

令和元年6月14日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01232

研究課題名(和文) 時間/費用/リソースを考慮したプロアクティブ型プロジェクト・プランニング

研究課題名(英文) Proactive project planning considering time, cost, and resources

研究代表者

鈴木 賢一 (Suzuki, Ken-ichi)

東北大学・経済学研究科・教授

研究者番号：30262306

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、時間と費用、リソースの間に生じるトレードオフを考慮したプロジェクト・プランニング問題を考察した。不確実性下におけるプロジェクトの計画・管理において、個別に取り扱われることが多かった要素を統合し、かつ計量的に取り扱う枠組みを構築することが目的である。成果として、(1) タブー探索によるヒューリスティックス手法を開発し、(2) リスク指標の解析評価として対数正規近似手法を考案し、(3) 時間・費用・リソースのトレードオフ分析を行った。これらによって、統一的な枠組みによってプロジェクトの効率的なリソース配分を実現することが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、時間と費用、リソースの間に生じるトレードオフを考慮したプロジェクト・プランニング問題を考察し、統一的な枠組みによってプロジェクトのリソース配分を実現する手法を開発した。このことにより、データに依拠した客観的かつ計量的なアプローチをとることにより、適切な資源配分に基づく生産性の向上およびリスクの可視化による見積もり精度の改善が実現できる。学術的な側面においては、確率的PERT問題において、一般的な規模の問題に対応できる、遅延リスクの解析的な評価を与えたこと、作業のモード選択問題に対してタブー探索による解法を実現したことが主要な貢献である。

研究成果の概要(英文)：In the research, we considered the project planning model that incorporates trade-offs between time, cost, and resources. Our main objective is to construct an integrated framework that enables project managers to handle these elements with a quantitative methods. We achieved three goals: (1) Development of heuristic method using tabu search technique, (2) Analytical evaluation method for a time overrun risk based on lognormal approximation, (3) Trade-off analysis of time, cost, and resources. It is expected that, with these outcomes, we can realize effective allocation of resource in the unified scheme.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：プロジェクト・マネジメント PERT/CPM 確率計画法

1 研究開始当初の背景

プロジェクト・プランニングのアプローチを概念的に3層に分類すると、最上位のストラテジック・プランニングでは、戦略的な視点から政策的な判断が行われる。中間に位置づけられるタクティカル・プランニングにおいては、上位階層の戦略的な判断をうけて、プロジェクト運営に必要な費用、リソースの配分を行い、スケジュールを策定する。最下層のオペレーショナル・プランニングにおいては、タクティカル・プランニングで策定された費用・リソース・スケジュール計画のもとでのルーティン的な作業の管理に重点が置かれる。現実の多くのプロジェクトにおいて、非合理的な見積もり、計画遅延・リソース使用の超過に伴う追加費用の発生、事後的な検証の不在、などの事態が少なからず観察されているのは、合理的なプランニング手法の欠如、特にタクティカル・プランニング手法に課題がある。

タクティカル・プランニングには、i) 不確実性を考慮していること、ii) 事前の計画策定段階で実施される（プロアクティブ型のプランニング）こと、iii) リソース、費用、時間の3要素のトレードオフを取り扱うこと、によって特徴づけられる。既存のプロジェクト管理手法の多くは確定的なスケジューリング問題としてモデル化されており、上記のタイプに位置づけられる先行研究はその重要性に比して多くない。

2 研究の目的

タクティカルなプロジェクト・プランニングは合理的なプランニングに不可欠である一方、既存の手法は必要な要件を満たしていない。本研究の目的は、時間、費用、及びリソースの相互影響を考慮したプロアクティブ型プロジェクト・プランニングの枠組みを構築し、実用化に向けた計算技術を開発・改良することである。具体的には、以下の3つである。

- (1) リスク指標の解析的評価：数値解析によって求解できる場合でも、遅延リスクやリソース超過リスクの解析的な表現があれば、意思決定において有益な情報を得ることができる。
- (2) 時間・費用・リソースのトレードオフ分析：時間・費用・リソース使用量の間にトレードオフが存在することは明らかである。それらの計量的な関係をネットワークの構造や確率分布と関連付けて明らかにする。
- (3) ヒューリスティックス求解手法による計算高速化：基本モデルは、整数条件を持つ大規模な確率計画問題であるため、厳密解を求めるのは容易ではない。精度の高いヒューリスティックス手法を工夫することで計算の効率性を高める。

3 研究の方法

本研究は、(1) リスク指標の解析評価、(2) 時間・費用・リソースのトレードオフ分析、(3) ヒューリスティックス手法による計算高速化、を目的とし、次のような具体的な課題を設定して研究を行う。

(a) リスク指標の解析的表現の導出

プロジェクトを構成する各アクティビティの作業時間の分布が単純かつ互いに独立であっても、プロジェクトの期間長の分布は、各アクティビティの相互依存関係が複雑なため、解析的取り扱いが困難である。そこで、開始から終了にいたる実現可能なアクティビティのすべての系列を想定し、その分布が与えられているとする。プロジェクトの期間

長は、アクティビティ系列の期間長の最大値として表されるため、プロジェクトの遅延リスクが閾値に対する超過の期待値で与えらるとすると、金融派生資産であるレインボー・オプションの評価手法を流用できる (例えば [1]). アクティビティ系列の期間長が対数正規分布に従う場合には正規分布関数を用いた解析的表現が得られる. 本研究では、派生証券評価手法との並行性を意識して、プロジェクトのリスク指標の解析的表現を導出する.

