

第12回 PIARC 国際冬期道路会議に参加して（後編） ～研究発表から見る最新の冬期道路研究開発～

寒地道路研究グループ

1. はじめに

本編では前編に引き続き、第12回 PIARC 国際冬期道路会議の研究発表から最新の冬期道路の研究開発動向について紹介します。

研究発表は、以下の6つのトピックスで、リンゴットセンター内の4つの会場で並行開催されました。

- 1) 「利用者サービス、維持管理基準と戦略」
- 2) 「事業・業績評価と財政」
- 3) 「冬期の交通安全と移動しやすさ、社会との関わり」
- 4) 「冬期道路と環境」
- 5) 「冬期道路維持・管理システム」
- 6) 「雪氷対策技術」

ここでは、その発表トピック毎に紹介します。

2. トピック1「利用者サービス、維持管理基準と戦略」

トピック1では、冬期道路管理における戦略とサービスレベル及び基準について4つのセッションが設けられ、10カ国から19編の論文が発表されました（写真－1）。

1) セッション1－1 「経験」

このセッションでは、除雪技術向上のための除雪セミナー開催、雪害を最小限にとどめるための緊急的な交通管理、冬期道路管理の改善を目的とした道路気象モニタリング技術、郊外部道路網における除雪・凍結防止サービス、冬期道路メンテナンスの評価について発表が行われました。

日本からは、2編の論文の発表がありました。

まずは除雪技術向上のための除雪セミナーの役割について報告がなされました。東北地方の除雪の歴史や除雪作業の統計、除雪セミナーの講演計画の流れ、セミナー実施時のアンケート結果について報告されました。

もう一編は、2004年1月の北見豪雪における道路網の性能評価、生活道路の除雪についての政府と居住者との間の協力体制と情報サービスの提供の重要性につ

いて報告がありました。

フランスからは、冬期道路管理の改善を目的とした気象モニタリング技術について、観測機器や気象モニタリングシステムの紹介がなされました。

イタリアからは、アレキサンドリア州における冬期道路管理の現状、除雪作業や凍結防止作業の基準などについて紹介がありました。

スペインからは、ピレネー山脈における冬期道路管理について、除雪ステーションの構成・統計情報、管理体系と現状、塩の散布による土壌や水系への影響に関する研究報告がありました。

2) セッション1－2 「マネジメントプラン」

このセッションでは、交通容量を用いた冬期道路管理対策の評価基準、主要道路の冬期通行止め解除、非常時における予防および救難計画、道路ネットワークの有用性について発表が行われました。

ドイツからは、冬期道路渋滞における交通流と交通容量に関する知識の必要性、交通渋滞の容量分析について説明があり、冬期道路サービスの重要性について報告がありました。

ノルウェーからは、主要道路の冬期通行止め解除における解除予定日について、観光産業と除排雪部隊のそれぞれの要求のジレンマについて報告がありました。

もう一編ドイツからは、非常事態における災害防止計画の策定・実行・準備・連携・渋滞回避・災害防止行動について報告がありました。

スペインからは、冬期の国道の現況、管理の3つのサービスレベルの規定や除雪体制等について紹介及び報告がありました。

3) セッション1－3 「教育・組織」

このセッションでは、冬期道路管理における維持事業者等の教育、人間を中心とした冬期道路メンテナンス、冬期道路品質管理システムの構築等について発表が行われました。

日本からは、冬期道路管理水準の設定における課題

と今後の方針について報告が行われました。具体的には、日本国内の冬期道路管理における道路管理者・道路維持事業者間の道路維持管理体制の現状と課題が紹介されました。

フランスからは、自国西部における冬期道路サービスについて報告が行われました。ここでは、住民と道路管理者の連携、両者間における情報交換のあり方及び組織化、技術マニュアルの作成、トレーニングの充実等の必要性に関する内容が紹介されました。

カナダからは、冬期道路状態品質管理システムについて報告が行われました。システムの構築におけるISO9001:2000の採用、同システムの主な特徴及びケベック州の Mauricie 地方における適用例について紹介がありました。

更に、同国からは、冬期道路メンテナンス分野の作業スタッフに必要な専門知識等を習得するトレーニングプログラムについて報告が行われ、プログラムの構成等の紹介がありました。

4) セッション I - 4 「戦略」

このセッションでは、顧客ニーズを踏まえた道路管理のあり方、冬期道路管理ビジョン、サービスレベルの設定、凍結防止剤散布の適正化等について発表が行われました。

アメリカからは、顧客主導ベンチマーキングを用いた雪氷管理について報告が行われました。ここでは、顧客ニーズを踏まえたサービス水準の設定、顧客満足度の定量化、ベストプラクティスの選定・適用等に関する概要が紹介されました。

日本からは、積雪地域における今後の冬期管理ビジョンについて報告が行われました。この発表では、積雪地域の少子高齢化・過疎化や近年の財政難が当該地域の冬期対策に及ぼしている影響、雪みち懇談会の設立とその目標及び活動について概要が紹介されました。

ノルウェーからは、低交通量道路における最小サービスレベルの設定について発表がありました。ここでは、日平均交通量が1000台に至らない道路の維持管理費削減を目標にした政策とその根拠、道路ユーザーへの負担軽減、対象地域への影響等に関する報告がありました。

エストニアからは、自国における道路メンテナンスの再編について報告がありました。この発表では、近年におけるエストニアの道路の現状が紹介され、1999年以降における民間団体の道路管理への参入や冬期サービスレベルの導入に関する説明がありました。

スウェーデンからは、RWIS（道路気象情報システム）を用いた凍結防止剤（塩）の消費削減について発表がありました。ここでは、道路気象情報システムの利活用による凍結防止剤散布等の適正化とその効果（過剰散布区間の抽出、維持管理費削減等）に関するデータ等が紹介されました。

5) まとめ

各国で様々な冬期道路管理を実施し、また、冬期道路管理に関連する研究に取り組んでいますが、気象条件や地理的条件などが国や地域によって異なり、問題意識や各種対策の考え方にも違いがあります。発表を通じてそのことを再認識することができました。

同時に、冬期道路管理を充実するために基本的なプロセス（問題の特定、対策の立案・計画・実施等）においては多くの共通点が見受けられ、今後の冬期道路管理に関する研究の参考となる貴重な情報を得ることができました。特に、住民ニーズを踏まえた冬期道路管理手法の策定や道路管理者と地域住民の連携（情報交換・参加等）といった点は、冬期問題とその対策に関する住民の理解や冬期道路管理の効率化につながる重要な要素であると思われます。



