

ソフトウェアプロジェクトのリスク調査に基づくコストと期間の誤差予測とその統計的分析

足立 卓也 †, 水野 修 †, 菊野 亨 †, 高木 徳生 ‡
† 大阪大学 大学院基礎工学研究科 情報数理系専攻
E-mail: adati@ics.es.osaka-u.ac.jp
‡ (株) オムロン

要旨

本報告では、ソフトウェアプロジェクトに対するリスク調査アンケートに基づいた開発コスト誤差、開発期間誤差（ここでは見積値と実績値の差を誤差と呼んでいる）の予測式の作成と分析について述べる。これまでに、ある企業より提供されたリスク調査アンケートデータを基にしたプロジェクトの混乱予測の研究を行ってきた。ここでは現場のプロジェクトマネージャに混乱要因に関するアンケートを配布・回収し、そのデータを利用してプロジェクトが混乱するか否かを統計的に予測してきた。この手法が高い精度で混乱予測に役立つことは確認された。

本研究では具体的なメトリクスである開発コスト誤差と期間誤差を予測する式の作成を行う。これらの予測を利用することで従来の混乱予測がより強化できるものと考えている。具体的には、アンケートデータを使った重回帰分析を行って予測式を作成する。次に、予測式を利用してコストと期間誤差の予測値を算出し、順位相関に基づく評価を行う。最後に、こうして求めたコストと期間誤差の値に基づいてプロジェクトの混乱予測を行う試みについても議論する。

1 まえがき

ソフトウェア開発プロジェクトには多くのリスク要因が複雑に関係して発生する問題が多いことが知られている [2][4]。特に、コストや開発期間の増加に伴う問題はその中でも重要なものである。

実際の開発現場ではプロジェクトの状況が把握できなくなってしまう、プロジェクトが混乱してしまうことが少なくない [9]。多くの企業ではプロジェクトマネージャがプロジェクトを監視し、混乱を未然に防ぐ試みがなされている [3][8]。

我々は、ソフトウェア開発プロジェクトの混乱状態を予測する研究を行ってきた [5]。この手法ではプロジェクトマネージャへのアンケート調査に基づいて、プロジェクトのリスク要因とプロジェクトの混乱との間に統計的予測式を作成した。そしてその予測式を新規のプロジェクトに適用してその混乱状態を予測した。

この手法ではプロジェクトが混乱状態に陥る危険性を確率で表示させることはできるが、そのプロジェクトの

コストや期間がどうなるかについての分析はできなかった。実際にはプロジェクトが混乱するという事象の予測よりも、コストや期間が見積りに比べ増加するかどうかのほうが現場にとっては重要な問題である。そこで本研究ではアンケートの回答を混乱プロジェクトに直接結びつけるのではなく、より具体的なメトリクスであるコスト・期間との関連を分析することを考えた。開発現場への適用を考えた場合、こうすることによって具体的により説得力をもって説明することができる。

ある企業の協力の下、リスクアンケート調査の回答とコスト・期間の初期見積りからの誤差との関連を重回帰分析を用いて調べる。その分析結果からコスト・期間の誤差に及ぼすリスク要因を明らかにすると共に予測式を求める。そして、実際のプロジェクトにアンケート調査を適用した時、そのプロジェクトのコストと期間の混乱を予測する手法を提案する。

2 研究の背景と目的

2.1 これまでの成果（アンケートに基づく混乱予測）

プロジェクトマネージャに対するリスク調査アンケートからプロジェクトの最終的な状態（混乱したか否か）を予測する研究 [5] を行ってきた。それについて簡単に述べる。

(a) リスク調査アンケート表の作成

開発現場からプロジェクトマネージャが意識しているリスク要因を調べるためのアンケート表を作成した。これは実際に SEPG においてリスクのチェックリストとして使用されていたものを再編成したものである。

(b) ロジスティック回帰分析による統計的混乱予測モデルの作成

プロジェクトの最終状態を 2 値の事象「混乱有り」「混乱無し」と位置づけ、先に収集したリスクアンケートの回答から混乱の有無への回帰モデルを作成した。ここではロジスティック回帰分析を利用した。

