431 都市温暖化の移動観測および都市空間の熱環境評価に関する研究

Study of Field Observation of Heat Island and Measurement Method for Thermal Environment

○正 山田 昇 (東北大・工研)

正 齋藤 武雄(東北大・工研)

Noboru Yamada and Takeo S. SAITOH

Dept. of Aeronautics and Space Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan

This paper describes the assessment of thermal environment in an urban street canyon under the urban heat island condition. First, the latest field observation result of ambient temperature is shown. Next, computer simulations for a radiant environment in an urban street canyon are conducted, and the results of simulations are discussed. Three-dimensional radiation model of urban street canyon is used for these simulations. The simulation results show that the characteristics of radiant environment in an urban street canyon.

Key Words: Urban heat island, Thermal environment, Urban street canyon, Field observation, Computer simulation, Thermal Comfort

1. 緒言

近年、東京などの大都市では、エネルギー消費量の増大や地表面性状の改変などによる都市温暖化 (Urban heat island, or Urban warming) が顕在化している⁽¹⁾。都市温暖化に関する研究は、おおまかに都市スケールと街区スケールとに分かれ、多岐にわたる研究がなされている。

本研究では、まず、都市スケールにおける都市温暖化の現状を明らかにするために、自動車による気温の移動観測を行った結果について報告する。次いで、街区スケールの観点で行った気温の歩行観測と放射環境シミュレーションについて述べる。とくに、放射環境シミュレーションでは、簡単なストリートキャニオンモデル (街区モデル) と人体モデルに基づいて、夏期の都市空間における人体への熱放射環境を解析した結果について報告する。

2. 移動観測

2.1 自動車による移動観測

都市温暖化の観測手法については、人工衛星によるリモートセンシングや定点観測などがあるが、自動車による移動観測の特長は、多地点における生データを最小限の観測機器で得ることができることである。

ここでは、猛暑であった2001年7月に東京を対象に行った自動車の移動観測結果について報告する。

図1(a),(b)に測定プローブと観測車の概要を示す。観測には、銅-コンスタンタン熱電対を用いた。移動観測の方法については、佐橋⁽²⁾⁽³⁾、河村⁽⁴⁾および吉田⁽⁵⁾の報告を参考にした。測定プローブは、底を抜いた筒に入れ、筒にはアルミ箔を巻いて放射を避け、自動車の屋根上のキャリアに固定した棒の先端に取り付けた。キャリアに固定した棒は可能な限り前方に出した。これは自動車の車体からの熱の影響をできるだけ受けないようにするた

めである。このような仕様の観測車を3台用意し、3コースに別れて観測を行う。測定コースは3つに分割し、測定点は温度勾配が大きいと考えられる都心部では密にし、合計379点とした。

図2は2001年7月23日の19:00~21:30にかけて行った気温の観測結果を示す。気象庁の観測データによると、観測日当日のこの時間帯では1.7℃の気温減少が生じたため、それに基づいて各測定地点における気温の時間補正を施している。これによると、気温が高いのは、大手町・丸の内付近、新宿、渋谷・六本木付近であり、ヒートアイランド強さ*は約4℃であった。

図3は、2001年7月24日の2:00~4:30にかけて行った結果である。この時間帯での気温の変化は0.6℃と小さかったため、時間補正は行っていない。新宿、渋谷付近で気温が高く、ヒートアイランド強さは夕方と同じく

Fig. 1 Observation car and probe

* 都心部と郊外の気温の最大差のことを言う。

Fig. 2 Observation result of ambient temperature (19:00, July 23, 2001)

Fig. 3 Observation result of ambient temperature (2:00-4:30, July 24, 2001)

Fig. 3 Climate condition from July 23 to July 24 in 2001

Table 1 Climate condition

Date	Maximum Temperature [°C]	Average Wind Velocity [m/s]	Average Relative Humidity [%]
July 23, 2001	35.6	2.1	63.0
July 24, 2001	38.1	2.4	60.0

Fig. 4 Field observation result around Shinjuku station (13:00-14:30, July 23, 1999)

約4℃となった。夕方、気温が高かった大手町付近は、新宿や渋谷付近に較べると気温は低くなっている。なお、観測日の気象条件を図4、および表1に示す。各データは気象庁発表値であり、7月23日の日最高気温は35.6℃、翌24日の日最高気温は38.1℃であった。

2.2 歩行観測

次に、1999年7月23日13:00～14:30に行った新宿駅付近の気温の歩行観測結果を図4に示す。測定プローブには同じく銅-コンスタンタン熱電対を用いた。この日の気象庁発表の最高気温は34.2℃であったが、新宿駅付近の気温は、これを1～2℃上回っており、局所的最高気温は37.2℃であった。実際に人々が生活する都市屋外空間には、このような局所的な気温差が存在し、このことが熱的快適性に大きな影響を与えている可能性がある。

3. 都市3次元空間の放射シミュレーション

3.1 都市での日射を含む放射環境

都市屋外空間では、人体が強い日射に晒される可能性が屋内に比べて格段に高く、加熱された建物・道路からの熱放射、日射反射、相互放射等の影響も屋内とは全く性質を異にしているものと考えられる。ここでは、3次元ストリートキャニオンモデルによる放射環境のシミュレーションを行って、都市3次元空間における人体への放射の強さや性質について検討する。

