

D1 連続的データ同化法を用いた室内流れ場、温度場、濃度場の推定手法に関する研究

Estimation method of indoor flow, temperature and contamination field with variational continuous assimilation method

指導教員 近藤明教授・共生環境評価領域

28H12060 松尾智仁 (Tomohito Matsuo)

Abstract: In order to manage an indoor environment such as flow, thermal, and contamination field, it is necessary to understand the correct fields. For estimations of an indoor environment, two approaches of measurements and Computational Fluid Dynamics (CFD) have been usually used. However, on the viewpoint of observation cost, it is unrealistic to understand an entire indoor environment by only observations. On the other hand, in case the correct boundary conditions are not known, it is impossible to get accurate environment by only CFD. Therefore, in order to estimate accurate environments, data assimilation methods are used with fewer observations and ill-defined boundary conditions. In this study, the Variational Continuous Assimilation method (VCA method) was applied to estimate indoor environments. The method adds a correction term to the governing equations to reduce the error between calculation and observation. And in this study, the correction term was assumed to be a source term. And it was confirmed by the simulation for two-dimensional calculation that the VCA method is a utilizable method to determine not only the correct indoor environments but also the location and strength of the unknown sources such as heat or contamination sources.

Keywords: Variational Continuous Assimilation method, Computational Fluid Dynamics, Indoor environment, Source estimation

1.はじめに

室内環境が清浄かつ快適に保たれていることは居住者の健康や知的生産性を確保するために重要である。室内環境を適切に管理するためには流れ場、温度場、濃度場といった室内環境を正確に把握することが必要となる。そこで本研究は観測値を用いて CFD などの数値解析を修正する連続的データ同化法 (Variational Continuous Assimilation method: VCA 法) を室内環境推定に適用し、推定精度の向上を図った。本研究では特に、数値計算の誤差原因となりやすい境界条件誤差の修正を目的としている。

VCA 法は Darber¹⁾が開発した手法であり、本研究では Darber の VCA 法を室内環境推定、および放出源推定のために修正して用い、その妥当性を数値シミュレーションによって検証した。

2.VCA 法の概要

数値計算の支配方程式は、時刻 n における計算値 Ψ^n に変換行列 A^{n+1} を適用することにより、次の時刻 $n+1$ の計算値 Ψ^{n+1} を得ることができる。式(1)に示すように、VCA 法は、数値計算の支配方程式に修正項 $\lambda^{n+1}\phi$ を付加することによって計算値 Ψ^{n+1} を修正する。修正項は、計算値と観測値の誤差の平方和で定義される評価関数 I (式(2)) を最小化するように決定される。また、本研究では、修正項が数値計算における熱源、汚染物質放出源といった生成消滅項と等価であることを確認した。

$$\Psi^{n+1} = A^{n+1}\Psi^n + \lambda^{n+1}\phi \dots\dots(1)$$

$$I = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P (\Psi^p - \tilde{\Psi}^p)^T (\Psi^p - \tilde{\Psi}^p) \dots\dots(2)$$

3.VCA 法の妥当性の検証

VCA 法の妥当性の検証にはシミュ

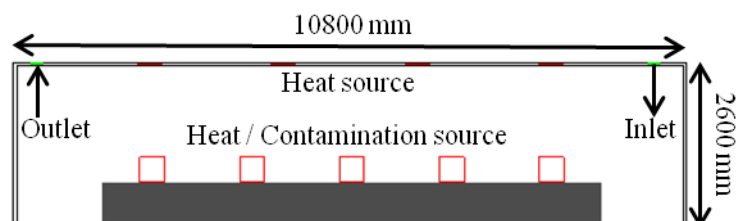


Fig.1 Objective room

レーションを用いた。計算対象領域には熱源、汚染源が存在するオフィスを想定し、2次元に簡略化して用いた(Fig.1)。部屋の中央に長机があり、天井に等間隔に4箇所と、机の上に四角で示した位置に熱源があり、机上熱源と同位置に汚染放出源がある。正しい境界条件を用いて数値計算を行った結果を「正解値」とし、正解値から机上に6点設置した観測点のデータを抽出したものを「観測値」として用いた。検証では、放出源を削除して計算を行った数値計算結果に対してVCA法を用いて「観測値」を同化し、「正解値」をどの程度再現できるのか、また放出源位置と強度をどの程度再現できるのかを評価した。

VCA法の適用結果例として、汚染物質が瞬間的に放出された場合の正解値濃度分布と、VCA法により推定された濃度分布をそれぞれFig.2(a,b)に示す。また、VCA法により推定された放出源位置をFig.3に示す。Fig.2,3に示したように、汚染放出源の情報を削除した数値計算に対しVCA法を適用することで、濃度分布、放出源位置ともに精度良く再現することができた。

