

竜巻状旋回流の3次元可視化

2010年11月5日

清水建設(株) 技術研究所

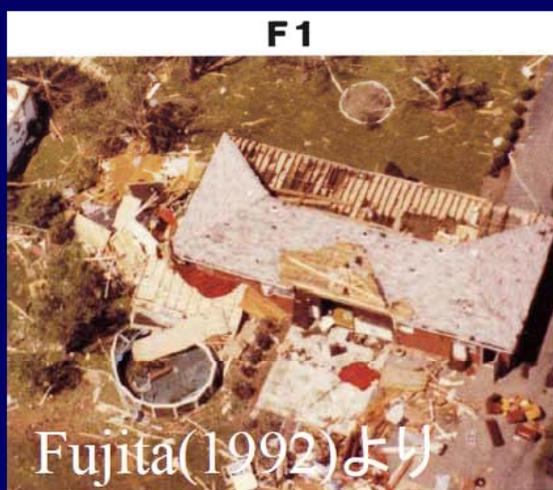
○ ファム バン フック



日本竜巻の規模とその最大風速



F0: 17 ~ 32m/s



F1: 33 ~ 49m/s



F2: 50 ~ 69m/s

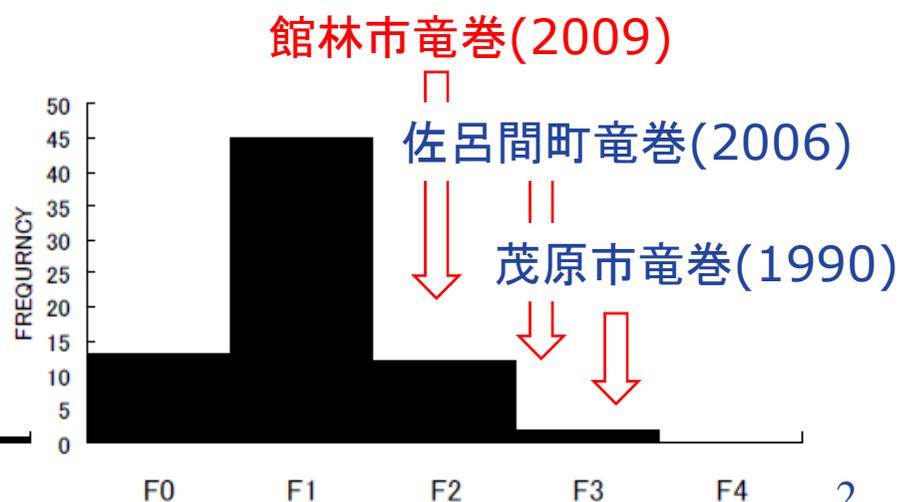


F3: 70 ~ 92m/s



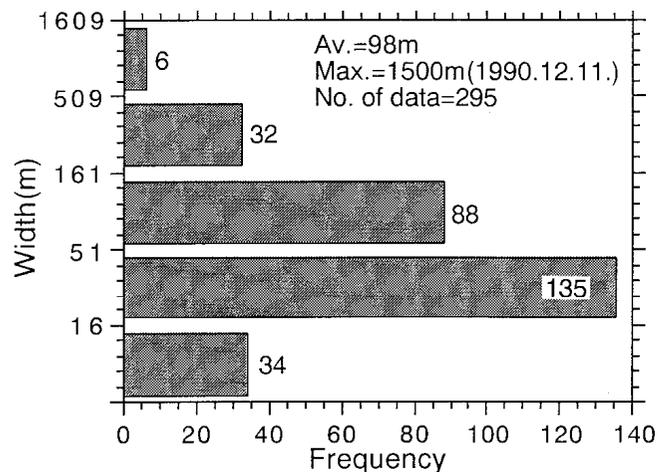
F4: 93 ~ 110m/s

日本(10年)

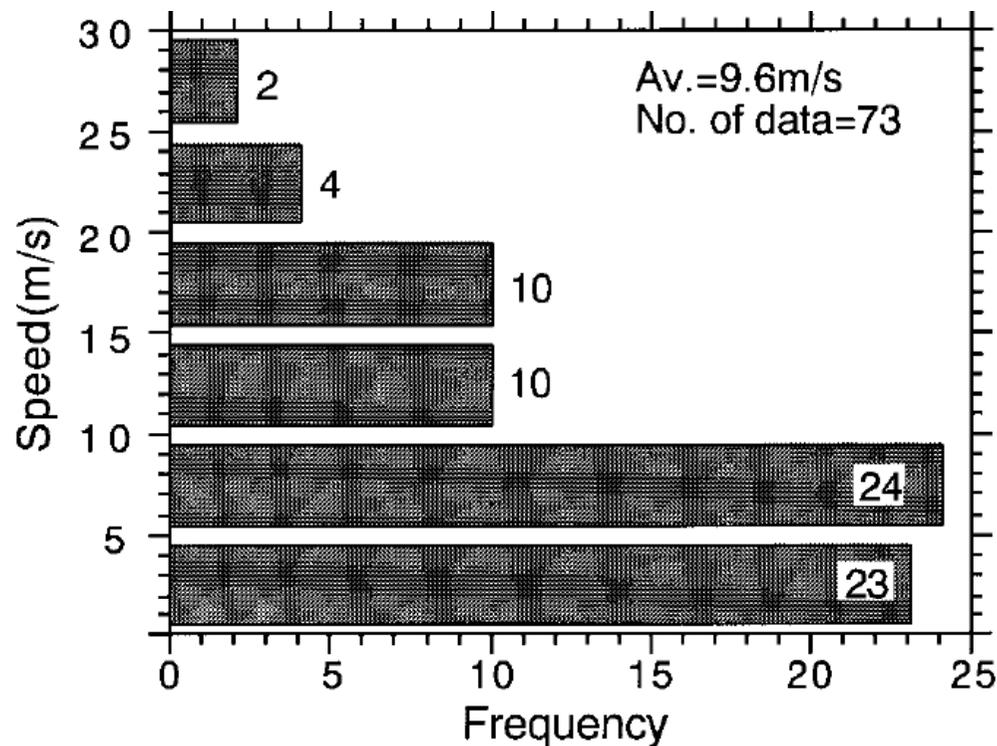
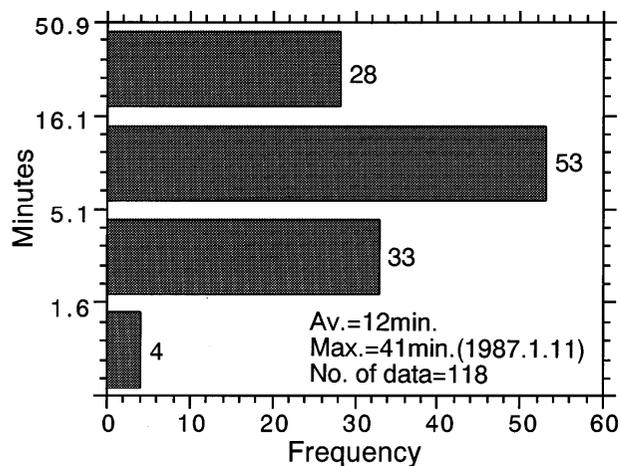


竜巻の水平移動速度

被害長さ



竜巻の寿命



水平移動速度の平均値は9.6m/s

竜巻による建物の被害



2004年6月27日
佐賀県

全壊



2006年9月17日
宮崎県延岡市

一部損傷



2006年11月7日
佐呂間町

全壊



2009年7月27日
群馬県館林市

半壊

■ 例：館林市の竜巻被害(気象庁, 2009年7月27日)

