

超高密度常時微動計測に基づく 益城町の市街地における地盤震動特性の広域評価

Evaluation of ground shaking characteristics in residential land around Mashiki Town Office, Japan, based on microtremor measurement with very high dense spatial location

秦吉弥¹, ○湊文博¹, 後藤浩之², 吉見雅行³, 盛川仁⁴, 池田隆明⁵, 香川敬生⁶
Yoshiya HATA¹, Fumihoiro MINATO¹, Hiroyuki GOTO², Masayuki YOSHIMI³,
Hitoshi MORIKAWA⁴, Takaaki IKEDA⁵ and Takao KAGAWA⁶

¹ 大阪大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Osaka University

² 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

³ (国研)産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

⁴ 東京工業大学 大学院総合理工学研究科

Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

⁵ 長岡技術科学大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology

⁶ 鳥取大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Tottori University

In this paper, ground shaking characteristics in residential land around Mashiki Town Office, Japan, are evaluated based on microtremor measurement with very high dense spatial location. In particular, first of all, we conducted microtremor measurements at 365 sites in the residential land of interest. Microtremor H/V spectra were then calculated using the measurement records. Finally, fine distributions of the peak (ridge) and trough frequencies based on the H/V spectra were illustrated in the residential land. The obtained findings will be useful in future study of strong motion estimation in the residential land of interest during the 2016 Kumamoto earthquake sequence.

Keywords: Microtremor measurement, Residential land, H/V spectrum, Ridge&Trough frequency, T/R frequency ratio

1. はじめに

2016 年熊本地震の強震動の作用による住家等の倒壊に起因した人的被害などは、益城町役場周辺の造成宅地において数多く発生している。特にその深刻な被害は、県道 28 号線(北側)と秋津川(南側)に挟まれたエリア(サンドウィッチエリア¹⁾: 図-1 参照)において集中的に発生している。具体的には、6 月 14 日夜に発生した前震ではサンドウィッチエリアの一部にのみ集中的に被害が発生²⁾していたが、6 月 16 日未明に発生した本震ではサンドウィッチエリアのほぼ全域に被害が拡大²⁾した。

この点に関して秦ほか³⁾は、6 月 14 日夜の前震の発生を受け、6 月 15 日の日中から臨時地震観測を開始し、サンドウィッチエリアなどで 6 月 16 日未明に発生した本震による強震動を観測することに成功している。TMP3(図-1 参照)で記録された強震動の気象庁計測震度の値は 6.9 (史上最大)であり、周辺で得られた本震観測記録(KiK-net 益城(地盤地表面)での 6.5 ならびに益城町役場(建物内)での 6.7)より明らかに大きなものであった。さらに秦ほか⁴⁾は、益城町の造成宅地において臨時の余震観測を広域かつ高密度に実施し(計 20 地点)、得られた記録に基づきサイト増幅特性を評価することで、サンドウィッチエリア内では、サンドウィッチエリア北側よりもサイト増幅特性が比較的大きいことを速報している。

しかしながら、上述した先行研究^{3),4)}では、益城町の

造成宅地(以後、対象造成宅地と呼ぶ)に設けた臨時余震観測点(20 地点)の位置相当でのサイト増幅特性(地盤震動特性)を評価しているにすぎない。

そこで本稿では、今後、地震動推定を高密度に実施していくための基礎的検討として、対象造成宅地において常時微動計測を広域かつ高密度に実施することで、常時微動 H/V スペクトルに基づいて対象造成宅地における地盤震動特性を評価した結果を報告する。

