

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007-2008  
 課題番号：19740242  
 研究課題名（和文） ソルトフィンガー型対流と均一密度層形成の数値シミュレーション  
 研究課題名（英文） Simulation of a Salt-Finger Type Convection and Formation of an Uniform-Density Layer  
 研究代表者：小紫 誠子 (KOMURASAKI SATOKO)  
 日本大学・理工学部・講師  
 研究者番号：90318361

## 研究成果の概要：

海洋等において見られるソルトフィンガー型二重拡散対流において、温度と塩分濃度均一層の形成と維持について、そのメカニズムの解明を目的として流体の数値シミュレーションを行った。そして、ある特定の海域で見られるような水深とともに温度・塩分濃度が階段状に減少していく分布、すなわち幾重にも重なる均一層の、各層の形成と維持において、ある特徴的な対流の存在が大きく関わっている可能性を示した。（通常の海域では温度・塩分濃度分布は階段状とはならず、両者とも緩やかに水深と共に減少する分布となる）

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成19年度	2,400,000	0	2,400,000
平成20年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	240,000	3,440,000

## 研究分野：数値流体力学

科研費の分科・細目：物理学、数理物理・物性基礎

キーワード：流体数値シミュレーション、二重拡散対流、ソルトフィンガー、密度成層、海洋

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 背景

海洋では、塩分と熱という2つの拡散物質により発生するソルトフィンガー型対流が見られる。通常、海面から深度が増すに従って温度と塩分濃度は連続的に減少していく。しかしある海域では、温度と塩分濃度が均一な層を形成し、温度と塩分濃度は連続的ではなく階段状に分布し、深度によって減少していく。海洋学の分野において、温度や塩分濃度分布と均一層の厚さ等との定量的な関係は調べられており、層の形成にソルトフィンガ

一对流が大きく関わっていると考えられているが、実際には物理的なメカニズムはよく分かっていない。

## (2) 経緯

種々の非圧縮性流れの数値シミュレーションを経験しており、とくに熱対流や密度成層流の数値計算は長く取り組んできた。本研究課題はソルトフィンガー対流を含んだ熱と塩分による二重拡散対流という、密度成層流の問題のひとつであり、様々な温度場・塩分濃度場を初期条件として、そこから発達するより複雑な流れを解析する必要がある。実験

ではこのような二重拡散対流、密度成層流を扱うことは困難であり、しかも様々なケースで流れを解析するとなると、数値シミュレーションの方がはるかに適している。そのため、高温・高塩分濃度から低温・低塩分濃度へと深度と共に減少する成層状態において起こる対流が、温度と塩分濃度の均一層を形成するという過程を数値シミュレーションによって再現するという目的を設定するに至った。

## 2. 研究の目的

安定な温度成層と不安定な塩分濃度成層下において、静力学的には安定成層状態であるときに、温度と塩分濃度均一層の形成と維持について、流体の数値シミュレーションによりメカニズムを解明する。とくに以下の3点を主たる目的とする。

- (1) 初期の温度と塩分濃度場の違いによる流れの変化をとらえる。
- (2) 温度と塩分濃度均一層の形成へと発展していく場合について、流れのメカニズムを調べ、均一層形成に必要な条件を明らかにする。
- (3) 形成された均一層を維持するメカニズムを考え、数値シミュレーションによって明確にする。

## 3. 研究の方法

密度成層流体は実験においては大変困難な問題のひとつであり、数値シミュレーションが有用である。本研究では、まず2次元計算により現象の概要を捉え、流れのメカニズムを理解する。さらにいくつかの条件を設定して数値実験を行うことで、均一層形成可能性やその維持のメカニズムを解明する。条件の違いによる流れの特徴が捉えられたところで、3次元計算を実施し、現実の流れの再現と2次元計算で得た知見が現実の流体现象に適用できるかを検証する。

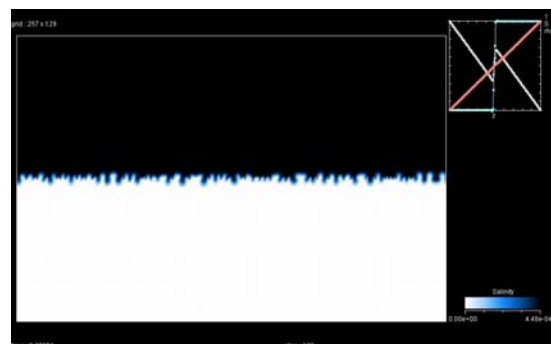
## 4. 研究成果

### (1) 2次元計算

二重拡散対流のとくにソルトフィンガー型対流に関して、初期の温度分布・塩分濃度分布、および境界条件を変えながら2次元計算による数値実験を繰り返した。その結果、温度に関しては一定の割合で鉛直上向きに増加、塩分濃度においては上部高塩・下部低塩という2層状態を初期条件としたときに、初期にソルトフィンガー対流とは異なる大スケールの対流が発生し、それが流体を混合することで均一層を形成することが示された。さらに、その層の境界においてソルトフィンガーの発生も認められ、観測事実と一致することが確認された。この計算で見られた初期の大スケール対流は、初期条件として塩分濃

