

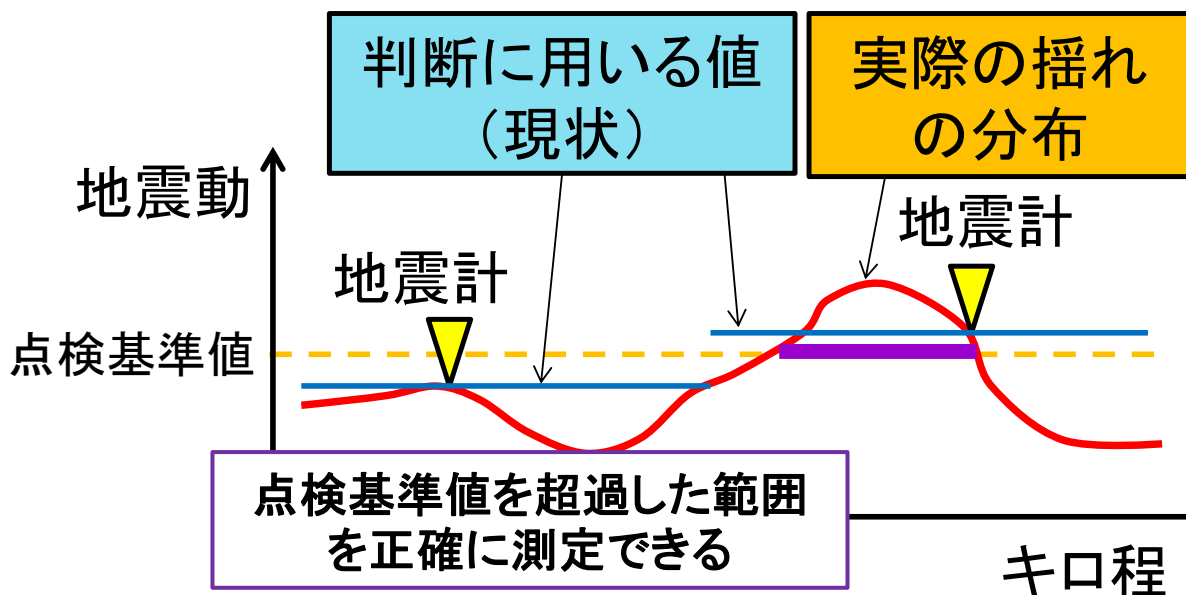
早期運転再開判断に向けたDASによる 沿線地震動把握手法の開発

鉄道総合技術研究所
鉄道地震工学研究センター 地震解析研究室
主任研究員 片上 智史

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

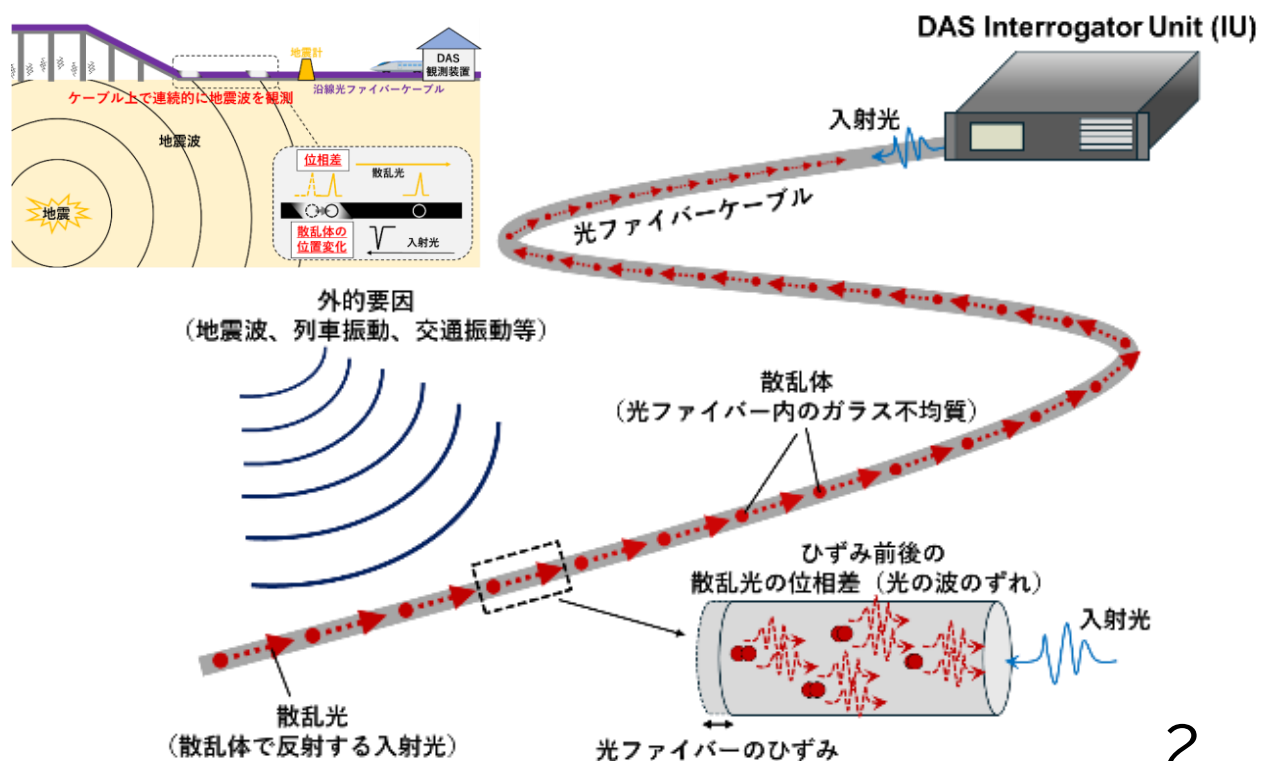
鉄道地震防災システムにおける課題

- 離散的(数十km毎)に沿線に設置された地震計の値により地震時の点検範囲を決めており点検に時間を要す場合がある
- DASを用いれば、線状に密な地震観測網として利用できる可能性があり点検区間の適正化につながる



分散型音響センシング (DAS)