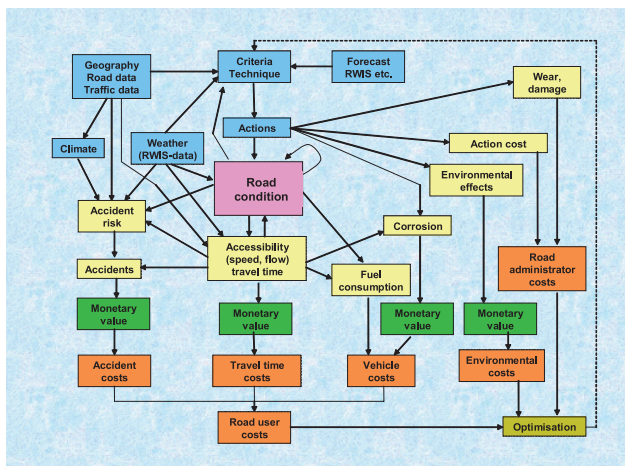
写真-1 トピック I 報告風景

3. トピック II 「事業・業績評価と財政」

トピック II では、事業・業績評価と財政について3つのセッションが設けられ、10カ国から15編の論文が発表されました。

1) セッション II - 1 「パフォーマンス向上のためのモデル」

スウェーデンから、冬期道路状態を交通事故リスク、



図－１ スウェーデンにおけるウィンターモデル¹⁾

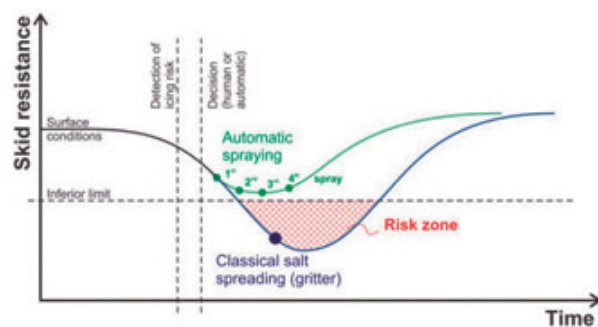
アクセシビリティ、燃料消費、腐食、環境影響、活動コストおよび舗装摩耗の面から総合的に最適化しようというウィンターモデル（図－１）という冬期道路管理マネジメントシステムについての発表があり、特にそのうちの交通事故リスクモデルと冬期道路状態モデルについての説明がありました。交通事故リスクモデルでは路面状態と事故リスクの関係について、また、冬期道路状態モデルでは、除雪状況や路面状況水準を表すモデルについての説明がありました。冬期道路管理の総合的なマネジメントの参考となるものですが、我が国と降雪量などの気象条件が異なる国の例であるため、その点を考慮して参考とする必要があります。

カナダからは、ケベック州におけるパフォーマンス・インディケーターによる冬期道路管理事業評価について発表がありました。ケベック州ではほとんどの道路の冬期道路管理が既に民間委託されており、その事業評価としての導入です。具体的な指標項目は、サービスレベル達成度や作業遅れなどの供給サービスの品質、機材および人材などの資源の品質、連絡・報告などのコミュニケーションや協力に関する質、契約されたスケジュールの達成度、凍結防止剤など資材の使用量などです。

その他、ベルギーから道路行政マネジメントシステムの改革事例、スイスから凍結防止剤の自動散布装置の事業評価に関する発表がありました（図－２）。

２）セッションⅡ－２ 「契約」

フィンランドから性能評価による冬期道路維持管理民間委託の成功事例と、それに関連し、利用者満足度を高めるための民間委託によるエリアメンテナンスにおけるボーナス制度について発表がありました。フィンランドでは、2001年から道路路を分割し道路維持管



図－２ 凍結防止剤自動散布装置の効果（イメージ図）¹⁾

理を競争入札による民間委託により行っています。作業量ベースの契約ではなく、道路の等級毎に冬期維持管理における品質規定を設け、性能規定による契約を行っています。それにより、より品質の良い、経済的で収益の上がる冬期道路維持管理が実現し、使用する凍結防止剤の量も抑えられています。2007年を目標にインフラマーケット全体の調達を民間に開放する予定です。

また、フィンランドでは、冬期道路維持管理の品質と道路利用者満足度の向上を目的に、業者の向上意欲付与のため、道路利用者満足度調査に基づくボーナス制度を導入し、2004年から試行を開始しました。今後とも継続してインセンティブ・ペイメントを改善していく予定です（図－３～図－５）。

Area of Assessment	Assessment
1. Development of customer satisfaction in the contract area	+ / neutral / -
2. Customer satisfaction in the contract area in comparison with the road district average recorded in the customer satisfaction survey for road users	+ / neutral / -
3. Duration of winter maintenance procedures, committee assessment of the following (assessment based on data stored in the contract monitoring system): - Activities at the contract area borders - Management of morning traffic - Duration of maintenance procedures - Contractor innovation	+ / neutral / -
4. Level of service of summer maintenance, committee assessment of the following: - Removal of sand applied to prevent skidding - Removal of rubbish - Estimated duration of maintenance procedures - Contractor innovation	+ / neutral / -

図－３ 評価項目¹⁾

Change in the assessment on customer satisfaction	Assessment
Change in excess of + 0.20 or assessment in excess of 3.70	+
- 0.20 = change in customer satisfaction = + 0.20	0
Change in excess of - 0.20	-

図－４ 評価基準¹⁾

Sum of assessments	Bonus % of annual contract costs
++++	1.6
+++	1.2
++	0.8
+	0.4
0	0

図－５ ボーナスの額（契約額に対する比率）¹⁾

Class of road	AADT*	Local sanding		Continuous sanding	
		Start at	Finished within	Start at	Finished within
Trunk Roads		$\mu < 0.30$	1 hr.	$\mu < 0.20$	2 hrs.
All other roads	> 1500	$\mu < 0.25$	1 hr.	$\mu < 0.20$	2 hrs.
	501 - 1500	$\mu < 0.25$	2 hrs.	$\mu < 0.15$	3 hrs.
	0 - 500	$\mu < 0.20$	2 hrs.	$\mu < 0.15$	4 hrs.