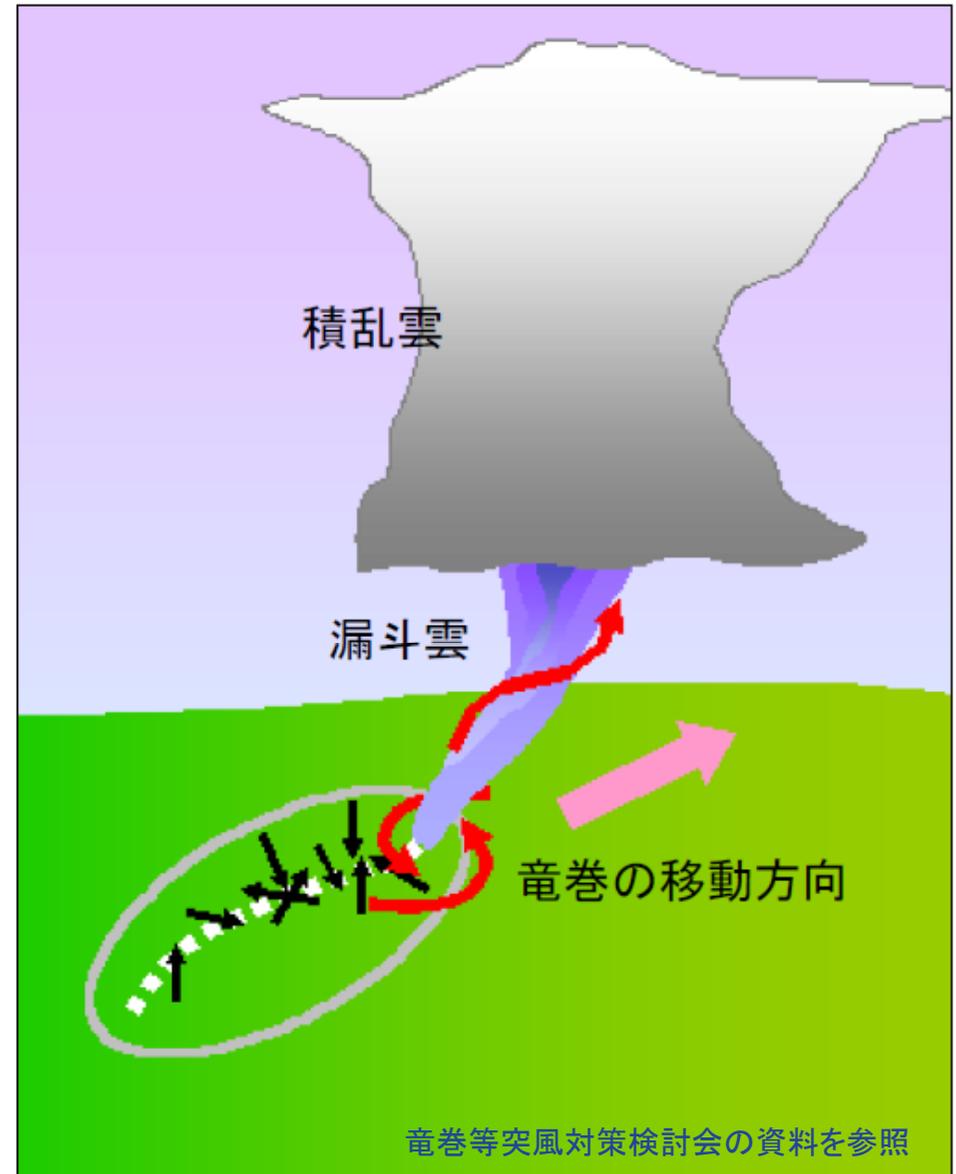
- 人的被害： 重傷者 1名、軽傷者20名
- 車両被害： 全損 4台、半損 14台、 小損 15台
- 住家被害： 全壊 14棟、半壊 24棟、 一部破損 286棟
- 非住家被害： 全壊 11棟、半壊 9棟、 一部破損 75棟

建物の被害の
割合が大きい

建物の被害を軽減するために竜巻の流れ場と
その流れ場による建物への影響を明らかにする必要がある。

竜巻の流れ場：旋回流

- 従来の強風・暴風との相違
 - 突発的、猛烈な風が吹く
 - 旋回流（竜巻状旋回流）
 - 回転しながら急速に上昇する
 - 吸い上げ鉛直風速は大きい



竜巻に関する研究分野

実測 (気象学)

VORTEX1 (1994~1995)

DOW(1990)

VORTEX2

竜巻の発生機構の解明

Doppler On Wheels 6 (DOW) Center for Severe Weather Research PI: Joshua Wurman	SMART-Radar (2) University of Oklahoma PI: Mike Riggert	DOW7 Radar/S S-Bi Ops Cent Center for Severe Weather Research PI: Joshua Wurman	Stinson (24) Texas Tech University PI: Chris Weese
Rapid-Scan DOW Center for Severe Weather Research PI: Joshua Wurman	NOXP National Severe Storms Laboratory PI: Don Burgess	Tornado-Pods (14) Center for Severe Weather Research PI: Joshua Wurman	Mobile Mesonets (8) National Severe Storms Laboratory PI: Yvette Richardson, Paul Markowski

数値解析 (気象学)

野田・新野(2003)

実際の写真

(j)4423s (k)4440s (l)4481s

(o)4573s

実験 (風工学)

Fig. 17. Tornado pair, Elkhart, Ind., Palm Sunday, 1965.

Fig. 10. Surface pressure: $2r_0/k=0.75$, inflow angle $\theta=60^\circ$.

数値解析 (風工学)

ISU: Iowa State Univ.,
P. Sarkar, J. Wurman



竜巻状旋回流の構造の解明

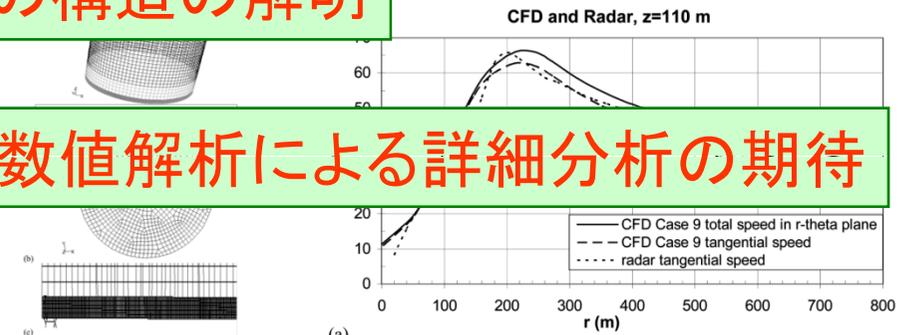
計測装置の制約、難解

収束層

Ward(1972)

Fig. 19. Laboratory vortex family of three.

