都市間高速道路におけるジャンクション跨ぎ渋滞時の従路線本線交通挙動分析

平井　章一[1]・河西　正樹[2]・小川　巧[3]・杉野　勝敏[4]

[1]正会員　中日本高速道路株式会社八王子支社（〒192-8648 東京都八王子市宇津木町 231）
E-mail: s.hirai.aa@c-nexco.co.jp (Corresponding Author)

[2]非会員　中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社（〒160-0004 東京都新宿区西新宿一丁目 23-7 新宿ファーストウエスト）

[3]非会員　中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社（〒160-0004 東京都新宿区西新宿一丁目 23-7 新宿ファーストウエスト）

[4]非会員 株式会社地域未来研究所（〒530-0003 大阪市北区堂島一丁目 5-17 堂島グランドビル）

都市間高速道路のボトルネックにおいて発生した渋滞がジャンクションを跨いで従路線に延伸した場合，合流摩擦により従路線からの渋滞を通過するのにより多くの時間を要する．先行研究では，ジャンクション跨ぎ渋滞により従路線の本線が渋滞した場合に，従路線本線を直進する車両と主路線に向かう車両とで速度差があることを確認している．

本研究は，ジャンクション跨ぎ渋滞時に従路線本線の方向別通過時間を高い精度で算出し情報提供をすることを目的としている．ETC2.0プローブデータによりジャンクション跨ぎ渋滞時の従路線本線の交通挙動の実態を明らかにするとともに，リアルタイムの情報提供を前提とした，Bluetooth を用いた所要時間提供システムにより従路線本線の方向別通過時間を算出する手法を検討するものである．

Key Words: *Inter-urban expressway, congestion across the junction, ETC2.0 probe data, bluetooth*

1. はじめに

中央自動車道（以下「中央道」という．）と接続する首都圏中央連絡自動車道（以下「圏央道」という．）の八王子ジャンクション（以下「JCT」という．）で休日を中心に交通集中渋滞が発生しているが，中央道下り線（以下「中央道（下）」という．）のボトルネックで発生した渋滞が JCT を超えて延伸し，圏央道本線の渋滞に至るというのが渋滞発生の主な要因となっている．本研究では，ボトルネックが存在する路線（中央道）を主路線，渋滞が JCT を跨いで延伸する路線（圏央道）を従路線と定義する．

主路線のボトルネックにおいて発生した渋滞が JCT を跨いで従路線に延伸した場合，従路線を利用されるお客さまから，情報板で提供している所要時間と実際の通過に要した時間に乖離があるとの声を複数いただいている．これは，従路線から主路線に合流する際の合流摩擦により渋滞を通過するのにより多くの時間を要することに加え，JCT 部において情報収集が適切になされておらず，正確な所要時間を把握していないことが要因と考えられる．また，先行研究 [1]では，JCT 跨ぎ渋滞により従路線の本線が渋滞した場合に，従路線本線を直進する車両と主路線に向かう車両とで速度差があることを確認している．

本研究では，JCT 跨ぎ渋滞時に従路線本線の方向別通過時間を高い精度で算出し情報提供をすることを目的としている．具体的には，まず，ETC2.0 プローブデータの走行履歴データ（以下，「ETC2.0 データ」という．）により JCT 跨ぎ渋滞時における従路線本線の交通挙動の実態を分析する．そして，リアルタイムの情報提供を前提とした，「Bluetooth を用いた所要時間提供システム」により従路線本線の方向別通過時間を算出する手法を検討する．

2. ETC2.0 プローブデータによる従路線本線の交通挙動実態分析

(1) 分析対象日時と交通状況

分析対象日は実際には 2022 年の複数日を設定してい

るが，中央道（下）八王子 JCT 付近は，主に土曜日の午前中に渋滞が発生すること，ETC2.0 データに欠測等が見られないこと等を勘案し，9 月 10 日（土）の渋滞発生時間帯を含む 5:00～15:00 を本研究での報告対象とする．なお，圏央道は内回り・外回りとも渋滞が発生するが，本研究では外回りのみを報告対象とする．即ち，分析対象区間は**図-1** に示す通り，圏央道の外回り（以下「圏央道（外）」という．）高尾山インターチェンジ（以下「IC」という．）から八王子 JCT 分流部までとする．ただし，JCT から先の経路を特定するために，JCT 下流側のデータも使用しており，圏央道（外）から中央道（下）へ向かうルートを「ルート A」，圏央道を直進するルートを「ルート B」，圏央道（外）から中央道上り線へ向かうルートを「ルート C」と称する．当該日の中央道（下）と圏央道（外）の渋滞発生状況を**図-2** に示す．