3.2 3次元ストリートキャニオンモデル

図5に示すような典型的な3次元ストリートキャニオンモデルを考えた。水平スケールは15 m×15 mで、建物の鉛直スケールは10 mである。このモデル中で人体は図6の人体モデル図に示すように0.4 m×0.3 m×1.0 m(モデル表面積: 1.36 m², 日本人の平均値は1.7m²)の立方体に近似できるものとし、計10面から構成されている。人体モデルは、図5の各地点(N3, N2, N1, CENTER, S1, S2, S3)のいずれかに位置するものとする。人体と環境との間の放射熱交換の計算、平均放射温度の算出評価などのためには、人体に対する形態係数が必要である。人体を直方体モデルで近似する手法については堀越ら⁽⁶⁾による

報告があり、その妥当性が評価されているが、将来的には、より人体形状に近づけることが望ましい。本モデルにおける面要素は建物、道路、天空面、人体の全部で3612面である。

Fig. 5 Three-dimensional urban street canyon model

Fig. 6 Rectangular solid as a model of human body

3.3 シミュレーション手法

東京での夏期の典型的な気象条件を想定し、ストリートキャニオンモデルに置かれた人体モデル各部位への放射フラックスを数値シミュレーションにより求める。放射伝熱解析に関しては、モンテカルロ法⁽⁷⁾による形態係数算出法を採用した。まず、各分割面における熱収支式を解くことによって表面温度を算出する。建物の窓や起伏などの影響は無視し、各表面は一様であると仮定した。路面はアスファルト、壁面はコンクリートの代表的な物性値を設定した。各分割面の表面温度が決定した後、人体モデルに対する熱放射場を解析

する。人体を含んだ熱放射に関する相互反射解析法に関して、堀越ら⁽⁸⁾は閉空間および屋外空間での2次元の相互反射解析を行うため、Net Radiation法を用いて人体を含んだ相互放射を考慮した平均放射温度を求めている。本研究では、堀越らの手法を応用し、3次元空間に拡張した。

3.4 シミュレーション結果

午後2時における各分割面からの短波長および長波長放射度を図7および図8に示す。いずれも直達日射の当たる路面からの放射度が高い。長波長放射度は短波長すなわち日射反射分の放射度に比べて約3倍以上大きい。図9にはこのときの人体モデル各部分への周囲からの熱放射フラックスを示す。これは人体モデルが地点CENTERにある場合の結果で、このとき人体は直達日射を受けている。S1, S2面とTOP面は、直達日射の強い影響を受けている。BTM面は直達日射は当たらないが、路面からの長波長放射および日射反射の影響が強い。

Fig. 7 Short-wave radiosity distribution

Fig. 8 Long-wave radiosity distribution

Fig. 9 Radiative flux at the elements of human body

Fig. 10 Variation of the Mean Radiant Temperature when the human body moves from the point N3 to S3

次に、図10にストリートキャニオンモデル各地点における場所別の平均放射温度MRTおよび各部位での部分平均放射温度MRT_mの変化を示す。これは、人体モデルが図2の地点N3からS3まで移動したときに受ける放射環境に対応している。これより、ストリートキャニオン中を移動する人体は、短時間に強度の熱放射の変化(強度、不均一性)に晒されることがわかる。このことが熱的快適性に影響を及ぼすものと考えられる。

3.5 実在の都市空間への適用

本シミュレーション手法を東京都新宿区歌舞伎町の実在の街区に適用した例を示す。図11がその場合のストリートキャニオンモデルである。人体モデルは図中のP1地点(ひなた)に位置している。前述のモデルと同様の計算条件で算出された人体モデル各部分への周囲からの熱放射フラックスを図12に示す。これより前述の図9と比較して、全体的に放射フラックスが大きくなっていることがわかる。この主な原因としては、前述のモデルに比べて、実際の街区モデルの方が人体モデルに影響を及ぼす壁面および路面の面積が大きいことが挙げられる。

Fig. 11 Urban street canyon model for actual city

Fig. 12 Radiative flux at the elements of human body in actual urban street canyon model

4. 結言

本研究により、以下の知見を得た。

- (1) 東京における移動観測により、猛暑であった2001年7月のヒートアイランドの実態を明らかにした。
- (2) 夏期の日射を伴う都市空間における人体への熱放射の強度と不均一性は場所によって大きく変動し、熱的快適性に大きな影響を及ぼしている可能性があることを数値シミュレーションによって明らかにした。

参考文献

- (1) 齋藤武雄, ヒートアイランド, 講談社ブルーバックス(1997).
- (2) 佐橋謙, 天気, vol.30, No.10 (1983), pp.21-26.
- (3) 佐橋謙, 岡山大学教育学部研究収録第81号別刷 (1989), pp.1-8.
- (4) 河村武, “自動車による気温の移動観測について,” 天気, vol.4, No.11 (1957), pp.13-16.
- (5) A.Yoshida, Proc. the 2nd Japanese-German Meeting on Climate Analysis for Urban Planning, Kobe, pp.114-118.
- (6) T.Horikoshi and Y.Kobayashi, Trans. of Architectural Institute of Japan, No. 253, March, (1977), pp.91-102.
- (7) 大森・谷口・工藤, 空気調和・衛生工学会論文集, No.42 (1990), pp.9-17.
- (8) 堀越・鄭他, 日本建築学会計画系論文集, No.493 (1997), pp.77-84.