

若年層（16～22歳）を対象とした温熱・空気環境の質が  
学習効率に及ぼす影響の検討THERMAL/AIR ENVIRONMENT EFFECTS ON ACADEMIC PERFORMANCE  
OF LATE-TEEN STUDENTS後藤 伴延<sup>\*1</sup>, 伊藤 一秀<sup>\*2</sup>

Tomonobu GOTO and Kazuhide ITO

This study investigated the IEQ effects on learning performance by means of field survey, and the target group was late-teen students. The field experiments were carried out at two technical colleges in Japan. At each college, a ordinary use classroom was adopted for the experiment. In order to evaluate the effects of indoor temperature and outdoor air supply rate, air conditioning units and ventilation fans were controlled at 3 levels (22, 25, 28 °C; 5, 10, 20 m<sup>3</sup>/s/person) and 5 combinations of them were adopted as the experimental cases. In every case, the learning performance was evaluated with a 30-minute examination after a 180-minute video image lecture. The results showed that the examination score decreased in the case of low temperature or low outdoor air supply rate. However, the examination score was not changed in the case of high temperature, which might be caused by seasonal effect. According to comparisons with previous studies, the learning performance of late-teen people was considered to be less affected by indoor environment than that of older people, if their background knowledge of the learning subjects was equivalent to the older people.

**Keywords :** Productivity, Academic performance, Schools, Field survey, Thermal environment, Air environment

プロダクティビティ, 学習効率, 学校, 現地実測, 温熱環境, 空気環境

## 1. はじめに

近年, 各種の経営資源の中で特に人的資産を戦略的且つ効率的に高めていく努力と工夫が求められており, その観点より, 室内環境要素と知的生産性の定量的な関連性の把握, ならびに知的生産性向上に寄与する環境設計法の確立といった研究課題の社会的重要性が高まっている。知的生産性に関する研究は経済学や社会学的アプローチにて既に一定の研究蓄積を有する学問課題といえる(例えば<sup>1, 2)</sup>が, 近年になり特に建築学の側面から知的生産性を評価する試みが始まっており, 研究成果が報告され始めている(例えば<sup>3-6)</sup>。しかしながら, オフィス空間を対象とした成人の作業効率向上を目指した研究事例が中心である。

我が国では既に人口ピークを迎えており, 将来の労働人口の減少が避けられない状況にある。現時点での労働資産を効率的に活用する方策の重要度は言及するまでも無いが, 将来の労働人口となる若年層に対しても一層の配慮が求められている。しかしながら, 若年層における知的生産の場である学校教室等の学習環境の良否が学習効率に与える直接的な影響に関する研究報告例は大変少なく, 学習環境の実態把握を含めて早急な研究の実施と研究成果の蓄積が期待されている課題である。

このような背景から, 筆者らの研究グループは教室の物理環境と

学習効率の関係を定量的に把握するため, 建築士受験対策予備校である日建学院の協力を得て現地調査を行うと共に, 実験室実験を行った結果を既に報告している<sup>7-10)</sup>。なお, この現地介入調査では主に社会人(20代後半から50代程度までの年齢層)が調査対象であり, 実験室実験では主に大学院生(20代前半の年齢層)が調査対象であった。

我が国では小学校から中学校までの9年間が義務教育である。文部科学省による平成20年度「教育指標の国際比較」によれば, 我が国での義務教育後の中等教育への進学率(高校, 専修学校を含む)は98.0%, 更なる高等教育への進学率(大学, 短大, 専修学校を含む)は77.6%となっており, 義務教育終了後に大半が5年から7年以上の教育を受ける。換言すれば, 我が国では80%近い子どもたちが15年以上の期間, 学校の教室という学習環境のもとで教育を受けるのである。特に10代後半から20代前半までの年齢層は所謂受験年齢層であり, 学習効率研究を実施する上で社会的インパクトの大きいターゲットと言えるが, この年齢層を対象として, 特に建築環境との関連に着目した既往研究例は見当たらない。

以上より, 本研究では, 16歳から22歳程度の若年層が学習を行う教室環境に着目し, 教室の物理環境要素が学習効率に与える影響を客観的評価方法ならびに主観的評価方法を用いて検討することを

\*1 山口大学大学院理工学研究科 講師・博士(工学)

\*2 九州大学大学院総合理工学研究科 准教授・博士(工学)

Lecturer, Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Dr. Eng. Assoc. Prof., IGSES, Kyushu University, Dr. Eng.

目的とする<sup>注1)</sup>。図1には本報での研究を含めた全体の研究スキームを示す。本報で対象とする10代後半よりも低年齢層である中学校(10代前半)を対象として実施した介入調査の事例は別報にて報告する予定である。

## 2. 実験概要

若年層の学習効率に教室環境が及ぼす影響を検討するため、既報<sup>8-10)</sup>と同様に、DVDによる映像講義と確認テストから成る日建学院<sup>注2)</sup>の建築士受験対策講座を利用し、国立工業高等専門学校(通称、高専)の建築系の学生を対象とした学習効率測定を行った。映像講義を採用することで再現性のある教授環境を作出することが可能となり、また講義コンテンツに対応する確認テストを用いることで、直接講義内容に対する理解度、即ち学習効率の程度を定量的に評価することが可能となる。高専の建築系学生は、将来の建築士受験に対して一定のモチベーションを有すると想定でき、また対象年齢層は高専の本科で15歳~18歳、専攻科を含めても22歳以下であり、一般の受験年齢層と対応する。日建学院の建築士受験講座のコンテンツをそのまま適用可能な最下限の年齢層でもあり、本報での結果は日建学院の教室で実施した20代~50代の社会人受講者を対象として実施した学習効率調査結果と直接比較が可能となる。

本実験は高専での自主的な特別学習と位置づけ、対象者へのバイアスを極力排除するために、対象者が日常的に使用している実際の教室で実施し、介入調査の方法をとった。学習効率への影響を検討する物理環境のパラメータは、換気量<sup>注3)</sup>と室温とした。被験者となる高専学生には教室の物理環境の調整を行っていることを陽に通知せず、ブラインド試験となるよう最大限の配慮を行った。

