

第4章 交通ビッグデータを活用した研究報告

4.1 交通ビッグデータを活用した研究報告

本委員会では、高速道路での中長期的展開が想定されるサービスについて、現在取得可能な過去データを基に、現状の課題等を抽出し、将来サービスやビジネスの可能性を中心に研究することを目的に、高速道路調査会が用意したデータを用いた学識経験者による共同研究等を行った。

学識経験者からは、共同研究として「プローブデータを用いた柔軟な交通状態推定方法の検証」、「高速道路のSA・PA・IC・BSを中継地点とするシームレスな移動サービスの可能性」、また提供データを用いない自主研究として「プローブデータを活用した高速道路サグ・トンネル部の連続的交通容量推定」が報告された（研究概要は表4.1.1、詳細は4.2以降に記載）。

第4章 交通ビッグデータを活用した研究報告

表4.1.1 研究概要

分野	研究者	研究テーマ／研究概要
共同研究	<p>布施委員</p>	<p>プローブデータを用いた柔軟な交通状態推定手法の検証 (研究報告：第3回～第4回委員会) 交通状態推定は、部分的に観測された交通データに基づき道路交通システム全体の状態を推定する問題である。モデルキャリブレーションの困難さ・煩雑さから、既存手法を実際に適用することは難しい場合が多い。これらは、交通流モデルを基礎に置いており、パラメータの事前キャリブレーションを必要とするが、常に可能ではなく、キャリブレーション自体にモデル・理論の知見が必要という課題がある。実務的には、データ不足の課題も挙げられる。本研究では、モデルパラメータキャリブレーション不要な交通状態推定手法の地方高速道路での適用可能性を検証する。提案手法は、交通流モデルと観測（プローブデータと少数の感知器データ）を組み合わせたデータ同化手法であり、現在状態を推定する filtering と、過去状態を推定する smoothing から構成される。関越自動車道の約 10,000m 区間を対象に提案手法を検証した。filtering のみ、かつ1つの感知器のみでも、1分間交通量で誤差率 11%となった。感知器増加で精度向上が確認される一方、プローブ率は 1%程度以上であれば精度には大きく影響しないことを確認した。</p>
	<p>塩見委員</p>	<p>高速道路の SA・PA・IC・BS を中継地点とするシームレスな移動サービスの可能性 (研究報告：第5回～第7回委員会) MaaS の推進により、移動手段としてマイカーに頼らず最適な手段でシームレスな移動の実現を目指している。その中で他の交通手段へ乗り継ぐ拠点として交通結節点が重要視されている。また、この半世紀で日本の高速道路網は大幅に整備され、高速バス網が充実してきた。しかし、高速道路はアクセスコントロールされており、高速バスと他のモードが連結する拠点が必要である。駅を中心とした拠点は開業しているが駅から遠い地域における高速道路の優位性が活かされていない。そこで本研究では、高速道路上に高速バスと一般交通の結節点の構築を想定した上で、非日常トリップを対象とした交通需要推計を行い、その実現可能性について検討を行った。具体的には、まず、需要が見込まれる地域を選定した上で、ウェブアンケートにより選好表明調査を行い仮想の交通手段の利用意向を問い、新規の交通手段の選択確率を推計するモデルを構築する。その上で、携帯基地局運用データを用いて推計した総需要と上述の選択確率を掛け合わせることで、当該結節点の需要を推計する。名神高速道路草津 PA をケーススタディとした分析・推計を行った結果、調査対象とした 8 都市からの 11 月の 1 ヶ月合計で 6500 人程度の利用が見込め、特に横浜市、名古屋市からは週末を中心に高速バスを 1 便以上運行するだけの需要があることが明らかとなった。</p>
<p>自主研究</p>	<p>和田委員</p>	<p>プローブデータを活用した高速道路サグ・トンネル部の連続的交通容量推定 (研究報告：第5回委員会) 本研究は、プローブデータを活用して、ボトルネック (BN) の区間が必ずしも明確でない高速道路サグ・トンネル部の連続的な交通容量推定を行ったものである。推定手法は、渋滞流から自由流に至る速度回復プロファイルと交通容量の関係を記述可能な最新の交通流理論に基づき、プローブデータと感知器データを適切に融合させるものである。この手法をまず、国内 4 箇所サグ部に適用して、縦断線形と BN 区間の関係性を分析した。その結果、各サグ部において BN が顕在化する区間は、上り坂の前半または全区間、下りから上り坂にかけての区間、下り坂中で勾配が増加する区間、と箇所によりまちまちであることがわかった。これは適切な渋滞対策位置が必ずしも縦断線形のみからは決まらないことを示唆している。次に、小仏トンネルの指向性スピーカーを用いた渋滞対策前後のデータに推定手法を適用し、渋滞対策効果の発現メカニズムを分析した。その結果、交通容量の改善は安全車間時間の短縮で説明できること、BN 区間内の速度調整遅れの改善によりさらに数%の捌け交通量の改善が可能であることが示された。以上は、ビッグデータに理論を組み合わせることで、データの価値を引き出すことの有用性を示す事例であると考えられる。</p>

第4章 交通ビッグデータを活用した研究報告

4.2 共同研究

4.2.1 プローブデータを用いた柔軟な交通状態推定手法の検証

次頁以降に、研究発表資料を掲載する。

【以下、第4回委員会資料】

資料2

プローブデータを用いた
柔軟な交通状態推定手法の検証

瀬尾亨 布施孝志

- はじめに
- 方法
- データ
- 検証
- おわりに

背景

3

- 交通状態推定: 部分的なデータから交通状態を推定すること
 - データ: 感知器, プローブ
 - 交通状態: 流率, 密度, 速度



- 学術的には様々な手法が提案されているが, 実適用に向けては大きな課題がある
 - 課題1: データの不足
 - 課題2: 交通流理論への依存

背景

4

- 課題1: データの不足
 - 既存の手法は複数の感知器を前提とすることが多いが, 感知器の設置にはコストがかかる
 - GPSプローブは広範囲を観測できるが, それだけでは流率・密度がわからない
- 解決策: 両データ(小数の感知器と大量のプローブ)をうまく組み合わせる

背景

5

- 課題2: 交通流理論への依存
 - 適用のためには交通流理論の高度な知識が必要
 - 交通流モデルのパラメータキャリブレーションが必要
(例: QK関係のパラメータである交通容量, 自由流速度, 渋滞密度, ...)
- 解決策: 交通流理論の知識やパラメータキャリブレーションが不要な手法の開発
- 瀬尾・杉本(2020)は課題1, 2を解決する手法を開発した
 - 瀬尾亨, 杉本佳昭. プローブカーと感知器のデータに基づくキャリブレーション不要な交通状態推定手法. 土木計画学研究・講演集, Vol. 62, 2020

目的

6

- 瀬尾・杉本(2020)の手法を実際の地方高速道路のデータで検証する
 - 阪高の全車両軌跡データZTDおよび一般道のデータでは検証済み
 - 交通状態推定の需要が高いと思われる地方高速道路では未検証

研究計画

7

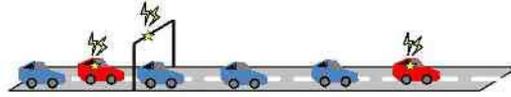
- プローブデータと感知器データの加工: 2021/3-6
- 交通状態推定手法の適用: 2021/7-10
- 検証用感知器データとの比較による精度検証: 2021/11-12
- 考察: 2022/1-2

- はじめに
- 方法
- データ
- 検証
- おわりに

7

瀬尾・杉本(2020)の手法:概略

9



- 問題設定
 - 単一リンクを対象
 - 少なくとも一つの感知器が流率 or 密度を測定
 - プローブカーの混入率が十分にあり, 時刻・位置ごとの速度を連続的に測定
 - QK関係を使わないなど, 推定者に交通流理論を意識させない
 - 以上のもと, 一定の時空間分解能で密度と流率を推定する

- 長所
 - プローブデータが豊富にあることを前提としたデータ駆動型交通流モデルの採用 → プローブデータの効率的な利活用
 - モデルパラメータのキャリブレーションが不要 → 実適用の容易さ

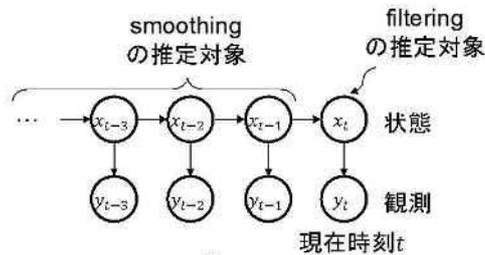
瀬尾・杉本(2020)の手法:データ同化

10

- データ同化:交通流モデルと観測を組み合わせた交通状態推定方法
 - 例:カルマンフィルタ, パーティクルフィルタ
 - データ同化にはfilteringとsmoothingがある

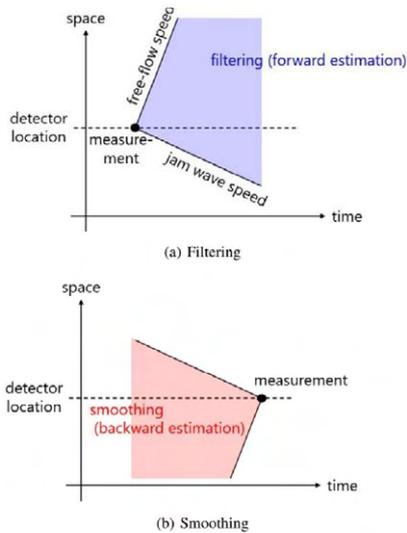
- filteringは現在・過去のデータに基づき現在の状態を推定する
 - リアルタイム・オンライン推定向き
 - 既存の交通状態推定手法で用いられる

- smoothingは現在・過去のデータに基づき過去の状態を推定する
 - オフライン推定向き
 - 一般に, フィルタリングより高精度



瀬尾・杉本(2020)の手法: 交通状態推定におけるsmoothing

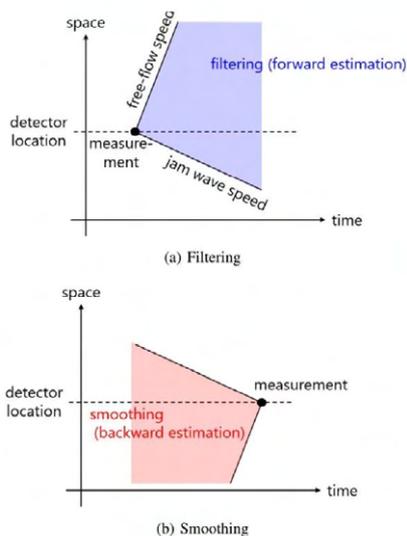
11



- smoothingは交通状態推定上特に有用
- 一般的な交通流では, 情報の伝播方向は決まっている
 - 自由流状態では, 情報は時間とともに自由流速度で下流に伝播
 - 渋滞状態では, 情報は時間とともに渋滞波速度で上流に伝播
 - 下流への伝播速度の方が極端に大きい

瀬尾・杉本(2020)の手法: 交通状態推定におけるsmoothing

12



- filteringの場合, 推定は時間に沿って行われる
 - 感知器が情報を観測した場合, その情報は主に下流側の推定に用いられる
- smoothingの場合, 推定は時間を遡りながら行われる
 - 感知器の情報は主に上流側の推定に用いられる
- filteringとsmoothingを組み合わせれば, 一つの感知器で両方向を推定できると期待される
 - ただし, 事後的なオフライン推定

瀬尾・杉本(2020)の手法: データ駆動型交通流モデル 13

- 交通量保存則: $\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial kv}{\partial x} = 0$
 - k : 密度
 - v : 速度
 - 一般に, 交通流モデルは本式を解いて未知変数 k, v を求める

- 未知変数が二つなので, 通常は何らかの制約・仮定を課して解く
 - 例: Kinematic Wave理論は流率密度関数 $v = V(k)$ を仮定
 - 制約にはモデルパラメータが含まれ, キャリブレーションが課題

- 一方, もしプローブが十分にあれば, v は既知変数とみなせるため, 制約・仮定を加えることなしに保存則を直接計算し k を求められる
 → データ駆動型交通流モデル (Astarita et al., 2006; Seo and Kusakabe, 2015; Bekiaris-Liberis et al, 2016)

瀬尾・杉本(2020)の手法: データ駆動型交通流モデルの計算とデータ同化 14

- 交通量保存則: $\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial kv}{\partial x} = 0$
 - k : 密度
 - v : 速度

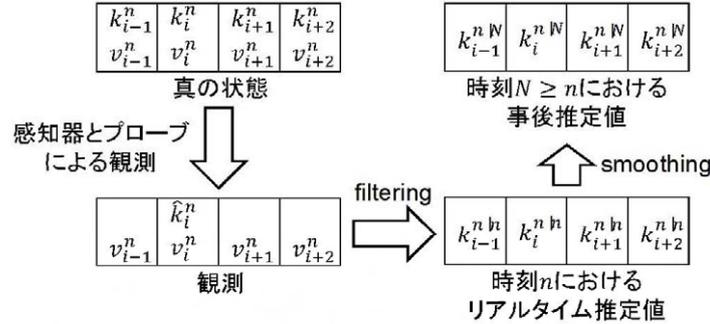
 - 風上差分: $k_i^{n+1} = k_i^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} (k_{i-1}^n v_{i-1}^n - k_i^n v_i^n)$
 - $\Delta t, \Delta x$: 時空間分解能
- width: Δx flow: $k_i^n v_i^n$

$\left[\begin{array}{cccc} k_{i-1}^n & k_i^n & k_{i+1}^n & k_{i+2}^n \\ v_{i-1}^n & v_i^n & v_{i+1}^n & v_{i+2}^n \end{array} \right]$

link
- 本システムモデルは線形
 - 感知器が設置位置の密度を直接観測するとみなし線形観測モデルを採用すると, 線形状態空間モデルを構築できる
 - 線形状態空間モデルに適用可能なKalmanフィルタと Rauch-Tung-Striebel smoother (固定間隔 smoother) を適用

瀬尾・杉本(2020)の手法: 推定の流れ

15



1. 時刻・位置ごとの密度と速度データを準備
2. filteringにより暫定的な推定値を計算
 - リアルタイム推定として扱っても良い
3. smoothingにより推定値を更新
 - 事後的なオフライン推定

瀬尾・杉本(2020)の手法: アルゴリズム

16

Step 1 (Kalman Filtering): Set $n = 1$. Define the initial conditions of time step 0.