(c) 開発者へのアンケートとそれに基づく適用実験

1996, 1997, 1998年に実施された合計40件のプロジェクトに対してアンケート調査を行った。実験では1996, 1997年のアンケートデータから作成したモデルを1998年のプロジェクトの混乱予測に使用した。その結果, 非常に高い精度で混乱を予測できることが確かめられた。

(d) アンケート収集と統計分析を Web 上で行うシステムの開発

上で述べたアンケートの配布・収集, そして回帰モデルの作成を Web ブラウザ上から行うシステムを実装した [1]。

これらの研究を進めてきた中で, 次のような課題 P1, P2 が開発現場から指摘されてきた。

課題 P1

混乱の予測が確率で計算できても, 具体的な対処法が不明である。また混乱という概念は抽象的であるため, 予測結果を現場にフィードバックしにくい。

課題 P2

アンケートが主観的なものになりがちである。

本報告では課題 P1 に対処することを目指して, 主として混乱プロジェクトの開発コスト, 開発期間に対する分析をリスクアンケートを用いて行う。

2.2 本研究の目的 (コスト, 期間の誤差予測)

ソフトウェア開発プロジェクトの管理に当たっては, 開発コストと開発期間の分析は非常に重要である。従来の混乱プロジェクト判定ではコストと期間が予定されていたものを大幅に超過するか否かを考慮していた。更に, 前節で述べたようにプロジェクトが混乱状態に陥る可能性のみを単純に予測するだけでは, プロジェクト管理には十分であるとは言えない。

そこで本研究では, 文献 [5] の手法の有効性を補うために, 開発コスト誤差 (開発コストの見積値と実測値の差を比で計算したもの) と開発期間誤差 (開発期間の見積値と実測値の差のこと) の予測式を作成することを目的とする。予測式の作成に当たっては, 文献 [5] と同様にして収集されるアンケート結果を用いることにし, そのアンケート結果に重回帰分析 [6][7] を適用する。

この予測式を用いてプロジェクトのコストと期間の予測値を求めることができるようになれば, その値が過去のプロジェクトに比べてどの程度悪くなるのかを判断することも可能になる。

3 分析手法

3.1 メトリクスの定義

プロジェクトマネージャに対して表 1 に示すアンケート調査表を配布し, 彼らの手がけたプロジェクトに対する回答を回収した。プロジェクトマネージャはこれらの項目に対して「はい」、「いいえ」、「どちらでもない」,

「分からない」の中から回答を選択する。それらの回答に対して「はい」なら4点を、「いいえ」なら1点を、「どちらでもない」なら3点を、「分からない」なら2点を割り当てた。それらの値は順序関係しか持たないので, 順序尺度のメトリクスと見なされる。

表 1: アンケート調査表

1. 要求仕様	
1.1	要件が不明確なままの要求 *
1.2	要件の引出し不足
1.3	要件の理解力不足 **
1.4	要件に対する顧客側, 実現側相互の合意不足
2. 見積り	
2.1	見積り項目不足
2.2	見積りの重要さの認識不足
2.3	非技術的圧力に妥協 *
2.4	技術的課題に対する楽観的見積り **
2.5	見積りの根拠不足
3. プロジェクト体制	
3.1	要員のスキル不足
3.2	プロジェクト体制整備の必要認識不足
4. 工程計画	
4.1	作業に対する責任分担不明確
4.2	作業成果物定義不充分
4.3	マイルストーンやレビュー時期の設定不足
4.4	計画に対する関係者全員のコミットメントなし
4.5	計画に対する上級マネージャのレビュー不足
4.6	進捗管理方法不明確
5. 進捗管理	
5.1	技術的側面でのリスク管理不足
5.2	モラル不足 **
5.3	工数不足
5.4	要件, 仕様変更管理不足
5.5	進捗状況報告不足
5.6	進捗管理データ不足

また, それぞれのプロジェクトのコストが, 見積りコストに対してどれくらいの割合で増減したのかを測るコスト誤差 RE_{cost} (単位は % とする) を評価した。更に見積り期間に対しても開発期間がどれくらい増減したのかを測る期間誤差 $RE_{duration}$ (単位は月とする) を評価する。これらは共に比率尺度のメトリクスである。

