

量子アニーリングのエンターテインメント活用と先端技術を社会実装する手段としてのゲームの可能性の模索

—量子アニーリングに〔ゲーム〕で触れる回避最適化シューティングの実装—

1. 背景

量子アニーリングは、組合せ最適化問題を効率的に解く手法として応用が進みつつある。しかしその活用は主に BtoB 用途に限定され、一般ユーザーがその挙動や価値に直接触れる機会はほとんど存在していない。また、組合せ最適化には「最適であることの体感困難性」という構造的課題が技術理解の障壁となっている。

2. 目的

本プロジェクトの目的は、量子アニーリングマシンをゲーム AI として実際に駆動させ、ゲームというメディアを通じてその特性を体験価値として提示することである。それにより、プレイヤーが楽しむ過程そのものが量子アニーリングの理解につながる構造を設計した。

3. ソフトウェア開発内容

量子アニーリングマシンを活用した回避最適化シューティングゲーム「**AFTER・IMAGE**」(図 1)を開発した。このゲームでは、プレイヤーが放った弾丸に対し、敵ロボットが量子アニーリングによって姿勢を最適化し回避する(図 2)。



図 1 AFTER・IMAGE タイトル画面



図 2 AFTER・IMAGE のゲームの特徴

AFTER・IMAGE ではフロントエンドを Unity、バックエンドを Python にて開発、アニメーリングマシンには Fixstars Amplify AE を用いた。処理フローは図 3 の通り。

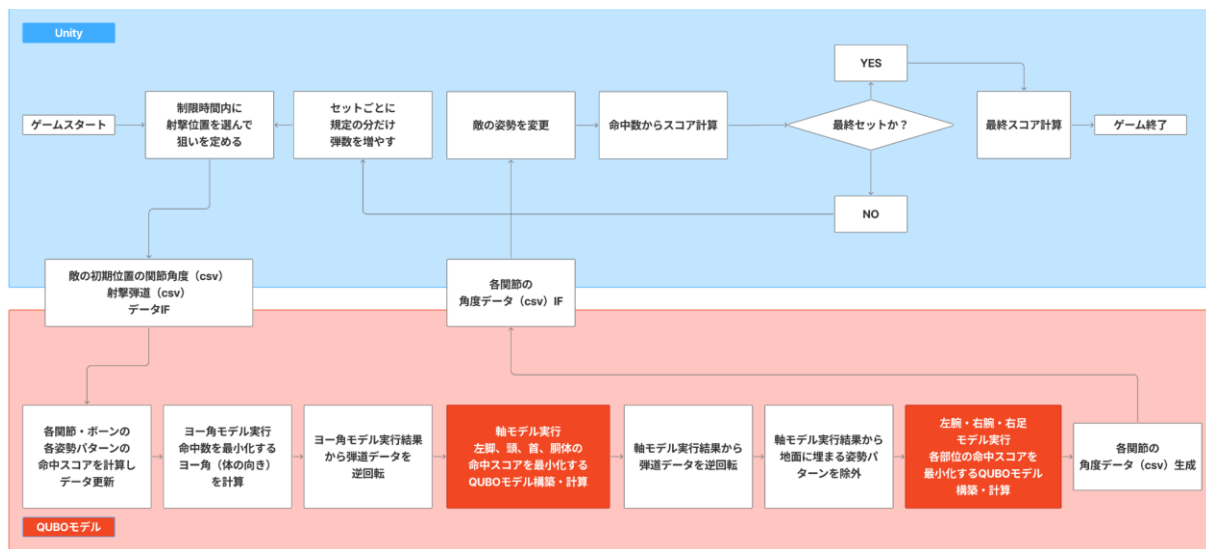


図 3 AFTER・IMAGE の処理フロー

AFTER・IMAGE では姿勢生成の探索空間が膨大になることから、ヨー角モデル、軸モデル、肢モデル（左腕・右腕・右脚モデル）の三段階モデルを設計した（図 4）。また、QUBO モデルを適用するために各関節の角度の状態を離散的な状態として表現し、関節の角度に応じて座標テンソルから関節座標を呼び出し被弾判定を行うこととした（図 5）。目的関数は被弾数最小化のみとし、量子アニメーリングマシンが生成する姿勢のランダム性の面白さが可視化されるようにした（図 6）。加えて、3つの肢モデル実行の並列化や Numba による JIT コンパイル等の計算プロセス最適化によって、5 秒以内の求解を実現した。

