

【自分】

1.その行為を

- いつもしている 時々している あまりしない ほとんどしない

2.その行為をすることの心理的な抵抗感は、

- 非常に大きい やや大きい あまり大きくない ほとんどない

3.その行為によって、自分の身に及ぶ危険(デメリット)の大きさは、

- 非常に大きい やや大きい あまりない ほとんどない

4.その行為によって、自分の身に危険(デメリット)が生じる確率は、

- 非常に大きい やや大きい あまり大きくない ほとんどない

5.その行為によって、周囲の人がこうむる危険(デメリット)の大きさは、

- 非常に大きい やや大きい あまりない ほとんどない

6.その行為によって、周囲の人が危険(デメリット)をこうむる可能性は、

- 非常に大きい やや大きい あまり大きくない ほとんどない

7.その行為をすることによって得られる利益(メリット)は、

- 非常に大きい やや大きい あまりない ほとんどない

【他人】

1.その行為は

- よく見かける 時々みかける あまりみかけない ほとんどみかけない

2.その行為をすることの心理的な抵抗感は、

- 非常に大きいと思う やや大きいと思う あまり大きくないと思う ほとんどないと思う

3.その行為をすることによって、その行為をした人の身に及ぶ危険(デメリット)の大きさは、

- 非常に大きいと思う やや大きいと思う あまり大きくないと思う ほとんどないと思う

4.その行為をすることによって、その行為をした人に危険(デメリット)が生じる確率は、

- 非常に大きいと思う やや大きいと思う あまり大きくないと思う ほとんどないと思う

5.その行為によって、周囲の人がこうむる危険(デメリット)の大きさは、

- 非常に大きい やや大きい あまりない ほとんどない

6.その行為によって、周囲の人が危険(デメリット)をこうむる可能性は、

- 非常に大きい やや大きい あまり大きくない ほとんどない

7.その行為をすることによって、その行為をした人が得られる利益(メリット)は、

- 非常に大きいと思う やや大きいと思う あまり大きくないと思う ほとんどないと思う

8.あなた自身は見かけた行為を、

- いつもしている 時々している あまりしない ほとんどしない 絶対しない

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

| 発表者氏名 | 論文タイトル名 | 発表誌名 | 巻号 | ページ | 出版年 |
|---|---|--|--------|---------|------|
| Usui, S., Egawa, Y., Shoji, T. and Nakamura, T. | An Experimental Study on Mental Workload at an Elevated Workplace: Comparing Elderly and Young Workers. | Japanese Journal of Applied Psychology | Vol.30 | 73-78 | 2005 |
| 臼井伸之介・江川義之 | ヒューマンエラー防止への人間工学的アプローチ | 電気評論 | Vol.90 | 21-26 | 2005 |
| 臼井伸之介 | 事故・ヒューマンエラー防止を目指して | 学士会会報 | No.855 | 127-133 | 2005 |

学会論文集

| | | | | | |
|---|---|--|--|--------|------|
| 臼井伸之介・青木喜子・和田一成・太刀掛俊之 | 看護における安全教育、安全意識に関する研究 —質問紙による実態調査結果— | 日本人間工学会第46回大会講演集 | | 94-95 | 2005 |
| 臼井伸之介・青木喜子・和田一成・太刀掛俊之 | 看護における安全教育の有効性に関する研究 —質問紙調査結果— | 日本心理学会第69回大会論文集 | | 1327 | 2005 |
| Shinohara, K., Kanda, K. and Yamada, N. | Development of a questionnaire to assess the function of attention in daily life. | Proceedings of 9th European Congress of Psychology | | CDROM | 2005 |
| 篠原一光・神田幸治・山田尚子・中村隆宏・太刀掛俊之・和田一成・臼井伸之介 | 主観的メンタルワークロードの感受性の個人差と認知特性 | 平成17年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集 | | 99-102 | 2005 |

