

生徒の興味に基づいた教材を動的に生成する プログラミング教育支援システムの開発 — 選ぶだけで、作りたいものが決まる —

1. 背景

プログラミング学習において、多くの学習者が直面するのは「何を作るか」という問題である。プログラミングで制作できるものの範囲は事実上あらゆる分野に及ぶが、既存の教材はゲーム・Web・ロボット等、特定のテーマに基づいて設計されている。テーマ自体に興味を持っていない場合、学習者の内発的動機づけが損なわれ、学習が停滞しやすい。加えて、教材のテーマと学習者自身の興味が離れているほど、習得した知識を自分の興味領域に応用することが困難になると考えられる。

この問題は、基礎的な学習を終え自主的な制作に移行する段階で顕在化しやすいと考えられる。独学の学習者は入門教材を繰り返し消化するものの、その先に進む手がかりを得にくい。プログラミングスクールの学習者も、カリキュラムに沿った学習は進むが、自ら制作テーマを設定する段階への移行は困難になりやすい。

この問題に対し、個別指導型のプログラミングスクールでは講師が学習者一人一人の興味を聞き取り制作課題を提案できる。ただし、対応人数や費用の制約に加え、学習者の多様な興味領域すべてに講師個人が精通することは現実的でなく、この方法を広く普及させることは困難である。近年、対話型の大規模言語モデル（LLM）の普及により、興味を言葉にできれば具体的な提案を得られるようになった。しかし、興味を言語化できない学習者はLLMへの問いかけを発想しにくいため、テキスト入力の段階で行き詰まるケースが多い。既存の学習管理システム（LMS）も、学習者が目標やコースを自ら選択する設計であり、その前段階にあたる学習目標の発見は支援の対象となっていない。

2. 目的

本プロジェクトでは、「何を作りたいか」を言語化できない学習者が、自身の興味を起点に制作課題を着想・具体化できるシステムの実現を目的とする。この目的のため、以下の2点の実現を目指す。

- ・ 学習者が、興味を言語化できない段階から制作課題のアイデアを着想し、開発に取り組むための仕様として具体化できること
- ・ メンターの個別対応に依存せず、一定の品質の支援を多くの学習者に提供できること

本システムは、従来メンターが個別に担っていたこの支援を、LMSの前段で学習者が自律的に行えるようにするものである。

3. 開発の内容

本プロジェクトでは、こうした背景から構想したpre-Learning Management System（preLMS）の具体的な実装としてWebアプリケーション「UnPixel.io」を開発した。本システムは、選択操作を中心としたインタフェースにより、興味を言語化できない段階からでも制作課題を着想・具体化し、実装に着手するまでの過程を一貫して支援する。以下に各機能の詳細を述べる。

3.1 アイディエーション機能

学習者が自らの興味を探索し、制作課題のアイデアへと具体化するまでの過程を支援する機能である。本機能はマインドマップを用いた興味の探索、LLMによる制作課題の提示及び先行事例のリサーチの3つの要素で構成される。

学習者はマインドマップ上でノードを選択・追加する操作を通じて思考を広げられる。各ノードは「関連」、「課題」並びに「手法」の3つの観点に分類されており、これらを組み合わせることで興味を多角的に探索できる（図1）。「関連」ノードの生成時にはサブトピック（深掘り）、対比（代替案）及び抽象化（メタ視点）の3つの分岐パターンを設け、探索の偏りを防ぐ設計としている。

制作課題の提示にあたっては、アイデアを「分野」「目的」「手段」の3軸で構造化し、各軸の値とアイデア本文を分離して2段階で生成する。第1段階で各軸の値を生成する際には、既存の値との意味的距離を算出し、切り口の重複を防ぐ。加えて、学習者の嗜好をアイデア生成に反映するため、各軸の値を遺伝子として扱う対話型遺伝的アルゴリズム（iGA）を実装した。学習者が各アイデアに対しブックマーク又はゴミ箱への移動で評価すると、その結果をもとにアイデアの集合が改善され、嗜好に合うアイデアが優先的に提示される（図2）。

