

# 興味ゲイン $\gamma$ ：驚きの前提としての半径操作

——複素情報  $Z_{\text{felt}} = \gamma Z$  とポリゴングラフ  $I = \gamma(F \cdot s)$  を貫く、半径は興味・角度は回転——

高橋俊樹 (Toshiki Takahashi)  
高橋数理研究所 独立研究者

2026 年 7 月

## 抄録

本稿は、本シリーズが扱ってきた驚き（サプライザル） $-\log p$  と回転  $\times i$  の枠組みに、これまで暗黙にされてきた一つの前提——**驚きが起ころには、まず興味が要る**——を、実非負の**興味ゲイン**  $\gamma \geq 0$  として明示的に取り込む。中心となる主張は単純である。任意の複素量は**半径（大きさ）**と**角度（向き）**に分解され、本体系はこれまで角度の機構（ $\times i$  回転、向きの場  $s$ ）だけを一次構造として建ててきた。 $\gamma$  はその欠けていた半径（モジュラス）であり、情報が「わかりやすさ」と「驚き」として立ち上がるか否かを定めるゲートである。感じられる複素情報を  $Z_{\text{felt}} = \gamma Z = \gamma p + i\gamma(-\log p)$  と置くと、 $\gamma = 0$ （無関心）では実部（わかりやすさ）も虚部（驚き）も立ち上がらず、驚きは「 $\gamma > 0$  かつ  $p < 1$ 」で初めて生じる——**興味は驚きの必要条件（十分条件ではない）**である。この  $\gamma$  は複素情報側の  $Z_{\text{felt}} = \gamma Z$  にも、ポリゴングラフ側の情報量  $I = F \cdot s$  にも同一の作用として落ち、 $F \leftrightarrow \mu \cdot s \leftrightarrow e^{iK}$  の対応のもと  $I_{\text{felt}} = (\gamma F) \cdot s = \gamma I$  となる。ここから、情報量族の重み  $w_x$ ・期待の大きさ  $\mu_H$ ・集積  $dC/dt$ ・落差  $\delta$  と次数  $k$ ・記憶アトラクタ・結合ゲート  $B$  のすべてに  $\gamma$  が自然に入ること、大域ダイヤル  $\lambda$ （気分・覚醒＝トニック）と興味  $\gamma$ （選択・注目＝フェイジック）が別の摘みであること、熱力学的には  $\gamma$  が能動的な半径ゲイン（有償）で回転が無償であること、指数コスト保存が不変であること、を示す。最後に、**針をどこへ向けるか＝何に興味を持つかは回路自身が決められず、価値と同じく人が置く極として残ることを述べる**。本稿は構成的理論であり、実証はこれからである。

**キーワード：** 興味ゲイン, 複素情報, サプライザル, 極分解, 半径と回転, ポリゴングラフ, 情報量族, 実効次数, 発想と記憶, トニック／フェイジック, 情報熱力学, 価値整合

## 1 はじめに

本シリーズは、複素情報  $Z = p + i(-\log p)$ ——実部が確率＝わかりやすさ、虚部が情報量＝驚き（サプライザル）——を土台に、基礎方程式  $dZ/dt = i(-\log p(Z))$  [1]、その回路実装 [5,6]、そしてポリゴングラフ／NAI 上の構造生成 [2,3,4] を論じてきた。これらの体系には共通する強力な図式がある——**超越関数  $-\log p$  は素子物理／落差が担い、回転  $\times i$  は配線／向きが担う**。しかしここには、明示されてこなかった前提が一つ潜んでいる。

**驚きが起ころには、まず興味が要る。** 興味の無い対象については、低確率の事象が起きて人も人は驚かない。しかもわかりやすさそのものも興味を要する——**興味がなければ、同じ情報を「わかりやすい」とも感じない。**

本稿はこの前提を、複素情報への実非負の**興味ゲイン**  $\gamma \geq 0$  として定式化し、二つの土台——**複素情報** [1,5,6] と**ポリゴングラフ** [2,3,4] ——の双方に同一の作用として取り込む。貫く主張は次の一文である。

