

複雑形状まわりの LES に向けた高次精度非構造格子法の研究

報告書番号：R21JACA38

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18397/>

● 責任者

浅田啓幸, 東北大学

● 問い合わせ先

浅田啓幸(h.asada@tohoku.ac.jp)

● メンバ

浅田 啓幸, 宮崎 啓伍

● 事業概要

本研究の目的は、複雑形状まわりの高レイノルズ数流れの高精度 LES に向けて、discontinuous Galerkin(DG)法をベースとした高次精度非構造格子法ソルバーを開発することである。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究が目指す DG 法を用いた LES 解析は、膨大な数の計算格子を用いた大規模解析のため、実現にはスパコンが必須である。また、DG 法は大規並列計算で高い実行効率を実現でき、スパコン上でその真価を発揮する。

● 今年度の成果

今年度は、高次精度 DG 法で用いる粗い計算格子における曲壁面再現性の低下を緩和する手法を構築した。物体非適合の直交格子法で広く用いられる埋め込み境界法(immersed boundary 法, IB 法)を DG 法へ展開し、曲壁面再現性を向上する境界条件を考案した。IB 法では境界条件を与えるセル境界面から壁面垂直方法に image point(IP)を設け、IP での物理量から物理的法則に則してセル境界面(face center, FC)の物理量を補間し、境界条件として与える。直交格子法では、FC は実際の壁面(ここでは凸壁面を考える)の外側に位置することが多いが、本研究が着目する粗い物体適合格子で IB 法を用いる際は、FC が実際の壁面の内部に位置する。そのため、IP での物理量から FC への物理量には外挿を用いる。また、DG 法はセル内部に物理量を有しているため、IP での物理量はそのセル内部の物理量分布から正確に求める。図 1 は、円柱まわりの音響伝搬解析(非粘性流, マッハ数 0.1)で得られた圧力分布を示している。空間離散化には 4 次精度 DG 法を用い、IB 法と従来の滑り壁条件の解析結果を比較している。計算格子には格子収束が得られる十分細かい格子(64×128)を用い、計算格子は細かいままで

円柱の表面を16角形に粗くすることで曲壁面再現性の影響を検証している。なお、IP長さは $0.2\Delta x$ とし、参照解は同じ格子で円柱の表面が64角形の場合に得られた解析結果である(滑り壁条件)。滑り壁条件(b)では円柱と音源の間に参照解では見られない圧力が低下する領域(図の黒破線で示す領域)が存在し、これが曲壁面再現性の低下による影響と考えられる。IB法(a)では、この低圧領域がほとんどなく、曲壁面再現性の向上が見受けられる。図2に、ある時刻における円柱と音響の間の圧力分布を示す。横軸は図1(c)に示す円柱からの距離であり、複数のIP長さ条件を滑り壁条件や参照解と比較した。円柱付近($0 \leq x \leq 1.25$)で違いが顕著に見られ、IB法による結果は、どのIP長さでも滑り壁条件より参照解に近い解を得ることができた。また、IP長さを $0.2\Delta x$ とした場合は、参照解に大きく近づき、曲壁面再現性が大きく改善されていると言える。なお、従来の直交格子法では循環参照を避けるためにIP長さを $2\sqrt{2}\Delta x$ 以上にしなければならないことが知られているが、DG法ではセル内部に物理量分布をもつため、IP長さを短くすることができ解が改善すると考えられる。今年度の解析は、2次元非粘性流解析という小規模解析のため、JSS3 計算ノードは使用せず手元のクラスターマシンで計算を行った(JSSではISVソフトであるPointwiseのみを使用させていただいた)。

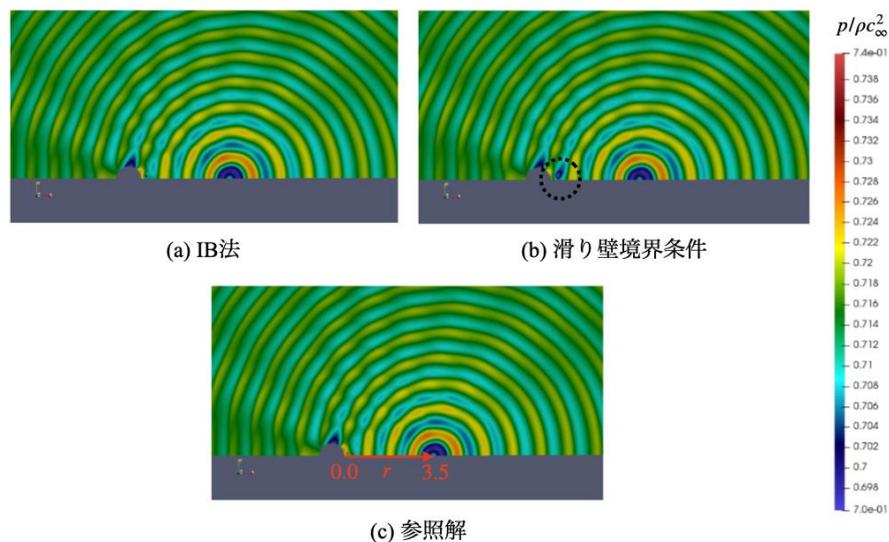


図1: 円柱まわりの音響伝搬解析(圧力分布)

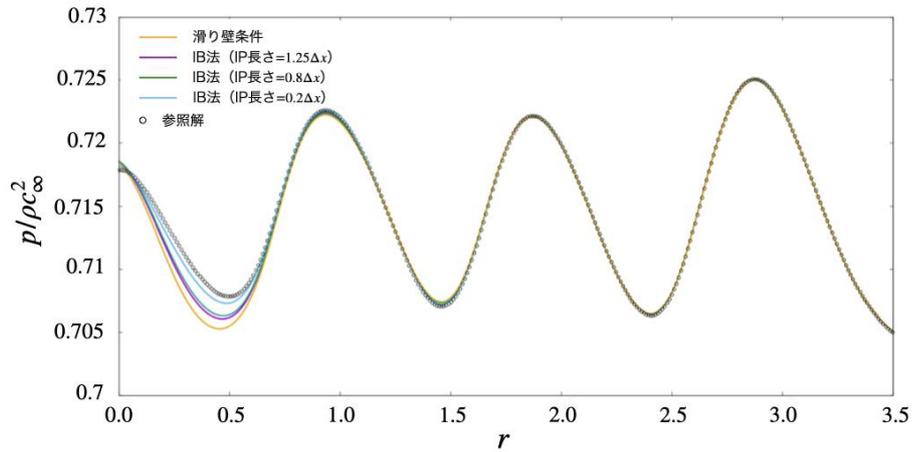


図 2: 音源と円柱の間の圧力分布

● 成果の公表

なし

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	非該当
プロセス並列数	16
1 ケースあたりの経過時間	5 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.03

内訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	651,497.31	0.03
TOKI-ST	0.00	0.00
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.00	0.00
TOKI-TST	0.00	0.00
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	135.00	0.13
/data 及び/data2	7,600.00	0.08
/ssd	1,375.00	0.36

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	0.00	0.00

※1 総資源に占める利用割合：3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合※2 (%)
ISV ソフトウェア(合計)	246.57	0.17

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合