

令和 5 年 5 月 1 日現在

機関番号：17102
研究種目：基盤研究(A)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：18H04097
研究課題名（和文）自動デバッグを可能にする群衆知エコシステムの確立

研究課題名（英文）Crowd Knowledge Ecosystems for Automatic Bug Fixing

研究代表者

鷓林 尚靖（Ubayashi, Naoyasu）

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：80372762

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、群衆知を活用した自動バグ修正技術の開発に取り組んだ。群衆知として、OSSリポジトリのソースコードやその変更履歴、StackOverflowなどのQ&Aサイトの情報を活用した。本研究の実施により、1) Javaを対象とした自動バグ修正研究プラットフォームjProphetの開発、2) 自動バグ修正ツールの企業開発ソフトウェア、大学初年時プログラミング教育への適用、3) プログラマ自身によるバグ限局を考慮したバグ修正精度向上技術の開発、4) 網羅的テストケース自動生成との組み合わせによるバグ修正精度向上技術の開発、5) バグ修正履歴の群衆知化、に関する成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動バグ修正はソフトウェア工学研究において最も注目されている技術の一つであるが、今までその効果検証は十分に行われていなかった。本研究では、自動バグ修正ツールや関連手法を開発しただけでなく、実際に企業におけるソフトウェア開発や大学における初年次プログラミング教育へ適用し、その効果を学術的に評価した点に大きな意義がある。企業への適用に関しては、ソフトウェアテスト技術振興協会（ASTER: Association of Software Test EngineerRing）から第16回善吾賞が授与され、本研究の意義が社会的にも認められた。本賞ではソフトウェアの品質向上に寄与する学術的な論文が顕彰される。

研究成果の概要（英文）：This study provided a set of automatic bug-fixing techniques that utilize collective knowledge. As collective knowledge, we used source code from OSS repositories, its change history, and information from Q&A sites such as StackOverflow. The contributions of this research are as follows: 1) Development of jProphet, an automatic bug-fixing research platform for Java, 2) Experimental application of automatic bug-fixing tools to software development in industry and to first-year university programming education, 3) Development of techniques to improve bug fixing accuracy by taking into account fault localization by the programmers themselves, and 4) Development of technology to improve the accuracy of bug fixes in combination with automatic exhaustive test case generation, and 5) A mechanism to enhance collective knowledge using bug fix history.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：人工知能 群衆知 自動バグ修正 デバッグ 深層学習

1. 研究開始当初の背景

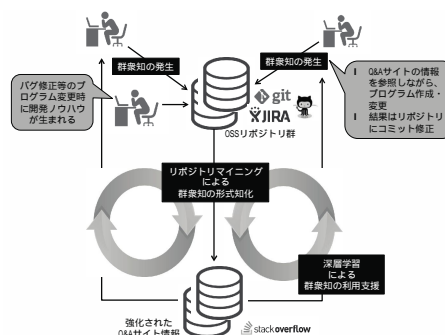
自動デバッグ、すなわち、人手を介さずにプログラムに含まれるバグを自動的に取り除くことは、夢の技術と一般的には認識されている。研究者が「バグを自動的に修正する」技術の必要性を訴えても、ソフトウェア開発の現場では本気で信じて貰えない。しかし、視線をソフトウェア工学研究の最前線に移すと、自動バグ修正は重要な研究領域を形成している。ソフトウェア工学における最高峰の国際会議である ICSE(International Conference on Software Engineering) では、自動バグ修正関連で複数のセッションが設けられており、世界中の研究者がこの重要テーマに取り組んでいる。これは、本研究を開始した当初だけでなく、現在においても同様である。

本研究を開始した当初においては、様々な自動バグ修正手法が提案されていた。主な研究アプローチとして、修正テンプレートによるバグ修正、遺伝的アルゴリズムによるバグ修正、バグを生みやすい条件分岐の条件式に特化したバグ修正など、プログラムやその解析情報を用いてプログラムを変形加工する方法が主に提案されていた。また、深層学習を用いて、大学プログラミング教育のログ蓄積から簡単な文法誤りやプログラムの意味誤りを自動修正する方法もまだ萌芽的な成果ではあったが、いくつか報告されていた。

