

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

第18回 新都市社会技術セミナー

2021年10月4日

プロジェクトリーダー

宇野伸宏（京都大学大学院）

発表の流れ

- ✓ 研究のねらい
- ✓ ETC2.0データを用いた渋滞要因分析
 - 2020年度の成果
 - 2021年度取り組み予定
- ✓ 渋滞要因分析システムの基礎機能の実装
 - 2020年度の成果
 - 2021年度取り組み予定

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プローブ情報等の各種分析(統計、機械学習)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。

2020年度の研究課題

研究の 第2段階 (2020年度)

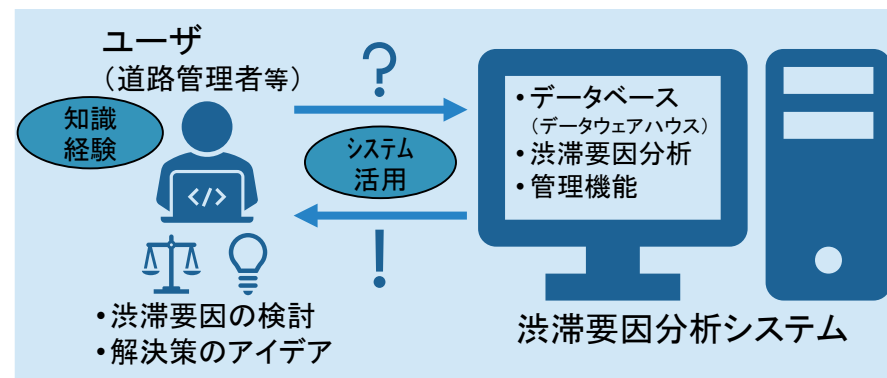
研究のねらい

- 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

道路管理者
が利用可能

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。



渋滞要因分析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, 対象ネットワークの拡大, 説明変数(信号関係等)の追加, 説明力向上のためのモデル構造の検討を実施

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、渋滞要因分析システムの構築に貢献

2020年度取り組み内容

- ✓ 渋滞要因分析の対象エリアの拡大・ネットワーク化
- ✓ 信号制御データ利用可能性の検討
- ✓ モデル構造や説明変数の見直しを進め、その説明力・適用性の向上

