情報処理学会論文誌 Vol.55 No.2 939–946 (Feb. 2014)

プログラム文の並べ替えに基づくソースコードの可読性向上の試み

佐々木 唯[1,a)] 肥後 芳樹[1,b)] 楠本 真二[1,c)]

受付日 2013年5月8日, 採録日 2013年11月1日

概要：ソフトウェア保守を行うにあたって，最も時間的コストの高い作業はソースコードを読み理解することである．そのため，ソースコードの可読性を向上させることで，ソフトウェアの保守作業全体のコストを削減できる．既存研究として，ソースコードを読んで理解しようとする際，変数が定義されてから参照されるまでの距離が離れていると理解するためのコストが増大することが報告されている．したがって，文の並びはソースコードの可読性に影響を及ぼすと考えられる．本研究では，変数の定義と参照の間の距離に着目して，ソースコードの可読性を向上させるためのプログラム文並べ替え手法を提案する．提案手法をオープンソースソフトウェアに適用し，並べ替えの行われたメソッドについて被験者からの評価を得たところ，並べ替えの行われたメソッドは可読性が向上するという結果が得られた．

キーワード：プログラム理解，ソースコード解析，リファクタリング

An Approach to Improving Readability of Source Code Based on Reordering Program Statements

Yui Sasaki[1,a)] Yoshiki Higo[1,b)] Shinji Kusumoto[1,c)]

Received: May 8, 2013, Accepted: November 1, 2013

Abstract: Understanding program source code is the most time-consuming task in software maintenance. If readability of source code becomes better, we spend less time to understand it. That means we can conduct more efficent software maintenance on source code whose readability is better. Previous research efforts reported that, if a program statement referencing a variable is far from another statement defining the variable, understanding the function that they implement becomes more time-consuming task. Those results indicate that the order of program statements has an impact on readability of source code. In this paper, we propose a technique to reorder program statements for improving readability of source code. The proposed method uses distances between definitions and references of variables in source code to find reordering opportunities. We have conducted an experiment on Java open source software with 44 subjects, and confirmed that most of reordered methods had better readability than its original ones.

Keywords: program comprehension, source code analysis, refactoring

1. はじめに

近年，ソフトウェアの大規模化，複雑化にともない，ソフトウェア保守に要する作業量が増大している．ソフトウェアライフサイクルにおいて，保守作業量が占める割合は非常に高い [3]．さらに，保守の全行程の中で最も時間的コストの高い作業は，ソースコードを読み理解することであるといわれている [8], [11], [12]．

そのため，ソースコードの可読性を向上させることは保守作業全体のコスト削減につながると考えられ，プログラム理解に関する研究がこれまでに多く行われている．Buseらは，テキストの理解のしやすさを可読性（Readability）

[1] 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Suita, Osaka 565–0871, Japan
[a)] s-yui@ist.osaka-u.ac.jp
[b)] higo@ist.osaka-u.ac.jp
[c)] kusumoto@ist.osaka-u.ac.jp

と定義したうえで，ソースコードの可読性を測定するため，識別子，特定の記号，インデントや空行などのフォーマット，コメントといったソースコード上のさまざまな特徴との相関について調査を行った [4]．また，ソースコードの可読性を向上させるために開発者が守るべきコーディング規約をまとめたものとして，Java Code Convensions などが存在する [5]．たとえば，メソッドや変数は使用意図が分かるよう，長すぎず短すぎない命名を行うべきであると述べられている．また，適切な空行も可読性を向上させるための重要な要因の 1 つであると述べられており，Buse らの調査結果においても，空行はコメントよりも重要度が高いことが分かっている．また，Wang らは，ソースコード中の文から意味のあるまとまりを識別し，その間に空行を挿入することでソースコードの可読性を向上させる手法を提案している [17]．

このように，ソースコードの可読性を向上させるための手法やツールは多く存在し，これらはリファクタリング操作として考えることができる．リファクタリングとは，プログラムの振舞いを変えずに内部構造を変化させる技術である．ソースコードには将来的に問題を引き起こす可能性のある「不吉なにおい」が存在し，保守性を低下させる原因であるといわれている．そのような不吉なにおいに対する具体的な対処方法は，Fowler によってリファクタリングパターンとしてまとめられている [7]．

