

# ファンクションポイント詳細情報に基づくソフトウェア プロジェクト予測の試み

吉上 康平<sup>†1</sup> 角田 雅照<sup>†1, a)</sup> 山田 悠斗<sup>†2, b)</sup> 楠本 真二<sup>†2, c)</sup>

**概要:** ソフトウェア開発の工数や欠陥数を予測する際、開発規模としてファンクションポイント (FP) がしばしば用いられる。FP はソフトウェアの規模を計測する方法であり、EI, EO, EQ, ILF, EIF の各要素を最初に求め、それらを合算することにより求められる。従来の予測モデルでは、これら FP の各要素が説明変数として用いられることは少なく、各要素を合算した後の FP のみが用いられることが多かった。これらの各要素が開発プロジェクトの品質、コスト、納期にどの程度影響しているか、また、コストなどを予測する場合に精度を改善する効果があるかどうか、これまで十分に評価されてこなかった。そこで本研究では、FP の各要素が品質、コスト、納期に与える影響を分析するとともに、それらを説明変数として用いた場合、欠陥数、工期、工数の予測精度が高まるかどうかを評価した。実験では予測方法に類似性に基づく方法を用いた場合、工期と工数に関しては予測精度が高まる傾向が見られた。

## Software Project Prediction Using Function Point Elements

KOHEI YOSHIGAMI<sup>†1)</sup> MASATERU TSUNODA<sup>1, a)</sup>  
YUTO YAMADA<sup>†2, b)</sup> SHINJI KUSUMOTO<sup>†2, c)</sup>

**Abstract:** To predict software development effort and software faults, function point (FP) is often used as software size. FP method is a software size measurement method, and FP is sum of FP elements (i.e., EI, EO, EQ, ILF, and EIF). Conventional prediction models seldom use the FP elements, and only FP (the sum of the elements) is often used as independent variable of the prediction models. To our knowledge, it was not evaluated how extent the FP elements affect quality, cost, and time of software development project. Also, it was not clear whether the FP elements are useful or not, to improve prediction accuracy of software projects. In this paper, we analyzed influence of the FP elements to quality, cost and time of software projects. Also, we evaluated prediction accuracy of quality, cost and time, when the FP elements are used as independent variables of the models. In the experiment, when analogy based prediction is used, prediction accuracy of duration and effort was improved when the FP elements were used as independent variables.

### 1. はじめに

近年、ソフトウェアはより高機能が求められており、その要求に答えるためにソフトウェアの規模が大規模化している。大規模なソフトウェアを開発するためには、多くの工数（コスト）が必要となる。このようなソフトウェアを開発するプロジェクトでは、スケジュールやコスト、品質などに関する管理を行わずにプロジェクトを成功させることは困難である。よって、大規模な開発プロジェクトにおいてプロジェクトの失敗を避けるためには、コストや品質などの管理が必要不可欠となる。ソフトウェア開発工数の見積もりや欠陥数の予測は、それらの管理の基礎となるものである。

コストや品質の管理を適切に行うためには、ソフトウェア開発の工数やソフトウェアの欠陥数を高い精度で予測することが重要となる。これまでさまざまな定量的予測方法が提案されてきた[1][8][15]。定量的予測方法として、重回帰分析やプロジェクト類似性に基づく予測方法[11]などが

あげられる。定量的に工数などを予測するためには、過去のプロジェクトで収集されたデータを予測の根拠データとし、予測対象のプロジェクトにおいて既知のデータ、例えば開発言語や開発規模などを用いて、工数などを予測する。

予測時に既知のデータ、すなわち説明変数として開発規模が使われることが多いが、その場合、ファンクションポイント (FP) がしばしば用いられる。FP はソフトウェアの規模を計測する方法であり、下記の複数の要素を最初に求め、それらを合算することにより FP が求められる。

- EI: 外部データ入力機能数
- EO: 外部データ出力機能数
- EQ: 外部データ参照機能数
- ILF: 更新ファイル数
- EIF: 参照ファイル数

また、保守開発の場合、機能追加の部分、機能変更の部分、機能削除の部分それぞれ追加 FP、変更 FP、削除 FP として計測される。

従来の予測では、これらの FP の各要素や追加 FP などが説明変数として用いられることは少なく、各要素を合算した後の FP のみが説明変数として用いられることが多かった。一部の研究では、FP の各要素を説明変数として用い、工数見積もり[2]や FP の予測（一部の要素のみを用いて全体の FP を簡易的に推定する）[6]に用いた場合の評価を行