(2) トレードオフ分析

リスク指標の解析的な評価が実現してならば、得られた最適解 (=最適資源配分) のもとで、問題に内包されるパラメータが最適値にどのような影響を与えるかを測定する直接的な感度分析を行なうことができる. また、効率的な解法によって、より大規模な問題において、高精度の解を得ることができるため、正確なトレードオフ関係を求める事が可能になる. トレードオフ分析においては、時間・費用・リソースの関係に対する、ネットワークの構造の影響、確率構造の影響、費用構造の影響を詳細に調査する.

(3) タブー探索法によるヒューリスティックス解法の開発

本研究で扱う、ネットワーク構造を持つ整数条件付き最適化問題に対しても、汎用的な整数計画法のソルバーを適用できる. しかし、計算効率の面では、問題の特性を活かした解法が優ることが多い. 本研究の基本モデルにおいても、準備的な数値実験により、ヒューリスティックス解法のひとつであるタブー探索法の有効性が示唆されたため、これを中心に計算手法を開発する. 解空間における近傍の設計は、タブー探索法の性能に大きく影響する重要な開発課題である. 本研究で扱う最適化問題では、整数変数に関わる制約が、プロジェクト中の各アクティビティごとにグループ化されているという特徴があり、この特徴を明示的に考慮した近傍の設計を行う.

4 研究成果

研究成果は以下の通りである.

4.1 遅延リスクの解析近似

プロジェクトの遅延リスクを期待納期遅れ時間によって表す. 納期遅れ時間は、プロジェクトの終了時間が納期より超過した時間の期待値に適当なペナルティを乗じたものとして定義される.

一般的に、プロジェクト・ネットワークにおいては、各作業時間 (\tilde{t}_a) が独立であったとしても、プロジェクトの完了時間 (\tilde{T}_N) は作業間の複雑な依存関係を含んでしまう. そのためたとえ所与の活動の作業時間の分布が単純であっても、完了時間の正確な分布を得ることは難しい. さらにその分布から納期遅れ時間の期待値の解析的な表現を得ることは一層困難である.

最早開始の仮定のもと、プロジェクトの完了時間は開始ノードから終了ノードに至るすべての経路の最長時間に等しいという関係から、経路長の分布を対数正規分布で近似した上で、その最大値を近似するというアプローチを採用した. その結果、期待納期遅れ時間を多重正規分布関数によって表すことができるようになった. 数値シミュレーションによって、近似精度も高いことが確かめられた.

4.2 期待納期遅れ時間の感度分析

上述のように，プロジェクトの遅延リスクに解析近似をえることができたため，この近似を用いた感度分析を行うことができる．そこで，あるアクティビティの作業時間が変化した場合の期待納期遅れ時間 Γ に与える影響を調べた．パラメータ間の依存関係が複雑なため，あるパラメータが他の複数のパラメータを媒介して影響を及ぼしているため，感度分析においても影響関係を限定する近似が必要である．アクティビティ r の作業時間 t_r の分布が変化した場合，期待納期遅れ時間 Γ はどのように変化するか，三つのモデル (1) シミュレーション1 [期待納期遅れ時間 Γ^{\dagger}]，2) シミュレーション2 [期待納期遅れ時間 Γ^{\ddagger}]，3) 解析近似：期待納期遅れ時間 $[\Gamma]$ で数値的に評価した．アクティビティ a_4 を対象にし