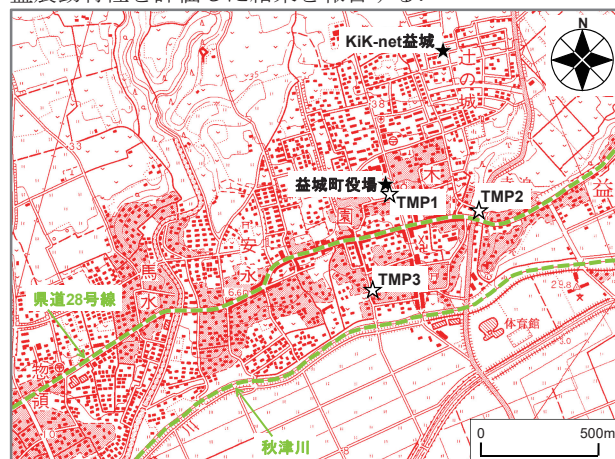


図-1 対象造成宅地とその周辺における現在の地形図

2. 高密度常時微動計測

(1) 計測の諸元と H/V スペクトルの計算

常時微動計測は、図-2 に示す対象造成宅地内の計 365 地点において実施した。図-2 の枠内写真に常時微動計測状況の一例を示す。なお、長尾ほか⁵⁾などによる対象造成宅地において先行的に実施された常時微動計測よりも、本稿における計測のほうが明らかに高密度であることから、以後、超高密度常時微動計測と呼ぶこととする。

計測期間は、2016 年 4 月 15～17 日、5 月 5 日、6 月 3～5 日、7 月 28 日、9 月 13 日の計 9 日間である。計測は主に昼間に実施し、同型の八台の微動計(八台ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器⁶⁾)を採用した。計測方向は水平二成分と鉛直成分の計三成分であり、後述する常時微動 H/V スペクトルの計算では、水平二成分の平均をとった。計測時間は、一計測点あたり 30 分間の単点計測とした。

常時微動 H/V スペクトルの計算処理方法⁷⁾としては、まず、微動の加速度時刻歴に対して 0.1Hz のハイ・パスフィルターを施し、163.84 秒の区間(雑振動が比較的小さい 163.84 秒間)を 7 区間抽出し、フーリエスペクトルの計算を行い、バンド幅 0.05Hz の Parzen Window で平滑化したのちに、H/V スペクトルを算出し、7 区間の平均をとった。評価振動数の範囲としては、使用した微動計測器の性能⁶⁾などを考慮して 0.2～10Hz とした。



図-2 対象造成宅地における常時微動計測地点の分布

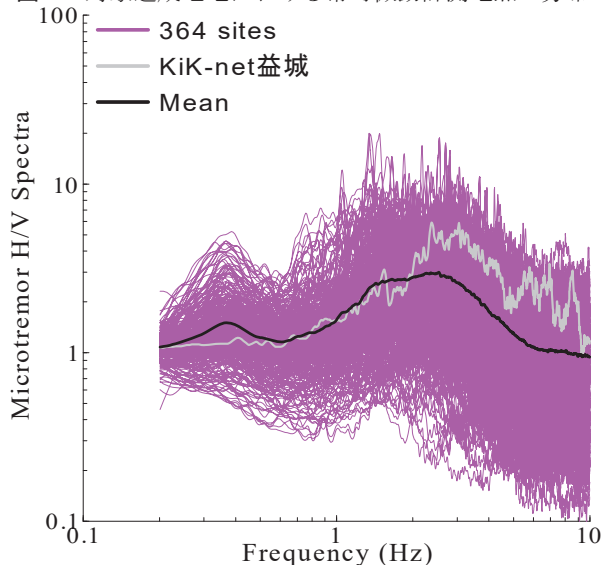


図-3 常時微動 H/V スペクトルの比較
(対象造成宅地内における KiK-net を含む全 365 地点)

(2) H/V スペクトルの評価と解釈

図-3 は、KiK-net 益城(既存強震観測点)に対する対象造成宅地(364 地点)での常時微動 H/V スペクトルの比較を示す。図-3 に示すとおり、同じ対象造成宅地においても、ピーク周波数やスペクトル形状などの H/V スペクトルの特性がばらついているのが確認でき、対象造成宅地内における地盤震動特性が様々であるとは言い難い。さらに、KiK-net 益城の H/V スペクトルと対象造成宅地全体の H/V スペクトル(365 地点の平均)の比較では、両者の特性が明らかに異なっていることから、KiK-net 益城で得られた前震もしくは本震観測記録を、対象造成宅地に作用した前震もしくは本震時の地震動として一つに代表させることができないことが示唆される。

