

海洋深層水放流の可視化実験

東海大学大学院 学生員 三上 和孝
 東海大学海洋学部 正会員 田中 博通
 東海大学海洋学部 正会員 酒匂 敏次
 信幸建設株式会社 長野 善徳
 株式会社安田建設 鈴木 康仁

1. はじめに

海洋深層水は低温性、富栄養性、清浄性、恒常性が特徴である。この富栄養性を利用して海域肥沃化や磯焼け回復の実験が高知県で行われている。一般に、海洋深層水を利用後、海域に放流した場合、周囲水よりも低温であることが考えられる。従って、環境への影響や拡散範囲を予測する場合、低温水を周囲水に放流したときの挙動を把握することが重要である。

本研究は海洋深層水放流の基礎的実験として、表層水よりも低温である深層水を放流した時の放流形式と放流量による拡散・混合状況を計測と可視化手法で求め、その結果を基に拡散状況について検討した。

2. 実験方法

1.8m×1.8m×0.45m の平面水槽を用いて実験を行い、放流方式は、表層放流（開水路：放出口幅 4.5cm）と水中放流（管水路：内径 1.8cm、中間水深：水深 15cm）とする。放水量は、原型で 500m³/day、1000m³/day、2000m³/day の 3 ケースを想定し、周囲水と放流水の温度差(ΔT)は 5℃、10℃の 2 ケースとした。なお、原型と模型の縮尺は 1/20 とした。

測定は熱伝対センサー（6ch）

表-1 実験条件（表層放流）

による温度測定と可視化手法を用いて行った。座標系は放出口から流下方向に x 軸、横断面方向に y 軸、水深を z 軸とした。

Case	Q(cm ³ /s)	b(cm)	h(cm)	U ₀ (cm/s)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ρ ₁ (g/cm ³)	ρ ₂ (g/cm ³)	Fr
S1-1									
S2-1	6.30	4.50	0.3	4.67	9.0	14.0	0.99978	0.99924	11.72
S3-1	14.10	4.50	0.3	10.44	9.0	14.0	0.99978	0.99924	26.20
S1-2	3.10	4.50	0.2	3.44	9.0	20.6	0.99978	0.99807	5.94
S2-2	6.33	4.50	0.3	4.69	9.0	20.2	0.99978	0.99816	6.80
S3-2	13.25	4.50	0.3	9.81	9.5	20.0	0.99974	0.99820	14.58

表-1、2 はそれぞれ表層放流と水中放流の実験条件である。

表-2 実験条件（水中放流）

表中の記入 S は表層放流、P_c は水中中間放流、P_b は水槽底面からの水中放流を表す。

Case	Q(cm ³ /s)	D(cm)	U ₀ (cm/s)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ρ ₁ (g/cm ³)	ρ ₂ (g/cm ³)	Fr
Pc1-1	3.39	1.80	1.33	9.0	14.5	0.99978	0.99917	1.28
Pc2-1	6.31	1.80	2.48	9.2	14.3	0.99976	0.99920	2.49
Pc3-1	14.07	1.80	5.53	9.5	14.4	0.99974	0.99918	5.56
Pc1-2	3.50	1.80	1.38	10.3	20.4	0.99967	0.99812	0.83
Pc2-2	6.47	1.80	2.54	10.3	20.3	0.99967	0.99814	1.55
Pc3-2	13.87	1.80	5.45	10.3	20.2	0.99967	0.99816	3.34
Pb2-1	6.31	1.80	2.48	9.2	14.3	0.99976	0.99920	2.49
Pb2-2	6.47	1.80	2.54	10.3	20.3	0.99967	0.99814	1.55

可視化実験は、放流水をウランで着色し、ブラックライトを照射して実験水槽の上

面、側面から同時撮影した。撮影時間は流況により異なるが、定常になった後も撮影した。実験終了後、VTR テープに 1/30 秒でカウンターを打ち込みパソコンに取り込んだ画像から、流況と鉛直・水平方向の拡がり幅を求め、移流拡散現象について検討した。

3. 実験結果及び考察

表層放流を示す図-1 では、放流水が初期の段階で表層を流下する流れがあるが、その後、壁面に沿って流下する流れが主流となり底面に到達した後は底面上を拡がる現象となった。この現象は Fr 数の違いによる拡

キーワード：海洋深層水、内部 Froude 数、流れの可視化

連絡先：〒424-8610 清水市折戸 3 丁目 20 番 1 号 TEL0543-34-0411 FAX0543-34-9768

散現象の変化が見られ、 Fr が大きいと放流水が水面上を拡がり、 Fr が小さいと z 軸方向に垂直に流下する傾向になった。実験結果より $Fr=10$ を境界として、その前後で拡散現象の違いが見られた。次に、図-2 の水中中間放流であるが、密度変化による放流水の乱れが x,y 軸方向に現れており、 Fr 数が若干小さいほうが底面上での拡がり小さくなると言える。図-3 の水中底面放流では底面に沿って楕円形状に拡散する現象になった。また、今回の実験では放出流速 (U_0) がほぼ同程度であるので ΔT が大きく、 Fr 数が小さいほど拡がり幅が大きくなる傾向がみられた。

