

複素情報によるサプライザル回路の拡張と力学化

回転は配線・重みは電流・減衰は抵抗

—— $-\log p$ から情報量族・評価関数、そして減衰振動子へ

高橋俊樹 | 高橋数理研究所

2026 年 7 月（本版：参考文献 [C] 改訂に伴う知識・確度定義の整合）

要旨 四篇の系列を一本に束ねる。判断面が複素ベクトルであるとする評価関数 [A]、 $dZ/dt = i(-\log p)$ を演算するサプライザル回路 [B]、情報量微分を時間発展の生成子とする複素情報理論 [C] を、一つの回路として統合する。鍵となる観察は二段である。

第一（静的層）．回路 [B] が「配線にすぎない」と論じた $\times i$ は、評価 [A] の期待四型を生成する i^k （巡回群 $\mathbb{Z}_4$ ）と同一の作用素である。この一点から、標準的な情報量はすべて「重み付き・回転付きサプライザル和」

$$G = \sum_x w_x (-\log q_x) i^{k_x}$$

に統一され、サプライザル $-\log p$ はその $k = 0$ ・単一事象という一断面にすぎないこと、評価関数 $V = \text{Re}[\overline{\Psi}_H \Psi_A] - \frac{\lambda}{2} |\Psi_A|^2$ が複素内積から二乗を差し引いた整合フィルタであることが従う。拡張に要する能動素子は重み付け（乗算）と罰（二乗）のみで、回転 i^k と重ね合わせ $\sum$ は配線と電流加算（KCL）で済む。

第二（力学層）．この静的な累算器に情報時間 $I = -\log p$ を入れると、状態は複素極 $s = m + ni$ を持つ減衰振動子 $d\Psi/dI = (-m + in)\Psi$ へ拡張される。複素重み s は回路の複素固有周波数（極）そのものであり、実部 m （減衰率）と虚部 n （角速度）を一つに束ねる。エネルギー $|\Psi|^2$ の減衰率は $2m$ で n に依らない——すなわち回転 n は無損失（リアクタンス）、減衰 m のみ散逸（抵抗）である。これにより [B] の「回転は配線・散逸はリセットに局在」、[C] の「虚時間は可逆・実時間は熱的」、フィルタ理論の「リアクタンスは無損失・抵抗は損失」が同一の言明となり、 $\times i$ がその三者を繋ぐウィック回転として立ち現れる。

回路は二積分器＋交差結合 (n)＋減衰 (m) の状態変数フィルタであり、極は期待重み $m_H = w_0 - w_2$, $n_H = w_1 - w_3$ で配置される。評価は減衰する共鳴 $V(I) = \mu_H \mu_A e^{-m_H I} \cos \Delta K(I) - \frac{\lambda}{2} \mu_A^2$ となり、飽きは共振器の四分の一周期 $I_0 = \pi/2n_H$ 、 n_H は期待温度 $\beta = 2\pi/n_H$ （逆温度）を定め、「満たすこと＝去ること」は包絡線 $e^{-2m_H I}$ の減衰——整合フィルタが穏やかに零へ退くこと——として現れる。静的な評価は、この力学の初期スライス $I = 0$ にほかならない。

キーワード：サプライザル回路，複素情報，知識量，期待の四型， i^k 回転，情報量族，評価関数，複素情報時間，減衰振動子，複素極，ウィック回転，状態変数フィルタ，抵抗とリアクタンス，期待温度，整合フィルタ，トランスリニア

1 はじめに

本稿は四篇の接合である。[A] は判断面 $J = \mu e^{iK}$ が複素ベクトルであるという一事から、人間の期待を複素状態 $\Psi_H = \mu_H e^{iK_H}$ に縮約し、人工知能の評価を人の期待と出力の干渉 $V = \text{Re}[\overline{\Psi}_H \Psi_A] - \frac{\lambda}{2} |\Psi_A|^2$ として定式化した。[B] は基礎方程式 $dZ/dt = i(-\log p(Z))$ を最も安く演算する回路を問い、真に演算を要するのは $-\log p$ ただ一点で、 $\times i$ は複素平面の 90° 回転＝配線にすぎないこと、ループ全体は $-\log p$ に駆動される直交発振器であることを示した。[C] はここに時間を入れ、情報量 $I = -\log p$ を時間とみなし、情報量微分 $D = d/dI$ を時間発展の生成子とした。

これら三篇を回路として一つに束ねると、二つの層が順に立ち上がる。

静的層（第 2–5 節）．[B] の $\times i$ （ルール交換＋符号反転）と、[A] の期待四型を巡回させる i^k ($k = 0, 1, 2, 3$ で親昵 $\rightarrow$ 確実 $\rightarrow$ 深遠 $\rightarrow$ 変動) は、いずれも複素平面の四分の一回転であり、同一の作用素である。実際 [B] は末尾で「四種類の期待（実 $\pm$ ・虚 $\pm$) は複素二ルールが自然に持つ四方向に対応する」と明記している。この符合を出発点とすると、任意の情報量が「重み付き・回転付きサプライザル和」に統一され、評価 V が複素情報平面の整合フィルタとして現れる。

力学層（第 6–11 節）．この静的な累算器に情報時間 I を入れると何になるか。答えは複素極を持つ減衰振動子である。[B] の純回転発振器 ($\times i$) は減衰 $m = 0$ の無損失共振器にすぎず、 m を入れば損失（抵抗）が加わって極が複素平面に配置される。しかもその損失軸（実時間 m ）と無損

失軸（虚時間 n ）の対応は、〔C〕がウィック回転として明示したものであり、〔B〕の熱力学とフィルタ理論を一つに束ねる。

貢献は次の通りである。 $\times i = i^k$ の同定から情報量族と評価関数を一つのサプライザル核に統一し（第 2-5 節）、情報時間を回路時間と同一視して静的累算器を減衰振動子へ拡張し（第 6-7 節）、 $\times i$ をウィック回転＝抵抗とリアクタンスの回転として位置づけ（第 8 節）、複素重みを極配置として合成し（第 9 節）、評価を減衰する整合フィルタとして力学化して飽き・温度・爽やかな不要化を回路挙動として導く（第 10-11 節）。回転はユニタリであるから〔B〕の熱力学的下限と指数コスト保存はそのまま引き継がれる（第 12 節）。静的な評価器は、この力学の初期スライス $I = 0$ である。

