

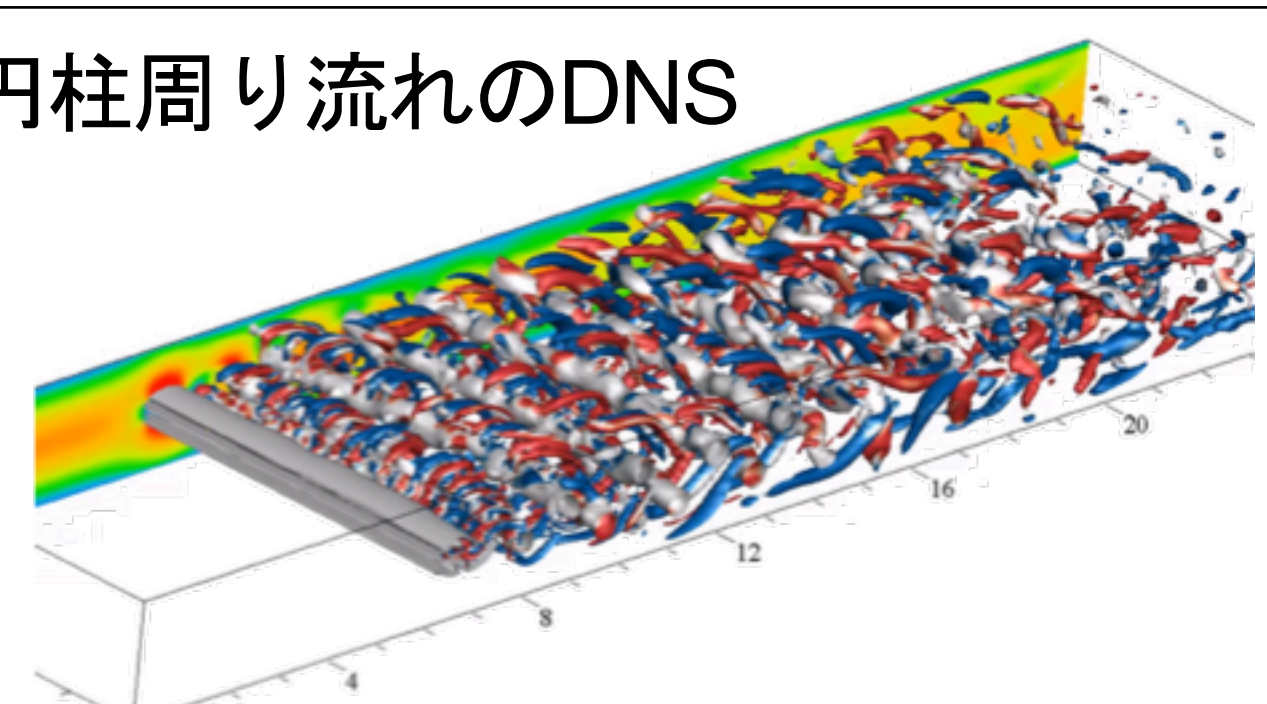
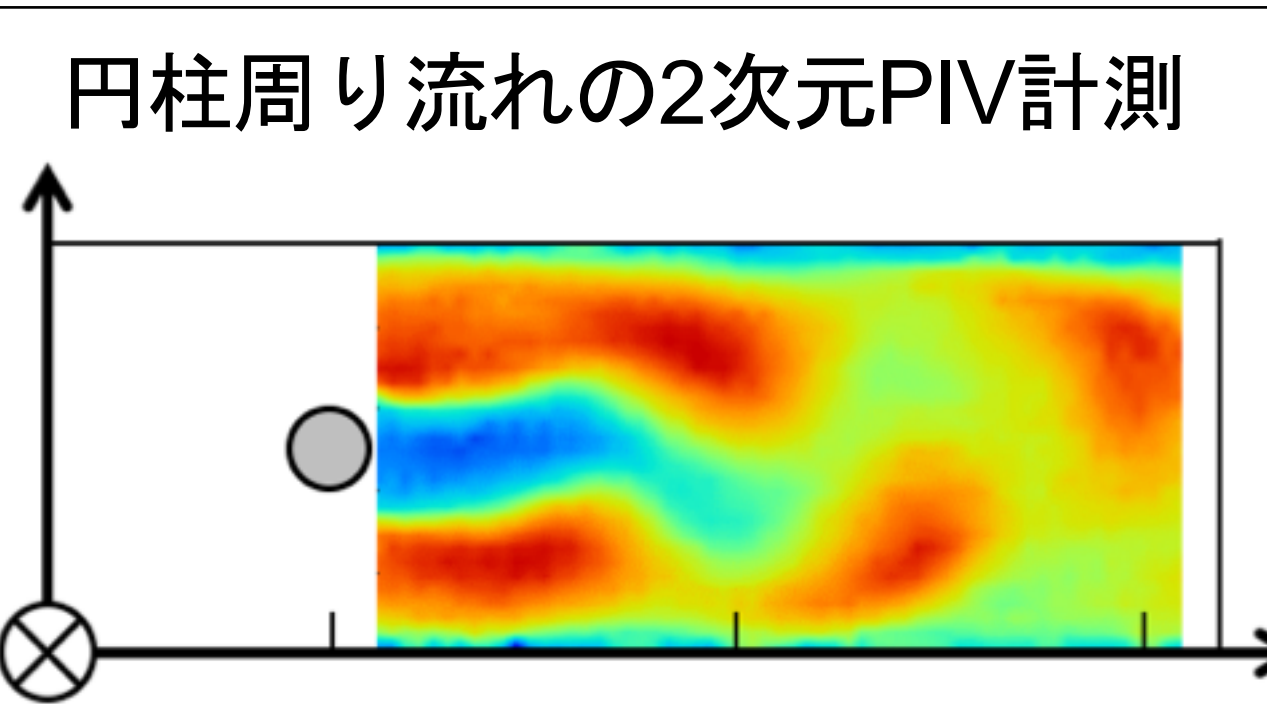
データ同化を用いた乱流瞬時場の状態推定

