

冷暖房時の大学講義室内における熱・空気環境の 実態と教員・学生の温熱環境評価との関係

飯野 秋成*, 富永 禎秀*, 小野寺 正幸**,
塚本 健二***, 飯田 絵美****, 鈴木 一貴*****

(平成15年10月31日受理)

Relation between thermal and air environment and evaluation
of teachers and students in air conditioned lecture rooms in our college

Akinaru IINO*, Yoshihide TOMINAGA*, Masayuki ONODERA**,
Kenji TSUKAMOTO***, Emi IIDA**** and Kazutaka SUZUKI*****

This paper reports the measurement results of the thermal and air environment in our college and evaluation of environment in lecture rooms by teachers and students. In general, room temperature when beginning a lecture at the first period during summer was high, and the difference between preset temperature and room temperature was big. So, the sensible temperature of teachers was higher than that of the students, and many students evaluate 'cool' in lecture room at the end of the first period in summer. Relative humidity became low behind some lecture rooms at the first period during winter and teachers and students feel dry. Sensible temperature in the lecture room of teachers and students was almost same in the winter. Weather conditions and the environment in some lecture rooms were different roughly and physical environment in some lecture rooms depends on their floor numbers and their shapes.

Keywords: air conditioning system, air temperature distribution, air quality

1. はじめに

本研究は、本学の校舎内の熱・空気環境および室内空気質の状況と学生・教員の環境評価との関係に関する実態調査を行い、現状の空調方法による問題点を指摘するとともに、大学校舎の設計計画上考慮すべき点、および講義室の効果的な空調方法や換気方法に関する指針を得ようとするものである。

本学における夏季の講義室内は、教員は暑く感じているにもかかわらず学生は寒そうにしており、体調を崩す学生もいることが指摘されている。過度の冷房によって講義室内の気温が低くなっていることが考えるが、空調調節や衣服での体温調節を試みる学生は少ない。また、冬季については試験期間に前後して学生・教員にインフルエンザが流行する傾向にある。建物の気密性が高く汚染しやすいこと、講義中に暖房密閉状態になる講義室内では相対湿度が低く乾燥しやすいこと、暖房のON/OFFのタイミングや校舎内の比較的大

* 建築学科 教授

** 物質生物システム工学科 助教授

*** 大学院工学研究科 大学院生

**** (株) キャリアステーション

***** 工学部 建築学科

きい気温分布により校舎内でヒートショックに近い状況を生じやすいこと、等が原因として考えられるが、その実態は必ずしも明らかではない。

また、大学院等の完成直後には、棟内および情報電子工学科の位置する南棟2階において化学物質特有のにおいの発生が認められ、学生や教員から気分が悪いなどの苦情が続いた経緯がある。これは完成直後に春夏を迎え、気温が上昇するとともにホルムアルデヒド(HCHO)や揮発性有機化合物(VOC)の濃度が高くなっていった可能性がある。また、HCHO濃度は新年度の研究室や実習室のリニューアルに伴うワックス塗布、家具や電気製品の大量導入等によっても問題となることもある。校舎内で過ごす時間の長い学生に対する生活上の影響は、必ずしも無視できない場合があると考えられる。

大学校舎内での環境調査については、多くの報告がみられる。近年には、例えば、大学キャンパスにおける学生研究室での窓開閉行為の要因に関する研究¹⁾、大学生の冷房利用時間とその要因に関する研究²⁾、大学のメディアセンターや研究室における諸活動と物理環境に関する研究^{3),4)}などが行われている。しかし、講義室内での空間分布と講義時限内での学生の温冷感や体調変化の様子とその要因を考察することによって、大学講義室の集中冷房、集中暖房の方法に対する指針の提示につなげている例はみられない。

筆者らは、これまで小学校校舎の改築前後の教室内の温熱環境空間分布に関する調査を進めてきた。その中で建物の計画上の工夫で快適性の向上を著しくはかれること、および、適切な空調が行われなければ教室内の温湿度に大きな分布が生じることを示している⁵⁾⁻⁸⁾。空調制御を前提とした大学講義室の温熱環境現状を知ることは、大学の学生に対するよりよい学習環境の提供につながるだけでなく、今後エアコンの導入が進められるわが国の小、中、高校の校舎のあり方を考えるうえでも重要な資料となると考えられる。

2. 本研究の基本的な考え方と実測概要

本学のS1大講義室、SB-1～S2-11の講義室、計算機実習室、建築製図室、LL教室を調査対象とし、7月の下旬と1月下旬に熱・空気環境の実測とアンケート調査と年間を通した温湿度の計測を行った。夏季および冬季の実測は主要な講義室のみ、年間を通した計測ではすべての講義室について計測を行った。

2.1 夏季および冬季の実測調査概要

個々の講義室内での物理環境の空間分布を把握するために、2002年7月16～31日、および2003年1月21～31日に実測調査を行った。大学講義室の関連図をFig.1に示す。形状や階数による違いを把握するために、特殊な形状をもつS1大講義室、半地下で南西側の屋外状況が異なるSB-1とSB-2、形状と開口部が同じで異なる階に位置しているS1-3とS2-9、同じ階に位置しているが開口部の状況が南北方向に異なるS2-8とS2-11を選定した。また、S2-9とS2-8、S2-11は上階の状況が異なっている。計測項目をTable 1に示す。

講義室内の計測は、講義室内の6～10点の気温、相対湿度を10分間隔で計測した。また、講義室内の表面温度とS2-9において黒板に向かって左脇の窓際と中央のグローブ温度を1分間隔で計測した。この期間中、外部状況を知るために、天候、雲量を目視で休み

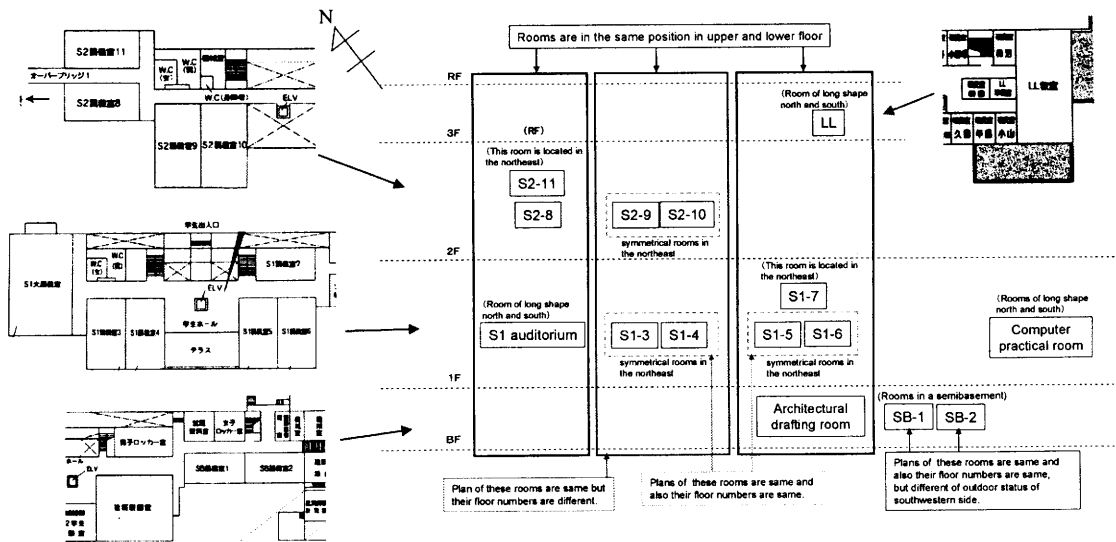


Fig.1 Correlation of lecture rooms in this college.

