

はじめに

近年、新しい多次元信号解析法として、独立成分分析(Independent Component Analysis)が注目され、多くの分野で研究・開発が行われている。音響場では会話中に複数の人が同時に発する音の中から特定の音を分離・識別する能力をカクテルパーティ効果(Cocktail-party effect)と呼び、工学的にはブラインド信号分離(Blind signal separation)の問題として扱われている。独立成分分析法は、音声や画像、無線通信、脳波などの生体計測信号に対して利用されることが多く、物理探査や地震学の研究分野で利用された例は少ない。一方で、地震記録に混在する地震動とノイズ(例えば、車や列車による振動)の識別や大地震後の余震活動で同時多発的に発生する地震による地震動分離は、ブラインド信号分離の問題であり、このような地震学の課題に対してもカクテルパーティ効果の発展・開発が期待される。本研究では、地震記録に混入した列車振動の分離問題を対象として、観測データを利用した数値実験より、ICAを用いた地震動と列車振動の波形分離に関する検討を行った。

地震動と列車振動の合成波形への適用

ICAにより地震動と列車振動の原信号が分離可能かどうかを検討するため、線路近くに設置された2つの地震計に同時観測された遠地地震の地震動と列車振動を分離する問題を設定した。Fig.1に、設定した問題の概要図と使用した混合行列Aを示す。地震計の設置地点O<sub>1</sub>とO<sub>2</sub>が線路から9mと10m、9.9mと10m離れた2つのケースを想定し、実体波の距離減衰(距離rに反比例)を考慮した混合行列A(Fig.1)を使用した。2つの地震計間距離がなるべく小さい方が、観測施設の敷地面積の大きさを考慮しても現実的な観測体制であるため、地震計間距離を1mと10cmに設定した。地震動については遠地地震を対象としているため、地点O<sub>1</sub>とO<sub>2</sub>ともに同一の地震動S<sub>1</sub>が観測されると仮定した。また本問題はBSSを仮定しているが、例えば表層のVsが200m/sなど、2観測点間の距離に対して波長が十分に長いと仮定した場合に近似的に成り立つと考えられる。混合行列Aを用いて合成した混合波形(O<sub>1</sub>地点とO<sub>2</sub>地点)をFig.2に示す。なお、本検討では、地震動と列車振動の上下動成分に対する観測加速度記録を使用した。

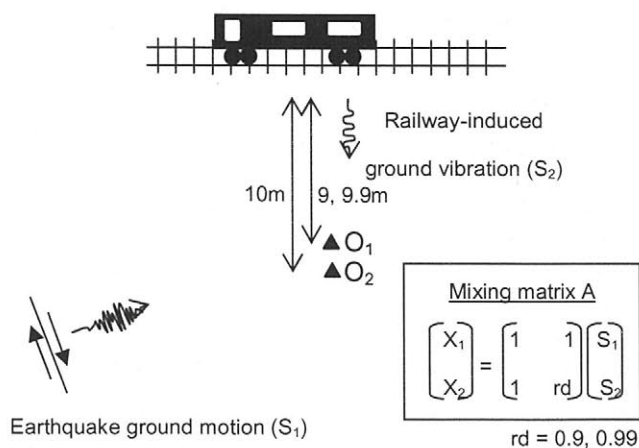
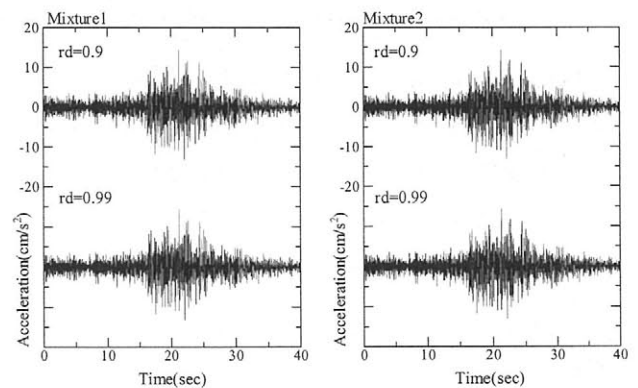


Fig.1. Conceptual diagram of the problem set in this study.

Earthquake ground motion (S<sub>1</sub>) and railway-induced ground vibration (S<sub>2</sub>) are mixed by the mixing matrix A.



(a) Mixed waveforms at O<sub>1</sub> (b) Mixed waveforms at O<sub>2</sub>

Fig.2. Mixed waveforms at O<sub>1</sub> and O<sub>2</sub>, using the mixing matrix A shown in Fig.1 and the original signals shown in Fig.3.

In this figure, rd indicates a coefficient of the mixing matrix A shown in Fig.1.

