

カメラ画像を活用した吹きだまり検知に関する技術開発について

正岡久明¹, 星野洋¹, 間山大輔¹, 萩原亨², 金田安弘³, 越後謙二³, 永田泰浩³

1. はじめに

北海道をはじめとする積雪寒冷地では、毎年のように大雪や暴風雪にともなう視程障害や吹きだまりによって大規模な道路交通障害が発生している。吹雪は長時間にわたる通行止めや車両の立ち往生、また多重衝突事故などの原因となっており、社会や生活に大きな影響を与えている。

吹雪による道路交通障害が大規模なものとなる要因のひとつとして、道路上に発生する吹きだまりを的確に把握できないことが挙げられる。その理由は、実道上の吹雪量やその継続時間、および道路構造、沿道環境、風上側の状況などが複雑に影響しているためである。

本研究は道路カメラの画像を分析して面的な吹雪状況を推計し、GPV 気象予報データ、および道路構造・沿道環境を加味して 24 時間先までの吹きだまりの発生とその深さを予測する技術開発であり、本論文はその研究成果を報告するものである。

2. 研究概要

本研究は、吹きだまりの発生を予測するための以下 3 つの要素技術について図- 1 に示すフィールドで平成 26・27 年度の 2 ヶ年実施した。

表- 1 要素技術

| | |
|----------|-------------------------|
| 要素技術 I | 道路カメラ画像を用いた面的吹雪量推計 |
| 要素技術 II | 道路構造や沿道環境を加味した吹きだまり発生判定 |
| 要素技術 III | 吹雪量による吹きだまり深さの推計 |

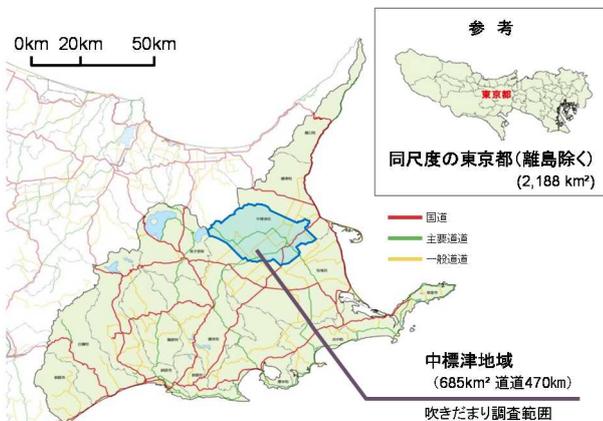


図- 1 研究フィールド

3. 道路カメラ画像を用いた面的吹雪量推計 (要素技術 I)

3-1 道路カメラ画像を用いた視程の推計

本技術を構成する基礎技術として、道路カメラ画像のコントラストから画像評価値 (WIPS) を算出し、視程を推計する技術を用いている。この技術について、永田 1) らによると、画像評価値 (WIPS) から算出した視程は目視による画像の評価と高い精度で一致していると報告されている。

図- 2は平成21年1月21日における国道244号、272号に設置された道路カメラの画像であり、目視では吹雪が発生し視程が200~300m程度となっている。上述の画像評価値 (WIPS) から求めた視程は、それぞれ266mと254mと推計され、ほぼ的確に推計できることが確認できた。



図- 2 平成 21 年 1 月 21 日の道路カメラ画像

3-2 空間内挿による視程の面的推計

カメラ画像から算出する視程を面的に展開するために、~3月10日にかけて対象エリアに6基の検証カメラを設置し (図- 3)、毎正時に画像撮影を行い、1,038データを取得した。なお、機器のエラーや夜間などで画像評価値 (WIPS) の把握ができないケースは除外している。

視程の検証は4段階のランクに分類し、画像評価値 (WIPS) から求めた視程の実測値と空間内挿によって求めた視程の推計値についてランクが一致しているかを評価した。

検証の結果を表-2に示す。同一のランクでの適中が約86%、1ランクの差を許容する広義の適中が約98%となっており、空間内挿による推計の有効性が示された。

3-3 視程から吹雪量への変換

吹雪による視程の低下と吹雪量の関係について、松澤¹⁾らは、飛雪流量 q と視程 vis の関係を明らかにしており、次のような関係式を構築している。

*¹株式会社シー・イー・サービス ²北海道大学大学院工学研究院 ³ (一社) 北海道開発技術センター

4-1 分析に用いたデータ

吹きだまりの発生に影響を及ぼす道路構造・沿道環境の特徴を整理するため、北海道東中標津地域の道道32路線（延長470km）を対象とし、吹きだまりが発生する箇所、および吹きだまりが発生しない箇所を抽出した（図-4）。



