

## 室内温度の日変化・季節変化

—最上階南側の部屋はなぜ暖かい?—

西 垣 肇\*・諫 山 祐 未 子\*\*

【要 旨】 大分大学教育福祉科学部 B 棟の最上階南側の部屋では室内の温度が高い、ということが経験的に知られている。本研究は、その日変化と季節変化を詳しく知り、高温の理由を解明することを目的とする。方法として、室内空気・天井表面・壁表面・窓サッシ室内側表面の温度、および屋外気温の時系列測定を行った。窓サッシにおける温度日較差は、室内空気や天井のものよりも大きかった。このことは、晴天日における室内空気が、日中は窓に入る日射に暖められ、夜間は低温の窓に冷やされることを示唆する。天井表面温度と室内空気温度との差は小さく、屋上への日射が日中に室内を暖めるとの説は否定される。10 月には窓サッシの日最高温度が年間で最も高く、室内空気温度も比較的高く 30℃を超える日がしばしばみられた。その理由は、4 月～8 月には太陽高度が高く、窓への日射がひさしに遮られることと考えられる。以上より、窓に入る日射が、室内の高温にとって重要な要因であることがわかった。

【キーワード】 室内温度 窓に入る日射 太陽高度 天井

### I はじめに

著者らの研究室は、大分大学教育福祉科学部 B 棟 4 階（最上階）南側にある。B 棟 4 階南側の部屋は、室内がかなり高温であることが、利用者の中で生活経験として知られている。屋外と比べて高温だけでなく、北側や下階の部屋に比べても高温であることが体感されている。本研究では、4 階南側の室内の温度について、日変化と季節変化の現状を詳しく知ることと、高温の理由を解明することを目指し、調査を行う。

建物の最上階の室内は高温であることが建築業界において知られている。この高温は、主に屋上の日射を受けて最上階の天井が昇温することに起因する。たとえば梅干野（1995）や須永（2007）は、屋上の断熱が不十分な建物の最上階において、夏季日中の天井表面温度が 35℃に達する例を示している。

建物の平面図を図 1 に示す。B 棟は東西方向に向いていて、その南側に A 棟が平行している。

---

平成 24 年 5 月 31 日受理

\* にしがき・はじめ 大分大学教育福祉科学部理数教育講座・環境分野（海洋物理学・気象学）

\*\* いさやま・ゆみこ 大分大学教育福祉科学部環境分野

対象に、著者らが普段利用している最上階（4階）南側の「地学演習室1」を選ぶ。B棟は鉄筋コンクリート構造で、2009年に耐震改修工事が行われ、壁や屋上などが作り直された。屋上床面内部と南面外壁には厚さ20mmの硬質ウレタン製断熱材が入っている。対象室内の天井仕上げはロックウール吸音板厚さ9.0mmと下地石膏ボード厚さ9.5mm、壁仕上げは石膏ボード2重張り厚さ12.5mmと9.5mmである。南側のほぼ全幅に窓があり、窓ガラスは複層ガラス（厚さ5.0mm+空気層厚さ6.0mm+厚さ5.0mm）、窓サッシはアルミ製でやや淡い茶色に塗られている。窓の外側上部にひさしがあり、夏季の日射がさえぎられる。すなわち、夏季のみ室内温度を抑えるための設計がされていると言える（たとえば梅干野，1995）。

大分大学のある大分市の気候は、基本的に瀬戸内型に属し、年間を通して比較的降水量が少ない（川西，1994）。大分市における気温の平年値は、8月上旬に最高で27.7℃、1月下旬に最低で5.7℃である。気温の日較差は平年値で6.6～9.5℃で、6月下旬～10月上旬にやや小さい傾向がある。日々の日較差は天気大きく依存し、晴天の日に大きく曇りや雨の日に小さい。

本研究では、温度の時系列測定を年間を通して行い、対象室内の温度の日変化と季節変化の特徴を調べ、その成因を検討する。併せて、大学構内における屋外気温と、室内における天井、壁、窓サッシの表面温度の時系列を測定し、室内温度の変化メカニズムを検討する。