(2) 個車の区間所要時間

まず，ETC2.0 データから個車の区間所要時間を整理した．ETC2.0 データは先行研究で使用したものと同様に処理されたものである．ルート A を走行した車両の圏央道（外）高尾山 IC（35.92kp）～中央道（下）小仏トンネル（38.76kp）間を**図-3** に，ルート B を走行した車両の圏央道（外）高尾山 IC（35.92kp）～八王子西 IC（42.24kp）間を**図-4** に，それぞれ示す．当該キロポストの通過時刻は，その前後の測位点間を定速で走行したと仮定した時刻として算出している．また，図中の赤点は二輪車の所要時間を示している．二輪車の所要時間が他と比較して短くなっているが，二輪車が渋滞車列をすり抜けていく実態を表しているものと考えられる．このことから，以降においては，二輪車のサンプルを除外して分析を行う．

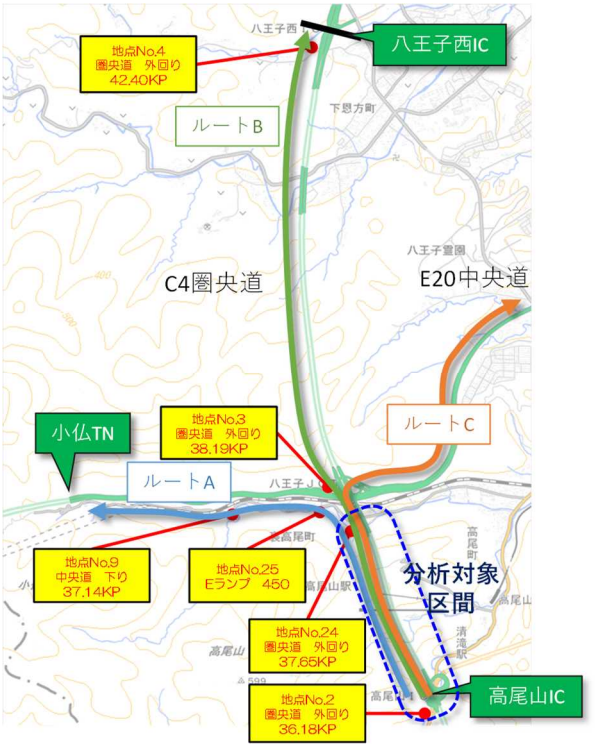


図-1 分析対象区間と Bluetooth 受信機設置箇所

(3) 個車の走行軌跡

図-5 にルート A の，**図-6** にルート B の，二輪車を除く個車の走行軌跡図を示す．相模原 IC から高尾山 IC 間に

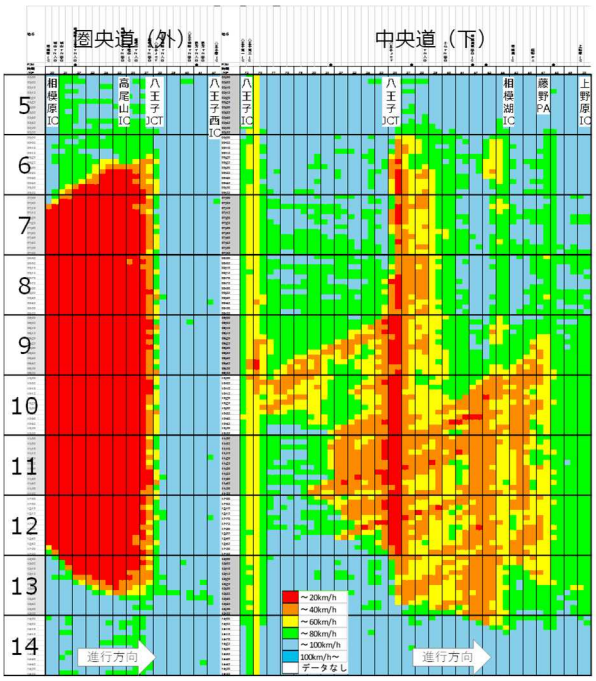


図-2 報告対象日の渋滞発生状況

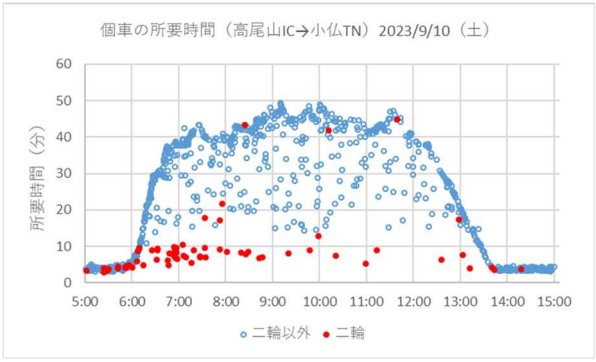


図-3 個車の所要時間（高尾山 IC→小仏トンネル）

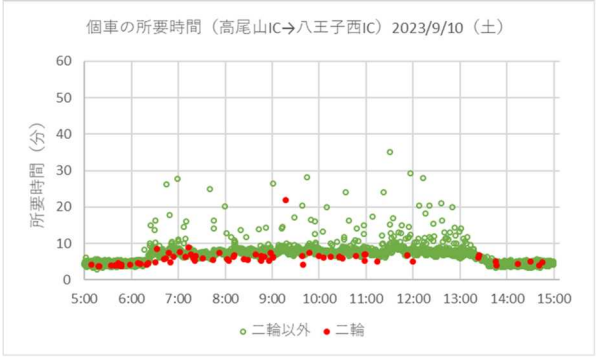


図-4 個車の所要時間（高尾山 IC→八王子西 IC）

ついては，ルートA・ルートBともほぼ同様な速度を示しているが，高尾山ICから八王子JCT間では，ルートBは速度が上昇している傾向であるのに対し，ルートAは速度が下降している傾向がみられる．これは，**図-7**に渋滞時の車線利用状況を示すが，走行車線と比較して追越車線の密度が低くなっている，即ち，速度が高いことを表しており，ルートAが走行車線，ルートBが追越車線と車線の使い分けがなされていることが走行軌跡図から確認できた．また，ルートAの高尾山ICから八王子JCT間では，途中まで相対的に高い速度で走行していて，JCT 手前の地点で急に速度が下降する挙動（グラフ中の黒枠点線）が複数確認できる．これは，ルートAの車両