図-4 および図-5 は、県道 28 号線南側の地域(サンドウィッチエリア内：計 150 地点)および県道 28 号線北側の地域(サンドウィッチエリア外：計 215 地点)における常時微動 H/V スペクトルを重ね合せたものである。図-4 に示すとおり、同じサンドウィッチエリア内においても H/V スペクトルの特性がばらついているのが確認でき、サンドウィッチエリア内における地盤震動特性が様々で

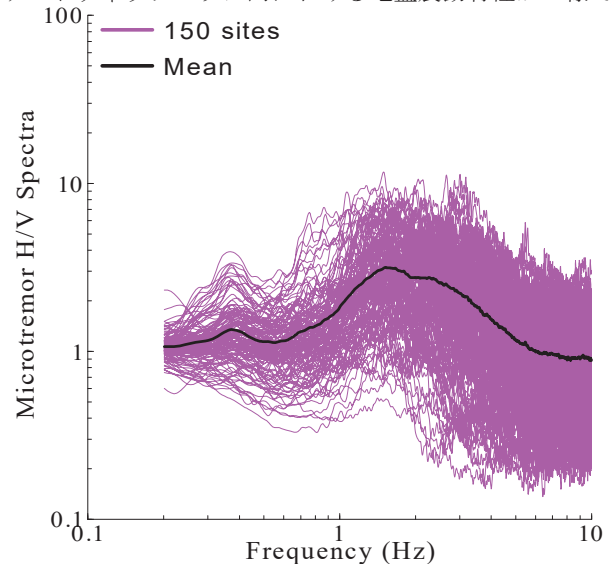


図-4 常時微動 H/V スペクトルの比較
(サンドウィッチエリア内における 150 地点)

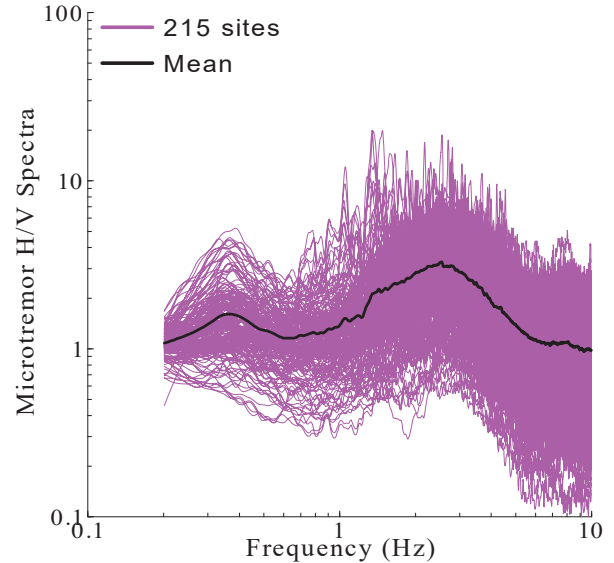


図-5 常時微動 H/V スペクトルの比較
(サンドウィッチエリア内における 215 地点)

あるとは言い難い。同様に、図-5 に示すとおり、サンドウィッチエリア外においても H/V スペクトルの特性がばらついているのが確認できる。図-4 と図-5 を比較すると、サンドウィッチエリア内の平均的な H/V スペクトル(150 地点の平均)のピーク周波数は 1.5Hz であるのに対し、サンドウィッチエリア外の平均的な H/V スペクトル(215 地点の平均)のピーク周波数は 2.5Hz となり、概してサンドウィッチエリア内のほうが軟弱な地盤であるといえる。

図-6 は、対象造成宅地における常時微動 H/V スペクトル(図-3 参照)のピーク周波数を地形図上にプロットしたものである。図-6 に示すように、対象造成宅地の南西域(サンドウィッチエリアの西側)において暖色系(比較的低周波帯域)のピーク周波数を示しており、サンドウィッチエリア内におけるピーク周波数の分布が概ね一様である