図－6 摩擦係数の基準（砂の散布）¹⁾

ノルウェーからは、冬期道路管理の契約と性能契約システムについて発表がありました。ノルウェーでは、2003年から道路維持管理は全て民間委託となりました。安全性の確保、交通流の確保等が課題であり、管理水準を理解しやすいもので計量可能なものとする等が課題です。管理水準は、摩擦係数、積雪量、4時間以内の路面对策、交差点視距等です。契約履行チェックはスポットチェックを行っています。課題は、要求事項の共通認識、履行チェックの合理化等です（図－6）。

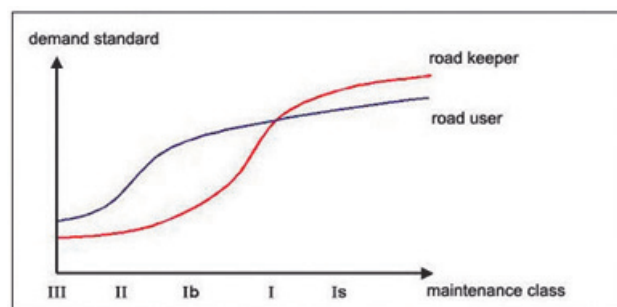
ラトビアから冬期道路管理の割付・実施・評価の経験について発表がありました。冬期道路維持管理分類を積雪量等によって分けています。ラトビア交通省はラトビア道路庁と契約を結び、また、ラトビア道路庁は4つの国有道路管理公社と契約を結んで道路維持管理を行っています。政府は、管理会社を民営化する予定はありませんが、2007年から民間が参入できるように競争入札を導入する予定です。

3) セッションII－3 「パフォーマンスについての利用者の視点」

ドイツからは、冬期道路管理における外注契約について、オーストリアの東部地域における事例の紹介や、契約にあたって必要な要件や留意点について発表がありました。

フィンランドからは、冬期道路管理のパフォーマンスを評価する指標として利用者の視点を取り入れることについての発表がありました。冬期道路管理の評価に利用者の満足度を指標として用いる場合、技術的な面での評価結果と乖離が生じる問題について、作業の実施時間など利用者の満足度に影響を与える項目について情報提供が不足している可能性があるという示唆がありました（図－7）。

日本からは、交通研究室浅野室長（写真－2）が、我が国におけるスパイクタイヤ規制の経緯、ロジックモデルを用いた政策評価、スパイクタイヤ規制の導入による大気環境や交通特性の変化など正負の効果を紹介し、冬期道路マネジメントシステムについて提案がありました（図－8、図－9）。



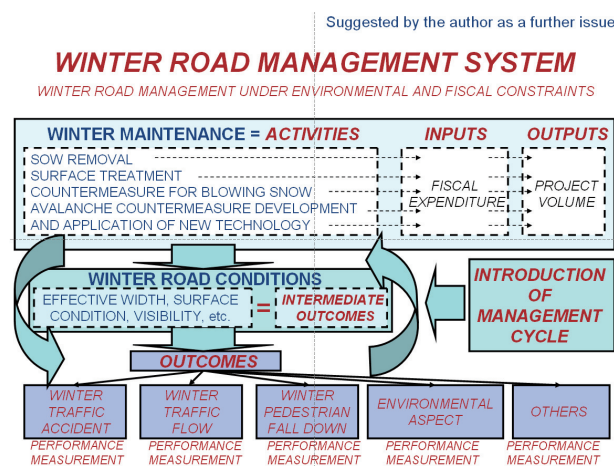
図－7 道路管理の質と利用者の評価の乖離イメージ



写真－2 浅野室長の発表



図－8 スパイクタイヤ規制前後の大気等の状況



図－9 冬期道路マネジメントシステム



写真-3 高橋副室長の発表

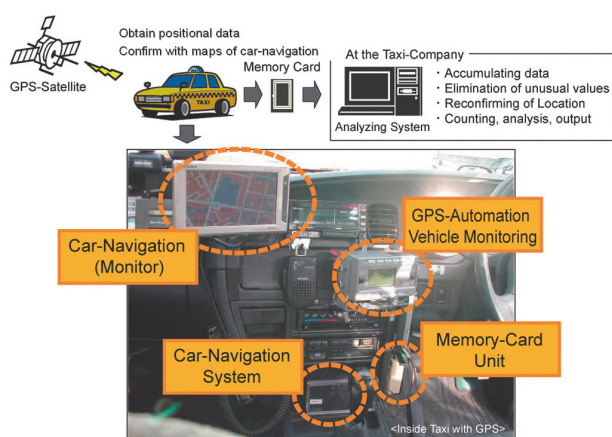


図-10 タクシープローブのシステム構成

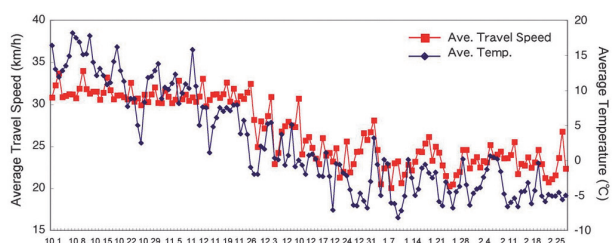


図-11 タクシープローブの出力例（平均旅行速度と平均気温の日別推移）

また、交通研究室高橋副室長（写真-3）が、タクシーの走行データをプローブカーデータとして活用することで、既存の調査手法で把握することができなかった様々な日時、路線の旅行速度を把握することが可能になり、札幌市域の冬期交通特性把握や冬期道路管理の評価に適用可能な調査手法について紹介しました（図-10、図-11）。

アメリカからは、環境影響の最小化と道路利用者の満足度の最適化について発表がありました。発表では、AASHTO（American Association of State Highway

and Transportation Officials）が開発した訓練プログラムの紹介がありました。これは、冬期道路管理を行う職員に対し、悪天候に対応する時間の短縮や、凍結防止剤散布量を減らすための訓練システムで、最終的には利用者のニーズに適合、コストの縮減、環境への負荷を低減することを目標としています。

4）まとめ

冬期道路管理の質は道路利用者の安全や交通流の円滑性に大きく影響しますが、財政面の制約も重要な問題です。そのため、外注や組織の見直しによるコスト縮減、パフォーマンスを評価するモデルや手法の構築、また、評価にあたっては利用者の視点からの評価をより重視することが大切です。

冬期における気象条件や交通の状況、道路管理を行う組織は国によって異なり、統一的な方法や指標を構築できるものではないので、本トピックのテーマに関連する研究は、各国において継続的、発展的に進められ、また、研究成果の交流が進められるものと考えられます。

4. トピックⅢ 「冬期の交通安全と移動しやすさ、社会との関わり」

トピックⅢは、“冬期の交通安全と移動しやすさ、社会との関わり”がテーマです。このトピックは以下の3つのセッションに分かれて、9カ国15編の論文発表とディスカッションが行われました。

