

リアル・オプションによる

天然ガス採掘事業評価と意思決定

東京理科大学 工学部 山口研究室

深井 岳

目次

第 1 章	3
1.1 研究背景	3
1.2 研究目的	4
第 2 章	5
2.1 DCF (Discounted Cash Flow) 法	5
2.2 オプション (Option)	5
2.3 リアル・オプション (Real Option)	8
2.4 動的計画法	9
2.4.1 2 項モデル	9
第 3 章	10
3.1 対象事例	10
3.2 事業のモデル化	10
3.3 記号の定義	10
3.4 事業価値のモデル化	11
3.5 ガス価格・生産量の定式化	11
3.6 費用の設定	13
3.7 リスク中立確率	14
3.8 その他の設定事項	14
第 4 章	15
結果及び考察	15
4.1 対応表の見方について	16
4.2 オプションの有無による事業価値の出力結果	17
4.3 オプションの有無と不確実要因による事業価値の比較, 検討	21
4.4 各オプションの価値とその相互作用についての考察	21
第 5 章	22
5.1 結論	22
5.2 今後の課題	22
主要参考文献	23
付録	24

第 1 章

1.1 研究背景

近年、企業の環境問題が深刻化してきている。京都議定書による温室効果ガスの削減目標が具体的に定められた。しかし国内のエネルギー需給は現状を維持すると見込まれている。このままではどちらかが達成不可という状況になりかねない。そこで供給安定性に優れたクリーンエネルギーの必要性にせまられている。

そこで近年、天然ガス業界が脚光をあびている。天然ガスは酸性雨の原因とされる硫黄酸化物 (SO_x) を発生することはないし、燃焼時に発生する気汚染等の原因とされる窒素酸化物 (NO_x) や、地球温暖化の主要因とされる温室効果ガスの大部分を占める二酸化炭素 (CO_2) の排出量は、石油・石炭等の化石燃料と比べて最も少なくなっている。



図 1：化石燃料の燃焼生成物発生量の比率
出展：経済産業省「エネルギー白書」

また 2006 年 1 月、現在確認されている可採年数は約 63 年であり、石油の約 49 年と比べて長い上、埋蔵量は増加傾向にある。確認埋蔵量の約 57%が中東地域に集中している石油と異なり、天然ガスの中東依存度は約 42%で、その他の埋蔵地域もロシア、アジア、アメリカ等世界各地に分散していることから、供給安定性に優れたエネルギーだといえる。

さらに天然ガスの新技術は普及しつつあり、その例として、天然ガス自動車や家庭用燃料電池やガスエンジンにより発電し、その際に発生する排熱でお湯を沸かして給湯や暖房に活用するコージェネレーションシステムがあげられる。エネルギーの効率的な利用と、マイホーム発電により環境にも家計にもやさしいシステムであることから、今後よりいっそう普及していくと思われる。

ところで、天然ガス業界の現状はどうなっているかというと、ガス事業の自由化が進み、燃料としてガスを大量保有している電力会社や鉄鋼メーカーなどがガス市場に参入し、競争が激化し、需要の想定などの不確実性が増してきている。また、天然ガス採掘事業には特有の生産量に多大な影響を及ぼす地政学リスクが伴い、さらには近年の石油価格の高騰に伴ったガス価格の高騰も天然ガス事業には影響を与えている。

表 1：ガス価格推移

年	ガス価格(\$/百万Btu)
1989	3.28
1990	3.64
1991	3.99
1992	3.62
1993	3.52
1994	3.18
1995	3.46
1996	3.66
1997	3.91
1998	3.05
1999	3.14
2000	4.72
2001	4.64
2002	4.27
2003	4.77
2004	5.18
2005	6.05
2006	7.14



図 2:天然ガス価格推移

1.2 研究目的

研究背景で取り上げたように生産量やガス価格といった不確実要因が天然ガス採掘事業に与える影響は大きいと考えられる。そこで、将来の経済価値が不確実なので、それを考慮した経営計画を立てる必要があると考えられる。従来の事業価値を評価する方法として *DCF* 法という手法が存在するが、この手法では将来のキャッシュフローを一定として割り引くため、プロジェクトを過小評価してしまう恐れがある。そこで本研究では天然ガス採掘事業という不確実要因が多数ある事業に対し、将来の動向も考慮して事業を評価し、柔軟な意思決定を行うためにリアル・オプション分析を用いて、事業の評価と意思決定を行うタイミングの提案を行うことを研究目的とする。

