

高精度気象データを用いた降雨の交通影響分析 と活用手法に関する研究

酒井 浩一¹・田中 淳²・大近 翔二³・山口 大輔⁴・割田 博⁵

¹非会員 首都高速道路㈱ (〒100-8930 東京都千代田区霞が関一丁目4-1)

E-mail: k.sakai67@shutoko.jp

²正会員 ㈱オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)

E-mail: tanaka-at@oriconsul.com

³非会員 ㈱オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)

E-mail: ohchika@oriconsul.com

⁴非会員 ㈱オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)

E-mail: yamaguchi-di@oriconsul.com

⁵正会員 首都高速道路㈱ (〒100-8930 東京都千代田区霞が関一丁目4-1)

E-mail: h.warita1116@shutoko.jp

首都高速道路では、これまで降雨と交通事故との関係や降雨量と交通容量の関係等を分析することにより、雨天時に施設接触事故が増加することや降雨量に応じて交通容量が低下するなどが明らかとなっている。一方で気象データは、高解像度降水ナウキャストといった、30分先までの5分ごとの降水強度及び5分間降水量を250m四方の細かさで予測するデータが提供されている。本研究は高解像度降水ナウキャストデータを用いて、特定の数路線を対象に降雨データと、車両感知器データやETC2.0データによる交通量や速度等の交通現象への影響を分析した。また、降雨による交通事故等へ影響について、これまでの気象観測点による分析との違いや、高解像度降水ナウキャストに関して事故リスク情報等、今後の活用手法について検討したものである。

Key Words : urban expressways, High-precision meteorological data, traffic influence analysis

1. はじめに

首都高速道路では、平成26年度に10,342件/年の交通事故が発生しており、そのうち1,775件/年(17.2%)が雨天等による湿潤時(現場の状況を踏まえ路面が湿潤時に発生した事故として登録されたもの)の事故となっている。雨天時の事故は晴天時と比較して約4倍の事故が発生していること、施設接触事故のみに着目すると約10倍の事故が発生していることが明らかになっている¹⁾。また、降雨状況に応じて交通容量が低下することが明らかになっている²⁾。

一方、近年ゲリラ豪雨のような局所的に短時間のうちに膨大な量の降雨を観測している事象や数年前と比較して規模の大きい台風が頻繁に発生している状況が見受けられる。このようなことを鑑み、気象庁では高解像度降水ナウキャストといった30分先までの5分ごとの降水強度及び5分間降水量を250m四方の細かさで予測するデー

タを提供している。

以上より、本研究は高解像度降水ナウキャストデータ(以降、ナウキャストデータという)を用いて、降雨データと車両感知器データやETC2.0データによる交通量や速度等の交通現象への影響を分析をするものである。また、降雨による交通事故等への影響について、これまでの気象観測点による分析との違いや、ナウキャストデータによる事故リスク情報等、今後の活用手法について検討するものである。

2. 対象箇所と使用データ

(1) 分析対象箇所

分析対象箇所は、図-1に示したボトルネック箇所である3号渋谷線上り池尻付近と4号新宿線下り高井戸付近、及び雨天時における事故多発箇所である4号新宿線代々木付近(上下線両方)とした。



図-1 対象箇所

表-1 使用データ一覧

種類	データ名	備考
交通データ	車両感知器データ	交通量, 速度
	ETC2.0データ	速度プロファイル
	事故データ	事故発生時刻, 位置, 事故形態等
降水データ	ナウキャストデータ	250mメッシュ 5分毎の降水量
	気象台データ	全国約60箇所 表-2の地点を利用
	アメダスデータ	地域気象観測システム の略で全国約1,300箇所 表-2の地点を利用

(2) 分析対象期間

分析対象期間は、2015年7月～9月の3ヶ月間とした。

(3) 使用データ

分析に使用するデータは、表-1のとおり、交通データとしては車両感知器データ、ETC2.0データ及び事故データとし、降水データとしてはナウキャストデータ、気象台データ、アメダスデータとした。ここで、ナウキャストデータとは、気象庁より2014年8月から提供が開始されている気象データであり、気象ドップラーレーダーの観測データに加え、気象庁・国土交通省・地方自治体が保有する全国の雨量計のデータ、ウィンドプロファイラやラジオゾンデの高層観測データ、国土交通省Xバンドレーダのデータも活用し、高水域の内部を立体的に解析して、250m解像度の降水分布を30分先まで予測しているものである³⁾。なお、250m解像度の予測期間は30分であるが、予測時間35分～60分までは同様のアルゴリズムで1km解像度の降水分布を予測されている。

表-2 観測所の所在地及び位置情報

地点	区分	所在地
東京	気象台	千代田区
府中	アメダス	府中市幸町
世田谷	アメダス	世田谷区岡本

3. ナウキャストデータの特徴

(1) 気象観測地点と対象箇所の位置

図-1に観測所の所在地と対象箇所との位置関係を示した。ボトルネック箇所である3号渋谷線池尻付近及び4号新宿線高井戸付近、事故多発箇所である4号新宿線代々木付近を取り囲むように気象庁の気象台や観測所（アメダス）が存在しているものの、前述した箇所のピンポイントでの観測地点は存在していない。

(2) 気象観測地点の降水状況

図-2は、対象期間における東京管区気象台と高井戸付近のナウキャストデータの時間降水量を比較したものである。同図によると、東京管区気象台データと高井戸付近のナウキャストでは降水量の差が大きい時間帯があることがわかる。

