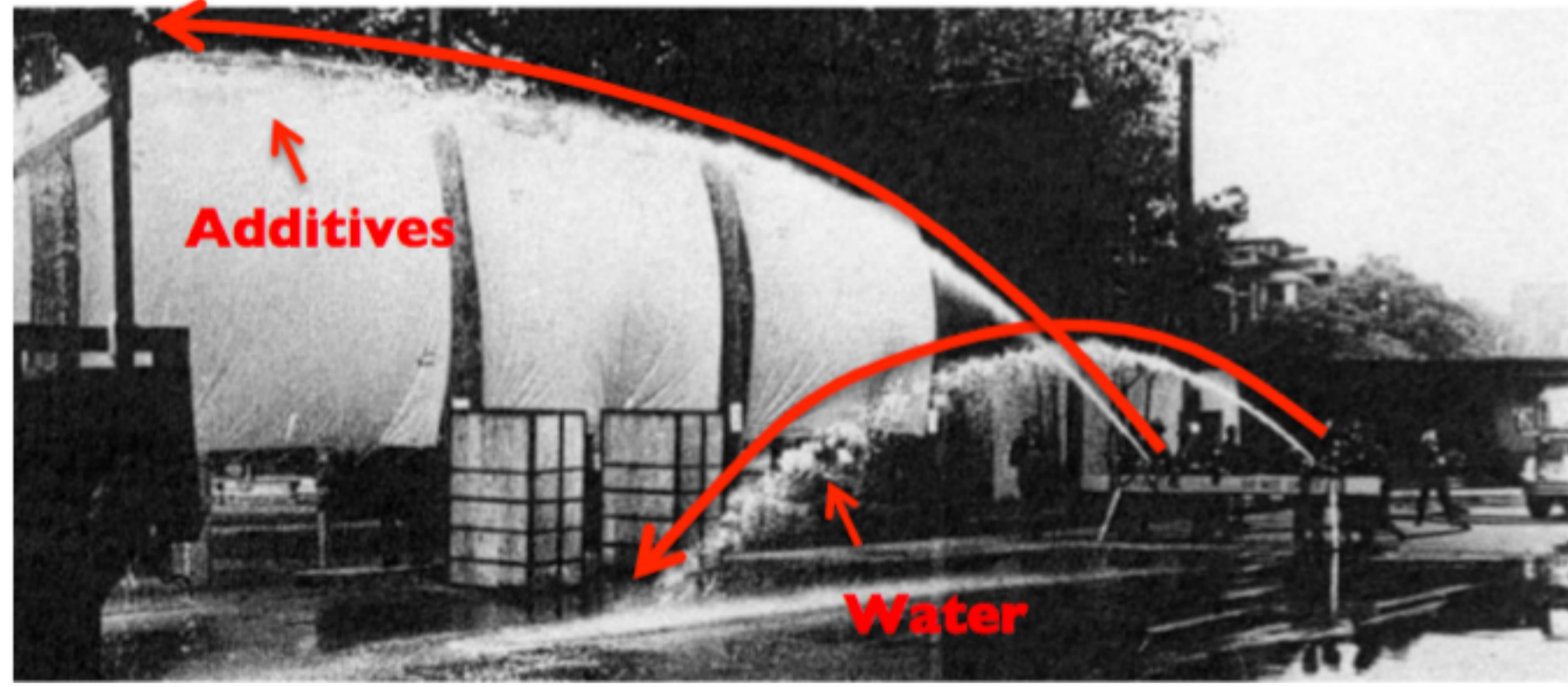


# PIV計測に基づく粘弾性力の推定

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>

## 非ニュートン流体と粘弾性モデル



- 界面活性剤やポリマーを添加した溶液
- ニュートン流体とは異なる流体挙動
- 乱流による渦を抑制し摩擦抵抗低減を示す (Toms, 1948)

✓ Continuity equation

$$\frac{\partial u_i^+}{\partial x_i^*} = 0$$

✓ N-S equation

$$\frac{\partial u_i^+}{\partial t^+} + u_j^+ \frac{\partial u_i^+}{\partial x_j^*} = -\frac{\partial p^+}{\partial x_i^*} + \frac{\partial}{\partial x_i^*} \left( \frac{\beta}{Re_\tau} \frac{\partial u_i^+}{\partial x_j^*} + \frac{1-\beta}{Wi_\tau} c_{ij} \right) + f_i^+$$

