

II-240

ステップ状熱塩分布からの対流発生実験

九州大学大学院 学生員 細山田得三
九州大学応用力学研究所 正員 本地弘之

1. はじめに 自然環境下での流体の混合，拡散過程は，基本的には，対流現象と考えられ，この観点にたつて熱塩対流の研究は古くから行われてきている。¹⁾²⁾ しかしながらこれらの現象を新しく流体物理学的視点（散逸構造，chaos, fractal）から改めて捉え直す作業は，まだ始まったばかりである。³⁾⁴⁾ 本報では，異なった塩分，温度を持った2つの流体を界面を乱すことなく接触させ，その界面に誘起される不安定構造について調べた。

2. 実験装置 装置の概観をFig.1に示す。水槽は，熱の漏れを極力抑えるため，厚さ1.5cmの亚克力板製で，その周囲は，厚さ約5cmの発泡スチロールで囲まれている。はじめ水槽の中は，水平の仕切り板で上下に分けられており，所定の塩分，温度に設定し，流体が鎮まった後，仕切り板を約0.1cm/sのスピードで除去し，上下の流体を接触させた。流体の動きは，下側の流体に混ぜたアルミ粉末によって可視化した。また熱電対を6本鉛直方向に並べることによって温度の鉛直方向の分布及び時系列を測定した。

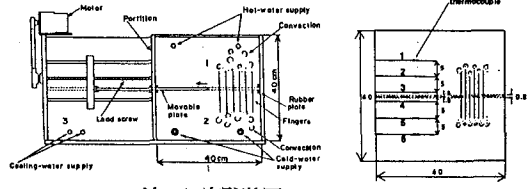
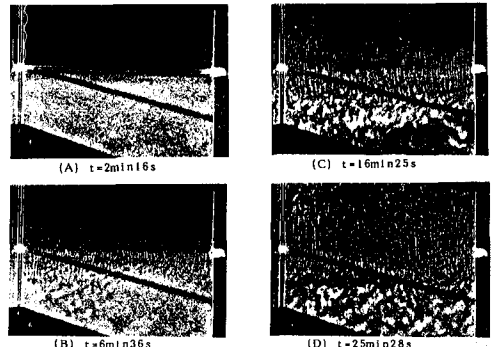


fig.1 実験装置



$$R_0 = 1.06 \times 10^{10}, R_s = 8.36 \times 10^8, \Gamma = 9.58 \times 10^{-3}, P_r = 7.27$$

fig.2 salt-fingerの成長

3. 実験結果 1) ソルトフィンガー 上側の流体を高温高塩分，下側の流体を低温低塩分とし，安定な密度分布の場合，温度と塩分の分子拡散係数の違いから，界面には，ソルトフィンガーが形成される。Fig.2に，その発達過程の代表例を示す。現象を支配するパラメータは， R_0 ， R_s ， τ ， P_r で，それぞれレイリー数，塩分レイリー数，温度と塩分の分子拡散係数の比，プラントル数である。ソルトフィンガーの発達と共に上下に大きなスケールの対流が駆動される。また鉛直方向の温度差が，徐々に緩和されていく過程がわかる。Fig.3には， $\alpha \Delta T$ ， $\beta \Delta S$ を変化させたときのソルトフィンガーの水平方向の波長Lと，鉛直方向の長さhの関係を示す。 α は，温度膨張係数， β は，塩分膨張係数である。各パラメータ毎の変化は，顕著ではないが，hの増加と共にLも漸増している。Lについては，線形安定解析により最も増幅率の高い値が理論的に得られている。今回の実験との比較をFig.4に示す。ここでのLは，実験の間で最初に目視されたソルトフィンガーの波長によって与えた。破線は，線形理論の結果を示す。これから，ソルトフィンガーの形成発達は，線形理論によってうまく表現されないことがわかる。Fig.5にはソルトフィンガーの初期の発達速度W. と $(R_p = \alpha \Delta T / \beta \Delta S)$ の関係を示す。ソルト

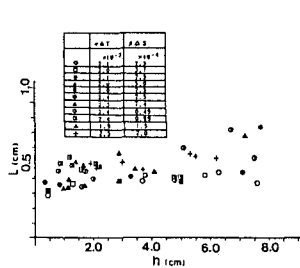


fig.3 aspect ratio

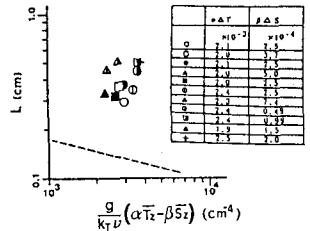


fig.4 線形理論との比較

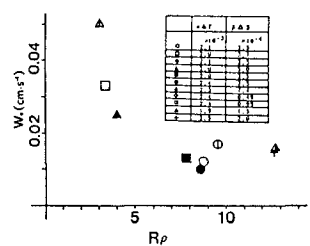


fig.5 W. ~ R_p

フィンガーの鉛直方向の発達には、初期の温度、塩分分布の安定性 $R\rho$ に依存している。

2) 温度変動の特性(ソルトフィンガー) 近年、熱塩対流を支配する偏微分方程式系から抽象された有限自由度のモデル方程式がchaos的な数値解を持つことが報告されている。⁴⁾ この観点から対流による場の変動特性を調べてみた。

