

# 学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究（その7） 被験者実験による温熱・空気環境の質が学習意欲ならびに学習効率に及ぼす影響の検討

4-12

学習効率 学習意欲  
被験者実験 換気量

正会員 ○ 亀田健一<sup>\*1</sup>      正会員 金子隆昌<sup>\*2</sup>  
 " 村上周三<sup>\*3</sup>                      " 伊藤一秀<sup>\*4</sup>  
 " 深尾 仁<sup>\*5</sup>                         " 樋渡 潔<sup>\*5</sup>

## 1. はじめに

本報を含む一連の学習効率向上に関する研究<sup>1~6)</sup>は、教室の温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響を検討するものである。既往研究から環境の影響による学習効率を評価の際に学習意欲(モチベーション)が大きなノイズとなることが報告されている<sup>7)</sup>。学習効率検討の際に特に被験者心理の扱いの重要性を指摘することができるが、まだその影響に関しては定量的には十分に明確になっていない。学習意欲を定量的に評価することができれば学習環境が学習効率に及ぼす影響を構造的に検討することが可能となるとともに、より正確な学習効率の評価方法の検討を行うことができる。また学習意欲に関するデータは現地実測と実験室実験の整合性を詳細に検討する際に有用なデータとなる可能性が高い。本報(その7)では、まず学習意欲に影響を及ぼす要因ならびに評価方法を検討する(被験者実験①)。次に、温熱・空気環境要素が学習意欲に及ぼす影響並びに学習意欲が学習効率に与える影響を検討することで温熱・空気環境要素が学習効率に及ぼす影響を構造的に考察する(被験者実験②)。

## 2. 被験者実験の概要

被験者実験は既報(その6)<sup>6)</sup>の現地実測と同じ温熱・空気環境、評価方法にて行う。被験者実験①ではまず学習意欲に影響を及ぼす要因並びに評価方法の検討を行う。その後被験者実験②では温熱・空気環境の質が学習意欲並びに学習効率に及ぼす影響の検討を行う。

**2.1 実験期間・場所** 実験は2005年10月10日~11月9日にかけて大成建設技術センターの空調システム実験室にて行った。実験室概要並びに温熱・空気環境要素測定ポイントを図1に示す。実験室内のレイアウトや人員密度はN学院<sup>註1)</sup>を模擬した。

**2.2 実験条件** 実験条件を表1に示す。換気量の変化に伴う温熱・空気環境の変化を環境条件とする。温熱・

表1 実験条件

		被験者群 A	被験者群 B	
		28人(女性5名)	27人(女性4名)	
第1週 授業①	被験者 実験①	換気量大 25.0°C45%	換気量大 25.0°C45%	
第2週 授業②	被験者 実験②	比較 I	換気量小 27.3°C45%	換気量大 25.0°C45%
第3週 授業③			換気量大 25.0°C45%	換気量小 27.3°C45%
第4週 授業④		比較 II	換気量大 25.5°C40%	換気量小 28.3°C60%
第5週 授業⑤			換気量小 28.3°C60%	換気量大 25.5°C40%