別の適用結果例として、机上の熱源を未知熱源とした場合について、正解値温度分布、机上熱源を削除して計算した場合の温度分布、VCA法により推定された温度分布をそれぞれFig.4(a,b,c)に示す。また、VCA法により推定された放出源位置をFig.5に示す。Fig.4,5に示したように、机上熱源の情報を削除した数値計算に対しVCA法を適用することで、計算値を正解値に近づけることはできるものの、正解値を精度良く再現することはできなかった。その原因として、Fig.5に示したように熱源位置を精度よく推定することができなかったことが挙げられる。常時放出熱源の推定では温度分布が定常であり、観測される誤差に時間分布がないため、放出源位置を推定することが難しく、それゆえ温度分布の推定精度も良くないのだと考えられる。

4.結論

VCA法を用いて室内環境及び未知の放出源の推定を行った。推定の結果、VCA法により室内環境及び未知の放出源の位置・強度を推定することができた。推定、放出が瞬間的に行われた場合に精度が高く、推定精度は放出源位置の推定精度に依存すると考えられた。また、推定精度は観測点位置によって異なることがわかった。

参考文献

- 1) Derber JC, A Variational Continuous Assimilation Technique. Mon Weather Rev 1989,117,2437-2446

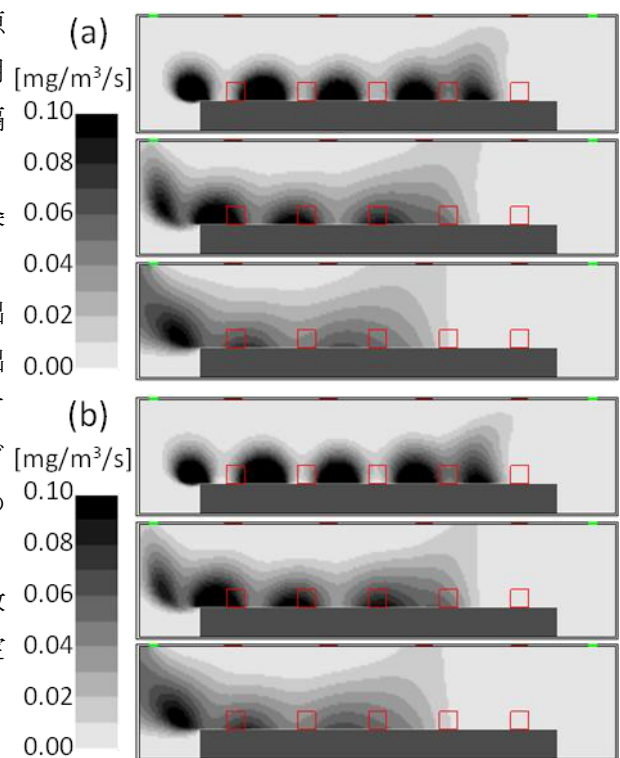


Fig.2 Contamination field, (a)True value, (b)Estimated value

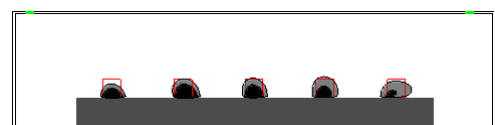


Fig.3 Estimated source location

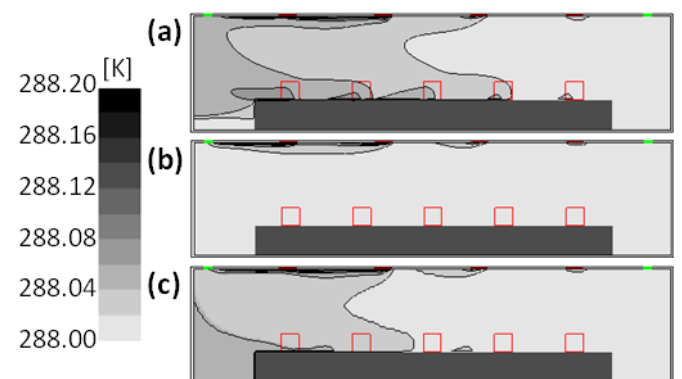


Fig.4 Temperature fields, (a)True value, (b)the value calculated without VCA, (c)Estimated value

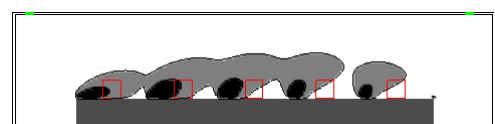


Fig.5 Estimated source location