

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19回新都市社会技術セミナー

2022年10月31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

- ✓ 研究の背景・ねらい
- ✓ 渋滞要因分析モデルの改良・検証
- ✓ 渋滞要因分析システムの試験運用
- ✓ 3か年の成果の取りまとめ

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役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。

発表の流れ

- ✓ 研究の背景・ねらい
- ✓ 渋滞要因分析モデルの改良・検証
- ✓ 渋滞要因分析システムの試験運用
- ✓ 3か年の成果の取りまとめ

研究の流れ

ETC2.0プローブデータ 交通状況の把握

旅行速度変換

交通状況の把握

- 平均速度コンター図
- ボトルネック渋滞発生率
- 先詰まり渋滞発生率

渋滞評価・分析対象交差点の抽出

特徴量（説明変数）の作成・選択

渋滞要因分析モデルの構築

オープンデータ等を用いた道路構造・土地利用・交通制御の把握

- DRM
- 道路交通センサス
- 信号制御情報
- 断面交通量情報
- 国土数値情報
- Google Map
- 建物ポイントデータ

統合利用

分析対象範囲 / 使用データ

分析対象範囲

- 奈良県北部（右図）

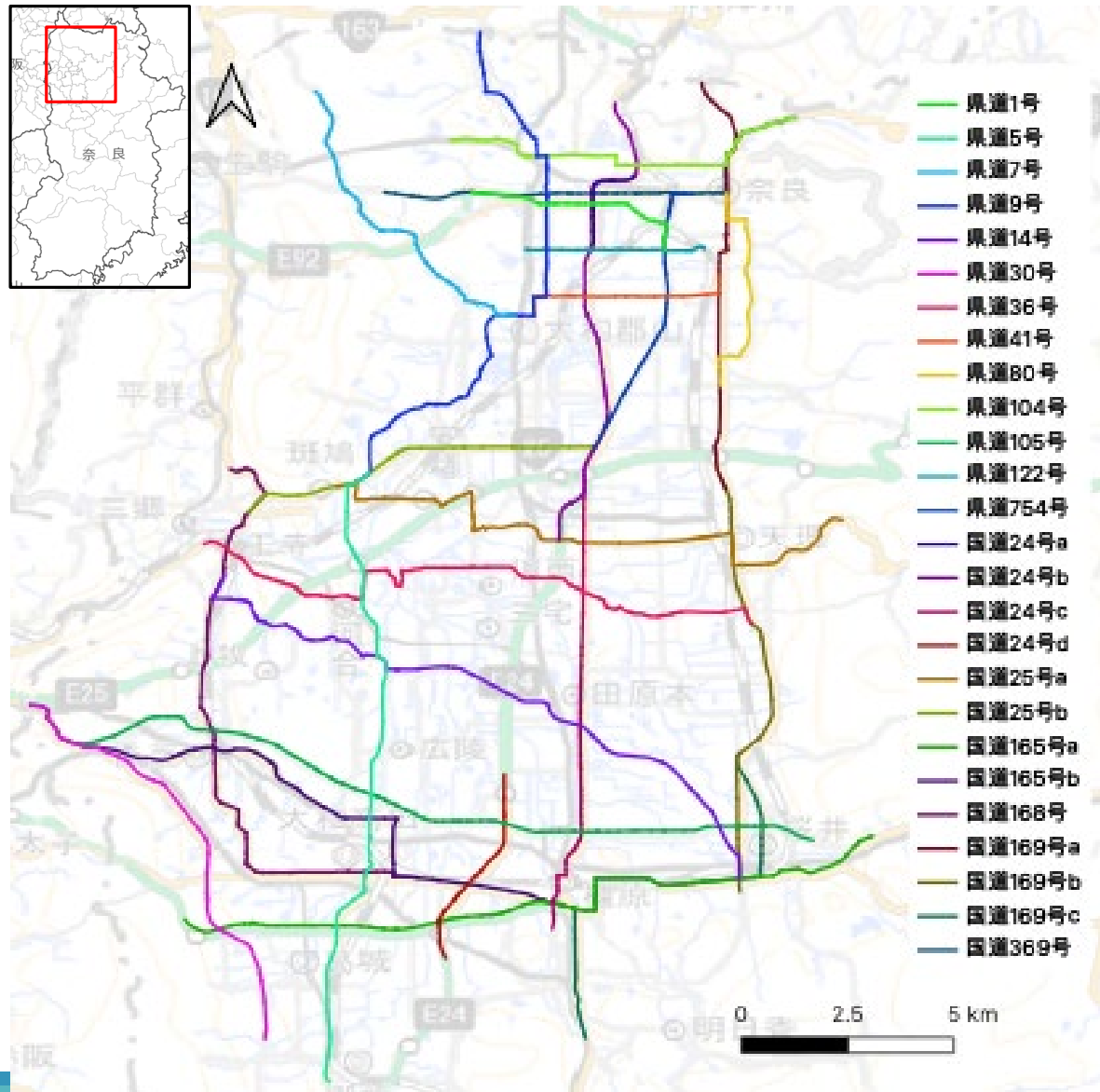
主な渋滞頻発箇所

- 奈良市・橿原市の中心部にあたる市街地エリア
- 奈良公園・東大寺を中心とする観光地エリア
- 国道24号をはじめとする南北交通の重要路線

交通観測データ

ETC2.0プローブデータ
様式1-2（点データ）

2019年10月1日-31日



交通状況の把握

分析対象範囲に含まれる26路線について、**100mの等延長区間ごとの旅行速度に整理**

- 生データでは考慮できない**信号遅れ**を反映

ボトルネック渋滞発生率、先詰まり渋滞発生率を定義・算出

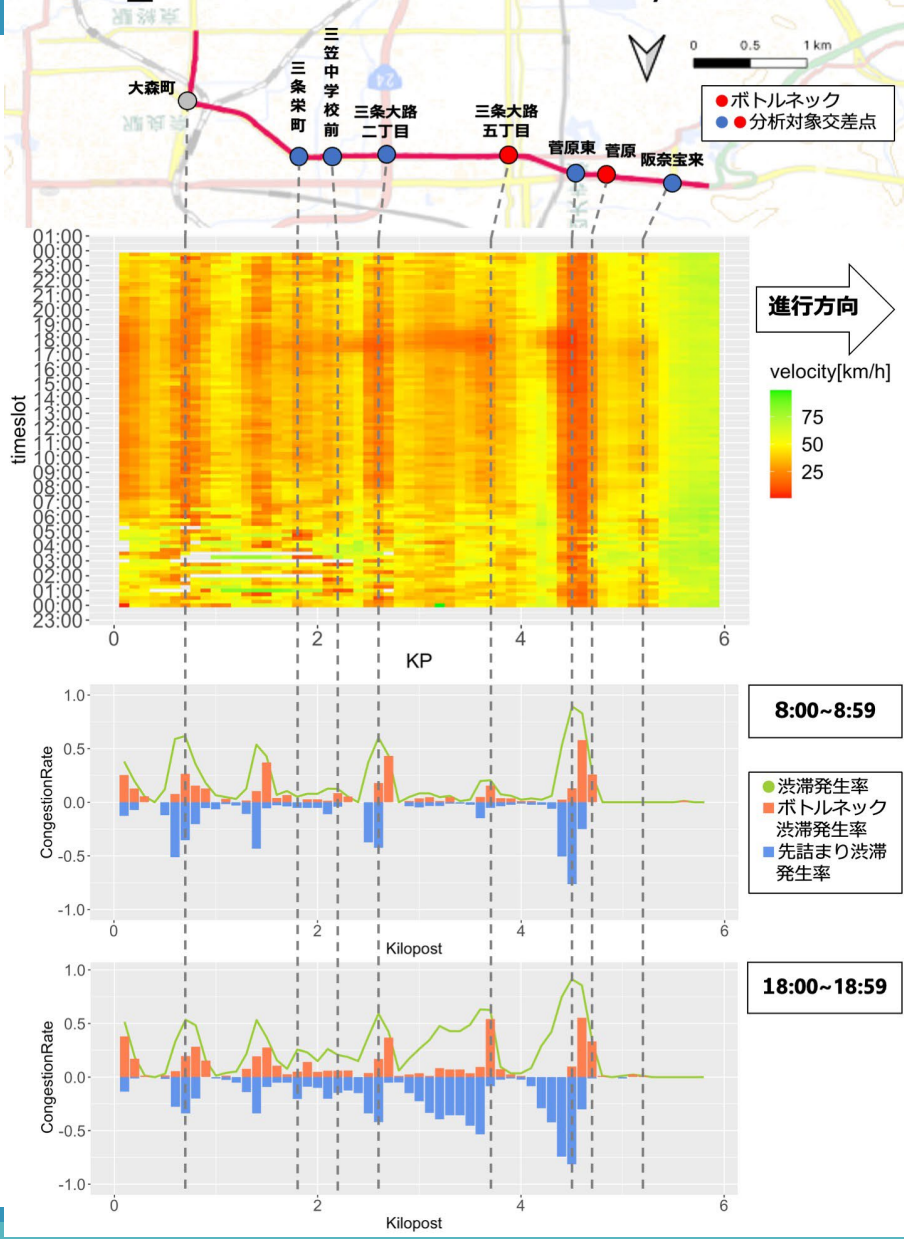
- ボトルネック渋滞と先詰まり渋滞を区別した上で、各事象の発生時間割合を表す



先詰まりになっておらず、渋滞長が500m以上と考えられる地点をボトルネックと判定

【参考】加藤ら(2017)：ボトルネックとその影響範囲を特定するためのETC2.0プローブ情報活用の有効性に関する研究

路線1_県道1号～国道308号 (下り/平日)



機械学習によるアプローチ

機械学習手法の適用によりモデルの予測精度向上が見込まれる一方で、ブラックボックス化してしまう



