

II-108

広い加熱域の中に狭い冷却域が存在する場の熱対流に関する数値計算

東京工業大学 正会員 武若 聡

東京工業大学 正会員 池田 駿介

1. はじめに

自然界には冷たい領域と暖かい領域が隣接することにより生じる固有な気象現象, 例えば海陸風, 都市内の緑地・水面が周辺域へ及ぼす気候緩和効果等が存在する. 本研究では河川のような比較的小さい水面が熱せられた市街地に与える微気象学的な影響を単純化したモデルを通じて考える. 加熱域ではベナール・レーリー型の対流が混合層内に生じており, これの構造が冷却域の近傍で変化する. 一般風が弱い時には, 現象を支配する要因として地表面・混合層上端・水温度, 水面幅・混合層高さの比で定義されるアスペクト比等が挙げられる(図-1).

現実の大気の運動は乱れているが, ここでは現象の基本的な様相を確認する意味で層流の流れを対象とする. また, 実際の流れは3次元적であり相変化を伴うが, その第1次近似としての2次元적かつ相変化の無い流れの計算を行なう. 従って本研究の計算には流関数(Ψ), 渦度(ω), 温度(θ)を変数に用いる. 数値計算では広い加熱域の一部に狭い冷却域を設定し, 支配パラメータ(温度差, 混合層高さ)を変化させた時の対流構造の変化および冷却域の効果が到達する範囲について調べる(図-2).

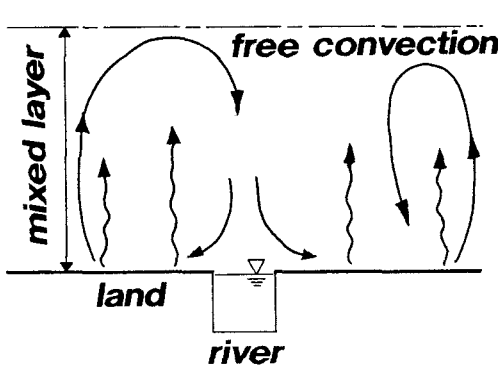


図-1 大気概念図

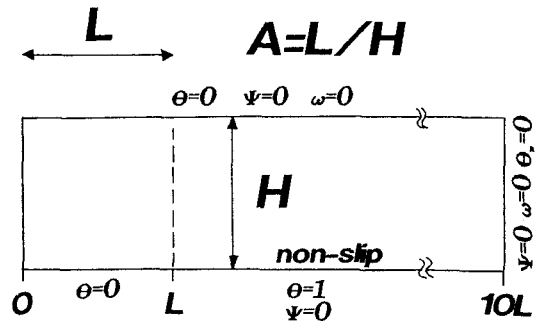


図-2 計算領域と境界条件

2. 数値計算方法

温度変化の効果をブシネスク近似で表わすと以下の無次元化された式系が得られる.

$$\Delta \Psi = -\omega, \quad \frac{D\omega}{Dt} = \Delta \omega + Gr \theta_x, \quad \frac{D\theta}{Dt} = Pr^{-1} \Delta \theta$$

ここで Pr , Gr はプラントル数, グラシヨフ数である. 図-2には計算領域・境界条件, およびアスペクト比(A)の定義を示す. 本研究では冷却域, 加熱域の幅を一定に設定した. Gr 数, A が前述の現象を支配するパラメータ, 温度差, 混合層高さにそれぞれ対応する.

3. 計算結果

図-3, 4にそれぞれ A を2, 1.3に設定した時の計算結果(等流関数, 等温度線)を示す. 図-3に示すように計算初期の段階に冷却域・加熱域の境界に循環が生じ, これが次々と加熱域の自由対流を誘起する. 実際の現象では底面の温度境界条件の擾乱により熱対流が発生するが, ここでは一点のそれによって領域全体の場が形成される. 加熱域に生じる対流セルの大きさはほぼ H のスケールになっており, 冷却域の近傍でその規則的な構造が変化している. 図-4($A=1.3$)に着目すると $A=2$ のケースとほぼ同じ Gr 数の計算を行なっているに