生産技術研究所 革新的シミュレーションセンター 長谷川研究室

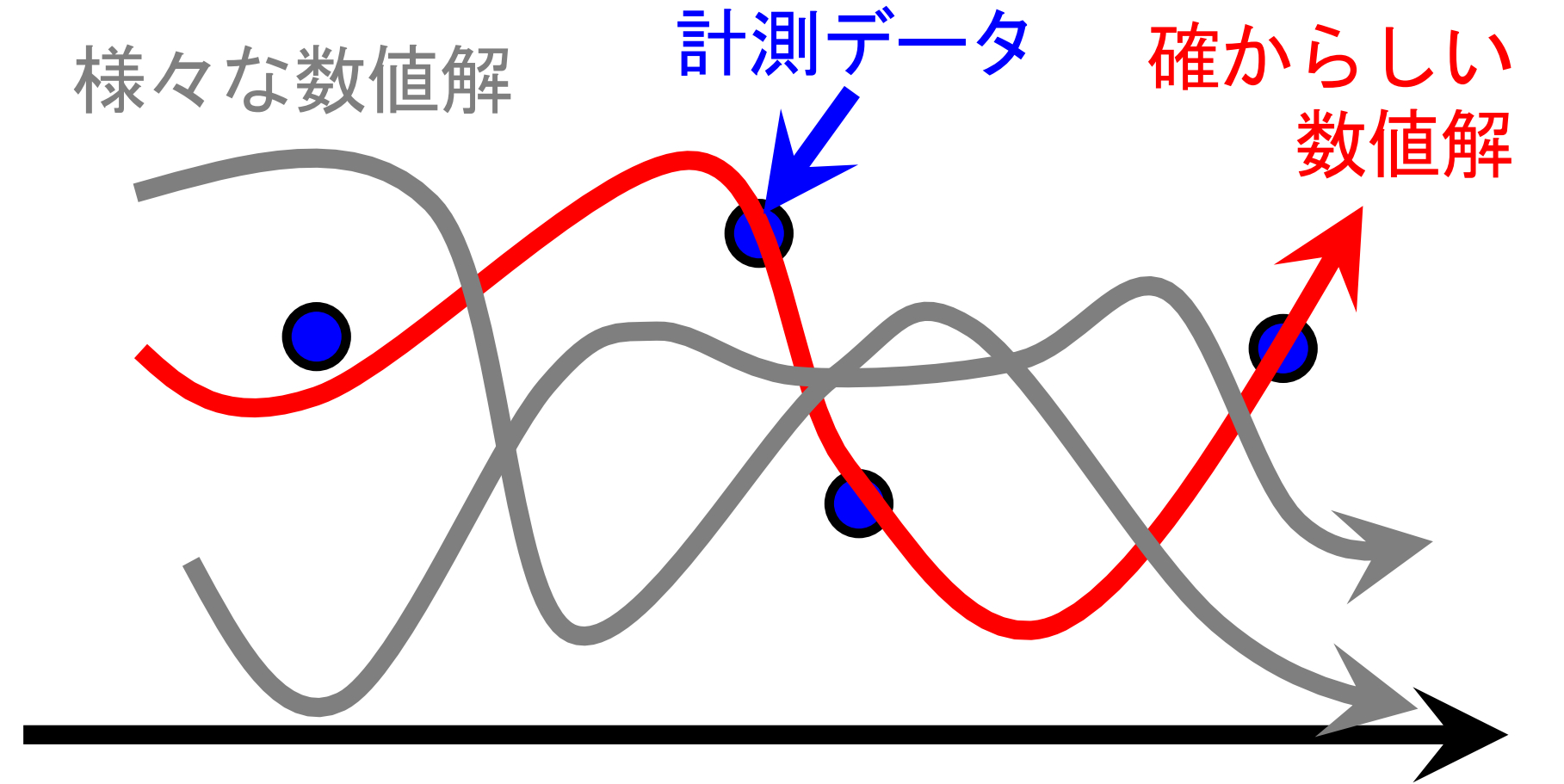
<http://www.ysklab.iis.u-tokyo.ac.jp>

実験計測と数値シミュレーションの融合

流体研究における二つの基盤ツール

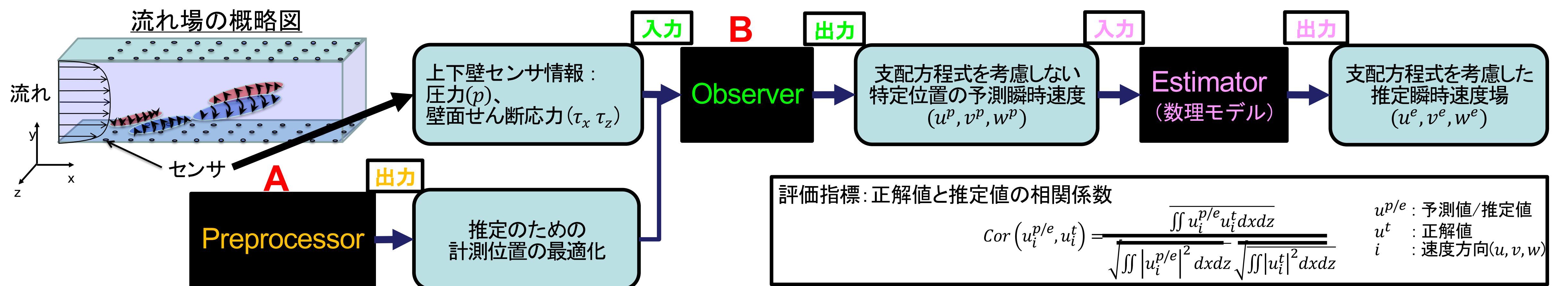
	数値シミュレーション	実験計測
	円柱周り流れのDNS 	円柱周り流れの2次元PIV計測 
長所	全時空間データが入手可能	実際に生じている現象を計測
短所	数値モデル、境界条件、初期条件が事前に必要	計測誤差の存在 計測点数や計測できる物理量の制約

