

室内温度とその変化

—最上階と下階との比較—

西 垣 肇・立 石 実 来

Room Temperatures and Their Temporal Changes
—Comparing Top and Lower Floors—

NISHIGAKI, Hajime and TATEISHI, Miku

大分大学教育福祉科学部研究紀要 第 37 巻第 1 号

2015 年 4 月 別刷

Reprinted From

THE RESEARCH BULLETIN OF THE FACULTY OF
EDUCATION AND WELFARE SCIENCE,

OITA UNIVERSITY

Vol. 37, No. 1, April 2015

OITA, JAPAN

室内温度とその変化

—最上階と下階との比較—

西 垣 肇*・立 石 実 来**

【要 旨】 大分大学教育福祉科学部 B 棟の最上階南側の部屋は、高温であることが利用者の間で知られている。本研究は、その室内温度の現状を知り、高温の成因を解明することを目的とする。最上階南側、同北側、下階南側、同北側の四室を対象として調査を行った。調査として、室内空気、天井表面、窓サッシの表面、床、それぞれの温度の時系列測定を、1年4か月間にわたって行った。最上階南側の部屋は、年間を通して他の部屋よりも高温だった。四室を比較すると、冬季には南側高温・北側低温の特徴が顕著にみられた。夏季には南側高温・北側低温と、最上階高温・下階低温の特徴が、ともにみられた。室内空気、天井、窓サッシの結果をあわせた検討を行った結果、最上階では夏季に天井からの加熱が、冬季には冷却が、それぞれ効いていることが示唆された。南側の窓からの日射の影響は、冬季には顕著で、最上階において特に強かった。夏季には比較的弱く、最上階と下階との差はみられなかった。

【キーワード】 室内温度 季節変化 天井からの加熱 窓に入る日射

I はじめに

建物の最上階の室内は、屋上の断熱が不十分な場合は著しく高温になることが建築の分野において知られている。その場合、屋上が日射を受けて最上階室内の天井が高温化し、その天井に室内の空気が暖められる（たとえば梅干野, 1995; 須永, 2007）。

大分大学教育福祉科学部 B 棟 4 階（最上階）南側の部屋は高温であることが、著者らを含む利用者の間で経験的に知られている。屋外と比べても、北側や下階の部屋と比べても高温であるのが体感されている。

西垣・諫山(2012) は、最上階南側室内の高温について、その現状を知り、成因を解明するため、B 棟南側 4 階の部屋において調査を行った。室内空気の温度（以下室温とよぶ）と、天井表面の温度、窓サッシ表面の温度について時系列測定を行い、窓から入る熱と天井からの熱について検討した。その結果、以下のことが示唆された。南側の窓から入る日射が日中の室内の

平成 26 年 10 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）

**たていし・みく 大分大学教育福祉科学部環境分野

昇温を引き起こす。その効果は、太陽高度が低い10月～2月に大きく、太陽高度が高い4月～8月に比較的小さい。このことは、後者の時季において日射がひさしに遮られることに起因する。天井表面温度の測定結果より、天井からの加熱・冷却は、少なくとも室内空気温度（以下室温とよぶ）の日変化には効いていない。

この調査において、次の疑問点が残されている。第一に、4階南側の部屋のみでの調査だったため、北側や下階の部屋との比較ができない。第二に、天井からの加熱が室温の日平均値や季節変化に影響しているのかどうか、結論が出ていない。

そこで、本研究では、北側の部屋と下階の部屋を対象に加えて調査を行う。4階南側の部屋と他の部屋との室温差について、状況を把握するとともに、その室温差の成因について、天井からの熱の効果を含めて検討する。調査は4階（最上階）南側、4階北側、3階南側、3階北側それぞれの部屋において行う。測定は、四室の室温とともに、以下のものについて行う。天井からの熱の効果を検討するため、各部屋の天井表面温度を測定する。南側の窓への日射の影響を検討するため、南側の二室の窓サッシ表面温度を測定する。4階の二室において床表面温度を測定し、各室の天井表面温度・室温と比較する。

