

長崎市の気候特性と洋館における パッシブデザイン手法の効果

岡田和也*・源城かほり**

Climatic Characteristics in Nagasaki City and The Effect of Passive Design Method in The Western-Style Building

by

Kazuya OKADA*, Kahori GENJO**

The objective of this study is to investigate and clarify the climatic characteristics of Nagasaki City, and to examine the effective passive design method in Nagasaki City. In addition, by examining the western-style building located in Nagasaki City where the passive design methods are adopted, the effect of passive design were clarified by the measurement of indoor climate.

Key words: Climatic Characteristic, Passive Design, Western-Style Building, Indoor Climate

1. はじめに

近年、地球温暖化問題の深刻化により、建物の省エネルギー化の必要性が高まっており、ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)化も進みつつある。建物の省エネルギー化を図る上で自然エネルギーの活用が有効であるが、そのためには建物が立地する地域の気候特性を正確に把握することが必要である。そのような中、地域の気候風土に合わせて建物をデザインし、熱や光や空気などの流れを制御して環境への負荷を極力少なくしながら、快適な室内環境を創り出そうとする設計手法であるパッシブデザインが注目されている。

当研究室における既往の研究¹⁾では九州地域の気候特性に焦点を当て、任意地点における各地域の気象要素を図化、気候特性の特徴ごとに九州地域を幾つかのカテゴリーに分類し、各カテゴリーに応じた効果的なパッシブデザイン手法について検討している。他方、本研究では対象を長崎市に絞ってその気候特性を明らかにする。また、長崎市に現存する洋館を対象とし、洋館に用いられているパッシブデザイン手法について調査すると共に、熱空気環境の実測を通じてパッシブデザイン手法の効果を明らかにする。それらを通じて、現代建築に活かせるパッシブデザイン手法について検討するための基礎資料を作成することを目的とする。

2. 長崎市の気候特性

パッシブデザイン手法の効果はその地域の気候特性に大きく左右されるため、本研究ではまず、長崎市の気候特性を把握する。その方法として、拡張アメダス気象データの1981年～2000年までの標準年における長崎の気象データを分析した²⁾。Fig. 1に長崎市における夏期(6月～9月)と冬期(12月～3月)の風配図を、Fig. 2に1月、4月、7月、10月の月別最多風向と月平均風速を示す。Fig. 1より、夏期は南西～南南西が卓越風であり、冬期は北～北東が卓越風であることがわかる。したがって、夏期は南西、南南西に開口部を設けて風を取り入れ、冬期は北、北北東、北東の風を遮断する必要がある。また、Fig. 2より月ごとの最多風向や平均風速に差が見られ、例えば7月には南西で3.04 m/sの風速が得られており、南西に開口部を設ければ採風の効果が期待できる。このように、開口部の位置を検討するためには、その地域の季節別最多風向を知ることが重要となる³⁾。

Fig. 3に長崎市における各種気温の月別変動を示す。Fig. 3より長崎市では月平均値が7℃～27℃の範囲にあり、平均日最高値、平均日最低値がそれぞれ11～30℃、5～25℃と四季を通して温暖な気候と言える。

Fig. 4に月積算水平面全天日射量と月積算降水量の変動を示す。ここでは長崎(北緯33°)だけでなく、比較対照として東京(北緯35°)の図も併せて示す。月積算

平成**年*月**日受理

* 大学院工学研究科総合工学専攻 (Graduate Student, Department of Advanced Engineering)

