

## 建築外部空間の長波長放射場の把握における3次元CGの応用の試み

飯野 秋成

### 1. はじめに

温熱環境の4要素といえば、「気温」「湿度」「気流」「放射」であることはご存知の通りであるが、この中で「放射」については、いわゆる太陽を源とする比較的波長の短い「日射」(0.3~0.7 $\mu$ m)と、物体表面から発する表面温度の4乗に比例した電磁波である「長波長放射」(赤外放射とも呼ばれる。8~14 $\mu$ m)に大きく別けて考えることができる。本稿では、特に後者の「長波長放射」に限定して話を進めてみよう。

建物に囲まれた屋外空間のある位置に人が立っている状態を想定すると、人は建物、地面、植生のあらゆる物体からの長波長放射を受けている。そして、人が空間を移動するにしたがって、人体の受ける長波長放射の量は変動することになる。人の感ずる温冷感、この「長波長放射」によるところも非常に大きく、静穏な環境下では、気温が1 $^{\circ}$ C上昇することと、周辺の表面温度が平均的に1 $^{\circ}$ C上昇することとは、人体の感覚としてはほぼ等価であるとさえいわれる。真夏の1日を考えたとき、気温の日変動はせいぜい数 $^{\circ}$ Cのオーダーであるが、例えばアスファルト舗装面は夜間20 $^{\circ}$ C前後であったものが、日中50 $^{\circ}$ C程度にもなることを考えれば(図1)、気温以上に無視できない要素となる場合もあることも、おわかりいただけよう。

さて、建築外部空間の「長波長放射」については、直接測定することはきわめて難しい。このため、長波長放射については簡略化して扱われることが多く、熱環境評価という観点では必ずしも十分とはいえなかった。近年では、全球熱画像

の収録システムの開発<sup>1)</sup>やその測定時間の短縮の試み<sup>2)</sup>などの例もある。これらは、全方向からの長波長放射の量を多点で計測しながら、建築外部空間における長波長放射量の空間分布を得ようという考えによるもので、長波長放射に関する空間分布の実態が徐々に解明されつつあるものとして注目されている。

筆者らは、さらに考え方をもう一歩進め、限られた視点からみた表面温度分布画像に基づいて、比較的広域を対象とした長波長放射の量の空間分布を把握することを試みている。この考え方においては、限られた視点からみた表面温度分布画像をCADやCGのデータに貼り付け、任意の視点から見た表面温度分布画像を作り上げるというアルゴリズムが重要となってくる。本報では、屋外空間における長波長放射の空間分布を把握するための手法として、サーモグラフィ(赤外線放射カメラとも呼ばれる、以下カメラと呼ぶ)の表面温度分布画像と3次元CGソフトをコンピュータ上で統合させ、任意の視点から見た表面温度分布画像を作り上げようとする試み<sup>3), 4)</sup>について紹介する<sup>5)</sup>。

### 2. 3次元CGデータと熱画像との連携データベースの作成

3次元CGソフトウェアには「テクスチャマッピング」と呼ばれる機能がある。これは、CADやCGでモデリング(コンピュータ上におけるかたちづくり)した物に対して、タイルなどの模様をはめ込んだ状態のレンダリング画像(光線追跡法などを用いて写真に近い状態にした画像)を作るという

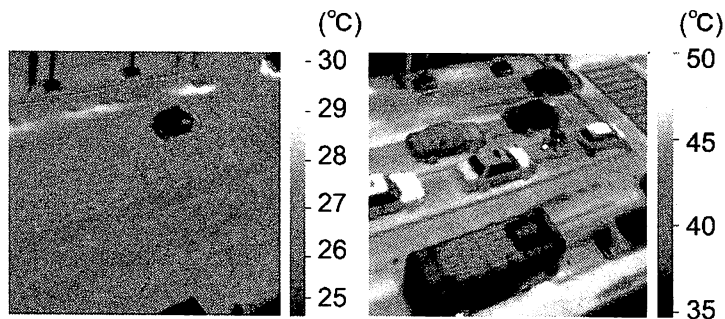


図1 サーモグラフィ(赤外線放射カメラ)により収録した夏季晴天日の道路の熱画像の例  
(1999年8月21日, 新潟県古町)