✓ Constitutive equation (Giesekus model)

$$\frac{\partial c_{ij}}{\partial t^+} + \frac{\partial u_k^+ c_{ij}}{\partial x_k^*} - \frac{\partial u_i^+ c_{kj}}{\partial x_k^*} - \frac{\partial u_j^+ c_{ki}}{\partial x_k^*} + \frac{Re_\tau}{Wi_\tau} [c_{ij} + \alpha(c_{ij} - \delta_{ik})(c_{kj} - \delta_{kj}) - \delta_{ij}] = 0$$

➢ Weissenberg number

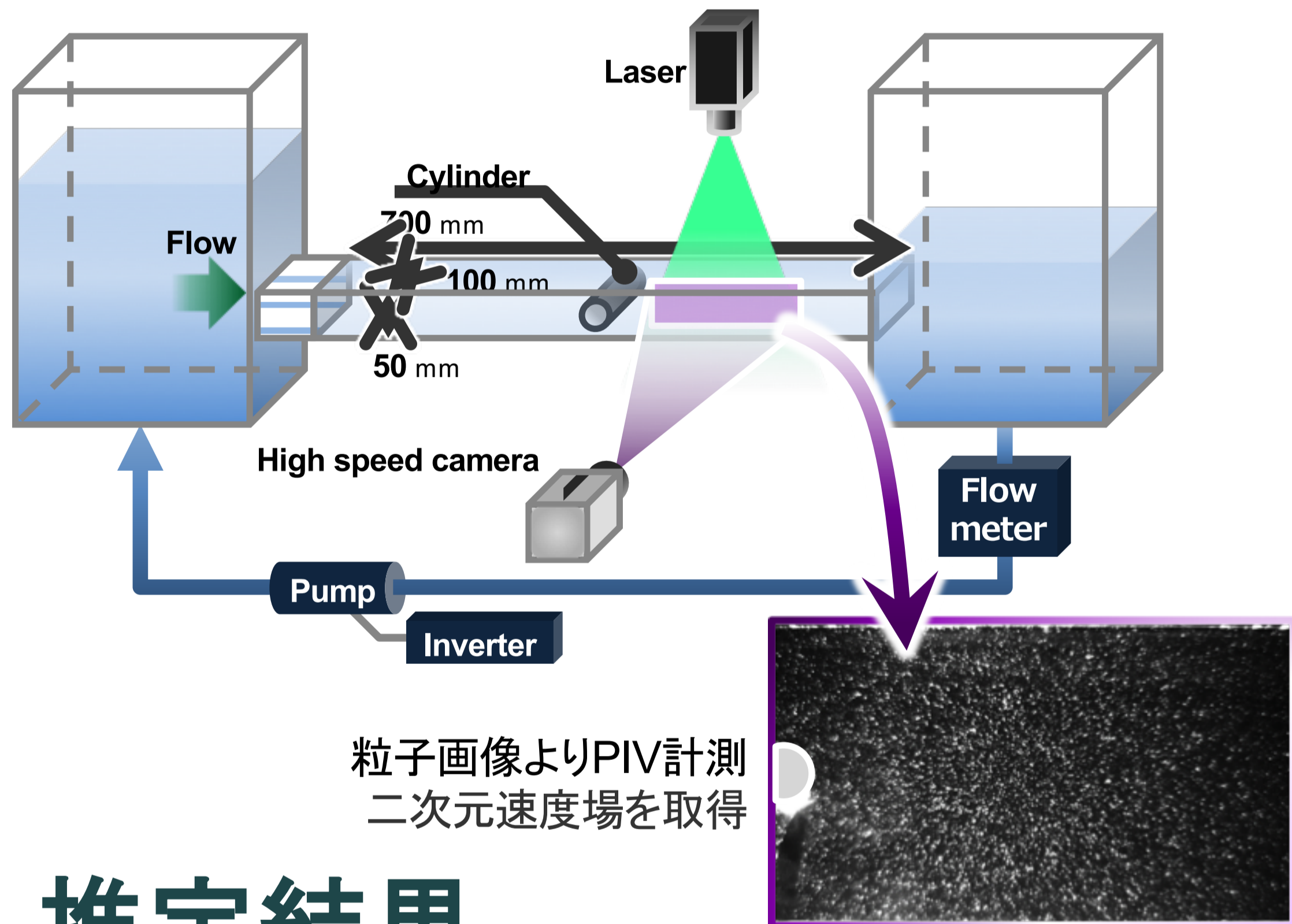
$$Wi_\tau = \frac{\rho u_\tau^2 \lambda}{\eta_s + \eta_a}$$

