新設された片側式アーケード内部の気温分布性状

FIELD INVESTIGATION ON AIR TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE A NEWLY-BUILT SEMI-CLOSED ARCADE

辻原万規彦 —*1 平川真由美 —*2
田中 稔 —*3

Makihiko TSUJIHARA —*1 Mayumi HIRAKAWA —*2
Minoru TANAKA —*3

キーワード：
アーケード, 現場実測, 気温, 垂直分布, 日射, 換気

Keywords:
Arcade, Field measurement, Air temperature, Vertical distribution, Solar radiation, Ventilation

Thermal environment, especially air temperature distribution, inside the semi-closed arcade located at Nagasaki was investigated on field observations both in summer 2000 and in winter 2001. Air temperature at the height of 1.0 meter in the occupied zone was a little higher than outside air temperature both in summer and in winter. In the daytime of summer, vertical distribution of air temperature showed a slope of high temperature in the upper part and low temperature in the lower part. However, both in the nighttime of summer and winter, vertical distribution of air temperature did not show a slope.

1. はじめに

日本各地の中心市街地には、アーケードをもつ商店街が数多く存在する¹⁾が、アトリウムなどとは異なり、その内部の温熱環境についてはこれまでほとんど研究がなされておらず、熱環境設計を考慮した整備が十分にはできていないのが現状である。

しかしながらアーケードをはじめとする都市の「半戶外空間」^{注1)}は、アトリウムなどとは異なり、空調機器などの機械的な環境調整手法を用いないため、「環境への負荷が少なく、快適な都市空間を提供できる」可能性を持ち、今後の活用が大いに期待される。

このような背景のもとで、筆者らはこれまでに、温暖多照地域における全蓋式アーケード^{注2)}内部の気温分布性状²⁾と温熱環境の評価³⁾に関する研究をはじめとして、都市の「半戶外空間」に関する研究⁴⁾を行ってきた。

本研究では、これらの研究に続けて、新設された片側式アーケード内部の温熱環境について、1) アーケード内部の気温分布性状の把握、2) アーケード内部の温熱環境における快適性の評価、の2つの視点から、夏季と冬季の2度に渡って、その実態を明らかにし、アーケード内部の温熱環境に関する基礎資料を整備することを目的としている。同時に、全蓋式アーケード内部の温熱環境と比較することによって、両者の特質を明確にし、今後の整備方針を示そうとするものである。本稿では、このうち1)について報告し、2)については稿を改める予定である。

なお本稿の一部は、文献5)および6)で発表した内容に修正・加筆を行ったものである。

2. 測定対象アーケードの概要

測定対象とした片側式アーケードをもつ長崎浜市電通商店街は、長崎県長崎市の中心部、中央橋交差点からほぼ南東方向に延びる道路延長360.11m、歩道幅員4mの商店街である(図1)。測定対象アーケードは、1969年11月に建設された⁷⁾後、部分的な改修を行ってきたものの老朽化が激しかった既存のアーケードを取り外し、2000年3月に新設されたものである。

アーケードの構造は、躯体が鉄骨造平屋建、基礎が鋼製杭基礎であり、幅員4m、天井高さ6.55m、屋根高さ7.85mである。また屋根(図2)には、厚さ12mmの熱線吸収ガラスと厚さ8mmの透明板ガラスによる複層ガラス、日除け(図2)には飛散防止フィルム張の厚さ12mmの熱線吸収ガラスが用いられている。

また、「長崎の気候区分は、太平洋側九州型に属し、その特色は「温暖多雨」といえる。温暖になる原因としては、暖流である対馬海流が近海をながれていることと、長崎自体が海に面しているので海洋性をしめすためである。多雨期は6月～7月の梅雨期、8月～9月の台風期となっている。」⁸⁾

3. 測定の概要

3.1 測定日時

夏季の測定は、2000年8月21日(月)夕方から8月25日(金)早朝まで行った。また冬季の測定は、2001年1月16日(火)夕方から1月19日(金)早朝まで行った。

*1 熊本県立大学環境共生学部 講師・博士(工学)
(〒862-8502 熊本市月出3丁目1-100)

*2 熊本県立大学環境共生学部 助手・修士(工学)

*3 神村鉄工㈱ 専務取締役

*1 Senior Lecturer, Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.

