

スマホプローブによる交通状態推定 と車両制御への活用

入江 喜朗¹・浅尾 啓明²・石原 雅晃³・望月 祐洋⁴・西田 純二⁵

¹ 非会員 トヨタ自動車株式会社 自動運転・先進安全開発部 (〒102-0074 東京都千代田区九段南 2-3-18)
E-mail: yoshiaki_irie@mail.toyota.co.jp (Corresponding Author)

² 非会員 株式会社ナレッジアーク研究所 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-24-2)
E-mail: asao@karn.asia

³ 正会員 阪神高速道路株式会社 (〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-4)
E-mail: masaaki-ishihara@hanshin-exp.co.jp

⁴ 非会員 株式会社 社会システム総合研究所 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4)
E-mail: moma@jriss.jp

⁵ フェロー会員 株式会社 社会システム総合研究所 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4)
E-mail: nishida@jriss.jp

近年、スマホやプローブカーなどの普及により、移動車両データやその周辺情報を集めることができるようになってきた。従来はトラカンなどの位置固定の状態観測しかできなかったものが、移動体そのものをエッジデバイスとした時系列データを収集することで、道路全体の動的な交通状態をリアルタイムに推定することが可能になってきている。これらのデータを ADAS 車両や自動運転車両に取り込み、個々の車両の挙動改善によって交通流を効果的に制御することで、車両の安全性向上のみならず交通全体を考えた交通流の実現が期待できる。黎明期である現在は、プローブ車両数、通信コストの問題などプローブ情報収集における課題はあるものの、技術的には具現化できる環境は整ってきている。本稿では現在のスマホプローブを使った渋滞状況の推定精度を検証し、それをもとにした車両制御とその効果について考察、加えて将来に向けた発展可能性について検証する。

Key Words : Probe Car, Smartphone Probe, V2N, Traffic Condition Estimation, Connected Car, Vehicle Control, Traffic Control, ADAS, Autonomous vehicle, Automated vehicle

1. はじめに

従来、交通情報は道路上に設置された固定デバイスから得ていたが、現在は車両から直接、リアルタイムに収集できるようになってきた。スマートフォン（以下スマホ）の普及、及び搭載されるアプリの利用拡大に伴い、既往の車載カーナビ車両以上に多くのデータがプローブ情報として集積されるようになった。交通分野での研究もこれまで数多く行われ、ETC2.0 での一般向け試行運用も実施しつつスマホプローブの精度検証を行った事例¹⁾や、諸外国にも見られる信号制御への応用検証²⁾などから、プローブ情報は交通状況を知るために有効だと知られている。従前より民間プローブ情報の道路交通情報への活用に提言はあり³⁾、実際にプローブ情報を活用した道路交通情報サービスの実証実験⁴⁾も開始されるなど、

実運用に向けた取り組みも加速している。また車両制御の分野では、このプローブ情報を車両制御性能向上に役立てることも検討している。車両制御にこれらの交通状況データを活用できれば、個々の車両の安心・安全の向上のみならず、効果的な交通流制御にも繋がる。

本稿では、交通状況を把握するうえでのスマホプローブの特徴とその限界について考察するとともに、それを活用した車両制御の可能性や V2N (Vehicle to Network) の役割について考察する。第 2 章では、スマホプローブの特徴と仕組みを、第 3 章では、阪神高速道路において実際の交通状況との比較検証を行った結果について記載する。第 4 章ではそのスマホプローブ活用により車両制御範囲の拡大の可能性を考察、第 5 章では将来における展開や課題について言及する。

2. スマホプローブによる交通状態推定

(1) 現在の交通情報とその限界

従来、交通観測デバイスは道路管理者等が道路設備として構築してきたもので、特に都市部の高速道路においては多くのデバイスが整備され、設置された道路上のデータは確実に把握できる。一方、道路上の固定デバイスでは設置のない道路区間の情報取得は難しく、区間の所要時間情報等は推計値となり、正確な情報が取得できない。このため、設置地点の範囲外に渋滞の先頭や末尾があるとき、渋滞情報は、観測デバイスが代表する道路区間ごとに提供されるといった限界がある。またデバイスからデータを交通情報センターに集約し、正確な道路交通情報として加工し提供するため、提供までに一定の遅延時間が存在する(図-1)。

(2) スマホプローブの仕組み

プローブデータとは、道路上を走行する車両をエッジデバイスとして、リアルタイムに各種データを収集するもので、現在の主たる収集データは位置情報である。定期的に送られる時系列データをクラウドサーバに蓄積し、その情報から専用アルゴリズムで交通状態を解析し配信する(図-2)。データが少ない場合には、過去データから推定するアルゴリズムを併用して導き出している。スマホプローブとは、このうち主にスマホから得られるもので、他の車載センサ等から得られるデータと比較して現時点では最も大きな情報源となっている。

