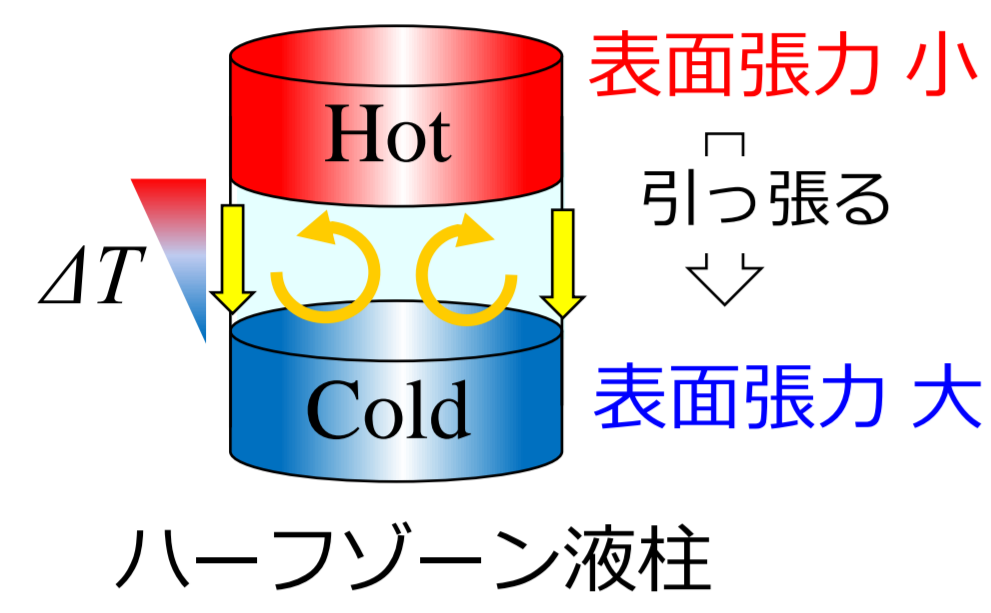
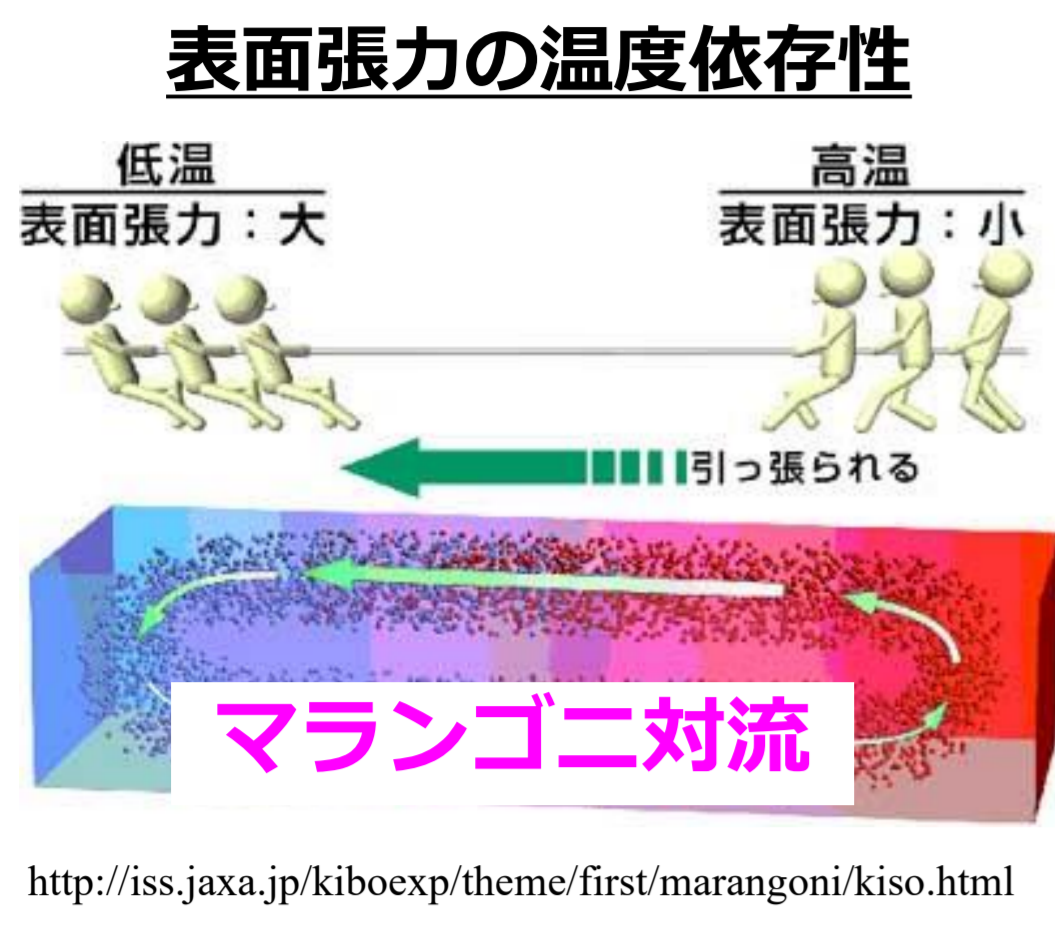
