

ETC2.0プローブ情報を活用した渋滞 要因分析システムの開発に関する研究

一般道における渋滞要因分析を主として

第17回新都市社会技術セミナー
2020年9月28日

プロジェクトリーダー
宇野伸宏（京都大学大学院）

背景とねらい

(本研究全体について)

背景

●ビッグデータに基づく渋滞現象の理解

- 交通渋滞は昔も今も存在し、その対策の重要性は変わらない。
- 時々刻々と収集・蓄積される情報(ビッグデータ)は、そこにある渋滞を“理解”し、**効果的な対策を立案・実施**するために有効と考えられる。

課題

●ビッグデータの活用シーンの拡大

- データの**価値は蓄積と活用**の両方から生まれる。
道路管理者のしごとに役立つような活用方法を構築することが重要である。
例) 渋滞対策の立案における参考事例の探索、対策に伴う効果・課題の共有など。
- データの集計分析のプロセスを有用な形で実装することも重要である。
 - 周辺データ(道路構造・交通事故・大規模イベント・天気など)の統合や融合
 - ビッグデータ分析に適したプラットフォームの活用

目的

●ビッグデータによる**渋滞要因分析**

- **ETC2.0プローブ情報**等の集計分析に基づき、渋滞の要因を探る。

●**渋滞要因分析システム**の構築・**実装**と活用

- 渋滞についての理解を進化させ、対策案を含めて共有するしくみを作る。

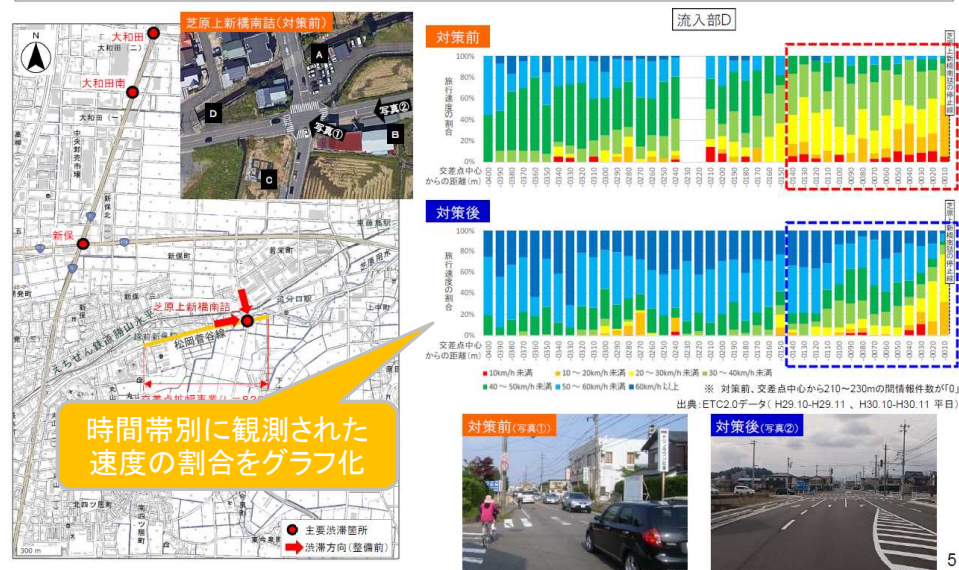
渋滞状況把握のための分析事例②

- 速度低下箇所における詳細な速度変化の状況を捉えるため、コンター図や速度構成グラフ等が用いられている。

帯グラフによる時間帯別速度構成の把握

3. 実施済み対策の効果検証 速報値（松岡菅谷線）

平成30年9月に、松岡菅谷線の交差点拡幅事業が完了。
交差点拡幅により、芝原上新橋南詰交差点の流入部Dは、速度向上が見られた。



(資料)平成30年度 第2回福井県渋滞対策協議会

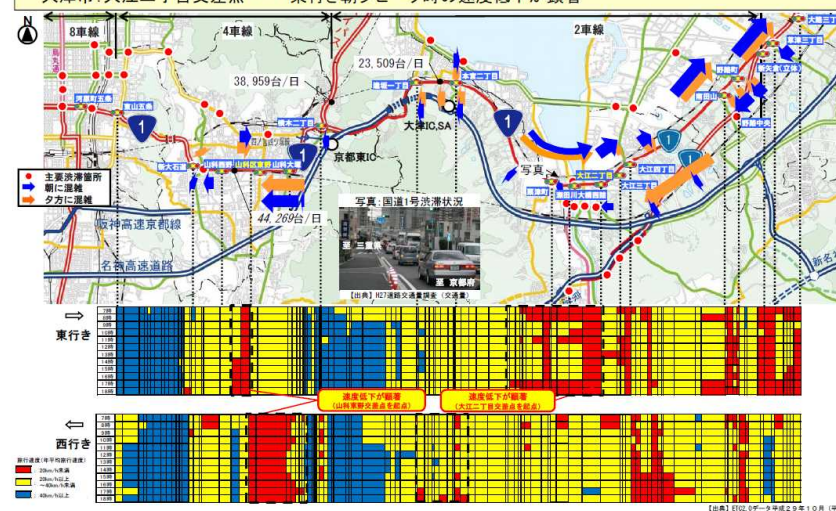
- ・ 指定した区間において、観測された速度帯の構成を時間帯別に集計したもの。
- ・ 速度帯の構成変化を示すことにより、対策実施前後のより詳細な速度改善状況を捉えることができる。

コンター図を使った速度の時空間変化の把握

1. 大津南部地域・京都都市圏東部エリアの現状【路線の旅行速度】

資料3

○国道1号には主要渋滞箇所が複数選定され速度低下区間が存在
山科区:山科東野交差点……慢性的渋滞、西行きにおいて速度低下区間が長い
大津市:大江二丁目交差点……東行き朝夕ピーク時の速度低下が顕著



(資料)平成30年度 第2回京都府域渋滞対策協議会

- ・ 速度低下の場所と時間を捉えることのできるコンター図による評価は、実務でもよく使われている。

渋滞要因分析の高度化の必要性（本研究の位置づけ）

- 渋滞要因を定量的に捉え、原因を明確にすることにより、よりの確な対策検討が期待できる。
- ETC2.0等をはじめとする交通流ビックデータの蓄積
- ビッグデータを活用したAI・機械学習による予測モデリング技術の進歩
→予測性能の高い(=“あたる”)モデルの開発が容易になった。
- 要因分析の立場からは、“あたる”だけではなく、なぜあたるのか？をわかることも重要
→伝統的な統計解析モデルによる渋滞要因分析も必要ではないか？

