

Bayesian Network を用いた Fast-Tracking のリスク提示機能を持つプロジェクト管理ツール P1

三角 勝 大木幹雄

日本工業大学情報工学科

〒345-8501 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台 4-1

E-mail: m-misumi@m5.dion.ne.jp, ohki@nit.ac.jp

あらまし

アジャイルプロジェクトでは、各工程作業の工数や作業間の関連・進捗に与える影響度を見通すことが困難なことから、作業の遂行中に次工程作業が前倒し的に開始する、所謂、Fast-Tracking が行われる。Fast-Tracking を行うプロジェクトでは、従来の PERT の管理原則、すなわち前工程作業の完了を待って次工程作業を開始するとの管理原則は適用できない。さらには必然的に発生する手戻りにも的確に対応できない。筆者らは、2001年より、プロジェクト工程管理にオブジェクト指向オブザーバモデルの概念を導入し、前工程作業の進捗を監視して、監視条件が満たされた時点で最適な次工程作業を開始する管理原則をもったプロセス記述言語 UPFL とプロジェクト管理ツール P1 を開発してきた。これらにはベイジアンネットの概念を元にした Fast-Tracking による手戻りリスクの提示機能、および最適手戻り情報提示・ガイダンス機能を実現した。本稿ではこれらの機能について紹介し、その概要を述べる。

キーワード

工程管理, オブザーバモデル, 手戻り制御, ベイジアンネット

The Project Management Tool P1 with the Risk Presentation of Fast-Tracking using Bayesian Network

Masaru MISUMI Mikio OHKI

Nippon Institute of Technology

Gakuendai 4-1, Miyashiro-machi, Saitama 345-8501 Japan

E-mail: m-misumi@m5.dion.ne.jp, ohki@nit.ac.jp

Abstract

It is common that a stage in an agile software development so called fast tracking processes often occur, because a stage can start when all the prerequisites are met although the previous stage has not been over. Project with such properties are hard to manage by using PERT that assume project stages are processed sequentially. In order to manage such project the authors adopted the "object-oriented observer model" to support such projects and developed a process description language UPFL to represent that model and the process management tool P1 for that language from the year 2001. In the year 2003, the authors added several functions such as a representation function of regression risk caused by fast tracking, based on Bayesian network concept, a guidance function of an optimized "regression processes" and a representation function of the degree of influence between corresponding each processes. In this paper, the authors explain the most important function that is the guidance function of optimized "regression processes" and show the effectiveness of control of "regression processes" through the measurement of the comparison data in line-tracer robot development projects.

Key words Schedule Management, Observer Model, Regression Control, Bayesian Network

1. はじめに

組み込みシステム開発や Web アプリケーション開発等のアジャイルプロジェクトでは、従来とは異なる工程管理手法やプロジェクト工程管理ツールが必要となる。アジャイルプロジェクトでは、技術的に未知な要素を多く含みながらも個々の作業が密接な関連をもち、しかも工期の余裕が少ない。そのため、従来のガントチャートや 40 数年前に開発された PERT 等にもとづく工程管理手法では、十分な工程管理が行えなくなっている。しかしながら、従来の工程管理手法に代わる手法が見出せないことから、プロジェクト管理者の属人的な能力や経験に全面的に依存したプロジェクト工程管理を行うことを余儀なくされているのが実状である。

本稿は、納期の制約が最優先するアジャイルプロジェクト管理に焦点を絞り、従来のプロジェクト管理では放置されてきた次の課題を中心に考察し、その解決の方策を提案するものである。

(1) 単位作業の工数は要員のスキルや問題解決能力に依存し、正確に見積もることが困難である。しかしながら、プロジェクト管理上は仮見積りの工数が一人歩きする。

(2) ソフトウェア開発では、作業を完全に独立した作業として分離できず、相互に作業の進捗に影響を与え合う作業(たとえば、入出力フォームの設計とデータベースのスキーマ設計等)も少なくない。しかしながらその関連は影響度も含め、管理の対象外になっている。

(3) 上記の2つの問題に起因して、次工程作業を開始条件を整えば前倒的に次工程作業を開始する、いわゆる Fast-Tracking がアジャイルプロジェクトでは一般的に生じる。従来のプロジェクト管理手法では、このような作業開始(前工程の作業の完了を待って次作業が開始される)を前提としていないため、Fast-Tracking を管理することが困難になる。

これらの課題の解決を図るには、「プロジェクト管理者が真に必要としている管理情報とは何か」まで遡って考察する必要がある。本稿では、アジャイルプロジェクト管理者に必要なリスク情報を提供する管理機能についてまず考察し、次いでこれらのリスクを表示する機能を内蔵したプロジェクト工程管理ツール P1 の概要について述べる。最後にリスク提示をプロジェクト管理に活用したときの手戻り抑制の期待効果について述べる。