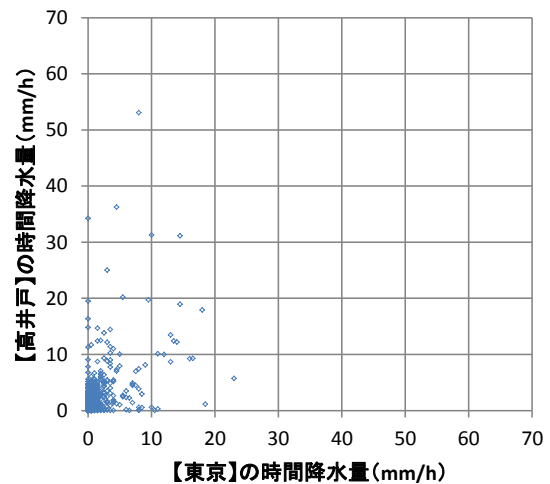


図-2 気象台とナウキャストデータの時間降水量の比較

(3) ナウキャストデータによる雨量分布の変化

図-3は、2015年7月16日15時時点（台風11号が発生）のナウキャストデータによる降水強度を示したものである。同図によると、東京管区気象台や府中アメダス観測所付近と高井戸付近のナウキャストデータを比較すると大きく異なっていることがわかる。

また、図-4は、前述のナウキャストデータをもとに、4号新宿線のKP別、時間帯別（5分間）に降水量データを展開したものである。同図によると、台風のような天候の変化が激しいような状況では、同一路線、同一時間であっても降雨量が大きく異なるような場合があることがわかる。

以上より、台風やゲリラ豪雨等、箇所ごとに降水量が大きく異なるような場合において、降雨状況による交通影響を検討する際は、ナウキャストデータが有効であると言える。

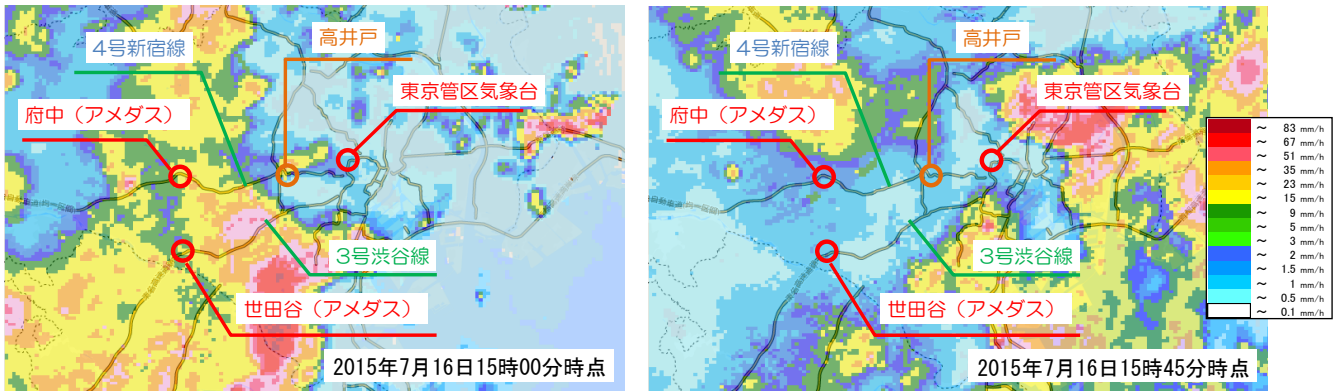


図-3 ナウキャストデータによる雨量情報

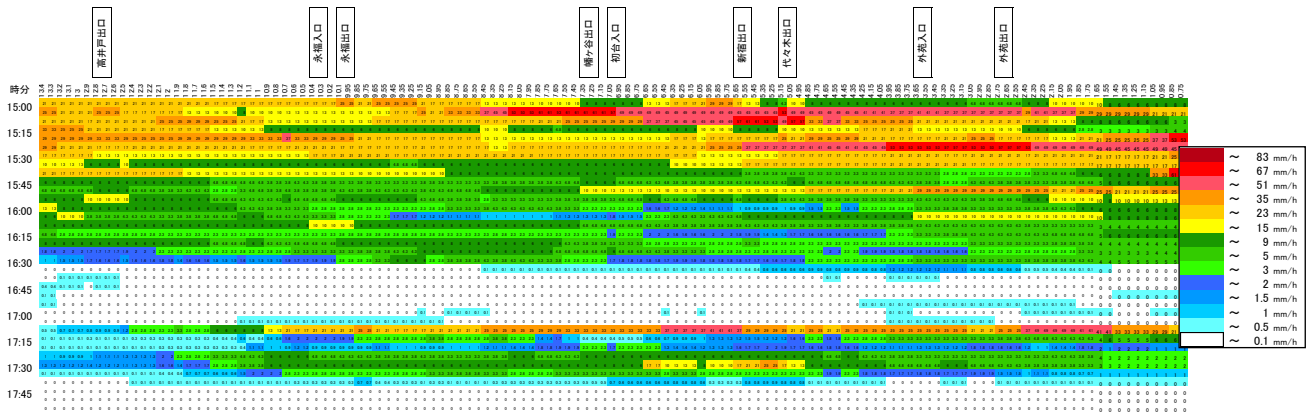


図-4 ナウキャストデータによる地点別時間帯別降雨量状況 (4号新宿線2015年7月16日15時~18時)

