

影響ダイアグラムによる プロジェクトの価値評価と時系列機能の提案

Influence Diagram Approach for Evaluating Project Value and Extension of the Diagram to Deal with Time Series.

プロジェクト実施の可否や、継続、中断の意思決定を適切に行うためには、プロジェクトの価値の定量的な評価が必要である。一般にプロジェクトの価値を直接推定するのは困難であるが、価値を構成要素に分解して考えると、個々の要素は容易に推定できる。影響ダイアグラムは、対象とする“モノ”の数値を、それに影響を与える要素に分解して評価する図的工具である。プロジェクト価値評価では各要素の時間的な変化の考慮や、多期間にわたる価値を評価し、それらを現在価値に割引くなどの処理が必要となる。複数期間を扱う影響ダイアグラムは巨大になりがちで、作成、編集が煩雑で非実用的となってしまう。本報告では、ダイアグラムを構成する部分ネットワークおよび期をまたぐ矢印の設定に制約を設け、扱いやすい時系列機能を提案する。提案ツールを用いれば多期間の影響ダイアグラムの扱いが容易になるとともに、利益の確率分布、信頼区間の時間変化を可視化し、期待値だけでは把握できないリスクなども意思決定に活用できるようになる。また、NPV、DCF、ROAなどの分析をより正確に実施できる。

手塚 大 Tezuka Masaru
齋藤 邦夫 Saito Kunio
宗形 聡 Munakata Satoshi

1. はじめに

プロジェクトの価値は、そのプロジェクトの実施可否や継続、中断などの意思決定のための重要な情報である。

NPV (Net Present Value : 正味現在価値) 法や DCF (Discounted Cash Flow : 割り引きキャッシュフロー) 法はプロジェクトが産み出す売上げ、あるいはキャッシュフローを現在価値に割り引き、それがプロジェクトへの投資額を上回るかどうかで投資可否の意思決定を行う¹⁾。

NPV や DCF ではプロジェクト開始後に計画の変更がないという仮定のもとで利用する意思決定法である。これに対し、ROA (Real Option Analysis : リアルオプション分析)^{2,3,4)} はプロジェクト価値のボラティリティ (変動の大きさ) の推定値を用いて、投資の拡大、縮小、中止など計画変更という選択肢の評価を実現する。

NPV や DCF を用いるにはプロジェクトの価値を推定する必要があり、ROA ではさらにそのボラティリ

ティが必要となる。

プロジェクトの価値を直接推定するのは困難な場合が多い。しかし、この価値を構成要素に分解して考えると、個々の要素は容易に推定できる場合がある。例えば、売上げ額を、製品販売数量と販売単価に分解して見ると、販売数量は需要予測手法によって高精度に予測可能という場合がある。

影響ダイアグラムは、このように対象とする物の数値を、それに影響を与える要素に分解して求めるツールの一つであり、先進的な経営者、コンサルタント、研究者によって事業計画や投資意思決定で用いられている^{5,6)}。

本報告では、定量的なプロジェクト価値評価を実現するために、影響ダイアグラムの活用を提案する。さらに、プロジェクト価値評価では各要素の時間的な変化の考慮や、多期間にわたる価値を評価して、それらを現在価値に割引くなどの処理が必要となる。そこで時系列を扱うことができる影響ダイアグラムによるプロジェクト価値評価ツールを提案する。

