温かい水で酸素が足りなくなる主な理由は、溶ける量ではなく要る量である

— 0 度から 30 度で飽和溶存酸素は **1.934281** 分の **1** になるだけだが、$Q_{10} = 2$ の代謝は **8** 倍になり、需給は **15.4742** 倍悪くなる — 悪化を対数で分けると **0.759148** が需要の側にある — [論文572]

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

水が温かいと酸素が溶けにくい、とよく言われる。本稿が示すのは、それは正しいが、温めたときの酸素の足りなさの主な理由ではなく、四分の三は生き物の要る量が増える側から来ていることである。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、溶ける量は式で出る——飽和溶存酸素は 0 度で **14.6208**、30 度で **7.5588** mg/L、比は **1.934281** で、減り方は **48.3012** パーセントである。式は標準的な表の 4 点を 0.02 mg/L 以内で再現した（第2節）。 第二に、要る量は Q_{10} で増える——$Q_{10} = 2$ なら 30 度の代謝は 0 度の **8.0000** 倍で、需給は **15.4742** 倍悪くなる（第3節）。 第三に、これが本稿の芯である。需給の悪化を対数で分けると、**0.759148** が需要の側にある——「溶けにくくなる」は正しいが、主な理由ではない（第4節）。 第四に、境目は $Q_{10} = 1.245967$ である——供給の比の三乗根で、代謝の Q_{10} がこれを超える限り、要る量の側が勝つ（第4節）。 第五に、一度あたりで見ても同じである——20 度で溶ける量は 1 度あたり **1.986169** パーセント減り、要る量は **6.931472** パーセント増える。比は **3.4899** 倍である（第4節）。 第六に、分離子は、代謝の Q_{10} が供給の比の三乗根より大きいかどうかである——気体の溶け方と生き物の速さという、根の違う二つの温度への敏感さの比べ合いである（第5節）。 キーワード：溶存酸素、水温、代謝の Q10、魚、気体の溶解度。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——気体の溶解度の温度依存も、代謝の Q_{10} も標準的である。魚が死ぬ原因をこれだけで決めない——えらの換気、血液が酸素を運ぶ力、温度への順化は入れていない。淡水・1 気圧・飽和の水だけを見る——実際の水は夜や底で飽和を下回ることが多いが、ここでは溶ける上限だけを比べる。Q_{10} は代表値である——種と温度の範囲で違う。1.5 から 3 を並べ、芯には 2 を使った。致死温度の近くでは Q_{10} は一定でなくなるが、入れていない。生態を扱わない——水の成層、藻の呼吸、流れによる酸素の運び込みは本稿の外である。要る量の大きさは出さない——比べるのは比だけで、何 mg/L あれば足りるかは述べない。既刊との関係：論文386 は、溶解度が一つも動かないのに溶ける速さが 1000 倍になることを示した——平衡の量と速さの量は別である。本稿では平衡の量（溶ける上限）も動くが、速さの量（代謝）のほうが大きく動く。論文382 は、脳の比出力の「10 倍」が比べる相手の低さから出ていると示した——本稿も代謝を何と比べるかを問い、比べる相手を供給に置く。論文300 は同根か別根かが判定できると示した——「溶ける量が減る」と「要る量が増える」は別根で、だから二つは独立に掛け算で効く。加えたのは、飽和溶存酸素の式を表の 4 点と突き合わせたうえで比 **1.934281** を出したこと、需給の悪化を対数で需要と供給に分け、需要の分け前 **0.759148** を出したこと、境目の Q_{10} を供給の比の三乗根 **1.245967** という閉じた形で置いたこと、一度あたりの比 **3.4899** を数値微分と解析的な微分の二つで確かめたこと、分離子を Q_{10} と三乗根の比べ合いに置いたことである。

1. 記法と問い

設定：淡水・1 気圧で大気と平衡した水に溶ける酸素の上限を $C^*(T)$、生き物が要る酸素を $D(T) = D_0 Q_{10}^{(T-T_0)/10}$ と書く。足りるかどうかは比 D/C^* で決まり、0 度から 30 度へ温めると

$$\frac{D(30)/C^*(30)}{D(0)/C^*(0)} = Q_{10}^{3} \cdot S, \qquad S = \frac{C^*(0)}{C^*(30)}$$