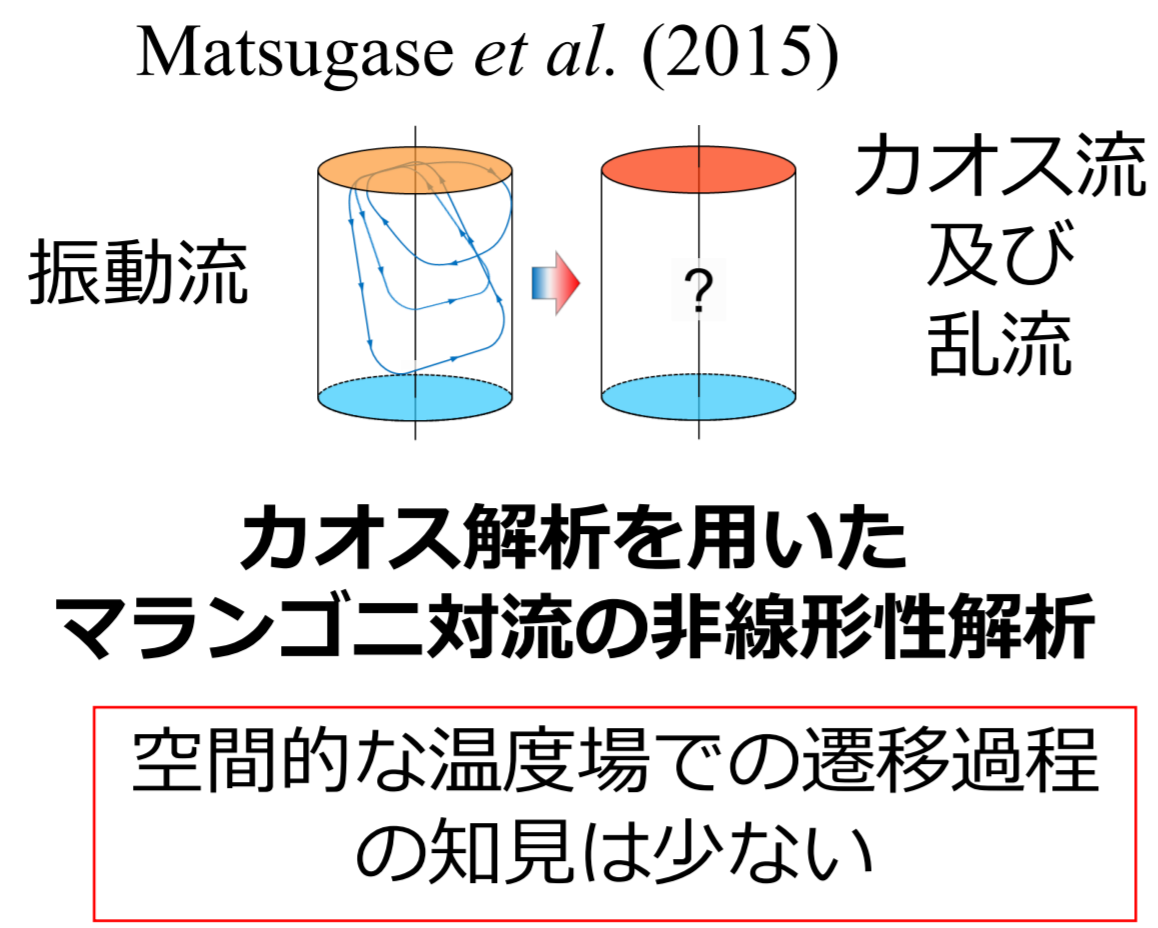