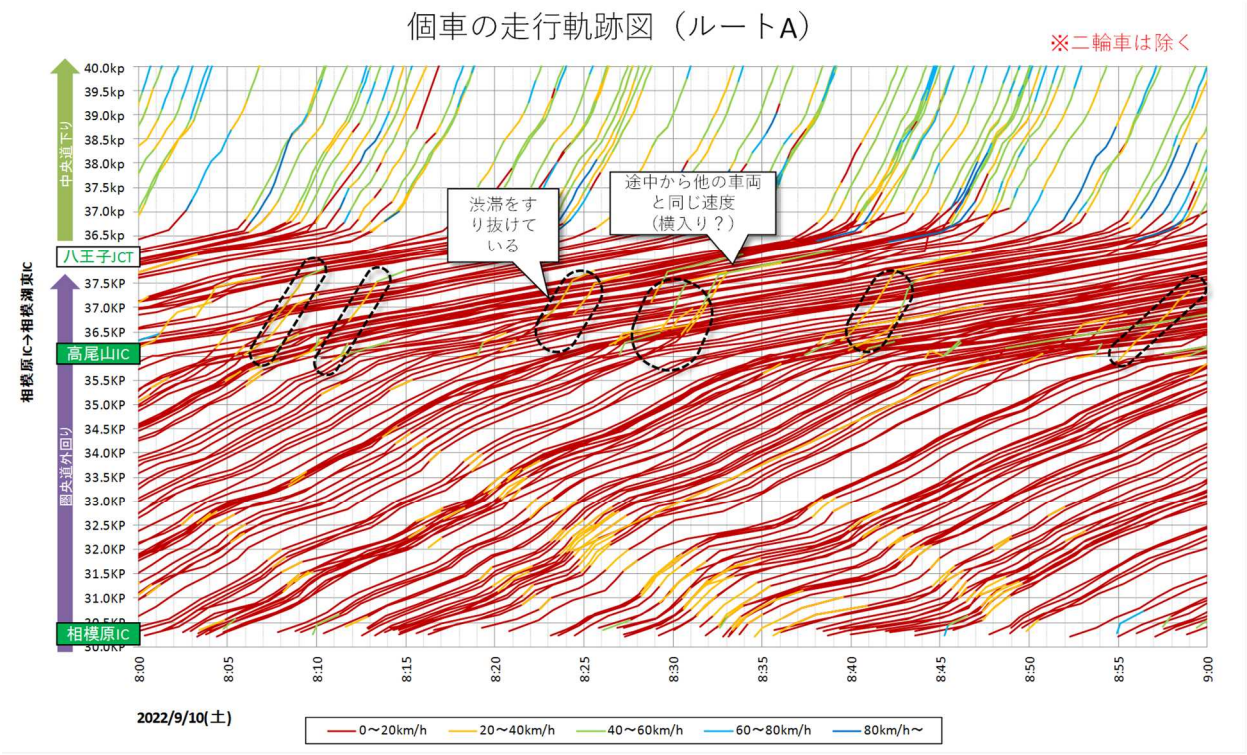


図-5　個車の走行軌跡図（ルートA）

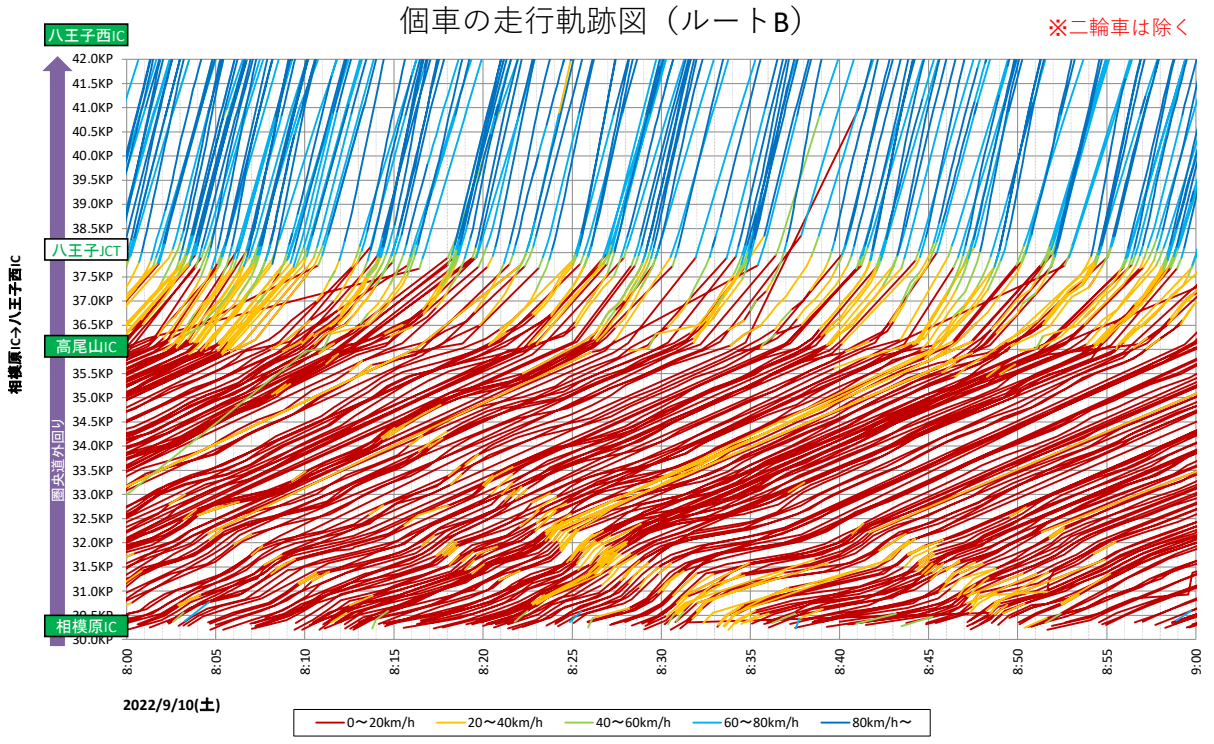


図-6　個車の走行軌跡図（ルートB）

であっても，最初は追越車線を走行し，途中で走行車線の渋滞車列に横入りする挙動であると考えられる．

(4) 横入り挙動台数の推定

ここでは，前節で確認できた横入り挙動台数を ETC2.0 データから推定した．ルート A を走行する車両から二輪車と非渋滞時の車両を除外し，高尾山 IC から八王子 JCT 間の 5 分毎の区間平均速度よりも 10km/h 以上速い速度で走行した車両を横入り挙動と定義した．**図-8** に時間帯別の横入り挙動台数を示す．時間帯ごとにばらつきはあるが最大でルート A 走行車両の 15%と，それほど多くはないことが確認できた．

(5) 対象区間の方向別区間所要時間の真値の設定

ETC2.0 データによる，対象区間のルート A，ルート B それぞれの時間帯別所要時間を設定する．**図-9** にルート A の，**図-10** にルート B の，5 分単位の所要時間パーセンタイル分布を示す．ルート A ではパーセンタイル間のばらつきが大きいが，60～70 パーセンタイル値付近が比較的安定しており，ルート B では 70 パーセンタイル値以下でほぼ同様の傾向を示している．これらのことから，ETC2.0 データについては，ルート A とルート B 共に 60 パーセンタイル値を真値と設定し，次章以降の分析結果との比較を行った．