ここでこれら 2 つのメトリクスの定義は次に示す通りである。

$$RE_{cost} = \frac{actCOST}{estCOST} \times 100$$

RE_{cost} : コスト誤差 (%)

$actCOST$: コスト実測値

$estCOST$: コスト見積り値

$$RE_{duration} = actDUR - estDUR$$

$RE_{duration}$: 期間誤差 (月)

$actDUR$: 期間実測値 (月)

$estDUR$: 期間見積り値 (月)

3.2 重回帰分析による予測式作成

重回帰分析では2つ以上の独立変数から従属変数の値を予測する。具体的には次に示す重回帰式を作成する。

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

ここで Y は従属変数, $x_i (1 \leq i \leq n)$ は独立変数であり, 収集されたデータを用いて係数 $a_i (0 \leq i \leq n)$ の値を推定する。運用時には, こうして作成した予測式に x_i の値を代入して予測値 Y を得る。

重回帰分析とは, 複数の独立変数が従属変数に及ぼす線形の効果を探るものである。本研究では, リスクアンケートの結果と開発コスト誤差, 開発期間誤差の間に線型関係の仮定をおき, その関係の説明を試みる。また推定された係数をみることで, どのリスクアンケート項目がコスト, 期間に大きく影響を及ぼしているのかということが分かる。

4 予測式の作成

ここでは重回帰分析を使用して実際にコスト誤差と期間誤差に対する予測式を作成する。

4.1 利用したデータ

ある企業から提供された40プロジェクト(うち13プロジェクトは混乱プロジェクト¹)に関するデータを利用する。その内訳はプロジェクトマネージャによる23個の質問項目に対する回答, プロジェクトの中で収集されている $actCOST$, $estCOST$, $actDUR$, $estDUR$ から3.1節の定義式で計算される RE_{cost} と $RE_{duration}$ の値である(表2)。

4.2 重回帰分析の適用

ここでは重回帰分析を使用して, アンケート調査項目の中でコスト, 期間の誤差の増減に強いかかわりをもっている項目を探り出すのと同時にその項目を使用したコスト, 期間の誤差の予測式を作成する。

4.1節で述べたプロジェクトデータに重回帰分析を適用して予測式を作成する。アンケート調査表の23項目の質問に対する回答を独立変数の値とし, コスト, 期間誤差の実測値を従属変数の値とする。予測式作成にはステップワイズ法を使用して, 最も有意性の高いものを採用する。

この結果, コスト誤差の予測式は次のように求まった。(予測式の左辺の re_{cost} は実測値として求まる RE_{cost} と区別する目的で小文字の表記を用いる。)

$$re_{cost} = 0.616 + 0.075x_1 + 0.078x_2 + 0.056x_3$$

x_1 : 要件の理解力不足

¹ この比率はこの企業全体のプロジェクトにおける混乱プロジェクトの比を決して意味しない。

表2: プロジェクトデータ

PJ.No.	$RE_{duration}$ 実測値	RE_{cost} 実測値	risky
1	4	1.050	yes
2	2	1.323	yes
3	5	1.421	yes
4	10	1.633	yes
5	6	1.691	yes
6	9	1.201	yes
7	1	2.086	yes
8	3	1.069	yes
9	3	1.195	yes
10	9	1.086	yes
11	2	1.025	yes
12	3	1.175	yes
13	-5	0.641	yes
14	0	1.013	no
15	1	1.039	no
16	0	1.000	no
17	2	0.830	no
18	2	0.896	no
19	0	1.011	no
20	0	0.989	no
21	0	1.000	no
22	0	1.019	no
23	0	1.000	no
24	0	1.062	no
25	0	0.792	no
26	0	1.000	no
27	0	0.886	no
28	2	1.062	no
29	2	1.081	no
30	5	1.221	no
31	1	1.033	no
32	0	0.977	no
33	1	0.992	no
34	-2	0.998	no
35	1	1.000	no
36	1	1.002	no
37	0	1.171	no
38	0	1.093	no
39	2	0.700	no
40	2	0.984	no

