

博士論文

海外鉄道建設事業における
ハイブリッドリスク評価手法の構築
及びその信頼性向上に関する研究
(Development of Hybrid Risk Evaluation Method
and Improvement of its Dependability
for International Railway Construction Project)

平成 30 年 3 月

井坂 隆之

山口大学大学院理工学研究科

目 次

| | |
|---|----|
| 第 1 章 序論 | 1 |
| 1.1 研究の背景..... | 1 |
| 1.2 既存研究及び各種分析手法..... | 2 |
| 1.2.1 FTA (故障の木解析)..... | 3 |
| 1.2.2 FMEA (故障モード・影響解析手法)..... | 4 |
| 1.2.3 HI-FMECA (日立式故障要因摘出手法)..... | 5 |
| 1.2.4 ETA (イベントツリー解析手法)..... | 6 |
| 1.2.5 SWOT 分析..... | 7 |
| 1.2.6 バリューチェーン分析..... | 8 |
| 1.2.7 PEST 分析..... | 10 |
| 1.2.8 5 フォース分析..... | 10 |
| 1.2.9 シナリオプランニング..... | 11 |
| 1.2.10 キャッシュフロー法..... | 12 |
| 1.2.11 NPV (正味現在価値), DCF (割引現金収支) 法, IRR (内部収益率) | 13 |
| 1.2.12 What-if 分析及び感度分析..... | 14 |
| 1.2.13 モンテカルロ法..... | 16 |
| 1.2.14 リアルオプション..... | 16 |
| 1.2.15 DDP (仮説指向計画法)..... | 17 |
| 1.3 本研究の着眼点及び目的..... | 19 |
| 1.4 本論文の構成..... | 19 |
| 第 2 章 ハイブリッドリスク評価手法の構築 | 21 |
| 2.1 第 2 章の概要..... | 21 |
| 2.2 定性チェックリストの作成..... | 21 |
| 2.2.1 各リスク発生率評価..... | 22 |
| 2.2.2 総合評価..... | 22 |
| 2.2.3 事業危険度数値評価..... | 23 |
| 2.3 定量評価の実施..... | 24 |
| 2.3.1 影響分析..... | 24 |
| 2.3.2 逆損益計算図と損益確認表..... | 26 |
| 2.3.3 トルネードチャート..... | 29 |
| 2.3.4 モンテカルロシミュレーション..... | 30 |
| 2.4 定性評価結果の定量評価への反映要素の抽出..... | 32 |
| 2.4.1 変数要素..... | 32 |
| 2.4.2 定性要素及び外部要素..... | 32 |
| 2.5 第 2 章の総括..... | 32 |
| 第 3 章 海外鉄道建設事業へのハイブリッドリスク評価手法の適用 と有効性の検証 | 33 |
| 3.1 第 3 章の概要..... | 33 |

| | | |
|-------|------------------------|----|
| 3.2 | 定性評価と定量評価を統合したフローチャート | 33 |
| 3.3 | 有効性検証としての適用題材の概要 | 34 |
| 3.4 | 定性評価の適用及び結果 | 35 |
| 3.4.1 | リスク項目リスト及び定性チェックリスト作成 | 35 |
| 3.4.2 | 定性チェックリストに対する評価要素の入力結果 | 40 |
| 3.4.3 | リスク発生率評価 | 44 |
| 3.4.4 | 事業危険度の総合点評価 | 45 |
| 3.4.5 | 事業危険度の分布評価 | 46 |
| 3.5 | 定性視点と定量視点の統合 | 49 |
| 3.6 | 定量評価の適用及び結果 | 50 |
| 3.6.1 | 影響ダイアグラムの作成 | 50 |
| 3.6.2 | 逆損益計算図及び損益確認表の作成 | 50 |
| 3.6.3 | Smalltalkを使用したシステムの適用 | 53 |
| 3.6.4 | 定性評価結果の反映 | 56 |
| 3.6.5 | 定量評価の結果 | 57 |
| 3.7 | 第3章の総括 | 58 |

第4章 定性リスク評価におけるリスク項目の網羅性及び信頼性の向上 59

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | 第4章の概要 | 59 |
| 4.2 | リスク項目の網羅性向上及び定性リスク評価の信頼性向上を考慮したフローチャート | 59 |
| 4.2.1 | リスク項目の網羅性向上 | 59 |
| 4.2.2 | 定性評価の信頼性向上 | 59 |
| 4.2.3 | 作成したフローチャート | 60 |
| 4.3 | 事業中の評価を目的とした適用題材の概要 | 61 |
| 4.4 | 新たな定性チェックリスト作成、適用及び評価 | 61 |
| 4.4.1 | クロスチェーン分析 | 61 |
| 4.4.2 | PEST分析 | 62 |
| 4.4.3 | 5フォース分析 | 63 |
| 4.4.4 | 作成した新たなリスク項目リスト | 64 |
| 4.4.5 | 新たな定性チェックリスト評価の結果 | 69 |
| 4.4.6 | 影響ダイアグラム、逆損益計算図及び損益確認表作成 | 75 |
| 4.4.7 | 感度分析結果 | 79 |
| 4.4.8 | 定性チェックリストのフィードバック | 80 |
| 4.5 | 多様な環境下でのシミュレーション | 82 |
| 4.5.1 | シナリオドライバー抽出及びシナリオ作成 | 82 |
| 4.5.2 | オプションの創造 | 83 |
| 4.5.3 | 多様な環境下でのシミュレーション結果 | 84 |
| 4.6 | 第4章の総括 | 86 |

第5章 定量リスク評価の信頼性の向上 89

| | | |
|-----|--------------------------|----|
| 5.1 | 第5章の概要 | 89 |
| 5.2 | 定量リスク評価の信頼性向上を行ったフローチャート | 89 |

| | | |
|------------|--------------------------------|------------|
| 5.2.1 | 実データの傾向の変化と確率分布の推移 | 89 |
| 5.2.2 | ベイズの定理と適用例..... | 91 |
| 5.2.3 | 定量リスク評価における信頼性向上のフローチャート | 93 |
| 5.3 | 実データの適用方法..... | 94 |
| 5.3.1 | 実データのシステムへの適用 | 94 |
| 5.3.2 | 乱数発生の方法 | 97 |
| 5.4 | 実データによる仮説の更新結果..... | 101 |
| 5.4.1 | 作業工期への適用及び結果..... | 104 |
| 5.4.2 | コンクリート材単価への適用及び結果..... | 109 |
| 5.4.3 | 工事人員単価への適用及び結果 | 113 |
| 5.5 | 仮説の更新導入及び妥当性の検証 | 116 |
| 5.6 | 過去の実績データ反映による精度向上手法の提案..... | 119 |
| 5.6.1 | 提案する入札支援手法のフローチャート | 119 |
| 5.6.2 | 断片的な実データを基にしたアルゴリズムの改善 | 120 |
| 5.6.3 | 実績データを反映したリスク要素の数値推測の事例..... | 125 |
| 第6章 | 結論 | 129 |
| | 参考文献 | 131 |
| | 業績 | 133 |
| | 謝辞 | 135 |

図表目次

| | | |
|--------|----------------------------|----|
| 図 1.1 | 日本政府によるインフラパッケージ輸出の事例 | 1 |
| 図 1.2 | 頂上事象から基本事象まで抽出した FT 図 | 4 |
| 図 1.3 | HI-FMECA の解析手順 | 5 |
| 図 1.4 | 都市ガスのガス漏れ ETA の例 | 6 |
| 図 1.5 | SWOT 分析結果の事例 | 7 |
| 図 1.6 | バリューチェーン分析の事例 | 8 |
| 図 1.7 | クロスチェーン分析の概念 | 9 |
| 図 1.8 | クロスチェーン分析におけるマトリックス表の事例 | 9 |
| 図 1.9 | PEST 分析の事例 | 10 |
| 図 1.10 | 5 フォース分析の事例 | 10 |
| 図 1.11 | シナリオとディシジョンツリーの例 | 11 |
| 図 1.12 | What-if 分析の例 | 15 |
| 図 1.13 | 感度分析の例 | 15 |
| 図 1.14 | モンテカルロ法の例 | 16 |
| 図 1.15 | リアルオプションのディシジョンツリー例 | 16 |
| 図 1.16 | 一年後のディシジョンツリー | 17 |
| 図 1.17 | 影響ダイアグラム例 | 18 |
| 図 1.18 | 逆損益計算図と損益確認表例 | 18 |
| 図 1.19 | マイルストーン計画法例 | 18 |
| 図 2.1 | 簡単な影響ダイアグラム | 25 |
| 図 2.2 | 要素を増やした影響ダイアグラム | 25 |
| 図 2.3 | 定性要素と外部要素を加えた影響ダイアグラム | 26 |
| 図 2.4 | 逆損益計算図 | 26 |
| 図 2.5 | トルネードチャート | 30 |
| 図 2.6 | 1,000 回のモンテカルロシミュレーション結果例 | 30 |
| 図 2.7 | 分布数 100 個の結果 | 31 |
| 図 3.1 | 定性評価と定量評価を統合したフローチャート | 33 |
| 図 3.2 | エアポートリンクの詳細図 | 34 |
| 図 3.3 | 適用題材の影響ダイアグラム | 50 |
| 図 3.4 | 適用題材の逆損益計算図 | 51 |
| 図 3.5 | Smalltalk のブラウザ | 54 |
| 図 3.6 | クラスの階層構造 | 54 |
| 図 3.7 | パラメトリック図の概要図 | 55 |
| 図 3.8 | 定性評価の結果反映 | 56 |
| 図 3.9 | モンテカルロシミュレーション結果 | 57 |
| 図 4.1 | 新たに作成したフローチャート | 60 |
| 図 4.2 | 適用題材の概要図 | 61 |
| 図 4.3 | 適用題材のクロスチェーン分析結果のマトリックス | 62 |
| 図 4.4 | 適用題材の PEST 分析結果 | 63 |
| 図 4.5 | 適用題材の 5 フォース分析 | 63 |
| 図 4.6 | 新たな適用題材の影響ダイアグラム | 75 |
| 図 4.7 | 新たな適用題材の逆損益計算図 | 76 |
| 図 4.8 | “対象国の理解度”の定性的な関係による写像関数の事例 | 78 |

| | |
|--|-----|
| 図 4.9 感度分析結果..... | 79 |
| 図 4.10 シナリオの影響図 | 83 |
| 図 4.11 オプションの影響図 | 84 |
| 図 4.12 工事事故の発生のオプションを実行した場合 | 85 |
| 図 4.13 原油価格の高騰のオプションを実行した場合 | 85 |
| 図 4.14 定性チェックリストと感度分析の関係図..... | 86 |
| 図 5.1 時間による実データの変化..... | 90 |
| 図 5.2 仮説想定 の例..... | 90 |
| 図 5.3 仮説の推移 | 91 |
| 図 5.4 定量評価における信頼性向上のフローチャート..... | 93 |
| 図 5.5 システム概要図 (正規分布)..... | 94 |
| 図 5.6 人員単価の条件付確率の範囲例 | 94 |
| 図 5.7 成功時の下限値設定 | 95 |
| 図 5.8 システムのフローチャート | 96 |
| 図 5.9 システム概要図 (三角分布)..... | 96 |
| 図 5.10 正規分布に従う乱数発生例..... | 99 |
| 図 5.11 三角分布に従う乱数発生例 | 100 |
| 図 5.12 細分化した影響ダイアグラム (一部抜粋)..... | 101 |
| 図 5.13 細分化した逆損益計算図 (一部抜粋) | 101 |
| 図 5.14 様々な要素の確率分布の例..... | 103 |
| 図 5.15 作業工期の 1 回目の確率分布想定..... | 104 |
| 図 5.16 作業工期の 2 回目の確率分布想定..... | 105 |
| 図 5.17 作業工期の 3 回目の確率分布想定..... | 107 |
| 図 5.18 作業工期の仮説の更新による確率分布推移 | 108 |
| 図 5.19 コンクリート材単価の 1 回目の確率分布想定 | 109 |
| 図 5.20 コンクリート材単価の 2 回目の確率分布想定 | 110 |
| 図 5.21 コンクリート材単価の仮説の更新による確率分布推移..... | 112 |
| 図 5.22 工事人員単価の 1 回目の確率分布想定..... | 113 |
| 図 5.23 工事人員単価の 2 回目の確率分布想定..... | 114 |
| 図 5.24 工事人員単価の仮説の更新による確率分布推移 | 116 |
| 図 5.25 仮説の更新導入無しの場合のヒストグラム | 117 |
| 図 5.26 仮説の更新導入有りの場合のヒストグラム | 117 |
| 図 5.27 仮説の更新導入の有無の比較 | 118 |
| 図 5.28 感度分析の比較図..... | 118 |
| 図 5.29 断片的データに基づく応札判断の精度向上方法..... | 119 |
| 図 5.30 成功事例と失敗事例のデータを基に統合した分布図(古賀, 他:2016) | 121 |
| 図 5.31 実データに基づく平均の精度向上方法..... | 122 |
| 図 5.32 実データに基づく偏差の精度向上方法..... | 123 |
| 図 5.33 客観的データを用いた主観的仮説の精度向上手法 | 124 |
| 図 5.34 マネジメント環境の違いによる適切な除外 | 125 |
| 図 5.35 地下鉄建設事業を事例とした逆損益ダイアグラム | 125 |
| 図 5.36 事例とした地下鉄建設事業の総事業価値の分布図 | 126 |
| 図 5.37 総事業価値の各要素の変動の影響評価..... | 127 |

| | |
|---|----|
| 表 1.1 FT 図に用いる事象記号..... | 3 |
| 表 1.2 FMEA の例..... | 5 |
| 表 1.3 故障要因評価点表..... | 6 |
| 表 1.4 キャッシュフロー計算書例..... | 12 |
| 表 2.1 定性チェックリスト例..... | 21 |
| 表 2.2 各リスクレベル評価例..... | 22 |
| 表 2.3 事業危険度の分布評価説明..... | 23 |
| 表 2.4 事業危険度のランキング..... | 24 |
| 表 2.5 要素の概要..... | 24 |
| 表 2.6 損益確認表..... | 27 |
| 表 2.7 幅を付けた損益確認表..... | 27 |
| 表 2.8 楽観的利益..... | 28 |
| 表 2.9 悲観的利益..... | 29 |
| 表 3.1 現地国に起因するリスク..... | 35 |
| 表 3.2 建設市場に起因するリスク..... | 36 |
| 表 3.3 発注機関に起因するリスク(その 1)..... | 36 |
| 表 3.4 発注機関に起因するリスク(その 2)..... | 37 |
| 表 3.5 発注機関／コンサルタントに起因するリスク(その 1)..... | 37 |
| 表 3.6 発注機関／コンサルタントに起因するリスク(その 2)..... | 38 |
| 表 3.7 発注機関／コンサルタントに起因するリスク(その 3)..... | 39 |
| 表 3.8 自組織に起因するリスク..... | 40 |
| 表 3.9 致命度の入力基準..... | 41 |
| 表 3.10 発生率の入力基準..... | 41 |
| 表 3.11 不透明度の入力基準..... | 41 |
| 表 3.12 大項目“現地国”の数値入力結果..... | 42 |
| 表 3.13 大項目“建設市場”の数値入力結果..... | 42 |
| 表 3.14 大項目“発注機関”の数値入力結果..... | 42 |
| 表 3.15 大項目“発注機関／コンサルタント”の数値入力結果..... | 43 |
| 表 3.16 大項目“自組織”の数値入力結果..... | 44 |
| 表 3.17 リスク発生率評価の結果..... | 45 |
| 表 3.18 事業危険度の総合点評価結果..... | 45 |
| 表 3.19 事業危険度の分布評価結果(その 1)..... | 47 |
| 表 3.20 事業危険度の分布評価結果(その 2)..... | 48 |
| 表 3.21 変換結果..... | 49 |
| 表 3.22 適用題材の損益確認表(その 1)..... | 52 |
| 表 3.23 適用題材の損益確認表(その 2)..... | 53 |
| 表 3.24 区間推定結果..... | 57 |
| 表 4.1 新たに作成したリスク項目リスト (現地国)..... | 65 |
| 表 4.2 新たに作成したリスク項目リスト (建設市場／経済)..... | 65 |
| 表 4.3 新たに作成したリスク項目リスト (発注機関)..... | 66 |
| 表 4.4 新たに作成したリスク項目リスト (発注機関／コンサルタント)..... | 67 |
| 表 4.5 新たに作成したリスク項目リスト (自組織)..... | 68 |
| 表 4.6 新たな定性チェックリスト評価 (現地国)..... | 69 |
| 表 4.7 新たな定性チェックリスト評価 (建設市場／経済)..... | 69 |
| 表 4.8 新たな定性チェックリスト評価 (発注機関)..... | 70 |
| 表 4.9 新たな定性チェックリスト評価 (発注機関／コンサルタント)..... | 71 |
| 表 4.10 新たな定性チェックリスト評価 (自組織)..... | 72 |
| 表 4.11 事業危険度の分布評価結果(その 1)..... | 73 |

| | | |
|--------|--------------------------------|-----|
| 表 4.12 | 事業危険度の分布評価結果(その 2) | 74 |
| 表 4.13 | 事業危険度の分布評価結果(その 3) | 75 |
| 表 4.14 | 本章での適用題材の損益確認表 | 77 |
| 表 4.15 | フィードバック結果 (現地国) | 80 |
| 表 4.16 | フィードバック結果 (建設市場/経済) | 80 |
| 表 4.17 | フィードバック結果 (発注機関) | 81 |
| 表 4.18 | フィードバック結果 (発注機関/コンサルタント) | 81 |
| 表 4.19 | フィードバック結果 (自組織) | 82 |
| 表 4.20 | 作成したシナリオ | 83 |
| 表 4.21 | シナリオドライバーに対するオプション | 84 |
| 表 5.1 | 作業工期の実データ | 102 |
| 表 5.2 | コンクリート材単価の実データ | 102 |
| 表 5.3 | 工事人員単価の実データ | 103 |
| 表 5.4 | 作業工期の仮説の 1 回目の更新結果 | 105 |
| 表 5.5 | 作業工期の仮説の 2 回目の更新結果 | 106 |
| 表 5.6 | 作業工期の仮説の 3 回目の更新結果 | 107 |
| 表 5.7 | コンクリート材単価の仮説の 1 回目の更新結果 | 110 |
| 表 5.8 | コンクリート材単価の仮説の 2 回目の更新結果 | 111 |
| 表 5.9 | コンクリート材単価の仮説の 3 回目の更新結果 | 111 |
| 表 5.10 | 工事人員単価の仮説の 1 回目の更新結果 | 114 |
| 表 5.11 | 工事人員単価の仮説の 2 回目の更新結果 | 115 |
| 表 5.12 | 工事人員単価の仮説の 3 回目の更新結果 | 115 |
| 表 5.13 | 利益率へ与える影響の変化 | 118 |
| 表 5.14 | 取り込んだデータ及び過去の確率からの新しい確率の算出プロセス | 122 |

第1章 序論

1.1 研究の背景

日本の成長戦略の一環としてインフラパッケージの輸出が挙げられる。主な例としては、車両技術の輸出と導入を行った台湾新幹線、地下工区及び高架工区の土木工事・軌道・鉄道システムを含む複数の新路線の建設を行ったインドのデリーメトロ、上下分離方式で円借款資金により土木・軌道工事を建設し、コンセッション方式で工事期間を含み30年間の運営・保守を受託した民間鉄道事業者に対して車両を含む鉄道システムを一括で設計・施工方式で実施したタイ・バンコクのパープルライン、ベトナム初の地下鉄となるホーチミン地下鉄1号線などが挙げられる。(図1.1) この戦略を実現するためには、日系企業が積極的に海外事業の入札に参入することが不可欠である。しかし近年、現地政府資金事業のみならず円借款事業においても日系企業が事業案件への応札を見送るという傾向が多々見受けられる。(例えば、円借款資金で実施しているベトナム・ホーチミン地下鉄建設事業の地下工区契約パッケージは、一度目の入札において応札者が現れず、その後、発注者側が契約条件を見直して再入札を行い、数社が応札し、日系企業の受注に至った。) 事実、近年の発注者と工事業者のリスク分配の不順により、海外建設協会(The Overseas Construction Association of Japan, Inc.: OCAJI) が複数の建設業者から上記の事例を受け、円借款事業の融資機関である国際協力機構(Japan International Cooperation Agency: JICA) に対して契約条件の見直しの要望書を提出している。海外鉄道建設事業等の国際インフラ事業において、工事業者の企業としての利益の得喪を決するのは入札自体の条件(応札要件等) と入札時に応札の前提となる工事の契約条件であると言っても過言ではない。なぜなら入札時の入札図書は、工事開始後から業務完了まで、更には瑕疵期間を含めると運用開始後数年先までの契約条件の全てを網羅しているからである。



台湾新幹線



バンコク・パープルライン



デリーメトロ



ホーチミン地下鉄1号線

図 1.1 日本政府によるインフラパッケージ輸出の事例

しかし現時点では、入札時点において事業に潜むリスクを適切に判断し、応札すべきか否かを総合的かつ包括的に評価及び判断する有効な手法は十分ではないと考える。このため、各企業による事業への参入（応札）基準は、各企業の経験則や定性的な判断に依存した極めて不透明かつ不確定なものとなっている。当該国の業務経験や他国での類似業務経験の豊富な工事業者であれば、絶えず変動する事業環境変化にもある程度は精度の高い経験則によって妥当な応札判断をすることが可能かもしれない。しかし、実績の少ない企業や新規参入の企業は場当たりの対応や論理的でない判断をせざるを得ないことになり、仮に受注に成功しても想定外の支出が発生したり、発注者側の要求事項を十分に満たせないために工事業者側の要因で工期延長になったり、予算内で事業を遂行することが出来なかったりするなど、事業実施に失敗してしまうケースが考えられる。これらのことから、日系企業が海外鉄道建設事業を含む国際インフラ事業に以前に増して慎重になっているという近年の入札における動向を察することができる。

海外鉄道建設事業等の国際インフラ事業への応札に対する事前準備として応札を予定している企業が出来る対策としては、定性的なリスク評価に関しては国際的標準契約約款（契約条件書）である FIDIC 書類（発注者設計、設計施工、古ターンキー等、契約方式によって異なり、それぞれレッドブック、ピンクブック、イエローブック、シルバーブックと称される）を熟知するといった程度になるが、入札図書には発注者側が有利となるように片務的に契約条件を変える特記契約条件書が含まれていたり、入札時点まで明らかにされない技術仕様書や性能要求書があったりするなど、事業特有のリスクを事前に正確に把握・評価することは非常に難しい。また、定量的な事前評価としては、想定工事費内訳を基にした事業における予想支出額を試算し、それに必要経費と希望利益を上乗せして応札額を見積るという想定利益率の試算しか出来ず、不確定要素を適切に想定利益率の試算に反映出来ていないと思われる。このため、定性的な視点と定量的な視点の両方から事業実施におけるリスクを把握・評価し、より精度の高い想定利益率を試算する手法が望まれる。

本研究における「事業リスク」は、事業実施において企業（応札者）に対し直接的及び間接的に、円滑な事業の遂行、企業の財務（すなわち利益）や経験と実績、第三者からの信用と信頼（銀行からの与信、今後共同する可能性のある同業者や関係企業、等）、対象事業の発注機関及び同国内外の他の類似案件の発注機関からの評価、等に影響を及ぼす可能性がある要素・事象とする。一般的に事業リスク評価は、事業に対する深い知識・理解が必要であるため、評価者の能力や経験に依存し、信頼性の担保が難しいという問題点が指摘される。そこで本研究では、FMEA を基にして事業リスクの抽出及び定性評価を行い、DDP の財務評価を基にした定量評価と統合し、定性評価と定量評価を繰り返すことにより互いの評価のデメリット及び不足箇所を補完して信頼性を向上させることができるのではないかと仮定して、国際インフラ事業の応札判断を支援する目的でハイブリッドリスク評価手法を構築し、更に定性と定量の双方から評価するハイブリッドリスク評価手法の特徴を活用することで、評価結果として得られる事業リスクの信頼性を向上させ、海外鉄道建設事業を題材にその有効性を検証することを目的とする。

1.2 既存研究及び各種分析手法

本論文では、既存の事業リスク評価手法を応用しているため、以下に既存手法の変遷と概要を整理する。評価という観点で、事業リスクは大きく以下の二つに整理される (Flanagan, 1993)。

- (1) 業務熟練者の経験によって表現や評価することが可能なリスク（定性リスク）
- (2) 確率や数学を用いて表現や評価することが可能なリスク（定量リスク）

これらは、“事業に内在するリスク項目を明示的かつ網羅的に把握すること（定性的評価）”と“利益に影響を与える度合いを知ること（定量的評価）”といった現在の海外インフラ事業の応札判断及びリスク評価におけるニーズと合致する。

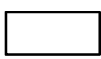





まず、(1)の定性リスクの抽出及び評価手法として、FTA（故障の木解析：Fault Tree Analysis）（小野寺, 2000）、FMEA（故障モード・影響解析手法：Failure Mode and Effects Analysis）（鈴木他, 1982）（飯田他, 2007）、HI-FMECA（日立式故障要因摘出手法：HITACHI-Failure Mode Effects and Criticality Analysis）（小野寺, 2006）、ETA（イベントツリー解析手法：Event Tree Analysis）（幸田他, 1985）、SWOT分析、バリューチェーン分析、PEST分析、5フォース分析及びシナリオプランニング（池田他, 2002）（大林, 2014）を説明する。

次に 1.2.10 項から、(2)のリスク評価手法として、キャッシュフロー法（武井他, 2005）、DCF（Discounted Cash Flow）法・NPV（Net Present Value）・IRR（Internal Rate of Return）（森, 1982）、What-if分析・感度分析（William, 1991）（澤田他, 2002）、モンテカルロ法（大野, 2013）（福澤他, 2009）、リアルオプション（金崎, 2011）及びDDP（Discovery-Driven Planning）（McGrath, 2009）（小川, 2012）について説明する。

1.2.1 FTA (故障の木解析)

FTA（故障の木解析，Fault Tree Analysis）とは、最も発生してはならない事象（頂上事象）からその事象の第一次要因となる事象（中間事象）を出して、最終的に頂上事象の根本的な原因の事象（基本事象）を抽出し、発生確率を求めてその対策を創造する手法である。事象の関連の可視化を行うために FT（故障の木，Fault Tree）図を作成する。自動車のランプが点灯しない場合を例とする。表 1.1 に FT 図に用いる事象記号と論理記号を示す。また図 1.2 に頂上事象から基本事象まで抽出した FT 図を示す。

表 1.1 FT 図に用いる事象記号

| | | 内容 |
|------|---|---|
| 事象記号 | 頂上事象 中間事象  | 頂上事象: 解析対象の製品や作業などの発生しては困る事象を FT 図の解析目標として明記する。 中間事象: 頂上事象と基本事象との中間の事象を表し、製品などの構成をもとに表現される事象である。 |
| | 基本事象  | 基本事象: 頂上事象を発生させる要因のうち、分解ができないあるいはそれ以上分解を必要としない事象である。一般的には、対策ができるレベルの事象とする。 |
| 論理記号 | ORゲート  | 入力事象のいずれかが発生すると出力事象が発生する。 入力事象の数には制限はない。 |
| | ANDゲート  | 入力事象の全てが同時に発生した場合に出力事象が発生する。 |
| | 移行記号 (入力)  | FT 図が大きくなり、別の紙面に書く場合に3角形の中に分類番号などを書き入れる。別紙面では、同じ番号を3角形の中に書き、これを頂上事象として FT 図を作成する。 |
| | 移行記号 (出力)  | |

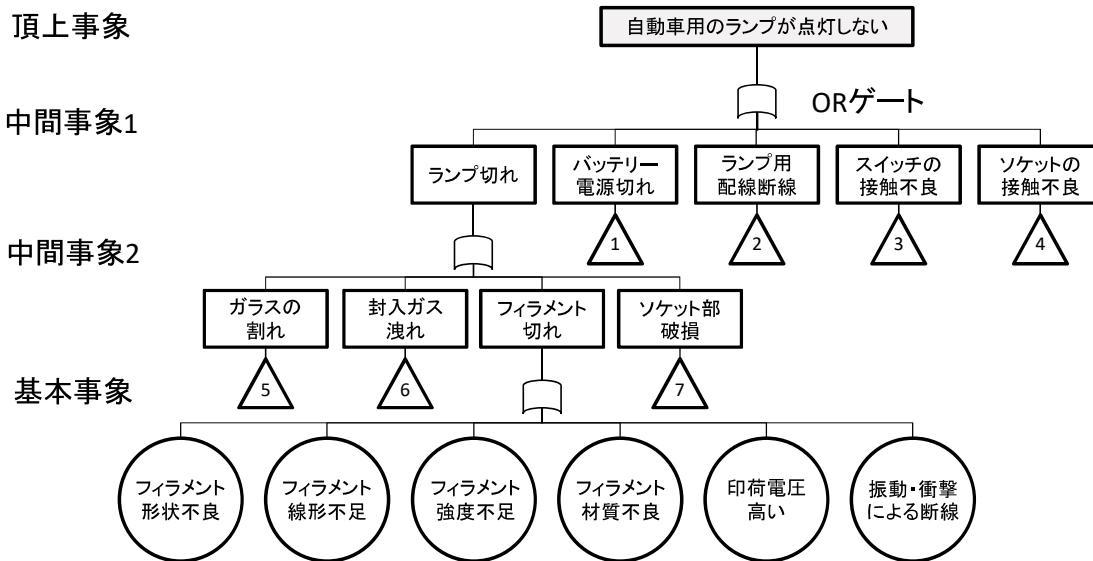


図 1.2 頂上事象から基本事象まで抽出した FT 図

図 1.2 のような基本事象までの FT 図を作成した後、基本事象から頂上事象までの発生確率を求める。事象の発生確率は以下の式で求められる。

$$\text{発生確率} = \text{故障率}[1/\text{時間}] \times \text{期間}[\text{時間}] \quad (\text{式 1.1})$$

この式は、求めた発生確率が 0.1 以下となった場合のみであることに留意する必要がある。そして、基本事象の発生確率を基に、表 1.2 の論理ゲートに従って発生確率を計算する。例えば OR ゲートの場合、下記の通りになる。

$$F_T \cong F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{式 1.2})$$

F_T : 出力事象の発生確率

F_i : 入力事象の発生確率

ただし上式は $F_i < 0.1$ 時の近似式である。AND ゲートの場合、

$$F_T = F_1 \times F_2 \times F_3 \times \dots \times F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (\text{式 1.3})$$

以上の式から求めた発生確率を目標と比較してもし確率が目標よりも悪い場合、その対策として基本事象や中間事象の発生確率を下げる行動へと移し改善を図る。

1.2.2 FMEA (故障モード・影響解析手法)

FMEA (故障モード・影響解析手法: Failure Mode and Effects Analysis) とは、部品レベルでの故障が機材にどのように影響を与えるかを解析するといったリスク分析手法である。故障モードとは故障をもたらす不具合の事象の分類のことである。FTA と FMEA の大きな相違点は、FTA では頂上事象からその事象の構成要因を抽出するトップダウン方式であるのに対して、FMEA ではボトムアップ方式を用いていることである。FMEA を行うためには、まずシステムの故障モードとその機器を構成する部品の故障要因とその結果の機体への影響を抽出する。次に抽出された故障モードの影響の度合い、発生度及び発見度を段階評価する。そして危険優先指数 (Risk Priority Number: RPN) を評価した数値の積から求める。表 1.2 に FMEA の例を示す。

表 1.2 FMEA の例

| 部品名 | 故障モード | 影響 | | 度合 | 発生頻度 | 発見確率 | PRN (危険優先指数) |
|----------|----------------------|-------------------|--------------------------------|----|------|------|-----------------|
| | | 部品 | 機体 | | | | |
| リミットスイッチ | 接点不良 | リミットスイッチ 発熱 | モータが回らない モータが停止しない | 4 | 2 | 4 | 32 |
| | レバー破損 | リミットスイッチ 作動しない | モータが停止しない | 4 | 3 | 3 | 36 |
| | リミットスイッチ 取付けビスゆるみ | なし | モータが停止しない | 4 | 3 | 2 | 24 |
| | ベークライト破損 | なし | モータが停止しない | 4 | 1 | 3 | 12 |
| | はんだ付け不良 | なし | モータが回らない 全開・全閉ランプが 点灯しない | 2 | 2 | 4 | 16 |

表 1.2 から、RPN の最大値は 64，最小値は 1 であることが確認できる。そしてこの表の中から、RPN の高いものが優先的に対策の対象となる。表 1.2 からはレバーの破損などが優先的に対策されることが確認できる。

1.2.3 HI-FMECA (日立式故障要因摘出手法)

HI-FMECA (日立式故障要因摘出手法：HITACHI-Failure Mode Effects and Criticality Analysis) とは、故障率を得られにくい部品などがある際に故障要因評価点表という要求信頼度と実績信頼度を評価する表を用いて有効に故障要因を摘出する手法のことである。図 1.3 に HI-FMECA の解析手順を示す。

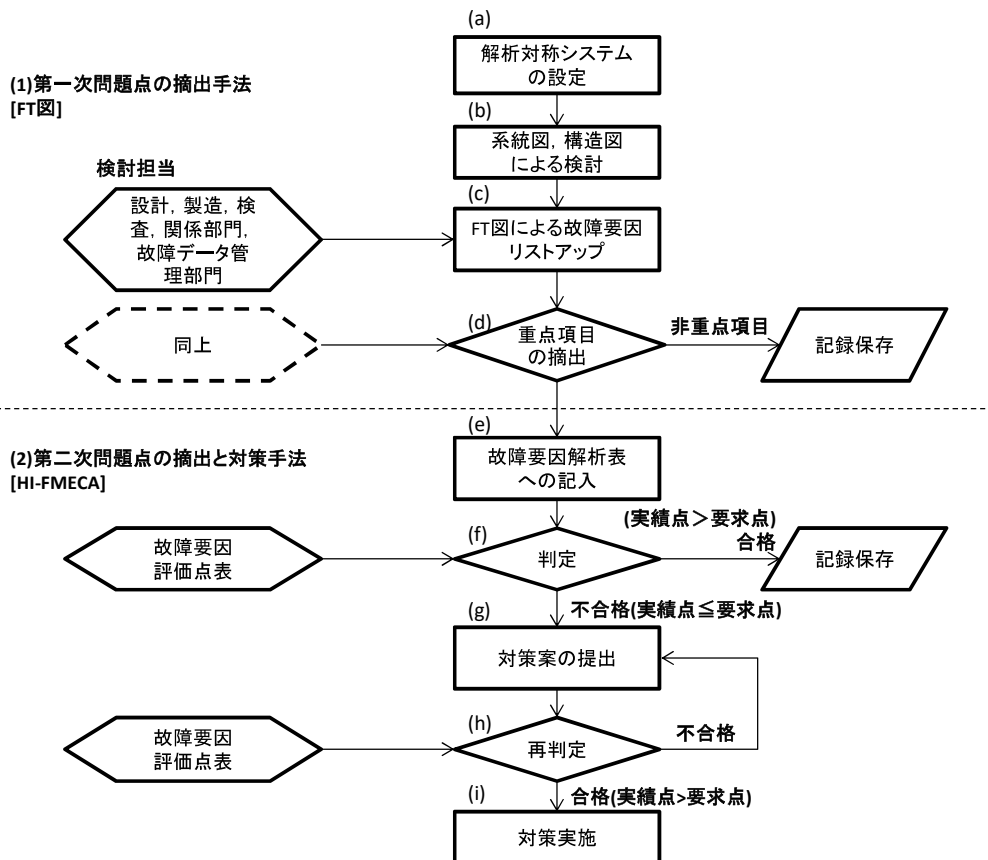


図 1.3 HI-FMECA の解析手順

HI-FMECA の解析は、解析対象となる故障の問題を持つ製品などを選ぶことから始める。製品の選択後、その製品のシステムや機器の理解のために系統図や構造図などを検討する。その後、解析対象の製品の FT 図を作成する。作成した FT 図から問題

となると思われる要因を抽出して重点項目とする。この重点項目について故障要因評価点表で評価する。表 1.3 に故障要因評価点表の例を示す。

表 1.3 故障要因評価点表

| 要求信頼度評価点(X)* | | | | | | 実績信頼度評価点(Y)** | | | | | | | | | |
|---|-----|---------------|-----------|-----------------|----------|----------------------------|---------|-------------------------|--------|---------------|-----|-------------------------------------|-----|-------------|-----|
| 使用条件 | | | 修理許容条件(c) | | 故障致命度(d) | | 機器構成信頼度 | | | システム故障実績点(m) | | 系統構成点(n) | | | |
| 環境条件(a) | | 使用頻度(b) | | | | | 機器構造(k) | | 安全性(l) | | | | | | |
| 高温60°C以上 多湿90%以上 | 1.0 | 常用 | 1.0 | プラント停止時のみ修理可 0h | 1.0 | 致命的 (機器破損) | 1.0 | 原理・構造良 (実績あり) | 1.0 | メンテナ ンスフリー | 1.0 | 実績あり 故障例なし | 1.0 | 冗長系 | 1.0 |
| 高温40 - 60°C以上 多湿70 - 90%以上 または振動大 (100μ以上) | 0.8 | 間欠1回 /20日 | 0.7 | 8h以内 | 0.7 | 重大 (プラント 停止) | 0.8 | 複雑で故障 要因あり (実績あり) | 0.8 | 2年以上 | 0.9 | 実績あり 故障例あり | 0.8 | 3回のうち 2回 | 0.7 |
| 標準 (温度40°C以下 湿度70%以下) | 0.5 | 間欠1回以上 /1日 | 0.5 | 24h以内 | 0.5 | 軽故障 (系統停止) | 0.6 | 複雑で故障 要因あり (実績なし) | 0.6 | 1-2年 | 0.8 | 実績5年以下 故障例あり 実績なく類似品 事故例なし | 0.6 | 単一 | 0.5 |
| | | | | 10日以内 | 0.4 | 軽微 (プラント 運転に 無影響) | 0.4 | 原理・構造に 未知の恐れ あるもの | 0.4 | 0.5年以下 | 0.6 | 実績なく類似品 事故例あり | 0.4 | | |

X)=(a)(b)*(c)*(d)*100 **Y)=(k)*(l)*(m)*(n)*100 判定(X)≥(Y) 不合格一対策案を立て再評価を行う (X)<(Y) 合格

表 1.3 から、不合格となった機器が製品の潜在的な故障要因であると分かる。そしてその要因の対策案を提出した後、その対策案を表 1.3 の故障要因評価点表を用いて再評価を行い、表から合格を得られた対策案が実行対策案として採用される。以上のようにして製品の故障リスクを評価し対策を効率よく行える方法が HI-FMECA である。

1.2.4 ETA (イベントツリー解析手法)

ETA (イベントツリー解析手法: Event Tree Analysis) とは、ある重要な故障発生時にその呼称がどのように拡大するかを ET (イベントツリー: Event Tree) の作成によって確率的に求める手法である。この手法を用いることで、システムの重大事故防止を対策することができる。ETA は事故の発端となる故障 (初期事象) の設定から始める。そして、最終事象となる、発生しては困る事象を設定する。ETA では初期事象から最終事象までの道筋内にある障害を探して、その繋がりを連続させ、可能性のある事象結果を結ぶ。そして初期事象の発生確率からそれぞれの繋がりの発生確率を求め、最終事象の発生確率まで求める。図 1.4 に都市ガスのガス漏れ ETA の例を示す。

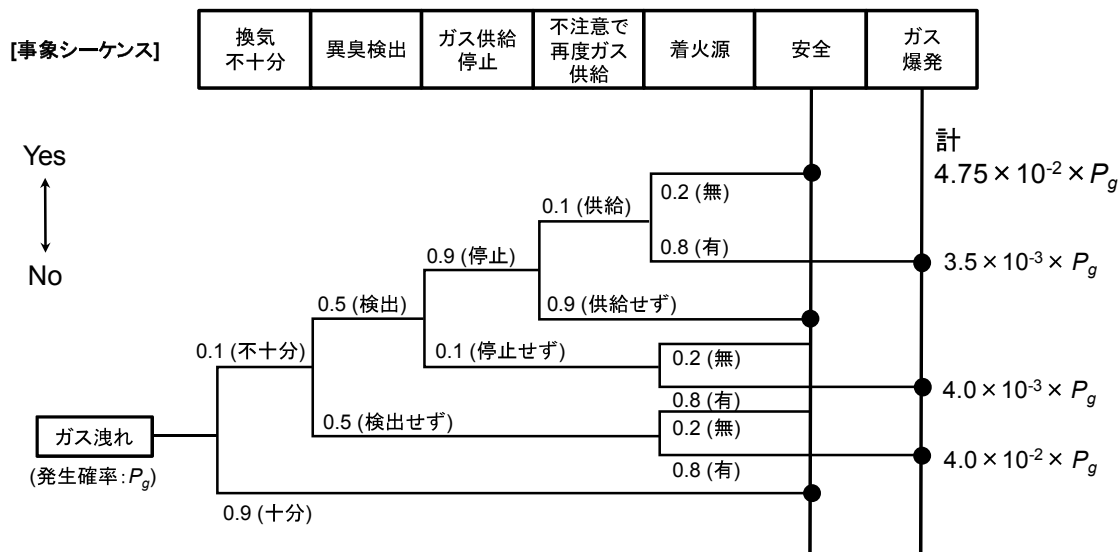


図 1.4 都市ガスのガス漏れ ETA の例

図 1.4 からガス爆発の発生確率を求める。 $P_g = 3.0 \times 10^{-4}$ とすると、ガス爆発の発生確率は

$$\text{ガス爆発の発生確率} = 4.75 \times 10^{-2} \times 3.0 \times 10^{-4} \cong 1.43 \times 10^{-5}$$

となる。以上の方法から防止策を考え、最終事象が起きないように対策を創造することができるようになる。

1.2.5 SWOT分析

SWOT 分析は、自組織や事業を取り巻く環境による影響、及びそれらの影響に対する自組織の現状の分析のためのフレームワークであり、SWOTは“強み(Strength)”, “弱み(Weakness)”, “機会(Opportunity)”及び“脅威(Threat)”の頭文字を取ったものである。“強み(S)”と“弱み(W)”は、自組織内に存在・保有し、自組織にとって武器となる、もしくは苦手のため不得意とする内部環境であり、“機会(O)”と“脅威(T)”は自組織のチャンスとなる、または脅かす外部環境である。また、“強み(S)”と“機会(O)”はポジティブな要素であり、逆に“弱み(W)”と“脅威(T)”はネガティブな要素である。SWOTのそれぞれに該当する要素を抽出し、自組織と事業の現状分析から今後のビジネス機会を明らかにして、抽出された要素を組み合わせて事業戦略やマーケティング計画を立てるための手法である。

第 3 章における適用題材であるタイ国のエアポートリンク事業に対して行った SWOT 分析において、事業リスクとなる要素を抽出した結果の事例を図 1.5 に示す。

| | | プラス要因 | マイナス要因 |
|------|--|--|---|
| | | 強み(Strength) | 弱み(Weakness) |
| 内部環境 | | 会社戦略との整合性 競争における優位性 工事の実施能力 工事の実施体制 自社のローカルスタッフ 建築許認可の取得 | 対象国の理解 入札対応の実施体制 現地法人・事務所の有無および支援体制 運転資金の確保 下請け業者 工事業者に起因する工事の遅延 |
| | | 機会(Opportunity) | 脅威(Threat) |
| 外部環境 | | 事業実施に関する国家計画 契約パッケージ規模の妥当性 事業費の妥当性 施工監理コンサルタントの能力 契約言語 設計変更起因する工期延伸の条件 契約方式の妥当性 自然災害起因する工期延伸の対応 資格審査(PQ)の妥当性 | 入札評価コンサルタントの品質 設計、設計図書、設計図面の精度 エンジニアの権限の妥当性 文化・風習・慣習・治安等 デモ/テロ/戦争の発生 自然災害の発生 建設期間中の政変 建設期間中の法令変更 発注者の事業実施能力 契約工期の妥当性 |

図 1.5 SWOT 分析結果の事例

1.2.6 バリュチェーン分析

物の流れにおける各段階の関係要素を抽出するバリュチェーン分析では、幅広い事業環境の利害関係を考慮し、物的対象に対する価値の付与過程（素材、パーツ等）に着眼し、その事業環境上の成功要素を洗い出すことによって自組織の弱みや強みを把握することができる。図 1.6 にバリュチェーン分析の事例を示す。

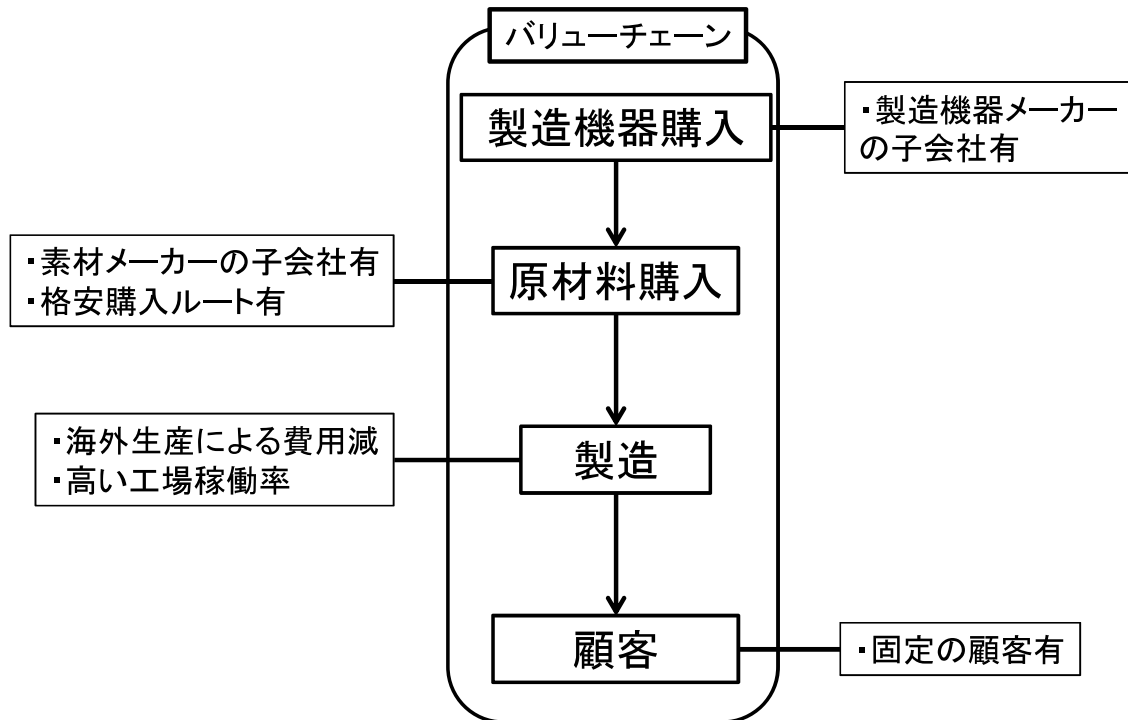


図 1.6 バリュチェーン分析の事例

企業の事業環境における価値の創造過程を包括的に把握し、その上で自組織の強み弱みを抽出することは事業価値の根源になる。本研究においては、製品の製造における物の流れの各段階（バリュチェーン）の要素（物的価値）に加え、リスク評価の主対象である「工事」を含む事業実施における各段階（エンジニアリングチェーン）における情報の要素（設計データや仕様等の知的価値のある情報）を合わせて示すことで、自組織が管理できる物の流れ（バリュチェーン）と自組織では管理できない情報の流れ（エンジニアリングチェーン）の双方の観点からリスク項目を多面的に抽出するために開発した分析手法である「クロスチェーン分析」を導入した。クロスチェーン分析の例を図 1.7 に示す。クロスチェーン分析では、物的価値である物の流れを時系列で縦軸に取り、知的価値である情報の流れ（発展や変更）を時系列で横軸に取り、共通項目である“工事”でクロスさせる。これらの両軸の各項目の関連性に着眼し、事業の各段階（情報の流れ）におけるリスク要素の抽出において、工事に関わる資機材調達各段階（物の流れ）との関連性を考慮することで、気づきにくいリスク要素の抽出が可能になると考える。情報の流れの項目と物の流れの項目をクロスさせたマトリックス表の事例を図 1.8 に示す。

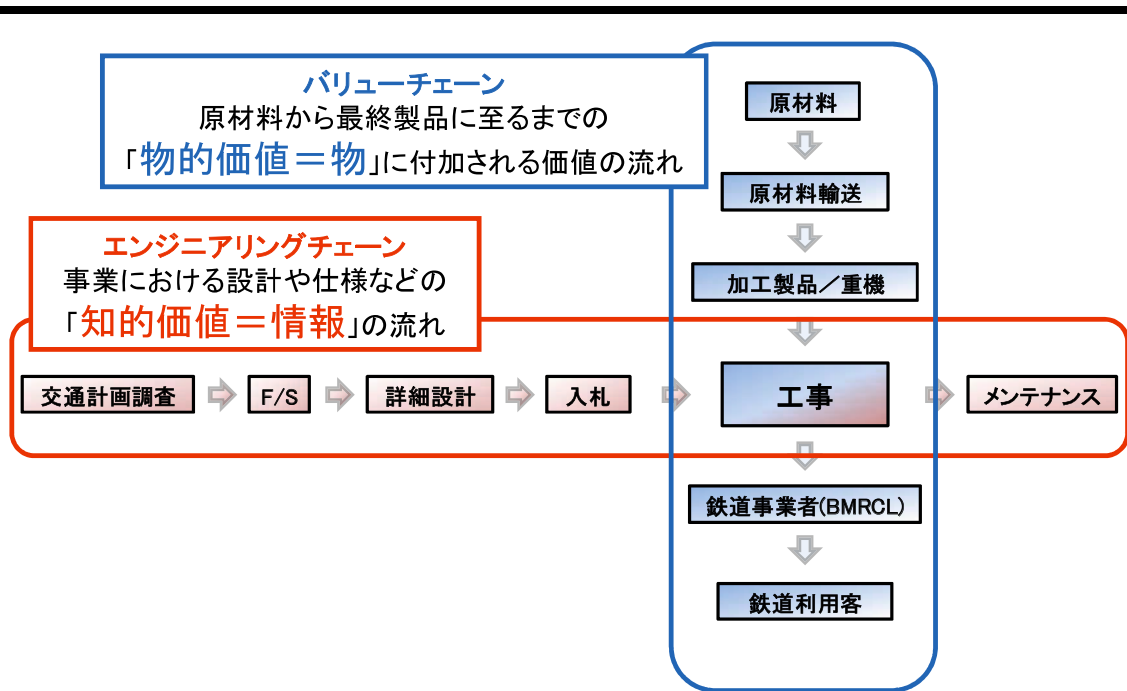


図 1.7 クロスチェーン分析の概念

| | 交通計画調査 | F/S | 詳細設計 | 入札 | 工事 | メンテナンス |
|---------|--------|-----|------|----|----|--------|
| 原材料 | | | | | | |
| 原材料輸送 | | | | | | |
| 加工製品/重機 | | | | | | |
| 工事 | | | | | | |
| 鉄道事業者 | | | | | | |
| 鉄道利用客 | | | | | | |

図 1.8 クロスチェーン分析におけるマトリックス表の事例

1.2.7 PEST分析

PEST (Politics, Economy, Sociology, Technology) 分析 (Doherty 他, 2012) とは、事業内の環境変化要因を政治的 (Political)、経済的 (Economic)、社会的 (Sociological) 及び技術的 (Technological) の4つに分けて特に考慮すべき要素抽出する分析である。図 1.9 に PEST 分析の事例を示す。

| 政治的環境変化要因 (Political) | 経済的環境変化要因 (Economic) |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 環境法案可決による一部材料使用規制 ● 環境法案可決による工場稼働率低下 | <ul style="list-style-type: none"> ● 原油価格高騰による工場稼働率低下 ● 材料価格高騰による生産量減 |
| 社会的環境変化要因 (Sociological) | 技術的環境変化要因 (Technological) |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 製造国の人員増加 ● 製造国での自然災害発生 ● 製造国での疫病蔓延 | <ul style="list-style-type: none"> ● 高機能材料開発 ● 高機能機器開発 ● 新ライン導入 |

図 1.9 PEST 分析の事例

1.2.8 5フォース分析

5フォース分析 (Porter, 2008) とは、事業を取り巻く外部要因を“新規参入の脅威”、“顧客の交渉力”、“代替製品・サービスの脅威”、“供給業者の交渉力”及び“既存競合企業同士の競争”と5つに分けて抽出する分析手法である。図 1.10 に5フォース分析の事例を示す。

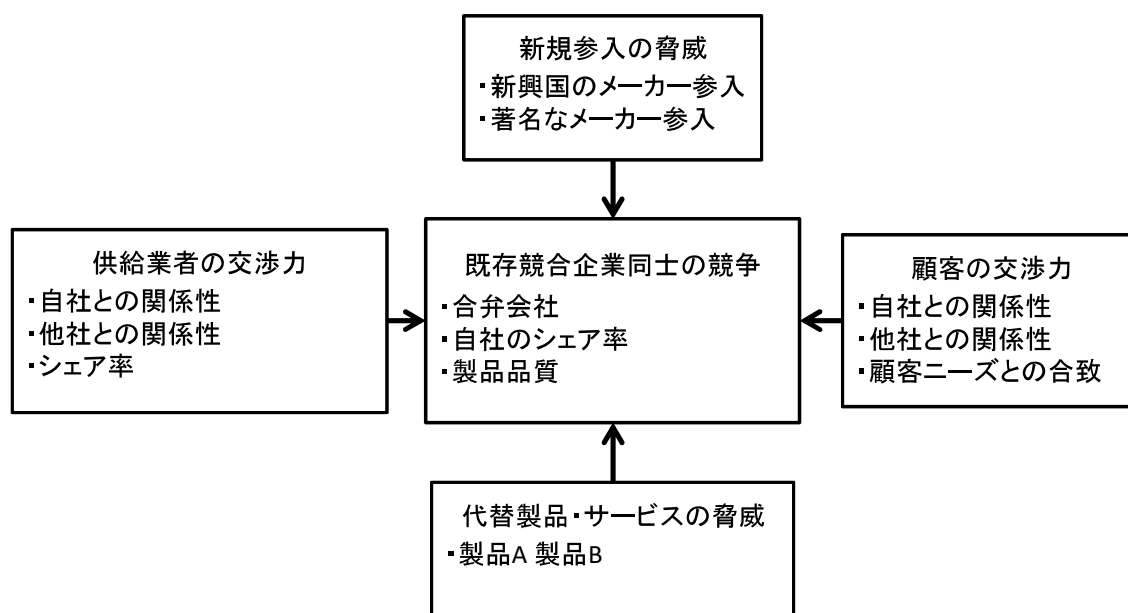


図 1.10 5 フォース分析の事例

1.2.9 シナリオプランニング

シナリオプランニングとは事業内に潜在するリスクをシナリオとして表現し、シナリオが発生した場合の対応策を考える手法のことである。1.2.11 項で述べる NPV, DCF 法及び IRR の弱点から、幅広い事業環境でのリスク評価を可能としたものがシナリオプランニングである。この手法は複数の視点や妥当な将来から事業の環境変化を認知する手法として妥当なものであると言える。

シナリオプランニングに用いる外部要因の分析手法としては、主に上述のバリューチェーン分析、PEST 分析及び 5 フォース分析といったものがあり、これら 3 つの主な手法による分析によって抽出されたリスク項目の中で、自組織に大きな影響度を持っている項目と不確実性が高い項目を選択しつなぎ合わせることによってシナリオを作成する。また、それらが発生した場合の対応策も考えておく必要がある。図 1.11 に、製造業におけるシナリオの作成とディシジョンツリーの例を示す。

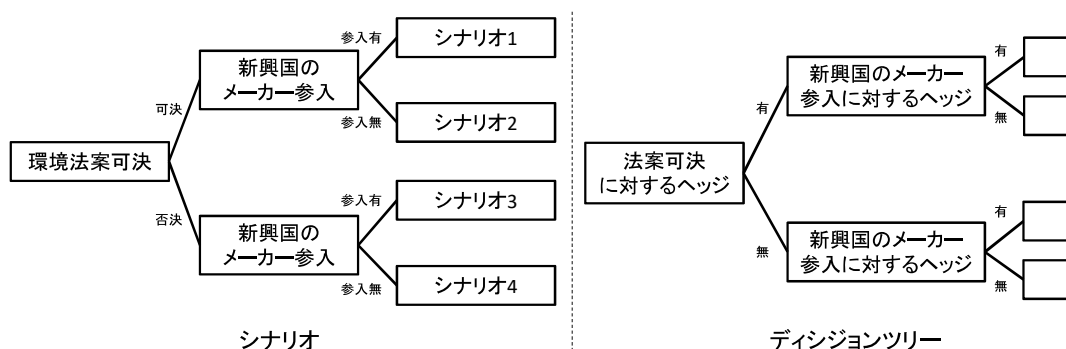


図 1.11 シナリオとディシジョンツリーの例

シナリオプランニングによって、NPV, DCF 法及び IRR の弱点である将来の事業環境の変化を中心としたリスク項目の抽出を行い、その結果から自組織の定量的な意識決定を下すことによって揺れ動く環境変化に対処することが可能となる。

定性的な事業リスクを抽出することは、実際のインフラ事業においては FIDIC レッドブック MDC 版等を考慮した契約条件に関するチェックリストを作成するなどしてある程度は対応可能である。しかしながらこの方法では、リスク抽出の網羅性（必ずしも契約条件がリスク項目ではないため）が十分に担保されない、また発注者側が特記条件書 (Particular Conditions of Contract) を発注者に有利となるように一部の条項を書き換える場合、入札が開始して入札図書を確認するまでは片務的な契約条件によるリスクを把握することが難しい、というような問題がある。本研究の背景として、業務熟練者の経験のみによる判断では様々な事業におけるリスクの網羅性を高めることが困難であると考えている。そこで汎用性を高め、また時代の変化による適応性の劣化を避けるような新たなリスク抽出手法が求められている。抽出したリスク項目の評価手法としては、主に製造業で扱われる上述の FMEA 手法のようなチェックリスト形式がある。また先行研究として、He Zhi・L.Y.Shen らはプロジェクトに内在するリスクの優先度をリスクの発生確率とリスクそのものの規模の積から求めている (He, 1995) (L.Y.Shen, 2001)。このとおり、FMEA 手法は海外鉄道建設事業といった国際インフラ事業における事業リスクの評価に応用できる手法であると考えられる。