図-4 吹きだまりの発生・非発生対象箇所

吹きだまり発生箇所は、地元除雪業者へのヒアリングを実施し、過去に北西風で吹きだまりが発生した箇所を抽出した。さらに、平成27年2月15日～19日に発生した暴風雪直後の現地調査で把握した吹きだまりの発生箇所を加え、合計101箇所を対象とした。

吹きだまり非発生箇所は、対象路線内を1kmピッチで機械的に抽出を行い、上述の発生点と重なった場合は除いて447箇所を対象とした。

4-2 道路構造・沿道環境の考察

前述した吹きだまり発生箇所101箇所について、交通、道路、雪氷、気象など各分野の専門家の知見から道路構造・沿道環境の特徴について考察した。一例を図-5に示す。

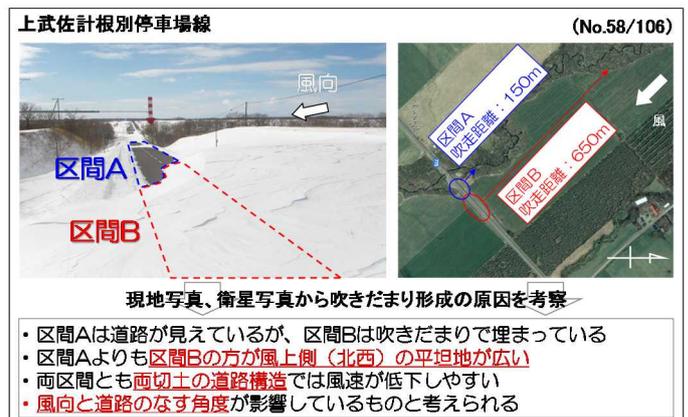


図-5 吹きだまり要因の考察事例

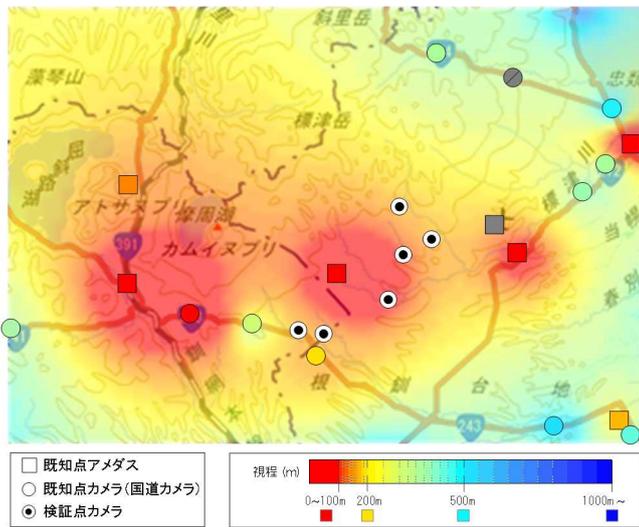


図-3 空間内挿結果および検証カメラ位置

表-2 実測値と推計値の検証

| | | 推計値（空間内挿結果） | | | |
|---------------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|--------|
| | | 100m未満 | 100m以上 200m未満 | 200m以上 500m未満 | 500m以上 |
| 分析結果 （検証カメラ画像の 実測値） | 100m未満 | 6 | 22 | 9 | 1 |
| | 100m以上 200m未満 | 7 | 28 | 28 | 6 |
| | 200m以上 500m未満 | 1 | 16 | 47 | 27 |
| | 500m以上 | 0 | 9 | 19 | 812 |
| | 合計 | 14 | 75 | 105 | 846 |

■ : 適中 (893/1,038=86.0%) ■ : 広義の適中 (1,012/1,038=97.5%)

$$vis = 10^{-0.886 \times \log(q) + 2.648} \quad (1)$$

また、飛雪流量 q と吹雪量 Q についても式(2)のように関係性が定義されている。

$$Q = \int q(z) dz \quad (2)$$

これらの既往研究の成果を組合せることで、カメラ画像から視程 vis を求め、式(1)により飛雪流量 q の算出を行い、さらに式(2)により吹雪量 Q を求めることで、道路カメラ画像によって求めた視程から吹雪量に変換することが可能である。