Table 1 Measurement instruments.

Surface temperature of ceiling, wall and floor	S1-3,S2-8,S2-9,S2-11	thermocouple	1 minute interval
Globe temperature	S2-9	Globe thermometer	1 minute interval
Formaldehyde concentration	each lecture room	Silset	
Solar radiation	rooftop of this college	Pyranometer	10 minute interval
Air temperature and relative humidity	rooftop of this college	Thermo recorder	10 minute interval

時間毎に、風向、平均風速、日射量を10分間隔で計測した。

また、計測された物理環境測定値と人の感じ方との対応を図ることを目的とし、温冷感評価やエアコンの風の感じ方、講義前後での体調の変化等について教員と学生に対してアンケート調査を行った。アンケート調査は、その講義で着席している座席において講義終了時にどう感じているか、または、どう変化したかを調査するために講義終了時に行った。

2.2 年間を通した温湿度の調査概要

事務局で行われている空調の運転の判断は「外気温」のみによる。しかし、外気温と講義室の気温は大きく異なることが予想される。学内の年間を通した講義室の温湿度変化の傾向を把握するために、調査対象箇所全てにおいて気温、相対湿度を計測した。また、その時の外部状況を知るために、本学屋上で気温、相対湿度、日射量をそれぞれ10分間隔で2002年5月23日～2003年5月31日まで計測を行った。

3. 夏季の物理環境の空間分布

3.1 主な講義室内における温熱環境の空間分布の例

S1大講義室では、後列が段上になっており講義室内の温度分布や体感温度が前列と異なることが予想される。そのため、Fig.2に2002年7月18日1時限のS1大講義室での気温分布をみた。講義開始時には全測定点の気温差は1℃程度だったが、終了時には最も高

い点と低い点で4℃の差となった。さらに、後列中央での気温は講義開始から終了時まで3℃低下した。Fig.3に同講義時間でのアンケート調査結果を示す。とても暑いからとても寒いまで5段階評価で質問したところ、空調機の集中している付近に寒いと感じる人がおり、その中でも気温が著しく低下した後列中央付近にはとても寒いと感じた人の約半数が集中している。このような分布が生じるのは後列が段状になっており、天井の空調吹出し口との距離が小さいことによる。

地下1階の講義室では前後で異なった空調設定が可能である。講義室の前後で異なった空調設定をしたときの気温分布をみるため、Fig.4にSB-1における2002年7月24日1時限の気温分布をみた。設定温度が低い後方が気温が低くなるが、全測定点の気温差が講義終了時を除いて約1℃程度と分布幅が小さく、大きな気温の変化は見られなかった。Fig.5のアンケート調査結果では、後方に寒いと感じた人が多かった。しかし、前方と後方でエアコンの風の感じ方に分布は見られなかった。この時、教員は少し暑いと評価しており、教員と学生では温冷感が異なっている。

3.2 主要な講義室の時限別温熱感評価とエアコンの設定状況との関係

Fig.6に学生の温冷感評価の結果を示す。いずれの天候、および時限においても学生による温冷感評価では‘暑さ’に比べて‘寒さ’を感じた人が多かった。特に、晴れの日に比べて曇や雨の日の1, 2限に‘寒さ’を感じた人が多かった。Fig.7にFig.6でアンケー

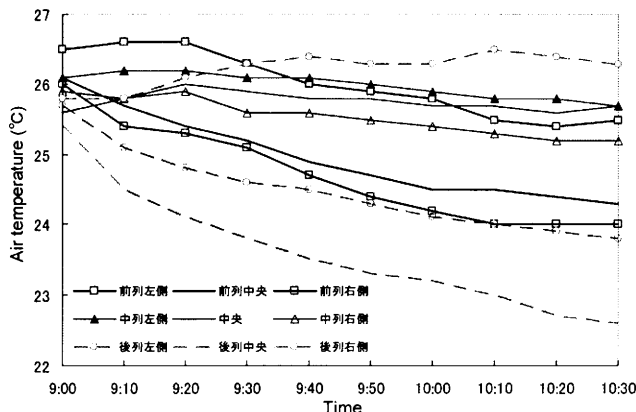


Fig.2 Air temperature distribution of S1 auditorium at the first period in July 18, 2002.

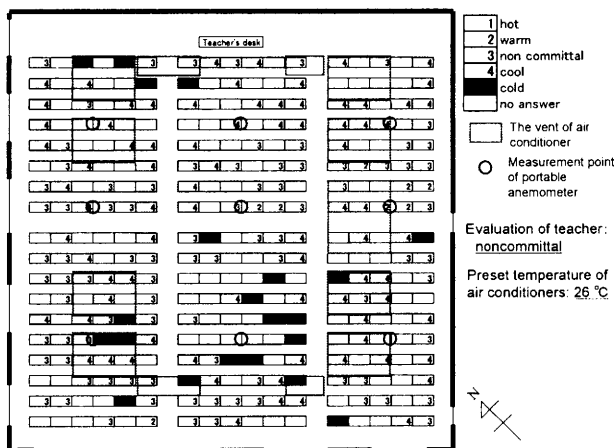


Fig.3 Evaluation of warmth of S1 auditorium at the first period in July 18, 2002.

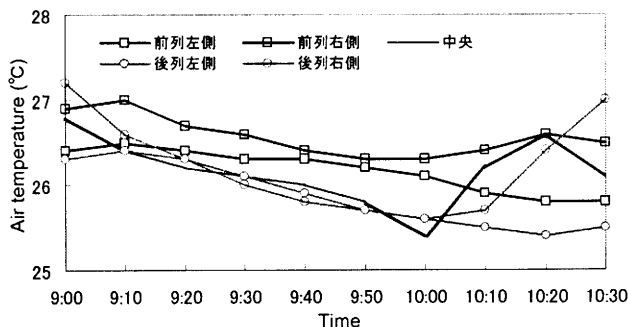


Fig.4 Air temperature distribution of lecture room 'S1-3' at the first period in July 24, 2002.

ト調査を行った講義室の室温，設定温度と外気温との関係をみた．ここで Fig.7 の記号は Fig.6 と対応している．1時限は開始時の室温が高く，設定温度との差が大きい傾向にあり，設定温度が低い場合が多い．講義開始直前まで集中冷房は OFF になっていることから，登校直後の代謝量が大い状態では暑さを感じやすく，エアコンの風量を'H'にする，あるいは設定温度を低くするなどの対応をとる．結果的に講義終了直前に極端に気温の低い座席が現れていることがわかる^{注1)}．

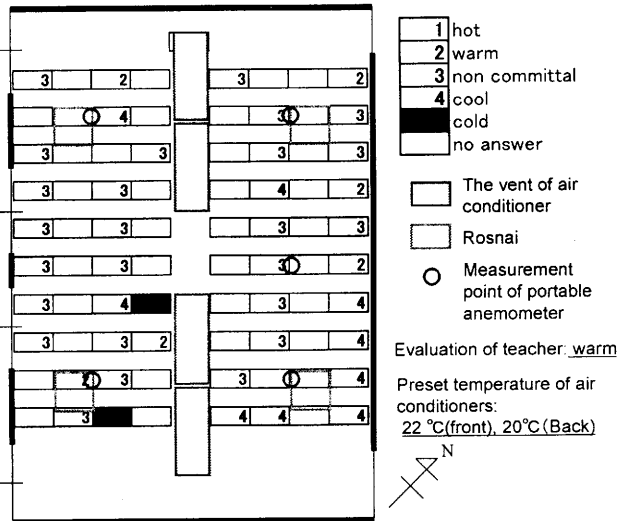


Fig.5 Evaluation of warmth of lecture room 'S1-3' at the first period in July 24, 2002.

