

VSM を用いたアジャイル開発の生産性指標の提案と ウォーターフォール開発との比較

秦泉寺久美^{†1} 神明夫^{†1} 夏川勝行^{†1}

概要: 近年アジャイル開発の重要性が認識されつつあるものの、受託でアジャイル開発を実施することを想定した場合、発注側組織においてウォーターフォール型の開発からアジャイル型の開発へ組織的な方針転換に踏み出せない場合がある。その理由の一つとして旧来からウォーターフォール型の開発データや生産性の評価をしてきている中で、アジャイル開発の生産性（費用、期間）の善し悪しを判断出来ないことが一因となっている。本稿では、価値の構築に着目し生産性を期間および費用の指標として定式化し、同一の基準で案件間の生産性を比較評価する方法を提案する。筆者らはアジャイル開発推進のために準委任契約を用いたアジャイル開発トライアルを 2018 年から実施しており、本指標を用いてトライアル案 10 案件および過去のウォーターフォール型開発の統計値を比較したところ、NTT 研究所の例ではアジャイル開発において 10%以上機能の使用率が向上すれば、ウォーターフォール開発に対して費用、期間面で有意な開発になりえることがわかった。

キーワード: アジャイル開発, 生産性, 指標, バリューストリームマッピング

Productivity evaluation of agile development using VSM and comparison of waterfall development

KUMI JINZENJI^{†1} AKIO JIN^{†1}
KATSUYUKI NATSUKAWA^{†1}

Abstract: In recent years, the importance of agile development has been recognized, but if it is assumed that agile development will be performed on a contract basis, the ordering organization will not be able to make a systematic shift from waterfall development to agile development. One of the reasons is that while we have been evaluating waterfall-type development data and productivity from the past, we cannot judge the quality (cost, period) of agile development. In this paper, we focus on building value, formulate productivity as an index of period and cost, and propose a method to compare and evaluate productivity between projects using the same criteria. The authors have been conducting agile development trials using quasi-delegation contracts to promote agile development since 2018, and using this index, we compared the statistics of 10 trial projects and past waterfall development statistics. In the case of NTT Laboratories, it was found that if the feature-used rate increased by 10% or more in agile development, it could achieve higher productivity in terms of cost and time than waterfall development.

Keywords: Agile development, Productivity, Indicator, Value stream mapping

1. はじめに

アジャイル開発が世界的に普及しつつある[1]ものの、旧来ながら受託でウォーターフォール開発を実施してきた組織（以降、「発注側組織」の前提）はアジャイル開発の導入に踏み切れない場合がある。筆者らの組織も例外でなく、長年戦略的な導入に躊躇していた。導入障壁として以下の二つがあった。

- 日本の法制度がウォーターフォール型の受託開発を想定した体系であるため、アジャイル開発のように短期間にプロダクトをリリースする場合には、労働者派遣法、下請法、税制などの現行法制度に対応するための運用や制度を新たに整備する必要がある
- アジャイル開発の生産性（以降、「開発期間」「費用」

の前提）評価法が確定していないため、他の案件やウォーターフォール開発などの過去のデータとの比較ができず、プロダクトの品質やプロジェクトの能力を相対的に客観的に評価できないこと

前者の障壁については、現行法制度を遵守するための契約形態[2][3]や社内運用制度設計の検討[4]がなされてきている。その場合、アジャイル開発に親和性が高い準委任契約を採用[4]することが考えられる。しかし、準委任契約は完成を規定しない契約であるため、請負契約と比較して発注側のリスクが高くなる。リスクを受容しアジャイル開発を採用・推進するためには、アジャイル開発が請負契約によるウォーターフォール開発に比較して生産性が勝っているといえる後者の障壁の克服が必要となる。以下にアジャイル開発の生産性にウォーターフォール開発と比較して劣勢

^{†1} 日本電信電話株式会社, NTT ソフトウェアイノベーションセンター
NTT Corporation, NTT Software Innovation Center

になると思われる要因を三つ記す。

- 受託側にフルスタックエンジニアのスキルが要求されることによる人月単金の高止まり。
- 頻繁にリリースによる検証稼働の増加
- 発注側人材が案件に張り付くことによる内製稼働の増加

