

凍結防止剤散布作業判断支援技術の構築に関する研究

徳永ロベルト*1、佐藤賢治*1、中島知幸*1、藤本明宏*1、高橋尚人*1、石田樹*1

1. はじめに

寒地土木研究所では、凍結防止剤散布作業においてオペレータ（以下、オペ）の熟練度に左右されず、的確な状況判断および正確な作業に資する現地状況判断支援技術の研究開発に取り組んでいる。そのため、平成26年度は熟練度が異なるオペの路面状態の認知および散布装置の操作状況を調べるため、オペのメンタルワークロード（以下、MW）¹⁾を客観的（認知・操作等）および主観的に計測・評価した²⁾。また、車載情報端末による情報提供がオペの路面状態の認知および散布操作の正確性向上に寄与するか否かおよびその度合も調べた。結果は、現状の凍結防止剤散布作業（情報なし）では未熟オペの認知・操作に遅れが生じるとともに主観的MWも著しく上昇することを示した。他方、熟練オペの場合は認知にばらつきを示したが、操作の正確性が比較的高かった。また、熟練オペの主観的MWは操作時に増加したが、未熟オペに比べて変動が少なかった。更に、情報提供による効果については、熟練度による違いはあるが、凍結防止剤散布作業における両者の認知・操作および主観的MWの改善に寄与していることを示した。しかし、情報提供による効果には個人差があることも分かり、情報提供方法について更なる検討が必要であった。

上記結果を踏まえ、著者らは平成27年度も引き続き熟練オペ・未熟オペの路面状態の認知、散布装置の操作状況、主観的MW等を調べるとともに、情報提供方法がこれらにもたらす影響を被験者実験で調べた。本文では、当該実験の概要と得られた結果について報告する。

2. 研究手法

2.1 客観的方法によるMWの計測

凍結防止剤散布作業におけるオペの認知・操作時のMWを客観的に計測する方法として、被験者の行動を計測した。具体的には、被験者が車内助手席に座り、予め設定した凍結防止剤散布区間に対して、路面状態を情報なしで認知した地点（認知距離）、散布を開始した地点（散布開始距離）および散布を終了した地点（散布終了距離）の計3地点（距離）を計測・評価した。また、散布量の設定から路面状態判断の的中率も把握した。更に、車載情報端末を介して路面状態等の情報を音声のみ、画像のみおよび音声+画像による3つの方法でオペに提供し、これらの認知距離、散布開始距離、散布終了距離および路面状態判断の的中率を調べた。

2.2 主観的方法によるMWの計測

主観的方法によるMWの計測には、被験者本人がアンケート形式で自身の精神状態を評価する方法を採用し、過年度と同様に凍結防止剤散布オペでも容易に理解できるように設問内容等を簡略化したNASA-Task Load Index（以下、NASA-TLX）^{3,4,5,6)}を用いた。オペは、NASA-TLX式のアンケート用紙を用いて情報提供の有無・種別毎における凍結防止剤散布作業への主観評価を行い、これらの結果からオペの主観的MWの変化の有無・度合を調べた。

3. 調査方法

3.1 日時・場所

被験者実験は、平成28年2月1日～3日の3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。実験期間中の3日間は冬日で概ね晴れだった。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）および半径50mの曲線部2区間によって構成されている。各車線の幅員は3.5mであり、直線部は2%の横断勾配を有する。なお、当該試験道路の周回路には街路灯等の人工照明はない。

3.2 被験者

被験者は、全員が建設作業員で、未熟オペ7名（平均年齢43.0歳、全員散布作業歴なし）および熟練オペ12名（平均年齢57.3歳、平均散布作業歴7年）の計19名とした。全ての被験者が男性で自動車運転免許保有者であった。

3.3 実験に用いた車両と装置

本実験には、試験車両に2トントラックを用いた（写真1）。なお、当該車両は実験補助員が運転した。被験者の行動（認



写真1 実験に用いた試験車両

*1 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 寒地交通チーム

知や散布操作状況)を計測するため、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、操作パネル)を車内ダッシュボード前(助手席右前方)に設置し、電源ボタン、散布量設定ボタンおよび散布ON・OFFボタンを画面上に表示して被験者がこれらを画面タッチで簡単に操作できるようにした(写真2および図1)。



