

## 6) - 2 自然地震および微動観測記録に含まれる上部地殻～深部地盤構造の影響の検討【安全・安心】

### Study on the Effect of Upper Crust and Deep Sedimentary Basin Structure on Recorded Earthquake and Ambient Noise Recordings

(研究開発期間 平成31～令和2年度)

国際地震工学センター  
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

林田 拓己  
HAYASHIDA Takumi

The objective of this research is to develop a methodology for better estimation of deep sedimentary basin and upper crustal structures using seismic ambient noise (microtremor) data. This project has three topics; (1) Examination of the seismic interferometry method for better estimation of deep sedimentary basin and upper crustal structures, (2) Application of the spatial autocorrelation (SPAC) method and center-less circular array (CCA) method to broadband seismic data (> 10 s period) on a regional scale, and (3) Estimation of deep-sedimentary basin structure using long-period (> 10 s) signals from teleseismic data.

#### 【研究開発の目的及び経過】

波浪や人間活動が振動源となり地震計によって記録される微動（脈動、常時微動）は、地震学分野において地震観測を阻害する「ノイズ」として長年扱われてきたが、近年は地球内部構造の推定および地震波速度変化のモニタリングを行うための「シグナル」としての活用方法が見出され、国際的に高い関心を集めている。一方、物理探査および地震工学分野において、微動記録を用いた地盤構造探査技術は長年にわたる実績を有しているが、取り扱う微動の周期帯や解析技術は、近年の地震学研究で着目されているものと異なる。

本研究では、両分野の知見を活用し、上部地殻～深部地盤構造の推定のための新たな手法の提案を行うことを目的とする。物理探査技術で得られた知見を地震学分野で広く対象とされる記録に効率良く応用することが可能になれば、今後の研究の幅が拡大することが期待される。近年では開発途上国においても広帯域地震観測網が急速に展開されていることから、国際地震工学研修における個人研修課題や帰国研修生を対象とした国際共同研究として本研究成果を活用する。

#### 【研究開発の内容】

##### (1) 地震波干渉法の処理方法の検討

地震波干渉法（本研究では、長周期の微動記録を用いる処理手法を指す）は、2点の地震観測点の周囲に微動の振動源が等方的に存在するという仮定の下、微動記録の相互相関処理によって観測点間のグリーン関数（表面波成分）に相当するシグナルを抽出する手法である。数か月～数年程度の期間にわたって観測された記録を要し、

データ量や処理が膨大になることから、通常は観測波形の振幅を正規化して得られた全ての記録を「微動記録」と見なす。一方、大地震の余震活動や群発地震・火山活動など、同じ領域から連続的にシグナルが励起されている条件下では、これらのシグナルの影響は無視できない可能性がある。本研究では、九州北西部で得られた微動記録を用いて、火山活動の有無が地震波干渉法の処理、すなわち、上部地殻～深部地盤構造の推定に及ぼす影響を調べた。本検討にあたり、震源となる火山活動自体の理解および火山活動カタログの構築も必要になるため、建築研究所の長期研究派遣制度を活用して米国・カリフォルニア大学バークレー校に滞在し、関連研究を実施した。

(2) 広帯域微動記録への SPAC 法、CCA 法の適用  
地震学分野での地震波干渉法の適用は、多くが観測点間隔数十 km ～数百 km の微動記録を用いたものであり、抽出する表面波の波長の長さは観測点間隔の 1/3 程度までとされている。一方、SPAC 法に代表される物理探査分野での微動記録処理では、抽出する表面波の波長の長さは観測点間隔の 2 倍～10 倍程度とされている。そこで、広域の広帯域地震記録で得られた微動（周期 10 秒以上の脈動）記録に SPAC 法や CCA 法を適用し、処理結果に上部地殻構造の影響を見ることができているのかを検討した。また、単点の微動記録から水平～上下動スペクトル比 (H/V) を導出し、地震波速度変化のモニタリングの可能性について検討を行った。

(3) 遠地地震記録を用いた深部地盤構造の推定  
3～4点から成る、観測点間隔が数 km 程度に広帯域地震観測アレイに遠地地震の表面波が伝播した際の、効率

的な表面波位相速度推定手法を実データ・理論波形データ双方を用いて検証した。

### 【研究開発の結果】

#### (1) 地震波干渉法の処理方法の検討

九州地域で得た連続微動アレイ観測記録（観測点間距離 km～数 100km）に対し、地震波干渉法を適用した（前課題において実施したものを含め、検証用に再解析を実施）。九州では、阿蘇山の火山活動が活発化すると、周期数秒～十数秒の火山性シグナルが広い範囲で観測されることが知られている。連続記録から火山性シグナルを抽出するアルゴリズムを開発し、火山活動の有無が地震波干渉法の処理結果に及ぼす影響を検討した。その結果、ストロンボリ式噴火など、火山活動が活発な期間には九州地域全体で相互相関関数の形状が変化し、推定される深部地盤構造の特徴が誤ったもの（S 波速度の過大評価）になりうることを確認した。従来、このような特徴は地震学スケールで対象とされる周期数十秒の帯域に影響を及ぼすと指摘されていたが、深部地盤構造に直結する周期数秒程度の波においても顕著であることが明らかとなった（図 1）。本研究では、沿岸波浪の大小が処理にもたらす影響についても検討を行った。