バグを適切に自動修正するには膨大な群衆知(様々なプログラマがインターネット上に残したプログラム修正に関わる知識の集合のことを本研究では「群衆知」と呼んでいる)が必要となり、バグ修正対象のプログラムを解析するだけでは不十分である。自動デバッグの機能が限定的な要因として、(1) 膨大な群衆知をどのように獲得し、それらをどのように自動バグ修正に適用するのか、(2) どのようにすれば高精度にバグを自動修正することができるのか、そして、(3) バグが正しく修正されたときの履歴をどのように群衆知として公開すればソフトウェア開発のコミュニティに役立つのか、という自動バグ修正に関わるエコシステムが満足いく段階に達していない点があげられる。

2. 研究の目的

自動バグ修正技術が抱える上記の問題を解決するため、本研究では、右図に示す「自動デバッグを可能にする群衆知エコシステム」を構築するための基礎的な技術と手法を開発することを目的とした。具体的には、以下の3つの観点を達成することを目的とした。



- (1) 群衆知に基づいた自動バグ修正技術の開発
- (2) バグ修正精度向上技術の開発
- (3) バグ修正履歴の群衆知化

これらは、1. で指摘した自動バグ修正に関わる課題にそれぞれ対応している。(1)(2)は、図の「深層学習による群衆知の利用支援」を具体化したものであり、(3)は「群衆知の発生」「リポトリマイニングによる群衆知の形式知化」に対応する。

3. 研究の方法

本研究では、群衆知として、オープンソースソフトウェア (OSS: Open Source Software) リポトリに格納されたソースコードやその変更履歴、StackOverflow などの Q&A サイトの情報 (プログラミングに関する質問・回答の情報で、デバッグ時に役立つ情報が数多く含まれている) を利用した。

4. 研究成果

ここでは、2. で示した研究目的(1)(2)(3)に対応させて、本研究の成果について述べる。また、当初の研究計画には含まれていなかったものの、深層学習モデルの自動バグ修正についても追加で研究を実施したので、それについても述べる。昨今、AI を組み込んだソフトウェアシステムの開発事例が急速に増加しており、必然的に深層学習モデルに対する品質が重要視されるようになった。これは研究開始当初には予測できなかったことであるが、その重要性を鑑み、プログラムだけでなく深層学習モデルに対するバグの自動修正についても研究を行うこととした。

(1) 群衆知に基づいた自動バグ修正技術の開発

a) Java を対象とした自動バグ修正研究プラットフォーム jProphet の開発

jProphet は Java を対象とした自動バグ修正のための研究プラットフォームであり、この上で、様々な自動バグ修正のためのアルゴリズムを実装、評価することができる。jProphet では過去のプログラムのバグ修正履歴から機械学習により確率モデルを生成してプログラムの修復に利用する。これにより、一般的なプログラムのバグ修正に非常に近い修正候補を生成し、機械的で無意味な候補を排除することが可能となる。

研究プラットフォームとしての jProphet では、テストスイートベースのバグ限局、修正テンプレートによるパッチの作成、修正精度向上のための機械学習などの機能が用意されており、各機能を容易に変更できる高い拡張性を備えている。jProphet の適用事例として、「テストケースによるバグ限局」から「プログラマ自身による手動バグ限局」への置き換え、静的解析ツールによるバグ限局（プログラム行に対する警告）などがある。前者においては自動バグ修正の実行時間が短縮され、後者においてはある事例で 20 件中 9 件の警告が修正された。

b) 自動バグ修正ツールの企業開発ソフトウェア、大学初年時プログラミング教育への適用

本研究では、自動バグ修正技術を開発するだけでなく、社会的な意義の観点からその有用性についても適用評価した。ソフトウェア工学のコミュニティでは、自動バグ修正の研究は積極的に取り組まれているが、その一方で、自動バグ修正ツールを企業内ソースコードに適用した結果、実際に期待するほどの性能が得られなかった例も報告されている。自動バグ修正を実際のソフトウェア開発現場で導入するためにはテスト・デバッグ工程を考慮した現場のプロセスへの導入方法やプロセス改善の必要性について考える必要がある。

