

複雑形状まわりの圧縮性乱流および空力音響の高精度数値解析に関する研究

報告書番号：R18JACA38

利用分野：JSS2 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2018/8979/>

● 責任者

浅田啓幸, 立命館大学 理工学部機械工学科

● 問い合わせ先

浅田啓幸(h-asada@fc.ritsumei.ac.jp)

● メンバ

浅田 啓幸, 大上 芳文, 西田 大輔

● 事業概要

本研究の目的は、高次精度非構造格子法である discontinuous Galerkin (DG)法と非定常乱流を高精度に予測する large eddy simulation (LES)の二つをベースとした高精度空力音響解析ソルバーを確立することである。また、このソルバーと JSS2 を用いて、航空機の高揚力装置まわりに発生する機体騒音の詳細メカニズムの解明を目指す。

● JSS2 利用の理由

本研究が目指す LES による高精度乱流解析および高精度空力音響解析は、膨大な数の計算格子を用いた大規模解析なため、実現するためにはスパコンが必須である。また、DG 法は膨大な大規模解析上で高い実行効率を実現し、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、(1)DG 法を用いた壁乱流 LES 解析に必要な計算格子数の検証、(2)DG 法を用いた高精度空力音響解析における sponge layer の基礎検証を行った。

(1)DG 法を用いた壁乱流 LES 解析に必要な計算格子数の検証: DG 法に関する研究は古くからあり、航空機まわりの定常流解析などにも適用されてきたが、非定常乱流の LES に適用した例は少ない。そのため、空力音響で重要となる壁乱流を高精度に予測するために必要な計算格子数も明らかになっていない。本研究では、チャンネル乱流を対象として高精度壁乱流解析に必要な計算格子数を明らかにする。まず、空間 3,4 次精度 DG 法を用いて、構造格子における流れ方向、スパン方向、壁垂直方向の計算格子数を様々に変化させて解析を行った。図 1 は、流れ方向の平均流速に対するスパン方向の計算格子幅の影響を示しており、空間 4 次精度では粗い計算格子でも対数則をよく予測できていることが分かる。また、壁面に並行な面において、構造格子の場合と同様の計算格子条件の下、3 つの非構造格

子(aligned mesh: 構造格子を単純に三角形に分割, irregular mesh: 不規則な三角形格子, quad-dominant mesh: 四角形が多く含まれる格子)を作成し解析を行ったところ, どの非構造格子においても構造格子と遜色ない解析結果が得られた(図 2). 最後に, フーリエ解析によって得られる dispersion と dissipation と得られた解析結果の関係から, 他の空間精度でも使用可能な計算格子数のガイドラインを提案し, 空間 5 次精度で提案したガイドラインが使用可能であることを示した.

(2)DG 法を用いた高精度空力音響解析における sponge layer の基礎検証: sponge layer は, 音波を外部境界に達する前に減衰させることで, 外部境界における非物理的な反射を抑制する手法である. 近年では, Mani らによって sponge layer のガイドラインが解析的に示されているが, sponge layer での計算格子(以下, sponge mesh)の必要性については未だ明らかとなっていない. sponge layer における解は人工的に減衰させられるため, sponge mesh の数は削減すべきと考えられる. 本研究では, DG 法と sponge layer を用いた音波伝播解析と渦移流解析を対象として, sponge mesh の影響を検証した. その結果, 渦移流解析で sponge mesh が粗い場合に, 非物理的な高い周波数の音波が発生するという大きな問題が生じることが明らかになった(図 3). この高周波は, sponge layer ではなく粗い計算格子が問題であり, sponge layer によりむしろ抑制されていることも明らかにした. これは, 最適な sponge mesh が存在することを示しており, sponge layer による解の減衰プロファイルと dispersion, dissipation の関係性から, sponge mesh の設計が可能であることを示した.

