

次世代プログラミング学習サイト構築の試み

Development of A Next-Generational Website for Learning Programming

那須野 薫*¹ 上野山 勝也*² 松尾 豊*³
 Kaoru Nasuno Katsuya Uenoyama Yutaka Matsuo

*¹東京大学工学部システム創成学科 *²東京大学大学院
 Department of Systems Innovation, The University of Tokyo The University of Tokyo

*³東京大学工学系研究科技術経営戦略学専攻
 Department of Technology Management for Innovation, The University of Tokyo

These days programming skill becomes increasingly important, because we develop more and more websites and analyze data more frequently. But learning programming is difficult for many novices because there are many barriers to begin and continue learning. In this paper, in order to lower the barriers we developed a website in which users can begin learning programming without installing any software and can learn through the interaction with the website. To evaluate an effect on learning programming, we conducted an experiment and the result indicated that the learning support system we developed was effective.

1. はじめに

ウェブサービスの開発やデータの分析が活発化している。ECサイト構築や書籍のデジタル化のように既存事業をウェブサービスに置換し事業コスト削減を狙ったり、データの分析により対象の傾向を把握しビジネスに活用するなどウェブサービスの開発やデータの分析が活発化している。

一方でサービス開発やデータ解析の基礎となるプログラミングスキルを身につけるための学習環境は整っていない。学校教育である義務教育の科目にプログラミングは含まれていない。また、独学で学ぶには多くの初学者にとってプログラミングはハードルが高い。エディタやコンパイラなどのインストールを含む学習に必要な開発環境の導入が初学者には難しいということ [柳澤 08] や、開発環境から得られるフィードバックがコンパイラによる専門家向けのもので初学者には理解が難しく [Jadud 06]、プログラムに生じたエラーに独力で対応することが難しいことなどが原因に挙げられる。これらの問題を解決するため、最近ではウェブブラウザの性能向上に伴い、誰でも学習できるようにウェブサイト上で学習教材を提供しプログラミング学習を支援する試みが活発化しているが、ウェブ上にエディタと実行環境を用意し回答の評価を含む対話形式での演習を提供するサービスの研究開発は少ない。開発環境の導入が必要なくいつでも始められ、かつ初学者が理解しやすいフィードバックを得られる学習環境を構築することができれば、より多くの人が効率的にプログラミングスキルを身につけられるようになり、ウェブサービスの開発やデータの分析もますます活発化するだろう。

本研究では、開発環境を導入することなく始められ、コンパイラが生成する理解が難しいフィードバックではなく人によるフィードバックを得ながら学習を進められるウェブサービス（以下、本サービス）を構築する。プログラミング言語の一つである JavaScript のブラウザで実行可能という特徴に着目し、ユーザが JavaScript のコードを入力・実行でき、その評

価とフィードバックを得られるシステムをウェブサイトに実装する。また、初学者の視点からのフィードバックを返すことができるようにするため、学習コンテンツをサービス管理者だけでなくユーザも作成できるようにシステムを実装する。サービス構築後ウェブに公開し、本サービスの学習効果を評価する。

2. 関連研究

学習者の回答内容についてフィードバックを返すためには学習者が入力したコードを評価する必要がある。評価手法により学習課題の範囲は3つに大別される [Watson 11]。提示されたコードから抜けている行を埋めることを課題とするもの [Holland 09] プログラムの入力と出力を評価するもの [Daly 04] コードを実行した後に変数の値を計算するもの [Naser 08] の3つがある。また、コンパイラ以外からのフィードバックを返すものとして、統合開発環境にツールを導入しフィードバックをクラウドソーシングしエラー診断とコードの修正を試みるもの [Watson 12] や、プログラムの実行結果をゲームのように可視化しフィードバックとすることでプログラミングのコンセプトの理解促進を試みるもの [Watson 11] などがある。

3. JavaScript と HTML

本サービスの学習対象言語である JavaScript と、ウェブサイトの構造を示す HTML*¹について述べる。JavaScript はウェブブラウザ上で実行可能なプログラミング言語のうち最もよく使われる言語の一つである。教育用言語としての利点として、非常に多くのウェブサイトで利用されており実用性が高いということや、構文が簡潔であるということ [兼宗 06]、構文エラーの有無をチェックするエディタが多数存在することなどが挙げられる。

HTMLはウェブサイトの構造を示す言語である。HTMLにより示されるウェブサイトの構造例を図1に示す。図1のようにウェブサイトの構造はツリー上になっており、特にこのツリーを DOM ツリー、各ツリーのノードを DOM 要素という。DOM 要素は HTML のタグを用いて表記され、タグは内容を

連絡先: 那須野 薫 東京大学
 〒135-8656 東京都文京区弥生 2-11-16 工学部 9 号館
 E-mail: nasuno@weblab.t.u-tokyo.ac.jp

*1 HyperText Markup Language の略。

明示する body タグ, 入力を示す input タグ, 他のウェブページの読み込みに用いられる iframe タグなど多くの種類がある。

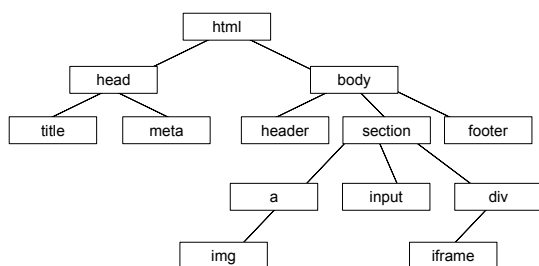


図 1: DOM ツリーのイメージ

JavaScript は DOM 要素を操作することができ, また同じウェブページで読み込まれたプログラムは, グローバル変数や関数の宣言, 実行結果などを共有する. 従って, JavaScript の実行は DOM 要素やグローバル変数への影響を考慮する必要がある.