4. ボトルネック地点における適用

渋滞のボトルネック地点について、ナウキャストデータによる降水量と交通状況との関係を分析し、活用方法について検討する。

図-5、図-6は、ボトルネック地点となっている池尻付近と高井戸付近における降水量ランク別のQV図を示したものである。図中の降水ランクは表-3のようにA~Eに分類した。これらの図によると、降水量ランクが高くなるにつれて速度低下が顕著になることと、臨界流の交通量(交通容量)の低下が大きくなるなどの状況が鮮明にわかる。

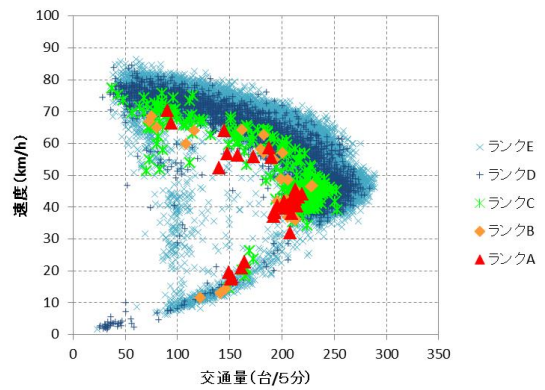


図-5 降水量ランク別のQV図 (池尻付近)

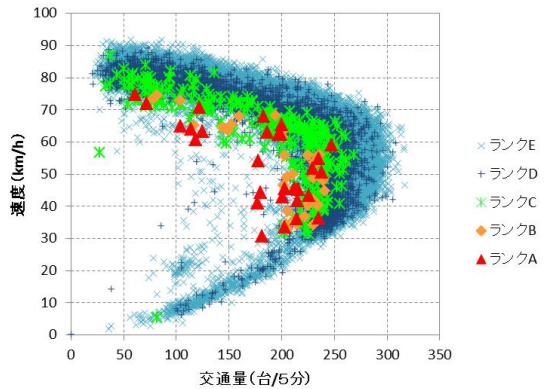


図-6 降水量ランク別のQV図 (高井戸付近)

表-3 ナウキャストデータの降水量ランク区分

降水量ランク	1時間換算降水量 (mm/時)	気象用語 (mm/時)
A	50以上	猛烈な雨 (80以上) 非常に激しい雨 (50~80)
B	30以上~50未満	激しい雨 (30~50)
C	10以上~30未満	強い雨 (20~30) やや強い雨 (10~20)
D	0.1以上~10未満	(0.1~10)
E	0	—

(注) ナウキャストデータの降水量は、5分毎に 0.1mm/h 単位 (1時間換算値) で記録されている。

また、図-7、図-8は降水量ランク別の速度分布を示したものであり、図-9、図-10は交通量が交通容量状態に近い200台/5分における降水ランク別の交通量分布を示したものである。これらの図からみても、降水ランクが高くなるに従い速度が低下している状況と、交通容量が低下している状況が見てとれる。

以上のように、ナウキャストを利用することで、ピンポイントの降水量が明らかとなることから、ボトルネック地点における降水量と交通流の影響をより鮮明に明らかとすることができる。また、このような結果は、首都高道路におけるリアルタイム予測シミュレーション⁴⁾において、降雨量に応じてQK条件や交通容量等のパラメータを変更することへの活用も可能と考えられる。

5. 事故多発地点における事故要因分析への適用

雨天時の事故多発地点について、ナウキャストデータと事故や交通状況との関係を分析し、活用方法について検討する。

(1) 施設接触事故と降水量の関係

対象箇所のだぐ木付近の施設接触事故は、2015年7月～9月の3ヶ月間で上り（3.6kp～4.1kp）が9件、下り（4.0kp～4.5kp）が17件発生していた。これらの事故とナウキャストデータによる降雨量との関係を分析した。

図-11は、2015年7月3日～6日の時間帯別降雨量とだぐ木付近の事故発生状況（図中赤線部で発生）を示したものである。同図によると、施設接触事故は雨量が多いときに発生しているのではなく、多雨後の少雨時や雨が止んでいる時間帯で発生していることがわかる。

また、図-12は対象3か月間における湿潤時の施設接触事故発生時の降水量と速度の相関を示したものである。同図からも、事故は2mm/h以下の状況や雨が止んでいる状況が多いことがわかる。

(2) 降水量と速度との関係

対象箇所においてナウキャストデータによる降水量とETC2.0データによる速度との関係を分析した。

図-13は上り線のカーブの上流、区間、下流の3地点における路面乾燥時、路面湿潤時、降水時（雨量により2分類）と速度の関係を示したものである。同図によると、カーブ区間の平均速度について降水なし（路面乾燥時）と降水時とを比較すると、降水量が多くなるにつれて低下していることがわかる。

一方、降水なし（路面乾燥時）と降水なし（路面湿潤時）を比較すると同程度の速度となっていることがわかる。また、路面湿潤時の方が15%マイル値と85%マイル値の幅が大きく、バラツキがなっていることがわかる。

