

地方都市における“見込み”交通情報の提供可能性に関する研究～青森県を事例に～

長井 恭平¹ 鳩山紀一郎²

¹非会員 株式会社星野リゾート・マネジメント 星のや京都（〒616-0007 京都府京都市西京区嵐山元録山町11-2）
E-mail: nagai_747@hoshinoresort.com

²正会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 講師（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）
E-mail:kii@civil.t.u-tokyo.ac.jp

雪による交通障害など、地域特有の交通課題を解決するために、青森市では全国の地方自治体に先駆けてITSの利活用が推進されている。特にマルチモーダル交通情報「あおり交通情報」はリアルタイムの運行情報サービスとして運用されているが、地域住民への浸透や、交通事業者、道路管理者等の連携が一層求められている。

そこで本研究では、こうしたサービスのさらなる進展を企図して、将来に対する“見込み”の交通情報に着目し、冬季の青森市における道路通行止めを気象予報から予測するモデルの構築に取り組んだ。具体的には冬季の通行止めの四大気象要因のうち、発生時期などの特徴を考慮して吹雪によるものに研究対象を絞り込み、この予測モデルの構築と精度検証、そして現地実務者へのヒアリングを通して評価を行った。

Key Words : *ITS, Aomori, traffic information, snowstorm, prediction*

1. はじめに

昨今、ICTの急速な発展に伴い、わが国においてもITS技術の進展が期待されて久しい。1995年11月に横浜で行われた第2回ITS世界会議が日本におけるITS普及の端緒となり、カーナビゲーションシステムやETCなどの基礎的な技術の開発・導入に代表される初期の段階を経たのち、現在では、2008年に策定された「ITS長期ビジョン」とそのアジェンダである「ITS総合戦略2015」にあるとおり、次世代協調型システム、災害時／平常時ハイブリッド情報システムといった「持続可能なモビリティ社会の実現」に寄与するITSのあり方が模索されている。そして、2009年には政府の社会還元加速プロジェクト「情報通信技術を用いた安全で効率的な道路交通システムの実現」の一環として、神奈川県横浜市、千葉県柏市、愛知県豊田市、青森県青森市の4都市が「ITS実証実験モデル都市」に選定され、持続可能なモビリティの実現に向けた各種の実験的取り組みが全国に先駆ける形で行われてきた。

この4つの都市の中で、唯一、三大都市圏を外れた青森市が含まれることは特筆すべき点である。青森県の県庁所在地である青森市は、全国の都道府県庁所在地の中

で唯一、豪雪地対策特別措置法に定める「特別豪雪地帯」に指定されており、雪によって生じる交通障害への対策としてITSを活用している。当地でのITS関連事業（青森で展開されている事業では、道路以外の交通機関の情報もICTを利用して提供されており、こうした事業はわが国ではITSには含まれないことも多いが、本稿では、ITSの原義に基づき、そうした事業も含めて広義に「ITS関連事業」としている。以下同じ）を最も特徴付けているのは、当地域でのITSの推進に、行政でも民間でもない中間的な存在であるNPO法人「青森ITSクラブ」が大きな役割を果たしているということである。また、青森県では、平常時はもとより、雪などの気象に由来する交通支障時でも適切な交通行動を取れるようにするための情報提供を目的として、前述のNPOを中心に各種のITS関連事業が行われている。それらは全国の地方都市に先駆けてのものではあるが、いずれも十全にその所期の目的を果たしているとはいえない面もある。例えば、マルチモーダル交通情報「あおり交通情報」は、サービスの社会的な認知度や利用度が高いとはいえず、情報提供の枠組みに参画していない道路管理者・交通事業者等（以下、「事業者等」と称する）が存在する。それゆえ、提供される情報が利用者のニーズに必ずしもマッチしてい

ないという面がある。

そこで本稿では、災害時のモビリティの持続可能性向上に向けたITS活用の先進事例たる青森県におけるITS関連事業の現状と課題について整理し、その課題の解決に向けた方策として具体的に“見込み”交通情報に着目し、青森市で冬季に発生する道路の通行止めの見込み情報の提供可能性について検討する。これは、ITS事業をわが国全体として地域社会に浸透させるための新しい情報提供の形として提案するものである。

2. 青森県におけるITS関連事業の現状と課題、その解決に向けた方策

(1) 青森県におけるITS関連事業の概観とその意義

青森県で全国に先駆ける形でITS関連事業が展開されていることは、前章で述べた。その中心には、2004年に発足した、学術機関・交通事業者・交通管理者・地方公共団体等が加盟する「あおりITS推進研究会」がある。その事務局を担っているのが青森市都市整備部とNPO法人「青森ITSクラブ」であり、特に後者が行政と民間の中間的な存在として橋渡し役を担っていることが、各種のITS関連事業を実現する上で重要なポイントになっている。IT関連の技術的な業務も青森ITSクラブが担当しており、実質的な推進役は同法人と考えてよい。

そして毎年の降雪に対応し、持続可能な都市づくりを進めて行く上で、「青森みち情報」(<http://www.koutsu-aomori.com/>)、「GPS端末を活用した除排雪状況」(<http://atd-gps.jp/>)といったITS関連事業が実施されている。こうした各種の事業は、冬季の降雪に対して交通インフラの安全性、利便性等を確保することに主眼が置かれていると言えるが、自然災害時においても円滑な道路交通を確保する、あるいは適切な交通行動を誘導するためのITS技術の確立に向けた先進事例であるという意義を持っている。

