仮想空間提示装置を用いた心理的危険領域の設定

建設機械の危険認知に関する研究 その1

ESTABLISHING PERCEIVED DANGER AREA
USING VIRTUAL ENVIRONMENT SYSTEM

Risk perception of construction machinery Part 1

沢田 英一*, 羽根 義**, 谷口 正樹***

Hidekazu SAWADA, Tadashi HANE and Masaki TANIGUCHI

This paper describes perceived danger areas for backhoes. Two experiments were performed using a virtual environment system. The experiments assumed the scenes in which a backhoe was viewed from the front and the back. Twenty males, who have never worked at construction sites, served as the subjects. Logistic regression for repeated measures data revealed age and distance between the subject and the backhoe to be significant effects on danger or non-danger judgments for both experiments. Regarding the front view, the odds ratio for an increase of 1 m in distance was 0.05, and 0.91 for an increase of age range. The classification table showed a sensitivity of 0.9 for a cutpoint of 0.35 with an accuracy of 0.74. As for the back view, a sensitivity of 0.9 was achieved at a cutpoint of 0.2 with an accuracy of 0.7. Thus, the logistic regression analysis revealed that a sensitivity of 0.9 can be achieved with an accuracy of over 0.7 for both the front and back view of the backhoe.

Keywords: perceived danger area, logistic regression analysis, ROC curve, construction machinery, virtual environment system

心理的危険領域, ロジスティック回帰分析, ROC 曲線, 建設機械, 仮想空間提示装置

1. はじめに

バックホーなど建設機械に起因する死亡災害は,平成11年に170件発生しており,同年に発生した建設業全体の死亡災害の21%を占めている¹⁾。これは,「墜落・転落」に次ぐ件数である。また,バックホーが起因物となって被災した人(死傷者)は1,036人で,ショベル系掘削機が起因物になった事故の中で最も多い²⁾。

このような災害を防止する対策の1つとして,労働安全衛生規則ではバックホーのアームの旋回範囲内,いわゆる物理的危険領域内への立入りを禁止している。一方,物理的に接触しないことがわかっていても,目の前でアームが旋回すれば危険であると感じるであろう。このことから,物理的に接触しないが,「危険である」と感じる領域(本研究では,心理的危険領域と呼ぶ)があると考えられる。心理的危険領域内では,建設機械に対するひやり・はっとが起きやすいと推測される。従って,心理的危険領域の範囲を求め,そこに進入する前に警告を発することは,ひやり・はっとを防止するためにも意義があると思われる。なぜならば,ひやり・はっとすることによって新たな事故,一例えばアームの接近に驚き,バランスを崩し転倒するなど,が誘発される可能性があるからである。実際,旋回したアームに接触しそうになったり,後部に挟まれそうになり,ひやり・はっとした事例が報告されている³⁾。

このような警告を行うためには,バックホーや作業員の位置の計測や作業員の個人属性の同定を行うシステムが必要であるが,バックホーの位置に関してはGPS(Global Positioning System)を用いた計測システム,作業員の位置および個人属性に関しては,ヘルメットにLEDを装着し,その発光を画像処理することにより,位置と個人属性を同時に計測するシステム⁴⁾を開発中であり,心理的危険領域に基づいた警告を作業員に対して行うことは,十分実現可能である。

したがって,本研究では心理的危険領域を考慮した警告を行うために,心理的危険領域に影響を与える要因を抽出するとともに,心理的危険領域を設定することを目的としている。本報では,その第一報として,そのための方法論について述べる。

2. 実験計画

心理的危険領域を計測するにあたり,バックホーの接近に対して「危険である」と感じ始める距離があり,その距離よりもバックホーが近づくと「危険である」と感じ,遠ざかると「危険である」と感じないと仮定した。すなわち,バックホーを様々な位置に提示し,その際の「危険である」と感じるか,あるいは感じないかを計測することにより,心理的危険領域が計測できると考えた。加えて,心

* 清水建設技術研究所 研究員・Ph. D.

