

## 事例ベース推論を用いた凍結防止剤散布支援システム

池田 芳紀<sup>†</sup> 仲谷 善雄<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>立命館大学院理工学研究科 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

<sup>‡</sup>立命館大学情報理工学部 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: <sup>†</sup>rs002025@se.ritsumeai.ac.jp, <sup>‡</sup>nakatani@is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 市街地を対象とした凍結防止剤散布の意志決定支援システムの製作を行った。財政難の自治体に対応するために既存センサ類と過去の散布事例を用いて市街地全体の路面凍結を予測し、散布計画の立案に役立てるものである。

キーワード 事例ベース推論, 人工知能, 雪氷作業

## Case-based Antifreezing admixture sprinkling Support system

Yoshinori IKEDA<sup>†</sup> and Yoshio NAKATANI<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate school of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ. 1-1-1, Noji-Higashi, Kusatu-Shiga, 525-???? Japan

<sup>‡</sup> Dept. of Information Technology, Ritsumeikan University 1-1-1, Noji-Higashi, Kusatu-Shiga, 525-???? Japan

E-mail: <sup>†</sup>rs002025@se.ritsumeai.ac.jp, <sup>‡</sup>nakatani@is.ritsumeai.ac.jp

**Abstract** This system is kind of case-based expert system for novice director of antifreezing admixture. To make system low cost, we tried to use less weather sensors than the other studies.

**Keyword** Case-based Reasoning, Artificial Intelligent, Antifreezing Admixture

### 1. はじめに

これまで、雪氷作業における路面への凍結防止剤散布の可否などは自治体の散布計画や現場作業員、作業指示者の豊富な経験則に基づく人的判断に頼ってきたが、熟練の指示担当者はその多くが定年による急速な世代交代を迫られている。後任者である未熟練者は、効率やサービスの水準を落とすことなく今後の事態にも対応しなければならないが、その支援のために道路上に路温センサを設置して路面状態を予測することは自治体の財政上困難である。本研究は、北海道苫小牧市の市街地での凍結防止剤散布指示業務を対象として、過去の散布事例に基づいて新たな散布作業に関する未熟練指示担当者の意思決定支援を図る事例ベース型システムを提案するものである。



図 1: 散布作業の様子

### 2. 背景

#### 2.1. 現状

本研究の調査のため、2006年5月に札幌市建設局雪対策室、同9月に国土交通省滋賀国道事務所に対しヒアリング調査を実施した。また、北海道苫小牧市からは散布に関する資料の提供を受けた。要約したものを以下に列挙する。

- ・凍結防止剤は主に塩化カルシウムや塩化ナトリウムなどの塩化物で、道路への散布により氷点降下を狙う。気温が $-3^{\circ}\text{C}$ ~ $-8^{\circ}\text{C}$ で最も効果を発揮し、 $-10^{\circ}\text{C}$ を下回ると効果が出にくい。
- ・散布後1~3時間後に効果が出始め、凍結前の散布で効果を発揮する。氷を溶かす効果は無いので凍結後の散布では効果が薄い。
- ・散布は通勤・通学の時間帯に合わせて行う。路面が湿潤していて予想最低気温が $-2^{\circ}\text{C}$ ~ $-9^{\circ}\text{C}$ のときに散布するルールになっているが、最終的には担当者の経験と勘による判断で決定される。
- ・作業報告は紙媒体で行われ、電子化されていない。

以上はそれぞれに共通する見解であった。さらに、札幌市では広大な市街地から来る費用と時間の問題、滋賀国道事務所では普段雪の降らない箇所での散布車両不足の問題が聞かれた。また、自治体の作業は入札によ

って決められた業者（主に建設業）が担当するため、年業者が入れ替わる場合があり、同じ業者が同じ場所を毎年担当するわけではないことも聞かれた。

凍結防止剤の散布は国道や大都市に限った話ではなく、交通事故防止の観点から小規模な自治体でも行っている。こうした散布は事故回避などの保険的な意味合いも込めて過剰に散布されることがあり、財政難の自治体にとって効率化が求められている。

また、最も効果の上がる凍結の1～3時間前での散布を実際実施するには同時に複数箇所でも散布できる体制が望ましい。しかし、自治体の財政の厳しさを考えると頻繁な散布や1台2500万円の散布車両の購入は容易なことではない。

こうした散布の計画は熟練の指示担当者の経験や知識によってある程度の効率が保たれてきたが、担当者の高齢化による引退と新人育成の難しさによってサービスレベルの低下が懸念されている。