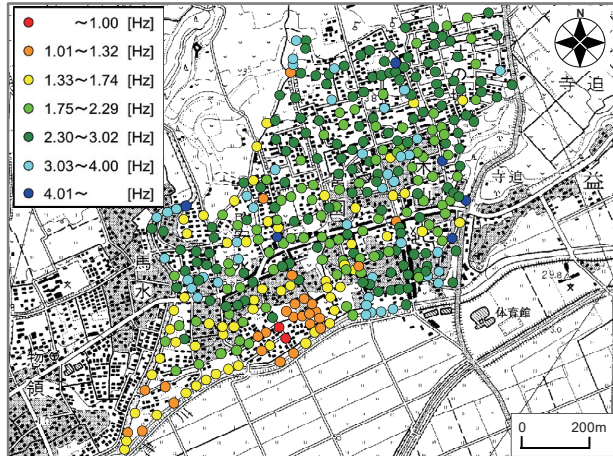


図-6 常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の分布



図-7 対象造成宅地付近の産業技術総合研究所地質図⁸⁾



図-8 対象造成宅地付近の国交省表層地質図⁹⁾

とは言い難い。サンドウィッチエリア外においては、サンドウィッチエリア内と比較してピーク周波数のバラツキがそれほど大きくないことが読み取れる。

図-7 に(国研)産業技術総合研究所による地質図⁸⁾、図-8・図-9・図-10 に国土交通省国土政策局による表層地質図・地形分類図・土壌図⁹⁾、図-11 に(一社)熊本県地質調査業協会による熊本市周辺地盤図¹⁰⁾を、本震記録が得られている 5 観測点の位置情報³⁾とともに示す。図-6 に対して図-7～図-11 を比較すると、常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の分布に対して地質・地形・土壌・地盤・土地造成に関する各々の分類は調和的であるとは言い難く、既存の各種分類図に基づいた机上検討だけでは対象造成宅地内における地盤震動特性に関するゾーニングが困難であるといえる。