## II 調査

室内温度の日変化と季節変化を知るため、室内に温湿度記録計と温度記録計を設置して時系列を記録した。測点は地学演習室1の室内および天井、壁、窓サッシの表面（室内側）とした（図2）。センサの床からの高さは室内空気1.1m、壁1.3m、窓サッシ1.2mである。天井の床からの高さは2.6mである。表面温度は、温度センサを壁面などに透明なテープで貼り付けて測定した。屋外気温については、建物の西約45mの露場にある百葉箱内に測器を設置した。室内空気と屋外では温度と相対湿度を測定し、室内の天井・壁・窓サッシでは温度のみを測定した。ただし、本研究では温度に絞って検討をする。

調査期間中、部屋は通常どおりに利用された。ブラインドは、下ろされていて羽根が開いた状態のことがほとんどだった。冷暖房は、やや控えめに使用した。平日はほぼ毎日部屋を開け、平均的な在室時間は1日に1～2

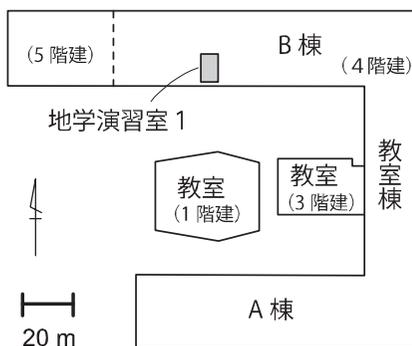


図1 大分大学教育福祉科学部棟の平面図。

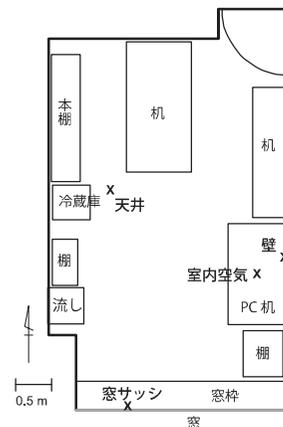


図2 「地学演習室1」室内。xは温度センサの設置場所を表す。

時間だが、12月～2月はこれよりも多かった。

測定期間は2010年10月21日～2012年5月11日の1年7ヶ月弱とした。ただし、窓サッシは2011年1月11日に測定を始めた。その他に以下の欠測期間がある：2011年3月4日～31日（窓サッシ）、6月16日～20日（屋外）、7月18日～25日（室内空気、窓サッシ、屋外）、10月14日～11月10日（窓サッシ）、12月28日～2012年1月4日（天井、窓サッシ）、1月5日～24日（天井）、3月20日（室内空気、屋外）。データの記録は5分間隔とした。

測器はティアンドデイ社の温湿度記録計TR-72Sと温度記録計RTR-52を使用した。温度センサーはいずれもサーミスタで、カタログ記載の測定精度は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ である。

### Ⅲ 結果と考察

#### 1 室内温度の日変化と季節変化

測定された各測点の温度日変化の例を図3に示す。期間は、4日間のうち2～3日目が晴天でかつ冷暖房の影響が小さいときを選んでいる。どの期間においても、室内空気、天井、壁の3測点は温度差が小さい。窓サッシの温度は日中に3測点よりも高く、夜間に低い。このことは、日中には窓サッシが高温になって室内空気を暖めていることを示す。日中には窓サッシが屋外気温よりも高温なので、窓サッシは屋外空気ではなく日射に暖められていると考えられる。窓サッシよりも窓ガラスのほうがかなり面積が大きいので、室内は主に窓ガラスを通過する日射に暖められることが示唆される（ガラスは日射を透過し、赤外線を吸収する；たとえば小倉，1999）。

