

都市熱環境解析用地図の作成とその応用 — 街区規模での熱環境特性とエネルギー消費の解析 —

ECOLOGICAL CARTOGRAPHIC RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN
LOCAL CLIMATIC CONDITIONS AND ENERGY CONSUMPTION

上野賢仁*

谷川寛樹**

井村秀文**

Takahito UENO*, Hiroki Tanikawa** and Hidefumi IMURA**

ABSTRACT; Ecological cartography was developed in order to visualize the spacial characteristics of urban climatic conditions. The maps were made using data obtained from a questionnaire. Using these data, we performed an analysis on the scale of street corners for Kumamoto City. This study was conducted in five districts that were 300m × 300m in size. Questionnaires were sent to the residents in these districts in order to investigate the relationship between their perceptions about the local climatic conditions in their neighborhoods and their energy consumption for household heating and air conditioning. The results showed that these two factors had fairly good correlation.

KEYWORDS; Thermal environment, Ecological cartography, Urban climate, Local climate, Household energy consumption

1. はじめに

都市熱環境に関する研究の1つの目的は、都市気候のコントロールによって、都市の住みやすさ（アメニティー）を向上させ、また、都市のエネルギー消費を低減させることである。この目的を達成するためには、気象観測や数値シミュレーション等の解析が不可欠であるが、その際、都市熱環境に関連する様々な情報の整備が前提となる。これらの情報を収集すると同時に、それを都市熱環境の視点から体系的に整理することによって、都市熱環境を解析または管理する上で有用な情報を選択的に抽出することが必要である。このとき、都市の熱環境特性は土地利用等の面的特性と密接に関連するため、関連データを面情報として整備することが不可欠となる。

都市規模の熱環境特性図を作成する際には、国土数値情報やリモートセンシングデータ等の既存情報の利用が有効である。これらの情報からは、緑被率やコンクリート構造物の分布図、月別の気温分布図等を作成することができる^{1), 2)}。しかし、これらの情報は、利用が比較的容易で且つ広範囲の熱環境特性を把握できるという反面、空間的精度の面で限界がある。ここで、都市規模から街区規模まで、気温やエネルギー消費等の熱環境解析に用いる情報を整備することができれば、さらに進んだ議論が可能となるが、街区規模の詳細な情報を得るためには独自の調査を実施する必要がある。また、都市の熱環境特性に関連した様々な面情報を整備すると同時に、それらの情報と暑さ、寒さ、過ごしやすさなどに関する市民の生活実感、家庭のエネルギー消費の実態データとの関連づけができれば、都市の熱環境解析はさらに一歩進展するものと思われる。

本研究では、街区規模の比較的狭い領域を対象として、特に住民の主観（感じ方）に基づいた熱環境の面的特性区分とエネルギー消費に着目した熱環境特性地図の作成を試みる。次いで、作成した熱環境特性地図に基づき、その場所に生活する市民の生活実感に基づく熱環境特性とエネルギー消費実態との相互関係を解析する。具体的には、熊本市内の街区規模の5つの領域を対象として住民アンケート調査を実施し、生活実感（夏と冬の快適さ）による熱環境特性とエネルギー消費について調査して分布図を作成し、対象都市内の比較的狭い領域を単位とした熱環境とエネルギー消費の関係について解析した。その結果、両者の間にはかなり良い相関が

* 熊本工業大学土木工学科 Department of Civil Engineering, Kumamoto Institute of Technology

** 九州大学工学部環境システム工学研究センター Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

発見された。以上の解析結果に基づき、都市熱環境解析に必要な熱環境特性地図の内容について考察する。

2. アンケート調査による街区規模の熱環境特性地図の作成

前述のように、国土数値情報等の既存情報を利用した解析では空間的精度に限界がある。即ち、国土数値情報では約1 km × 1 km、衛星データでは30m × 30m程度 (LANDSAT衛星) の分解能である。より詳細な街区規模の情報を得るためには独自に調査を実施する必要がある。例えば、久保田ら³⁾は、街区規模の放射環境に注目した観測に基づき、微気候から見た街区計画の評価を試みている。また、石原ら⁴⁾は、公園周辺の気温分布の測定と同時に周辺住民に対するアンケート調査を実施し、公園の冷却効果について調査している。この様な物理的データや住民意識についての調査を実施すれば都市内の熱環境特性についての詳細な検討が可能となる。