** 財団法人生活工学研究センター 主席研究員・工博

*** 産業技術総合研究所ヒューマンストレスシグナル研究センター 主任研究員・工博

Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation, Ph. D.
Chief Researcher, Research Institute of Human Engineering for Quality Life, Dr. Eng.
Senior Research Scientist, HSSRC, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Ph. D.

理的危険領域は、年齢によって異なると考えた。これは、危険度の評価に関して年齢の影響が見られるためである⁵⁾。

また、実際のバックホーを用いて計測した場合、被験者に危険が伴う可能性があるとして判断し、仮想空間提示装置を用いて実験することとした。バックホーを見る方向に関しては、前述したように、旋回したアームに接触しそうになったり、後部に挟まれそうになり、ひやり・はっとした事例が報告されていることから、バックホーを正面から見る場合と後方から見る場合とを取り上げた。

5名の被験者を用いて予備実験を行ったところ、バックホーを正面から見た場合、および後方から見た場合の危険と始める距離の最大値は、それぞれ1.5m、1.3mとなった。したがって、本実験では1mの余裕を持たせ、正面および後方とも、距離の水準の最大値を2.5mとした。

できるだけ少ない被験者数で距離および年齢の影響を評価したいと考え、距離の要因については被験者内計画とした。

3. 実験方法

3.1 実験装置

実験は、三次元音響システムを備えた仮想空間提示装置 CAVETM (注1) を用いて行った。図1に CAVETM の外観を示す。本装置は、一辺が3mの立方体であり、その前面、左右面、および床面にステレオ画像が投影される。被験者は、液晶シャッター付きの眼鏡を装着することにより立体感を得る。さらに、三次元音響システムにより、臨場感のある仮想空間を提示することができる。

図1 CAVETM の外観

3.2 実験手順

実験を開始する前に、被験者の視力および色覚を検査した。視力は、TOMEY 社製 VDT 視力計 NS-050 により測定し、色覚は標準色覚検査表 (第3部 検診用) により検査した。片眼の視力が0.3以下、あるいは色覚に異常のある者は、被験者から除外した。

今回の実験では、建設現場で働いた経験がない者を被験者としたため、被験者間でバックホーに関する知識にばらつきが大きいことが予想された。そこで、バックホーの基本的な知識に関するばらつきをできるだけ少なくするため、バックホーが建設現場で稼働している状況を撮影したビデオを見せるとともに、実験者がバックホーの使われ方を説明した。

次に実験の行い方に関して教示をし、その後練習を行った。練習終了後、実験を開始した。実験では、バックホーを正面および後方

から見た場合を想定したが、正面および後方の実験順序は被験者間でカウンターバランスを取った。すなわち、被験者の半数はバックホーの正面を最初に、次に後方を評価し、残りの被験者はバックホーの後方を最初に評価した。実験の詳細に関しては次項で述べる。

(1) 実験1 バックホーを正面から見た時の心理的危険領域

実験1では、バックホーを正面から見た時の心理的危険領域を計測した。バックホーは正面のスクリーンに投影した。図2に実験に使用した刺激を示す。バックホーのアームの回転範囲および方向は、3時～6時～9時 (時計回り)、または9時～6時～3時 (反時計回り) で、5秒間かけて回転させた。被験者を正面のスクリーンに正対させ、図3に示すようにバケットの先端と被験者との最短距離で0.2～2.5m (0.1m間隔) の位置にバックホーを提示した。

図2 実験に用いた刺激

図3 刺激の提示位置

1回の試行数は48試行 (=24 (距離の水準数) ×2 (アームの回転方向)) で、これらをランダムに提示した。実験では、画像に加えてバックホーのアームが回転する時の音も提示した。評価を安定させるため、同じ試行を3回繰り返した。実験を開始する前に「バックホーが様々な位置に提示され、アームが回転します。危険であると感じた場合、申告ボタンを押して下さい。安全であると感じた場合、何もしないで次の刺激をお待ち下さい。」と教示し、十分に練習を行った。被験者の疲労等を考慮し、1回の実験時間を15分以内とした。

