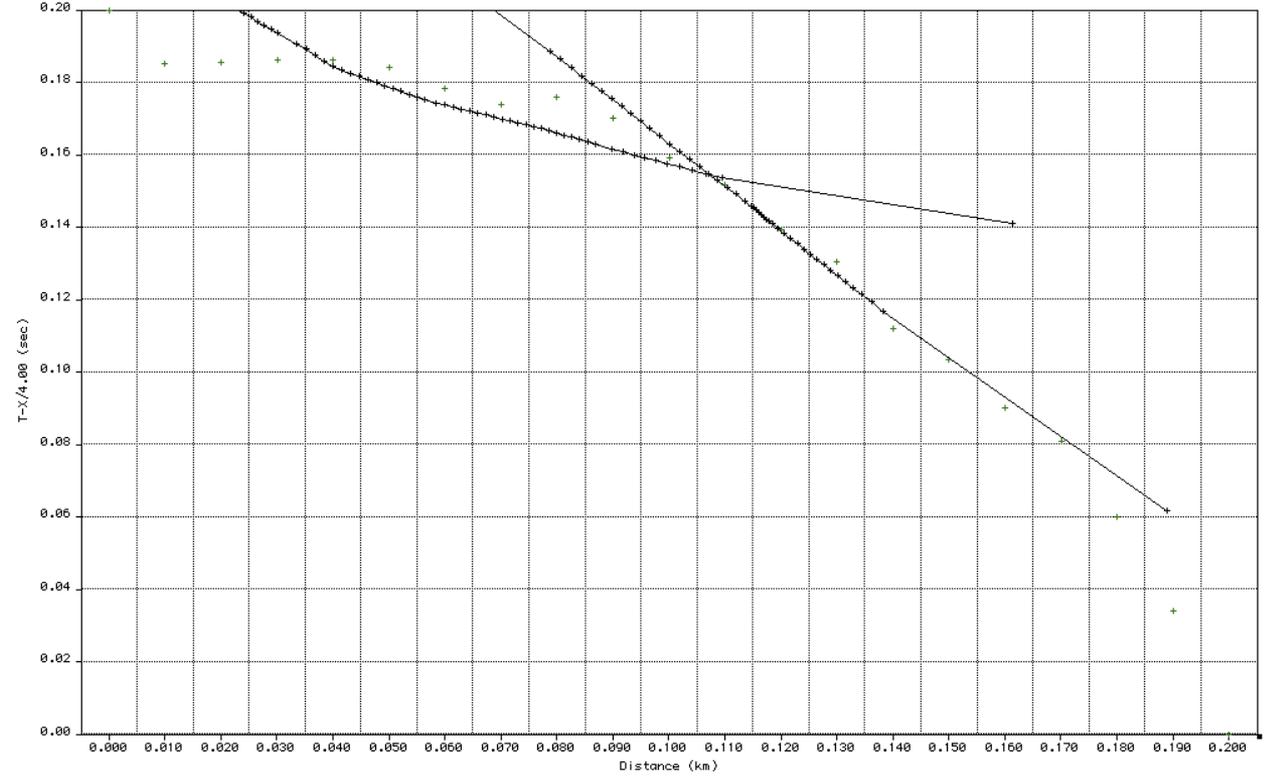
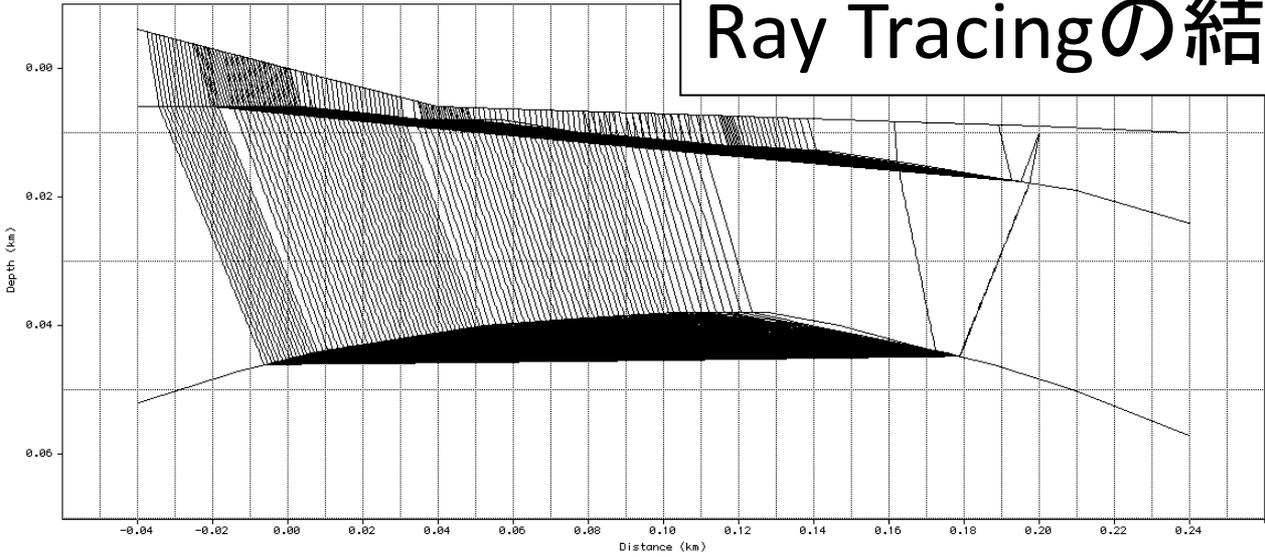
Ray Tracingの結果(Shot Point 04)