十分な情報量を確保できていない場合、推定された交通情報が誤ったものとなる恐れがあり、プローブデータ



図-1 路上固定デバイスによる交通情報提供

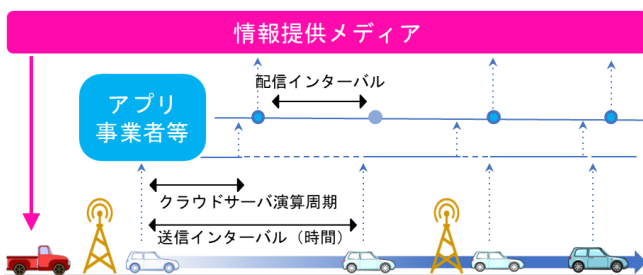


図-2 プローブによる交通情報提供

を扱う上で留意すべき点である。次いで走行する車両側に処理データをフィードバックする場合において、サーバ側の処理速度とデータが往復するネットワークの速度が情報鮮度に影響するため、情報の正確さと共にレスポンスの速さが課題となる点である。

本稿では次章以降、渋滞及び渋滞末尾を例題に議論を進める。最初にサーバ上のプローブデータ処理について簡単に解説する。アルゴリズムでは、独自で設定した最小道路区間単位(リンク)毎に常時、数秒間のGNSS(Global Navigation Satellite System)計測による時系列データを元に車両速度をリアルタイムに推定し、定期周期(配信インターバル)で情報を更新する。本稿で検討に用いたデータは、サーバと車両間の通信周期(定期周期)は30秒とした。またプローブを取得してからサーバ内部処理に要する時間は、平均15秒程度(クラウドサーバ演算周期)である。ここで推定システムにおける渋滞と渋滞末尾を定義する。渋滞は絶対速度を基準に判定するものではなく、渋滞がない時間帯の速度との独自で定義した比率で定義する。また、後続車両にとって重要な情報である渋滞末尾車両の推定は、ある渋滞車群があるときに、その後続の車両が所定距離において所定の速度変化があった場合と定義する⁹⁾。

(3) 本研究の位置づけ

a) スマホプローブを用いた交通状態推定結果の検証

既に車載デバイスから取得したプローブデータを用いた交通状態推定の検証は進められている⁶⁾⁷⁾⁹⁾。これらは、車両の挙動情報を直接取得できるため、特定区間の一部の車両のプローブデータから交通状態を推定可能である。しかし現時点では走行車両に占めるデータ取得対象車両の割合が小さいため推定精度が十分でない。またサンプリング車両が平均的走行をしていない場合は交通状態を正しく反映できない課題がある。一方、乗車者の所有するデバイスから取得したプローブデータとして、携帯電話やスマホの位置情報から取得したプローブデータを用いた交通分析¹⁰⁾¹¹⁾も行われている。これらのデータは、車両以外の移動データも含むため、事前の処理が必要であるが、データ数の増加が期待できる。そこで、これらのデータから推定された交通状態が実際に生じた交通状態との整合性について検証を行った。

b) スマホプローブの普及による期待

スマホプローブの優位性は、特定の地点ではなく車両が走行する全ての道路が対象となるため、区間所要時間を正確に計測できる点、渋滞の先頭や末尾の位置の検出が可能となる点である。今後データ量は充実し、通信やサーバインフラが向上することで処理速度も高まると予測する。

本稿では、V2Nでのスマホプローブの活用に期待が高

いと考え、現時点で想定される車両制御への活用の可能性と、その中の V2N の役割について整理する。

次章において、現時点のデータの正確性、リアルタイム性を実際の交通状況と比較しながら検証した結果を記す。

3. 阪神高速での事例検証

(1) 観測の概要

交通への影響が大きく、推定結果に応じた情報提供等で改善の可能性がある交通渋滞について、TomTom 社提供のスマホプローブ情報、及び渋滞末尾情報などの提供サービスによる推定結果¹²⁾と、車両検知器（トラカン）やカメラ映像による観測データを比較することで精度を検証した。

