

外部測定地点は市庁舎前広場で、地面はブロックで覆われていた。太陽の南中高度が低いことを考慮して、広場の北寄りに測定地点を設定した。外部測定地点の天空率は、0.859であった。内部測定地点の平面図と断面図<sup>25)</sup>を図3と図4に、写真を写真1に示す。

また、測定を行った両日とも（12月10日・11日）、一日を通して概ね曇天であった。日没はおおよそ16:00頃と推測された。

(2) ミラノの測定地点

- ・測定日時：1996年12月17日（火）・18日（水）
- ・内部測定地点：Galleria Vittorio Emanuele II
- ・外部測定地点：Piazza del Duomo

両地点ともミラノ市の中心部に位置し、一日を通して人通りが絶えない。内部測定地点はドゥオモ前の広場とスカラ座前広場を結ぶ、観光名所でもあるガレリア・ヴィットリオ・エマヌエーレII世<sup>24)</sup>の内部である。外部測定地点はドゥオモ前広場であり、太陽の南中高度が低いことを考慮して、広場の北寄りに測定地点を設定した。外部測定地点の天空率は、0.762であった。内部測定地点の平面図と断面図<sup>25)</sup>を図5と図6に、写真を写真2に示す。

また測定を行った両日とも（12月17日・18日）、日中晴れ間が覗き、日が差すことがあったが、それ以外は曇天であった。日没はおおよそ17:00前と推測された。

(3) パリの測定地点

- ・測定日時：1996年12月21日（土）・22日（日）
- ・内部測定地点：Passage Jouffroy, 10, Boulevard Montmartre
- ・外部測定地点1：Palace de la Bourse
- ・外部測定地点2：Boulevard HaussmanとBoulevard des Italiensの交差点

測定地点は全てパリの中心部とモンマルトルの丘のほぼ中間の繁華街にある。内部測定地点のパサージュ・ジョフロワ<sup>26)</sup>・<sup>(注3)</sup>は1846年に建設され、中央部で直角に折れ曲がる構造を持つ。外部測定地点は、事情により途中で測定地点を変更した。21日の13時までは証券取引所の前の広場である。21日の15時以降はオスマン大通りとイタリア大通りの交差点の歩道である。太陽の南中高度が低いことを考慮して、両地点とも北寄りに測定地点を設定した。外部測定地点の天空率は、地点1が0.673、地点2が0.553であった。内部測定地点の平面図と断面図を図7と図8<sup>27)</sup>に、写真を写真3に示す。なお、断面図は入手できなかった。