- 光ケーブルに沿ったひずみを100kmにわたって数m毎にデータを収録可能
- 鉄道沿線の多くには既に通信用ケーブルが敷設されており親和性も高い



九州新幹線沿線でのDAS地震観測の実施

九州新幹線沿線の既設光ファイバーケーブルを

1芯借用しDAS地震観測を実施

● 区間：新八代-久留米駅までの約100km

⇒途中機器室は、成端箱内で追加でケーブルを
コネクタ接続し100kmで一本化

● 観測機器：新八代駅に導入

● 検知点間隔：5.0m

● 総検知点数：約20000点

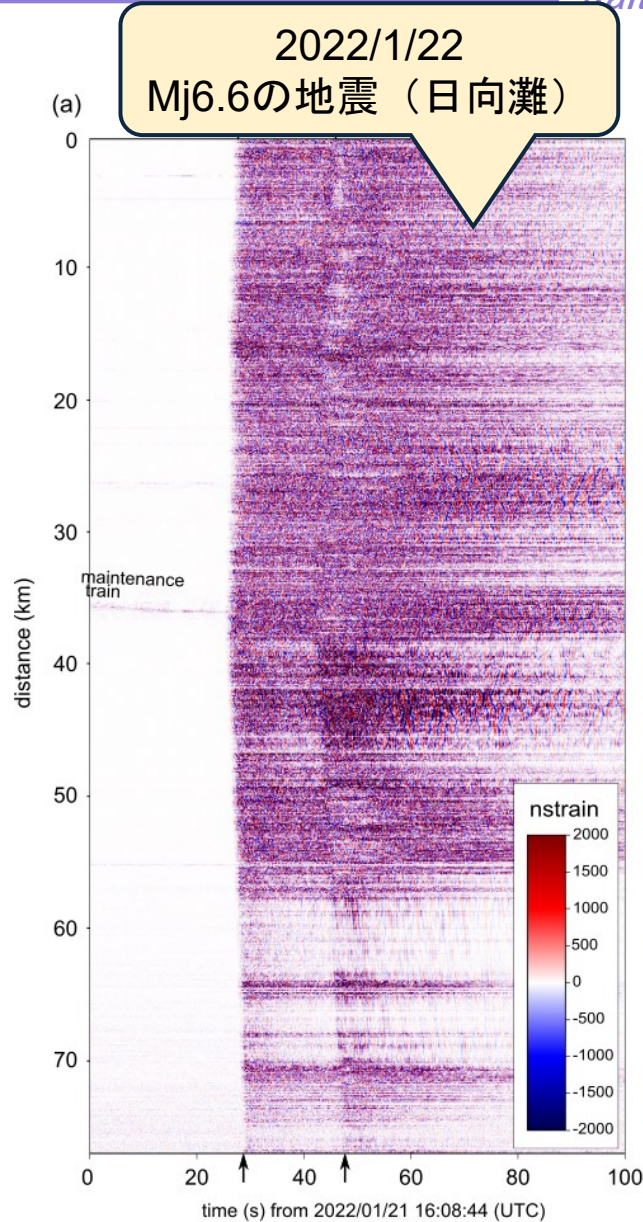
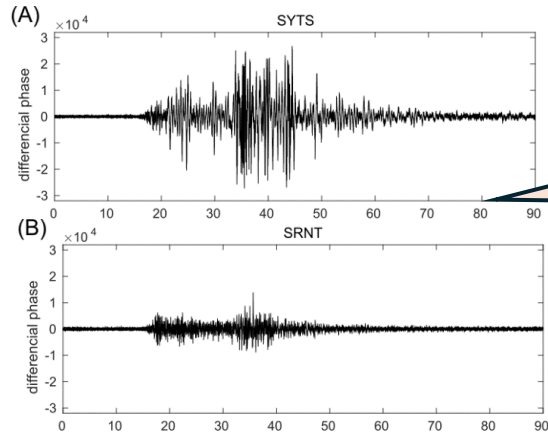


端部の光ケーブル
(観測機器へ接続)

