

リスクと期間を考慮した研究開発プロジェクト選択問題

01505910

慶應義塾大学大学院 理工学研究科 *古川 周平 FURUKAWA Shuhei
慶應義塾大学 理工学部 枇々木 規雄 HIBIKI Norio

1.はじめに

企業は研究開発(R&D)を行う際、複数の候補となるプロジェクトの中から、実際に研究開発を行うプロジェクトを選択しなければならない。具体的には、各プロジェクトを何らかの方法で評価を行い、評価値の高いプロジェクトから選択する、もしくは評価値を用いた資本予算問題（最適化問題）を解いてプロジェクトを選択する方法が考えられる。

研究開発にはリスクが存在し、プロジェクトから発生するキャッシュ・フローは不確実である。枇々木[1]は平均・分散モデルにより、リスクを考慮した1期間 R&D ポートフォリオ選択モデルを提案している。しかし、研究開発プロジェクトは一般的に短期から長期のものがあり、リターンが発生する時点も各プロジェクトによって異なるのが通常である。これを明示的に考慮するためには、研究開発のリスクと多期間にわたるキャッシュ・フローを取り扱い、プロジェクト選択を行う最適化手法が必要である。

本研究では、プロジェクトのキャッシュ・フローとステージの推移確率を用いて、リスクと期間を考慮した研究開発プロジェクト選択モデルを示す。本モデルによって、プロジェクトの最適執行スケジューリング、プロジェクトから発生する収益の再投資、および計画期間中の資金繰りの考慮が可能となる。

2.モデル

0時点で研究開発の候補となるプロジェクトが J 個 ($j=1, \dots, J$) が存在するが、プロジェクトの開始時点は 0 時点でなくてもよいと仮定する。すべてのプロジェクトは計画最終時点 T までに終了するものとし、プロジェクト j の全期間を M_j とすれば、意思決定者はプロジェクト j へ 0 時点から ($T \cdot M_j$) 時点まで投資を行うことができる。したがって、プロジェクトから得られるキャッシュ・フローは、時点 t ではなく、そのプロジェクトに投資を開始してからの年数 m (以下ステージと呼ぶ) に依存する。プロジェクト j へ投資が行われ、ステージ m まで進めば、そのステージに対応したキャッシュ・フローが得られるが、ステージ m に進めなければ、以降のキャッシュ・フローは 0 となる。次のステージに進めるか否かは推移確率で決定する。

●パラメータ

c_j^m : プロジェクト j のステージ m で発生するキャッシュ・フロー。開発費用は負、収益は正の値。

p_j^m : プロジェクト j がステージ $m-1$ からステージ m に進める推移確率。ただし $p_j^0=1$ (プロジェクトは必ずステージ 0 に到達する)

r_t : t 時点での金利

α_t : t 時点での富の不足量に対する重み

$q_j^{m(i)}$: プロジェクト j がパス i においてステージ m に存在すれば $q_j^{m(i)}=1$ 、存在しなければ $q_j^{m(i)}=0$ 。

$$p_j^m = \frac{\Pr\{q_j^m = 1\}}{\Pr\{q_j^{m-1} = 1\}}$$

●決定変数

$x_{j,t}$: t 時点でプロジェクト j へ投資するならば 1、投資しないならば 0 となる 0-1 変数
(投資可能期間は $t=0$ 時点から $t=(T \cdot M_j)$ 時点まで。)

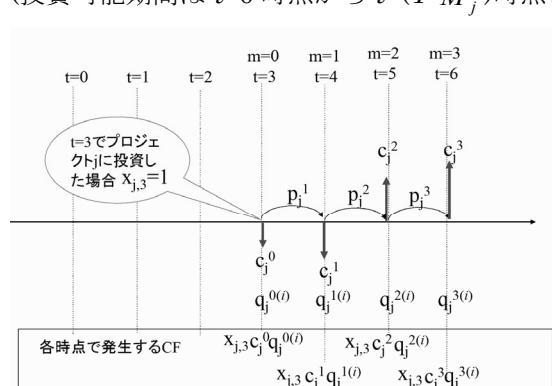


図 1: $t=3$ でプロジェクト j に投資を行った場合

図 1 からも分かるように、プロジェクト j がパス i の t 時点で生むキャッシュ・フロー $cf_{j,t}^{(i)}$ は

$$cf_{j,t}^{(i)} = \sum_{k=0}^t x_{j,k} \cdot c_j^{t-k} \cdot q_j^{t-k(i)}$$

となる。パス i の t 時点で、それぞれのプロジェクトから発生するキャッシュ・フローの合計値 $CF_t^{(i)}$ は次のように表せる。

$$CF_t^{(i)} = \sum_{j=1}^J c f_{j,t}^{(i)}$$

したがって、 $t=0$ での初期富を W_S とすれば、パス i の t 時点での富 $W_t^{(i)}$ は以下のように表せる。

$$W_0 = W_S + CF_0$$

$$W_1^{(i)} = (1 + r_0) W_0 + CF_1^{(i)}$$

$$W_t^{(i)} = (1 + r_{t-1}) W_{t-1}^{(i)} + CF_t^{(i)}, \quad (t=2, \dots, T)$$

計画期間中、富が0以下になることをリスクと考え、その不足量の平均を最小化するように、プロジェクトを選択する。ただし、計画最終時点($t=T$)での期待最終富の下限を W_G とする。この問題は次のように定式化できる。

