

により、管理者や設計者などが気づかないような安全に関わる情報を幅広く収集することができま

(4) コミュニケーションの円滑化

集団討議などにより、参加者のコミュニケーションが促進され、それが現場の雰囲気や風通しのよさにもつながります。

(5) 相互注意の促進

安全に関する行動チェックは、しばしば上下関係などの要因により阻害されます。しかし、集団内のコミュニケーションがよくなれば、お互いにチェックしあえる雰囲気が促進されます。

▼ 安全活動の問題点

このような安全活動を実施するにあたっては、以下のような問題点も指摘されます。

(1) 現場作業員の注意力への過度の依存

実際作業を実施するのは人間であるので、人間個人の安全意識や行動の安全傾向を高めることは必要不可欠です。とはいえ、人間の注意力には限界があり、作業者個人の意識や注意に過度に依存することは、きわめて問題があると言わざるをえません。

(2) 活動のマンネリ化・形骸化・自動化

活動を導入した際は熱心に進められますが、時間経過とともに下火になり、活動がマンネリ化・形骸化することがあります。これは活動自体のほか、活動の内容にも当てはまります。たとえば、KY活動において、活動シートへの回答が画一化したり、指差呼称において指差の動作自体が自動化してしまうなどです。

(3) 正の強化因子の欠如

安全活動は生産に関わる活動と異なり、実施したからといって、目に見えて成果があるものではありません。逆に、事故などが生じないことが望まれる結果であり、学習のメカニズムに従うと正の強化因子がない状態で行動を持続しなければならず、動機づけの低下は避けることができません。

(4) 目標達成を偏重する弊害

活動を活性化するために、たとえば、無事故期間を設定し、達成すれば表彰するなど正の強化因子の設定が図られることがあります。しかし、ともしれば目標を達成するために小事故を隠すという、本来転倒のような弊害が出ることもあります。

▼ 産業現場の安全活動に求められること

図3-8は、建設業で実際に使用されている危険予知(KY)シートです(建設業労働災害防止協会, 1995)。このシートの標準的解答は、「安全帯を使用していないので墜落する」であり、その対策は「安全帯を必ず使用する」です。このような危険源の発見とその対処法を学ぶことは、特に新人作業者への教育には必要不可欠であり、今後も続けられるべき活動です。

ただしこのような危険予知活動を同じ作業者に繰り返すうち、高所であれば「安全帯を使用する」、「物を落とさない」など、危険の所在とその対処法がワ

ンパターナ化され、それが活動のマンネリ化にもつながると考えられます。すなわち、「～がある」、「～しない」など、現象や行動の結果のみを問題にすることが、活動内容の画一化につながるわけですが、そこで、事故の再発防止の観点からすると、そのような結果としての不安全行動や不安全状態がなせ生じたのか、そこに至るまでのプロセスが重要になります。システムや個人の目標の達成までに関わる人間側の要因をヒューマンファクターと言います。河野(2004)は、ヒューマンファクターを「人間や機械などで構成されるシステムが安全かつ効率よく目的を達成するために考慮しなければならない人間側の要因のこと」と定義しています。また、臼井(1999)は、様々な種類のあるヒューマンファクターを、個人的要因とそれを取り巻く社会的要因およびそれらと

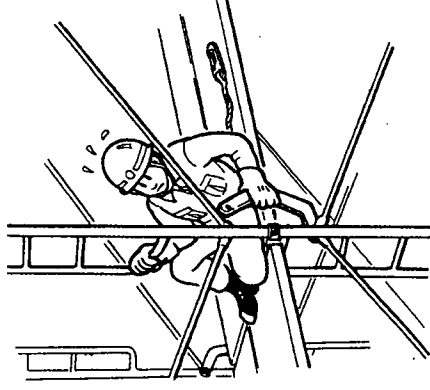


図3-8 建設業のKYシートの一例
(建設業労働災害防止協会, 1995, p. 24)

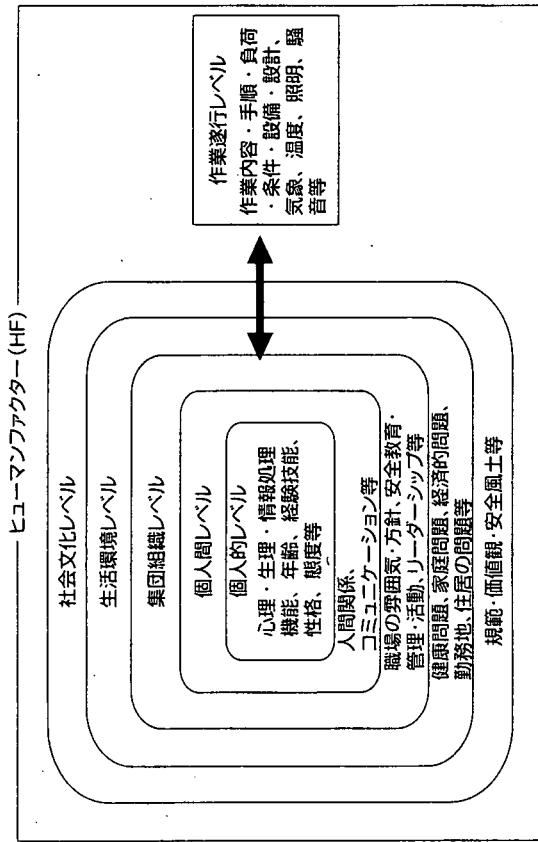


図 3-9 ヒューマンファクターの種類とその関係

外部作業環境との相互作用として捉え、図 3-9 のように表しています。事故の再発を防ぐには、違反やヒューマンエラーといった不安全行動がなぜ生じたのか、その背景にあるヒューマンファクターを広く深く追究し、そこで明らかになったヒューマンファクターに焦点を当てた具体的対策を講じることで、きわめて重要となります。

▼ 違反の背景にある要因調査

白井 (1998, 1999) は、電力会社の配電作業員 (街中の電柱作業など、一般消費者への電力供給に係る作業を主な仕事とします) を対象として、本来必要と決められている作業を省略すること (すなわち違反) により発生したヒヤリ・ハット体験を 204 事例収集し、その内容を分析しています。ここでは作業員がなぜ必要とされる作業を省略したのか、特にその心理的理由について KJ 法 (類似した内容をまとめ、小グループから徐々に大グループにまとめあげるといった手法: 川喜田, 1967) を用いて分析した結果について述べます。

図 3-10 は、作業省略によるヒヤリ・ハットの発生要因を心理的観点から分類・分析した結果を示しています。作業省略の背景にある心理的要因としては、主として「思い込み」によるもの (37%)、「急ぎ」によるもの (25%)、「面倒」によるもの (17%) の三つが主要な要因であり、それらが全体の 79% を占めています。そこで、これらの諸要因がなぜ生じたのか、さらにその背景にあるヒューマンファクターを明らかにする調査を引き続き行いました。調査は、「急ぎ」、「面倒」、「思い込み」という三つの心的状況がどのような条件下で発生するか、その背景を明確化するため、同じく配電作業員を対象に実施しました。具体的には、小集団活動である QC サークル活動の場を借り、サークルごとに予め設定されたヒューマンファクターのテーマ (急ぎ、面倒、思い込みのいずれか) について、その心的状況が発生する背景条件、および、それにより生じる事故、ヒヤリ・ハットの内容、考えうる防止策などについて集団討議し、その結果を箇条書きにしてまとめよう求めました。テーマごとに記述された背景条件に関する回答は 1,000 例前後とさきわめて多数でしたが、その記述内容を KJ 法を用いて分類し、共通する要因の抽出を試みました。表 3-2~3-4 は、背景条件の分類項目とその具体例および比率を示しています。

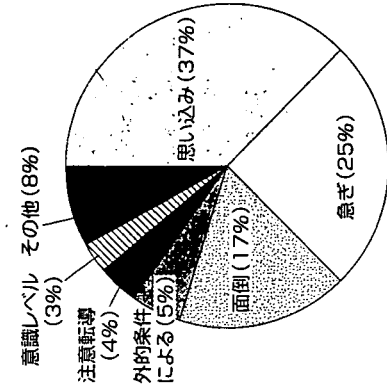


図 3-10 作業省略によるヒヤリ・ハットの心理的要因

表 3-2 より、急ぎの背景条件としては、「1. 作業関連」要因や「2. 基本的時間圧力」要因に関する記述が多く、そもそも作業を遂行すること自体に、急ぎ要因が付随していることが示されました。ただし、それ以外に、環境側に人間を急いだ気持ちにさせる「3. 外部環境」要因、なんらかのトラブルから無駄な時間が生じ、それをとり戻そうとする「4. 時間ロス」要因、人間関係など他者との関わりがなかに潜む要因 (5. 同僚・上司関係)、「6. 顧客関係」、「8. 他者競争」などが抽出され、人間を急いだ心理にさせる共通の背景条件がいくつ

表 3-2 急ぎの背景条件の分類結果 (N=1,225)