** 大学院工学研究科

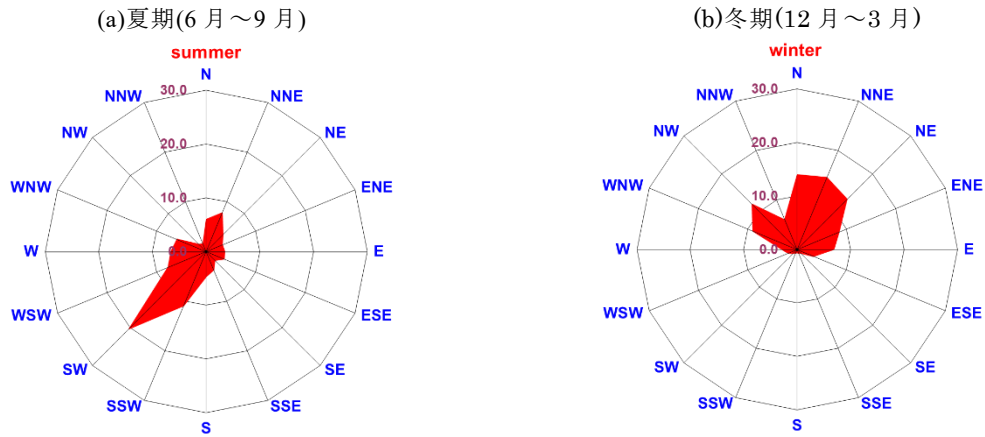


Fig. 1 長崎市における夏期・冬期の風配図 (単位: %)

