

近距離無線通信「Bluetooth」を活用した通行止め工事時 における迂回経路所要時間計測手法

～ 迂回乗継実施時における適切な交通分散の実現に向けて ～

阪神高速道路(株)大阪管理局保全部システム保全課 萩原 武司
阪神高速技研(株)技術部技術課 河本 一郎
阪神高速技研(株)技術部技術課 鈴木 健太郎

要 旨

阪神高速道路では 1 週間程度、本線一部区間を終日通行止めとし、各種工事を集中的に実施することで工事の効率化、周辺への交通影響等の低減を図っている。さらに、期間中における交通集中を分散させるため、最近では迂回乗り継ぎ区間を設定することが多い。このたび、平成 27 年 5 月、10 月に実施した 3 号神戸線及び 5 号湾岸線の通行止め工事における迂回経路について、Bluetooth 端末の MAC アドレスを収集しマッチングすることで所要時間を生成し、情報提供前後における交通流動の変化、渋滞の変化等、各種効果を計測した。なお、路線毎におけるデータ数及びマッチング率等の変化を整理するとともに、より正確な所要時間提供に向け、平均値や標準偏差を用いたデータクリーニング手法を適用し、これらの効果についても一定の知見を得ることが出来た。

キーワード:Bluetooth, 大規模補修工事, 所要時間計測,

はじめに

近年、Bluetooth が利用可能な各種端末の普及が我が国でも進み、通信時に得られる機器固有の番号 (MAC アドレス) を活用することで任意の区間所要時間が計測できるようになった。過年度において 5 号湾岸線 (住吉浜) ～3 号神戸線 (摩耶) 間の乗継経路に Bluetooth 端末の MAC アドレス収集機器を設置し、その実用可能性について一定の成果を得ている¹⁾。

そのような中、関係機関と平成 27 年 5 月実施に向け協議を進めていた 3 号神戸線 (深江～武庫川) における通行止め補修工事において、工事期間中の阪神高速道路におけるサービスレベルの低

下を最小限にするため、様々な施策が検討されており、その対策の一つに、迂回乗継として 3 号神戸線 (深江) ～5 号湾岸線 (深江浜) 間 (約 2km) の乗継を工事期間中限定で導入することとなった。

乗継導入による効果を最大限に発揮させるには、ホームページや横断幕による事前広報等のこれまでの対策に加え、ドライバーに適切な情報をその場でリアルタイムに提供し、最適な経路選択を促すことで各道路の理想的な交通分担が図られると考え、MAC アドレス収集機器を乗継経路の路側に設置し、所要時間の算出及び情報提供を実施した。

さらに、平成 27 年 10 月に実施した 5 号湾岸線 (南港～北港 JCT) においても同様の理由から、情報提供を行った。本区間では、乗継経路が最長で約 12km にも及ぶ経路となり、中間に MAC アド

レス収集機器を設置し、約 6km のマッチングとしたものの、3 号神戸線に比べて長い経路での試験実施となり、マッチング状況も含め、各種課題が判明したのでそれらについても記述する。

1. 3 号神戸線工事における所要時間計測

1-1 活用技術の概要

走行する車両の車内に Bluetooth による通信が可能な状態の機器を有している場合、路側に設置した収集機器で通過車両内にある端末等の MAC アドレスを収集し、地点間でマッチングの上、単位時間（今回は 10 分）あたりの最小値を計算することで、地点間所要時間を生成するものである。これら所要時間の生成については、西日本高速道路エンジニアリング中国（株）が保有するシステムを活用した。本システムは MAC アドレス収集機器と通信機器、通信機器から送られたデータを随時マッチングし、所要時間を生成するサーバーシステムからなるもので、単位時間あたりの最小値を代表値とし、所要時間の推移を WEB 上でリアルタイムに観測できるものとなっている。

1-2 機器設置

Bluetooth 端末の MAC アドレス収集機器は、3 号神戸線においては、南芦屋浜集約料金所ブース、深江浜出口付近、深江入口料金所ブースの 3 箇所に設置した（図-1）。深江浜出口と深江入口の 2 か所だけでも一般道路区間の所要時間は計算できるが、マッチング数の向上と深江浜出口渋滞による所要時間の増加を反映するため、手前の南芦屋浜本線料金所にも設置することとした。