1 近畿大学  
Kindai University, Japan  
2 大阪大学  
Osaka University, Japan  
a) tsunoda@info.kindai.ac.jp  
b) y-yuto@ist.osaka-u.ac.jp  
c) kusumoto@ist.osaka-u.ac.jp

表 1 分析に用いた変数

Table 1 Variables used in the analysis

変数	詳細
開発種別 FP	新規開発/再開発, 保守開発
総欠陥数	開発総規模, 未調整 FP
工数	ソフトウェア出荷後の総欠陥数
工期	開発工数 (正規化済み)
計画工程比	休止期間を除く開発工期
要件定義工程比	計画工数÷総工数
コーディング工程比	要件定義工数÷総工数
テスト工程比	コーディング工数÷総工数
導入工程比	テスト工数÷総工数
業種	導入工数÷総工数
アーキテクチャ	金融業, 情報通信業など
プラットフォーム	スタンドアロン, C/S など
開発言語	メインフレーム, PC など
EI 比	C/C++/C#, Visual Basic など
EO 比	$EI \div FP$
EQ 比	$EO \div FP$
ILF 比	$EQ \div FP$
EIF 比	$ILF \div FP$
追加 FP 比	$EIF \div FP$
変更 FP 比	追加 $FP \div FP$
削除 FP 比	変更 $FP \div FP$
欠陥率	削除 $FP \div FP$
生産性	欠陥数 $\div FP$
開発速度	$FP \div$ 工数
	$FP \div$ 工期

っている。ただし、これらの FP の各要素や追加 FP などがソフトウェアプロジェクトの品質、コスト、納期にどの程度影響しているか、また、それらを予測する場合に精度を改善する効果があるのかどうかは、これまで十分に評価されてこなかった。

本研究では、FP の各要素の影響を網羅的に分析する、すなわち、品質、コスト、納期など様々な変数に対する影響を分析する。そして、それらを説明変数として用いた場合の予測精度の改善効果について評価する。これらにより、ソフトウェアプロジェクトの結果予測を行う場合の説明変数の選択を支援することが本研究のゴールである。分析では ISBSG データセットを用い、予備分析として欠陥率、生産性、開発速度などと FP の各要素などとの関連を分析する。その後、類似性に基づく予測方法を用いて、欠陥数、開発工数、開発工期の予測を行い、FP の各要素などを説明変数として用いた場合の効果を評価する。

## 2. データセット

分析では、ISBSG (International Software Benchmark Standard Group) が収集及び提供しているソフトウェア開発プロジェクトのデータセットを用いた。ISBSG は 20 ヶ国のソフトウェア開発企業から 3026 件のプロジェクトのデータを収集しており、各プロジェクトについて 99 種類の変数が記録されている (リリース 9 の場合)。複数の企業から収集されているため、ISBSG のデータセットは企業横断的データセットと呼ばれることもある。データセットに含ま

れる信頼性の低いデータを除外するため、また、分析対象のプロジェクトの条件を整えるために、以下の条件に当てはまるデータを抽出した。

- データ品質評価が A または B
- FP (Function Point) 計測の評価が A または B
- FP 計測方法が IFPUG
- 工数の計測対象が開発チームのみとしている (間接部門の工数などを含んでいない)

上記条件は、ISBSG データを用いて工数見積りでの研究を行っている Lokan ら[7]のデータ抽出条件を参考にした。

品質、コスト、納期に対する FP の各要素の影響を分析するために、欠陥率、生産性、開発速度を定義し、分析対象の変数とした。また、FP の特定の要素が他の要素に比べて極端に多いまたは少ない場合に、品質、コスト、納期に影響すると仮定し、FP の各要素を FP で割った、比を表す変数を定義した。各変数の定義を表 1 に示す。名義尺度の変数において、件数が少ないカテゴリについては欠損値(変数に値が記録されていないこと)として扱った。

新規開発と保守開発では、性質が大きく異なるため、開発種別で層別して予測モデルを作成したり分析されたりすることが多い。本研究でも開発種別で層別して分析を行う (再開発は新規開発とみなした)。なお、変更 FP、削除 FP については、保守開発でのみ記録され、新規開発の場合は追加 FP が 100%となる。

予備分析として、FP の各要素比と欠陥率、生産性、開発速度などとの関連を分析した。上記条件に従い、分析対象となったデータ件数は新規開発が 421 件、保守開発が 606 件である。なお、データセットの各変数には欠損値が含まれていたため、相関係数などの計算時に用いられるデータの件数は、変数によって異なっている。