Step 1.1: Computes a prior distribution of time step n :

$$\mathbf{x}_{n|n-1} = F_n \mathbf{x}_{n-1|n-1} \quad (10)$$

$$V_{n|n-1} = F_n V_{n-1|n-1} F_n' + Q_n \quad (11)$$

Step 1.2: Computes a posterior distribution of time step n :

$$K_n = V_{n|n-1} H_n' (H_n V_{n|n-1} H_n' + R_n)^{-1} \quad (12)$$

$$\mathbf{x}_{n|n} = \mathbf{x}_{n|n-1} + K_n (\mathbf{y}_n - H_n \mathbf{x}_{n|n-1}) \quad (13)$$

$$V_{n|n} = V_{n|n-1} - K_n H_n V_{n|n-1} \quad (14)$$

Step 1.2: If $n = N$, go to Step 2. Otherwise set $n := n + 1$ and go to Step 1.1.

Step 2 (RTS smoothing): Set $n := N - 1$.

Step 2.1: Computes MAP distribution of time step n :

$$A_n = V_{n|n} F_{n+1}' V_{n+1|n}^{-1} \quad (15)$$

$$\mathbf{x}_{n|n} = \mathbf{x}_{n|n} + A_n (\mathbf{x}_{n+1|N} - \mathbf{x}_{n+1|n}) \quad (16)$$

$$V_{n|n} = V_{n|n} + A_n (V_{n+1|N} - V_{n+1|n}) A_n' \quad (17)$$

Step 2.2: If $n = 0$, halt the algorithm. Otherwise set $n := n - 1$ and go to Step 2.1.

- はじめに
- 方法
- データ
- 検証
- おわりに

データ概要

18



- 対象日時
 - 関越自動車道 上り
東松山IC付近～鶴ヶ島IC付近
 - 2019/8/1～31
 - 頻繁に混雑しており、検証に適している
- DRM
- 車両感知器データ
 - ループ式感知器
 - 8地点 (29.600KP, 30.240KP, 31.572KP, 33.490KP, 35.680KP, 36.500KP, 38.500KP, 39.400KP)
- プローブデータ
 - 富士通商用車プローブ
(デジタルタコグラフデータ)

DRM

19



- 対象区間のDRM
- 適切な地図データであることを確認
- DRMに基づき, 区間の最上流部を $x = 0$ (m), 最下流部を $x = 9899$ (m) とし感知器データとプローブデータをデータベース化

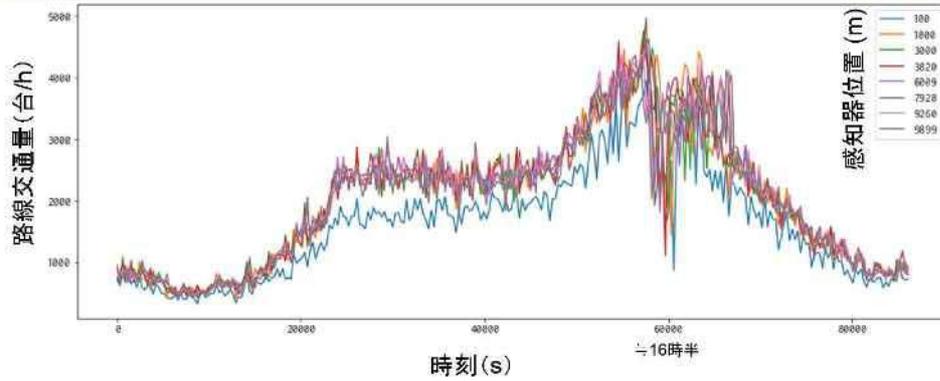
感知器データ

20

- データ項目: 車線別の5分間毎の以下の項目など
 - 交通量(車種別)
 - オキュパンシ
 - 速度

感知器データ

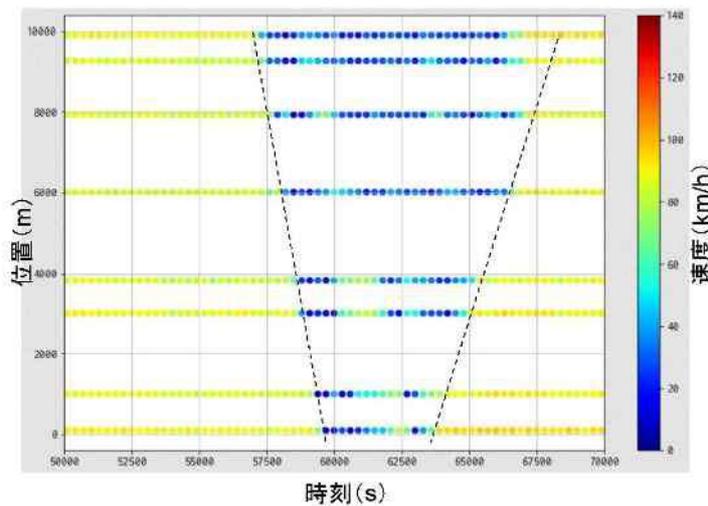
21



- 8/1(木)のデータのみ抽出して確認
- 夕方に交通量の増大と渋滞が観測された

感知器データ

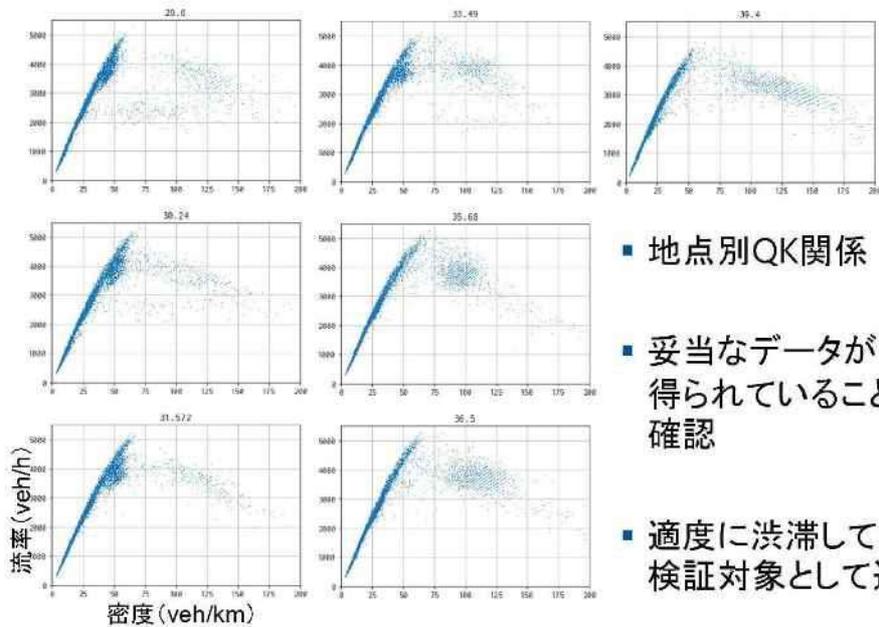
22



- 時空間図に夕方の速度をプロット
- 下流部からの渋滞の延伸と解消を意味する逆三角形パターンを観測

感知器データ

23



- 地点別QK関係
- 妥当なデータが得られていることを確認
- 適度に渋滞しており、検証対象として適切

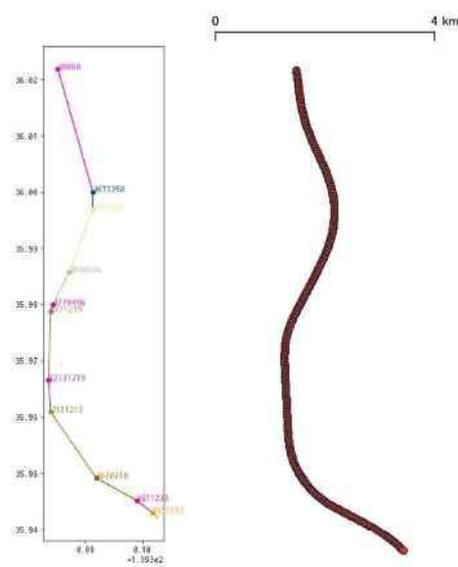
プローブデータ

24

- データ項目：一秒毎の以下の項目など
 - 車両ID
 - 車測速度
 - DRMリンク上位置
 - マップマッチ後緯度経度

プローブデータ

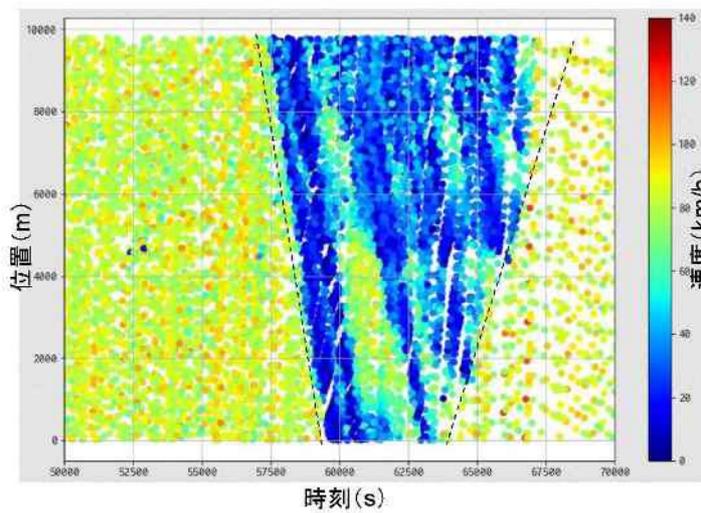
25



- 8/1の一台のプローブを抽出しプロット
- 対象区間全域に渡り問題なくデータが取得されている

プローブデータ

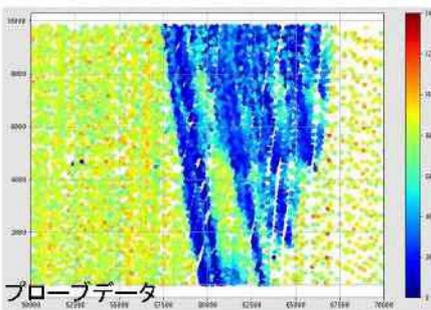
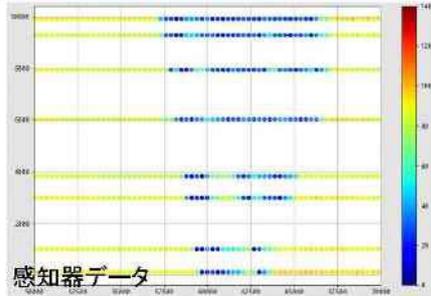
26



- 時空間図にタ方の速度をプロット
- 下流部からの渋滞の延伸と解消を意味する逆三角形パターンを密に観測

感知器データとプローブデータの比較

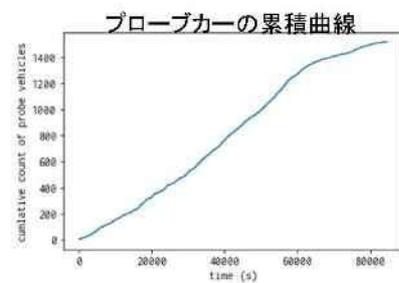
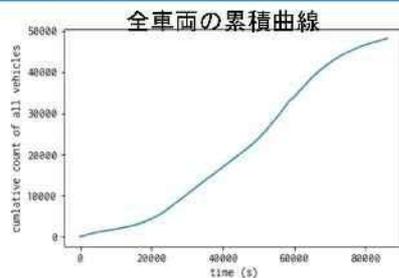
27