1) セッションⅢ-1 「リスクマネジメントと特殊な安全の問題」

このセッションでは、まず日本から官民連携による道路の情報収集・提供の実験についての報告がありました。多くの人・機関が実験に参加し、情報を活用することでより良い維持管理と、利用者の満足度向上や道路状況に合わせた行動変化（冬用タイヤの装備、出発時間の調整、ルートを選択等）が実現できたと報告されました。

イタリアとノルウェーからは、雪崩対策についての発表がありました。イタリアの発表は、雪崩の発生危険度を予測するシステムについてで、2006冬季オリンピックのために開発されたこのシステムが、非常に満足の行く結果を示したことが報告されました。ノルウェーの発表は、アースマウンドによる雪崩対策の設計手法に関するもので、数値計算や風洞実験でモデル化が行われ、模型実験でもよい結果が得られたことが報



写真-4 アースマウンドの効果を検証する雪崩模型実験

告されました（写真-4）。

同じくイタリアから厳しい気象条件や事故の際の危機管理・交通管理についての発表がありました。こうした状況に対応したソフトウェアを開発することにより、危機管理センターのスタッフが適切な救助活動や迂回路情報の提供などが行えるようになったと報告されました。

2) セッションⅢ-2 「歩行者のための交通安全」

歩行者のための交通安全については、近年ますます関心が高まっています。特に、高齢化の進展が著しい日本での取り組みが盛んで、このセッションでも日本からの発表が4編、フィンランドからの発表が1編ありました。

日本では、歩行者の主観的な路面評価と対応行動についての分析が広く行われており、転倒事故の対策に活用されています。様々なグループの転倒リスクについて算出がなされ、高齢者や速く歩く人の転倒リスクが高いことが示されました。また、路肩のロードヒーティングが歩行者転倒事故に効果があり、車の旅行速度向上にも一定の効果があることが示されました。フィンランドの発表では、転倒事故による損失が維持管理コストの4倍にも上ることが報告され、滑りにくい靴の着用などが提言されました。

3) セッションⅢ-3 「車両のための交通安全」

このセッションでは、まずスウェーデンとフランスから、冬期道路の事故率に関する発表が行われました。スウェーデンでは、初冬期の前半と晩冬期の後半に事故が集中する事例が見られ、ブラックアイスとゆるい積雪路面が危険であること、雪氷路面は乾燥路面に比

べて少なくとも2倍以上危険であることなどが報告されました。フランスの発表では、重大事故は通年で減少しているものの冬期に限って言うと減少していないことが報告されました。最も危険なのは郊外部の道路で、カーブや坂道の区間の夜間に事故が多いとのことでした。

日本からの発表では、吹雪による視程障害時に重大事故が発生しているとの報告を行い、こうした事故を防止するために安全走行支援システムの研究が行われていると報告しました。吹雪情報を広域提供するサービスにより60%の人が運転計画を変更すること、また自発光視線誘導標や道路情報板による路側の情報提供サービスが、利用者の受容性が高く事故防止効果のあること等を実道実験で示しました（写真-5）。



写真-5 冬期道路の安全走行支援システムについて発表を行う松沢防災雪氷研究室副室長

またエストニアからは、冬期に海に張った氷上に道路を設けた場合の技術的対策についての報告がありました。管理のしにくい海上の氷を道路に使うということで、時には事故につながる場合もある（写真-6）ということでしたが、非常に興味深い発表でした。

4) まとめ

トピック3全体の議論を振り返ると、以下の3点が最近の傾向として浮かび上がってきます。

- ・情報通信技術（IT & ITS）の進展により、多くの機関が瞬時に情報を共有したり、利用者にきめ細かな情報を提供して、道路状況に対応した行動を促すことが容易になっており、今後一層の活用が期待されること。



写真－６ 海に張った氷上の道路に関する発表（エストニア）

- ・日本を始めとする国々で高齢化が急速に進展し、冬期歩行者問題がますます重要になっており、歩行者自らを巻き込んだ着実に持続可能な対策の普及が必要不可欠であること。
- ・冬期の事故と言ってもその発生原因や発生状況は様々で対策も一様ではない。冬期の事故率や事故特性をきめ細かく分析して、事故特性に合わせた対策の実施や新技術の開発が必要であること。

“冬期の交通安全と移動しやすさ、社会との関わり”は、それぞれの国・地域でおかれている環境や状況が異なり、一概に正しい回答がひとつとは言えない面があります。しかしそれぞれの国・地域で取り組まれている経験や得られた知見が共有されることにより、効率的に正しい回答に近づくことは出来るものと思われます。この分野は人間要因も多分に絡んでおり、まだまだ未知の部分が多いのも事実です。今後さらに一層の研究や新技術開発の進むことを期待したいものです。

5. トピックⅣ 「冬期道路と環境」

トピックⅣでは、塩散布等の冬期路面管理作業が沿道環境に与える影響評価、より影響の少ない代替塩の開発等について4つのセッションが設けられ、11カ国から20編の論文が発表されました。

1) セッションⅣ－1 「植物への影響」

このセッションでは、塩類の散布が沿道植物および土壌に与える影響の実験的検証、ライフサイクルコスト解析による冬期道路管理のマクロ評価、および沿道の考古学的遺物に対する影響について発表が行われま

した。

日本からは、散布された塩の路外流出と土壌への蓄積の状況、各種の塩類を代表的樹木に散布し、塩種類や散布量、散布位置が樹木の生育に与える影響を実験的に検証した結果などが報告されました。

フィンランドからは、蟻酸カリウムを塩の代替として実道で試験的に使用し、植物と地下水への影響をモニタリングしている例が報告されました。蟻酸カリウムは土中でCO₂とH₂Oに生物分解し、環境影響が少ないとされています。調査では地下水と植生に影響はみられていないが、コスト高が大きな課題とのことでした。

ドイツからは、冬期道路管理の環境影響を散布材料の製造から、輸送、散布までをライフサイクルとして評価した結果が報告されました。ミュンヘンでは、環境影響の半分が散布作業自体から生じるのに対し、ニュルンベルクでは、環境影響の3分の2が多量のエネルギーを消費する防滑材の製造時に発生していました。

スウェーデンから、沿道に位置する考古学的遺物に対する散布塩類の悪影響を懸念する提言がなされました。このような視点で冬期道路管理の影響が検討されたことはなく、対象となる考古学的遺物の発掘調査ならびに散布の部分的禁止、飛散防止柵の設置、地下水への浸透防止などの必要性が指摘されています。