(2) 「あおり交通情報」の概要と現状

次に、青森ITSクラブが運営しているサービスに「あおり交通情報」(<http://aomori.cc/traffic>)というものがある。このサービスは、航空・鉄道・航路・バス・車の5つの交通モードについて、運航行に支障が生じている場合にリアルタイムにアラートを表示するものであり、「青森みち情報」などのいくつかのWebサイトの情報を統合的に扱うという点で、先のサービス群とは性格を異にする。そして、大雪の時や災害等の異常時においても、どの交通手段が利用でき、どの交通手段は利用できないのかということを知ることができるため、交通インフラの冗長性向上にも大きく寄与するものである。しかし

ながら、2013年12月に運用を開始したばかりの「あおり交通情報」は実験的な側面が強く、利用者の視点から次のような課題を挙げることができる。

- ・このページにはアラートの記号のみが表示され、運転見合わせなのか遅延なのかといった、深刻度の情報はリンク先でなければ分からない
- ・情報提供に参画していない事業者等があり、情報に網羅性を欠く
- ・利用者のニーズが大きいと考えられる道路の情報は通行止めに限定される。渋滞に関する情報は、日本道路交通情報センターが独占的に配信しており、行政的な隔たりや情報提供の責任についての問題等がネックとなっている。

(3) あおり交通情報が抱える課題へのアプローチ

前項のような課題を抱えるあおり交通情報の利用度は、2013年12月から2014年2月までの調査では、トップページへのアクセス数が1日平均約154件に留まっており、青森県の人口約135万人(2015年1月1日現在)や、青森県の自家用乗用車保有台数約42万台(2013年3月31日現在)と比べても小さい。

こうした現状の中、マルチモーダルな交通情報を提供し、非常時にも適切な推奨交通手段の情報が得られるようにするというこの事業の目的を達成し、事業の継続性を高めていくには、関係する事業者等があまねく情報提供に参画する連携体制の構築が必要であり、そのためにはサービスの利用者の増加と、それに伴う社会的役割の増大に向けた策を講じることが求められる。

そこで本稿では、利用者のニーズを考慮した「あおり交通情報」の新しい情報提供の形を想定して、首都圏の鉄道など一部交通機関で導入例がみられる、将来についての“見込み”の交通情報に着目することとした。一例として、東京地下鉄株式会社は、東京メトロ線の運行情報ページにおいて、運転見合わせが発生した場合に、運転再開の予測時刻を併記して案内している。このような見込み情報の提供について、山内ら(2010)²⁾によれば、「運転再開見込み時刻の提供が遅い」「運転再開見込み時刻が不正確」という意見を持つ乗客が多く、ニーズはありながらも、不適切・不正確な情報を配信してしまうとかえって混乱を招くことが分かる。また、情報提供側(この調査においては東日本旅客鉄道株式会社の121駅の駅員)の姿勢についても言及されており、運転指令室から駅へ配信される情報に対して、「少し遅めの時刻を案内する」「ほぼ確実にまで案内しない」「基本的に案内しない」といった対応を取る駅員が少なくないことが明らかになった。これは“見込み”情報が外れた場合にクレームを受けるリスクに対して情報提供側が「事なかれ主義」に陥り、提供を尻込みしてしまう

現状を示唆している。すなわち、“見込み”情報について、次の3点の留意事項を挙げることができよう。

- ・交通分野における“見込み”情報は、鉄道の復旧時刻などについて限定的に運用されている。
- ・情報に対するニーズはあるが、適切な方法で、正確な情報を提供できない場合は、かえって混乱を招く結果となり、情報提供側にとってもリスクとなる。情報の誤差範囲や責任の所在については、利用者の適切な理解を促す方策が不可欠である。
- ・情報をより正確なものにし、“見込み”情報の提供を現実的なものとするには、予測する支障の内容・要因等を限定し、ピンポイントだが確実性の高い情報の提供を志向すべきである。

こうしたことを勘案して、本研究においては、青森市内で冬季に発生する雪による緊急通行止め（期日をあらかじめ決めて行われる通行止めではなく、気象状況や事故発生等に応じて緊急に実施される通行止め）を対象として予測するモデルを構築し、予測情報の精度検証や情報提供についての地元実務者の評価の収集に取り組むこととした。取り扱う事象を限定するにあたっては、次に挙げる事柄を根拠としている。

- ・第 2 章で述べたように、青森ではすでに雪対策として各種の ITS 事業が行われており、生活者のニーズからしても、冬季の雪による交通支障についての情報には需要が大きいと思われること。
- ・雪は毎年発生する事象であり、通行止め自体も支障としての頻度が高く、かつ、雪との明確な因果関係が存在し、さらに気象は交通事故等の突発的な事象とは異なり、ある程度予測が可能であること。
- ・渋滞についての情報は、管理している道路交通情報センターから提供を受けることが難しく、一方で通行止めの実績についての情報は、地元の道路管理者から入手可能であること。
- ・青森県全体を対象とすると、道路ネットワークも複雑であり、かつ複数市町村の気象情報を並行して扱わなければならないため、モデル構築の難易度が格段に高くなると考えられること。一方で、青森市は単一市でありながら、高速道路、国道、県道といくつかの規格の道路がバランスよく存在し、人口も県下で最も多い県庁所在地であること。

3. 冬季の道路緊急通行止め予測モデルの構築

緊急通行止め発生予測モデルの構築にあたっては、ある時点に対する気象予報の過去データと、その時点での通行止め発生の実績データが揃っていれば、直接に相關

等を分析することができる。しかしながら、後述するように、道路の通行止め実績が過去10年分にわたって入手できたのに対し、過去の気象予報データは関係機関等から入手することができなかった。そのため、本研究においては、実際の気象と通行止め発生との関係を理解するフェーズと、気象予報と実際の気象との関係を理解するフェーズの2段階に分割し、それらの組み合わせによってモデルの構築を行うこととした。すなわち、気象予報に対する実際の気象の発現確率を確率分布関数として定め、これを実際の気象と緊急通行止め発生確率との関係式（ロジスティック回帰による）の入力値として用いることで、気象予報から通行止め発生確率を計算する。実際の気象と通行止め発生との関係については過去10年のデータを、気象予報と実際の気象との関係については本研究の期間中に取得したデータを使用して分析することとした。以下、第1節と第3節で前者のフェーズについて、第2節で後者のフェーズについてまとめ、第4節でそれらの組み合わせによるモデル構築について説明する。