Ray Tracingの結果(Shot Point 17)

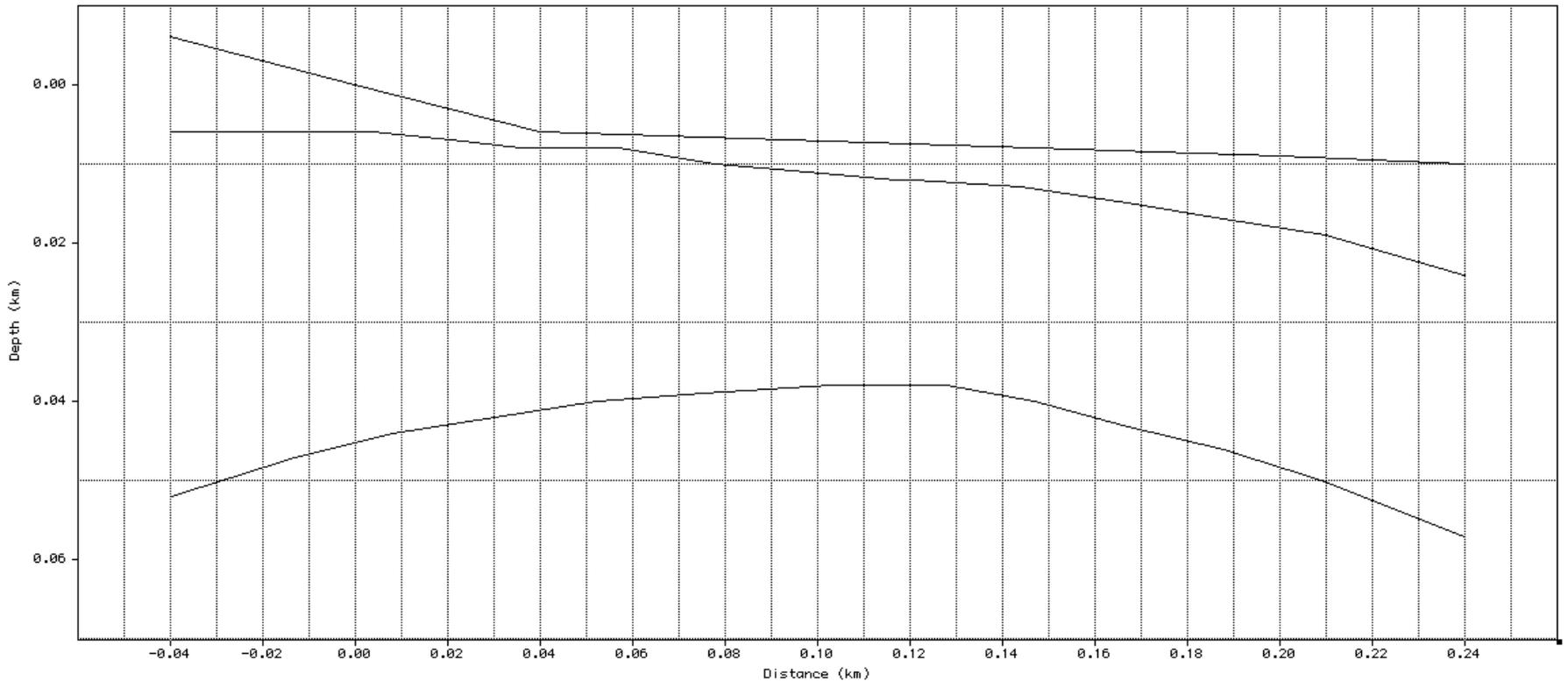


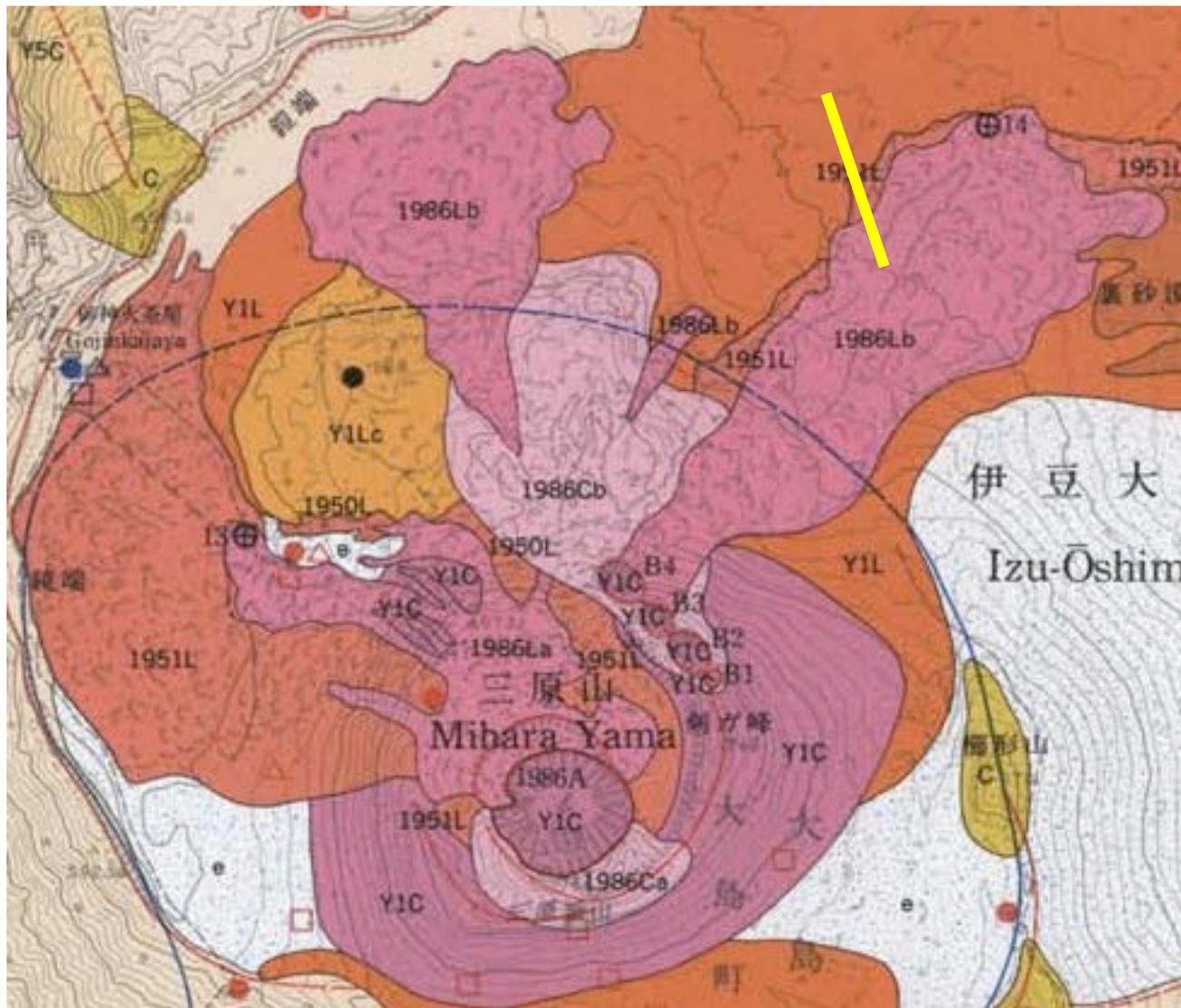
Ray Tracingの結果(Shot Point 21)