### 2.1 実験場所・期間

本実験は、九州地区のA高専(福岡県大牟田市)、中国地区のT高専(山口県周南市)の2カ所にて実施した。実験期間は、A高専では2008年8月21日(木)から9月18日(木)、T高専では2008年9月6日(土)から10月4日(土)の期間に加え、2009年6月13日(土)から6月27日(土)にも実施した。

### 2.2 介入実験の設定条件

教室設定条件の一覧を表1に示す。実験の基本ケースを室温25℃、換気量20[m<sup>3</sup>/h/person]とし、基本ケースから室温を±3[℃]変化させるケースと、換気量を段階的に減少させるケースを組み合わせ、全5ケースとした。2008年の介入調査においては、A高専・T高専共に全5ケースの実験を実施し、2009年には、室温に関する追加実験としてCase1を2回、Case3を1回、T高専のみで実施した<sup>注4)</sup>。また、実験ケースの実施順序はランダムイズし、極力規則性を排除するよう配慮した。

両高専とも教室の天井に全熱交換器付換気扇とエアコンが設置されており、換気量および室温の調節はこれらの設備を用いて行った。湿度は成り行きとした。各高専の教室の概要を図2と図3に示す。これらの教室は共に中間階の一室で、外気に面する壁は一面のみである。放射環境の不均一を最小限に留めるため、実験中は教室の白色ブラインドを常時全閉とした。また、吹出し気流が被験者に直接当たらないように、エアコンの風向・風量を調節した。

### 2.3 実験手順

実験手順の概要を図4に示す。実験手順は既報<sup>8-10)</sup>と同様とし、180

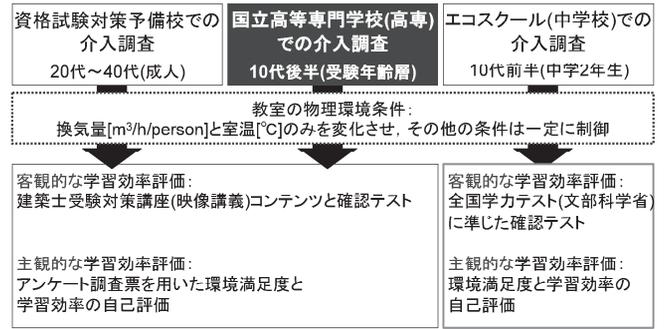


図1 本論文を含む研究スキームの全体

表1 対象教室の環境条件

実験ケース	換気量 [m <sup>3</sup> /h/person]	室温 [°C]	その他
Case 1	20	28	湿度成り行き。温熱要素、CO <sub>2</sub> の連続測定を実施。
Case 2		22	
Case 3		25	
Case 4	10		
Case 5	5		

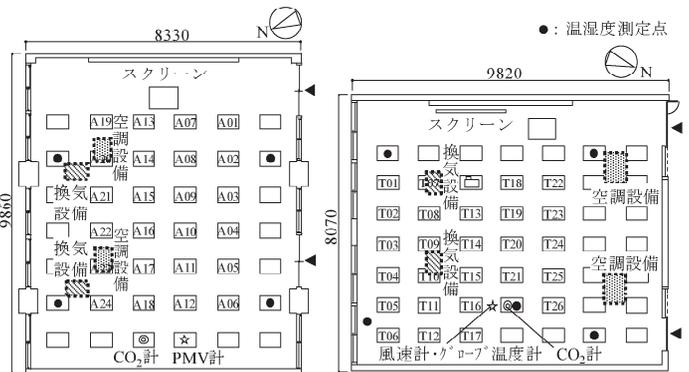


図2 A高専教室平面図

図3 T高専教室平面図

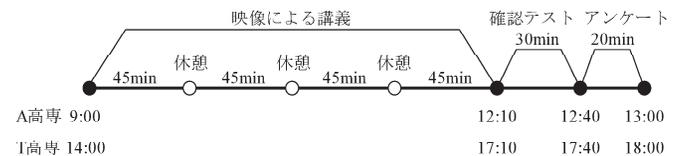


図4 実験手順の概要

表2 アンケート項目と評価スケール[( )内]

個人的要因	①体調(0~100), ②食事を取ってからの時間(分)
温熱環境	①温冷感(7), ②湿度感(7), ③上下温度差(5), ④満足度(5), ⑤講義内容の理解度への影響(5)
空気環境	①空気のよどみ(5), ②におい(5), ③満足度(5), ④講義内容の理解度への影響(5)
光環境	①余計なものや動きの気になる程度(5), ②満足度(5), ③講義内容の理解度への影響(5)
音環境	①満足度(5), ②講義内容の理解度への影響(5)
空間環境	①満足度(5), ②講義内容の理解度への影響(5)
受講状態	①既習率(0~100), ②講義内容の興味度(5), ③教室の総合的な環境が講義内容の理解度に与える影響(5), ④室内環境が原因で講義内容の理解に対してロスしたと思う時間(分), ⑤現状の室内環境が改善された場合に予想される講義内容の理解度向上率(%)など

分の映像による講義の後に、30分間の確認テストを行い、その後にアンケートを実施した。また、サーカディアンリズムを考慮し、各高専では毎週同じ曜日の同じ時間帯に実験を実施した。

## 2.4 被験者

被験者は、実験場所である各高専の建築系の学生とし、A高専では4～5年生、T高専では2～3年生の学生が中心であった。また、T高専では2008年と2009年の二カ年で実験を行っているが、各年の被験者に重複は無い。被験者には室内の物理環境条件を変化させることは告知していない。また、被験者には毎回同一の席に着くよう指示した。

## 2.5 映像講義のコンテンツ

映像講義のコンテンツについて、既報<sup>8-10)</sup>では一級建築士の受験対策講座を用いたが、本実験では高専生の学習状況を勘案し、二級建築士の講座を採用した。映像コンテンツは毎回異なるものを使用し、特に中期記憶の評価を意図する立場から、計画もしくは施工分野の暗記系の5種類のコンテンツを使用した。また、全ての実験を通じ、実験ケース(室内環境条件)と映像コンテンツの組み合わせの重複を無くし、出来る限り規則性を排除するように配慮した。