| | | | | | |
|---------------------------------|--|--|--|---------|------|
| 福井貴宏・神田幸治 | 簡便な注意の偏りエラー体験システムの構築の試み | 平成17年度日本経営工学会中部支部研究発表会予稿集 | | 46-47 | 2005 |
| 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 | 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回大会発表論文集 | | 51 | 2005 |
| 太刀掛 俊之・山本 仁・臼井 伸之介 | 大学における事故事例の収集に関する研究 - 人的要因の分析に向けて -. | 電子情報通信学会技術 研 究 報 告 Technica l Report of IEICE. SSS2005-15. | | 1-4 | 2005 |
| 太刀掛 俊之・山本 仁・臼井 伸之介 | 大学における事故事例の収集と分析に関する研究. | 日本人間工学会第46回大会講演論文集 | | 340-341 | 2005 |
| 篠原一光 | 日常的注意経験質問紙の開発と適用可能性 | 日本心理学会第69回大会ワークショップ (WS107): 新たな簡易注意機能測定法の開発と適用可能性 —注意・認知機能分類の再構成化を探る— (慶応義塾大学) | | | 2005 |
| 山田尚子 | 失敗傾向質問紙の開発とその適用可能性 | | | | |
| 神田幸治・篠原一光 | 新たな簡易注意機能測定法の開発と適用可能性—注意・認知機能分類の再構成化を探る— | | | | |

IV. 研究成果の刊行物・別刷

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.

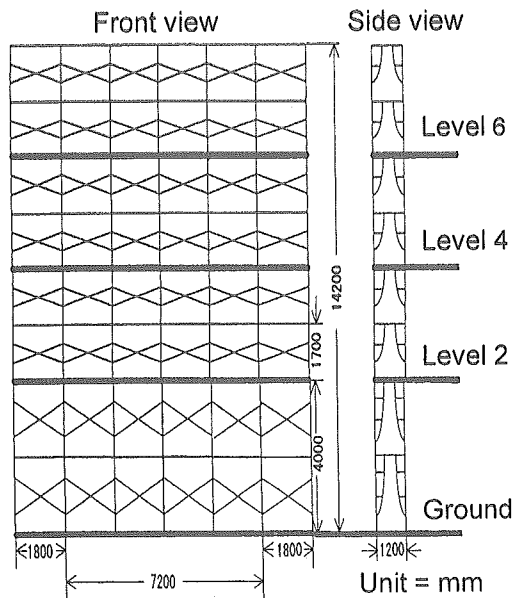


Figure 1 Front view and side view of the temporary scaffolding used in this experiment. Units are mm.



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 |
| | 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 |
| | 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 |

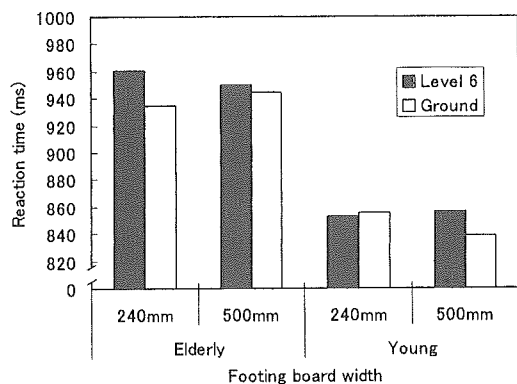


Figure 3 Mean reaction times for the secondary task.

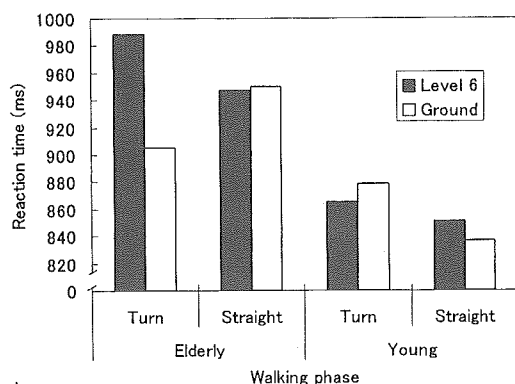


Figure 4 Mean reaction times for the secondary task according to the phases of walking.