II 調査

調査として、室内における温度の時系列を測定する。対象の建物は、西垣・諫山（2012）と同じ大分大学教育福祉科学部B棟とする（図1）。建物の材質などの特徴は西垣・諫山（2012）に述べられている。対象の部屋は、4階南側の地学演習室1（以下「4F南」とよぶ）、4階北側の地学実験室（4F北）、3階南側の生態学研究室（3F南）、3階北側の顕微鏡室および薬品庫（3F北）とする。測点を図2に模式的に示す。室内空気のセンサは、床からの高さをおよそ1mとした。各表面温度のセンサは、透明なテープで貼り付けた。これらの他、屋外の気温を建物の西約45mの露場にある百葉箱内で測定した。データの記録は5分間隔とした。

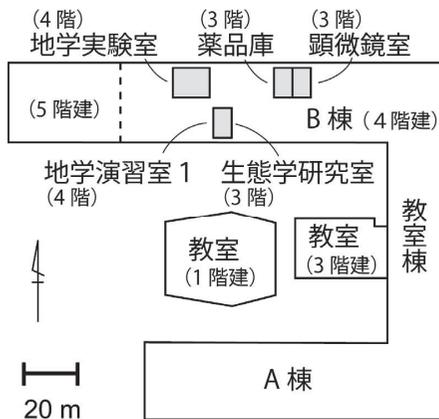


図1 大分大学教育福祉科学部棟の平面図。ハッチは調査を行った部屋を表す。

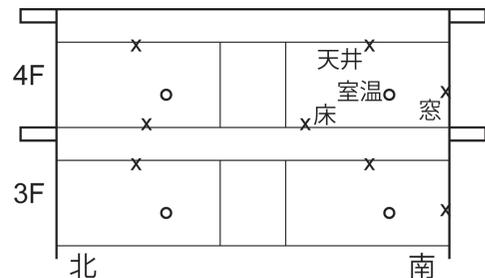


図2 対象各室の断面の模式図。○は温湿度センサ、xは温度センサを表す。

測器は、ティアンドディ社の温湿度記録計 RTR-53A（室内空気）、TR-72S（屋外）、温度記録計 RTR-52（各表面）を使用した。温度センサはいずれもサーミスタで、カタログ精度は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ である。室内空気と屋外については、相対湿度の記録も取ったが、本研究では温度のみを検討する。

測定期間は2012年11月8日～2014年3月12日のほぼ1年4か月間である。その間、各部屋の利用は、通常の研究・教育活動を優先し、冷暖房を含めて通常どおり行われた。冷暖房の稼働状況は、部屋によって異なった。3F北について、当初は顕微鏡室にて測定をしていたが、暖房を頻繁に使用するため、2013年2月25日、薬品庫に測器を移設した。

測定期間に以下の欠測が含まれる。四室の室温について2013年1月16日～25日、2月22日～3月5日、8月28日～9月10日、12月3日～19日、2014年1月16日～2月13日他の計100日間、3F南の天井について2013年6月5日～7月3日の29日間、3F南の窓サッシについて2013年11月2日～12月5日、2014年1月16日以降他の計95日間。

Ⅲ 結果と考察

1 各部屋の室温

各部屋の室温の時間変化の例を図3に示す。図3a, bは冬季の年末年始と初夏の5月下旬の、冷暖房の影響が小さい期間を選定している。前者の期間において、太陽高度は年間で最も低い。