*2 Assistant, Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto, M. Eng.

*3 Executive Director, Kamimura Iron Works Co. Ltd.

図1 測定対象アーケードと測定地点

図2 測定対象アーケード断面図

3.2 測定方法

内部測定地点は、通行人の妨げにならず、かつアーケード内部を代表すると考えられる場所を選定し（図1）、その上方のアーケード内部の気温分布を測定した（図2）。

比較のための外部測定地点は、できるだけ周囲が開けている場所として、道路との交差点部分の上にアーケードが架けられている地点の上方、屋上を選定した（図1）。外気温測定の際に、センサを日射計の取付台の下に位置させることにより、日射の遮蔽を図った。なお本稿では、アーケード内部で測定した空気のを「気温」、アーケードの外部・屋上で測定した空気のを「外気温」と記す。

各地点での測定項目と使用した測定機器などについて表1に示す。これらのデータは1分間隔で測定を行い、データロガーに記録させた。なお内部の温熱環境に関する自動測定は、夏季では8月21日が22:00まで、22から24日が5:00から23:00まで行い、また冬季では1月16日が23:00まで、17日と18日が4:45から23:00まで行った。

また別に内部測定地点では、手動測定により、乾球温度、湿球温度ならびに風速を、9:00から21:00の間、2時間おきに測定した。

同時に代表的な表面温度合計22点を赤外線表面温度計で測定した。

アーケード内部の気温のうち、地上1mの気温測定の際には、日射の遮蔽を図るためにセンサを銀紙で覆われた小型の傘の下に位置させた。それ以外の気温は、日射の影響を受けるため、中村らの式⁹⁾に従って補正した。

表1 測定項目と使用測定機器

自動	測定項目	測定機器など
気温分布	気温（店側）	T型極細熱電対 線径0.08mm（6点）
	気温（道路側）	T型極細熱電対 線径0.08mm（6点）
	気温（柱部分）	T型極細熱電対 線径0.08mm（2点）
	データロガー*	THERMODAC EF（江森電気）
内部・地上	風速	熱線風速計 V-01-AND2N（アイ電子技研）
	湿度・温度	湿度・温度センサ 2119A（江森電気）
	気温	T型極細熱電対 線径0.08mm
	日射・長波放射	長短波放射計 MR-40（英弘精機）
	データロガー*	THERMODAC EF（江森電気）
外部・屋上	湿度・温度（予備）	小型湿度記録装置 TR-72（ティアンドデイ）
	風速	熱線風速計 V-01-AND2N（アイ電子技研）
	湿度・温度	湿度・温度センサ 2119A（江森電気）
	外気温	T型極細熱電対 線径0.08mm
	日射	全天日射計 MS-601（英弘精機）
手動	データロガー*	THERMODAC EF（江森電気）
	湿度・温度（予備）	小型湿度記録装置 TR-72（ティアンドデイ）
内部	通風乾湿計	アスマン通風乾湿計 SK-RHG（佐藤計量器）
	風速計	定温型熱式風速計 6071（日本科学工業）
	赤外線表面温度計	放射温度ハイテスタ 3444（日置電機）

*：冬季の測定時には、データロガーを格納した箱の内部の温度も測定した。

3.3 測定期間中の気象状況

8月中～下旬の長崎県の天気概況は、以下の通りであった¹⁰⁾。

8月中旬は、前半は太平洋高気圧に覆われ、概ね晴の天気となったが、後半は気圧の谷の通過や太平洋高気圧の周辺部となった影響で、まとまった雨となった。8月下旬は、太平洋高気圧が強まり晴れて暑い日が多く、長崎市では28日にこの夏の最高気温35.6℃を記録した。なお、夏季の測定期間前後の日別天気概況を表2に示す（網掛け部分は、測定期間中であることを示す。冬季も同様。）¹¹⁾。

