細胞は同じ倍率の濃さの違いでも、縮むほうが膨らむより速く落ち着く

— 落ち着く体積のそばの速さは外の濃さの二乗に比例し、倍率 2 なら縮むほうが 16 倍速い —分離子は、水を動かす力を体積の差で見るか、中の濃さの差で見るか — [論文966]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月
YOI: https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/966

— From thinking to syncing. —

要旨

細胞を濃い液に移すと縮み、薄い液に移すと膨らむ。生理食塩水の浸透圧濃度は血漿とほぼ等しいことが数えられた（論文922）が、細胞の体積がどれだけの速さで変わるかは扱われなかった。本稿は、水だけが膜を通る細胞（浸透で動かない体積の割合 b は置いた値）を、外の浸透圧濃度が 290 mOsm の r 倍の液に移し、膨らむときと縮むときに、落ち着く体積に近づく速さを比べる。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、落ち着く体積は倍率の逆数で決まる。b = 0.4 で、外が 145 mOsm なら体積は 1.600000 倍、580 mOsm なら 0.700000 倍に落ち着いた（第2節）。 第二に、同じ倍率 2 でも、縮むほうがずっと早く落ち着く。膜の面積を一定とすると、膨らむときの時間は縮むときの、変化の半分まで 5.941899 倍、90 パーセントまで 9.255412 倍、99 パーセントまで 11.753247 倍かかった（第2節）。 第三に、落ち着く体積のそばの速さは外の濃さの二乗に比例する。そばの速さは r の二乗を $1-b$ で割った値で、b = 0.4 と 0.2 の傾きの数値と一致し、縮む÷膨らむの比は倍率 2 で 16.000000、1.5 で 5.062500、1.25 で 2.441406 だった（第3節）。 第四に、膜の面積が体積とともに変わっても、縮むほうが早い。面積を球のように体積の 2/3 乗とすると、倍率 2 の時間の比は半分まで 5.050132、99 パーセントまで 7.620672、そばの速さの比は 9.220873 で、六つの組のすべてで縮むほうが早かった（第3節）。 第五に、分離子は、水を動かす力を体積の差で見るか、中の濃さの差で見るかである。体積の差は膨らむときも縮むときも同じ形だが、水を動かすのは中と外の濃さの差で、中の濃さは体積から b を引いた値に反比例する。外が濃いほど、少しの体積の変化で中の濃さが大きく動き、力が早く消えた（第4節）。 キーワード：浸透圧、細胞の体積、水の透過、ボイル・ファントホッフの関係、緩和、膜の輸送。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない。水が膜を通る速さが浸透圧の差に比例すると置く式、浸透で動かない体積を差し引いて落ち着く体積を出す関係（ボイル・ファントホッフの関係）、細胞が濃い液で縮み薄い液で膨らむことは、いずれも生理学と膜の輸送で知られている。置いた値である。浸透で動かない体積の割合 b = 0.4（確かめに 0.2）、もとの浸透圧濃度 290 mOsm は置いた値で、時間は水の通しやすさ・膜の面積・温度・290 mOsm を掛けて体積で割った値の逆数を単位にした。どの細胞の値も主張しない。水だけが膜を通ると置く。尿素やブドウ糖のように膜を通る溶質、溶血する体積、膜の張り、細胞が体積を戻す働きは入れない。医療の使い方を述べない。どの液をいつ使うべきかは扱わない。既刊との関係：論文922 の射程注記は、細胞の体積の変化を計算せず、溶血の速さ、膜の透過の速さ、ブドウ糖が取り込まれるまでの時間は扱わないと書いた。本稿はそのうち細胞の体積が変わる速さの席に座る（先客なし）。論文922 は、生理食塩水が粒を数えると六パーセント濃いが、浸透係数を入れると血漿とほぼ等しいことを示した。ここでは、濃さの違う液に移したとき、体積がどれだけの速さで新しい釣り合いに近づくかを数える。論文333 は、浸透圧と凝固点降下の比が一定であることが仮定の帰結であることを示した。ここでも浸透圧は濃さに比例すると置く。加えたのは、倍率ごとに落ち着く体積と時間を出したこと、同じ倍率で縮むほうが早いことを六つの組で確かめたこと、そばの速さが外の濃さの二乗に比例することを傾きの数値で確かめたこと、膜の面積を変えても向きが変わらないことを確かめたこと、分離子を「体積の差か、中の濃さの差か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：細胞の体積をもとの体積との比 x で書き、そのうち割合 b は浸透で動かないとする。中の溶質は膜を通らないので、中の浸透圧濃度は $290(1-b)/(x-b)$ mOsm である。外を $290r$ mOsm の液にすると、水の出入りは濃さの差に比例し、

$$\frac{dx}{dt} = a(x)\left(\frac{1-b}{x-b} - r\right), \qquad x_\infty = b + \frac{1-b}{r}$$

とする。時間の単位は（水の通しやすさ）×（もとの膜の面積）×RT×290 mOsm÷（もとの体積）の逆数、$a(x)$ は膜の面積の比で、一定（$a=1$）と球（$a=x^{2/3}$）の二通りを置く。体積の変化 $|x-1|$ が落ち着く体積までの変化の半分・90 パーセント・99 パーセントに届く時間を数える。落ち着く体積のそばでは、右辺を x で微分して符号を変えた速さは

$$k = \frac{r^2}{1-b}\,a(x_\infty)$$

である。

問い：同じ倍率の濃さの違いで、細胞が膨らむときと縮むときの落ち着く速さは同じか。

2. 膨らむときと縮むとき

計算 2.1：$b = 0.4$、膜の面積一定の時間。

外（mOsm）	r	落ち着く体積	半分まで	90% まで	99% まで
145.0	0.5000	1.600000	1.063600	4.446300	9.864500
580.0	2.0000	0.700000	0.179000	0.480400	0.839300
193.3	0.6667	1.300000	0.710800	2.703500	5.771500
435.0	1.5000	0.800000	0.251600	0.734100	1.360100
232.0	0.8000	1.150000	0.556100	1.990000	4.131800
362.5	1.2500	0.880000	0.314200	0.970600	1.863500

