うきぶくろの釣り合いは不安定である——沈めば縮んでさらに沈み、浮けば膨らんでさらに浮く

— 水深 **10 m** の絶対圧は **1.992037** 気圧で、水面で釣り合った魚がそこへ下りるとうきぶくろは **0.501999** 倍に縮む — 分離子は、浮き材が周りの流体と同じ割合で縮むかどうかである — [論文652]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

— From thinking to syncing. —

要旨

多くの魚は、腹の中の気体の袋（うきぶくろ）で体を水と同じ重さにし、泳がずに一つの深さにとどまる。だが気体は押されると縮む。その釣り合いが安定か不安定かを、ボイルの法則から数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、水は深さ **10 m** ごとにほぼ一気圧ずつ押す——海水で水深 **10 m** の絶対圧は **1.992037** 気圧で、水面で釣り合った魚がそこへ下りると、うきぶくろは **0.501999** 倍に縮み、体重の **0.024900** だけ浮く力を失う（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。うきぶくろの釣り合いは不安定である——**10 m** で釣り合った魚が **1 m** 沈むと、うきぶくろは **0.952562** 倍に縮み、正味の沈む力は体重の **0.002372** になる。沈むほど縮み、縮むほど沈む。ずれが e 倍になる時間は、抵抗を入れない最も速い場合で **6.3994** 秒だった（第3節）。 第三に、深いほど不安定はゆるむが、うきぶくろは高くつく——その時間は **1 m** で **4.7537** 秒、**100 m** で **14.9834** 秒、**1000 m** で **45.3871** 秒で、**1000 m** と **10 m** の比は圧力の比の平方根 **7.092400** に一致した。一方、同じ体積を保つのに要る気体は、**1000 m** で水面の **100.203713** 倍である（第4節）。 第四に、分離子は、浮き材が周りの流体と同じ割合で縮むかどうかである——水の中の気体は周りより大きく縮むので不安定になる。空気の中の気球は、空気も同じ割合で薄くなるので浮く力が一定になる（論文592）。縮まない浮き材なら、どの深さでも釣り合う（第5節）。 キーワード：うきぶくろ、ボイルの法則、中性浮力、不安定な釣り合い、魚。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ボイルの法則、水の圧力、うきぶくろの釣り合いが不安定であること（アレクサンダー 1966 など）は、いずれも既知である。最も速い場合を数える——水の抵抗と付加質量（体と一緒に動く水）は入れていない。入れればずれの育ち方は遅くなる。時間は、不安定がいちばん速く育つ場合の値である。前提の例である——海水 $1025\ \mathrm{kg/m^3}$、魚の質量 $1\ \mathrm{kg}$、うきぶくろの体積を体の $5\ \%$ とし、気体は温度が一定のまま縮むとした。魚の生理を論じない——魚が実際にどうずれを直すか、脂の縮みやすさ、深い海の魚の浮き方は扱わない。既刊との関係：論文592 は、ゴム気球が上がるほど膨らんでも、中の気体の量が変わらなければ浮く力は一定であることを示した——ここでは、周りが空気ではなく水であるために、浮く力が深さで変わることを数える。論文393 は、重心を動かさずに積荷を増やすだけで艀の傾きの復原力が下がることを示した——ここでは傾きではなく深さについての復原を見て、それが負になることを示す。加えたのは、深さごとの不安定の時間を出したこと、その時間が圧力の平方根で延びることと、要る気体が圧力に比例して増えることを並べたこと、分離子を浮き材と周りの縮み方の違いに置いたことである。

1. 記法と問い

設定：質量 m の魚が、深さ h_0 で水と同じ重さになって釣り合っている。うきぶくろの体積は V_b で、中の気体はボイルの法則に従い、温度が一定なら体積が圧力に反比例する。水深 h の絶対圧は $P(h) = P_0 + \rho g h$ である。魚が δh だけ沈むと、うきぶくろが縮んで浮く力が減り、沈む向きに正味の力

$$F \simeq \frac{(\rho g)^2 V_b}{P(h_0)}\,\delta h$$

がはたらく。力がずれと同じ向きなので、ずれは時間 $\tau = \sqrt{m P(h_0) / \{(\rho g)^2 V_b\}}$ ごとに e 倍に育つ（抵抗と付加質量は入れない）。前提は、海水 $\rho = 1025\ \mathrm{kg/m^3}$、$P_0 = 101325\ \mathrm{Pa}$、魚の質量 $1\ \mathrm{kg}$、うきぶくろの体積は体の $5\ \%$ である。

問い：うきぶくろの釣り合いは安定か、不安定か。そしてそれは何で決まるか。

2. 圧力と体積

計算 2.1：水深ごとの絶対圧と、水面の体積のままのうきぶくろが縮む割合を出した。

水深	絶対圧	水面の体積のままなら
$10\ \mathrm{m}$	1.992037 気圧	0.501999 倍
$100\ \mathrm{m}$	10.920371 気圧	0.091572 倍
$1000\ \mathrm{m}$	100.203713 気圧	0.009980 倍