考察

1層目、2層目、3層目は何にあたるのか。





地質調査所、1998

調査場所南部は、最上部に1968年噴火の溶岩流、その下に1950-51年噴火の溶岩流が流れているところ。

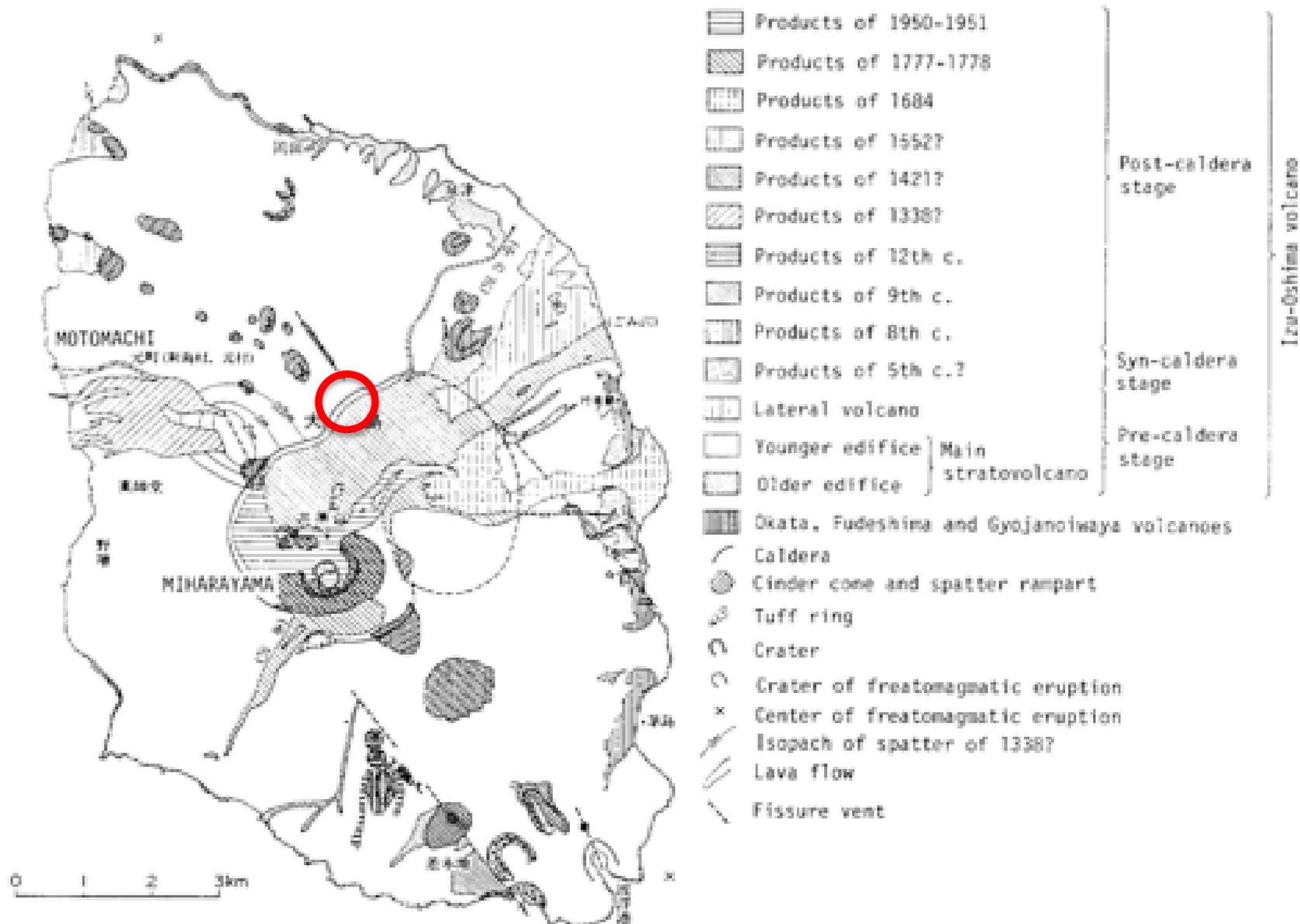


