



うずとのつきあい

今市憲作*

大阪は水の都、縦横に堀が走りそこを澤山の舟が名地の産物を積んで行き交う、と教わったが今はその風情は無い。それでもすっかり埋められて駐車場や道路に化けた堀割はバス停や町名にかつての存在を示している。しかし、さすがそれら堀割の源ともいえる淀川は健在で、一時期に比べて水の汚れも多少減り、悠々たる流れぶりは浪速の人々の心を和ませている。淀の川原には今でも澤山の葦が生えている。大阪府を代表する植物としてこの葦が登録されているようであるが、何とも、ぶっきら棒な選定で、いかにも大阪らしく、このことを知って以来、淀川を渡るたびに車窓から葦の茂り具合や如何と覗き見る習慣になってしまった。

淀川の広い河原をつき抜けて本流の流れがある辺りまで出て水の洗う岸辺に至れば、深い水底からも葦が伸びて来ており、水の流れにも負けず健気に育っている。このような葦の何本か風も無いのに揺れている、あるいは震えているのを目にされた方も多いと思う。流れの中に生い立っているのであるから揺れるのは当たり前ということになるかも知れない。確かに詮じつめて行けば、その通りであるが、その結論に行くまでに種々の面白い話の種が出て来る。まず第一に淀川のようにゆったり流れている川の流れの速度は、大体一定の方向に一定の大きさである。したがって、その中に立つ物体に働く力が振動的なものになることはちょっと考えられない。単純な発想をすれば、一様な力で下流に押れるのみである。確かにその通りでその様な力は働いている。しかし、振動を生じさせる力はその力の他におまけとして加わっているのである。しかも、葦の動きでいえば葦の揺れは流れの方向ではなくて流れと直交する方向に揺

れるのである。したがってこの葦を揺り動かす力もまた流れと直交する方向に働く振動的な力という事になる。ここまで申し上げると、次のような経験を思い起される方もあるはずである。すなわち海や湖で小舟を操る場合、動いている舟から竹竿を水中に入れて引摺った場合、相当の手応えでぶるぶると舟の動きと直交する方向に棹が振れた思い出である。その場合も、相対的に動いている水の中へ棹をさすのであるから、それ相応に棹には水の抵抗がかかり、それに応じて棹を押えつけるなり、引き寄せるなりしなければならぬのであるが、棹はその方向とは丁度直交する方向にぶるぶると振れるのである。さてこの正体は何かということになる。もちろん、われわれが日常の澤山経験する現象であるから古くから多くの学者、研究者が取上げて研究、観察を行なっており、この振動現象は流れの速度と円柱の直径でその振動の周期を無次元化した指標ストロハル数で整理することができるなどのことが判っていた。しかし、これを解析的に取扱う途を与えてくれたのは有名なセオドア・フォン・カールマンである。1911年、ドイツ、ゲッテンゲンのプラントル教授の研究室で、流れる水の中へ置かれた円柱のごく表面の水の動き、すなわち専門的には境界層と呼ばれる水の層の中の動きについて測定をしていたヒューメンツが、どうしても円柱がじっとしない、振動して仕様がなくなるとこぼすのを聞いて、彼、カールマンがこの問題を取り上げた。現象を説明すると、流れに直交するように置かれた円柱、丁度、淀川の岸近い流れに生え立つ葦のような形で水流に置かれた円柱の後ろには円柱の軸と平行な軸をもつうずの柱、小型の龍巻が一定の間隔で流れ方向に何本もずっと並んでいる。そしてこの列は二つ生じる。この二列の間隔は円柱の直径より多少大きいのであ

*今市憲作 (Kensaku IMAICHI), 大阪大学, 基礎工学部, 教授, 機械工学科, 流学講座科

る。もっと大きなスケールで説明すれば、一本の真直ぐな道がある。その道の両側の歩道部分には電柱が立っている、その電柱の代りにたつ巻を立てゝみる、しかも道の一方の側と他方の側とではたつ巻の巻き方向が逆になっている。道は一方に無限に延びているし、一方はどん詰りでそこに道幅より多少小さな直径の円柱が立っている。実は道はコンベアのように円柱から遠ざかる方向に動いている。したがって円柱の両脇からは一定間隔で電柱ならぬたつ巻すなわちうず巻の柱が流れ出て行く、しかも一方の側から流れ出て行くうずとうずの間でもう一方の側のうずは生れる。すなわち道をはさんでのうず巻の列におけるうず巻の配列はくいちがいになっている。これらのうずが生れ出ると流体力学的に円柱を流れと直角方向に押す力が瞬間に働く。そして右側から流れ出るうずと左側から流れ出るうずとは逆向きであるから当然力は互に逆に働く、すなわち振動的な力が働くことになる。このような流れの中に置かれた物体からうずが周期的に流れ出る現象について論じた碩学カールマンを記念して、上のよううずの列を *Karman's Vortex Street* カールマンのうず列 (街路) と呼んでいる。さて、このように円柱で代表される非流線形の断面をもつ物体を水や空気の流れの中へつつ立てる構造は様々な分野で見られる。代表的なものは熱交換器である。これらの機械構造において、従来からもカールマンうずによる障害は澤山発生していた。すなわち熱交換器のチューブや壁が振動で破壊する、大きな音がする、等々である。それらについてそれなりの対策は施されて来たが、最近の原子力発電所用設備などの非常に酷い要求下の熱交換器では、この種の障害が致命的なものとなる恐れも強く、改めて流れの中の障害物からのうず流出の問題がクローズアップされて来ている。このような工業的背景のために工学的にも、取上げられる機会が増して来ている。

さらに、この類の現象はそれ自身が非常に面

白い。もともと無表情で没個性な水や空気の流れの中に、うず巻というはなはだ个性的で、物理的にも感覚的にも認識し易い存在が生れ出ることが澤山の研究者の興味を引き、今でもうず発生機構につながる基本的な研究が物理的なサイドから続けられている。

今を去る、はるか昔、戦争に焼け残った東野田の水力研究室で植松先生の下で研究をしていた私の所へ、当時の自動車会社より植松先生を通じて持込まれた熱交換器の振動と鳴音の問題が、この種の問題との付合の始まりである。現在商船大学におられる多賀先生が、当時の自動車会社の研究部長であられた。なんとかその問題が解決した後、グランドホテルでご馳走になったバイキング料理とアクロビットの味、今も懐しく憶い出される。それ以来、細々とこのテーマを手掛けて来ている。最近になり若い何人かの優秀なスタッフが得られたので思い切って、基本的な実験的研究を進め始めている。それはまず一本の円柱を一定のスピードで水槽の中を引き、その後形成されるうずの可視化から始まり、現在は数本の円柱を種々の配置の元で動かし、その時の流れの様子のちがいなどを刻明にしらべている。実験そのものは、目新しくはないが、測定や解析の機器が格段に進歩した今日、やはり新しい知見や資料が得られ始めている。この研究は主として修士課程卒業後、研究生として在籍している近江君と愛媛大学から修士課程へ入学した鳥海君とがチームで取組んでいる。実験的研究は何事によらず装置が支障なく動く迄に長い時間と多大の努力が要る。二人は円柱を引いて摺動する装置の摺動面の潤滑に悩まされている。また円柱まわりの境界層とうず列の中のうずの強さとの関連については博士課程の多田君が理論的な取扱いを進めている。彼は商船大学の出身であり、先に述べたように関りの深い多賀先生がその大学の先生でおられることと照し合せて、なにかの因縁を感じる次第である。