

# 半無限領域のスペクトル法による竜巻を模した渦の数値実験に向けた研究開発

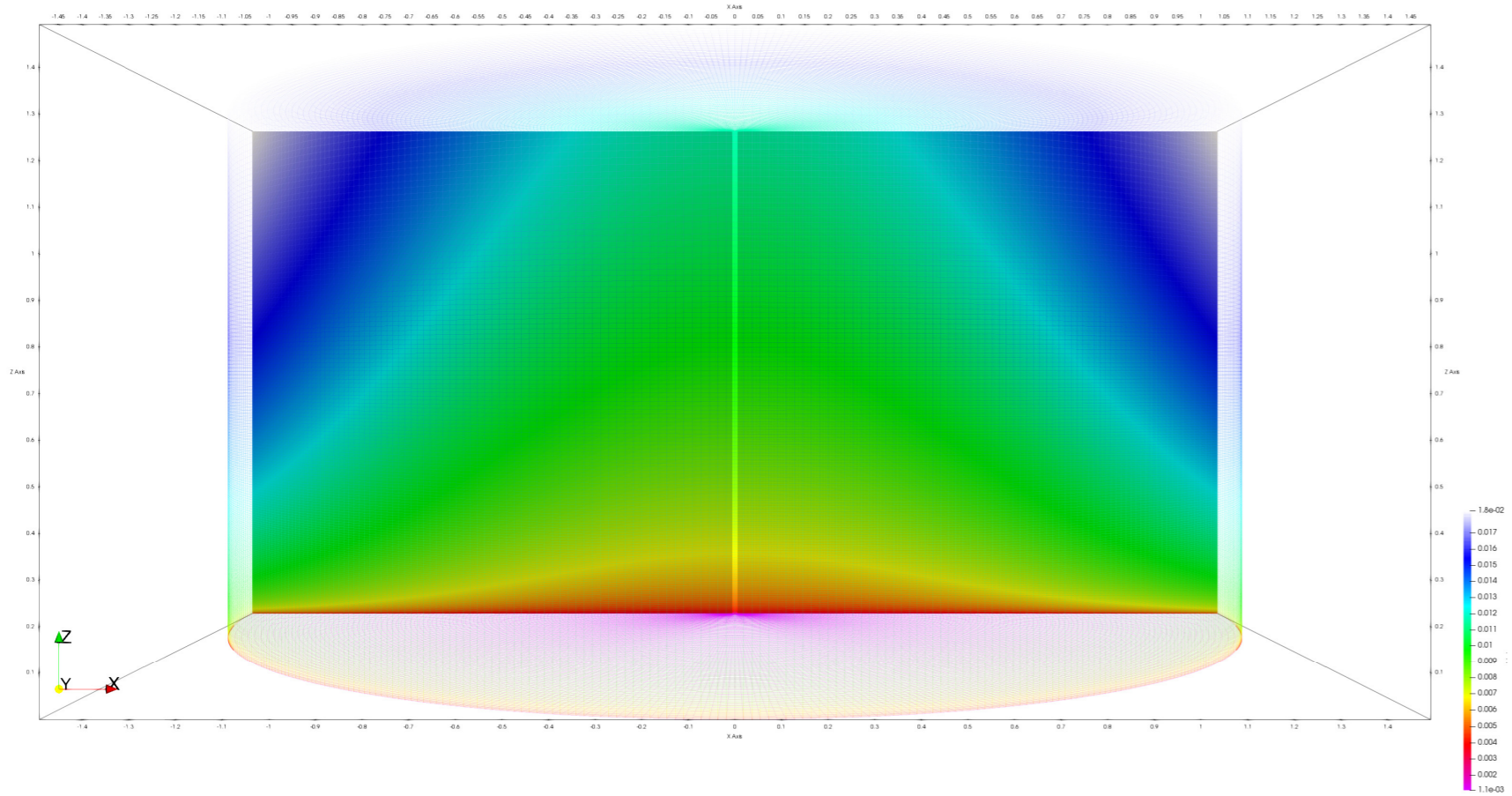


## 課題概要

回転する環境場の中に鉛直流を強制したときに生成される竜巻を模した鉛直渦は、スワール比に依存して多様な渦の形態(1, 2セル構造, 螺旋渦, 多重渦)をもつことが知られている。Matsushima and Ishioka (2017) では、そのような鉛直渦などの大気中の微細渦の高精度数値実験が可能な新しい数値モデルを開発した。本課題では、そこで開発した数値モデルの改良と二次元分割MPI並列化を行い、それを用いて竜巻を模した渦の生成に対する境界条件の影響を評価する数値実験を行った。

