

知ってますか??



雑学講座

鼻孔内の嵐

—ベルヌーイの定理・乱流・
接線応力・レイノルズ応力—

作・光藤 裕之 岡山理科大学 名誉教授

〒703-8217 岡山市土田1009-3

TEL/086-279-6011

「生き物を研究すれば、物理学が今なおいかに未熟かが
まことによくわかる。(A. アインシュタイン)」

標記は“生命とは何か—それからの 50 年—未来の生命科学への指針”¹⁾ 中からの孫引きである。この書物は、E. シュレーディンガーの一般市民向けの講義「生命とは何か」の 50 周年を記念して、1993 年 9 月に同じ場所 (アイルランド、ダブリン、トリニティカレッジ) で開かれた会議報文集の翻訳である。シュレーディンガー波動方程式の創始者が論じた「生命」の物理学アプローチの理念は、20 世紀後半の分子生物学の創始者たちの道標になった。

本誌先月号までに「不老長寿と温泉」と題して、“美味しい液体、道教が求めた不老長寿の液体、浴して玉膚を得る液体”である玉漿と、それをつくる場について述べた²⁾。その中でも、備前焼および火山性天然石のつくる場の正体はスッパリしない。作業仮説を立てては見たものの、四苦八苦の議論であった。さらに、「美味・健康」という生理学的なプロセスも想像の域を出ない議論であった。苦しみ私を慰めたのは、冒頭のアインシュタインの言葉であった。

一方で、数年前に J. ホーガン著“科学の終焉”³⁾ が話題になった。果たして「万物の最終理論」はあるのか？ 偉大な発見の時代は終りをつけたのか？ こんにちの科学は単なるパズル解きと化し、既存の理論の細部を埋めるだけなのか？ 挑発的な問題提起であった。ここでは、挑発に乗らずに、既存の理論の細部を埋めることを試みる。知らぬは私だけで、すでに埋まっているのかも知れないが、そのことを調査するよりも、自問自答・試行錯誤の方が楽しい。同時に、我が身の健康・不老長寿に関する実利もともなう。

「身体は芭蕉の如し 風に従って破れ易し (天草版金句集)」

2m 近い長さの芭蕉の葉は支脈に沿って裂け易い。ただし繊維は強く芭蕉布に織られる。沖縄・奄美の特産で

ある。

1998, 1999 年それぞれの年末を含む冬、私の身に予期せぬ健康トラブルが生じた。時と場所を選ばず、予兆も痛みもなく鼻血が流れ出すのである。一冬に数回、滲出ではなく流出する。掛り付けの医院に行った。「鼻粘膜の血管が弱くなったため、血管を焼き切る止血法があるが、しばらく様子を見なさい」とのことであった。

「身体髪膚これを父母に受く 敢えて毀傷せざるは孝の始めなり (孝経)」。もともと必要あつての血管を人為的に壊すのは理に叶わない。鼻血の要因は何か？ ① 老化および② 冬の乾冷気の粘膜刺激は、私と同年代の人々に共通する背景要因に過ぎない。③ 私に固有の要因は何か？

鼻孔の内壁に付着した鼻くそは浴室水蒸気で膨潤する。風呂上がりに 鼻をかむ。空気の流れが、鼻くそに力を及ぼして、鼻孔壁から剥離させ下流のちり紙上まで輸送する。このとき作用する力が大き過ぎれば、鼻粘膜を傷める要因③ になるのではないかと。鼻風邪を引いて鼻水が止めどなく出るとき、鼻かみ を繰り返す。挙げ句の果て鼻粘膜が赤く痛くなることは体験済みである。わが鼻は芭蕉のごとし！

治療結果を先に記す。2000, 2001 年それぞれの年末を含む冬、鼻かみ を優しくした。それだけのことで、この二冬にわたって一度も鼻血に襲われていない。かくて、鼻かみ の流体力学的仮説を実験で確かめたくなった。

わが鼻孔を使った風洞実験

軟質ポリエチレン袋 (34×23cm) に、外径 13mm、内径 10mm、長さ 12mm のパイプをつけて他の部分を封じた。これを鼻息の計量袋とする。片方の鼻孔に栓、一方に袋のパイプをつけて、鼻かみ の要領で鼻息を吹き込む。この時間 $t(s)$ をストップウォッチで計る。回を重ねても $t=0.7s$ であった。袋内に溜った空気量 V をシリンジで抽出して測る。鏡で覗き見て鼻孔径を測り、楕円近似で断面積 S を計算する。 $S = 8.5 \times 10^{-5} m^2$

