



プロジェクト・スケジュールの品質特性の数値化に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2021-11-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 池田, 良磨, 今村, 和樹, 高塚, 佳代子, 岡崎, 直宣, 山場, 久昭, 油田, 健太郎, Ikeda, Ryoma, Imamura, Kazuki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/00010281

プロジェクト・スケジュールの品質特性の数値化に関する研究

池田 良磨^{a)}・今村 和樹^{b)}・高塚 佳代子^{c)}・岡崎 直宣^{d)}・山場 久昭^{e)}・油田 健太郎^{f)}

Study on Quantification of Quality Characteristics of Project Schedules

Ryoma IKEDA, Kazuki IMAMURA, Kayoko TAKATSUKA, Naonobu OKAZAKI,
Hisaaki YAMABA, Kentaro ABURADA

Abstract

In the manufacture of products, we are required to meet three requirements, they are QCD (Quality and Cost, Delivery date). And QCD are required in the project management. However, in the present circumstances, it's just a rough evaluation of the project schedule at delivery date and cost. In recent years, large-scale and complicated projects have become difficult to evaluate even in terms of using delivery date and cost. So, we need a rational method for quantifying the risk of overdue delivery (delay risk). At present, the evaluation of delay risk can only be left to the experience and intuition of administrators because there is no rational method to expose the risk of delay at the work level. Therefore, our laboratory introduced the concept of "delay risk tolerance". It is difficult to quantification of delay risk, but it is easy to quantification of "delay risk tolerance". And we proposed a method to evaluate delay risk based of the magnitude of "delay risk tolerance" and convert it into cost. In the evaluation experiment, the validity of this method was verified with a simple example that imitated a certain project. Next, as a case study, we applied this method to four types of realistic project schedules and verified their usefulness. Through a case study, we showed the validity and commonality of this method.

Keywords: Project schedule management, Delay risk tolerance, Delay risk, QCD

1. はじめに

製品の製造には「(Q) 品質」が高く、「(C) コスト」が低く、「(D) 納期」が早いという3つの要件、すなわちQCDを高いレベルでバランス良く満たすことが求められている¹⁾。QCDの中で、最も優先すべきは品質である。コストが低いことや納期が早いことは競合他社との差別化、優位性となるものの、品質に優位性がなければその製品はユーザから選ばれず、それ以前に一定の品質に達していなければ製品として認められないためである。QCDの3つの要件は、プロジェクトの管理にも必要である。プロジェクト・スケジュールもユーザであるプロジェクトチームに提供されるものであるため、製品と同様に、品質に応じてユーザが選択できることが望ましい。しかしながら、プロジェクト・スケジュールは、現状では納期とコストの2つで大雑把に評価する程度に留まっている。近年の大規模・複雑化されたプロジェクトでは、これら2つの指標(納期とコスト)による評価すら難しくなっている²⁾。このため、個々の作業の遅延によって納期超過が起きるリス

ク(“遅延リスク”と記す)を数値化する合理的な方法が求められている。

個々の作業で算出可能な遅延リスクは、プロジェクト・スケジュールの品質を考える上で重要なファクタとなる。例えば、当該スケジュールに従う限りは少々遂行が遅れても全体納期やコストに影響を及ぼさない可能性の高い作業の所在及び及ぼす影響の程度、或は、少しの遅れでも全工期にダイレクトに影響を及ぼしかねない注意すべき作業の所在及び及ぼす影響の程度を把握できるようにすることは、プロジェクトの実行を円滑に行う助けとなる。このように、スケジュール品質特性として、遅延リスクを作業毎に把握できるようにしておくことは、不確定性の問題の大きい近年のプロジェクト・スケジュールを管理する上で大変重要である。しかしながら、現状では作業レベルでの遅延リスクを顕在化させるための合理的な方法がないため、どの作業の遅延リスクがどの程度であるかは、管理者の経験と勘にゆだねられている。