本研究では、ミドルウェア製品に対して現在の開発プロセスに沿って自動バグ修正を適用し、企業内ソースコード（C 言語）に対する自動バグ修正の有用性やツールの今後の発展、開発プロセスに組み込む際の課題などを明らかにした。ミドルウェア製品の開発履歴から収集できた 14 件のバグに対してケーススタディを行い、3 件のバグに対して自動バグ修正ツールを適用した。その結果から、自動バグ修正ツールの適用可能範囲は約 21%であること、開発工程では単体テスト工程及び実装工程が導入に適していること、自動バグ修正ツールが複数行の修正を行えるように改良することで適用可能範囲を約 64%まで向上させられることが分かった。

この研究については、ソフトウェアテスト技術振興協会（ASTER: Association of Software Test EngineerRing）から第 16 回善吾賞が授与された。善吾賞ではソフトウェアの品質向上に寄与する学術的な論文が顕彰され、この研究の社会的な意義が評価された。企業開発ソフトウェアだけでなく、九州大学における初年時プログラミング教育（C 言語）におけるコンパイルエラーの修正に対しても自動バグ修正の有効性を実証評価した。

(2) バグ修正精度向上技術の開発

a) プログラマ自身によるバグ限局を考慮したバグ修正精度向上技術の開発

自動バグ修正では、自動バグ限局においてバグの箇所が正しく推測できなければ修正時間の増加や修正精度の低下につながる。本研究では、自動バグ限局の代わりにプログラマ自身による手動バグ限局の結果を考慮することで、修正時間の短縮および修正精度の向上を図った。

本研究では、手動バグ限局の方法として、i) 複数行をまとめて選択し各行に疑わしさのランクを付けて修正を 1 回だけ行う方式、ii) 1 行のみを選択して修正を行う操作を複数行に対して繰り返し行う方式を提案した。自動バグ限局でバグの箇所が正しく特定できない場合であれば、両方式の方が自動バグ修正の性能向上に有効であることが判明した。なお、自動バグ限局でバグの箇所が正しく特定できる場合については、i) の方式はバグの箇所の疑わしさのランクを高く設定できても修正性能の向上がほとんど期待できなかった。一方、ii) の方式では、バグを含むメソッドまで特定でき、かつそのメソッドの約 70%の範囲まで限局できていれば修正時間の短縮が期待でき、さらにそのメソッドの約 30%の範囲まで限局できていれば、無意味な修正が行われにくいということが分かった。本研究の評価にあたっては、自動バグ修正研究プラットフォーム jProphet を利用した。

b) 網羅的テストケース自動生成との組み合わせによるバグ修正精度向上技術の開発

テストスイートベースの自動バグ修正に自動テストケース生成が有用であれば、修正パッチ生成のコスト削減につながる。自動テストケース生成には、入力として与えられたクラスに対するテストスイートを生成する手法がある。本研究では、自動プログラム修正に自動テストケース生成を利用する際に、入力としてどのクラスを与えるべきかを明らかにした。

失敗テストスイートのテスト対象クラスとプログラマによる修正クラスが一致していない場

合、その原因は失敗テストケースの実行経路に修正クラスが含まれることであると分かった。さらに、失敗テストケースの実行経路に含まれるクラスを考慮した上で自動生成したテストスイートを自動プログラム修正に用いることにより、正しい修正が増加する場合があることが分かった。

(3) バグ修正履歴の群衆知化

代表的な群衆知の一つである Stack Overflow (SO) はプログラミングに関する質問・回答投稿をコード片とともに共有しており、プログラマの知識共有やデバッグ時のヒントとしてしばしば用いられている。しかし、SO 投稿の量や回答時間は専門分野によって偏っており、近年、未回答の質問投稿の割合が増加する一因となっている。一方で質問者と同じ問題に遭遇しているプログラマはどこかにいるはずであり、彼らが試行錯誤した経験はソフトウェアの開発履歴に蓄積されている可能性がある。