機能なのだが、これはある埋め込みパターンを物体全体に繰り返し貼り付けていくアルゴリズムである。例えば、カメラにより収録した表面温度分布の画像を直接立体に貼り付けようとしても、そのような機能は提供されておらず、長波長放射を扱おうとした場合に直接用いることはできない。

そこで、ここでは3次元CGデータと、カメラにより収録された熱画像とを連携させて扱う方法を考えてみよう。「立体上のポイント」対「表面温度分布画像上のポイント」で対応させなければならないのであるから、

- 1) 3次元CGのレンダリングにより作成される対象物の表面上の点については、任意の角度から見た場合にも普遍的にあるラベルを持つことが保証されること
- 2) これに熱画像の温度情報が1対1で連携することの2点が必要となる。これらを以下のような方法で実現させてみた。

### 2-1 連携データベースの作成方法

カメラを設置した点（以下、計測点）からみた3次元CGによるパノラマ画像を作成したとき、ある1つの光源によって照らされたあるポイントの照度情報を数値であらわすことができる。すると、以下の方法によって、周辺地物の表面上の点に対して、照度情報を利用してユニークなラベルを定義し、表面放射温度情報とリンクできる。

- 1) 複数の点光源を、解析対象領域内の異なる位置にそれぞれ配置する。
- 2) 配置した各々の点光源ごとに、周辺地物がライティングされている状態の計測点におけるパノラマ画像を、3次元CGの点光源設定機能とパノラマ表示機能を用いて作成する。作成されたパノラマ画像は、8 bitグレースケールの画像となる。
- 3) 作成したパノラマ画像とカメラにより収録した熱画像との幾何補正を行うことにより、画像上の各々の点について

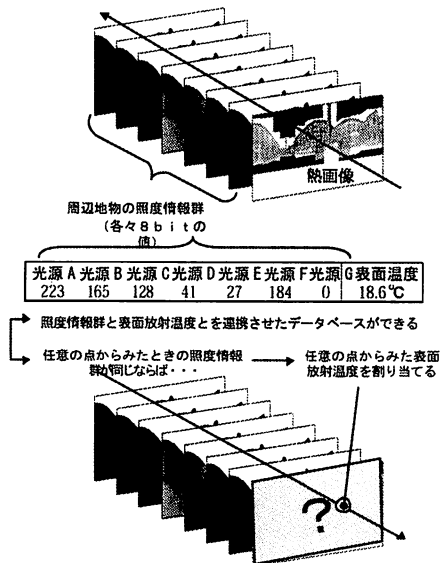


図2 カメラの設置位置以外の視点から見た熱画像作成の概念

て、「点光源の数分の照度情報（以下、照度情報群）」と「表面放射温度情報」を連携させる。

- 4) 一方で、1) で配置した点光源を用いて、任意の点からみた場合の照度情報画像を、点光源の数だけ作成する。
- 5) 3) の連携データベースにおける照度情報群と、4) で作成した照度情報群が等しければ、同一の表面上の点であるとみなすことにより、3) に連携されている表面放射温度を当てはめる<sup>3)</sup>。

上記の概念を図2に示す。3次元CGによる物体表面のテクスチャマッピングについては、これまで特定のパターンを繰り返し埋め込む機能のみが提供されているが、この連携方法を用いることによって、熱画像やデジタルカメラの画像などのラスタデータとの連携も可能となるなど、汎用性の高いアルゴリズムであるといえる。

### 2-2 熱画像の収録

3階建ての建物で囲まれている約160m×25mの空間（新潟工科大学（新潟県柏崎市）のコモンスペース）を対象として、上記アルゴリズムの有効性を検証してみる。まず、建物形状や地形に関する3次元CGのデータは、施工図面等から作成した。また、熱画像を収録する方法としては、少ない計測点から対象領域全域をカバーできるように、パノラマ画像を収録する方法を採用した（図3）。用いたカメラは、8～14μmの波長域に感度を有し、画角は30°×28.5°、瞬時視野角は1.5mradのものである。

