

図 33 言語評価による時間評価の高齢者と若年者の違い

時間経過に対して向けられる注意の量について、高齢者と若年者では違いがあると考えられる。高齢者と若年者高齢者では利用可能な注意機能の違いがあり¹²⁾、若年者では自動的に遂行できる姿勢を保持したり、バランスを取る課題や単純な歩行課題であってもより多くの注意資源配分が必要になる¹³⁾など、高齢者は若年者に比べて日常生活の中で時間に対して注意配分する余裕が少なくなる。このような経験を日常生活の中で積み重ねることにより、結果としてある客観的な時間の長さに対応する時間ユニットの数が少なくなると予測される。このため同じ長さの時間を経験した場合、高齢者は若年者より長めにその時間を評価することになる。

本研究では高齢者と若年者で歩行所要時間の大きな差は見られなかった。また、歩行のみ行う条件で副次課題など注意を時間経過からそらすような実験操作は行われなかった。このため、高齢者と若年者の双方とも歩行中の時間経過に対して同じように注意を配分しつつ歩行したと考えられる。また、歩行前に所要時間を予測するとはいえ、本実験では時間評価と歩行を繰り返し行っているため、実験参加者はそれまでに行った歩行を想起して歩行時間を予測したと考えられる。その結果、歩行中に蓄積された時間ユニ

ットには高齢者と若年者間で差がなかったと仮定する。同じ量の時間ユニットが蓄積されている場合、その主観的な時間の長さは、各人が持っている基準（ある時間の長さに対してどれだけの時間ユニット量が対応づけられているか）によって変わってくる。上述のように、高齢者は普段の生活の中で、若年者に比べて同じ時間の長さに対してより少ない量の時間ユニットが対応づけられているとすると、高齢者は若年者よりも歩行時間を長く評価することが予測される。

本研究に参加した高齢者は、歩行速度も若年者とほとんど差がなく、また日常生活の中で歩行に関する問題をほとんど感じない程度に健康を保っている人であった。しかしこのように健康な高齢者であっても、時間評価の結果の違いから、若年者に比べて日常生活の中で利用可能な注意資源の量が少なくなっていることが推察された。本研究の結果は、健康な高齢者では自分自身の歩行所要時間の見積もりの正確さそのものについてはあまり問題がないものの、日常生活の中で注意力の低下により、歩行時の安全に関する問題が生じる可能性を示唆している。すなわち、健康な高齢者の歩行時の危険としては、歩行所要時間の見積もりに失敗して不適切なタイミングで横断を開始してしまうといった比較的単純なエラーよりも、若年者に比べて周囲に配分できる注意が不足し、接近してくる車を見落としてしまうといった状況認識の問題や、死角から車が出てくるといった潜在的危険に対する予測に失敗する認知・判断のエラーの問題があると考えられる。

5. おわりに

本研究の結果から、健康な高齢者では自分自身の行動所要時間は比較的正確で、若年者よりもより安全な方向で見積もることができると示された。よって、本研究に参加したような健康な高齢者の場合、自分の行動

所要時間の評価においてはさほど問題はないといえる。ただし、時間評価の違いには日常生活の中での高齢者と若年者の注意機能の違いが反映されていることが考えられ、高齢者が徒歩で移動する場合には注意に関連しての問題が存在することが示唆された。

本研究では健康状態や歩行能力に問題ない健康な高齢者が実験参加者となっていた。健康な高齢者はより多くの外出機会を持ち道路横断を行う場合も多く、結果的に危険事態を経験する機会も多くなると考えられるので、健康な高齢者の行動が若年者に比べてどのように異なるかを調べることは意義がある。しかし、実際の交通場面では健康上の問題を持ち、あまり積極的に外出しないような高齢者の行動についても検討することが必要である。具体的には、歩行に問題があり歩行補助具を使用している高齢者や認知機能の低下が顕著な高齢者の行動所要時間評価の検討が必要である。これらの高齢者では、行動所要時間評価の特性が相当に異なっていて、直接的に歩行者事故のリスクが高い可能性が残されている。

6. 引用文献

- 1) 自動車技術会中部支部高齢運転適性研究委員会. (2005). 高齢者運転適性ハンドブック. 自動車技術会.
- 2) 島村千樹・篠原一光・長山泰久・三浦利章・小川和久 (1991) 右折行動の研究 (2) —右折所要時間とその評価— 日本応用心理学会第 58 回大会発表論文集, 218-219
- 3) 篠原一光 (1996) 運転における展望的時間評価 交通科学, 24, 53-60
- 4) 篠原一光. (1996). 自動車運転時の時間評価. 著: 松田文子, 調枝孝治, 甲村和三, 神宮英夫, 山崎勝之, 平伸二, 心理的時間—その広くて深いなぞ— (ページ: 303-314). 北大路書房.
- 5) 征矢野あや子・村嶋幸代・武藤芳照. (2005). 転倒予防自己効力感尺度の信頼性・妥当性の検討. 身体教育医学研究, 6, 21-30
- 6) 鈴木春男 (2001) 高齢者の生活と安全な移動. 国際交通安全学会誌, 27, 14-24
- 7) 高山純一・中山晶一郎・福田次郎 (2004) 高齢者の横断歩道外における横断行動の実態およびその意識に関する調査分析 土木計画学研究・論文集 21, 647-655
- 8) Scialfa, C.T., Guzy, L.T., Leibowitz, H.W., Garvey, P.M. and Tyrrell, R.A.: Age differences in estimating vehicle velocity. *Psychology and Aging*, 6, 60-66, 1991.
- 9) Block, R.A., Zakay, D. and Hancock, P.A.: Human aging and duration judgments: a meta-analytic review. *Psychology and Aging*, 13, 584-896, 1998
- 10) Salthouse, T.A.: The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428: 1996.
- 11) Zakay, R.A. and Block, R.A.: Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 6, 12-16: 1997.
- 12) Kramer, A.F. and Kray, J. Aging and Attention. In: E. Bialystok and F.I.M. Craik, (eds), *Lifespan cognition: mechanisms of change*, Oxford University Press, New York (2006), pp. 57-69.
- 13) Lacour, M., Bernard-Demanze, L., and Dumitrescu, M.: Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods, *Clinical Neurophysiology*, 38, 411-421, 2008.

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総合研究報告書

6. 高齢労働者の認知的・心理的特性と労働災害リスク
—展望的記憶に影響を及ぼす、内的・外的要因の検討から—
研究分担者 権藤恭之 大阪大学大学院

高齢期の認知的な活動は、生理的加齢に伴って低下する機械的側面と、比較的生理的な加齢の影響を受けにくい応用的側面が協働することで実現されている。今後増加する高齢労働者の災害リスクを検討するためには、機械的側面の低下だけでなく、機械的側面の低下に対して補償的な役割を果たす応用的側面の機能を考慮する必要があると考えられる。そこで、本研究では、展望的記憶の失敗に影響する認知機能の基礎的側面の個人差と、失敗を補償する機能としてのメモの利用の関係から、両者の関係を明らかにし、機械的側面の低下に対して機能する応用的側面の有効性と限界を検証すること目的とした。初年度の実験においては、展望的記憶課題の遂行にとって必要な認知機能の要因を検討し、展望的課題の成績を向上させる外的補助として、メモの効果を検討した。結果、展望的記憶課題への影響は、認知機能によって異なること、メモの利用には一定の効果はみられたが、メモによって異なる認知機能の負荷が高まることが示された。また、メモの記述を対象者任せにしていたため補償効果に限界が見られた。そこで2年目は、メモの利用によって、課題実行に必要な要因がより補われる、構造化したメモを開発しその効果を検討した。その結果、構造化メモの利用は、特に普段構造化したメモを利用していない対象者では、大きな効果が確認された。

これらの結果は労働場面においても、次に行うべき動作に関する情報を先行して、構造化して記述し、記憶し、遂行の確認を正確に行うことができれば、作業効率の低下を防ぎ、災害リスクを低減できる可能性を示唆するものであった。一方、本研究では同時に、メモを利用することで、利用者の認知的な負荷が高まることも示唆された。このことは、労働場面で新たな仕組みを導入すると、問題点が改善されても、新たな認知的負荷が生じる可能性を示唆するものであった。このことから、利用者の認知的負荷を増やさず作業の予告を行う仕組みを構築することが必要であると考えられた。

1. はじめに

加齢に伴い認知機能は衰えると一般には認識されている。しかし、これまでの研究から、認知機能には加齢に伴って低下しやすい側面と低下しにくい側面が存在することが明らかにされてきた。前者は機械的側面と呼ばれ、情報処理の基礎的な要素から構成される。後者は実用的側面と呼ばれ、情報処理の効率に影響する、獲得された技能や知識といった要素から構成される。そして、実際の認知的な活動において両者は独立で機能するのではなく、協調している。