## 2.6 測定項目

教室の物理環境要素として、室温・グローブ温度・湿度・風速・CO<sub>2</sub>濃度を実験中に連続測定した<sup>5)</sup>。室温・湿度については室内5箇所測定を行ったが、その他の項目については教室中央列後方のみの測定である。また、騒音レベルおよび机上面照度を実験前に測定し、実験日より大きな差異が無いことを確認した。

アンケート項目を表2に示す。最低限の個人情報に加え、温熱・空気・音・光の環境要素に関する項目の他、既習率<sup>6)</sup>や学習効率に関する自己評価を含むオリジナルの調査票であるが、質問項目やワーディングは、オフィス空間での主観的な知的生産性評価を目指して開発が進められているSAP (Subjective Assessment of Workplace Productivity)<sup>11)</sup>との整合性に配慮した。

学習効率の客観評価には講義内容に対応した確認テストの点数を用いるが、異なる内容のテスト点数を相互比較するため、実際に日

建学院で実施された確認テストの2007年度の全国平均値(約6000人分)を難易度とみなして比例補正を行うことで、全テストの難易度を統一した。

## 3. 実験結果

### 3.1 物理環境および被験者特性

2008年のA高専・T高専での実験日および2009年のT高専での実験日は全て曇りもしくは晴れの天気であり、雨天等の特異な気象条件は無かった。

表3～5に、各実験における教室内の物理環境測定結果と被験者の特性について纏めて示す。表中の空気温度と湿度は室内5箇所の測定点全体の平均と測定点間の標準偏差<sup>12)</sup>を表しており、CO<sub>2</sub>濃度は実験中の時間平均と標準偏差を表している。

A高専・T高専共に、エアコンの能力不足によって教室内の空気温度(室温)が設定値まで下がりきらないケースが存在し、またエアコンから離れるに連れて室温が徐々に上昇する傾向がみられた。表中には示していないが、全てのケースにおいて、教室中央列の測定値(室温・グローブ温度・風速)から算出した作用温度OTは、教室中央列の室温並びに測定点全体の平均室温とほぼ等価であり、また風速は0.2m/s以下であった。実験者の目視によって推定した実験各ケースの平均着衣量は0.44～0.62 cloであり、教室の室温に応じて一定の調節を許容した。代謝量を1.0 metとして計算したPMVは、A高専で-0.4～0.8、T高専で-1.0～+0.7であった。

換気量は、トレーサガスをを用いたステップダウン法<sup>13)</sup>により事前に測定し、表1に示した実験条件をほぼ満たすことを確認していたが、調査日の被験者数が変動することで一人あたりの外気導入量が6.7～29.2 m<sup>3</sup>/h/personの間の条件となった。また、CO<sub>2</sub>濃度については800～2000 ppm強の条件となった。

### 3.2 アンケート申告結果<sup>8)</sup>

図5に実験各ケースにおいて観察された主観評価による平均温冷感をPMVと比較して示す。平均温冷感の変化の傾向は、PMVのそれと良く一致している。ただし、どちらの高専の被験者も予想より

表3 2008年A高専の教室内物理環境測定結果および被験者特性

実施日	設定ケース	講義課目	空気温度 [°C]	湿度 [%]	PMV [-]	換気量 [m <sup>3</sup> /h/p]	CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]	被験者特性 人数/平均年齢/男女比
8/21 (Thu)	Case 1	A	28.0±0.4	59±3	0.8	19.3	1414±84	16 / 19.7 / 12:4
8/28 (Thu)	Case 5	B	25.1±0.5	59±3	0.0	7.1	2236±490	22 / 19.8 / 13:9
9/4 (Thu)	Case 3	C	25.0±0.6	54±3	-0.1	18.2	1130±80	17 / 19.8 / 11:6
9/11 (Thu)	Case 4	D	26.0±0.7	47±3	0.2	9.8	1817±258	19 / 19.8 / 12:7
9/18 (Thu)	Case 2	E	23.7±0.5	59±4	-0.4	15.1	1331±94	21 / 19.9 / 13:8

表4 2008年T高専の教室内物理環境測定結果および被験者特性

実施日	設定ケース	講義課目	空気温度 [°C]	湿度 [%]	PMV [-]	換気量 [m <sup>3</sup> /h/p]	CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]	被験者特性 人数/平均年齢/男女比
9/6 (Sat)	Case 3	A	26.1±1.2	38±5	0.0	29.2	826±29	11 / 17.7 / 9:2
9/13 (Sat)	Case 1	B	28.0±0.3	51±3	0.7	16.5	1156±26	21 / 17.7 / 17:4
9/20 (Sat)	Case 5	C	25.1±1.2	41±4	-0.4	6.7	2319±277	20 / 17.9 / 13:7
9/27 (Sat)	Case 2	D	22.5±0.9	40±4	-1.0	17.2	1082±19	20 / 17.7 / 13:7
10/4 (Sat)	Case 4	E	25.0±0.9	50±4	-0.2	11.0	1533±83	24 / 17.6 / 16:8

表5 2009年T高専の教室内物理環境測定結果および被験者特性

実施日	設定ケース	講義課目	空気温度 [°C]	湿度 [%]	PMV [-]	換気量 [m <sup>3</sup> /h/p]	CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]	被験者特性 人数/平均年齢/男女比
6/13 (Sat)	Case 1	A	27.7±0.2	58±1	0.7	29.2	655±14	11 / 16.7 / 2:9
6/20 (Sat)	Case 3	B	25.1±0.5	49±3	-0.2	19.0	欠測	18 / 16.6 / 7:11
6/27 (Sat)	Case 1	C	27.6±0.2	55±2	0.6	20.0	743±17	17 / 16.8 / 8:9