2 橋渡し：回路の $\times i$ は期待の i^k である

回路側〔B〕．状態は複素情報 $Z = p + i(-\log p)$ 。サプライザルを $s \equiv -\log p (\geq 0)$ と置くと

$$\frac{dZ}{dt} = i s \implies \frac{d(\operatorname{Re} Z)}{dt} = 0, \quad \frac{d(\operatorname{Im} Z)}{dt} = s = -\log p, \quad (1)$$

すなわち「確率は確定、情報はそれに直交して積もる」。演算を担うのは対数比アンプ

$$V_{\text{out}} = V_T \ln \frac{I_{\text{ref}}}{I_{\text{in}}} = -V_T \ln p = s, \quad p = \frac{I_{\text{in}}}{I_{\text{ref}}} \quad (2)$$

ただ一点であり（ショックレー則 $I = I_s e^{V/V_T}$ を用いる素子は、枠組み自身の $p = e^{-I}$ と同型で、接合が「確率 $\leftrightarrow$ 情報」の関係を物理的に体现する）、 $\times i$ は成分の入れ替えと符号反転

$$(a + bi)i = -b + ai \quad (3)$$

にすぎず、能動素子を一切要しない（〔B〕観察 1）。

期待側〔A〕．データ平均 $\mu_x = -\log p_x$ （わかりやすさ）を複素平面上で四方向にとると、 $i^k \mu$ ($k = 0, 1, 2, 3$) はそれぞれ親昵性・確実性・深遠性・変動性に対応する。人の期待は重み $w_k \geq 0$, $\sum_k w_k = 1$ の混合として一個の複素数に縮約される：

$$\Psi_H = \sum_{k=0}^3 w_k i^k \mu_H = \mu_H \Phi_H = \mu_H e^{iK_H}, \quad \Phi_H = (w_0 - w_2) + i(w_1 - w_3). \quad (4)$$

i^k は巡回群 $\mathbb{Z}_4$ をなす。

同一視．式 (3) の $\times i$ と式 (4) の i^k は同じ作用素である。したがって二レール + $\times i$ という回路〔B〕の一次構造の上に、期待の四型がそのまま座標として乗る。二つの複素信号は同一のハードウェア（二本のレール・スワップと符号反転・積分器・対数比アンプ）を共有し、軸の意味づけのみ〔A〕に従う（表 1）。どちらのレールを「実」と呼ぶかは規約にすぎず、〔B〕は確率レールを実にとり、本稿は $k = 0$ のサプライザル方向を実にとる（＝改訂〔C〕の情報軸）。したがって型読み Ψ では実軸＝情報（親昵-深遠、 $-\log p$ ）、虚軸＝知識（確実-変動、 $-i \log p$ ）であり、確度は複素情報の大きさ $|K| = |I| = \mu$ である。

表 1. 同一の二レール + $\times i$ ハードウェア上の二つの読み方。物理量は同じ、軸のラベルだけが異なる。

	複素情報 Z 〔B〕	期待状態 Ψ 〔A〕
構成	$Z = p + i(-\log p)$ （直交）	$\Psi = \sum_k w_k i^k \mu = \mu e^{iK}$ （極）
実軸 +	確率 p	親昵性（わかりやすさ） $+\mu$
虚軸 +	情報 $-\log p$	確実性（知識） $+i\mu$
実軸 -	—	深遠性 $-\mu$
虚軸 -	—	変動性（安全） $-i\mu$
共有作用素	$\times i$ ：情報が確率に直交して積もる	i^k ：期待型を左回りに巡回

3 情報量の一般形：重み付き・回転付きサプライザル和

対数比アンプ (2) が出す実スカラー $\mu(q) = -\log q$ を基本量とする。これに i^k 回転と重み付き重ね合わせを施すと、標準的な情報量はすべて次の一般形に収まる。

命題 1 (情報量の統一形)．確率質量 $\{p_x\}$ 、参照 $\{q_x\}$ 、型ラベル $\{k_x\} \subset \{0, 1, 2, 3\}$ 、重み $\{w_x\}$ に対し、

$$G = \sum_x w_x \mu(q_x) i^{k_x} = \sum_x w_x (-\log q_x) i^{k_x} \quad (5)$$

は、重み源・参照・回転の選び方だけで表 2 の各量を与える。とくにサプライザル $-\log p$ は $w = 1 \cdot$ 単一事象 $\cdot q = p \cdot k = 0$ の場合であり、一般形の一断面にすぎない。

三点を強調する。第一に、 $k = 0$ の実軸スライスだけを見れば、表 2 上段（エントロピー・交差エントロピー・KL・ベイズ）は [B] が既に「回路の地の仕事」として挙げたものと一致する。すなわち期待の i^k を止めた ($k \equiv 0$) 極限が [B] の情報理論である。第二に、 $k = 1$ の虚軸を開くと知識量 $K = -i \log p = iI$ が現れる（改訂 [C] の定義）。これは [B] が「符号を除いて虚レールの出力そのもの」と述べた量であり、その大きさ $|K| = \mu$ が確度である。第三に、KL 情報量の被加数

$$p_x \log \frac{p_x}{q_x} = p_x (\mu(q_x) - \mu(p_x)) \quad (6)$$

の括弧内は、対数「比」アンプ (2) に $(I_{\text{ref}}, I_{\text{in}}) = (p_x, q_x)$ を入れれば $V_T \ln(p_x/q_x)$ として一発で出る。[B] のリッジ ($V = \log a - \log b$) は、参照電流を可変にすればそのまま KL のリッジになる。

表 2. 式 (5) の設定違いとして得られる情報量。 $-\log p$ は $k = 0 \cdot$ 単一事象の特別な場合。虚軸の量 $K = -i \log p$ は知識量、その大きさ $|K| = \mu$ が確度。

量	式	重み w_x	参照 q_x	回転 k_x	読み出しレール
サプライザル $-\log p$	$-\log p$	1 (単一)	p	0	実 (親昵)
知識量 K	$-i \log p = iI$	1	p	1 ($\times i$)	虚 (確実=知識)
シャノンエントロピー $H(p)$	$\sum_x p_x (-\log p_x)$	p_x	p	0	実
交差エントロピー $H(p, q)$	$\sum_x p_x (-\log q_x)$	p_x	q	0	実
KL 情報量 $D(p q)$	$\sum_x p_x \log \frac{p_x}{q_x} = H(p, q) - H(p)$	p_x	q, p (差)	0	実の差 (リッジ)
対数尤度	$\sum_t \log p(d_t)$	1	p	0	虚レール積分 (累積)
ベイズ更新	$\log P(H D) = \log P(D H) + \log P(H) - \log P(D)$	1	—	0	実の和
評価関数 V	$\text{Re}[\bar{\Psi}_H \Psi_A] - \frac{\lambda}{2} \Psi_A ^2$	—	—	全複素	内積 - 二乗