工事業者視点の事業リスク評価の先行研究において、大津・大西は契約時に事業に内在するリスクを洗い出し、発注者とどの工事請負者が認識されているリスクをそれぞれだけ負うべきかを明確にすることで、リスク分配の不順に対処するといったことを挙げている (大津他, 2002)。しかし、開発途上国の契約に対する認識が不慣れな点、また発注者による片務契約の傾向から、不当なリスクを負う可能性を否認しない現状がある。

1.2.10 キャッシュフロー法

キャッシュフロー法とは企業の過去及び現在の収支を計算するという手法であり、実際の企業でもこの手法を基にした財務諸表（貸借対照表，損益計算書，キャッシュフロー計算書等）を作成している。表 1.4 にキャッシュフロー計算書の例を示す。

表 1.4 キャッシュフロー計算書例

| 項目 | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 4年目 | 5年目 | 合計 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 営業活動キャッシュフロー | | | | | | |
| キャッシュ・インフロー | | | | | | |
| 販売収入 | | | | | | |
| 補助金 | | | | | | |
| キャッシュ・アウトフロー | | | | | | |
| 登記費用 | | | | | | |
| 研究費 | | | | | | |
| 家賃 | | | | | | |
| 会社維持費用 | | | | | | |
| 委託生産量 | | | | | | |
| 旅費 | | | | | | |
| 特許使用料 | | | | | | |
| 支払い利息 | | | | | | |
| 投資活動キャッシュフロー | | | | | | |
| キャッシュ・インフロー | | | | | | |
| キャッシュ・アウトフロー | | | | | | |
| 国債購入 | | | | | | |
| 財務活動キャッシュフロー | | | | | | |
| キャッシュ・インフロー | | | | | | |
| 借入金 | | | | | | |
| 資本金 | | | | | | |
| キャッシュ・アウトフロー | | | | | | |
| 借入金返済 | | | | | | |
| 合計 | | | | | | |
| 現金期末残高 | | | | | | |

1.2.11 NPV（正味現在価値），DCF（割引現金収支）法，IRR（内部収益率）

キャッシュフロー法に将来の割引率を考慮して行う計算法及び計算要素として NPV，DCF 法，IRR 等がある。

NPV（Net Present Value：正味現在価値）とは，投資対象の将来の割引率を通して将来と現在の価値を比較する方法である。現在価値（PV：Present Value）は以下の式によって求められる。

$$PV = \frac{FV}{(1+r)^n} \quad (\text{式 1.5})$$

FV：将来価値(Future Value) r ：割引率 n ：期間

ここで銀行の金利を例に挙げる。1年間の金利を0.2%で一定とし，金利を割引率として見なすと，10年後に手にする1,000万円の現在価値は

$$PV = \frac{FV}{(1+r)^n} = \frac{1000}{(1+0.002)^{10}} = 980.2 \text{ [万円]} \quad (\text{式 1.6})$$

となる。つまり上式は現在の980.2万円は10年後の1000万円に相当する価値があるということを示している。正味現在価値とは任意の期間内に見込まれる収益の現在価値とそのため支出との差がいくらになるのか比較して投資判断する方法である。

DCF（Discounted Cash Flow：割引現金収支）法とは投資対象の割引率を考慮して年間の受け取る金額を現在の価値として比較する計算手法である。例として建設工事に50億円投資して年間15億円の売り上げが見込まれる事業の5年間を考える。割引率を5%で一定である場合の5年間の売り上げの現在価値は

$$PV = \frac{15}{(1+0.05)} + \frac{15}{(1+0.05)^2} + \frac{15}{(1+0.05)^3} + \frac{15}{(1+0.05)^4} + \frac{15}{(1+0.05)^5} \cong 65 \text{ [億円]} \quad (\text{式 1.7})$$

となる。売り上げの現在価値から工事費を差し引くと15億円となり，この事業は現在価値で15億円の利益をもたらすことが確認できる。

DCF法などでは将来のキャッシュフローが上述した通り固定的に見積もられる。しかし実際はこの見積金額の通りになる保証は無いため，実際の事業では上記のNPV，DCF法及びIRRの例の通り一定の割引率で計算されることはほぼ無く，加重平均資本コスト（Weighted Average Cost of Capital：WACC）を用いる。加重平均資本コストとは企業が利益を維持するための必要コスト（資本コスト）に負債と株式を加味したものである。計算方法は次式で表現される。

$$WACC = \text{負債の資本コスト} \times \text{負債率} + \text{株式の資本コスト} \times \text{株式比率} \quad (\text{式 1.8})$$

負債の資本コスト：借入金の利息など

株式の資本コスト：株式に対する配当金やキャピタルゲインなど

負債利率：自己資本に対する負債の比率

株式比率：自己資本に対する株式の比率

例えば上記の例の事業の負債額を50億円，負債の資本コストを3%，株式時価総額を50億円，株式の資本コストを7%とするとWACCは

$$WACC = \frac{50}{50+50} \times 3 + \frac{50}{50+50} \times 7 = 5 \text{ [%]} \quad (\text{式 1.9})$$

となり、割引率を 5%で考えることがわかる。また法人税を考慮した計算は次式で表される。

$$WACC = \frac{50}{50+50} \times 3 \times (1-0.4) + \frac{50}{50+50} \times 7 = 4.4 [\%] \quad (\text{式 1.10})$$

この平均資本コストを使用し割引率を調整することで高精度な将来のキャッシュフローが割り出すことができる。しかしこれらの方法を用いた DCF 法は確実性の高い事業では成り立つが、事業進行中の状況変化に対して対処しづらく、不確実性の多い事業環境内では目標とかけ離れた結果になってしまうことが多い。

IRR (Internal Rate of Return: 内部収益率) とは計算上で出された割引率のことである。ビルの事業を例に挙げる。建設費 100 億円のビルを回収利益が毎年 20 億円であるとして、開業から 5 年後に 50 億円で売却するとした場合、目標の割引率 (ハードルレート) を 3%とすると回収利益の総額は、

キャッシュ総額

$$= -100 + \frac{20}{(1+0.03)} + \frac{20}{(1+0.03)^2} + \frac{20}{(1+0.03)^3} + \frac{20}{(1+0.03)^4} + \frac{20}{(1+0.03)^5}$$

$$\cong 17.5 [\text{億円}] \quad (\text{式 1.11})$$

となる。ここで上式の-100 は建設費、それ以外の項は毎年の収入の現在価値を示していることが確認できる。ここで、IRR を求めると以下のような結果になる。

$$-100 + \frac{20}{(1+r)} + \frac{20}{(1+r)^2} + \frac{20}{(1+r)^3} + \frac{20}{(1+r)^4} + \frac{20}{(1+r)^5} = 0 \quad (\text{式 1.12})$$

$$r \cong 8.1 [\%]$$

ハードルレートよりも算出された IRR の方が大きいので、これは投資しても利益が出るという考えができる。NPV が将来の回収利益などを現在価値にする計算手法であるのに対して IRR は NPV 内の割引率を出して比較するところが特徴である。

これらの手法では、財務的な予測を基に将来的に実施する事業を現在の価値におきかえて財務的な試算を行うことは可能であるが、事業を取り巻く様々な環境の変化や事業自体の市場における価値の変動を考慮することはできない。

1.2.12 What-if分析及び感度分析

What-if 分析とは、不確実性のある要素に対して、想定した変化を考慮して要素を変動させる手法である。図 1.12 に What-if 分析の例を示す。図 1.12 から何も発生しなかった場合と人件費、資材費、機材費等が高騰した場合を比較検証すること容易になったことが確認できる。このように揺れ動く環境変化における「もし~だったら」といった仮定から、それに対する数値を変動させることによって実際の事業環境に対応することを目的とした手法が What-if 分析である。

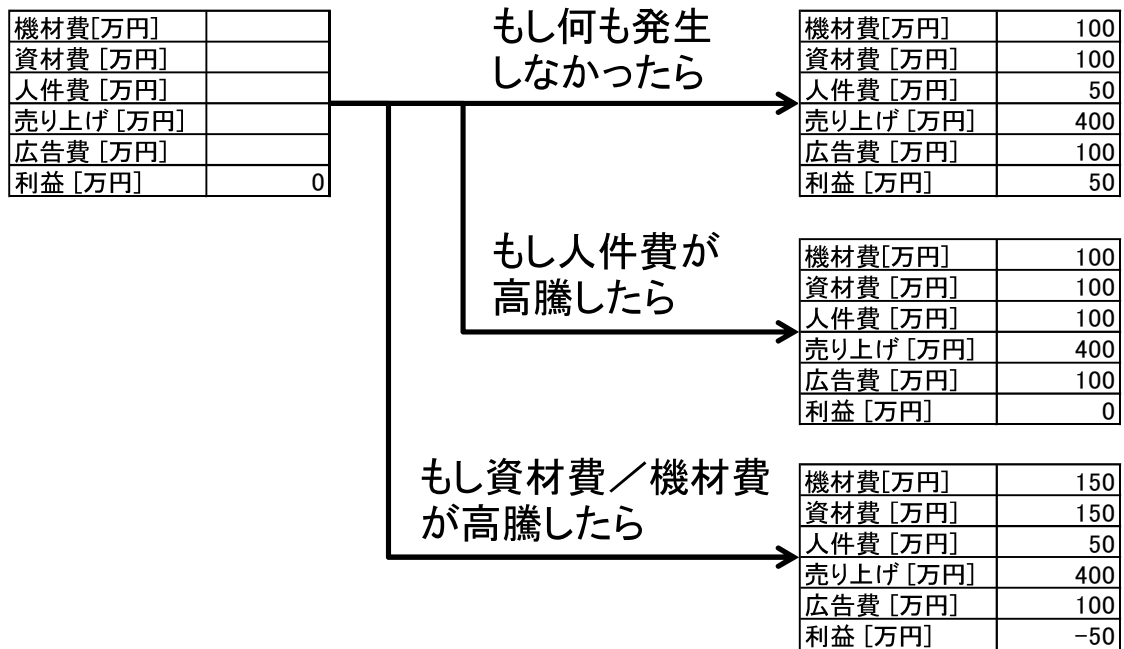


図 1.12 What-if 分析の例

感度分析とは、利益を構成する一つの要素を想定した最大値と最小値で変動させてその要素が持つ利益への影響度を得る手法である。図 1.13 に感度分析の例を示す。

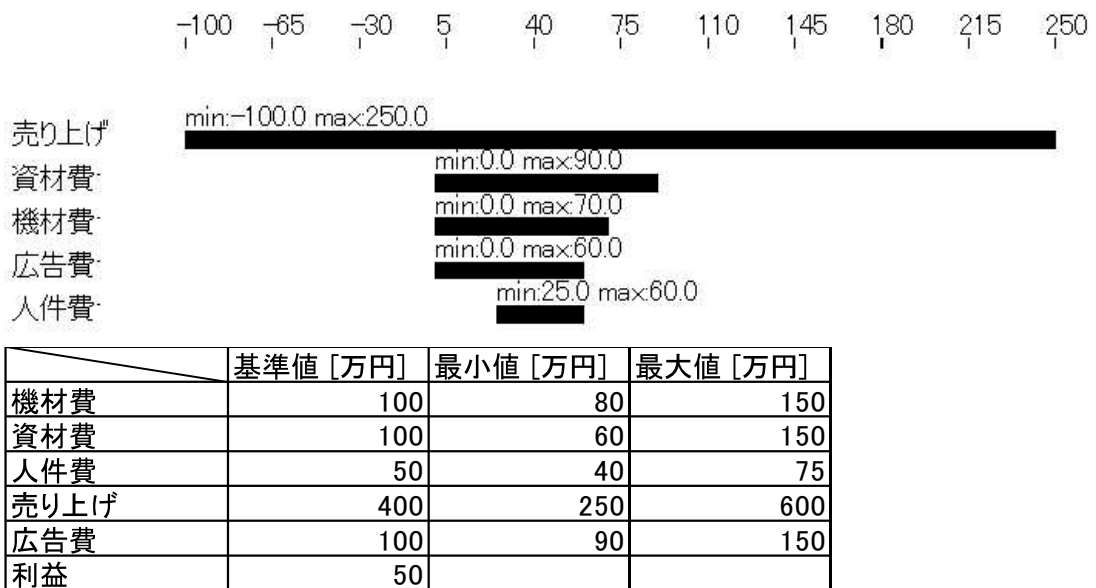


図 1.13 感度分析の例

図 1.13 の機材費を例とする。図の上部は感度分析で用いられるトルネードチャートを示している。トルネードチャートの横軸が利益、縦軸が各利益を構成する要素を示している。図 1.13 の下部から機材費は最小値 80 万円、最大値 150 万円と設定されていることが確認できる。感度分析では利益を除くその他の要素を基準値で固定して、機材費の数値を最小値から最大値へと変動して、利益がどれだけ変動するかを見る。その結果、図 1.13 から、機材費は全体の構成要素の 3 番目に影響があるということが確認できる。このように感度分析から、利益への影響度とともに要素の対策の優先順位を得ることができる。これらの手法は上述したディシジョンツリーの付加機能として位置づけられている。

1.2.13 モンテカルロ法

モンテカルロ法とは、乱数を用いて想定した要素の振れ幅を全て計算する方法である。この手法は利益計算のみならず、量子力学の分野にも応用されている。この手法では利益を最終的に一定の値ではなく傾向や分布として得ることができる。図 1.13 の利益を求めるにモンテカルロ法の例を図 1.14 に示す。図 1.14 から、最終的な利益としては±150 万円の間収まる可能性が高いことが判断できる。このように、モンテカルロ法では、想定した変数を乱数などで変動させて期待される利益の傾向を得て、その結果が自組織の許容範囲にあるか判断するような定量的な評価手法と言える。

本研究においては Smalltalk というプログラミング言語を使用し、統合設計道具箱 (iDeT) (古賀, 2016) に実装して影響ダイアグラムを作成し、それに基づきモンテカルロシミュレーションを行った。(Smalltalk については 3.6.3 項を参照) Smalltalk では一様分布に従う乱数の発生は初めからメソッドとして実装されているので、本研究では一様乱数から正規分布に従う乱数を発生させる Box-Muller (ボックス-ミュラー) 法、三角分布に従う乱数を発生させる逆関数法を適用した (四辻, 2010)。 (乱数発生の方法については 5.3.2 項を参照)

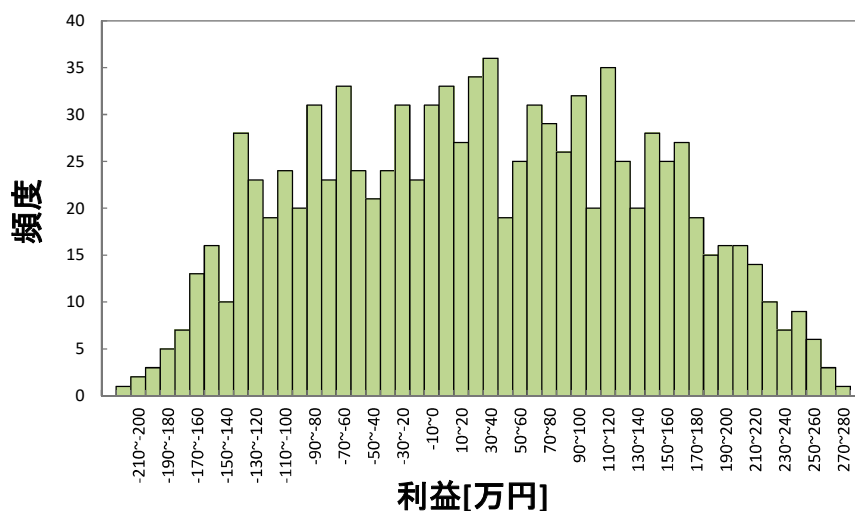


図 1.14 モンテカルロ法の例

1.2.14 リアルオプション

リアルオプションとは、投資を複数回に分けて、その都度起こる問題を構造化しリスクを下げる手法である。ここでは事業投資を例とする。参入すれば 30%の確率で 3,000 万円もしくは 8,000 万円の利益が出るが、40%の確率で 2,000 万円の損失が出る事業があるとする。ここでリアルオプションの考え方をモデル化する。図 1.15 にリアルオプションのディシジョンツリーを示す。

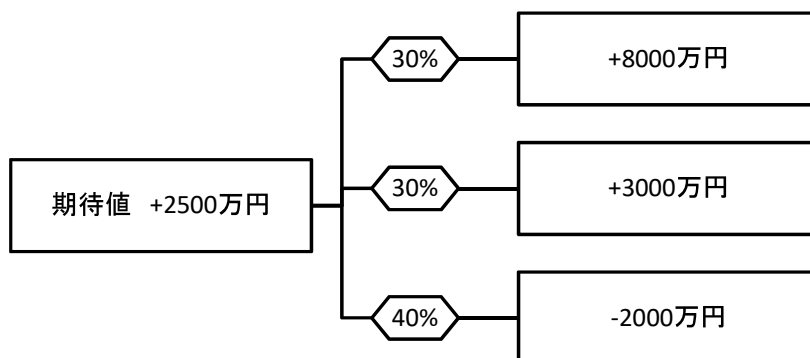


図 1.15 リアルオプションのディシジョンツリー例

図 1.15 から、ディシジョンツリーに確率分布の考え方を設けていることが確認できる。将来の利益の期待値のことを期待金額価値 (Expected Monetary Value: EMV) という。ここで割引率を 4%として事業投資を 1 年待つ、1 年後にリターンの確率が正確に得られると仮定する。図 1.16 に 1 年後のディシジョンツリーを示す。リターンの確率を正確に得られると仮定していることで、投資効果が最も出なかった場合でも損失には至らず、想定利益額を 0 万円 (=ゼロ) とした。

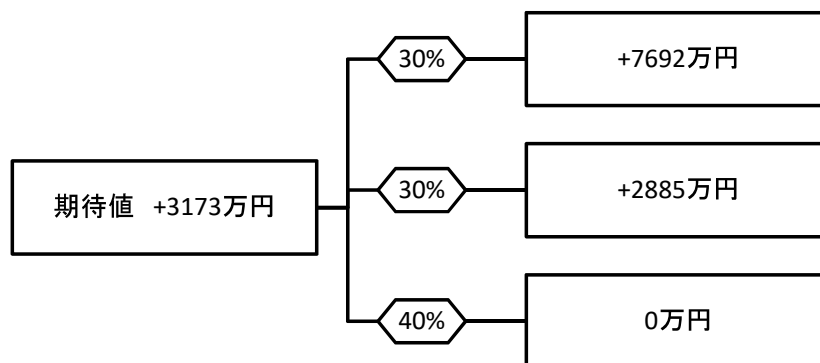


図 1.16 一年後のディシジョンツリー

図 1.15 と図 1.16 から、1 年事業参入を待つことによって期待金額価値が 673 万円上がったことが確認できる。つまり“事業参入を待つ”というオプション選択によって 673 万円の価値を生み出していたことが示唆される。このように大規模な事業参入に対して逐一意思決定を行い、事業価値を最大限まで引き出すことができることがリアルオプションの考え方である。

1.2.15 DDP (仮説指向計画法)

DDP (Discovery-Driven Planning : 仮説指向計画法) は揺れ動く事業環境に対応して計画を修正する手法である。図 1.17, 図 1.18 及び図 1.19 に DDP で行う必要なタスクの例を示す。事業を始める場合、何をすればよいのかわからないといった曖昧な状態にある。そこでまず利益に関連する要素を認知するために、利益に影響を与える要素を洗い出した影響ダイアグラムを作成する (図 1.17)。次に事業環境が揺れ動いた場合の仮説として、要素を変数として設定する逆損益計算図と損益確認表を作成する (図 1.18)。この図表を作成することによって、利益を構成している数多の要素の中で、何が不明確なのかを抽出することができ、利益を上げるための行動を得ることができる。そして一定の期間 (マイルストーン) ごとに計算図を見直して、計画を修正していくことによって揺れ動く事業環境に対応することができる (図 1.19)。以上のタスクの総称を DDP と言う。この手法のメリットは、事業開始時に設定した計画にとらわれず柔軟な事業計画を行えるという点である。

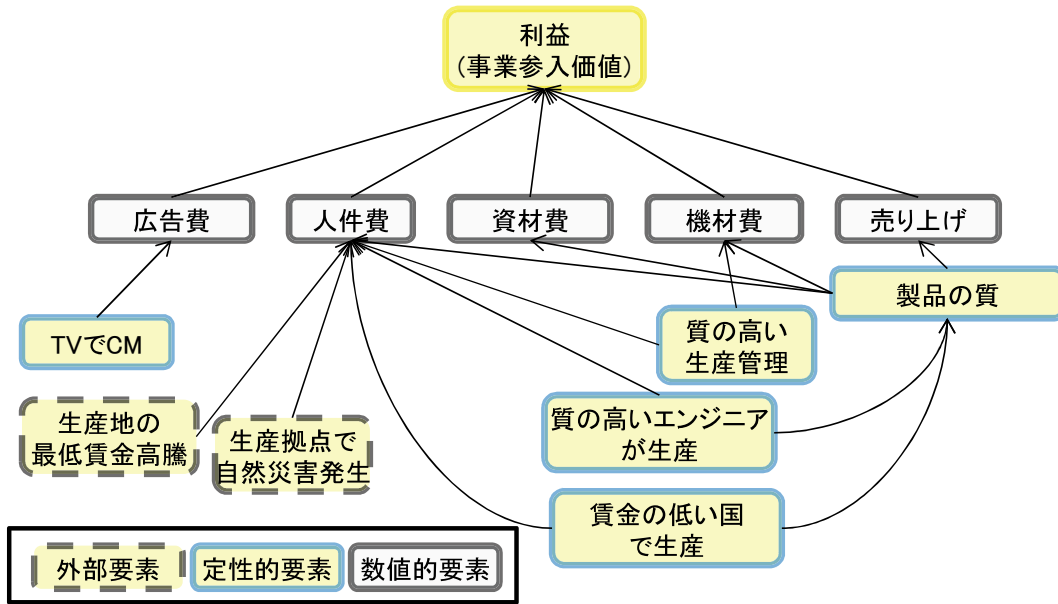


図 1.17 影響ダイアグラム例

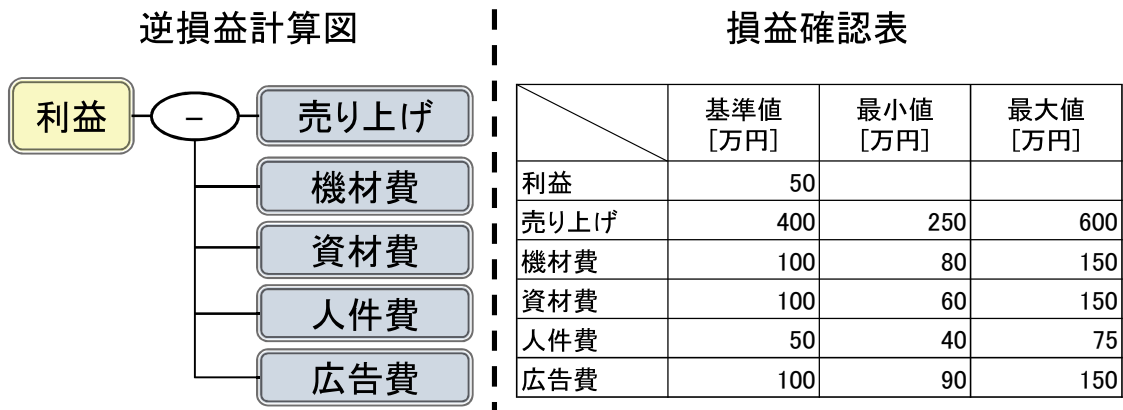


図 1.18 逆損益計算図と損益確認表例

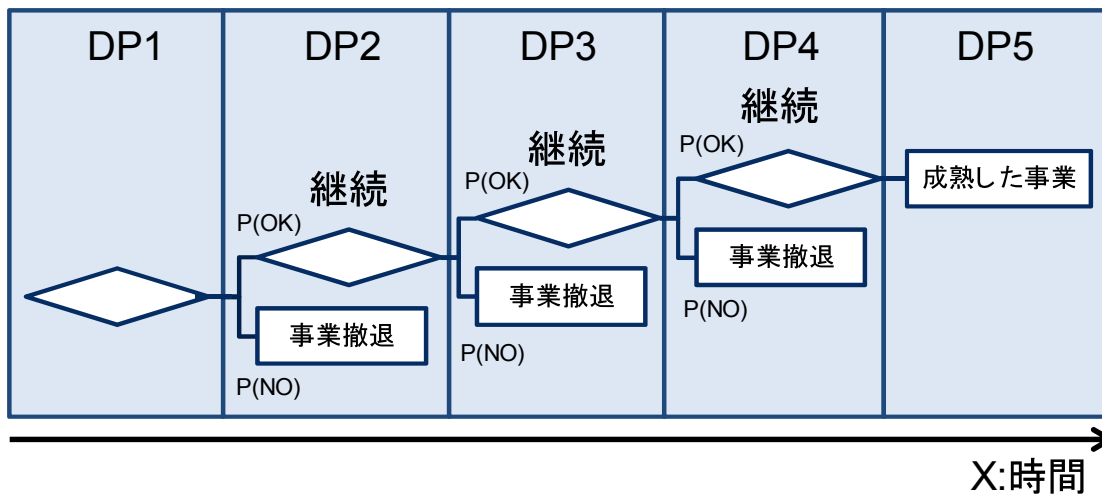


図 1.19 マイルストーン計画法例

1.2 節の始めに記述した(2)のリスクの評価に対する研究は、事業資金の流れを評価するキャッシュフロー法、それに時間的価値を導入した NPV、DCF 法及び IRR、シナリオプランニングにディシジョンツリー法の付加機能としての What-if 分析や感度分析、ディシジョンツリーへの確率分布の導入を試みたモンテカルロ法、オプション価値の考慮を行うリアルオプション法へと発展してきた(高橋, 2007)。また製品開発などの不確実性の低減を目的として、各マイルストーンにおける意思決定と計画の修正を支援する DDP が提案されている。Daszyńska-Żygadło はシナリオプランニングとリアルオプションを統合することによって、手法の事業投資への妥当性検証を行っている(Daszyńska-Żygadło, 2012)。しかし、工事業者視点となるインフラ事業のような入札時の意思決定が多大な重要度を持つ上に、着工後に事業撤退がほぼ不可能で尚かつ事業拠点が固定されているような事業は、DDP におけるマイルストーン計画やリアルオプションで示すような柔軟な計画変更部分の導入が困難であると思われる。しかし DDP における期待される利益の算出方法は、事業に内在するリスクを考慮して算出されているため、国際インフラ建設プロジェクトの定量評価に応用できる手法と考える。

1.3 本研究の着眼点及び目的

以上の既存研究では、発注機関が工事請負者に対して中立な立場を取るといったことを前提としていたり、定性的もしくは定量的な評価のみであったりするケースが多いと考えられる。そこで定性的な評価として FMEA を基にした評価手法を、定量的な評価として DDP を基にした評価手法を組み合わせた手法を開発する。これを行うことによって定性的な評価にはない数値の妥当性の問題と定量的な評価にはない外部要素などの不確実性要素の問題といった互いのデメリットを補完するのではないかと推測した。まず研究の第一段階として前述した手法を開発する。しかしこの手法の定性評価にはリスク項目の網羅性や評価の信頼性の問題が、定量評価には設定した変数の時間的な変化による誤差が招く信頼性の問題が浮上してくる可能性がある。そのため本研究では、定性評価における問題について外部要因の分析手法を用いて網羅性の高いリスク項目の抽出を行ってチェックリストを改善し、改善された定性チェックリストを基にして定量評価である感度分析を行い、その結果を定性評価にフィードバックすることで信頼性の向上を試みた。事業リスクには内部要因も含まれ、コアコンピタンス分析等の内部要因の分析手法の導入も考えられるが、企業が市場で置かれている状況や企業内部の事情等に関しては、定性評価を行う業務熟練者がこのような内部要因を十分に理解しており、定性チェックリストの作成において概ね網羅していると仮定し、本研究においては内部要因の分析手法は導入していない。内部環境及び外部環境とポジティブ要因及びネガティブ要因の分類で要素を抽出する SWOT 分析については、第 2 章の適用案件を対象としてリスク要素の抽出を行ったが、業務熟練者が抽出したリスク項目と重複する結果となった。このことから、業務熟練者によるリスク項目の抽出で内部環境に起因するリスク項目の抽出は十分に網羅できていると考えることができる。また、統計学と実データを導入した変数の更新を行うことで、定量評価における問題を低減させることができるのではないかと推測した。本研究では、これらを組み合わせた海外鉄道建設事業への応用判断を支援する手法であるハイブリッドリスク評価手法の開発を目的としている。

1.4 本論文の構成

本論文では第 2 章にハイブリッドリスク評価手法の提案、第 3 章に海外鉄道建設事業への提案手法の適用と有効性の検証、第 4 章に定性リスク評価におけるリスク項目の網羅性と信頼性向上の検討内容及び結果を、第 5 章に定量リスク評価の信頼性向上の検討内容及び結果、さらに過去の実データ反映による精度向上の手法の提案について記述し、第 6 章で本研究の結論を記述する。



第2章 ハイブリッドリスク評価手法の構築

2.1 第2章の概要

現在の海外鉄道建設事業等の国際インフラ事業におけるリスク評価に対するニーズとしては、事業に潜伏するリスク項目を明示的かつ網羅的に把握することと利益に影響を与える度合を知ることにいったものが挙げられる。前者に対しては事業の素性などといった数値化できない事業の潜在的なリスクを評価することが必要となる。後者は利益に影響する要素がどれくらいの大きさとなって現れるかを定量的に評価することが必要となる。本研究では、これらの定性的及び定量的なリスクの評価をハイブリッドさせたハイブリッドリスク評価手法を作成した。本章では、本研究の基礎となるハイブリッドリスク評価の過程について述べる。

2.2 定性チェックリストの作成

事業案件の入札段階のリスクを定性的に評価するために海外建設協会（OCAJI）が中央省庁及び国際協力機構（JICA）に対して提出した要望書を参考に、海外での工事のリスクを割り出してリスク項目リストを作成した。このリスク項目リストに含めたリスク要素に対して数値で評価する定性チェックリストを作成し、リスクレベル評価と総合評価の2つで評価して応札すべき案件か否かを判断する。（リスク項目リストの詳細については3.4.1項、定性チェックリストの詳細については3.4.2項を参照）

定性チェックリスト内の項目は現地国・発注者・自組織と大項目から事業予算・現地国理解度などの小項目に分けた。そして大項目ごとのリスクの比、小項目ごとのリスクの重さを決定し実際にリスクの値の大きさを検討した表2.1に定性チェックリストの例を示す。

表 2.1 定性チェックリスト例

| 大項目 | 小項目 | 重要度 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|-----|---------|-----|-----|-----|------|-------|
| 計画 | 市場調査の質 | 2 | 3 | 2 | 3 | 36 |
| | 設計の精度 | | 4 | 3 | 2 | 48 |
| | 需要 | | 4 | 3 | 3 | 72 |
| 製造 | 資材の市場変動 | 3 | 3 | 4 | 2 | 72 |
| | 材料確保 | | 4 | 3 | 1 | 36 |
| | 人員能力 | | 5 | 3 | 3 | 135 |
| | 材料の妥当性 | | 4 | 2 | 2 | 48 |
| | 十分な人員確保 | | 2 | 1 | 3 | 18 |
| 販売 | 市場競争の程度 | 5 | 1 | 3 | 4 | 60 |
| | 競合相手の実力 | | 5 | 3 | 2 | 150 |
| | 価格の妥当性 | | 3 | 2 | 5 | 150 |
| 合計 | | | | | | 825 |

表 2.1 の重要度は大項目のリスクの比，致命度は小項目のリスクの大きさ，発生率は実際のリスク発生率，不透明度は小項目のリスクの認知度，これらの要素の積から導出されるものが事業危険度であり，事業全体から見た小項目のリスクを評価した値である．本研究では致命度と発生率と不透明度は 5 段階評価としたが，案件の素性或特性によっては 0.5 段階間隔で評価しても良いものとする．また，上表の発生率以外の項目はその他の国際インフラ事業にも適用可能な固定値とした．

定性チェックリストへの数値の入力は，入力する「人」の主観に依存する部分があることは否めず，「人」への依存を完全に排除することは出来ない．多数の専門家や個人にアンケート調査を行い，その結果を回答者にフィードバックして，さらに予測を繰り返し，予測の正確度を上げながら，全体の答えや意見を絞っていく技術予測などに用いられる技法であるデルファイ法（三木他，2014）のような手法の活用も考えられるが，本研究において対象とする海外鉄道建設事業は 1 つとして全く同じ条件の事業がなく，また現実的には予測の繰り返しを行うほどの人数（データ数）を企業内で収集するのは難しいと考えられるため，5 段階評価の採点基準に対して参考となる適切な事例をつける（3.4.2 項を参照），また同様の経験を有する数人の熟練技術者がそれぞれ評価及び試算して平均値を取る，といった対策を講じることで，ある程度のばらつきは抑えられると考える．また，同じ評価者が異なる事業を対象に評価した場合，相対的に各事業の評価結果を比較検討することで，どの事業がよりリスクの少ない案件，すなわち優良な案件であるかを判断することも可能と考える．

2.2.1 各リスク発生率評価

各リスクレベルのリスクの値の平均値を評価することで小項目のリスクの重さの違いを考慮した評価ができる．表 2.2 に各リスクレベル評価の例を示す．

表 2.2 各リスクレベル評価例

| 重要度 | 発生率平均値 | しきい値 |
|---------|--------|------|
| Level.1 | 3.0 | 2.5 |
| Level.2 | 2.8 | 3.0 |
| Level.3 | 2.7 | 3.5 |
| Level.4 | 1.0 | 4.0 |
| Level.5 | 3.0 | 4.0 |

表 2.2 のしきい値は各重要度のレベルで許される最上限のリスク発生率の平均値を示していて，そのしきい値と比較することで応札するかどうかを判断する．上の例を挙げれば，重要度レベル 5 の平均値がしきい値の値を超えているので有効な対応案が無ければ応札は見送るべきと評価できると言える．

2.2.2 総合評価

表 2.1 の事業危険度の総和から 0～100 までの総合点を出し，予め決めておいた評価基準点と比較し評価することで事業全体の点数評価が可能となる．

事業危険度の値から 0～100 までの総合点を出す方程式を導出するために予想最大限の事業危険度と最小限の事業危険度の値を出す．本研究では上記に記した通り，発生率以外は固定値としたので発生率の値が全て 1 の場合と 5 の場合の事業危険度の総和から方程式を求める．発生率が全て 1 の場合，事業危険度の総和は 320 となりこの時はリスクが最も小さい案件と評価されたことを示しているので総合点は 100 となる．また発生率が全て 5 の場合，事業危険度の総和は 1,600 となりこの時はリスクが最も大きい案件と評価されたことを示しているので総合点は 0 点となる．以上の条件から次の連立方程式が求められる．

$$\begin{cases} 320a + b = 100 \\ 1600a + b = 0 \end{cases} \quad (\text{式 2.1})$$

上記の連立方程式から傾き $a = -5/64$, 切片 $b = 125$ となり

$$y = -\frac{5}{64}x + 125 \quad (x: \text{事業危険度}) \quad (\text{式 2.2})$$

という事業危険度の総和から総合点を出す方程式ができた。ここで目標の事業危険度の値を出す。目標の事業危険度の値は全ての致命度がしきい値であった時の全体評価値を若干上回った数値とする。このようにすることでリスク評価をパスしても総合点でパスできない事例や総合点をパスしてもリスク評価をパスできない事例が発生し、双方の評価方法に存在価値を与えることができる。全ての致命度がしきい値であった場合の総合点は 46.4 点であった。ここでは目標の総合点を 50 点とした。総合点を出す方程式に表 2.6 の事業危険度の総和である 825 を代入するとこの例の総合点は約 60.5 点となることが分かる。この総合点を設定した目標の事業危険度と比較すると例の総合点は評価基準点を上回っていることが分かる。よってこの例の事業の素性は応札可能レベルという結論に達する。

2.2.3 事業危険度数値評価

2.3.1 項と 2.3.2 項から案件が応札できる素性かどうかが判断できた。ここで各小項目のリスク評価を行う。表 2.3 に事業危険度の分布評価説明の表を示す。

表 2.3 事業危険度の分布評価説明

| 分布 | 評価 | 詳細 |
|------------------|------|---|
| 事業危険度 ≥ 210 | 致命項目 | 事業危険度を懸案項目の範囲まで低減させる有効な対策案が無ければ応札を見送る項目 |
| 事業危険度 ≥ 90 | 注視項目 | 応札見送りはしなくても良いが十分に注意すべき項目 |
| 事業危険度 < 90 | 許容項目 | 現在のところ重要視しなくても良い項目 |

静観項目と懸案項目の境界は重要度が一定で致命度と発生率と不透明度の項目すべてが 3 とした場合の事業危険度の平均値とした。致命項目と懸案項目の境界は重要度が一定で致命度と発生率と不透明度の項目すべてが 4 とした場合の事業危険度の平均値とした。この境界設定の方法は案件によって致命項目、懸案項目及び許容項目の 3 つが変化し、どの事業の項目の評価もできるという利点を持つ。表 2.4 に事業危険度のランキングを示す。

表 2.4 事業危険度のランキング

| 小項目 | 事業危険度 | 分布 | 評価 |
|---------|-------|------------------|------|
| 価格の妥当性 | 225 | 事業危険度 ≥ 210 | 致命項目 |
| 競合相手の実力 | 150 | 事業危険度 ≥ 90 | 注視項目 |
| 人員能力 | 135 | | |
| 需要 | 72 | 事業危険度 < 90 | 許容項目 |
| 材料の妥当性 | 72 | | |
| 市場調査の質 | 54 | | |
| 十分な人員確保 | 54 | | |
| 材料確保 | 48 | | |
| 市場競争の程度 | 40 | | |
| 資材の市場変動 | 36 | | |
| 設計の精度 | 32 | | |

表 2.4 から、致命的となるリスクは“価格の妥当性”であり、この項目の有効な対応案が無ければ案件見送りと言う判断を下すこともあり得る。また状況によってはリスク増大のため注視項目の一部は致命項目になり得るので、対応案を考慮すべきである。

2.3 定量評価の実施

2.3.1 影響分析

事業のリスク評価を行うには、最終目標である利益とそれを構成する要素の関係性が分かる影響ダイアグラムを作成すべきである。影響ダイアグラムに入力する要素は入力要素・出力要素・定性要素・外部要素の 4 種類ある。要素の概要を表 2.5 に示す。

表 2.5 要素の概要

| 内部要素 | | 外部要素 | |
|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 定量化可能要素 | | 定量化不可能要素 | |
| 入力要素 | 出力要素 | 定性要素 | 外部要素 |
| 自社で制御可能で定量化可能な要素 | 自社で制御可能だが入力要素に影響される要素 | 自社で制御可能だが定量化できない要素 | 自社で制御できず定量化もできない要素 |
| 実際に得た情報から入力 | 入力要素から算出し入力 | 要素の影響度を検討して入力 | 要素の影響度を検討して入力 |
| (例) 製作人数 | (例) 人件費 | (例) 現地国理解度 | (例) 自然災害 |

入力要素はチェックリストの使用者が定性チェックリストの基となるリスク項目リストに入力する要素で、基本的に自組織の影響が定量的にかかる。自組織のコスト削減などで変更される要素であることが窺える。

一方、出力要素は自組織で制御できる要素ではあるが、入力要素に影響を受けるので値を変更するためには入力要素を変更しなければならない要素である。

定性要素は自組織の人員能力や現地国理解度など自組織の能力によって制御できる要素である。

外部要素は地震や発注者の事業実施能力など自組織の制御ができない要素である。完全な制御はできないが、予め起こるリスクを想定してリスクに対する行動ができればある程度の制御ができて、リスクを下げるができる要素である。

以上の要素から図 2.1 に簡単な影響ダイアグラムを示す.

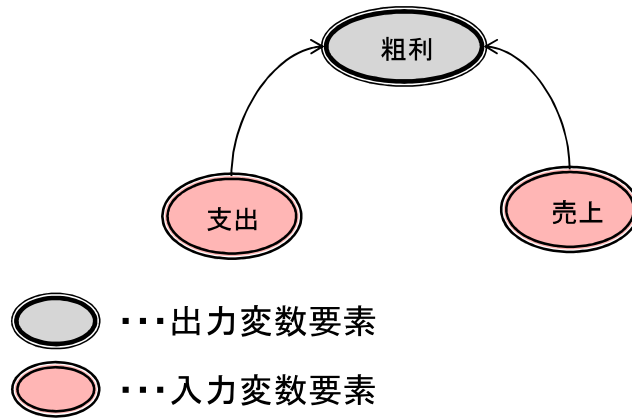


図 2.1 簡単な影響ダイアグラム

図 2.1 は支出と売上が直接粗利に影響していると言う事を示した図である. この図を構築していくことによって目標の利益までの項目の構成とその関係性が明確になる. 図 2.2 に要素の数を増やした影響ダイアグラムを示す.

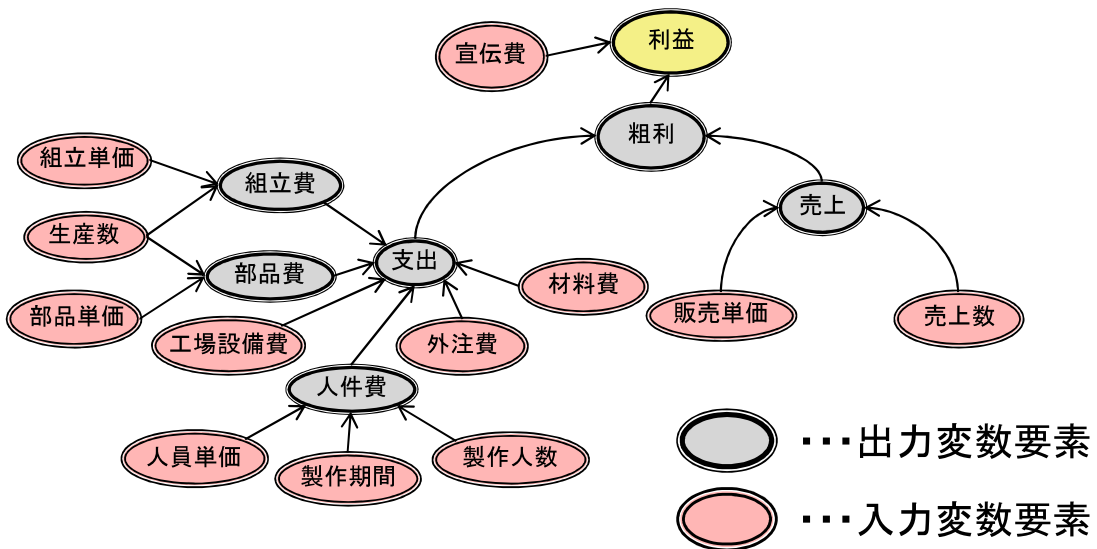


図 2.2 要素を増やした影響ダイアグラム

図 2.2 のように利益までの構成要素は明確になったが, 上記の図では単純に利益計算の関係図を示しただけに過ぎない. そこで本来数値化できない定性的な要素と外部要素を影響ダイアグラムに加える. 図 2.3 に定性要素と外部要素を加えた影響ダイアグラムを示す.

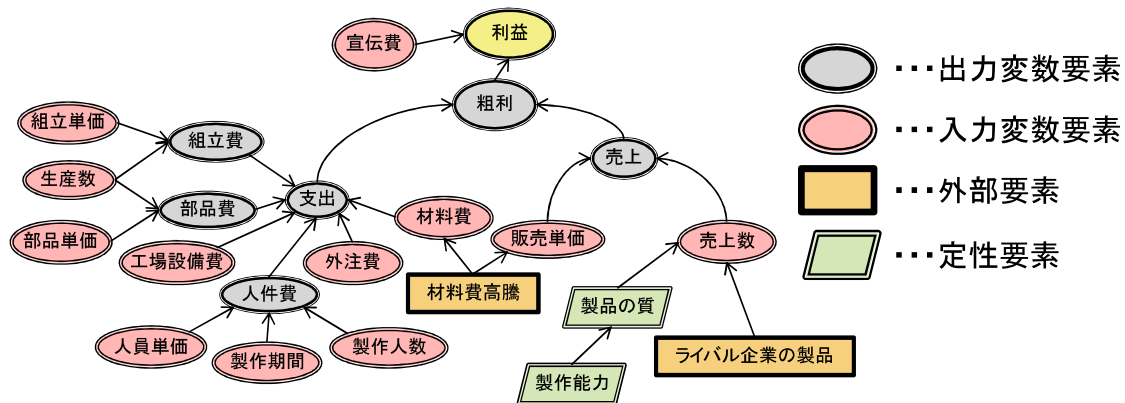


図 2.3 定性要素と外部要素を加えた影響ダイアグラム

図 2.3 のように定性要素と外部要素を影響ダイアグラムに加えることによって単純な利益関係図からリスクや利益向上のための構成要素図となる。定性要素や外部要素と言った考えを深める鍵が影響ダイアグラムの特徴と言う事が理解できる。

2.3.2 逆損益計算図と損益確認表

作成した影響ダイアグラムから利益までの数字と数字のロジックを明確にするために逆損益計算図を作成する。図 2.4 に逆損益計算図の例を示す。

逆損益計算図の作成後、実際に数値を入れて利益の計算をする。表 2.6 に損益確認表の例を示す。

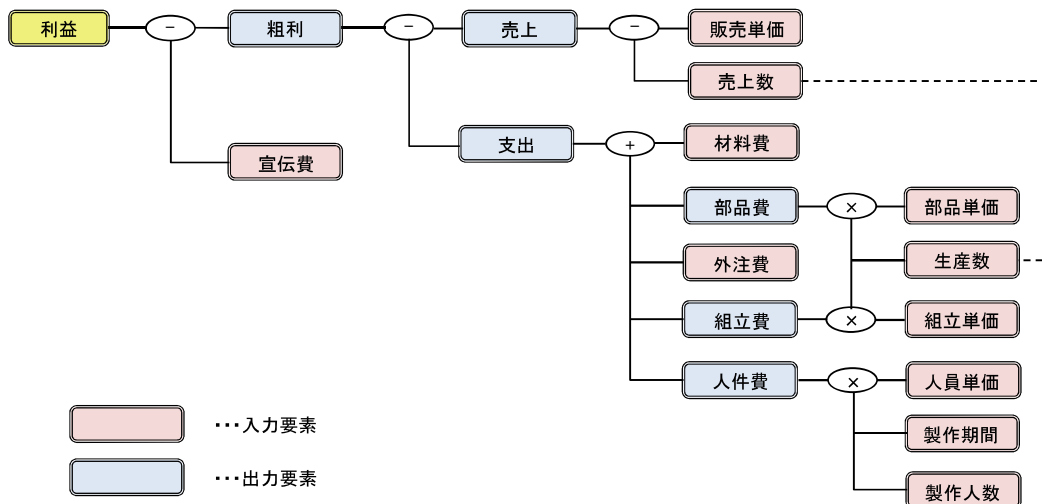


図 2.4 逆損益計算図

表 2.6 損益確認表

| | 数値 | 単位 | | 数値 | 単位 |
|------|-------|----|-------|-------|------|
| 利益率 | 16.4 | % | 組立費 | 1,800 | 万円 |
| 利益 | 0.26 | 億円 | 組立単価 | 3 | 千円 |
| 粗利 | 0.41 | 億円 | 生産数 | 6,000 | 個 |
| 宣伝費 | 1,500 | 万円 | 部品費 | 600 | 万円 |
| 売上 | 2.0 | 億円 | 部品単価 | 1 | 千円 |
| | | | 工場設備費 | 7,500 | 万円 |
| 販売単価 | 4 | 万円 | 外注費 | 1,000 | 万円 |
| 売上数 | 5,000 | 個 | 材料費 | 2,000 | 万円 |
| | | | 人件費 | 3,000 | 万円 |
| 支出 | 1.6 | 億円 | 人員単価 | 5 | 万円/月 |
| | | | 製作期間 | 6 | 月 |
| | | | 製作人数 | 100 | 人 |

図 2.4 の逆損益計算の結果を表 2.2 のように損益確認表で定量的に評価する。このように目標をモデル化することによって明確な組織の目標と改善点が得られる。

利益への構成要素とその数値を考えたが、表 2.6 はあくまで憶測で入力した数値であり表のような結果得られる根拠はない。そこで表 2.6 の数値に幅を付ける。表 2.7 に幅を付けた損益確認表を示す。

表 2.7 幅を付けた損益確認表

| | 数値 | 単位 | 最大値 | 基準値 | 最小値 |
|-------|-------|------|--------|-------|-------|
| 利益率 | 16.4 | % | | | |
| 利益 | 0.26 | 億円 | | | |
| 粗利 | 0.41 | 億円 | | | |
| 宣伝費 | 1,500 | 万円 | 5,000 | 1,500 | 1,000 |
| 売上 | 2.0 | 億円 | | | |
| | | | | | |
| 販売単価 | 4 | 万円 | 4.5 | 4 | 3.5 |
| 売上数 | 5,000 | 個 | 7,000 | 5,000 | 2,000 |
| | | | | | |
| 支出 | 1.6 | 億円 | | | |
| | | | | | |
| 組立費 | 1,800 | 万円 | | | |
| 組立単価 | 3 | 千円 | 5 | 3 | 2.5 |
| 生産数 | 6,000 | 個 | 8,000 | 6,000 | 5,000 |
| 部品費 | 600 | 万円 | | | |
| 部品単価 | 1 | 千円 | 2 | 1 | 0.7 |
| 工場設備費 | 7,500 | 万円 | 10,000 | 7,500 | 6,000 |
| 外注費 | 1,000 | 万円 | 1,500 | 1,000 | 0 |
| 材料費 | 2,000 | 万円 | 4,000 | 2,000 | 1,500 |
| 人件費 | 3,000 | 万円 | | | |
| 人員単価 | 5 | 万円/月 | 9 | 5 | 3 |
| 製作期間 | 6 | 月 | 8 | 6 | 5 |
| 製作人数 | 100 | 人 | 200 | 100 | 80 |

表 2.3 のようにデータに幅を付けることによって、入力した数値が見込み通りにはいかない場合のリスクを補うことができる。表の数値の幅がその項目の持つリスクを定量的に示している。等しい数値でも幅の大きいほうのリスクが大きいと判断できる。

幅を付ける際に利益に目が行き過ぎないように組織の事業関係者と話し合っって損益確認表を作成することで、独断的かつ楽観的な数値が入力されることを防ぐことが可能となる。利益の最大値と最小値を出すことによってその事業自体のリスクを得られる。表 2.8 に楽観的利益の結果、表 2.9 に悲観的利益の結果を示す。

表 2.8 楽観的利益

| | 数値 | 単位 | 最大値 | 基準値 | 最小値 |
|-------|-------|------|--------|-------|-------|
| 利益率 | 132.8 | % | | | |
| 利益 | 1.74 | 億円 | | | |
| 粗利 | 1.84 | 億円 | | | |
| 宣伝費 | 1,000 | 万円 | 5,000 | 1,500 | 1,000 |
| 売上 | 3.2 | 億円 | | | |
| | | | | | |
| 販売単価 | 4.5 | 万円 | 4.5 | 4 | 3.5 |
| 売上数 | 7,000 | 個 | 7,000 | 5,000 | 2,000 |
| | | | | | |
| 支出 | 1.3 | 億円 | | | |
| | | | | | |
| 組立費 | 2,800 | 万円 | | | |
| 組立単価 | 3.5 | 千円 | 4.5 | 4 | 3.5 |
| 生産数 | 8,000 | 個 | 8,000 | 6,000 | 5,000 |
| 部品費 | 600 | 万円 | | | |
| 部品単価 | 0.7 | 千円 | 2 | 1 | 0.7 |
| 工場設備費 | 6,000 | 万円 | 10,000 | 7,500 | 6,000 |
| 外注費 | 0 | 万円 | 1,500 | 1,000 | 0 |
| 材料費 | 2,500 | 万円 | 4,000 | 3,000 | 2,500 |
| 人件費 | 1,200 | 万円 | | | |
| 人員単価 | 3 | 万円／月 | 9 | 5 | 3 |
| 製作期間 | 5 | 月 | 8 | 6 | 5 |
| 製作人数 | 80 | 人 | 200 | 100 | 80 |

表 2.9 悲観的利益

| | 数値 | 単位 | 最大値 | 基準値 | 最小値 |
|-------|--------|------|--------|-------|-------|
| 利益率 | -93.9 | % | | | |
| 利益 | -3.08 | 億円 | | | |
| 粗利 | -2.58 | 億円 | | | |
| 宣伝費 | 5,000 | 万円 | 5,000 | 1,500 | 1,000 |
| 売上 | 0.7 | 億円 | | | |
| | | | | | |
| 販売単価 | 3.5 | 万円 | 4.5 | 4 | 3.5 |
| 売上数 | 2,000 | 個 | 7,000 | 5,000 | 2,000 |
| | | | | | |
| 支出 | 3.3 | 億円 | | | |
| | | | | | |
| 組立費 | 2,250 | 万円 | | | |
| 組立単価 | 4.5 | 千円 | 4.5 | 4 | 3.5 |
| 生産数 | 5,000 | 個 | 8,000 | 6,000 | 5,000 |
| 部品費 | 600 | 万円 | | | |
| 部品単価 | 2 | 千円 | 2 | 1 | 0.7 |
| 工場設備費 | 10,000 | 万円 | 10,000 | 7,500 | 6,000 |
| 外注費 | 1,500 | 万円 | 1,500 | 1,000 | 0 |
| 材料費 | 4,000 | 万円 | 4,000 | 3,000 | 2,500 |
| 人件費 | 14,400 | 万円 | | | |
| 人員単価 | 9 | 万円/月 | 9 | 5 | 3 |
| 製作期間 | 8 | 月 | 8 | 6 | 5 |
| 製作人数 | 200 | 人 | 200 | 100 | 80 |

表 2.7, 表 2.8 及び表 2.9 から, 利益の幅が最大約 1.74 億円, 最小-3.08 億円であり, 最尤値は 0.26 億円と言うことが分かる. 上記の幅と数値はあくまで想定値を基に試算した結果の推察であり, 外れる可能性が無いとは言えないが, 幅を付けることによって利益計算の精度を高めることが可能になると考える.

2.3.3 トルネードチャート

逆損益計算図の要素は変数要素と言う事が幅を付けた損益確認表から分かる. その変数内での利益計算のシミュレーション例を 2.2.3 項と 2.2.4 項で示す.

シミュレーションには本研究で使ったプログラム言語の Smalltalk を用いる. Smalltalk の説明は 3.6.3 項に記している.

まず, 作成したシステム上の逆損益計算図を用いてトルネードチャートを出す.

トルネードチャートは感度分析の一手法であり, 一つの変数要素の数値のみ最小値から最大値へと変化させて, その変数要素が目標の利益までの影響度を棒グラフで示したものである. この際, 変化させる変数要素以外は最尤値のままにしておく. 出力した棒グラフの幅が大きいほどその変数要素の目標の利益へのリスクが大きいことが分かる. 図 2.5 にトルネードチャートの例を示す.