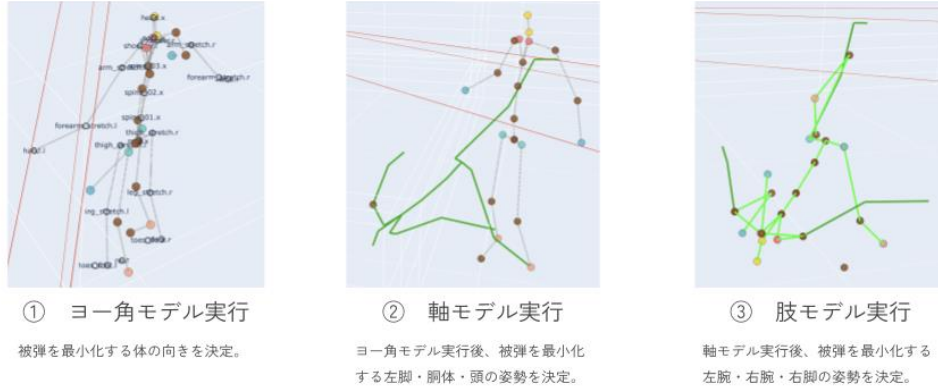


図 4 AFTER・IMAGE の姿勢計算ステップ

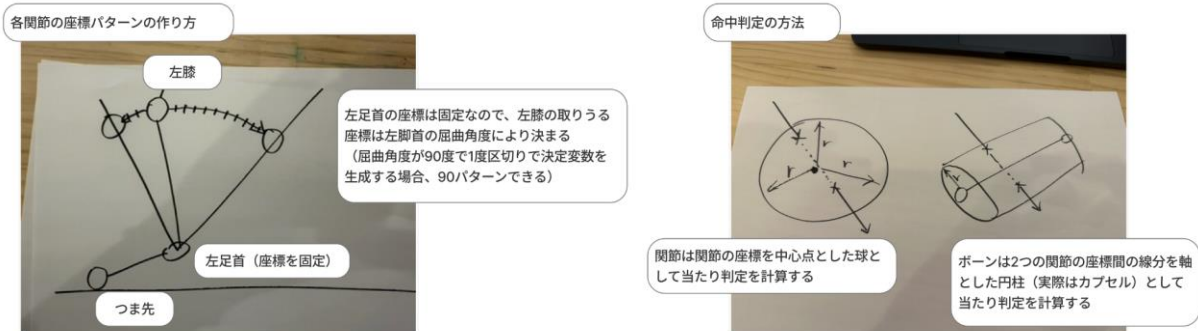


図 5 AFTER・IMAGE の関節座標パターンの作り方と命中判定方法

1. 決定変数

人体の関節集合を $\mathcal{J} = \{1, 2, \dots, J\}$ とする。
各関節 j にはあらかじめ離散化された角度候補集合 $\theta_{j,k} = \{\theta_{j,1}, \theta_{j,2}, \dots, \theta_{j,K_j}\}$ を用意する。
✓バイナリ決定変数
ある関節がある角度を取るとき、それ以外のときに0を取る。
$$x_{j,k} = \begin{cases} 1 & \text{if joint } j \text{ chooses angle } \theta_{j,k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