分析対象範囲 / 使用データ

分析対象範囲

以下の三市区町村

- ・ 奈良市
- ・ 大和郡山市
- ・ 天理市

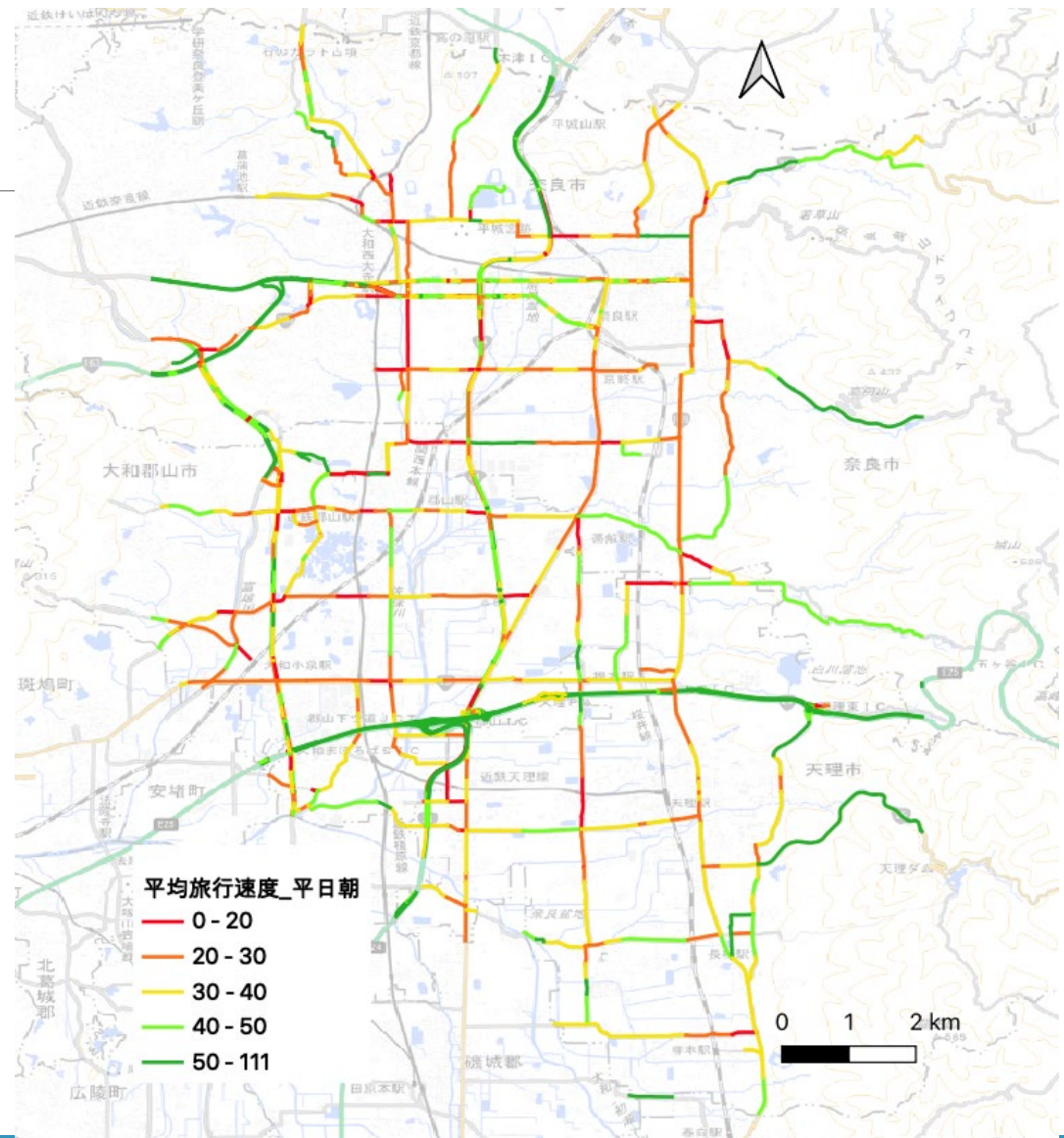
及び以下の二次メッシュ

- ・ 523506
- ・ 513576
- ・ 513566

使用データ

ETC2.0プローブデータ
様式1-2（ドットデータ）

2019年10月1日-10月31日



研究の流れ

ETC2.0 様式1-2(ドットデータ)

旅行速度変換

基礎分析

- 路線ごとに平均速度コンター図を描き、交通特性を把握
- 渋滞発生率を定義・描画し、ボトルネック交差点候補を抽出
- ボトルネック渋滞発生率を用いて交差点のボトルネックレベルを評価
- 道路構造データを整理・結合し、抽出したボトルネック交差点における渋滞発生要因を考察

道路交通センサス

- 指定最高速度
- 昼間12時間交通量
- 代表沿道状況

Google Map

- 車線数
- 右左折専用車線延長
- 分合流の有無
- バス停の有無

JARTIC

- 断面交通量
- 信号制御情報

ゼンリン

- 建物ポイントデータ

モデル分析：重回帰分析，ロジスティック回帰分析，機械学習手法

【ETC2.0プローブデータを用いた渋滞要因分析】 平均速度コンター図/県道754号下り

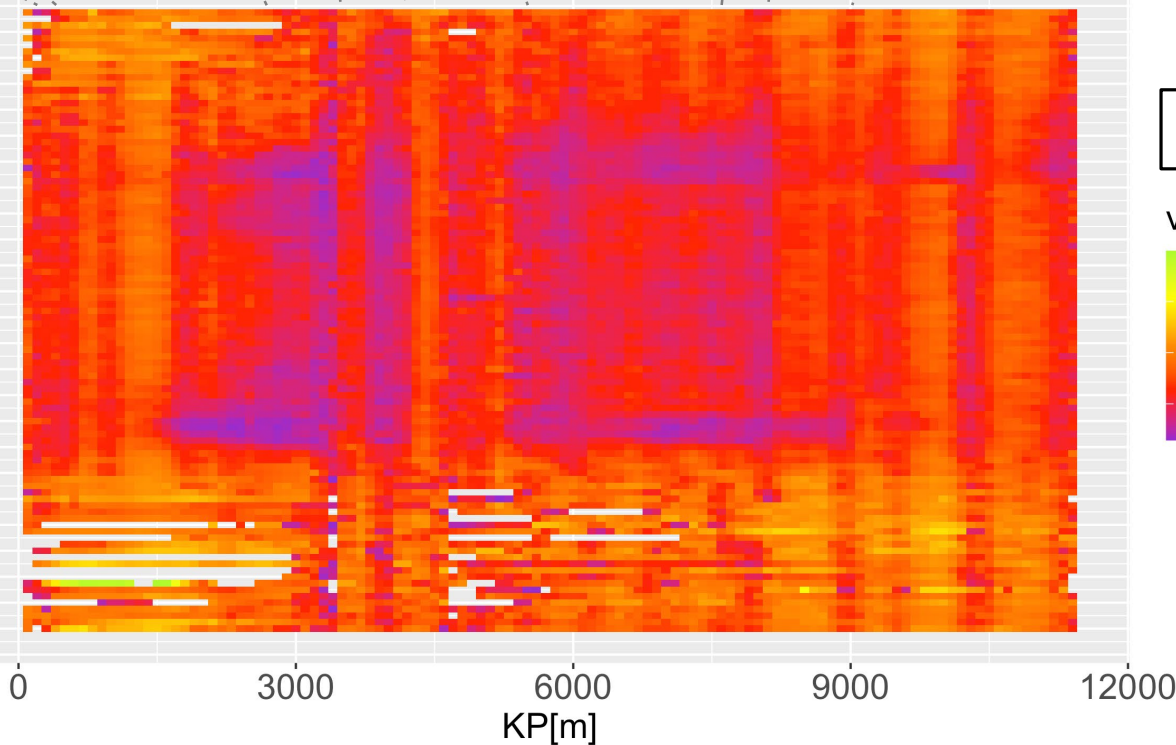
● : 主要渋滞箇所
● : その他渋滞

0 500 1000 m

進行方向

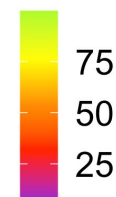
timeslot

01:00
00:00
23:00
22:00
21:00
20:00
19:00
18:00
17:00
16:00
15:00
14:00
13:00
12:00
11:00
10:00
09:00
08:00
07:00
06:00
05:00
04:00
03:00
02:00
01:00
00:00
23:00