2) セッションⅣ－2 「水への影響」

このセッションでは、散布された塩類が周辺の水環境に与える影響と水質調査センサー等についての発表が行われました。

フィンランドからは、同国南部 Uusima 地区で行った塩散布量の低減実験結果が報告されました。散布量を55%に低減した結果、交通事故件数には変化なく、また、地下水の塩化物濃度は実験前より減少か同程度であったことが確認されました。住民アンケートでは多数が塩の低減を支持したとのことです。

ノルウェーからは、幹線道路に囲まれた湖への塩化ナトリウムの影響を調査した結果が報告されました。湖水の塩濃度は1967年の3倍で、水が淀む湖底部で最大となり、深水部の塩濃度上昇に起因して湖水循環が阻害されていることが確認されました。

フランスからは、貯水池からの放流水の伝導率から塩分濃度を算出する手法により、散布された塩類の影響を測定した結果が報告されました。冬期の平均伝導率は高くなく、リアルタイム気象情報をもとに予防的散布を行っているため河川水への影響は小さいと推察

しています。

スウェーデンからは、より簡便で正確な水質センサ (Electronic Tongue) が紹介されました。地下水サンプルを計測した結果、塩化物濃度、伝導率ともによい測定精度が得られ、塩化物以外の計測も可能性が示されました。

ノルウェーでは、河川敷地に堆積した雪が河川水を汚染することが懸念され、シミュレーションの結果、汚染の可能性は低いことが示されました。

3) セッションⅣ-3 「凍結防止剤」

このセッションでは、塩化ナトリウムに替わる凍結防止剤、添加剤の開発、およびそれらの性能評価に関する論文が発表されました。

イギリスからは、砂糖の副産物をロックソルトに混入する例が報告されました。室内試験では塩化ナトリウムより腐食がかなり少なく、現場試験でも良好な結果が得られ、塩化ナトリウム湿式散布の代替可能であるが、本格的に使用するにはコスト増加に対する理解が必要であるとしています。

ノルウェーでは、塩化マグネシウムを試用し、散布量とすべり摩擦抵抗を調査しています。-6℃以下で塩化ナトリウムよりもすべり摩擦抵抗が大きい傾向が見られ、散布量は22%削減可能と推定されるが、価格が約3倍高いことが課題であるとしています。

スウェーデンからは、塩にグルコース (ブドウ糖) /フラクトース (果糖) を混合して散布する方法が提案されました。試験的運用では満足なすべり摩擦抵抗が確保できることを確認し、長期的な性能評価と高コストの克服が課題であるとしています。また、塩水に甜菜糖を添加する試みも行われており、路面が早く乾燥する効果がみられています。

冬期道路管理に用いられる車両にも厳しい国際環境基準が定められています。排気ガスを清浄化する最新技術などについて、イタリアからの発表が行われました。

4) セッションⅣ-4 「その他」

このセッションでは、スパイクタイヤにより発生する粉塵、凍結防止剤の環境性能、塩散布量低減計画等に関する論文が発表されました。

リトアニアでは、交通量の増加と共に塩の散布量も増加しているが、散布により交通安全性が向上していることが報告されました。

スウェーデンからは、スパイクタイヤによる舗装の

摩耗をシミュレートする装置を用いた試験結果として、粉塵 (PM10) 発生量は走行速度に依存し、また、舗装に用いる骨材の改良で粉塵発生量を抑制することが可能であることが示されました。

ドイツからは、各種の凍結防止剤と防滑材の環境影響を、製造から運搬、散布、回収までの間に消費されるエネルギーとコストから評価した結果が報告されました。

カナダからは、ケベック州交通局の塩散布量低減計画が紹介されました。路面雪氷を低減する道路構造、路外へ流出する水の管理、塩散布作業基地の適正配置、除雪機材と方法の改善、代替塩の開発等、非常に広範な内容を含むものでした。

ベルギーからは、雨水貯留池の位置決定をする際に考慮すべき要因として、散布塩の流入と流出状況、貯留地内での塩類の化学反応とコンクリート構造物への影響などに関して報告がありました。

5) まとめ

塩散布量の削減が大きな課題として認識されており、特に北欧を中心として様々な取り組みがなされています。より環境影響の少ない凍結防止剤と添加剤の開発もその一つとして多くの報告がありましたが、いずれも高コストの克服が大きな課題とされています。塩散布の環境影響評価では、沿道の植物や湖沼水質などに対する直接的な影響だけではなく、散布材料の製造から輸送、散布までをライフサイクルとしてとらえ、サイクル全体が環境に与える影響を評価する手法が複数提案されており、注目されます。

6. トピックⅤ 「冬期道路の維持・管理システム」

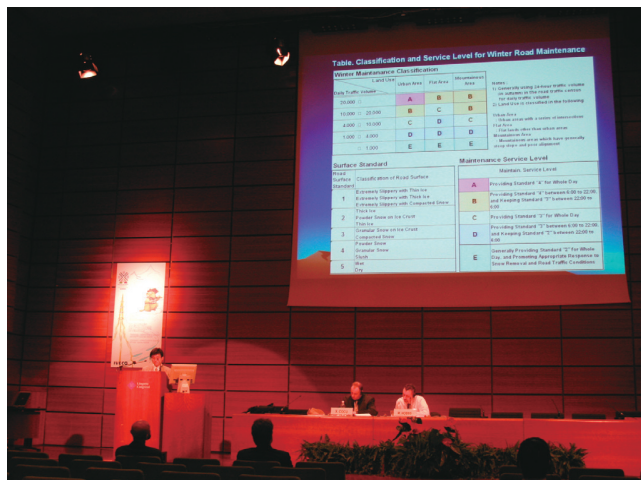
トピックⅤでは車両関連システム、道路気象情報システム、維持管理の判断支援システムに関して、5セッションが設けられ、15カ国から25編の論文が発表されました (うち2編は口頭発表をキャンセル)。なお日本からの発表は6編でした。

1) セッションⅤ-1, 2 「車両関連システム」

このセッションでは、摩擦や路面の計測システムと除雪や薬剤散布へのITS技術活用、冬期道路管理作業の情報システムについての発表が行われました。

摩擦計測のシステムに関して、当研究所交通研究室の舟橋研究員は、簡易な摩擦計測機器である、減速度計の日本での適用に関する発表を行いました (写真-8)。また日本の福井大学などで開発した多軸方向力

センシングシステム（MASS: Multi Axial Sensing System）を使った小型車タイプの摩擦計測システム（MASS 車）の発表がありました。これは、車両のタイヤと路面間に作用する3軸方向力と、制動時のブレーキ力、そして、これらから求められる路面摩擦係数 μ をリアルタイムで計測するものです。従来の日本国