データ同化とは



数値シミュレーションの多様な解の中で、実験データと最も整合する場を求め、より確からしい流れ場を推定する技術

壁面情報に基づくチャンネル乱流場の状態推定



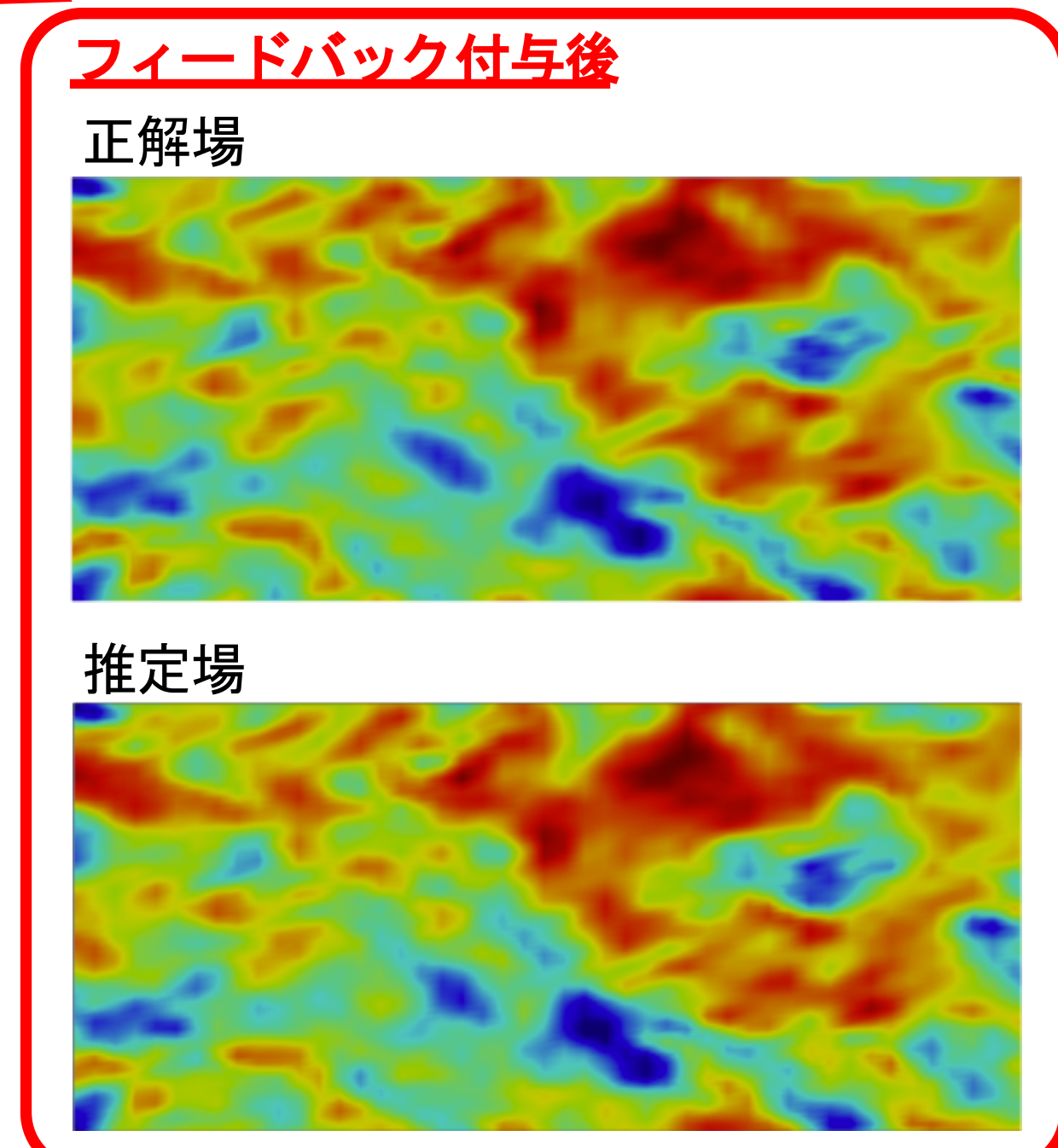
