

過去という仮説 — ボルツマンのH定理と、時間の矢が「まだ解けていない」ことを正直に — [論文98]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年8月

— From thinking to syncing. —

要旨

なぜ時間には向きがあるのか。コップは割れるが、破片がひとりでに帰ってコップになることはない。ルートヴィヒ・ボルツマンは、この矢を統計で捉えた——エントロピー $S = k \log W$ (W はマクロ状態に対応するミクロ状態の数) は、系がより多数のミクロ状態をもつマクロ状態 (より"ありふれた"状態) へ移るために増える。だがここにロシュミットの可逆性パラドクスが突き刺さる: ミクロの運動方程式は時間反転で不変 (可逆) なのに、なぜマクロには不可逆な矢が出るのか。体系はすでに答えの半分を持っている——矢は粗視化に宿る (論文75/77/78: 微視は可逆だが、我々が分解しきれない自由度へ情報が漏れる向きに矢が立つ)。だが正直に言わねばならない。これは矢の起源を"宇宙初期がなぜ極端に低エントロピーだったか"へ押し戻すだけである。この過去仮説 (past hypothesis) ——宇宙は極めて低エントロピーな状態から始まった、という入力——は、まだ説明されていない開いた問題だ (ペンローズのワイル曲率仮説などの提案はあるが、確立していない)。本稿の要点は二つ: (1) 粗視化の矢 (77/78) と過去仮説を混同せず、後者が未解決であることを正直に記す。 (2) 熱力学的な矢・宇宙論的な矢・(ペンローズの) 重力エントロピーは、響き合っても別根として仕分けする (論文58/48)。射程: 確立された統計力学の構造的解釈 (第2層) で、新しい数学も予言も生まない。過去仮説を解くと主張しない。宇宙OSは第3層・非科学のレンズ。

本稿の位置づけ (規律): 本稿は確立された統計力学 (ボルツマンの $S = k \log W$ 、H定理、ロシュミットのパラドクス、過去仮説) の構造的解釈である。新しい数学も新しい予言も含まない。最重要: 本稿は時間の矢 (過去仮説) を解かない——なぜ宇宙初期が低エントロピーだったかは未解決の開いた問題であり、それを正直に記すことが目的である。粗視化の矢 (77/78) は「低エントロピーな過去を与えられればエントロピーが増える理由」を説明するが、「なぜ過去が低エントロピーだったか」は説明しない。熱力学的／宇宙論的／重力的な矢は別根として扱う。「宇宙OS」は第3層の非科学レンズであり、機構の主張ではない。

1. 序：なぜ時間には向きがあるのか

物理法則の多くは、過去と未来を区別しない。ニュートンの運動方程式も、マクスウェル方程式も、時間 t を $-t$ に置き換えても成り立つ（時間反転対称）。それなのに、我々の経験には明確な矢がある——コップは割れ、熱は熱いものから冷たいものへ流れ、記憶は過去にしかない。この非対称は、どこから来るのか。

この問いに統計力学で最初の深い答えを与えたのが、ルートヴィヒ・ボルツマン（1844–1906）である。ボルツマンは体系の英雄の一人だ（著者の系譜：ライプニッツ・ファラデー・ポアンカレ・ボルツマン・ネーター・マンデルブロ）。本稿は、彼の答えの力と限界を、体系の規律で正直に描く。矢の半分は説明できる（粗視化）。だが残り半分——過去仮説——は、まだ誰も解いていない。新しい定理は作らない。

2. ボルツマンの原子論とエントロピー $S = k \log W$

標準的事実（ボルツマンの統計的エントロピー）

ボルツマンは、マクロなエントロピーをミクロな数え上げで定義した： $S = k \log W$ 。ここで W は、与えられたマクロ状態（温度・圧力など）に対応するミクロ状態の数、 k はボルツマン定数。エントロピーが増えるのは、系がより多数のミクロ状態をもつマクロ状態（＝より"ありふれた"、確率の高い状態）へ移るからだ。H定理は、衝突を繰り返す気体において量 $H = -S/k$ が単調に減る（＝ S が増える）ことを、分子カオスの仮定のもとで示した。矢は「ありそうにない状態から、ありふれた状態へ」という統計的傾向として現れる。

