

スウェーデンの冬期道路マネジメント・モデル「ウインター・モデル」について（その4）

文献名「スウェーデン・ウインター・モデルの環境サブ・モデル

－ 現実のデータからモデル化されたシナリオへ －

寒地交通チーム

はじめに

ここで紹介する「スウェーデン・ウインター・モデルの環境サブ・モデル－現実のデータからモデル化されたシナリオへ－」は、交通機能や交通安全などの道路利用者へ直接影響する項目以外に経済や環境への影響も含め、貨幣価値へ換算して総合的に最適化するという視点で、冬期道路管理を評価しようとするスウェーデンの冬期道路管理(特に路面管理)に関するマネジメント・モデル「ウインター・モデル」に包含される環境に関するサブ・モデルを論じたものであり、2006年3月イタリアのトリノで開催された第12回PIARC 国際冬期道路会議トリノ大会で発表された4編の論文の内の一つである。

「ウインター・モデル」についての論文は、3月号(寒地土木研究所月報 No.646、2007年3月)¹⁾に、また、「ウインター・モデル」内のサブ・モデルの一つである「冬期道路コンディション・モデル」については4月号(寒地土木研究所月報 No.647、2007年4月)²⁾、同じく交通安全に関するサブ・モデルとして「冬期自動車事故危険度の変動」と題する論文を5月号(寒地土木研究所月報 No.648、2007年5月)³⁾に紹介したが、本号ではトリノでの一連の4論文の最後として、標記論文を翻訳し紹介するものである。

以前紹介した3論文同様、翻訳は筆者が行っているので浅学なため誤訳等の可能性もあることをお含み置きいただきたい。

文献

スウェーデン・ウインター・モデルの環境サブ・モデル

－ 現実のデータからモデル化されたシナリオへ －

グラン・プロムクヴィストおよび M・グスタフソン

スウェーデン道路交通研究所(VTI)

要旨

冬期道路管理における凍結防止剤散布は望ましい結果と望ましくない結果をもたらす。道路への凍結防止剤使用に関連するさまざまな環境問題に関する研究が多くなされている。しかしながら、塩害を受けた植生に関する多くの研究は、植物細胞内のナトリウムと塩素の濃度について取り扱い、道路管理者にはあまり有用な指標にはならなかった。スウェーデンのウインター・モデルの環境サブ・モデルの主たる目的は、塩の散布(量、方法、技法およびタイミング)と路側での距離別飛散量の関係に関する知見を増やすことにある。

あるタイプの植物では、既知又は想定される散布量との反応関係から、塩害のモデル化が可能である。また、この塩害のコストを設定することによって、少なくとも環境上のコストの部分は推定することができる。

このモデルは一冬を通して高い時間分解能(1時間)で機能するため、例えば、冬期道路維持管理指針、交通の車両構成あるいは気象が変化した場合のシナリオをテストするために使える。

キーワード

雪、風、環境、植生、冬期道路管理

1. 現状の問題点について

一冬を通し、道路の安全性と道路網の交通機能の双方が受容可能なレベルで維持されなければならない。スウェーデンの交通政策の総体的目標は6つの目標あるいは目的で構成される。

1. 高い交通機能のシステム
2. 高い交通の質
3. 交通安全
4. よい環境
5. 良好な地域開発
6. 道路交通システムにおける性差平等

よい環境を維持しつつ最初の3つの目標に折り合いを付けることは、相反する利害を含む微妙な問題である(Blomqvist, 2001 : b)。凍結防止作業のシステムとそこから得られる結果は、好むと好まざるによらず、はたまた、望ましくないものとして、おおむねアメリカの冬期道路管理で塩が使われ始めた1930年代から研究されてきている。それ以来、使用される塩の量は自動車社会の発展とともに増加してきている。塩が、植生、土壌、地下水あるいは地表水などの環境に与える影響についての研究が多くなされている(Blomqvist, 2001 : a)。

冬期道路管理規則は、この十年間に幾度か変更されたが、スウェーデン道路庁(SRA)は、常に要求事項を改善したいと考えている。現在のところ、塩の使用量削減とコスト削減目標の政策は、冬期全般にわたる気象条件に従って必要であった量と実際の量を比較可能とすることのできるソルト・インデックスを開発することとしている(Ölander, 2002)。

スウェーデンは、古くから地下水中の塩分集積を監視している。1970年代後半以来、ベックマンは、凍結防止剤の影響として観測井戸におけるナトリウムと塩素の集積を監視してきており、長期的な増加について報告が書かれている(Bäckman 1980, 1997)。