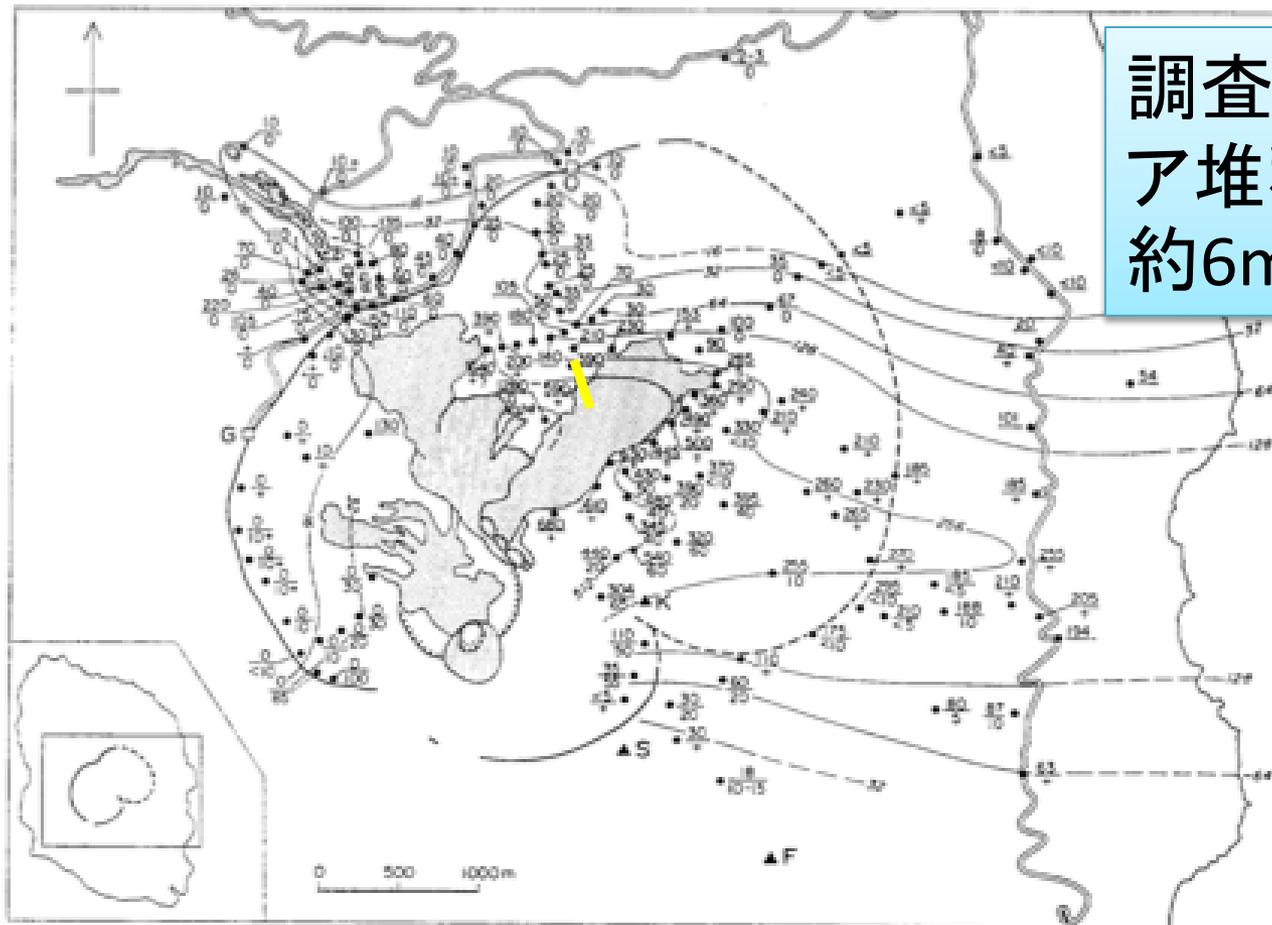
Fig. 1. Simplified geologic map of Izu-Oshima volcano (partly modified after ISSHIKI, 1984a).