本研究では，ソースコードの可読性を向上させるためのリファクタリング手法を新たに提案する．Buse らの調査結果では，ソースコード可読性に最も影響を与えている要因は識別子の数であった [4]．また，変数が定義されてから参照されるまでの間に多くの処理を含む場合，理解するためのコストが増大するという報告もある [13]．このような状況を改善するためには，変数のスコープを狭める，変数の代入文を参照される直前まで移動するといった文の並べ替え操作が有効である．ソースコードの可読性を向上させるためのリファクタリング手法として，空行の挿入やインデントの整形などが行われている [9], [17]．

本研究では，変数の定義と参照の間の距離に着目して，メソッド内の文を並べ替える手法を提案する．提案手法をオープンソースソフトウェアに適用したところ，提案手法によって並べ替えの行われたメソッドは可読性が向上したという結果が得られた．

本研究の主な貢献を以下に記す．

- プログラムの振舞いを変えることなく，ソースコードの可読性を向上させるためのリファクタリング手法を提案した．提案手法では，変数を内側のブロックに移動させてスコープを小さくする，およびブロック内での文の入れ替えにより定義と参照の間の距離を短くする，の 2 つの戦略に基づいてソースコード中の文の順番を入れ替える．
- 提案手法を用いて，Java で記述されたオープンソースソフトウェアのメソッドに対して並べ替えを行った．並べ替えの結果は，44 名の被験者によって評価された．その結果，実験対象とした 20 のメソッドのうち，16 のメソッドにおいて，提案した並べ替え手法によりメソッドの可読性が向上したとの結果を得た．
- 提案手法を用いても可読性が向上しなかったメソッドについて，その原因を考察した．また，考察を元にして，有用と考えられるリファクタリング支援環境の構想について述べた．

2. 関連研究

2.1 ソースコードの可読性に関する調査

Buse らはさまざまなメトリクスとソースコード可読性との相関を調査した結果，識別子の数はソースコード可読性に最も影響を与えていることを示している [4]．また，人はソースコードを理解しようとする際，ソースコードを読みながら頭の中で実行することがある．このような作業をメンタルシミュレーションと呼ぶ [6]．Nakamura らは，人の記憶形式をキューでモデル化し，メンタルシミュレーションのコストを計測した [13]．この結果，キューにない変数を参照するとき，すなわち定義されてから参照されるまでの間に多くの処理を含む変数を参照するとき，コストの増大につながるということが分かっている．

Biegel らは，Java ソースコード中のフィールドおよびメソッドの並び順は可読性に影響を与える要因であると考え，その並び順にどのような基準があるか，16 のオープンソースソフトウェアを対象に調査を行った [2]．その結果，最も広く用いられている基準は Java Code Convensions で定められている基準であるが，それに続く基準はさまざまなものが存在することが分かっている．

また，ソースコードを理解するための時間のうち，1 つのドキュメントに対してスクロール操作などで移動を行う時間は約 7 分の 1 を占めるという報告がある [11]．

2.2 ソースコードの可読性の向上を目的としたリファクタリング手法

エディタ上での強調表現やフォーマットの整形など，ソースコード上の見た目を改善する技術を Pretty-Printing と呼ぶ [9]．Pretty-Printing は古くから用いられている技術で，プログラミング言語に依存しない手法は Oppen によって最初に提案された [14]．また，Pretty-Printing は基本的にプログラムの構文的な情報を元に行われているが，Wang らは構文情報のほかにデータ依存も考慮したうえでソースコードの意味的なまとまりを識別し，空行で分割することで可読性を向上させる手法を提案した [17]．

Atkinson らは，行数や文の数などのメトリクスを用いてリファクタリング候補を自動検出する手法を提案した [1]．

Relf は，ソースコードの可読性を高めるために，ソースコード上の情報から適切な識別子名を特定し，提示する手法を提案した [15]．Tsantalis らは，プログラム中に存在するすべての変数について，データの依存関係を元に関連性のある文のまとまりを特定し，メソッド抽出リファクタリングの候補を提示する手法を提案した [16]．

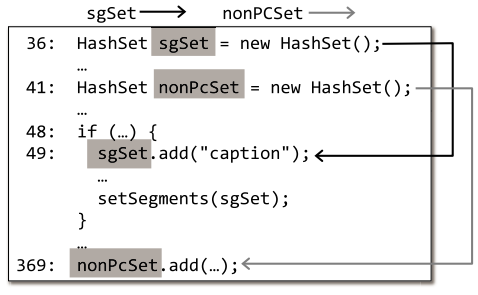
3. 研究動機

図 1 (a) のソースコードは，変数の定義と参照が離れている例を示している．たとえば，図 1 (a) において，変数 *sgSet* は 48 行目以降の if 文内でのみ参照されているにもかかわらず，外側のブロックで定義されている．一般的に，このように局所的に用いられる変数はスコープを狭めることが望ましい．変数 *nonPcSet* については，定義と参照が同一スコープで行われているためスコープを狭めることはできないが，定義を行う文を参照を行う文の直前に移動することは可能である．これら 2 つの変数について，それらの定義を行う文を移動すると，図 1 (b) のようになる．この移動を行うことによって，2 つの変数の定義と参照の間の距離が縮まり，ソースコードの可読性が増すと著者らは考えた．