渋滞対策検討の流れ

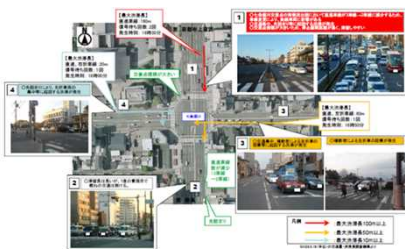
渋滞状況の把握(現況把握)

・速度低下の場所、時間帯等を把握

使用データ:ETC2.0、各種調査データ

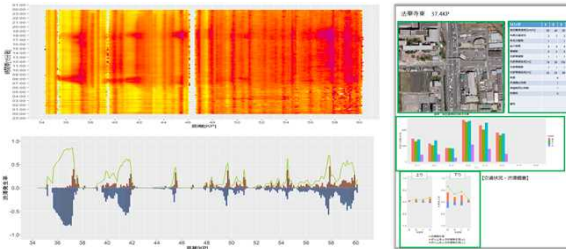
渋滞発生要因の分析

実務(現状)



- ・主に特定した速度低下箇所における交差点形状や沿線施設出入状況の現地確認等による要因の把握

本研究



- ・渋滞状況の詳細な分析を行うとともに、ETC2.0プローブデータや各種データを統合したデータを活用し、統計解析モデルやAI等による定量的な要因分析を実施

根拠付け

渋滞対策案の検討

今回の報告内容

- ・渋滞状況の詳細な分析を行うとともに、ETC2.0プローブデータや各種データを統合したデータを活用し、統計解析モデルによる要因分析を実施。
- ・速度変化に寄与するいくつかの要因を把握。

	Estimate	Std. Error	VIF	t value	Pr(> t)	codes
(Intercept)	1.113652	0.293909		3.789	0.000456 ***	
リンク1規制速度	-0.01239	0.003776	1.379495	-3.282	0.002026 **	
リンク1右折車線	-0.18519	0.051746	1.891949	-3.579	0.000855 ***	
リンク1左折車線	-0.11732	0.068439	1.386061	-1.714	0.093525 .	
リンク2右折車線	0.104057	0.041539	1.800627	2.505	0.016019 *	
リンク2横断歩道橋	0.542171	0.095786	1.152507	5.66	1.06E-06 ***	
リンク4車線数	0.163217	0.032982	2.170550	4.949	1.14E-05 ***	
リンク4右折車線	-0.09884	0.046044	1.979428	-2.147	0.037385 *	
リンク1交差道路	0.306072	0.131655	1.109574	2.325	0.02476 *	
交差点流入リンク数	-0.09216	0.055325	1.497259	-1.666	0.102868	

(回帰モデルによる分析結果)

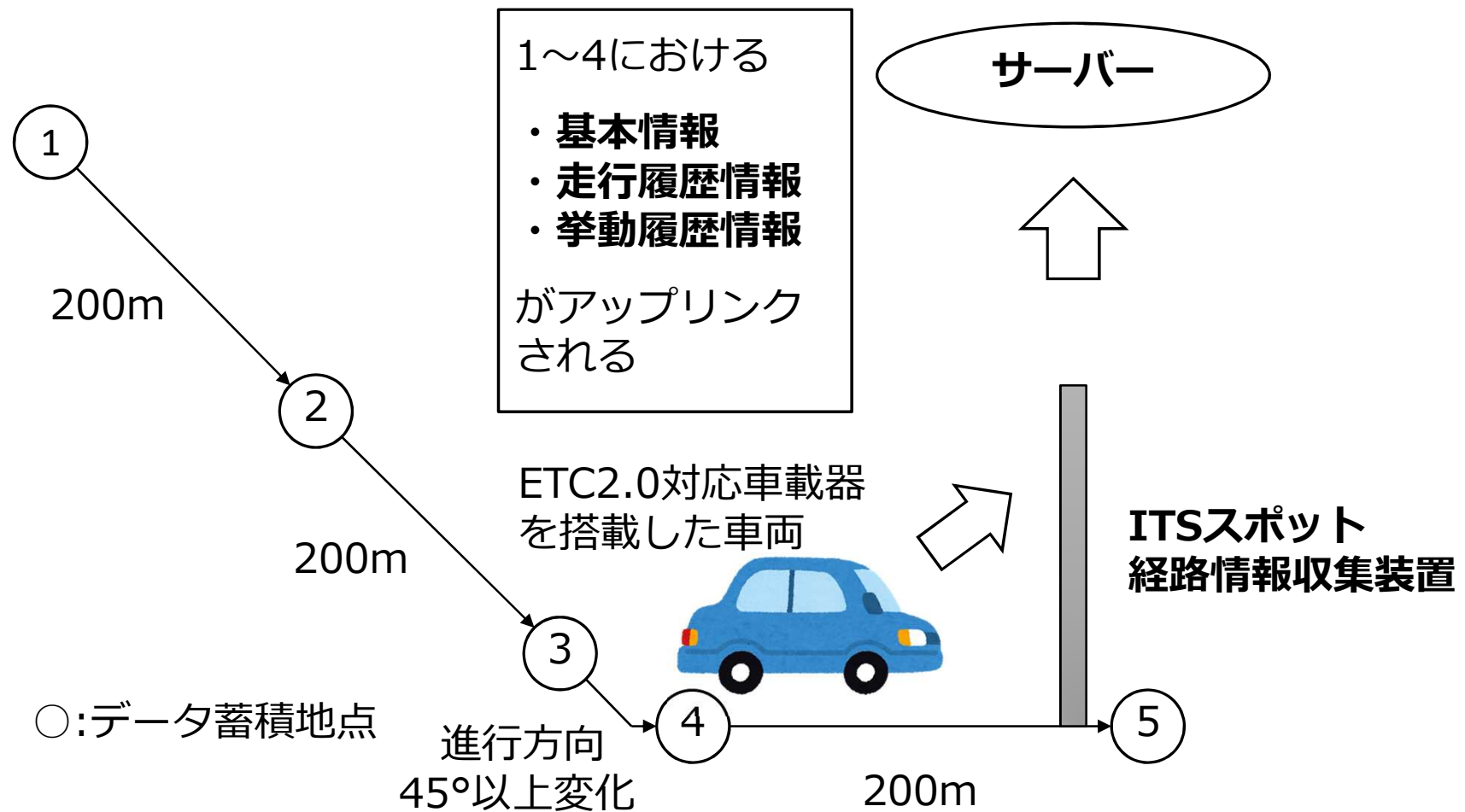
渋滞要因分析の目的

- ✓ ETC2.0プローブデータを用いて一般道における渋滞のメカニズムを理解し、その要因を分析
- ✓ ビッグデータの一つであるETC2.0を他種データと統合することにより、将来的な渋滞要因分析システムの構築に貢献