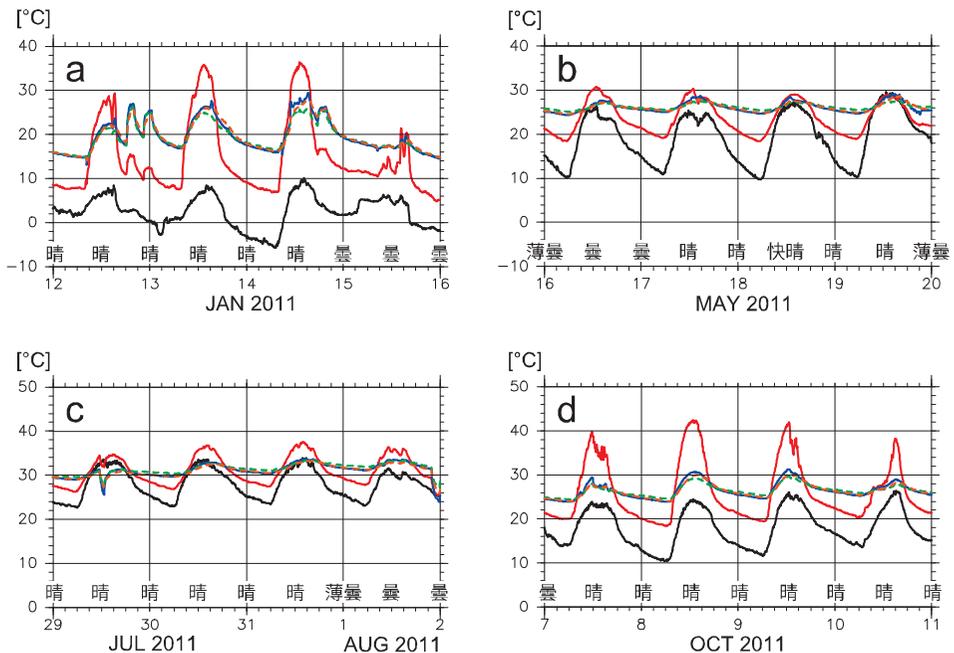


図3 各測点における温度の日変化。青実線：室内空気，赤実線：窓サッシ，緑破線：天井，橙破線：壁，黒実線：屋外。下部は大分地方気象台の天気を表す。

すなわち、日射が窓ガラスを通過してブラインドや床などを加熱し、それらが空気を暖めると考えられる。一方、夜間には放射冷却が窓ガラスや窓サッシの表面でなされていると考えられる。すなわち、晴天日の室内空気は、日中には窓に入る日射に暖められ、夜間は低温の窓に冷やされることが示唆される。

ほとんどの時季において、室内3点の温度は、日中は「空気>壁>天井」の順、夜間は「空気<壁<天井」の順である（図 3a, b, d）。ただし、夏季には1日を通して天井が壁よりもわずかに高温である（図 3c）。また、最高温度および最低温度のみられる時刻は「窓サッシ、空気、天井および壁」の順であることが多い。これらのことより、日中は室内空気が天井や壁を暖め、