図-1 機器設置位置図

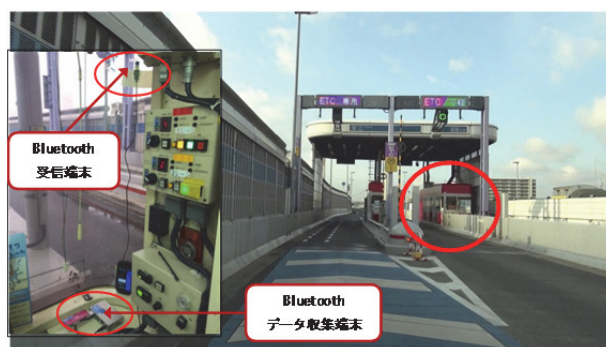


図-2 機器設置状況（深江入口）

1-3 所要時間提供方法

阪神高速道路上の所要時間は既存のシステム（情報ターミナルⅢ型）で算出が可能であるが、一般道路の所要時間の把握ができない。そこで、一般道路区間については、Bluetooth 端末の MAC アドレス収集機器を設置し、旅行時間の算出を行い情報提供を行った（図-3、図-4）。なお、一般道路区間は約 2km（通過時間約 5 分）と短く、提供する所要時間が 10 分単位であることを考慮すると、事故等がなければマッチングに要する経過時間による誤差影響は小さいと考えられる。

所要時間の情報提供は、5 号湾岸線の本線上の南芦屋浜集約料金所で実施した。具体的には、南芦屋浜集約料金所から京橋までの住吉浜を経由する通常の乗継ぎルートと今回の限定ルートである深江経由ルートの 2 ルートの所要時間を案内看板に記載することとした（図-5、図-6）。

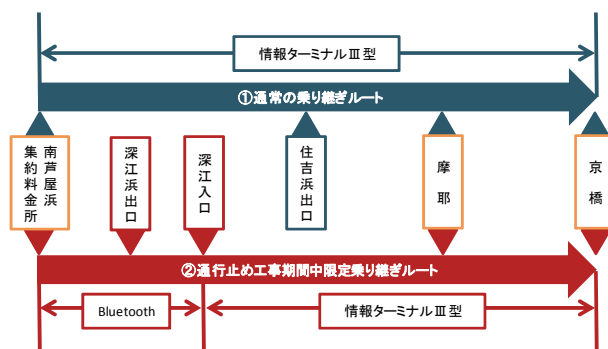


図-3 所要時間算出方法



図-4 情報提供までの流れ



図-5 所要時間提供ルート図



図-6 案内看板設置状況（南芦屋浜集約料金所）

2. 情報提供による効果（3号神戸線）

2-1 データの取得状況

MAC アドレスの収集率（取得 MAC アドレス数/通行台数）（図-7）をみると期間中は、平均 15% 程度取得ができてきている状況であり工事 3 日目の 5 月 28 日（木）では、最大 23% と高い取得率となった。湾岸線は大型車が多く、運転中、ハンズフリーのマイクをスマートフォンと合わせて使用し

ているドライバーが多い可能性が考えられる。

なお、Bluetooth 端末から得られた MAC アドレスを地点間でマッチングすることにより所要時間を算出するが、区間を 2 分割して、「区間 1：南芦屋浜集約料金所と深江浜出口」と「区間 2：深江浜出口と深江入口料金所」でそれぞれマッチングさせ、足し合わせることで所要時間の算出を行った。図-8 のとおり、2 区間ともマッチング台数を確認すると、情報提供していた 6 時～21 時ごろの 10 分間でのマッチング台数は、10（台/単位時間 10 分）以上となり安定的に所要時間を算出可能な台数が確保することができた。さらに、情報提供による効果が定かではないが、マッチング台数も工事期間が進むに連れて増加している傾向もみられる。