以上のことから、以下の問題点が指摘できる。

- ① 建設業界の高齢化により、主に指揮系統において熟練の担当者が急速に引退を迎え、効率低下が懸念される。
- ② 経験や知識の継承にとって重要な作業報告が電子化されていないために、過去の作業のフィードバックを得ることが出来ていない。
- ③ 地方自治体において雪氷作業への予算増額は困難。

①についてはどの業界でも世代交代が進んでいるが、建設業ではそれが特に顕著である[文献 x]。比較的若い現場作業員に対し、その上に立つ指示担当者は高齢な人員であることが多く、今後急速な入れ替わりがあることは容易に想像できる。元々入職・離職率が高く入れ替わりの激しい職業だが、豊富なノウハウを持った人員が一斉に退職することによって生じる停滞は最小限にしておくべきではない。ただ決められたルールの通り作業指示を出すだけでなく、状況に応じて的確な判断を行える次代の指示担当者の育成は急務な問題として挙げることが出来る。

②は図2に示すように苫小牧市での作業報告の管理状況を見れば明らかである。積み上げられた段ボール箱の中に雪氷関係の資料が入っている。作業日報に関しては、金銭的な処理が行われた後は作業自体の分析も無く死蔵している状態と言って良い。電子管理も無く、過去の作業を知るためには箱の中から当該資料を探さなくてはならない。そのため、過去の作業からフィードバックを得て今後に生かすことは困難である。しかし、これが17万の人口を抱える地方自治体の雪氷作業の資料管理の現実であり、他の自治体でも似た状

況であると推察出来る。



図 2：苫小牧市での雪氷資料管理の様子

③については、天候に係わる作業のために毎年の予算額は大きく変動する。しかし、予算を極力抑えるために目の前の作業に注力することしか余裕が無い状況にあることが多い。効率化のための設備投資や研究はほとんど無いが、民間による独自研究に任されているのが現状である。予算面で比較的余裕のある国道管理事務所では研究や危機の配備が進んでいるものの、地方自治体ではインターネット環境も一部にしか無い状況にある。

## 2.2. 積雪（除雪）との違い

除雪作業の場合、降雪の程度が肉眼でも簡単に確認できるため、その地域に長く住んでいれば専門家でもなくても天気予報と照らせばおおよそその積雪量が予想できる。また、積雪後の作業となるので除雪の判断が遅れても大きな問題とはならない場合が多い。

これに対し、凍結防止剤散布の場合は道路の凍結が目に見える現象でない上、先述の通り凍結の1～3時間前に散布をしないと効果が出ないためにタイムリーな判断が要求される。さらに、路面凍結には気温の他に路面の水分量や風速、日照時間などといった条件が複雑に絡み合うため、判断には経験と勘を要する。また、同じ気象条件下であっても凍結する場所と凍結しにくい場所があるため、現場の特性への習熟は欠かせない。以上の点や、路面凍結による危険性から凍結防止剤産婦の判断予測の重要性は特に高まっている。

## 3. 研究動向

2項で挙げた問題を解決する手段として、東北や北陸、北海道の国土交通省や開発局で散布計画支援や散布自体の自動化などの研究がなされている[文献 x]。そのいくつかは実際に試験で効果を上げており、一部で実用化への動きもある。

しかし、これらの研究の多くは高価なセンサやマ

カなどを駆使したものであるため、導入や運用が高コストとなりがちであり、財政的な問題を抱える地方自治体では導入が難しい。

また、対象が国道などの特定道路に特化した仕組みのため、局地的な精度は出るものの汎用性に乏しい。そのため管理範囲の広い市街地での運用は難しく、他地域への転用が効きにくい。

## 4. 提案内容

### 4.1. 方針

既存の研究では道路に新たなセンサを設置するなどの初期投資を必要とするものが大半のため、この仕組みをそのまま市道などに導入するのは現実的でない。そこで、本研究では既存の気象センサを用いるなど極力新規のデバイス設置をしない形での指示支援システムの実現を目指す。少ない地点での気象センサで市街地全体の路面凍結を予測することになるために推論精度の低下が予想されるが、蓄積された過去の散布事例を分析・利用することでそれを補うこととする。