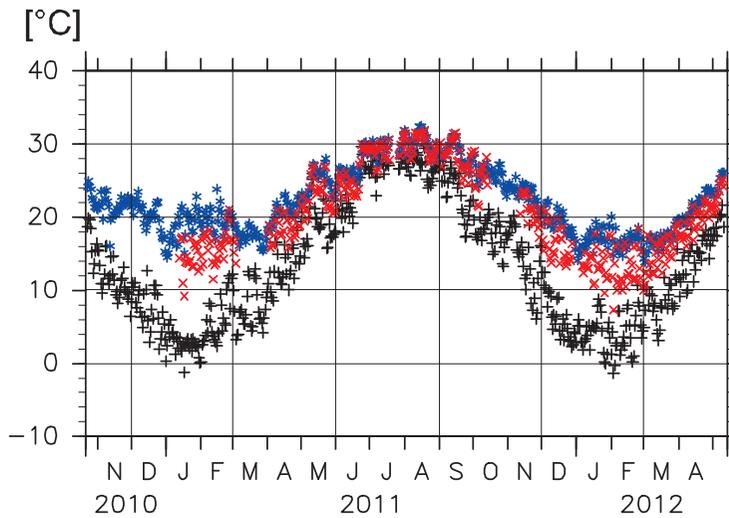


図 4 各測点の日平均温度。青：室内空気，赤：窓サッシ，黒：屋外。

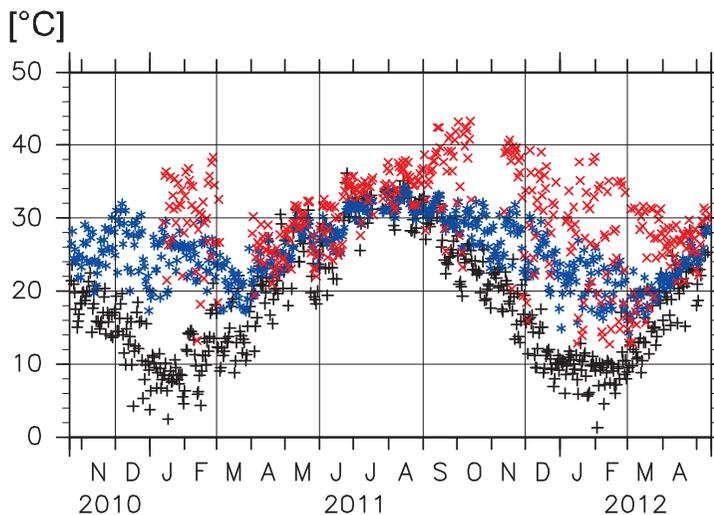


図 5 各測点の日最高温度。色は図 4 と同じ。

夜間は室内空気が天井や壁を冷やしていると言える。

屋上の加熱が室内空気を暖めるとの仮説を検討する。前述のように、晴天日の日中に天井による空気の加熱はみられない。また、日平均温度をみると、天井温度と室内空気温度との差は小さく、夏季に天井が約  $0.5^{\circ}\text{C}$  高く、冬季に約  $0.5^{\circ}\text{C}$  低いにすぎない。また、仮説は4階北側の部屋が高温でないことを説明できない。以上より、仮説が正しいとは考えられない。

屋外、室内空気、窓サッシの日平均温度を図4に示す。室内空気の日平均温度は夏季に  $27\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、冬季に  $17\sim 20^{\circ}\text{C}$  である。これらは屋外よりも夏季に  $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 、冬季に  $12\sim 16^{\circ}\text{C}$  それぞれ高く、冬季に顕著な温度差がみられる。窓サッシの日平均温度は、屋外と室内空気との中間で、室内空気に比較的近い。

前述3測点の日最高温度を図5に示す。窓サッシの日最高温度は10月上旬に最も高く（欠測期間を除いて）、 $40^{\circ}\text{C}$  を超える。10月には室内の日最高温度が比較的高く、 $30^{\circ}\text{C}$  を超える日がしばしばみられる。一方、屋外の日最高気温は比較的低い。

室内空気温度の日較差は大きく季節変化する。冬季（晴天で冷暖房の影響が目立たない日）には  $10^{\circ}\text{C}$  前後であるが、夏季（同）には  $3\sim 4^{\circ}\text{C}$  である。窓サッシの温度日較差は、冬季（同）には  $30^{\circ}\text{C}$  近くにおよぶが、夏季には（同） $10^{\circ}\text{C}$  程度である。

部屋の利用と室内温度との関係を検討する。2010年の年末から2011年の年始にかけての室内温度と屋外気温それぞれの日最高・日最低・日平均を、図6に示す。12月25日から1月2日までは部屋の利用がなかったが、この期間に室内日平均温度が約  $7^{\circ}\text{C}$  下降している。1月3日から7日には部屋の利用があり、どの日にも室内温度の時系列に暖房利用の特徴がみられる（図は省略）。その間、室内日平均温度は上昇しているが、屋外気温には上昇傾向がみられない。この結果は、部屋利用に伴う人工熱（暖房、パソコンなど）が室内温度を上げていることと、その影響が室内温度に表れるのに数日間かかることを、示唆する。

## 2 窓サッシの温度と窓への日射

窓サッシの日最高温度が10月上旬に最も高かったが、その理由を検討する。窓サッシの日々の昇温の目安として「窓サッシの日最高温度」と「室内空気の日平均温度」との差を取り、その結果を図7に示す。窓サッシに加熱・冷却がない場合、その室内側表面温度は室内空気温度に一致すると考えられるので、この温度差に注目する。その温度差は明確な季節変化を示す： $10\sim 2$ 月に約  $15^{\circ}\text{C}$  と大きく  $4\sim 8$ 月に約  $5^{\circ}\text{C}$  と小さい。

窓サッシの昇温と日射との関係を検討する。窓に当たる日射を図8に模式的に示す。ここで、1日に窓に当たる日射の量の目安として窓への日射時間を考える。太陽の方位と高度に基づき、方位が  $90\sim 270^{\circ}$ （真東から南を経て真西まで）かつ高度が  $4.5\sim 52^{\circ}$  である時間の長さ（1日あたり）を「窓への日射時間」と定義する。方位は、窓がほぼ真南を向いているためこの範囲とする。高度の下限  $4.5^{\circ}$  は窓の下端が南側のA棟の影にならない限界を、上限  $52^{\circ}$  は窓の中央部