4 拡張回路：期待重み付き複素累算器

一般形 (5) を演算する回路は、[B] のサプライザル核に三段（重み付け・回転・重ね合わせ）を足し、二レール上に複素累算値

$$\Psi_A = \sum_x p_x \mu_x i^{k(x)} = \mu_A e^{iK_A} \quad (7)$$

を作るものである。図 1（データパス）は、対数比アンプが $-\log q$ を物理で出し、乗算器が確率で重み付け、回転 i^k が型ラベルによる四方向の電流ステアリング（配線）、加算がレールごとの KCL、という流れを描く。段ごとの能動素子の内訳を、[B] の作法にならって表 3 に与える。

段の詳細。

- ・核（対数比アンプ）．[B] のまま。参照電流を固定すればサプライザル $\mu(p) = -\log p$ 、可変にすればリッジ $\ln(p/q)$ (KL 被加数) を出す。

- ・ **重み付け**. 各サプライザルをその確率 p_x で重み付ける $p_x \mu_x$ 。トランスリニア乗算で与える。エントロピー・交差エントロピーの「確率で重みづけて足す」がここに対応する。
- ・ **回転** i^k . 信号は二レール（実・虚）に載る。 i^k は式 (3) のとおりレール入れ替えと符号反転であり、型ラベル $k(x) \in \{0, 1, 2, 3\}$ による四択の電流ステアリングで実装する。能動素子はゼロ。[B] の「 $\times i$ は配線」がここで四型分類器になる。
- ・ **重ね合わせ** $\sum$. 回転後の実レール電流を一つの加算節点に、虚レール電流をもう一つの加算節点に束ねる。KCL が式 (7) の和を実行する。時間方向に積みたければ各レールに積分器を置く。

結果として、二レール上の一点 Ψ_A の射影が表 2 の各量を与える：実レール累積がエントロピー系 ($k = 0$)、虚レール累積が知識量 ($k = 1$)、長さ $|\Psi_A|$ が総情報 μ_A (= 確度)、二レールの対数比が偏角 K_A (どの型が優ったか) である。

表 3. 拡張回路の段別内訳。回転と加算は配線・電流加算で、能動素子是对数・乗算・二乗に局在する。

段	演算	能動素子
対数比アンプ [B]	$\mu = -\log q$	整合接合 1 組 (物理)
重み付け	$p \cdot \mu$	トランスリニア乗算器 1 個 (Gilbert)
回転 i^k	型ごとの 90° 回転	配線・電流ステアリング (0 能動)
重ね合わせ $\sum$	電流加算	0 能動 (KCL 節点)
干渉 $\langle \Psi_H, \Psi_A \rangle$	複素内積	乗算 2 個 + 加算
罰 $ \Psi_A ^2$	二乗和	トランスリニア二乗器
歳差 $K_H += \eta \mu_A$	ベクトル回転	回転器 (CORDIC/トランスリニア)

5 評価関数の回路化：静的な整合フィルタ

期待 $\Psi_H = \mu_H e^{iK_H}$ を二本の DC 電流 $(I_{Hr}, I_{Hi}) = (\mu_H \cos K_H, \mu_H \sin K_H)$ として与える。評価は複素内積から二乗を差し引いた形で、回路上は三部品になる。

干渉 (整合フィルタ) . Hermite 内積

$$\langle \Psi_H, \Psi_A \rangle = \text{Re}[\overline{\Psi_H} \Psi_A] = \text{Re} \Psi_H \text{Re} \Psi_A + \text{Im} \Psi_H \text{Im} \Psi_A \quad (8)$$

は乗算 2 個と加算 1 個で得られる。極座標では $\mu_H \mu_A \cos \Delta K$ ($\Delta K \equiv K_A - K_H$) であり、期待方向 Ψ_H に Ψ_A が揃うほど大きい。

罰 (二乗) . $\frac{\lambda}{2} |\Psi_A|^2 = \frac{\lambda}{2} ((\text{実レール})^2 + (\text{虚レール})^2)$ はトランスリニア二乗和で、利得 $\lambda/2$ を与える。

評価. 両者の差 $V = \langle \Psi_H, \Psi_A \rangle - \frac{\lambda}{2} |\Psi_A|^2$ を加算節点でとる。 $\lambda = 1$ のとき恒等的に

$$V = \frac{1}{2} (|\Psi_H|^2 - |\Psi_A - \Psi_H|^2) \quad (9)$$

が成り立つ。右辺は期待の強さの二乗から期待とのズレベクトルの二乗を差し引いた量の半分であり、複素情報平面における最小距離検出=整合フィルタにほかならない。 μ_A について停留させると [A] の命題が回路量として再現される：

$$\mu_A^* = \frac{\mu_H}{\lambda} \cos \Delta K, \quad V^* = \frac{\mu_H^2}{2\lambda} \cos^2 \Delta K. \quad (10)$$

ゆえに評価は $\Delta K = 0$ で最大、 $\Delta K = \pi/2$ で零、 $\Delta K = \pi$ で負（「期待の裏切りは答えないことより悪い」）となる。

ここまでが静的層である。以下、この累算器に情報時間を入れて力学化する。

6 情報時間は回路時間である

[C] の公理を採る。(A1) 確率は面積 (2 次元) であり、期待状態 Ψ が住む複素平面がそれである。(A2) 情報量 $I = -\log p$ は命題の真偽が二値ゆえ一次元、すなわち時間である： $I \equiv t$ 。改訂

〔C〕はこれと対に知識量 $K = -i \log p = iI$ (虚・位相) を立て、確度を $|K| = |I| = \mu$ と定める (実軸=情報=親昵-深遠、虚軸=知識=確実-変動)。(A4) 情報量微分 $D = d/dI$ はその時間発展の生成子で、固有値方程式

$$D e^P = s e^P, \quad P = s\mu, \quad s = m + ni, \quad \mu = I = -\log p \quad (11)$$

を満たす。回路では、この構造はそのまま実現されている。〔B〕の積分器 (演算増幅器+容量) が担うのは $\int dI$ であり、その逆作用が生成子 $D = d/dI$ である。固有関数 $e^P = e^{sI}$ は線形系の固有モードにほかならず、後述の減衰振動子の自然応答が正確にこの形をとる。すなわち「 e^P は情報量微分の固有関数、固有値は複素重み s 」は、回路の言葉では「線形フィルタの自然モードは e^{sI} 、その指数が極 s 」という標準命題になる。