写真2 試験車両の助手席付近に設置した各機器

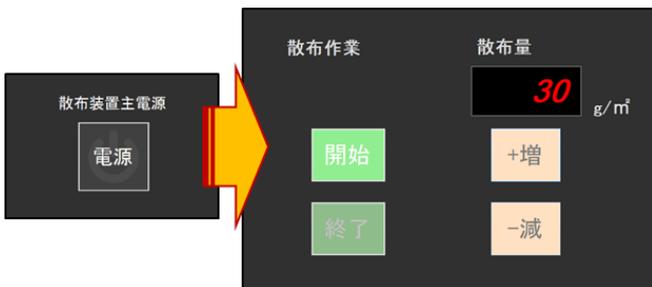


図1 操作パネル上の表示ボタン

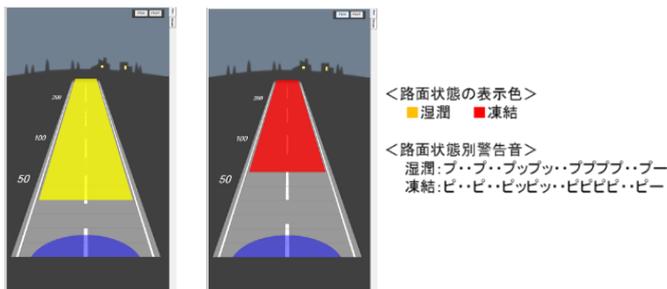


図2 情報端末による路面状態の情報提供例

散布操作パネルに表示された各ボタンの操作は、GNSSを搭載する記録装置に10Hzで記録収集した。また、被験者に前方の路面状態等の情報を提供するための情報端末を助手席左前方に設置し、200m先から情報提供を開始するアプリケーションをインストールした(図2)。当該アプリケーションには、予め設定した実験コースのレイアウトに従って路面状態の測位等を組み込み、コース内において前方の凍結または湿潤路面の存在を各情報提供方法の何れかで被験者に伝えた。

3.4 実験コースおよび走行方法

本実験は、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、試験車両は実験コースのKP0.3

付近を起終点に反時計周りで周回路を約40km/hで走行した(図3)。

実験コースの路面状態は、乾燥路面を主とした。実験コース内には、100mの湿潤路面および凍結路面を各2区間(計4区間)敷設し、被験者はこれらの区間において散布作業を行った。なお、湿潤路面・凍結路面の配置は、毎日無作為に変更した。

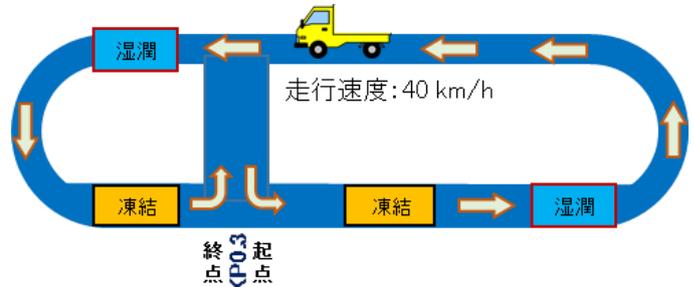


図3 実験コース概略と凍結・湿潤路面のレイアウト例

情報端末による路面状態の情報提供は、上記4区間中3区間で行われ、各々の区間において異なる情報提供方法を採用した。残りの1区間は、情報なしとした。また、同4区間における情報なしおよび3つの情報提供方法の配置についても毎日無作為に変更した。

3.5 被験者に与えられた課題

被験者には、実験コース内走行時に前方の路面状態を常に観察し、前方に凍結または湿潤路面を認知次第、速やかに散布操作パネルの電源ボタンを押し、散布量を設定するものとした。この時の凍結防止剤散布量設定は、湿潤路面で20g/m²および凍結路面で30g/m²とした。なお、路面状態の判断が的中か否かの判定は、路面状態に応じて正しい散布量でセットされていた中とした。

次いで、湿潤・凍結路面区間の起点・終点で散布ON・OFFボタンを操作するものとした。図4は、認知距離、散布開始・終了距離の概念図を示す。認知距離は、湿潤・凍結路面区間の起点(Kp1)に対し、被験者が電源ボタンを操作した地点までの距離とした。また、散布開始距離は、Kp1に対し、散布ONボタンを操作した地点までの距離とした。散布終了距離は、湿潤・凍結路面区間の終点(Kp2)に対し、散布OFFボタンを操作した地点までの距離とした。なお、上記課題遂行において車載情報端末から前方の路面状態等に関する情報提供があった場合は、これを参考にして良いこととした。