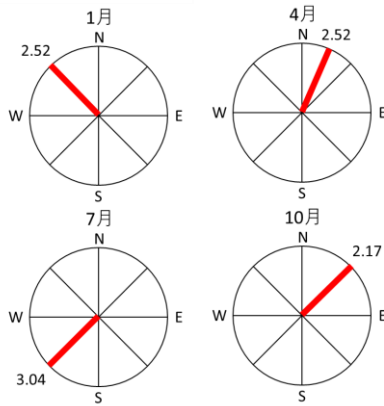


Fig. 2 長崎市の月別最多風向と平均風速

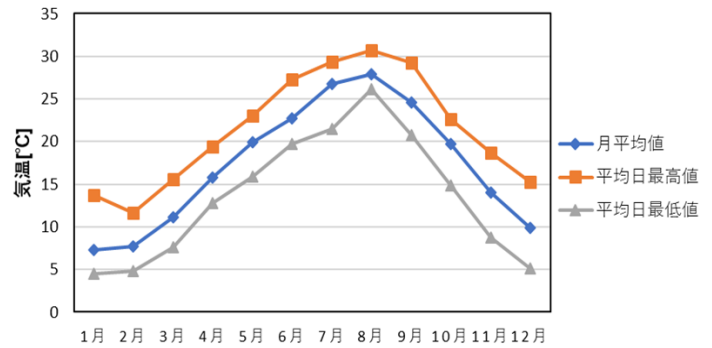


Fig. 3 長崎市の月平均、平均日最高・最低値の月別変動

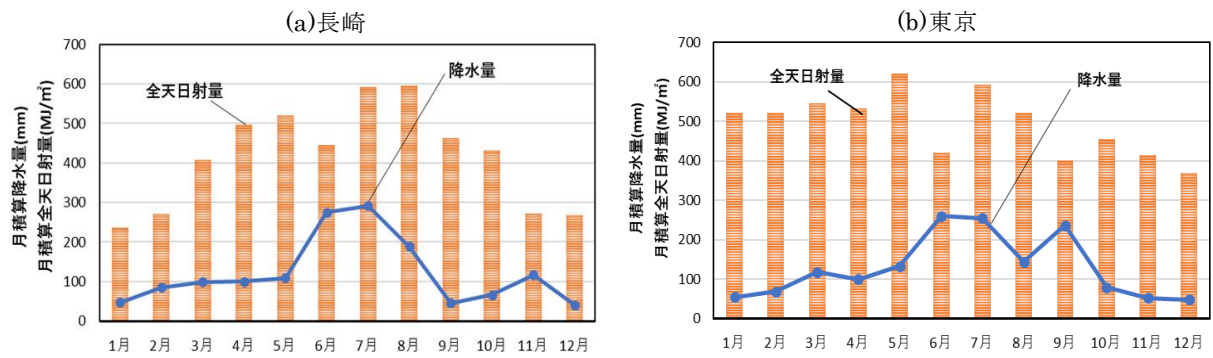


Fig. 4 長崎及び東京における月積算水平面全日射量及び月積算降水量の変動

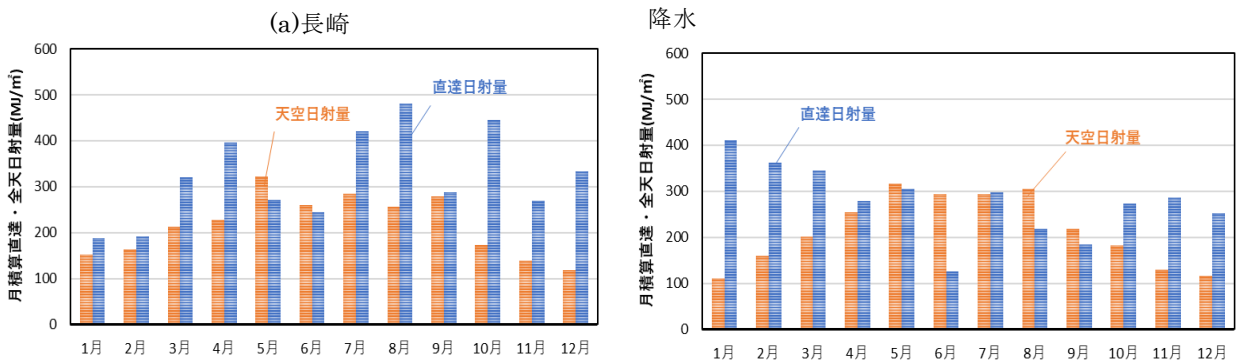


Fig. 5 長崎及び東京における月積算直達日射量及び月積算天空日射量の変動

量は長崎、東京とも夏期に増加し、冬期には少なくなる傾向が見られる。また、月積算水平面全天日射量は長崎では梅雨時期を除き、夏期には東京と同様、 $600 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{月}$ と多いが、それに対し冬期は $200 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{月}$ と少なく、これは東京に比べて $300 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{月}$ 少ない値となっている。

次に、拡張アメダス気象データ DVD のアプリケーションを用いて水平面全天日射量を直達日射量と天空日射量に直散分離した²⁾。Fig. 5 に月積算直達日射量と月積算天空日射量の変動を示す。長崎と東京を比較すると直達日射量に大きな季節差が見られ、長崎の直達日射量は夏期(7月, 8月)に多く、次いで中間季(4月, 10月)にも多くなっており、冬期(特に1月, 2月)に少ない。このことから長崎では夏期及び中間季における直達日射の遮蔽と、冬期における直達日射の取得が重要であると言える。

以上より、長崎市の気候特性をパッシブデザイン手法適用の観点から以下に述べる。

- ① 夏期は南西～南南西の風が卓越風であるため、南西を軸とした面に開口部を設け、それらの風を効果的に取り入れる一方で、直達日射を遮蔽するための庇等を必要がある。
- ② 冬期は北～北北東の風が卓越風であるため、それらの風を遮断すると共に、建物外皮の断熱性を高める必要がある。
- ③ 年間を通じて温暖な気候であるが、夏期の高温や直達日射量の多さから、夏期におけるパッシブデザインを重点的に考慮する必要がある。
- ④ 夏期は降水量が多く多湿の可能性が高いため、天井や開口部の換気性能を高める工夫が必要である。
- ⑤ 全天日射量は可照時間の短い冬期でも安定した日射量を得られているが、直達日射量においては緯度の高い地域よりも少ないため、冬期において効果的に日射取得をするための工夫が必要である。

3. 洋館における熱空気環境の実測及びパッシブデザイン手法とその効果

長崎市にある国選定重要伝統的建造物群保存地区の伝統的建造物である南山手レストハウスを対象に2018年9月25日～2018年10月5日までの11日間、熱空気環境の実測を行った。対象建物は、一般向けに開放されている休憩室(開館時間は9:00～17:00)4室と、管理人専用の事務室2室及び廊下で構成されており、深い庇に覆われたベランダが北側と東側に2箇所ある。特に北側は長崎港を臨むことができ、建物は標高が高い南山手に立地しており、海風が期待できる。中廊下

型の平面形式が採用されており、開口部を開放すれば全体的に風通しの良い造りになっている。

3.1 実測概要

対象建物には開口部を閉鎖している休憩室1と開放している休憩室2があり、休憩室2は観光客の通用口となっている。2室の床上1.1mと床上0.1m及び外気には小型温湿度データログを、床上1.1mにはグローブ球と小型温度データログを設置して2室の上下温度と各室及び外気の床上1.1mにおける温湿度とグローブ温度を測定する。さらに、2室及び外気の床上1.1mにはCO₂濃度計を設置して各室のCO₂濃度も測定する。Fig. 6に対象建物の平面及び測定箇所を示す。なお、外気および室内2室において風速もスポット測定した。

