

凍結防止剤等散布における現地作業判断 支援技術に関する研究

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○徳永 ロベルト
同上 佐藤 賢治
北海道開発局 札幌開発建設部 岩見沢河川事務所 切石 亮

本研究では、凍結防止剤散布において作業員の経験や熟練度に左右されずに現地での確かな判断を可能とするための支援技術を開発し、冬期路面管理の正確性を確保・向上させることを目指している。著者らは、被験者実験を行い、熟練度が異なる作業員の凍結防止剤散布作業時の挙動および主観を計測・評価した。また、車内に搭載した情報端末による情報提供が作業員の挙動・主観改善に寄与するか否かおよびその度合いについて調べた。

キーワード：作業員、凍結防止剤、判断支援技術、散布作業

1. はじめに

道路管理の効率化とコスト削減は重要な課題であり、道路管理者による凍結防止剤散布では、路面の「凍結が発生しやすい区間を対象とし、路面状況に応じて散布を実施」¹⁾している。そのため、現地での凍結防止剤散布オペレータ（以下、オペ）による路面状況の判断が非常に重要である。

このような中、近年は新たなオペを確保・育成することが困難になっており、現在作業に従事しているオペに頼らざるを得ない状況である。しかし、現在作業に従事している熟練オペは高齢化が進んでおり、後継者を確保・育成できなければ、経験の浅いまたは経験のないオペ（以下、未熟オペ）が作業を行うことになるため、作業の質の低下が懸念される。このため、未熟オペでも現地での的確な状況を判断し、正確な散布作業を可能とする支援技術（現地状況判断支援技術）の早期開発が必要である。

本研究では、凍結防止剤散布作業においてオペの作業経験や熟練度に左右されずに現地での的確な状況判断を可能とするための支援技術を開発し、冬期路面管理作業の正確性を確保・向上させることを目的としている。そのため、著者らは被験者実験を実施し、熟練度が異なるオペの凍結防止剤散布作業時のメンタルワークロード（以下、MW）を客観的手法および主観的手法によって評価した。また、車内に搭載したタブレット端末による画像および音声情報がオペのMW改善に寄与するか否かおよびその度合いについて調べた。本稿では、研究の概要、結果および今後の展望について述べる。

2. 研究方法

(1) メンタルワークロード

特定の課題を遂行する人間のMWは、客観的方法および主観的方法によって調べることが可能であるが、其々には長所と短所が存在するため、両者を同時に用いて調べることが望ましい。客観的方法には、更に行動的方法と生理的方法の二つに分かれる。行動的方法は、被験者の挙動を測定または観察する方法である。生理的方法は、被験者の心身反応（心拍、脳波、発汗等）を測定する方法である。他方、主観的方法は被験者本人または第三者から、課せられた課題に対して自身の行動や心理状態を評価・報告してもらうものである。これらは、ヒアリングやアンケートにより、実験担当者が予め設定した評価尺度に基づいて主観的に評価してもらう方法が最も多い。本研究では、客観的方法と主観的方法の両者を用いてオペのMWを測定した。

客観的方法として、行動的方法を採用し、オペの課題処理能力として車内助手席から前方の路面状態を判断させ、予め設定した凍結防止剤散布区間に対し、散布区間を認知・判断した地点、散布を開始した地点および散布を終了した地点の計3地点（距離）を計測・評価した。また、情報端末による路面状態等の情報を与えた場合と与えない場合で被験者の課題処理能力を比較した。

主観的方法として、被験者本人による評価方法を採用し、Hartら²⁾が開発したNASA-Task Load Index（以下、NASA-TLX）を用いた。NASA-TLXは、精神的な要求、身体的な要求、忙しさ、努力、達成度および不満度の6項目の評価尺度から構成されている。しかしながら、NASA-TLXは高度な知識を有する宇宙飛行士の主観的メンタルワークロード（以下、主観的MW）を測定するために開