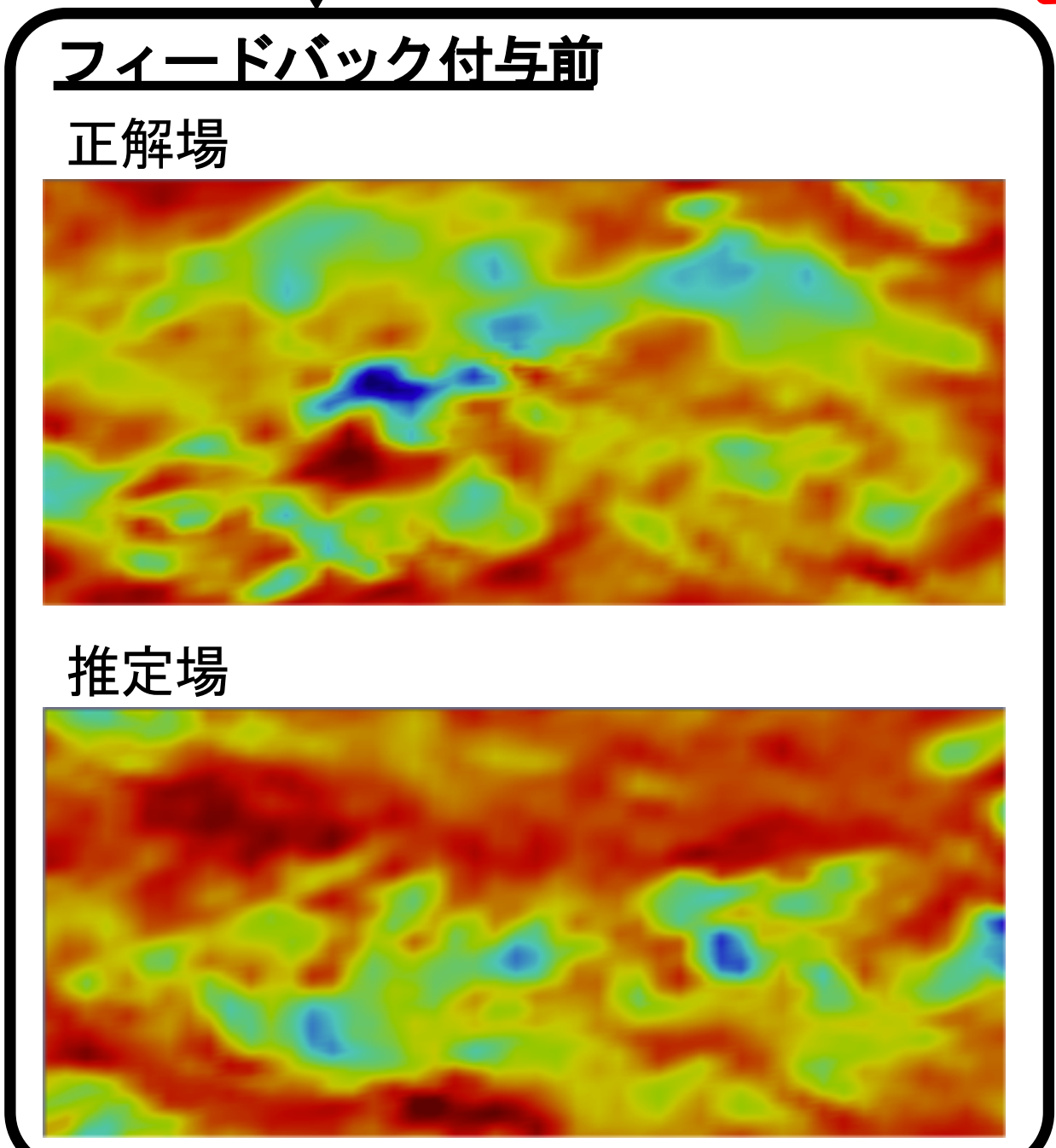
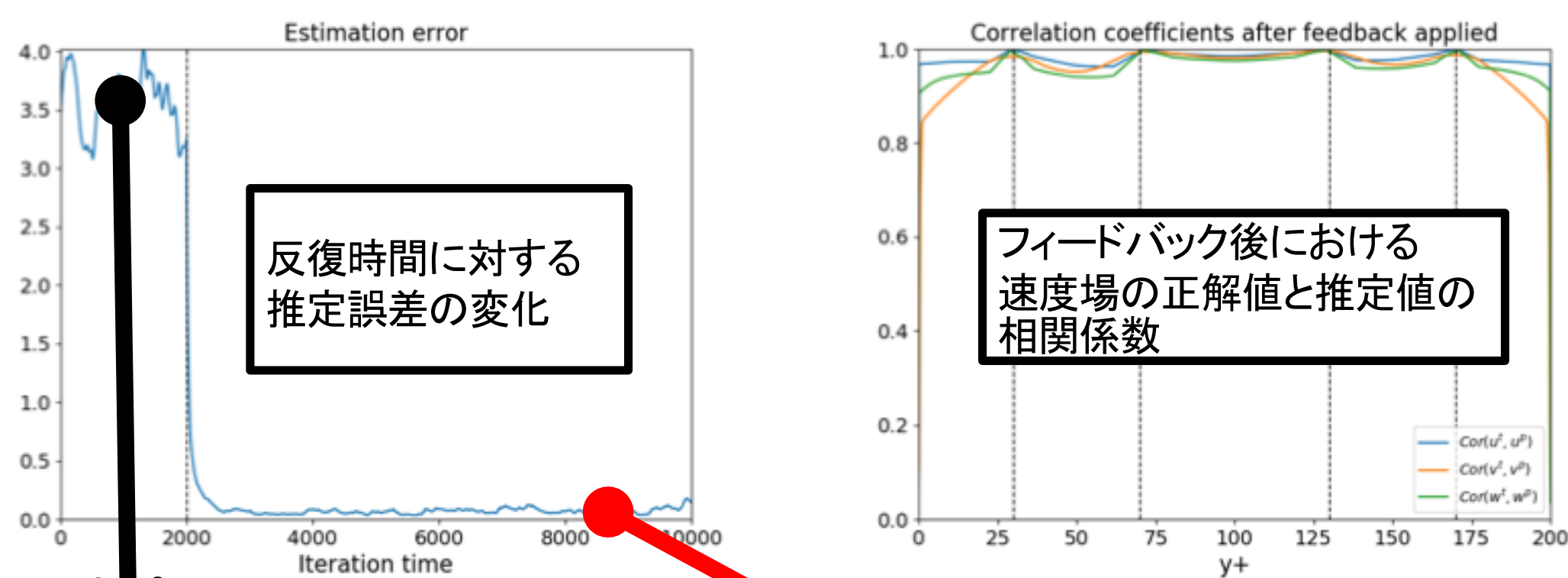
A 計測位置の決定