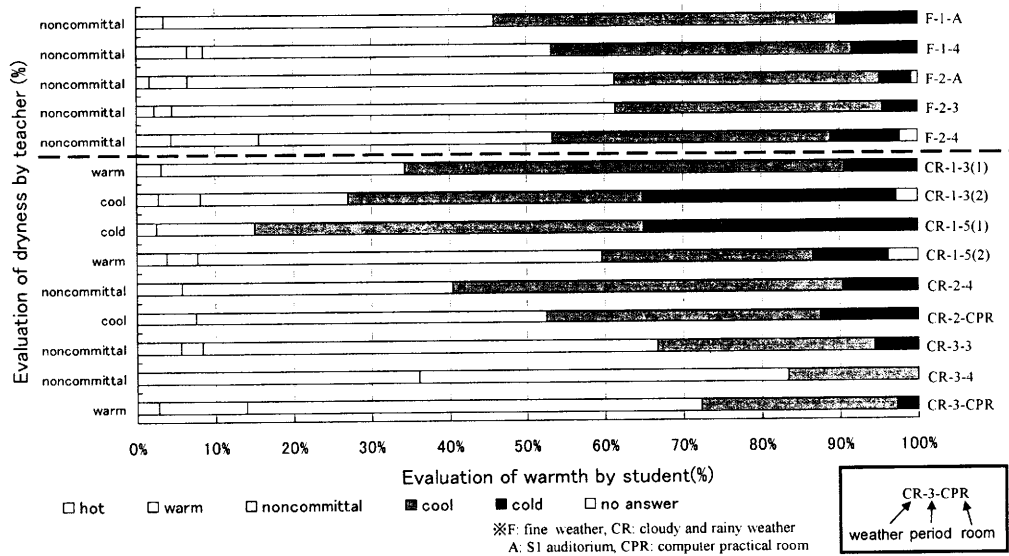


Fig.6 Evaluation of warmth by students.

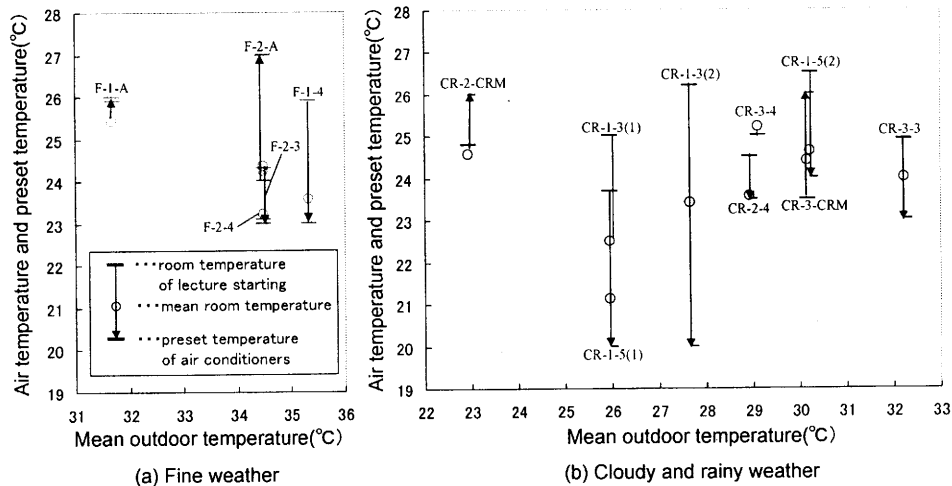


Fig.7 Relation between outdoor temperature, room temperature and preset temperature.

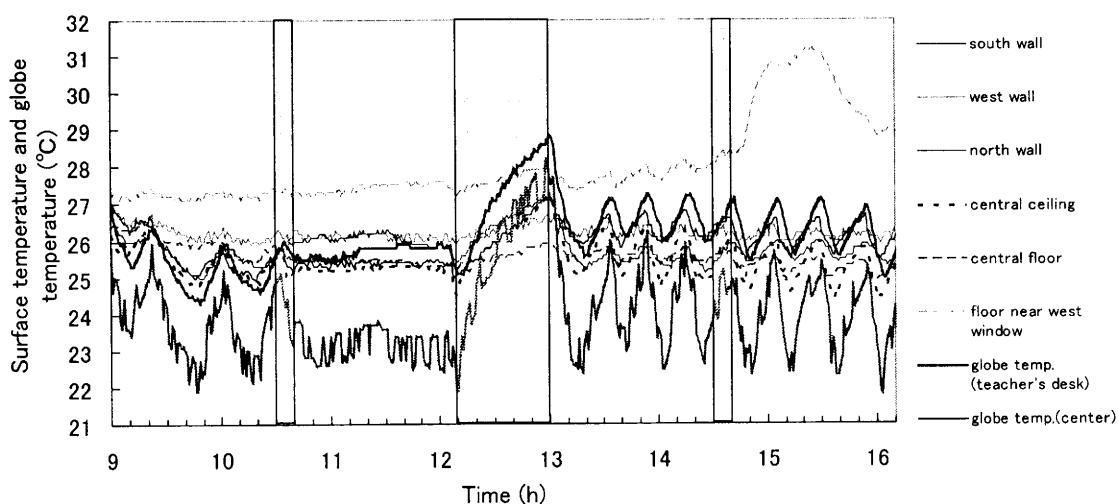


Fig.8 Surface temperature and globe temperature of lecture room 'S2-9' on July 18, 2002.

3.3 教員と学生の温冷感評価の比較

Fig.8にS2-9の表面温度分布の時系列変化を示す. 南西面窓際の床が一番表面温度が高く, 15時以降日射が入射し最大約4℃高くなっている. その他の面では, 1日の変動は小さいが, 空調が停止している12:10~13:00にかけて表面温度が上昇している. そのとき教卓前と講義室中央のグローブ温度は2時限終了時から3時限開始までに4℃以上上昇している. 講義中, グローブ温度は教卓前では最大2℃の変動に対し, 講義室中央では最大4℃と教卓前より大きく変動している.