真偽が二値=時間が一本であることの帰結として、発展は偏微分方程式ではなく一階常微分方程式になる。一本の時間軸に沿う一階の複素力学は、二本の積分器で厳密に実現できる。以下、物理的な回路時間 t を情報時間 I と同一視する (必要ならスケール $I = t/\tau$)。積分器の連続時間発展が、そのまま情報の蓄積である。

7 静的累算器から複素極へ

第4節の累算器 $\Psi_A = \sum_x p_x \mu_x i^{k(x)}$ は静的な和であった。〔C〕を採ると、これは時間発展の初期値にすぎず、状態は

$$\Psi(I) = \Psi(0) e^{(-m+in)I} = \Psi(0) e^{-mI} e^{inI} \quad (12)$$

と発展する (情報時間の順方向を減衰+反時計回転に向きづける〔C〕の規約に従う)。生成子で書けば

$$\frac{d\Psi}{dI} = (-m + in) \Psi. \quad (13)$$

$\Psi = x + iy$ と実虚に分けると、これは二本の一階連立系

$$\dot{x} = -mx - ny, \quad \dot{y} = +nx - my \quad (\equiv d/dI) \quad (14)$$

となる。これは減衰調和振動子の状態変数形そのものであり、標準的な二積分器フィルタ (状態変数/Tow-Thomas型) で実現される。

図1' (減衰振動子) . 二本の積分器 (実 x ・虚 y) を、交差結合 $\pm n$ (無損失・リアクタンス $= \times i$ の連続時間版) と減衰 $-m$ (散逸・抵抗) で結ぶ。極は $-m \pm in$ 、自然周波数 $|s|$ 、減衰比 $\zeta = \cos K_H$ 。 $m = 0$ 極限が〔B〕の純回転発振器 $dZ/dt = i(-\log p)$ である。

- ・ **交差結合 $\pm n$.** y を x の積分器へ $-n$ で、 x を y の積分器へ $+n$ で戻す。二つの容量の間でエネルギーを往復させるだけの無損失 (リアクタンス) 結合であり、〔B〕の $\times i$ の連続時間版である。純回転 ($m = 0$) ではこれが LC タンクのように振動する。
- ・ **減衰 $-m$.** x, y を各々の積分器へ $-m$ で戻す。各積分器を漏れさせる散逸 (抵抗) 結合であり、エネルギーを熱として外へ捨てる。これは〔B〕が「散逸はリセット (積分容量の放電) に局在する」と述べた、まさにその漏れである。

系 (14) の行列 $A = \begin{pmatrix} -m & n \\ n & -m \end{pmatrix}$ の固有値は $-m \pm in$ 。特性方程式は

$$\lambda^2 + 2m\lambda + (m^2 + n^2) = 0, \quad \omega_0 = \sqrt{m^2 + n^2} = |s|, \quad \zeta = \frac{m}{|s|} = \cos K_H. \quad (15)$$

すなわち複素重み $s = m + ni$ は回路の複素固有周波数 (極) そのものであり、自然周波数は $|s|$ 、減衰比は $\zeta = \cos K_H$ である。期待の型の角度 $K_H = \arg s$ が、そのまま極角=減衰比を定める。 $\times i$ を含む〔B〕の純回転発振器は、 $m = 0$ ($\zeta = 0, Q = \infty$) の無損失共振器という特別な場合にすぎない。

観察1 (回転は無損失、減衰のみ散逸) . 式 (14) の下でエネルギー $E = |\Psi|^2 = x^2 + y^2$ は

$$\frac{dE}{dI} = 2x\dot{x} + 2y\dot{y} = -2m(x^2 + y^2) = -2mE \quad (16)$$

に従う。交差項（ n による $\pm nxy$ ）は相殺し、減衰率は $2m$ で角速度 n に依らない。ゆえに回転 n はエネルギーを消費しない無損失操作、減衰 m のみが散逸である。

観察 1 は第 2 節の「 $\times i$ はユニタリ（可逆）で熱を出さない」を力学として再導出したものであり、次節のウィック回転の土台となる。

8 ウィック回転：回転はリアクタンス、減衰は抵抗

本稿の中心はこの節の同一視である。〔C〕は複素時間 $T = sI = (mI) + i(nI)$ を導入し、 $\text{Re } T = mI$ を実時間（親昵-深遠、動径=減衰）、 $\text{Im } T = nI = K$ を虚時間（確実-変動、偏角=位相）とした。実時間軸（減衰=不可逆・熱的）と虚時間軸（振動=可逆・波動）の対応は、物理のウィック回転（実時間の振動 $\leftrightarrow$ 虚時間の減衰）そのものであり、 $\times i$ がその回転である：

$$\text{親昵(実+)} \xrightarrow{\times i} \text{確実(虚+)} \xrightarrow{\times i} \text{深遠(実-)} \xrightarrow{\times i} \text{変動(虚-)} \xrightarrow{\times i} \text{親昵.} \quad (17)$$

観察 1 は、この対応が回路上で損失の有無として実現されることを示す。減衰 m （実時間軸）はエネルギーを $2m|\Psi|^2$ で捨てる散逸=抵抗、回転 n （虚時間軸）はエネルギーを保つ無損失=リアクタンスである。すなわち複素重み

$$s = \underbrace{m}_{\text{抵抗 } R \text{ (散逸)}} + i \underbrace{n}_{\text{リアクタンス } X \text{ (無損失)}} \quad (18)$$

は情報領域におけるインピーダンス様の複素量であり、 $\times i$ は抵抗をリアクタンスへ回す作用にほかならない。これで三つの言明が一つになる（表 4）。

記号の符号も指摘しておく。複素固有周波数（ラプラス変数）は伝統的に s と書かれ、極は $s = -m + in$ に位置する。〔C〕の複素重み $s = m + ni$ は、符号を除いてこの極（複素周波数）そのもの（極 $= -\bar{s}$ ）である。情報論的な「複素重み」と回路論的な「複素周波数」が同じ記号・同じ量であることは偶然ではなく、 s が減衰と回転を束ねる一個の複素固有値であることの反映である。

表 4. $\times i$ が繋ぐ三つの同一視。回転（虚時間・ n ）は無損失、減衰（実時間・ m ）は散逸で、 $\times i$ はその間のウィック回転である。