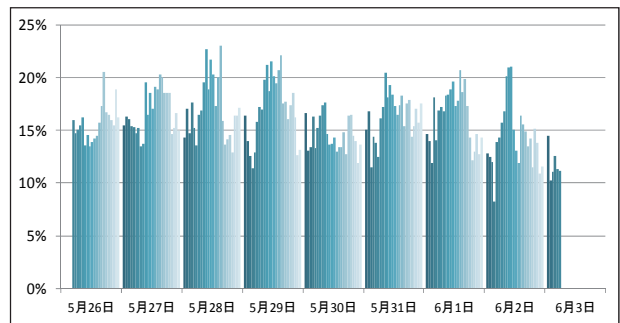


図-7 データ収集率

2-2 情報提供精度

図-9 にあるように、深江経由ルートにおける平成 27 年 5 月 27 日（水）に実施した走行速度調査結果（調査車両による実測値）による所要時間と Bluetooth の MAC アドレスマッチングから生成し、情報提供を行った所要時間の差を比較すると大きな差はない。（所要時間案内看板は 10 分刻みで提供）なお、朝の走行速度調査結果に比べて深江浜→深江経由の提供所要時間が小さくなっているのは、MAC アドレスのマッチングによる算出が、10 分間計測した中の最小値を採用することになっていたため提供時間の方が小さくなったためと考えられる。また、事故発生時においては図-10 のように所要時間が非常に大きくなる場合もあることから、提供までの遅れ時間も大きくなる。

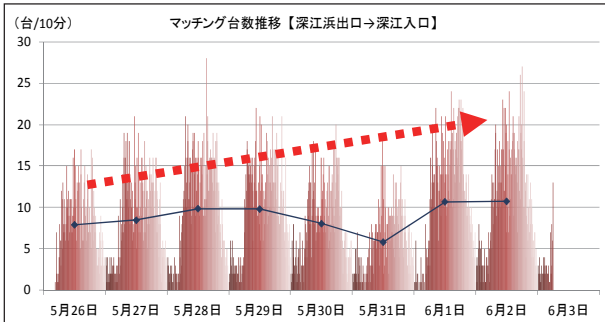
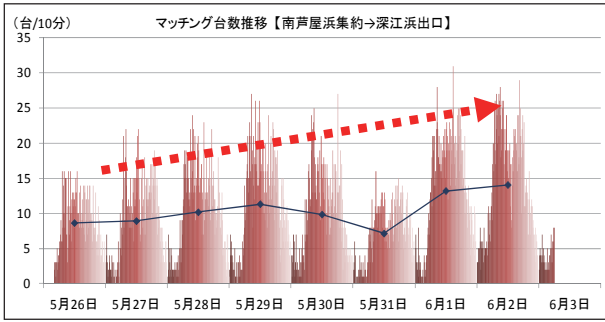


図-8 区間1(上図),区間2(下図)におけるマッチング台数

図-10では南芦屋浜通過時刻を基準とした所要時間(実際は深江浜通過時刻で算出し提供)であり,遅れ時間の影響を除いていることから,一定の精度を確保できているが,当日は算出された所要時間を注視しながら,「計測不能」を掲出するなど,臨機の対応を行った。

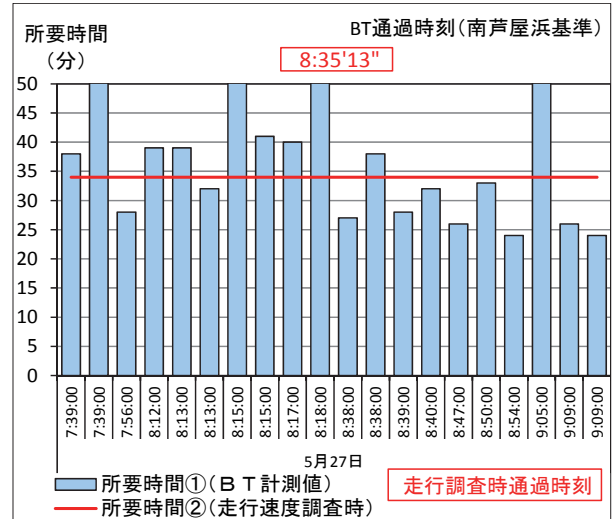


図-10 事故時(5/27午前)の所要時間(南芦屋浜→深江浜)

に従い,限定乗り継ぎルート(以下,深江経由ルート)の利用割合が増えている状況がわかる。

さらに通常乗り継ぎルート(以下,住吉浜ルート)と比較した深江経由ルートの台数比率(点線は1日の平均比率)と所要時間差の推移を図-12に示す。青の折れ線が住吉浜ルートと比較した場合の深江経由ルートの比率を示しており,住吉浜ルートとの所要時間差が大きいほど,この比率が平均比率より高くなる傾向が見られ,情報提供による経路変更状況が確認できた。