Fig.9に教卓前のグローブ温度と講義室中央のグローブ温度の関係を示す. どの時間も教卓前のグローブ温度が講義室中央のグローブ温度よりも高く, 教員は生徒よりも暑いと感じている. さらに, Fig.10で教卓前と講義室中央それぞれのグローブ温度と気温の関係を見ると, 講義室中央では4時限を除いてグローブ温度は気温と同じかやや低く, 逆に教卓前はグローブ温度は気温より高い. このように, 教員にはガラス面, あるいはカー

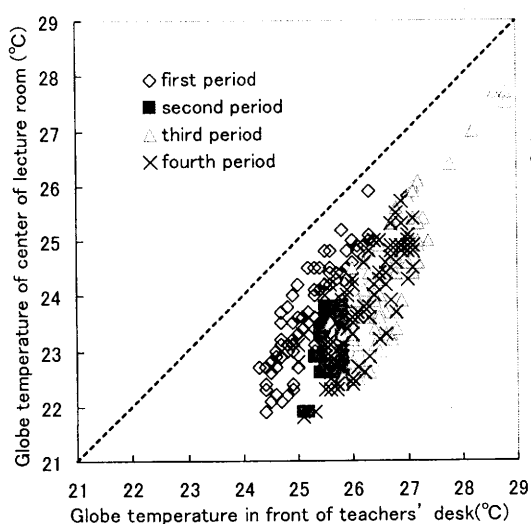


Fig.9 Relation of globe temperature between teachers' desk and center (S2-9).

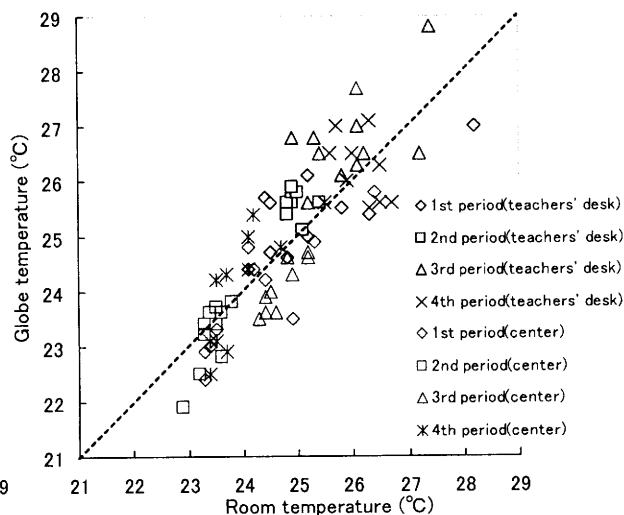


Fig.10 Relation between room temperature and globe temperature (S2-9).

テンからの日射受熱による再放射の影響も大きい^{注2)}。

4. 冬季の物理環境の空間分布

4.1 主な講義室内における気温の水平・鉛直方向の分布の特徴

Fig.11に2003年1月24日4時限のS1大講義室での気温分布を示す。講義開始時の全測定点の温度差約2.5℃であったが、15:40頃に前列左側と後列左側で最大約5℃の気温差が生じている。なお、前列左側が15:10以降他の測定点より気温が高くなるのはエアコンの風が強く当たっていることが原因と考えられる。Fig.12に同講義時間でのアンケート調査結果をみると、講義室に暖房機器が設置されているにもかかわらず、特に講義室後方で寒いと感じるという評価が多かった。

Fig.13にS1大講義室の垂直温度分布を示す。高さ20cmでは20℃以下で高さ150cmと比較すると約6℃の差がある。また、水平方向で最大3℃の差がでていた。Fig.14で同講義時間でのアンケート調査結果をみると、講義室の全体にわたって顔と足元で温度差を感じた人が多かった。

4.2 講義室内における相対湿度分布

冬季の講義中では、暖房密閉状態になり相対湿度が低く乾燥しやすい。Fig.15に2003年1月22日1時限のS1-3における相対湿度分布を示す。後列左側が相対湿度が低く、相対湿度の高い前列左側と比べると約10%低くなっている。Fig.16で同講義時間でのアンケート調査結果をみると、左側で少し乾燥していると評価して

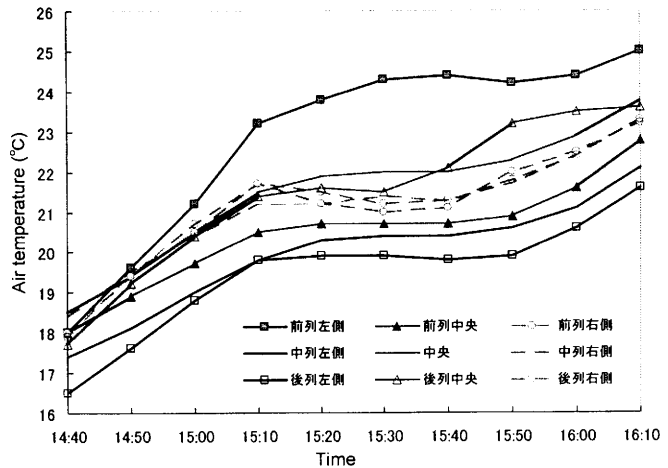


Fig.11 Air temperature distribution in S1 auditorium at the fourth period on January 24, 2003.

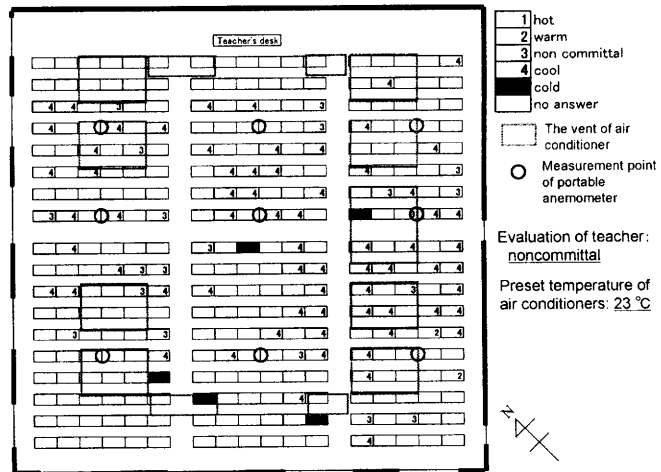


Fig.12 Evaluation of warmth in S1 auditorium at the fourth period on January 24, 2003.

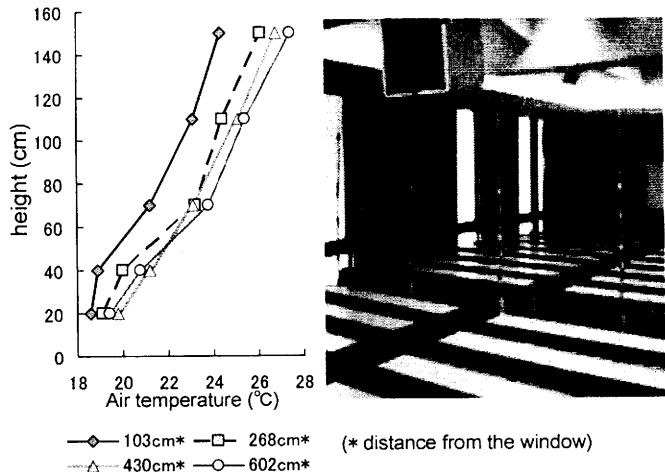


Fig.13 Vertical temperature distribution of S1 auditorium at 11:24 on January 29, 2003.