### ■ 研究背景



### ■ 既存研究



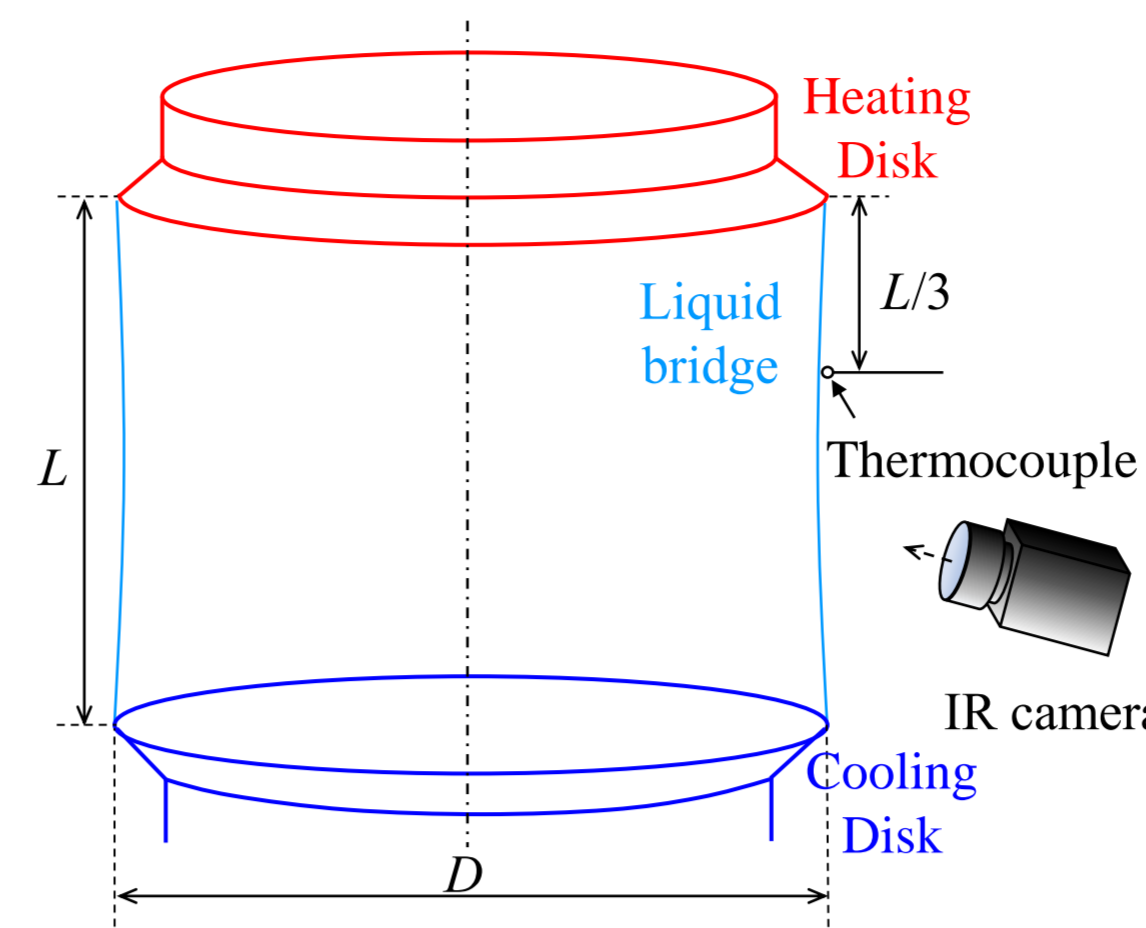
### ■ 研究目的

液柱マランゴニ対流が振動流からカオス流へと遷移する過程の解明

### ■ アプローチ

- 表面温度 ⇒ 熱電対, IRカメラ
- 時間の複雑性 ⇒ 周波数解析, カオス解析
- 時空間の複雑性 ⇒ 固有直交分解 (POD)