だけ悪くなる。

> **観察 1.1**
>
> 「水が温かいと酸素が溶けにくい」はよく言われ、正しい。夏に池の魚が水面で口を開けているのを、それで説明することが多い——問題は、それがどれだけ効いているかである。

問い：温めたときの需給の悪化のうち、溶ける量の減りと要る量の増えは、それぞれどれだけか。

2. 溶ける量

計算 2.1：飽和溶存酸素を Benson と Krause の式で出し、標準的な表と突き合わせた。

水温	式（mg/L）	表（mg/L）
0 度	**14.6208**	14.62
10 度	**11.2879**	11.29
20 度	**9.0924**	9.09
30 度	**7.5588**	7.56

> **観察 2.2**
>
> 式が表の 4 点を 0.02 mg/L 以内で再現した。式と表を別々に持っていて、それが一致することの確かめである——どちらかを写し間違えていれば、ここで食い違う。

> **観察 2.3**
>
> 0 度から 30 度で、溶ける量は **1.934281** 分の 1 になる。減り方は **48.3012** パーセントで、半分より少し少ない——これが「温かいと溶けにくい」の大きさである。

3. 要る量

計算 3.1：代謝を Q_{10} で温めた。30 度は 0 度の Q_{10}^{3} 倍である。

Q_{10}	30 度の要る量（0 度比）	需給の悪化
1.5	**3.3750**	**6.5282**
2.0	**8.0000**	**15.4742**
2.5	**15.6250**	**30.2231**
3.0	**27.0000**	**52.2256**

> **観察 3.2**
>
> $Q_{10} = 2$ なら、需給は **15.4742** 倍悪くなる。溶ける量が半分近くになるだけでなく、要る量が 8 倍になる——二つが掛け算で効く。

4. 分け前

計算 4.1：需給の悪化 $Q_{10}^{3} S$ の対数を、需要 $\ln Q_{10}^{3}$ と供給 $\ln S$ に分けた。$Q_{10} = 2$ で需要の分け前は $\ln 8 / \ln(8S) = \mathbf{0.759148}$ である。

> **観察 4.2**
>
> これが本稿の芯である。悪化の四分の三が、要る量の側にある——「酸素が溶けにくくなる」は正しいが、主な理由ではない。水温が上がって酸素が足りなくなるのは、主に生き物のほうが速く酸素を使うようになるからである。

計算 4.3：供給と需要が同じだけ効く Q_{10} は、$Q_{10}^{3} = S$ から $S^{1/3} = \mathbf{1.245967}$ である（三乗すると S に 10^{-12} で戻る）。

> **観察 4.4**
>
> 境目は低い。代謝の Q_{10} が 1.245967 を超える限り、要る量の側が勝つ——代謝の Q_{10} は 2 前後とされることが多く、境目より十分上にある。

計算 4.5：一度あたりで見た。20 度で、溶ける量は 1 度あたり **1.986169** パーセント減る（数値微分と解析的な微分が 10^{-6} で一致）。$Q_{10} = 2$ の要る量は、連続の率 $\ln 2 / 10$ で 1 度あたり **6.931472** パーセント増える。比は **3.4899** 倍である。

> **観察 4.6**
>
> 一度あたりで見ても、要る量の増え方は溶ける量の減り方の三倍半である。30 度の幅でまとめても、1 度ずつ見ても、同じ向きの答が出る——区間の取り方で結論が変わらないことの確かめである。

5. 分離子

観察 5.1

分離子は、代謝の Q_{10} が供給の比の三乗根 **1.245967** より大きいかどうかである。これは、生き物の速さの温度への敏感さと、気体の溶け方の温度への敏感さの比べ合いである——Q_{10} が **1.245967** より小さい生き物なら、溶けにくさが主な理由になる。そういう生き物はふつう見当たらない。

観察 5.2

論文**300** の基準では、二つは別根である。溶ける量が減るのは気体の溶解の性質、要る量が増えるのは生き物の化学反応の速さの性質で、根が違う——だから二つは互いに影響し合わず、独立に掛け算で効く。

観察 5.3

論文**386** と対になる。あちらは溶解度が一つも動かないまま、溶ける速さだけが **1000** 倍になった——平衡の量と速さの量は別である。こちらは平衡の量（溶ける上限）も動くが、速さの量（代謝）のほうが大きく動く。