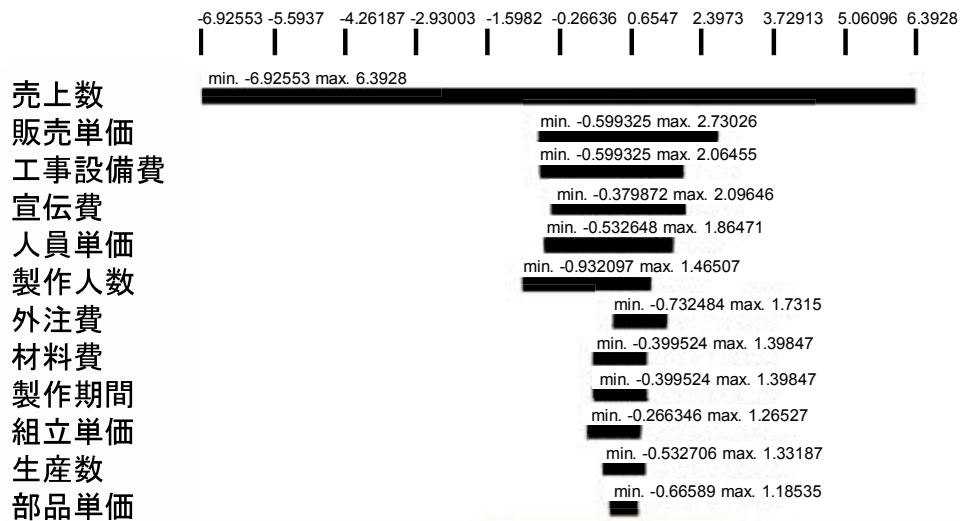


図 2.5 トルネードチャート

図 2.5 の横軸は利益率，縦軸は変数要素を示している．図 2.5 から，売上数が最も利益率への影響が大きくリスクが高いと判断できるため，優先的に対策を練られるべきであると言う事が分かる．

トルネードチャートを使うことはどの要素の利益への影響度が大きいのかを瞬時に分かり，リスクの大きい要素から優先的に効率良く対策を練ることができるという利点がある．

2.3.4 モンテカルロシミュレーション

表 2.7 から表 2.9 に示したように，一つの項目の入力数値にはばらつきがあり，このばらつきの多くは正規分布に従う（脇田，2004）．モンテカルロシミュレーションとは，この正規分布に従うばらつきをコンピュータ上で確率変数の実現値とみなせるような数列つまり乱数を用いて表現して，何千何万回もの計算を行い利益などの目標の傾向を得るといふ計算シミュレーション方法である．このシミュレーション方法はこのような利益計算の他にも分子の配列の確率法則などの計算にも用いられている（神山，佐藤，1997）（小川，森，2002）．本研究では 1,000 回の乱数によりシミュレーションを行った．図 2.6 に 1,000 回シミュレーションしたモンテカルロシミュレーションの結果の例の図を示す．

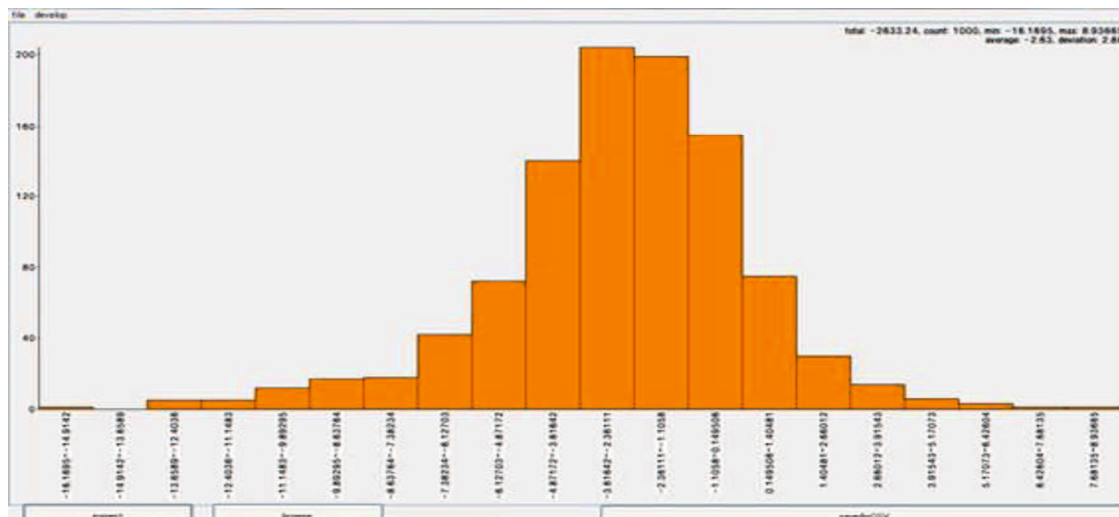


図 2.6 1,000 回のモンテカルロシミュレーション結果例

図 2.6 の横軸は利益率の分布，縦軸はその利益率の分布内に収まった回数を示す．上図から利益率の平均値や偏差が得られる．上図では分布を 20 個と大まかに分けられているので分布数を増やして詳しいデータの詳細を得るとする．図 2.7 にシミュレーションの詳細を示す．

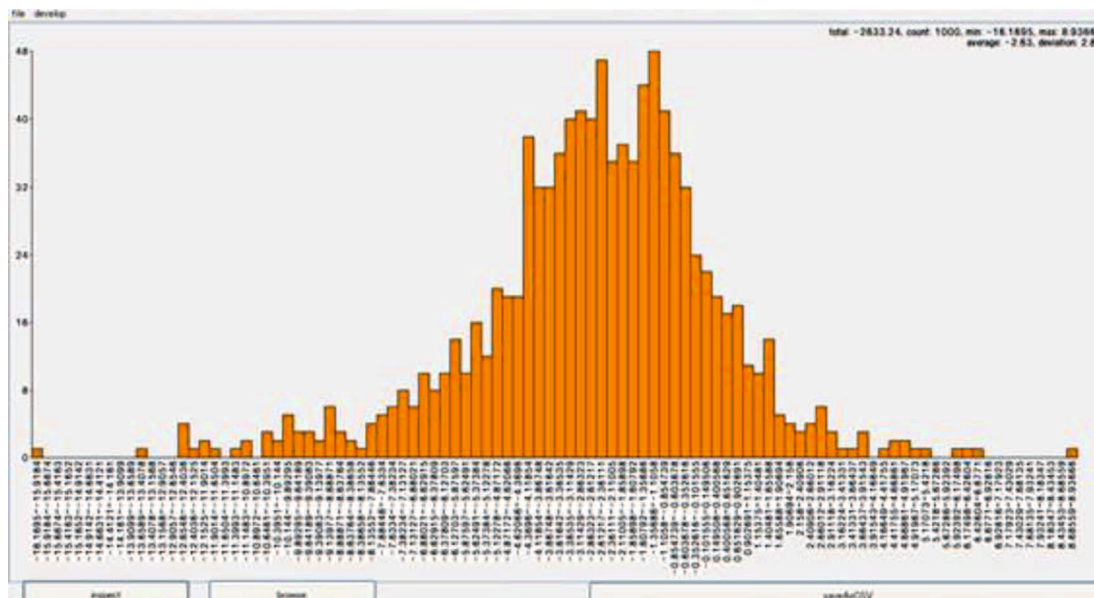


図 2.7 分布数 100 個の結果

図 2.7 のように分布数を増やすことで詳しい分布が得られた．上図の平均値と標準偏差からシミュレーション結果の分布評価を統計的に行うことが可能となる．正規分布の平均値を μ ，標準偏差を σ とすると，区間推定として結果の約 68%が $\mu \pm \sigma$ 内に存在し，約 95%が $\mu \pm 2\sigma$ 内に存在することがわかる．例を用いて表すと，結果の約 68%が利益率 0.25%～ - 5.51%内に収まり，約 95%が利益率 3.13%～-8.39%内に収まることが確認できる．これにより工事業者が負うリスクを統計的に評価することが可能となる．

次にシミュレーションのデータの結果から分布確率を得る．モンテカルロシミュレーションにより分布の詳しい数値が求められたので，そこから分布確率を出す．1,000 回のシミュレーションの結果，利益率が 5%以上になる回数が 6 回あるので，利益率が 5%以上になる確率は 0.6%ということが分かった．以上の結果から応札者にとって事業への応札参加が妥当かどうかを判断できる．

この項ではシミュレーション回数を 1,000 回としたが，シミュレーション回数を増やすことによってより一定の傾向に収束すると考えられる．

本研究では鉄道建設事業における土木工事契約パッケージ及び鉄道システム契約パッケージのタスク評価を行った．手法としては PERT を使い，工事及びシステム調達・製造の過程でクリティカルパスを出す方法で行った．

2.4 定性評価結果の定量評価への反映要素の抽出

本研究は定性チェックリスト内に存在する定量評価項目に影響する要素を洗い出し、入力可能とした。本節ではその要素の説明を行う。

2.4.1 変数要素

本研究の定性チェックリスト内にある定量評価項目の変数要素に影響する要素を抽出し、そのリスクの大きさを変動幅に反映させた。表 2.6 を例に挙げると、十分な人員確保の要素は製作人員に影響することが確認できる。評価するリスクの大きさは各項目の重要度と致命度の大きさの差異を考慮して重要度と致命度と発生率の積の総和から重要度と致命度の総和を割ったものとした。表 2.6 から十分な人員確保の算出結果が 1 であることが確認できる。この数値を基に損益確認表にも影響を与えることが可能となる。

2.4.2 定性要素及び外部要素

前節で説明した定性チェックリストの小項目リスク内には定量評価項目内の定性及び外部要素と重複している要素がある。その要素を定量評価項目にも入力可能な数値に変換した後、影響ダイアグラムに反映して利益計算を行うことにした。

図 2.3 で示す影響ダイアグラムに含まれる外部要素の“材料費高騰”は表 2.1 及び表 2.4 の“資材の市場変動”，“ライバル企業の製品”は“市場競争の程度”と“競争相手の実力”，定性要素の“製品の質”は“設計の精度”と“材料の妥当性”，“製作能力”は“人員能力”，のそれぞれの影響を受けると考えられると言える。入力する数値は、変数要素と同様に重要度と致命度と発生率の積の総和から重要度と致命度の総和を割ったものとした。影響ダイアグラムはリスクが起きた際の影響を示すものなので不透明度の項目は考慮しなかった。また大項目のリスクは影響ダイアグラムの計算上に反映されているものとした。

2.5 第 2 章の総括

本章における検討から、2.4 節に示すような定性チェックリストの要素を定量評価項目に反映させることで、定性評価と定量評価を組み合わせるハイブリッドな事業リスクの評価を行うことが可能且つ効果的であることが分かった。

第3章 海外鉄道建設事業へのハイブリッドリスク評価手法の適用と有効性の検証

3.1 第3章の概要

本章では、第2章において作成したハイブリッドリスク評価手法を、既に完了した実際の海外鉄道建設事業に適用し、その結果と実際の結果を比較することで本ハイブリッドリスク評価手法の有効性を検証する。

3.2 定性評価と定量評価を統合したフローチャート

まず本研究では、上述した定性リスク評価と定量リスク評価を統合することによって、最終的な事業参入価値計算の妥当性を向上させることを試みた。そこで定性評価としては FMEA を基に、定量評価としては DDP の影響ダイアグラムや逆損益計算図を基にする。図 3.1 に提案手法のフローチャートを示す。

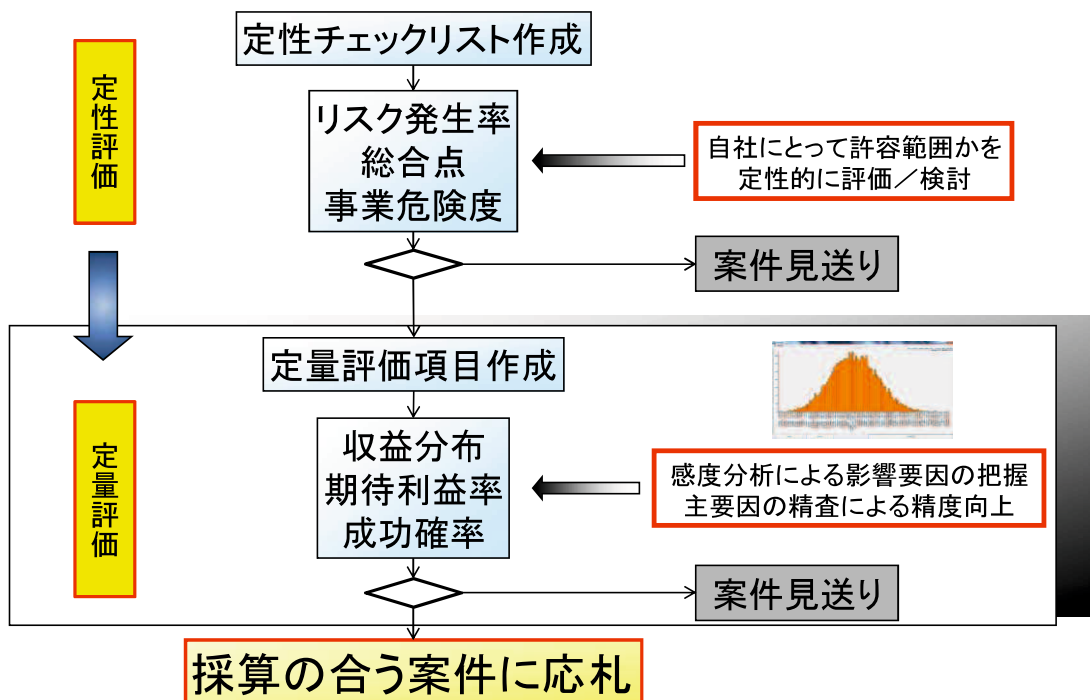


図 3.1 定性評価と定量評価を統合したフローチャート

図 3.1 から提案手法のフローチャートは定性評価を定量評価に組み合わせたものだと確認できる。フローチャートの大まかな流れとしては、まず業務熟練者の経験によるリスク項目の抽出を行う。そして抽出されたリスク項目を FMEA に基づいた評価方法で評価し、

その結果から事業の素性が許容範囲かどうかを判断する（定性評価：Qualitative Evaluation）．次に利益の影響要素を洗い出した影響ダイアグラム，定量評価を行うための逆損益計算図及び損益確認表を作成する．そして定性評価の結果を定量評価できるように変換を行い，事業収益の計算を行う（定量評価：Quantitative Evaluation）．以上の定性評価と定量評価から自組織の許容範囲外の案件を見送るか，採算の合う案件に応札するかといった判断が容易となると推測した．

本論文では，適用題材の結果と合わせてフローチャート内を詳しく説明する．

3.3 有効性検証としての適用題材の概要

作成したフローチャートの適用題材として，実際の国際入札方式（International Competitive Bidding：ICB）により実施された海外鉄道建設事業であるタイ国の空港アクセス鉄道（通称エアポートリンク）建設事業の事例を，現実的な仮定に基づいて事後評価することでフローチャートの妥当性を検証した．図 3.2 にエアポートリンクの詳細図を示す．

- 2000年-交通計画調査
- 2001年-FS (フィジビリティスタディ)
- 2003年-FS見直し調査
- 2004年-設計業務／入札
- 2005年-着工
- 2010年-当初の約3年遅れで開業



| | 特急線 | 通勤線 |
|-------|---|--|
| 構造 | 高架(約26km) 地上(約1km) 地下(約1km) | |
| 軌道間隔 | 標準軌(1,435mm) | |
| 路線延長 | 約25km | 約28km |
| 駅数 | 2駅 | 8駅 |
| 最高速度 | 160km/h | |
| 車両編成 | 初期: 4両(1両は荷物専用) 将来: 7両、10両 ボックス式の着席のみ | 初期: 3両 将来: 7両、10両 ロングベンチシート式の着席、立席 |
| 運転間隔 | 15分(将来的には10分未満) | 15分(将来的には10分未満) |
| 信号方式 | ATC/ATP/ATO | |
| 電化方式 | カテナリー方式、交流25kV | |
| 出改札方式 | 自動出改札 | |

図 3.2 エアポートリンクの詳細図

著者は，FS 見直し調査、設計業務，入札、工事監理，工事最終検査及び開業後の工事業者瑕疵期間の終了まで、9 年間に亘りエアポートリンク建設事業に発注者側のコンサルタントとして携わった．本事業には日本を含む複数の外国企業とタイ国の企業が特別共同事業体を組成して応札し，タイとドイツの企業が落札した．本事業は，土木工事と鉄道システム工事が一体となった契約で，落札した企業体の中で，タイの企業が土木工事，ドイツの企業が鉄道システム工事と共同事業体内の企業間で担当業務と責任が明確に分かれているのみでなく，契約条件書，客先からの入金方法（土木工事は数量精算方式，鉄道システム工事は一括総額請負方式），遅延時の罰金支払いの条件及び金額なども土木工事と鉄道システム工事で異なる．このため，契約自体は一体であるが，実質的には 2 つ別々の契約に基づき事業が実施されたとも言える．2005 年に着工したが，土地収用の遅れにより土木工事が遅れ，さらに契約期間中にデモ，クーデター，洪水，これらに関連した建設物価の上昇などの様々な事象が発生し，当初の計画から約 3 年遅れて 2010 年 3 月に工事が完了し，同年 8 月に無事に全線開業した．土地収用などは発注者側に起因するものであり，またデモ，クーデターといった政情及び洪水という自然災害については政府が工事の遅れを容認したため工事業者が罰金を支払うことはなかったが，工事期間延長に対する追加費用は受けられなかったため，工事業者には大きな財務的負担がかかったと推察される．

3.4 定性評価の適用及び結果

3.4.1 リスク項目リスト及び定性チェックリスト作成

本研究では、対象事業及びその他の海外鉄道建設事業を含む国際インフラ事業に発注者側コンサルタントとして参加した経験を有する経験者である筆者の経験を基にした。（手法としては経験者にヒアリングを行うものだが、本研究では筆者自身が同経験を有するため、自身による判断とした）その結果を参考にして、海外での鉄道建設事業におけるリスクを分野及び項目別に割り出したリスク項目リスト及びチェックリストを作成した。このように分けることによって、細かいリスク項目が何に起因していて、どのタイミングで発生するのが明確になる。

リスク項目は、大項目としてリスクに掛かる主要なステークホルダー、中項目としてリスクが発生する段階・時期、小項目としてリスクの対象・事象と3つの分類に分けることにした。これは、リスクが何・誰に帰属するのか、またいつ発生するのかを明確にしたうえでリスク項目を決めることでそのリスクの対処の仕方が決まるからである。

大項目は、現地国、建設市場、発注機関（主に現地政府や鉄道事業組織）、発注機関／コンサルタント、そして自組織の5つに分類した。発注機関／コンサルタントとしたのは、コンサルタントはFIDICでは“The Engineer”として強い中立性を持つ場合と、“The Employer’s Representative”として発注者（The Employer）を補佐する立場にある場合があるため、全ての事業において該当するリスクがコンサルタントのみに依存するわけではないからである。

中項目は大項目によって異なるが、大まかに分けると段階・時期に関わらない一般的な事象や要素、入札前（設計時及び入札図書作成時）、入札時及び建設時に分けた。発注機関及び発注機関／コンサルタントにおいては、注目の分類をさらに細かく中項目1（段階・時期）と中項目2（事象や要素の種類）に分類した。

表 3.1 から表 3.8 に作成したリスク項目リストを項目別に示す。

表 3.1 現地国に起因するリスク

| 大項目 | 中項目 | 小項目 | リスクの概要 |
|-----|------------------------|--------------|---|
| 現地国 | 一般 | 経済・財政状態 | 政府の経済・財務状態（GNP成長率、利率変動、税率変動、インフレ、等） |
| | | 事業予算 | また対象案件に適切な事業予算が確保されているか（政府が承認しているか） |
| | | 事業実施に関する国家計画 | 対象事業の上位計画との整合性、対象事業の承認状況、関連法制度の整備状況 |
| | | 文化・風習・慣習・治安等 | 事業対象国の文化・風習・慣習等を理解しているか、事業実施に耐える治安レベルか、等 |
| | | 建設許認可 | 関連する建設許認可の複雑さ |
| | 建設時 (入札時に想定で判断する事項) | デモ／テロ／戦争の発生 | 対象国での回避不可（不可抗力）の事象が発生し、工事に影響する可能性があるか（戦争／紛争／暴動、労働者のストライキ、他） |
| | | 自然災害の発生 | 地震、洪水、ハリケーン等の異常気象の発生リスクの程度 |
| | | 安全・環境等の法制度 | 建設事業に掛かる安全・環境等の法制度の自国の法制度との違い、特異性および建設期間中の変更の可能性 |
| | | 建設期間中の法令変更 | 建設期間中の法令変更（または新規法令）による設計変更の可能性 |
| | | 建設期間中の政変 | 建設期間中の政変による事業の中断や事業内容の変更等の可能性 |

現地国に関しては主に“一般”に属する項目が多い。これは、事業に直接的に関わる発注機関とは異なり、国家財政、政治情勢、文化・風習、インフラ事業を管轄する省庁の体制や法制度など、その国・地域全般に関わる要素がリスク項目となるからである。タイ、フィリピン、インドネシア、ミャンマーなど、政情不安定な国では政権交

代などにより事業の実施方針が大きく変わることがあり、計画段階であれば工事業者は直接的な影響は受けないが（ただし、長引く営業活動によりコストがかかるという間接的な影響は受ける）、入札期間中や建設期間中に政府の方針が大きく変わることも皆無ではなく、工事業者だけでなくコンサルタントや発注機関も大きく影響を受けることがある。これらをすべて事前に予測し、対処方法を取っておくことはできないが、応札を目指す企業には事業国に関する様々な情報を入手し、可能な限りで様々な事象を想定しておくことが求められる。

表 3.2 建設市場に起因するリスク

| 大項目 | 中項目 | 小項目 | リスクの概要 |
|------|-----|---------|---------------------------------------|
| 建設市場 | 一般 | 建設市場の変動 | 市場の急激な拡大や縮小による競合企業の増減、下請け業者／資機材の入手可能性 |

建設市場は、主に事業国内外の建設市場の動向や状況が該当する。都市の人口増、経済成長による自動車保有台数の増加、地球環境への配慮等を要因として、特に中進国及び中進国入りを目指す発展途上国卒業間近の国々において、近年、鉄道建設事業が各国の主要として計画・建設されている。このような状況の場合、現在のグローバル経済の中では建設物価が高騰したり、下請業者の確保が困難になったりするなど、自組織では対応できない要素がある。また、短期間に各国で多くの鉄道建設事業の入札が行われると、競合企業も含めてどの事業の受注を目指すか選択と集中が求められる。競合が少ない入札では応札者有利になり得るが、競合が多い入札では受注するにはある程度のリスクを取ってでも受注を獲得するためにコストを抑えなければならない状況になる。項目数は少ないが、事業や自組織を取り巻く市場環境も考慮すべきリスクである。

表 3.3 発注機関に起因するリスク（その1）

| 大項目 | 中項目1 | 中項目2 | 小項目 | リスクの概要 |
|------|-------------------|-------------------------------|----------------|---|
| 発注機関 | 一般 | | 発注者の事業実施能力 | 発注者の過去の類似案件の事例により、発注者が適切に事業を実施できるか（円滑な入札、工事の進捗、工事業者への支払い（特に最終支払および留保金の解除）、設計変更／追加工事費等の承認、等） |
| | | | 入札前 | 融資機関との調整 |
| | 住民認知度 | 事業実施に対する対象地域の住民の認知度および容認の程度 | | |
| | 第三者機関（電力公社、等）との調整 | 第三者機関が実施する関連作業の実現性および実施時期の着実性 | | |
| | 入札時 | 発注者準備事項 | 事業実施の実現性（用地取得） | 土地収用／住民移転計画の進捗、契約条件となっている用地引き渡し時期の妥当性（現実性） |
| | | | 事業実施の実現性（アクセス） | 工事現場へのアクセス（道路）が確保されているか、また遅延なく用意される計画が立てられているか、アクセス道路の用意の責任が明確になっているか（発注者または工事業者） |
| | | | 事業実施の実現性（支障物） | 工事現場内の支障物（構造物、埋設物、等）の撤去または移転の計画が妥当か、撤去／移転の責任が明確か（発注者または工事業者） |
| | | | 事業資金 | 自国政府資金または他国／国際機関からの融資等、事業資金が確保されているか |
| | | 事業計画 | 事業予備費の妥当性 | 事業費に予備費（Contingency）が含まれているか、予備費額は妥当か |
| | | | 契約パッケージ規模の妥当性 | 事業全体における契約パッケージ分けが適切か、対象案件（契約パッケージ）が過大な規模となっていないか |
| | | | 事業費の妥当性 | 確定事業費（設計コンサルタントによる見積もりをベースとした政府予算）の精度および妥当性 |
| | | | 契約工期の妥当性 | 事業規模および複雑さの観点から、契約工期が妥当か、また設定されている中間マイルストーンが妥当か、雨季等の低作業効率期間を考慮した工期となっているか |

表 3.4 発注機関に起因するリスク（その2）

| 大項目 | 中項目1 | 中項目2 | 小項目 | リスクの概要 | |
|------|------------------------|-----------------|------------------|--|--|
| 発注機関 | 入札時 | 入札実施体制／ 入札条件 | 入札期間の妥当性 | 入札期間が短すぎて、適切な応札書類を準備できるかどうかの判断 | |
| | | | 入札保証 | 入札保証(Tender/Bid Bond)の金額の妥当性、取引銀行による入札保証の確認、入札保証発行銀行の条件(対象国の銀行または対象国に支店がある銀行のみが発行可能か、本国の銀行での発行でもよいか、等) | |
| | | | 入札指示書の精度 | 入札指示書(Instructions To Tenderers)に応札資格、応札条件、履行保証条件等、応札判断に必要な条件が全て記載されているか。 | |
| | | | 入札評価期間の遅延の可能性 | 入札保証金の更新のリスク、応札時から為替や市場価格が変動した場合の提示価格の維持、等 | |
| | | | 資格審査(PQ)の妥当性 | 資格審査の要件が適切であるか、過剰な競争を生む条件になっていないか、日系企業が排除される条件になっていないか | |
| | | | 入札評価方式 | 技術評価をパスした応札者の価格で評価されるのか、技術評価点と価格評価点の合計で評価されるのか(QCBS方式) | |
| | | | 入札評価基準の妥当性 | 入札評価基準(点数の配分、等)が適切か、特定の企業に優位となっていないか | |
| | 建設時 (入札時に想定で判断する事項) | | 土地収用／住民移転の遅れ | 入札時(契約条件)の計画通りに土地収用／住民移転が進まず、それに起因する工事完了時期の遅れの際の対処(工期延伸、等)が適切に行われるか | |
| | | | 工事費増加への措置／対応 | 数量精算方式の契約において想定していた工事量よりも実際の工事量が相対的に多い場合、複数年に亘る事業で物価上昇が大きく、最終的な契約金額が政府承認済みの予算を超える場合の措置が取られているか、または対応が可能か | |
| | | | 自然災害に起因する工期延伸の対応 | 想定外の気候(大雨(および雨季の長期化)、台風、洪水、等)およびそれらに起因する工期延伸に関して政府令が発行されない可能性 | |
| | | | 第三者機関に起因する工事の遅延 | 電力会社や水道会社との調整および電力／水道会社側による埋設物の移設作業や改良工事等の遅れや、プロジェクト対象地域における他事業(道路工事等)により遅延の可能性 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

事業における発注機関の及ぼす影響は非常に大きい。発注機関は鉄道建設事業に関わる全てのステークホルダーの中心に位置し、上位には政府や国家行政や地方行政機関があり、同位には事業に関わる第三者機関（他のインフラ管轄機関等）、下位には発注者を補佐する立場にあるコンサルタントと工事を行う工事業者があり、さらに事業対象地域の周辺の住民から事業への理解を得る必要もある。発注機関による事業全体の調整・舵取りが事業の成否を決めると言っても過言ではない。

表 3.5 発注機関／コンサルタントに起因するリスク（その1）

| 大項目 | 中項目1 | 中項目2 | 小項目 | リスクの概要 |
|----------------------|---------------|--------|-----------|--|
| 発注機関 ／ コンサルタント | 入札前 (設計段階) | 計画 | 計画策定の完成度 | F/S、設計を担当するコンサルタントの能力に起因する計画策定の成熟度／精度／品質 |
| | | 設計 | 設計基準の片務性 | 過去に類似案件で採用された設計基準の片務性の傾向と程度 |
| | | 見積り・予算 | 見積価格／政府予算 | 発注者／コンサルタントによる見積価格および見積価格を基に予算化された政府承認済みの事業費の妥当性 |
| | | 他契約 | 他の契約パッケージ | 他の契約パッケージ業者の工事(または着工)の遅れの可能性(インターフェースの問題) |

表 3.6 発注機関／コンサルタントに起因するリスク（その2）

| 大項目 | 中項目1 | 中項目2 | 小項目 | リスクの概要 |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|--|
| 発注機関 ／ コンサル タント | 入札時 (入札図書で 判断できる 事項) | 契約方式 | 契約方式の妥当性 | 発注者詳細設計＋数量精算方式(FIDIC Red Book ベース)か、設計施工(Design-Build)＋ランブサム方式(FIDIC Yellow Bookベース)か、ターンキー方式(FIDIC Silver Bookベース)か、等 |
| | | 契約条件 | エンジニアの権限の妥当性 | 中立性を保てるエンジニア(発注者のインハウス組織またはコンサルタント)に適切な権限が与えられているか |
| | | | 契約条件書の片務性 | 契約条件書(Conditions of Contract)が発注機関独自の書類か、FIDICベースか、FIDICをGCCとするも、Particular COCで多くの変更がなされているか、等 |
| | | | 業務完了に関する条件 | 業務完了に関する条件(completion / substantial completion)の不備・不明確さ |
| | | | 適用法制度の妥当性 | 現地国の法制度が適用される場合、その法制度が適切か、複数の州・市にまたがる場合等において複数の法制度が適用される場合の業務実施の複雑さ |
| | | 支払い | 支払条件の妥当性 | 適切な前渡金があるか、支払条件が妥当か(業務完了分の請求書を提出してから支払承認までのプロセスおよび期間が適切か、また設定マイルストーンが妥当か)、最終精算金支払い及び留保金解除の条件が適切か |
| | | | 遅延損害賠償金の妥当性 | 設定されているマイルストーン未達成の場合の遅延損害賠償金(Liquidated Damage)の金額／率の妥当性、また上限の有無 |
| | | | 支払い遅延時の利息 | 特に現地資金案件の際の、発注者側都合による支払遅延時の利息の有無 |
| | | | 契約通貨 | 現地国通貨の為替安定性、大幅な為替変動の際の措置の有無 |
| | | | エスカレーション条項 | 建設期間中の物価変動(上昇)に対する価格調整(エスカレーション)条項の有無、ある場合は計算式および適用対象費目の妥当性 |
| | | | 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | 輸入手続きに関する発注者支援の有無および免税措置に関する条項の有無(免税条項があっても、還付方式の場合、確実に還付されるかの検証が必要) |
| | | 入札時 (入札図書で 判断できる 事項) | 工期延伸／ 追加費用 | 発注者指示の設計変更による工期延伸 |
| | 発注者指示の設計変更による追加費用 | | | 発注者の指示による設計変更等による工期延伸時の追加費用、またLS契約の場合の工事量変更による追加費用の有無(契約条件書に記載されているか、記載内容が明確か)、ある場合は、数量変更となる費目の適用単価が適切か。 |
| | 設計変更に起因する工期延伸の条件 | | | 設計変更時の追加費用が認められるかどうか |
| | 第三者機関に起因する工事遅延の場合の工期延伸／追加費用 | | | 電力公社や水道公社との調整および電力／水道公社側による埋設物の移設作業や改良工事等の遅れや、プロジェクト対象地域における他事業(道路工事等)により遅延がある場合の、工期延伸／追加費用の有無 |
| | 工期延伸に関する条件(罰則の有無) | | | 工期延伸条項の有無、工期延伸に関わる罰則の有無、罰則金額の妥当性、罰則金額上限設定の有無、等 |
| | 着工時期の変動による契約工期の変更 | | | 着工時期が変動した場合、工事期間が雨季に重なるなどして工期が長くなる可能性がある場合に、契約工期が変更(延長)されるという条項があるか |
| | 設計図書／ 仕様書 | | 設計基準の片務性 | 採用されている設計基準が欧州勢に有利だったり、現地国の基準が採用されていたりする場合、等 |
| | | | 一般仕様書の精度 | 一般仕様書(General Specification)に不明確な記載がないか |
| | | | 設計、設計図書、設計図面の精度 | 見積額算出が可能となる精度の設計内容・設計図書／仕様、設計図面となっているか、インターフェースに不備・不足がないか、図面とBOQの整合性(BOQの抜け)があるか、それらにより工事期間中の工事業者設計量に影響はないか、指定されている施工方法が適切で実施可能か |
| | | | 供与条件 | 提案書作成に必要な十分な供与条件(地質、地形、等)があるか、工事期間中の業者による測量／設計に影響はないか |

表 3.7 発注機関／コンサルタントに起因するリスク（その3）

| 大項目 | 中項目1 | 中項目2 | 小項目 | リスクの概要 |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|------------------|--|
| 発注機関 ／ コンサル タント | 入札時 (入札図書で 判断できる 事項) | 品質管理 | 工事の品質管理の方法 | 発注者(コンサルタント)が品質管理を実施し、発注者承認がないと次の段階に進めないか、もしくは自組織の品質管理チェックで次の段階に進むことが可能か |
| | | 言語 | 契約言語 | 工事期間中の契約言語が明記されているか、現地語が主言語の場合、どの書類まで現地語を使い、どの書類を例外として英語で良いか等が明記されているか |
| | | 紛争 | 調停／仲裁の条件 | 調停／仲裁の適用条件(現地国または国際機関)が適切かどうか(発注者に有利な条項になっていないか) |
| | | コンサルタント | 入札評価コンサルタントの品質 | 入札評価を担当するコンサルタントの類似業務の経験、担当要員の能力、国籍の片務性 |
| | 建設時 (入札時に 想定で判断する 事項) | 設計/ 設計変更 | 設計不備による着工の遅延 | コンサルタントによる設計の修正が必要だったり、不備・不足している部分の追加設計が必要な場合(発注者詳細設計方式)、または基本設計が不十分で想定以上に詳細設計の作業量が多い場合(設計施工方式の場合)の工事着工／進捗への影響 |
| | | | 仕様書からの変更の際の承認 | 工事業者提案による仕様書からの変更(バリューエンジニアリング)の承認が適切かつ迅速に実行されるか |
| | | 追加費用 | 工期延伸に対する追加費用の承認 | 工事業者に起因しない事情による工期延伸に対する追加費用が適切に承認され、実行されるか |
| | | 第三者機関 | 第三者機関との調整および対応 | 発注者／コンサルタントによる第三者機関(電力公社、水道公社等)と適切な調整ができるか、適切な対応が見込めるか、設計変更指示の可能性はあるか |
| | | コンサルタント | 施工監理コンサルタントの契約条件 | 施工監理コンサルタントに十分な要員・MMがあるかどうか(要員不足による承認手続きの遅れの可能性) |
| | | | 施工監理コンサルタントの能力 | 工事業者作成の設計図書(竣工図面、システム設計)がコンサルタント(または発注者)により遅延なく承認が行われるか |

上述のようにコンサルタントは事業の計画・設計・入札図書作成・入札管理・施工監理・開業支援等を行う立場にあり、事業の実施が確定してからは発注機関とともに事業の成否を決める大きな要素である。経験豊富なコンサルタント（企業だけでなく、実務を行う専門家個人も含む）であれば、高い品質の設計を基に要件が明確な入札図書を作成することが可能であり、建設期間において問題となる要素が少なくなり、工事業者にとっても有益となる。しかしながら、契約条件や技術仕様書を含む契約図書の基となる入札図書の品質が低く、契約交渉の段階でも適切に改善・修正できない場合、建設期間中に多くの問題が生じることになる。先進国を除くと発注機関はコンサルタントが作成する入札図書の内容を精査することは難しく、コンサルタントに大きく依存してしまう傾向にある。逆に、コンサルタントとしても発注機関の意向を無視して事業を進めることは出来ないため、発注機関とコンサルタントの良好な関係及び適正な役割分担も事業成功の大きな要素となり得る。コンサルタントが作成した入札図書の品質が高くない場合で応札企業が多くの知見を有している場合は、入札期間中のクレンジングや契約交渉における条件変更で対応することも出来るが、一般的に中進国等における鉄道建設事業の入札では入札期間、すなわち応札者が準備する期間、が短く、応札業者としても十分に入札要件を精査しきれないのが現状である。このため、入札時に販売（または配布）される入札図書の品質、及び工事期間中の監理の質が応札業者及び工事業者に大きな影響を及ぼす。

表 3.8 自組織に起因するリスク

| 大項目 | 中項目1 | 中項目2 | 小項目 | リスクの概要 |
|-----|--------------------------------|------------|--------------------|---|
| 自組織 | 入札前 | 会社戦略 | 会社戦略との整合性 | 応札する案件が会社の戦略(分野、地域/国、規模、等)に合致しているか、経営計画に含まれる事業か |
| | | 競争性 | 競争における優位性 | 想定される競合他社に対する、対象案件での自組織の優位性(類似案件の経験、対象国での業務経歴および他分野での市場優位性、他) |
| | | 現地国理解 | 対象国の理解 | 事業国での業務実施経験があるか、状況を理解しているか |
| | 入札時 | 入札体制 | 入札対応の実施体制 | 入札期間内に、技術的な検討および設計/提案、項目抜けのない価格提案、想定されるリスクの検討、等の対応が可能な要員を確保し、適切な入札対応組織を構築することができるか。 |
| | | 自組織能力 | 工事の実施能力 | 適切に事業を実施できる能力(マネジメント、コミュニケーション、語学、等)を有する社員が自組織に十分にいるか、また本社の支援体制があるか |
| | | | 工事の実施体制 | 優秀なPMがいるか、想定される工事期間に事業を適切に管理する体制が構築できるか、現場での品質確保/保証および書類管理を行う体制が確保できるか |
| | | | 現地法人・事務所の有無および支援体制 | 事業を実施する際に現地国で支援する体制(現地法人、支店、等)、もしくは支援してもらえるローカルパートナーが整っているか |
| | | 現地スタッフ/労務者 | 自組織のローカルスタッフ | 工事期間中のアドミ、中間管理、発注者との協議・強調ができる能力を有するローカルスタッフを自組織で確保しているか(時間をかけて育成してきたか) |
| | | 運転資金 | 運転資金の確保 | 事業を実施する上で必要となる運転資金を確保できるか |
| | | 下請け業者 | 下請け業者 | 工事の一部を発注する下請け業者(日系、現地、第三国)が確保できるか、その下請け業者の財務体質/経営体制/技術力/工事資源(労務者/資機材)は十分か |
| | 建設時 (入札時に 想定で判断する 事項) | 工事遅延 | 工事業者に起因する工事の遅延 | 工事業者に起因する工事の遅延(マネジメント、資金繰り、資材の確保、労務者の確保、等) |
| | | 建設許認可 | 建築許認可の取得 | 現地語での書類作成等により、建築許認可取得に遅れが生じ、着工が遅れる可能性はないか |

上述の現地国、建設市場、発注機関、コンサルタントは応札業者及び工事業者が直接的に改善することの出来ないリスク要因であるが、自組織で予防できるリスク要素も多く存在する。工事着工してからの対応も当然ながら重要であるが、期間が長いいため徐々に改善することも可能とも言える。一方、短い入札期間に事業全体のリスクを把握し、適切な対応や状況の改善を行うことは非常に難しい。このため、事業の公示が行われるずっと前から体制を整えておくことが必要である。例えば自組織が他国で豊富な経験を有していたり、優秀な技術者を抱えていても、事業対象国での経験がなければ現場で実際に工事を行う下請け業者や自組織が直接管理する労務者を確保することは難しく、不確定要素を抱えることになる。事業を取り巻く周辺環境のみでなく、自組織の体制・実施能力を適正に把握し、自組織に起因するリスク要素を極力減らしておくことは、成功裏に事業を行うことに大きく影響する。これらを踏まえて上記のリスク項目を抽出した。

3.4.2 定性チェックリストに対する評価要素の入力結果

先行研究(He, 1995)(L. Y. Shen, 2001)などからもFMEAはリスク項目に対して適切な評価が可能であると考えたため、抽出したリスク項目をFMEAに基づいた評価方式で評価する。まず大項目同士のリスクの比率があると仮定して“重要度”という評価要素を設けた。そして小項目が持つリスクの影響の大きさを“致命度”，リスク発生頻度を“発生率”，リスク発生の認知しにくさを“不透明度”として評価した。重要度は比率なので評価値の限度は設けず、致命度、発生率及び不透明度は5段階評価とした。また、それぞれの評価要素の積から求められる数値を“事業危険度”と設定した。これは小項目の総合的なリスクの程度の値といった意味合いを持っている。表3.9から表3.11に各評価要素の入力数値の基準を示し、リスク項目リストを基にした定性チェックリストに数値入力の結果を大項目ごとの表3.12から表3.16に示す。

表 3.9 致命度の入力基準

| | | |
|-----|---------|--|
| 致命度 | Level 1 | プロジェクトの成否に影響を与える可能性が考えられにくく、事象が起きたとしても他の項目でカバーできる項目 |
| | Level 2 | プロジェクトの成否に影響を与える可能性は少なからずあるが、大抵の場合は他の項目でリカバーできる項目 |
| | Level 3 | プロジェクトの成否に大きな影響を与える可能性はあるが、リスクの大きさを明確・定量的に判断できない項目 |
| | Level 4 | 応札判断を見送る必要性はないがリスクの大きさによっては事業に多大な影響を及ぼす項目 |
| | Level 5 | 最もプロジェクトに影響を与え、リスクの重大さ・深刻さによっては応札判断を見送ることを真剣に検討しなければならない項目 |

表 3.10 発生率の入力基準

| | | |
|-----|---------|--|
| 発生率 | Level 1 | 以前にはそのような事象が発生したことは無いが、可能性としては0ではないもの |
| | Level 2 | 他国および他案件等で事例は起きたことはあるが、発生の可能性が非常に低いもの |
| | Level 3 | 数年に一回程度の確率で事例が発生しているもの |
| | Level 4 | 以前は事象が比較的に頻繁に発生したものの、近年は事象の発生頻度が低いもの |
| | Level 5 | 事象がよく発生し、発注者がこの一年間もしくは過去に実施した事業でも同様の事象が発生しており、今後も発生確率が著しく大きいと考えられるもの |

表 3.11 不透明度の入力基準

| | | |
|------|---------|--|
| 不透明度 | Level 1 | リスクの影響が認知やすく、発生した場合でも対処がしやすい項目 |
| | Level 2 | リスクの影響が認知できない場合もあるが、たいていは認知しやすい項目 |
| | Level 3 | 影響を認知できる場合と認知できない場合が半々の項目 |
| | Level 4 | 影響を認知できる機会が少なく、認知できない場合が多い項目 |
| | Level 5 | リスク影響の認知が非常に難しく、リスク発生した場合ほとんどが認知・対処ができない項目 |

表 3.12 大項目“現地国”の数値入力結果

| 小項目 | 重要度 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|--------------|-----|-----|-----|------|-------|
| 経済・財政状態 | 4 | 2 | 3 | 3 | 72 |
| 事業予算 | | 5 | 3 | 3 | 180 |
| 事業実施に関する国家計画 | | 3 | 2 | 2 | 48 |
| 文化・風習・慣習・治安等 | | 3 | 3 | 3 | 108 |
| 建設許認可 | | 2 | 2 | 2 | 32 |
| デモ／テロ／戦争の発生 | | 4 | 5 | 5 | 400 |
| 自然災害の発生 | | 2 | 4 | 4 | 128 |
| 安全・環境等の法制度 | | 2 | 2 | 2 | 32 |
| 建設期間中の法令変更 | | 2 | 3 | 5 | 120 |
| 建設期間中の政変 | | 2 | 4 | 4 | 128 |

表 3.13 大項目“建設市場”の数値入力結果

| 小項目 | 重要度 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|---------|-----|-----|-----|------|-------|
| 建設市場の変動 | 2 | 3 | 3 | 3 | 54 |

表 3.14 大項目“発注機関”の数値入力結果

| 小項目 | 重要度 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|-------------------|-----|-----|-----|------|-------|
| 発注者の事業実施能力 | 4 | 4 | 4 | 3 | 192 |
| 融資機関との調整 | | 3 | 2 | 3 | 72 |
| 住民認知度 | | 3 | 3 | 3 | 108 |
| 第三者機関(電力公社、等)との調整 | | 2 | 2 | 4 | 64 |
| 事業実施の実現性(用地取得) | | 4 | 4 | 3 | 192 |
| 事業実施の実現性(アクセス) | | 2 | 3 | 2 | 48 |
| 事業実施の実現性(支障物) | | 3 | 3 | 2 | 72 |
| 事業資金 | | 5 | 2 | 3 | 120 |
| 事業予備費の妥当性 | | 3 | 2 | 3 | 72 |
| 契約パッケージ規模の妥当性 | | 3 | 2 | 4 | 96 |
| 事業費の妥当性 | | 4 | 3 | 2 | 96 |
| 契約工期の妥当性 | | 4 | 3 | 4 | 192 |
| 入札期間の妥当性 | | 3 | 2 | 2 | 48 |
| 入札保証 | | 2 | 2 | 2 | 32 |
| 入札指示書の精度 | | 3 | 2 | 3 | 72 |
| 入札評価期間の遅延の可能性 | | 2 | 2 | 2 | 32 |
| 資格審査(PQ)の妥当性 | | 4 | 1 | 4 | 64 |
| 入札評価方式 | | 2 | 3 | 4 | 96 |
| 入札評価基準の妥当性 | | 4 | 2 | 5 | 160 |
| 土地収用／住民移転の遅れ | | 3 | 5 | 1 | 60 |
| 工事費増加への措置／対応 | | 5 | 3 | 2 | 120 |
| 自然災害に起因する工期延伸の対応 | | 3 | 3 | 1 | 36 |
| 第三者機関に起因する工事の遅延 | | 3 | 3 | 2 | 72 |

表 3.15 大項目“発注機関／コンサルタント”の数値入力結果

| 小項目 | 重要度 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|
| 計画策定の完成度 | 6 | 3 | 2 | 3 | 108 |
| 設計基準の片務性 | | 4 | 3 | 2 | 144 |
| 見積価格／政府予算 | | 5 | 3 | 2 | 180 |
| 他の契約パッケージ | | 3 | 3 | 3 | 162 |
| 契約方式の妥当性 | | 4 | 1 | 1 | 24 |
| エンジニアの権限の妥当性 | | 3 | 4 | 3 | 216 |
| 契約条件書の片務性 | | 4 | 2 | 2 | 96 |
| 業務完了に関する条件 | | 3 | 3 | 2 | 108 |
| 適用法制度の妥当性 | | 2 | 3 | 2 | 72 |
| 支払条件の妥当性 | | 4 | 2 | 2 | 96 |
| 遅延損害賠償金の妥当性 | | 3 | 4 | 1 | 72 |
| 支払い遅延時の利息 | | 2 | 3 | 1 | 36 |
| 契約通貨 | | 4 | 3 | 1 | 72 |
| エスカレーション条項 | | 4 | 3 | 1 | 72 |
| 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | | 3 | 3 | 2 | 108 |
| 発注者指示の設計変更による工期延伸 | | 3 | 4 | 1 | 72 |
| 発注者指示の設計変更による追加費用 | | 3 | 2 | 2 | 72 |
| 設計変更に起因する工期延伸の条件 | | 3 | 2 | 1 | 36 |
| 第三者機関に起因する工事遅延の場合の 工期延伸／追加費用 | | 3 | 3 | 2 | 108 |
| 工期延伸に関する条件(罰則の有無) | | 4 | 3 | 1 | 72 |
| 着工時期の変動による契約工期の変更 | | 1 | 3 | 2 | 36 |
| 設計基準の片務性 | | 3 | 3 | 2 | 108 |
| 一般仕様書の精度 | | 3 | 3 | 3 | 162 |
| 設計、設計図書、設計図面の精度 | | 5 | 2 | 3 | 180 |
| 供与条件 | | 5 | 2 | 3 | 180 |
| 工事の品質管理の方法 | | 2 | 2 | 2 | 48 |
| 契約言語 | | 2 | 2 | 1 | 24 |
| 調停／仲裁の条件 | | 3 | 3 | 2 | 108 |
| 入札評価コンサルタントの品質 | | 3 | 2 | 4 | 144 |
| 設計不備による着工の遅延 | | 3 | 2 | 3 | 108 |
| 仕様書からの変更の際の承認 | | 4 | 3 | 2 | 144 |
| 工期延伸に対する追加費用の承認 | | 5 | 2 | 2 | 120 |
| 第三者機関との調整および対応 | | 2 | 2 | 3 | 72 |
| 施工監理コンサルタントの契約条件 | | 3 | 2 | 2 | 72 |
| 施工監理コンサルタントの能力 | | 3 | 2 | 1 | 36 |

表 3.16 大項目“自組織”の数値入力結果

| 小項目 | 重要度 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|--------------------|-----|-----|-----|------|-------|
| 会社戦略との整合性 | 7 | 5 | 2 | 1 | 70 |
| 競合における優位性 | | 4 | 1 | 2 | 56 |
| 対象国の理解 | | 3 | 2 | 2 | 84 |
| 入札対応の実施体制 | | 5 | 2 | 3 | 210 |
| 工事の実施能力 | | 5 | 1 | 1 | 35 |
| 工事の実施体制 | | 4 | 1 | 1 | 28 |
| 現地法人・事務所の有無および支援体制 | | 4 | 2 | 1 | 56 |
| 自組織のローカルスタッフ | | 3 | 2 | 1 | 42 |
| 運転資金の確保 | | 5 | 1 | 1 | 35 |
| 下請け業者 | | 5 | 2 | 1 | 70 |
| 工事業者に起因する工事の遅延 | | 4 | 1 | 1 | 28 |
| 建築許認可の取得 | | 2 | 3 | 1 | 42 |

2.2 節で述べた通り、致命度、発生率及び不透明度の評価値の入力にあたっては、各レベルに事例を用意することで、評価値を適切に入力することが出来ると考える。例えば“致命度”に関しては、対象事業において、建築許認可の取得において、管轄機関の担当者の対応の遅れにより一部建物の工期開始が多少遅れたが、他の工区と作業時期の調整を行い、全体工期への影響は避けることが出来たため、“2”とした。“発生率”については、同じ発注者の過去の事業において、何度か当該事象が発生したことがあるため“3”とした。また、“不透明度”については、建築許認可取得の手順は明確であり、同様の許認可取得の経験を有しているため、取得自体に関するリスクはほぼないと考えられるため“1”とした。このような事例を全ての項目及び全ての評価値（レベル）に対して作成することで入力値の妥当性が高まり、また複数の業務熟練者が評価する際に入力する評価値のばらつきを抑えることが可能と考える。

ここで、表 3.10 から表 3.16 を基に各致命度ごとにおける発生率の評価と算出された事業危険度の総合評価と分布評価を行う。この評価を行うことによって事業の素性を評価して、適切な応札判断に結び付けることを目的としている。評価の内容を以下に示す。

3.4.3 リスク発生率評価

例え算出した事業危険度が全体的に低かったとしても、致命度と発生率の双方が大きい項目がある程度存在すると事業としてはリスクが高いと考えられる。そこでこのリスク発生率評価を行う。評価方法としては、まず各致命度のレベルごとに入力した発生率の数値の平均値を算出する。例えば致命度が“3”と入力された小項目の発生率を全て足して、その平均を取ると言うような流れである。そして算出された平均値に対してしきい値を設けて比較することによって、リスク項目の発生率の評価を行うことが可能となる。表 3.17 にリスク発生率評価の結果を示す。

表 3.17 リスク発生率評価の結果

| 致命度 | 発生率平均値 | しきい値 |
|-----|--------|------|
| 5 | 2.00 | 2.0 |
| 4 | 2.47 | 2.5 |
| 3 | 2.70 | 3.0 |
| 2 | 2.65 | 3.5 |
| 1 | 3.00 | 4.0 |

表 3.17 から、致命度の大きい項目は発生率の平均が大きくならないようにしきい値を設定していることが確認できる。表 3.17 からは致命度が“4”及び“5”の項目の発生率平均値がしきい値と変わらないもしくは僅かに下回っていることが言える。以上の結果から、この事業の素性自体は及第点にあると言えることが確認できる。

3.4.4 事業危険度の総合点評価

次に、表 3.12 から表 3.16 で示した事業危険度が全体的に高くなっていないか確認するために総合点評価を行う。この総合点評価では事業危険度の総和を 0 から 100 までの数値に変換する。そして、あらかじめ設定しておいたボーダーと比較することにより、事業全体の素性を評価する。以下の計算から数値変換を行う。

$$\begin{aligned} ma + b &= 100 \\ Ma + b &= 0 \end{aligned} \quad (\text{式 3.1})$$

m : 事業危険度の総和が取りうる最小の値(最も事業危険度の総和が小さい)

M : 事業危険度の総和が取りうる最大の値(最も事業危険度の総和が大きい)

上式から最も事業危険度の総和が小さい場合を 100 点、最も事業危険度の総和が大きい場合を 0 点としている。そして、以下のような式を導出する。

$$y = \frac{100}{m - M}(x - M) \quad (\text{式 3.2})$$

x : 事業危険度の総和

上式から適用題材の事業危険度の総合点評価を行う。今回はあらかじめ設定するボーダーを 65 点と設定した。表 3.18 に事業危険度の総合評価の結果を示す。

表 3.18 事業危険度の総合点評価結果

| 総合点算出結果 | ボーダー |
|---------|------|
| 86.7 | 65 |

表 3.18 から適用題材の事業危険度の総合点はボーダーよりも 20 点以上も高くなっており、事業の素性としては応札しても良いものという評価を下すことができると言える。

3.4.5 事業危険度の分布評価

本評価では FMEA の評価手法を参考にした。一般的に FMEA では、評価要素（発生頻度、影響度及び検出度）の積から求められる危険優先度（Risk Priority Number：RPN）を基に対応の優先付けを行っている。これを参考に、この評価では各事業危険度を以下の式から導出された数値と比較して分布ごとに分けることで、リスクの対策の優先順位を決めるといったことを行う。

$$\begin{aligned} A &= \text{重要度の平均値} \times 3 \times 3 \times 3 \\ B &= \text{重要度の平均値} \times 4 \times 4 \times 4 \end{aligned} \quad (\text{式 3.3})$$

上式の“3”及び“4”の値はそれぞれ致命度、発生率及び不透明度の値が“3”もしくは“4”だった場合を想定している。つまりチェックリストの評価要素である致命度、発生率及び不透明度が全て“3”だった場合と全て“4”だった場合が分布の境界の値として設定した。算出した事業危険度が B 以上の場合はリスクに対して早急な対策が必要とされるので“致命的項目”， A と B の間の場合はリスクの影響を注視しておかなければならないので“注視項目”， A よりも小さい場合はリスクの影響が小さく許容できることから“許容項目”，と設定した。表 3.19 と表 3.20 に事業危険度の結果を致命的項目，注視項目及び許容項目に分類分けして示す。

表 3.19 事業危険度の分布評価結果（その1）

| 小項目 | 事業危険度 | 分布 | 結果 |
|-----------------------------|-------|------|-------|
| デモ／テロ／戦争の発生 | 400 | ≥340 | 致命的項目 |
| エンジニアの権限の妥当性 | 216 | ≥144 | 注視項目 |
| 入札対応の実施体制 | 210 | | |
| 発注者の事業実施能力 | 192 | | |
| 事業実施の実現性(用地取得) | 192 | | |
| 契約工期の妥当性 | 192 | | |
| 事業予算 | 180 | | |
| 見積価格／政府予算 | 180 | | |
| 設計、設計図書、設計図面の精度 | 180 | | |
| 供与条件 | 180 | | |
| 他の契約パッケージ | 162 | | |
| 一般仕様書の精度 | 162 | | |
| 入札評価基準の妥当性 | 160 | | |
| 設計基準の片務性 | 144 | | |
| 入札評価コンサルタントの品質 | 144 | | |
| 仕様書からの変更の際の承認 | 144 | | |
| 自然災害の発生 | 128 | | |
| 建設期間中の政変 | 128 | | |
| 建設期間中の法令変更 | 120 | | |
| 事業資金 | 120 | | |
| 工事費増加への措置／対応 | 120 | | |
| 工期延伸に対する追加費用の承認 | 120 | | |
| 文化・風習・慣習・治安等 | 108 | | |
| 住民認知度 | 108 | | |
| 計画策定の完成度 | 108 | | |
| 業務完了に関する条件 | 108 | | |
| 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | 108 | | |
| 第三者機関に起因する工事遅延の場合の工期延伸／追加費用 | 108 | | |
| 設計基準の片務性 | 108 | | |
| 調停／仲裁の条件 | 108 | | |
| 設計不備による着工の遅延 | 108 | | |
| 契約パッケージ規模の妥当性 | 96 | | |
| 事業費の妥当性 | 96 | | |
| 入札評価方式 | 96 | | |
| 契約条件書の片務性 | 96 | | |
| 支払条件の妥当性 | 96 | | |
| 対象国の理解 | 84 | | |
| 経済・財政状態 | 72 | | |
| 融資機関との調整 | 72 | | |
| 事業実施の実現性(支障物) | 72 | | |
| 事業予備費の妥当性 | 72 | | |
| 入札指示書の精度 | 72 | | |
| 第三者機関に起因する工事の遅延 | 72 | | |
| 適用法制度の妥当性 | 72 | | |
| 遅延損害賠償金の妥当性 | 72 | | |
| 契約通貨 | 72 | | |
| エスカレーション条項 | 72 | | |
| 発注者指示の設計変更による工期延伸 | 72 | | |

表 3.20 事業危険度の分布評価結果（その2）

| 小項目 | 事業危険度 | 分布 | 結果 |
|--------------------|-------|------|------|
| 発注者指示の設計変更による追加費用 | 72 | <144 | 許容項目 |
| 工期延伸に関する条件(罰則の有無) | 72 | | |
| 第三者機関との調整および対応 | 72 | | |
| 施工監理コンサルタントの契約条件 | 72 | | |
| 会社戦略との整合性 | 70 | | |
| 下請け業者 | 70 | | |
| 第三者機関(電力公社、等)との調整 | 64 | | |
| 資格審査(PQ)の妥当性 | 64 | | |
| 土地収用/住民移転の遅れ | 60 | | |
| 競合における優位性 | 56 | | |
| 現地法人・事務所の有無および支援体制 | 56 | | |
| 建設市場の変動 | 54 | | |
| 事業実施に関する国家計画 | 48 | | |
| 事業実施の実現性(アクセス) | 48 | | |
| 入札期間の妥当性 | 48 | | |
| 工事の品質管理の方法 | 48 | | |
| 自組織のローカルスタッフ | 42 | | |
| 建築許認可の取得 | 42 | | |
| 自然災害に起因する工期延伸の対応 | 36 | | |
| 支払い遅延時の利息 | 36 | | |
| 設計変更に起因する工期延伸の条件 | 36 | | |
| 着工時期の変動による契約工期の変更 | 36 | | |
| 施工監理コンサルタントの能力 | 36 | | |
| 工事の実施能力 | 35 | | |
| 運転資金の確保 | 35 | | |
| 建設許認可 | 32 | | |
| 安全・環境等の法制度 | 32 | | |
| 入札保証 | 32 | | |
| 入札評価期間の遅延の可能性 | 32 | | |
| 工事の実施体制 | 28 | | |
| 工事業者に起因する工事の遅延 | 28 | | |
| 契約方式の妥当性 | 24 | | |
| 契約言語 | 24 | | |

表 3.19 と表 3.20 から，“デモ・テロ・戦争といった回避不可事象”が致命的項目に入っていることが確認できる。よって早急にこの項目が発生した場合にどのような対策ができるかということを考慮する必要があるが出てくる。また“エンジニアの権限の妥当性”と“契約工期の妥当性”が注視項目になっている点から、片務的な契約になっていないか注視する必要があることがわかる。また，“契約言語”が許容項目に入っていることから、言語のリスクは優先度が低く、早急な対策は必要とされないことが確認できる。

このように事業危険度の分布評価から事業危険度の優先付けをすることが可能となり、効率的なリスクの対処が可能となったと考える。

3.5 定性視点と定量視点の統合

本研究では、定性視点と定量視点の統合を行うことによって、互いの視点のデメリットが補完されるのではないかと推測している。そこで前節の定性評価の結果を定量評価に反映させることでこの推測の検証を行えるようにする。反映のためには定性評価から導出された事業危険度を定量評価で扱える形式に変換させる必要がある。この変換は以下の式から行う。

$$\text{変換後の値} = \frac{\text{各事業危険度} \times 10}{\text{各重要度} \times 5 \times 5 \times 5} \quad (\text{式 3.4})$$