発されたものであり、一般のドライバー、建設作業員等を対象としたものではない。原形のNASA-TLXの評価プロセスや6項目の評価尺度を一般の被験者が理解するのは相当の時間が必要になる。そのため、三宅ら³⁾、芳賀⁴⁾、Tokunagaら⁵⁾は、6項目の説明を簡易化・具体化している。これらの既往研究を踏まえ、本研究でも散布作業を行うオペに分かりやすくするため、NASA-TLXの6項目の説明を簡素化した。表-1に、本研究に用いたNASA-TLX 6項目の説明内容を示す。被験者は、アンケート用紙において与えられた各課題に対して尺度の「小さい・大きい」、「少ない・多い」または「良い・悪い」の両極を持つ6項目の線分上に、評定尺度によって○印で記入する。被験者が位置付けた○印は、分析時において0～10の数値に変換し、被験者の主観的な評価を数値化する。本研究では、6項目の評価尺度の平均値をNASA-TLX総合値とし、これをオペの主観的MWとして用いることとした。

表-1 NASA-TLXを構成する評価尺度

項目名	極点	項目の説明
精神的要求	小さい・大きい	○○課題を実行中に、見る、聞く、状況判断する、考える等どれくらいの知的活動(頭の活動)が必要だったと感じたか
身体的要求	小さい・大きい	○○課題を実行中に、手・足・首などを動かす、ボタンを押す、まわりをさわる等どれくらいの身体的活動(体の活動)が必要だったと感じたか
忙しさ	小さい・大きい	○○課題を実行するにあたって、作業の頻度や速度から感じた時間的圧力がどの程度だったと感じたか
努力	少ない・多い	与えられた○○課題の達成・維持にどの程度がんばったと思うか
達成度	良い・悪い	与えられた○○課題に対する自分の達成目標について、自分はどの程度成功したと思うか
不満度	少ない・多い	与えられた○○課題を実行中に、イライラ、不安、落胆、ストレス、悩み等をどの程度感じたか

本研究では、路面状態判別のみ、路面状態判別+散布作業（情報提供なし）および路面状態判別+散布作業（情報提供あり）の3つの課題に対する未熟オペおよび熟練オペの主観的MWを測定・評価した。

(2) 実験概要

実験は、平成27年2月2日～5日の4日間、夜間（18：00～23：00）において、寒地土木研究所が所有する苫小牧寒地試験道路で行った。当該試験道路は、延長2,700mの長円形周回路で、アスファルト舗装された直線部2区間（片側2車線区間1,200m、片側1車線の

1,200m）およびR50mの曲線部2区間によって構成されており、各車線の幅員は3.5mで直線部は2%の横断勾配を有する。なお、実験コースとなった周回路において街路灯等による照明はない。

被験者は、全員が建設作業員で未熟オペ12名（平均年齢48歳、全員が散布作業歴なし）および熟練オペ12名（平均年齢51歳、平均散布作業歴9年）、計24名とした。なお、被験者全員が男性で自動車運転免許証保有者（矯正視力0.7以上）であった。

本実験には、道路管理者が実道において実際に使用している同等仕様の凍結防止剤散布車（4.0m³が積載可能な6×6駆動車）を用いた（写真-1）。なお、当該車両は日常的に凍結防止剤散布車を運転している職業ドライバーが運転した。



写真-1 実験に用いた凍結防止剤散布車の外見



写真-2 車内助手席前に設置した各機器

当該散布車には、被験者の行動（認知・判断や散布作業）を計測するため、車内に凍結防止剤散布制御装置を模した液晶タッチパネル（以下、散布制御パネル）をダッシュボード前（助手席右前方）に設置し、散布量設定ボタン（0～50g/m²）および散布ON・OFFボタンを画面に表示して被験者がこれらを簡単に操作できるようにした（写真-2）。

散布制御パネルに表示された各ボタンの操作は、GPSを搭載する記録装置に10Hzで記録収集した。また、被験者に路面状態や重点管理エリア等に関する情報を提供するための情報端末（7インチタブレット）をダッシュボード上（助手席左前方）に設置し、画像および音声で最大200m先までの情報が提供可能なアプリケーションをインストールした（図-1）。

