

普遍的な LES を実現する SGS 応力方程式型モデリングの研究

報告書番号：R20JCMP08

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14503/

● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

● 問い合わせ先

松山 新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

● メンバ

松山 新吾

● 事業概要

本研究では SGS 応力の輸送方程式を解くことにより, 対象とする流れ場に合わせたチューニングを全く必要としない普遍的な LES の実現を目指す. SGS 応力方程式は空間フィルタリング操作から厳密に導出されるものであるが, 式に含まれる相関項についてモデリングを必要とし, その良し悪しが LES の解析精度を決める. そこで, 乱流噴流の DNS データベースを利用したアプリオリテストにより相関項のモデリングを行い, 新たな SGS 応力方程式型 LES モデルを確立する.

参考 URL: https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-18K03963/

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

SGS 応力方程式の相関項をモデリングするためのアプリオリテストには DNS による統計データが必要となる. 本研究で目指すような $Re > 10000$ 以上の高レイノルズ数条件で DNS を実施するには 10 億点オーダーの格子点数が必要であるため, スパコン上でのみ実行が可能な大規模解析になる. したがって, 本研究の遂行にはスパコンが必須である.

● 今年度の成果

昨年度までに構築した SGS 応力方程式型の LES モデルでは, SGS 応力を高精度に評価できるものの SGS 速度成分そのものを評価することはできない. 粗い格子で LES を実施した場合, GS 速度成分のみでは良い結果が得られないことが予想されるため, 本年度は SGS 速度成分を評価する手法について取り組んだ. DNS データベースを利用したアプリオリテスト(図 1 および 2)により GS 速度成分と SGS 応力に対する SGS 速度成分の相関を分析した. 瞬時場について相関を評価した結果(図 3)からは, 単純な相関を見出すことはできなかったが, 今後, 機械学習などより高度な手法による分析を実施したい.

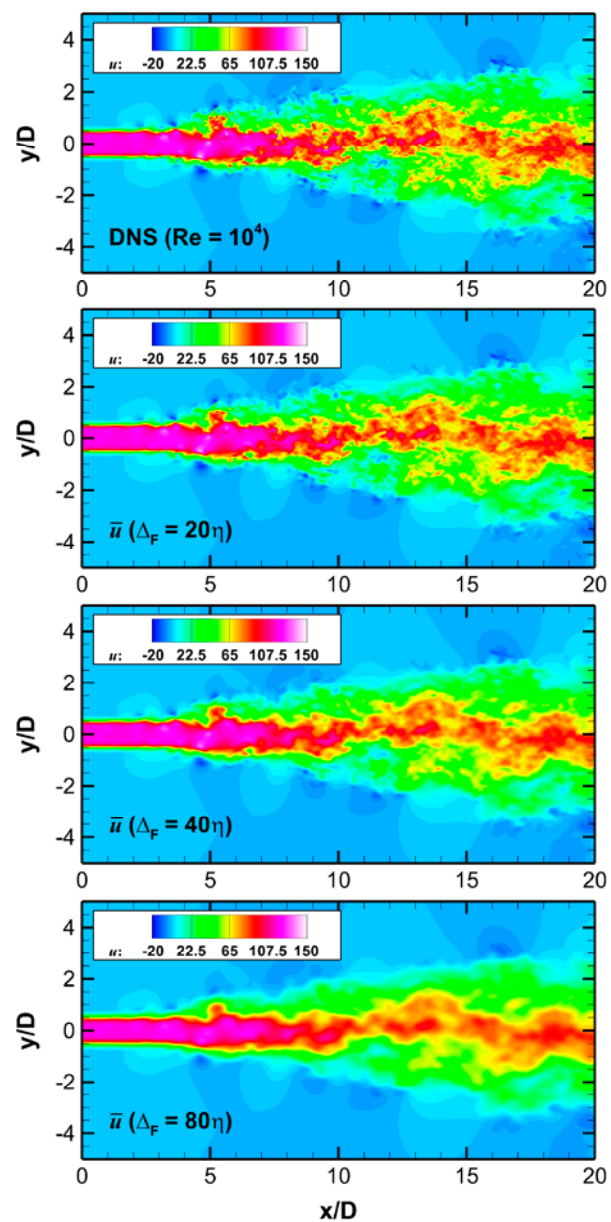


図 1: $Re = 10^4$ での DNS による x - y 断面における瞬時の x 方向速度場 u とフィルタリングされた速度場データ.