### 4.2. 事例ベース推論

過去の事例を参考にして今後の散布計画案を作るため、事例ベース推論を用いることとした。事例ベース推論 (Case-Based Reasoning : CBR) は、元々は判例を探し出すことで、現在直面している裁判の解決策を探る手段として 1980 年代に J.Kolodner らの Roger Schank グループによって開発されたものである [文献 x]。蓄積された過去の経験事例を検索、修正・再利用することで現在直面している問題を効率的に解決することを特徴としている。そのため、柔軟な類似検索機能を持ち、探索キーワードと完全に一致した事例がない場合にも、類似の事例に基づいて問題解決できるという点で、ルールベース推論やモデルベース推論とは異なる。現在の問題に対する解法は、解決の手順や評価、反省材料と共に新たな事例として登録することで更に蓄積されていく。事例の数が増えるほど推論の精度が高まり、失敗事例を参考にすることで失敗の回避も期待することが出来る。また、既存の事例を利用して新たな事例を作成するので提案内容をパターン化しやすいという特徴を持つ。既にフォーマットされた出勤記録が大量に保管されていること、降雪と違い急激な気象変化が起こりにくいなどの点から、今回の推論方式に用いた。

## 5. システム概要

実際の散布報告では散布箇所、散布した凍結防止剤の種類、散布量などが記録されている。これを参考に、気温や風速、降雪などの気象条件と車両通行量などと合わせて散布判断を行う。要散布と判断した場合は地図

上に要散布箇所とその方法を強調表示することで実際の指示担当者に提案を行う。

システム概要を図 3 に示す。気象センサから得られた気温や湿度、風向などの天候情報と積雪などの道路状況を基に、現在の状況と近似の事例を探し出す。それを線形補完することで現在の状況に最適化した上で指示担当者に散布指示案を提示する。担当者はこの提示案を参考に散布プランを作成し (あくまで最終決定者は人間)、実際の散布作業へと移る。現在の散布は新たな事例として登録され、次回以降の散布へと役立てられることとなる。なお今回は苫小牧市の作業事例や天候データを用いることにした。

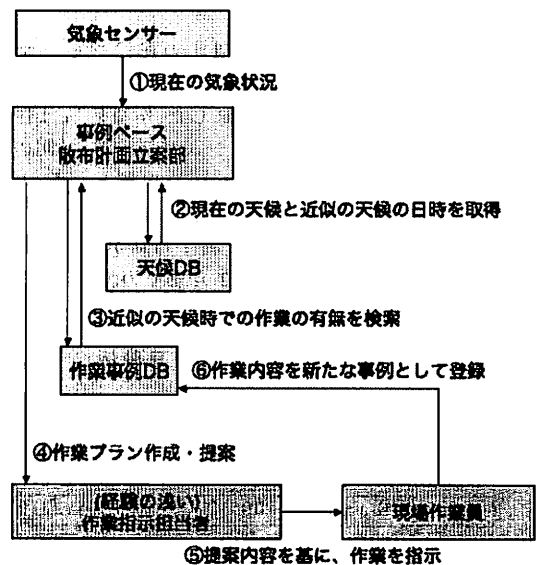


図 3 : システム概要

## 6. 事例と推論方法

### 6.1. 天候

考慮する天候要素として、1 時間毎の気温、日照時間、降水量、積雪量、風向、風速を取り上げ、これらをデータベースに記憶させた。詳細なフォーマットは表 1 の通り。天候の情報は weathernews 社の web サイト「weathernews Lab. Ch」から取得し、フォーマットは原則として同サイトのものに準じた。

項目名と方法を表 1 に示す。「晴れ」などを記録する項目は無いが、1 時間あたりの日照時間と降水量を記録することで対応している。

表 1：天候の登録フォーマット

項目名	単位
日照時間	1分を1単位として0~30で記録
降雨(雪)量	0.1mmの降雨(雪)単位で記録
積雪量	現在の積雪量を1cm単位で記録
気温	0.1℃単位で記録
風速	0.1m/s単位で記録
風向	北を1として時計回りに16方向を数値で記録

2002年12月から今後6時間分の予報までの天候がデータベースに納められている。なお、予報については観測後に実測値と置き換えられる。

### 6.2. 作業事例

紙媒体で保管されていた現状の記録フォーマットに合わせ、作業開始時刻と終了時刻、作業地域を表2のようにデータベース上に記録した。作業地域は住所に応じて市内を80カ所のメッシュで区切り、1回の出動で1カ所に散布することを1件の作業とした。1度に複数箇所の散布を行った場合は、地区毎の散布時刻ではなく全体の作業開始時刻と終了時刻が記録される。