第2節で影響ダイアグラムについて簡単に説明する。

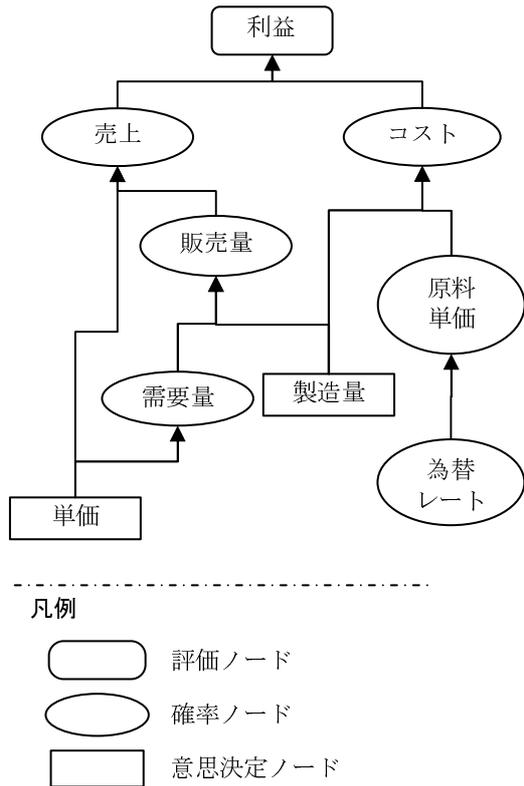


図1 影響ダイアグラムの例

続いて第3節で時系列機能を持つ影響ダイアグラムによるプロジェクト価値評価ツールを提案する。第4節で提案するツールの機能と、NPV, DCF, ROA などの分析法への適用について説明する。第5節は本報告のまとめである。

2. 影響ダイアグラム

2.1 ダイアグラムの記法

影響ダイアグラムは、プロジェクトの価値など最終的に評価したい“モノ”を、それに影響を与える要因に分解する図解法である。ソフトウェアによるツールとして実現することで、数値による定量的な評価を実現する。さらにモンテカルロシミュレーション⁷⁾を用いることでボラティリティやバリュー・アット・リスクなどの統計的分析も可能となる。

図1は影響ダイアグラムの例である。

影響ダイアグラムでは、最終的に評価したいものを頂点の丸い長方形で記述する。これを評価ノードと呼ぶ。一つのダイアグラムに評価ノードは一つである。図の例では利益が評価ノードである。値が確率で定まるものは楕円形で記述する。これを確率ノードと呼ぶ。また、値が意思決定によって定まるものは長方形で記

述する。これを意思決定ノードと呼ぶ。

もっとも基本的な影響ダイアグラムは、評価ノード、確率ノード、意思決定ノードの3種類のノードとこれらノードを結ぶ矢印で構成される⁸⁾。

利益は売上とコストによって決まる。そこで図では利益を売上とコストに分解している。売上とコストはここでは確率ノードである。

コストは製造量と原料単価によって決まる。製造量は意思決定によって定めるものなので意思決定ノードとしてある。この図の例では原料は輸入によっているため為替レートの影響を受ける。

売上は単価と販売量から決まる。単価は意思決定により定める。販売量は需要量と製造量により定まる。需要以上に販売できないし、製造した量よりも多く販売することはできない。需要量は、単価の設定によっても変わるため単価の影響を受ける。

この節で述べた3種類のノードから作られる影響ダイアグラムは最も基本的なものであり、他種のノードを追加して拡張した影響ダイアグラムも存在する⁹⁾。

2.2 定量評価

各ノードの値は、矢印で結ばれたノード（影響を与えるノード）の値から計算される。例えば、

$$(\text{利益}) = (\text{売上}) - (\text{コスト}) \quad (1)$$

$$(\text{売上}) = (\text{販売量}) \times (\text{単価}) \quad (2)$$

$$(\text{販売量}) = \min [(\text{需要量}), (\text{製造量})] \quad (3)$$

$$(\text{原料単価}) = (\text{ドル建単価}) \times (\text{為替レート}) \quad (4)$$

などのように、各ノードの値を計算する数式を定義し、末端のノードの値から順に確定していくことにより最上位の評価ノードの値を求めることができる。

ここで例えば末端の為替レートには、為替予測システムのデータやアナリストによる分析結果を用いることができる。また、需要量についても、需要予測システムのデータと価格反応係数の積を用いて、

$$(\text{需要量}) = \begin{cases} 1.2 \times (\text{予測データ}), & \text{if } (\text{単価}) = 1,000 \\ 1.0 \times (\text{予測データ}), & \text{if } (\text{単価}) = 1,200 \\ 0.9 \times (\text{予測データ}), & \text{if } (\text{単価}) = 1,500 \end{cases} \quad (5)$$