2. 前処理テンソル：角度 → 座標

各関節の角度候補から、前処理でグローバル座標 $P_{j,k} \in \mathbb{R}^3$ を計算して保存する。
同様に、親子関節 $j \rightarrow i$ のボーン (円柱) の形状も、角度ペアから前処理する：
 $B_{j \rightarrow i}(k_j, k_i)$
3つ以上の関節が響く部位は 多次元テンソルで前処理：
 $H(k_i, k_j, k_w)$

3. 前処理テンソル：命中判定

弾丸の集合を \mathcal{M} とする。各弾丸 m は半径 r_m として扱う。
3.1 関節 (球) への命中
半径 r_j の球との判定を行い、
$$hit_{j,k,m}^{ball} = \begin{cases} 1 & L_m \cap \text{Ball}(P_{j,k}, r_j) \neq \emptyset \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.2 ボーン (円柱) への命中
 $hit_{j \rightarrow i, k_j, k_i, m}^{bone}$
3.3 手のひら (面) への命中
 $hit_{palm}^{palm}(k_w, k_w, k_w, m)$

4. 目的関数 (被弾量の最小化)

4.1 関節の被弾 (1次相互作用)

$$E_{joint} = \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{k=1}^{K_j} \left(\sum_{m \in \mathcal{M}} hit_{j,k,m}^{ball} \right) x_{j,k}$$

4.2 ボーンの被弾 (2次相互作用)

$$E_{bone} = \sum_{(j,i) \in \mathcal{B}} \sum_{k_j=1}^{K_{j,i}} \sum_{k_i=1}^{K_{i,i}} \left(\sum_{m \in \mathcal{M}} hit_{j \rightarrow i, k_j, k_i, m}^{bone} \right) x_{j,k_j} x_{i,k_i}$$

4.3 末端部位 (手のひら等) の被弾 (3次相互作用)

$$E_{palm} = \sum_{k_w} \sum_{k_i} \sum_{k_j} \left(\sum_{m \in \mathcal{M}} hit_{palm}^{palm}(k_w, k_i, k_j, m) \right) x_{i,k_i} x_{j,k_j} x_{w,k_w}$$

5. 全体の最適化問題

最小化対象 (左腕の例)

$$\min_x E(x) = E_{joint} + E_{bone} + E_{palm}$$

制約 (関節は必ず1つの角度を選ぶ)

$$\sum_{k=1}^{K_j} x_{j,k} = 1 \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

図 6 AFTER・IMAGE の QUBO モデル定式

AFTER・IMAGE は 2026 年 1 月 29 日～2 月 1 日に開催された台北ゲームショウに出展。会場にて約 200 名がプレイ (観覧者を含めると倍以上が体験共有) し、「量子らしさを感じた」「知的に面白い」との評価を得た。

4. 新規性・優位性

本プロジェクトの新規性は、量子アニーリングマシンをゲーム AI として実機接続し活用した点、計算結果を身体的挙動へ翻訳・可視化した点、海外ゲームイベントでプレイアブル展示・ユーザーテストを実施した点にある。

また既存の類似活動に対して、本プロジェクトは量子計算をゲーム AI として駆動する構造を実装した点に優位性がある。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

本プロジェクトのユーザー価値は、専門知識不要で量子挙動に触れられる点、人間の戦略と量子最適化の対比を体験できる体験、姿勢生成のランダム性がもたらす不意の面白さを体験できる点にある。

また、本プロジェクトではエンターテインメント分野を起点にテクノロジーの社会浸透が可能であることを提示できた。これにより、体験を通じた先端技術の理解促進や科学技術人材の裾野拡大を狙うことができると考える。

6. 氏名（所属）

藏本 航（株式会社電通デジタル クリエイティブプランニング第1事業部）

金井 啓太（東京藝術大学 教育研究助手）

大川 大空翔（株式会社電通 ビジネストラנסフォーメーション・クリエイティブ・センター）

平井 伸幸（株式会社日立コンサルティング 社会イノベーションドメイン AI&スマートインダストリーディビジョン テクノロジー戦略室）