x_2 : 技術的課題に対する楽観的見積もり

x_3 : モラル不足

式の有意性を示す p 値² は 0.0001 より小さく, 係数の p 値と共に 0.05 以下であったので統計的に有意である。

また, 期間誤差の予測式は次のように求まった。(予測式の左辺の $re_{duration}$ は実測値として求まる $RE_{duration}$ と区別する目的で小文字の表記を用いる。)

$$re_{duration} = -1.285 + 0.979x_1 + 0.806x_2$$

x_1 : 非技術的圧力に妥協

x_2 : 要件が不明確なままでの要求

式全体の p 値は 0.0012 であり, 係数の p 値と共に 0.05 以下であったので統計的に有意である。

² ここで, p 値とは「式中の係数が本当はすべて 0 であり上記のような値になったのはただの偶然だった」という仮説が成立する確率を表す。

4.3 妥当性の検証

コスト誤差の予測式では独立変数として「要件の理解力不足」「技術的課題に対する楽観的過ぎる見積もり」「モラル不足」の3つの項目が採用された。(表1中の「**」で印されている項目が対応する。)これらの項目の妥当性について考える。

- 要件の理解力不足

要件の理解力不足により予想される問題は、間違っただけの見積り、設計を行ってしまうことにある。そのため、最終段階近くでその間違いに気づき、大きな手戻りを生む要因となる。

- 技術的課題に対する楽観的過ぎる見積り

プロジェクトの進行中には細心の注意を払っていても予期せぬことが起こるものである。したがって、楽観的見積りを行っていれば、見積りと実際のコストとの間には差ができるものと考えられる。

- モラル不足

プロジェクトの進捗状況が遅れていたとしても他人がなんとかしてくれるだろう、という雰囲気がプロジェクトチームの中にあると、チーム全体の効率が下がっていくことが考えられる。すると、予定通りにプロジェクトは進行せずコストの増大につながっていく。

期間誤差予測式の係数としては独立変数として「非技術的圧力に妥協」「要件が不明確なままでの要求」の2つが採用された。(表1の項目のうち「*」で印されている項目)

- 非技術的圧力に妥協

納期の短縮、費用の削減などの非技術的要求圧力に対し安易に妥協した場合、要求を十分吟味することなく無理な見積りをたててしまう場合が多い。その結果、プロジェクトの進行は予測通りにいかず、納期の遅れや期間の延長につながっていく。

- 要件が不明確なままでの要求

要件が不明確なままでの要求は頻繁に起こりうる問題である。しかし、顧客の要求を反映していないまま開発が進み、最終段階で発覚した場合、大きな手戻りが発生することが考えられる。

5 予測式の分析・評価

5.1 予測式の適用実験

作成された予測式の妥当性を調べる最初的手段として、予測式の作成に使用したデータを予測式に当てはめた評価を行う。

4.1で説明した40個のプロジェクトデータを予測式に適用した結果を表3、表4に示す。これらの表では各プロジェクトに対してコスト誤差、期間誤差の実測値(RE_{cost} ,

$RE_{duration}$)とそれらの予測値(re_{cost} , $re_{duration}$)を示している。また表中のプロジェクトは、 re_{cost} , $re_{duration}$ の値の昇順にソートされている。つまり表3では一番上のプロジェクト13が40個のプロジェクトの中でコスト誤差の予測値が最も小さく、逆に最も下のプロジェクト3はコスト誤差の予測値が最も大きかった。表3、表4からコスト、期間に関して両方とも実測値の高いものは高順位に位置していることが分かる。

RE_{cost} と re_{cost} , $RE_{duration}$ と $re_{duration}$ の値をプロットしたグラフを図1、図2に示す。図1は RE_{cost} をx軸に、 re_{cost} をy軸にとっている。図2では $RE_{duration}$ をx軸に、 $re_{duration}$ をy軸にとっている。グラフ中の直線は近似直線である。これらのグラフから RE_{cost} と re_{cost} , $RE_{duration}$ と $re_{duration}$ の間には正の相関があることが分かる。つまり、実測値で高順位であるものは予測値でも高順位を示す傾向のあることが分かる。