第2章

理論の概要

まず、リアル・オプションが発展してきた背景である *DCF* 法とその限界について説明する。その後、本研究で用いるリアル・オプションについて説明し、また分析手法として用いる動的計画法についても概要を説明する。

2.1 *DCF (Discounted Cash Flow)* 法

DCF (Discounted Cash Flow) 法は、キャッシュフローの現在価値を算出するときに用いる方法であり、投資意思決定理論としては一般的な手法です。*DCF* 法では、事業の金銭的価値を「その事業が将来生み出すキャッシュフローの現在価値」と定義する。ある事業が、1年後、2年後、3年後、...、 T 年後に $V_1, V_2, V_3, \dots, V_T$ のキャッシュを生み出すと想定する。各期間 t において算出した事業価値 V_t をリスクフリーレート r で割り引いて、その現在価値の合計を本事業価値 V とすると、 V は次式(1)で示される。

$$V = \frac{V_0}{(1+r)^0} + \frac{V_1}{(1+r)^1} + \frac{V_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{V_t}{(1+r)^t} + \dots + \frac{V_T}{(1+r)^T} = \sum_{t=0}^T \frac{V_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

この手法では、プロジェクトの途中で予期せぬ事態が発生する可能性があっても、現時点で考えられるシナリオが変更されないという前提で事業資産価値が計算される。将来のシナリオを固定しているために、不確定要因が多く存在する事業にこの手法を適用するとプロジェクトを過小評価してしまう恐れがある。

2.2 オプション (*Option*)

オプションとは、将来の一定期間に約束した金額で証券を売買する権利のことである。権利であるので、その権利を行使すれば取引は実行されるが義務は発生しない。

「買う権利」のことをコール・オプション、「売る権利」のことをプット・オプションという。

オプション用語

- ・コール (*call*) : 買う権利を与えるオプション
- ・プット (*put*) : 売る権利を与えるオプション
- ・プレミアム (*premium*) : オプション自体の価格
- ・権利行使 (*exercise*) : オプション契約に従って実際に資産を売買すること

オプションの種類

- ・ヨーロピアン・オプション (*European option*) : 満期日しか権利行使できない.
- ・アメリカン・オプション (*American option*) : 満期日までならいつでも権利行使が可能.

対象とする資産, コール (もしくはプット), 権利行使価格, 満期日の4つの特徴がオプションの詳細を特定する.

リアル・オプションの種類

- ・ 拡大オプション :
- ・ 縮小オプション :
- ・ 撤退オプション :
- ・ 延期オプション :

例えば、現時点で価格が S_0 円で証券があるとし、ある投資家がこの証券を一定期間 $[0, T]$ の価格 K で売却する権利のついたプット・オプションを購入したとすると、もし原証券が下落すれば、投資家は時価で原証券を購入し、それよりも高い K 円でそれを売却できる。もし価格が予想以上に上昇していれば、権利を放棄し、時価で原証券を売却することができる。コール・オプションの場合は、この逆である。

ここで、 $[0, T]$ を行使期間、価格 K を行使価格と呼ぶ。行使期間のどの時点でも権利を行使できるかできないかでアメリカン・オプション、ユーロピアン・オプションと区別されるのである。市場には各種の満期や行使価格を持つオプションが用意されており、それに応じて異なったオプション価格がついている。この価格を通常プレミアムと呼ぶ。