本研究では、ソースコード差分を利用することにより SO の内容を充実させる方法を開発した。最初にケーススタディとして Android アプリケーションのリポジトリからソースコード差分を取り出し、i) SO 投稿とソースコード差分がどの程度関連付くか、ii) 時系列の観点からどの程度のソースコードの差分が実際の SO 投稿より早く取り出せるか、について調査した。次に、この分析結果を踏まえ、バグ修正のソースコード差分から群衆知の一形態である SO 投稿を自動的に生成する技術を開発した。

(4) 深層学習モデルの自動バグ修正

当初の研究計画には含まれていなかったものの、近年著しい発展を遂げている深層学習モデルに対してもバグ修正を行う研究を実施した。近年、深層学習モデルは自動運転や医療画像解析などの様々な分野で適用されている。深層学習モデルが誤動作すると、重大な事故が発生する可能性がある。この誤動作を特定し修正するために、誤動作の原因となるモデルの構成要素(ニューロンなど)を特定し、それらを修正するアプローチが提案されているが、これらは構造が単純で小規模なニューラルネットワークにしか適用できない。入力によって変化する動的な内部状態を持つ RNN (リカレントニューラルネットワーク) のような複雑なモデルに適用するのは困難である。昨今の深層学習モデルは複雑化、大規模化しており、従来とは異なるアプローチの自動バグ修正技術が必要となっている。

本研究では、RNN の誤動作の原因を特定するため、RNN から抽出した確率的オートマトン上の n-gram に着目したバグ限局 (PAFL: Probabilistic Automaton-based Fault Localization) を提案した。PAFL は、確率的オートマトンの状態の n-gram を利用した疑惑値を計算することで、RNN の誤動作の原因を正確に特定できる。さらに、この疑惑値を利用することで、RNN の誤動作と強く関連するデータサンプルを抽出し、それからバグ修正のための再学習データを作る。実験の結果、PAFL はランダムな選択アプローチと比較して、誤動作に強く関連するデータサンプルを統計的に有意に抽出できることが示された。

本研究については、論文がソフトウェア工学におけるトップジャーナルの一つである Information and Software Technology に採録された。

[受賞関係]

本研究については、その成果が論文誌や国際会議等に多数採録されると共に、学会からは複数の賞が授与された。以下に受賞した賞を示す。

情報処理学会ソフトウェア工学研究会学生研究賞受賞、情報処理学会コンピュータサイエンス領域奨励賞受賞： 石本優太，松井健，鶴林尚靖，亀井靖高，RNN の抽象化モデルに対するバグ限局とその評価，情報処理学会研究報告 2021-SE-207，No.2 (2021)

情報処理学会ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2021 研究奨励賞： 中村司，亀井靖高，近藤将成，鶴林尚靖，自動プログラム修正技術の性能評価 -九州大学の基幹教育データを用いた事例研究-，SES 2021 (2021)

IEEE Computer Society Japan Chapter FOSE Young Researcher Award： 松田雄河，山手響介，近藤将成，柏祐太郎，亀井靖高，鶴林尚靖，実行経路を考慮した自動テストケース生成が自動プログラム修正に与える影響の分析，日本ソフトウェア科学会第 28 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE 2021)，pp.61-70 (2021)

ソフトウェアテスト技術振興協会 (ASTER: Association of Software Test EngineerRing) 第 16 回善吾賞： 池田翔，中野大扉，亀井靖高，佐藤亮介，鶴林尚靖，久保田学，矢川博文，吉武浩(2023)。[対象論文： ミドルウェア製品開発に対する自動バグ修正技術の適用

事例, 情報処理学会論文誌デジタルプラクティス, Vol.2, No.4, pp.40-49, Oct. 2021]