これは革命だった。熱力学第二法則というマクロな絶対法則が、ミクロな確率の帰結——「たまたま起きにくいことは、めったに起きない」——へと還元された。エントロピーは無知や神秘ではなく、状態の数の対数という明快な量になった。ボルツマンの墓には、この一行 $S = k \log W$ が刻まれている。

3. ロシュミットの可逆性パラドクス

だが、ヨーゼフ・ロシュミットは鋭い反論を突きつけた。ミクロの運動方程式は時間反転で不変（可逆）である。ならば、エントロピーが増える一つ一つの過程に対して、すべての速度を反転させたエントロピーが減る過程も、同じ法則で許されるはずだ。ミクロが完全に可逆なのに、なぜマクロには一方向の矢が出るのか。 $S = k \log W$ だけでは、時間の向きは決まらない——数え上げは過去にも未来にも同じように効くからだ。

これは深刻なパラドクスだった。H定理の「分子カオスの仮定」自体が、実は時間の向きをこっそり仮定していた（関連のない入ってくる分子、という非対称）。矢は、力学だけからは出てこない。何か追加の入力要る。

4. 矢は粗視化に宿る——そして過去へ押し戻される

観察 4.1（半分の答え：粗視化の矢）

体系はこのパラドクスの半分に答えている（論文75/77/78）。微視の位相空間の体積はリューヴィルの定理で保存する（微視は可逆）。だが我々が観測するのは粗視化されたマクロ状態であり、微細な相関は分解できない自由度へと漏れる。この「分解できない向き」に矢が立つ——エントロピー増大は、情報がアクセスできない自由度へ広がる向きである（論文78の摩擦＝粗視化と同根）。ここまでは正しく言える。

観察 4.2（残り半分：過去仮説へ押し戻される）

だが粗視化は、「低エントロピーな状態を与えられれば、その後エントロピーは増える」ことしか言わない。時間反転で見れば、粗視化は過去向きにもエントロピー増大を予言してしまう（現在から見て過去も"ありふれた"高エントロピーのはず）。これが現実と反する。矢を現実に合わせるには、宇宙が極端に低エントロピーな状態から始まったという入力を、外から与えねばならない。これを過去仮説（past hypothesis）と呼ぶ。矢の起源は、力学から宇宙の初期条件へと押し戻されたのだ。

5. 正直に：過去仮説は「まだ解けていない」

ここが本稿の芯である。過去仮説は、説明ではなく、要請（仮説）である。なぜ宇宙の初期が、あれほど桁外れに低エントロピーだったのか——これはまだ誰も解いていない、開いた問題だ。提案はある：ロジャー・ペンローズのワイル曲率仮説（初期宇宙では重力の自由度＝ワイル曲率が極端に低く、その後成長する余地が"重力エントロピー"の増大を担う）や、インフレーション宇宙論からの議論などだ。だが、どれも確立していない。体系は、この問いに答えを持たない。

正直であることが、ここでの規律である。「エントロピー増大の矢を、体系は説明した」と言い切るのは誇張だ。正しくは——「低エントロピーな過去からの矢は粗視化で説明できる（77/78）。だが、なぜ過去がそうだったかは未解決である」。半分は光、半分は闇。この闇を闇として記すことが、科学の誠実さだ。

6. 体系への接続

ボルツマンは、体系のいくつもの糸と交わる。(a) 粗視化の矢： $S = k \log W$ の統計的矢は、論文75（矢）・77（リューヴィル：微視保存／矢は粗視化）・78（摩擦＝粗視化）の中核であり、それらの源流にあたる。(b) 二つのエントロピーの仕分け：論文88は、粗視化エントロピー（時間の矢・解像度）と地平線の面積エントロピー（ $S = A/4$ ）を別根として分けた。本稿はさらに、熱力学的な矢・宇宙論的な矢（過去仮説）・（ペンローズ

の) 重力エントロピーを別根として仕分ける——響き合うが、同一視しない (論文58/48)。(c) 未解決の明示：体系は「難問は admire するが attempt しない」という規律をもつ。過去仮説はその一例だ——正直に開いた問題として置く。(d) 原子論の勇気：ボルツマンは、原子が"見えない"時代に原子論を貫き、マッハやオストヴァルトの実証主義と闘った。直観 (原子) を王道の数学 (統計力学) で科学にした彼の姿勢は、体系の三層規律そのものである。