今までのところ、ほとんどの植生の耐塩性限界に関する研究は、植物組織へのナトリウムと塩素の集積についてのものである(Dobson 1991, Brod 1993)。しかし、道路管理者から見ると、この指標はあまり有用ではない。より重要な指標は、凍結防止剤散布作業(散布量、散布方法、散布技術およびタイミング)と塩害発生との関係であろう。結局のところ、それはそれぞれ個別箇所に適用されるべき凍結防止の戦略を浮き彫りにするだろう(Blomqvist, 2001 : b)。この点が、スウェーデンのウインター・モデル(Wallman 2006)

の環境サブ・モデルの重要な役割を担うところである。スウェーデンの道路気象情報システム(RWIS)からの気象データや、例えば道路管理者の維持作業に関するデータを活用して、路面状態が“冬期道路コンディション・モデル”(Möller 2005)により時間単位で計算される。これは、凍結防止剤散布作業がどのように路側への凍結防止剤の飛散に影響するかを説明する道路管理データを時間軸で関係づける可能性を開く。それ故、この環境サブ・モデルは、冬期道路コンディション・モデルと同じ地点、同じ時間の観測データにより構築される。

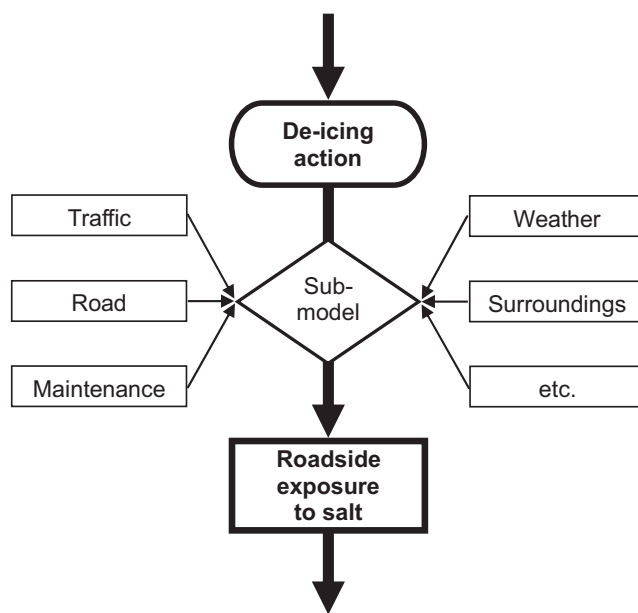


図-1 ウインター・モデルにおける環境サブ・モデル (Blomqvist, 2001 : a)

2. データ収集

路側への塩分の飛散量を計測するため、観測地点に「塩分観測用の羽根」を設置した。この羽根は風向に直角となるように装備されガーゼ・フィルターが据え付けられた(図-2、Gustafssonら、1996)。この羽根には降水から保護するために屋根が取り付けられた。路側から2.5mの距離から100mの距離まで設置され、路側への飛散量によって30分から24時間までの範囲で時間的解析ができるようにした(Gustafsson & Blomqvist, 2004)。また、観測地点には、時間単位で交通特性(車種、交通量)を検知する感知機および10分間単位で風向・風速を解析できる観測機も設置した。



図－2 路側環境において飛散塩分を測定している塩分観測用羽根(Gustafsson & Blomqvist, 2004)

塩分観測用の羽根は木の表皮のような自然な状態には匹敵しないが、多くの実際的な長所を持つ(Gustafsson & Blomqvist, 2004)。このフィルターは塩分で汚染されていないものであり、それぞれのフィルターは等しい表面積および同じ構造を持っており、付着した塩分を抽出する洗浄手順を規格化しやすくなっている。したがって、塩分計測用の羽根は実験的モデリングにふさわしい。フィルター上の塩分は超音波槽において2分間非イオン化した水で洗い流される。その後、洗い落とされた塩分溶液により塩化物の集積が調べられる。

道路横断方向の残留塩分調査が、散布後の路面上の塩分量のフォローアップのため実施される。



図－3 道路横断方向の残留塩分測定(Blomqvist & Gustafsson, 2004)

残留塩分は塩化物メーター (SOBO20 (図－3)で測定された。この装置は、正確な量の測定液(85%のアセトン)を正確に仕切られた路面上に噴射することにより測定するものである。その液体の電気伝導率と温度が測定され、1平米当たりのNaCl量が計算され

