

第32回数値流体力学シンポジウム に参加して

山田 浩史

Hiroshi YAMADA

機械システム工学専攻博士課程 1年

1. はじめに

2018年12月11日から13日まで開催された第32回数値流体力学シンポジウムに11日と12日の2日間参加し、「気体論スキームを用いた数値流体解析におけるパラメータの影響評価に関する研究」の題目でプレゼン発表を行なった。

2. 研究内容

2.1 研究背景

本研究では、任意の流れ領域に適用可能な低計算量数値解析手法の開発を目的としている。この目的を達成し得るものとして、離散化 Boltzmann 方程式の流体力学的極限である気体論スキームがある。特に、Anil 他により開発された Modified Kinetic Flux Vector Splitting Method (m-KFVS 法) は、1次元での数値流束が

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_{j+\frac{1}{2}} &= \mathbf{G}m^+(\mathbf{U}_j, \alpha_{j+\frac{1}{2}}) + \mathbf{G}m^-(\mathbf{U}_{j+1}, \alpha_{j+\frac{1}{2}}) \\ \alpha_{j+\frac{1}{2}} &= \frac{\alpha_j + \alpha_{j+1}}{2}, \\ \Delta t &= \min\left(t_1 - t, \min_x \frac{\phi_0 \Delta x}{v_{3\sigma}}\right), \\ \alpha &= \frac{-\log \phi_0}{v_{3\sigma}} \quad (0 < \phi_0 \leq 1) \end{aligned} \quad (2.1)$$

で表され、パラメータ ϕ_0 による数値粘性制御が可能な差分法であり、任意の流れ領域で高精度な数値計算が期待出来る。その他の定義は参考文献⁽¹⁾参照。

本研究では、m-KFVS 法を改良し、数値流束の簡略化と計算時間の低減を提案した。また、その検証のため、提案手法と従来手法について1次元理想気

体での Sod の衝撃波管問題により比較検討した。

2.2 提案手法

提案手法の数値流束は、1次元の場合、

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_{j+\frac{1}{2}} &= \mathbf{G}m^+(\mathbf{U}_j, \alpha_j) + \mathbf{G}m^-(\mathbf{U}_{j+1}, \alpha_{j+1}) \\ \alpha &= \begin{cases} \frac{-\log \phi_0}{v_{3\sigma}}, & (v_{3\sigma} \leq \frac{\phi_0 \Delta x}{\Delta t_0}) \\ \frac{\log \frac{\phi_0 \Delta x}{v_{3\sigma} \Delta t_0}}{v_{3\sigma}}, & (v_{3\sigma} > \frac{\phi_0 \Delta x}{\Delta t_0}) \end{cases} \quad (2.2) \\ t &= \max\left(\Delta t_0, \min\left(t_1 - t, \min_x \frac{\phi_0 \Delta x}{v_{3\sigma}}\right)\right) \\ &(0 < \phi_0 \leq 1). \end{aligned}$$

で表される。時間刻みの下限 Δt_0 を設け、時間刻みの減少による計算量増大の抑制を試みた。その他の定義は参考文献⁽¹⁾参照。

2.3 数値実験

実験は、1次元理想気体における Sod の衝撃波管問題を用い、従来手法と提案手法について、両手法の計算精度の比較 ($1.0 \times 10^{-1} \leq \phi_0 \leq 1.0$)、およびパラメータに対する計算時間の関係の比較 ($1.0 \times 10^{-3} \leq \phi_0 \leq 1.0$) をそれぞれ行なった。数値計算は Fortran 95、パラメータは：有効数字2桁として1.0, 0.50, 0.20, 0.10, 0.050, 0.020, 0.010, 0.0050, 0.0020, 0.0010の値、計算時間の測定は CPU_TIME による2回平均とした。

以下、両手法の計算精度の比較の結果として、図1に $\phi_0 = 1.0, 0.50, 0.20, 0.10$ での提案手法と従来手法の解析結果の比較の図を示す。図1からも判る通り、パラメータが $1.0 \times 10^{-1} \leq \phi_0 \leq 1.0$ の範囲で結果がほぼ一致している事が判る。