(2) 実験2 バックホーを後方から見た時の心理的危険領域

実験2ではバックホーを後方から見た時の心理的危険領域を計測した。

実験条件および手続きは実験1とほぼ同じであるが、アームは被験者のほうへ回転させず、9時～12時～3時 (時計回り) および3時～12時～9時 (反時計回り) を5秒間かけて回転させた。刺激はバックホーの最後部と被験者との距離で0.2～2.5m (0.1m間隔) の

位置に提示した。評価を安定させるため、同じ試行を3回繰り返した。教示も実験1と同様である。

3.3 被験者

被験者は、建設現場で働いた経験のない、20歳～50歳代の男性20名（各年代5名ずつ）を用いた。なお、視力を測定した結果、すべての被験者が片眼0.3以上であり、色覚は全員正常であった。

4. 解析手順

4.1 データの加工

実験で得られているデータの形式は、2値データ（危険であると感じる：1，危険であると感じない：0）である。それぞれの実験で、3回実験を繰り返すと同時に、距離の各水準で時計回りと反時計回りとを行ったので、距離の1つの水準で6つのデータが得られた。解析においては、この6つのデータのうち、1回でも「危険である」と判断された場合、その距離は「危険である」とみなした。これを被験者および距離の各水準で行った。このようにして求められたデータを従属変数、バックホーと被験者との距離、および被験者の年齢を独立変数として、ロジスティック回帰分析を行った。

ロジスティック回帰分析の特徴として、(1)従属変数が名義尺度であるときに用いられる、(2)従属変数の起こる確率を予測できる、(3)独立変数の有意性を検定できる、(4)独立変数の影響をオッズ比として評価できる、などがあげられる。本研究でロジスティック回帰分析を用いた理由は、(1)従属変数が2値の名義尺度である、(2)独立変数を用いて、従属変数（危険と感じるか、感じないか）を予測する必要がある、(3)独立変数である距離や年齢の有意性を検定したい、(4)独立変数の影響を評価したい、からである。

4.2 距離を独立変数としたロジスティック回帰分析

まず、距離の要因を独立変数として取り上げ、独立変数の数値に対応する対数オッズ^{注2)}を算出し、両者の関係をグラフ化した。これにより、ロジスティック回帰分析を適用する際の独立変数の範囲（どの水準からどの水準までを用いて回帰するか）および次数（一次式、二次式など）を決定した。なお、対数オッズを算出するにあたり、従属変数のいずれかの水準に対する申告件数が0件の場合、対数オッズは計算できない。その際には、便宜上、双方の申告件数に0.5を加えて対数オッズを算出した。

次に、ロジスティック回帰分析を行い、回帰係数の有意性を検定した。なお、得られた回帰係数に対して検定を行うためには、各データが統計的に独立でなければならない。すなわち、すべての要因が被験者間要因でなければならない。しかしながら、本実験での距離の要因に関しては、1人の被験者がすべての水準を評価しているので、被験者内要因である。したがって、水準間の相関を考慮したロジスティック回帰分析を行った。解析には、SASシステムのGENMODプロシジャを用いた。

4.3 ロジスティック回帰分析による多変量解析

4.2において距離の要因が5%で有意となった場合、年齢の要因を独立変数として加えて、ロジスティック回帰分析による多変量解

析を行った。年齢は年代（20、30、40、50歳代）に変換するとともに、連続変数として扱った。モデルの妥当性は、回帰係数に対する有意性およびROC曲線^{注3)}に基づく曲線下面積により評価した。