地表面に溶岩が露出
しているわけではない。

表面を覆っているのは
スコリア!!



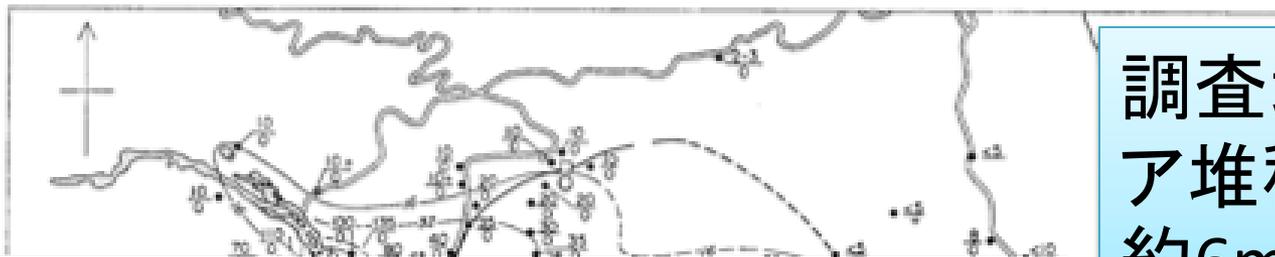


調査地点でのスコリア堆積層の層厚は、約6m。

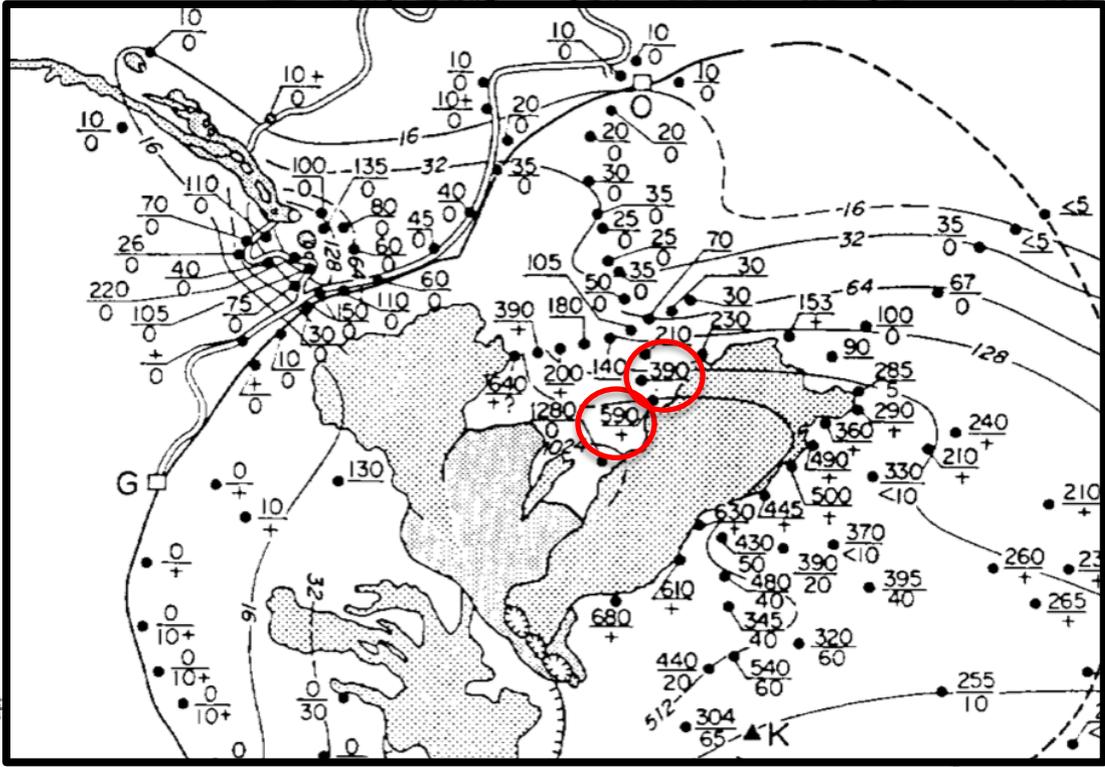
Fig. 5. Isopach map of air-fall scoria deposit of 1986 eruption (after SOYA *et al.*, 1987). Numerators are thickness of air-fall scoria from B and C vents in mm, and denominators are those from A crater. O: Onsen hotel, G: Gojinkajaya, K: Kushigatayama, S: Shiroishiyama, F; Futagoyama.

阪口他、1988

第1層目は1986年噴火によるスコリア堆積層!!



