

博士論文

情報システム開発プロジェクトポートフォリオ
に対するフレキシビリティの実装に関する研究

笈田 佳彰

目次

目次.....	I
図目次.....	V
表目次.....	VII
第1章 序論.....	1
1.1 背景.....	2
1.2 目的.....	3
1.3 本論文の構成.....	3
第2章 関連研究.....	4
2.1 はじめに.....	5
2.2 不確実性とフレキシビリティ.....	5
2.3 プロジェクト設計.....	7
2.3.1 スケジューリング.....	7
2.3.2 資源制約付きスケジューリング.....	8
2.3.3 不確実性を考慮した資源制約付きスケジューリング.....	8
2.3.4 プロジェクトポートフォリオにおけるスケジューリング.....	9
2.3.5 プロジェクトポートフォリオにおける人的資源配置.....	9
2.3.6 シミュレーションを用いたプロジェクト設計.....	10
2.4 組織構造.....	15
2.5 情報システム開発プロセス.....	17
2.6 本研究の位置付け.....	18
第3章 提案手法.....	20
3.1 はじめに.....	21
3.2 提案手法の概要.....	21
3.3 プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーション.....	22
3.3.1 概要.....	22

3.3.2 基本問題の定式化（タスク情報と組織情報）	23
3.3.3 作業工数の見積不確実性.....	26
3.3.4 ブローカー機能	27
3.3.5 人的資源再配置のダイナミクス	28
3.3.6 組織構造による情報伝達特性の差異.....	32
3.3.7 離散イベントシミュレーション詳細手順	37
3.3.8 開発したプロジェクトポートフォリオ実行シミュレータ	40
3.3.9 プロジェクトポートフォリオパフォーマンスの評価	47
3.4 組織へのフレキシビリティ実装設計手法	50
3.4.1 概要	50
3.4.2 ベースラインモデルの構築（As Is）	51
3.4.3 組織設計（To Be）	52
3.4.4 実組織へのフレキシビリティの実装（Next）	52
第4章 人的資源再配置モデルの基本動作検証	55
4.1 はじめに.....	56
4.2 問題設定.....	56
4.2.1 タスク情報	56
4.2.2 組織情報	57
4.3 実行結果.....	59
4.3.1 見積作業量	60
4.3.2 初期配置計画.....	60
4.3.3 人的資源再配置を加味したシミュレーション実行結果.....	62
4.3.4 人的資源再配置のための情報伝達	62
4.3.5 代表的な人的資源再配置の挙動.....	66
4.4 タスク情報の変化に応じた適切なブローカー機能配置.....	72
4.5 まとめ	77
第5章 プロジェクト型組織（仮想）におけるブローカー機能配置設計.....	78
5.1 はじめに.....	79
5.2 問題設定.....	80
5.2.1 タスク情報	80

5.2.2 組織情報	81
5.2.3 適切な組織内ブローカーの配置設計	82
5.3 ケース 1: 情報伝達特性の変化に応じたブローカー機能の適切配置	83
5.3.1 評価方法	83
5.3.2 ケース詳細	84
5.3.3 結果	85
5.4 ケース 2: 見積不確実性の変化に応じたブローカー機能の適切配置	91
5.4.1 ケース詳細	91
5.4.2 結果	93
5.5 考察	97
5.5.1 情報伝達特性とブローカー機能の適切配置の関係性	97
5.5.2 見積不確実性とブローカー機能の適切配置の関係性	97
5.5.3 実組織へのブローカー機能の実装について	98
5.6 まとめ	99
第 6 章 マトリクス型組織におけるコミュニケーション改善設計	100
6.1 はじめに	101
6.2 問題設定	102
6.2.1 タスク情報	102
6.2.2 組織情報	104
6.2.3 組織内コミュニケーション改善設計	108
6.3 ケース 1: 既存コミュニケーション距離改善設計	109
6.3.1 評価方法	110
6.3.2 ケース 1a: 距離 2 以上のエッジの距離短縮	110
6.3.3 ケース 1b: 距離 2 以上のエッジの距離増加	113
6.4 ケース 2: コミュニケーション経路の追加	115
6.4.1 評価方法	115
6.4.2 ケース 2a: 新規のつながり (距離 2) 追加	115
6.4.3 ケース 2b: 新規のつながり (距離 1) 追加	116
6.5 考察	117
6.5.1 ポートフォリオパフォーマンス向上の要因	117
6.5.2 コミュニケーション距離短縮による悪影響	118

6.5.3 コミュニケーション距離の削減の組合せ効果	119
6.5.4 より良い距離削減パターンの探索方法の必要性.....	122
6.5.5 コミュニケーション距離削減箇所特定と組織実装	122
6.5.6 追加すべきつながりと人員のスキルセットの関係性	122
6.6 まとめ	124
第7章 考察	125
7.1 はじめに.....	126
7.2 実組織へのフレキシビリティ実装設計手法の評価	126
7.2.1 提案するフレキシビリティ実装設計手法の有効性	126
7.2.2 提案するシミュレーションモデルの適用範囲	127
7.2.3 提案するフレキシビリティ実装設計手法の適用範囲	128
7.3 組織モデルの表現能力の限界と拡張	128
7.3.1 モデル拡張の方向性（詳細）	129
第8章 結論	131
8.1 結論	132
8.2 今後の展望	133
謝辞	134
参考文献.....	136

図目次

図 2-1 Virtual Design Team (VDT) モデルの概要[38]	11
図 2-2 VDT モデルを用いたモデリングフレームワークの概要[41]	12
図 2-3 PMT の概要と情報処理モデル[42].....	13
図 2-4 TeamPort のユーザーインターフェイス[45]	14
図 2-5 機能型組織 ([29]より転載)	15
図 2-6 プロジェクト型組織 ([29]より転載)	16
図 2-7 マトリクス型組織 ([29]より転載)	16
図 2-8 ウォーターフォール開発のプロセスモデル ([46]より転載)	17
図 3-1 提案手法の概要：組織へのフレキシビリティ実装設計手法	22
図 3-2 プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの概要	23
図 3-3 ポートフォリオマネージャーがブローカー機能を保有する場合の情報の流れ.....	28
図 3-4 プロジェクトマネージャーA がブローカー機能を保有する場合の情報の流れ.....	28
図 3-5 人的資源の供給依頼に関するシーケンス図.....	31
図 3-6 人的資源の放出に関するシーケンス図.....	32
図 3-7 機能型組織におけるコミュニケーションネットワーク例	36
図 3-8 4 つの手順の関係性	37
図 3-9 プロジェクト P_i の予定納期 dd_i と見積不確実性 σ_i の入力	42
図 3-10 各タスク a_{ij} の真の工数 wl_{ij} とタスク a_{ij} の優先順位制約 PT_{ij} の入力	42
図 3-11 各作業員 R_m のタスク a_{ij} 実行時の生産性 $r_{ij,m}$ の入力	43
図 3-12 Request Class (情報遅延に関するメンバのみ表示)	44
図 3-13 Request Instance による情報伝達遅延表現 (送付から伝達まで)	45
図 3-14 プロジェクトポートフォリオ実行結果のサマリ	46
図 3-15 初期配置計画	46
図 3-16 実行シミュレーション後の配置結果	46
図 3-17 タスク実行結果.....	47
図 3-18 作業員のプロジェクト配置計画履歴	47

図 3-19 組織へのフレキシビリティ実装設計手法の概要（再掲）	51
図 4-1 タスクの作業量とタスク a_{ij} 間の依存関係	57
図 4-2 機能型組織におけるコミュニケーションネットワーク	58
図 4-3 初期配置計画	61
図 4-4 初期配置計画時のタスク実行結果	61
図 4-5 シミュレーションによる配置結果	62
図 4-6 シミュレーションによるタスク実行結果	62
図 4-7 ポートフォリオの進捗と人的資源配置の状況（ $t=0$ ）	67
図 4-8 人的資源放出までの流れ（RR1）	67
図 4-9 ポートフォリオの進捗と人的資源配置の状況（ $t=17$ ）	69
図 4-10 人的資源供給までの流れ（SR4→FC4, FC5）	69
図 4-11 ポートフォリオの進捗と人的資源配置の状況（ $t=11$ ）	71
図 4-12 人的資源供給の流れ（SR3→FC3）	71
図 5-1 提案手法の概要と本ケーススタディの関係性	79
図 5-2 タスク a_{ij} 間の依存関係	81
図 5-3 ブローカー機能の配置候補の最良配置率	90
図 5-4 ブローカー機能の配置候補の最悪配置率	90
図 5-5 ブローカー機能の配置候補の最良配置率	96
図 5-6 ブローカー機能の配置候補の最悪配置率	96
図 6-1 提案手法の概要と本ケーススタディの関係性	101
図 6-2 タスク a_{ij} 間の依存関係（全プロジェクト共通）	103
図 6-3 コミュニケーションネットワーク	106
図 6-4 距離削減による総プロジェクト遅延と総計画外工数の変化（パターン 1:O-A 距離短縮）	112
図 6-5 距離削減による総プロジェクト遅延と総計画外工数の変化（パターン 2:O-B 距離短縮）	113
図 6-6 距離変化に応じた総プロジェクト遅延の変化	119
図 6-7 距離変化に応じた総計画外工数の変化	120
図 6-8 距離削減による総プロジェクト遅延と総計画外工数の変化	121

表目次

表 2-1 資源に関するフレキシビリティの特徴 (Sanchez [5]を基に作成)	5
表 2-2 不確実性管理の整理法 (時間スケールと応答モード) の適用例[8].....	6
表 2-3 スケジューリングの古典的な手法の整理 (Wyrozębski [12]を基に作成) ..	7
表 2-4 不確実性を考慮したスケジュール生成の手法の分類[18].....	9
表 3-1 プロジェクト型組織の隣接行列 ($N=2$)	33
表 3-2 プロジェクト型組織の隣接行列 ($N=2$)	34
表 3-3 機能型組織におけるコミュニケーション距離基準 (一般職を起点とする場 合)	35
表 3-4 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列.....	36
表 3-5 Morphological Matrix を活用した ΔO 実装方法の洗い出し例	53
表 3-6 Morphological Matrix を用いた実装構成設計例	54
表 4-1 プロジェクトポートフォリオの基本情報	57
表 4-2 プロジェクトポートフォリオの人員情報	58
表 4-3 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列.....	59
表 4-4 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ ($N=2$)	59
表 4-5 見積作業量	60
表 4-6 人的資源再配置のための情報伝達一覧.....	64
表 4-7 表 4-6 の列項目の説明	65
表 4-8 見積不確実性のパターンの例	72
表 4-9 タスク情報の変化に応じた適切なブローカーの配置傾向	75
表 5-1 プロジェクトポートフォリオの基本情報	80
表 5-2 プロジェクトポートフォリオの人員情報	81
表 5-3 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ ($N=3$)	82
表 5-4 見積不確実性のパターン	84
表 5-5 ケース 1 におけるプロジェクトポートフォリオの設定情報	85
表 5-6 対全配置平均比率	88

表 5-7 各ブローカー機能の配置候補の最良配置率と最悪配置率.....	89
表 5-8 ケース 2 におけるプロジェクトポートフォリオの設定情報	92
表 5-9 対全配置平均比率	94
表 5-10 各ブローカー機能の配置候補の最良配置率と最悪配置率.....	95
表 6-1 プロジェクトポートフォリオの基本情報	102
表 6-2 プロジェクト P_i のタスク a_{ij} の作業工数 wl_{ij}	103
表 6-3 プロジェクトポートフォリオの人員	105
表 6-4 作業者 R_m のタスク a_{ij} の生産性 $r_{ij, m}$ (人時間/時間)	106
表 6-5 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列	107
表 6-6 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ ($N=5$)	108
表 6-7 距離短縮後の総プロジェクト遅延 (時間)	111
表 6-8 距離短縮後の総計画外工数 (人・時間)	111
表 6-9 距離増加後の総プロジェクト遅延 (時間)	114
表 6-10 距離増加後の総計画外工数 (人・時間)	114
表 6-11 新規関係 (距離 2) 追加後の総プロジェクト遅延 (時間)	116
表 6-12 新規関係 (距離 1) 追加後の総プロジェクト遅延 (時間)	117
表 6-13 クリティカルパスの長さとの納期の差	118
表 6-14 距離削減後の総プロジェクト遅延 (時間)	121
表 6-15 距離削減後の総計画外工数 (人・時間)	121
表 6-16 タスク a_{ij} の生産性 $r_{ij, m}$ (人時間/時間) (効果順に並び替え済)	123

第1章 序論

1.1 背景	2
1.2 目的	3
1.3 本論文の構成	3

1.1 背景

複数プロジェクトから構成されるプロジェクトポートフォリオにおいて、人的資源の適切な配分は重要な課題である。しかし、多くの組織においては、このような人的資源配分のような重要な意思決定を行う場合においても、定量的な分析や明確な意思決定プロセスが存在せず、経験と勘に基づいた属人的な意思決定が行われる場合も多い。それらの問題を解決するため、プロジェクトポートフォリオの各プロジェクトにおけるタスクの依存関係、タスクの作業量、およびリソース(人的資源や設備等)の生産性をモデリングし、山積み山崩し法などを用いて人的資源の稼働率を最大化させ、人的資源配分問題を解く研究はされてきた。これによって、確定情報下における、プロジェクトポートフォリオ開始時点の人的資源配置は、客観的かつ定量的な指標によるモデルベース意思決定が可能となった。

しかしながら、実問題を考える場合、プロジェクト進行に伴い、見積誤差や生産性のばらつきによるタスクの遅延や、大規模なトラブルによる手戻り、ポートフォリオへの新プロジェクトの追加など、様々な不確実性が存在する。そのため、多くのプロジェクトポートフォリオでは、開始時に妥当な全体計画を立案しているにもかかわらず、進行に伴い、予期せぬ人的資源の再配置が繰り返されることがある。例えば、IT、サービス業では、ある情報システム開発プロジェクトにおいて、発生した障害対応のため、他のプロジェクトから人的資源を集約させ、トラブル解決を優先する場合がある[1]。また、製造業において、部品の誤差のため、組み立て作業が進められず、当初計画以上に組み立て設備を使用し続ける場合がある[2]。このように、様々なドメインにおいて、不確実性に起因したリソースの再配置は行われており、技術の高度化と多様化や、関係者の増大によって、プロジェクトポートフォリオが大規模、複雑化してきた昨今においては、このような不確実性に起因した予期せぬ人的資源の再配置がますます多くなると考えられる。予期せぬ再配置を防ぐべく、想定しうる不確実性に対して余裕を持たせた頑健な人員計画立案はなされてきたが、想定外の不確実性に対しては当然対応しきれず、余裕を持たせるためのコストも必要となる。そのような状況を鑑みて、プロジェクトポートフォリオ内外を含めた変化を感知し、適切な対応策を迅速に実行するためのリソースを再構成する能力は重要であるとされる[3]。今後、より効果的な人員再配置を円滑に実行できるフレキシビリティの高い組織作りがますます重要となると考えられる。

1.2 目的

本研究の目的は、不確実性を含む情報システム開発プロジェクトポートフォリオに対して、フレキシビリティを実装する手法を開発することである。具体的には、作業工数の見積不確実性や、人的資源の再配置を差配する役割、そして組織内のコミュニケーション距離に基づく情報遅延などを考慮したプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いて、複数の組織変更案を評価することで、プロジェクトポートフォリオ内における効果的な人的資源再配置を実現可能な組織設計を行う手法を提案する。

また、複数の情報システム開発に関するプロジェクトポートフォリオに提案手法を適用し、得られた組織設計指針を基に、提案手法の有用性を評価する。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第2章では、本研究と関連する知識や事例を挙げ、本研究の位置づけについて述べる。

第3章では、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いた組織へのフレキシビリティ実装設計手法について述べる。

第4章では、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの基本動作検証を行う。

第5章と第6章は、提案手法を用いたケーススタディについて述べる。

第5章では、プロジェクト型組織における仮想的な情報システム開発プロジェクトポートフォリオをモデル化し、人的資源再配置を差配する役割の配置設計を行う。

第6章では、マトリクス型組織における情報システム展開プロジェクトポートフォリオをモデル化し、組織内情報伝達特性の改善設計を行う。

第7章では、ケーススタディ全体を通して提案手法の有効性について考察する。

第8章では、結論と今後の展望について述べる。

第2章 関連研究

2.1 はじめに.....	5
2.2 不確実性とフレキシビリティ	5
2.3 プロジェクト設計	7
2.3.1 スケジューリング	7
2.3.2 資源制約付きスケジューリング	8
2.3.3 不確実性を考慮した資源制約付きスケジューリング	8
2.3.4 プロジェクトポートフォリオにおけるスケジューリング	9
2.3.5 プロジェクトポートフォリオにおける人的資源配置	9
2.3.6 シミュレーションを用いたプロジェクト設計	10
2.4 組織構造.....	15
2.5 情報システム開発プロセス	17
2.6 本研究の位置付け	18

2.1 はじめに

本章では、組織へのフレキシビリティ実装設計に関する関連研究について述べる。不確実性とフレキシビリティ、プロジェクト設計、組織構造、情報システム開発プロセスに関する既存研究、事例について概観する。

2.2 不確実性とフレキシビリティ

1990 年代後半から、不確実性に備えるための新しいマネジメントのパラダイムとして、フレキシビリティの重要性が論じられ始めた。本研究では、フレキシビリティは、不確実な変動に対するシステムの応答能力のことを指す。Bettis ら[3]は、即座に、変化を感知し、対応策を構想し、迅速に実行するためのリソースを再構成する能力が重要であると述べている。Ilinitich ら[4]は、企業の「メタフレキシビリティ」という、運用的、構造的、戦略的という 3 種類のフレキシビリティを組み合わせた能力を定義している。また、Sanchez[5]は、資源のフレキシビリティについて、表 2-1 のように、用途の広さ、切替の容易性、切替の即時性の 3 つの観点で特徴付けられると述べている。

表 2-1 資源に関するフレキシビリティの特徴 (Sanchez [5]を基に作成)

1	The range of use	Resource flexibility is greater when there is a larger range of alternative uses to which a resource can be applied. In essence, resource flexibility increases when a resource can be used to develop, manufacture, distribute, or market a range of different products.
2	The costs of switching	Resource flexibility is greater when the costs and difficulty of switching from one use of a resource to an alternative use are lower. For example, the flexibility of a production line increases when the cost of switching from the production of one product to another decreases.
3	The time required to switch	Resource flexibility is greater when the time required to switch to an alternative resource use is lower. The flexibility of a production system increases when the time required to switch from producing one product to another decreases. Implicit in this dimension of flexibility is that there is an opportunity cost incurred during the "down time" required to switch from one use to another.

2000 年代に入り、フレキシビリティを考慮したマネジメントが体系化されてきた。Miller[6]らは、大規模エンジニアリングプロジェクトの競争上の優位性の 1 つとして、フレキシビリティと即興性を挙げている。外乱などが存在する不確実な状況下において、プロジェクトの戦略にはフレキシビリティを含めることが必須であると述べている。また、de Neufville ら[7][8]は、発電所や石油プラントのような大規模社会インフラシステム構築プロジェクトなどの工学設計におけるフレキシビリティは、発生しうる未来の様々な状況に対する応答性であると説明している。また、フレキシブルな工学設計は、被りうる損失を限定し、とりうる利益を増加させることで、期待値の向上に重要な機会を提供すると述べている。同じく、de Neufville ら[8]は、表 2-2 を用いて、不確実性の管理方法について整理することで、エンジニアリングシステムズの計画、設計、実装を再構築または拡張できると述べている。縦軸は時間の尺度を表し、運用レベル、戦術レベル、戦略レベルの 3 段階がある。また、横軸は応答の種類を表し、不確実性に対する受動的な対応をロバストネス、能動的な応答をフレキシビリティと定義している。この分類によれば、運用レベル、戦術レベル、戦略レベルの 3 段階のフレキシビリティが存在する。

表 2-2 不確実性管理の整理法（時間スケールと応答モード）の適用例[8]

Time Scale/Mode of Response	Uncertainty Management	System Modification	
		Passive: Robustness	Active: Flexibility
Operational	Correcting a new source of variation revealed by statistical process control	Increasing a machine tool's stiffness so to avoid chatter and thereby improve surface finish	Design a machine to detect chatter and change feed rate automatically to avoid poor surface finish
Tactical	Investing in a system to control manufacturing process parameters like temperature, pressure, and humidity	Robust parameter design – selecting levels of processing parameters that ensure adequate performance over a wider range of conditions	Organizing a plant (e.g., into cells) so that it can adapt to month-to-month changes in product mix.
Strategic	Implementing a system (e.g., 6) by which you work with your employees and suppliers to continually improve quality and cost.	Setting up a technology strategy so that your plant can meet the new accuracy demands that are forecast to be needed in ten years	Managing a network of suppliers so that you can add emerging new capabilities and drop suppliers that become uncompetitive.

2.3 プロジェクト設計

本節では、プロジェクトを設計する様々な手法について説明する。

2.3.1 スケジューリング

実プロジェクトを設計する上で、作業のスケジューリングは、重要な計画の1つである。古典的なアプローチについて述べる。プロジェクトスケジューリングを行うための最初の科学的なアプローチは、1950年代に開発されている。1957年、Critical Path Method (CPM) は、米国のデュポン社の化学プラント設計のために開発された。プロジェクトで想定する作業の所要時間と優先順位制約(依存関係)を決定論的に捉えている[9][10]。また、1958年に、Program Evaluation and Review Technique (PERT)は、アメリカ海軍による潜水艦発射ミサイルであるポラリスの開発計画立案のために作られた[9][10]。PERTは、CPMと同様に優先順位制約については決定論的に考えるが、作業の所要時間については確率論的に考える点で異なる。両者とも、プロジェクト全体を、作業のネットワークとして表現し、工期短縮のために重点的に管理する作業項目を決定する点では同じである。その後、1960年代に入り、Pritsker ら[11]によって、Graphical Evaluation and Review Technique (GERT) が開発された。GERTでは、PERT、CPMに比べ、ループなどを含む作業のネットワーク構造を表現可能であり、依存関係について確率論的に扱うことができる。表 2-3 に上記 3 種の古典的なプロジェクトスケジューリング手法について、作業の所要時間、作業間の依存関係の観点で整理したものを示す。

表 2-3 スケジューリングの古典的な手法の整理 (Wyrozębski [12]を基に作成)

		Project network structure	
		Deterministic	Probabilistic
Project activity duration	Deterministic	● CPM	● GERT
	Probabilistic	● PERT	

2.3.2 資源制約付きスケジューリング

前項のプロジェクトスケジューリングは様々な観点で拡張されている。最も重要な拡張の1つとして、有限な資源の考慮がある。前項の手法は対象作業の実行に十分な資源があれば、現実的なスケジュールを立案可能であるが、資源に制約がある場合は現実的なスケジュールが立案される保証がない。そこで、資源制約付きプロジェクトスケジューリング問題 (Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)) と呼ばれる、資源制約を考慮した様々な研究が行われてきた[13][14]。例えば、Hartmann[15]は、メタヒューリスティクスの1つである遺伝的アルゴリズムを用いたスケジューリング最適化技術を考案している。Mitsuyuki ら[16]は、イベントシミュレータと遺伝的アルゴリズムを組み合わせ、造船所の電力ピークカットに関する戦略立案に関する研究をしている。また、Chen ら[17]は、イベントシミュレータとメタヒューリスティクスの1つである蟻コロニー最適化を組み合わせ、ソフトウェアエンジニアリングプロジェクトのスケジューリングの手法を提案している。

2.3.3 不確実性を考慮した資源制約付きスケジューリング

前項の資源制約プロジェクトスケジューリング問題は、結果的に確定的なスケジュールを立案する。現実的には、予期せぬ事象の発生により、プロジェクトは計画通りに進まない場合が多い。そこで、不確実性を考慮したプロジェクトスケジューリングに関する研究が行われている。Herroelen ら[18]は、不確実性を考慮したスケジューリングに関する調査を行い、手法を分類している(表 2-4)。大きくベースラインとなるスケジュールの生成とプロジェクト実行中におけるスケジュールの生成に大別される。スケジュールとしての頑健さや柔軟性が定義されている。

ベースラインスケジュール生成における、不確実性を考慮した頑健なスケジューリングの例として、手戻りの不確実性を考慮した研究[19][20][21][22]、タスク所要時間の不確実性を考慮した研究[23][24][25]、さらに時間毎のタスク実行可否の不確実性をモデル化した研究[26]、人的資源の作業可否の不確実性をモデル化した研究[27]など、様々な不確実性を考慮した研究がなされている。

また、実プロジェクトへの適用においては、Critical Chain Project Management (CCPM) と呼ばれるプロジェクトマネジメント手法が開発されている[28]。本マネジメント手法は、不確実性に対処するため、RCPSP による決定論的スケジュールをベースとして、プロジェクト共通バッファの仕組みを導入している。

表 2-4 不確実性を考慮したスケジュール生成の手法の分類[18]

Baseline schedule	During project execution
(i) No baseline schedule	(i) Dynamic scheduling (scheduling policies)
(ii) Baseline scheduling with no anticipation of variability	(ii) Reactive scheduling
(iii) Proactive (robust) scheduling	(iii) Management decisions
➤ Quality robustness	(iv) Sensitivity analysis
➤ Solution robustness	
➤ Flexibility	

2.3.4 プロジェクトポートフォリオにおけるスケジューリング

近年、単一のプロジェクトのみをマネジメントするのではなく、複数のプロジェクトをまとめて効率的に管理するプロジェクトポートフォリオマネジメント(PPM)が重要視されている[29]. プロジェクトポートフォリオを前提としたスケジューリングについても様々な研究がなされている. 例えば、様々なプロジェクトポートフォリオにおいて有効なタスク優先ルールについて評価した研究がある[20]. 遺伝的アルゴリズムと離散イベントシミュレーションを組み合わせ、プロジェクトポートフォリオ全体を集中管理型によってスケジューリングを行う手法[21]や、オークションの考え方を取り入れた、分散管理型によって最適化するスケジューリング手法が研究されている[30][31]. また、Krüger[32]らは、プロジェクト間の人的資源の割り当て変更に係るスイッチングコストをモデル化したモデルを提案している.

2.3.5 プロジェクトポートフォリオにおける人的資源配置

プロジェクトポートフォリオにおける人的資源配置に焦点を当てた研究もなされている. Mitsuyuki ら[33]は、イベントシミュレータと遺伝的アルゴリズムを組み合わせ、各プロジェクトへの最適な配属率を求める手法を提案している. 吉村ら[34]は、プロジェクトの要求スキル

に対する充足度だけではなく、キャリアパス(配属後に育成されるスキル)や、モチベーション(人的資源のプロジェクトへの希望)を考慮した最適化問題へ定式化している。これらはいずれも、初期計画として利用される、静的な手法である。それに対して、Botros[35]は、アンケート調査と網羅的なシステム分析に基づき、プロジェクトポートフォリオの計画段階のみならず、実行段階も視野に加えた、より良い人的資源配分システムについて評価している。結果として、効果的な人的資源配分システムの構成は、透明性が高く、市場のような特徴を持つと述べている。また、Abrantes ら[36]は、新製品開発プロジェクトポートフォリオにおける人的資源マネジメントに関する実証研究を行っており、ポートフォリオにおける人的資源の再計画や、人的資源の競合の監視など人的資源管理のプロセスを整理している。

2.3.6 シミュレーションを用いたプロジェクト設計

Galbraith[37]は組織内の情報処理の観点から、組織設計を行うための戦略を提唱している。不確実性のある状況下においては複雑な情報処理が必要となるため、組織内情報処理のスループットを増やすか、必要な情報処理を削減するための組織設計が重要というコンセプトを基に組織設計戦略を述べている。Jin ら[38]や Kunz ら[39]や Levitt ら[40]は、Galbraith の情報処理モデルを基に、Virtual Design Team (VDT)という、プロジェクトにおける人員間のマイクロレベルの情報処理の振る舞いのモデルを提案し、計算機シミュレーションにより、組織設計戦略を評価する研究を行なっている。図 2-1 に VDT モデルの概要を示す。より具体的には、組織構造とコミュニケーションツールの特徴、および調整工数を表現可能なシミュレーションモデルである。

VDT を活用した様々な応用研究がある。例えば、Horii ら[41]は、アメリカと日本のプロジェクトチームの文化の違いを、組織構造とマイクロレベルの情報処理モデルによって表現し、VDTシミュレーションによって、プロジェクト実施におけるタスクの複雑性が増した場合の特徴等を分析している。また、Suzuki ら[42]は、VDT のコンセプトを基に Process Management Tool (PMT)を開発した。図 2-3 に PMT の概要と情報処理モデルを示す。PMT では、組織内のレポートラインを組織内ポジションで表現しており、クライアントからのサービス要求(SRI)に対しては、組織内ポジションに応じた情報処理を行う。PMT を用いて、自動車用の金型メーカーを対象に効果検証を行なっている。

また、Moser ら[43][44]は、国際プロジェクトの不確実性を考慮し、プロジェクトのモデリング、シミュレーション、可視化可能なソフトウェア TeamPort[45]を開発した。併せて、TeamPort を利用したワークショップによるプロジェクト設計の方法論を提案している。図 2-4 に TeamPort

のインターフェイスを示す。上図は、複数人で同時にプロジェクトを編集可能なスケッチ機能を示す。下図は、国際プロジェクトの地理的な位置の設定画面であり、時差や移動時間に応じたコミュニケーション、調整工数が考慮されている。

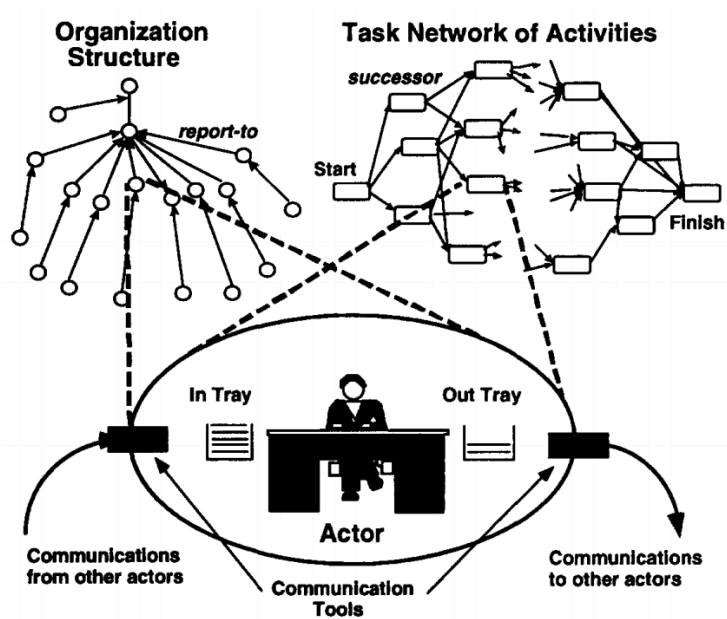


図 2-1 Virtual Design Team (VDT) モデルの概要[38]

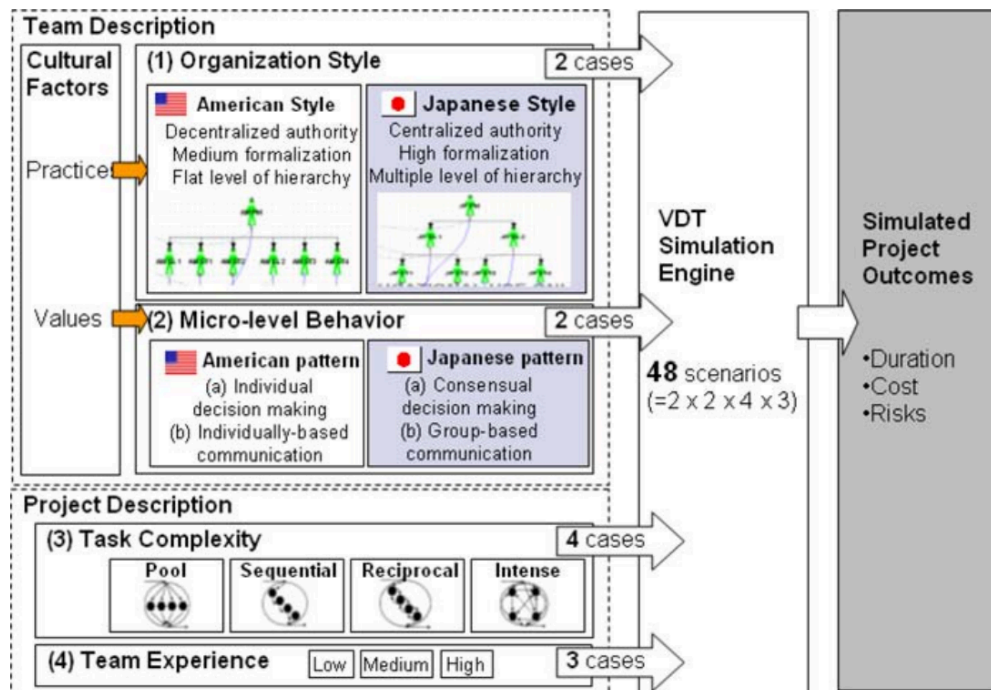


図 2-2 VDT モデルを用いたモデリングフレームワークの概要[41]

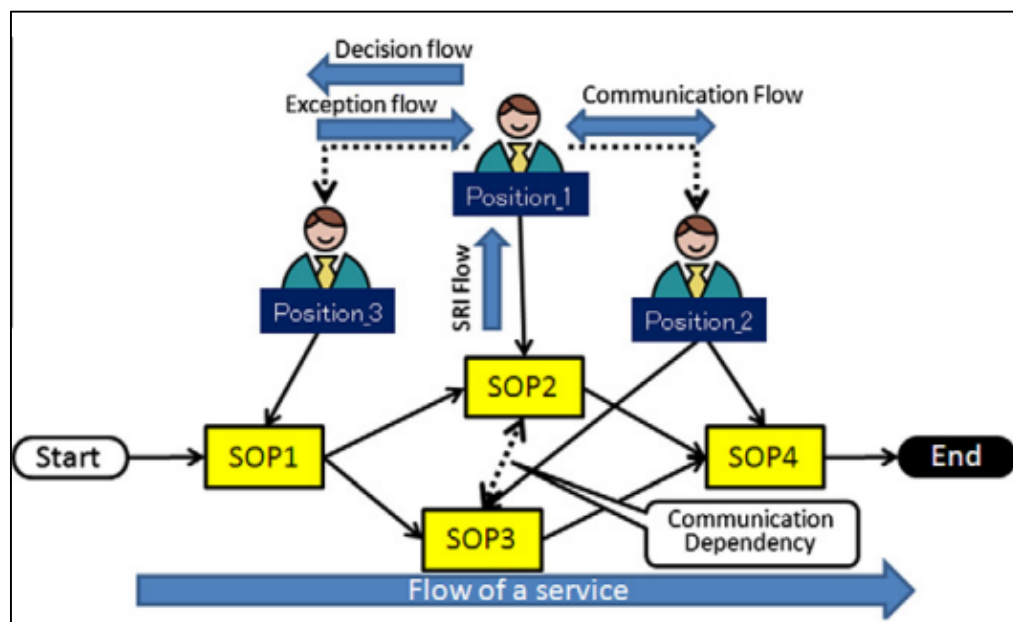
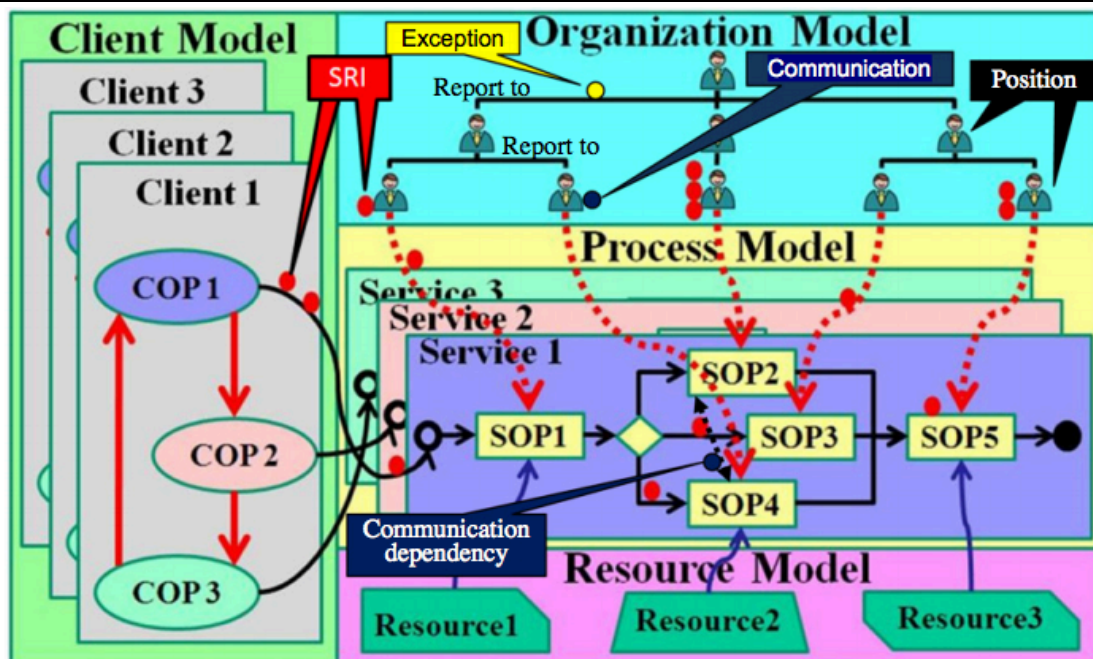


図 2-3 PMT の概要と情報処理モデル[42]

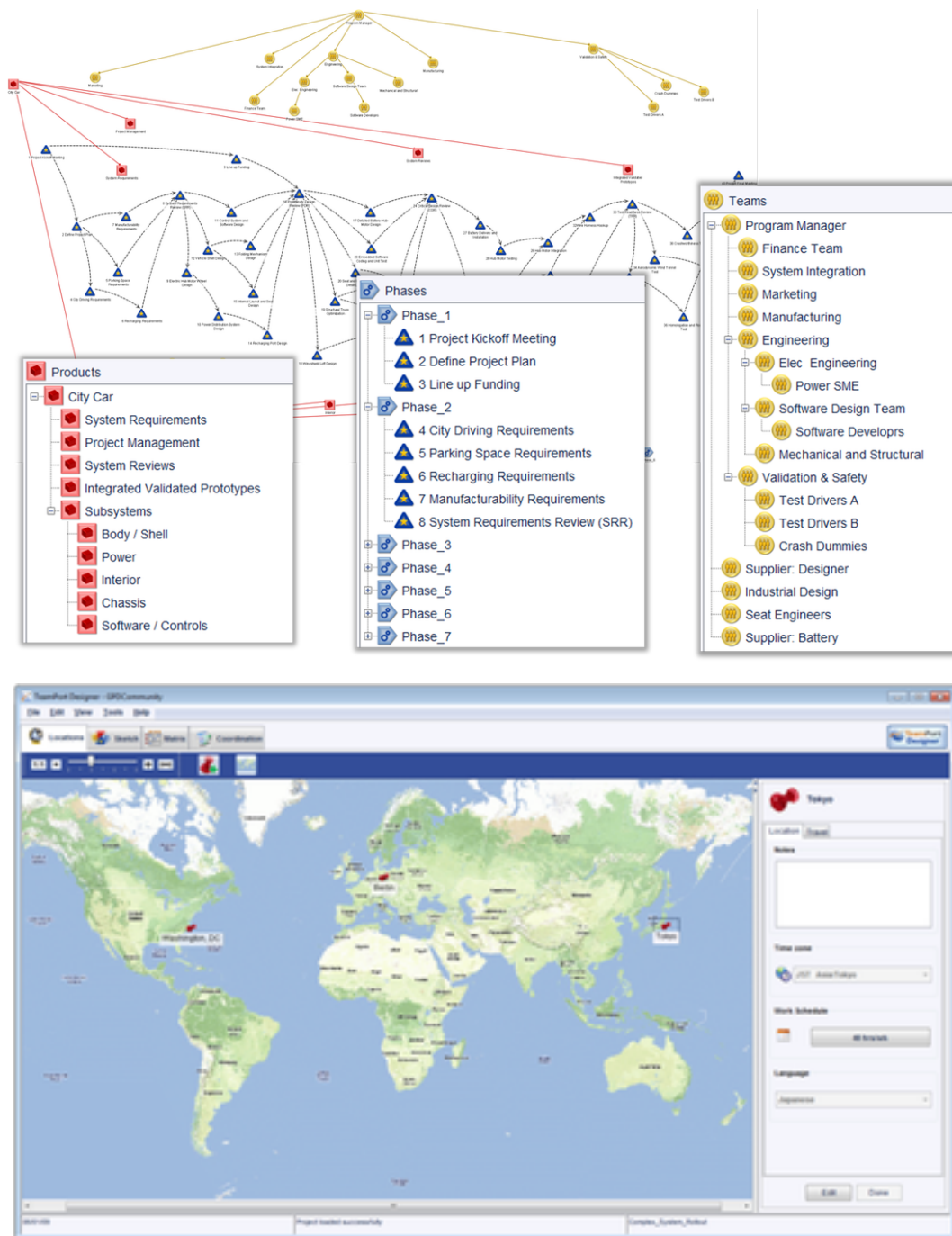


図 2-4 TeamPort のユーザーインターフェイス[45]