分類項目	具体例	比率 (%)
1. 作業関連	作業が立て込んでいた	26.3
2. 基本的時間圧力	復旧時間に間に合わせる	15.0
3. 外部環境	天候が悪化した	9.9
4. 時間ロス	作業に失敗した	9.5
5. 同僚・上司関係	上司にせかされた	8.8
6. 顧客関係	客にせかされた	6.5
7. 体調	生理現象が生じた	4.7
8. 他者競争	同僚に負けたくなかった	3.8
9. その他		5.0
10. 分類不能		10.5

表 3-3 面倒の背景条件の分類結果 (N=1,004)

分類項目	具体例	比率 (%)
1. 安全手段比重	本作業が簡単な内容	25.3
2. 負担感生起対象	ゴム手袋の装着が面倒	16.4
3. 作業経験	作業に慣れていない	9.4
4. 所要時間	作業を急ぐ必要	8.8
5. 本作業関連	本作業が複雑であった	7.6
6. 安全手段関連	防災面が煩わしかった	6.9
7. 距離移動	物を取りに戻る必要	6.4
8. 作業物非所持	必要物を忘れた	5.8
9. 疲労	疲れていた	3.2
10. 単独作業	誰も見ていなかった	1.7
11. 他者に依頼	人に頼むのが負担	1.1
12. その他		7.6

か浮かび上がりました。

表 3-3 より、面倒感が発生する主要な背景条件としては、「1. 安全手段比重」要因があげられます。これは主に危険回避にかかる労力（コスト）が、本作業にかかる労力と比べて相対的に高いときに生じる面倒感を意味します。たとえば、所要時間 1 時間の作業に対して 10 分程度かかる事前の安全作業を、所要時間 5 分程度の臨時作業に対しても同様に手がけることは、作業員にとって相

表 3-4 思い込みの背景条件の分類結果 (N=940)

分類項目	具体例	比率 (%)
1. 作業経験	これまで問題がなかった	23.4
2. 論理性	新しい製品は良品だ	9.4
3. 反復性	同じ事を何度も繰返した	5.4
4. 回路、線路関係	電線が輻輳していた	4.5
5. 近接性（類似性）	よく似た電柱だった	4.0
6. コミュニケーション	連絡が正しく伝わらない	3.7
7. 設備、工具関係	機器が故障していた	3.3
8. 経験不足	危険を知らなかった	2.4
9. その他		10.5
10. 背景要因不明		17.3
11. 分類不能		16.0

当の心理的負担になります。また「2. 負担感生起対象」要因とは、高電圧作業用ゴム手袋の装着など、安全確保のための行動そのものが負担を感じさせ、省略を生起させる要因になることを意味します。さらに、「7. 距離移動」要因、「8. 作業物非所持」要因のように、何か作業に必要な物が手元になく、それを取りに戻るにはある程度距離を移動しなければならぬような場合にも面倒感を生じ、必要な作業が省略されるという事感が結果から読みとれます。

表 3-4 より、思い込みの背景条件として最も多かった項目として、「1. 作業経験」があげられます。思い込みによる事故やヒヤリ・ハットは、多くの場合、過去に同じような状況で省略を何度も経験し、今回も大丈夫だと思っていたところ、なんらかの要因が加わりトラブルが生じてしまうものです。豊富な作業経験は円滑な作業遂行には必要不可欠ですが、反面誤った思い込みを引き起こす主要な要因にもなりえます。

以上、事故の主要な要因となる作業の省略（違反）の背景として、「急ぎ」、「面倒」、「思い込み」という人間の心的状況が大きく関わっており、さらにその背景にはそれを引き起こす様々な作業環境条件が存在していることが見出されました。このように違反は、ある特有の環境条件とそれに対応する人間の危険な心理状況とのインタラクション（相互作用）により生起しており、その関



図 3-11 危険予知シート (1)

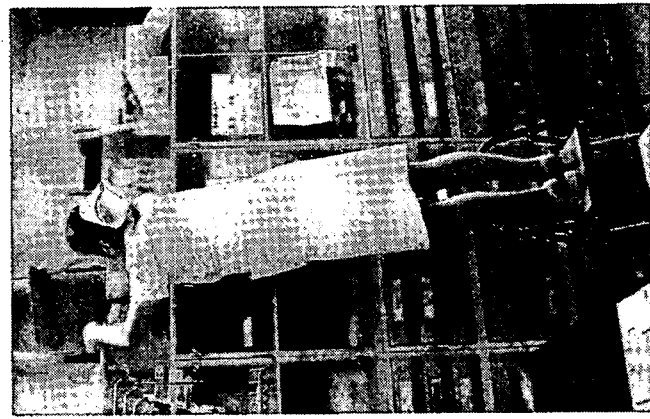


図 3-12 危険予知シート (2)

係性を明確にしたうえで教育なり対策を講じないと、決して違反行動を抑制する有効な手だてとはならないでしょう。

▼ 効果的な安全活動実践例の紹介

ここに紹介する活動は、従来の危険予知活動にヒューマンファクターの要素を加味した新しい訓練です。ここでは、危険源を目に見える外部事象のみに求めるのではなく、問題となる事象の背景にある心理的要因、さらにはその心理的要因をもたらし発生条件までも考えることに特徴があります。

図 3-11 で示した危険予知シート (1) を例にして考えてみましょう (臼井、2006)。これは「キャスター付椅子に乗って、必要物を取る」という危険予知訓練用のシートです。このシート場面から危険源を考えるわけですが、その標準的な予知内容は次のようになります。

- ① バランスを崩して転落する。
- ② 荷物を落として破損する。

その対応策としては図 3-12 のように「踏み台を使用して作業する」が標準的な解答であり、通常の危険予知訓練の手続きでは最後に全員が踏み台を指差し「踏み台を使用する、ヨシッ」と唱和するわけです。

しかし、ここで問題とすべきことは、キャスター付椅子を使用するという「結果としての不安全行動」ではなく、なぜそのような行動をとってしまうのか、その理由を考えることです。言い換えれば、10 回中 9 回は正しい行動 (ここでは踏み台使用) をとるにせよ、1 回でも危ない行動をとるときはないか (またはそうしなくなることはないか)、それがあるとするればどのようなときか、を考えることです。そこには、前述した「急ぎ」、「面倒」、「思い込み」の心理が関わることも多いと明らかにされているので、それら心理的要因を手がかりにして、具体的な発生条件を考えることがポイントとなります。

このシートでは、「急ぎ」の心理が起きている発生条件として、たとえば、「交替の引継ぎ時間が迫っている」、「先輩からせかされた」、「患者の処置に必要なものを忘れた」などがあるでしょう。「面倒」の心理では、「踏み台が近くになり」、「10 秒で終わる作業だ」などが、「思い込み」の心理では、「これまで何回しても大丈夫だった」、「自分は身軽だ」などが、その具体的な条件としてあげられるでしょう。

したがって、そのようなときが言わば心の落とし穴であり、そのような条件下でこそ意識的に安全策をとるといいう、危険に関する新たな認識を高めることが重要です。もちろんそのような「個人的レベル」の対策だけでは不十分です。具体的な発生条件への対策、たとえば、機器類の改良や作業手順の見直しなどの「作業遂行レベル」の対策や、安全管理・教育の見直しなどの「集団・組織レベル」の対策など、幅広い視点から対策を講じることが重要であることは言うまでもありません。

▼ 今後の産業安全に求められること

労働現場での安全を確保するためには、作業者個人の不安全行動のみを問題

とするのではなく、その背景にあるヒューマンファクターを深く分析し、明らかにすること、またそれに対応して、個人レベル、作業レベル、集団レベルなど、幅広い視点から組織的に対応策を講じることが重要となります。本章の最後で新たな訓練法を紹介しましたが、今後、このようなヒューマンファクターレベルに踏み込んだ安全活動や安全対策が、より一層必要となるでしょう。

安全に関する望ましい事態とは、事故やトラブルが起これないことです。したがって、生産性に関わる活動と異なり、そこには正の強化因子がないため、学習のメカニズムに鑑みても、その安全活動を維持、活性化し続けることは至難の業かもしれません。ただしそれは評価の対象を結果に求めるからです。至全に重要なことは、何も起こさないうために「何をしたか」、「どのように入夫したか」というプロセスにあり、そのプロセスを組織が正当に評価するシステムを構築することが、今後の産業安全には求められるでしょう。

引用文献

- 赤塚 肇・芳賀 繁・楠神 健・井上貴文 (1998). 質問紙法による不安全行動の1人差の分析 産業・組織心理学研究, 11(1), 71-82.
- 中央労働災害防止協会, (2005). 安全衛生年鑑 (平成17年版).
- 江川義之・臼井伸之介 (2001). 高所作業における生理・心理的負担要因. 産業安全研究所特別研究報告, NIIS-SRR-No. 22, 15-24.
- 芳賀 繁 (1999). 不安全行動のメカニズム 信学技報, SSS 99-12 (1999-7) 29-34.
- 芳賀 繁 (2000). 失敗のメカニズム 日本出版サービス.
- 芳賀 繁・赤塚 肇・楠神 健・金野祥子 (1994). 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, 8(12), 19-24.
- 井上敏一・高見 勲 (1988). ヒューマンエラーとその定量化. システムと制御, 3(3), 20-27.
- 川喜田二郎 (1967). 発想法 中央公論新社.
- 河野龍太郎 (2004). 医療におけるヒューマンエラー——なぜ間違える どうか防ぐ 学書院.
- 建設業労働災害防止協会 (1995). 危険・予知・訓練 (KYT) シート集 とび工事 1, pp. 23-24.

