

観測実習構造探査(干渉法)

小澤創 甲斐建 鈴木杏平

指導教員 竹尾明子

概要

地震波干渉法の基本原理

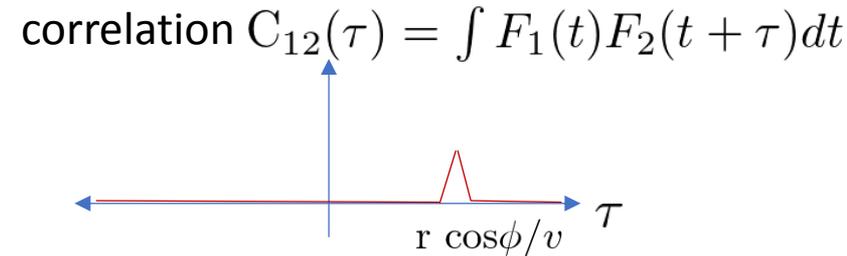
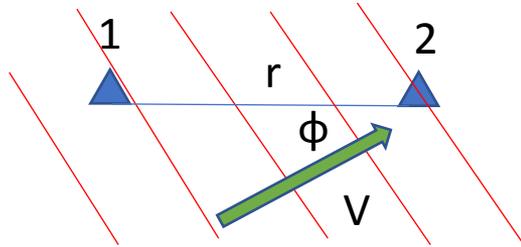
ランダム波動場において2観測点の記録の相互相関関数を計算すると、片方の観測点を震源としたグリーン関数が得られる

目的

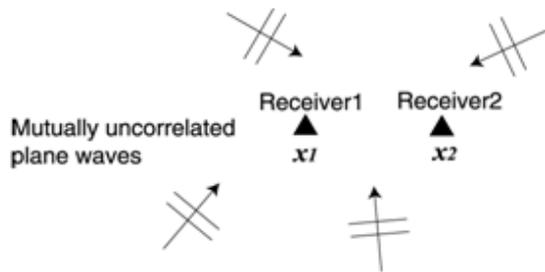
- ・ 相関波形から浅間山における地震波速度（表面波速度）を2つの直交する測線について求める
- ・ 表面波速度の周波数依存性から浅間山の地下の地震波速度構造を推定する
- ・ ハンマーによる結果と比較する

地震波干渉法のイメージ

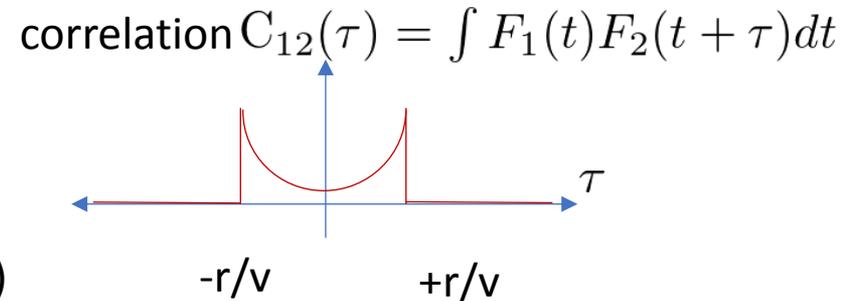
1. 測線に対して角度 ϕ で入射する平面波について, 距離 r 離れた2点の到達時刻差は $\tau(\phi) = \frac{r \cos \phi}{v}$



2. ランダム波動場を平面波の重ね合わせと考えると全方向について積分すると, $\tau(\phi)$ は $\phi = 0, 2\pi$ で停留点を取るなので, $\pm r/v$ に鋭いピークが出る



中原(2015)



2次元の一様で無相関な波動場の場合理論的に, $H(C(\tau)) = 2(G^{2D}(\tau) - G^{2D}(-\tau))$

データと解析手法について

- 浅間山東山麓の黒豆河原で自然に発生している地震学的雑音信号
- 4.5Hzのgeophone（速度波形）の上下動成分
- サンプルング周波数は500Hz。
- 7月22日14時から7月23日6時40分までのデータを用いた。
- 150メートルの測線1とそれに直交する100メートルの測線2に5メートル間隔で合計50個設置した

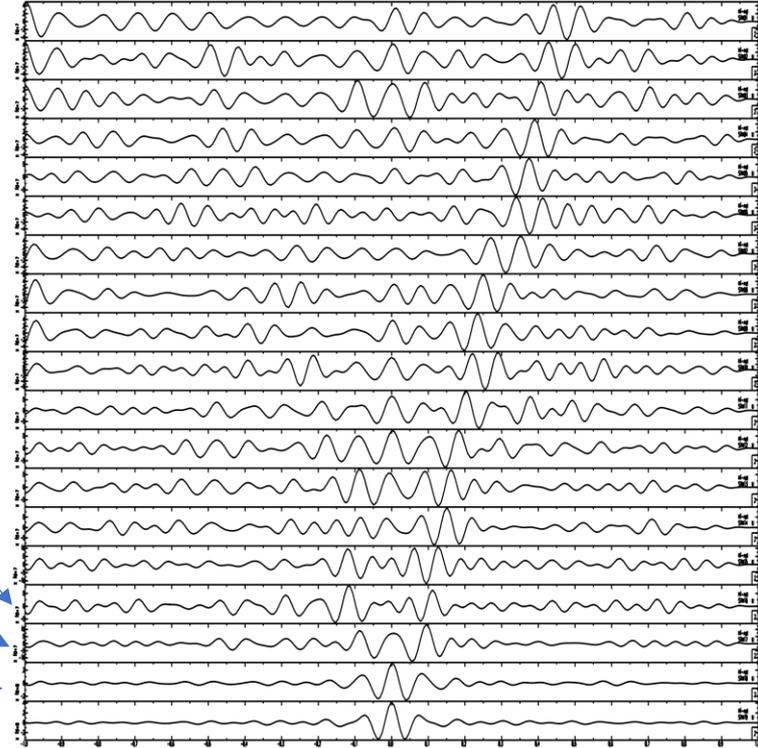
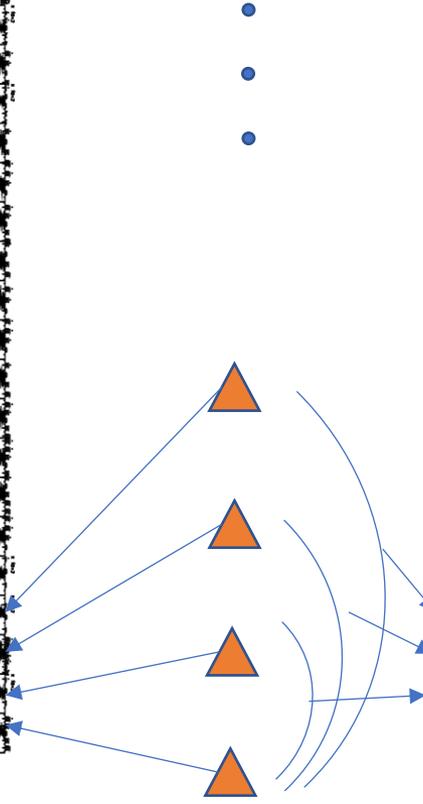
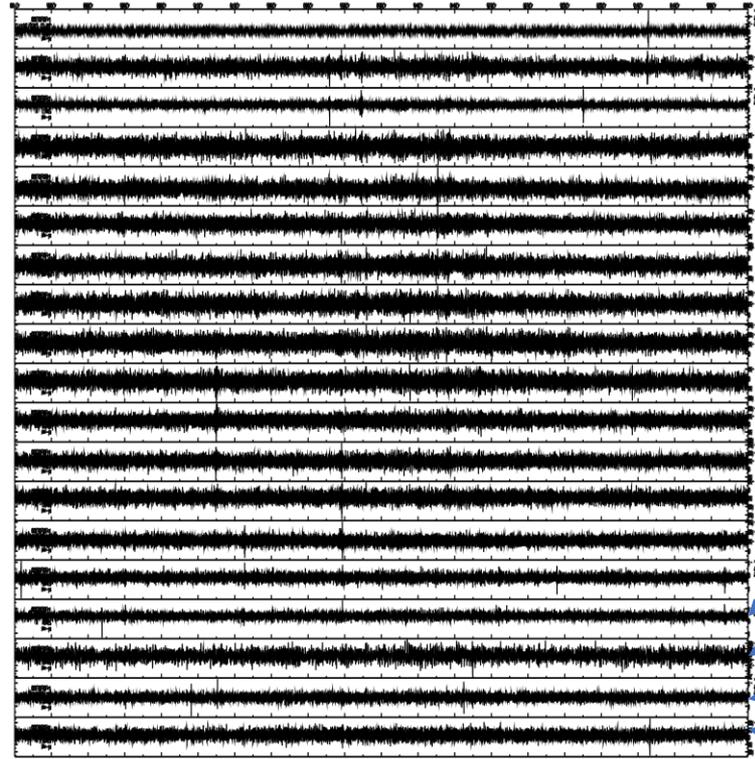


