

AELUMA システムを用いた環境振動の震源決定 Source Location of Ambient Signals Using the AELUMA System

○福田公平・山田真澄

○Kohei FUKUDA・Masumi YAMADA

We applied the AELUMA method to Japan's dense seismic networks to detect environmental sources like landslides. Utilizing F-net broadband data, we analyzed the M5.5 Tokara earthquake (2025). While the method effectively utilizes cross-correlation, we identified issues in event clustering for distant sources. Detailed verification showed a relationship between local phase velocity and signal coherence, offering a key to accuracy improvement. Based on these findings, we are developing a new clustering algorithm applicable to both land and ocean-bottom networks. This presentation reports on the validation results and our progress toward a unified system for detecting the sources of weak ambient signals.

1. はじめに

地すべり、海底地すべり、氷河の体積移動、ハリケーンによる海洋波浪といった非地震性の現象は長周期の地震波を放出することが知られている。これらの地震波は、地震と異なり振幅が小さく立ち上がり不明瞭なため、通常地震検知システムでは震源を捉えることが困難である。しかしながら、これらの波形は周期が長く遠方まで減衰しにくい特徴があるため、広帯域地震計や傾斜計といった長周期の波を記録できる計器には、コヒーレントに伝わる地震波が記録されている。そのため、地震波形記録をアレイ解析し相互相関をとることで、これらの微弱なシグナルを出す現象を検知することが可能である。アレイ解析には稠密な観測網が必要であるが、日本周辺には、F-net、Hi-net といった陸域観測網に加え、S-net、DONET、N-net などの大規模海底観測網が世界有数の密度で展開されており、これは陸海を統合した広域かつ堅牢な環境振動検知システムの構築に極めて有利な環境である。一方で、同様の手法を用いた先行研究は陸域観測網への適用例に限られており、海底観測網への適用はいまだ試みられていない。このような背景から、本研究は環境振動を検知する堅牢なシステムの構築を試み、陸上・海底で発生する広範な現象の理解と自然災害の発生の早期検知による防災・減災への貢献を目指す。

2. 手法

本研究では Automated Event Location Using a Mesh of Arrays (AELUMA) 法を日本周辺の既存地

震観測網に適用した。この手法は、稠密に設置された地震観測網に対しドロネー三角形分割を利用して3点ごとの小アレイに分割し、3観測点間の相互相関解析から、アレイを通過する波の伝播方向とローカルな伝播速度を求める。その後、各アレイで求められた信号の伝播方向と伝播速度、到達時刻を集約し、誤差を最小化するイベントの発生時刻と位置をグリッドサーチによって求める。本手法は本来インフラサウンドの波源推定のために開発されたが、地震の表面波にも適用できるよう改良されており、先行研究では stormquake や地すべりの震源決定に成功している。本研究では、IRIS にて公開されている MATLAB コードを Python に移植し、解析環境を構築した。

3. 検証

まず、Python に移植した AELUMA 法のパラメータ調整と動作確認として、先行研究で検出が報告されている地すべりイベント（2011年9月、静岡県・三重県のイベント）の解析を行った。使用した観測点は日本全国の F-net の上下動成分のデータで、周期は先行研究に倣って 20–50 秒を利用した。次に、F-net のデータを用いて 2025 年 7 月 3 日にトカラ列島近海で発生した M5.5 の地震の検出を試みた。その結果、イベントが観測網の端で発生し、震源—観測点間の距離に大きなばらつきがあるケースでは、単一のイベントを時空間的に分離したり、複数のイベントを1つに統合したり（図 1～2）といったクラスタリングの課題が明らかになった。そこで、精度低下の原因を詳細に調

査するため、波形の切り出しタイミングを工夫し、複数の中規模地震（M5～M7 程度）を用いて検証をおこなった。その結果、各三角形内で得られるローカルな位相速度と相互相関値や伝播方向の間に有意な関係性が確認された（図3～4）。この検証結果は AELUMA 法の改良に資する可能性がある。

4. 今後の展望

これまでの検証で得られた成果をもとに、安定したクラスタリングをおこなうことのできる新 AELUMA 法の構築と提案をおこなう。そのうえで、陸域観測点とは設置状況や波の伝播様式に違いのある海域観測網への適用について検討をおこなう。陸域観測網と海域観測網の統合によって、陸上で発生する現象の震央決定精度向上に加え、海底で発生する海底地すべりや台風による stormquake など微小な地震波を出す現象の検知を目指す。

5. 本発表について

本発表ではトカラ列島近海での地震を含む、震源の異なる複数の地震の F-net 広帯域データに AELUMA 法を適用した結果を示す。また、誤検出の抑制や震央推定精度の向上に向けた取り組みの現状について報告する。