検証対象箇所として、トラカンによる交通状態を定常的に取得でき、渋滞等の交通事象が発生しやすい都市高速道路（阪神高速 11 号池田線上り、1 号環状線合流部付近）を選定した。ビデオカメラで対象地点を撮影し、カメラ画像から目視で決定した渋滞末尾位置と、スマホプローブを用いた推定アルゴリズムによる渋滞末尾位置を比較した。具体的には 2021 年 6 月 24 日（木）、カメラは阪神高速道路株式会社屋内に 2 台設置し、11 号池田線が 1 号環状線と合流し混雑状態が頻発する池田線上り 0.1KP（キロポスト）地点と、やや上流のカーブ出口付近（0.5KP 地点）を撮影することで、合流部から延伸する渋滞末尾を目視により確認した。尚、渋滞末尾の判断は、映像から渋滞群の末尾車両であると目視により一般的に判断できるものとした。トラカンデータからも、朝（9 時 30 分前後）と夕方（16 時台）に顕著な渋滞の延伸が確認されたが、交通密度が上昇し渋滞が延伸し始める 9 時台を対象とした（図-3）。速度と交通量の分布から見ても（図-4）この時間帯の走行台数が約 3 千台/時間のほぼ臨界状態にあり、速度が低下していることがわかる。

スマホプローブ推定からは当該エリアを含む 500 メートル程度の区間（図-5 中 A→B / 赤枠はカメラ撮影範囲）を対象としてデータ抽出を行い、その渋滞状況を図示したものが図-6 である。図には渋滞と判定されたリンクのみ表示される。縦軸が時間となり下から上へ推移し、横軸は距離を表し、渋滞は右端（B 地点）から延伸してくる形で表現される。映像から目視により 10 秒単位で渋滞末尾位置を特定し、スマホプローブ推定により図示されたグラフに重ねてプロットすることで、実際の交通状況とスマホプローブ推定の乖離の検証を試みた。当該区間は 3 車線あり、目視による渋滞末尾の判断は最も右側の車線のみで行い、スマホプローブ推定においては全車線を統合して解析している点には留意が必要である。渋