また測定を行った両日とも（12月21日・22日）、一日を通して概ね曇天であったが、21:00ごろには霧雨が観測された。日没は17:00頃と推測された。

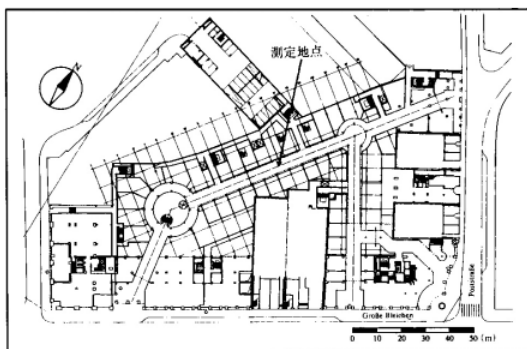


図3 ハンブルク内部測定地点平面図

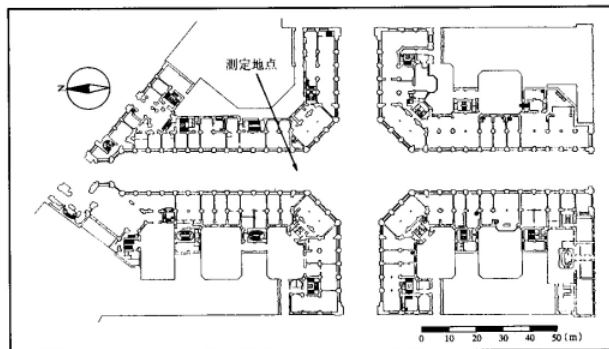


図5 ミラノ内部測定地点平面図

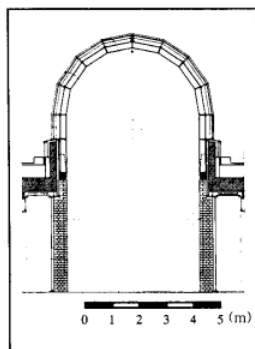


図4 ハンブルク内部測定地点断面図

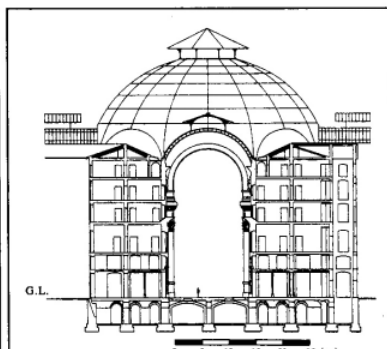


図6 ミラノ内部測定地点断面図



写真1 ハンブルク内部測定地点



写真2 ミラノ内部測定地点

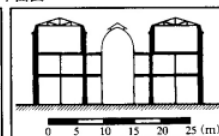


図8 パリ内部測定地点断面図



写真3 パリ内部測定地点

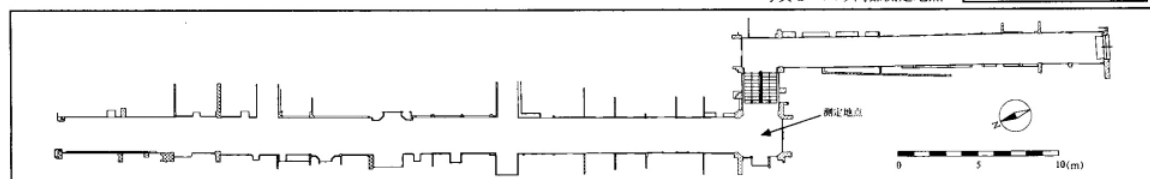


図7 パリ内部測定地点平面図

(4) 測定方法

表1に示す機器を用いた。測定時間は人々の利用時間帯を考慮して、午前9時から午後9時までとし、2時間おきに合計7回測定を行った。1回の測定は30秒間隔の10分間である。

内部の測定は、例えば午前9時の測定ならば、午前8時55分から10分間である。風速は、30秒間隔で測定したものの(30秒間の平均値)を書き取った。風向は、手製の簡易風向指示具によって可能な限り判断して書き取った。表面温度は、自動測定の開始前または終了後に手動で行い、書き取った。

外部の測定は、内部の測定終了後、速やかに測定地点まで移動後、可能な限り早く開始し、内部の測定と同様の手順で行った。

表面温度計の測定箇所は、各測定地点において、そこから見える代表的と思われる点を選定した。内部測定地点では30点前後、外部測定地点では15~20点前後をハンディモードで測定を行った。

表1 使用測定機器一覧

自動測定	気温 湿度 グローブ温度 日射 データロガー	T型極細熱電対 線径0.08mm(オメガ製) 温湿度センサ THP 2119A(江藤電気製) <sup>注1)</sup> グローブ温度計(自作) <sup>注2)</sup> 上下二面日射計 MR-22(英弘精機製) THERMIC 2100A(江藤電気製, リチウム電池使用)
手動測定	風速 表面温度	Tr式微風速計 AM-03(リオン製) 放射温度計 TA-0510(ミノルタ製)

注1) 温度センサの素子  
温度センサ: PT100Q4線測定法  
湿度センサ: 静電容量感湿素子(温度補償型, HY CAL ENGINEERING製)

注2) グローブ温度計  
黒塗りのピンポン玉(直径3.8cm) + 銅-コンスタンタン熱電対(線径0.32mm)

