

Bluetoothを用いた地点速度計測の可能性

萩原 武司¹・河本 一郎²・西 剛広³・田名部 淳⁴

¹正会員 阪神高速道株式会社 計画部調査課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

E-mail:takeshi-hagihara@hanshin-exp.co.jp

²正会員 阪神高速技研株式会社 技術部技術課 (〒550-0011 大阪市西区阿波座1丁目3-15)

E-mail:ichiro-komoto@hanshin-tech.co.jp

³非会員 阪神高速技研株式会社 技術部技術課 (〒550-0011 大阪市西区阿波座1丁目3-15)

E-mail:takehiro-nishi@hanshin-tech.co.jp

⁴正会員 株式会社地域未来研究所 交通情報研究室 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-5-17)

E-mail:tanabe@refrec.jp

各種渋滞対策や要因分析等を行うにあたり、車両検知器が設置されていない高速道路の特定ポイント、あるいは並行する平面街路における交通状況を観測する必要性は非常に高い。地点計測手法としては人手による交通調査や赤外線等を利用した機械計測があるものの、調査に係るコストが課題の一つとなっている。そこで、本研究では可搬性が高く比較的容易に計測が可能なBluetooth機器を活用した地点速度計測の可能性について検討した。

具体的には、近接する2か所にBluetooth機器を設置して区間速度を求める方法や、1台のBluetooth受信機で観測された同一IDの受信時刻差等を利用する方法など、幾つかのアプローチを試みた。計測地点は阪神高速道路1号環状線四ツ橋管理所付近であり、近傍の車両検知器データとの比較を行うことで、手法間の比較と地点速度計測への適用可能性を検証するものである。

Key Words : Bluetooth, 地点計測, 速度推定, 交通量推定

1. はじめに

阪神高速道路等の都市部の高速道路においては、きめ細かい渋滞情報や所要時間情報を提供するために、車両検知器を初め、多くの交通情報収集機器を設置している。しかしながらこれらの機器も万能ではなく、阪神高速道路であれば、およそ500mピッチで特定地点の交通状況を観測しているものであり、その間の交通状況をより細かく知りたいというニーズも特に、交通現象分析や突発事象対応等において高くなっている。

一方で、国土交通省を中心に「道路を賢く使う」をキーワードとした取り組みが提唱されており¹⁾、これらを実現させる施策として、交通需要マネジメントが考えられる。しかしながら、高速道路上は少なくとも上記の検知器情報が入手できるものの、マネジメントを行うために重要な並行街路や周辺街路の情報は入手が非常に難しく、簡便にデータを取得できる手法の確立が求められる。

そこで、本研究では可能な限り簡便に地点計測ができる仕組みとして、可搬性が高く計測が容易なBluetooth技術²⁾を活用した交通流の計測可能性を検証した。

2. 地点計測方法

まず、地点計測によりデータを収集する手法について検討を行った。計測データとしては「速度」を計測することとし、表-1の3つの手法を考案した。

方法としては、近接する2箇所にMACアドレス受信機を設置し、双方の受信機で収集できたMACアドレスマッチングデータの時間差と地点間距離から速度を計測する方法を方法①とした。

方法①では受信機を道路沿道に2台設置する必要があることから、次に、それを1台の設置で計測できないかと考え、受信機の受信可能範囲に幅があることを活用し、MACアドレスごとの最小観測時刻と最大観測時刻の差分と、通信可能エリアの大きさ(別途、実験により70mと設定)から速度を算出する手法を方法②とした。

最後に、方法①や方法②のように直接的に速度を算出するのではなく、MACアドレス受信回数の統計値を活用し、モデル式を用いて速度を推定する方法③を考案した。受信可能範囲は限られていることから、速度が速い車が多いと受信回数は少なく、渋滞等により速度が遅い

車両が多いと受信回数は多くなると予想される。個々のMACアドレスの単位時間あたりの受信回数の平均値や標準偏差といった統計値を算定し、回帰モデルを用いて速度を推定する手法を考えた。なお、本研究では、検知器速度を被説明変数、受信回数の統計値を説明変数とするモデル式を検討している。