## 数値モデル (Matsushima and Ishioka, 2017, FDR)

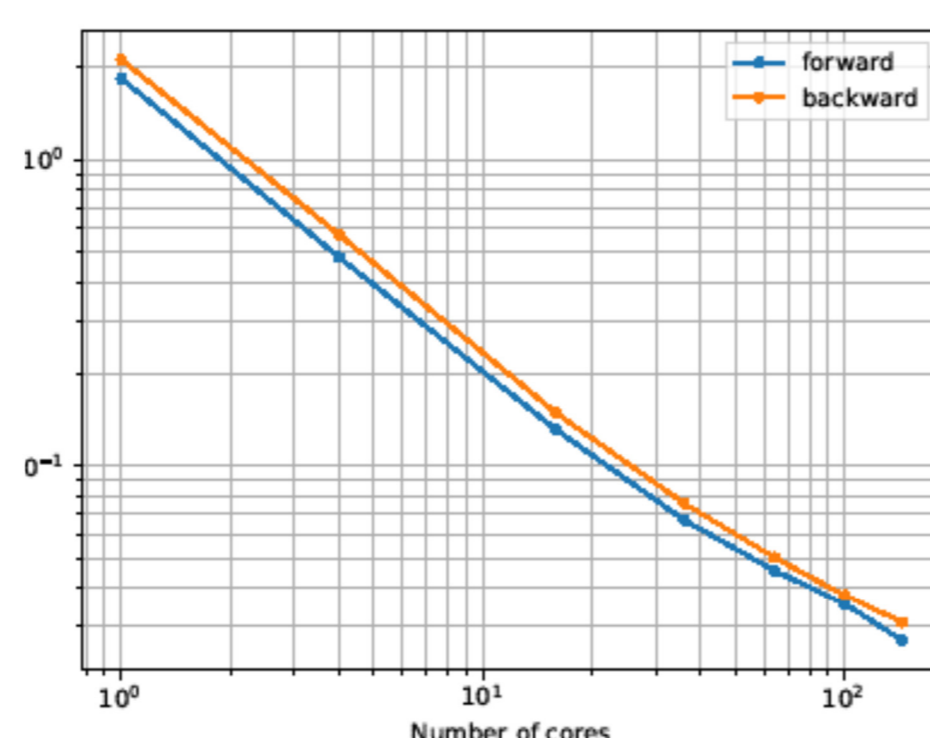
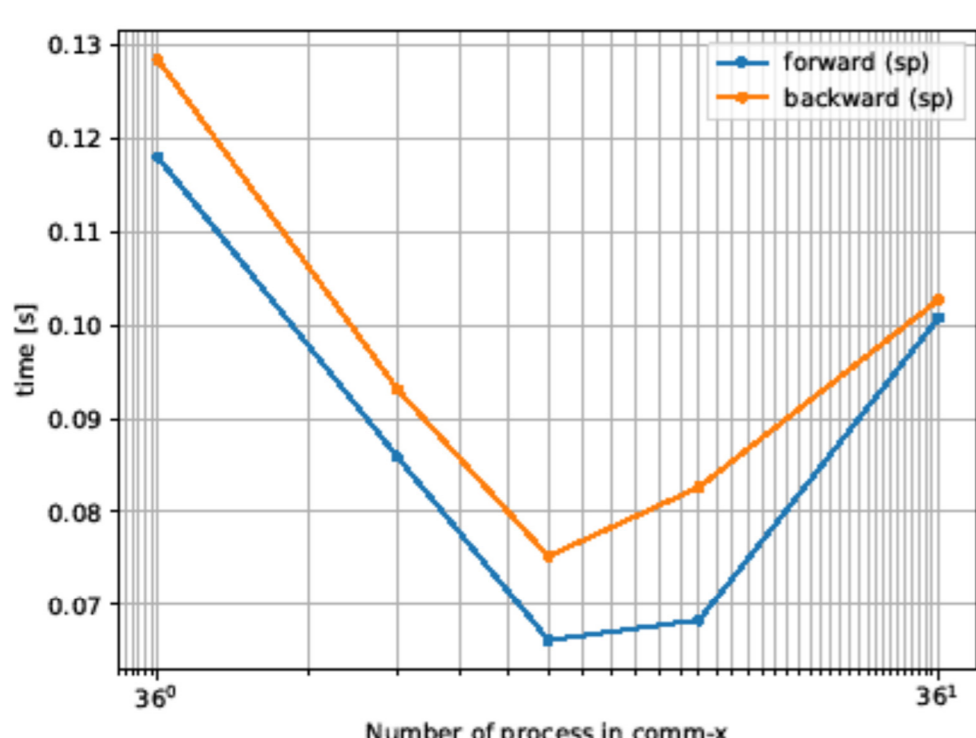
- 平板の上に広がる半無限領域を計算領域とする, 非圧縮ナビエ・ストークス方程式のスペクトル法モデル
- 水平方向は立体写像と球面調和関数を用いた無限領域のガラーキンスペクトル法
- 鉛直方向は写像とチェビシェフ多項式を用いた半無限領域のペトロフ・ガラーキンスペクトル法
- 速度場の下端境界条件ではなく渦度の積分制約条件を数値計算に利用
- 円柱座標系の中心軸付近の極問題を波数切断によって回避