### ■ 実験装置

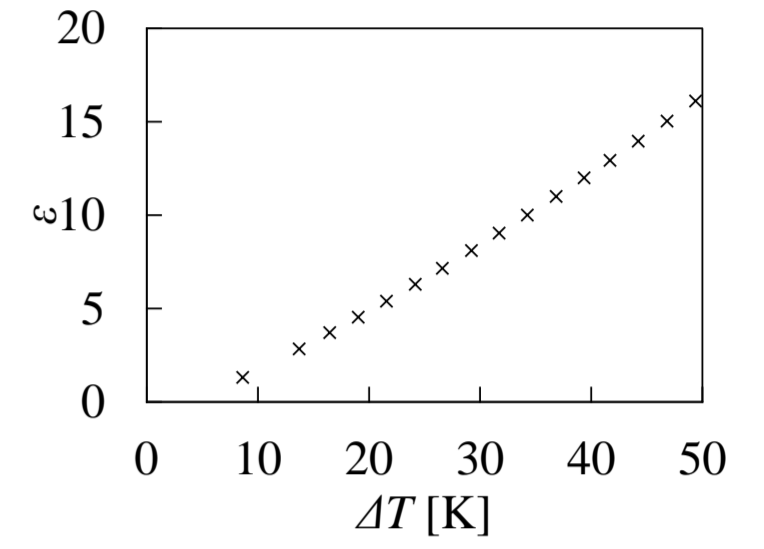


### ■ 試験流体

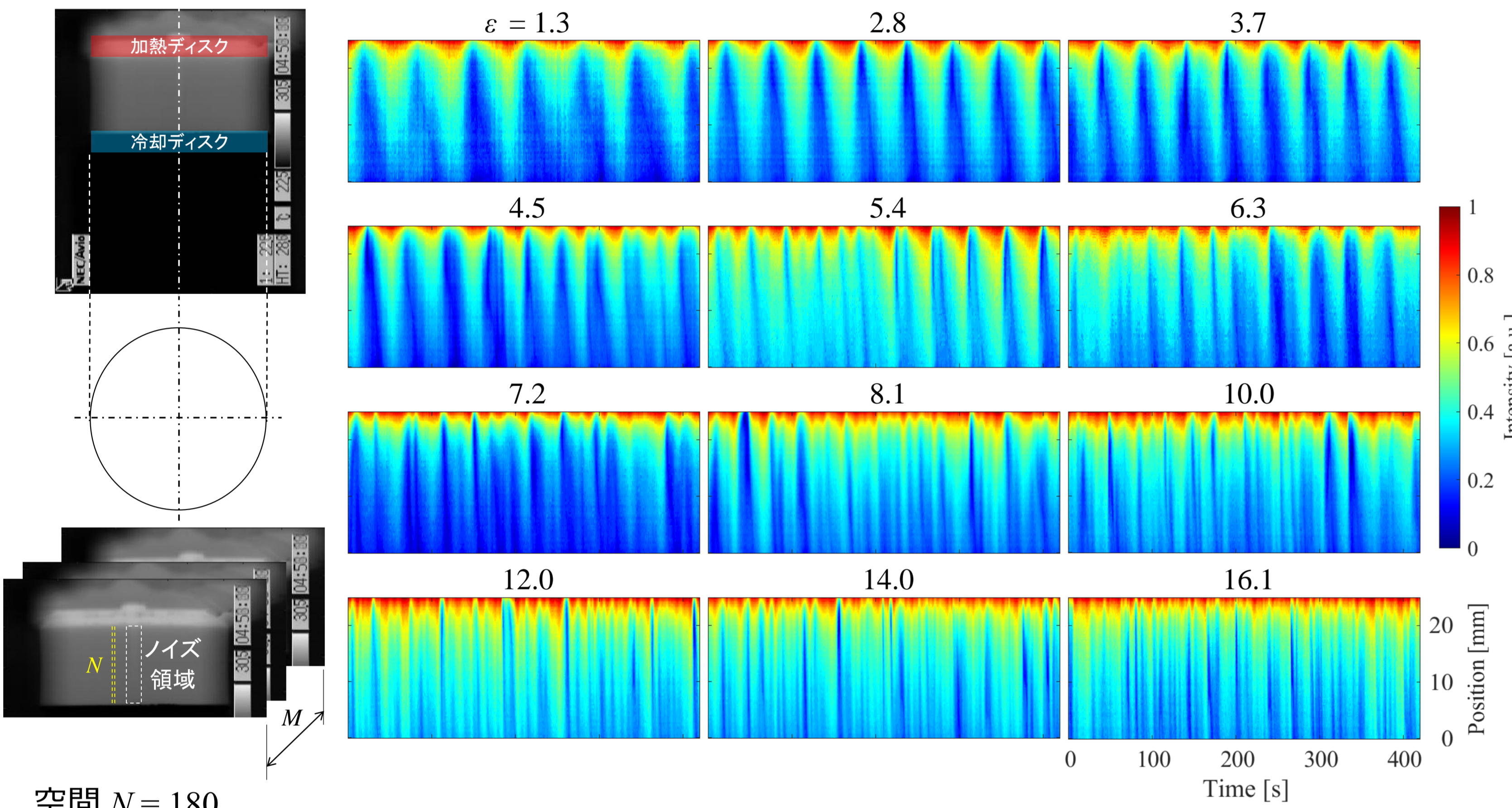
5cSt silicone oil (KF96L-5CS)	
Density $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	915
Kinematic viscosity $\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	$5 \times 10^{-6}$
Temperature coefficient of surface tension $\sigma_T$ [N/(m·K)]	$6.58 \times 10^{-5}$
Thermal diffusivity $\alpha$ [m <sup>2</sup> /s]	$7.46 \times 10^{-8}$
Prandtl number [-]	67

### ■ 温度条件

- $T_H = 28.6 \sim 69.4$  °C
- $T_C = 20$  °C (const)
- $\Delta T = T_H - T_C$
- $\Delta T_{cr} = 3.9$  °C ( $AR = 0.5$ )
- $\epsilon = 1.3 \sim 16.1$