そこで、本研究室の先行研究では、「遅延リスク耐性」という概念を導入した³⁾。遅延リスク耐性は、プロジェクト・スケジュールの全体期間(納期)に対する「余裕」を表す。すなわち、遅延リスク耐性とは、任意の作業が予期せぬ遅延をきたした際に、納期超過に至らずに済む可能性の大きさのことである。なお、遅延リスクを直接的に定量化するのは困難であるが、遅延リスク耐性は遅延リスクと負の相関があり、比較的定量化が容易である。

^{a)}工学専攻機械・情報系コース大学院生

^{b)}情報システム工学科学部生

^{c)}教育研究支援技術センター技術専門職員

^{d)}情報システム工学科教授

^{e)}情報システム工学科助教

^{f)}情報システム工学科准教授

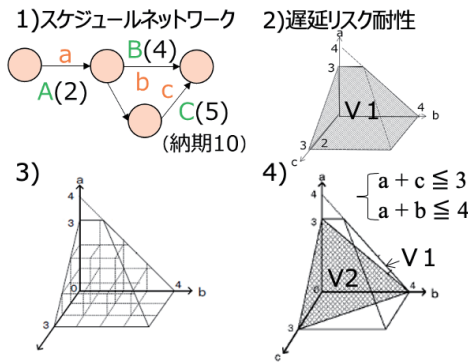


図 1. スケジュール・ネットワークの余裕（遅延リスク耐性）

2. 研究目的

先行研究を踏まえ、本研究では、遅延リスク耐性の大きさに基づき、個々の作業の遅延によってプロジェクトの工期が納期を超過するリスク（遅延リスク）を評価し、これをコストに換算する方法を提案することを目的とする。具体的には、プロジェクト・スケジュールを構成する個々の作業に関し、作業遅延によって発生するプロジェクト全体の遅延リスクを遅延リスク耐性の縮退率に基づいて定量化する。さらに、定量化された遅延リスクをプロジェクト実施に要するコストの増分に換算する。なお、個々の作業の遅延リスク、及びコストの増分のラインアップは、実質的に当該プロジェクト・スケジュールの品質と見なせる。個々の作業の遅延リスクは、作業の内容や実施環境とは無関係に、プロジェクト・スケジュールをネットワーク形式で記述したスケジュール・ネットワークの構造に依存して決まるためである。

3. 先行研究

3.1 遅延リスク耐性について

遅延リスク耐性を説明するためにスケジュール・ネットワークを図 1-1) に示す。

このスケジュール・ネットワークでは、作業 A → 作業 B と作業 A → 作業 C のパスが存在する。このプロジェクトの全体納期は 10 日であるとする。この場合、スケジュール・ネットワークの各パスでの各作業の所要時間と作業それぞれに許容される余裕時間を示す余裕パラメータ及び納期との関係式、即ち各パス長の制約条件式は以下のような不等式になる。

$$a + 2 + b + 4 \leq 10 \rightarrow a + b \leq 4 \tag{1}$$

$$a + 2 + c + 5 \leq 10 \rightarrow a + c \leq 3 \tag{2}$$

上記各パス長の制約条件式は、余裕パラメータ a、b、c が取り得る領域（範囲）を示している。ここで、余裕パラメータ a、b、c を座標軸とするベクトル空間を規定する。このベクトル空間において、上記式 (1)、式 (2) の条件を満たす空間は図 1-2) に示すように、正凸多面体 V1 となる。

ここで、正凸多面体 V1 内の格子点は、全体納期 10 日を満たす余裕パラメータ a、b、c が取り得るパターンを表している。したがって、正凸多面体 V1 の大きさ（体積）は、遅延リスク耐性の大きさを表していると言える。正凸多面体 V1 の大

きさを求めることができれば、図 1-1) に示すスケジュール・ネットワークの遅延リスク耐性を評価することができる。しかし、スケジュール・ネットワークがより複雑になれば、正凸多面体 V1 のベクトル空間の次元 N も増大する。ベクトル空間の次元 N が増せば、正凸多面体 V1 の形状が複雑になるため、その大きさを直接求めるのが困難になる。先行研究では、正凸多面体 V1 の大きさを直接求めず、遅延リスク耐性を定量化する 3 つの方法を考案した。