現在も研究が盛んに行われている機械学習の解釈手法を適用することで、**高精度かつ解釈可能**な機械学習モデルを構築

機械学習 モデル

- ニューラルネットワーク
- ランダムフォレスト
- **XGBoost**
- サポートベクターマシン



解釈手法

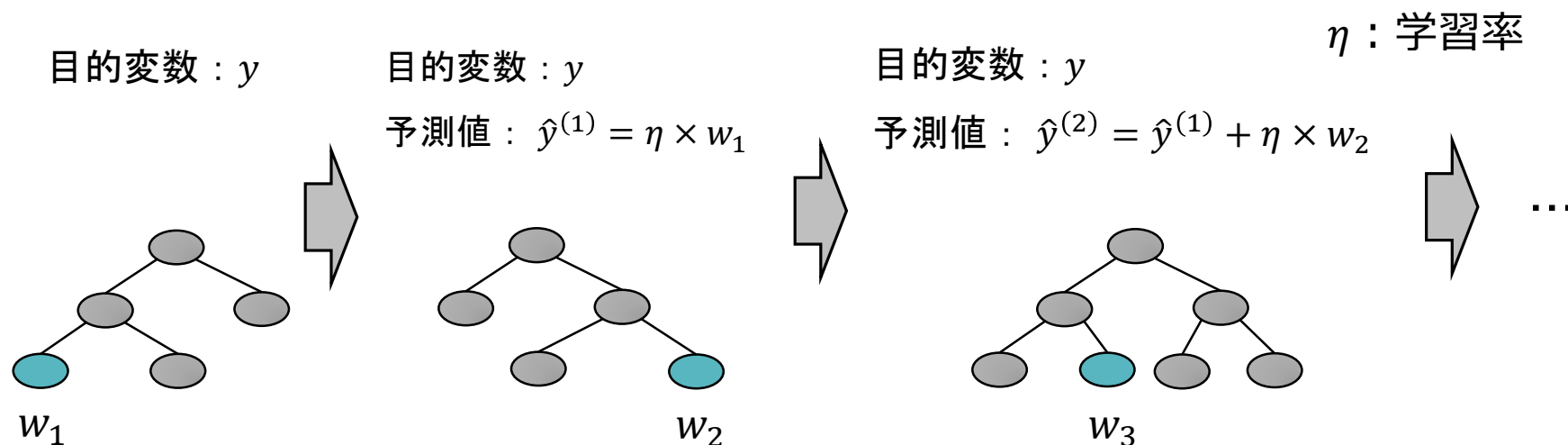
- Feature Importance
- Permutation Importance
- Partial Dependence Plot
- **SHAP**



**解釈可能な
機械学習
モデル**

XGBoostの概要

これまで作成した決定木による予測値と目的変数の差に対して学習し、逐次的に決定木を追加していく



予測値 : $\hat{y}^{(M)} = \hat{y}^{(M-1)} + \eta \times w_M = \dots = \sum_{m=1}^M \eta \times w_m$

➤ 予測値 $\hat{y}^{(M)}$ にシグモイド関数を適用して、**予測確率（着目地点がボトルネックとなる確率）** に変換

SHAP (SHapley Additive exPlanations)の概要

機械学習モデル： f

$x = [1, 2, 10, 0, 1.5]$

⇒

単純化

説明モデル： g

$x' = [1, 1, 1, 0, 1]$

$$f(x) \simeq g(x') = \phi_0 + \sum_{i=1}^M \phi_i x'_i$$

M ：特徴量の総数

$x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_M)$ ：あるサンプルにおける特徴量の集合

$x' \in \{0, 1\}^M$ ：単純化された特徴量

$\phi_0 = E[f(x)]$ ：モデルの平均予測値

ϕ_i ：特徴量 i の貢献度（**SHAP value**）

Lee et al. (2017): A Unified Approach to Interpreting Model Predictions

モデルにおける目的変数と特徴量

目的変数

class 1: ボトルネック

class 0: 非ボトルネック

ただし, class 0には平常時(渋滞無し)と先詰まり渋滞を含む

XGBoostを用いて, **class 1 と判定される確率 (ボトルネック判定確率)**を算出

特徴量

✓以下に示す**19の特徴量** (説明変数) を作成し, モデルに投入

- 時間帯交通量
- 昼間12時間交通量
- 右折割合
- 左折割合
- 右折レーン延長
- 左折レーン延長
- 車線幅員
- 青信号時間
- 右折現示
- 商業施設数
- 最大建物面積
- 住宅数
- 踏切
- 学校
- 最寄り駅距離
- 乗降客数
- 観光資源
- 市役所・県庁
- 時間帯