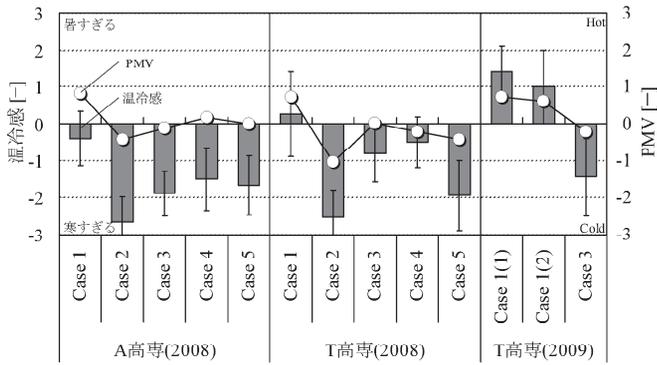


図5 平均温冷感・PMV

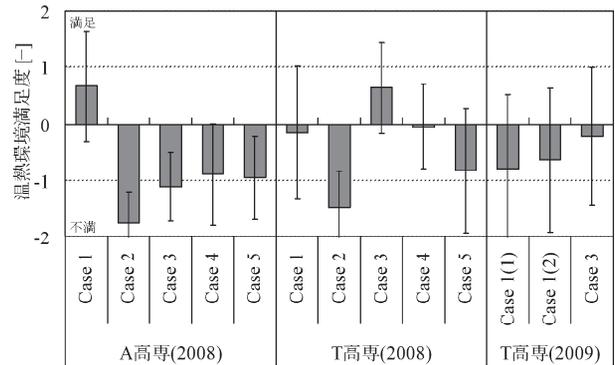


図6 温熱環境満足度

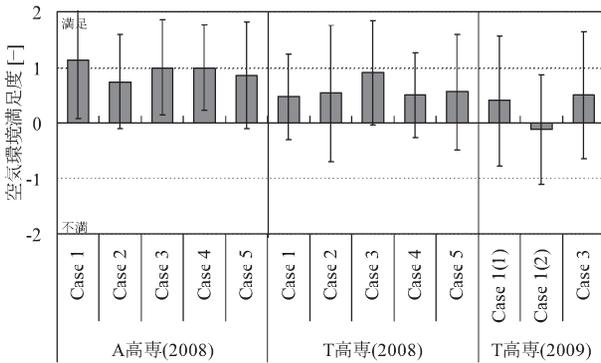


図7 空気環境満足度

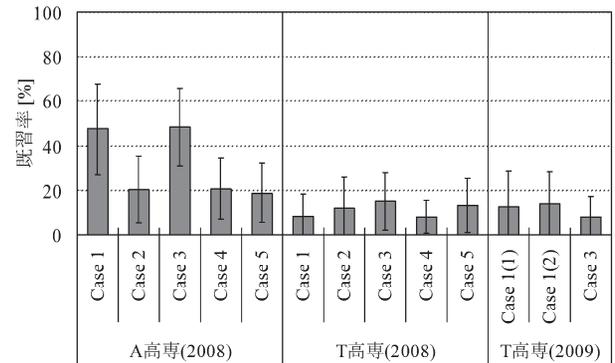


図8 既習率

寒く感じる傾向がみられ、Case 3のPMV=0の条件では中立より寒い側の申告となり、2008年ではCase 1の28℃条件でも中立付近の申告となっている。特に、A高専ではCase 1の28℃条件でも寒い側の申告がみられる。また、A高専・T高専共にエアコンに近いほど温冷感が低くなる傾向はみられたものの、大部分のケースで有意な差ではなかった<sup>注9)</sup>。

図6に温熱環境に対する満足度を示す。温熱環境に対する満足度は温冷感と良く対応しており、A高専ではCase 1において、2008年および2009年のT高専ではCase 3において最も満足度が高い。

図7に空気環境に対する満足度を示す。2008年の結果では各高専において最も換気量の大きかったケースで最も高い満足度が得られているが、2009年のT高専では最も空気温度の低いCase 3の満足度が高い。

図8に既習率の結果を示す。A高専のCase 1およびCase 3の既習率がその他に比べて明らかに高い。また、A高専はT高専よりも既習率が全体的にやや高め傾向がみられる。これは被験者の年齢構成とほぼ一致する。

### 3.3 学習効率評価結果<sup>注8)</sup>

#### 3.3.1 客観的な学習効率の結果

難易度補正後の確認テストの平均点を図9に示す。室温の違い(Case 1~3)による影響をみると、A高専ではCase 1(28℃)の点数が最も高く、Case 2の点数が最も低い。T高専においては、2008年にはCase 3(25℃)の点数が最も高く、Case 2の点数が最も低いが、2009年には点数の差がみられない。一方、換気量の違い(Case 3~5)による影響をみると、A高専と2008年のT高専共に、Case 3の点数が最も高く、Case 4の点数が最も低い。

Case 1~3の点数と図6の温熱環境満足度とを比較した場合、A

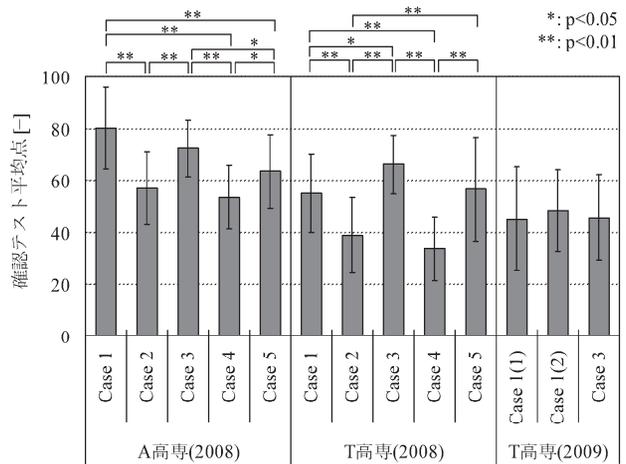


図9 客観的な学習効率(確認テスト)