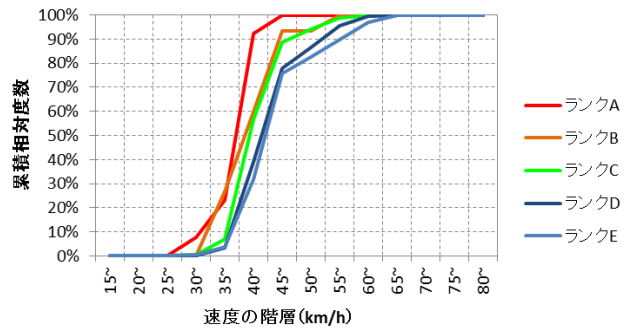


図-7 降水量ランク別速度分布（池尻付近）

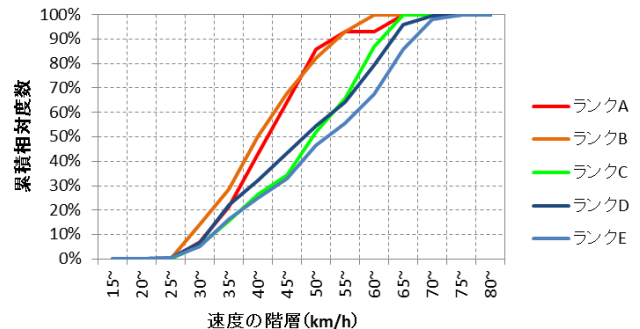
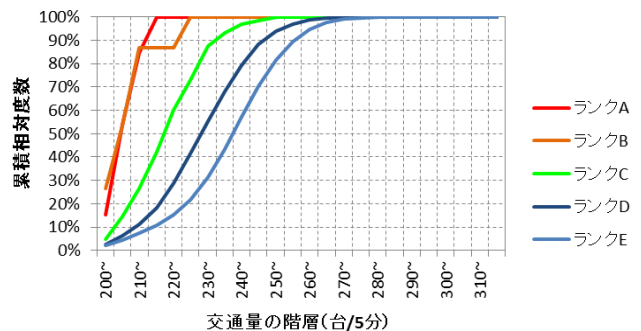
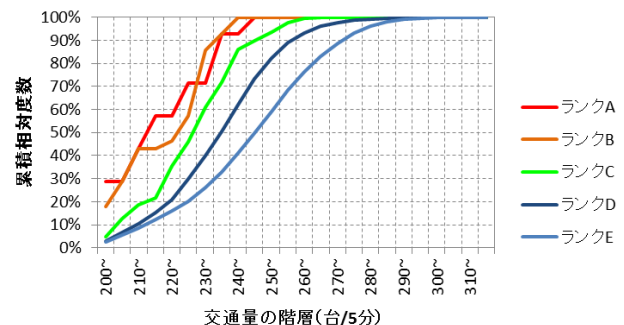


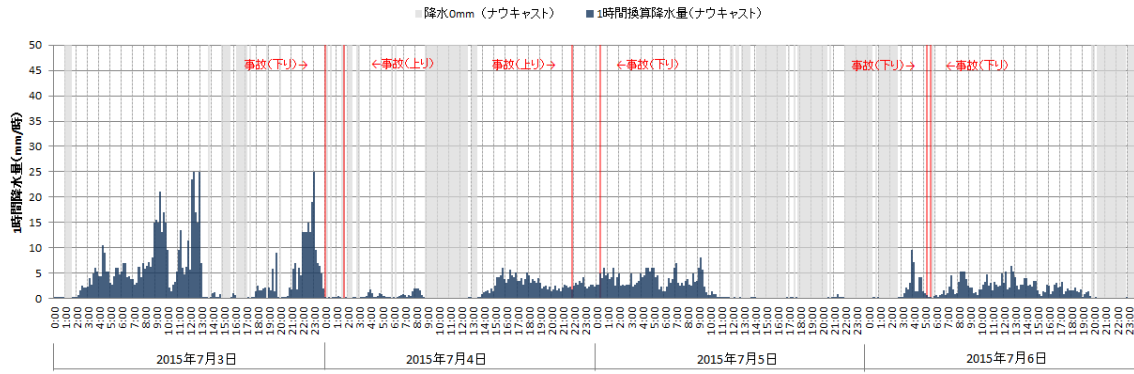
図-8 降水量ランク別速度分布（高井戸付近）



※交通量200台/5分以上を対象
図-9 降水量ランク別交通量分布（池尻付近）

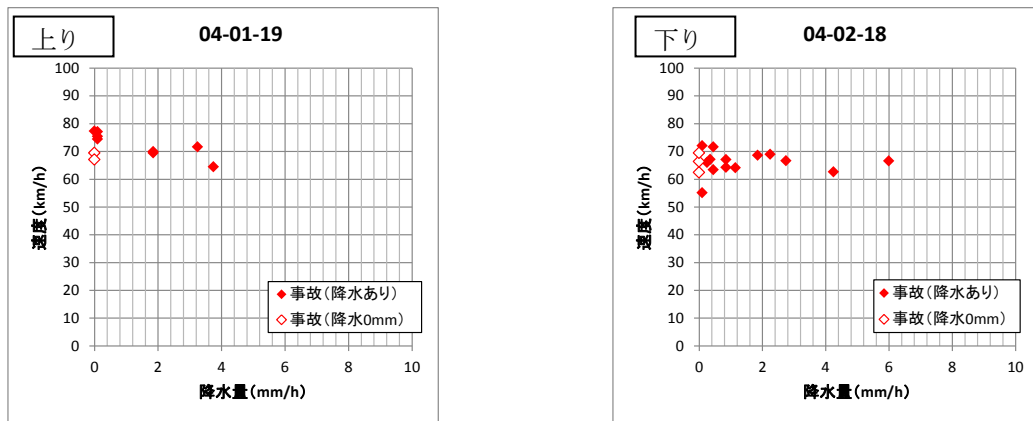


※交通量200台/5分以上を対象
図-10 降水量ランク別交通量分布（高井戸付近）



※1時間換算降水量 (ナウキャスト) は、5分ごとの1時間換算降水量を10分間で平均したもの。

図-11 ナウキャストデータと事故の発生状況



※事故発生時速度は事故が発生した時刻の直前の5分間平均速度，図中の施設接触事故は全て路面湿潤時に発生，降水量はナウキャストデータによる5分ごとの1時間換算降水量である