欠陥数、工数、工期 (品質、コスト、納期) を目的変数として予測する際にも、層別をして実験を行った。この時、目的変数及び説明変数に欠陥数が含まれるプロジェクトを除外した (リストワイズ法)。そのため、予測精度の評価では、以下の件数のデータを用いた。

- 欠陥数予測 (新規開発) : 19 件
- 欠陥数予測 (保守開発) : 43 件
- 工期予測 (新規開発) : 251 件
- 工期予測 (保守開発) : 359 件
- 工数予測 (新規開発) : 270 件
- 工数予測 (保守開発) : 364 件

## 3. FP の各要素と各変数の関連

### 3.1 概要

FP の各要素が品質、コスト、納期に与える影響を分析するために、欠陥率、生産性、開発速度と FP の各要素比の関連を分析した。また、FP のある要素の比率が高い場合、特定の工程が長くなる (例えば EI が多いプロジェクトの場

表 2 FP の各要素と変数との関係 (新規開発)

Table 2 Relationships between FP elements and other variables (New development)

		欠陥率	生産性	開発速度	計画 工程比	要件定義 工程比	コーディング 工程比	テスト 工程比	導入 工程比
EI 比	相関係数	-0.01	0.15	0.07	-0.08	-0.07	0.17	-0.14	<b>0.30</b>
	p 値	98%	0%	17%	55%	53%	11%	18%	<b>2%</b>
	件数	36	421	389	54	93	95	89	<b>57</b>
EO 比	相関係数	-0.01	0.00	-0.01	-0.08	0.04	-0.04	0.14	-0.18
	p 値	96%	97%	81%	59%	69%	71%	20%	18%
	件数	36	421	389	54	93	95	89	57
EQ 比	相関係数	-0.12	0.08	0.11	0.04	-0.06	0.11	-0.13	0.01
	p 値	48%	9%	3%	76%	58%	29%	22%	97%
	件数	36	421	389	54	93	95	89	57
ILF 比	相関係数	-0.09	0.15	0.12	-0.06	-0.09	-0.03	0.01	0.00
	p 値	61%	0%	2%	67%	41%	79%	90%	99%
	件数	36	421	389	54	93	95	89	57
EIF 比	相関係数	0.03	<b>-0.27</b>	-0.12	-0.01	0.11	-0.08	0.09	-0.03
	p 値	86%	<b>0%</b>	2%	96%	29%	42%	41%	85%
	件数	36	<b>421</b>	389	54	93	95	89	57

表 3 FP の各要素と変数との関係 (保守開発)

Table 3 Relationships between FP elements and other variables (Enhancement)

		欠陥率	生産性	開発速度	計画 工程比	要件定義 工程比	コーディング 工程比	テスト 工程比	導入 工程比
EI 比	相関係数	0.02	-0.04	-0.07	0.34	-0.06	0.01	0.09	-0.38
	p 値	87%	28%	9%	14%	49%	88%	26%	4%
	件数	52	606	562	20	147	151	148	29
EO 比	相関係数	<b>-0.20</b>	0.02	0.05	-0.39	0.05	-0.03	-0.03	0.49
	p 値	<b>15%</b>	63%	21%	9%	57%	68%	72%	1%
	件数	<b>52</b>	606	562	20	147	151	148	29
EQ 比	相関係数	<b>0.34</b>	-0.13	0.17	0.36	-0.19	0.12	0.11	-0.39
	p 値	<b>1%</b>	0%	0%	11%	2%	14%	16%	4%
	件数	<b>52</b>	606	562	20	147	151	148	29
ILF 比	相関係数	-0.16	0.14	0.04	0.43	0.07	-0.10	0.08	0.30
	p 値	26%	0%	37%	6%	39%	22%	31%	12%
	件数	52	606	562	20	147	151	148	29
EIF 比	相関係数	-0.01	0.03	0.11	-0.36	-0.08	0.16	-0.16	-0.01
	p 値	92%	53%	1%	12%	36%	5%	5%	96%
	件数	52	606	562	20	147	151	148	29
追加 FP 比	相関係数	0.07	-0.06	-0.11	-0.58	-0.02	0.15	<b>-0.33</b>	0.48
	p 値	62%	12%	1%	1%	77%	6%	<b>0%</b>	1%
	件数	52	606	562	20	147	151	<b>148</b>	29
変更 FP 比	相関係数	-0.10	0.06	0.09	0.56	-0.01	-0.14	<b>0.34</b>	-0.40
	p 値	49%	15%	3%	1%	87%	8%	<b>0%</b>	3%
	件数	52	606	562	20	147	151	<b>148</b>	29
削除 FP 比	相関係数	0.10	0.02	0.15	0.36	0.14	-0.01	0.00	-0.25
	p 値	47%	64%	0%	12%	9%	87%	97%	19%
	件数	52	606	562	20	147	151	148	29