2.1 調査の概要

熊本市内の街区規模の5つの領域⁵⁾を解析対象としてアンケート調査を実施し、住民の生活実感に基づく夏と冬の快適さとエネルギー消費の関係について調べた。調査の概要を表1に示す。また、対象領域の位置を図1に示す。各領域の大きさは300m × 300mである。領域の選定にあたっては、市街地と郊外のどちらか一方に片寄らないように配慮した。領域BとDは市の中心部、A、C、Eは郊外である。各領域の地上面積に占める住宅敷地面積及び道路占有面積の割合を表2に示す。

調査では、対象領域内の全家庭を対象として質問表と返信用のはがきを配布し、郵送で返信してもらう方法を採用した。なお、対象とした住居は基本的に一戸建のみである。はがきには整理番号を付けて位置を特定した。具体的な質問項目を表3に示す。エネルギー消費については、毎月の電気、灯油、ガスの使用料金を回答 (自動払込に用いている預金通帳から転記) してもらった。この作業がかなりの労力を要するために回収率は低かったが、予めそれを見込んで多数配布したため総計86の回答を得た (回収率16.1%)。

2.2 都市規模から見た各領域の熱環境特性

本研究では上記のような考え方によって熊本市内の領域を対象として選んだが、その熱環境特性には、地域によって差があると考えられる。この差は、街区規模の熱環境特性を議論する場合、各領域の「バックグラウンド」としての熱環境特性の差と考えることができる。つまり、都市規模で見た大きな変化の上に、街区規模の微細な変化があると考えられる。特に、地点の異なる複数の街区規模の領域について議論する場合、この差を把握しておく必要がある。そこで、LANDSATデータを用いた表面温度分布と、国土数値情報の1つとして提供されている平均気温⁶⁾の分布図から各領域の熱環境特性を見ることにした。

図2は、1988年4月15日午前10時に撮影されたLANDSATデータから作成した輝度温度分布である。この図で見ると、A～Eの各領域の温度はそれぞれ約29.0℃、29.0℃、25.0℃、28.0℃、26.0℃である。郊外の領域CとEは、市の中心部の領域BとDに比べて3～4℃低いことがわかる。特に、海と河川に近い領域Cが

表1 調査の概要

調査名	夏と冬の暮らしの快適さとエネルギー消費に関する調査
調査時期	平成9年4月23日～30日
調査方法	配布 (質問票、はがき)、郵送回収
調査地	熊本市の5つの領域
配布数	535件 (地域A:57, B:166, C:99, D:65, E:148)
回収数	86件 (地域A:9, B:35, C:15, D:5, E:22)
回収率	16.1% (地域A:15.8%, B:21.1%, C:15.1%, D:7.7%, E:14.9%)

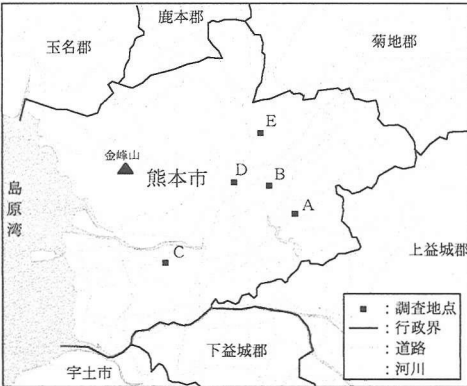


図1 調査対象領域の位置

表2 対象領域における住宅敷地および道路の占有面積の割合

領域	住宅敷地面積の割合	道路占有面積の割合	その他 (住宅、道路以外)
A	18.5	19.5	62.0
B	27.0	18.5	54.5
C	14.5	7.0	78.5
D	39.5	14.5	46.0
E	22.0	12.0	66.0