- 小林寛道編著 (1996). 身体運動学概論 大修館書店.
- 三沢 良・稲富 健・山口裕幸 (2006). 鉄道運転士の不安全行動を誘発する心理学的要因. 心理学研究, 77(2), 132-140.
- 小沢宏之 (1995). 墜・転落防止対策に潜む死角. 安全スタッフ, 1633, 6-12.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press, 1990.
- リーズン, J./植見 弘 (監訳) (1999). 組織事故——起こるべくして起こる事故からの脱出 日科技連.
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter J., & Campbell, K. L. (1990). Errors and violations on the roads: A real distinction? *Ergonomics*, 33, 1315-1332.
- 鈴木芳美・臼井伸之介・江川義之・庄司卓郎 (1998). 建設工事における墜落災害の人的要因に関する多変量解析. 産業安全研究所研究報告, NIIS-RR-97, 17-26.
- 鈴木芳美・臼井伸之介・江川義之・庄司卓郎 (1999). 墜落災害防止に関する建設作業員への質問紙調査. 産業安全研究所研究報告, NIIS-RR-98, 93-105.
- 臼井伸之介 (1995-96). 産業安全とヒューマンファクター (1-6). クレレン, 33 (8)-34(1).
- 臼井伸之介 (1998). 感電災害防止への新しい視点——背景にあるヒューマンファクターの解明と現場へのフィードバック. 電気評論, 83(5), 29-34.
- 臼井伸之介 (1999). ヒューマンエラーと労働災害. 産業安全技術総覧編集委員会 (編) 産業安全技術総覧 丸善, pp. 503-526.
- 臼井伸之介 (2006). ヒューマンエラーと重大事故. 人とわざわい編集委員会 (編) 人とわざわい (上) エス・ビー・ビー, pp. 217-233.
- Usui, S. & Egawa, Y. (2002). Psycho-physiological analysis of mental workload at an elevated work place. *Japanese Psychological Research*, 44(3), 152-161.
- 山内桂子・山内隆久 (2005). 医療事故——なぜ起こるのか, どうすれば防げるのか 朝日新聞社.
- 和田一成・臼井伸之介・篠原一光・神田幸治・中村隆宏・太刀掛俊之 (2005). 課題遂行コストとリスク教示が違反行動に及ぼす効果. 日本応用心理学会第72回大会論文集, p. 51.
- Wada, K., Usui, S., Shinohara, K., Kanda, K., Nakamura, T., Yamada, N., & Murakami, K. (2006). Effects of task costs and risk cognition on rule-violation behavior. International Congress of Applied Psychology, CD-ROM.

心理学の実験法をフィールド研究に適用する

問題の背景 労働者が就業中、業務に関わるできごと起因して負傷・死亡したり、疾病にかかることを労働災害という。2004年（平成16年）の日本での労働災害死亡者数は1620人であり、業種別に見ると建設業が594人と最も多い。また建設業災害を事故の型別に見ると、墜落による死亡者が260人とその半数近くを占めており、墜落による事故の防止は今日の産業安全の重要な課題となっている。ここでは、実際の建設現場で使用するものと同じ仮設足場の組み立て、そこを歩行する作業者の心理・生理的負担の程度を実験的に計測することにより、高所作業環境のリスクを評価することを目的とした研究を紹介する。

研究の概要 実験に使用するため、研究所実験棟内に、全高14.2m、全長10.8m、幅1.2mの仮設足場を組み立てた。左右両端には足元全面に足場板が敷かれているが、その間の7.2mには24cm幅または50cm幅の足場板を設置し、実験参加者はその上を往復歩行するように指示された。

実験条件として作業高（4水準：0m、4m、7.4m、10.8m）、**足場板幅**（2水準：24cm、50cm）の2要因を設定した。実験参加者は高所作業に従事している熟練者10名（熟練群）と高所作業経験のない事務作業員10名（未熟練群）である。実験風景を図Column④に示す（写真は高さ7.4m、幅50cm条件）。

実験では次の3測度を計測した。

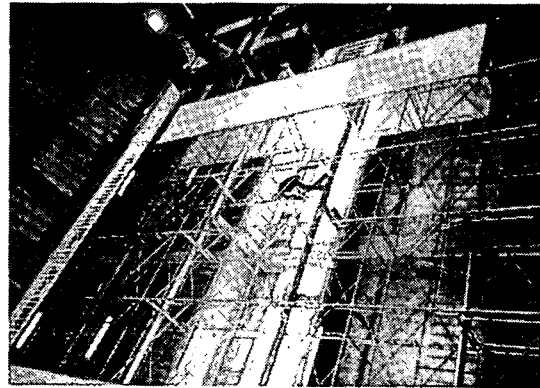
主観的評定：各試行条件の歩行後に「高さによる恐さ」「緊張感」などについて5件法で評価を求めた。

心理的余裕量：足場歩行中に副次課題として聴覚課題（スピーカから流れるランダムな1桁数字のうち、あらかじめ指定された数字が聞こえたときのみ、声でできだけ早く「はい」と反応する）を課し、その反応時間を計測した。

生理的データ：歩行中の実験参加者の心拍数、血圧値、筋電位を計測した。

得られた結果はおおよそ以下の通りである。

① 未熟練群は作業位置が高くなるほど、また足場幅が狭くなるほど、恐さや緊張感の評定値が有意に高くなったが、熟練群は



図Column④ 実験風景

高さ10m程度でもほとんど恐さや緊張感を感じないと評定された。

② 未熟練群は高くなるほど、また足場幅が狭くなるほど聴覚課題反応時間が有意に長くなった。すなわちそのような事態では歩行に神経を集中せざるをえなくなり、心理的余裕量が少なくなることが明らかになった。一方熟練者では作業高、足場幅のいずれにおいても有意差は見られず、10m程度の高さは心理的な負担要因にならないことが示された。

③ ただし熟練者の反応時間を歩行動作との関連から詳細に検討すると、高さ10.8m、足場幅24cm歩行条件のみ、足場上方回転時での反応時間は直線歩行時のそれに比べて、有意に長くなっていることがわかった。すなわち足元に注意を払わざるをえないような課題要求の大きな事態では、熟練者においても心理的余裕量が減少していることが示された。

以上の結果から、作業に習熟した熟練者にとつては、高さによる心理的負担はかなりコントロール可能であるものの、足場幅が24cmでかつ作業の難易度が高まるような場合、熟練者の心理的負担はある程度高まることがわかった。また紙面の都合で省略したが、筋電位結果から24cm幅足場上で歩行する際には歩行動作が不安定になることが明らかにされ、これら結果から、24cm幅足場上で作業の危険性が示唆された。24cm幅足場上での高所作業はいまだ多くおこなわれているが、作業の安全性向上にはそのような作業環境条件を無くすよう管理、指導すべきであることが本実験結果から指摘された。

フィールド実験を実施する際の留意点 産業・交通心理学などの応用研究においては、現実場面での諸問題解決を求められることが多く、その際心理学の研究法を用いたフィールド実験は有効な手段となる。ただしそこには留意すべきいくつかの点がある。

① 何を独立変数とするか フィールド実験の長所として生態学的妥当性（研究事態が、一般化したいと考える母集団の事態をどの程度具体化しているか）の高さを指摘することができる。現実場面と同じ事態で、問題とすべき要因（独立変数）を変化させつつ、多数のデータを収集することができれば、得られた結果の現場還元により問題解決を図ることも可能となる。ただし現実場面での人間行動はきわめて多数の要因から決定されており、何を独立変数にするかについては慎重に考慮する必要がある。ここでは文献や統計データなど机上の知識のみならず、現場に出向く、関係者に話を聞く、観察調査や質問紙調査をあらかじめ実施するなど、現場の実態を知る作業が肝要であり、そこから問題の本質となる要因を探し出すことが、意味のあるフィールド実験になるための鍵となる。

② 剰余変数の扱い フィールド実験を実施する際、剰余変数（独立変数以外

外で、従属変数の変動に影響を及ぼす変数)をいかにして統制するかは常に付随する問題である。この問題を回避するには、たとえば外部と遮断された空間に現実と同じ状況を設定するなどして作業環境条件を整えることにより、剰余変数の交絡可能性をある程度防ぐことはできる。しかしたとえれば明るさや温度、騒音などの自然環境要因を統制することには限界がある。実験空間を実験室内に求めれば剰余変数の統制は可能になるが、統制すればするほど生態学的妥当性は希薄になるというジレンマもある。このトレードオフ(あちらを立てれば、こちらが立たず)の関係は不可避の問題であるので、その解決には(最大限の努力が必要であるにせよ)ある程度割り切るといふ姿勢も、現場の問題解決を指向する研究者には必要ではないだろうか。またフィールド実験では、適切な実験参加者を確保することも時として難しい問題となるが(年齢、経験、職種を統制するなど)、筆者の経験では現場とのコミュニケーションを密にするなど、人間関係を重視することも案外その問題を解決する鍵となる。

