



研究ノート

密度流の研究

室田 明*

土木工学第2講座の講座内容は、水理学・河川工学であるが、ここでは水理学に限って研究現況の紹介をしよう。

水理学は、機械工学では水力学と呼ばれるが英語ではともに Hydraulics で、流体力学のやや応用面を含んだ内容と考えて頂ければよい。

この水理学の国際的な組織が、International Association for Hydraulic Research (IAHR) で、この国際学会には土木工学、機械工学、造船学等の研究者が参加している。

IAHR は、定例の国際会議の外に、水理学のトピックスについて集中的にシンポジウムを開催し、研究者の関心を喚起している。

密度流、(正確には Stratified flow : 成層密度流) の第1回シンポジウムがソ連の Novosibirsk で1972年開催されたのを受けて、第2回のシンポジウムが1980年6月にノルウェーの Trondheim で開かれ、土木工学のみならず、気象学、海洋学、陸水学等、多方面の高度の研究成果が発表された。

密度流の本来の意味は、密度差にもとづく流れをそう呼んでいたのであるが、最近では密度差のある流れというようにやや拡大して使われている。

流体に密度差の生ずる原因としては、温度差や、流体に含有される物質の濃度差等があるが、土木工学で問題となる密度流には河口付近の塩水と淡水が混在する領域での塩・淡密度流、洪水時に貯水池へ濁水が流入する場合の濁度密度流、あるいは原子力・火力発電所からの冷却水の放出等に相当する温度密度流がある。

このような各種の密度流は形態面から、成層型密度流、完全混合型密度流とその中間の部分

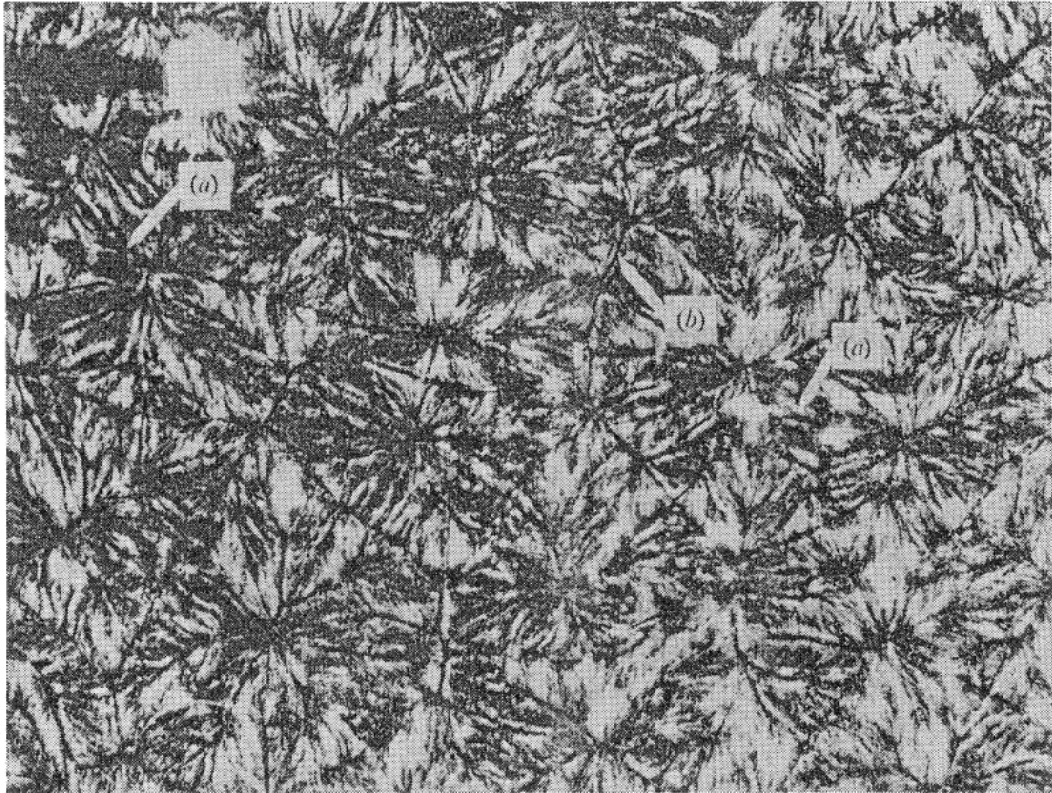
的混合型に分類される。例を前述の河口密度流にとれば、塩水は淡水よりごくわずかに重いから外部擾乱が小さければ、河川流の底層に海域から侵入した海水が存在し、その上を軽い淡水が流れ滑って行くであろう。このとき下層海水と上層淡水が(分子拡散を除き)全く混合せず、明確な界面を保持したままの状態のときにこの密度流を成層密度流といい、その反対、すなわち混合が充分に行われて、水深方向にはほとんど密度差がなく、流下につれて海に近づく程、断面平均の塩分が増加するものを完全混合型という。