表3: RE_{cost} に対する予測式の適用結果

PJ.No.	RE_{cost} (実測)	re_{cost} (予測)
13	0.641	0.825
39	0.700	0.825
17	0.830	0.825
27	0.886	0.825
23	1.000	0.825
14	1.013	0.881
22	1.019	0.881
36	1.002	0.937
31	1.033	0.937
35	1.000	0.975
19	1.011	0.975
28	1.062	0.975
18	0.896	0.981
40	0.984	0.981
32	0.977	0.993
21	1.000	0.993
26	1.000	0.993
6	1.201	0.993
33	0.992	1.050
25	0.792	1.087
34	0.998	1.087
15	1.039	1.093
24	1.062	1.093
16	1.000	1.143
1	1.050	1.143
12	1.175	1.162
9	1.195	1.171
2	1.323	1.206
20	0.989	1.218
11	1.025	1.227
38	1.093	1.227
8	1.069	1.240
29	1.081	1.284
37	1.171	1.299
30	1.221	1.318
5	1.691	1.318
4	1.633	1.321
7	2.086	1.374
10	1.086	1.396
3	1.421	1.396

5.2 順位相関係数

分析評価に当たっては算出された予測値とそれぞれのプロジェクトでの実測値の間の関係をスピアマンの順位相関係数により調べる。更に予測式を適用した値と実測値が順序関係において十分有意かを検定して、予測式の

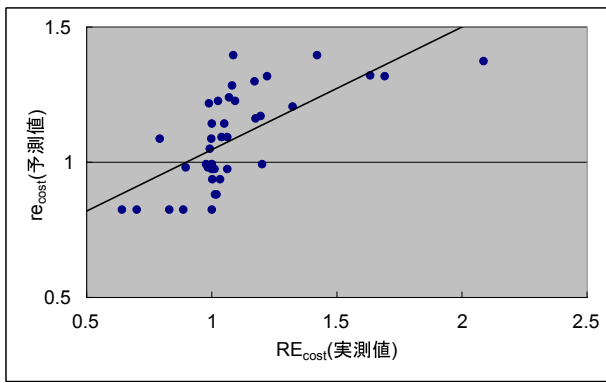


図 1: 予測値 re_{cost} と実測値 RE_{cost} の関係

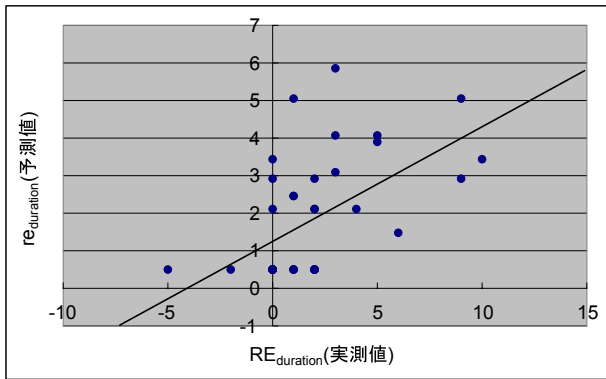


図 2: 予測値 $re_{duration}$ と実測値 $RE_{duration}$ の関係

妥当性の検証を行う。

今回の分析評価はすべて、データの順序関係に着目して行っている。これはアンケートの回答データが4段階の順序関係しか持たない値だからである。このことは重回帰分析によって作成された予測式にアンケートの回答データを代入して得られる値も順序関係以上の意味も持たないことを意味する。

スピアマンの順位相関係数とは2つの変数の値そのものではなく、その順位に関して相関係数を算出する。コスト誤差の実測値と予測値 (RE_{cost} , re_{cost})、期間誤差の予測値と実測値 ($RE_{duration}$, $re_{duration}$) についてそれぞれ順位相関係数を求めた。

順位相関係数を算出した結果を表5、表6に示す。表の値が相関係数であり、同順位数というのは1つの順位に2つ以上の値が対応したものが何種類あるのかを表している。また、p値は値の有意性を示している。統計的検定によりp値が0.05以下ならば値は統計的に有意であると言える。