- ほぼ同様の速度パターンが観測された
- 両データは整合的であり、以後の分析に適していることを確認

感知器データとプローブデータの比較

28



- プロブカー混入率: 3.2%
 - プロブカー総数: 1529台
 - 中央部感知器の総通過台数: 48113台
- 一日の累積曲線で交通量を比較
 - プロブカーは概ね一日中均等に通行
 - 未明～早朝は多い
 - 夕方ピーク時間帯は少ない

データ基礎分析まとめ

29

- 10km区間の感知器データとプローブデータをデータベース化
- データに問題がないことを確認
- 典型的な渋滞が観測されており、手法の検証上有用であることを確認
- プローブカー混入率は3.2%であり、一日を通して概ね安定

- はじめに
- 方法
- データ
- 検証
- おわりに

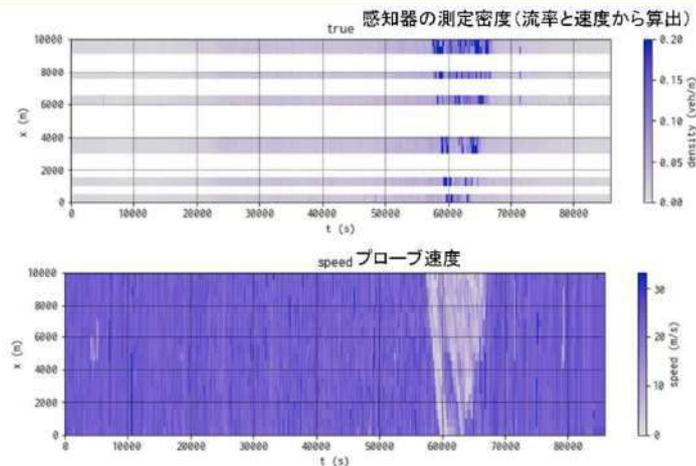
検証方針

31

- 適度な渋滞が観測された2019/8/1一日を対象とする
- 感知器8箇のうち、少数を推定のために用いる。組合せは以下の複数パターンを試行する
 - 100m地点感知器
 - 3000m
 - 6000m
 - 9260m
 - 1000m, 3000m, 9260m
- 推定用感知器の測定した5分間交通流率と、プローブカーの速度ドットデータ(混入率3.2% 5秒ピッチ)を入力とし、対象区間全域10000mの密度と流率を特定分解能で推定する
 - 基本分解能: 15s × 500m
 - 低分解能: 60s × 2000m
 - プローブ率を半減させた場合も確認
- 推定した交通状態の精度を、推定に用いなかった感知器の測定値を真値とみなして検証する。評価指標は以下の通り:
 - 密度の時空間図
 - 密度の真値vs推定値の散布図
 - 平均絶対誤差率 $MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{k_i - \hat{k}_i}{k_i} \right|$, N : 推定値数, k_i : 密度の真値, \hat{k}_i : 密度の推定値
 - 真値感知器の分解能は300sであり、推定分解能と乖離しているため見かけ上の誤差が不可避である点に注意(つまり、仮に推定手法が高分解能で完全に正確な交通状態を推定したとしても、それを平均した真値と比較するため、指標上は誤差がでる)
- 試行の結果、smoothingが不安定で精度が極度に悪化したため、filteringのみで推定することとした。原因は明確ではないが、丸一日を秒・分単位で推定したためタイムステップ数が多すぎて数値誤差が蓄積した恐れ有り(瀬尾・杉本(2020)では一時間の推定でsmoothingの有効性を確認済み)

データ概要

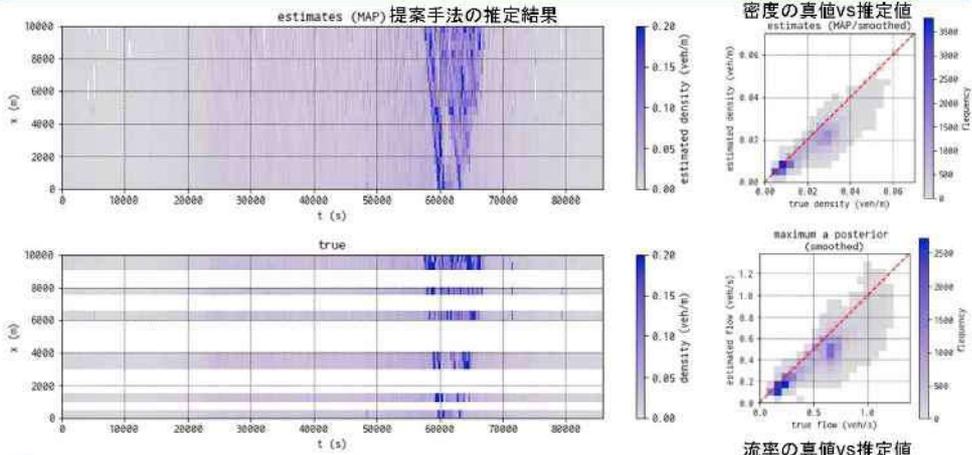
32



- 対象となる8/1一日の全データ
- 前掲のデータを推定用の分解能で集計したもの

検証: 100m地点を使用, 基本分解能

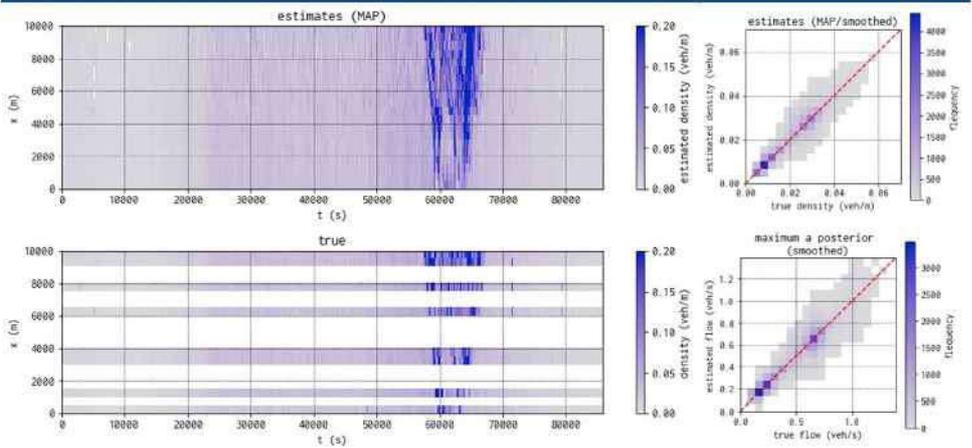
33



- MAPE: 23.1%
- 時空間図上で推定値 (estimates (MAP)) を真値 (true) と比較すると, 大まかな交通パターンは正確に把握可能
 - 24000s(6時半頃)からの需要増加
 - 58000s(16時頃)からの渋滞発生, 延伸, 解消
- 散布図を見ると, 若干の過少推定傾向がみられる
 - 後の結果と比較して考察すると, 感知器のバイアスが感知器直下流部での交通流出の可能性