第 1 の方法は N 次元正凸多面体 V1 の格子点数（図 1-3)) を遅れ方のパターンの数として算出する方法、第 2 の方法は N 次元正凸多面体に内接する最大の単体（図 1-4)) の大きさを余裕パラメータの遅れ方のパターンの数として算出する方法、第 3 の方法は N 次元正凸多面体から抽出される積分により体積計算の一般化が可能な構造（積分変数と被積分変数の関係性が一意に決まり体積を計算可能な構造）の体積を算出する方法である。今回は計算量が最も少ない第 2 の方法を使用した。第 2 の方法は次元 N が増えれば正凸多面体 V1 の実体積と単体 V2 の体積とのずれが大きくなり単体 V2 の体積と遅延リスク耐性の大きさととの相関関係が不安定になるおそれがある方法である。しかし、正凸多面体 V1 の実体積と単体 V2 とのずれは本研究で扱う N=23 次元までは十分小さいことが先行研究で確認されている。

4. 提案方法

4.1 遅延リスクによるコスト増分について

作業の遅延によって生じるコストの増分は以下の 4 項目の要因によるコストの和で表される。

- (1) 作業の遂行遅延により生じる遂行コストの増分 ΔC^P
- (2) リソースの不足により作業に着手できない期間に発生するコストの増分 ΔC^r
- (3) 次の作業着手ができない期間に発生するコストの増分 ΔC^{next}
- (4) 作業の遂行遅延によりプロジェクト全体工期が遅延し納期超過することによって生じるプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L

上記 4 種類は、作業遂行コストの増分（上記 (1)~(3)）とプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L （上記 (4)）の 2 つに分類される。前者 ((1)~(3)) は、主に個々の作業の内容や実施環境の違いによってもたらされるものであり、スケジュールの構造とは無関係に決まる情報である。これに対し、後者のプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L ((4)) は、その全体的なスケールは、納期に対する全体工期の余裕の大きさで決まる。具体的には、ある作業のプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L が、他の作業のプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L と比較して大きい小さいかは、当該作業で構成される全てのパスの相対的な長さがその他のパスの長さとは比べて長い短いかによって決まる。更に、同じパスに乗る作業同士では、当該作業が乗るパスの数が他の作業と比べて多い少ないかによって決まる。したがって、上記 (4) のプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L が、スケジュール品質特性に関して重要性の大きな情報ということになる。つまり、上記 (4) のプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L を作業毎に求め、スケジュール品質特

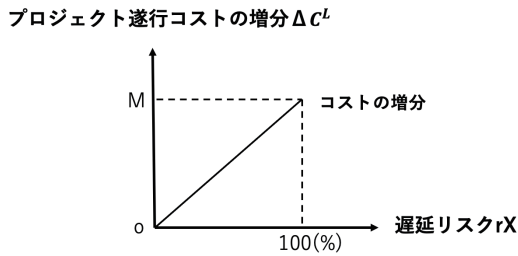


図 2. 遅延リスクとプロジェクト遂行コスト増分との関係

性としてユーザに提示することが有用となる。

4.2 遅延リスクの定量化とコスト増分への換算

プロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L を求めるには、遅延リスクを定量化する必要がある。そこで、本研究では、作業の N 日遅延に対する遅延リスク耐性を適用して遅延リスクを定量化する。作業が N 日遅延した後の遅延リスク耐性が 0 より大きい、或いは、遅延リスク耐性が 0 となるような $P (N > P)$ が存在しない場合、遅延リスクの大きさは、作業が N 日遅延したときの遅延リスク耐性の縮退率 qX と等価であると見なせる。このため、本研究では、次式を用いて遅延リスク耐性の縮退率 qX を算出することにより、作業の N 日遅延当たりの遅延リスクの指標値 rX を定量化する。