る。計測は横断方向の区分けにより分けられる。道路横断方向に一方の端から反対の端まで、外測線の外側、右轍の外側、右轍、左右轍間、左轍、道路中央、左轍、左右轍間、右轍、その外側、そして最後に外測線の外側、という11部分に分割される。本研究の観測値は、少なくともそれぞれについて3点の平均値を用いている(図－3)。この3回の測定は近接する地点で行ったが、既測定箇所でのアセトン溶液噴射の影響を避けるため交通が接近してくる方向に向かって少しずつずらして行った。同様の測定機器を使用したデンマークでの実験でも同様な手順を用いている(Fonnesbech & Prah, 2003)。

凍結防止剤に関するデータは、除雪・薬剤散布車の運転手によって収集された。現地測定箇所において、通過時に、日時、作業内容(除雪、薬剤散布)、方向、薬剤散布量、薬剤散布幅、薬剤散布方法(乾式、湿式、溶液)が記入される。しかし、最終的なウインター・モデルでは、薬剤散布作業は、維持業者が正確に冬期道路管理規則および仕様の指示通りに作業をしているとの前提の下にモデリングされる予定である。それ故、薬剤散布量はウインター・インデックスで示される予定である(Ölander, 2002)。

交通量は、除雪車が通過する際には接続させないようにしたゴム管で計測された。交通量は、乗用車、トラック、バスおよびトレーラーの交通量が、乗用車換算係数とともに計算される。現地測定箇所での規制速度はどちらも90キロである。

ウインター・モデルの他の部分で作成されたデータは、路面状況、薬剤使用の有無、交通パターン、気象データである。

3. モデリング

凍結防止・融雪剤使用の路側環境への化学的インパクトをモデリングするためには、塩の路側への飛散状況、モデル上の環境対象物の脆弱性又は作用関係、また、できれば、次に掲げるインパクトの「コスト」についての知識が求められる。

この実験的なモデルでは、道路に対して直角方向の風成分を、薬剤、道路状況および交通データとともに用いることを試みている。

この基礎的な実験アプローチ(Gustafsson & Blomqvist, 2004)は次のように記述される。

$$E=f(RS, PCeq, WPC, RSF) : \quad (\text{方程式 1})$$

ここで、

E= 飛散量
 RS= 路面上の有効残留塩分
 PCeq= 乗用車換算交通量
 Wpc= 風速の直角成分
 RSF= 路面状況要因

路面上の残留塩分の計算は方程式2のアプローチによってモデル化されている(Blomqvist & Gustafsson, 2004)。

$$RS = S \cdot e^{-k \cdot PC_{eqacc}} \quad (\text{方程式2})$$

RS= 路面上の残留塩分
 S= 散布時点での薬剤散布量
 k= 減衰に関する箇所毎の特性係数

PC_{eqacc} = 薬剤散布後の累積乗用車換算交通量
 ウインター・モデルを実施するに当たっては、気象、交通および薬剤散布に関する様々な条件下での現地調査からのデータを使用しながら、残留塩分モデルのキャリブレーションが必要である。また、より一般的なモデルの構築を可能とするためには、様々な舗装や様々な車両構成の交通を代表する箇所でのキャリブレーションも行うべきである。

塩分飛散データは方程式1の影響要因と関係がある。本論文の執筆段階では、異なるデータの組み合わせと数式を検討しているが、まだ最適な解は得られていない。図-4は、路側における時間単位での塩分飛散状況の例である。卓越風向が一方であるため路側両側に相違がある。

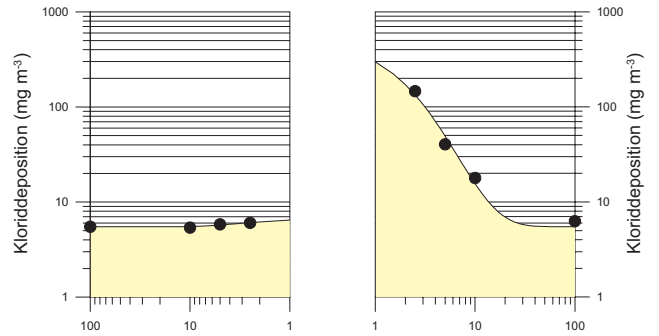


図-4 道路両サイドにおける路側塩分飛散状況の例、路側から2.5m、5m、10m、100mの距離で測定、路側から1.0m～100mで帰

図-4では、この飛散モデルのみが実測データに合致した。最終的に、ウインター・モデルでは、路面の残留塩分、通過交通、風のパターンおよび路面の状況が塩分飛散状況を説明する項目となるだろう。

4. 結果

ウインター・モデルの環境サブ・モデルは、時間単位の路側塩分飛散状況をモデル化する予定である(図-5)。例えば、技術開発、管理基準、あるいは気候変動などの変化に従って評価することは必要である。これらの時間単位のデータを集計し総飛散量を出すことによって(図-6)、一定時間の累積飛散量を計算することができる。