XGBoostモデルの精度検証

学習データ:テストデータ=8:2の割合でデータを分割し、学習済みモデルのテストデータに対する予測精度を検証

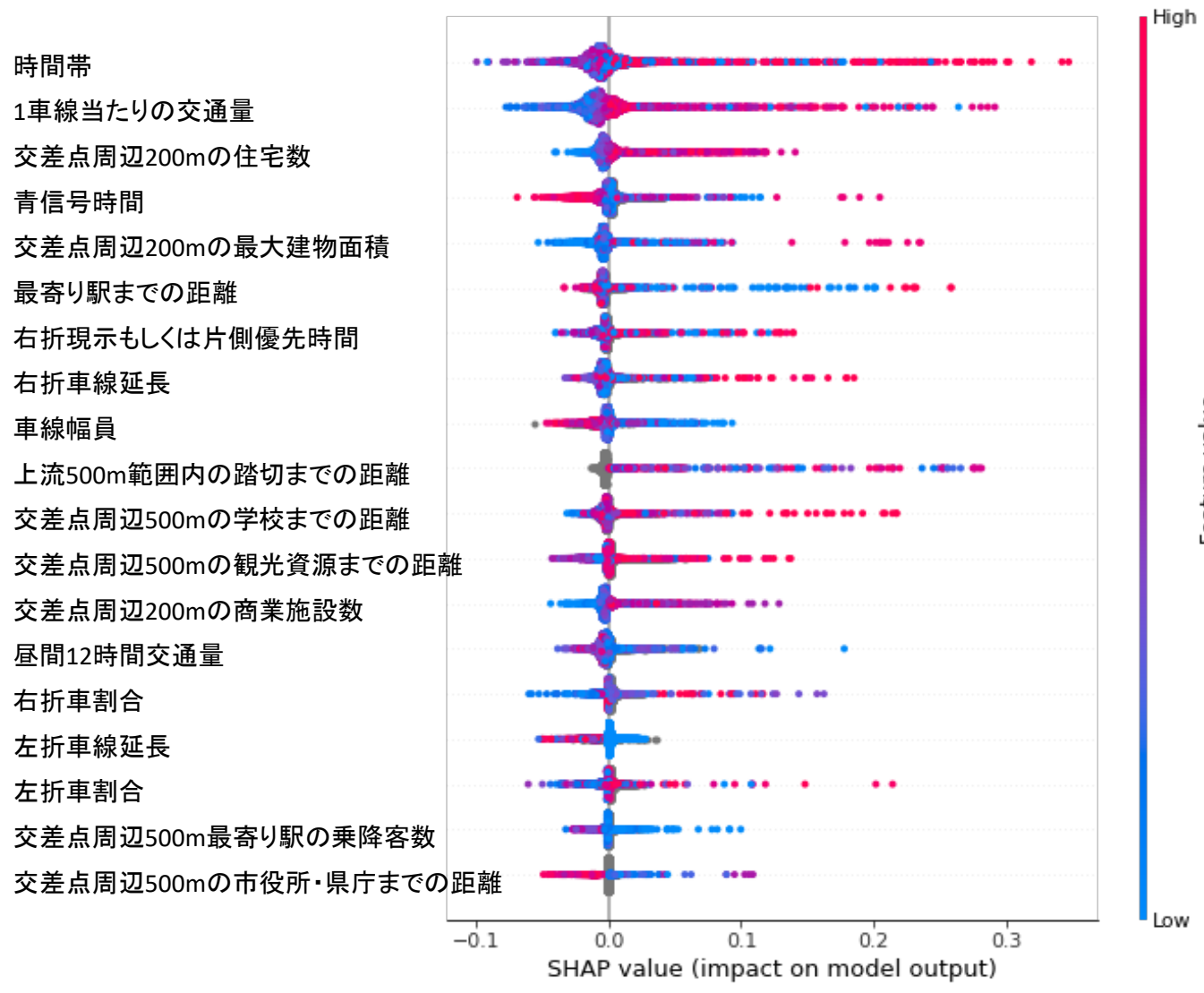
観測値 \ 予測値	ボトルネック 渋滞以外	ボトルネック 渋滞	計
ボトルネック 渋滞以外	919	33	952
ボトルネック 渋滞	17	36	53
計	936	69	1005

	precision	recall	f1-score	support
ボトルネック 渋滞以外	0.98	0.97	0.97	952
ボトルネック 渋滞	0.52	0.68	0.59	52
accuracy			0.95	1005
macro average	0.75	0.82	0.78	1005
weighted average	0.96	0.95	0.95	1005