図-12 事故発生時の降水量と速度の相関図

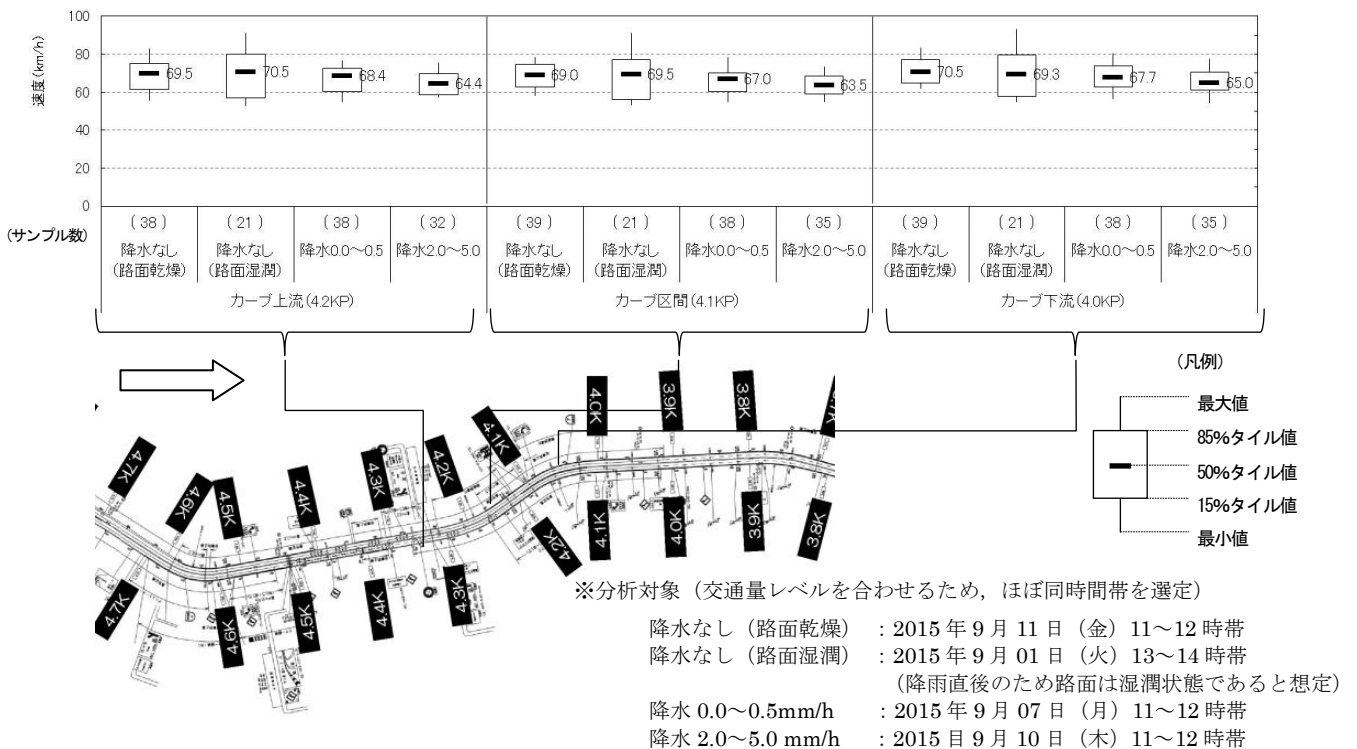


図-13 降水量別の速度の関係図 (上り線)

(3) まとめ

以上の結果を踏まえると、路面湿潤時の施設接触事故の事故要因として以下のように推測できる。

- ・強雨状態ではドライバーは速度を落とし、注意している状況のため、事故が起こりづらい。
- ・強雨後の少雨状態や雨が止んだ状態では、路面が湿潤状態で滑りやすい状況であるが、乾燥時とほぼ同様の速度でカーブに進入する車両が存在している（路面の状態からすると降雨時と同程度に落とすべきである）

このように、ナウキャストデータは事故多発地点のピンポイントの降水量がわかるため、上記のような事故要因分析に活用できると言える。

6. リアルタイムデータとしての活用手法

前述したとおり、降雨の状況は交通現象や交通事故等に大きく影響している。ここではナウキャストデータのリアルタイム活用手法として、事故リスク予測情報の提供への活用可能性について検討した。

事故リスク予測情報の提供は、阪神高速道路において検討が進められており、各種の道路構造、交通量や速度、降水状況等から事故リスクの予測モデルを構築し、事故リスク情報を生成しており、現在はドライバーに対してWeb上で情報提供を行っている⁵⁹⁾。

首都高速道路においても同様の検討を進めており、事故リスクの予測モデルを構築している⁷⁾。本分析では、検討中の予測モデル式を用いて事故リスクを試算するとともに、これら事故リスクの情報提供方法について考察する。なお、本検討で利用する事故リスク予測モデルは、事故件数を目的変数とし、道路構造や線形等の線形条件等の静的データと、交通データや降雨量等の動的データを説明変数として、ポアソン回帰分析を行い作成したものである。モデルは、追突、車両接触、施設接触事故の3種類作成している。詳細は参考文献⁷⁾を参照されたい。