100m × 15分

velocity[km/h]



渋滞評価指標の提案

渋滞発生要因モデル分析を行うため、2つの渋滞評価指標を提案

- 1) 影響範囲を考慮した渋滞評価指標（シンプルに渋滞影響範囲に基づく評価）
- 2) 遅れ時間を用いた渋滞評価指標（信号待ち2回以上を渋滞とする評価）

影響範囲を考慮した渋滞評価指標

時間帯 15分帯	交差点の含まれる等延長区間を0としたキロポスト[m]													進行方向	影響範囲
	-200	-100	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000		
700	35.2	30.6	22.1	20.5	21.8	15.5	12.7	14.1	15.6	19.0	23.5	23.2	19.8		1000m
715	25.7	22.3	18.1	16.2	16.9	14.2	10.8	12.3	13.5	15.4	19.7	19.0	14.1		1000m
730	20.8	19.6	14.7	10.4	11.9	11.7	10.7	11.6	12.1	14.6	18.5	16.9	13.3		1000m
745	27.3	24.4	17.5	10.1	10.4	11.3	10.8	11.9	13.2	15.0	17.3	16.3	10.7		1000m
800	34.1	32.0	16.9	7.2	7.9	9.3	8.7	9.9	10.5	11.7	12.9	14.3	11.8		1000m
815	29.1	26.7	18.5	12.9	12.2	11.5	10.9	10.9	11.0	13.1	16.3	17.6	13.5		1000m
830	31.4	29.5	21.9	16.6	19.2	15.2	12.2	13.7	15.7	20.3	23.2	20.7	16.1		1000m
845	29.1	26.6	18.7	18.1	20.7	18.5	19.9	24.4	27.2	29.9	31.1	28.0	22.8		700m

渋滞発生率：1.0 ボトルネック発生率：0.375 平均：0.9625[km]

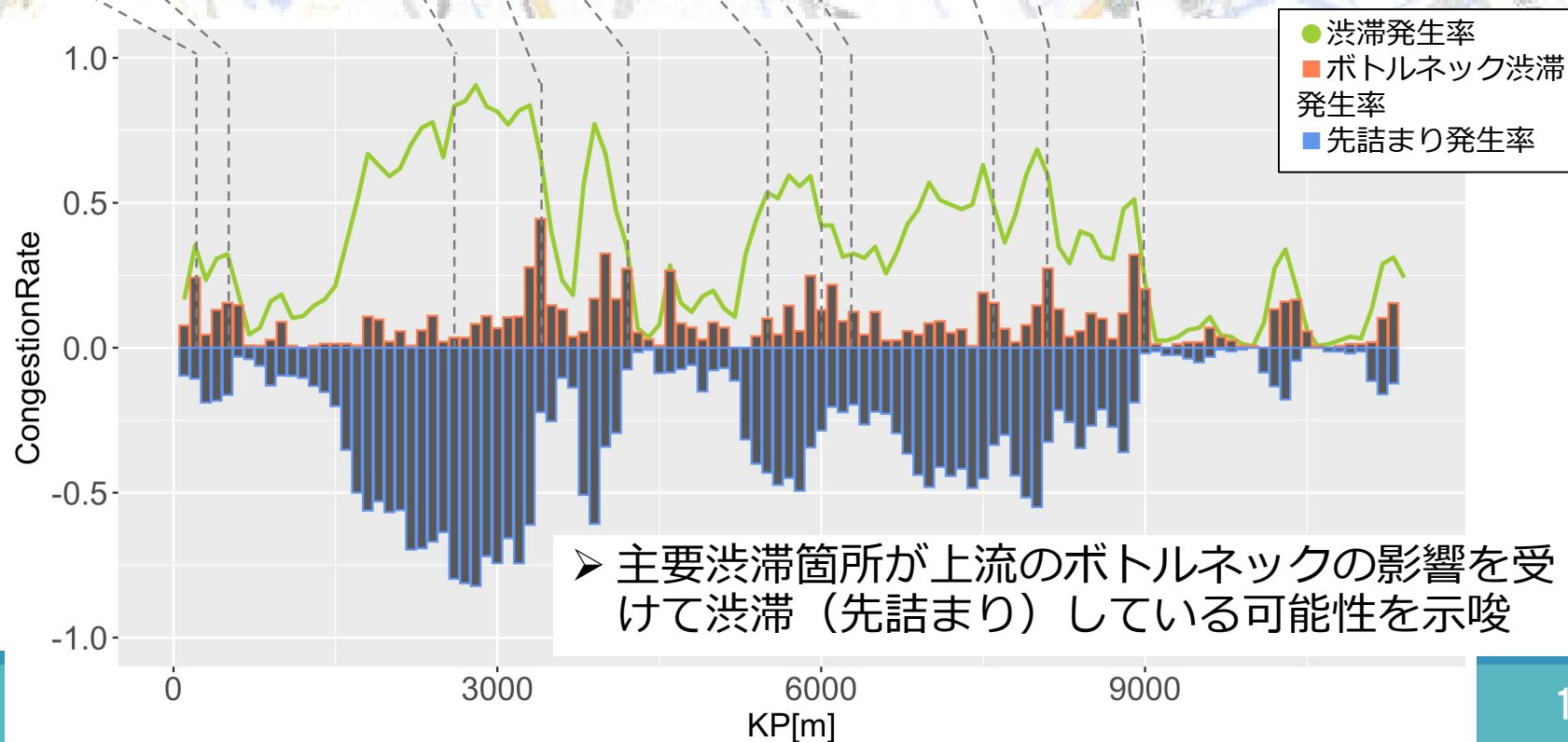
- 影響範囲が500m以上のときに渋滞，そうでないときを非渋滞と判定
- 交差点下流の二つの等延長区間のうち、いずれかが30km/hを上回っているときボトルネック，そうでないときを先詰まり