5. 結果

5.1 実験1 バックホーを正面から見た時の心理的危険領域

図4に対数オッズと距離との関係を示す。同図より0.8m以内では対数オッズは一定で、0.8mより遠くなるに従って、対数オッズは、ほぼ直線的に減少する傾向があることがわかる。すなわち、距離が対数オッズに影響を与えていると考えられる。0.8m以内で対数オッズが一定なのは、この範囲では被験者全員が「危険である」と判断したことにより、申告割合が100%になったためである。これは、0.8m以内の申告割合は予測可能であり、分析に必要な範囲は0.8m以上の距離であることを意味する。したがって、0.8m以上を分析の対象とした。図4より0.8m以上を対象にした場合、対数オッズと距離との間に直線関係が仮定できると判断した。

図4 対数オッズと距離との関係

距離を独立変数としてロジスティック回帰分析を行った結果、以下の回帰式が得られた。距離に対する回帰係数は1%で有意であった ($|Z|=7.32, p<0.01$)。

$$p(x) = 1 / \{1 + \exp(2.3x - 4.65)\}$$

ここに、 $p(x)$ ：距離 x のとき「危険である」と感じる確率

x ：距離 (m)

図5に対数オッズと年齢との関係を示す。同図を見ると、年齢が上がるに従って、対数オッズは減少する傾向が見られる。すなわち、年齢が増加するにつれ、危険であると感じる割合が減少すると言える。よって、年齢も対数オッズに影響を与える要因であると思われる。また、同図より、対数オッズと年齢との間に直線関係が仮定できると判断した。したがって、年齢を独立変数として追加し、ロジスティック回帰分析を行った。

その結果、距離および年齢に対する回帰係数は、ともに1%で有意となった。さらに距離と年齢との交互作用を加えた結果、距離および年齢の主効果、および両者の交互作用がすべて5%で有意となった。

図5 対数オッズと年齢との関係

次に、距離だけを独立変数としたモデル（モデルⅠ）、距離と年齢を独立変数としたモデル（モデルⅡ）、これらの主効果と交互作用を独立変数としたモデル（モデルⅢ）の当てはまりのよさをROC曲線を用いて検討した。図6に、これらのROC曲線を示す。モデルⅠ、モデルⅡ、およびモデルⅢの曲線下面積は、それぞれ0.793, 0.838, 0.841であった。よって、モデルⅢの曲線下面積が最も大きい、モデルⅡと比べると、その増分はわずかである。図6を見ても、モデルⅡとモデルⅢとの違いは、ほとんどない。一方で、モデルⅡの曲線下面積は、モデルⅠよりも0.045増加しており、図6からもモデルⅠよりもモデルⅡのほうが優れていることがわかる。加えて、曲線下面積が0.8以上あれば、すぐれた（excellent）判別がなされていると考えることができる⁶⁾。したがって、距離と年齢の主効果だけを独立変数としたモデルⅡを採用した。

図6 ROC 曲線

モデルⅡの回帰式を以下に示す。

$$p(x_1, x_2) = 1 / \{1 + \exp(2.96x_1 + 0.09x_2 - 8.91)\}$$

ここに、 $p(x_1, x_2)$: 距離 x_1 , 年齢 x_2 のとき「危険である」と感じる確率

x_1 : 距離 (m)

x_2 : 年齢 (20, 30, 40, 50 歳代)

回帰式を見ると、距離に対する回帰係数が2.96であることから、オッズ比は $0.05 (= e^{-2.96})$ となり、1 m 遠くなるとオッズ比は0.05倍

になる。年齢に関しては、年代が1つ上がると、0.91倍のオッズ比となる。すなわち、距離が一定の時、20歳代から30歳代になると、「危険であると感じる」オッズ比は0.91倍になる。すなわち、年齢が高くなると、危険であると感じる割合が少なくなる傾向がある。