のように計算できる。

また、これらの数値に確率変数を割り当てることで、不確実性を含んだ利益構造モデルとし、モンテカルロシミュレーションによって、評価ノードすなわち利益の不確実性を定量評価できる。

2.3 定式化

ノードの集合を V とする。前節の例では、

$$V = \{(\text{利益}), (\text{売上}), (\text{コスト}), \dots\} \quad (6)$$

となる。ノードを結ぶ矢印は V と V の直積の空でない部分集合 $E \subseteq V \times V$ で表される。前節の例では

$$E = \left\{ \left((\text{売上}), (\text{利益}) \right), \left((\text{コスト}), (\text{利益}) \right), \dots \right\} \quad (7)$$

となる。各要素は (始点, 終点) とする。影響ダイアグラムのネットワーク構造は有向グラフ $G(V, E)$ で表現できる。なお、影響ダイアグラムには有向閉路がない。

ノード $v \in V$ の値を x_v で表す。また、ノード v に影響を与えるノード、すなわち v に流入する矢印の始点のノードの集合は $D_v = \{w | (w, v) \in E\}$ であり、これらのノードの値の集合は $X(D_v) = \{x_w | w \in D_v\}$ となる。ノード v の値は、これらの値の関数として定まる。すなわち

$$x_v = f_v(X(D_v)) \quad (8)$$

である。ここで f_v はノード v によって定まる関数で、パラメータとして v に影響を与える各ノードの値を持つ。

前節の例では、 $x_{(\text{利益})}$ を求めるのが最終目的であり、式 (8) を再帰的に呼び出すことで値を確定する。

影響ダイアグラムで評価ノードの値を計算するには、末端ノードから順に値を確定していく必要があるが、トポロジカル整列¹⁰⁾によってこの計算順序を決定できる。

3. 時系列機能の提案

実際にプロジェクトの価値を評価する場合、ある単一の時点ではなく、複数期間にわたる価値を評価し、それらを現在価値に割引くことが必要となる。また、需要量や製造コストなどは、しばしば季節変動が見られるため、これに起因する利益の季節変動を評価したい場合もある。このように実務上は、多期間にわたるプロジェクト価値の評価が重要と考えられる。そこで、影響ダイアグラムに時系列機能を持たせる拡張を提案する。

取り扱う期間長を T とし、 t 期のノードの集合を V_t とする。影響ダイアグラムの全てのノードは、 $V = \bigcup_t V_t$ となる。

また、ノードとノードをつなぐ矢印について、 s 期のノードから t 期のノードにつながる矢印の集合を

$E_{st} \subseteq V_s \times V_t$ とする。影響ダイアグラムの全ての矢印は、 $E = \bigcup_{s,t} E_{st}$ となる。

単一期間の影響ダイアグラムと比較し、グラフのノードの数は期間の T 倍に、矢印の数は期間と期間をまたがる矢印がどの程度あるかによるが少なくとも T 倍以上になる。このような巨大なダイアグラムを作成、編集するのは煩雑で非実用的である。そこで、扱いやすさを高めるために以下のような制約および機能を導入した。

● 制約

1. t 期内のノードだけからなる部分グラフ $G_t(V_t, E_{tt})$ について、 G_1, \dots, G_T は全て同型である。(図 2(a))
2. 期をまたがる矢印は、次の期のノードだけにつながる。すなわち

$$E_{st} \begin{cases} \neq \phi, & s = t \\ \neq \phi, & s + 1 = t \\ = \phi, & \text{otherwise} \end{cases}$$

である。(図 2(b))

● 機能

1. ユーザは全ての期に共通な影響ダイアグラムを一つだけ作成する。ソフトウェアツールの機能として、この部分ダイアグラムをユーザが設定した期間の数だけ自動的に作成し、内部データとして持つ。ユーザがダイアグラムを編集すると、全ての期のダイアグラムが同時に変更される。
2. 評価ノードは各期に 1 ノードずつもてるように拡張する。最終期の評価ノードがトポロジーで最末尾のノードである。