$$qX = (Vb - Va) / Vb \quad (3)$$

$$rX = qX \quad (4)$$

ここで、 Vb は、対象となる作業 X が N 日遅延する前の遅延リスク耐性の大きさを表し、 Va は N 日遅延した後の遅延リスク耐性の大きさを表す。また、 $rX = 1$ 、即ち遅延リスク 100% は、その作業 X の N 日の遅延が、そのままプロジェクトが全体納期に対して 1 日遅延に直結することを意味している。ここで、プロジェクトが全体納期に対して 1 日超過したときの納期超過料金が M 円であると仮定する。この場合、例えば図 2 に示すように、遅延リスクの指標値 rX が 0 ならば増分 ΔC^L は M 円の 0% で 0 円となり、遅延リスクの指標値 rX が 100% ならば増分 ΔC^L は M 円の 100% で M 円となる。このように、遅延リスクの指標値 rX とプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L とは、正の相関関係にあると考えられる。そこで、本実施の形態では、遅延リスクの指標値 rX を以下の関係式を用いてプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L に換算する。

$$\Delta C^L(X) = M * qX \quad (5)$$

$\Delta C^L(X)$ は、ある作業 X でのプロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L を示す。なお、この関係式については、正の相関関係を保つ限り、種々の変更が可能である。また、一般には、 M には超過のペナルティのみならず、開発期間中コンスタントにかかり続ける固定費（設備費や人件費等）を含むように設定されている。増分 $\Delta C^L(X)$ の値は、遅延リスクという時間遅れのリスク概念をコスト換算した値であるため、遅延リスク 100% 未満の場合は、換算値がそのまま超過料金として加算されるものではない。 $\Delta C^L(X)$ が M より小さいほど当該時点でのプロジェクトの工期は納期に対して十分余裕があ

ることを意味し、 M に近いほど余裕がないことを意味する。 $\Delta C^L(X) = M$ は、納期遅延の確定を意味する。ただし、作業の N 日遅延に対し、遅延後の遅延リスク耐性 Va が 0 となる最小の遅延日数 $P (N > P)$ が存在する場合、プロジェクト遂行コストの増分 ΔC^L は式 (5) ではなく以下の式 (6) で算出されなくてはならない。

$$\Delta C^L(X) = M * (N - P) \quad (6)$$

5. 検証実験

まず、簡単な例題で、本方法の正しさを確認した。次に、ケーススタディとして、現実的なプロジェクト・スケジュール 4 種類に本方法を適用し、本方法の有用性を検証した。

5.1 本手法の妥当性の検証

本方法の正しさを、あるシステム製品を製造するプロジェクトを模した簡単な例で確認した。このプロジェクトは $A \sim F$ の 6 つの作業からなり、プロジェクトのスケジュールは図 3-1) で示すスケジュール・ネットワークで表される。スケジュール・ネットワークの見方は 3.1 章で示した通りである。納期を 85 日とし、先行研究で開発した方法で、遅延リスク耐性を表す正凸多面体の領域を求め (図 3-2))、作業ごと、遅延日数ごとの遅延リスクを求め、グラフ化すると図 6-A のようになった。各グラフは各作業に対応付けられ、横軸が遅延日数、縦軸が遅延リスクを表す。

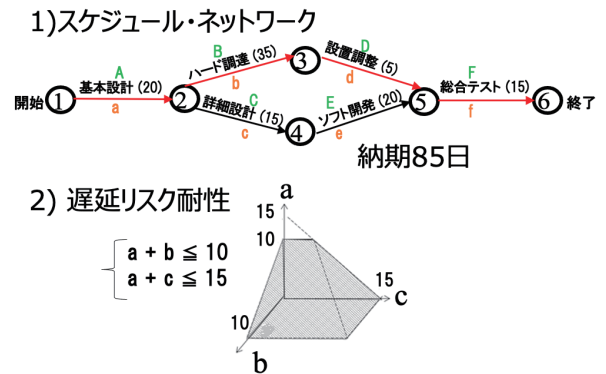


図 3. あるシステム製品を製造するプロジェクトを模した簡単な例

例えばブルーのグラフは、作業 A または作業 F の遅延リスクを遅延日数ごとに表している。本例の場合、グラフの正しさは定性的には次のように確認できる。即ち、相対的に長いパスに乗る作業ほど遅延リスクの値は大きくなり、中でもより多くのパスに乗る作業ほど遅延リスクの値は大きくなっているならば定性的には正しいと判断できる。本例では、2 本のパス ($ABDF$ 、 $ACEF$) のうち、長い方のパスが $ABDF$ であるため、その $ABDF$ に乗っていない作業 C と E の遅延リスクは乗っている作業 A, B, D, F よりも小さく、また、パス $ABDF$ と同時にパス $ACEF$ にも乗っている作業 A と F の遅延リスクは $ABDF$ にしか乗っていない B, D より大きいはずであり、以上の大小関係は、このグラフの結果と一致する。