2002年12月から2006年2月までの、のべ11,732件分を散布事例として登録した。

表 2：作業事例の登録例

作業地域	開始時刻	終了時刻
tomakomai-misono	2005012117	2005121121
tomakomai-izumi	2005122023	2005122104
tomakomai-asahi	2005122023	2005122104

### 6.3. 推論方法

現在と近似の過去の天候時での散布事例の有無で現在の散布の可否を判断する。類似性の判断方法は以下の通り。なお、「類似度」はそれぞれの時間帯において、数値化して登録された天候の要素ごとのユークリッド距離合計から算出した。類似度が高いほど算出値が低くなる(ユークリッド距離が近い)ため、今回の検索条件でのユークリッド距離のほぼ上限値である100から引くことによって類似度を求めた。(式1)。

$$s = 100 - \sum_n \sqrt{x_i^2 - y_i^2} \quad (1)$$

- s: 類似度
- x: 現在の気象データ(気温など)
- y: 過去の近似天候の時間の気象データ(気温など)
- n: 気象データの要素数

- ① 現在と前後6時間(6時間後までの予想)の連続する13時間の気象状況と近似の、過去の連続する13時間をデータベースより探す。
- ② 検索された類似時間帯の中心となる時刻から20時間以内に散布作業が行われたかどうかを検索する。本来であれば20時間は検索対象としては広いが、前日の時点から「作業があるかもしれない」といった準備意識を持たせるために検索対象を20時間とした。
- ③ 散布が行われていた場合、当該時刻の天候の類似度を推奨スコアとして加算していく。(図4)

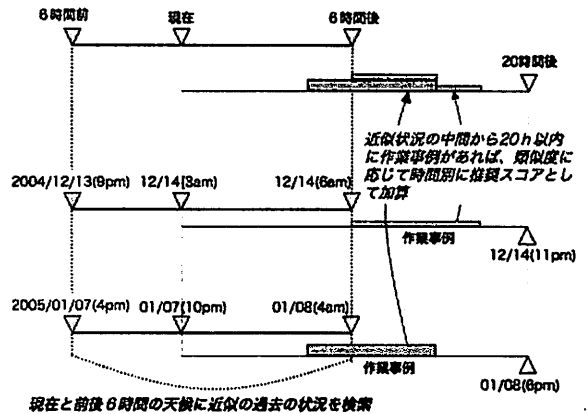


図 4：推論方法

- ④ スコアが一定値に達した場合、散布を推奨する。
  - ⑤ 過去に散布事例が全くない場合は、従来からの苫小牧市の散布ルールに準ずる。
- ※現在から過去6時間以内に散布が行われていた場合は散布を推奨しない。

本方式の場合、類似事例が増えれば増えるほど推奨スコアが高くなりやすくなるため、多くの類似事例が検索された場合は類似度の高い上位5件を用いることとし、加算されるスコアの上限は200とした。

### 7. システム構成

上記の内容を基に、システムのプロトタイプを作成した。本システムの主目的の1つがコスト削減のため、基本的にフリーウェアを用いている。地図に Google Maps、気象や作業事例の登録には PostgreSQL を使い、JSPによって Apache と Tomcat で構成された web サーバ上に実装した。指示部門において使用する際は通常の web 閲覧と同様にブラウザに URL を入力すればよい。クライアント側でソフトのインストールや特別な設定は必要としない。ブラウザには Mozilla Firefox を使用した。

本システムは主に3つの画面(作業地点登録画面、

指示画面,作業登録画面)によって構成される。

### 7.1. 作業地点登録

作業地区の割り当て変更があった場合などに対応するための,作業地区の登録画面である。登録する場所をマークの出ている地図上の中心に合わせ,地点名を入力することで登録が行える。なお,削除はマークをクリックすることで確認ウインドウが開き,その場で行うことが出来る。図5に画面例を示す。