調査地点でのスコリア堆積層の層厚は、約6m。



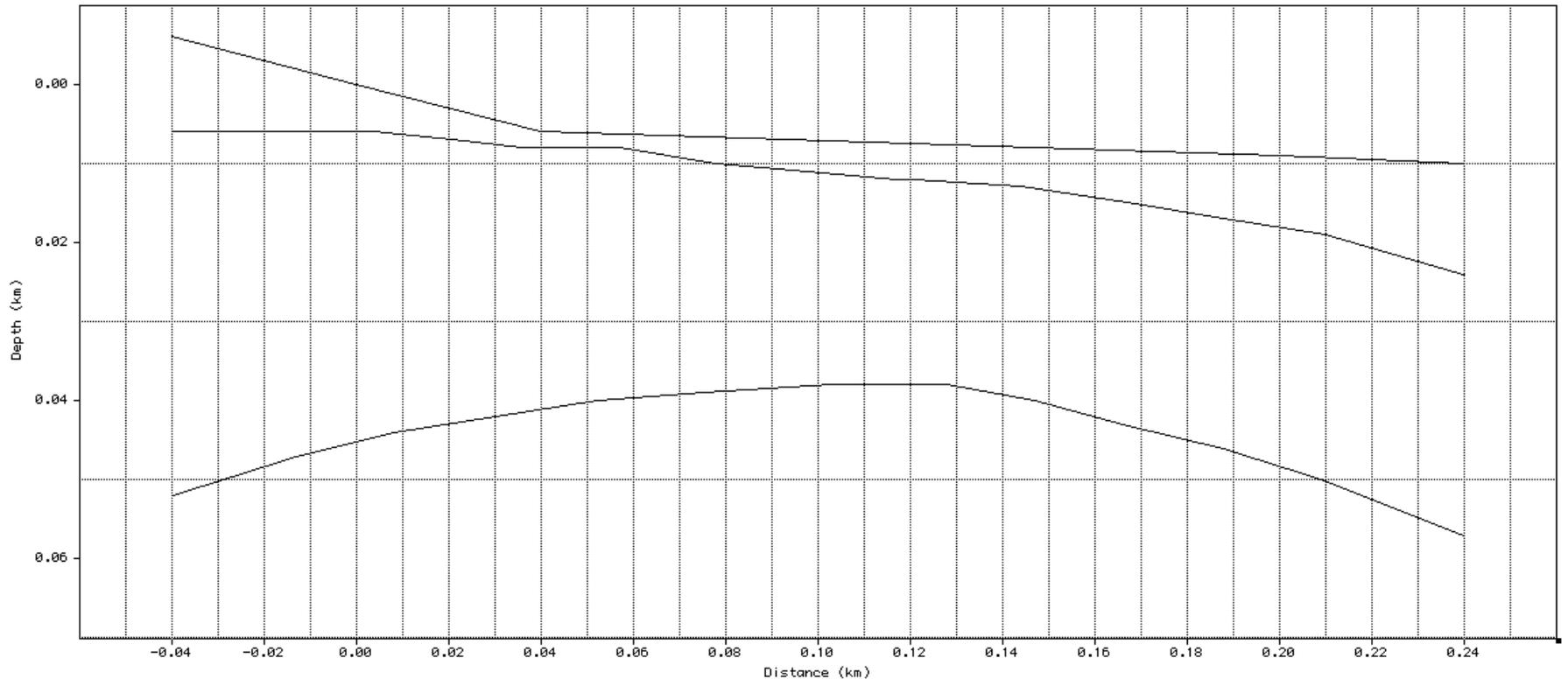
急激に層厚が変化しているなので、実際は層厚は4-10mほど

from A crater. O: Onsen hotel, G: Gojinkajaya, K: Kushigatayama, S: Shiroishiyama, F; Futagoyama. (阪口他, 1988)

第1層目は1986年噴火によるスコリア堆積層!!

