

E5 数値計算と連続的データ同化法に基づく 屋外汚染の発生源位置と強度の推定

Estimation method of outdoor contamination source with numerical calculations and variational continuous assimilation method

共生環境評価領域

08E11062 松本貴也 (Takaya MATSUMOTO)

Abstract: For the case where hazardous pollutants are emitted to the outdoor environment, accurate information on pollution, especially the on contaminant source, is important for not only our safety but also the conservation of surrounding environment. In this study, the Variational Continuous Assimilation (VCA) method which modifies the numerical calculations by observed data of air pollution concentrations was utilized to estimate the contaminant source location and intensity. In a numerical experiment with a simple outdoor domain, the correction term added to the mass conservation equation by the VCA method is considered the contaminant source. The VCA method captured the location of contaminant source and the intensity overestimated less than 10%.

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

1. はじめに

化学薬品工場での薬品漏洩をはじめとして、汚染物質が外部に放出されるような数々の事例に対し、汚染状況を把握することは、我々の安全のみならず周辺環境の保全のためにも重要である。汚染状況把握のためには発生源情報が必要となる。本研究では、濃度観測データを用いて数値計算を修正する大気汚染物質の発生源推定手法として、Darber¹⁾が気象場の推定精度向上のために開発した連続的データ同化法(Variational Continuous Assimilation method: VCA 法)に着目した。VCA 法を大気汚染濃度推定のために修正することで、汚染濃度分布だけでなく、発生源の位置と放出強度の推定が可能となり、汚染物質の放出事故の実態把握へのアプローチとして有効な手段となる。

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} を求める。VCA 法は、式(1)に示すように、数値計算の支配方程式に修正項 $\lambda^{n+1}\phi$ を加えることによって計算値 Ψ^{n+1} を修正する。修正項は、式(2)に示す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 を最小化するように決定される。また、VCA 法の修正項は、物質保存式のアナロジーから汚染物質発生項と見なすことができる。

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

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

3. VCA 法の妥当性の検証

数値計算を基に VCA 法の妥当性を検証した。計算対象領域として、図 1 に示す 3 次元屋外での汚染物質の貯蔵区画を想定した。メッシュ幅を 0.25 m 間隔で均等に切り、場には x 方向に 1.0 m/s の一様な風を与えた。汚染物質貯蔵所の上部に 1 メッシュ分の大きさの汚染物質発生源がある。観測点は、水平方向は 2 メッシュ四方、垂直方向は地上から 1.0–2.0 m の範囲 4 メッシュ分が観測可能なセンサ 48 個を貯蔵所近傍と敷地境界に、図 2 に示すように配置した。

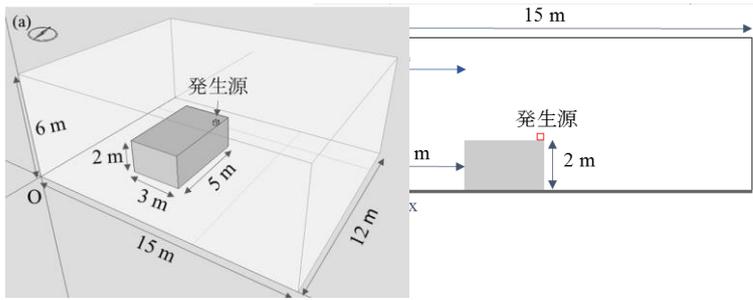


図 1. 計算対象領域 (a)鳥瞰図 (b)立面図

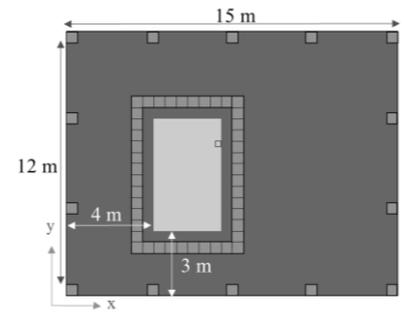


図 2. 観測点配置の平面図

正しい汚染物質発生量を用いた数値計算結果を「正解値」とし、「正解値」の観測位置の濃度情報を「観測値」として用いる。検証では、放出源に関する情報を与えずに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」がどの程度再現されるのか。また、発生源の位置と放出強度がどの程度再現されるのかを評価した。