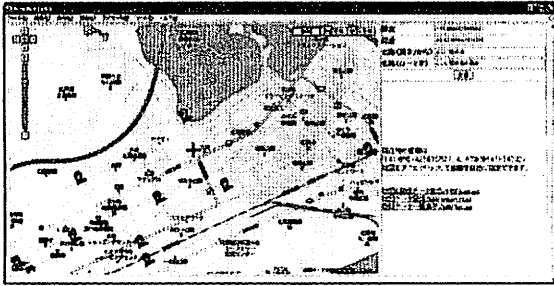


図 4: 地点登録 / 削除画面

### 7.2. 指示画面

作業提案時の画面例を図6に示す。起動と同時に現在と前後6時間の天候をデータベースより取得し,前述の式を用いて事例を基にした地区別の推奨スコアを算出する。スコアは地区別に推奨度が高い時間帯を赤,中程度をオレンジ,推奨度の低い時間帯を青の color で画面右のタイムライン上に表示した。これにより,管轄区域の時間帯別の全体的な傾向の把握を容易にしている。

また,地図上にはタイムラインと同様にスコアに応じた color のマークを表示した。マークの color は当該地区で最も推奨度の高い時間帯に相当する表示 color とし,地域別の傾向を示す。さらに,地図上のマークをクリックすると地区別の作業情報の詳細をウインドウ上に表示する。

当該地区の直近の作業日時と散布方法,今後20時間のスコアをウインドウ内のグラフで表示し,これらの情報から担当者は提案を受けて散布出動の可否を決定し,散布車両ドライバーに指示する。作業の登録は指示を出した時点ではなく,作業完了後に行う。

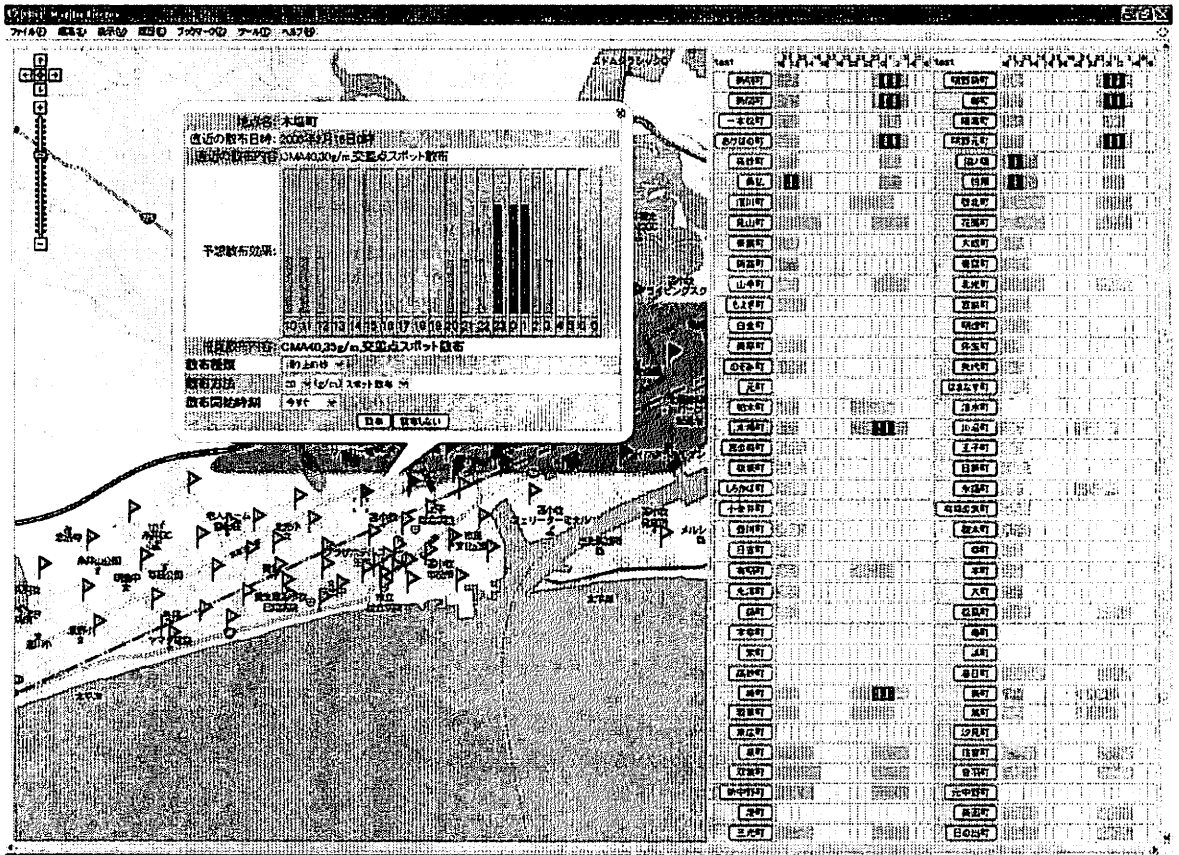


図 5: 作業提案画面例

### 7.3. 登録

散布作業終了後に今回の作業の登録を行う。今回の作業を行った地区にチェックを入れ、全体の開始時刻と終了時刻を入力すればよい。頻繁に散布を行う主要道に関してはボタン1つでの複数選択を可能にした。確認画面の後、新たな作業事例としてデータベースに登録され、天候データベースと共に今後の作業に生かされることとなる。画面例を図7に示す。