2.4 組織構造

PMBOK[29]では、プロジェクトを実施する組織構造として、以下の3種類が存在するとしている。

- (i) 機能型組織 (Functional Organization)
- (ii) プロジェクト型組織 (Projectized Organization)
- (iii) マトリクス型組織 (Matrix Organization)

図 2-5 に機能型組織の模式図を示す。機能部門ごとに縦割りになっている組織構造である。プロジェクトマネジメントを専任で実施する人員はおらず、プロジェクトマネージャーはパートタイムとして実施する。

図 2-6 にプロジェクト型組織の模式図を示す。プロジェクトごとに縦割りになっている組織構造である。プロジェクトマネージャーの権限が強く、プロジェクトの意思決定だけではなく、予算管理権限等ももつ。組織として知識や経験が蓄積しにくいという欠点がある。

図 2-7 にマトリクス型組織の模式図を示す。機能型組織とプロジェクト型組織の長所併せ持つ反面、複雑な組織構造となる傾向がある。

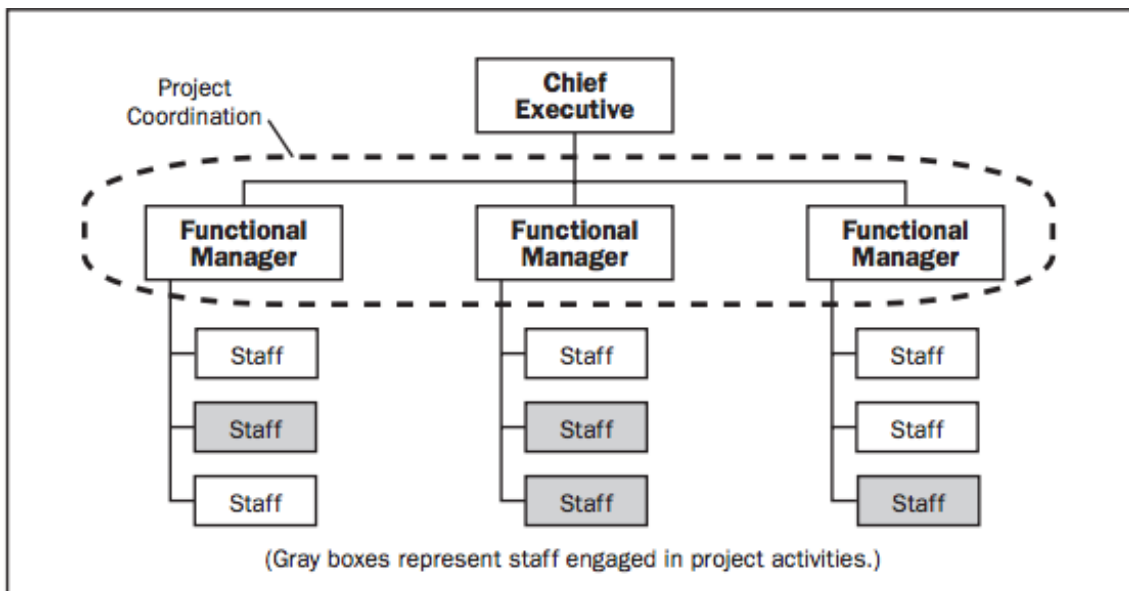


図 2-5 機能型組織 ([29]より転載)

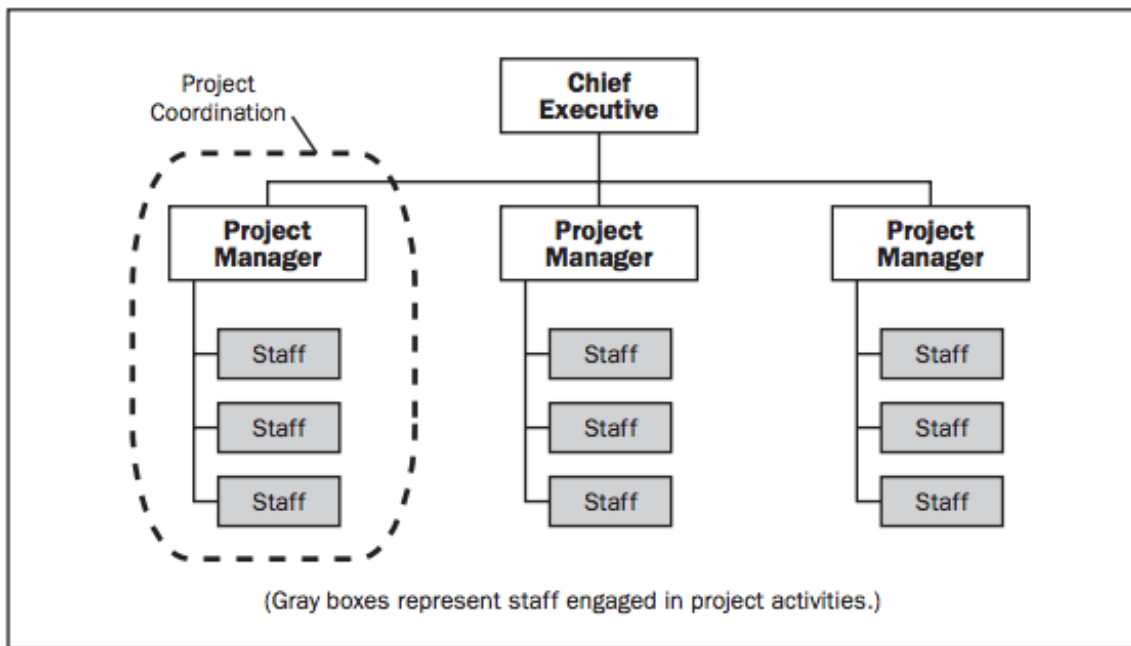


図 2-6 プロジェクト型組織 ([29]より転載)

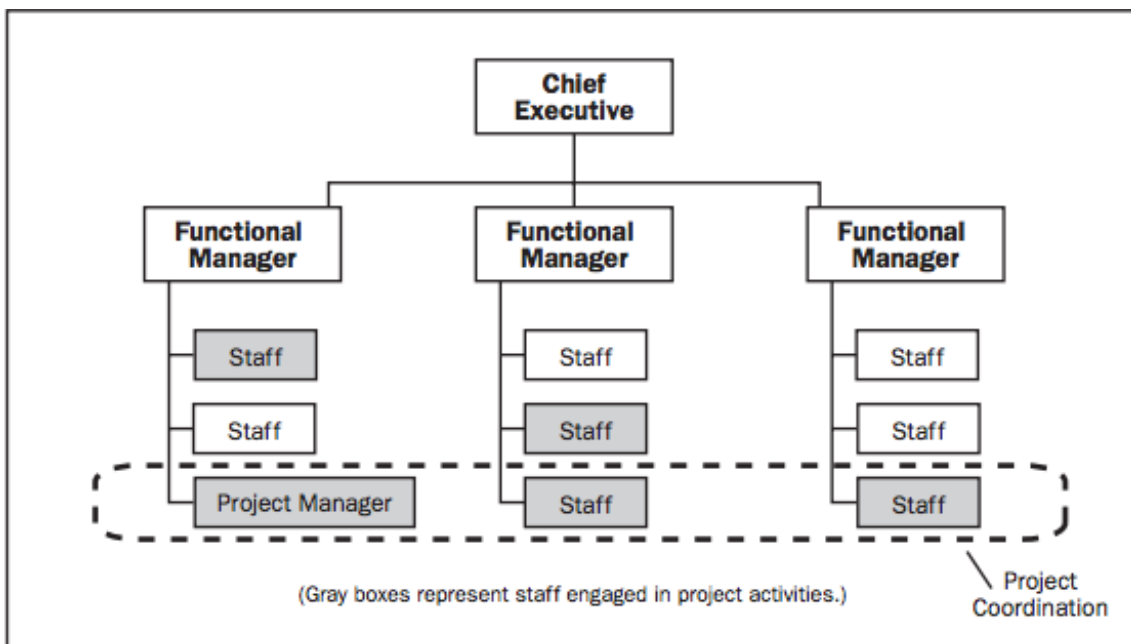


図 2-7 マトリクス型組織 ([29]より転載)

2.5 情報システム開発プロセス

情報システム開発プロジェクトで用いられる開発プロセスについて述べる。具体的には、ウォーターフォール開発、アジャイル開発に関して説明する。

ウォーターフォール開発[46]は、1970年代に確立された開発手法である。図 2-8 のように、要件定義、設計、開発、テスト、運用といった手戻りのない直列のプロセスである。要件定義、ユーザーインターフェイス設計、システム構造設計、プログラム設計というように段階的に要件をシステムに落とし込み、プログラムテスト、結合テスト、システムテストというように段階的にソフトウェアの品質を確認する。ウォーターフォール開発は、依然として多くの企業で採用されている開発プロセスである[47]。しかし、後工程が前工程の品質に依存する開発プロセスであるため、プロジェクトの初期段階で要件が決まらない場合など、目的成果物に不確実性が含まれる場合、効果的なプロジェクトマネジメントができない。

一方で、2000年代に入り、ソフトウェア開発において、アジャイル開発[48]という考え方が、浸透してきた。アジャイル開発とは特定の決まったプロセスを指すわけではなく、目的成果物の変化に素早く適応しながらソフトウェアを開発するための軽量な開発手法群の総称である。アジャイル開発には、スクラム開発[49]、エクストリームプログラミング(XP)[50]などが含まれる。いずれも初期に全てを設計するわけではなく、部分的な機能について設計、開発、テスト、レビューを繰り返し、追加開発する。

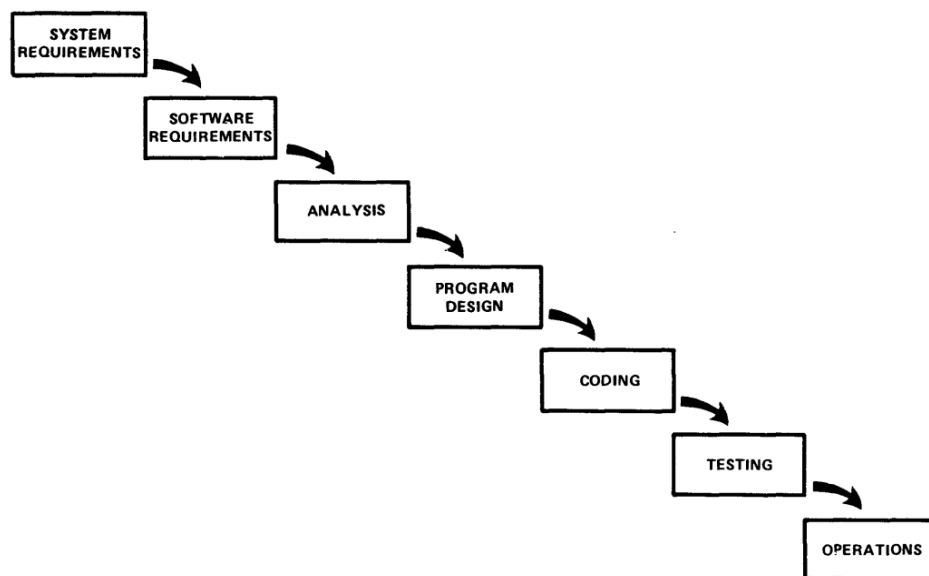


図 2-8 ウォーターフォール開発のプロセスモデル ([46]より転載)

2.6 本研究の位置付け

本章では、不確実性とフレキシビリティに関する研究、スケジューリング、プロジェクトポートフォリオにおける人的資源配置、シミュレーションを用いた設計などのプロジェクト設計に関する研究、そして組織構造、情報システム開発プロセスについて概観した。

複雑化するプロジェクトポートフォリオにおいては、不確実性を考慮したプロジェクト設計を行う必要がある。その1つの解決手段として、2.3.3で紹介したような、不確実性を考慮したスケジューリングに関する研究は盛んに行われている。しかしながら、これらの研究の目的は、想定しうる限られた不確実性に対して、頑健な初期計画を立案することであり、プロジェクト実行時に発生した予期せぬ人員再配置を支援するものではない。複雑化したプロジェクトポートフォリオにおいては、頑健な初期計画立案だけでは不十分であり、当初計画通りにプロジェクトが進まない場合に、より効果的な人員再配置を円滑に実行できるフレキシビリティの高い組織作りが重要となると考える。

そこで、本研究における基本方針として、2.3.6にて紹介した様々な事例と同様に、シミュレーションを活用し、組織へのフレキシビリティの実装設計を行う。次に、2.2で紹介した不確実性とフレキシビリティに関する研究における、表2-1の資源のフレキシビリティの3つの側面から、人的資源のフレキシビリティとして、スイッチングに要する時間のモデル化を考える。具体的には、人的資源の要求や供給といった情報の遅延をモデル化する。その理由としては、2.3.6で紹介した多くのシミュレーションモデルにおいて、プロジェクトのタスク実行に関する情報処理をモデル化していた。プロジェクト間の人的資源再配置においても、人的資源の要求や供給といった情報処理は重要な意味を持ち、組織内の情報伝達の遅延が再配置の効率性と効果性に影響があると考えたからである。また、情報遅延を含む人的資源再配置のダイナミクスをモデル化するにあたり、システム分析の結果[35]として、プロジェクトポートフォリオの実行段階における効果的な人的資源配分システムの構成要素としては、透明性が高く、市場のような特徴を持つ必要があった。そのような特徴を持つ人的資源配分システムの実装方法の1つとして、プロジェクトからの人員要求を受け、適切な人的資源を供給する、人的資源の再配置を差配する役割をモデル化した。

なお、2.5の情報システム開発におけるアジャイル開発も不確実性に対応する有効なアプローチの1つであり、顧客要求あるいは目的成果物に関する不確実性への適応に焦点を当てている。本研究では、プロジェクトポートフォリオの進捗変動の不確実性を組織として吸収するための効率的かつ効果的な人的資源再配置の実現による、フレキシビリティの組織実装

に主眼を置く.

このような観点から, 本研究の新規性は以下である.

- (i) 人的資源再配置の効率性と効果性というフレキシビリティの組織実装設計手法の提案
- (ii) 組織構造の特性を踏まえた情報伝達遅延時間と人的資源の再配置を差配する役割を含めた人的資源再配置ダイナミクスモデル化

第3章 提案手法

3.1 はじめに.....	21
3.2 提案手法の概要	21
3.3 プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーション	22
3.3.1 概要	22
3.3.2 基本問題の定式化（タスク情報と組織情報）	23
3.3.3 作業工数の見積不確実性.....	26
3.3.4 ブローカー機能	27
3.3.5 人的資源再配置のダイナミクス	28
3.3.6 組織構造による情報伝達特性の差異.....	32
3.3.7 離散イベントシミュレーション詳細手順	37
3.3.8 開発したプロジェクトポートフォリオ実行シミュレータ	40
3.3.9 プロジェクトポートフォリオパフォーマンスの評価	47
3.4 組織へのフレキシビリティ実装設計手法	50
3.4.1 概要	50
3.4.2 ベースラインモデルの構築（As Is）	51
3.4.3 組織設計（To Be）	52
3.4.4 実組織へのフレキシビリティの実装（Next）	52

3.1 はじめに

本章では、情報システム開発プロジェクトポートフォリオに対するフレキシビリティ実装までの流れを提案する。作業工数の見積不確実性、人的資源再配置を差配する役割であるブローカー機能、人的資源再配置のダイナミクス、組織内情報伝達特性のモデル化、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの詳細手順、シミュレーションを用いた組織の変更箇所の定量的評価法、評価結果を基に実組織に対してフレキシビリティを実装する方法について説明する。

3.2 提案手法の概要

図 3-1 に提案する組織へのフレキシビリティ実装設計手法の概要を示す。左側が実世界 (Real)、右側がモデルの世界 (Virtual) を表す。以下にフレキシビリティ実装までのアウトラインを示す。

(1) Real→Virtual の流れ

実在する情報システム開発プロジェクトポートフォリオの特徴とその実行主体となる組織の特徴をシミュレーションモデルに変換する

(2) Virtual 内の Input→Output の流れ

モデルの世界において、設計可能な組織情報のパラメータに変更量を加えて、不確実性を考慮したモンテカルロシミュレーションを実行し、プロジェクトポートフォリオのパフォーマンスを統計的に分析する

(3) Virtual 内の Output→Input の流れ

得られた分析結果を受けて設計空間の変更がある場合、あるいは追加設計する組織パラメータがある場合は、(2)を再度実行する

(4) Virtual→Real の流れ

モデルの世界において、(2)と(3)を繰り返し、設計内容の十分な検討が完了した段階で、実組織を考慮したパラメータの変更量を実現する方法を検討し、実世界にフィードバックする

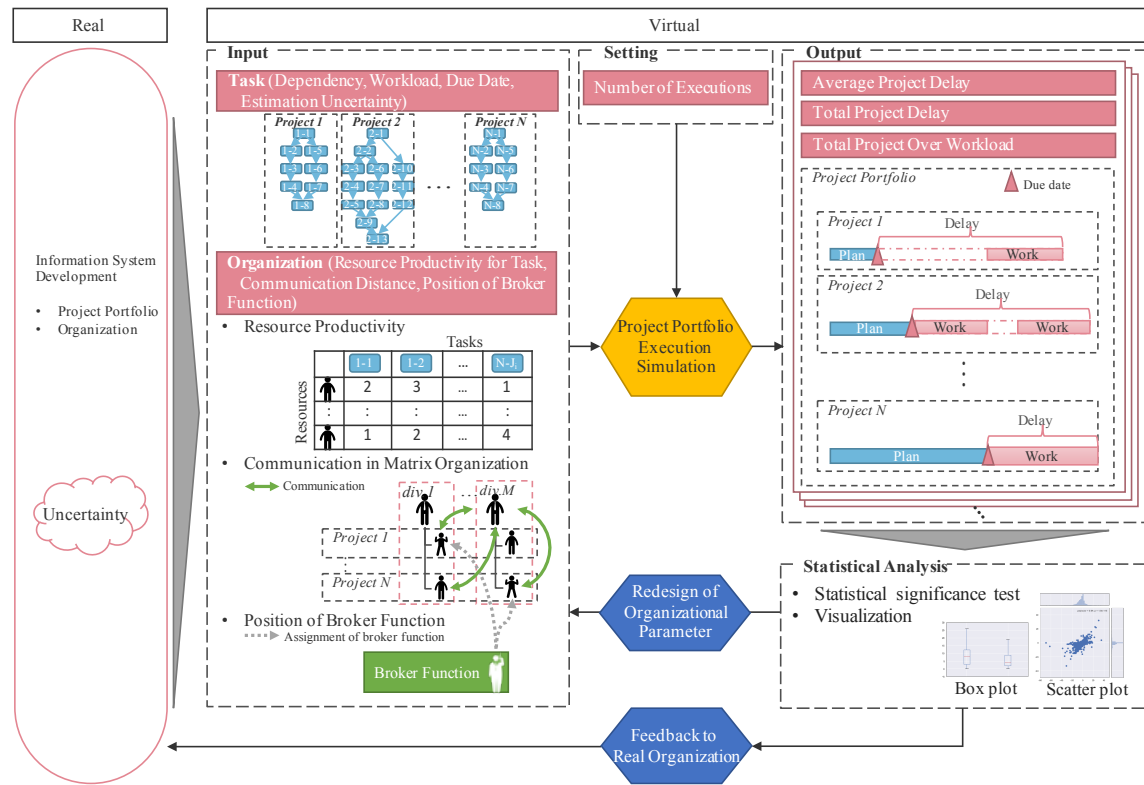


図 3-1 提案手法の概要：組織へのフレキシビリティ実装設計手法

次節以降では、まず、3.3 において、モデルの世界におけるプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションについて述べる。その後、3.4 において、シミュレーションを用いて実組織にフレキシビリティを実装する設計手法について述べる。

3.3 プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーション

3.3.1 概要

提案するプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの概要を図 3-2 に示す。シミュレーション Sim の入力は、主に実行対象となるタスク情報 T と実行主体となる組織情報 O の 2 種類である。タスク情報 T は対象のプロジェクトポートフォリオの各プロジェクトのタスクの作業量および依存関係、作業量の見積不確実性を含み、組織情報 O は、ポートフォリオ内の各人員の生産性と人員間のコミュニケーション特性、そして人員再配置を差配する役割であ

るブローカー機能の配置を含む。これらの入力情報の中から、設計対象を選択し、設計変数とする。設計変数の値を変化させながら、離散イベントシミュレーションをモンテカルロ法によって複数回実行し、総プロジェクト遅延時間およびポートフォリオ全体における納期後必要となる総計画外工数(コスト)を出力する。

次項からは、まず、タスク情報 T 、組織情報 O を含む基本問題の定式化を行う、次に、本研究において特徴的である、見積不確実性の考え方、人的資源再配置のダイナミクス、人的資源再配置における組織内情報伝達特性のモデル化の方法に加えて、離散イベントシミュレーションの詳細手順を説明する。その後、プロジェクトポートフォリオ実行のパフォーマンスの評価方法について説明する。

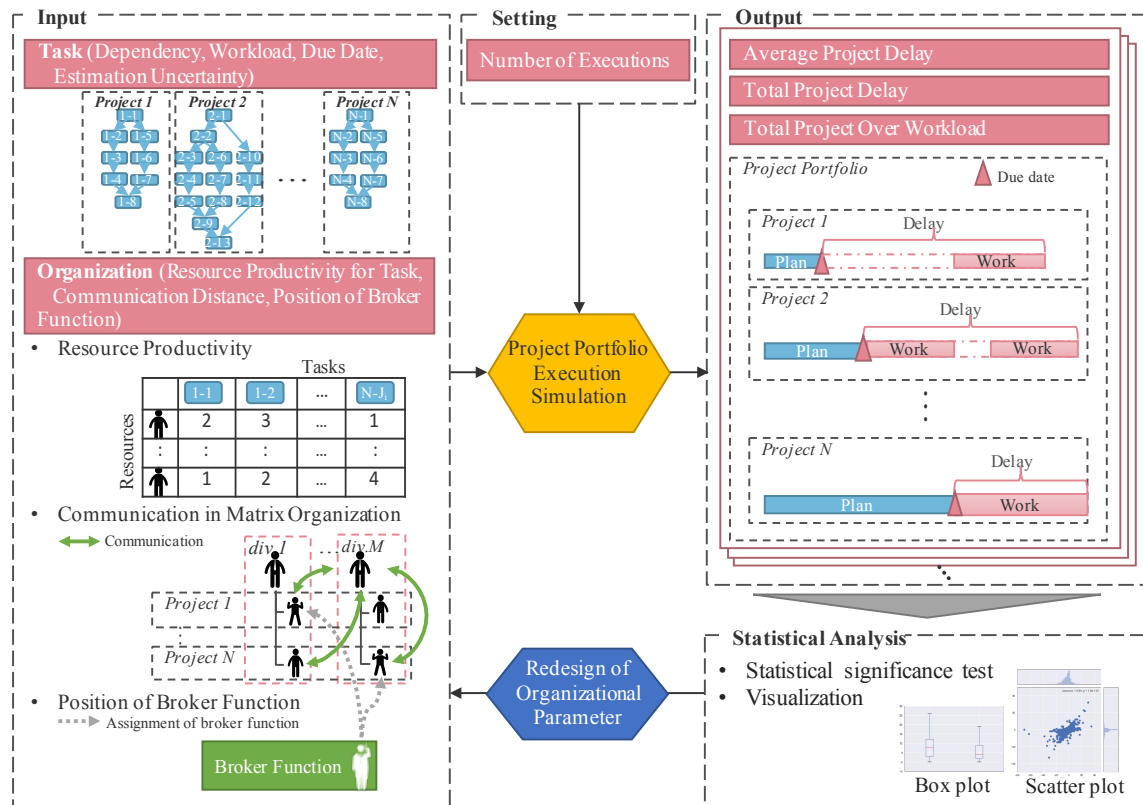


図 3-2 プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの概要

3.3.2 基本問題の定式化（タスク情報と組織情報）

本項では、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションに関する、タスク情報 T 、組織情

報 \mathbf{O} を含む基本問題の定式化を行う。

対象とするプロジェクトポートフォリオに含まれる各プロジェクト P_i , $i \in \{1, \dots, N\}$ は, 最早開始時刻 ed_i と予定納期 dd_i の 2 つの時刻に関する属性を持つ. 各プロジェクト P_i はタスク a_{ij} , $j \in \{1, \dots, J_i\}$ からなる. タスク a_{ij} の作業量を wl_{ij} とし, あらかじめ決められた値を持つ.

ポートフォリオマネージャーを PoM , 各プロジェクト P_i のプロジェクトマネージャーを PM_i , $i \in \{1, \dots, N\}$ とする. また, プロジェクトポートフォリオに属する各作業者を R_m , $m \in \{1, \dots, M\}$ とする. また, プロジェクトポートフォリオに属する人員を H_l , $l \in \{1, \dots, L\}$ と表す. 本稿においては, 1 プロジェクトポートフォリオを扱うため, L, M, N は式(3.1)の関係を満たす.

$$L = 1 + N + M \quad (3.1)$$

各作業者 R_m のタスク a_{ij} 実行時の生産性を $r_{ij,m} \geq 0$ とする. なお, 本研究においては, PoM およびプロジェクトマネージャー PM_i は人的資源に含めず, 作業者 R_m のみを人的資源配分および再配分の対象とする. つまり, N プロジェクトに対して, 作業者である人的資源が M 人配分される. また, ポートフォリオマネージャー PoM および各プロジェクトマネージャー PM_i はタスクの実行は行わず, 各作業者 R_m のみが各タスク a_{ij} を実行可能とする. また, 各作業者 R_m の実行可能タスク集合 ET_m は, 式(3.2)のように表される. 各作業者 R_m のタスク a_{ij} の生産性 $r_{ij,m}$ が 0 より大きい, つまり, 生産性の大小を問わず, 実行可能なタスク集合を意味する.

$$ET_m = \{a_{ij} | 0 < r_{ij,m}\} \quad (3.2)$$

時刻 t で人的資源 R_m が割り当てられているタスクを $AA_m(t) \subseteq \{a_{11}, \dots, a_{1J_1}, \dots, a_{i1}, \dots, a_{iJ_i}, \dots, a_{NJ_N}\}$, プロジェクトを $AP_m(t) \subseteq \{P_1, \dots, P_N\}$ で表す. 時刻 t , $t \in \{1, \dots, T\}$ は連続するタイムスロットを表し, T を最後のタイムスロットとする. 本稿では, タスク a_{ij} は 1 人の人的資源によって実行され, 中断不可能であり, かつ, 1 人の人的資源は複数タスクの実行できないことを仮定する. そのため, $\forall t | AA_m(t) | \in \{0, 1\}$ となる. また, 各作業者 R_m は, 同時に複数プロジェクトに配分されないと仮定するため, $\forall t | AP_m(t) | \in \{0, 1\}$ となる.

タスク a_{ij} の開始時刻および作業時間をそれぞれ s_{ij} , d_{ij} で表す. 作業時間 d_{ij} は, タスク a_{ij} に対する人的資源 R_m の生産性 $r_{ij,m}$ を用いて, $d_{ij} = wl_{ij} / r_{ij,m}$ ($AA_m(t) = \{a_{ij}\}$) と表される. また, タスク間の依存性として Finish to Start の依存関係のみを対象とする. タスク a_{ij} の優先順位制約 $PT_{ij} \subseteq \{a_{i1}, \dots, a_{iJ_i}\}$ は, a_{ij} の着手時点で完了している必要のあるタスク集合を表す. すな

わち, $a_{ie} \in PT_{ij}$ となる全ての i, j, e に対して, $s_{ie} + d_{ie} \leq s_{ij}$ を満たす. なお, プロジェクト間を横断した優先順位制約は存在しないものとする.

また, 各プロジェクト P_i の全タスク集合を WT_i , 時刻 t で完了している各プロジェクト P_i のタスク集合 $CT_i(t)$, 時刻 t で実行中の各プロジェクト P_i のタスク集合 $AT_i(t)$, 時刻 t で未着手の各プロジェクト P_i のタスク集合 $UT_i(t)$, 時刻 t で実行可能な各プロジェクト P_i のタスク集合 $DT_i(t)$ は, 以下のように定義される.

$$WT_i = \{a_{ij}, j \in \{1, \dots, J_i\}\} \quad (3.3)$$

$$CT_i(t) = \{a_{ij}, j \in \{1, \dots, J_i\} | s_{ij} + d_{ij} \leq t\} \quad (3.4)$$

$$AT_i(t) = \{a_{ij}, j \in \{1, \dots, J_i\} | s_{ij} \leq t < s_{ij} + d_{ij}\} \quad (3.5)$$

$$UT_i(t) = \{a_{ij}, j \in \{1, \dots, J_i\} \setminus (CT_i(t) \cup AT_i(t))\} \quad (3.6)$$

$$DT_i(t) = \{a_{ij} \in UT_i(t) | PT_{ij} \subseteq CT_i(t)\} \quad (3.7)$$

時刻 t において, 各プロジェクト P_i に配分された人的資源 R_m の集合を $RA_i(t) \subseteq \{R_1, \dots, R_M\}$, プロジェクトに割り当てられず, 人的資源プールに属する人的資源 R_m の集合は $RP(t) \subseteq \{R_1, \dots, R_M\}$ と定義する. この時, 任意の時刻 t において, 配分された人的資源について式(3.8)の制約を満たす. 時刻 t において実行中のタスク数は, プロジェクトに割り当てられた人的資源数を超えない. また, 人的資源プールに属する人的資源数とプロジェクトに割り当てられた人的資源の和は, 本プロジェクトポートフォリオに属する作業者の総数に等しい.

$$\sum_{i=1}^N |AT_i(t)| \leq \sum_{m=1}^M |AP_m(t)| = \sum_{i=1}^N |RA_i(t)| \leq |RP(t)| + \sum_{i=1}^N |RA_i(t)| = M \quad (3.8)$$

上記制約条件を満たしつつ, 全てのプロジェクトのタスク a_{ij} の完了までの実行手順をシミュレーションによって予測する. すなわち, 入力情報(タスク情報 \mathbf{T} , 組織情報 \mathbf{O})を基に, 各プロジェクト P_i のスケジュールを $S_i = (s_{i1}, \dots, s_{ij_i})$ とする時, N 個のベクトルの集合として得られるプロジェクトポートフォリオのスケジュール $\mathbf{S} = \{S_1, \dots, S_i, \dots, S_N\}$ を得る. なお, 各プロジェクト

P_i の完了時刻 $ct_i(S_i)$ は, 式(3.9)で表せる. 各プロジェクト P_i の最後に完了するタスク a_{ij} の完了時刻を開始時刻 s_{ij} と作業時間 d_{ij} を用いて表す.

$$ct_i(S_i) = \max_j \{s_{ij} + d_{ij}\} \quad (3.9)$$

以上によって得られるプロジェクト完了時刻 $ct_i(S_i)$ と予定納期 dd_i を比較し, プロジェクトポートフォリオのパフォーマンス評価を行う.

次項からは, 本問題設定における, 不確実性の考え方, 人的資源再配置のダイナミクス, 組織内の情報伝達特性, 離散イベントシミュレーション詳細手順, プロジェクトポートフォリオのパフォーマンス評価方法について述べる.

3.3.3 作業工数の見積不確実性

情報システム開発プロジェクトにおける作業工数見積は, 要求が確定する前に正式な見積を求められる場合や, 追加の要求がある場合でも見積は変更されない場合がある[51]ため, 製造業やプラント開発などのハードウェアものづくりプロジェクトに比べて, より大きな不確実性を含む. そこで, プロジェクト計画時の見積誤差に起因した作業量の不確実性のモデル化を考える. プロジェクト計画時には, タスクの作業量の正確な把握は不可能であり, 誤差を含んだ形でしか知り得ない, また, 作業を進めるにつれて, または作業が完了した時点ではじめて, 真の作業量を知ることとなる. よって, 本研究では, プロジェクトマネージャー PM_i は, プロジェクト計画時に各タスク a_{ij} の作業量を, ある誤差を含む形でしか予測できないと仮定する. 式(3.10)のように, 真の作業量 wl_{ij} を平均とする正規分布に従う wl'_{ij} として予測できるとし, これを見積作業量とする. ただし, wl'_{ij} が1未満となる場合, 1 に補正する. 見積不確実性を表す標準偏差 σ_i は各プロジェクト P_i の特性に応じて設定する.

$$wl'_{ij} \sim N(wl_{ij}, \sigma_i^2) \quad (3.10)$$

なお, 各タスク a_{ij} 着手時に, 真の作業量 wl_{ij} を知ることとする. すなわち, プロジェクト計画時には, 見積作業量 wl'_{ij} に基づき, 人的資源配分計画を立てる. その後, プロジェクト進行に伴い, 各タスク a_{ij} 着手時に, 真の作業量 wl_{ij} を認識する. この時, プロジェクトマネージャー PM_i は, 初期計画との作業工数の差異およびプロジェクト P_i に割り当てられた人的資源の多寡を認識する.

3.3.4 ブローカー機能

情報システム開発・改修・導入プロジェクトの工数見積の不確実性(3.3.3)に起因し、プロジェクト開始後に複数のプロジェクト間でエンジニアの再配置を行う。再配置には 各プロジェクトの進捗や個別の状況に加え、エンジニアとのコミュニケーションを通じて先々の作業負荷を把握する必要があるため、配置変更までに週単位から月単位の時間を要す場合がある。これにより、ポートフォリオ全体の実行パフォーマンスが低下することがある。例えば、情報システム改修プロジェクトにおいて、サブシステム間の依存関係の見落としに起因し、プロジェクト開始後に追加で改修作業が大量に発生する場合がある。これを検知したプロジェクトマネージャーは、人的資源再配置を差配する人員に対して、人的資源の供給依頼を行う。しかしながら、供給依頼から、実際に追加エンジニアが配置されるまでの間にレイテンシーが存在するため、一時的に人員不足の状態となる。このように、工数見積等の不確実性に伴い、適切な人的資源再配置が必要となるが、供給依頼から、実際に追加エンジニアが配置されるまでのレイテンシーが存在することによって、プロジェクト間の人員多寡が存在し、ポートフォリオとしての生産性が低下している現状がある。

本研究では、このように人的資源再配置の効率性と効果性は、ポートフォリオ実行パフォーマンスに大きな影響を与えるという前提の下、再配置を差配する役割をブローカー機能としてモデル化する(以降、ブローカー機能と称す)。また、ブローカー機能を保有する人員をブローカーと称す。

組織におけるブローカー機能が扱う人的資源需給の情報伝達速度が異なるため、プロジェクトポートフォリオ全体の人的再配置のダイナミクスが変化する。例えば、図 3-3 のようにブローカー機能をプロジェクトマネージャーの上位のポートフォリオマネージャーに配置する場合、全てのプロジェクトからの情報伝達遅延が比較的均等となるため、全てのプロジェクトからの情報伝達が同様にある場合は、効率が良いと想定される。しかしながら、特定のプロジェクトからの人的資源供給依頼が多い場合は、必ずしもポートフォリオマネージャーによる中央集権的な人的資源再配置が良いとは限らず、図 3-4 のように、特定のプロジェクトのプロジェクトマネージャーがブローカー機能を有する方が、供給依頼情報の伝達が早いため、ポートフォリオ全体として効率が良い場合も想定される。

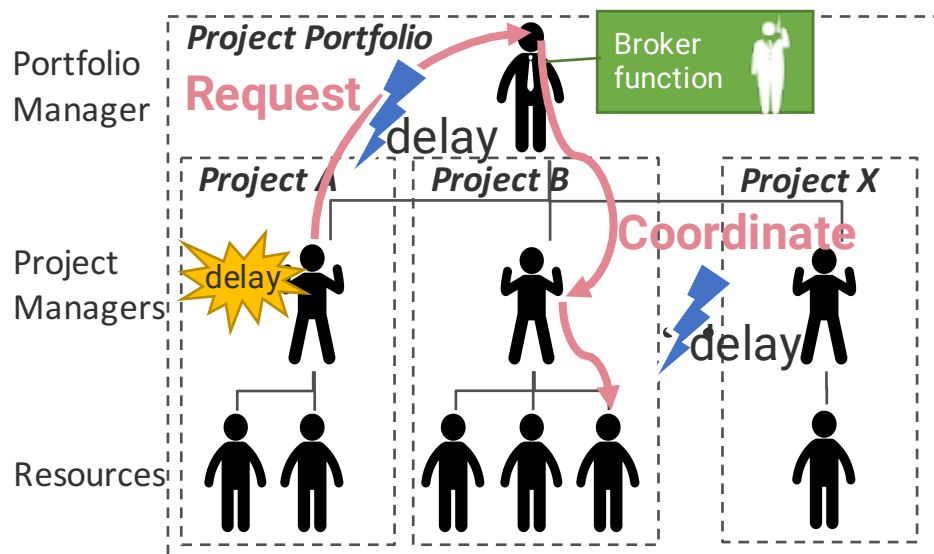


図 3-3 ポートフォリオマネージャーがブローカー機能を保有する場合の情報の流れ

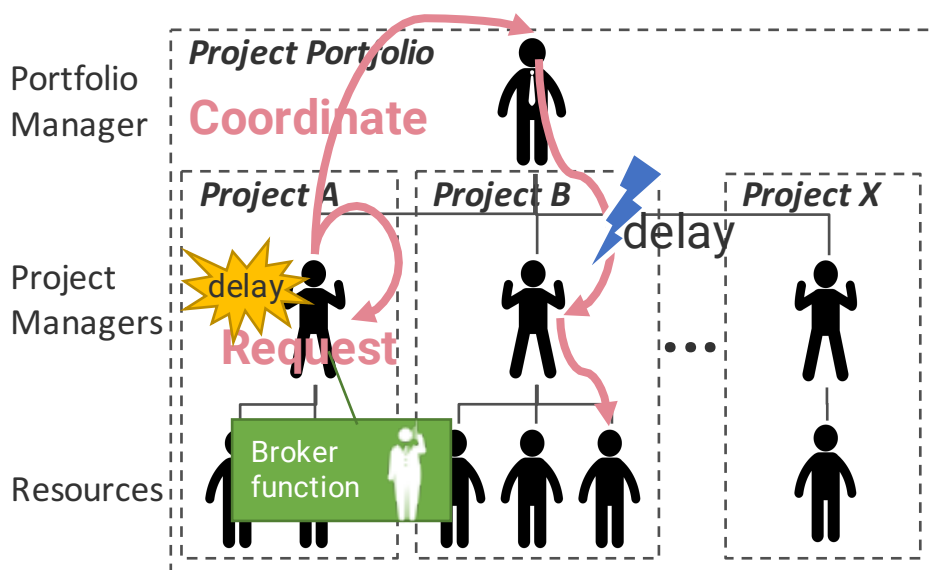


図 3-4 プロジェクトマネージャーA がブローカー機能を保有する場合の情報の流れ

3.3.5 人的資源再配置のダイナミクス

3.3.5.1 人的資源再配置の契機と人的資源調整要否判断モデル

プロジェクトマネージャー PM_i は, 3.3.3 の不確実性に起因した当初人的資源計画との差異

の認識を契機として、人的資源の供給依頼あるいは人的資源の放出の判断を行う。プロジェクトマネージャー PM_i が認識するプロジェクト P_i の残作業の総和 $WL'_i(t)$ は、式(3.11)のとおり、実行中のタスク集合 $AT_i(t)$ に含まれるタスク a_{ij} の実残作業量 wl_{ij}^r と未着手のタスク集合 $UT_i(t)$ の見積作業量 wl'_{ij} の総和の和で表される。

$$WL'_i(t) = \sum_{a_{ij} \in AT_i(t)} wl_{ij}^r + \sum_{a_{ij} \in UT_i(t)} wl'_{ij} \quad (3.11)$$

この時、 wl_{ij}^r は、タスク a_{ij} の残作業量を表す。

また、プロジェクトマネージャー PM_i が、時刻 t において予測する見積プロジェクト完了時刻 $ct'_i(t)$ は式(3.12)で表されることとする。つまり、残タスクの作業量の総和を現時点でプロジェクト P_i に配属された人的資源の人数で除することで、大まかなプロジェクト完了時刻を予測するものとする。

$$ct'_i(t) = t + WL'_i(t)/|RA_i(t)| \quad (3.12)$$

プロジェクト完了時刻 $ct'_i(t)$ と予定納期 dd_i を基に、プロジェクトマネージャー PM_i は、以下の通り、人的資源調整の判断するものとする。

if $ct'_i(t) - dd_i > 0$: PM_i は、ブローカーに対して人的資源の供給依頼を行う。 (3.3.5.3)

if $ct'_i(t) - dd_i = 0$: PM_i は、何も実施しない。

if $ct'_i(t) - dd_i < 0$: PM_i は、 P_i に配分されている人的資源の放出を行う。 (3.3.5.4)

3.3.5.2 ブローカー機能の配置モデル

人的資源の供給依頼を行う際に、ブローカーの組織内位置に応じて、情報伝達の容易性が変化する。本研究では、ブローカー機能の配置モデルを定義し、プロジェクトマネージャー PM_i とブローカーとの情報伝達ダイナミクスを表現する。配置モデルでは、ブローカー機能（人的資源再配置を差配する役割）を保有する人員 H_l を設定する。ブローカー機能の配置方法 BF を式(3.14)のように定義する。ここで、 bf_l は式(3.14)の意味である。また、ブローカー機能の配置位置は、ポートフォリオマネージャー PoM か、各プロジェクトマネージャー PM_i か、各作業員 R_m とする。なお、本研究ではブローカー機能を保有する人員は1名とするため、式

(3.15)の制約を満たす.

$$BF = \{bf_l | 1 \leq l \leq 1 + N + M = L\} \quad (3.13)$$

$$bf_l = \begin{cases} 1 & \text{if } H_l \text{ implements broker function.} \\ 0 & \text{other than that above.} \end{cases} \quad (3.14)$$

$$\sum_{l=1}^L bf_l = 1 \quad (3.15)$$

以上の通り, 設定されたブローカー機能の配置方法 BF に基づき, 人的資源の供給に関する情報伝達経路が変化する.

