

交通ビッグデータを用いた平成28年台風10号 道路ネットワーク被害に関する基礎的分析

金子 辰也¹・神戸 大輝²・浅田 拓海³・有村 幹治⁴

¹学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail:16041020@mmm.muroran-it.ac.jp

²学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail:17041014@mmm.muroran-it.ac.jp

³正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail:asada@mmm.muroran-it.ac.jp

⁴正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail:arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

ETC2.0の普及率が低い状況にある地域における自然災害時の道路交通特性を把握するため、ETC2.0プローブデータの代替として、モバイル空間統計および混雑統計の2つの交通ビッグデータを用いて、北海道各地域に襲来した平成28年台風10号襲来前後の人の滞在状況および通過人数の分析を行った。モバイル空間統計では、市町村ごとに台風10号による滞在人口の変動を確認した。混雑統計では、通行止め区間の通過人数減および迂回路の通過人数増を地理空間的に把握した。このような交通ビッグデータを導入することで、自然災害時のような交通調査が難しい期間、箇所においても人の滞在状況や交通量を広域的に把握することができ、地域防災・減災リスクマネジメント等への活用の可能性を示すことができた。

Key Words : natural disaster, road damage, ETC2.0, mobile special statistics, "Konzatsu Tokei®"

1. はじめに

近年、我が国では台風や大雨による土砂崩れや洪水等、異常気象に伴う多くの災害が発生している。例えば、平成28年8月末に東北・北海道を襲った台風10号は、河川氾濫に伴う橋の流失や土砂崩れを各地で発生させ、地域社会を支える主要道路幹線に壊滅的な被害をもたらし、北海道の道路ネットワークを広域に寸断させた。また、積雪寒冷地である北海道では例年のように暴風雪が発生している。冬期の道路移動環境に合わせた適切な規制の実施や利用者の誘導、また移動の取りやめのための判断材料の提供、災害に応じた地域の防災・減災マネジメントのありかたが問われている。

災害時の道路交通マネジメントにおいては、地域住民とのコミュニケーションを介した避難誘導、帰宅困難者を増加させないための移動の抑制、待機の判断、また被災後の円滑な救助活動支援、迅速な道路啓開、道路復旧の支援等、多くの課題がある。

この課題の解決のためには、被災地域の交通行動の詳細な記述手法、予測手法、最適化手法、制御手法等の構築が重要となる。これらの手法論の構築には、まず災害時の交通行動データに基づく分析が必要不可欠であるが、災害時の交通行動は、従来、被災後の住民に対するヒアリング調査やアンケートに基づいた主観的データが主となっており、災害時の交通現象全体を客観的に定量化す

ることは困難であった。しかし近年、GPS位置データを用いたプローブ調査により、微細な空間分解能による交通行動の収集が可能となっており、その研究蓄積が進んでいる。しかしながら、災害時を対象としたプローブ調査の事例は、そもそも災害数が限られていることから、平常時の交通と比較して、研究事例は未だ少ない状況にある。

昨今、ETC2.0によって24時間365日間連続的・網羅的に記録されるプローブデータの活用可能性に関する研究が活発化している^{1)①}。上記のような自然災害時の交通分析への適用も期待されているものの、特に地方部においては、ETC2.0の普及率が低いことから詳細な分析は難しい状況にある。一方、民間においても交通ビッグデータの蓄積、提供が進められており、例えば、NTTドコモによる「モバイル空間統計」や株式会社ゼンリンデータコムによる「混雑統計②」などを利用して、人の滞在状況^{7)⑩}や各種交通分析^{11)⑬}など、様々なアプローチから研究が展開されているところである。これらのデータもETC2.0プローブデータと同様に、移動主体の位置情報がベースとなっており、過去に遡って任意の期間、箇所のデータを取得できることから、将来的に普及が進むETC2.0プローブデータの相互補間的なものとして導入できると考えられる。

そこで、本研究では、平成28年に北海道に襲来した台風10号をケーススタディとして、「モバイル空間統

計」および「混雑統計」の 2 つの交通ビッグデータを ETC2.0 の代替として用い、各地域、路線における人の滞在や通過人数の変化について分析を試みる。得られた結果を基に、将来的に蓄積が進む ETC2.0 プロブデータが、防災・減災に対する道路交通マネジメント、また地域コミュニティにおける防災・減災マネジメントに対した大きな付加価値を持つ社会情報インフラとなりえることを確認する。