以上より、グラフが示す結果は正しいと言える。遅延リスクに基づき式 (5)、(6) で求めた納期違約金の大きさのグラフ

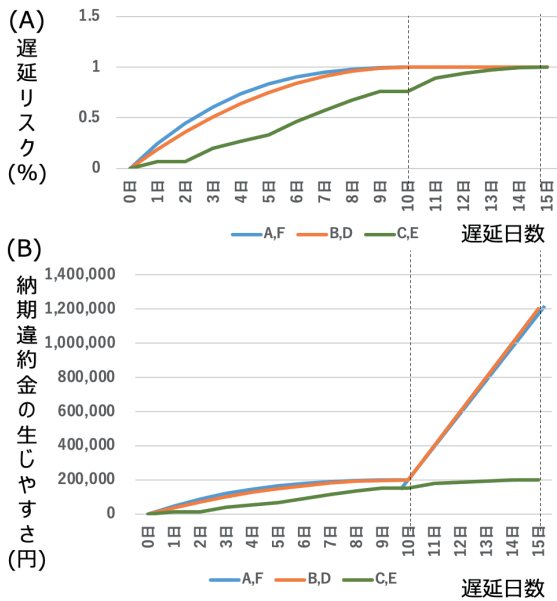


図 4. 提案手法による計算結果

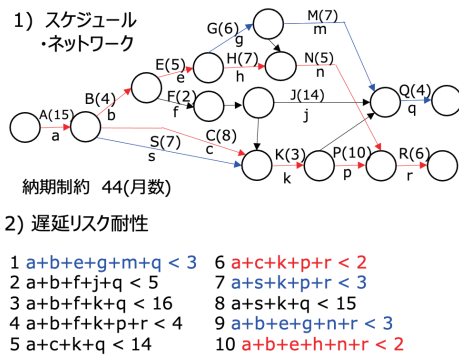


図 5. 適用例 (JAPEX プロジェクト)

(図 6-B) も同様に、大小関係のレベルでは正しいと言える。

5.2 ケーススタディに基づく有用性の検証

次に、建設プロジェクト、電力設備の分解点検修理プロジェクトなど、現実的な 4 種類のプロジェクトのスケジュール・ネットワークに本方法を適用し、その有用性を検証した。ここではその中の一つ、JAPEX 中規模ガス処理プラントを建設する EPC フルターンキー・プロジェクト (以降“JAPEX”と記す) のスケジュール・ネットワーク適用した結果のうち、オリジナルの 23 次元版を 15 次元に簡略化したものの結果を示す。

本例のスケジュール・ネットワークは 15 個の作業からなり、10 本のパスを持つ (図 5-1)。赤線が最長作業パス (“クリティカルパス”と呼ぶ) であり、青線が準クリティカルパスである。納期を 44 か月とし、先行研究で開発した方法で遅延リスク耐性を表す正凸多面体の領域を求め (図 5-2)、作業ごと、遅延日数ごとの遅延リスクを求め、グラフ化すると図 6-A のようになった。各グラフは各作業に対応付けられ、グラフの見方は先の例と同様である。本例の場合、グラフの正しさは先の例のような各作業の乗るパスの長さや数の大小比較といったシステムティックな手順のみで判断できる部分は限定的であるが、原理的に可能な範囲で全て確認したところ、その範囲においては正しいグラフが得られていることがわかった。