3.3.5.3 人的資源供給モデル

人的資源の供給依頼のシーケンス図を図 3-5 に示す. まず, 3.3.5.1 の人的資源調整要否モデルに基づき, 時刻 t に人的資源の追加が必要と判断したプロジェクトマネージャー PM_i は, 供給依頼情報(プロジェクト P_i の未着手のタスク集合 $UT_i(t)$ と必要な人的資源の量)を, ブローカーに伝達する.

次に, ブローカーは, 供給依頼情報を基に, 時刻 t でプロジェクト P_i へ適切な作業員 R_m と割り当てる予定の期間 $AWS_{i,m}(t) \subseteq \{1, \dots, T\}$ を決定する. 本稿では, 未着手のタスク集合 $UT_i(t)$ の各タスク a_{ij} の生産性 $r_{ij,m}$ の総和が大きい作業員 R_m から優先的に割当を行うこととする. 割当予定期間 $AWS_{i,m}(t)$ を作業員 R_m に伝達する.

最後に, ブローカーからの供給依頼を受領した作業員 R_m は, 受領時刻 t における自身のプロジェクト割当計画の空きに対して, プロジェクト P_i への割当期間であることを記録する. なお, 上記の 2 種類の供給依頼情報の伝達には, 組織構造におけるコミュニケーション距離に応じた遅延時間が発生する. コミュニケーション距離と遅延時間については, 3.3.6 項にて説明する.

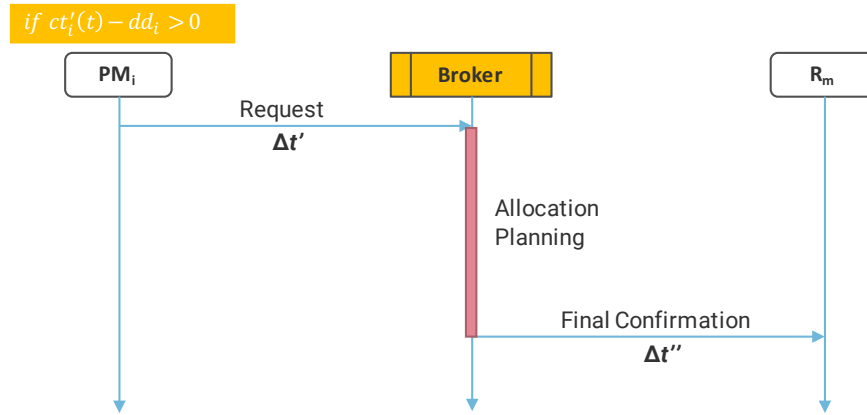


図 3-5 人的資源の供給依頼に関するシーケンス図

3.3.5.4 人的資源放出モデル

人的資源の放出のシーケンス図を図 3-6 に示す. まず, 人的資源の放出が必要と判断したプロジェクトマネージャー PM_i は, 放出すべき人的資源の優先度を算出する. 次に, 優先度の高い人的資源 R_m から順に, 必要な放出量を満たすまで, プロジェクト P_i への割当期間を解放し, 解放する予定の期間 $RBS_{i,m}(t) \subseteq \{1, \dots, T\}$ を決定する. その後, 各人的資源 R_m へ解放予定期間 $RBS_{i,m}(t)$ を伝達する. 本稿では, 未着手のタスク集合 $UT_i(t)$ と実行可能タスク集合 ET_m の合致率が小さい作業員 R_m から優先的に放出を行うこととする.

その後, プロジェクトマネージャー PM_i からの解放通知を受領した作業員 R_m は, 受領時刻 t における自身のプロジェクト割当計画におけるプロジェクト P_i への割当期間のうち, 解放予定期間 $RBS_{i,m}(t)$ と合致する期間を空き状態に変更する. なお, 割当期間の解放情報の伝達には, 人的資源供給依頼の場合と同様に, 組織構造におけるコミュニケーション距離に応じた遅延時間が発生する.

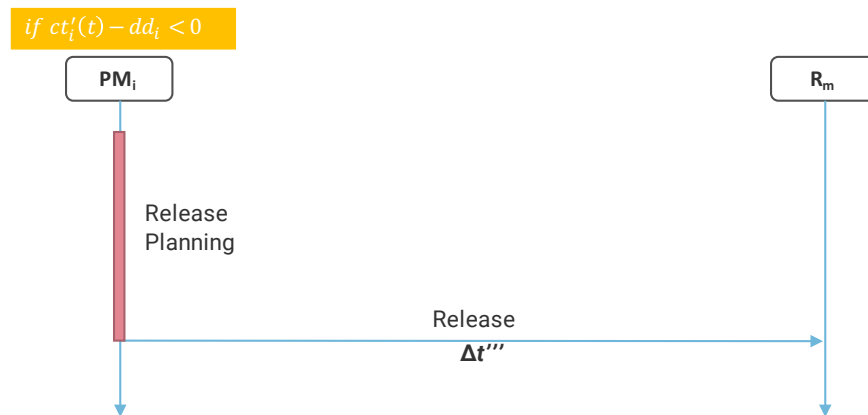


図 3-6 人的資源の放出に関するシーケンス図

3.3.6 組織構造による情報伝達特性の差異

前項で述べたように、人的資源再配置において、ブローカーは人的資源の需給に関する情報をやり取りし、適切な人的資源配置を考案する。そのため、情報伝達特性はプロジェクトポートフォリオのパフォーマンスを左右する重要な要素の 1 つであり、人的資源再配置のわずかな遅れやプロジェクトメンバーの解釈の相違が、ポートフォリオ全体の大きな納期遅延につながる可能性もある。情報伝達の評価にあたっては、伝達された情報の精度、伝達速度、また伝達可能な情報量など、様々な観点が存在する。

本研究では、そのような様々な情報伝達の観点を総合して、情報伝達の遅延という形で表現することを考える。なぜなら、精度が低いコミュニケーションや情報量の少ないコミュニケーションチャンネルであれば、情報授受が複数回発生するため、つまるところ、情報伝達の遅延につながると考えたためである。

2.4 で紹介した通り、プロジェクトを実施する際の組織構造として、大きく分けて、プロジェクト型組織、機能型組織、その両方の特性を併せ持つマトリクス型組織の 3 種類がある。本研究では、プロジェクト型組織における情報伝達特性、および機能型組織の情報伝達特性をそれぞれモデル化する。また、情報伝達は 2 つの組織軸の影響を受けると仮定し、両者の情報伝達モデルを組み合わせることで、両組織の特性を併せ持つマトリクス型組織における情報伝達特性を表現する。

3.3.6.1 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション

まずは、プロジェクト型組織における情報伝達特性を考える。プロジェクト型組織においては、プロジェクトの開始と終了やプロジェクト間の人的資源の融通に応じて、動的に作業者の属するプロジェクトが変化する。つまり、時間変化と共に、情報伝達特性も変化する。

本研究では、プロジェクト型組織としての情報伝達特性としては、時刻 t におけるプロジェクトポートフォリオの人員配置に応じて、コミュニケーションのしやすさが変化するものとする。具体的には、時刻 t におけるプロジェクトポートフォリオの人員の情報伝達可否を隣接行列で表現する。表 3-1 に $N=2$ の場合の隣接行列を示す。例えば、プロジェクトマネージャー PM_1 は、ポートフォリオマネージャー PoM 、作業者 R_{m1} とは直接情報伝達可能であるが、他のプロジェクトマネージャー PM_2 や、他のプロジェクトに属する作業者とは直接情報伝達不可能であることを意味する。

表 3-1 プロジェクト型組織の隣接行列 ($N=2$)

	PoM	PM_1	PM_2	R_{m1}	R_{m2}
PoM	0	1	1	0	0
PM_1	1	0	0	1	0
PM_2	1	0	0	0	1
$R_{m1} \in RA_1(t)$	0	1	0	0	0
$R_{m2} \in RA_2(t)$	0	0	1	0	0

次に、隣接行列の累乗から、ポートフォリオマネージャー、プロジェクトマネージャーおよび作業者を含む全ての人員 H_t 間の最短距離を求め、距離行列を算出する。行列の成分が初めて 0 でなくなった時の累乗の指数が人員 H_t 間の最短距離を表す。ただし、時刻 t において、どのプロジェクト P_i にも割り当てられておらず、人的資源プールにいた作業者 R_{m_p} とのコミュニケーション距離は、一律で特定の値を与えることとする。このように作成された距離行列を、プロジェクト型組織における人員間の情報伝達の困難性を表す、コミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ と定義する。行列 $CD^p(t)$ の要素は、人員間のプロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離 $cd_{H1, H2}^p(t)$ を表す。本距離行列は、プロジェクト型組織の役割間の関係性の隣接行列を基に作成した距離であるため、絶対値ではなく比に意味がある。実ケースの適用

時には、実態に即して定数倍して遅延時間を算出する。表 3-2 に、 $N=2$ 、時刻 t におけるコミュニケーション距離行列を示す。例えば、プロジェクトマネージャー PM_1 とプロジェクト P_2 に属す作業員 R_{m2} のコミュニケーション距離 $cd_{PM_1, R_{m2}}^p(t)$ は 3 である。

表 3-2 プロジェクト型組織の隣接行列 ($N=2$)

	PoM	PM_1	PM_2	R_{m1}	R_{m2}	R_{mp}
PoM	0	1	1	2	2	2
PM_1	1	0	2	1	3	2
PM_2	1	2	0	3	1	2
$R_{m1} \in RA_1(t)$	2	1	3	0	4	2
$R_{m2} \in RA_2(t)$	2	3	1	4	0	2
$R_{mp} \in RP(t)$	2	2	2	2	2	0

3.3.6.2 機能型組織におけるコミュニケーション

次に、機能軸における情報伝達特性を考える。機能型組織においては、機能毎に部門が分かれ、基本的に機能部門間のやり取りはない縦割りの構造であり、特定の窓口の担当者のみがコミュニケーションチャンネルを保有している。また、機能型組織はプロジェクトポートフォリオとは独立に存在し、プロジェクトの開始や終了によって影響を受けない組織構造である。

本研究では、機能型組織としての情報伝達特性は、時刻 t には非依存であり、予め定められた機能部門内外のコミュニケーションチャンネルにのみ従う、静的な特性とする。つまり、予め定めた情報伝達特性は、プロジェクトポートフォリオの進行によって変化せず一定とする。また、機能部門内のコミュニケーションは円滑に実施できるが、機能部門間のコミュニケーションには時間を要するものとする。

表 3-3 に、機能型組織におけるコミュニケーション距離基準を示す。人員間の情報伝達を行う場合に、伝達先の人員がどのような機能部門に所属している、どのような職位の人員かによって、距離が異なる。原則的にこの基準に基づいてコミュニケーション距離を設定するが、異なる機能部門であっても、自部門に常駐している人員はコミュニケーション距離が小さくなり、異なる機能部門がさらに別の組織に作業委託を行なっている場合は、その作業委託者と

はコミュニケーション距離が大きくなる。

機能型組織の静的な情報伝達特性に合わせて、直接コミュニケーションをとりうる人員間のコミュニケーション距離を重み付無向グラフ(以降、コミュニケーションネットワーク)で表現する。図 3-7 にコミュニケーションネットワークの例を示す。本研究においては、グラフ理論におけるエッジ上の重みは、ノードで表現される人員間のコミュニケーション距離のことを表すとし、以降、エッジの距離あるいは人員間の距離と称す。

次に、コミュニケーションネットワークに基づいて、各人員間の最短距離を Dijkstra 法[52]によって算出し、その値をコミュニケーション距離とする。プロジェクトポートフォリオに関する各人員 H_{l_1} 間の、機能型組織におけるコミュニケーション距離をまとめた行列を CD^f とする。コミュニケーション距離行列 CD^f の要素は、人員 H_{l_1}, H_{l_2} 間の機能型組織におけるコミュニケーション距離 $cd_{H_{l_1}, H_{l_2}}^f$ を表す。図 3-7 のコミュニケーションネットワークを基に算出された CD^f を表 3-4 に示す。例えば、機能部門 *div.1* の管理職 A と機能部門 *div.2* の一般職 E の機能型組織におけるコミュニケーション距離 $cd_{A, E}^f$ は 4 である。

表 3-3 機能型組織におけるコミュニケーション距離基準
(一般職を起点とする場合)

伝達先人員の部門	職位	距離
同じ機能部門	一般職	1
	管理職	2
異なる機能部門	一般職	2
	管理職	4

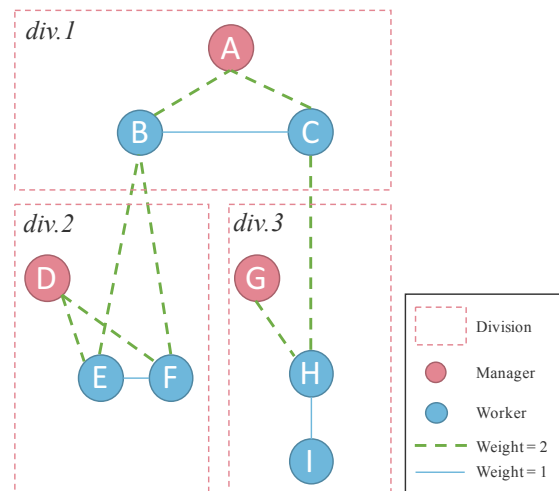


図 3-7 機能型組織におけるコミュニケーションネットワーク例

表 3-4 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列

Div.	Name	A	B	C	D	E	F	G	H	I
div.1	A	0	2	2	6	4	4	6	4	5
	B	2	0	1	4	2	2	5	3	4
	C	2	1	0	5	3	3	4	2	3
div.2	D	6	4	5	0	2	2	9	7	8
	E	4	2	3	2	0	1	7	5	6
	F	4	2	3	2	1	0	7	5	6
div.3	G	6	5	4	9	7	7	0	2	3
	H	4	3	2	7	5	5	2	0	1
	I	5	4	3	8	6	6	3	1	0

3.3.6.3 マトリクス型組織におけるコミュニケーション

機能型組織とプロジェクト型組織を組み合わせたマトリクス型組織においては、式(3.16)のように 2 つのコミュニケーション距離の小さい方のコミュニケーション距離にて、人的資源再配置に関する情報伝達を可能とする。

$$cd_{H_{l_1}, H_{l_2}}(t) = \min (cd_{H_{l_1}, H_{l_2}}^f, cd_{H_{l_1}, H_{l_2}}^p(t)) \quad (3.16)$$

3.3.7 離散イベントシミュレーション詳細手順

シミュレーション Sim は、式(3.17)のようにタスク情報 T と組織情報 O に基づいて、プロジェクトポートフォリオのスケジュール S を出力する。本項では、離散イベントシミュレーション Sim の詳細手順について説明する。

$$S = Sim(T, O) \quad (3.17)$$

シミュレーション Sim はプロジェクト初期配置構築手順 (Sim_I)、プロジェクト実行手順 (Sim_A)、人的資源供給手順 (Sim_B)、人的資源放出手順 (Sim_C) の4つの手順から構成される、各手順の関係性を図 3-8 に示す。プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーション全体で、初期配置構築手順 (Sim_I) を実行する。その後、プロジェクト実行手順 (Sim_A) を実行する。見積不確実性によって、人的資源調整が必要と判断した場合は、人的資源供給手順 (Sim_B)、人的資源放出手順 (Sim_C) を実行する。

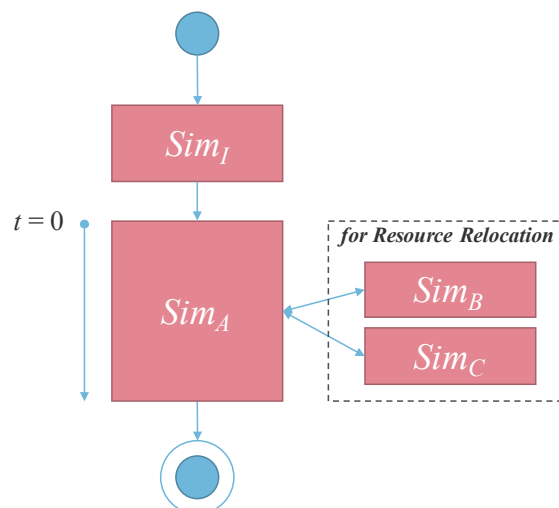


図 3-8 4 つの手順の関係性

3.3.7.1 Sim_I : プロジェクト初期配置構築手順

タスク間の依存関係は同一かつ各タスクの見積工数 wl'_{ij} を実工数と捉えたタスク集合を、プロジェクトポートフォリオに属する人的資源全員で実行する場合のシミュレーションを実施する。シミュレーションの実行結果を初期人的資源配置とする。以下に手順を示す。

1. 時刻 $t=0$ とする。
2. 時刻 t において実行可能なタスク集合 $DT_i(t)$ を抽出する。
3. タスク優先ルール TSLACK[19]に基づき、タスク $a_{ij} \in DT_i(t)$ の優先順位を決定する。
4. タスク優先順に従って、各タスク $a_{ij} \in DT_i(t)$ に、実行可能な人的資源 R_m , $m = \operatorname{argmax}_m(r_{ij,m})$ を割り当てる。(すなわち, $AA_m(t) \leftarrow \{a_{ij}\}$ とする。)
5. 実行可能なタスク集合および実行中のタスク集合を更新する。(すなわち, $DT_i(t) \leftarrow DT_i(t) \setminus \{a_{ij}\}$, $AT_i(t) \leftarrow AT_i(t) \cup \{a_{ij}\}$ とする。)
6. 生産性 $r_{ij,m}$ に従って、各タスク a_{ij} の残作業量を減らす。(すなわち, $wl'_{ij} \leftarrow wl'_{ij} - r_{ij,m}$)
7. 残り作業量が 0 以下のタスクが存在した場合 (if $wl'_{ij} \leq 0$), そのタスク a_{ij} を完了させる。(すなわち, $AA_m(t) \leftarrow AA_m(t) \setminus \{a_{ij}\}$, $AT_i(t) \leftarrow AT_i(t) \setminus \{a_{ij}\}$, $CT_i(t) \leftarrow CT_i(t) \cup \{a_{ij}\}$ とする。)
8. プロジェクト P_i に未完了のタスクが存在する場合 ($\exists i CT_i(t) \neq WT_i$) $t=t+1$ として 2. に戻る。

3.3.7.2 Sim_A : プロジェクト実行手順

初期配置完了後、以下の流れで人的資源再配置を考慮したシミュレーションを行う。本手順 Sim_A の 2.~11. は、プロジェクト P_i 毎に実行する。

1. 時刻 $t=0$ とする。
2. 配置計画に基づき、プロジェクト P_i に割り当てられている人的資源 $RA_i(t)$ を抽出する。
3. 時刻 t において実行可能なタスク集合 $DT_i(t)$ を抽出する。
4. タスク優先ルール TSLACK[19]に基づき、タスク $a_{ij} \in DT_i(t)$ の優先順位を決定する。
5. タスク優先順に従って、各タスク $a_{ij} \in DT_i(t)$ に、実行可能な人的資源 R_m , $m = \operatorname{argmax}_m(r_{ij,m})$ を割り当てる。(すなわち, $AA_m(t) \leftarrow \{a_{ij}\}$ とする。)
6. 割り当てられた時刻においてのみ、タスク a_{ij} の見積作業量を真の作業量で更新する。(すなわち, $wl'_{ij} \leftarrow wl_{ij}$ とする。)

-
7. 実行可能なタスク集合および実行中のタスク集合を更新する. (すなわち, $DT_i(t) \leftarrow DT_i(t) \setminus \{a_{ij}\}$, $AT_i(t) \leftarrow AT_i(t) \cup \{a_{ij}\}$ とする.)
 8. 生産性 $r_{ij,m}$ に従って, 各タスク a_{ij} の残り作業量を減らす. (すなわち, $wl'_{ij} \leftarrow wl'_{ij} - r_{ij,m}$)
 9. 残り作業量が 0 以下のタスクが存在した場合 (if $wl'_{ij} \leq 0$), そのタスク a_{ij} を完了させる. (すなわち, $AA_m(t) \leftarrow AA_m(t) \setminus \{a_{ij}\}$, $AT_i(t) \leftarrow AT_i(t) \setminus \{a_{ij}\}$, $CT_i(t) \leftarrow CT_i(t) \cup \{a_{ij}\}$ とする.)
 10. 予測遅延 $ct'_i(t) - dd_i$ を算出し, 人的資源供給依頼および人的資源放出可否を判断する.
 $ct'_i(t) - dd_i > 0$ の場合, 手順 B を実施する.
 $ct'_i(t) - dd_i < 0$ の場合, 手順 C を実施する.
 11. プロジェクト P_i の全てのタスクが完了した場合 ($CT_i(t) = WT_i$), 全ての人的資源を放出する. (すなわち, $AP_m(t') \leftarrow \emptyset \quad \forall t' \quad t < t' \leq T, \forall m \quad AP_m(t') = \{P_i\}$)
 12. いずれかのプロジェクト P_i に未完了のタスクが存在する場合 ($\exists i \quad CT_i(t) \neq WT_i$) $t = t + 1$ として 2. に戻る.

3.3.7.3 Sim_B : 人的資源供給依頼手順

時刻 $t = t_b$ に手順 Sim_A の 10. の供給依頼が行われるとする.

1. $t = t_b$, PM_i は要求情報 Req_i をブローカー H_i (以降, BR) に送付する. Req_i は, 人的資源要求量 $ReqWL_i(t)$ と未着手タスク集合 $UT_i(t)$ からなる.
 $t \leq dd_i$, $ReqWL_i(t) = WL'_i(t) - |RA_i(t)|(dd_i - t)$
 $t > dd_i$, $ReqWL_i(t) = WL'_i(t)$
 2. PM_i と BR とのコミュニケーション距離 $cd_{PM_i, BR}(t)$ を算出し, 遅延時間 Δt_{req} として設定する. (距離 1 の情報伝達に時間 1 要するとする.)
 3. $t_{br} = t_b + \Delta t_{req}$, 各人的資源 R_m の要求を満たす空き期間 $CWS_{i,m}(t_{br}) = \{t' | AP_m(t') = \emptyset \wedge UT_i(t_b) \cap ET_m \neq \emptyset\}$ を算出する.
 4. 残タスク集合の実行性を基に, 作業者の供給優先度を決める. (すなわち, $R_m \in \{R_m | CWS_{i,m}(t_{br}) \neq \emptyset\}$ を候補とし, $|UT_i(t_b) \cap ET_m|$ が大きい順にソートする.)
 5. P_i へ配分予定の時間集合を $AWS_{i,m}(t_{br})$ とする. 供給優先度の高い人的資源 R_m の時間 $t'_m \in CWS_{i,m}(t_{br})$ を, 最も近いタイムスロットから供給し ($AWS_{i,m}(t_{br}) \leftarrow AWS_{i,m}(t_{br}) \cup t'_m$), $ReqWL_i(t_b)$ を満たすまで, 空き時間 $CWS_{i,m}(t_{br})$ をプロジェクト P_i
-

へ配分する. BR は, 各人的資源 R_m に配分案 $AWS_{i,m}(t_{br})$ を通知する.

6. BR と各人的資源 R_m のコミュニケーション距離 $cd_{BR,R_m}(t)$ を算出し, 遅延時間 Δt_{sup} として設定する.
7. $t_{brs} = t_{br} + \Delta t_{sup}$, 各人的資源 R_m は $AWS_{i,m}(t_{br})$ と時刻 t_{brs} の空き期間集合 $WS_m(t_{brs}) = \{t' | AP_m(t') = \emptyset\}$ と合致する配分案を受託する. (すなわち, $AP_m(t') \leftarrow \{P_i\} \forall t' \{t' \in AWS_{i,m}(t_{br}) \cap WS_m(t_{brs})\}$ とする.)

3.3.7.4 Sim_C: 人的資源放出手順

時刻 $t = t_c$ に順 Sim_A の 10. の放出が行われるとする.

1. $t = t_c$, PM_i は人的資源放出量 $RelWL_i(t) = |RA_i(t)|(dd_i - t) - WL'_i(t)$ を算出する.
2. 作業員 R_m がプロジェクト P_i に配分された期間集合 $BS_{i,m}(t) = \{t' | AP_m(t') = \{P_i\} \wedge t' > t_c\}$ を算出する.
3. プロジェクト P_i の残タスク集合の実行性を基に, 作業員の放出優先度を算出する. (すなわち, $R_m \in \{R_m | BS_{i,m}(t) \neq \emptyset\}$ を候補とし, $|UT_i(t) \cap ET_m|$ の小さい順にソートする.)
4. 放出予定の時間集合を $RBS_{i,m}(t_c) = \emptyset$ とする. 放出優先度の高い人的資源 R_m の時間 $t'_m \in BS_{i,m}(t)$ を, 最も遅いタイムスロットから放出し (すなわち, $RBS_{i,m}(t_c) \leftarrow RBS_{i,m}(t_c) \cup t'_m$), $RelWL_i(t)$ を満たすまで繰り返す. PM_i は, 各人的資源 R_m に放出案 $RBS_{i,m}(t_c)$ を通知する.
5. PM_i と各人的資源 R_m のコミュニケーション距離 $cd_{PM_i,R_m}(t)$ を算出し, 遅延時間 Δt_{note} として設定する.
6. $t_{cn} = t_c + \Delta t_{note}$, 各人的資源 R_m は, 通知された放出期間 $RBS_{i,m}(t_c)$ について配属プロジェクト情報を更新する. ($AP_m(t') \leftarrow \emptyset \forall t' \{t' \in RBS_{i,m}(t_c) | AP_m(t') = \{P_i\}\}$)

3.3.8 開発したプロジェクトポートフォリオ実行シミュレータ

3.3.8.1 概要

プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを行うためのソフトウェア (以降, プロジェクトポートフォリオ実行シミュレータ) について説明する. 本研究におけるプロジェクトポートフォリ

オ実行シミュレータは、満行[53]による作業チーム設計支援システムのチーム作業シミュレーション機能 (pDES[54]) に対して、機能追加と修正を行うことで開発した。作業チーム設計支援システムおよびプロジェクトポートフォリオ実行シミュレータは、Java ベースの統合開発環境 (IDE) である Eclipse[55] のリッチクライアントの開発・実行プラットフォーム「Eclipse Rich Client Platform (Eclipse RCP) [56]」上に実装されている。プロジェクトポートフォリオの各モデルの入力機能には、Eclipse 上でオブジェクトをグラフィカルに表示・編集できるフレームワーク「Graphical Editing Framework (GEF) [57]」を利用して開発した。

3.3.8.2 シミュレーションモデルの入力

タスク情報 T として、各プロジェクト P_i の予定納期 dd_i 、見積不確実性 σ_i は、図 3-9 のように、プロジェクト P_i のオブジェクトを選択し、入力する。また、タスク a_{ij} の作業量 wl_{ij} は、図 3-10 のようにタスク a_{ij} のオブジェクトを選択し、右側のペインより入力する。優先順位制約 $PT_{ij} \subseteq \{a_{i1}, \dots, a_{ij}\}$ は、図 3-10 の中央のペインにて、タスク a_{ij} に向かう矢印によって表現する。例えば、タスク a_{12} に対しては、タスク a_{11} からのみ、矢印が引かれている場合、 $PT_{12} = \{a_{11}\}$ となる。

組織情報 O として、各作業員 R_m , $m \in \{1, \dots, M\}$, 各作業員のタスク a_{ij} の生産性 $r_{ij, m}$ は、図 3-11 のように作業員集合オブジェクトを選択し、右側のペインより入力する。また、ブローカー機能の配置情報 BF 、機能型組織におけるコミュニケーション距離行列 CD^f 、および、プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ については、シミュレーション実行時に、CSV ファイルを読み込むことで、入力する。

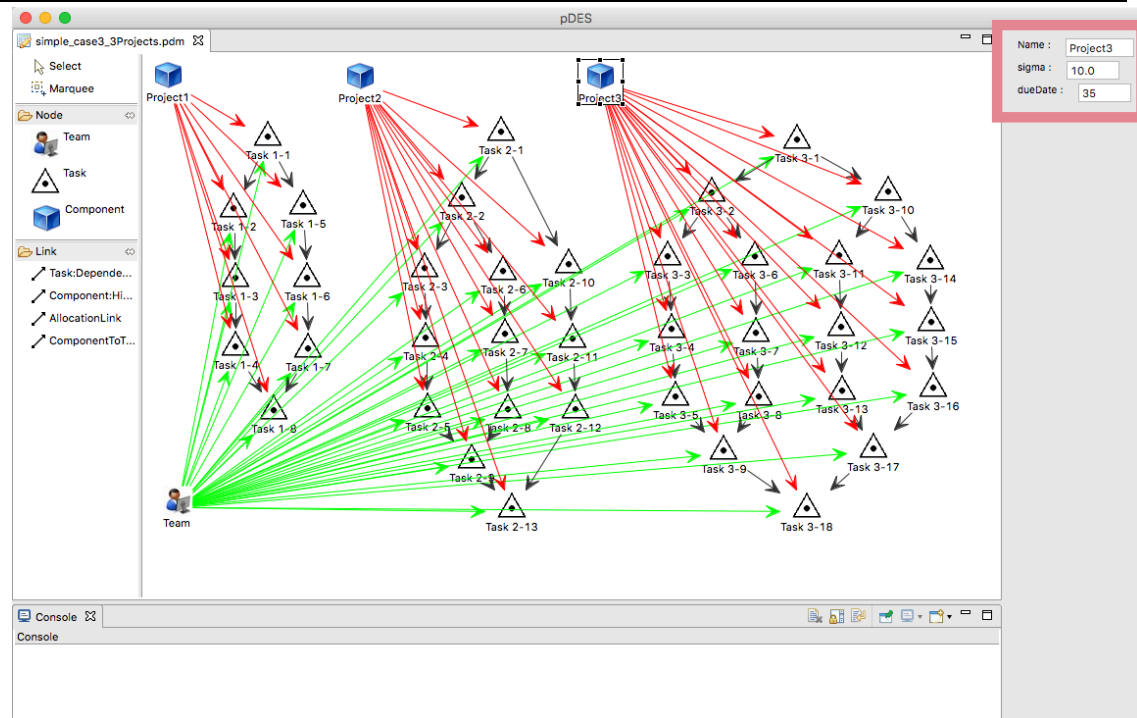


図 3-9 プロジェクト P_i の予定納期 dd_i と見積不確実性 σ_i の入力

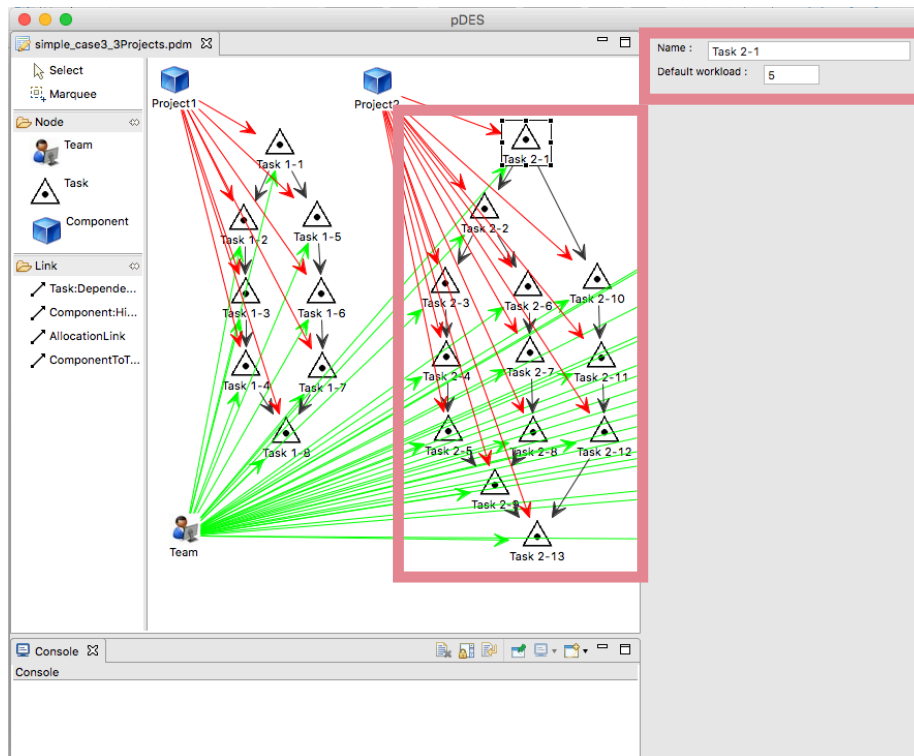


図 3-10 各タスク a_{ij} の真の工数 wl_{ij} とタスク a_{ij} の優先順位制約 PT_{ij} の入力

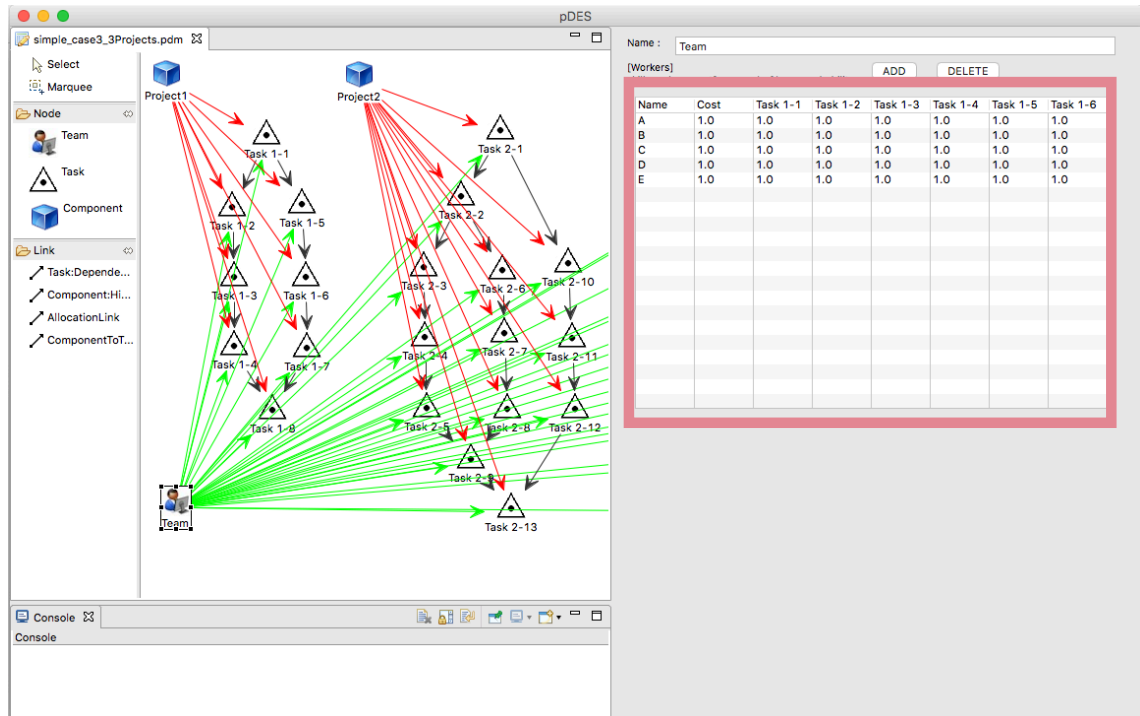


図 3-11 各作業者 R_m のタスク a_{ij} 実行時の生産性 $r_{ij,m}$ の入力

3.3.8.3 情報遅延の実装

3.3.5, 3.3.6, 3.3.7 で述べたように, 人的資源再配置に関する情報伝達には, 人員間のコミュニケーション距離に応じた情報遅延が伴う. 本プロジェクトポートフォリオ実行シミュレータにおける情報遅延の実装方法について説明する.

図 3-12 に本シミュレータで扱う情報(人的資源供給依頼, 人的資源放出通知)の親クラスである Request クラスを示す. また, 図 3-13 に, 各情報遅延の表現方法を示す. Request クラスは残時間(remainingTime)という変数を持ち, Request インスタンスが生成されるタイミングでコミュニケーション距離に応じた残時間が設定される. その後, 離散イベントシミュレーションの各時刻において, 以下の2つの処理が行われる.

1. updateRemeainingTime

残時間(remainingTime)のデクリメント(updateRemeainingTime)処理. 残時間を 1 減らす.

2. checkArrival

残時間(`remainingTime`)が 0 である場合にのみ, `True` を返す到着判定処理. 残時間が 0 であることは, その情報が伝達したことを意味する.

最終的に `checkArrival` による到着判定処理によって, `Request` インスタンスが到着したタイミングで, 次の処理が実行される.