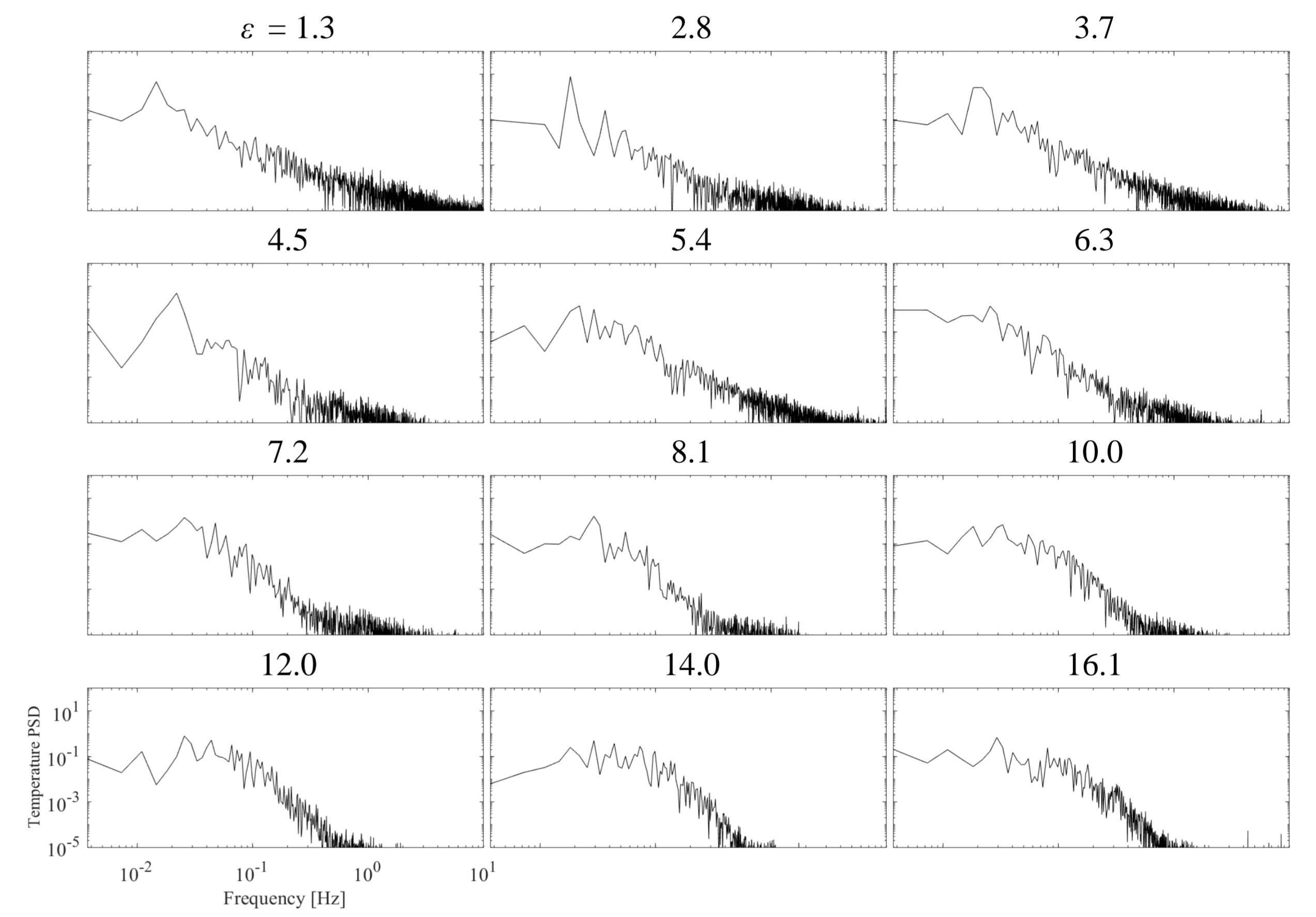


### ■ 時空間温度分布



- $\epsilon$  が大きくなるほど振動数が上昇
- $\epsilon$  が4.5付近までは周期的な波形
- $\epsilon$  が8.1以降はカオスの挙動を示している

### ■ 周波数特性 空間平均PSD



- $\epsilon$  が小さいときはメインの周波数ピークが卓越している
- $\epsilon$  の上昇に伴い、高次の周波数強度が上昇してくる
- $\epsilon$  が8.1より大きくなると、ブロードな周波数特性となる