図-7　圏央道（外回り）渋滞時の車線利用状況

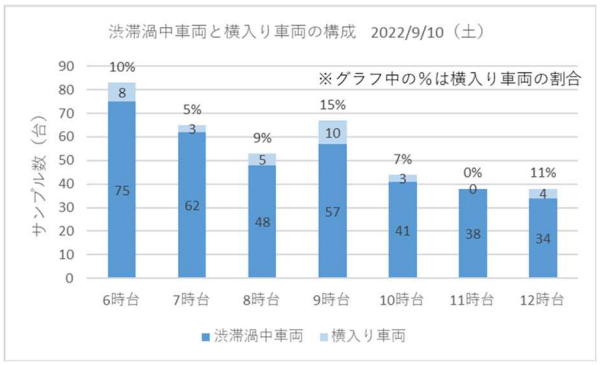


図-8　時間帯別横入り挙動台数

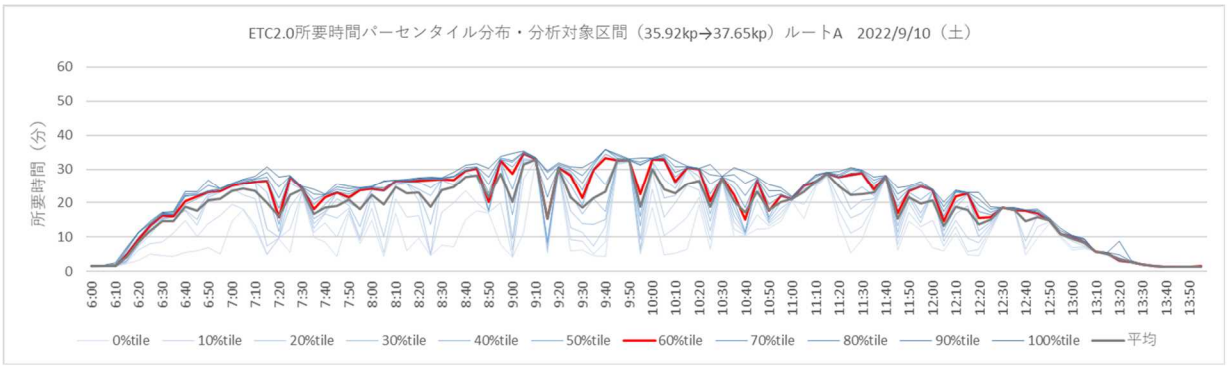


図-9　ETC2.0 データによる分析対象区間の所要時間パーセンタイル分布（ルート A）

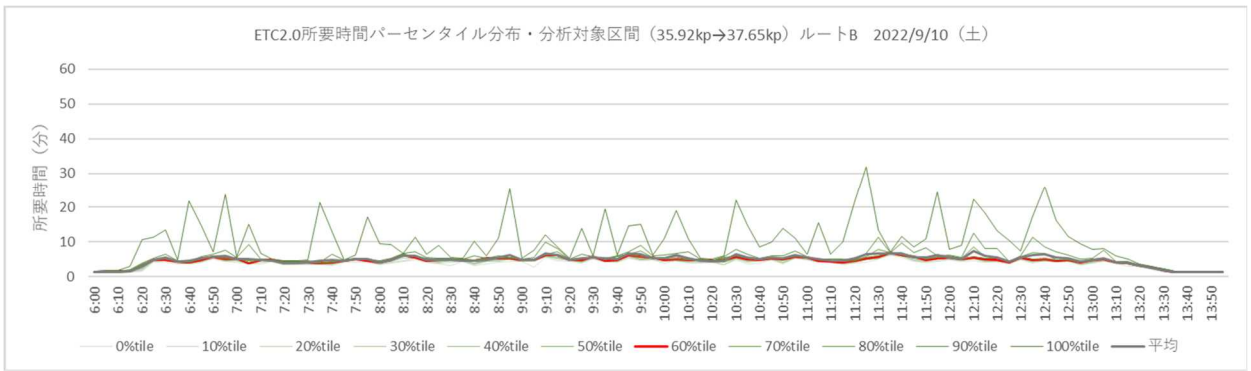


図-10　ETC2.0 データによる分析対象区間の所要時間パーセンタイル分布（ルート B）

3. Bluetooth を用いた所要時間提供システムによる従路線本線の方向別通過時間算出手法の検討

(1) Bluetooth データによるルート判定

図-1 に示す通り，八王子 JCT 近辺に複数の Bluetooth 受信機（以下，単に「受信機」という．）を設置しており，通過する車両に搭載された Bluetooth の Mac アドレスを受信した受信機を時系列で追跡することによりルートを判定する．**図-11** に，判定結果を示す，図中の「ルート B かルート C」は，JCT 分流部直近下流の「No.3」での受信が最後となっているもので，他のルート判定結果から，ルート B 又はルート C の可能性が非常に高いものである．また「方向不明」は，JCT 分流前本線の「No.24」での受信が最後となっているもので，その後のルート判定が不可能なものである．これらが発生する要因は，Mac アドレスのランダム化が関係している．Mac アドレスのランダム化とは，Bluetooth Low Energy タイプの Bluetooth 機器に搭載されている機能で，プライバシー保護のため一定期間毎に Mac アドレスが変更される仕組みである．機器メーカや OS によって変更のタイミングは異なっている．15 分など短い周期で変更となる場合が多いため，特に渋滞時においては同一車両が途中で別の Mac アドレスとなるのでルート判定できない状況が発生する．

(2) 対象区間の方向別区間所要時間

分析対象区間における，前節で判定したルート毎の個車の所要時間分布とその一部をルート別に分解したものを**図-12** に示す．ルート A，ルート B とも前章の ETC2.0 データで得られた知見と同様の結果となっており，Mac アドレスランダム化によって取得データに制約のある Bluetooth データのみでも，精度良くルート判定できていることが確認できた．