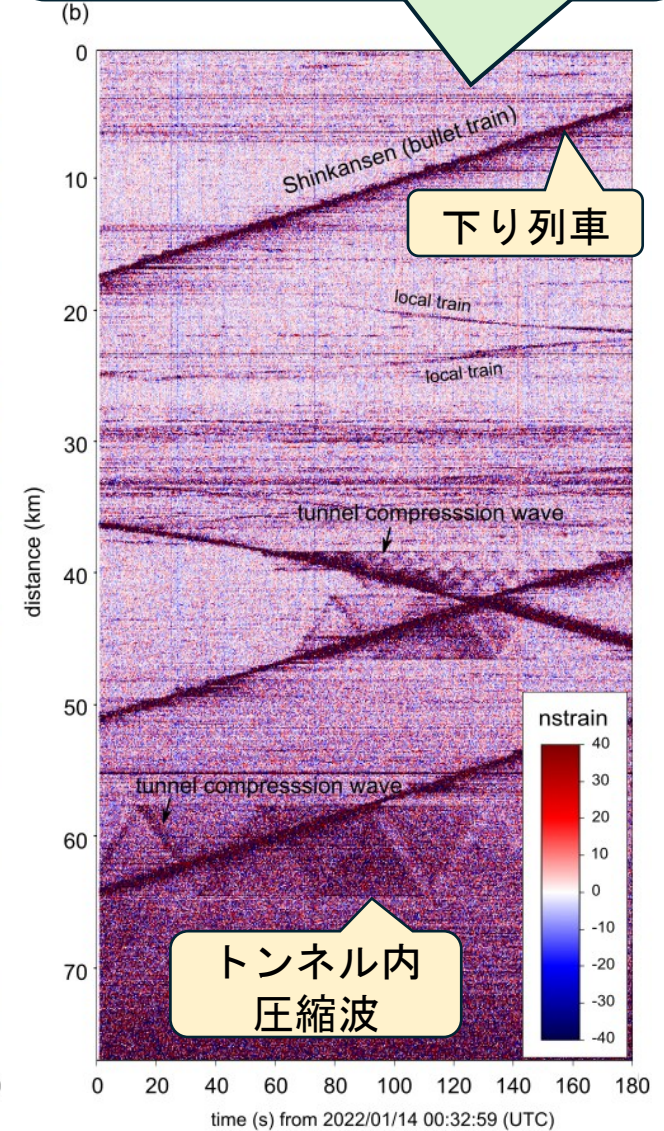
地震計で取得できるような
波形が数m毎に取得可能

観測機器

1台で100km
観測可能



地震波以外にも、列車振動、
圧縮波、風等様々なシグナルを
検知可能



下り列車

DASデータの特徴

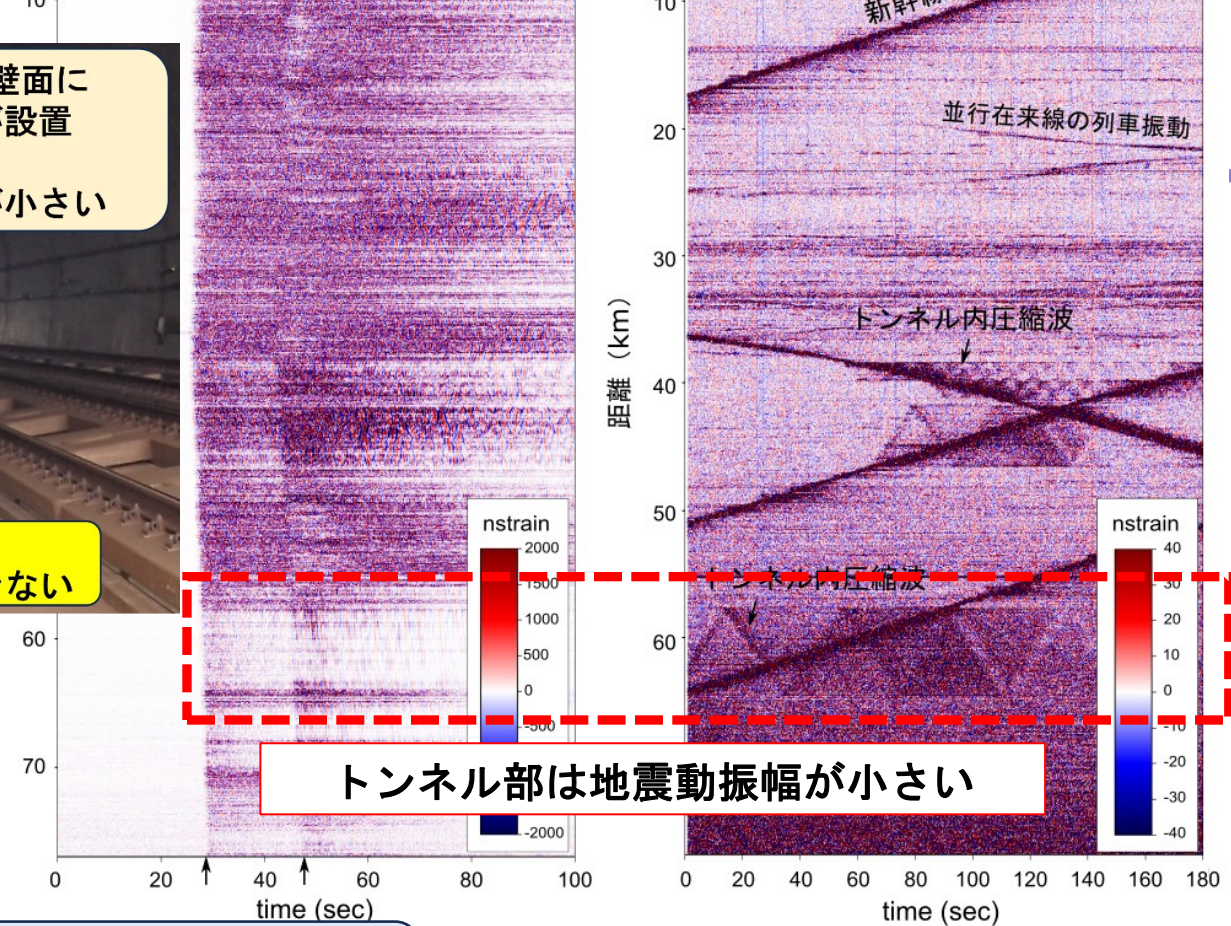
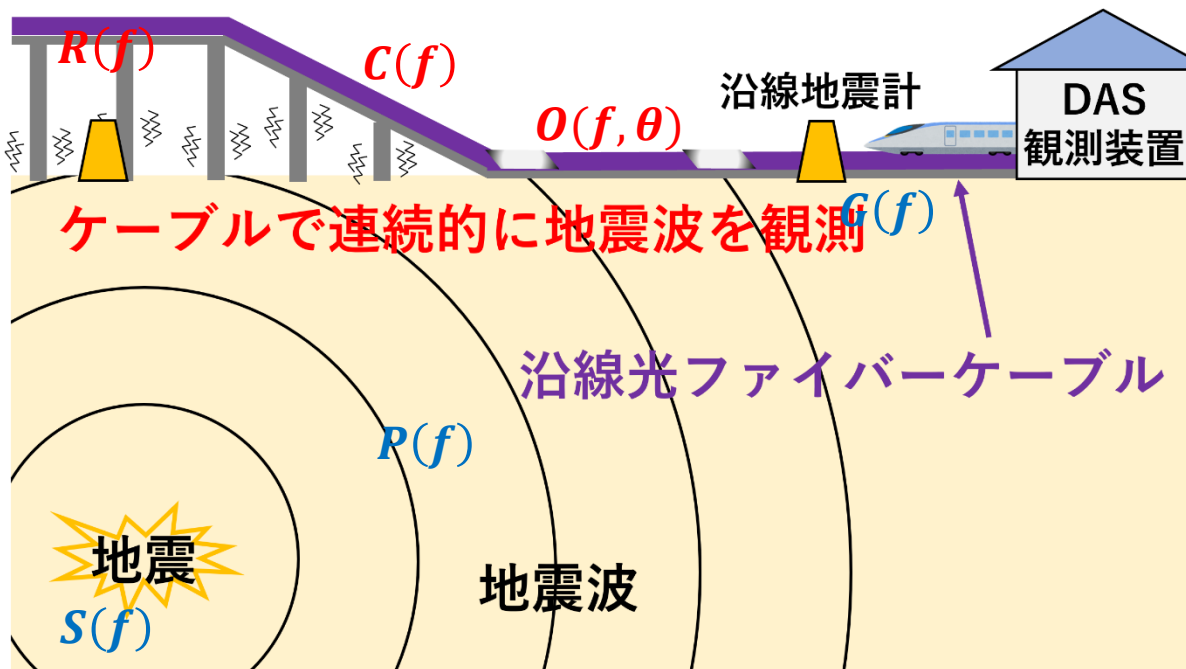
● 振動の時間変化は正確に記録

⇒ 振幅は？

- 1) カップリング（密着度合い）の影響が大きい
- 2) 構造物の応答等が入力される

DAS記録の定式化

$$\Delta\Phi_i(f) = S(f) \cdot P_i(f) \cdot G_i(f) \cdot C_i(f) \cdot R_i(f) \cdot O_i(f, \theta)$$