ETC2.0プローブデータを用いた渋滞要因分析の先行研究例

- ✓ 増本ら(2016)
ETC2.0を用いて高速道路における速度低下要因分析を行い、上り勾配の大きさと継続距離、分合流地点の交通流の影響を明らかにした.
- ✓ 加藤ら(2017)
ETC2.0を用いて一般道におけるボトルネック箇所とその影響範囲を評価する手法を提案した.
- ☆ 一般道における渋滞要因分析を行った研究例は少ない

ETC2.0プローブデータの概要



分析対象区間 / 使用データ

- 国道24号を対象

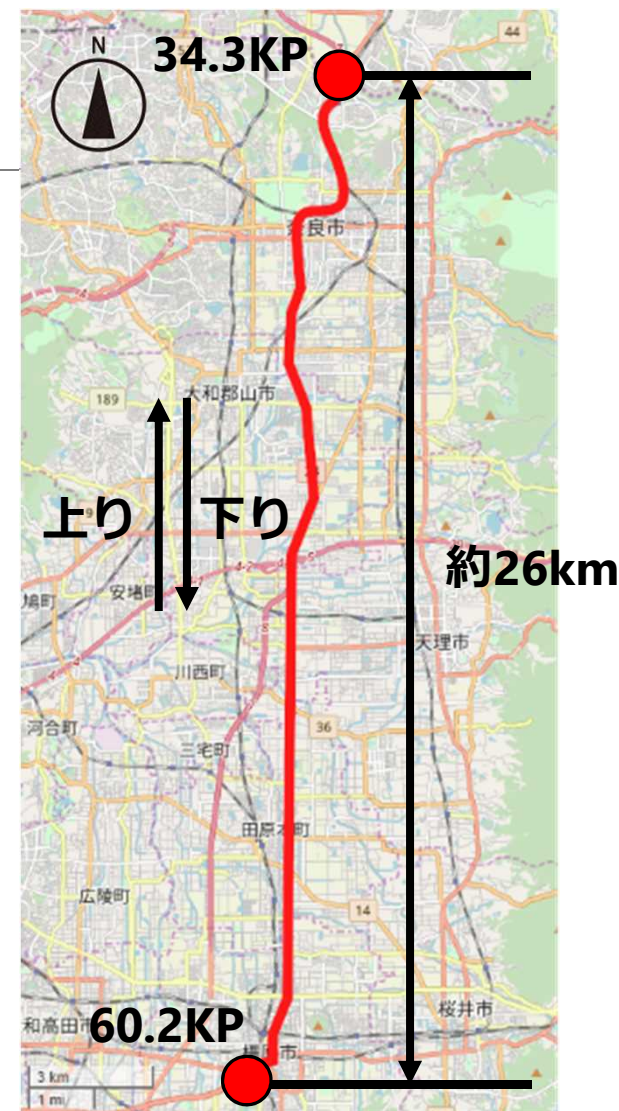
奈良県における南北交通の要衝

東西方向の主要道路との交差点にて
渋滞頻発

【使用データ】 ETC2.0プローブデータ

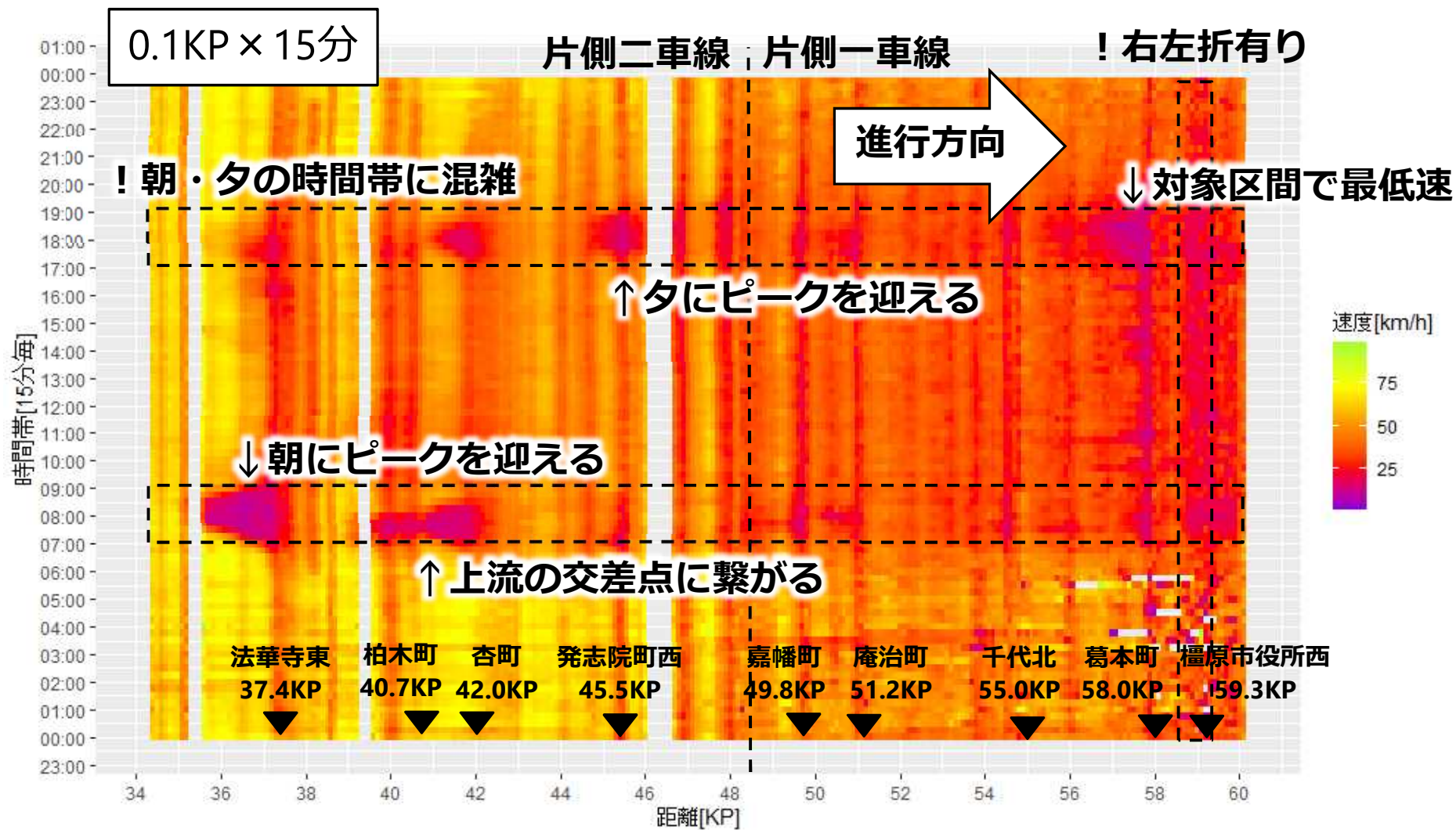
【期間】 2018/10/01～2018/10/31

【件数】 約320万件

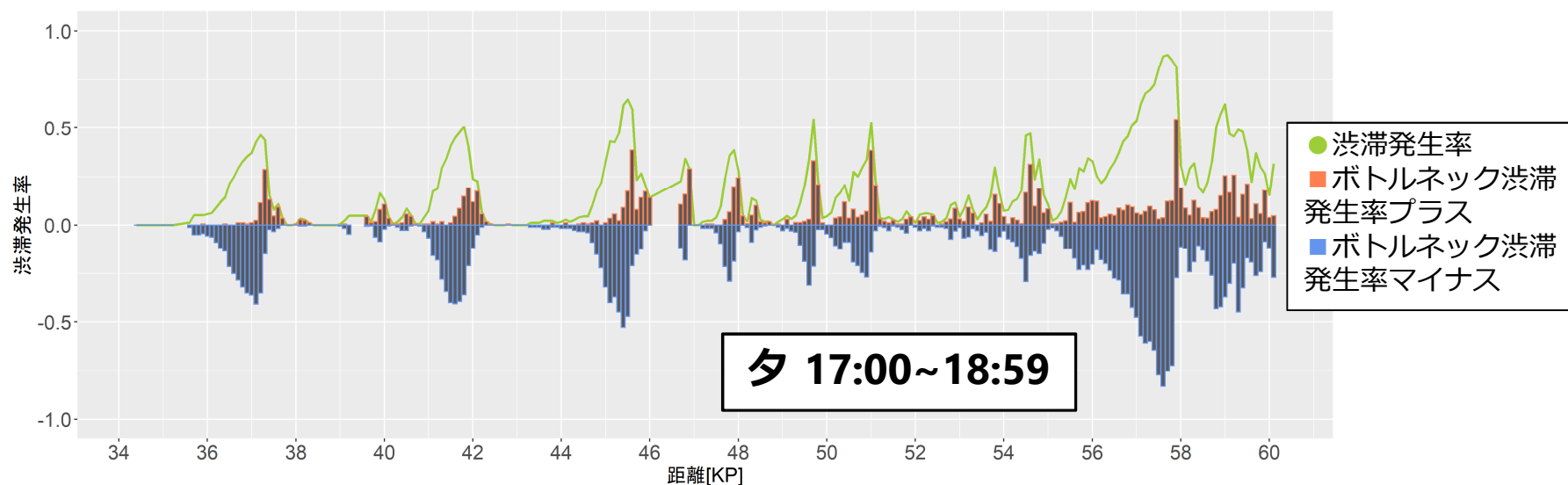
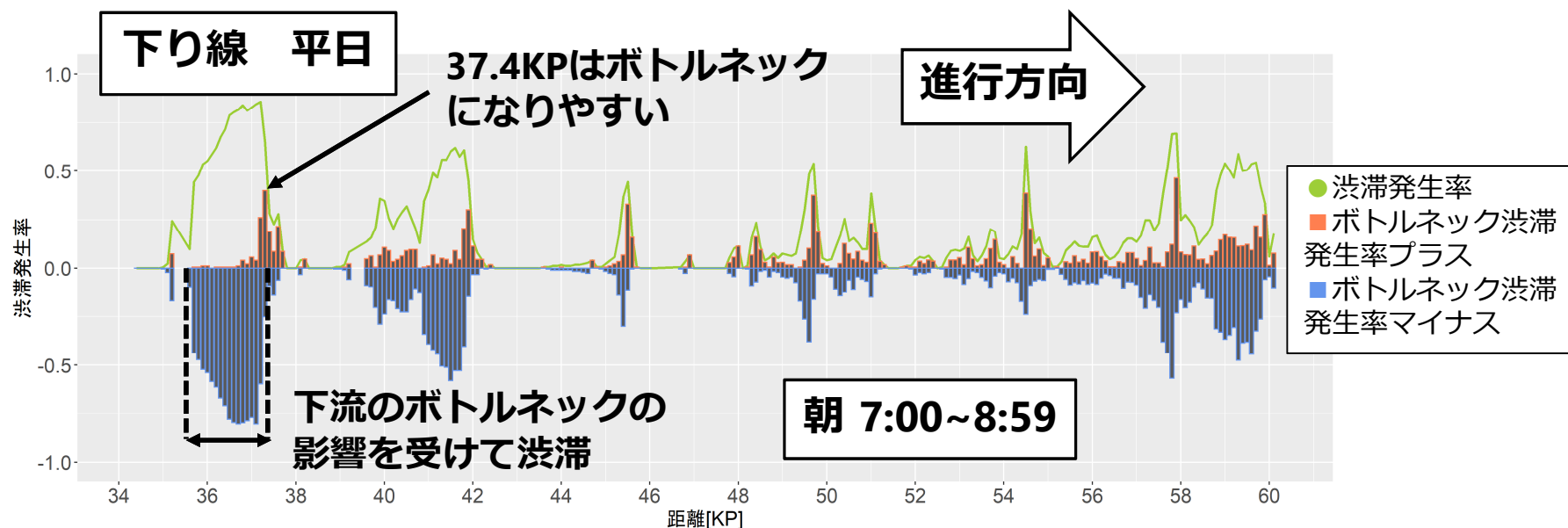