2. 工程管理の問題点とその解決方策

2.1 作業工程の捉え方

現状における工程管理の主な問題点は、単位作業の工数の正確な見積もり、作業間の関連や作業進捗

に及ぼす影響度の把握、に集約できる。アジャイルなプロジェクトでは、一般に過去の類似開発で得た経験を生かせる作業工程が少ないことからことから、信頼性のある作業工程に関するデータを入手することが困難になる。そのため、現実的な対応策として、前工程の作業が完全に完了していなくても、次工程の開始条件が整うと「前倒し」的に次工程作業を開始する、所謂 Fast-Tracking が余儀なくされることが多い。しかし結果的には、それが作業手戻りの発生原因の一つになっている。理想としては Fast-Tracking を行うべきではないが、必ずしも Fast-Tracking することにより手戻りが発生するわけではないため、Fast-Tracking は一定の「手戻りリスク」を覚悟の上で行われることになる。従来の工程管理手法の大きな問題点は、この「手戻りリスク」に関する情報を工程計画に明示的に記述することはしていない。さらには手戻りリスクを経験的に算出する根拠となるデータすら集積していない。

本稿で提案する工程管理の考え方では、図1で示すように、プロジェクトの工程中に現れる単位作業を「開始事象」と「完了事象」を結ぶ確率的な因果関係として捉えるものである。すなわち、Fast-Tracking は、次工程作業が確率的に開始されることから、単位作業の開始は、開始時点 X が確率的に決まる確率事象(=開始事象)として考える。ここで X は予定した開始時点からの差異時間を示すもので、 X ごとに発生確率分布 $\text{Pr}(X)$ が付随する。同様に単位作業の完了も確率的な事象(=完了事象)であり、開始事象が発生したとの条件のもとに、完了事象が予定した作業時間からの差異時間 Y で完了する確率分布 $\text{Pr}(Y|X)$ が付随する。条件付確率分布 $\text{Pr}(Y|X)$ は、予定の開始時点からの差異が X で開始された単位作業が、予定の作業時間からの差異が Y で完了する確率分布を示している。



図1. 確率事象の因果関係としての単位作業

上述の考え方を拡張すると、あらかじめ計画した作業工程ネットワーク、所謂 PERT 図は、いろいろな作業間の因果の中で尤度が最も高い関係をネットワークとして示したものであり、作業の完了に伴って、当初予定していない作業が開始される可能性も許すことになる。ただ、その可能性が当初は無視できる程度に小さいと想定しているに過ぎないことになる。

2.2 Fast-Tracking に必要な手戻りリスク

単位作業の開始事象には、プロジェクト全体の開始事象を除き、当初予定した開始時間からの差異時間 X での程度の確率で作業が開始できるかの確率分布 $Pr(X)$ が付随するとした。この確率分布は、単位作業の予定工数が事前に主観的に決定されることから、ベイズ統計で言う「事前確率」分布を示しているに過ぎない。プロジェクト管理者は、この差異時間の発生頻度に関する主観的な事前確率分布 $Pr(X)$ から、どの差異時間 X であれば、Fast-Tracking するか意思決定を行うことになる。しかしながら、Fast-Tracking を許す工程管理では、管理者が真に必要とする情報は、差異時間の確率分布ではない。どの差異時間であれば、手戻りの発生確率が妥当なレベルに納まるかの「Fast-Tracking に伴う手戻りの発生リスク」である。手戻りの発生リスクに関する確率分布は、図 2 で示すとおり、開始時間の差異時間に関する確率分布とは異なる。

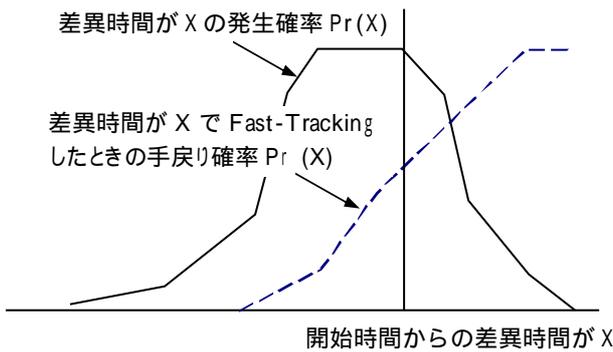


図 2. 差異時間 X の発生確率と Fast-Tracking 手戻り確率

Fast-Tracking に伴う手戻り発生確率を提示することは、アジャイルなプロジェクト工程管理には不可欠な機能であり、実際の手戻りの発生に伴って、手戻り発生確率を修正し、類似プロジェクトの適用も含め、経験値として自動的に蓄積してゆく必要がある。