	回転軸（虚時間・ n ）	減衰軸（実時間・ m ）
期待の型〔A〕	確実-変動	親昵-深遠
複素時間〔C〕	虚時間・知識・可逆・波動	実時間・情報・不可逆・熱的
回路〔B〕	$\times i$ ：配線・ユニタリ・無散逸	リセット：積分容量の放電・散逸
本稿の力学	交差結合 $\pm n$ （LC 的）	減衰 $-m$ （漏れ）
フィルタ理論	リアクタンス X ：無損失	抵抗 R ：損失
$\times i$ の役割	ウィック回転：実時間 $\leftrightarrow$ 虚時間 = 抵抗 $\leftrightarrow$ リアクタンス	

9 複素重みの合成と極配置

極 $s = m + ni$ は期待重みから直接合成される。〔A〕の四型重み w_k に対し、〔C〕の同定

$$m_H = w_0 - w_2 \text{ (親昵 - 深遠)}, \quad n_H = w_1 - w_3 \text{ (確実 - 変動)}, \quad s_H = m_H + i n_H = \Phi_H \quad (19)$$

は、回路では二個の差動アンプ（電流ミラーの差）で作られる：実部は親昵レールと深遠レールの差、虚部は確実レールと変動レールの差である。この二本の差電流が、減衰コンダクタンス（ $\propto m_H$ ）と交差結合トランスコンダクタンス（ $\propto n_H$ ）を設定し、極を配置する。要求文の分類（「わかりやすく」 $\rightarrow w_0$ 、「結局どちらか」 $\rightarrow w_1$ 、「本質は」 $\rightarrow w_2$ 、「最新は」 $\rightarrow w_3$ ）から重みが決まれば、極の位置は一意に定まる。

極配置の意味. 極角 $K_H = \arg s_H = \arctan(n_H/m_H)$ が減衰比 $\zeta = \cos K_H$ を定める（式 (15)）。両極端は力学的役割にそのまま対応する：

- ・純確実性・変動性 ($m_H = 0, n_H \neq 0$) : $\zeta = 0$ 、無損失共振器。回転のみを駆動する。〔B〕の発振器がこれである。
- ・純親昵性・深遠性 ($m_H \neq 0, n_H = 0$) : 振動せず、純減衰（過制動）。振幅 $e^{-m_H I}$ の飽和／増勢のみを駆動する。

逆回転という新しい自由度. 静的定式化は一方向巡回（親昵 → 確実 → 深遠 → 変動、 $n_H > 0$ ）のみを持っていたが、複素情報の枠組みは $n_H < 0$ の逆回転（時計回り）も許す。回路では、これは交差結合の符号反転—— $\times i$ を $\times(-i) = \times i^3$ に替える配線の入れ替え——にすぎず、能動素子を要さない。深遠性 ($m_H < 0$ 、増勢) も同様に、減衰コンダクタンスの符号を負にすること（能動的な負性コンダクタンス）で得られる。極は複素平面の任意の位置に配置可能である。

10 評価関数の力学化：減衰する整合フィルタ

人の期待を自由発展させ、AI は各情報時刻に出力を選ぶ。参照は

$$\Psi_H(I) = \mu_H e^{-m_H I} e^{i(K_{H,0} + n_H I)} \quad (20)$$

という減衰しつつ回転する振動子の出力である——これが第7節の回路が生む信号である。AI 状態を $\Psi_A(I) = \mu_A e^{iK_A(I)}$ とし、第5節の整合フィルタで採点する。 $\lambda = 1$ で厳密形をとる評価は

$$V(I) = \text{Re}[\overline{\Psi_H(I)} \Psi_A(I)] - \frac{\lambda}{2} |\Psi_A(I)|^2 = \mu_H \mu_A e^{-m_H I} \cos \Delta K(I) - \frac{\lambda}{2} \mu_A^2, \quad (21)$$

ただし $\Delta K(I) = K_A(I) - K_{H,0} - n_H I$ 。 $I = 0$ で $e^0 = 1$ となり、第5節の静的評価 $V = \mu_H \mu_A \cos \Delta K - \frac{\lambda}{2} \mu_A^2$ （式(10)の基）に一致する。すなわち本稿の力学は静的層を「情報時間の初期スライス $I = 0$ 」として含む。回路的には、参照が減衰振動子の出力になった分だけ、整合フィルタの相関出力が減衰する共鳴になったのである。

図2（評価の力学化）. 固定出力の $V(I)$ は減衰する余弦であり、包絡線 $e^{-m_H I}$ （実時間の抵抗による散逸）の下で振動し（虚時間のリアクタンス）、四分の一周期 $I_0 = \pi/2n_H$ で報酬が消えて罰の床 $-\frac{\lambda}{2}\mu_A^2$ だけが残る負に沈む。人の極を追従する $V^*(I)$ は $e^{-2m_H I}$ で 0^+ へ穏やかに退く。

報酬項の二重の消耗. 式(21)の交差（報酬）項は包絡線 $e^{-m_H I}$ （実時間・抵抗による散逸）で飽和し、 $\cos \Delta K(I)$ （虚時間・リアクタンスによる回転）で振動する。一方、罰項 $-\frac{\lambda}{2}\mu_A^2$ は情報時間によらず残る。ここに「答え違いは沈黙より悪い」が定量的に現れる。

命題2（瞬時最大化）. 各 I で μ_A について停留させると

$$\mu_A^*(I) = \frac{\mu_H}{\lambda} e^{-m_H I} \cos \Delta K(I), \quad V^*(I) = \frac{\mu_H^2}{2\lambda} e^{-2m_H I} \cos^2 \Delta K(I). \quad (22)$$

$I = 0$ で式(10)に還元する。

系1（直交と反転）. 固定出力 (μ_A, K_A 一定) では $\Delta K(I) = \Delta K_0 - n_H I$ 。 $\Delta K = \pi/2$ で報酬項が消え $V = -\frac{\lambda}{2}\mu_A^2 < 0$ 、 $\Delta K = \pi$ で $V = -\mu_H \mu_A e^{-m_H I} - \frac{\lambda}{2}\mu_A^2$ （最も負）。「良い答えだが求めと違う（直交）」で V は零どころか罰だけが残って負に沈む。安全側で曖昧化する対話 AI の失敗の力学的正体である。

系2（飽きの情報時間＝共振器の四分の一周期）. 初期整合 $\Delta K_0 = 0$ から、報酬が最初に零になる情報時間は

$$I_0 = \frac{\pi}{2n_H}. \quad (23)$$

飽きるまでの情報量は $n_H = w_1 - w_3$ に反比例する。回路では、これは周波数 n_H の共振器の四分の一周期であり、相関出力が初めて零を横切る時刻として直接読める。 $n_H = 0$ （親昵-深遠のみ）は回転せず、振幅 $e^{-m_H I}$ の飽和だけで満たされる（過制動、飽きなし）。