相互相関関数の計算

観測波形

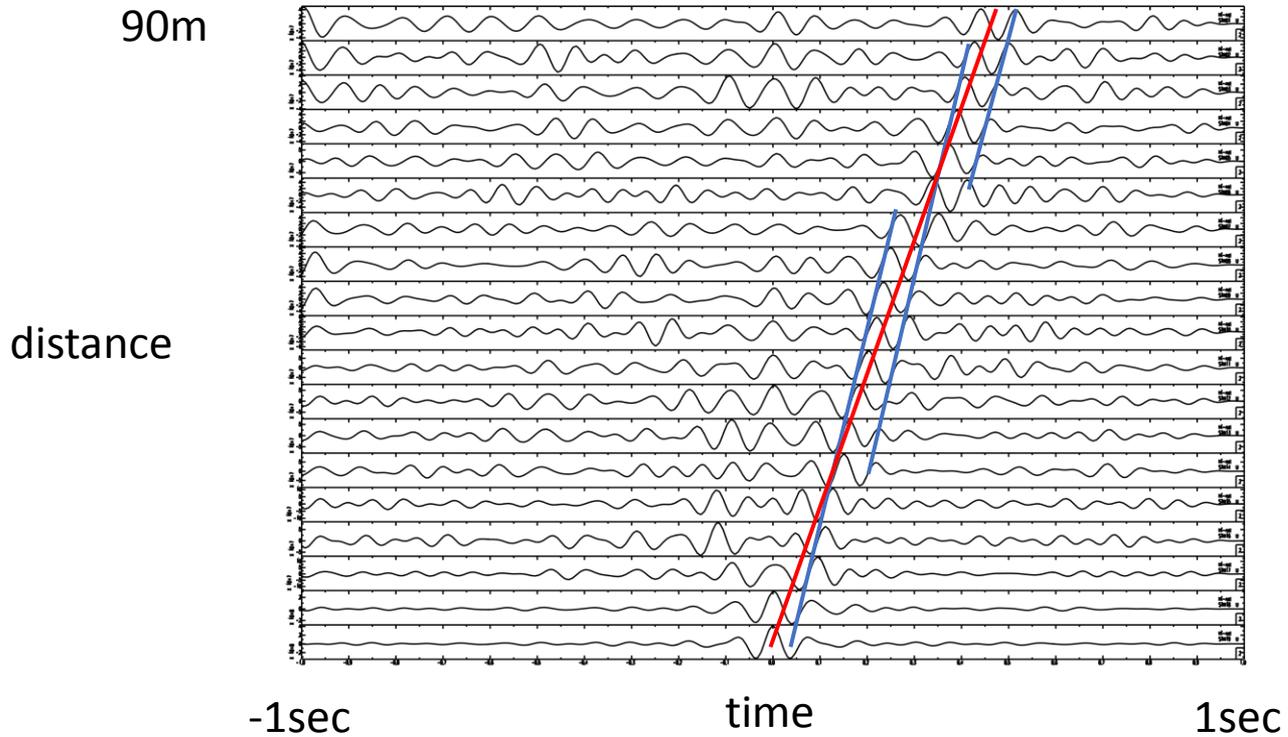
測線

相互相関関数



time

速度の推定



位相速度：波形をずらして最も相関が良くなったところ
群速度：エンベロープの極値を結んで傾きを求める

地震波速度構造

- 次にsaito (1988)に則って、地下の各層の密度、 V_p 、 V_s から仮定される各周波数区間での位相速度が相互相関関数から求めた位相速度に一致するようにパラメータを決めた。
- これより各層（0-10m,10-25m,25-45m）での V_s を求めた。
- 各層は $V_p=3.3V_s$,密度 1.0 g/cm^3 であると仮定した。



