

鳴門海峡の渦潮とプッシュ・プル局排装置

滋賀県立大学名誉教授

愛知工科大学名誉教授 内藤悦郎



第5回彦機会総会にご招待いただき有り難うございます。本会は今年設立12周年を迎えられ、誠に慶賀に存じます。今から12年前の平成9年は確か世界初のハイブリット車・プリウスが発売された年でもあり、第1回彦機会設立総会に出席したことを記憶しています。その当時、県立大学は県立短期大学の改組転換によって誕生した大学であるにもかかわらず、学生を始め、教職員の多くが大学の沿革に触れることをことさら避け、県立大学は新地に突然降って湧いた大学の如く考えたがる節があった。内部昇格で短大から4大教員に移った者としては心穏やかにあらず、苛立たしさを覚えた。そんな矢先の彦機会への出席であり、学科長でもあったので、全く独断で就活を目前にした学生たちに先輩からの助言という内容で特別講義をしていただくようお願いしたところ、昭和36年卒国領朝輝氏と昭和50年卒秋田公司氏の2人に講演戴くことが出来た。しかし、この企画は小生の力不足で次年度以降続けることが出来なかった。

この8月末、滋賀県立大学から各名誉教授宛に滋賀県立大学学报第12～20号と滋賀県立大学広報誌「県大 jiman」が送付されてきました。滋賀県立大学広報誌「県大 jiman」第4号には**県大のルーツを探る**と題して特集されていた。ここに至るには県立短期大学同窓会や関係各位の計り知れない努力をはじめ、大学の法人化、18歳人口の減少に伴う全入時代などの背景も加わったことと存じます。したがって、前述のようなところ痛める必要は無くなり、落ち着くべきところに落ち着いたものと安堵している次第であります。

さて、総会の席で10分程度のお話をするようにとのことでした。そこで、標記のテーマで定年退職後の生活の一端を披露することで私の務めを果たさせて戴くことにします。

本年の3月末 愛知工科大学を定年退職する際、研究室と下宿にある書籍や資料の殆どを処分した。狭い我が家に持ち帰っても置く場所に困るので、出来る限り最小限にして来て下さいと言うきつい家内の達しがあったからである。しかし、持ち帰った書籍や資料の整理に結構時間を要した。その目途が付きかけた頃、四国88ヶ所霊場を遍路する話が持ち上がった。西国33番札所巡りは現役中のため、時間を見つけて自家用車で参拝していたので、観音霊場巡礼の満願達成までに8年を要した。今は自由の身であるものの、年齢と体力を勘案して効率よく巡拝したいという思いから、旅行会社が企画募集するバスツアーに参加することにした。善は急げと言うことで応募し、6月14日のツアーから参加した。

長浜駅前を6時55分に出発したツアー・バスは、途中2カ所で参加者を拾い、7時30分に彦根駅前では我々が乗車した後、彦根インターと八日市インターの2カ所で参加者を拾って一路四国に向かっている。大鳴門橋を渡るのは11時頃になる。ツアー・バスにはガイドは乗車せず、添乗員と先達さんが乗車し、先達さんがガイド役を務めてくれている。8月20日の一泊ツアーの折、先達さんは「今日は11時50分が干潮ですからこの時間帯ですと、播磨灘から紀伊水道に向かう南流ですので、左側の車窓から海面をみて下さい。ほら、渦潮が見られます。干潮まで50分程ありますが、観潮船も出ています。このような現象は約6時間20分毎の潮の干満によって日に4回観察されます。」と案内された。この度はバスの大鳴