河口の場合は、成層状態をこわす外部擾乱は潮汐振動であるが、一般的には界面での連行現象が活発であれば混合型に移行するのはいうまでもない。火力発電所から排出される温排水もつまるところ周辺海水を連行し、それ自身が希釈されることによって熱汚染を軽減するのであるから、密度流問題の重要な課題の一つが、界面連行であることがおわかり頂けるだろう。

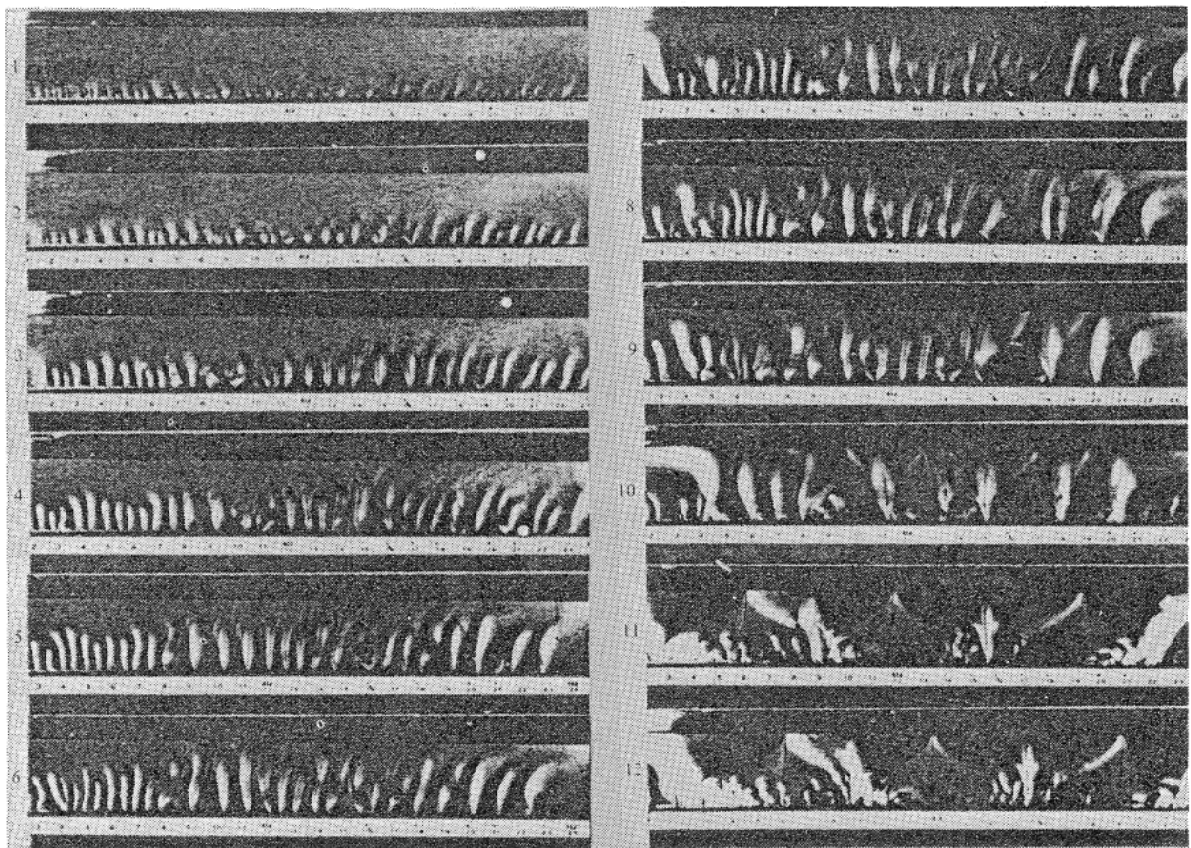
界面連行、ないし混合は種々の過程で行われる。通常、不連続界面には自励的に内部波が発生する。古くは Kelvin-Helmholtz の安定・不安定問題として論ぜられた連続面の波動は、現象論的に探究するとそんなに簡単なものではなく、複数の形態の要素波が混在する波動場であることが、われわれの可視化手法を応用した研究で解明された。