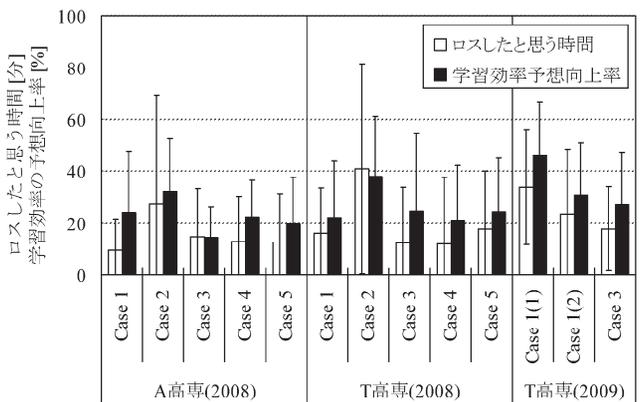


図10 主観的な学習効率

高専において Case 1 > Case 3 > Case 2 であることや、2008 年 T 高専において Case 3 > Case 1 > Case 2 であることが共通する傾向である。一方で、Case 3~5 の点数と図 7 の空気環境満足度とを比較すると、変化の傾向に対応はみられるものの明確ではない。また、テスト点数と図 8 の既習率とを比較すると、全体的に A 高専の方が T 高専よりも高いことや、A 高専の Case 1 と Case 3 がその他の Case より高いことが共通している。

### 3.3.2 主観的な学習効率の結果

図 10 に「室内環境が原因でロスしたと思う時間」と「室内環境が改善された場合に予想される理解度向上率（学習効率の予想向上率）」の申告結果を示す。どちらも、テスト点数の低い Case 2 では大きくなっているが、同様にテスト点数の低い Case 4 においては他ケースとの差異は明確でない。

既報<sup>8,9)</sup>と同様に、「ロスしたと思う時間」を講義時間(180 分)から差し引いたものを講義有効時間と定義し、平均講義有効時間を基準として算出した講義有効時間の向上率を、同様に平均点を基準としたテスト点数の向上率と併せて図 11 に示す。また、学習効率の予想向上率を平均の予想向上率から差し引いたものについても主観的な学習効率の向上率として図 11 に示す。この図をみると、主観的な学習効率評価と客観的な学習効率評価との対応は良くない。

## 4. 学習効率と室温・換気量の関係

前章の結果から、既習率がテスト点数に及ぼす影響が無視できないと考えられることから、室温と既習率、または、換気量と既習率を説明変数として、テスト点数に関する重回帰分析を行った。この際、室温をパラメータとしたケースと換気量をパラメータとしたケースとに分け、さらに、室温については中程度以上と以下のケースに分割して分析を行った。また、対象者群（若年層）の集団的な学習効率に注目する観点から、1 回の実験の被験者達を 1 つの集団として捉え、テスト点数や室温等については実験各回の平均値を以て分析を行った。表 6 にその結果を示す。なお、既習率そのものよりも既習率の自然対数の方が回帰式の決定係数が高くなったため、これを用いた。

分布のある室温を平均値で代表させたことによる誤差や、放射環境の分布や上下温度差等が不明であることによる不確かさを多少なりとも含んでいるが、表 6 の分析結果からは、室温が中程度以下の場合（Case 2, Case 3）には、室温は説明変数として有意であり、室温と共にテスト点数が低下する様子が認められる。一方、室温が中程度以上の場合（Case 1, Case 3）には、室温は有意な説明変数として認められない。また、換気量が増加する場合（Case 3~5）には、換気量は説明変数として有意であり、換気量が多いほどテスト点数が向上する様子が認められる。

また、既往の研究<sup>7,9)</sup>においては、学習効率と室温の間に 2 次曲線の関係、換気量との間に対数曲線の関係が観察されていることから、本研究においても室温を 2 次、換気量を対数とした場合の重回帰分析を行った。その結果を表 7 に示す。

表 6 または表 7 をみて分かるように、本研究においては既習率の影響がテスト点数に大きく反映されており、室温や換気量の影響のみを観察するためには、既習率の影響を取り除く必要がある。

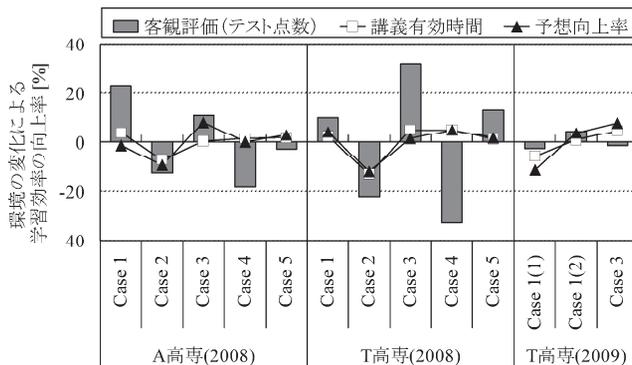


図 11 客観評価と主観評価の対応関係（向上率）

表 6 テスト点数に関する重回帰分析結果(室温・換気量)

	回帰式	決定係数 R <sup>2</sup> , 有意確率 p, 標準偏回帰係数β
室温が中程度以下の場合 (Case 2, Case 3)	$y=5.45 x_1+15.0 \ln(x_2)-120$ $x_1$ : 室温[°C] $x_2$ : 既習率[%]	R <sup>2</sup> =0.96 $x_1$ : p<1.0E-10, β=0.52 $\ln(x_2)$ : p<1.0E-10, β=0.76
室温が中程度以上の場合 (Case 1, Case 3)	$y=0.899 x_1+15.7 \ln(x_2)-9.17$ $x_1$ : 室温[°C] $x_2$ : 既習率[%]	R <sup>2</sup> =0.77 $x_1$ : n.s., β=0.09 $\ln(x_2)$ : p<1.0E-10, β=0.88
換気量が増加する場合 (Case 3~5)	$y=0.292 x_1+17.8 \ln(x_2)+2.44$ $x_1$ : 換気量[m <sup>3</sup> /h/p] $x_2$ : 既習率[%]	R <sup>2</sup> =0.74 $x_1$ : p<8.0E-4, β=0.16 $\ln(x_2)$ : p<1.0E-10, β=0.83

表 7 テスト点数に関する重回帰分析結果(室温 2 次・換気量対数)

