日本流体力学会年会 2006
AM06-14-014

ソルトフィンガーを例とした二重拡散対流の数値シミュレーション
Simulation of Double Diffusive Convection

○小紫 誠子, 日大理工, 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, E-mail: satoko@math.cst.nihon-u.ac.jp
桑原 邦郎, iCFD, 東京都目黒区原町 1-22-3, E-mail: kuwahara@icfd.co.jp
河村 哲也, お茶大, 東京都文京区大塚 2-1-1, E-mail: kawamura@is.ocha.ac.jp
Satoko Komurasaki, Nihon University, Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo
Kunio Kuwahara, Institute of Computational Fluid Dynamics, Haramachi, Meguro-ku, Tokyo
Tetuya Kawamura, Ochanomizu University, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo

Salt fingers are formed where hot, salty water overlying colder, less salty water. In the ocean, solar radiation may warm the surface layer of the sea but this may also give a high evaporation rate increasing the salt concentration. Therefore, Salt fingers are often observed undersea. In the recent study, it has shown that salt fingers in an ocean area help to keep uniform temperature and salinity layers undersea. This phenomenon is concerned with vertical variation of the density. In the present paper, to investigate density changed by salt fingering, numerical simulation was carried out for double diffusive convection. The governing incompressible Navier-Stokes equations were solved by the multidirectional finite-difference method. For high-Reynolds-number flows, a third-order upwind scheme was utilized for the convective terms to stabilize the computation. Results of the computation were visualized suitably and they captured density variation due to salt fingers.

1. 緒言

二重拡散対流とは、拡散係数の異なる２つの拡散物質により引き起こされる、様々な対流現象のことである。代表的なものに、海洋で観察されるソルトフィンガー等がある。海洋においては、密度をはじめ温度や塩分濃度が不連続な階段状に分布している海域が存在することが知られている。近年、この階段構造を保つためにソルトフィンガーが大きな役割を担っていることが分かってきた。本論文では、密度、温度、塩分濃度の階段状分布の保持にソルトフィンガーが寄与していることを計算によって確認することを目的として、まず、ソルトフィンガーによる密度勾配の変化を調べるために、二重拡散対流の２次元計算を行う。

2. 数値解析法

流速が音速に比べて小さく、温度差や塩分濃度差が比較的小さい場合には、非圧縮性流体を仮定してブシネスク近似を用いることができる。支配方程式は、連続の式、Navier-Stokes 方程式、熱と塩分濃度に関するそれぞれの移流拡散方程式から成る。

$$\mathrm{div}\boldsymbol{u} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{D\boldsymbol{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\mathrm{grad}p + \frac{1}{\rho}\mu\Delta\boldsymbol{u} + \boldsymbol{F}, \tag{2}$$

$$\boldsymbol{F} = \left(0, 0, \frac{\rho_w}{\rho}(\beta(T - T_b) - (S - S_b))g\right) : \text{外力}$$

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{1}{\rho}\kappa_T\Delta T \quad (3), \qquad \frac{DS}{Dt} = \frac{1}{\rho}\kappa_S\Delta S \quad (4)$$

$$\rho = \rho_w + \rho_w S, \quad \rho' = \rho_T + \rho_w S$$

$\boldsymbol{u}$: 速度, p : 圧力, T : 温度, S : 塩分濃度, ρ : 密度,
ρ_w : 平均温度 T_aにおける水の密度 (定数),
ρ_T : 温度 T における水の密度,
κ_T : 熱拡散係数, κ_S : 塩分濃度拡散係数, β : 水の体膨張率,
T_b : 基準温度, S_b : 基準塩分濃度.

これらの方程式から圧力に関するポアソン方程式を導出し、速度 $\boldsymbol{u}$, 圧力差 δp, 温度 T, 塩分濃度 S を求める。支配方程式の離散化においては差分法を用いるが、本計算においては特に計算の精度と安定性を保つために、多方向差分法を用いる。方程式の差分化においては、移流項に関しては 3 次精度上流差分 (K-K スキーム)、それ以外の空間微分の項に関しては中心差分を適用する。また、時間積分においては Crank-Nicolson 陰解法を用いる。圧力ポアソン方程式は、前の時間の値との差に関して、多重格子法を適用して解く。本計算では、fig.1 のような計算領域において、2 次元計算を行う。パラメータは以下の通りとする。

H	0.05 m	S_h	0.06 %
W	0.025 m	S_l	0 %
T_h	278 K	κ_T/κ_S	100
T_l	273 K		

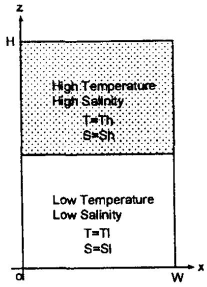

Fig.1 Computational domain.

3. 計算結果

密度分布の様子を fig.2 に示す。色が濃い方が密度が大きいことを表している。Fig.3 には初期と、十分時間が経った後の密度の鉛直方向分布 (水平方向で平均値をとったもの) をそれぞれ示している。

4. 結論

計算領域の大きさが十分では無いため、領域全体において、塩分濃度がソルトフィンガーによって均一化されたが、上方で密度の減少化、下方で密度の増大化が進み、密度勾配は全体としては増大した。


Fig.2 Density shading.

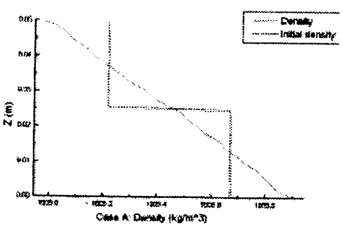

Fig.3 Density distribution in the vertical direction.