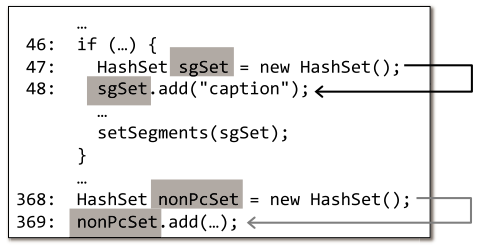
本研究では，ソースコードの可読性を向上させるために，文の並べ替えを行う手法を提案する．図 1 の例に基づいて，以下の 2 つの移動戦略を用いる．

戦略 A 変数のスコープを狭めるため，内部ブロックへ文を移動する．

戦略 B 変数の定義と参照の間の距離を短くするため，共通のブロック内で文を移動する．



(a) 移動前



(b) 移動後

図 1 プログラム文の移動例

Fig. 1 An example of reordering program statements.

4. 提案手法

4.1 変数の定義と参照間の距離の取得

本手法では，変数の定義と参照の関係を **Def-Use チェイン**（以下，**DU チェイン**）から取得する [10]．DU チェインとは，ある変数の定義と参照の関係を表したものである．2 つの文 s_1，s_2 が次の条件をすべて満たすとき，文 s_1 から文 s_2 へ DU チェインが存在する．

- 文 s_1 は変数 v を定義する．
- 文 s_2 は変数 v を参照する．
- 文 s_1 から文 s_2 の間には，変数 v の再定義のない 1 つ以上の実行パスが存在する．

ただし，提案手法では “文 s は変数 v を定義する” とは，以下のいずれかの動作を表す．

- 文 s において，変数 v に対して代入処理が行われている．
- 文 s において，変数 v が指すオブジェクトの状態が変更されている．

変数の定義と参照間の距離は，DU チェインを用いて算出する．ある DU チェイン c の距離 $distance(c)$ を，DU チェイン c によって結ばれた 2 つの文の間に存在する文の数とする．このとき，ソースコード中のあるブロック b に含まれるすべての DU チェインの総距離 $totaldistance(b)$ は，b に含まれるすべての DU チェインの集合 $DUchain(b)$ を用いて以下の式で表す．なお，“DU チェイン c がブロック b に含まれる” とは，c を構成する 2 つの文がともに b 内に存在することを表す．

$$totaldistance(b) = \sum_{c \in DUchain(b)} distance(c) \qquad (1)$$

4.2 手法の概要

本手法は，ソースコードを入力として以下の手順で文の並べ替えを行う．

手順 1 ソースコードから抽象構文木（AST）を構築する．

手順 2 AST を後順走査し，訪れたブロックに対して次の 2 つの移動戦略を適用する．

戦略 A 内部ブロックへ文を移動する．

戦略 B 共通のブロック内で文を移動する．

手順 3 走査を終えた AST からソースコードを生成する．

手順 2 において，2 つの移動戦略が適用される様子を**図 2** に示す．2 行目の if ブロックに訪れたとき，if ブロック内に移動することで変数のスコープを狭めることのできる文があれば，その文を if ブロック内へ移動する．続いて，if ブロックの *totaldistance* が最小になるよう，ブロック内の文を並べ替える．

4.3 戦略 A の実現方法

以下のすべての条件を満たすとき，文 s はブロック b 内

図 2 手順 2 の適用例
Fig. 2 An example of STEP2 application.

へ移動可能であるとする．

- 文 s は変数宣言文である．
- 文 s はブロック b の外側に存在し，ブロック b 内の文に対して DU チェインが存在する．
- 文 s はブロック b が実行される前に必ず実行される文である．
- 文 s で定義されたすべての変数は，ブロック b 内の文でのみ参照される．
- 文 s で定義されたすべての変数は，ブロック b が実行される前に再定義されることはない．

上記の条件をすべて満たす文が存在すれば，この文をブロック内の先頭要素として配置する．この戦略は文のスコープを狭めることのみを目的としているため，ここでは文をどの位置に配置すべきかということは考慮しない．