	回帰式	決定係数 R <sup>2</sup>
室温が変化する場合 (Case 1~3)	$y=-0.721 x_1^2+39.0 x_1+16.0 \ln(x_2)-513$ $x_1$ : 室温[°C] $x_2$ : 既習率[%]	R <sup>2</sup> =0.82
換気量が増加する場合 (Case 3~5)	$y=1.65 \ln(x_1)+17.9 \ln(x_2)+1.87$ $x_1$ : 換気量[m <sup>3</sup> /h/person] $x_2$ : 既習率[%]	R <sup>2</sup> =0.72

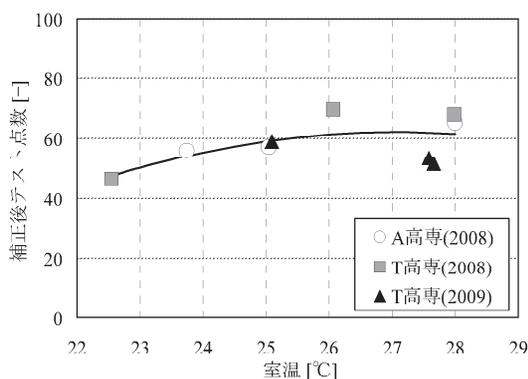


図 12 テスト点数(Case 1~3)と室温の関係

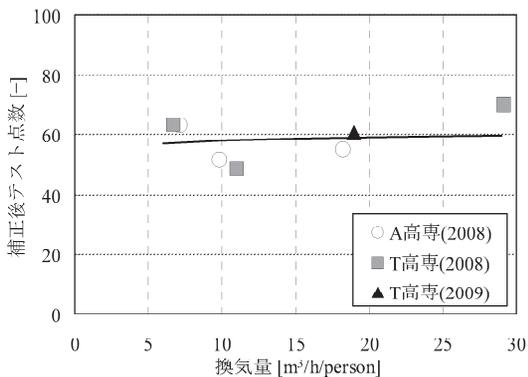


図 13 テスト点数(Case 3~5)と換気量の関係

そこで、以下の式でテスト点数を補正する。

$$(\text{補正後テスト点数}) = (\text{テスト点数}) - a \times \ln(\text{既習率} / b)$$

ここで、 $a$  は表 7 より 16.0 または 17.9 とし、 $b$  は既習率の全体平均 (=18.6%) とする。求めた補正後テスト点数と室温・換気量との関係を図 12 および図 13 に示す。なお、図中の曲線は、表 7 の回帰式の  $x_2$  に既習率の全体平均を代入したものである。

図 12 をみると、低温側においては回帰式と実験結果とが良く一致しているが、高温側においては実験結果にばらつきがある。これは、本実験においては 2008 年の特に A 高専の被験者が暑さによる不満をほとんど感じていなかったのに対して、2009 年の T 高専では暑さによる不満足度が高かったことが影響しているのではないかと考えられる。一方、図 13 をみると、換気量に対するテスト点数全体の変化傾向に比べ、実験結果にばらつきが大きく、回帰式との十分な一致がみられない。これは、本研究の換気量範囲が 6.7~29.2 m<sup>3</sup>/h/person であり、既報<sup>7-9)</sup>に比べて換気量範囲の下限・上限が共に高く、学習効率の変化が観察し難かったことや、条件間での被験者の均質化が十分でなかったことなどによると考えられる。

## 5. 既往研究との比較

学習効率と室温・換気量との関係について、20 代後半~40 代の被験者を対象として実施された既往の現地調査<sup>7,9)</sup>および 20 代前半を対象として実施された既往の実験室実験<sup>7,9)</sup>と、本研究の結果とを比較する。ただし、学習効率と室温の関係と比較するに当たっては、調査時期の違いから着衣量が各調査で異なるため、室温変化を PMV で整理し直すこととした。室温を PMV に代えて前章と同様に重回帰分析を行ったところ、本研究結果の回帰式は  $y = -6.78 x_1^2 + 6.35 x_1 + 15.6 \ln(x_2) + 14.8$  ( $R^2 = 0.82$ ,  $x_1$ : PMV,  $x_2$ : 既習率) であった。

得られた回帰式の  $x_2$  に既習率の全体平均 (=18.6%) を代入し、PMV=0 の学習効率を 1 とし、相対化した学習効率を既往研究<sup>7)</sup>の結果と併せて図 14 に示す。また同様に、表 7 の回帰式に既習率の全体平均を代入し、換気量 1.0 m<sup>3</sup>/h/person の学習効率を 1 とし、相対化した学習効率を既往研究<sup>8,9)</sup>の結果と併せて図 15 に示す。

図 14 より、既往実験室実験では PMV の正負でほぼ対称に学習効率が低下しているが、既往現地調査では PMV が負の条件で学習効率の低下が無く、本研究では PMV が正の条件で学習効率の低下がみられない。既往現地調査<sup>7)</sup>が冬から春(2006 年 2 月~5 月)にかけて実施されたのに対して、本現地調査が夏から秋(2008 年 8 月~10 月)と初夏(2009 年 6 月)に実施されたことや、本研究では 28℃ 条件でも暑さによる不満があまりみられなかったことを考慮すると、現地調査では季節による影響が存在する可能性がある。また、この非対称性を除けば、本研究の PMV に対する学習効率の変化率は既往現地調査と同程度であり、既往実験室実験よりも小さい。

一方、図 15 をみると、本研究で学習効率に換気量が及ぼす影響は既往研究<sup>8,9)</sup>に比べて小さい。これは、既往研究では換気量と共に温熱環境も変化していたことも影響していると考えられる。