(1) 予測条件

対象路線は4号新宿線下りとし、対象日時は降雨の変動の激しい2015年7月16日（木）15：00～16：00の1時間について5分毎実施した。予測は表4の2ケースについて実施した。同表の交通データとは、速度及び交通量であり、速度は追突事故や施設接触事故の説明変数として用いられ、特に追突事故は速度が低いほど事故件数が多くなるようになっている。交通量は事故率を算出する際の走行台キロの算出に用いている。この交通データとしては当日の交通状況と同じ方が事故リスク予測の精度が高まる。本分析では過去の統計値を利用した場合と、リアルタイムシミュレーション（RISE）による予測値を用

いた2パターンについて予測した。ここで、RISEとは、車両感知器データをインプットとし、現在の交通状況をベースとして2時間先までの交通量、速度を予測をするリアルタイムシミュレーションモデルである。リンク単位でQK曲線を設定しているため、突発的な事故や降雨、および渋滞など時々刻々と変化する交通状況を予測することが可能である。また、降雨は、降雨なしの場合と、ナウキャストデータの降水量を利用した場合の2パターンについて予測した。ケース②の予測イメージは図-14の通り、現時点から交通状況と降水量の予測値といった動的データを入力条件として、将来の事故リスクを予測している。

(2) 予測結果

図-15は事故類型別事故件数の予測結果を示したものである。同図によると、ケース②は施設接触事故の件数が増えている。これは降雨による事故の増加を再現しているためである。また、追突と車両接触事故はケース①の方が多く、これは予測当日は台風で交通量が少なくなり、通常よりも渋滞していないことに対して、ケース①は交通データが統計値のため、これを再現できておらず、ケース②は交通データが予測値でありこれを再現できているためである。

図-16は事故率の予測結果を示したものである。ケース①は時間帯に関わらずほぼ一定であるが、ケース②はナウキャストデータによる降雨状況を再現しているため、変動している。

図-17は15：00時点の事故リスク予測結果について、kp別（100mピッチ）の事故件数と事故率の予測結果を示したものである。同図によると、ケース②の施設接触事故がkp別に変化していることがわかる。

表-4 予測ケースの概要

ケース	交通データ(交通量, 速度)	降雨
①	統計値 ※予測前年(2014年)の7月の火~木曜日の平均値を利用	降雨なし
②	予測値 ※RISEによる予測当日の予測結果を利用	降雨あり(ナウキャストデータを利用)

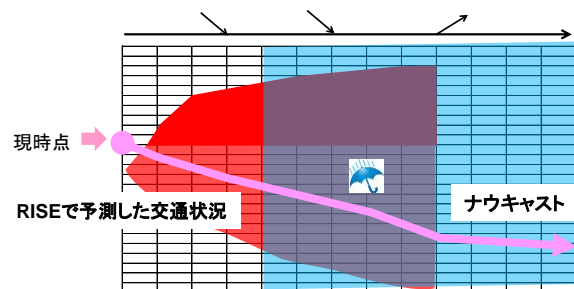


図-14 ケース②の予測イメージ

(3) 事故リスク情報の提供イメージ

前述したような事故リスクの予測結果について、阪神高速道路での研究成果⁵⁾等を参考に、首都高速道路での提供方法について検討した。表-5は、事故リスク情報の提供方法(案)を示したものである。また、図-18、図-19、図-20は想定される場面別の提供イメージを示したものである。

旅行計画時は、首都高Webの料金・ルート案内の機能に追加し、日付や時間帯、出発地・目的地を指定し検索することで既存の所要時間、料金等の情報に加えて事故リスク情報を提供する。この場合数日先の検索をする可能性もあるため、降雨の有無はユーザーに指定してもらう。

出発直前、分岐部手前、事故多発箇所の手前では、前項のケース②で予測したようなナウキャストデータを利用したリアルタイムの事故リスク予測結果を以下のように利用できる。

- 出発直前では首都高アプリ mew-ti を用いてリアルタイムルート検索の機能に追加し提供する。
- 分岐部手前においては、出発直前と同様の事故リスク予測結果を用いて、 mew-ti を用いて経路比較情報の機能に追加し、経路別の事故リスク情報を提供する。
- 事故リスクの高い地点の手前においては事故リスクの内容に適合した注意喚起情報を提供する。