Fig. 6にはソルトフィンガーの発達過程の代表的な温度変動(熱電対の出力変動)を示す。この中で5chの7分以降の出力値の変動が顕著であるためこの時系列の変動特性を調べた。Fig. 7(a)にはその時系列Fig. 7(b)にはその変動スペクトル、及び自己相関係数を示す。スペクトルは512個のデータからFFTによって求めた。スペクトルは、 -3 乗に比例して減衰した。また自己相関係数は、5.2秒の所で極小値をとった。この時間を時系列の相関がなくなる特性時間と考える。

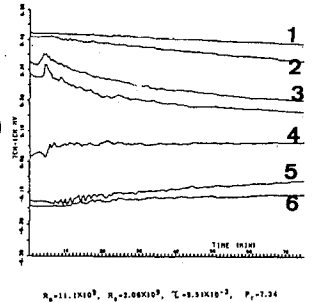


fig.6 時系列(salt-finger)

これをもとにしてcumulative correlationの分布を求め、べき乗分布を仮定し、その指数として定義されるその指数として定義される⁵⁾ fractal次元Dを求めると、 $D = 1.49$ となった。(Fig. 8)

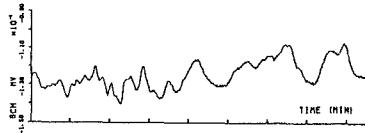


fig.7(a) 時系列(salt-finger)

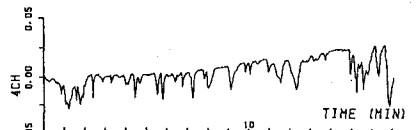


fig.10(a) 時系列(heat-convection)

3) 温度変動の特性(熱対流) 下側の流体を高温高塩分、上側の流体を低温低塩分とし、安定な密度分布を持つ場合、上下の対流は、ペナル対流と類似した状況下におかれる。Fig. 9は、上下の流体の界面の变形を示してしている。Fig. 10(a), (b)には、その時の4chの温度変動の時系列、およびその1024個のデータによるFFTを用いた自己相関係数を示している。この結果、120sを相関がなくなる時間と考え、fractal次元を求めると $D = 1.50$ となり、ソルトフィンガーのfractal次元と一致した。(Fig. 11)

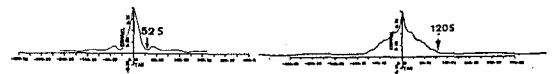


fig.7(b) spectrum(salt-finger)

fig.10(b) spectrum(heat-convection)

4. 今後の課題

chaosの理論は、偏微分方程式を単純化して抽出された方程式の数学的理論であり、物理空間における流体の挙動との対応や、工学的な応用への結びつきがはっきりしていない。今後は、chaos解と現実の流体の挙動との関連等について精度よく調べていく予定である。



t=10min50s

$Ra=9.40 \times 10^8$, $Rs=9.27 \times 10^8$, $T=8.60 \times 10^{-3}$, $Pr=8.6$

fig.9 界面の変動

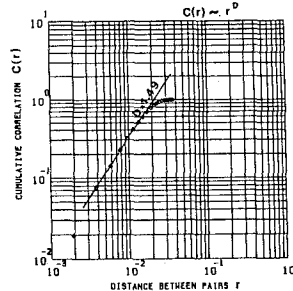


fig.8 フラクタル次元(salt-finger)

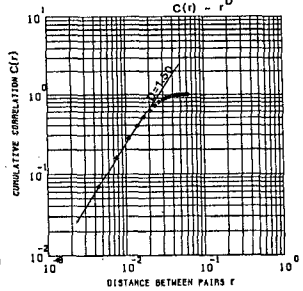


fig.11 フラクタル次元(heat-convection)

参考文献 1)Turner, J. S. 1967: Salt finger across a density interface. Deep-Sea Research. 14
 2)Linden, P. F. 1973: On the structure of salt finger. Deep-Sea Research. 20 3) Bhattacharjee, J. K. 1987: Convection and chaos in fluids p.p.145-174 4)Yanase, S. 1988 :Chaos in double diffusive convection. J. Jpn. Soc. Fluid Mech. 7, 3-14 5)Henderson, H. W., Wells, R. 1988: Obtaining attractor dimension from meteorological time series. Advances in Geophysics. 30, 205-237