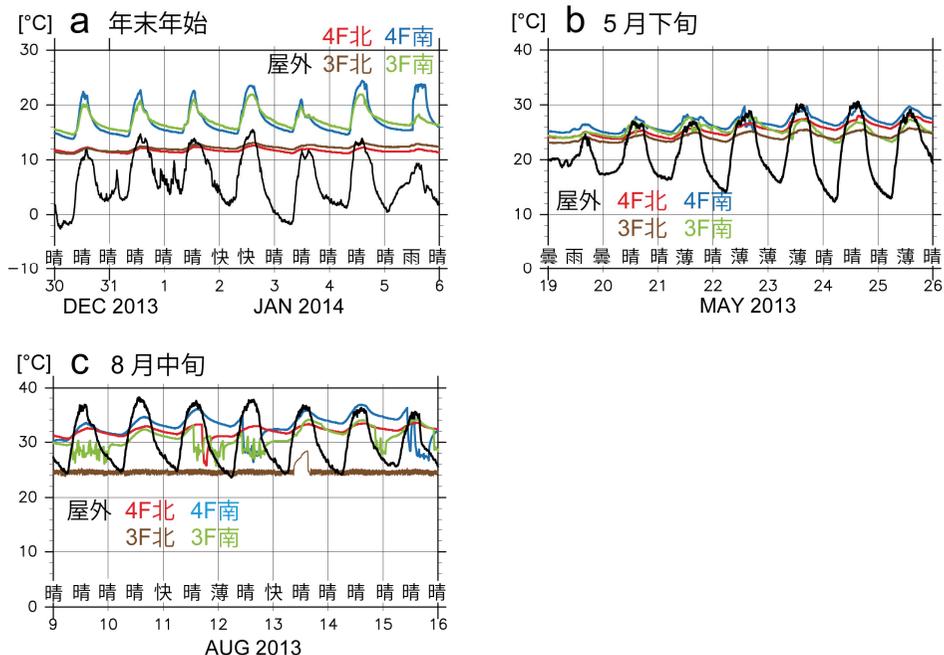


図3 各部屋の室温と屋外気温の時間変化。a. 2013年12月30日～2014年1月5日。b. 2013年5月19日～25日。c. 2013年8月9日～15日。天気は大分地方気象台観測のもの。

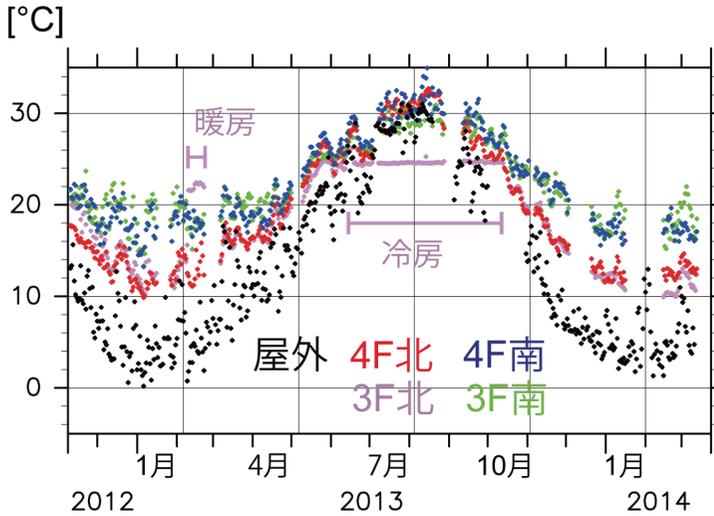


図4 各部屋における日平均室温。横棒は冷暖房の連続稼働を表す。

この期間の大分における太陽の南中高度は $33.6^{\circ} \sim 34.2^{\circ}$ ，その年間最低は12月17日～26日の 33.4° である（国立天文台ウェブサイト・暦の計算による）。一方，後者の期間における太陽高度は，年間で最も高い時季のものに近い。この期間の南中高度は $76.8^{\circ} \sim 77.7^{\circ}$ ，その年間最高は6月18日～25日の 80.2° である。図3cは夏季の最も暑い期間の中から，冷房の稼働が比較的少ない期間を選定している。この期間の南中高度は $72.6^{\circ} \sim 70.8^{\circ}$ である。以下，これらの期間を「年末年始」「5月下旬」「8月中旬」とよぶ。

冬季の年末年始においては（図3a），南側が北側よりも高温で，その差は日中におよそ 10°C ，夜間におよそ 4°C である。4階と3階との差は比較的小さいが，南側では日中は4階がより高温，夜間は3階が高温である。北側では，1日を通して4階がより低温である。

初夏の5月下旬においては（図3b），その後半において4階で高温，3階で低温の特徴がみられ，その差は1日を通しておよそ 2°C である。南側と北側との室温差もみられ，日中には南側がより高温の特徴がある。

夏季の8月中旬においては（図3c），室温の急低下が何回かみられる（たとえば8月11日の3F南と4F北）。これらは冷房の起動を表す。3F北においては冷房が連続稼働していたため，検討の対象から除く。この期間は，冷房の影響があるため他の要因の影響との区別がつきにくい。室温の特徴は，4F南が高温，4F北と3F南が $2^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 低温である。