検証: 3000m地点を使用, 基本分解能

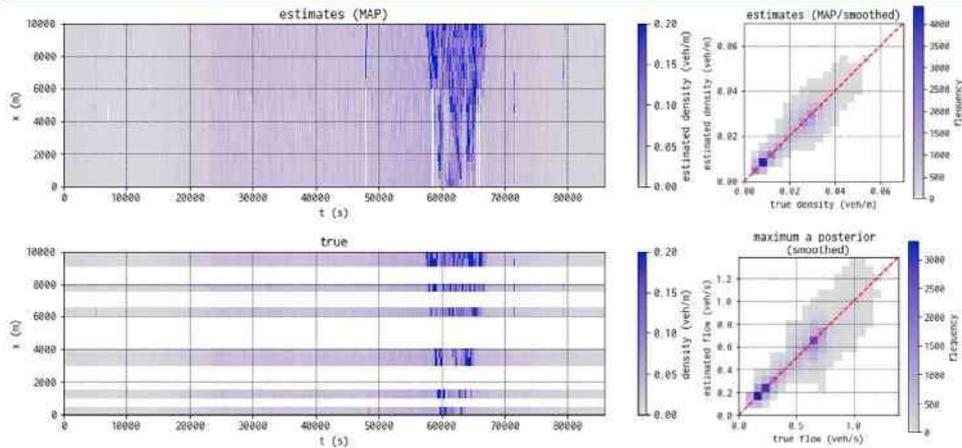
34



- MAPE: 17.4%
- 100m地点で見られたバイアスがなくなり, 時空間図の再現性とMAPEも大きく向上

検証: 6000m地点を使用, 基本分解能

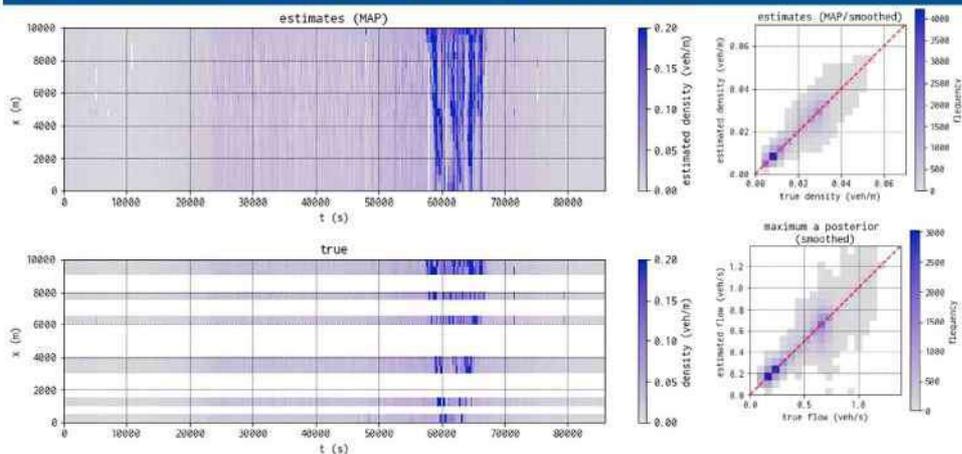
35



- MAPE: 20.0%
- filteringのためのため, 下流側の感知器を使用すると精度が低下

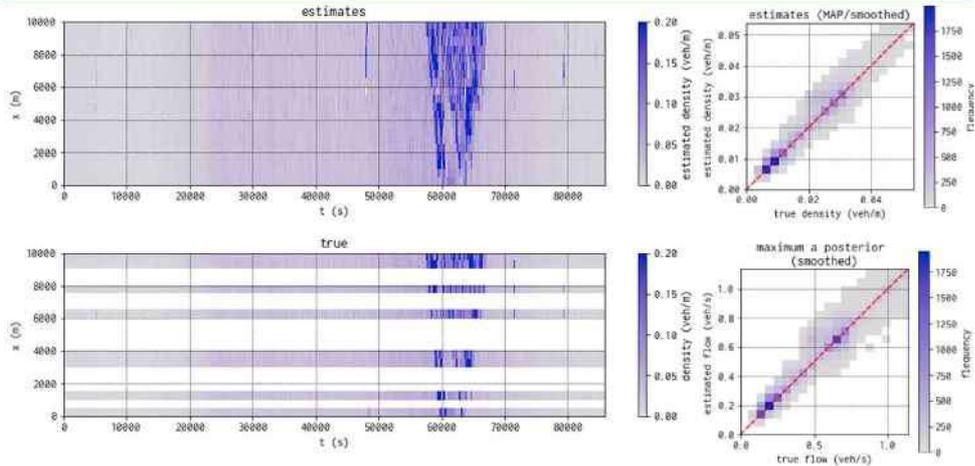
検証: 9260m地点を使用, 基本分解能

36



- MAPE: 24.7%
- filteringのためのため, 下流側の感知器を使用すると精度が低下

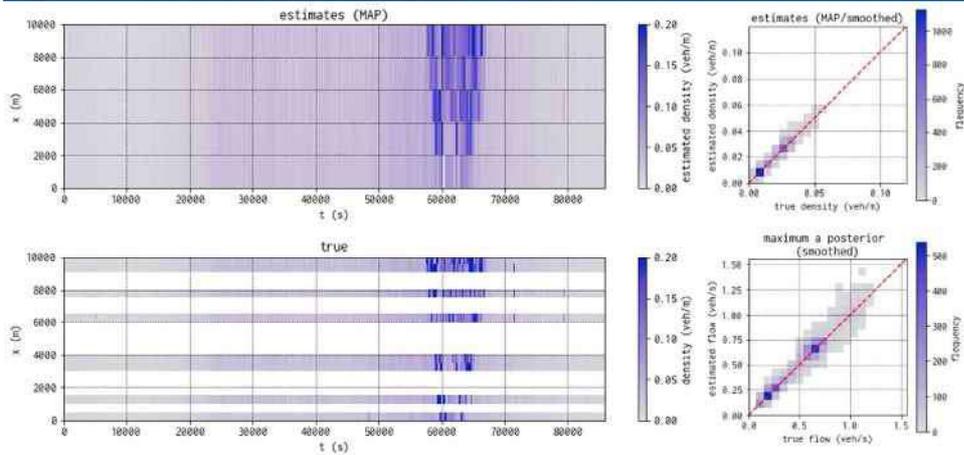
検証: 1000m, 3000m, 9260m地点を使用, 基本分解能 37



- MAPE: 16.1%
- 単一の感知器を用いる場合よりも精度向上

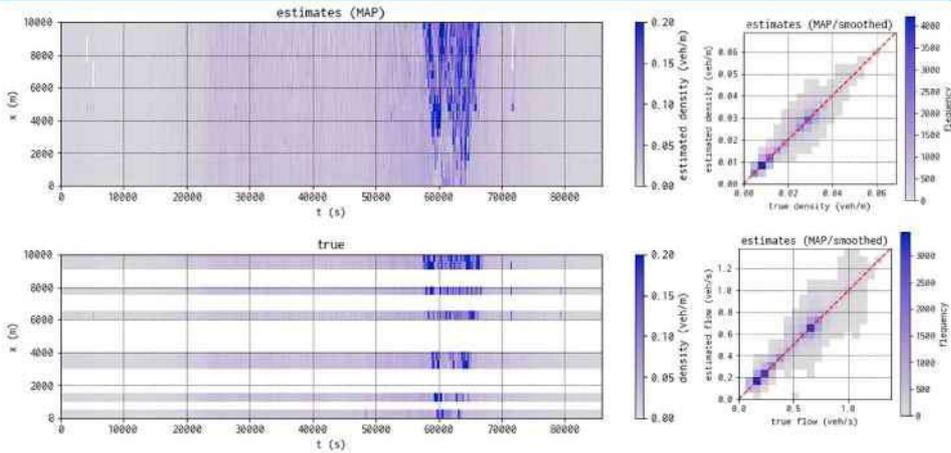
検証: 3000m地点を使用, 低分解能

38



- MAPE: 10.9%
- 分解能を低くすることで偶然誤差が小さくなり(かつ、感知器の分解能に近くなり)精度向上
- このケースのみ, *smoothing*を追加するとMAPEが10.8%へ若干改善。
タイムステップ数が1/4になったためか

検証: 3000m地点を使用, 基本分解能, プローブ率1/2 39



- MAPE: 17.1%
- 精度はほとんど変化なし
 - 速度分布はプローブ率1%あれば概ね正確に把握可能なため
 - 特に自由流領域では速度が変動しないため, 非常に少数のプローブで速度把握可能

- はじめに
- 方法
- データ
- 検証
- おわりに

まとめ

41

- 都市間高速道路の約10000m区間を対象に、感知器とプローブカーに基づく交通状態推定手法の性質を検証
- 本手法はキャリブレーションすべきパラメータを持たず、柔軟に適用可能という長所を持っている
- 検証の成果：
 - 大規模な推定ではsmoothingに不具合が生じたが、filteringのみでも良好な性能を発揮
 - 区間に感知器が1つしかない場合であっても、定性的には交通量の多寡や渋滞の発生・解消を正確に把握可能であった
 - 同じく、定量的には1分間交通量を誤差率11%で推定出来た
 - 感知器を増やせば精度が向上する結果が得られた
 - プローブ率は1%程度以上あればあまり精度に影響しない
- 課題：
 - 区間途中の流入出の考慮
 - smoothingの不具合の原因究明と解決

参考文献

42

- 瀬尾亨, 杉本佳昭. プローブカーと感知器のデータに基づくキャリブレーション不要な交通状態推定手法. 土木計画学研究・講演集, Vol. 62, 2020

第4章 交通ビッグデータを活用した研究報告

4.2.2 高速道路のSA・PA・IC・BSを中継地点とするシームレスな移動サービスの可能性

次頁以降に、研究発表資料を掲載する。

【以下、第7回委員会資料】

非日常トリップにおける高速道路パーキングエリアの 交通結節点としての需要推計



立命館大学大学院 内堀 凱斗

立命館大学 塩見康博

背景

高速道路網が大幅に整備され
移動が高速かつ安全になり
都市間高速バス網が充実

MaaSプロジェクトの推進により
複数交通機関を利用した
シームレスな移動の実現を目標

(道路網) (交通拠点) (利用・モビリティ)
「リンク」中心→「リンク×ノード×マネジメント」へ

交通結節点の重要性が向上

国土交通省を主体としたバスタプロジェクトの開始
その中で、ハイウェイバスタも計画が進む

しかし

高速道路はアクセスコントロールされており、
高速バスと他のモードが結節する拠点は整備が進んでいない

2

バスタプロジェクト

◆バスタプロジェクトとは

鉄道やバス、タクシーなど、多様な交通モードがつながる集約型の公共交通ターミナルを、官民連携で整備するプロジェクト

◆バスタプロジェクトの種類

①マルチモードバスタ
集約交通ターミナル
の戦略的な整備
[高速バス×鉄道, タクシー]

②ハイウェイバスタ
SA・PAを活用した
バス乗換拠点の整備
[高速バス×高速バス]

③地域の小さなバスタ
地域バス停の
リノベーションの推進
[バス×バス, 乗用車]

本研究では②を主体とし、機能面で③を持ち合わせたものを想定

- ハイウェイバスタは供用事例がなく需要が未知
- 需要推計方法も確立されていない

目的

◆PAを交通結節点とした場合の

ビッグデータを用いた需要予測手法を提案

- 「**高速バス × 路線バス**」の乗継を想定
- 鉄道や自家用車からの転換可能性の検討

名神高速道路 草津PAを対象としたケーススタディで需要推計
観光等の非日常トリップを対象とする



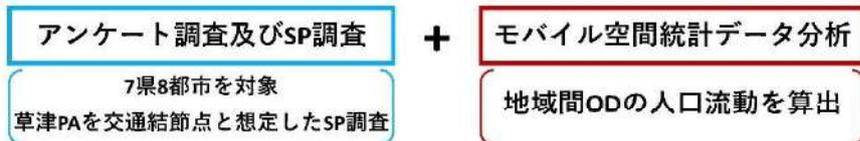
滋賀県草津市及び草津PAの概要



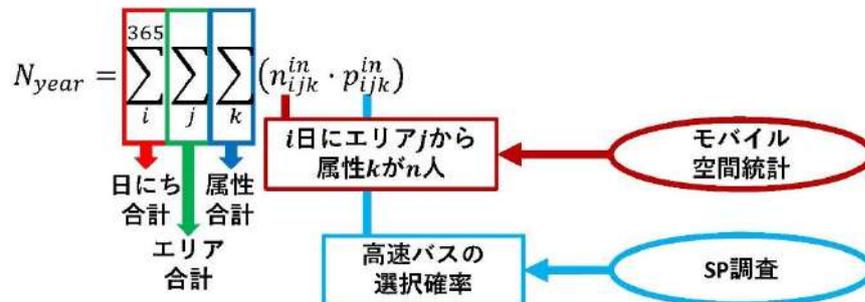
- ◆滋賀県の交通における立地特性
 - 東海道本線が東西を貫く
(京都まで20分/大阪まで50分)
 - 東海道新幹線は米原駅に停車
(県西部には停車しない)
 - 名神高速道路が東西を貫く
 - 新名神高速道路が草津JCTから分岐

- ◆草津PAの概要
 - 草津市と大津市にまたがる関西有数の利用客数を誇るPA
 - 鉄道駅は玄関口として機能しているが、高速道路はアクセスコントロールされており自家用車以外でのアクセスが難しい
 - 関西と関東・中部を結ぶ高速バスは多数運行されているがすべてが通過
(平日300台,休日350台以上)

需要推計手法



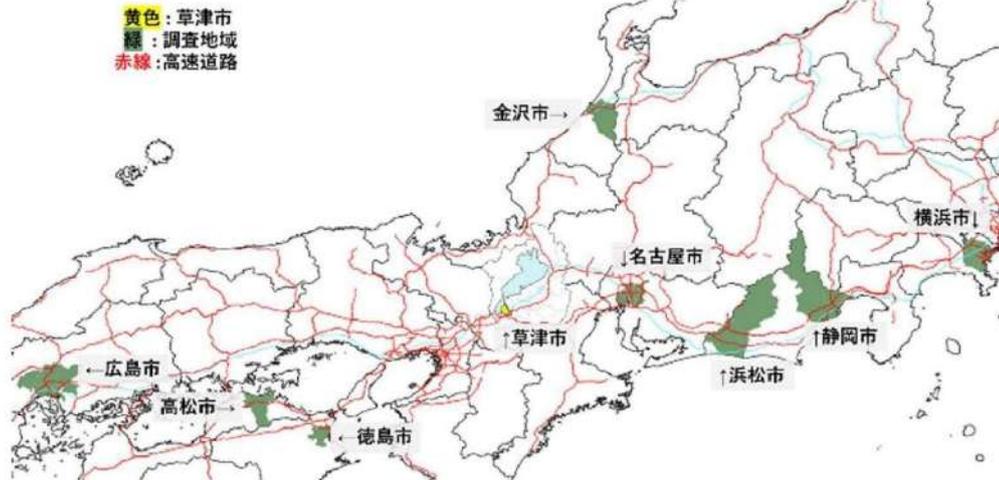
ハイウェイバスタの需要を算出



アンケート調査対象地域

◆7県8都市で実施

-滋賀県への現在の主たる来訪手段や人口・距離を考慮して決定



アンケート調査概要

◆実施方法

-webアンケート

◆実施日時

-2023/1/17～2023/1/24

◆スクリーニング条件

-過去5年以内に高速バスまたは空港リムジンに乗車

◆調査内容

○高速バスの利用実態と施設への意識調査

-利用頻度・行先・目的・選定理由・乗車場所等の実態

-イグレス手段として接続してほしい手段等の希望

○滋賀県への来県経験

-来県経験・市町村・目的を調査

○SP調査

-草津PAを交通結節点として想定した際の草津市への訪問手段を調査

○個人属性

-年齢・性別・免許の有無・自家用車の有無等

SP調査

◆調査内容

草津PAに交通結節点が整備された場合の草津市及びその周辺地域へのアクセス方法についての調査

◆提示した選択肢

アクセス手段・イグレス手段を変えた5種類の選択肢を用意 × 3問
(アクセス手段)

a)既存の最速達手段 b)新規設定の高速バス c)自家用車

※高速バスはサービスレベルを変え2種類を選択肢に用意

(料金:高い,時間:速い)→A, (料金:安い,時間:遅い)→B

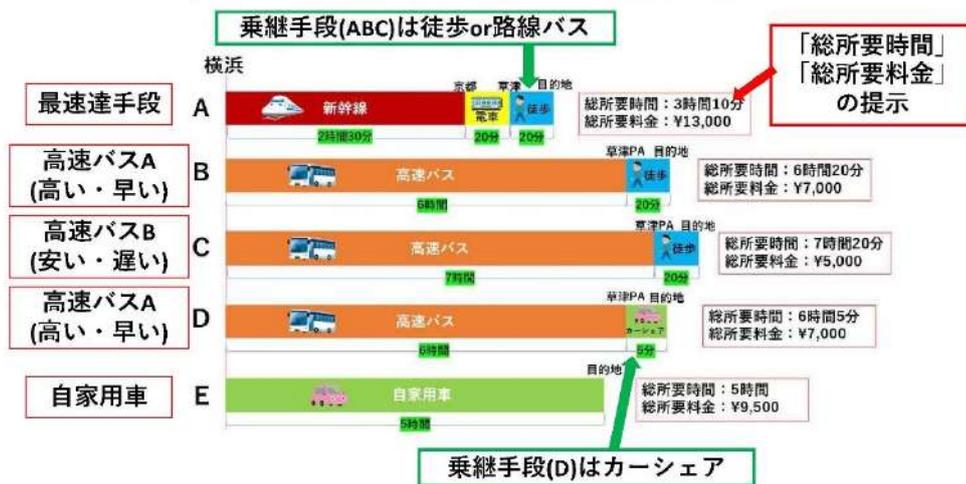
(イグレス手段)※下記表は組み合わせ

a)徒歩 b)路線バス c)カーシェア d)自家用車(直接)