©OpenStreetMap

平均速度コンター図(下り線 / 平日)



ボトルネック渋滞発生率の図示



交差点構造に関する考察 – 交差点カルテの作成

渋滞解消？

- 車線の増設
- 右折専用車線の設置

渋滞悪化？

- 交差道路の規模
- 沿道利用
- 側道からの合流

交差点カルテから読み取れる要因候補と渋滞発生率・ボトルネック渋滞発生率との関係を重回帰分析

交差点カルテ (例)

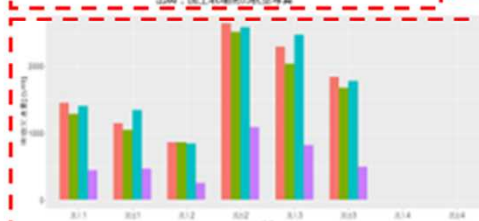
交差点名称 キロポスト

交差点番号

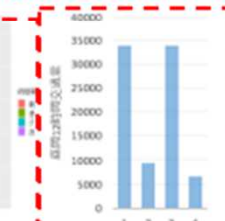


リンク別
交差点構造
に関する
各指標

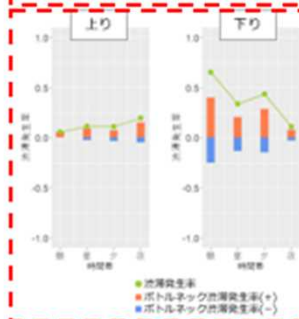
リンク別
平日
時間帯毎の
断面交通量
(トラカン)



リンク別
昼間12時間
交通量
(センサス)



上り下り別
平日
時間帯毎の
渋滞発生率



【交通状況・渋滞概要】
下り方面はボトルネックになりやすい
特に朝の時間帯は渋滞しやすい
リンク2に歩道橋がかかっているのはここだけ
南から流入する車両、東へ流出する車両数が多い
東へ約150m進んだところに奈良線の踏切があり、
渋滞発生に影響を及ぼしている可能性

重回帰分析の結果 I

1：当該区間（進行方向）に関する指標

2,4：交差道路（東/西）に関する指標

標準化偏回帰係数 / ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, .p<0.10

下り線/平日	従属変数：渋滞発生率			従属変数：ボトルネック渋滞発生率プラス		
	朝	昼	夕	朝	昼	夕
(定数)	-1.34E-15***	-4.98E-16***	-4.02E-16***	-8.62E-16***	-5.36E-16***	-7.51E-16**
昼間12時間交通量1	-0.306*	-0.335*	-0.596***			
指定最高速度1		-0.382*		-0.451**	-0.635***	-0.414**
右折車線数1	-0.301*	-0.187				
左折車線数1	-0.293*					
右折車線数2	0.304.					
歩道橋2	0.542***	0.231*	0.278*	0.445***	0.19.	0.296*
車線数4	0.377*	0.471***		0.395**	0.541***	0.45**
右折車線数4	-0.311.					
合流1	0.268*		0.249.	0.314*		0.159
角地利用12		0.171			0.255*	0.286*
角地利用41			0.248.			
R^2値	0.5237	0.6588	0.3519	0.4653	0.6142	0.5633
自由度調整済みR^2値	0.4148	0.6035	0.2855	0.4105	0.5747	0.4784
AIC	-163.66	-200.91	-140.52	-209.85	-243.48	-218.2

重回帰分析の結果 I

1：当該区間（進行方向）に関する指標

2,4：交差道路（東/西）に関する指標

標準化偏回帰係数 / ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, .p<0.10

下り線/平日	従属変数：渋滞発生率			従属変数：ボトルネック渋滞発生率プラス		
	朝	昼	夕	朝	昼	夕
(定数)	-1.34E-15***	-4.98E-16***	-4.02E-16***	-8.62E-16***	-5.36E-16***	-7.51E-16**
昼間12時間交通量1	-0.306*	-0.335*	-0.596***			
指定最高速度1		-0.382*		-0.451**	-0.635***	-0.414**
右折車線数1	-0.301*	-0.187		右折専用車線・左折専用車線の設置により 渋滞発生しにくくなる可能性		
左折車線数1	-0.293*					
右折車線数2	0.304.			交差道路の規模が大きいほど渋滞発生 しやすくなる傾向		
歩道橋2	0.542***	0.231*	0.278*			
車線数4	0.377*	0.471***		0.395**	0.541***	0.45**
右折車線数4	-0.311.					
合流1	0.268*		0.249.	0.314*		0.159
角地利用12		0.171		合流によって交通流が阻害 されている可能性		
角地利用41			0.248.			
R^2値	0.5237	0.6588	0.3519	0.4653	0.6142	0.5633
自由度調整済みR^2 値	0.4148	0.6035	0.2855	0.4105	0.5747	0.4784
AIC	-163.66	-200.91	-140.52	-209.85	-243.48	-218.2

重回帰分析の結果 I (続き)

1：当該区間（進行方向）に関する指標

2,4：交差道路（東/西）に関する指標

標準化偏回帰係数 / ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, .p<0.10

下り線/平日	従属変数：渋滞発生率			従属変数：ボトルネック渋滞発生率プラス		
	朝	昼	夕	朝	昼	夕
(定数)	-1.34E-15***	-4.98E-16***	-4.02E-16***	-8.62E-16***	-5.36E-16***	-7.51E-16**
昼間12時間交通量1	-0.306*	-0.335*	-0.596***			
指定最高速度1		-0.382*		-0.451**	-0.635***	-0.414**
右折車線数1	-0.301*	-0.187				
左折車線数1	-0.293*					
右折車線数2	0.304.					
歩道橋2	0.542***	0.231*	0.278*	0.445***	0.19.	0.296*
車線数4	0.377*	0.471***		0.395**	0.541***	0.45**
右折車線数4	-0.311.					
合流1	0.268*		0.249.	0.314*		0.159
角地利用12		0.171			0.255*	0.286*
角地利用41			0.248.			
R^2値	0.5237	0.6588	0.3519	0.4653	0.6142	0.5633
自由度調整済みR^2値	0.4148	0.6035	0.2855	0.4105	0.5747	0.4784
AIC	-163.66	-200.91	-140.52	-209.85	-243.48	-218.2

