

レイノルズ数の名付け親

大橋 秀雄

本誌10号(1987年12月)で、「レイノルズ先生とマッハ先生をお招きして」と題して豪華誌上架空対談を試みたのをご記憶の方がおありと思います。筆者がお話相手となり、流体力学の巨人レイノルズ(O. Reynolds)とマッハ(E. Mach)が架空対談する形で、お二人の生涯とレイノルズ数やマッハ数が生まれてきたいきさつなどを取り上げてみました。

マッハ数については、スイスのアッカーレット(J. Ackeret)が命名したことには異論が無いようです。一方レイノルズ数については、筆者が参考にした文献⁽¹⁾にはプラントル(L. Prandtl)が提案したと書いてあり、筆者もそれを信じて、その線に沿って話を展開しました。対談の文章をよく読み返してみると、最初のうちは「プラントルとその弟子達を使い始めたようです」と遠慮がちに書いてありますが、いつの間にか「レイノルズ数の名付け親プラントル」と自明の事実のようにすり変わっています。読者もそのように信じこまれたことでしょうか。

今年の2月、谷一郎先生から一通の手紙が届きました。谷先生は、日本を代表する流体力学の大家であり、先生の名著「流れ学」(岩波全書)で流体力学の面白さに魅了された方が多いと思います。本会の名誉員であり、また日本学士院の会員でもあります。

谷先生は其中で、架空対談の記事には重要な文献の見落としがあると指摘して下さいました。ゾンマーフェルト(A. Sommerfeld)が1908年に第4回国際数学会議で発表した論文⁽²⁾がそれで、レイノルズ数が明確に命名されているとのことでした。プラントルの関係では、筆者が調べた限りでは1910年の論文⁽³⁾に

始めてレイノルズ数が登場してきます。明らかに逆転です。

*

早速ゾンマーフェルトの論文を調べてみました。図1にその関連部分のコピーを載せておきました。式(1)のRは無次元数であり、その式の下にこれをレイノルズ数と名付けよう(nennen wollen)とはっきり書いてあります。レイノルズ数の名付け親は、文献による限り明らかにゾンマーフェルトです。読者にお詫びして、架空対談の記事を訂正しなければなりません。

ゾンマーフェルトは、滑り軸受の荷重係数であるゾンマーフェルト数、線形安定判別によく現われるOrr-Sommerfeld方程式などで工学でも極めて縁の深い方ですが、もともとは物理学者で、その理論物理学の教科書(Vorlesungen ueber theoretische Physik)は、今でも学生の必読の書となっているそうです。

*

勝負はついたようですが、筆者にはどうしてもこのままでは納まり切れないところがありました。ドイツでは博士論文の指導教官を、ドクトルファーター(Doktor-Vater)と呼びます。学問上の父とでも訳しましょうか。筆者のドクトルファーターの一人は、境界層の研究で名高いシュリヒティング(H. Schlichting)で、そのまたドクトルファーターがプラントルです。つまりプラントルは筆者のドクトルおじいさんに当たります。身びいきの気持ちも手伝い、1910年前後の関連文献を出来るだけ洗い出してみました。谷先生には、このときも細かくご指導を頂きました。以下に、レイノルズ数と関連がある文献を年代順に列記して、

Bedeutet ρ die Dichte, μ die Viscositätskonstante der Flüssigkeit, U die Geschwindigkeit der linearen Strömung, die auf ihre Stabilität untersucht werden soll (genauer gesagt, bei REYNOLDS die mittlere Geschwindigkeit im Querschnitt) und h den Durchmesser der Röhre, so ist

$$(1) \quad R = \frac{\rho U h}{\mu}$$

eine reine Zahl, die wir die Reynolds'sche Zahl nennen wollen.

図1 ゾンマーフェルトの1908年の論文⁽²⁾から式(1)の無次元数Rを、レイノルズ数と名付けようとして書いてある。

おおし ひでお

1931年5月10日生まれ

1954年東京大学工学部機械工学科卒業

●主として行った研究

ターボ形流体機械の動特性、特に非常運転時の性能や流体力に関心を持ち続けた。最近、羽根車の中の二相流を翼列レベルで解明する研究を始めている。

●担当講義

機械工学科で、流れやターボ機械を教えている。

●勤務先

東京大学 教授 工学部

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

その要点をまとめてみます。

*

◎ 1908年：ゾンマーフェルトが、文献(2)でレイノルズ数と命名した。

◎ 1909年：プラントルは、飛行船の模型実験に関する講演(4)の中で、レイノルズが導いた相似則が模型と実機との対応の基本となることをはっきり述べているが、レイノルズ数という言葉が出そうで出てこない。

◎ 1910年：プラントルは伝熱と流体抵抗の相関を示した論文(3)の中で、レイノルズ数を始めて使った。図2にその関連部分のコピーを示すが、 ξ が問題のレイノルズ数、 ν は後ほどプラントル数と呼ばれる無次元数の逆数である。 ξ については、流体力学では周知の(in der Hydrodynamik bekannte)レイノルズ数と述べてあり、当時既にこれが当り前に使われていたかの印象すら受ける。谷先生によると、プラントルは文献の引用には極めて厳しく、他人の業績を無視するような人ではないという。ゾンマーフェルトの命名から2年も経たないうちに、レイノルズ数が果たして周知となり得たかどうか？ ひょっとすると、ゾン