表-1 速度計測方法

Seq.	速度計測方法
方法①	近接する2箇所に受信機を設置し、通過時刻差と地点間距離から速度を算出する
方法②	1台の受信機を設置し、MACアドレスごとの最小観測時刻と最大観測時刻の差分と通信可能エリアの大きさから速度を算出する
方法③	1台の受信機を設置し、MACアドレスごとの受信回数をカウントする。単位時間ごとに受信したMACアドレス数や受信回数の平均値等を算定し、モデル式を用いて速度を推定する（※検知器速度を被説明変数、受信回数の統計値を説明変数とする回帰モデルを想定）

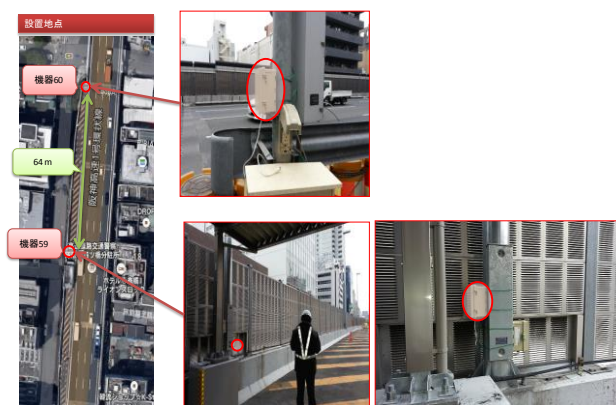


図-1 計測位置と計測状況写真

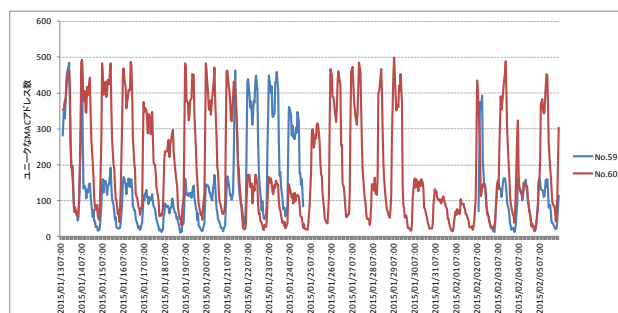


図-2 ユニークなMACアドレス取得数

3.地点速度計測方法の検証・評価

検証は、西名阪道集中工事に合わせて、工事期間中の所要時間情報提供のため、西日本高速道路株式会社の要請により設置することとなったBluetooth機器を活用することとした。MACアドレスの取得期間は2015年1月13日（火）～2月6日（金）である。

(1) 設置箇所と計測状況

Bluetooth受信機の設置は、阪神高速道路1号環状線四ツ橋出入口近傍にある阪神高速道路株式会社四ツ橋管理所の管理用車両出入口に2台設置した。データ収集期間に当出入口の改修工事がちょうど行われており、設置箇所が限定されたことから、当初の設置予定箇所より幾分近く（当初100m離す予定が64mに変更）に2台の受信機を図-1のように設置することになった。結果として、No.59の受信機は本線からの距離がNo.60よりも離れており、また鋼鉄製の屋根がかかった柱に設置したことから、電波の受信状況が良好とはいえない状況であった。

図-2に示すユニークなMACアドレス取得数の時間的な推移をみると、設置初日はほぼ同程度であるが、1月14日以降、No.59の取得数が大幅に減少している。その後、No.59の取得数が回復するが、逆にNo.60の取得数が減少しているといった不可解な現象も発生した。No.59の機器設置位置が、車両出入口の近傍かつ工事現場に近接していることが何らかの影響したのかわからないが、分析に用いるには非常に厳しいデータとなった。