まず、 RE_{cost} と $re_{duration}$ の順位相関係数は0.727と非常に高いことが分かる（一般的には0.5以上の値で強い相関があると見ることになっている）。この結果から、実際にコスト誤差の大きかったプロジェクトでは予測値も大きくなることが示された。

表 4: $RE_{duration}$ に対する予測式の適用結果

PJ.No.	$RE_{duration}$ (実測)	$re_{duration}$ (予測)
13	-5	0.500
34	-2	0.500
14	0	0.500
19	0	0.500
20	0	0.500
21	0	0.500
22	0	0.500
23	0	0.500
25	0	0.500
26	0	0.500
27	0	0.500
32	0	0.500
38	0	0.500
31	1	0.500
33	1	0.500
36	1	0.500
17	2	0.500
28	2	0.500
29	2	0.500
39	2	0.500
40	2	0.500
5	6	1.479
16	0	2.112
11	2	2.112
18	2	2.112
1	4	2.112
15	1	2.458
35	1	2.458
37	0	2.918
2	2	2.918
6	9	2.918
8	3	3.091
24	0	3.437
4	10	3.437
30	5	3.897
12	3	4.070
3	5	4.070
7	1	5.049
10	9	5.049
9	3	5.855

また、期間誤差の順位相関係数は0.597とコストの相関係数ほどではないが高い値を示した。従って期間誤差に関してもコスト誤差と同様、期間誤差の大きかったプロジェクトではその予測値も大きくなっていることが分かる。

表 5: Spearman の順位相関係数 (コスト誤差)

ρ 値	0.727
p 値	<0.0001
同順位数 (予測)	12
同順位数 (実測)	2

5.3 混乱プロジェクトとの関係

これまで、統計的な分析を通じて予測式の妥当性を検証してきた。順位相関係数(表5、表6)と値をプロットした散布図(図1、図2)からコスト誤差、期間誤差のいずれも予測値と実測値との間には十分強い関係が保存されていることが判明した。

ここで、実際に混乱と判断されたプロジェクトに着目してみる。実際に混乱したプロジェクトはPJ1からPJ13

表 6: Spearman の順位相関係数 (期間誤差)

ρ 値	0.597
p 値	0.0002
同順位数 (予測)	7
同順位数 (実測)	6

までの 13 プロジェクトである。

すべてのプロジェクトに対する re_{cost} , $re_{duration}$ とそのプロジェクトの混乱の有無を表 7 にまとめる。表 7 から、多くの混乱プロジェクトでは re_{cost} , $re_{duration}$ 共に比較的高い予測値を示していることが分かる (グレーで示したものが混乱プロジェクトである)。

表 7: 予測値表

PJ.No.	risky	re_{cost} (予測)	$re_{duration}$ (予測)
1	yes	1.143	2.112
2	yes	1.206	2.918
3	yes	1.396	4.070
4	yes	1.321	3.437
5	yes	1.318	1.479
6	yes	0.993	2.918
7	yes	1.374	5.049
8	yes	1.240	3.091
9	yes	1.171	5.855
10	yes	1.396	5.049
11	yes	1.227	2.112
12	yes	1.162	4.070
13	yes	0.825	0.500
14	no	0.881	0.500
15	no	1.093	2.458
16	no	1.143	2.112
17	no	0.825	0.500
18	no	0.981	2.112
19	no	0.975	0.500
20	no	1.218	0.500
21	no	0.993	0.500
22	no	0.881	0.500
23	no	0.825	0.500
24	no	1.093	3.437
25	no	1.087	0.500
26	no	0.993	0.500
27	no	0.825	0.500
28	no	0.975	0.500
29	no	1.284	0.500
30	no	1.318	3.897
31	no	0.937	0.500
32	no	0.993	0.500
33	no	1.050	0.500
34	no	1.087	0.500
35	no	0.975	2.458
36	no	0.937	0.500
37	no	1.299	2.918
38	no	1.227	0.500
39	no	0.825	0.500
40	no	0.981	0.500