③ 安全、倫理面での問題 フィールドでの実験は室内実験よりもいっそう安全の問題に配慮する必要がある。また実験参加者だけでなく、実験者側の安全確保も重要な問題である。フィールド実験では複数の実験者の協同のもとに実施されることが多いので、リーダーはすべてに目が届くようにフリーな立場で参加することが望ましい。保険の加入やその確認はもちろんのこと、実験前には実験参加者に対して十分なインフォームド・コンセントをおこなうこと、またその際負担を感じればいつでも中断または中止可能であることも強調しておかなければならない。

フィールド実験は通常、その実施にかかる労力はきわめて大きい、現場に還元可能な結果が得られたときの喜びもまたきわめて大きいことを記して、この事例紹介を終える。

〔臼井伸之介〕

An Experimental Study on Mental Workload at an Elevated Workplace:

Comparing Elderly and Young Workers

Shinnosuke USUI*, Yoshiyuki EGAWA**, Takahiro NAKAMURA**,
and Takuro SHOJI***

This study sought to experimentally assess the mental workload put on elderly workers by height at an elevated workplace for the prevention of falling accidents. In this experiment, a temporary scaffold 14.2 m high, 10.8 m long and 1.2 m wide was erected, and the elderly and young subjects walked on footing boards. The experimental conditions consisted of age, height of scaffold, footing board width, and carrying or not carrying the footing board. The degree of mental workload was evaluated by measuring the spare capacity of the subjects by the dual task method and subjective assessment by NASA-TLX. An increase in mental workload caused by the height was observed in elderly workers. Furthermore, it was proved that the mental workload of the elderly workers was larger than that of younger workers when potentially dangerous factors such as the narrowness of a footing board width and complication of the work were added to the factor of height.

key words: mental workload, elderly workers, accident, elevated workplace, human error

The number of fatalities due to industrial accidents in Japan in 2002 was 1,658, with the construction industry accounting for the greatest share (607 fatalities). The number of people who died from falling was 256, accounting for 42 percent, which means that the possibility of potential danger at elevated workplaces is extremely high. With the aging of the labor population, the number of work-related accidents by elderly workers has increased, and securing conditions of safety for the elderly has become an important problem. Looking at the number of people who died from work-related accidents in the construction industry in 2002, those younger than 29 years old accounted for 17.3 percent while those older than 60 accounted for 27.3 percent. There was no

big difference in the two age groups in the number of accidents by falling (accidents resulting in more than four days off work), as those younger than 29 were 19.7 percent and those older than 60 years old were 20.3 percent. However, the possibility of potential danger among the elderly workers was high in comparison to that among younger workers. Calculating the accidental fall rate causing death and injury by age revealed that those younger than 24 years old accounted for 0.24 percent; those between 25 and 34 years old, 0.14 percent; those between 55 and 64, 0.43 percent; and those older than 65 years old, 0.54 percent. This was calculated from the number of employees excluding officers in the construction industry (research by Ministry of Public

* Graduate School of Human Sciences, Osaka University, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

** National Institute of Industrial Safety Independent Administrative Institution, Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024, Japan

*** University of Occupational and Environmental Health, Iseigaoka, Yahata-nishi-ku, Kitakyushu, Fukuoka 807-8555, Japan

Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications).

As Reason (1990) has indicated, although hard measures such as the development of new technology are needed to prevent accidents, soft measures that will clarify the human factors behind accidents and take into account the characteristics of human beings also have to be studied.

Several studies have been made of human characteristics in elevated workplaces. Kobayashi & Tamura (1991) assessed the physical workload at height by looking at the relationship between the measured heart rates of people working on chimney maintenance and the kind of work done. Usui & Egawa (2002) measured the psychological and physiological responses during work at an elevated workplace of scaffolding workers and office workers, and evaluated the potential danger in working at an elevated workplace. Hsiao & Simeonov (2001) researched literature on balance control for factors related to falling, then classified these factors by environment, and by work and individual, and reviewed each of them. Egawa, Usui, Shoji, & Nakamura (2003) analyzed the investigation reports on falling death accidents, and clarified the pattern of falling accidents and causal factors in the elderly. However, there has until now been little ergonomic research in this area, and so the degree of mental workload of elderly workers at an elevated workplace remains largely unclear.

Therefore, in this research, an experiment was conducted in which both elderly and young construction worker subjects walked on footing boards put over a temporary scaffold either with or without carrying a footing board. This study aimed to obtain standard data, which would enable the establishment of a safe industrial environment for elderly workers at an elevated workplace. We measured the degree of mental workload under various work-environment conditions where the height of the workplace, footing board width, and carrying or not carrying a footing board load were variables. In the

experiment, a dual task where subjects responded to a specific number announced to them while walking was conducted, and the spare capacity of the subjects at the elevated workplace was measured by the performance of a secondary task. When the footing board was narrow, the subject would have a greater workload in achieving the same task because of the strain and instability of walking, with a resulting decrease in spare capacity, and thus, it was expected that the performance of the secondary task would be reduced.

METHOD

Subjects

The subjects were construction workers who have all worked at an elevated workplace. They consisted of eight elderly workers and eight young workers. Elderly workers ranged in age from 52 to 65 years with an average age of 57.5 years, $SD=4.2$. Young workers ranged in age from 18 to 39 years with an average age of 30.3 years, $SD=6.4$. Two elderly and two young workers were excluded from the analysis due to incomplete data. The details of the experiment were explained to the subjects and their agreement to participate was obtained.

The Temporary Scaffold

A temporary scaffold consisting of eight levels and six spans, with a frame width of 1,200 mm, span length of 1,800 mm and level height of 1,700 mm was erected in the experiment building. Figure 1 presents the front and side views of the scaffolding, and Figure 2 depicts a scene from the experiment. The levels are shown as horizontal lines and the spans as vertical columns, while the thick lines in Figure 1 represent the parts where the subjects could walk. The spans on the extreme left and right were fitted with footing boards across their entire width of 1,200 mm (called resting boards). Footing boards either 240 mm or 500 mm wide were also fitted in the four middle spans, on which the subjects walked during the experiment.

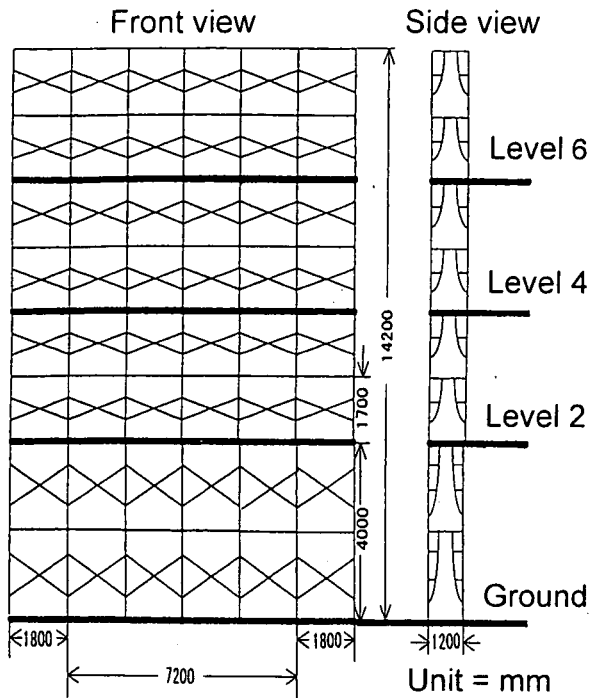


Figure 1 Front view and side view of the temporary scaffolding used in this experiment. Units are mm.

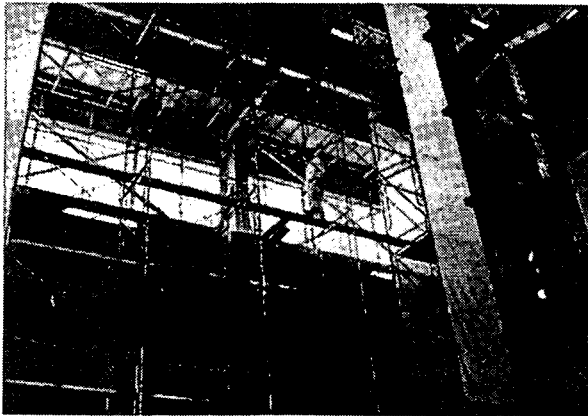


Figure 2 View of the experiment: The test being carried out is with a 240 mm-wide footing board.

Measurement of Spare Capacity

In the experiment, a system of measuring the mental workload was used. The secondary task for the subjects was to say “yes” as quickly as possible whenever they heard specific numbers (“4” and “9” by a male voice and “5” and “7” by a female voice) among random numbers from a speaker (seven numbers ranging from three through nine by male and female voices for a total of 14 numbers) at the rate of one number in two seconds. The reaction time was measured

by a wireless system using a voice switch (the experimental apparatus was the same as that used by Usui & Egawa (2002)).