1月上旬～中旬の長崎県の天気概況は、以下の通りであった¹²⁾。

1月上旬は、前半は冬型の気圧配置、後半は低気圧や前線の影響を受け、気温は前半は平年より低く、後半は平年より高く推移した。1月中旬は、前線、低気圧ならびに冬型の気圧配置の強まりの影響で、曇や雨または雪の日が多く、気温は平年を下回った。冬型の気圧配置が強まった15日から16日にかけて大雪となり、長崎市では34年ぶりに10cmを超える積雪14cmを記録した。なお冬季の測定期間前後の日別天気概況を表2に示す¹³⁾。

4. 測定結果

4.1 夏季の測定結果

図3に、夏季の場合のアーケード内部における地上からの各高さの気温と外気温、日射量、相対湿度、ならびに風速の時間変化を、前後5分間合計10分間の移動平均値で示す。なおこれ以後、全てこの移動平均値を用いて考察を行う。

図中の凡例の、例えば「+6.5m」は「地上6.5m（図2 参照）で測定された気温」の意味である。またグラフ中の「内部・日射・上面」は、アーケード内部に設置した長短波放射計によって測定され

表2 測定期間前後の長崎海洋気象台における天気概況

月 日	天気概況 (6時～18時)	天気概況 (18時～6時)
8月18日 (金)	大雨時々曇, 雷を伴う	曇一時雨後一時晴
8月19日 (土)	晴後一時薄曇	大雨時々曇, 雷を伴う
8月20日 (日)	雨一時曇, 雷を伴う	雨一時曇, 雷を伴う
8月21日 (月)	曇時々雨後一時晴	晴後一時曇
8月22日 (火)	晴時々曇一時雨	晴
8月23日 (水)	晴	晴
8月24日 (木)	薄曇一時晴	薄曇後一時晴
8月25日 (金)	晴時々曇	晴後一時雨
1月13日 (土)	雨後一時晴	曇後時々雪
1月14日 (日)	雪	雪一時みぞれ
1月15日 (月)	大雪	雪
1月16日 (火)	雪一時晴	曇一時晴
1月17日 (水)	曇一時雪	晴
1月18日 (木)	曇一時晴	晴一時曇
1月19日 (金)	晴後一時曇	雨時々曇一時晴

た、水平面より上半球側から入射する日射量であり、「内部・日射・下面」は下半球側から入射する日射量である。「外部・日射」は、アーケードの外部・屋上に設置した全天日射計によって測定された日射量である。図が小さいため細部の読み取りはできないが、時間変化の概要を知ることができる。

日射があると、アーケード内部の気温が上昇し、上層部と下層部の温度差も大きくなることがわかる。アーケード内部の最高気温は、内部の気温分布のうちの道路側の最上部（地上6.5m）で、8月23日14:51に測定された39.9℃（移動平均値では、同日14:55の37.6℃）であり、この時の外気温は36.8℃（移動平均値では、35.6℃）であっ

た。また内部・地上（地上1m）の気温は、最高36.8℃、最低26.2℃（移動平均値では、最高35.1℃、最低26.4℃）、測定期間中の外気温は、最高が37.1℃、最低が25.5℃（移動平均値では、最高34.4℃、最低25.7℃）であった。

4.2 冬季の測定結果

図4に、冬季の場合のアーケード内部における地上からの各高さの気温と外気温、日射量、相対湿度、ならびに風速の時間変化を、前後5分間合計10分間の移動平均値で示す。なお図中の凡例などは、夏季の場合の図3と同様である。

