

# OpenFOAM の圧縮性ソルバーrhoCentralFoam の時間 2 次精度化とその検証

松原 大輔<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>オープン CAE 勉強会@関西

## Second order time accuracy rhoCentralFoam

Daisuke MATSUBARA<sup>\*†</sup>

<sup>\*</sup>OpenCAE Local user group@KANSAI

### Abstract

rhoCentralFoam is density based compressible solver of OpenFOAM. The rhoCentralFoam's time discretization method is substantially 1<sup>st</sup>-Order accuracy. In this paper I implement the Runge-Kutta method in rhoCentralFoam, and verify the results.

**Keywords:** OpenFOAM, rhoCentralFoam, Compressible solver, Runge-Kutta method, Shock wave

## 1. はじめに

rhoCentralFoam は OpenFOAM に実装されている陽解法ベースの圧縮性ソルバーであり、衝撃波を伴うような超音速流れなどの解析に用いられる。OpenFOAM の空間離散化法は TVD を含め多数の手法が実装されている。一方、時間離散化法の選択肢は非常に限られており、2 次精度の手法は backward 法(BDF2)と crank-nicholson 法のみである。これらの手法は陰解法を前提としているため、陽解法ベースの rhoCentralFoam には適さない。詳しくは後に示すが、rhoCentralFoam に backward を適用した場合、衝撃波付近で数値振動が発生する。したがって、rhoCentralFoam の時間精度は実質 1 次精度(Euler 法)が限界である。そこで本報は、rhoCentralFoam の時間 2 次精度を達成するために 2 段 Runge-Kutta 法を実装し、その検証を行った。

## 2. Runge-Kutta 法の実装

rhoCentralFoam は陽解法ベースであるため、本報では 2 段 2 次陽的 Runge-Kutta 法を実装する。ソースコードは github に公開[1]しており、実装の詳細な説明は本公演で述べる。

## 3. Runge-Kutta 法の検証

### 3.1. Sod の衝撃波管問題

厳密解の得られる衝撃波管問題を用いて検証を行う。時間離散化手法に Euler 法, Runge-Kutta 法, backward 法の 3 種類を比較した。セル界面の数値流束の評価には Kurganov を、不連続補間には TVD 法である vanLeer(V)を用いた。仕切りの位置は  $x=0.5$ 、左端  $x_L=0.0$ 、右端  $x_R=1.0$  に対してセル分割数は 100 とし、最大クーラン数は 0.2、 $\gamma=1.4$ 、初期条件は Sod[2]のものを参考にした。

$$\rho_L=1.0, u_L=0.0, p_L=1.0, T_L=1.0, \rho_R=0.125, u_R=0.0, p_R=0.1, T_R=0.8, \quad (1)$$

図 1 に  $t=2.0$  における厳密解と、シミュレーション結果を示す。冒頭で述べた通り backward 法の場合、衝撃波付近で数値振動していることが確認できる。Runge-Kutta 法を Euler 法と比較すると、膨張波の中央付近でよい精度が出ているものの、TVD の効果が発生しやすい界面などで散逸が強く出ることがわかる。