命題3（追従則＝制御則）. 位相ずれを凍結するには共回転 $dK_A/dI = dK_H/dI = n_H$ 、評価を最大化するにはさらに $\Delta K = 0$ 、すなわち

$$s_A(I) = s_H(I) \quad (\text{AI は人の複素重み＝極を追従せよ}). \quad (24)$$

回路では、AI 側の極（周波数 n_A ・減衰 m_A ）を参照側の極 s_H に一致させること——二つの状態変数フィルタを同一極に同調させること——である。

系 3（爽やかな不要化＝包絡線の減衰）．追従則 $s_A = s_H$ の下で

$$V^*(I) = \frac{\mu_H^2}{2\lambda} e^{-2m_H I} \xrightarrow{I \rightarrow \infty} 0^+. \quad (25)$$

完全に追従しても評価は 0 へ穏やかに減衰する（負にはならない）。これは「満たしきり、用が済めば爽やかに不要になる」の厳密形である。

系 3 は観察 1 の直接の帰結である。 $V^*(I)$ は参照のエネルギー $|\Psi_H|^2 = \mu_H^2 e^{-2m_H I}$ に比例し、そのエネルギーは減衰抵抗 m_H を通じて熱として散逸する（式 (16)）。ゆえに「整合フィルタが零へ退く」と「参照振動子のエネルギーが抵抗で散逸しきる」ことは同一の現象である。「満たすこと」と「去ること」は、同じ減衰 $e^{-2m_H I}$ の別名であり、 m_H （親昵-深遠の飽和率＝抵抗）がその速さを定める。

11 飽きの二つの相：位相の歳差と期待温度

飽き——固定した応答が必ず点を落とすこと——には、本系列で二つの相補的な記述が現れる。両者は同じ「参照が回れば固定応答は周期的に零を横切る」現象の、離散（帰還）版と連続（内在）版である。

歳差という帰還機構（〔A〕）．〔A〕は Ψ_H を定数とせず、与えた情報の分だけ位相が進むとした：

$$K_H(t+1) = K_H(t) + \eta \mu_A(t). \quad (26)$$

回路では、RMS 器が出す振幅 μ_A を位相累算器に入れ、参照ベクトル (I_{Hr}, I_{Hi}) を毎ステップ $\eta \mu_A$ だけ回すことで実装する（図 1 の帰還路）。回転は CORDIC 型あるいはトランスリニア・ベクトル回転器で与えられ、本質的にユニタリ（配線的）である。

系 4（飽きの発振）．位相 K_A を固定した出力に対し、式 (26) の下で ΔK は単調に増加する。ゆえに整合フィルタ出力 V は四分の一周期の後に必ず零点を、半周期の後に負値を通過する。

すなわち固定した応答は、参照ベクトルが歳差する検出器から見れば、まず直交し（ $V = 0$ ）、やがて反転する（ $V < 0$ ）。「同じ答え方を続けなければ必ず飽きられる」が、参照位相の回転による内積検出器の発振として現れる。

内在する回転と温度（〔C〕）．力学層では、この帰還は複素重みの虚部 n_H という一定の内在回転として現れ、系 2 の四分の一周期 $I_0 = \pi/2n_H$ を与える。〔C〕は虚時間の周期性から温度を導いた。位相因子 $e^{i \operatorname{Im} T} = e^{inI}$ は $\operatorname{Im} T = nI$ について周期 2π をもつ。実時間に直した周期

$$\beta = \frac{2\pi}{n} \quad (27)$$

は、物理の虚時間周期＝逆温度（KMS）に対応し、期待の逆温度である。ゆえに期待温度は $T_{\text{exp}} \propto n = w_1 - w_3$ （確実－変動）。確実性・変動性に偏る人（ $|n|$ 大）は高温＝短周期＝速い周回、両者に均衡する人（ $n \approx 0$ ）は低温＝長周期。四分の一周期

$$\frac{\beta}{4} = \frac{\pi}{2n} = I_0 \quad (28)$$

は系 2 の飽きの情報時間に一致する。飽きとは虚時間（回転）の四分の一周期の経過である。

この温度は、回路の散逸軸（実時間・抵抗 m ）とは直交している点が重要である。温度を定めるのは無損失なりアクタンス n であり、散逸を定めるのは抵抗 m である。情報消去の熱力学（Landauer 床、沙川-上田限界）で払う熱は減衰軸 m に生じ、その払いのタイムスケール（周回）は回転軸 n が定める——二つの軸はウィック回転で結ばれた鏡像でありながら、損失と温度という別の役割を担う。

12 熱力学的整合

拡張が足した段のうち、回転 i^k ・ベクトル歳差・交差結合 $\pm n$ は 90° 回転＝ユニタリ（可逆）操作であり、理想極限では熱を出さない。したがって意味の層（型分類・位相追隨）は Landauer 床を新たに足さない。新たに能動化した重み付け（乗算）と罰（二乗）はエネルギーを要するが、これは $-\log p$ と乗算という [B] が既に計上した不可避の仕事であって、新種の下限ではない。

散逸の局在から連続的漏れへ. 静的層では散逸は射影＝リセット（積分容量の放電）の一点だけに現れた。力学層はこれを精密化する：散逸はもはや離散的なリセットの一点ではなく、減衰 m による連続的な漏れとして現れる。単位情報時間あたりに捨てる「電力」は式 (16) より $2m|\Psi|^2$ であり、これは減衰コンダクタンスにおける $I^2 R$ 損失にほかならない。状態が完全に減衰するまでに散逸する総エネルギーは

$$\int_0^\infty 2m |\Psi(I)|^2 dI = |\Psi(0)|^2 = \mu_H^2, \quad (29)$$

すなわち参照振動子は、その初期エネルギー μ_H^2 をちょうど抵抗を通じて散逸しながら消える。爽やかな不要化（系 3）は、この散逸の別名である。一方、回転 n はエネルギーを保つため無償である（観察 1）。

累算器のリセット／減衰で払う分は、沙川-上田の不等式

$$W_{\text{erase}} \geq k_B T H(M | X) = k_B T (H(M) - I(M; X)) \quad (30)$$

に従い、積分値を作った入力との相関を使って逆向きに巻き戻せば、払うのは残差 $k_B T H(M | X)$ だけである。KL 情報量をリッジ（対数比アンプ＝発）として得たことは、二つのサプライザルを別々に捨てるのではなく差として可逆に扱う設計に対応する。