なお、断面交通量に対するMACアドレス取得率は、

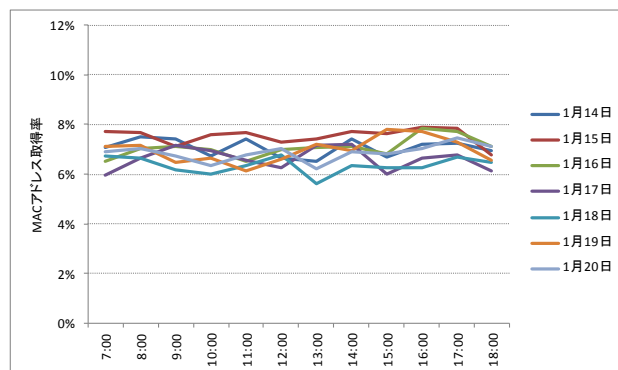


図-3 MACアドレス取得数（機器No.60）

安定的にデータが取得できていたNo.60の1月14日から20日の昼間12時間データをみると曜日に関係なく概ね6～8%程度で推移していた（図-3参照）。

(2) 検証結果

検証については、No.60近傍にある車両検知器の速度（以下、検知器速度とする）との比較により行った。

a) 方法①の検証

方法①によって算出した個々のMACアドレスについての速度と検知器速度を比較した結果を図-4に示す。なお、方法①では、MACアドレスが最初に取得された時刻から30分以内に取得された同一MACアドレスのデータをグループ化し、それぞれの時刻データの中央値を算定し、2台の受信機の受信時刻の時間差より速度を算定

している。図-4をみる限りBluetoothによる算定速度と検知器速度とは無相関であり、本手法を用いて速度を算定することは困難であった。高速度域においてBluetoothによる算定速度が離散的であるのは、受信の時刻差が秒単位の離散値であることに起因している。なお、単位時間5分あたりの平均速度として相関関係を検証したが結果は変わらなかった。当初想定よりも近傍に受信機を設置した影響もあるが、個々のMACアドレスを検知した正確なポイント間での距離がわからないため、一律の機器設置距離を用いて速度を算出したことも大きく影響したと考えられる。

b) 方法②の検証

方法②による検証結果を図-5に示す。MACアドレス別に、最小時刻と最大時刻を取得し、通信可能エリアを70mとして速度を算定した。なお算定には比較的安定的にデータを取得できていたNo.60のデータを用いている。時刻差と一律の距離を用いているため、算出された速度が離散的であるのは方法①と同じである。

方法②で算出した速度も、方法①と同様に検知器速度とほぼ無相関であり、本手法による速度の算出は厳しいという結果となった。本来は機器によって異なるはずの通信可能距離を固定化して扱っていることが主な要因として考えられる。また、この方法②を用いた場合、少なくとも同一MACアドレスを2回観測できないと速度が算定できない。自由流領域では同一MACアドレスを1回しか観測できない場合が少なからずあること、また2回観測された場合でも、その時刻差の最小値が1秒であることから、算出された速度が平均的な速度と大きくずれるという問題もある。

c) 方法③の検証

方法③については、No.60で取得されたデータのうち、昼間12時間のデータ取得率が比較的安定していた1月13日から20日及び1月25日から27日の合計11日間のデータを用いて検証を行った。

まず、算定のための説明変数となりうるユニークなMACアドレス取得数、各MACアドレス単位の取得数の平均値及び標準偏差を5分単位で算定し、検知器速度との相関係数を算出した結果を表-2に示す。検知器速度と相関が高いのは「ユニークなMACアドレス取得数」であり、負の相関関係が見てとれる。すなわち、「ユニークなMACアドレス取得数」が多いほど、検知器速度が低いことを意味している。「MACアドレス取得数の平均値」についても弱い負の相関がある。「MACアドレス取得数の標準偏差」についてはほぼ無相関である。また、平均値と標準偏差には強い正の相関があることから、これらを同時に回帰モデルに組み入れた場合、重共線性

が発生することが想定される。

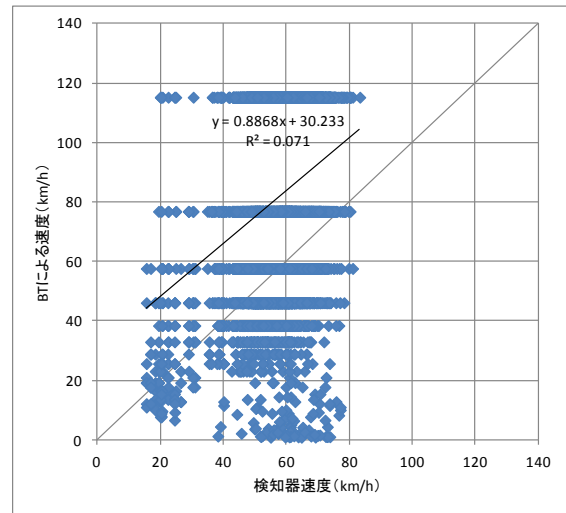


図-4 検知器速度との相関 (方法①)