1 番目の制約は、図 1 のような利益構造のモデルが期によって変化することがないという制約である。現実のプロジェクトを考えると、各ノードの値は期毎に異なるが、このダイアグラムの構造自体が変化することはほとんどない。したがって、この制約は実用的な制約である。

プロジェクトの価値に関するモノや情報は時間を逆行することはない。また、決算等を考えると、期毎に数値を確定し、それをもとに翌期の活動が行われるので、次の期への影響を考慮するだけで十分である。また、2 期以上先に影響するようなことも、一期一期逐次的に伝達することは可能である。したがって 2 番目の制約も実用的な制約である。

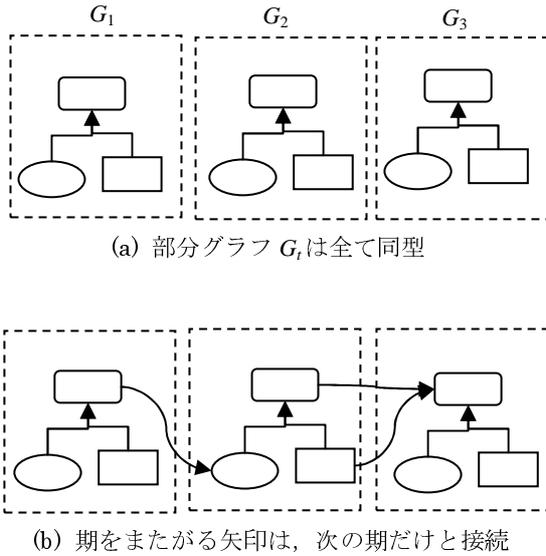


図2 時系列機能で設けた制約

これらの制約により、ユーザは各期に共通な部分ダイアグラムを作成すればよくなり、全期にわたる巨大なダイアグラムを作成、編集する煩雑さが解消される。また、扱う期間の長さの増加による矢印の本数の爆発的な増加を防ぎ、見やすく扱いやすい影響ダイアグラムとなる。

4. 時系列機能付きプロジェクト価値評価ツール

4.1 機能概要

時系列機能を実装した、影響ダイアグラムによるプロジェクト価値評価ツールを試作した。

図3は影響ダイアグラム・エディタの画面である。この画面で、全ての期に共通な利益構造を示す影響ダイアグラムの作成、編集を行う。

図4はノードの詳細情報ウィンドウで、ここでノードの値を計算する関数 (f_v) を設定する。この計算式は、各ノード、各期ごとに設定できる。図の例では、価格の値によって異なる価格反応係数を予測需要量に掛けることで需要量が計算される。

本ツールにはモンテカルロシミュレーションによる統計分析機能が実装されている。図5は第1期の利益の分析結果である。この例では、第1期の期待利益は232,780k円であるが、利益が負になる可能性があることも分かる。