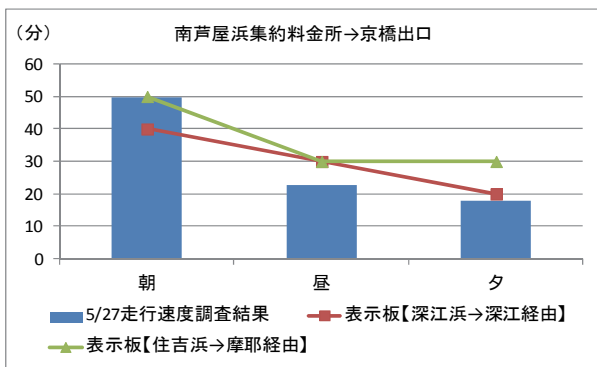


図-9 情報提供所要時間と実走行時間

2-3 情報提供による効果

(1) 経路選択状況

工事期間中における乗継台数分担割合の推移を図-11に示す。普通車,大型車ともに期間の経過

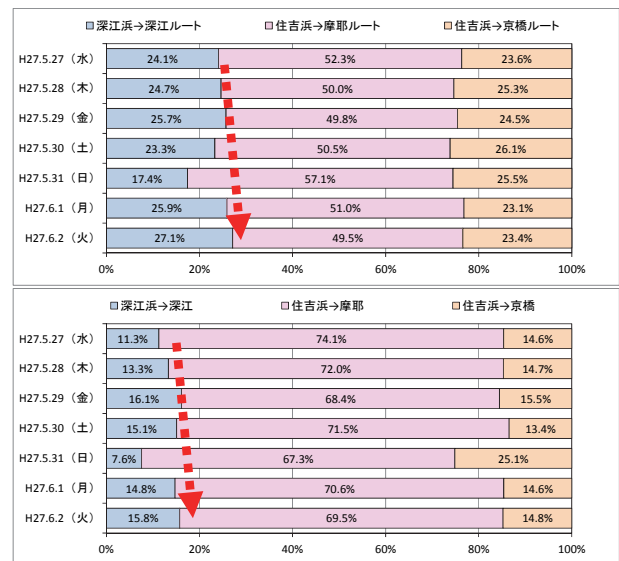


図-11 乗継台数の分担割合推移(上:普通車,下:大型車)

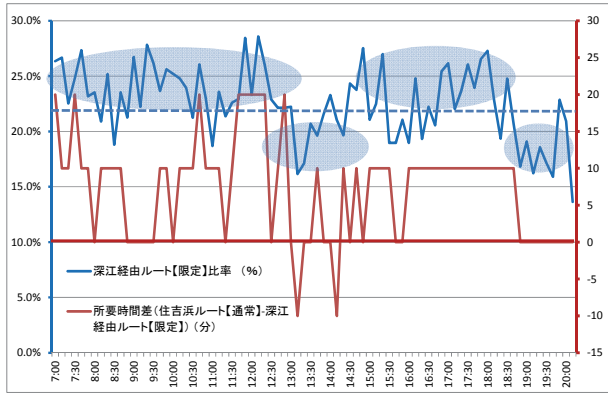


図-12 所要時間差と深江浜ルート比率

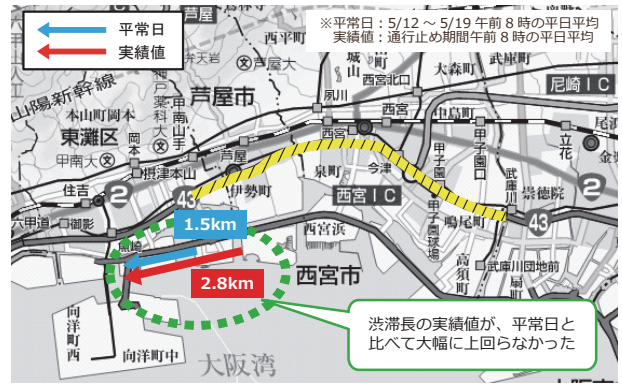


図-14 平常日渋滞状況との比較

(2) 渋滞への効果

高速道路上の通行止め時の事前の渋滞状況予測値（平日の午前8時）と実績値（通行止め期間における午前8時の平日平均）を比較すると5号湾岸線（下り）住吉浜を先頭にした渋滞は、予想値（6.8km）よりも大幅に短く、平常日（5月12日～19日午前8時の平日平均）より約1km長い程度（2.8km）の渋滞となった（図-13、図-14）。