図-13 にルート A の，**図-14** にルート B の，Bluetooth から求めた 5 分単位の所要時間パーセンタイル分布を示す．ルート A ではパーセンタイル間のばらつきが大きいが，80～90 パーセンタイル値付近が比較的安定しており，ルート B では 80 パーセンタイル値以下でほぼ同様の傾向を示している．これらのことから 80 パーセンタイル値を Bluetooth の統計値として設定する．

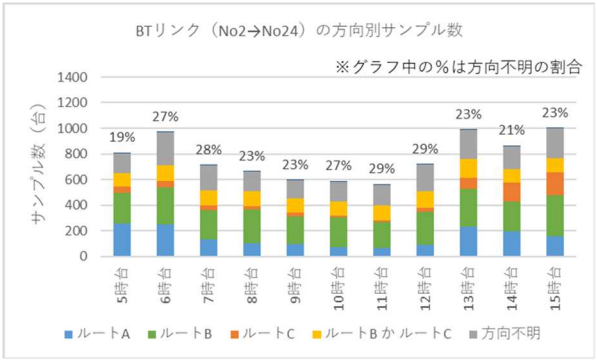


図-11 ルート判定結果

(3) ルート確定までの判定時間

3.1 節でルート判定を行っているが，実装段階においては如何に早くルート判定を行うかが高精度の情報提供を行うために重要な条件の一つとなる．そこで，Bluetooth データによって方向が確定するまでの判定時間を分析した．ここでは，ルート A では JCT 分流後直近下流の「No.25」，ルート B では直近下流の「No.3」の次の下流側に位置する「No.4」で受信した段階で方向確定と仮定し，「No.24」で受信してから方向確定までの時間を算出した．因みに，通常の場合は方向確定までの時間は 0 分（にデータ処理時間を加えた時間）である．**図-15** にルート A の，**図-16** にルート B の結果を示す．ルート A では確定までに最大で 15 分程度のタイムラグが発生する結果となった．一方，ルート B はほどんどが 5 分以内に確定できる結果となった．