3.3 SET\*の算出

SET\*の算出には、1976年のGaggeらの文献<sup>28)</sup>に添付の計算プログラムのうち、1986年のGaggeらの文献<sup>29)</sup>に添付の計算プログラムで修正されている箇所を置き換えて使用した。クロ値は、2.0 clo、代謝量は1.5metとした。算出したSET\*に対しては、『ASHRAE HANDBOOK』において与えられている温冷感と快適感についての評価図<sup>30)</sup>(以下、評価図と称する)に従って、以下の分析を進めた。

なお、SET\*の算出に必要な平均放射温度については、次のようにして求めた<sup>2)</sup>。

算出しようとする平均放射温度を、日射によるものと長波放射によるものとに分け、中村らの立方体を基にした表現<sup>31)</sup>に従い、各面における日射の平面放射温度と長波放射の平面放射温度を求め、等価形態係数<sup>22)</sup>を用いて算出した。立方体の各面における日射の平面放射温度は、上下二面日射計による測定値を割り振ることによって算出した。長波放射の平面放射温度は、「代表的な表面温度を含む部分では、同じ表面温度を示す」と仮定して、代表的な表面温度の測定値に形態係数を乗じて算出した。ただし「天空の表面温度」については、測定値がないため、文献<sup>33)</sup>を参考として、計算で求めた。

3.4 測定結果

3.4.1 ハンブルクでの測定結果(12月10日・11日)

図9と図10に、ハンブルクの1日目(12月10日)と2日目(12月11日)の覆付街路内部(以下、内部と称する)と外部での気温とSET\*について、9:00~21:00まで2時間おきに示す。なお、ハンブルクの1986~1995年の過去10年間の12月の日最低気温および日最高気温の平均値は、それぞれ0.8℃および4.3℃である<sup>34)</sup>。測定値は-0.5~1.9℃であったから、過去10年の観測値に照らすと、かなり寒冷な状態であったことになる。図中の時刻は、

例えば「9:00」ならば、「9:00の測定時」の意味である。また凡例の「IN」が内部を、「OUT」が外部を表す。なお2日目(12月11日)は、事情により、内部では9:00~11:00、外部では9:00~13:00のみしか測定できなかった。

なおハンブルクの測定では、比較的热容量が大きく、時定数が大きいと考えられる上下二面日射計と温湿度センサの示度が、誤差と考えられる以上の値を示すことがあった。これは内部と外部の温熱環境に大きな差異があったことによると考えられるが、特に補正を行うことはしなかった。

評価図では、10℃以下に対する評価は示されていない。外部のSET\*は、両日とも10℃を越えることはなく、「very cold」で、「uncomfortable」な環境もしくはそれ以下の環境である。

内部のSET\*は、外部のSET\*に比べると、一日を通して高く、中立・快適域に近づいており、評価図によれば、「slightly cool」で、「slightly uncomfortable」と「comfortable」の中間の環境と、覆付街路によって内部の温熱環境は改善されていると言える。

また内部と外部の温熱環境には大きな差がある。これは覆付街路の出入口に設置されていたエアーカーテンによって内部がほぼ完全に閉じられた空間となっていたためと考えられる。内部の環境は、SET\*から判断すれば、比較的快適な環境であるが、内外の大きな差は、通行人の心理面へ影響を与えられ、どの程度の内外の差が許容されるのかについては今後の調査が必要である。

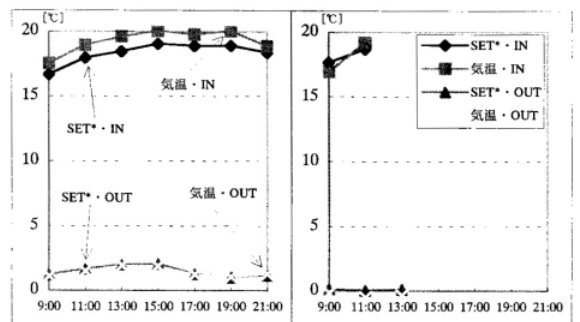


図9 ハンブルク1日目(12月10日)の気温とSET\*  
図10 ハンブルク2日目(12月11日)の気温とSET\*

3.4.2 ミラノでの測定結果(12月17日・18日)