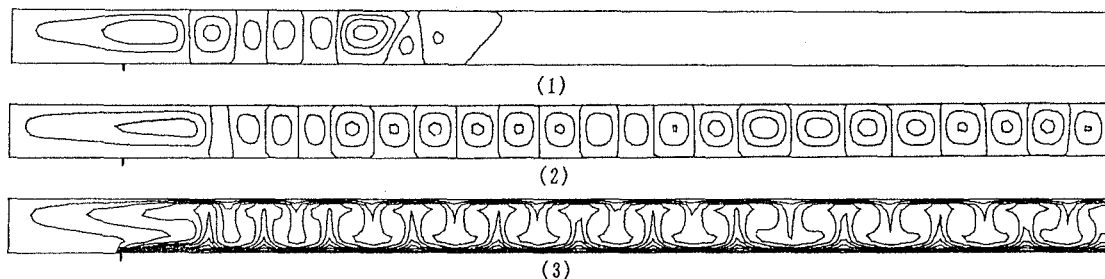


図-3 計算結果($Gr=4116, A=2$) (1)等流関数線($t=0.5$) (2)等流関数線($t=1.25$) (3)等温度線($t=1.25$)

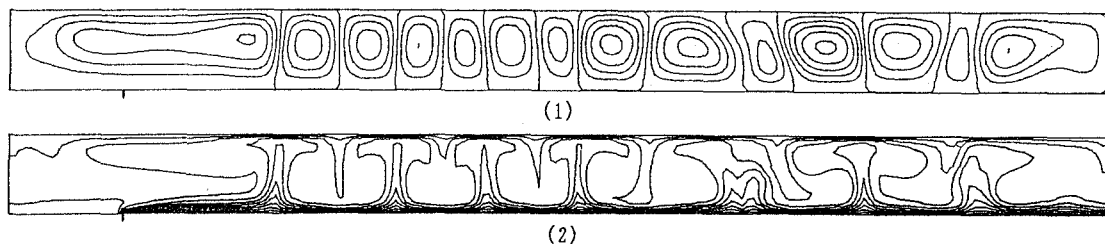


図-4 計算結果($Gr=3473, A=1.3$) (1)等流関数線($t=1.25$) (2)等温度線($t=1.25$)

もかわらず、その対流構造が不規則になっており、この種の流れがアスペクト比に敏感に依存することがわかる。

冷却域の影響到達範囲を評価するにはいくつかの方法が考えられるが、ここでは冷却域から見て鉛直方向の流関数値が0になる地点をもって到達範囲と判断した。ここでは温度が高くなる対流上昇流が発生しており、温度の観点から到達範囲を評価すればこの値は小さくなる。図-5は Gr 数と無次元影響到達範囲の関係を示したものであり、これより、両者の間には複雑なアスペクト比依存性がある。

本計算では計算領域が有限であったために、加熱域の対流セルが計算上の側壁の存在によって本来のスケールに発達することが阻まれ、その影響が冷却域まで及んでくることが考えられる。特に A が小さくなったときには計算領域を十分に大きく設定する必要がある。本研究で扱ったケースについては、対流セルの発達状況から見てこの影響は殆どなかったものと判断された。

4. おわりに

河川の幅を約200mとすれば、ここで扱ったアスペクト比の範囲(1~2)から考えて対応する混合層高さは200m程度である。これは混合層の高さとしては比較的低いものであり、穏やかな天候時である冬期の日中あるいは夏期の日の出前といった状況に相当すると考えられる。本研究で得られた結果を相似的に拡大して解釈できるものとするれば、このような天候下において水面陸域間の温度差が同じであっても、その日の混合層高さによって水面の影響が及ぶ範囲は大きく変化することが予想される。

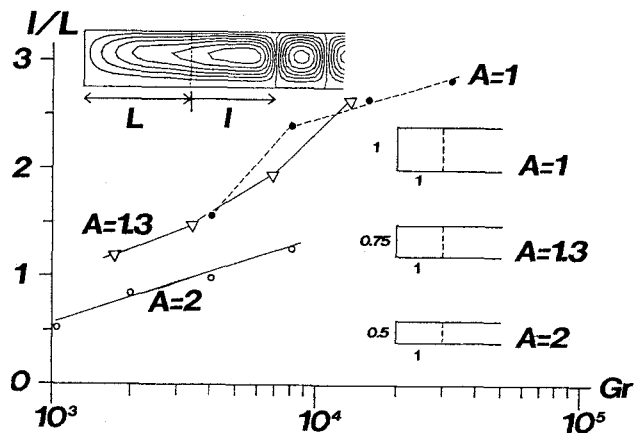


図-5 Gr 数と影響到達範囲