高齢期には生理的な加齢に伴って機械的側面が低下しやすいため、実用的側面の補償機能が、認知的活動を効率的に行うためには重要だと考えられている。特に日常生活場面では、高齢者はこれまでの生活経験によって獲得してきた様々な技能や方略を用い、実用的側面による補償が大いに機能していると予想できる。労働場面においても同様に、高齢労働者は、日々の業務において補償的方略を用いていると考えられる。一方で、過度に実用的側面に依存することは、偶発的な問題の発生に対して対処が困

難な状況を生み出す危険性もある。そのため、今後、高齢労働者の災害リスクを把握するためには、加齢低下が顕著である機械的側面に注目するだけでなく、相補的に生じる補償のメカニズムに注目し、その有効性や限界を明らかにすることが必要となる。しかしながら、これまでの研究では、機械的側面の低下と実用的側面による補償の関係やそのメカニズムはあまり検討されていない。そこで本研究では、両者の関係および相互的な作用に関するメカニズムを検証する課題として展望的記憶に注目し、その補償方略の有効性と限界を検討した。

展望的記憶研究によると、若年者と比較すると、高齢者は実験室で行われる課題成績が悪いにもかかわらず、日常生活場面で行われる課題では成績の低下が確認されない、もしくは成績が若年者と比較して良いことが報告されている。展望的記憶研究における矛盾した結果の生起要因については、先行研究で様々な仮説が論じられているが、いまだにはっきりとしたことが判明していない。先行研究で報告されている要因の一つに外的記憶補助の利用がある。これらの矛盾した結果は、認知機能の低下に対して記憶補助の利用が補償的に機能することで生じていると示唆されているが、実証的な研究はほとんどない(Phillips, Henry, & Martin 2007)。また展望的記憶は、保持期間の長さや手がかりの性質(ex.事象ベース、時間ベース)により多様な側面を持つ。そのため、外的記憶補助の利用が展望的記憶に補償的に機能するとしても、その補償効果が展望的記憶のすべての側面に一様に働くとは限らない。そこで、本研究では条件操作が厳密にできる実験室場面において、外的記憶補助の利用が展望的記憶にどのような効果を与えるか検討することを目的とした。課題として、実験室実験において日常場面を比較的よく再現することができる課題である Virtual Week (VW) を利用した。

1年目の研究では、外的記憶補助(メモ)の利用が展望的記憶課題の成績に効果的で

あるかどうか、その効果が展望的記憶のどの側面に表れているのかを検討した。

2年目の研究では、対象者が利用したメモの分析を行い、展望的記憶の補償効果を高めるメモの記述方法について検討し、展望的記憶への補償効果を高めるようにデザインされたメモを開発し、その有効性について実験的に検証した。

2. 研究1

2.1 方法

2.1.1 対象者

1年目に実施した実験の対象者は、近畿圏内のAシニアカレッジの受講生およびB市立生涯学習センター利用者であった。調査期間は2009年10月1日~11月30日であり、C商工会議所およびB市立生涯学習センターの一室にて実施した。対象者は調査期間中のうち3日間、自身の都合のよい日を選択して、調査に参加した。結果、201名(男性99名、女性102名)が本研究に参加した。

最終的に分析対象者となったのは、調査データに不備の無かった60~85歳の男女186名(平均年齢68.18歳、S.D.=5.13、男性89名、女性97名)であった。

なお本研究は、事前に大阪大学大学院人間科学研究科人間行動学講座研究倫理委員会にて審査を受け、承認を得たうえで実施した。

2.1.2 調査内容

(1) 質問紙調査

対象者の基本属性として、年齢、性別、教育年数に関して、回答を求めた。

(2) 認知機能の測定

成人にとって重要である認知機能を簡便に測定できるBrief Test of Adult Cognitive by Telephone(BTACT;(Tun & Lachman, 2006)に準じて実施した。刺激はE-Prime2.0(アイ・ビー・エス・ジャパン株式会社)を使用して、音声で提示した。ただし、本研究では回想

的記憶の指標は、BTACT に含まれた Word list recall ではなく FCSRT の自由再生数を使用した。全体の所要時間は約 45 分であった。本研究で使用した認知機能指標および成績の算出方法について、Table2 に示す。

Table2. 認知機能の測定指標および成績の算出方法

測定内容	課題	成績の算出方法
処理速度	Backward Counting	30秒間で逆順に数えられた個数
実行機能	Category Fluency	30秒間での正答数
ワーキングメモリ	Backward Digit Span	逆唱できた数字の個数
帰納的推論	Number Series	全5問中における正答率
注意切り替え	Red/Green Test	BaselineとMix条件時の正答率の差
回想的記憶	FCSRT	自由再生での再生数

Note. FCSRT=Free and Cued Selective Reminding Test

(3) 展望的記憶の測定

本研究では、Rendell らが開発したパーソナルコンピュータ版の VW 英語版プログラムを日本語で実施可能なように改良したものをを用い展望的記憶を評価した。VW は 1 周が 1 日の生活をシミュレートしたすごろくゲームであり、日常生活に近似した状況下で展望的記憶を評価できる課題として開発された。対象者は 1 日を 122 マスに区切ったすごろく上で駒を進めながら、日常の活動に関する質問に回答しながら(=背景課題)、ゲーム開始前(1 日の始まり)や途中で提示される 10 個の予定を、適切なタイミングで遂行することが要求される(=展望的記憶課題)。

VW における 10 個の展望的記憶課題は 4 個の規則課題、および不規則課題、2 個のタイムチェック課題から構成されている。なお、本研究では、労働場面での展望的記憶に注目したため、不意に実行しなければならない行為が提示される不規則課題のみを分析対象とした。

不規則課題とは、日常生活における、その日限りの単発的な予定をシミュレートしており、事象ベース課題(2)と時間ベース課題(2)で構成されている。不規則課題の特徴

は、1 周ごとに課題内容が異なることであり、1 週の開始時に提示される予定と、1 週の途中で追加提示される予定の 2 種類がある。

本研究では、VW の不規則課題の提示方法および遂行までの時間間隔を操作することで、短期条件の展望的記憶と長期条件の展望的記憶課題を設定した。これは、同じ突発的に生じた事象であっても、指示数分後に実行するような場面と、指示から実行までに十分な時間がある場面では、用いられる補償方略が異なり、また、補償方略を用いた場合の影響も異なることが予想されたからである。本研究では長期条件の展望的記憶課題は、VW の 1 週の開始前に、事前に課題提示し、遂行までの間隔を、事象ベース課題では 55 マス以上、時間ベース課題では仮想時刻で 7 時間以上となるように設定した。一方、短期条件の展望的記憶課題は、VW の 1 週の途中で突発的に追加提示し、遂行までの間隔を、事象ベース課題では 23 マス以上、時間ベース課題では仮想時刻で 4.5 時間以内となるように設定した。

(a) 外的記憶補助利用の操作

本研究では、外的記憶補助の利用によって、認知機能が各展望的記憶課題の遂行に及ぼす影響がどのように変化するかを検討するため、VW 実行時にメモを利用できるメモ使用条件を加え、従来の VW をメモ無し条件とした 2 条件を設定した。メモ使用条件では、VW 開始前に、対象者に B5 の白い紙を 2 枚渡し、普段の自身の予定を管理しているように自由に使用しながら、VW を遂行するように教示した。また、1 周ごとに新しいページを使用するよう指示した。

(b) 手続き

実験は 1~7 名の複数名の同時進行で実施し、対象者は 1 日 2 時間のセッションを 3 日間にわたって参加した。実験初日の冒

頭で、対象者に研究の概要と目的を伝え、参加に対する同意書への署名が得られたうえで、実験を開始した。

参加1日目は、展望的記憶課題 VW の操作練習を、実験者の付き添いのもと、約1時間～1時間30分実施した。また、参加2・3日目に、メモを使用しない状況あるいはメモを使用した状況で、本試行を実施した。本試行では、対象者に、途中で予定をし忘れていたことに気付いた場合は、その時すぐに予定をおこなうように教示した。なお、本研究では、メモ使用条件の実施順序は、カウンターバランスをとった。

認知機能の測定および質問紙への回答は、3日間にわけて実施した。本研究は複数名を対象に同時進行で実施したため、認知機能の測定は個人によって順序は異なるが、3日間での実施内容は全対象者同一である。さらに、参加3日目には、本研究の趣旨や予想される結果などのデブリーフィングを行った。