各測線の位相速度

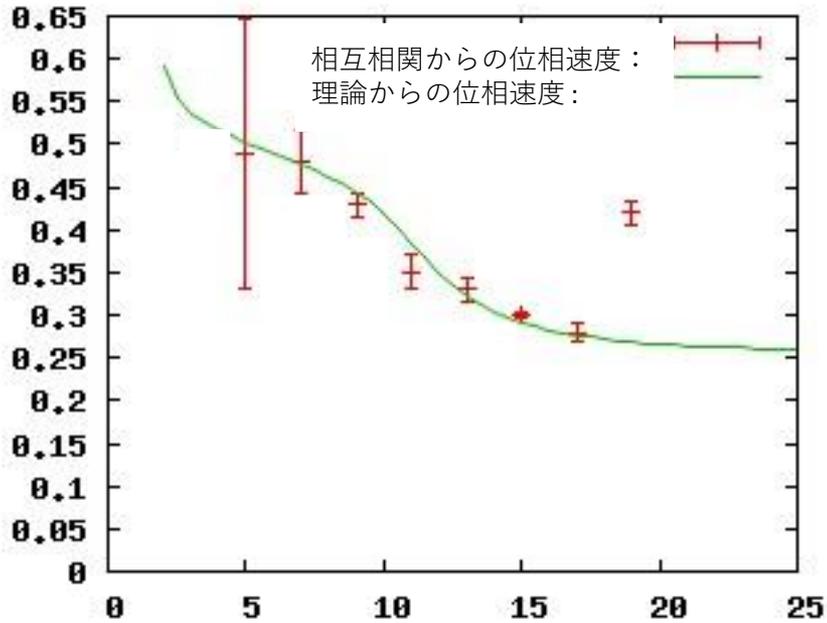
測線2

山

測線1

麓

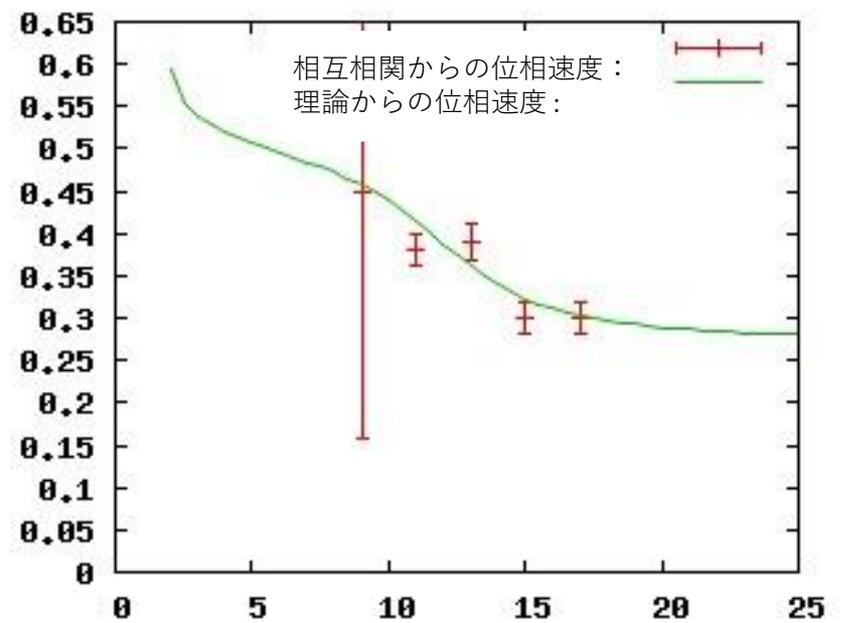
(Km/s)



(H z)

測線 1

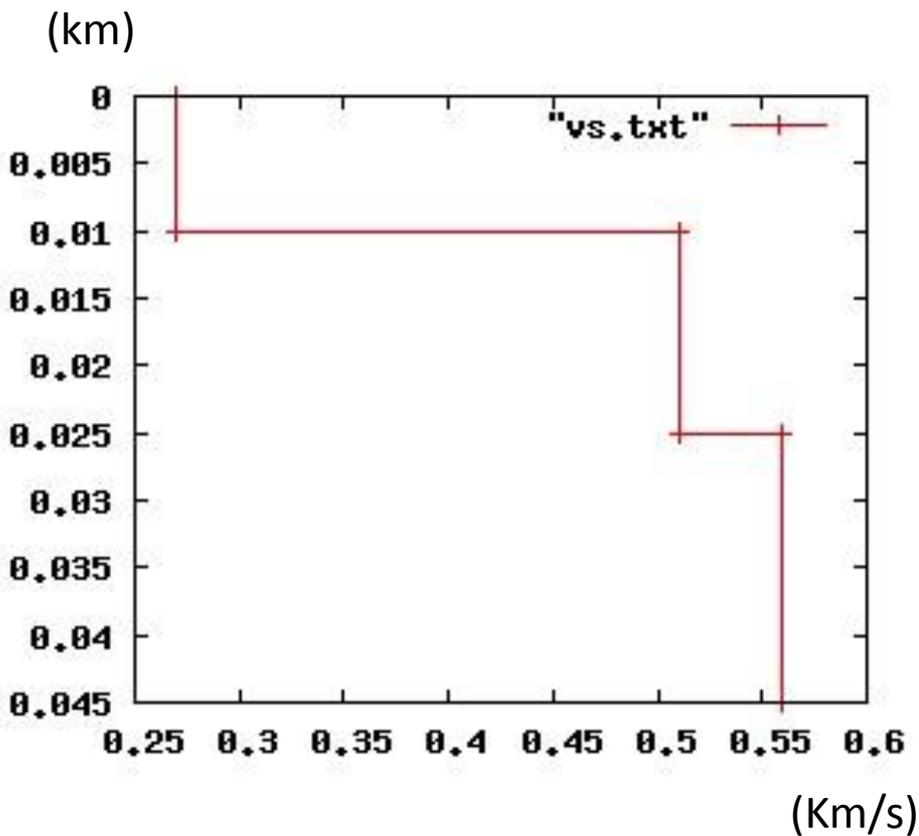
(Km/s)



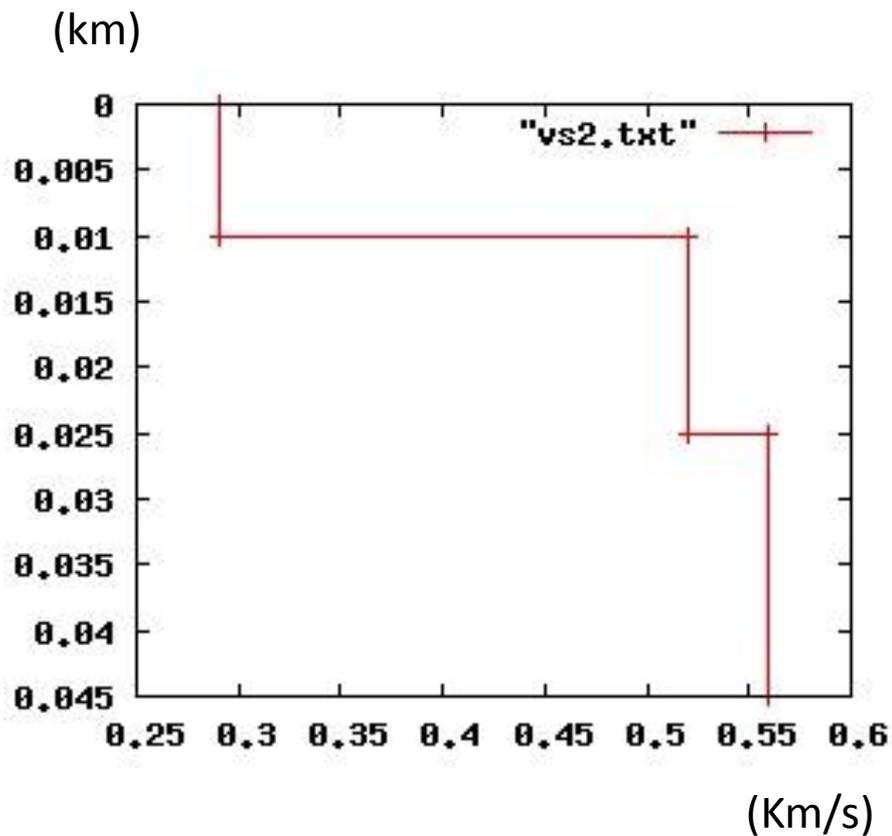
(H z)