各部屋の日平均室温を図4に示す。冷暖房の連続稼働期間を除けば，冬季には南側と北側の室温差が目立つが，夏季には各部屋間の室温差は小さい。冷暖房の使用がほとんどない4～5月と10～11月を見ると，4月には南側高温・北側低温の傾向がみられるが，5月にかけて4F北の室温が相対的に上昇する。10月から11月にかけては，南側高温・北側低温の特徴がみられ，その温度差が拡大する。期間中の冷暖房の使用状況は，付録のとおりである。

2 各部屋の室温の日変化

図3の各期間における各部屋の室温・天井温度・床温度（4階の二室のみ）を、図5～7に示す。これらの期間における各測点の平均温度と平均日較差を表1に示す。

室温の日較差に注目する。年末年始における室温の日較差は、南側で大きく、4F南で約8℃、4F北で約5℃、北側で小さく、二室ともに約1℃である（図5、表1）。5月下旬と8月上旬においては、各部屋における室温の日較差は3.5℃以下（冷房稼働時と5月22日の4F南を除いて）と、比較的小さい（図6、7、表1）。各部屋の日較差を比較すると、4F南、3F南、4F北、3F北の順に大きい。

4F南と3F南における窓サッシの温度を見る。年末年始の平均日最高温度はそれぞれ33.4℃、31.4℃と、室温のものを大きく超える。平均日最低温度はそれぞれ8.7℃、8.5℃と、室温よりも6～7℃低い。5月下旬の平均日最高温度はそれぞれ31.4℃、31.3℃と、室温のわりに高くない。平均日最低温度はそれぞれ21.2℃、19.9℃と、室温よりも約4℃低い。年末年始の日中における室温・窓サッシ温度は、ともに4F南のものが3F南のものよりも高く、日射の加熱が4F南でより大きいことが示唆される。その理由は、建物の南側（A棟）が3F南のみの日射を遮る時間帯があること、と考えられる。初夏・夏季においては、日射の影響は、4F南と3F南との間に差がみられない。その理由は、太陽高度が高く、3F南のみの日射がさえぎられる時間帯がないためと考えられる。冬季において南側と北側との室温差が大きいこと（図3）は、西垣・諫山（2012）の結論「窓からの日射が4F南の室内を暖め、その効果は太陽高度の低い冬季に大きい」ことを支持する。