面的に推計した1kmメッシュ視程値を上述による方法で吹雪量に変換することで、面的な吹雪量推計が可能になる。

さらに、カメラが設置されていない路線における吹雪量推計が可能となり、吹きだまりを的確にとらえるための基礎データとして活用が可能である。

4. 道路構造や沿道環境を加味した吹きだまり発生判定（要素技術Ⅱ）

道路構造・沿道環境などの要因が吹きだまりの発生に与える影響を統計的手法により評価し、吹きだまりの発生を推計する技術の研究を行った。

(1) 分析手法

548 箇所のデータを用い、その属性（道路構造・沿道環境）にもとづいて、統計的に吹きだまりの発生条件を分類する手法として判別分析を用いた。吹きだまり要因の関係性を可視化することが可能で、結果の妥当性を判断しやすい決定木分析を用いた。分析には統計解析ソフト「R version 3.1.2」mvpart モジュールを使用した。

(2) 平成 26・27 年度の分析結果

平成26年度、および平成27年度の分析に使用した吹きだまりの発生に影響していると考えられる道路構造・沿道環境の要因および適中率を表- 3に、平成27年度の決定分析結果として得られた樹形図を図- 6に示す。

表- 3 分析に使用した要因と適中率

| 吹きだまりの発生に与える要因 | | | 平成26年度 | 平成27年度 |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|--------|--------|
| 1 | 吹きだまりに影響する要素 (主に風上側条件) | 吹走距離 | ○ | ○ |
| 2 | | 風の収束要因 | ○ | ○ |
| 3 | 吹きだまりやすさに影響する要素 (道路構造・沿道条件) | 道路と風のなす角度 | ○ | ○ |
| 4 | | 道路構造及び周辺地盤との高低差 | ○ | ○ |
| 5 | | 樹木 | ○ | ○ |
| 6 | 吹きだまりやすさに影響する要素 (道路構造・沿道条件) | 家屋 | - | - |
| 7 | | 防雪対策施設 | ○ | ○ |
| 8 | | 地形・地物 | - | - |
| 9 | | 雪堤の影響有無 | - | ○ (追加) |
| 10 | | 堆雪スペース | - | ○ (追加) |
| 吹きだまり発生の適中率 (発生データ 101箇所) | | | 80.2% | 92.1% |
| 吹きだまり非発生の適中率 (非発生データ 447箇所) | | | 97.8% | 96.0% |
| 全体適中率 (全データ 548箇所) | | | 93.2% | 96.9% |

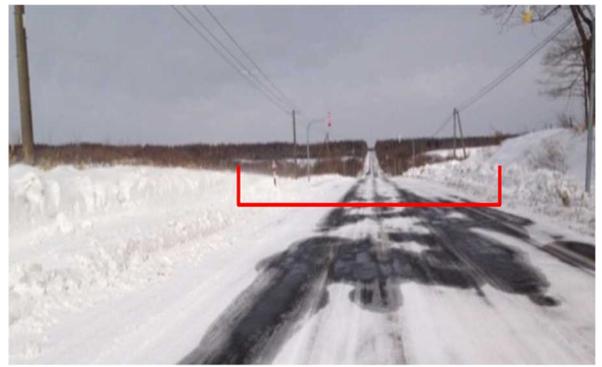


図- 7 雪堤の影響により吹きだまりが発生した事例



図- 8 十分な堆雪スペースがあり吹きだまりが生じない事例

と 12 箇所において道路構造、および周辺地盤との高低差が小さい箇所であることが明らかとなった。このような平坦区間では除雪作業による雪堤が生じ、見かけ上両切土となるために、正しく発生を判別できなかったことが想定される (図-7)。