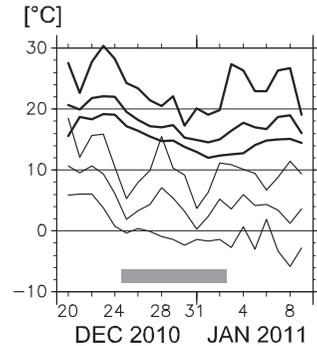


図6 2010年12月20日～2011年1月9日の室内空気の日最高・日最低・日平均温度（太線）と屋外のもの（細線）。下部の灰色の棒は部屋の利用がなかった期間。

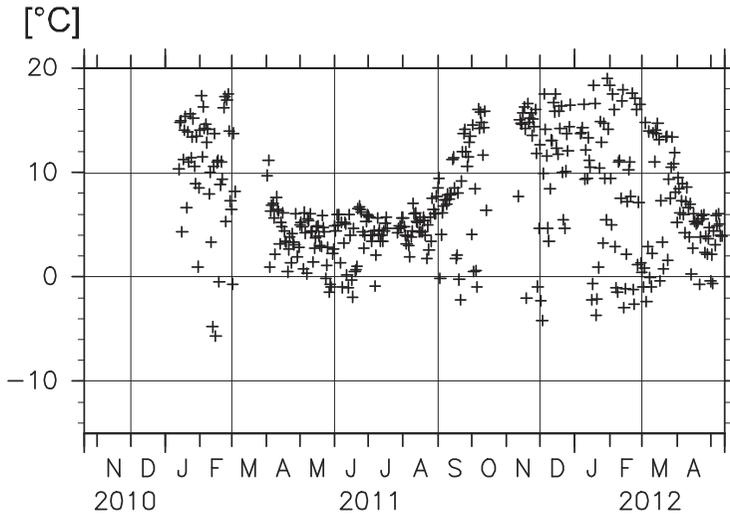


図7 「窓サッシの日最高温度」と「室内空気の日平均温度」との差。

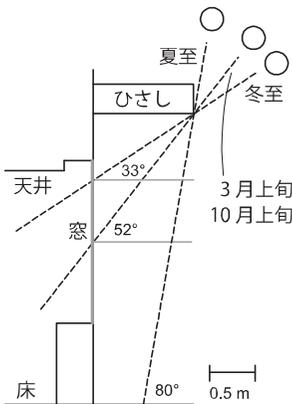


図8 窓に入射する日射の模式図。

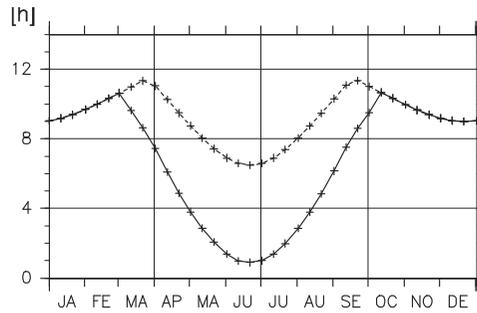


図9 窓への日射時間(実線)。破線はひさしの影響を無視した場合のもの。

がひさしの影にならない限界を(図8)、それぞれとっている。雲の有無は考慮していない。日射の入射角を考慮するなど改善の余地はあるが、ここでは高精度の議論が難しいので、この簡潔な定義を用いる。

窓への日射時間の季節変化を図9に示す。この計算は、国立天文台「こよみの計算」(<http://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/koyomix.cgi>)を利用し、大分市の毎月1, 11, 21日の太陽の高度と方位より求めている。昼の長さは、夏至の6月22日に最長で14時間21分、冬至の12月22日に最短で9時間58分である。4月1日~9月11日は、日出(日入)の方位が真東(真西)よりも北に寄るため、日射時間が短くなる。また3月11日~10月1日は、太陽の高度が52°を超える時間帯があるため、日射時間が短くなる(図9の破線と実線との差)。

窓サッシの昇温の目安(図7)と窓への日射時間(図9)とを比較する。いずれも10月~3月に大きく、屋外気温や室内温度の低い時季とずれている。したがって、窓サッシの日々の昇

温に対しては、外気温でなく日射の影響が重要なことが示される。

### 3 室内の高温についての考察

調査対象の地学演習室1には高温の特徴がみられ、屋外との温度差は冬季に顕著である。また、4階南側の部屋は、北側や下階の部屋よりも暖かいことが知られている。調査の結果あげられた高温の成因は、南側の窓に入る日射と人工熱である。いずれの要因も、冬季にその影響が大きいと考えられる。どちらがどれだけ効いているかを知るためには定量的評価が必要で、今後の課題と思われる。