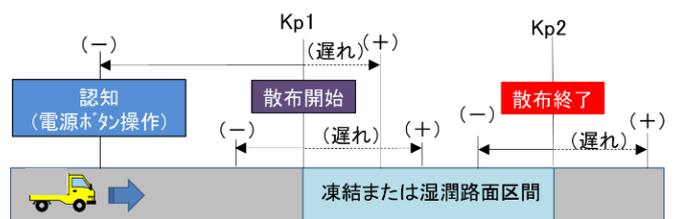


図4 認知距離、散布開始・終了距離の概略図

3.6 実験手順

被験者は、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、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文章および口頭で説明を受け、実験協力承諾書用紙に同意の署名をした。また、本実験では熟練度による差を明確にするために、熟練オペは試験実施前に予め用意した周回路のビデオ映像を数回観て走行経路等を覚えた。

次に、被験者へ散布装置の操作方法等を確認した後、実験コースの起点から終点に向けて前節の課題を遂行しながら周回路を一周した。

走行終了後、被験者は被験者待合室に戻り、本実験で課せられた課題に対する主観的MW評価方法について説明を受けた後、散布作業によって被験者自身が感じた主観的MWを質問用紙に記入した。

4. 実験結果

4.1 認知距離、散布開始距離および散布終了距離

本章に示す表1~3は、熟練度別および情報有無・種別による認知距離、散布開始距離および散布終了距離の標本数、平均値、標準偏差（以下、 σ ）等を示している。また、図5~7は認知距離、散布開始距離および散布終了距離の全データの百分位数（以下、パーセンタイル）を箱ひげ図で表したものである。箱の左端は、全データの25パーセンタイル、右端は75パーセンタイルおよび箱の中の線は50パーセンタイルを示す。箱から延びるひげの端は箱の幅の1.5倍以内にある最小値・最大値までの距離を示す。最小値以下・最大値以上の値は、はずれ値を「○」で表し、異常値は「*」で示す。

1) 認知距離

表1および図5は、熟練度別および情報有無・種別による認知距離を示す。

情報なしの平均認知距離は、未熟オペが-30m ($\sigma=9$ m) および熟練オペが-44m ($\sigma=31$ m) となり、熟練オペの平均認知距離にばらつきはあるが未熟オペより長かった。また、音声のみの平均認知距離は、未熟オペが-91m ($\sigma=46$ m) および熟練オペが-91m ($\sigma=53$ m) となり、両者ともに情報なしの時より平均認知距離が伸びた。更に、画像のみの平均認知距離は、未熟オペが-91m ($\sigma=49$ m) および熟練オペが-87m ($\sigma=54$ m) となり、両者とも音声のみとほぼ同様の結果を示した。最後に、音声+画像の平均認知距離は、未熟オペが-140m ($\sigma=70$ m) および熟練オペが-121m ($\sigma=60$ m) となり、両者ともに他の情報提供方法に比べて最も長い平均認知距離となった。

熟練度および情報の有無・種別による認知距離の有意差を調べるため、両側検定による分散分析（以下、分散分析）を

行った。その結果、熟練度による統計的な有意差は認められなかったが、情報の有無・種別では有意差 ($F(3, 75) = 10.443, p < 0.05$) が認められた。また、Tukeyの正確有意差 (HSD) 検定による認知距離の多重比較（以下、多重比較）では、未熟オペ・熟練オペともに情報なし・音声+画像間で有意差 ($\alpha=0.05$) が認められた。

表1 熟練度別および情報有無・種別認知距離

被験者	情報有無・種別	認知距離			
		標本数	平均値 (m)	中央値 (m)	標準偏差 (m)
未熟オペ (7人)	情報なし	7	-30	-32	9
	音声のみ	7	-91	-82	46
	画像のみ	7	-91	-90	49
	音声+画像	7	-140	-171	70
熟練オペ (12人)	情報なし	12	-44	-43	31
	音声のみ	12	-91	-86	53
	画像のみ	11	-87	-75	54
	音声+画像	12	-121	-137	60