$$\text{Min} \quad \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \sum_{t=0}^T \alpha_t u_t^{(i)}$$

$$\text{s.t.} \quad W_t^{(i)} + u_t^{(i)} \geq 0, \quad u_t^{(i)} \geq 0, \quad (t=0, \dots, T; i=1, \dots, I)$$

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I W_t^{(i)} \geq W_G$$

$$\sum_{k=0}^{T-M_j} x_{j,k} \leq 1, \quad (j=1, \dots, J)$$

3. 数値実験

表1: 入力データ 1

Project(j) \ Stage(m)	推移確率 p_i^m				c_i^m			
	1	2	3	4	1	2	3	4
a	1.00	0.80			-20	30		
b	1.00	0.80			-50	90		
c	1.00	0.70			-50	110		
d	1.00	0.50			-30	80		
e	1.00	0.70	0.70		-30	60	50	
f	1.00	0.80	0.70		-50	60	30	
g	1.00	0.80	0.80		-10	-10	40	
h	1.00	0.80	0.90		-100	-10	250	
i	1.00	0.80	0.80	1.00	-20	-40	60	100
j	1.00	0.90	0.80	1.00	-50	-80	120	150
k	1.00	0.70	0.80	0.90	-70	-40	170	170
l	1.00	0.70	0.80	0.80	-20	-30	-30	250

表2: 最適投資戦略 (計画期間 6 年, 初期富 200, 期待最終富の下限 600, パス数 1,000)

Time	0	1	2	3	4	5
Project	a	b	d	e	g	i
0	1					
1		1				
2			1			
3				1		
4					1	
5						1

表2および表3より、本モデルではリスクや多期間にわたるキャッシュ・フローを考慮しながら、投資するプロジェクトの最適執行スケジューリングが可能であることがわかる。

表3: 各プロジェクトから発生した CF の平均値

Project\Time	0	1	2	3	4	5	6	合計
a	-20.0	24.0						4.0
b	-50.0	72.0						22.0
c								
d	-30.0	40.0						10.0
e	-30.0	42.0	24.5					36.5
f								
g	-10.0	-8.0	25.6					7.6
h								
i	-20.0	-32.0	38.4	64.0				50.4
j								
k			-70.0	-28.0	95.2	85.7		82.9
l			-20.0	-21.0	-16.8	112.0		54.2
開発費用の合計	-160.0	-60.0	-91.0	-44.8	-100.0	-8.0		-463.8
収益の合計		178.0	88.5	64.0	207.2	85.7	180.0	803.4
合計	-160.0	118.0	-2.5	19.2	107.2	77.7	180.0	339.6

また、6期間で発生する開発費用の合計は平均で463.8であり、初期富以上の投資が行える。これは、初期に投資したプロジェクトから発生した収益の再投資を考慮したためである。

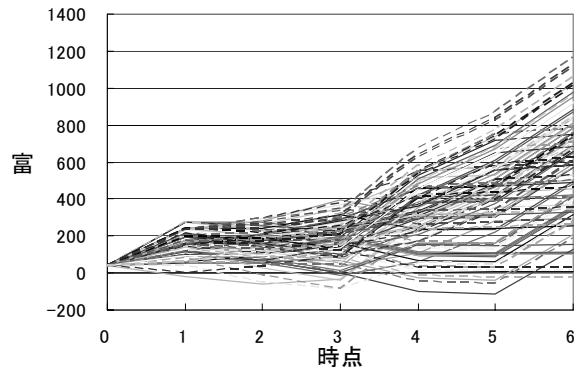


図2: パス i の t 時点での富 $W_t^{(i)}$

図2から、多くのパスでは富が0以上で推移していることが分かる。計画期間中少なくとも一度は、富が0未満になったパスは全体の7%、不足量の単純平均は6.2であった。計画期間中、富が0未満になることは、資金が不足することを意味し、本モデルではそのリスクを明示的に表すことができる。

4. 結論と今後の課題

本研究では、仮想データによる12プロジェクト6期間での実験を行い、最適解を得た。今後、プロジェクト数・期間数を増やした場合、乱数シードを変えた場合の解の安定性などを分析する必要がある。

5. 参考文献

- [1] 桜々木規雄, “研究開発プロジェクト選択問題に対する平均・分散アプローチによる資本予算モデル”, TORSJ 投稿中。