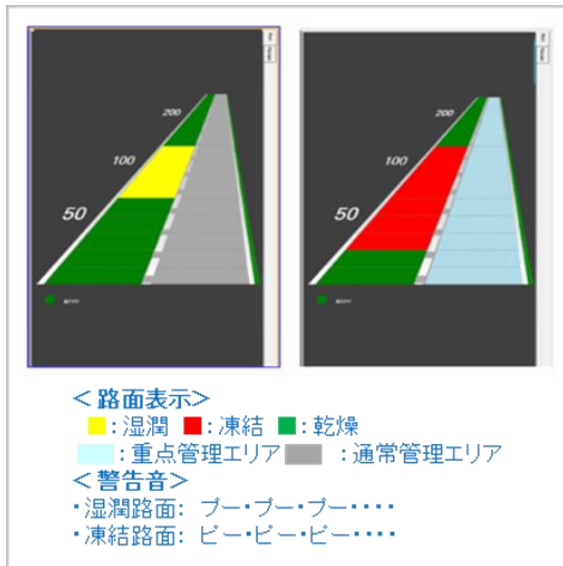


図-1 情報端末による情報提供内容

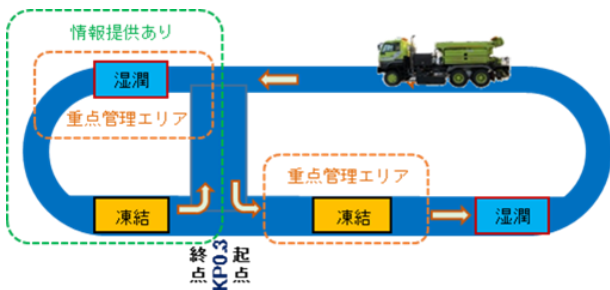


図-2 実験コース概略図と設定した路面レイアウト例

実験コースおよび走行方法については、前述の苫小牧寒地試験道路周回路2,700m全区間を実験コースとして使用し、凍結防止剤散布車は実験コースのKP0.3付近を起終点として反時計周りで走行した（図-2）。なお、凍結防止剤散布車の走行時の前照灯はすれ違い灯に固定した。

実験コースの路面状態は、乾燥路面を主とし、コース内の前半と後半の直線部に約400mの重点管理エリアをそれぞれに設けた。本実験では、この重点管理エリア内の湿潤路面区間または氷膜路面区間においてのみ散布作業を行うこととし、各エリアに湿潤路面を1区間（約100m）、または氷膜路面を1区間（約100m）敷設した。更に、重点管理エリア外にも上記同様の湿潤路面区間および氷膜路面区間をそれぞれ1区間ずつ設けた。なお、重点管理エリア、氷膜路面区間および湿潤路面区間の配

置は、毎日ランダムに変更した。

情報端末による路面状態および重点管理エリアの情報提供は、実験コース後半で行った。また、散布車による実験コースの走行速度は30km/hとした。

被験者には、主課題として路面状態判別（認知・判断）および二次課題として散布作業が与えられた。主課題である路面状態判別の具体的な内容は、実験コース走行時に前方の路面状態を観察し、予め野帳に記載された重点管理エリア内にて前方に散布を必要すべき路面状態を認知次第、速やかに散布制御パネルの散布量設定を行うものとした。なお、凍結防止剤の散布量設定は、凍結路面で30g/m²および湿潤路面で20g/m²とした。また、車内に設置した情報端末による情報提供があった場合はこれも参考にすることとした。次いで、二次課題である散布作業の具体的な内容は、上記の主課題に加えて散布すべき区間の起点・終点において散布ON・OFFボタンを操作するものとした。

本実験では、前方の凍結防止剤を散布すべき区間の起点（Kp1）に対し、被験者が認知（散布量を設定）した地点までの差を認知距離とした（図-3）。また、Kp1に対し、散布ONボタンを操作した地点との差を散布開始距離とした。更に、凍結防止剤を散布すべき区間の終点（Kp2）に対し、散布OFFボタンを操作した地点の差を散布終了距離とした。



図-3 認知距離、散布開始・終了距離の概略図

実験手順は、以下のように行った。被験者は、試験道路観測室（被験者待合室）にて、実験担当者から配布された質問用紙に氏名、年齢、運転歴、年間走行距離、散布オペ経験の有無（有の場合は年数）等を記入した後、本実験の目的、実験内容、実験手順、個人情報保護に関する事項および安全確保に関する留意点について書面および口頭で説明を受け、実験協力承諾書に同意の署名をした。