令和4年度電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会研究奨励賞: 石本優太, 近藤将成, 鵜林尚靖, 亀井靖高, 確率的オートマトンとn-gramに基づくRNNに対するバグ限局 (2023)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 廣瀬 賢幸, 鷗林 尚靖, 亀井 靖高, 佐藤 亮介	4. 巻 35-4
2. 論文標題 Stack Overflowを利用した自動バグ修正の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会誌 コンピュータソフトウェア	6. 最初と最後の頁 144-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/jssst.35.144	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 高橋 裕太, 鷗林 尚靖, 佐藤 亮介, 亀井 靖高	4. 巻 -
2. 論文標題 集合知を用いた深層学習による自動バグ修正	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2019 (SES 2019)	6. 最初と最後の頁 87-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 首藤 巧, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖, 佐藤 亮介	4. 巻 -
2. 論文標題 ソースコードの修正履歴と自動バグ修正結果の関係に関する分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第26回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2019)	6. 最初と最後の頁 23-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 池田 翔, 中野 大扉, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鷗林 尚靖, 久保田 学, 矢川 博文, 吉武 浩	4. 巻 -
2. 論文標題 ミドルウェア製品開発への自動バグ修正技術適用の試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2020 (SES 2020)	6. 最初と最後の頁 79-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村 司, 池田 翔, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 ソースコードメトリクスが自動バグ修正に与える影響の分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2020 (SES 2020)	6. 最初と最後の頁 60-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山手 響介, 首藤 巧, 浅田 翔, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 自動バグ修正における開発者によるバグ限局の効果 -Defects4J を対象にした初期評価-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第27回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2020)	6. 最初と最後の頁 33-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松尾 春紀, 池田 翔, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 島田 敬士, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 教育支援の適用に向けた自動バグ修正手法の性能評価に関する調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第27回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2020)	6. 最初と最後の頁 23-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 浅田 翔, 首藤 巧, 山手 響介, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 動的解析による自動バグ修正技術の静的解析ツールの警告への適用と初期評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第27回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2020)	6. 最初と最後の頁 13-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryujiro Nishinaka, Naoyasu Ubayashi, Yasutaka Kamei, and Ryosuke Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 How Fast and Effectively Can Code Change History Enrich Stack Overflow?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 20th IEEE International Conference on Software Quality, Reliability & Security (QRS 2020)	6. 最初と最後の頁 467-478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/QRS51102.2020.00066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村 司, 亀井 靖高, 近藤 将成, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 自動プログラム修正技術の性能評価 -九州大学の基幹教育データを用いた事例研究-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2021 (SES 2021)	6. 最初と最後の頁 76-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田 雄河, 山手 響介, 近藤 将成, 柏 祐太郎, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 実行経路を考慮した自動テストケース生成が自動プログラム修正に与える影響の分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第28回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2021)	6. 最初と最後の頁 61-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 秋山 楽登, 中村 司, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖	4. 巻 -
2. 論文標題 プログラミング初学者のバグ修正履歴を用いたデバッグ問題自動生成の事例研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第28回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE 2021)	6. 最初と最後の頁 13-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松尾 春紀, 池田 翔, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 島田 敬士, 鷓林 尚靖	4. 巻 38-4
2. 論文標題 教育支援の適用に向けた自動バグ修正手法の性能調査 [FOSE2020 推薦レター論文]	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会誌 コンピュータソフトウェア	6. 最初と最後の頁 16-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/jssst.38.4_16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 池田 翔, 中野 大扉, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鷓林 尚靖, 久保田 学, 矢川 博文, 吉武 浩	4. 巻 12-4
2. 論文標題 ミドルウェア製品開発に対する自動バグ修正技術の適用事例	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 デジタルプラクティス	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 秋山 楽登, 中村 司, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鷓林 尚靖	4. 巻 vol.39, no.4