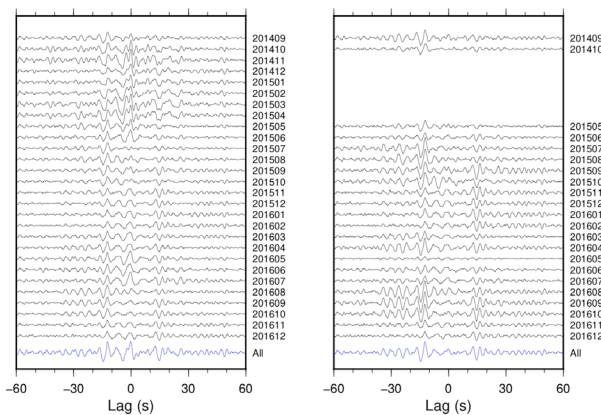


図 1. 1 か月単位でスタッキング処理を行った微動の相互相関関数（周期 2～5 秒、観測点間距離 36km、左：全記録を用いたもの、右：火山活動および沿岸波浪による影響を考慮したもの）

#### (2) 広帯域地震記録に対する SPAC 法、CCA 法の活用

モンゴル・ウランバートル周辺に展開された広帯域地震観測網記録に地震波干渉法を適用した（国地研修の個人研修課題として実施）。前課題において整備したプログラムを用いることで、8～20 秒程度の周期帯域において明瞭な表面波のシグナルを捉えることができた。一方、同じ記録に、浅部地盤構造探査で多用されている空間自

己相関（SPAC）法を適用し、より長い周期の表面波が抽出できるかの検討を行った。その結果、観測点の組み合わせによっては、30 秒程度近くまで表面波位相速度の推定が可能であることを確認した（図 2）。研修生の帰国後も同解析を継続して実施しており、国際学会発表および論文執筆に取り組む予定である。

日本国内の広帯域地震観測網記録で観測された微動（周期 10 秒以上）記録に対して不規則形状 CCA 法（Yokoi et al., 2019）を適用し、表面波位相速度の推定が可能であることも確認した。

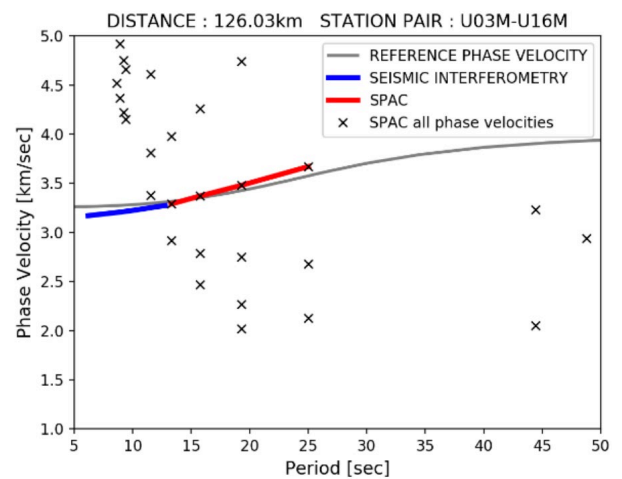


図 2. 従来の地震波干渉法によって推定した表面波（Rayleigh 波）の位相速度（青線）と、SPAC 法の活用により対象周期を拡張させたもの（赤線）。

#### (3) 遠地地震記録を用いた深部地盤構造の推定

ネパール・カトマンズ盆地を対象に、様々な方位から伝播する遠地地震の長周期部分の記録を用いて、表面波の位相速度を推定した。周期 5～50 秒程度までの位相速度を推定することができ、同地域での地震基盤の深さおよび上部地殻構造を推定するための有力な情報を得た。

### 【参考文献】

- 1) T. Hayashida, and D. Dreger (2019) AGU Fall Meeting, V51J-0226
- 2) L. Dalaijargal (2020) 修士論文, 政策研究大学院大学

平成 31 年度以前の研究開発課題名：

深部地盤における常時微動の伝播過程解明に関する研究