これらのマイナスと思われる要因がある中で、費用、開発期間の面でアジャイル開発の優位性を主張することが課題となる。

本稿では価値の構築に着目しウォーターフォールやアジャイルなどの開発方法論に拘らず共通的に使える生産性に寄与するパラメータを定義し、過去のデータや案件間で費用と開発期間の両面から生産性を評価する方法を提案する。また、筆者らは NTT の全研究所においてアジャイル開発を推進しており、準委任での契約形態を整備後、2018年8月よりトライアル（以降、アジャイルトライアルと表記）を実施している[4]。提案方法をアジャイルトライアル案件に対して適用した結果、指標の有効性が確認された。また、実際に使われている機能の割合の比がどれだけ向上すればアジャイル開発がウォーターフォール開発より生産性が高いと言えるのかをアジャイルトライアルデータと過去のウォーターフォール開発の統計値を用いて検証し、知見を得た。以降、2章では関連研究、3章では提案指標、4章ではアジャイルトライアル案件への適用結果と過去のウォーターフォール開発との比較を示し、最後にまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

伝統的な生産性評価方法として、ライン数やファンクションポイント[5]といった生産量あたりの費用で評価する方法がある。これらは費用あたりの生産量が多いほど生産性は高いと評価されるものである。しかし、オブジェクト指向のプログラミング言語の普及により生産性の高さとソフトウェアの凝集性[5]の高さが同義に語られようになり、生産量が生産性の指標としてはふさわしく無いものとなってきている。

一方、開発サイドのメトリクスとしては WIP(Work in Progress)に代表されるように主にベロシティを計測するメトリクスが多数提案[6-12]されているが、費用や期間にかかわる生産性を直接的に計るものではないこと、案件に閉じた指標になるため、過去も含めた他の案件との比較が困難であるという課題があった。

また、筆者らはアジャイル開発の導入障壁を打開することを目的に、アジャイル開発のプロセスを整備し[13]、LEANにおける Value Stream Mapping (VSM)[14][15]の考え方を基本にしたアジャイル開発の QCD の検討を行い、マネジメントサイドへの支援を目的としたアジャイル開発の開発期間を予測する方法を提案している[16]。しかし、開

発期間は総開発費用に関連する重要な要因ではあるものの、直接的な生産性評価への言及には至らなかった。

3. 提案指標

本提案指標の要件を下記にまとめる。

- 費用と期間の観点で生産性を評価が可能
- 複数の事案との比較評価が可能

本章では、上記の要件を満たし、VSM の考え方を利用した生産性指標を提案する。

3.1 VSM とは

VSM の基本となる考え方は、「価値」に着目し、「価値」に関係の無いムダな作業を徹底的に省くことにある。そのため、価値の構築にかかわる作業を VA(Value Added)、価値の構築に全く関係の無い作業を NVA(Not Value Added)、価値の構築には関係ないが必要な作業を NNVA(Necessary but Not Value Added)と定義している[14][15]。なお、作業がベースとなるので、以降、工数（時間）を生産性計測の基本的な単位とする。

表 1 に VA, NVA, NNVA に相当する作業例（以降、作業カテゴリ）を示す。各作業カテゴリは文献[16]をモデファイしたものであり、検討、構築、検証、環境構築、文書化、コミュニケーション、バグ修正の 7 つとした。

表 1 VSM における作業カテゴリの例

作業カテゴリ	例	VSM フラグ例
検討 (VC)	ユーザストーリー作成、基本設計、仕様作成等（各種文書レビューを含む）	VA
構築 (VC)	詳細設、コーディング、コードレビュー、単テスト等	VA
検証 (VF)	機能及び非機能の検証、回帰試験、フィールド試験等ソフトウェア全体に対する試験	NNVA
コミュニケーション(MC)	プロジェクトマネジメント、オーソライズ、会議等	NNVA
環境構築 (EP)	開発環境、検証環境構築等	NNVA
文書作成 (DC)	計画書、マニュアルなど	NNVA
不具合修正 (DF)	リリース後に露見した不具合の特定、分析、修正等	NVA

3.2 生産性の基本的な考え方

図 1 に本稿で提案する生産性指標の考え方を示す。ある機能群を実工数 1 にて開発した場合を想定する。VSM の考え方にのっとり、価値を生み出さない二つの事象に着目する。