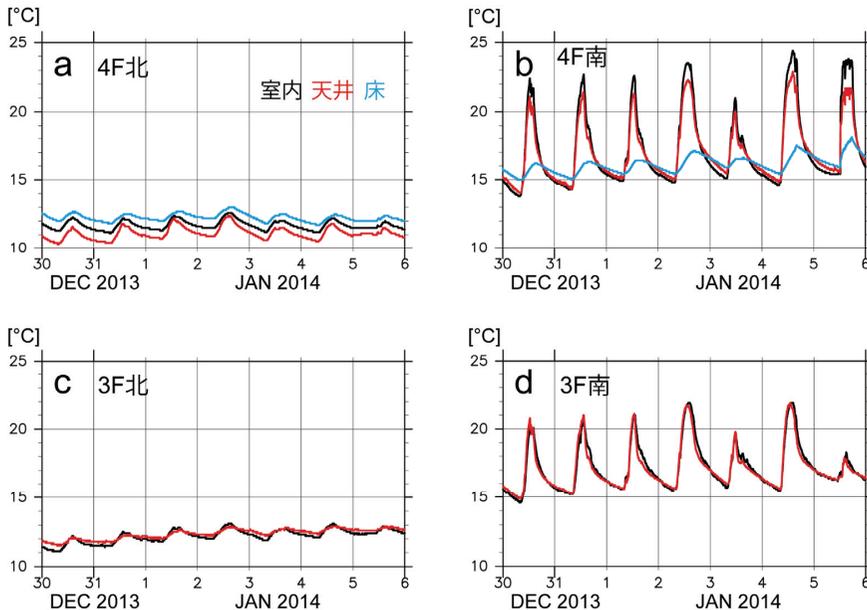


図5 年末年始における各部屋の室温・天井温度・床温度。

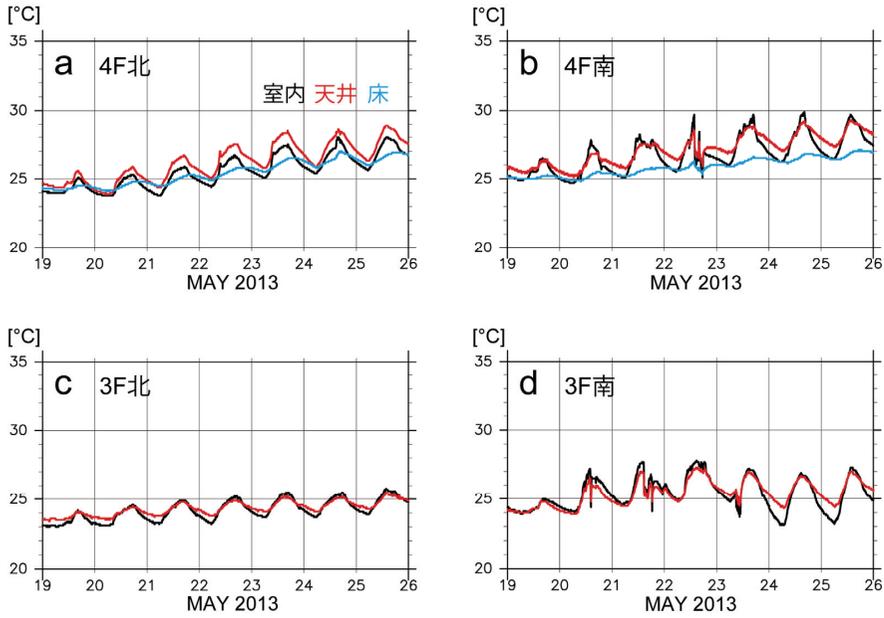


図 6 5月上旬における各部屋の室温・天井温度・床温度。

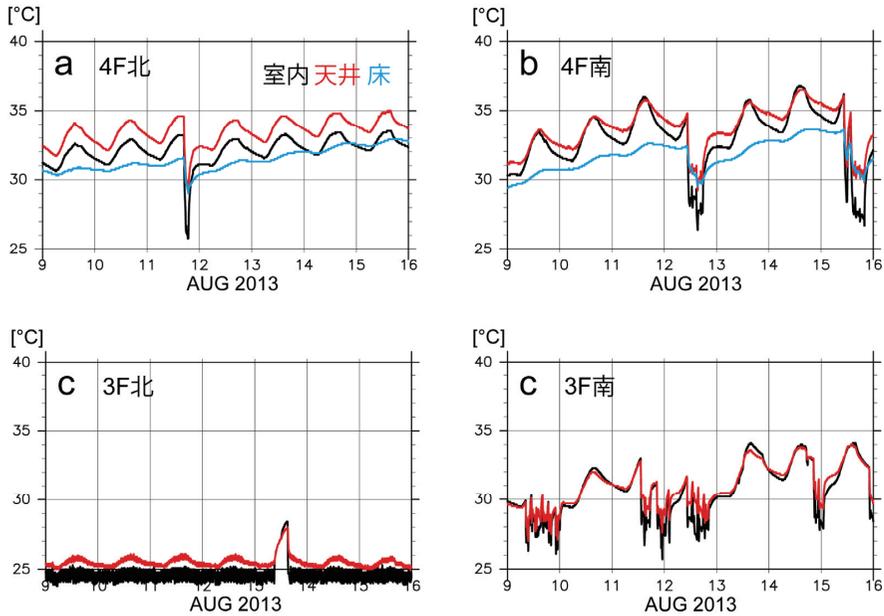


図 7 8月中旬における各部屋の室温・天井温度・床温度。

表1 各測点における平均温度と平均日較差。上段は図5の期間、中段は図6の期間におけるものを、それぞれ表す。

年末年始	4F 北		4F 南		3F 北		3F 南	
	平均	較差	平均	較差	平均	較差	平均	較差
天井	11.1℃	1.2℃	17.0℃	6.7℃	12.4℃	0.6℃	17.1℃	5.0℃
室温	11.7℃	1.0℃	17.2℃	8.2℃	12.2℃	1.0℃	17.2℃	5.1℃
床	12.3℃	0.7℃	16.1℃	1.5℃	-	-	-	-