3. UPFL/P1 の基本概念

筆者らは、形式的なプロセス記述の研究^{[1][2]}の流れの中で、2001 年からオブサーバモデルを基盤にしたプロセス記述言語 UPFL (Unified Process Flow Language) の概念を組み込んだプロジェクト管理ツール P1^{[3][4][5]}を開発してきた。UPFL は、PERT のもつ欠点、すなわち、手戻り作業が記述できない、前工程作業の完了を待たなければ次工程作業が開始されない等の改良するため、Petri Net と状態遷移図の概念を融合させたプロセス記述言語である。UPFL では、図 3 で示すとおり、単位作業工程(以後プロセス)は、2つのオブジェクト S-Object と

T-Object によって表現する。S-Object は作業の進捗状態を保持するオブジェクトであり、T-Object は、あらかじめ与えた手戻りリスク以内であれば、次工程作業の開始を判断し、次工程作業を起動する役割をもつオブジェクトである。手戻りリスクや予定からの開始時間の差異の発生データ等も、自動的に工程管理データとして記録し管理する。

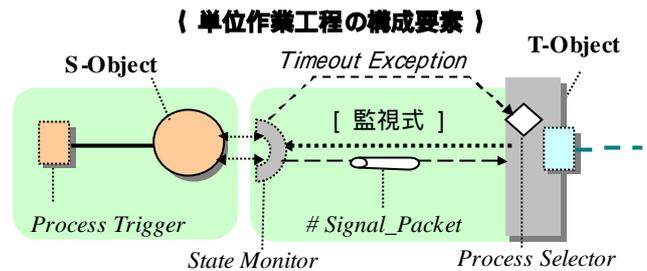


図 3. 2つのオブジェクトによる単位作業工程の表現

UPFL では、プロセスとその進捗状態を表現する概念として、次を採用している。

(a) S-Object

作業の進捗状態を保持する S-Object に装着された State Monitor に対して、種々の観点から作業の進捗を監視する監視式を動的に T-Object は送信し、前倒しに作業が開始できるかを監視する。State Monitor は監視条件が満足されると、満足した条件を示すシグナルパケットを T-Object に返信する。あらかじめ指定した時間内で監視条件が満足されないと、タイムアウト例外シグナルを T-Object に返信する。このような状態監視の概念はオブサーバモデルを基盤にしている。S-Object の格納データは次のとおりである。

- 識別名称、および返信する T-Object 集合
- 作業予想時間、タイムアウト時間
- 要員の能力
- 作業進捗度 (%)
- 制約の充足度 (テスト回数, レビュー回数等)
- 経費消化率 (%) 等々

(b) T-Object

監視条件が満足すると、シグナルを T-Object に返信する。T-Object は、シグナルパケットやタイムアウト例外シグナルをプロセスセクタ (Process Selector) が他の作業の完了シグナルを含めて複合的に判断し次工程作業の起動を決定する。これによって、関連する作業の進捗を複合的に判断して、次工程作業を開始することができる。関連する作業相互で生じる選択的影響関係や連鎖的影響関係は、プロセスセクタが行う複合判断によって制御される。

T-Object の格納データは次のとおりである。

- 識別名称
- 最早開始時間, 最遅完了時間
- 監視する S-Object 集合
- 監視時間間隔, 並行作業監視用変数
- 次工程 T-Object 集合と起動条件, 起動優先度
- 次工程 T-Object 集合の選択履歴
- 手戻りリスク確率分布
- 予定開始時間の差異時間の発生確率分布

4. UPFL/P1 Ver3.0 の手戻りリスク提示機能

UPFL によるプロセス記述を組み込んだプロジェクト管理支援ツール UPFL /P1 Version3.0 では, 前述の基本的な作業工程管理に加えて, 手戻りリスク提示に必要な機能を追加した。手戻りリスクを含む P1 の具体的な表示例は図4で示すとおりで, このようなプロセス図をもとにプロジェクトの工程管理を行う。図4中のジグザグ線は, 作業が相互に関連し, 進捗に影響を与え合うことを示している。

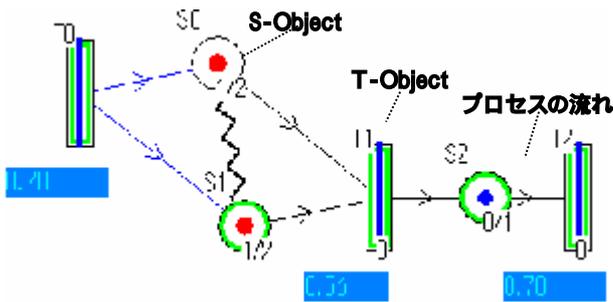


図4. UPFL/P1 Ver3.0 プロセス図の記述例

Fast-Tracking のリスク提示に関しては, ベイジアンネットワークを応用しており, Fast-Tracking 作業と通常の作業との識別には, カラーペトリネットを利用している。以下にその概要を述べる。