3.2 洋館のパッシブデザイン手法

対象建物に取り入れられているパッシブデザイン手法をTable 1に示す⁴⁾。対象建物におけるパッシブデザイン手法の特徴は深い庇による日射遮蔽である。庇は約3.6mであり、夏期におけるパッシブデザイン手

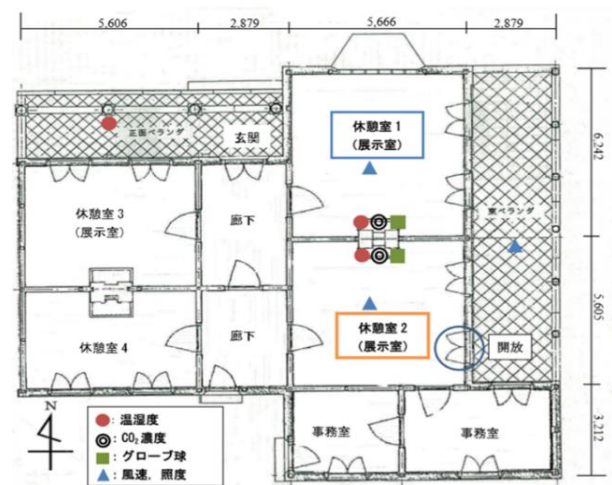


Fig. 6 対象建物平面及び測定箇所

Table 1 対象建物におけるパッシブデザイン手法

部位	工夫	機能・効果
建物	1 深い庇	日射遮蔽
	2 大きな屋根裏空間	熱の上昇の遅延
	3 瓦屋根	日射による熱取得の遅延
	4 大きな屋根面	夜間の放射面大
開口部	5 錠戸(引き分け式)	断熱, 日射遮蔽, 換気
	6 広い側窓	採風, 採光
	7 平面における開口部の配置	通風

法で考慮すべき点である日射熱の低減効果がある。

採風に関して、2室とも開口部の高さが約1.9mと大きいことから、開口面積が大きくなり、採風機能を向上させている。なお、9月25日の室内風速は、休憩室1が0.04 m/sで、休憩室2が0.25 m/sであった。

他にも、パッシブデザイン手法として、石造の外壁や、瓦屋根、大きな屋根面、大きな屋根裏空間の確保が挙げられる。それらの効果として石造の外壁と瓦屋根は日射による熱取得の遅延、大きな屋根面は夜間における放射冷却面積の増加、大きな屋根裏空間は熱上昇の遅延効果が期待できる。

3.3 熱空気環境の実測結果

熱空気環境の実測結果を以下に示す。なお、実測期間中、9月29日と9月30日は台風24号の襲来のため、特異な外気条件となっていることに注意されたい。

まず、休憩室1と休憩室2の床上1.1mにおける温度及び外気温度を比較する。Fig. 7に休憩室2室及び外気における温度の経時変化を示す。なお、実測期間中に空調設備は使用されていない。

開館時の平均温度は休憩室1で23.7℃、休憩室2で24.0℃となり、開口部を開放していない休憩室1の方が、0.3℃と僅かながら室温が低いという結果が出た。これは、休憩室2において開放していた開口部から暑い外気も取り込んでしまったことが影響していると考えられる。但し、温湿度センサーの測定精度は $\pm 0.5^\circ\text{C}$ であり、2室の平均温度の差はこの範囲内にあるため、2室の温度に明確な差はないと言える。なお、Fig. 7からも読み取れるように、開口部を開放している休憩室2の温度は実測期間中の殆どの時間帯で休憩室1よりも温度が高く、また温度変化も大きい。

次に、2室の開館時間の平均温度から作成した上下温度分布 Fig. 8に示す。両室の上下温度差は両室とも0.6℃と小さく、快適範囲の3℃以内に収まっている⁵⁾ことから、2室は上下温度分布の観点から快適であると評価される。

次に、Fig. 9に休憩室2室及び外気の相対湿度の経時変化を示す。相対湿度は先述のとおり台風のため悪天候であった9月29日と9月30日を除き、休憩室2の方が休憩室1よりも低くなっている。しかし、相対湿度は温度の影響を受けるため、両室を正確に比較できないため、絶対湿度を用いて比較する。水蒸気を含んだ湿り空気のうち、水蒸気を除いた気体部分である乾き空気といい、湿り空気が乾き空気1kgとxkgの水蒸気量で構成されているとき、両者の重量比x[kg/kg]を絶対湿度と呼び、乾燥や湿り気に関する指標