三角切断による球面調和関数展開を行った場合の実効的な解像度  $(\Delta x \Delta y \Delta z)^{1/3}$  の空間依存性 (動径・鉛直の各方向にそれぞれ全体の1/2の格子点を含む下端境界付近の領域)

## 数値モデルの並列化と実行性能

- スペクトル変換の実行時間の多くを占める通信を高速化するため, 数値モデルを二次元分割MPI並列化
- スペクトル変換は一次元分割MPI並列と比較して一ノード内で最大で約60%高速化
- スケーラビリティの改善

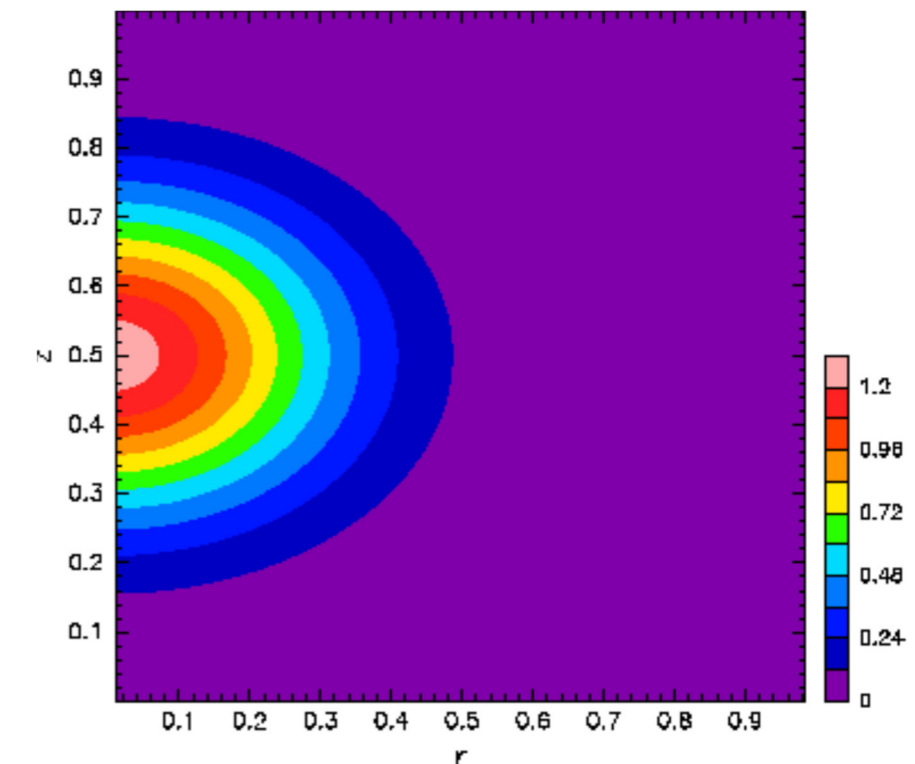


問題サイズ: 動径(256), 方位角(512), 鉛直(512)