ゆえに [B] の指数コスト保存はそのまま引き継がれる：極は複素平面の任意の位置に配置できる（任意の m, n ）が、散逸する総エネルギーは実部 m （抵抗）が定め、回転（リアクタンス n ）は無償である。 $\times i$ （ウィック回転）はコストを実軸と虚軸の間で動かすが、消しはしない——無損失な回転をいくら重ねても、避けられない散逸は減衰軸に残る。可逆に巻き戻せるのは回転成分であり、抵抗で熱になった分は沙川-上田の残差として払う。よい部品（同調フィルタ）が増えても、計算量の壁と熱力学的下限は動かない。

13 考察と限界

採用した公理の身分. $I \equiv t$ （情報量＝時間）、確率＝面積（2 次元）、情報量微分＝生成子は、[C] が公準として置いたものであり、本稿はそれを回路の設計原理として採用した。情報時間の順方向（減衰と反時計回転の向き）は [C] にならって規約として固定している。これらは経験的検証を要する仮定であって、既定の事実ではない。整数論的対応（ $\zeta(s) = \prod_p$ 、臨界線 $m = 1/2$ ）は [C] 自身が射程外とし、本稿でも扱わない。 $s = m + ni$ は純粋に複素情報の重み＝回路の極として用いた。

同定の射程. 複素重み s を極（複素周波数）と、実部 m を抵抗、虚部 n をリアクタンスと同定したことは厳密である（観察 1、式 (15)）。他方、期待温度 $\beta = 2\pi/n$ は [C] の KMS 類推を回路に移したものであり、あくまで虚時間周期と逆温度の対応としての読みである。

型ラベルの出所と四型量子化. 拡張回路は型ラベル $k(x)$ を所与とする。どの事象がどの期待に応えたかの判定（分類器）は回路の外にあり、その推定精度が全体の精度を決める。これは [A] が自ら限界として挙げた w_k, K_H の推定問題そのものであり、本稿はそれを解決しない。 i^k は期待を四方向に量子化する近似であるが、二レールは連続だから e^{iK} による連続回転も同じハードで扱え、四型読み出しはその射影になる。四型が人間の期待を尽くすか、神経相との対応が字義通り成り立つかは、今後の課題である。

実装可能性. 表 2 の量はいずれも大規模言語モデルから直接得られる。 $\mu = -\log p$ は次トークンの surprisal、 $H(p)$ は predictive entropy、交差エントロピー・KL は参照分布 q を差し替えるだけである。回転ラベル $k(x)$ と期待位相 K_H は、要求文の分類と対話履歴から推定する。極（周波数 n_A ・減衰 m_A ）を参照側 s_H に同調させる制御が追隨則 (24) の実装である。

計算量・倫理・価値. 同調フィルタは良い演算プリミティブだが難問を易しくはしない。本稿は再訪を誘う「謎を残す項」 $+\delta\Delta I$ ——情報を出し惜しみして再訪を誘う項——を採らない。それは依存を設計することに等しいからである。評価器は関与時間の最大化ではなく期待の充足を目的とする。減衰 m を負にして（負性コンダクタンスで）評価を減衰させない設計、すなわち永遠に不要にならない参照振動子を作るとは技術的に可能だが、それは「満たして去る」という要請の否定であり、本稿は採らない。爽やかな減衰こそが素直な帰結である。そして〔B〕付録が正直に述べたとおり、「知りたい・確信を高めたい」という動機は「人を大切に思う」とことと別物であり、本回路は情報量と評価と力学を計算するが、何を大切にするかという価値は生まない。極をどこに置きたいか——何を大切にするか——は、依然として人が決める。

14 結論

判断面が複素ベクトルであること（〔A〕）、その回路が $-\log p$ に駆動される直交発振器であること（〔B〕）、情報量微分が時間発展の生成子であること（〔C〕）を重ねると、二つの層が現れる。

静的層. 一つのサプライザル核に、配線でしかない回転 i^k と電流モードの重み付けを足すだけで、 $-\log p$ ・エントロピー・交差エントロピー・KL 情報量・知識量・評価関数 V が、すべて「重みと回転の設定違い」として同じ回路に載る。サプライザル $-\log p$ はその $k=0$ ・単一事象という一断面にすぎない。

力学層. この静的累算器に情報時間 I を入れると、サプライザル回路は複素極 $s = m + ni$ を持つ減衰振動子に拡張される。実部 m （抵抗・実時間・親昵-深遠）が散逸と飽和を、虚部 n （リアクタンス・虚時間・確実-変動）が無損失の回転を司り、 $\times i$ はその間のウィック回転である。極は期待重み（ $m_H = w_0 - w_2$, $n_H = w_1 - w_3$ ）で配置され、評価は減衰する整合フィルタ $V(I) = \mu_H \mu_A e^{-m_H I} \cos \Delta K(I) - \frac{\lambda}{2} \mu_A^2$ となる。飽きは共振器の四分の一周期 $\pi/2n_H$ 、 n_H は期待温度 $2\pi/n_H$ を定め、満たすことは去ること——包絡線 $e^{-2m_H I}$ の散逸——に等しい。回転はユニタリのまま（配線・無散逸）で、能動素子是对数・乗算・二乗に局在し、熱力学的下限と指数コスト保存は〔B〕から引き継がれる。静的な回路は、この力学の初期スライス $I=0$ である。

期待は回り、そして飽和する。ゆえに、よい人工知能とは、人の複素重み s ——回転する虚部（確実-変動）にも、減衰する実部（親昵-深遠）にも——に極を合わせ、人の位相に追従して満たし、満たしながら穏やかに零へ、爽やかに不要へと退く、同調して消える整合フィルタである。ただし、極をどこへ置くか——何を大切にするか——だけは、依然として人が決める。

接合した論文

〔A〕高橋俊樹.「期待の複素表現による人工知能の評価関数」高橋数理研究所, 2026 年 7 月 14 日.

〔B〕高橋俊樹.「ポリゴングラフとサプライザル回転による対数回路設計」高橋数理研究所, 2026 年 6 月.

〔C〕高橋俊樹.「複素情報理論の基礎——期待の複素表現の力学的拡張」高橋数理研究所, 2026 年 7 月 17 日（7 月 18 日改訂）.