図-4、図-5 は画像から読み取った経過時間ごとの x,y,z 方向の拡がり幅の分布である。水中中間放流では Fr 数が大きいほど x,y 方向の拡がり幅は小さくなり、 z 方向の拡がり幅は同程度となった。

ΔT 時間における拡がり幅を ΔL とすると流体粒子の Lagrange 流速 (v_1) は $v_1 = dL/dT \approx \Delta L / \Delta T$ となり、乱流拡散係数 (K) は $K = \overline{v_1 Y}$ となる。ここで、近似的に図-4 と図-5 の拡がり幅の図を用いて 30 秒から 90 秒までの拡散係数を求めると水中中間放流の Pc2-1 と Pc2-2 の x,y,z 方向の拡散係数は $K_x=1.2, 2.9, K_y=2.0, 7.4, K_z=3.7, 3.4$ となった。しかし各種放流形式に対しより詳細に拡散係数を算定し現象を支配する無次元数をパラメータとして整理するためにはさらに多くの実験を行う必要がある。

4. おわりに

今回、現状規模での深層水放流について基礎的な実験を行い上記の結果を得たが、今後の海洋深層水の取水規模と活用法を鑑み、放流形式と広い範囲での放流条件を考慮して、経過時間に対する温度分布と流況を精緻に測定することにより現象を支配する係数を求めることが必要である。

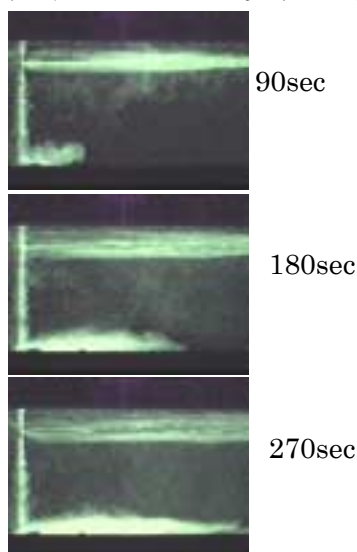


図-1 流況 (CaseS2-2)

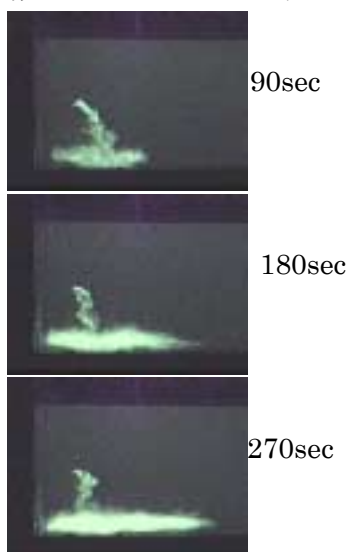


図-2 流況 (CasePc2-2)

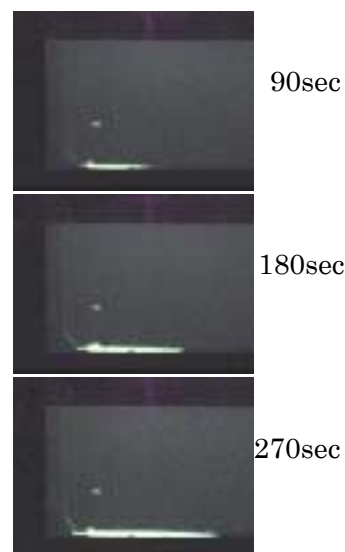


図-3 流況 (CasePb2-2)

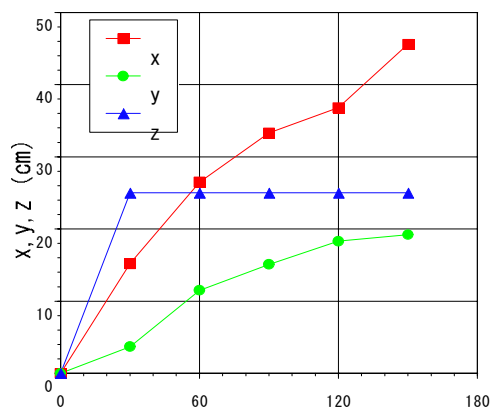


図-4 拡がり幅 (CasePc2-1)

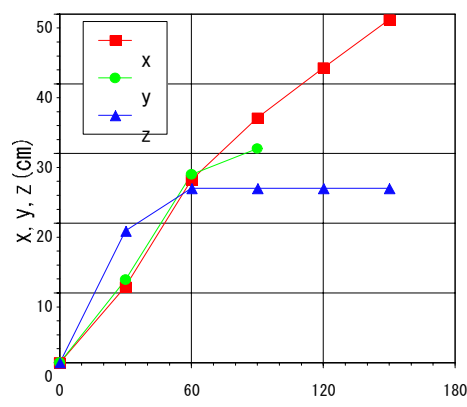


図-5 拡がり幅 (CasePc2-2)