4.4 戦略 B の実現方法

着目中のブロック内の文を並べ替える際，提案手法では，“プログラムの振舞いを変えない” という制約を満たすすべての文の並び（順列）を生成し，その中から *totaldistance* が最小のものを選択するという方法を用いる．

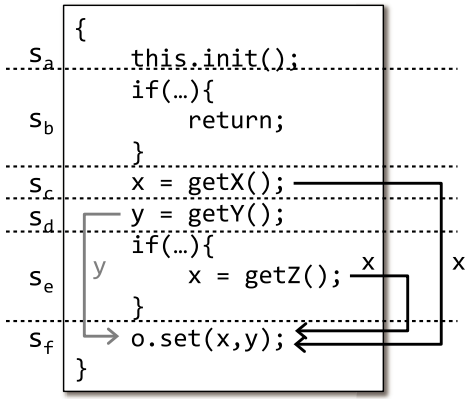
例として，**図 3** (a) のブロックに対して戦略 B を適用する場合を考える．このとき，並べ替え対象となる文は，文 s_a から s_f である．ただし，文 s_b や s_e のように，並べ替え対象の文自身がブロックである場合も存在する．これらの文から生成される，プログラムの振舞いを変えないための順序制約は図 3 (b) のとおりとなる．

プログラムの振舞いを変えない範囲で文の並べ替えを行うために，提案手法では，プログラム文が満たさなければならない順序制約として下記の 3 つを定める．

Def-Use 制約 ある変数の定義と参照の関係にある 2 つの文は，現在の出現順序を保たなければならない．たとえば図 3 (a) の文 s_f は，文 s_d で定義された変数 y を参照しており，この 2 つの文を入れ替えると参照することができなくなってしまう．また，並べ替え対象の文が，for 文のようなループ構造の中にあれば，変数を定義する文の方が参照する文より後に出現するということが考えられる．この場合も，現在の出現順序，すなわち参照する文から定義する文までという順序を保つ．

Def-Def 制約 同一変数を定義する文が複数存在するとき，その出現順を保たなければならない．たとえば，図 3 (a) の文 s_c，s_e ではともに変数 x が定義されており，文 s_f は，このどちらか一方から値を参照することになる．この 2 つの文を入れ替えると，文 s_c が文 s_e による変数 x の定義を上書きしてしまうため，文 s_f は文 s_e で定義された値を参照することができなくなってしまう．

Escape 制約 ブロック外へのジャンプ命令を含む文をまたいで文の移動をすることはできない．たとえば，図 3 (a) の文 s_b は return 文を含んでいる．このとき，文 s_b より前の文は必ず実行されるが，後の文は文 s_b の条件によっては実行されるとは限らない．よって，文 s_a を文 s_b よりも後に移動することはできないし，文 s_c，s_d，s_e，s_f を文 s_b の前に移動することもできない．



(a) 並べ替え対象の文

制約の表記
a→b: 文bは文aの後に出現しなければならない

Def-Use	Def-Def	Escape
$s_c \rightarrow s_f$ $s_d \rightarrow s_f$ $s_e \rightarrow s_f$	$s_c \rightarrow s_f$	$s_a \rightarrow s_b$ $s_b \rightarrow s_c$ $s_b \rightarrow s_d$ $s_b \rightarrow s_e$ $s_b \rightarrow s_f$

(b) 図 3 (a) に対する順序制約

図 3 文の順序制約の例
Fig. 3 An example of reordering constraints.

なお，ブロック外へのジャンプ命令とは，return 文の他に continue 文，break 文や，Java 言語の場合 throw 文，assert 文が含まれる．

上記の制約をふまえたうえで，ブロック b 内の文に対する並べ替えは下記の手順で行われる．

手順 1 順序制約を満たすすべての順列（文の並び）を生成する．

手順 2 手順 1 で生成した順列の中から $totaldistance(b)$ が最小であるものを抽出する．

しかし，$totaldistance(b)$ が最小である順列が複数存在する場合がある．その場合はさらに下記の処理を行う．

手順 3 抽出した順列の中で，オリジナルの順列（入力メソッドにおける文の並び）と最も近いものを 1 つだけ抽出する．

本研究では，変数の定義と参照の間の距離にのみ着目した文の並べ替えを行うため，それ以外の要素で文の順序が入れ替わることは適切でないと考え，このような処理を行う．この処理では，オリジナルの順列と最も近いものを選ぶために，Spearman の順位相関係数を利用する．手順 2 で得られたすべての候補とオリジナルの順列との間で Spearman の順位相関係数を計測し，最も値が高いものを出力とする．

