

1. はじめに

近年貯水池の冷却機構などに関連して熱的擾乱による生ずる対流の研究がさかんに行われてきている。熱対流に関する研究は従来 Rayleigh 数の小さい領域での現象ばかり明らかにされてきてはいるが、Rayleigh 数の大きい領域でのものについては不明な点が多い。著者ら(1982)は先に Rayleigh 数のかなり大きくなった領域においても組織的なセル構造が存在していることを示し、その平均的な性質について明らかにしてきたが、そうした対流セル内乱流としての性質も有しておりその変動特性についても明らかにする必要がある。本研究はこうした点に着目し対流セルの形状の変動特性について論じたものである。

2. 実験および実験装置

実験にはたて90cm、横90cm、深さ75cmで側壁がアクリライト板製、底板がアルミニウム板製でその下にシリコンラバーヒーターを備えた水槽を用いた。水槽壁の内側には3cm厚の発泡スチロール板および1cm厚の合成樹脂の断熱板を付設し、外側にも3cm厚の発泡スチロール板を付設して水槽壁からの放熱を防ぎ、ヒーターの下には発泡スチロール板を敷いてヒーターからの熱の損失を防いでいる。また、水面にはアクリライト板でふたをし、ゆくゆくとした水槽幅規模の対流が生ずるのを防いでいる。測定は水中にアルミニウム粉末を懸濁させ、それに水底付近で水平スリット光を照射し、暗い線となり、現われる湧昇線を10秒(現象が速いものについては5秒)間隔でカメラに撮り解析した。

3. 対流セルの変動パターン

水底付近にスリット光を照射すると図1に示されるような膜状の湧昇線が生じている湧昇線が可視化される。この湧昇線で示される対流セルの形状は常時変動しており、変動のパターンは次の3つのタイプに代表される。

- (1) 新しい対流セルが形成される場合には、図1に示されるように従来の対流セル中に新しい湧昇線が生じ従来のセルが分断されることによる。この場合、初めは従来の対流セルの湧昇線の部分から突き出したように形成され、しばらくするとその部分が伸びてセルを分断する。しかし、新しく生じた湧昇線の強度が弱い場合には突き出したように形成した湧昇線がそれ以上延長されることなく消滅する。
- (2) 従来存在していた対流セルが消滅する場合には図2に示されるように、周囲の対流セルが発達してくるために狭められだんに消滅する。これは、主に周囲に新しく強力なセルが生じた時に起こる。
- (3) (1)、(2)のようにセルの発生や消滅に関係なく、セル自体がだんだんにその位置を移動したり形を変化させる。これは湧昇線からの湧昇線の強度が場所的に変動することによる。



(a)



(b)

図1, 既存のセルの分断による新しいセルの形成; 矢印の場所で分断されている

著者ら(1982)が示したように対流セルの平均的な大きさは一定であるために、平衡状態に達した対流中では(1)と(2)が釣りあっていると考えられる、

#### 4. 新しい湧昇線の発生

新しい湧昇流は Howard (1964) が示したように加熱底板付近に形成した熱伝導による層の不安定が崩れ発生するものと考えられる。対流セル中で湧昇流の存在してゐる部分以外の場所では流体はほぼ静止しており、近似的に静止流体中で底板を加熱した時にブレイムが発生する場合の実験結果を用ゐることにする。著者ら(1981)の測定よりこの値を換算すると、この時の単位時間・単位面積当りの発生頻度  $f_p$  は

$$f_p = 1.06 \times 10^{-5} Ra_f \frac{\kappa}{d^4} \quad (1/sec \cdot cm^2) \quad (1)$$

で与えられ、発生した水平スケール  $L$  は

$$L = 33.1 d Ra_f^{-\frac{1}{3}} \quad (cm) \quad (2)$$

で与えられる。ここに  $\kappa$  は温度伝導率、 $d$  は水深、 $Ra_f$  はフラック型型の Rayleigh 数を表す。一つの湧昇流が発生することに平均  $L$  だけ湧昇線が伸びるとすれば、単位時間・単位面積当りに直した湧昇線の長さの変動は

$$f_p L = 3.52 \times 10^{-4} \frac{\kappa}{d^3} Ra_f^{\frac{2}{3}} \quad (1/sec \cdot cm) \quad (3)$$

で与えられる。図3に数分間の湧昇線の写真より求めた単位時間・単位面積当りの湧昇線の変化を  $\kappa$  で無次元化し、 $Ra_f$  に対して示す。図中の実線は式(3)の関係を示してゐるが、ほぼ実験値と一致してゐる。この結果より対流セルの形状や数の変動は新しく発生してくるブレイムに依存してゐることがわかる。

#### 5. 変動の二重構造

このように対流セルの形状や数の変動はほぼ式(1)で示されるような頻度で起こつてゐる。ところが著者ら(1982)が示したように、湧昇線内に発生するブレイムも含めて平均化したブレイムの発生頻度は、

$$f_p^{all} = 1.1 \times 10^{-4} Ra_f \frac{\kappa}{d^4} \quad (1/sec \cdot cm^2) \quad (4)$$

で示される。式(4)と(1)の比はほぼ10となる。これは、対流セルの変動は湧昇流強度の変動に比べ非常にゆるやかに起こつてゐることを示してゐるといえる。

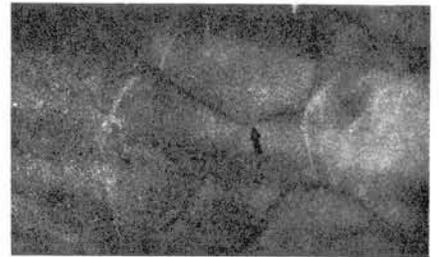
茂枝・玉井・高橋(1981)第25回水講；茂枝・玉井・高橋(1981), 論文報告集323号；茂枝・池田・二宮(1982)第26回水講



(a)



(b)



(c)

図2, セルの消滅

矢印で示されたセルが次第に消滅してゐる。

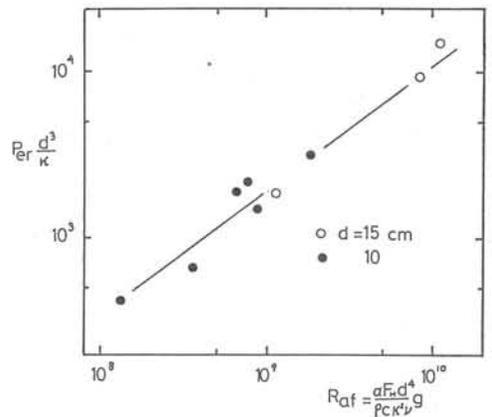


図3, 湧昇線の変化

Howard (1964) Proc. 11th Int. Cong. Applied Mechanics;