アーケード内部の最高気温は、内部の気温分布のうちの店側の地上2.5mで、1月18日14:17に測定された14.6℃（移動平均値では、道路側の最上部（地上6.5m）における同日14:22の10.4℃）であり、この時の外気温は8.2℃（移動平均値では、8.0℃）であった。また内部・地上（地上1m）の気温は、最高9.7℃、最低0.3℃（移動平均値では、最高9.3℃、最低0.5℃）、測定期間中の外気温は、最高が9.6℃、最低が-0.8℃（移動平均値では、最高8.24℃、最低-0.7℃）であった。

日射があっても、夏季とは異なり、アーケード内部の上層部と下層部の温度差がほとんど見られない。これは、夏季に比べて日射量が少ないためであると考えられる。冬季は日射量そのものが少なくなっている上に、太陽高度が低いと、周辺の建物に遮られるなどして、アーケード内部に侵入するエネルギーが小さくなり、その結果、アーケード内部の気温に及ぼす影響も少なくなったと考えられる。

図3 夏季の地上からの各高さの気温と外気温、日射量、相対湿度ならびに風速

図4 冬季の地上からの高さの気温と外気温、日射量、相対湿度ならびに風速

5. アーケード内部の気温分布性状

5. 1 夏季の気温分布性状

夏季におけるアーケード内部の気温分布を、8月23日と24日の9:00から19:00まで2時間おきに図5と図6に示す。縦軸が地上からの高さ、横軸が温度である。縦軸上の「外気」は外部・屋上で測定した外気温である。2時間おきの時刻の選択は、測定を行った商店街を人々が利用する時間帯を考慮して行った。加えて、参考として同じ日の正午12:00および深夜23:00の垂直分布も示す。

図5と図6から、以下の特徴が指摘できる。

- ①一日を通して、地上1mの気温は外気温よりも高い。
- ②日中の気温は、上方ほど高い分布を示している。
- ③夜間は、垂直方向への気温分布の勾配は解消する。

①については、内部測定地点では、店舗から吹き出す冷氣の影響が小さいため、また後述のようにアーケード内部でおこっている空気流動の影響を受けにくいと、考えられる。全蓋式アーケードの場合では、両側の店舗から吹き出した冷氣の影響で、外部よりも内部・地上0.5mの気温が低かった²⁾が、今回対象とした片側式アーケードに接する店舗では、店舗の出入り口を常時開放していない場合が多いため、冷氣の吹き出しは少なく、逆の現象が見られた。

②については、地上1m～5.5mまでは大きな勾配がみられず、地上5.5m～6.5mの間で大きな勾配がみられることから、全蓋式アーケードの場合と同様²⁾、天井から約1m下までの範囲に暖かい空気が存在していたと考えられる。今回の測定結果では、勾配は最大で約3K/1mであり、最大で約11K/1mであった^{注3)}全蓋式アーケードの場合の約1/4の緩やかな勾配である。

また、同じく全蓋式アーケードの場合では、アーケードの屋根の内側表面温度が最高46.4℃で、屋根直下の気温が最高41.9℃とその差は4.5Kであった²⁾のに対し、今回の測定結果では、アーケードの天井の内側表面温度が最高49.0℃で、天井直下の地上6.5mの気温が最高36.7℃とその差は12.3Kと大きかった。

さらに、測定対象アーケードの天井面は開口率約50%のパンチングメタルが用いられ、その上方のアーケード最上部に排煙用のガラリが取り付けられている(図2参照)ことから、全蓋式アーケードの場合とは異なり、温度差換気がなされていたものと考えられる。すなわち、図2のアーケード左側の日除けの下方の開口部(柱がある部分以外)から空気が流入し、天井面のパンチングメタルを通過し、アーケード最上部のガラリから空気が排出される、という温度差換気がなされていたと考えられる。このことはさらに、アーケード内部に外気が侵入した直後の地上2.5mおよび地上3.5mの気温が外気温とほぼ同じであることから裏付けることができる。