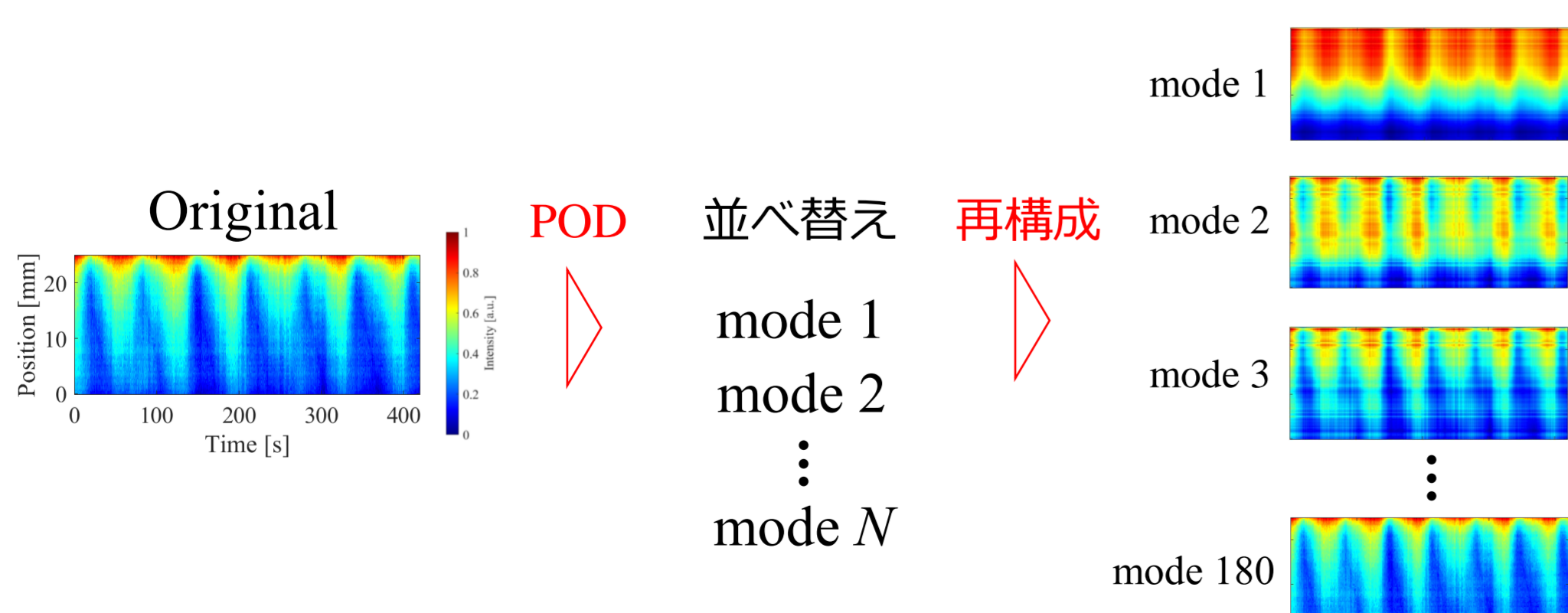
### ■ 固有直交分解

行列に含まれる成分の大きさ，構造，時間変動を取り出す

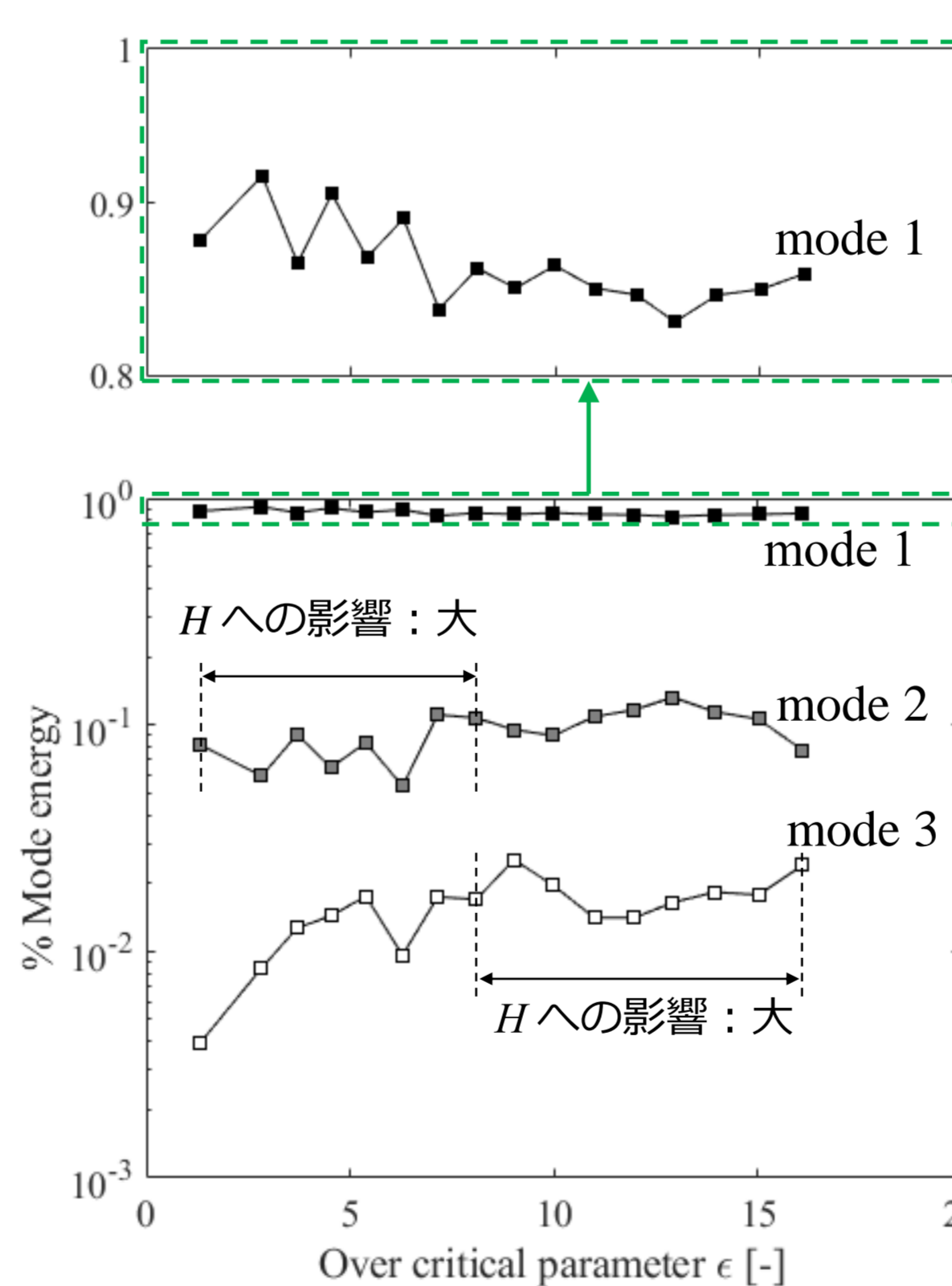
$$M \text{ (時間)} \times N \text{ (空間)} = V_{M,N}$$