2. 北海道における平成28年台風被害状況

近年、我が国では異常気象による多くの災害が発生している。これら異常気象が引き起こす災害は、人命や住宅への被害のみに止まらず、交通ネットワークにも大きな損失をもたらす。平成28年には、8月から台風7, 9, 11, 10号などが北海道、東北地方に立て続けに上陸し、各地で大きな被害をもたらした。特に、台風10号は、追い打ちをかけるように北海道に上陸（8月29日）し、十勝、空知地方を中心に河川の氾濫に伴う堤防決壊や落橋、土砂崩れによる道路寸断などの被害が広域的に起こった。道路寸断においては、北海道の東西を結ぶ各幹線道路の峠区間などで発生しており、広域的な道路ネットワークに大きな影響を与えた。通行止めとなった各区間を図-1、通行止め期間を図-2に示す。

本研究では、上記の台風襲来前後を対象に、①モバイル空間統計による道東65市町村の滞在人口、②混雑統計による通行止め区間と代替路の交通量について比較分析を行ない、定量的かつ広域的な観点から、台風10号が道東地域の人の滞在や移動に与えた影響について明らかにする。

3. データの概要

(1) モバイル空間統計

株式会社 NTT ドコモが提供する「モバイル空間統計」は、都市内における任意の時点の滞在人口の分布をとらえる新たな手法として注目されているデータであり、NTT ドコモの携帯電話ネットワークの運用データを統計処理して、メッシュあるいは行政区域内の滞在人口を推計している¹⁴⁾。携帯電話基地局のエリア毎に所在する携帯電話は、周期的にその位置が観測されており、そのエリア毎の携帯電話台数を、個人情報の秘匿処理を行ったうえで利用者属性別に集計し、地理的な人口分布として推計している。対象エリア内の滞在人口を24時間365日把握が可能であり、基地局から得られる情報を基に、メッシュ単位（最小で500mの4次メッシュ）あるいは市



図-1 平成28年台風による道路寸断状況

| | 8/20 | 8/29 | 8/30 | 8/31 | 9/1 | 9/2 | 9/11 | 9/30 | 10/14 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|------|-------|-------|
| R39 石北峠 | | | 15:00 | 10:00 | | | | | |
| R273 三国峠 | 17:00 | | | | | | | 14:00 | |
| R38 狩勝峠 | | | 20:40 | 9:00 | | | | | |
| R38 小林橋・清見橋 | | | 23:00 | 9:00 | | | | 9:00 | |
| 道東自動車道 | | 21:55 | 8:00 | | | | | | |
| R274 日勝峠 | | | 11:15 | 19:00 | | | | | |
| R236 野塚峠 | | | 12:00 | 19:00 | | | | | |
| R336 えりも岬 | | | 22:00 | 9:00 | | | | | |

図-2 各路線の通行止め期間

区町村単位で、年代別の滞在人口を1時間単位で集計することができる。

本研究では、平成28年の台風上陸期間として平成28年8月21日（日）～10月18日（火）、また、通常時として前年度の同時期である平成27年8月23日（日）～10月20日（火）を対象にデータを取得し、曜日を合わせて両年度の比較を行う。また、取得時間帯としては、日中を対象とし、午前10時時点の滞在人口を用いる。

対象エリアとしては、台風被害が大きかった道東の65市町村を対象とする。なお、分析の空間的解像度としては、メッシュ単位の細かなデータでは個人情報保護の観点から秘匿処理によるデータの欠落が生じる場合が多いことから、市町村単位でのデータを用いることとした。設置地域、期間の詳細および分析結果については、第4章で説明する。

(2) 混雑統計

株式会社ゼンリンデータコム「混雑統計®（以下、混雑統計）」は、株式会社 NTT ドコモが提供する「ドコモ地図ナビ」のオートGPS機能利用者約50～70万人の移動データを用いて、任意の期間、断面の交通量推計値を利用できる¹⁵⁾。また、設定断面を通過したユーザーの居住地や、通過者が途中で立ち寄った箇所（3次メッシュ）についてもデータ収録が収録されている。

本研究では、この混雑統計を用いて、台風 10 号被災後の道内幹線道における断面通過人数（期間別総和値）および立ち寄り地の変化について把握する。なお、ここでは、120 分以上移動が生じない場合を「立ち寄り」とした。対象断面は、2016 年台風によって通行止めが発生した 4 つの峠（三国峠、狩勝峠、日勝峠、野塚峠）とそれらの代替路線（迂回路）に設定した。対象期間は、モバイル空間統計と同様に、平成 28 年台風上陸期間と前年の同期間とし、両年の比較を行う。設置断面、期間の詳細および分析結果については、第 5 章で説明する。