図-13 渋滞予測値との比較

るか否か判定する。過年度の検討から適合の良いパラメータ「 $Z > 4$, $h = 1$ 時間」で判定し、クリーニングした南芦屋浜→深江間の所要時間比較が図-16である。

最小値では除去できない過大な所要時間が除去され、データの安定性向上が確認できる。なお、ここでの情報提供所要時間は実際の提供情報で、区間1と区間2の最小値同士を加えたものであり、直近の所要時間推移等を参考に、担当者の判断による補正（10分丸め）も含まれている。

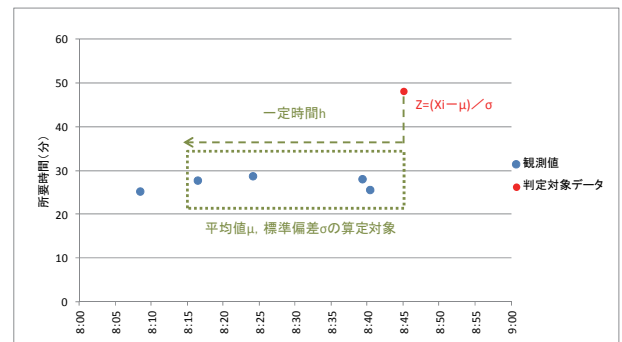


図-15 データクリーニングのイメージ

(3) ばらつき補正（データクリーニング）の効果

今回はシステム上の制約から単位時間の最小値でデータクリーニングを行ったが、時間帯によってデータ数が少ない場合、かなり偏った値を代表値としており、過大な所要時間が算出される場合もある。上限値を設ける案もあるが、より理論的かつ実用的な補正として、上坂ら²⁾の研究における手法を適用し検証を行った。

具体的には図-15 のとおり、一定時間内の平均値、標準偏差からZ値を算出し、データを採用す

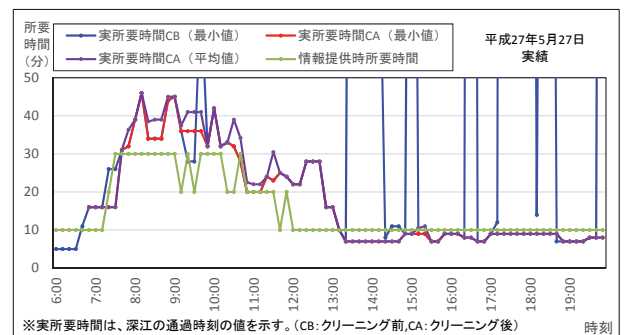


図-16 理論的クリーニングによる補正

3. 5号湾岸線工事における所要時間計測

その後、平成27年10月13日(火)から5号湾岸線(南港～北港JCT)においても11日間の通行止め工事を行うこととなり、3号神戸線と同様に渋滞対策として、一般道路を含んだ迂回乗継を導入することから、Bluetooth端末のMACアドレス収集機器を用いた所要時間の提供を実施した。なお、図中の星印はBluetooth端末のMACアドレス収集機器を設置した箇所を示している(図-17、図-18)。

事前の関係者協議において、特に国道43号線への迂回に伴う渋滞悪化が心配されており、北行南行共に迂回ルート②への転換を図るため、北行(情報提供箇所：15号堺線上り6.5kp非常駐車帯内)、南行(情報提供箇所：5号湾岸線上り6.6kp工事規制内)の両方向で情報提供を行った。提供のための所要時間の算出方法及び提供方法は、前項の3号神戸線時と全く同じであり、工事期間中の午前7時から午後8時まで10分毎に所要時間の最小値データを抽出し一般道路の所要時間(図中点線区間)とした。しかしながら、南行は一般道路区間が最長約12kmと長く、時間遅れの影響が懸念されるため、区間の途中に計測地点(中間地点)を追加した。

3-1 データの取得状況

北行、南行の迂回ルート①、②における一般道路区間のデータ取得状況を下表に示す。

表-1 全期間における5分平均マッチング数

| 方向 | 北行 | 南行 | 南行 | 南行 |
|-------------|------------|------------|-------------|-----------|
| 迂回ルート | ① | ① | ② | ② |
| 区間 | ①弁天町→北港JCT | ②北港JCT→弁天町 | ③北港JCT→夢咲TN | ④夢咲TN→南港南 |
| 平均マッチング数/5分 | 1.71 | 1.42 | 10.98 | 6.71 |