	既存の最速達	高速バスA	高速バスB	高速バスA	自家用車
設問1(草津地区)		徒歩20分		カーシェア5分	自家用車(+0分)
設問2(大津・栗東地区)		路線バス30分		カーシェア20分	自家用車(+0分)
設問3(近江八幡・壱田地区)	路線バス60分		路線バス40分	カーシェア30分	自家用車(+15分)

SP調査に用いた図 (設問1の例)

以下の選択肢・図を用いてSP調査を行った

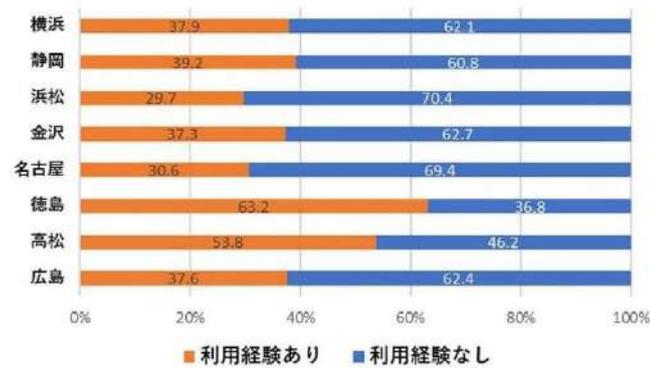


アンケート結果

◆サンプル数

横浜市	静岡市	浜松市	金沢市	名古屋市	徳島市	高松市	広島市
360	360	360	360	360	360	360	360

◆高速バス利用経験の有無（高速バスが選択肢集合に入る属性の割合）



アンケート結果

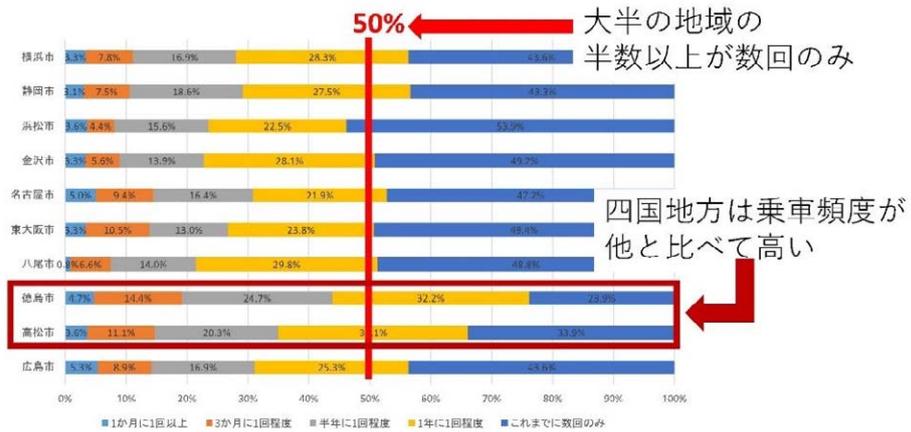
◆回答者の地域ごとの年齢分布



年代ごとに均等になるように調査を行った

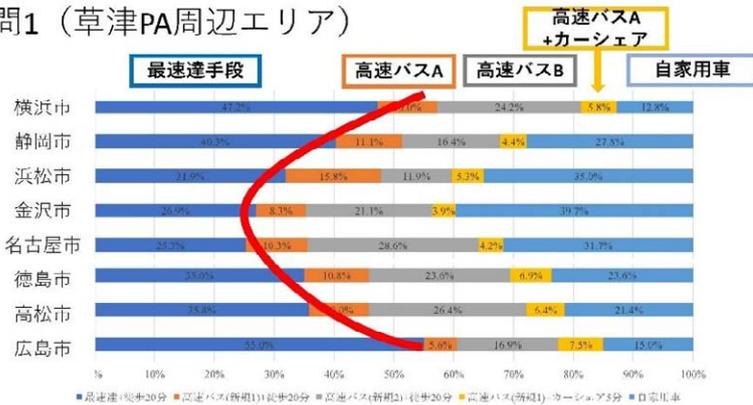
アンケート結果

◆高速バス乗車頻度



アンケート結果

◆設問1 (草津PA周辺エリア)

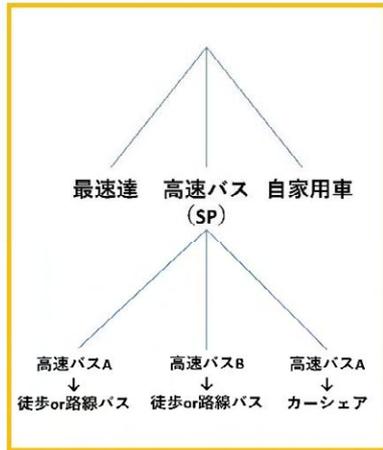


- 全体的に距離が遠いほど最速達手段を選択する傾向が高い。
- 新規高速バスでは安く・遅い方を選ぶ人が多い。時間よりも値段を重視。
- カーシェアを選ぶ人が全体的に少ない。アンケートより運転したくないからバスを選ぶという回答が多かったため。

需要推計 -パラメータ推定-

Nested Logit Modelを用いたモデル推計を実施

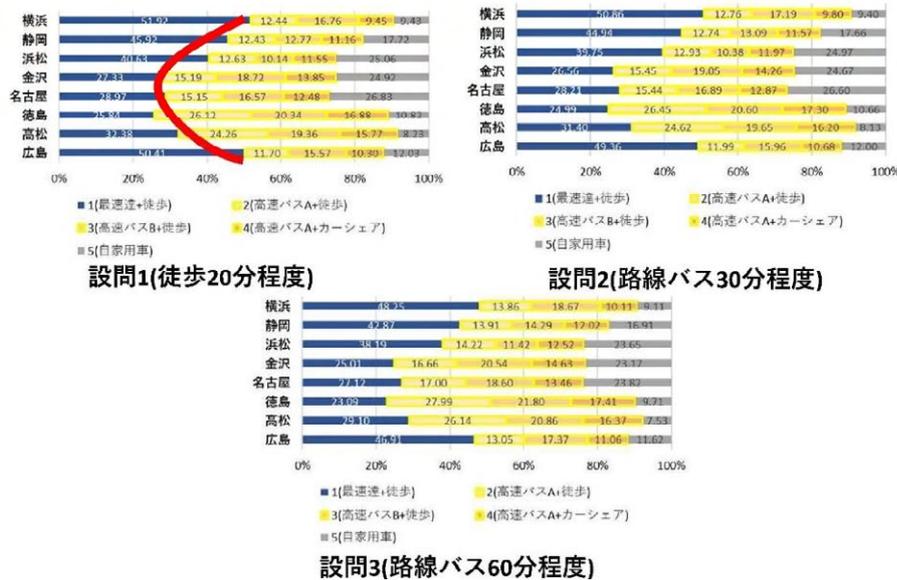
Nest構造は以下の通りにし、高速バスを含む選択肢をネスト構造として推定を行った。



	パラメータ	t値
所要時間/距離(最速達)	-1.138	-6.635
所要時間/距離(高速バス)	-0.808	-4.637
所要時間/距離(自家用車)	-0.844	-1.952
所要コスト(高速バス)	-0.207	-8.001
所要コスト(自家用車)	-0.285	-6.861
イグレス時間(最速達)	-0.002	-1.049
イグレス時間(高速バス)	0.002	1.579
性別ダミー(最速達)	-0.148	-3.074
性別ダミー(自家用車)	0.090	1.491
高速バス利用頻度ダミー(最速達)	0.239	3.800
高速バス利用頻度ダミー(自家用車)	-0.053	-0.840
若年層ダミー(最速達)	0.213	2.895
若年層ダミー(自家用車)	-0.041	-0.477
高齢者ダミー(最速達)	0.057	1.107
高齢者ダミー(自家用車)	0.061	0.897
新幹線停車ダミー(高速バス)	0.336	7.456
定数項(最速達)	-0.356	-1.273
定数項(自家用車)	1.044	2.318
スケールパラメータ	1.099	6.682

サンプル数：8640, 尤度比 : 0.033

需要推計 -選択確率-



モバイル空間統計分析

◆モバイル空間統計とは

-ドコモの携帯電話ネットワークの仕組みを使用して作られる統計情報、1時間ごとの人口を24時間365日把握できる

-全人口、男女年齢別、居住地の3種類データがある

◆分析期間

-コロナ禍前の2019年11月1日～30日

◆分析対象地

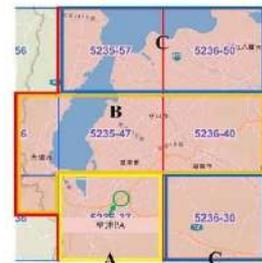
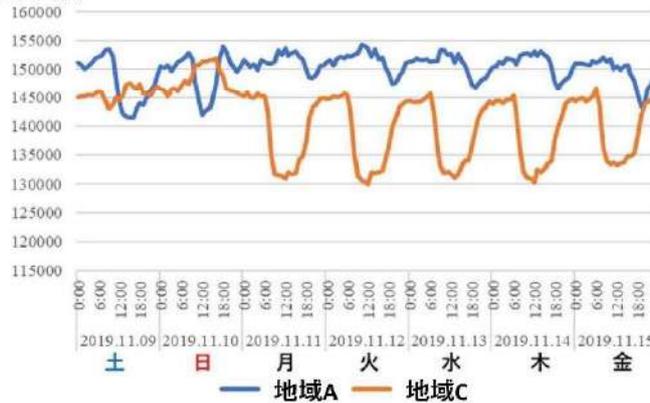
-SP調査に合わせて草津PAから路線バス60分以内を想定した地域を分析



赤枠：目的地対象エリア

モバイル空間統計の基礎分析

滞在人口



地域A
(南草津/石山エリア)
地域C
(堅田/近江八幡エリア)

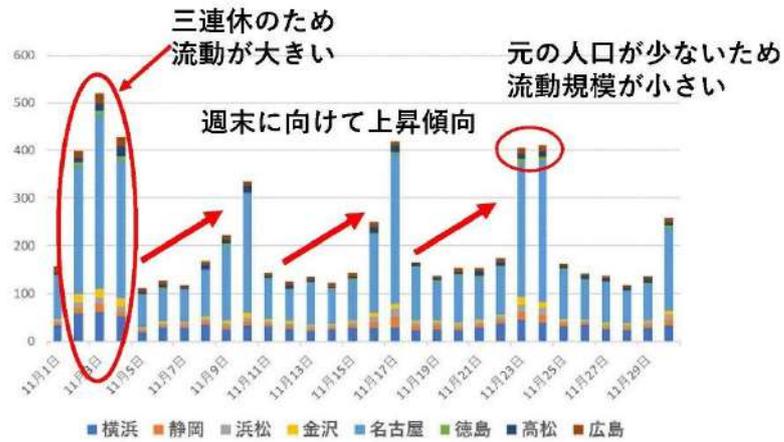
-地域Aは東レ・パナソニックなどがあり、京都/大阪のベッドタウンでもあり流出人口も多いが、流入してくる通勤者がいるため昼間人口が増加。

-地域Cは平日の昼間人口は京都/大阪のベッドタウンであるため減少。

-地域Cは八幡堀など観光資源があるため休日に人口増加に転じている。

需要推計 -月間変動-

- 遠距離地域は、週末を中心とした一定数の需要が見込める。
 - 近距離地域は、一週間を通してある程度の数字を見込める。
- 高速バスA(速達型)のサービスレベルが提供された際の月間需要予測値)

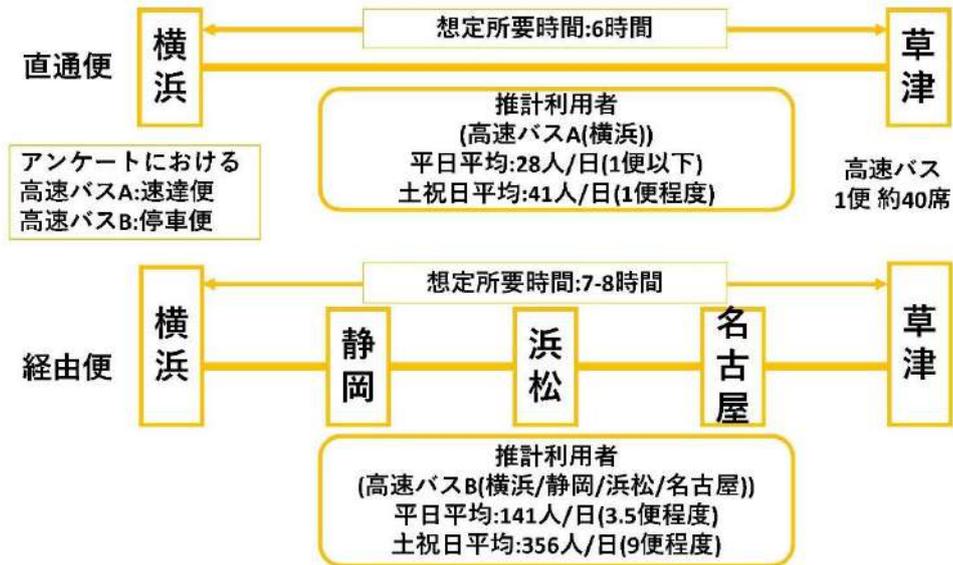


需要推計 -考察-

- 対象地の人口規模、滋賀県からの距離に利用客数が大きく影響している。
- 1日の平均需要と高速バスの一般的な定員(40名)を比較すると、**横浜市、名古屋市は週末を中心に1便以上を運行するだけの需要がある。**
- 需要推計結果より11月1か月の調査対象地の流入需要 $N_{month}^{in} = 6493$ 人となった。
- 8都市の総需要のみでバスタ新宿の年間利用者数の約0.5%に相当