弾性の緩和時間  $\lambda$  の無次元数  
 実験の界面活性剤濃度に相当  
 低濃度溶液では緩和時間の計測が困難であり、 $Wi$  と濃度の関係は不明瞭

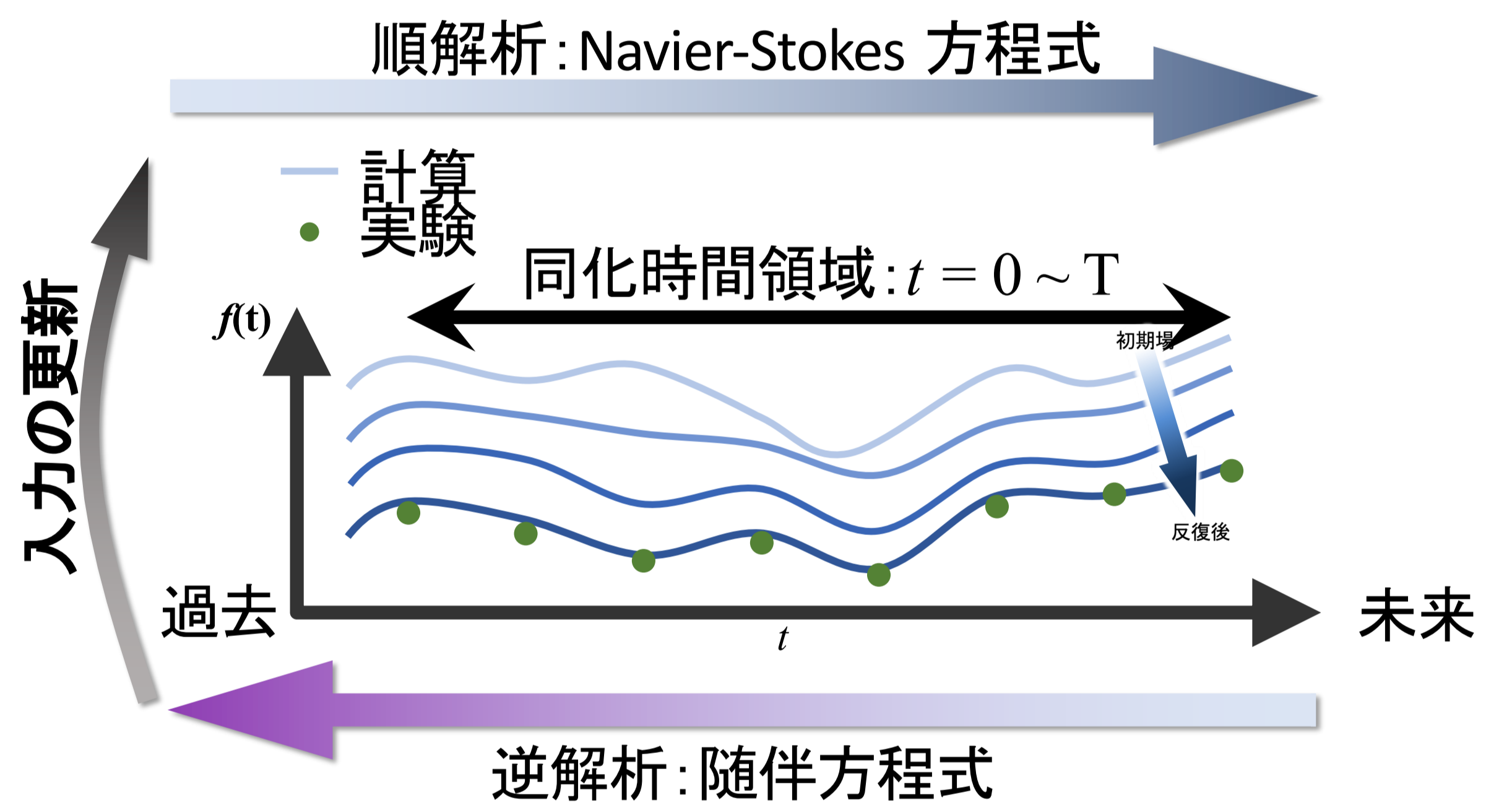
$\lambda$ : relaxation time  
 $\rho$ : density of a solution  
 $c_{ij}$ : constitutive stress  
 $u_\tau$ : friction velocity  
 $\eta_s$ : viscosity of solvent  
 $\eta_a$ : viscosity of additive

## PIV計測

- 実験系: ダクト+円柱
- 界面活性剤: CTAC (Cetyltrimethylammonium chloride)
- 対イオン: NaSal (Sodium salicylate)



