

## 二成分二次元進行波局在対流運動

福井大・工 伊藤良平

小川淳司

原田義文

### 1. はじめに

二成分Rayleigh-Bénard対流は、非平衡開放系におけるパターン形成あるいは時空カオスの典型的なモデルシステムとなってきた。その理由は主に、対流不安定点近傍においてさえ分離比 $\Psi$ が負の場合濃度場の役割が顕著となり、非平衡系特有の時空パターンが出現しうるからである。これまでは過度な空間的複雑性を抑えるため、空間次元を制限した直線状矩形セル、円環セルなどいわゆる一次元系における研究が盛んに行われてきた[1]。

注目すべき事は、サドルノード点近傍において安定な局在対流、すなわち伝導状態領域と対流領域が安定なフロントを形成しつつ共存する状態が見い出された事である[2, 3]。この一次元系における局在対流の構造及び動的性質は実験的に明らかにされつつあり、我々もこれまで大アスペクト比スロットチャンネルセルによる一連の研究により、Double Localized Traveling Wave等の新しいタイプの局在対流を見出してきた[4]。

一方、二次元系における局在対流の可能性を期待し、我々は円筒セルを用いて強非線形領域における実験を行った。その結果我々は、サドルノード点近傍において、二次元局在対流が安定に存在する事、さらに対流領域内における新しいタイプのダイナミクスを観測した[5]。

その後、Bodenschatz等[6]やCannel等[7]による中間アスペクト比円筒セルによる実験も行われるようになった。我々は二次元系における対流パターンの形成、また局在対流の性質は、小アスペクト比のセルにおいて捉える事が可能であるとの立場から、アスペクト比を小さく抑えてパターンが複雑になりすぎる事を避け、逐次遷移過程特に局在対流の時空構造を明らかにする目的で実験を行った。

### 2. 実験結果

作業流体として、8wt%エタノール水溶液を用い(分離比 $\Psi = -0.32$ )円筒セルとしてアスペクト比(セル半径の高さに対する比)は、 $\Gamma_r = 4.75$ のものをを用いた。

伝導状態から系のコントロールパラメータであるレイリー数を増加させていくと、臨界レイリー数 $r_c = 1.79$ で不安定となり対流が発現する。対流はセル中心から振動する同心円パターンを形成し、カオティックな過渡過程を経てセル全体を満たすようになる。セルを満たした対流はほぼ平行なロールを形成し、全体としての構造を保ちながら回転しつつわず

に並進する回転状態となる。この状態からレイリー数を増加させると対流は  $r_1 = 2.41$  で定常対流すなわち Stationary Overturning Convection (S.O.C) に至るが、逆過程としてレイリー数を減少させていくと、対流は再び回転状態を経てカオティックな振る舞いを見せ始める。この領域においては、進行方向の異なる一組の進行波が共存し、ディフェクトのつなぎ換えが頻繁に繰り返されている状態や、互いに直交する平行ロールが時間的に交互にあらわれる Time-Dependent な Cross Roll Instability も初めて見いだされている。さらにレイリー数を減少させていくと、サドルノード点近傍において対流領域が減少しはじめる。この際わずかにレイリー数を増加させると、対流領域が空間的に局在する二次元局在対流状態へと遷移する。図1はこの局在対流のシャドウグラフ像の時間変化であり、対流領域内でディフェクトのつなぎ換えを起こしながらヘキサゴナルパターンの生成と消滅を繰り返す時空カオス状態になっているという点で、新しいタイプの局在対流である。図2はこのシャドウグラフ像の局所的な光強度測定を行い、得られた時系列からアトラクターを構成し、そのポアンカレマップをとったものである。さらに図3はWolfの方法によりリアプノフ指数を計算したものであるが、サドルノードに近づくにつれてカオスの傾向が強くなっていることがわかる。また局在状態においてはより強いカオス状態が実現している。

### 3. まとめ

アスペクト比の小さい円筒セルを用いることにより、強非線形領域における二成分系 Rayleigh-Benard 対流の二次元系における時空構造の逐次遷移過程を観測した。