以上より、コール・オプションのペイオフ P は \max 関数を使って、 $\max[S_T - K, 0]$ と書け、ペイオフ曲線を描くと下図のようになる。

ただし、下の図はオプション・プレミアムの価格を考慮した図となっている。

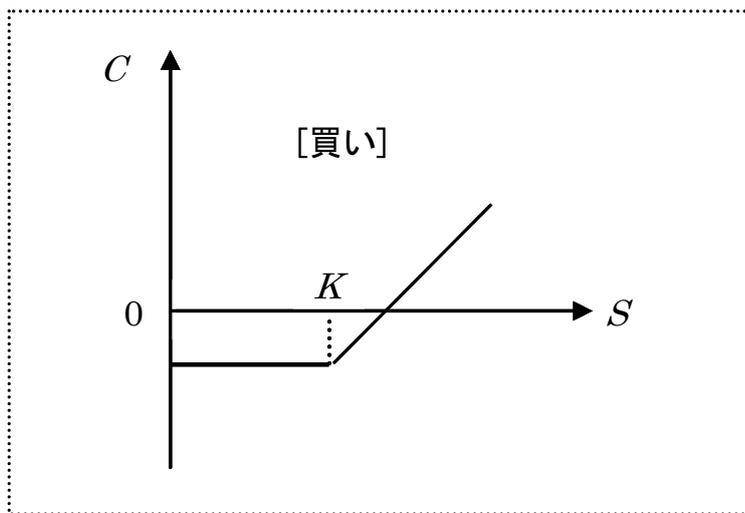


図 3: オプションのペイオフ曲線 (コールの場合)

2.3 リアル・オプション (*Real Option*)

リアル・オプションとは、不確実性の高い事業環境下で経営の持つ選択権（オプション）のことである。予め決められた期間（行使期間）に、予め決められたコスト（行使価格）で、延期や中止または別の事業への移行といった何らかの意思決定を行うこと（意思決定の柔軟性）の価値を算出する。

リアル・オプションも権利であり、義務ではないため意思決定に柔軟性が生まれる。

適用する対象が事業や研究開発、企業価値という実物資産 (*Real Asset*) であることから、株や債券に用いる *Option* という表現と明確に区別する意味で “*Real*” *Option* と呼ぶ。

リアル・オプションの考え方が発達してきた理由としては、IT インフラの整備や市場の複雑化によって不確実性が増してきたからであると考えられる。その不確実性に対し、それを評価・算定する必要性が高まったために、リアル・オプションが発展してきた。

事業価値を評価する方法として、従来の「*DCF*(*Discounted Cash Flow*)法」という手法が存在するが、この手法だと将来のキャッシュフローを一定と仮定し割引くため、不確実性に対して正当な評価ができない。リアル・オプションとして事業資産を評価する場合、現時点での経営者の判断のみならず、事業環境が変化した場合に下されるであろう経営判断も含めて事業価値を計算する。不確実性の高い事業環境下では、新たな状況に対応できる柔軟性や経営上の選択権は、経済的な価値をもつと考えられるからである。

不確実性の高い事業に対して、柔軟な対応ができるという点でリアル・オプションは発展しているのである。

したがって、リアル・オプションとして評価された事業資産価値は、従来の *DCF* 法で計算した事業資産の価値より大きな値となる。

2.4 動的計画法

本節では、リアル・オプションを用いた分析の中でも 2 項モデルを用いた分析方法を紹介する。

～動的計画法の流れ～

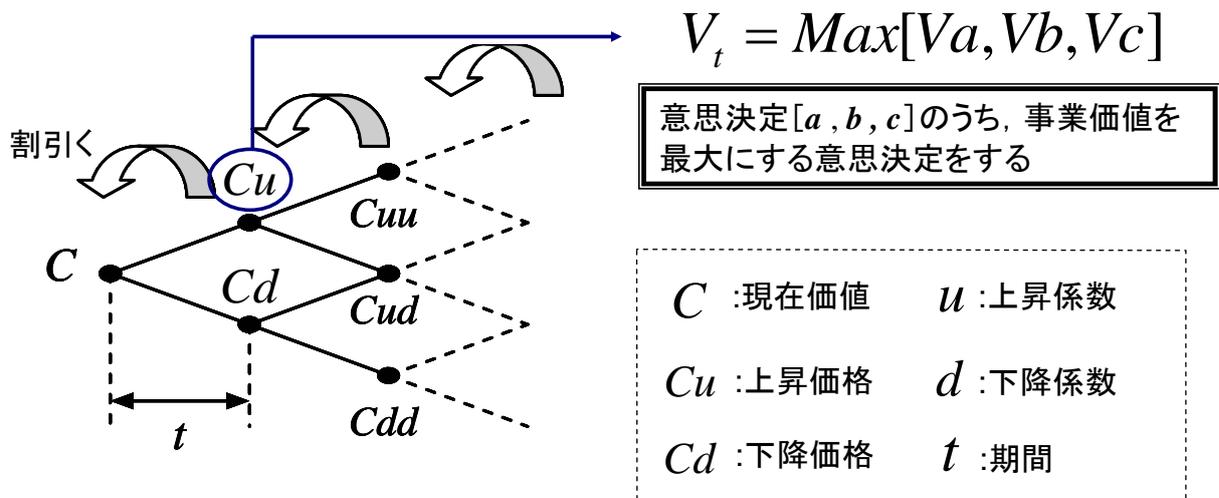
1. 上昇係数，下落係数を求め，変動する資産の動向を 2 項モデルによって表現する
2. 各ノードでの事業価値を求める
3. 最終時点から現在まで，各ノードでの値をリスク中立確率で割り引く