北側や下階の部屋よりも高温である理由については、南側の窓に入る日射が有力である。北側の窓には日射の直達がほとんどないため、日射時間に大きな差がつく。下階の南側の部屋においては、南側のA棟に日射がさえぎられる時間がより長い。しかしながら、結論を出すためには、他の部屋における状況の調査と日射の量的検討が必要と思われる。

## IV まとめ

大分大学教育福祉科学部B棟の最上階南側の部屋では室内の温度が高い、ということが生活経験として知られている。本研究では、その日変化と季節変化を詳しく知り、高温の理由を説明するため、室内温度の時系列測定を行った。測定は、室内空気、天井表面、壁表面、窓サッシ室内側表面の温度、および屋外気温について行った。

晴天日における日変化をみると、日中は窓サッシが室内空気、天井、壁の3測点よりも高温で、夜間は低温である。前述の3測点においては温度日較差が比較的小さく、3測点間の温度差が小さい。このことは、晴天日における室内空気が、日中は窓に入る日射に暖められ、夜間は低温の窓に冷やされることを示唆する。

天井の表面温度は、その日較差が室内空気温度のものよりも小さく、その日平均温度は室内空気温度との差が小さい。このことは、屋上への加熱が室内空気を暖めるとの説を否定する。

10月には窓サッシの日最高温度が年間で最も高く、室内空気温度も比較的高く、30℃を超える日がしばしばみられる。晴天日における日中の窓サッシの昇温は、10月～2月に大きく4月～8月に小さい。窓に日射が入る時間(1日あたり)を太陽の高度と方位より推計すると、窓サッシ日最高温度の季節変化の特徴が説明できる。すなわち、太陽高度の高い4月～8月には日射がひさしに遮られるため、10月に窓サッシがより高温となると考えられる。

日平均温度をみると、室内は屋外よりも夏季に3～5℃、冬季に12～16℃それぞれ高く、冬季における差が顕著である。その際、窓への日射のほか人工熱も効いていることが示唆される。

以上より、窓に入る日射が、室内の高温にとって重要な要因であることがわかった。

## 謝辞

2010年度後期の実験科目受講生である佐藤貴俊さん、仁田野麻葉さん、丸田瑠美子さんには、本研究の基礎となる調査に参加をいただきました。大分大学教育福祉科学部の川田菜穂子講師には、原稿への助言をいただきました。2011年度の研究室所属学生諸氏には、演習室での調査に理解と協力をいただきました。上記の方々に感謝します。

## 参考文献

- 1) 梅干野晁, 1995. 住まいの環境学=快適な住まいづくりを科学する=, 放送大学教育振興会.
- 2) 川西博, 1994. 大分県の気象探訪, 大分合同新聞社.
- 3) 小倉義光, 1999. 一般気象学第2版, 東京大学出版会.
- 4) 須永修通, 2007. 学校建築の環境性能向上手法. 学校建築を活かす 学校の再生・回収マニュアル, 首都大学東京 21世紀 COE プログラム 巨大都市建築ストックの賦活・更新技術育成 学校再生プロジェクトチーム, 35-46.

## Diurnal and Seasonal Changes of a Room Temperature

— What Makes a Room in the South Side of the Top Floor Warm? —

NISHIGAKI, Hajime and ISAYAMA, Yumiko

## Abstract

In a building in Oita University, the temperature in the rooms in the south side of the top floor is empirically known to be high. This study aims to reveal diurnal and seasonal changes of the room temperature in detail and to clarify what makes the temperature high. Time series measurements were made of the temperature of the room air, the surface of the ceiling, wall and window frame and the outdoor air temperature. The diurnal range of temperature was larger in the window frame than that of the room air or of the ceiling. This indicates that, in fair weather, the room air is heated by the insolation to the window in the daytime and cooled by the cold window at night. The temperature difference between the ceiling and the room air was small, which means that, in the daytime, the room is not heated by the insolation to the roof. In October, daily maximum temperature of the window frame is highest in the year, and that of the room air often exceeds 30 degrees Celsius. The eaves above the window block the insolation to the window from April to August, when the azimuth of the sun is large. It is indicated that without this blocking the temperature becomes higher in October. In summary, it is found that the insolation to the window is an essential factor that heats the room.

【Key words】 room temperature, insolation to window, azimuth of the sun, ceiling