対象区間に歩道橋2は一箇所のみ
その他の条件を代替するダミー変数？

当該区間の道路サービス水準が高いほど渋滞しにくい？

沿道利用があると渋滞しやすい傾向

現時点のまとめと課題

- 渋滞要因分析からいくつかの知見が得られている。例えば,
 - ・対象の道路規模が大きい(幹線性が高い)ほど, 渋滞抑制の傾向,
 - ・右左折専用車線の設置は, 当該道路の渋滞発生を抑える可能性,
 - ・自動車アクセス可能な商業施設等が交差点近傍にある場合, 渋滞発生の傾向 などである。
- 渋滞要因分析モデルとしては, その説明力の面で改善の余地が残る
 - ⇒ 分析モデルの精度向上を目指し, 機械学習的アプローチも採用
 - ⇒ 渋滞要因の理解という点で, 解釈が容易であることも重要

改善の方向性1:ハイブリッド型樹木法による渋滞要因分析

【背景】

ディープラーニングやSVM等の精度の良い機械学習による手法は、渋滞要因の解釈の点では難あり。

精度こそ低いが説明可能性の高い決定木や回帰分析等の古典的な手法が用いられている

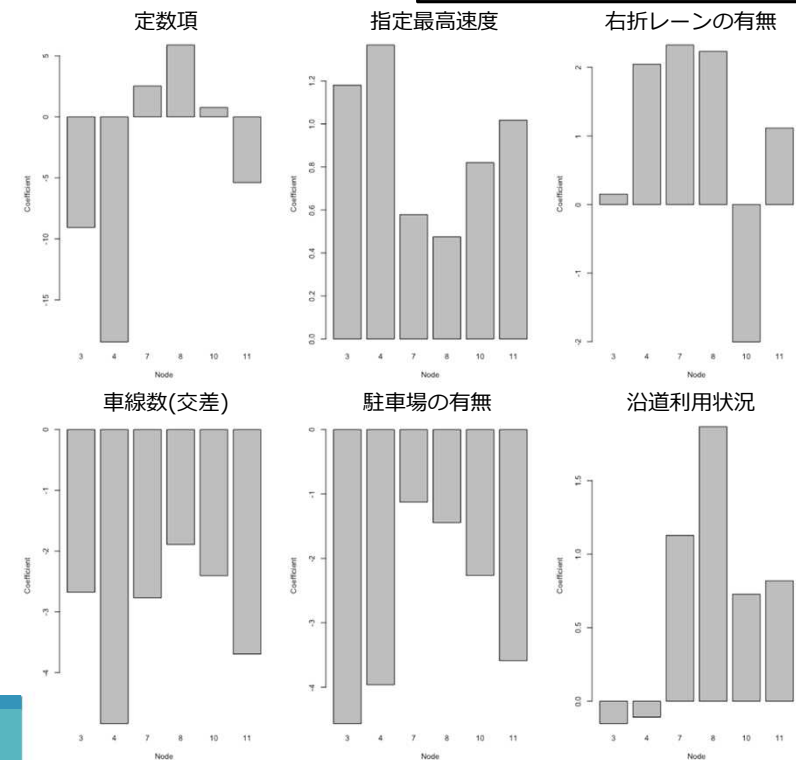
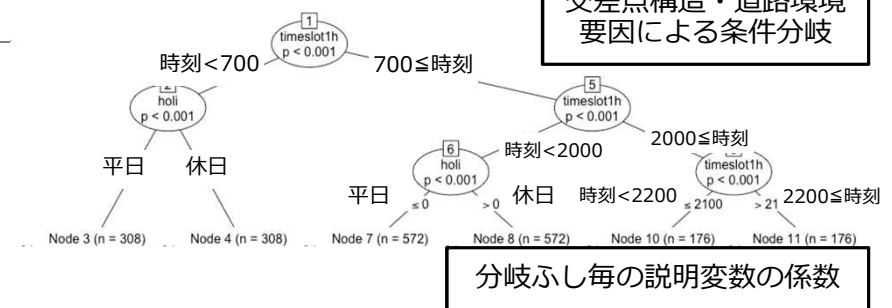
➤これらを組み合わせて精度が良く説明可能なモデルが推定できないか？