例えば, $t=2$ において, プロジェクトマネージャー P_i からブローカーに対して, 人的資源供給依頼がなされる場合を考える. 両者の間のコミュニケーション距離が 2 とすると, 残時間(`remainingTime`)が 2 と設定される. 次に, $t=3$ において, `updateRemainingTime` によるデクリメント処理がなされ, 残時間(`remainingTime`)が 1 に変更される. その後, `checkArrival` による到着判定処理がなされるが, 残時間(`remainingTime`)は 1 であるため, `False` が返却され, 次の処理は実行されない. 最終的に, $t=4$ において `updateRemainingTime` によるデクリメント処理がなされ, 残時間(`remainingTime`)が 0 に変更される. その後, `checkArrival` による到着判定処理がなされ, 残時間(`remainingTime`)が 0 であるため, `True` が返却され, 次の処理であるブローカーの人的資源配置計画の処理がなされる. ブローカーから作業員への情報伝達に関する情報遅延, プロジェクトマネージャーから作業員への情報伝達に関する情報遅延についても, 同様にモデル化される.

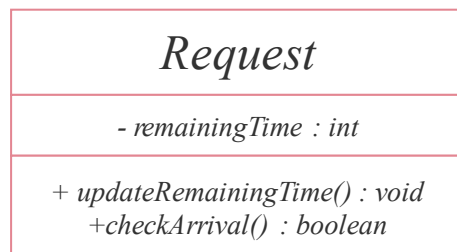


図 3-12 `Request` Class (情報遅延に関するメンバのみ表示)

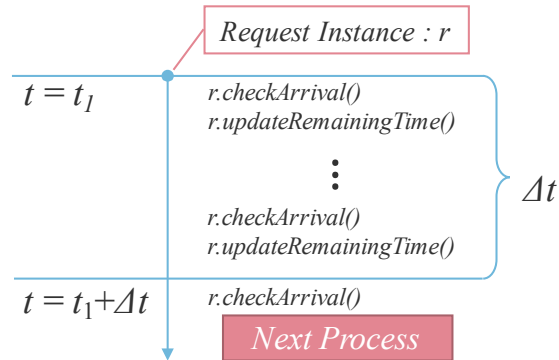


図 3-13 Request Instance による情報伝達遅延表現（送付から伝達まで）

3.3.8.4 シミュレーション結果の出力

プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションは、実行結果のサマリ(図 3-14)、初期配置計画(図 3-15)、実行シミュレーション後の配置結果(図 3-16)、タスク実行結果(図 3-17)、作業者のプロジェクト配置計画履歴(図 3-18)を含む CSV ファイルを出力する。各出力例は、5 プロジェクトのポートフォリオを、12 名の作業者によって実行するシミュレーション結果を表す。

実行結果のサマリ(図 3-14)には、総作業量、予定納期などの設定値に加え、シミュレーション結果としての見積総作業量、開始時刻、完了時刻、所要時間が出力される。

初期配置計画(図 3-15)は、3.3.7.1 の Sim_I 初期配置構築手順の実行結果を表す。縦軸が作業者、横軸が時刻を表し、セル内の数値はプロジェクトの id を表す。id は 0 始まりであり、5 プロジェクトからなるポートフォリオの場合は、id=0,1,2,3,4 となる。また、-1 の場合はどのプロジェクトにも割り当てられていないことを表す。

実行シミュレーション後の配置結果(図 3-16)は、 Sim_I に基づき、 Sim_A 、 Sim_B 、 Sim_C を実行した結果、割り当てられたプロジェクトの履歴を表す。図の見方は、初期配置計画と同じである。

タスク実行結果(図 3-17)は、シミュレーションの結果、得られたタスクの実行履歴を表す。縦軸が作業者、横軸が時刻を表し、セル内の数値はタスクの id を表す。ポートフォリオに含まれる全タスクが連番で id 化される。また、-1 の場合はどのタスクも実行していないことを表す。

作業者のプロジェクト配置計画履歴(図 3-18)は、時刻 t におけるプロジェクト配置計画の履歴である。縦軸、横軸共に時刻を表す。各行が t における、最大時刻 T までのプロジェクト配置計画を表す。縦軸の最大値はプロジェクトポートフォリオ内のタスクが完了する 1 時刻前の値であり、横軸の最大値はシミュレーションの最大時刻 $T=200$ である。

	Portfolio	Project1(id=0)	Project2(id=1)	Project3(id=2)	Project4(id=3)	Project5(id=4)
Total Work Amount	399	11	42	81	119	146
Estimated Total Work Amount	473.7827361	11.94545228	42.48438444	69.28765135	134.7124937	215.3527543
Due Date	130	12	43	84	124	130
Start Time	0	0	0	0	0	0
Finish Time	119	15	47	76	90	119
Duration	120	16	48	77	91	120

図 3-14 プロジェクトポートフォリオ実行結果のサマリ

	time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
IntialAssigneProjectPlanArray																						
A		1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
B		0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C		-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
D		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	3	3	3
E		-1	-1	-1	-1	-1	1	3	3	3	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
F		-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2
G		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
H		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
I		2	2	2	2	2	2	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
J		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
K		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-1	-1	-1
L		-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

図 3-15 初期配置計画

	time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AssignedProjectHistoryArray																						
A		1	1	0	-1	-1	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B		0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C		-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
D		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
E		-1	-1	-1	-1	-1	1	3	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
F		-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2
G		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
H		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
I		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	-1	-1	-1	-1	-1
J		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
K		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
L		-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

図 3-16 実行シミュレーション後の配置結果

	time																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AssignedTaskHistoryArray																					
A	9	9	2	-1	-1	-1	-1	-1	4	4	5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
B	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	10	10	10	15	15	15	-1	-1	-1
C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	11	11	11	11	11	12
D	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
E	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
F	-1	-1	-1	6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	24	24	24
G	36	36	36	36	36	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
H	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
I	18	18	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	8	-1	-1	-1	-1	-1
J	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
K	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29
L	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	21	21	21	21	21	21

図 3-17 タスク実行結果

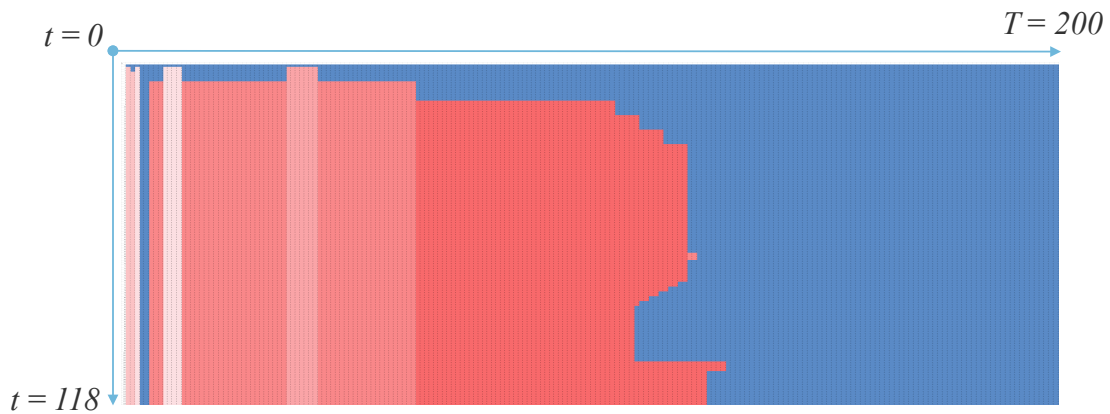


図 3-18 作業者のプロジェクト配置計画履歴

3.3.9 プロジェクトポートフォリオパフォーマンスの評価

プロジェクトポートフォリオの実行パフォーマンスを評価するため、シミュレーションによって出力されたスケジュール $S = \{S_1, \dots, S_i, \dots, S_N\}$ を基に、式(3.18)で表される平均プロジェクト遅延[31]、式(3.22)で表される総プロジェクト遅延、および式(3.23)で表される総計画外工数の指標を算出する。なお、平均プロジェクト遅延、総プロジェクト遅延、総計画外工数は小さければ小さいほど良いスケジュールといえる。

3.3.9.1 平均プロジェクト遅延

平均プロジェクト遅延(式(3.18))は、プロジェクトポートフォリオを構成する N つのプロジェク

ト P_i の予定納期 dd_i に対する, プロジェクト完了時刻 $ct_i(S_i)$ (式(3.9)参照) の遅延の平均値を表す. なお, 予定納期 dd_i より早く完了した場合は, 遅延 0 として評価する.

$$APD(S) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max \{0, ct_i(S_i) - dd_i\} \quad (3.18)$$

3.3.9.2 平均 APD

モンテカルロシミュレーションを実施した際に, 乱数のパターンに応じて見積作業量に変化するため, プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの出力結果は変化する. 乱数のパターン数を N_{rand} とすると, N_{rand} 回のシミュレーション実行結果として得られる平均プロジェクト遅延の平均値を平均 APD (式(3.19)) として評価する. なお, 式(3.19)中の $APD(S_k)$ は, k 番目の乱数列によって実行された場合のスケジュール S_k^{BF} の平均プロジェクト遅延を表す.

$$AAPD = \sum_{k=1}^{N_{rand}} APD(S_k) / N_{rand} \quad (3.19)$$

3.3.9.3 対全配置平均比率

ブローカー機能の各配置の評価のため, 全ブローカー機能の配置候補の平均値に対する特定のブローカー機能の配置の差異を評価する. まず, 特定のブローカー機能の配置方法 BF (式(3.13)) における平均 APD を $AAPD_{BF}$, ブローカー機能の配置候補数を $|BF|$ とし, 平均 APD の全配置平均を次式によって算出する.

$$AAPD^{BF-OM} = \sum_{BF} \frac{AAPD_{BF}}{|BF|} \quad (3.20)$$

次に, 式(3.21)によって, 各ブローカー機能の配置における平均 APD の, 全配置平均 $AAPD^{BF-OM}$ に対する比率 (対全配置平均比率) を算出する. 対全配置平均比率は, 小さければ小さいほど, 平均に比べて遅延が小さいことを表し, より良いブローカー機能の配置であることを表す. 対全配置平均比率 1 の時, そのブローカー機能の配置の結果, 発生する遅延は平均と同一であることを示す.

$$Ratio^{BF} = \frac{AAPD_{BF}}{AAPD_{BF-OM}} \quad (3.21)$$

3.3.9.4 総プロジェクト遅延

プロジェクトポートフォリオを構成する N つのプロジェクト P_i の予定納期 dd_i に対する, プロジェクト完了時刻 $ct_i(S_i)$ (式(3.9)参照) の遅延の総和を表す. なお, 予定納期 dd_i より早く完了した場合は, 遅延 0 として評価する.

$$TPD(S) = \sum_{i=1}^N \max \{0, ct_i(S_i) - dd_i\} \quad (3.22)$$

3.3.9.5 総計画外工数

プロジェクトポートフォリオを構成する N つのプロジェクト P_i の予定納期 dd_i 時点の残工数の総和を表す. なお, 時刻 $t = dd_i$ で未着手の各プロジェクト P_i のタスク集合 $UT_i(t)$ の作業工数の総和と, 時刻 $t = dd_i$ で実行中の各プロジェクト P_i のタスク集合 $AT_i(t)$ については, 未完了の工数の総和を加算する.

$$TPOWL(S, T) = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{a_{ij} \in UT_i(dd_i)} wl_{ij} + \sum_{a_{ij} \in AT_i(dd_i)} wl_{ij} - r_{ij,m}(dd_i - s_{ij} + 1) \right) \quad (3.23)$$

3.3.9.6 統計的有意性の評価

本シミュレーションにおいては, 3.3.3 のとおり, 見積不確実性を扱うため, 乱数を用いたモンテカルロ法によって, シミュレーションを複数回実行する. 異なる設定値を入力とし, シミュレーションを実行した結果得られた, 式(3.18), 式(3.22), 式(3.23)のそれぞれの評価指標が, 統計的に有意な差があるかを評価する. 上記の指標は, 予定納期 dd_i を基準として不連続と

なり、正規性が確認できないことが想定される。そのため、対応関係がとれているデータに対するノンパラメトリック検定の 1 つであるウィルコクソン符号付順位検定[58]を用いる。有意水準は 1%にて両側検定を行う。

3.4 組織へのフレキシビリティ実装設計手法

3.4.1 概要

プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いて、組織へのフレキシビリティ実装に向けた設計を行う。図 3-19 に組織に対するフレキシビリティ実装設計手法の概要を示す。不確実性が存在する実世界の情報システム開発プロジェクトポートフォリオおよびその実行組織を計算機上でモデリングすることで高速に大量の試行錯誤を行い、プロジェクトポートフォリオを実行する組織内の改善点・留意点を洗い出す。具体的には、まず、現状組織の表現として、フレキシビリティ実装対象組織において、平均的に実行しうるプロジェクトポートフォリオを基にタスク情報 T と組織情報 O を入力し、ベースラインモデル (As Is) を構築する。次に、あるべき組織 (To Be) として、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いて、人的資源の再配置が効果的に実施され、実行パフォーマンスが向上するような組織情報の変化量 ΔO を探索する。最後に、その組織情報の変化量 ΔO を実現するために、次のステップ (Next) として実現すべき手段を検討する。

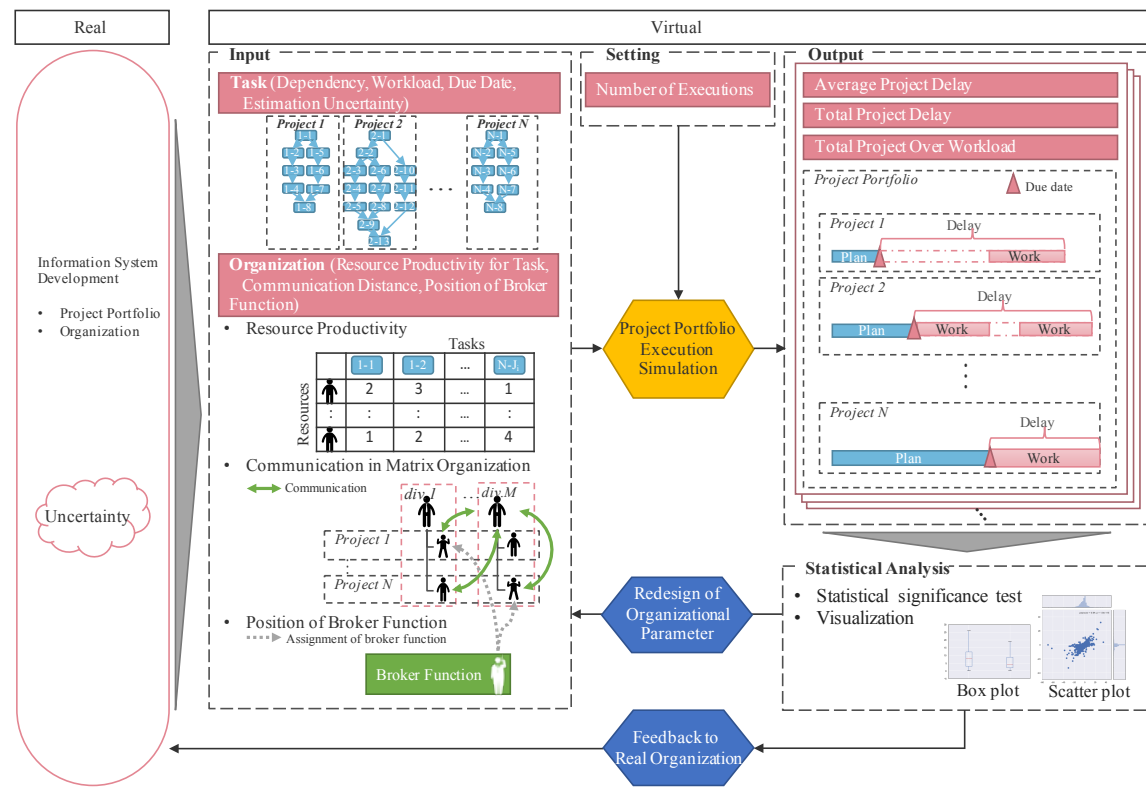


図 3-19 組織へのフレキシビリティ実装設計手法の概要（再掲）

3.4.2 ベースラインモデルの構築（As Is）

ベースラインモデルの構築にあたっては、可能な限り、事実を表す客観性の高いデータを基にシミュレーションモデルのパラメータを入力する。特に、プロジェクト実績データは、手動で入力・更新されたデータも多い。以下に、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションのベースラインモデル構築時のパラメータ入力方法の段階を示す。上位の入力方法が望ましい。

1. 自動記録データに基づく入力
2. 手動入力データに基づく入力
3. 仮説に基づく入力
4. 経験に基づく入力

3.4.3 組織設計 (To Be)

ベースラインモデルに対して、組織として制御(改善)可能な変数を選定し、その設計空間において、とりうる値を組織情報の変化量 $\Delta \mathbf{O}$ として表現する。組織情報の変化量 $\Delta \mathbf{O}$ を考慮したプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを以下の式(3.24)で表す。

$$\mathbf{S} = \text{Sim}(\mathbf{T}, \mathbf{O}, \Delta \mathbf{O}) \quad (3.24)$$

得られたプロジェクトポートフォリオの実行スケジュール $\mathbf{S} = \{S_1, \dots, S_i, \dots, S_N\}$ と、タスク情報 \mathbf{T} 、組織情報 \mathbf{O} を基に、プロジェクトポートフォリオのパフォーマンスを評価する指標 $\text{PerformanceIndex}(\mathbf{S}, \mathbf{T}, \mathbf{O})$ を選定する。3.3.9 に指標 $\text{PerformanceIndex}(\mathbf{S}, \mathbf{T}, \mathbf{O})$ の例を示す。必ずしも、実行スケジュール \mathbf{S} 、タスク情報 \mathbf{T} 、組織情報 \mathbf{O} 全てを基に算出する必要はなく、実装対象組織で最も合意形成のしやすい指標を用いることが望ましい。

以下の式(3.25)の通り、 $\text{PerformanceIndex}(\mathbf{S}, \mathbf{T}, \mathbf{O})$ が最小となるような組織情報の変化量 $\Delta \mathbf{O}$ を $\widehat{\Delta \mathbf{O}}$ として得ることで、不確実性に対して適切な人的資源再配置が実行可能な、フレキシビリティの高い、あるべき組織の方向性を獲得する。また、必要に応じてモンテカルロシミュレーション結果を基に、 $\widehat{\Delta \mathbf{O}}$ によるベースラインモデル(As Is)からの改善値について 3.3.9.6 の統計的有意性を評価し、有意な組織変更の方向性 $\widehat{\Delta \mathbf{O}}$ に絞る。

$$\widehat{\Delta \mathbf{O}} = \underset{\Delta \mathbf{O}}{\text{argmin}}(\text{PerformanceIndex}(\mathbf{S}, \mathbf{T}, \mathbf{O})) \quad (3.25)$$

3.4.4 実組織へのフレキシビリティの実装 (Next)

3.4.3 の結果得られた、あるべき組織変更の方向性 $\widehat{\Delta \mathbf{O}}$ を実務に即した形で実装することが、組織へのフレキシビリティ実装につながる。本項では、組織変更の方向性 $\widehat{\Delta \mathbf{O}}$ の実装方法の検討の仕方について述べる。

3.4.4.1 実装方法の洗い出し

組織変更の方向性 $\widehat{\Delta \mathbf{O}}$ の実装方法を網羅的に洗い出し、実現可能かつ効果的な実装手段をとることが望ましい。本研究では、Zwicky[59]が最初に発明し、Ritchey[60]らが意思決

定支援システムに拡張させた Morphological Matrix の応用を考える．表 3-5 に Morphological Matrix を用いた $\widehat{\Delta O}$ の実装方法の洗い出し例を示す．最左列に 3.4.3 の結果得られた $\widehat{\Delta O}$ に含まれる設計変数を記載する(*Design variables*)．次にそのモデルの世界の設計変数を実世界で体现する要素を洗い出し，次の列に記載する(*Decisions*)．例えば，コミュニケーション距離であれば，会議体の開催頻度や，会議体の方法などが挙げられる．最後にその要素に対して，現状と適合する値を中心に，代替案(改善値)を列挙し，要素の右側に代替案を記載する(*Alt.*)．この時，各要素について独立に代替案を考案することが望ましい．

表 3-5 Morphological Matrix を活用した $\widehat{\Delta O}$ 実装方法の洗い出し例

<i>Design Variables in $\widehat{\Delta O}$</i>	<i>Decisions</i>	<i>Alt.1</i>	<i>Alt.2</i>	<i>Alt.3</i>	<i>Alt.4</i>
$\widehat{\Delta C D^f}$ <i>Communication distance in functional organization</i>	<i>Meeting frequency</i>	Every day	Every week	Every month	-
	<i>Meeting type</i>	Face to face	Online video	Telephone	-
	<i>Geographical locations</i>	Same room	Same city	Same region	Same country
	<i>Communication Tool</i>	Cell phone	Chat application	E-mail	-
$\widehat{\Delta B F}$ <i>Position of broker function in project portfolio</i>	<i>Position of broker function</i>	Portfolio manager	Project Manager 1	Project Manager 2	Project Manager 3

3.4.4.2 各構成の評価と意思決定

Morphological Matrix の作成後、各決定要素から、1つずつの代替案を選択し、 $\widehat{\Delta O}$ を体现するための1つの構成を設計する。表 3-6 に、1つのフレキシビリティ実装構成の例を示す。次に、構成毎に定性的評価、定量的評価を含めた費用対効果を算出する。最後に、最も費用対効果が大きい構成案をフレキシビリティ実装設計として決定する。

表 3-6 Morphological Matrix を用いた実装構成設計例

<i>Design Variables in $\widehat{\Delta O}$</i>	<i>Decisions</i>	<i>Alt.1</i>	<i>Alt.2</i>	<i>Alt.3</i>	<i>Alt.4</i>
$\widehat{\Delta C D^f}$ <i>Communication distance in functional organization</i>	<i>Meeting frequency</i>	Every day	Every week	Every month	-
	<i>Meeting type</i>	Face to face	Online video	Telephone	-
	<i>Geographical locations</i>	Same room	Same city	Same region	Same country
	<i>Communication Tool</i>	Cell phone	Chat application	E-mail	-
$\widehat{\Delta B F}$ <i>Position of broker function in project portfolio</i>	<i>Position of broker function</i>	Portfolio manager	Project Manager 1	Project Manager 2	Project Manager 3

第4章 人的資源再配置モデルの基本動作検証

4.1 はじめに.....	56
4.2 問題設定.....	56
4.2.1 タスク情報	56
4.2.2 組織情報	57
4.3 実行結果.....	59
4.3.1 見積作業量	60
4.3.2 初期配置計画.....	60
4.3.3 人的資源再配置を加味したシミュレーション実行結果.....	62
4.3.4 人的資源再配置のための情報伝達	62
4.3.5 代表的な人的資源再配置の挙動	66
4.4 タスク情報の変化に応じた適切なブローカー機能配置.....	72
4.5 まとめ	77

4.1 はじめに

本章では、基本的なケースを用いてプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションの基本動作検証を行う。4.2 問題設定にて、対象とするプロジェクトポートフォリオの情報を述べ、4.3 実行結果にて、シミュレーション実行結果の一例を基に、人的資源再配置モデルの代表的な挙動について説明する。

また、4.4 にて、ブローカー機能配置方針の基本的な傾向の把握のため、同プロジェクトポートフォリオにおいて、タスク情報を変化させた場合の適切なブローカー配置について分析する。

4.2 問題設定

4.2.1 タスク情報

本章で扱うプロジェクトポートフォリオの基本情報を表 4-1 に示す。2 つのプロジェクトからなるプロジェクトポートフォリオを考える。タスクの作業量とタスク a_{ij} 間の依存関係を図 4-1 に示す。本ケースにおいては、タスク a_{ij} のタスク量 wl_{ij} を一律 10 人日とする。プロジェクト P_1 には 4 つのタスクが存在し、総タスク量は 40 人日である。また、プロジェクト P_2 には 3 つのタスクが存在し、総タスク量は 30 人日である。見積不確実性は、一律 5 人日とする。また、最早開始時刻 ed_i は一律 0 とし、予定納期 dd_i については、リソース競合は考えず、各プロジェクト P_i の全タスクを生産性 1 (人日/日) で実施するのに必要な工期を基に設定し、プロジェクト P_1 は 40 日、プロジェクト P_2 は 30 日とする。各プロジェクト P_i のクリティカルパスを考えると、プロジェクト P_1 、 P_2 共に 30 日であるため、プロジェクト P_1 のほうが納期に余裕があるといえる。

表 4-1 プロジェクトポートフォリオの基本情報

Name	Variable	Unit		Portfolio	
				P_1	P_2
タスク数	J_i	-	7	4	3
総タスク量	$\sum_j^{J_i} wl_{ij}$	(person-day)	70	40	30
見積不確実性	σ_i	(person-day)	-	5	5
開始時刻	ed_i	(day)	0	0	0
納期	dd_i	(day)	40	40	30

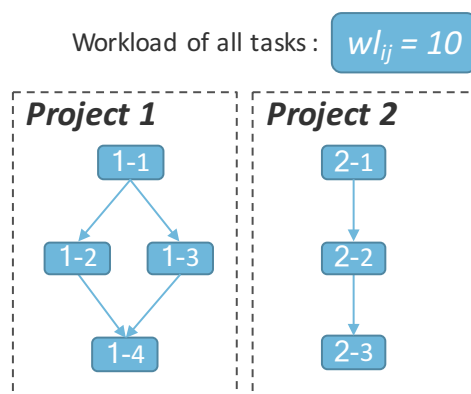


図 4-1 タスクの作業量とタスク a_{ij} 間の依存関係

4.2.2 組織情報

本プロジェクトポートフォリオの作業員 R_m の各タスク a_{ij} の生産性 $(r_{ij, m})$ を表 4-2, 機能型組織としてのコミュニケーションネットワークを図 4-2, コミュニケーション距離行列 CD^f を表 4-3, プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ を表 4-4 にそれぞれ示す. 本プロジェクトポートフォリオでは, 1 名のポートフォリオマネージャー O , 2 名のプロジェクトマネージャー P, Q , 3 名の作業員 A, B, C を想定し, 作業員 3 名について人的資源再配置が行われる. また, 各作業員 R_m の各タスク a_{ij} の生産性 $(r_{ij, m})$ は, 一律で 1 (人日/日) と設定した. つまり, 作業員の各タスクのスキルセットに全く偏りが無い状態を設定している.

機能型組織におけるコミュニケーション距離行列 CD^f については、表 3-3 の距離基準に則り作成した図 4-2 のコミュニケーションネットワークに基づいて算出する。簡単のため、部門間のコミュニケーション距離を 1 とした。(表 4-3)。また、プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ は、3.3.6.1 に基づいて作成する(表 4-4)。表中の R_{mi} は時刻 t において、プロジェクト P_i に属する作業者を表す。すなわち、 $R_{mi} \in RA_i(t)$ である。また、 R_{mp} は、時刻 t においてリソースプールに属する(どのプロジェクトにも割り当てられていない)作業者を表す。

表 4-2 プロジェクトポートフォリオの人員情報

<i>Name</i>	<i>Variable</i>	<i>Unit</i>	<i>value</i>
作業人数	M	-	3
タスクに対する生産性	$r_{ij,m}$	(person-day/day)	1
ブローカー機能の配置	BF	-	0

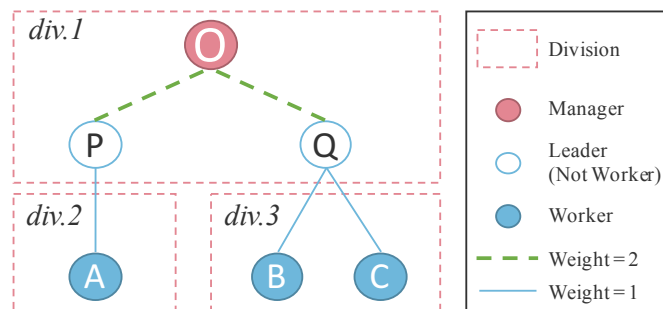


図 4-2 機能型組織におけるコミュニケーションネットワーク

表 4-3 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列

<i>Div.</i>	<i>Name</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>div.1</i>	<i>O</i>	0	2	2	3	3	3
	<i>P</i>	2	0	4	1	5	5
	<i>Q</i>	2	4	0	5	1	1
<i>div.2</i>	<i>A</i>	3	1	5	0	6	6
<i>div.3</i>	<i>B</i>	3	5	1	6	0	2
	<i>C</i>	3	5	1	6	2	0

表 4-4 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ ($N=2$)

<i>ID</i>		0	1	2	3	4	5
0	<i>PoM</i>	0	2	2	4	4	4
1	<i>PM₁</i>	2	0	4	2	6	4
2	<i>PM₂</i>	2	4	0	6	2	4
3	<i>R_{m1}</i>	4	2	6	0	8	4
4	<i>R_{m2}</i>	4	6	2	8	0	4
5	<i>R_{mp}</i>	4	4	4	4	4	0

4.3 実行結果

本手法では、複数の擬似乱数列を用いたモンテカルロシミュレーションによって、得られた結果を統計的に評価する。本項では、動作確認のため、特定の1つの擬似乱数列によって生成された見積作業量を対象にして、シミュレーションの実行結果を説明する。

4.3.1 見積作業量

見積不確実性を考慮し、式(3.10)に基づいて得られた見積作業量 wl'_{ij} を表 4-5 に示す。表 4-1 の通り、プロジェクト P_1 , P_2 の見積不確実性 σ_1 , σ_2 は共に、5 人日である。本見積作業量を基に、初期計画を立案する。

表 4-5 見積作業量

<i>Project</i>	<i>Task</i>	<i>Actual Workload</i> wl_{ij}	<i>Estimated Workload</i> wl'_{ij}
Project 1	Task 1-1	10	14.01
	Task 1-2	10	5.49
	Task 1-3	10	20.40
	Task 1-4	10	13.82
Project 2	Task 2-1	10	14.92
	Task 2-2	10	1.58
	Task 2-3	10	9.86

4.3.2 初期配置計画

見積作業量に基づいて、3.3.7.1 の手順に従い、人的資源の初期配置計画を立案する。得られた初期配置計画を図 4-3 に、初期配置計画立案時のタスク実行結果を図 4-4 にそれぞれ示す。

人的資源再配置モデルの基本動作検証

	time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
InitialAssigneProjectPlanArray																										
A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
C		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

	time	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
InitialAssigneProjectPlanArray																										
A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C		2	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

図 4-3 初期配置計画

縦軸は作業員 A , B , C を表す。横軸は時間を表す。セル内の数値は、各作業員 R_m が時刻 t において配置されているプロジェクトを示す。1 はプロジェクト P_1 , 2 はプロジェクト P_2 , -1 は配置されていない（リソースプールにいる）ことを示す。

	time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
InitialTaskHistoryArray																										
A		1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
B		2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	-1	-1	-1	-1
C		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2-2	2-2	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3

	time	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
InitialTaskHistoryArray																										
A		1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4
B		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C		2-3	2-3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

図 4-4 初期配置計画時のタスク実行結果

縦軸は作業員 A , B , C を表す。横軸は時間を表す。セル内の数値は、各作業員 R_m が時刻 t において実行しているタスクを示す。「1-1」はタスク a_{11} を、「2-3」はタスク a_{23} を、「-1」はタスクを実行していないことを示す。

初期配置計画(図 4-3)において、縦軸は作業員 A , B , C を表す。横軸は時間を表す。セル内の数値は、各作業員 R_m が時刻 t において配置されているプロジェクトを示す。「1」はプロジェクト P_1 , 「2」はプロジェクト P_2 , 「-1」は配置されていない(リソースプールにいる)ことを示す。開発したシミュレータの出力結果としては、セル内の数値は、0 始まりのプロジェクトの id を示すが、本節においては、動作確認のための加工を行い、プロジェクト P_1 , P_2 についてそれぞれ id=1,2 を割り振った。

初期配置計画立案時のタスク実行結果(図 4-4)においても、初期配置計画と同様に、縦軸は作業員 A , B , C を表す。横軸は時間を表す。セル内の数値は、各作業員 R_m が時刻 t において実行しているタスクを示す。「1-1」はタスク a_{11} を、「2-3」はタスク a_{23} を、「-1」はタスクを実行していないことを示す。開発したシミュレータの出力結果としては、セル内の数値は、0 始

まりのタスクの id を示すが、本節においては、動作確認のための加工を行い、プロジェクトとタスクの対応関係をわかりやすくした。

本ケースにおいては、 $t=49$ にてプロジェクトポートフォリオ内の全てのタスクが完了するという計画を立案したことがわかる。また、見積作業量を基にプロジェクトを計画する場合、本初期計画より、短期間で全タスクを完了することはできず、プロジェクト P_i については、納期より 9 日多く工期を要する計画である。

4.3.3 人的資源再配置を加味したシミュレーション実行結果

実行シミュレーション後の配置結果(図 4-5)、タスク実行結果(図 4-6)を示す。

	time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AssignedProjectHistoryArray																										
A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
C		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

	time	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
AssignedProjectHistoryArray																										
A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
C		2	2	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

図 4-5 シミュレーションによる配置結果

	time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AssignedTaskHistoryArray																										
A		1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	-1	-1	-1	-1	-1
B		2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	-1	-1	-1	-1	-1	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
C		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2	2-2

	time	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
AssignedTaskHistoryArray																										
A		1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
B		2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

図 4-6 シミュレーションによるタスク実行結果

4.3.4 人的資源再配置のための情報伝達

本ケースのプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションにおいて発生した人的資源再配置に関する情報伝達の一覧を表 4-6 に示す。各行が情報伝達 1 件を表す。各行の網掛け色は、情報伝達の種類を表す。赤は人的資源供給依頼、黄はブローカーから作業者に対す

る最終確認, 緑は人的資源放出依頼を表す. 各列項目の詳細説明を表 4-7 に示す.

表 4-6 の各情報伝達の発生根拠, 発生時刻, 遅延時間および作業者の再配置結果を確認した結果, 3.3.7 の手順通りの動作をしていることを確認できた. また, 見積不確実性に伴うプロジェクトの予定完了時期の変動を契機として, 人的資源再配置が行われることを確認できた. 加えて, 作業者への情報伝達が遅れ, 再配置が実現できないという複雑なダイナミクスが表現できることも確認できた.

表 4-6 人的資源再配置のための情報伝達一覧

id	PJ	From	To	DT	AT	Delay	Related	ETRW	E Details	ATW	A Details	Gap	Results	Description
RR1	2	PM2(Q)	Rm2(B)	0	1	1	-	20.45	Task 2-1=9, Task 2-2=1.58E, Task 2-3=9.86E	26	B[1-14], C[15-26]	5.55	6: B[9-14]	t=0 にて, Task2-1 着手後, 工数が 14.92→10 と判明. これを契機にリソース放出依頼を実施. Q-B の最短距離は 1.
SR1	1	PM1(P)	PoM(O)	0	2	2	FC1	48.72	Task 1-1=9, Task 1-2=5.49E, Task 1-3 = 20.40E, Task 1-4=13.82E	46	A[1-40], B[16-21]	-2.72	#3: C[6-8]	初期計画時点 (t=-1) で, 終了時刻が 49 となっており, 9 日遅延する見込みであった. t=0 において見積工数が小さくなった場合においても, まだ 3 日遅延見込みであるため供給依頼を実施.
RR2	2	PM2(Q)	Rm2(B)	1	2	1	RR1	19.45	Task 2-1=8, Task 2-2=1.58E, Task 2-3=9.86E	25	B[2-14], C[15-26]	5.55	6: B[9-14]	放出まで時間差があるため, 再依頼を実施. Q-B の最短距離は 1.
FC1	1	PoM(O)	Rmp(C)	2	5	3	SR1	-	-	-	-	-	3: C[6-8]	t=5 にブローカーから最終確認が到着し, 割当可能であったため, 割当確定. PoM-C の最短距離は 3.
RR3	2	PM2(Q)	Rmp(C)	9	10	1	-	11.45	Task 2-2=1.58E, Task 2-3=9.86E	12	C[15-26]	0.55	1: C[26]	t=9 時点で, 継続中のタスクが未完了のため, 作業工数 1 人日分横滑りすることでリソースが緊急で 1 増加. 残見積工数が 11.45(Task 2-2=1.58, Task 2-3=9.86)となり, リソース放出依頼を実施. Q-C の最短距離は 1.
SR2	1	PM1(P)	PoM(O)	9	11	2	FC2	39.72	Task 1-2=5.49E, Task 1-3 = 20.40E, Task 1-4=13.82E	37	A[10-40], B[17-22]	-2.72	#3: B[15,22-23]	供給依頼 (Request id = SR1) によって, C [6-8] のリソースを確保したが, タイミングが悪く実行可能なタスクは存在せず. そのため, t=9 に再び完了時期が遅れ, 再び依頼.
RR4	1	PM1(P)	Rm1(A)	10	11	1	-	28.31	Task 1-2=5.49E, Task 1-3 = 9, Task 1-4=13.82E	36	A[11-40], B[16-21]	7.69	8: A[33-40,40-]	PJ 着手前 (t=-1), Task 1-3 の見積工数は 20.4. t=10 で約半分の工数 10 ということが判明. それを契機にリソース放出依頼を実施. P-A の最短距離は 1.
RR5	1	PM1(P)	Rm1(A)	11	12	1	RR4	27.31	Task 1-2=5.49E, Task 1-3 = 8, Task 1-4=13.82E	35	A[12-40], B[16-21]	7.69	8: A[33-40,40-]	放出まで時間差があるため, 再依頼を実施. P-A の最短距離は 1.
SR3	2	PM2(Q)	PoM(O)	11	13	2	FC3	11.45	Task 2-2=1.58E, Task 2-3=9.86E	11	C[15-25]	-0.45	#1: B[22]	放出依頼 (Request id = RR3) によって, t=10 に放出が完了したため, リソース不足が発生. 再依頼を実施.
FC2	1	PoM(O)	Rmp(B)	11	14	3	SR2	-	-	-	-	-	3: B[15,22-23]	t=14 に, ブローカーからの最終確認が到着し, 割当可能であったため, 割当確定. PoM-B の最短距離は 3.
FC3	2	PoM(O)	Rmp(B)	13	16	3	SR3	-	-	-	-	-	0: None	B[22]を割当するつもりであったが, t=14 に先に PJ1 に割当られたため, 確認時点で割当不可と判明.
SR4	2	PM2(Q)	PoM(O)	17	19	2	FC4, FC5	16.86	Task 2-2=7, Task 2-3=9.86E	8	C[18-25]	-8.86	#9: B[24-30], C[26-27]	PM2 は, t=16 まで別の供給依頼中につき, リソース不足は発覚していたが依頼不可であった.
FC4	2	PoM(O)	Rm1(B)	19	22	3	SR4	-	-	-	-	-	7: B[24-30]	t=22 に, ブローカーからの最終確認が到着し, 割当可能であったため, 割当確定. PoM-B の最短距離は 3.
FC5	2	PoM(O)	Rm1(C)	19	22	3	SR4	-	-	-	-	-	2: C[26-27]	t=22 にブローカーから最終確認が到着し, 割当可能であったため, 割当確定. PoM-C の最短距離は 3.