これらのことから、前述の地上1mの気温が地上2.5mや地上3.5mの気温よりも高いことも説明が可能であると考えられる。すなわち、アーケードの内部・地上の開口部分とは反対側の店舗側の地上付近は、温度差換気の際におこっている空気流動の影響を受けにくく、暖かい空気が滞留していたと考えられる。

なお、道路側の地上6.5mと柱部分の地上3.5mの気温が他の気温よりも高いのは、これらの気温測定点はアーケードの屋根や日除けのガラスを支えるための鋼管に近いところに位置しており、日中はそこへ日射があたって付近の気温も上昇し、それが測定値に現れたためと考えられる。

③については、夕方になるとまず外気温が下がり、さらに日射がなくなった結果、アーケード上方の空気が暖められず、やがて、気温分布に勾配がなくなったと考えられる。その結果、温度差換気の効果は昼間に比べて小さくなり、放射冷却の影響で昼間に比べて低くなった外気温に比べて、内部の気温が高い状態が続いたと考えられる。

5. 2 冬季の気温分布性状

冬季におけるアーケード内部の気温分布を、1月18日の9:00から19:00まで2時間おきに図7に示す。加えて、参考として同じ日の正午12:00および深夜23:00の垂直分布も示す。なお図中の凡例などは、夏季の場合の図5および図6と同様である。

図7から、以下の特徴が指摘できる。

- ①一日を通して、地上1mの気温は外気温よりも高い。
- ②一日を通して、アーケード内部の気温は、上方から下方までほぼ同じ分布を示している。

①については、夏季と同様、地上1mの気温は外気温よりも最大約2K高く、これは全蓋式アーケードの場合²⁾とほぼ同じ値であった。これには、赤外線表面温度計によって測定されたアーケードに接する店舗1階の表面温度が地上1mの気温より一日を通して0.7～2.9℃高かったことから、建物からの熱流の影響が考えられる^{注4)}。

②については、日中の地上6.5mと19:00の地上2.5mを除いて、アーケード内部の気温はほぼ同じであった。夏季に比べて日射量が少なく、その結果アーケード上方の空気が暖められにくいと、夏季の場合に比べて温度差換気効果がほとんどなかったものと考えられる。ただし日中には、アーケード上方の気温分布にわずかながら勾配がみられ、少ないながらも空気流動もみられたと考えられる。このことは、日中の地上1mの気温が地上2.5mの気温より若干高かったことから推測される。

19:00の地上2.5mの気温が高いのは、店舗の看板に点灯されていた影響であると考えられる。夏季では看板周辺の気温が冬季よりも高いため、冬季に比べて看板の表面温度と気温に大きな差がないが、冬季では両者には大きな差があるため、測定値にその効果が現れたと考えられる。

全蓋式アーケードの場合²⁾では、冬季の夜間の気温は、上方ほど低い分布を示していたが、今回の測定ではこのような傾向は見られなかった。これは、全蓋式アーケードの上方部分は、ポリカーボネイト樹脂板を介しただけで外気に接しているのに対し、今回対象とした片側式アーケードの場合、パンチングメタルの天井の上方に更に消火足場が設置されており、直接外気に触れていないため、放射冷却の影響をほとんど受けていないためであると考えられる。

6. まとめ

アーケード空間の熱環境設計に資するため、長崎市に位置する新設された片側式アーケードを対象とし、夏季と冬季の2度に分けて内部の気温分布を中心に熱環境測定を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 1) アーケード内部の地上1mの気温は、全蓋式アーケードとは異なり、夏季と冬季ともに、1日を通して外気温より高かった。

図5 8月23日における気温の垂直分布の時間変化

図6 8月24日における気温の垂直分布の時間変化

図7 1月18日における気温の垂直分布の時間変化

- 2) 夏季の日中の気温は、上高下低の垂直分布を示し、アーケード内部の上層部には暖かい空気が存在していたが、全蓋式アーケードと同様、その厚さは約1m程度以下であった。
- 4) 冬季の日中の気温は、上方から下方までほぼ同じ垂直分布を示したが、これは夏季に比べて日射量が少ないためと考えられた。
- 5) 夏季の日中のアーケード内部では、アーケード側方の開口部から空気が流入し、最上部のガラリから排出されるという温度差換気による空気流動が見られたと推測された。