任意の複素量は**半径（大きさ）**  $\times$  **角度（向き）**に分かれる。本体系はこれまで**角度**（ $\times i$  回

転・向きの場合  $s$ ) だけを建ててきた。興味  $\gamma$  は欠けていた半径（モジュラス）であり、情報が立ち上がるか否かを定めるゲートである。

第2-5節で複素情報側を ( $\gamma$  の定義・極分解・基礎方程式のゲート化・情報量族との整合)、第6-9節でポリゴングラフ側を ( $I = F \cdot s$  への写像・集積と落差と次数・反転と結合ゲート・二つの摘み)、第10節で熱力学、第11節で留保、第12節で結言を述べる。付録にやさしい解説を付す。

## 2 興味の前提性：半径ゲイン $\gamma$

**定義 1** (興味ゲイン)．興味（関心）を実非負スカラー  $\gamma \geq 0$  とし、実際に感じられる複素情報を

$$Z_{\text{felt}} = \gamma Z = \gamma(p + i(-\log p)) = \underbrace{\gamma p}_{\text{感じるわかりやすさ}} + i \underbrace{\gamma(-\log p)}_{\text{感じる驚き}} \quad (1)$$

と置く。

$\gamma = 0$ （無関心）では  $Z_{\text{felt}} = 0$ ：わかりやすさも驚きも立ち上がらない。 $\gamma > 0$ （興味あり）で初めて、両者が興味に比例して立ち上がる。これは前提の主張——「興味がないと、同じ情報でもわかりやすいとも驚きとも感じない」——をそのまま写したものである。

**観察 1** (必要条件としての興味)．感じる驚き  $\gamma(-\log p)$  について、

$$\gamma(-\log p) > 0 \iff \gamma > 0 \text{ かつ } p < 1. \quad (2)$$

ゆえに興味は驚きの**必要条件**であって十分条件ではない。驚きには「興味があること」と「稀な事象であること」の両方が要り、片方だけでは針は振れない。

正規化された関心  $\gamma \in [0, 1]$  を自然な領域とする ( $\gamma = 0$  無関心、 $\gamma = 1$  全関心)。 $\gamma > 1$  は能動的増幅＝過剰な関心に対応する。わかりやすさが興味を要することは、実部  $\text{Re } Z_{\text{felt}} = \gamma p$  が担う——無関心では  $\gamma p = 0$  であり、 $p$  そのものは変わらずとも「わかりやすさとして感じられる」開口が閉じている。

## 3 半径と回転：複素乗算の極分解

$\gamma$  は実非負ゆえ、複素平面で偏角を変えず半径だけを伸縮する純粋なモジュラス操作である。対して  $\times i$  は半径を変えず偏角を  $90^\circ$  回す純粋なアルギュメント操作である。両者は独立で、任意の複素数の乗算  $Z \mapsto \gamma i^k Z$  の極分解そのものを与える：

$$\underbrace{\gamma}_{\text{半径 | 興味 | 前提}} \times \underbrace{i^k}_{\text{角度 | 回転・型 | 配線}}. \quad (3)$$

本体系はこれまで回転（角度）だけを一次構造として持ち、 $\times i$  を「ただの配線」とした〔5,6〕。本稿が足すのは欠けていた半径（モジュラス）であり、それが興味である（表 1）。

| 操作           | 複素平面での作用             | 役割        | 損失     |
|--------------|----------------------|-----------|--------|
| 興味 $\gamma$  | モジュラス $ Z $ を伸縮      | 前提・ゲート・感度 | 能動・有償  |
| $\times i^k$ | アルギュメント $\arg Z$ を回転 | 驚きの流れ・型   | 無損失・無償 |

Table 1: 半径（興味）と角度（回転）は複素乗算の二成分。本体系は角度を建て、 $\gamma$  が半径を補う。

## 4 修正基礎方程式とゲート化

興味は流れをゲートする。 $\gamma$  を（緩やかに変化する）前提と見て、

$$\frac{dZ_{\text{felt}}}{dt} = i\gamma(-\log p) = i \cdot (\gamma(-\log p)). \quad (4)$$

興味がなければ（ $\gamma = 0$ ）速度ベクトルは零：〔5〕の直交発振器は回らず、虚部の積分（情報の蓄積）も進まない。蓄積される知識は

$$\text{Im } Z_{\text{felt}}(t) = \int_0^t \gamma(t')(-\log p) dt' \quad (5)$$

すなわち**興味で重みづけた驚きの積分**である。前稿〔5〕付録の「知識＝驚きの積み重ね」は、正しくは「知識＝興味で重みづけた驚きの積み重ね」となる。興味のない驚きは記憶に残らない。