合、テスト工程が長くなるなど)と仮定し、FP の各要素比が各工程の比率に与える影響についても分析した。これらとの関連が強い場合、FP の各要素を各工程工数見積もりモデルの説明変数として用いることにより、モデルの見積もり精度が高まる可能性がある。各工程の工数の見積もりは、例えば文献[4]などで行われている。

さらに、業種によって FP の各要素比に偏りがある (例えば金融業の場合 EI が多いなど) ことを仮定し、業種との関係を分析した。その他に、FP のある要素の比率が高い場合、特定の開発言語が選ばれる (例えば EI が多いプロジェ

クトの場合、COBOL が選ばれやすいなど)と仮定し、開発言語などと FP の各要素比との関係を分析した。これらの変数との関連が強い場合、例えば業種との関連が強い場合、業種が記録されていれば FP の各要素は予測モデルの説明変数として用いる必要性が低い。業種が記録されていない場合、業種を代替する説明変数として用いることができる。また、傾向スコア[13]を用いて業種などの変数の生産性に対する影響を分析する場合、業種などを判別予測するための変数が必要となる。FP の各要素が業種などとの関連があれば、傾向スコアによる分析の信頼結果が高まる。

表 4 FP の各要素とカテゴリ変数との関係  
 (新規開発)

Table 4 Relationships between FP elements and categorical variables (New development)

	業種	アーキ テクチャ	プラット フォーム	開発言語
EI 比	<b>0.37</b>	<b>0.41</b>	0.21	<b>0.37</b>
EO 比	0.22	0.19	0.16	0.22
EQ 比	0.22	0.13	0.15	0.23
ILF 比	0.23	0.06	0.16	0.16
EIF 比	<b>0.36</b>	0.24	0.18	<b>0.35</b>

表 5 FP の各要素とカテゴリ変数との関係  
 (保守開発)

Table 5 Relationships between FP elements and categorical variables (Enhancement)

	業種	アーキ テクチャ	プラット フォーム	開発言語
EI 比	<b>0.48</b>	0.29	<b>0.35</b>	<b>0.36</b>
EO 比	0.20	0.16	0.15	0.23
EQ 比	<b>0.36</b>	0.22	0.21	<b>0.36</b>
ILF 比	<b>0.34</b>	0.18	0.15	0.22
EIF 比	<b>0.40</b>	0.22	0.29	<b>0.31</b>

FP の各要素比と比例尺度の変数との関連の強さを調べる場合、外れ値の影響を避けるためにスピアマンの順位相関係数を用いた。FP の各要素比と名義尺度との関連を調べる場合には相関比 (名義尺度と比例尺度の関連の強さを表す) を用いた。なお各要素比の値域は 0 から 1 であり外れ値の影響は小さいため、相関比の計算時に対数変換などは行っていない。2 章で述べたように、開発種別で層別して分析を行った。

### 3.2 欠陥率, 生産性, 開発速度との関係

新規開発の場合の欠陥率, 生産性, 開発速度と FP の各要素比の相関係数を表 2 に示す。表 3 は保守開発の場合の相関係数である。一般に、相関係数の絶対値が 0.2 を超えている場合、弱い相関があるとみなされることが多い (文献[5]など)。そこで相関係数の絶対値が 0.2 を超えている場合に着目し、太字で示す。新規開発の場合、EIF 比と生産性の相関係数のみ、絶対値が 0.2 を超えていた。保守開発の場合、EO 比, EQ 比と欠陥率の相関係数の絶対値が 0.2 を超えていた。また、保守開発の場合のみ計測される追加, 変更, 削除 FP 比と欠陥率, 生産性, 開発速度との相関係数も小さかった。すなわち、品質, コスト, 納期と FP 要素との関連は全体的に強くないが、一部の FP 要素との関連が見られるといえる。このため、FP の各要素を予測モデルの説明変数として用いることにより、場合によっては予測精度が改善する可能性がある。

### 3.3 各工程比率との関係

ソフトウェア開発の各工程の比率と、FP の各要素比の相関係数を表 2, 表 3 に示す。保守開発の場合、計画工程比と導入工程比のデータ件数が他の工程比に比べて極端に少