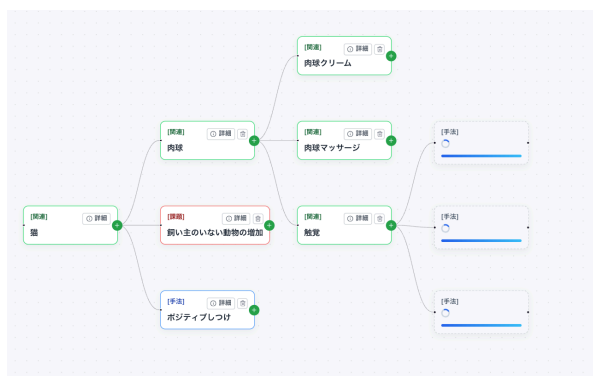


図1：マインドマップによる興味の探索画面

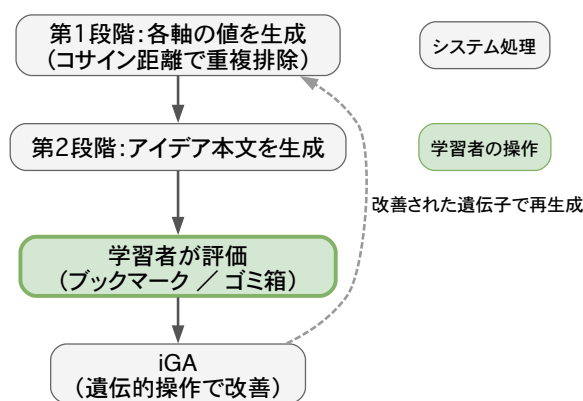


図2：iGAによるアイデア推薦サイクル

3.2 機能設計機能

アイディエーション機能で得られたアイデアを「機能カード」と呼ばれる単位に分解し、グラフ上で依存関係を整理する機能である（図3）。機能カードはタイトル・要約・実現要件（3～5項目）で構成される。LLMが文脈に応じた質問を生成し、学習者が選択肢から回答を選ぶことで機能の詳細を段階的に決定する（図4）。質問は利用場面・体験・頻度・プラットフォーム・派生質問の5種類に分類されている。



図 3：機能カードの依存関係グラフ

図 4：質問ノードと選択肢ノードの例

3.3 仕様策定機能

機能設計で整理された機能群の構造と意思決定の内容をもとに、制作課題の技術仕様を具体化する機能である。LLM が技術仕様として決定すべき項目について複数の選択肢を生成する。選択肢には LLM 及び画像生成 AI による図解（完成イメージ、画面構成のワイヤーフレーム、データフロー図、比較表等）を添える。学習者は選択肢を選ぶことで仕様を段階的に確定する。

本機能は難易度評価機能を備えている。本システムでは制作課題を動的に生成するため、正誤履歴の蓄積を前提とする既存の難易度評価手法は適用できない。そこで、プログラミングの各単元をノード、単元間の前提関係を有向辺とする「単元グラフ」（図 5）を用い、履歴に依存せず学習者の既習状態に応じた難易度を評価する。LLM が制作課題のサンプルコードを生成し、抽象構文木（AST）による構文解析と単元グラフのノードとの照合を経て、制作課題に必要な単元を特定する。その上で、既習単元から各目標単元への最短経路を単元グラフ上で求め、経路上の未習単元の重み総和を算出する。さらに、循環的複雑度と変数操作数を加算した複雑度（本プロジェクトで導入した指標）で重み付けし、最終的な難易度を得る（図 6）。選択肢の切り替え時には差分更新と事前計算により難易度が即座に更新される。