渋滞発生率7:00-9:00/県道754号下り

● : 主要渋滞箇所
● : その他渋滞

0 500 1000 m

進行方向



説明変数の候補

考えられる渋滞発生要因	説明変数
道路サービス水準	規制速度[km/h]
交通の集中	一車線あたりの断面交通量[台]
滞留する右折車による直進車の妨害	断面交通量あたりの右折レーン延長
青信号時間比の不足	従道路ダミー
建物密集地区での速度低下	建物数
大型店舗や工場の出入による交通流阻害	平均建物面積[m ²]
通勤ラッシュ（7:00～8:59）	時間帯ダミー朝
帰宅ラッシュ（17:00～18:59）	時間帯ダミー夕

DRM

JARTIC

Google Map

ゼンリン建物
ポイントデータ

【ETC2.0プローブデータを用いた渋滞要因分析】

渋滞要因モデル分析(1)：影響範囲を考慮した渋滞評価指標×ロジスティック回帰

ボトルネック渋滞発生

指標	オッズ比	95%信頼区間	説明変数はステップワイズ法により選択			
(定数)	1.76e-2	(5.44e-4 - 0.451)				
規制速度[km/h]	0.932	(0.871 - 0.993)				
一車線あたりの平均断面交通量[台]	1.03	(1.02 - 1.04)				
断面交通量あたりの右折レーン延長[m/台]						
従道路ダミー	3.49	(1.23 - 10.0)				
建物数	1.03	(1.00 - 1.05)				
平均建物面積[m ²]	1.00	(1.00 - 1.01)				
時間帯ダミー朝						
時間帯ダミータ						

		予測	
		1	0
実測	1	25	33
	0	12	140

正答率	0.79
検出率	0.43
精度	0.68
誤検出率	0.08

渋滞発生に寄与する要因：交通量，従道路，交差点近傍の建物数

渋滞抑制に寄与する要因：規制速度

渋滞要因モデル分析(2)：影響範囲を考慮した渋滞評価指標×重回帰

渋滞影響範囲

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

指標	回帰係数	標準化
(定数)	0.589	-1.98e-16
規制速度[km/h]	-6.42e-3*	-0.165
一車線あたりの平均断面交通量[台]		
断面交通量あたりの右折レーン延長[m/ 台]	-9.48e-2*	-0.128
従道路ダミー	0.243***	0.240
建物数		
平均建物面積[m ²]		
時間帯ダミー朝		
時間帯ダミータ	0.150***	0.233
自由度調整済みR ²	0.151	

強制投入法により右折レーン延長の影響を評価

⇒ 渋滞影響範囲を減じる効果がある可能性を示唆

2020年度の成果/2021年度の取り組み

●2020年度の分析から得た知見

渋滞発生に寄与する要因：交通量，従道路，交差点近傍の建物数，
交差点近傍の建物面積，タピーク

渋滞発生を抑制する要因：規制速度

右折車線長が渋滞に及ぼす影響は抑制側の効果が期待されるが，十分な確認は取れてはいない

●2021年度の取り組み

トラカンの設置されていないリンクについて，ETC2.0のサンプル数から交通量を推定し，分析対象交差点を増やす

ETC2.0のサンプル数から右左折直進比率を推定し，これを用いて右折車線長が渋滞に及ぼす影響を確認する

分析対象期間・範囲を拡大することで，季節による変動や，他路線に適用可能かどうか確認する

機械学習手法を取り入れ，より精度の高いモデルを構築する

研究の流れ(2021年度)

ETC2.0 様式1-2(ドットデータ)

旅行速度変換

基礎分析

- 路線ごとに平均速度コンター図・渋滞発生率図を描き、交通特性を把握
⇒ 対象範囲と期間の拡大
- 渋滞の影響範囲に着目し、各交差点における渋滞を評価
⇒ データ集約単位の見直し
- 道路構造・走行環境データを結合し、抽出したボトルネック交差点における渋滞発生要因を考察

ETC2.0

- サンプル数(交通量推定)
- 右左折直進比率
- 大型車混入率

DRM

- 指定最高速度
- 車道幅員
- 車線数

Google Map

- 右左折専用車線延長
- 交差点近傍の駐車場利用

JARTIC

- 断面交通量
- 信号制御情報

ゼンリン

- 建物ポイントデータ

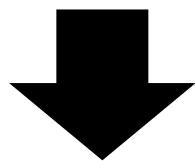
モデル分析: 重回帰分析, ロジスティック回帰分析

⇒ 解釈可能な機械学習手法 (ランダムフォレスト×SHAP, 等)