- 開発における価値構築以外の工数割合
- リリース後に使用されなかった機能の割合

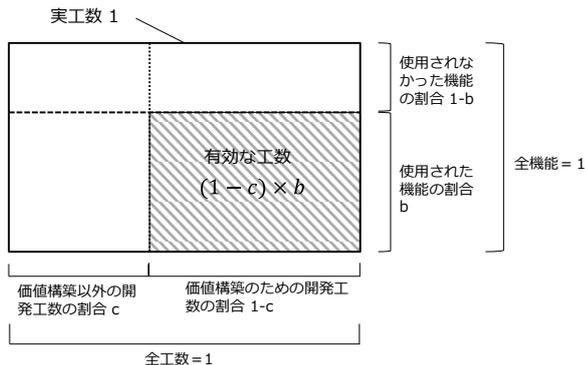


図1 生産性指標算出の考え方

図1に示すように実工数1とした場合、前述の2つの観点から価値の構築に寄与し、かつ実際に使われた価値に対する工数を有効工数とすると、有効工数は斜線部分に相当する。これは、有効な価値1を達成するためには前述の有効工数の逆数倍の工数（期間）が必要となることを意味する。さらに、工数あたりの費用（単金）を乗算することで有効な価値1を達成するための費用を算出できる。

ここで、生産性とはチームの生み出した結果から推測されるチームの能力であると考え、本稿ではソフトウェア開発の生産性を「一定の価値1を達成するために必要な期間および費用」と定義する。一定の価値を少ない費用で達成できれば生産性は高く、一定の価値を短い期間で達成できれば生産性は高いという考え方である。

3.3 四つの説明パラメータ

生産性にプラスおよびマイナスに働く観点を数値化したものを本生産性指標算出時の説明パラメータとする。以下に説明パラメータ a-d を説明する。

a 人月単金

受託側に支払われる費用の基本となる。基本となる案件の単金で除した単金比を用いてもよい。

b 機能使用率

実現した機能のうち実際に使われる割合である。ウォーターフォール型開発では 64%の機能が使われていない[17]、という報告がされているが、この場合の機能使用率は 0.36 である。アジャイル開発については MVP(Minimum Viable Product)を積み重ねるため、1.0 が理想であるが、最終的にプロダクトとしてソフトウェアをリリースするときに機能の取捨選択が行われるため、機能使用率は 1.0 よりも小さくなることが予想される。

c NVA-NNVA 率

価値の構築に寄与していない稼働の割合である。VSMにおけるムダな作業の割合を NVA-NNVA 率とする。NVA は表1で示すようには、フィードバック先（顧客）から指

摘されたバグ修正に関連する稼働がこれにあたる。ウォーターフォール開発の場合、開発期間中の顧客からのフィードバックは無いため、0 としてよい。また、NNVA の例としては検証や環境構築などがこれに当たる。

d 内製率

本説明パラメータは内製稼働と外注稼働の両方がある場合に利用できる。全費用における内製分費用の割合である。内製のみの場合は 100%(=1.0)となる。

これら4つの説明パラメータはウォーターフォール開発やアジャイル開発などの開発方法論に拠らずに算出可能で、単独でも観点別に横並びの比較評価が可能である。また、説明パラメータ a,c,d は序章で述べたアジャイル開発がウォーターフォール開発と比較して生産性面で劣勢に働くと考えられる要因である。

3.4 生産性指標（期間指標と費用指標）

ソフトウェア開発の生産性を評価するための期間指標 $I_{delivery}$ 、費用指標 I_{cost} 、総費用指標 I_{total_cost} を下記式(1-3)に定義する。考え方は 3.1 に記載したものにのっとり、これらの式には 3.2 で紹介した単金 a、機能使用率 b、NVA-NNVA 率 c、内製率 d の四つのパラメータを用いる。

$$I_{delivery} = \frac{1}{(1-c) \times b} \quad (1)$$

$$I_{cost} = I_{delivery} \times a = \frac{a}{(1-c) \times b} \quad (2)$$

$$I_{total_cost} = \frac{I_{cost}}{1-d} = \frac{a}{(1-d) \times (1-c) \times b} \quad (3)$$