このほか、447 箇所の非発生箇所において 10 箇所で

平成26年度の分析において、101箇所の吹きだまり発生箇所のうち20箇所で誤判定が生じ、その原因を探る

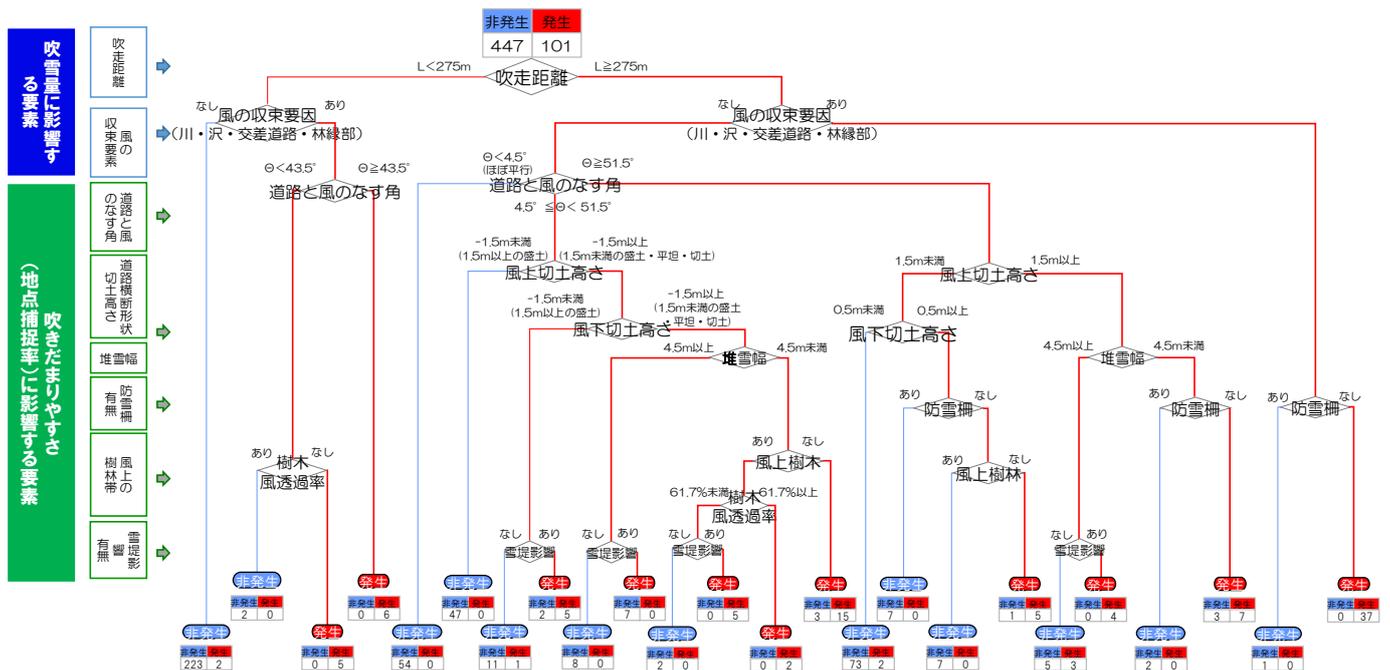


図- 6 決定木分析でえられた樹形図 (H27 分析)

誤判定が生じ、図-8 に示すように、両切土形状であるが、路側に十分な堆雪スペースが確保されている道路環境下においては、吹きだまりが発生しないことが確認された。平成 27 年度の分析では、上述 2 つの要因を追加し、決定木分析を実施した結果、吹きだまり発生の適中率を、80.2%から 92.5%に向上させることができた(表- 3)。

また、決定木分析の結果として得られた樹形図の上方の「吹雪量に影響する要素」では吹走距離、「吹きだまりやすさに影響する要素」では道路と風のなす角度が、最初の分岐条件として現れ影響が強いことがうかがえ、これまで経験的に考えられていた発生条件に近いことが確認された。

5. 吹雪量による吹きだまり深さの推計 (要素技術Ⅲ)

冬期道路管理を行ううえで、吹きだまり深さは除雪や通行止めの判断に重要であることから、本研究では吹雪量から吹きだまりの深さを推計する手法について研究を行った。

5-1 分析に用いたデータ

平成 26・27 年度の 2 冬期に、中標津地域の道道 上武佐計根別停車場線の 3 地点において、積雪深計を設置し道路センターライン上の積雪深(吹きだまり深さ)を調査した。