このような波が砕波することによっても界面混合が進行するのであるが、内部波の砕波はわれわれが日頃よく見かける(水面での)海の波の砕波、波の峰で砕けるいわゆる白波とはことなり、波の谷で砕ける特異な形態をとり、そのために混合の進行過程も特殊なものになるのであるが、話があまりにも専門的になるので、こ

* 室田 明 (Akira MUROTA), 工学部, 土木工学科, 教授, 工博



図一(a) (文献(1)より転載)



図一(b) (文献(2)より転載)

図一 これは上方低温・下方高温の温度差を保った二平行平板間での流体内に発生する対流セルである。(a)は上方から撮影した対流セルの平面形であり、細胞のような規則だったセル構造が観察される¹⁾。(b)は側方から促えたセルの発達の様子であり重力的に不安定な温度ブルームがしたいに生長していきやがて全水深に至る状況が克明にわかる²⁾。

こういった対流問題は Bénard (1900) の定性的な実験³⁾ に始まり現在では乱れ強さを定量的に把握するまでに至っている。貯水池での水表面からの熱損失にともなう表水層の鉛直混合現象はこうしたメカニズムによって生じていると言われている。

の程度でこの問題は打ち切らせて頂く。

界面連行は、前述の内部波砕波のみで行われるのではなく、界面で生起する各種の乱れによっても連行が進行する。例えば、前述の発電所からの温排水の問題は、水理的には表層密度噴流としてとらえられるが、この場合の連行は、噴流界面に現われる大規模・組織乱流によって行われる。(本来、不規則性を唯一の特性とする乱流で、「組織的: ordered」という言葉自身が矛盾であるが、これが壁面乱流の最近のトピックスである。) 具体的には、界面に間欠的に発生する渦によって周辺水が噴流中に取り込まれるのである。この場合、噴流の鉛直下方からの取り込みは、顕著な密度勾配のために抑制されてほとんど行われず、連行はもっぱら噴流の水平界面で行われる。そのため、このような噴流は、等密度噴流にくらべ噴流の拡散角も大きく、周辺水の連行流線のパターンも通常の噴流とは異なったものとなる。水理的には、この水平界面に発生する渦の成長・全体・消滅の過程を明らかにすることが当面の課題であって、当研究室でも種々の可視化法を応用して精密な実験的研究が続けられている。

密度流において、界面連行と並んで重要な課題は鉛直混合の問題である。

土木工学の範囲で例を挙げれば、貯水池の大循環の現象がこれに相当する。すなわち、ほぼ静止状態の貯水は、夏季の強い日射によって表層が温められて安定な温度成層状態が秋面まで保持される。ところが冬季、表層が冷却され、底層より重くなると、この不安定成層は一挙に逆転し、いわゆる大循環が起って貯水池水質が均質化される。この場合、大循環以前の成層状

態が日射による温度差のみならず、濁水の流入による濁度成層も併存しておれば、事柄はますます複雑になる。このように複数の原因で構成される密度場を「二重拡散の場」Double Diffusion Field とよび、海洋では塩分・温度の二重拡散が現実的な問題となる。このような場合は二種の要因の密度差の組み合わせによって多くの安定・不安定状態が考えられ、理論的な取り扱いが極めて面倒になるのみならず、実験技術の面でも高度のテクニックが求められる。現在、研究室で行っている二重拡散の実験は、塩分濃度で連続分布を予め設定し、下方から熱を供給して熱成層状態の非定常的発生機構を実験的に解明する基礎実験を行っており、すでに二、三の興味ある成果を挙げている。

近来、国際水理学会においても、在来型の水理学研究の枠を越えて、新しい局面に対処しうる水理学の胎動がみられ、その内のあるものは既にかなり前進した段階にある。それ等の一つに生態水理学 (Ecohydrodynamics) や、環境水理学がある。ここでは、人間を含む生態系と流体のふるまいの相互干渉が主要な論点になるのはいうまでもなく、われわれの研究室でも密度流に代表される多重構造の拡散場の研究を通じて、いづれこうした側面の研究に進展すべくポテンシャルを蓄積しつつある。

参考文献

- 1) Willis, G. E. and J. W. Deardorff; J. Fluid Mech., 44, 1970, pp. 661—672.
- 2) Krishnamurti, R.; J. Fluid Mech, 60, 1973, pp. 285—303.
- 3) Bénard, H.; Revue générale des Sciences pures et appliquées, 11, 1900, pp. 1261—71. and 1309—28.