式(1)で記述される期間指標 $I_{delivery}$ は、一定の稼働において、使われないものを作りこむ確率や価値を生まない作業を実施する確率を除去した上で、価値1が構築される期間を定義したものである。式(2)で記述される費用指標 I_{cost} は、期間指標に単金を乗算したものである。また、外注する場合の総費用指標 I_{total_cost} は内製比率 d と費用指標 I_{cost} から求めることができる。これらは同一の観点および横並びの比較が可能で 4 つパラメータの乗算によって算出されるので、案件間での評価が可能である。これら3つの指標をまとめて生産性指標と呼ぶ。

3.5 案件間評価のための生産性指標比

案件間の評価には、式(4-6)で示すように、期間指標比 $R_{Delivery}^k$ 、費用指標比 R_{cost}^k 、総費用指標比 $R_{total_cost}^k$ を用いる。

$$R_{Delivery}^k = I_{delivery}^k / I_{delivery}^{ref} \quad (4)$$

$$R_{cost}^k = I_{cost}^k / I_{cost}^{ref} \quad (5)$$

$$R_{total_cost}^k = I_{total_cost}^k / I_{total_cost}^{ref} \quad (6)$$

これらの指標比は、基準となる案件に対する期間指標 $I_{delivery}$ 、費用指標 I_{cost} 、総費用指標 I_{total_cost} の比である。それぞれ式(1-3)で算出された指標を基準案件の値で除算することで算出される。値の範囲は0以上1.0以下になり、

値が 0 に近いほど基準値と比較して生産性が良い、すなわちより少ない費用、期間で価値を達成できると考える。

4. 検証実験

本章では提案した生産性指標を用い、アジャイルトライアル案件 10 件における生産性評価および過去 4 年間の 200 件以上の請負契約におけるウォーターフォール開発の統計データを用いたアジャイル開発との比較評価を行う。

4.1 前提条件

アジャイルトライアル案件はすべて準委任契約での受託開発である。2019 年 6 月末時点でのデータを使用して評価した。10 件中終了した案件が 4 件、継続中が 6 件である。スプリント期間は 2~4 週間である。各案件では VSM の考え方に基づき各作業工数（時間）を作業カテゴリに紐付けて計測した。過去のウォーターフォール開発案件については、検討、構築、検証および環境構築が工数として別計されていたのでそれぞれの作業カテゴリの工数として計上した。

なお、NVA-NNVA 率の算出には、アジャイルトライアル案件では「バグ修正」「検証」「環境構築」の作業カテゴリ、ウォーターフォール開発では「検証」「環境構築」の作業カテゴリの稼働工数を用いた。これは、ウォーターフォール開発では「コミュニケーション」及び「文書作成」が分計されていなかったことによる。

また、機能比率 b は未計測であるために便宜上 $b=1.0$ とした。（なお、4.3 節では機能比率 b の比を可変パラメータとしてシミュレーションを実施。）

4.2 アジャイルトライアル案件間の生産性比較

途中段階の案件も含めて全 10 案件に対し本稿で定義した説明パラメータを計測し、期間指標、費用指標および総費用指標を算出した。

表 2 に機能比率 b を除く 3 つの説明パラメータを示す。

表 2 説明パラメータ（アジャイルトライアル）

Projects	Description parameters		
	a	c	d
P1	1.28	0.59	0.14
P2	1.19	0.58	0.03
P3	1.18	0.76	0.02
P4	1.07	0.52	0.14
P5	1.01	0.33	0.14
P6	1.44	0.60	0.09
P7	1.06	0.59	0.13
P8	1.36	0.57	0.12
P9	1.25	0.40	0.14
P10	1.21	0.79	0.20