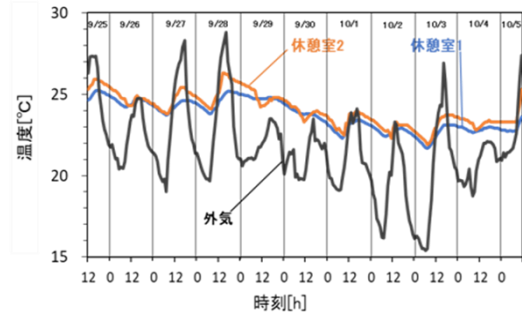


Fig. 7 休憩室2室及び外気における温度の経時変化

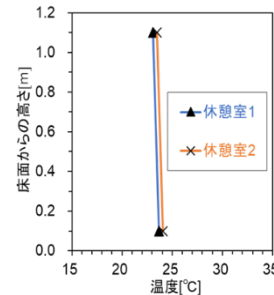


Fig. 8 休憩室2室の上下温度分布

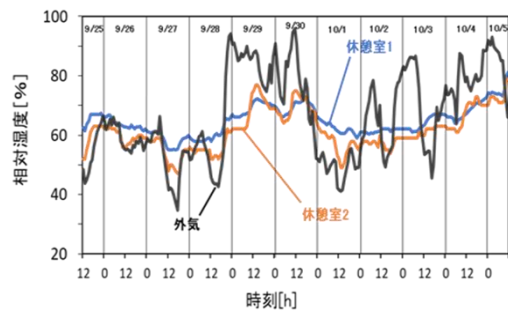


Fig. 9 休憩室2室及び外気相対湿度の経時変化

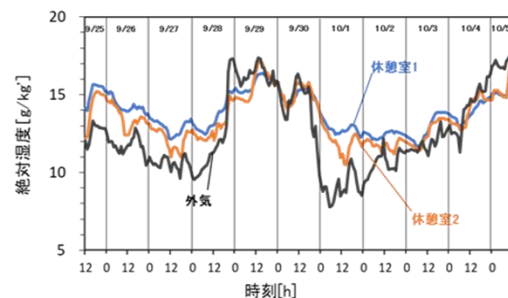


Fig. 10 休憩室2室及び外気絶対湿度の経時変化

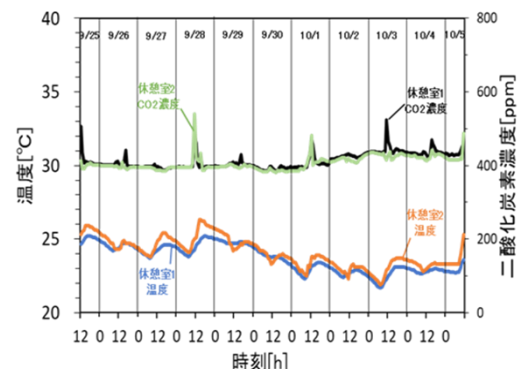


Fig. 11 温度と二酸化炭素濃度の経時変化

となる。

実測にて得られた温度と相対湿度から算出された絶対湿度の経時変化を Fig. 10 に示す。Fig. 10 から休憩室 2 の方が休憩室 1 よりも絶対湿度が低いことが読み取れる。実測期間中、休憩室 2 では開口部を 9 時から 17 時の間開放して外気を導入していたが、外気絶対湿度が低い快晴日には休憩室 1 の絶対湿度も低くなっている。しかし、9 月 29 日のように外気絶対湿度が高い雨天日には休憩室 1 の絶対湿度だけでなく休憩室 2 のそれも高くなっている。休憩室 2 の絶対湿度は開口部を開放している時間が長いことから、休憩室 1 に比べ外気の影響を受けやすかったと言える。