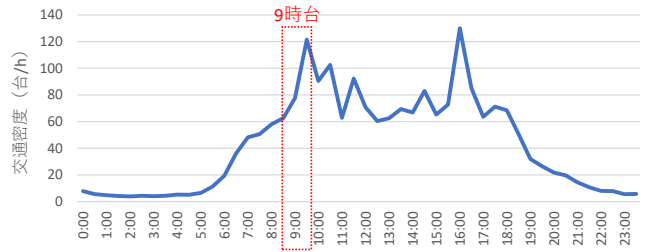


図-3 2021 年 6 月 24 日における交通密度推移

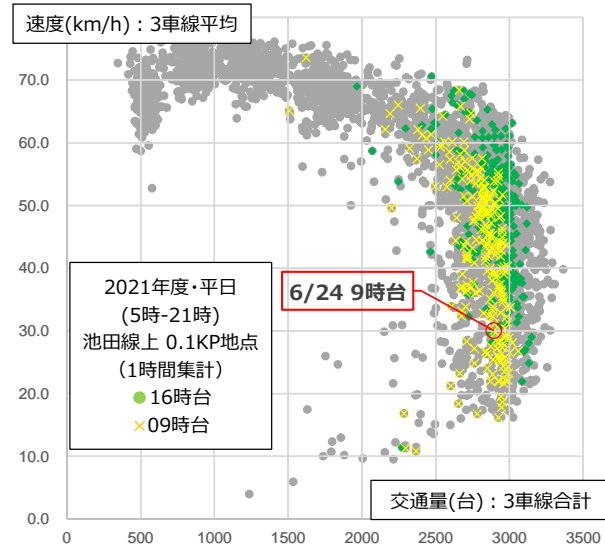


図-4 2021 年度における平日・日中の速度・交通量分布

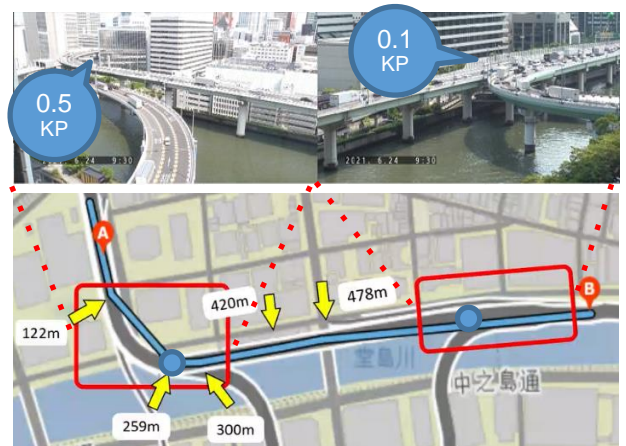


図-5 検証箇所の概要

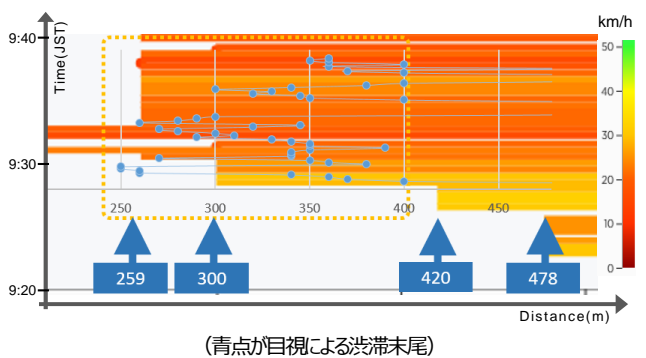


図-6 可視化されたプローブ情報 vs 目視

滞が延びてきた当初の延伸過程については概ね合致したものの、末尾位置が目視とは異なること、渋滞が継続するにつれ乖離が顕著になることが確認された。

(2) サンプルデータの検証

検証を進めるにあたり、対象とした 2021 年 6 月 24 日 9:30 前後の交通状況が、他日に比較して特異なデータとなっていないことを 1 年分のトラカンデータから確認した (図-7)。

またトラカンによる実測結果とスマホプローブからのデータによる推定結果との乖離性を検証、当該日同一地点 (0.1KP 地点) で両者の 5 分単位の平均速度を取得し相関を散布図に示す (図-8)。相関係数は 5~21 時では 0.94, 24 時間では 0.91 となり強い正の相関がある。更に同データを時系列でグラフ化すると、全体としてスマホプローブ推定の速度が高く、夜間は乖離が大きく、日中 (特に夕方の混雑時) には近似していることがわかる (図-9)。これはデータの件数が少ない場合にスマホプローブ推定では統計からの予測値等も加味しているためである。

一方、同日の全走行車両のうちスマホプローブ推定で捕捉しているデータ量についても検証した結果、15 分毎の平均プローブ率は約 17% であることを確認した (図-10)。常に一定以上のプローブデータがあり、特に日中の交通状況について高精度で把握できているものの、実際の映像と比較した際には、渋滞が継続するにつれ乖離が生じる点については、大きく二つの要因が考えられる。一つには解析が地図におけるリンク単位で行われ、且つ車線単位の把握ではないため、地点によっては粒度が粗いことである。もう一点は、データ更新が 30 秒単位で行われるため、10 秒もあれば数十メートルも延伸するケースのある渋滞に対応できていない点である。また映像内のみでの判断では、渋滞途中で偶然に車間距離が開いた状況であっても、渋滞が解消したと錯覚するという目視における感覚的なずれも影響する。

データの粒度といった技術的な問題点は、既に解決されつつあるものもあり、収集量や蓄積量が増すことで精度は上がることが期待される。

(3) V2N での実現性

V2N の課題としてプローブ数と通信やデータ処理による遅延があり、これを解決するには多額の初期投資や運用費用を要する。現実的に社会実装を考えるとこれららの費用低減は重要である。そのために運用費用の一要因であるサーバ処理、通信量の負荷は抑えたいが、性能はそれとのトレードオフとなるため、鮮度、精度は悪化する。そこで投入台数、運用費用、要求性能をバランスさせて、その時代にあった実現機能とそれを実現する

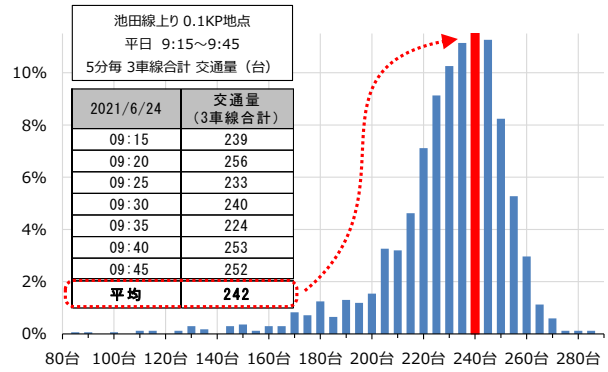


図-7 2021 年度 平日 9:30 前後の交通量分布

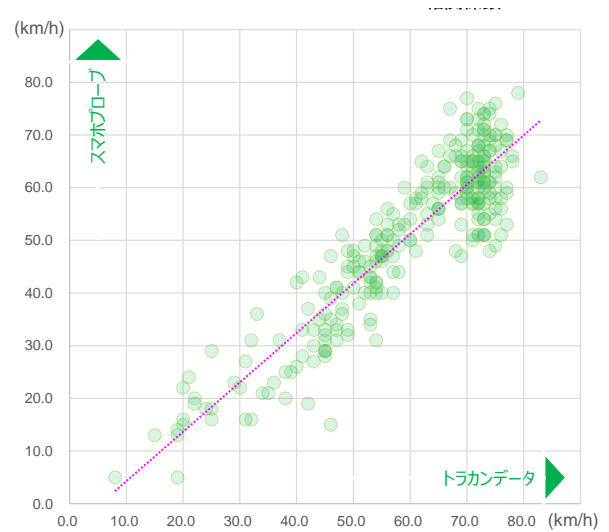


図-8 2021 年 6 月 24 日の速度分布 (24 時間/5 分毎)