2.4.1 2 項モデル

2 項モデルとは，ある 1 つの不確実要因の動向が，上昇するか下落するかの 2 通りしかないモデルの事である。

各ノードでの値を現在価値に割り引く際の式は，以下の式で表される。（ただし，無裁定・完備市場である事を前提にしている）

$$\begin{cases} p = \frac{r-d}{u-d} \\ V_{t-1,k} = \{qV_{t,k+1} + (1-q)V_{t,k-1}\} / (1+r) \end{cases} \quad (2)$$



第3章

3.1 対象事例

本研究では帝国石油株式会社の天然ガス生産プラントを取り上げる。この会社は天然ガス採掘事業を主力としていて、日本最大級の埋蔵量、処理能力を誇るプラントを1984年9月より稼働させている。生産した天然ガスの約9割を都市ガス業者に売ることによって収益をあげている。そこで帝国石油株式会社の天然ガス生産プラントに対してリアル・オプション分析を適用し、分析、事業の評価、意思決定のタイミングを提案する。

また本研究で用いたデータは帝国石油株式会社の有価証券報告書から用いた。

3.2 事業のモデル化

3.1に示した事例に対してリアル・オプション分析を適用する。本研究では、リアル・オプション分析の中でも2項モデルを利用した分析を適用する。

天然ガス採掘事業における主要な不確定要因であるガス価格と生産量を不確定要因として2項モデルで表現し、事業価値を動的計画法で算出する。本研究における事業価値とは、天然ガス販売における収入から減価償却費を含む設備費、人件費などの運営費を総合した総費用を引いて得られる収益のこととする。また、本研究における意思決定の選択肢として「事業価値がマイナスになる場合は天然ガス採掘事業を行わない」という撤退オプションと「追加投資にて操業規模を拡大する」という拡大オプション、「コスト削減にて創業規模を縮小する」という縮小オプションを組み込むことにする。

3.3 記号の定義

ROAのモデルを定式化するに当たって使用する記号を以下に定義する。

t は1~10[年]の任意の期間、 k は不確定要因の上昇回数、 T は最終ノード($t=10$)を示す。

$V_{t,k}$: t 年での事業価値[億円]

$P_{t,k}$: t 年でのガス価格[億円/ m^3]

$M_{t,k}$: t 年での生産量[億円]

C : 総費用(減価償却費を含めた設備費と運営費の合計)[億円]

r : リスクフリーレート[%]

3.4 事業価値のモデル化

天然ガス販売収入 S_t から天然ガス生産プラントの設備費と運営費を引いて得られる収益を事業価値とし、各ノードでの事業価値を (3) 式のように算出する。

$$V_{t,k} = \text{Max}[P_{t,k} [\text{円}/m^3] \times M_{t,k} [\text{億}m^3] - C [\text{億円}], 1.1 * V_{t,k} - 30, 0.9 * V_{t,k} + 6, 0] \quad (3)$$

本研究では、意思決定の選択肢として、事業価値がマイナスになるような場合は事業から撤退するという「撤退オプション」と「30億の追加投資にて操業規模を10%拡大する」という拡大オプション、「6億のコスト削減にて創業規模を10%縮小する」という縮小オプションを導入している。