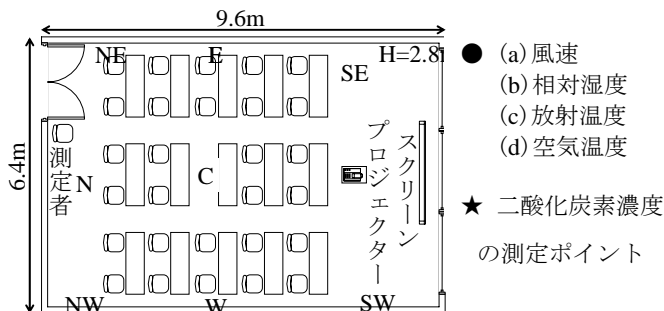


図1 実験室概要ならびに測定ポイント

空気環境の変化は現地実測の物理環境測定結果を厳密に再現する。また実験は、被験者の概リズムに配慮して同一の曜日・時間帯で行った<sup>註2)</sup>。

**2.3 被験者** 被験者は一級建築士を目指している大学生および院生を採用し、授業に対する動機付けが生じるよう配慮した<sup>註3)</sup>。

## 2.4 測定方法

**(1)学習意欲の定義と申告方法** 本研究では学習意欲を講義内容を吸収しようという意欲と定義する。また意欲には教室に入室直前の学習意欲「入室前学習意欲」(Motivation-before(M<sub>b</sub>))と、教室に入室後の講義中並びにテスト解答時の学習意欲「入室後学習意欲」(Motivation-after(M<sub>a</sub>))の2種類あると考え各々定義する。両学習意欲は申告票により定量的に評価する。申告は今までの経験から最もやる気のある状態を100、最もや

表 2 被験者実験①の学習意欲申告票

日	学習意欲は日によって異なりますか？	【0:変わらない⇔3:大きく異なる(4スケール)】
日	最も低い日の学習意欲を1とすると最も高い日の学習意欲はその何倍ですか？	【 ____倍】
時間	学習意欲は時間帯によって異なりますか？	【0:変わらない⇔3:大きく異なる(4スケール)】
時間	最も低い時間帯の学習意欲を1とすると最も高い時間帯の学習意欲はその何倍ですか？	【 ____倍】
学習意欲を高めてくれる、もしくは低下させている要因は何ですか？		【いずれも自由記述】

表 3 被験者実験②の学習意欲申告票

1.	教室に入室前の学習意欲はいかがでしたか？	【 ____%】
2.	講義中の学習意欲はいかがでしたか？(講義①、講義②、確認テスト)	【 ____%】
3.	学習意欲を低下させている要因は何ですか？3つ選んで下さい	【①体調 ②興味度 ③空気環境 ④温熱環境 ⑤光環境 ⑥音環境 ⑦空間環境 ⑧その他】
4.	3で選んだ3つの影響を100%とすると、それぞれの要因の影響は何%になりますか？	【 ____%、 ____%、 ____%】

る気のない状態を0として0~100のスケールで行う。  
 ①学習意欲の評価方法の検討(表2) 学習意欲に影響を及ぼす要因ならびに評価方法を検討するために被験者実験①で学習意欲の日変動、もしくは一日のうちの変動の程度の検討、定量的な学習意欲の評価方法の検討・試行、ならびに自由回答方式による学習意欲を高めてくれる要因と低下させる要因の抽出を行う。

②学習意欲評価の検討(表3) 温熱・空気環境の質が学習意欲に及ぼす影響並びに学習意欲が学習効率に及ぼす影響を検討するために、被験者実験②では学習意欲の定量的な評価に加え、学習効率を低下させる要因を回答させる。学習意欲を低下させる要因については被験者実験①で得られた知見を基に8つに絞りこみ、選択形式とした。

**(2) 学習効率**

講義内容の理解度を問うテスト<sup>注4)</sup>の点数を用いた。講義内容は一級建築士試験対策に関する内容である。

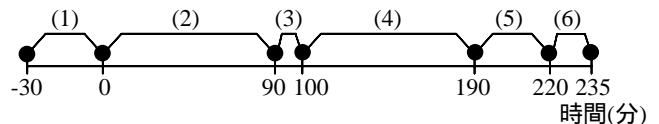
**(3) 室内環境の質(物理環境)(図1)**

①空気環境 CO<sub>2</sub>濃度、換気量(外気導入量)、化学物質濃度(揮発性有機化合物濃度)の測定をした。

②温熱環境 空気温度、相対湿度、風速、放射温度、壁面温度を実験中に1分間隔で連続測定した。その他授業時間外に音・光環境も測定した。

**2.5 実験手順(図2)** 実験室入室直後に環境順応時間を設けるとともに入室前学習意欲 M<sub>b</sub> の申告を課した。その後 N 学院の授業を模擬したタイムスケジュールとし、最後15分間で申告票に回答してもらった<sup>注5)</sup>。