2. 論文標題 プログラミング初学者のバグ修正履歴を用いたデバッグ問題自動生成の事例研究 [FOSE2021, 推薦レター論文]	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会誌 コンピュータソフトウェア	6. 最初と最後の頁 10-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/fose.28.0_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石本 優太, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鷓林 尚靖	4. 巻 vol.63, no.11
2. 論文標題 AIの品質保証: ニューラルネットワークモデルのバグ限局・自動修正技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理	6. 最初と最後の頁 e28-e33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00220265	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kiyosuke Yamate, Masanari Kondo, Yutaro Kashiwa, Yasutaka Kamei, and Naoyasu Ubayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Hey APR! Integrate Our Fault Localization Skill: Toward Better Automated Program Repair	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE COMPSAC 2022	6. 最初と最後の頁 563-568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMPSAC54236.2022.00101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsukasa Nakamura, Masanari Kondo, Yasutaka Kamei, and Naoyasu Ubayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluating Automated Program Repair Techniques using Introductory Programming Course Datasets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE COMPSAC 2022	6. 最初と最後の頁 569-574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMPSAC54236.2022.00102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Ishimoto, Masanari Kondo, Naoyasu Ubayashi, and Yasutaka Kamei	4. 巻 155
2. 論文標題 PAFL: Probabilistic automaton-based fault localization for recurrent neural networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Information and Software Technology	6. 最初と最後の頁 107117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.infsof.2022.107117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Ishimoto, Ken Matsui, Masanari Kondo, Naoyasu Ubayashi, and Yasutaka Kamei	4. 巻 -
2. 論文標題 An Initial Analysis of Repair and Side-effect Prediction for Neural Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2nd International Conference on AI Engineering -- Software Engineering for AI (CAIN 2023)	6. 最初と最後の頁 未定 (掲載決定)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋 裕太, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 StackOverflow投稿を用いた深層学習による自動バグ修正 (ポスター)
3. 学会等名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2018 (SES 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西中 隆志郎, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 ソースコード履歴情報によるStackOverflow記事の充実に向けて (ポスター)
3. 学会等名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2018 (SES 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 裕太, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 Stack Overflow投稿を用いた深層学習による自動バグ修正にむけて
3. 学会等名 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 研究報告 2018-SE-200, No.3
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西中 隆志郎, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 ソースコード変更履歴によるStack Overflow記事の充実に向けて
3. 学会等名 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 研究報告 2018-SE-200, No.10
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田 翔
2. 発表標題 企業内ソースコードへの自動バグ修正技術適用に向けて
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 ウィンターワークショップ2019・イン・福島飯坂
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 首藤 巧
2. 発表標題 自動バグ修正におけるソースコード修正履歴の影響理解
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 ウィンターワークショップ2019・イン・福島飯坂
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 健
2. 発表標題 関数型プログラムのための反例による条件式の自動修正
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 ウィンターワークショップ2019・イン・福島飯坂
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 健, 佐藤 亮介, 鶴林 尚靖, 亀井 靖高
2. 発表標題 関数型プログラムの条件式のための反例を用いた自動修正
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会 信学技報 SS2018-80
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 翔, 中野 大扉, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鶴林 尚靖, 吉武 浩, 矢川 博文
2. 発表標題 企業内ソースコードに対する自動バグ修正技術適用の試み
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会 信学技報 SS2018-84
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 首藤 巧, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖, 佐藤 亮介
2. 発表標題 ソースコード修正履歴が自動バグ修正の結果に与える影響の分析
3. 学会等名 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 研究報告 2019-SE-201, No.16
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 健, 佐藤 亮介, 鶴林 尚靖, 亀井 靖高
2. 発表標題 関数型プログラムの条件式に関するバグの自動修正
3. 学会等名 情報処理学会 第81回全国大会, 5M-03
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西中 隆志郎, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 Stack Overflow 記事の充実に向けたソースコード変更履歴の利用可能性評価