表 4-7 表 4-6 の列項目の説明

列項目	説明
id	各情報伝達の識別子を表す. SR は人的資源供給依頼, RR は人的資源放出, FC は最終確認に関する情報伝達を表す.
PJ	各情報伝達に関連するプロジェクトを表す. 基本動作検証におけるポートフォリオには 2 つのプロジェクトが含まれるため, 「1」はプロジェクト P_1 , 「2」はプロジェクト P_2 を表す.
From	各情報伝達の送り手を表す. プロジェクト型組織における役割(個人名)と表記する. 例. PM2(Q) プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャーである Q を表す.
To	各情報伝達の受け手を表す. 表記方法は, 「From」項目と同様.
DT	各情報伝達の出発時刻 (Departure Time) を表す.
AT	各情報伝達の到着時刻 (Arrival Time) を表す.
Delay	各情報伝達の情報遅延時間を表す. AT-DT.
Related	各情報伝達と関連した情報伝達の id を記載する.
ETRW	各情報伝達発生時の見積総残工数 (Estimated Total Remaining Workload) を表す. また, 式(3.11)の $WL'_i(t = AT)$ と等価である. 単位は人日.
E_Detail	ETRW の内訳, つまり残タスクとそのタスク量を表す. タスク量の末尾に E がついている場合, 見積作業量を表し, 未着手の状態である. E がついていない場合, 実残作業量が記載される.
ATW	各情報伝達発生時の割当総工数 (Assigned Total Workforce) を表す. また, $\sum_m \{t' AP_m(t') = \{P_i\}\}$ と等価である. 単位は人日.
A_Detail	ATW の内訳, つまり各作業員 R_m が, どの時刻 t に, プロジェクト P_i に割当られているかを表す.
Gap	各情報伝達発生時の見積総残工数と割当総工数の差. ATW-ETRW.
Results	結果的に, 割当/放出された作業員 R_m の期間. 人的資源供給依頼の場合, 最終確認後に割り当てられた期間を先頭に # をつけ, 転記する.
Description	各情報伝達発生の説明.

4.3.5 代表的な人的資源再配置の挙動

表 4-6 の情報伝達のうち、代表的な人的資源再配置の挙動 3 種を詳細に説明する。

- A. 人的資源放出依頼を行い、人的資源が放出される場合
- B. 人的資源供給依頼を行い、人的資源が供給される場合
- C. 人的資源供給依頼を行うも、人的資源が供給されない場合

4.3.5.1 A. 人的資源放出依頼を行い、人的資源が放出される場合

表 4-6 の id=RR1 を詳細に説明する。プロジェクトポートフォリオ開始直後の $t=0$ において、プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャー Q から作業員 B に対して行われた、人的資源放出依頼に関する情報伝達である。

図 4-7 にポートフォリオの進捗状況と人的資源配置の状況を示す。作業員 A はプロジェクト P_1 に配置、作業員 B はプロジェクト P_2 に配置され、作業員 C はリソースプールに属している状態である。また、作業員 A, B はそれぞれタスク a_{11} , タスク a_{21} を実行中である。

図 4-8 に、プロジェクト P_2 において人的資源放出がなされるまでの流れを示す。

初期計画 ($t=-1$) においては、プロジェクト P_2 の全タスクの見積作業量の総和は、26.36 (人日) であったため、合計 27 (人日) 分の要員が割り当てられており、納期 $dd_2=30$ 日までには完了する見込みであった。

プロジェクト開始直後 ($t=0$)、作業員 B がタスク a_{21} を着手した段階で真の作業量を認識し、 wl_{21} は 14.92 (人日) から 10 (人日) に更新される。また、 $t=0$ において、作業員 B はタスク a_{21} の作業を実施し、作業員 B のタスク a_{21} に関する生産性 $r_{21,2}$ は 1 (人日/日) であるため、タスク a_{21} の残作業量は 9 (人日) となる。同時に、27 (人日) 分の要員は、 $t=0$ において、26 (人日) となる。この時、見積作業量の総和 (真の作業量を含む) は、20.45 (人日) であるため、割り当てられた人的資源に余剰が 5.55 (人日) 分発生している。よって、人的資源放出依頼がなされる。プロジェクト P_2 の全タスクに関する生産性は作業員 B, C 共に同一であるため、作業員 B の割り当てられた期間の遅い時期から、人的資源の放出を依頼する。プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャー Q から作業員 B までの最短のコミュニケーション距離は表 4-3 より 1 であるため、1 日遅延で情報伝達が行われる。

結果として、人的資源放出依頼到着後 ($t=1$)、作業員 B の $t=9-14$ の期間の人的資源が放出され、 $t=9-14$ の期間についてはどのプロジェクトにも配置されていない (リソースプールに属する) 状態となる。

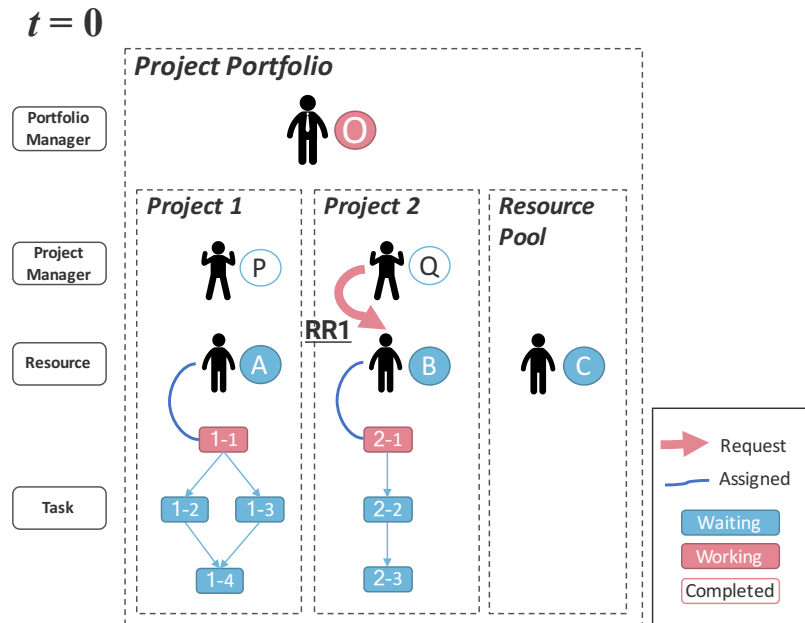


図 4-7 ポートフォリオの進捗と人的資源配置の状況 ($t=0$)

Project 2

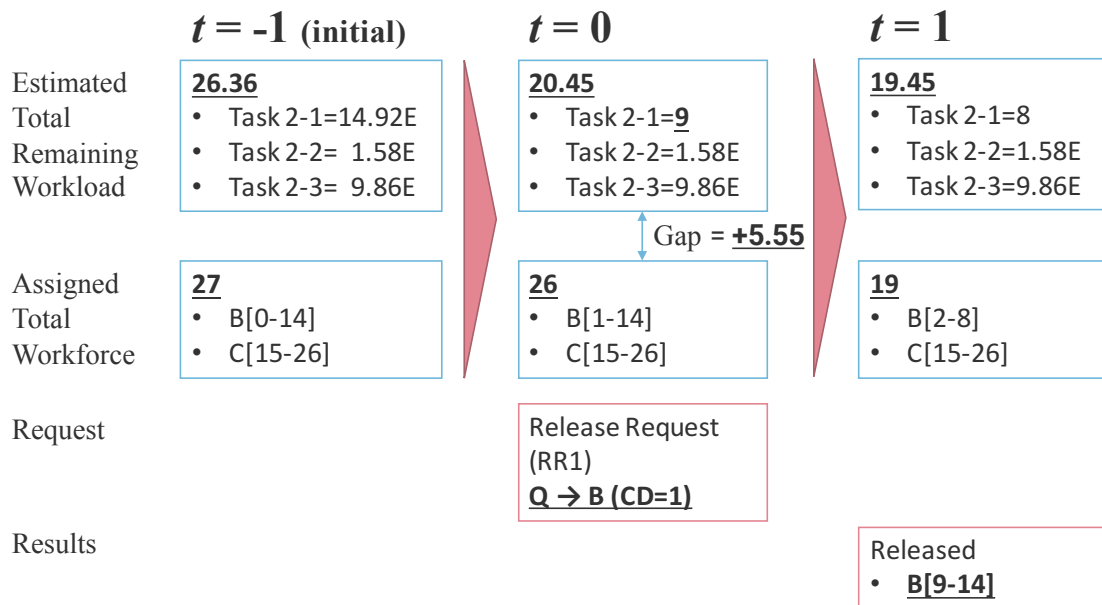


図 4-8 人的資源放出までの流れ (RR1)

4.3.5.2 B. 人的資源供給依頼を行い、人的資源が供給される場合

表 4-6 の id=SR4 を詳細に説明する。t=17 において、プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャー Q から、ブローカー機能を有するポートフォリオマネージャー O に対して行われた、人的資源供給依頼に関する情報伝達である。

図 4-9 にポートフォリオの進捗状況と人的資源配置の状況を示す。作業員 A, B はプロジェクト P_1 に配置、作業員 C はプロジェクト P_2 に配置されている状態である。また、作業員 A, B, C はそれぞれタスク a_{13} , タスク a_{12} , タスク a_{22} を実行中である。

図 4-10 に、プロジェクト P_2 において人的資源が供給されるまでの流れを示す。

t=16 においては、先に送付された人的資源供給依頼 (id=SR3) が存在したため、人的資源不足を認識できていたが、人的資源供給依頼は伝達されずにいる状態であった。t=16 において、先の人的資源供給依頼 (id=SR3) は完結した。

t=17 において、プロジェクト P_2 の見積総残工数は 16.86 (人日) であり、割当総工数は 8 (人日) であった。この時、割り当てられた人的資源に 8.86 (人日) 分の不足が発生している。よって、人的資源供給依頼がなされる。プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャー Q からブローカー機能を有するポートフォリオマネージャー O までの最短のコミュニケーション距離は表 4-3 より 2 であるため、2 日遅延で情報伝達がなされる。

t=19 において、ブローカー O は人的資源供給依頼を受領する。プロジェクト P_2 の全タスクに関する生産性は作業員 A, B, C 共に同一であり、作業員 A は t=18-30 (次時刻から納期 dd_2 まで) の全期間がプロジェクト P_1 に割り当てられている。そのため、作業員 B, C の未割当期間の早い時期から、人的資源の供給を依頼する。不足の合計値は 8.86 (人日) であったため、9 (人日) 分の供給を考える。作業員 B は t=18-23 まで P_1 に割り当てられているため、t=24-30 (納期 dd_2 まで) の 7 (人日) 分の供給を依頼し、作業員 C は t=25 まで P_2 に割り当てられているため、t=26-27 の 2 (人日) 分の供給を依頼する。ブローカー O から作業員 B, C までの最短のコミュニケーション距離は表 4-3 より 3 であるため、3 日遅延で情報伝達がなされる。

結果として、人的資源供給依頼の最終確認 (id=FC4, FC5) が到着後 (t=22), 作業員 B, C の当該期間がプロジェクト P_2 に割り当てられる。

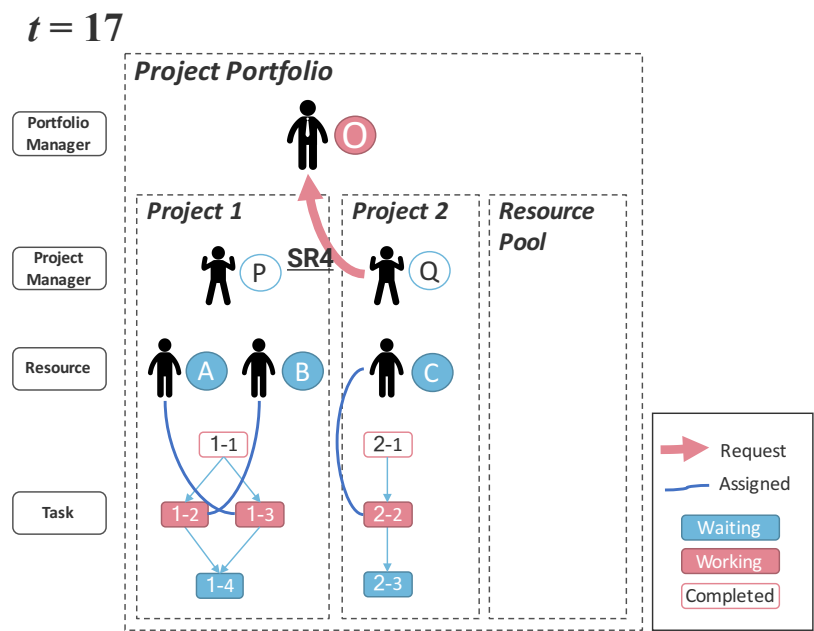


図 4-9 ポートフォリオの進捗と人的資源配置の状況 ($t=17$)

Project 2

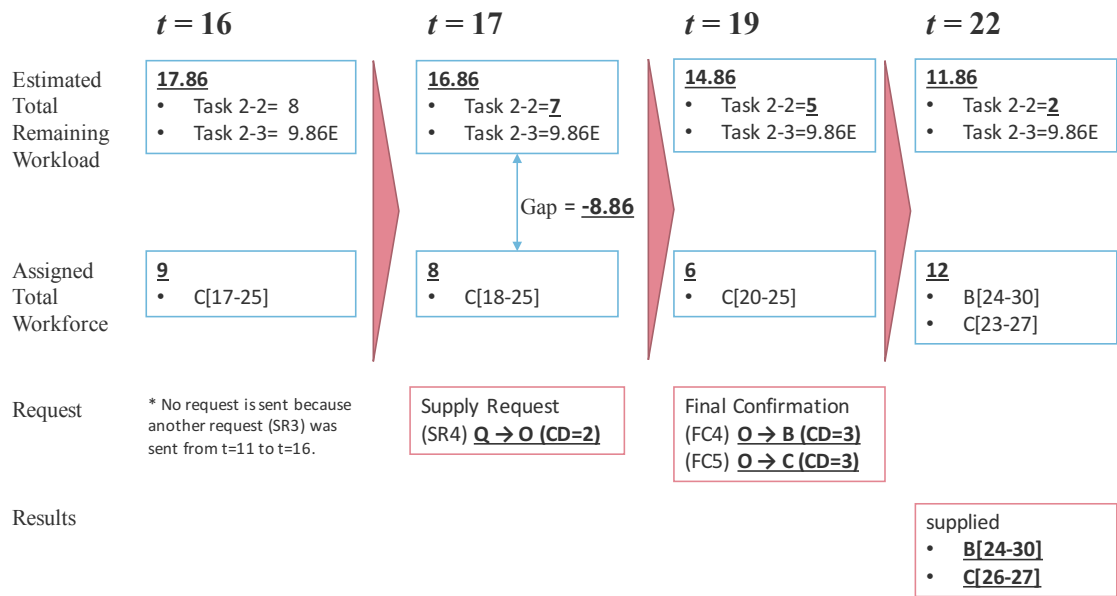


図 4-10 人的資源供給までの流れ (SR4→FC4, FC5)

4.3.5.3 C. 人的資源供給依頼を行うも、人的資源が供給されない場合

表 4-6 の id=SR3 を詳細に説明する。t=11 において、プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャー Q から、ブローカー機能を有するポートフォリオマネージャー O に対して行われた、人的資源供給依頼に関する情報伝達である。

図 4-11 にポートフォリオの進捗状況と人的資源配置の状況を示す。作業員 A はプロジェクト P_1 に配置されており、作業員 B, C はリソースプールに属している状態である。また、作業員 A はそれぞれタスク a_{13} を実行中である。

図 4-12 に、プロジェクト P_2 において人的資源の供給を依頼するも、人的資源が供給されない場合の挙動を示す。

t=10 において、人的資源放出依頼(id=RR3)が完結し、作業員 C の t=26 の期間を放出した。この放出により、微量の人的資源不足が発生した。

t=11 において、プロジェクト P_2 の見積総残工数は 11.45(人日)であり、割当総工数は 11(人日)であった。この時、割り当てられた人的資源に 0.45(人日)分の不足が発生している。よって、人的資源供給依頼がなされる。プロジェクト P_2 のプロジェクトマネージャー Q からブローカー機能を有するポートフォリオマネージャー O までの最短のコミュニケーション距離は表 4-3 より 2 であるため、2 日遅延で情報伝達が行われる。

t=13 において、ブローカー O は人的資源供給依頼を受領する。プロジェクト P_2 の全タスクに関する生産性は作業員 A, B, C 共に同一であり、作業員 A は t=14-30(次時刻から納期 dd_2 まで)の全期間がプロジェクト P_1 に割り当てられている。そのため、作業員 B, C の未割当期間の早い時期から、人的資源の供給を依頼する。不足の合計値は 0.45(人日)であったため、1(人日)分の供給を考える。作業員 B は t=16-21(情報伝達に 3 日要するため、t=13, 14, 15 は対象外となる)まで P_1 に割り当てられているため、t=22 の 1(人日)分の供給を依頼する。ブローカー O から作業員 B までの最短のコミュニケーション距離は表 4-3 より 3 であるため、3 日遅延で情報伝達が行われる。

一方で、t=14 において、プロジェクト P_1 の人的資源供給依頼の最終確認(id=FC2)が作業員 B に到着し、t=15, 22-23 がプロジェクト P_1 に割り当てられる。

結果として、t=16 に人的資源供給依頼の最終確認(id=FC3)が到着するが、作業員 B の t=22 はプロジェクト P_1 に割り当てられているため、プロジェクト P_2 に割り当てられない。

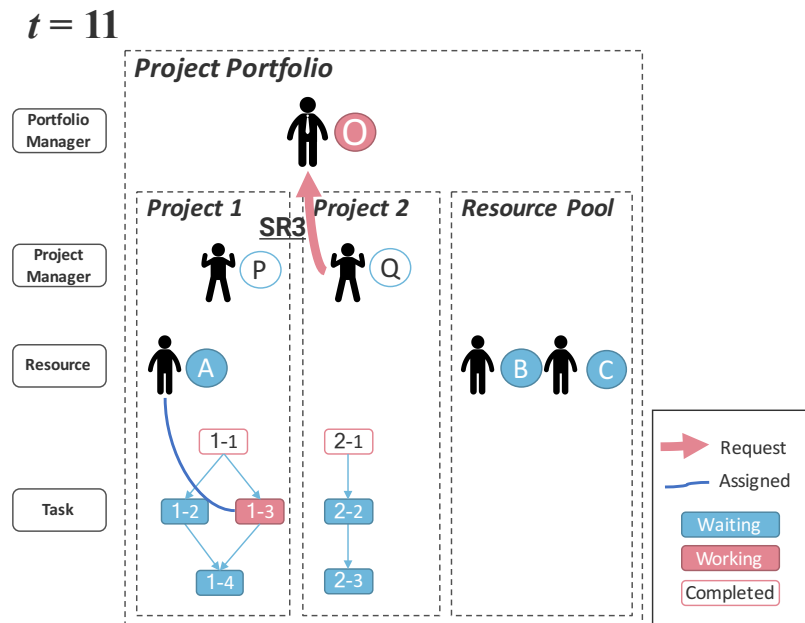


図 4-11 ポートフォリオの進捗と人的資源配置の状況 ($t=11$)

Project 2

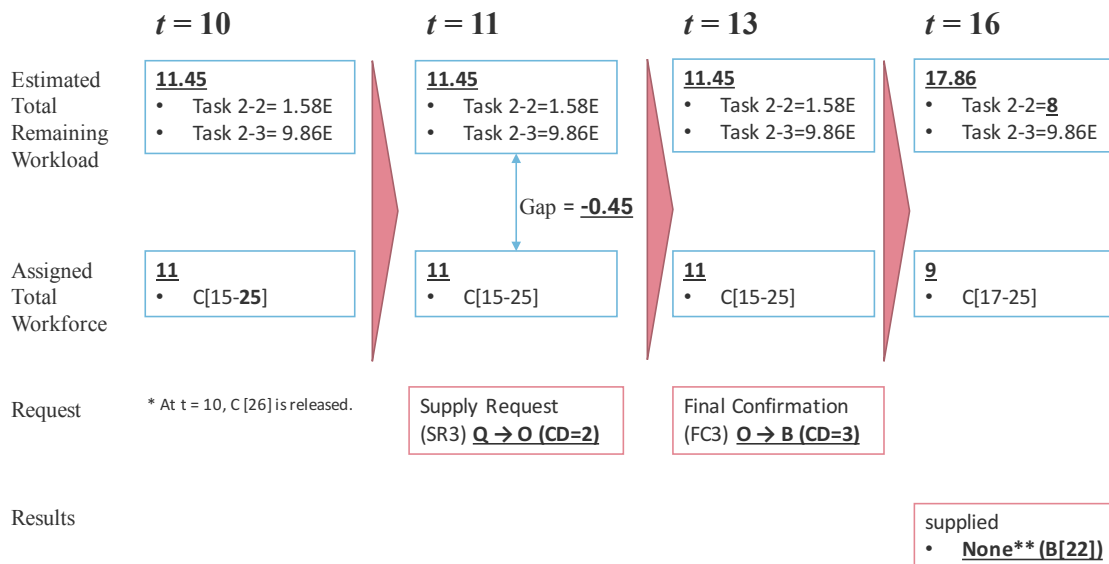


図 4-12 人的資源供給の流れ (SR3→FC3)

4.4 タスク情報の変化に応じた適切なブローカー機能配置

本節では、ブローカー機能配置方針の基本的な傾向の把握のため、本ケースのプロジェクトポートフォリオにおいて、タスク情報を变化させた場合の適切なブローカー配置について分析する。

4.4.1.1 評価方法

乱数を変化させ、1,000 種類のタスク量の見積不確実性のパターンを生成する。見積不確実性のパターンを表 4-8 に示す。見積不確実性のパターンごとに、3 種類のブローカー機能の配置候補（ポートフォリオマネージャー、プロジェクトマネージャー1, 2）でシミュレーションを実施した。

次に、以下のとおり、評価指標である対全配置平均比率を算出した。

それぞれのブローカー機能の配置 BF において、ポートフォリオに含まれる各プロジェクトの遅延を平均した値（式(3.18)で表される平均プロジェクト遅延に対応）を算出し、全見積不確実性パターン数で平均した値 $\sum_{k=1}^{1000} APD_k^{BF} / 1000$ を算出した（式(3.19)で表される平均 APD に対応）。さらに、3 種のブローカー機能の配置候補の平均の値 $\sum_{BF} \sum_{k=1}^{1000} APD_k^{BF} / 3000$ を算出し（式(3.20)で表される平均 APD の全配置平均に対応）、各平均 APD の全配置平均に対する比率 $3 \sum_{k=1}^{1000} APD_k^{BF} / \sum_{BF} \sum_{k=1}^{1000} APD_k^{BF}$ を算出した（式(3.21)で表される対全配置平均比率に対応）。

表 4-8 見積不確実性のパターンの例

Task	wl_{ij} (Actual)	wl'_{ij} (Estimated : $\sigma = 5.0$)			
		1	2	...	1,000
Task 1-1	10	14.01	17.81	...	14.71
Task 1-2	10	5.49	6.96	...	15.07
Task 1-3	10	20.40	4.54	...	11.10
Task 1-4	10	13.82	6.88	...	6.60
Task 2-1	10	14.92	4.41	...	13.67
Task 2-2	10	1.58	1.71	...	14.86
Task 2-3	10	9.86	1.00	...	13.96

4.4.1.2 実験パターンと結果

4.2.1 のタスク情報のうち、タスク間の依存関係は保持しつつ、タスク量と納期の変化をさせ、適切なブローカー配置の傾向を分析する。表 4-9 にタスク情報の変化のパターンと各パターンの各配置候補の対全配置平均比率(式(3.21))を示す。ID は、比較する実験パターン群を表すグループ ID である。実験パターン毎の各プロジェクトの総タスク量(人日)、クリティカルパス(日)、納期(日)、納期とクリティカルパスの差異(日)を示す。各実験パターンにおける網掛け項目は、そのグループにおいて差異があることを示す。対全配置平均比率は、ブローカー配置の他の配置候補に対する相対的優位性を示し、小さいほど、その他の配置候補に比べて遅延が小さいことを示す。グループ ID 毎に、小さい値には青、大きい値には赤で網掛けした。

以下に、グループ ID 毎に、実験結果を説明する。A, B の実験については、プロジェクト P_2 の納期を変化させ、C,D,E,F の実験について、プロジェクト P_1 の納期を変化させた。

A) 総タスク量($P_1:40, P_2:30$), P_2 の納期を変化

本グループでは、4.2.1 のタスク情報と同一の総タスク量をベースラインとして、 P_2 の納期を大きくした。 P_2 の納期が大きくなるにつれ、プロジェクト P_1 のプロジェクトマネージャー PM_1 へのブローカー機能配置の相対的優位性が著しく高まることが確認できた。 P_2 の納期を 60 日とした場合、 PM_1 へブローカー機能を配置すれば、全配置平均に対して、23%の遅延時間で抑えることが可能である。

B) 総タスク量($P_1:40, P_2:60$), P_2 の納期を変化

本グループでは、 P_1 については 40 人日、 P_2 については 60 人日の総タスク量をベースラインとして、 P_2 の納期を大きくした。 P_2 の納期が大きくなるにつれ、 PM_1 へのブローカー機能配置の相対的優位性が高まることが確認できた。 P_2 の納期を 80 日とした場合、 PM_1 へブローカー機能を配置すれば、全配置平均に対して、76%の遅延時間で抑えることが可能である。併せて、グループ A に比べると、相対的優位性の向上幅は小さいことがわかる。

C) 総タスク量($P_1:40, P_2:30$), P_1 の納期を変化

本グループでは、4.2.1 のタスク情報と同一の総タスク量をベースラインとして、 P_1 の納期を大きくした。 P_1 の納期が 50 日の場合(ベースラインから 20 日増)に、プロジェクト

P_2 のプロジェクトマネージャー PM_2 へのブローカー機能配置の相対的優位性が著しく高まることが確認できた。 P_1 の納期を 50 日とした場合、 PM_2 へブローカー機能を配置すれば、全配置平均に対して、52%の遅延時間で抑えることが可能である。また、本グループの場合、 P_1 の納期を 10 日大きくした段階では、小さい割合ではあるが、逆傾向の変化が見られ、 PM_1 へのブローカー機能配置の相対的優位性が向上した。

D) 総タスク量 ($P_1:50, P_2:30$), P_1 の納期を変化

本グループでは、 P_1 については 50 人日、 P_2 については 30 人日の総タスク量をベースラインとして、 P_1 の納期を大きくした。 P_1 の納期が大きくなるにつれ、 PM_2 へのブローカー機能配置の相対的優位性が高まることが確認できた。 P_1 の納期が 60 日の場合 (ベースラインから 20 日増) に、 PM_2 へブローカー機能を配置すれば、全配置平均に対して、39%の遅延時間で抑えることが可能である。

E) 総タスク量 ($P_1:80, P_2:60$), P_1 の納期を変化

本グループでは、 P_1 については 80 人日、 P_2 については 60 人日の総タスク量をベースラインとして、 P_1 の納期を大きくした。 P_1 の納期が大きくなるにつれ、 PM_2 へのブローカー機能配置の相対的優位性が高まることを確認できた。 P_1 の納期が 80 日の場合 (ベースラインから 20 日増) に、 PM_2 へブローカー機能を配置すれば、全配置平均に対して、76%の遅延時間で抑えることが可能である。併せて、グループ C, D に比べると、相対的優位性の向上幅は小さいことがわかる。

F) 総タスク量 ($P_1:120, P_2:90$), P_1 の納期を変化

本グループでは、 P_1 については 120 人日、 P_2 については 90 人日の総タスク量をベースラインとして、 P_1 の納期を大きくした。 P_1 の納期が大きくなるにつれ、 PM_2 へのブローカー機能配置の相対的優位性が高まることが確認できた。 P_1 の納期が 120 日の場合 (ベースラインから 30 日増) に、 PM_2 へブローカー機能を配置すれば、全配置平均に対して、85%の遅延時間で抑えることが可能である。併せて、グループ C, D, E に比べると、相対的優位性の向上幅は小さいことがわかる。

表 4-9 タスク情報の変化に応じた適切なブローカーの配置傾向

(TWL: 総タスク量 (人日), CP: クリティカルパス (日), DD: 納期 (日),
Ratio: 各ブローカー機能の配置毎の対全配置平均比率を示す. 小さいほど, 遅延が
小さいことを表す. グループ ID 毎に小さい値には青, 大きい値には赤で網掛けし
た.)

ID	Experiment Pattern								Results		
	P_1				P_2				Ratio		
	TWL	CP	DD	DD-CP	TWL	CP	DD	DD-CP	Broker Position		
A									PoM	$PM1$	$PM2$
	40	30	40	10	30	30	30	0	1.07	0.90	1.03
	40	30	40	10	30	30	40	10	1.09	0.47	1.44
B	40	30	40	10	30	30	60	30	1.09	0.23	1.68
	40	30	40	10	60	60	30	-30	0.98	1.00	1.02
	40	30	40	10	60	60	40	-20	0.99	0.98	1.03
	40	30	40	10	60	60	60	0	1.08	0.84	1.08
	40	30	40	10	60	60	70	10	1.12	0.77	1.11
C	40	30	40	10	60	60	80	20	1.12	0.76	1.12
	40	30	30	0	30	30	30	0	1.06	1.02	0.92
	40	30	40	10	30	30	30	0	1.07	0.90	1.03
D	40	30	50	20	30	30	30	0	1.10	1.38	0.52
	50	40	40	0	30	30	30	0	1.13	1.05	0.83
	50	40	50	10	30	30	30	0	1.09	1.44	0.47
E	50	40	60	20	30	30	30	0	1.08	1.53	0.39
	80	60	60	0	60	60	60	0	1.00	0.98	1.02
	80	60	70	10	60	60	60	0	1.03	1.14	0.84
F	80	60	80	20	60	60	60	0	1.06	1.17	0.76
	120	90	90	0	90	90	90	0	1.01	1.01	0.98
	120	90	100	10	90	90	90	0	1.01	1.03	0.96
F	120	90	120	30	90	90	90	0	1.07	1.08	0.85

ブローカー機能配置方針の基本的な傾向の把握のため、4.2.1 のタスク情報、4.2.2 の組織情報をもつプロジェクトポートフォリオにおいて、タスク情報を変化させた場合の適切なブローカー配置について分析した。具体的には、タスク情報のうち、依存関係を保持したまま、タスク量と納期を変化させ、対全配置平均比率を用いて各配置を評価した。

上記の A～F の全てのタスク情報の変化のパターンにおいて、相対的に納期が厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーにブローカー機能を配置した方が、ポートフォリオ全体の遅延が軽減される傾向があることが示された。

4.5 まとめ

本章では、本プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションにおける人的資源再配置モデルの基本動作検証を行った。本検証を通して得られた知見を以下にまとめる。

- 人的資源再配置モデルの基本動作の確認
 - 見積不確実性に起因した人的資源の余剰や不足を契機とし、人的資源再配置の情報伝達を実施する様子が表現できることを確認した。
 - プロジェクトポートフォリオ内の複数プロジェクト間の情報伝達の時間差に応じて、人的資源が依頼通りに再配置されない場合を例示し、情報伝達遅延の側面から、プロジェクト間の人的資源の奪い合いという複雑な挙動を表現できることを示した。
 - 代表的な人的資源再配置の挙動 3 種について詳細に説明した。より実務に近い大規模なプロジェクトポートフォリオにおいては、これらの代表的な再配置の挙動の組合せによって、より複雑な人的資源再配置のダイナミクスが表現されることが示唆された。
- タスク情報の変化に応じた適切なブローカー機能配置の傾向
 - プロジェクトポートフォリオのタスク量の大小に関わらず、相対的に納期が厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーにブローカー機能を配置した方が、ポートフォリオ全体の遅延が軽減される。

第5章 プロジェクト型組織（仮想）における ブローカー機能配置設計

5.1 はじめに.....	79
5.2 問題設定.....	80
5.2.1 タスク情報	80
5.2.2 組織情報	81
5.2.3 適切な組織内ブローカーの配置設計	82
5.3 ケース 1: 情報伝達特性の変化に応じたブローカー機能の適切配置	83
5.3.1 評価方法	83
5.3.2 ケース詳細	84
5.3.3 結果	85
5.4 ケース 2: 見積不確実性の変化に応じたブローカー機能の適切配置	91
5.4.1 ケース詳細	91
5.4.2 結果	93
5.5 考察	97
5.5.1 情報伝達特性とブローカー機能の適切配置の関係性	97
5.5.2 見積不確実性とブローカー機能の適切配置の関係性	97
5.5.3 実組織へのブローカー機能の実装について	98
5.6 まとめ	99

5.1 はじめに

本章では、プロジェクト型組織における仮想的なプロジェクトポートフォリオをモデル化し、開発した離散イベントシミュレータを用いたモンテカルロシミュレーションにより、適切なブローカー機能の組織内配置を設計する。図 5-1 に提案手法の概要と本ケーススタディの関係性を示す。具体的には、プロジェクト型組織におけるプロジェクトポートフォリオ内の情報伝達特性の変化とプロジェクトのタスク作業量の見積不確実性の変化に応じたブローカー機能の適切配置の変化を評価する。プロジェクトポートフォリオにおける情報伝達特性の変化のみに応じた評価をケース 1 とし、情報伝達特性の変化に加え、見積不確実性の変化に応じた評価をケース 2 とする。プロジェクト型組織における情報伝達特性を加味し、人的資源再配分を差配する役割であるブローカー機能を組織内のどこに配置すべきかを設計する。また、実組織におけるブローカー機能配置との関連性について考察する。

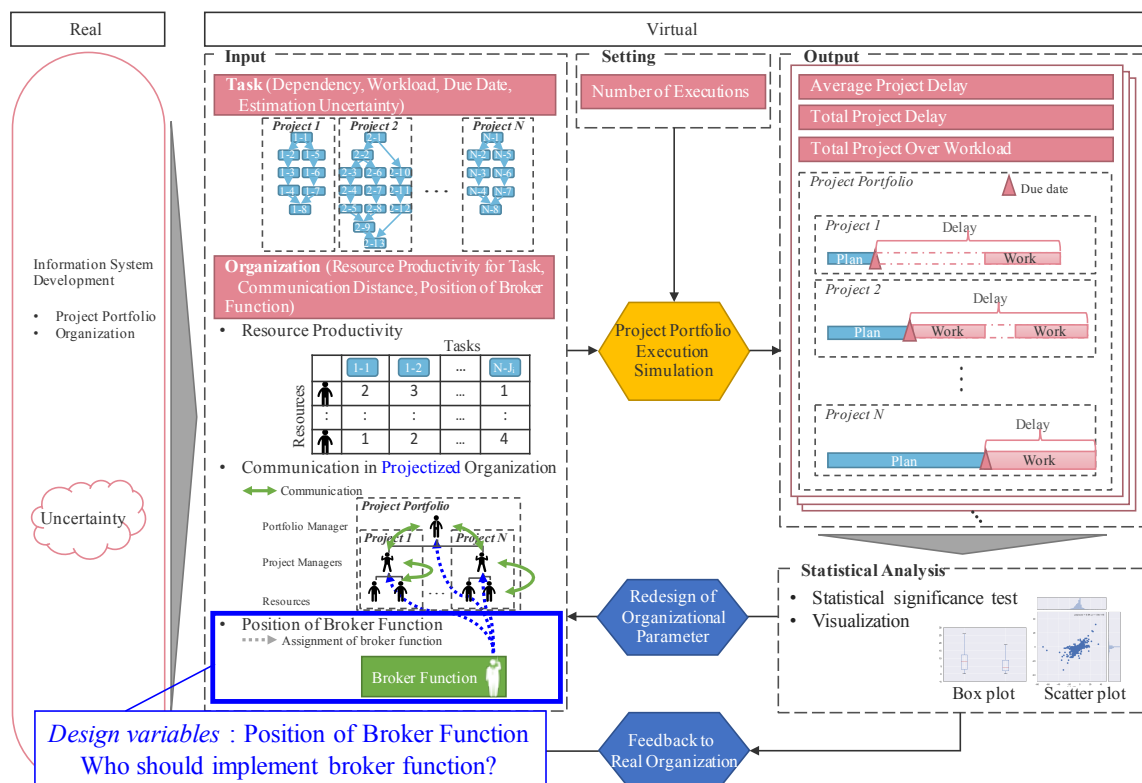


図 5-1 提案手法の概要と本ケーススタディの関係性

5.2 問題設定

5.2.1 タスク情報

本ケーススタディで扱うプロジェクトポートフォリオの基本設定を表 5-1、タスク間の依存関係と一つのタスク a_{ij} の作業工数 wl_{ij} を図 5-2 に示す。タスク情報（総タスク数、総タスク量、タスク間の依存関係）が完全に同一であり、予定納期のみが異なる 3 つのプロジェクトから構成されるプロジェクトポートフォリオを考える。プロジェクト 1 は、最も早い予定納期を設定し、総タスク量に対し納期に余裕がないプロジェクトを想定する。依存関係を加味すると、最大 3 名で並行作業を実施すれば納期に間に合わせることが可能である。反対に、プロジェクト 3 は、最も遅い予定納期を設定し、総タスク量に対し、余裕のあるプロジェクトを想定する。全タスクを 1 名の作業者が継続的に実行すれば完了可能である。プロジェクト 2 はその中間の値を設定する。納期を考慮せずに、本プロジェクトポートフォリオに含まれる全タスクを各プロジェクトの優先度をつけずに、作業者の稼働率 100% で実行した場合の完了時刻を予定納期としている。

表 5-1 プロジェクトポートフォリオの基本情報

Name	Variable	Unit		Portfolio		
				P_1	P_2	P_3
タスク数	J_i	-	39	13	13	13
総タスク量	$\sum_j^{J_i} wl_{ij}$	(person-day)	195	65	65	65
開始時刻	ed_i	(day)	0	0	0	0
納期	dd_i	(day)	65	35	45	65

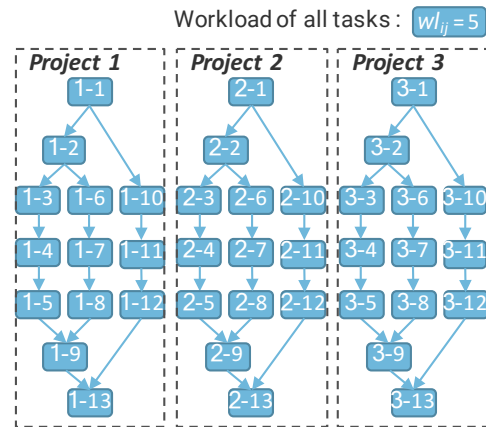


図 5-2 タスク a_{ij} 間の依存関係

5.2.2 組織情報

本プロジェクトポートフォリオの作業員 R_m の各タスク a_{ij} の生産性 $(r_{ij,m})$ を表 5-2, プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ を表 5-3 にそれぞれ示す。

プロジェクトポートフォリオでは, 5 名の作業員を想定し, 作業員 5 名について人的資源再配置が行われる。また, 各作業員 R_m の各タスク a_{ij} の生産性は, 全作業員の全タスクに対して一律で 1 (人日/日) と設定した。つまり, 作業員の各タスクのスキルセットに全く偏りがない状態を設定している。

プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ は, 3.3.6.1 に基づいて作成する (表 5-3)。表中の R_{mi} は時刻 t において, プロジェクト P_i に属する作業員を表す。すなわち, $R_{mi} \in RA_i(t)$ である。また, R_{mp} は, 時刻 t においてリソースプールに属する作業員 (どのプロジェクトにも割り当てられていない) を表す。

表 5-2 プロジェクトポートフォリオの人員情報

Name	Variable	Unit	value
作業員数	M	-	5
タスクに対する生産性	$r_{ij,m}$	(person-day/day)	1

表 5-3 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ ($N=3$)

ID		0	1	2	3	4	5	6	7
0	PoM	0	1	1	1	2	2	2	2
1	PM_1	1	0	2	2	1	3	3	2
2	PM_2	1	2	0	2	3	1	3	2
3	PM_3	1	2	2	0	3	3	1	2
4	R_{m1}	2	1	3	3	0	4	4	2
5	R_{m2}	2	3	1	3	4	0	4	2
6	R_{m3}	2	3	3	1	4	4	0	2
7	R_{mp}	2	2	2	2	2	2	2	0

5.2.3 適切な組織内ブローカーの配置設計

本項では、式(5.1)で表される離散イベントシミュレーションを用いて出力されたプロジェクトポートフォリオの平均プロジェクト遅延(式(3.18))を基に、組織内ブローカー機能の候補位置を評価し、適切なブローカーの配置を設計する。組織情報 \mathbf{O} の変化量 $\Delta \mathbf{O}$ としてブローカー機能の配置箇所 BF を選定したことに相当する。

$$S = Sim(\mathbf{O}, \mathbf{T}, BF) \quad (5.1)$$

シミュレーション Sim のインプットとしては、タスク情報 \mathbf{T} として、各プロジェクト P_i の最早開始時刻 ed_i 、予定納期 dd_i 、タスク a_{ij} 、タスク a_{ij} の作業量 wl_{ij} 、タスク a_{ij} の優先順位制約 $PT_{ij} \subseteq \{a_{i1}, \dots, a_{ij_i}\}$ 、および各プロジェクト P_i の特性に応じた見積不確実性 σ_i を含む。組織情報 \mathbf{O} として、プロジェクトポートフォリオを構成する各プロジェクト P_i 、 $i \in \{1, \dots, N\}$ 、各作業員 R_m 、 $m \in \{1, \dots, M\}$ 、各作業員のタスク a_{ij} の生産性 $r_{ij,m}$ および人員 H_l 間のコミュニケーション距離 cd を含む。

なお、ブローカー機能が配置される候補位置は、ポートフォリオマネージャー PoM か、各プロジェクトマネージャー PM_i に限定する。すなわち、3.3.5.2 の式(3.13)で表現されたブロー

カー機能の配置 BF は、以下の式(5.2)となる。

$$BF = \{bf_l | 1 \leq l \leq 1 + N\} \quad (5.2)$$

シミュレーション Sim のアウトプットとして、プロジェクトポートフォリオ全体の実行スケジュール S を、各プロジェクト P_i のスケジュール S_i の集合として得る。

本ケーススタディ(ブローカー機能配置設計)の目的は式(5.3)で表せ、式(3.18)の平均プロジェクト遅延を最小化するブローカー機能の配置方法 \widehat{BF} を得ることとなる。

$$\widehat{BF} = \underset{BF}{\operatorname{argmin}} APD(Sim(\mathbf{O}, \mathbf{T}, BF)) \quad (5.3)$$

BF を全 $1+N$ パターン変化させ、目的のブローカー機能の配置方法 \widehat{BF} を探索する。

5.3 ケース 1: 情報伝達特性の変化に応じたブローカー機能の適切配置

5.3.1 評価方法

乱数を変化させ、300 種類のタスク量の見積不確実性のパターンを生成する。見積不確実性のパターンを表 5-4 に示す。見積不確実性のパターンごとに、4 種類のブローカー機能の配置候補(ポートフォリオマネージャー、プロジェクトマネージャー1, 2, 3)でシミュレーションを実施した。それぞれの配置における、式(3.18)で表される平均プロジェクト遅延を全パターン数で平均した値 $\sum_{k=1}^{300} APD_k^{BF} / 300$ を算出した(以後、平均 APD)。さらに、4 種のブローカー機能の配置候補の平均の値 $\sum_{BF} \sum_{k=1}^{300} APD_k^{BF} / 1200$ を算出し(以後、平均 APD の全配置平均)、各平均 APD の全配置平均に対する割合の値 $4 \sum_{k=1}^{300} APD_k^{BF} / \sum_{BF} \sum_{k=1}^{300} APD_k^{BF}$ を算出した(以後、対全配置平均比率)。

また、各見積不確実性のパターンにおいて、最も平均プロジェクト遅延が小さかったブローカー機能配置を最良配置、最も平均プロジェクト遅延が大きくなったブローカー機能配置を

最悪配置としてカウントし、各ブローカー機能配置の最良配置率と最悪配置率を算出した。ブローカー配置を適切性については、前述の対全配置平均比率、最良配置率、最悪配置率を用いて評価する。

表 5-4 見積不確実性のパターン

Task	wl_{ij} (Actual)	wl'_{ij} (Estimated : $\sigma = 5.0$)			
		1	2	...	300
Task 1-1	5	9.0	12.8	...	13.0
Task 1-2	5	1.0	2.0	...	3.4
Task 1-3	5	15.4	1.0	...	6.4
Task 1-4	5	8.8	1.9	...	6.1
:	:	:	:	:	:
Task 3-10	5	3.0	3.1	...	1.0
Task 3-11	5	9.5	1.0	...	10.0
Task 3-12	5	7.1	10.2	...	1.0
Task 3-13	5	1.0	13.7	...	9.5

5.3.2 ケース詳細

ケース 1 で行うシミュレーションの設定値のパターンを表 5-5 に示す。ケース 1 では、タスク量の見積不確実性 σ については、全てのプロジェクトにおいて標準偏差 5.0 で一定とし、コミュニケーション距離のみを変化させる。大きく 3 種類の比較を行う。

1 つ目は、コミュニケーション距離の比率を一定の下、コミュニケーション距離のスケールを変化させる (ID = 1-00, 1-01, 1-02, 1-03)。

2 つ目は、ポートフォリオマネージャー PoM と各プロジェクトマネージャー PM_i 間のコミュニケーション距離と、各プロジェクトマネージャー PM_i と各作業員 R_m 間のコミュニケーション距離の比率を変化させる (ID = 1-00, 1-04, 1-05)。

3 つ目は、プロジェクト間のコミュニケーション距離の比率を変化させる (ID = 1-00, 1-06, 1-07, 1-08, 1-09, 1-10, 1-11). さらに、プロジェクト間のコミュニケーション距離の比率とスケールの変化の組み合わせも実施する (ID = 1-11, 1-12, 1-13).