(1) 実際の気象と通行止め発生状況との関係分析

まず、気象の実データと緊急通行止め発生有無との相関関係を分析する。本稿では、「冬季」を11月から3月までとし、2004年度から2013年度までの10年間の冬季の気象実績と通行止め実績との関係を調べた。具体的には、分析対象期間の延べ1,512日について1時間ごと、合計36,288時点について、気象庁データベース（<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php>）から青森気象台の気象データ（降水量、風速、気温、積雪、降雪（積雪の時間変化））を、国土交通省青森河川国道事務所、国土交通省東北地方整備局、青森県県土整備部の資料から通行止め実績データを入力する。通行止めを調べる対象の道路としては、青森市内を通る有料道路、一般国道および県道のうちの主要地方道とする。通行止め実績については、対象となる道路で当該時点で緊急通行止めが発生していれば「1」を、発生していなければ「0」を入力する。そうして、通行止め発生の有無（0または1で表現される）を被説明変数、気象データを説明変数として、「通行止め発生確率」をロジスティック回帰分析によって求める。ここでいう「通行止め発生確率」とは、「対象とするネットワーク内の道路の少なくとも1つで通行止めが発生している確率」を意味することとなる。ロジスティック回帰の手法を用いるのは、気象データの値が大きいまたは小さい（例えば、風速が大きい、気温が低いなど）ほど、通行止め発生確率は高くなり、かつその値は1に漸近すると考えられるからである。

収集した気象データの概要は表-1の通りである。また、通行止め実績データについては、東北地方整備局から津軽自動車道（国道101号線）について8件、青森県

表-1 過去 10 年の実績気象データの概要

[期間] 2004 年度～2013 年度の 11 月 1 日～3 月 31 日

[場所] 青森県青森 (青森気象台)

項目	降水量 [mm/h]	気温 [°C]	風速 [m/s]	降雪 [cm]	積雪 [cm]
標本数	36,288	36,283	36,263	36,288	36,288
欠測時点数	0	5	25	0	0
最大値	40.5	22.5	18.7	10	178
最小値	0	-10.5	0	-5	0
最頻値	0	0.8	3.0	0	0
分散	0.436	23.1	5.25	0.548	1.72×10^3
標準偏差	0.661	4.806	2.291	0.741	41.507

表-2 路線別、要因別の緊急通行止め発生件数

(青森県県土整備部のデータより)

路線	発生要因別					計
	吹雪	積雪	路面凍結	降雪	その他	
集計対象路線						
国道 103	9	17	37	9	2	50
国道 394	100	16	16	4	3	122
県道 2	0	6	20	6	0	17
県道 16	0	0	0	0	2	2
県道 18	0	0	0	0	3	3
県道 26	0	6	17	5	0	15
県道 27	6	0	0	0	0	6
県道 40	40	16	19	3	3	65
計	155	61	109	27	13	280
集計対象外路線						
国道	—	—	—	—	—	10
主要 地方道	—	—	—	—	—	1
一般県道	—	—	—	—	—	30

※「その他」に含まれる発生要因は、「事故」、「下水管故障に伴う冠水」「雪崩」「暴風雪」である。

県土整備部から 321 件の通行止め実績を得た。後者については表-2 に概要を示す。なお、国土交通省青森河川国道事務所からは、集計期間中に国管理の国道 4 号線、国道 7 号線で雪に伴う緊急通行止めは発生していないとの返答を得た。国土交通省から提供されたデータが件数ベースで 8 件なのに比して、青森県から提供されたデータは 321 件と多かったのは、青森河川国道事務所によると、国管理の基幹路線は通行止めによる影響が非常に大きく、よほどのことがない限り通行止めにはできないためとのことである。

a) 発生要因についての分析

緊急通行止めの実績データについて、まずは発生要因別に、通行止めの発生の仕方に特徴がないか検討した。東北地方整備局および青森県のデータを統合し、件数のみならず継続時間も加味して通行止め発生時点数を要因別に集計した。ここでは、毎時 00 分に通行止めが発生し

表-3 通行止め発生時点数の要因別・月別集計

月	吹雪	積雪	降雪	路面凍結	その他	計
11 月	44	849	621	1,399	0	2,913
12 月	146	286	57	66	18	573
1 月	189	0	0	5	29	223
2 月	320	0	0	0	2	322
3 月	195	40	0	26	23	284
計	894	1,174	678	1,496	72	4,243

ていればその時点で通行止め「発生あり」=1、発生していなければ通行止め「発生なし」=0とした。また、開始時刻にあたる場合は「発生あり」、終了時刻にあたる場合は「発生なし」とした。例えば、午前9時から午後4時までの通行止めの場合は、午前9時から午後3時まででは「発生あり」となり、午後4時以降は「発生なし」とするといった具合である。集計の結果が表-3である。ここから、冬季の通行止めの4大発生要因が「吹雪」「積雪」「降雪」「路面凍結」であることが判明した。また、ここでは月別の集計も行っているが、4大発生要因の中でも吹雪と他の3つとでは特徴的な違いがみられる。吹雪による緊急通行止めは11月から徐々に発生時点数が増加していき、厳冬の2月をピークとしているのに対し、他の3要因は発生時点のほとんどが11月に集中している。このことから、吹雪による通行止めは気象条件によって予測ができると推測される一方で、他の3要因については、必ずしも気象条件で説明がつくものではないのではないかと考えられる。例えば、積雪が深いときに積雪を原因とする通行止めが起きやすくなっているとすれば、1月や2月にも多数の通行止め発生時点数が存在してしかるべきである。したがって、「積雪」「降雪」「路面凍結」による緊急通行止めについては、まず、次項で述べるように、現地の道路管理者へのインタビュー調査によって定性的な説明を得た。そして次々項で述べるように、定量的な予測モデルの構築を、吹雪による緊急通行止め限定して行うこととした。