2021年度取り組み:機械学習アプローチの適用

モデルの説明力向上のために機械学習を適用したい

➤モデルがBlack Box化し渋滞影響要因の解釈が難しくなる可能性



機械学習アルゴリズム（ランダムフォレスト, XGBoost, 等）に以下の手法を適用することで, 解釈を試みる

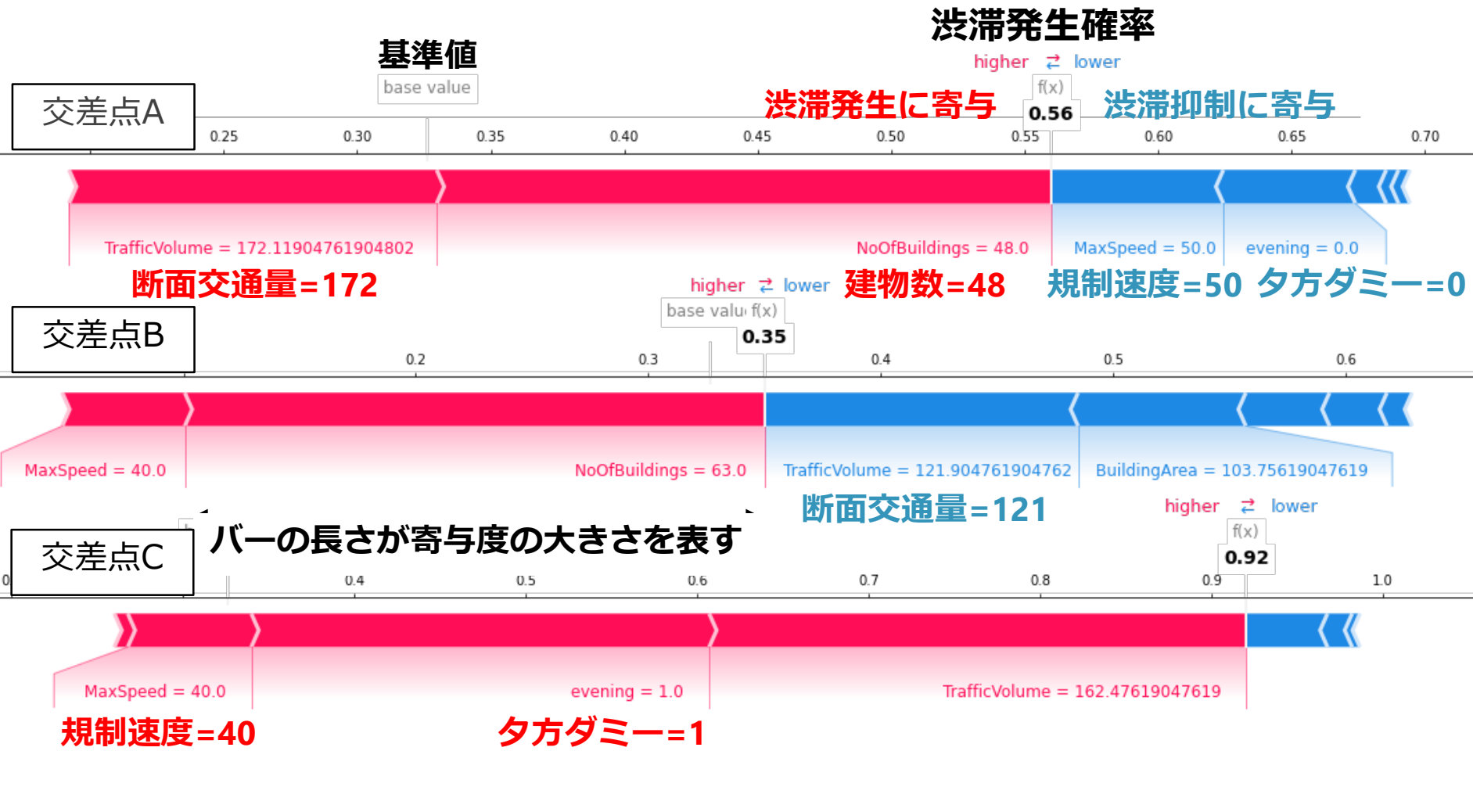
■Permutation Importance

ある特徴量の列をランダムに並び替え, 前後でモデルの精度が大きく変化するとき, その特徴量は重要である

■SHAP (SHapley Additive exPlanations)

協力ゲーム理論におけるShapley値を利用して各説明変数の寄与を説明するアプローチ

【ETC2.0プローブデータを用いた渋滞要因分析】
2021年度の取り組み:SHAPの適用(ランダムフォレストとの組合せ)