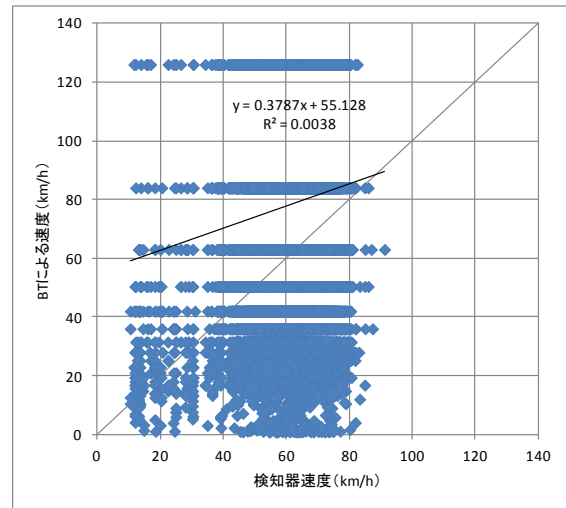


図-5 検知器速度との相関 (方法②)

表-2 検知器速度との相関関係

	ユニークなMACアドレス取得数	MACアドレス取得数の平均値	MACアドレス取得数の標準偏差	検知器平均速度
ユニークなMACアドレス取得数	1.00			
MACアドレス取得数の平均値	0.12	1.00		
MACアドレス取得数の標準偏差	0.06	0.77	1.00	
検知器平均速度	-0.57	-0.28	-0.11	1.00

以上の相関分析の結果を踏まえて、重回帰モデルのパラメータを推定した。被説明変数は検知器速度、説明変数はユニークなMACアドレス取得数とMACアドレス取得数の平均値の2変数とした。推定結果は表-3に示すとおりである。相関係数は0.61であり、変数のt値はすべて5%有意である。この結果をみると、渋滞時には取得できるユニークなMACアドレス数が増加し、さらにMACアドレス取得数の平均値も増加することから速度が低下するという想定された関係が記述できている。また、停滞に近いような交通状況の場合には、計測地点を通過す

表-3 速度に関するパラメータ推定結果

相関係数	0.61
決定係数	0.37
観測数	1548

変数	係数	t値
切片	84.766	51.8
ユニークなMACアドレス取得数	-0.558	-26.7
MACアドレス取得数の平均値	-12.987	-10.4

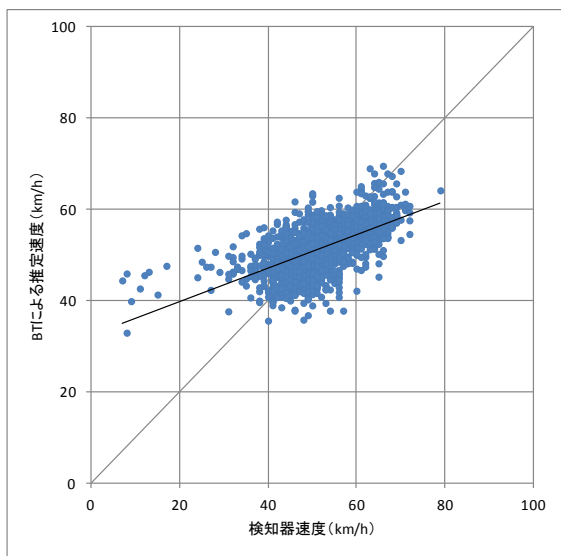


図-6 検知器速度との相関 (方法③)

る車両数が減少するため、求められる推定速度が高くなってしまいう可能性があるが、そのような交通状況においてはMACアドレス取得数の平均値が大きくなるのが想定されるため、結果的に推定速度が抑えられるという関係となっている。

上記パラメータを用いて速度の推定値を算出し、検知器速度（実測値）と比較すると、図-6のような結果を得た。この結果をみると、特に速度が低い領域で乖離が大きくなっている。観測期間が1月ということもあり、当該区間で渋滞があまり発生しなかったため、パラメータ推定を行う際に低速域の十分なサンプル数が確保できていないことが影響している可能性がある。この結果をもって速度を算出できると結論づけることはできないが、しかしながら、中速域以上については、比較的相関性が確認できることから、本研究を通じてBluetooth受信機を1台を設置するだけで速度を計測できる可能性は確認できたと考えられる。