2.2 分析

2.2.1 目的

展望的記憶課題のタイプ(事象ベース課題・時間ベース課題)および意図の保持期間(短期・長期)によって、外的記憶補助の利用の効果に違いがあるのかを検討する。

2.2.2 結果

(a) 各展望的記憶課題における失敗の割合

メモ無し条件およびメモ使用条件での、各展望的記憶課題における失敗の割合を Table3 に示した。

(b) 外的記憶補助利用の効果の検討

展望的記憶課題のタイプ(事象ベース・時間ベース)、意図の保持期間(短期・長期)によって、メモを使用することの効果は異なる

Table3. 各展望的記憶課題における失敗(Miss)の割合

	事象ベース課題		時間ベース課題	
	短期条件	長期条件	短期条件	長期条件
メモ無し条件	.31 (.32)	.29 (.33)	.27 (.30)	.34 (.34)
メモ使用条件	.20 (.29)	.20 (.29)	.16 (.26)	.12 (.26)

Note. カッコ内は標準偏差を示す

るのかを調べるために、課題タイプ(2)×保持期間(2)×メモ使用(2)の3要因分散分析を行った。

結果、事象ベース課題の方が時間ベース課題よりも展望的記憶の失敗率が高いことを示す、課題タイプの主効果($F(1,185) = 6.25, p < .05$)、メモを使用することで展望的記憶の失敗が軽減することを示す、メモ使用の主効果($F(1,185) = 43.69, p < .01$)、課題タイプ×メモ使用の交互作用($F(1,185) = 7.23, p < .01$)、保持期間×メモ使用の交互作用($F(1,185) = 4.46, p < .05$)、課題タイプ×保持期間×メモ使用の交互作用が有意であった($F(1,185) = 6.41, p < .05$)。

二次の交互作用が有意であったので、この交互作用について以下に分析を行う。

保持期間ごとに単純交互作用の検定を行った結果、長期条件の展望的記憶課題においてのみ、課題タイプ×メモ使用の単純交互作用が有意であった($F(1,370) = 13.63, p < .01$)。そこで、まず、長期条件の展望的記憶課題における単純交互作用について、課題タイプごとに、メモ使用の単純・単純主効果の検定を行った(Fig.1)。結果、事象ベース課題、時間ベース課題において、メモ使用の単純・単純主効果がそれぞれ有意であり、メモを使用することで有意に、展望的記憶の失敗が軽減したことが明らかになった(事象ベース課題: $F(1,740) = 8.50, p < .01$, 時間ベース課題: $F(1,740) = 56.78, p < .01$)。次に、メモ使用別に、課題内容の単純・単純主効果の検定を行った(Fig.1)。結果、メモ使用条件においてのみ、課題タイプの単純・単純主効果が有意であり($F(1,740) = 14.50, p < .01$)、メモ使用条件では、事象ベースに比べ、時間ベースの展望的記憶課題における失敗率が低いことが明らかになった。

また、課題タイプごとに単純交互作用の検定を行った結果、時間ベース課題においてのみ、保持期間×メモ使用の単純交互作用が有意であった($F(1,370) = 10.76, p < .01$)。そこで、時間ベース課題における単純交互

作用について、まず、保持期間ごとに、メモ使用の単純・単純主効果の検定を行った(Fig.2)。結果、短期条件・長期条件において、メモ使用の単純・単純主効果がそれぞれ有意であり、時間ベース課題においては、短期・長期条件ともに、メモを使用することで、展望的記憶の失敗が軽減された(短期: $F(1,740) = 13.28, p < .01$, 長期: $F(1,740) = 56.78, p < .01$)。次に、メモ使用別に、保持期間の単純・単純主効果の検定を行った(Fig.2)。結果、メモ無し条件、メモ使用条件において、保持期間の単純・単純主効果がそれぞれ有意であり(メモ無し: $F(1,740) = 4.56, p < .05$, メモ使用: $F(1,740) = 5.51, p < .05$)、メモ無し条件では短期条件に比べて長期条件の方が、メモ使用条件では長期条件に比べて短期条件の方が、展望的記憶の失敗率が高いことが明らかになった。

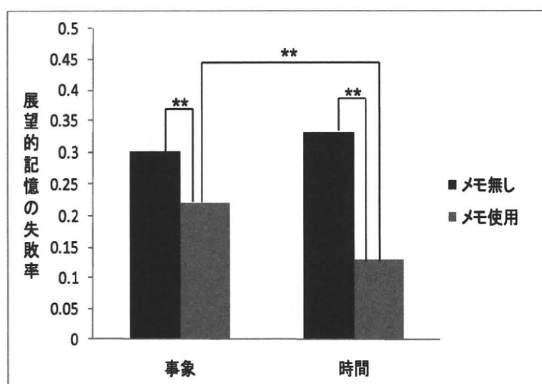


Fig.1. 長期条件の展望的記憶の失敗

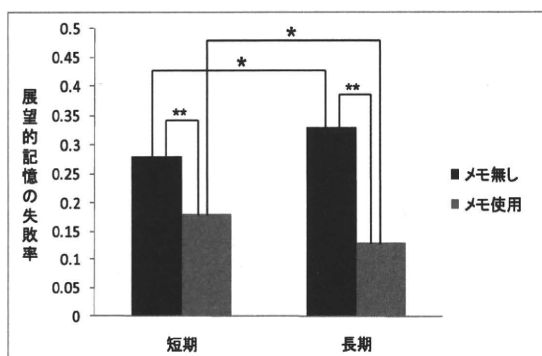


Fig.2. 時間ベース課題の展望的記憶の失敗

(c) 外的記憶補助の得点と展望的記憶の失

敗との相関関係の検討

外的記憶補助の得点化は正確性・時系列・強調・チェックの4つの基準において行った。

Table4 メモの採点基準

採点基準	評価
正確性	手がかりと行為内容の両方を正確にメモしている
時系列	時系列順に上から予定をメモしている
強調	予定にアンダーラインを引くなどして記述内容を強調している
チェック	遂行した予定にチェックを入れるなどしている

各基準の得点と展望的記憶課題の失敗との間の相関係数を求めた。

結果、時系列に記述したメモと展望的記憶課題の失敗との間に負の相関関係が見られた。

2.3 考察

(a) 外的記憶補助の補償効果

1年目の実験の結果、外的記憶補助は展望的記憶に対して補償効果を持つことが示唆された。しかし、事象ベース課題よりも時間ベース課題においてメモの補償効果が高くなり、また時間ベース課題ではメモ無し条件においては長期条件よりも短期条件で成績が良いが、メモ使用条件では短期条件よりも長期条件で成績が良かったという結果が得られた。このことは、展望的記憶の課題条件によってメモの補償効果に差が生じたということを示唆する。したがって、外的記憶補助が有効に働いた展望的記憶の側面と、有効に働かなかった側面が存在するという可能性が考えられる。この結果が、メモという方略の効果の限界を示すものなのか、それともメモの利用方法によって生じた差であるのかについてさらに考察する。

(b) 外的記憶補助の記述方法と補償効果の関連性

1年目の実験では外的記憶補助の利用方法について教示をしなかったため、メモの記述にかなりの個人差が生じたと思われる。そのためメモの補償効果にも差が生じたと推測される。したがって、メモの記述について何らかの統制をすることで、展望的記

Table5 VW の失敗率とメモ得点との相関係数

	トリガー				行為			
	正確性	時系列	強調	チェック	正確性	時系列	強調	チェック
r_Regular_Event_Miss	0.03	-0.01	0.03	-0.08	0.08	-0.03	0.08	-0.05
r_Regular_Time_Miss	0.09	-0.17 *	-0.04	-0.02	0.09	-0.17 *	-0.06	-0.01
r_Time_Check_Miss	0.03	-0.12	-0.06	0.10	0.01	-0.13	-0.05	0.09
r_Irregular_Event_Miss	0.00	-0.13	-0.10	0.01	0.00	-0.14	-0.09	0.03
r_Irregular_Time_Miss	0.04	-0.05	0.01	-0.02	0.04	-0.06	0.01	-0.02
r_All_Regular_Miss	0.07	-0.10	0.00	-0.06	0.09	-0.11	0.02	-0.04
r_All_Irregular_Miss	0.02	-0.10	-0.05	-0.01	0.02	-0.11	-0.05	0.01
r_All_Tasks_Miss	0.05	-0.12	-0.04	0.00	0.05	-0.14	-0.03	0.01
r_Irregular_Beginning_Miss	0.06	-0.03	-0.02	0.05	0.06	-0.04	0.01	0.07
r_Irregular_During_Miss	-0.01	-0.16 *	-0.08	-0.07	-0.02	-0.16 *	-0.10	-0.05
r_Event_Short_Miss	-0.03	-0.16 *	-0.11	-0.04	-0.03	-0.16 *	-0.13	-0.01
r_Time_Long_Miss	0.07	0.02	0.04	0.04	0.07	0.00	0.06	0.04
r_Time_Short_Miss	0.00	-0.11	-0.03	-0.08	-0.01	-0.12	-0.04	-0.07
r_Event_Long_Miss	0.03	-0.06	-0.06	0.05	0.03	-0.08	-0.03	0.07