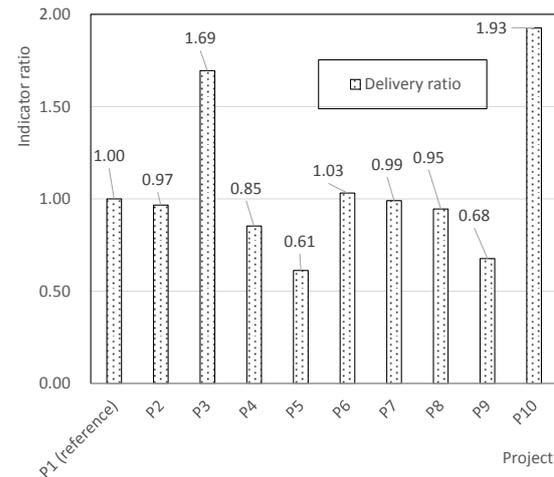


図 2 P1 を基準とした場合の期間指標比 $R_{Delivery}^k$

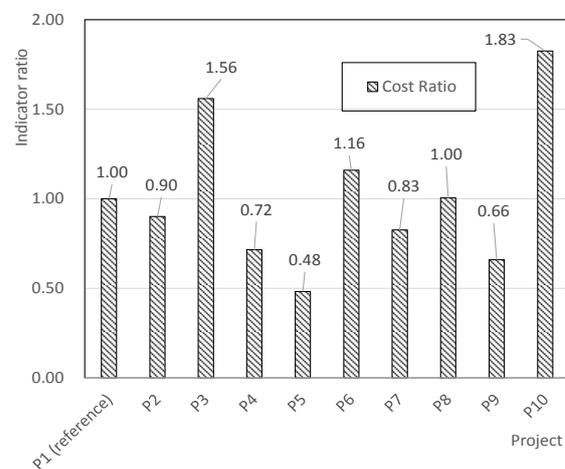


図 3 P1 を基準とした場合の費用指標比 R_{cost}^k

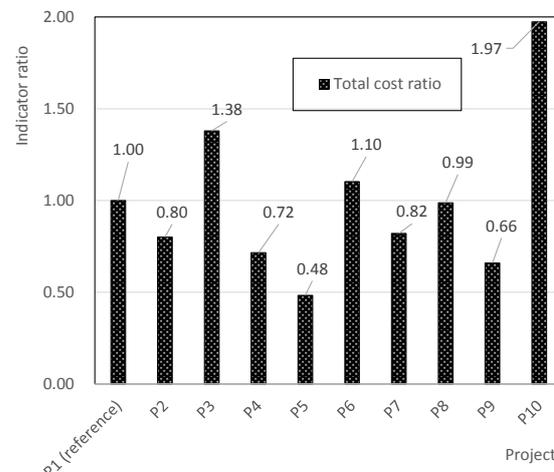


図 4 P1 を基準とした場合の総費用指標比

$$R_{total_cost}^k$$

また、図 2, 図 3, 図 4 に P1 を基準とした場合の期間指標比 $R_{Delivery}^k$, 費用指標比 R_{cost}^k , 総費用指標比 $R_{total_cost}^k$ を示す。(なお、付録 A-1 に各 P の作業カテゴリ毎の稼働内訳、付録 A-2 に期間指標、費用指標、総批評指標の算出結果を示す。) 図 2-4 から、基準となる案件と比較して期間、費用を評価が可能であることがわかる。ここで P10 案件に着目すると、表 2 より単金 a は同程度であるのにもかかわらず、図 2-4 からは期間指標比 $R_{Delivery}^k$, 費用指標比 R_{cost}^k , 総費用指標比 $R_{total_cost}^k$ は 2 倍近い値となった。表 2 より、価値に貢献していない稼働割合 c が P10 は P1 の約 33% 増しであることがわかる。(付録 A-1 からは P10 は環境構築に稼働の 46% を使っていることがわかる。) このことから P10 案件は P1 と比較して、単金が同程度だが、同じ価値を達成するのに約 2 倍の期間、約 2 倍の費用がかかることがわかる。

4.3 過去のウォーターフォール案件との生産性比較

過去のウォーターフォール開発の案件とアジャイルトリアル案件の生産性の比較を行う。アジャイルトリアル 10 案件の平均値とウォーターフォール案件は過去 4 年間の 200 件以上の統計値(平均値, 中央値)を使用した。

表 3 にアジャイルトリアル (AGL) 案件およびウォーターフォール (WF) 開発の機能使用率 b を除く三つのパラメータ、表 4 におよび費用指標、期間指標、総費用指標を示す。(付録 A-3 に作業カテゴリ毎の稼働内訳、付録 A-4 に表 4 の根拠となる期間指標、費用指標、総批評指標の算出結果を示す。)

表 3 説明パラメータ (AGL/WF 比較)

Project	Description parameters		
	a	c	d
AGL	1.30	0.35	0.14
WF	1.00	0.45	0.15

表 4 WF を基準とした場合の AGL の各生産性指標比

Ratio of productivity indicators		
$R_{delivery}^{agl}$	R_{cost}^{agl}	$R_{total_cost}^{agl}$
0.85	1.10	1.09