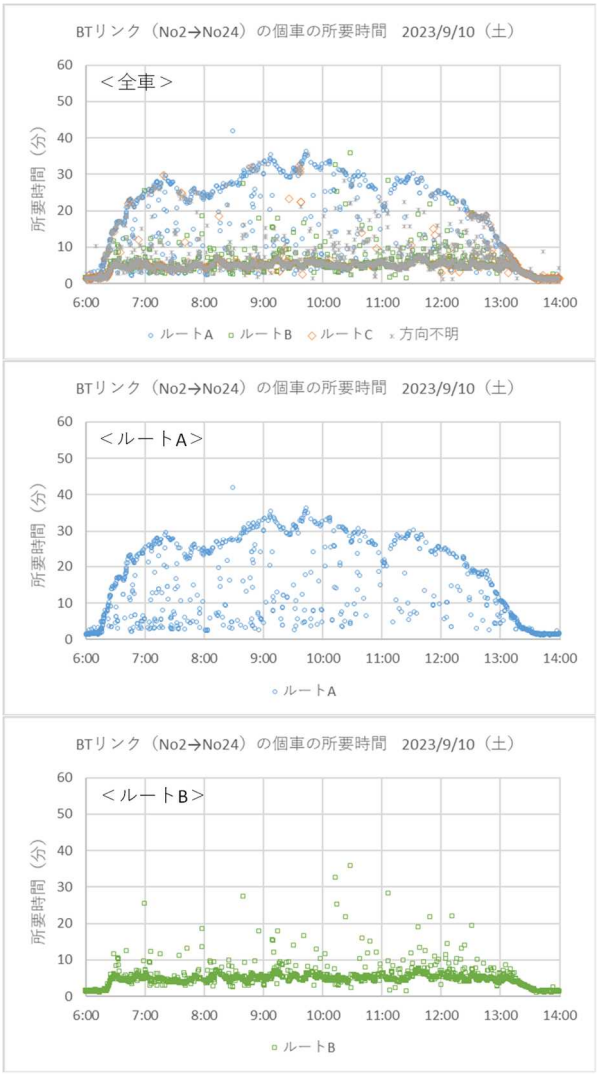


図-12 分析対象区間における個車の所要時間

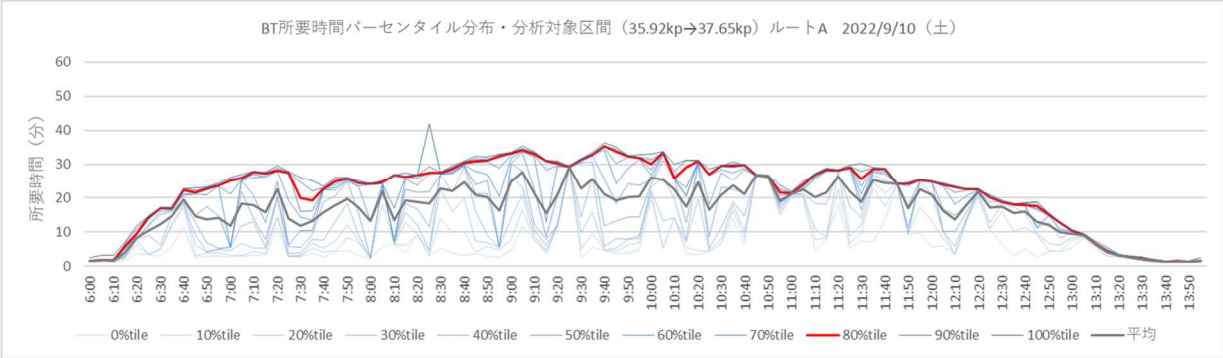


図-13　Bluetooth による分析対象区間の所要時間パーセンタイル分布（ルート A）

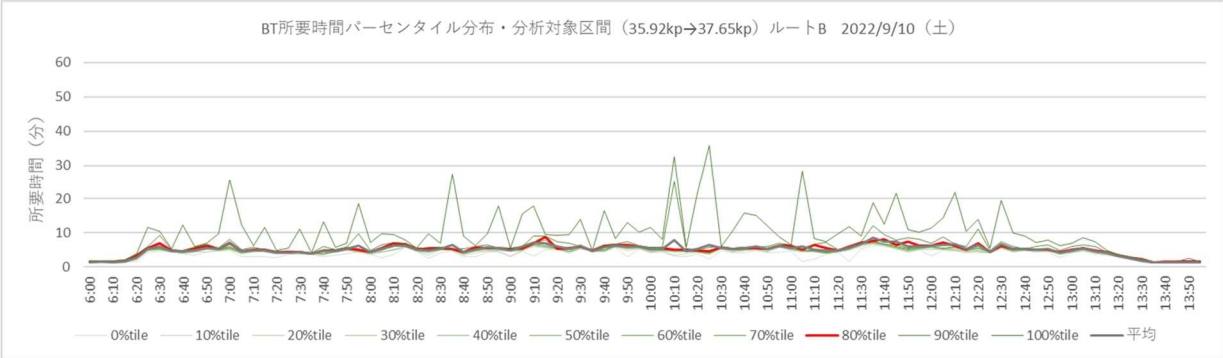


図-14　Bluetooth による分析対象区間の所要時間パーセンタイル分布（ルート B）

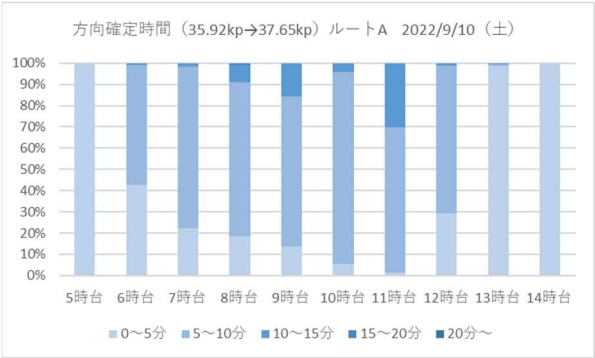


図-15　方向確定までの時間（ルート A）



図-16　方向確定までの時間（ルート B）

(4)　提供所要時間の試算

ここでは，方向別の所要時間算定システムを実装した際に提供される所要時間の大きさと，実際の所要時間からの遅れを確認するために，Bluetooth を用いた所要時間提供システムにより提供されるであろう所要時間の試算を行った．試算を行ったケースは**表-1** のとおりである．本来であれば Case2 では現行システムの改修が必要であるが，本分析では現行システムのまま簡便的に試算を行うこととし，別処理にて「No.25」で方向確定したルート A のデータのみを抽出しインプットデータとし，3.2 節で設定した 80 パーセンタイル値をアウトプットとした．

表-1　所要時間試算ケース

グラフ中の略称	内容
【Case1】 BT-Sim・全方向	進行方向を考慮しない所要時間（50%tile）の試算値（現行のシステム）
【Case2】 BT-Sim・ルートA	ルートAに限定した所要時間（80%tile）の試算値（今後のシステム案）
【真値】 ETC2.0・ルートA	ETC2.0データから算定したルートAの所要時間（60%tile）（所要時間真値と仮定）
【参考値】 BT統計値・ルートA	ルートAに限定した所要時間（80%tile）の統計値（所要時間真値に近い値）

Case1 と Case2 のサンプル数を**図-17** の棒グラフに示す．Case1 の現行システムでは，所要時間算定時にデータサンプル数が不足する場合，過去 15 分前まで遡って対象データを拡大している．しかし，Case2 の方向別算定では Case1 よりもデータ数が少なくなっているため，最大で過去 30 分前まで拡大することでサンプル数を確保するように改良した．また，**図-17** の折れ線グラフに所要時間の試算結果を示す．現行システムの Case1 では，全方向のデータが混在しているため，所要時間は 10 分以下となっているが，Case2 の試算結果の所要時間の大き