図11と図12に、ミラノの1日目(12月17日)と2日目(12月18日)の内部と外部での気温とSET\*について、9:00~21:00まで2時間おきに示す。なお、ミラノの1986~1995年の過去10年間の12月の日最低気温および日最高気温の平均値は、それぞれ0.3℃および6.6℃である<sup>34)</sup>。測定値は5.9~9.4℃であり、測定時間は日中から夜間にかけてであったから、測定値は通常よりはやや温暖な状態を反映していると思われる。

評価図によれば、内部と外部はともに、「very cold」で、「uncomfortable」な環境もしくはそれ以下の環境である。

ミラノでは、昼間に日が差すことがあり、12月18日の13:00には外部のSET\*は内部のSET\*よりも高く、中立・快適域に近づいており、この時、覆付街路によって内部の温熱環境は改善されていない。しかしそれ以外は、内部のSET\*の方が、外部のSET\*よりも高く、内部の温熱環境は改善されている。また夜間では、内部のSET\*と外部のSET\*の差が昼間に比べて大きいのが、これは覆付街路上部の覆いにより放射冷却の影響を受けにくいためであ

ると推測される。すなわちミラノでは、覆付街路は、夜間については、内部の環境の改善に寄与しているが、昼間については寄与していないと言える。

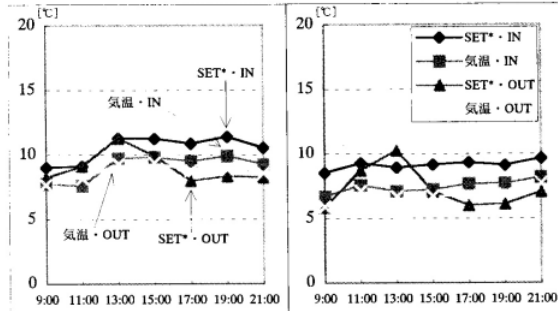


図11 ミラノ1日目(12月17日)の気温とSET\*  
図12 ミラノ2日目(12月18日)の気温とSET\*

### 3. 4. 3 パリでの測定結果(12月21日・22日)

図13と図14に、パリの1日目(12月21日)と2日目(12月22日)の内部と外部での気温とSET\*について、9:00～21:00まで2時間おきに示す。なお、パリの1986～1995年の過去10年間の12月の日最低気温および日最高気温の平均値は、それぞれ3.0℃および7.2℃である<sup>(注4)</sup>。測定値は5.8～7.6℃であり、測定時間は日中から夜間にかけてであったから、過去10年の間では標準的な条件下での値であるとみなし得る。両日とも21:00に小雨が降っていたため、測定を通常の半分の5分間で打ち切った。

評価図によれば、ミラノ同様、内部と外部はともに、「very cold」で、「uncomfortable」な環境もしくはそれ以下の環境である。しかし内部のSET\*の方が、一日を通して外部のSET\*よりも高く、中立・快適域に近づいており、覆付街路によって内部の温熱環境は改善されていると言える。これは測定を行った際に、外部から内部に入ってくると外部よりも内部の方が快適に感じたことと一致する。

パリではミラノと異なり、昼間は内外の気温とSET\*の差が大きい。ミラノでは空間が大きく、内部と外部の区切りがほとんどないが、パリではミラノより小規模な空間のため、内部の人々の活動に伴う発熱などの影響を強く受け、昼間は気温が上昇したと推測される。一方夜間には、人々の活動が少なくなったため、気温が下がり、それに伴ってSET\*が下がったと考えられる。