上式のようにすることで、事業危険度を1から10の間の数値で出力することができる。表 3.21 に変換結果を示す。

表 3.21 変換結果

| 小項目 | 変換後 |
|--------------------|------|
| 事業予算 | 5.5 |
| デモ／テロ／戦争の発生 | 10.0 |
| 自然災害の発生 | 6.8 |
| 対象国の理解 | 4.7 |
| 建築許認可の取得 | 5.3 |
| 建設期間中の法令変更 | 6.0 |
| 建設期間中の政変 | 8.0 |
| 建設市場の変動 | 6.0 |
| 発注者の事業実施能力 | 6.3 |
| 事業実施の実現性(アクセス) | 6.0 |
| 事業実施の実現性(支障物) | 6.0 |
| 契約パッケージ規模の妥当性 | 5.2 |
| 計画策定の完成度 | 4.4 |
| エスカレーション条項 | 6.0 |
| 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | 6.0 |
| 仕様書からの変更の際の承認 | 7.0 |
| 工期延伸に対する追加費用の承認 | 4.0 |
| 遅延損害賠償金の妥当性 | 6.0 |
| 入札対応の実施体制 | 4.0 |
| 工事の実施能力 | 2.5 |
| 運転資金の確保 | 2.0 |
| 下請け業者 | 4.0 |

表 3.21 のように変換を行った後、次に各小項目がどのような影響の仕方をするのかを考慮する必要がある。この説明は 3.6.4 項に記述する。

実際にこの手法を扱う場合は全項目を変換すべきと思われるが、本研究では影響度を理解しやすい一部の項目のみに留めている。

3.6 定量評価の適用及び結果

定量評価ではリスクが収益に対して与える度合いを知ることが目的としている。この評価のために、DDPに基づいた影響ダイアグラム、逆損益計算図及び損益確認表を作成する。これらの説明を以下の項で行う。

3.6.1 影響ダイアグラムの作成

定量評価の最終的な評価指標は利益（率）といった事業価値である。そしてこの評価指標を算出するためには利益に対してどんな要素が影響しているのかを知る必要があると考えられる。そこで利益に対する影響の可視化を行うために、影響ダイアグラムを作成する。影響ダイアグラムとは、利益に対してどんな要素が影響しているのかを末端まで抽出したものである（福澤, 2009）。抽出する要素は“材料費”といった定量的な要素以外にも“現地国理解度”といった定性的な要素も抽出する。影響ダイアグラムは契約パッケージなど適用題材によって抽出する要素が変化する。本研究では、鉄道システムの契約パッケージを仮定して説明を行う。図 3.3 に適用題材の影響ダイアグラムを示す。

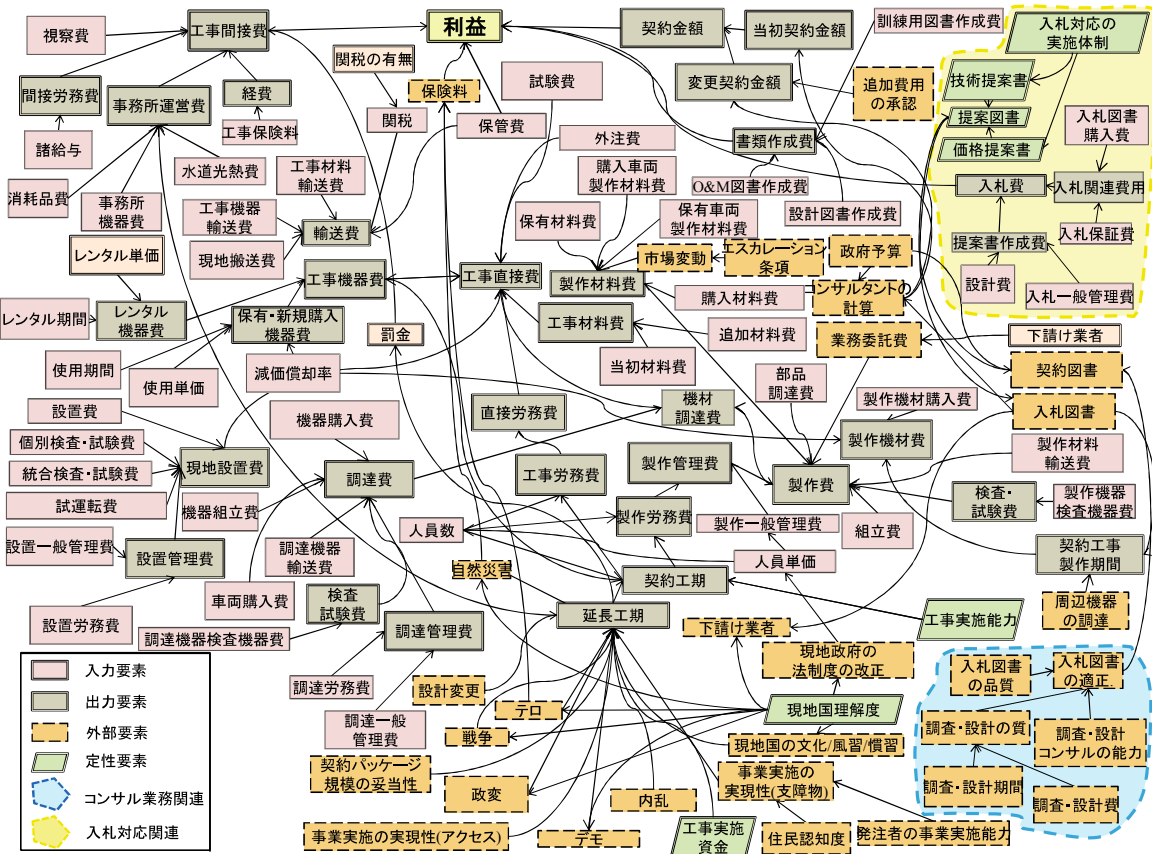


図 3.3 適用題材の影響ダイアグラム

3.6.2 逆損益計算図及び損益確認表の作成

実際の事業では、計画段階である程度の金額の見積もりを行うステップがある。しかし図 3.3 から確認できるように、鉄道建設事業には多数の要素が“利益”を構成している。そのためどの要素の値が明瞭・不明瞭なのか曖昧になってしまい、利益を上げるための行動を得ることが困難となる可能性がある。そこで、この曖昧な状態からある程度明確な状態まで昇華させるために利益の細分化を行う（小川, 2012）。この細分化のために作成されるものが逆損益計算図及び損益確認表である（福澤, 2009）。

逆損益計算図とは利益に影響する数値的な要素を末端まで洗い出した図のことである。そして損益確認表とは逆損益計算図の入力要素に最大値から最小値と数値の幅（仮説）を設定した表のことである。これらを作成することによって仮説を変動させた定量的な利益計算、つまりモンテカルロシミュレーション（神山他, 1997）を行うことが可能となる。図 3.4 に適用題材の逆損益計算図を、表 3.22 と表 3.23 に適用題材の損益確認表を示す。

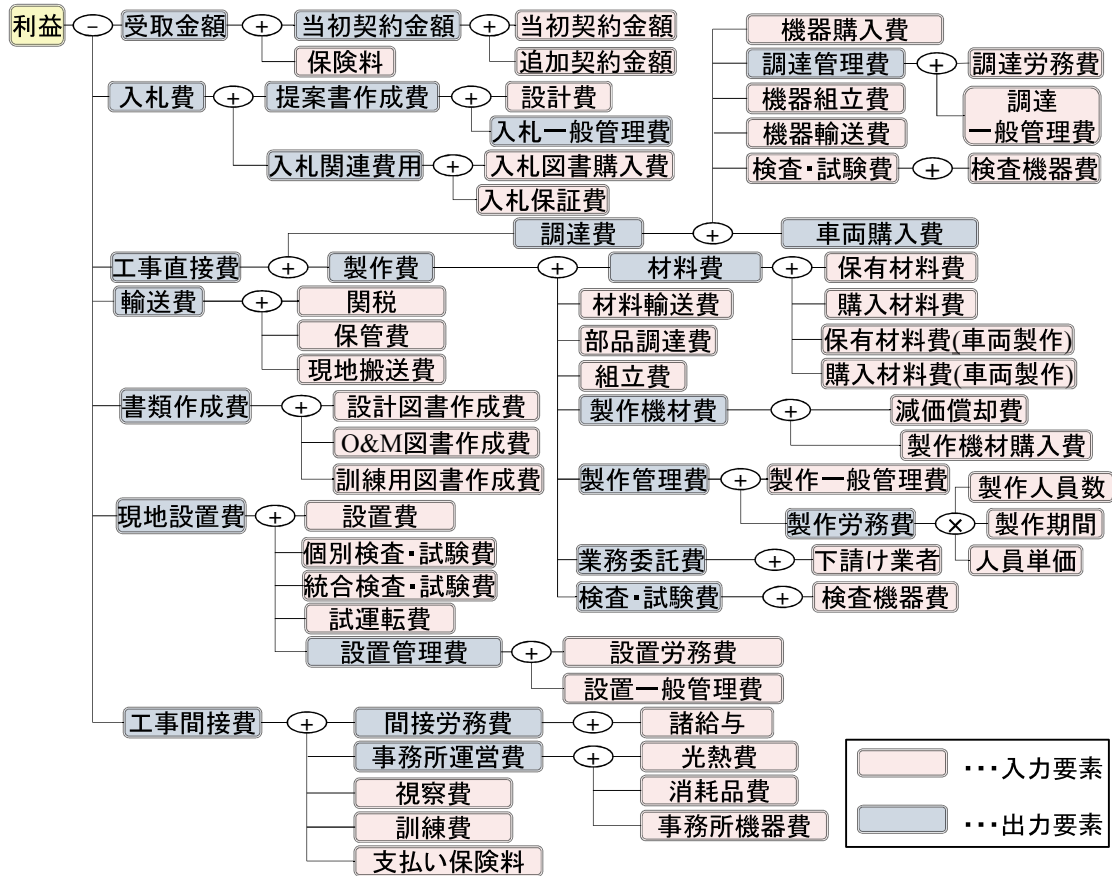


図 3.4 適用題材の逆損益計算図

表 3.22 適用題材の損益確認表（その1）

| | 数値 | 単位 | 最大値 | 基準値 | 最小値 |
|-----------|-------|----|--------|-------|-------|
| 利益率 | 3.1 | % | | | |
| 利益 | 12.9 | 億円 | | | |
| 支給金額 | 423.4 | 億円 | | | |
| 契約金額 | 422.9 | 億円 | | | |
| 当初契約金額 | 422.9 | 億円 | 447.3 | 422.9 | 394.6 |
| 変更契約金額 | 0 | 億円 | 5 | 2.5 | 0 |
| 支給保険金 | 0.5 | 億円 | 5 | 0.5 | 0 |
| 支出 | 410.6 | 億円 | | | |
| 入札費 | 1 | 億円 | | | |
| 提案書作成費 | 7,500 | 万円 | | | |
| 設計費 | 5,000 | 万円 | 12,000 | 5,000 | 3,000 |
| 入札一般管理費 | 2,500 | 万円 | 6,000 | 2,500 | 1,000 |
| 入札関連費用 | 2,500 | 万円 | | | |
| 入札図書購入費 | 2,000 | 万円 | 4,500 | 2,000 | 1,000 |
| 入札保証費 | 500 | 万円 | 3,000 | 500 | 100 |
| 書類作成費 | 66.5 | 億円 | | | |
| 設計図書作成費 | 64 | 億円 | 66 | 64 | 55 |
| O&M図書作成費 | 2 | 億円 | 5 | 2 | 1 |
| 訓練用図書作成費 | 5,000 | 万円 | 10,000 | 5,000 | 3,000 |
| 機材調達費 | 278.4 | 億円 | | | |
| 製作費 | 194.4 | 億円 | | | |
| 製作材料費 | 60 | 億円 | | | |
| 保有材料費 | 5 | 億円 | 10 | 2 | 0 |
| 購入材料費 | 55 | 億円 | 65 | 55 | 50 |
| 保有車両製作材料費 | 0 | 億円 | 25 | 20 | 10 |
| 購入車両製作材料費 | 0 | 億円 | 80 | 72.5 | 65 |
| 部品調達費 | 10 | 億円 | 15 | 10 | 5 |
| 製作機材費 | 12.9 | 億円 | | | |
| 減価償却率 | 0.14 | % | 0.16 | 0.14 | 0.12 |
| 製作機材購入費 | 15 | 億円 | 25 | 15 | 10 |
| 材料輸送費 | 1.5 | 億円 | 3.5 | 1.5 | 1 |
| 業務委託費 | 40 | 億円 | | | |
| 下請け業者 | 40 | 億円 | 60 | 40 | 35 |
| 組立費 | 5 | 億円 | 5.5 | 5 | 4.5 |
| 検査・試験費 | 1 | 億円 | | | |
| 製作機器検査機器費 | 1 | 億円 | 3 | 1 | 0.8 |
| 製作管理費 | 64 | 億円 | | | |
| 製作労務費 | 54 | 億円 | | | |

表 3.23 適用題材の損益確認表（その2）

| | | | | | 数値 | 単位 | 最大値 | 基準値 | 最小値 |
|-----------|--|--|--|--|-------|------|-------|-------|-------|
| | | | | | 3 | 千人 | 4.5 | 3 | 2 |
| | | | | | 0.2 | 万円/日 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |
| | | | | | 930 | 日 | | | |
| | | | | | 900 | 日 | 1,200 | 900 | 800 |
| | | | | | 30 | 日 | 1,000 | 30 | 0 |
| 製作一般管理費 | | | | | 10 | 億円 | 12 | 10 | 8 |
| 調達費 | | | | | 84.0 | 億円 | | | |
| 機器購入費 | | | | | 4 | 億円 | 6 | 4 | 1 |
| 機器組立費 | | | | | 1 | 億円 | 1.2 | 1 | 0.8 |
| 車両購入費 | | | | | 72 | 億円 | 100 | 72 | 65 |
| 検査・試験費 | | | | | 4 | 億円 | | | |
| 調達機器検査機器費 | | | | | 4 | 億円 | 4.5 | 4 | 3.5 |
| 機器輸送費 | | | | | 1 | 億円 | 2 | 1 | 0.5 |
| 調達管理費 | | | | | 2 | 億円 | | | |
| 調達労務費 | | | | | 1 | 億円 | 1.2 | 1 | 0.8 |
| 調達一般管理費 | | | | | 1 | 億円 | 1.2 | 1 | 0.8 |
| 輸送費 | | | | | 4.9 | 億円 | | | |
| 関税 | | | | | 4,000 | 万円 | 4,500 | 4,000 | 3,500 |
| 保管費 | | | | | 1 | 億円 | 1.5 | 1 | 0.5 |
| 現地搬送費 | | | | | 3.5 | 億円 | 5 | 3.5 | 1 |
| 現地設置費 | | | | | 47 | 億円 | | | |
| 設置費 | | | | | 24 | 億円 | 28 | 24 | 20 |
| 個別検査・試験費 | | | | | 2 | 億円 | 4 | 2 | 1 |
| 統合検査・試験費 | | | | | 3.5 | 億円 | 5 | 3.5 | 3 |
| 試運転 | | | | | 6.5 | 億円 | 8 | 6.5 | 6 |
| 設置管理費 | | | | | 11 | 億円 | | | |
| 設置労務費 | | | | | 1 | 億円 | 1.2 | 1 | 0.8 |
| 設置一般管理費 | | | | | 10 | 億円 | 12 | 10 | 8 |
| 間接費 | | | | | 12.8 | 億円 | | | |
| 間接労務費 | | | | | 1 | 億円 | | | |
| 諸給与 | | | | | 1 | 億円 | 1.5 | 1 | 0.5 |
| 事務所運営費 | | | | | 4.3 | 億円 | | | |
| 水道光熱費 | | | | | 1.5 | 億円 | 2 | 1.5 | 0.8 |
| 消耗品費 | | | | | 2,500 | 万円 | 5,000 | 2,500 | 1,000 |
| 事務所機器費 | | | | | 2.5 | 億円 | 3.0 | 2.5 | 1.5 |
| 製作保険料 | | | | | 4 | 億円 | 15 | 4 | 1 |
| 視察費 | | | | | 1 | 億円 | 1.5 | 1 | 0.5 |
| 訓練費 | | | | | 2.5 | 億円 | 3 | 2.5 | 2 |

3.6.3 Smalltalkを使用したシステムの適用

本研究では、定量評価によってリスク項目が利益に与える影響の度合いを得ている。そこで作成した影響ダイアグラム、逆損益計算図及び損益確認表からモンテカルロシミュレーションを行うことによって最終的な期待利益率を算出し、これを定量評価の基準としている。トルネードチャートの作成及びモンテカルロシミュレーションを行うために、オブジェクト指向型プログラミング言語である Smalltalk を使用し、統合

設計道具箱 (iDeT) に実装して影響ダイアグラムの作成やモンテカルロシミュレーションを行った。

「統合設計道具箱 (iDeT)」は、山口大学機械工学専攻古賀研究室により、製品開発における設計を対象に知的な生産活動の過程を解明し、支援する手法の研究を行う目的で開発されたシステム設計におけるツールである。多種多様な機能を備え、それらを統合して設計を行う上で必要な道具が揃っているソフトウェア群 (=箱) である。

この Smalltalk を使用するメリットは、作成した影響ダイアグラム及び逆損益計算図の見える化を実現することが可能であり、またプログラミングを行うことによってシミュレーションを迅速に行うことができるからである。Smalltalk のブラウザ概要図を図 3.5 に、クラスの階層キーの図を図 3.6 に示す。

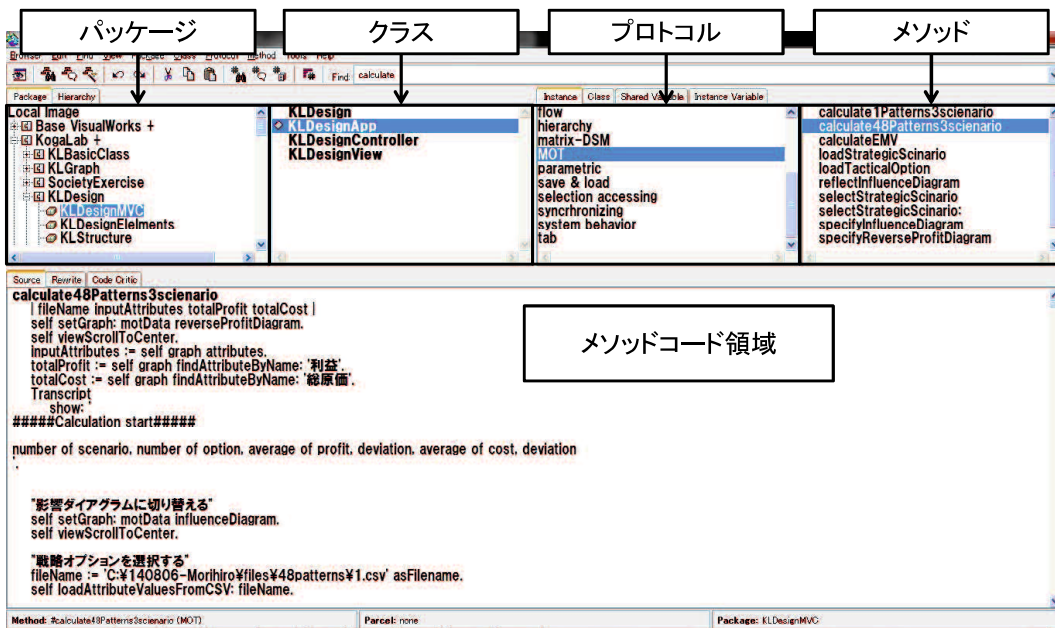


図 3.5 Smalltalk のブラウザ

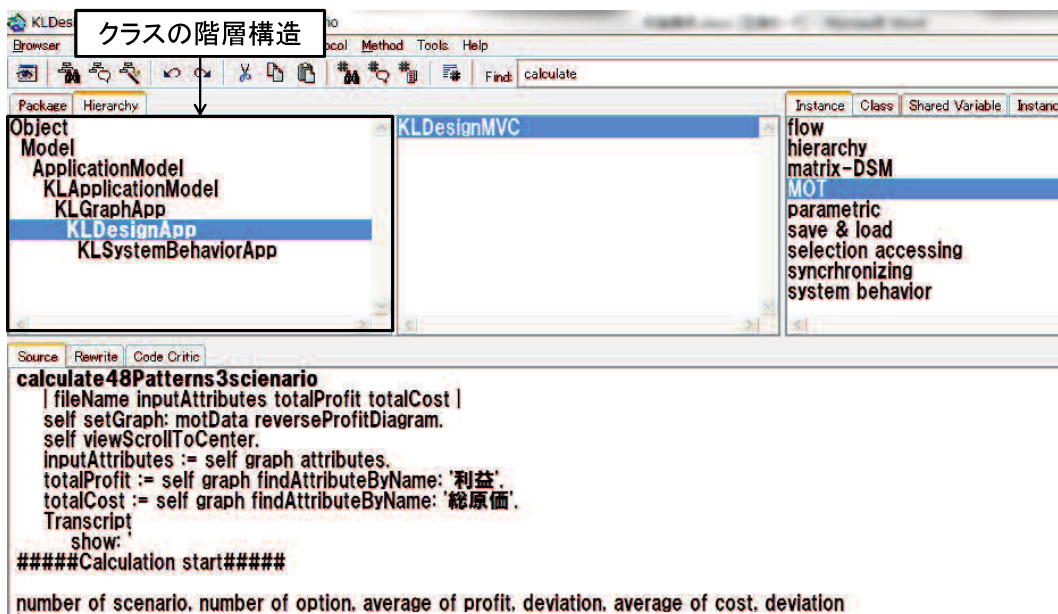


図 3.6 クラスの階層構造

図 3.5 のパッケージは最上位の構成要素でありフォルダの役割を持つ。パッケージ内にあるクラス、クラス内にあるプロトコルと言うラベルのメソッドを定義することが Smalltalk の基礎とも言える。このメソッドでは数値要素（ノード）や四則演算要素、モンテカルロシミュレーション、その結果のヒストグラムといった出力まで定義することが可能である。図 3.6 から Smalltalk は複数のクラスの階層構造を持っていることが確認できる。上位のクラスには下位のクラスの内容を継承させることができ、下位クラスで定義したメソッドを利用することが可能である。これによって同じメソッドを繰り返し定義する手間を省くことが可能である。

次にパラメトリック図の基礎を説明する。本研究では、影響ダイアグラム及び逆損益計算図を Smalltalk 上でパラメトリック図という形式で表現した。パラメトリック図とは数値間の制約と計算を明らかにした図のことである。図 3.7 にパラメトリック図の概要図を示す。

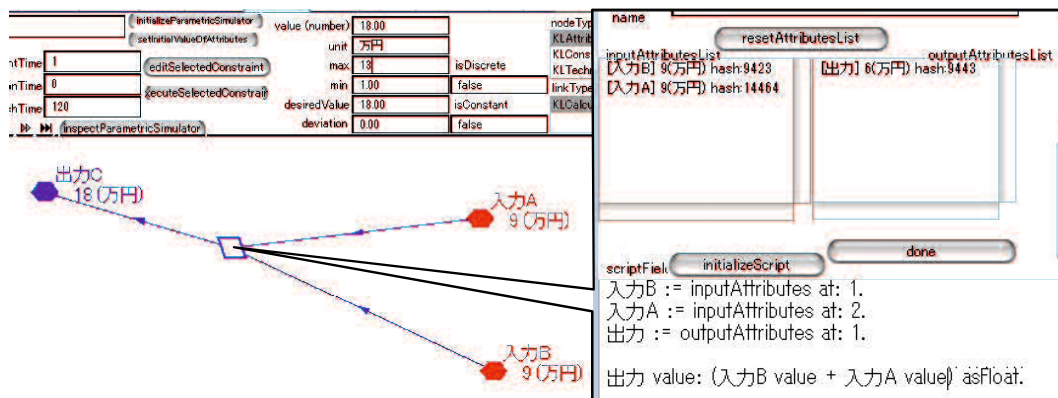


図 3.7 パラメトリック図の概要図

図 3.7 の左側に簡単なパラメトリック図を示している。そして右側にノード間の数値間の制約と計算を示している。図 3.7 では“入力 A”と“入力 B”の和から“出力 C”を得ていることが確認できる。これを応用することによってシステム上で影響ダイアグラム及び逆損益計算図を作成した。

3.6.4 定性評価結果の反映

次に 3.5 節で変換した定性評価の結果をシステム上に反映させる。図 3.8 に結果を反映した図を示す。

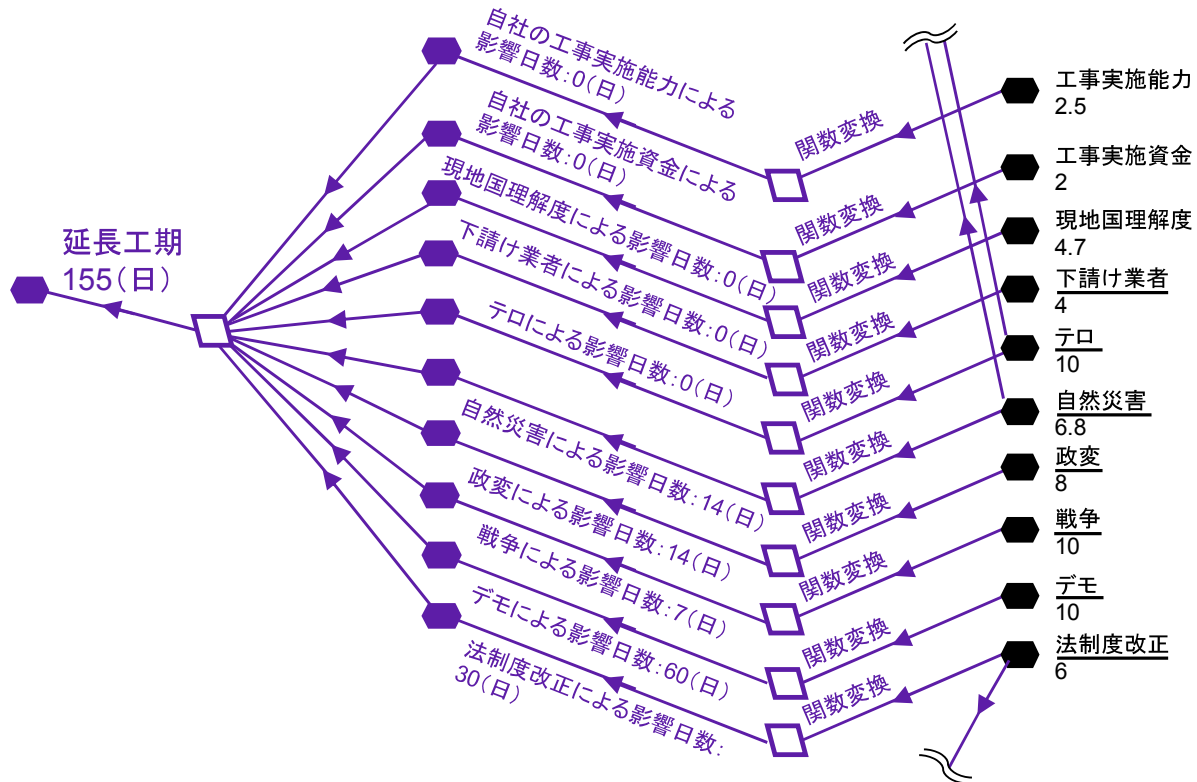


図 3.8 定性評価の結果反映

図 3.8 から定性評価の結果の一部が延長工期の日数といった変数を決定していることが確認できる。図 3.8 の右側の要素が図 2.3 の影響ダイアグラムにおける定性要素を示しており、下線のある要素が外部要素を示している。“デモ”を例とすると、デモのリスクが 0 の場合，“デモによる影響日数”は 0 日、リスクが最大値 10 の場合，“デモによる影響日数”は 60 日となる。そしてその間の数値は、設定した関数に沿うものとした。設定する関数は、例えば一次関数、指数関数、正規分布等に従う関数がある。図 3.8 ではデモのリスクは 10 なので、影響日数は最大値の 60 日となっていることが確認できる。

このように延長工期といった数値化できる要素の変数を定性評価の結果を用いて決定させる。そしてその結果を逆損益計算図に反映させ、モンテカルロシミュレーションを行うことによって最終的な利益計算を行った。

3.6.5 定量評価の結果

本研究では、逆損益計算図の末端の要素を最小値から最大値の一様乱数を使用することで、モンテカルロシミュレーションを行っている。図 3.9 にモンテカルロシミュレーションの結果を示す。

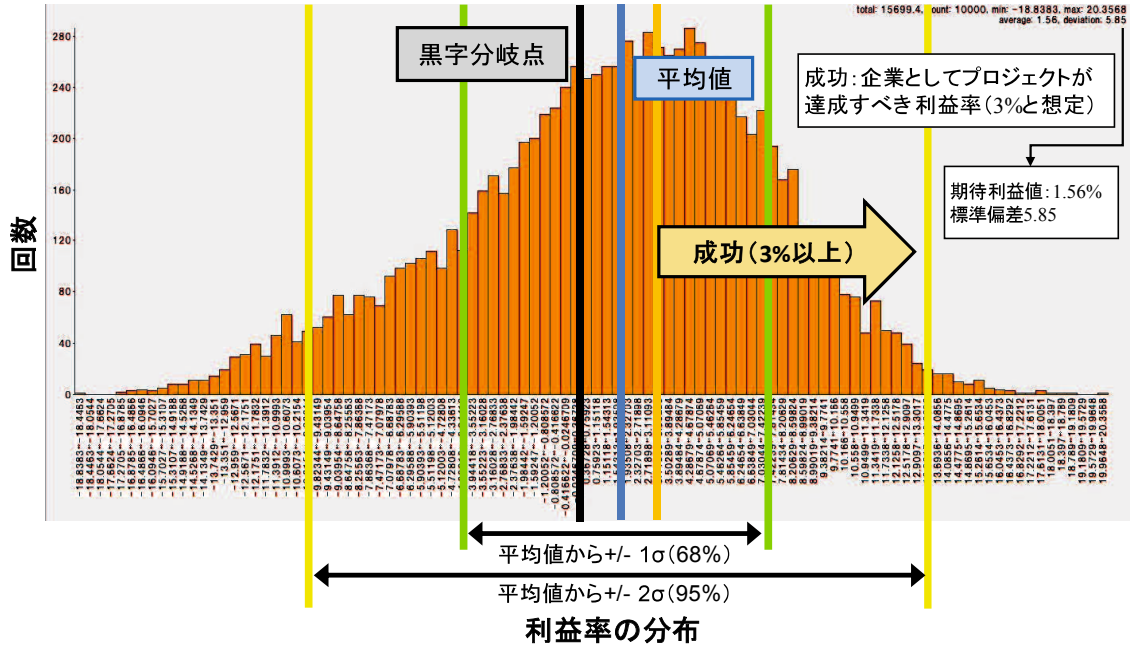


図 3.9 モンテカルロシミュレーション結果

図 3.9 から適用題材の期待利益率は 1.56%，結果の標準偏差は 5.85 となった。この結果を踏まえて、結果が標準偏差に従ったものと仮定して区間推定を行う。区間推定の結果を表 3.24 に示す。

表 3.24 区間推定結果

| 期待利益率 [%] | 標準偏差 | 68% : ($\mu \pm \sigma$) | | 95% : ($\mu \pm 2\sigma$) | |
|-----------|------|----------------------------|------|-----------------------------|-------|
| | | 最小値 | 最大値 | 最小値 | 最大値 |
| 1.56 | 5.85 | -4.29 | 7.41 | -10.14 | 13.26 |

表 3.24 から出力データの約 68%が利益率-4.29%と 7.41%の間に収まり、約 95%が利益率-10.14%と 13.26%の間に収まるということが確認できる。企業により建設事業から得られる利益（営業利益）の最低限の期待値は異なると思われるが、一般的には最低でも 3%程度が求められると推察される。このため、上記のシミュレーションの結果から、事業実施が成功と言える最低限の営業利益を達成する確率は低いという結果が出ており、実際の事業としてはリスクが高い結果だと推定される。

3.7 第3章の総括

3.4節から3.6節までの結果を大まかにまとめる。定性評価の結果としては、リスク発生率評価(3.4.3項)では適用題材は及第点といった評価で、事業危険度の総合点評価(3.4.4項)では素性は良いと判断されて、事業危険度の分布評価(3.4.5項)では致命項目があるのでその対策を求められていた。定量評価の結果としては、定性評価を反映させたモンテカルロシミュレーション(3.4.5項)の結果では収益性が低いと判断された。ここで実際の適用題材の素性を明らかにする。適用題材のタイ国の空港アクセス鉄道(エアポートリンク)建設事業は、当初建設期間を900日、総合システム試験を90日と予定されていたが、建設用地引渡しの遅れ、洪水の影響、建設物価の高騰及び開業準備前の暴動などによって着工、工事完了及び開業全てが遅れてしまった。この結果を踏まえて、妥当な結果を出せたものはモンテカルロシミュレーションによる定量評価であった。この理由としては、不確実性の高い要素の変数幅を大きく設定したりして、外部からの影響をある程度考慮できたからであると推察した。それに対して、定性評価の結果の妥当性が低い理由としては、上述した実際に発生したリスクが全て自組織に起因するものではなかったからと考えた。定性チェックリストの評価要素として設けた“重要度”の数値は自組織に起因するリスク項目に対して大きな比重をかけていた(表3.12から表3.16)。つまり、この結果からリスクを高く考慮すべき対象は不確実性の高いもの、すなわち自組織には起因しないリスクであると考えることができ、以上の点が原因で定性評価の結果と適用題材の実情との大きな乖離が発生したものと推察した。また、実際に適用題材で発生したリスク項目はチェックリスト内で考慮されているにも関わらず、“致命度”が過小評価されているといったことが起きている(土地収用や住民移転の遅れ等)。このことから、評価要素の致命度に何らかの改善を加える必要があるということが考えられる。

以上の結果から、定性評価の数値入力に改善点があることが確認された。しかし損益確認表(表3.22及び表3.23)の想定した利益率が3.1%であったのに対して、定量評価の結果の期待利益率が1.56%と妥当性の高い結果を導き出すことができた。このことからFMEAを基にした定性評価の一部を、DDPを基にした定量評価に統合することによって、定量評価に存在した“外部要素を評価することの困難性といったデメリット”を補完することの有効性が示されたと判断される。

第4章 定性リスク評価におけるリスク項目の網羅性及び信頼性の向上

4.1 第4章の概要

前章で作成した定性チェックリストは業務熟練者の経験則に高く依存するが、事業に多く内在するリスクを包括的に網羅するうえで見落とす項目が出る可能性が高く、より能動的かつ多面的にリスクを抽出し、定性評価の結果の精度を高めることができるのではと仮定した。

また前章の結果から、定性評価の数値入力の実験性向上の必要性が求められることが確認できた。定量評価の実験性が高いと判断されたので、その結果を基に定性チェックリストを扱うことができれば、定性評価の実験性を向上させることができるのではないかと仮定した。

以上をまとめて、本章ではリスク項目の網羅性向上及び定性リスク評価の実験性向上について記述する。

4.2 リスク項目の網羅性向上及び定性リスク評価の実験性向上を考慮したフローチャート

4.2.1 リスク項目の網羅性向上

リスク項目の網羅性向上のためには、業務熟練者の経験以外に新たなリスク抽出法を採用することが不可欠である。前章に示したリスク抽出手法は、製造現場における装置や機器の故障といった狭い範囲を対象にしているため、先ほど述べた広い事業環境を考慮することは困難であると考えた。業務熟練者が見落とすようなリスク項目を抽出するためには、幅広い事業環境を考慮する必要があると考えた。そこで本研究では、リスクへの影響要素を能動的・多面的に抽出する目的で、外部要因の分析手法において代表的なバリューチェーン分析、PEST (Politics, Economy, Sociology, Technology) 分析及び5フォース分析を基にリスクを抽出した。

4.2.2 定性評価の実験性向上

定性評価の実験性向上のために、まず前章で問題点として挙げた定性チェックリストの評価項目“重要度”を考慮した。“重要度”はチェックリストの大項目の比率を表現したものである。どの大項目でも事業に対して大きな影響を持つリスク項目があるが、仮にある項目の致命度が高くても、重要度が小さいとその事項が発生した場合、事業に大きな影響を及ぼす項目であるにも関わらずその項目の事業危険度は過小評価されてしまうことになる。このため、大項目の比率はあまり影響のないものと推測し、定性チェックリストの重要度の評価要素を全て同じ値、つまり比率の差が無いものと考えて大項目の重要度は考慮せず、致命度において相対的に適切な数値を入力することとした。

次に他の評価要素の評価方法について考慮する。“発生率”は実データなどから信頼性の高い評価をすることが可能である。“不透明度”は経験も踏まえた過去の事例を参考にしながらある程度の評価をすることが可能である。しかし“致命度”は定量評価などに必要な項目であるのにも関わらず、前章のように過小評価されてしまう可能性がある。そこで致命度を信頼性のあるデータから得るため影響ダイアグラム及び逆損益計算図から求める方法を模索した。致命度とはリスクそのものの大きさを示している。そこで影響ダイアグラム上で対象のリスク項目の下流に位置している要素の影響度が大きければ、必然とそのリスク項目の致命度が大きいと評価できるのではないかと推測した。例えば，“契約金額”という要素が利益に対して影響度が高いと必然とそれに影響を与える“コンサルタントの計算”といった項目の致命度が高くなるという考えである。これを行うために、1.2.4項に記した感度分析の手法を参考にした。

4.2.3 作成したフローチャート

以上の修正点を考慮して新たな評価を考慮した手法の流れを明白にするために、事業評価フローチャートを再作成した。図 4.1 に新たなフローチャートを示す。

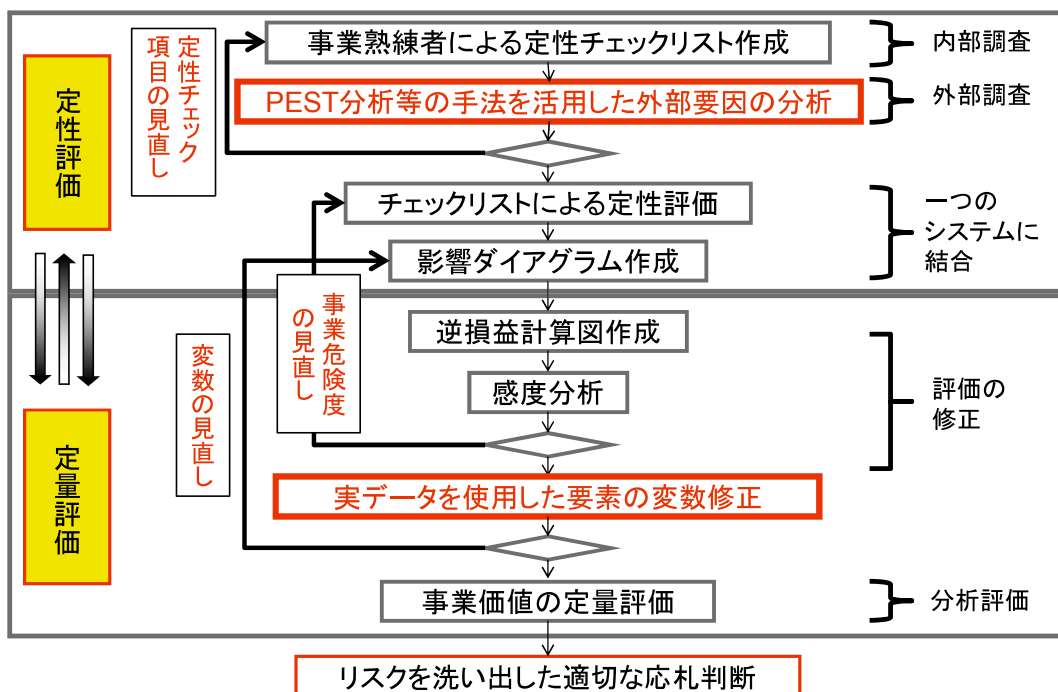


図 4.1 新たに作成したフローチャート

図 4.1 に示したフローチャートから、業務熟練者へのヒアリングと外部要因の分析手法を活用して網羅性を高めて改善を行った二段階でリスク項目を抽出していることが確認できる。業務熟練者の経験のみの定性チェックリストでは、自組織に直接的に影響するリスク項目が多数を占めており、間接的に影響するリスク項目を抽出することが困難であると考えたからである。また感度分析の結果から事業危険度の評価をフィードバックしていることも確認できる。ここでは感度分析の結果から要素の影響度を算出することができ、それをリスク項目の致命度と照らし合わせて再評価を行っている。次節以降は新たな適用題材を基に、このフローチャートに従って説明を行う。

4.3 事業中の評価を目的とした適用題材の概要

追加及び修正を行ったフローチャートの適用題材として、実施中の国際インフラ事業であるインド共和国のバンガロールにて建設されているバンガロールメトロ建設事業の事例を現実的な仮定に基づいて評価することで提案手法の妥当性を検証する。工事实施中の案件を評価することによって、工事完了後の事後評価と比較及び検証を行うことが可能となる。（本章では「バンガロールメトロ建設事業」を「適用題材」とする。）

図 4.2 に適用題材の概要図を示す。

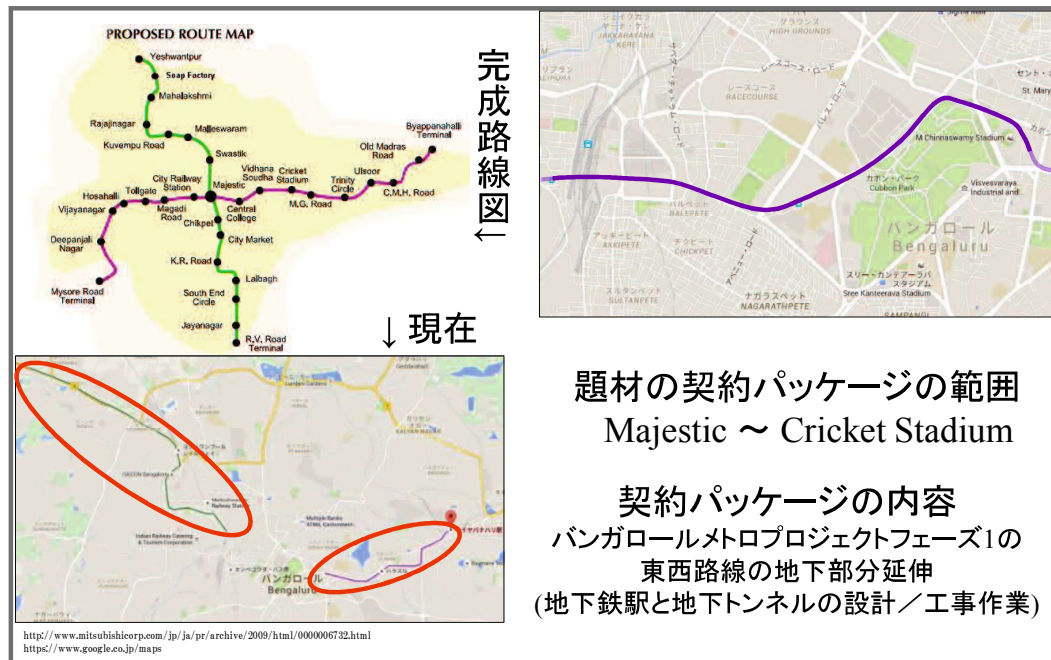


図 4.2 適用題材の概要図

4.4 新たな定性チェックリスト作成, 適用及び評価

定性チェックリストのリスク項目は、自組織に直接的に影響するリスク項目が多数を占めており、間接的に影響する事業リスク項目を抽出することが困難である。そこでリスクへの影響要素を能動的・多面的に抽出する目的で、外部要因の分析手法において代表的なバリューチェーン分析を発展させたクロスチェーン分析、PEST 分析及び 5 フォース分析を行うことで、事業リスク項目の網羅性を高め、リスク項目の漏れや抜けを防ぐ手法を提案する。外部要因を分析する手法は他にも、3C (Customer : 市場・顧客, Competitor : 競合, Company : 自組織・自社) 分析, アンゾフのマトリクス, 等様々あり, 初歩的な検討としてこれらの手法によるリスク項目の抽出を試みたが, 海外鉄道建設事業といった国際インフラ事業を対象とした場合に, これらの中からよりリスク要素を抽出しやすく, 異なる視点からの分析手法であるクロスチェーン分析, PEST 分析及び 5 フォース分析を導入することとした。これら 3 つの分析手法により多面的な観点からリスク項目を抽出することで, 他の外部要因の分析手法も用いたとしても, 結果的に抽出されるリスク項目はほぼ変わらないと推察できる。

4.4.1 クロスチェーン分析

最初の段階でバリューチェーン分析を拡張し, 事業のバリューチェーン上に潜伏する環境変化要因の抽出を行うことは意味があると考えられる。なぜなら, 企業の事業環境における価値の創造過程を包括的に把握し, そのうえで自組織の強み弱みを抽出することが事業価値の根源になるからである。本研究では, 物的対象に対する価値の付与過

程（素材、パーツ等）を表すバリューチェーンに加え、リスク評価の主対象である「工事」を含む事業実施の各段階の知的対象に対する価値の付与過程（設計データ、仕様等）を表すエンジニアリングチェーンを交差させ、自組織が管理する流れ“バリューチェーン”と自組織では管理できない流れ“エンジニアリングチェーン”の双方の観点からリスク項目を多面的に抽出して包括的に強み弱みを分析する手法である「クロスチェーン分析」を導入した。クロスチェーン分析は、図 1.7 に示す概念図の通り、物的価値である物の流れを時系列で縦軸に取り、知的価値である情報の流れ（発展と変更）を時系列で横軸に取り、共通項目である“工事”でクロスさせる。これらの両軸の各項目の関連性に着眼し、事業の各段階（情報の流れ）におけるリスク要素の抽出において、工事に関わる資機材調達の各段階（物の流れ）との関連性を考慮することで、気づきにくいリスク要素の抽出が可能になると考える。適用題材に対して行ったクロスチェーン分析により情報の流れの項目と物の流れの項目をクロスさせたマトリックス表を図 4.3 に示す。図内の赤字の項目は本分析によって追加されたリスク項目である。

| | 交通計画調査 | F/S | 詳細設計 | 入札 | 工事 | メンテナンス |
|---------|---|-------------------------|--|--|---|--|
| 原材料 | 将来のインフラ建設事業の増加による建設資材単価の変動・高騰 | 建設市場の傾向予測 | 構造設計の最適化及び共有化による材料の削減 代替先進材料の適用 | 競合に対する優位性 | 資機材の品質 | 原油価格の変動・高騰 外部要因による原料価格の高騰 |
| 原材料輸送 | 輸送業界の成熟による供給手段及び供給量の安定性 | 建設市場の傾向予測 | 大量一括発注によるコスト削減及び輸送手段の集約化 | 自社ネットワークによる安定した輸送手段の提示 導入可能なICT技術のアピール | サプライチェーンの最適化による適時輸送及び在庫の削減 ICT技術を活用したオンタイム供給 | 外部要因による製品到着の遅延 |
| 加工製品／重機 | 計画するインフラ建設事業全体の建設時期調整による市場の建設機材の有効活用 | 建設市場の傾向予測 地盤／地形の特微理解 | 工事手法の共通化による加工製品／建設機材数の削減 | 保有機材の優位性 他事業との共用による費用削減の可能性 | 掘削技術の進化 資機材の品質 固い岩盤の工事能力 | メンテナンス作業への新技術投入 |
| 工事 | 代替輸送手段との概略比較 他のインフラ建設時期との調整 | 工事規模把握 地盤／地形の特微理解 | 設計コンサルの経験・能力 工事費の適正評価 ライフサイクルコストを考慮した設計 | 現地事業経験 競合に対する優位性 資格審査の妥当性 契約図書品質の改善対応 | 工物品質管理の方法 洪水などの自然災害 設計変更による工期延伸 工事中の安全管理システム 工事要員の質 現地国の文化理解度 固い岩盤の工事能力 | アセットマネジメントシステムの導入 設計・工事関連データの適切な保管 交換部位の把握と交換部品の準備 診断システムの導入 |
| 鉄道事業者 | 現地の開発による需要増 渋滞緩和によるバス／タクシーなどの代替交通機関の予測 | 事業性評価 | 過剰な機能による採算性再調査 | 詳細設計の見直しによる入札延期 | 設計変更による工期延伸 | メンテナンス作業への新技術投入 メンテナンス人員の減少 高齢化 原油価格の変動・高騰 軌道システムの保障期間 構造物の保障期間 |
| 鉄道利用者 | 交通渋滞による鉄道需要増 渋滞損失の予測 | 格安運賃設定 | 乗客の動線を考慮した利便性の高い駅レイアウト バリアフリー設計の導入 共通チケット化への考慮 | 事業に関する情報の開示 事業によるメリットの説明 災害レジリエンスの提示 | 沿線住民からの理解 工事周辺地域への騒音・振動・交通渋滞等の影響 試運転期間中の試乗会による事業への認知拡大 | 短期修繕・復旧を可能とする構造・システム設計 非常時の代替手段の確保 夜間保守業務を想定した静粛メンテナンス技術 |

赤字の項目は本分析によって抽出され、リスク項目リストに追加すべき項目

図 4.3 適用題材のクロスチェーン分析結果のマトリックス

4.4.2 PEST分析

実際の事業環境では、自組織のみがバリューチェーン及びエンジニアリングチェーンに対して影響を与えることはなく、外部の要素からも影響を与えられることが多々ある。そこでこれらの付与過程上において発生しうる環境変化要因を抽出するためにPEST分析を行う。PEST分析で外部環境変化要因を政治的（Political）、経済的（Economical）、社会的（Sociological）及び技術的（Technological）の4つの要素に分けて抽出することにより、自組織及び事業に影響を与える環境変化要因を分析することが可能となることが推測される。図 4.4 に適用題材のPEST分析結果を示す。図内の赤字の項目は本分析によって追加されたリスク項目である。

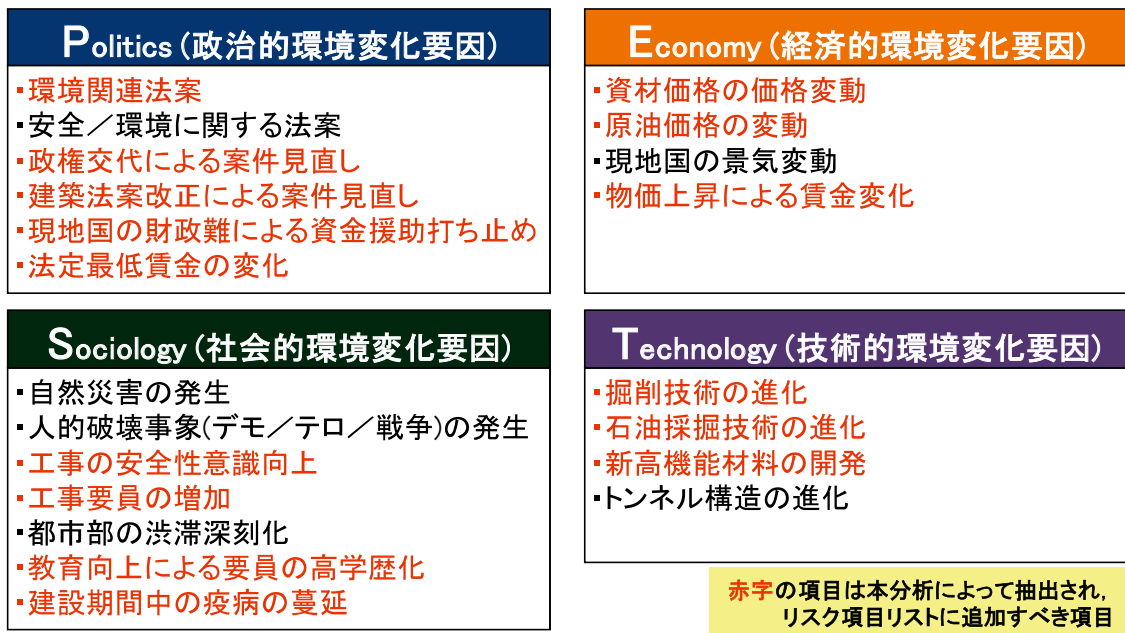


図 4.4 適用題材の PEST 分析結果

4.4.3 5フォース分析

実際の事業では図 4.4 に示した自組織の成功要因を揺るがすような競合が発生するため、こういったリスクを考慮しなければならない。そのために 5 フォース分析を行う。5 フォース分析では、上述したリスクを“新規参入の脅威”，“顧客の交渉力”，“代替製品・サービスの脅威”，“供給業者の交渉力”及び“既存競合企業同士の競争”と 5 つに分けて抽出する。図 4.5 に適用題材の 5 フォース分析の結果を示す。

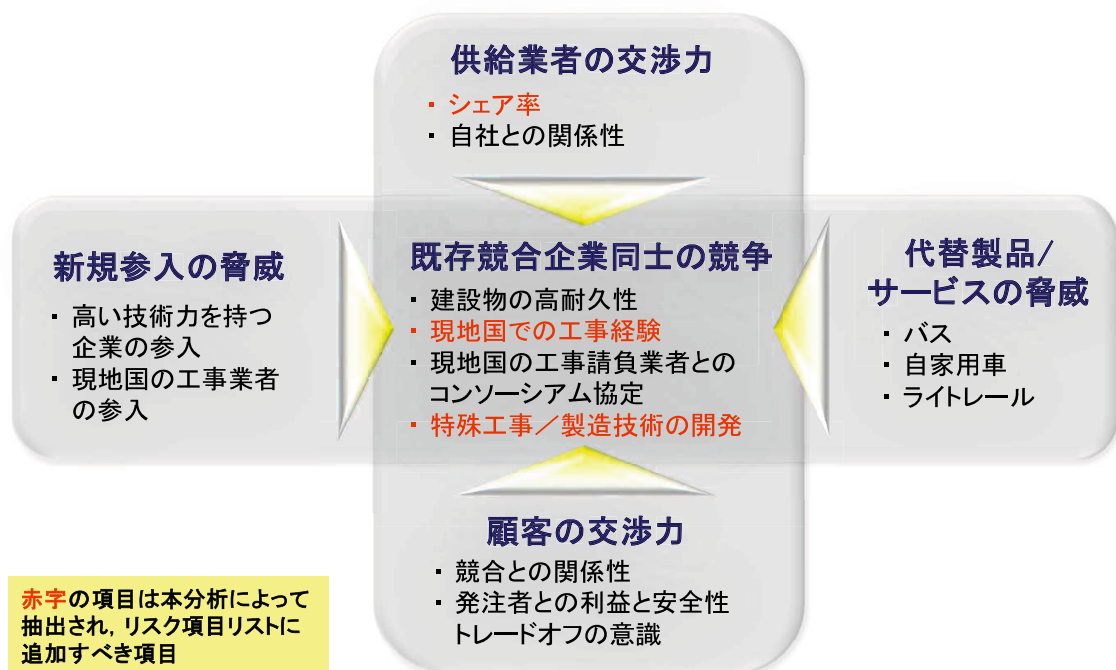


図 4.5 適用題材の 5 フォース分析

現実の事業入札の場面において、競争が発生する事実は無視することはできない。そこで、自組織の事業における参入障壁の高低を考慮して、自組織の立ち位置及び新規参入の脅威を考慮するために、5フォース分析を行う。この分析では、バリューチェーン分析で抽出した強み弱みを変動させる要因を、新規参入の脅威、顧客の交渉力、代替製品・サービスの脅威、供給業者の交渉力及び既存競争企業同士の競争の5つに分けて抽出する（図4.5）。

図4.3から図4.5中の赤文字で示した項目は、業務熟練者に対するヒアリングに基づいて作成した定性チェックリストのリスク項目には含まれていなかった項目であり、提案する手法により事業内の異なる段階における要素及び事業に影響を及ぼす外部要因を様々な角度から分析したことによって発見できた項目である。事業環境に間接的に影響する部分を分析することによって、プロジェクト外部に存在する新たな事業リスク項目及び影響のロジックを把握することが可能となる。例えば『原油価格の変動』について述べると、業務熟練者のインタビューでは建設時の機材の運用にのみ支障が出るものという回答であったが、バリューチェーン分析で流れにおいては、この要素は建設資材費にも影響を与えていることが確認でき、新たな影響のロジックを認知することが可能となった。以上の通り戦略手法によりリスク要素を洗い出し、それらを業務熟練者からのヒアリングによって作成された定性チェックリストのリスク項目に補完することで、定性チェックリストのリスク項目の網羅性及び汎用性を向上させることができると言える。

4.4.4 作成した新たなリスク項目リスト

業務熟練者が作成したリスク項目リストでは抽出できなかった項目を、図4.3から図4.5中に赤文字で示している。このように分けることによって、外部要因の分析手法を活用してリスク項目の網羅性を高められたことを明確にすることができるからである。そして新たに抽出された項目と業務熟練者作成のリスク項目リストを組み合わせることで新たなリスク項目リストの作成を完了させる。

新たに作成したリスク項目リストを表4.1から表4.5に大項目ごとに示す。前述した新たに抽出された項目は、表中に青色網掛けで示す。

表 4.1 新たに作成したリスク項目リスト (現地国)

| 中項目 | 小項目 |
|------------------------|--------------------|
| 一般 | 経済・財政状態 |
| | 事業予算 |
| | 事業実施に関する国家計画 |
| | 文化・風習・慣習・治安等 |
| | 建設許認可 |
| 建設時 (入札時に想定で判断する事項) | デモ／テロ／戦争の発生 |
| | 自然災害の発生 |
| | 安全・環境等の法制度 |
| | 教育向上による要員の高学歴化 |
| | 現地国の財政難による資金援助打ち止め |
| | 建設期間中の法令変更 |
| | 建設期間中の政変 |
| | 法定最低賃金の変化 |
| | 物価上昇による賃金変化 |
| | インフラ未整備の運輸リスク |
| | 工事の安全性意識向上 |
| | 環境関連法案 |
| | 政権交代による案件見直し |
| | 建築・建設法案改正による案件見直し |
| | 建設期間中の疫病の蔓延 |