同じく、被験者待合室にて被験者は実験コース内で使用する散布制御パネルの操作方法について書面および口頭で説明を受けるとともに、実験全体の流れについて実験担当者とともに確認した。また、本実験では熟練度による差を明確にするために、熟練オペには試験実施前に予め用意した周回路のビデオ画像を見せ、走行経路及び重点管理エリアを熟知してもらった。

被験者は、凍結防止剤散布車の助手席に乗り、実験コースの起点から終点に向けて前述の与えられた課題を遂

行しながら1周した。

走行終了後、被験者は待合室に戻り、本実験で課せられた課題に対し、主観的MW評価方法について説明を受けた後、散布作業によって感じた主観的MWについて所定の質問用紙に記入した。この時、実験内容の漏えいを避けるため、実験前と実験後の被験者が交わらないように工夫した。

3. 実験結果

表-2は、熟練度別、課題別および情報有無による認知距離、散布開始距離および散布終了距離の基本統計量（平均値、中央値、標準偏差等）を示している。なお、本研究において行われた4日間（24人分）の実験から、3日分（18人分）の距離データを得ることができた。残りの1日（6人分）の距離データは、2月2日の実験の際に計測記録装置に不具合が発生したため、データ取得が不可能となった。また、図-4は熟練度別・課題別および情報の有無による認知距離、散布開始距離および散布終了距離の結果を箱ひげ図で示したものである。箱の左端は、全データの第1四分位（25%）、右端は第3四分位（75%）および箱の中の線は中央値を示す。箱から左右に延びるひげの左右端は箱の幅の1.5倍以内にある最小値あるいは最大値までの距離をそれぞれ示す。最小値以下あるいは最大値以上の値ははずれ値として「○」で表し、異常値は「*」で示す。

認知距離の平均値（平均認知距離）を見ると、情報なしの場合は未熟オペが-13m、熟練オペが-93mだった。他方、情報ありの場合は未熟オペ・熟練オペともに平均認知距離が-40mだった。統計的に有意なのか否かを確認するために両側検定による分散分析を行った。その結果、被験者間（熟練度）および被験者内（情報有無）で有意差は認められなかった。しかし、熟練オペの情報なしの結果を見ると、早い時点でKp1を認知できているが、標準偏差を見るとばらつきが大きく、熟練オペ内の認知距離に個人差があるといえる。但し、熟練オペの情報ありでは認知距離が情報なしより短くなっており、この結果から情報提供が熟練オペの認知プロセスにどのような影響を及ぼしたのかは不明である。他方、未熟オペについては、Kp1直前まで前方の路面状態の認知・判断ができていなかった。しかし、情報提供によってより手前（早い時点）でKp1を認知できるようになり、更に標本数が増えていることから認知漏れが低減したと考えられる。

次に、散布開始距離の平均値（平均散布開始距離）を見ると、情報なしの場合は未熟オペが-20m、熟練オペが0mだった。また、情報ありの場合は、未熟オペが20m、熟練オペが10mだった。ここでも両側検定による分散分析の結果は、被験者間および被験者内で有意差を示さず、何れの両者も平均散布開始距離が±20m内に留まり、熟練度および情報の有無による特筆すべき違いは認められなかった。

表-2 熟練度別および情報の有無による認知・散布開始・散布終了距離の基本統計量

	未熟オペ(9人)						熟練オペ(9人)					
	認知距離		散布開始距離		散布終了距離		認知距離		散布開始距離		散布終了距離	
	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり
平均値(m)	-13	-40	-20	20	80	49	-93	-40	0	10	31	-6
中央値(m)	-10	5	-10	10	50	0	-50	-10	5	20	15	-10
標準偏差(m)	5	82	34	47	114	88	91	75	25	14	47	9
標本数(人)	4	6	9	7	9	8	7	6	8	9	8	9