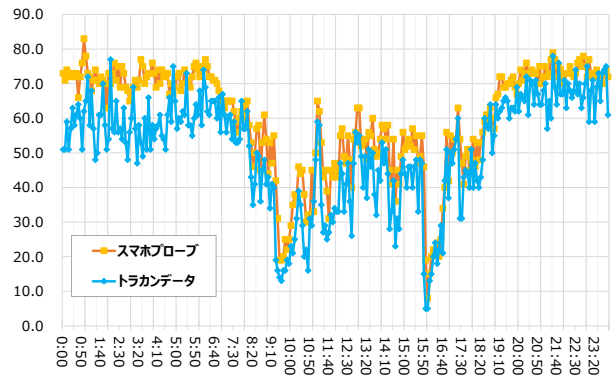


図-9 2021 年 6 月 24 日の速度分布 (推移比較)

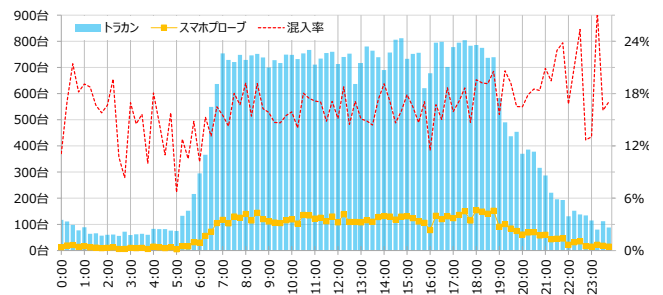


図-10 2021 年 6 月 24 日のプローブデータ量

システム要求性能を明確にすべきである。やみくもに処理速度を上げて、プローブ数が増えなければ、データの精度向上は難しく、逆にプローブ数が増えればデータ処理増による遅延や費用負担もあり、要求する性能に見合った台数なり、通信周期を考える必要がある。

以上の議論では、スマホデータを用いた交通流の推定精度の能力を示した。以降ではスマホプローブ活用により車両制御範囲の拡大の可能性を考察する。

4. V2N データの車両制御への活用

本稿執筆時点において、運用費用も考慮し商品として現実的な性能を考えれば、データ収集及び処理には分単位の遅延が生じる。実際の現象を車両でセンシング、所定時間車両に蓄積した後にサーバへ送信し、データ処理をするプロセスを考えると1分以上は必要である。

今回のサンプルデータは阪神高速道路のある1日を取り出した時の渋滞状況であるが、このデータは一般的な交通状態と考えてよいことは前述の通りである。ここでこの同日同時刻の阪神高速道路におけるスマホプローブによる交通状態推定結果をV2Nの車両制御に活用することを考察する。尚、位置データを取得する場合、それが車載GNSSシステムであってもスマホのGNSSシステムであっても、デバイスによる精度や補正方法に差はあるものの、課題は基本的には同じであると考えてよい。

(1) V2Nの車両制御への活用

現在の車両制御システムは自律センサでセンシングできる範囲の情報に基づいて車両制御を行う。クラウドサーバによる広範囲のデータ利用ができるコネクテッドシステムにより自律センサ検知範囲外の情報を活用できるようになり、先読みした制御を実現できる。これは遠方の情報を用いて運転計画をつくるのが可能となることを意味する。前章で議論してきた阪神高速道路の場合、位置情報を有効にしているスマホプローブ率は全車両の約17%であった。この時間の走行台数は約3千台/時間で、ほぼ臨界状態にあり、本稿が目的とする検討状況として妥当である。この場合プローブ情報を得られる台数は約5百台/時間となり、同一進行方向の道路単位で見れば平均約7秒サンプリングとなり、理論上0.07Hz以上の交通流の振る舞いは捉えられないことになる。しかしながら実際の交通流はそれ以上の高周波成分を含んだ挙動を示しており、プローブ数から正確なセンシングはできないことがわかる。

V2Nデータを直接車両制御に用いるためには、プローブによるサンプリング時間やシステムにおける遅延時間が交通流の現象の動きを十分に下回る必要がある。前章

のデータにおける実際の渋滞を目視観測したとき、その渋滞末尾車両の動きはサンプリング間隔の7秒間でも数十メートルの動きがあることがわかった。つまり現在のスマホプローブによる観測周期では不十分で渋滞末尾車両の正確な動きを捉えることはできない。渋滞末尾位置の変化速度、位置精度誤差を考えると、V2Nデータを数十ミリ秒から数百ミリ秒のリアルタイム性が求められる車両制御に適用することは難しい。現在のV2Nデータは、自律センサでは把握できない遠方情報を必要とする機能に用いることが妥当である。これは先読みを用いて運転計画を生成して用いるADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) や自動運転車両、ドライバーに対する情報付与といった使い方が適切であることを示している。