Subjective Assessment

The subjects were asked to indicate to what extent they felt the mental workload by using the NASA-TLX immediately after each experiment.

Walking Speed

From the subject's walk recorded by the video camera, we measured the time required for the subject to walk two round trips, excluding the time spent turning around at each end of the footing board.

Experimental Conditions

The conditions set in the experiment were as follows.

- Height of work place: ground (walk on the footing board on the ground), and level 6 (10.7 m from the ground)
- Footing board width: 240 mm and 500 mm
- Load: carrying or not carrying a footing board, height 1,800 mm, width 500 mm, and weight 9,900 g
- Age: elderly and young workers

Procedure

One experiment lasted 280 seconds, during which time the numbers were announced 140 times. The numbers to be responded to were announced 40 times, or 28.6 percent.

First, each subject was given the opportunity to practice the secondary task three times by sitting on a chair on the ground to make sure that he was able to respond to the secondary task without a problem. In the experiment, the subject was instructed to walk back and forth along four spans starting from the resting board on the footing board between the signal of the “start of the experiment” and the “end of the experiment” by responding to the secondary task. The subject walked on the footing board eight times in total across the widths of 240 mm

and 500 mm on the ground and level 6 with and without a footing board load. Finally, the secondary task alone was conducted as a control condition in a stable condition on the ground, and then the experiment was completed. The order for conducting eight experiments was counterbalanced.

RESULTS

Walking Speed

We measured the time required for the subject to walk four times between the resting position and a point four spans away. Four-way ANOVA (age \times height \times footing board width \times with or without load) revealed a significant main effect for age, height, footing board width and with or without load in regard to walking time for four spans, $F(1, 368)=162.94, p<0.001$; $F(1, 368)=86.76, p<0.001$; $F(1, 368)=36.17, p<0.001$; $F(1, 368)=6.48, p<0.05$. A significant interaction was found between age and height, and age and footing board width, $F(1, 368)=20.71, p<0.001$; $F(1, 368)=13.43, p<0.001$. Three way interaction between age, height and footing board width was also significant, $F(1, 368)=11.83, p<0.001$, but the interaction between age and with or without load was not significant. These results showed that elderly workers walked slower than young workers,

and in addition, they walked much slower in comparison to young workers if the footing board was narrower at the elevated workplace. However, slow speed from carrying a footing board load had nothing to do with age.

Answer Rate for Secondary Tasks

The rate that the subjects did not answer the number they were supposed to answer (i.e., miss rate) was 2.4 percent for elderly workers and 2.1 percent for young workers. The rate that the subjects answered the number they were not supposed to answer by mistake (i.e., false alarm rate) was 0.64 percent for elderly workers and 0.2 percent for young workers. In other words, the subjects answered the secondary task almost correctly. Three-way ANOVA (age \times height \times footing board width) showed no significant main effects for the miss rates. Table 1 lists the mean miss rates and mean FA rates in age group by experimental condition. The miss rates are low in general, but the miss rate in the elderly group is somewhat higher than other conditions in the most potentially dangerous working environment where the footing board width is 240 mm at level 6.

Table 1 Mean rates of miss and false alarms by age group

		Level 6		Ground	
		240 mm	500 mm	240 mm	500 mm
Elderly	Miss	3.46	2.31	1.89	2.11
	FA	0.66	0.72	0.30	1.01
Young	Miss	2.71	2.31	2.29	1.89
	FA	0.12	0.48	0.12	0.12

Table 3 Mean reaction times for the secondary task according to the phases of walking

		Level 6		Ground	
		240 mm	500 mm	240 mm	500 mm
Elderly	Turn	993	983	901	910
	Straight	953	942	946	955
Young	Turn	878	854	880	878
	Straight	846	857	847	827

Table 2 Mean reaction times (milliseconds) for the secondary task

	Level 6				Ground				Control
	240 mm		500 mm		240 mm		500 mm		
	Without load	With load	Without load	With load	Without load	With load	Without load	With load	
Elderly	962	960	964	936	930	931	954	937	959
Young	861	845	867	846	849	860	837	839	827

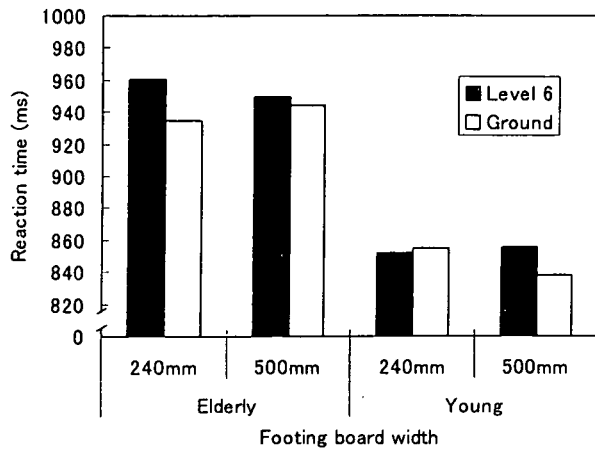


Figure 3 Mean reaction times for the secondary task.

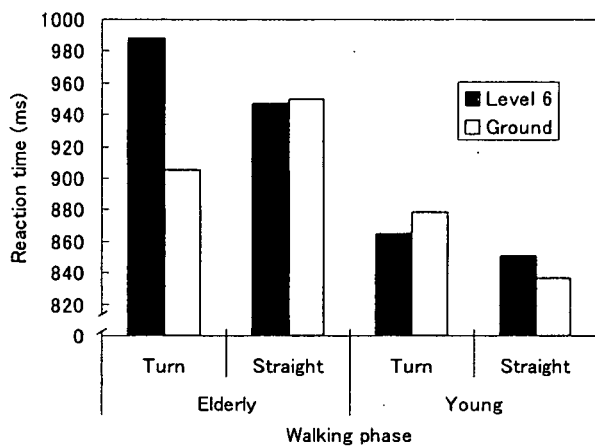


Figure 4 Mean reaction times for the secondary task according to the phases of walking.

Reaction Time

Table 2 presents the mean reaction times of the secondary task. Figure 3 depicts the result of the reaction time by the footing board width on the ground and level 6. Four-way ANOVA (age \times height \times footing board width \times with or without load) indicated significant main effects for both age and height, $F(1, 3690) = 273.22, p < 0.001$ and $F(1, 3690) = 4.14, p < 0.05$. The main effect of footing board width was not significant. In addition, the interaction was not significant among the four factors of age, height, footing board width, and with or without the load. However, the three way interaction between age, height and footing board width was almost significant, $F(1, 3690) = 2.88, p < 0.10$.

Similarly to Usui & Egawa (2002), we separated the reaction times of the secondary

Table 4 Average scores in NASA-TLX

	Elderly	Young
Mental demand	42.9	42.3
Physical demand	44.4	41.5
Temporal demand	41.4	38.4
Performance	72.7	66.6
Effort	67.2	45.9
Frustration level	36.8	34.3
Mean	50.9	44.5

task into those when walking in a straight line and those when turning, from the viewpoint of what the task demands in the walking. Table 3 shows the mean reaction times for the secondary task according to the phases of walking. Figure 4 illustrates the results of the reaction time by walking phase on the ground and level 6. The four-way ANOVA (age, height, footing board width, walking phase) showed that the main effect of the walking phase was almost significant; $F(1, 3690) = 3.38, p < 0.10$, and that the three-way interaction between age, height and walking phase was significant, $F(1, 3690) = 16.13, p < 0.001$.

NASA-TLX

Table 4 shows the mean assessment score for each index in NASA-TLX. There was a significant difference in the index of "effort" (question: how hard a subject has to work mentally and physically to achieve and maintain the level of work achievement: $t(97) = 4.21, p < 0.001$) between elderly and young groups, but there was no difference between age groups in other indexes.

DISCUSSION

The results of reaction times suggested that the elderly workers responded to the secondary task more slowly than did young workers. A number of researchers have confirmed that there has been an aging effect on the reaction time in various tasks (for example, Welford (1980)), and the existence of such an effect was supported in the task of this research also. This experiment revealed a significant main effect for height, but it was different from the result reported by

Usui & Egawa (2002) where an experiment was conducted on the same temporary scaffold with scaffolding workmen. The reason given for this is that the secondary task by Usui & Egawa (2002) was simply to detect the times in which a woman's voice was used, and from which a specific number was detected, while this time an element where a male and female voice were distinguished was added to the secondary task, making the problem more difficult. It was also proved that, although the spare capacity at height decreased to a certain degree, it had nothing to do with age since the interaction between age and height was not significant.

Usui & Egawa (2002) revealed that subjects who had no experience of working at the elevated workplace performed the secondary task poorly; in other words, their spare capacity decreased when the footing board width was 240 mm at level 6. In contrast, this experiment showed the main effect of the footing board width for the elderly workers was not significant even though the secondary task became more difficult. Furthermore, from the results there was basically no effect of age on the spare capacity of subjects since the interactions between age and other factors were not significant. However, the three-way interaction between age, height and footing board width was almost significant. These results suggest that there was a potentially dangerous working environment for elderly workers such as the elevated workplace where the footing board was narrower and the spare capacity was decreased.