表 4.2 新たに作成したリスク項目リスト (建設市場／経済)

| 中項目 | 小項目 |
|-----|-----------|
| 一般 | 建設市場の変動 |
| | 原油価格の高騰 |
| | 建設資材の価格上昇 |
| | 石油採掘技術の進化 |

表 4.3 新たに作成したリスク項目リスト (発注機関)

| 中項目1 | 中項目2 | 小項目 |
|------------------------|------------------|-------------------|
| 一般 | | 発注者の事業実施能力 |
| 入札前 | | 融資機関との調整 |
| | | 住民認知度 |
| | | 第三者機関(電力公社、等)との調整 |
| | | 過剰な要求事項による採算性事前調査 |
| 入札時 | 発注者 準備事項 | 事業実施の実現性(用地取得) |
| | | 事業実施の実現性(アクセス) |
| | | 事業実施の実現性(支障物) |
| | | 事業資金 |
| | | 事業予備費の妥当性 |
| | 事業計画 | 契約パッケージ規模の妥当性 |
| | | 事業費の妥当性 |
| | | 契約工期の妥当性 |
| | 入札実施体制 ／入札条件 | 入札期間の妥当性 |
| | | 入札保証 |
| | | 入札指示書の精度 |
| | | 入札評価期間の遅延の可能性 |
| | | 資格審査(PQ)の妥当性 |
| | | 入札評価方式 |
| 建設時 (入札時に想定で判断する事項) | 入札評価基準の妥当性 | |
| | 土地収用／住民移転の遅れ | |
| | 工事費増加への措置／対応 | |
| | 自然災害に起因する工期延伸の対応 | |
| | 第三者機関に起因する工事の遅延 | |
| | 建設・施工・製造手法の進化 | |

表 4.4 新たに作成したリスク項目リスト (発注機関/コンサルタント)

| 中項目1 | 中項目2 | 小項目 |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 入札前 (設計段階) | 計画 | 計画策定の完成度 |
| | 設計 | 設計基準の片務性 |
| | 見積り・予算 他契約 | 見積価格/政府予算 他の契約パッケージ |
| | 経験・能力 | 設計コンサルの経験・能力 契約図書/スピード |
| 入札時 (入札図書で 判断できる事項) | 契約方式 | 契約方式の妥当性 |
| | 契約条件 | エンジニアの権限の妥当性 |
| | | 契約条件書の片務性 |
| | | 業務完了に関する条件 |
| | | 適用法制度の妥当性 |
| | 支払い | 支払条件の妥当性 |
| | | 遅延損害賠償金の妥当性 |
| | | 支払い遅延時の利息 |
| | | 契約通貨 |
| | 工期延伸/ 追加費用 | エスカレーション条項 |
| | | 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 |
| | | 発注者指示の設計変更による工期延伸 |
| | | 発注者指示の設計変更による追加費用 |
| 設計変更に起因する工期延伸の条件 | | |
| 設計図書/ 仕様書 | 第三者機関に起因する工事遅延の場合の工期延伸/追加費用 | |
| | 工期延伸に関する条件(罰則の有無) | |
| | 着工時期の変動による契約工期の変更 | |
| | 設計基準の片務性 | |
| 品質管理 | 一般仕様書の精度 | |
| | 設計、設計図書、設計図面の精度 | |
| 言語 | 供与条件 | |
| 紛争 | 工事の品質管理の方法 | |
| コンサルタント | 契約言語 | |
| 建設時 (入札時に想定で 判断する事項) | 紛争 | 調停/仲裁の条件 |
| | 設計/ 設計変更 | 調停/仲裁の条件 |
| | 追加費用 | 入札評価コンサルタントの品質 |
| | 第三者機関 | 設計不備による着工の遅延 |
| | コンサルタント | 仕様書からの変更の際の承認 |
| | 追加費用 | 工期延伸に対する追加費用の承認 |
| | 第三者機関 | 第三者機関との調整および対応 |
| | コンサルタント | 施工監理コンサルタントの契約条件 |
| | | 施工監理コンサルタントの能力 |

表 4.5 新たに作成したリスク項目リスト (自組織)

| 中項目1 | 中項目2 | 小項目 |
|----------------------------|----------------|------------------------|
| 入札前 | 会社戦略 | 会社戦略との整合性 |
| | 競争性 | 競争における優位性 |
| | 現地国理解 | 対象国の理解 対象国での事業経験の有無 |
| 入札時 | 入札体制 | 入札対応の実施体制 |
| | 自組織能力 | 工事の実施能力 |
| | | 工事の実施体制 |
| | | 現地法人・事務所の有無および支援体制 |
| | 現地スタッフ／ 労務者 | 自組織のローカルスタッフ |
| | | 能力の高い労務者確保の体制 |
| 過剰な人員数 | | |
| 運転資金 | 運転資金の確保 | |
| 下請け業者 | 下請け業者 | |
| 建設時 (入札時に想定で 判断する事項) | 下請け業者 | 工事要員の質 |
| | 建設資材 | 新高機能材料の開発 |
| | 建設機材 | 建設・製造機材の品質性能 |
| | 工事遅延 | 工業者に起因する工事の遅延 |
| | 建設許認可 | 建築許認可の取得 |
| | 工事能力 | 特殊工事／製造への対応能力 |
| | | 特殊工事／製造技術の進化 |
| 自組織に起因する工事事故の発生 | | |

4.4.5 新たな定性チェックリスト評価の結果

以上の新たに作成したリスク項目リストを基にした定性チェックリストを用いて事業危険度の評価を行う。本章からは前述した通り，チェックリストの評価要素は致命度，発生率及び不透明度の3つとしている。事業危険度の算出方法は前章と同様に全ての評価要素の積から求めている。表 4.6 から表 4.10 に定性チェックリストの結果を示す。

表 4.6 新たな定性チェックリスト評価（現地国）

| 小項目 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|--------------------|-----|-----|------|-------|
| 経済・財政状態 | 2 | 5 | 2 | 20 |
| 事業予算 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 事業実施に関する国家計画 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 文化・風習・慣習・治安等 | 3 | 5 | 4 | 60 |
| 建設許認可 | 3 | 2 | 5 | 30 |
| デモ／テロ／戦争の発生 | 3 | 2 | 5 | 30 |
| 自然災害の発生 | 4 | 4 | 5 | 80 |
| 安全・環境等の法制度 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 教育向上による要員の高学歴化 | 2 | 5 | 2 | 20 |
| 現地国の財政難による資金援助打ち止め | 5 | 4 | 3 | 60 |
| 建設期間中の法令変更 | 4 | 4 | 4 | 64 |
| 建設期間中の政変 | 3 | 2 | 4 | 24 |
| 法定最低賃金の変化 | 5 | 5 | 2 | 50 |
| 物価上昇による賃金変化 | 5 | 4 | 2 | 40 |
| インフラ未整備の運輸リスク | 3 | 4 | 3 | 36 |
| 工事の安全性意識向上 | 2 | 4 | 3 | 24 |
| 環境関連法案 | 4 | 5 | 3 | 60 |
| 政権交代による案件見直し | 2 | 2 | 5 | 20 |
| 建築・建設法案改正による案件見直し | 2 | 2 | 5 | 20 |
| 建設期間中の疫病の蔓延 | 3 | 1 | 5 | 15 |

表 4.7 新たな定性チェックリスト評価（建設市場／経済）

| 小項目 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|-----------|-----|-----|------|-------|
| 建設市場の変動 | 3 | 1 | 2 | 6 |
| 原油価格の高騰 | 5 | 2 | 5 | 50 |
| 建設資材の価格上昇 | 5 | 2 | 5 | 50 |
| 石油採掘技術の進化 | 4 | 1 | 4 | 16 |

表 4.8 新たな定性チェックリスト評価（発注機関）

| 小項目 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|-------------------|-----|-----|------|-------|
| 発注者の事業実施能力 | 4 | 1 | 2 | 8 |
| 融資機関との調整 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 住民認知度 | 3 | 1 | 3 | 9 |
| 第三者機関（電力公社、等）との調整 | 2 | 2 | 2 | 8 |
| 過剰な要求事項による採算性事前調査 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 事業実施の実現性（用地取得） | 4 | 4 | 3 | 48 |
| 事業実施の実現性（アクセス） | 3 | 1 | 3 | 9 |
| 事業実施の実現性（支障物） | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 事業資金 | 4 | 2 | 4 | 32 |
| 事業予備費の妥当性 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 契約パッケージ規模の妥当性 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 事業費の妥当性 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 契約工期の妥当性 | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 入札期間の妥当性 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 入札保証 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 入札指示書の精度 | 5 | 3 | 5 | 75 |
| 入札評価期間の遅延の可能性 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 資格審査（PQ）の妥当性 | 3 | 2 | 4 | 24 |
| 入札評価方式 | 3 | 2 | 3 | 18 |
| 入札評価基準の妥当性 | 3 | 2 | 4 | 24 |
| 土地収用／住民移転の遅れ | 2 | 4 | 4 | 32 |
| 工事費増加への措置／対応 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 自然災害に起因する工期延伸の対応 | 3 | 4 | 1 | 12 |
| 第三者機関に起因する工事の遅延 | 3 | 3 | 5 | 45 |
| 建設・施工・製造手法の進化 | 4 | 1 | 4 | 16 |

表 4.9 新たな定性チェックリスト評価（発注機関／コンサルタント）

| 小項目 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|----------------------------|-----|-----|------|-------|
| 計画策定の完成度 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 設計基準の片務性 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 見積価格／政府予算 | 5 | 2 | 2 | 20 |
| 他の契約パッケージ | 3 | 3 | 5 | 45 |
| 設計コンサルの経験・能力 | 4 | 1 | 2 | 8 |
| 契約図書の質／スピード | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 契約方式の妥当性 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| エンジニアの権限の妥当性 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 契約条件書の片務性 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 業務完了に関する条件 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 適用法制度の妥当性 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 支払条件の妥当性 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 遅延損害賠償金の妥当性 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 支払い遅延時の利息 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 契約通貨 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| エスカレーション条項 | 5 | 2 | 1 | 10 |
| 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 発注者指示の設計変更による工期延伸 | 5 | 4 | 2 | 40 |
| 発注者指示の設計変更による追加費用 | 5 | 2 | 2 | 20 |
| 設計変更起因する工期延伸の条件 | 5 | 4 | 1 | 20 |
| 第三者機関起因する工事遅延の場合の工期延伸／追加費用 | 3 | 4 | 1 | 12 |
| 工期延伸に関する条件（罰則の有無） | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 着工時期の変動による契約工期の変更 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 設計基準の片務性 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 一般仕様書の精度 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 設計、設計図書、設計図面の精度 | 4 | 1 | 2 | 8 |
| 供与条件 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 工事の品質管理の方法 | 3 | 4 | 2 | 24 |
| 契約言語 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| 調停／仲裁の条件 | 2 | 3 | 1 | 6 |
| 入札評価コンサルタントの品質 | 5 | 3 | 3 | 45 |
| 設計不備による着工の遅延 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 仕様書からの変更の際の承認 | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 工期延伸に対する追加費用の承認 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 第三者機関との調整および対応 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 施工監理コンサルタントの契約条件 | 4 | 4 | 1 | 16 |
| 施工監理コンサルタントの能力 | 4 | 2 | 4 | 32 |

表 4.10 新たな定性チェックリスト評価（自組織）

| 小項目 | 致命度 | 発生率 | 不透明度 | 事業危険度 |
|--------------------|-----|-----|------|-------|
| 会社戦略との整合性 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 競合における優位性 | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 対象国の理解 | 4 | 1 | 4 | 16 |
| 対象国での事業経験の有無 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 入札対応の実施体制 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 工事の実施能力 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 工事の実施体制 | 5 | 3 | 3 | 45 |
| 現地法人・事務所の有無および支援体制 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 自組織のローカルスタッフ | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 能力の高い労働者確保の体制 | 5 | 4 | 4 | 80 |
| 過剰な人員数 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 運転資金の確保 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 下請け業者 | 5 | 2 | 2 | 20 |
| 工事要員の質 | 4 | 4 | 3 | 48 |
| 新高機能材料の開発 | 4 | 2 | 4 | 32 |
| 建設・製造機材の品質性能 | 2 | 4 | 2 | 16 |
| 工事業者に起因する工事の遅延 | 5 | 2 | 3 | 30 |
| 建築許認可の取得 | 5 | 2 | 3 | 30 |
| 特殊工事／製造への対応能力 | 4 | 3 | 5 | 60 |
| 特殊工事／製造技術の進化 | 4 | 2 | 4 | 32 |
| 自組織に起因する工事事故の発生 | 5 | 4 | 5 | 100 |

ここで事業危険度の評価を分布分けする。分布の基準は 2.3.5 項で説明した式を基に以下のようにして求めた。

$$\begin{aligned}
 X &= 3 \times 3 \times 3 = 27 \\
 Y &= 4 \times 4 \times 4 = 64
 \end{aligned}
 \tag{式 4.1}$$

事業危険度が Y 以上の場合は致命的項目、 X 以上 Y より小さい場合は注視項目、 X よりも小さい場合は許容項目として設定した。表 4.11 から表 4.13 に事業危険度の分布評価の結果を示す。

表 4.11 事業危険度の分布評価結果（その1）

| 小項目 | 事業危険度 | 分布 | 結果 |
|--------------------|-------|-----|-------|
| 自組織に起因する工事事故の発生 | 100 | ≥64 | 致命的項目 |
| 自然災害の発生 | 80 | | |
| 能力の高い労務者確保の体制 | 80 | | |
| 入札指示書の精度 | 75 | | |
| 建設期間中の法令変更 | 64 | | |
| 文化・風習・慣習・治安等 | 60 | ≥27 | 注視項目 |
| 現地国の財政難による資金援助打ち止め | 60 | | |
| 環境関連法案 | 60 | | |
| 特殊工事／製造への対応能力 | 60 | | |
| 法定最低賃金の変化 | 50 | | |
| 原油価格の高騰 | 50 | | |
| 建設資材の価格上昇 | 50 | | |
| 事業実施の実現性(用地取得) | 48 | | |
| 工事要員の質 | 48 | | |
| 第三者機関に起因する工事の遅延 | 45 | | |
| 他の契約パッケージ | 45 | | |
| 入札評価コンサルタントの品質 | 45 | | |
| 工事の実施体制 | 45 | | |
| 物価上昇による賃金変化 | 40 | | |
| 発注者指示の設計変更による工期延伸 | 40 | | |
| 安全・環境等の法制度 | 36 | | |
| インフラ未整備の運輸リスク | 36 | | |
| 入札対応の実施体制 | 36 | | |
| 現地法人・事務所の有無および支援体制 | 36 | | |
| 自組織のローカルスタッフ | 36 | | |
| 事業資金 | 32 | | |
| 土地収用／住民移転の遅れ | 32 | | |
| 施工監理コンサルタントの能力 | 32 | | |
| 新高機能材料の開発 | 32 | | |
| 特殊工事／製造技術の進化 | 32 | | |
| 建設許認可 | 30 | | |
| デモ／テロ／戦争の発生 | 30 | | |
| 工事業者に起因する工事の遅延 | 30 | | |
| 建築許認可の取得 | 30 | | |
| 事業実施に関する国家計画 | 27 | | |
| 融資機関との調整 | 27 | | |
| 事業実施の実現性(支障物) | 27 | | |
| 入札評価期間の遅延の可能性 | 27 | | |
| エンジニアの権限の妥当性 | 27 | | |
| 業務完了に関する条件 | 27 | | |
| 適用法制度の妥当性 | 27 | | |
| 建設期間中の政変 | 24 | <27 | 許容項目 |
| 工事の安全性意識向上 | 24 | | |
| 資格審査(PQ)の妥当性 | 24 | | |
| 入札評価基準の妥当性 | 24 | | |
| 工事の品質管理の方法 | 24 | | |
| 工事の安全性意識向上 | 24 | | |
| 資格審査(PQ)の妥当性 | 24 | | |
| 入札評価基準の妥当性 | 24 | | |
| 工事の品質管理の方法 | 24 | | |
| 入札評価基準の妥当性 | 24 | | |

表 4.12 事業危険度の分布評価結果（その2）

| 小項目 | 事業危険度 | 分布 | 結果 |
|-----------------------------|-------|-----|------|
| 工事の品質管理の方法 | 24 | <27 | 許容項目 |
| 入札評価基準の妥当性 | 24 | | |
| 工事の品質管理の方法 | 24 | | |
| 経済・財政状態 | 20 | | |
| 教育向上による要員の高学歴化 | 20 | | |
| 政権交代による案件見直し | 20 | | |
| 建築・建設法案改正による案件見直し | 20 | | |
| 見積価格／政府予算 | 20 | | |
| 発注者指示の設計変更による追加費用 | 20 | | |
| 設計変更に起因する工期延伸の条件 | 20 | | |
| 下請け業者 | 20 | | |
| 契約工期の妥当性 | 18 | | |
| 入札評価方式 | 18 | | |
| 仕様書からの変更の際の承認 | 18 | | |
| 競合における優位性 | 18 | | |
| 石油採掘技術の進化 | 16 | | |
| 建設・施工・製造手法の進化 | 16 | | |
| 計画策定の完成度 | 16 | | |
| 設計基準の片務性 | 16 | | |
| 一般仕様書の精度 | 16 | | |
| 設計不備による着工の遅延 | 16 | | |
| 施工監理コンサルタントの契約条件 | 16 | | |
| 対象国の理解 | 16 | | |
| 建設・製造機材の品質性能 | 16 | | |
| 建設期間中の疫病の蔓延 | 15 | | |
| 入札保証 | 15 | | |
| 工事費増加への措置／対応 | 15 | | |
| 工期延伸に関する条件(罰則の有無) | 15 | | |
| 設計基準の片務性 | 15 | | |
| 工事の実施能力 | 15 | | |
| 契約パッケージ規模の妥当性 | 12 | | |
| 入札期間の妥当性 | 12 | | |
| 自然災害に起因する工期延伸の対応 | 12 | | |
| 契約方式の妥当性 | 12 | | |
| 第三者機関に起因する工事遅延の場合の工期延伸／追加費用 | 12 | | |
| 工期延伸に対する追加費用の承認 | 12 | | |
| エスカレーション条項 | 10 | | |
| 住民認知度 | 9 | | |
| 事業実施の実現性(アクセス) | 9 | | |
| 遅延損害賠償金の妥当性 | 9 | | |
| 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | 9 | | |
| 着工時期の変動による契約工期の変更 | 9 | | |
| 供与条件 | 9 | | |
| 第三者機関との調整および対応 | 9 | | |
| 発注者の事業実施能力 | 8 | | |
| 第三者機関(電力公社、等)との調整 | 8 | | |
| 設計コンサルの経験・能力 | 8 | | |
| 契約条件書の片務性 | 8 | | |
| 支払い遅延時の利息 | 8 | | |
| 設計、設計図書、設計図面の精度 | 8 | | |
| 会社戦略との整合性 | 8 | | |

表 4.13 事業危険度の分布評価結果 (その 3)

| 小項目 | 事業危険度 | 分布 | 結果 |
|-------------------|-------|-----|------|
| 対象国での事業経験の有無 | 8 | <27 | 許容項目 |
| 建設市場の変動 | 6 | | |
| 過剰な要求事項による採算性事前調査 | 6 | | |
| 契約図書の質/スピード | 6 | | |
| 支払条件の妥当性 | 6 | | |
| 調停/仲裁の条件 | 6 | | |
| 事業予算 | 5 | | |
| 事業予備費の妥当性 | 5 | | |
| 事業費の妥当性 | 5 | | |
| 運転資金の確保 | 5 | | |
| 契約通貨 | 3 | | |
| 契約言語 | 3 | | |
| 過剰な人員数 | 1 | | |

4.4.6 影響ダイアグラム, 逆損益計算図及び損益確認表作成

感度分析をシステム上で行うために、影響ダイアグラム、逆損益計算図及び損益確認表の作成を行う。図 4.6 は本案件の影響ダイアグラムの一部を示している。システムに入力する要素は影響ダイアグラムの末端の要素のみである。出力要素は自組織で制御できる要素ではあるが、入力要素に影響を受けて間接的に制御できる要素である。定性要素は自組織の人員能力や現地国理解度など自組織の能力などによって左右される要素である。一方、外部要素は地震や発注者の事業実施能力など自組織の制御ができない要素である。完全な制御はできないが、予め起こるリスクを想定してリスクに対する対応を検討するための要素である。影響ダイアグラム作成には利益を構成する要素の数ではなく、利益に大きく影響する要素を確実に割り出すことが重要となり、それは各契約パッケージによって大きく異なる。

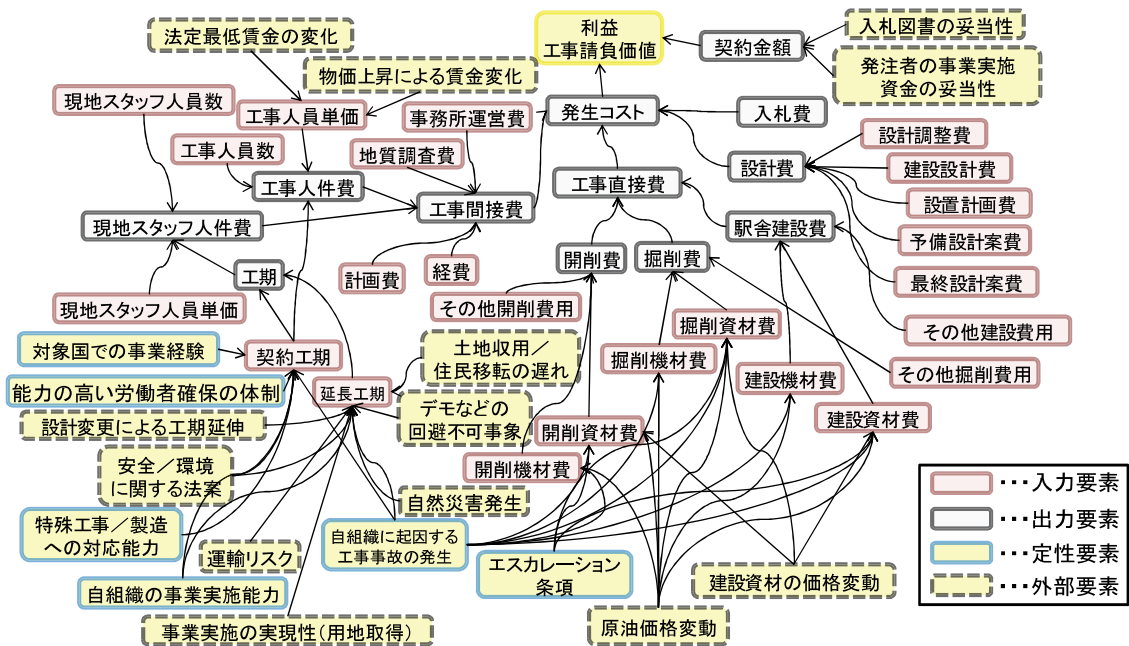


図 4.6 新たな適用題材の影響ダイアグラム

図 4.6 から本章の適用題材は地下鉄建設事業なので、第 3 章の適用題材と比べて掘削及び開削といった要素が増えていることが確認できる。このことから、影響ダイアグラムは対象国や契約パッケージごとに抽出される要素が大きく変化するため、事業ごとに考慮すべき要素を考慮し、評価しなければならないことが確認できる。

影響ダイアグラムで把握したコスト項目及び相関性を反映し、事業全体の想定利益額を推察する目的で新たな適用題材の逆損益計算図を作成する(図 4.7)。図 4.7 では本案件の逆損益計算図を示している。逆損益計算図を作成することにより、利益を構成する要素間のロジックが明確になり、事業全体の想定利益額に対する各コスト項目の位置付けや重要性を把握することができる。コストの変動が事業全体の想定利益額に大きな影響を与える項目に対して感度分析を行うことで想定利益額の変動性とその範囲・程度について把握することが可能となり、応札するか否かの判断における重要な判断基準の一つになるものとする。表 4.14 に損益確認表を示す。

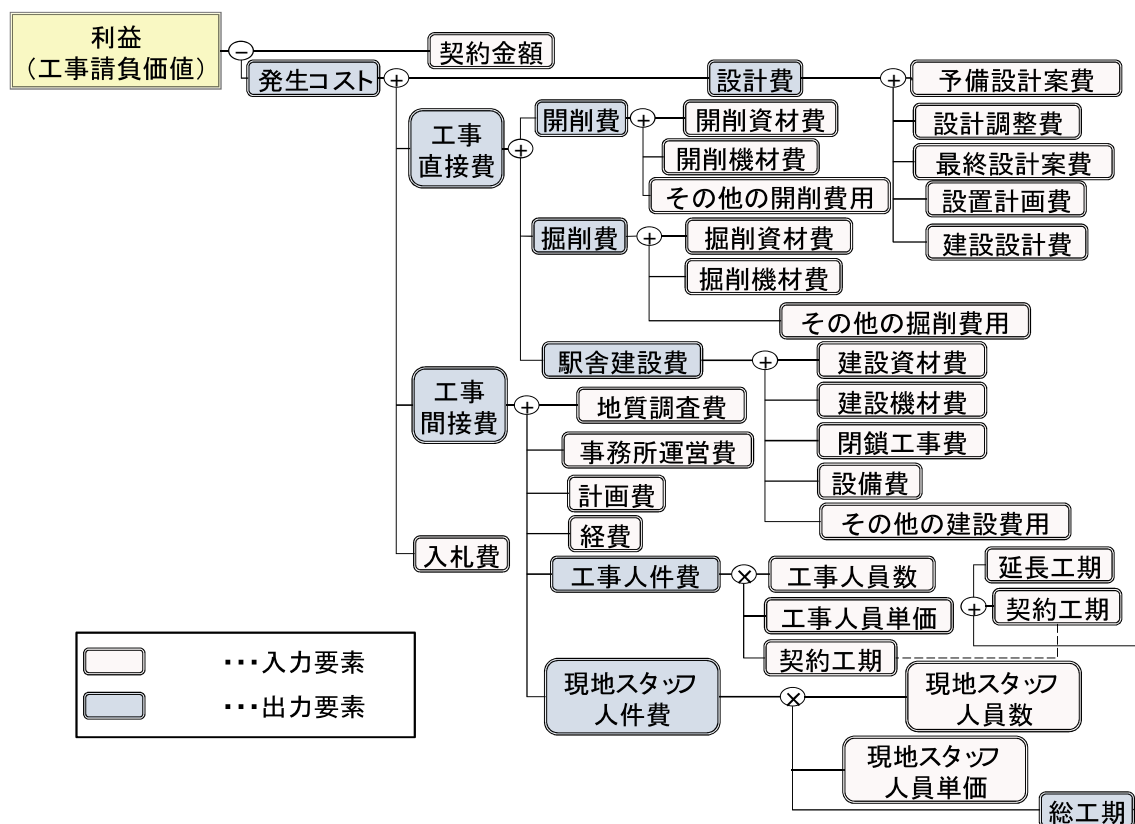


図 4.7 新たな適用題材の逆損益計算図

表 4.14 本章での適用題材の損益確認表

| 要素 | 値 | 単位 | 最大値 | 最小値 | 基準値 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 利益率 | 4.80 | % | | | |
| 利益 | 8.40 | 億円 | | | |
| 収入 | 175 | 億円 | | | |
| 契約金額 | 175 | 億円 | 178 | 172 | 175 |
| 保険料 | 0 | 億円 | 0 | 0 | 0 |
| 発生コスト | 166.6 | 億円 | | | |
| 入札費 | 2,000 | 万円 | 3,000 | 1,000 | 2,000 |
| 設計費 | 5 | 億円 | | | |
| 予備設計案費 | 1.0 | 億円 | 1.2 | 0.8 | 1.0 |
| 設計調整費 | 1.0 | 億円 | 1.2 | 0.8 | 1.0 |
| 最終設計費 | 1.0 | 億円 | 2.0 | 0.8 | 1.0 |
| 設置計画費 | 1.0 | 億円 | 1.2 | 0.8 | 1.0 |
| 建設設計費 | 1.0 | 億円 | 1.2 | 0.8 | 1.0 |
| 工事直接費 | 137.2 | 億円 | | | |
| 駅舎建設費 | 64.13 | 億円 | | | |
| 建設資材費 | 48.11 | 億円 | 52.00 | 44.00 | 48.11 |
| 建設機材費 | 12.29 | 億円 | 14.00 | 10.00 | 12.29 |
| 設備費 | 1.49 | 億円 | 1.70 | 1.30 | 1.49 |
| 閉鎖工事費 | 1.49 | 億円 | 1.70 | 1.30 | 1.49 |
| その他の建設費用 | 7,500 | 万円 | 9,000 | 7,000 | 7,500 |
| 採掘費 | 64.14 | 億円 | | | |
| 採掘資材費 | 12.3 | 億円 | 15.0 | 11.7 | 12.3 |
| 採掘機材費 | 49.6 | 億円 | 53.0 | 47.0 | 49.6 |
| その他の採掘費用 | 2.24 | 億円 | 2.40 | 2.00 | 2.24 |
| 開削費 | 8.926 | 億円 | | | |
| 開削資材費 | 6.86 | 億円 | 10.00 | 6.50 | 6.86 |
| 開削機材費 | 1.57 | 億円 | 1.80 | 1.40 | 1.57 |
| その他の開削費用 | 4,960 | 万円 | 5,500 | 4,500 | 4,960 |
| 工事間接費 | 24.20 | 億円 | | | |
| 事務所運営費 | 1.25 | 億円 | 1.50 | 1.00 | 1.25 |
| 地質調査費 | 4,200 | 万円 | 5,000 | 4,000 | 4,960 |
| 工事人件費 | 14.62 | 億円 | | | |
| 工事人員単価 | 600 | 円/人・日 | 700 | 550 | 600 |
| 契約工期 | 174 | 週 | 198 | 170 | 174 |
| 工事人員数 | 2,000 | 人 | 2,500 | 1,800 | 2,000 |
| 計画費 | 4,200 | 万円 | 5,000 | 4,000 | 4,200 |
| 経費 | 6.25 | 億円 | 6.50 | 6.00 | 6.25 |
| 現地スタッフ人件費 | 1.246 | 億円 | | | |
| 現地スタッフ人員単価 | 5,000 | 円/人・日 | 6,000 | 4,000 | 5,000 |
| 現地スタッフ人員数 | 20 | 人 | 25 | 15 | 20 |
| 総工期 | 178 | 週 | | | |
| 延長工期 | 4 | 週 | 24 | -4 | 4 |
| 契約工期 | 174 | 週 | 190 | 166 | 174 |

図 4.7 及び表 4.14 から、これらの図表も影響ダイアグラム同様に、対象国及び契約パッケージごとに変数設定が変化し、事業ごとに考慮及び評価しなければならないことが確認できる。

次にシステム上に入力し、感度分析のシミュレーションを行うために必要となる数値設定を行う。実際の事業では、最初に設定した数値は対象国、市場動向、事業実施中の各種変更等によって変動するものであるため、システムに入力する数値に最小値と最大値と幅を持たせる必要がある。数値に幅を持たせることによって事業の思い通りにはいかない不確実性の部分を表現することが可能となる。

図 4.8 に定性的な関係から写像関数を設定した例を示す。定性要素である“対象国の理解度”がどのように工期に影響するかを定義した例を示す。

理解度が低いと適切な施工指示や現場管理ができず、工期が伸びる要因となることから、指数関数を用いて定義している。他にも交渉力と調達価格の関係や、発注図書の質と追加工事の期間といったように、多くの定性関係の定義が必要になるが、本手法を用いれば、定性チェックリスト評価で導かれた事業危険度とこの指数関数を組み合わせることによって、工期への影響の度合いを設定することができる。具体的には、対象国への理解度が高い場合、すなわち対象国での業務遂行の実績があるため国情ならびに発注者の事業の進め方についての見識がある場合には、どの程度の工期延長の可能性があるかについて高い精度で想定することができるため、定量評価における変動幅を小さくすることが可能となる。一方、対象国への理解度が低い場合、工期延長の可能性についての精度が低くなり、定量評価における変動幅が大きくなる。このように、定性評価の結果を定量評価における感度分析の要素に具体的に反映することが可能となる。定性チェックリスト評価の結果を、影響ダイアグラム上の関数の影響度として定量的に反映させることで、定性評価と定量評価をハイブリッドさせた評価が可能になる。

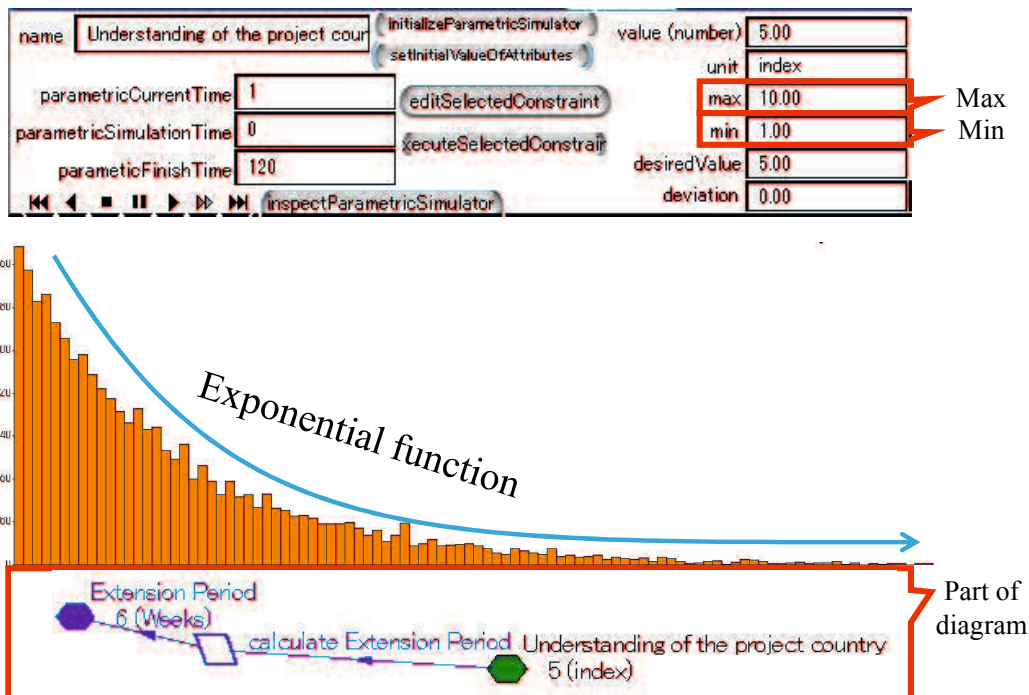


図 4.8 “対象国の理解度”の定性的な関係による写像関数の事例

以上の作成した影響ダイアグラム、逆損益計算図及び損益確認表を前章と同様にシステム上に反映させて感度分析を行う。

4.4.7 感度分析結果

以上に示す影響ダイアグラムと逆損益計算図の分析結果を用いれば、感度分析を行うことで、事業価値に与える影響が大きい要素を導出することができる。本章の始めに記述した通り、定性チェックリスト評価のフィードバックを行うために、前節で作成した影響ダイアグラム、逆損益計算図及び損益確認表をシステム上に反映させて感度分析を行う。感度分析とは分析対象の要素のみを最小値から最大値まで変動させて、その他の要素は損益確認表で定義した基準値で固定させることによって、最終的な利益が分析対象の要素によってどのように大小変化するかを調べる手法のことである。この感度分析は 3.6.3 項に記述した通り、Smalltalk 上に分析用のメソッドを定義することによって分析可能となる。図 4.9 に感度分析の結果を示す。



図 4.9 感度分析結果

横軸は利益率、縦軸は数値変動させた要素となっており、横軸の幅が大きければ大きいほど利益率の変動が大きくなることが確認できる。各変数が最尤値を取ったときの利益率を **Basic line** とし、その両側に分布する結果が多くの場合トルネードのように見えることから、そう呼称されている。図 4.9 から横軸の幅が大きければ大きいほど利益率の変動が大きくなることが確認できる。これによって利益率への影響が大きい要素を抽出することが可能となる。ここでは“建設資材費”，“掘削機材費”，“契約金額”及び“工事人員数”の要素が利益率を約 4%以上変動させるような影響度を持っていることが確認できる。実際の事業においても、資材費と機材費を削減することができない工事請負者が人件費削減といった対策を取るという事実が存在するため、提案手法の導入により得られた結果は熟練者の直感から大きくずれていないと考える。また、現場労務者数といった実際の事業において変動が大きい項目の数値の範囲が分析結果においても大きくなるなど、より実情を反映した数値へと近づいており、分析結果の妥当性及び数値化されたリスクの程度の精度が高められたと判断できる。

4.4.8 定性チェックリストのフィードバック

以上の結果を踏まえて、定性チェックリスト評価の信頼性向上のために、定性チェックリストのフィードバックを行う。フィードバックとは、外部要因の分析手法を活用し見直した定性チェックリストを用いて行った感度分析結果に基づき、定性チェックリストの評価において過小評価または過大評価されていたリスク要素の致命度を見直すことである。まず感度分析の上位の要素に影響を与えるリスク項目をチェックリストから探す。次に対象のリスク項目の致命度を確認し、もしも致命度が低かった場合、それは過小評価されているということが判断される。そこでその項目の致命度を引き上げる。また感度分析の結果が下位の要素に影響しているのにもかかわらず致命度が高く入力されているリスク項目があるのならば、それは過大評価されていることになるので、致命度を引き下げる。このようにすることで、定性チェックリスト評価の信頼性を向上することができるのではないかと推測される。表 4.15 から表 4.19 に大項目ごとのフィードバックの結果を示す。

表 4.15 フィードバック結果（現地国）

| 小項目 | フィードバック前の致命度 | フィードバック後の致命度 | 発生率 | 不透明度 | フィードバック後の事業危険度 |
|--------------------|--------------|--------------|-----|------|----------------|
| 経済・財政状態 | 2 | 4 | 5 | 2 | 40 |
| 事業予算 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 事業実施に関する国家計画 | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 文化・風習・慣習・治安等 | 3 | 4 | 2 | 5 | 40 |
| 建設許認可 | 3 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| デモ／テロ／戦争の発生 | 3 | 4 | 5 | 4 | 80 |
| 自然災害の発生 | 4 | 4 | 2 | 5 | 40 |
| 安全・環境等の法制度 | 4 | 5 | 4 | 5 | 100 |
| 教育向上による要員の高学歴化 | 2 | 5 | 5 | 2 | 50 |
| 現地国の財政難による資金援助打ち止め | 5 | 1 | 4 | 3 | 12 |
| 建設期間中の法令変更 | 4 | 4 | 4 | 4 | 64 |
| 建設期間中の政変 | 3 | 3 | 2 | 4 | 24 |
| 法定最低賃金の変化 | 5 | 5 | 5 | 2 | 50 |
| 物価上昇による資金変化 | 5 | 5 | 4 | 2 | 40 |
| インフラ未整備の運輸リスク | 3 | 2 | 4 | 3 | 24 |
| 工事の安全性意識向上 | 2 | 2 | 4 | 3 | 24 |
| 環境関連法案 | 4 | 4 | 5 | 3 | 60 |
| 政権交代による案件見直し | 2 | 2 | 2 | 5 | 20 |
| 建築・建設法案改正による案件見直し | 2 | 2 | 2 | 5 | 20 |
| 建設期間中の疫病の蔓延 | 3 | 5 | 1 | 5 | 25 |

表 4.16 フィードバック結果（建設市場／経済）

| 小項目 | フィードバック前の致命度 | フィードバック後の致命度 | 発生率 | 不透明度 | フィードバック後の事業危険度 |
|-----------|--------------|--------------|-----|------|----------------|
| 建設市場の変動 | 3 | 3 | 1 | 2 | 6 |
| 原油価格の高騰 | 5 | 5 | 2 | 5 | 50 |
| 建設資材の価格上昇 | 5 | 5 | 2 | 5 | 50 |
| 石油探掘技術の進化 | 4 | 5 | 1 | 4 | 20 |

表 4.17 フィードバック結果 (発注機関)

| 小項目 | フィードバック前の致命度 | フィードバック後の致命度 | 発生率 | 不透明度 | フィードバック後の事業危険度 |
|-------------------|--------------|--------------|-----|------|----------------|
| 発注者の事業実施能力 | 4 | 4 | 1 | 2 | 8 |
| 融資機関との調整 | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 住民認知度 | 3 | 3 | 1 | 3 | 9 |
| 第三者機関(電力公社、等)との調整 | 2 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 過剰な要求事項による採算性事前調査 | 3 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 事業実施の実現性(用地取得) | 4 | 4 | 4 | 3 | 48 |
| 事業実施の実現性(アクセス) | 3 | 2 | 1 | 3 | 6 |
| 事業実施の実現性(支障物) | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 事業資金 | 4 | 4 | 2 | 4 | 32 |
| 事業予備費の妥当性 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 契約パッケージ規模の妥当性 | 4 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 事業費の妥当性 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 契約工期の妥当性 | 3 | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 入札期間の妥当性 | 4 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 入札保証 | 5 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 入札指示書の精度 | 5 | 5 | 3 | 5 | 75 |
| 入札評価期間の遅延の可能性 | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 資格審査(PQ)の妥当性 | 3 | 3 | 2 | 4 | 24 |
| 入札評価方式 | 3 | 3 | 2 | 3 | 18 |
| 入札評価基準の妥当性 | 3 | 3 | 2 | 4 | 24 |
| 土地収用/住民移転の遅れ | 2 | 2 | 4 | 4 | 32 |
| 工事費増加への措置/対応 | 5 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 自然災害に起因する工期延伸の対応 | 3 | 3 | 4 | 1 | 12 |
| 第三者機関に起因する工事の遅延 | 3 | 3 | 3 | 5 | 45 |
| 建設・施工・製造手法の進化 | 4 | 2 | 1 | 4 | 8 |

表 4.18 フィードバック結果 (発注機関/コンサルタント)

| 小項目 | フィードバック前の致命度 | フィードバック後の致命度 | 発生率 | 不透明度 | フィードバック後の事業危険度 |
|-----------------------------|--------------|--------------|-----|------|----------------|
| 計画策定の完成度 | 4 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 設計基準の片務性 | 4 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 見積価格/政府予算 | 5 | 5 | 2 | 2 | 20 |
| 他の契約パッケージ | 3 | 3 | 3 | 5 | 45 |
| 設計コンサルの経験・能力 | 4 | 4 | 1 | 2 | 8 |
| 契約図書の内容/スピード | 3 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 契約方式の妥当性 | 4 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| エンジニアの権限の妥当性 | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 契約条件書の片務性 | 4 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 業務完了に関する条件 | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 適用法制度の妥当性 | 3 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 支払条件の妥当性 | 3 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 遅延損害賠償金の妥当性 | 3 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 支払い遅延時の利息 | 4 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 契約通貨 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| エスケーション条項 | 5 | 5 | 2 | 1 | 10 |
| 輸入手続きおよび免税措置に関する条件 | 3 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 発注者指示の設計変更による工期延伸 | 5 | 5 | 4 | 2 | 40 |
| 発注者指示の設計変更による追加費用 | 5 | 5 | 2 | 2 | 20 |
| 設計変更に起因する工期延伸の条件 | 5 | 5 | 4 | 1 | 20 |
| 第三者機関に起因する工事遅延の場合の工期延伸/追加費用 | 3 | 3 | 4 | 1 | 12 |
| 工期延伸に関する条件(罰則の有無) | 5 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 着工時期の変動による契約工期の変更 | 3 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 設計基準の片務性 | 5 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 一般仕様書の精度 | 4 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 設計、設計図書、設計図面の精度 | 4 | 4 | 1 | 2 | 8 |
| 供与条件 | 3 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 工事の品質管理の方法 | 3 | 3 | 4 | 2 | 24 |
| 契約言語 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| 調停/仲裁の条件 | 2 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 入札評価コンサルタントの品質 | 5 | 5 | 3 | 3 | 45 |
| 設計不備による着工の遅延 | 4 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 仕様書からの変更の際の承認 | 3 | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 工期延伸に対する追加費用の承認 | 4 | 4 | 3 | 1 | 12 |
| 第三者機関との調整および対応 | 3 | 3 | 3 | 1 | 9 |
| 施工監理コンサルタントの契約条件 | 4 | 4 | 4 | 1 | 16 |
| 施工監理コンサルタントの能力 | 4 | 4 | 2 | 4 | 32 |

表 4.19 フィードバック結果（自組織）

| 小項目 | フィードバック前の致命度 | フィードバック後の致命度 | 発生率 | 不透明度 | フィードバック後の事業危険度 |
|--------------------|--------------|--------------|-----|------|----------------|
| 会社戦略との整合性 | 4 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 競争における優位性 | 3 | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 対象国の理解 | 4 | 4 | 1 | 4 | 16 |
| 対象国での事業経験の有無 | 4 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| 入札対応の実施体制 | 4 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 工事の実施能力 | 5 | 5 | 3 | 1 | 15 |
| 工事の実施体制 | 5 | 5 | 3 | 3 | 45 |
| 現地法人・事務所の有無および支援体制 | 4 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 自組織のローカルスタッフ | 4 | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 能力の高い労務者確保の体制 | 5 | 5 | 4 | 4 | 80 |
| 過剰な人員数 | 1 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 運転資金の確保 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 下請け業者 | 5 | 5 | 2 | 2 | 20 |
| 工事要員の質 | 4 | 5 | 4 | 3 | 60 |
| 新高機能材料の開発 | 4 | 4 | 2 | 4 | 32 |
| 建設・製造機材の品質性能 | 2 | 3 | 4 | 2 | 24 |
| 工事業者に起因する工事の遅延 | 5 | 5 | 2 | 3 | 30 |
| 建築許可の取得 | 5 | 5 | 2 | 3 | 30 |
| 特殊工事／製造への対応能力 | 4 | 4 | 3 | 5 | 60 |
| 特殊工事／製造技術の進化 | 4 | 4 | 2 | 4 | 32 |
| 自組織に起因する工事事故の発生 | 5 | 5 | 4 | 5 | 100 |

表 4.15 から表 4.19 から、致命度が変更に伴って事業危険度が変化していて、フィードバックが行われたことが確認できる。

4.5 多様な環境下でのシミュレーション

本節では提案手法の付加機能として、外部要因の分析手法を活用して網羅性が高められたリスク項目発生想定と、そのオプションを考慮した多様な環境下でのシミュレーションを行う。このシミュレーションを行うことにより、実際の事業環境を想定した定量評価を行うことができるものと推測される。

4.5.1 シナリオドライバー抽出及びシナリオ作成

上述したシミュレーションを行うために、多様な環境を創り出さなければならない。そこでまずリスク発生のシナリオを創造する。シナリオを構成する要素としてシナリオドライバーがある。シナリオドライバーとは、シナリオプランニングにて抽出されたリスク項目の中で、自組織に大きな影響を与え、尚かつ不確実性の高い項目のことである。このシナリオドライバーを組み合わせることによってシナリオを作成する。本研究では、自組織に大きな影響を与える項目は感度分析で、不確実性の高い項目は定性チェックリストで抽出することとした。その結果、適用題材のシナリオドライバーは“原油価格の高騰”，“法定最低賃金の上昇”，“工事事故発生”及び“設計変更”となった。これらの組み合わせを考えることによってシナリオを作成する。表 4.20 に作成したシナリオを示す。表 4.19 から 16 通りのシナリオが創造されたことを確認できる。例えば、シナリオ 9 は原油価格の高騰のみが発生した場合のシナリオを示している。

シナリオを作成したら、計算を可能とするために、シナリオの影響の度合いを考慮する。図 4.10 にシナリオの影響図を示す。原油価格高騰を例とする。ここでは図 4.10 の右上の原油価格高騰が“無”となると左上の原油価格変動は平均的な“6”を示し、仮に原油価格高騰が“有”を示すと、原油価格変動は“10”を示すようにしている。そして図左の結果を影響ダイアグラムに反映することによって、シナリオが最終的な利益にどのように影響を与えるかが確認できるようになる。

表 4.20 作成したシナリオ

| シナリオ | 原油価格の高騰 | 法定最低賃金の 上昇 | 工事事務発生 | 設計変更 |
|------|---------|---------------|--------|------|
| 1 | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 2 | 無 | 無 | 無 | 有 |
| 3 | 無 | 無 | 有 | 無 |
| 4 | 無 | 無 | 有 | 有 |
| 5 | 無 | 有 | 無 | 無 |
| 6 | 無 | 有 | 無 | 有 |
| 7 | 無 | 有 | 有 | 無 |
| 8 | 無 | 有 | 有 | 有 |
| 9 | 有 | 無 | 無 | 無 |
| 10 | 有 | 無 | 無 | 有 |
| 11 | 有 | 無 | 有 | 無 |
| 12 | 有 | 無 | 有 | 有 |
| 13 | 有 | 有 | 無 | 無 |
| 14 | 有 | 有 | 無 | 有 |
| 15 | 有 | 有 | 有 | 無 |
| 16 | 有 | 有 | 有 | 有 |

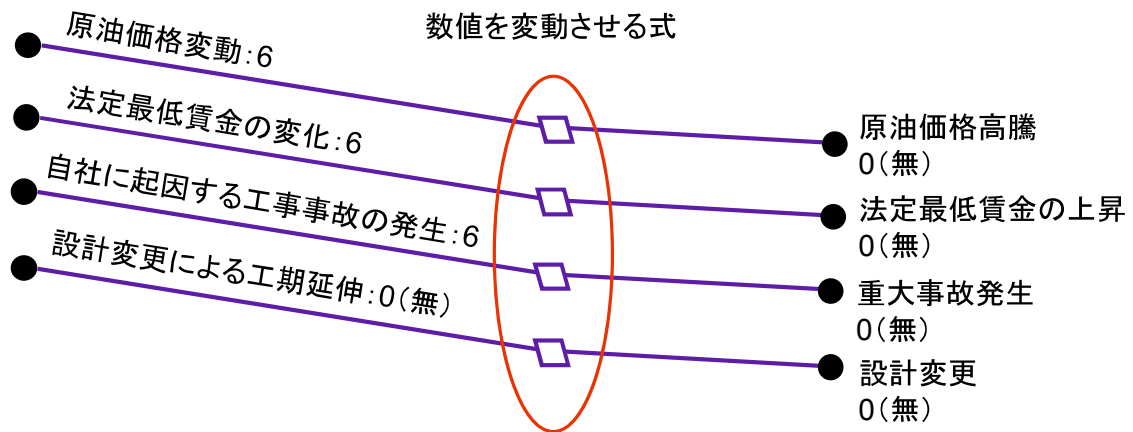


図 4.10 シナリオの影響図

4.5.2 オプションの創造

リスク発生のシナリオを創り出した後、シナリオに対するオプションを創造する。このようにすることによって、シミュレーション結果からオプションの有効性を評価することが可能となる。多くのリスクに対するオプションを創造することが重要であるが、リスクの発生要因が完全に外部に依存しているシナリオドライバーに対するオプションを練ることは困難だったため、研究段階としてはオプションの創造対象は、“原油価格の高騰”と“工事事務発生”の2つのシナリオドライバーに絞った。表 4.21 に創り出されたオプションを示す。この2つのシナリオドライバーに対する対応策となるオプションとしては、“工事事務発生”に関しては“工事事務低減のための装置導入”がオプション項目となり、“原油価格の高騰”に関しては“エスカレーション条項導入の交渉”と“事前資材確保”の2つがオプション項目となり、オプション項目数は計3となる。これら3つのオプション項目の組み合わせは計8通りある。ただし、“エスカレーション条項導入の交渉”で“承認”された場合は“事前資材確保”

の対策は必要ないため“確保有り”が不要となる。このため、この事例の有効な組み合わせはオプション1とオプション5を除く6通りとなる。表4.21に計8通りのオプション項目の組み合わせを示す。例えば、オプション4は工事事故の対策のみを行った場合である。

表 4.21 シナリオドライバーに対するオプション

| オプション | 工事事故低減のための装置導入 | エスカレーション条項導入の交渉 | 事前資材確保 |
|-------|----------------|-----------------|--------|
| 1 (注) | 導入有り | 承認 | 確保有り |
| 2 | 導入有り | 承認 | 確保無し |
| 3 | 導入有り | 否認 | 確保有り |
| 4 | 導入有り | 否認 | 確保無し |
| 5 (注) | 導入無し | 承認 | 確保有り |
| 6 | 導入無し | 承認 | 確保無し |
| 7 | 導入無し | 否認 | 確保有り |
| 8 | 導入無し | 否認 | 確保無し |

注) エスカレーション条項導入の交渉が承認されれば事前資材確保の対策は不要のため、これらのオプションは実際には該当せず、有効なオプションは6通りとなる。

オプションを作成したら、オプションの与える影響を考慮する。図4.11にオプションの影響図を示す。装置導入を例とする。右上の装置導入が“無”となると左上の装置購入コストは“0万円”，また事故事前対策は“無”となる。それに対して装置導入が“有”となると、装置購入コストが“5,000万円”となり、事故事前対策は“有”となる。そして図左の要素を影響ダイアグラムに反映させることによってオプションの利益に与える影響を考慮することが可能となる。

数値を変動させる式

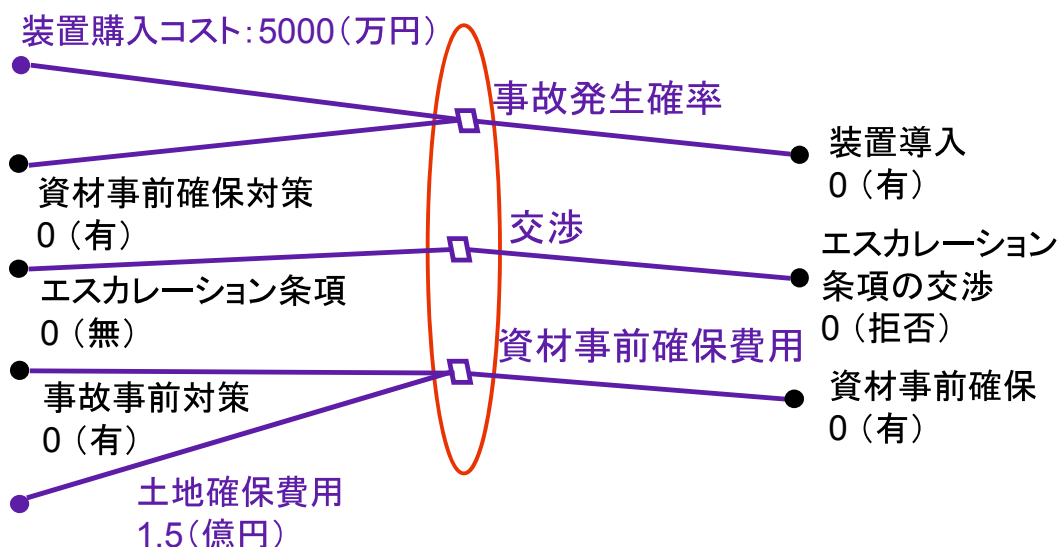


図 4.11 オプションの影響図

4.5.3 多様な環境下でのシミュレーション結果

4.5.1項から4.5.2項で作成された16通りのシナリオ6通りのオプションの影響を考慮して、全96通りの多様な環境下でのシミュレーションを行う。このシミュレーションを行うために96回も情報を手動で入力することは手間がかかるため、Smalltalk

上に自動でシナリオ及びオプションを選択するシミュレーションを作成した。このシミュレーションの結果の一部を図 4.12 と図 4.13 に示す。

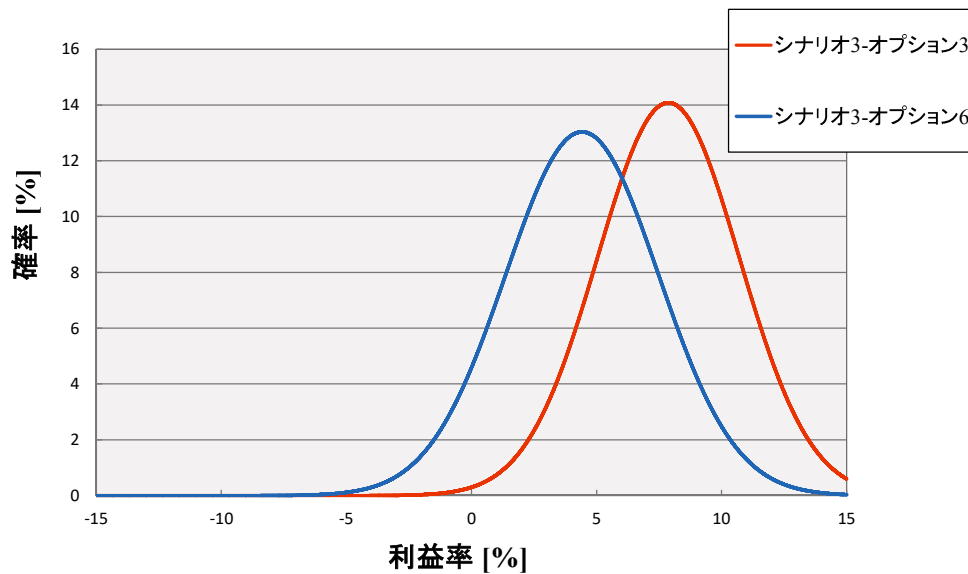


図 4.12 工事事故の発生のオプションを実行した場合

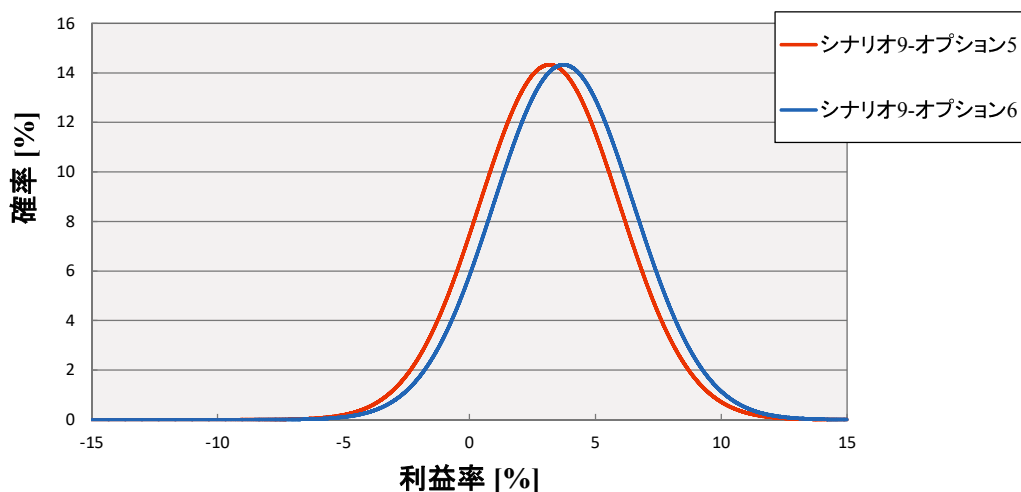


図 4.13 原油価格の高騰のオプションを実行した場合

図 4.12 と図 4.13 に示しているシナリオとオプションの番号は表 4.19 から表 4.20 を参照。

図 4.12 は工事事故の対策をして事故を最小限にした場合と対策をせず事故が発生してしまった場合を示している。この図からは、大きな利益率の変動を読み取れるので、事故に対するオプションが有効であることを示唆することができる。