写真－8 発表する舟橋研究員



写真－9 TWO（パンフレットより）



写真－10 ASFT T2Go（北欧パビリオンの展示より）

内における標準的摩擦計測機器である大型バス型摩擦計測車と、積雪路面やシャーベット路面では、同等の精度があるとのこと。また、ノルウェーから、冬期の摩擦係数を測定する機器として、車両に牽引され連続的に測定する RoAR、Oscar、TWO（写真－9）と呼ばれる機器や、ASFT T2Go（写真－10）と呼ばれる手動型の簡易な計測機器の紹介がありました。これらは、従来の摩擦測定装置の短所であった、高価（大型バス型摩擦計測車）、急ブレーキ操作が必要（減速度計式摩擦計測装置）の両者を改良し、比較的安価で連続的な摩擦計測を可能とするものです。

また、路面の計測システムとして、車両が通行する際に路面とタイヤとの間で発せられる音響のスペクトルを分析することによって、路面状態を判別する装置の発表が、日本（雪センター）から行われました。結果として、日本で普及している赤外光方式の路面状態センサーに比べ同等以上の性能があるとのことでした。ところで、純粹にセンサー開発に関する発表は、これ一件だけでした。これは、併設して開催された国際道路気象会議（SIRWEC）に、この種の発表が流れたことも考えられますが、要因として大きいのは、欧米では、凍結予測を含めた道路気象情報システムが普及しており、研究段階を越えて、路面センサーはその構成要素として、多くの民間企業が既に商品化しているためと思われます。

次に、ITS 技術を用いた除雪車の作業支援システムについてですが、日本（国土交通省国総研）と、デンマークから発表がありました。右折車線等で車線が増加する交差点部では、塩を路面全体に均一な濃度で散布することは難しいのですが、デンマークでは、GPS を使って、自動的に道路幅に応じた散布量の調節を行う凍結防止剤散布装置を開発して、試験を行っています。動画を見ましたが、高速走行中でも、道路幅に応じて、塩の散布量の調節が行われていることが確認できました。

冬期道路管理作業の情報システムについては、フィンランド、アイスランド、カナダ、ドイツから発表がありました。これらのシステムでは、主に、除雪車の作業記録システム、オペレータの呼び出し（call-out）システム、道路気象情報の収集システム、凍結予測システムなど、ITS を含む、冬期道路管理の効率化に有効な種々の情報システムについて紹介するものでした。

このうちフィンランドでは、フィンランド道路庁から分離されたフィンランド・ロード・エンタープライ

ズ（フィンランド道路公社：FRE）で稼働している以下のシステムに関する発表がありました。

Keiju：除雪車管理情報システム

RWIS：道路気象情報システム

VARO：道路気象状況の注意喚起サービス

Keiju は、フィンランド道路公社の除雪車両に設置されている GPS 機能付作業記録装置とその情報を収集するシステムであり、GPS で逐次除雪車両の位置を把握し、現場事務所等の端末に、携帯電話回線を通じて作業状況を報告しています。

VARO は、経路上の路面凍結の予測や、凍結発生 の警告情報を携帯回線を通じてドライバーに提供するシステムで、冬期道路管理のために運用されている道路気象情報システムの情報が活用されています。このシステム運用に当たっては、ドライバーからも路面情報を収集しているとのこと。なお、サービスは有料とのこと。

また、これらのシステムによる、コストの削減についても言及しており、除雪基地の人件費が年当たり 18,000ユーロ削減されたとのこと。

2) セッションV-3 「道路気象情報システム」

このセッションでは、道路気象情報システム (RWIS) の改良や活用方法、今後の計画等について、カナダ、アメリカ、日本からの発表がありました。

カナダからは、国内の RWIS の整備状況やデータの品質管理方法、Canadian Meteorological Markup Language (CMML) によるデータ交換や、北アメリカの RWIS ネットワークの統合を目指している等の発表がありました。アメリカからは、アメリカ連邦道路庁で取り組んでいる Clarus と呼ばれる輸送機関用の気象観測及び予測システムについての発表がありました。Clarus は、全米の2,336箇所の気象観測施設とパトロールカー等からのデータ、外部の気象観測データを収集し、品質管理を行った後、気象提供サービス機関を通じて気象の実況や予測、業務の支援情報等を交通管理センターに提供するものです。また、CCTV 画像からドライバーに必要なレベルの視程を推定する研究も行っていました。

日本からは2編の発表がありました。一編は、東北地方整備局で行っている熱収支法による路温予測の実例の紹介とその効果についての発表でした。もう一編は、北海道開発局からで、2004年1月13日～16日に北海道を襲った暴風雪を例に、レーダーデータと地上データの統合により、冬期道路情報の精度向上が図ら

れ、通行止め解除や迂回路判断、除雪計画に役に立った旨の発表でした。

3) セッションV-4, 5 「判断支援システム」

このセッションでは、スウェーデン、アメリカ、スイスなどから、冬期道路管理の判断支援システム (MDSS: Maintenance Decision Support Systems) に関連して、環境へのインパクト、凍結予測モデル等も含めた発表が行われました。

スウェーデンからは、ウィンターモデルのサブモデルである環境モデルに関する発表がありました。ウィンターモデルは冬期道路管理に関して環境面、安全面、予算面など様々な側面から最適化を目指すモデルとして注目されているものです (トピックⅡでも発表有り)。発表の内容は、塩の散布量と道路周辺の暴露塩分量 (Salt Exposure) と時間との関係を調べ、これらをモデル化するものでした。

イタリアからは、Arpa と呼ばれる気象情報サービスをトリノ-ミラノ間の国道A4号線に試験導入した事例の紹介がありました。アメリカからは、近年取り組まれている MDSS のプロジェクトについて説明があり、1999年に MDSS のリクワイアメントが調査されそれに基づいた開発が行われ、技術普及 (Technology Transfer) 面でも、CD-ROM を作成し、MDSS の普及に努めているとの報告がありました。スイスでは、道路管理オペレータの負荷軽減と効率化を目的に、表面温度や勾配、路面温度、降水などの条件から作業を決定するエキスパートシステムを構築した結果について評価を行い、エラーが10～15%であることが示されました。また、フランスからはフランスアルプスで行われた Gelcro プロジェクトの発表がありました。このプロジェクトはフランス気象庁が開発した積雪変態モデル (クロッカスモデル) などを用いた、道路雪氷の変態に関するもので斬新的なものでした。