熱画像の収録は、1998年12月18日正午（外気温8.5℃）に行った。図4は、計測点を中心として3次元CGによって作成したパノラマ画像に、熱画像を幾何補正することによって作成したものである。冬季晴天日に収録した熱画像であるため大気による減衰の影響は小さく、建物のエッジ等を利用したコントロールポイントの選択は比較的容易であった。また、補正式は個々の熱画像のひずみに応じて1次あるいは2次の多項式を適宜選択して用いた。

### 2-3 熱画像作成における点光源の配置方法の考察

任意の点における熱画像を作成する上では、計測点からみ

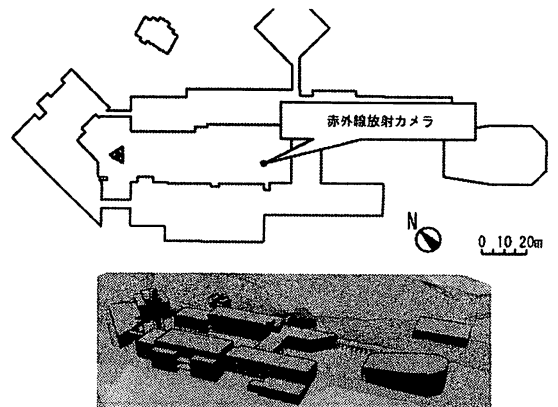
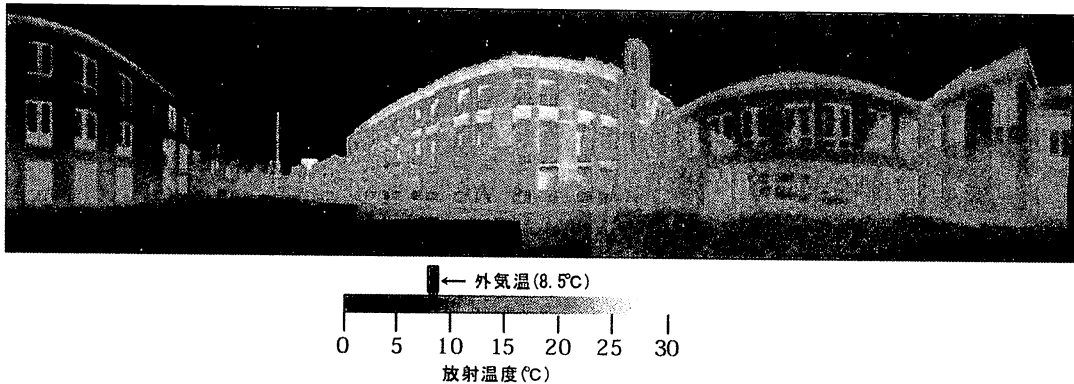


図3 解析対象空間（新潟工科大学コモンスペース（新潟県柏崎市））

た画像を十分な精度で再現できることが少なくとも必要条件となる。このための適切な点光源の数、および配置方法に関する考え方が重要となってくる。ここでは、特に、点光源の配置方法について考える。

点光源を7つに固定し、解析対象領域に図5のCase AおよびCase Bのように配置し、それぞれの場合について、表面放射温度情報との連携データベースを作成するとともに、計測点における熱画面の作成を試みた。Case Aは計測点の位置と無関係に解析対象領域全体にほぼ均等に配置した場合であり、Case Bは測定点に近いほど点光源を密に配置した場合である。

Case Aの場合、計測点と同一の点における熱画像の作成結果(図6左)には、点光源の位置から等距離線上に同心円状に等温度線が存在するなど、照度情報群と放射温度情報が必ずしも1対1に対応していない。また、原画像との差画像を作成すると図7左のようになり、全体の10%が誤判断された。一方、Case Bでは、照度情報群と表面放射温度情報がほぼ1対1に対応できたため、図6右および図7右に示すように、ほぼ原画像に近い形で再現できていることが確認できた。このように、カメラによって計測された点の同定が特に重要であり、そのためには点光源は計測点付近ほど密に配置した方が良い結果が得られる。