図 4.13 は原油価格高騰の対策をした場合と対策をせず原油価格高騰のリスクを被ってしまった場合を示している。この図からはあまり利益率の変動を見ることができないので、このオプション以外のオプションを考慮すべきといった結果を導き出すことが可能となる。

本論文ではこのシミュレーションの一部を示したが、実際の事業における評価を行うためには、全ての結果を考慮することが必要となる。

4.6 第4章の総括

外部要因の分析手法を活用して網羅性を高めたリスク項目の抽出を行うことにより、業務熟練者の経験で作成したチェックリストには入ってこなかった項目の抽出が可能となったことが表 4.1 から表 4.5 から確認できる。特にクロスチェーン分析を行うことによって、“過剰な要求事項による採算性事前調査”といった実際発生している項目も抽出できていることから、新たなリスクの抽出が信頼性の高いものであることが考えられる。

感度分析の結果から、“建設資材費”，“掘削機材費”，“契約金額”及び“工事人員数”の要素の影響度が大きいことが図 4.9 から確認できる。これらの結果から、資材費や機材費を削減することができない工事請負者が、人件費削減といった対策を取るといった実情を推測することができるので、この結果の信頼性が高いことが考えられる。

前述した感度分析の結果から、定性チェックリストの致命度が妥当かどうかを検討することが可能となる。先ほどの事業危険度評価において上位だった“能力の高い労働者確保の体制”と“安全・環境等の法制度”の項目を例とする。前者は感度分析の上位となった要素である“工事人員数”に影響しており、最終的な利益に対して大きな影響度を持つことが考えられる。そしてこの項目の致命度は“5”と設定されており、適切な評価がなされていることが確認できる。次に後者について検討する。この項目は“工期”，“機材費”，“資材費”と感度分析の上位項目のほとんどに影響しており、最大限の致命度があると考えられるのにも関わらず、致命度は“4”と設定されている。そこでこのリスク項目の致命度の修正を行う必要が出てくる。表 4.14 から定性チェックリスト項目の致命度が修正されていることが確認できた。図 4.14 で示す通り、システム上で感度分析を行い、妥当性の高い結果から定性チェックリストへフィードバックを行ったことによって、致命度の過小評価や過大評価を防ぐことが可能となることが確認できる。

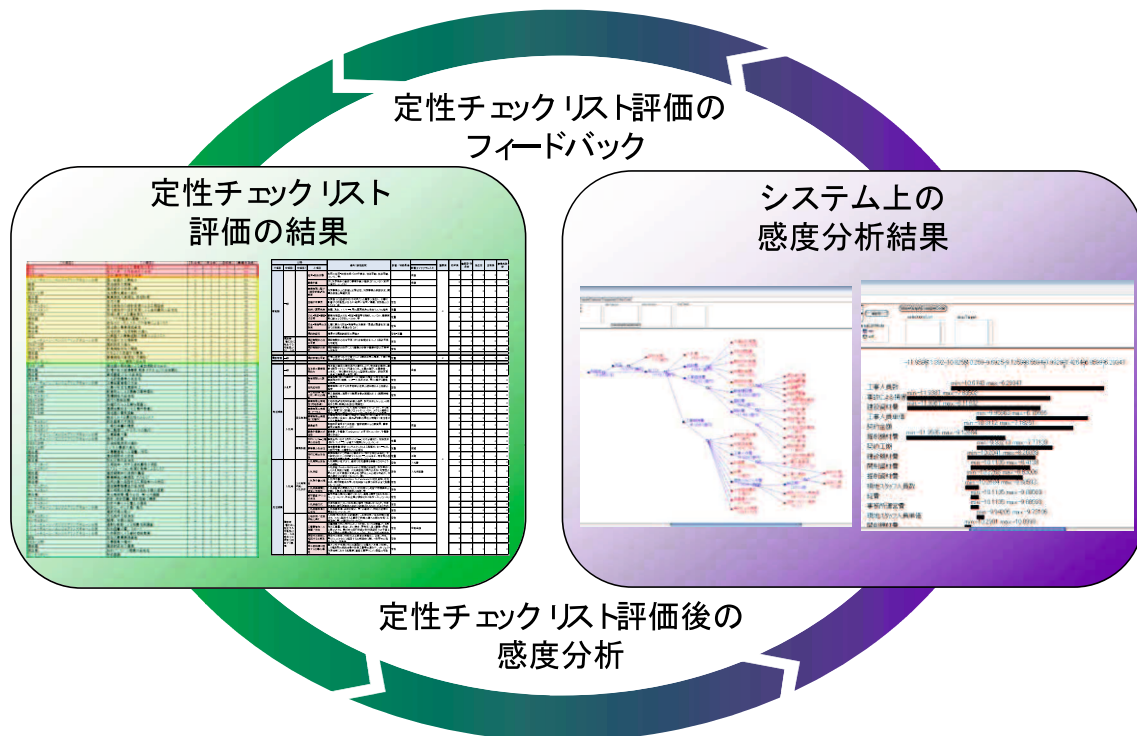


図 4.14 定性チェックリストと感度分析の関係図

本研究では、実施中の海外鉄道建設事業を対象に、図 4.1 のフローチャートに沿うことによって事業内のリスクを抽出することによる事業性評価の手法を提案した。事業内部のみならず事業の外部環境に対しても事業危険度評価を行い、事業リスクの度合いを定量評

価し、その結果を事業危険度評価に反映させることによって事業リスクを正確かつ事前に抽出することができる手法を提案し検証した。その結果、得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 事業熟練者の経験のみの定性チェックリストでは、事業の内部に潜伏するリスク項目の抽出が不十分であり、必要な項目が抜けている場合があった。しかし3つの手法による分析結果に沿って外部影響因子を考慮することにより、事業に潜在するリスク項目の抽出がより網羅的になることが確認された。このことから、事業熟練者へのヒアリングで作成した最初の定性チェックリストに3つの手法による分析結果を反映して定性チェックリストの適正及び信頼性を高めることの有効性が示された。
- (2) 感度分析の結果を用いて、定性チェックリストの数値評価が妥当なものであったかを再評価することが可能となった。事例適用によりチェックリストの事業危険度の過小評価や過大評価を指摘し、改善できたことから、定性評価の信頼性向上に有効であると判断できる。

提案した手法は、事業に影響する幅広い要素を考慮・評価するため、事業請負者側のエンジニア及び経営者以外にも、発注者側のコンサルタント経験者等といった多大な経験を持つ人々が定性チェックリスト作成に関わることによって、本手法を最大限活かすことができると考える。また、プロジェクト完了後にも適宜、見直しや修正を行うことによって、より精度の高い応札判断を行うことができるとともに、汎用性も高めることが期待される。

今後の展望として、提案する手法を用いれば、定性チェックリストと感度分析の結果から自組織に大きな影響を及ぼし、尚且つ不確実性の高い項目を抽出し、それらが発生した場合の対応策（リスクヘッジオプション）を創造することが可能になることが期待できる。事業リスクをヘッジするオプションの採用には多くの場合コストがかかる。事業リスク事象の発生を確率としてシステム上に定義し、多様な環境下でのシミュレーションを行うことにより、リスクヘッジを加味した応札判断の支援の可能性が期待される。



第5章 定量リスク評価の信頼性の向上

5.1 第5章の概要

第4章では感度分析の結果からフィードバックを行うことによって、チェックリストの致命度及び事業危険度の信頼性向上を行った。それに対して、現在の定量評価で扱う変数はDDPに基づいて事業開始時に想定する仮説を使用している。しかし実際に事業で求められる適切な変数は時間とともに変化すると考えられる。人員単価が年々上昇し続ける新興国などがこの例として挙げられる。以上の理由から、事業開始時に想定する変数の仮説は必ずしも正確性が高いとは限らない。そこでこの時間とともに変化する変数を考慮して、定量評価の結果の信頼性を向上させることにより、ハイブリッドリスク評価手法の定量評価の信頼性を向上させることができるのではないかと推測し、本章において、これを行うために過去のプロジェクトの実データを参照すると妥当な結果を導けることを検証した。また現状として逆損益計算図や損益確認表の変数を一様乱数と仮定してモンテカルロシミュレーションを行った。しかし全ての実データの変数が一様乱数に従うとは限らないので、変数に適用する乱数の分布も考慮した。

5.2 定量リスク評価の信頼性向上を行ったフローチャート

5.2.1 実データの傾向の変化と確率分布の推移

本研究では、影響ダイアグラムと逆損益計算図の変数を確率分布として定義し、実データの成功失敗事例の傾向を基に、その傾向に沿った分布を設定することを試みた。図5.1に人員単価を例にした時間による実データの変化、図5.2に仮説の想定例、図5.3に仮説の推移例を示す。図5.1から確認できるように、実データは時間とともに傾向が変動するため、数値を正確に設定することが困難だと考えられる。そこでまず仮説を数学的モデルで、仮説の確率を“Odds”と設定する。最初に得られたいくつかの実データを使って数値の傾向と仮説の確率を得る。ここで想定する仮説は、最も尤もらしい仮説を基準にその幅（標準偏差）や基準値（平均値）を変動させたものとしている（図5.2）。ここでは、主仮説を28%の割合とし、主仮説から変動させた8の仮説をそれぞれ9%の割合と想定している。割合の設定は任意であるが、変動することで最終的に1つの最も可能性の高い仮説が選択されることになるため、想定する割合が確率分布の推移には大きな影響は及ぼさない。

最初に、実データの結果から想定した仮説の中で、傾向として最も発生する可能性の高い仮説を選択する。この確率分布を基準に、また幅（標準偏差）や基準値（平均値）を変動させた複数個の仮説を想定し、次に得られた実データを使用して傾向を得る。このプロセスを数回ほど行うことによって、図5.3のように当初想定した仮説から時間軸を考慮した実データによってどの程度推移したのかを検討することが可能になると考えられる。

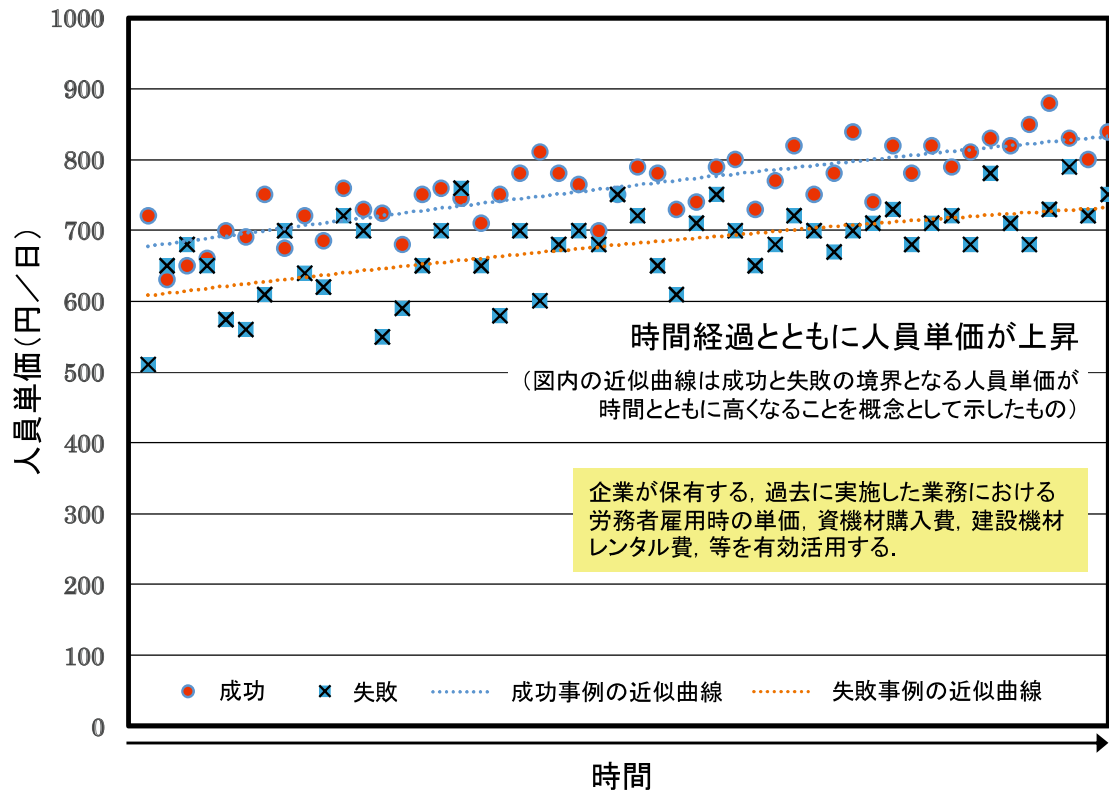
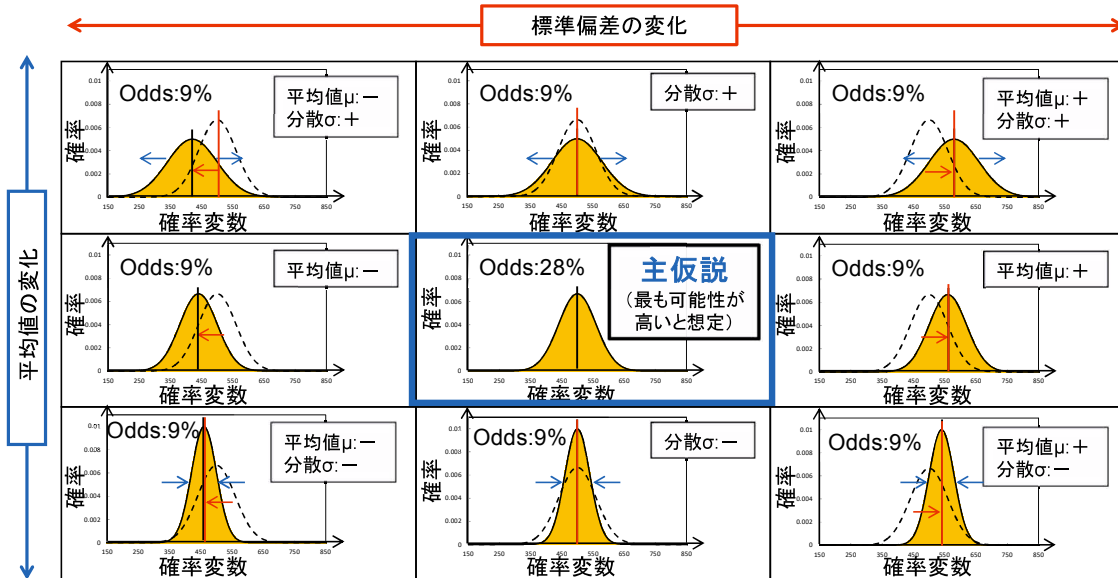


図 5.1 時間による実データの変化



※図中の赤線は主仮説の基準値の線

図 5.2 仮説想定の例

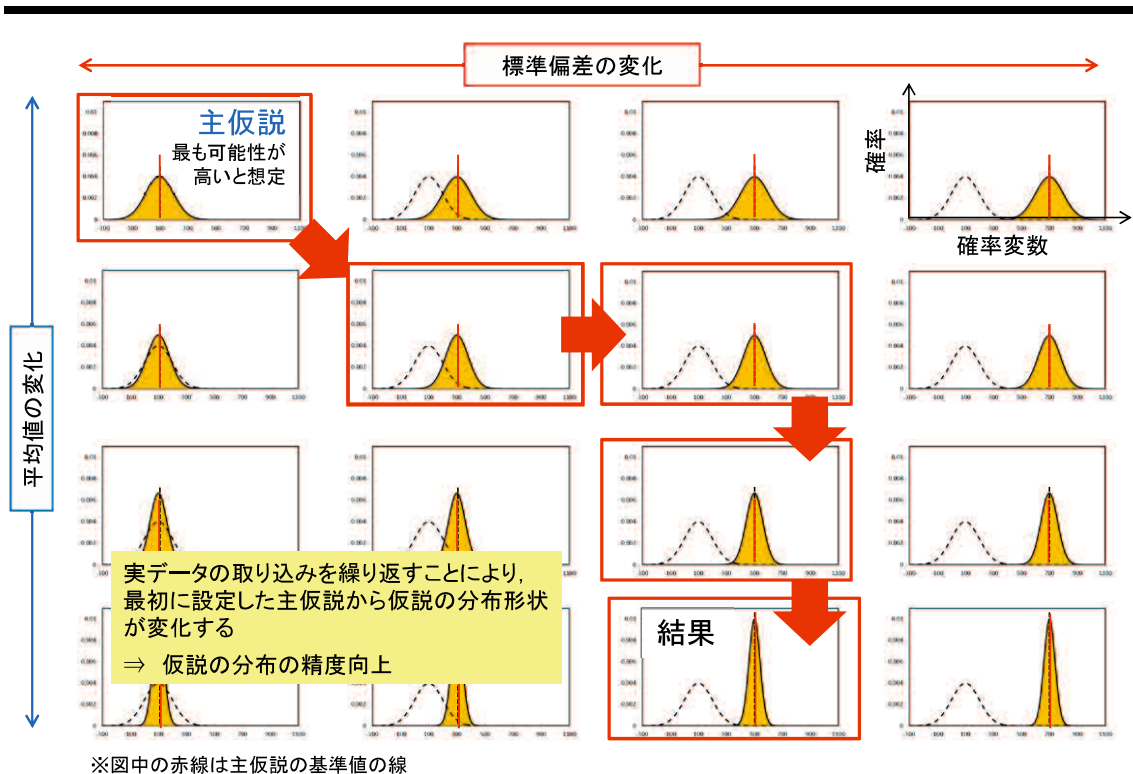


図 5.3 仮説の推移

5.2.2 ベイズの定理と適用例

本研究では、実データの傾向を読み取ることができるものと考えた。これによって逆損益計算の変数の妥当性が向上し、その結果定量評価の信頼性も向上するのではないかと推測している。そこで実データの扱い方として、統計学の考え方を参考にできると考えた。しかし実データ自体の数（過去のプロジェクト総数）は、数えることが困難なほど多く存在するが、対象プロジェクトに似た実データとなるとデータ数に限りが出てくる。つまり実データが頻度論的統計学で必要とされるほどの量を持たない可能性がある。そこで、データ量が少ない時にも使用できるベイズ統計（渡部, 1999）（小島, 2004）を本研究では活用する。

ベイズ統計とは、ベイズの定理に基づいた統計のことである。ここでベイズの定理を以下の式に示す。

データ D が得られた時に仮定 H が成立する確率 $P(H|D)$

$$= \frac{\text{仮定 } H \text{ の下でデータ } D \text{ が生じる確率 } P(D|H) \times \text{仮定 } H \text{ が成立する確率 } P(H)}{\text{データ } D \text{ が得られた確率 } P(D)} \quad (\text{式 5.1})$$

上式の確率 $P(H|D)$ を事後確率、右辺の確率 $P(D|H)$ を条件付き確率、確率 $P(H)$ を事前確率と言う。ベイズ統計では、最初の事前確率を常識、想定、経験などで補って設定する。そしてある環境下で想定した仮定が成立する確率（条件付確率）を導き出し、事前確率との積から事後確率を算出している。

ここで、癌の検査を例にベイズの定理の適用を説明する。ある検査 X で癌になっている人を見分ける確率は 90%、がんになっていない人を見分ける確率は 93% とする。また人口などから、癌の発生確率を 0.8% と仮定する。ここでベイズの定理を適用して検査 X の精度を評価する。適用方法としてベイズの定理から、“検査 X の結果が陽性となり、尚かつ癌である確率 P_a ” と “検査 X の結果が陽性となって尚かつ癌でない確率 P_b ” の 2 つを求める。まず確率 P_a は

$$\begin{aligned}
 \text{確率 } P\alpha &= \frac{\text{癌であった場合陽性を示す確率} \times \text{がんの発生確率}}{\text{陽性を示す確率}(Pz)} \\
 &= \frac{90}{100} \times \frac{0.8}{100} \div \text{陽性を示す確率}(Pz) \\
 &= \frac{7.2}{10000Pz} \quad (\text{式 5.2})
 \end{aligned}$$

上式の確率 $P\alpha$ はベイズの定理における事後確率，“癌であった場合陽性を示す確率”は“条件付確率”，“癌の発生確率”は“事前確率”である．また前述した通り，事前確率を経験等で補っていることが確認できる．次に確率 $P\beta$ を求める．

$$\begin{aligned}
 \text{確率 } P\beta &= \frac{\text{癌ではなかった場合陽性を示す確率} \times \text{癌ではない確率}}{\text{陽性を示す確率}(Pz)} \\
 &= \frac{(1 - \text{検査 X で癌になっていない人を見つける確率}) \times \text{癌ではない確率}}{\text{陽性を示す確率}(Pz)} \\
 &= \left(1 - \frac{93}{100}\right) \times \frac{99.2}{100} \div \text{陽性を示す確率 } Pz \\
 &= \frac{694.4}{10000Pz} \quad (\text{式 5.3})
 \end{aligned}$$

ここで，算出された 2 つの確率から“検査 X の結果が陽性であった場合の癌である確率 $P\gamma$ ” を求める．

$$\begin{aligned}
 \text{確率 } P\gamma &= \frac{\text{確率 } P\alpha}{\text{確率 } P\alpha + \text{確率 } P\beta} \\
 &= \frac{\frac{7.2}{10000Pz}}{\frac{694.4}{10000Pz} + \frac{7.2}{10000Pz}} \\
 &= 0.010262 \dots \cong 0.01 \quad (\text{式 5.4})
 \end{aligned}$$

上式から確率 $P\gamma$ は約 1% であることがベイズの定理から算出された．この結果から検査 X は誤診が多いと評価することができる．上式から仮説を複数の確率から評価する際には，ベイズの定理における分母（データ D が得られた確率）の値が約分されて，算出する必要がないことが確認できる．

ベイズ統計では経験則など恣意性を持った事前確率から前述した例のような妥当性の高い結果を導くことが可能となる．本研究ではベイズの定理における D を実データ，仮定 H を逆損益計算図の要素の確率分布とする．そして複数の確率分布を想定してベイズ統計を行い，算出された事後確率を比較することによって信頼性の高い要素の確率分布を得られると仮定した．

5.2.3 定量リスク評価における信頼性向上のフローチャート

ここでベイズ統計を使用し、定量評価の信頼性向上を行うためのフローチャートを図5.4に示す。

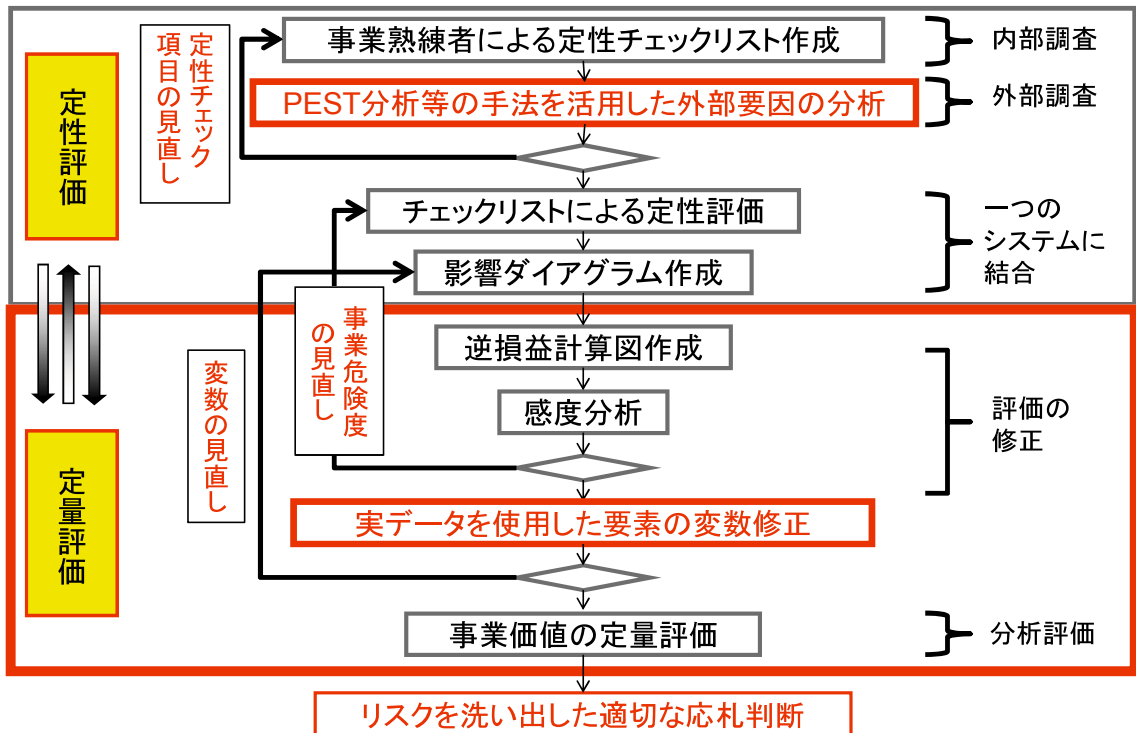


図 5.4 定量評価における信頼性向上のフローチャート

第4章で説明したフローチャートとの相違点は、感度分析後に実データを使用した影響ダイアグラムの変数修正を行っている点である。このようにすることで、実データに基づいた定量評価を行うことが可能となり、定量評価の信頼性の向上ができるものと仮定した。

5.3 実データの適用方法

5.3.1 実データのシステムへの適用

本研究では、影響関係を見易くするために Smalltalk 上に実データ適用を行うシステムを作成した。図 5.5 に正規分布に従う変数を修正するシステムの概要図を示す。

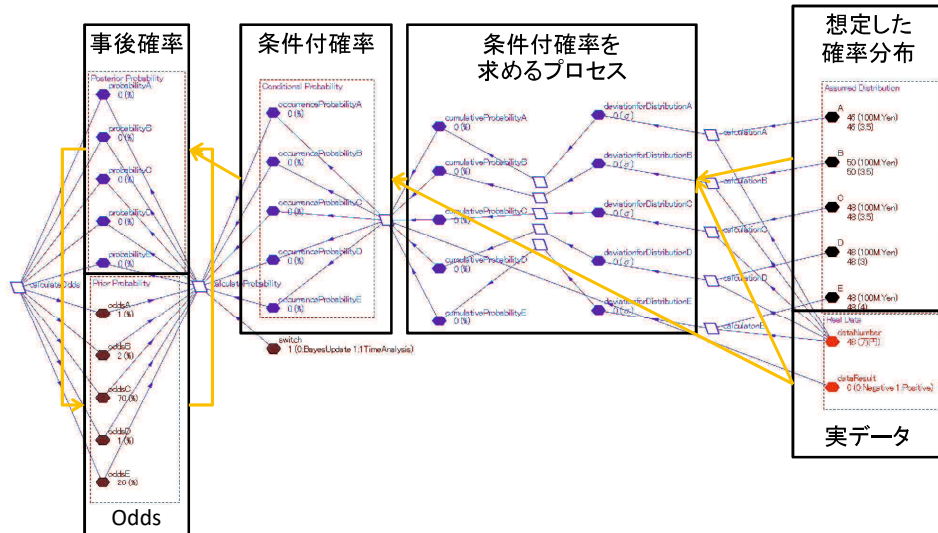


図 5.5 システム概要図 (正規分布)

図 5.5 を用いてシステムの説明を行う。当初に事前確率を正確に設定することは困難なので、本研究では事前確率を Odds として設定した (図 5.5 左)。次に、比較して分布を取捨するために Odds を主仮説として複数の確率分布を仮説として設定する (図 5.5 右上)。図 5.5 の黒色の要素には平均値や標準偏差といった正規分布の情報が入力されている (四辻, 2010)。そして、実データの数値 (図 5.5 右から 2 番目内の右側) と、その実データが成功したか失敗したかの結果 (図 5.5 右から 2 番目内の左側) を入力し、想定した確率分布が成立する確率である条件付確率 (図 5.5 右から 3 番目) を求める。その後、条件率確率と Odds を掛けて、新たな事後確率を求め、事後確率を Odds に反映させて、新たな実データを取り込んで繰り返し行う。

ここで、人員単価を例として条件付確率の求め方を記述する。図 5.6 に人員単価の実データからの条件付確率の範囲の例を示す。

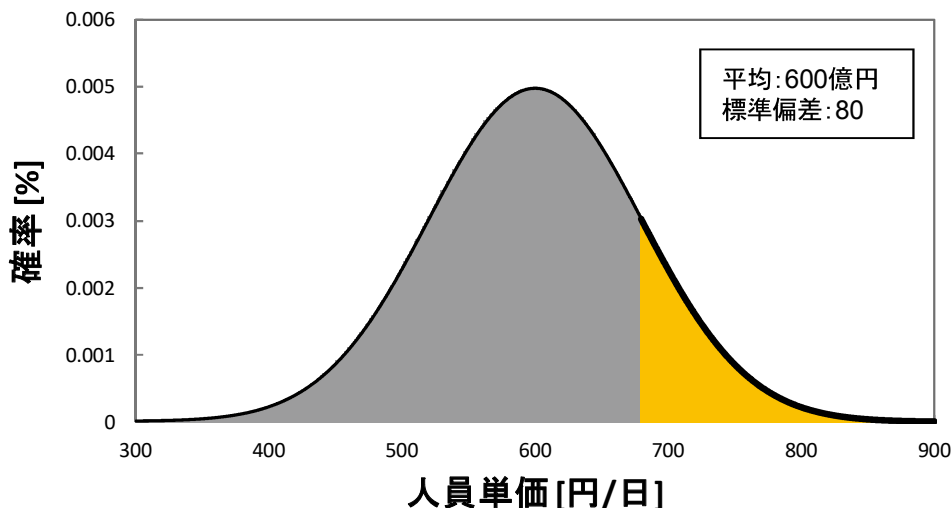


図 5.6 人員単価の条件付確率の範囲例

図 5.6 の正規分布は図 5.5 の想定した仮説の確率分布の一つ（図 5.5 右上）を示している。ここでは人員単価は平均 600 億円，標準偏差 80 の正規分布に従うものと仮定したことが確認できる。ここで入力する実データが『人員単価を 680 円/日と想定して結果は成功した（金額が想定以内に収まった）』と仮定する。この実データからは，“人員単価は 680 円/日以内で収めることができる”ということが言える。従って“実データが得られた時に人員単価の変数が想定した正規分布に従う確率（橙色部分）”は，正規分布表等から約 84%であることが言える。反対に実データが『人員単価 680 円/日かけて結果は失敗した（金額が想定よりも足りなかった）』と仮定すると，“実データが得られた時に人員単価の変数が想定した正規分布に従うという確率（灰色部分）”は，正規分布表等から約 16%であると言える。以上の方法で求めた確率を条件付確率と言う。この条件付確率は成功と失敗の定義によって求める範囲が反転する可能性があるため，その都度考慮と修正をする必要がある。

実際の事業では，発注者側などが設定している各要素における最低の値を下回ると，応札できなくなるといった事例がある。そこで本研究では，実データが“成功”だった場合に極端に小さな数値を取らないように，条件付確率に下限を設けた。図 5.7 に下限設定の図を示す。

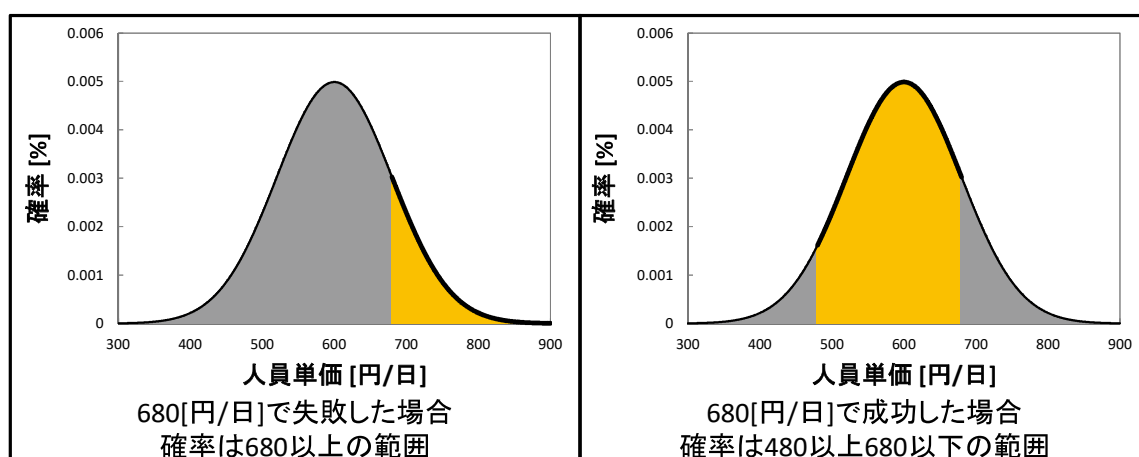


図 5.7 成功時の下限値設定

図 5.7 に先ほどの人員単価の確率分布（平均値：600,標準偏差：80）における成功失敗の確率を示している。失敗した場合（図 5.7 左側）は，この要素により多くの金額をかけなければならないため，680 円/日以上範囲（橙色部分）が確率となる。それに対して成功した場合（図 5.7 右側）は，この要素にかける金額を抑えることができるので，680 円/日以下の範囲が確率となる。しかしその結果極端に低い現実的でない数値が入ってしまう可能性があるため，図 5.7 に示した通り下限を設けた。ここでの下限は基準値（平均値）の 8 割としており，上の例では 600 円/日が平均値なので，480 円/日が下限としている。以上の方法で，条件付確率を求める。

ここで，図 5.5 の説明に戻る。上述した確率の求め方から，条件付確率を求めて最初に想定した事前確率を掛け合わせるによって事後確率を求めている。このベイズの定理に従った事後確率の算出を図 5.5 で行っている。図 5.8 にシステムのフローチャートを示す。

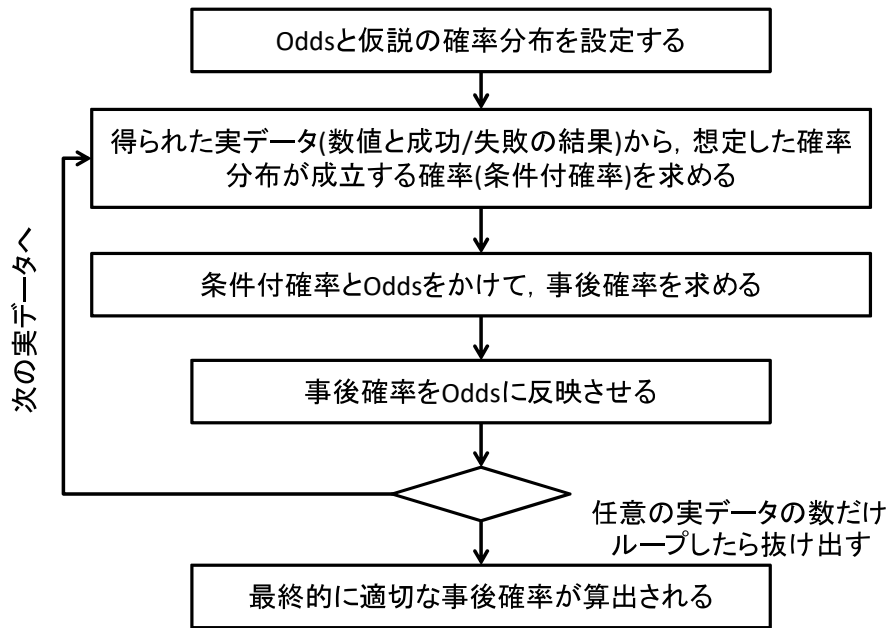


図 5.8 システムのフローチャート

図 5.8 から複数個の実データがあった場合、事後確率を Odds に反映させた後にループさせていることが確認できる。この反映では算出された 100 分率でない、分母がある一定の数である事後確率を 100 分率にするというステップを行っている。例えば、算出された 5 つの事後確率がそれぞれ 10・20・30・40・50 だった場合、これは 100 分率ではない。そこで、反映される Odds を、6.6・13.3・20.0・26.6・33.3 と変換する。

本研究では、想定する確率分布の種類として正規分布と三角分布の二種類を設定した。正規分布は、平均値以上と以下の値をとる確率は同じで平均値に近いほど確率が高い場合の分布である。一方、三角分布は、最小値、最大値、最頻値がわかっている、最頻値が平均値でない場合の分布である。ここで図 5.9 に三角分布を想定した場合のシステム概要図を示す。

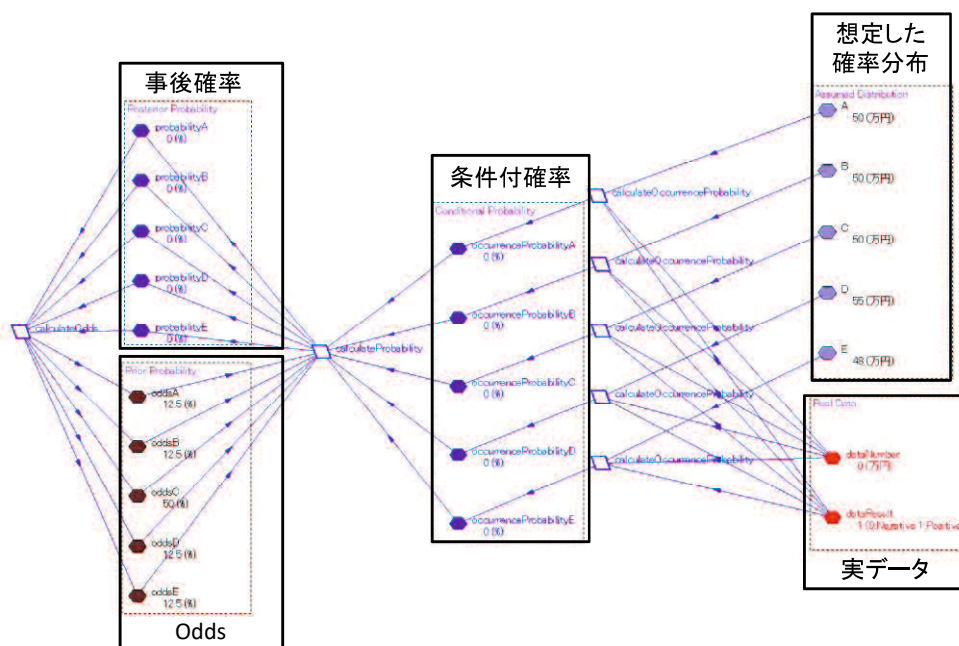


図 5.9 システム概要図 (三角分布)

図 5.9 の水色の要素に三角分布の情報が入力されている (四辻, 2010) . そして図 5.5 と同様に, 複数の確率分布を想定することによって, どの確率分布の事後確率が高くなるのかを求めている. また成功時の下限も同様に設定している. 以上のようにして求めた確率分布を影響ダイアグラムと逆損益計算図に反映させることによって, 最終的な価値計算の結果の信頼性を高くすることができるものと思われる.

5.3.2 乱数発生の方法

実データを適用して, その結果を影響ダイアグラムと逆損益計算図に反映させるためには, 任意の確率分布に従う乱数を生成する必要がある. 本項では, 図 5.5 から図 5.9 で示した正規分布と三角分布に従う乱数発生方法を記述する. 使用している **Smalltalk** では一様分布に従う乱数の発生は初めからメソッドとして実装されているので, 本研究では一様乱数から正規分布に従う乱数を発生させる **Box-Muller** 法, 三角分布に従う乱数を発生させる逆関数法を適用した (四辻, 2010) . まずは **Box-Muller** 法について記述する.

x, y がともに $N(0,1)$ に従う関数とする. 正規分布の公式 $\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ より x, y 平面上において, $x \sim x + dx, y \sim y + dy$ の微小区間の値を取る確率 dp は,

$$\begin{aligned} dp &= \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \times \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \\ &= \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2+y^2}{2}} dx dy \end{aligned} \quad (\text{式 5.5})$$

となる. ここで $dx dy = ds$ とおくと上式から

$$dp = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2+y^2}{2}} ds \quad (\text{式 5.6})$$

となる. また極座標表示 $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$ を適用すると, $x^2 + y^2 = r^2$ となるので式 5.6 は

$$dp = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}} \quad (\text{式 5.7})$$

ここで ds を分解すると,

$$\begin{aligned} ds = dx dy &= dr \cos \theta \cdot dr \sin \theta = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \theta} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \theta} \end{vmatrix} dr d\theta = \begin{vmatrix} \cos \theta & -r \sin \theta \\ \sin \theta & r \cos \theta \end{vmatrix} dr d\theta \\ &= r(\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) dr d\theta = r dr d\theta \end{aligned} \quad (\text{式 5.8})$$

となる. 式 5.7 及び式 5.8 より

$$dp = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}} r dr d\theta \quad (\text{式 5.9})$$

ここで, $\int_0^r e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ を置換積分する.

$$-\frac{t^2}{2} = G, t = -G' \int -e^G (G)' dG \quad (\text{式 5.10})$$

$$\int_0^r e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \left[-e^{-\frac{t^2}{2}} \right]_0^r = 1 - e^{-\frac{r^2}{2}} \quad (\text{式 5.11})$$

また式 5.9 の一部を積分すると,

$$\int_0^\theta \frac{dt}{2\pi} = \frac{\theta}{2\pi} \quad (\text{式 5.12})$$

となる. 以上の積分から式 5.9 を分解して, $S = 1 - e^{-\frac{r^2}{2}}, T = \frac{\theta}{2\pi}$ とおくと $0 \leq S < 1, 0 \leq T < 1$ となるので,

$$dS = re^{-\frac{r^2}{2}} dr, \quad dT = \frac{1}{2\pi} d\theta \quad (\text{式 5.14})$$

となる. よって

$$dp = re^{-\frac{r^2}{2}} dr \cdot \frac{d\theta}{2\pi} = dSdT \quad (\text{式 5.15})$$

ここで S, T は共に 0 以上 1 よりも小さい範囲で一様分布に従うとすると

$$1 - S = e^{-\frac{r^2}{2}} \rightarrow r^2 = -2 \log(1 - S) \rightarrow r = \sqrt{-2 \log(1 - S)} \quad (\text{式 5.16})$$

ここで $\theta = 2\pi T$ より

$$x = r \cos \theta = \sqrt{-2 \log(1 - S)} \cos 2\pi T \quad (\text{式 5.17})$$

$$y = r \sin \theta = \sqrt{-2 \log(1 - S)} \sin 2\pi T \quad (\text{式 5.18})$$

$$dp = dS \cdot dT, \quad dp = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2+y^2}{2}} dx dy \quad (\text{式 5.19})$$

ST 平面 ($0 \leq S < 1, 0 \leq T < 1$) の微小領域は式 5.17 及び式 5.18 によって xy 平面に変換され, それぞれの微小領域の面積を $dSdT$ とすると

$$dT = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2+y^2}{2}} dS \quad (\text{式 5.20})$$

が成立する. ゆえに ST 平面 ($0 \leq S < 1, 0 \leq T < 1$) の一様乱数は式 5.17 及び式 5.18 によって xy 平面の 2 次元標準正規分布に従う乱数になる. x, y はそれぞれ標準正規分布 $N(0,1)$ に従う独立乱数となる. 以上のことから正規分布に従う乱数を発生させることが可能となる. 図 5.10 にシステム上で発生させた平均値 100, 標準偏差 30 に従う正規分布の例を示す.

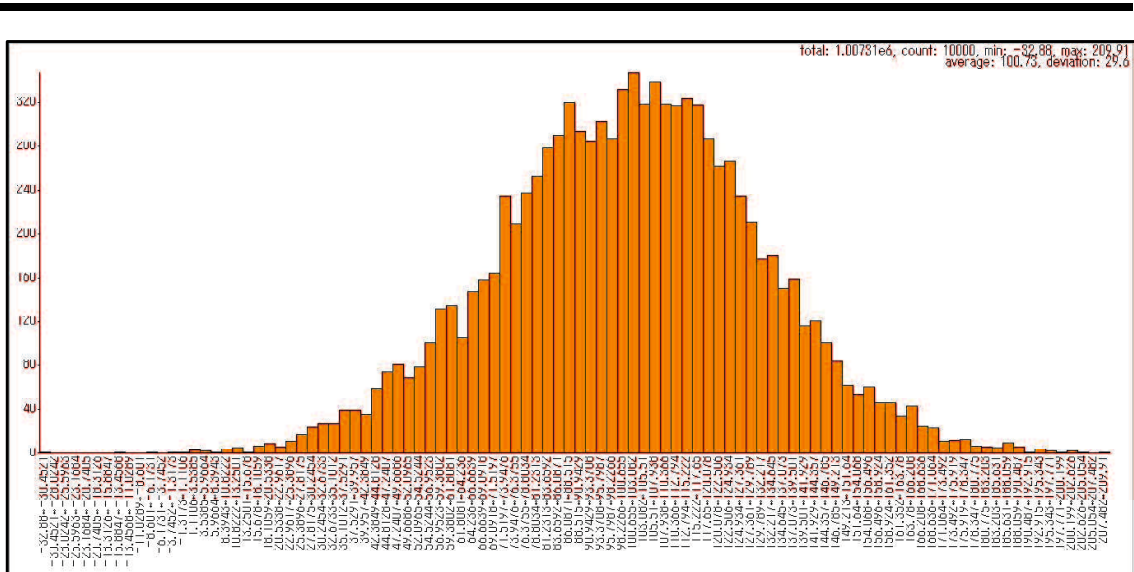


図 5.10 正規分布に従う乱数発生例

次に逆関数法による三角分布に従う乱数発生を記述する。確率分布を $f(x)$ ($a \leq x \leq b$)とすると確率密度関数は

$$F(x) = \int_a^x f(t)dt = S \quad (\text{式 5.21})$$

とおける。また

$$F(a) = \int_a^a f(x)dx = 0, \quad F(b) = \int_a^b f(x)dx = 1 \quad (\text{式 5.22})$$

であるため、よって $0 \leq S \leq 1$ である。確率密度関数は増加関数なので、逆関数

$$x = F^{-1}(S) \quad (0 \leq S \leq 1) \quad (\text{式 5.23})$$

が成り立つ。ここで式 5.21

$$S = \int_a^x f(t)dt \quad (\text{式 5.24})$$

を x 微分すると

$$\frac{dS}{dx} = f(x) \quad (\text{式 5.25})$$

$$dS = f(x)dx \quad (\text{式 5.26})$$

式 5.26 から dS が区間 $0 \leq S \leq 1$ における一様乱数であるとき x は確率分布 $f(x)$ に従う乱数となる。これが逆関数法の基礎である。

ここで三角分布に従う乱数を求める。三角分布の各変数 x における確率密度関数は以下のとおりである。

$$f(x) = \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} \quad (a \leq x \leq c)$$

$$\frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} \quad (c \leq x \leq b) \quad (\text{式 5.27})$$

ここで、三角分布の累積分布関数は

$$F(x) = \int_0^x \frac{2(t-a)}{(b-a)(c-a)} dt = \left[\frac{(t-a)^2}{(b-a)(c-a)} \right]_0^x = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \quad (a \leq x \leq c) \quad (\text{式 5.28})$$

$$F(x) = \left[\frac{(b-t)^2}{(b-a)(b-c)} \right]_x^1 = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \quad (c \leq x \leq b) \quad (\text{式 5.29})$$

と表せる。式 5.28 及び式 5.29 の分母は正の定数、分子は二次関数なので $F(x)$ は増加関数である。よって逆関数 $F^{-1}(x)$ が存在する。ここで式 5.28 及び式 5.29 の逆関数を求める。

$$x = F^{-1}(S) \quad (\text{式 5.30})$$

$$S = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \rightarrow S(b-a)(c-a) = (x-a)^2 \rightarrow \sqrt{S(b-a)(c-a)} = x-a$$

$$x = \sqrt{S(b-a)(c-a)} + a = b \quad (S < \frac{c-a}{b-a}) \quad (\text{式 5.31})$$

$$x = F^{-1}(S) \rightarrow 1-S = \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \rightarrow \sqrt{(1-S)(b-a)(b-c)} = b-x$$

$$x = -\sqrt{(1-S)(b-a)(b-c)} + b = a \quad (S > \frac{a-c}{b-c}) \quad (\text{式 5.32})$$

よって三角分布に従う乱数は S が $0 \leq S \leq 1$ における一様乱数であるとき

$$x = \sqrt{S(b-a)(c-a)} + a \quad (S < \frac{c-a}{b-a}) \quad (\text{式 5.34})$$

$$x = -\sqrt{(1-S)(b-a)(b-c)} + b \quad (S > \frac{a-c}{b-c}) \quad (\text{式 5.35})$$

となる。以上で三角分布に従う乱数を発生させることが可能となる。図 5.11 にシステム上で発生させた基準値 100, 最大値 150, 最小値 80 に従う三角分布の例を示す。

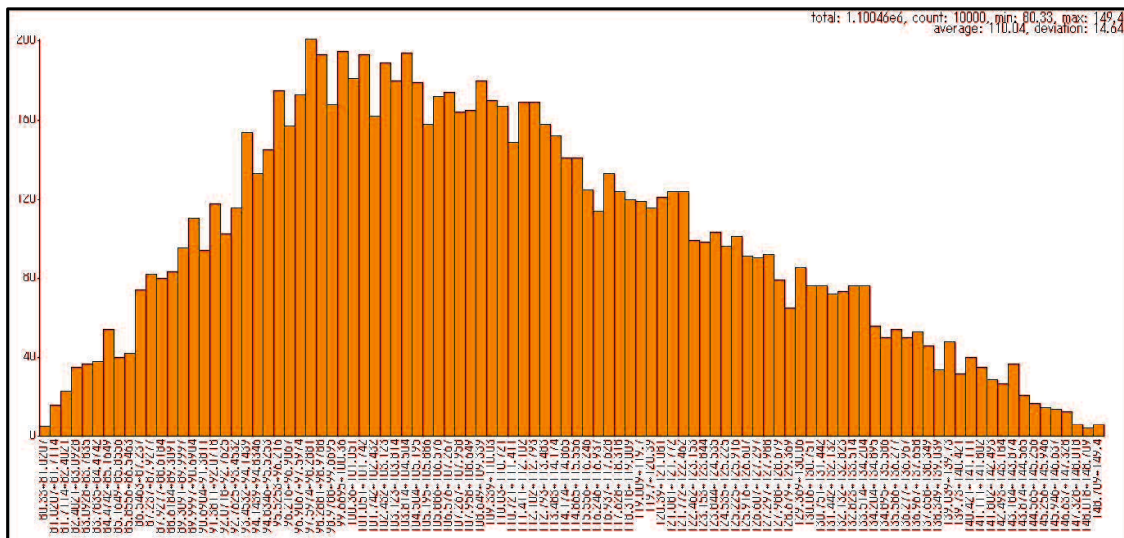


図 5.11 三角分布に従う乱数発生例

5.4 実データによる仮説の更新結果

実データによる仮説の更新を行うために、契約工期を“作業工期”までに、資材費を“コンクリート材単価”までに、人件費を“工事人員単価”までに細分化させた。このようにある一定の要素を単価までに細分化することによって互いに異なる規模のデータにも対応することが可能となる。なぜなら、作業工期、コンクリート材単価及び工事人員単価のように細分化された要素はどんな規模の事業でも大きな変動がないと言えるからである。また互いが影響し合わない要素を選択することによって、適用結果の評価が容易になると考えられる。ここで細分化した結果の影響ダイアグラムと逆損益計算図を図 5.12 と図 5.13 に示す。

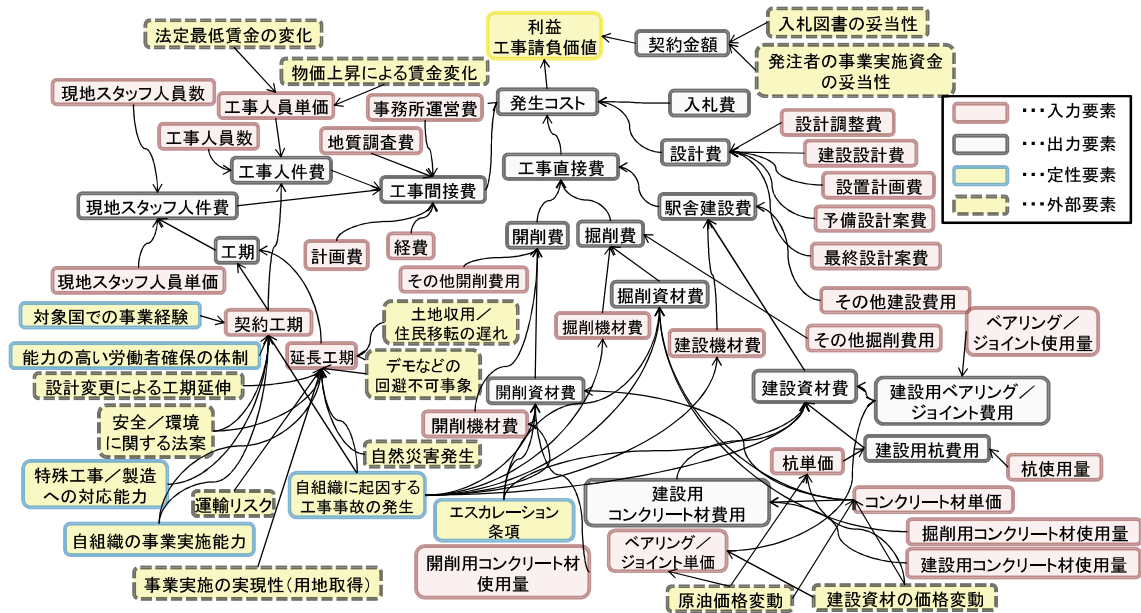


図 5.12 細分化した影響ダイアグラム (一部抜粋)

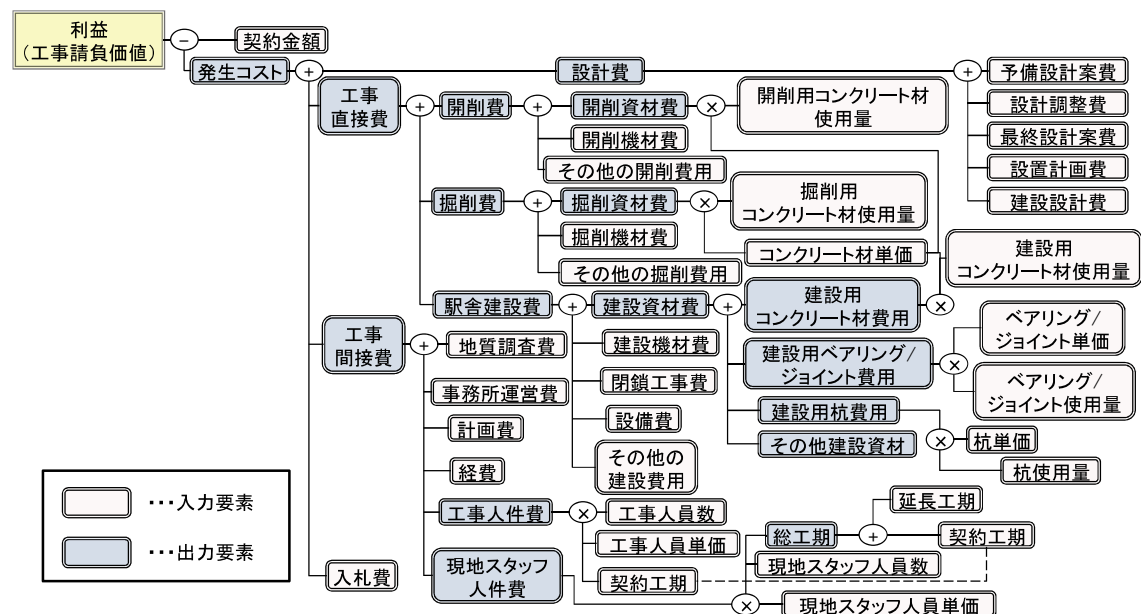


図 5.13 細分化した逆損益計算図 (一部抜粋)

本研究では作業工期は三角分布，コンクリート材単価と工事人員単価は正規分布に従うと仮定して仮説の更新を行った．また実データの失敗の定義付けを以下のようにして行った．

- 作業に必要な日数が当初の想定と比べて満たせなかった（作業工期の失敗）
- 事業に必要な単価が当初の想定と比べて満たせなかった（コンクリート材単価の失敗）
- 事業に必要な人員が当初の想定と比べて満たせなかった（工事人員単価の失敗）

そして前述した失敗事例が発生しなかった場合を成功と定義した．また成功した場合でも前述した通り，極端な数値を避けるために下限値を設けた．

本研究では，業務熟練者にヒアリングして実データを得ている．ここで各適用対象の得られた実データを表 5.1 から表 5.3 に示す．

表 5.1 作業工期の実データ

| 作業工期 | | | | | |
|--------|----|--------|----|--------|----|
| 1 | | 2 | | 3 | |
| 数値 [週] | 結果 | 数値 [週] | 結果 | 数値 [週] | 結果 |
| 173 | 失敗 | 170 | 失敗 | 182 | 成功 |
| 191 | 成功 | 202 | 成功 | 180 | 失敗 |
| 193 | 成功 | 175 | 失敗 | 193 | 成功 |
| 187 | 失敗 | 185 | 失敗 | 174 | 失敗 |
| 182 | 成功 | 195 | 成功 | 173 | 失敗 |
| 196 | 失敗 | 188 | 失敗 | 179 | 失敗 |
| 177 | 失敗 | 179 | 失敗 | 192 | 成功 |
| 169 | 失敗 | 198 | 成功 | 191 | 失敗 |
| 202 | 成功 | 175 | 失敗 | 169 | 失敗 |
| 172 | 失敗 | 174 | 失敗 | 190 | 成功 |