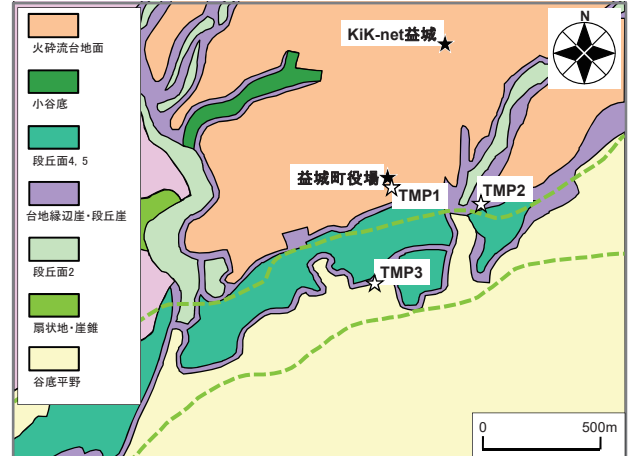


図-9 対象造成宅地付近の国交省地形分類図⁹⁾

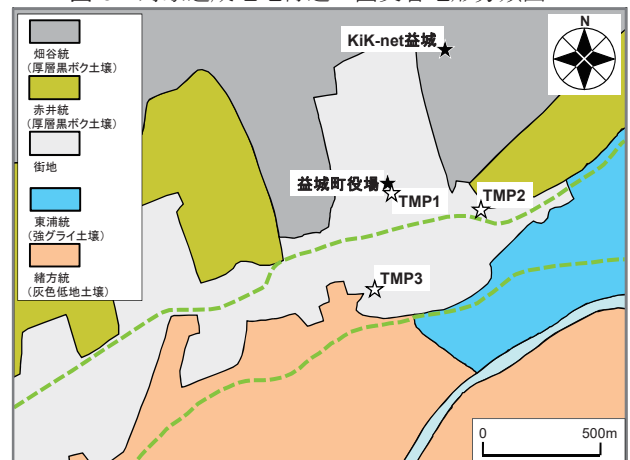


図-10 対象造成宅地付近の国交省土壌図⁹⁾

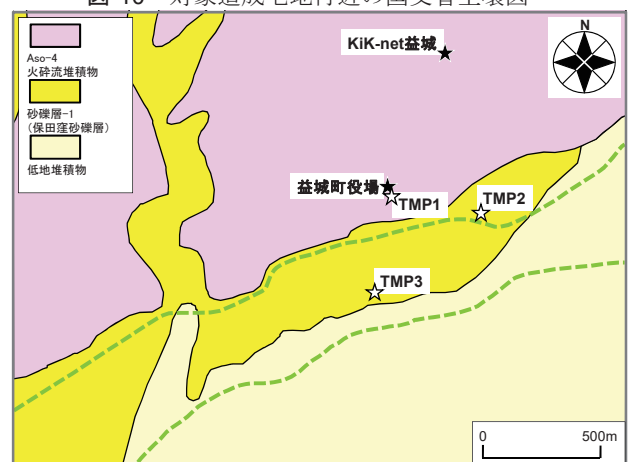


図-11 対象造成宅地付近の熊本市周辺地盤図¹⁰⁾

図-12 および図-13 は、対象造成宅地における常時微動 H/V スペクトル(図-3 参照)のトラフ周波数¹¹⁾および T/R 周波数比¹¹⁾を地形図上にそれぞれプロットしたものである。図-12・図-13 と図-7～図-11 を各々比較すると、上述したピーク周波数に関する考察と同様に、トラフ周波数および T/R 周波数比においても既存の各種分類図に対して明らかな対応関係を読み取ることはできない。

3. まとめ

本稿では、2016 年熊本地震によって深刻な住家被害が発生した益城町役場周辺の造成宅地を対象に超高密度常時微動計測を実施し、H/V スペクトルに基づいて地盤震動特性を評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 益城町役場周辺の造成宅地では、ピーク周波数やスペクトル形状などの常時微動 H/V スペクトルの特性に有意なバラツキが確認できることから、当該造成宅地内における地盤震動特性が同様であるとは言い難い。この傾向は、サンドウィッチエリア内外においてもそれぞれ同様に見受けられる。
- (2) 対象造成宅地内における常時微動 H/V スペクトルのピーク(Ridge)周波数・トラフ(Trough)周波数・T/R 周波数比の分布に対する地質・地形・土壌・地盤・土地造成に着目した既存の各種分類図の比較において、明らかな対応関係を読み取ることはできない。

今後は、本稿で算定した H/V スペクトルに基づいてサイト増幅特性を経験的に評価することによって、前震時ならびに本震時における対象造成宅地内の強震動の分布を広域かつ高密度に推定していきたいと考えている。