4.1 ベイジアンネットワーク

4.1.1 ベイズの定理

ある事象 Y が y という状態のときに別の事象 X が x という状態である確率を条件付確率といい, $\Pr(X = x | Y = y)$ と表す。また, このような条件付確率が与えられ, $X = x$ であることが判明したとすると, 次のような関係が成り立つ。

$$\Pr(X = x | Y = y) = \frac{\Pr(Y = y | X = x) \Pr(X = x)}{\Pr(Y = y)} \quad (1)$$

この式(1)をベイズ(Bayes)の定理という。

4.1.2 事象の因果関係

ベイジアンネットワーク(Bayesian Network)とは, 事象の発生に関する確率変数をノードとして表現し, 依存関係のあるノードをリンクで繋いだ非循環有向グラフ構造の確率モデルである。ベイジアンネットでは, 変数間の定量的な依存関係を条件付確率によって表す。確率変

数が離散変数の場合, 子ノードの親ノードに関する条件付確率は, すべての状態における条件付確率を並べた表(Conditional Probability Table, CPT)によって表す。

ベイジアンネットワークでは, それぞれの事象が実際に発生したときは, 確定値としてその確率変数に代入する。その際にベイズの定理を連鎖的に用いて前後のノードにその確率が伝播する。確定値が代入される前の確率を事前確率, ベイズの定理を用いて計算がされたあとの確率を事後確率という。

4.1.2 ベイジアンネットワークの確率伝播

ベイジアンネットワークにおける確率の計算例として, 図5にベイジアンネットと表1にそのCPTの例を示す。図5中で, X_2 に確定値 e_2 が決定されたとき, X_3 の事後確率は設定された条件付確率を式(2)で表す。

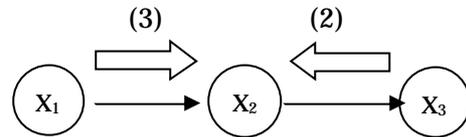


図5. Bayesian Network の例

$$\Pr(X_3 = x_3 | X_2 = e_2) \quad (2)$$

すると X_2 の事後確率はベイズの定理を用いて式(3)で計算される。

$$\Pr(X_1 = x_1 | X_2 = e_2) = \frac{\Pr(X_2 = e_2 | X_1 = x_1) \Pr(X_1 = x_1)}{\Pr(X_2 = e_2)} \quad (3)$$

式(3)の $\Pr(X_1 = x_1)$ は事前確率として主観的に与えるものとする。 $\pi(X_1)$ を X_1 が取り得る全ての状態の集合とし, 周辺確率 $\Pr(X_2 = x_2)$ は式(4)で求める。

$$\Pr(X_2 = e_2) = \sum_{x'}^{\pi(X_1)} \Pr(X_2 = e_2 | X_1 = x') \Pr(X_1 = x') \quad (4)$$

4.2 ナイーブベイズ

ナイーブベイズ(Naïve Bayes)とは, ベイジアンネットワークの一種である。ある事象 A が発生した場合, 複数の特徴量をもとにして A が属するクラス C を決定する, いわゆる分類問題を解決するために良く用いられる。たとえば, 図6で示したナイーブベイズの事前確率の求め方は次のとおりになる。

複数の特徴量 $A_1 \dots A_k$ が与えられたとき, その状態が属するクラス C の確率を与える問題を分類問題という。これをナイーブベイズで表すと式(5)のとおりになる。

$$\Pr(C = c | A_1 = a_1, \dots, A_k = a_k) \quad (5)$$

式(5)で特徴量 $A_1 = a_1 \dots A_k = a_k$ が与えられた場合に、その状態がクラス $C=c$ である確率を表している。この確率をデータから推定するために、式(5)にベイズの定理を適用すると式(6)のとおりになる。

$$\frac{\Pr(A_1 = a_1, \dots, A_k = a_k | C = c)}{\Pr(A_1 = a_1, \dots, A_k = a_k)} \Pr(C = c) \quad (6)$$

式(6)のうち $\Pr(C=c)$ はデータより容易に計算できる。分母も同様である。式(6)の分子を計算するには、ベイズの定理を利用し、式(7)に変形する。

$$\Pr(A_1 = a_1 | A_2 = a_2, \dots, A_k = a_k, C = c) \Pr(A_2 = a_2, \dots, A_k = a_k | C = c) \dots \quad (7)$$