いる人が多く、講義室全体でも半数以上の人少し乾燥していると評価している。Fig.17に冬季アンケート調査における乾燥感評価を示す。学生による温冷感評価では‘じめじめしている’に比べて‘乾燥している’と感じた人が多く、1時限でその傾向が強い。

4.3 教員と学生の温冷感評価の比較

Fig.18にS2-9の表面温度分布の時系列変化を示す。中央床面が一番表面温度が低い。空調が停止している12:10～13:00にかけて表面温度が下降しており、講義室中央のグローブ温度は2時限終了時から3時限開始までに約6℃下降していた。西側の窓表面の温度が短時間で6℃低くなるのが4回あり、西側の窓表面の温度が下がるとともに講義室中央の天井面の表面温度やグローブ温度も下がっている^{注3)}。

Fig.19に教卓前のグローブ温度と講義室中央のグローブ温度の関係を示す。1時限は教卓前のグローブ温度が講義室中央のグローブ温度より高くなる。2時限から4時限は教卓前のグローブ温度と講義室中央のグローブ温度はほぼ等しく、教員と生徒の体感温度はほぼ同じといえる。さらに、Fig.20で教卓前と講義室中央それぞれのグローブ温度と気温の関係をみると、教卓前と講義室中央ともにグローブ温度は気温より高い値を示している。

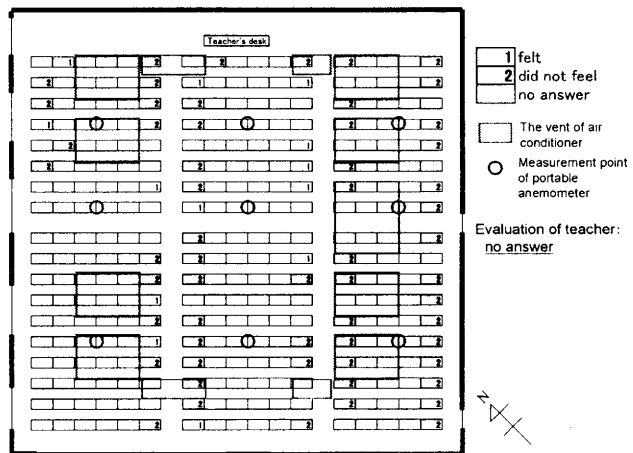


Fig.14 Evaluation of difference of temperature between face and footing in S1 auditorium at the second period on January 29, 2003.

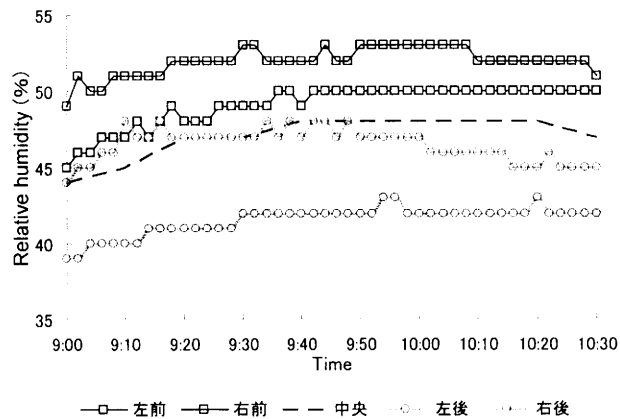


Fig.15 Relative humidity distribution in lecture room 'S1-3' at the first period on January 22, 2003.

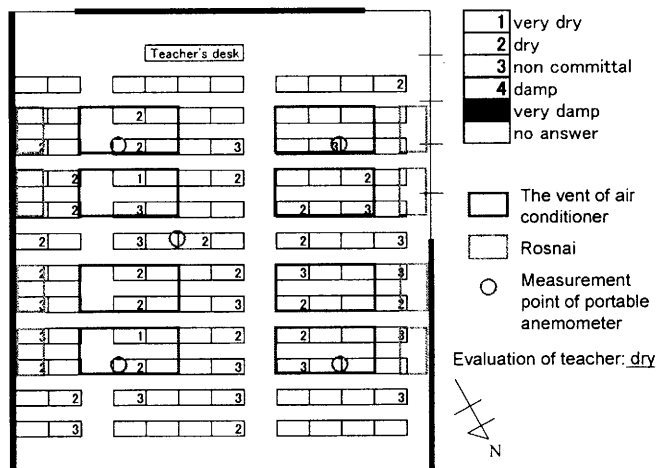
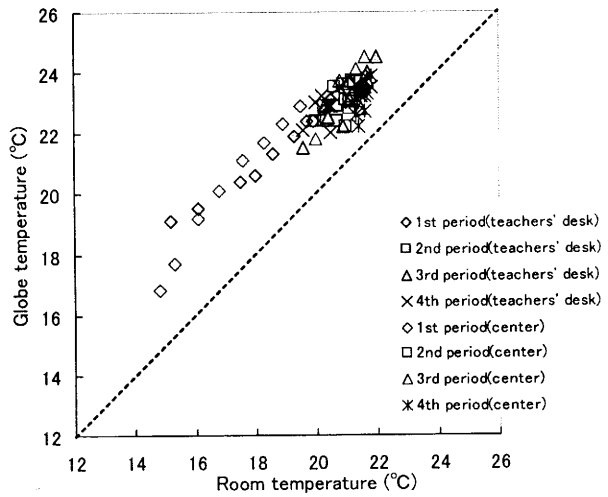
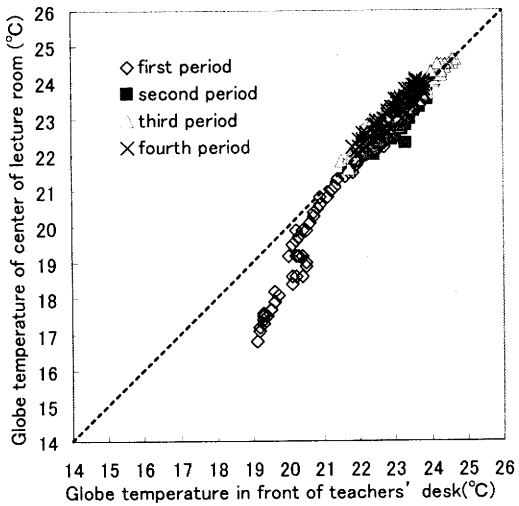
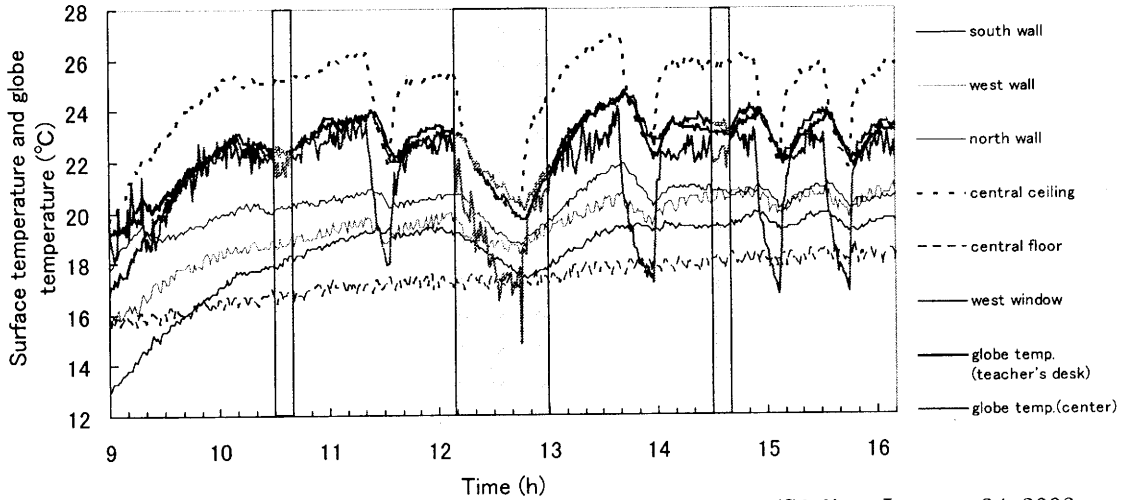
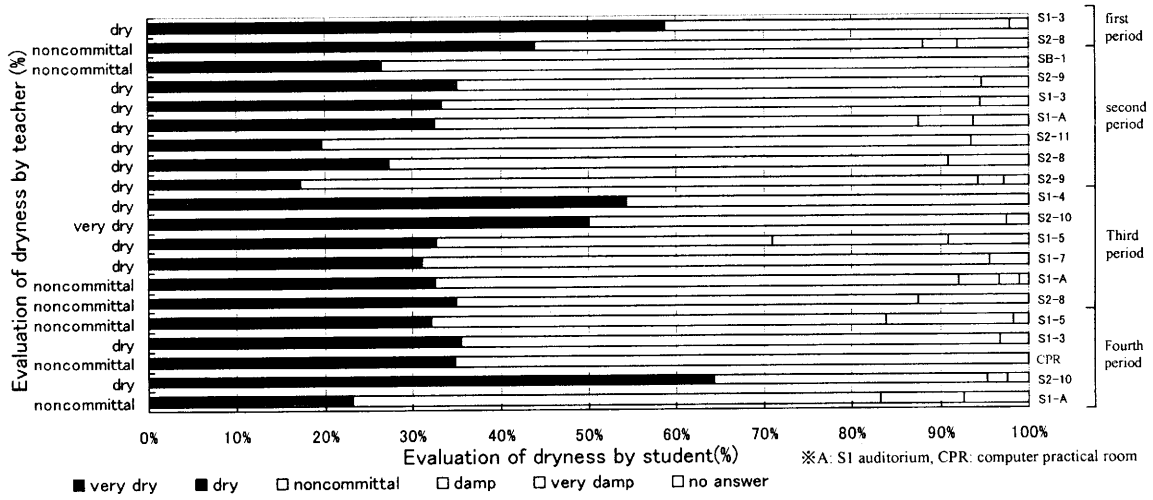