5. 評価実験

提案手法を実装し，評価実験を行った．この実験では Java で記述されたソースコードを対象とした．本実験の目的は，提案手法を用いた文の並べ替えを行うことによって，ソースコードの可読性が向上するかどうか評価することである．実験対象として，オープンソースソフトウェアである TVBrowser を用いた．

5.1 準備

TVBrowser は約 14 万行であり，約 3,700 のメソッドが含まれていた．全メソッドに対する提案手法の適用には約 56 分を要した．そして，文の並べ替えが行われたメソッドのうち，20 個を用いてアンケート調査を行った．このアンケートでは，各被験者は 20 個のメソッドに対して，並べ替え後のソースコードとオリジナルのソースコードを比較し，どちらの方が可読性が高いのかを判定した．アンケートの準備は下記のように行った．

手順 1 20 の対象メソッドのオリジナルソースコードと並べ替え後のソースコードから，コメントおよび空白を取り除く．また，オリジナルと並べ替えのソースコード間でインデントや改行位置などのフォーマットを統一する．

手順 2 各メソッドにつき，オリジナルと並べ替え結果をランダムに A，B と区別し，読みやすさについて以下の項目から選んでもらう．

- A の方が読みやすい．
- B の方が読みやすい．
- 読みやすさに違いはない．

上記のアンケートを web 上で公開し，被験者を募った．その結果，44 名の被験者が実験に参加した．アンケートでは被験者の Java 使用経験について質問を行っており，その結果を**表 1** および**表 2** に示す．

表 1 Java を用いたプログラミングの経験
Table 1 Programming experiments with Java language.

内訳	人数
まったく使ったことがない	1 名
1,000 行未満	7 名
1,000〜10,000 行程度	23 名
10,000 行以上	13 名

表 2 Java の使用機会（複数回答あり）
Table 2 Opportunities using Java language.

内訳	人数
授業（学生時代）	31 名
研究（学生時代）	28 名
趣味	18 名
仕事	12 名

5.2 結果

実験結果を**図 4** に示す．グラフの縦棒は各メソッドを表し，44 名の被験者が選んだ回答の内訳を表示している．また，各内訳の合計値をグラフの右側に記載している．グラフより，「違いがない」という回答を除けば，20 個中 16 個のメソッドで提案手法適用結果のメソッドを「読みやすい」と判断した被験者数が多いという結果が得られた．また，Wilcoxon の符号順位和検定より，提案手法を選んだ人数とオリジナルを選んだ人数には，優位水準 1%で差がある（p 値は 0.002 であった）ことを確認した．以上の結果から，提案手法によってメソッドの可読性を向上させる文の並べ替えを行えたといえる．

5.3 考察

図 4 より，4 つのメソッドについてはオリジナルのメソッドを「読みやすい」と判断した被験者が多いことが分かった．この 4 つのメソッドについて調査したところ，以下の特徴が見られた．

- 類似した変数名の宣言が連続して行われている．
- 同一のオブジェクトに対して，同名のメソッド呼び出しが連続して行われている．

たとえば，**図 5** はオリジナルの方が読みやすいと判断した被験者が最も多かったメソッドである．図中の矢印は DU チェインを表し，そのラベルは DU チェインの距離を表している．提案手法の適用によって，このメソッドの先

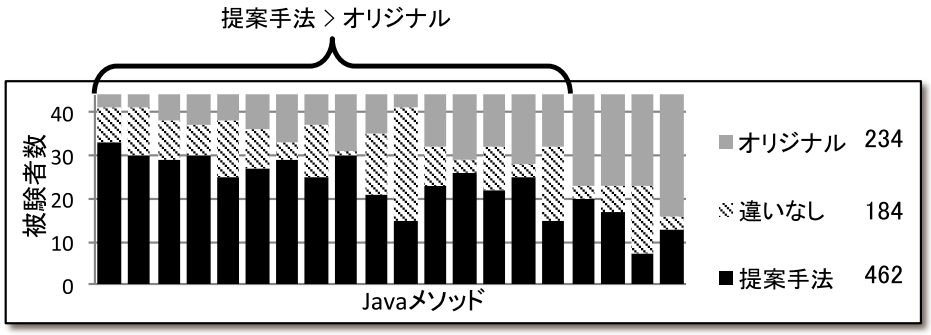
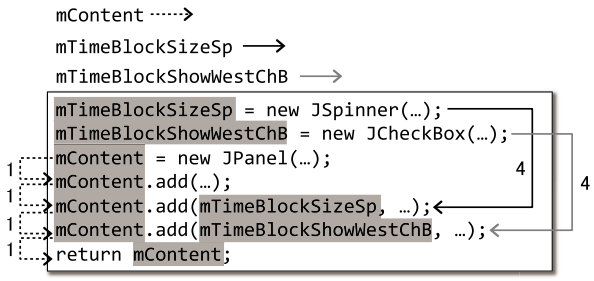
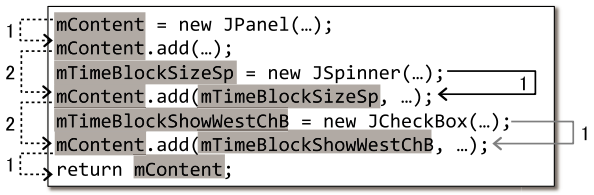