**2.6 統計解析方法** テスト結果の環境条件間比較は、危険率を5%として定め対応のある t 検定を用いた。申告票結果の環境条件間比較には、対応のある順位尺度の検定として Wilcoxon の符号付順位和検定を用いた。



(1)環境順応時間・申告票回答 (3)休憩 (5)小テスト解答  
 (2)講義受講 (4)講義受講 (6)申告票回答  
 図2 実験手順

表 4 換気量測定結果(括弧内は設定値)

	換気量(大)		換気量(小)	
	比較I	比較II	比較I	比較II
換気量[m <sup>3</sup> /h]	461(464)	550(551)	72(44)	69(75)
換気回数[回/h]	2.7(2.7)	3.2(3.2)	0.4(0.3)	0.4(0.4)

表 5 温熱環境測定結果(被験者群 A)(図2のC点)

	換気量(大)		換気量(小)	
	比較I	比較II	比較I	比較II
空気温度[°C]	25.6±0.1	25.9±0.2	27.6±0.1	28.7±0.2
相対湿度[%]	42±1	38±1	42±1	59±1
風速[m/s]	0.17±0.05	0.14±0.07	0.12±0.05	0.08±0.04
放射温度[°C]	25.7±0.1	25.9±0.2	27.8±0.1	28.8±0.1

**3. 物理環境測定結果**

**3.1 空気環境** ①換気量(表4) 換気量はほぼ設定を満たして制御されていた。

②二酸化炭素濃度 比較 I の換気量(大)では、実験中平均 980ppm のほぼ一定濃度となった。換気量(小)では、徐々に上昇して授業終了時には約 2940ppm に達した。比較 II の換気量(大)では、実験中平均 930ppm のほぼ一定濃度となった。換気量(小)では、徐々に上昇して授業終了時には約 2820ppm に達した。

③室内化学汚染物質の空気濃度 化学物質の室内空気濃度は両条件ともに厚生労働省の室内濃度指針値を超えることはなかった。

**3.2 温熱環境(表5)** 温熱環境に関わる物理要素はほぼ一定に制御されていた。代表して被験者群 A に関して表5にまとめる。被験者群 B も同様の結果となった。

**3.3 光・音環境** 机上面照度は全座席平均 611±20[lx]であった。等価騒音レベルは 44.8[dB]であった。

#### 4. 被験者実験 結果

**学習意欲変動の様子(申告票)(表 6)** 55 人(98%)の被験者が学習意欲は日により変動すると申告した。また、51 人(91%)の被験者が 1 日のうち、時間により学習意欲が変動すると申告した。また、学習意欲の日変動並びに時間変動の定量評価結果から日変動が時間変動よりも有意に 4.4 倍大きい結果となった( $p<0.04$ )(表 6)。正確な学習効率測定のためにはその日の学習意欲(入室前学習意欲  $M_b$ )を評価することが有用である可能性が高い。

#### 5. 被験者実験 結果

**5.1 学習効率に関する実験結果(テスト)(図 3)** 比較 I では、換気量(小)から換気量(大)に環境を変化させることでテストの平均点<sup>注 6)</sup>が 1.3 点向上した(n.s.)。換気量(小)を基準として学習効率の向上率を百分率換算すると 3.2%の向上となる。比較 II では 1.2 点向上した(n.s.)。百分率換算では 2.4%の向上となった。