数値解析による詳細分析の期待

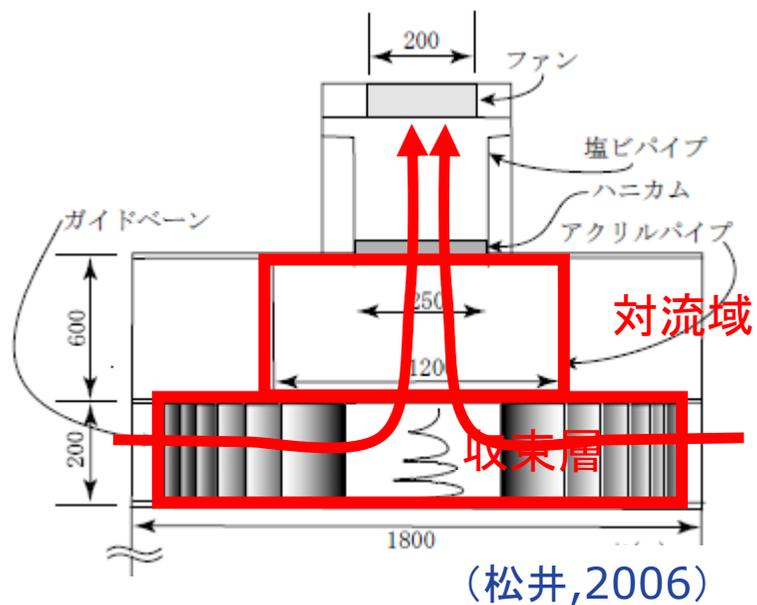


可視化の狙い

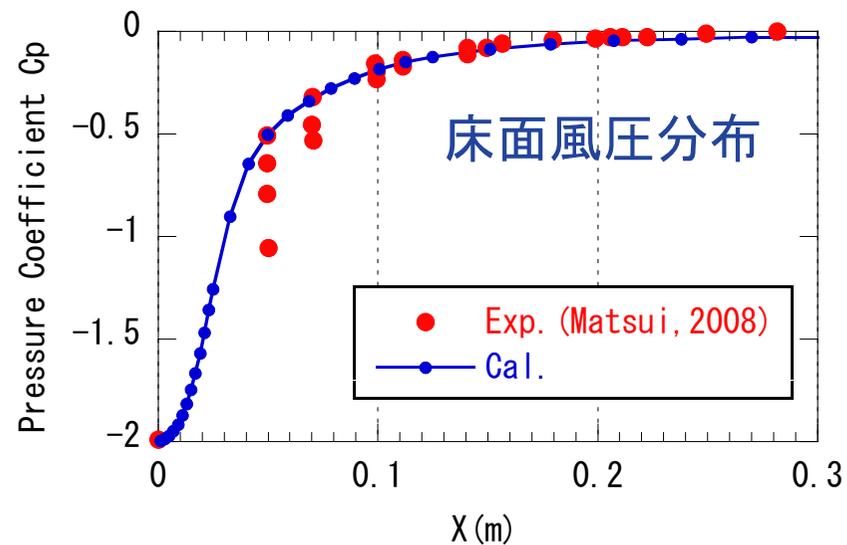
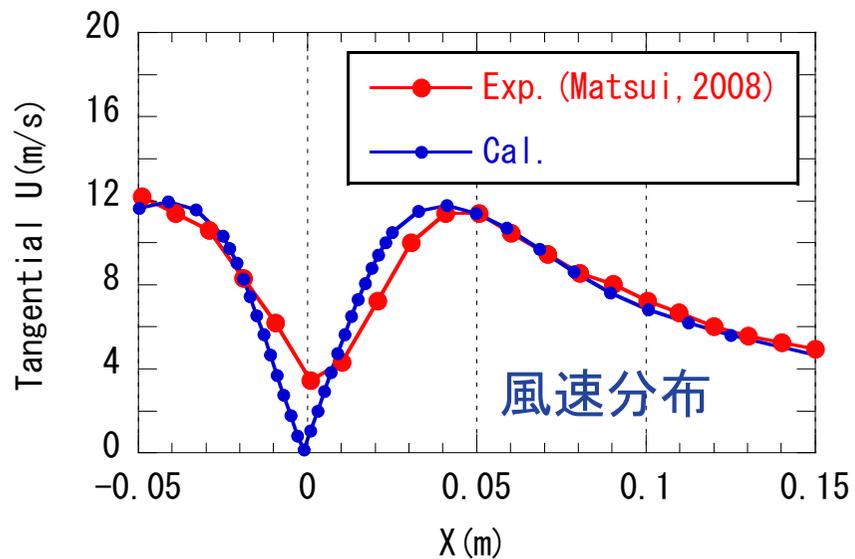
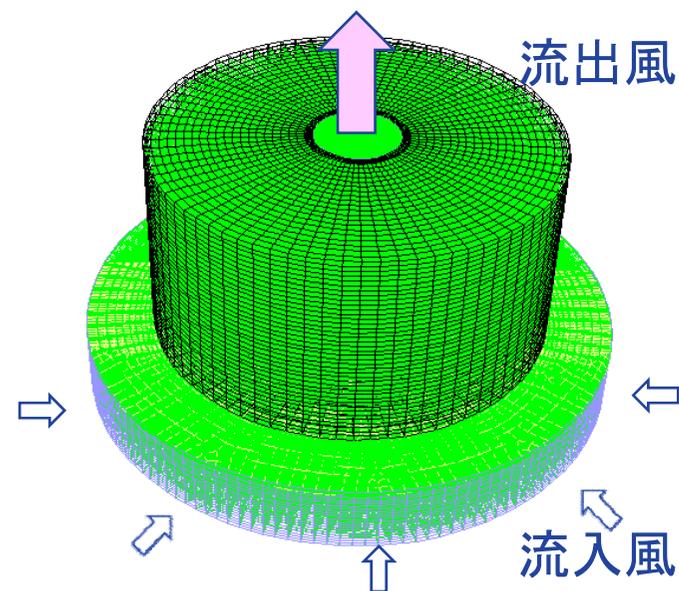
- 数値シミュレーター*により移動している竜巻状旋回流を生成し、Volume Rendering及び3次元可視化によりその旋回流の構造特性を解明。
 - 旋回流の基本構造
 - 渦コアの成長
 - 旋回流内の建物の風圧力の変化
 - 建物の近傍の流れ場の特徴

数値シミュレータの概要：基本構造

■ Ward 静止実験装置

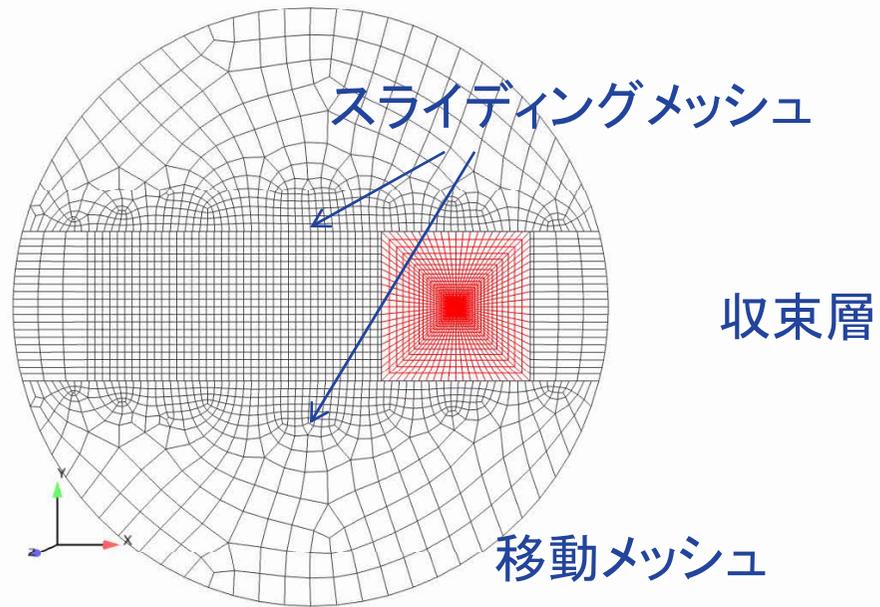


■ 数値シミュレータ

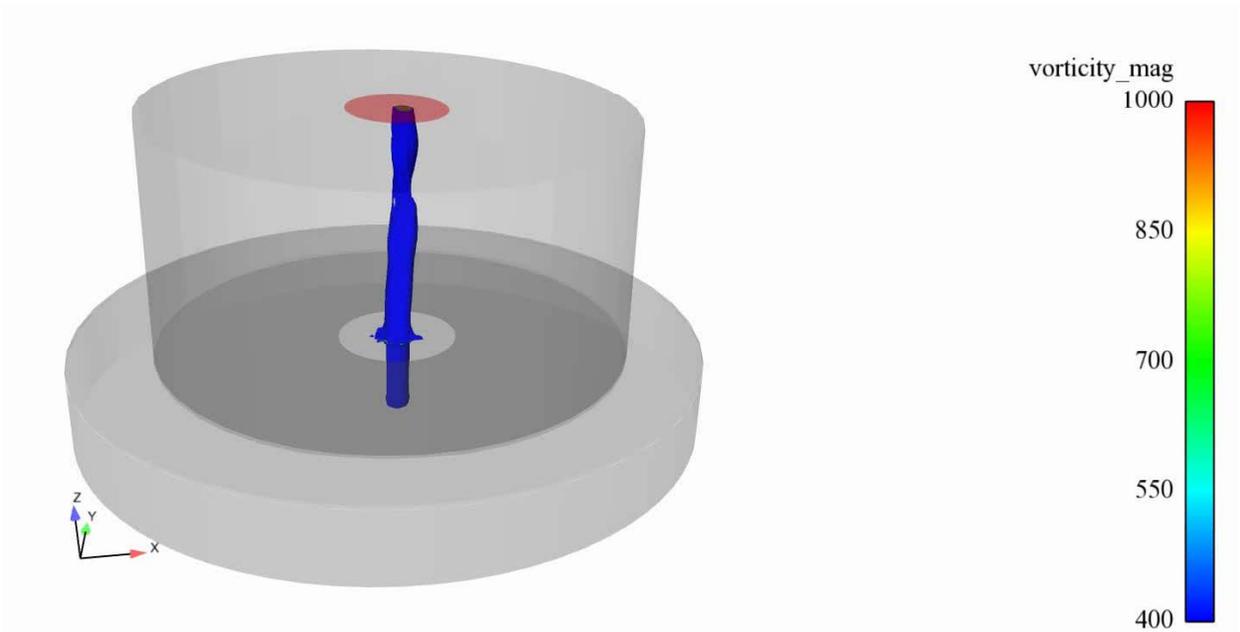


数値シミュレータの概要：移動方法

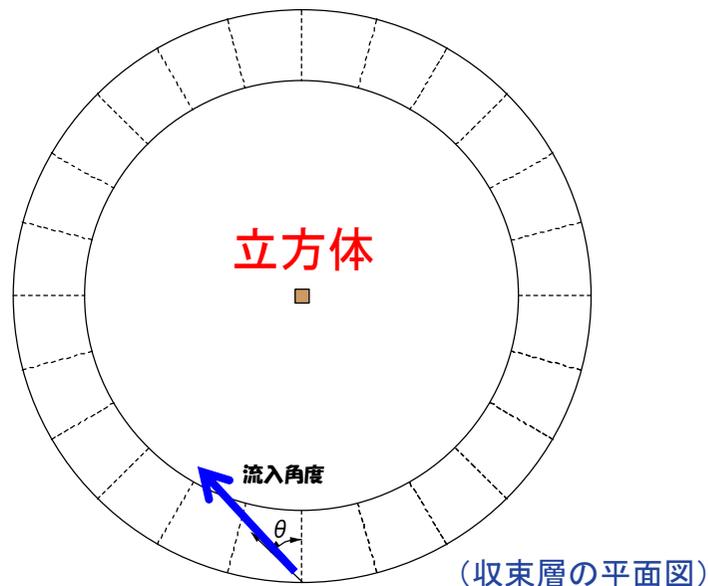
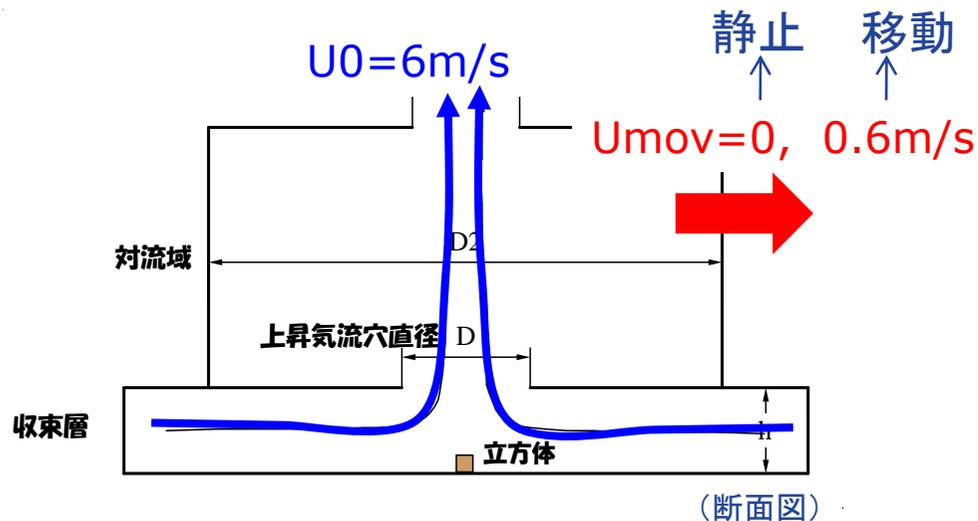
機械分野で使われている
ダイナミックメッシュ
の活用