謝辞：調査にご協力いただきました長崎県市電通商店街振興組合の皆様、また風速計をお貸しいただいた熊本大学工学部石原研究室に篤く御礼を申し上げます。なお測定には、当時熊本県立大学生活科学部4年生の鬼木良子さん、町田友美枝さん、八幡真樹子さん、矢野詩史さんの多大な協力がありました。

<脚注>

- 注1) 都市の「半戸外空間」とは、「建築内部の室内空間と屋外空間の中間に位置する都市施設により形成される空間」のことである⁴⁾。
- 注2) 「道路の全面又は大部分をおおうアーケード」を「全蓋式アーケード」、「道路の側面又は両側に設けるアーケード」を「片側式アーケード」と呼ぶ。なお文献2)および3)では、「全蓋式」を「全蓋型」としている。
- 注3) 文献2)では、「最大で約6K/10mの勾配である。」となっているが、論文中のグラフからこの記述は誤りであり、「最大で約11K/1mの勾配である。」が正しいと考えられる。
- 注4) なお今回の測定では、道路上の気温の測定を行っていないため、道路上の塵埃などの影響については言及しないこととする。

<参考・引用文献>

- 1) 辻原万規彦, 小林正美, 中村泰人, 外山義: 西日本における都市のアーケードの成立および発展過程, 日本建築学会計画系論文集, 第524号, pp.215~222, 1999.10
- 2) 辻原万規彦, 中村泰人, 田中稔, 大塚順基: 温暖多照地域における全蓋型アーケード内部の気温分布性状, 日本建築学会計画系論文集, 第508号, pp.43~50, 1998.6
- 3) 辻原万規彦, 中村泰人, 田中稔, 岡村圭子, 梅宮典子: 温暖多照地域における全蓋型アーケード内部の温熱環境の評価, 日本建築学会計画系論文集, 第514号, pp.43~50, 1998.12
- 4) 辻原万規彦, 中村泰人, 田中稔: 都市の半戸外空間内部の温熱環境に関する地域の差異を考慮した評価方法の提案, 日本建築学会計画系論文集, 第519号, pp.101~108, 1999.5
- 5) 辻原万規彦, 平川真由美, 田中稔: 片側式アーケード内部の温熱環境に関する調査研究 その1 夏季の実測結果, 日本建築学会九州支部研究報告, 第40号・2 [環境系], pp.125~128, 2001.3
- 6) 辻原万規彦, 平川真由美, 田中稔: 片側式アーケード内部の温熱環境に関する調査研究 その2 冬季の実測結果, 空気調和・衛生工学会九州支部研究報告, 第8号, pp.75~80, 2001.5
- 7) 田栗奎昨著, 石丸太郎編纂: 長崎県の町繁昌記, p.344, 浜市商店連合会, 1983.1
- 8) 永田信孝: 新・ながさき風土記 地図と数字で見る長崎いまむかし, p.14, 長崎出島文庫, 1999.11
- 9) 中村泰人, 平岡久司, 西村浩一: 市街地空間における気温分布性状に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集報告集, 第364号, pp.49~50, 1986.6
- 10) 長崎海洋気象台: 長崎県気象月報 平成12年(2000年)8月, 長崎海洋気象台, 2000.8
- 11) 長崎海洋気象台: 地上気象観測原簿 平成12年(2000年)8月, 長崎海洋気象台, 2000.8
- 12) 長崎海洋気象台: 長崎県気象月報 平成13年(2001年)1月, 長崎海洋気象台, 2000.1
- 13) 長崎海洋気象台: 地上気象観測原簿 平成13年(2001年)1月, 長崎海洋気象台, 2000.1

[2001年4月19日原稿受理 2001年7月27日採用決定]