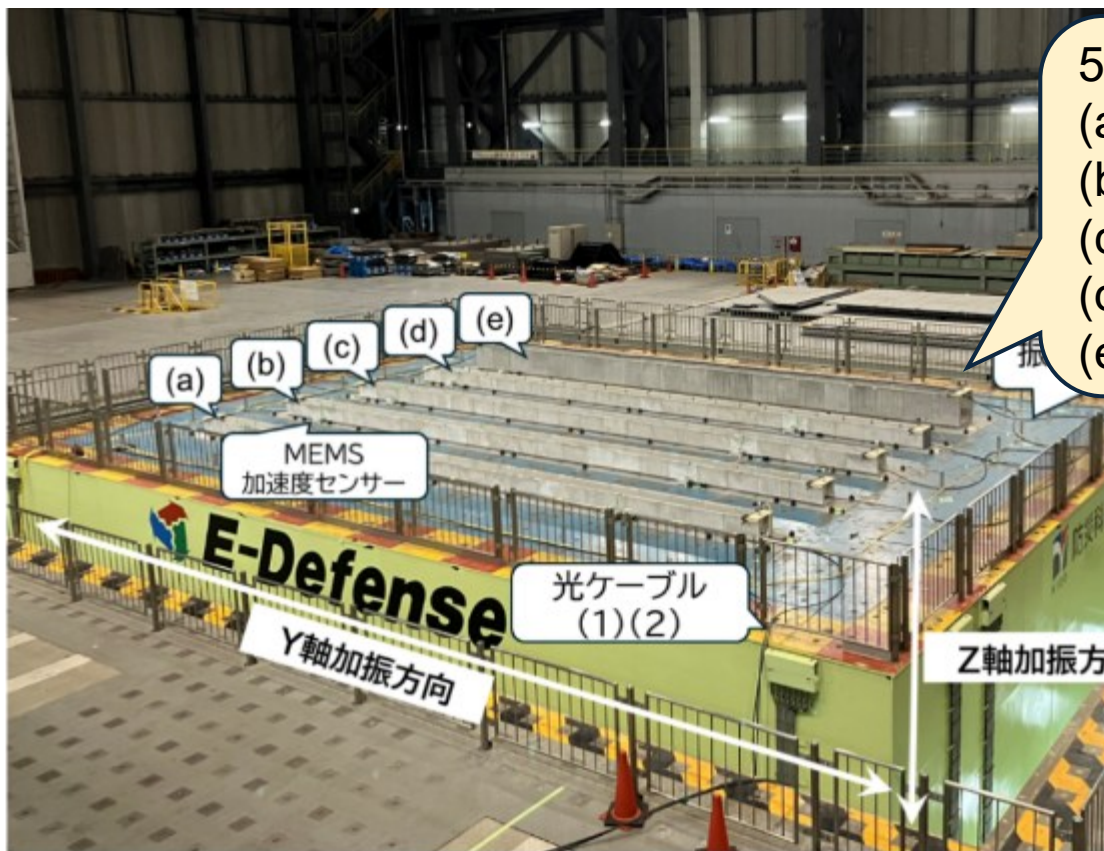
地表面の地震計と同様の特性

構造物上のDAS特有の特性

$\Delta\Phi_i(f)$: DAS記録データ
 $S(f)$: 震源
 $P_i(f)$: 伝播経路
 $G_i(f)$: サイト特性

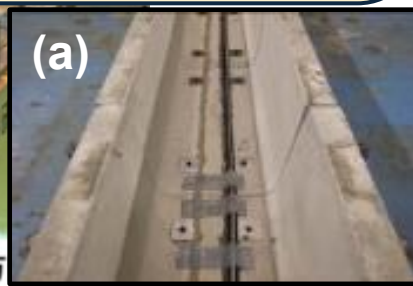
$C_i(f)$: カップリング (ケーブル密着度合)
 $R_i(f)$: 構造物の応答
 $O_i(f, \theta)$: 地震波の到来方向