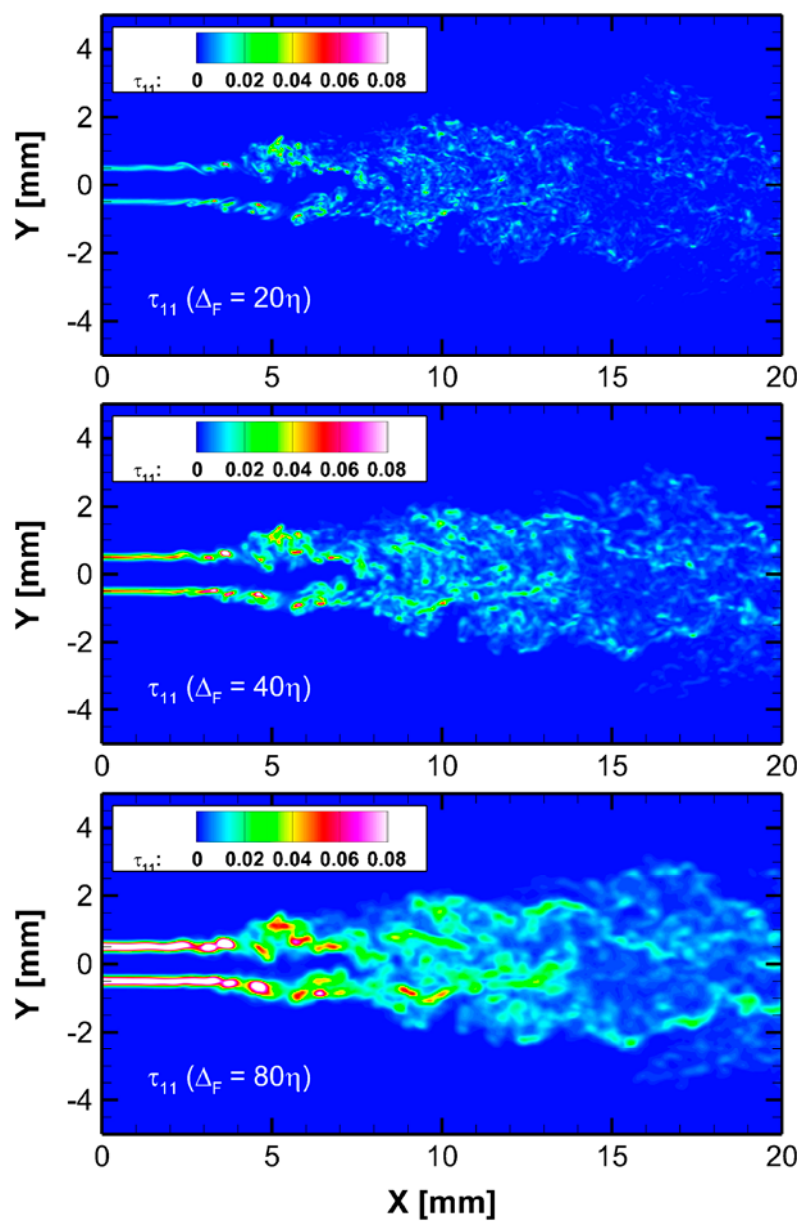


図 2: 異なるサイズのフィルターにより空間フィルタリングされた DNS データから得られた瞬時の SGS 応力場(τ_{11}).

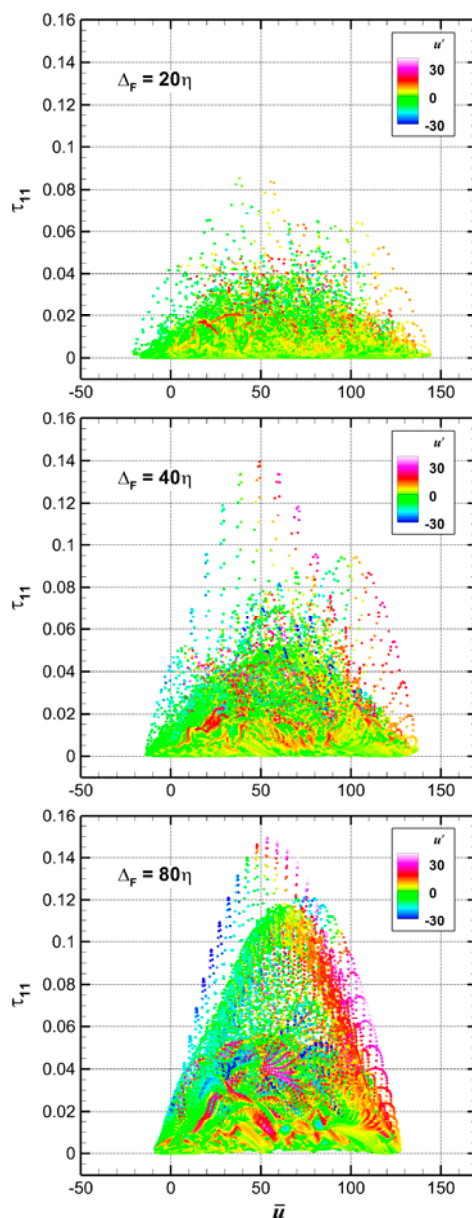


図 3: GS 速度成分と SGS 応力に対する SGS 速度成分 u' の相関. u と τ_{11} のスキャッタープロットを u' により色付けした結果を表示.

● 成果の公表

-査読なし論文

- 1) 松山 新吾, "OK, LES. 乱流噴流の答えを教えて", 宇宙航空研究開発機構特別資料: 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, JAXA-SP-20-008, pp.83-91, 2020.
- 2) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリング", 第 34 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, A02-3, 2020.
- 3) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリングの提案", 第 36 回生研 TSFD シンポジウム講演論文集, 2021.

-口頭発表

- 1) 松山 新吾, "OK, LES. 乱流噴流の答えを教えて", 宇宙航空研究開発機構特別資料: 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2020.
- 2) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリング", 第 34 回数値流体力学シンポジウム, 2020.
- 3) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリングの提案", 第 36 回生研 TSFD シンポジウム, 2021.

● 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	OpenMP
プロセス並列数	750 - 1500
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.10

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	596,064.44	0.11
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	44.56	0.03
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	342.25	0.31
/data	1,628.02	0.03
/ltmp	279.02	0.02

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

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 2.28

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 (%)
TOKI-SORA	12,565,200.36	2.70
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	342.25	0.23
/data	1,628.02	0.03
/ssd	13.62	0.01

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