マーフェルト以前にも、レイノルズ数が口頭では使われていたのかも知れない。

◎ 1912年：プラントルの弟子ブラジウス(H. Blasius)は、流体摩擦の相似則に関する論文(5)の中で、レイノルズ数を使っているのみならず、横軸にレイノルズ数をとって実験結果を表示した史上初の図も載せている。図3がそれらの図の一つで、ここではヌッセルトの実験結果がレイノルズ数に対して再プロットされている。

◎ 1913年：自然科学事典(6)の流体運動の章をプラントルが執筆しているが、そこではレイノルズ数が今日の教科書と同じ程度に頻繁に現われてくる。

*

以上のように、レイノルズ数誕生の謎解きは、1910年前後のわずかに二、三年の間の出来事にその焦点が絞られるようですが、今となってはこれ以上真実に迫りようもありません。そこでこの歴史的経緯を、次のようにまとめさせて頂くことにしましょう。

レイノルズ数；

生みの親はゾンマーフェルト、
育ての親はプラントル。

*

この後日談を書くに先立ち、谷一郎先生には特別に時間を割いて頂いて、関連するお話を直接伺う機会を得ました。ここに厚くお礼申し上げます。レイノルズ数の名付け親がゾンマーフェルトであることは、先生がカルマン渦で皆さんよく御存知のカルマン(Th. von Karman)から直接聞かれたことだそうです。それは、先生がカルマンと起居を共にしながらその著書「Aerodynamics」(7)の編集を手伝っておられたときのことで、この辺のいきさつについては、名文家として知られる先生の記事(8)(9)を是非お読み下さい。先生とカルマンとの出会い、またカルマンとプラントルとの出会い。その心踊るドラマが生き生きと描かれています。科学や学問は、何か無機的で冷徹な響きがありますが、実は人間の営みそのものです。読者のお一人一人も、それぞれのドラマの主演を演じて下さい。

参考資料

- (1) Rott, N., Jakob Ackeret and the History of Mach Number, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 17, (1985), 1~9.
- (2) Sommerfeld, A., Ein Beitrag zur hydrodynamischen Erklarung der turbulenten Fluessigkeitsbewegungen, *Atti 4. del congr. internat. dei Mat. Rome III*, (1908), 116~124.
- (3) Prandtl, L., Eine Beziehung zwischen Waermeaustausch und Stroemungswiderstand der Fluessigkeiten, *Phys. Zeitschr.* 11(1910), 1072~1078.
- (4) Prandtl, L., Die Bedeutung von Modellversuchen fuer die Luftschiffahrt und Flugtechnik, *VDI Zeitschr.* 53(1909), 1711~1719.
- (5) Blasius, H., Das Aehnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgaengen, *VDI Zeitschr.* 56(1912), 639~643.
- (6) Prandtl, L., Fluessigkeitsbebegungen, *Handwoerterbuch der Naturwissenschaften*, Fischer, IV(1913), 101~140.
- (7) Von Karman, Th., *Aerodynamics*, (1954), Ithaca. または谷一郎訳、飛行の理論、(1956), 岩波.
- (8) 谷一郎、フォン・カルマン生誕百年、科学、51-5(1981), 323~328.
- (9) 谷一郎、研究ノート；フルード数、レイノルズ数、マッハ数、プラントル数、ながれ、3-4(1971), 1~6.

Aus den Größen r , \bar{w} , ρ , k , c und λ lassen sich zwei unabhängige dimensionslose Größen bilden, nämlich die in der Hydrodynamik bekannte REYNOLDSSche Zahl

$$\xi = \frac{\rho r \bar{w}}{k}$$

und das Verhältnis

$$\nu = \frac{\lambda}{c k}$$

図2 プラントルの1910年の論文(3)から無次元数 ξ は、流体力学では周知のレイノルズ数であると述べている。ちなみに ν は、後ほどプラントル数と呼ばれるようになった無次元数の逆数である。

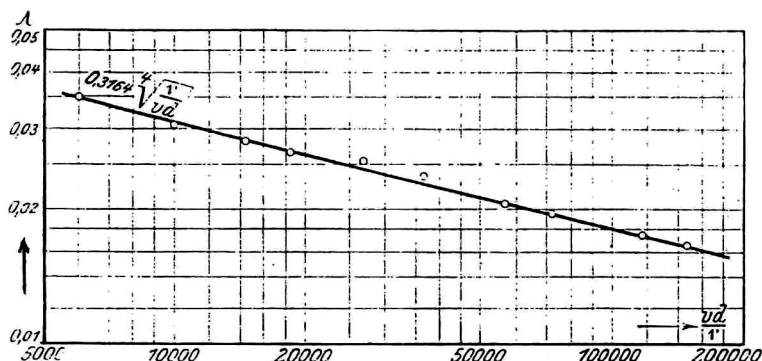


図3 ブラジウスが、横軸にレイノルズ数をとって整理した実験結果。今日ポピュラーなこの表示が、1912年に史上初めて出現した。