4. モバイル空間統計による市町村別滞在人口分析

平成28年に発生した台風10号による被害は、主に道東方面で生じたことから、人の滞在に影響を受けたと思われる道東地域の65市町村を対象とし、モバイル空間統計により各地域から滞在人口の変化について分析を行った。

データの取得期間は、平成 27 年 8 月 23 日（日）～10 月 20（火）、平成 28 年 8 月 21 日（日）～10 月 18（火）であり、曜日に合わせて両年度の比較を行う。なお、ここでは、各日の午前 10 時時点の滞在人口を用いる。

まず、対象65地域の各日の滞在人口を合計した。図-3に示すように、台風被害があった平成28年は、前年よりも全期間に渡って滞在人口が少ない。平成28年には、8月17日から台風7、11、9号が上陸しており、これらにより、8月末の10号上陸以前から滞在人口の減少が生じていたものと考えられる。したがって、台風10号以前の動向も抑えるため、以下の様に3つの期間に区分・集計して、各種の分析を行うこととした。

対象期間1～3について、それぞれ滞在人口の合計値を算出し、2015年に対する2016年の滞在人口増減率を求めた。滞在人口増減率は以下の式(1)で表す。

$$\text{滞在人口増減率} = \frac{\text{平成28年の滞在人口}}{\text{平成27年の滞在人口}} \quad (1)$$

期間1と2および期間1と3の滞在人口増減率の関係を図-4に示す。期間1（8/23～8/29）は、台風7号等の上陸もあったが、増減率は±0.1以内にあり大きな影響を受けた地域は少ない。ただし、上川町に関しては、期間1の増減率が0.9を下回り、他の地域と比べると、この期間からの滞在人口は前年よりも少ない。これは、台風10号以前に襲来した7号等の影響により上川町にある三国峠が通行止めとなったことが原因と考えられる。次に、南富良野町は、期間2および3において、増減率が



図-3 滞在人口の変動（対象65地域の合計値）

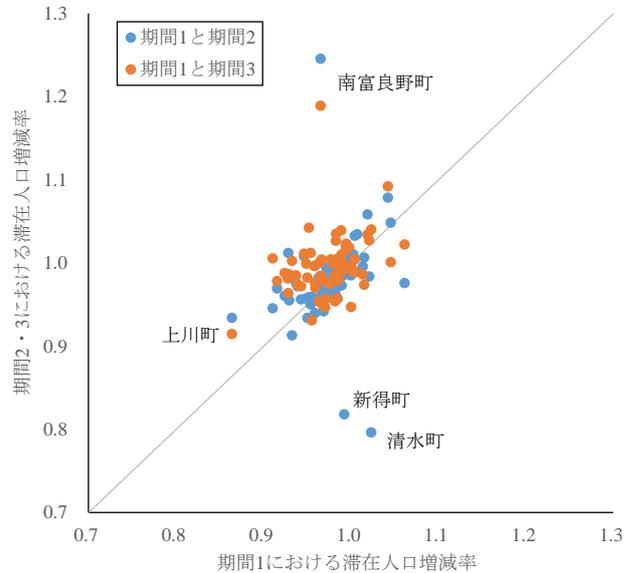


図-4 期間1と期間2・3の滞在人口増減率の関係

表-1 滞在人口増減率の増減上位 10 地域

| 10時滞在人口年変化率 期間2の減少上位10地域 | | | | 10時滞在人口年変化率 期間2の増加上位10地域 | | | |
|-----------------------------|------|------|------|-----------------------------|------|------|------|
| 地域 | 期間1 | 期間2 | 期間3 | 地域 | 期間1 | 期間2 | 期間3 |
| 清水町 | 1.02 | 0.80 | 1.04 | 新冠町 | 1.00 | 1.01 | 1.02 |
| 新得町 | 0.99 | 0.82 | 1.00 | 帯広市 | 1.00 | 1.01 | 0.99 |
| 浦幌町 | 0.93 | 0.91 | 1.00 | 鶴居村 | 0.93 | 1.01 | 0.96 |
| 鹿追町 | 0.95 | 0.93 | 0.98 | 中札内村 | 0.99 | 1.02 | 1.02 |
| 上川町 | 0.86 | 0.93 | 0.91 | 芽室町 | 1.00 | 1.03 | 1.00 |
| 足寄町 | 0.96 | 0.94 | 0.98 | 音更町 | 1.01 | 1.03 | 0.99 |
| 斜里町 | 0.97 | 0.94 | 0.95 | 東神楽町 | 1.05 | 1.05 | 1.00 |
| 更別村 | 0.91 | 0.95 | 1.01 | 様似町 | 1.02 | 1.06 | 1.03 |
| 陸別町 | 0.95 | 0.95 | 1.01 | 占冠村 | 1.04 | 1.08 | 1.09 |
| 上士幌町 | 0.96 | 0.95 | 1.00 | 南富良野町 | 0.97 | 1.25 | 1.19 |