表-2 全期間における5分マッチング数分布

| 方向 | 北行 | 南行 | 南行 | 南行 |
|--------|------------|------------|-------------|-----------|
| 迂回ルート | ① | ① | ② | ② |
| マッチング数 | ①弁天町→北港JCT | ②北港JCT→弁天町 | ③北港JCT→夢咲TN | ④夢咲TN→南港南 |
| 0 | 456 | 473 | 9 | 15 |
| 1 | 464 | 549 | 30 | 55 |
| 2 | 360 | 403 | 63 | 93 |
| 3 | 214 | 176 | 59 | 134 |
| 4 | 122 | 80 | 81 | 172 |
| 5 | 56 | 30 | 89 | 186 |
| 6 | 32 | 11 | 98 | 196 |
| 7 | 15 | 3 | 99 | 209 |
| 8 | 5 | 0 | 108 | 172 |
| 9 | 3 | 2 | 109 | 144 |
| 10 | 0 | 0 | 107 | 134 |
| 11以上 | 0 | 0 | 875 | 215 |

表-1の海側の人工島を通る南行の迂回ルート②「③北港JCT→夢咲TN」、「④夢咲TN→南港南」においては、平均マッチング数が5分間で10台程度と3号神戸線に比べて多くのマッチング数になった。経路途中にコンテナターミナルがあること等により、大型車の比率が高いことが要因として考えられる。

一方、陸側となる迂回ルート①「①弁天町→北港JCT」、「②北港JCT→弁天町」については、北行・南行ともに平均マッチング数が少ない結果となった。北行については常に環状線を経由するルートの方が所要時間が小さく、迂回ルート②の選択が多かった事も要因として考えられる。特にこれらの区間では、同一トリップとは到底思えないような極端に大きな所要時間が計測されており、取得数が少ない影響で、最小値でも経路途中に到着地を含むようなトリップを代表値として採用してしまう状況が確認できた。なお、図-19では10月15日(木)の中間地点の有無による所要時間の差(南行)を示しているが、中間地点がないと、中間地点付近を到着地とするデータが欠如し、データ数が少なくなり、所要時間の代表値が無い時間帯が生まれるとともに、収集機器の設置箇所を増やすとBluetooth端末のMACアドレス収集範囲が影響し、所要時間が小さくなることから、結果として全体的に大きめの所要時間となっている。



図-17 情報提供箇所と迂回ルート(北行)



図-18 情報提供箇所と迂回ルート（南行）

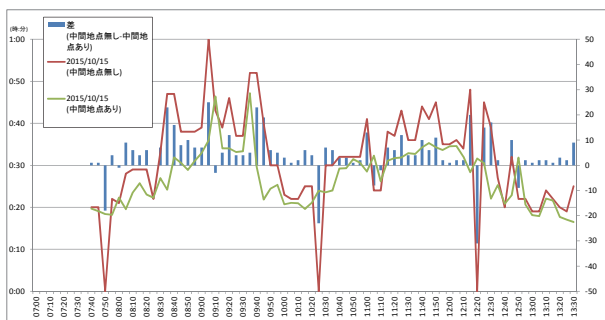


図-19 中間地点の有無による所要時間差（南行）

さらに所要時間の精度を、実走行による走行速度調査と図-20のように比較すると、経路上で渋滞の少ない昼（13時）では差が無いが、午後（17時）は、表-3のように走行速度調査時において、北港JCTを16:56:20で通過した際の情報提供される所要時間に採用されたBluetooth端末の通過時刻との間には約30分以上の通過時刻のズレが生じており、最小値の影響も重なり所要時間が走行速度調査よりも13分ほど小さい値となっている。経路途中に渋滞が発生する箇所を含み、所要時間が急激に増加する場合は、Bluetooth端末のMACアドレス収集範囲を配慮しつつ区間を細かく