シミュレータの移動



数値実験の解析条件



循環流の入角 $\theta=60\text{deg}$

■ 装置のパラメーター (1/1000)

- $D=0.25\text{m}$
- $h=0.2\text{m}$
- レイノルズ数
 - $Re=Q/hv=8.2E+4$
- スワール比
 - $S=d/4h \times \tan\theta=0.65$

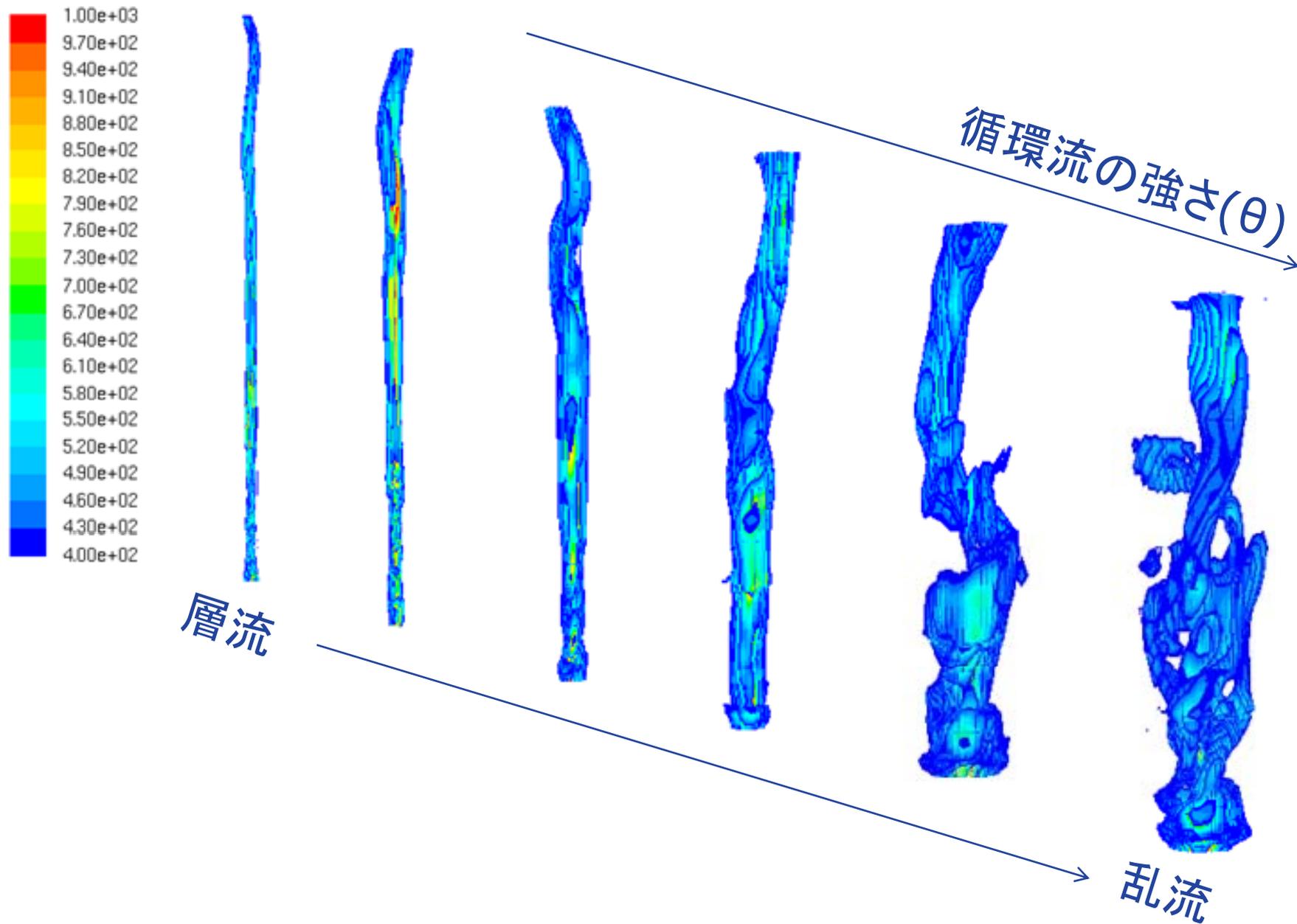
■ 立方体の寸法 (1/1000)

- 幅: 0.02m

■ 乱流モデル

- Large Eddy Simulation (LES)
- Smagorinsky-Lilly Subgrid - Scale Model
- $Cs=0.1$

循環流の強さによる渦の成長



平均風圧コンター(θ=60deg)

急激の風圧の低下

mean_pressure

0.000e+000

-6.000e+001

-1.200e+002

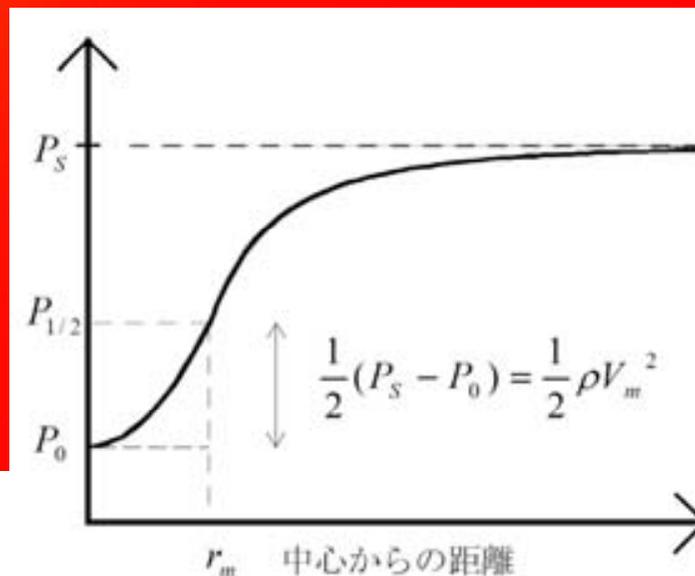
-1.800e+002

-2.400e+002

-3.000e+002



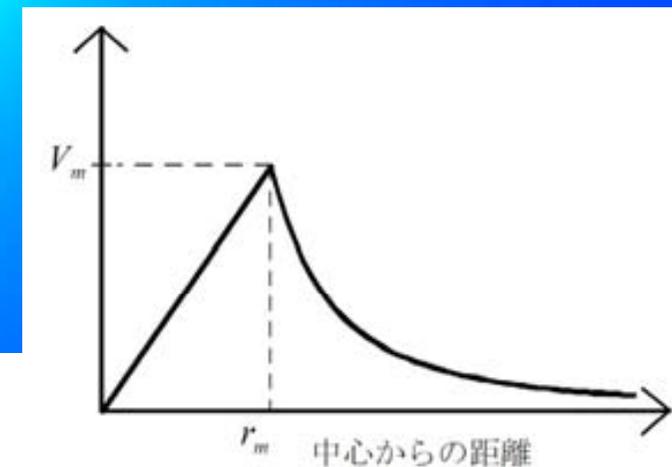
ランキン渦の風圧場分布



平均風速コンター(θ=60deg)

(Z=0.15m)