約 1.2 となっており、台風 10 号上陸後に滞在人口が前年よりも増加している。南富良野町は、大きな河川氾濫等が生じたため、被害対策に要する人員がこの期間の滞在人口を増加させたと考えられる。新得町や清水町は、期間 1 では前年との差が小さいものの、台風直後の期間 2 のみ増減率が大きく低下することが分かる。この 2 地域の結果は、台風による狩勝峠（新得町）、日勝峠（清水町）の通行止めが、一時的かつ大きな滞在人口減少を生じさせたことを示している。

台風上陸直後の期間 2 の滞在人口増減率の増減各上位 10 地域を表-1 に示す。同表にはあわせて期間 1、3 の増減率も示してある。上述した 4 地域よりも特徴的ではな

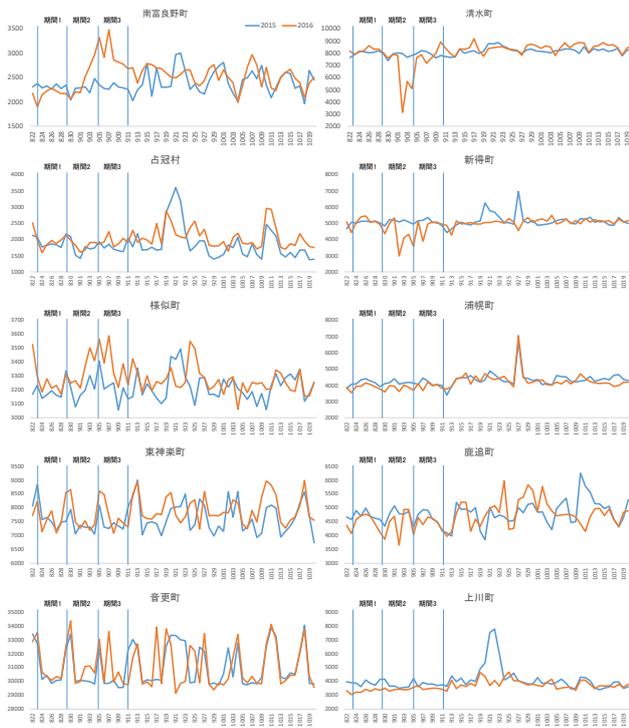


図-5 地域別の滞在人口変動

(左：増加率上位5地域 右：減少率上位5地域)

いものの、同様な傾向を示す地域があることがわかる。これらの代表的な地域として、増減率が減少、増加のそれぞれ上位5つの地域における滞在人口の時系列変動を図-5に示す。増加上位5地域(図左側)では、特に、占冠村は、期間2、3と滞在人口増減率が大きく、南富良野町と同様の復旧人員、さらには道東道利用者により滞在人口が増えたものと考えられる。様似町、東神楽町、音更町などは、日勝峠、狩勝峠などの代替路線(迂回路)への交通が増加し、それに伴って滞在者も増加したものと推測される。減少上位5地域(図右側)では、通行止めとなった峠が位置する清水町や新得町に加え、その近隣の鹿追町も減少が大きい。

対象3期間の滞在人口増減率を地理空間上にプロットした(図-6~図-8)。期間1では、台風7号襲来による三国峠通行止めのため、上川町は滞在人口の減少大きい。期間2では、上述したように、狩勝峠や日勝峠が通る清水町、新得町で大きな減少が見え、期間3になるとこれらの地域の減少が回復していることが確認できる。

5. 混雑統計を用いた断面通過人数および立ち寄り地分析

混雑統計を用いて、台風10号上陸により道内幹線道における断面通過人数や立ち寄り地がどのように変化したのかを把握する。平成28年の一連の台風によって通行止めが発生した4つの峠(三国峠、狩勝峠、日勝峠、野塚峠)に着目し、それらと迂回路の断面通過人数およ