4) まとめ

トピックVの発表を聴講して、各国で様々な冬期道路管理マネジメントシステムが開発され、導入されていることがわかりました。しかし、同一の開発目標でありながら、中身は多様 (国毎に異なる) な技術を用いており、情報や技術を国を超えて共有することで、効率的なシステムの導入が図られると思われました。

また、欧米からの発表では、気象学研究者と道路技術者とが協力した取り組みが多く見られました。気象

情報が冬期道路管理マネジメントシステムにおける重要度は高く、今後、道路管理と、気象サービス業界の連携が一層、重要になると思われます。

発表内容から見ると、要素技術の開発では、日本からの発表が多い一方で、個別のシステムを統合したシステムに関連する発表が、欧米諸国から多く見られたのに対して、日本からの発表では、そこまで統合化されたシステムはありませんでした。このことは、我が国における、次の開発分野を示唆するものと思われます。

加えて、費用対効果分析まで踏み込んだ発表は、欧米諸国からの発表でもほとんど無く、この分野での今後の研究課題であると考えられます。

7. トピックVI 「雪氷対策技術」

トピックVIでは、除雪機械の開発や凍結防止剤散布の効率化等による効果的な冬期道路管理に係る雪氷対策技術について5つのセッションが設けられ、10カ国から25編の論文が発表され、内11編が日本からでした。

1) セッションVI-1、VI-2 「機器・装置」

このセッションでは、除雪機械・機材の最新開発状況等について発表が行われました。

ノルウェーからは、砂散布について2編の発表があり、この分野に力を入れている様子です。砂散布については、砂と温水（90～95℃）を撒く方法が、従来の乾燥砂もしくは砂と塩を混合して撒く方法より有効ということで、近年普及してきているようです。専用の散布機を増産し、現在では国道のみならず、地方道や7箇所の空港でも新しい方法を採用し、より効率的な管理を目指し路面状況に応じた散布機の使用法が研究されています。2年前からは、上記で使用する温水で湿らせた塩を散布する方法も試験し始め、従来の塩水で湿らせた塩を撒くより効果があることがわかり、今後様々な試験を積み重ねる方針とのことです。

一方、種々のグレーダー刃による冬期路面改善について研究では、種類によらずすべり摩擦について改善は見られないが、今後は轍掘れや平坦性の改善といった観点から研究を見直す旨報告されました。

フランスからは、凍結防止剤散布量を減らすために、散布装置の散布効率を改善するための改良に数年来取り組んでいる報告が行われました。フランスでは広くロータリディスク式散布機（愛称 DORSA）が使用されており、基本的には携帯用に開発されたものですが、車両に牽引させて使用する場合の効率的な散布管理手

法が研究されています。現在は進行車両と直角の横断方向にシステムとして如何に効率的に散布できるかがポイントとなっています。また、塩散布した時の路面上の塩分濃度を効果的に保つための観点からの研究も発表され、気温や湿度との関係や通過交通量との関係を調査し、特に通過車両による拡散の影響が大きく、散布後最初の2千台通過までに効果のないレベルに落ちてしまうと指摘しています。

カナダからは、ケベック州における除雪トラックに装着するブラウや塩散布装置等の改良により、夏期は普通トラックとして使用する車両にこれらを適宜運転手だけで装着する方法による様々の多用途除雪トラック開発が報告されました。

日本からは、除雪機械開発2編、歩道融雪対策1編、橋梁落雪対策1編の報告がありました。除雪機械では、コスト縮減対策として従来2台で行っていた除雪作業を機械の多機能化（ロータリ付き除雪トラック）により1台で行えるようにして約11%コストダウンできることや、ロータリ式歩道除雪機のブラウ幅を可変できることによる効率化が報告されました。他に、排熱をエネルギー源として空気を媒体とした歩道融雪の実験によるコスト半減や、落雪対策として北海道豊頃大橋に取り付けた格子フェンスの有効性についての報告がありました。

2) セッションVI-3 「冬期路面管理」

このセッションでは、使用量が増大する凍結防止剤の効果的な散布や、路面の粗いポーラスアスファルト舗装の効果等について発表が行われました。

ベルギーからは、2層ポーラスアスファルト舗装の冬期路面状況について従来型の密粒舗装との比較評価が報告されました。路面に一定以上の雪が積もると違いはないが、うっすらと雪が載っている状況ではポーラスアスファルト舗装がすべり抵抗等で優れていることが指摘されました。

スペインからは、北部カンタブリア地方の山岳道路におけるポーラスアスファルト舗装箇所と従来型密粒舗装箇所における最適な消融雪剤散布について、予防的利用と事後的利用に分けて温度条件等で配合を提案する報告が紹介されました。例えば、ポーラスの予防的利用では重量比で7割の固形塩化ナトリウムと3割の塩水（濃度20%）の混合がよいとしています。

フランスからは、アスファルト舗装の混合物物理性状が「路面の堆雪しにくさ」に表れることから、添加物を加えた種々の供試体で全冬期間屋外実験（2シー

ズンで供試体片に堆雪は各8回、12回)し、ビデオ撮影した状況から表面に雪が存在した時間を分析し、より堆雪しにくい(降雪して一度路面に堆雪しても、風に飛ばされたり融けたりして)路面を持つ舗装を求める研究が報告されました。この中で排水性舗装については、空隙に滞水分が残りがちで、これが降雪を捕捉したり、また空隙自体が路面を冷やすために降雪が融けにくいなど問題点が指摘されています。

日本からは、冬期路面における排水性舗装のすべりに対する有効性を従来の一般的な舗装と比較した室内実験や現道調査等から検証し、冬期交通において危険なブラックアイス等、薄氷対策としてはすべり摩擦係数で確認すると顕著な効果があることが報告されました。また、凍結防止剤については、気象や路面状況を逐次把握しながら、路面における防止剤濃度をモニタリングしコントロールすることにより、一回当たり散布量を抑えて散布頻度を高める中でより適切な散布法を実現できることが報告されました。

3) セッションVI-4、VI-5 「冬期道路マネジメント」

このセッションでは、ITを利用した冬期道路管理など多彩な取り組みが発表されました。

フィンランドからは、空港における凍結防止剤利用について、尿素に代わり近年利用されている酢酸や蟻酸系剤が航空機機体の金属や滑走路舗装にダメージを与えており、航空機の安全運航を脅かす懸念が報告されました。これは、標準的な実験基準を満たせば、あとは価格と使用実績から凍結防止剤を安易に採用している問題点を指摘し、より実際の使用現場に近い条件での室内実験と屋外実験による確認後の使用剤の決定を促しています。

