

【研究ノート】

自動車を活用した地震観測のための車載地震計の運用実験

平井敬¹，宇田晃²，清水克彰²，飛田潤³，高橋広人⁴

¹ 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科，准教授 博士（工学）

² 有限会社アシストコム

³ 名古屋大学減災連携研究センター，教授 博士（工学）

⁴ 名城大学理工学部，准教授 博士（工学）

自動車を活用した高密度の地震観測の実現を目指して，車両に搭載した状態で動作する地震観測システム（車載地震計）を試作して運用実験を行った．各記録について地動入力に対する車両の応答を表す伝達関数を推定したところ，振動数 2.9 Hz 以上において車両の振動特性に起因するピークがみられた一方，それより低振動数側ではほぼ平坦な応答特性となることが分かった．また，計測震度と境ら(2004)の定義による震度を比較したところ，得られた記録の範囲では，車上においては地上に対して 1 程度大きな値が推定される傾向にあった．今後，車載地震計の運用実験を継続して行うとともに自動車の振動モデルを構築し，より精密に車両の応答から地動を推定することを検討していく．

キーワード：地震動，応答特性，伝達関数，震度

1. はじめに

わが国には高密度の地震観測網が整備されており，地震発生後すみやかに震源情報と震度分布が公開される体制が調っている．しかしながら，地盤の構造に起因する局所的な強い揺れまでは検知できないことがある¹⁾．効果的な初動対応を行うためにはより高密度での地震観測を行うことが望まれるが，コストと人手の観点から，観測点の増設にはおのずと限界がある．

こうした中，著者らは地震観測の媒体として自動車をもっとも有望なもののひとつと考えている．なぜなら，自動車は人が居住している地域にはたいい存在する，常時接地している，後述するように一般的な家屋の地震被害に大きく影響する振動数 0.5–1 Hz の帯域²⁾で平坦な応答特性を有する，建物と比べて買い替えの頻度が高いため観測網のすみやかな浸透が期待できるなどの特徴があるためである．これまでに，地震観測の媒体としての自動車の特性を把握するために，車両の振動観測および振動

実験を行ってきた^{3), 4), 5)}. その結果, 一般的な自家用乗用自動車の場合, 車両の応答特性は振動数 0.5–1 Hz の帯域でほぼ平坦であり, 車両上で観測された加速度波形から地動の計測震度や境⁶⁾の定義による震度 (以下, 境震度と呼ぶ) を ± 0.5 程度以内の精度で推定可能であることが分かった. 一方, 2–3 Hz 以上の振動数帯域に車両の応答特性によるピークが存在し, これについては車両の振動モデルを構築して地動を推定するなどの検討の余地があることも分かっている.

こうした背景を踏まえ, 本研究では, 自動車を活用した地震動観測の実現へ向けて, 自動車内に搭載された状態で動作する地震観測システム (以下, 車載地震計と呼ぶ) のプロトタイプを製作し, 運用実験を行った. 運用開始から 1 か月強の期間で 12 個の地震動による車両の振動応答の記録 (以下, 地震記録と呼ぶ) が得られた. これについての現在までに分析結果と, そこから考察される内容について報告する.

なお, 本稿は日本地震工学会・大会–2024 における著者らの報告⁷⁾ (本稿執筆時点では発表予定) の内容を再構成したものである.

2. 実験方法

本研究では, 車体の振動を測定するための加速度計に加え, 車体の回転動を把握するためのジャイロセンサー, 車両の位置を把握するための GPS ユニット, データ収集サーバーと通信するための SIM 通信ユニット, これらを総括制御するためのシングルボードコンピューター, および電源装置を組み合わせた地震観測システムを構成した. これを埼玉県在住の研究協力者が所有する自家用乗用自動車に搭載し, 2024 年 7 月中旬から約 1 か月間の運用実験を行った. 車両の状態は, 本研究における地震観測記録が得られた時点ではすべて自宅車庫にエンジンオフで駐車中であった. 地動と車両の応答との関係を検討するため, 車庫の床スラブ上にも加速度計を設置した. 座標系については, 車両の前後方向を x (前向きを正), 左右方向を y (左向きを正), 上下方向を z (上向きを正) とした.