測線 2

S波速度構造



測線 1

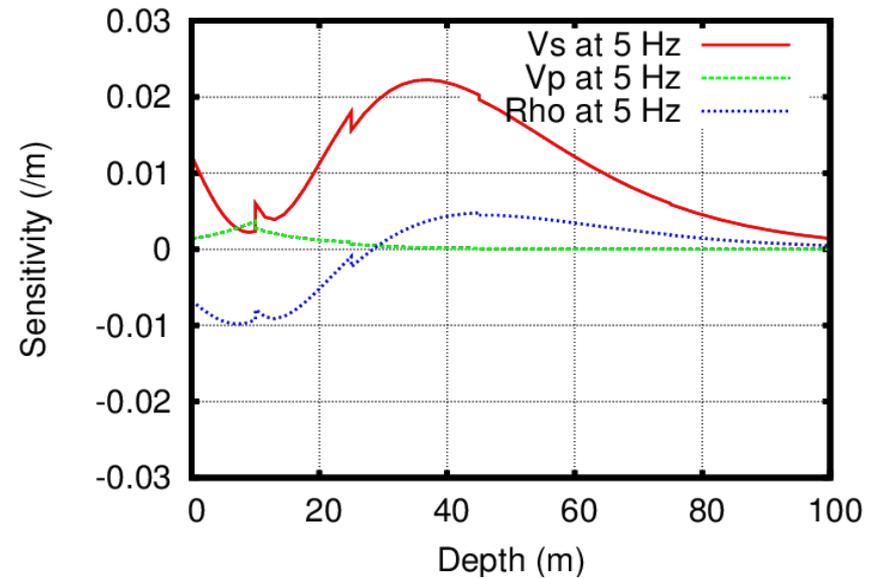
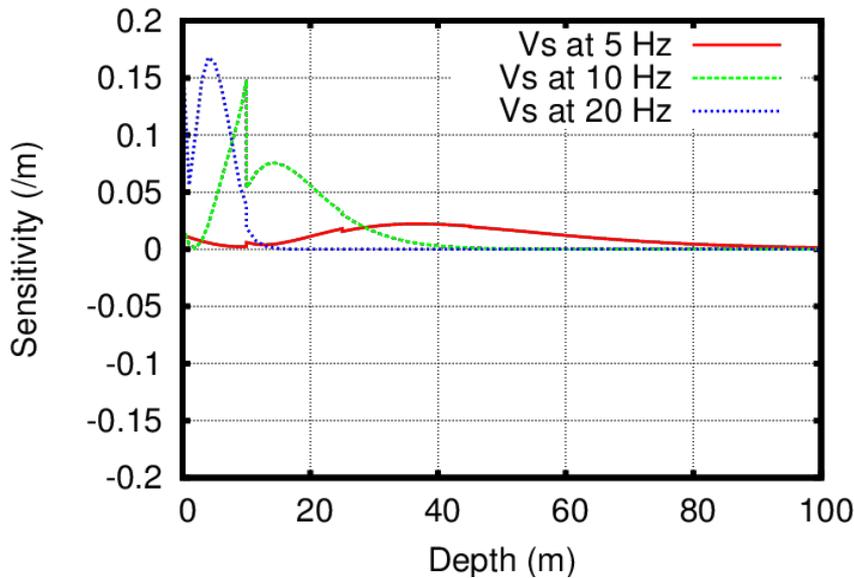


測線 2

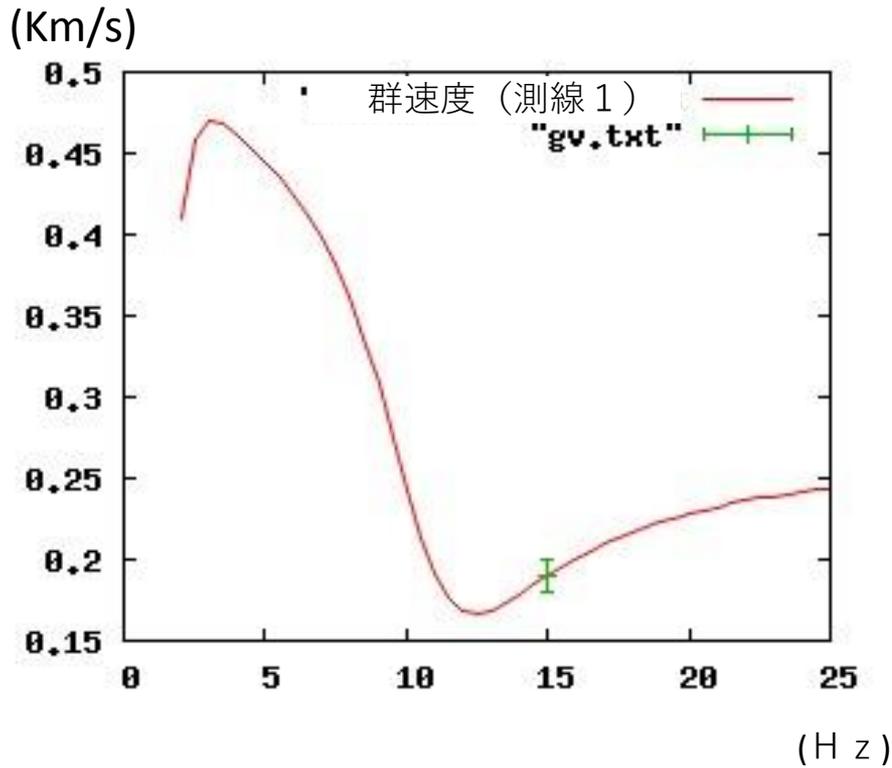
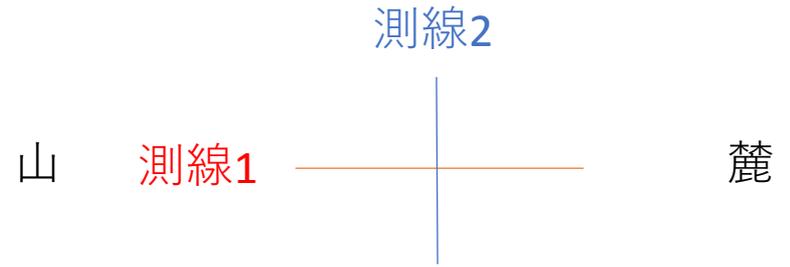
sensitivity $K_s(z)$ $K_p(z)$ $K_\rho(z)$

定義
$$\frac{\Delta c}{c} = \int K_s(z) \frac{s(z)}{V_s(z)} + \int K_p(z) \frac{p(z)}{V_p(z)} + \int K_\rho(z) \frac{\Delta \rho(z)}{\rho(z)}$$