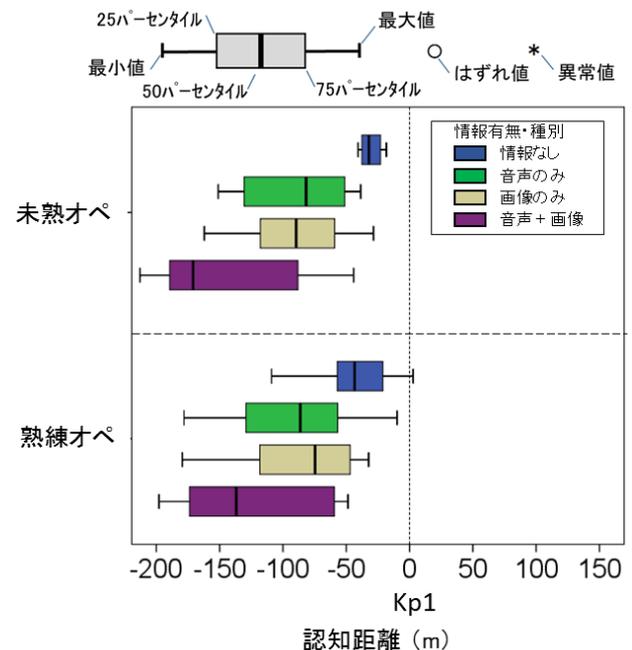


図5 熟練度別および情報有無・種別認知距離

以上の結果から、情報提供によって過年度と同様に未熟・熟練オペ両者がより手前で散布すべき区間を認知できるようになり、熟練度に関わらず散布判断・操作のための時間的余裕ができたと言える。また、情報提供方法としては音声と画像を組み合わせて提供することで前方の路面状態をより手前から認知可能になり、散布作業判断等の改善に繋がると考えられる。

2) 散布開始距離

表2および図6は、熟練度別および情報有無・種別による散布開始距離を示す。

情報なしの平均散布開始距離は、未熟オペが3m ($\sigma=3$ m) および熟練オペが12m ($\sigma=10$ m) であった。また、音声のみ

の平均散布開始距離は、未熟オペが5m ($\sigma=5m$) および熟練オペが24m ($\sigma=30m$) であった。更に、画像のみの平均散布開始距離は、未熟オペが4m ($\sigma=3m$) および熟練オペが6m ($\sigma=4m$) であった。最後に、音声+画像の平均散布開始距離は、未熟オペが10m ($\sigma=7m$) および熟練オペが7m ($\sigma=7m$) であった。

表 2 熟練度別および情報有無・種別散布開始距離

被験者	情報有無・種別	散布開始距離			
		標本数	平均値 (m)	中央値 (m)	標準偏差 (m)
未熟オペ (7人)	情報無し	6	3	2	3
	音声のみ	7	5	4	5
	画像のみ	7	4	2	3
	音声+画像	7	10	9	7
熟練オペ (12人)	情報無し	11	12	9	10
	音声のみ	11	24	13	30
	画像のみ	10	6	7	4
	音声+画像	10	7	4	7