precision(適合率) : 0.52, recall(再現率) : 0.68

目的変数の偏りを考慮すると精度は決して悪くないが、改善の余地がある

SHAP summary_plotの見方



重要度の大きな順
に上から配置

赤⇒特徴量大
青⇒特徴量小

点が右側
⇒渋滞発生に影響
点が左側
⇒渋滞抑制に影響

渋滞発生に影響する特徴量

時間帯交通量

Traffic_volume_per_lane_1h

交差点周辺住宅数

Num_house_200m

最大建物面積

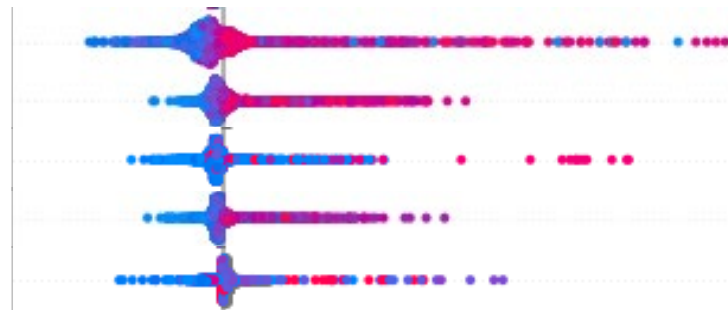
Max_building_area_200m

商業施設数

Num_commercial_facility_200m

右折車両割合

Right_turn_ratio



➤ 値が大きいほど**渋滞発生**に関与し、小さいほど**渋滞抑制**に貢献

交差点上流500mの
踏切までの距離

Dist_level_crossing



➤ 交差点上流500m以内に踏切が存在するとき、その距離に依らず**渋滞発生**に関与

最寄り駅までの距離
最寄り市役所・県庁
までの距離

Dist_nearest_station

Dist_municipal_office_500m



➤ 最寄り駅・市役所・県庁までの距離が近いほど**渋滞発生**に関与

渋滞抑制に貢献する特徴量

青信号時間

Green_signal

車線幅員

Lane_width

左折車線延長

Left_turn_lane_length

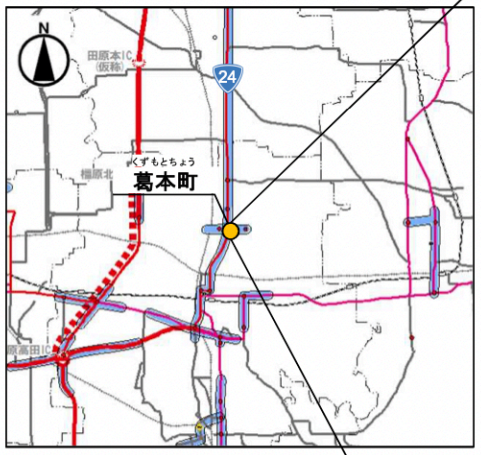


➤ 値が大きいほど**渋滞抑制**に貢献し、小さいほど**渋滞発生**に貢献

渋滞対策の効果予測 例1：葛本町交差点西行

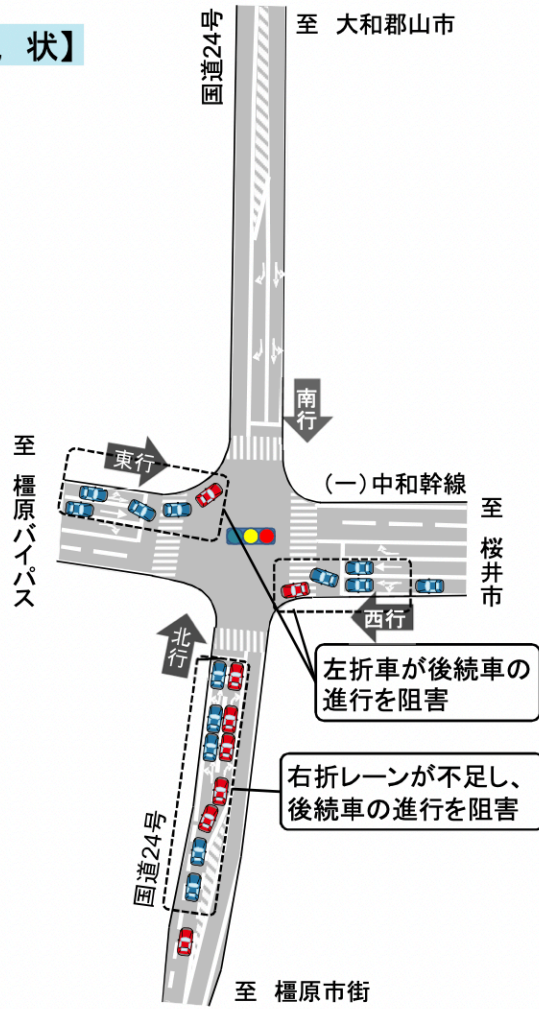
3) 葛本町交差点（くずもとちょう 榎原市、主：国道24号、従：かしはら 県道中和幹線）