次に回帰式より直接出力されるのは、「危険である」と感じる確率であるので、この確率を用いて、「危険であると感じる」のか「危険であると感じない」のかを予測する方法を検討した。予測では、確率がある値以上であれば「危険であると感じる」、ある値以下であれば、「危険であると感じない」とする。したがって、「ある値」（分割点という）を設定する必要がある。本研究では、「危険であると感じるか、否か」を予測するのであるから、予測の精度である正判別率よりも、「危険であると感じる」ことを正確に予測することがより重要である。本研究では、心理的危険領域に基づいて警告を行うことにより、作業員の安全を確保するためには、0.9以上の感度が必要であると考えた。

0.9以上の感度を達成する分割点を設定するために、各分割点における正判別率、感度、特異度を算出した。図7に結果を示す。同図より、分割点を小さくすることにより、感度を0.9以上にすることは可能であるが、特異度および正判別率が減少することがわかる。そこで、分割点を0.35とすると、感度が0.9、特異度が0.49となり、ある程度の特異度を確保しつつ、0.9以上の感度を達成できることがわかった。このときの正判別率は0.74であった。正判別率の最大値は0.77であったので、分割点を0.35としても正判別率を大きく減少させることなく、感度0.9以上を確保できる。したがって、回帰式より算出された確率が0.35以上であれば「危険であると感じる」、0.35未満であれば「危険であると感じない」とすることにより、「危険であると感じる」状態の90%が予測できると考えられる。この分割点0.35を用いて、50歳代の心理的危険領域を求めると、1.7m以内となる。

図7 各分割点に対する正判別率、感度、特異度

5.2 実験2 バックホーを後方から見た時の心理的危険領域

実験1と同様に距離および年齢が、対数オッズに与える影響を検討した。まず、図8に距離と対数オッズとの関係を示す。同図より

0.4mより遠くなるに従って、被験者の割合は減少する傾向が見られることがわかる。0.4m以内では、被験者全員が「危険である」と判断しているため、対数オッズが一定となっている。実験1と同様に、この範囲は予測する必要がないので、0.4m以上を分析の対象とした。

距離 (x) を独立変数としてロジスティック回帰分析を行った結果、距離に対する回帰係数は1%で有意であった ($|Z|=5.93, p<0.01$)。

図9に対数オッズと年齢との関係を示す。同図を見ると、年齢が上がるに従って、対数オッズは減少する傾向が見られる。すなわち、年齢が増加するにつれ、危険であると感じる割合が減少すると言える。したがって、年齢は従属変数に影響を与えていると推察される。また、同図より、対数オッズと年齢との間に直線関係が仮定できると判断した。

図8 対数オッズと距離との関係

図9 対数オッズと年齢との関係

以上のことから、距離と年齢を独立変数としてロジスティック回帰分析を行った。その結果、距離に対する回帰係数は1%で、年齢に対する回帰係数は5%で有意となった。さらに、距離と年齢との交互作用を加えた結果、距離および年齢の主効果および両者の交互作用がすべて5%で有意となった。

次に、実験1の解析と同様に、距離だけを独立変数としたモデル(モデルI)、距離と年齢を独立変数としたモデル(モデルII)、これらの主効果と交互作用を独立変数としたモデル(モデルIII)の当てはまりのよさをROC曲線を用いて検討した。モデルI、モデル

II、およびモデルIIIの曲線下面積は、それぞれ0.832, 0.843, 0.844であった。これらの数値より、モデルIIおよびモデルIIIの曲線下面積は、モデルIに比べて顕著な増加は見られないことがわかる。これは、距離を独立変数としたモデルIが十分当てはまっていることを示唆している。しかしながら、以下に示す理由により、年齢は重要な要因であると判断し、距離と年齢を独立変数としたモデルIIを採用することとした。

- ①図9より年齢と対数オッズの間には、ほぼ単調減少の傾向が見られること
- ②モデルIIにおいて、年齢に対する回帰係数が5%で有意であること
- ③実験1において年齢が有意な要因として取り上げられたこと