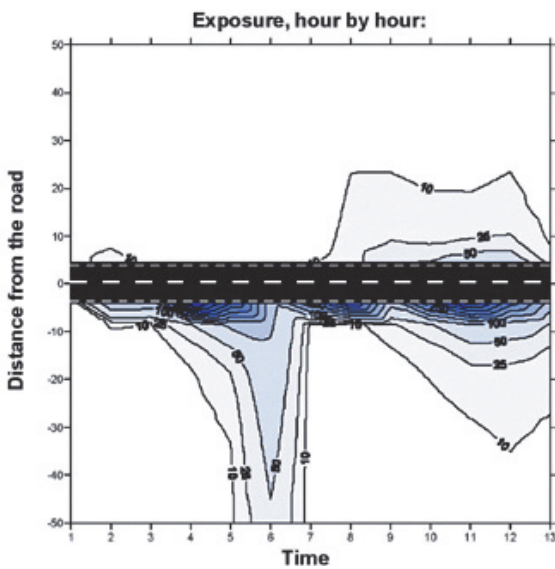


図-5 時間毎の路側飛散量

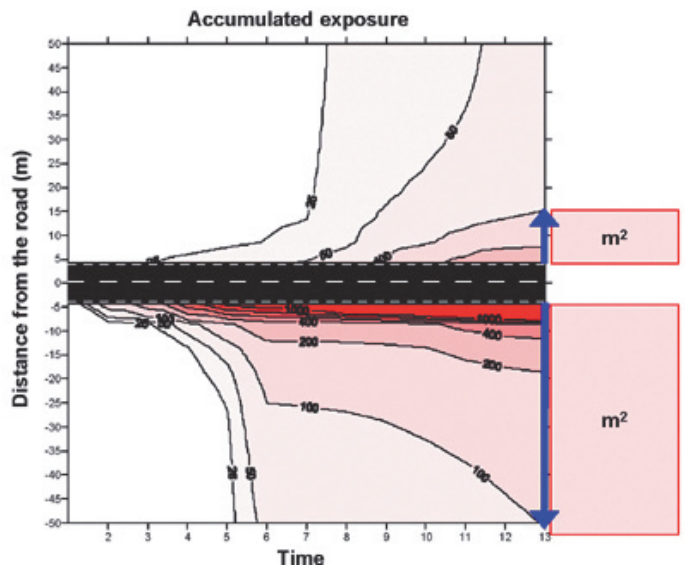


図-6 路側累積飛散量、矢印は他の地点でも適用可能性を持つであろう許容限界レベルの原理を示す

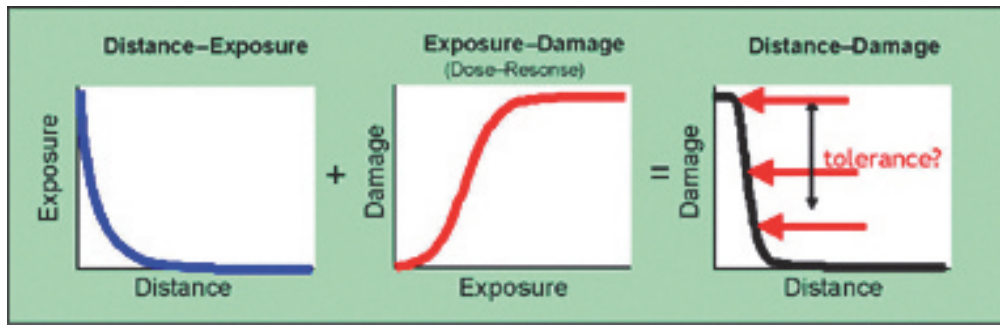


図-7 距離と飛散量、飛散量とダメージ量、距離とダメージ量の関係の原理(Blomqvist、2001 : b)

このモデルは距離と飛散量の関係(図-7)を示し、対象としてどのような環境要素(すなわち、植生の種類)が選択されるかによって、どのような飛散量とダメージの関係が用いられるべきかを示す。この二つの関数と一緒に距離とダメージ量の関係を示す(図-7)。

ウインター・モデルの環境サブ・モデルでは、この連鎖関係を逆方向に使用する。このモデル利用者はまずダメージの許容レベルを選び、このモデル内でどの飛散量とダメージのカーブが使われるかによって、飛散量が許容限度に達する両路側における地点を示す。

コストを仮定するか、また、例えば、環境影響を受けた土地を購入するコストや美観に関するコストなど、このモデル利用者の選択も含めた方法により、この環境サブ・モデルは薬剤散布による環境コストを与える。そして、この環境コストは、全体的なウインター・モデルの中でその他のコストとの関係が位置づけられる(Wallman、2006)。