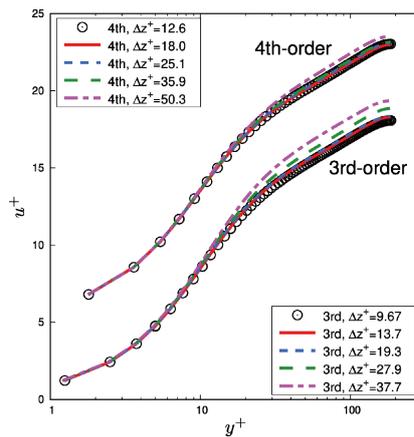


図 1: 流れ方向の平均流速に対するスパン方向の計算格子の影響(空間 3, 4 次精度 DG 法, 4 次精度の結果は y 軸方向に 5 移動している).

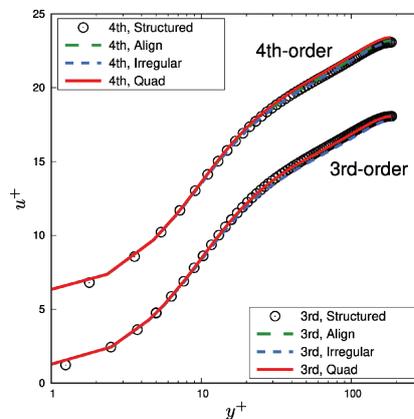


図 2: 流れ方向の平均流速に対する非構造格子の影響(空間 3, 4 次精度 DG 法, 4 次精度の結果は y 軸方向に 5 移動している).

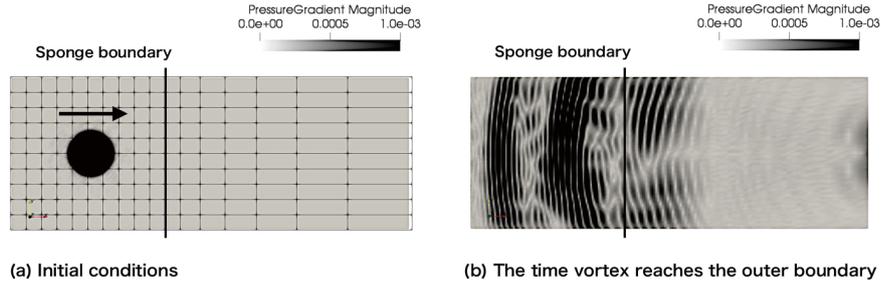


図 3: sponge layer を用いた渦移流解析(粗い sponge mesh, 空間 10 次精度 DG 法).

● 成果の公表

-査読付き論文

1) H. Asada and S. Kawai, "A Simple and Cellwise High-Order Implicit Discontinuous Galerkin Scheme for Unsteady Turbulent flows", Transactions of JSASS, Vol. 62, No. 2, March 2019.

-査読なし論文

1) H. Asada and Y. Ogami, "A sponge layer for accurate aeroacoustic simulations using high-order discontinuous Galerkin methods", AIAA paper, AIAA 2019-1805, 2019.

-口頭発表

1) 浅田啓幸, 河合宗司, 「高次精度 DG 法を用いた空力音響解析に対する基礎検証」, 第 50 回流体力学講演会/第 36 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 宮崎市民プラザ, 2018 年 7 月.

2) H. Asada and Y. Ogami, "Basic investigations of aeroacoustics simulations using LES and high-order DG methods", 29 th International Symposium on Transport Phenomena, Hawaii conventional center, November, 2018.

3) H. Asada and Y. Ogami, "A sponge layer for accurate aeroacoustic simulations using high-order discontinuous Galerkin methods", AIAA Science and Technology Forum 2019, Manchester Grand Hyatt San Diego, January, 2019.

● JSS2 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	32 - 1028
1 ケースあたりの経過時間	30 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.24

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,203,449.40	0.27
SORA-PP	2,075.23	0.02
SORA-LM	24.61	0.01
SORA-TPP	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	42.92	0.04
/data	5,264.28	0.09
/ltmp	8,789.07	0.75

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