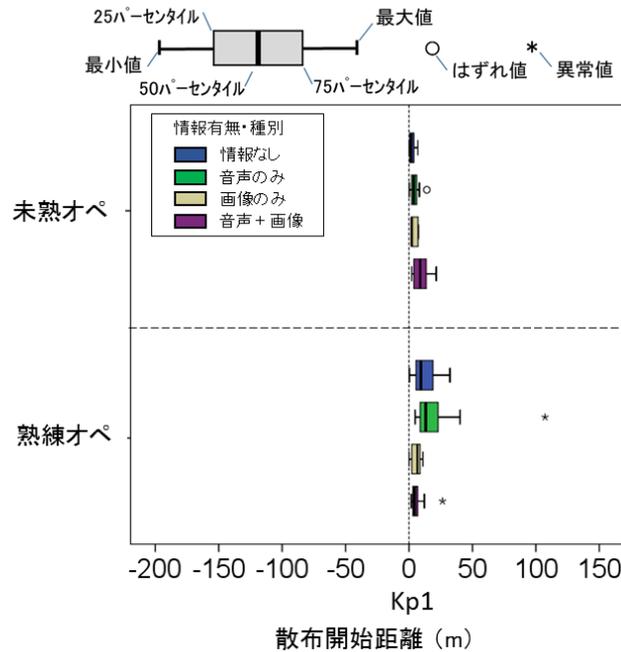


図 6 熟練度別および情報有無・種別散布開始距離

分散分析の結果は、未熟オペと熟練オペの間に統計的な有意差 ($F(1, 69) = 4.349, p < 0.05$) を示し、両者間の違いを確認した。他方、情報の有無・種別による有意差は認められなかった。また、多重比較では未熟オペ・熟練オペともに情報の有無・種別による有意差は認められなかった。

以上の結果は、未熟・熟練オペともにKp1に対して全般的に散布作業の開始が遅れ、かつ熟練オペの全ての値(遅れ)が未熟オペよりも大きいことを示した。また、情報提供によって散布作業の開始が情報なしの時より更に遅くなる場合があったことを示した。Kp1に関する情報提供方法、情報の内容、提供のタイミングに改善の余地があると考えられるため、これらを踏まえた更なる検討が必要である。

3) 散布終了距離

表3および図7は、熟練度別および情報有無・種別による散布終了距離を示す。

情報なしの平均散布終了距離は、未熟オペが7m ($\sigma=5m$) および熟練オペが7m ($\sigma=9m$) となり、未熟オペとほぼ同様の値を示した。また、音声のみの平均散布終了距離は、未熟オペが7m ($\sigma=3m$) および熟練オペが8m ($\sigma=7m$) だった。更に、画像のみの平均散布終了距離は、未熟オペが7m ($\sigma=5m$) および熟練オペが9m ($\sigma=8m$) であった。最後に、音声+画像の平均散布終了距離は、未熟オペが7m ($\sigma=1m$) および熟練オペが15m ($\sigma=29m$) であった。なお、分散分析および多重比較の結果に統計的な有意差は認められなかった。

表 3 熟練度別および情報有無・種別散布終了距離

被験者	情報有無・種別	散布終了距離			
		標本数	平均値 (m)	中央値 (m)	標準偏差 (m)
未熟オペ (7人)	情報無し	7	7	7	5
	音声のみ	7	7	7	3
	画像のみ	7	7	6	5
	音声+画像	7	7	7	1
熟練オペ (12人)	情報無し	12	7	4	9
	音声のみ	12	8	6	7
	画像のみ	12	9	7	8
	音声+画像	12	15	5	29

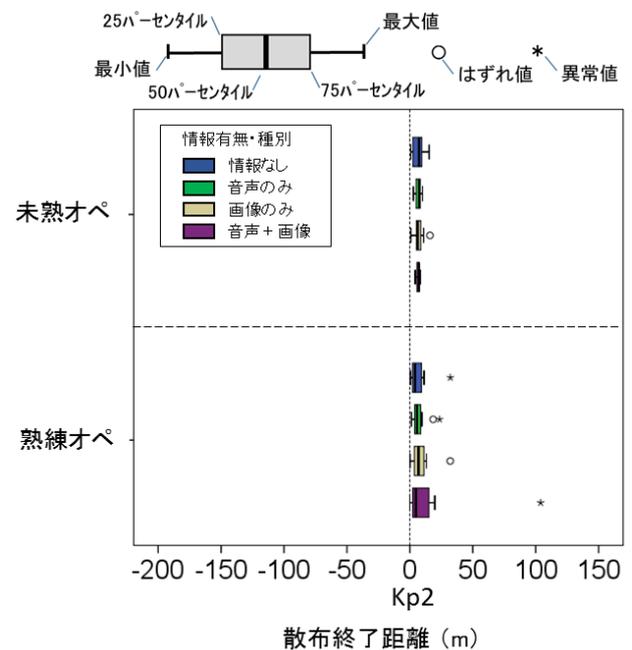


図 7 熟練度別および情報有無・種別散布終了距離

以上の結果は、未熟・熟練オペともにKp2に対して全般的に散布作業の終了が遅れたことを示した。また、熟練オペの場合は、情報提供によって散布作業開始が情報なしの時より更に遅くなったことを示した。Kp1と同様に、Kp2に関する情報提供方法、情報の内容、提供のタイミングに改善の余地があると考えられるため、ここでもこれらを踏まえた更なる