* $p < .05$

憶の別の側面への補償効果を高め、展望的記憶の成績をさらに向上させる可能性が考えられる。しかしメモの記述を統制する前に、どのような外的記憶補助が展望的記憶の補償効果を高めるのかを検討する必要がある。

メモの得点と展望的記憶の失敗との相関分析において、手がかりにおいても行為内容についても時系列に記述したメモのみ有意な負の相関関係が見られた。この結果から、時系列のメモは時間ベースの規則課題、試行途中に呈示される課題、短期条件の事象ベース課題の失敗に対して補償効果を持つ可能性が考えられる。つまり、時系列は展望的記憶の補償に関連している要因であることが推測される。相関分析の結果はTable5に示した。

また1年目の実験では相関関係が見られなかったが、Gynn, McDaniel, & Einstein(1998)は事象ベースの展望的記憶の遂行において、必要な手がかりと行為内容の両情報が正確に記述されたリマインダーは展望的記憶の補償効果を高めると報告しているため正確性は展望的記憶の補償効果を高める要因である可能性が考えられる。また小林・丸野(1992)はメモが効果的に機能するための条件として記述内容の識別性を挙げた。チェックには、遂行した予定と未遂行の予定の識別性を高める効果が期待できるため、展望的記憶の補償効果を高める可能性が考えられる。したがって正確性と

チェックの2つの要素も、展望的記憶の補償効果を高める関連要因と考えた。

3. 研究2

研究1の実験では、展望的記憶の補償効果を高めることが期待される要素として正確性・時系列・チェックの3つの要素が考えられた。研究2では、これら3つの要素の効果が最大となるように構造化された外的記憶補助(構造化メモと呼称)を開発し、その有効性について実験的に検証した。

3.1 方法

3.1.1 対象者

研究の参加者は、2009年度に1年目の研究に参加した高齢者のうち今回の実験参加にも同意が得られた172名(男性85名、女性87名;平均年齢69.19歳(SD=5.24))。調査期間は2010年7月26日~8月23日であり、C商工会議所およびB市立生涯学習センターの一室にて実施した。対象者は調査期間中のうち2日間、自身の都合のよい日を選択して、調査に参加した。分析対象者は2年目の研究の参加者のうち調査データに不備のなかった167名(平均年齢69.14歳(SD=5.16)、男性82名、女性85名)であった。

3.1.2 調査内容

展望的記憶課題としてVirtual Weekを用いた。

(a)外的記憶補助の操作

2年目の研究では、構造化メモの利用によって、展望的記憶の補償効果が自由記述のメモよりも高くなることを検証するため、研究1と同様に、VW実行時にメモ無し条件とメモ使用条件の2条件を設定した。加えて2年目の研究ではメモ使用条件において、構造化メモを使用する条件と自由記述のメモを使用する条件の2条件を設定し、2×2要因計画で実験を行った。構造化メモ条件では、VW開始前に、対象者にB5サイズの構造化メモ4枚を渡し、使用方法についての教示を行った後、練習試行1周+本試行3周を実行した。自由記述メモ条件では、VW開始前に、対象者にB5の白い紙を4枚渡し、研究1と同様の教示を行った。ただし、構造化メモ条件に合わせてこちらの条件でも、メモを使用しながら練習試行1周+本試行3周を実行した。

(b) 手続き

調査は2日間に分けて行った。対象者は1日目にメモを使用せずにVWを行い、2日目にメモを使用してVWを行った。対象者は2日目に使用するメモの種類によって構造化メモを使用する群（構造化メモ群）と自由記述のメモを使用する群（自己流メモ群）の2群に分けられた。2年目の研究では本来とるべきメモ条件の実施順序のカウンターバランスをとっていないが、これは2年目の研究で検討したいことが、メモの効果の有無ではなく使用したメモの種類により結果に差が生じるかどうかであるためである。

また群分けの際、研究1で得られたデータを用いて、2群間で性別・年齢・教育年数・認知機能の成績・VWの成績・メモの各基準の得点それぞれに有意差が生じないように調整した。

3.2 分析

自己流メモ群と構造化メモ群で展望的記憶の失敗の変化量の差を検討するため、試

行(2)×メモ種類(2)の2要因分散分析を行った。被験者内要因は試行(メモ無・有)、被験者間要因はメモ種類(自己流・構造化)であった。従属変数には展望的記憶の失敗を用いた。分析はIとIIの2種類行い、分析Iを行った後、対象者を整理して分析IIを行った。

3.2.1 結果

Fig. 3は各メモ群における、VW全課題のミス率をグラフにしたものである。構造化メモの有効性を検証するために、対象者を2要因分散分析により分析した。従属変数は、全課題のミス率とした。その結果、試行(メモ有無)の有意な主効果が見られ($F(1, 165) = 19.40, p < .001$)、メモの種類(自己流・構造化)の主効果は見られなかった($F(1, 165) = .89, p = n.s.$)。また試行×メモ種類についての交互作用も見られなかった($F(1, 165) = 1.33, p = n.s.$)。

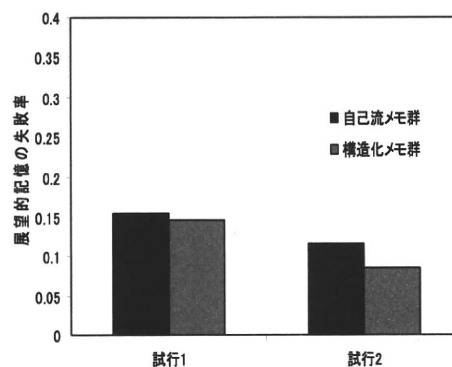


Fig. 3

各メモ群におけるVW全課題のミス率

試行とメモ種類についての交互作用は有意でなかったが、構造化メモ群の変化量の方がより大きかった。このことから、VWの成績によってメモの効果の大きさに差が生じていることが推測された。その為、VWの成績により対象者のデータをさらに細かく整理して、傾向を分析する必要がある

と考えた。くわえて、分析Ⅰの対象者の中には、自己流メモ・構造化メモを十分に活用できていないケースも含まれている可能性があった。特に、構造化メモ群ではルールに従って構造化メモを使用できていなければ、「構造化メモ群」として不適當である。これらの点を踏まえた上で、分析Ⅱを行った。

3.2.2 分析Ⅱ

(a) データの整理

今回検討したいのは、2種類のメモ使用条件における、VWのミス率の変化量である。そのためVW1回目のミス率が0の対象者42名については、2回目の成績向上が期待できないため、メモの効果を分析するには不適當だと考え、分析対象外とした。

また、残った124名のうち、メモの正確性得点が平均値-2SD以下の対象者9名はメモをVWのルールに沿って十分に活用できていない可能性があり、メモ使用条件のデータとして不適切と考え、分析対象外とした。

さらに、構造化メモ群において、時系列得点が平均値-2SD以下の対象者1名については、構造化メモをルールに従って使用していなかったと考え、分析対象外とした。

よって分析Ⅱでの分析対象者は114名(男63名、女51名)となった。なお、この分析対象者114名が2群間で年齢・性別・教育年数・認知機能成績・VWの成績・メモの得点の平均値に有意差がないことを確認するためt検定を行った。その結果、2群間でこれらの平均値に有意差はなかった。

(b) 構造化メモの効果に関する分析

Fig. 4は、上述のデータ整理の後、各群におけるVW全課題のミス率をまとめたものである。構造化メモの有効性を検討するために、対象者を2要因分散分析により分析した。その結果、試行(メモ有無)の有意な主効果が見られ($F(1, 112) = 55.74, p$

$<.001$)、メモ種類(構造化・自己流)の主効果は見られなかった($F(1, 112) = .146, p = n.s.$)。しかし、試行×メモ種類の交互作用が有意であった($F(1, 112) = 4.13, p <.05$)。そこで、試行による単純主効果の検定を行った。その結果、試行1においては有意差が見られず、試行2においては自己流メモ群と構造化メモ群の間に成績の有意差が見られた(試行1: $F(1, 112) = 1.01, p = n.s.$, 試行2: $F(1, 112) = 5.48, p <.05$)。

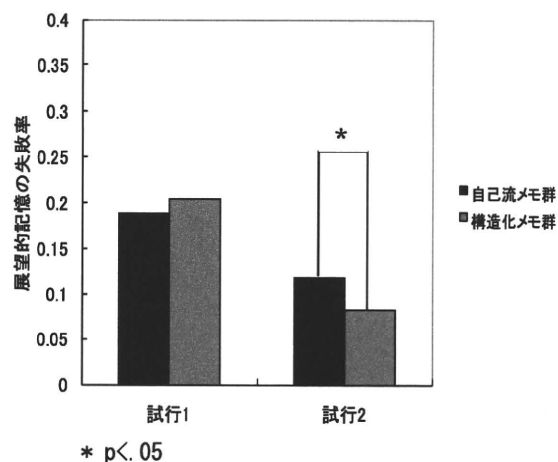


Fig. 4. 各メモ群におけるVW全課題のミス率(データ整理後)