表3 調査項目

〔住居について〕	1. 住居の形態, 2. 構造, 3. 断熱材, 4. 住居の窓, 5. 築年数, 6. 居住年数, 7. 住宅床面積, 8. 部屋構成
〔夏と冬の快適さについて〕	9. 夏の過ごしやすさ (複数回答可), 10. 冬の過ごしやすさ (複数回答可), 11. 夏の快適さ (5段階評価), 12. 冬の快適さ (5段階評価)
〔エネルギー消費について〕	13. 電気, 灯油, 都市ガスまたはプロパンガスの毎月の使用量

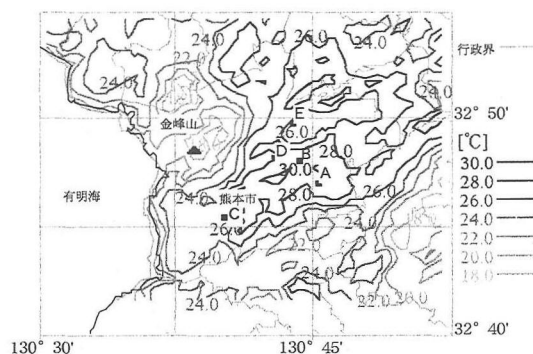


図2 熊本市の輝度温度分布 (LANDSAT データによる) と調査対象領域

低い値となっている。また、図3 (a) は国土数値情報から作成した8月の平均気温の分布図である。この図より、A～Eの各領域はそれぞれ約27.7℃、27.9℃、27.0℃、27.9℃、27.8℃の領域に位置しており、やはり領域Cが最も低い値になっている。同様に図3 (b) は、国土数値情報より作成した1月の平均気温の分布図である。A～Eの各領域はそれぞれ約4.5℃、4.6℃、4.9℃、4.8℃、4.6℃である。冬では逆に領域Cが最も高い値になっている。しかし、国土数値情報では地域による細かな差は検出されていない。

2.3 夏と冬の快適さの分布

質問票の回収結果から、各領域について、住民が感じ

ている夏と冬の快適さの分布図を作成した。回収率が低かったため空間的に詳細な分布図を作成することはできなかったが、地域的にかなり明確な相違、特徴が現れた。回収数が比較的多かった領域B、Eの結果を図4 (a)、(b) に示す。これらの図から300m×300mの狭い領域内でも快適さの細かな違いを見ることができる。例えば図4 (b) では、南北に小さな川が流れているが、そのすぐ側に位置する住宅では何れも「そばに川が流れているので涼しく過ごしやすい」と答えている。もちろん、周辺環境条件のほかに、住居構造の違いによる影響も考えられる。同様に図5は冬の快適さを示したものである。また、図6と図7はそれぞれ夏と冬の快適さを5段階評価で示したものである。

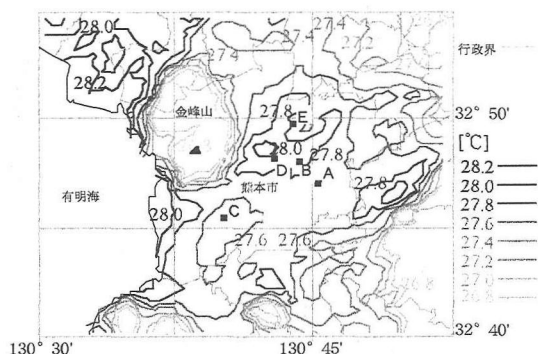
2.4 エネルギー消費の分布

エネルギー消費については毎月の使用量を調査したが、世帯によって消費量の絶対値にはバラツキが生じることが予想された。このため、1～12月の平均消費量に対する8月及び1月の消費量の比を用いることによって正規指数化した。図8 (a)、(b) は領域BとEの8月の電力消費について示したものである。同様に図9は8月のガス消費について示したものである。なお、灯油については消費量を正確に把握していない例が多いため除外した。また、図10は1月の電力消費について、図11は1月のガス消費量について示したものである。