図 4 各対象メソッドに対する回答の内訳
Fig. 4 Questionnaire results for target methods.



(a) オリジナル



(b) 提案手法適用後

図 5 オリジナルの方が読みやすいと判断されたメソッド
Fig. 5 A method that its original had a better readability than the reordered one.

表 3 文の並びと可読性についてのアンケート結果
Table 3 Result of questionnaire on relationships between order of statements and readability of source code.

類似構造について	
オブジェクトへの呼び出しをまとめると良い	4 名
変数の宣言と参照のパターンが連続していると良い	3 名
プロパティへの代入をまとめると良い	2 名
関連のある変数の定義をまとめると良い	1 名

変数の定義と参照の間の距離について	
変数の定義から参照までの距離を近づけると良い	7 名
変数の定義をまとめて行うと良い	1 名
定数は先頭で宣言すると良い	1 名

文の並びよりも重要な要素について	
改行の位置が重要である	2 名
コメントが重要である	1 名
識別子の命名が重要である	1 名

頭で定義されていた 2 つの文が，参照される直前へ移動するという文の並べ替えが行われた．しかし，被験者の多くはオリジナルの方が読みやすいと評価している．オリジナルのメソッドには，メソッドの先頭で定義されている 2 つの変数名が類似している，および，変数 *mContent* が指すオブジェクトに対して連続してメソッド呼び出しが行われている，という特徴がある．一方，提案手法適用後のメソッドでは，このような類似する文の並びが保たれていない．

提案手法による文の並べ替えを行うことで，これらの類似した文の構造が保たれていない例がいくつか見られた．このことから，類似した文の並びはソースコードの可読性に貢献するものである可能性がある．

6. メソッドの並べ替えに関するアンケート結果

5.3 節の考察に関する知見を得るために，メソッドの並べ替えと理解のしやすさに関するアンケートを実施した．このアンケートも，web 上で公開し，匿名の被験者に協力をしていただいた．このアンケートは “文の並べ替えと理解のしやすさ” に関する自由記述形式のアンケートであり，8 名の被験者が回答した．回答結果については**表 3** にまとめている[*1]．なお，表の各項目はすべての被験者の回答内容を漏れなく記述したものであり，1 人の被験者からの回答が複数の項目に分かれていることがある．

類似構造が存在するとソースコードの可読性が増すという回答が得られた．また，変数の定義と参照の間の距離については被験者全員が言及し，そのうち 7 名は，変数は参照される直前に定義されると良いと回答している．しかし，文の並べ替えを行う際に，これらの要素をともに優先できるとは限らず，どちらを優先すると良いかは人によって異なったり，改行やコメントといった文の並び以外の要素に影響を受けたりということがある．

[*1] 表 3 は，回答結果を 3 つのカテゴリ，“類似構造について”，“変数の定義と参照の間の距離について”，および “文の並びよりも重要な要素について”，に分けて記載している．しかし，アンケート自体ではそのようなカテゴリ分けをしていたわけではない．被験者は “文の並べ替えと理解のしやすさ” について自由に記述し，著者らがその回答結果を 3 つのカテゴリに分けてまとめた．

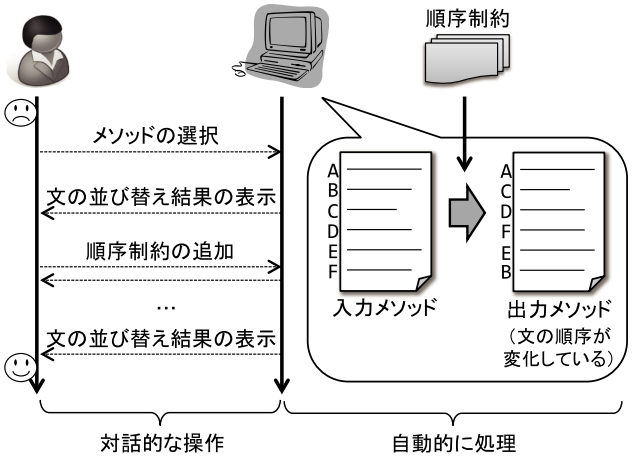


図 6 文の並べ替えを利用した対話的なリファクタリング支援環境
Fig. 6 Interactive refactoring enrivonment by reordering program statements.

