

水鉄砲のあれこれ

芝浦工業大学 数理科学研究会

BV19070 小宅 宇海

2020年12月31日

1 研究背景

本来はモンスターハンターというゲームに関連する研究を行う予定だったが、PCがクラッシュしデータが飛んだので、前回の研究に何かを付け足すようなことしか時間的にできなくなってしまった。

2 前回の結果

詳しいことは数理科学研究会のホームページにある私の過去の論文のようなもの(水鉄砲の流速)を参照してほしい。ここでは簡単に説明する。

私は前回の研究で竹水鉄砲の流速は以下のようになるということを述べた。

$$v_o = \sqrt{\frac{2(p_p - p_o)}{\rho}}$$

ここで v_o は発射された時の流速、 p_p はピストンの圧力、 p_o は大気圧、 ρ は流体(水)の密度である。

また、一般的な水鉄砲では以下のようにになると述べた。

$$v_o = \sqrt{v_p^2 + \frac{2(p_p - p_o)}{\rho} - gh}$$

ここで v_p はポンプで加速したときの流速、 g は重力加速度、 h は発射位置とポンプの位置の差である。

今回はこれらの式を用いて様々なことを求めていきたいと思う。

3 竹水鉄砲の速度の限界

竹水鉄砲の速度の限界を求めたいと思う。ここでありえない話だが竹水鉄砲はいかなる負荷をかけても壊れないものとする。また、水は常に一定の温度を保ち相変化しないとする。

竹水鉄砲の速度を上げる上で重要になってくる要素は、押す強さと大気圧であると考えられる。上記の式より大気圧は小さく、押す強さは強い方が流速は速くなることがわかる。歴史上最も大気圧が低くなった時の大気圧を調べる。調べてみると「昭和 54 年台風第 20 号」が観測史上世界最低の気圧である 870hPa を記録している。また、ツァーリ・ボンバと呼ばれるソ連が開発した人類史上最大の水素爆弾のジュールが全て押す力に換算されたとする。この爆弾のジュールは 5.3YJ であるのでこれが運動エネルギーに変換されるとして考えると、

$$\frac{1}{2}mv^2 = 5.3Y$$

ピストンの質量を 100g とすると

$$v = \sqrt{106} \times 10^{12}$$

ここで仕事の定義は力 F と移動距離 x の乗算であるので、 $F = J/x$ となり、一般的な竹水鉄砲のストロークは 10cm 程であるので力 F は $\sqrt{106} \times 10^{13}$ となる。ピストンの面積を 20 cm^2 とすると、押すときの圧力 p_p は $5\sqrt{106} \times 10^{15}$ となる。また、水の密度は 100°C で最小になるのでその時の値である $958.357 [\text{kg}/\text{m}^3]$ を使用する。これらを代入すると、

$$v_o = \sqrt{\frac{2(5\sqrt{106} \times 10^{15} - 87000)}{958.357}}$$

これを計算すると、およそ

$$10,364,844.875173481036657493842282 [\text{m}/\text{s}]$$

となる。わかりやすくするために単位接頭語を用いると、

$$10M [\text{m}/\text{s}] (1000 \text{ 万})$$

となる。光が秒速 29 万キロメートルつまり秒速 2.9 億メートルであるので、竹水鉄砲の限界をもってしても光を超えることはできなかった。しかし、光速の 3.4% で撃てる水鉄砲は危なすぎて誰も買う人がいないだろう。ここまで速いと相対性理論や量子論のような議論が出来そうだが、私にはそこまでの知識がないのでここで終わることにする。

4 一般的な水鉄砲の限界

一般的な水鉄砲の場合以下のような式となり、 $-gh$ という速度が減る要素が入る。

$$v_o = \sqrt{v_p^2 + \frac{2(p_p - p_a)}{\rho} - gh}$$

重力加速度は上空に行くほど低くなる。以下がその近似式である。

$$g_h = g_0 \left(\frac{r_e}{r_e + h} \right)^2$$

この h は地表からの距離を表しており、速度の方とは違うものである。

地表から 100km が宇宙であるので、 h に 100km を代入すると、重力加速度はおよそ $9.5 \text{ m}/\text{s}^2$ となる。そこまで減るわけではないので、無理に水鉄砲を使用する高さを 100km にする必要はないと考えられる。また、高度が高くなると水の沸点が下がり、密度が最低となる 100°C で撃ちたくても水ではなくなってしまうので撃つ場所は地表にする。ポンプに

よる流速の加速だが、このポンプを上記で述べた竹水鉄砲にする。さらに、一般的な水鉄砲の場合、トリガーと銃口の高さの差は 3cm 程であるので h にこの値を用いる。これらを踏まえ計算すると、

$$v_o = \sqrt{(10M)^2 + \frac{2(5\sqrt{106} \times 10^{15} - 87000)}{958.357} - 9.8 \times 0.03}$$

これを計算すると、およそ

$$10,364,845.375117321863820996848024$$

となる。わかりやすくするために単位接頭語を用いると、

$$10M[m/s] (1000 \text{ 万})$$

となる。先ほどと変わらない値に見えるが、よく見ると少しだけ大きくなっている。そのため、この装置をつなげていくほどより速い流速を生み出すことが可能になる。いずれ光の速ささえ超える装置が作れるかもしれない。

6 今後の展望

今回、水でも装置次第では光速を超えることが可能であることがわかった。しかし、私自身の知識不足によりこれ以上の議論を進めることが出来なかった。そのため、今後はさらに議論できるように量子論や相対論を学んでいきたい。

そして何より、PCの不調が原因でこのようなものを提出することになってしまったので、データのバックアップをしっかりとっていきたい。

参考文献

[1] Wikipedia, 昭和 54 年台風第 20 号, 最終閲覧日 2020 年 12 月 31 日

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%98%AD%E5%92%8C54%E5%B9%B4%E5%8F%B0%E9%A2%A8%E7%AC%AC20%E5%8F%B7%E8%84%9A%E6%B3%A8>

[2] Wikipedia, ツアーリ・ボンバ, 最終閲覧日 2020 年 12 月 31 日

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%84%E3%82%A1%E3%83%BC%E3%83%AA%E3%83%BB%E3%83%9C%E3%83%B3%E3%83%90#:~:text=%E5%8D%88%E5%89%8D11%E6%99%8232%E5%88%86,%E3%81%97%E3%81%9F%E6%99%82%E7%82%B9%E3%81%A7%E7%88%86%E7%99%BA%E3%81%97%E3%81%9F%E3%80%82>