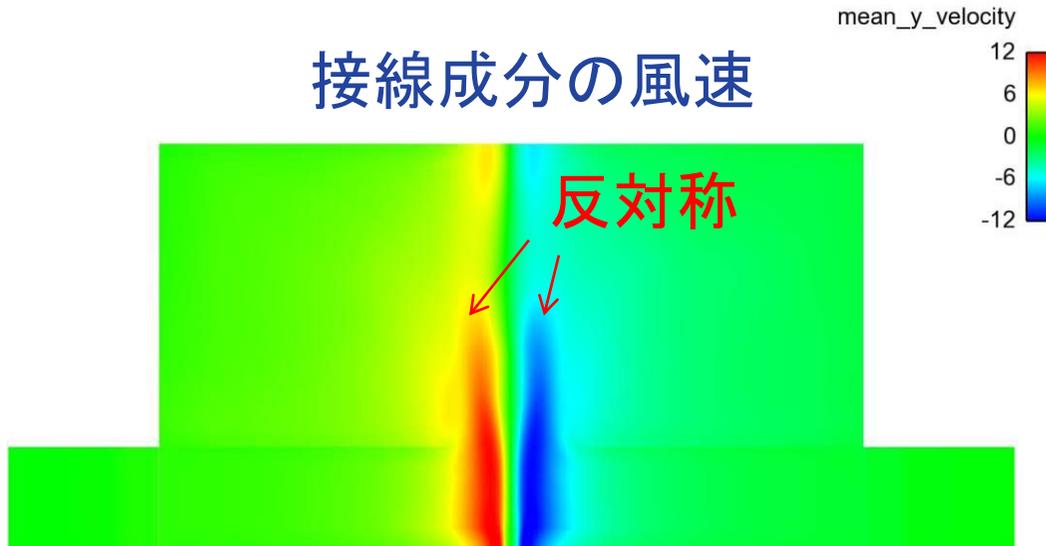
mean_velocity_magnitude



ランキン渦の速度場分布

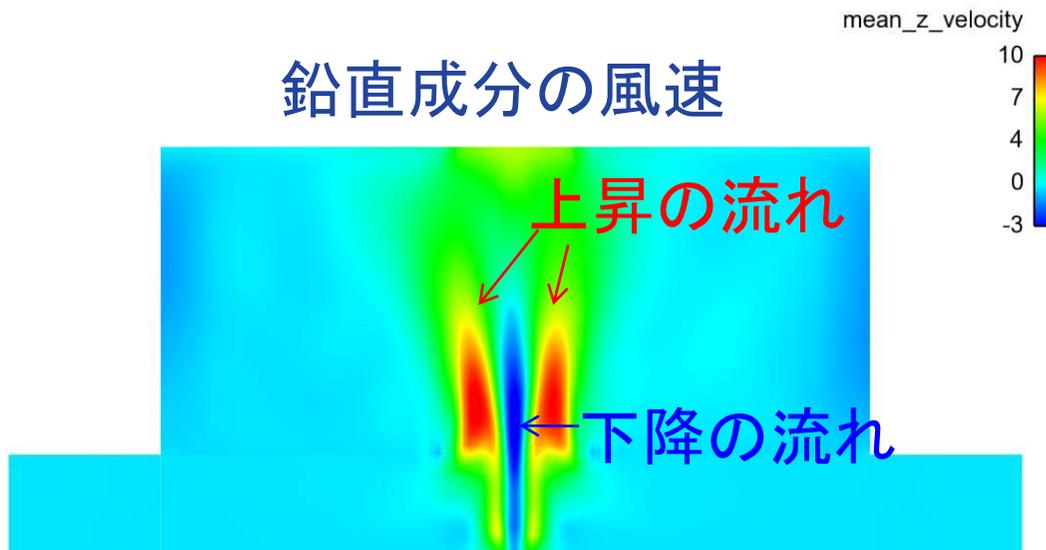
断面の平均風速コンター (θ=60deg)

接線成分の風速



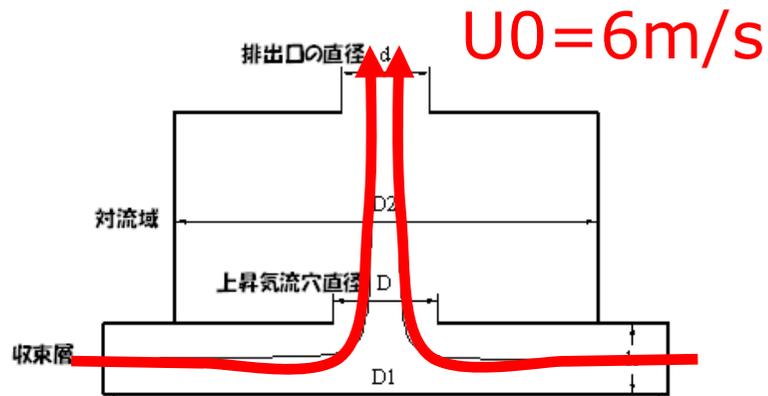
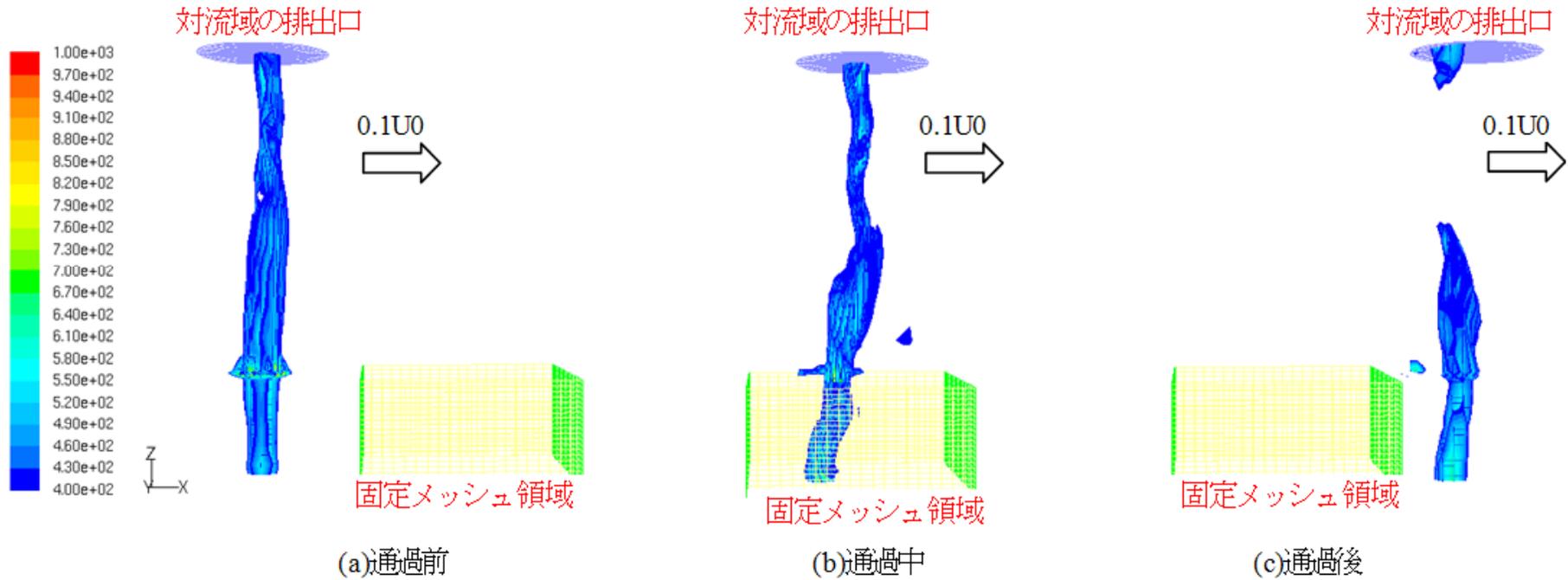
強い回転の流れが生じる

鉛直成分の風速



上昇流と下降流により
生成された流れ場

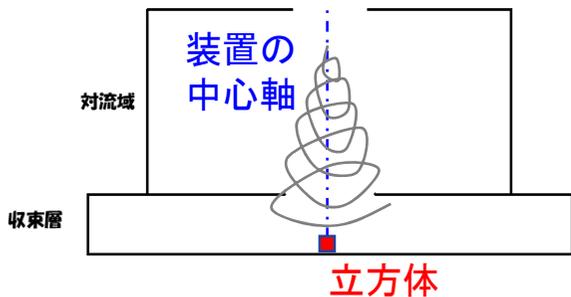
移動効果($\theta=60\text{deg}$)