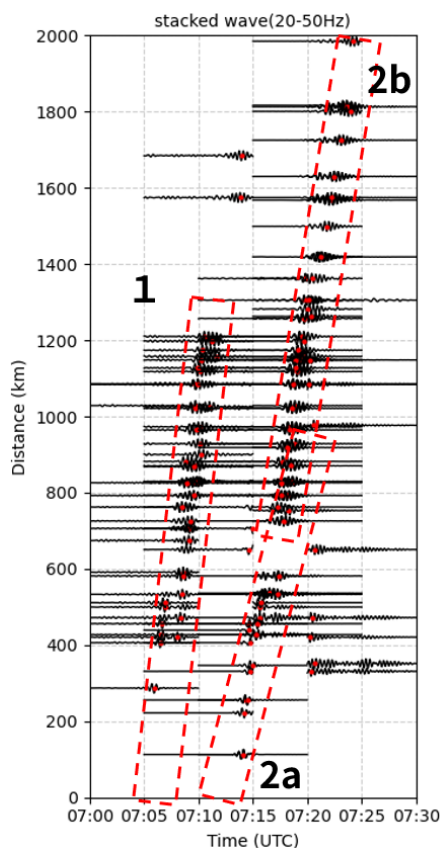


図1 既存 AELUMA でのスタッキング波形(トカラ M5.5)

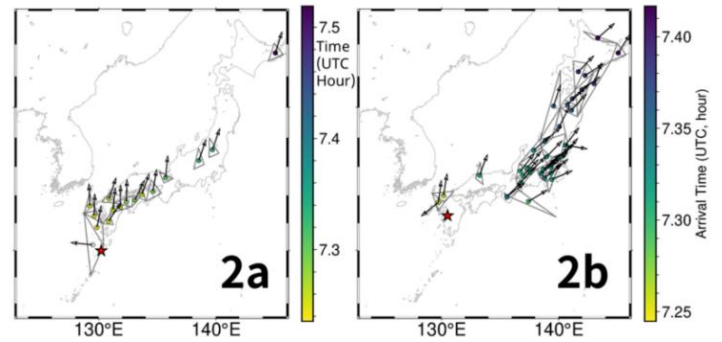


図2 既存 AELUMA での震央決定結果(トカラ M5.5)

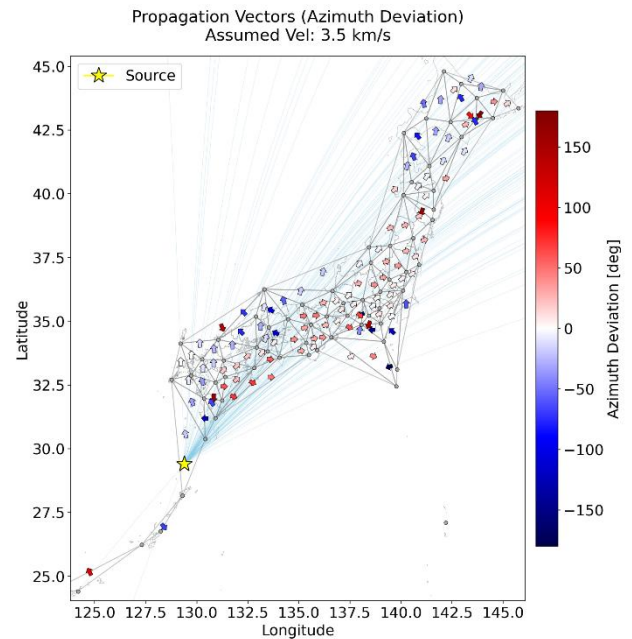


図3 切り出し時刻を調整した後の各三角形での伝播方向。

本来の震央からの伝播方向に対するズレで着色。

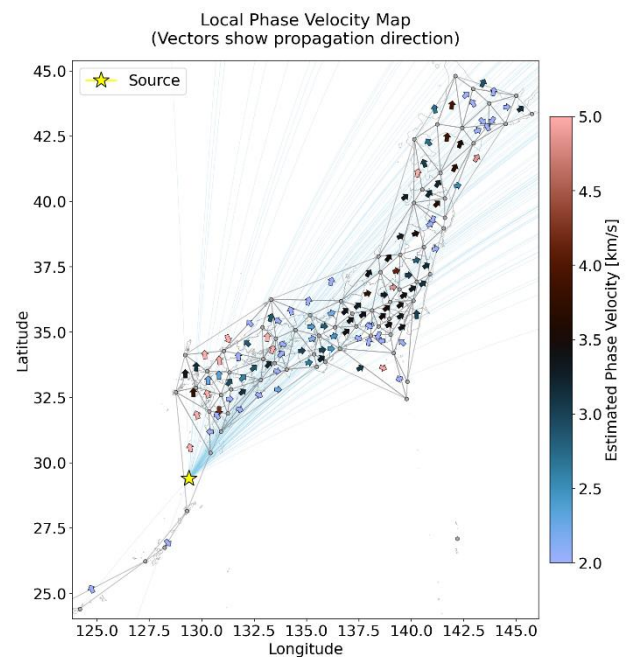


図4 切り出し時刻を調整した後の各三角形での伝播方向。

ローカルな位相速度で着色。