✓ 推定誤差 $E = \frac{1}{2} (u_j^t - u_j^e)^2$, u_j^t : 正解場 u_j^e : 推定場 (\cdot) : 時空間平均

✓ 推定誤差の収支式

$$0 = \underbrace{-u_i^e u_j^e \frac{\partial u_i}{\partial x_j}}_{\text{生成項}} - \underbrace{\frac{\partial(u_i^e E)}{\partial x_j} - \frac{\partial(u_i^e p^e)}{\partial x_i} + \frac{1}{Re_\tau} \frac{\partial^2 E}{\partial x_j^2}}_{\text{拡散項}} + \underbrace{\frac{1}{Re_\tau} \frac{\partial u_i^e}{\partial x_j} \frac{\partial u_j^e}{\partial x_i}}_{\text{粘性散逸項}} - \underbrace{\sum_k \overline{\eta u_i^e u_k^e} \delta(x - x_k)}_{\text{体積力による消散項} < 0}$$

✓ 誤差の生成項に合わせて計測面を配置 (上下壁面から $y^+ = 30, 70$)



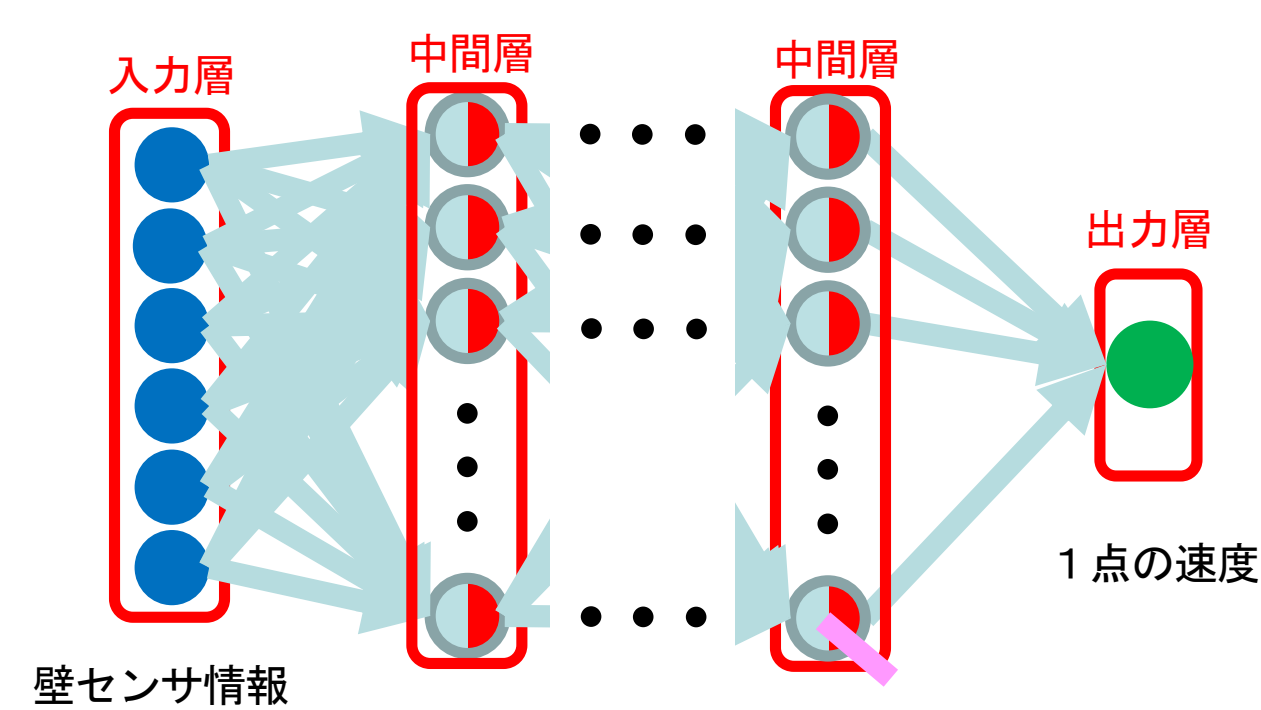
フィードバック付与前後におけるy断面内主流方向速度分布

B 機械学習を用いた瞬時場予測