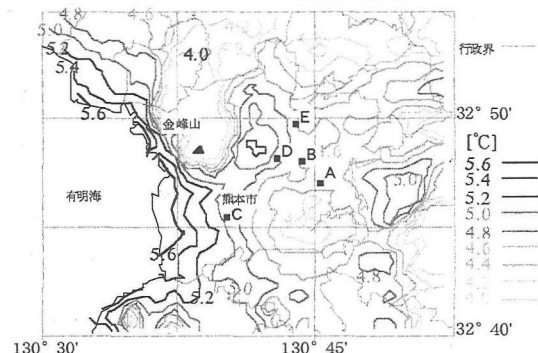
図4～図11の分布図は、調査内容の特性上、多数の回答が得にくいためサンプル数が限られており、衛星データや国土数値情報を用いた都市域の広範囲の分布図の場合のように等高線を描くまでには至らなかった。しかし、領域内のもっと多くの家庭から情報が得られれば、等高線を描くことも可能であると考えられる。また今回の調査では、調査内容を夏と冬の快適さとエネルギー消費に限定したが、この点も改善の可能性は十分にある。

2.5 夏と冬の快適さとエネルギー消費の関係

次に、回答者が主観的に感じている夏と冬の快適さの意識とエネルギー消費の関係を見た。ここでは、まず、対象とした各領域ごとのエネルギー消費特性 (電気のみ) の違いを見た。次に、A～Eの全領域のデータを使