b) 積雪・降雪・路面凍結による緊急通行止めの主要因

11 月を中心に積雪、降雪、路面凍結を原因とした緊急通行止めが発生している理由を知るために、2015 年 1 月 19 日に青森県庁にて、現地の道路管理者等として青森県県土整備部、国土交通省青森河川国道事務所の担当者に対してインタビュー調査を行った。

これにより、吹雪以外の 3 要因による通行止めの発生については、予め期日を決めた冬季閉鎖が予定されている路線において、閉鎖日より前に降雪があった場合に、市民の乗用車の冬用タイヤへの履き替え状況を勘案して通行止めを行っているということが分かった。冬季閉鎖の開始日は多くの路線で 11 月下旬であるため、この説明は 11 月や 12 月（そのほとんどは、11 月末から 12 月

上旬まで継続されていたものである)に通行止めが集中していることとも整合する。実際に、先の表-2においてこの3要因によって通行止めが発生している国道103号線、国道394号線、県道2号線(屏風山内真部線)、県道26号線(青森五所川原線)、県道40号線(青森田代十和田線)は、いずれも例年冬季閉鎖区間を有する路線である。

また、冬用タイヤへの履き替え状況は、青森県庁の職員が定期的に近隣の道の駅の駐車場へ出向き、県内ナンバー・県外ナンバーの別に履き替え割合を調査しているということであった。2014年の場合、12月上旬の調査では県内ナンバー車の98%程度が冬用タイヤへの履き替えを済ませていたということであり、著しく雪が降る路線はスケジュールに従って閉鎖されていることもあいまって、12月以降はこうしたパターンの緊急通行止めが減少するものと考えられる。

以上によれば、積雪、降雪、路面凍結による緊急通行止めに関しては、気象値によって通行止め発生確率を割り出すようなモデルを構築するよりは、定性的な理解をもって、冬シーズンの序盤で雪の天気予報がなされた場合に、冬季閉鎖が予定されている路線を対象を絞って通行止め発生可能性のアラートを掲出するのが現実的と考えられる。

c) 吹雪による緊急通行止めの定量的な分析

前項の積雪、降雪、路面凍結によるものとは対照的に、吹雪による緊急通行止めの発生時点数は11月から2月にかけて増加の一途をたどっており、気象条件との相関が見込まれる。そこで、取得した降水量、気温、風速、降雪、積雪の5つの実気象データを説明変数、通行止め発生の有無(あり=1、なし=0の2値)を被説明変数として、ロジスティック回帰分析を行った。

気象データおよび通行止めデータが存在する全36,288時点(1,512日・1時間おき)のうち、ひとつでも気象データが欠測となっている点を除くと36,261時点があり、従って6列×36,261行のデータに対し、ロジスティック回帰分析を実施した。

まず、5つの気象データ全てを使用して回帰分析を行った。この結果、AIC(赤池情報量規準)は6717.4で、Z検定の結果から降雪については通行止め発生有無との間に相関が認められないことがわかった。これは、降雪が積雪の差分として定義されているため、独立な変数とは言えないことから妥当な結果である。したがって、降雪を説明変数から除いて再度回帰分析を行った。その結果、AIC(赤池情報量規準)は6717とわずかに減少し、少ない変数でより当てはまりのよい式が得られた。また、残った4変数の降水量、気温、風速、積雪について、1つずつ説明変数から外したものについてもAICを調べたが、4つをすべて用いる場合が最小となった。4変数について、

オッズ比は順に1.230、0.810、1.489、1.008となり、積雪と降水量に加えて風速も大きくなければ吹雪は発生しないというメカニズムとも整合する結果であった。

以上のロジスティック回帰分析により、4変数を用いた吹雪による緊急通行止め発生確率を、式(1)のように定義した。

$$p(x_1, x_2, x_3, x_4) = \frac{1}{1 + \exp(6.344 - 0.207x_1 + 0.211x_2 - 0.398x_3 - 0.008x_4)} \quad (1)$$

ただし、 x_1 : 降水量[mm/h]

x_2 : 気温[°C]

x_3 : 風速[m/s]

x_4 : 積雪[cm]

(2) 気象予報と実際の気象との関係分析

ここでは、気象予報で提供される降水量、風速といった数値の実際との誤差について調べ、与えられた気象予報から実際に発現する気象の確率分布を求める。

a) 取得するデータと取得方法

過去のある時点に対してどのような気象予報が出ているかというデータを一般に公開している機関、Webサイト等ではなく、どの天気予報のWebサイトも日付が変わるなどして表示内容が変わってしまえば、過去のものを見ることができない。そこで、一般財団法人気象業務支援センター、株式会社ウェザーニューズ、一般財団法人日本気象協会の3機関に情報提供の依頼を行ったところ、前二者については情報を保存していないという返答を得た。唯一、日本気象協会は過去1年分については気象予報のデータを保存しているとのことであったが、学術研究目的での情報提供は行っていないということであった。結果として、関係機関からも、過去の気象予報データを入手することは不可能であることが判明した。降水量に関しては、予報を保存・公開している個人の趣味ブログが見つかるなどしたが、そのような例外を除いて、公的な機関からのデータは得られなかった。