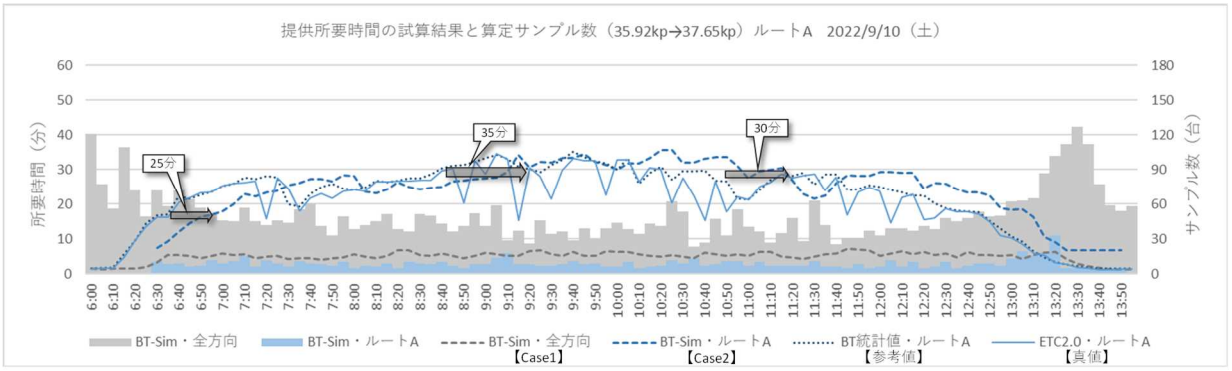


図-17 提供所要時間試算結果と算定サンプル数

さは ETC2.0 データの真値とほぼ同等の結果となり，精度としては十分確保されている．しかしながら，実際の情報板での確認時点（真値）より 25～35 分前の情報（試算結果）が提供される結果となった．これは，分析対象区間である高尾山 IC の「No.2」から八王子 JCT の「No.24」まで 25～35 分程度時間を要しており，「No24」を通過するまで所要時間が算定できないため真値とのタイムラグが生じている．

4. まとめと今後の課題

本研究は，JCT 跨ぎ渋滞時に従路線本線の方向別通過時間を高い精度で算出し情報提供をすることを目的とした．まず，ETC2.0 データにより JCT 跨ぎ渋滞時における従路線本線の交通挙動の実態を分析した．そして，リアルタイムの情報提供を前提とした「Bluetooth を用いた所要時間提供システム」により従路線本線の方向別通過時間を算出する手法を検討し，提供所要時間の試算を行った．

ETC2.0 データによる従路線本線の交通挙動の実態分析においては，渋滞時に二輪車がすり抜けていく実態を可視化した．また，今回の事例では高尾山 IC から八王子 JCT 間において，その先の進行方向によって走行速度に差異が生じている実態を可視化した．更に，主路線に向かう車両のうち，最初は追越車線を走行し，途中で走行車線の渋滞車列に横入りする挙動を確認したが，その台数はそれほど多くはないことを示した．

Bluetooth による従路線本線の方向別通過時間の手法の検討においては，まず，途中で方向が不明となるサンプルが一定数存在するものの，取得データに制約があっても精度よくルート判定ができることを確認した．また，JCT 分流部直近下流の受信機において受信することにより方向を確定させるのに要する時間は，主路線方向に向かうルートで最大 15 分程度要することを確認した．更に，方向別の提供所要時間の試算においては，所要時間自体は高い精度で算出できることを確認したが，渋滞により従路線本線下流側の受信機に到達するまでの時間を要することから，提供所要時間と真値との間に 25～35 分のタイムラグが生じる課題も確認できた．

今後は，従路線本線方向別所要時間提供に向けて，既存システムを改造を行っていく予定である．なお，提供所要時間と真値との間にタイムラグが生じる課題に対しては，受信機の設置間隔を密にすることでタイムラグを減少させることは可能である．ただし，当該区間はトンネル区間であり，トンネル内における Bluetooth 電波の乱反射による影響も考えられることから，これらを加味した最小設置間隔の検討も合わせて行っていく予定である．

REFERENCES

1) 平井章一，西田匡志，河西正樹：都市間高速道路におけるジャンクション跨ぎ渋滞所要時間提供の精度向上に向けた検討，土木計画学研究・講演集，Vol.66，CD-ROM，2022

(Received ? ?, 2023)
(Accepted ? ?, 2023)

ANALYSIS OF CONGESTION ACROSS THE JUNCTION OF INTER-URBAN EXPRESSWAY

Shoichi HIRAI, Masaki KASAI, Takumi OGAWA and Katsutoshi SUGINO