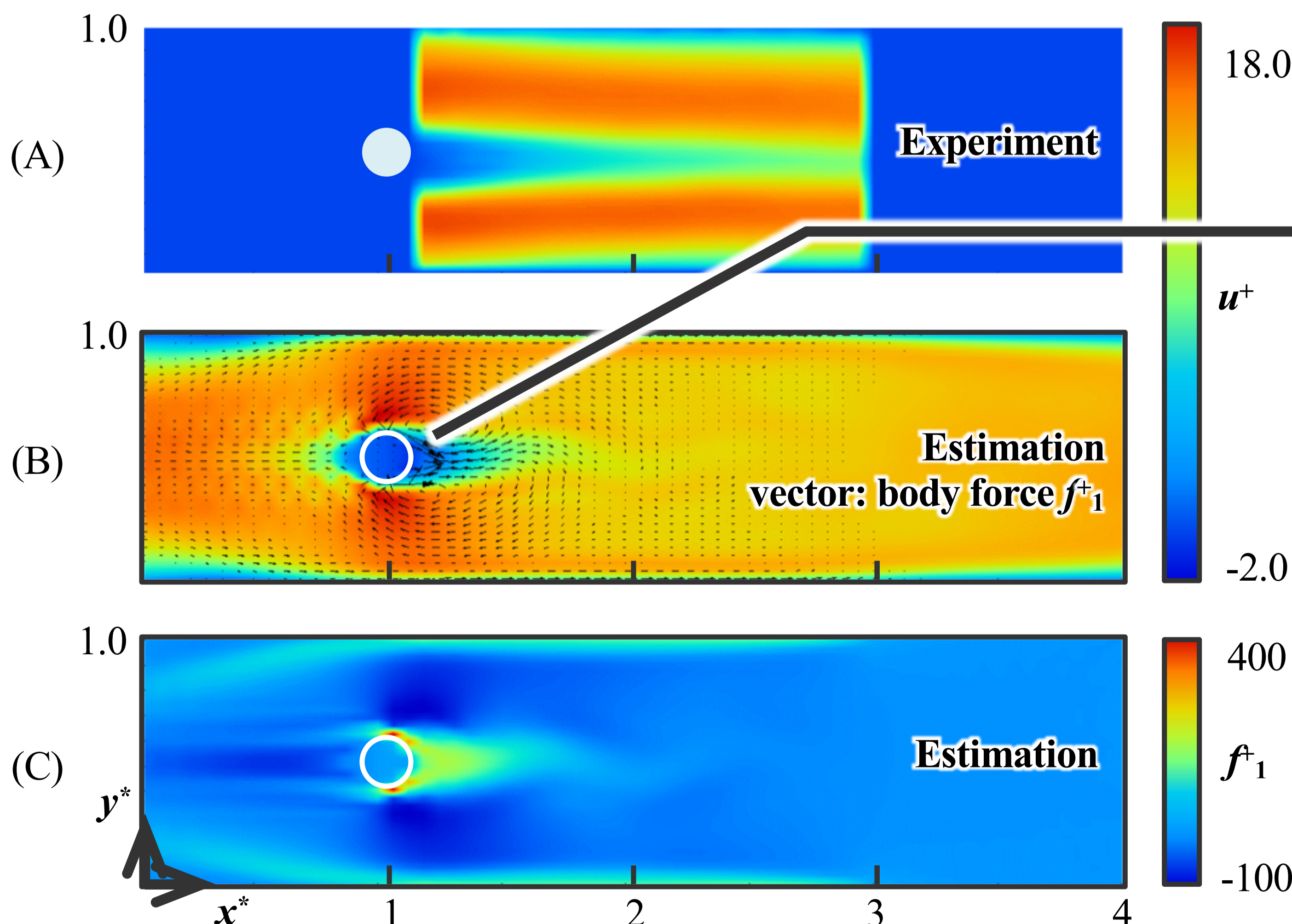
## 随伴解析による粘弾性力推定



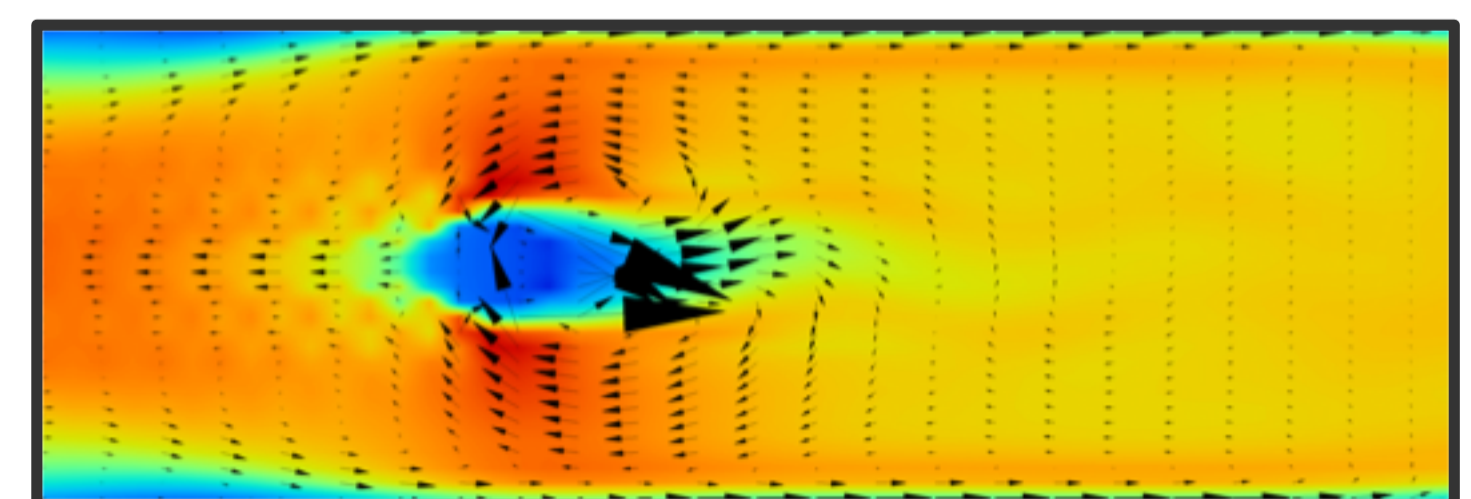
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{Re_\tau} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i$$