1998年12月8日正午、快晴、外気温8.5°C

図4 3DCGにより作成したパノラマ画像への熱画像の幾何補正結果

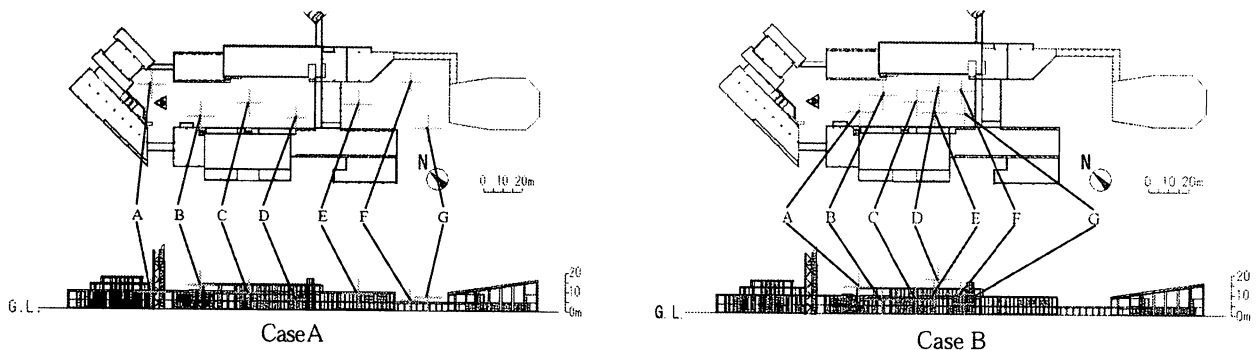


図5 点光源の配置パターン

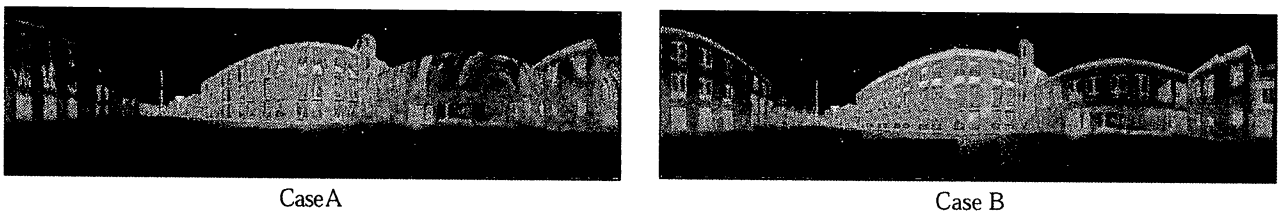


図6 熱画像の作成結果

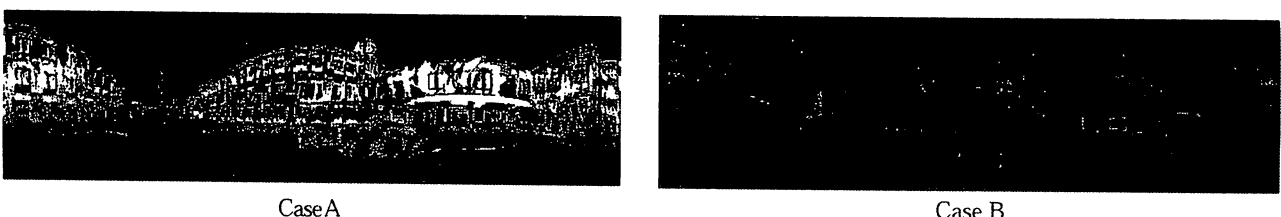


図7 作成した熱画像(図5)と原画像(図3)との差画像

### 3. 任意の視点からの熱画像の作成

上記Case A, B で作成した照度情報群と表面放射温度情報との連携データベースを用いて、赤外線放射カメラによる計測点以外の点から見た熱画像を作成した。図8はパノラマ熱画像による表現、また、図9は鳥瞰図による表現を試みたものである。いずれも黒い部分は、計測点から見た場合に死角となると判断された部分である。図8では、Case A, B いずれの場合でも計測点から離れるほど死角が大きくなるが、Case B の場合は計測点付近において照度情報の分解能が大きくなるため、温度情報のリンクしていない点が顕著に表れる。計測点付近を拡大した図9の鳥瞰図表現では、さらにその傾