4. 提案するサービス

本サービスではユーザはソフトウェアをインストールすることなく, すぐにプログラミングをウェブ上で学べる. プログラミングに必要なエディタや実行環境, ユーザのコードを評価しフィードバックを返すシステムをサービス上に設置し, ユーザの学習を支援する. ユーザと本サービスのインタラクションの様子を図 2 に示す. ユーザはまず学習コンテンツを選択し説明と課題を受け, 課題の回答としてコードをエディタに入力・実行し, 評価とフィードバックを得るといった対話形式で学習を行う.

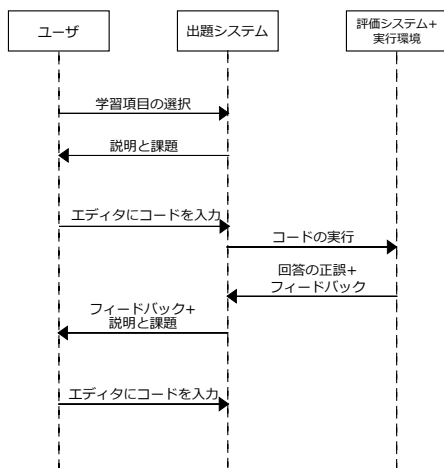


図 2: ユーザとサービスのインタラクション図

4.1 エディタ

エディタの実装には Ace editor ^{*2} というライブラリを用いた. 実装したエディタのイメージを図 3 に示す. Ace editor はシンタックスハイライト機能をもつ. コードの入力と同時に

*2 <http://ajaxorg.github.io/ace/> JavaScript のライブラリとして MIT ライセンスで提供されている.

コードにエラーがないか構文を評価し, エラーがあった場合には該当箇所を指摘する機能があるため, プログラミングの初学者にも使いやすいエディタである.



図 3: シンタックスハイライト機能と構文チェック機能のあるエディタ

4.2 実行環境

ウェブブラウザ上で JavaScript を実行できるが, JavaScript のプログラムは DOM 要素を操作でき, また同じウェブページ内ではグローバル変数も共有されるため, リソースである DOM 要素とグローバル変数の保護が必要である. 本サービスでは以下のようにすることで, リソースの保護を試みる.

1. 子フレームの追加
DOM ツリーに iframe タグを用いて子フレーム (別のウェブページ) を追加する.
2. 子フレーム内でのコードの実行
子フレーム内でコードを実行する. 実行された JavaScript のコードは子フレームの DOM 要素やグローバル変数に対して影響を与えるが, 追加元であるウェブサイトのリソースへの影響はない^{*3}.
3. 子フレームの除去
子フレームを取り除く. 次に実行するときに再び子フレームを iframe タグで追加することで, 初期状態と同様にリソースを保護しつつユーザのコードを実行し評価できる.

4.3 評価とフィードバックの生成

ユーザのコードを評価するため, 学習コンテンツ作成時に評価項目を設定する. 各評価項目について, 変数や関数の返り値の値と型, もしくは値または型が正しいかを参照と値のペアで評価する. 例えば, 第一引数の二乗を返す関数 square(x) が正しく宣言されているかを評価する場合は, square(2), square(3), square(4) が整数型でそれぞれ 4, 9, 16 であるかを評価するという具合である. 正しく宣言されているかの十分条件ではないが, ユーザは学習目的でサービスを利用することからこのような手法でも十分評価できると考えられる.

また, フィードバックは評価項目がすべてクリアされた時に表示されるものと, 評価項目のいずれかを間違えた時に表示されるものの 2 通りを学習コンテンツ作成時に設定する.

*3 子フレーム内で親フレームを参照するプログラムが実行された場合はその限りではない.