DAS強振動応答性把握試験

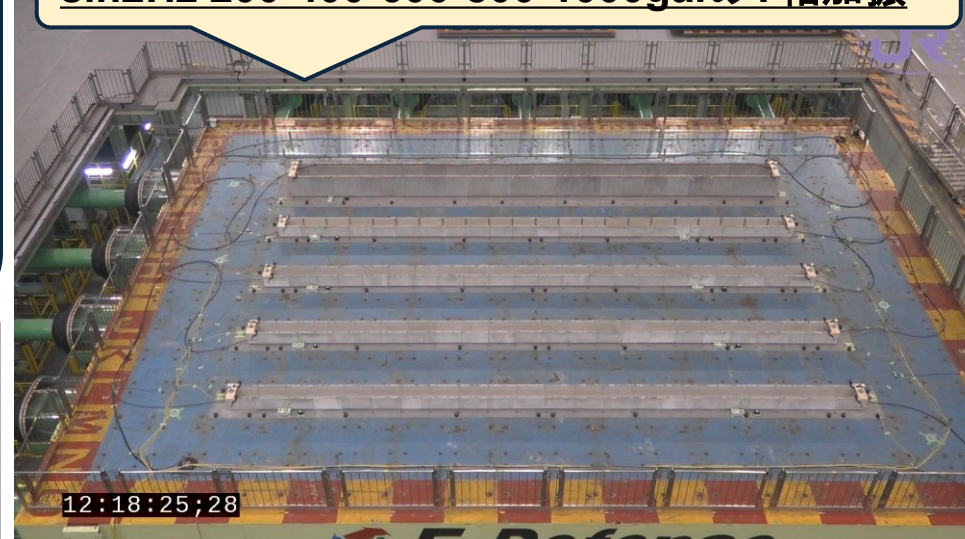


5種のカップリング

- (a) 完全固定
- (b) 未固定
- (c) 部分固定
- (d) 砂埋め
- (e) 壁面に固定



sin2Hz 200-400-600-800-1000galのY軸加振



400galで
光ケーブルが移動



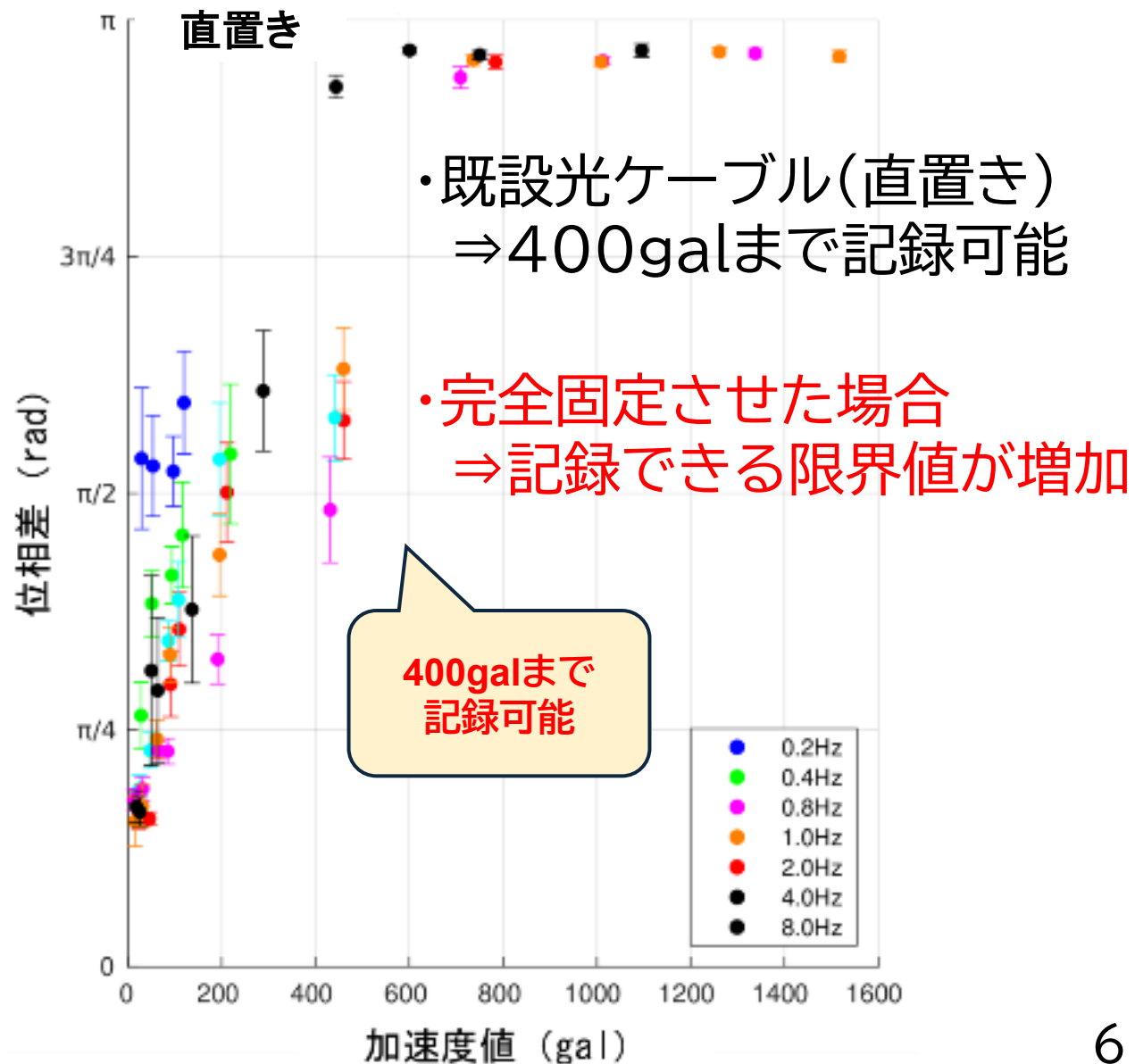
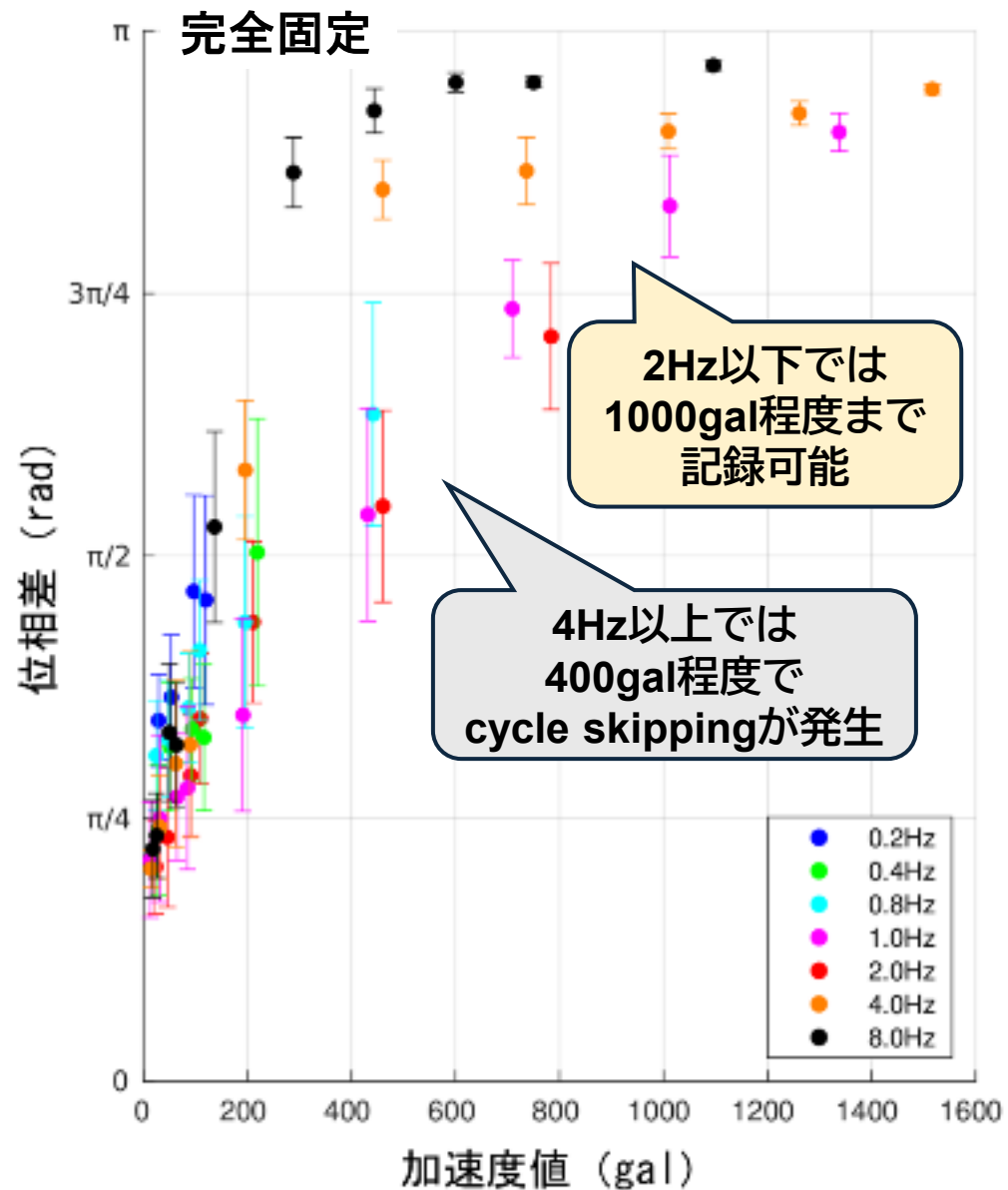
200芯光ケーブル