平成 26 年度の 5 事例、平成 27 年度調査結果を加え、合計 40 事例の吹きだまりの発生過程のデータを得ることができた。調査期間中もっとも顕著な事例を図-9 に示す。約 5 時間で 147 cm の吹きだまりが発生したものである。

なお、図中の吹雪量は調査エリア近辺のアメダス上標津の観測値を用い、既往の手法²⁾により求めた。



図- 9 調査により得られた吹きだまり発生過程

5-2 吹雪量と吹きだまり深さの関係式の構築

実道調査の結果から、吹雪量-吹きだまり深さの散布図を図-10 に示す。吹雪量と吹きだまり深さの間には

相関が見られ、回帰分析の結果、平成 26 年度 5 事例での決定係数は約 0.80、平成 27 年度を合わせた 40 事例で決定係数は約 0.89 に向上し、関係式の信頼性が向上した。

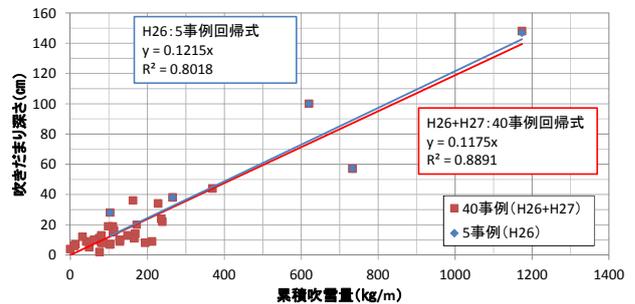


図- 10 吹雪量-吹きだまり深さの散布図

6 実道における吹きだまり判定技術の検証

本技術の実道への適用性を確認するため、図- 11 に示す研究対象地域の道道 中標津標茶線 (KP18.4~26.4) で検証を実施した。

検証の対象日は雪堤の影響のない日として平成 28 年 1 月 19 日、雪堤の影響のある日として平成 28 年 2 月 21 日を抽出した。なお、両日の吹雪量は同程度、風向は同一であり、気象条件に差はない(表- 4)。



図- 11 検証対象路線および区間 (延長 L=8km)

表- 4 気象概況および吹きだまり発生延長

| | 1月19日 (雪堤の影響無) | 2月21日 (雪堤の影響有) |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| 直前の雪堤高さ(KP25.8 付近) | 約 10cm | 約 50cm |
| 降水量 | 16.0mm | 15.0mm |
| 最多風向 | 北東 | 北東 |
| 平均風速 | 5.5m/s | 3.6m/s |
| 調査延長 | 8.0km | |
| 吹きだまり発生延長 | 3.0km | 5.2km |

※気象条件は吹雪発生から除雪(調査)実施までの集計値

6-1 検証方法

検証は、本技術による吹きだまり発生判定結果と、実道で吹きだまりの発生した区間を比較した。

吹きだまりの発生判定は、対象路線を 100m 区間に分割し、区間ごとの道路構造・沿道環境、および検証対象日の気象条件を基に、樹形図により判定した(表- 5 上段)。

表- 5 吹きだまり発生判定結果と実道の吹きだまり（雪堤の影響なし・あり）

| | 雪堤の影響なし(1月19日) | 雪堤の影響あり(2月21日) |
|--------------|----------------|----------------|
| 吹きだまり発生判定結果 | | |
| 実道の吹きだまり発生区間 | | |

実道の吹きだまりの発生は、検証対象日に除雪車に搭載したドライブレコーダーの映像から目視により把握した（表- 5 下段）。検証のイメージを図-12に示す。

6-2 検証結果

吹きだまり発生判定結果と実道の吹きだまり発生区間の適中率を雪堤の影響の有無別に表- 6 に示す。

検証の結果、雪堤の影響のない場合、ある場合ともに、8割以上の精度で実道の吹きだまりの発生・非発生を適中でできており、本技術の適用可能性を確認できた。

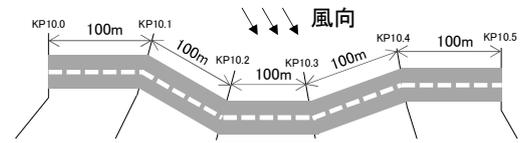
7. 今後の展望

本稿では、これまで困難であった道路上に発生する吹きだまりの的確な予測手法の研究成果について報告した。各要素技術は実道での検証を行い一定程度の適中率、適用可能性を得ることができた（図- 13）。