向が顕著にみられる。もっとも、この現象は、1) カメラの計測点を複数設定すること、および2) 光源の設定位置、個数、および光源の強さを工夫することによって、十分解決は可能である。

以上のように、筆者らが提案しているアルゴリズムを用いることにより、限定された計測点における熱画像を元に、任意の点から見た熱画像を合成できることを確認した。これによって、解析対象領域内の任意の点に位置する人が、周辺地物から受ける長波長放射量を求めることができることになる。より質の高い建築外部空間の熱環境評価が期待できると考えている。

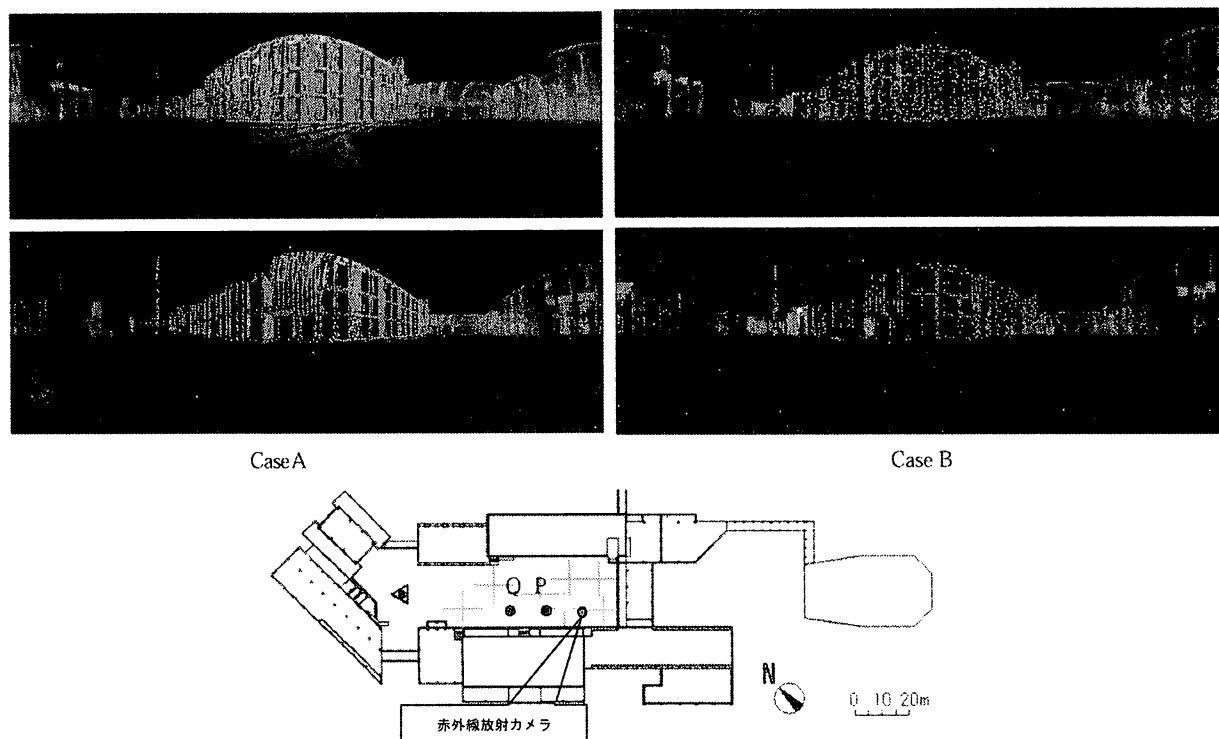


図8 カメラの位置以外の視点から見た熱画像の作成結果 (パノラマ表現)