表 6 Analogy 法で用いるデータセット

Table 6 Dataset used on the analogy based prediction

	変数 1	変数 2	...	変数 $j$	...	変数 $l$
$p_1$	$m_{11}$	$m_{12}$	...	$m_{1j}$	...	$m_{1l}$
$p_2$	$m_{21}$	$m_{22}$	...	$m_{2j}$	...	$m_{2l}$
...	...	...	...	...	...	...
$p_i$	$m_{i1}$	$m_{i2}$	...	$m_{ij}$	...	$m_{il}$
...	...	...	...	...	...	...
$p_k$	$m_{k1}$	$m_{k2}$	...	$m_{kj}$	...	$m_{kl}$

なかったことから、これらのデータには偏りがある (特定の組織のみから収集されたデータである) 可能性がある。そこで、保守開発の場合については、上記 2 つの工程比は分析対象外とした。

新規開発の場合、導入工程比と EI 比の絶対値が 0.2 を超えていた。保守開発の場合、追加 FP 比, 変更 FP 比とテスト工程比との相関係数の絶対値が 0.2 を超えていた。ソフトウェアの変更が多い場合、テスト工程の割合が増加することは合理的である。追加 FP 比とテスト工程比が負の相関であるのは、追加 FP 比が大きい場合、変更 FP 比が小さくなるためであると考えられる (追加 FP 比, 変更 FP 比, 削除 FP 比の合計は 100% であり、ある値が大きくなるとある値が小さくなる)。これらの結果より、特に変更 FP 比に関しては、テスト工程の工数見積りに役立つ可能性がある。

### 3.4 各カテゴリ変数との関係

FP の各要素比と業種などのカテゴリ変数との相関比を表 4, 表 5 に示す。表 4 は新規開発, 表 5 は保守開発の場合である。相関比については比較的値が大きかったため、0.3 を超えている場合に着目し、太字で示す。保守開発の場合、業種と各要素の関連が比較的強かった。その他のカテゴリ変数では、新規開発, 保守開発の場合とも、一部の FP 要素比を除き、特に関連が強くなかった。このことから、FP の各要素比と業種との関係は、中程度の強さであるといえる。また、FP の各要素比とその他のカテゴリ変数の関連は全体として強くなかったことから、FP の各要素比をそれらの (説明) 変数の代替とすることは難しいと考えられる。

さらに、追加・変更・削除の FP 比と業種に関連があるかどうかを確かめるために、それらの相関比を求めた。その結果、それぞれ 0.35, 0.34, 0.18 となった。このことから、特定の業種では変更が多い、または少ないという可能性は高いと考えられる。

## 4. ソフトウェアプロジェクト予測

### 4.1 類似性に基づく予測方法

定量的にプロジェクトの成果 (品質, 納期, コスト) を予測するために、重回帰分析と類似性に基づく予測方法が広く用いられている。本研究では予測方法として後者を採用する。FP の各要素とプロジェクトの成果との相関係数や

相関比が小さく、重回帰分析で精度が大きく改善する可能性が高くないと考えられたため、今回の実験では重回帰分析を用いなかった。以降では、類似性に基づく予測方法について説明する（工数見積りに用いることを前提として説明する）。

プロジェクト類似性に基づく工数見積り（Analogy 法）は、事例ベース推論（Case Based Reasoning; CBR）に基づいた見積り方法である。CBR は人工知能の分野で研究されてきた問題解決のための方法であり、Shepperd ら[11]が CBR をソフトウェアプロジェクトの開発工数見積りに適用することを提案した。CBR では、蓄積された過去の事例の中から、問題を解決したい現在の事例と類似したもの抽出し、その解決方法を適用する。CBR の基礎となる考え方は「類似した問題は類似した解決方法を採用している」というものである。Analogy 法では、類似するプロジェクト（開発規模や対象業種などの特徴が互いに似たプロジェクト）は、工数も互いに似た値を取るであろうと仮定し、類似プロジェクトの工数に基づいて対象プロジェクトの工数を見積もる。

Analogy 法による工数見積りでは、表 6 に示す  $k \times l$  行列で表されるデータセットを入力として用いる。図中、 $p_i$  は  $i$  番目のプロジェクトを表し、 $m_{ij}$  はプロジェクト  $p_i$  の  $j$  番目の変数を表す。すなわち、行がプロジェクト、列が変数を表している。ここで  $p_a$  を見積り対象のプロジェクト、 $\hat{m}_{ab}$  を  $m_{ab}$  の見積り値とする。Analogy 法による工数見積りは、以下の手順に従って行われる。