従って、気象予報と実際の気象との関係を調べるにあたって、前者の過去のデータを入手することは断念せざるを得ず、本稿においては、自ら気象予報データを保存・取得することにした。具体的には、「あおり交通情報」でもリンクを提供している「Yahoo!天気・災害」の気象予報ページの中から、青森県青森市のページ(URL: <http://weather.yahoo.co.jp/weather/jp/2/3110/2201.html>)を、毎日23時に自動でコンピュータの保存してログを取得することにした。これにより、前節で緊急通行止め発生確率の算出に必要な項目として選ばれた降水量、気温、風速、積雪のうち、予報が発表されていない積雪を除く前3つの予報値を、最新の3時間前のものと、前日18時時

点でのものについて収集できた。本稿では冬季の通行止めを対象として扱うため、気象予報のデータは2014年11月7日から保存を開始し、2015年1月26日まで継続し、コンピュータが予期せぬシャットダウンにより欠測となってしまう2014年11月13日と同12月11日を除いた延べ79日間、計632時点の情報を収集した。ただし、前日18時における翌日分の予報データについては、保存日の翌日のデータとなるため、2014年11月8日から2015年1月27日までのデータとなり、欠測しているのは2014年11月14日と同12月12日である。

なお、実際の気象のデータについては、前節と同様に気象庁のデータベースを利用した。データ取得期間は、上記の予報データ保存期間と同一である。

b) 気象予報の誤差の分析

各時点における3時間前の気象予報（以下では「3時間前情報」と呼ぶ）および前日18時時点での気象予報（以下では「前日情報」と呼ぶ）のそれぞれについて、当該時刻における実際の気象データとの誤差、すなわち予報誤差を次のように定義する。

$$(\text{予報誤差}) = (\text{実測値}) - (\text{予報値}) \quad (2)$$

従って、この予報誤差が正の値の時には、予報が過小であったことになり、逆に予報誤差が負の値のときは、予報が過大であったことを意味する。降水量（単位mm/h）は1時間に降る雨の量であり、予報は1mm/h単位、実測は0.5mm/h単位である。また、実測では全く降水がなかった場合と、わずかにあったが0mm/hとして記録される場合とは区別され、予報0mmに対して全く降水がなかったというケースを含めると誤差0mmが大多数を占めるため、本稿ではこのケースを除外した。気温（単位℃）は予報が1℃単位、実測は0.1℃単位である。風速（単位m/s）は直近10分間の平均風速として定義され、予報は1m/s単位、実測は0.1m/s単位である。これらの3項目について、3時間前情報、前日情報の別に予報誤差を調べた結果が表-4のとおりである。

続いて、この予報誤差の分布を用いて、気象予報が発表された際に実際に生起する気象値の確率密度関数を設定する。降水量、気温、風速のいずれについても、実測値を発表する際には真の値をそれぞれの最小単位まで四捨五入して表示していると考えられるから、本来その値は連続的なものであり、誤差も連続的な分布を持つはずである。そして、誤差の分布はいずれも0の付近に最頻値が存在しており、概ね左右対称な形をしており、中心から両端にいくほど値が小さくなっているから、その分布形は正規分布ではないかと推測される。

そこで以下では、各気象データについて、誤差の母分布を正規分布として仮定し、正規分布の形を規定するパ

表-4 予報誤差データの概要

	3時間前情報			前日情報		
	降水量 [mm/h]	気温 [℃]	風速 [m/s]	降水量 [mm/h]	気温 [℃]	風速 [m/s]
標本数	378	632	632	389	632	632
平均値	-0.087	-0.025	-0.050	0.096	0.006	-0.226
最大値	4	3.2	3.9	4	4.4	8.5
最小値	-1	-3	-3.7	-2	-4.1	-5.9
最頻値	0	0	0.2	0	-0.3	-0.2
分散	0.143	0.280	0.572	0.558	1.737	2.620
標準偏差	0.378	0.529	0.756	0.747	1.318	1.619

表-5 最尤推定法による予報誤差の確率分布関数

気象項目	3時間前情報	前日情報
降水量	$N(-0.087, 0.143)$	$N(0.096, 0.558)$
気温	$N(-0.025, 0.280)$	$N(0.006, 1.737)$
風速	$N(-0.050, 0.572)$	$N(-0.226, 2.620)$

ここで $N(\mu, \sigma^2)$ は平均値 μ 、分散 σ^2 の正規分布関数である。

ラメータを最尤推定法によって求め、そうして得られた正規分布が、実測によって得られた分布と一致するかどうかを、カイ二乗検定を用いた適合度検定によって検証するという作業を行う。一般に、母平均の最尤推定量は標本平均に等しく、母分散の最尤推定量は標本分散に等しいことが一般に知られている。ゆえに、前述の結果から、3時間前情報、前日情報のそれぞれについて、降水量、気温、風速の予報誤差の確率分布関数は表-5のように推定される。

そして、これらの分布と実測によって得られた分布との間に有意な差がないかどうかを、誤差の異常値と考えられたデータを除いたうえでカイ二乗検定を用いた適合度検定によって判断したところ、有意水準0.01で「実測で得られた分布は正規分布にあてはまる」とした帰無仮説が6つの分布すべてにおいて採択された。

以上より、降水量、気温、風速のいずれの予報誤差も、3時間前情報、前日情報ともに、最尤推定法によって求めた正規分布を母集団の分布として持つと考えてよいと結論付けた。従って、気象予報が発表されたときに、その予報時刻に生起する気象値の確率分布は、

$$N(E - \mu, \sigma^2) \quad (3)$$

ただし、 E ：予報値

μ ：予報誤差の平均

σ^2 ：予報誤差の分散

(μ と σ^2 の値は項目によって表-5のとおり)