門橋走行時刻と干潮の時間帯、それに大潮とタイミングよく重なり、バスの車窓から観潮が可能であったことで気をよくし、鳴門海峡の渦潮にちよつと興味を持った。ちなみに、大鳴門橋は図1に示すように全長1629m、鳴門側孫崎から約200mの裸島と、淡路島側門崎から約300mの中瀬に設けられた2本の塔による吊り橋であり、約1340mの鳴門海峡を跨ぐものである。鳴門海峡は裸島と中瀬の間約800m、水深約90mの主水路（大鳴門と呼ばれている）と水深約10mの小鳴門と呼ばれ水路、それに浅瀬などからなるものである。図2は鳴門海峡にかかる大鳴門橋を上空から見た写真であり、鳴門海峡に生じる渦潮の流れが捉えられている。同図は左上の播磨灘から右下の紀伊水道に流れる南流であり、干潮時の渦潮を捉えたものと考えられる。海峡を挟んだ両側に生じる海面の差は最高で約1.4mにもなり、そのときの潮流は約18km/hになると言われている。

ところで、筆者は滋賀県立大学を退職するまでコンピュータを用いて理論解析を行ってきたが、愛知工科大学に移ってから実験的研究に方向転換し、図2と同様に空気流における渦流れの可視化にも取り組んだ。ここに、研究の一部を紹介する。研究テーマは上昇する溶接ヒュームや熔融金属プルームなどの有害ガスを除去するためのプッシュ・プル局排装置の性能に関する実験的研究であり、労働衛生の立場から健全な作業環境の維持に関わる装置の設計法を確立するための基礎研究である。

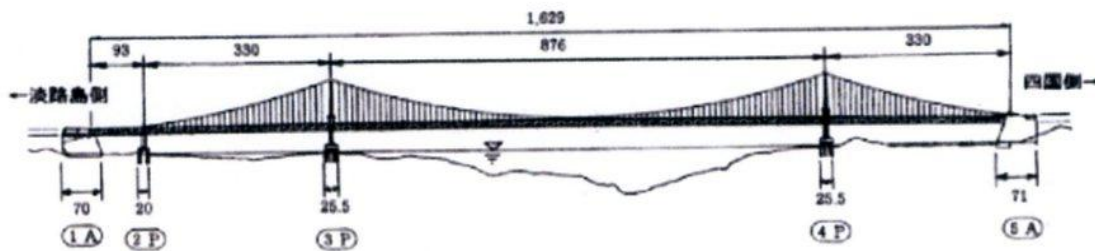


図1 大鳴門橋 (www.jb-honshi.co.jp/technology/onaruto.html より転載)



図2 鳴門海峡と渦潮の流れ (フリー百科事典「ウィキペディア」より転載)

局排装置とは局所排気装置のことであり、従来の局排装置はプルフードによる吸い込み流れのみを利用して拡散する有害ガスを捕捉・吸引するものであった。プッシュ・プル局排装置はプッシュ側のノズルからの噴流とプル側の吸い込み流れのそれぞれの特徴を利用したものである。更に具体的に述べると、ノズルからの噴流は吸い込みだけで制御できない有害ガスを周囲に拡散させることなく吸い込み口まで運ぶことが目的であり、一方吸い込み流れは噴流によって吸い込み口まで運ばれてきた有害ガスを噴流と共に完全に吸引・排出するシステムの開発である。

いま、上昇有害ガスの無い場合のプッシュ・プル装置の流動状況を掻い摘んで述べる。プッシュ側のノズルから吹き出した一様な噴流は周囲の静止空気との境界でケルビン・ヘルムホルツの不安定による渦核の生成、それが下流に行くに従って前述の渦潮のような渦に発展する。更に下流に行くと渦は崩壊し、強風下の海面の波のようになって拡散する。それを乱

流ハルジ構造と呼ばれている。この間、噴流の外縁では周囲空気の巻き込みが生じ、この巻き込み空気量を誘引空気量と呼ばれている。吹き出し空気量を Q_1 とし、誘引空気量を Q_2 とすれば、吸い込み流量 Q_3 との間には質量保存則から次式が得られる。

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = Q_1 (1 + Q_2 / Q_1) \quad (1)$$