(a) 8月の平均気温の分布



(b) 1月の平均気温の分布

図3 熊本市の8月と1月の平均気温分布 (国土数値情報による) と調査対象領域

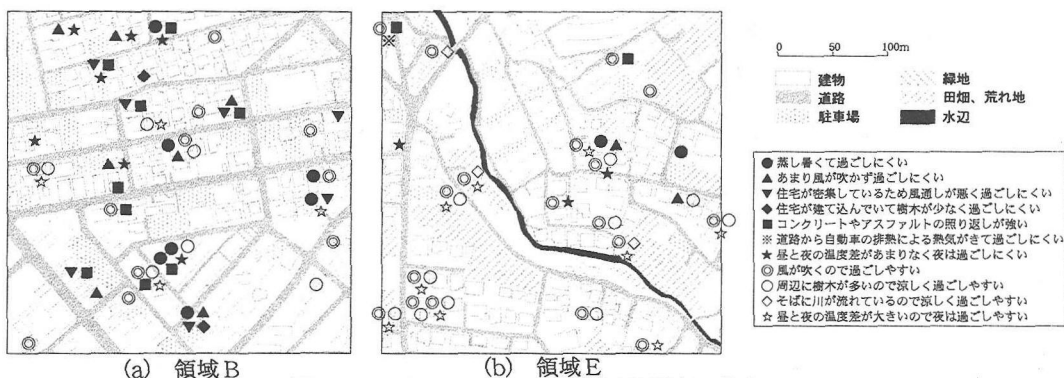


図4 アンケート調査による夏の快適さの分布

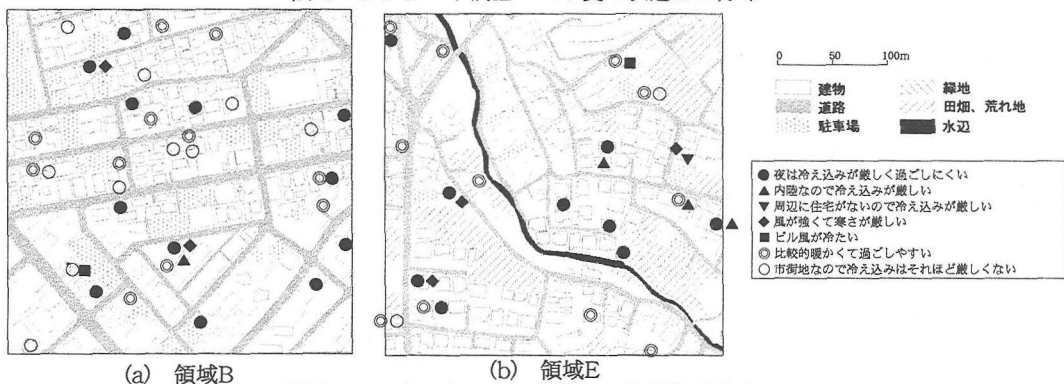


図5 アンケート調査による冬の快適さの分布

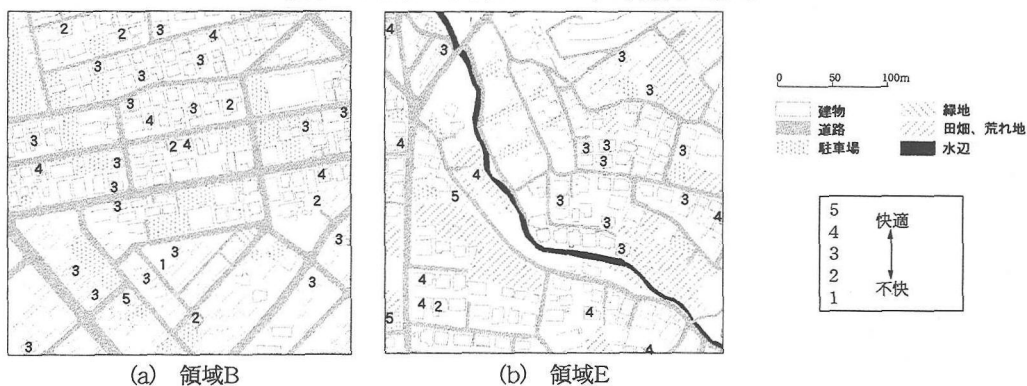


図6 アンケート調査による夏の快適さの5段階評価

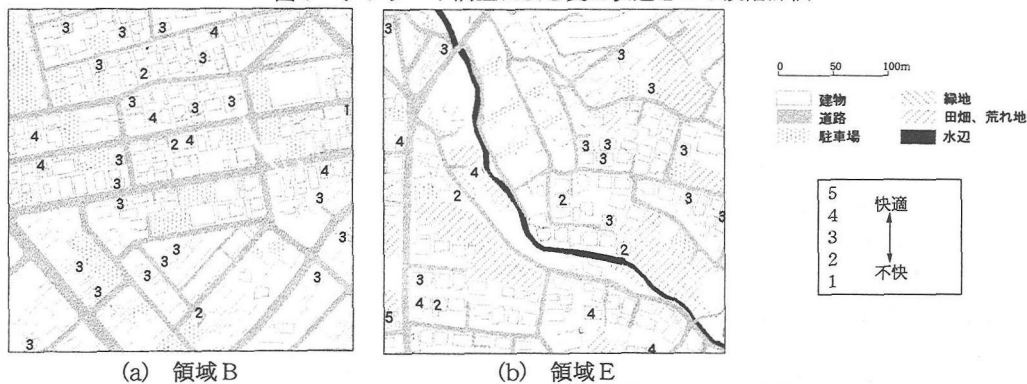
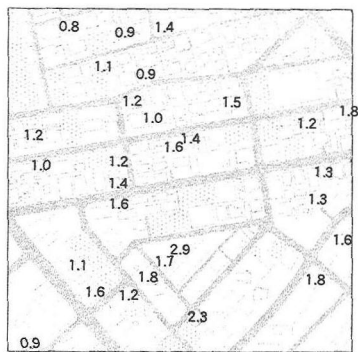
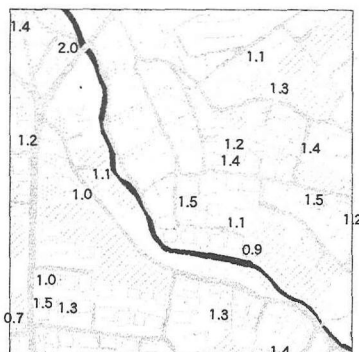


図7 アンケート調査による冬の快適さの5段階評価

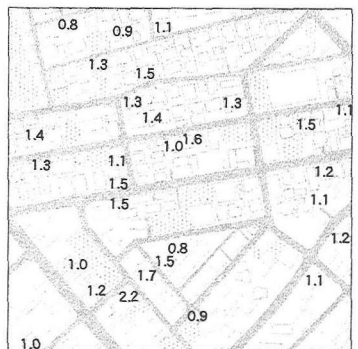


(a) 領域B

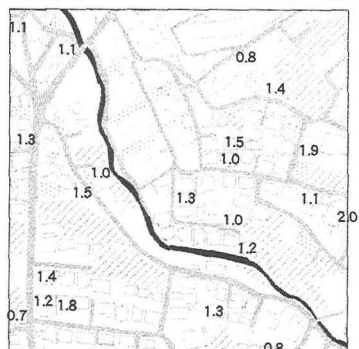


(b) 領域E

図8 8月の電気消費量(1~12月の平均値に対する比)