- $V_{M,N}$  の時間平均  $\bar{v}_i$  を求める ( $i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$ )  
 $\bar{v}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M V_{ij}$
- $V_{M,N}$  と  $\bar{v}_i$  の差分  $U_{ij}$  を求める  
 $U: U_{ij} = V_{ij} - \bar{v}_i$
- 共分散行列  $C$  を求める  
 $C = U^t U / M$
- $C$  の固有値  $\{e_i\}_{i=1 \dots N}$  と固有ベクトル  $\{f_i\}_{i=1 \dots N}$  を算出
- 固有値を降順に並べ替え，大きいモードからモード1, モード2 とする ( $e_1 > e_2 > \dots > e_N$ )

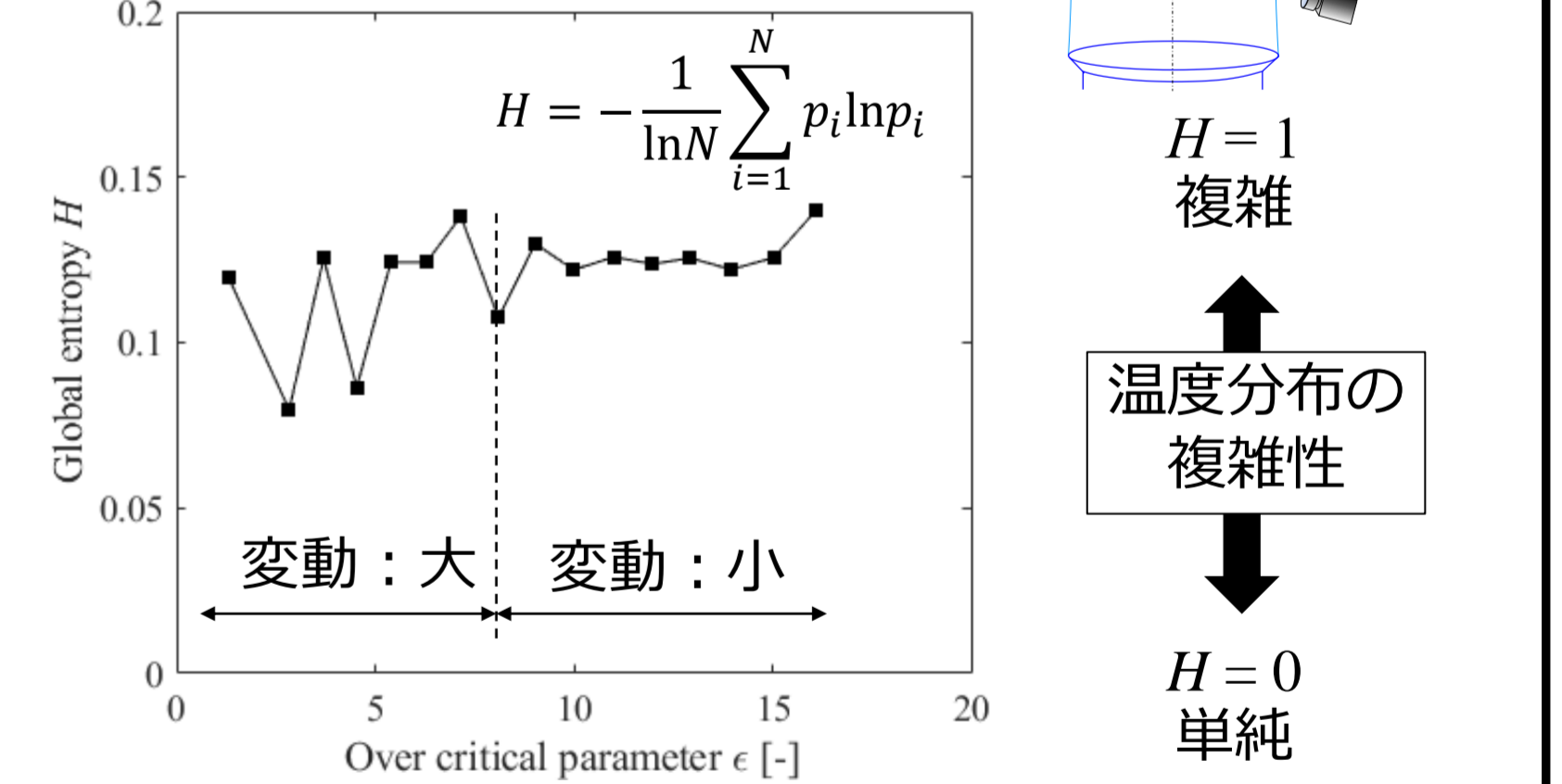


### ■ 温度分布の各成分の占有率



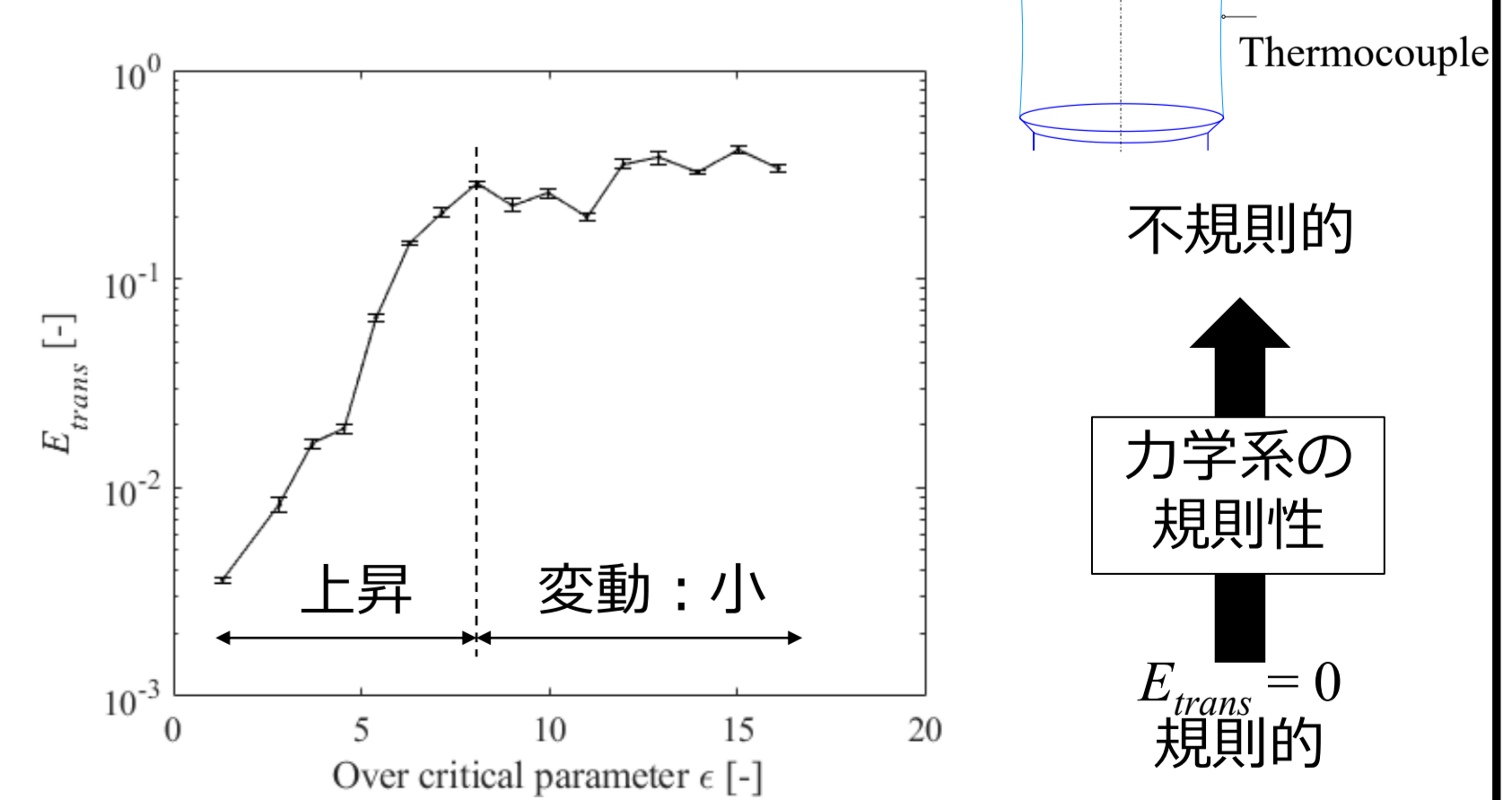
- 全  $\epsilon$  の範囲において mode 1 が卓越している
- mode 2, mode 3 の挙動は  $\epsilon = 8.1$  を境に  $H$  の変動とおおよそリンクしている

### ■ 時空間温度分布の複雑性



- $\epsilon = 1.3 \sim 8.1$  付近までは変動が大きく，周波数ピークを示した  $\epsilon$  では  $H$  が小さい