式(7)を再帰的に適用する。またそれぞれの特徴量が独立だとすれば、式(8)のとおりに表せる。

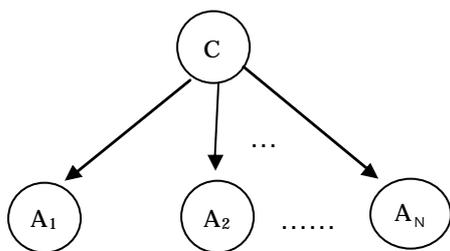


図6. ナイーブベイズの例

$$\Pr(A_n = a_n | A_{n+1} = a_{n+1} \wedge \dots \wedge A_k = a_k, C = c) = \Pr(A_n = a_n | C = c)$$

すなわち、

$$\Pr(A_1 = a_1 \wedge \dots \wedge A_k = a_k | C = c) = \Pr(A_1 = a_1 | C = c) \cdot \Pr(A_2 = a_2 | C = c) \cdot \dots \cdot \Pr(A_k = a_k | C = c)$$

式(6)の分子の値を計算するには上式の各項の確率を出してその積を求めればよい。

$$\Pr(A_1 = a_1 \wedge \dots \wedge A_k = a_k | C = c) = \Pr(A_1 = a_1 | C = c) \cdot \Pr(A_2 = a_2 | C = c) \cdot \dots \cdot \Pr(A_k = a_k | C = c) = \prod_{i=1}^k \frac{\text{count}(A_i = a_i \wedge C = c)}{\text{count}(C = c)} \quad (8)$$

実際にナイーブベイズを用いて分類を行うには、各特徴量に確定値を代入し、4.1.2 節で述べた確率伝播の計算を行う。

4.3 Fast-Tracking の表現としてのカラーペトリネット

UPFL/P1 では、Fast-Tracking 作業を表現するため、カラーペトリネット(Coloured Petri Net)を取り入れている。カラーペトリネットとは、通常のペトリネットのトークンをカラー化し、ある種の属性を持たせてシステム内に数種類

のトークンを動き回らせることにより、モデル化を容易にする技法である。

UPFL/P1 では通常の作業を表すトークンを赤色で、Fast-Tracking 作業を表すトークンを青色で表現している。図3では、S0とS1に通常作業トークンがあり、S2ではFast-Tracking トークンが設定されている。

Fast-Tracking トークンは、各 T-Object に設定されたFast-Tracking 条件が満たされた場合に生成される。そのFast-Tracking 条件が評価されるのは以下の2つの場合である。

- (1) 前 S-Object に通常作業トークンが揃っている
- (2) 前 S-Object にFast-Tracking トークンが揃っている

Fast-Tracking 作業に通常作業が追いついた場合、Fast-Tracking トークンは通常作業トークンで上書きされる。Fast-Tracking は前倒し作業なので、通常作業が追いつくまで終了することはない。

4.4 ベイジアンネットを用いた工程管理

UPFL/P1 Ver3.0 ではFast-Tracking のリスク判定と手戻り情報選択にベイジアンネットワークを利用している。次にその概要について述べる。

(1) Fast-Tracking における手戻りリスクの提示機能

Fast-Tracking を行う際には、それによる手戻りのリスクを考慮しなければならない。UPFL/P1 では、プロセス図を、各作業をノードとしたベイジアンネットと解釈し、その確率を算出することにより、リスクの提示を行う。

プロセス図を元にしたベイジアンネットの各ノードは、T-Object と S-Object を組にしたものである(図7)。UPFL/P1 ではT-Object がFast-Tracking 開始の判断を行う。よってノードとなるのは T S というプロセスの並びである。各ノードにはFast-Tracking の手戻りリスクとして、“Fast-Tracking を実行すべきでない確率”，すなわち“Fast-Tracking を実行した際に先の作業で手戻りが発生し、再び作業が開始される確率”である。手戻りが発生し再作業が行われるということは、その作業の手戻りリスクは高く、Fast-Tracking を行わずに慎重に進行した方がよいということである。

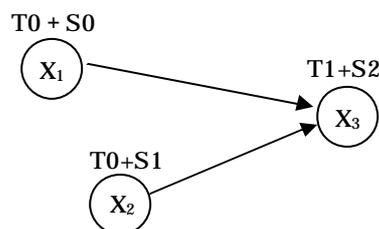


図7. ベイジアンネットに変換されたプロセス図

実際のリスク提示は次のよう行われる。作業が進行するごとに各ノードで Fast-Tracking が行われたか否かの真理値を確定値として代入する。確定値の代入により、プロセス図の Fast-Tracking リスクは確率伝播によって変化する。管理者は、各ノードの事後確率が表す Fast-Tracking リスクを参考にし、Fast-Tracking 実行の判断をする。