<sup>†</sup> E-mail address of corresponding author: matsunenekao@gmail.com

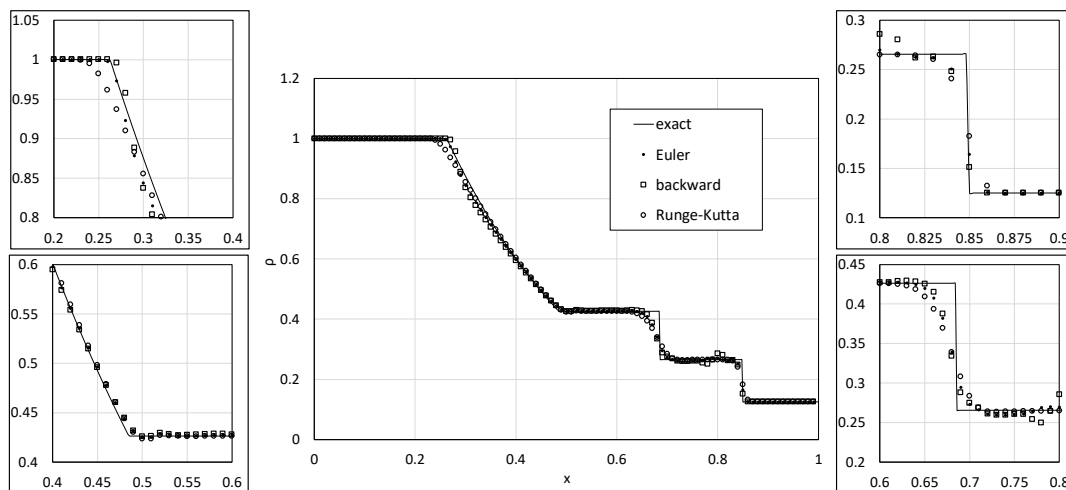
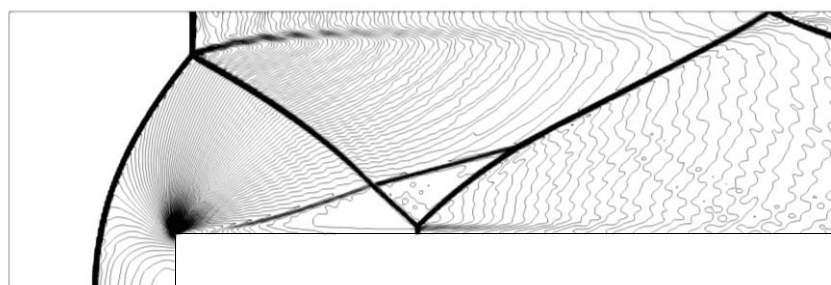


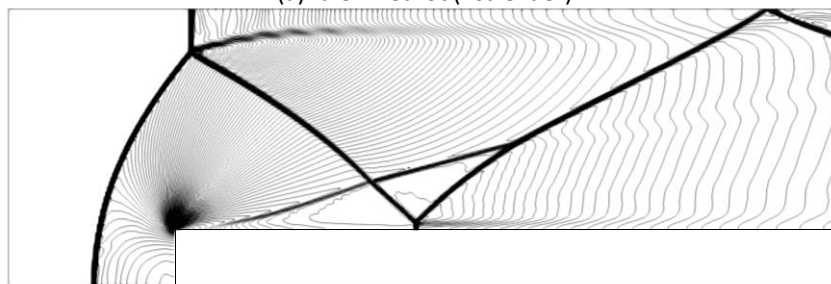
Fig. 1 Results of sod's problem

### 3.2. 前方に段差を有する壁面を過ぎる超音速流れ

OpenFOAM の tutorial にある forwardStep を用いて、Runge-Kutta 法の検証を行う。同ケースに対してメッシュ数を 4 倍にして、Euler 法と Runge-Kutta 法を比較した計算結果を図 2 に示す。これらは密度の等値線を表しており、Euler 法を用いた場合、段差通過後から出口にかけて数値振動が発生していることが確認できる。一方、Runge-Kutta 法では、これらの振動が改善できていることが確認できる。



(a)Euler method(1st-Order)



(b)Runge-Kutta method(2nd-Order)

Fig. 2 Density contours of supersonic flow over a forward-facing step(t=2.9)

## 4. まとめ

rhoCentralFoam に 2 段 Runge-Kutta 法を実装し、その検証を行った。検証の結果、Euler 法に比べて安定な解を得られるものの、必ずしも誤差が小さくなると言えず、さらなる改良が必要であることがわかった。

## 参考文献

- [1] <https://github.com/matsubaraDaisuke>.
- [2] Sod, G.A. A survey of several finite difference methods for systems of nonlinear hyperbolic conservation laws. Journal of Computational Physics, 1978.