ここで、前章で述べた学習効率と既習率との関係について考察

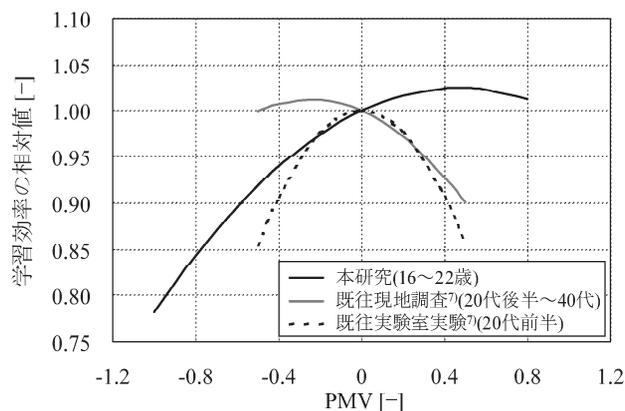


図 14 PMV と学習効率に関する既往研究との比較

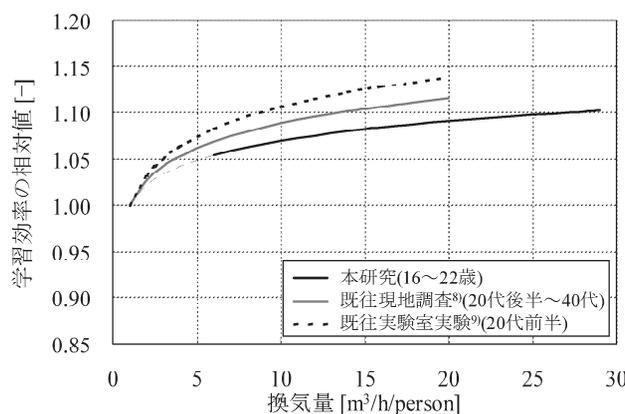


図 15 換気量と学習効率に関する既往研究との比較

する。図 14 および図 15 に示した本研究の学習効率の相対値は、既習率を全体平均 (=18.6%) として算出したものであるが、もし、これより高い既習率を仮定した場合には、基準点が上がり、基準点に対する得点変化量、即ち、学習効率の相対値の変化量は小さくなる。このことは、一般に、既習率が高い場合にはテスト点数は高くなり、教室環境による影響も小さくなると予想されることと矛盾しない。

このことを踏まえて再度、図 14 をみると、本研究の PMV に対する学習効率の相対値の変化量は、本研究より被験者の既習率が高い既往研究と比較しても、同程度以下である。つまり、既習率が同程度であれば、本研究で対象とした 16 歳~22 歳の若年層では教室環境が学習効率に及ぼす影響は年長者に比べて小さいと推察される。ただし、総合的観点からは、若年層は一般に未知の内容について学習する機会が多い点にも注意する必要があると考えられる。

## 6. 結語

本報では国立工業高等専門学校の学生(16 歳~22 歳)を被験者として教室環境と学習効率に関する調査の概要を示すと共に、その結果を報告した。得られた主な知見を纏めると以下となる。

- (1) 本調査では、室温が中程度以下の場合に室温はテスト点数の説明変数として有意であり、室温の低下と共にテスト点数が低下する様子が認められた。一方、室温が中程度以上の場合には、室温はテスト点数の有意な説明変数として認められなかった。

- (2) 換気量はテスト点数の説明変数として有意であり、換気量が多いほどテスト点数が向上する様子が認められた。
- (3) 室温が中程度以上の場合にテスト点数が変化しなかったのは、調査を実施した季節が影響したためである可能性がある。
- (4) 既往研究との比較の結果、既習率が同程度であれば、16歳～22歳の若年層では、教室環境が学習効率に及ぼす影響は年長者に比べて小さいと推察された。ただし、若年層は未知の内容について学習する機会が多い点にも注意が必要である。

**謝辞**

本研究の遂行にあたり、徳山工業高等専門学校の古田健一准教授、有明工業高等専門学校の齋敏和教授に多大なご協力を頂きました。また、学習効率評価のための講義コンテンツならびに確認テストは日建学院／建築資料研究社よりご提供いただきました。実測に際し、九州大学大学院の佐々木英幸氏、山口大学後藤研究室のメンバーである安藤春菜氏、藤本大輔氏に尽力いただきました。関係各位に深甚なる感謝の意を表します。また、本研究は国土交通省(IBC)／知的生産性研究委員会／応用部会／学習環境小委員会の活動の一環として実施したものである。

**注**

- 注1) 学習効率に影響を与える因子は多様であり、特に社会的要因が学習効率に与える影響と比較して、建築環境が学習効率に与える影響は大変小さい。しかしながら、境界条件を整理した上で建築環境に関連する因子のみを抽出すると、ある程度の影響が見られることを情報として提供することに本研究の意義がある。また、生徒・児童達は一般に教室環境条件の調整に関して権利が与えられていないことが多く、受け身となることが多いため、ファシリティマネージメントの観点より管理者側が適切な教室環境を維持する必要がある。そのための基礎データの蓄積ということも本研究の目的の一つである。
- 注2) 日建学院は主に建築・不動産関連の資格を取得するための受験対策講座を開講している業界最大手の学校であり、全国に133校を展開している。<http://www.ksknet.co.jp/nikken/> (2010.2.3 参照)
- 注3) 本報を含む学習効率に関する一連の研究では、外気を清浄空気と想定した場合の換気量の多寡が学習効率に及ぼす影響に着目して検討を行っている。そのため、室内環境中に存在する各種の汚染源の中で特定の物質に着目せず、濃度希釈の観点から総合的な空気の質としての良否を問題としているが、主たる汚染源は、居住者由来の二酸化炭素と考えられる。
- 注4) 2009年の実験は、2008年の実験結果において室温と温冷感や温熱環境満足度との関係が大きく予想と異なったため、室温の影響に関して追加実験を行ったものである。また、当初は2009年においてCase 1～3の実験を行う予定であったが、初回のCase 1の実験において被験者数が十分に確保できなかったために、Case 2の実験を取りやめ、再度Case 1の実験を行った。
- 注5) 物理環境測定に使用した機器は付表の通り。被験者には環境計測を実施している旨のみ伝達し、何を計測しているかは通知していない。