(2) V2Nの車両制御活用例

ここでV2N情報を車両のリアルタイム制御に使った場合を考察してみる。混雑している道路において車間距離を交通状態に応じて適応的に制御するACC (Adaptive Cruise Control) をベースとした制御を想定する。ある渋滞が存在し、それをV2Nデータとしてプローブ車両が検知、その情報に基づいて後続する車両がACCを用いて減速するシーンを想定する。現在のV2Nデータの精度では、ACC性能として許容する減速度誤差を超えた減速度になってしまい、不快な減速をしてしまうことが想像できる。先読み制御として高速道路制限速度から軽い減速度で減速する場合、許容誤差は±百メートル程度であるが、スマホプローブで検出できる精度は、サンプリング時間と交通流変化速度を考慮しても数百メートルの誤差をもつ(図-11)。それゆえこのV2Nデータに頼った制御で実現できる減速度は許容できるものではない。

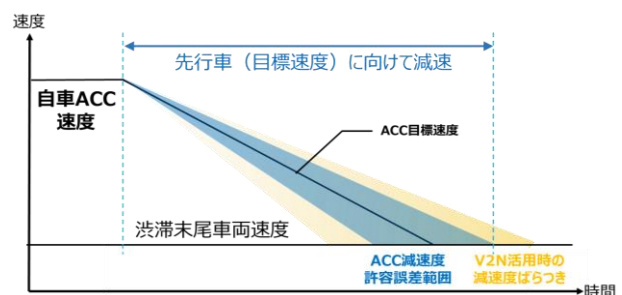


図-11 ACCにV2Nを適用したときの課題

現時点のV2Nの能力を考えたとき、この情報では車両を直接制御することは難しいことがわかった。しかしながらV2N情報により先読みを行い、渋滞末尾などに近づきそうなときは、事前に車間を広めに確保する等の措置を講じることはできる。自律センサ認識範囲外でV2Nデータによる先読み車両制御を行うことで、車間拡大や車線変更といった車両の動かし方によりドライバーに安心を提供するような活用例がふさわしい。

つまり V2N では安全性を保障した制御を行うことは難しいが、一方で安心感は創出できる。自律センサで安全性を担保しながら、V2N で効果的に安心感も確保した設計ができる。自動運転はこれからの技術であるが、その普及においてはドライバーに安心感を提供することが重要であり、V2N はこれに貢献するものと考えらる。

(3) 全体最適を目指した交通流最適制御

プローブデータは広範囲の情報を入手できることから、自律センサだけでは実現できない全体最適を考えた交通流制御を実現できる¹³⁾。これは個々の車両の行動最適化でなく、交通全体の動きを捉え、渋滞を極力抑制し、効率的な交通流を実現する交通全体の制御を行うものである。全体を考えた最適な交通流を作るために個々の車両の速度制御及び車線利用率まで含めて全体最適となる流れを実現するものである。

過去、車両制御による交通流の改善は様々検討されてきたが¹⁴⁾¹⁵⁾、マクロな交通流とミクロな車両動作との因果関係が明らかでなく、最適な交通流を生成する車両制御の在り方が解っていない。今後これらのプローブデータがより詳細に取得できるようになることで、更なる交通の現象解析や交通流最適化の技術開発の進展を期待したい。

5. 車両制御における V2N の役割

現時点ではスマホは既に 100% 近くに普及しているものの、今回のスマホデータを用いた検証ではそのプローブ率は約 17% にとどまっている。これは収集データが特定のスマホのみを対象としたデータであることに加えて、位置情報取得を許可していないスマホが多数あるためである。スマホをプローブとして活用し、プローブ数を増やして更に性能向上を図るには、技術的施策でなくビジネスの新たな枠組みやビジネスモデルの構築が必要となる。

以上の議論から V2N 情報は、高精度、高鮮度が要求されない広域でのマクロな状態を把握する活用が望ましいことがわかる(図-12)。つまり V2N 情報は交通流を最適化するというような交通流制御や運転計画生成に用いることが妥当であり、個々の車両制御の情報ソースには自律センサをベースに死角となるようなところには V2I (Vehicle to Infra-structure) や V2V (Vehicle to Vehicle) の活用が考えられる。ただ V2I はインフラ設置に物理的、法律的な面などの制約があり、V2V はユーザの費用負担も増えることから、急速な普及は難しい。他方、V2N は今後も関連技術の発展が期待でき、今後もその性能は向上していくであろう。採用技術の選定にあたっては、時