The results of the reaction time by walking phase suggest that there was a potentially dangerous working environment for elderly workers such as an elevated workplace and that the task demand was increased; in other words, the task became complicated where the spare capacity was decreased.

The result of the NASA-TLX shows that there was almost no difference between age groups in the subjective assessment of the mental workload including mental and

physical hardship. However, elderly workers reacted more severely than young workers according to mental and physical effort to achieve and maintain the work performance. These results suggest the spare capacity of elderly workers decreased in the working environment where the task demand increased, including the case where the footing board became narrower at the elevated workplace.

The experiment using the secondary task method demonstrated that the mental workload of the elderly workers did not exceed that of the young workers when they worked at the elevated workplace in comparison to working on the ground. However, it was found that the mental workload of the elderly workers increased more than that of the young workers due to potentially dangerous factors such as a narrow footing board and when the work became more complicated in addition to the height. These results indicated that safety for the work environment must be secured, in particular when elderly workers work at an elevated workplace.

REFERENCES

- Egawa, Y., Usui, U., Shoji, T., & Nakamura, T. 2003 Ergonomics study on high-rise working conditions in construction sites. *Specific Research Reports of the National Institute of Industrial Safety*, NIIS-SRR-NO. 28. (In Japanese.)
- Hsiao, H. & Simeonov, P. 2001 Preventing falls from roofs: A critical review. *Ergonomics*, **44**, 537-561.
- Kobayashi, K. and Tamura, Y. 1995 Fatigue of works in high-rise constructions. *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (transactions of AIJ)*, **476**, 145-153. (In Japanese.)
- Reason, J. T. 1990 *Human error*. Cambridge University Press.
- Usui, S. and Egawa, Y. 2002 Psycho-physiological analysis of mental workload at an elevated work place. *Japanese Psychological Research*, **44**, 152-161.
- Welford, A. T. 1980 *Reaction times*, Academic Press.

ヒューマンエラー防止への人間工学的アプローチ

高所墜落災害防止の人間工学的研究

大阪大学 白 井 伸之介*¹

産業安全研究所 江 川 義 之*²

1. はじめに

事故やヒューマンエラーを防止するために産業界では、これまでさまざまな人間工学的対策が講じられてきた。人間工学の主たる目的とは、人間と機械の調和ある一体関係を作ることであるが、人間と機械の諸特性はおよそ相反しているため、その実現には種々の困難性が伴う。例えば人間が機械に比べて優れている特性として、「パターン認識力」「創造性」「融通性」「総合的判断力」「適応能力」などがあげられる。逆に機械が人間より優れている特性として、「物理的出力」「連続稼働性」「高速度性」「疲労のなさ」「錯誤・錯覚のなさ」などがあげられる。

人間と機械の進歩の度合いを見ると、近年の科学技術の発展から、機械の進歩は人間のそれと比べようもなく速い。従って、機械の側の効率を維持しようとする、人間は非常な努力を必要とし、そのため苦痛を伴ったり、ひいては事故や疾病に至ったりする場合もある。そこで人間と機械の調和を図るためには、人間を機械に合わせるのではなく（人間の適応力に依存させない）、人間に機械を合わせる（人間誰もが対処できるようにする）という人間工学の基本的思想が重要となる。すなわち人間の形態的特性（身体のサイズなど）や機能的特性（心的機能など）に対して機械の側を適合させるわけである。しかし人間の機能的特性に合わないような機器や設備類はまだ数多く存在していることも事実であり、今後さらなる人間工学的な研究が必要とされる。

本稿では産業界の中でも最も危険な作業の一つに挙げられている、建設業における墜落災害を防止するため、特に高所での作業環境改善に関して、人間工学的にアプローチした実験研究について紹介す

る¹⁾²⁾。

2. 高所墜落災害防止の実験的研究

平成15年の日本での労働災害死亡者数は1,628人であり、業種別では建設業が548人とその33.7%を占めている。また建設業死亡災害の中で最も多い事故の形態が墜落による災害であり、平成15年では247人とその約45%を占め、その比率は近年ほとんど変化していない（図1参照）。すなわち墜落による事故の防止は今日の産業安全の重要な課題となっている。

ここで紹介する研究は、高所における作業者の心理・生理的負担要因に着目している。すなわち高さや足場条件の異なるいくつかの作業条件を設定し、そこで作業者が感じる負担の程度を、足場上での心理的余裕量や歩行時の生理的特性等から人間工学的に評価し、高所における作業環境改善に繋げようとするものである。実験では足場上歩行の他、機材の受け渡しなどの作業も被験者に課しているが、こ

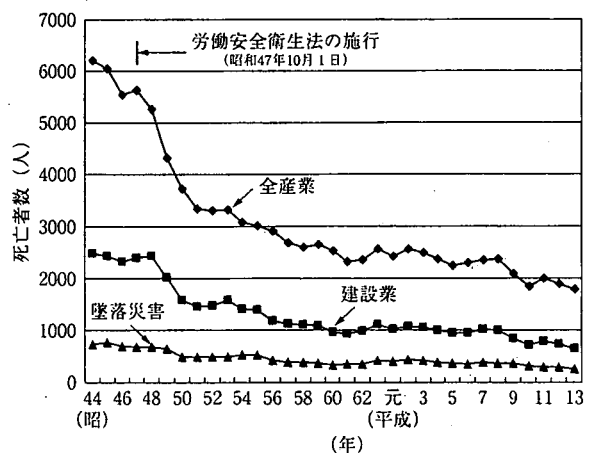


図1 労働災害死亡者数の推移

*1 うすい しんのすけ 大学院人間科学研究科
先端人間科学講座 教授

*2 えがわ よしゆき 境界領域・人間科学安全研究グループ
主任研究官

では足場上歩行の分析結果のみについて記す。

2.1 実験方法

(1) 仮設足場

実験に使用するため、実験棟内に柱幅1,200 mm、スパン長1,800 mm、層高さ1,700 mmの8層6スパンの仮設足場を組み立てた。図2に足場の正面図と側

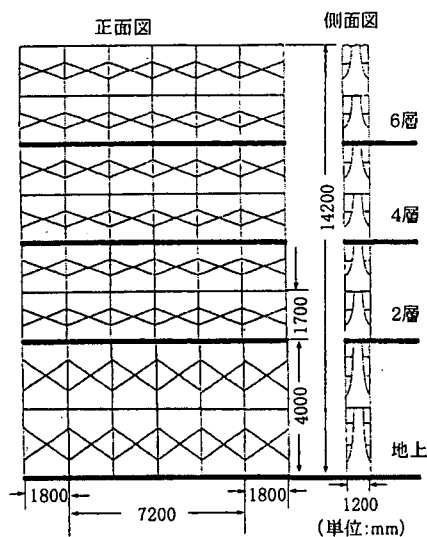


図2 仮設足場の正面および側面図



図3 実験風景

面図を示す。層は行、スパンは列に相当し、図2の太線が歩行可能部分である。左右両端のスパンは足元全面に足場板（作業床とも言う）が敷かれているが、その間の4スパン分に幅240 mmまたは500 mmの足場板を設置し、実験では被験者はその上を歩くよう指示された。図3はその実験風景である。

(2) 心理的余裕量の計測

精神負荷測定システムを用いて、高所における作業者の心理的余裕の程度を測った。実験では被験者に足場板の上を歩行するという主課題のほかに副次課題を課した。副次課題とは、2秒に1数字の割合でスピーカから流れるランダムな数字（3から9までの7数字）のうち特定の数字（3, 5, 9）が聞こえたときのみ出来るだけ早く「はい」と声で反応させる課題であり、その反応時間をボイススイッチを用いて無線で計測した。被験者に呈示した聴覚刺激は、あらかじめAVタキストスコープ（岩通アイセル社製IS-701D）に登録した数字である。さらに被験者の歩行状態と反応時間を示すカウンタとを2台のカメラで撮影して、映像ミキサで合成してVTRに記録した。

(3) 生理データの計測

高所歩行中の被験者の生理的負担を評価するため、心拍数、血圧値、筋電位を計測した（本稿では筋電位結果のみ記す）。

(4) 実験条件

実験で設定された条件は以下の通りである。

- ・作業高：地上、2層（高さ4 m）、4層（7.4 m）、6層（高さ10.8 m）
- ・作業床幅：240 mm, 500 mm

(5) 被験者

被験者は熟練者10名（高所作業に従事している熟職人。平均年齢26.2歳、平均経験年数5.6年）および未熟練者10名（高所作業経験のない事務作業員。平均年齢26.3歳）である。被験者には事前に実験の内容を伝え同意を得るとともに、熟練者には現場作業に相当する日当が支払われた。また高所では常時安全帯を装着するなど、安全には十分留意した。

2.2 実験結果

(1) 歩行速度

被験者には足場板上を左右に往復するよう依頼し、その模様をビデオで記録した。そしてUターン部分を除いた中間4スパンの直線部分を歩いている時の歩行速度をビデオテープから算出した（図4参照）。