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、人間は非常に努力を必要とし、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

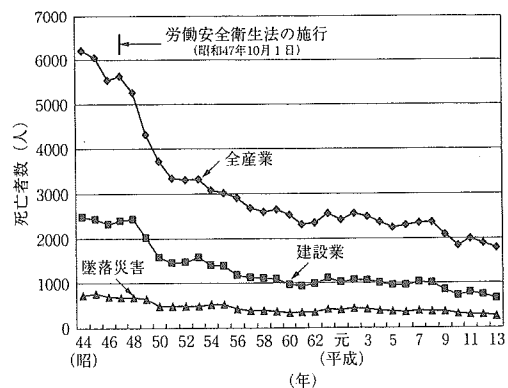


図1 労働災害死亡者数の推移

*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、実験棟内に枠幅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

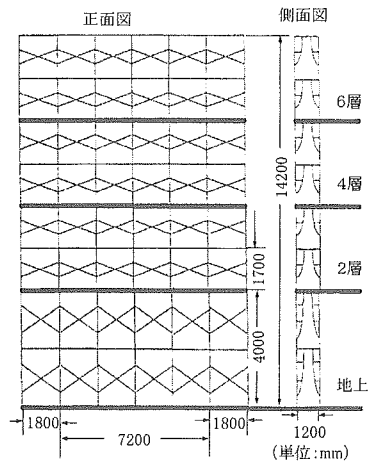


図2 仮設足場の正面および側面図



図3 実験風景

電気評論 2005. 5

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テキストスコープ（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鳶職人。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

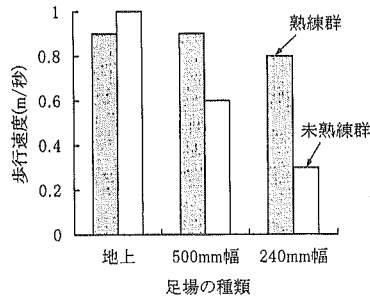


図4 足場上の歩行速度

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いおよそ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

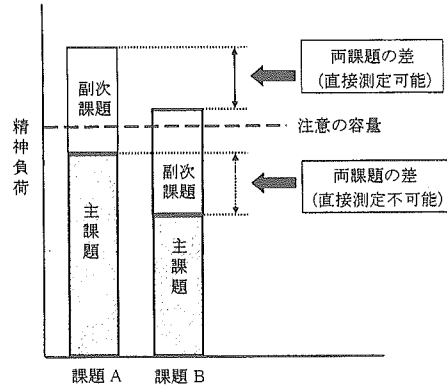


図5 二重課題法の概念的背景

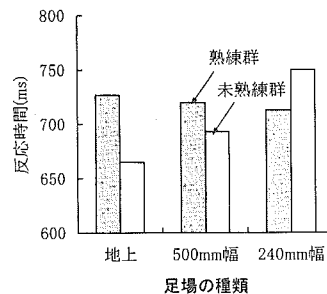


図6 副次課題平均反応時間

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、歩行場所の高さや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