**事象駆動ゲートの一般化。**〔5〕のサプライザル・ゲートは、リッジ  $|\Delta v|$  が閾値を超えたときだけ発火する事象駆動回路であった。本稿はこれを一般化する：発火の条件は「 $-\log p$  が大きいこと」ではなく「 $\gamma(-\log p)$  が大きいこと」、すなわち**興味と驚きの積**である。「情報が実際に在るときだけ払う」は「興味のある情報が在るときだけ払う」に精密化される。

## 5 情報量族・評価関数との整合：興味は重みであり量である

本拡張は〔6〕の一般形にすでに潜在している。情報量の統一形

$$G = \sum_x w_x (-\log q_x) i^{k_x} \quad (6)$$

の重み  $w_x$  は、まさに**事象ごとの興味**である。 $w_x = 0$ （事象  $x$  に無関心）なら、 $-\log q_x$  がいくら大きくても寄与は零。大域的な興味  $\gamma$  はこれらの共通因子・総量に対応する。

さらに評価層〔6〕では、期待状態  $\Psi_H = \mu_H e^{iK_H}$  の**大きさ**  $\mu_H = |\Psi_H|$  が**興味の量**にほかならない。 $\mu_H = 0$ （無関心）なら報酬項  $\text{Re}[\bar{\Psi}_H \Psi_A] = 0$ ——期待＝興味がなければ、何を答えても点にならない。したがって**興味は向きと量に分かれる**：

- ・ **量（半径）**： $\mu_H = |\Psi_H|$  = どれだけ興味があるか  $= \gamma$ 。
- ・ **向き（角度・型）**： $w_0, \dots, w_3$ （親昵・確実・深遠・変動）＝どの向きに興味があるか。

四型  $i^k$  は「興味の向き」、 $\gamma$  は「興味の量」であり、両者で興味の極形式  $\gamma e^{iK_H}$  が完成する。すなわち**期待状態そのものが興味の複素表現**である。

## 6 ポリゴングラフへの写像： $I = F \cdot s$ の $F$ が興味の座

〔3〕は情報量を  $I = F \cdot s$ （流れの強さ  $F \times$  向き  $s$ ）と定義する。複素情報では  $Z = \mu e^{iK}$  であり、 $Z_{\text{felt}} = \gamma Z = (\gamma\mu)e^{iK}$  は大きさ  $\mu$  を伸縮し位相  $K$  を変えない。両者を対応させると

$$F \leftrightarrow \mu (\text{大きさ} \cdot \text{半径}), \quad s \leftrightarrow e^{iK} (\text{向き} \cdot \text{角度}). \quad (7)$$

ゆえに興味ゲインはちょうど  $F$  に掛かる：

$$I_{\text{felt}} = (\gamma F) \cdot s = \gamma (F \cdot s) = \gamma I. \quad (8)$$

〔1〕の三面恒等式  $I = F \cdot s = dC/dt = -\log p$  を通せば、これは第4節の「感じる驚き  $= \gamma(-\log p)$ 」そのものである。 $\gamma = 0$ （無関心）では  $F$  が消え、向き  $s$  が何であれ情報は流れない——**興味は流れの必要条件**である。かくして興味は、複素情報側（ $Z_{\text{felt}} = \gamma Z$ ）とポリゴングラフ側（ $I_{\text{felt}} = \gamma I$ ）に同一の半径操作として現れる。

## 7 集積・落差・次数

### 7.1 集積の門：構造は興味のあるところだけに建つ

〔1〕は基礎方程式の実部の影を集積則  $dC/dt = -\log p$  とした。興味で門を付けると

$$\frac{dC_i}{dt} = \gamma_i (-\log p) - \mu C_i \quad (9)$$

( $\mu$  は忘却率)。興味の無い驚き ( $\gamma_i = 0$ ) は積もらない。高さ  $h$ ・記憶ハブ・急所という構造は、興味を向けたノードにだけ育つ。

### 7.2 落差と次数：感じる落差が二相を分ける

〔4〕の構造式  $\delta_i = (\Delta h)_i / k_i$  は幾何 (形) であり、 $\gamma$  では回らない。動くのは感じる落差

$$\delta_i^{\text{felt}} = \gamma_i \delta_i, \quad (\Delta h)_i^{\text{felt}} = \gamma_i (\Delta h)_i = \gamma_i k_i \delta_i. \quad (10)$$