4.4 学習コンテンツの作成

サービス管理者だけでなく一般のユーザもコンテンツを追加できるようにコンテンツ作成用のページを用意する。学習コンテンツは複数の学習ステップからなるレクチャーを最小単位とし、一つの学習ステップは学習内容の説明や課題、コードの評価に用いられる評価項目と対応する回答、正解時と不正解時におけるフィードバックなど複数の項目からなる。学習者のコードの評価には評価項目と対応する回答を決めるだけでよく、評価に用いる JavaScript のコードをコンテンツ作成の度に書く必要はない。

5. 評価実験

本サービスの学習効果を評価するためプログラミング初学者を被験者とし実験を行った。実験開始前にユーザから学習コンテンツの十分な投稿を得ることができなかったため、著者らでコンテンツを作成し評価実験を行った。プログラミング初学者を対象としているため、プログラミングの基礎的内容となる項目としてプログラミングの導入、変数、型、関数を実験用の学習コンテンツとして作成した。

被験者を本サービスに実装した対話形式の学習システムを活用して学習を行うグループ（以下、グループ A）と活用せずに主にテキストを用いて学習を行うグループ（以下、グループ B）の2つのグループに分け、学習の前後でテストを行いテストの正答率の変化の差を評価した。また、テスト後に自由回答でアンケートを行い、サービスの感想を求めた。被験者を10人、作成した学習コンテンツを学習内容とし、テストを1問1点の10点満点として実験を行った。実験結果を表1に示す。グループ A, B の正答率の変化の平均はそれぞれ+3.0, +1.6とグループ A の正答率の上昇率の方が高く、本サービスに実装した対話形式の学習システムはプログラミング学習においてその学習の質を高めることが分かった。回答の内容としては、学習前のテストではほとんどの被験者が空欄で回答していた。学習後のテストではグループ A, B の回答率はそれぞれ6.4問, 5.8問と大きな差はなく、また、6問正解した被験者を除き、型と関数の問題に正解した被験者はいなかった。自由回答のアンケートではフィードバックが不十分であり、修正すべき箇所や指摘や回答の自動修正を期待する記述や、学習内容の説明に使われている言葉が難しかったという記述があった。

表 1: 被験者のグループと正答数とその変化

グループ	テスト 1 の正答数	テスト 2 の正答数	正答数 の変化	正答数変化の平均
A	0	2	+2	+3.0
	1	6	+5	
	1	3	+1	
	0	3	+3	
	0	3	+3	
B	0	1	+1	+1.6
	1	1	±0	
	0	4	+4	
	0	1	+1	
	0	2	+2	

6. 考察

本研究で構築したコンテンツ作成システムにおいて、公開可能なコンテンツの最小単位は複数の学習ステップからなるレクチャーであった。実際に作成する際に学習コンテンツの作成は簡単ではなく、コンテンツを追加した一般ユーザはほとんどいなかった。一般ユーザによる学習コンテンツの追加を促すためには公開可能なコンテンツの最小単位を複数の学習ステップ

から一つに変更するなどして、コンテンツ追加コストを下げる必要があると考えられる。

また、本サービスの学習システムでは、ユーザへのフィードバックは回答が正解だった場合と間違いだった場合の2通りのみしか提示できない。コンテンツ作成時に、学習者の間違いパターンを予想しフィードバックの文章を作成したとしても、無数に存在する間違いパターンに対応することは難しい。この点で、本サービスの回答を評価しフィードバックを返すシステムは大きく改善の余地がある。この問題に対応するためには、ユーザの間違いパターンと正解パターンを分類し、過去の回答との類似度を評価することで、その回答に適した回答例をフィードバックとして利用できるようにする方法が考えられる。設計と実装が今後の課題に挙げられる。

7. まとめ

本研究では、ウェブ上で JavaScript を対話形式で学べるウェブサービスを構築した。ユーザはウェブサイト上ですぐに学習を始められ、コードを入力・実行し評価とフィードバックを得るというシステムとの対話を通して学習できる。また、評価実験を交えて構築した対話形式での学習システムがプログラミング学習に対して有効であることが分かった。一方、より効果的な学習には回答へのフィードバックを柔軟にすべきことや、コンテンツ作成をより簡単にすることが分かった。

今後は、コンテンツ作成を簡単にしコンテンツの拡充を目指すと同時に多数のユーザの獲得を目指す予定である。

参考文献

- [柳澤 08] 柳澤 秀明: プログラミング学習支援システムの検討, 徳山工業高等専門学校研究紀要, Vol. 32 (2008).
- [Jadud 06] Jadud, M. C.: Methods and Tools for Exploring Novice Compilation Behaviour, in Proc. of the second international workshop on Computing education research (2006).
- [Watson 11] Watson, C., Li, F. W. and Lau, R. W.: Learning Programming Languages through Corrective Feedback and Concept Visualisation, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7048 (2011).
- [Holland 09] Holland, J., Mitrovic, A. and Martin, B.: J-Latte: A Constraint-Based Tutor for Java, in Proc. of the 17th International Conference on Computers in Education (2009).
- [Daly 04] Daly, C. and Horgan, J. M.: An Automated Learning System for Java Programming, IEEE Transactions on Education, Vol. 47, No. 1 (2004).
- [Naser 08] Naser, S. S. A.: JEE-Tutor: An Intelligent Tutoring System For Java Expressions Evaluation, Information Technology Journal, Vol. 7, No. 3 (2008).
- [Watson 12] Watson, C., Li, F. W. B. and Godwin, J. L.: BlueFix: Using Crowd-Sourced Feedback to Support Programming Students in Error Diagnosis and Repair, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7558 (2012).
- [兼宗 06] 兼宗進: 教育用プログラミング言語の動向, 情報処理学会誌. Vol. 48, No. 6 (2006).