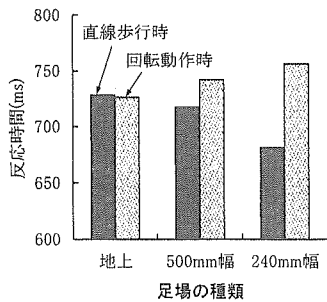


図7 歩行フェーズ別副次課題平均反応時間

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

電気評論 2005. 5

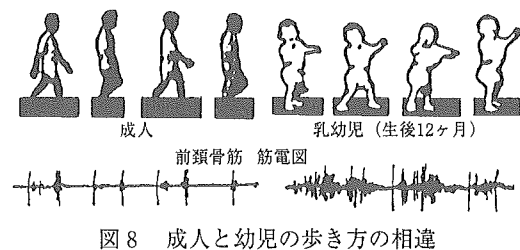


図8 成人と幼児の歩き方の相違

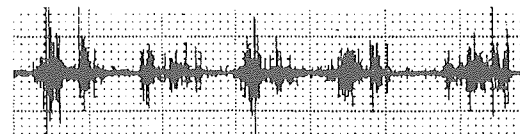


図9 前頸骨筋の筋電図

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

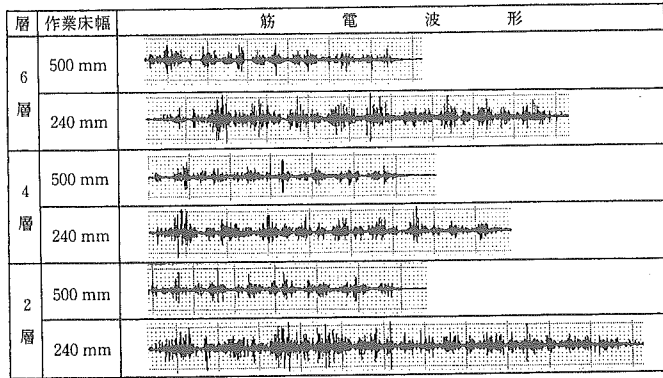
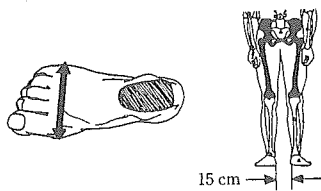


図10 足場歩行時における筋電波形



| 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

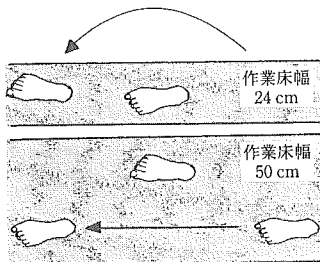


図12 足場上の歩行形態

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⁹⁾。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

電気評論 2005. 5

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、熟練者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。

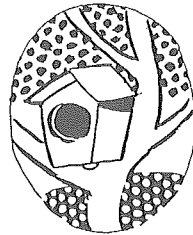
ただし近年、人間工学の目的である安全性、快適性の向上には、上記したような観点に加えて、コミュニケーション、組織、人員管理など社会的要因を含めたシステムの運用面を重要視すべきであるとするマクロエルゴノミクスの考え方が注目されつつある（例えば山岡, 2004⁹⁾。これは白井 (1998)⁶⁾ の「事故を防止するには個人のレベルおよび作業環境レベルだけでなく、個人を取り巻く社会や生活環境レベルにまで及んだ幅広い社会的レベルから事故の原因や対策を考える必要がある」と指摘するヒューマンファクタの考え方に共通する。

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

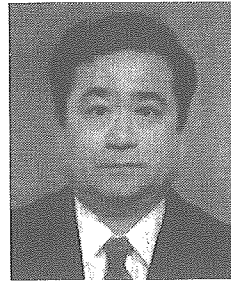
層重要視されるべきであろう。

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, 白井伸之介 (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) 白井伸之介 (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JR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。