Fig.2 に示した混合波形  $x(t)$  を用いて、ICA により  $x(t) = As(t)$  の  $s(t)$  を求めた。O<sub>1</sub> 地点での分離結果を Fig.3 (10-15 秒の区間) に示す。O<sub>1</sub> 地点に於ける原波形と ICA により推定された分離波形は、細部の位相まで一致している。模擬的に合成した混合信号を使用した本検討では、原信号と混合信号が単純な線形変換のみに依存する BSS 問題に関して、ICA により混合信号から原信号を精度良く推定出来ることが分かった。また、2つの地震計の列車振動源に対する距離比が 0.99 の場合でも、ICA により地震動と列車振動を適切に分離できることが分かった。

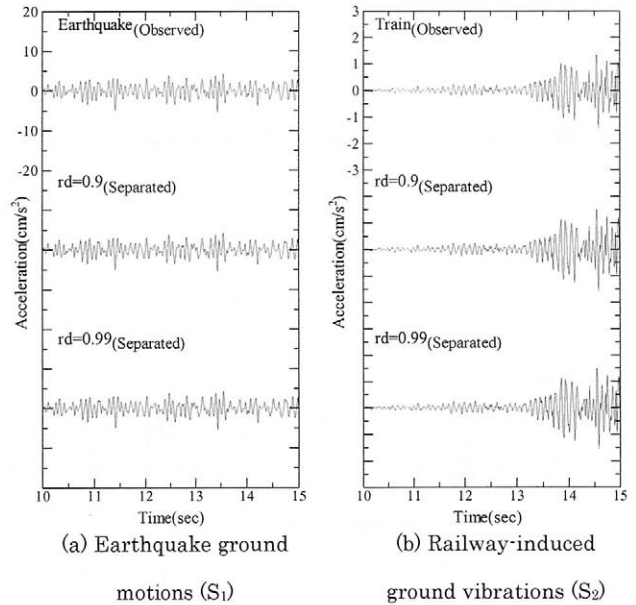


Fig.3. Comparison of the time window of 10 to 15 seconds.

### 地震動と列車振動の観測データを用いた混合波形への適用

地震動と列車振動の観測データを用いて、ICA により地震動と列車振動の原信号が分離可能かどうかを検討した。検討に用いた列車振動の観測データの測定箇所を Fig.4 に示す。各センサーは、近接線(上り線)からの距離が 5m, 6m, 7m, 10m の位置(順に、センサー No. 1, No. 2, No. 3, No. 4)に設置した。地震動は遠地地震を対象としているため、No. 1 から No. 4 の各地点で同一の地震動が観測されると仮定し、地震動の加速度波形を列車振動の加速度波形に加算した(Fig.5)。

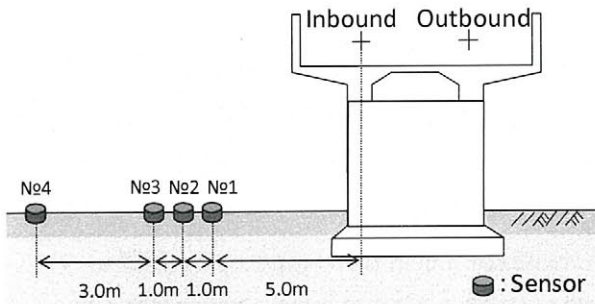


Fig.4. Locations of sensors installed nearby a railway viaduct to observe railway-induced ground vibrations. Interval distances between sensors and a close line (inbound) were 5m (No.1), 6m (No.2), 7m (No.3), and 10m (No.4).

観測点間隔が 1m の No. 1 と No. 2 の混合波形に ICA を適用し、波形の分離を行った。その分離結果の加速度波形を Fig.6(地震動と列車振動の振幅が大きい 2 秒間) に示す。地震動の加速度波形により、観測と分離結果で振幅、位相ともに良く一致していることが分かる。

### まとめ

2 観測点で同一の地震動が観測されるとした条件で行った本数値実験では、BSS を仮定した独立成分分析(ICA)により合成波形から地震動と列車振動を精度良く分離することが出来た。また、列車振動に実観測データを用いた混合波形については、地震動と列車振動ともに観測と ICA による分離結果は概ね一致した。

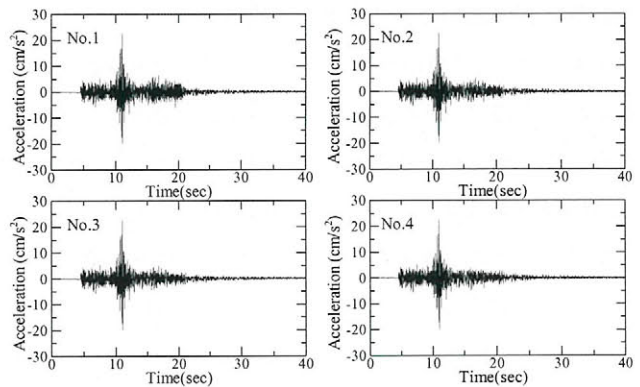


Fig.5. Mixed waveforms using the earthquake ground motion shown in Fig.10 and the railway-induced ground vibrations (No.1-No.4) shown in Fig.9.

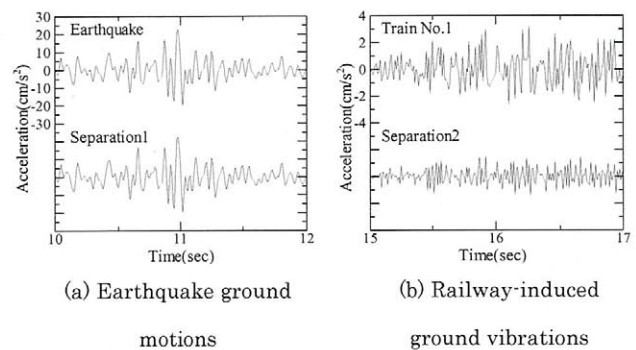


Fig.6. Same as Fig.12, for a time window of 2 seconds in which amplitudes of earthquake ground motion and railway-induced ground vibrations are large.