入力波形: 正弦波

0.2, 0.4, 0.8,
1.0, 2.0, 4.0, 8.0Hz

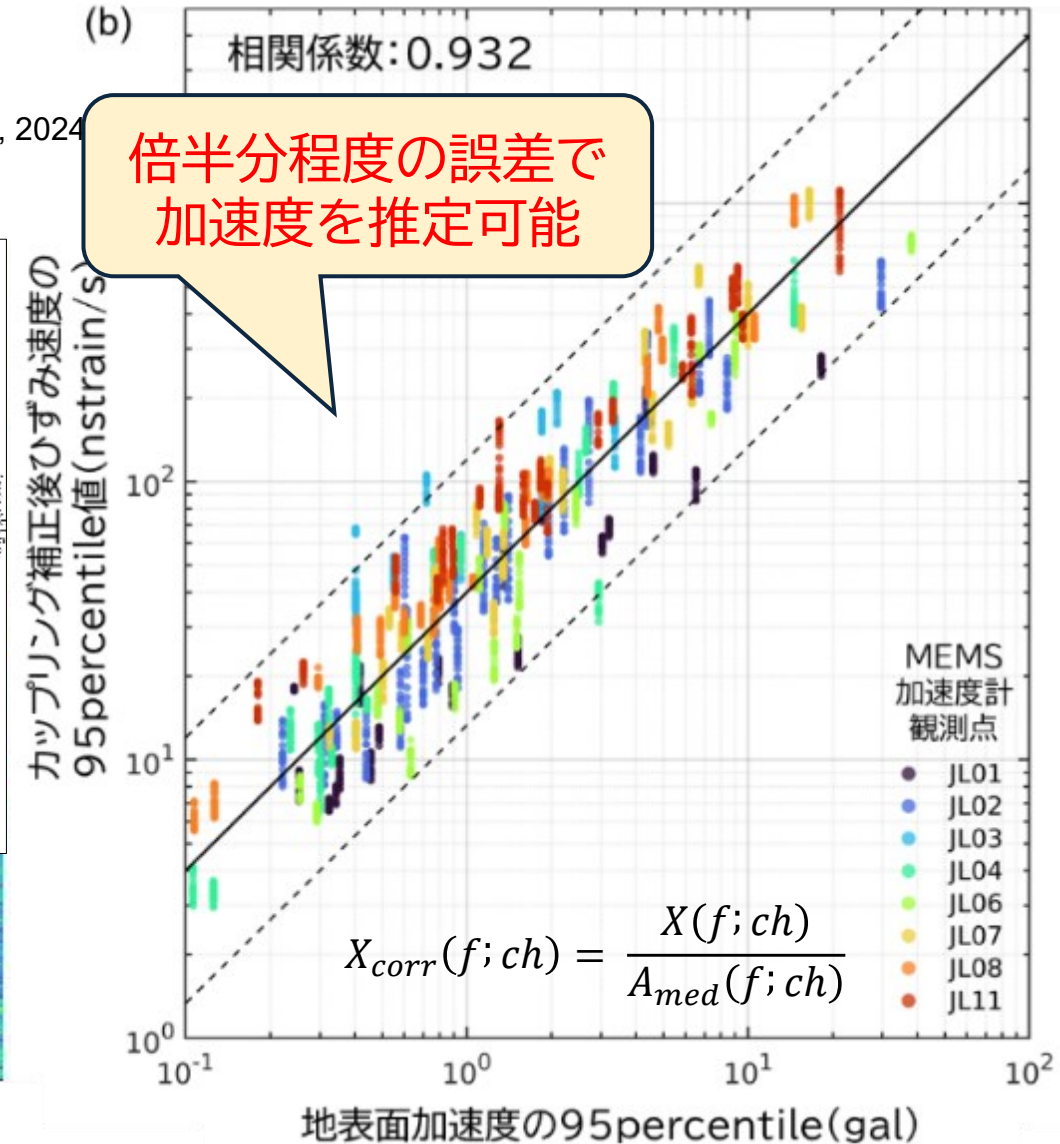
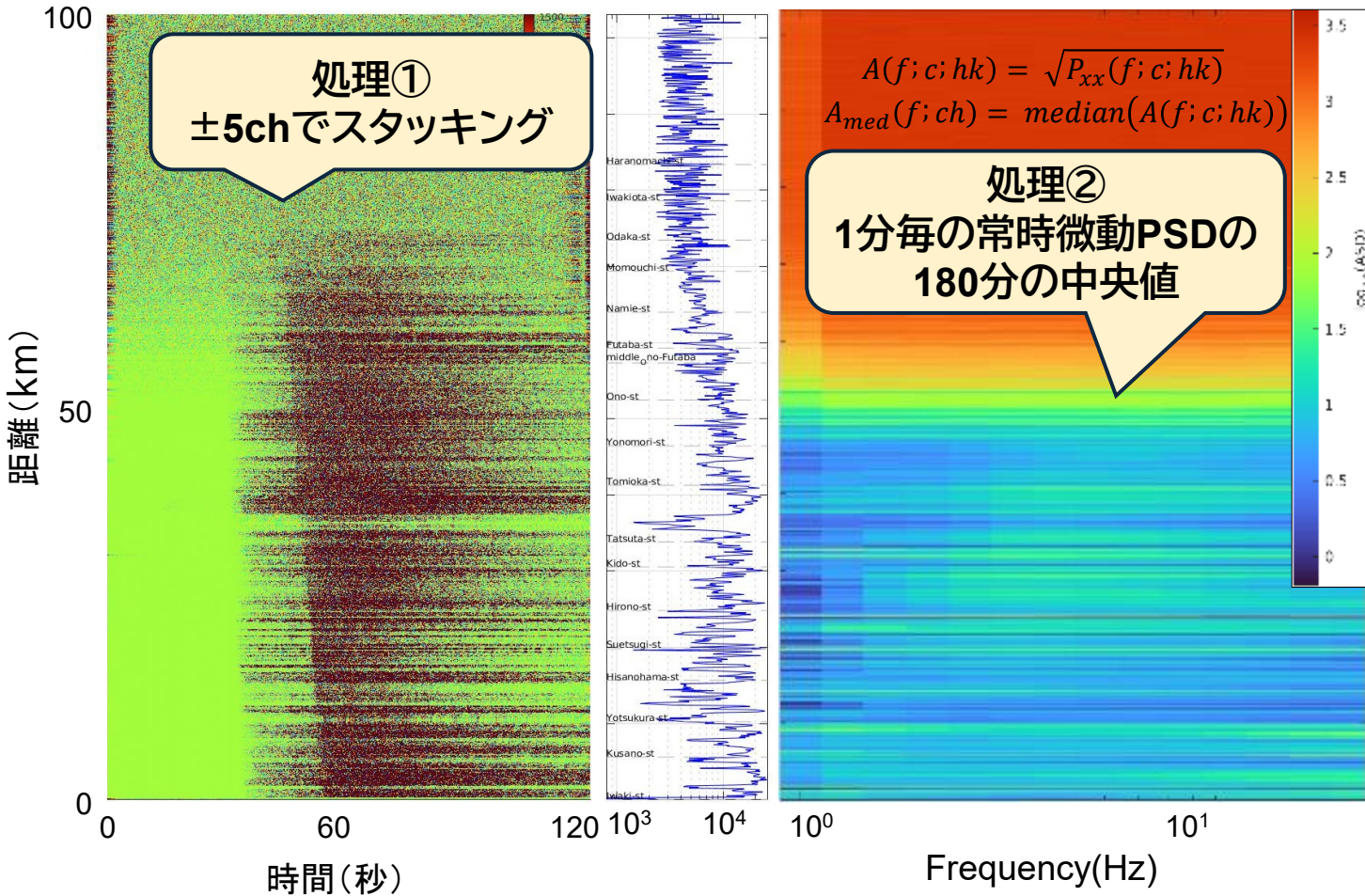
記録限界とカップリングの効果 $C(f)$



カップリングの補正 $C(f)$

- ・ DAS記録のばらつき（偏差）はカップリングと強い相関がある (Ide et al., 2021, Katakami et al., 2024)