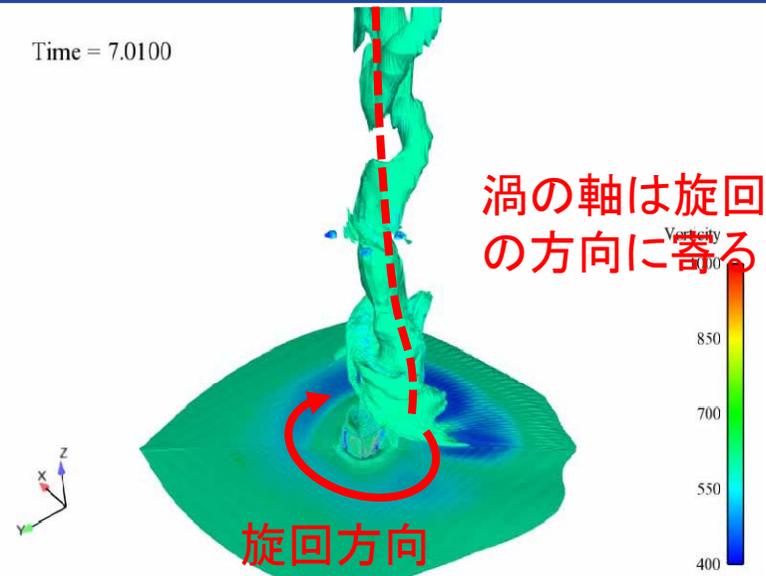
竜巻状旋回流の移動により渦上部が弱まっていく傾向

発生された流れ場の渦度コンターの变化

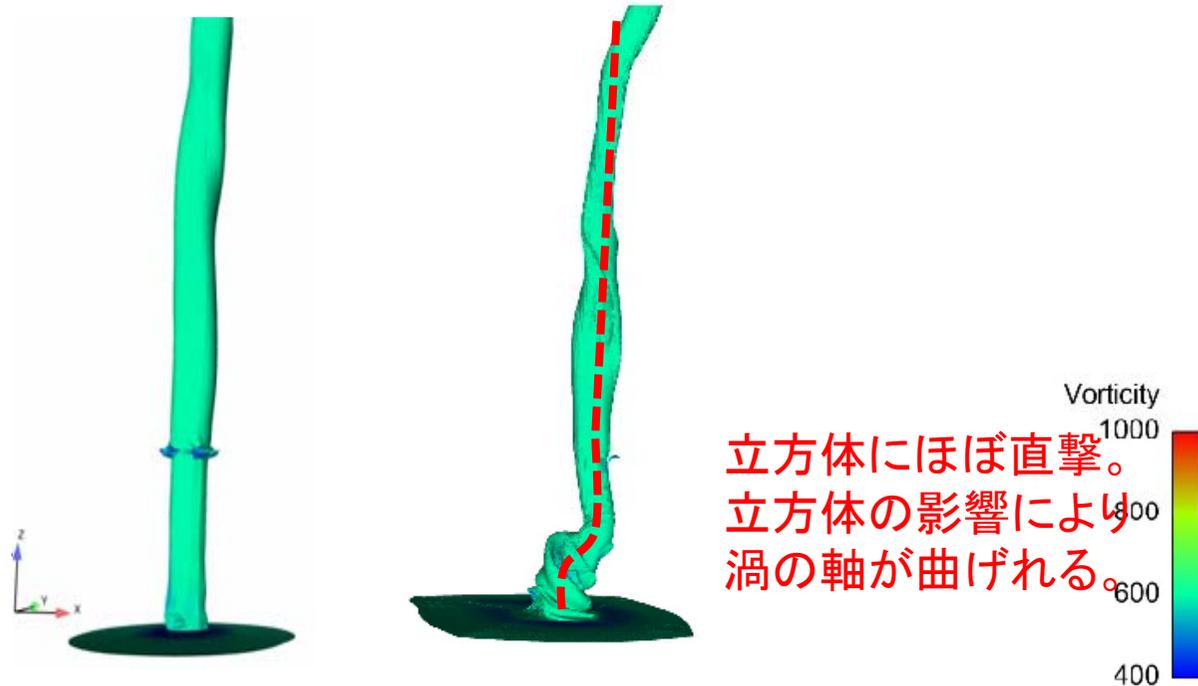
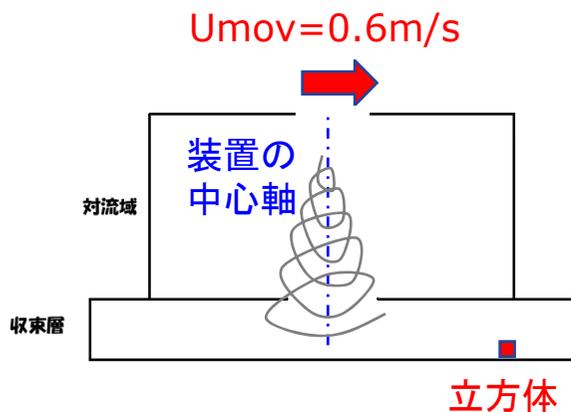
■ 移動していない旋回流



Time = 7.0100

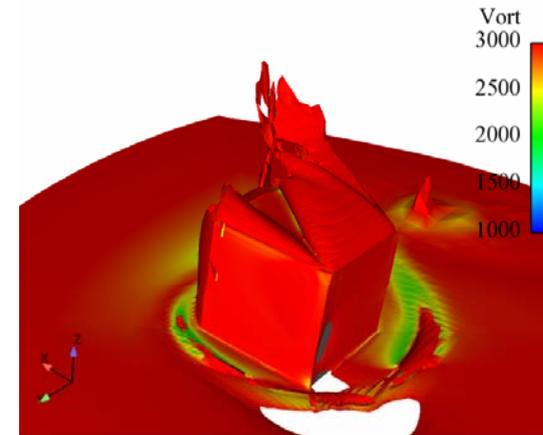
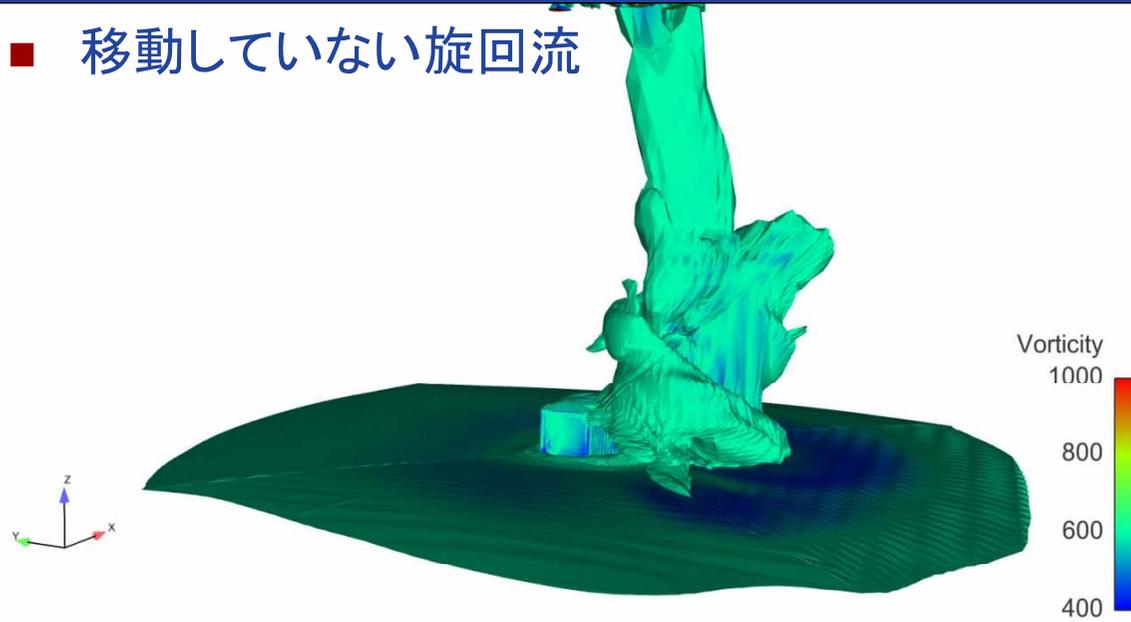