計測された速度を再現する粘弾性力  $f$  を推定

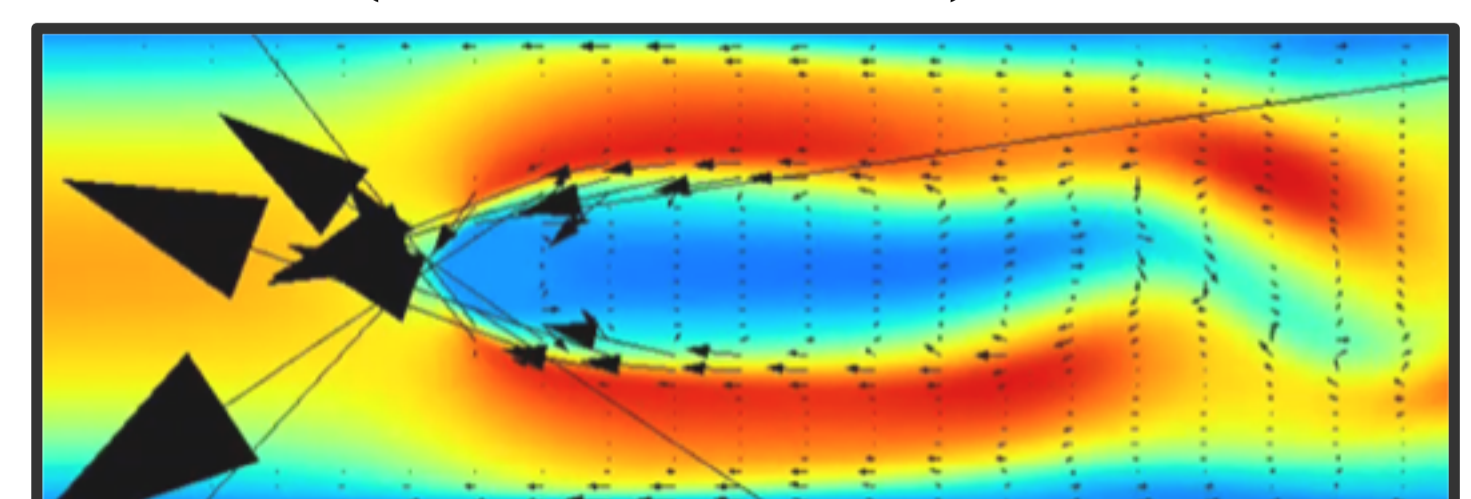
## 推定結果



➢ Data assimilation



➢ DNS (Giesekus model)



推定で得られた体積力  $f$  は流体に係る粘弾性力に相当すると考えられる。  
 円柱上下部でカルマン渦の発生を抑制しようとする体積力が出現