図-6 期間1の滞在人口増減率

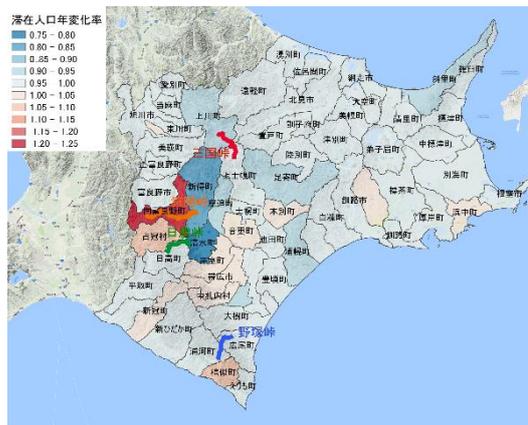


図-7 期間2の滞在人口増減率

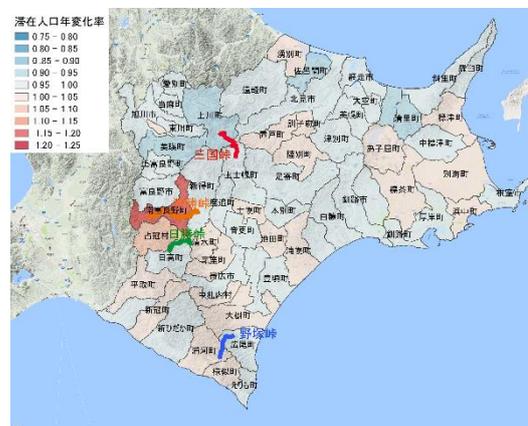


図-8 期間3の滞在人口増減率

び断面通過者の立ち寄り地について分析する。設定した断面代替路線を図-8に示す。また、各峠の通行止め期間を以下に示す。

- ①R276 (野塚峠) : 8月30日 12:00~19:00
- ②R38 (狩勝峠) : 8月30日 20:40~9月11日 9:00
- ③R273 (三国峠) : 8月20日 17:00~9月30日 14:00
- ④R274 (日勝峠) : 8月30日 11:15~(未復旧)

なお、狩勝峠と日勝峠の迂回路⑥は、道東自動車占冠IC~芽室IC間であり、9月1日の8:00から無料措置が

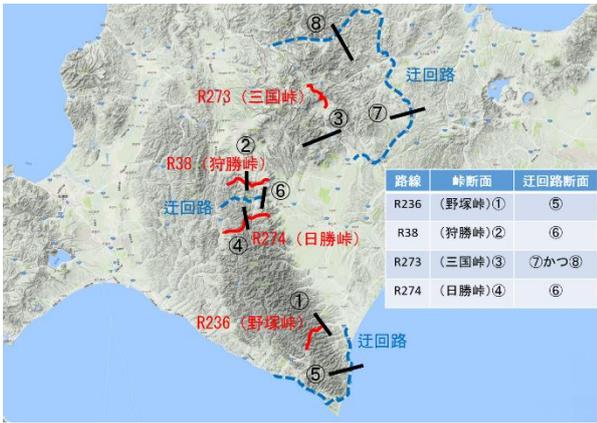


図-8 設定断面

開始されている。以上から、分析の対象期間を以下のように設定した。

- ・平成 27 年
7月4日(土)～10日(金), 9月2日(水), 9月5日(土)～11日(金), 9月19日(土)～25日(金), 10月3日(土)～9日(金)
- ・平成 28 年
7月2日(土)～8日(金), 8月31日(水), 9月3日(土)～9日(金), 9月17日(土)～23日(金), 10月1日(土)～7日(金)

(1) 通行止め区間および迂回路の断面通過人数

各峠およびそれらの迂回路における断面通過人数の期間別総和値を図-9～図-13に示す。なお、図中には、集計対象者の居住地で内訳を示している。「NA」は、道内地域のうち、集計対象者数が少なく、その居住地が不明となっているデータであるが、これを合計して、道内居住地不明者の通過人数合計値として分析に加えた。

いずれの峠においても、通行止め期間には大きく通過人数が減少し、その代わりに迂回路の通過人数が増加していることが分かる。

三国峠(図-9)については、前年の同時期に道外や旭川市、帯広市、釧路市の居住者による利用が大半を占めているが、平成 28 年の台風によって、これらの通過人数がほとんど見られない。