5月下旬	4F 北		4F 南		3F 北		3F 南	
	平均	較差	平均	較差	平均	較差	平均	較差
天井	26.2℃	2.3℃	27.1℃	1.9℃	24.3℃	1.0℃	25.4℃	2.3℃
室温	25.5℃	2.1℃	26.7℃	3.3℃	24.2℃	1.7℃	25.4℃	3.2℃
床	25.4℃	0.8℃	25.8℃	0.7℃	-	-	-	-

8月中旬*	4F 北		4F 南		3F 北 **		3F 南	
	平均	較差	平均	較差	平均	較差	平均	較差
天井	33.9℃	1.5℃	35.0℃	1.8℃	(25.8℃)	(2.9℃)	32.6℃	1.8℃
室温	32.5℃	1.5℃	34.5℃	2.9℃	(25.0℃)	(4.4℃)	32.7℃	2.7℃
床	31.9℃	0.6℃	32.7℃	1.3℃	-	-	-	-

* 8月中旬については、冷房の影響を最小限にするため冷房の影響を最小限にするため、2013年8月13日12時～14日12時の平均・較差をとる。

** 8月中旬の3F北は、冷房が連続稼働されていた（停電時を除く）ため、検討の対象から除く。

3 各部屋の天井温度

各部屋の天井温度の結果より、屋上からの熱の効果を検討する。各部屋における天井温度と室温との差に注目し、天井が高温（低温）の場合は、天井が室内空気を加熱（冷却）していると判断する。天井からの加熱・冷却は、基本的に屋上の加熱（主に日射による）と冷却（主に放射冷却による）に由来すると考えられる。

年末年始について検討する（図5）。4F北において、1日を通して天井温度は室温よりも低い、3F北には両者にほとんど差がない。このことは、4F北のみにおいて室内空気が天井に冷却されていることを示す。南側の二室を見ると、4F南で日中に天井温度が室内温度よりも低い、4F南の夜間と3F南には両者の差が小さい。このことは、4F南の日中において室内空気が天井に冷却されていることを示唆する。

5月下旬について検討する（図6）。期間中、4階の二室のみにおいて、天井温度に明確な上昇がみられる。この時季は太陽高度が高いことも考慮すると、この昇温は屋上への日射に起因すると考えられる。4F北において、1日を通して天井温度は室温よりも高く、天井が室内空気を加熱していることを示す。4F南では、期間後半の夜間のみにおいて、天井温度が室内温度よりも明確に高い。3F南の天井温度と室温がそれぞれ4F南のものよりも低いことと合わせると、

天井を通した屋上からの加熱が4F南の室温を上げていると考えられる。

8月中旬(図7)にも、5月下旬と同様の特徴がみられ、4F北での1日を通しての天井からの加熱と、4F南での夜間の天井からの加熱が示される。この期間には4F南と3F南に約2°Cの室温差がみられるが、これには冷房の稼働頻度の影響も含まれると考えられる。

天井温度の日較差を見ると、初夏の4F北においては室内温度のものと同じか上回る。このことは、天井温度の日較差が屋上の加熱・冷却に由来することを、示唆する。

床温度に注目する。年末年始の4F北においては、1日を通して床温度が室温よりも高い。このことは、天井に冷やされた室内空気が床よりも低温であることを示す。5月下旬と8月中旬の4F北においては、床の日平均温度は室温のものよりも低い。4F南においては、どの期間においても床の日平均温度は室温のものよりも低く、窓からの日射に暖められた空気が床よりも高温であることが示される。

IV まとめ

調査の結果わかった各部屋の室温の主な特徴は次のふたつである。(1) 年末年始においては南側高温・北側低温の特徴が顕著で、その温度差は日中に特に大きい。(2) 5月下旬と8月中旬においては、南側高温・北側低温の特徴と、4階高温・3階低温の特徴が、ともにみられる。