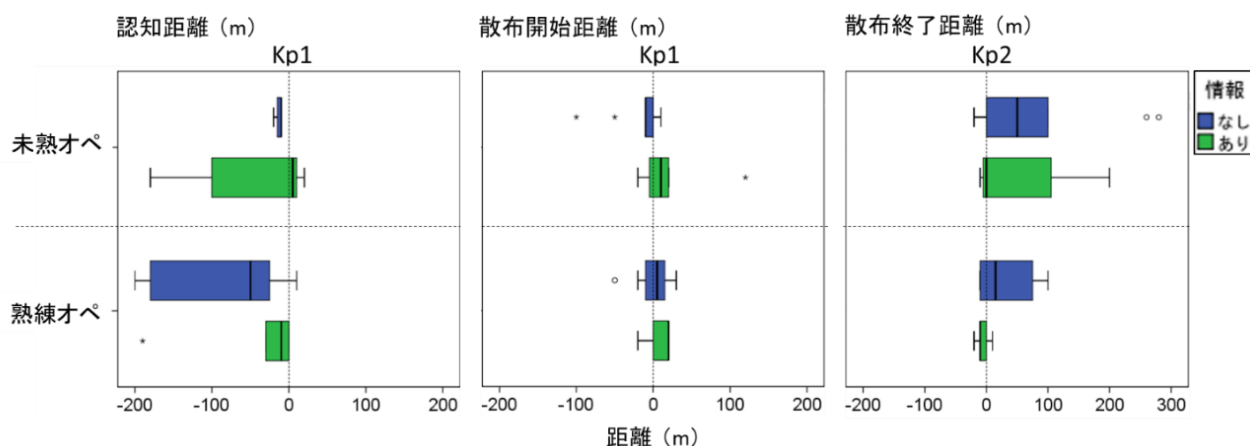


図-4 熟練度別および情報の有無による認知・散布開始・散布終了距離

表-3 熟練度別および情報の有無による課題別主観的MWの基本統計量

	未熟オペ(12人)			熟練オペ(12人)		
	路面判別のみ	路面判別+散布		路面判別のみ	路面判別+散布	
		情報なし	情報あり		情報なし	情報あり
平均値(点)	4.9	5.5	3.3	4.6	4.7	3.7
中央値(点)	4.5	5.3	3.0	4.4	5.2	3.5
標準偏差(点)	1.7	2.0	1.9	2.1	2.4	2.2
標本数(人)	12	12	12	12	12	12

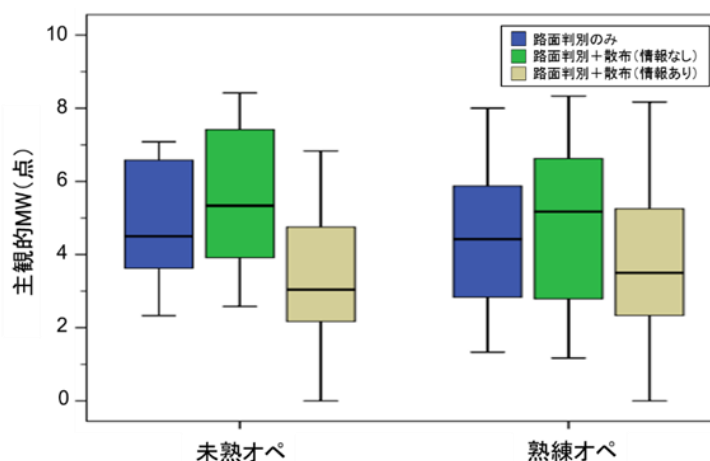


図-5 熟練度別および情報の有無による課題別主観的MW

最後に、散布終了距離の平均値（平均散布終了距離）を見ると、情報なしの場合は未熟オペが80m、熟練オペが31mだった。また、情報ありの場合は、未熟オペが49m、熟練オペが6mだった。分散分析の結果では、被験者間の有意差は認められなかったが、被験者内ではF(1, 14) = 10.693, $\alpha < 0.05$ となり、情報有無に有意差が認められた。未熟オペは、Kp2を大幅に過ぎてから散布を終了していたが、情報提供によってその距離が短縮したことを示している。しかし、何れも散布OFFボタンの操作遅れによる散布終了距離が長く、その理由については不明である。一方、熟練オペの情報なしの平均散布終了距離は、未熟オペの情報あり・情報なしの距離よりも短く、熟練による作業の正確性が現れていると考えられる。なお、熟練オペの情報ありでは、散布終了距離が更に短くなり、熟練度および情報の有無の中で最も小さい値を示し、ここでも情報提供によって作業の正確性が向上したと言える。