3. 学会等名 情報処理学会 第81回全国大会, 6N-08
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 首藤 巧, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 ソースコード修正履歴を用いた自動バグ修正手法の性能理解
3. 学会等名 情報処理学会 第81回全国大会, 7N-03
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 翔, 中野 大摩, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鶴林 尚靖, 吉武 浩, 矢川 博文
2. 発表標題 自動バグ修正技術の企業内ソースコードへの適用に向けて
3. 学会等名 情報処理学会 第81回全国大会, 7N-04
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 健, 鶴林 尚靖, 佐藤 亮介, 亀井 靖高
2. 発表標題 敵対的サンプルに対するニューラルネットワークモデルの学習無し修正とその評価
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 第36回大会 22-L
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅田 翔, 山手 響介, 首藤 巧, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 静的解析ツールの警告に対する自動バグ修正技術の適用と初期評価
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 ウィンターワークショップ2020・イン・京都
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山手 響介, 浅田 翔, 首藤 巧, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖
2. 発表標題 開発者によるバグ限局が自動バグ修正の結果に与える影響の分析
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 ウィンターワークショップ2020・イン・京都
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松尾 春紀, 池田 翔, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鷗林 尚靖
2. 発表標題 文法エラーに対する自動バグ修正ツールの性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会 信学技報 SS2019-47
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山手 響介, 首藤 巧, 浅田 翔, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖
2. 発表標題 開発者によるバグ限局を考慮した自動バグ修正への影響分析
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会 信学技報 SS2019-48
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅田 翔, 首藤 巧, 山手 響介, 佐藤 亮介, 亀井 靖高, 鷗林 尚靖
2. 発表標題 静的解析ツールの警告に対する自動バグ修正技術の適用と初期評価
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 2020-SE-204, No.1
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 司, 池田 翔, 亀井 靖高, 佐藤 亮介, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 修正ソースコードの特徴が自動バグ修正に与える影響の分析
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 2020-SE-204, No.2
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 首藤 巧, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖, 佐藤 亮介, 浅田 翔, 山手 響介
2. 発表標題 自動バグ修正研究のためのプラットフォームjProphetの開発について
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告 2020-SE-206, No.6
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋山 楽登, 中村 司, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 修正履歴を用いた機械翻訳技術による自動バグ修正の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 SS2020-34
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田 雄河, 山手 響介, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 自動生成されたテストケースが自動バグ修正の結果に与える影響の分析
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 SS2020-32
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石本 優太, 松井 健, 鶴林 尚靖, 亀井 靖高
2. 発表標題 RNNの抽象化モデルに対するバグ限局とその評価
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告 2021-SE-207
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山手 響介, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 開発者によるバグ限局が自動バグ修正に及ぼす影響のシミュレーション
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告 2021-SE-208
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾 春紀, 近藤 将成, 亀井 靖高, 谷口 雄太, 鶴林 尚靖
2. 発表標題 プログラミング初学者の編集履歴を考慮した自動プログラム修正手法の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 SS2021-62
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石本 優太, 近藤 将成, 鶴林 尚靖, 亀井 靖高
2. 発表標題 確率的オートマトンとn-gramに基づくRNNに対するバグ限局
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 SS2022-10
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若松 昌宏, 松田 雄河, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鷓林 尚靖
2. 発表標題 自動プログラム修正に対する実行経路を考慮した自動テストケース生成の評価
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告 2023-SE-213
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田 寛太, 山本 大貴, 森田 一成, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鷓林 尚靖
2. 発表標題 プログラム自動修正に向けた行単位のバグ予測手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 SS2022-51
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宇都宮 魁斗, 秋山 楽登, 近藤 将成, 亀井 靖高, 鷓林 尚靖
2. 発表標題 大規模言語モデルを用いた初学者のためのデバッグ作業支援の初期評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報 SS2022-50
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鷓林 尚靖	4. 発行年 2021年
2. 出版社 数理工学社	5. 総ページ数 240
3. 書名 レクチャー ソフトウェア工学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	趙 建軍 (Zhao Jianjun) (20299580)	九州大学・システム情報科学研究院・教授 (17102)	
研究分担者	亀井 靖高 (Kamei Yasutaka) (10610222)	九州大学・システム情報科学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	佐藤 亮介 (Ryosuke Sato) (10804677)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関