表 5-5 ケース 1 におけるプロジェクトポートフォリオの設定情報

		Communication Distance				
		PoM			PM_i	$Anyone$
		$(from / to)$			$(from / to)$	$(from / to)$
		PM_1	PM_2	PM_3	$R_m \in RA_i(t)$	$R_m \in RP(t)$
ID	Name					
1-00	Baseline	1	1	1	1	2
1-01	DU-0	0	0	0	0	0
1-02	DU-2	2	2	2	2	4
1-03	DU-3	3	3	3	3	6
1-04	D(PoM-PM)-2	2	2	2	1	2
1-05	D(PM-WR)-2	1	1	1	2	2
1-06	Bias-1-2-3	1	2	3	1	2
1-07	Bias-1-3-2	1	3	2	1	2
1-08	Bias-2-1-3	2	1	3	1	2
1-09	Bias-2-3-1	2	3	1	1	2
1-10	Bias-3-1-2	3	1	2	1	2
1-11	Bias-3-2-1	3	2	1	1	2
1-12	Bias-3-2-1-DU-2	6	4	2	2	4
1-13	Bias-3-2-1-DU-3	9	6	3	3	6

5.3.3 結果

シミュレーションによって得られたブローカー機能の配置毎のプロジェクトポートフォリオのパフォーマンス評価指標として、対全配置平均比率 (式(3.21)) を表 5-6 に、最良配置率、最

悪配置率を表 5-7 に示す。太字かつ下線の数値は各実験 ID における最良値を示す。また、青字はベースラインよりも良い値、反対に赤字はベースラインよりも悪い値を示す。

また、表 5-7 を基に、ブローカー機能の配置毎の最良配置率を図 5-3 に、最悪配置率を図 5-4 に図示する。縦軸は実験名称を示し、横軸はそれぞれ最良配置となった割合、最悪配置となった割合を示す。

5.3.3.1 ベースラインの説明（ID = 1-00）

ポートフォリオマネージャーにブローカー機能を割り当てた場合に平均 APD は最小となり、 PM_I へのブローカー機能の配置が僅差で 2 番目に小さい結果となった。最良配置率についても、ポートフォリオマネージャーにブローカー機能を割り当てた場合に最大となり、38%のパターンにおいて最小の平均プロジェクト遅延となった。一方で、最悪配置率が最小の配置は、納期が最も厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャー PM_I であり、15%の見積誤差のパターンにおいてのみ、最大の平均プロジェクト遅延となった。

5.3.3.2 スケール変化の影響（ID = 1-00, 1-01, 1-02, 1-03）

まず、(ID = 1-01)の結果から、どの人員間のコミュニケーション距離も等しく 0 の場合には、ベースラインよりも平均プロジェクト遅延が短縮すると同時に、ブローカー機能配置に依らず同一となり、差は生じない。次に、(ID = 1-02, 1-03)の結果より、コミュニケーション距離全体を一律に等倍すると、平均プロジェクト遅延の絶対値は倍率に応じて増加する。ブローカー機能の各配置の特徴としては、対全配置平均比率はベースラインと大きく変わらない。一方で、 PM_I の最良配置率は増加し、 PM_3 の最良配置率は減少している。また、 PoM の最悪配置率は減少し、 PM_3 の最悪配置率は増加している。よって、 PM_3 へのブローカー機能の割り当てによる平均プロジェクト遅延が増加したことにより、 PM_I の最良配置となる割合が増加し、 PM_3 の最悪配置となる割合が減少したといえる。

5.3.3.3 上位（ PoM と PM 間）と下位（ PM と R_m 間）の距離比率変化の影響（ID = 1-00, 1-04, 1-05）

(ID = 1-04, 1-05)の結果より、上位（ PoM と PM 間）のコミュニケーション距離を 2 倍にした場合、および下位（ PM と R_m 間）のコミュニケーション距離を 2 倍にした場合において、対全

配置平均比率については、 PoM あるいは PM_I へ配置した場合の平均プロジェクト遅延は減少傾向にあり、反対に PM_2 または PM_3 へ配置した場合、平均プロジェクト遅延は増加傾向にある。特に、(ID = 1-04)より、上位 (PoM と PM 間) のコミュニケーション距離を 2 倍にした場合、他の配置に比べ、著しく PoM への配置が優位となり、最悪配置率についても PM_I と同等の値まで減少していることがわかる。

5.3.3.4 PoM と各 PM_I 間の距離比率変化の影響 (ID = 1-00, 1-06, 1-07, 1-08, 1-09, 1-10, 1-11)

PoM へのブローカー機能の配置については、納期が最も厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャー PM_I とのコミュニケーション距離が小さく、納期に余裕があるプロジェクトのプロジェクトマネージャーとのコミュニケーション距離が大きようなコミュニケーションバイアスが存在する場合は、 PoM の対全配置平均比率はベースラインより向上する。一方で、 PM_I とのコミュニケーション距離が大きくなるバイアス存在する場合、ベースラインより著しく低下する。反対に、 PM_I へのブローカー機能の配置については、納期が最も厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャー PM_I とのコミュニケーション距離が小さく、納期に余裕があるプロジェクトのプロジェクトマネージャーとのコミュニケーション距離が大きようなコミュニケーションバイアスが存在する場合に、著しく対全配置平均比率が向上し、(ID = 1-11)においては、全配置平均に対して 13%以上平均プロジェクト遅延を短縮できており、最良配置率も 50%を上回る。なお、最悪配置率については、(ID = 1-10)を除く全ての設定値で最小となった。このように、一律に上位 (PoM と PM 間) のコミュニケーション距離が大きくなるのではなく、納期が厳しいプロジェクトの PM_I とのコミュニケーション距離が増加する場合、 PoM へのブローカー機能の配置に比べて、 PM_I へブローカー機能を配置により得られる効果が大きくなる。

5.3.3.5 (1)と(3)の組み合わせの影響 (ID = 1-11, 1-12, 1-13)

PM_I へのブローカー機能の配置が著しく優位となった (ID = 1-11) に対して、コミュニケーション距離を一律に等倍した結果 (ID = 1-12, 1-13)、 PM_I への配置の優位性が高まる結果となった。特に、(ID = 1-13)においては、全配置平均に対して 16%以上平均遅延を短縮できており、最良配置率も 55%を上回る。また、最悪配置率は 13%以下である。このように、コミュニケーション距離に対してバイアスが存在する状況下において、コミュニケーション距離のスケールが大きくなる場合、その影響は拡大される結果となった。

表 5-6 対全配置平均比率

「平均 APD の 4 ブローカー機能配置候補の平均」に対する，各ブローカー機能配置候補の平均 APD の比率（式(3.21)）．小さい値は相対的に優位であることを表す．

太字かつ下線の数値は各実験 ID における最良値を示す．また，**青字**はベースラインよりも良い値，反対に**赤字**はベースラインよりも悪い値を示す．

		<i>Ratio to Overall Mean of APD</i>				
		<i>OM of APD</i>	<i>Assignment of Broker Role</i>			
<i>ID</i>	<i>Name</i>		<i>PoM</i>	<i>PM₁</i>	<i>PM₂</i>	<i>PM₃</i>
1-00	Baseline	3.81	0.966	0.967	1.021	1.047
1-01	DU-0	3.04	1.000	1.000	1.000	1.000
1-02	DU-2	5.08	0.952	0.947	1.027	1.074
1-03	DU-3	6.27	0.942	0.953	1.007	1.098
1-04	D(PoM-PM)-2	4.34	0.907	0.935	1.031	1.127
1-05	D(PM-WR)-2	4.04	0.943	0.934	1.036	1.086
1-06	Bias-1-2-3	4.40	0.920	0.934	1.028	1.118
1-07	Bias-1-3-2	4.33	0.945	0.929	1.059	1.067
1-08	Bias-2-1-3	4.50	0.974	0.897	0.989	1.140
1-09	Bias-2-3-1	4.40	1.019	0.904	1.029	1.048
1-10	Bias-3-1-2	4.49	1.035	0.877	0.988	1.099
1-11	Bias-3-2-1	4.55	1.045	0.867	0.999	1.089
1-12	Bias-3-2-1-DU-2	6.20	1.050	0.850	1.001	1.099
1-13	Bias-3-2-1-DU-3	7.76	1.057	0.831	1.052	1.060

表 5-7 各ブローカー機能の配置候補の最良配置率と最悪配置率

太字かつ下線の数値は各実験 ID における最良値を示す。また、**青字**はベースラインよりも良い値，反対に**赤字**はベースラインよりも悪い値を示す。

ID	Name	Best Assignment Ratio				Worst Assignment Ratio			
		PoM	PM ₁	PM ₂	PM ₃	PoM	PM ₁	PM ₂	PM ₃
1-00	Baseline	<u>0.38</u>	0.23	0.21	0.18	0.29	<u>0.15</u>	0.27	0.29
1-01	DU-0	-	-	-	-	-	-	-	-
1-02	DU-2	<u>0.36</u>	0.30	0.21	0.13	0.20	<u>0.18</u>	0.27	0.35
1-03	DU-3	<u>0.37</u>	0.31	0.21	0.11	0.20	<u>0.18</u>	0.23	0.39
1-04	D(PoM-PM)-2	<u>0.40</u>	0.27	0.20	0.13	0.17	<u>0.16</u>	0.28	0.40
1-05	D(PM-WR)-2	<u>0.43</u>	0.22	0.20	0.14	0.25	<u>0.14</u>	0.30	0.31
1-06	Bias-1-2-3	<u>0.43</u>	0.24	0.21	0.12	0.20	<u>0.13</u>	0.25	0.43
1-07	Bias-1-3-2	<u>0.41</u>	0.27	0.19	0.13	0.23	<u>0.14</u>	0.29	0.34
1-08	Bias-2-1-3	0.33	<u>0.40</u>	0.17	0.10	0.23	<u>0.15</u>	0.19	0.43
1-09	Bias-2-3-1	0.29	<u>0.38</u>	0.19	0.14	0.27	<u>0.13</u>	0.32	0.29
1-10	Bias-3-1-2	0.28	<u>0.46</u>	0.15	0.11	0.31	0.18	<u>0.16</u>	0.35
1-11	Bias-3-2-1	0.22	<u>0.51</u>	0.18	0.09	0.34	<u>0.14</u>	0.24	0.28
1-12	Bias-3-2-1- DU-2	0.20	<u>0.50</u>	0.21	0.09	0.34	<u>0.13</u>	0.23	0.30
1-13	Bias-3-2-1- DU-3	0.19	<u>0.55</u>	0.14	0.12	0.30	<u>0.12</u>	0.31	0.26

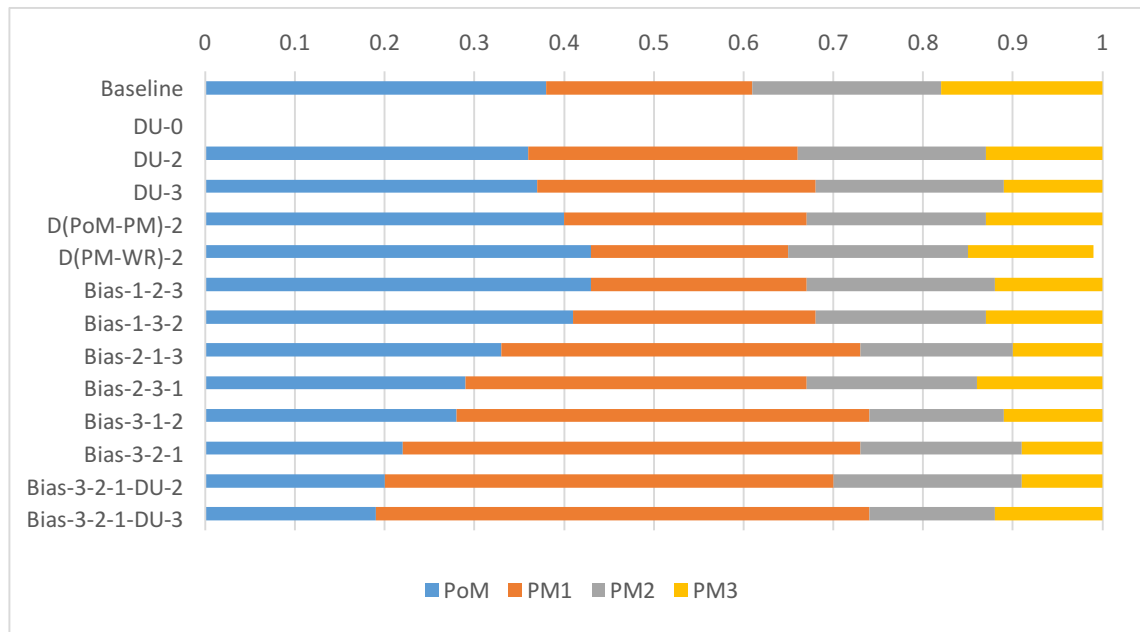


図 5-3 ブローカー機能の配置候補の最良配置率

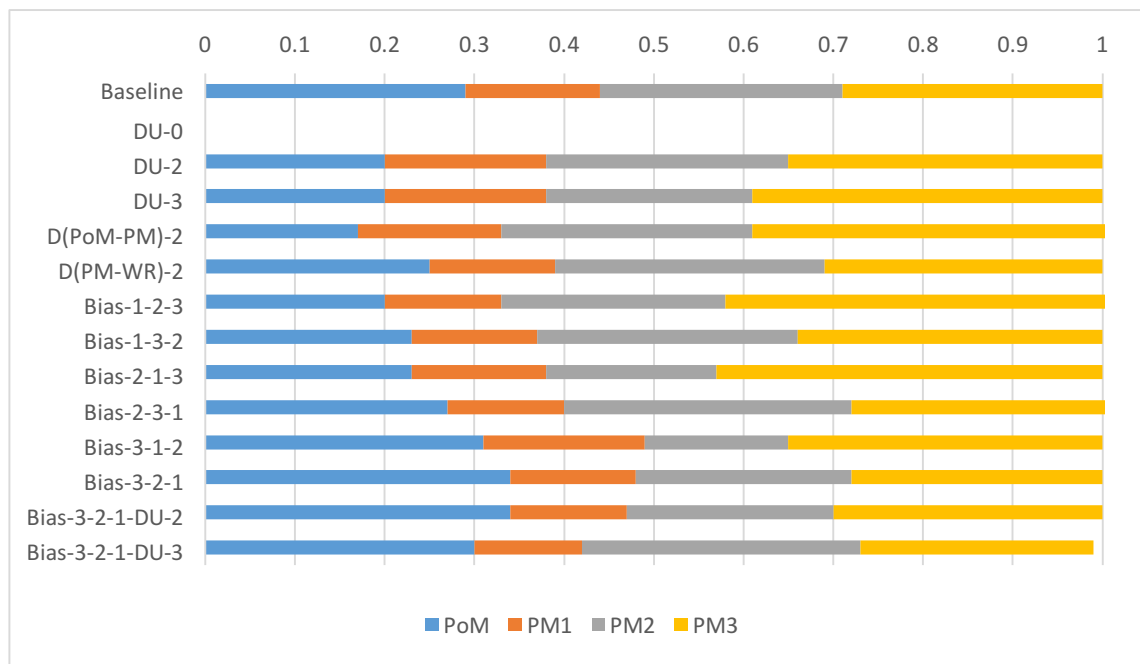


図 5-4 ブローカー機能の配置候補の最悪配置率

5.4 ケース 2：見積不確実性の変化に応じたブローカー機能の適切配置

5.4.1 ケース詳細

ケース 2 で行うシミュレーションのパターンを表 5-8 に示す。ケース 2 では、ケース 1 で実施した 4 つの実験 (ID = 1-00, 1-11, 1-12, 1-13) に対して、タスク量の見積不確実性を大小変化させ、見積不確実性の影響を評価する。なお、評価方法については、ケース 1 と同様である。

表 5-8 ケース 2 におけるプロジェクトポートフォリオの設定情報

		Communication Distance					Estimation Uncertainty		
		PoM (from / to)			PM_i (from / to)	Any (from / to)	σ		
ID	Name	PM_1	PM_2	PM_3	$R_m \in RA_i$	$R_m \in RP(i)$	P1	P2	P3
2-00	S2.5	1	1	1	1	2	2.5	2.5	2.5
1-00	Baseline	1	1	1	1	2	5.0	5.0	5.0
2-01	S10.0	1	1	1	1	2	10.0	10.0	10.0
2-02	D(PoM-PM)-2-S2.5	2	2	2	1	2	2.5	2.5	2.5
1-04	D(PoM-PM)-2	2	2	2	1	2	5.0	5.0	5.0
2-03	D(PoM-PM)-2-S10.0	2	2	2	1	2	10.0	10.0	10.0
2-04	PJ-Bias-3-2-1-S2.5	3	2	1	1	2	2.5	2.5	2.5
1-11	PJ-Bias-3-2-1	3	2	1	1	2	5.0	5.0	5.0
2-05	PJ-Bias-3-2-1-S10.0	3	2	1	1	2	10.0	10.0	10.0
2-06	PJ-Bias-3-2-1-DU-2-S2.5	6	4	2	2	4	2.5	2.5	2.5
1-12	PJ-Bias-3-2-1-DU-2	6	4	2	2	4	5.0	5.0	5.0
2-07	PJ-Bias-3-2-1-DU-2-S10.0	6	4	2	2	4	10.0	10.0	10.0
2-08	PJ-Bias-3-2-1-DU-3-S2.5	9	6	3	3	6	2.5	2.5	2.5
1-13	PJ-Bias-3-2-1-DU-3	9	6	3	3	6	5.0	5.0	5.0
2-09	PJ-Bias-3-2-1-DU-3-S10.0	9	6	3	3	6	10.0	10.0	10.0

5.4.2 結果

シミュレーションによって得られたブローカー機能の配置毎のプロジェクトポートフォリオのパフォーマンスに関して、対全配置平均比率（式(3.21)）を表 5-9 に、最良配置率、最悪配置率を表 5-10 に示す。太字かつ下線の数値は各実験 ID における最良値を示し、青字は対応するケース 1 の実験に対して良い値を示す。

また、表 5-10 を基に、ブローカー機能の配置毎の最良配置率を図 5-5 に、最悪配置率を図 5-6 に図示する。縦軸は実験名称を示し、横軸はそれぞれ最良配置となった割合、最悪配置となった割合を示す。

まず、全体を通して、見積不確実性が大きくなるほど、平均プロジェクト遅延は増加することが確認できる。次に、 PM_1 へのブローカー機能配置については、不確実性が大きければ大きいほど優位になる場合が多く、(ID = 2-05)においては、全配置平均に比べ 19%以上平均遅延を短縮できている。また、反対に PM_3 へのブローカー機能配置については、不確実性が小さければ小さいほど、優位となる傾向にある。

PoM へのブローカー機能配置は、(ID = 2-00, 2-01, 2-02, 2-03)については、見積不確実性が大きくなるほど、優位性が大きくなることを確認できる。一方で、(ID = 2-04, 2-05, 2-06, 2-07, 2-08, 2-09)については、見積不確実性が小さくなるほど、優位性が大きくなる。 PM_2 へのブローカー機能配置は、(ID = 2-00, 2-01, 2-02, 2-03, 2-04, 2-05)については、不確実性の減少に伴い、優位となることを確認できる。一方で、(ID = 2-06, 2-07)については、不確実性の増加に伴い、優位となった。

このように見積不確実性の増加に対して、一貫して優位になる傾向にあるブローカー機能配置と、設定値に応じて、優位となる場合と劣位となる場合が共存する配置があることが確認できた。

表 5-9 対全配置平均比率

「平均 APD の 4 ブローカー機能配置候補の平均」に対する，各ブローカー機能配置候補の平均 APD の比率（式(3.21)）．小さい値は相対的に優位であることを表す．

太字かつ下線の数値は各実験 ID における最良値を示し，**青字**は対応するケース 1 の実験に対して良い値を示す．

ID	Name	OM of APD	Ratio to Overall Mean of APD			
			Assignment of Broker Role			
			PoM	PM_1	PM_2	PM_3
2-00	S2.5	3.08	0.996	0.953	0.965	1.086
1-00	Baseline	3.81	0.966	0.967	1.021	1.047
2-01	S10.0	4.74	0.903	0.880	1.088	1.129
2-02	D(PoM-PM)-2-S2.5	3.39	0.978	0.950	0.995	1.077
1-04	D(PoM-PM)-2	4.34	0.907	0.935	1.031	1.127
2-03	D(PoM-PM)-2-S10.0	5.26	0.862	0.892	1.084	1.162
2-04	Bias-3-2-1-S2.5	3.47	1.042	0.933	0.982	1.044
1-11	Bias-3-2-1	4.55	1.045	0.867	0.999	1.089
2-05	Bias-3-2-1-S10.0	5.77	1.046	0.803	1.033	1.118
2-06	Bias-3-2-1-DU-2-S2.5	4.30	1.023	0.896	1.017	1.064
1-12	Bias-3-2-1-DU-2	6.20	1.050	0.850	1.001	1.099
2-07	Bias-3-2-1-DU-2-S10.0	7.60	1.088	0.824	1.013	1.075
2-08	Bias-3-2-1-DU-3-S2.5	5.16	1.000	0.908	1.072	1.021
1-13	Bias-3-2-1-DU-3	7.76	1.057	0.831	1.052	1.060
2-09	Bias-3-2-1-DU-3-S10.0	9.26	1.062	0.885	1.010	1.043

表 5-10 各ブローカー機能の配置候補の最良配置率と最悪配置率

太字かつ下線の数値は各実験 ID における最良値を示し、青字は対応するケース 1 の実験に対して良い値を示す。

ID	Name	Best Assignment Ratio				Worst Assignment Ratio			
		Assignment of Broker Role				Assignment of Broker Role			
		<i>PoM</i>	<i>PM₁</i>	<i>PM₂</i>	<i>PM₃</i>	<i>PoM</i>	<i>PM₁</i>	<i>PM₂</i>	<i>PM₃</i>
2-00	S2.5	<u>0.39</u>	0.27	0.23	0.10	0.34	<u>0.16</u>	0.20	0.30
1-00	Baseline	<u>0.38</u>	0.23	0.21	0.18	0.29	<u>0.15</u>	0.27	0.29
2-01	S10.0	<u>0.39</u>	0.29	0.19	0.13	0.14	<u>0.13</u>	0.39	0.33
2-02	D(PoM-PM)-2-S2.5	<u>0.34</u>	0.26	0.26	0.13	0.31	<u>0.11</u>	0.26	0.32
1-04	D(PoM-PM)-2	<u>0.40</u>	0.27	0.20	0.13	0.17	<u>0.16</u>	0.28	0.40
2-03	D(PoM-PM)-2-S10.0	<u>0.49</u>	0.24	0.15	0.12	<u>0.13</u>	0.14	0.35	0.38
2-04	Bias-3-2-1-S2.5	0.25	<u>0.44</u>	0.22	0.09	0.41	0.22	<u>0.18</u>	0.19
1-11	Bias-3-2-1	0.22	<u>0.51</u>	0.18	0.09	0.34	<u>0.14</u>	0.24	0.28
2-05	Bias-3-2-1-S10.0	0.21	<u>0.57</u>	0.16	0.05	0.31	<u>0.13</u>	0.28	0.28
2-06	Bias-3-2-1-DU-2-S2.5	0.22	<u>0.51</u>	0.19	0.08	0.35	<u>0.19</u>	0.24	0.22
1-12	Bias-3-2-1-DU-2	0.20	<u>0.50</u>	0.21	0.09	0.34	<u>0.13</u>	0.23	0.30
2-07	Bias-3-2-1-DU-2-S10.0	0.14	<u>0.56</u>	0.17	0.13	0.40	<u>0.11</u>	0.22	0.26
2-08	Bias-3-2-1-DU-3-S2.5	0.23	<u>0.46</u>	0.14	0.17	0.26	<u>0.20</u>	0.30	0.23
1-13	Bias-3-2-1-DU-3	0.19	<u>0.55</u>	0.14	0.12	0.30	<u>0.12</u>	0.31	0.26
2-09	Bias-3-2-1-DU-3-S10.0	0.13	<u>0.50</u>	0.20	0.16	0.27	<u>0.16</u>	0.29	0.28

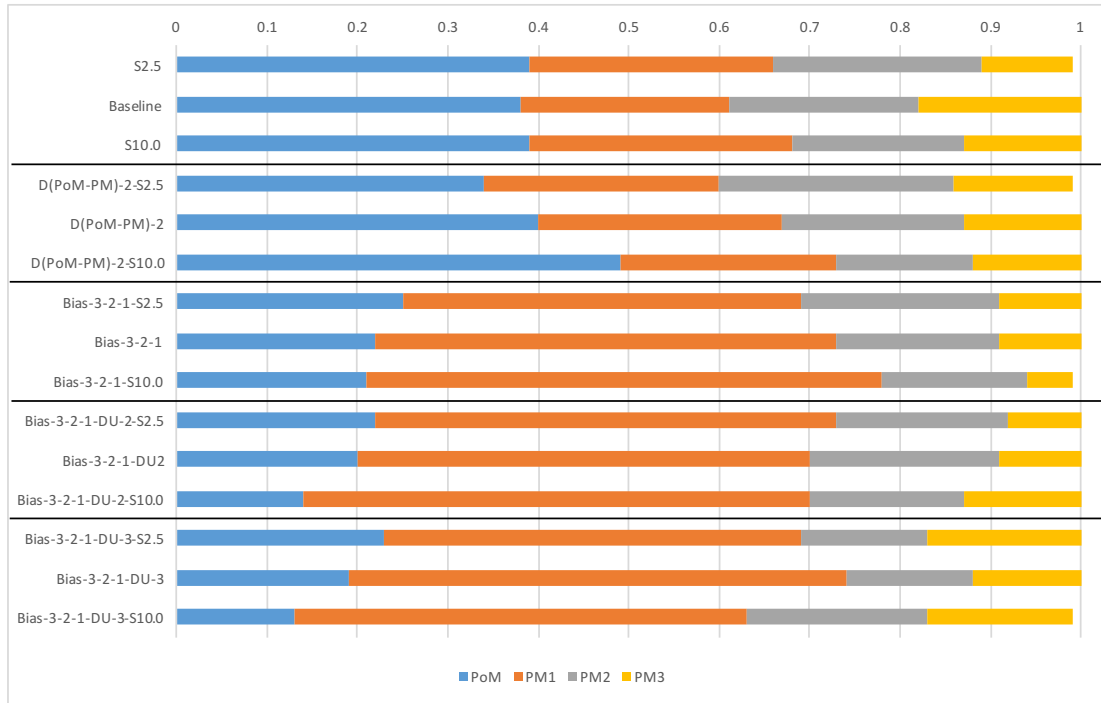


図 5-5 ブローカー機能の配置候補の最良配置率

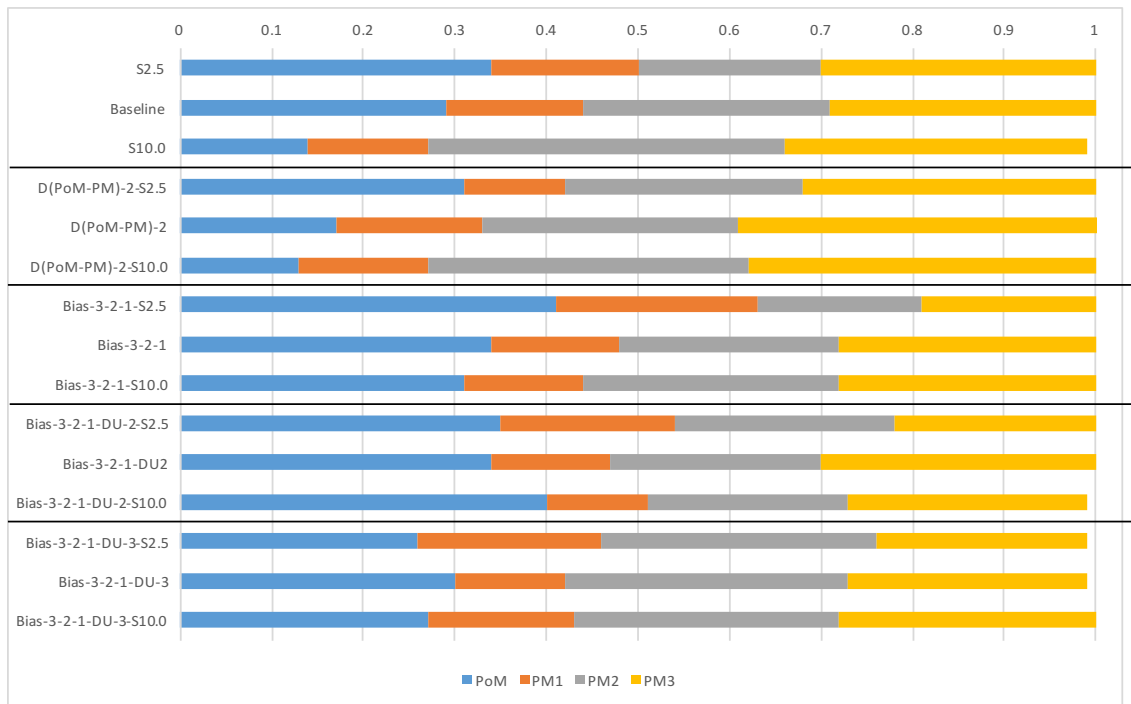


図 5-6 ブローカー機能の配置候補の最悪配置率

5.5 考察

5.5.1 情報伝達特性とブローカー機能の適切配置の関係性

ケーススタディの結果から、ポートフォリオマネージャーとプロジェクトマネージャーの間のコミュニケーション距離が一律に大きい場合は、ポートフォリオマネージャーへのブローカー機能の配置が優位となり、全配置の平均に対して 13%以上と遅延を短縮できるという結果を得た (ID = 2-03). しかしながら、 PM_I へのブローカー機能配置と比べて 3.4%の優位性にとどまる。これは、ブローカー機能がプロジェクトマネージャーに配置された場合、他のプロジェクトマネージャーからの供給依頼情報および作業への確認依頼情報を伝達する際のコミュニケーションが、ポートフォリオマネージャーがブローカーである場合の約 2 倍の時間を要する。一律に増加する場合、その影響が大きくなるため、全てのプロジェクトマネージャーから比較的近い距離に存在するポートフォリオマネージャーにブローカー機能を配置することが有効となる。

また、プロジェクト毎にコミュニケーション距離にバイアスが存在し、最も納期の厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーとのコミュニケーション距離が大きい場合は、そのプロジェクトマネージャーにブローカー機能を配置することがプロジェクトポートフォリオ全体のパフォーマンスを著しく向上させ、全配置平均に対して 19%以上平均遅延を短縮できるという結果を得た (ID = 2-05). この時、ポートフォリオマネージャーへブローカー機能を配置した場合に比べて、23.2%の遅延を短縮できており、著しく優位な結果となっている。

納期の厳しいプロジェクトにおいては、小さな見積誤差であっても人的資源の供給依頼が発生するため、供給依頼回数が多い。よって、その供給依頼を最も近い位置で処理可能な同一プロジェクトのプロジェクトマネージャーにブローカー機能を割り当てるのが有効となるためと考えられる。

5.5.2 見積不確実性とブローカー機能の適切配置の関係性

本モデルでは、見積不確実性に起因した見積誤差が人的資源再配置の契機となるため、不確実性が大きいほど、人的資源再配置のためのコミュニケーションは増加する。人的資源再配置のためのコミュニケーションの発生頻度と、それらのコミュニケーションに必要な情報伝達経路が小さくなる時に、円滑な人的資源再配置が実行可能となる。そのため、大まかに

いえば、見積不確実性の増大に伴い、優位性が向上したブローカー機能配置は、そのプロジェクトポートフォリオにおいて発生する人的資源再配置のための総コミュニケーション距離が小さくなる位置であったと解釈できる（厳密には、ある人的資源再配置によって後続の再配置が変化するため、コミュニケーションの種類や回数が変化してしまうため、個々のケースについては正確な表現とはいえない）。

この解釈の下、5.4.2 のケース 2 の結果から、 PM_I へのブローカー機能配置については、コミュニケーション距離のパターンを変化させた場合であっても、不確実性の増加に伴い優位性が向上しているため、納期の厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーを介したコミュニケーションの効率化は、ポートフォリオ全体への効果が大きいことが示唆される。

5.5.3 実組織へのブローカー機能の実装について

ケーススタディの結果、ポートフォリオマネージャーとのコミュニケーション距離が大きく、最も納期の厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーにブローカー機能を配置することがプロジェクトポートフォリオ全体のパフォーマンス向上につながるという結果を得た。しかしながら、納期の厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーは、ブローカー業務を十分に行えない場合も想定される。そこで、実組織への実装については、当該プロジェクトのプロジェクトマネージャーと同等の情報を入手可能な人員を用意し、人的資源再配置を実施すべきである。例えば、プロジェクトマネジメントオフィス(PMO)によって、納期の厳しいプロジェクトの人的資源不足を重点監視することによって代替可能である。多くの企業においては、プロジェクト規模の大きさに応じてプロジェクト監査可否を判定していることが多いが、本ケーススタディの結果を踏まえ、プロジェクトの緊急性に加え、ポートフォリオマネージャーとプロジェクトマネージャーの情報伝達の容易性、およびタスク作業量の見積不確実性に基づいた、監査可否判断が重要である。

5.6 まとめ

本章では、プロジェクト型組織の見積不確実性と情報伝達特性をモデル化し、仮想的なプロジェクトポートフォリオにおける適切なブローカー機能の配置箇所を評価した。本ケーススタディを通して得られた知見を以下にまとめる。

- プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いて、プロジェクト型組織における情報伝達特性と適切なブローカーの配置箇所の関係性が分析できた。ブローカー機能をポートフォリオマネージャーに配置すべきか、特定のプロジェクトマネージャーに配置すべきかの意思決定に必要な情報伝達特性に関する特徴を提示できたことから、有用性を確認できた。
- 本研究で提案したシミュレーションモデルにおいて、以下のプロジェクト型組織におけるブローカー機能配置指針が得られた。
 - ポートフォリオマネージャーと全てのプロジェクトマネージャーのコミュニケーション距離が一律に大きい場合は、ポートフォリオマネージャーへのブローカー機能の配置が優位となる傾向がみられた。
 - ポートフォリオマネージャーと各プロジェクトマネージャーの間のコミュニケーション距離にバイアスが存在し、最も納期の厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーとのコミュニケーション距離が大きい場合は、そのプロジェクトマネージャーに対するブローカー機能の配置が優位となる傾向がみられた。特に、ポートフォリオマネージャーにブローカー機能を配置した場合に比べて、著しく優位な傾向があった。