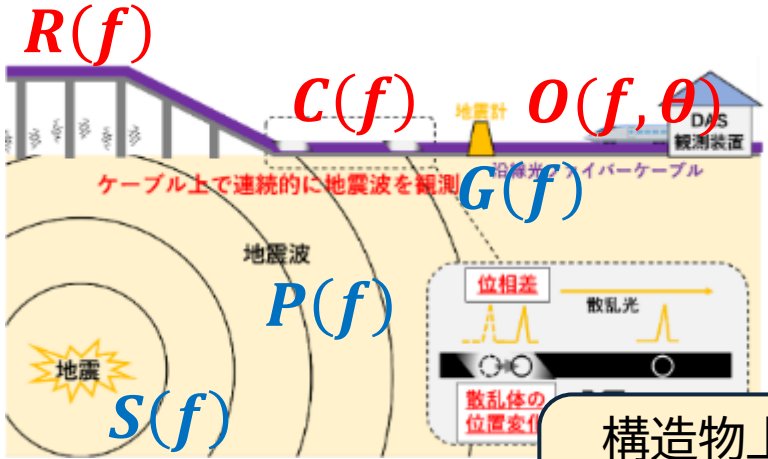
最大ひずみ速度



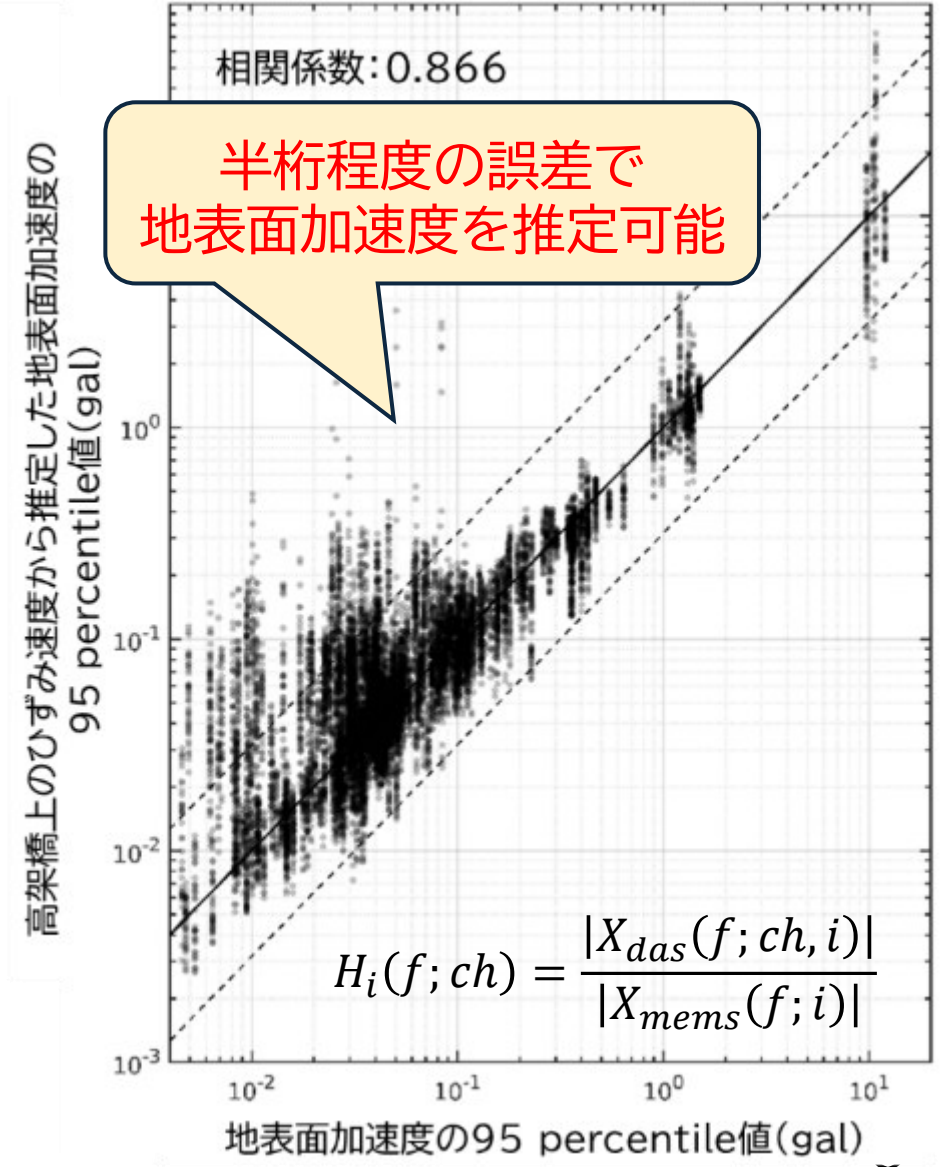
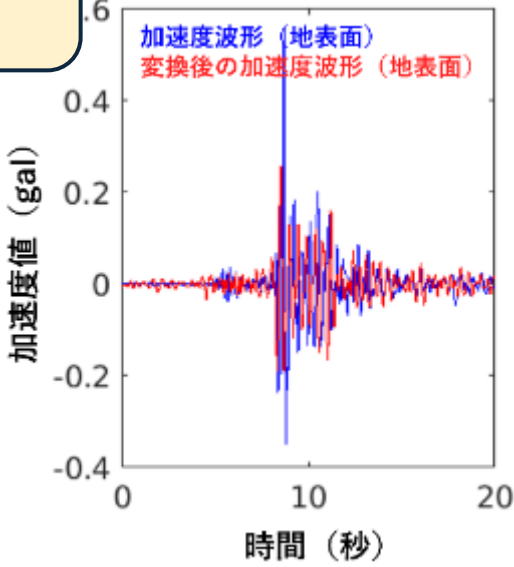
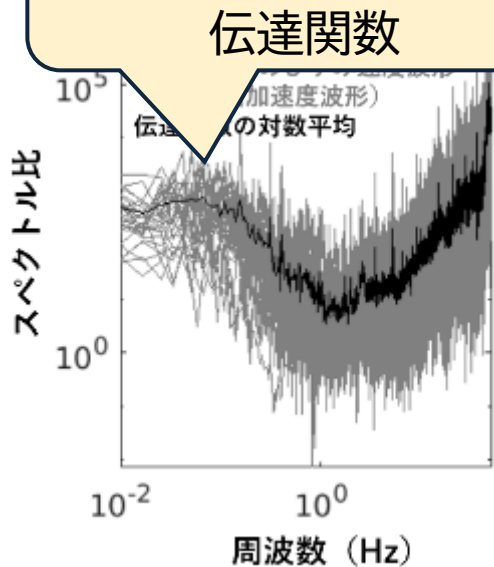
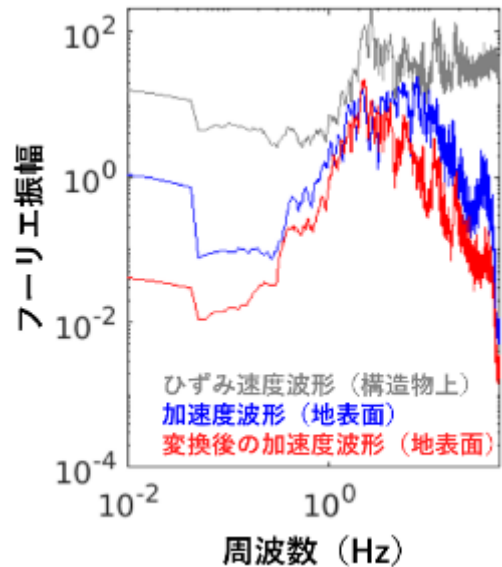
構造物応答補正 $R(f)$ ($C_i(f) \cdot R_i(f)$)

$$\Delta\Phi_i(f) = S(f) \cdot P_i(f) \cdot G_i(f) \cdot C_i(f) \cdot R_i(f) \cdot O_i(f, \theta)$$