で与えられるものとする。これらの分布を図-1および図-2に例示する。

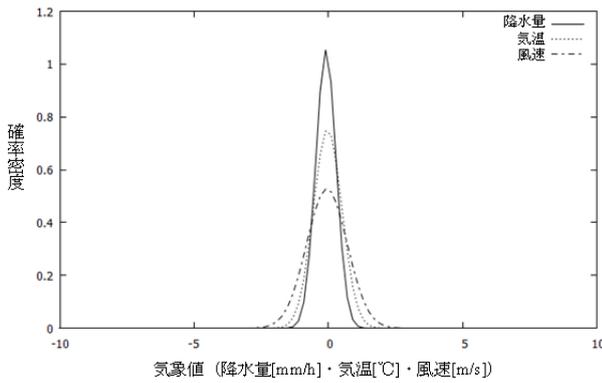


図-1 3時間前情報における確率密度関数の例
(いずれも予報値が0の場合)

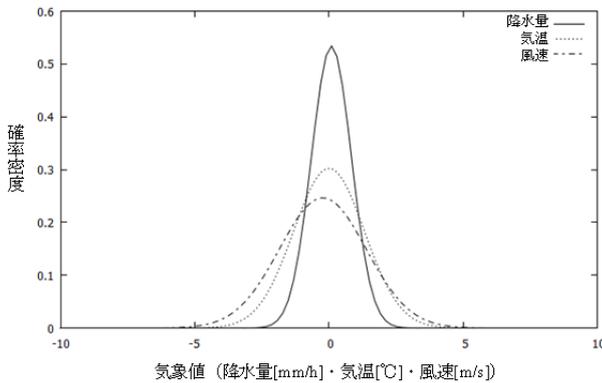


図-2 前日情報における確率密度関数の例
(いずれも予報値が0の場合)

(3) 積雪の予測値についての考察

式(1)には積雪の項があるが、気象予報の項目に積雪値は含まれないため、予測モデルの構築には積雪値を予想する方法について検討せねばならない。ここで、1m あった雪が3時間後にはすべて融けてなくなっていたということがないように、風速などとは異なり、積雪は時間変化が緩やかであることが想像される。したがって、積雪については気象予報ではなく、各時点での現況値を基準に予想することを考える。そのために、取得した過去10年の気象データから、3時間前情報と前日情報のそれぞれについて、次式(4)のように「積雪の差分」を定義して集計を行った。

$$\text{(積雪の差分)} = \text{(ある時点の積雪値)} - \text{(当該時点の3時間前または前日18時の積雪値)} \quad (4)$$

ただし、各時点と3時間前または前日18時とでいずれも積雪がなかった場合は集計対象から除外した。この集計結果は表-6のとおりであり、先の降水量などの場合と同様、標本平均、標本分散をそれぞれ母平均、母分散の最尤推定量として正規分布を定義し、カイ二乗検定による適合度検定を実施した。3時間前情報については異

表-6 積雪の差分データの概要

統計量	3時間前情報	前日情報
標本数	25,861	8,707
平均値 [cm]	0.018	0.768
最大値 [cm]	21	42
最小値 [cm]	-10	-24
最頻値 [cm]	0	0
分散 [cm ²]	3.709	34.18
標準偏差 [cm]	1.926	5.847

常値と捉えられる一部の度数(合計25,861度中60度)を除いて検定した結果、3時間前情報については $N(0.018, 3.709)$ 、前日情報については $N(0.768, 34.18)$ を積雪の時間変化量の正規分布として推定できた。

(4) 予測モデルの構築

この節では、これまでに議論した内容をもとに、気象予報から吹雪による緊急通行止めの発生確率を算出するモデルの構築に取り組む。以下では、3時間前情報を例にとる。

まず、実際の気象値が与えられたときに通行止め発生確率を求める算定式は、先に導いた式(1)である。式(1)中の $x_i (i = 1, 2, 3, 4)$ は数字の順に降水量、気温、風速、積雪であり、各 x_i の発現確率は、予報値 E_i および予報誤差の平均 μ_i ・分散 σ_i^2 (積雪の場合は実測値および時間変化の平均・分散と読み替える。以下同じ)を用いて次の式(5)で与えられる。

$$f_i(x_i, E_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_i} \exp\left(-\frac{(x_i - E_i + \mu_i)^2}{2 \cdot \sigma_i^2}\right) \quad (5)$$

式(1)と式(5)を用いることによって、予報値(積雪は実測値) E_i を変数として吹雪による緊急通行止めの発生確率 P を算出する式が、次の式(6)で与えられる。

$$P(E_1, E_2, E_3, E_4) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \{p(x_1, x_2, x_3, x_4) \cdot f_1(x_1, E_1) \cdot f_2(x_2, E_2) \cdot f_3(x_3, E_3) \cdot f_4(x_4, A)\} dx_1 dx_2 dx_3 dx_4 \quad (6)$$

ところが、この式はあくまでも理論的なもので、実際は複雑な積分計算を伴うものである。実用上は、Excel等を使っても計算可能な、簡便化されたものが使用することが望ましい。いま、4つの関数 f はいずれも正規分布関数であり、 $[\mu \pm n\sigma]$ (n : 整数)の区間に全体のどれだけが存在しているかが明らかである。そこで、ほぼ全体をカバーする 4σ 区間を16等分し、各区間の中間

表-7 S_m の数表

m	S_m
1,16	0.00020
2,15	0.00112
3,14	0.00486
4,13	0.01654
5,12	0.04406
6,11	0.09185
7,10	0.14988
8,9	0.19146
合計	1.00