代にあった技術を見極めてアジャイルに技術を採用していける仕組みを作ることが重要であり、そのためには車両側も OTA (Over the Air) によりソフトウェアを任意にアップデートできる準備を進め、いつでもフレキシブルな対応ができる仕組み作りが重要である。

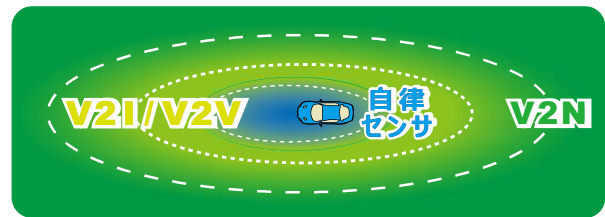


図-12 各デバイスの検知範囲イメージ

(1) V2N の利用範囲の拡大

スマホプローブの位置情報の精度、時間情報の鮮度の問題で制約があることを示したが、ここで今後の V2N の可能性について簡単に記載する。

V2N の位置精度は、GNSS 計測による位置取得精度、計算処理における分解能に大別できる。前者は GNSS 精度に依存するが、特に都市高速では遮蔽物による遮断、遮音壁によるマルチパスなどによりその精度は決して十分ではない。一方、後者はサーバ処理における計算負荷の問題であり、分解能をあげれば負荷が大きくなる課題がある。

時間的鮮度に関しては、プローブ数(割合)、通信周期、サーバ処理時間に依存する。プローブ数は全体交通量に占める割合であり、この割合が小さくなれば、観測機会が減り、かつ特定の車両挙動に影響されやすくなる。通信周期を小さくすれば通信コストがかかるため、費用の点からはできるだけ通信周期を大きくしたい。サーバ処理時間の影響は通信周期のそれに比べたら影響は小さく、検討すべきは通信周期である。V2N の今後の技術的進展次第では、V2N が V2I や V2V の代替として使用できる可能性もあり、その動向には注目したい。

(2) 自動運転を見据えた車線単位の位置情報

自動運転になると自車位置特定は道路単位でなく車線単位の情報が望まれる。現在でもナビゲーションの地図を用いたマップマッチング技術により道路単位での交通状態やインシデントの位置特定はある程度の精度で実現できている。この状況にスマホプローブを加えることでプローブ数量は確保できるものの、車線単位の位置特定の精度実現には至らない。

一方、車両の GNSS 位置情報と車載カメラ認識による線種や交通標識情報を高精度地図と照合することで、自車が走行している車線の判別が可能である。各車両がその情報をサーバに送信することでサーバ上に車線単位の交通情報データベースを生成できる。高精度地図につい

ては車両に搭載する方式とサーバ上に配置する方式が考えられるが、現時点では高価な高精度地図は十分に普及していないことから、多数の車両から送信されるスマホプローブ情報の位置、速度の挙動解析を通じて、少数の高精度地図搭載車両のデータの信頼性の向上や車線単位交通情報データベースの充実化につながるものと考えられる。

高速道路の出口や分岐といった目的地を特定した渋滞を除けば、車線単位で渋滞が発生することは少ないが、インシデントは車線毎に発生するために車線ごとの交通情報は有用であり、将来的には車線を考慮した運行計画にも利用できる。

6. まとめ

本稿では、スマホプローブを用いた阪神高速道路の交通状態推定の性能を検証した。渋滞末尾車両に着目し、その車両の実際の動きとスマホプローブから推定した動きを比較して、その推定精度を検証した結果、現在のスマホプローブ情報を直接に車両制御に利用するのは困難であるとの結論を得た。一方で安心感の創出など間接的に V2N 情報を活用することで、自動運転の普及には貢献できるものと考えられる。

また将来の自動運転のためには、道路単位でなく車線単位での位置情報把握ができるようになることが必要となってくるが、これらも車載カメラや地図とのフェュージョンにより実現が可能である。それにより交通流を効果的に制御することができ、渋滞低減や最適ルートの提供などが可能となる。これらの実現には自動運転技術やコネクティッドカーの技術に交通工学の知見を導入していくことが必須である。しかしながら自動車メーカーやシステムインテグレータは、交通工学に深い経験や見識がない。一方で、道路管理者を始めとする交通業界は、自動車が持つ最新技術を活用しきれていない。これは技術的な課題というよりも、この分野で業界間の水平分業体制ができていないことが問題であり、ビジネスの仕組みを変えれば改善が期待できる。