**5.2 学習意欲が学習効率に及ぼす影響(テスト)(図 4、5)**

**①入室前学習意欲( $M_b$ )** 入室前学習意欲  $M_b$  の中央値により入室前学習意欲の高いグループ(以下  $M_b(H)$ )と低いグループ(以下  $M_b(L)$ )に分類し比較を行った。図 4 に代表例として比較 II の入室前学習意欲  $M_b$  と学習効率の結果を示す。比較 II では換気量(大)の環境条件下で  $M_b(H)$  群のテストの平均点が 10.4 点有意に高かった( $p<0.02$ )。換気量(小)の環境条件では  $M_b(H)$  群のテストの平均点 8.6 点高かった(n.s.)。比較 I では換気量(大)の環境条件で  $M_b(H)$  群が 6.6 点高かった(n.s.)。換気量(小)の環境条件下では  $M_b(H)$  群のテストの平均点が 7.1 点高かった(n.s.)。入室前学習意欲  $M_b$  が学習効率に有意に影響を及ぼすもしくは及ぼす傾向にあり入室前学習意欲  $M_b$  評価の必要性があるといえる。また、入室前学習意欲  $M_b$  によりスクリーニングすることで正確な学習効率の評価につながるといえる。

**②入室後学習意欲( $M_a$ )** 入室後学習意欲  $M_a$  が高いグループ(以下  $M_a(H)$ )と低いグループ(以下  $M_a(L)$ )に分類し比較を行った。入室後学習意欲  $M_a$  の集計には 3 回の申告で得られた結果を平均した。図 5 に代表して比較 II の入室後学習意欲  $M_a$  と学習効率の結果を示す。比較 II では換気量(大)の環境条件下で  $M_a(H)$  群の方が 12.3 点有意に高かった( $p<0.006$ )。換気量(小)の環境条件下では  $M_a(H)$  群のテストの平均点が 11.7 点有意に高かった

表 6 学習意欲の変動の程度

	変動の程度 (変動なしを 1 倍とする)	有意差
日変動	14.3 倍 ( $\pm 28.0$ )	$p<0.04$
時間変動	8.9 倍 ( $\pm 20.0$ )	

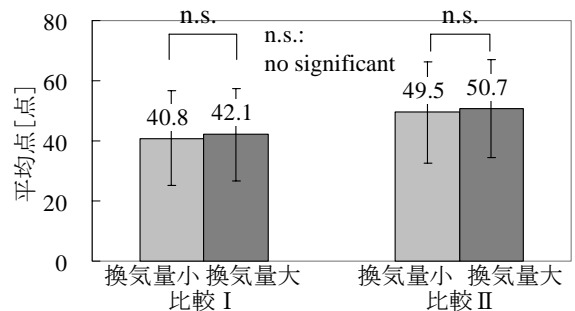


図 3 テスト平均点比較結果

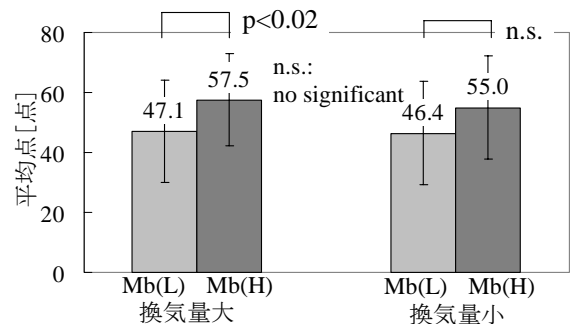


図 4 入室前学習意欲  $M_b$  と学習効率の結果

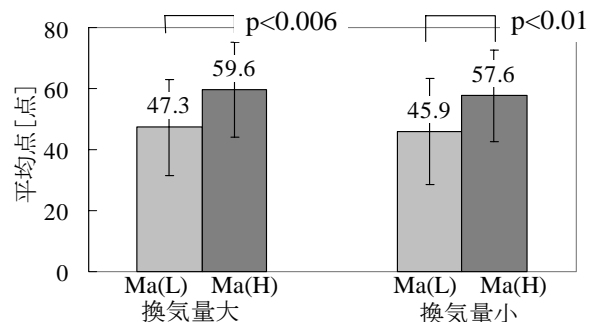


図 5 入室後学習意欲  $M_a$  と学習効率の結果

( $p<0.01$ )。比較 I では換気量(大)の環境条件下で  $M_a(H)$  群の方が 14.8 点有意に高かった( $p<1.2 \times 10^{-5}$ )。換気量(小)の環境条件下では  $M_a(H)$  群のテストの平均点が 12.4 点有意に高かった( $p<0.0008$ )。よって入室後学習意欲  $M_a$  は学習効率に有意に影響を及ぼすと考えられる( $p<0.01$ )。