✓交差点ごとに渋滞発生に影響している要因を把握可能

2021年度の取り組み: 交通量/右左折直進比率の推定

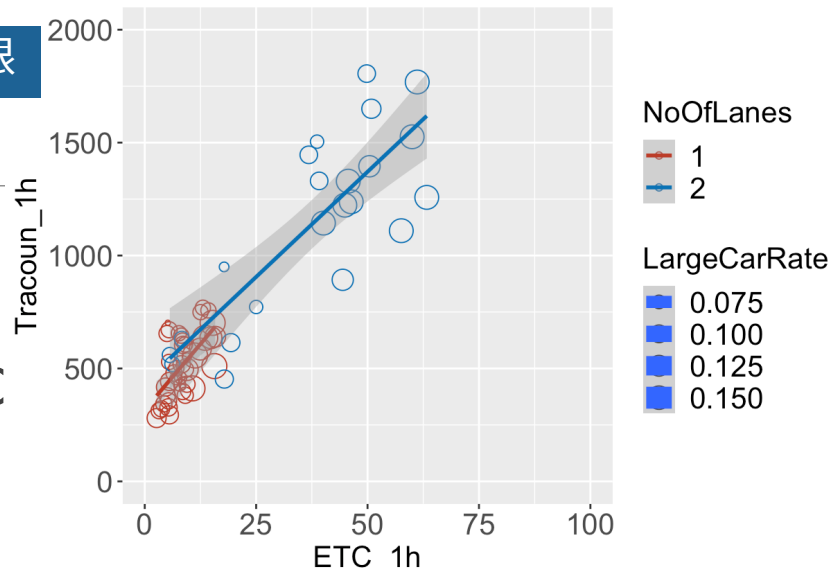
交通量観測地点の制約による分析可能な交差点数の制限

交通量推定

ETC2.0のサンプル数と大型車混入率を用いて、時間帯・車線数別の交通量を推定

普通車・小型車と比較して、大型車のETC搭載率の高さに起因する問題を緩和

分析可能な交差点数の増加



右左折直進比率推定

ETC2.0のサンプル数から、交差点ごとの右左折直進比率を推定

交通量や右折車線長と組み合わせることにより、**右折専用レーン**が渋滞解消に及ぼす影響を分析



2020年度の研究課題(再掲)

研究の
第2段階
(2020年度)

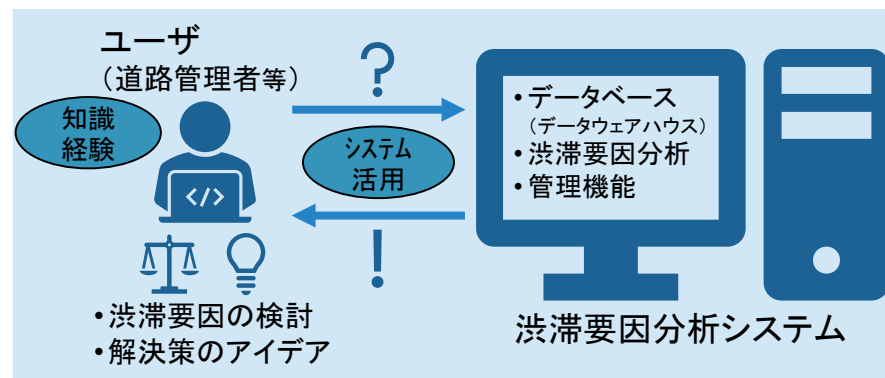
研究のねらい

- 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)

道路管理者
が利用可能

- 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。



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

2020年度成果 渋滞要因分析システムの基礎機能の実装(1)

- 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。
- 多くの人が使えよう, ブラウザ上で動作可能なシステムとして開発。

TRAJAS (Traffic Jam Analysis System:交通渋滞分析システム)

交差点カルテ

交差点名

美濃庄町西

kp

43.366

枝数

4

渋滞評価指標

	上り (朝)	上り (昼)	上り (夕)	下り (朝)	下り (昼)	下り (夕)
渋滞発生割合 (実績値)	0.13	0.02	0.09	0.02	0.02	0.03
渋滞発生割合 (予測値)	0.19	0.04	0.15	0.1	0.09	0.12
渋滞の先頭のなりやすさ (BN値)	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
前方の渋滞の影響の受けやすさ (AQ値)	0.09	0.02	0.08	0.01	0.01	0.02

凡例

	0.00	0.00-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1.00
渋滞の先頭のなりやすさ (BN値)					
前方の渋滞の影響の受けやすさ (AQ値)					

※ボトルネック渋滞発生率プラス: BN値,ボトルネック渋滞発生率マイナス: AQ値

交差点情報

リンク別昼間12時間交通量 (H27センサス)

台/日

30000

25000

20000

15000

10000

5000

アドレス

16:04

2021/01/13

20

2020年度成果 渋滞要因分析システムの基礎機能の実装(2)

- 基礎機能として、ETC2.0プローブ情報から集計した渋滞状況や要因分析の結果をもとに推定した渋滞発生率が参照できる他、道路特性データ、地図等が1つのインターフェースで完結できる仕様。
- 現在は渋滞状況として「渋滞発生割合」を使用しているが、新たな指標ができれば追加可能な仕様。



地図ベースで分析対象交差点を選択可能。
地理院地図や航空写真をもとに周辺の土地利用状況を踏まえた渋滞要因分析が可能。

データ項目	リンク1	リンク2	リンク3	リンク4
H27センサス区間番号	29300240050	NaN	29300240050	NaN
指定最高速度 (km/h)	60	NaN	60	NaN
代表沿道状況	DID地区 (商業地域を除く)	undefined	DID地区 (商業地域を除く)	undefined
中央分離帯の有無	○	undefined	○	undefined
出入制限	出入自由	undefined	出入自由	undefined
車線数	4	2	4	2
右折車線数	1	1	1	
右折車線延長 (m)	26	26	32	
左折車線数	1	0	1	
左折車線延長 (m)	67	NaN	77	NaN
歩道橋の有無	x	x	x	x
横断歩道の有無	○	○	○	○
角地利用の有無	○	x	○	○

