酸性雨の境目 pH 5.6 は雨の性質で、被害は受け手の性質である

— 大気の CO_2 420 ppm と平衡したきれいな雨は pH **5.598026** で、この境目そのものが CO_2 で動き、280 ppm の時代から **0.087873** 下がった — 被害は雨の pH ではなく、受け手に残る中和能で決まる —

[論文573]

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

酸性雨は「pH 5.6 未満の雨」と定義され、被害は雨の酸っぱさで語られることが多い。本稿が示すのは、境目の 5.6 は大気の CO_2 が決める雨の性質でそれ自体が動き、被害のほうは雨ではなく、受ける湖に残る中和能で決まることである。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、きれいな雨の pH は CO_2 との平衡で決まる——420 ppm で pH **5.598026** である。「5.6」はここから来ている（第2節）。 第二に、境目は CO_2 で動く——280 ppm では **5.685899**、560 ppm では **5.535643** で、280 から 420 ppm で **0.087873** 下がった（第2節）。 第三に、閉じた式との差は水の電離から来る——閉じた式の **0.088046** と 1.7×10^{-4} ずれる。水の電離と CO_3^{2-} を外して解き直すと閉じた式に 10^{-9} で戻ることで、ずれの出所を確かめた（第2節）。 第四に、これが本稿の芯である。湖の pH は、中和能が 0 に近づくまでほとんど動かず、そこで崖のように落ちる——中和能 1000 μeq/L で pH **8.1898**、10 で **6.2213**、0 で **5.5980**、−30 で **4.5198** である（第4節）。 第五に、同じ雨でも、耐えられる酸が **214.7099** 倍違う——pH 6 を切るまでに要る酸は、中和能 1000 の湖で **994.6324**、10 の湖で **4.6324** μeq/L で、置いた中和能の比 100 倍より大きく開く（第4節）。 第六に、分離子は、雨の側の量か、受け手の側の量か、である——境目は CO_2 で、被害は中和能で決まり、二つは別根である（第5節）。 キーワード：酸性雨、pH 5.6、炭酸の平衡、酸中和能、湖沼。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——炭酸の平衡も、酸中和能も標準的である。定数は25度の代表値である——CO_2 のヘンリー定数 $\log K_H = -1.47$、$\mathrm{p}K_1 = 6.35$、$\mathrm{p}K_2 = 10.33$ と置いた。湖を一つの箱として扱う——水の入れ替わり、底の土への硫酸の吸着、岩の風化で中和能が戻る速さは入れていない。「湖に加わる酸」は、湖の水 1 L あたりに加わった強酸の総量という思考実験である。生き物の感受性を扱わない——pH 6 は比べるための目安で、魚や藻がどこで害を受けるかは述べない。溶け出すアルミニウムも入れていない。雨の化学を網羅しない——アンモニアや土ぼこりのカルシウムが雨の pH を上げる効果は入れていない。既刊との関係：論文569 は、高い観測点ほど海面気圧が仮定の産物になると示した——本稿の境目 5.6 も同じ型で、置いた CO_2 の濃度の関数になっている。論文408 は、水は蒸発するが塩は蒸発しないので、飲める水でも土地を殺すと示した——入れるものの性質より、受け手に何が残るかが効くという型が共通で、あちらは溜まる塩、こちらは残る中和能である。論文300 は同根か別根かが判定できると示した——「境目が CO_2 で動く」と「被害が中和能で決まる」は別根である。加えたのは、きれいな雨の pH を電荷の釣り合いから厳密に解き、近似式と突き合わせたこと、境目の動き **0.087873** と閉じた式のずれの出所を、項を外して解き直すことで確かめたこと、湖の pH が中和能 0 の近くで崖のように落ちることを並べたこと、pH 6 を切るまでの酸の比 **214.7099** を出し、置いた比 100 より開く理由を示したこと、分離子を雨の側と受け手の側の区別に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：大気の CO_2 の分圧 p と平衡した水では

$$[\mathrm{H_2CO_3^*}] = K_H\,p, \quad [\mathrm{HCO_3^-}] = \frac{K_1[\mathrm{H_2CO_3^*}]}{[\mathrm{H^+}]}, \quad [\mathrm{CO_3^{2-}}] = \frac{K_2[\mathrm{HCO_3^-}]}{[\mathrm{H^+}]}$$

であり、酸中和能 ANC を含めた電荷の釣り合い

$$\mathrm{ANC} + [\mathrm{H^+}] = [\mathrm{HCO_3^-}] + 2[\mathrm{CO_3^{2-}}] + [\mathrm{OH^-}]$$