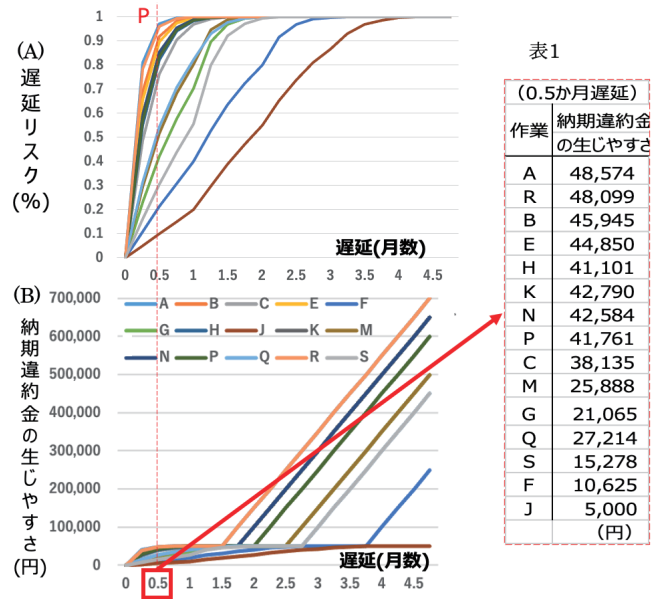


図 6. スケジュール・ネットワークの品質の数値化

遅延リスクに基づく納期違約金の大きさのグラフ (図 6-B) も同様である。

本結果グラフが示す個々の作業の遅延リスク、及び遅延リスクに基づき算出された納期違約金の生じやすさのラインアップは、実質的に当該プロジェクト・スケジュールの品質と見なせる。冒頭で述べた通り、個々の作業の遅延リスクはスケジュール・ネットワークの構造に依存して決まるためである。以下、得られた品質の数値について、遅延日数 0.5 か月付近 (図 6 中の破線 P 付近) に着目し考察する。遅延リスクの作業ごとの大きさは、降順に A,R,B,E,H,K,N,P,C,M,G,Q,S,F,J である。特に、遅延日数 0.5 か月における納期違約金の生じやすさの数値を表 1 に示す。ここで、違約金が発生するための満額は 20 万と設定しているのに対し、表 1 が示す遅延リスク最大の作業 A の値は 48,574 円である。したがって、本プロジェクトの初期スケジュールにおける遅延リスクはさほど大きくないことがわかる。しかし、プロジェクト実行が進み個々の作業の遅延が発生するにつれ、表 1 の値は全体的に大きくなっていくはずである。このようなプロジェクトの遅延リスクが段々高まっていく様子は、本手法を用いると、随時定量的に確認できる。また、表 1 の納期違約金の生じやすさの最大は 48,574 円 (作業 A) であるのに対し、最小は 5,000 円 (作業 J) である。このように、同じ遅延日数でありながら遅延リスクの大きい小さいには作業間に大きな開きがあることがわかるが、本手法を用いるとこのようなりスクのばらつきを定量的に確認できる。以上のような遅延リスクの時間変化や作業間でのばらつきは、従来は定量的に把握できなかった。このため、この種のリスク管理が管理者の直観に任されていたというのは冒頭で述べた通りであり、本手法ではそれができることが本ケーススタディの結果を通して示された。よって、本手法の有用性が示唆された。

6. まとめ

予期せぬ遅延が不規則に発生する近年の大規模・複雑化されたプロジェクトの進捗管理で求められている遅延リスクの

問題に対処するための一手法を考案した。また、プロジェクト管理の重要ファクタである時間、コストとの整合性を考慮し、遅延リスクをコストに換算する方法を示した。更に、ケーススタディを通し、本方法の妥当性と有用性を示した。

参考文献

- 1) 品質管理の基礎知識 その1 -上井正之のプロマネ塾 available from <https://www.monosus.co.jp/posts/2017/10/183848.html>, (2020/02 アクセス).
- 2) 池田将明: 建設エンジニアのためのPMSによるプロジェクト計画入門, 森北出版株式会社, ISBN4-627-48531-X, 2005.
- 3) 高塚, 佐藤, 油田, 岡崎: プロジェクトの納期遅延が発生するリスクの定量化について, システム・情報部門学術講演会 2020 講演会論文集, 296/299, 2020.