図6は時系列機能を用いて、利益の確率分布の時間変化を分析した結果を表示している。中央の点および折れ線は期待利益の金額を示し、その周囲の幅の太い

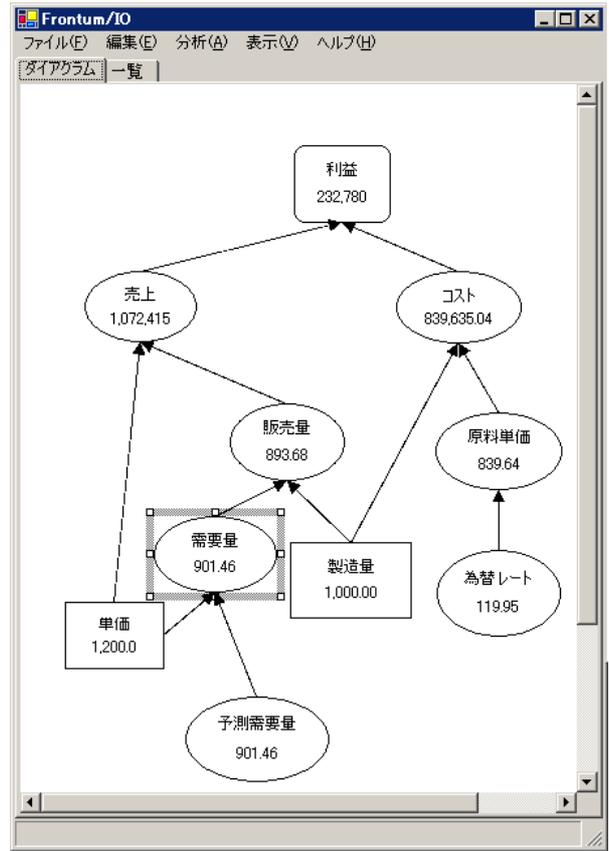


図3 影響ダイアグラム・エディタ

矩形は、期待値を中心とした分布の標準偏差を示している。また、それより長い幅の細い矩形は信頼区間を示す。

期待利益は時間とともに増加していく。しかし、信頼下限 5%~信頼上限 95% の 90% 信頼区間について見ると、第1期では利益が負になる恐れはないが、第2期以降は最悪で 40,000k円程度の赤字になる可能性もわずかにあることが分かる。

4.2 NPV, DCF, ROA への適用

前節までの例では、現在価値への割り引きを特に考慮せずに説明してきた。したがって、図5や6で求められる利益の期待値は、割り引き前の利益期待値である。この数値を要求利益率で割り引くことで現在価値を求めることができる。

また、あらかじめ影響ダイアグラムの数式に割り引きを組み込んでおくこともできる。例えば、要求利益率 (すなわち割引率) を r とし、 t 期目の利益のノードの計算式を、

$$(\text{利益})_t = \left((\text{売上})_t - (\text{コスト})_t \right) \div (r^t) \quad (9)$$

としておけば、現在価値への割り引き後の利益期待値、

詳細情報

確率変数ノード

識別名(I): (1)

コメント(C):

計算式を利用する(E)
 条件式を利用する(N)

条件式(C):

if 単価 == 1000
 └─ 1.2*予測需要量

else if 単価 == 1200
 └─ 予測需要量

else if 単価 == 1500
 └─ 0.9*予測需要量

式(E):