今回取り上げたスマホ活用を鑑みても、その技術は有用であり、スマホの普及や今後の技術的發展を考えれば、より良いシステムの構築が期待できる。エッジデバイスは、設置や保守に費用がかかる位置固定のセンシングデバイスに変わって性能面、費用面で大きな利点があり、スマホやプローブカーの活用により安価で、高精度、広範囲、高鮮度な情報を取得することができるようになる。これらのデータは高精度な交通情報のみならず、車両制御での利用により最適な交通の実現を可能とするものであり、今後は既存の固定デバイスに変わって積極的に活

用できるものとする。

より良い未来の交通社会構築のために、自動車業界は交通工学の知見を採り入れていくこと、交通業界は自動車業界の知見を採り入れていくことで、自動運転をベースとした交通システムの発展、ひいてはよりよい社会の発展に寄与するものと信じる。従来の形態にとらわれずに改革を進めることで、より国民に便利で安価なシステムを提供できる。今後これらが発展することを期待するとともに我々自身もそれに貢献していきたい所存である。

謝辞: 本研究の遂行にあたり TomTom 社より交通情報サービスのデータ提供及び解析作業に一部ご協力を頂いた。ここに記して深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤木昂, 古城貴彦, 奥野彰大, 岩瀬晃啓, 片岡裕子, 今代稔, 吉田龍一, 望月祐洋, 西田純二, 水野真由己: 一般道を含む所要時間提供方法について - TomTom 交通情報の活用可能性- (第 19 回 ITS シンポジウム 2021)
- 2) 関達也, 島津利行, 和智誠, 榊原肇, 大口敬: プローブ情報を活用した信号制御の見直しについて (交通工学論文集 第 8 巻 第 1 号 pp.31-38 2022.1)
- 3) 渋滞はもっと緩和できる (Wedge2018 年 10 月号) <https://wedge.ismedia.jp/articles/-/14257?page=3>
- 4) VICS センターホームページ: カーナビへのプローブ情報活用サービスの実証実験 <https://www.vics.or.jp/everyone/special/action/>
- 5) Maarten Clements, TomTom, Nick Cohn, TomTom: Real-time safety alerts for severe weather and jam tails, ETC Conference Papers 2016 <https://aetransport.org/past-etc-papers/conference-papers-2016?abstractId=4926&state=b>
- 6) 横田孝義: プローブカーによる交通情報予測と推定, 人工知能学会誌, 22 巻 2 号, pp.523-528, 2007.
- 7) 三輪富生, 山本俊行, 竹下知範, 森川高行: プローブカーの速度情報を用いた動的 OD 交通量の推定可能性に関する研究, 土木学会論文集 D, 64 巻 2 号, pp.252-265, 2008.
- 8) 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 車間距離を計測するプローブカーを前提とした交通状態の推定手法, 土木学会論文集 D3, 69 巻 5 号, pp. I_809-I_818, 2013.
- 9) 和田健太郎, 小林桂子, 桑原雅夫: プローブ車両軌跡データのみを用いた交通の量的把握, 生産研究, 67 巻 2 号, pp.143-147, 2015.
- 10) 三谷卓摩, 羽藤英二: プローブデータの OD 旅行時間に着目した交通予報配信に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.31, pp.208-211, 2005.
- 11) 太田恒平, 大重俊輔, 矢部努, 今井龍一, 井星雄貴: 携帯カーナビのプローブ交通情報を活用した道路交通分析, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.47, pp.1-12, 2013.
- 12) Beedham, M: Helping drivers 'see' further with Jam Tail Warnings (Sep 02, 2022) <https://www.tomtom.com/blog/automated-driving/jam-tail-warnings/>

- 13) Y.Irie, D. Akasaka: The Study of Connected System Specification for Traffic Flow Control with Effective Lane Utilization: International Journal of Automotive Engineering, 2022 Volume 13 Issue 3 Pages 132-138
- 14) 飯田克弘, 浅田真敬, 多田昌裕, 筑後智弘, 西田将之, 安時亨, 澤田英郎: ACC 車両が混在する高密度交通流の挙動と運転者挙動への影響, 交通工学論文集, 第 5 卷, 第 2 号(特集号 A), pp.A_80 - A_89, 2019.2
- 15) 石川翔太: 交通渋滞抑制に向けた 協調型の自動運転に関する研究 2019 年 1 月
https://opac.ll.chiba-u.jp/da/curator/106404/TLA_0301.pdf

(Received September 27, 20022)

(Accepted September 30, 2022)

STUDY OF SMARTPHONE PROBE-BASED ESTIMATION FOR TRAFFIC CONDITIONS AND APPLICATION TO VEHICLE CONTROL

Yoshiaki IRIE, Hiroaki ASAO, Masaaki ISHIHARA, Masahiro MOCHIZUKI and Junji NISHIDA