ここでマン・ホイットニーの検定を用いて、混乱プロジェクトと、そうでないプロジェクトのそれぞれの平均順位に関して有意な差があるかどうかを検定した。マン・ホイットニーの検定とは、2 郡の集団の平均順位に関して有意な差があるかを検定する手法である。本研究では、 re_{cost} , $re_{duration}$ について混乱したプロジェクトとそうでないプロジェクトの間に有意な差が認められるかを検定している。直感的には混乱したプロジェクトのコスト、期間の予測値は、混乱していないプロジェクトのそれと

比べて大きいことを示す。

検定の結果 re_{cost} と $re_{duration}$ の両方に関して、順位の平均値に有意な差が見られた。混乱プロジェクトにおける re_{cost} の平均順位は 29 位、 $re_{duration}$ の平均順位は 30 位となり、混乱しないプロジェクトの re_{cost} の平均順位は 16 位、 $re_{duration}$ の平均順位は 15 位となる (表 8)。

表 8: 平均順位比較表

混乱	re_{cost}	$re_{duration}$
yes	29	30
no	16	15
p値	0.0014	<0.0001

ここで、 re_{cost} , $re_{duration}$ の予測式を適用して予測値を算出することを考える。 re_{cost} の場合は 1.218 (平均順位で 29 位の re_{cost} の値) を、 $re_{duration}$ の場合は 3.091 (平均順位で 30 位の $re_{duration}$ の値) を混乱プロジェクトにおける閾値と見なす。つまり、それらの値よりも大きい予測値が算出された場合にはそのプロジェクトのコスト、期間誤差が増大してしまうと判断することができる。

6 むすび

本報告では、リスク要因に関するプロジェクトマネージャのアンケート調査データとコスト・期間の関係を重回帰分析を用いて調べた。その結果、順位関係において有意な予測式を示すことができ、その予測式を使用した混乱予測の可能性も示した。更にコストと期間の増大に関係してくるリスク要因を明らかにし、それらに対する対処法も示すことができた。

今後の課題としては次のことが挙げられる。予測式を現実に適用していないのでその検証が必要と思われる。更には、リスク調査表ですべてのリスク要因を示すことができている訳ではないので、それを考慮に入れていくことも必要である。

また、本研究で提案する手法を現実のプロジェクトに対して応用するには、具体的な閾値の設定などが必要になる。ただし、有意な閾値を与えるためには予測式に含まれる変数を全て比率尺度以上のメトリクスにする必要がある。そのため、今後アンケートで収集するメトリクスの提案なども含めたより総合的な検討が必要になると考えられる。

参考文献

- [1] 足立, 水野, 菊野, 高木, 坂本, "アンケート調査に基づく開発中のプロジェクトの混乱予測とその予測作業支援システムの開発", ソフトウェアシンポジウム 2000 論文集, pp.146-153, 2000.
- [2] B.W.Boehm, "Industrial software metrics top 10 list", IEEE software, Vol.4, no.5, pp.84-85, 1987.

- [3] E. H. Conrow and P. S. Shishido, "Implementing risk management on software intensive projects," IEEE Software, Vol.14, No.3, pp.83-89, 1997.
- [4] J. Jiang and G. Klein, "Software development risks to project effectiveness," Journal of Systems and Software, 52, pp.3-10, 2000.
- [5] O. Mizuno, T. Kikuno, Y. Takagi and K. Sakamoto, "Characterization of Risky Projects based on Project Managers' Evaluation," Proc.of ICSE2000, pp.465-473, 2000.
- [6] 水野欽司, 多変量解析講義, 朝倉書店, 1996.
- [7] 佐伯, 松原, 実践としての統計学, 東京大学出版会, 2000.
- [8] R. C. Williams, J. A. Walker and A. J. Dorofee, "Putting risk management into practice," IEEE Software, Vol.14, No.3, pp.75-82, 1997.
- [9] E. Yourdon, *Death March : The Complete Software Developer's Guide to Surviving 'Mission Impossible' Projects*, Prentice Hall Computer Books, 1997.