■ 移動している旋回流

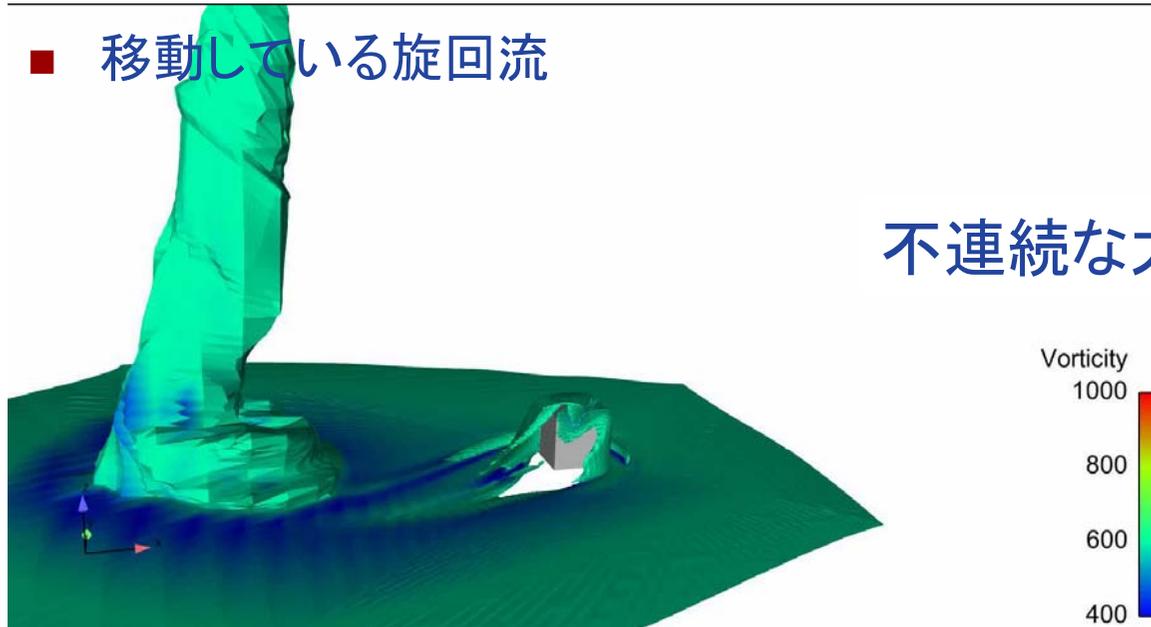


渦度コンターの拡大図

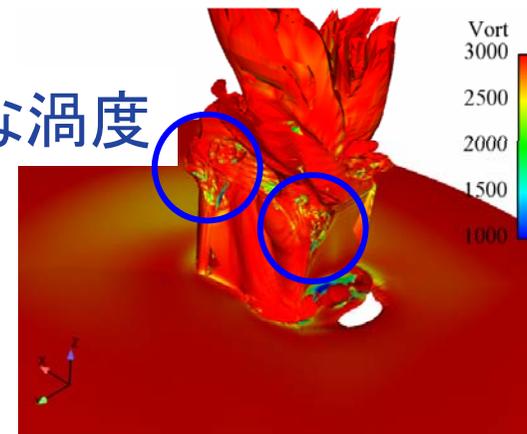
■ 移動していない旋回流



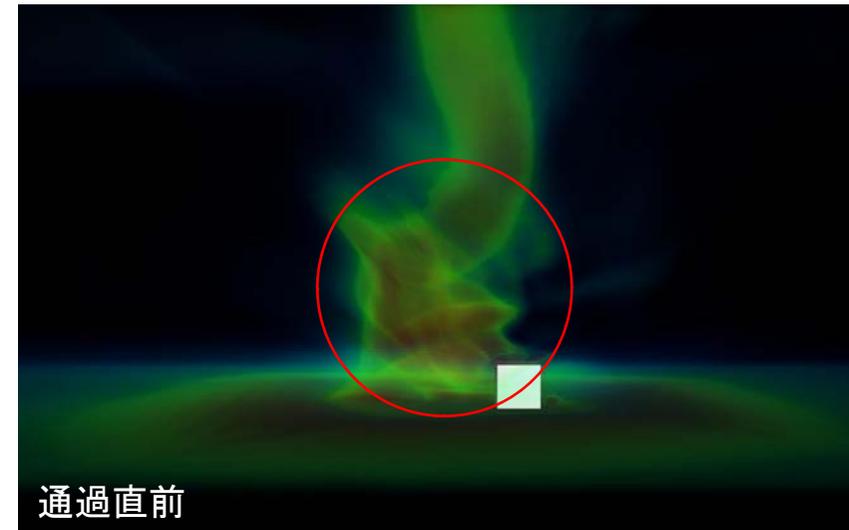
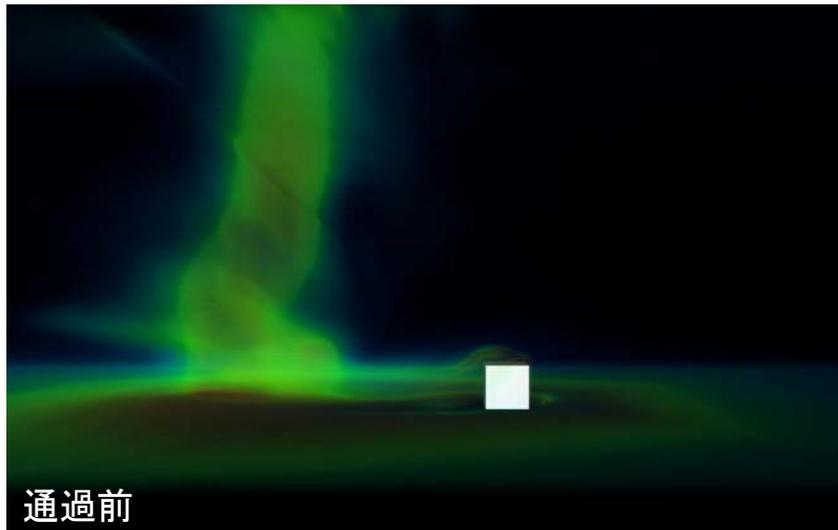
■ 移動している旋回流



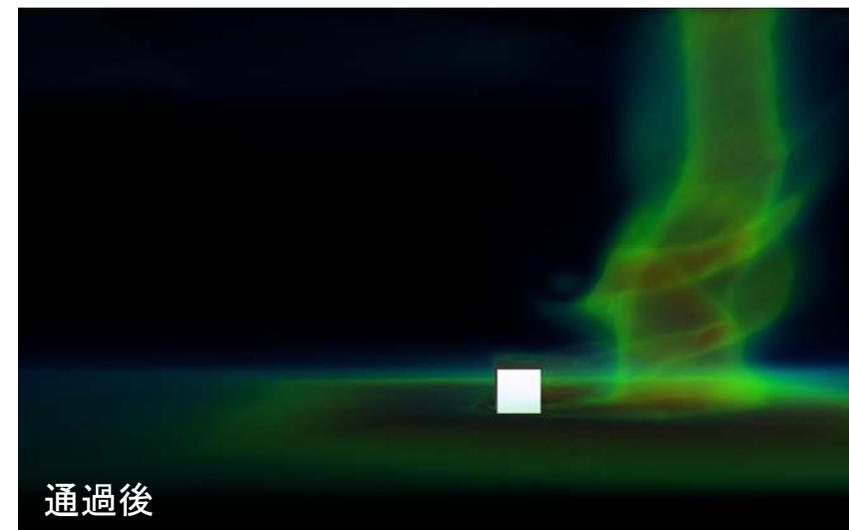
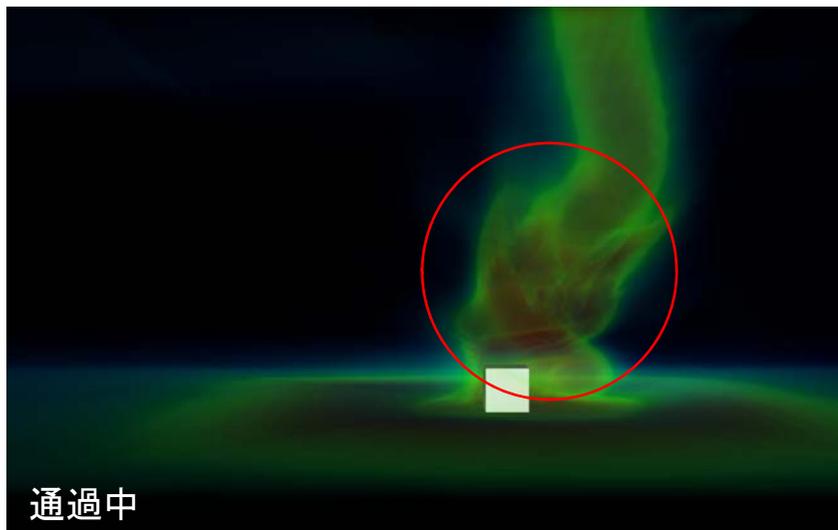
不連続な大きな渦度