することで遅れ時間を小さくする等の対策が必要と考えられる。

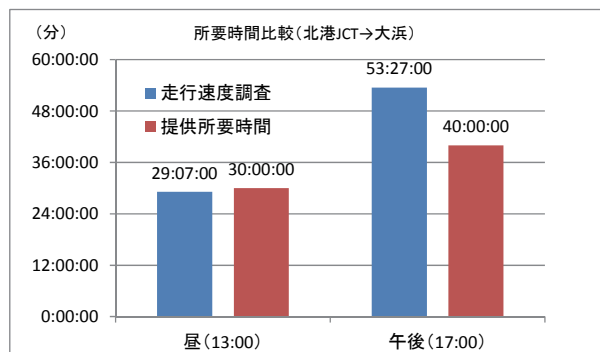


図-20 所要時間の比較（南行）10月15日（火）

表-3 通過時間の比較

| | 走行速度調査の通過時刻 | Bluetoothで採用された通過時刻 |
|--------|-------------|---------------------|
| 北港JCT | 16:56:20 | 16:22:37 |
| 夢咲トンネル | 17:09:43 | 16:39:14 |
| 南港南入口 | 17:45:45 | 16:48:49 |
| 大浜 | 17:49:47 | |

3-2 情報提供による効果

3号神戸線と同様に各経路の分担率の推移を下図に示す。なお、比較的データ数も多く、所要時間提供が安定していた10月15日（木）の北行をここでは掲載する。

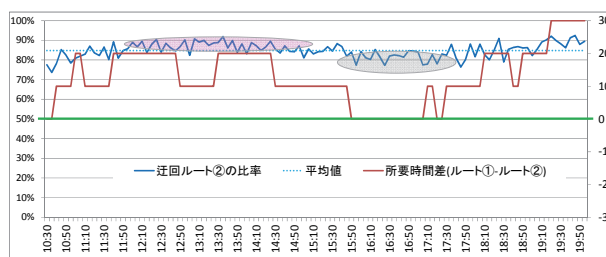


図-21 所要時間差と分担率（北行）

多くの時間帯において16号西大阪線を経由し国道43号を介して一般道路を通る迂回ルート①の経路の方が所要時間が大きくなっているものの、迂回ルート②との差の大小により分担率の推移に変化が見られ、図-12と同様の傾向を示しており、一定の効果は確認できた。

4. まとめ

2つの通行止めを伴う工事において、迂回経路における交通状況を「その場」で「リアルタイム」に提供することにより、一定の経路誘導効果が確認でき、交通管理者や地方公共団体などの関係者やドライバーからの評価も高く、3号神戸線通行止め時においては渋滞も平常日程度に抑制させることができた。ちなみに工事期間中に提供している比較所要時間に関する苦情等は一度もなかった。

さらに、様々な特徴ある区間で実施したことで、本手法適用における留意事項や課題が明確になるとともに、平均値、標準偏差による閾値を用いたデータクリーニング手法の適用により、データの

安定性向上も確認できたことから、今後さらに精度を高めるとともに、継続的に迂回経路の所要時間提供を積み重ねることで本手法の特性を明確にし、データ数の収集予測（見込み）や適用区間の距離による時間のズレに起因する所要時間の精度、Bluetooth 端末の MAC アドレス収集機器の最適な設置など、本手法を活用した情報提供の適用に関する判断等にも役立てていきたい。

参考文献

- 1) 田名部淳,他：高速道路における Bluetooth を用いた交通流計測の取り組み, 土木計画学研究・講演集 Vol. 49
- 2) 上坂克巳,他：AVI データを用いた一般道路における時間信頼性指標の算出方法, 土木計画学研究・講演集 Vol. 41,

UTILIZING BLUETOOTH DEVICES FOR DETOUR ROUTE TRAVEL TIME ESTIMATION DURING EXPRESSWAY CLOSURE FOR INTENSIVE MAINTENANCE WORKS

Takeshi HAGIHARA, Ichiro KOMOTO and Kentaro SUZUKI

Intensive maintenance works are regularly implemented on the Hanshin Expressway, with a certain section of the expressway closed for approximately one week. Several alternate routes are provided during the closure to mitigate traffic congestion. During the works with closure on the Kobe and Wangan Routes in May and October 2015, respectively, we estimated travel time for each route using the Bluetooth devices and provided the information to drivers. In this paper, we evaluated the effects of providing the travel time information by analyzing traffic flow and congestion during the closure. We also adopted several data cleaning methods to improve the accuracy of the travel time estimation.

萩原 武司



阪神高速道路株式会社
大阪管理局 保全部
システム保全課
Takeshi Hagihara

河本 一郎



阪神高速技研株式会社
技術部 技術課
Ichiro Komoto

鈴木 健太郎



阪神高速技研株式会社
技術部 技術課
Kentarou Suzuki