検討が必要である。

4.2 路面状態判断の的中率

表4および図8は、熟練度別および情報有無・種別による路面状態判断の的中率を示す。

情報なしの路面状態判断の的中率は未熟オペが86%および熟練オペが50%となり、後者の的中率が最も低い結果となった。また、音声のみの中の率は未熟オペが100%、熟練オペが75%であった。更に、画像のみの中の率は未熟オペが100%、熟練オペが83%であった。最後に、音声+画像の的中率は未熟・熟練オペともに100%であった。

表4 熟練度別および情報の有無・種別による路面状態判断の的中率

		情報なし	音声のみ	画像のみ	音声+画像
未熟オペ (7人)	的中	6	7	7	7
	はずれ	1	0	0	0
	的中率	86%	100%	100%	100%
熟練オペ (12人)	的中	6	9	10	12
	はずれ	6	3	2	0
	的中率	50%	75%	83%	100%

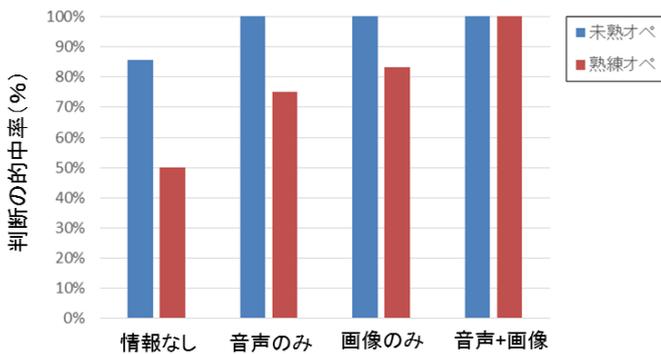


図8 熟練度別および情報の有無・種別による路面状態判断の的中率

当初、著者らは散布経験を有する熟練オペの路面状態の判断の的中率が未熟オペの的中率を上回ることを想定していたが、結果は情報なしにおいて未熟オペの路面状態の判断の的中率が熟練オペの的中率よりも高く、かつ全ての情報提供方法での中の率が100%であった。その理由については、この実験から明らかにすることはできなかったが、未熟オペ・熟練オペ間の年齢差による視覚、判断速度、情報端末の使用経験等が影響していることが考えられるため、今後はこれらの属性も踏まえながら更なる検証を重ねることが望ましいと考える。何れにせよ、前述の認知距離の結果と同様に、ここでも情報提供は未熟・熟練オペ両者の的確な路面状態の判断に有効であると言える。また、情報提供方法としては音声と画像を組み合わせることで前方の路面状態を確実に判断することが可能になり、散布作業判断等の改善に繋がると考えられる。

4.3 主観的MW

表5および図9は、熟練度別および情報有無・種別による未熟オペおよび熟練オペの主観的MWを示す。

情報なしの平均主観的MWは、未熟オペが6.3点 ($\sigma=1.7$ 点) および熟練オペが5.5点 ($\sigma=1.6$ 点) となり、未熟オペ・熟練オペともに主観的MWが最も高かった。特に、未熟オペの主観的MWは、熟練度および情報有無・種別の中で最も高い値となった。また、音声のみの平均主観的MWは、未熟オペが4.0点 ($\sigma=1.2$ 点) および熟練オペが3.5点 ($\sigma=1.1$ 点) となり、情報提供によって未熟オペ・熟練オペ両者の主観的MWが軽減した。更に、画像のみの平均主観的MWは、未熟オペが3.2点 ($\sigma=1.2$ 点) および熟練オペが1.9点 ($\sigma=1.1$ 点) となり、両者の主観的MWが音声のみの時より更に低下した。最後に、音声+画像の平均主観的MWは、未熟オペが1.3点 ($\sigma=0.8$ 点) および熟練オペが1.2点 ($\sigma=1.2$ 点) となり、未熟オペ・熟練オペともに主観的MWが情報有無・種別の中で最も低下した。特に、未熟オペの主観的MWは、情報なしからの減少幅が5.0点と熟練オペの減少幅4.3点に比べて大きかった。