《位置図》

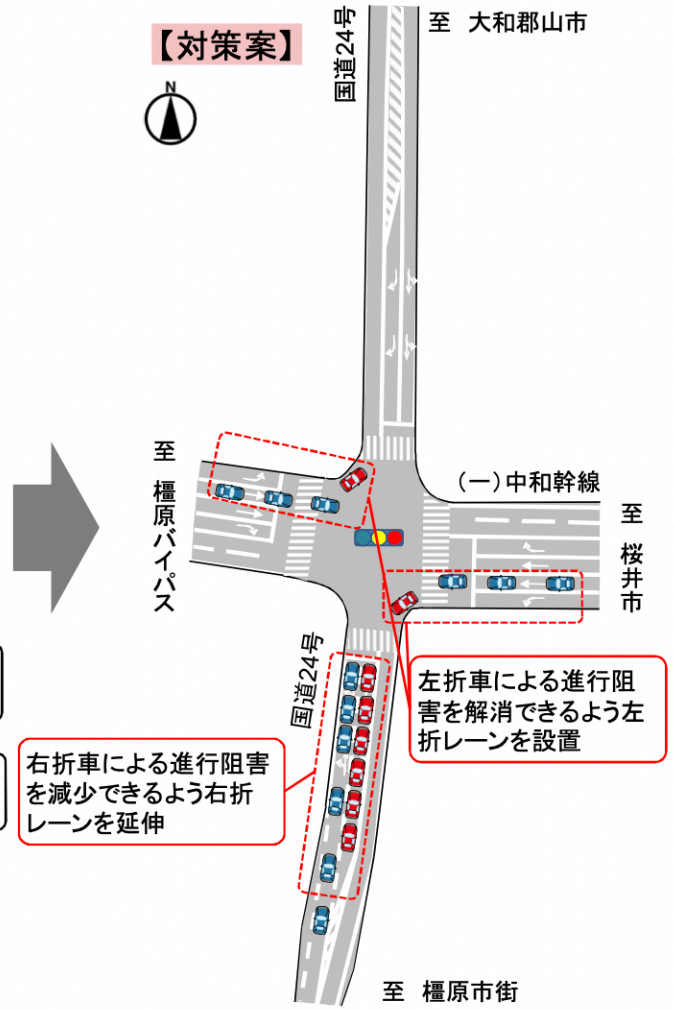


(北行)右折レーンの延伸
(東行・西行)左折レーンの設置

【現状】



【対策案】



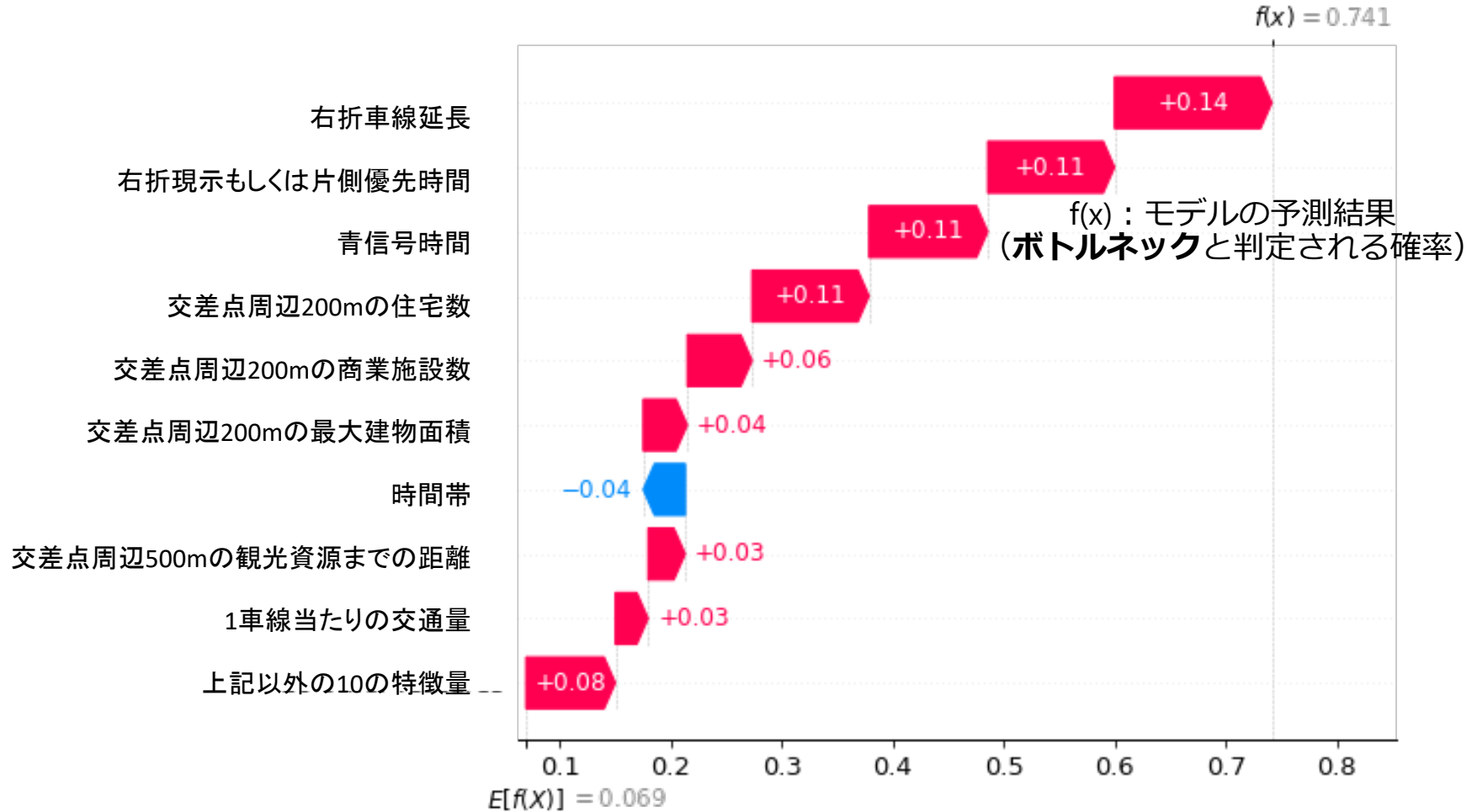
《現状の渋滞状況(平日)》

流入部	平均速度 (R2.9-11)	最大渋滞長 (H29.11.16)
北行	14.8 km/h	50 m
南行	11.9 km/h	500 m
東行	8.2 km/h	180 m
西行	9.1 km/h	80 m

※使用データ：ETC2.0データR2.9.1-11.30
渋滞長調査結果 (H29.11.16 (木))

渋滞対策の効果予測 例1: 葛本町交差点西行

【渋滞対策前】 11時台 左折レーン：0m



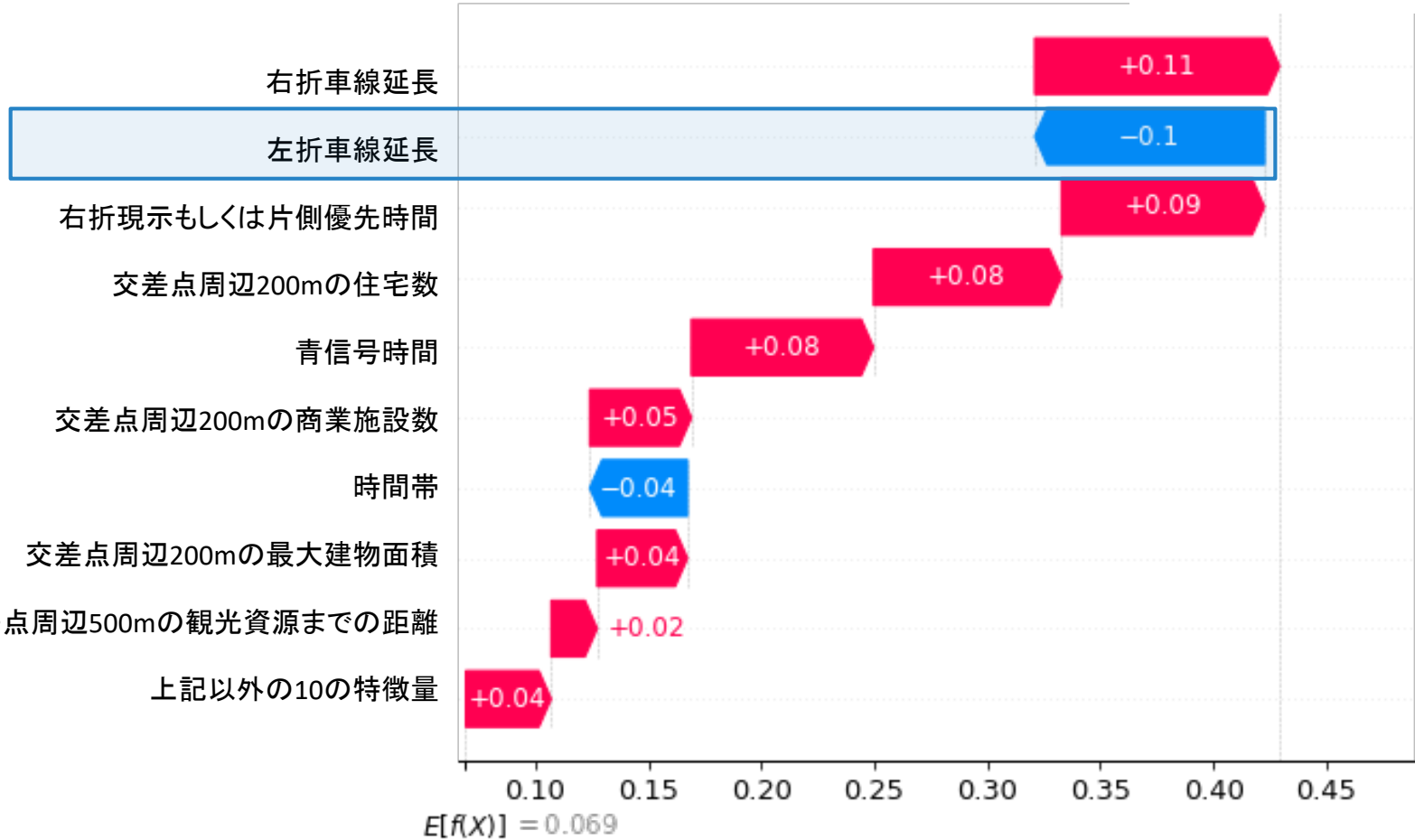
モデルの平均予測値： $E[f(X)] = 0.069$

渋滞対策の効果予測 例1: 葛本町交差点西行

【渋滞対策後】 11時台 左折レーン : 46m

対策前 : 0.741

↓
 $f(x) = 0.429$



➤ 左折レーンの新設による渋滞抑制への影響を確認

発表の流れ

- ✓ 研究の背景・ねらい
- ✓ 渋滞要因分析モデルの改良・検証
- ✓ 渋滞要因分析システムの試験運用
- ✓ 3か年の成果の取りまとめ

渋滞要因分析システムの試験運用(1)