直通便/経路便比較(関東/中部)



直行便/計便比較(四国)



まとめ

- アンケートを実施し高速バスの利用実態や意識を調査
- モバイル空間統計データを分析し滋賀県への流動を調査

◆結果

- 調査対象8都市から6000人/月程度の需要が見込め、既存の交通手段も含めた中で地域によっては半数程度のシェアを持つ可能性がある事が確認できた
- 地方部における高速鉄道ネットワークの優位性が低いエリアでは、十分な利用の転換が期待できることが確認できた

◆今後の展望

- 通勤・通学を含めた、日常トリップの分析が草津市の立地ポテンシャル面で重要となる。

参考文献

- 公益財団法人高速道路調査会 高速道路クオリティ研究部会 高速バスストップの今後のあり方に関する調査研究委員会、高速バスストップの今後のあり方に関する調査研究報告書, https://www.express-high-way.or.jp/Portals/0/images/research/document/kousokuBSreport_20210630.pdf
- 国土交通省, 各論点に係る検討状況, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/bustapi/pdf03/06.pdf>
- 日下部貴彦, 柳沼秀樹, 福田大輔, 高橋哲, 今健, 佐野薫, 野村紗希子: 高速道路のSA・PAでの高速バス乗継サービス展開に向けた乗客のバス選択行動の分析, 土木学会論文集D3 (土木計画学), 2020年75巻6号, p.I_369-I_377
- NTT docomo, モバイル空間統計, <https://mobaku.jp/>
- 公益財団法人日本バス協会: バス事業の現状について, 平成29年6月23日
<https://www.mlit.go.jp/common/001190066.pdf>

ご清聴ありがとうございました。

4.3 自主研究

4.3.1 プローブデータを活用した高速道路サグ・トンネル部の連続的交通容量推定

次頁以降に、研究発表資料を掲載する。

【以下、第5回委員会資料】

プローブデータを活用した 高速道路サグ・トンネル部の 連続的交通容量推定

高速道路調査会
2022年10月12日
和田健太郎（筑波大学）

*NEXCO総研，NEXCO中日本との共同研究成果をベースとしています

背景・動機

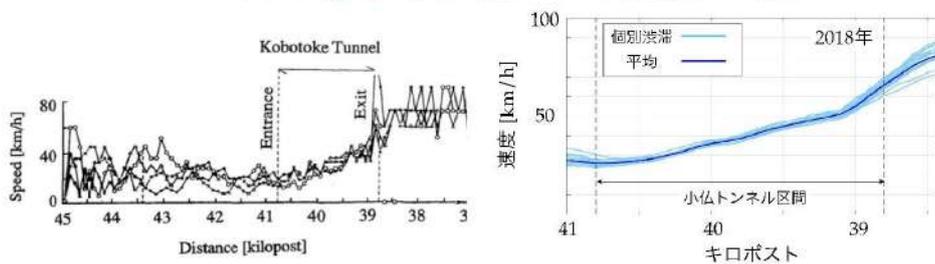
- 高速道路の単路部ボトルネック
 - 明確な道路幾何構造の変化はないにも関わらず，交通容量上のボトルネックである
 - 交通量を制約する真のボトルネック（渋滞先頭）地点は明白ではない

渋滞対策（走光型視線誘導システム等）の効果測定はできても，**その要因の特定や改善方向を見出す**のは難しい

背景・動機（つづき）

- 渋滞中の速度回復プロファイルの安定性（小仏TNの例）
 - 左図（越, 1986）：1つの渋滞内での安定性
 - 右図（和田ら, 2022）：異なる渋滞間での安定性

ボトルネック構造（交通容量の空間変化）を反映？



- 越正毅：高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集 IV-5 (371), 1-7, 1986
- 和田健太郎, 金崎圭吾, 西田匡志, 平井章一：音声による速度回復情報提供の交通性能改善メカニズムの実証分析, 交通工学研究発表会論文集 42, 505-512, 2022.

目的

- 渋滞中の安定的な速度回復プロファイルに基づく、サグ・トンネル部の連続的交通容量の推定
 - 交通容量変化と速度回復プロファイルの関係を記述するモデル（Jin, 2018; Wada et al., 2020）
 - 空間解像度の高いプローブデータと感知器を融合したモデルの推定（和田ら, 2022）

- Jin, W.-L.: Kinematic wave models of sag and tunnel bottlenecks, Transportation Research Part B: Methodological 107, 41-56, 2018.
- Wada, K., Martínez, I., Jin, W.-L.: Continuum car-following model of capacity drop at sag and tunnel bottlenecks, Transportation Research Part C: Emerging Technologies 113, 260-276, 2020.
- 和田健太郎, 邢健, 大口敬: 高速道路サグ・トンネル部における渋滞発生後捌け交通量の低下メカニズム, 交通工学論文集 8(3), 1-10, 2022.

交通容量変化と速度回復プロファイル の関係を記述するモデル

- Jin, W.-L.: Kinematic wave models of sag and tunnel bottlenecks, *Transportation Research Part B: Methodological* 107, 41–56, 2018.
- Wada, K., Martínez, I., Jin, W.-L.: Continuum car-following model of capacity drop at sag and tunnel bottlenecks, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 113, 260–276, 2020.

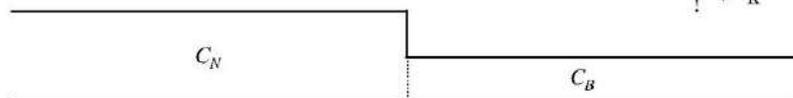
5

交通容量変化と渋滞中速度回復過程

(Jin, 2018; Wada et al., 2020)

- ポイントBN + 無限大加速度

交通容量



速度回復プロファイル



渋滞先頭

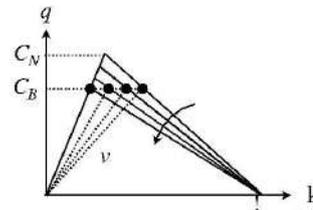
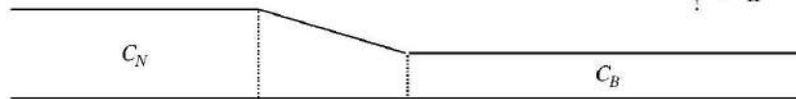
6

交通容量変化と渋滞中速度回復過程

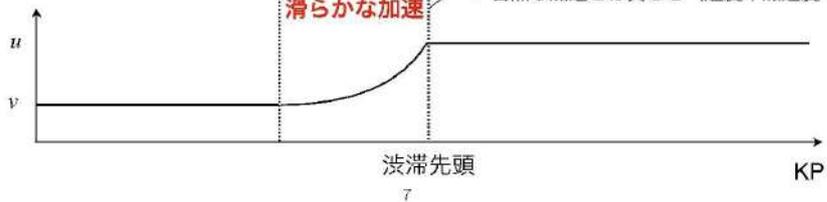
(Jin, 2018; Wada et al., 2020)

- 区間BN + 無限大加速度

交通容量



速度回復プロファイル



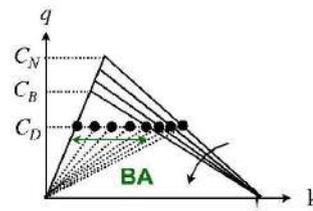
- 渋滞発生時交通量 = 渋滞中捌け交通量
- 自然な加速とは異なる (速度↑加速度↑)

交通容量変化と渋滞中速度回復過程

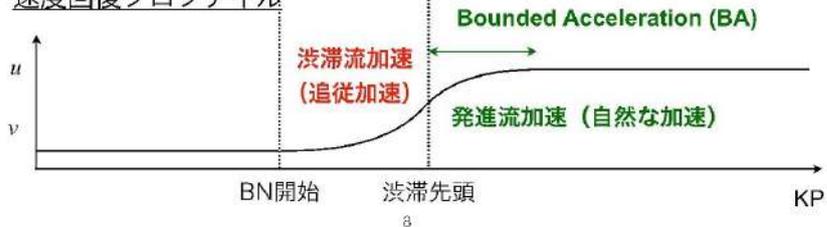
(Jin, 2018; Wada et al., 2020)

- 区間BN + 加速限界 (BA)
→ Capacity Drop (CD)

交通容量

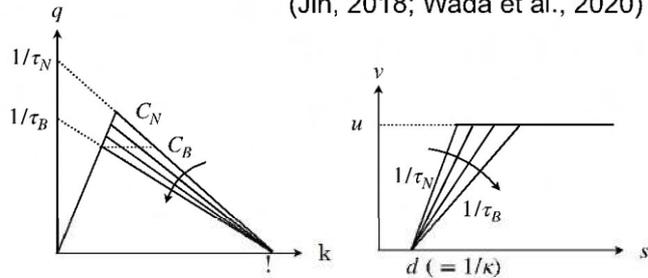


速度回復プロファイル



どういう運転挙動に対応するのか？

(Jin, 2018; Wada et al., 2020)



- **地点依存FD**

- 勾配変化に対する補償遅れによる無意識の速度低下
→ 緩慢な追従

- **Bounded Acceleration**

- 渋滞の先頭がわからない → 緩慢な加速

9

どういう運転挙動に対応するのか？

(Jin, 2018; Wada et al., 2020)

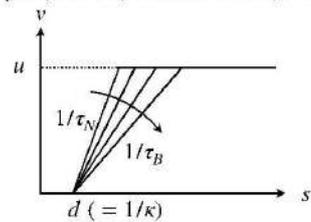
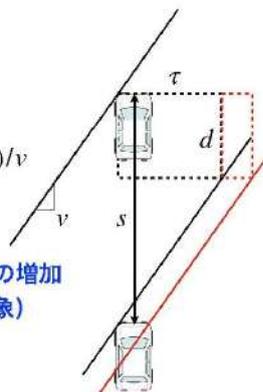
- 安全車間時間 τ 増加の
2つの効果

定常状態 (FD)

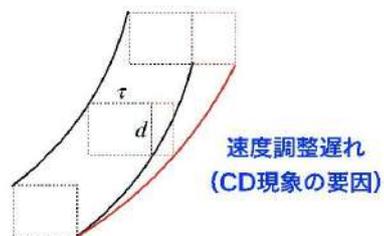
$$v = (s - d) / \tau$$

$$\Leftrightarrow \tau = (s - d) / v$$

車両の時空間間隔の増加
(ボトルネック現象)



動的状態 (Newellの追従モデル)



10

空間解像度の高いプローブデータと 感知器を融合したモデルの推定

- 和田健太郎, 邢健, 大口敬: 高速道路サグ・トンネル部における渋滞発生後捌け交通量の低下メカニズム, 交通工学論文集 8(3), 1-10, 2022.