作業高については、地上と6層500 mmを比較す

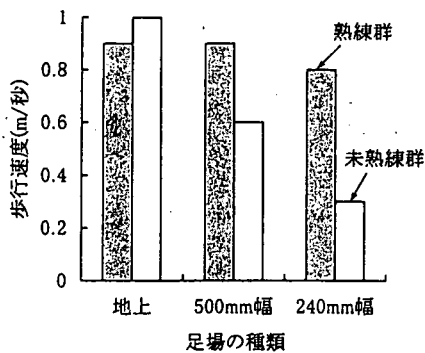


図4 足場上の歩行速度

ると、熟練者は地上も6層も歩行速度0.9 m/secで差はなかった。しかし未熟練者は地上が1 m/sec、6層が0.6 m/secと、地上より10.8 mの高さでは歩行速度が遅くなっていた。

この原因は、熟練者の場合10.8 m程度の高さでは恐怖を感じないので、歩行速度に相違が現れなかったと考えられる。ちなみに熟練者の多くは、実験終了後の内観で、高さで恐怖を感じるのはおよそ25 m以上で強風の場合であると報告している。一方、未熟練者の場合は全員が6層歩行では恐怖を感じると答えており、手摺りや周囲の交差棒などを掴まないと歩行出来ない状態であった。

6層歩行で足場板幅が異なる(500 mm幅と240 mm幅)場合については、熟練者は240 mm幅になって歩行速度が0.1 m/sec低下しただけであったが、未熟練者は500 mm幅では0.6 m/sec、240 mm幅では0.3 m/secと、足場の幅が500 mmから240 mmに変わることにより歩行速度が半分に低下した。

これらの計測結果に対して1要因分散分析を行った結果、熟練者では有意差が見られなかったが、未熟練者では、地上、500 mm幅、240 mm幅歩行速度間にそれぞれ有意差が見られた(ともに $p < .001$)。すなわち未熟練者に高い足場、狭い足場を歩行させると極端に歩行速度は低下するが、熟練者にはその傾向は認められなかった。

(2) 心理的余裕度

熟練者と未熟練者を対象に、6層歩行時の心理的余裕度について、二重課題法を用いて実験を行った。二重課題法とは、歩行を主作業とすると、歩行とは全く別の副次的課題を与え、その成績の程度から心理的な余裕度を推定する方法である。二重課題法は主に精神的な負担の度合いを評価する際に用いられる手法であるが、その概念的背景を図5に示す。例えば課題A、Bという2種類の課題実行時の精神的

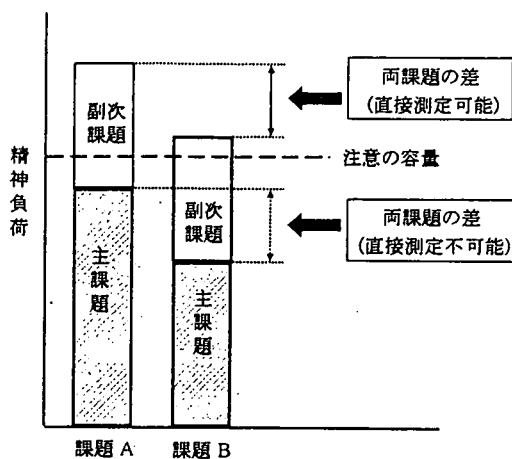


図5 二重課題法の概念的背景

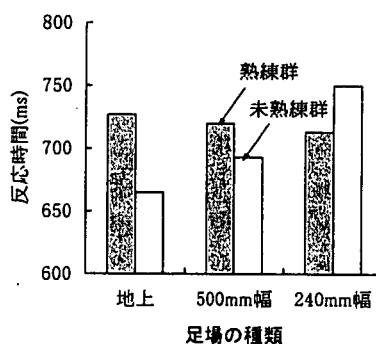


図6 副次課題平均反応時間

なきつさを評価する場合、どちらも当該実行者の遂行許容範囲(図5では注意の容量ラインに相当する)を下回っておれば、両課題の差を直接測定することは難しい。そこで主課題とは別の副次課題を課し(例えば暗算など主課題とは直接関係せず、また同時に課すことで注意の容量ラインを越える程度の難しさを持った課題)、そのパフォーマンス(例えばミス率や反応時間)の測定から課題A、Bの精神負荷を評価しようとする研究手法である。

図6に副次課題平均反応時間の結果を示す。熟練者においては反応時間の延長は認められなかったが、未熟練者においては、歩行場所の高さと足場板幅の相違において顕著な反応時間の延長が認められた。これらの結果に対して1要因分散分析を行うと、熟練者では有意差が見られなかったが、未熟練者では地上-6層(500 mm幅)間に有意な傾向差が ($p < .1$)、さらに地上-6層(240 mm幅)間に有意な差が見られた ($p < .001$)。これらの結果により、未熟練者に高い足場あるいは狭い足場板上を歩行させると、歩行に神経を集中せざるを得なくなり、心理的余裕度が少なくなることが明らかになった。一方熟練者

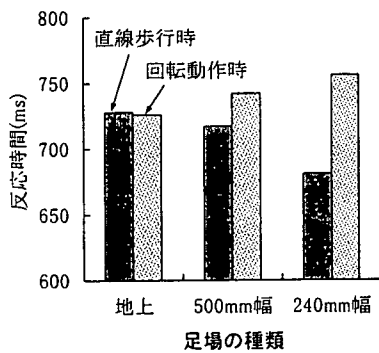


図7 歩行フェーズ別副次課題平均反応時間

では足場板幅、作業の高さでいずれも有意差が見られず、この程度の高さでは、心理的な負担がさほどかかっていないことが示唆された。

ただし歩行動作をビデオ観察すると、往復するため中間4スパン両端の足場板上で方向転換する際、足元に注意を払う、バランスをとるなどの理由から、その作業要求はより増大していると推測された。そこで、歩行動作を直線歩行時と回転動作時に分け(以下歩行フェーズと呼ぶ)、それぞれの動作時での副次課題平均反応時間を算出した。図7はその熟練群での結果である。地上歩行では直線歩行時、回転動作時における反応時間に有意な差はなかった。一方6層での歩行に関して、2要因分散分析(足場の幅×歩行フェーズ)を行った結果、歩行フェーズ($p<.01$)および足場の種類と歩行フェーズの交互作用($p<.05$)に有意差が認められ、さらに足場板240mm歩行時における直線歩行と回転動作時の平均反応時間に有意差が認められた($p<.001$)。

この結果より、熟練者であろうとも足場板上で方向転換を行う際には、足元に注意を払う、バランスをとる等の理由から一時的に心理的余裕量が少なくなり、その効果は240mm幅でより強くなることが明らかになった。

(3) 歩行時に必要な足場板の幅

足場板の幅が狭くなると歩き方がぎこちなくなり、前述したように未熟練者の場合には歩行速度も低下する。そこで、歩行時に必要な足場板の幅を調べるために、未熟練者と熟練者を対象に筋電図を用い歩行動作を調べた。

歩行動作とは足底が床を踏みしめたり、床から浮いたりするサイクルを繰り返す動作である。そして床を踏みしめている時間を立脚期、床から浮いている時間を遊脚期という。そこで足場を歩く時、筋電図の電極を前頸骨筋に貼付して遊脚期における足に

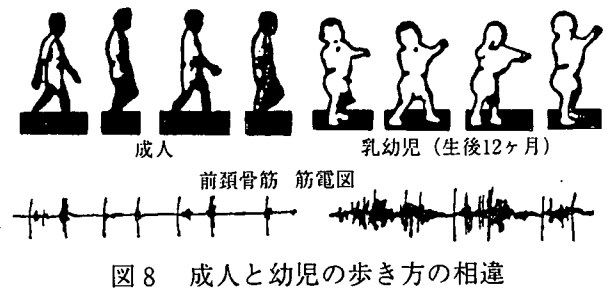


図8 成人と幼児の歩き方の相違

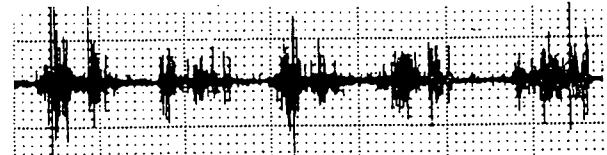


図9 前頸骨筋の筋電図

かかる負担を計測した。前頸骨筋とは、足の脛の外側に位置する筋肉であり、遊脚期に電位を放電する筋肉である。

図8に示したように、成人の歩行動作に比較して赤ん坊の歩き始めはヨチヨチとぎこちない歩行動作を示す。そして、このぎこちない歩行動作では前頸骨筋の筋電位が高いことが知られている³⁾。すなわち前頸骨筋の筋電図は歩く時のぎこちなさを示す指標ともなる。

図9に歩行時の前頸骨筋の典型的な筋電波形を示す。振幅が大きい所が足底の床から浮いている遊脚期であり、この遊脚期において筋電波形は2相に分離する。すなわち第1相目は蹴り出しの離陸直後に放電し、第2相目は踵から接地する直前に放電する。そこで、この筋電波形の放電の強さとパターンの乱れを手がかりとして、足場板上歩行時の足に掛かる負担を調べた。