1. 互いに異なる各変数の値域を統一する。本研究では変数  $m_{ij}$  の正規化された値  $m'_{ij}$  を計算する際、以下の式を用いて、変数の値域を  $[0, 1]$  に揃える。

$$m'_{ij} = \frac{m_{ij} - \min(m_j)}{\max(m_j) - \min(m_j)} \quad (1)$$

ここで、 $\max(m_j)$  と  $\min(m_j)$  はそれぞれ  $j$  番目の変数の最大値、最小値を表す。この計算方法は、値域を変換する際に広く用いられる方法の一つである[12]。

2. 見積り対象プロジェクト  $p_a$  と他のプロジェクト  $p_i$  との類似度  $\text{sim}(p_a, p_i)$  を求める。 $p_a$  と  $p_i$  が持つ変数を要素とする 2 つのベクトルを作成し、ベクトルのなす角のコサインを用いて類似度を計算する。見積り対象プロジェクト  $p_a$  と他のプロジェクト  $p_i$  との類似度  $\text{sim}(p_a, p_i)$  を次式によって計算する。

$$\text{sim}(p_a, p_i) = \frac{\sum_{j \in M_a \cap M_i} (m'_{aj} - \text{avg}(m'_j)) (m'_{ij} - \text{avg}(m'_j))}{\sqrt{\sum_{j \in M_a \cap M_i} (m'_{aj} - \text{avg}(m'_j))^2} \sqrt{\sum_{j \in M_a \cap M_i} (m'_{ij} - \text{avg}(m'_j))^2}} \quad (2)$$

ここで  $M_a$  と  $M_i$  はそれぞれプロジェクト  $p_a$  と  $p_i$  で計測された（未欠損の）変数の集合を表し、 $\text{avg}(m'_j)$  は  $j$  番目の変数の平均値を表す。各変数の値から平均値を減じることにより、平均値より大きい場合は正の値、

小さい場合は負の値となり、値が大きく異なる場合は類似度が小さくなる。 $\text{sim}(p_a, p_i)$  の値域は  $[-1, 1]$  となる。なお、 $M_a \cap M_i$  が空集合の場合、類似度は計算できない（ソフトウェア開発のデータではほぼ発生しない）。

3. 類似度  $\text{sim}(p_a, p_i)$  を用いて、プロジェクト  $p_a$  の変数の見積り値  $\hat{m}_{ab}$  を計算する。本研究では、見積り値計算時に、プロジェクトの規模を補正する  $\text{amp}(p_a, p_i)$  を乗じた値で加重平均を行う[14]。

$$\hat{m}_{ab} = \frac{\sum_{i \in k\text{-nearestProjects}} (m_{ib} \times \text{amp}(p_a, p_i) \times \text{sim}(p_a, p_i))}{\sum_{i \in k\text{-nearestProjects}} \text{sim}(p_a, p_i)} \quad (3)$$

$$\text{amp}(p_a, p_i) = \text{median}\left(\frac{m_{aj}}{m_{ij}}\right) \quad (4)$$

ここで  $\text{median}$  は中央値を表し、 $m_{aj}$ 、 $m_{ij}$  はプロジェクト  $p_a$  と  $p_i$  の比例尺度の変数を示す。 $k\text{-nearestProjects}$  は類似度の大きなプロジェクト  $k$  個の集合を指す。

## 4.2 評価尺度

予測モデルの精度評価指標として、 $AE$  (Absolute Error)、 $MRE$  (Magnitude of Relative Error)[3]、 $BRE$  (Balanced Relative Error)[9]の 3 つの指標の平均値と中央値を用いた。目的変数の実測値を  $x$ 、予測値を  $\hat{x}$  とするとき、それぞれの指標は以下の式により求められる。

$$AE = |x - \hat{x}| \quad (5)$$

$$MRE = \frac{|x - \hat{x}|}{x} \quad (6)$$

$$BRE = \begin{cases} \frac{(\hat{x} - x)}{x}, & \hat{x} - x \geq 0 \\ \frac{(x - \hat{x})}{\hat{x}}, & \hat{x} - x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

それぞれの指標の値が小さいほど、予測精度が高いことを示す。直感的には  $MRE$  は実測値との相対誤差であるといえる。ただし、 $MRE$  は過大予測に対し、アンバランスな評価になるという問題がある。（予測値が 0 以上の）過少見積りの場合、 $MRE$  は最大でも 1 にしかならない（例えば実測値が 1000、見積り値が 0 の場合、 $MRE$  は 1 となる）。そこで本研究では、過大予測と過少予測をバランスよく評価する指標[10]である  $BRE$  を重視して評価する。