UPFL/P1 では、Fast-Tracking の判断は管理者に委ねられる。これはプロジェクトの性質により、手戻りのリスクと作業スピードのトレードオフが違うからである。すなわち高い完成度が求められるシステムでは手戻りのリスクを重視し、反対に完成度よりも現状に素早く対応することが求められる変化の激しいシステムでは作業サイクルのスピードが重視される。管理者が最終的な決定を下すことにより、プロジェクトの性質を考慮した管理をすることができる。

次に各ノードの Fast-Tracking 実行の事前確率をどのように計算するかについて述べる。プロジェクトの進行において、次の点について記録を取る。

各作業が何回行われたか。

どの作業で何回 Fast-Tracking が実行されたか。

再作業が発生したときに、どの作業で Fast-Tracking が実行されていたか。

例として図7の場合を取り上げる。このベイジアンネットにおいて上の3点の数値から以下の表1のような場合別再作業回数の表を作成する。表1では、Fast-Tracking を行ったか、それとも通常どおりに前倒しをせずに作業を行ったかによって場合分けを行い、その場合ごとの X_3 の再作業回数を記録している。

表2では、表1をもとにした X_3 の条件付確率表を示している。例えば、表1で X_1, X_2 とも Fast-Tracking を行った場合を考える。表1から X_3 の再作業回数は

表1. X_3 の場合別の再作業回数表

X_1	X_2	X_3	
		F-T	通常
F-T	F-T	4	3
	通常	5	2
通常	F-T	2	1
	通常	5	3

表2. X_3 の条件付確率表

X_1	X_2	X_3	
		F-T	通常
F-T	F-T	0.6	0.4
	通常	0.7	0.3
通常	F-T	0.7	0.3
	通常	0.6	0.4

Fast-Tracking 実行時は4回、通常作業時は3回である。よって、それぞれの再作業確率は、

・ Fast-Tracking 実行時

$$\Pr(X_3 = FT | X_1 = FT \wedge X_2 = FT) = \frac{4}{4+3} \approx 0.6$$

・ 通常作業時

$$\Pr(X_3 = 通常 | X_1 = FT \wedge X_2 = FT) = \frac{3}{4+3} \approx 0.4$$

となる。

手戻りが発生した際には、手戻り先から手戻り元までの作業において再作業が発生する。それに対応して各ノードに設定されている再作業回数表を更新され、各ノードの条件付確率表が自動的に更新される。このように前作業の状態ごとに再作業の回数を記録しその値を用いることにより、Fast-Tracking リスクの事前確率を計算する。

(2) ナイーブベイズを用いた手戻り情報提示機能

プロジェクトで手戻りが発生した際に、作業の状態からその状態に合った手戻り原因を探し出し、その対処法を提示する機能である。手戻りが発生した際は、その状況から手戻り原因を推定し、有益であると思われる手戻り対処法を優先度付けして表示することができる。各作業を特徴量、手戻り原因を分類クラスとすると、これはナイーブベイズを用いて実現することができる。

ナイーブベイズを用いて構成した手戻り情報提示のためのベイジアンネットの例を図8に示す。ここでは現在のプロジェクトだけでなく他のプロジェクトでも再利用するため、手戻り原因と作業の中間に作業タイプ層を設定した。これにより作業タイプ層がクッションとなって、他のプロジェクトの作業にも結合しやすくなる。ナイーブベイズの階層をまとめると以下ようになる。

手戻り原因層：各手戻りの原因を列挙する。その手戻りの対処法情報と紐付けられている。

作業タイプ層：作業をタイプごとに分類し、再利用性を高める。

作業プロセス層：実際の作業を列挙する。作業タイプ別に分類されている。

図8のネットワーク構造は、ナイーブベイズを段階的に積み重ねたものである。各ノードの事前確率を求めるに

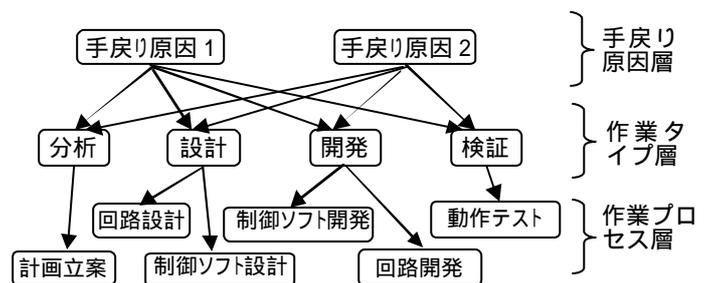


図8. 手戻り情報のナイーブベイズ表現

は、上下に接している層での関係のみ考える。すなわち、手戻り原因層と作業タイプ層、作業タイプ層と作業プロセス層の2つである。この2つに対して4.2節で述べたナイーブベイズの計算を実行する。