図10にこの実験で得られた足場板歩行時の筋電波形の典型例を示す。図10より、層高さにおいては特に筋電波形での振幅に大きな違いは見られない。しかし足場板の幅を変化すると筋電波形に振幅の相違が見られ、500mm歩行時より240mm歩行時の方が前頸骨筋の筋電位は増加している。さらに240mm歩行時には、前述した遊脚期における2相分離(図8参照)、すなわち蹴り出しの力強さと接地の衝撃が明確に現れていない。これらの現象は熟練者および未熟練者においても同様に観察された。

そこで、1歩ごとの遊脚期における波形積分値を算出して、2要因(層の高さ×足場板幅)分散分析を行った結果、層の高さに関しては有意差が認めら

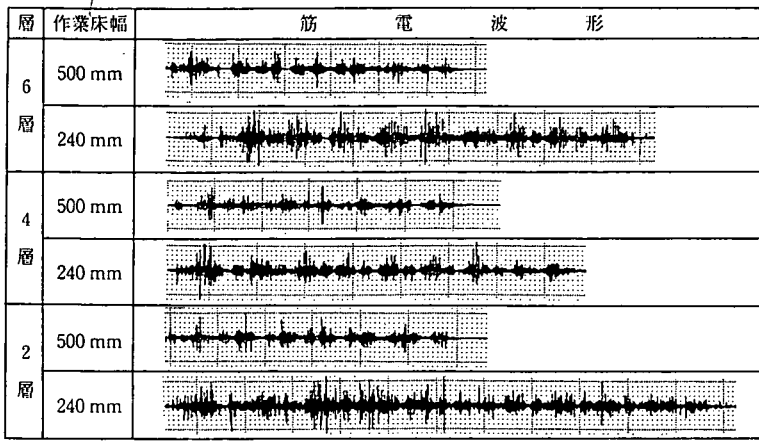
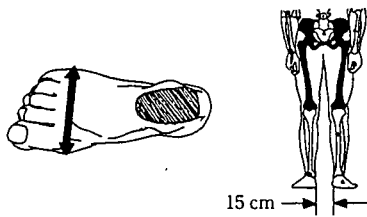


図10 足場歩行時における筋電波形



足幅	男	女
平均 (cm)	10.42	9.57
標準偏差 (cm)	0.46	0.44

注) 航空自衛隊員の身体計測値より

図11 足幅の平均と標準偏差

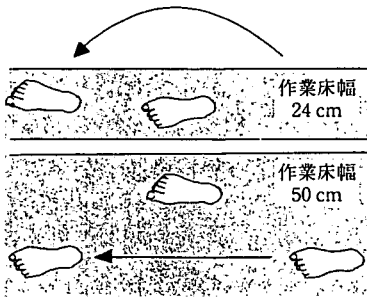


図12 足場上の歩行形態

れなかったが、足場板の幅に関しては有意差が認められ ($p < .001$), 240 mm 歩行時は500 mm 歩行時に比較して波形積分値が約2倍であった。

そこで筋電波形にこのような現象が観察された原因について考える。図11は日本人の足幅と左右の足の間隙を示した図である⁴⁾。日本人男性の足幅は平均で約10.5 cmあり、左右の足を隙間なく合わせた時、2倍の21 cmになる。歩行する時には左右の足を隙間なく合わせて歩くことはできず、左右の足の間隙をさらに15 cm程度開けなければならない。歩行するには足幅と間隙を合わせ最低でも36 cmの幅

が必要である。

図12に示したように、足場板の幅が500 mmであると、左右の足をまっすぐ前方に踏み出すことができる。しかし、足場板の幅が240 mmでは、左右の足が接触しまっすぐ前方に踏み出すことができず、迂回した踏み出し方を取らざるを得ない。これが足場板の幅が240 mmの時において遊脚期の前頸骨筋の放電増加現象として観察される。

さらに遊脚期において、足は足場板の外側に追い出すため、足の蹴り出しおよび接地を地上歩行のように勢いよく行うことができない。これが遊脚期における2相分離の明確に現れてこない原因である。

前述したように、足場幅が240 mmになると、遊脚期において足を足場板の外側に追い出した蹴り出し方を取らざるを得ない。これが未熟練者の場合、さらに恐怖感を増加させ、歩行速度を低下させる原因になると考えられる。すなわち筋電図が示したように、前頸骨筋に負担をかけない安定した歩行動作をとるためには、少なくとも足場板の幅は400 mm以上あることが必要である。

以上の結果から、地上約10 mではそのような高さでの作業を経験しない人にとってはかなりの心理的負担になるが、鳶職人のように高所での作業に慣れるとそのような負担はかなりコントロール可能であることがわかった。ただし足場幅が240 mmで、かつ作業の難易度が高まるような場合、熟練者でも高所では心理的負担がある程度増大することが示唆され、また240 mm幅足場板上での動作の不安定さが筋電位結果からも明らかにされた。

現在、ビル工事において240 mm幅足場板上での作業はかなり見かけなくなりつつある。しかし建造物の構造上240 mm幅足場板を用いざるを得ない状況もあり、また特に木造工事においては未だ240 mm幅足場板上での高所作業は多く行われている。作業の安全性向上には、240 mm幅足場板上での作業を無くすように管理、指導する必要性が当実験結果からも強く推奨される。

3. おわりに

今回述べた人間の心理・生理的機能の測定から作業環境を改善する、とのアプローチは従来のマンマシン-インタフェースの関係性改善の考え方に基

づいた研究と言えよう。このような実証的データに基づいた人間工学的研究は今後も推進されるべきであることは言うまでもない。

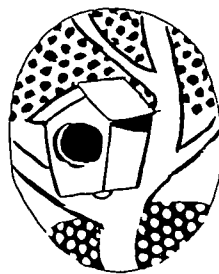
ただし近年、人間工学の目的である安全性、快適性の向上には、上記したような観点に加えて、コミュニケーション、組織、人員管理など社会的要因を含めたシステムの運用面を重要視すべきであるとするマクロエルゴノミクスの考え方が注目されつつある（例えば山岡, 2004）⁹⁾。これは臼井（1998）⁹⁾の「事故を防止するには個人のレベルおよび作業環境レベルだけでなく、個人を取り巻く社会や生活環境レベルにまで及んだ幅広い社会的レベルから事故の原因や対策を考える必要がある」と指摘するヒューマンファクタの考え方に共通する。

そこで従来の人間工学的研究により得られた知見を基盤としつつ、例えばなぜ狭い足場幅板を使用するのか、なぜそれを指導できないのか、など管理、運用面の視点を含めたまさにマクロの視点からの改善策を考えることが、今後の人間工学的研究には一

層重要視されるべきであろう。

参考文献

- 1) Usui, S., Egawa, Y. (2002). Psycho-physiological analysis of mental workload at a high-elevated work place. Japanese Psychological Research, Vol. 44 No. 3, 152-161.
- 2) 江川義之, 臼井伸之介 (2001). 高所作業における生理・心理的負担要因, 産業安全研究所特別研究報告, NIIS-SRR - No. 22, 15-24.
- 3) 後藤幸弘ほか (1973). 幼児の歩行取得時にみられる下肢筋群の放電様相の変化, 第3回日本脳波・筋電図学会.
- 4) 垣本由紀子 (1990). 航空自衛隊員の身体計測値 (装備品などの設計のための人間工学的資料, 1988年測定), 航空開発実験集団交通医学実験隊.
- 5) 山岡俊樹 (2004). 特別企画「マクロエルゴノミクスの産業界への活用」について, 平成16年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, 156-157.
- 6) 臼井伸之介 (1998). 感電災害防止への新しい視点-背景にあるヒューマンファクタの解明と現場へのフィードバック-, 電気評論, 83巻5号, 電気評論社, 29-34.



事故・ヒューマンエラー防止を目指して



白井伸之介

1. はじめに

本年四月二五日J R西日本福知山線において、死者一〇七名にも及ぶという列車事故が発生した。また最近、国内外における航空機墜落事故や飛行トラブルが繰り返し報道されている。このような事故の大部分には人間の失敗が関与していると言われている（例えば自動車事故の九〇%以上、航空機事故の八〇〜九〇%は人間の失敗に起因しているというデータもある）。われわれは誰もが日常生活や職場で、様々な失敗をおかすのは紛れもない事実である。しかし航空システム、鉄道システム、原子力発電所などに代表されるように、現代

の産業界は高度にシステム化されており、一人の人間が操作するエネルギー量はそれとともに巨大化している。従って人間のちょっとした失敗がきっかけとなり、それが大惨事に至る可能性もあり得る。そこで近年、人間の失敗がなぜ生じるのか、そのメカニズムを科学的に解明し、事故防止対策に資する研究が重要視されつつある。

本稿は人間はなぜ失敗するのか、その発生メカニズムおよび事故防止の効果的な考え方について、筆者の専門領域である心理学の立場から論じようとするものである。