4.地点交通量推定の可能性

前章の方法③に関する検討結果を受けて、同様の枠組みで交通量を推定することを試みた。現時点においては、

受信機1台のみで確からしい速度を計測することには限界があるため、旅行速度に関しては既往研究²⁾のような枠組みによる計測方法に頼らざるを得ない。この枠組みによって旅行速度を計測する際に、同時に受信機を設置した地点の交通量を推定することができれば、QV関係などから交通状況をより正確に把握することができる可能性がある。

前章と同様に、検知器交通量、ユニークなMACアドレス取得数、各MACアドレス単位の取得数の平均値及び標準偏差について相関分析を実施した（表-4参照）。

検知器交通量と「ユニークなMACアドレス取得数」との間に相関が認められるのは速度の場合と同じであるが、「MACアドレス取得数の平均値」については交通量との相関がほとんどない点が異なっている。

表-4 検知器交通量との相関関係

	ユニークなMACアドレス取得数	MACアドレス取得数の平均値	MACアドレス取得数の標準偏差	検知器交通量
ユニークなMACアドレス取得数	1.00			
MACアドレス取得数の平均値	0.12	1.00		
MACアドレス取得数の標準偏差	0.06	0.77	1.00	
検知器交通量	0.67	0.08	0.04	1.00

表-5 交通量に関するパラメータ推定結果

相関係数	0.67
決定係数	0.45
観測数	1548

変数	係数	t値
切片	274.330	53.3
ユニークなMACアドレス取得数	5.705	35.3

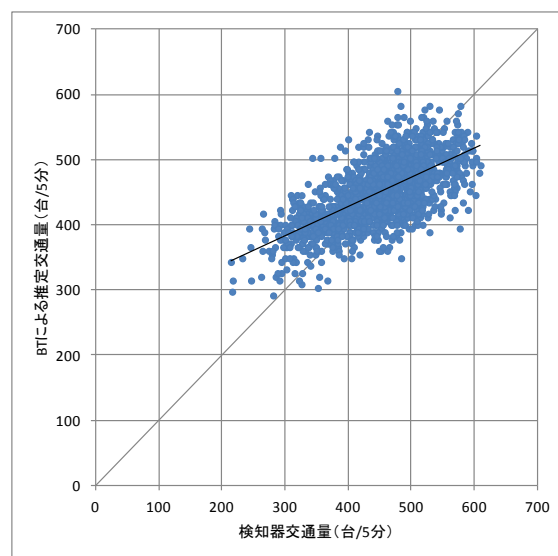


図-7 検知器交通量との相関 (方法③)

次に、交通量と一定の相関がみられた「ユニークなMACアドレス取得数」を説明変数とする回帰モデル式

を推定した結果を表-5に、また推定したモデル式を用いて算出した交通量と検知器交通量（実測値）とを比較した結果を図-7に示す。検知器交通量が少ない場合にはやや過大に、逆に検知器交通量が多い場合にはやや過小に推定される傾向となっているが、地点速度の場合よりも推定精度は高くなるという結果が得られた。

5. まとめ

本研究では、Bluetoothを用いて速度を算定するための3つの手法を提案するとともに、観測データを用いた検証を行った。提案した手法のうち、MACアドレス取得数に関する統計値を説明変数とする重回帰モデルを用いることで、地点速度をある程度は推定できる可能性があることを確認することができた。また、同様の枠組みで

交通量についても推定できる可能性を示すことができた。

地点速度に関しては、低速度領域における推定精度が低いという課題を有しているが、渋滞・非渋滞判定がある程度の精度で可能となれば、実務的に十分な場合もあることから、渋滞時のサンプルデータを増やしてモデル式の精度を高めるなど、今後さらに実用化に向けた課題解決に努めたい。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会 道路分科会 国土幹線道路部会：高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の基本方針, <http://www.mlit.go.jp/common/001066982.pdf>
- 2) 北澤俊彦, 塩見康博, 田名部淳, 菅芳樹, 萩原武司: Bluetooth通信を用いた旅行時間計測に関する基礎的分析, 木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.70, No.5, 2014