次に、パラメータに対する計算時間の関係の比較の結果として、図2にパラメータに対する計算時間の関係の図を示す。図2からも判る通り、提案手法は、パラメータが $3.7 \times 10^{-1} \leq \phi_0$ の範囲で従来手法より増加が緩やかであり、 $\phi_0 \leq 3.7 \times 10^{-1}$ の範囲で

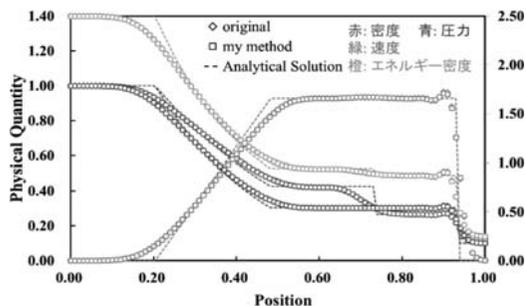
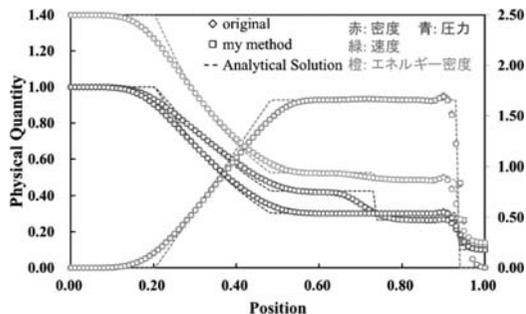
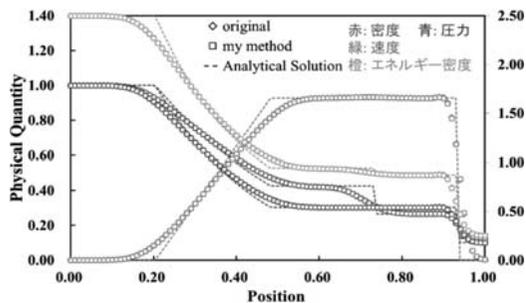
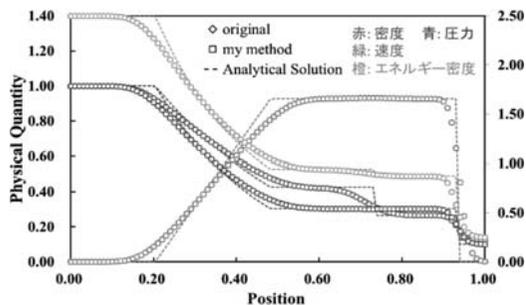


図1 提案手法と従来手法の解析結果の比較
上からそれぞれ $\phi_0 = 1.0, 0.50, 0.20, 0.10$ での図

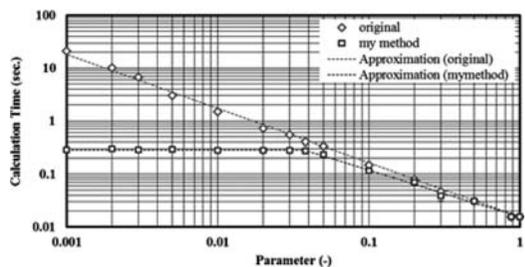


図2 パラメータに対する計算時間の関係

時間刻みの下限による計算時間の上限が発生している事が判る。

3. まとめ

本研究では、m-KFVS 法についての改良を行い、提案手法が従来手法とほぼ同一視可能で、計算量増大抑制に成功している事を示した。

今回の発表では、鋭い指摘を戴いたり、解っていた事であるにも拘らず返答に困ったりするなど、学会発表の難しさを痛感した。質疑応答での諸先生方のご意見は、今後の研究の参考にさせて頂きたいと思う。最後に、今回の発表に当たり、大津教授をはじめ、ご指導戴いた方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

山田浩史, 大津広敬, “気体論スキームを用いた数値流体解析におけるパラメータ決定手法の影響評価に関する研究”, 第32回数値流体力学シンポジウム, 2018, D 03-1