4. 考察

本研究は新しく開発した構造化メモが展望的記憶の成績向上に効果的であることの検証をその目的としていたが、結果として構造化メモの有効性が示唆されることとなった。以下では、展望的記憶の補償効果を高めた要因について考察する。

(a) 構造化メモの特性

本研究の結果は、構造化メモを構成する正確性・時系列・チェックのいずれかの要因もしくは複数の要因が関連していると考えられる。どの要因が関連しているかについて検討するため、2年目の研究で得られたメモについての分析を行ったが、その結

果、正確性は自己流群と構造化群で有意差がなかったが、時系列とチェックは2群間で有意差が生じた。そのため自己流メモと比較して構造化メモがユニークである点は時系列とチェックの2要素であり、したがって成績の有意差はこの2要因により生じたと考えられる。

(b)時系列メモの補償効果

展望的記憶の記録から遂行までのプロセスは、プランの形成、情報の保持、実行の3段階に分けることができる。この3つの段階それぞれにおいての加齢の影響を検討した研究では、プランの形成の段階の機能が高齢者で低下しているという結果が報告されている(Kliegel, McDaniel, & Einstein 2000)。つまり高齢者は若年者を比較して、プランを形成する機能に衰えが見られるということである。メモの利用には、プラン形成時に手がかりと行為を無意識的に連関させる効果がある(正確性の補償)。加えて、構造化メモを使用することで、使用者は自動的に予定を時系列にメモすることになる。展望的記憶を時系列に記録することにより、一つの予定における手がかりと行為の構造化のみならず、一日全体で予定を系列的に構造化し、予定と予定との間の連関を強める効果が考えられる。したがって、時系列のメモは展望的記憶のプラン形成時における記録内容の構造化を促進し、展望的記憶の自発的想起を促進する要因となった可能性が考えられる。

(c)チェックの補償効果

構造化メモのもう一つのユニークな点は、遂行した予定へのチェックを教示されることである。チェックは遂行した予定と未遂行の予定との識別性を高め、メモが効果的に機能するために有効な方略であると思われる。また、メモにチェックすることを教示されることにより、実験参加者は予定を実行するたびに意識的にメモへと注意を切

り替える必要がある。つまり、チェックをするためにメモへと意識的に注意を切り替えることになり、そのことが展望的記憶の想起に対する補償効果を高めることになったという可能性も考えられる。しかし、メモを使用していたとしても展望的記憶課題や背景課題には多くの認知資源を向けなければならず、そのためチェックに向ける認知資源は大きく減少してしまうことが考えられる。チェックは正確性や時系列に比べ、より応用的な記述方法といえるかもしれない。本研究で用いた構造化メモはチェックについての教示を対象者に与えるものであったが、その実行において使用者の認知資源の個人差が影響してしまい、コントロールが不完全であったと思われる。チェックとメモの補償効果について検討するためには、チェックの自発性を高める新たなメモのデザインを開発する必要があるだろう。

5. まとめ

本研究では外的記憶補助の利用は展望的記憶のパフォーマンスに対して補償効果を持つことが明らかとなり、またその利用方法を統制することにより、さらに効果を高めることも可能であるということが示唆された。2種類のメモを用いた2年目の研究においては、展望的記憶の補償効果を高める外的記憶補助の要因として時系列とチェックの存在が示唆された。しかし、今回用いた構造化メモは両要因に働きかけるデザインであったため、どちらの要因が展望的記憶の補償に関連しているのか、また、展望的記憶のどの側面に補償効果があったのかについては検討することができなかった。今後は、両要因について出来るだけ分離した実験デザインによる検討も必要だろう。

2年間の研究における調査対象は高齢者であったが労働場面に応用できる知見を幾つか得ることができた。特に本研究ではコ

ンピュータ画面上で疑似的に日常生活をシミュレーションする実験課題であるバーチャルウイークであったことから、労働場面における短期から、中期の展望的記憶に基づく、作業の実行と関連する知見が得られたことである。

最も重要な知見は、1年目の研究でメモの利用条件と、メモを利用しない条件で、認知機能と展望的記憶課題の関連が異なったことである。この結果はメモを利用することで、認知機能の特定の側面の加齢低下を補償することはできる一方で、メモを利用するためには新たな方略が必要であり、その方略を支える認知機能の負担が増えることを示唆していた。つまり、労働場面において考えると、作業の負担を軽減するための新たなツールを導入した場合には、新たなツールに対して認知的リソースを割かれることで、想定していたほどの効果が得られないことを示唆する。したがって、新たなツールは使用において、極力利用者の負担が少なくなるものとする必要があるだろう。

次に重要な知見は時間ベース課題と事象ベース課題で、必要な認知機能、そして必要な外的補助の構造が異なったことである。したがって、労働場面においても、時間ベース作業のトリガー、事象ベースの作業のトリガーに対してそれぞれ異なった枠組みを設定する必要があるだろう。

最後にこれらの2つの知見を受けて、労働場面における展望的課題状況におけるエラー低減に寄与する枠組みを提案する。まず、事象ベース、時間ベースの作業に関しては、アラームの様に確実に遂行すべき事象に先行して警告を発するものが理想的である。しかし、時間ベース状況ではそのような設定が可能でも、事象ベース状況では、トリガーになる事象の判別をオンラインで処理し、警告を発する必要があるのでは

ような機器を提供することは難しいかもしれない。

そこで、現実的な解決策を考えると、時間ベース課題は、アラームの設定のみを作業者は行い、実行中の作業以外の認知的リソースを事象ベースの課題のみに向ける場面を作り出すことがよいのではないだろうか。さらに、事象ベース課題に対しては2年目の研究で用いた、構造化メモの形式に基づいた、方略を用いメンタルモデルを獲得する訓練を行うことがより効果的に事象ベース課題のミスを防ぐことになるだろう。メンタルモデルの構築は高齢者の日常場面における展望的課題の成績の良さの要因としても指摘されており、繰り返しの訓練で獲得することは困難ではないと考えられる。また、事象ベースのトリガーに対して、加齢の影響を受けにくいとされる手続き的記憶に基づいた身体的動作を組み合わせるとより効果的であると考えられる。

本研究のメモの利用を詳細に分析した結果は、メモと言う一見すると同じに見える補償方略の内容が個人間で等しくないという現実を明らかにした。また、構造的なメモを利用すると、非効率的なメモを付けていた群の成績は上昇した。このことは、作業内容に必要な、展望的記憶の要素を分析し、それに適応した効率的な補償方略を提供することで、作業中のエラーの低減が可能であることを示唆したものと言える。

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

学会論文集

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	ページ	出版年
大西明宏	バランス機能低下に及ぼす 人力による重量物運搬作業 の影響	第 30 回バイオメカニズム学 術講演会予稿集	145-148	2009
Akihiro Ohnishi, Yoshihiro Ehara	The Mathematical Model Analysis for Safe Stairs Dimension Based on Features of the Heel Trajectory	17th World Congress on Ergonomics(IEA2009 Beijing)	CD-ROM	2009
Kazuma Ishimatsu, Fumiharu Togo, and Akihiro Ohnishi	Fall Risk and Cognitive Function in Older Adults: Effects of Age and Working Memory on Rapid Stepping Performance	ISISH (International Symposium on Industrial Safety and health) 2010	pp.64-69	2010
石松一真、 東郷史治、 大西明宏	転倒リスクと認知的加齢： 作業記憶が急ぎステップ ング動作に及ぼす影響	関西心理学会 122 回大会論文 集	p.62	2010
大西明宏、 東郷史治、 石松一真	年齢、転倒経験、ステップ 幅が連続ステップング動作 時の重心動揺に及ぼす影響	日 本 機 械 学 会 [No.10-8]Dynamics and Design Conference 2010 CD-ROM 論文集	CD-ROM	2010

バランス機能低下に及ぼす人力による重量物運搬作業の影響

○大西明宏¹

¹ (独) 労働安全衛生総合研究所

○Akihiro Ohnishi¹

¹ National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

1. はじめに

平成 17 年の労働災害発生状況(死亡災害及び休業 4 日以上)を事故の型別に見ると転倒は最頻事故である¹⁾。この傾向は平成 20 年までの 4 年間も同様であり、割合はむしろ 19.2%まで高くなっている¹⁾。とりわけ全就業者数の 70%を超える第三次産業では、他業種と比較して転倒災害、無理な動作等による災害等の割合が高く²⁾、高年齢労働者(55 歳から 65 歳)の被災割合が高い特徴がある²⁾。第三次産業の業務は運輸業の宅配便集配業務や小売業の商品取扱運搬作業、旅館・ホテル業の接客・配膳作業等に代表されるように多くの時間を人力による運搬を伴う立ち・歩きながらの作業であり、転倒災害は第三次産業の特徴であると示されている²⁾。しかし転倒災害との関係について具体的に言及されていないため、現場での対策に活用しにくいと思われる。