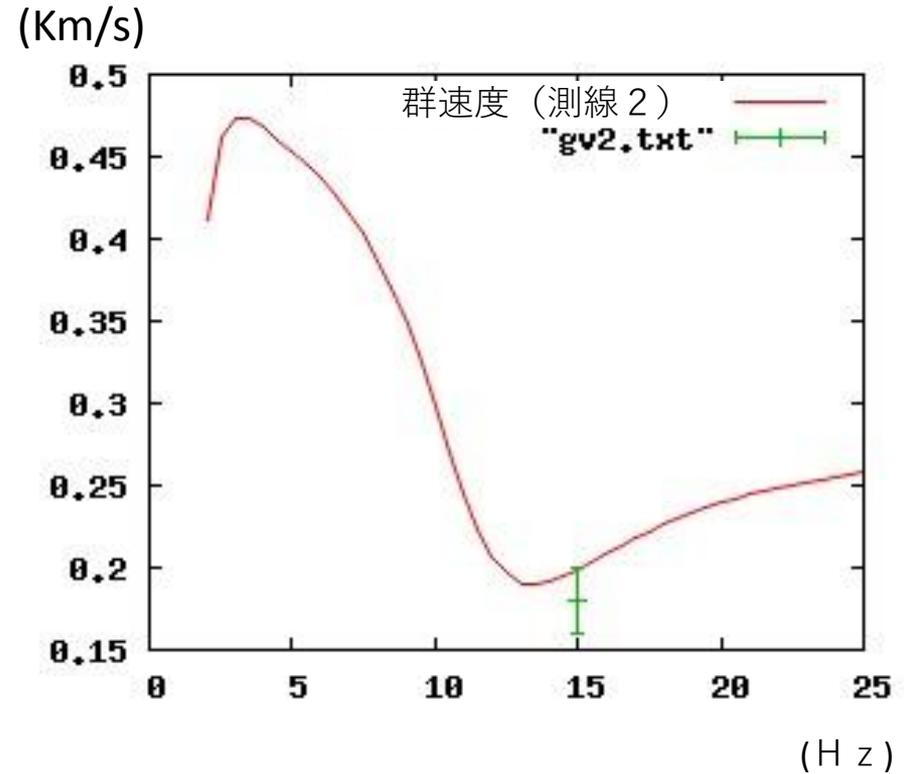
ある深さの v_s （または $v_p \cdot \rho$ ）が $X\%$ 変化した時に
表面波の位相速度 c が $Y\%$ 変化する場合に Y/X で書ける。



群速度の比較



測線 1



測線 2

PS検層(出典: Hi-net web)との比較



ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名： 孺恋(つまごい)

所在地： 群馬県吾妻郡孺恋村大字大前字細原2042

緯度： 36° 29' 19.0"

孔口標高： +1040m

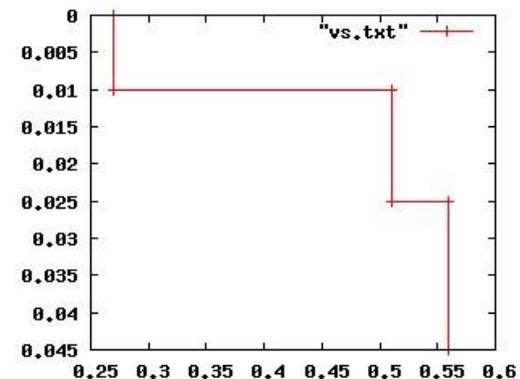
観測点コード： GNMH08

経度： 138° 31' 39.0"

総掘進長： 153.00m

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状 図	岩種 区分	年 代	P S 検 層 図					区 間 速 度 P 波 (m/s)	区 間 速 度 S 波 (m/s)	備 考 事 項					
						区間速度 (P波) (m/s)												
						0	1000	2000	3000	4000				5000				
	1037.00	3.00		ローム														
	1035.00	5.00		礫							390	250						
	1029.00	11.00		礫														
	1027.00	13.00		礫														
	1023.00	17.00		細礫							1200	380						
	1021.00	19.00		礫														

測線 1



ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名： 御代田(みよた)

所在地： 長野県北佐久郡御代田町大字御代田字塩野2981-1

緯度： 36° 19' 39.7"

孔口標高： +845m

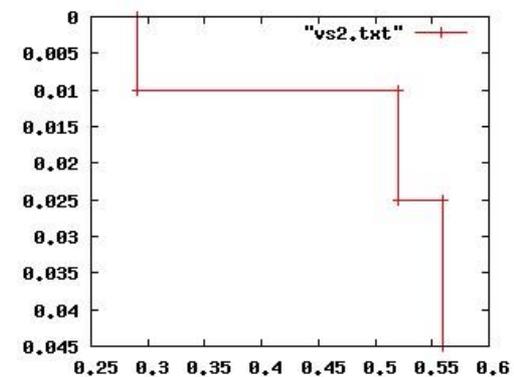
観測点コード： NGNH37

経度： 138° 29' 59.7"

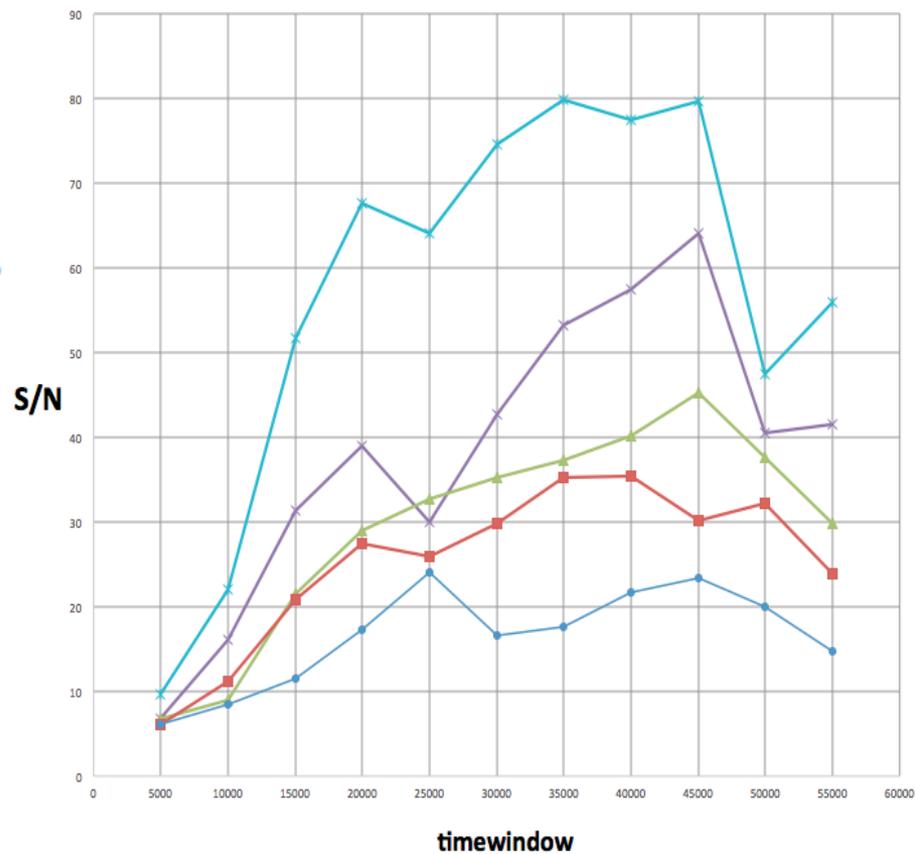
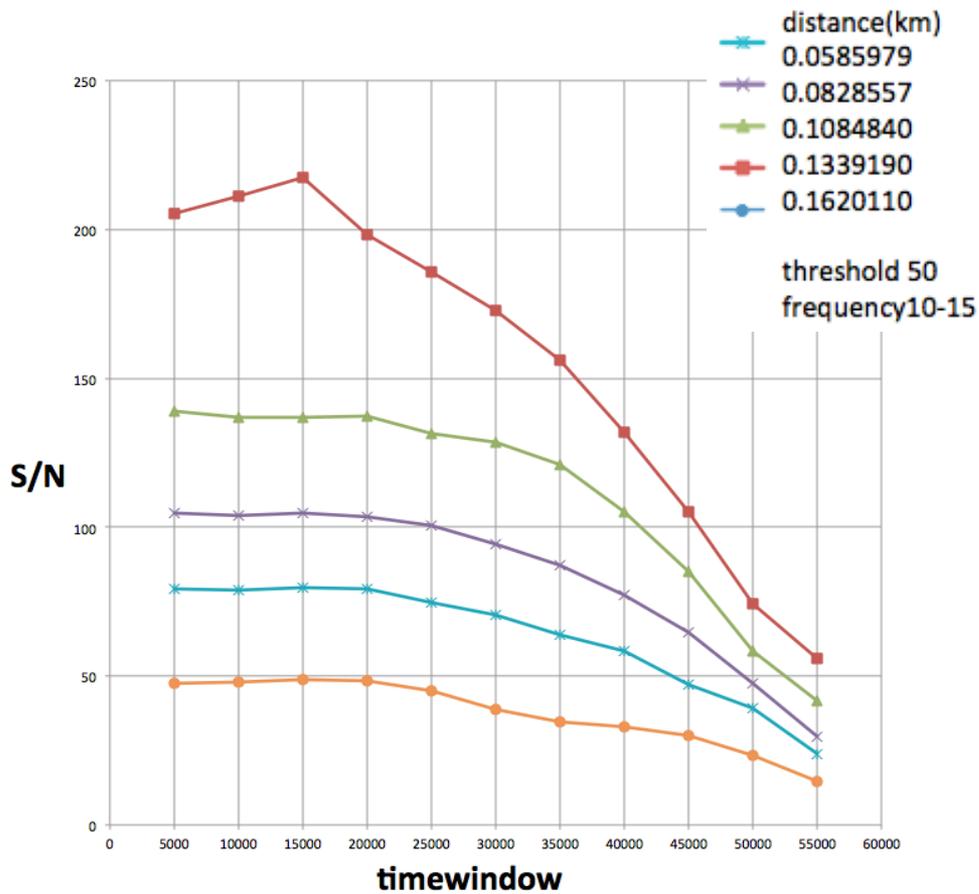
総掘進長： 712.00m