度層の境界において密度の逆転層を生じさせており、その位置エネルギーによって引き起こされたものである。この計算のような初期条件は、現実には再現困難であるが、何らかの理由で大スケール対流が存在したときに、均一層が形成及び維持されることを示すものである。

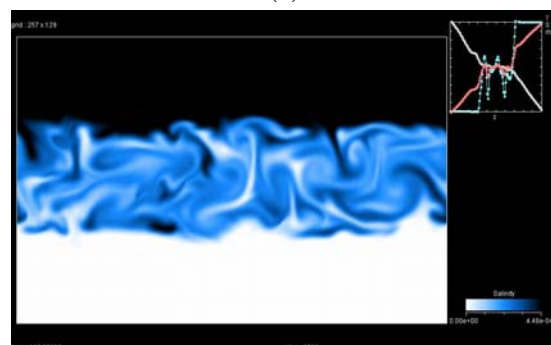
図1は、この大スケール対流が均一層を形成したときの計算結果について、塩分濃度分布の時間発展の様子を示したものである。初期(a~c)に逆転層から大スケール対流が発生し、その後(d)流体を混合させて均一層を形成する。さらに時間が経つと(e)、均一層の境界付近でソルトフィンガー型対流が発生する。大スケール対流は徐々に消滅し(f)、全体がソルトフィンガーで覆われていく。



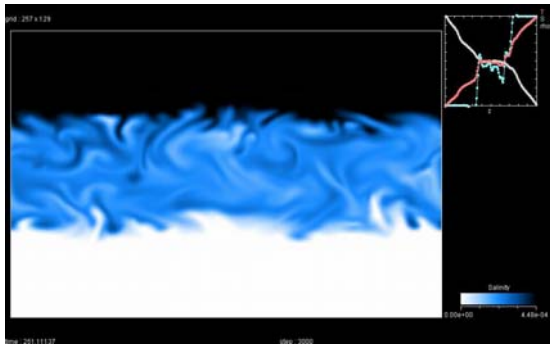
(a)



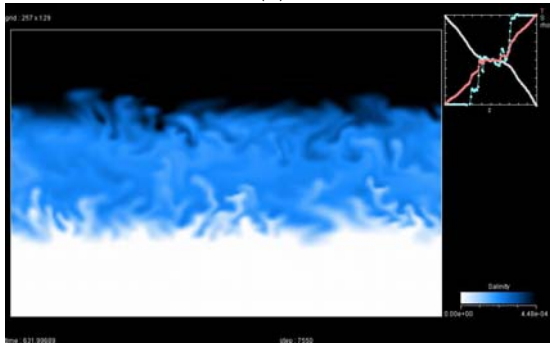
(b)



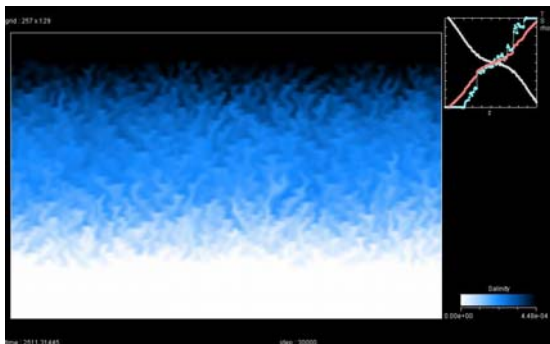
(c)



(d)



(e)

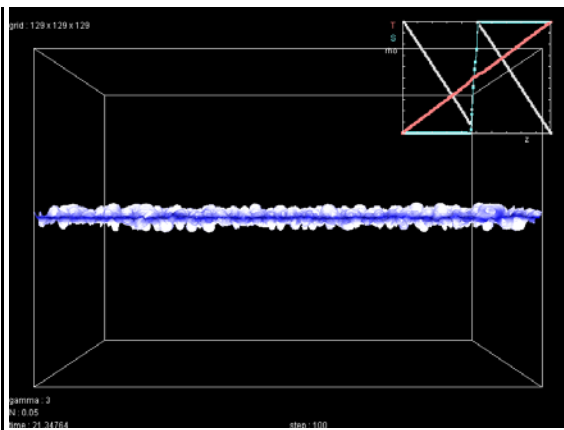


(f)