今冬は、各要素技術を一体化し、GPV 気象予報データを加えて、24 時間先の吹きだまり深さを予測可能な技術として、試行的に北海道東中標津地域の3路線で吹きだまりや視程障害についての情報提供を行い、課題の抽出や精度の検証・向上に取り組む予定である。

本研究の成果が実用化され、面的な吹雪状況や吹きだまりの把握、および予測が可能となれば、パトロールや除雪出動の判断、パトロール時に注意する区間の参考情報など、日常的な冬期道路管理に活用が可能である。さらに、暴風雪のような異常時には通行規制の判断や除雪作業に要する時間の参考などにも活用可能である。

また、道路利用者にとっても、吹きだまりや視程障害の情報は、安全なルート選択や外出判断などの重要な情報となりうると考えている。



| | | | | | |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 吹走距離 | 300m | 300m | 240m | 330m | 50m |
| 風の収束要因 | あり | なし | なし | なし | あり |
| 道路と風のなす角度 | 60° | 30° | 60° | 80° | 30° |
| 道路横断形状 | 風上盛土0.3m 風下盛土0.5m | 風上盛土1.8m 風下盛土1.5m | 風上切土1.2m 風下切土0.3m | 風上切土1.8m 風下切土1.5m | 風上盛土0.1m 風下切土0.2m |
| 堆雪幅 | 4.5m未満 | 4.5m未満以上 | 4.5m未満 | 4.5m未満 | 4.5m未満 |
| 防雪柵 | なし | なし | なし | あり | なし |
| 風上の樹林帯 | なし | なし | あり | なし | あり |
| 雪堤影響の有無 | あり | なし | あり | あり | なし |
| 発生判定結果 | 発生 | 非発生 | 非発生 | 発生 | 非発生 |
| 実道の吹きだまり | 発生 | 発生 | 非発生 | 非発生 | 非発生 |
| 適中/非適中 | 適中 | 見逃し | 適中 | 空振り | 適中 |

図- 12 発生判定および検証のイメージ

表- 6 吹きだまり発生判定と実道の吹きだまりの適中率（雪堤の影響なし・影響あり）

| 調査延長 8.0km | 吹きだまり発生判定 | | | | |
|---------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 雪堤の影響なし | | 雪堤の影響あり | | |
| | 発生 | 非発生 | 発生 | 非発生 | |
| 実道の吹きだまり | 発生 | 2.1km (適中) | 0.9km (見逃し) | 4.8km (適中) | 0.4km (見逃し) |
| | 非発生 | 0.5km (空振り) | 4.5km (適中) | 0.6km (空振り) | 2.2km (適中) |
| 適中率 | 82.5% | | 87.5% | | |