を解くと pH が出る。ANC を 0 とし、$[\mathrm{H^+}] = [\mathrm{HCO_3^-}]$ だけを残すと、近似式 $\mathrm{pH} \approx -\frac{1}{2}\log_{10}(K_H K_1 p)$ になる。

> **観察 1.1**
>
> 酸性雨は「pH 5.6 未満の雨」と定義される。そして被害は、雨がどれだけ酸っぱいかで語られることが多い——境目がどこから来て、被害が何で決まるかは、別々に問える。

問い：境目の 5.6 は何が決めているか。同じ雨が、なぜ湖によって違う被害を生むのか。

2. きれいな雨

計算 2.1：電荷の釣り合いを二分法で解いた。

大気の CO_2	きれいな雨の pH
280 ppm	**5.685899**
420 ppm	**5.598026**
560 ppm	**5.535643**

> **観察 2.2**
>
> 近似式と突き合わせた。420 ppm で近似式は **5.598375** で、厳密解と 0.001 以内で一致する——「5.6」は、CO_2 だけが溶けた雨の pH である。

> **観察 2.3**
>
> 境目そのものが動く。280 から 420 ppm で、きれいな雨の pH は **0.087873** 下がった——同じ「5.6」という数で線を引いていても、その線の意味は大気とともに動いている。

> **観察 2.4**
>
> 閉じた式とのずれを、項を外して確かめた。近似式からは、動きは $\frac{1}{2}\log_{10} 1.5 = \mathbf{0.088046}$ と閉じた形で出る。最初の検算では、これと厳密解の動きが 10^{-4} で一致すると置いて落とした。実際の差は 1.7×10^{-4} で、閾値を実測する前に置いた私の誤りである——ずれの出所を推測で書かず、解き直して確かめた。水の電離だけを外すと動きは **0.088043819** で差は 1.8×10^{-6} に縮み、CO_3^{2-} も外すと閉じた式に 10^{-9} で戻る。ずれはほぼ水の電離から来ている。

3. 強い酸を加えた雨

計算 3.1：420 ppm と平衡した雨に、強い酸（硫酸や硝酸）を加えた。

加えた強酸	pH
5 μeq/L	**5.2181**
10 μeq/L	**4.9747**
20 μeq/L	**4.6922**
50 μeq/L	**4.2999**

> **観察 3.2**
>
> 雨の側は、わずかな酸で大きく動く。10 μeq/L、つまり 1 L に 10 万分の 1 モルほどの強酸で、pH は 5.598026 から 4.9747 へ下がる——きれいな雨には、酸を受け止めるものがほとんど無いからである。

4. 受け手の崖

計算 4.1：同じ 420 ppm の大気と平衡した湖で、酸中和能 ANC を変えて pH を出した。

ANC（μeq/L）	pH
1000	**8.1898**
300	**7.6713**
100	**7.1957**
30	**6.6760**
10	**6.2213**
3	**5.8430**
0	**5.5980**
−10	**4.9747**
−30	**4.5198**

> **観察 4.2**
>
> これが本稿の芯である。ANC を 1000 から 10 へ 100 分の 1 にしても pH は 2 ほどしか下がらないが、10 から −30 へ 40 だけ動かすと同じくらい下がる——湖の pH は中和能が 0 に近づくまで粘り、そこで崖のように落ちる。被害を決めているのは雨の pH ではなく、受け手に中和能がどれだけ残っているかである。

計算 4.3：pH がちょうど 6.0 になる ANC は **5.367552 μeq/L** である（その値で解き直すと pH 6.0 に 10^{-6} で戻る）。

計算 4.4：pH 6 を切るまでに加えられる酸を出した。

湖	pH 6 を切るまでの酸（μeq/L）
ANC 1000	**994.6324**
ANC 10	**4.6324**
比	**214.7099**

> **観察 4.5**
>
> 比は置いた中和能の比より開く。中和能の比は 100 倍だが、耐えられる酸の比は 214.7099 倍である——pH 6 を保つのに要る 5.367552 μeq/L が、小さい湖の余裕の半分を先に食うからである。貧しい湖ほど、見かけより貧しい。

5. 分離子

> **観察 5.1**
>
> 分離子は、雨の側の量か、受け手の側の量か、である。境目の 5.6 は大気の CO_2 という雨の側の量で決まり、被害は湖の中和能という受け手の側の量で決まる——雨だけを測っていても、被害は予測できない。

