

[別紙2]

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名     リ   ルーベン   ミンクアン

都市部では、ヒートアイランド現象で代表されるように周辺よりも気温が高くなり、また気候変動の現実化も相まって、夏季の熱中症のリスクが高まっている。屋外における熱中症の発生は、夏季の酷暑気候を根本的な原因としながらも、建物、樹木、道路から構成される屋外空間と、人間側の生理学的応答に依存する。高齢者を含む多様な人びとの熱中症を防止し、快適な屋外空間を構成することは都市環境工学の課題である。

本論文はこのような認識の元に行われたもので、「The Impact of Urban and Individual Characteristics on the Thermal Physiology of Pedestrians」と題し、9章からなる。

第1章では、本研究の課題にかかわる都市熱環境の背景を述べ、研究を進めるにあたっての基本的な方針と目的を示している。

第2章では、既往研究のレビューであり、気象学および都市環境学分野において発展してきた都市熱環境解析の研究と、生気象学分野における人間の生理学的応答に関する研究を整理し、研究上の課題を示している。

第3章では、研究の枠組みを簡潔にまとめている。

第4章は、実験の基本的な設計について述べた章である。

実験は、東京都内の高緑被地、中高層商業地、低層住宅地を実際に選定し、そこで夏季の午後に複数の被験者を歩行させた屋外実験と、夏季の気温に制御された室内環境下で年齢と性別が異なる被験者を歩行させた室内実験から構成された。いずれの実験においても、深部体温、皮膚温度の変化及び発汗量の測定を行い、また屋外実験においては地区を代表する気象要素を屋上で測定する一方で、歩行被験者とともに移動する状況下で気象要素を測定している。これらの実験計画は既往の知見に基づき、緻密に計画されたものである。

第5章では、実験結果を示し、その解析を行っている。

まず、夏季を模した室内実験においては、性別と年齢差、それに加えて各個人によって異なる体格が歩行時の生理学的応答に与える影響について実験結果を解析している。肥満度を表すBMIが大きいほど深部体温及び皮膚温度が高いこと、歩行に伴う皮膚温度上昇分とBMIあるいは性別・年齢との相関は有意ではないことも示している。一連の実験における発汗量はBMIが大きいほど多いこと、男性の方が女性よりも大きいことを統計的に示している。これらの結果は、平均的な人間の生理学的応答の解析をするにあたって通常行われる「西洋人の若年男性」の想定は、単純化しすぎていることを示している。

次に20歳代の男性を被験者とした屋外の実験に関しては、それぞれの地区の建物屋上、地上固定観測、移動観測の3者の気象要素の測定値が必ずしも一致しないことから、きめ細かい観測の必要性を指摘している。歩行に伴い、皮膚温度と気象要素の間には相

関があることを見いだした。放射が強い最暑時間帯では風速が皮膚温に与える影響は小さいが、放射が弱い夕方では風速が大きいほど皮膚温が低下した。この屋外実験でも、BMI が大きいほど発汗量は多かった。また、歩行後に日陰で着座して回復する時期には気象要素に比べ、個人の生理学的相違が支配的になった。

第6章では、屋外歩行実験を行った3地区に対して流体モデルである ENVI-met を適用する際の建物、樹木の扱い、人体エネルギー収支モデルの改良について、本研究の独自の点を説明している。

第7章では、3カ所の対象地区に対して、風速、放射温度、気温、相対湿度、について、屋外実験の結果とモデルの計算結果を比較しており、実際の現象との間に数値的なずれがあるものの、仮想的なシナリオの元での熱環境の予測に ENVI-met が使えることを示している。また、人体エネルギー収支モデルについては、本研究で提案している改良モデルの方が従来モデルよりも適合性が高いことを示した。次にこれらのモデルを用いて、緑被の存在効果を、対象の高緑被地に対するシミュレーションで評価し、緑被による風速変化の効果よりも放射温度低下効果が大きいことを示した。平均皮膚温のシミュレーション結果を見ると、BMI の違いによる効果と緑被の有無による効果が同程度であることを示している。発汗量に対しては、緑被の効果よりも BMI の相違の方が大きな影響を与えることを示している。次に高反射性の壁面または道路の効果を中高層商業地域を対象に評価し、これらは屋外の放射環境を悪化させることを示した。特に道路が狭い地域では高反射性壁面による放射温度の上昇が大きく、高齢女性の場合その影響による平均皮膚温度の上昇が大きいことを示している。

第8章は横断的な議論の章であり、人間の熱応答に対する都市側の影響と個人の体型、性別・年齢の影響を議論し、また研究手法としての屋内外の実験とモデルについて考察を加えている。

第9章は結論で、研究成果をまとめると共に、将来の発展性について考察を加えている。

本研究は、都市における暑熱環境と人体への影響を対象としており、街区規模での都市空間構成要素と人間の生理応答の両面が与える効果に関して、実験による実測とモデルを組み合わせた研究である。本研究は、多くの知見を与えると共に、この分野の更なる発展と実際の政策への応用を示唆しており、意義が深い。

以上、本研究において得られた成果には大きなものがあり、本論文は環境工学の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。