単価

図4 計算式（関数 f_v ）の設定

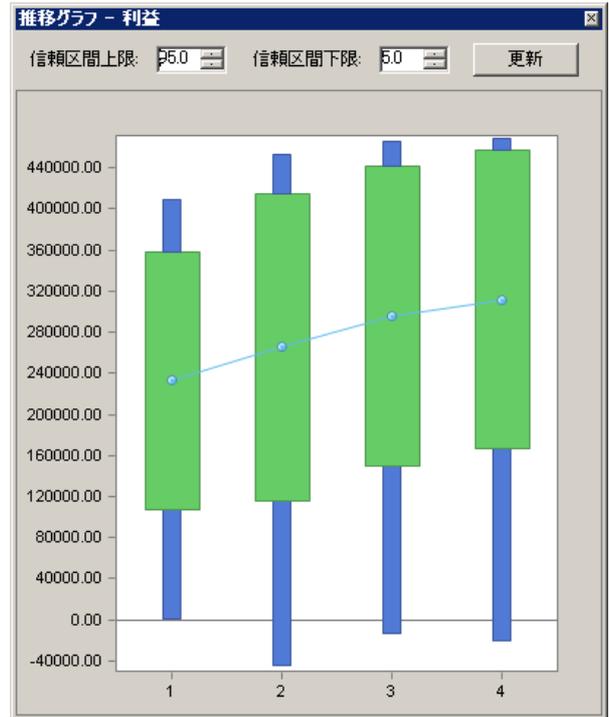


図6 時系列機能を用いた利益の推移グラフ

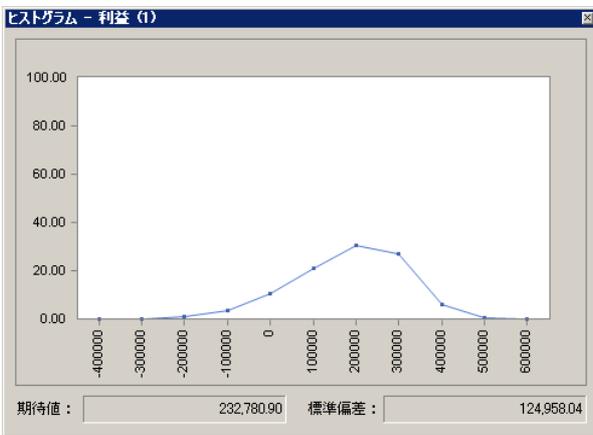


図5 利益の確率分布

すなわち NPV が分析結果として表示される。

利益のかわりにキャッシュフローを評価ノードに設定すれば、そのまま DCF 法として用いることができる。

同様に図5と6にはモンテカルロシミュレーションによる統計分析の結果として、標準偏差が表示されている。この標準偏差が、ROA で用いる「ボラティリティ」そのものであり、ROA の入力情報として用いることができる。

このように、本ツールを用いれば、プロジェクトの価値の期待値やボラティリティを定量的に求めることができる。これらの値を定性的あるいは勘と経験により求める場合と比較し、より正確な意思決定を行うことができる。

5. おわりに

プロジェクト実施の可否や、継続、中断の意思決定を適切に行うためには、プロジェクトの価値の定量的な評価が必要である。

多くの場合、プロジェクトの価値を直接推定するのは困難である。しかし、図的分析手法の一つである影響ダイアグラムを用いて、推定可能な要素に分解して分析することで、精度の高いプロジェクト価値推定が可能となる。

本報告では影響ダイアグラムの概要について説明した。また、各要素の時間的な変化の考慮や、多期間にわたる価値の評価を実現するために、時系列を扱うことができる影響ダイアグラムによるプロジェクト価値評価ツールを提案した。ツールにはモンテカルロシミュレーションによる統計分析機能も実装されている。

提案ツールを用いれば、利益の確率分布、信頼区間の時間変化を可視化し、期待値だけでは把握できないリスクなども意思決定に活用できる。プロジェクトの

期待値やボラティリティを定量的に求めることができ、NPV、DCF、ROA の正確性を向上できる。

参考文献

- 1) ムーディーズ・インベスターズ・サービス・インク, 戦略投資・リスク分析, NTT 出版, 2002.
- 2) マーサ・アムラム, ナリン・クラクティカ, リアル・オプション 経営戦略の新しいアプローチ, 東洋経済新聞社, 2001.
- 3) トム・コーブランド, ウラジミール・アンティカロフ, リアル・オプション 戦略フレキシビリティと経営意思決定, 東洋経済新聞社, 2002.
- 4) ジョナサン・マン, 実践リアルオプションのすべてダイヤモンド社, 2003.
- 5) 籠谷 邦夫, 選択と集中の意思決定, 東洋経済新聞社, 2000.
- 6) 大江 建, 北原 康富, 儲けの戦略 新規事業の計画・評価・検証, 東洋経済新聞社, 2002.
- 7) 津田 孝夫, モンテカルロ法とシミュレーション, 培風館, 1995.
- 8) Ross D. Shachter, "Evaluating Influence Diagrams", *Operations Research*, Vol. 34, No. 6, pp. 871-882, 1986.
- 9) John W. Egar, Mark A. Musen, "Graph-Grammer Assistance for Automated Generation of Influence Diagrams", *Trans. System, Man, And Cybernetics*, Vol. 24, No. 11, pp. 1625-1642, 1994.
- 10) R. セジウィック, アルゴリズム 第3巻=グラフ・数理・トピックス, 近代科学社, 1993.

(執筆者紹介)



手塚 大 1994 年入社
研究開発部
意思決定, リスク分析, 最適化技術の研究, 開発
tezuka@hitachi-to.co.jp



齋藤 邦夫 1992 年入社
研究開発部
パッケージソフトウェアの研究, 試作
kuni@hitachi-to.co.jp



宗形 聡 2003 年入社
研究開発部
統計, 数理的アプローチによる業務診断, 意思決定技術の研究, 開発
munakata@hitachi-to.co.jp