道路特性データ

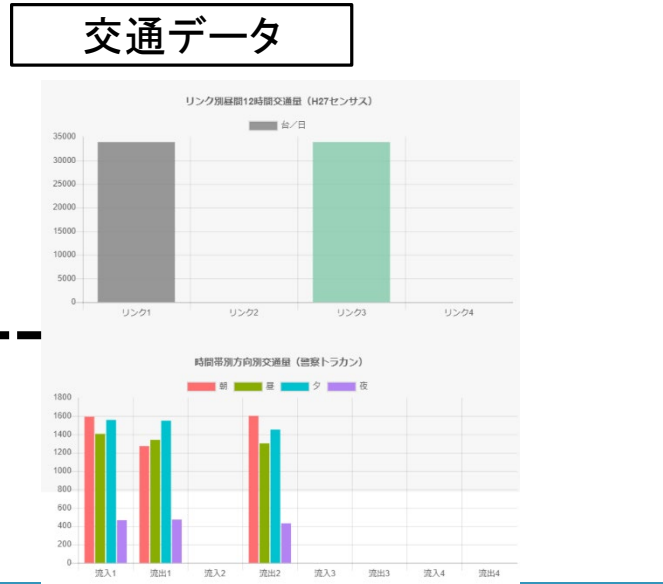
渋滞状況データ

	上り (朝)	上り (昼)	上り (夕)	下り (朝)	下り (昼)	下り (夕)
渋滞発生割合 (実績値)	0.61	0.52	0.68	0.05	0.1	0.03
渋滞発生割合 (予測値)	0.52	0.54	0.65	0.09	0.11	0.13
渋滞の先頭のなりやすさ (BN値)	0.6	0.45	0.53	0.05	0.08	0.03
前方の渋滞の影響の受けやすさ (AQ値)	0.02	0.07	0.15	0	0.02	0.01

凡例

	0.00	0.00~0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	0.75~1.00
渋滞の先頭のなりやすさ (BN値)					
前方の渋滞の影響の受けやすさ (AQ値)					

※ボトルネック渋滞発生率プラス: BN値, ボトルネック渋滞発生率マイナス: AQ値



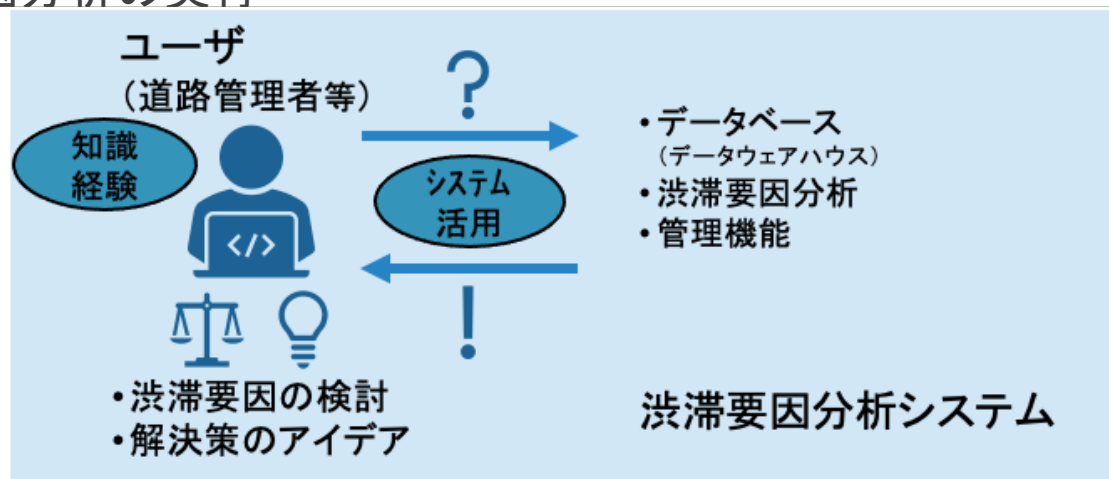
2021年度取り組み: 分析システムの構築 (概要)

構築のねらい

研究成果を道路管理者(ユーザー)の間で共有する。(成果の実装)

持たせる機能(案)

- データの可視化…交通状況, 渋滞状況, 渋滞要因分析 など
※)地理情報(ウェブマップ)を適宜活用する。
- データの更新…日々蓄積されるデータを適当なタイミングで追加
- データベース構築…渋滞対策事例の登録・検索機能
- 渋滞要因分析の実行



渋滞要因について考えるためのプラットフォームとして活用できれば

2021年度取り組み:研究方針(案)

基本方針

道路管理者との意見交換を踏まえ、システムを完成させる。

具体的な取り組み

- 渋滞要因分析(重回帰分析)の実行機能の追加
※) 機械学習アプローチの分析も取り込む。
- 昨年度までに収集・整理したデータの可視化・管理機能の追加
- 使用マニュアルの作成

よく利用されているブラウザ上で動作可能なものとする

システム(α版)
スタート画面

プローブ情報に基づく渋滞要因分析 (alpha)

The screenshot shows a web interface for traffic analysis. At the top, there's a section titled '分析対象データの選択' (Select analysis target data) with a 'Browse...' button and a file name '重回帰分析_UTF8.csv'. Below this is an 'Upload complete' button. The main area is divided into two steps: 1) '渋滞要因分析' (Traffic factor analysis) with a '渋滞要因分析を実行' (Execute traffic factor analysis) button, and 2) '散布図 (選択したデータペア)' (Scatter plot (selected data pair)). Under step 2, there are dropdown menus for 'x軸 (横軸)' (x-axis) and 'y軸 (縦軸)' (y-axis), both currently set to 'kp100'. At the bottom of step 2 is a '散布図作成' (Create scatter plot) button.