水面で釣り合った魚が 10 m に下りると、うきぶくろは 0.501999 倍に縮み、失う浮く力は体重の 0.024900 だった。

3. 不安定

計算 3.1：10 m で釣り合った魚が 1 m 沈むと、うきぶくろは 0.952562 倍に縮み、正味の沈む力は体重の 0.002372 だった。

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。うきぶくろの釣り合いは不安定である。沈めば圧力が上がってうきぶくろが縮み、浮く力が減ってさらに沈む。浮けば膨らんで浮く力が増え、さらに浮く。ずれを戻す力ではなく、ずれを広げる力が出る——うきぶくろで釣り合った魚は、その深さに置いておけば止まっているのではなく、何かで直し続けなければならない。本稿は、魚が実際にどう直すかは論じない。

4. 深さと不安定の速さ

計算 4.1：それぞれの深さで釣り合う（うきぶくろを体の 5 % に合わせる）とき、ずれ 1 m あたりの力と、ずれが e 倍になる時間を出した。

釣り合う深さ	ずれ 1 m あたりの力	e 倍になる時間
1 m	0.044253 N/m	4.7537 秒
10 m	0.024419 N/m	6.3994 秒
100 m	0.004454 N/m	14.9834 秒
1000 m	0.000485 N/m	45.3871 秒

1000 m と 10 m の時間の比は 7.092400 で、圧力の比の平方根 7.092400 と一致した。

計算 4.2：同じ割合（体の 5 %）を保つのに要る気体の量は、水面を 1 として、10 m で 1.992037、100 m で 10.920371、1000 m で 100.203713 だった。

観察 4.3

深いほど不安定はゆるむが、うきぶくろは高くつく。深いところでは、同じ 1 m のずれで圧力が変わる割合が小さいので、不安定の時間は圧力の平方根で延びる。だが同じ体積を保つには、圧力に比例して多くの気体を詰めなければならない——同じ袋が、浅いところでは速い不安定を、深いところでは重い維持費を負う。

5. 分離子

観察 5.1

分離子は、浮き材が周りの流体と同じ割合で縮むかどうかである。水はほとんど縮まないので、深く沈んでも周りの密度は変わらず、気体だけが縮む。空気の中の気球では、上がるにつれて空気が薄くなるのと同じ割合で気体が膨らむので、押しのける空気の重さは変わらない。縮まない浮き材なら、水の中でもどの深さでも釣り合う——不安定を生むのは気体そのものではなく、気体と周りの縮み方の違いである。

観察 5.2

論文592 と論文393 と並べる。592 は、ゴム気球が上がるほど膨らんでも、中の気体の量が変わらなければ浮く力は一定であることを示した。ここは、その周りを水に替えた鏡の側で、浮く力が深さで変わる。393 は、重心を動かさずに積荷を増やすだけで艀の傾きの復原力が下がることを示した——ここでは傾きではなく深さについての復原が、うきぶくろのせいで負になっている。ペットボトルの中の浮沈子が、押すと沈み離すと浮くのも同じ式で、ちょうど釣り合う深さは不安定である。

観察 5.3

言わないこと。抵抗と付加質量は入れていないので、時間は最も速い場合の値である。魚の生理、実際の直し方、脂の縮みやすさは扱わない——示したのは、うきぶくろの釣り合いが不安定になる仕組みと、その速さの深さによる変わり方である。

6. 点呼と結び

1. **10 m** の絶対圧 **1.992037** 気圧（計算 2.1）：ほぼ二気圧。
2. 水面の体積のままなら **0.501999** 倍（計算 2.1）：浮く力を **0.024900** 失う。
3. **1 m** 沈むと正味 **0.002372**（計算 3.1）：沈む向きに。
4. ずれを広げる力が出る（観察 3.2）：本稿の芯。
5. **10 m** で **6.3994** 秒（計算 4.1）：e 倍になる時間。
6. **1000 m** で **45.3871** 秒（計算 4.1）：深いほどゆるむ。
7. 比 **7.092400** は圧力の比の平方根（計算 4.1）：一致。
8. 気体は **1000 m** で **100.203713** 倍（計算 4.2）：高くつく。
9. 浮き材と周りの縮み方の違い（観察 5.1）：分離子。
10. 気球の浮く力は一定・艀は傾きの復原（観察 5.2）：論文592・論文393。

結び：うきぶくろで水と同じ重さになった魚は、その深さに止まっているのではなく、不安定な釣り合いの上にいる。**10 m** で釣り合った魚が **1 m** 沈むと、正味で体重の **0.002372** の力が沈む向きにはたらき、ずれは最も速い場合で **6.3994** 秒ごとに e 倍に育つ。深いほどその時間は圧力の平方根で延び（**1000 m** で **45.3871** 秒）、代わりに保つ気体は圧力に比例して増える（**100.203713** 倍）——沈めば縮んでさらに沈み、浮けば膨らんでさらに浮く。分離子は、浮き材が周りの流体と同じ割合で縮むかどうかである。既刊との位置——論文592 の空気の中の気球の鏡として、水の中の気体は浮く力を深さで変える。正直に言えば——抵抗と付加質量を入れていない最も速い場合で、魚の生理には入っていない。

参考文献

1. Alexander, R. McN. (1966). Physical aspects of swimbladder function. *Biological Reviews*.
2. 山岸勇輝 (2026).『重心を一切動かさずに、積荷を増やすだけで復原力が下がる』[論文393]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699247
3. 山岸勇輝 (2026).『ゴム気球は上がるほど膨らむが、上昇の速さは空気の密度の $-1/6$ 乗でしか速くならない』[論文592]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014392

— *From thinking to syncing.* —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)