値を x_i の値として、その区間の面積（正規分布関数 f の定積分）を $f(x_i)$ の値として用いることによって、式(6)を次の式(7)に簡便化する。

$$P(E_1, E_2, E_3, E_4) = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^{16} \{p(X_{1i}, X_{2j}, X_{3k}, X_{4l}) \cdot S_i \cdot S_j \cdot S_k \cdot S_l\} \quad (7)$$

$$X_{mn} = E_m - \mu_m + \frac{2n - 17}{4} \cdot \sigma_m^2 \quad (8)$$

$(m = 1, 2, 3, 4 \quad n = 1, 2, \dots, 16)$

なお、 S_m の値は表-7の通りである。式(7)の解は $16^4 = 65,536$ 通りの計算結果の総和で与えられるため、実用上の計算が可能となる。

具体的な緊急通行止め発生予測モデルの構築プロセスの説明は、ここまで述べた3時間前情報の場合に留めるが、前日情報についても全く同じ方法によって可能である。前日情報の場合の予測式は、式(7)および式(8)で使用する平均値と分散値を前日情報のものに変えればよい。

以上で、3時間前と前日18時の両方で、気象予報値が発表された場合に当該予報時刻における緊急通行止め発

生確率を算出するモデルを構築することができた。

4. 通行止め発生予測モデルに対する評価

(1) 2014年度のデータを使用した検証

この節では、前章で構築した予測モデルの評価材料として、2014年度の気象予報データの記録から通行止め発生確率の経過を調べ、実際の通行止めの発生状況と照らし合わせる。気象予報データは2014年11月7日から2015年1月26日まで（前日情報については2014年11月8日から2015年1月27日まで）のものを使用した。ここでは、誌面の都合上、予測結果の例として2014年12月1日から2014年12月31日までの予測発生確率の推移を図-3に示している。なお、図中の網掛けの部分が実際に吹雪による緊急通行止めが発生していた時点である。

また、前日情報については、モデルで使用している4つの正規分布関数（降水量、気温、風速の予報誤差および積雪の時間変化に関するもの）の分散が3時間前情報のそれに比べて大きい、3時間前情報にも劣らない予測ができていたといえ、「夕方のニュースで翌日の道路の予測情報を手に入れる」という利用者の利便にかなった情報提供が可能になる見込みがあると結論できる。

(2) 現地の実務者の方々の意見に基づく評価

本稿のモデルについて、現地の実務者にも直接評価をしてもらうため、2015年1月に、青森県県土整備部道路課維持補修グループ/道路環境グループ（3名）、国土交通省青森河川国道事務所（2名）、青森ITSクラブ（1名）、公益社団法人青森県観光連盟観光振興グループ（1名）、青森県警察本部交通部交通規制課（1名）、国土交通省東北運輸局青森運輸支局（1名）の合計9名に対

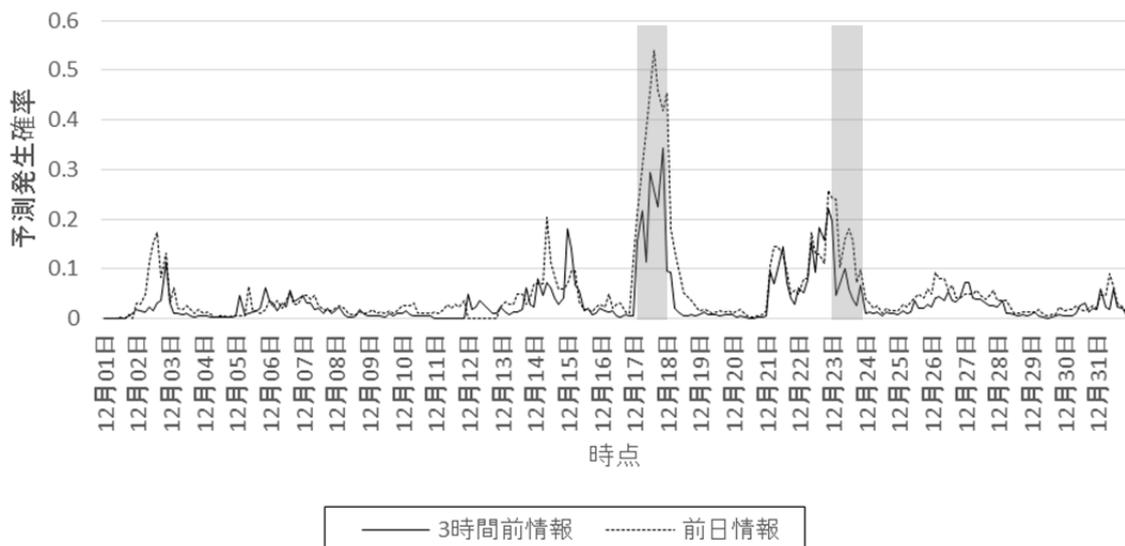


図-3 吹雪による緊急通行止めの予測発生確率の推移（2014年12月1日～同31日）

してインタビューを行った。

まず、本稿で扱った通行止め発生確率のような予測情報を一般に提供するとした場合に、どのような主体が行うべきであるか考えるかを尋ねた。道路管理者の立場からは、津軽道の通行情報を SNS を使用して提供していることを例として、利用者から継続を望む声があれば、道路管理者の立場で情報提供を行うことは可能であるとの回答があった。一方で、通行止めを実施するかしないかを判断する立場にある道路管理者が予測情報を提供するという点に対して違和感があるという回答もあった。また、後述のデメリットの点で挙げるように、道路管理者が情報提供の主体となる場合、問い合わせの電話への対応が他の業務に支障をきたしかねないという懸念も挙がった。これらを勘案すると、一定の不確実性も含んだものである予測情報を提供するに際しては、道路管理者が直接に情報提供を行うよりは、別の主体を設けるのがよいものと判断される。従って、NPO という官民の中間的な存在が運営している「あおり交通情報」の機能の 1 つとして予測情報を提供しようという当初の方針が、現実的にも妥当なものであるということができよう。