## 5. 予測精度評価

実験では欠陥数、開発工期、工数を目的変数とした。FP の各要素の予測精度に対する効果を確かめるために、以下の 4 つの説明変数の組み合わせにより予測を行った。

- a. FP、カテゴリ変数（開発言語など）、FP の各要素
- b. FP、カテゴリ変数
- c. FP のみ
- d. FP、FP の各要素（FP の各要素をカテゴリ変数の代

表 7 説明変数の組み合わせと予測精度との関係

Table 7 Relationships between prediction accuracy and combinations of explanatory variables

目的変数	開発種別	説明変数	AE 平均値	AE 中央値	MRE 平均値	MRE 中央値	BRE 平均値	BRE 中央値
欠陥数	保守	a	6.8	3.0	148%	74%	<b>205%</b>	138%
		b	5.9	2.3	142%	85%	214%	113%
		c	5.4	3.3	141%	73%	280%	153%
		d	7.1	2.6	220%	73%	264%	<b>85%</b>
	新規	a	7.7	6.4	341%	73%	375%	154%
		b	8.6	5.9	372%	115%	402%	179%
		c	5.7	4.5	170%	81%	<b>195%</b>	111%
		d	5.0	3.5	175%	75%	224%	<b>108%</b>
工期	保守	a	4.3	2.2	113%	61%	141%	70%
		b	5.9	2.3	203%	52%	224%	69%
		c	3.4	2.0	82%	54%	207%	99%
		d	2.9	1.8	87%	45%	<b>109%</b>	<b>62%</b>
	新規	a	6.0	3.0	100%	50%	115%	<b>66%</b>
		b	6.8	3.2	111%	51%	125%	71%
		c	4.8	2.8	75%	53%	150%	88%
		d	4.3	2.6	85%	50%	<b>102%</b>	71%
工数	保守	a	2156	941	140%	54%	<b>174%</b>	79%
		b	2789	1060	199%	58%	225%	<b>75%</b>
		c	2605	1329	174%	66%	230%	109%
		d	2578	1362	175%	64%	220%	103%
	新規	a	3182	1521	145%	52%	<b>186%</b>	<b>69%</b>
		b	3684	1685	173%	53%	198%	70%
		c	3967	2056	157%	68%	261%	134%
		d	3435	2067	189%	69%	231%	118%

替として用いると想定)

予測時にはリープワナアウト法を適用し、精度評価指標を算出した。類似ケース数は欠陥数の予測の場合は4、工期、工数の予測の場合は8とした。なお、開発工期の予測については文献[8]などで行われている。

FPの各要素同士、及びFPとFPの各要素は相関があると考えられ、重回帰分析により予測する場合には、多重共線性が発生していないかを確認する必要がある。ただしAnalogy法の場合、4.1章で説明した方法により予測を行うため、説明変数間に相関があっても問題はない(予測精度が高まる場合もあれば低下する場合もある)。

予測結果を表7に示す。4.2節で述べたように、BREの平均値と中央値に特に着目し、それぞれが最小の場合を太字で示す。

**欠陥数予測:** 開発種別が保守の場合、説明変数がFP、カテゴリ変数の組み合わせの時(b)に精度が比較的高かった(BRE平均値、中央値とも2番目に小さい)。開発種別が新規の場合、BRE平均値は説明変数がFPのみを用いたケース(c)が最も低く、BRE中央値はFP、FPの各要素を用いたケース(d)が最も低かった。これらの結果から、欠陥数の予測の場合、FPの各要素を説明変数として用いることにより、精度が高まるとは必ずしもいえない。ただし、2章で示したように、欠陥数予測に用いたデータ数は多くないため、結果の信頼性を高めるためには、さらなる分析が必要である。

**工期予測:** 開発種別が保守の場合、FP、FPの各要素を説明変数として用いると(d)、BREの平均値と中央値が最も小さくなった。開発種別が新規の場合でも同様に、FP、FP

の各要素を説明変数として用いると(d)、比較的予測精度が高くなった。

**工数見積もり:** 開発種別が新規の場合、FP、カテゴリ変数、FPの各要素を説明変数として用いると(a)、BREの平均値と中央値が最も小さくなった。開発種別が保守の場合でも同様に、FP、カテゴリ変数、FPの各要素を説明変数として用いると(a)、比較的予測精度が高くなった。

実験結果より、類似性による予測を用いる場合、説明変数にFPの要素を含めることにより、工期と工数の予測に関しては予測精度が高まる事が期待できるといえる。

なお詳細な結果は省略するが、式(4)の $amp(p_a, p_i)$ の計算時にFPのみを用いた場合(一般的な $amp(p_a, p_i)$ の計算方法)、FPの要素を用いない場合(従来の予測方法)と比較して、予測精度が低かった。このことから、FPの各要素は類似のプロジェクトの特定(類似度計算)に改善効果があったのではなく、 $amp(p_a, p_i)$ の計算に改善効果があった可能性がある。