野塚峠(図-10)は、平成 28 年台風によりほぼゼロにまで低下している。また、その迂回路⑤についても、台風襲来時は大きく低下しており、迂回路はあるものの、南部方面への交通全体が減少していたものと推測される。

狩勝峠と日勝峠についても、通行止め時には、ほとんど通過人数が見られない(図-11, 図-12)。特に、日勝峠に関しては、平常時の居住地をみると、さまざまな地域の利用者がいることから、広範囲の地域に影響が生じたものと考えられる。これらの迂回路⑥(道東自動車道)を見ると、前年よりも通過人数が約 1.4 倍になり、帯広市や釧路市を含む多くの地域の人がこの迂回路を利用したことが分かる(図-13)。道東自動車道占冠 IC～芽室

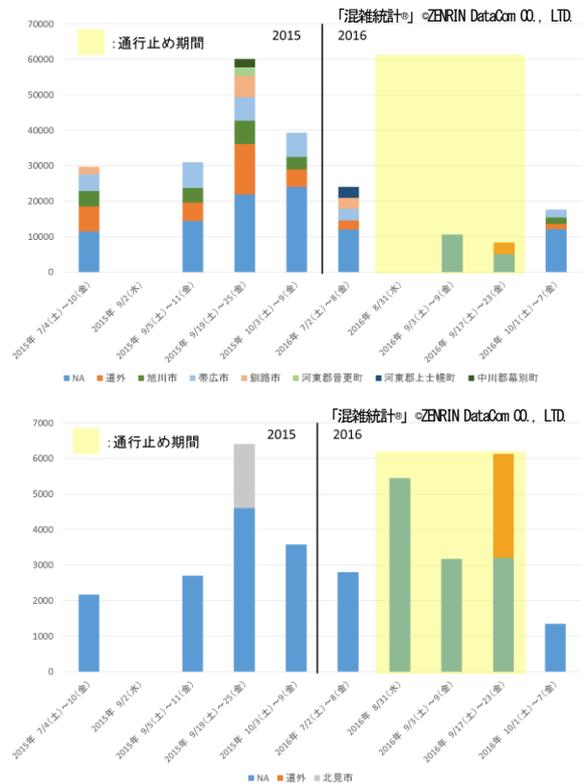


図-9 三国峠およびその迂回路(⑦かつ⑧)の断面通過人数(期間別総和値)

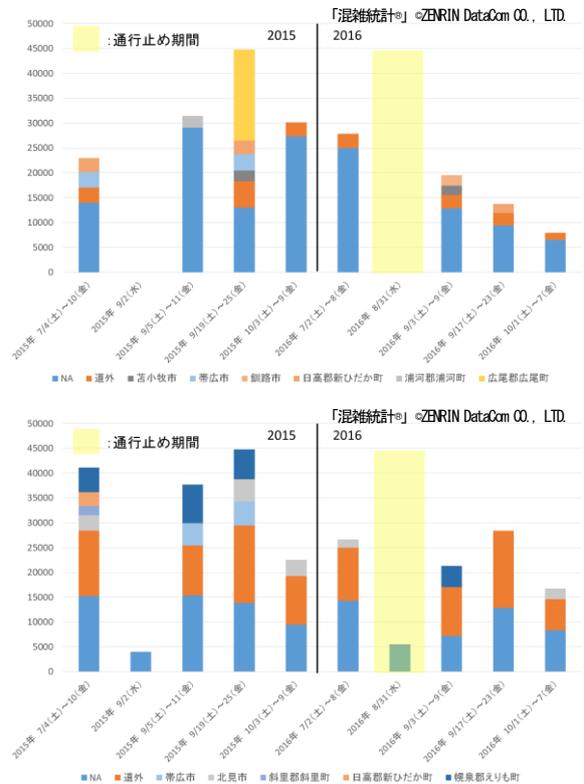


図-10 野塚峠およびその迂回路⑤の断面通過人数(期間別総和値)

たところ、南富良野町では台風 10 号襲来直後から復旧対策等の人員導入により前年よりも滞在人口が増加したこと、新得町や清水町では、通行止めとなった峠が位置することから襲来直後のみ前年より減少したこと、が明らかになった。

混雑統計による分析では、一連の台風により通行止めとなった峠およびその迂回路に設定した断面における通過人数を集計した。その結果、通行止め期間には通過人数が大きく減少し、同時に迂回路は増大する様子が確認された。また、日勝峠および狩勝峠の迂回路⑥（道東自動車道）を利用する人の立ち寄り地を調べたところ、日勝峠が通行止めとなっている期間では、平常時に比べて札幌市や釧路市などでの分布範囲が広がっていることがわかった。日勝峠通行止め期間では、迂回路⑥からアクセスできる占冠村の道の駅への立ち寄りの発生も確認された。