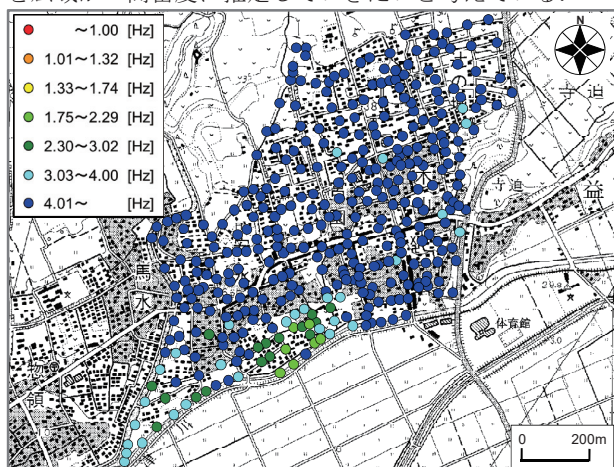


図-12 常時微動 H/V スペクトルのトラフ周波数¹¹⁾の分布

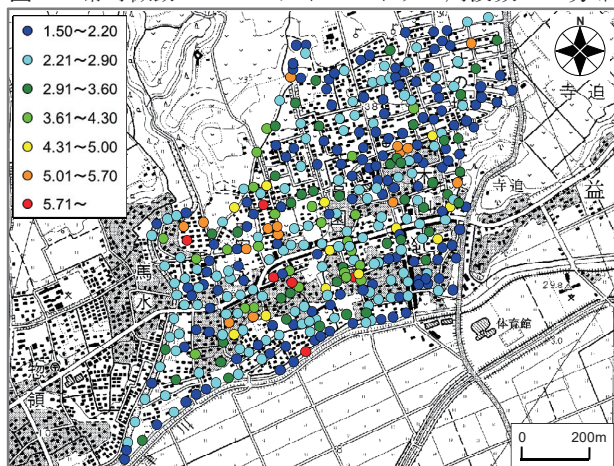


図-13 常時微動 H/V スペクトルの T/R 周波数比¹¹⁾の分布

謝辞：常時微動計測の高密度実施にあたり、益城町役場の職員の皆様および益城町の住民の皆様などに大変お世話になりました。本研究の遂行にあたって、科学研究費補助金・若手研究 A「超高密度地震観測に基づく宅地造成斜面におけるダイナミック地すべり挙動の広域的評価[JP15H05532]」、京都大学防災研究所共同研究(平成 28 年度特別緊急共同研究)「益城町内の街地における震災の帯の再現を目的とした地盤調査の超高密度実施に基づく 2016 年熊本地震の強震動評価[28U-07]」、京都大学防災研究所共同研究(平成 28 年度特別緊急共同研究)「2016 年熊本地震における地表地震断層ごく近傍における強震動の実態把握[28U-05]」の一部をそれぞれ使用しました。本研究は、(公社)土木学会地震工学委員会地形に残された地震痕跡データの集約と活用に関する研究小委員会(委員長：小長井一男(横浜国立大学教授・東京大学名誉教授))、(公社)土木学会地震工学委員会断層帯近傍における地震動メカニズム検討小委員会(委員長：香川敬生(鳥取大学教授))、(公社)土木学会地震工学委員会 2016 年熊本地震による被害調査・分析小委員会(委員長：池田隆明(長岡技術科学大学教授))の活動の一環としてそれぞれ実施させていただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 秦吉弥, 後藤浩之, 吉見雅行: 益城町の被害集中域における 2016 年熊本地震本震の地震動とその特徴, 科学, 岩波書店, Vol.86, No.9, pp.934-941, 2016.
- 2) Yamada, M., Ohmura J., and Goto, H.: Building damage in the Mashiki-town for the foreshock and main shock of the 2016 Kumamoto earthquake, *Proc. of JPGU meeting 2016*, Chiba, Japan, MIS34-P82, 2016.
- 3) Hata, Y., Goto, H., and Yoshimi, M.: Preliminary analysis of strong ground motions in the heavily damaged zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the main shock of the 2016 Kumamoto Earthquake ($M_w7.0$) observed by a dense seismic array, *Seismological Research Letters*, Vol.87, No.5, pp.1044-1049, 2016.
- 4) 秦吉弥: 地盤震動(1)～被災地点等での臨時地震観測～, 土木学会地震工学委員会平成 28 年度第 1 回研究会講演資料, (公社)土木学会地震工学委員会ホームページ, 2016. (last accessed: 2016/09/30) <http://committees.jsce.or.jp/ee2/node/75>
- 5) 長尾毅: 熊本地震調査結果と今後の課題, 神戸大学都市安全研究センター長尾研究室ホームページ, 2016. (last accessed: 2016/09/30) <http://www2.kobe-u.ac.jp/~nagaotak/kumamotojisinn.html>
- 6) 先名重樹, 安達繁樹, 安藤浩, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 第 115 回物理探査学会学術講演会講演論文集, pp.227-229, 2006.
- 7) 秦吉弥, 湊文博, 山田雅行, 常田賢一, 魚谷真基: 和歌山県串本町における高密度常時微動計測, 物理探査, Vol.68, No.2, pp.83-90, 2015.
- 8) (国研)産業技術総合研究所: 地質図表示システム(地質図 Navi), 地質調査総合センターホームページ, 2013. (last accessed: 2016/09/30) <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>
- 9) 国土交通省国土政策局: 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査[御船], 国土政策局国土情報課ホームページ, 2003. (last accessed: 2016/09/30) <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>
- 10) (一社)熊本県地質調査業協会: 熊本市周辺地盤図, 地盤図編纂委員会編, 267p., 2003.
- 11) 大川雄太郎, 秦吉弥, 三神厚, 湊文博, 山内政輝, 常田賢一: 同一地域メッシュ内での強震動の高密度予測—南海トラフ巨大地震における徳島県三好市街地を例として—, 第 36 回地震工学研究発表会講演論文集, Paper No.918, 2016.