➤ハイブリッド型樹木法を提案

【特徴】

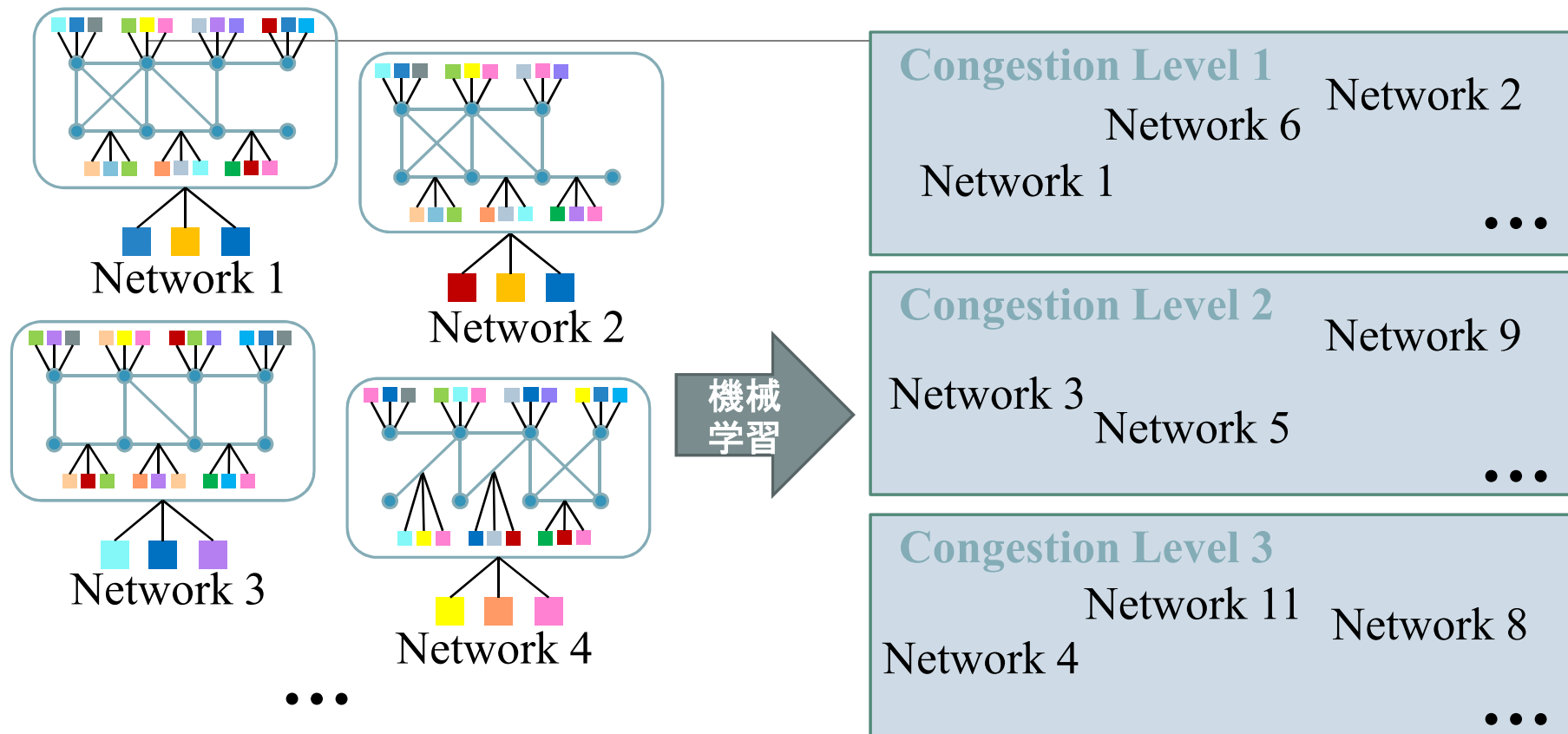
- 複雑な要因が絡む交通流に規則性を見出しデータを分割することで最適なモデルを推定
- 決定木や回帰分析の結果はいずれも可視化できるため解読しやすい
- 決定木や分岐ふし毎の回帰分析に用いる説明変数を自動選択できるよう改善の余地あり

例：ハイブリッド樹木法により
旅行速度を説明するモデルを推定



改善の方向性2: 交差点群としての渋滞要因分析

属性付きグラフ分類 (Attributed Graph Classification)



- 複数の交差点をグラフとして扱い、分析対象および隣接する交差点のノード属性、リンク属性、環境要因を説明要因として分析

研究の目的（方向別交通量の観測の現状を踏まえた研究のねらい）

- 方向別交通量について、人手観測では時系列データが得られない、機械による観測では設置コストがかかる、プローブデータによる推定では低サンプル率になりがちである、といった課題がある。
- 断面交通量（比較的入手が容易）とETC2.0プローブデータ（方向別交通量のサンプル）を融合活用し、方向別交通量を推定するベイズ推定モデルを構築する。

方向別交通量の観測・推定の現状

- マニュアルによる交通量調査：特定の日々の右左折割合しか計測できない。「日」や「時間帯」による変動を計測できない。
- 右折車線への車両感知器の設置：設置・メンテナンスに関わるコストがかかる、右折車線の設置されている交差点しか把握できない。
- プローブデータの活用：プローブ混入率が低い場合の精度が担保できない。



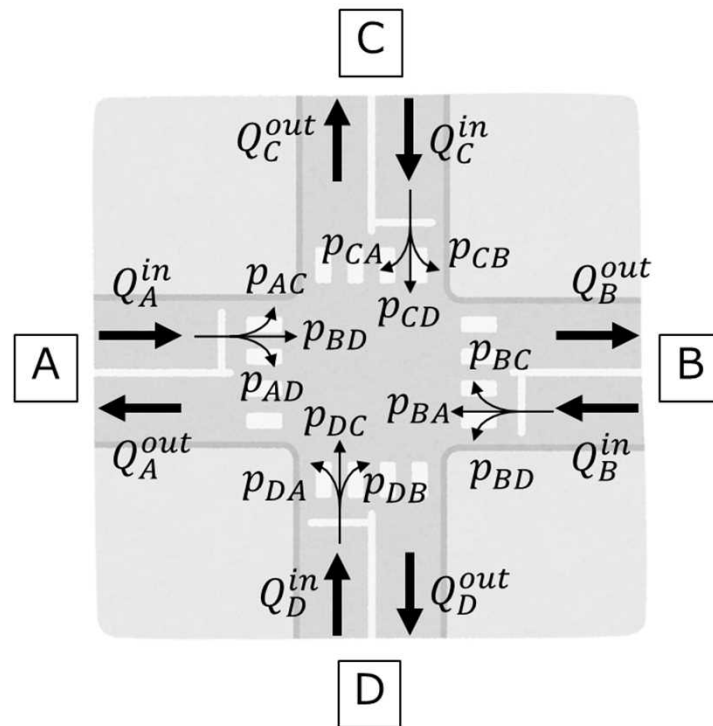
本研究の目的

ベイズ推定を用いた
断面交通量データとETC2.0プローブデータの
融合活用による交差点方向別交通量推計モデルの構築

方向別交通量推定モデルの概要

- データは断面交通量 Q , 未知変数右左直割合 p_{ij} とする。ETC2.0プローブデータもデータとして用いる。
- 交通量の保存, 右左直割合の和は1を制約条件とし, 右左直割合 p_{ij} を推定する。

変数の設定と制約条件



p_{ij} : 未知変数 (右左直割合)

交通量保存 (流出 = 流入)

$$\begin{pmatrix} Q_A^{out} \\ Q_B^{out} \\ Q_C^{out} \\ Q_D^{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & p_{BA} & p_{CA} & p_{DA} \\ p_{AB} & 0 & p_{CB} & p_{DB} \\ p_{AC} & p_{BC} & 0 & p_{DC} \\ p_{AD} & p_{BD} & p_{CD} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_A^{in} \\ Q_B^{in} \\ Q_C^{in} \\ Q_D^{in} \end{pmatrix}$$