立ち歩きや運搬作業が及ぼす転倒災害の影響の 1 つとして筋疲労によるバランス機能の低下が考えられる。Shu らは下肢の筋疲労が身体バランスを低下させることを明らかにしており³⁾、筋ポンプ作用の働きにくいこれら作業態様による下肢の易疲労性を考慮すると、作業負担の増加に伴ってバランス機能は低下しやすい状況にあると推察される。特に高年齢者の場合、加齢による筋力低下⁴⁾と作業負担が相まって、バランス機能はさらに低下しやすい状況になることが想定される。

そこで本研究では荷物の運搬作業とバランス機能低下の関係を検討するため、高年齢者を対象とする前段階として、まず若年男性を対象に

模擬的な反復の重量物運搬作業の開始前と終了後でのバランス機能を評価し、作業条件や作業量等との関係からバランス機能に及ぼす影響について検討し、今後に向けた基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は実験課題が重量物の運搬作業であることを考慮し、大学の運動部に所属する健康な男性 10 名(年齢:19.1±0.3 歳,身長:173.7±3.6cm,体重:67.0±2.9kg)とした。なお、本研究の実施については独立行政法人労働安全衛生総合研究所倫理審査委員会にて承認を得たものであり、被験者には本研究における危険性や計測内容等の説明後に同意が得てから計測を実施した。

2.2 計測課題

被験者には図 1 に示す模式図の A 点と B 点を反復する模擬的な荷物運搬作業を課した。まず A 点で荷物を持ち上げ、事前に被験者が決めた任意の方向のみにその場で 180 度回転した後、3m 先の B 点の線上に荷物を置く作業を 30 分間

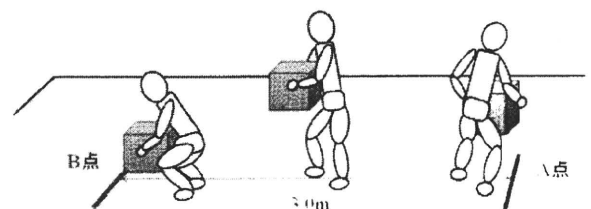


図 1 本実験における荷物運搬の模式区

繰り返すものである。実際の計測時の様子を図2に示した。動作のタイミングは被験者が床面に荷物を置いてから静止立位になり、5秒毎に鳴るアラーム音が2回目に鳴った時（5秒から10秒のインターバル）に次の動作を開始するよう教示した。荷物の重量については「職場における腰痛予防対策指針」⁵⁾の最大許容値（男性は55kg以下で体重の40%の値）の50%（ $26.8 \pm 1.2\text{kg}$ ）とし、取手付のクリアボックス（W 36cm×D 48cm×H 29cm）の底面が水平になるように砂袋を入れるように設定した。



図2 模擬荷物運搬作業の計測時の様子（例）

また動作速度は被験者が普通に作業できる条件（普通条件）に加え、無理な動作の1つとして荷物の持ち上げ・下ろし時以外は普通条件よりも素早く移動する条件（急速条件）の2つを設定した。

2.3 計測方法と計測手順

体力指標として作業開始前に背筋力と左右の握力を測定した。また、主観的な作業強度を把握するため、作業開始前・終了後に主観的運動強度（RPE）を測定した。バランス機能は、竹内らが用いた動的バランス評価法である側方へのクロスオーバーステップ動作⁶⁾（以下、CS動作）を連続して実施する課題とした。

CS動作時の肢位は上肢を体側に垂らし、足は肩幅程度に開脚し、以下の順序で繰り返す動作である。

1. バランスを崩さない範囲で側方へ片脚を踏み出す。
2. 支持脚の前で踏み出した脚を交差させて支持脚の足と水平になるように踏み出し足を接地する。
3. 1で踏み出した脚を支持脚とし、一方の脚を支持脚の後方から側方へ踏み出す。
4. 3で踏み出した足を床に接地し、開始肢位に戻す。

なお、側方移動の方向（左右）は被験者の任意とし、被験者にはステップ幅や動作がすべて同じになるよう教示し、事前に十分に練習させ、動作の再現性を確認した。本研究ではこの動作を連続して2往復する時の身体重心（以下、COG）の変位を評価の指標とした。

CS動作時のCOGは3次元動作計測装置（OptiTrack, NaturalPoint）の赤外線カメラ10台（FLEX:V100, NaturalPoint）を用いて臨床歩行分析研究会が提唱するDIFF変換をするための10ポイントを含む身体各所に貼付した直径2.5cmと1.0cmの赤外線反射マーカ位置を計測し、DIFFに対応するソフトを用いて算出した。

2.4 分析方法

背筋力と握力、RPEは各条件の開始前と終了後の平均値と標準偏差を算出した。またCS動作時のCOGは身体特性身長で除すことにより規格化した軌跡長、軌跡速度のピーク値を算出し、各条件の開始前・終了後の値を比較し、統計処理として、二元配置分散分析を行った。

3. 結果

被験者の背筋力は $126.4 \pm 13.1\text{kg}$ であり、握力は右が $45.1 \pm 6.4\text{kg}$ 、左が $45.1 \pm 4.0\text{kg}$ と左右が同じ値であった。荷物運搬回数は30分当たりで普通条件は 108.1 ± 14.5 回、急速条件では 127.2 ± 18.7 回と急速条件の方が約20回多く運搬していた。次に作業強度を表すRPEであるが両条件共に作業終了時の値は推定の心拍数にすると150～160bpmに相当する強度であり、普通条件では作業開始前に比べて作業終了後に7.3

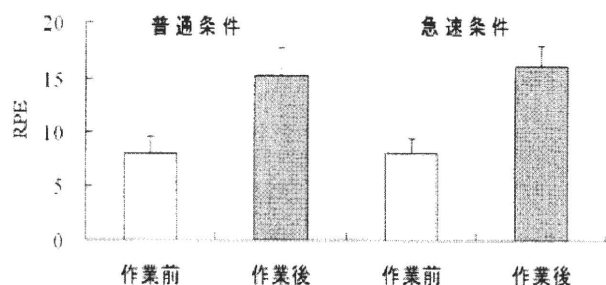


図3 荷物運搬作業の開始前・終了後の RPE

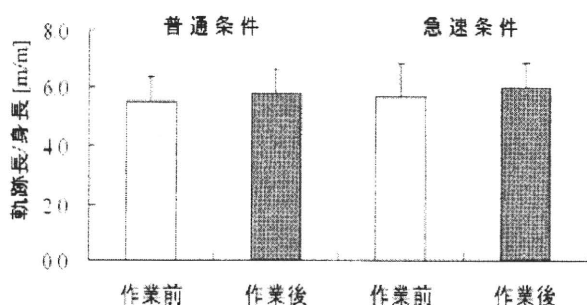


図4 CS動作時の COG 軌跡

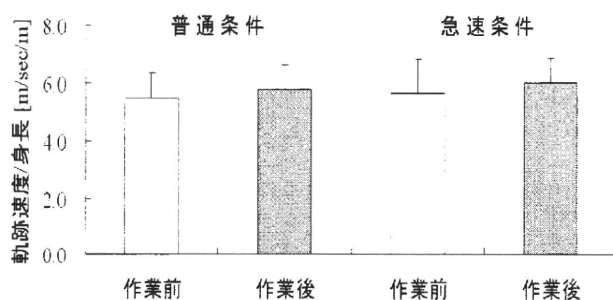


図5 CS動作時の COG 軌跡速度のピーク値

ポイント、急速条件では 8 ポイントの増加を示していた (図 3)。

CS 動作時のバランス機能を表す COG 軌跡長は普通、急速条件によらず作業開始前と終了後の値はほとんど変化がなかった (図 4)。また、COG 軌跡速度のピーク値についても同様の傾向であり、条件によらず作業開始前と終了後の

値に変化はなかった (図 5)。二元配置分散分析の結果は COG 軌跡長、COG 軌跡速度ピーク値共にすべてにおいて主効果は認められなかった。

4. 考察

今回の模擬的運搬作業は短時間に仕事が集中する状況を想定し、普通の速さに加えて急いで持ち運びする条件を設定したことで、1日を通した状況ではなくても下肢筋が疲労しやすい作業状況になると考えた。また荷物の重量は指針の最大許容値の 50% であっても平均で約 27kg もあり、1分間に 4 回程度の運搬を 30 分続けていたことから考えても、図 3 に示したとおり主観的運動強度が「かなりきつい」に相当する高い強度の課題であったことは間違いない。しかしながら、作業開始前と終了後の間にバランス機能の差異は見受けられなかった。その理由の 1 つとして被験者の体力水準が考えられる。今回の被験者は握力から見ると同年齢層の平均値 η を若干上回っている程度だが、日常的に運動をしている者であった。RPE の結果から見ると高い強度の作業であっても今回の体力測定値だけでは把握できない心肺機能の持久力を有しており、荷物運搬作業が全身運動に類似していたため、下肢の筋に特定して疲労状態を導くことはできなかったと考えられる。