第6章 マトリクス型組織におけるコミュニケーション改善設計

6.1 はじめに.....	101
6.2 問題設定.....	102
6.2.1 タスク情報	102
6.2.2 組織情報.....	104
6.2.3 組織内コミュニケーション改善設計.....	108
6.3 ケース 1：既存コミュニケーション距離改善設計.....	109
6.3.1 評価方法.....	110
6.3.2 ケース 1a：距離 2 以上のエッジの距離短縮	110
6.3.3 ケース 1b：距離 2 以上のエッジの距離増加	113
6.4 ケース 2：コミュニケーション経路の追加.....	115
6.4.1 評価方法.....	115
6.4.2 ケース 2a：新規のつながり（距離 2）追加	115
6.4.3 ケース 2b：新規のつながり（距離 1）追加	116
6.5 考察.....	117
6.5.1 ポートフォリオパフォーマンス向上の要因	117
6.5.2 コミュニケーション距離短縮による悪影響.....	118
6.5.3 コミュニケーション距離の削減の組合せ効果	119
6.5.4 より良い距離削減パターンの探索方法の必要性.....	122
6.5.5 コミュニケーション距離削減箇所特定と組織実装	122
6.5.6 追加すべきつながりと人員のスキルセットの関係性	122
6.6 まとめ	124

6.1 はじめに

本章では、情報システム企業 A 社の実データに基づいて、マトリクス型組織における実プロジェクトポートフォリオにおける組織の情報伝達特性の改善設計を行う。図 6-1 に提案手法の概要と本ケーススタディの関係性を示す。具体的には、マトリクス型組織における情報システム展開プロジェクトの実績データを基に、実ポートフォリオのタスク情報、組織情報についてモデリングを行う。次に特定の人員間のコミュニケーション距離を縮めた場合の、プロジェクトポートフォリオのパフォーマンスに対する影響を定量的に評価し、効果的な改善案を設計する。最後に、改善案の実装方法について実現可能性やコストを考慮した上で検討する。マトリクス型組織においては、機能部門における静的な情報伝達特性とプロジェクトへの人員配置によって変化する動的な情報伝達特性の 2 つを組み合わせた複雑な情報伝達特性を考慮する必要がある。また、第 5 章におけるケーススタディで評価したようなブローカー機能の配置を自由に変更できない組織も存在する。そのような組織においては、ブローカー機能の配置は固定のまま、組織内コミュニケーションの改善方法を検討することに意味がある。

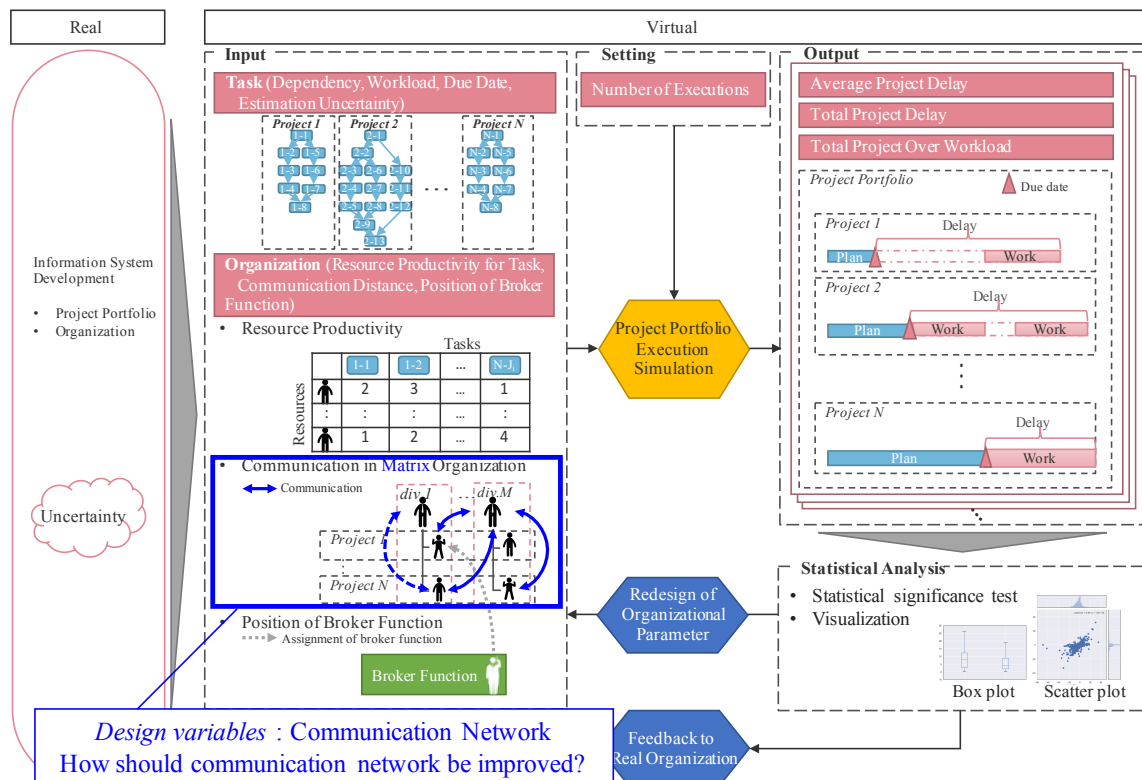


図 6-1 提案手法の概要と本ケーススタディの関係性

6.2 問題設定

6.2.1 タスク情報

本ケーススタディでは、実際の情報システム企業 A 社における業務効率化システムの展開プロジェクトの実績データを基に、タスク情報を設定する。なお、本実績データは、手動で入力・更新された電子ファイルである。本データからある期間を抽出し、5 つの情報システム展開プロジェクトからなるプロジェクトポートフォリオを設定する。

プロジェクトポートフォリオの基本情報を表 6-1、タスク間の依存関係を図 6-2、プロジェクト P_i のタスク a_{ij} 情報を表 6-2 に示す。

各プロジェクトの総タスク数 J_i 、タスク間の依存関係は同一であるが(図 6-2 参照)、実績データを基に各タスクの作業工数 wl_{ij} は異なる値を設定した(表 6-2)。見積不確実性は、総工数が多いプロジェクトほど大きくなるように設定した。また、最早開始時刻 ed_i は一律 0 とし、予定納期 dd_i については、リソース競合は考えず、各プロジェクト P_i のクリティカルパス上のタスクを生産性 1(人時間/時間)で実施するのに必要な時間の 1.2 倍の所要時間を設定する。

表 6-1 プロジェクトポートフォリオの基本情報

Name	Variable	Unit		Portfolio				
				P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
タスク数	J_i	-	45	9	9	9	9	9
総タスク量	$\sum_j^{J_i} wl_{ij}$	(person-hour)	399	11	42	81	119	146
見積不確実性	σ_i	(person-hour)	-	1	2	4	8	16
開始時刻	ed_i	(hour)	0	0	0	0	0	0
納期	dd_i	(hour)	130	12	43	84	124	130

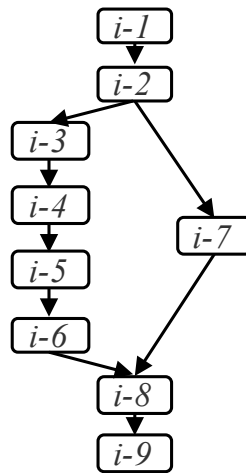


図 6-2 タスク a_{ij} 間の依存関係（全プロジェクト共通）

表 6-2 プロジェクト P_i のタスク a_{ij} の作業工数 wl_{ij}

Task j	Description	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
a_{i1}	Introduction	1	2	3	4	5
a_{i2}	Interview	1	3	7	11	12
a_{i3}	Business Analysis	1	5	9	13	9
a_{i4}	Data Confirmation	1	4	9	13	12
a_{i5}	Proposal of Application	3	7	12	17	10
a_{i6}	Data Scanning	1	6	13	19	32
a_{i7}	Server Environment Construction	1	6	11	16	38
a_{i8}	Batch Execution	1	8	16	25	27
a_{i9}	Result Reporting	1	1	1	1	1
Total Workload (person-hour)		11	42	81	119	146
Critical Path (person-hour)		10	36	70	103	108
Estimation Error (person-hour)		1	2	4	8	16

6.2.2 組織情報

プロジェクトポートフォリオの人員情報を表 6-3, 作業員 R_m の各タスク a_{ij} の生産性($r_{ij, m}$)を表 6-4, 機能型組織としてのコミュニケーションネットワークを図 6-3, コミュニケーション距離行列 CD^f を表 6-5, プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ を表 6-6 にそれぞれ示す.

実プロジェクトポートフォリオの実態のとおり, 機能部門 $div.1$ の O は, ポートフォリオマネージャーであり, ブローカー機能を保有する. 機能部門 $div.1$ の A はプロジェクト P_1, P_2 のプロジェクトマネージャーおよび作業員 R_1 を兼務し, 同様に機能部門 $div.1$ の B はプロジェクト P_3, P_4 のプロジェクトマネージャーおよび作業員 R_2 を兼務している. また, 機能部門 $div.1$ の C はプロジェクト P_5 のプロジェクトマネージャーと作業員 R_3 を兼務している(表 6-3).

各作業員 R_m の各タスク a_{ij} の生産性($r_{ij, m}$)については, 実プロジェクトデータの各作業員の作業実績量を基に定量化した(表 6-4).

機能型組織におけるコミュニケーション距離行列 CD^f については, 表 3-3 の距離基準に則り作成した図 6-3 のコミュニケーションネットワークに基づいて算出する. コミュニケーションネットワークのモデル化にあたり, 人員の特性に基づき, 修正を加えた. 具体的には, F, H, L は各部門の委託先の作業員であるため, 他の機能部門の人員とは, 直接情報伝達できないと仮定した. また, I, J は機能部門 $div.4$ の人員であるが, 機能部門 $div.1$ に常駐していたため, 機能部門 $div.1$ と同部門と仮定し, エッジの距離の値を設定した. 表 6-5 に本コミュニケーションネットワークに基づいて得られた機能型組織におけるコミュニケーション距離行列 CD^f を示す.

また, プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ については, 3.3.6.1 に基づいて作成する(表 6-6). 本ケーススタディにおいては, ポートフォリオマネージャーとプロジェクトマネージャーの平均情報伝達時間がおおよそ 2 時間程度であったので, 表 5-3 の $CD^p(t)$ を $N=5$ の場合で算出し, 各要素を 2 倍した距離を用いる. 表中の R_{mi} は時刻 t において, プロジェクト P_i に属する作業員を表す. すなわち, $R_{mi} \in RA_i(t)$ である. また, R_{mp} は, 時刻 t においてリソースプールに属する作業員(どのプロジェクトにも未割当)を表す.

表 6-3 プロジェクトポートフォリオの人員

<i>Division</i>	<i>Name</i>	<i>Title</i>	<i>Role</i>	<i>Description</i>
<i>div.1</i>	<i>O</i>	<i>Manager</i>	<i>PoM</i>	Portfolio Manager, Broker
	<i>A</i>	<i>Employee</i>	<i>PM₁, PM₂, R₁</i>	Project Manager for <i>P₁</i> and <i>P₂</i> , Worker
	<i>B</i>	<i>Employee</i>	<i>PM₃, PM₄, R₂</i>	Project Manager for <i>P₃</i> and <i>P₄</i> , Worker
	<i>C</i>	<i>Employee</i>	<i>PM₅, R₃</i>	Project Manager for <i>P₅</i> , Worker
<i>div.2</i>	<i>D</i>	<i>Employee</i>	<i>R₄</i>	Worker
	<i>E</i>	<i>Employee</i>	<i>R₅</i>	Worker
	<i>F</i>	<i>Employee</i>	<i>R₆</i>	Outsourcing worker
<i>div.3</i>	<i>G</i>	<i>Employee</i>	<i>R₇</i>	Worker
	<i>H</i>	<i>Employee</i>	<i>R₈</i>	Outsourcing worker
<i>div.4</i>	<i>I</i>	<i>Employee</i>	<i>R₉</i>	Worker in same office as <i>div.1</i>
	<i>J</i>	<i>Employee</i>	<i>R₁₀</i>	Worker in same office as <i>div.1</i>
<i>div.5</i>	<i>K</i>	<i>Employee</i>	<i>R₁₁</i>	Worker
	<i>L</i>	<i>Employee</i>	<i>R₁₂</i>	Outsourcing worker

表 6-4 作業員 R_m のタスク a_{ij} の生産性 $r_{ij,m}$ (人時間/時間)

Task j	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
a_{i1}	1	1	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0
a_{i2}	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1
a_{i3}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1
a_{i4}	2	1	2	2	0	0	0	0	1	0	1	1
a_{i5}	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
a_{i6}	2	2	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0
a_{i7}	0	2	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0
a_{i8}	0	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
a_{i9}	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

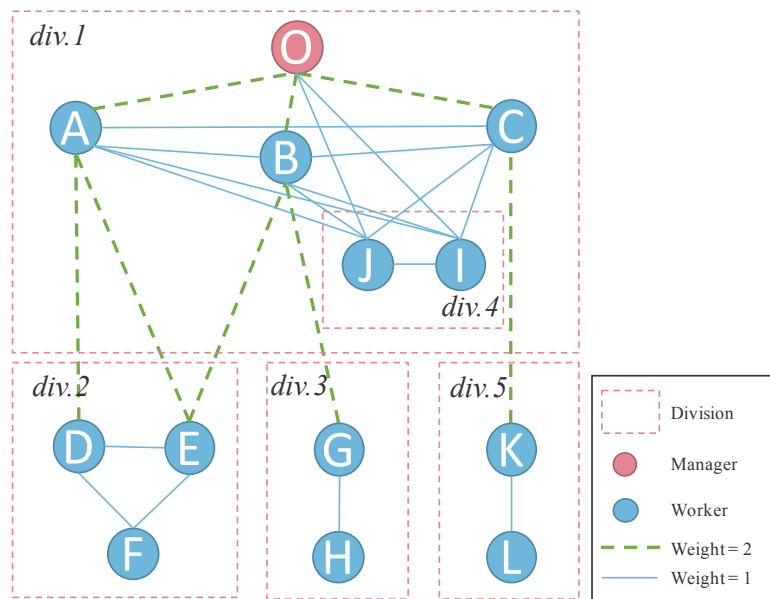


図 6-3 コミュニケーションネットワーク

表 6-5 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列

Div.	Name	<i>O</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
<i>div.1</i>	<i>O</i>	0	2	2	2	4	4	5	4	5	3	3	4	5
	<i>A</i>	2	0	1	1	2	2	3	3	4	1	1	3	4
	<i>B</i>	2	1	0	1	3	2	3	2	3	1	1	3	4
	<i>C</i>	2	1	1	0	3	3	4	3	4	1	1	2	3
<i>div.2</i>	<i>D</i>	4	2	3	3	0	1	1	5	6	3	3	5	6
	<i>E</i>	4	2	2	3	1	0	1	4	5	3	3	5	6
	<i>F</i>	5	3	3	4	1	1	0	5	6	4	4	6	7
<i>div.3</i>	<i>G</i>	4	3	2	3	5	4	5	0	1	3	3	5	6
	<i>H</i>	5	4	3	4	6	5	6	1	0	4	4	6	7
<i>div.4</i>	<i>I</i>	3	1	1	1	3	3	4	3	4	0	1	3	4
	<i>J</i>	3	1	1	1	3	3	4	3	4	1	0	3	4
<i>div.5</i>	<i>K</i>	4	3	3	2	5	5	6	5	6	3	3	0	1
	<i>L</i>	5	4	4	3	6	6	7	6	7	4	4	1	0

表 6-6 プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ ($N=5$)

ID		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	PoM	0	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
1	PM_1	2	0	4	4	4	4	2	6	6	6	6	4
2	PM_2	2	4	0	4	4	4	6	2	6	6	6	4
3	PM_3	2	4	4	0	4	4	6	6	2	6	6	4
4	PM_4	2	4	4	4	0	4	6	6	6	2	6	4
5	PM_5	2	4	4	4	4	0	6	6	6	6	2	4
6	R_{m1}	4	2	6	6	6	6	0	8	8	8	8	4
7	R_{m2}	4	6	2	6	6	6	8	0	8	8	8	4
8	R_{m3}	4	6	6	2	6	6	8	8	0	8	8	4
9	R_{m4}	4	6	6	6	2	6	8	8	8	0	8	4
10	R_{m5}	4	6	6	6	6	2	8	8	8	8	0	4
11	R_{mp}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0

6.2.3 組織内コミュニケーション改善設計

本項では、式(6.1)で表される離散イベントシミュレーションを用いて出力されたプロジェクトポートフォリオの総プロジェクト遅延(式(3.22))，総計画外工数(式(3.23))を基に，組織内情報伝達特性の変更 ΔCD^f を評価し，組織内情報伝達特性の改善方法を設計する．組織情報 \mathbf{O} の変化量 $\Delta \mathbf{O}$ として，機能型組織としてのコミュニケーション距離行列の変化量 ΔCD^f を選定したことに相当する．

$$\mathbf{S} = \text{Sim}(\mathbf{T}, \mathbf{O}, \Delta CD^f) \quad (6.1)$$

シミュレーション Sim のインプットは大きく 3 種類あり，改善対象のプロジェクトポートフォリオ情報として，タスク情報 \mathbf{T} ，組織情報 \mathbf{O} ，また，設計変数として，機能型組織におけるコミュニケーション距離行列の改善値 ΔCD^f がある．タスク情報 \mathbf{T} は，プロジェクトポートフォリオを

構成する各プロジェクト P_i , $i \in \{1, \dots, N\}$, P_i の最早開始時刻 ed_i , 予定納期 dd_i , タスク a_{ij} , タスク a_{ij} の作業量 wl_{ij} , タスク a_{ij} の優先順位制約 $PT_{ij} \subseteq \{a_{i1}, \dots, a_{ij}\}$, および各プロジェクト P_i の特性に応じた見積不確実性 σ_i を含む. 次に, 組織情報 \mathbf{O} は, プロジェクトポートフォリオに割当可能な全作業員 R_m , $m \in \{1, \dots, M\}$, 各作業員のタスク a_{ij} の生産性 $r_{ij, m}$, ブローカー機能の配置情報 BF , 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列 CD^f , および, プロジェクト型組織におけるコミュニケーション距離行列 $CD^p(t)$ を含む. 機能型組織におけるコミュニケーション距離行列の改善値 ΔCD^f は, 設計変数であり, 対象のポートフォリオの機能型組織におけるコミュニケーション距離行列 CD^f に対する変化量を表す. 具体的には, 特定の人員 H_{l1} と人員 H_{l2} のコミュニケーションネットワーク上の距離をある単位変化させた場合の CD^f と元のコミュニケーション距離行列 CD^f の差を表す.

シミュレーション Sim のアウトプットとして, プロジェクトポートフォリオ全体の実行スケジュール \mathbf{S} を, 各プロジェクト P_i のスケジュール S_i の集合として得る.

本ケーススタディ(情報伝達特性改善設計)の目的は, 式(6.2)で表せ, 式(3.22)の総プロジェクト遅延と式(3.23)の総計画外工数の2つの目的変数の値を小さくするようなコミュニケーション距離行列の変化量 $\widehat{\Delta CD^f}$ を得ることとなる.

$$\widehat{\Delta CD^f} = \underset{\Delta CD^f}{\operatorname{argmin}} (\alpha TPD(\mathbf{S}) + (1 - \alpha) TPOWL(\mathbf{S})) \quad (6.2)$$

α は, スケジュールとコストの重要度の割合を表し, 情報伝達特性の改善時に, 改善担当者が決定する. 本稿においては, ΔCD^f を複数パターン変化させ, シミュレーションを実行し, 式(6.2)を満たすコミュニケーション距離行列の変化量 $\widehat{\Delta CD^f}$ を探索する.

6.3 ケース 1: 既存コミュニケーション距離改善設計

本ケーススタディにおいては, プロジェクトポートフォリオにおける情報伝達特性の変化量を複数パターン試し, プロジェクトポートフォリオを評価する. 2 つのケーススタディを実施する. 1 つ目のケーススタディにおいては, 既存のコミュニケーションネットワークのエッジの距離の変化によるポートフォリオパフォーマンスへの影響を評価する. 次に, 2 つ目のケーススタディにおいて, 既存のコミュニケーションネットワークにない関係性の追加によるポートフォリオパフォーマンスへの影響を評価する.

6.3.1 評価方法

ケーススタディ 1 においては、機能型組織におけるコミュニケーションネットワーク(図 6-3)のエッジのうち、比較的コミュニケーションに時間を要するエッジのみを考える(図 6-3 の破線)。エッジの距離 2 以上の各エッジを 1 削減する場合の変化量 ΔCD^f (8 パターン)の効果の評価(ケース 1-a)とエッジの距離 2 以上の各エッジを 1 増加する場合の変化量 ΔCD^f (8 パターン)の効果の評価(ケース 1-b)を行う。

見積不確実性に基づき、各変化量 ΔCD^f に対して、乱数を変化させ、1,000 種類の見積作業量のパターンを生成し、シミュレーションを行う。1,000 回の試行の総プロジェクト遅延と総計画外工数の平均値を基に、コミュニケーションネットワークの各変化量 ΔCD^f を評価する。また、総プロジェクト遅延と総計画外工数については、正規性が確認できなかったため、それぞれのベースラインとの差の検定には、3.3.9.6 で述べた通り、対応関係がとれているデータに対するノンパラメトリック検定の 1 つであるウィルコクソン符号付順位検定を用いる。有意水準は 1%にて両側検定を行う。

6.3.2 ケース 1a：距離 2 以上のエッジの距離短縮

表 6-7, 表 6-8 に各パターンにおける総プロジェクト遅延と総計画外工数それぞれについて、1,000 試行の平均値, 標準偏差, 最小値, 中央値, 最大値, 平均値とベースラインの平均値との差, P 値を示す。平均値とベースラインの平均値との差のうち、改善傾向があったものに下線を付与している。また、P 値については、統計的な有意性がいえるものに下線を付与している。

結果、ポートフォリオマネージャーであり、機能部門 *div.1* の管理職である *O* と、各プロジェクトマネージャー *A, B, C* との距離削減は、総プロジェクト遅延の短縮に統計的に有意に効果があり、各プロジェクトマネージャー *A, B* との距離削減は、総計画外工数の削減にも統計的に有意に効果があるといえる。また、ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクト *P₁, P₂* のプロジェクトマネージャーおよび作業員 *R₁* である *A* との間の距離を改善させる(パターン 1)と、総プロジェクト遅延と総計画外工数の双方の削減に最も効果的であることがわかった。平均 109.2 分の遅延時間の短縮, 平均 0.58 人時間の工数削減が期待される。割合でいえば、20.0%の遅延時間の短縮, 15.2%の工数削減に相当する。加えて、総プロジェクト遅延の最大値は 18 時間短縮でき、総計画外工数の最大値も 10 人時間削減できることがわかった。

表 6-7 距離短縮後の総プロジェクト遅延（時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	9.09	7.91	0	8	82		-
1	O-A	7.27	6.68	0	6	64	<u>-1.82</u>	<u>2.62E-22</u>
2	O-B	7.95	7.4	0	6	48	<u>-1.14</u>	<u>4.34E-11</u>
3	O-C	8.47	7.36	0	7	55	<u>-0.62</u>	<u>1.84E-04</u>
4	A-D	9.04	7.79	0	8	82	<u>-0.05</u>	8.17E-01
5	A-E	9.1	7.97	0	8	82	0.01	7.04E-01
6	B-E	8.99	7.92	0	8	82	<u>-0.1</u>	2.50E-02
7	B-G	9.06	7.91	0	8	82	-0.03	6.87E-02
8	C-K	9.09	7.91	0	8	82	0	9.86E-01

表 6-8 距離短縮後の総計画外工数（人・時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	3.82	4.45	0	2	43		-
1	O-A	3.24	3.75	0	2	33	<u>-0.58</u>	<u>2.93E-08</u>
2	O-B	3.33	4.32	0	2	43	<u>-0.49</u>	<u>2.45E-06</u>
3	O-C	3.77	4.63	0	2	47	<u>-0.05</u>	4.16E-01
4	A-D	3.8	4.52	0	2	43	<u>-0.02</u>	6.22E-01
5	A-E	3.81	4.49	0	2	43	<u>-0.01</u>	5.31E-01
6	B-E	3.78	4.47	0	2	43	<u>-0.04</u>	1.61E-01
7	B-G	3.75	4.39	0	2	46	<u>-0.07</u>	2.05E-01
8	C-K	3.83	4.45	0	2	43	0.01	3.77E-01

図 6-4, 図 6-5 に, 総プロジェクト遅延と総計画外工数共に統計的に効果が見込めたパターン 1 (O-A 距離短縮), パターン 2 (O-B 距離短縮) の総プロジェクト遅延と総計画外工数のベースラインとの差の散布図を示す (1,000 プロット). 横軸が総プロジェクト遅延の差 (距離

短縮後の総プロジェクト遅延とベースラインの総プロジェクト遅延の差)を表す。ベースラインと同一の総プロジェクト遅延の場合は 0 となる。負の値は、距離短縮による遅延削減効果があったことを表し、正の値は、距離短縮による悪影響があった場合を表す。同様に、縦軸が総計画外工数の差(距離短縮後の総計画外工数とベースラインの総計画外工数の差)を表す。負の値は、距離短縮による遅延削減効果があったことを表し、正の値は、距離短縮による悪影響があった場合を表す。つまり、左下の第三象限のプロットは、遅延、工数共に改善した場合を示し、右上の第一象限のプロットは、遅延工数共に悪化した場合を意味する。パターン 1、パターン 2 共に、平均としては左下にシフトし、改善しているが、改善と悪化の両方の場合を含みばらついていることがわかる。また、パターン 1 の方が、パターン 2 に比べ、大きな悪化(右上の外れた点)がすくないことがわかる。

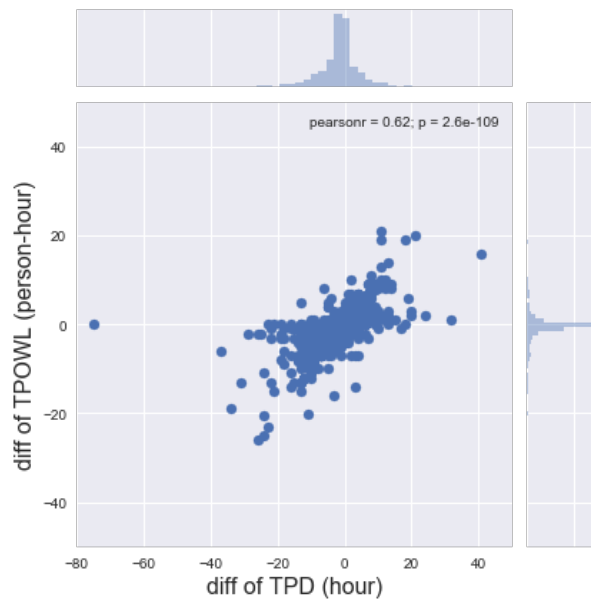


図 6-4 距離削減による総プロジェクト遅延と総計画外工数の変化
(パターン 1:O-A 距離短縮)

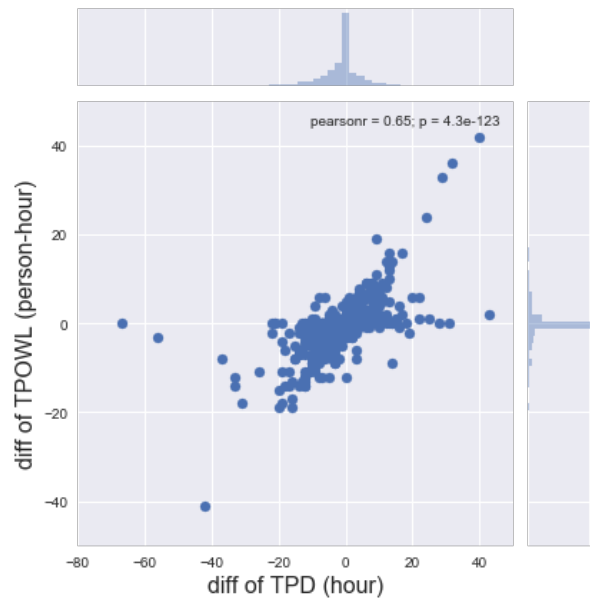


図 6-5 距離削減による総プロジェクト遅延と総計画外工数の変化
(パターン 2:O-B 距離短縮)

6.3.3 ケース 1b：距離 2 以上のエッジの距離増加

ケース 1b では、ケース 1a で距離短縮を行なったエッジに対して、距離増加を行った結果を示す。表 6-9、表 6-10 に各パターンにおける総プロジェクト遅延と総計画外工数それぞれについて、1,000 試行の平均値、標準偏差、最小値、中央値、最大値、平均値とベースラインの平均値との差、P 値を示す。平均値とベースラインの平均値との差のうち、悪化傾向があったものに下線を付与している。また、P 値については、統計的な有意性がいえるものに下線を付与している。

結果、ポートフォリオマネージャーであり、機能部門 *div.1* の管理職である O と、各プロジェクトマネージャー A、B との距離増加は、総プロジェクト遅延の増加に統計的に有意に影響があり、各プロジェクトマネージャー B との距離増加は、総計画外工数の増加にも統計的に有意に影響があるといえる。また、ポートフォリオマネージャー O とプロジェクトマネージャー A との間の距離を増加させる(パターン 1)と総プロジェクト遅延の増加に最も影響があった。平均 29.4 分の遅延時間の増加が予想される。また、総プロジェクト遅延の最大値も 10 時間増加することがわかった。一方で、ポートフォリオマネージャー O とプロジェクトマネージャー B との間の距離を増加させる(パターン 2)と総計画外工数の増加に最も影響があった。平均 0.27 人時間

の工数増加が予想される。加えて、総計画外工数の最大値も7人時間増加することがわかった。

表 6-9 距離増加後の総プロジェクト遅延（時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	9.09	7.91	0	8	82		-
1	O-A	9.58	8.23	0	8	92	<u>0.49</u>	<u>1.22E-04</u>
2	O-B	9.48	8.13	0	8	87	<u>0.39</u>	<u>1.30E-05</u>
3	O-C	8.84	7.71	0	8	82	-0.25	1.56E-01
4	A-D	9.11	7.98	0	8	82	<u>0.02</u>	9.41E-01
5	A-E	9.03	7.86	0	8	82	-0.06	2.71E-01
6	B-E	9.07	7.92	0	8	82	-0.02	2.36E-01
7	B-G	9.05	7.89	0	8	82	-0.04	6.97E-01
8	C-K	9.08	7.9	0	8	82	-0.01	8.24E-01

表 6-10 距離増加後の総計画外工数（人・時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	3.82	4.45	0	2	43		-
1	O-A	4.06	5.12	0	2	46	<u>0.24</u>	1.56E-01
2	O-B	4.09	4.9	0	2	50	<u>0.27</u>	<u>6.97E-04</u>
3	O-C	3.56	4.19	0	2	43	-0.26	1.24E-02
4	A-D	3.81	4.51	0	2	43	-0.01	8.79E-01
5	A-E	3.81	4.48	0	2	43	-0.01	3.64E-02
6	B-E	3.82	4.46	0	2	43	0	4.40E-01
7	B-G	3.8	4.44	0	2	43	-0.02	8.93E-01
8	C-K	3.82	4.44	0	2	43	0	5.09E-01

6.4 ケース 2：コミュニケーション経路の追加

6.4.1 評価方法

ケーススタディ 2 では、機能型組織におけるコミュニケーションネットワーク(図 6-3)において、効果的な新規のつながりを評価する。本ケースでは、ポートフォリオマネージャー *O* と直接的な関係がなかった人員 9 名 (*D, E, F, G, H, I, J, K, L*) との新規の関係追加を考える。

新規のつながりのエッジの距離 2 種類変化させ、それぞれ変化量 ΔCD^f (9 パターン) のポートフォリオへの効果評価を実施する。新規のつながりの距離が 2 の場合をケース 2-a とし、新規のつながりの距離が 1 の場合をケース 2-b とする。

ケーススタディ 1 と同様に、見積不確実性に基づき、各変化量 ΔCD^f に対して、乱数を変化させ、1,000 種類の見積作業量のパターンを生成し、シミュレーションを行う。また、1,000 回の試行の総プロジェクト遅延の平均値を基に、コミュニケーションネットワークの各変化量 ΔCD^f を評価する。

6.4.2 ケース 2a：新規のつながり（距離 2）追加

表 6-11 に各パターンにおける総プロジェクト遅延について、1,000 試行の平均値、標準偏差、最小値、中央値、最大値、平均値とベースラインの平均値との差、P 値を示す。平均値とベースラインの平均値との差のうち、改善傾向があったものに下線を付与している。また、P 値については、統計的な有意性がいえるものに下線を付与している。

結果、4/9 のパターンで統計的に有意なパフォーマンス向上が見られた。特に、機能部門 *div.1* のポートフォリオマネージャー *O* と機能部門 *div.3* の人員 *G, H* との関係性追加は、総プロジェクト遅延の短縮に比較的大きな効果があり、人員 *H* との関係性追加は、平均 31.8 分の遅延時間の短縮が期待される。加えて、総プロジェクト遅延の最大値は 16 時間短縮できることがわかった。

表 6-11 新規関係（距離 2）追加後の総プロジェクト遅延（時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	9.09	7.91	0	8	82	-	-
1	O-D	9	7.87	0	8	82	<u>-0.09</u>	1.25E-01
2	O-E	8.96	7.87	0	8	82	<u>-0.13</u>	4.43E-02
3	O-F	8.97	7.85	0	8	82	<u>-0.12</u>	<u>3.59E-03</u>
4	O-G	8.59	7.39	0	7	66	<u>-0.5</u>	<u>1.50E-07</u>
5	O-H	8.56	7.25	0	7	66	<u>-0.53</u>	<u>3.01E-09</u>
6	O-I	8.89	7.64	0	7.5	66	<u>-0.2</u>	<u>3.96E-07</u>
7	O-J	9.08	8.19	0	8	89	<u>-0.01</u>	6.28E-01
8	O-K	9.07	7.88	0	8	82	<u>-0.02</u>	2.83E-01
9	O-L	9.09	7.89	0	8	82	0	8.94E-01

6.4.3 ケース 2b：新規のつながり（距離 1）追加

表 6-12 に各パターンにおける総プロジェクト遅延について、1,000 試行の平均値、標準偏差、最小値、中央値、最大値、平均値とベースラインの平均値との差、P 値を示す。平均値とベースラインの平均値との差のうち、改善傾向があったものに下線を付与している。また、P 値については、統計的な有意性がいえるものに下線を付与している。

結果、9 パターン中 6 パターンで統計的に有意なパフォーマンス向上が見られた。ケース 2-a と同様、ポートフォリオマネージャー *O* と人員 *G*, *H* との関係性追加は、総プロジェクト遅延の短縮に大きな効果があり、人員 *G* との関係性追加は平均 75.6 分の遅延時間の短縮が期待される。割合でいえば、13.9%の遅延時間の短縮に相当する。加えて、総プロジェクト遅延の最大値は 16 時間短縮できることがわかった。

表 6-12 新規関係（距離 1）追加後の総プロジェクト遅延（時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	9.09	7.91	0	8	82	-	-
1	O-D	8.95	7.87	0	8	82	<u>-0.14</u>	1.25E-02
2	O-E	8.8	7.78	0	8	82	<u>-0.29</u>	2.46E-08
3	O-F	8.74	7.49	0	8	66	<u>-0.35</u>	2.47E-07
4	O-G	7.83	6.98	0	6	66	<u>-1.26</u>	2.04E-27
5	O-H	7.93	7.1	0	6	66	<u>-1.16</u>	2.72E-24
6	O-I	8.32	7.7	0	7	86	<u>-0.77</u>	6.31E-31
7	O-J	8.67	7.84	0	7	86	<u>-0.42</u>	1.03E-12
8	O-K	9.09	7.9	0	8	82	0	9.75E-01
9	O-L	9.07	7.88	0	8	82	<u>-0.02</u>	3.77E-01

6.5 考察

6.5.1 ポートフォリオパフォーマンス向上の要因

ケース 1a, ケース 1b の結果から, ポートフォリオマネージャー O とプロジェクトマネージャー A , ポートフォリオマネージャー O とプロジェクトマネージャー B の間の距離を短縮することで, ポートフォリオパフォーマンスは向上した. これは, クリティカルパス上のタスクの所要時間の総和と納期の差が小さいプロジェクト P_1, P_2 のプロジェクトマネージャーが A であり, 次に同差が小さいプロジェクト P_3, P_4 のプロジェクトマネージャーが B であったためであると考えられる. 表 6-13 に, 生産性 1 (人時間/時間) で実行した場合の各プロジェクト P_i のクリティカルパス上のタスクの所要時間の総和と納期の差を示す. 人的資源の不足が生じ, クリティカルパス上のタスクが遅延可能な許容時間を意味しており, その余裕が小さいプロジェクトほど, 短期間で人的資源の調整が必要となる.