$R(f)$

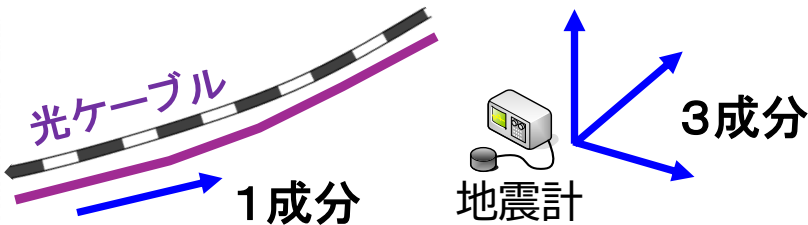
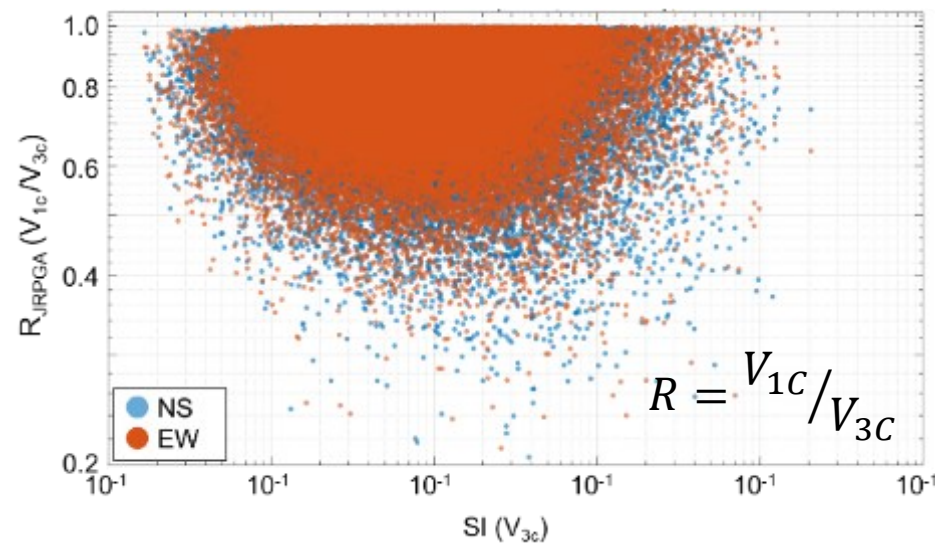
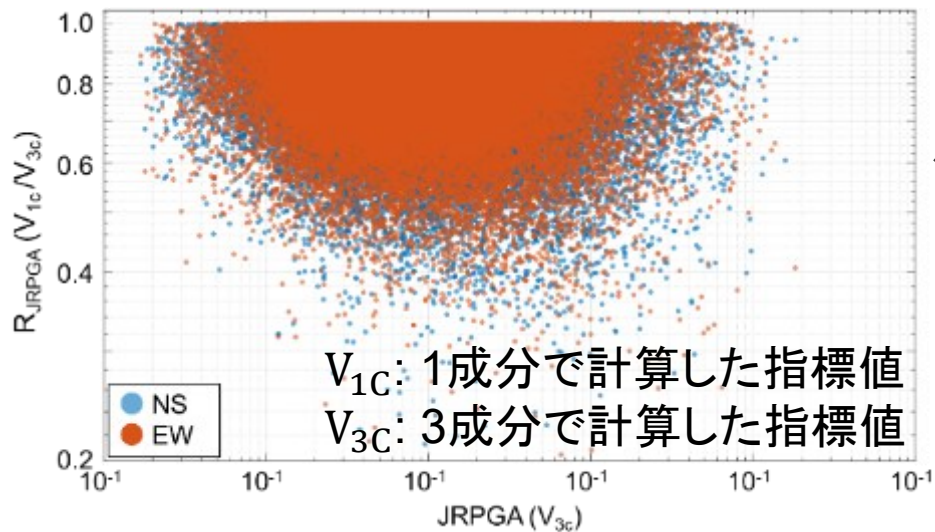


構造物上ひずみ速度
—地表面加速度の
伝達関数



単成分観測による過小評価特性の評価 $O(f, \theta)$ ～地震計記録より～

Railway Technical Research Institute



		中央値R	優方向のmedianR	劣方向のmedianR
PGA	NS成分	0.858	0.934	0.768
	EW成分	0.861		
JRPGA	NS成分	0.853	0.934	0.756
	EW成分	0.858		
BPPGA	NS成分	0.856	0.935	0.763
	EW成分	0.861		
PGV	NS成分	0.843	0.929	0.745
	EW成分	0.852		
BPPGV	NS成分	0.842	0.929	0.743
	EW成分	0.851		
SI	NS成分	0.831	0.914	0.736
	EW成分	0.837		
I	NS成分	0.843	0.929	0.745
	EW成分	0.852		

- PGA : 最大加速度, フィルタなし
- JRPGA : 最大加速度, JRフィルタ
- BPPGA : 最大加速度, 1.0-10.0 Hz
- PGV : 最大速度, フィルタなし
- BPPGV : 最大速度, 1.0-10.0 Hz
- SI : SI値
- I : リアルタイム震度

25%程度の誤差の可能性あり

成果のまとめ

- (1) DASの強振動応答性を把握
 - #光ケーブル直置き時の静的移動を確認
 - #カップリングによって記録されるデータの質が大きく異なることを確認
 - ⇒事業者側が求める精度に必要な設置方法を提案可能
 - (2)カップリング補正関数を作成 ($C(f)$)
 - ⇒倍半分程度の誤差
 - (3)構造物応答補正関数を作成 ($R(f)$)
 - #構造物上の光ケーブルで取得したDASデータから地表面加速度を推定可能
 - ⇒半桁程度の誤差
 - (4)単成分観測における過小推定度合の評価 ($O(f, \theta)$)
 - #地震計記録(1成分/3成分比)から推定 ⇒worst caseで25%程度のずれが生じる場合がある
- ∴上記補正は計算コストが小さく(5分以内程度)地表面加速度値から半桁程度のずれで、数十m間隔における地震動の揺れの分布を把握することが可能

成果の活用

- ・複数の鉄道事業者において開発手法を用いた沿線地震動把握実証試験を導入に向けて実施中
- ・別途開発中のDASを活用した早期地震警報手法と併せたプロトタイプシステムを構築を実施中