#### [1] 順過程において

##### ①対流 Onset の過渡過程で

- ・対流はセル中央付近から発生し、同心円パターンを描きその振幅を増していく。
- ・スクウェア、ヘキサゴンを含む複雑な状態へと変化し、対流領域を徐々に増していく。

##### ②セル全体を満たした対流は平行ロールを形成し、わずかにスライドしつつ回転する。

##### ③定常対流の転移点に近づくにつれて、徐々にその回転が遅くなり、回転の反転を繰り返して定常対流となる。

#### 逆過程において

##### ④再び回転・スライドモードへ遷移し、その後周期構造が崩れてカオス的な振る舞いを見せはじめる。Time Dependent な Cross Roll Instability が観測された。

##### ⑤Saddle-Node 近傍において、対流領域が局在する局在対流が現れる。

- [2] この局在対流はディフェクトを媒介として、ヘキサゴナルパターンの生成と消滅を繰り返す運動を内在しており、対流領域の大きさの異なった3つの状態を観測した。
- [3] 局在対流領域内には弱いカオスが存在しており、局在対流の安定化機構にこのカオスが重要な役割を果たしていると考えられる。



図1 局在対流の Shadowgraph 像 ( $r = 1.60$ )

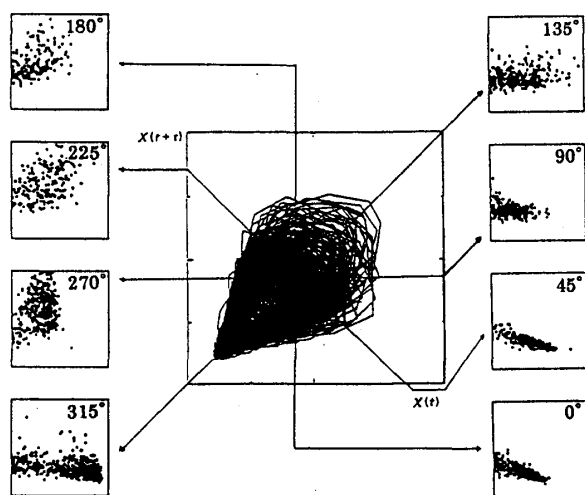


図2 局在対流状態 ( $r = 1.60$ ) における  
光強度時系列から構成したアトラクター  
及びポアンカレマップ

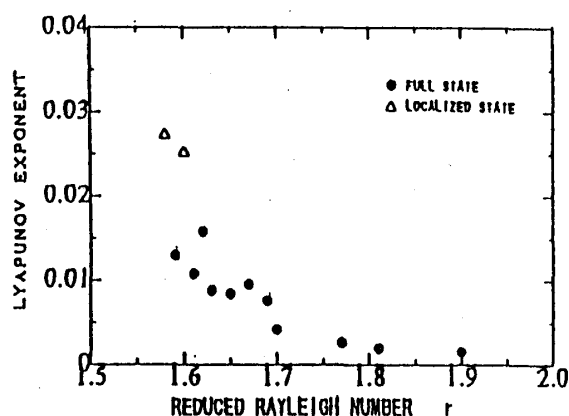


図3 Lyapunov 指数の Rayleigh 数依存性  
(逆過程)

#### 参考文献

- [1] M.C.Cross, and P.C.Hohenberg, Rev.Mod.Phys. 65 (1993) 851.
- [2] E.Moses, J.Fineberg, and V.Steinberg, Phys.Rev. A35 (1987) 2757.
- [3] P.Kolodner, D.Bensimon, and C.M.Surko, Phys.Rev.Lett. 60 (1988) 1723.
- [4] 高木敏光 卒業論文 (福井大学 1992)
- [5] Y.Harada, Y.Masuno, K.Sugihara, K.Nomura, and H.Yahata, in Pattern Formation in Complex Dissipative Systems, ed.S.Kai(World Scientific,1992).
- [6] K.Lerman, E.Bodenschatz, D.S.Cannel, and G.Ahlers, Phys.Rev.Lett. 70 (1993) 3572.
- [7] M.A.D-Lerma, G.Ahlers, and D.S.Cannel, Phys.Rev. 52 (1995) 6159.