渋滞要因分析 (モデル) 渋滞要因分析 (パラメータ図示) 散布図 (指定データペア) 一覧表

タブを選択し,
見たいデータやグラフにアクセス可能

2021年度の取り組み: 渋滞要因分析の実行(1)

重回帰分析の結果表示(国道24号, 上り・下り別)

- 交通状況や道路状況から渋滞発生率を推定するための重回帰分析

プローブ情報に基づく渋滞要因分析 (alpha)

分析対象データの選択

Browse...

重回帰分析_UTF8.csv

Upload complete

①データを選ぶ

1) 渋滞要因分析

渋滞要因分析を実行

②実行ボタン

2) 散布図 (選択したデータペア)

x軸 (横軸)

kp100

y軸 (縦軸)

kp100

散布図作成

渋滞要因分析 (モデル)

渋滞要因分析 (パラメータ図示)

散布図 (指定データペア)

一覧表

	下り朝	下り夕	上り朝	上り夕
(Intercept)	0.70 ** (0.24)	0.59 *** (0.10)	1.12 ** (0.33)	0.99 *** (0.24)
指定最高速度1	-0.01 * (0.01)		-0.02 ** (0.01)	-0.02 ** (0.01)
右折車線数1	-0.14 (0.07)		-0.14 (0.08)	-0.21 ** (0.07)
左折車線数1	-0.15 (0.09)		0.32 ** (0.10)	0.22 * (0.09)
右折車線数2	0.08 (0.05)			0.07 (0.05)
車線数4	0.12 ** (0.04)		0.05 (0.05)	0.00 (0.04)
右折車線数4	-0.09 (0.06)		-0.08 (0.06)	
歩道橋2	0.64 *** (0.16)	0.42 * (0.20)	-0.49 * (0.21)	-0.30 (0.17)
合流1	0.28 (0.15)	0.38 (0.21)	-0.38 (0.20)	
昼間12時間交通量1		-0.00 *** (0.00)	0.00 * (0.00)	
角地利用41		0.11 (0.06)		
R^2	0.52	0.35	0.46	0.56
Adj. R^2	0.42	0.29	0.34	0.48
Num. obs.	44	44	44	44

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05

③重回帰分析の結果が表示される

2021年度取り組み: 渋滞要因分析の実行(2)

重回帰分析のパラメータの図示(国道24号, 上り・下り別)

- 渋滞要因分析の結果の理解を助けるため, パラメータの図示機能を設定
→ パラメータの正負や絶対値から, 渋滞発生率への影響を考えることができる。

プローブ情報に基づく渋滞要因分析 (alpha)

分析対象データの選択

Browse...

重回帰分析_UTF8.csv

Upload complete

1) 渋滞要因分析

渋滞要因分析を実行

2) 散布図 (選択したデータペア)

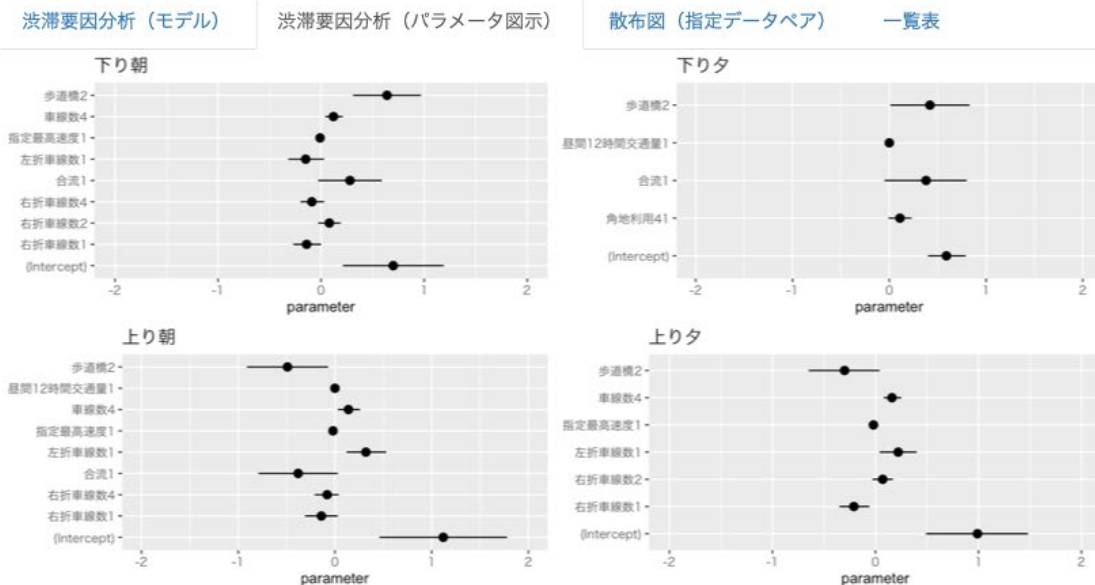
x軸 (横軸)

kp100

y軸 (縦軸)

kp100

散布図作成



重回帰分析の実行と同時にパラメータのグラフをプロット