計算 2.2：同じ倍率で、膨らむ時間÷縮む時間。

膜の面積・倍率	半分まで	90% まで	99% まで	そばの速さの比（縮む÷膨らむ）
一定・2	5.941899	9.255412	**11.753247**	16.000000
一定・1.5	2.825119	3.682741	4.243438	5.062500
一定・1.25	1.769892	2.050278	2.217226	2.441406
球・2	5.050132	6.579169	7.620672	9.220873
球・1.5	2.577335	3.020531	3.291023	3.662656
球・1.25	1.683261	1.838691	1.927458	2.042506

> **観察 2.3**
>
> 同じ倍率でも、縮むほうが早く落ち着く。六つの組のすべてで、半分・90 パーセント・99 パーセントのどれにも縮むほうが早く届いた。落ち着く体積に近いところほど比は大きくなり、面積一定・倍率 2 では 99 パーセントまでの時間の比が 11.753247 で、そばの速さの比 16.000000 に近づいた。

3. 落ち着く体積のそばの速さ

計算 3.1：落ち着く体積の上下に 10^{-6} ずらした傾きから出した速さと、式 $r^2/(1-b)$。

b	r	傾きの数値	式
0.4	0.5	0.416667	0.416667
0.4	2.0	6.666667	6.666667
0.2	0.5	0.312500	0.312500
0.2	2.0	5.000000	5.000000

膜の面積一定・倍率 2 の縮む÷膨らむの速さの比は、$b=0.4$ でも 0.2 でも 16.000000 だった。膜の面積を球とすると、そばの速さは面積一定の値に $x_\infty^{2/3}$ を掛けて、外 145 mOsm で 0.569992、580 mOsm で 5.255823 になった。

> **観察 3.2**
>
> そばの速さは外の濃さの二乗に比例し、比は b によらない。面積一定なら速さは $r^2/(1-b)$ で、倍率 q の二つの液の比は q^4 になる（2 で 16、1.5 で 5.062500、1.25 で 2.441406）：膨らむと膜の面積が増える球では比が 9.220873 に縮んだが、向きは変わらなかった。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、水を動かす力を体積の差で見るか、中の濃さの差で見るかである。体積の差で見ると、落ち着く体積からのずれは膨らむときも縮むときも同じように減っていくように見える。水を動かすのは中と外の濃さの差で、中の濃さは $x-b$ に反比例する。外が濃い液では $x_\infty-b$ が小さく、少しの体積の変化で中の濃さが大きく動くので、そばの速さが r^2 で大きくなった。

観察 4.2

言わないこと。実在の細胞の b と水の通しやすさ、膜を通る溶質、溶血する体積、膜の張り、細胞が体積を戻す働き、医療の使い方は扱わない。示したのは、水だけが通る膜の模型で、同じ倍率の濃さの違いでも縮むほうが早く落ち着き、そばの速さが外の濃さの二乗に比例することである。

5. 点呼と結び

1. 水の出入りの式と落ち着く体積（第1節）：中の濃さは $x - b$ に反比例。
2. 倍率 2 で膨らむ時間は 11.753247 倍（99%）（計算 2.2）：縮むほうが早い。
3. 六つの組のすべてで縮むほうが早い（計算 2.2）：面積一定と球。
4. そばの速さ $r^2/(1-b)$、比 16.000000（計算 3.1）：b によらない。
5. 球では比 9.220873（計算 3.1）：向きは変わらない。
6. 体積の差か、中の濃さの差か（観察 4.1）：分離子・論文922 の射程注記。

結び：細胞は同じ倍率の濃さの違いでも、縮むほうが膨らむより速く落ち着く。水だけが通る膜の模型で、外を 145 mOsm と 580 mOsm にすると、膨らむときは縮むときの 5.941899 倍（半分まで）から 11.753247 倍（99 パーセントまで）の時間がかかった。落ち着く体積のそばの速さは $r^2/(1-b)$ で、倍率 2 の比は b によらず 16.000000、膜の面積を球としても 9.220873 で向きは同じだった。分離子は、水を動かす力を体積の差で見るか、中の濃さの差で見るかである。既刊との位置：論文922 が浸透圧濃度で比べた液に細胞を移したとき、論文922 が計算しなかった体積の変わる速さを数えた。正直に言えば、実在の細胞は溶質も通し、体積を戻す働きも持つ。水だけが通る膜で、縮むのと膨らむのがどれだけ違うか、そこまでである。

参考文献

1. Atkins, P., & de Paula, J. (2006). *Physical Chemistry*. Oxford University Press.
2. Kedem, O., & Katchalsky, A. (1958). Thermodynamic analysis of the permeability of biological membranes to non-electrolytes. *Biochimica et Biophysica Acta*.
3. 山岸勇輝 (2026).『浸透圧と凝固点降下の比が一定であることは、測定ではなく仮定の帰結である』[論文333]. YOI: https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/333 ・ DOI: 10.5281/zenodo.22681740
4. 山岸勇輝 (2026).『生理食塩水は粒を数えると六パーセント濃いが、浸透係数を入れると血漿とほぼ等しい』[論文922]. YOI: https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/922

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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