ニューラルネットワークの導入により、壁面情報と流れ場の瞬時速度分布の関係をモデル化

$$U = f(I)$$

U : 推定速度
 I : 壁センサ情報
 f : 機械学習で得たモデル



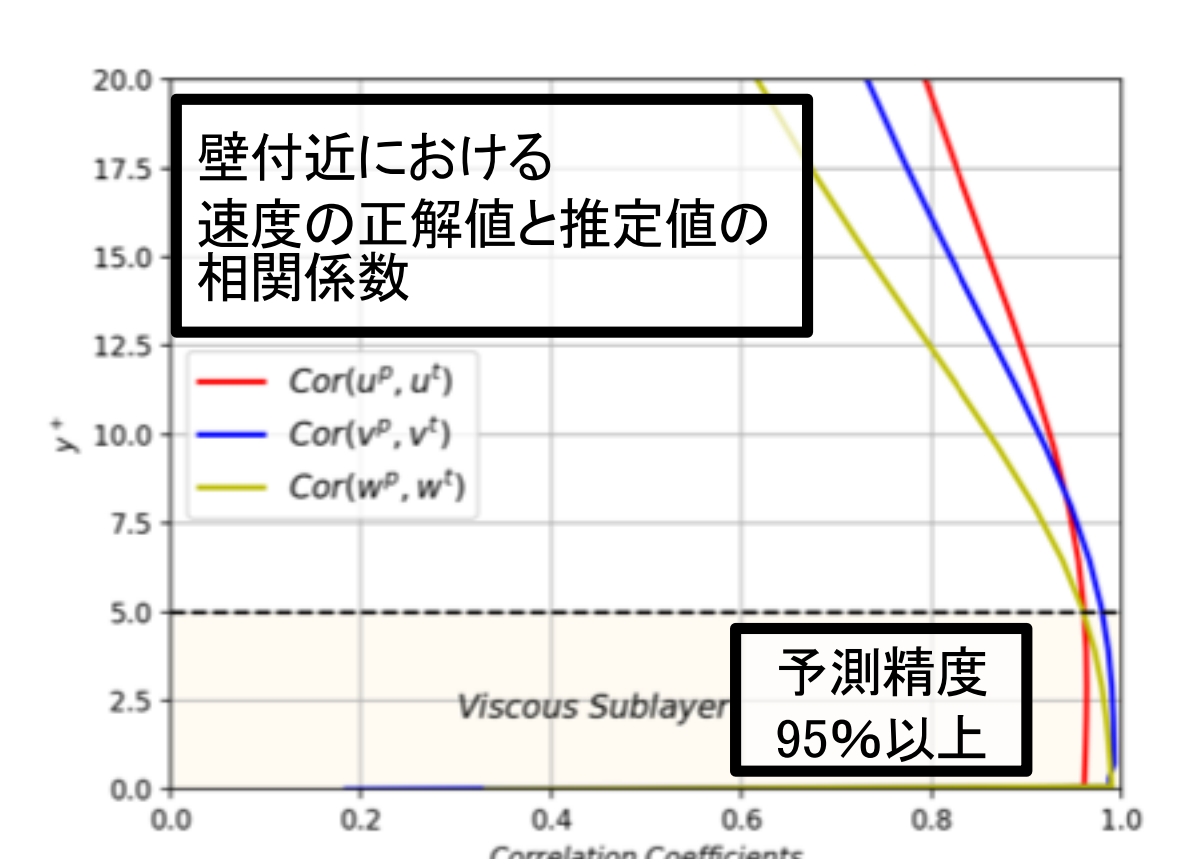
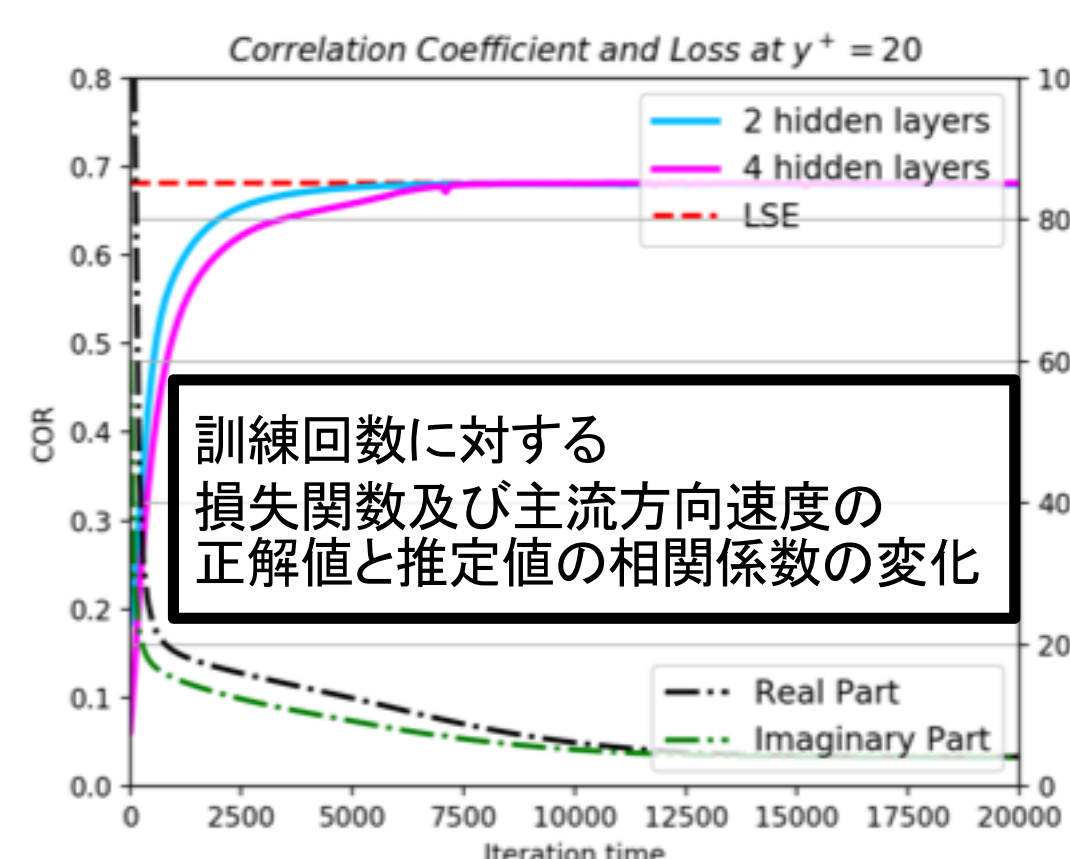
損失関数:

$$L = \frac{1}{2} |\text{実速度} - \text{予測速度}|^2$$

$$s_j = \sum_i w_{ij} o_i$$

ノード

活性化関数
 $o_j = \varphi(s_j)$



壁付近では予測精度が高い($\geq 95\%$)が、壁からの距離が遠いほど、予測精度は低くなる