作業方針の明確化(前年度までの成果における課題整理)

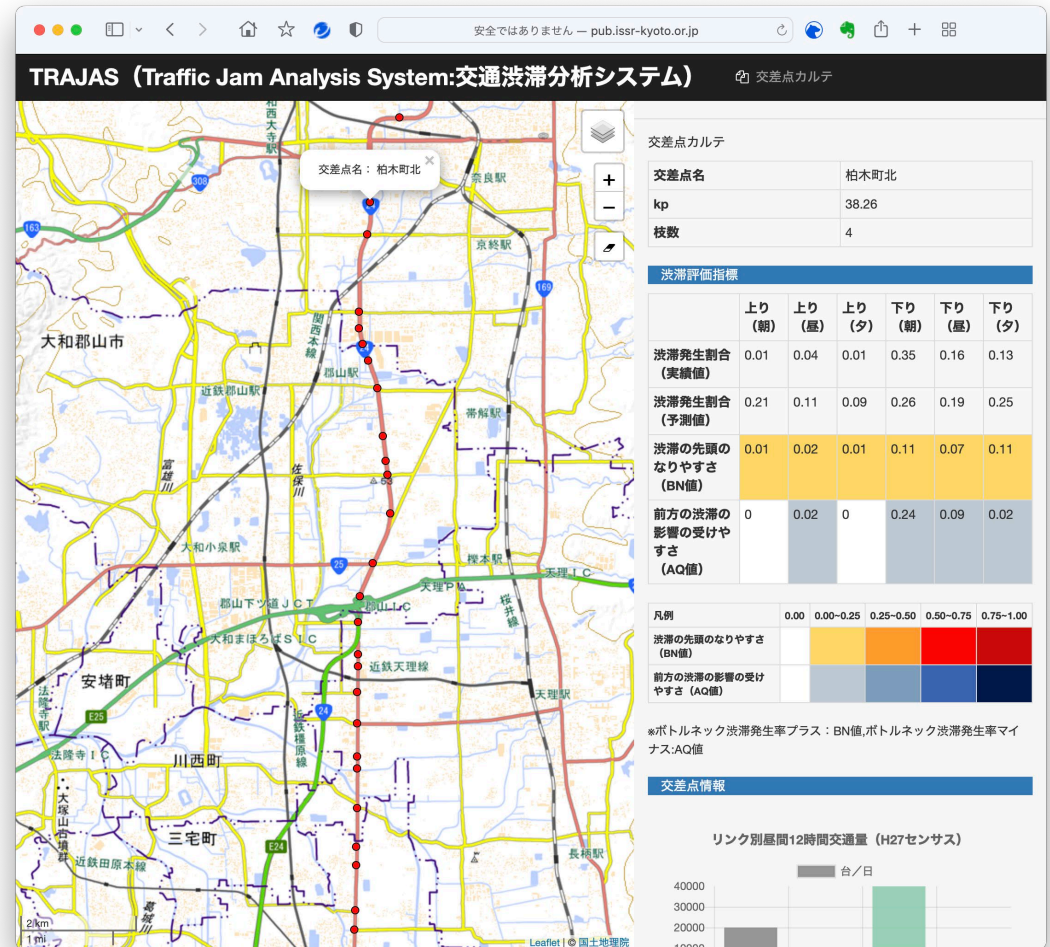
プロトタイプ作成

- 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。(JavaScript)



課題整理(プロトタイプ)

- 機械学習との親和性
→ JavaScript < python
- 今回構築した渋滞要因分析モデルの成果を活かすには、
→ プラットフォームの変更



渋滞要因分析システムの試験運用(2)

システム要件の整理(=開発プラットフォームに求めるもの)

- 渋滞要因分析モデルをシステム内で実行できること。
- Pythonで記述された機械学習プログラムの実行に適していること。
- 地理情報システム(GIS)との親和性があること。



プラットフォームとしての
Shinyパッケージの活用

- 統計解析システムRの一部
→データの可視化
→GISとの親和性
- Pythonで構築した渋滞要因分析モデルの取り込みが可能
→pythonプログラムの動作

Shinyのホームページ(<https://shiny.rstudio.com>)

Interact. Analyze. Communicate.

Take a fresh, interactive approach to telling your data story with Shiny. Let users interact with your data and your analysis. And do it all with R.

Shiny is an R package that makes it easy to build interactive web apps straight from R. You can host standalone apps on a webpage or embed them in R Markdown documents or build dashboards. You can also extend your Shiny apps with CSS themes, htmlwidgets, and JavaScript actions.

渋滞要因分析システムの試験運用(3)

開発したシステム(渋滞要因分析システムの実装)

- 学習データの読み込みと閲覧(GISとデータテーブル)
- 機械学習の実行と結果の閲覧

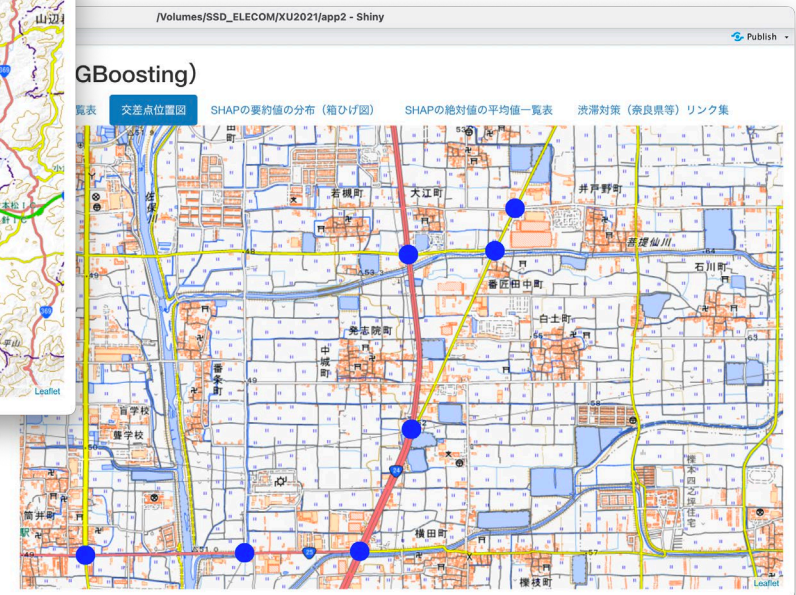
画面左側

- 学習データの選択
(Browse→選択)
- 機械学習の実行(Start)
- 位置図ベースマップ
(対象交差点の表示)