11

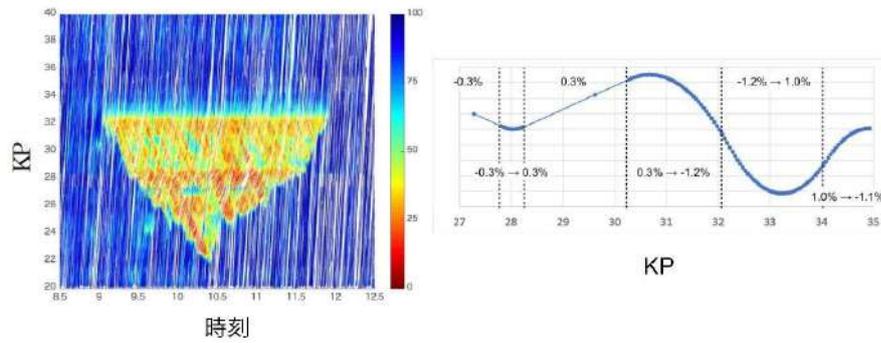
利用データと検証法

- 感知器データ
 - 渋滞時捌け交通量（全車線合計）の測定に利用
- ETC2.0データ
 - 渋滞時の平均速度回復プロファイルの測定に利用
- 検証
 - 定性的 | 平均速度回復プロファイルの凸凹パターンと追従/BA挙動
 - 定量的 | FD推定（交通容量）とBAモデル推定

12

対象渋滞イベント

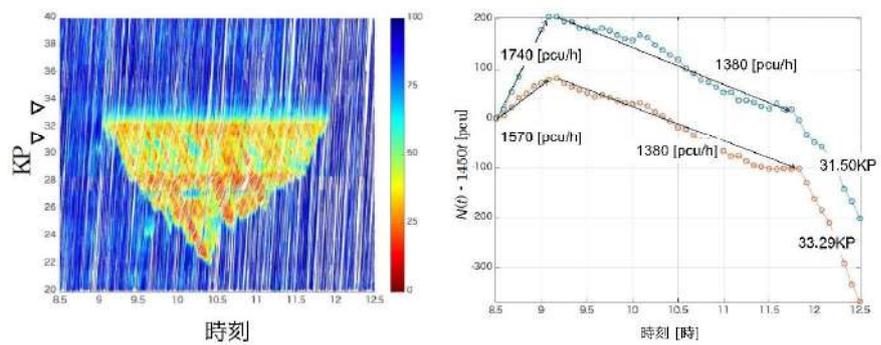
- 関越道下り（高麗川橋付近のサグ, 2018/08/19, Sun）



13

交通量の時間推移

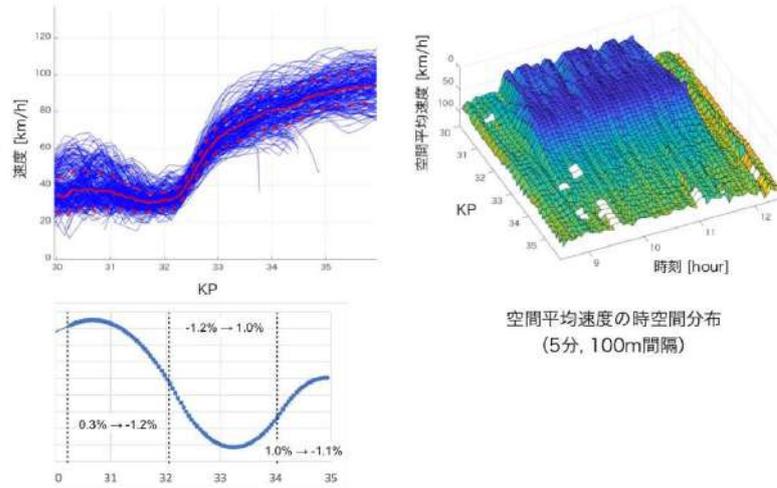
- 関越道下り（高麗川橋付近サグ, 2018/08/19, Sun）



14

速度回復プロファイル

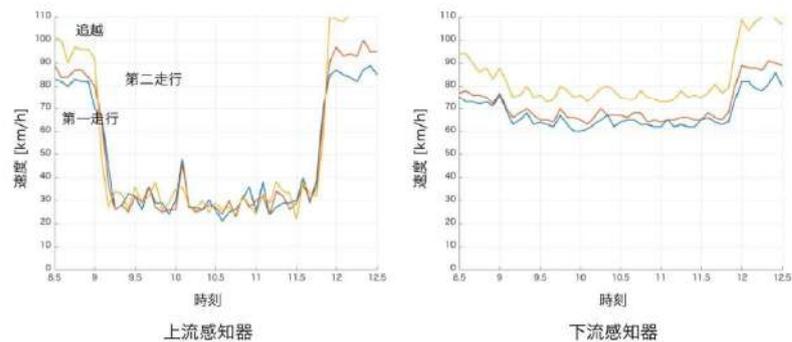
- 関越道下り（高麗川橋付近サグ, 2018/08/19, Sun）



15

凸凹パターン内の質的違い

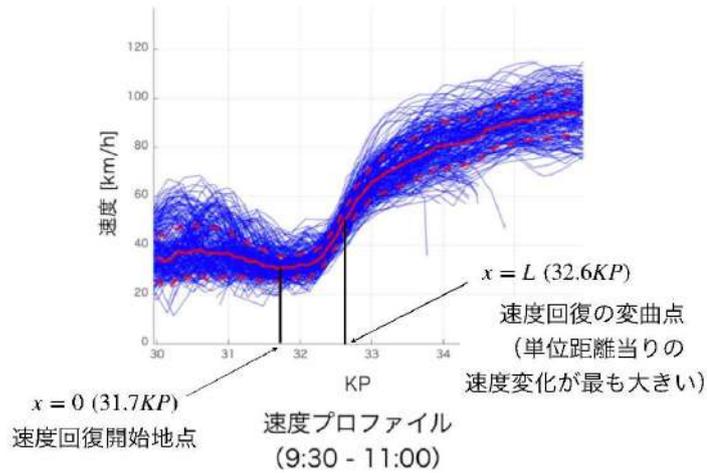
- Q. 実際に追従 & BA挙動が現実に見られるのか？
- A. 感知器からもその様子は伺える



16

連続的交通容量 (FD) 推定

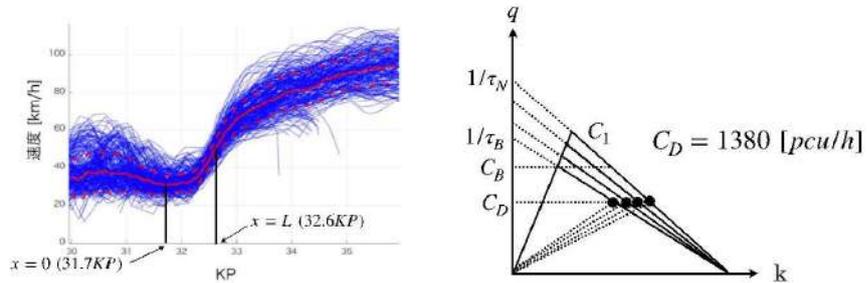
- Step 1: サグボトルネック区間の特定



17

連続的交通容量 (FD) 推定

- Step 2: サグボトルネック区間内の $\tau(x)$ の推定
 仮定: $u = 90$ [km/h], $\lambda = 1/d = 140$ [pcu/km]



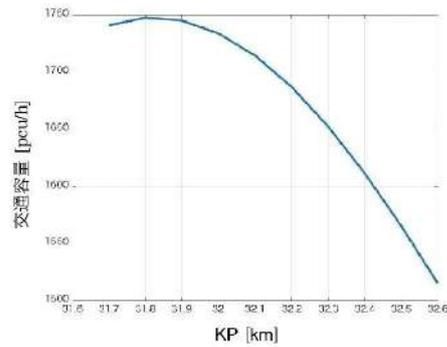
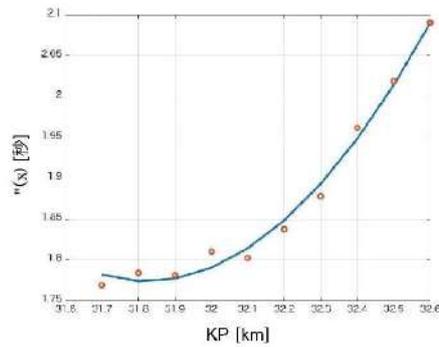
!

18

連続的交通容量 (FD) 推定結果

- Step 2: サグボトルネック区間内の $\tau(x)$ の推定

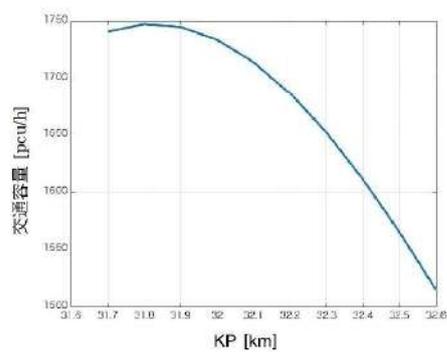
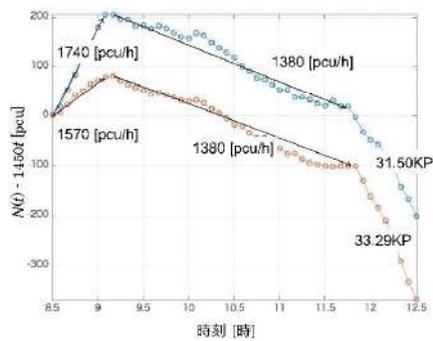
仮定: $u = 90$ [km/h], $\kappa = 1/d = 140$ [pcu/km]



19

推定交通容量の妥当性

- 交通 (FD) 容量の推定には**渋滞安定中のデータしか使っていない**にも関わらず渋滞発生時の交通量と整合



20

BAモデルの推定

- Step 3 : BAモデルのパラメータ a_0 の推定
 - $x = L$ では、運転挙動は**追従**かつ**BA**

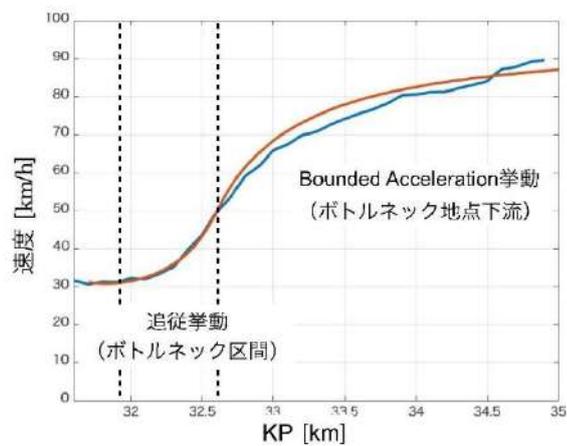
$$a^*(L) = \frac{(C^-)^3 \tau'(L)}{(1 - C^- \tau(L))^3 \kappa^2} = (a_0 - g\Phi(x))(1 - v^*(L)/u) \approx 0.287 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

- 数式の詳細は先の参考文献を参照

! 21

BAモデルの推定結果

- そこそこ再現性が高い



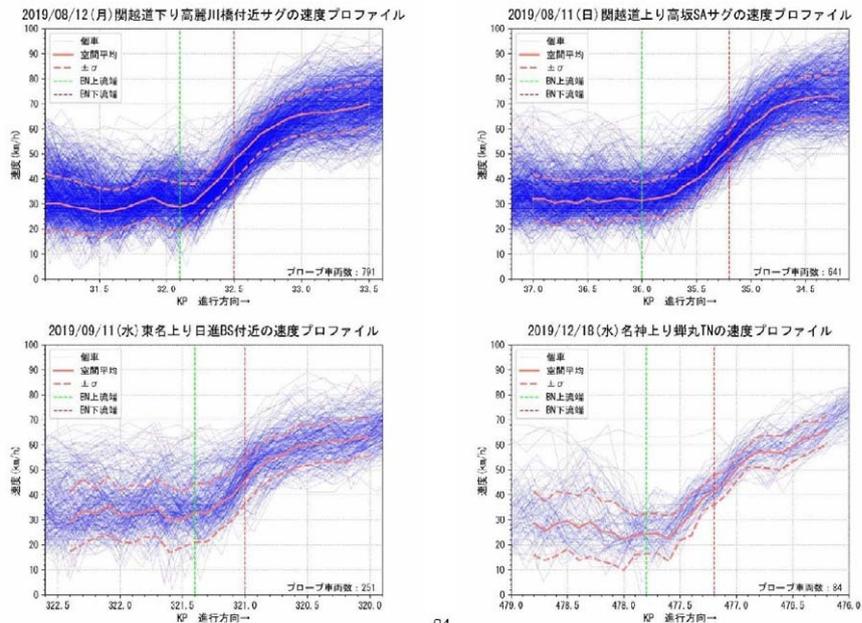
22

サグ・トンネルのどの区間が ボトルネックとなるのか？

- 甲斐慎一郎, 和田健太郎, 堀口良太, 那健: 連続体交通流理論に基づく国内複数のサグ・トンネルにおける交通容量低下の実証分析, 交通工学研究発表会論文集 42, 513-517, 2022.