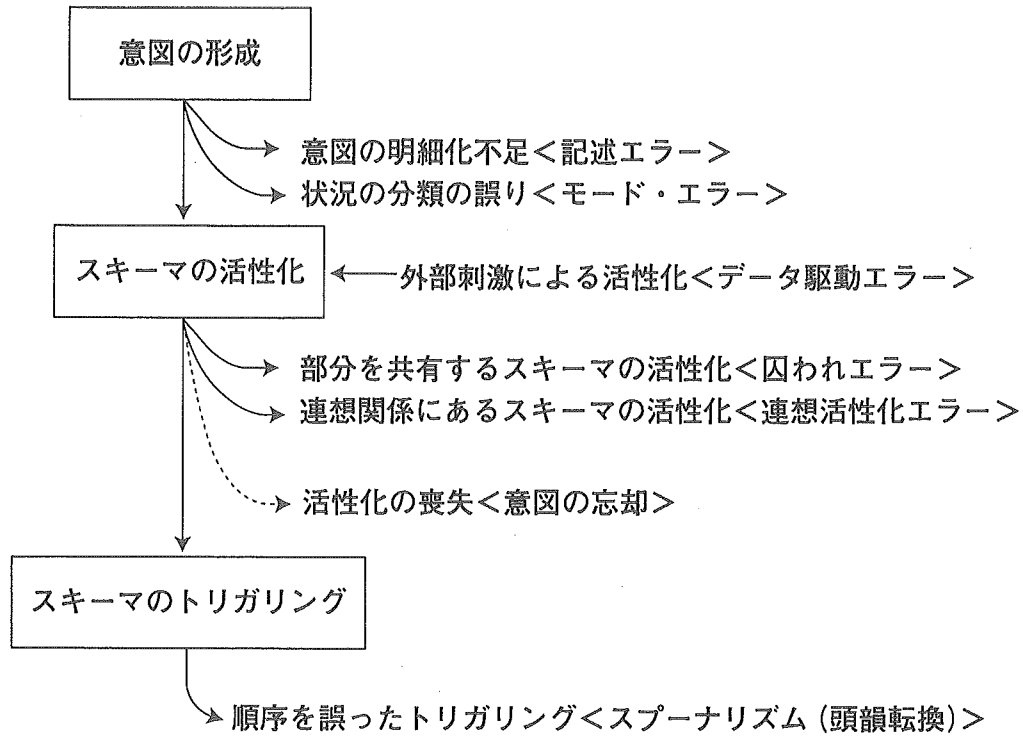


図1 ノーマン(1981)のATSモデルによる行動の段階と主なスリップの分類 (仁平1990より)

分析からATSシステムモデルと称する行動の説明モデルを構築し、そのモデルからスリップエラーの発生メカニズムを説明した。ATSとは、Activation(活性化)、Trigger(引き金)、Schema(スキーマ)の略である。ATSモデルでは人間行動はおよそ以下のプロセスを経ることにより出現すると考えられている。

- ① 「しよ」 という意図の形成
- ② 意図に対応したスキーマの活性化
- ③ 活性化により活動準備状態におかれたスキーマが、ある閾値を越えることにより、あたかも引き金をひかれるようにして行動が発現

ここで言うスキーマとは心理的な概念であるが、過去の経験から獲得された知識の枠組みを意味している。すなわち人間は慣れた行動において、特に意識することもなくその行動ができるのは、それに対応するスキーマが形成されているからであると考えられている。そこでスリップがATSシステムモデルのどの段階で生じたかを基準として大きく三つ—意図の不完全な明確化、スキーマの不完全な活性化、スキーマの不完全なトリガリング—にあてはめることにより、それまで「うっかり」としか説明できなかったHEの発生メカニズムを、ある程度合理的に説明可能とされている(図1参照)。図1で示された主なスリップの具体例

2. ヒューマンエラーとは？

人間の失敗をあらわす言葉には様々なものがある。例えばミス、エラー、錯誤、失念、錯覚、し忘れ、し損ない、勘違い、思い違いなど挙げだすと枚挙にいとまがない。これらの言葉には共通して「してはいけないもの」といったネガティブなイメージがあるが、そのような負の価値観を含まない専門用語として「ヒューマンエラー (human error, 以降 HE と略す)」という語がある。HE は例えば結果の重篤度からみても多種多様の種類があるが、それをどのように定義づけるかについては研究領域によってこれまで異なってきた。