であった。流速 $v = V/(St) = 25\text{m/s}$ が求められた。

気象庁は、最大風速が 17.2 m/s 以上に達したものを台風と定めている。わが鼻孔内を台風なみの嵐が通過したのである。

空気 ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1atm) の密度 $\rho = 1.293\text{kg/m}^3$,

1atm の気圧 $p_0 = 1.01325 \times 10^5\text{kg}/(\text{m s}^2) = 1013\text{ hPa}$,

空気 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1atm) の動粘性率 $\nu = 0.01\text{cm}^2/\text{s} = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

を物性定数として利用する。

鼻孔内の気圧の低下⁴⁾

断面積 S の狭い鼻孔を流速 v で通った流れは、ポリエチレン袋に入って断面積 S_0 、流速 v_0 の流れになる。袋内部は大気圧 p_0 に等しい。非圧縮性と連続の条件により、流量 $vS = v_0S_0$ である。鼻孔内の圧力 p は、ベルヌーイの定理により与えられるが、 $S \ll S_0$ であるから、

$$p = p_0 - (\rho v^2/2)(1 - S^2/S_0^2) \doteq p_0 - \rho v^2/2$$

に従って計算され、 $p = 1.00921 \times 10^5\text{kg}/(\text{m s}^2) = 1009\text{ hPa}$ となる。減圧比 $p/p_0 = 0.996$ が、鼻粘膜血管を傷めるとは考えられない。

鼻孔内の乱流⁴⁾

鼻孔の直径は $d \sim 1\text{cm}$ のオーダーであるから、レイノルズ数は $Re = dv/\nu \sim 2.5 \times 10^5$ と計算される。長くて高度に滑らかな内壁でなければ、直円筒でも Re 2000 程度で乱流が発生する。わが鼻孔中の流れは、ポアズイユ流れではなく、乱流である。流速 v は、鼻孔壁に接するごく薄い粘性境界層を除く断面内でほぼ一様に分布した平均流速である。従って、前述した vS は流量である。

粘性境界層厚さ δ は、鼻腔からの距離 1cm 付近で $\delta \sim 2 \times 10^{-5}\text{m}$ 程度と見積もられる。壁面からの距離を y として、この層流内の流速 $u(y)$ は、 $u(\delta) = 25\text{ m/s}$ (= 沖合いの流速 v) から $u(0) = 0\text{ m/s}$ (壁面上) に分布する。粘性率 $\eta (= \rho\nu)$ により、壁面せん断応力は、 $\tau_w = \eta(du/dy)_{y=0}$ で与えられる。 $\tau_w \sim \rho\nu v/\delta$ と近似すれば、 $\tau_w \sim 1.6\text{ N/m}^2 = 1.6 \times 10^{-5}\text{ kgf/cm}^2$ となる。つまり、鉛直壁面の 1cm^2 に 16mg の錘をぶら下げたのに相当する接線応力(摩擦力)が働く。これで膨潤した鼻くそは剥離する勘定である。

上記は、単純化の極限の議論である。乱流中に生じるランダムな渦は、平均流速のゆらぎと壁面に平行ではない力(レイノルズ応力)を発生させる。この応力の壁面に垂直な成分は、鼻くそ剥離や粘膜を引っ張ることを助長するであろう。また、定常流でないパルス流の解析も必要である。ただし、私には、その数量的評価をする能力はない。

不老長寿と医療物理学の効用

定年退職後は、多くの時間を郊外の緑で囲まれた自宅で過ごす。その結果、鼻くその生成量が著しく減少した。もう2年早く退職していたら、鼻孔粘膜損傷を体験できなかったであろう。昨今、汚染空気のフィルター役を担う鼻毛の空間密度も低下しているようである。もしも、鼻孔内血管の手術をしていたら医療費増に寄与したはずである。その原因は大気汚染である。私的には、流体物理学的な自己診断が、痛い目から救ってくれたことが嬉しい。

[参考文献]

- 1) M.P. マーフィー, L.A.J. オニール共編, 堀裕和, 吉岡亨共訳 “生命とは何か —それからの50年— 未来の生命科学への指針” (培風館, 2001.7.12 刊)。
- 2) 光藤裕之 “不老長寿と温泉” “マテリアルズ インテグレーション” 第14巻 第9号～第15巻第1号 (T.I.C. 2001.9～2002.1 刊)。
- 3) J. ホーガン著, 竹内薫訳 “科学の終焉” (徳間書店, 1997.10.31 刊)。
- 4) L.D. ランダウ・A.I. アヒエゼール・E.M. リフシッツ著, 小野周・豊田博慈訳 “物理学—力学から物性論まで—” (岩波書店, 1969.12.10 刊)。