表 5.2 コンクリート材単価の実データ

| コンクリート材単価 | | | | | |
|------------|----|------------|----|------------|----|
| 1 | | 2 | | 3 | |
| 数値 [万円/立米] | 結果 | 数値 [万円/立米] | 結果 | 数値 [万円/立米] | 結果 |
| 2.5 | 成功 | 2.1 | 失敗 | 2.5 | 失敗 |
| 2.2 | 成功 | 2.4 | 成功 | 3.0 | 成功 |
| 1.7 | 失敗 | 1.9 | 失敗 | 1.8 | 失敗 |
| 2.0 | 成功 | 3.0 | 成功 | 2.3 | 成功 |
| 3.2 | 成功 | 3.2 | 失敗 | 2.9 | 成功 |
| 2.6 | 失敗 | 2.8 | 成功 | 2.6 | 成功 |
| 1.9 | 失敗 | 1.5 | 失敗 | 1.7 | 失敗 |
| 2.0 | 失敗 | 2.2 | 失敗 | 1.6 | 失敗 |
| 2.2 | 成功 | 2.3 | 成功 | 2.5 | 成功 |
| 2.4 | 失敗 | 2.6 | 失敗 | 2.6 | 失敗 |

表 5.3 工事人員単価の実データ

| 工事人員単価 | | | | | |
|----------|----|----------|----|----------|----|
| 1 | | 2 | | 3 | |
| 数値 [円/日] | 結果 | 数値 [円/日] | 結果 | 数値 [円/日] | 結果 |
| 710 | 成功 | 550 | 失敗 | 680 | 成功 |
| 630 | 成功 | 600 | 失敗 | 800 | 成功 |
| 500 | 失敗 | 650 | 失敗 | 720 | 失敗 |
| 790 | 失敗 | 690 | 成功 | 630 | 失敗 |
| 650 | 成功 | 780 | 成功 | 800 | 成功 |
| 680 | 失敗 | 630 | 失敗 | 600 | 失敗 |
| 650 | 失敗 | 580 | 失敗 | 700 | 成功 |
| 570 | 失敗 | 670 | 成功 | 620 | 失敗 |
| 670 | 成功 | 750 | 成功 | 720 | 成功 |
| 700 | 成功 | 730 | 失敗 | 670 | 失敗 |

表 5.1 から表 5.3 から 30 個の実データを大きく 3 つに分けていることが確認できる。これは図 5.3 のように、時間軸に沿って抽出された実データの傾向を 3 回みて、想定した確率分布を推移させるためである。

確率の分布は、要素の性質によってそれぞれ異なった形状となる。例えば、長期間の地震発生分布のように時間の経過によって確率が変動せずに一定の場合で、最大値と最小値の間で全ての値が同じ確率で発生する一様分布、建設期間中の洪水発生回数確率のように所与の時間間隔で発生する離散的な事象の分布であるポアソン分布、資材単価の変数の確率のように平均値以上と以下の値をとる確率が同じで平均値に近いほど確率が高い場合の正規分布、作業工期の変数の確率のように最小値、最大値及び最頻値が分かっている最頻値が平均値でない場合の参画分布、等がある。確率分布の想定においては、要素の性質に応じて最も適した分布図を適用する。図 5.14 に上述の分布図の概念を示す。

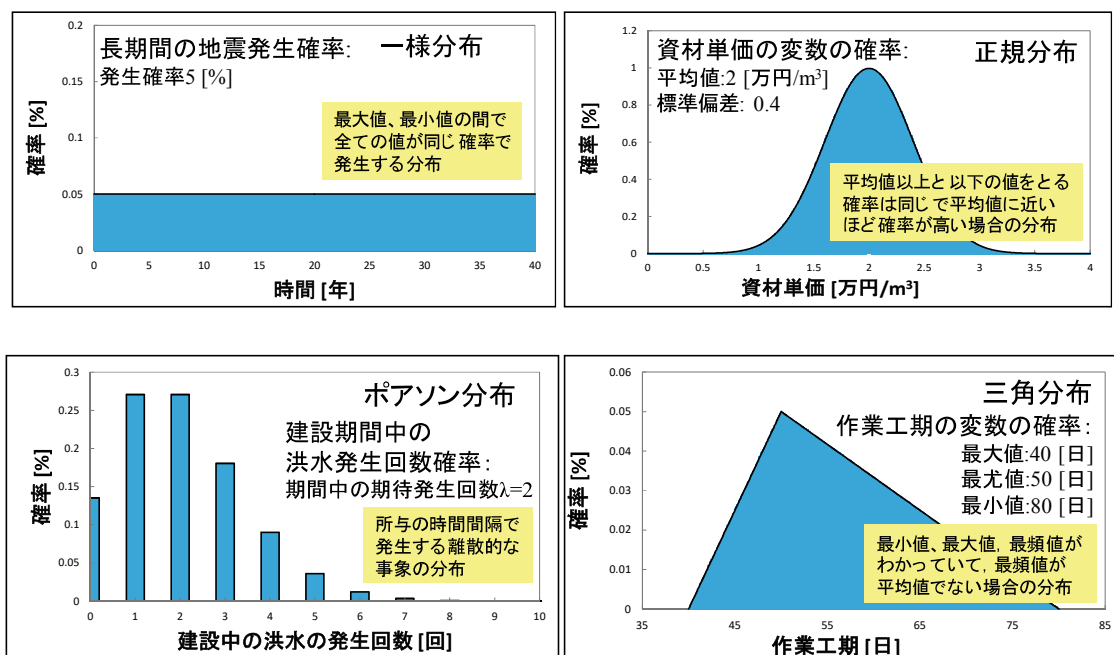


図 5.14 様々な要素の確率分布の例

5.4.1 作業工期への適用及び結果

まず前述した確率分布の想定を行う。図 5.14 に 1 回目の確率分布の想定図を示す。

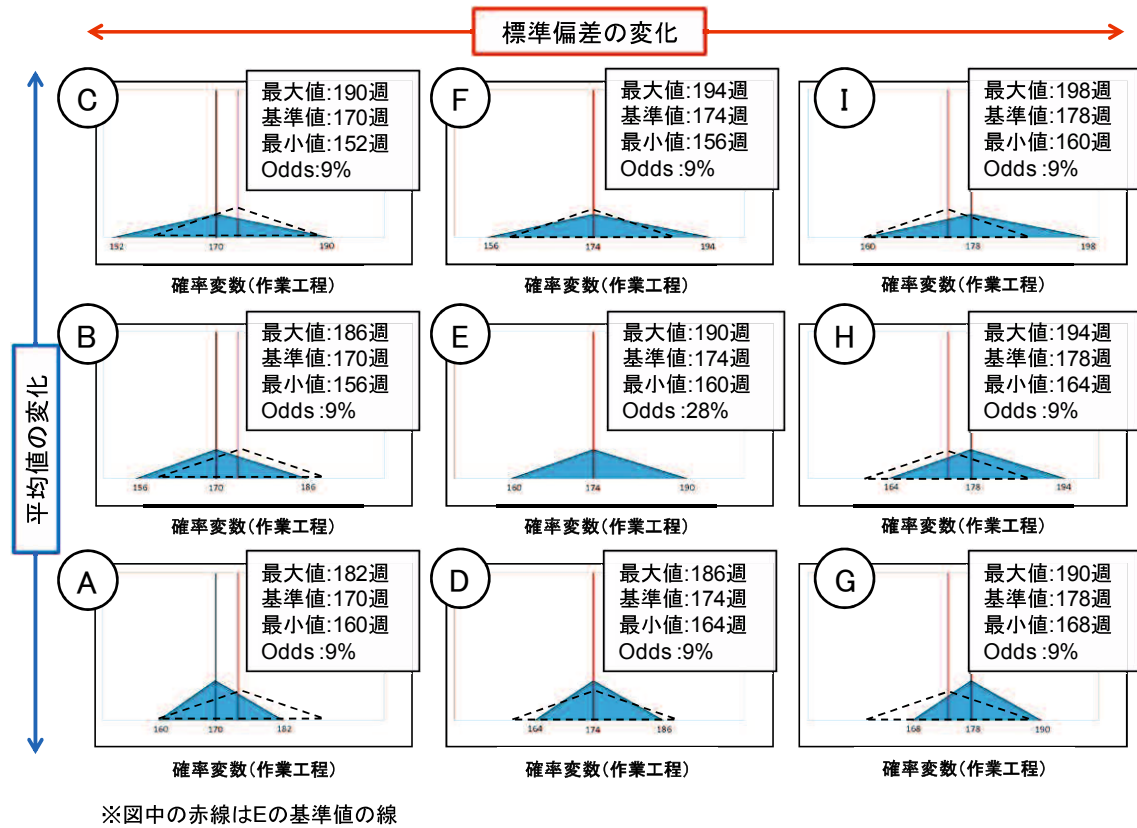


図 5.15 作業工期の 1 回目の確率分布想定

図 5.15 から最大値 190 週，基準値 174 週，最小値 160 週の確率分布(E)を中心に，基準値と幅を変動させた分布を想定していることが確認できる。また当初の想定では E の分布が最も発生する可能性が高いと考えられているので，E 以外の確率を理由不十分の原則より全て 9%で，E を他の分布の Odds よりも高い 28%と想定した。

ここで表 5.1 の 1 回目の実データ（表 5.1 の“1”）を参考に最初の仮説の更新を行う。表 5.4 にその結果を示す。

表 5.4 作業工期の仮説の1回目の更新結果

| 1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 172 | 170 | 168 | 174 | 174 | 174 | 176 | 178 | 180 |
| 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 |
| 182 | 186 | 190 | 186 | 190 | 194 | 190 | 194 | 198 |
| 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 |
| 158 | 154 | 150 | 162 | 158 | 154 | 166 | 162 | 158 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 5.5 | 5.3 | 5.3 | 9.4 | 28.3 | 8.9 | 12.9 | 12.4 | 12.1 |
| 5.5 | 5.4 | 5.4 | 9.5 | 28.6 | 8.9 | 13.0 | 12.3 | 11.4 |
| 5.6 | 5.4 | 5.4 | 9.5 | 28.7 | 8.9 | 13.1 | 12.3 | 11.0 |
| 5.6 | 5.4 | 5.4 | 9.5 | 28.7 | 8.9 | 13.1 | 12.3 | 11.0 |
| 6.6 | 6.3 | 6.0 | 10.8 | 30.0 | 8.7 | 12.6 | 10.6 | 8.5 |
| 6.6 | 6.3 | 6.0 | 10.8 | 30.0 | 8.7 | 12.6 | 10.6 | 8.5 |
| 1.9 | 2.7 | 3.2 | 8.4 | 27.3 | 8.7 | 17.6 | 16.4 | 13.8 |
| 1.5 | 1.9 | 1.9 | 8.5 | 25.4 | 7.6 | 20.6 | 18.0 | 14.5 |
| 1.5 | 1.9 | 1.9 | 8.5 | 25.4 | 7.6 | 20.6 | 18.0 | 14.5 |
| 0.9 | 1.0 | 1.0 | 7.8 | 22.1 | 6.4 | 24.6 | 20.4 | 15.9 |

表 5.4 から最大値 190 週，基準値 178 週，最小値 168 週の確率分布（図 5.14 における G）が最も確率が高くなったことが確認できる。以上の結果から 2 回目の確率分布の想定を行う。図 5.16 に 2 回目の確率分布の想定図を示す。

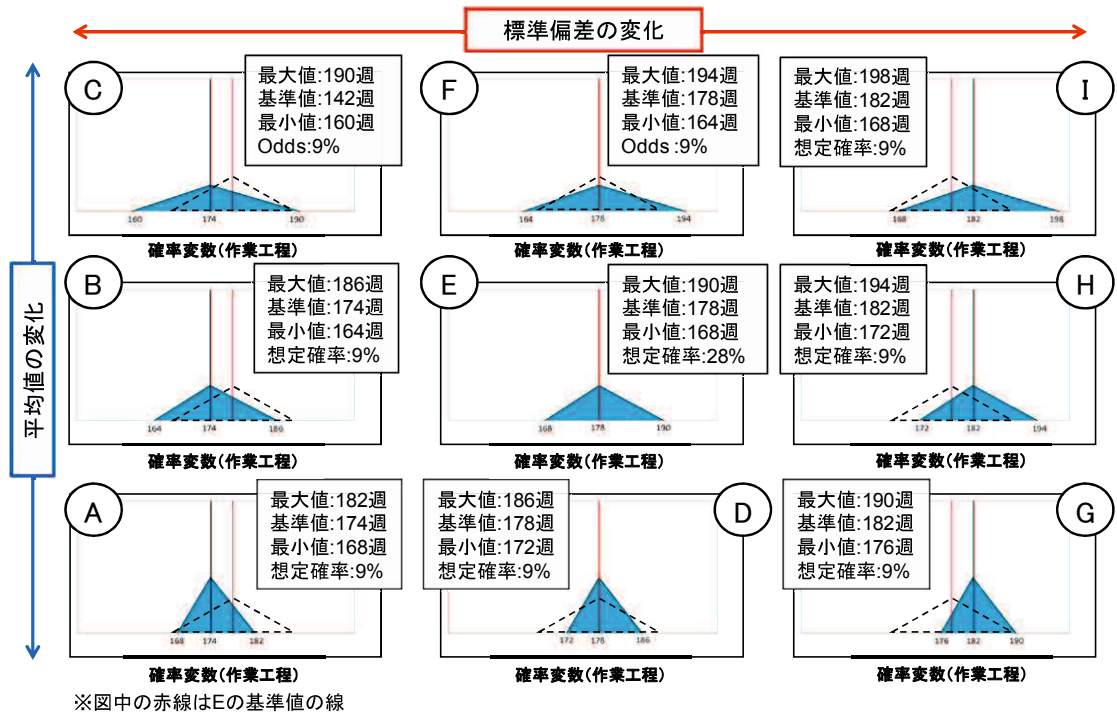


図 5.16 作業工期の2回目の確率分布想定

仮説の1回目の更新の適用結果では, 図 5.14 においての G の確率が最も高くなった. そこで G を中心に基準値と幅を変動させる. そのため図 5.15 と図 5.16 を比較すると図 5.15 の G の確率分布が図 5.16 では E の位置に移動していることが確認できる. 1回目と同様に, E の Odds を 28%, それ以外を理由不十分の原則から 9%とした.

ここで2回目の実データ(表 5.1 の“2”)を参考に仮説の2回目の更新を行う. 表 5.5 に適用結果を示す.

表 5.5 作業工期の仮説の2回目の更新結果

| 2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 176 | 174 | 172 | 178 | 178 | 178 | 180 | 182 | 184 |
| 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 |
| 182 | 186 | 190 | 186 | 190 | 194 | 190 | 194 | 198 |
| 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 |
| 166 | 162 | 158 | 170 | 166 | 162 | 174 | 170 | 166 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 8.8 | 7.4 | 6.3 | 10.0 | 29.1 | 8.6 | 10.0 | 10.0 | 9.7 |
| 8.8 | 7.4 | 6.3 | 10.0 | 29.1 | 8.6 | 10.0 | 10.0 | 9.7 |
| 5.0 | 3.9 | 3.3 | 11.0 | 28.7 | 8.0 | 14.7 | 13.3 | 12.2 |
| 5.0 | 3.9 | 3.3 | 11.0 | 28.7 | 8.0 | 14.7 | 13.3 | 12.2 |
| 5.0 | 3.9 | 3.3 | 11.0 | 28.7 | 8.0 | 14.7 | 13.4 | 12.0 |
| 5.0 | 3.9 | 3.3 | 11.0 | 28.7 | 8.0 | 14.7 | 13.4 | 12.0 |
| 0.8 | 1.3 | 1.4 | 7.6 | 23.2 | 7.0 | 20.8 | 19.9 | 18.0 |
| 0.8 | 1.3 | 1.4 | 7.6 | 23.2 | 7.0 | 20.8 | 19.9 | 18.0 |
| 0.4 | 0.6 | 0.6 | 7.0 | 19.2 | 5.4 | 25.6 | 22.3 | 18.9 |
| 0.2 | 0.3 | 0.3 | 6.7 | 16.2 | 4.2 | 29.3 | 23.8 | 19.0 |

表 5.5 から最大値 190 週, 基準値 182 週, 最小値 176 週の確率分布(図 5.16 における G)の確率が高くなったことが確認できる. この結果を基に, 3 回目の確率分布の想定を行う. 図 5.17 に 3 回目の確率分布想定を図を示す.

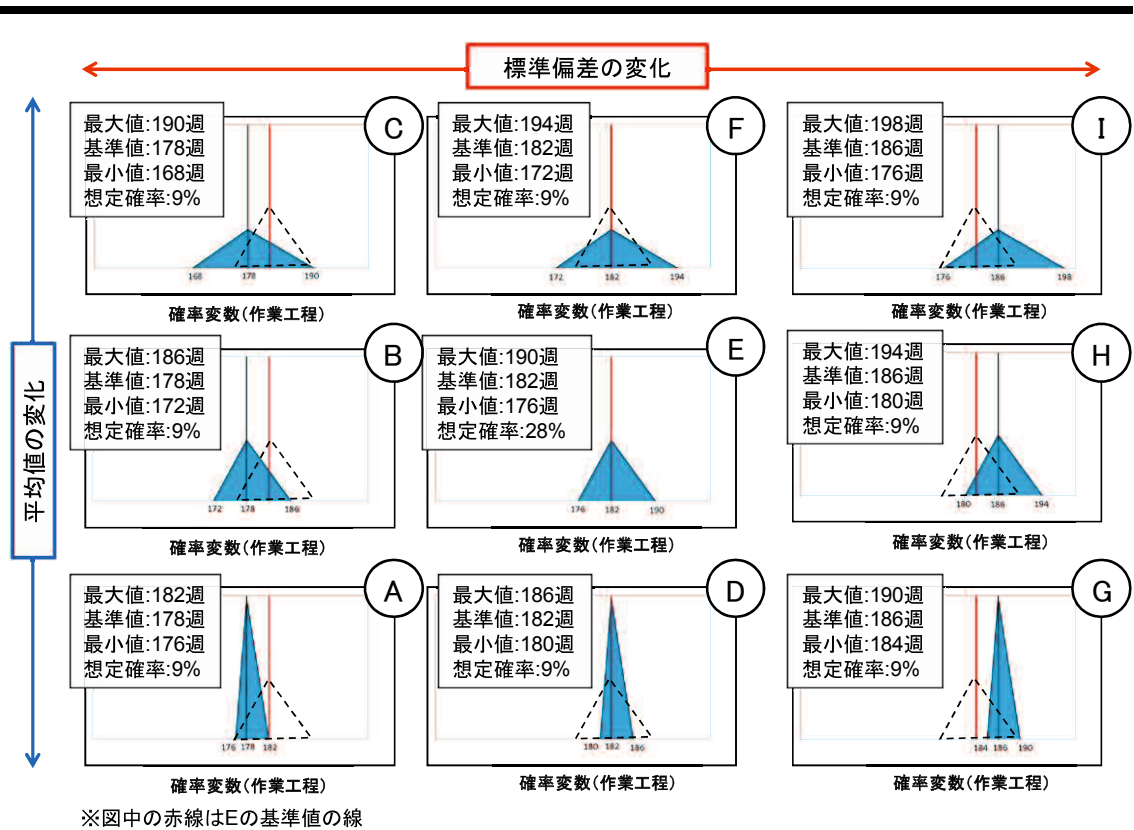


図 5.17 作業工期の 3 回目の確率分布想定

図 5.16 と図 5.17 を比較すると、図 5.16 における G の確率分布が図 5.17 の E の位置に移動して、Odds を 28% に設定していることが確認できる。

ここで 3 回目の実データ（表 5.1 の“3”）を参考に仮説の 3 回目の更新を行う。表 5.6 に 3 回目の適用結果を示す。

表 5.6 作業工期の仮説の 3 回目の更新結果

| 3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 180 | 178 | 176 | 182 | 182 | 182 | 184 | 186 | 188 |
| 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 | 最大値 |
| 182 | 186 | 190 | 186 | 190 | 194 | 190 | 194 | 198 |
| 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 | 最小値 |
| 174 | 170 | 166 | 178 | 174 | 170 | 182 | 178 | 174 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 12.7 | 11.7 | 10.8 | 10.8 | 26.4 | 7.9 | 7.6 | 6.4 | 5.7 |
| 2.7 | 5.6 | 6.5 | 6.5 | 35.5 | 10.5 | 12.3 | 10.7 | 9.6 |
| 2.8 | 5.7 | 6.5 | 6.5 | 35.7 | 10.5 | 12.4 | 10.8 | 9.2 |
| 2.9 | 4.6 | 4.1 | 7.0 | 38.2 | 10.3 | 13.3 | 10.9 | 8.7 |
| 3.1 | 4.1 | 2.9 | 7.2 | 39.6 | 10.2 | 13.8 | 10.9 | 8.3 |
| 1.0 | 1.8 | 1.4 | 3.4 | 42.2 | 10.1 | 17.2 | 13.2 | 9.9 |
| 1.0 | 1.8 | 1.4 | 3.5 | 42.6 | 10.1 | 17.4 | 13.2 | 9.2 |
| 1.0 | 1.8 | 1.4 | 3.5 | 42.6 | 10.1 | 17.4 | 13.2 | 9.2 |
| 1.0 | 1.8 | 1.3 | 3.5 | 42.7 | 10.1 | 17.4 | 13.2 | 9.0 |
| 1.0 | 1.8 | 1.3 | 3.6 | 43.8 | 9.9 | 17.8 | 12.8 | 7.9 |

表 5.6 から、最終的に最大値 190 週，基準値 182 週，最小値 176 週の確率分布が最も確率が高くなったことが確認できる。以上のことから、当初の仮説の中で最も可能性が高いと設定された確率分布が図 5.18 のように推移したことが確認できる。

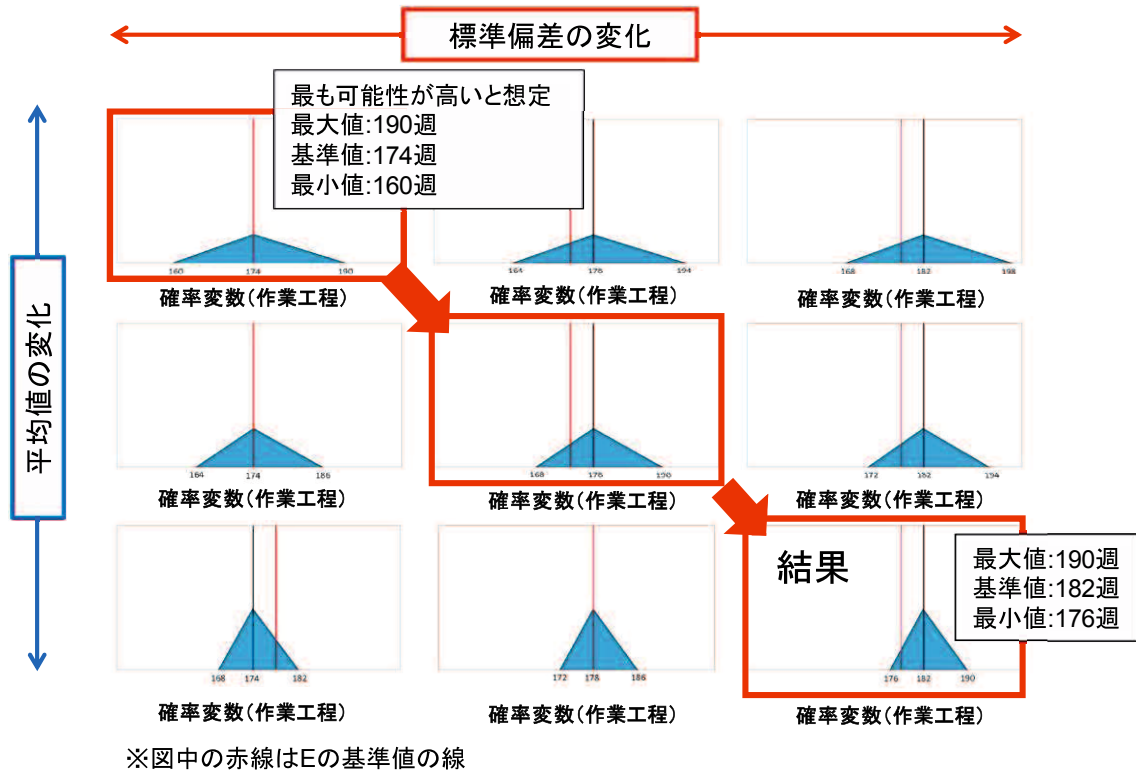
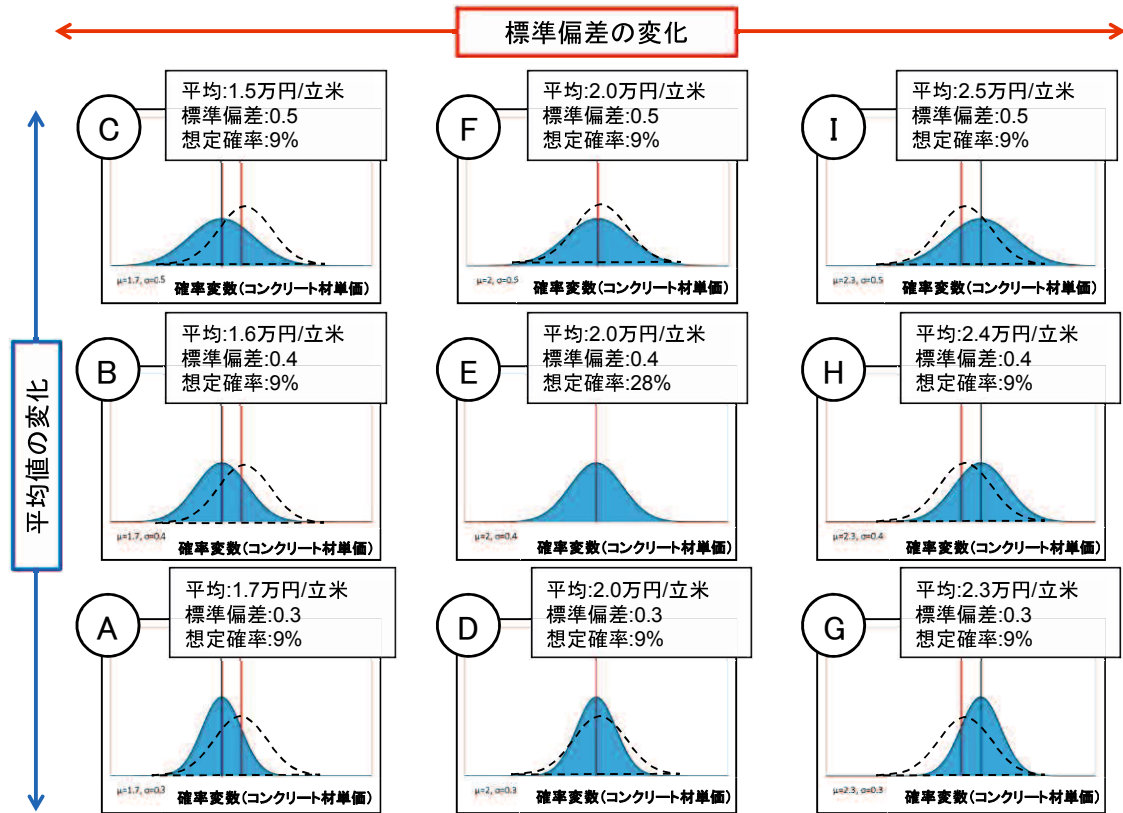


図 5.18 作業工期の仮説の更新による確率分布推移

5.4.2 コンクリート材単価への適用及び結果

次にコンクリート材単価への仮説の更新適用を行う。図 5.19 に 1 回目の確率分布想定を図を示す。



※図中の赤線はEの基準値の線

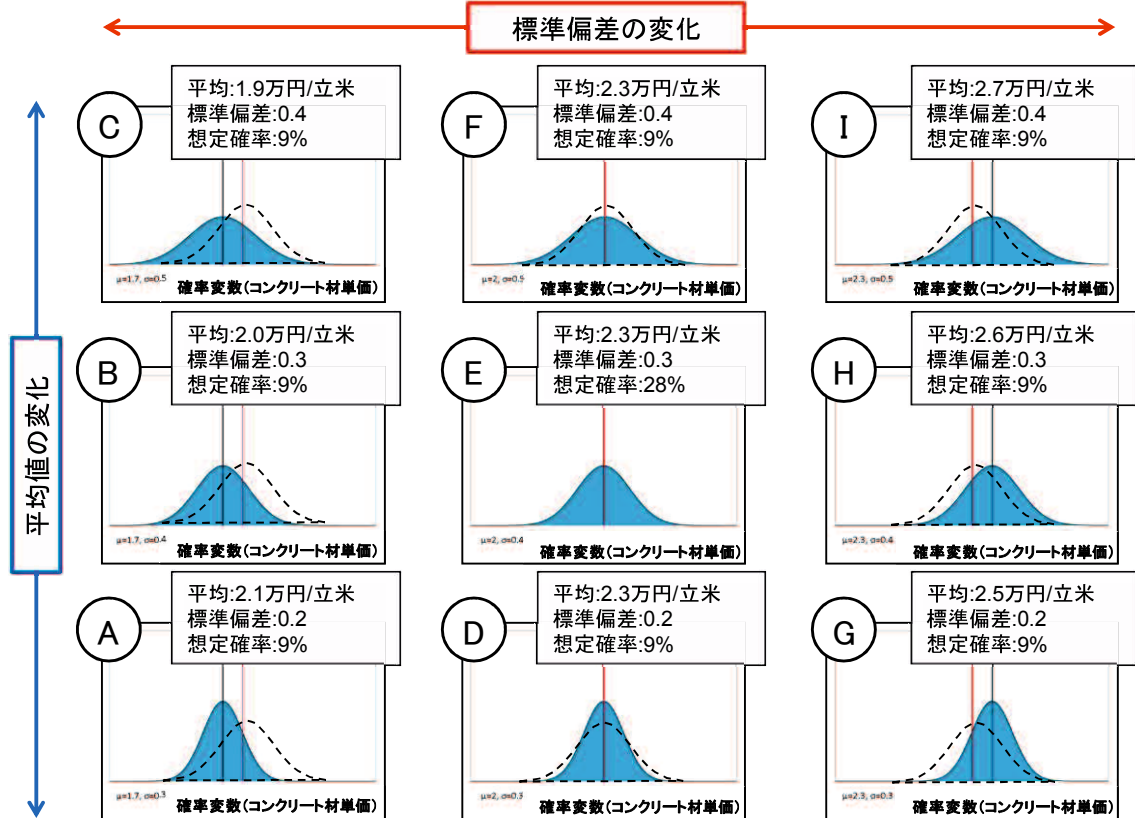
図 5.19 コンクリート材単価の 1 回目の確率分布想定

図 5.19 から平均 2.0 万円/立米，標準偏差 0.4 に従う確率分布が当初の仮説の中で最も可能性が高い分布と設定されていることが確認できる。以上の確率分布と表 5.2 の 1 回目のデータを参考に仮説の更新を行う。

表 5.7 コンクリート材単価の仮説の 1 回目の更新結果

| 1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 1.7 | 1.6 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 2.4 | 2.5 |
| 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 |
| 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 11.4 | 10.2 | 9.2 | 11.3 | 30.0 | 8.2 | 9.0 | 6.3 | 4.5 |
| 17.3 | 13.5 | 11.0 | 13.7 | 29.5 | 6.8 | 5.1 | 2.3 | 1.0 |
| 13.4 | 8.4 | 5.8 | 17.8 | 35.3 | 7.6 | 7.4 | 3.1 | 1.2 |
| 13.4 | 8.4 | 5.8 | 17.8 | 35.3 | 7.6 | 7.4 | 3.1 | 1.2 |
| 13.7 | 7.8 | 5.0 | 19.1 | 35.0 | 7.0 | 8.2 | 3.2 | 1.1 |
| 0.3 | 0.8 | 1.1 | 6.7 | 36.2 | 12.5 | 20.1 | 15.1 | 7.3 |
| 0.1 | 0.2 | 0.3 | 5.9 | 30.4 | 10.1 | 25.6 | 18.7 | 8.6 |
| 0.0 | 0.1 | 0.1 | 4.4 | 22.4 | 7.5 | 31.7 | 23.2 | 10.6 |
| 0.1 | 0.1 | 0.1 | 8.5 | 35.4 | 9.8 | 29.0 | 13.3 | 3.6 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 20.1 | 7.4 | 38.4 | 23.8 | 7.5 |

表 5.7 から、平均値 2.3 万円/立米、標準偏差 0.3 の確率分布（図 5.19 における G）の確率が最も高くなったことが確認できる。そこで作業工期の場合と同様に G の確率分布を中心に新たな確率分布を想定する。想定した結果を図 5.20 に示す。



※図中の赤線はEの基準値の線

図 5.20 コンクリート材単価の 2 回目の確率分布想定

図 5.20 から図 5.19 の G の確率分布が E の位置に移動して、Odds が 28%になっていることが確認できる。以上の確率分布の想定と表 5.2 の 2 回目の実データ（2 回目のデータ（表 5.2 の“2”））を基に仮説の更新を行う。表 5.5 に適用結果を示す。

表 5.8 コンクリート材単価の仮説の 2 回目の更新結果

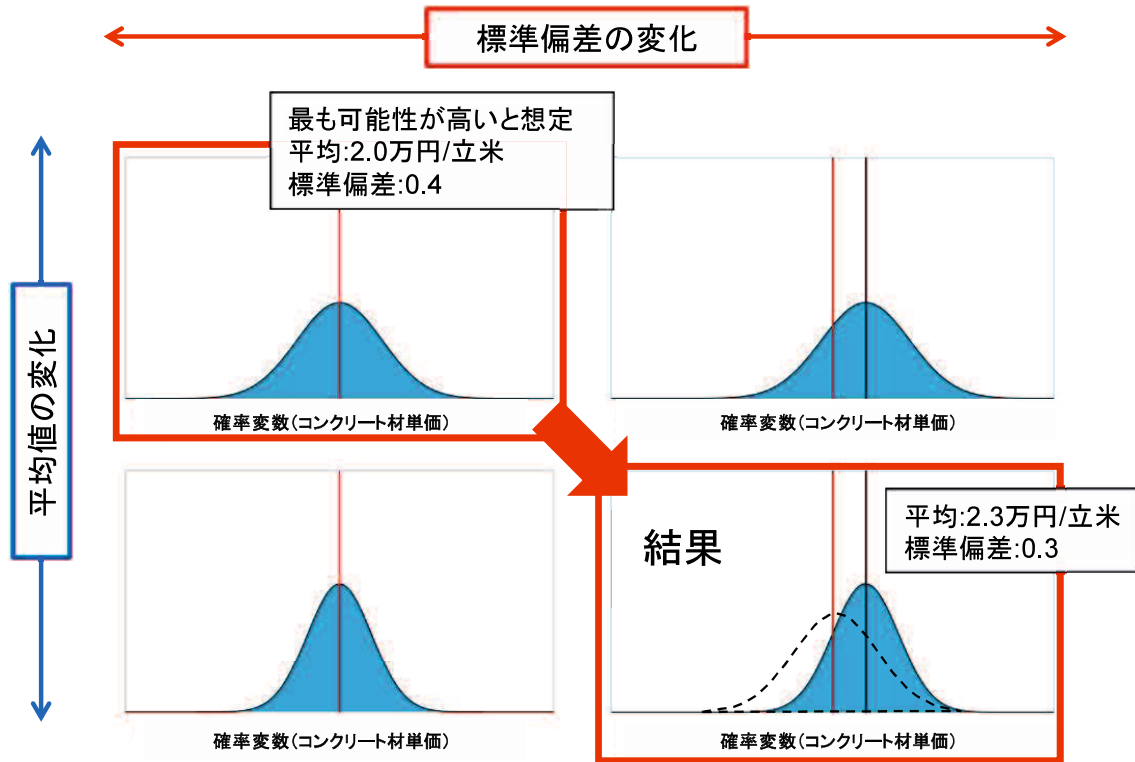
| 2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 2.1 | 2.0 | 1.9 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | 2.7 |
| 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 |
| 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 6.3 | 4.7 | 3.9 | 10.7 | 29.5 | 8.8 | 12.4 | 12.1 | 11.6 |
| 12.0 | 7.9 | 5.8 | 15.0 | 34.5 | 8.6 | 7.7 | 5.2 | 3.3 |
| 11.6 | 5.7 | 3.4 | 16.9 | 36.1 | 8.3 | 8.8 | 5.8 | 3.5 |
| 12.3 | 5.6 | 3.0 | 18.0 | 36.2 | 7.5 | 9.4 | 5.4 | 2.6 |
| 12.3 | 5.6 | 3.0 | 18.0 | 36.2 | 7.5 | 9.4 | 5.4 | 2.6 |
| 13.6 | 5.7 | 2.7 | 19.9 | 36.1 | 6.5 | 9.8 | 4.3 | 1.5 |
| 14.0 | 5.5 | 2.4 | 20.7 | 35.5 | 5.9 | 10.3 | 4.3 | 1.4 |
| 7.1 | 2.2 | 0.9 | 23.4 | 36.5 | 5.8 | 15.6 | 6.4 | 2.1 |
| 14.2 | 4.1 | 1.5 | 27.9 | 39.0 | 5.3 | 5.8 | 1.8 | 0.4 |
| 0.7 | 0.8 | 0.5 | 15.0 | 49.8 | 9.7 | 14.5 | 7.4 | 1.7 |

表 5.8 から平均値 2.3 万円/立米，標準偏差 0.3 の確率分布（図 5.20 における E）の確率が最も高くなったことが確認できる。この E は図 5.20 における中心位置なので，3 回目の確率分布想定は 2 回目と全く同じものとなる。以上の理由から 3 回目の確率分布想定は割愛する。ここで図 5.20 と表 5.2 の 3 回目の実データ（表 5.2 の“3”）を基に仮説の更新を行う。表 5.9 に仮説の 3 回目の更新の適用結果を示す。

表 5.9 コンクリート材単価の仮説の 3 回目の更新結果

| 3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 2.1 | 2.0 | 1.9 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | 2.7 |
| 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 |
| 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 0.7 | 1.5 | 2.1 | 4.9 | 24.4 | 9.6 | 15.6 | 19.6 | 21.6 |
| 0.8 | 1.6 | 2.0 | 5.7 | 26.1 | 9.3 | 17.8 | 19.7 | 17.1 |
| 0.8 | 1.2 | 1.3 | 6.0 | 26.2 | 8.7 | 18.9 | 20.2 | 16.7 |
| 2.5 | 3.5 | 3.2 | 11.1 | 43.2 | 12.3 | 10.9 | 8.9 | 4.4 |
| 2.8 | 3.6 | 3.0 | 12.3 | 44.4 | 11.2 | 11.9 | 8.0 | 3.0 |
| 3.6 | 4.3 | 3.2 | 15.3 | 46.6 | 9.8 | 11.0 | 4.9 | 1.3 |
| 3.8 | 3.9 | 2.3 | 16.2 | 46.7 | 9.1 | 11.7 | 5.1 | 1.2 |
| 4.0 | 3.7 | 1.9 | 16.9 | 46.4 | 8.5 | 12.3 | 5.1 | 1.2 |
| 5.7 | 4.8 | 2.2 | 21.0 | 47.4 | 7.1 | 9.0 | 2.5 | 0.4 |
| 0.2 | 0.7 | 0.6 | 9.3 | 49.9 | 10.8 | 18.5 | 8.4 | 1.5 |

表 5.9 から最終的に平均 2.3 万円/立米, 標準偏差 0.3 の確率分布が最も確率が高いことが確認できた. 以上のことから, 当初の仮説の中で最も可能性が高いと設定された確率分布が図 5.21 のように推移したことが確認できる.

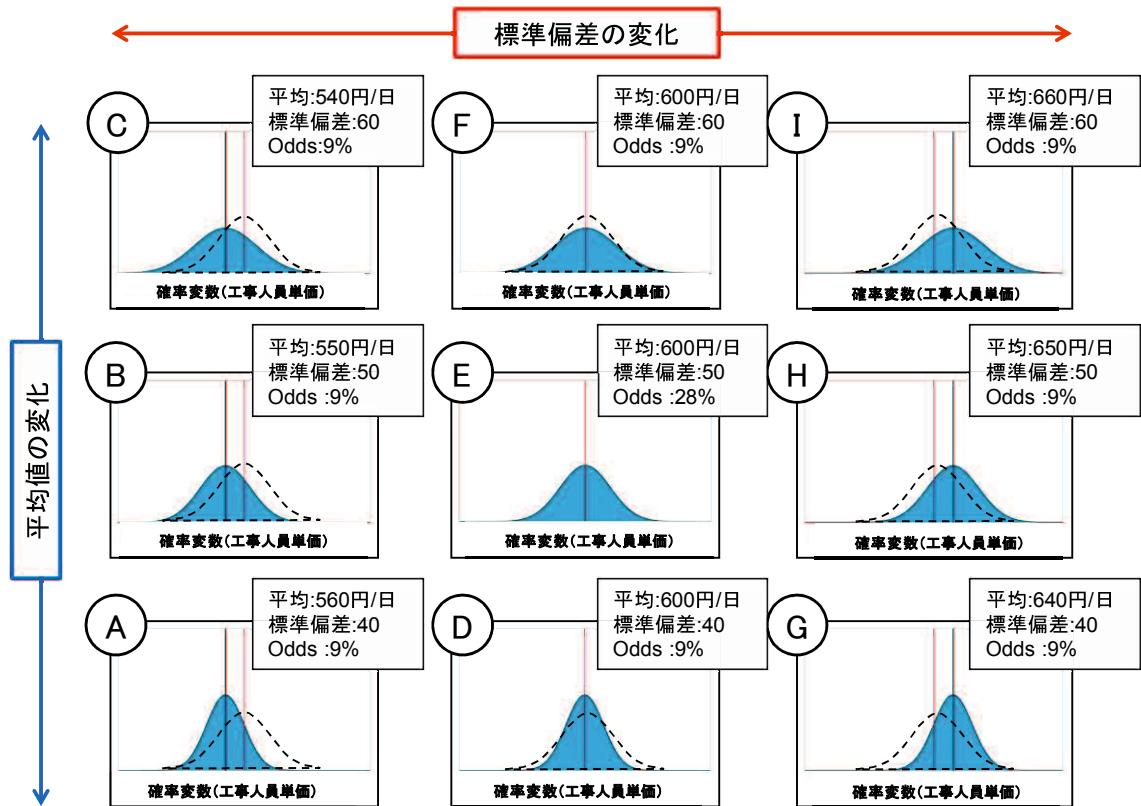


※図中の赤線はEの基準値の線

図 5.21 コンクリート材単価の仮説の更新による確率分布推移

5.4.3 工事人員単価への適用及び結果

次に工事人員単価の仮説の更新の適用を行う。前述した方法と同様に確率分布の想定を行う。図 5.22 に 1 回目の確率分布想定図を示す。



※図中の赤線はEの基準値の線

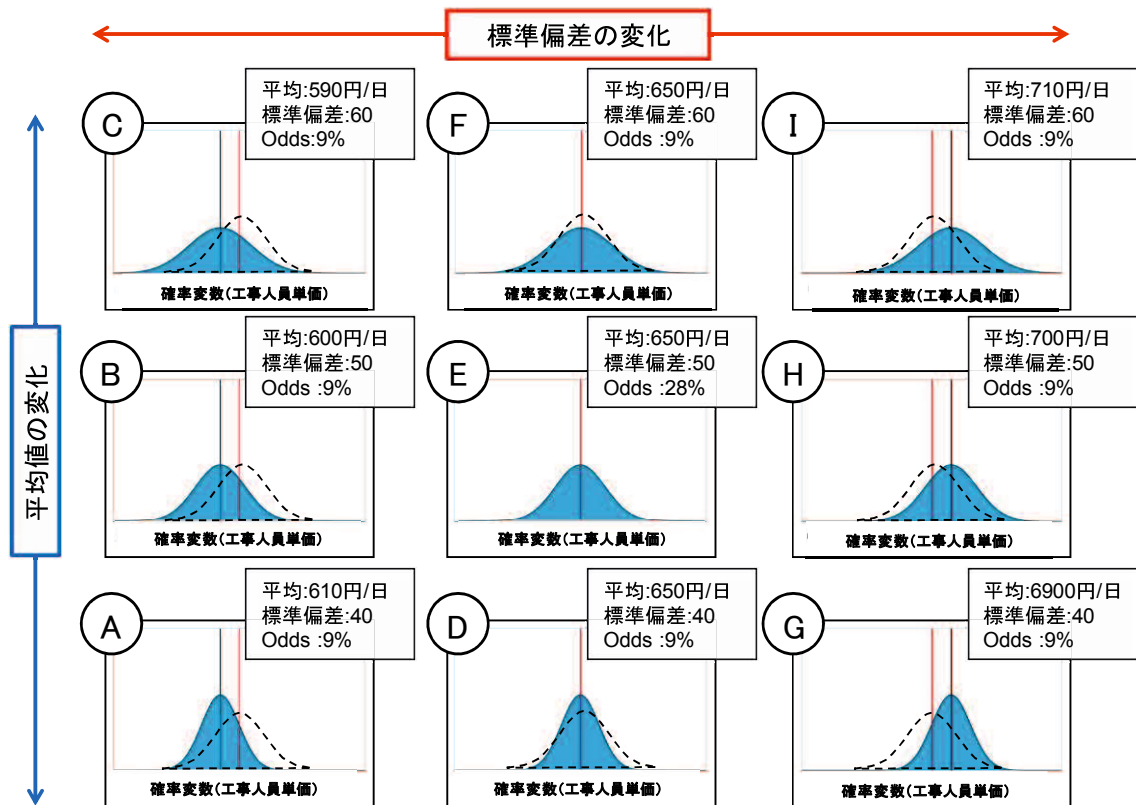
図 5.22 工事人員単価の 1 回目の確率分布想定

図 5.22 から、平均値 600 円/日、標準偏差 50 の確率分布を基準として、9 つの分布を設定したことが確認できる。そして 1 回目の実データ（表 5.3 の“1”）を基に仮説の更新を行う。表 5.10 に適用結果を示す。

表 5.10 工事人員単価の仮説の 1 回目の更新結果

| 1 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 560 | 550 | 540 | 600 | 600 | 600 | 640 | 650 | 660 |
| 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 |
| 40 | 50 | 60 | 40 | 50 | 60 | 40 | 50 | 60 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 9.5 | 9.3 | 9.1 | 9.4 | 28.8 | 8.9 | 9.1 | 8.3 | 7.4 |
| 13.2 | 12.7 | 11.9 | 10.6 | 30.2 | 8.7 | 5.3 | 4.1 | 3.2 |
| 13.3 | 11.5 | 9.6 | 11.4 | 31.8 | 8.9 | 5.7 | 4.4 | 3.4 |
| 13.3 | 11.5 | 9.6 | 11.4 | 31.8 | 8.9 | 5.7 | 4.4 | 3.4 |
| 15.6 | 13.2 | 10.7 | 12.1 | 31.6 | 8.3 | 4.1 | 2.6 | 1.7 |
| 0.4 | 1.3 | 2.1 | 5.6 | 35.0 | 15.3 | 13.1 | 14.5 | 12.7 |
| 0.0 | 0.1 | 0.2 | 2.0 | 19.1 | 10.7 | 18.1 | 25.0 | 24.7 |
| 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.8 | 15.9 | 8.5 | 19.9 | 27.1 | 26.5 |
| 0.0 | 0.1 | 0.1 | 2.4 | 20.3 | 10.2 | 21.6 | 24.7 | 20.6 |
| 0.0 | 0.1 | 0.1 | 2.7 | 22.5 | 10.8 | 22.9 | 23.6 | 17.2 |

表 5.10 から平均 650 万円/日、標準偏差 50 の確率分布（図 5.22 における H）が最も確率が高くなったことが確認できる。そこでこの分布を基準に次の確率分布想定を行う。図 5.23 に 2 回目の確率分布想定図を示す。



※図中の赤線はEの基準値の線

図 5.23 工事人員単価の 2 回目の確率分布想定

図 5.23 の確率分布想定図と 2 回目の実データ（表 5.3 の“2”）から、2 回目の仮説の更新を行う。表 5.11 に適用結果を示す。

表 5.11 工事人員単価の仮説の 2 回目の更新結果

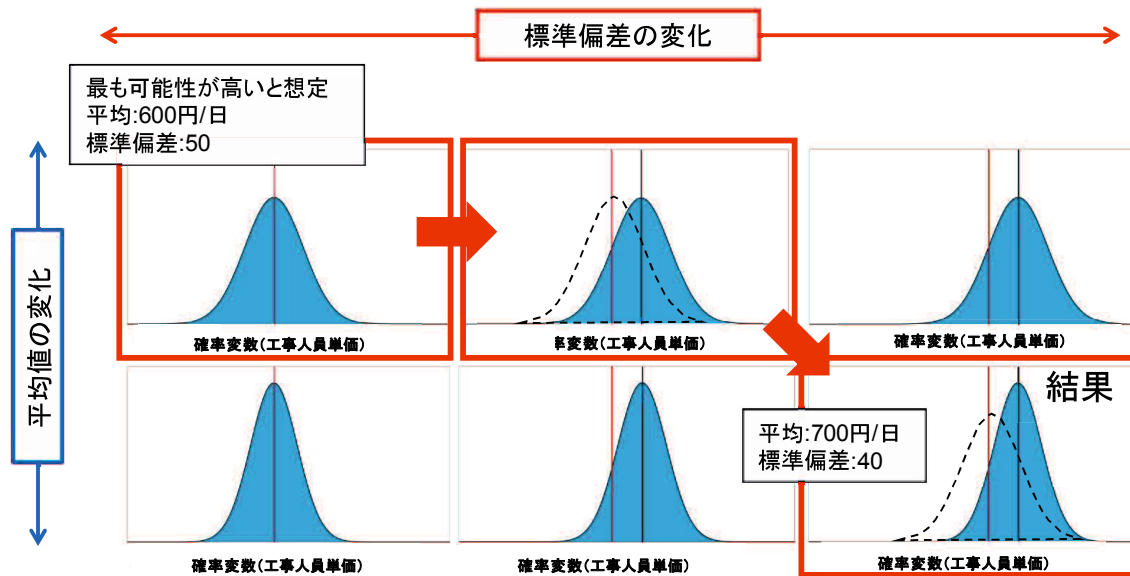
| 2 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 610 | 600 | 590 | 650 | 650 | 650 | 690 | 700 | 710 |
| 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 |
| 40 | 50 | 60 | 40 | 50 | 60 | 40 | 50 | 60 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 8.9 | 8.0 | 7.1 | 9.5 | 29.0 | 9.1 | 9.5 | 9.5 | 9.4 |
| 6.6 | 5.0 | 3.8 | 10.5 | 30.3 | 9.0 | 11.7 | 11.6 | 11.4 |
| 1.9 | 1.4 | 1.1 | 9.3 | 26.8 | 8.0 | 17.4 | 17.2 | 16.9 |
| 3.0 | 2.2 | 1.6 | 12.9 | 34.5 | 9.6 | 14.3 | 11.8 | 10.0 |
| 3.1 | 2.2 | 1.6 | 13.2 | 35.2 | 9.6 | 14.5 | 11.5 | 9.0 |
| 1.3 | 0.8 | 0.6 | 12.6 | 31.8 | 8.3 | 18.7 | 14.5 | 11.3 |
| 1.1 | 0.6 | 0.3 | 12.8 | 30.9 | 7.7 | 19.7 | 15.2 | 11.7 |
| 2.0 | 1.1 | 0.6 | 18.2 | 41.4 | 9.8 | 12.5 | 8.5 | 5.9 |
| 2.2 | 1.2 | 0.6 | 19.2 | 42.7 | 9.7 | 12.4 | 7.6 | 4.6 |
| 0.0 | 0.1 | 0.1 | 4.6 | 24.8 | 9.5 | 20.8 | 22.0 | 18.1 |

表 5.11 から平均 650 万円/日、標準偏差 50 の確率分布（図 5.23 における E）が最も確率が高くなったことが確認できる。この結果から 3 回目の確率分布想定図は図 5.23 と同様のものとなることが言えるため、3 回目の確率分布想定図は割愛する。ここで図 5.23 と 3 回目の実データ（表 5.3 の“3”）から仮説の 3 回目の更新を行う。表 5.12 にその適用結果を示す。

表 5.12 工事人員単価の仮説の 3 回目の更新結果

| 3 | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 | 平均値 |
| 610 | 600 | 590 | 650 | 650 | 650 | 690 | 700 | 710 |
| 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 | 標準偏差 |
| 40 | 50 | 60 | 40 | 50 | 60 | 40 | 50 | 60 |
| ベイズの定理による仮説の更新後 | | | | | | | | |
| Odds A | Odds B | Odds C | Odds D | Odds E | Odds F | Odds G | Odds H | Odds I |
| 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 28.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 12.7 | 12.4 | 12.1 | 10.2 | 29.8 | 9.0 | 5.3 | 4.5 | 4.0 |
| 12.9 | 12.5 | 11.9 | 10.4 | 29.9 | 8.9 | 5.4 | 4.5 | 3.7 |
| 0.4 | 1.2 | 2.1 | 4.8 | 28.1 | 12.5 | 14.1 | 17.9 | 18.7 |
| 0.2 | 0.4 | 0.7 | 4.3 | 23.8 | 10.2 | 17.1 | 21.3 | 22.0 |
| 0.2 | 0.4 | 0.7 | 4.4 | 24.3 | 10.2 | 17.5 | 21.3 | 20.9 |
| 0.1 | 0.2 | 0.3 | 4.3 | 22.4 | 8.9 | 18.9 | 22.8 | 22.0 |
| 0.2 | 0.4 | 0.5 | 6.2 | 30.1 | 11.2 | 18.2 | 18.2 | 15.0 |
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | 5.8 | 26.2 | 9.3 | 20.9 | 20.7 | 16.8 |
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | 7.2 | 31.1 | 10.4 | 21.0 | 17.5 | 12.2 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.2 | 20.2 | 7.3 | 27.3 | 23.9 | 17.1 |

表 5.12 から平均 700 円/日，標準偏差 40 の確率分布が最も確率が高くなったことが確認できる。以上の結果を踏まえて，当初の仮説の中で最も可能性が高いと設定された確率分布が図 5.24 のように推移したことが確認できる。



※図中の赤線はEの基準値の線

図 5.24 工事人員単価の仮説の更新による確率分布推移

5.5 仮説の更新導入及び妥当性の検証

以上の結果を踏まえて，仮説の更新の導入及びその妥当性を検証する。まず前節の結果を見ると，作業工期，コンクリート材単価及び工事人員単価の結果で全て基準値が上昇し，分布の幅が狭まっていることが確認できる。この結果から，実データを使用して要素の Odds を算出し，仮説を推移させることによって，実データの傾向として存在する一定の値へと推移していくことが言える。また結果として基準値が上昇したことから，実際にかかる数値の過小評価を防ぐことができたのではないかと考えられる。そして分布の幅が狭まったことから，過剰及び過少な数値の選択の可能性が棄却されて，変数の設定における意思決定が容易になったものと思われる。

図 5.25 に仮説の更新を導入しなかった場合の定量評価結果を，図 5.26 に仮説の更新を導入した場合の定量評価結果を示す。また仮説の更新の導入の有無によって最終的な利益率がどのように変化したかを双方正規分布に従ったと仮定して図 5.27 に示す。