雪堤の影響なし：82.5%=(2.1+4.5)/8.0 雪堤の影響あり：87.5%=(4.8+2.2)/8.0

8. おわりに

本技術開発は、国土交通省建設技術研究開発助成制度における政策課題解決型技術開発公募の助成を受けて実施したものである。

本技術開発を進めるプロセスでは、産学官連携による委員会（北海道大学、北見工業大学、北海道開発局、

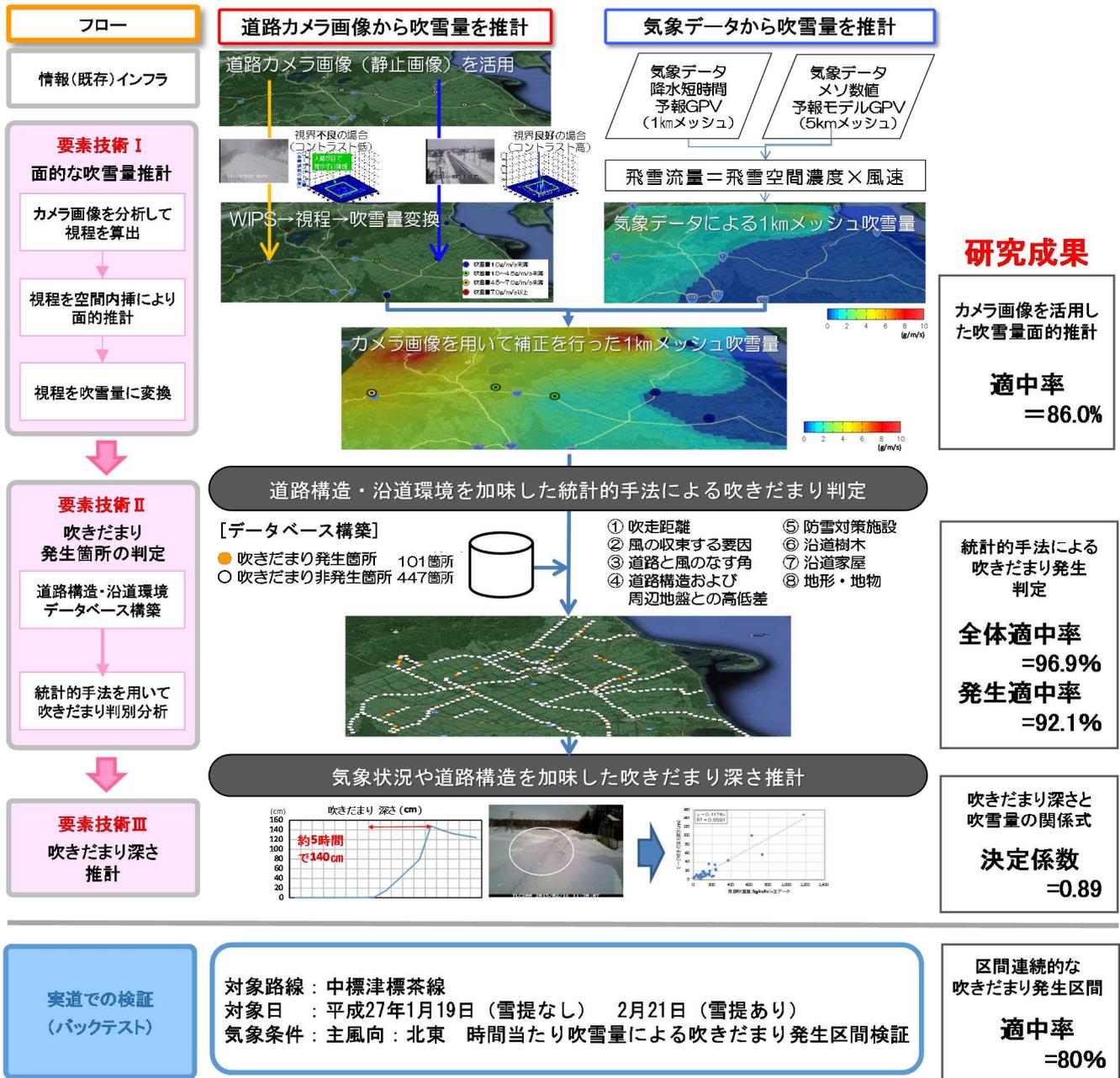


図-13 本研究開発の全体構成と成果

北海道建設部、土木研究所寒地土木研究所、日本気象協会北海道支社、北海道開発技術センター、シー・イー・サービスで構成)を開催し、委員および委員の組織の皆様から多くのご指導・ご助言をいただき、実効性の高い検討が効果的に進められたことに感謝を申し上げる。

<引用文献>

1) 道路監視用 CCTV カメラの画像を利用した視認性情報システムの実用可能性についての研究, 機関誌「交通工学」, Vol. 44, No. 3, pp. 89-99 (2009) (永田泰浩, 萩原亨, 金田安弘, 荒木啓司, 佐々木博一)

2) 暴風雪による吹雪視程障害予測技術の開発に関する研究—運営費交付金(平23~平27)(寒地道路研究グループ:松澤勝, 國分徹哉, 武知洋太, 原田裕介, 大宮哲)

3) 降雪を考慮した全層吹雪量の推定手法に関する研究, 北海道の雪氷 No. 30 (2011) (寒地土木研究所:松澤勝)

4) 道路カメラ画像を活用した吹雪量推計および道路構造・沿道環境を考慮した吹きだまり推計技術の開発, 第31回寒地技術シンポジウム(2015) (正岡久明, 星野洋, 間山大輔, 萩原亨, 金田安弘, 越後謙二, 永田泰浩)

5) 道路吹雪対策マニュアル平成23年改訂版, 発行:独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, 発行年:平成23年3月