モデルIIの回帰式を以下に示す。

$$p(x_1, x_2) = 1 / \{1 + \exp(2.64x_1 + 0.06x_2 - 5.76)\}$$

ここに、 $p(x_1, x_2)$: 距離 x_1 、年齢 x_2 のとき「危険であると感じる」確率

x_1 : 距離 (m)

x_2 : 年齢 (20, 30, 40, 50 歳代)

実験1と同様に、得られた回帰式より「危険であると感じる」あるいは「危険であると感じない」を予測するための分割点を設定した。図10に各分割点における正判別率、感度、特異度を示す。同図より、分割点を0.2とすると、感度0.9、特異度0.5となり、ある程度の特異度を確保しつつ、0.9以上の感度を達成できることがわかった。この分割点0.2を用いて50歳代の心理的危険領域を求めると、1.6m以内となった。

図10 各分割点に対する正判別率、感度、特異度

6. 考察

解析では、被験者内要因を独立変数としたロジスティック回帰分析を行い、被験者内要因の水準間の相関を考慮して回帰係数および標準誤差を推定するとともに、回帰係数の有意性を検定した。従来

のロジスティック回帰分析を用いている従来の研究では、被験者間要因を独立変数として分析しているものがほとんどであり、被験者内要因を分析している研究は少ない。被験者内要因にもかかわらず、これを被験者間要因として扱って、ロジスティック回帰分析を行うと、各回帰係数に対する標準誤差が過小評価され、Wald の χ^2 値や Z 値といった統計量が過大評価される傾向がある⁷⁾。すなわち、実際の有意水準が、設定した有意水準よりも高くなる可能性がある。本研究では、被験者内要因を独立変数としても、GENMOD プロシジャを用いることにより、ロジスティック回帰分析を行うことができることを示した。

バックホーの正面と後方に関する回帰式よりオッズ比を計算すると、距離に対するオッズ比は、それぞれ 0.05, 0.07, 年齢に対するオッズ比は 0.91, 0.94 であり、距離および年齢とも、正面と後方の間のオッズ比に大きな違いは見られない。このことは、距離および年齢の影響は、バックホーの正面や後方に関わらず一定であることを示唆している。その一方で、切片は 8.91, 5.76 であり、正面に対する切片の方が大きかった。このことから、距離および年齢が一定であれば、後方よりも正面の方が危険であると感じる傾向があると考えられる。

心理的危険領域においては、バックホーの正面および後方とも年齢の影響が見られた。年齢が高くなるほど、危険であると感じる割合が少なくなる傾向があった。本実験では、各年齢で 5 名の被験者を用いていたが、この傾向が年齢によるものなのか、他の要因によるものなのかは、被験者数を増やして詳細を検討する必要がある。リスク評価に影響を及ぼすと考えられる個人特性には、刺激欲求傾向⁸⁾、リスク回避-志向特性⁹⁾、不安特性などがあり、これらの特性と年齢が交絡した可能性がある。例えば、STAI¹⁰⁾ (State-Trait Anxiety Inventory) により評価された不安特性は年齢が高くなるほど、特性不安得点は低くなるという報告がある¹¹⁾。一方で、「若年者のほうが高齢者よりもリスクを低く見積もりやすい」という結果も報告されている⁵⁾。

7. 結言

本研究では、心理的危険領域を考慮した警告を行うために、心理的危険領域に影響を与える要因を抽出するとともに、心理的危険領域を予測することを目的として、三次元音響システムを備えた仮想空間提示装置 CAVETM を用いて実験を行った。

実験の結果、要因として取り上げたバックホーとの距離および年齢と、心理的危険領域との関係が確認できた。解析においては、被験者内要因を独立変数の 1 つとしたロジスティック回帰分析を行い、回帰式を求めるとともに、回帰式より心理的危険領域を予測する分割点を設定した。

今後の課題として、本実験では建設現場で就労した経験のない者を被験者としたが、建設現場にて適用するために、実際の建設作業員を被験者として実験を行い、建設作業員の心理的危険領域を求める予定である。また、心理的危険領域に影響を与えると考えられる他の要因、例えばバックホーの大きさやアームの回転速度など、が心理的危険領域に与える影響も評価する必要がある。