表 3 からアジャイル開発の月単金はウォーターフォール開発の 1.3 倍であることがわかる。NVA-NNVA 率 c については、アジャイルトリアルではウォーターフォール開発に比較して検証頻度が高いためより高い検証比率を示すと予想されたが、両者にて極端な差異は見られなかった。内製率 d についてもアジャイル開発の方が高くなることが予想されたが、ほぼ同じ割合となった。また、表 4 からアジャ

イルトリアル案件はウォーターフォール開発案件に対して同じ価値を達成するのに、0.85 倍の期間、1.10 倍の外注費用、1.09 倍の総費用がかかることがわかる。

4.4 機能使用比率比を用いた生産性シミュレーション

式(4-6)における期間指標、費用指標、総費用指標の比を期間指標比、費用指標比、総費用指標比とすると、ウォーターフォール開発に対するアジャイル開発の指標比 $R_{delivery}^{agl}$, R_{cost}^{agl} , $R_{total_cost}^{agl}$ は下記に示す式(7-9)で記すことができる。

$$\begin{aligned}
 R_{delivery}^{agl} &= I_{delivery}^{agl} / I_{delivery}^{wf} \\
 &= \frac{1 - c_{wf}}{1 - c_{agl}} \times \frac{b_{wf}}{b_{agl}} \\
 &\equiv f_{delivery} \left(\frac{b_{agl}}{b_{wf}} \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 R_{cost}^{agl} &= I_{cost}^{agl} / I_{cost}^{wf} \\
 &= \frac{a_{agl}}{a_{wf}} \times \frac{1 - c_{wf}}{1 - c_{agl}} \times \frac{b_{wf}}{b_{agl}} \\
 &\equiv f_{cost} \left(\frac{b_{agl}}{b_{wf}} \right)
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 R_{total_cost}^{agl} &= I_{total_cost}^{agl} / I_{total_cost}^{wf} \\
 &= \frac{1 - d_{agl}}{1 - d_{wf}} \times \frac{a_{agl}}{a_{wf}} \times \frac{1 - c_{wf}}{1 - c_{agl}} \times \frac{b_{wf}}{b_{agl}} \\
 &\equiv f_{total_cost} \left(\frac{b_{agl}}{b_{wf}} \right)
 \end{aligned} \tag{9}$$

式(7-9)において、各指標比はそれぞれ機能使用率の比である b_{agl}/b_{wf} (便宜上、機能仕様比率比と呼ぶ) の関数として表現できる。

ここで、機能使用比率比 b_{agl}/b_{wf} を用いたシミュレーションを行う。アジャイルトリアル案件と過去事案のウォーターフォール開発案件の機能使用比率比 b_{agl}/b_{wf} を 1.0 ~ 2.7 まで変化させて期間指標比 $R_{delivery}^{agl}$, 費用指標比 R_{cost}^{agl} , 総費用指標比 $R_{total_cost}^{agl}$ を算出した様子を図 5 に示す。機能使用比率比 $b_{agl}/b_{wf} = 1.0$ とはアジャイルトリアルもウォーターフォール開発も同程度の機能使用率の場合で、表 4 に示す結果に他ならない。これは、同じ価値をアジャイル開発にて実現するのにウォーターフォール開発の 85% 以下の期間、110% 以下の費用で達成できることを示す。

機能使用比率比 $b_{agl}/b_{wf} = 2.7$ とはアジャイル開発が 100%、ウォーターフォール開発が 36% の機能使用率 [17] の場合に各々相当する。この場合、同じ価値を構築するために、アジャイル開発がウォーターフォール開発に比較して 25% の期間、40% の費用で達成可能であることを示す。