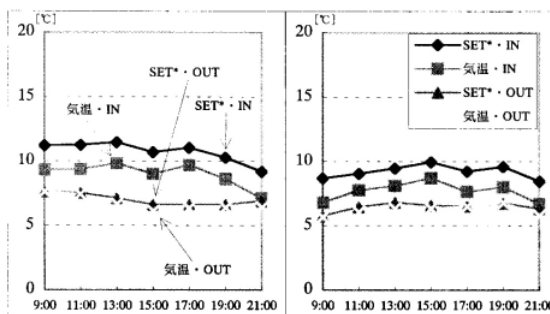


図13 パリ1日目(12月21日)の気温とSET\*  
図14 パリ2日目(12月22日)の気温とSET\*

## 4. 都市の半戶外空間内部の温熱環境の評価方法の提案

### 4. 1 半戶外空間内部の気候緩和とその評価方法

都市の半戶外空間は、様々な地域に様々な形態のものがみられ、屋外空間と室内空間の緩衝空間を創り出し、外界の気候を緩和している。半戶外空間の成立要因は自然環境と社会・文化的環境の2つに大きく分けられる<sup>(注5)</sup>。このうち以下では、自然環境、すなわち気温、日照、日射、湿度、降水量、風速・風向などの気候要素に着目する。

地理的差異があっても都市の半戶外空間内部の温熱環境の評価が共通してできるように、半戶外空間内部における気候が、室内空間の気候と屋外空間の気候の間のどの位置にあるかを把握し、屋外空間の気候に比べてどのように緩和・調節されているかを明らかにするための指標として以下に示す「気候緩和率」を提案する。

$$\text{気候緩和率} = \frac{(\text{半戶外空間内部のSET*} - 25^\circ\text{C})}{(\text{屋外空間のSET*} - 25^\circ\text{C})} \quad (1)$$

半戶外空間内部の温熱環境に着目して、室内空間のSET\*を中立・快適域の25℃とし、これと屋外空間のSET\*との間のどの位置に半戶外空間内部のSET\*が位置するかを表したものである。

気候緩和率は値が1の時に、半戶外空間内部と屋外空間の気候が同じであることを示し、半戶外空間内部では気候緩和がなされていないことになる。値が1よりも小さくなれば、半戶外空間内部の気候は屋外空間の気候に比べて緩和され、室内空間に近づいていることを示す。逆に1より大きくなれば、半戶外空間内部の気候は屋外空間の気候より厳しくなっていることを示す。

半戶外空間内部の気候の一日のうちの変化の様子の違いによって、図15のように、「加熱緩和型」半戶外空間と「冷却緩和型」半戶外空間に分けることができる。

加熱緩和型半戶外空間は、夏季に、内部空間の加熱・高温化を抑制する機能をもつ半戶外空間である。このような半戶外空間の内部では、昼間は強い直射日光を避け、気温の上昇が抑制されるため、その気候は外部の気候に比べて緩和される。一方夜間は、半戶外空間の周囲を建物が囲んでいること、また空気の動きが外部よりも小さいことなどから、放射冷却の影響を受けにくく、半戶外空間内部の気候は緩和されにくい。また周囲の建物の躯体における蓄熱による長波放射の影響もある。

冷却緩和型半戶外空間は、冬季に、内部空間の冷却・低温化を抑制する機能をもつ半戶外空間である。このような半戶外空間の内部では、夜間は放射冷却の影響を受けにくく、気温が低下しないため、その気候は外部の気候に比べて緩和される。また周囲の建物の躯体における蓄熱による長波放射や風速が外部よりも小さいことによる影響もある。一方昼間では、太陽高度が低いこともあり、外部からの日射を遮ってしまうために、外部に比べて気温が上昇せず、半戶外空間内部の気候は緩和されにくい。

また気候緩和率の一日のうちの変化の勾配の大小は、晴天か、もしくは曇天かで変化する。晴天では、勾配は大きくなり、曇天では小さくなる。気候緩和率の値の上下は、半戶外空間の形態による。半戶外空間の形態がより開放的で屋外空間に近い場合は、気候緩和率の値は1に近くなるが、閉鎖的で室内空間に近いときは0に近くなる。ただし1を越えれば、値が大きくなるほど再び閉鎖的な空間となる。

ここで、世界の気候をほぼ緯度の変化に対応させて、1)年間暑熱地域、2)季節暑熱地域、3)季節寒冷地域、4)年間寒冷地域の4地域に分ける<sup>(注6)</sup>。年間暑熱地域では、年間を通して加