表 6-13 クリティカルパスの長さとの納期の差

Variable	Unit		Portfolio				
			P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Project Manager	-	-	A	A	B	B	C
Critical Path	(hour)	108	10	36	70	103	108
dd_i	(hour)	130	12	43	84	124	130
gap	(hour)	22	2	7	14	21	22

6.5.2 コミュニケーション距離短縮による悪影響

ケーススタディ 1 において、パターン1(ポートフォリオマネージャーO とプロジェクトマネージャーA の距離削減)とパターン2(ポートフォリオマネージャーO とプロジェクトマネージャーB の距離削減)において全体としてはコミュニケーション距離短縮による効果が示された。しかしながら、全ての試行において、ベースラインに対して結果が改善するわけではない。図 6-4、図 6-5 の横軸(総プロジェクト遅延の増分)、縦軸(総計画外工数の増分)のそれぞれについて、0 以上となるプロットが存在しており、総プロジェクト遅延および総計画外工数が増加し、パフォーマンスが劣化する場合があることがわかる。

コミュニケーション距離が短縮されても、ベースラインに対して、遅延あるいはコストが増加する場合を類型化すると以下の 3 通りある。

1 つ目は、比較的納期に余裕のあるプロジェクトに対する人的資源の供給が先行し、納期が短いプロジェクトの人材不足が発生するケースである。2 つ目は、早期人員リリースによって、スキルセットのミスマッチが発生するケースである。人員リリースのタイミングがベースラインより早くなるため、後続タスクを実行可能な人員をリリースしてしまい、着手不可能になってしまうケースである。3 つ目は、人員配分タイミングによっては、割り当てられた人的資源のスキルセットと後続タスクのミスマッチが発生する場合である。早い段階で空き時間のあるスキルの高くない人的資源を割り当てるより、数時間後にスキルの高い人材を割り当てた場合にプロジェクトが円滑に進むケースである。

2 つ目、3 つ目の遅延はリリースと割り当てタイミングがベースラインに対して、変化することによって発生する遅延であり、早期に人員配分ができることでパフォーマンス向上につながるケースも存在している。

6.5.3 コミュニケーション距離の削減の組合せ効果

ケーススタディ 1 の距離増減による総プロジェクト遅延への影響を図 6-6 に、総計画外工数への影響を図 6-7 にまとめる。距離増加の場合を赤の折れ線、距離削減の場合を青の折れ線で示す。それぞれのベースライン（距離変化前）は、9.09 時間、3.83 人時間である。ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *A* の間のコミュニケーション（*O-A*）については、短縮の場合に統計的に有意に遅延短縮効果、工数削減効果を確認し、増加の場合に統計的に有意に遅延増加影響を確認した。ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *B* の間のコミュニケーション（*O-B*）については、短縮の場合に統計的に有意に遅延短縮効果、工数削減効果を確認し、増加の場合に統計的に有意に遅延増加影響、工数増加影響を確認した。

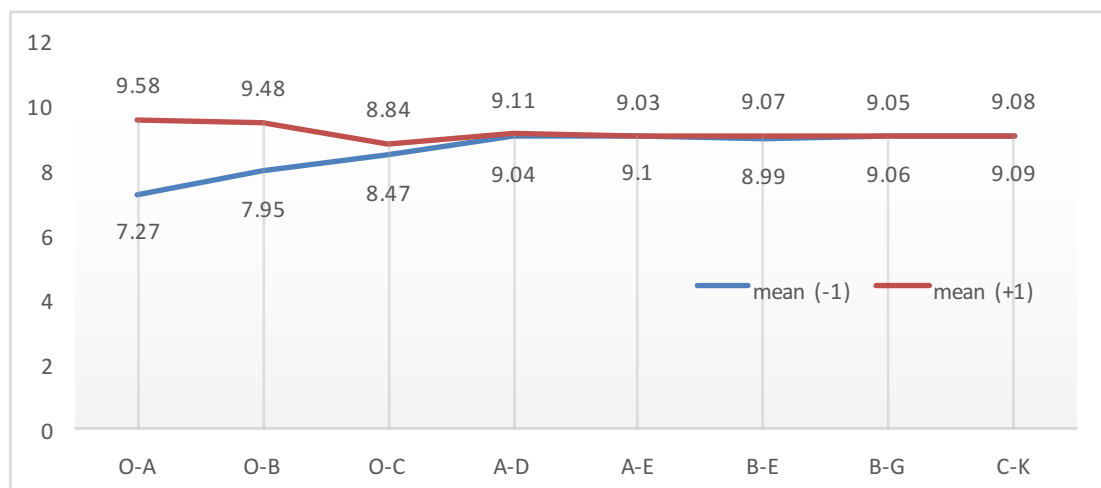


図 6-6 距離変化に応じた総プロジェクト遅延の変化

（横軸：コミュニケーション距離の変化箇所，縦軸：総プロジェクト遅延（時間））

距離増加の場合を赤の折れ線，距離削減の場合を青の折れ線で示す。

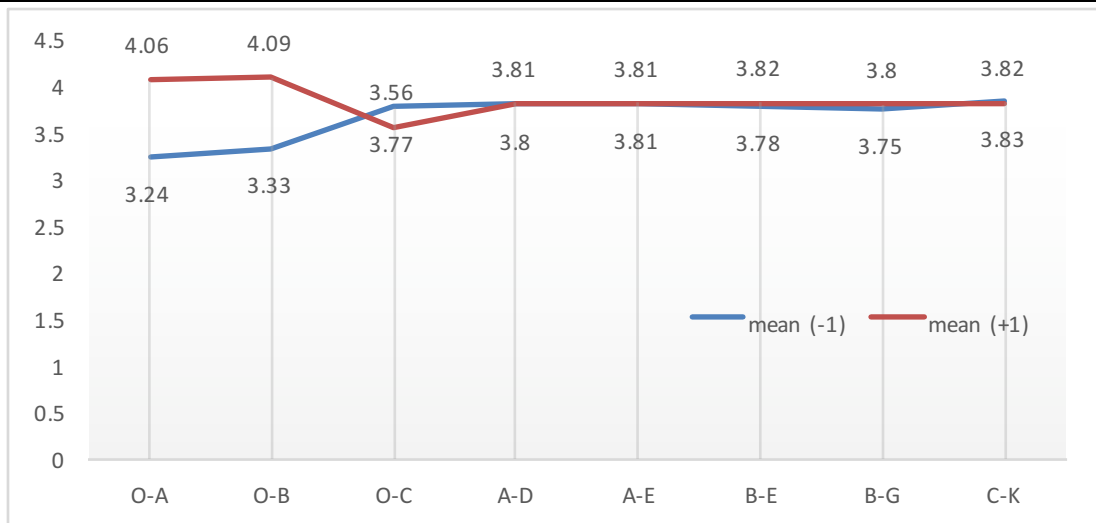


図 6-7 距離変化に応じた総計画外工数の変化

(横軸：コミュニケーション距離の変化箇所，縦軸：総計画外工数（人・時間）)

距離増加の場合を赤の折れ線，距離削減の場合を青の折れ線で示す。

以上から，効果の見込めたパターン 1（ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *A* の距離削減）とパターン 2（ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *B* の距離削減）を組合せた設定で再度シミュレーションを実施した．具体的には，ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *A*，ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *B* の間のコミュニケーション距離を両方とも 1 単位小さくした．

2 箇所の距離削減後の総プロジェクト遅延および総計画外工数を表 6-14，表 6-15，図 6-8 に示す．結果として，平均 170.4 分の遅延時間の短縮，平均 0.98 人時間の工数削減が得られた．割合でいえば，31.2%の遅延時間の短縮，25.7%の工数削減に相当する．これは，ケーススタディ 1 で最も改善効果の高かったパターン 1 に比べ，総プロジェクト遅延は 56.0%短縮効果増，総計画外工数は 69.0%削減効果増が見込める結果となった．このように，コミュニケーション距離削減効果の高い改善点を組み合わせることによって，より高い効果が得られることが確認できた．

表 6-14 距離削減後の総プロジェクト遅延（時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	9.09	7.91	0	8	82		-
1	O-A, O-B	6.25	6.33	0	4	73	-2.84	<u>6.30E-39</u>

表 6-15 距離削減後の総計画外工数（人・時間）

		<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>min</i>	<i>median</i>	<i>max</i>	<i>diff</i>	<i>P-Value</i>
0	BL	3.82	4.45	0	2	43		-
1	O-A, O-B	2.84	3.78	0	2	41	-0.98	<u>1.00E-17</u>

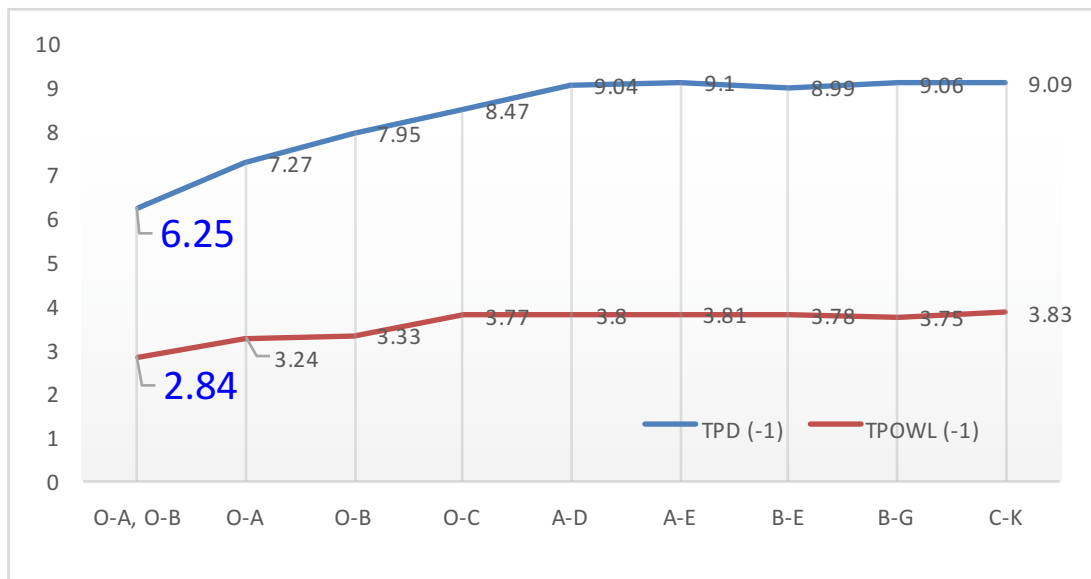


図 6-8 距離削減による総プロジェクト遅延と総計画外工数の変化
総プロジェクト遅延を青の折れ線，総計画外工数を赤の折れ線で示す。

2 箇所の距離削減に関する値を青字で示す。

（横軸：コミュニケーション距離の変化箇所，
縦軸：総プロジェクト遅延（時間），総計画外工数（人・時間））

6.5.4 より良い距離削減パターンの探索方法の必要性

6.5.3 で述べたように、コミュニケーション距離の削減パターンを組み合わせにより、より良いパフォーマンスを発揮できる場合が存在することが考えられる。本稿では、設定値を一つずつ変化させ、シミュレーションの結果を確認、比較することにより、より良いコミュニケーション距離削減点を探索した。今後は、シミュレーションの出力結果をフィードバックし、ポートフォリオのパフォーマンスを最大化する距離改善の組合せパターンを探索する手法を開発することが重要と考える。

6.5.5 コミュニケーション距離削減箇所特定と組織実装

ケース 1a, ケース 1b の結果から、コミュニケーション距離の短縮によって、総プロジェクト遅延、総計画外工数が大きく削減し、コミュニケーション距離の増加によって、総プロジェクト遅延、総計画外工数が大きく増加した箇所は、コミュニケーション距離がポートフォリオ全体のパフォーマンスに与える影響が大きい、つまり感度が高いコミュニケーション箇所を表しているといえる。具体的には、ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *A*, ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *B* の間の距離がポートフォリオへの影響が大きいと言える。ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *C* の間の距離については、距離短縮時には統計的に有意な改善効果が得られたが、距離増加時には、総プロジェクト遅延、総計画外工数、それぞれの平均値は削減されており、かつ統計的に有意といえない箇所であった。

以上を踏まえて、プロジェクト進行時においては、特にポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *A*, ポートフォリオマネージャー *O* とプロジェクトマネージャー *B* との間のコミュニケーションに注意し、情報伝達が円滑に行われるようにする必要がある。反対に、これらのコミュニケーション以外については、多少の距離増加があっても、プロジェクトポートフォリオ全体への影響は統計的に有意とは言えないため、優先度を下げて情報伝達の監視をすれば良い。

6.5.6 追加すべきつながりと人員のスキルセットの関係性

ケース 2-a, ケース 2-b の結果から、コミュニケーションネットワーク上の新規のつながりの追

加によって総プロジェクト遅延が短縮することがわかった. ケース 2-b において統計的に有意にパフォーマンス向上があった人員 6 名の特徴を考察する. ポートフォリオマネージャーとのつながりの新規追加によって効果が大きかった順に人員 G, H, I, J, F, E となる. 表 6-16 は, 表 6-4 を効果順に並び替えたものである. 参考情報として統計的に優位な効果ではなかった D, L, K および新規つながり追加の対象ではない A, B, C についても生産性を載せている.

表 6-16 から, 統計的に有意な効果があった人員のスキルセット(タスクの生産性)はプロジェクトの後半のタスクに集中していることがいえる. また, その中でも比較的遅延短縮効果の大きかった G, H については, プロジェクトの後半のタスクの中で作業量が最も大きいタスク a_{i8} の実行スキルを保有している. このことから, プロジェクトが進行していく中で, 後半の作業量が大きいタスクに関するスキル保有者とのコミュニケーションを円滑さがポートフォリオパフォーマンスに影響があることが示唆された.

表 6-16 タスク a_{ij} の生産性 $r_{ij,m}$ (人時間/時間) (効果順に並び替え済)

Effect of new relation	Statistically significant						Not significant			(Not target)		
Task j	G	H	I	J	F	E	D	L	K	A	B	C
a_{i1}	1	0	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0
a_{i2}	0	0	2	0	0	0	0	1	1	1	1	0
a_{i3}	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	1	1
a_{i4}	0	0	1	0	0	0	2	1	1	2	1	2
a_{i5}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1
a_{i6}	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	2	1
a_{i7}	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	2	1
a_{i8}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
a_{i9}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0

6.6 まとめ

本章では、マトリクス型組織の情報伝達特性をモデル化し、実データを基に作成した情報システム展開プロジェクトポートフォリオにおいて、改善すべき組織内コミュニケーションパスを評価した。本ケーススタディを通して得られた知見を以下にまとめる。

- プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いて、マトリクス型組織における改善すべきコミュニケーションパス、新たに構築すべきコミュニケーションパスを評価できた。シミュレーションの結果えられた有効な改善点を実務上実装可能な方法に表現できたことから、有用性を確認できた。
- 本研究で提案したシミュレーションモデルにおいて、以下のマトリクス型組織における情報伝達特性改善指針が得られた。
 - ポートフォリオマネージャーと納期が厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャー2名の間のコミュニケーション距離改善がそれぞれ効果的であった。また、2名との距離を同時に削減することで、より大きな効果が確認できた。実務上、ポートフォリオマネージャーとプロジェクトマネージャーの間のコミュニケーションについて遅延が発生しないように注視し、人員配置に関する情報を円滑に伝達する工夫がパフォーマンス低下防止に肝要と考えられる。
 - 新たに構築すべきコミュニケーションパスを評価した結果、ブローカー機能を保有するポートフォリオマネージャーとプロジェクト終盤のタスクの実行スキルがある人的資源との新規コミュニケーションパス構築が効果的であるという傾向を得た。

第7章 考察

7.1 はじめに.....	126
7.2 実組織へのフレキシビリティ実装設計手法の評価.....	126
7.2.1 提案するフレキシビリティ実装設計手法の有効性.....	126
7.2.2 提案するシミュレーションモデルの適用範囲.....	127
7.2.3 提案するフレキシビリティ実装設計手法の適用範囲.....	128
7.3 組織モデルの表現能力の限界と拡張.....	128
7.3.1 モデル拡張の方向性（詳細）.....	129

7.1 はじめに

本研究では、不確実性を含む情報システム開発プロジェクトポートフォリオに対して、フレキシビリティを実装する手法を提案した。また、複数の情報システム開発プロジェクトポートフォリオに対して、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを用いて組織変更設計方針を検討した。それらの一連の研究を以下の視点でまとめ、それぞれについて考察する。

- 実組織へのフレキシビリティ実装設計手法の評価
- 組織モデルの表現能力の限界と拡張

7.2 実組織へのフレキシビリティ実装設計手法の評価

7.2.1 提案するフレキシビリティ実装設計手法の有効性

本研究では、組織へのフレキシビリティ実装設計手法を提案した。第 5 章、第 6 章のケーススタディを通して、対象のプロジェクトポートフォリオと組織情報を基に、人的資源再配置が効果的に行われる組織改善方針が得られたことから、提案手法の有用性が評価できた。

第 5 章では、プロジェクト型組織における情報伝達特性と適切なブローカー機能の配置箇所の関係性を分析した。定量的な関係性分析の結果、組織の情報伝達特性に応じたブローカー機能の配置方針が明確となり、ポートフォリオマネージャーによる中央集権の場合に、ポートフォリオのパフォーマンスが低下するケースがわかった。ポートフォリオマネージャーと各プロジェクトマネージャー間のコミュニケーション距離にバイアスが存在し、最も納期の厳しいプロジェクトのプロジェクトマネージャーとのコミュニケーション距離が大きい場合は、その納期の厳しいプロジェクトマネージャーに対してブローカー機能を割り当てることが効果的であり、ポートフォリオマネージャーに割り当てる場合に比べて著しく優位な結果となった。

第 6 章では、定量評価の結果として、マトリクス型組織における改善すべきコミュニケーションパス、新たに構築すべきコミュニケーションパスを評価した。結果、効果的なコミュニケーションパスの改善箇所、追加すべき経路を特定した。また、特定したコミュニケーション改善箇所を組み合わせることで、よりパフォーマンスが向上することが併せてわかった。加えて、得られたシミュレーションモデルにおける改善箇所を、実務にフィードバックする方法についても検討した。例えば、コミュニケーション距離を改善方法として、ポートフォリオマネージャー

とプロジェクトマネージャーの間のコミュニケーションについて遅延が発生しないように注視し、人員配置に関する情報を円滑に伝達する工夫がパフォーマンス低下防止に肝要と考えられる。

7.2.2 提案するシミュレーションモデルの適用範囲

本研究では、以下のような特徴を持つ、情報システム開発プロジェクトポートフォリオを対象に、プロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションモデルを構築した。

- プロジェクトポートフォリオを取り巻く不確実性の中でも、作業工数の見積不確実性が支配的である
- プロジェクトポートフォリオに含まれる複数プロジェクト間で人的資源の再配置が可能である
- プロジェクトポートフォリオ内の人的資源の再配置を行うため、ポートフォリオ内の人員間で様々な情報伝達が行われる
- プロジェクトポートフォリオに含まれる各プロジェクトは、当初計画に基づいて実行され、当初計画との差異を解消するために人的資源の再配置が行われる
- プロジェクトポートフォリオに含まれる各プロジェクトの各タスクは、作業員 1 名程度で実行できる単位に詳細化できる

また、本論文のケーススタディでは、プロジェクト数 3～5 程度、各プロジェクトのタスク数 10～20 程度、作業員数 5～12 名程度の中小規模の情報システム開発プロジェクトからなるプロジェクトポートフォリオを扱った。この理由としては、一般的に大規模なプロジェクトの場合は十分な人的資源を確保し、様々な不確実性やリスクを自プロジェクト内で吸収できる場合が多い。一方で、中小規模のプロジェクトの場合、各プロジェクトにおいては、十分な人的資源が確保できず、プロジェクト開始後に、ポートフォリオ内の複数プロジェクト間で人的資源を融通し、不確実性やリスクに応答するフレキシビリティが特に重要となる場合が多いと考えたためである。

しかしながら、上記の特徴を持つプロジェクトポートフォリオであれば、大規模プロジェクトのからなる情報システム開発プロジェクトポートフォリオの場合でも、他産業におけるプロジェクトポートフォリオの場合でも、提案するプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーションを適用可能であると考えられる。また、本シミュレーションモデルの部分的な拡張により、上記特徴の一

部を満たさないプロジェクトポートフォリオにおいても、適用可能であると考える。例えば、製造業においては、作業工数の見積不確実性よりも、工場設備や人的資源の生産性の不確実性の方が支配的である場合が多い。よって、資源の生産性モデルを拡張し、不確実性を表現することで、本シミュレーションモデルを適用できる可能性がある。

7.2.3 提案するフレキシビリティ実装設計手法の適用範囲

提案するフレキシビリティ実装設計手法の適用のためには、ベースラインモデル構築が必須である。よって、データを基にしたモデル化、あるいは仮説ベースのモデル化を行う必要がある。類似プロジェクトポートフォリオの自動記録データが蓄積された組織であれば、信頼できるベースラインモデルが構築できる。また、対象とするプロジェクトポートフォリオの作業内容に関する有識者がいる場合は、客観性は落ちるものの、仮説ベースでタスク情報を入力することも可能である。

しかしながら、タスクの関係性がわからない場合や、そもそもタスクに落とし込めないような問題を扱う場合は、提案手法によってフレキシビリティの実装設計を行うことは難しい。

7.3 組織モデルの表現能力の限界と拡張

人的資源の人的再配置に関する情報遅延のモデル化とシミュレーションによって、組織内のブローカー機能の保有人員の特定や、組織内の優先的に改善すべきコミュニケーションパスを特定し、フレキシビリティを向上させるための組織変更指針を得た。

しかしながら、組織のフレキシビリティに関連する要素は他にも存在する。例えば、Sanches[5]の提案する資源のフレキシビリティの3つの特徴(表 2-1)の中の、資源の適用範囲は作業者の各タスクに対する生産性によって、資源のスイッチングに要する時間については人的資源再配置のための情報授受の遅延によってモデル化した。しかしながら、資源のスイッチングに要する困難性やコストについては十分に表現できていない。人的資源のスイッチングコストを表現するためには、吉村ら[34]が言及するように、人的資源特有の資源の属性である、学習能力、モチベーション、人的資源間の相性や協調といった要素を表現可能にする必要がある。

提案するフレキシビリティ実装設計手法を適用においては、モデルの世界におけるシミュレーションを活用するため、モデルに表現可能な組織要素、またはモデルとして定性的に解

積できる組織要素ついてのみ、組織変更の設計が可能である。よって、上記のような、モデルとして表現しきれていない他の組織要素に関する変更指針を得ることは難しい。

本研究においては、現在の情報システム開発プロジェクトポートフォリオおよびその実行組織の特徴を表現しうるモデルを提案し、実装した。今後、情報システム開発プロジェクトポートフォリオのあり方の変化に応じて、モデルを拡張することで変更設計を実施していく必要がある。例えば、静的な専門性を持った人的資源の集合ではなく、個々の人的資源の学習能力や、人的資源の組合せによる相乗効果が重要な要素となる状況下においては、組織モデルを見直す必要がある。また、情報システム開発プロジェクトポートフォリオに関係する人的資源情報やプロジェクトの進捗情報がリアルタイムかつ正確にデジタル化され記録されることが可能となった場合、人的資源の再配置は計算機によって自動化される可能性がある。この時、組織の情報伝達特性以上に、ブローカー機能の人的資源再配分ルールがプロジェクトポートフォリオのパフォーマンスへの影響力を持つ可能性が高い。

これらのようなシミュレーションモデルの表現能力と実世界における組織特性との差異を迅速に検知するため、実世界における組織の重要要素とモデルの世界の組織モデルの対応関係を注視する必要があると考える。そのため、実業務に本手法を適用し、実プロジェクトポートフォリオの組織に対する組織設計を行うと同時に、その結果の妥当性をもとに本シミュレーションモデルの組織情報を改善するといった、継続的な相互フィードバックが重要と考える。

7.3.1 モデル拡張の方向性（詳細）

7.3.1.1 ブローカー機能モデルの拡張

本研究では、単一のブローカー機能のみの配置設計を考えた。また、ブローカー機能としては、人的資源再配置に関する情報授受と資源割当を機械的に実施する機能であった。今後、複数のブローカー機能の配置およびその間の情報連携をモデル化し、複数ブローカー機能の適切な構造について評価することで、より現実的かつ効果的な人的資源配分機能の実現が可能と考えられる。また、ブローカー機能における、人的資源再配置の優先度の変更や再配置の前提となる情報の完全性の変更などのモデル化を行うことで、現実的な人的資源再配置が可能となる。

7.3.1.2 人的資源モデルの拡張

本研究では、人的資源は同じ時間帯に単一のプロジェクトにのみ割り当てられるとし、再配置においては情報遅延のみをモデル化した。今後、各人的資源の複数プロジェクト兼務、プロジェクト間切り替えコスト、さらには同一プロジェクトへの配置継続時間による学習効果や、人的資源間の相乗効果などを考慮すると、さらに現実的な人的資源の特徴を表現可能であると考ええる。

7.3.1.3 情報伝達モデルの拡張

本研究では、コミュニケーション距離に応じた情報遅延をモデル化した。しかしながら、現実問題で考えると、人員によっては、正しい情報が伝わらない場合も存在する。今後、情報遅延だけではなく、情報伝達の正確性に関する不確実性を表現できれば、実際のモデルと整合度が高まると考える。また、もう1つの拡張の方向性として、情報伝達経路の不確実性や冗長性の表現が考えられる。本モデルでは、特定人員間の複数の情報伝達経路は考慮しておらず、最短距離の情報伝達経路を固定的に利用することを仮定している。コミュニケーションネットワークを確率的に扱い、伝達経路の不確実性や冗長性を考慮したブローカー機能配置設計も現実的に重要である。

7.3.1.4 プロジェクトポートフォリオモデルの拡張

本研究では、プロジェクトポートフォリオを構成するプロジェクト数は一定とした。今後、ポートフォリオを構成するプロジェクトの追加や削除などのポートフォリオのダイナミクスをモデル化を行うことで、ポートフォリオ自体の不確実性を考慮可能となる。

7.3.1.5 ステイクホルダーのモデル化

本研究では、プロジェクトポートフォリオを構成するプロジェクトの評価観点は一律とした。現実的には、遅延が一切許されない場合や、遅延は許容されるが一切のコスト増は認められない場合など、各プロジェクトオーナーの効用関数に応じて、プロジェクトポートフォリオとして実装すべきフレキシビリティは変化する。今後、ポートフォリオを構成する各プロジェクトのステイクホルダーの異なる効用関数をモデル化し、プロジェクトポートフォリオ全体として効用が最大となるような組織変更設計が重要になると考えられる。

第8章 結論

8.1 結論	132
8.2 今後の展望	133

8.1 結論

本研究では、不確実性を含む情報システム開発プロジェクトポートフォリオに対して、フレキシビリティを実装する手法を提案した。具体的には、作業工数の見積不確実性や、人的資源の再配置を差配する役割、そして組織内のコミュニケーション距離に基づく情報遅延などを考慮したプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーション機能を開発し、シミュレーションによる複数の組織変更案の定量的評価を用いた、プロジェクトポートフォリオ内における効果的な人的資源再配置を実現可能な、フレキシビリティの高い組織設計を行う手法を提案した。

また、複数の情報システム開発に関するプロジェクトポートフォリオに提案手法を適用し、得られた組織設計指針を基に、提案手法の有用性を評価した。

これらの結果として以下の結論を得た。

- (i) 組織構造の特性を踏まえた情報伝達遅延時間と人的資源の再配置を差配する役割(ブローカー機能)を含めた人的資源再配置ダイナミクスモデル化

プロジェクトポートフォリオに含まれるプロジェクト数や、プロジェクト毎のタスク集合、タスク間の依存関係、予定納期などを含むタスク情報と、人的資源の各タスク実行の生産性、人員間のコミュニケーション距離などの組織情報を入力として、プロジェクトマネージャー、ブローカー機能、人的資源の間の情報伝達をモデル化による人的資源再配置のダイナミクスを計算機上で表現することで、各プロジェクトの遅延時間や計画外工数を出力可能なプロジェクトポートフォリオ実行シミュレーション機能を開発した。

また、ケーススタディを通して、組織の情報伝達特性の差異がプロジェクトポートフォリオパフォーマンスに与える影響を定量的に評価できた。

- (ii) ケーススタディを通したフレキシビリティの組織実装設計手法の有用性評価

第5章、第6章のケーススタディを通して、対象のプロジェクトポートフォリオと組織情報を基に、人的資源再配置が効果的に行われる組織改善方針が得られたことから、提案手法の有用性が評価できた。

第5章では、プロジェクト型組織における情報伝達特性と適切なブローカー機能の配置簡

所の関係性を分析した。定量的な関係性分析の結果、組織の情報伝達特性に応じたブローカー機能の配置方針が明確となり、ポートフォリオマネージャーによる中央集権の場合に、ポートフォリオのパフォーマンスが低下するケースがわかった。

第6章では、定量評価の結果として、マトリクス型組織における改善すべきコミュニケーションパス、新たに構築すべきコミュニケーションパスを評価した。結果、効果的なコミュニケーションパスの改善箇所、追加すべき経路を特定し、実務上実装可能な方法に表現できた。

8.2 今後の展望

今後の展望としては、以下が考えられる。

- ・人的資源再配置に関するシミュレーションモデルの拡張と精緻化
- ・実組織へのフィードバック結果の実務的な有効性検証

謝辞

本研究を進めるにあたって、多くの方々にご助力をいただきました。ここに感謝の意を述べさせていただきます。

東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻 准教授 稗方和夫先生には、貴重な時間を割いていただき、研究の方向性や、実験計画、論文指導など、大変多くの的確で有意義なご助言をいただきました。加えて、生活面、育児面、キャリア面など多方面にわたって、具体的なご助言をいただきました。心から深く感謝申し上げます。

東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻 教授 保坂寛先生、東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻 特任教授 尾崎雅彦先生、東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授 青山和浩先生、東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 准教授 柴崎隆一先生には、副査の申し出を引き受けていただき、論文の完成度を高めるための多くのご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

Massachusetts Institute of Technology System Design and Management Academic Director and Sr. Lecturer Bryan R. Moser 先生には、本研究のコンセプト設計にあたり、多くのご助言をいただくとともに、大変有意義な議論をさせていただきました。心から深く感謝いたします。

横浜国立大学大学院工学研究院システムの創生部門 准教授 満行泰河先生には、シミュレーションモデルの妥当性やシミュレータの実装方法について、多くの有意義なご助言をいただきました。心より深く感謝申し上げます。

海上・港湾・航空技術研究所 理事長 大和裕幸先生には、学位の重要性をご指導いただき、博士課程へ入学するきっかけをいただきました。東京大学から海上・港湾・航空技術研究所に移られた後も、様々なご助言をいただき、学位論文作成の励みとなりました。心より深く感謝申し上げます。

富士通株式会社の上司であり、博士課程の同期である岡田伊策様には、本研究に専念するための環境づくりに加え、仕事面、生活面での数多くのご助言、ご配慮をいただきました。心から深く感謝申し上げます。

Global Project Design 池大様, Roland de Fillipi 様には、ソフトウェア開発プロジェクトの特性について意見交換させていただくと共に、市販のプロジェクト管理ソフトウェアに関する様々な知識を共有いただきました。厚く御礼申し上げます。

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 技術専門員の榎本昌一様には、ネットワーク、サーバをはじめとした様々な情報技術に関するサポートをいただきました。深く御礼申し上げます。

研究室の秘書である 山本和子様には、本研究活動を行う上で数多くの手続き面での助言をいただくと共に、多方面でお気遣いいただきました。本当にありがとうございました。

富士通株式会社デジタルフロント事業本部のチームメンバーの方々には、本研究活動をご理解いただき、仕事面で多くの配慮をいただきました。深く感謝いたします。

博士課程の同期である、和中真之介様をはじめとした稗方研究室の学生の皆様には、本論文の校正に多くのご協力をいただくと共に、新鮮な考え方を共有していただきました。本当にありがとうございました。

最後になりましたが、多くの休日を本研究活動に費やすことを認めてくれた妻と、健やかな娘に、心より感謝いたします。

参考文献

- [1]. F. Fui - Hoon Nah, J. Lee - Shang Lau, and J. Kuang, “Critical factors for successful implementation of enterprise systems,” *Business Process Management Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 285-296, 2001.
- [2]. J. Mula, R. Poler, G. S. García-Sabater, and F. C. Lario, “Models for production planning under uncertainty: A review,” *International Journal of Production Economics*, vol. 103, no. 1, pp. 271-285, 2006.
- [3]. R. A. Bettis and M. A. Hitt, “The New Competitive Landscape,” *Strategic Management Journal*, vol. 16, pp. 7-19, 1995.
- [4]. A. Y. Ilinitch, R. A. D’Aveni, and A. Y. Lewin, “New Organizational Forms and Strategies for Managing in Hypercompetitive Environments,” *Organization Science*, vol. 7, no. 3, pp. 211-220, 1996.
- [5]. R. Sanchez, “Preparing for an uncertain future: Managing organizations for strategic flexibility,” *International Studies of Management & Organization*, vol. 27, no. 2, pp. 71-94, 1997.
- [6]. R. Miller and D. R. Lessard, *The Strategic Management of Large Engineering Projects: Shaping Institutions, Risks, and Governance*. MIT Press, 2001.
- [7]. R. de Neufville and S. Scholtes, *Flexibility in Engineering Design*. MIT Press, 2011.
- [8]. R. de Neufville, O. de Weck, D. Frey, D. Hastings, R. Larson, D. Simchi-levi, K. Oye, A. Weigel, and R. Welsch, “Uncertainty Management for Engineering Systems Planning and Design,” in *Engineering Systems Symposium*, 2004.
- [9]. 関根智明, *PERT・CPM (OR ライブラリー 11)*. 日科技連出版社, 1973.
- [10]. 田中克己 and 石井信明, *スケジューリングとシミュレーション*. 計測自動制御学会, 1995.

-
- [11]. A. A. B. Pritsker and W. W. Happ, “GERT: Graphical Evaluation and Review Technique: Part I, Fundamentals,” *Journal of Industrial Engineering*, vol. 17, no. 6, pp. 267–274, 1966.
- [12]. P. Wyrozębski and A. Wyrozębska, “Challenges of project planning in the probabilistic approach using PERT, GERT and Monte Carlo,” vol. 1, no. 1, pp. 1339–4896, 2013.
- [13]. P. Brucker, A. Drexl, R. Möhring, K. Neumann, and E. Pesch, “Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods,” *European Journal of Operational Research*, vol. 112, no. 1, pp. 3–41, 1999.
- [14]. S. Hartmann, *Project Scheduling under Limited Resources*. Springer, 1999.
- [15]. S. Hartmann, “A Competitive Genetic Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling,” *Naval Research Logistics (NRL)*, vol. 45, no. 7, pp. 733–750, 1998.
- [16]. T. Mitsuyuki, K. Hiekata, and H. Yamato, “Design of production strategy considering the cutting peak demand of electricity in the shipbuilding industry,” *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, vol. 19, no. 4, pp. 425–437, 2014.
- [17]. W.-N. Chen and J. Zhang, “Ant Colony Optimization for Software Project Scheduling and Staffing with an Event-Based Scheduler,” *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 1–17, 2013.
- [18]. W. Herroelen and R. Leus, “Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials,” *European Journal of Operational Research*, vol. 165, no. 2, pp. 289–306, 2005.
- [19]. 満行泰河, 大和裕幸, 稗方和夫, モーザーブライアン, 磯沼大, 岡田伊策, and 笈田佳彰, “システム開発プロジェクトにおける手戻りリスクを考慮したタスク優先ルール設計に関する研究,” *日本機械学会論文集*, vol. 82, no.
-

-
- 835, p. 15-00474, 2016.
- [20]. T. R. Browning and A. A. Yassine, “Managing a portfolio of PD projects under resource constraints,” *Decision Sciences*, vol. 47, no. 2, pp. 333–372, 2016.
- [21]. A. A. Yassine, O. Mostafa, and T. R. Browning, “Scheduling multiple, resource-constrained, iterative, product development projects with genetic algorithms,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 107, pp. 39–56, 2017.
- [22]. S. H. Cho and S. D. Eppinger, “A simulation-based process model for managing complex design projects,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 52, no. 3, pp. 316–328, 2005.
- [23]. J. Tian, X. Hao, and T. Murata, “Robust Optimization Method based on Hybridization of GA and MMEDA for Resource Constraint Project Scheduling with Uncertainty,” *IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems*, vol. 137, no. 7, pp. 957–966, 2017.
- [24]. R. K. Chakraborty, R. A. Sarker, and D. L. Essam, “Resource constrained project scheduling with uncertain activity durations,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 112, pp. 537–550, 2017.
- [25]. T. R. Browning and S. D. Eppinger, “Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 49, no. 4, pp. 428–442, 2002.
- [26]. W. Song, D. Kang, J. Zhang, and H. Xi, “Proactive Project Scheduling with Time-dependent Workability Uncertainty,” *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, pp. 221–229, 2017.
- [27]. R. K. Chakraborty, R. A. Sarker, and D. L. Essam, “Multi-mode resource constrained project scheduling under resource disruptions,” *Computers*
-

-
- and Chemical Engineering, vol. 88, pp. 13–29, 2016.
- [28]. W. Herroelen and R. Leus, “On the merits and pitfalls of critical chain scheduling,” *Journal of Operations Management*, vol. 19, no. 5, pp. 559–577, 2001.
- [29]. Project Management Institute (PMI), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Fourth Edition*. 2008.
- [30]. S. Adhau, M. L. Mittal, and A. Mittal, “A multi-agent system for decentralized multi-project scheduling with resource transfers,” *International Journal of Production Economics*, vol. 146, no. 2, pp. 646–661, 2013.
- [31]. W. Song, D. Kang, J. Zhang, and H. Xi, “Decentralized Multi-Project Scheduling via Multi-Unit Combinatorial Auction,” *Proceedings of the 15th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2016)*, pp. 836–844, 2016.
- [32]. D. Krüger and A. Scholl, “A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-)project scheduling problem with sequence-dependent transfer times,” *European Journal of Operational Research*, vol. 197, no. 2, pp. 492–508, 2009.
- [33]. T. Mitsuyuki, H. Yamato, and K. Hiekata, “Human Resource Allocation Optimization for Multiple Design Project Using Simulation,” *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C*, vol. 79, no. 806, pp. 3930–3938, 2013.
- [34]. 吉村允孝, 藤見善久, 泉井一浩, and 西脇眞二, “複数開発プロジェクトへのヒューマンリソース最適配置,” *日本機械学会論文集 C 編*, vol. 71, no. 702, pp. 677–684, 2005.
- [35]. M. N. M. Botros, “Human resource management in project portfolios: architecting an allocation process,” *Master's thesis, Massachusetts*
-

-
- Institute of Technology, 2017.
- [36]. R. Abrantes and J. Figueiredo, “Resource management process framework for dynamic NPD portfolios,” *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 6, pp. 1274–1288, 2015.
- [37]. J. R. Galbraith, “Organization Design: An Information Processing View,” *Interfaces*, vol. 4, no. 3, pp. 28–36, 1974.
- [38]. Y. Jin and R. Levitt, “The Virtual Design Team : A Computational Model of Project Organizations,” *Computational & Mathematical Organization Theory*, vol. 2, no. 3, pp. 171–196, 1996.
- [39]. J. C. Kunz, T. R. Christiansen, G. P. Cohen, Y. Jin, and R. E. Levitt, “The virtual design team,” *Communications of the ACM*, vol. 41, no. 11, pp. 84–91, 1998.
- [40]. R. E. Levitt, J. Thomsen, T. R. Christiansen, J. C. Kunz, Y. Jin, and C. Nass, “Simulating Project Work Processes and Organizations: Toward a Micro-Contingency Theory of Organizational Design,” *Management Science*, vol. 45, no. 11, pp. 1479–1495, 1999.
- [41]. T. Horii, Y. Jin, and R. E. Levitt, “Modeling and Analyzing Cultural Influences on Project Team Performance,” *Computational & Mathematical Organization Theory*, vol. 10, no. 4, pp. 305–321, 2004.
- [42]. Y. Suzuki, M. Yahyaei, Y. Jin, H. Koyama, and G. Kang, “Simulation based process design: Modeling and applications,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, no. 4, pp. 763–781, 2012.
- [43]. B. R. Moser and R. T. Wood, “Complex Engineering Programs as Sociotechnical Systems,” in *Concurrent Engineering in the 21st Century*, Springer, pp. 51–65, 2015.
- [44]. B. R. Moser, “The Design of Global Work: Simulation of Performance Including Unexpected Impacts of Coordination across Project Architecture,” Ph.D thesis, The University of Tokyo, 2012.
-

-
- [45]. Global Project Design, LLC., TeamPort Software, Global Project Design. (online) available from < <http://www.teamport.com/teamport.html> >, (参照日 2018 年 9 月 27 日).
- [46]. W. W. Royce, “Managing the Development of Large Software Systems,” in Proceedings of IEEE WESCON, pp. 1–9, 1970.
- [47]. 室中健司 and 原直朗, “システム構築の標準プロセス体系: SDEM,” Fujitsu, vol. 63, no. 2, pp. 193–199, 2012.
- [48]. M. Fowler and J. Highsmith, “The agile manifesto,” Software Development, vol. 9, no. 8, pp. 28–35, 2001.
- [49]. K. Schwaber, “SCRUM Development Process,” in Business Object Design and Implementation, pp. 117–134, 1997.
- [50]. K. Beck, “Embracing change with extreme programming,” Computer, vol. 32, no. 10, pp. 70–77, 1999.
- [51]. C. Jones, “Social and technical reasons for software project failures,” CROSSTALK The Journal of Defense Software Engineering, vol. 19, no. 6, pp. 4–9, 2006.
- [52]. E. W. Dijkstra, “A note on two problems in connexion with graphs,” Numerische Mathematik, 1959.
- [53]. 満行泰河, “組織構造と作業戦略を考慮した作業チーム設計手法と最適化に関する研究,” 博士学位論文, 東京大学大学院新領域創成科学研究科, 2014.
- [54]. Taiga Mitsuyuki, pDES, (online) available from < <https://github.com/mitsuyukiLab/pDES> >, (参照日 2018 年 9 月 23 日).
- [55]. Eclipse Foundation, Eclipse Oxygen, The Eclipse Foundation open source community website. (online) available from < <https://eclipse.org/> >, (参照日 2018 年 9 月 23 日).
- [56]. Eclipse Foundation, Rich Client Platform, The Eclipse Foundation open source community website. (online) available from < https://wiki.eclipse.org/Rich_Client_Platform >, (参照日 2018 年 9 月 23 日).
-

-
- 日).
- [57]. Eclipse Foundation, GEF (Graphical Editing Framework), The Eclipse Foundation open source community website. (online) available from <<https://eclipse.org/gef/>>, (参照日 2018 年 9 月 23 日).
- [58]. F. Wilcoxon, "Individual Comparisons by Ranking Methods," *Biometrics Bulletin*, 1945.
- [59]. F. Zwicky, *Discovery, Invention, Research, through the Morphological Approach*. Macmillan, 1969.
- [60]. T. Ritchey, "Problem structuring using computer-aided morphological analysis," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, no. 7, pp. 792–801, 2006.