- $\epsilon$  が9.0以降は変動が小さく， $H$  が高い値で推移

### ■ 時系列温度の非線形性



- $\epsilon = 1.3 \sim 8.1$  まで  $E_{trans}$  は上昇し，それ以降の変化は小さい
- $\epsilon$  が 1.3 から 8.1 にかけてカオス流・乱流へ遷移

### ■ 結言

液柱の軸方向の空間データから時空間温度分布を取得し，温度分布の複雑性をグローバルエントロピー  $H$  を用いて定量的に評価

- ✓ 時空間温度分布は  $\epsilon$  が8.1以降でカオスの挙動を示した
- ✓  $H$  は  $\epsilon = 1.3 \sim 8.1$  で変動が大きく，それ以降の変動は小さい

→  $\epsilon$  が8.1を超えると，発達したカオス流と考えられる

### 参考文献

[1] A. Cro'Il, W. Mu'ler-Sebert, and R. Nitsche: J.Crystal Growth, 79 (1986) 65.  
[2] T. Matsugase, I. Ueno, K. Nishino, M. Ohnishi, M. Sakurai, S. Matsumoto and H. Kawamura: Int. J. Heat Mass Transfer, 89 (2015) 903.  
[3] Y. Takeda, Journal of fluid mechanics, 389 (1999) 81.