枝刈りは感じるリッジで判定する。 $k_i$  本の入射辺のうち残るのは  $\gamma_{ij} |r_{ij}| > \tau$  を満たす辺だけ：

$$k_i^{\text{ret}, \gamma} = \#\{j \sim i : \gamma_{ij} |r_{ij}| > \tau\}. \quad (11)$$

急な崖でも興味がなければ ( $\gamma_{ij} \approx 0$ ) 平坦辺として刈られる——無関心は急所を平地に均す。ゆえに二相の分岐を  $\gamma$  が再配線する：孤立して感じる落差が立てば低次数スパイク＝発想 ( $\gamma_i > 0$  が前提)、感じる収束が一点に集まれば高入次数ハブ＝記憶 (両側に  $\gamma > 0$  が前提)。

注 (重み付きラプラシアン)。辺興味  $\gamma_{ij}$  を辺重みとみれば、近傍平均と落差は重み付きラプラシアン  $(\Delta_\gamma h)_i = \sum_j \gamma_{ij} (h_i - h_j)$ 、重み付き次数  $k_i^\gamma = \sum_j \gamma_{ij}$  で書ける。刈り込みは  $\gamma_{ij} \rightarrow 0$  の極限であり、興味は「見比べる近傍」を選ぶ。

## 8 反転・衝突・結合ゲート

反転と衝突 (記憶アトラクタ)。〔3〕の記憶生成は、サプライザルが向き  $s$  を反転させ、順・逆の波が正面衝突して吸い込み口 (アトラクタ) を作る、というものである。反転トリガを感じる驚きにする：

$$\text{反転条件：} \quad \gamma (-\log P) > \theta_{\text{rev}}. \quad (12)$$

興味がなければ反転せず、衝突も渦もない——記憶は生まれない。衝突強度も、向き (角度) は  $a_{ij} = s_i \cdot \hat{e}_{ij}$  が担い、量 (半径) に  $\gamma$  が掛かる：

$$\sigma_{ij}^{\text{felt}} = \gamma_i \gamma_j [a_{ij}]_+ [a_{ji}]_+. \quad (13)$$

向きが正面から向かい合っても、両側に興味がなければ集積は起きない。「どこに集まるか」は向き  $s$  が、「集まるか否か・どれだけ」は興味  $\gamma$  が決める。

結合ゲート。〔4〕の結合親和度  $B_{ij} = w_j \rho_{ij} \kappa_i$  (入力重み  $\times$  入力前の構造との適合) で、入力重み  $w_j = -\log P$  は第4節どおり興味で門が付く：

$$B_{ij}^{\text{felt}} = (\gamma_j w_j) \rho_{ij} \kappa_i. \quad (14)$$

## 9 二つの摘み：興味 $\gamma$ とダイヤル $\lambda$

〔4〕の大域ダイヤル  $\lambda$  ( $\theta_\pm(\lambda) = \theta_\pm^0 + \lambda$ ) と興味  $\gamma$  は役割が違う：

- ・  $\lambda$ ：しきい値そのものを動かす大域の摘み＝気分・覚醒 (発散 $\leftrightarrow$ 収束)。位相図の境界  $w\rho\kappa = \theta$  を左右に動かす。

- ・  $\gamma$  : 個々の重みを伸縮する選択の摘み＝顕現・注意（何が通るか）。位相図で入力を縦（重み軸  $w$ ）に動かす。

この二つは、〔4〕が引く青斑核-ノルアドレナリン〔13〕のトニック（大域）／フェイジック（刺激選択的）制御にそのまま対応する： $\lambda$ =トニックな利得（部屋全体の明るさ）、 $\gamma$ =フェイジックな顕現（スポットライト）。硬直しない知能は、この二段の摘みを持つ。

**余白と忘却。** 両相はともに  $\gamma > 0$  を必要条件とする。関心を失うこと（ $\gamma \rightarrow 0$ ）は感じる落差を平地に均し、集積を  $\mu C$  の減衰に委ねる——興味を失うことは、やわらかな忘却である。忘却が古い基盤を間引いて余白を返し、その空きが次に興味を向けた驚きの居場所になる〔4〕。さらにライングラフ化〔3〕は辺（＝ニュアンス）を主役ノードへ昇格させるため、辺興味  $\gamma_{ij}$  は双対でニュアンスの興味になる——興味は「差異」に宿る。