Fig.16 Evaluation of dryness in lecture room 'S1-3' at the first period on January 22, 2003.



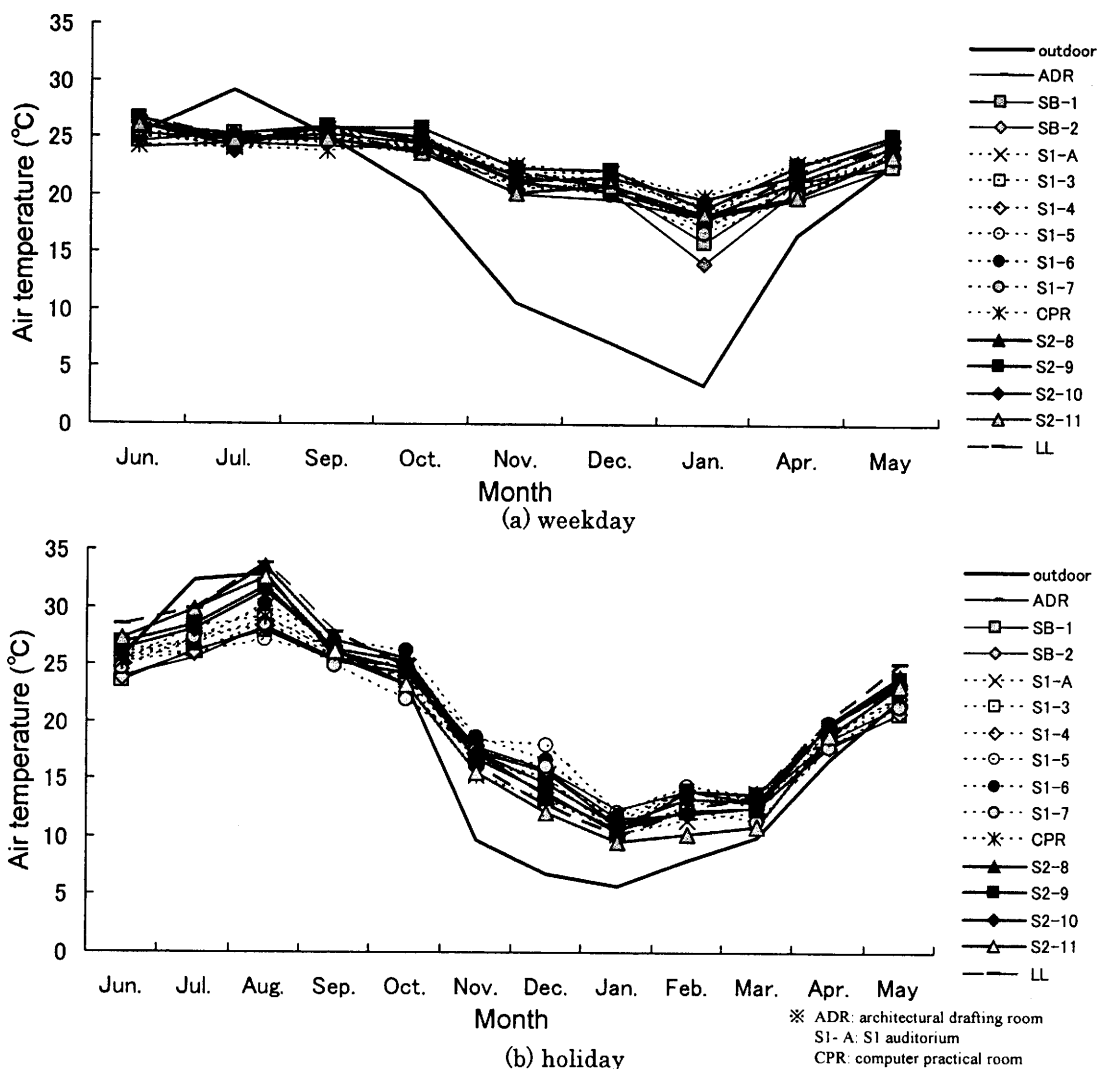


Fig.21 Air temperature of each month at third period.