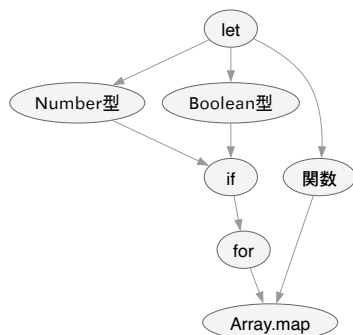


図 5： 単元グラフの部分例

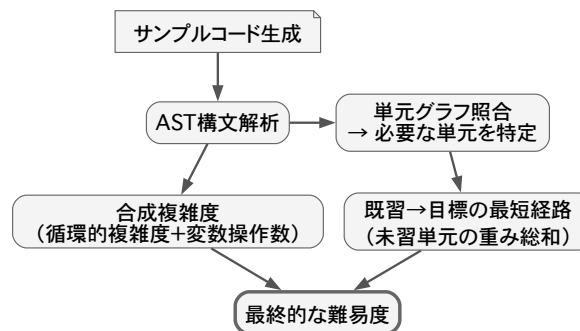


図 6： 難易度評価のパイプライン

3.4 技術解説の生成機能

仕様書に基づき、制作課題の実装に必要な技術要素を解説する「技術解説」を自動生成する機能である。背景の説明、サンプルコード、技術の仕組み、処理フローの図解、確認問題を含む。LLMが仕様書から学習すべき技術要素を自動選定する機能も備えている。

3.5 外部連携機能

制作課題の仕様書を ChatGPT、Claude 等の外部 LLM サービスへ連携する機能である。学習者が使用するサービスを選択すると、仕様の内容を含むプロンプトが自動構成される。これにより、学習者は一からプロンプトを作成することなく、LLM のサポートを得ながら実装に着手できる。

4. 従来の技術（または機能）との相違

本システムは、既存の学習支援手段とは以下の点で異なる。第一に、アダプティブラーニングは正誤履歴に基づき難易度を調整するが、学習者の興味関心を起点としておらず、システム主導で教材を提示する設計である。本システムでは選択操作によるマインドマップ探索と iGA を用い、学習者の興味から制作課題を導出する。第二に、LLM への直接相談はテキスト入力为前提であり、興味を言語化できない学習者に対する支援がない。本システムではノードの選択・追加という操作で思考を外化でき、テキスト入力を前提としない。第三に、AI によりカリキュラムを生成する LMS は学習目標の設定が前提であり、目標の発見自体は支援していない。本システムではアイデアの構造化と段階的な具体化を通じて、目標の発見から仕様の確定までを一貫して支援する。

5. 期待される効果

本システムは、選択操作を中心としたインターフェースの工夫により、興味の言語化能力や習熟度に依らず LLM による学習支援を受けられる仕組みを実現した。これにより、個別指導に伴う対応人数や費用の制約を受けることなく、多くの学習者に対して興味を起点とした制作課題の設定を支援できる。学習者自身の興味に基づくため、主体的な学習の促進が期待される。実際に、ユーザテストにおいて、既存手段ではテーマを定められなかった学習者が本システムを通じて制作課題を着想し、MVP の完成に至った事例が確認されている。

6. 普及の見通し

主な利用者として、プログラミングスクールの受講者及び独学でプログラミングに取り組む層を想定している。実証先のプログラミングスクールでは、本プロジェクト

を契機に学習者主導の開発を支援するプログラムが発足した。まずはこの基盤で複数の講師による検証を進め、その上で Web サービスとして一般に公開し、直接利用できる環境の構築を目指す。裾野の広がりとともに制作事例が蓄積されれば、ある利用者の制作物が別の利用者にとって興味との接点となり、互いに刺激し合う循環の形成が期待できる。加えて、「何に取り組むかを自ら発見する」という段階への支援の不在はプログラミングに固有の問題ではない。研究テーマの設定や創作活動の着想等、自ら目標を定める必要がある教育場面に共通する課題であり、本システムの知見はこうした場面にも応用できる可能性がある。

7. クリエータ名（所属）

- ・ 品川朝陽（北海道情報大学 経営情報学部 システム情報学科）
- ・ 柴田登麻（北海道大学 工学部 情報エレクトロニクス学科）