そこで心理学の分野では HE を一般に「計画された心理的・身体的過程において、意図した結果が得られなかった場合を意味する用語 (ジェームズ・リーズン一九九〇)」と定義づけている。すなわち人間は特に何も考えなくても出来るような日常行動においてでさえ、つきつめて考えればそこには必ず「ししよう」という意図が存在する。そのような意図と、意図に基づいた行動の結果がくい違った場合を HE と呼ぶわけである。またその HE には、「意図と結果が異なってしまう場合 (例えば定期を自動改札に入れようと思ってテレフォンのカードを入れてしまった、手紙をポストに入れるつもりだったのに忘れてしまったなど)」と、「意図そのものが状

況の誤解などのために既に誤りである場合 (例えば会議の日を一週間間違えて会場に行ってしまった) この事例では「会議に出席する」という、より上位の意図に関して結果がくい違っている」などの二つに分類することが出来る。心理学では前者を「スリップ (slip)」、後者を「ミステイク (mistake)」と呼ぶ。スリップは日常的に数多く発生するが、すぐに気づかれることが多い、うっかり的な要素の強い失敗である一方、ミステイクは頻度は少ないものの、思い込み、勘違いなどから、なかなか誤りに気づかれにくい失敗であると言われている。

このように心理学では、HE を人間の内的側面から定義づけているため、日常的な些細な失敗および甚大な被害をもたらすような失敗のどちらもが HE と呼ぶべき対象であり、そしてその人間内部の発生メカニズムは共通すると考えられるため (両者を分けるのは取り巻く環境のシビアさである)、たとえ些細な HE であろうとも、そのメカニズムを明らかにすることには意義があると考えられている。

3. HE のメカニズム

アメリカの認知心理学者である Donald Norman は、日常生活における約一、〇〇〇のスリップ事例の

表1 ヒューマンファクターの分類とその内容

①個人的レベルのファクター

身体的機能(体格、運動性など)、生理的機能(覚醒水準、疲労など)、心理的機能(欲求、動機、感情など)、情報処理機能(知覚、判断、記憶など)、年齢、経験、技能、性格、態度など

②個人間レベルのファクター

人間関係(上司、同僚、後輩との関係)、コミュニケーション、(個人間の情報伝達)など

③集団組織レベルのファクター

リーダーシップ、職場の雰囲気・方針、安全教育、安全管理、安全活動、コミュニケーション(組織間の情報伝達)など

④生活環境レベルのファクター

家庭問題(配偶者・親子関係)、健康問題(本人・家族)、経済的問題、勤務地・住居の問題など

⑤社会文化レベルのファクター

規範・価値観(社会の安全要求度)・安全風土など

⑥作業遂行レベルのファクター (①～⑤との相互作用に基づく)

作業内容、作業手順、作業負荷、作業条件、作業設備、作業設計、気象、温度、照明、騒音など

や類似した事故が再発すると言わざるを得ない。その背景にある要因として、例えば手前の伊丹駅でオーバールンしたことによる急ぎの心理、時間遅れによるペナルティの存在(特に日勤教育と言われる運転士への再教育)、余裕のないダイヤ編成、効率を優先する組織の方針など、運転士個人の要因だけでなく、より社会的な要因が多数関与していることが現在明らかにされつつある。様々な種類のあるHFを白井(一九九九)は表1のように分類しているが、事故の再発を防ぐには、違反やHEといった個人的要因がなぜ生じたのか、その背景にあるHFをなぜなぜ式に広く深く追求し、そこで明らかにされたHFに焦点を当てた具体的対策を講じることがきわめて重要となる。

5. HE、事故を防ぐには

HEは誰にでも生じる現象であり、加えて全てのHEが悪というわけでもない(HEが契機となり新たな発見に至ったという逸話は数多くある)。防止すべき対象とは、事故の契機となるようなHEや違反である。そこでその防止対策として、図2に示すように、HEや違反が事故に至る過程を三段階—HFレベル、HEレベル、事故・災害レベル—に分け、各段階別に対策を講じることが有効であると考えられる。そのHFレベルの対