従って、オプションをモデル化するために、通常操業時の収益の値と事業拡大時の収益、事業縮小時の収益、0を比べて最大の値を事業価値として算出する。

3.5 ガス価格・生産量の定式化

本研究では、ガス価格、生産量ともに2項格子乗法モデルに従うと仮定してシミュレーションを行う。

2項格子乗法モデルとは、1年後にとりうるガス価格や生産量が、 $u \times d = 1$ を満たすような上昇シナリオ u と下降シナリオ d を乗じた2つの値に推移していくモデルである。 u や d の値は過去のデータから次のように推定する。

$$\mu = E \left[\log \left(\frac{P_{t+1}}{P_t} \right) \right], \quad \sigma^2 = V \left[\log \left(\frac{P_{t+1}}{P_t} \right) \right] \quad (4)$$

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}, \quad d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}} \quad (5)$$

～ $P_{t,k}$ (ガス価格) の推定～

ガス価格は(4)(5)式より，(6)式のように計算される．

$$P_{t,k} = P_0 \times u^k \times d^{t-k} \quad (\text{ただし, } k \text{ はガス価格が上昇した回数を表す}) \quad (6)$$

なお， σ については経済産業省のガス価格推移から算出した．

ただし， $P_0=23.76[\text{円}/\text{m}^3]$ とする．(2006年販売実績より，実際に2006年に帝国石油株式会社が生産した天然ガスを 1m^3 当たり 23.76 円で売っている)

～ $M_{t,k}$ (生産量) の推定～

生産量も同様に，(7)式のように計算される．

$$M_{t,k} = M_0 \times u^k \times d^{t-k} \quad (\text{ただし, } k \text{ はガス価格が上昇した回数を表す}) \quad (7)$$

なお， σ については2000年から今に至るまで帝国石油株式会社の生産実績の値から推定するものとする．

ただし， $M_0=16.18[\text{億}\text{m}^3]$ とする．(2006年生産実績より)

以上より， $S_{t,k}$ (天然ガス販売収入) は，以下の(4)式のようにガス価格 $P_{t,k}$ に生産量 $M_{t,k}$ を乗じる事で算出できる．

$$S_{t,k} = P_{t,k} \times M_{t,k} \quad (8)$$

3.6 費用の設定

・設備費：206.43[億円]

2006年度の有価証券報告書より天然ガス生産プラントの減価償却費（89.62[億円]）を含む設備投資額を抜粋

・運営費：140.2[億円]

帝国石油株式会社の2006年度の有価証券報告書[4]より、「人件費」「炭鉱費」「販売費及び管理費」などを含めた天然ガス採掘事業にかかる諸経費を運営費として計上する。

➤ 人件費の算出

有価証券報告書より帝国石油株式会社の従業員の平均年収と天然ガス事業に携わる従業員数の値から人件費を算出する。

$$761[\text{万円/人}] * 309[\text{人}] = 23.51[\text{億円}]$$

➤ 炭鉱費の算出

有価証券報告書より炭鉱費の値を使用する。

$$40.97[\text{億円}]$$

➤ 販売費及び管理費の算出

有価証券報告書から得られる販売費及び管理費は帝国石油株式会社の天然ガス事業、石油事業、その他の事業を総合したものであるため、全事業における天然ガス事業の割合から算出する。

$$200.68[\text{億円}] * 37.73[\%] = 75.72[\text{億円}]$$

従って、毎年運営費として140.2億円を計上する。

以上より、モデルに組み込む総費用は、設備費と運営費を合計した346.63[億円]を費用とする。

ただし、総費用は、年度によって変化するものであるが、本研究でモデルに組み込む費用の値は毎年固定であるという仮定のもとで話を進めていく。

従って、修繕費など臨時的に発生した費用などはモデルから除いた。

3.7 リスク中立確率

上記で示した事業価値 V_t を現在価値に割り引く際のリスク中立確率を(9)式で求める.

$$q = \frac{r - d}{u - d} \quad (9)$$

$$V_{t-1,k} = \{qV_{t,k+1} + (1-q)V_{t,k-1}\} / (1+r)$$

3.8 その他の設定事項

その他シミュレーションに必要なパラメータ以下のように設定する.