**5.3 室内環境の質が学習意欲に及ぼす影響(申告票)(図 6、7)** 代表例として比較 II に関して換気量(大)(小)における講義①、講義②、確認テスト時における入室後学習意欲  $M_a$  の変動結果を図 6 に示す。入室後学習意欲  $M_a$  の環境間比較では講義②と確認テスト時において換気量(小)の条件で入室後学習意欲  $M_a$  が有意に低かった(それぞれ  $p<0.01$ 、 $p<0.002$ )。比較 I でも同様の結果となった。学習意欲が低下することで学習効

率が低下したと考えられる(図3、5)。また、比較Ⅱの入室後からの経過時間と換気量(小)を基準とした環境条件間の学習意欲の差の相関分析結果を図7に示す。指数近似により  $R^2=0.91(p<0.05)$  の相関関係が有意に認められた。比較Ⅰでは  $R^2=0.97(p<0.02)$  の有意な相関関係となった。換気量(小)と換気量(大)の環境下における換気量(小)を基準とした時の入室後学習意欲  $M_a$  の差は、時間経過に伴い指数関数的に増加する結果となった ( $p<0.05$ )<sup>注7)</sup>。

**5.4 学習意欲を低下させる要因(申告票)(図8)** 図8に学習意欲を低下させる要因の評価結果を代表例として比較Ⅱを示す。換気量(小)の条件では、温熱環境が他のどの要因よりも有意に入室後学習意欲  $M_a$  を低下させる割合が高い結果となった ( $p<8.5\times 10^{-8}$ )。換気量(大)の条件では①体調(34%)②興味度(24%)③温熱環境(21%)④空気環境(9%)の順だった。空気環境より温熱環境が学習意欲を有意に低下させる割合が高くなった ( $p<0.001$ )。

## 6. まとめ

①換気量(小)から換気量(大)に変化することで学習効率が約3.2%向上した(n.s.)。②入室前学習意欲  $M_b$  が高いグループは環境の変化によるテストの点数向上が最大10.4点となり ( $p<0.02$ )、入室前学習意欲  $M_b$  によるスクリーニングが、正確な学習効率の評価につながるという。③入室後学習意欲  $M_a$  が高いグループは、環境の変化によるテストの点数向上が平均12.8点となり ( $p<0.01$ )、入室後学習意欲  $M_a$  は学習効率に有意に影響を及ぼす結果となった。④換気量(小)と換気量(大)の環境下における入室後学習意欲  $M_a$  の環境間の差は、実験開始からの経過時間に伴い指数関数的に増加した ( $p<0.05$ )。⑤学習意欲を低下させる割合は物理的要因並びに非物理的要因の中で、温熱環境が有意に高く ( $p<8.5\times 10^{-8}$ )、また学習意欲が学習効率に有意に影響を及ぼすことから、温熱環境が学習意欲に影響を及ぼし、その結果学習効率が低下する構造が示唆された。

【謝辞】本研究を遂行するにあたり日建学院の西生一次氏ならびに井澤真悟氏、東京工業大学の仙田満教授、大成建設(株)技術センターの庄司研氏、千葉大学の川瀬貴晴教授に多大なご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。また実験の実施にあたりご協力いただいた東京工芸大学の梅宮才佳氏、櫻井修司氏、慶応大学の島崎祐輔氏に感謝致します。被験者としてご協力下さった方々へ御礼申し上げます。【注】(1)日建学院(日本最大級の一級建築士受験対策予備校)(2)いずれも同じ座席に着席させた。(3)被験者には全実験終了後、正当な報酬を支払った。(4)テストは五者択一形式で全20問である。(5)90分講義の途中に5分間の休憩をはさんだ。(6)異なる授業内容のテスト結果を比較するため、昨年度のN学院実施平均データを下に点数の補正を行い、全テストの難易度を統一した。(7)確認テストの学習意欲も学習意欲はいかがで