以上の結果から，文の並べ替えはつねに全自動で行うべきとはかぎらないといえる．しかし，変数の定義と参照の間の距離を小さくすることや類似構造を保つことで，ソースコードの可読性が向上することも確認できている．したがって，文の並べ替えを行う際は，本研究で提案する手法に加え，文の並びに関するユーザの意見を取り入れられるような仕組みが必要である．

たとえば，**図 6** に示すような対話的なリファクタリング支援環境が有用であろう．ツール上でユーザが可読性を向上させたいメソッドを 1 つ選択すると，ツールは文の並びに関する初期の制約にしたがって文を並べ替え，その結果を 1 つだけ提示する．初期の制約とは，プログラムの振舞いを変えないために最低限守るべき制約である（4.4 節を参照）．ユーザはその結果を確認し，ソースコードに反映させるか決定する．もし結果に満足できなければ，ユーザは文の並びに関する追加制約を指定し，もう一度実行する．追加制約には，たとえば類似構造を保つことなどが含まれる．このような対話的な操作を繰り返すことで，最終的にユーザが望む並べ替え結果を提示することができる．

7. 妥当性について留意すべき点

7.1 実験で用いたプロトタイプについて

5 章の実験では，提案手法を簡易実装したプロトタイプを用いることにより自動的にメソッドの並べ替えを行った．その結果，約 3,700 のメソッドのうち，215 のメソッドに対して並べ替えが行われた．しかし，このプロトタイプには提案手法のすべてが実装されているわけではない．4.1 節に記載している DU チェインの定義のうち．変数が指すオブジェクトの状態が変化したかどうかについては，情報を取得することができていない．そのため，プロトタイプによって並べ替えが行われたメソッドすべてについて，その振舞いが保たれているわけではない．

よって，提案手法により並べ替えた 215 のメソッドからランダムに 1 つを抽出し，並べ替えによって振舞いが変化していないかどうかを著者らが手作業により確認した．振舞いが変わっていないと判断した場合には，そのメソッドを実験対象に加えた．このようにして，ランダムに 1 つ抽出し，そのソースコードを調査するという作業を，実験対象が 20 になるまで繰り返した．

このような手作業による確認作業は，用いたプロトタイプが提案手法の一部を未実装であるため必要であった．もし，提案手法がすべて実装されているツールを用いた場合には，このような手作業による確認作業は必要がない．

7.2 メトリクス totaldistance について

提案手法では，メトリクス totaldistance を計算するために，変数の定義と参照間の文数の単純な和を用いた．しかしながら，この計算式を距離の対数や二乗の和に変更することでより可読性が高くなる並べ替えを行える可能性がある．しかしながら，この実験ではそのような並べ替え方法の優劣については評価ができていない．

7.3 プロトタイプの実行時間について

5 章の実験では，著者らが作成したプロトタイプを用いて約 56 分で TVBrowser に含まれているすべてのメソッドに対して並べ替え候補の検出を行った．しかし，このような並べ替えの候補検出は著者らが想定している利用状況とは異なる．図 6 に示したように，著者らは，ユーザが選択したメソッドに対してのみ並べ替え候補を提示することを想定している．そのため，そのような利用状況においては，並べ替え候補提示に必要とする時間は実験で得られた値よりも大幅に短くなる．

また，すでに述べたように実験で用いたプロトタイプは提案手法の一部が未実装である．すべての機能を実装した場合は，現在のプロトタイプに比べてソースコードの解析に要する時間が長くなる．

8. おわりに

本研究では，変数の定義と参照の間の距離に着目して，ソースコード中の文を並べ替える手法を提案した．オープンソースソフトウェアに対して提案手法を適用し，並べ替えが行われた 20 のメソッドに対して，オリジナルのソースコードと提案手法適用後のソースコードの可動性を，44 名の被験者が比較した．その結果，提案手法を適用することで多くのメソッドの可読性が向上したことが確認できた．さらに，可読性に影響を与える文の並べ方には，変数の定義と参照の間の距離だけではなく，類似した文の並びも影響を与える可能性があるという結果が得られた．

今後の課題としては，図 6 に示すような対話的な文の並べ替え支援環境を構築することがあげられる．

謝辞 本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（S）（課題番号：25220003），挑戦的萌芽研究（課題番号：24650011），および文部科学省科学研究費補助金若手研究（A）（課題番号：24680002）の助成を得た．

参考文献

[1] Atkinson, D.C. and King, T.: Lightweight Detection of Program Refactorings, *Proc. 12th Asia-Pacific Software Engineering Conference*, pp.663–670 (2005).