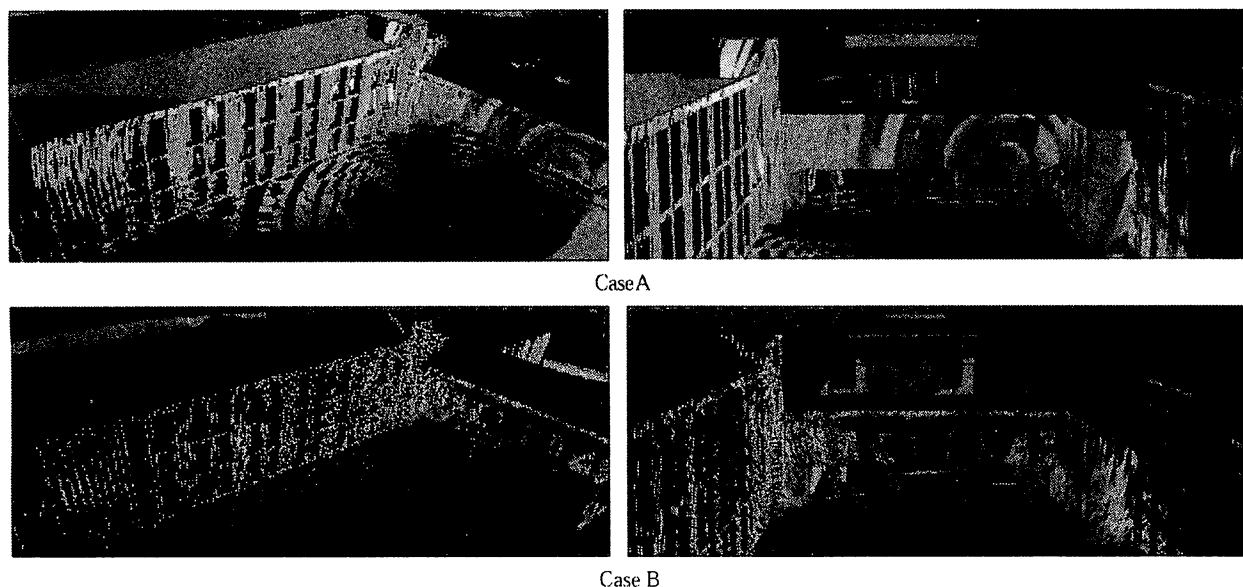


図9 カメラの位置以外の視点から見た熱画像の作成結果 (鳥瞰表現)

#### 4. まとめ

本稿では、建築外部空間における長波長放射の空間分布を議論する上で必要となる技術として、3次元CGソフトウェアの点光源設定機能、およびレンダリング機能を用いて、任意の視点からみた熱画像を作成する手法を紹介した。筆者らは現在、最適な光源の個数、配置および光源の強さを自動的に決定するアルゴリズムの開発について、卒論生とともに議論を戦わせているところである。

注) 表面を黒体とみなすことができない計測対象が含まれる場合、本報で提案したアルゴリズムで作成される表面放射温度分布画像が妥当でない場合も考えられる。3次元CGを利用することによって、熱画像に写り込んでいる周辺地物を特定することは可能であるが、放射率の空間分布自体は原則未知であるとすれば、放射温度から表面温度への変換を含めた解析システムの構築が求められる。この点については、今後の研究テーマと考え、本稿では得られた表面放射温度は全て表面温度に等しいとみなして議論している。

#### 引用文献

- 1) 浅野他、建築外部空間における熱環境解析のための3次元熱画像の作成方法に関する研究、日本建築学会計画系論文集第508号、pp.35～44、1998年
- 2) 梅干野他、全球熱画像を用いた屋外熱環境計測手法の開発とその応用 その4、日本リモートセンシング学会第27回学術講演会論文集、pp.45～46、1999年11月
- 3) 飯野他、建築CADと3DCGの応用による屋外熱環境の評価に関する基礎的研究、日本リモートセンシング学会第26回学術講演会論文集、pp.127～128、1999年5月
- 4) 飯野他、建築CADと3DCGの応用による屋外熱環境の評価に関する研究 その2、日本リモートセンシング学会第28回学術講演会論文集、pp.169～172、2000年5月