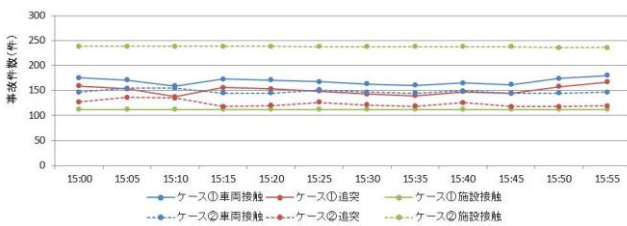


図-15 事故件数の予測結果

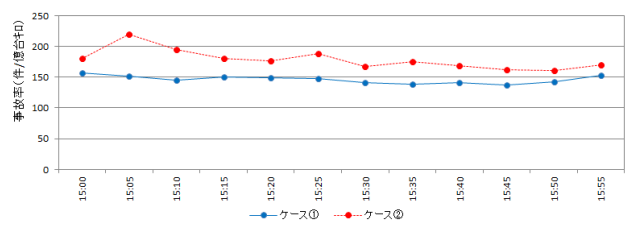
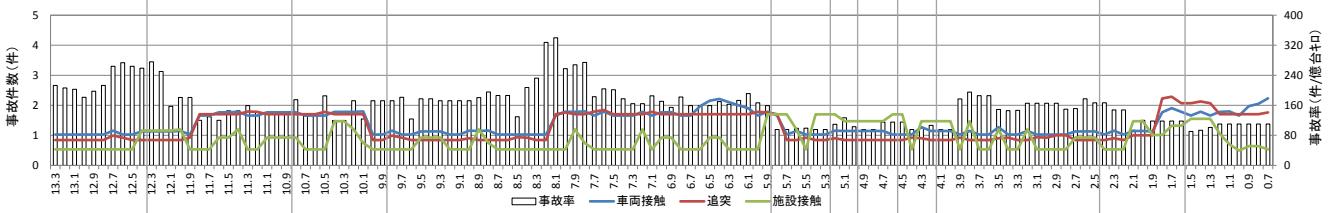


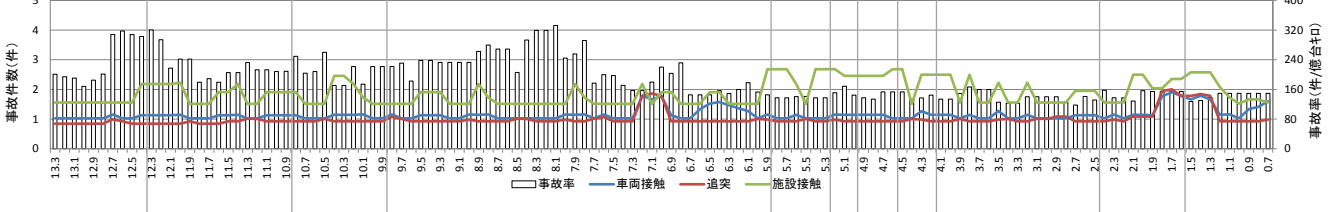
図-16 事故率の予測結果



ケース①



ケース②



<予測モデルに利用した速度と降水量>

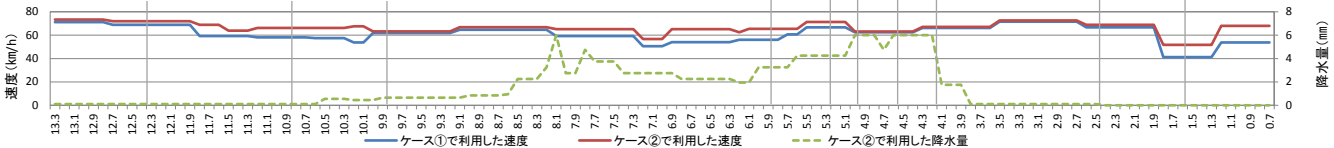
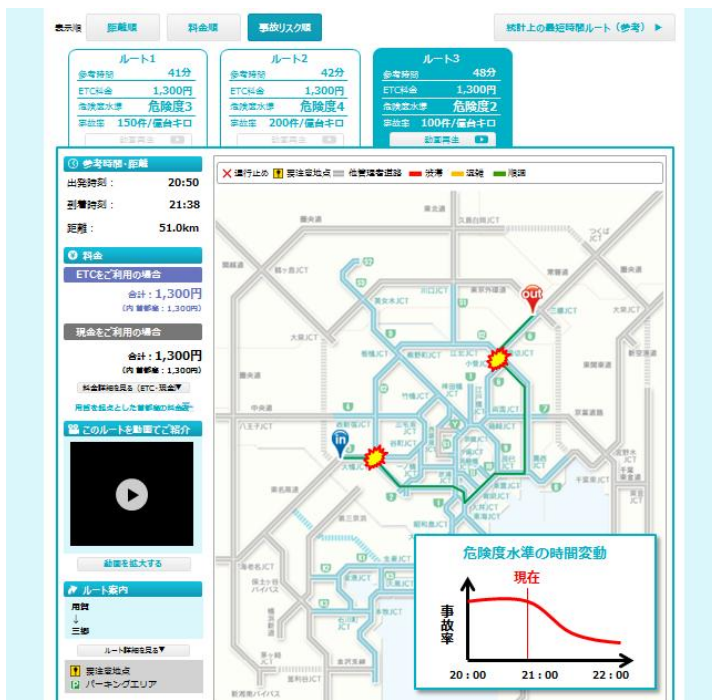


図-17 kp別の事故リスク予測結果 (15:00時点)

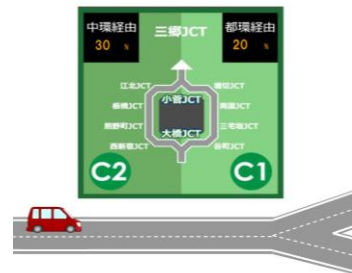
表-5 事故リスク情報の提供 (案)