3. 結果と考察

観測期間を通して, 車載地震計により 12 個の地震記録を得た. 図 1 に各記録の最大加速度, 計測震度, 境震度を比較して示す. 図 1 (a), (b), (c) は x, y, z 成分それぞれについて地上と車上の最大加速度 (A_x, A_y, A_z) を比較したものである. 地上と車上の最大加速度はおおむね比例関係にあり, その増幅倍率を表す比例係数は 3 程度である. 図 1 (d) は車上の x, z 成分の最大加速度を比較したものである. 平井ら⁴⁾および平井・高橋⁵⁾の結果 (以下, まとめて既報と呼ぶ) では, 車両の振動特性として x 成分と z 成分が連成する傾向があることが分かっているが, この車両においても x 成分と z 成分がよく比例しており, 連成関係にあることが推察される. 図 1 (e) は地上と車上の計測震度を, 図 1 (f) は境震度を, それぞれ比較したものである. とともに車上の震度は地上の値より 1 程度大きくなっている.

図 2 に, 具体例として 2024 年 8 月 9 日 19:57 に発生した神奈川県西部の地震 (M5.3) による地震記録を示す. 伝達関数振幅倍率と位相遅れをみると, 直流成分から 2 Hz 強までの範囲で車両の応答特性がほぼ平坦であることが分かる. 同様に, コヒーレンスも 2 Hz 強まで 1 に近い値となっている. 振幅倍率と位相遅れから車両の振動特性を読み取ると, y 成分は 3 Hz 弱に 1 次, 7 Hz 付近に 2 次の比較的鋭いピークがある. 一方, x, z 成分はともに 4–6 Hz の範囲になだらかな裾野を伴う複数のピークがあ