次に、各団体にとってこうした予測情報が提供されることによるメリット・デメリットについても尋ねた。ここで上がった意見をまとめると、以下の 3 点に集約できる。

- ・情報提供そのものとして、また観光事業の参考としても、観光客向けのサービスとして有用となりうる。
- ・一般の市民に対してだけでなく、道路管理者や交通事業者に対しても、管理上・事業上の判断をする上で参考になる。
- ・不確実性を伴う情報提供のため、市民からの問い合わせへの対応についても考慮した上で情報提供のスキームを構築する必要がある。

当初想定されていた、一般のドライバー向けの情報提供にとどまらず、観光用途にも可能性が示されたのは新たな発見である。そして、ここまで情報提供側として捉えてきた道路管理者や交通事業者が、こうした情報が自らの業務上にも役に立つと捉えている点は大きな意義がある。一般市民に対して予測情報を発信する場合は、その捉え方や責任の所在に関して混乱が生じたり、関係機関への問い合わせが業務への支障となってしまうという恐れがあるが、まずは道路管理者や交通事業者といった管理側、運営側で予測情報を活用し、データが不足している検証作業を継続してモデルの予測精度についてもさらに吟味し、情報提供に向けた連携のあり方を熟議するというのが、当初の活用方針としては現実的だろう。

5. 本研究の成果と今後の課題

(1) 本研究の成果

本稿の研究では、ITS 関連事業の先進地域であり、雪による道路支障時にも適切な情報提供を行うことが課題となっている青森市を対象地域とし、マルチモーダル交通情報「あおり交通情報」の新しい掲載情報を想定して、冬季の雪に起因する緊急通行止め発生予測モデルの構築にあたった。青森市内を通る有料道路、国道および主要地方道に分類される県道をデータ集計対象として過去の実績データの分析を進めていく中で、冬季の緊急通行止め（通行止めのうち、予め区間と期間を決めて行う「冬季閉鎖」を除いたもの）の 4 大発生要因が吹雪・積雪・降雪・路面凍結であることが分かり、このうち気象条件によって定量的に発生を説明・予測できるのは吹雪によるものであることが判明した。それを受けて、吹雪による緊急通行止めの発生確率を、降水量・気温・風速の予報値および積雪の現在値から算定するモデルを構築した。2014 年度の気象予報をもとに、このモデルによる予測値と実際の緊急通行止め発生状況を照らし合わせたところ、実際の状況に即したモデルになっていることが確かめられた。これは予報誤差が大きいことが懸念された前日情報（18 時時点で翌日の発生確率を予測するもの）についても当てはまり、夕方に翌日の交通情報が分かるという利用者の観点からも便利なツールとなることが示唆された。

青森での実務者の方々へのインタビューによる評価では、このような予測情報を提供する上でのヒントや課題が提示された。まず、当初このモデルは一般のドライバー向けの情報提供を想定して構築していたものであるが、道路管理者や交通事業者にとっても活用できるものであるということが示唆された。また、地元の生活者だけでなく、観光客向けの情報提供としての活用の可能性も見出した。一方で、通行止めの発生予測という不確実性を含む情報であることから、道路管理者たる行政が直接情報提供を行うことによる弊害を指摘する声があり、情報提供に際しては「あおり交通情報」のような、事業者等の直接の手によらない中間的な媒体があるのが望ましいことが分かり、気象予報などと同様にあくまでも予測であって的中しないこともあるということに対して理解を得るように努めるべきだという課題も得られた。

(2) 今後の課題

本稿では過去の気象予報のデータに関係機関から入手することができず、自ら保存した 2014 年 11 月以降の 2 ヶ月強のデータを以てしか、モデルと実際の状況とのあてはまり具合を調べることはできなかった。このような予測情報に対するニーズが高いことを訴求して気象情報

を取り扱う機関とも連携し、過去の長期間のデータを使用してモデルの評価にあたることができれば、予測精度の向上が見込める。また、今回構築したモデルは、青森市内の対象としている道路のどこかで通行止めが発生している確率を算出するものである。過去の傾向から、重点的に警戒すべき区間を同時に提示することはできるが、ピンポイントに路線・区間ごとの予測までは至らなかった。これについては、今後のデータ蓄積を待つか、さらに過去の情報についても遡る必要がある。

そして、今回は道路における交通支障として通行止めのみを取り扱ったが、渋滞に関する情報に対するニーズが大きいことは、当初から念頭にあり、現地実務者へのインタビューでも確かめられた。道路交通情報センターが独自の手段によって公開している現行の渋滞情報についても、気象との関連を分析することで、豪雪地帯ならではの課題を解決する上で大いに役に立つ可能性がある。関係機関の連携を通じて、渋滞まで含んだ道路の交通支障予測情報が提供できるようになることが、今後の大きな課題として挙げられる。

謝辞：本研究の実施に際し、国土交通省国土技術政策総合研究所からは多大なるご支援をいただいた。また、青森ITSクラブ、青森県県土整備部の方々、国土交通省青森河川国道事務所の方々、青森県県土整備部の方々、青森県観光連盟の方々、青森県警察本部の方々にもご協力をいただいた。合わせてここに感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) あおもり ITS 推進研究会：雪国における ICT 技術を活用したマルチモーダル・ビッグデータに関する社会実験 報告書, pp.21-23, 2014.
- 2) 山内香奈・村越暁子・藤浪浩平：運転再開見込み情報を伝える, 「RRR」第 67 巻第 3 号, 2010
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, pp.110-119, 1996.

(???)