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状 図	岩種 区分	年 代	P S 検 層 図					区 間 速 度 P 波 (m/s)	区 間 速 度 S 波 (m/s)	備 考 事 項					
						区間速度 (P波) (m/s)												
						0	1000	2000	3000	4000				5000				
	838.00	7.00		軽石堆積物														
	835.00	10.00		火山砂礫														
	827.00	18.00		軽石堆積物														
				火砕流堆積物														
	744.00	101.00		軽石堆積物							2000	590						
	737.00	108.00		軽石堆積物														

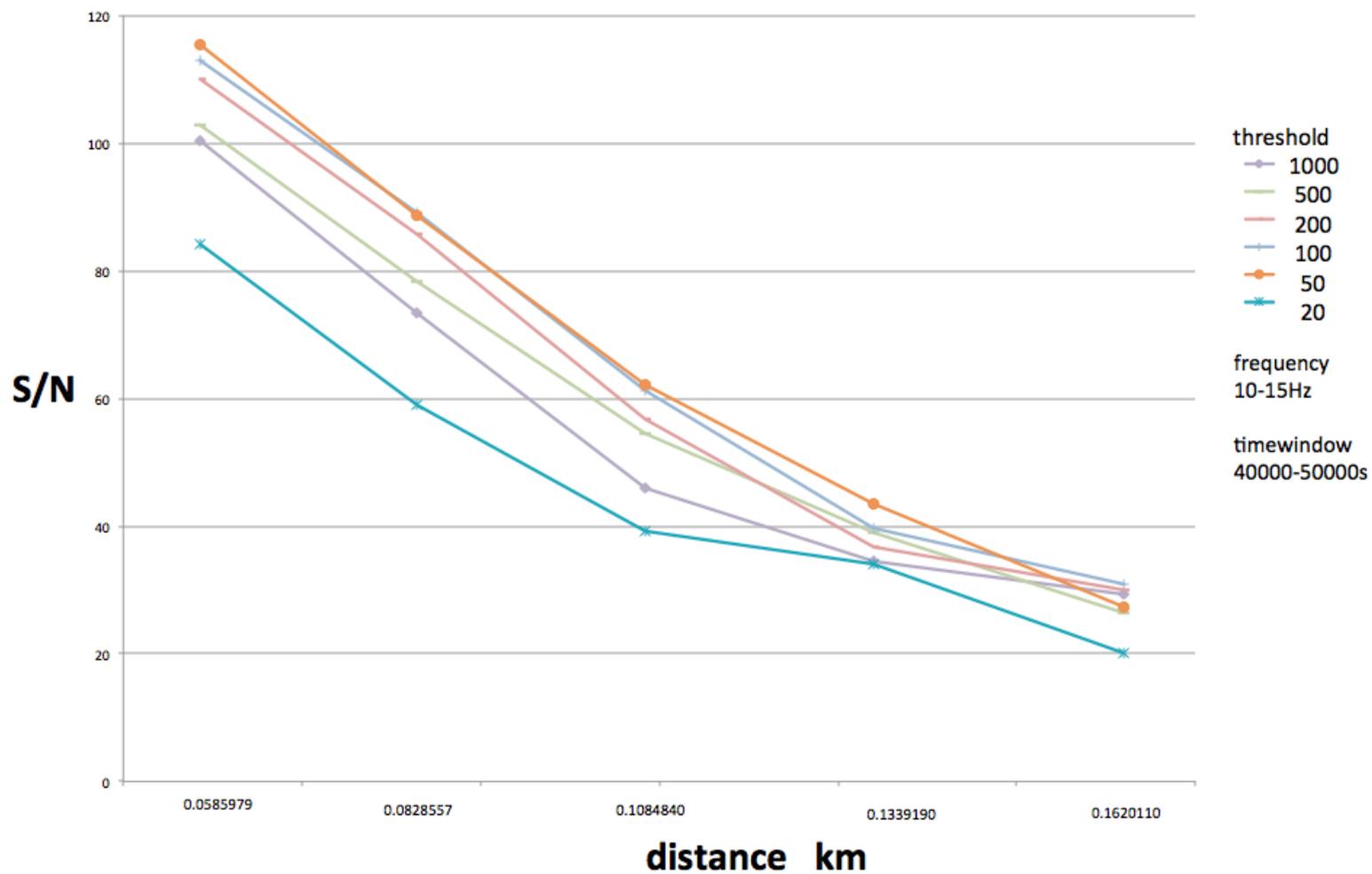
測線 2



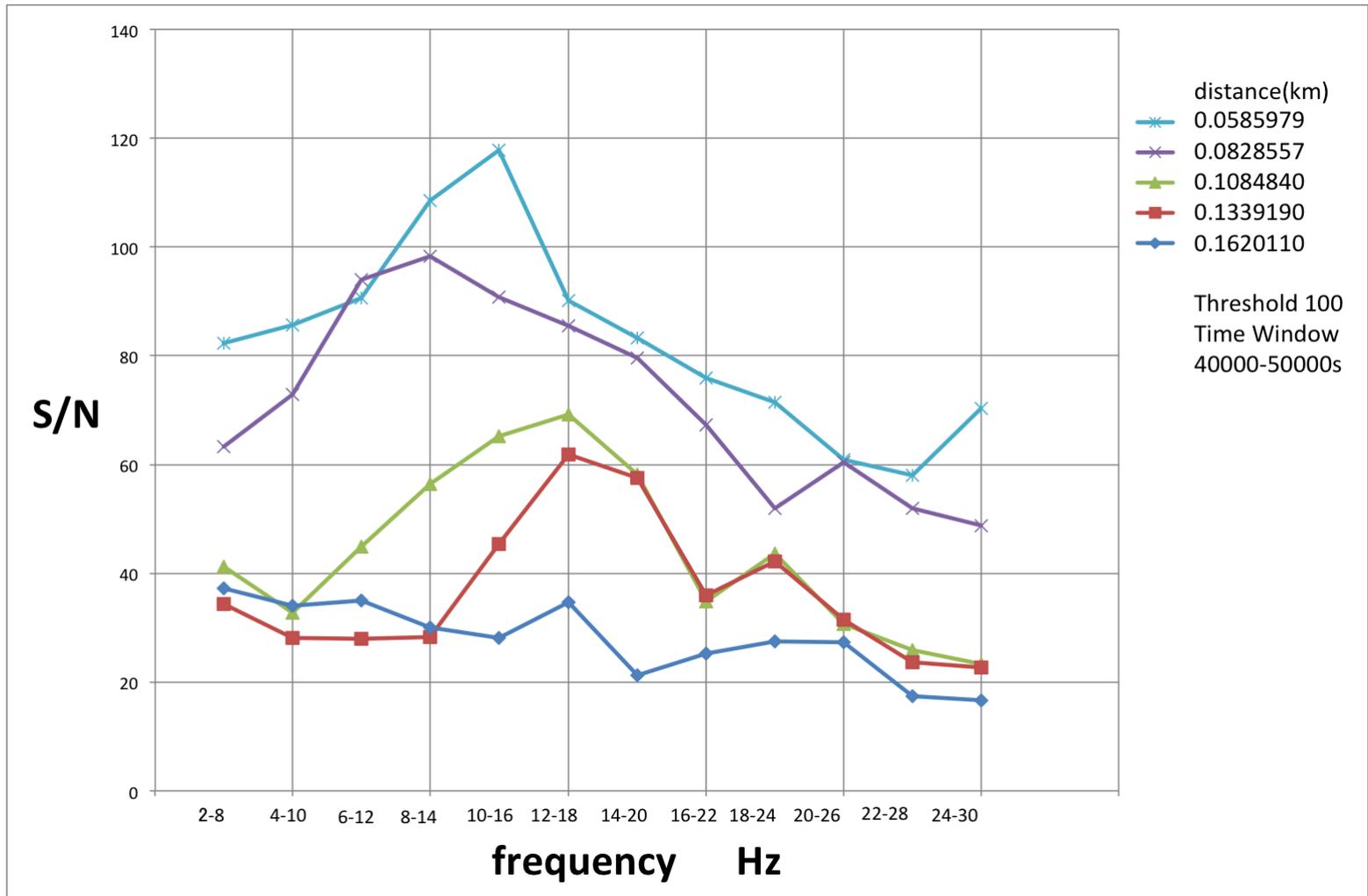
S/Nと時間窓(time-window)の関係



S/Nと観測点間距離の関係



S/Nと周波数の関係

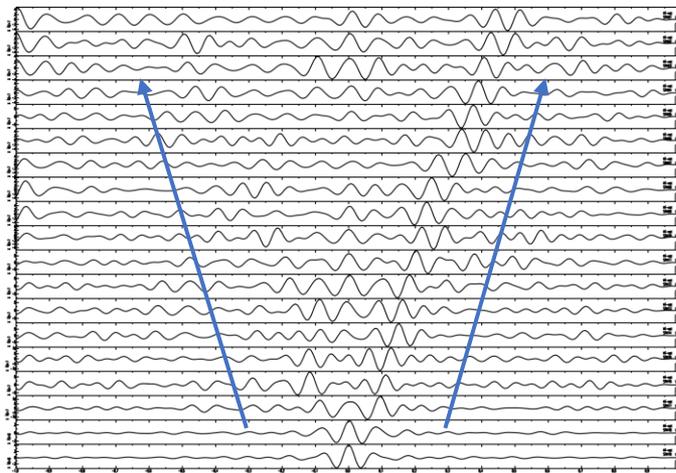


ノイズ源は車？

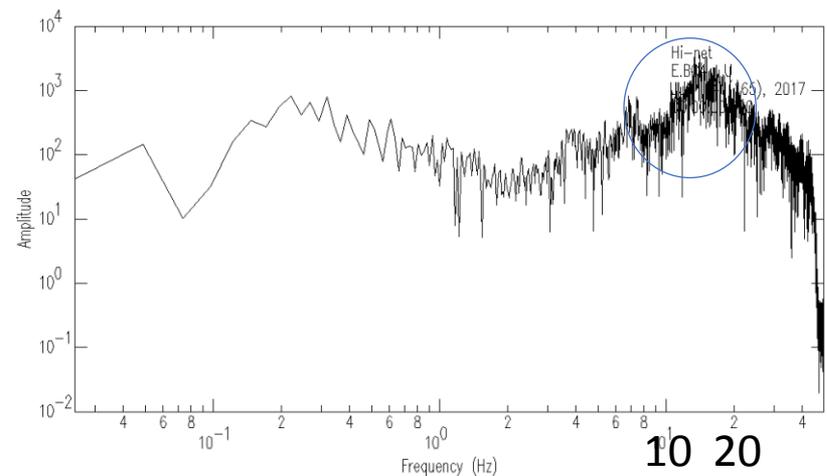
- 10-20Hzで強い非対称性 = ノイズ源のほとんどは麓側から
- 他の周波数では対称性は弱い
- 麓に数百メートル下ったところに鬼押ハイウェイがある
- 車のノイズはこの周波数帯で卓越している