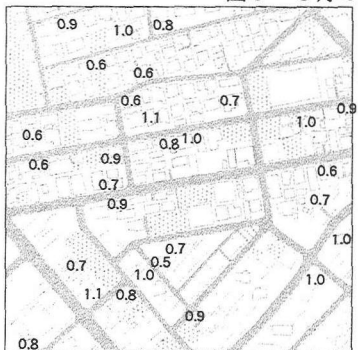


(a) 領域B

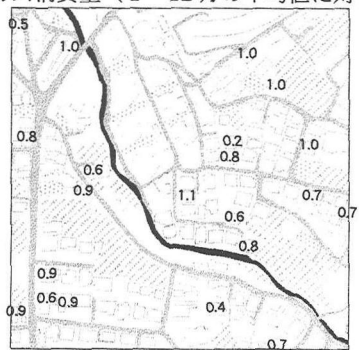


(b) 領域E

図9 8月のガス消費量(1~12月の平均値に対する比)

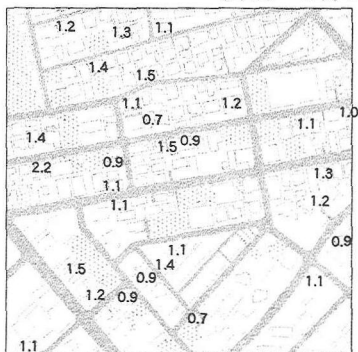


(a) 領域B

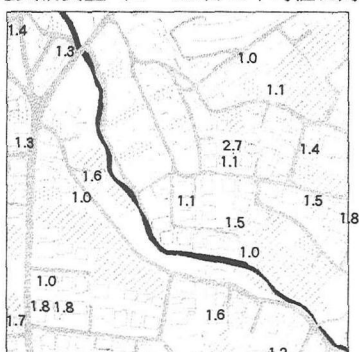


(b) 領域E

図10 1月の電気消費量(1~12月の平均値に対する比)



(a) 領域B



(b) 領域E

図11 1月のガス消費量(1~12月の平均値に対する比)

用して、夏と冬の快適さ（生活実感）とエネルギー消費の関係を見た。

(1) 対象領域ごとのエネルギー消費特性（電気のみ）

今回の調査では、それぞれ特性の異なる解析対象領域を選んだため、都市レベルで見た場合に2.2の解析と同様にエネルギー消費の特性にも違いがあるものと思われる。そこで、領域ごとに月別電気料金の平均値を比較した。これを図12に示す。図12 (a) は一世帯当たりの電気料金で見たものである。この図から、熊本市中心部の領域Dで8月の電気使用量が多いことがわかる。なお、領域Aは郊外であるにもかかわらず電気使用量が多くなっているが、これはデータ数が少なく片寄った値になったためと思われる。図12 (b) は、電気料金を住宅床面積で割った単位床面積当たりの電気料金を比較したものである。データ数の少ないAとDの領域を除外して見れば、市の中心部である領域Bで8月の電気使用量が多く、郊外の領域CとEで少ないことがわかる。

(2) 夏と冬の快適さ（生活実感）とエネルギー消費の関係

図13は、夏と冬の快適さとエネルギー消費の関係を示したものである。ここで、エネルギー消費は2.4と同様に、1～12月の平均消費量に対する8月と1月の消費量の比を用いた。図13 (a) からわかるように、夏の快適さと電力消費量の間には明確に負の相関が見られた。これは、夏の快適さが冷房機器の使用頻度に最も影響するためと考えられる。また、ガスについては夏の快適さとの間に明確な相関はなかった。一方、冬の快適さもエネルギー消費に影響するものと予想されるが、図13 (b) に示すとおり、両者の間に明らかな関係は見い出せなかった。なお、電気、ガスの8月の値の平均は、それぞれ1.38、0.77、1月の値の平均は1.23、1.32であった。