Fig. 11 に床上 1.1 m における休憩室 2 室の温度と CO₂ 濃度の経時変化を示す。なお、外気の CO₂ 濃度は図示していないが、概ね 390～420 ppm の範囲にあった。Fig. 11 において、例えば、9 月 28 日や 10 月 1 日、3 日には 2 室の CO₂ 濃度にピークが見られるが、この時間帯には来館者が増えていることが予想される。実測期間中の CO₂ 濃度の開館時(9:00～17:00)の平均値は休憩室 1 で 412 ppm、休憩室 2 で 405 ppm であり 2 室とも外気 CO₂ 濃度に近い値となった⁶⁾。このことから側窓を開放していた休憩室 2 だけでなく、側窓を閉鎖していた休憩室 1 においても換気性能が高いか、あるいは気密性能が低いのか、室容積に対して CO₂ の発生源となる人の在室時間が少ない可能性があり、実測した秋期において室内の CO₂ 濃度は清浄に保持されていたと言える。

3.4 熱的快適性の評価

次に、温熱環境の 6 要素から快適性評価指標の一つである PMV(人の温冷感に関する指標で-3～+3 までの値で表される)を用いて、対象建物の熱的快適性について評価する。PMV が 0 に近い程暑くも寒くもなく快適な環境と評価できる⁵⁾。

休憩室 2 室の風速及び算出した平均温度、平均相対湿度、平均周壁温度を Table 2 に示す。なお、PMV 算出に際して人体側の条件は、安静時を想定し、代謝量は 1.0 Met(椅座安静状態)、着衣量は 0.5 clo(一般的な夏期の服装)と仮定して算出した。これらを用いて 2 室の実測期間の開館時間における平均 PMV を算出し、また各休憩室において温度と相対湿度の差が最も大きかった 9 月 28 日 14:00(休憩室 1: 24.8℃, 休憩室 2: 26.3℃), 10 月 1 日 13:00(休憩室 1: 61%, 休憩室 2: 49%)の各日における PMV を算出した。これらの算出結果を Table 3 に示す。なお、PMV 算出時の風速の値には実測開始日の 9 月 25 日にスポット測定した結

Table 2 2 室の PMV 算出条件

	平均		9/28 14:00		10/1 13:00	
	休憩室1	休憩室2	休憩室1	休憩室2	休憩室1	休憩室2
風速(m/s)	0.04	0.25				
温度(℃)	23.6	24.1	24.8	26.3	23.3	23.7
相対湿度(%)	64	61	60	53	61	49
周壁温度(℃)	23.4	23.8	25.1	26.2	23.1	23.6

Table 3 2 室の PMV 比較

PMV	休憩室1	休憩室2
平均	-0.76	-1.11
9/28 14:00	-0.39	-0.27
10/1 13:00	-0.96	-1.36

果を用いている。

Table 3 より、実測期間中の開館時間の平均 PMV は平均気温が休憩室 1 に比べ 0.5℃高い休憩室 2 の方が -1.11 とやや涼しいと算出され、休憩室 1(-0.76)よりも涼しい側に算出された。休憩室 2 の温度が休憩室 1 より 1.5℃高い 9 月 28 日 14:00 においては休憩室 2 の PMV は -0.27 と、休憩室 1 の PMV よりも暑くも寒くもない熱的中立側に算出されている。休憩室 2 の相対湿度が休憩室 1 より 12%低い 10 月 1 日 13:00 の PMV は休憩室 1 で -0.96、休憩室 2 で -1.36 と、休憩室 2 の方が寒い側に算出されている。10 月 1 日 13:00 の外気条件において PMV の算出結果が 0 の熱的中立状態に近いのは休憩室 1 の方である。温度がやや高かった休憩室 2 の PMV の方が休憩室 1 のそれよりも低く算出される理由として、風速の値をスポット測定結果のみで一意的に与えてしまっていることが影響していると考えられる。

洋館を対象とした熱空気環境の実測により得られた知見を以下に述べる。

- ① 対象建物に用いられているパッシブデザイン手法は深い庇、石造の外壁、瓦屋根、大きな屋根面、大きな小屋裏空間の確保で日射遮蔽、日射による熱取得の遅延、大夜間における放射冷却面積の増加、熱上昇の遅延効果といった効果を持っている。開口部のパッシブデザイン手法は、鑑戸、広い側窓、平面における開口部の設置で断熱、日射遮蔽、換気、採風、採光、通風といった効果を持っている。また、高台にあるという立地条件やさまざまな建築的工夫から夏期における室内温度上昇を抑制する効果を持っていると言える。夏期における熱空気環境の実測からも、採風や日射遮蔽の効果を確認することができた。