さらに、費用について着目すると、アジャイル開発の機

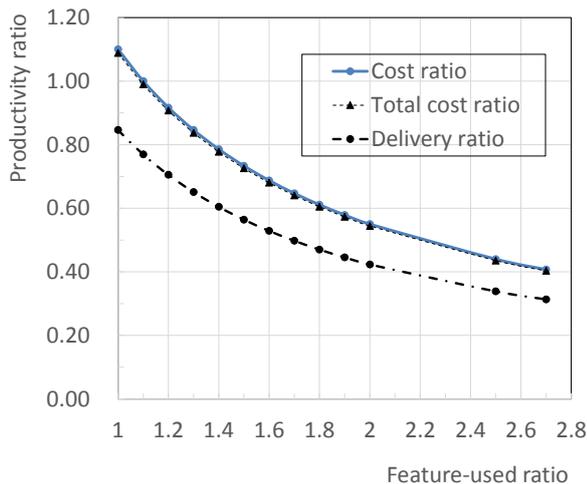


図5 機能使用比率 b_{agi}/b_{wf} を用いたアジャイル開発とウォータフォール開発の生産性シミュレーション。

能使用比率がウォータフォール開発より10%以上改善されればアジャイル開発が費用面でウォータフォール開発の生産性を上回ることを示している。

一連の結果から、アジャイル開発の単金はウォータフォール開発の単金の1.3倍ではあるが、MVPの構築を積み重ねていくアジャイル開発は機能指標比率を10%改善できれば、ウォータフォール開発に対して生産性の面で有意な開発と言える。

4.5 考察

10件のアジャイルトライアルデータを通じ、VSMを利用した生産性指標によって期間と費用の観点から案件横並びで生産性を評価できることを確認した。また、単金、NVA-NNVA率、内製率など案件の特性がどのように生産性に寄与しているかの説明も可能であることを確認した。また、過去のウォータフォール開発の統計値と比較することで、10%以上機能使用率が改善されればアジャイル開発が費用と期間の両面でウォータフォール開発に比べて優位であることが示された。アジャイル開発はMVPを積み重ねる開発であるため、ウォータフォール開発に対してムダが少ないという予測されるため、10%の機能使用比率の改善は容易であることが予想され、アジャイル開発がウォータフォール開発に対して生産性面で有意である可能性が示された。

一方で、今回の指標の前提は、生産性を「価値1を達成するための費用指標」「価値1を達成するための期間指標」を定義し、「1人月で達成できる架空の理想的な作業によってもたらされる価値“を1”とする前提の基に成り立っている。これに加えて今後はプロジェクトの難易度、収益との関連性の考慮が課題である。

5. まとめと今後の課題

本稿では、凝集性が生産性と結びつく中で従来型の従量

性の生産性評価が意味をなさなくなっていることへの解決策として価値の構築に着目し、人月単金、無駄な作業、使われない機能などの評価観点を入れ込み、費用と期間で評価できる新たな生産性指標を提案した。アジャイルトライアルの10案件に対して提案指標を適用し、案件間での生産性の比較が可能であることを確認した。また、単金、NVA-NNVA率、内製率など組織の特性を鑑みた評価が可能となると同時に、過去のウォータフォール開発の統計値と比較することで、アジャイル開発のポテンシャルを数値的に説明ができた。

本稿での知見はあくまで筆者らの組織のアジャイルトライアルおよびウォータフォール開発の過去のデータから得られた結果ではあり、一般論ではない。しかし、アジャイルトライアルの結果、アジャイル開発とウォータフォール開発の生産性の比較と根拠を客観的に主張できたため、筆者らの所属組織はアジャイル開発をトライアルから本格運用に移行する判断をすることにつながった。本研究の目的である、アジャイル開発を導入するための障壁であった生産性を客観的に説明出来ない点は、本指標を用いることで解決できたといえる。

今後は、プロジェクトの難易度、収益との関連性を指標に取り入れる必要があると考える。難易度の高い案件、収益に貢献する案件は高い単金、長期間にわたる開発によって価値が実現されたとしても生産性が悪いと評価されないことが重要である。

謝辞

アジャイルトライアルへ参加いただいたNTT研究所員の皆さま、受託会社としてアジャイルトライアルに参加いただいたNTTテクノクロス株式会社およびNTTアドバンステクノロジ株式会社の関係者の皆さま、シミュレーションに協力いただいた株式会社サイバー創研の皆さま、アジャイル準委任契約の検討を実施したNTT研究企画部門、総務部門総務担当、ネットワーク総合研究所企画、知的財産センター、契約センターの皆さまへ感謝申し上げます。