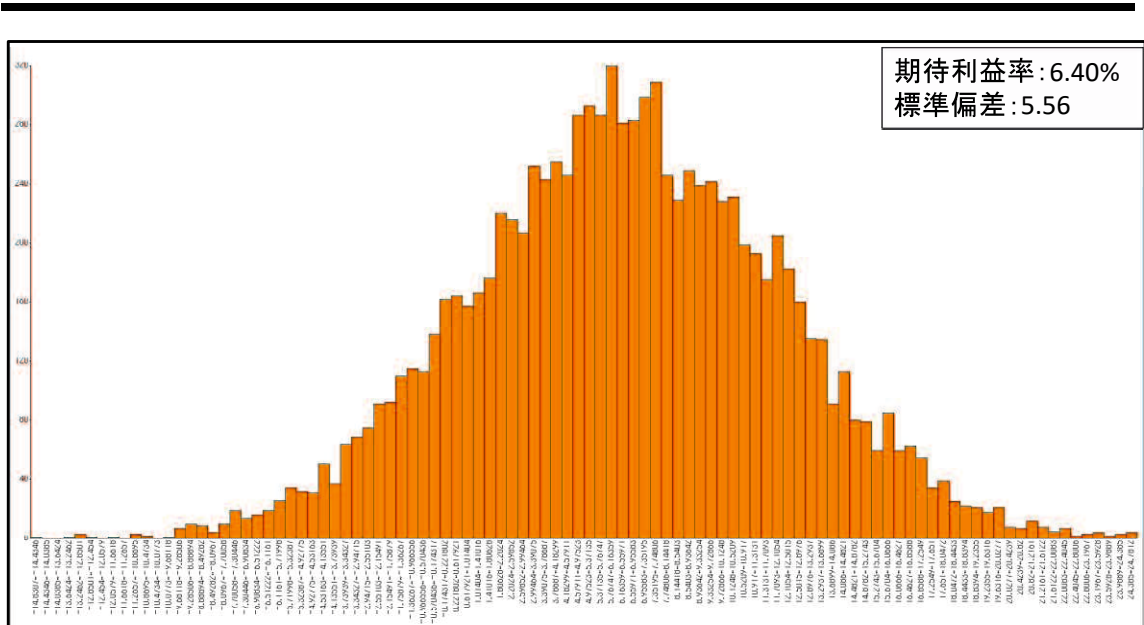


図 5.25 仮説の更新導入無しの場合のヒストグラム

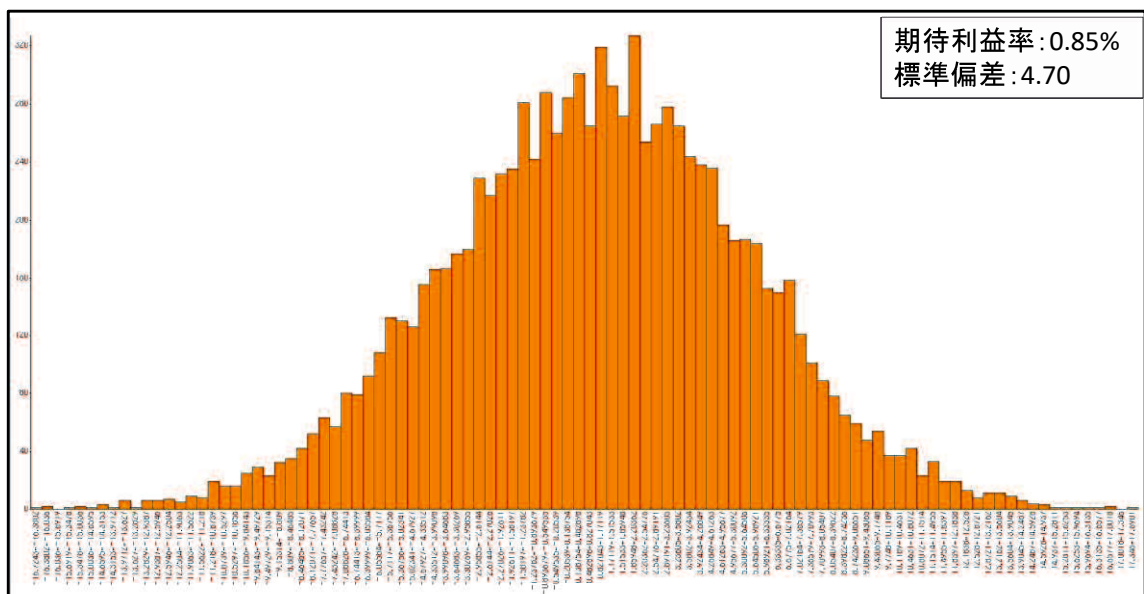


図 5.26 仮説の更新導入有りの場合のヒストグラム

図 5.25 から図 5.27 から仮説の更新を導入したことによって、最終的な利益率の平均値が約 5.5%下がり、標準偏差も 1 ほど下がっていることが確認できる。これらの結果から実データを入れることによって、現実の見える化（すなわち期待利益率の低下）と想定した値から不確実性が軽減されたこと（すなわち標準偏差の減少）が考えられ、事業の応札判断が容易になったものと判断できる。

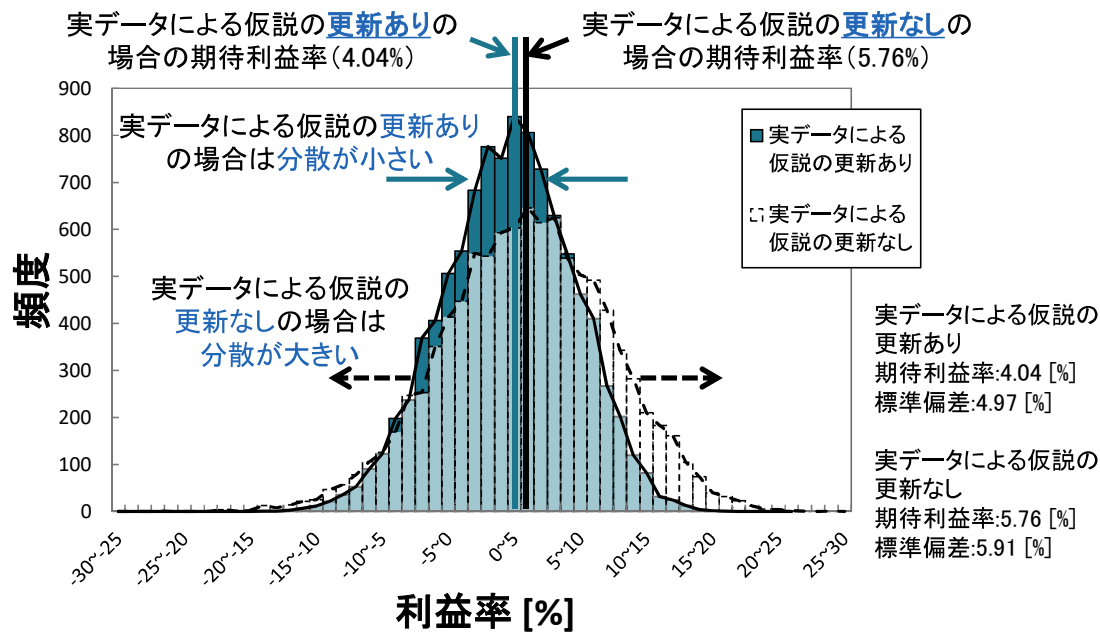


図 5.27 仮説の更新導入の有無の比較

次に感度分析を行い、実データを適用することによって要素が利益率へ与える影響の変化を検証する。図 5.28 に感度分析の比較図、表 5.13 に要素が利益率へ与える影響の変化表を示す。

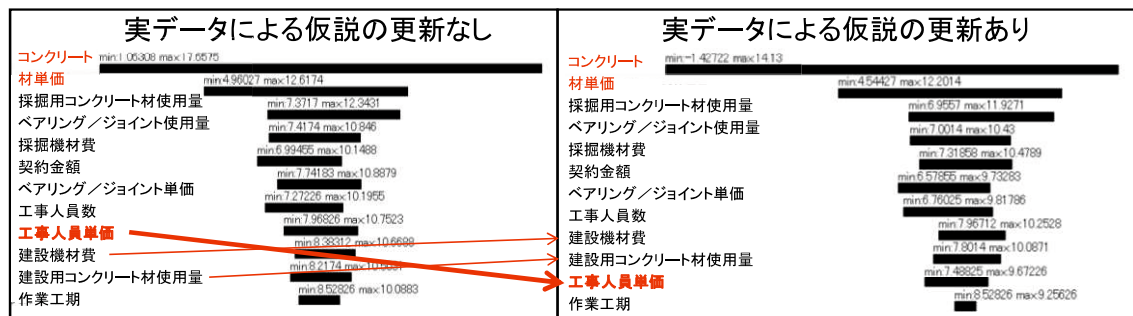


図 5.28 感度分析の比較図

表 5.13 利益率へ与える影響の変化

| | 実データによる仮説の変更なし | | | 実データによる仮説の変更あり | | |
|-----------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | 最小 | 最大 | 差 | 最小 | 最大 | 差 |
| コンクリート材単価 | 1.06 | 17.70 | 16.64 | -1.43 | 14.13 | 15.56 |
| 工事人員単価 | 7.97 | 10.75 | 2.78 | 7.49 | 9.67 | 2.18 |
| 作業工期 | 8.53 | 10.09 | 1.56 | 8.53 | 9.26 | 0.73 |

図 5.28 から工事人員単価の要素の順位が下がっていることが確認できる。このことから、実データを適用することによって、工事人員単価の要素としての不確実性が軽減されたことが言える。また表 5.13 からは、コンクリート材単価が与える利益率の最大の影響と最小の影響の差が 16.64%から 15.56%に、作業工期は 1.56%から 0.73%に下がっていることが確認できる。このことから、図 5.28 において順位が下がっていない要素の不確実性も下がっていたことが言える。

5.6 過去の実績データ反映による精度向上手法の提案

リスク評価のプロセスでは、この研究では、古い契約の過去のデータを価値モデルの主観的仮説を修正するために有効に使用できると仮定した。プロジェクト実施するのが初めての企業はほとんどない。海外鉄道建設事業に応札を試みる多くの企業は、同様の分野や関連するインフラ建設分野での経験がある。本研究は、企業が過去に実施した事業からそのようなデータの活用に焦点を当てるものである。今日の IOT (Internet of Things) に関する技術の進歩により、企業は定性的及び定量的なものを含む多くの異なる種類の断片的データにアクセスできるようになりつつある。本研究の前提と目的は、これらのデータを活用することでプロジェクト価値の習得の精度が向上する可能性があるであろうというものである。そこで、本項では、過去の断片データを用いた価値推定の精度向上の方法を提案する。

5.6.1 提案する入札支援手法のフローチャート

(1) 定性チェックリストによる評価

図 5.29 に事業への応札判断のための支援方法の全体的なプロセスを示す。最初のステップは建設プロジェクトに属する事業リスク要素を収集することである。多くの場合、過去に様々なプロジェクトに従事してきた業務熟練者は自身の経験を通じてこのような知識を有している。業務熟練者へのヒアリングはこのプロセスにおける効果的な方法である。次に、そのような業務熟練者から抽出された知識を、外部調査によって補完する。

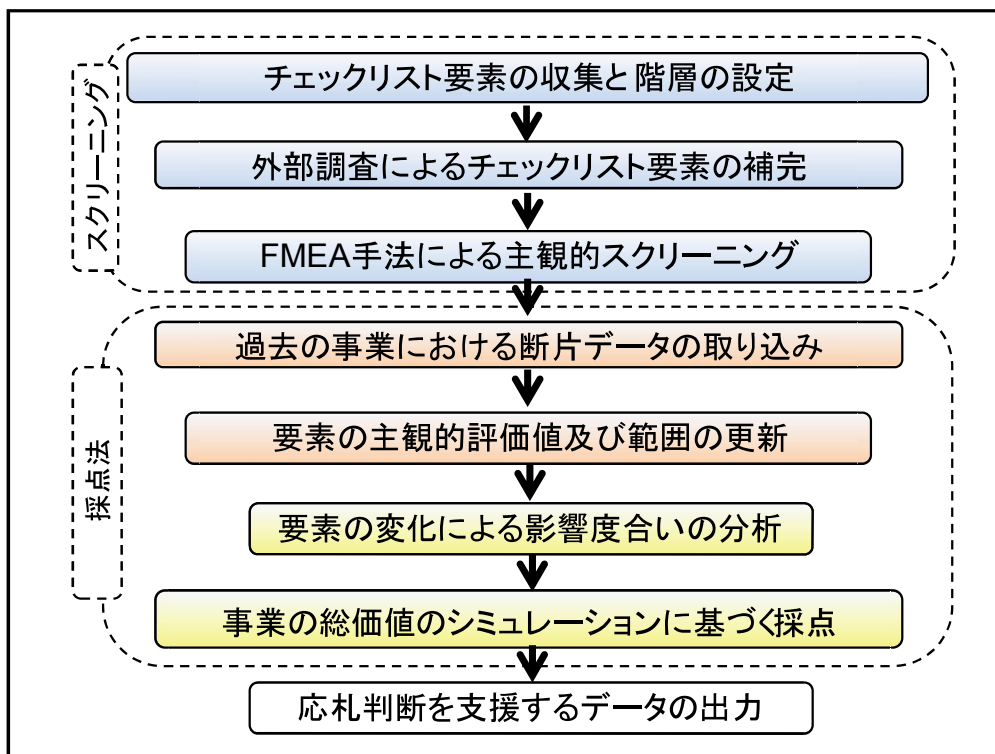


図 5.29 断片的データに基づく応札判断の精度向上方法

5 フォース分析は、新規参入者、顧客、代替品、供給業者及び競合他社の視点を視覚化する。エンジニアリングチェーン分析は、建設資材の調達、システム構成要素の設計と製造、統合されたシステム、そして運用及び保守段階までのサプライチェーンの視点を図化する。PEST 分析は、政治的側面、環境側面、社会学的側面、及び技術的側面についての視点を示す。これら全ての観点から、業務熟練者にヒアリングすることで最初に抽出されたチェックリストの要素に新しい要素が追加される。

(2) 定量チェックリストによる評価

定性チェックリストに基づくスクリーニングの後、さらに厳格な検討を経ていくつかの事業への応札を選別される。選択された入札案件は採点法により評価され、事業全体的な価値、すなわち利益創出の可能性、が推定される。事業の価値の算出では、各変数の望ましい値と範囲が主観的に見積り、過去の事業における断片データが価値モデルに取り込まれる。取り込まれた実データに基づき、各要素の主観的な値と範囲が更新される。更新された正確なモデルに基づいてトルネードチャートにより設計変更の影響分析を精査する。いくつかの統計変数を考慮し、事業の合計値の平均と偏差を示すモンテカルロシミュレーションを実行する。

トルネードチャートは、スクリーニングの過程が適切であるかどうかを示す。要素変更の影響分析の結果を用いて、提案方法をスクリーニング法、特に FMEA 法に基づくリスク評価にフィードバックすることができる。定性的評価法と連携させることにより、定性的評価結果を改善することが可能となる。

5.6.2 断片的な実データを基にしたアルゴリズムの改善

(1) 建設事業における断片的な実データ

一般的に一つの建設事業において、元請業者、下請業者、納入業者等の間で、製品、資材、建設機材、労務者、設計業務等の調達に関して多くの契約が発生する。過去に実施したこれらの断片的な実績データは、これから受注を目指す案件における財務的資産の検討に有効である。多くの場合において、非常に多くの断片的なデータの種別が存在する。

(2) 成功事例のデータと失敗事例のデータの融合

本研究では、これら様々な断片的データを成功 (Positive) 事例及び失敗 (Negative) 事例という規則に基づいて取り扱う。調達においては、成功は材料や製品が調達できたことを意味し、失敗は提示した価格及び条件下で下請業者や供給者が受託しなかったことを意味する。技術者や労務者の雇用に関しては、成功は候補者が給与及び雇用契約条件を受け入れたことを意味し、失敗は雇用されることを受け入れなかったことを意味する。すべての事象において成功すること失敗することもあり得るし、様々なパワーバランスを示すいくつかの数値的変数が存在する。時には、成功事例のデータより失敗事例のデータが得られにくいことがある。しかしながら、成功事例のデータには常に一定の振れ幅を有するため、成功事例のデータだけでプロジェクトの真の価値を査定するのに有効ではない。

図 5.30 は、成功事例と失敗事例のデータをどのように活用するかの概念を示す。成功事例と失敗事例のデータが収集されると (図 5.30 (A))、両方のデータのヒストグラムが図 5.30 (B) のように算出される。収集した全てのデータから成功事例データの比率を計算することができる (図 5.30 (C))。累積曲線の微分計算は、成功事例と失敗事例が均衡する平均値とその分布を表す。

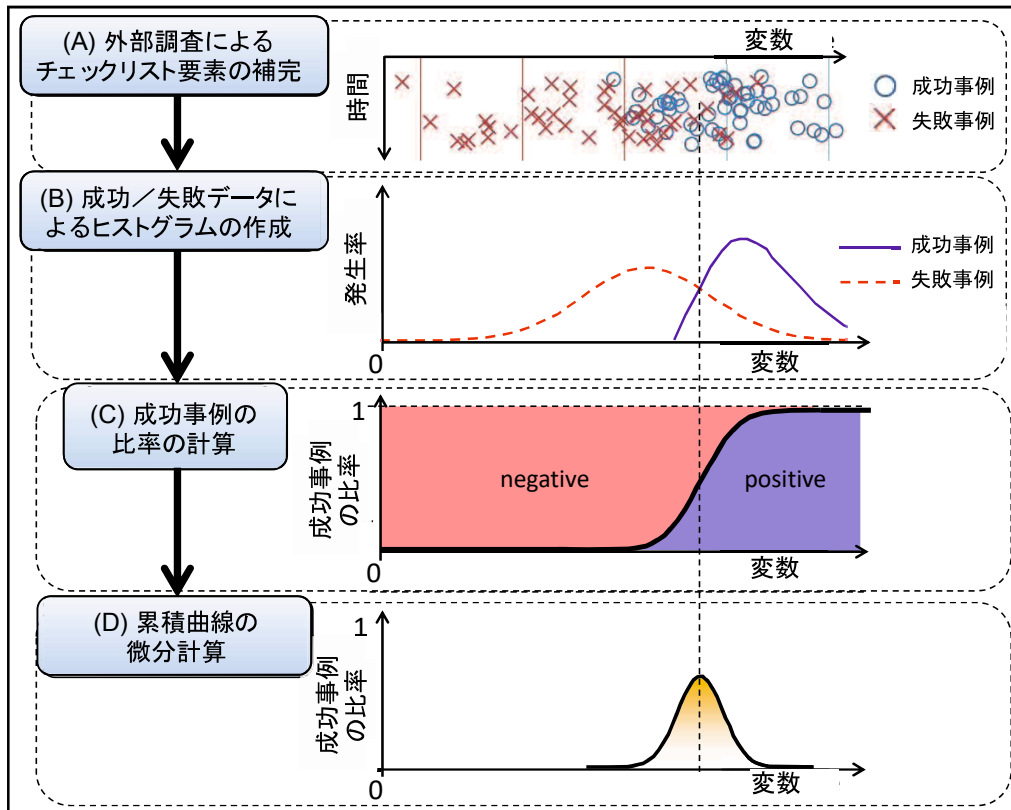


図 5.30 成功事例と失敗事例のデータを基に統合した分布図（古賀，他：2016）

(3) 実データを基にした平均値改善の手順

初めに、主観的平均と偏差値を各要素に対して定義し、実データを取り込むことにより平均と偏差の値を修正し、更新する。本項では、それぞれの平均を修正する方法について説明する。図 5.31 は、各仮説の平均を更新する手順を示す。隣接して表示される仮説は最初の仮説に基づき自動的に作成される。図 5.30 のケースでは、最初の仮説 (a) は主観的な聞き取り調査により設定される。最初の仮説 (a) を基にして、分布の平均を増加させる新しい仮説 (b) が生成される。各仮説に確率が与えられる。最初の仮説の確率は 50% であり、隣接する 4 つの仮説に 50% の残り部分が均等に配分される。次に、増加する平均の仮説の確率は 12.5% となる。この更新された確率はベイズ統計に基づいて算出する。

+2 σ の正（成功事例）の属性を有する実データを得た後、図 5.31 (C) 及び (D) に示すようにそれぞれの確率が新たに更新される。表 5.14 は、取り込まれたデータと現在の確率による更新確率の算出方法を示す。算出のプロセスは次の通りである。

(a) 取り込まれた実データの正規化

平均値がゼロで分布が σ であるため、最初の実データを取り込み、正規化する。

(b) 累積曲線による発生率の算出

次に、正規分布の累積曲線のマッピングにより C_A 及び C_B 状態の発生率を算出する。状態 a は図 5.30 の最初の仮説を表し、状態 b は図 5.30 に示されている増加する平均の仮説を表す。

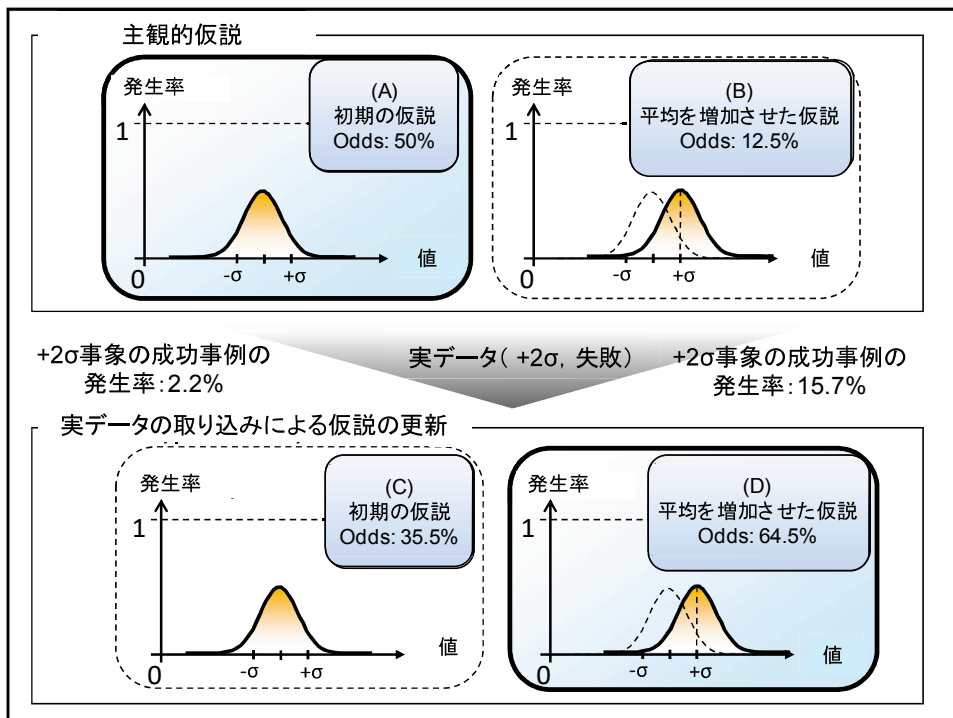


図 5.31 実データに基づく平均の精度向上方法

表 5.14 取り込んだデータ及び過去の確率からの新しい確率の算出プロセス

| 取り込んだ実データ | | | 仮説のOddsの計算 | | | | | |
|-----------|-------|-------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| No. | 事例の種類 | 標準偏差 | C_a | C_b | O_a | O_b | P_a | P_b |
| | | | a状態の出現確率 | b状態の出現確率 | a状態のOdds | b状態のOdds | a状態の発生確率 | b状態の発生確率 |
| 1 | 成功 | +2.0σ | 2.2% | 15.7% | 50.0% | 12.5% | 1.1% | 2.0% |
| 2 | 成功 | +1.5σ | 6.6% | 30.7% | 35.9% | 64.1% | 2.4% | 19.7% |
| 3 | 失敗 | +2.5σ | 99.3% | 93.4% | 10.8% | 89.2% | 10.7% | 83.4% |
| 4 | 失敗 | +1.4σ | 92.0% | 65.7% | 11.4% | 88.6% | 10.4% | 58.2% |
| 5 | 成功 | -0.5σ | 69.0% | 93.3% | 15.2% | 84.8% | 10.5% | 79.1% |
| 6 | | | | | 11.7% | 88.3% | | |

(c) 各状態の発生確率の算出

各状態 P_a 及び P_b の発生確率は、出現確率 C_a と C_b 及び確率 O_a と O_b を乗ずることにより算出される。算出された発生確率は、各状態の最後の確率に基づく a 及び b の各状態に関する取り込まれたデータを意味する。この試算にはベイズ統計を用いる。

(d) 次の確率の更新

データの取り込み後、確率は変更される。表 5.14 に示す数値は実データの取り込み順序を示している。次の数値の確率は各状態の以前の発生確率に基づいて計算される。次の確率 O_a 及び O_b は、 P_a 及び P_b のそれぞれの発生確率に対する割合で設定される。

上記では、統計変数の平均についてのみ修正プロセスを示した。統計変数の差異は、業務熟練者が経験により設定した数値と実データにおいて異なる可能性がある。このため、本研究では差異の更新アルゴリズムを提案する。実データを取り込むことにより最初の主観的差異を修正する提案方法を図 5.32 に示す。偏差の増加側と減少側それぞれの隣接する仮説が自動的に生成され、それぞれに確率が与えられる。最初の偏差と隣接する偏差との間の確率は、実データの順序に基づいて更新される。

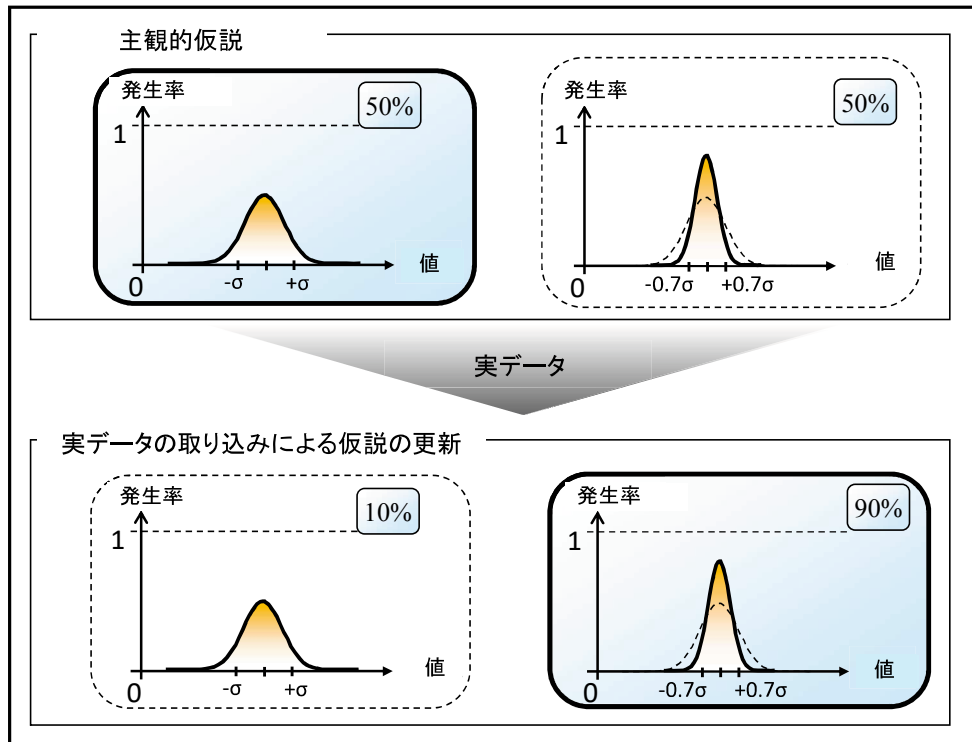


図 5.32 実データに基づく偏差の精度向上方法

(4) データを活用した主観的な仮説の更新方法

提案する統計値の平均と偏差の更新方法は、建設事業の価値の評価の初期段階に定義された仮説の更新を可能にする。図 5.33 は、初期及び主観的仮説 (A) から最終仮説 (D) への更新過程を示す。この過程においては、平均と偏差ともに更新される。まず、業務熟練者への聞き取り調査において定義された初期平均は小さすぎると認識され、平均を上げるという新たな仮説 (B) が選択される。次に、偏差が大きすぎると認識され、偏差を減少させるべきという次の仮説 (C) が選択される。平均に隣接する仮説はその偏差に基づいて生成されるため、現在の仮説 (C) と増加する平均 (D) の仮説との間の距離は近づいている。その次に、より多くの実データを取り込み、平均が小さすぎると認識され、隣接する仮説 (D) が最も現実的な仮説として選択される。

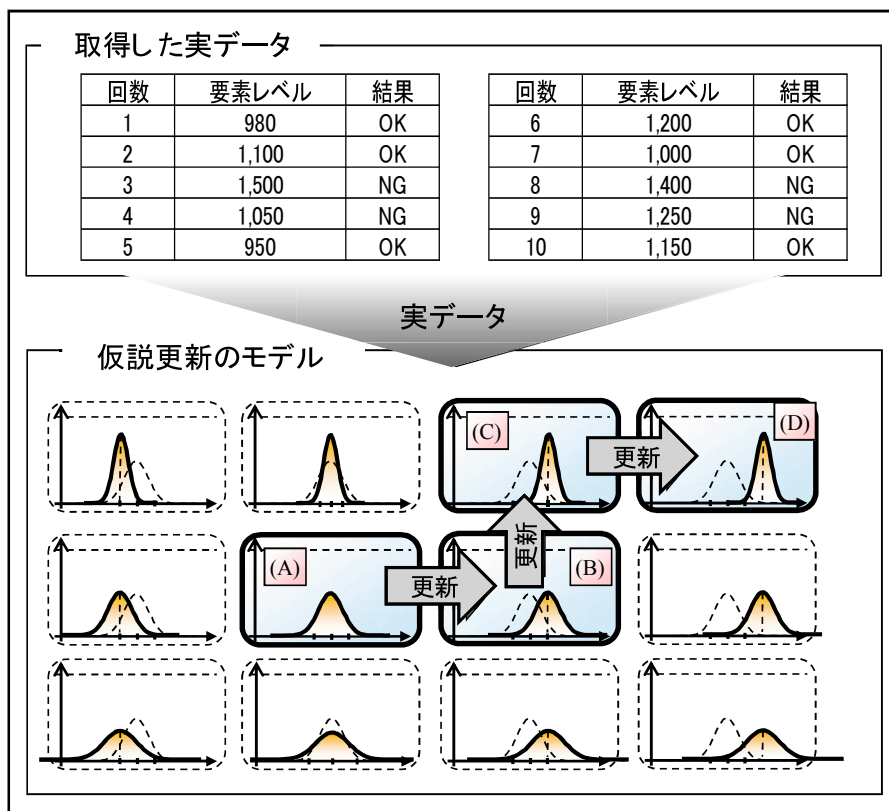


図 5.33 客観的データを用いた主観的仮説の精度向上手法

(5) 古いデータの除外

建設事業を取り巻く環境は日々変動する。技術の革新，市場の変動，将来の経済環境は予測不可能であり，競合他社の状況も変化している。すなわち，同じ環境はどこにも存在しないと言える。これが，本研究において頻度のアルゴリズムではなくベイズの定理を参照する理由である。多頻度テストにおいては，完全に一致する環境から生成される膨大なデータが必要となるが，ビジネスの世界ではそのような状況は起こり得ない。これは，本研究で提案するアルゴリズムが，古いデータのいくつかを除外する方法を必要とすることを意味する。

2つの異なる環境の違いは，それぞれの影響ダイアグラムの距離として定義されている（古賀，他：2016）。本研究では，この計測理論の定義を適用している。環境における距離の概念を用いて，除外するためのフィルタリング関数を図 5.34 に示す。横軸は過去の実データの除外率を示し，縦軸は各データの時間軸である。環境における時間と距離が比例関係にあるとき，除外関数は指数関数となる。人間の脳は，短期記憶と長期記憶の2つの異なる種類の忘却メカニズムを有している。短期記憶に準拠させるため，本研究では除外率の指数関数を適用する。長期記憶にもある程度は準拠するが，除外関数は時間の経過とともに飽和する傾向にある。

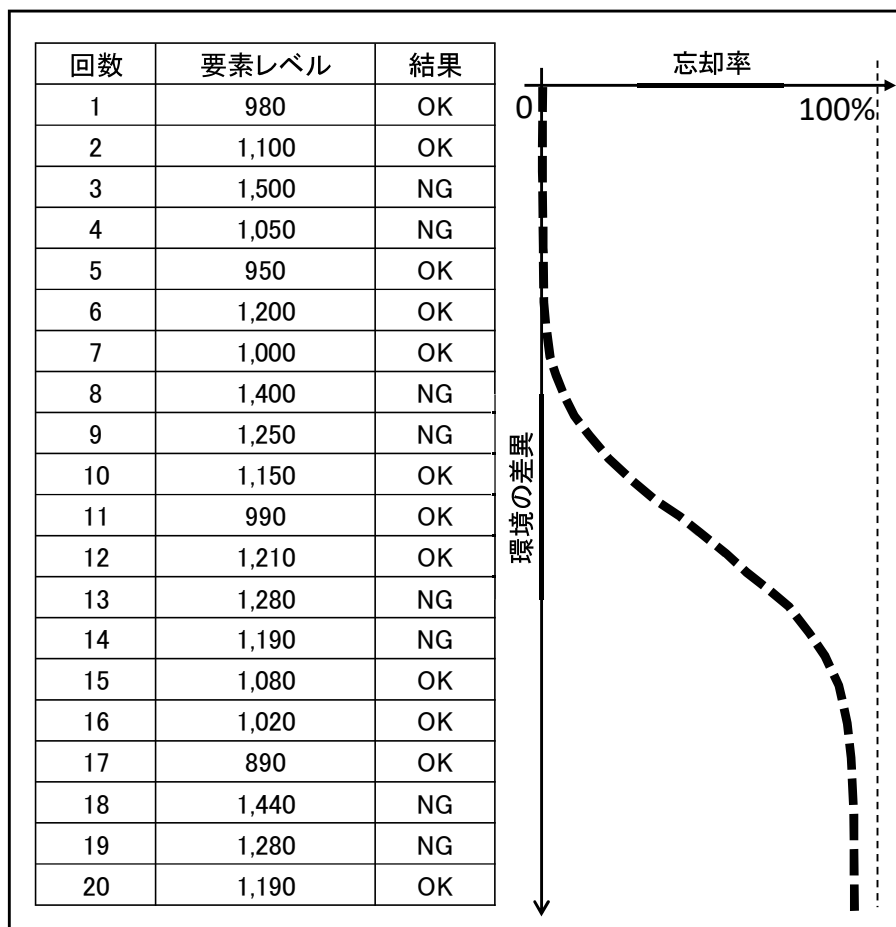


図 5.34 マネジメント環境の違いによる適切な除外

5.6.3 実績データを反映したリスク要素の数値推測の事例

(1) 逆損益ダイアグラム

本項では提案する方法を地下鉄建設事業に適用した結果を示す。対象とする建設事業は実在する事業であるが、知的財産の侵害を避けるため使用した詳細な数値データは標準化している。本事業全体の利益を計算するための逆損益ダイアグラムを図 5.35 に示す。利益は収入と支出により分けられ、細分化された要素を収入と支出それぞれの属性として定義している。

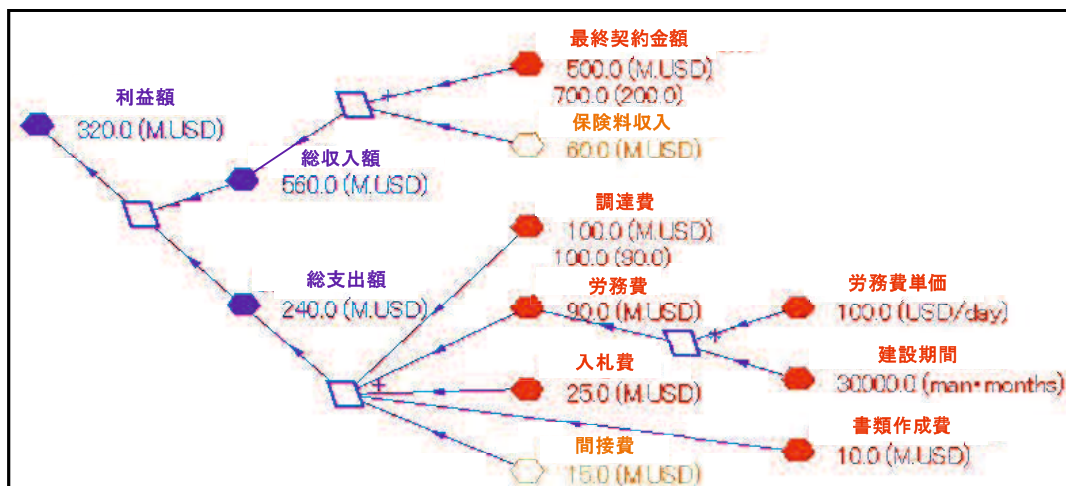


図 5.35 地下鉄建設事業を事例とした逆損益ダイアグラム

(2) データの取り込み及び利益算出方法の更新

図 5.36 は、契約と調達に関する実データを取り込んだ結果を示している。本計算は、過去に契約データが 500 件あることを前提としている。図 5.36 で示すグラフは、横軸に全体の利益、縦軸に達成の可能性（モンテカルロシミュレーションの 10,000 倍で表示）を表している。「イニシャル」の折線は専門家の意見のみに基づく主観的評価値を表す。「import10」、「import20」、「import30」、「import100」、「import500」のそれぞれは過去に契約したデータを 10, 20, 30, 100, 500 回それぞれ取り込んだ場合の修正後の利益を示している。

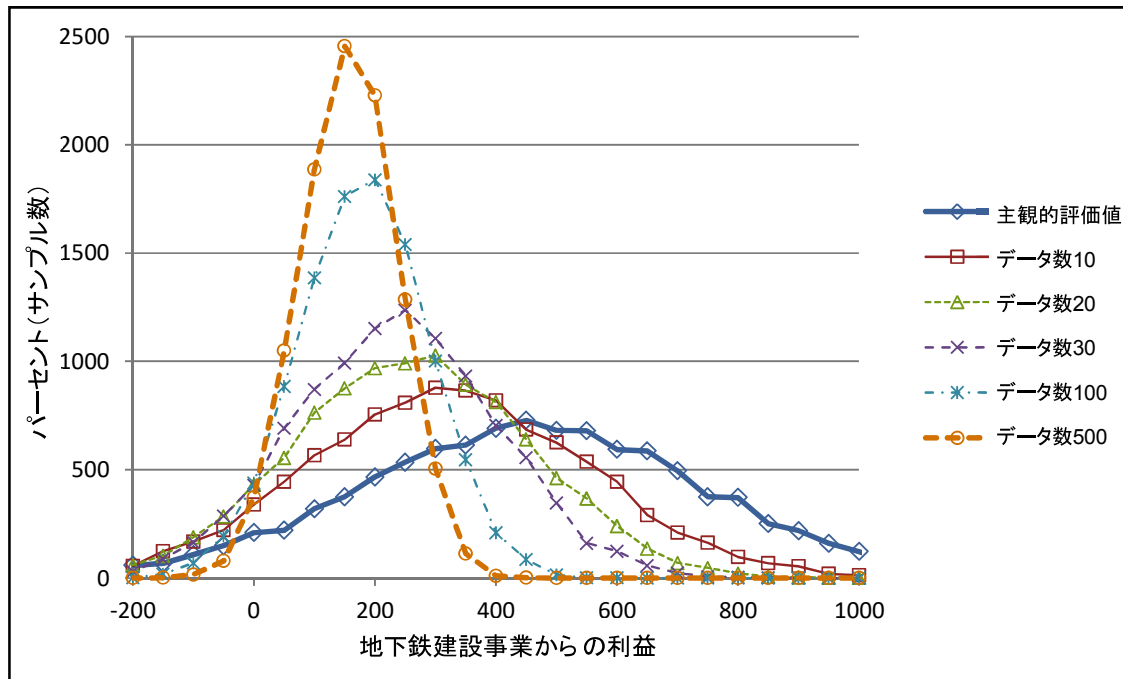


図 5.36 事例とした地下鉄建設事業の総事業価値の分布図

(3) 感度分析の結果

実データを取り込んだ後、各要素に対し想定する変動範囲が変更される。感度分析の結果を図 5.37 に示す。横軸は建設事業の総価値を表し、各影響度を縦軸に示している。図内上に示すグラフは感度分析の初期結果を表し、図内下に示すグラフは 500 個のデータを取り込んだ後の結果を表している。

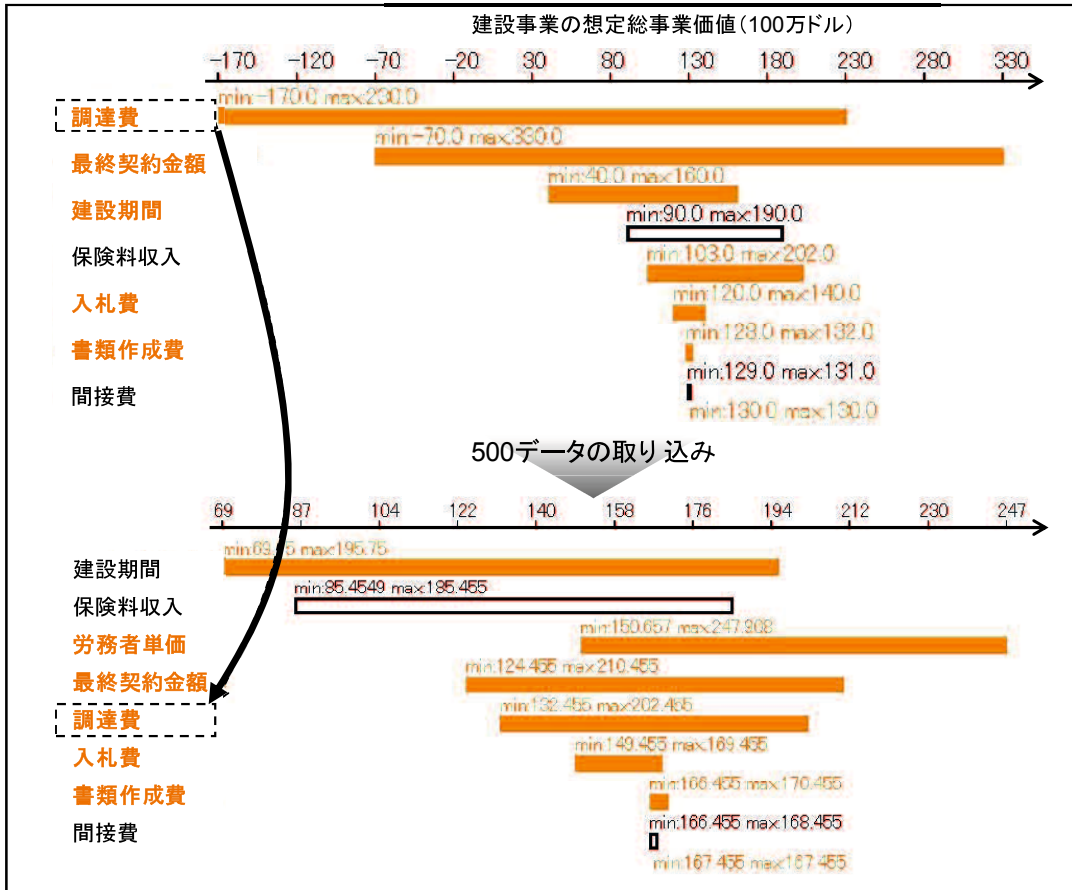


図 5.37 総事業価値の各要素の変動の影響評価

(4) 本検討の結論

大規模なインフラ建設事業における全体契約の主観的解析モデルを更新するための体系的な手法を提案した。適用結果は、提案した手法が建設事業の要素と依存性を適切に示し、将来の契約における全体的な利益を試算できることを示している。500の実データに基づく数値的研究は、データの取り込みにより平均のみでなく偏差も更新されることを示している。対象とした事例の場合、データの取り込みにより専門家への聞き取り調査結果により想定した全体利益の偏差が減少した。平均と偏差の変動だけでなく、優先順位も変更された。感度分析では、調達費用や契約額は初期段階では幅広い範囲となっていたが、過去の契約データを取り込んだ後では建設期間や労務費の不確実性よりも狭くなった。これは、企業が有する経験の内容に応じてリスクが変化することを意味している。このことが、提案する手法が利益配分の精度を改善し、最も重大なリスクが何であるかを認識することに大きく貢献すると考える理由である。



第6章 結論

ハイブリッドリスク評価手法の構築とその信頼性の向上に関する研究において得られた結論を以下にまとめる。

- (1) FMEA を基にした手法で事業リスクの抽出及び定性評価を行い、DDP の財務評価を基にした定量評価と統合することにより、互いの手法に存在する一部のデメリットを補完することができた。
- (2) 事業熟練者の経験のみの定性チェックリストでは、事業の内部に潜伏するリスク項目の抽出が不十分であり、必要な項目が抜けている場合があった。しかし3つの外部要因の分析手法による分析結果に沿って外部影響因子を考慮することにより、事業に潜在するリスク項目の抽出における網羅性が向上されることが確認された。このことから、事業熟練者へのヒアリングで作成した最初の定性チェックリストに3つの手法による分析結果を反映して定性チェックリストの適正及び信頼性を高めることの有効性が示された。
- (3) 感度分析の結果を用いて、定性チェックリストの数値評価が妥当なものであったかを再評価することが可能となった。事例適用によりチェックリストの事業危険度の過小評価または過大評価を指摘し、改善できたことから、定性評価の信頼性向上に有効であると判断できる。
- (4) 実データを使用して仮説の更新を行い、その結果を逆損益計算図の一部要素の変数に適用することによって、要素の変数設定における過小評価または過大評価の可能性を棄却していることから、定量評価の信頼性向上に有効であると判断できる。
- (5) 実データによる仮説の更新を導入し、当初の期待利益率と導入した結果を比較することで、事業の現実の見える化及び不確実性の軽減に有効であると判断できる。

現在、仮説の更新を適用するための実データは、現状として失敗事例だけでなく成功事例も必ずしも残されないといったことから多くは現存せず、業務熟練者の経験といった形で残されている。本研究で行ったように、成功と失敗の実データを残しておくことで、事業意思決定を支援する可能性があるため、本論文では実データの保存を提案する。

3.2 節の図 3.1 で示した定性評価と定量評価を統合したフローチャートでは定性評価及び定量評価のそれぞれの評価結果によっては“案件の見送り”としているが、応札対象事業を取り巻く環境が変わったり、自組織の体制やリソースが大幅に改善されたり、応札者が出なかったために発注者が入札条件を変更したりするなどして、評価を行った時から状況や環境、すなわち評価の前提条件が著しく変わることもあり得る。このような場合は、新しい前提条件の下で定性チェックリストへの入力値を見直すことで、導き出される評価結果が変わり、新しい前提条件下では応札に値する結果となり得ることも十分に考えられる。

構築した手法は、事業に影響する幅広い要素を考慮・評価するため、工事請負者側のエンジニア及び経営者以外にも、発注者側のコンサルタント経験者等といった多大な経験を持つ人々が定性チェックリスト作成に関わることによって、本手法を最大限活かすことができると考える。また、次の事業の応札に向け、事業完了後にも適宜、リスク項目リストの

見直し及び修正を行うことで、より精度の高い事業リスクの評価を行った上で応札に臨み、適切な応札判断を行うことが期待される。また、鉄道以外の分野のインフラ建設事業に対しても、想定される事業リスクの項目を対象となる事業分野に適合させることで、鉄道以外の分野でも活用可能である。

今後の展望として、本研究で構築した手法を用いることで、定性チェックリストと感度分析の結果から自組織に大きな影響を及ぼし、尚且つ不確実性の高い項目を抽出し、それらが発生した場合の対応策（リスクヘッジオプション）を創造すること、また企業が実際に保有する過去の実データを適用して構築したハイブリッドリスク評価手法の妥当性を検証することが期待される。事業リスクへの具体的な対応策の採用には多くの場合コストがかかるが、事業リスク事象の発生を確率としてシステム上に定義し、多様な環境下でのシミュレーションを行うことにより事業リスクへの対応策を加味した応札判断の支援においても本手法の活用が期待される。本手法の適用により、事業経験が少ない企業でも想定される事業リスクを網羅的に把握し、新規案件に参入する際の指標にすることも可能になると考える。更に、構築した手法の各プロセスを理解することでリスク対策への論理的な思考が育成され、応札に携わる事業関係者の学びにも繋がると期待できる。

参考文献

- [1] Flanagan, R. and Norman, G. Risk Management and Construction, Blackwell Science (1993)
- [2] 小野寺勝重, 国際標準化時代の実践 FTA 手法 (2000)
- [3] 鈴木順二郎, 牧野鉄治, 石坂茂樹, FMEA/FTA 実施法, 日科技連出版社 (1982)
- [4] 飯田修平, 柳川達生, 金内幸子, FMEA の基礎知識と活用事例, 日本規格協会 (2007)
- [5] 小野寺勝重, FMEA 手法と実践事例, 日科技連出版社 (2006)
- [6] 幸田武久, 熊本博光, 井上こう, イベント・ツリー解析による大規模システムのリスク評価, 安全工学 (1985)
- [7] 池田和明, 今枝昌宏, 実践シナリオプランニング, 東洋経済新報社 (2002)
- [8] 大林厚臣, ビジネス意思決定-理論とケースで決断力を鍛える, ダイヤモンド社 (2014)
- [9] Iain Doherty, Caroline Steel and Dominique Parrish, The challenges and opportunities for professional societies in higher education in Australasia: A PEST analysis, Australasian Journal of Educational Technology (2012)
- [10] Michael E. Porter, The Five Competitive Forces that Shape Strategy, Harvard Business Review (2008)
- [11] He Zhi, Risk management for overseas construction projects, International Journal of Project Management Vol.13 (1995), pp.231-237
- [12] L,Y,Shen., George W.C., and Catherine S.K. Ng, Risk Assessment for Construction Joint Ventures in China, Journal of Construction Engineering and Management, Vol.127 No.1, (2001) pp.76-81
- [13] 大津宏康, 大西有三, 開発途上国建設プロジェクトでの請負者のリスク管理に関する研究, 土木学会論文集 No.707 (2002), pp.207-218
- [14] 武井敦夫, 小島義輝 事業評価法における VW 法から DCF 法への展開, 東京情報大学研究論集 Vol.9, No.1 (2005), pp.11-19
- [15] 森昭夫, いわゆる「DCF 法」の合理性について, 国民経済雑誌 Vol.146, No.4 (1982), pp.1-13
- [16] William, W. Doerr, WHAT-IF Analysis, Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry (1991), pp.75-78
- [17] 澤田美樹子, 佐藤夕子, 不確実下の意思決定のためのリスク分析手法, 日立 TO 技報 No.8 (2002), pp.58-64
- [18] 大野薫, モンテカルロ法によるリアル・オプション分析 -事業計画の戦略的評価, 一般社団法人金融財政事業研究会 (2013)
- [19] 福澤英弘, 小川康, 不確実性分析実践講座, ファーストプレス (2009)
- [20] 金崎賢希, 環境の不確実性と多国籍企業の市場参入戦略-リアルオプション理論からの検討, 国際ビジネス研究 Vol.3, No.2 (2011), pp.129-144

-
- [21] McGrath, R.G. and Macmillan, I.C., *Discovery-driven growth: a breakthrough process to reduce risk and seize opportunity*, Harvard business school press (2009)
- [22] 小川康, *Discovery-Driven Planning (仮説指向計画法) の紹介: 新規 R&D テーマの意思決定において経営者が納得できる事業計画をどう作るか?*, 研究開発リーダー-Vol.9 No.4 (2012), pp.17-20
- [23] 古賀毅, *統合設計道具箱 (iDeT) の紹介と使い方・適用事例*, 設計工学会 12 月特集『システムデザイン・インテグレーションの手法』 (2017)
- [24] 四辻哲章, *計算機シミュレーションのための確率分布乱数生成法*, プレアデス出版 (2010)
- [25] 高橋義仁, *研究開発プロジェクト評価技術の限界: 系譜分析による本質的活用意義の明確化*, 日本経営学会誌 Vol.19 (2007), pp.66-75
- [26] Daszyńska-Zygadło, Karolina., *Scenario planning and real options analysis in integrated risk management process*, VŠB-TU Ostrava, 6th International Scientific Conference Managing and Modelling of Financial Risks (2012)
- [27] 三木賢太郎, 安瀬美和子, 水山元, *リスク事象発想支援のための発散デルファイ法の提案と評価*, 日本経営工学会論文誌 65(3), P201-210 (2014)
- [28] 脇田英治, *システム工学*, 技報堂出版 (2004)
- [29] 神山新一, 佐藤明, *モンテカルロシミュレーション (分子シミュレーション講座 1)*, 朝倉書店 (1997)
- [30] 小川重義, 森真, *現象から学ぶ確率論入門*, 講談社サイエンティフィク (2002)
- [31] 小島寛之, *確率的発想法-数学を日常に活かす*, 日本放送出版協会 (2004)
- [32] 渡部洋, *ベイズ統計学入門*, 福村出版 (1999)

業績

- (a) 学術論文（査読付）（Reviewed Journal Paper）
- (1) Takayuki ISAKA, Wataru YONEDA and Tsuyoshi KOGA, Proposal on Hybrid Risk Evaluation Method (HREM) for Bidding Decision in International Infrastructure Project, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing (2017.1) (Volume 11 (2017) Issue 5 Pages JAMDSM0063, December 14, 2017).
 - (2) 井坂隆之, 米田渉, 古賀毅, 海外鉄道建設事業における事業リスク評価の信頼性向上手法の提案, 日本機械学会論文集 C 編 (2017.12), (reviewing).
 - (3) Tsuyoshi Koga, Takao Eguchi, Takayuki Isaka, and Ken Kaminishi, Improving Method of Estimation Accuracy of Value of Product Development based on both of Positive and Negative Data, Malaysian Construction Research Journal (MCRJ) (Special Issue, Volume 1, No.1, 2017, Theme 2).
 - (4) Takayuki ISAKA, Wataru YONEDA, Tsuyoshi KOGA and Ken KAMINISHI, Revising Method of Bidding Decision in International Infrastructure Project Considering Past Contract Data, Malaysian Construction Research Journal (MCRJ) (Special Issue, Volume 1, No.1, 2017, Theme 1).
- (b) 国際会議論文（査読付）（Reviewed Conference Paper）
- (1) Takayuki Isaka, Wataru Yoneda and Tsuyoshi Koga, Proposal On Hybrid Risk Evaluation Method (Hrem) For Bidding Decision In International Infrastructure Project, Proceedings of the Malaysia Japan Joint International Conference 2015 (MJJIC2015), Paper ID: 1570227324, Nov. 13 - 15, 2015, Yamaguchi University, Ube, Yamaguchi, JAPAN.
 - (2) Takayuki ISAKA, Wataru YONEDA, Tsuyoshi KOGA and Ken KAMINISHI, Revising Method of Bidding Decision in International Infrastructure Project Considering Past Contract Data, Proceedings of the 13th International Conference on Innovation & Management (ICIM2016), November 28 - 30, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia.
- (c) 学会口頭発表（講演会論文集に掲載された論文）
- (1) 井坂 隆之, 米田 渉, 古賀 毅, 国際インフラ事業への応札判断のためのハイブリッドチェックリスト法の提案, 日本機械学会 第 25 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, Paper ID: 3105, 2015.9.23-25, 信州大学, 長野市.
 - (2) 米田 渉, 井坂 隆之, 古賀 毅, シナリオプランニングを用いた国際インフラ事業のリスク評価法, 日本機械学会第 26 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, Paper ID: 3201, 2016.10.8-10, 慶応大学, 神奈川県横浜市.



謝辞

本論文は、山口大学大学院理工学研究科システム設計工学系専攻の博士後期課程において、入学から2年間の休学期間を含めて計5年間にわたって行った研究をまとめたものです。研究テーマの主眼である「国際インフラ事業の応札判断の支援」は、海外における鉄道等のインフラ事業において、調査・設計・入札図書作成・入札評価・工事監理・開業支援に携わった経験の中で疑問に思い、改善する方法があるのではと考えたことから選んだものです。

本研究を遂行するにあたり、研究期間を通して常に懇切かつ献身的にご指導とご支援いただきました。私の指導教官である山口大学大学院創成科学研究科機械工学専攻システム設計工学系専攻及び工学部機械工学科創成設計工学研究室准教授の古賀毅先生には心より感謝しております。私自身、研究の適用案件とした海外鉄道建設事業においてコンサルタントとしての経験を有していたものの、研究テーマとなりうる課題についてのアプローチが漠然としており、学術的な研究内容に結び付けることが難しかった中、機械工学や生産工学におけるシステム設計やリスク分析等の様々な手法を基に、研究の方向性について適宜、適切なアドバイスを頂き、漠然としたテーマを明確な研究テーマに作り上げることに指導していただいたおかげで本論文を取りまとめることが出来ました。古賀先生が最初から最後まで言っておられた、「博士後期課程における研究は、小さな一歩でしかないとしても、新規性があり、その研究が誰かの何かの役に立つことが最も重要である。」という言葉は今でも心に深く刻まれており、この言葉が常に頭に入っていたことで、研究の方向性がぶれることなく最後まで研究を続けることが出来ました。今後、現在関わっている海外鉄道建設事業や今後に関わることになる業務においても、この言葉を胸に、また5年間の研究期間において頂いた多大な助言を活かし、今までとは違う目線で業務に取り組み、鉄道等のインフラ建設事業への従事により主に途上国や中進国の経済発展に少しでも貢献できるよう常に精進いたします。本当にありがとうございました。

本論文を纏めるにあたり、副査をご快諾いただき、貴重な意見と的確なアドバイスを頂きました山口大学大学院技術経営研究科教授・学長特命補佐の上西研先生、山口大学大学院創成科学研究科教授・研究科長の進士正人先生、山口大学大学院技術経営研究科教授・副研究科長の岡本和也先生及び山口大学大学院技術経営研究科准教授の大島直樹先生には厚く謝意を申し上げます。本研究を行うにあたり、様々な建設的な意見をいただき、適切な助言および指摘等、貴重なご意見を頂きありがとうございました。上西研先生には、5年間にわたり適切なタイミングで博士後期課程における研究の進め方について有益な助言を頂きました。進士正人先生には、主に土木工学・建設工学の観点から、本研究で構築した手法の今後の活用方法等において有益な指摘を頂きました。岡本和也先生には、特に内部要因・外部要因の分析手法の本研究への適用方法等において多くの貴重な意見を頂きました。大島直樹先生には、研究成果をより価値のあるものとするために記述すべき検討事項に関する多くの指摘と助言に加え、基本的な博士論文の書き方、体裁、丁寧に記述すべき内容等においても有益な指摘と助言を頂きました。ここに、謹んで感謝の意を表します。

本研究において3年間、共同作業をしてくれた理工学研究科材料力学研究室の米田渉氏（平成29年3月修了）には、私が社会人としての日常の仕事があるためにまとまった時間が取れない時が多かった中、共同した大学4年次と修士課程の3年間において様々な細かい検討や数多くのシミュレーションを行っていただきました。米田氏の時間を惜しまない多大なる貢献のおかげで、私の研究においても研究内容の検討を最後まで遂行するために

必要な膨大なデータと分析結果を得ることが出来ました。ここに心より感謝を申し上げます。

また、業務を続けながら大学院博士後期課程に入り、研究を続けることに理解を示し許可して頂いた株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル代表取締役社長の米澤栄二氏及び研究開始時から約3年半所属していた軌道交通事業部の執行役員軌道交通事業部長の中村信也氏、大学院博士後期課程への進学を強く勧めてくれた、同じく山口大学大学院理工学研究科博士後期課程で研究を行い博士学位を取得した阿部玲子氏、そして軌道交通事業部の皆様方には心より感謝を申し上げます。更に、2016年7月に転職した後に業務を続けながら研究を続けることを暖かく見守り、支援していただいた株式会社日立製作所ホーチミン地下鉄1号線建設事業のメンバーの皆様にも心より感謝を申し上げます。

最後に私事で恐縮ですが、海外での仕事を続けながら博士課程に進み研究をしたいという私のわがままを快く理解していただき、5年間にわたって支えてくれた妻に心より感謝の気持ちを表したいと思います。ありがとうございました。

2018年3月
井坂 隆之