以上から、交通ビッグデータでは、任意の期間、箇所の滞在人口や通過人数を取得することができ、北海道のような広域道路ネットワークにおける自然災害時の人の滞在や移動を容易に可視化することができる。

将来的には、ETC2.0 プローブデータが地方部においても蓄積することにより、同様な分析が可能となる。24 時間 365 日間連続的・網羅的に記録される ETC2.0 プローブデータを用いることで、地域防災・減災リスクマネジメントに対して、以下のような期待を持てる。

- ・災害時における代替経路選択行動のモデル化、被災後の道路通行実績と道路規制のタイミングの評価、また災害時の移動経路に着目した移動時間信頼性の評価モデルの構築等が可能となる。
- ・立ち寄り地や滞在箇所を定量化することで、自然災害直後の観光や物流などへの影響を把握し、被災地域の拠点としての評価や復旧への目処など、被災後の地域マネジメントの検討に役立つ情報となる。
- ・道路管理者としても、災害時の精緻な交通現象把握により災害に適応した道路交通施策の立案を支援できる、分析結果を地域住民とのリスクコミュニケーションに活用することで、地域全体に防災・減災教育の効果を波及させることができる、などのメリットがある。

注 1) 「混雑統計®」データは、NTT ドコモが提供する「ドコモ地図サイト」サービスのオート GPS 機能利用者より、許諾を得た上で送信される携帯電話の位置情報より、NTT ドコモが総体的かつ統計的に加工を行ったデータ。位置情報は最短 5 分毎に測位される GPS データ（緯度経度情報）であり、性別・年齢等の個人を特定する情報は含まれない。

