

MA3 費用関数法を用いた室内温熱環境の推定

Estimation of Indoor Thermal Environment Using Cost Function Method

指導教員 近藤明教授・共生環境評価領域

28H19057 Dong Kunting (Kunting DONG)

Abstract: The estimation of indoor thermal environment is essential for improving occupant comfort and productivity. There are two methods that have been widely used to estimate temperature fields: Computational Fluid Dynamics (CFD) and measurements. However, it is challenging to obtain reliable CFD simulation data due to the errors, also observation data due to insufficiency of data resolution. Herein, a data assimilation method called Cost Function Method (CFM), which corrects the CFD by the cost function consisting of residuals of basic equations and errors between observed data and the solutions, was proposed in this study. According to the results, CFM was confirmed to be valid, but inefficient when applied with a correction rate of 22%. The main reason of low efficiency lies in the poor correction of the residuals of the governing equations. More research needs to be conducted in order to reduce the residuals for better performance of Cost Function Method.

Keywords: Data Assimilation, CFD, Indoor Thermal Environment

1. はじめに

流れ場や温度場といった室内環境の把握手法としては、観測と数値流体力学（CFD）によるモデルシミュレーションがよく用いられる。数値解析によって室内全域の推定が可能であるが、室内全体の複雑な乱流場を実用的な精度で計算できるまでには至っていない。実験によるものは信頼性が比較的高いが、対象空間全域の空気分布を把握することは不可能である。

そこで本研究ではより信頼性の高い室内全域のデータを取得するため、測定値を用いて流れの支配方程式を補間・修正する費用関数法を適用することで室内温度分布を推定し、費用関数法の有効性を評価することを目的とした。

2. 計算概要

2. 1 費用関数法について

費用関数法とは、費用関数と呼ばれる関数を作成し、この関数を最小化するように場を修正する手法である。費用関数 CF は最適化対象として考慮する従属変数に関連したすべての支配方程式の残差の二乗及び測定値の修正量の二乗の和として式 (1) で表される。ここで、 CF は費用関数、 i は支配方程式の番号、 j は変数の番号、 α_i は支配方程式の重み係数、 β_i は支配方程式の等価係数、 R_i は支配方程式の残差、 α_j は変数の重み係数、 β_j は変数の等価係数、 E_j は観測値と計算値の間の誤差である。

費用関数を最小化する CFD 計算値を探索するために、式 (2) に示す最急降下法を用いる。 ϕ は任意の変数であり、 k は繰り返し回数、 α は学習係数 (learning rate) である。

$$CF = \frac{1}{2} \left\{ \alpha_i \beta_i (\overline{R}_i)^T \overline{R}_i \right\} + \frac{1}{2} \left\{ \alpha_j \beta_j (\overline{E}_j)^T \overline{E}_j \right\} \quad (1)$$

$$\phi_{k+1} = \phi_k - \alpha \frac{\partial CF}{\partial \phi} \Big|_{\phi=\phi_k} \quad (2)$$

2. 2 計算条件

数値実験においては、数値解析の結果を実際の場合（「正解値」）とみなし、その計算結果の一部を抜き出したものを観測データとみなす。熱源が設置された3次元室内空間を対象に、CFDシミュレーションを行った。領域は4.2×4.0m、高さ2.2mである。対象領域と観測点（180個）の配置を図1示す。また、中央の机の上に0.04×0.24×0.04mの熱源が3つあり、各熱源を均一に400Wで発熱させる。東側壁面から給気、反対の西側壁面から排気を行う。

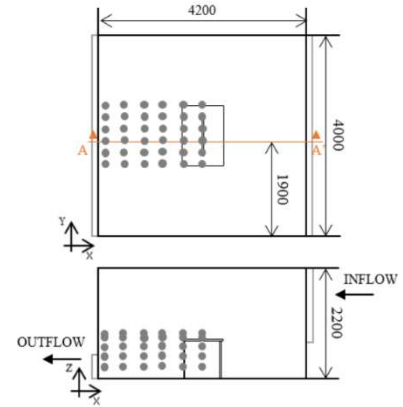


図1 対象領域と観測点の配置

3. 結果及び考察

費用関数法を適用するための異なる初期条件として、観測データの作成に用いたのと同じ対象領域に対し他の計算条件を変えずに各熱源を0、200Wに発熱させたケースを計算しそれぞれケース1、ケース2とする。図2、図3に結果を示す。

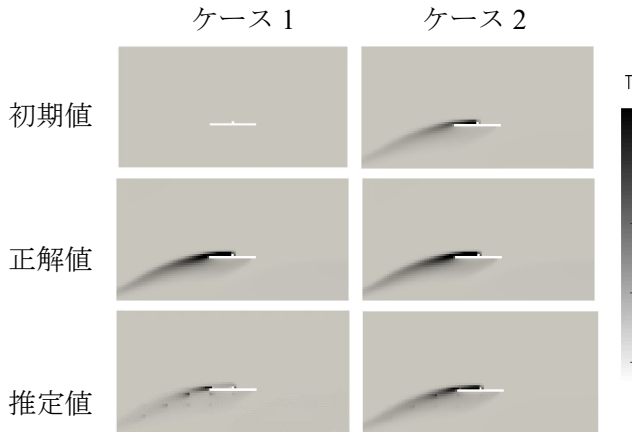


図2 温度分布

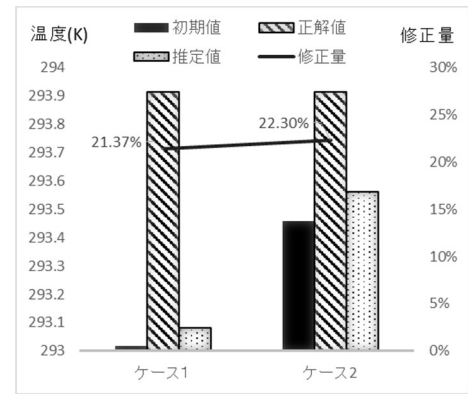


図3 吸い込み口付近の平均温度

吸い込み口付近の平均温度を評価指標とした。費用関数法を適用することで計算結果が修正され、初期条件に依存せず、修正率は約22%であった。費用関数法で異なる初期条件の計算結果をある程度に修正することができるが、修正率は十分に高くなかった。そこで、発熱なしの初期条件からスタートし、観測点における温度を固定し支配方程式の残差のみを修正すると、修正率は21.37%から32.03%まで伸びたことが確認できた。また、観測点を330個まで増やし、発熱量200Wでの計算結果から部屋全体の温度分布を修正した。修正率は22.30%から29.43%まで上がった。

4. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- 費用関数法によりCFDの誤差を修正することができたが、修正率は20%程度と高くなかった。
- 観測点を多数配置する、または観測点における温度を固定すると、推定精度は上がる。

今後の課題としては、費用関数の支配方程式の残差を適切に減少される工夫をすることで、推定精度を上げることが必要である。

参考文献

- 1) Kondo A, Nakagawa H, Kaga A and Inoue Y " Understanding of flow and scalar fields combining Measured Data and CFD" ,ASHRAE Trans.Vol.116 Issue2 318-328