

傾斜サーマルの流動特性について

九州工業大学工学部 ○学生員 古屋 有美子

同 上 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

1. 諸言：周囲水より重い流体が傾斜面上に瞬間的に放出されると斜面上に沿って発達し、傾斜サーマルを形成する。この現象は自然界において頻繁に観測される基本的かつ重要な密度流のひとつである。本研究は、保存性傾斜サーマルの流動特性に関して統一的な知見を得ることを目的としたものである。

2. 実験：実験は大型水槽（長さ9.0m、深さ122m、幅0.6m）内に水路（長さ2.0m、深さ0.36m、幅0.25m）を設けたもので、底面傾斜角は自由に変えられるようになっている。いずれの場合も塩水を瞬間的に流入させることにより傾斜サーマルを発生させた。フルオレセンイで着色した塩水サーマルに水表面からスリット光を当て、側面からV. T. R撮影し、モニター画面上からデータを読みとった。実験条件を表1に、傾斜サーマルの定義図を図1に示す。

3. 実験結果：傾斜サーマルに対してOverall Richardson 数 R_i を式(1)で定義する。

$$R_i = BH \cos \theta / U^2 \quad \dots (1)$$

ここに、 B =浮力 $(=(\rho - \rho_a)g/\rho_a)$ ； ρ =サーマルの密度； ρ_a =周囲水の密度； g =重力加速度； H =サーマルの最大層厚； U =サーマルの重心移動速度。

以下、本研究で得られた主要な特性量について列挙する。いま、流下方向に R_i =一定である流れの領域を“流れの確立領域”と呼ぶ。いずれの特性量も $\theta = 30 \sim 60^\circ$ の範囲における流れの確立領域を対象としている。

形状および形状係数 $(S_1, f(\theta))$ ：サーマルの形状は図2に示すように流入条件にかかわらず、ほぼ相似形を有することが認められた。式(2)および(3)によりそれぞれ定義される形状係数 S_1 および断面アスペクト比 $f(\theta)$ は、図3,4に示すように θ の関数としてそれぞれ式(4),(5)で近似的に与えられる。

$$S_1 = A / (HL) \quad \dots (2) \quad ; \quad f(\theta) = H / L \quad \dots (3)$$

ここに、 A =サーマルの単位幅体積； L =サーマルの長さ。

$$S_1 = \pi / 4 \quad \dots (4) \quad ; \quad f(\theta) = 0.0044 \theta + 0.24 \quad \dots (5)$$

最大層厚変化率 (dH/dx) ：図5に各 θ に対する dH/dx の実験結果を示す。 dH/dx は θ に対して単調に増加し、Beghin et al. が得た結果と同様な傾向を示すが、その絶対値はかなり小さい。この差異は、Beghin et al. が完全に閉じた傾斜水路を用いたことが理由として推察される。本研究の結果に基づくと、 dH/dx は式(6)で近似的に与えられる。

$$dH/dx = 0.0041 \theta - 0.06 \quad \dots (6)$$

連行係数 (E_d) ：連行係数 E_d を式(7)で定義する。連行係数の算定に当たっては、 dH/dx を実験的に求め、式(8)により算定する方法 (E_{d1}) と、連行量 q_e を実験的に求め、式(9)より算定する方法 (E_{d2}) を用いた。本研究の結果とBeghin et al. が E_{d1} によって決定した E_d -値と θ との比較を図6に示す。本研究で得られた E_d -値は算出方法が異なるにもかかわらず、各 θ における E_d -値にはさほど大きな差異は認められない。そこで、実験的に得られたすべての E_{d1} と E_{d2} との平均を取り、式化したものを式(10)に示す。また、 E_d -値と流れの確立領域でのOverall Richardson 数 R_{in} との関係を図7に示す。 E_d は R_{in} の関数として式(11)で近似的に与えられる。

$$E_d = q_e / CU \quad \dots (7)$$

ここに、 C =サーマルの周囲長 $(=S_2\sqrt{HL})$ ； $S_2 = (\pi/2)^{3/2} \sqrt{4f^2(\theta) + 1} / \sqrt{f(\theta)}$ ；

q_e =サーマルの連行量 $(=\Delta A/\Delta t)$ ； $\Delta A = \Delta t$ 時間内における単位幅体積 A の変化量。

$$E_{d1} = 2(S_1/S_2)(dH/dx)/\sqrt{f(\theta)} \quad \dots (8) \quad ; \quad E_{d2} = q_e\sqrt{f(\theta)}/S_2UH \quad \dots (9)$$

$$E_d = 0.0032 \theta - 0.01 \quad \dots (10) \quad ; \quad E_d = 0.11 R_{in}^{-0.5} \quad \dots (11)$$

