

Title	空間的注意配分特性と安全性 : 掘削機操作の場合
Author(s)	中村, 隆宏
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42222
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	中 村 隆 宏
博士の専攻分野の名称	博 士 (人間科学)
学 位 記 番 号	第 1 5 9 2 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 13 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 人間科学研究科行動学専攻
学 位 論 文 名	空間的注意配分特性と安全性：掘削機操作の場合
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三 浦 利 章 (副査) 教 授 中 島 義 明 助教授 白井伸之介

論 文 内 容 の 要 旨

研究の背景

労働災害の発生件数は長期的には減少傾向にあり、1998年（平成10年）には労働災害死亡者数が2,000人を割り込んでいる。その背景には事業場におけるこれまでの安全衛生管理対策の定着があると言われているが、一方で、バブル経済の崩壊に伴う景気の低迷が全体的な産業活動の抑制につながり結果として労働災害の減少に結びついた、との見方もあり、数値の減少を無条件に肯定することは出来ない。

労働災害を産業別にみた場合、建設業における死亡者数は全体の約4割を占めており、「災害の多い業種」と見なされている。本研究においては、これら建設業における災害の中でも特に「建設機械による災害」に注目した。

建設機械の中でもドラグ・ショベルに代表される掘削機は、汎用性も高く多目的に使用可能であることから最も普及しているが、その分、災害への関与も多い機種である。災害事例を検討すると「見えているはずなのに見えていない」あるいは「見る必要があるはずなのに見えていない」ことに原因があったのではないかと推測される災害が少なからず見受けられる。すなわち、掘削機のオペレータは操作中に何を見ているのか、どの程度の範囲が見えているのか、といった疑問が生じてくるが、こうした点に関してはこれまでに明らかにされていない。こうした状況を鑑み、オペレータの視覚情報獲得行動を明らかにすると共に、掘削機操作時の有効視野と空間的注意配分が作業の安全性に及ぼす影響を検討することを目的として、本研究が行われることとなった。

視覚情報と安全性

人間にとっての視覚情報の重要性は、これまでに様々な形で指摘されている。掘削機の操作においても同様に視覚情報の重要性が推察される場所であるが、これまでに掘削機オペレータの視覚情報獲得行動について扱った研究例は皆無であったため、他の研究分野、特に自動車の運転場面を対象とした研究例を参照した。運転場面における要件(task demand)と有効視野の変化について検討を行った研究(Miura, T. 1990., 三浦, 1996.)あるいは運転経験による有効視野の違いに注目した研究(Crundall, D. et al. 1999)では、実験を行うにあたり眼球運動の測定とともにターゲットの検出課題を取り入れている。眼球運動の測定によって得られる注視対象や注視時間・飛越運動等のデータは、運転者の注意の向け方の一つの指標となり得る。また、視野内に提示されるターゲットの検出反応からは有効視野の推定が可能となり、また反応時間は要件の大きさを反映すると考えられる。こうした「眼球運動の測定」「ターゲット検出課題」という手法は、本研究で対象とする掘削機操作の場合にも応用が可能である。

掘削作業場面のシミュレーション

掘削機オペレータの有効視野測定に際しては、実際の現場における作業状況を対象とすることが最も理想的であるが、安全性、条件の統制方法、経済性等々、解決が困難な問題が多数存在するため現実的ではない。現実場面における行動を再現し観察が可能でありながら、測定を行うにあたっての問題点を解決する方法として、本研究においてはシミュレーションを採用することとした。

実験手法として多くの利点を有するシミュレーションであるが、解決すべき問題も残されていた。主たる問題点は「物理的リアリティの限界」および「被験者の動機的諸条件の不一致」であった。これらの問題に対し、シミュレーションにVR (virtual reality) 技術を取り入れることでリアリティを極力高めるとともに、視覚情報獲得に関する反応行動の違いを明らかにする目的で実機を用いた測定を行い、シミュレーション実験における測定結果と比較・検討を行うこととした。

実験1 シミュレーションを用いた掘削機オペレータの眼球運動測定実験

初めに、掘削作業における視覚情報獲得行動に関する基礎的なデータの収集を目的として、シミュレータを用いた眼球運動測定実験が行われた。被験者は、掘削機を操作して前方の地面を掘削し左手に停車するダンプトラックの荷台上に土砂を積み込む作業を行うよう求められた。眼球運動の測定にはアイマークレコーダー (NAC EMR-8) を使用した。4名分の被験者について分析対象とした。

デジタルビデオテープに記録されたアイマーカーと被験者の視野映像は、横58分割、縦34分割した分析用モニターに再生された。画面中心を原点として注視点を表わすアイマーカーの座標値を1/30秒単位で読み取ることによって、被験者の注視点座標の変化を求めた。

観察された眼球運動をx軸（水平方向）成分とy軸（垂直方向）成分に分け、時間軸に沿って変化を比較した。x軸成分に関しては、旋回操作時に大きな変化が見られるのに対し、掘削操作・積み込み操作では変化が少なく、滑らかな推移を示した。y軸成分に関しては、全体的に変化が少なく、操作内容による違いも見られなかった。飛越距離の変化はこうしたx軸成分の変化を反映し、旋回操作時に大きな飛越運動が観察された。こうしたことから、旋回操作時には左右に大きく視線を移動させており、飛越距離も大きいことが確認された。これらの結果は、操作内容によって視覚情報の取り入れ方に違いがあることを示すものである。