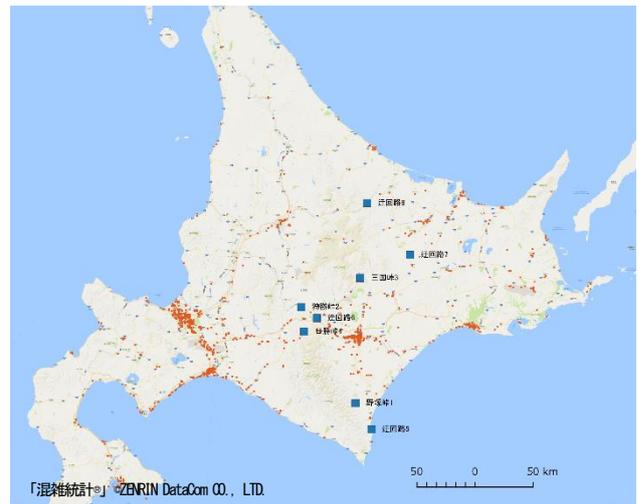


図-15 平常時における日勝峠利用者の立ち寄り地分布

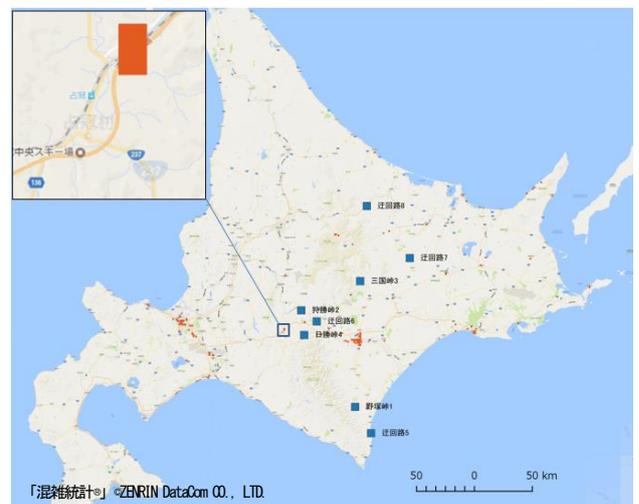


図-16 平常時における迂回路⑥通過者の立ち寄り地分布

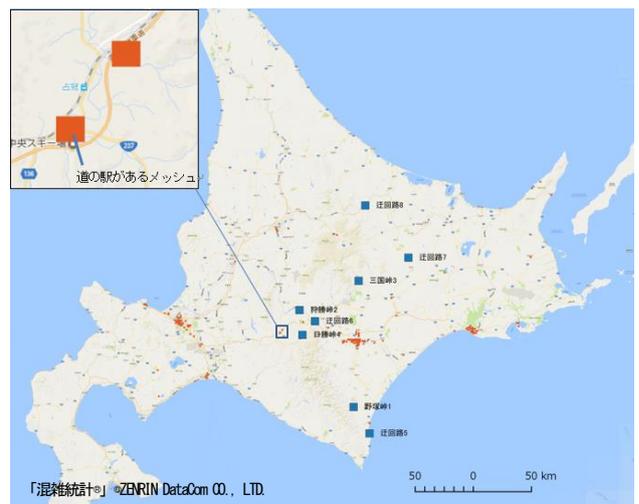


図-17 日勝峠通行止め後の迂回路⑥通過者の立ち寄り地分布

謝辞：本研究は「プローブデータに基づく非日常時の道路交通特性把握手法の開発業務（業務委託元：一般財団法人 ITS サービス高度化機構）」の一環として行われた。また、JSPS 科研費基盤研究 (B) (JP17H03318) の助成を併せて受けている。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 平井章一, Jian Xing, 甲斐慎一郎, 堀口良太, 宇野伸宏：ETC2.0 プローブデータを活用した都市間高速道路における休憩行動分析, 第 36 回交通工学研究発表会論文集 (研究論文), pp.131-137, 2016.
- 2) 牧野浩志, 井坪慎二, 鳥海大輔, 水谷友彰, 西坂淳：ETC2.0 プローブ情報を活用した環状道路の機能分析, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp.455-463, 2016.
- 3) 加藤哲, 田中良寛, 橋本浩良, 瀬戸下伸介：ETC2.0 プローブを利用した主要渋滞交差点の渋滞状況と周辺の抜け道利用状況の把握, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp. 1831-1836, 2016.
- 4) 吉村仁志, 牧野浩志, 西井禎克, 加納英明, 金木大輔, 山田康右：ETC2.0 プローブデータを用いた高速道路単路部ボトルネック位置の特定手法, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp.2056-2061, 2016.
- 5) 飯野靖文, 水野一男, 宮川香奈恵：レンタカー観光行動分析に対する ETC2.0 プローブデータ活用の可能性と課題, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp.2074-2079, 2016.
- 6) 水谷友彰, 井坪慎二, 鳥海大輔, 牧野浩志：ETC2.0 プローブデータ活用による災害時通行可能ルートの把握可能性検討, 第 14 回 ITS シンポジウム 2016
- 7) 有村幹治, 鎌田周, 浅田拓海：マイクロジオデータの統合化による建物用途別メッシュ入込人口の推計, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.72, No.5, I_515-I_522, 2016.
- 8) 森尾淳, 牧村和彦, 山口高康, 池田大造, 西野仁, 藤岡啓太郎, 今井龍一：東京都市圏におけるモバイル空間統計とパーソントリップ調査の比較分析—都市交通分野への適用に向けて—, 第 52 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp.882-889, 2015.
- 9) 坂匠, 薄井智貴, 山本俊行, 森川高行：混雑統計データを用いたイベント周辺人口予測のための空間自己回帰モデルの構築, 第 50 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, NO.224, 2014.
- 10) 山口裕通, 奥村誠, 金田穂高, 土生恭祐：携帯電話 GPS 情報から分かる熊本地震による行動パターンの被災・回復過程, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp.1314-1324, 2016.
- 11) 今井龍一, 池田大造, 永田智大, 金田穂高, 重高浩一, 鳥海大輔, 廣川和希：携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計から算出した自動車 OD 量と道路交通センサスとの比較分析—道路交通分野へのモバイル空間統計の適用可能性—, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp.619-627, 2016.
- 12) 佐々木卓, 錦戸綾子, 足立龍太郎, 高山敏典：携帯電話の位置情報を活用した首都高の利用動態把握手法の研究, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号 (特集号 B), pp.B_1-B_9, 2015.
- 13) 生形嘉良, 関本義秀, HORANONT Teerayut：大規模・長期間の GPS データによる観光統計調査の活用可能性—石川県を事例に—, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 69, No. 5, pp.I_345-I_352, 2013.
- 14) NTTDocomo：モバイル空間統計に関する情報, https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/ (閲覧日 2017 年 4 月 21 日)
- 15) ゼンリンデータコム：混雑統計®とは, <https://www.zenrin-datacom.net/business/congestion/> (閲覧日 2017 年 4 月 21 日)