5. 年間を通じた講義室の物理環境

外部気象と講義室における気温、相対湿度の年間の変動を把握するため、Fig.21に1日を通して気温が高く相対湿度が低くなる3時限における1年間の各月平均気温を講義実施時と休日でもみた。授業実施時は、各講義室の気温差は1月で約6℃と大きくなりSB-1,SB-2が気温が低くなるが、他の月では各講義室の気温差は2~3℃と小さい。休日では9月までは2階の講義室、10月から4月まではS2-11が講義室で気温が高くなる傾向がある。外部と講義室の温度差は地下1階の講義室で大きくなっている。

Fig.22に3時限における1年間の各月平均相対湿度をみると、講義実施時では、屋上の相対湿度は9月ごろまで講義室と同じ変動をするが、11月から1月まで講義室より約20~40%高くなる。夏季はSB-1が相対湿度が最も高く、計算機実習室とS1大講義室は他の講義室より10%以上低い。冬季はS1大講義室とS1-7が相対湿度が高く、LL教室、S2-10、計算機実習室で40%を切っている^{注4)}。休日では、夏季の外部の相対湿度が低くなり最も相対湿度が高い地下1階の講義室と20%の差が生じている。また、講義室内の相対湿度

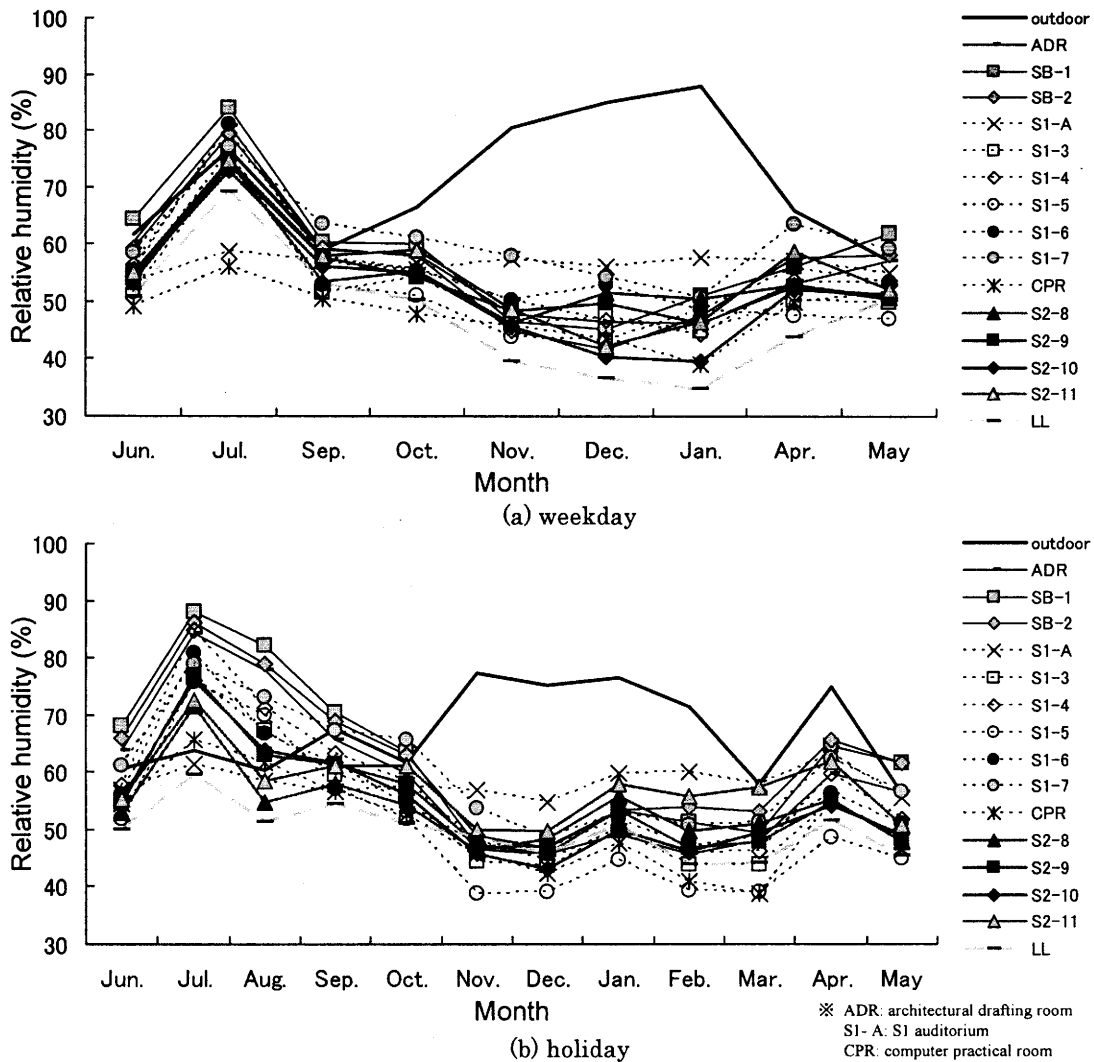


Fig.22 Relative humidity of each month at third period.

度の差が30%と大きい。冬季はS1-5が最も相対湿度が低くなっており、授業実施時と大きく異なっている。

Fig.23に休日における外部気象と気温、相対湿度の変動に特徴のあった講義室の3時限のクリモグラフをみた。夏季はSB-1が高温多湿になり、冬季は外部が低温高湿になるのに対し、SB-1やS2-10は低温低湿になりやすい。S1大講義室は相対湿度の変動がほとんどみられず、他の講義室にはない独特の環境になっている。このように、空調の運転を「外気温」に基づいて判断することは、講義室によっては必ずしも

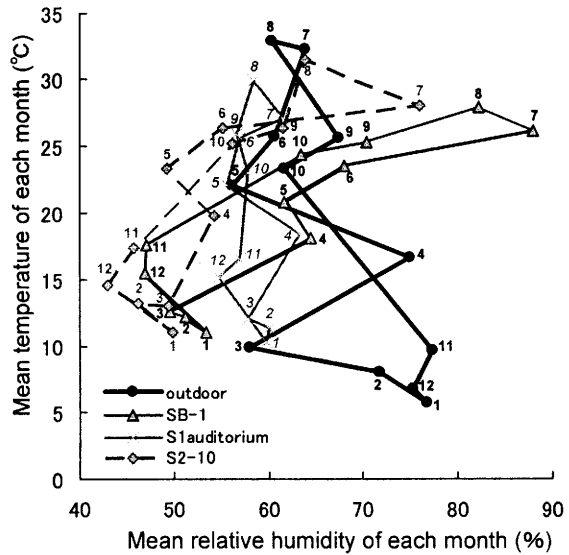


Fig.23 Climograph of each lecture room at third period.

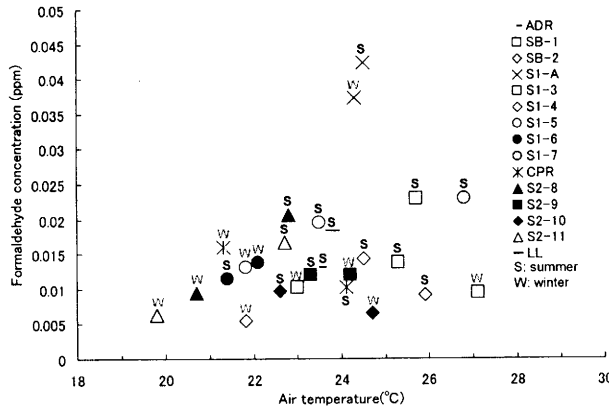


Fig.24 Relation between air temperature and formaldehyde concentration. (July 9, 2002, July 15, 2002 and January 22~29, 2003 expect Saturday and Sunday)

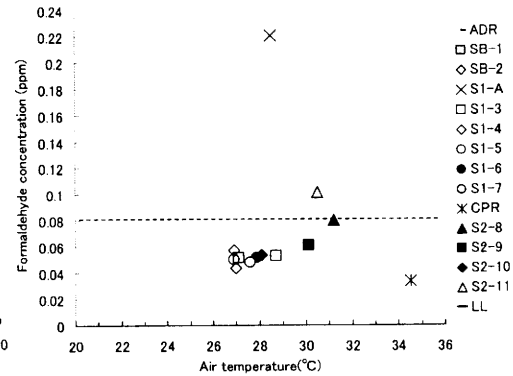


Fig.25 Relation between air temperature and formaldehyde concentration on July 20, 2002.(Sat.)