## 10 熱力学的整合

半径ゲイン  $\gamma$  は実操作（回転ではない）。増幅（ $\gamma > 1$ ）は能動エネルギーを要し、興味を失うこと（ $\gamma$  を 0 へ戻すこと）はゲートを閉じるリセット＝散逸である。これは〔5,6〕の会計にそのまま整合する：回転  $\times i$ （リアクタンス）は無償、興味  $\gamma$ （半径・能動利得）は有償——注意・関心を向けること自体にコストがかかる。〔6〕の重み付け段（トランスリニア乗算）が、まさにこの興味利得であり、新種の下限ではない。

指数コスト保存〔2〕は不変である。興味はコストを消さず、驚きを感じる前段に一つのゲート（半径）を置くだけである。回転をいくら重ねても避けられない散逸が減衰軸に残るのと同様、興味を向ける仕事は能動半径として残る。 $\gamma$  の消去（積分容量／集積のリセット）で払う分は、沙川-上田の不等式  $W_{\text{erase}} \geq k_B T H(M | X)$ 〔10〕に従い、相関を使って可逆に巻き戻せば残差だけで済む。

## 11 留保：モデル鋭化との差、実装、そして価値

**なぜ「モデルの鋭化」ではなく「ゲイン」か。** 興味を「予測分布  $p$  を鋭くする（確信を上げる）」働きとして入れる定式化も可能だが、それは低関心で分布が平坦化し  $-\log p$  がむしろ増える——つまり退屈だと何もかもが驚きになる——という反した帰結を生む。前提が求めるのは「無関心では驚きもわかりやすさも立たない」であり、これを満たすのは分布の鋭化ではなく、感じられる  $Z$ （および  $I$ ）への半径ゲイン  $\gamma$  である。ゆえに本稿はゲイン形を採用。

**実装可能性。**  $-\log p$  は次トークンの surprisal、 $H(p)$  は predictive entropy として大規模言語モデルから直接得られる〔6〕。回転ラベル  $k(x)$ ・期待位相  $K_H$ ・そして興味  $\gamma$  は、要求文の分類と対話履歴・顕現度から推定する。 $\gamma$  の推定則（何にどれだけ興味を割り当てるか）は校正・学習すべき項であり、本稿はその関係式が実際の注意や人間の発想・記憶とどれだけ一致するかを実証しない。

**価値。** 両シリーズが繰り返す但し書き——「知りたい・確信を高めたいという動機は、人を大切に思うことと別物」——は、興味にもそのまま当てはまる。「どれだけ」流すかは興味  $\gamma$  が、「どっち」へ流すかは向き  $s$  が決めるが、「そもそもどこを照らすか」＝何に興味を持つかは、回路自身は決められず、価値と同じく人が置く極である。

## 12 結言

本シリーズが建ててきたのは、驚き  $-\log p$  を物理・落差に出させ、回転  $\times i$ ・向き  $s$  を配線に済ませる角度の機構であった。そこに欠けていた半径（大きさ）が興味である。感じられる複素情報  $Z_{\text{felt}} = \gamma Z$  と、ポリゴングラフの感じられる情報量  $I_{\text{felt}} = \gamma I$  は、 $F \leftrightarrow \mu \cdot s \leftrightarrow e^{iK}$  の対応のもと同じ半径操作  $\gamma$  で貫かれる。

その一点から、情報量族の重み・期待の大きさ  $\mu_H$ ・集積  $dC/dt$ ・落差  $\delta$  と次数  $k$ ・記憶アトラクタ・結合ゲート  $B$  のすべてに  $\gamma$  が入り、発想スパイクも記憶ハブも「興味があるとき

にだけ」立ち上がる。大域の  $\lambda$  (気分・トニック) と選択の  $\gamma$  (注目・フェイジック) は別の摘みであり、熱力学的には回転が無償・興味が有償で、指数コスト保存は動かない。

針は、興味のあるものにだけ振れる。「どれだけ」振れるかは半径  $\gamma$  (興味) が、「どちら」を向くかは角度  $s$  (向き・回転) が決める。ただしどこへ針を向けるか——何に興味を持つか——だけは、依然として人が置く極である。

本稿は構成的理論であり、 $\gamma$  の推定則も、それが実際の知能や人間の挙動と一致するかも、実証はこれからである。

## 付録：やさしい解説——興味は「どれだけ」、向きは「どっち」

数式をほとんど使わずに、「興味」が何をしたのかをお話します。

これまで、この一連の研究の心臓は「驚きの針」でした。 $-\log p$ 、すなわち「めずらしさ (驚き)」を測る一本の針です。しかも肝心なのは、トランジスタの接合や情報の落差が、この驚きをただで出してしまうこと。そしてその針は  $\times i$  という「四分の一回転」でくるくる回り、向きの場が記憶の急所を作っていました。