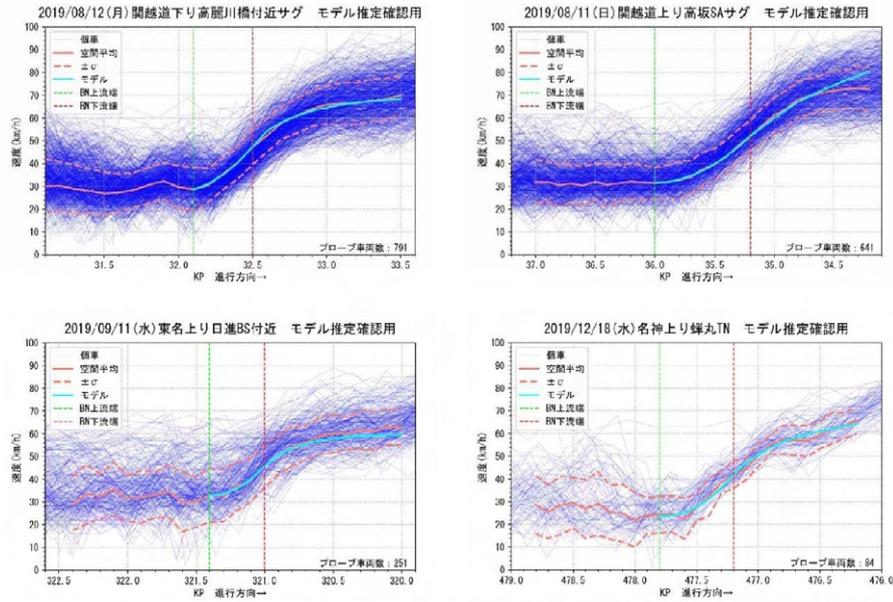
23

対象区間の渋滞中速度回復過程



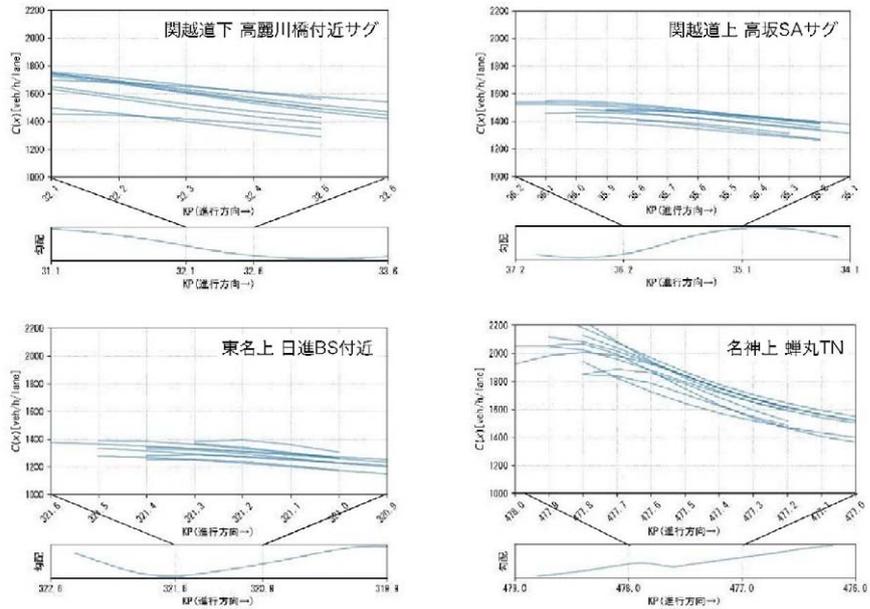
24

モデルのキャリブレーション



25

推定容量と道路勾配



26

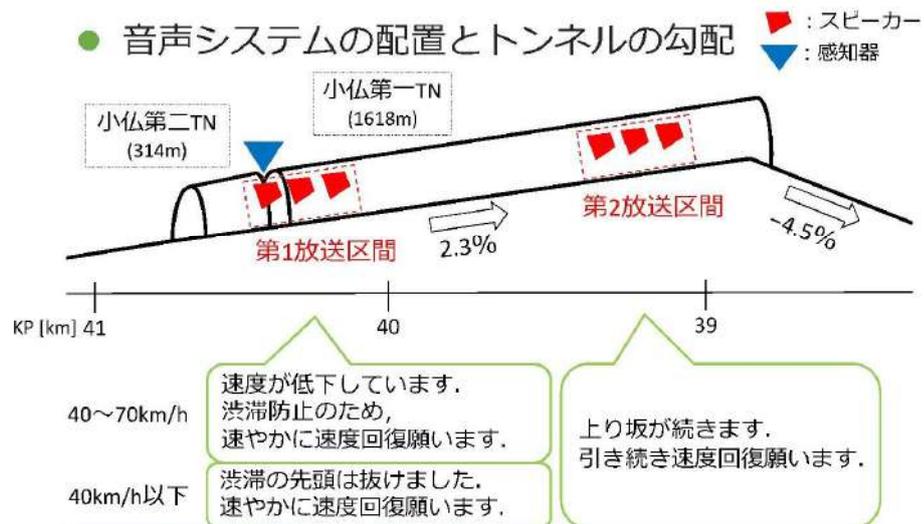
小仏TNの音声による速度回復情報 提供の効果発現メカニズム

- 和田健太郎, 金崎圭吾, 西田匡志, 平井章一: 音声による速度回復情報提供の交通性能改善メカニズムの実証分析, 交通工学研究発表会論文集 42, 505-512, 2022.

27

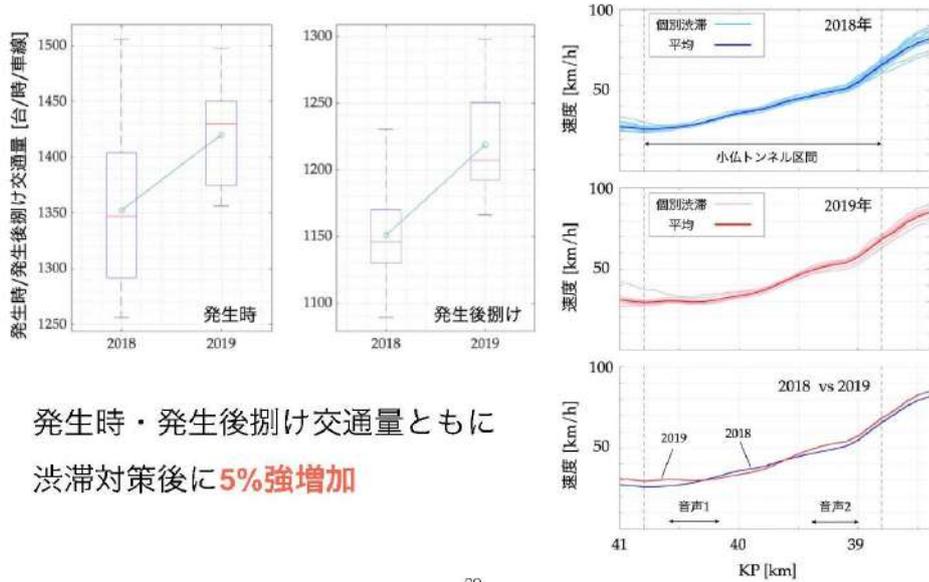
音声注意喚起システム

● 音声システムの配置とトンネルの勾配



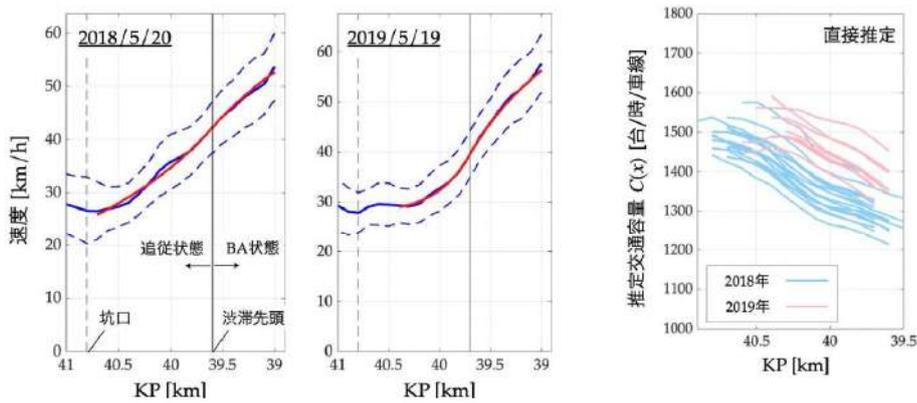
28

対策前後の交通状況変化



29

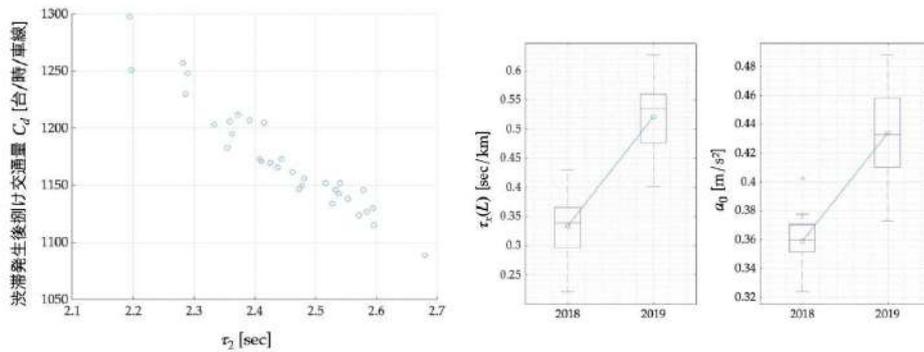
対策前後の（推定）交通容量変化



発生時の交通量の増加は、前半放送を受け、追従挙動が改善（より短い安全車間時間で走行）されたため

30

捌け交通量の増加メカニズム



- 発生後捌け交通量の増加も **車間時間短縮**で説明可
- 加速度上昇効果は **速度調整遅れの増加効果**で相殺

31

実証分析 渋滞後捌け交通量改善の可能性



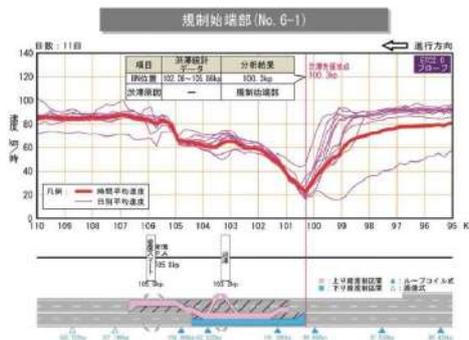
- 渋滞後捌け交通量改善の可能性
 - 前半の放送内容の改善
 - ドライバーに **渋滞の先頭を正しく認識**させることで、トンネル中間（放送区間外）での速度回復遅れを回避
 - 速度調整の悪化を防げば理論上**2.3%**のさらなる改善が可能

おわりに

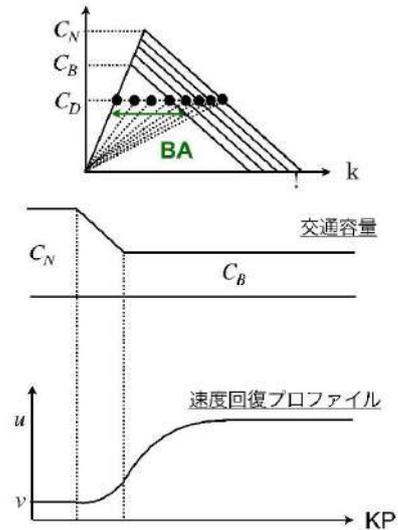
- 渋滞中の安定的な速度回復プロファイルに基づく、
サグ・トンネル部の連続的交通容量の推定
 - 交通容量変化と渋滞中速度回復過程の関係 & プローブデータと感知器を融合したモデルの推定
- 応用分析
 - 単路部区間のどこがBNとして顕在化するかはまちまち
 - BN位置の明確化に基づく渋滞対策効果の評価

33

[付録] リニューアル工事に応用可能？



- テーパー部 (BN) と交通容量の関係



- 図の出典：山本隆ら：都市間高速道路における対面通行規制時の交通容量に関する基礎分析，交通工学研究発表会論文集 42, 427-434, 2022.

34

参考文献 (登場順)

- 越正毅：高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, IV-5 (371), 1-7, 1986
- 和田健太郎, 金崎圭吾, 西田匡志, 平井章一：音声による速度回復情報提供の交通性能改善メカニズムの実証分析, 交通工学研究発表会論文集 42, 505-512, 2022.
- Jin, W.-L.: Kinematic wave models of sag and tunnel bottlenecks, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.107, pp.41-56, 2018.
- Wada, K., Martínez, I., Jin, W.-L.: Continuum car following model of capacity drop at sag and tunnel bottlenecks, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.113, pp.260-276, 2020.
- 和田健太郎, 邢健, 大口敬: 高速道路サグ・トンネル部における渋滞発生後捌け交通量の低下メカニズム, 交通工学論文集, Vol.8, No.3, pp.1-10, 2022.
- 甲斐慎一郎, 和田健太郎, 堀口良太, 邢健: 連続体交通流理論に基づく国内複数のサグ・トンネルにおける交通容量低下の実証分析, 交通工学研究発表会論文集 42, 513-517, 2022.
- 山本隆ら：都市間高速道路における対面通行規制時の交通容量に関する基礎分析, 交通工学研究発表会論文集 42, 427-434, 2022.