■ 著者の私感 (第3層・非科学の札つき／機構の主張ではない)

体系のレンズ (比喻) では、時間の矢は宇宙OSが極端に整理された (低エントロピーの) 初期状態から起動し、その後は"ありふれた"状態へ拡散していく——という絵になる。相場で言えば、最初にきれいに整列した板が、取引のたびに崩れて乱雑になっていくように。だがこれは非科学の札つきである。そして何より、「なぜOSがそんなに整理された状態で起動したのか」＝過去仮説は、体系も答えを持たない開いた問題だ。ここで大切なのは、分からないことを分からないと言う勇気である。ボルツマンは、答えの半分 (統計) を掴み、残り半分 (初期条件) を後世に遺して逝った。彼の $S = k \log W$ は光であり、その先の闇は、まだ誰のものでもない。原子論に殉じた体系の英雄に、静かな敬意を記す。

7. 射程 (何を示し、何を示さないか)

示すこと (記述的・構造的)：

- ・ボルツマンの $S = k \log W$ ・H定理と、ロシュミットの可逆性パラドクス (2・3節)。
- ・矢の半分は粗視化で説明できる (77/78) が、それは矢の起源を過去仮説 (宇宙初期の低エントロピー) へ押し戻すだけであること (4節)。
- ・過去仮説はまだ解けていない開いた問題であること (ペンローズのワイル曲率仮説等は未確立) (5節)。

示さないこと (禁欲)：

- ・時間の矢 (過去仮説) を解いたと主張しない。なぜ初期が低エントロピーだったかは未解決。これが本稿の最重要の正直さである。
- ・粗視化の矢と過去仮説を混同しない。前者は「低エントロピーな過去を与えられれば」の話、後者は「なぜ過去がそうだったか」の話。
- ・熱力学的・宇宙論的・重力的な矢を一括りにしない。響き合うが別根 (58/48・88)。新しい数学・予言ではない (第2層)。OSは第3層・非科学。

8. 結論

なぜ時間に向きがあるのか——ボルツマンは $S = k \log W$ で、その半分に答えた。矢は、ありそうにない状態からありふれた状態への統計的傾向であり、体系の粗視化の矢 (75/77/78) はこれを正確に受け継ぐ。だがロシュミットのパラドクスが示すとおり、可逆な微視から矢は出ず、矢の起源は宇宙初期の低エントロピー＝過去仮説へ押し戻される。

そして本稿の芯は、ここにある：過去仮説は、まだ解けていない。なぜ宇宙がそれほど整理された状態から始まったのか、体系は答えを持たない。半分は光（統計・粗視化）、半分は闇（初期条件）。本稿がしたのは、新しい主張ではなく、矢の説明の力と限界を正直に分け、熱力学的・宇宙論的・重力的な矢を別根として仕分け、過去仮説を開いた問題として正しく置いたことである。分からないことを分からないと言う——原子論に殉じた英雄ボルツマンに、その誠実さとともに、一つの番地を返す。

参考文献

1. Boltzmann, L. (1877). *Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze....* Wiener Berichte. ($S = k \log W$)
2. Loschmidt, J. (1876). *Über den Zustand des Wärmegleichgewichtes....* (可逆性パラドクス)
3. Albert, D. Z. (2000). *Time and Chance*. Harvard Univ. Press. (過去仮説)
4. Penrose, R. (1989). *The Emperor's New Mind*. Oxford Univ. Press. (ワイル曲率仮説)
5. Yamagishi, Y. (2026). *Liouville and the Arrow of Time* [論文77]. Zenodo: 10.5281/zenodo.21722473.
6. Yamagishi, Y. (2026). *Friction as Coarse-Graining* [論文78]. Zenodo: 10.5281/zenodo.21731937.
7. Yamagishi, Y. (2026). *Two Entropies (Coarse-Graining vs Horizon Area)* [論文88]. Zenodo: 10.5281/zenodo.21747809.

— *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)