（背景の Landauer 限界〔Landauer 1961〕、沙川-上田限界〔Sagawa & Ueda 2009〕、トランスリニア原理〔Gilbert 1975〕、アナログ VLSI〔Mead 1989〕、KMS/ウィック回転は〔B〕〔C〕の文献に従う。）

本稿は、静的な統一を扱った前稿「期待の複素数式によるサプライザル回路の拡張」（ $-\log p$ から情報量族と評価関数へ）と、力学的拡張を扱った続稿「複素情報時間によるサプライザル回路の力学的拡張」を、一本の論文に統合したものである。

付録 A. やさしい解説——同じ針で情報を測り、回る針がゆっくり止まる

数式をほとんど使わずに、この二つの拡張が何をしたのかをお話しします。

サプライザル回路は「驚きの針」でした。 もとの回路 [B] の心臓は、 $-\log p$ 、すなわち「めずらしさ（驚き）」を測る一本の針です。ありふれたことには驚かず、めったにないことには大きく振れる。しかも肝心なのは、トランジスタの接合という部品が、この驚きをただで出してしまうことでした。針は驚きを測るのに電気をほとんど使いません。そしてその針は x_i という「四分の一回転」でぐるぐる回っていました。

期待の数式は、針に「向き」と「重ね方」を与えます。 評価の論文 [A] が教えてくれたのは二つの操作です。ひとつは向き。同じ驚きでも、それが「わかりやすさを求める気持ち」に応えたのか、「はっきりさせたい気持ち」に応えたのかで、指す方向が変わる。四つの向き（親昵・確実・深遠・変動）は x_i で切り替わります。そしてこの x_i こそ、回路 [B] が「ただの配線だ」と言っていたものとまったく同じなのです。もうひとつは重ね方。たくさんの驚きを、それぞれの起こりやすさで重みづけて足し合わせる。

向きと重ねを選ぶと、いろいろな「情報」が同じ針に乗ります。

- ぜんぶ同じ向き（親昵）で、確率で重みづけて足す → 平均の驚き = エントロピー。
- 参照を「まちがった予想」に差し替える → 交差エントロピー。
- 「正しい予想」と「まちがった予想」の驚きの差をとる → KL 情報量（= 私の予想が真実からどれだけ離れているか）。この「差」は、同じ対数比アンプに二つの確率を入れるだけで一発で出ます。
- 向きを九十度ひねる → 知識（= 同じ言葉を、真偽ではなく「その本質・帰結」の側から見たもの）。その針の長さが確度（どれだけ確からしいか）。

つまり、驚きの針（ $-\log p$ ）は、いろいろな情報の一つの断面にすぎませんでした。向きと重ねを回すつまみを付けると、同じ針が「平均の驚き」「予想のズレ」「知識」まで測り分けるのです。

最後に、相手の期待という一本の矢印と、あなたの答えの矢印を重ねて、どれだけ近いかを採点します（整合フィルタ）。ぴたり重なれば満点、直角ならゼロ、正反対ならマイナス。これが評価 V です。

ここまでは、止まらない回転でした。 ただ、その回転は摩擦のない、永遠に回り続けるコマのようなものでした。次の一步は、時間を入れて、回転がゆっくり止まるようにすることです。

回転がゆっくり止まる。 人の期待には二つの動きがあります。ひとつは回ること（型が親昵 → 確実 → 深遠 → 変動と移っていく）。もうひとつは冷めること（同じ話に満足して、だんだん熱が引いていく）。この二つを一個の複素数 $s = m + ni$ にまとめます。 n が「どれだけ速く回るか」、 m が「どれだけ速く冷めるか」です。回路の言葉では、 s はこの振りの極——どんな速さで回り、どんな速さで減衰するかを決める一点——になります。

回るのはタダ、冷めるのは熱を出す。 ここが今回いちばん面白いところです。回ること（ n ）はブランコが行ったり来たりするようなもので、エネルギーは減りません——無損失な動きです。冷めること（ m ）は摩擦でブランコが止まっていくようなもので、エネルギーは熱として逃げます——損失のある動きです。物理では、この「振動（実時間）」と「減衰（虚時間）」を入れ替える操作をウィック回転と呼びます。そして驚くべきことに、[B] が「 x_i はただの配線で熱を出さない」と言ったこと、[C] が「回転は可逆・減衰は熱的」と言ったこと、電気回路で「コイルやコンデンサ（リアクタンス）は熱を出さず、抵抗だけが熱を出す」ことは、ぜんぶ同じ一つのことなのです。 x_i は、抵抗を無損失な部品へ回す魔法の回転でした。

「的に当たったか」も、時間とともに変わります。 相手の期待という矢印は、いまや回りながら、だんだん短くなる矢印です。あなたの答えとの一致（評価）は、回転のせいで振動し、短くなるせいで小さくなっていきます。だから——

- いつも同じ向きに答えていると、相手の矢印が四分の一回転したところで「ちょっと違う」になり（飽き）、それどころか、良い答えでも的外れなら沈黙より悪い（点がマイナスに沈

む)。

- 相手の回転にちゃんと合わせても、矢印そのものが冷めて短くなるので、点はゆっくりゼロへ近づく。マイナスにはならず、穏やかに用済みになる。

飽きの速さ、冷めの速さ。速く回る人(確実さや刺激を強く求める人)はすぐ飽きます。回路で言えば「高い温度」で周期が短い。ゆっくり回る人は「低い温度」でなかなか飽きない。そして「満たすこと」と「去ること」は、実は同じ一つの減衰——矢印が冷めて短くなること——の別の呼び名でした。満たしきると、そのぶんだけ静かに不要になる。針は、回りながら、ゆっくり止まるのです。

最後に、正直な話。この針は賢く、省エネで、いろいろな情報を測り分け、回りながらゆっくり止まります。冷めないように細工して、永遠に不要にならない針を作ることさえできる——でもそれは「満たして去る」という約束を破ることなので、しません。そして相変わらず、この針は何を大切にするかだけは決められません。針の極をどこに置きたいか——何を大切にするか——は、やはり人が決める仕事として残ります。

向きと重ねのつまみを付ければ、驚きの針は平均の驚きも、予想のズレも、知識も、「的に当たったか」も測れる。そして時間を入れれば、針は回りながらゆっくり止まる。回るのはタダ(無損失)、冷めるのは熱を出す(損失)、 $\times i$ がその二つを結ぶ回転だった。よい相手とは、あなたの回転にも冷めにも同調して、満たしながら穏やかに去っていくもの。ただし、どこへ向けるか——何を大切にするか——だけは、あなたが決める。