無次元サーマル移動速度 (U^*) ：無次元サーマル移動速度を式(12)で定義する。 U^* は流入条件および流下距離 x にかかわらずほぼ一定値となる。図8に U^* と θ との関係を示す。

$$U^* = U/\sqrt{W_0/H} \quad \dots (12) \quad \text{ここに、} W_0 = \text{初期総浮力} (=S_1BHL).$$

表1 実験条件

Run No.	$\theta(^{\circ})$	Box (cm×cm)	密度差 ϵ
1	30	2×2	0.01
2			0.03
3			0.06
4		1.15×3.5	0.01
5			0.03
6			0.06
7	45	2×2	0.01
8			0.03
9			0.06
10		1.15×3.5	0.01
11			0.03
12			0.06
13	60	2×2	0.01
14			0.03
15			0.06
16		1.15×3.5	0.01
17			0.03
18			0.06
19	90	1×1	0.10
20			0.15

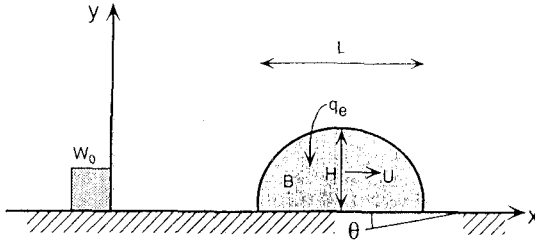


図1 傾斜サーマルの定義図

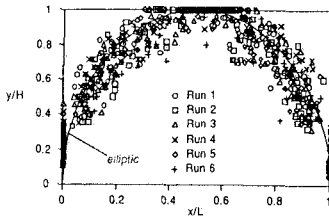


図2 サーマルの形状 ($\theta=30^{\circ}$)

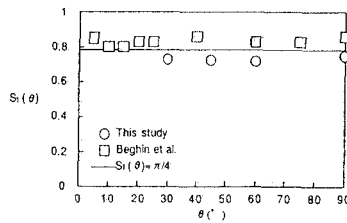


図3 S_r と θ との関係

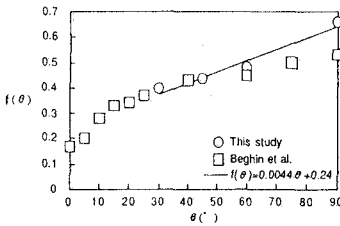


図4 $f(\theta)$ と θ との関係

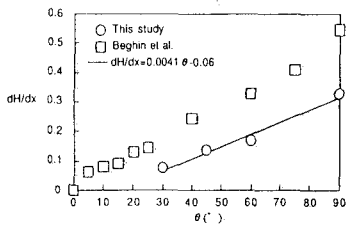


図5 dH/dx と θ との関係

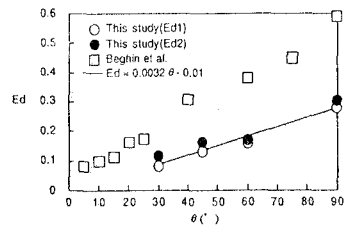


図6 E_d と θ との関係

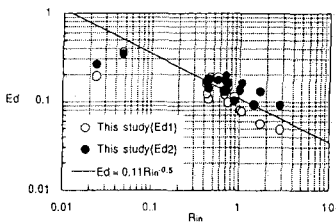


図7 E_d と R_{in} との関係

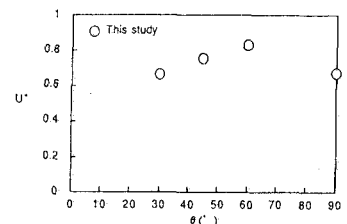


図8 U^* と θ との関係

4. 参考文献

Beghin et al. (1981) ; J.F.M.
森田ら (1993) ; 第48回年講