熱流体トレーニング（3）

刑部真弘＊1
OSAKABE Masahiro

流れが層流の状態においては，流れている流体の各層は整然と並んで流れる。このため，ある層中に着色液を混入させても，その層中のみを流れ，周囲の層と混じり合うことがない。乱流の状態においては，巨視的にみれば流体層が互いに並んで流れているようにみえるが，微視的にみれば各流体粒子の塊は前後左右に移動し，周囲の層間を行ったり来たりしている。このため，ある層中に着色液を混入させれば，間もなく周囲の層と混じりあってしまう。この層流と乱流の状態はレイノルズ（Reynolds）が1883年に，流れにインクを流した可視化実験を行い明らかにした。この流れの状態を表すレイノルズ数Re は，

$$Re = \frac{uD}{\nu_m} \tag{1}$$

で表される。ここで，u：流速，D：代表長さ，ν_m：動粘性係数である。Re 数は，流体の慣性力と粘性力の比を表し，この値が大きい程，粘性によって流れの乱れを抑制させようとする作用が少ないことを示す。このため，あるレイノルズ数（臨界レイノルズ数）で，流れは層流から乱流に遷移する。

このレイノルズの発見は，実験的な考察によって得られた貴重なものであるが，流れの運動およびエネルギ方程式の無次元化を行う過程でも容易に導かれる。そこでは, Re 数が大きくなると粘性の影響が小さくなり方程式の解が暴走，すなわち乱流になることが示される。この解の暴走はカオス（混沌）現象として知られている。

米国ニューメキシコ州に九州の阿蘇山の次に大きなカルデラがある。このカルデラの脇に，1940年代にオッペンハイマーが原爆計画のための研究所をつくたロスアラモスという小さな町がある。この町に住むロスアラモス国立研究所の研究員で，1日26時間で生活するとか，コーヒーだけで生きているといった噂の絶えない男，ファイゲンバウムが1970年代にこのカオスを考え始めた。彼は，一つの数の入力に対してその出力をまた入力とするような簡単な関数に集中して研究を行った。

一例として，ある系におけるネズミの繁殖をここでは考えてみる。図1に示したように，n 世代のネズミの数を X_n とし，それから生まれる $n+1$ 世代の数を X_{n+1} とする。なお，ネズミの数 X は0と1の間の数とする。前世代のネズミの数が多いほど次世代の数も多いと考えられるので，次世代の数 X_{n+1} は前世代の数 X_n に比例する。また，前世代の数があまりにも多いと食料が足りない等の環境悪化が起こるので，$1-X_n$ にも比例すると考えると，以下の式が成立する。

$$X_{n+1} = \beta X_n(1 - X_n) \tag{2}$$

ここでβは定数であり，0と4の間の数をとる。βが4以上では X は1以上となってしまう。

図2に示したのは，初期世代のネズミの数 X_0 を0.5として，式(2)を用いて各世代のネズミの数を予測したものである。βの値を0.8とすると，ネズミの数は急速に0に近づき絶滅状態となる。βの値が1.2では，ある一定の数に近づく。βの値を3.2まで増やすと，0.8と0.5の間で周期的に増えたり減ったりを繰り返す。βの値を更にそれよりも少しだけ大きくすると，解はとんでもない暴走状態となる[(1)]。βのわずかな変化によって大きく挙動が変化するのは驚きであるが，これはこの単純な方程式が，流れの方程式と同様な非線型性をもつためである。

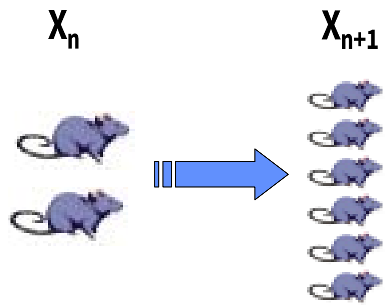

図1 ある系におけるネズミの繁殖

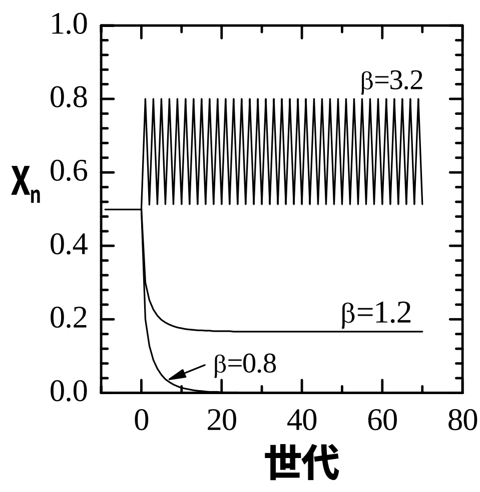

図2 各世代のネズミの数の予測

参考文献

(1) 刑部真弘，エネルギ技術者の熱流体トレーニング，海文堂出版，(2004)

＊1 東京海洋大学海洋工学部 海洋電子機械工学科
（江東区越中島2-1-6）.