ドイツからは、EU拡大等に伴い交通が急増する中、とりわけ冬期の交通支障がもたらす経済的損失が大きな課題となっており、これに対する道路管理者側からの対策が発表されました。空港用に開発された高性能除雪車(with blower jet and brush)を道路にも適用し除雪効率や質向上を達成できたことや道路工事現場内での携帯凍結防止剤散布スプレーの使用、激しい降雪時には除雪優先のため交通を適宜一時的に通行止めにするなどなどが紹介されました。

フランスとロシア、中国からは各々、降雪状況に応じた各種凍結防止剤の適切な使用法、坂路におけるロードヒーティングと塩散布、コンピューターシミュレーションによる防雪柵の最適設計について報告があり

ました。

日本からは、凍結防止剤散布の効率化に関して、区間毎の路面温度予測と防止剤効果予測を基に箇所毎の散布量を管理する方法や、冬期路面状況をCCTV画像の明るさを数値解析することにより把握して効率的な道路管理を行う事例が紹介されました。また、東北の峠道やトンネル等4箇所種々施工された消融雪施設の現状をCCTV画像による路面露出率等から分析し、その能力が当初目標を全て上回っていることや、CO₂排出量(走行速度アップや除雪作業低減等)を3~4割程度低減できることなどが報告されました。札幌市の冬期歩行者転倒事故対策の一環として、より耐久性のある凍結抑制舗装の有効性について、試験施工路面利用者から評価されていることなどが報告されました。

4) まとめ

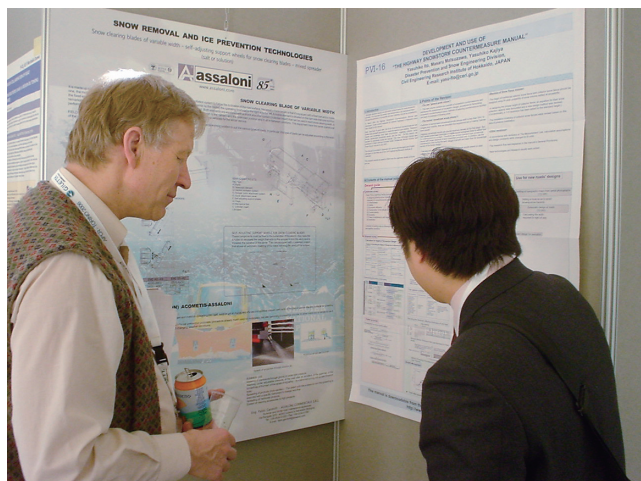
全般的にコスト削減・効率化を意識した取り組みに関する発表が多かったように思います。欧州各国でもそれぞれ冬期気象状況や地域状況により考え方や取り組みが違い、その相違を楽しんでいるかのような各国の独自性に印象を受けました。特に、凍結防止剤散布に会場の大きな関心が集まったように感じられましたが、これはその関係業者も多かったというのが真相のようです。

また、騒音対策で近年流行のポラスアスファルト舗装が表層路面が粗いことから、冬期すべり対策としても有効なのではないかとの観点から各国で室内実験や実道試験に試行錯誤しながら取り組んでいます。結果や見通しについては微妙に冬期条件が違うためか肯定的・否定的様々というのが大変興味深いところでした。

8. ポスターセッション

口頭発表と並行して、ポスターセッションが、口頭発表会場脇のロビースペースで発表が行われました。発表件数は登録段階で21件でしたが、実際に掲示されたのは10件程度でした。

発表されたポスターをみると、その大半は日本からのものでした。その内容は官民連携の道路管理、冬期道路管理の支援システム、気象予測システムの開発、除雪車アタッチメントの開発などなど口頭発表に比べるとバラエティに富む内容となりました。ただ、会場が離れており、参加者の動線から外れていたため、ポスター発表に訪れる参加者が少なかったのは残念でし



写真－８ 道路吹雪マニュアルについて説明する伊東主任研究員

た。

当研究所からは防災雪氷研究室の伊東主任研究員が「道路吹雪対策マニュアルの改訂と活用」と題して発表しました。希望の方にマニュアルを郵送しましたが、この中にはいわゆる北欧、北米など従来からの主要参加国の他、リトアニアなど旧東欧諸国や中国、韓国といったアジアからの参加者からも希望があり、広く吹雪対策に関心が高いことを確認できました。

9. おわりに

研究発表の中には、日本の既往研究で得られている知見と若干異なるものもいくつか見られました。こうした場合、特にその国の冬期気象特性に十分注意して研究成果を理解する必要があります。北欧などは、緯度が高いために冬の日射が極めて少なく、また降雪量も少ないので、路面状況の変化などが日本に比べると

緩やかなものになりがちです。また冬期気象特性の違いばかりでなく、冬期道路管理を取り巻く社会状況や労働環境の違いなども、時として研究の結果に影響を及ぼす場合があります。しかし、このような違いを考慮しても、他の国々の様々な取り組みに触れることは我が国の冬期道路について考えるのに大変参考になるものです。また、欧米諸国が冬期道路の安全性・効率性について国としてどう取り組むかを競って考えている姿は、日本国内の取り組みに大きな刺激となって映ります。会議の研究発表は膨大であったため、本文では報告しきれない面も多々ありましたが、今後さらに分析が進むことを望む次第です。

また今回の会議では、研究論文集がCD-ROM形式で配布されましたが、収録されていない論文がいくつか散見されたこと、画像が粗く文字が読み取りにくいことなどから、本報告で論文の詳細な内容について確認・言及できないところもありました。残念ではありますが、ご了承くださいませようよろしくお願いいたします。

なお最後に、本会議への参加の機会を与えていただいた関係各位に、改めて感謝の意を表する次第です。

文献

- 1) PIARC, Proceedings on the 12th International Winter Road Congress CD-ROM (2006).

注) 文中の発表者等の所属・役職名は会議開催当時のものを使用しています。



加治屋 安彦

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
上席研究員
博士（工学）
技術士（建設部門）



田高 淳

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地道路保全チーム
上席研究員



高橋 尚人

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
総括主任研究員



松澤 勝

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
総括主任研究員
博士（工学）
技術士（建設部門）



石田 樹

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地道路保全チーム
総括主任研究員



伊東 靖彦

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
主任研究員



舟橋 誠

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
研究員



徳永 ロベルト

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
研究員
博士（工学）



山際 祐司

国土交通省
北海道開発局
帯広開発建設部
工務課課長補佐
（前 防災雪氷研究室主任研究員）