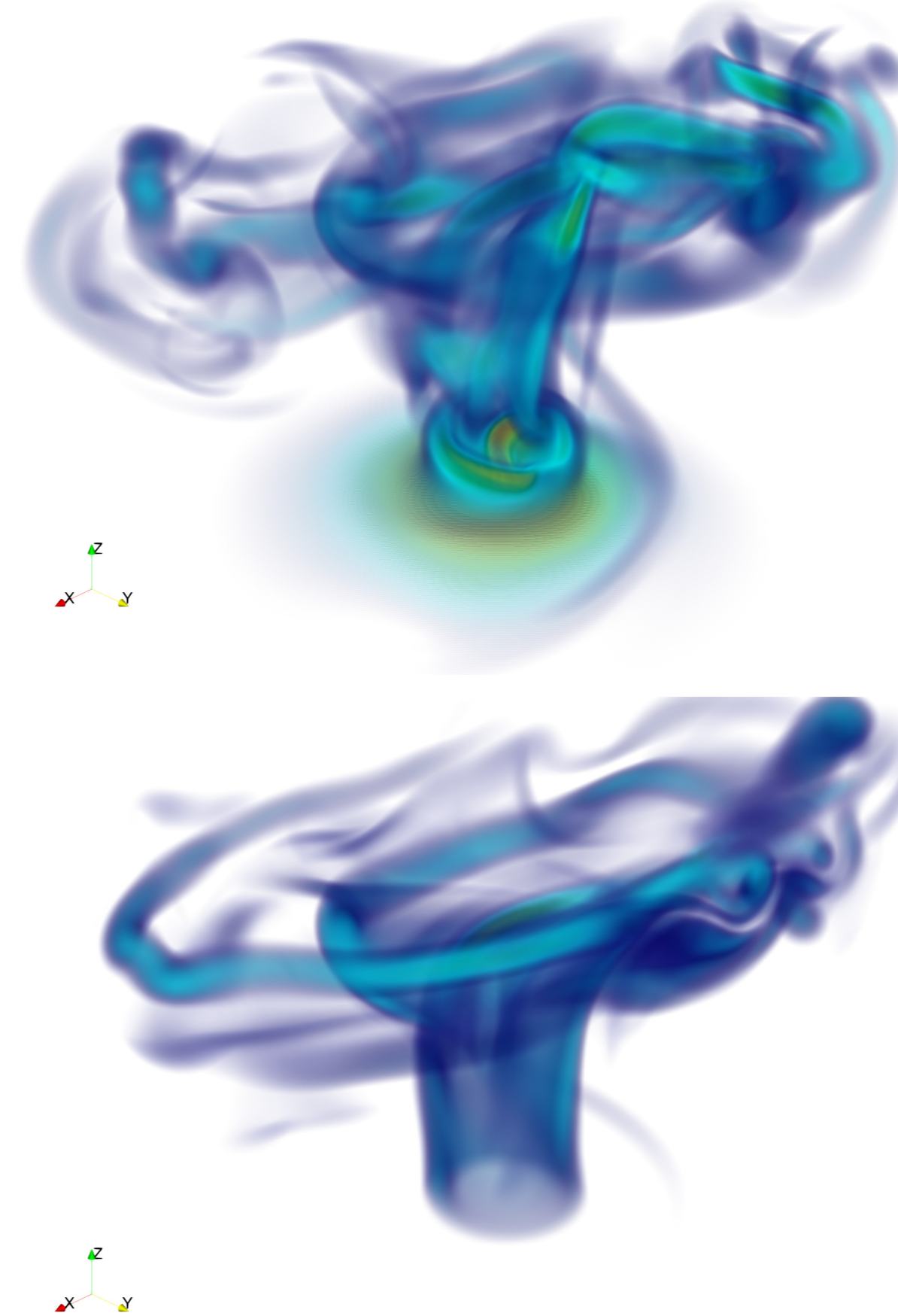
## 数値実験

- 浮力強制
- 剛体回転率: 0.2
- 動粘性係数:  $4 \times 10^{-4}$
- 粘着/すべり境界条件
- 遠方でスポンジ層

浮力



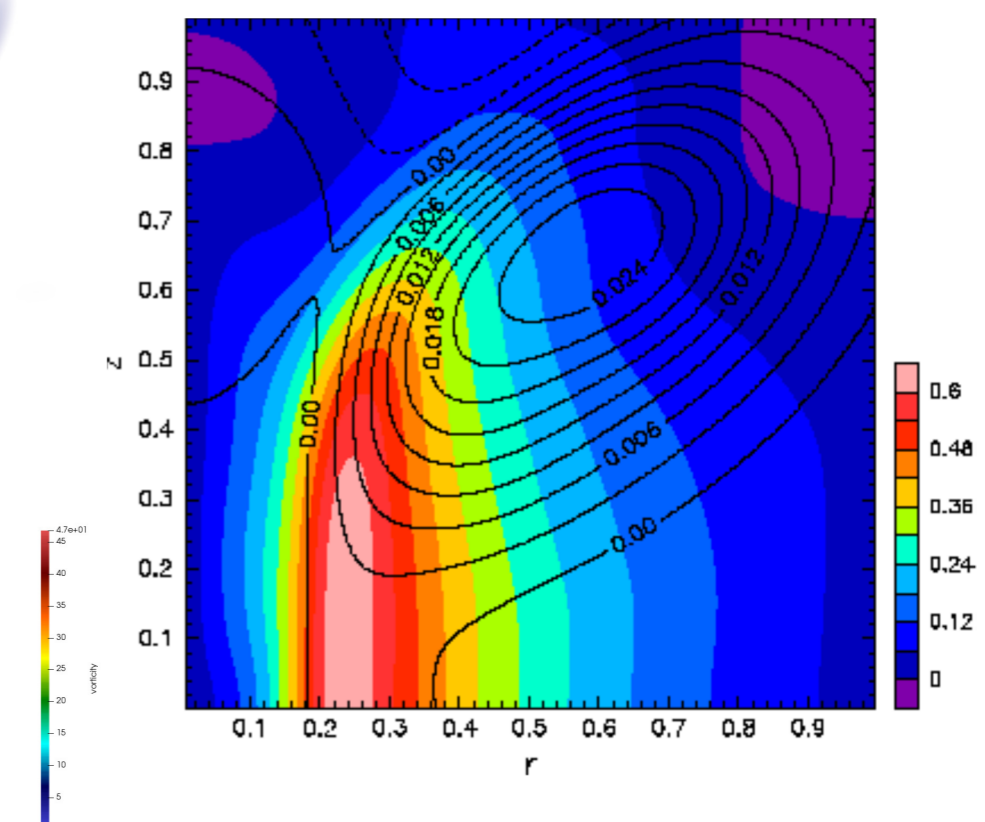
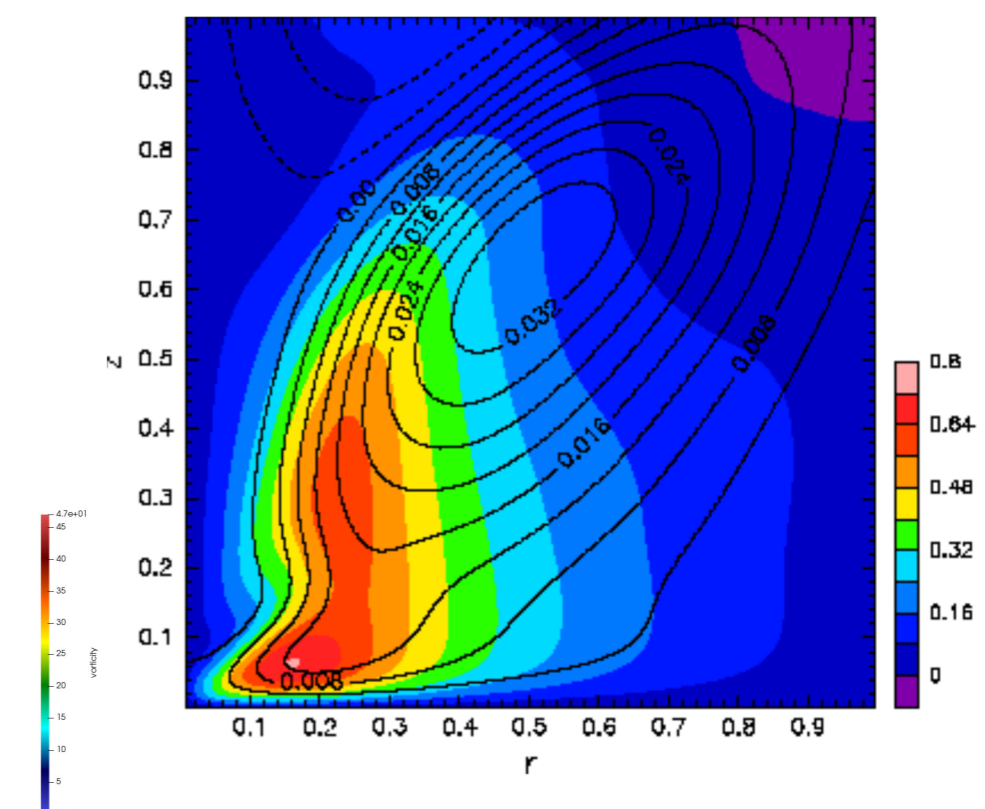
渦度



粘着境界条件

すべり境界条件

接線風, ストークス流線関数



## まとめと今後の課題

- 粘着境界条件の場合では, 下端境界付近に水平方向に軸をもつ擾乱が発達する様子が計算された。
- 境界より少し上では両実験とも鉛直方向に軸をもつ非軸対称擾乱が発達するが, すべり境界条件の場合は擾乱の振幅は小さくリング状の渦度分布となった。
- 今後は動粘性係数, 剛体回転率および境界条件に関するパラメータスイープ実験を行い, 境界付近で発達する擾乱の渦力学とそのパラメータ依存性および平均的な渦の構造について調べる。