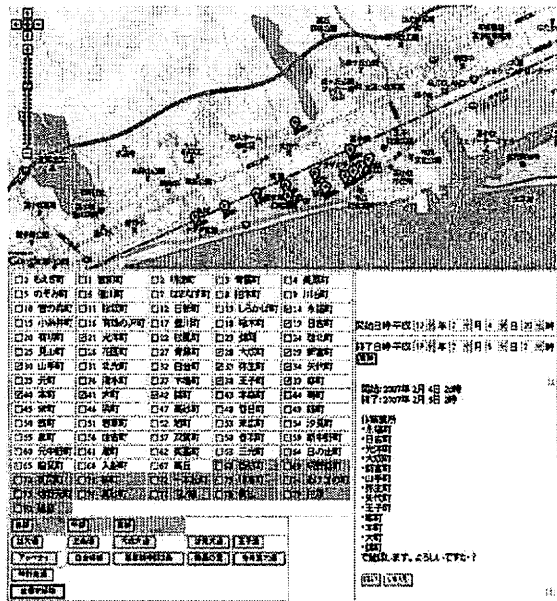


図7:作業登録画面

### 8. 評価

2006年2月までの散布事例を用い、2006年11月以降の実際の散布と本システムの推論との照合を試みた。しかし、2006-07年の冬は記録的な暖冬のため出勤が一度も無く、十分な検証が出来ていないのが現状である。そこで、2007-08年冬に苫小牧市において1~2週間ほど本システムの試験運用を行う予定である。路側センサ類を大量に用いた既存の研究での推論精度(熟練の指示担当者との意見一致)が約7割とされている[文献x]ので、当面はその精度を目指す。

### 9. 今後の展望

既存の作業記録には、実際に散布の効果が見られたかを記録する項目が無い。そのため、推論の根拠となる過去の事例が正しい判断の元に行われていたかの評価が出来ていないのが現状である。そこで、定期的に作業地域を実際に走行するなどしてスリップの有無を確認するなどといった事後評価の仕組みが今後必要と思わ

れる。また、これを拡充させることで推論の正確性を向上させたい。

また、凍結防止剤は状況に応じて水に溶くなどして散布する場合があります。本来であればそういった具体的な散布方法も登録すべきである。しかし従来の登録フォーマットにはそうした詳細な登録項目が無いために今回は事例の項目への採用を見送った。作業報告をする者にとっては負担となるが、詳細な作業事例の登録が精度向上への近道と言える。本システムの目的の1つは低コスト化である。路側センサ類の使用で解決できる点が多いが、それでは意味が無い。本研究において現状の環境で最大の効果を得るためには登録事例の詳細化や推論アルゴリズムの高精度化は欠かせない。そのために必要な要素や機能を今後も検討し、システムに随時反映していく所存である。

### 文 献

- [1] 内閣府, “平成13年度地域経済レポート”, 2001.
- [2] 結城哲哉, 井上豊基, 岡田治憲, “道東を中心とした豪雪時の国道維持管理について”, 第17回ふゆトピア研究発表会論文集, (2005).
- [3] 丸山大, “雪害道路事業転換期における請負除雪隊制裁構築手法の提言”, 第17回ふゆトピア研究発表会論文集, (2005).
- [4] Kristian J. Hammond, “Case-Based Planning”, Academic Press: San Diego, CA (1988)
- [5] 国土交通省東北地方整備局道路部, “路面凍結予測技術と散布の自動制御技術編”, LINE. vol138 (2001)  
<http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/line/to/38/tokushu.htm>
- [6] 日本建設機械化協会, “除雪・防雪ハンドブック(防雪編)”, (社)雪センター, (2005).
- [7] 高松和弘, 菊池忠利, 三浦俊樹, “雪氷予測の活用事例について” ゆきみらい2007ina会津研究発表会論文集, (2007)
- [8] 日本雪氷協会, “雪と氷の事典” p560, 雪センター, (2005).