またバランス機能を評価するために使用したクロスオーバーステップ動作であるが、今後の高年齢労働者の計測に備えて従来の方法 θ よりも安全面を考慮して立位姿勢を保持しにくい足が交差する状態を瞬時に解いてしまう課題に変更した。そのために作業によるバランス機能の低下を的確に見出すことができなかったことも否めない。ただし今回は CS 動作の重心位置の変位を一連の動作を評価指標として分析したが、ステップ時間や立脚期と遊脚期に分割する等の手段を用いて動作を分析することで見出す余地があると考えられるため、今後の更なる分析が必要と考えている。

今後は上述したとおり評価方法の再検討に加

えて運搬作業中の動作が時間経過に伴ってどのように変化するのかについても分析を進める予定である。今回のような作業前後のバランス機能評価法だけでなく、作業自体からバランス機能を低下させる特徴を検出することが可能になると、今後更に増えるであろう第三次産業の現場で把握がしやすい安全衛生教育ツールへ発展する可能性があるためである。

課題が多いだけにこれらの結果の再検証を重ねて、最終的には高年齢労働者にも対応する転倒リスクの評価が可能になる方法の考案に結び付けるように進めて行きたい。

5. まとめ

第三次産業に転倒災害が多いことから、作業内容の特徴を考慮した模擬的な荷物の運搬作業を若年健常者に課し、作業による負担がバランス機能に及ぼす影響を調べるため、クロスオーバーステップ動作を用いて作業前後の影響を検討したところ、今回の条件では作業によるバランス機能の低下は見られなかった。それは今回の作業が短時間に集中していたためであり、体力水準の高い若年者では下肢が筋疲労状態に到達していなかったことが要因として考えられた。今後は模擬作業時の動作からバランス機能の低下が検出できるかについて検討すると共に、1日を通した作業の筋疲労状態を反映する評価方法を再考し、高年齢労働者にも対応する手法を考案したいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、厚生労働科学研究費補助金の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

5. 参考文献

- 1) 労働災害統計, <http://www.jaish.gr.jp/user/enzen/tok/anst00.htm>
- 2) 中央労働災害防止協会編: 安全の指標 平成21年度, 22, 中央労働災害防止協会, (2009).
- 3) Shu Y et al.: The effect of a repetitive, fatiguing lifting task on horizontal ground reaction forces, *Journal of Applied Biomechanics*, 21(3), 260-70, (2005).
- 4) 中谷敏昭 他: 日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する 30 秒椅子立ち上がりテストの妥当性, *体育学研究*, 47(5), 451-461, (2002).
- 5) 職場における腰痛予防対策指針, <http://www.jaish.gr.jp/enzen/hor/hombun/hor1-35/hor1-35-10-1-0.htm>
- 6) 竹内弥彦 他: 小型三軸加速度計による高齢者の動的バランス評価の有用性, *理学療法科学*, 22(4), 461-465, (2007).
- 7) 年齢と握力 (平成 19 年度版) http://akuryoku.noyokan.com/data/age_grip19.html

〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

独立行政法人労働安全衛生総合研究所

人間工学・リスク管理研究グループ 大西明宏

Tel: 042-491-4512, Fax: 042-491-7846

E-mail: aohnish@s.jniosh.go.jp

The Mathematical Model Analysis for Safe Stairs Dimension

Based on Features of the Heel Trajectory

Akihiro Ohnishi^a, Yoshihiro Ehara^b

^aHuman Engineering and Risk Management Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan, 1-4-6 Umezono, Kiyose, Japan

^bDepartment of Prosthetics, Orthotics and Assistive Technologies, Faculty of Medical Technology, Niigata University of Health and Welfare

The purpose of this study was to examine the safety and accessibility of stairs for elderly people. We found that the heel trajectories tended to become more linear the faster the subjects descended the stairs from motion analysis, so we developed the mathematical model to reflect the linear trajectory. Using this model, we could calculate the K value, which is the shortest distance between the heel and the stair nosing. The value varied with the dimensions of the stairs, the tread and the rise, and other foot placement parameters for average descending and descending that deviates from the average. A negative K value indicated that the heel trajectory might hit the nosing of the stair if the experimental participant descended quickly. In this study, it was assumed that such stair dimensions could be dangerous. As a result, it can clarify the dimensional threshold $R < 0.56T$ (cm) that is deemed safe during average descent and the safe dimensional threshold $R < 0.30T$ (cm) taking into consideration descents that deviate from the average to create an index useful for preventing falling accidents when descending a stairway. Therefore it can be recommended that these dimensions are safe for elderly people.

1. INTRODUCTION

Staircases are high-probably areas for a falling accident. [1,2,3]. Since stair accidents frequently occur while descend the stairs, it is important to study the safety of stairs by focusing on what happens when descending the stairs. To clarify the danger of hurriedly descending stairs, we focused on the heel clearance and identified the relationship between the shortening of heel clearance when walking quickly and the increased risk of danger and thus clarified the risk of danger when descending stairs quickly.

However, the heal clearance is normally the shortest distance at which the heel does not hit the edge of the stair, but since contacting the edge of the stair for any reason could cause the person to stumble, we developed a mathematical model that can calculate the dimensions of stairs that easily cause the heel to hit. We then entered as a parameter the foot motion of elderly people when they are actually descending stairs to calculate stair dimensions that are safe for the elderly.

2. METODS

Experimental Participants

The experimental participants were four males ages 63 to 68 and four females ages 63 to 69 for a total of eight people (Table 1). Informed consent was obtained

Table 1 The physical characteristics and the age for elderly male and female subjects

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Foot length (cm)
Male subjects (n=4)	66.0±2.4	165.4±3.8	67.4±4.9	25.8±0.5
Female subjects (n=4)	65.3±2.9	155.8±1.0	55.0±2.9	23.6±0.5

The values are mean ± standard deviation.

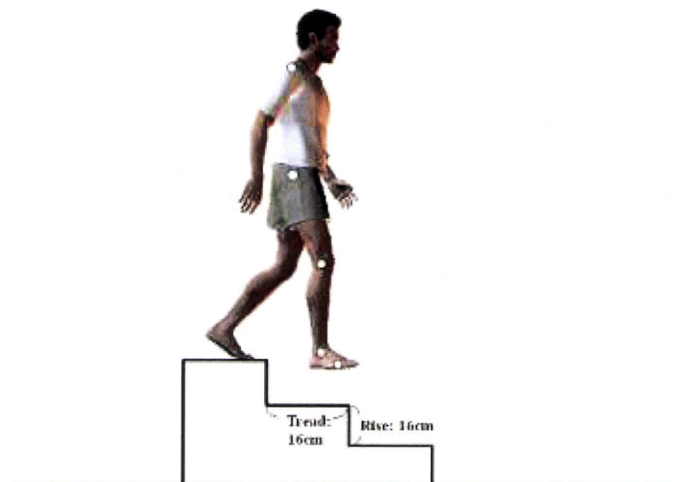


Figure 1 The condition of descending a three-step stairway

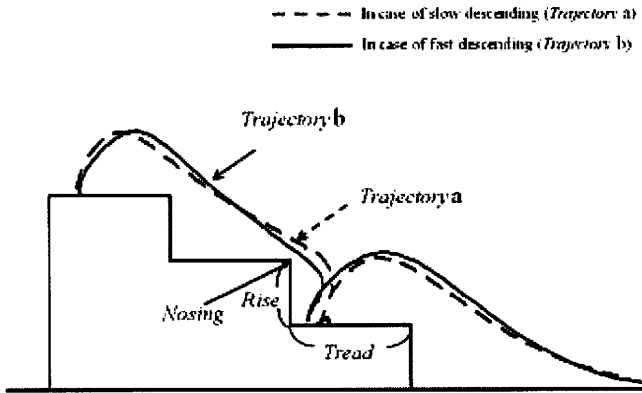


Figure 2 The feature of heel trajectories while the subjects descended the staircase

from all participants before undertaking the experiments.

Walking speed

The walking speed when descending the stairs was classified into four descending speeds using “Suitable” as the speed of participants during normal activity and then “Slow”, “Fast”, and “Very fast” in comparison to this and then the participants were verbally instructed to observe these speeds.