## 6. おわりに

本研究は、ソフトウェアプロジェクトの結果予測を行う際の説明変数の取捨選択を支援することを目的として、FP(ファンクションポイント)の各要素が品質、コスト、納期などに与える影響を分析するとともに、FPの各要素を説明変数として用いた場合、類似性に基づく予測方法による欠陥数、工期、工数の予測精度が高まるかどうかを評価した。その結果、以下の傾向が見られた。

- 欠陥数、生産性、開発速度とFPの各要素との関連は全体的に弱かったが、一部では関連が比較的弱く

ない場合があった。

- 変更 FP は、テスト工程の工数見積もりに役立つ可能性がある。
- FP の各要素と業種とは、中程度の関連の強さがあった。開発言語やアーキテクチャなどの変数に関しては、全体として FP の各要素と関連が弱かった。
- 類似性に基づく予測を用いる場合、説明変数に FP の各要素を含めることにより、工期と工数に関しては予測精度が高まる可能性がある。

実験結果の最後で述べたように、FP の各要素を説明変数として用いることにより、一部の予測精度が向上した理由は、類似性に基づく予測での予測値計算ステップに対して改善効果があったためである可能性がある。

分析結果の具体的な活用場面は、工数などのプロジェクトの結果を予測する際の変数の取捨選択時である。類似性に基づく予測を適用するならば、説明変数に FP の各要素を含めて予測したほうが、精度が高まることが期待される。

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省科学研究補助費（基盤 C：課題番号 16K00113）による助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Boehm, B: *Software Engineering Economics*, Prentice Hall (1981).
- [2] Buglione, L., and Gencel, C.: Impact of Base Functional Component Types on Software Functional Size Based Effort Estimation, *Product-Focused Software Process Improvement*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.5089, pp.75-89 (2008).
- [3] Conte, S., Dunsmore, H., and Shen, V.: *Software Engineering, Metrics and Models*, Benjamin Cummings (1986).
- [4] Ferrucci, F., Gravino, C., and Sarro, F. 2014: Exploiting prior-phase effort data to estimate the effort for the subsequent phases: a further assessment, In Proc. of International Conference on Predictive Models in Software Engineering (PROMISE), pp. 42-51 (2004).
- [5] 堀内 美由紀 (編): 看護・医療系データ分析のための基礎統計ハンドブック, 鯉谷書店 (2011).
- [6] Lavazza, L., Morasca, S., and Robiolo, G.: Towards a simplified definition of Function Points, *Information and Software Technology*, Vol.55, No.10, pp.1796-1809 (2013).
- [7] Lokan, C., and Mendes, E.: Cross-company and single-company effort models using the ISBSG database: a further replicated study, In Proc. of international symposium on Empirical software engineering (ISESE), pp. 75-84 (2006).
- [8] López-Martín, C., and Abran, A.: Neural networks for predicting the duration of new software projects, *Journal of Systems and Software*, Vol.101, pp. 127-135 (2015).
- [9] Miyazaki, Y., Terakado, M., Ozaki, K., and Nozaki, H.: Robust Regression for Developing Software Estimation Models, *Journal of Systems and Software*, Vol.27, No.1, pp.3-16 (1994).
- [10] Møllokken-Østfold, K., and Jørgensen, M.: A Comparison of Software Project Overruns-Flexible versus Sequential Development Models, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol.31, No.9, pp.754-766 (2005).
- [11] Shepperd, M. and Schofield, C.: Estimating software project effort using analogies, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol.23, No.12, pp.736-743 (1997).
- [12] Strike, K., El Eman, K., and Madhavji, N.: Software Cost Estimation with Incomplete Data, *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol.27, No.10, pp.890-908 (2001).
- [13] 角田雅照, 天崎聡介: ソフトウェア開発の定量的分析における傾向スコアの活用, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2014 論文集, pp.202-203 (2014).
- [14] 角田雅照, 大杉直樹, 門田暁人, 松本健一, 佐藤慎一: 協調フィルタリングを用いたソフトウェア開発工数予測方法, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.5, pp.1155-1164 (2005).
- [15] 角田雅照, 玉田春昭, 森崎修司, 松村知子, 黒崎章, 松本健一: コードレビュー指摘密度を用いたソフトウェア欠陥密度予測, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.3, pp.1144-1155 (2009).