図14は、夏と冬の快適さとエネルギー消費量の絶対量の関係を電気料金だけで見てみたものである。ただし、ここでは一人当りの金額ではなく世帯ごとの金額を用いている。図14 (a) は、夏の快適さとエネルギー料金の関係を示したものである。この図から、不快の「1」を除外して見れば、図13 (a) の場合と同様に、両者の間にはほぼ負の相関がある。図14 (b) は、冬の快適さとエネルギー消費にかかる料金の関係を示したものである。快適の「5」を除外すれば、冬の快適さとエネルギー消費にかかる料金の間にはほぼ正の相関がある。

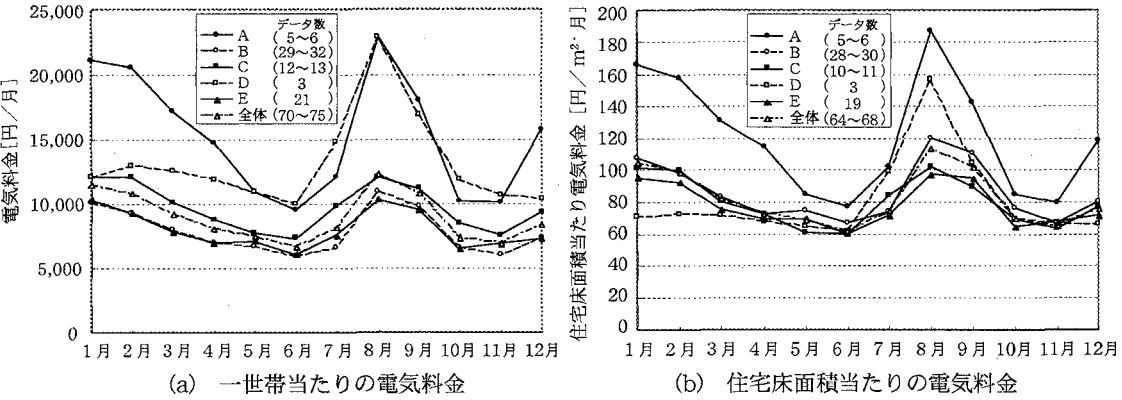


図12 対象領域における月別電気料金の変化

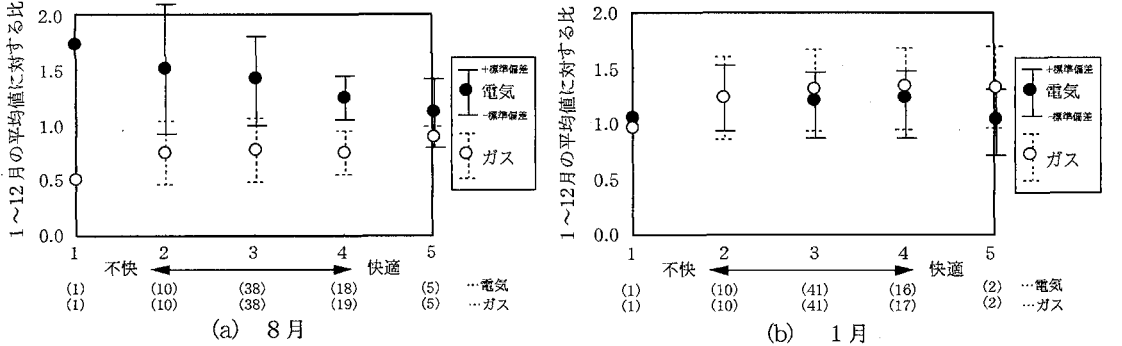


図13 夏と冬の快適さとエネルギー消費の関係 (注：カッコ内はデータ数)