観察 5.4

論文**382** と同じ問いの立て方である。あちらは脳の「**10** 倍」が、比べる相手が休んでいることから出ていると示した——本稿も、代謝の増え方を何と比べるかを問い、比べる相手を溶ける量の減り方に置いた。

観察 5.5

言わないこと。魚が死ぬ原因をこれだけで決めない——えらの換気、血液が酸素を運ぶ力、温度への順化、水の成層や藻の呼吸は入れていない。示すのは、溶ける上限と要る量をどう比べるかだけである。

6. 点呼と結び

1. **0 度 14.6208・30 度 7.5588 mg/L**（計算 2.1）：表の **4** 点と一致。
2. 溶ける量は **1.934281** 分の **1**（観察 2.3）：減り方 **48.3012** パーセント。
3. $Q_{10} = 2$ で要る量 **8.0000** 倍（計算 3.1）：需給は **15.4742** 倍悪くなる。
4. 需要の分け前 **0.759148**（計算 4.1）：本稿の芯。
5. 境目 $Q_{10} = 1.245967$（計算 4.3）：供給の比の三乗根。
6. **1** 度あたり **1.986169** 対 **6.931472** パーセント（計算 4.5）：比 **3.4899**。
7. 区間の取り方で結論が変わらない（観察 4.6）：**30** 度でも **1** 度でも同じ向き。
8. 分離子は Q_{10} と三乗根（観察 5.1）：二つの敏感さの比べ合い。
9. 二つは別根（観察 5.2）：だから掛け算で効く。
10. 論文**386** と対（観察 5.3）：平衡の量と速さの量。

結び：水が温かいと酸素が溶けにくい、とよく言われ、それは正しい。ところが温めたときの酸素の足りなさの主な理由は、それではない——飽和溶存酸素は **0** 度で **14.6208**、**30** 度で **7.5588 mg/L** で、式は標準的な表の **4** 点を **0.02 mg/L** 以内で再現した。溶ける量は **1.934281** 分の **1**、**48.3012** パーセント減るだけである。一方 $Q_{10} = 2$ の代謝は **8** 倍になり、需給は **15.4742** 倍悪くなる。悪化を対数で分けると、**0.759148** が要る量の側にある——供給と需要が同じだけ効く境目は $Q_{10} = 1.245967$、供給の比の三乗根で、代謝の Q_{10} はふつうそれより十分上にある。**1** 度あたりで見ても、**20** 度で溶ける量は **1.986169** パーセント減り、要る量は **6.931472** パーセント増えて、比は **3.4899** 倍である。区間の取り方で向きは変わらない。分離子は、代謝の Q_{10} が供給の比の三乗根より大きいかどうかである——気体の溶け方と生き物の速さという、根の違う二つの温度への敏感さの比べ合いであり、論文**300** の基準で二つは別根だから、独立に掛け算で効く。既刊との位置——論文**386** では平衡の量が動かず速さだけが動いた。本稿では平衡の量も動くが、速さの量のほうが大きく動く。論文**382** と同じく、比べる相手を問うことで、どちらが効いているかを分けた。正直に言えば——魚が死ぬ原因をこれだけでは決めない。えら、血液、順化、成層、藻の呼吸は入れておらず、水は飽和と置き、Q_{10} は代表値で、致死温度の近くでの崩れも入れていない。示したのは、溶ける上限と要る量をどう比べるかだけである。

参考文献

1. Benson, B. B., & Krause, D. (1984). *The Concentration and Isotopic Fractionation of Oxygen Dissolved in Freshwater and Seawater in Equilibrium with the Atmosphere*. Limnology and Oceanography.
2. Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal Physiology: Adaptation and Environment* (5th ed.). Cambridge University Press.
3. Weiss, R. F. (1970). *The Solubility of Nitrogen, Oxygen and Argon in Water and Seawater*. Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts.
4. 山岸勇輝 (2026). 『三百本目の点呼 ── 同根か別根かは、判定できる』[論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914

5. 山岸勇輝 (2026). 『脳が「体重の **2** パーセントでエネルギーの **20** パーセント」なのは、比べる相手が休んでいるからである』[論文382]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22698849

6. 山岸勇輝 (2026). 『溶解度は一つも動いていないのに、溶ける速さが **1000** 倍になる』[論文386]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699119

— 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)