次に図8を例にして実際の事前確率の推定法について説明する。図8において、各作業の手戻り回数と手戻り原因の発生回数をまとめたものを表3, 4, 5に示す。表5では本来ならば各作業タイプの手戻り発生状況の全ての組み合わせを書かなければならないが、ここでは説明の都合で簡略化し、手戻りは一度に一つの作業でしか発生しないとしている。

表3. 原因ごとの手戻り回数

手戻り原因	手戻り回数
原因1	9
原因2	21
全手戻り	30

表4. 作業と原因ごとの手戻り回数

作業	タイプ	手戻り原因	
		原因1	原因2
計画立案	計画	1	2
回路設計	設計	1	3
制御ソフト設計		2	2
回路開発	開発	0	4
制御ソフト開発		1	4
動作テスト	検証	4	6

表5. 手戻り発生状況ごとの手戻り回数

作業タイプ				手戻り原因	
計画	設計	開発	検証	原因1	原因2
T	F	F	F	1	2
F	T	F	F	3	5
F	F	T	F	1	8
F	F	F	T	4	6

まず手戻り原因層と作業タイプ層のナイーブベイズについて計算する。ここでは例として手戻り原因1の事前確率を求める。

手戻り原因1を C_1 、作業タイプを $T_1 \sim T_4$ とすると、4.2節から、以下の式で計算できる。

$$\Pr(C_1 = c_1 | T_1 = t_1 \wedge \dots \wedge T_4 = t_4) = \frac{\Pr(T_1 = t_1 \wedge \dots \wedge T_4 = t_4 | C_1 = c_1)}{\Pr(T_1 = t_1 \wedge \dots \wedge T_4 = t_4)} \Pr(C_1 = c_1)$$

上式を実際に計算した結果が表6である。

表6. 手戻り原因1の推定値

作業タイプ				手戻り原因1	
計画	設計	開発	検証	T	F
T	F	F	F	0.3	0.7
F	T	F	F	0.4	0.6
F	F	T	F	0.1	0.9
F	F	F	T	0.4	0.6

作業タイプ層と作業プロセス層に対しても同様の処理を行う。手戻りが発生し、手戻り情報が参照されるごとに表3, 4, 5の数値を更新し、各ノードの事前確率(表6)を再計算することにより、どの手戻りにどの対処法が有効かという情報を蓄積することができる。

5. 手戻り箇所提示の有効評価

手戻りリスクを提示することによる、手戻りの発生頻度の低減効果については、現時点では確認できていない。そこで2003年度に行った手戻り先のガイダンス機能に関して行った検証実験^[3]の結果を以下に示す。

5.1 評価実験

UPFL/P1を使用したプロジェクトと、プロジェクト管理ツールを使用しないプロジェクトを比較し、UPFL/P1の手戻り抑制効果を実証するため、以下の比較実験を実施した。

(1) 対象としたプロジェクト

対象プロジェクトとして、情報工学科3年次生を対象にしたライトレーサロボット開発プロジェクトを取り上げた。プロジェクトでは、学生がチーム(3~5名)を組み、約4ヵ月間でロボットのハードウェア、および制御用ソフトウェアの開発を行う。比較対象として、UPFL/P1を使用しない(ガントチャート、PERTを使用)プロジェクトとUPFL/P1を使用したプロジェクトを設定した。

(2) データ収集方法

被験者に、選択記述式の進捗管理票で手戻り発生状況を記録させて、データを収集した。

(3) 手戻り抑制効果の評価基準

進捗管理データは次の評価基準の観点から比較した。

手戻り回数 : 手戻り作業の発生回数である。予定工数を超過して繰り返される作業と、前作業工程に戻り、やり直す作業の二つを手戻り作業と定義した。

繰り返し手戻り回数 : 同じ手戻りを複数回繰り返した回数である。

増加プロセス数 : 手戻りによって予定工数を超過して増加した工数の実測値である。

5.2 手戻り抑制効果の実測値

進捗管理票より集計したUPFL/P1を使用したプロジェクトと、使用しなかったプロジェクトの手戻り発生回数 t_0 繰返し手戻り回数、および手戻りによって増加した工数の実測値について、その平均値のt検定を行った結果をそれぞれ表7, 8, 9に示す。表中のt値下段の括弧で囲まれた値は、有意水準(差異がないとする帰無仮説の棄却危険率)である。

表 7. 手戻り回数の平均値の t 検定表

UPFL/P1	平均	標準偏差	分散	自由度	t 値
未使用	19.94	6.91	47.73	20	0.66
使用	18.38	7.74	59.92		

表 8. 繰返し手戻り回数の平均値の t 検定表

UPFL/P1	平均	標準偏差	分散	自由度	t 値
未使用	8.03	4.83	23.37	19	1.32 (10%)
使用	5.62	7.74	35.59		

表 9. 増加工数の平均値の t 検定表

UPFL/P1	平均	標準偏差	分散	自由度	t 値
未使用	40.61	12.75	162.58	32	5.19 (0.001%)
使用	23.08	8.96	80.24		