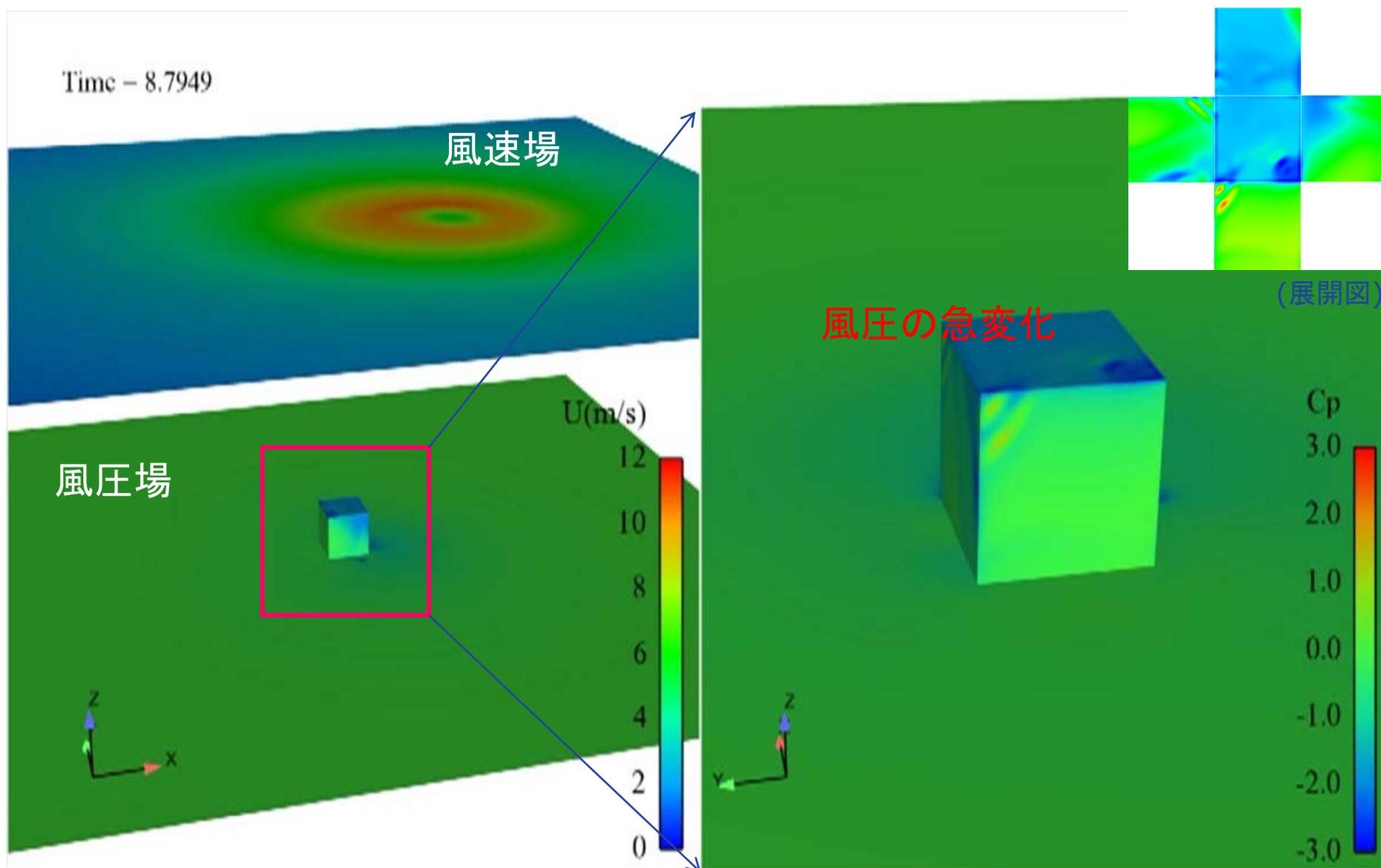
Volume Renderによる渦内部構造



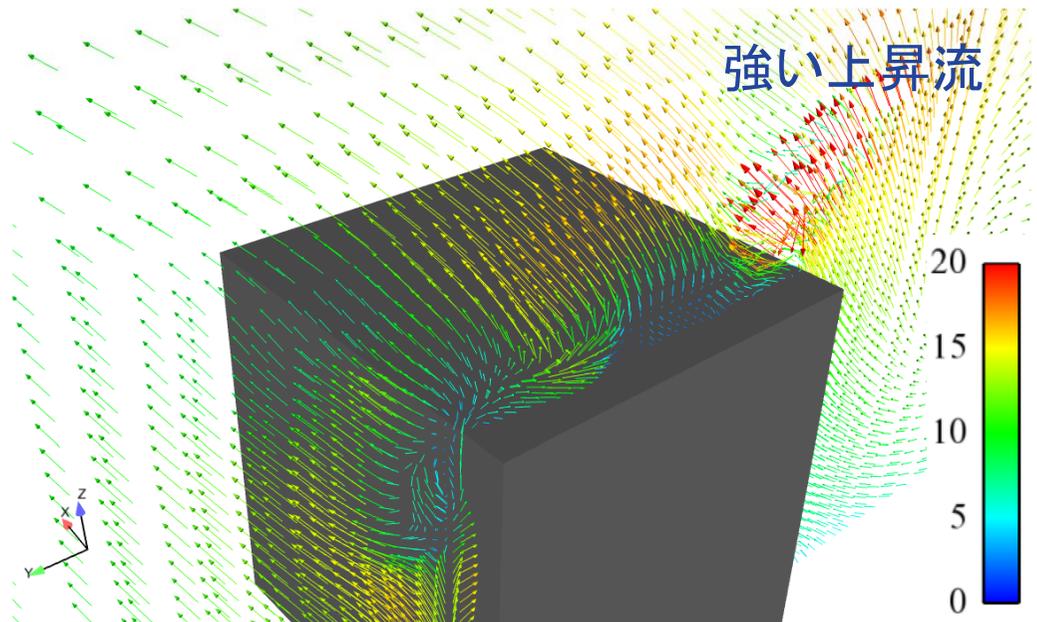
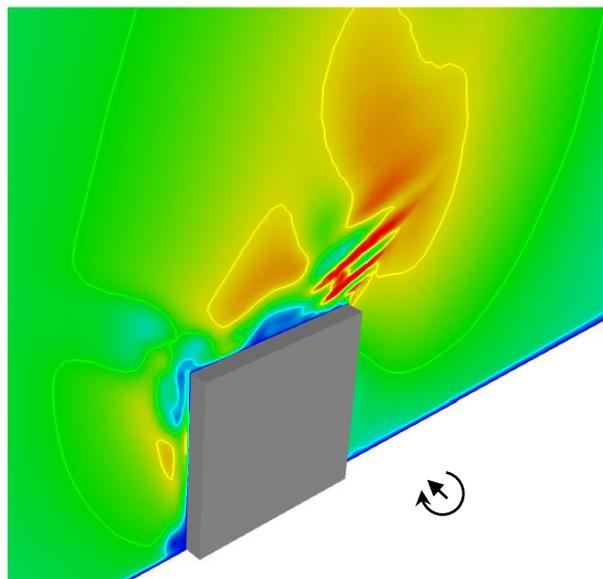
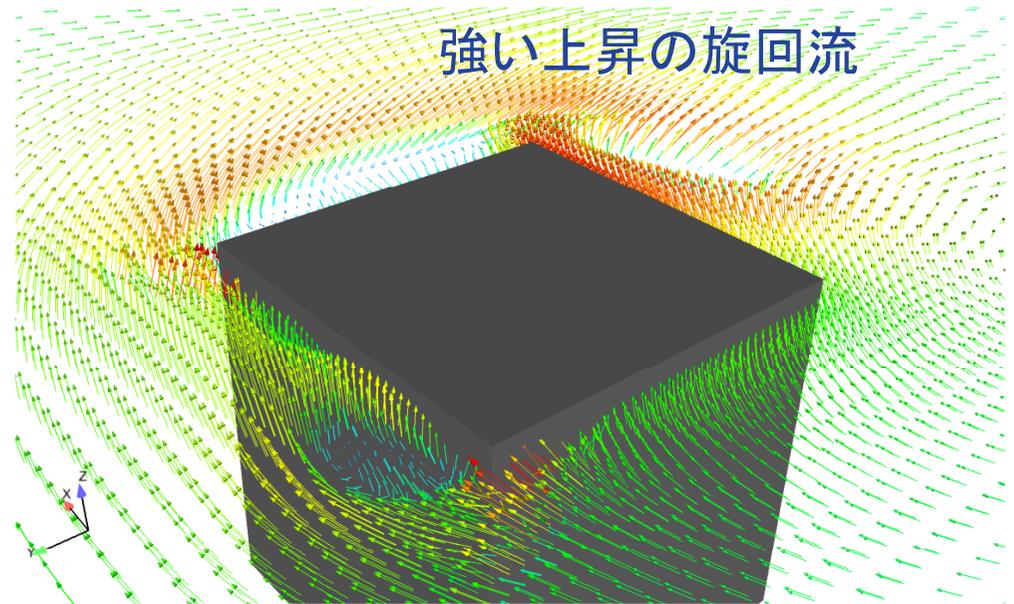
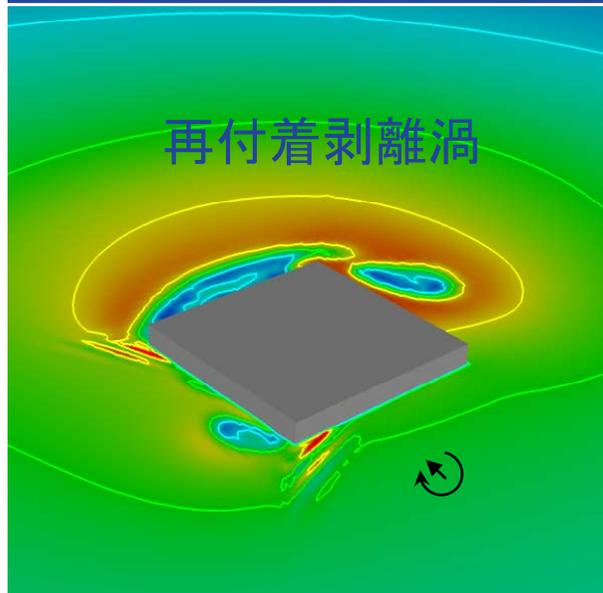
立方体周りの強い渦度の変化



移動旋回流内の立方体の風圧力の変化



立方体近傍の3次元性の強い風速場



まとめ

- Volume Rendering及び3次元の可視化により竜巻状旋回流の詳細な構造及び旋回流内に置かれる建物の風圧変化の特性を明らかにした.
 - 循環流強さの増加により渦は層流渦から乱流渦へ成長し、渦のコアが拡大する.
 - 旋回流の内部構造は上昇流と下降流により形成される構造である.
 - 移動している旋回流の時空間の風圧変化により立方体建物に作用する風圧が急激に変化している.
 - 建物近傍の流れ場は強い上昇流と旋回流により形成された3次元性の強い流れ場である.

END