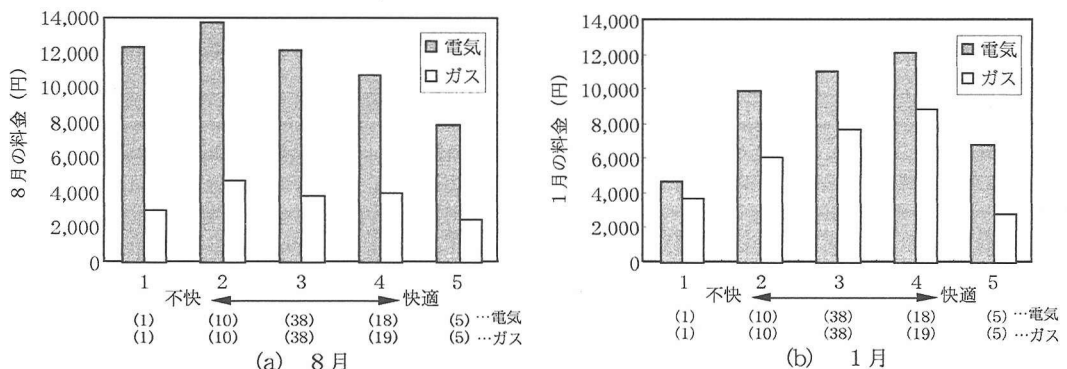


図14 夏と冬の快適さとエネルギー料金の関係 (注：カッコ内はデータ数)

3. おわりに

リモートセンシングデータや国土数値情報等の既存のメッシュ情報を利用して作成した熱環境特性地図は、作成が容易な点で有用である。しかし、利用するデータによってその分解能には限界がある。街区規模の詳細な情報を得るためには、現時点においては独自の調査を実施しなければならない。通常このような調査は、個人情報把握する調査になるため空間的位置の特定に困難が伴い、詳細な分布図の作成は容易ではない。また、そのような理由からか調査の実施例は少ない。本研究における住民調査を利用した解析では、比較的狭い領域に限定して、そこに存在する全家庭を対象としたアンケート調査を試みた。その結果、街区規模では道路や周辺の建物との位置関係によって、快適さやエネルギー消費にかなりの違いがあることが確認された。ただし、今回の調査方法では十分な回収率が得られなかったため、調査結果には住居形態の違いや回答者の主観による影響も強いものと思われる。この点については、訪問調査等により回収率を上げることができれば、より信頼性の高い調査結果が得られるものと思われる。今後は、このように街区規模で熱環境に関する情報を収集していくことにより、熱環境特性地図と住民の生活実感、家計のエネルギー消費に関する相関関係についてのより詳細な分析が可能になると考えられる。また、そうした結果が蓄積されれば、都市の快適性を高め、エネルギー消費削減のための都市環境整備の方法について、知見の向上が期待できる。

そこで本研究では、熊本市の5つの領域を対象としてアンケート調査を実施し、熱環境から見た夏と冬の快適さとエネルギー消費（電気、灯油、ガス）について、街区規模の地域を単位とした住民アンケート調査を行った。この調査結果を基に、夏と冬の快適さとエネルギー消費の関係について考察した。その結果、街区規模では道路や周辺の建物との位置関係の違いによって夏と冬の快適さやエネルギー消費にかなりの違いがあることが確認された。今後、調査の実施時期、住居の属性や住宅の構造、建物特性といった質問項目等、調査及び分析方法の改善を図るとともに、住民調査の回収率を上げ、さらに精度の高い解析を行うことを企図している。

謝辞： 本研究における調査の実施に当って、アンケートにご協力頂いた方々に、ここに記して感謝致します。

《参考文献》

- 1) 井村秀文, 上野賢仁: 都市熱環境解析のための知識データベースの開発研究, 「都市熱環境に配慮したインフラストラクチャ整備に関する総合的研究 (06302051) 平成6年度～平成8年度科学研究費 (基盤研究 (A) (1)) 研究成果報告書」, pp.92-104, 1997.
- 2) 上野賢仁, 井村秀文: 都市熱環境解析システムに関する研究－熊本市のケーススタディー, 環境システム研究, Vol.24, pp.569-573, 1996.
- 3) 久保田孝幸, 花木啓祐, 一ノ瀬俊明, 小宮英孝, 神島奈央子: 微気候からみた街区計画の評価に関する研究, 環境システム研究, Vol.24, pp.141-148, 1996.
- 4) 石原修, 斎藤郁雄: 都市内緑地の都市気候緩和効果に関する実測調査, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, No.8・2, pp.57-60, 1990.
- 5) ゼンリン住宅地図'97 熊本 (南部, 西部, 東部).
- 6) 国土庁: 国土数値情報, 気候値メッシュ G02-62M (光磁気ディスク).