5. 結論

この論文では、植生への影響を想定して路側への塩分の飛散を論じてきた。地下水や地表水への影響であれば、作業は少しばかり違って来る。この点からのアプローチは、例えば、Thunqvist (2003) および Lundmark (2005) の文献に散見される。路側飛散のモデル化は、例えば、土壌化学や道路近傍の土中の考古学的埋蔵文化財への暴露についてのモデル化に関与する(Antonson & Blomqvist、2006)。このモデルは、ここで例示したように、路側での総飛散量だけを与えるものではなく、例えば、冬期間、幾度、ある一定の限界値に達するかを時間単位で計算することも可能である。そのような情報は、塩分の飛散が発生した時期と同様に、路側への塩分飛散の植生への影響が起きた時と場所を理解するために重要である。これは、将来

このモデルの中に組み込むことができる。

今も、いくつか興味深い事項が調査されている。そのうち、いくつかはウインター・モデルのようなツールにより支援されるが、他の事項は必要な答えを得るためにより詳細な研究を必要としている。

環境サブ・モデルをよりよいパフォーマンスに修正していくため重要であろう課題(Blomqvist & Gustafsson 2004、Gustafsson & Blomqvist 2004)の例としては、

- 路面からの薬剤溶液および堆積塩分の周辺環境への飛散可能性に関して、乗用車、バス、トラック、トレーラー間の正確な関係如何?
- 路面状況の差異が車両の薬剤飛散能力に与える影響如何?
- 局地的な風速や降水のような気象条件が残留塩分の減少にどのように影響するか?
- 路面への再散布はどのようにモデル化されるか?
- 路面状況がどのようにモデルに組み込まれるか?
- 風に関するデータの異なるパーツ(風向と風速)は、路側への塩分飛散パターンに帰着する風の影響をより良く表現するためにどのように使われるべきか?
- 交通の車両構成がどのように路側塩分飛散に影響するか?

ウインター・モデルのプロジェクトでの作業は、同一箇所、同一機会、同一時点における異なる多くの測定結果を組み合わせるユニークな機会を与えている。しかしながら、環境に関する要素の複雑さとデータ不足は、この環境モデルを、他の状況へ一般化しプロジェクト内での“モデル・ケース”以上とすることをいや応なしに困難にしている。それゆえ、ウインター・モデルはオープン・アーキテクチャーによるオープン・モデルであることがとても重要であり、それにより、例えば、環境の脆弱性、反応関係および貨幣評価に関し、将来他の選択も可能となる。

このウインター・モデルの“モデル・ケース”の特性を受け入れると、例えば、冬期道路管理水準が変わった時、交通の車両構成が変化した時または気象条件が変化した時(気候変動など)などの、異なるシナリオをテストするために非常に有用なツールになり得る。

6. 謝辞

この研究は、スウェーデン国立道路交通研究所(V T I)により実施された“ウインター・モデル”プロジェクトの一部としてなされ、スウェーデン道路庁およびスウェーデン改革庁により予算措置されている。

おわりに

本号で、2007年3月号から続けてきた第12回PIARC国際冬期道路会議トリノ大会で発表されたスウェーデンの「ウインター・モデル」に関する4編の論文紹介を終える。

この「ウインター・モデル」では、走行費用と道路管理コストも含めて総合化としている。今後それらの貨幣換算や総合化に関する文献も入手できれば随時紹介し、今後の冬期道路管理に関する研究に役立たいと考えている。

なお、Web上にスウェーデン語ではあるが、この「ウインター・モデル」に関する文献が紹介されているので参考までにアドレスを記す。

V T I (スウェーデン道路交通研究所)のHP：
http://www.vti.se/templates/Report___2797.aspx?reportid=5976

「ウインター・モデル」に関するPDFファイル：
<http://www.vti.se/EPiBrowser/Publikationer%20-%20English/R531Eng.pdf>

【参考文献】

- 1) 寒地交通チーム：スウェーデンの冬期道路マネジメント・モデル「ウインター・モデル」について(その1)、寒地土木研究所月報 No.646、pp.45～50、2007
- 2) 寒地交通チーム：スウェーデンの冬期道路マネジメント・モデル「ウインター・モデル」について(その2)、寒地土木研究所月報 No.647、pp.43～46、2007
- 3) 寒地交通チーム：スウェーデンの冬期道路マネジメント・モデル「ウインター・モデル」について(その3)、寒地土木研究所月報 No.648、pp.37～41、2007

(文責：浅野基樹、武本 東)