Measurement Procedure and Measurement Method

To measure human motion, infrared reflection markers (2.2 cm diameter) were attached on the skin in twelve locations (Right and left of shoulder, hip, knee, ankle heel and MP joint) on the body of each participant. Participants were asked to stand barefoot at the top of the stairs with both feet aligned at the edge of the first stair.

After checking the stationary position, they started off with any leg to descend a three-step stairway (Tread: 30.0 cm, Rise: 16.0 cm) (Figure 1) and then to continue walking straight for two meters after reaching the bottom of the stairs.

The trial was conducted four times (once at each speed) for each participant for a total of sixteen trials and during this time the positions of the infrared reflection markers during motion were measured by six Vicon 512 System (VMS Ltd., UK) infrared cameras.

Determining Dangerous Stairs

The heel trajectory direction of the participants at each walking speed was largely divided into the two types: a curved line type that the heel avoid the nosing of the stair as shown in Figure 2a, and a straight line type trajectory like that shown in Figure 2b. These trajectories are similar to a straight line, and Figure 3 shows the results of finding the residual sum of squares at each walking speed and dividing it by the number of frames.

The heel trajectories of both the males and females tended to become linear as the speed increases, so the trajectory linearity is shown as an expression (Figure 4).

This equation uses the edge of the second stair as the

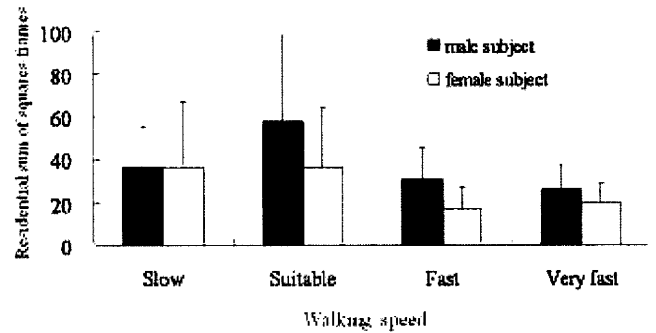


Figure 3 Residual sum of squares of heel trajectories for elderly male and female subjects

origin (0, 0), the heel position when the heel of the foot of the second step leaves the floor at the top step as Point A (x_1, y_1), and the position of the heel when the toes make contact with the tread of the first step above the floor as Point B (x_2, y_2), and then it models the line between Points A and B.

Lockwood et al. (1990) observed that the c value obtained from the measurement results using the four types of stair dimensions changed depending on the dimension of the tread and proposed the following equation (“Equation L”) [4], and this model also uses Equation L where the value of c changes depending on the tread value.

$$\begin{aligned} \text{Male} \cdot c &= 0.4086 \times \text{Tread} - 7.86 \text{ (cm)} \\ \text{Female} \cdot c &= 0.6280 \times \text{Tread} - 11.815 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (1)$$

Point A in Figure 4 is expressed using the nosing of the top step (Point AR), the tread, and the heel position when leaving the floor, and making the angle formed between the line that connects Point A and Point AR and the tread of the top stair to be the sole floor separation angle θ_1 and the distance between the heel and rise c , gives

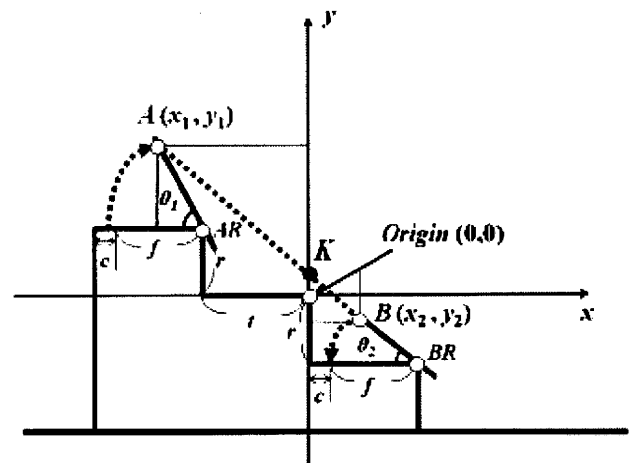


Figure 4 The mathematical model based on heel trajectories

3. RESULTS

Relationship between Walking Speed and Heel Clearance

The relationship between stair descending speed and heel clearance was shown in Figure 5. The heel clearance was in the range of 3.50 to 4.08 cm for the males and 3.46 to 4.05 cm for the females. The results of a two-way analysis of variance showed that heel clearance is the main effect for gender ($F(1,116)9.334, p < 0.01$) and speed ($F(3,116)18.521, p < 0.01$). In addition, an interaction was observed between gender and speed ($F(3,116)19.134, p < 0.01$).

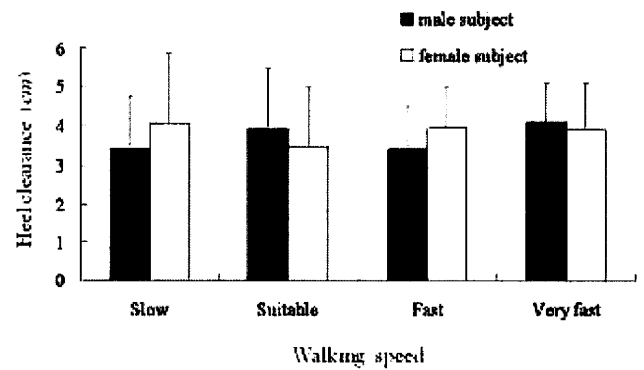


Figure 5 The relation between the four descent speeds and the heel clearance for elderly male and female subjects

Dangerous Stair Dimensions for the Elderly Calculated from the Mathematical Model

Parameter 1 for the eight males and females used in the mathematical model

$$\begin{aligned} \text{Males } F &= 25.8 \text{ cm } e = (0.4086) \times t - 7.860 \text{ cm } \theta_1 = 59.3^\circ \bullet \bullet \theta_2 = 26.7^\circ \bullet \bullet \\ \text{Females } F &= 23.6 \text{ cm } e = (0.6280) \times t - 11.815 \text{ cm } \theta_1 = 58.5^\circ \bullet \bullet \theta_2 = 23.2^\circ \bullet \bullet \end{aligned}$$

Entering the above and calculating the range in which the K value is negative produced the Dangerous (Parameter 1) range shown in Figure 6. Note that entering a value of 21 cm or less for the tread in Equation L gives a c value that is zero or unrealistic, showing that a tread of 21 cm or less is unsuitable. Next, entering Parameter 2 that takes into consideration descending that deviates from the average for both males and females, and adding the range in which the K value is negative, gives the Dangerous (Parameter 2) range shown in Figure 6.

$$\begin{aligned} \text{Males } F &= 25.3 \text{ cm } e = ((0.4086) \times t - 7.860) \times 0.7 \text{ cm } \theta_1 = 52.5^\circ \bullet \theta_2 = 23.0^\circ \bullet \\ \text{Females } F &= 23.1 \text{ cm } e = ((0.6280) \times t - 11.815) \times 0.7 \text{ cm } \theta_1 = 54.8^\circ \bullet \theta_2 = 19.1^\circ \bullet \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Point A } x_1 &= -2t + c + f - f \cos \theta_1 \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \bullet y_1 &= r + f \sin \theta_1 \end{aligned}$$

Point B is expressed using the bottom step edge (Point BR), the tread, and the heel position at contact, and making the angle formed between the line that connects Point B to Point BR and the tread of the bottom stair to be the sole contact angle θ_2 , gives

$$\begin{aligned} \text{Point B } x_2 &= c + f - f \cos \theta_2 \\ \bullet \bullet \bullet y_2 &= -r + f \sin \theta_2 \end{aligned}$$

Expressing an equation for a straight line between Point A (x_1, y_1) and Point B (x_2, y_2) gives

$$y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x + \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2} \quad (2)$$

The second term on the right side of Equation (2) is the y intercept and can be explained by the tread t , rise r , foot length F , and f, c, θ_1, θ_2 , foot position parameters. This becomes K value.

$$K = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2} \quad (3)$$

When the K value in Equation is zero or less, it can be assumed that the heel will hit the nosing of the second stair and thus could cause a falling accident. In this way, this equation model can calculate the K value making it possible to calculate stair dimension combinations that could easily cause the heel to hit by entering the foot placement parameters as a constant and changing the values for the tread t and the rise r .

For the foot placement parameters, the average of the sixteen trials for both the males and females for an average descent of the stairs was set as Parameter 1. However, people do not always walk normally, so for walking that deviates from the average, the foot placement is entered into the equation as Parameter 2, which is derived by increasing by 34% the danger rate obtained by subtracting the standard deviation from the average of the respective sixteen trials for the males and females, assuming that Parameter 1 has a normal distribution.

Note that c is used as Parameter 2 and is obtained by taking 70% of the value obtained by subtracting 30% of the average value corresponding to the standard deviation of θ_1 and θ_2 from the value calculated using Equation L [4].