渋滞要因分析システムの試験運用(4)

分析システムについて(①交差点位置図の表示)

- 地理院タイル等のウェブマップを活用し、対象地域の全体図や着目交差点付近の拡大図等、多彩な表示が可能である。



渋滞要因分析システムの試験運用(5)

分析システムについて(②機械学習の実行)

- startボタンをクリックすると、機械学習プログラム(先述)がバックグラウンドで実行される。

The screenshot displays a web application interface on the left and an RStudio environment on the right. The web application, titled '決定木による渋滞要因分析 (XGBoosting)', features a 'start' button circled in blue. A large blue circle with the text 'クリック' (Click) is overlaid on the 'start' button. The RStudio window shows an R script with the following code:

```
83 # 1. 交差点一覧 (位置図・表)
84 # 交差点ノード (データ) が上下方向ごとに存在する交差点がある
85 observeEvent(input$intersection_file, {
86   # content <- paste(
87   #   csv_file()$交差点名称,
88   #   paste0(csv_file()$kpl100, "KP"),
89   #   "<b><a href='file:///Volumes/Ulttra01/work/XU0/appwork/data/report2019.pdf'> 交差点カルテ</a>"
90   #   sep = "<br/>"
91   # )
92   # 交差点位置図 (ベースマップはサイドバーで選択 : baseMap)
93   output$map = renderLeaflet({
94     leaflet(csv_file()) %>%
95       addTiles(urlTemplate = input$baseMap) %>%
96       addCircleMarkers(
97         lng = -x, lat = -y, label = -交差点名称
98       )
99   })
100
101   # 交差点一覧表 (交差点ノードが上下別に存在することがある)
102   output$table = renderDataTable(csv_file())
103 })
104
105 #####
106 # 渋滞要因分析 (重回帰分析の実行と結果出力)
107 # - 下り朝, 下り夕, 上り朝, 上り夕
108 # - 標準化偏回帰係数の方は未実装。lm_new2.Rで見直し中
109 #####
110 observeEvent(input$analysis_start, {
111   reticulate::source_python("XGBoost_multiclass_01.py", envir = globalenv())
112   #
113   # SHAPサマリープロットその2
114   ## SHAP値の箱ひげ図
115   ## SHAP_valuesリストの添字: ボトルネック (k=2)
116   # -----
117
118   SHAP_summary02_X <- list()
119   SHAP_obsMean <- list()
120
121   for (i in 1:3) {
122     SHAP_summary02 <- as_tibble(shap_values[[i]], ,name_repair = NULL) %>%
123     rowid_to_column(var = "rowID")

```

The RStudio console shows the following output:

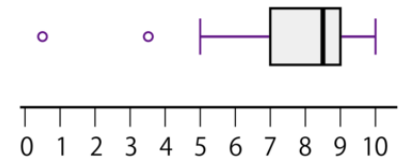
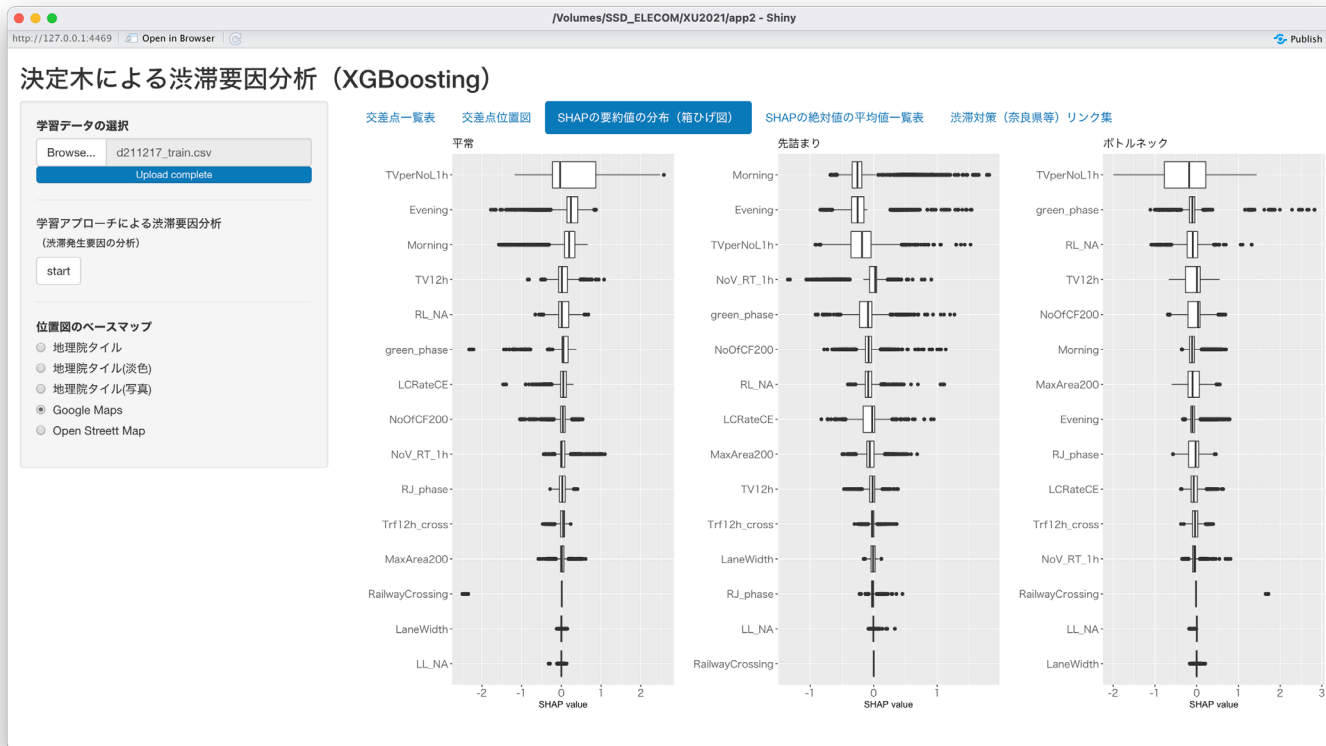
```
R 4.1.2
but getting flagged wrongly here. Please open an issue if you find any such cases.
[0] train-mlogloss:1.03407 eval-mlogloss:1.03484
[1] train-mlogloss:0.97465 eval-mlogloss:0.97707
[2] train-mlogloss:0.92060 eval-mlogloss:0.92361
[3] train-mlogloss:0.87074 eval-mlogloss:0.87459
[4] train-mlogloss:0.82477 eval-mlogloss:0.82950
[5] train-mlogloss:0.78229 eval-mlogloss:0.78825
[6] train-mlogloss:0.74284 eval-mlogloss:0.74958
[7] train-mlogloss:0.70607 eval-mlogloss:0.71407
[8] train-mlogloss:0.67197 eval-mlogloss:0.68055
[9] train-mlogloss:0.64004 eval-mlogloss:0.64975
[10] train-mlogloss:0.61032 eval-mlogloss:0.62103
[11] train-mlogloss:0.58237 eval-mlogloss:0.59400
[12] train-mlogloss:0.55590 eval-mlogloss:0.56910
[13] train-mlogloss:0.53105 eval-mlogloss:0.54588
[14] train-mlogloss:0.50758 eval-mlogloss:0.52379
[15] train-mlogloss:0.48555 eval-mlogloss:0.50296
[16] train-mlogloss:0.46478 eval-mlogloss:0.48405
[17] train-mlogloss:0.44524 eval-mlogloss:0.46581
[18] train-mlogloss:0.42663 eval-mlogloss:0.44860
[19] train-mlogloss:0.40883 eval-mlogloss:0.43241
```