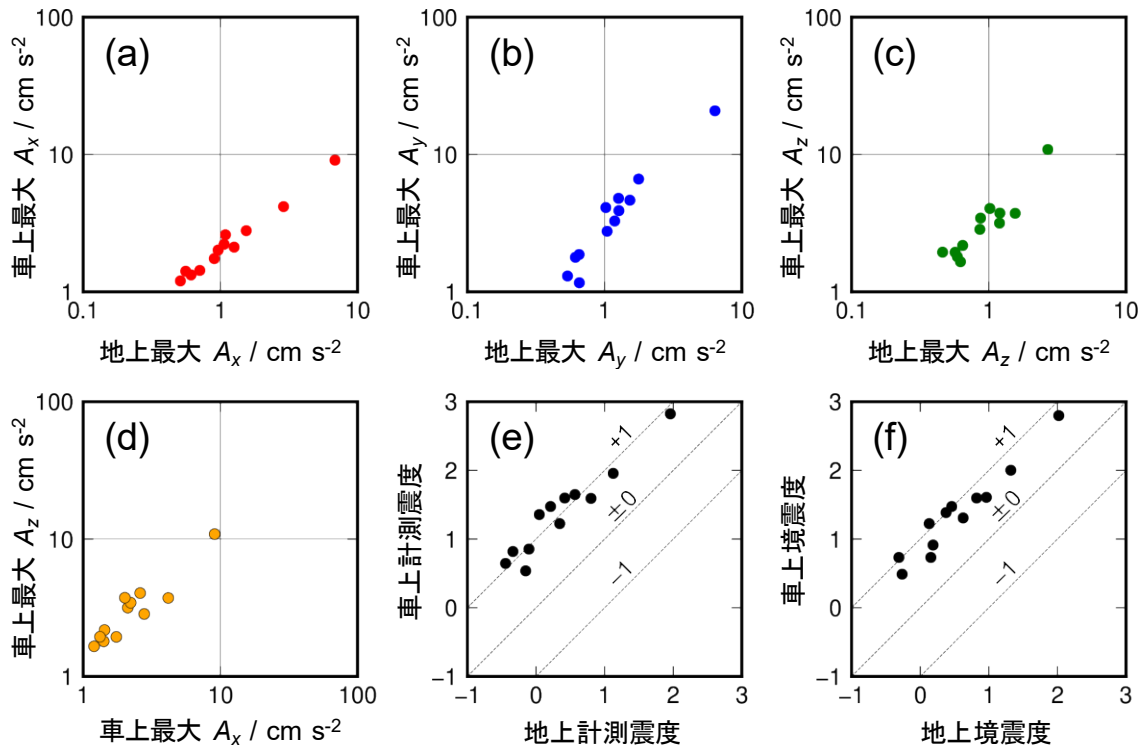


図1 車載地震計による地震観測結果

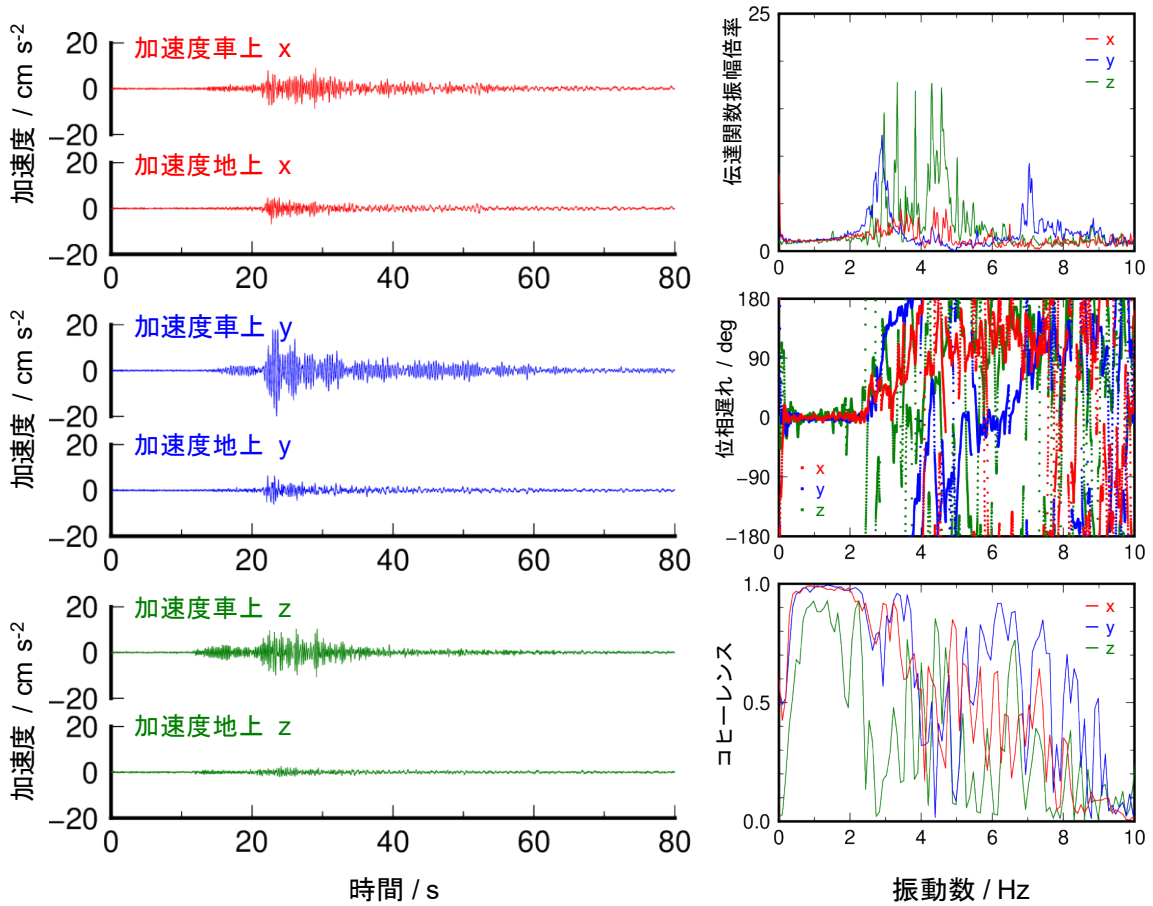


図2 2024年8月9日 19:57 神奈川県西部の地震の観測結果

る。この傾向は、車種が異なるとはいえ既報と似通った結果である。このことから、車両の応答では x 成分と z 成分が連成している一方、 y 成分が独立して挙動していることが見て取れる。