汚染物質が 1 秒間だけ連続放出された場合の正解値と VCA 法を適用した計算値の濃度分布について、放出開始を 0 秒とした時間変化を図 3 に示す。放出直後には濃度分布に差が生じているが、時間の経過とともに同様な濃度分布に近づく。また、VCA 法により推定された発生源位置を図 4 に示す。全修正項に占める割合のうち 50 % 以上となる $39 \text{ mg/m}^3/\text{s}$ 以上の範囲を濃い灰色で、90 % 以上となる $8 \text{ mg/m}^3/\text{s}$ 以上の範囲を薄い灰色で示した。推定された発生位置は、正解値に比べると大きく広がるが、ピークの位置は正解値と一致した。また、放出強度の誤差も 10% 未満であった。

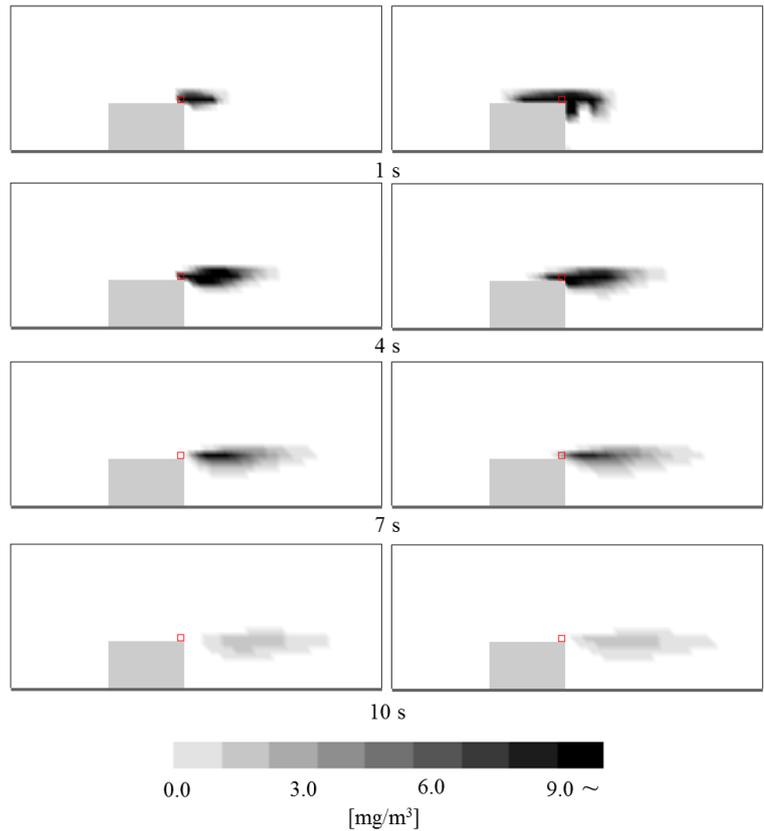


図 3. 正解値(左)と計算値(右)の濃度分布の時間変化

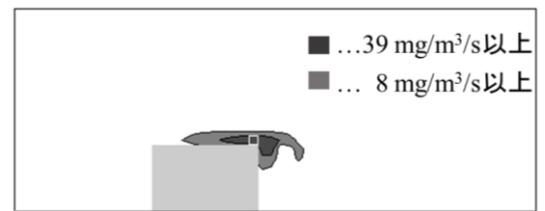


図 4. 推定された汚染物質の発生源位置

4. 結論

本研究では 3 次元空間の汚染状況把握のため、VCA 法を用いて未知の汚染物質発生源の推定を行った。大気汚染濃度推定への適応可能性が示された。単一瞬時放出の発生源については妥当な推定結果が得られた。そのため、今後の展望として、センサ配置の再検討等により、より高精度で推定が行えるような条件を模索するとともに、常時放出の発生源や複数の発生源についても検証を試みる。

参考文献

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