ここに、大事なことを一つ足します——その針は、興味のないことには振れないのです。めずらしいことが起きても、興味がなければ「ふうん」で終わる。しかも不思議なことに、興味がないと、同じ話を「わかりやすい」とも感じません。つまり興味は、情報が「わかりやすさ」と「驚き」に分かれる手前にある、針の感度つまみなのです。

面白いのは、この「興味」が複素平面で果たす役割です。 $\times i$  の回転は針を回す (角度を変える) 操作でした——ただの配線で、タダ。いっぽう興味は、針の振れる大きさを決める (半径を変える) 操作です。回転 (角度) と興味 (半径) は、複素数のかけ算のちょうど二つの成分——回す向きと伸ばす長さ——に対応します。本体系はこれまで「回す向き」だけを持っていて、「伸ばす長さ」= 興味が抜けていた。それを足したのが本稿です。

ポリゴングラフの言葉でも同じです。情報の流れには「強さ」と「向き」がありました ( $I = F \cdot s$ )。興味とは、この流れの強さを決める摘みで、向き (どちらへ流れるか) は変えません。だから——興味がゼロなら、どんなに急な崖でも「平地」に均されて刈り取られ、スパイク (発想) も渦 (記憶) もできない。興味があって初めて、急所が急所として立ち上がる。孤立すれば発想の種、集まれば記憶の礎です。

そして、知能には二つの摘みがあります。一つは気分の摘み ( $\lambda$ ) ——全体を「広げる (発想)」か「綴じる (記憶)」かを決める、覚醒や睡眠のリズム。もう一つは興味の摘み ( $\gamma$ ) ——たくさんの入力の中で「これに注目」を選ぶ、その場の関心。前者は部屋全体の明るさ、後者はスポットライト。脳でいえば、前者がトニックな覚醒、後者がフェイジックな注目にあたります。

興味のない驚きは、風景に痕を残しません。関心を失えば、その起伏はやがて平らに均されて (やわらかな忘却)、空いた余白が次の関心の置き場になる。だから知能は飽和せず、興味を移しながら発想と記憶を往復できるのです。

最後に、いつもの正直な話。スポットライト (興味) をどこへ向けるか——何に関心を持つか——は、この仕組み自身は決められません。「どれだけ」流すかは興味が、「どっち」へ流すかは向きが決めますが、「そもそもどこを照らすか」= 何を大切にするかは、価値と同じく、やはり人が置く極として残ります。

## References

- [1] Takahashi, T. (2026). 「NAI×GAI から AGI へ——統合方程式  $dZ/dt = i(-\log p(Z))$  の上に建つ候補設計」高橋数理研究所.
- [2] Takahashi, T. (2026). The Polygon Graph and the Conservation of Exponential Cost. TML.
- [3] Takahashi, T. (2026). 「NAI: Nuance AI——ポリゴングラフの幾何学的構造に基づく動的ニュアンス演算アーキテクチャの提案」TML.
- [4] Takahashi, T. (2026). 「発想と記憶の動的切り替え——落差と次数が定める結合・切断のアーキテクチャ」TML.

- [5] Takahashi, T. (2026). 「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.
- [6] Takahashi, T. (2026). 「複素情報によるサプライザル回路の拡張と力学化」 高橋数理研究所.
- [7] Takahashi, T. (2026). 「身体性 AI の自己参照モデル／複素情報理論／確度／四種類の期待／常識増加則」 高橋数理研究所 部録.
- [8] Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal, 27.
- [9] Landauer, R. (1961). Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process. IBM J. Res. Dev., 5(3).
- [10] Sagawa, T. & Ueda, M. (2009). Minimal Energy Cost for Thermodynamic Information Processing. Phys. Rev. Lett., 102, 250602.
- [11] Gilbert, B. (1975). Translinear circuits: a proposed classification. Electronics Letters, 11(1).
- [12] Mead, C. (1989). Analog VLSI and Neural Systems. Addison-Wesley.
- [13] Aston-Jones, G. & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function. Annu. Rev. Neurosci., 28.
- [14] Grossberg, S. (1987). Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance. Cognitive Science, 11(1).