A large blue circle is drawn around the RStudio console output, with the text '機械学習が実行される' (Machine learning is being executed) written below it.

渋滞要因分析システムの試験運用(6)

分析システムについて(③機械学習の結果の表示)

- 各説明変数のSHAP値(渋滞要因としての影響度合い)のばらつきを確認するための箱ひげ図
→箱の大きさと“ひげ”の長さでSHAP値のばらつきを比較できる



箱ひげ図の見方

- 箱: 25%~75%値 (四分値範囲 (IQR))
- 箱内の太線: 中央値
- ひげ左端: 25%値 - 1.5IQR
- ひげ右端: 75%値 + 1.5IQR
- 外れ値(丸印)
ひげ左端より小さい,
ひげ右端より大きい

渋滞要因分析システムの試験運用(7)

分析システムについて(④渋滞対策関連リンク集)

- 対象地域と周辺で展開されている渋滞対策の取り組みや成果についてのリンク集
→ 渋滞対策検討のヒントとして

決定木による渋滞要因分析 (XGBoosting)

学習データの選択
Browse... d211217_train.csv
Upload complete

学習アプローチによる渋滞要因分析 (渋滞発生要因の分析)
start

位置図のベースマップ
● 地理院タイル
● 地理院タイル(淡色)
● 地理院タイル(写真)
● Google Maps
● Open Street Map

渋滞対策 (奈良県等) リンク集

Show 25 entries

協議会等の名称	URL
1 奈良県みんなでつくる渋滞解消プラン	https://www.pref.nara.jp/17171.htm
2 奈良県渋滞対策協議会 (近畿地方整備局)	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/index.html
3 国道24号 柏木町北交差点の渋滞速効対策	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/20210323.pdf
4 奈良高架橋(南行)の渋滞対策 (車線運用の変更)	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/20200326.pdf
5 国道24号 柏木町交差点の渋滞速効対策	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/190625.pdf
6 郡山南IC 北行出口の渋滞対策 (車線数増加)	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/20190531.pdf
7 国道24号土橋町南交差点の渋滞速効対策	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/20181127.pdf
8 国道24号新堂ランプ交差点の渋滞速効対策	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/20190130.pdf
9 国道24号「三条大路2丁目交差点」の対策 (右折車線変更)	https://www.kkr.mlit.go.jp/nara/jutaikyoo/bval4b0000003bwy-att/20180222.pdf
10 奈良公園パークアンドライド 【終了】	https://yamatoji.nara-kankou.or.jp/q2nature/07park/01north_area/narakoen/event/b05jnto08v/
11 大阪地区渋滞対策協議会	https://www.kkr.mlit.go.jp/osaka/iyuta/index.html
12 京都府渋滞対策協議会 (近畿地方整備局)	https://www.kkr.mlit.go.jp/kyoto/project/kyougyokaiirika/iyuta/taisaku/grt3670000002fj.html
13 京都エリア観光渋滞対策実験協議会 (京都市)	https://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/000232003.html
14 今後の渋滞対策の推進について (近畿地方整備局)	https://www.kkr.mlit.go.jp/road/sesaku/jutaiaisaku.html
15 その他の観光渋滞対策について (国土交通省)	https://www.mlit.go.jp/road/ir/r-council/keizai_senryaku/pdf074.pdf
16 事業評価カルテ (国土交通省)	https://www.mlit.go.jp/tech/youka/public/jghks/chart.html
17 効率的な渋滞対策案の検討について (近畿地方整備局研究発表会)	https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyo/theses/2017/pdf02/chousa-02.pdf
18 高速道路の渋滞対策 (NEXCO東日本)	https://www.e-nexco.co.jp/activity/safety/detail_07.html

Showing 1 to 18 of 18 entries

協議会や事業の
名称

URL

ページ移動

奈良県

「奈良県みんなでつくる渋滞解消プラン」

「奈良県みんなでつくる渋滞解消プラン」

「奈良県みんなでつくる渋滞解消プラン」

奈良県渋滞対策協議会

国道24号奈良市域 柏木町交差点で渋滞速効対策を実施しました！！

国道24号 柏木町交差点 北南行き “左折レーンを新設 (0→1車線)”

令和元年6月14日10:00

「左折レーンを新設 (0→1車線)」

「左折レーンを新設 (0→1車線)」

「左折レーンを新設 (0→1車線)」

柏木町交差点の即効対策

発表の流れ

- ✓ 研究の背景・ねらい
- ✓ 渋滞要因分析モデルの改良・検証
- ✓ 渋滞要因分析システムの試験運用
- ✓ 3か年の成果の取りまとめ

3か年の成果の取りまとめ

● 渋滞要因分析モデルの構築

- ETC2.0プローブデータによる交通状況の把握・評価を基本に、道路交通センサス、信号制御情報、国土数値情報等のデータを統合的に利用することで、渋滞要因分析モデルを構築
 - モデルの精度向上の可能性と結果の解釈可能性を考慮し機械学習アプローチを適用
 - 渋滞発生・抑制それぞれに貢献する特徴量を把握
 - ボトルネック交差点において対策の効果予測を行い、渋滞要因分析モデルの適用性・移転性を確認

● 渋滞要因分析システムの構築と実装に向けての準備

- 渋滞要因分析システムのプロトタイプシステムを開発
 - ①分析対象交差点の実態、②渋滞要因分析モデルの結果を分かりやすく可視化
- フレキシビリティのあるシステムの構築
 - 機械学習による渋滞要因分析に対応可能なRとpythonをプラットフォームとするシステムを設計・開発
 - 渋滞要因分析システムの使い方を整理するとともに今後の課題を整理