表-3は、熟練度別、課題別および情報有無による被験者の主観的MWの基本統計量（平均値、中央値、標準偏差等）を示している。また、図-5は熟練度別、課題別および情報有無による被験者の主観的MWを箱ひげ図で示している。路面判別のみに対する被験者の主観的MWの平均値は、未熟オペが4.9点および熟練オペが4.6点となった。情報なしの時の路面判別+散布に対する評価は、未熟オペが5.5点および熟練オペが4.7点となり、情報あ

りの時の路面判別+散布に対する評価は、未熟オペが3.3点および熟練オペが3.7点となった。なお、両側検定による分散分析の結果では、被験者間の有意差は認められなかったが、被験者内ではF(2, 22) = 17.040, $\alpha < 0.05$ となり、課題間に有意差が認められた。

熟練オペの主観的MWの平均値を見ると、情報なしの時の路面判別+散布に対する平均値が最も高いが、路面判別のみと著しい違いは認められない。一方、未熟オペの場合は、熟練オペと同様に情報なしの時の路面判別+散布に対する平均値が3課題評価の中で最も高いが、路面判別のみからの増分は熟練オペと異なって大きく、かつ被験者間の主観的MWの中で最も高い値を示した。次いで、情報ありの時の路面判別+散布に対する未熟オペ・熟練オペの主観的MWは、それぞれの課題評価の中で最も低い値を示している。熟練度による変動の差はあるが、情報なしの時の路面判別+散布に対する主観的MWと情報ありの時の主観的MWの差は著しく、情報提供による効果が両者の結果に現れていると言える。

4. まとめと今後の展望

本研究の実験結果は、熟練オペの情報なし時の散布区間を認知した地点にばらつきを示したが、散布を開始・終了した地点の正確性が比較的高いことも示した。また、熟練オペの主観的MWは、路面判別のみと路面判別+散

布（情報なし）間で未熟オペに比べて変動が少なかった。一方、未熟オペの場合、情報なしでは散布区間の認知距離が非常に短く（認知が遅い）、また散布終了についても遅れを示した。更に、未熟オペの主観的MWは、熟練オペに比べて路面判別のみに対する路面判別+散布（情報なし）の増分が大きかった。

情報提供による効果について、オペのMWは熟練度によって差があるが、情報提供によって全般に改善が認められ、情報提供が凍結防止剤散布作業における認知・判断および散布作業の正確性向上に寄与した。

今後は、実道での凍結防止剤散布作業において熟練オペの認知・判断および作業の特性を調べるとともに、引き続き試験道路での被験者実験を重ね、未熟オペ・熟練オペの認知・判断および作業プロセスの差に関するデータの蓄積・分析および情報提供方法（画像・音声・タイミング等）による効果の検証を更に進め、凍結防止剤散布作業における現地状況判断支援技術の確立を目指す所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：平成26年度・今冬の除雪体制等について（平成26年12月15日報道発表資料）、
http://www.hkd.mlit.go.jp/ziyoka/z_doro/jyosetsu/pdf/jyosetsutaisei.pdf、平成26年
- 2) Hart S. et al.: Development of NASA-TLX: Results and Theoretical Research, Human Mental Workload, Pp. 139-183, North-Holland, 1988.
- 3) 三宅ら：メンタルワークロードの主観的評価法、人間工学、Vol.29、No.6、平成5年
- 4) 芳賀繁：NASAタスクロードインデックス日本語版の作成と試行、鉄道総研報告、特集：人間科学、Vol.18、No.1、Pp.15-20、平成6年
- 5) Tokunaga R. et al.: Effects of Conversation Through a Cellular Telephone while Driving on Driver's Reaction Time and Subjective Mental Workload; Transportation Research Record No. 1724, Paper No. 00-1480, pp. 1-6, April 2000