観察 5.2

論文300 の基準では別根である。「境目が CO_2 で動く」は気体の溶解の平衡から、「被害が中和能で決まる」は受け手の滴定の形から出る——片方を変えても、もう片方は動かない。

観察 5.3

論文569 と同じ型である。あちらでは、高い観測点ほど海面気圧が置いた気温の関数になった——こちらでは、酸性雨の境目が置いた CO_2 の関数になる。基準値そのものが、仮定の上に立っている。

観察 5.4

論文408 と同じ向きの型である。あちらは、飲める水でも塩が土地に溜まり続けて土地を殺した——入れるものの性質より、受け手に何が残るかが効く。あちらは溜まる塩、こちらは減っていく中和能である。

観察 5.5

言わないこと。「雨の pH は気にしなくてよい」とは書かない——中和能を削っていくのは雨の酸である。示したのは、同じ雨の被害が受け手でどれだけ違うか、そして境目の数がどこから来るかである。

6. 点呼と結び

1. 420 ppm のきれいな雨は pH **5.598026**（計算 2.1）：「**5.6**」の出どころ。
2. 近似式 **5.598375** と 0.001 以内（観察 2.2）：二つの解き方の突合せ。
3. 境目は **0.087873** 動いた（観察 2.3）：CO_2 の関数。
4. 閉じた式 **0.088046** とのずれは水の電離（観察 2.4）：項を外して確かめた。
5. 強酸 10 μeq/L で pH **4.9747**（計算 3.1）：雨には受け止めるものが無い。
6. 湖の pH は中和能 0 の近くで崖（観察 4.2）：本稿の芯。
7. pH 6 の ANC は **5.367552**（計算 4.3）：解き直して確かめた。
8. 耐えられる酸の比 **214.7099**（計算 4.4）：置いた比 100 より開く。
9. 分離子は雨の側か受け手の側か（観察 5.1）：二つは別根。

10. 論文569 と同じ型（観察 5.3）：基準値が仮定の上に立つ。

結び：酸性雨は「pH 5.6 未満の雨」と定義され、被害は雨の酸っぱさで語られることが多い。ところが境目の 5.6 は、大気の CO_2 だけが溶けた雨の pH である——420 ppm と平衡した雨は pH 5.598026 で、近似式の 5.598375 と 0.001 以内で一致する。280 ppm では 5.685899、560 ppm では 5.535643 で、280 から 420 ppm で境目は 0.087873 下がった。閉じた式の 0.088046 とのずれは、最初の検算で閾値を実測前に置いて落としたところで、水の電離と CO_3^{2-} を外して解き直すと閉じた式に戻ることで、ずれがほぼ水の電離から来ていると確かめた。被害のほうは、雨ではなく受け手で決まる——きれいな雨は 10 μeq/L の強酸で pH 4.9747 まで下がるほど受け止めるものが無いが、湖は中和能が 0 に近づくまで pH が粘り、そこで崖のように落ちる。中和能 1000 で pH 8.1898、10 で 6.2213、0 で 5.5980、−30 で 4.5198 である。pH 6 を切るまでに耐えられる酸は、中和能 1000 の湖で 994.6324、10 の湖で 4.6324 μeq/L で、比は 214.7099 倍、置いた比の 100 倍より開く。pH 6 を保つのに要る 5.367552 が、小さい湖の余裕を先に食うからである。分離子は、雨の側の量か、受け手の側の量か、である——境目は CO_2 で、被害は中和能で決まり、論文300 の基準で二つは別根である。既刊との位置——論文569 と同じく、基準値そのものが置いた量の関数になっている。論文408 と同じく、入れるものの性質より受け手に何が残るかが効き、あちらは溜まる塩、こちらは減っていく中和能である。正直に言えば——湖は一つの箱として扱い、水の入れ替わりも、土への吸着も、岩の風化で中和能が戻る速さも入れていない。定数は 25 度の代表値で、pH 6 は比べるための目安であり、生き物がどこで害を受けるかは述べない。そして「雨の pH は気にしなくてよい」とも書かない——中和能を削っていくのは、その雨の酸である。

参考文献

1. Charlson, R. J., & Rodhe, H. (1982). *Factors Controlling the Acidity of Natural Rainwater*. Nature.
2. Likens, G. E., & Bormann, F. H. (1974). *Acid Rain: A Serious Regional Environmental Problem*. Science.
3. Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* (3rd ed.). Wiley.
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). 『水は蒸発するが、塩は蒸発しない——だから飲める水でも土地を殺す』[論文408]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699566
6. 山岸勇輝 (2026). 『高い観測点ほど、海面気圧は仮定の産物になる』[論文569]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014282

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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