山頂から来た波

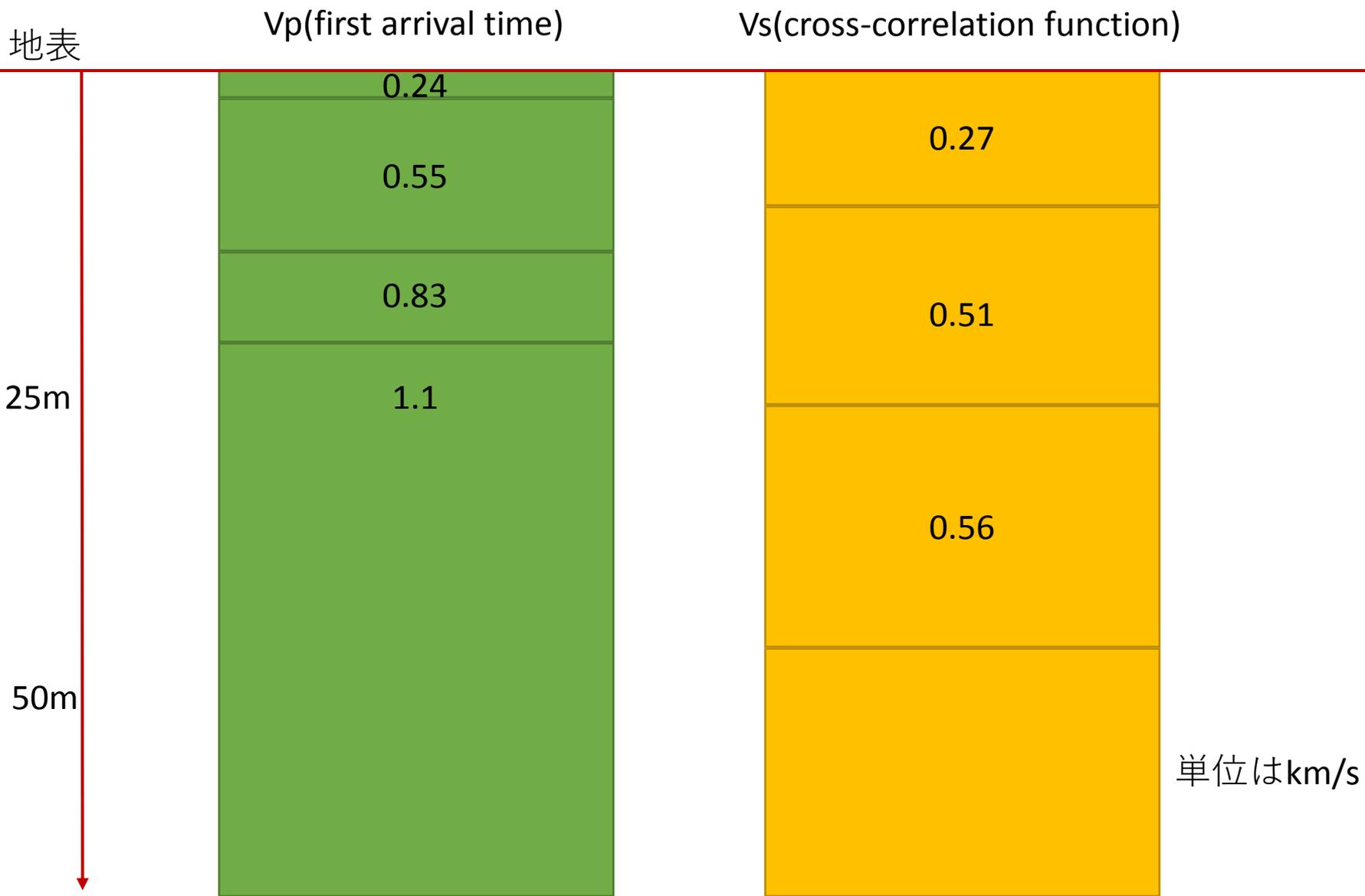
麓から来た波



車の波形



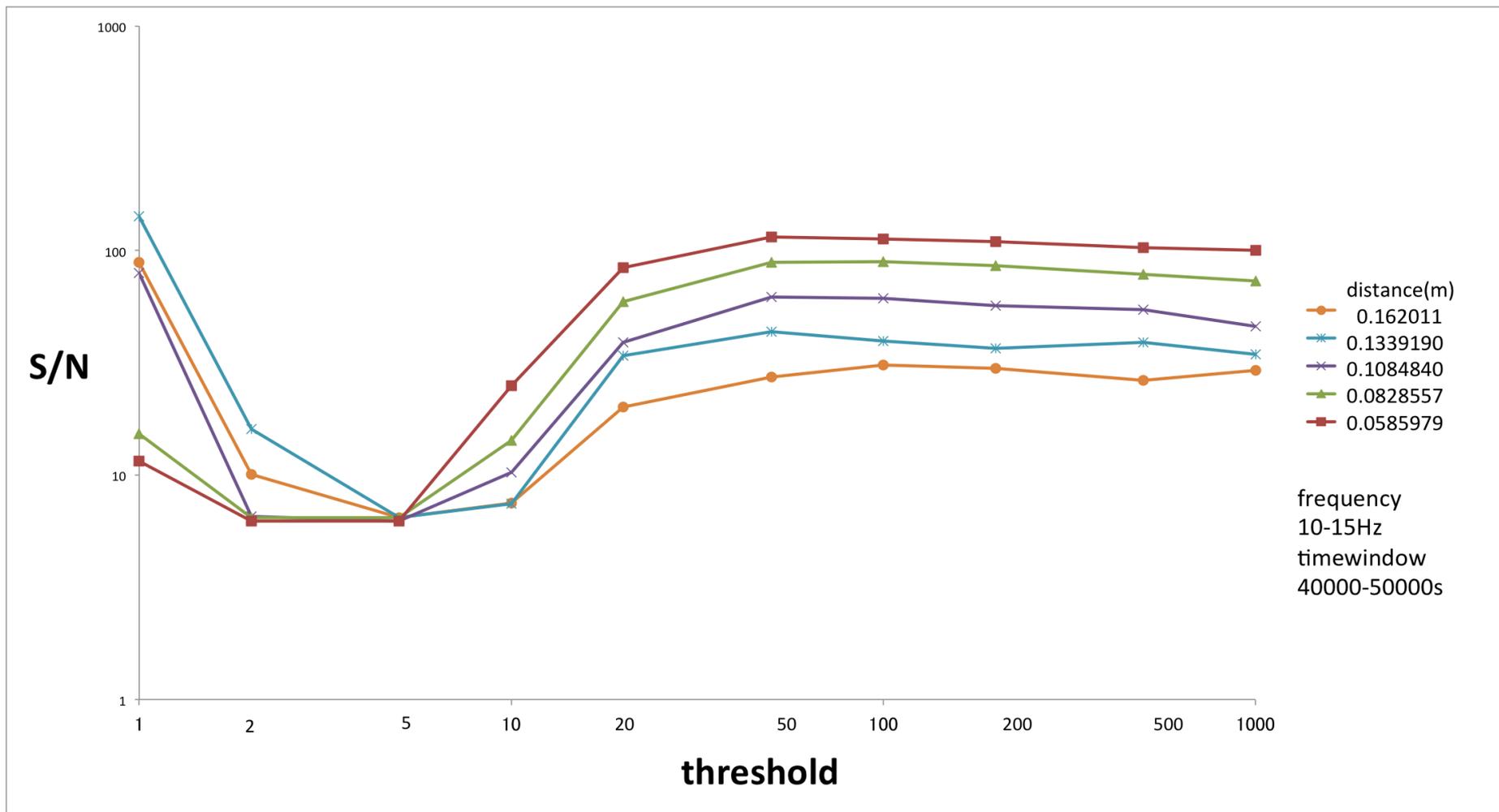
ハンマー一班との比較



まとめ

- 浅間山の地下40メートルまでの1次元速度構造が求まった。結果は周辺でのボーリングによるPS検層の結果とおおむね一致した
- 2測線の間で地震波速度の有意な差はなかった
- 構造推定には12-18Hzのバンドパスフィルターを用いるのが最適。ただし、これは自動車のノイズがこの周波数帯に卓越していることによるものと考えられる
- ハンマーによる結果と比較すると、 V_p が V_s の2倍程度になった。
- 浅間山のマグマだまりをとらえるためには、より長波長の波を使う必要があり、そのためにはより長い測線が必要である

閾値とS/N



周波数とS/N