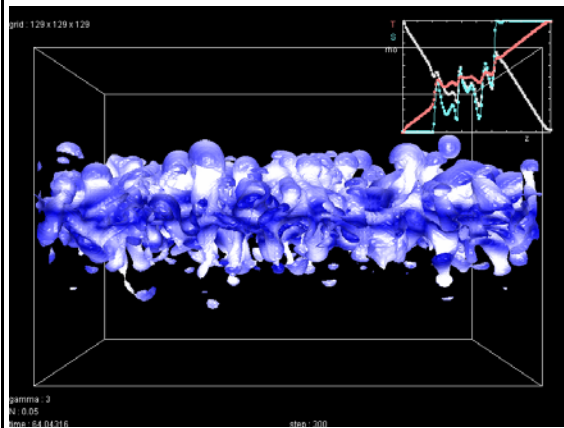
図1 2次元計算による均一層形成の様子。  
(塩分濃度分の時間発展)

## (2) 3次元計算

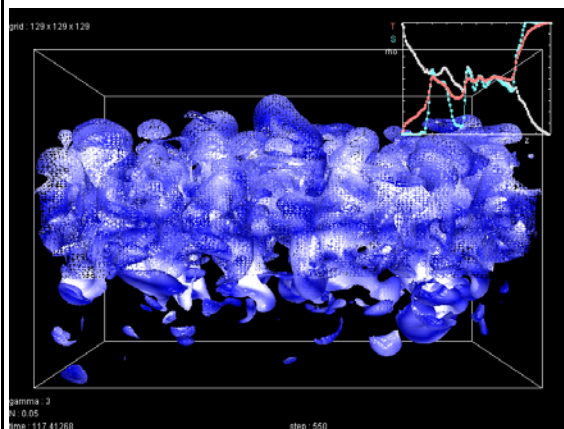
2次元計算で捉えられた流れは、現実には3次元性を持つものであり、2次元計算の結果をそのまま現実問題に適用させることはできない。したがって、2次元計算による数値実験の後、3次元計算による検証を起こった。その結果、大スケール対流が発生し、均一層を形成するという2次元計算のときと同様の過程を経ることを確認した。図2は、3次元計算の結果を、塩分濃度の等値面に鉛直方向速度の絶対値の大きさによってシェーディングを行ったものである。



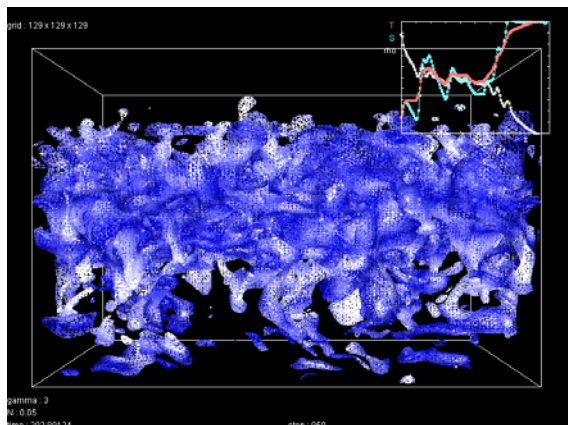
(a)



(b)



(c)



(d)

図2 3次元計算によるソルトフィンガー型対流および均一層形成の様子。  
(塩分濃度による等値面の時間発展)

以上の結果が示すことは、本計算で用いた条件は必ずしも現実的なものではないが、何らかの原因により大スケール対流が存在するときに、それが流体を混合し、温度・塩分濃度すなわち密度の均一層を形成しその維持に大きく貢献しているということである。そして均一層の境界はそこで発生するソルトフィンガー型対流により維持され、各層が混ざり合うことが無いという観測事実への裏付けである。

この、均一層形成の要因となる大スケール対流は、現実の海洋では海流の流れなどが関係しているかもしれないし、もっと局所的な流れも考えられる。この大スケール対流について種々の要因を考慮し数値実験を進めることで、ソルトフィンガー型対流における均一層形成に関してさらなる興味深い流れのメカニズムが解明され、それは現実の海洋において起こっている現象解明につながるものと考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Satoko Komurasaki, Kunio Kuwahara and Tetuya Kawamura, "Simulation of a Double Diffusive Convection for Salt Fingers and Formation of Uniform-Density Layer", AIAA paper 2008-575 (2008) [査読有]

[学会発表] (計 2 件)

① Satoko Komurasaki and Kunio Kuwahara, "Numerical Experiments on Salt Finger Type Convection", 61st Annual Meeting of the American Physical Society's Division of Fluid Dynamics (San Antonio, TX, USA) 2008.11.

② Satoko Komurasaki, Kunio Kuwahara and Tetuya Kawamura, "Simulation of a Double Diffusive Convection for Salt Fingers and Formation of Uniform-Density Layer", 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (Reno, NV, USA) 2008.1.

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小紫 誠子 (KOMURASAKI SATOKO)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号：90318361

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者