さらに、本研究では、CAVETM を用いて心理的危険領域を求めた

が、VR 上で知覚される距離と実空間で知覚される距離には違いがあるという報告がある¹²⁾。したがって、CAVETM 上で知覚される奥行き感と実空間で知覚される奥行き感との違いを評価し、CAVETM で求められた領域を実空間へ変換する手法を構築する必要がある。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、産業技術総合研究所ヒューマンストレスシグナル研究センターの松岡克典 副センター長には、多大な協力を頂きました。ここに、謝意を表します。

なお、本研究は通商産業省・工業技術院（現・経済産業省）の産業技術基盤研究開発プロジェクト「人間行動適型型生活環境創出システム技術」として、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受けて、社団法人人間生活工学研究センター（HQL）が実施したものです。

注 1) CAVETM とは、イリノイ大学で開発されたバーチャルリアリティシステムで、スクリーンを 3 枚または 4 枚（本研究では 4 枚のスクリーンを使用）に 1 つの連続した映像を投影して、仮想空間を提示するシステムをいう。

注 2) ある独立変数 x_i に対して、2 値の名義尺度である従属変数が 1 である確率を p_i とすると、0 である確率は $(1-p_i)$ となる。両者の比、すなわち $p_i / (1-p_i)$ をオッズといい、その自然対数を取ったものと対数オッズという。

注 3) ROC 曲線とは、Receiver Operating Characteristic curve の略で、縦軸に感度、横軸に $(1 - \text{特異度})$ をプロットした曲線をいい、この曲線によって囲まれる下方の面積（曲線下面積という）は、モデルの適合性を評価する指標の 1 つとして使われる。感度とは実際のイベントがあった時に、それを「イベントがある」と正しく予測できる割合をいい、特異度とは、実際のイベントがなかった時に、それを「イベントがない」と正しく予測できる割合をいう。

参考文献

- 1) 建設業労働災害防止協会：平成 12 年版 建設業安全衛生年鑑，建設業労働災害防止協会，2000
- 2) 中央労働災害防止協会：安全衛生年鑑 平成 12 年度版，中央労働災害防止協会，2000
- 3) 大規模建設工事労働災害防止協議会：建設現場における工事別ヒヤリハット 286 例，労働基準調査会，1999
- 4) 竹内啓五，羽根義：建設作業行動に基づく安全施工管理システムの研究開発（その 4）建設現場における作業員モニタリング手法の開発，日本建築学会学術講演梗概集，pp.795~796, 2001
- 5) 芳賀繁，赤塚肇，楠神健，今野祥子：質問紙調査によるリスクテイキング行動の個人差と要因の分析，鉄道総研報告，Vol.8, No.12, pp.19~24, 1994
- 6) Hosmer, D.W. and Lemeshow, S. : Applied Logistic Regression, Wiley, 2000
- 7) Allison, P.D. : Logistic Regression using the SAS System, SAS Institute Inc., 2000
- 8) 上市秀雄，楠見孝：パーソナリティ・認知・状況要因がリスクテイキン

- グ行動に及ぼす効果, 心理学研究, Vol.69, No.2, pp.81~88, 1998
- 9) 楠見孝: 不確実事象の認知と決定における個人差, 心理学評論, Vol.37, No.3, pp.337~356, 1994
- 10) Spielberger, C.D.: Theory and research on anxiety In C.D.Spielberger (ed.) Anxiety and behavior Academic Press, 1966
- 11) Nakazato, K and Shimonaka, Y.: The Japanese State-Trait Anxiety Inventory: Age and sex differences, Perceptual and Motor Skills, Vol.69, pp.611-617, 1989
- 12) 佐藤誠 (編): 人工現実感の設計, 培風館, 2000

(2002年2月4日原稿受理, 2002年6月5日採用決定)