実験2 実際の作業場面におけるオペレータの眼球運動測定実験

実験2では、シミュレーションによって行われた掘削作業環境に可能な限り類似した状況において実際の掘削機を用いた掘削作業を行い、オペレータの眼球運動の測定を行った。2名分の被験者について分析対象とした。実機による実験結果を「実機データ」、シミュレーションによる実験結果を「シミュレーションデータ」として比較・検討を行った。

分析の結果、眼球運動のx軸成分・y軸成分とも、作業内容による変化はシミュレーションから得られた結果と極めて類似していた。すなわち、x軸成分に関しては、旋回操作時に大きな変化が見られるのに対し、掘削操作・積み込み操作では変化が少なく滑らかな推移を示した。y軸成分に関しては、全体的に変化が少なく操作内容による違いも見られなかった。また、操作内容別にそれぞれの群の平均飛越距離を比較したところ、シミュレーションデータと実機データの間には有意な差が見られなかった。

さらに、操作内容毎に注視点の分布範囲を求め同様に比較したところ、横方向の分布範囲、縦方向の分布範囲とも、シミュレーションデータと実機データの間には有意な差は見られず、操作内容による有意な差が認められた。

また、注視回数に関しては、バケットに対する注視回数が最多であり、シミュレーションデータでは全体の約45%が、実機データにおいては約40%がバケットに対して行われた注視であった。総注視時間に関しても同様に、バケットに対する時間が最も長く、シミュレーションデータでは全体の約63%、実機データにおいては約53%がバケットに対する注視に費やされていた。注視回数に関しては、シミュレーションデータと実機データの間には有意な差は見られず、注視時間に関しては両群の間に有意な差が見られる結果となった。

この様に、平均飛越距離、注視点分布範囲、注視対象別注視回数など、検討された複数の側面においてシミュレーション実験と実機実験の結果の間に差が見られなかったことから、シミュレーション実験の結果は妥当であると考えられる。また、シミュレーションにおいても実機においても、バケットに対する注視回数、注視時間が最も高い割合

を占めていたことから、バケットには、多くの注視を行わせるような注視対象としての何らかの特殊性（例えば、操作内容をモニタリングする指標としての機能、作業精度を高めるために細かな情報を取り入れる必要性、等々）があると考えられる。

実験3 掘削作業におけるオペレータの有効視野測定実験

実験3においてはターゲット検出課題を課した有効視野測定実験が行われた。被験者は実験1と同様に掘削作業を行い、同時にターゲット検出課題を行った。

ターゲットは、視角約1.64°の円形で、赤色と黄色の2種類であった。それぞれ、5分間の試行の中で25回ずつランダムに出現し（各色の出現確率は50%）、提示時間は最長3秒間であった。提示中に反応が行われた場合には、反応とともに消失した。出現範囲は、被験者正面を基準として水平方向で左90°～右90°、垂直方向で俯角18°～仰角13°の範囲にランダムに設定された。ターゲットの提示位置は被験者の正面位置を基準としており、旋回操作中であっても一定とされた。また、他の対象（ピラー、ブーム等）と重なりが生じないように、一定の奥行きに提示された。被験者は、ターゲットが赤色であった場合には右手の反応ボタンで、黄色であった場合には左手の反応ボタンで出来るだけ早く反応するよう求められた。反応時間および見逃し率に関する考察では6名分の結果を対象に、さらに注視対象および操作内容との関係を含めた考察には4名分の結果を対象とした。

実験条件には、操作方式に関して2種類（習熟した操作方式／未習熟な操作方式）、作業指示に関して3種類、掘削機モデル（大きさ）に関して2水準が設けられたほか、ターゲット検出課題のみを行う統制条件が設けられた。分析の対象となった反応は、偽警報を除き、4000msecまでの正反応・誤反応、及び4000msec以上の見逃しであった。中型掘削機モデルを用いた試行を対象とした分析のうち、主な結果を以下に記す。

反応時間に関しては実験条件で1340msec、統制条件で1180msec、見逃し率に関しては実験条件で20.8%、統制条件で7.2%であり、掘削機の操作を行うことによってオペレータに与えられる負荷が明確であった。また、ターゲットの提示範囲を30°ずつ区分し比較した結果、実験条件、統制条件のいずれにおいても正面位置から遠ざかるに従い反応時間は長く、見逃し率は高くなる、という結果が得られた。従来の頭部運動を制限した研究で示されるように、離心率の増大に伴うパフォーマンスの低下（網膜感度に依存する）が、被験者に自由な頭部運動を許容した状態で行われた今回の実験においても認められたことから、オペレータの空間的注意は身体の正面を中心として分布していることが示唆される。さらに、ターゲットの色別に比較を行った結果、見逃し率は黄色ターゲットよりも赤色ターゲットに対して高く、有意な差が見られる結果となった。これは一般的な色覚限界の説明（標的色による視野の相違）に当てはまるものであり、実際の労働現場において注意喚起のために黄色が使用されることの裏付けとなる。操作方式の違いによる反応時間と見逃し率に関しては、普段から扱われていない未習熟な操作方式の場合に、有意に反応時間は長く、見逃し率が高い、という結果が得られた。こうした結果は、掘削機を使用する現場で展開されている操作方式の統一化の動きに対し、慎重な対応が必要であることを示唆するものである。