[2] Biegel, B., Beck, F., Hornig, W. and Diehl, S.: The Order of Things: How Developers Sort Fields and Methods, *Proc. 28th International Conference on Software Maintenance*, pp.88–97 (2012).

[3] Boehm, B. and Basili, V.R.: Software Defect Reduction Top 10 List, *Computer*, Vol.34, No.1, pp.135–137 (2001).

[4] Buse, R.P.L. and Weimer, W.R.: Learning a Metric for Code Readability, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.36, No.4, pp.546–558 (2010).

[5] Code Conventions for the Java Programming Language, available from ⟨http://www.oracle.com/technetwork/java/codeconv-138413.html⟩.

[6] Dunsmore, A. and Roper, M.: A Comparative Evaluation of Program Comprehension Measures (2000).

[7] Fowler, M.: *Refactoring: Improving the design of existing code*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. (1999).

[8] Goldberg, A.: Programmer as Reader, *IEEE Softw.*, Vol.4, No.5, pp.62–70 (1987).

[9] Jackson, S., Devanbu, P. and Ma, K.-L.: Stable, flexible, peephole pretty-printing, *Sci. Comput. Program.*, Vol.72, No.1-2, pp.40–51 (2008).

[10] Khedker, U., Sanyal, A. and Karkare, B.: *Data Flow Analysis: Theory and Practice*, 1st edition, CRC Press, Inc. (2009).

[11] Ko, A.J., Myers, B.A., Coblenz, M.J. and Aung, H.H.: An Exploratory Study of How Developers Seek, Relate, and Collect Relevant Information during Software Maintenance Tasks, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.32, No.12, pp.971–987 (2006).

[12] Murphy, G.C., Kersten, M., Robillard, M.P. and Čubranić, D.: The emergent structure of development tasks, *Proc. 19th European Conference on Object-Oriented Programming*, pp.33–48 (2005).

[13] Nakamura, M., Monden, A., Itoh, T., Matsumoto, K.-I., Kanzaki, Y. and Satoh, H.: Queue-Based Cost Evaluation of Mental Simulation Process in Program Comprehension, *Proc. 9th International Symposium on Software Metrics*, pp.351–360 (2003).

[14] Oppen, D.C.: Prettyprinting, *ACM Trans. Program. Lang. Syst.*, Vol.2, No.4, pp.465–483 (1980).

[15] Relf, P.A.: Tool assisted identifier naming for improved software readability: An empirical study, *Int'l Symp. on Empirical Software Engineering*, pp.53–62 (2005).

[16] Tsantalis, N. and Chatzigeorgiou, A.: Identification of Extract Method Refactoring Opportunities, *Proc. 2009 European Conference on Software Maintenance and Reengineering*, pp.119–128 (2009).

[17] Wang, X., Pollock, L. and Vijay-Shanker, K.: Automatic Segmentation of Method Code into Meaningful Blocks to Improve Readability, *Proc. 2011 18th Working Conference on Reverse Engineering*, pp.35–44 (2011).

佐々木 唯

2011 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業．2013 年同大学大学院博士前期課程修了．在学時，コードクローン分析やソフトウェアメトリクスに関する研究に従事．

肥後 芳樹 （正会員）

2002 年大阪大学基礎工学部情報科学科中退．2006 年同大学大学院博士後期課程修了．2007 年同大学大学院情報科学研究科コンピュータサイエンス専攻助教．博士（情報科学）．ソースコード分析，特にコードクローン分析，リファクタリング支援およびソフトウェアリポジトリマイニングに関する研究に従事．電子情報通信学会，日本ソフトウェア科学会，IEEE 各会員．

楠本 真二 （正会員）

1988 年大阪大学基礎工学部卒業．1991 年同大学大学院博士課程中退．同年同大学基礎工学部助手．1996 年同講師．1999 年同助教授．2002 年同大学大学院情報科学研究科助教授．2005 年同教授．博士（工学）．ソフトウェアの生産性や品質の定量的評価に関する研究に従事．電子情報通信学会，IEEE，IFPUG 各会員．