いま、吹き出し空気量 Q_1 を固定し、完全吸い込みの状態から吸い込み流量 Q_3 を絞っていくと吸い込み口から漏れが始まり、この漏れ始める直前の完全吸い込み状態の下限を種々の条件下で調べ、法則性を見つけ出し、それを数式で表現することが研究である。

図3は煙幕花火カラースモークボールを風洞中で燃やし、グリーンレーザーを用いたスリット光でもってプッシュ・プル装置内の2次元流れ断面の可視化を行ったときの動画写真の一コマである。同図中の右がプッシュ側で、その中心に噴流ノズルがある。一方、左側がプルフードであり、その吸い込み口に噴流と誘引空気が吸引されていることがわかる。ただし、左側プルフードの下側では完全吸い込み状態にあるが、上側では吸い込み口から漏れた噴流と誘引空気の1部がプルフードに沿って上昇していることがわかる。ノズルの幅は0.04 m、プルフードの吸い込み口の幅は0.2 mであり、ノズルの口からプルフードの吸い込み口までの距離は0.8 mである。噴流と周囲の静止空気との境界でのケルビン・ヘルムホルツの不安定から渦発生までの過程とその後の渦崩壊とハルジ構造への発展を可視化したいと種々のトレーサ粒子の使用や手法を試みたが、うまく行かなかった。図4は噴流の着色を省略し、上昇有害ガスのみ着色してプッシュ・プル局排装置で除去される様子を可視化した写真である。上昇有害ガスは完全に捕捉・排除されていることがわかるが、プルフードの上側で噴流と誘引空気が完全に吸引されているかどうかは不明である。

紙数の関係でこれ以上は省略するが、鳴門の渦潮発生などの自然現象に学び、関連した工業技術を理解して戴くため、研究の一端を紹介した。先達さんが「渦の大きさは最大で直径約20 mに達するそうです。その規模の大きさや自然の力の偉大さに改めて驚異を感じるの私のみではないと思いますよ。医療技術が発達した今日、意識されることが少なくなりましたが、妊婦の出産や人の生死にも潮の満ち干が大きく関わることを年寄りから聴かされました。」と述懐されていたことがとても印象的であった。

なお、本会が更に発展し、プッシュ・プル局排装置のプルフードのように県立短大工業部機械工学科や県立大学工学部機械システム工学科の卒業生などが漏れなく集える組織となることを期待して筆を置くことにする。

最後に、本稿を執筆するに当たり、資料の提供などを戴いた京都市在住の先達 新西千栄子様をはじめ、関係各位に謝意を表します。

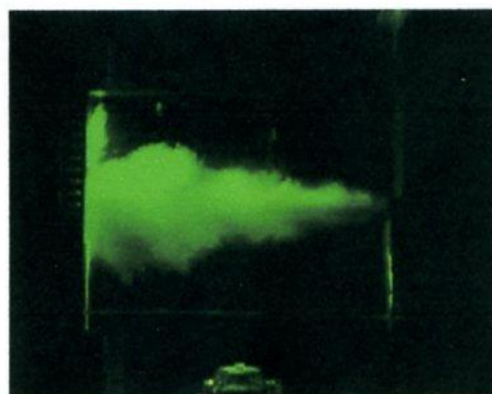


図3 プッシュ・プル装置の流れの可視化写真

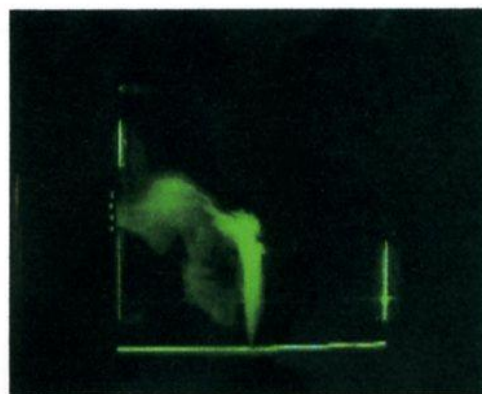


図4 上昇ガスを除去するプッシュ・プル局排装置の流れの可視化写真