付表 物理環境測定機器

測定機器 (精度)		測定高さ
A 高 専	・温湿度計・T and D RTR53-A (温度±0.3℃, 湿度±5%)	床下 0.6m ～1.0m
	・PMV 計・京都電子工業 AM-101 (空気温度±0.5℃, グローブ温度±0.5℃, 相対湿度±3%, 風速±0.1m/s)	
	・CO2 濃度計・Telaire 7001 (±50ppm または読取値±5%)	
T 高 専	・温湿度計・T and D RTR53-A (温度±0.3℃, 湿度±5%)	
	・グローブ球・SIBATA 直径 150mm (温度計と同じ)	
	・風速計・KANOMAX クリモマスター-6543 (±0.02m/s) ・CO2 濃度計・Telaire 7001 (±50ppm または読取値±5%)	

- 注6) 本研究では、アンケート設問【今日の小テストの設問のうち、授業を受ける前から覚えていた内容は何%程度ありましたか? ; \_\_\_\_%程度】に対する回答を既習率と定義している。
- 注7) 5つの測定点それぞれの時間平均値を算出し、これら5つの時間平均値の算術平均と標準偏差をとったもの。
- 注8) データは、学習効率に大きな影響を及ぼすと考えられる①体調、②講義に対する興味度に関して、申告票データより2σでスクリーニングを行った。また、ほぼ全てのデータが失われてしまうケースが出るため、既習率についてのスクリーニングは行わず、その影響は別途考慮することとした。
- 注9) 座席列によって温冷感に有意な差があったのは、A高専のCase 1と4、2008年T高専のCase 1と5である。

**本論文に関連する既発表論文**

- [1] 佐々木達也, 蔵本一生, 佐々木英幸, 藤本大輔, 齋敏和, 古田健一, 後藤伴延, 伊藤一秀: 若年層(16～22歳)を対象とした教室環境と学習効率に関する介入調査 (第一報) 高専を対象とした介入調査の概要と物理環境測定結果, 日本建築学会九州支部研究発表会・研究報告, pp.229-232, 2009.3
- [2] 蔵本一生, 佐々木達也, 佐々木英幸, 齋敏和, 後藤伴延, 伊藤一秀: 若年層(16～22歳)を対象とした教室環境と学習効率に関する介入調査 (第二報) 九州地区 A 高専を対象とした介入調査結果, 日本建築学会九州支部研究発表会・研究報告, pp.233-236, 2009.3
- [3] 藤本大輔, 佐々木英幸, 古田健一, 齋敏和, 後藤伴延, 伊藤一秀: 若年層(16～22歳)を対象とした教室環境と学習効率に関する介入調査 (第三報) 中国地区 T 高専を対象とした介入調査結果, 日本建築学会九州支部研究発表会・研究報告, pp.237-240, 2009.3
- [4] 佐々木英幸, 藤本大輔, 齋敏和, 後藤伴延, 伊藤一秀: 若年層(16～22歳)を対象とした教室環境と学習効率に関する介入調査 (第四報) 客観評価・主観評価の全体傾向と既往研究との比較, 日本建築学会九州支部研究発表会・研究報告, pp.241-244, 2009.3
- [5] 佐々木英幸, 伊藤一秀, 後藤伴延, 藤本大輔, 齋敏和, 古田健一: 教室環境が若年層の学習効率に及ぼす影響に関する研究 その1 高専を対象とした介入調査の概要および温熱・空気環境測定結果, 日本建築学会年次大会, D-2, pp.1053-1054, 2009.8
- [6] 後藤伴延, 伊藤一秀, 佐々木英幸, 藤本大輔, 齋敏和, 古田健一: 教室環境が若年層の学習効率に及ぼす影響に関する研究 その2 学習効率と室温および換気量との関係, 日本建築学会年次大会, D-2, pp.1055-1056, 2009.8
- [7] 安藤春菜, 佐々木英幸, 後藤伴延, 伊藤一秀, 古田健一, 齋敏和: 若年層(16～22歳)を対象とした教室環境と学習効率に関する介入調査 (第五報) 2009年度データ追加後の検討, 日本建築学会中国支部研究発表会, 2010.3

**参考文献**

- 1) 野中郁次郎: 知識創造の方法論, 東洋経済新報社, 2003.4
- 2) 耳塚寛明, 牧野カツコ: 学力とトランジションの危機—閉ざされた大人への道, 金子書房, 2007.12
- 3) Wargocki et al.: Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in office with two different pollution loads, Indoor Air, 9(3), pp.165-179, 1999.9
- 4) Wargocki et al.: The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates, Indoor Air, 14(8), pp.7-16, 2004.12
- 5) 西原直枝, 田辺新一: 中程度の高湿環境下における知的生産性に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, No.568, pp.33-39, 2003.6
- 6) 岩下剛, 花田良彦, 合原妙美: 室温の違いが作業効率に及ぼす影響—ビデオ内容の記憶の度合いを作業パフォーマンスと捉えた研究—, 日本建築学会環境系論文集, No.585, pp.55-60, 2004.11
- 7) 村上周三, 伊藤一秀, ポールワルゴッキ: 教室の環境と学習効率, 建築資料研究社(ISBN 978-4-87460-956-9), 2007.10
- 8) 金子隆昌, 村上周三, 伊藤一秀, 深尾仁: 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) 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, 日本建築学会環境系論文集, No. 606, pp.43-50, 2006.8

- 9) 金子隆昌, 村上周三, 伊藤一秀, 深尾仁, 亀田健一: 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 2) 実験室実験による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討, 日本建築学会環境系論文集, No. 611, pp.45-52, 2007.1
- 10) 亀田健一, 村上周三, 伊藤一秀: 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 3) 室内環境質が学習意欲ならびに学習効

率に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, No. 642, pp943-949, 2009.8

- 11) (財)建築環境・省エネルギー機構 編: 誰でもできるオフィスの知的生産性測定 SAP 入門, 株式会社テツアード出版 (ISBN 978-4-903476-35-3), 2010.1
- 12) 空調調和衛生工学会: SHASE S 116-2003, トレーサガスを用いた単一空間の換気量測定法, 2004.6

(2010年2月3日原稿受理, 2010年5月27日採用決定)