表5 熟練度別および情報有無・種別主観的MW

被験者	情報有無・種別	主観的MW			
		標本数	平均値 (点)	中央値 (点)	標準偏差 (点)
未熟オペ (7人)	情報なし	7	6.3	6.7	1.7
	音声のみ	7	4.0	4.6	1.2
	映像のみ	7	3.2	3.2	1.2
	音声+画像	7	1.3	1.3	0.8
熟練オペ (12人)	情報なし	12	5.5	6.0	1.6
	音声のみ	12	3.5	3.7	1.1
	映像のみ	12	1.9	1.8	1.1
	音声+画像	12	1.2	1.2	1.2

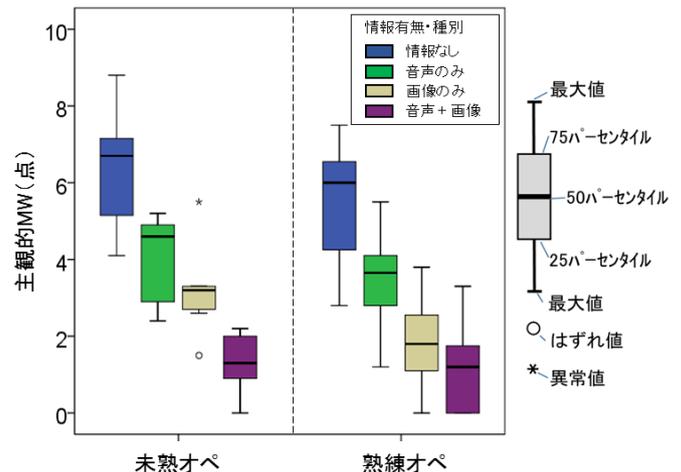


図9 熟練度別および情報有無・種別主観的MW

分散分析の結果では、熟練度間で有意差 ($F(1, 76) = 4.875, p < 0.05$) が認められ、また情報有無・種別でも有意差 ($F(3, 76) = 42.971, p < 0.05$) が示された。また、多重比較においても未熟オペ・熟練オペともに情報なしと3つの情報提供方法

の間で主観的MWが有意に軽減することを確認した ($\alpha = 0.05$)。

以上の結果から、熟練度による変動やばらつきに差はあるが、情報提供による主観的MWの軽減効果は未熟オペ・熟練オペともに著しく、この中で音声+画像による主観的MWの軽減が最も大きいと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、過年度に引き続き試験道路で被験者実験を行い、情報の有無・種別（情報なし・音声のみ・画像のみおよび音声+画像）によるオペの認知・操作および主観的MWの変化とその度合いを調べた。以下に、当該実験において得た主な知見について述べる。

- (i) 情報なしにおける熟練オペの散布区間認知距離は、未熟オペのそれより長い。
- (ii) 情報なしにおける熟練オペの主観的MWは、未熟オペのそれより小さい。なお、上記(i)、(ii)は過年度の結果と同様である。
- (iii) 情報提供による主観的MWの軽減効果は、音声と画像の組み合わせが最も大きい。

以上、本研究により、凍結防止剤散布作業への情報提供は、熟練オペおよび未熟オペにかかわらず、認知、判断、主観的MW等の改善に寄与することを確認した。また、情報提供の有無・種別が散布作業開始・終了のタイミングに影響を及ぼすことを確認したが、当該実験の結果では情報提供により散布作業の開始・終了が設定した開始・終了地点より遅くなっ

たため、今後は適切な情報提供方法、情報の内容、情報タイミングを見出すための検討を引続き行う予定である。更に、路面状態判断において熟練オペの的中率が未熟オペのそれより低かったため、オペの詳細な属性や実験条件を踏まえた検討も併せて行う所存である。

参考文献

- 1) 青木和夫：ISO/TC159におけるメンタルワークロードの概念と定義および設計の指針、人間工学、Vol. 29、No. 6（'93）、pp. 339-342、平成5年9月
- 2) Tokunaga Roberto et al.: Study on the Development of Technology for Supporting Onsite Decision Making in Antifreeze Agent Spreading, Paper No. 16-3168, Proceedings of TRB 95th Annual Meeting, Washington D.C., January 2016.
- 3) Hart Sandra et al.: Development of NASA-TLX: Results and Theoretical Research, Human Mental Workload, Pp. 139-183, North-Holland, 1988.
- 4) 三宅、神代：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
- 5) 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
- 6) Tokunaga Roberto 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.