参考文献

- [1] <https://www.solinea.com/blog/gartners-mode-1-mode-2-dangerous-thinking>
- [2] 独立行政法人情報処理推進機構, 「非ウォータフォール型開発に適したモデル契約書」, 2012.
- [3] 情報処理学会「情報処理に関する法的問題」研究グループ「アジャイル開発の事例に則した契約の一例」情報処理学会第80回全国大会イベント予稿, 2018
- [4] 秦泉寺, 神, 夏川, ”アジャイル開発のための準委任契約制度設計と課題,” 情報処理学会電子化知的財産社会基盤(EIP)研究会研究報告 Vol.2019-EIP-85 No.13, 2019年9月.
- [5] <http://www.ifpug.org/>
- [6] C. Davis, “Agile metrics in action,” Manning.
- [7] W. Hayes, S. Miller, M. A. Lapham, E. Wrubel, T. Chick, “Agile Metrics: Progress monitoring of agile contractors,” CMU/SEI-2013-TN-029. January 2014.

- [8] G.Kaur, K.Bahl, "Software reliability, metrics, reliability improvement using agile process," International Journal of Innovation Science, Engineering & Technology, Vol.1 Issue 3, pp.143-147, May 2014.
- [9] H. Huijgens, et. al, "Strong Agile Metrics: Mining log data to determine predictive power of software metrics for continuous delivery teams," ESEC/FSE'17, pp.September 2017.
- [10] G.Destefanis, S. Counsell, G. Conca, R. Tonelli, "Software metrics in agile software: an Empirical study," Business Information Processing, May 2014.
- [11] E. Nicolae Budacu and P. Pocatilu, "Real time agile metrics for measuring team performance," Informatica Economica Vol.22, no.4 2918.
- [12] Ziauddin, S.Kamal, S. Zia, "An effort estimation model for agile software development," Advances in Computer Science and its Applications(ACSA) Vol.2, No.1, 2012.
- [13] K.Jinzenji, L.Williams, T.Hoshino, K.Takahashi, "An experience report for software quality evaluation in highly iterative development methodology using traditional metrics," IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Symposium (ISSRE) 2013 pp.310-319.
- [14] Y. Monden, "Toyota Production System An Integrated Approach to Just-In-Time," Springer.
- [15] S.C.Bell, M.A.Orzen, "Lean IT," CRC Press.
- [16] K.Jinzenji and D.Hamuro, "A concept of QCD prediction and control in agile software development for portfolio management," IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Symposium (ISSRE) 2018 pp.48-52.
- [17] Standish Group, "The CHAOS Report 2005".

P8	2.31	3.15	3.58
P9	1.66	2.07	2.39
P10	4.72	5.71	7.16

付録 A.3 作業カテゴリ毎の稼働内訳 (AGL/WF 比較)

Project	Work categories					
	VC	VF	EP	MC	DC	DF
AGL	0.44	0.21	0.09	0.16	0.08	0.03
WF	0.55	0.35	0.10	---	---	0.0

付録 A.4 生産性指標 (SGL/WF 比較)

Project	Productivity indicators		
	<i>I_{delivery}</i>	<i>I_{cost}</i>	<i>I_{total_cost}</i>
AGL	1.54	2.00	2.32
WF	1.82	1.82	2.13

付録

付録 A.1 作業カテゴリ毎の稼働内訳 (アジャイルトライアル)

Project	Work categories					
	VC	VF	EP	MC	DC	DF
P1	0.41	0.14	0.07	0.20	0.16	0.02
P2	0.42	0.16	0.02	0.29	0.07	0.05
P3	0.24	0.27	0.02	0.32	0.09	0.06
P4	0.48	0.33	0.02	0.13	0.02	0.02
P5	0.67	0.19	0.01	0.09	0.03	0.02
P6	0.40	0.35	0.01	0.11	0.09	0.05
P7	0.41	0.30	0.05	0.08	0.15	0.00
P8	0.43	0.20	0.02	0.32	0.00	0.03
P9	0.60	0.09	0.19	0.10	0.01	0.01
P10	0.21	0.05	0.42	0.17	0.12	0.03

付録 A.2 生産性指標 (アジャイルトライアル)

Project	Productivity indicators		
	<i>I_{delivery}</i>	<i>I_{cost}</i>	<i>I_{total_cost}</i>
P1	2.45	3.13	3.63
P2	2.37	2.82	2.90
P3	4.15	4.88	5.00
P4	2.09	2.24	2.60
P5	1.50	1.51	1.75
P6	2.53	3.63	4.00
P7	2.43	2.58	2.98