- ② 夏期における温熱環境の実測において、開口部を開放している休憩室2の方が閉鎖している休憩室1より平均温度が高かったのは、外気温が高い日には開口部から暑い外気を導入してしまっていることと、休憩室1が建物の北側、休憩室2が建物の南側にそれぞれあり、日射の当たり方が両室で異なることも影響していると考えられる。
- ③ 開口部を開放している開館時間中の絶対湿度に関しては、休憩室2の方が休憩室1に比べ、全般的に低くなっている。しかし、雨天の場合には開口部を開放している休憩室2の方が高くなっており、室内絶対湿度は外気絶対湿度の影響を大きく受けており、外気の影響を受けやすいということは建物の断熱気密性能が低いとも解釈できる。
- ④ 室内二酸化炭素濃度は測定対象とした休憩室2室とも来館者が多くなる時間を除けば、外気二酸化炭素濃度と同程度であった。このことから、開口部を開放していた休憩室2だけでなく、開口部を閉鎖していた休憩室1についてもその換気状態が良好であり、空気質は二酸化炭素濃度の観点から良好に保たれていた。建物の気密性能の低さが二酸化炭素濃度の低さに寄与している可能性も考えられる。
- ⑤ PMVによる快適性評価の結果、算出に当たって仮定した条件及び計算に用いた外気条件の下では、全般的に休憩室1の方が休憩室2に比べ暑くも寒くもない状態であると評価された。しかし、実測時には休憩室2の窓しか開放されていなかったことから、天候によって窓開放時間を変更したり、風速、風向等の季節変化から開放する窓を季節ごとに最適な向きに変更したりすることによって、パッシブデザイン手法の効果を最大限得られるよう工夫する必要がある。

4. まとめ

長崎市の気候特性について、パッシブデザイン手法に大きく左右する要素である気温、風速・風向、日射量についてまとめ、その特徴を示した。特に、蒸暑地域の気候を考慮して建設されたであろう洋館を対象とした熱空気環境の夏期実測では、開口部を開放していた休憩室2の方が開口部を閉鎖していた休憩室1より平均温度が高かったのは、実測時に外気温度が高かったため、昼間の暑い外気を室内に導入したことが原因であると考えられる。外気温度がもう少し低い時期ならば開口部開放によるパッシブクーリングの効果が期待できる。また、温熱環境の6要素を考慮した快適性

評価では開口部を開放していた休憩室2の方が涼しいという結果が得られた。

以上より、対象建物におけるパッシブデザイン手法を用いる際に工夫すべき点を述べる。対象建物では東側の開口部を常に開放していたが、長崎市の卓越風向は南西や南南西であるため、南北の軸にある開口部を夏期に開放することで採風効率が上昇すると考えられる。日射遮蔽については、対象建物には北側と東側に深い庇があり、夏期において大きな日射遮蔽効果があると言える。他方、冬期において、日射取得が少なくなることが予想されるため、庇の深さについて夏期、冬期の両季節の状況を考慮した適切な長さにデザインする必要がある。しかしながら、長崎市の高温多湿な気候特性を踏まえると、どちらかと言うと夏期におけるパッシブデザイン手法による効果に重きを置いて建物の設計を行う方が効率的であると言える。

謝辞

長崎市文化観光部文化財課文化財係川口 隆裕様、田中 希和様ほか、関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 高島菜摘：九州地域の気候特性を考慮したパッシブデザイン手法に関する検討，平成29年度長崎大学工学部工学科構造工学コース卒業論文，2018.3.
- 2) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ，2000.1.
- 3) 日本建築学会(編)：建築の省エネルギー計画，pp.18-22, 1985.9.
- 4) 宮岡博，小玉祐一郎，武政孝治：グラバー邸におけるパッシブクーリング手法－19世紀の高温多湿気候下の洋風住宅にみるパッシブクーリング手法－，日本建築学会大会学術講演概要集，D-2，pp.489-490, 2008.
- 5) 社団法人空気調和・衛生工学会(編)：新版・快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間を目指して，p.47, p.61, 2006.3.
- 6) 気象庁 <http://www.data.jma.go.jp>