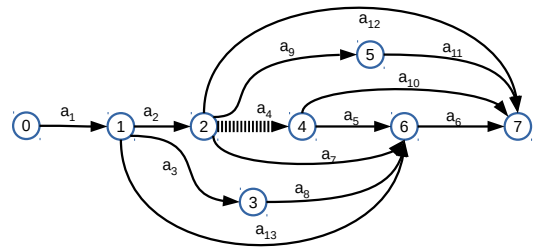


Figure 1: プロジェクト・ネットワーク

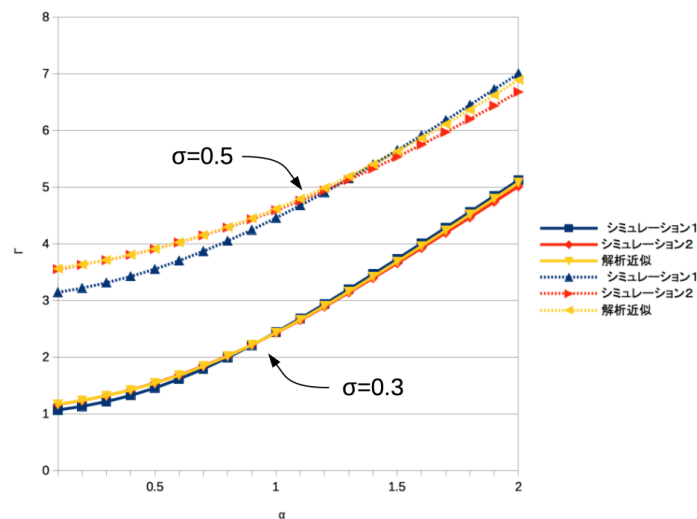


Figure 2: アクティビティ a_4 の作業時間分布が変化した場合

たシミュレーションの結果を図2に示した．まず，シミュレーション2と解析近似はほぼ一致することが示された．シミュレーション1と解析近似のズレも比較的小さい．一方，アクティビティの作業時間の標準偏差が大きくなると，シミュレーション1と解析近似のズレが拡大する．変化するアクティビティを a_6 とした場合の比較してもグラフの形状はほぼ同じであった．これは最大長となりやすい経路（クリティカルパス）が両方とも同じだったためと推察される．

4.3 タブー探索によるヒューリスティクス

プロジェクト・プランニングにおける資源配分を、アクティビティのモードの選択を通じて実現されることが考えることができる。モードとはアクティビティを実行するにあたっての作業の様態を表し、あるモードを選択すると、アクティビティの作業時間や資源の消費に関する性質が定まる。それぞれの作業ごとに複数のモードが存在し、プロジェクト全体のスケジュール制約や資源制約を勘案してモード選択を行うことが求められる。本研究の枠組みにおいてモード選択を組み込むと、結果として確率混合整数計画問題に帰着される。実務的に意味のある規模のプロジェクトに適用すると、作業数およびシナリオ数の増加に伴い、大規模な問題になることが多い。その場合、通常の整数計画法の厳密解法によって解くことは著しく困難である。本研究では、この課題に対して、タブー探索と局所探索の2つのヒューリスティクスによる方法を試みた。

モード選択による資源配分問題を数値シミュレーションによって評価した。15アクティビティからなるプロジェクトを対象として、資源は2種類存在するとしている。また、モードの数はすべてのアクティビティで3個とした。不確実性を表すシナリオは500個である。結果の一つを表に示す。

(g_d, h_d)	local search	tabu search	(g_d, h_d)	local search	tabu search
(1, 4)	0.15 %	0.00 %	(1, 4)	0.00 %	0.00 %
(2, 8)	0.15 %	0.00 %	(2, 8)	0.02 %	0.00 %
(3, 12)	0.00 %	0.00 %	(3, 12)	0.00 %	0.00 %
(4, 16)	0.00 %	0.00 %	(4, 16)	0.00 %	0.00 %
(5, 20)	0.00 %	0.00 %	(5, 20)	0.00 %	0.00 %
(6, 24)	0.00 %	0.00 %	(6, 24)	0.00 %	0.00 %
(7, 28)	0.00 %	0.00 %	(7, 28)	0.00 %	0.00 %

5 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 7 件)

- ①. 飯田哲夫, 鈴木賢一, リソースを考慮した確率的プロジェクト計画モデル: Earned Value Management への適用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年秋季研究発表会, 2016
- ②. 鈴木賢一, 飯田哲夫, 作業時間が対数正規分布にしたがうプロジェクトの納期遅れ費用の解析近似, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年秋季研究発表会, 2016
- ③. K. Suzuki, and T. Iida, analytic approximation of the expected delay on the project where the activities have lognormal durations, 18th Asia Pacific Management Conference, 2016
- ④. 鈴木賢一・飯田哲夫, 対数正規近似によるプロジェクトの期待納期遅れ時間の感度分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2017 年春季研究発表会, 2017
- ⑤. 鈴木賢一・飯田哲夫, 作業時間が対数正規分布にしたがうプロジェクトの完了時間のモーメント, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2017 年秋季研究発表会, 2017

- ⑥. 飯田哲夫・鈴木賢一, リソース使用の特徴を考慮したプロジェクト進捗状況の監視, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2017 年秋季研究発表会, 2017
- ⑦. K. Suzuki, and T. Iida, Project' s Time Contingency Estimation Model Using CVaR, The 11th International Conference on Project Management in Munich, 2017

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕 ○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕 ホームページ等

6 研究組織

- ①. 研究分担者
研究分担者氏名 : 飯田 哲夫
ローマ字氏名 : Tetsuo Iida
所属研究機関名 : 駒澤大学
部局名 : 経営学部
職名 : 教授
研究者番号 (8 桁) : 20262305
- ②. 研究協力者
研究協力者氏名 :
ローマ字氏名 :