疑問

第1層目がスコリア堆積層である場合、なぜ北の方が層が厚いのか。



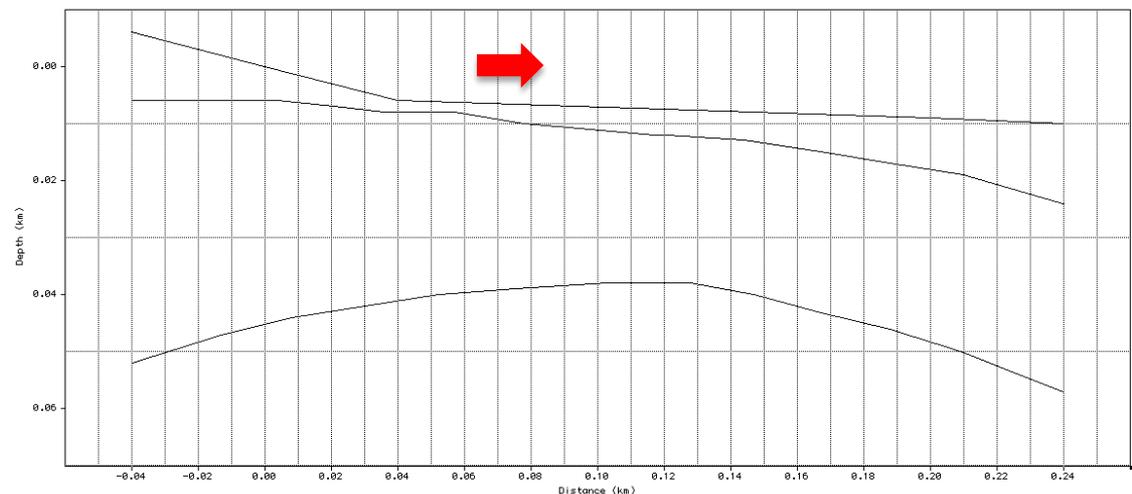
可能性その1

今回の実習の計算がそれほど正確ではない。

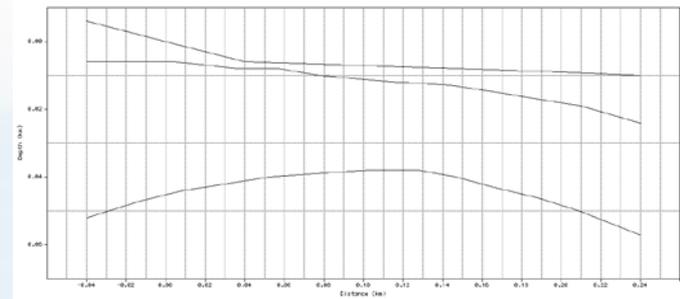


可能性その2

北側の方が標高が低いため、スコリアが崩れて再堆積した。



仮説その①



溶岩のクリンカーによる速度の違い

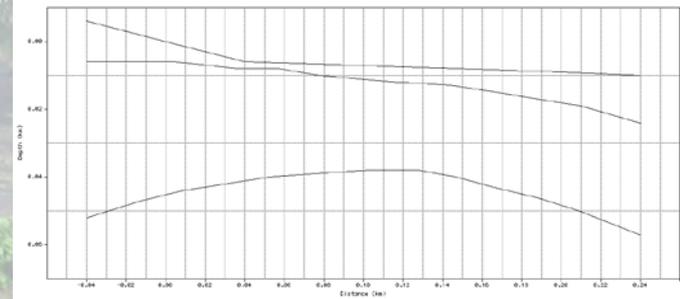
速度がかなり遅いことを考慮すると、密度が低く、がさがさな層であることが予想できる。

- 1層目：スコリア堆積層
- 2層目：溶岩のクリンカー
- 3層目：溶岩の中心、massiveな部分。

→クリンカーが厚すぎる。

新しい溶岩流があるのは、南部のみ。

仮説その②



溶岩流の重なりによって層ができています。

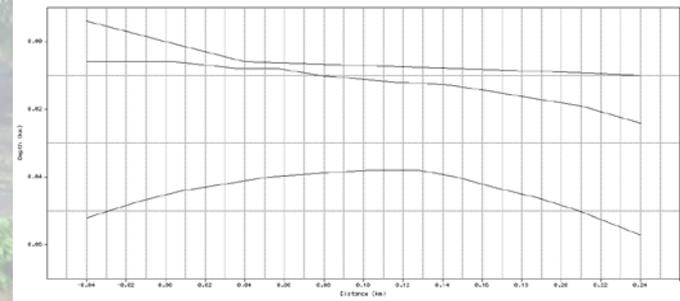
- 1層目：スコリアが堆積した層
- 2層目：1986年の溶岩流
- 3層目：さらに古い(1950-1951年の)溶岩流

→溶岩流があるのは南部のみ。

2層目の速度を、溶岩流で実現できるのか？

2層目が厚すぎる。

仮説その③

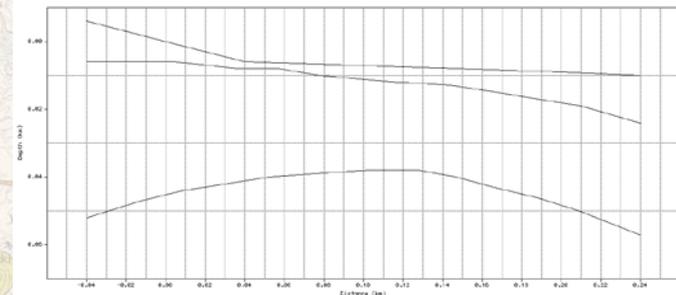


1986年以前の噴火で積もったスコリアが圧縮されている。

- 1層目：1986年にスコリアが堆積した層
- 2層目：1986年以前のスコリア堆積層
- 3層目：溶結凝灰岩、または溶岩流

→1層目、2層目の低速度の理由が説明できる。
2層目の方が1層目よりも速度が速いのは、
圧縮を受けて密度が高くなっているから。
3層目の速度・2層目の厚さも整合的。