表 7 は, UPFL/P1 の使用いかに係わらず, 手戻り回数には差異がないことを示している。したがって, 両プロジェクトとも, 手戻りの発生は同様の頻度で発生したと考えてよい。表 8 は, UPFL/P1 を使用すると, 繰返し発生する手戻りの平均値に差異があることを示している。

手戻りガイダンス機能の目的は, 繰返し発生する手戻りの発生の抑制であるため, その効果が実証された。表 9 の繰返し発生する手戻りの抑制等によって, 予定工数を超過して増加した工数に明らかに差異があることを示している。

6. 考察

表 7~表 9 に示す通り, 手戻り先のガイダンス機能を中心にして, 以下の効果が確認された。

(1) 同じ手戻りの発生の抑制

手戻り情報を提示することにより, 過去の手戻り情報を参照でき, 同じ手戻りの発生を抑えることができた。

(2) 手戻りによる増加工数の抑制

手戻り情報提示により工数増加を発生させる手戻りを事前に回避できるようになった。また UPFL/P1 の工程管理により工期見積もりと作業見通しを管理者が認識でき, 予定工数に対する増加度合いを減少することができた。

本稿で述べた Fast-Tracking 制御機能を使用すれば, プロジェクトの振る舞いから慎重に行うべき作業を割り出し, プロジェクトのリソースを効果的に配置することにより, 安全性を確保しつつ素早く開発を行うことが可能になる。この効果により, 評価実験では確認できなかった手戻り発生頻度の低減に効果が期待できる。しかしながら, Fast-Tracking リスク提示による手戻りの発生頻度の低減効果については, 検証実験の計画段階にあり, 今後, 3 年次生に対する実験授業「ソフトウェア分析実験」において, 手戻りデータを収集し, 検証する予定である。

7. 類似研究

ベイジアンネットをソフトウェア開発に応用した代表的な類似研究として大阪大学 天壽聡介, 水野修, 菊野亨らにおける研究^[6]がある。しかしベイジアンネットの用途は, ソフトウェアの不具合数および最終品質の予測に用いられており, プロジェクトの手戻りに関するものではない。モデル構築・評価のためのデータとしては, ウォーターフォール型プロジェクトで得られたものを使用しており, 繰返し手戻りする視点はない。したがって, 本研究との以下で相違がある。

- (1) アジャイルプロジェクトではなく, ウォーターフォール型プロジェクトを対象としている。
- (2) Fast-Tracking 管理を対象としていない。
- (3) 管理ツールを作成していない。

8. おわりに

手戻り抑制効果の評価実験として, 組み込み型システム開発実験の進捗データ収集にご協力いただいた樺澤康夫教授, 片山茂友教授に謝意を表したい。

参考文献

- [1] 大木幹雄, 齋藤良和, 橋本信也, 安恒寛則, 高木陽平, “フレキシブルなプロセス決定構造をもつ分散プロジェクト管理ツール P1,” 電子情報通信学会 信学技報 Vol.103 No.218 pp.7-14 KBSE2003-14 (2003).
- [2] 齋藤良和, 橋本信也, 大木幹雄, “反復的な改善を含むソフトウェアプロセス制御システムの試作と考察,” 情処学会第 63 回全国大会 3Q-3 pp.199-200(2001).
- [3] 三角勝, 内藤貴之, 大木幹雄, “アジャイルプロジェクトにおけるオブザーバ型工程管理の有効性評価,” 電子情報通信学会 信学技報 Vol.103 No.709 pp.61-66 KBSE2003-56 (2003).
- [4] 望月純夫, 片山卓也, “ソフトウェア設計プロセスの構築法の一提案” 情処学会論文誌 Vol.36 No.8 pp.1951-1963(1995).
- [5] Bandinelli S., Di Nitto E., Fuggetta A., “Supporting Cooperation in the SPADE-1 Environment” IEEE Trans. SE Vol.22 No.12 pp.841-865(1996)
- [6] 何 克清, 宮本衛市, “ソフトウェアプロセスの基本制御構造,” 情処学会論文誌 Vol.33 No.11 pp.1414-1422(1992).
- [7] 天壽聡介, 水野修, 菊野亨, “ベイジアンネットに基づくソフトウェア開発工程の最終品質予測モデルの提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.SS2002, No.40, pp.19-24, January 2003.
- [8] Horvitz, E. "Lumiere Project: Bayesian Reasoning for Automated Assistance" Decision Theory & Adaptive Systems Group, Microsoft Research. Microsoft Corp. Redmond, WA: 1998.