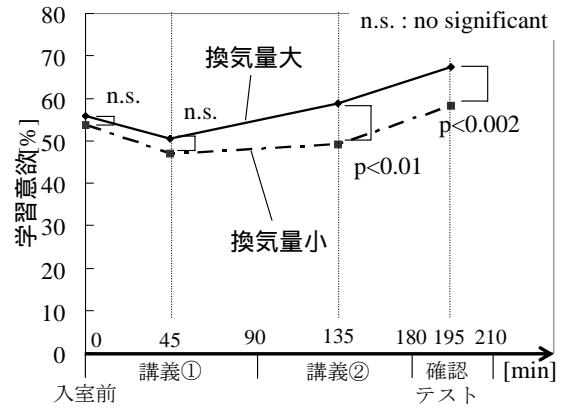


図6 学習意欲変動の様子(比較Ⅱ)

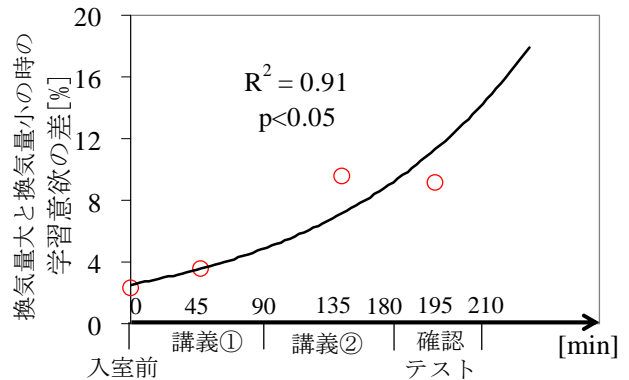


図7 相関分析結果(比較Ⅱ)

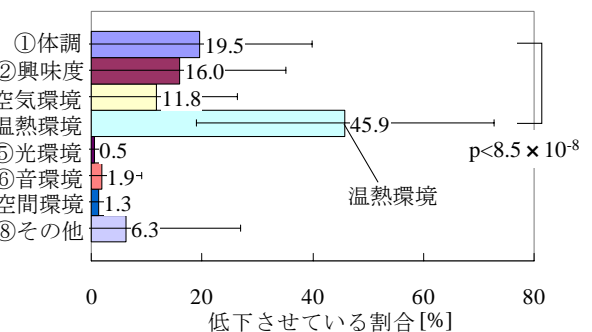


図8 入室後学習意欲を低下させる要因(換気量小)

すかと質問したため、被験者が様々な意味の取り方をして学人テスト時の学習意欲の差が低下していると考えられる。【参考文献】(文1~6)金子ら、学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究(その1)室内環境の質と学習効率の関係に関する予備的実測、建築学会関東支部研究報告集、pp533-536、2005(その2)原ら、温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響に関する被験者実験、建築学会関東支部研究報告集、pp537-540、2005(その3)原ら、被験者実験による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討、建築学会関東支部研究報告集、pp541-544、2005(その4)金子ら、教室における温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の被験者実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1405、2005(その5)原ら、被験者実験による教室における学習効率に関する主観-客観評価の詳細分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1407、2005(その6)金子ら、現地実測による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討、空気調和・衛生工学会学術講演大会論文集、2005(文7)西原直枝、冷却衣服着用時の熱的快適性、博士論文、2002

\*1 慶應義塾大学理工学部 \*2 慶應義塾大学大学院  
\*3 慶應義塾大学理工学部教授 工博  
\*4 東京工芸大学工学部助教授 工博  
\*5 大成建設(株)技術センター 工博