仮説その④



溶岩流の組成の違いによる密度の違い。

- 1層目: スコリアの堆積層
- 2層目: 石英に富んだ溶岩流
- 3層目: かんらん石に富んだ溶岩流

→組成の違いのみで2層目と3層目の速度の違いを説明できるのか。

かんらん石に富んでいるのは1600年以前の、古い溶岩流のみ。溶岩流の重なりを考えると、第2層が薄すぎる。

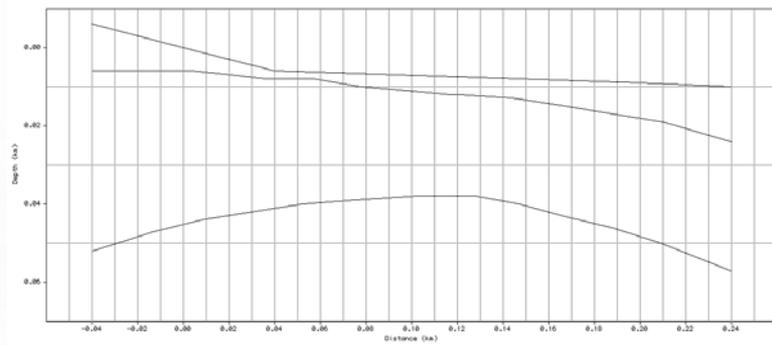
溶岩流

- 1層目：
- 2層目：
- 3層目：

→組成の違
できるのか。
かんらん石
岩流のみ。

完新世 Holocene 伊豆大島火山 Izu Oshima Volcano カルデラ形成・後カルデラ火山 Syn- and post-caldera Volcano	1950-51年溶岩流 Lava flows of 1950-51	1950-51L 斜方輝石普通輝石玄武岩溶岩 Orthopyroxene-augite basalt lava
	Y1 (1777-78年) 溶岩流 Lava flows of Y1 (1777-78)	Y1L 普通輝石玄武岩溶岩 Augite basalt lava
	Y1 (1777-78年) 溶岩丘 Lava mounds of Y1	Y1Lc 普通輝石玄武岩溶岩 Augite basalt lava
	Y1 (1777-78年) スコリア丘 Scoria cone of Y1	Y1C 斜方輝石普通輝石玄武岩スコリア、スパター Orthopyroxene-augite basalt scoria and spatter
	Y2 (1984年) 溶岩流 Lava flow of Y2 (1684)	Y2L 斜方輝石玄武岩溶岩 Orthopyroxene basalt lava
	Y3 (1552年?) 溶岩流 Lava flow of Y3 (1552?)	Y3L かんらん石斜方輝石玄武岩溶岩 Olivine-orthopyroxene basalt lava
	Y4 (1421年?) タフリング Tuff ring of Y4 (1421?)	Y4T 爆発角礫岩 Explosion breccia
	Y4 (1421年?) スコリア丘 Scoria cones of Y4 (1421?)	Y4C かんらん石普通輝石斜方輝石玄武岩スコリア Olivine-augite-orthopyroxene basalt scoria
	Y4 (1421年?) 溶岩流 Lava flows of Y4 (1421?)	Y4L かんらん石普通輝石斜方輝石玄武岩溶岩 Olivine-augite-orthopyroxene basalt lava
	Y5 (1338年?) 溶岩流 Lava flows of Y5 (1338?)	Y5L 斜方輝石普通輝石玄武岩溶岩 Orthopyroxene-augite basalt lava
	Y5 (1338年?) スコリア丘 Scoria cones of Y5 (1338?)	Y5C 斜方輝石普通輝石玄武岩スコリア、スパター Orthopyroxene-augite basalt scoria and spatter
	N1 (12世紀?) 溶岩流 Lava flows of N1 (12th century ?)	N1L かんらん石玄武岩溶岩 Olivine basalt lava
	N1 (12世紀?) スコリア丘 Scoria cones of N1 (12th century ?)	N1C かんらん石玄武岩スコリア Olivine basalt scoria
	N3 (9世紀) スコリア丘 Scoria cones of N3 (9th century)	N3C かんらん石普通輝石玄武岩スコリア Olivine-augite basalt scoria
N4 (8世紀?) 溶岩流 Lava flows of N4 (8th century ?)	N4L 普通輝石玄武岩溶岩 Augite basalt lava	
N4 (8世紀?) スコリア丘 Scoria cones of N4 (8th century ?)	N4C かんらん石普通輝石玄武岩スコリア Olivine-augite basalt scoria	
S2 (5-7世紀?) 溶岩流 Lava flows of S2 (5-7th century ?)	S2L かんらん石普通輝石斜方輝石玄武岩溶岩 Olivine-augite-orthopyroxene basalt lava	
S2 (5-7世紀?) スコリア丘 Scoria cones of S2 (5-7th century ?)	S2C かんらん石普通輝石玄武岩スコリア Olivine-augite basalt scoria	

仮説まとめ



第1層目は、1986年噴火のスコリアと仮定。

2層目

3層目

① クリンカー

溶岩

② 1986溶岩

1950-51溶岩

③ 1986以前スコリア

溶結凝灰岩・溶岩

④ 石英質溶岩

かんらん石質溶岩

③が、速度も層厚も最も適合すると思われる。

まとめ

- 伊豆大島において、人工地震による地震波の伝播を観測した。
- 地震波波形データから、初動データの読み取りを行った。
- 様々な方法で1次元構造の解析を行い、信頼性の高い速度構造を得た。
- 得られた地下構造が、何を示しているのかを考察した。

ありがとうございました!!