適切でない場合があることが示唆される^{注5)}。

6. 室内空気質の状況

Fig.24に授業実施時の気温とホルムアルデヒド濃度の関係を示す。開講時はS1大講義室が約0.04 ppmと他の講義室に比べて高い値を示したが、厚生労働省の基準値である0.08 ppmを超えた講義室はなかった。

休日は授業実施時より気温が高く濃度も高い傾向にある。Fig.25で夏季の休日における気温とホルムアルデヒド濃度の関係をみると、S2-11とS1大講義室は0.08 ppmを超えており、S1大講義室は0.22 ppmと特に高い。S1大講義室は個別空調であり、少なくとも授業中は換気併用システムであることから、温度調節は調節つまみを使用して行うべきであり、空調を停止させるべきではない。なお、授業時に行ったアンケート調査では、化学物質関連の臭いを感じている人はほとんどいなかった。

7. まとめ

本報では、校舎内における夏季の熱および空気環境の空間分布および室内空気質の状況と教員・学生の評価との関係に関する実態調査を行い、以下の知見を得た。

- 1) 夏季において講義開始直前まで集中冷房がOFFになっている場合、1時限の登校直後で代謝量大きい学生は暑さを感じやすく、エアコンの風量を'H'にする、あるいは設定温度を極端に低くするなどの対応をとっている。この状態が90分続くことによって、結果的に講義終了時に気温が低い座席が現れ、寒いと感じる学生が多くなる傾向がみられる。
- 2) 冬季の1時限は相対湿度が講義室の後方で低くなるなど、相対湿度にも分布が形成されている。教員・学生とも乾燥していると感じる人が多く、1時限にその傾向が強くなっている。
- 3) 南西向きの窓があり、東西側に教卓がある講義室では、夏季は教卓前のグローブ温度

が講義室中央のグローブ温度よりも高く、教員は生徒よりもより暑いと感じている。ただし、冬季は教卓前のグローブ温度と講義室中央のグローブ温度はほぼ等しいことから、教員と生徒の体感温度はほぼ同じといえる。

- 4) 空調されていない講義室の物理環境は外部気象と大きく異なる。講義室は階数や形状によっても物理環境が異なるため、空調の運転を「外気温」に基づいて判断することは、講義室によっては必ずしも適切でない場合がある。
- 5) 締め切った状態でホルムアルデヒド濃度が高くなりやすいS1大講義室においても、授業時に換気併用型の空調システムをONにすることによってホルムアルデヒド濃度は十分に小さくすることが可能となる。

本研究は、平成14年度学内共同研究「本学校舎内の熱環境および空気質が学生の健康状態に及ぼす影響に関する実態調査」(飯野秋成, 富永禎秀, 小野寺正幸)の助成により行ったものである。講義室の環境調査にあたって、丹野学長をはじめとする多くの先生方、事務職員の方々、そして本学の多くの学生諸君にご協力いただいた。また、実測調査とデータ解析にあたっては、飯野・富永・小野寺研究室の2002年度、および2003年度卒論生らから多大な協力を得て、文献10),11)の本学卒業論文の成果ともなっている。記して感謝の意を表す。

注

- 1) これを解決するためには、現状のような1時限の開始とともに集中冷房をONにする方法ではなく、少なくとも授業開始前に室温を安定させておくなどの対策をとることが必要と考えられる。集中冷房のON後に一定になるまでの時間については、エアコンの設定温度、外気温、部屋の広さ等によって異なることから、本学の主要な講義室について現在引き続き調査を進めている。
- 2) 講義室内の環境調節(エアコンの設定変更、カーテンの開閉等)を授業中に行ったかどうかの問いに対しては、ほとんどの講義室において教員が調節しており、学生が主体的に調節している場合は見られなかった。すなわち、教員の体感温度を基準に調節されていることによって学生にとってはより寒い側に調節されている場合も多いものと考えられる。
- 3) 集中冷房を昼休みにOFFにし、3時限目の開始と同時にONにすることは、3時限の授業中の90分間に室温と湿度の大きな変動をもたらす。教員や学生の温冷感に影響があるだけでなく、昼休み中のエアコンOFFはエネルギー消費の面からも必ずしも効果的でない場合もあると考えられる。空調による消費エネルギーの観点からの評価は今後の重要な検討課題である。
- 4) 文献9)によると、インフルエンザウイルスが活発になるのは容積絶対湿度が $8\text{g}/\text{m}^3$ 以下と指摘されている。例えば、LL教室の1月の3時限目には、室温 17.7°C 、相対湿度34.7%のときに容積絶対湿度が $5.2\text{g}/\text{m}^3$ となり、インフルエンザが罹患しやすい環境であるといえる。

- 5) 本学では、平成8年度まで「外気温」に基づいて集中冷房，集中暖房の運転を判断していたが，平成9年度以降は「新潟工科大学省エネルギー対策マニュアル」により，使用していない講義室の室温が夏季26℃以上，冬季21℃以下の判断基準で運用されている。ただし，ここに示したとおり講義室ごとに室温は異なっており，より効果的な判断基準が求められている。

引用文献

- 1) 鈴木玉美，梅宮典子，吉田治典：夏季から秋季にかけての窓開閉行為の要因に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第556号，pp.91~98，2002年6月
- 2) 梅宮典子，吉田治典，小林恒夫：冷房利用時間長さの要因に関する研究 日本建築学会計画系論文集 第543号，pp.101~108，2001年5月
- 3) 渡邊朗子：大学のメディアセンターにおける利用者の電子情報活動と物理環境に関する考察，日本建築学会計画系論文集，第510号，pp.147~151，1998年8月
- 4) 渡邊朗子：大学の研究室における電子情報活動を中心とした諸活動と物理環境に関する考察，日本建築学会計画系論文集，第518号，pp.113~120，1999年4月
- 5) 飯野秋成，飯野由香利，内山剛志：小学校における教室内熱・光環境の空間分布の改善に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第565号，pp.91~98，2003年3月
- 6) 内山剛志，飯野秋成，飯野由香利：設計要素の相違による小学校の新旧校舎における温熱環境と温冷感 その1 新旧教室内の温熱環境の実態と児童による温冷感，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学Ⅱ），pp.251~252，2002年8月
- 7) 飯野由香利，飯野秋成，内山剛志：設計要素の相違による小学校の新旧校舎における温熱環境と温冷感 その2 校舎内の温熱環境と空気質および児童と教師による温冷感の空間分布，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学Ⅱ），pp.253~254，2002年8月
- 8) 飯野由香利，飯野秋成，小野寺正幸，内山剛志：建替え後の小学校におけるホルムアルデヒド濃度と児童の健康状態の変化，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学Ⅰ），pp.945~946，2003年9月
- 9) 庄司眞：かぜと季節，からだの科学，No.174，pp.16~20，1994年
- 10) 飯田絵美：大学校舎内における夏季の熱環境・空気質の実態と学生の評価との関係，平成14年度新潟工科大学卒業論文，2003年1月
- 11) 柿沼優子：ホルムアルデヒドの測定技術について，平成14年度新潟工科大学卒業論文，2003年1月