掘削機オペレータとして10年以上の経験を有する被験者2名を「熟練者群」、5年以下の被験者4名を「初心者群」として、経験差による比較を試みた。統計的有意差は認められなかったものの、初心者群と比べ熟練者群の方が反応時間は短く見逃し率が低い、といった傾向が認められた。これは、豊富な経験は周辺視野から取り入れられる情報の利用可能性に影響を及ぼしていることを示している。しかし一方で、操作方式の違いに注目したところ、熟練群は習熟した操作の場合見逃し率12.7%であったのに対し、未習熟な操作方式の場合には23.3%と、著しいパフォーマンスの低下が見られている。こうしたことから、未習熟な操作方式による負荷のかかり方が経験によって異なることが示された。

さらに、操作及び検出反応の記録データと眼球運動計測を行ったデータを照合し、熟練者群2名、初心者群2名について、注視対象・操作内容と反応時間・見逃し率に関する比較・検討を試みた。注視対象別の検討、および操作内容別の検討のいずれにおいても統計的に有意な差は見られなかったものの、初心者群と比べ熟練者群がわずかに高いパフォーマンスを示しており、これまでの結果に一致するものであった。但し、バケットに対して注視が行われていた場合、及び掘削操作時に関しては熟練者群の見逃し率が高かった。また、操作内容別に検討した結果から、他の操作と比べ右旋回時にはいずれの群においても見逃し率が低くなっており、操作内容によって注意の方向もしくは範囲が変化することが示唆される。

掘削作業における安全性について

これらの実験結果から、これまでに注目されてこなかった掘削機オペレータの視覚情報獲得行動に関して、基礎的なデータを得ることが出来た。また、シミュレーションの妥当性が確認されたことは、今後のシミュレーションの活用方法に大きな可能性を見出すことにつながるものである。

掘削作業現場の労働安全に直接関わる事項として第一に注目すべきは、操作方式による影響である。今回の実験においては、未習熟の操作方式であってもほとんどの被験者が順調に掘削作業を行っていたように身受けられたが、反応時間・見逃し率の測定結果からは、明らかに負荷が高まっていたことが示されている。統一した操作方式を現場のオペレータに押し付けるだけでなく、組織的な安全管理体制のもとで、こうした現状に対して何らかの配慮が行われる必要があるだろう。

本研究において行われたターゲット検出課題においては、検出対象は円形のマーカーであったが、実際の現場において検出すべき対象は周辺に存在する他の作業員や障害物である。これらの対象は周辺を移動していることがほとんどであり、注視対象として有する意味性も異なっている。自動車の運転者が道路脇の歩行者を発見した場合、その歩行者の次の行動を予測した上で対応が求められることと同様に、掘削機オペレータも同様の認知的処理を行っているであろうと考えられる。今後の検討課題として考慮すべき点である。

論文審査の結果の要旨

当論文は、オペレータの眼球運動測定に基づき、掘削機の操作における有効視野および空間的注意について明らかにしたものである。従来の労働災害防止対策においては、掘削機オペレータの認知的側面に焦点をあてた心理学的な検討は行われていなかったが、当論文においては「建設機械による労働災害の防止」という実際的な問題解決を念頭に、バーチャルリアリティ・シミュレータを利用して適応認知行動学的観点から接近したものである。

はじめに、労働災害統計から現在の建設業における災害発生状況を概観し、掘削機オペレータの視覚的な情報獲得過程に関する問題提起を行った。さらに、自動車の運転場面を対象とした先行研究から実験手法を応用し、シミュレーションの妥当性・問題点に関する検討を踏まえながら、これまでにない大規模なシミュレーション実験を行った。眼球運動の測定結果からは、掘削機の操作内容によって視覚的情報の獲得の仕方が異なる点を明らかにした。さらにこれらの実験結果の検討に際しては、実機を用いた実験結果を比較対象とした検討がなされており、シミュレーション実験の妥当性を見いだした。また、ターゲット検出課題の反応時間と見逃し率から、掘削機を操作するオペレータの空間的注意配分に影響を及ぼす様々な要因について検討を行った。その結果、掘削機の操作自体がオペレータに負荷を与えること、未習熟な操作方式の場合にはターゲットの検出率が低下することと、とりわけ未習熟な操作によって熟練者の検出率が著しく低下すること等を見いだした。これらの結果は、労働現場における安全性の向上に直接寄与する知見を与えるものであり、実際の作業状況における機械の操作と安全性という観点から、認知行動学的研究として将来への発展を予想させるものであった。

以上の内容により、当論文は労働現場における安全性の向上に関わる優れた研究であることを評価し、博士（人間科学）の授与に値するものと判定した。