4. まとめ

本研究では、自動車を活用した高密度の地震観測の実現を目指して、自動車に搭載できる地震計のプロトタイプを試作して運用実験を行った。地動入力に対する車両の応答を表す伝達関数を推定したところ、振動数 2.9 Hz 以上において車両の振動特性に起因するピークがみられた一方、それより低振動数側ではほぼ平坦な応答特性となっていることが分かった。また、地上と車上の計測震度と境震度を比較したところ、車上においては地上に対して+1 程度の過大評価になることが分かった。

今後、車載地震計にジャイロセンサーを組み込んで車体の回転動を把握するとともに、車両の振動モデルを構築して車体の動きから地動を推定することを考える。さらに地震観測を継続し、自動車を活用した地震観測の可能性をより詳細に検討していく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K22845 の助成を受けたものである。車載地震計の製作と運用実験にあたっては、公益財団法人深田地質研究所・梶原透客員研究員の協力を得た。地震記録の取得と同定にあたっては気象庁の地震情報⁸⁾を参照した。本稿の図の作成には GMT (Generic Mapping Tools)ソフトウェア⁹⁾を使用した。それぞれ、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 杉山充樹, 吉岡優樹, 平井敬, 福和伸夫: 震度観測体制の年代差・地域差の定量評価と震度情報の解釈, 日本地震工学会論文集, Vol. 20, No. 7, pp. 101-119, 2020. DOI: https://doi.org/10.5610/jaee.20.7_10
- 2) 境有紀, 瀧瀬一起, 神野達夫: 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 67, No. 555, pp. 85-91, 2002. DOI: https://doi.org/10.3130/aijs.67.85_2
- 3) 吉岡優樹, 平井敬, 飛田潤, 福和伸夫: 自動車を用いた高密度地震観測のための車両振動計測, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp. 897-898, 2021.
- 4) 平井敬, 吉岡優樹, 福和伸夫: 自動車を利用した地震観測の実現へ向けた車両振動実験, 日本地震工学会論文集, Vol. 23, No. 1, pp. 1-14, 2023. DOI: https://doi.org/10.5610/jaee.23.1_1
- 5) 平井敬, 高橋広人: 地震観測の媒体としての自動車の詳細な振動実験, 日本地震工学会論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 33-53, 2024. DOI: https://doi.org/10.5610/jaee.24.1_33
- 6) 境有紀, 神野達夫, 瀧瀬一起: 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No. 585, pp. 71-76, 2004. DOI: https://doi.org/10.3130/aijs.69.71_4
- 7) 平井敬, 宇田晃, 清水克彰, 飛田潤, 高橋広人: 自動車を活用した地震観測の実現へ向けた車載地震計の運用実験, 日本地震工学会・大会-2024, B-21-2, 2024. (発表予定)
- 8) 気象庁: 震源リスト, https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/daily_map/index.html (参照 2024-10-01)
- 9) Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., Tian, D.: The Generic Mapping Tools Version 6, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 20, No. 11, pp.5556-5564, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GC008515>

Note:

Practical Experiment of Vehicle-Installed Seismometer for Seismic Observation Using Automobiles

Takashi Hirai¹, Akira Uda², Katsuaki Shimizu², Jun Tobita³, Hirohito Takahashi⁴

¹ Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Associate Professor, Dr. Eng.

² Assistcom Co., Ltd.

³ Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, Professor, Dr. Eng.

⁴ Faculty of Science and Technology, Meijo University, Associate Professor, Dr. Eng.

Abstract

A practical experiment of the vehicle-installed seismometer was conducted in order to enable seismic observation using automobiles. According to the transfer function representing the vehicle response to the ground motion, the vehicle has dominant vibration modes in more than 2.9 Hz, while it has flat response characteristics in the lower frequency. In addition, the instrumental seismic intensity and the seismic intensity defined by Sakai et al. (2004) on the vehicle were estimated larger about 1 than that on the ground. In future study, we will continue the practical experiment of the vehicle-installed seismometer and develop the vibration model of the vehicle to estimate the seismic ground motion using the vehicle response.

Keywords: Seismic ground motion, Response characteristics, Transfer function, Seismic intensity