場面	提供方法の考え方	降水データ	事故リスク情報	媒体
旅行計画時 (数日前)	<ul style="list-style-type: none"> 日付や時間帯, 出発地・目的地を指定して検索 過去の統計に基づき, 事故リスクを予測し提供 雨は選択式 	<ul style="list-style-type: none"> ユーザーが降水の有無を選択 	危険度水準 事故発生確率 事故遭遇確率 事故多発箇所	「首都高Webの料金・ルート案内」の活用機能を追加 (図-18)
出発直前	<ul style="list-style-type: none"> 現時点から, 出発地・目的地を検索 リアルタイム交通状況と降雨データに加えて, RISEによる2時間先の交通状況予測結果と, ナウキャストデータをもとに, 事故リスクを予測し, 2時間先まで提供 	<ul style="list-style-type: none"> ナウキャストデータを利用 	危険度水準 事故発生確率 事故遭遇確率 事故多発箇所	mew-ti首都高リアルタイムルート検索に機能追加 (図-18)
首都高JCT分岐前	<ul style="list-style-type: none"> JCT部において経路別に出发直前と同様のデータを利用し提供 (所要時間と併記or選択式or交互表示) 	<ul style="list-style-type: none"> ナウキャストデータを利用 	事故発生確率 or事故遭遇確率 (選択式)	mew-tiスマホアプリ経路比較情報に機能追加 (図-19)
事故リスクの高いポイント手前	<ul style="list-style-type: none"> 出発直前と同様のデータで事故リスクを予測した場合に, 事故リスク (事故発生確率) がある一定以上となった箇所の手前で, 注意喚起情報を提供 基本, 事故多発箇所の手前で注意すべきポイントがわかるメッセージを提供, 例えばカーブ手前は雨の日にリスクが高くなるため, その場合のみ提供 	<ul style="list-style-type: none"> ナウキャストデータを利用 	事故発生確率が一定値以上の箇所 で, 注意喚起情報	mew-tiスマホアプリ経路比較情報をベースに機能追加 (図-20)



- ・日付や時間帯、出発地・目的地を指定し検索
- ・既存の所要時間等や料金の情報に加えて、事故リスク情報を提供
- ・事故リスクが低いルートの検索も可能とする
- ・時間変動も提供し、時間帯の変更にも使えるようにする

図-18 出発前の提供イメージ



JCT 部において経路別に事故リスク情報(事故遭遇確率)を提供 (情報は当日との交通状況や気象情報を踏まえた予測情報)

図-19 分岐部における提供イメージ (事故遭遇確率)



事故多発ポイント手前で高リスク状態(例えば降雨時の急カーブ)が予測された場合に、注意喚起情報を提供

図-20 危険箇所手前の提供イメージ

7. おわりに

本研究は、ナウキャストデータを用いて、ボトルネック箇所や事故多発箇所を対象に降雨データと、交通量や速度等の交通現象への影響を分析するとともに、ナウキャストについて事故リスク情報への活用手法について検討したものである。

この結果、ナウキャストデータによりピンポイントの降雨データが入手できることから、ボトルネック箇所については雨量による交通容量低下状況などが把握できることや、事故多発箇所については事故要因分析に活用できることが明らかとなった。また、ナウキャストデータのリアルタイム活用として、事故リスク予測に利用し、この結果を用いた情報提供方策について提案した。

ナウキャストデータの更なる活用を考慮すると以下の課題がある。

- (1)250mmメッシュデータについて首都高のキロポストとの対応テーブルの作成：首都高では車両感知器や道路構造などキロポストに対応しているものが多い。このことから首都高のキロポスト別に250mmメッシュの対応テーブルを作ることで、様々な箇所でもより効率的な活用が可能となる。
- (2)ナウキャストデータのオンラインでの収集・蓄積：今回は研究用に3か月間のデータをオフラインで収集し、分析を行ったが、今後事故リスク情報への活用のためにはオンラインでデータ収集を行うとともに、データを蓄積し活用することが必要である。

謝辞：本研究は、(一社)交通工学研究会の自主研究「交通事故リスクマネジメントに関する研究」の一環として実施した。委員長の吉井教授をはじめ、委員の皆様の研究は大変参考になった。また研究にあたっては首都高チームを結成し、議論を重ねてきた。執筆者の他には首都高速道路の三浦委員、福山コンサルタント深井委員、篠田委員、パシフィックコンサルタンツ田村委員には貴重な議論やご意見をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 首都高速道路(株)：首都高ドライバーズサイト (雨の日に事故が多発しています)
<http://www.shutoko.jp/use/safety/driver/rain/> (アクセス：平成28年4月14日)
- 2) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田純之：首都高速道路におけるキャパシティボールの抽出とその特性分析, 土木計画学研究・講演集, 2004
- 3) 気象庁：高解像度降水ナウキャスト
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/nowcast/highres_nowcast.html (アクセス：平成28年4月14日)
- 4) 宗像恵子, 割田博, 田村勇二, 白石智良；「首都高速道路におけるリアルタイム予測シミュレーションの開発」, 第29回交通工学研究発表会, pp. 293-296, 2009
- 5) 大藤武彦, 兒玉崇, 竹井賢二, 小澤友記子：都市高速道路におけるリアルタイム事故リスク情報提供～予測モデル分析と提供システム開発～, 土木計画学, 2015
- 6) 小澤友記子, 兒玉崇, 藪上大輔, 大藤武彦：阪神高速道路における WEB ベース事故リスク情報提供ツールを活用した安全運転支援阪高 SAFETY ナビ：SAFETY ドライブ・スマートチョイス, 土木計画学, 2015
- 7) 三浦正幸, 深井靖史, 篠田直樹：首都高速道路における事故リスク予測モデルの構築, 土木計画学, 2016 (投稿中)

STUDY ON THE TRAFFIC INFLUENCE ANALYSIS BY RAINFALL AND METHOD USING HIGH-PRECISION METEOROLOGICAL DATE

Kouichi SAKAI, Atsushi TANAKA, Shoji OCHIKA, Daisuke YAMAGUCHI
and Hiroshi WARITA