4階の天井および南側の窓からの加熱・冷却についての検討結果を、図8に模式的に示す。太陽高度の低い時季(冬季)には、4階の二室において天井からの冷却が示され、その強さは北側でより強い。南側の二室における日射による加熱はこの時季に顕著で、4階において特に強い。太陽高度の高い時季(夏季)には、4階の二室において屋上からの加熱が示唆され、その強さは北側でより強い。南側の二室における日射による加熱は冬季に比べて弱く、4階と3階との間に明確な差がみられない。

4階南側の部屋の高温は年間を通してみられるが、その成因は冬季と夏季とで異なる。冬季においては主に窓からの日射に由来するもので、その影響は3階南側の部屋におけるものよりも大きい。夏季においては主に天井からの熱が3階南側の部屋との差をつくると考えられる。

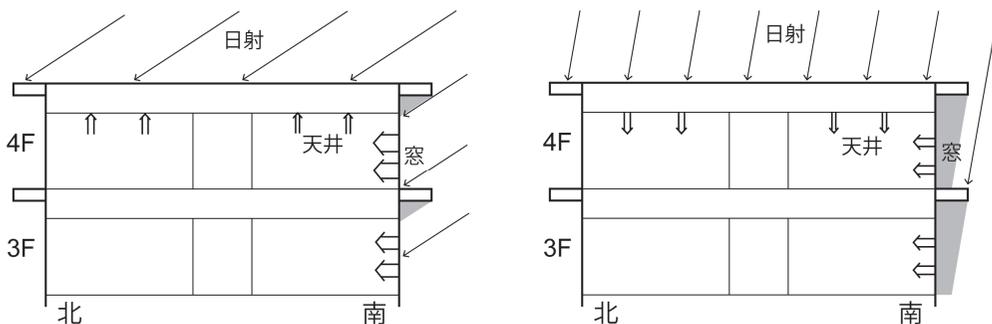


図8 冬季(左)と夏季(右)における日射、窓からの熱、天井からの熱についての模式図。天井と窓での矢印の幅は、熱の量の大小関係を表す(尺度は両方の図に共通)。

付録

冷暖房の使用状況

冷暖房の稼働は、温度の時間変化から読み取ることができる（例えば図7）。そのとき温度が急に下降または上昇し、測点の中で室温のものが最も大きく変化する。調査期間の中で冷暖房の稼働が多いのは2012年11月（調査開始）～2013年3月中旬、同6月中旬～9月中旬、同11月下旬～2014年3月中旬（調査終了）である。その稼働頻度は部屋や時期によって異なり、利用頻度の多い3F南で多い。ただし、3F北においては2013年2月8日～22日、6月17日～10月12日に暖房・冷房の連続稼働がされている。

謝辞

永野昌博准教授には3階の測点を提供いただきました。生態学研究室、天文学研究室、気象学海洋学研究室の皆様には、調査への理解と協力をいただきました。上記の方々に厚く感謝します。

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) 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.
- 3) 西垣肇, 諫山祐未子, 2012. 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?—, 大分大学教育福祉科学部研究紀要, 34, 143-150.

Room Temperatures and Their Temporal Changes

—Comparing Top and Lower Floors —

NISHIGAKI, Hajime and TATEISHI, Miku

Abstract

In a building in Oita University, the temperature in the room on the south side of the top floor is known to be high. This study aims to examine the room temperatures in the building and to understand what causes the high temperatures. We examined four rooms: one on the south side of the top floor, one on the north side, one on the south side of a lower floor, and one on the north side. We took time series measurements of the temperatures of the room air, the surface of the ceiling, the surface of the window frame, and the surface of the floor for a period of one year and four months. The room temperature on the south side of the top floor is higher than that in the other rooms throughout the year. In winter, the room temperatures on the south side are significantly higher than those on the north side. In summer, the room temperatures are higher on the south side and on the top floor. The temperatures of the room air, ceilings and floors indicate that, on the top floor, the ceiling heats the room air in summer and cools the room air in winter. The effect of insolation to the south windows is dominant in winter, especially on the top floor. It is weaker in summer, when no difference is found between the top and lower floors.

【Key words】 Room temperature, Seasonal change, Heating from ceiling, Insolation to window