右左直割合の和は1

$$\sum_{j (i \neq j)} p_{ij} = 1 \quad (i, j \in \{A, B, C, D\})$$

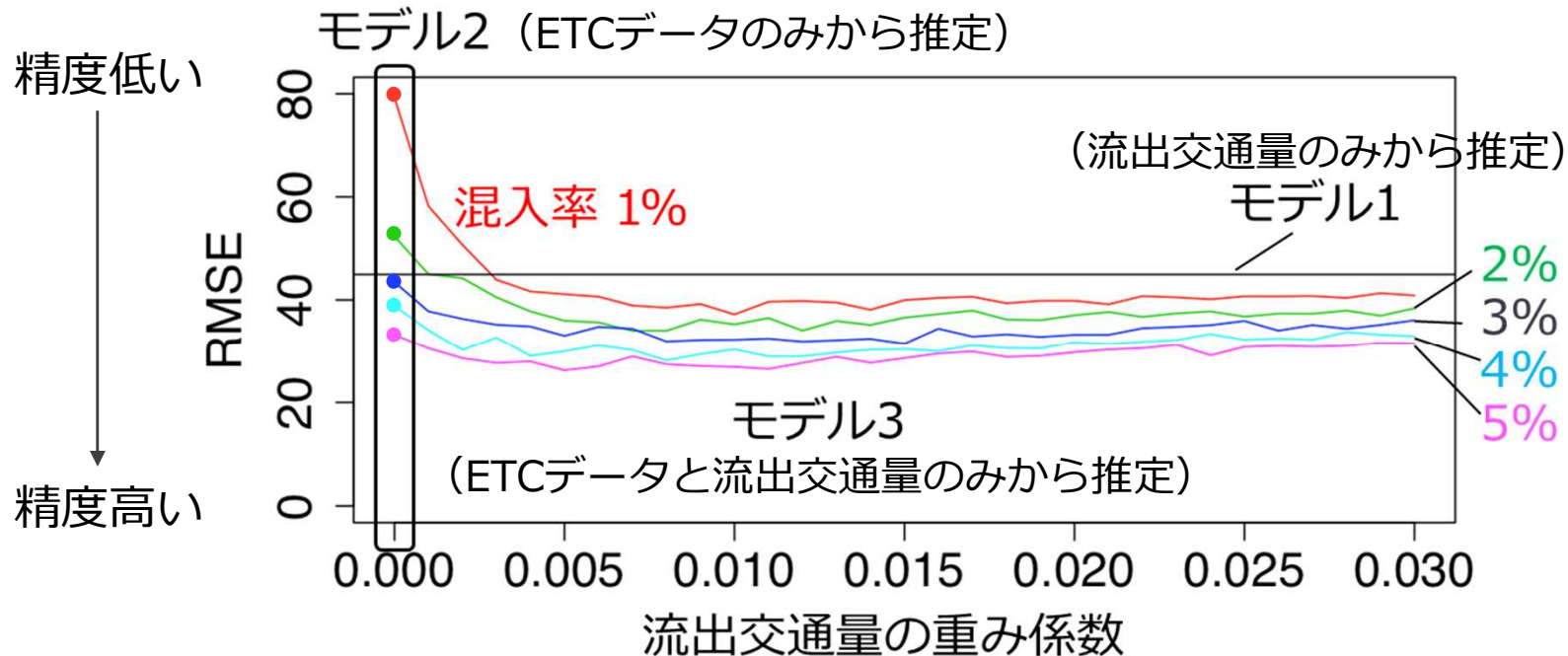
非負条件

$$p_{ij} > 0 \quad (i, j \in \{A, B, C, D\})$$

未知変数の数 > 制約条件の数
となるため, 一定の仮定を設けないと求解できない

推定結果

- ETC2.0プローブデータの利用可能性が高まると方向別交通量の推定精度が向上する。
- ETC2.0対応車の割合が低くてもプローブデータのみによる推定精度は断面交通量のみによる推定精度を上回る。
- ベイズ推定を行うことにより、方向別交通量の推定精度は向上しそうである。



- ETC2.0混入率が増加すると精度が改善する
- ETC2.0混入率が約3%以上の場合、モデル1よりモデル2の方が精度が高い
- ETC2.0対応車の割合が3~5%であってもベイズ推定を行うモデル3による方向別交通量の推定精度の改善が期待できる

2020年度の研究課題

研究の 第2段階 (2020年度)

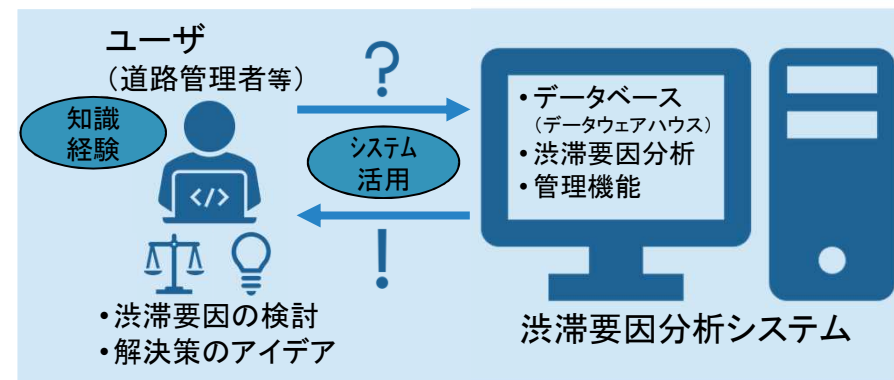
研究のねらい

- 第1段階の成果を踏まえた渋滞要因分析システム(アプリケーション)の開発
- 上記システムの活用シーンの検討

渋滞要因分析システムに持たせる機能(案)

- データベースとして
 - 渋滞状況データ
 - 地図データベース(土地利用や施設立地状況を含む)
 - 交通データ(交通量(歩行者系を含む))
 - 道路特性データ(線形, 構造, 交差点)
 - 天候・イベントデータ
 - 渋滞対策実施状況データ
- 施策立案の補助のために
 - 渋滞要因分析や旅行速度分析の実施(類似区間の分析に基づく潜在的な混雑・渋滞の発見など)
 - 渋滞要因分析結果に基づく解決提案の検索, 出力(渋滞対策データウェアハウスの活用)
- 管理機能
 - データウェアハウスの構成データを定期的に更新する, 等々。

道路管理者
が利用可能



渋滞要因分析モデル・交差点方向別交通量モデルの改良も継続的に行う。

⇒渋滞要因分析モデルについては, 説明変数(交通量)の追加, 機械学習の適用等も検討
方向別交通量モデルの出力について, 渋滞要因分析モデルの入力としての可能性の検討