- シミュレーション期間 T : 10 [年]
- 意思決定の期間: 1 年間 ($\Delta t=1$)
- リスクフリーレート: $r = 0.0157$ (10 年国債の利率を使用)

第 4 章

結果及び考察

本章では，帝国石油株式会社の天然ガス生産プラントについて，第 3 章にて設定した各項目を基に，定式化した式による結果を出力し，得られた各結果に対して行った考察について記述する．

以下に示す視点から出力結果を比較検討し考察を行った．

- ・ ガス価格，生産量をそれぞれ不確定要因としてモデルに組み込み，事業価値を算出
- ・ オプションを組み込んだ場合と組み込まない場合の事業価値の違いを比較検討
- ・ 各ノードにおける最適意思決定の提案
- ・ 各オプションの価値とその相互作用についての考察

なお，本研究では，**S-PLUS** を用いてモデル式のシミュレーションを行った．
使用した **program** と **command** は付録を参照のこと．

4.1 対応表の見方について

出力結果の表を見る際の対応表を以下の表 2 に示す.

表 2 : 対応表

[0,0]	[1,0]	[2,0]	[3,0]	[4,0]	[5,0]	[6,0]	[7,0]	[8,0]	[9,0]	[10,0]
	[0,1]	[1,1]	[2,1]	[3,1]	[4,1]	[5,1]	[6,1]	[7,1]	[8,1]	[9,1]
		[0,2]	[1,2]	[2,2]	[3,2]	[4,2]	[5,2]	[6,2]	[7,2]	[8,2]
			[0,3]	[1,3]	[2,3]	[3,3]	[4,3]	[5,3]	[6,3]	[7,3]
				[0,4]	[1,4]	[2,4]	[3,4]	[4,4]	[5,4]	[6,4]
					[0,5]	[1,5]	[2,5]	[3,5]	[4,5]	[5,5]
	[a, b]					[0,6]	[1,6]	[2,6]	[3,6]	[4,6]
							[0,7]	[1,7]	[2,7]	[3,7]
								[0,8]	[1,8]	[2,8]
									[0,9]	[1,9]
										[0,10]

[a, b]で示された数字は、ガス価格や生産量が「上昇した回数 a 」と「下降した回数 b 」の組み合わせを意味する。[]で示された 2 数の合計値は期間数を表す。例えば、[3, 2]は初期状態 [0, 0]から 5 期間後の値であり、その 5 期間のうち、ガス価格や生産量は 3 期間上昇し 2 期間下降した、という意味である。

4.2 オプションの有無による事業価値の出力結果

～ガス価格を不確定要因とした場合～

表 3: 事業価値(左上→オプション有, 右上→オプション無, 左下→拡大価値, 右下→縮小価値)

0					1					2					4					5					9					10 (年)				
117.86	87.79	162.41	142.05	219.64	205.28	379.24	364.34	484.63	463.61	1121.2	1046.1	1348.8	1253.4	379.24	364.34	484.63	463.61	1121.2	1046.1	1348.8	1253.4													
66.569	85.011	126.26	133.85	195.81	190.75	370.77	333.91	479.97	423.25	1120.7	947.5	1348.8	1134.1	370.77	333.91	479.97	423.25	1120.7	947.5	1348.8	1134.1													
		73.59	32.04	105.89	78.4	206	195.59	277.77	269.01	742.47	701.83	911.99	856.35	206	195.59	277.77	269.01	742.47	701.83	911.99	856.35													
		5.244	34.836	56.24	76.56	185.15	182.03	265.91	248.11	742.01	637.65	911.99	776.72	185.15	182.03	265.91	248.11	742.01	637.65	911.99	776.72													
				41.11	-16.99	92.96	68.72	135.21	122.68	457.76	442.99	583.62	557.83	92.96	68.72	135.21	122.68	457.76	442.99	583.62	557.83													
				-48.69	-9.291	45.592	67.848	104.95	116.41	457.29	404.69	583.61	508.05	45.592	67.848	104.95	116.41	457.29	404.69	583.61	508.05													
						31.53	-26.68	50.36	12.66	250.1	248.39	336.76	333.42	31.53	-26.68	50.36	12.66	250.1	248.39	336.76	333.42													
						-59.35	-18.01	-16.07	17.394	243.23	229.55	336.76	306.08	-59.35	-18.01	-16.07	17.394	243.23	229.55	336.76	306.08													
						6.91	-98.4	12.22	-70.05	103.13	102.07	164.66	164.66	6.91	-98.4	12.22	-70.05	103.13	102.07	164.66	164.66													
						-138.2	-82.56	-107.1	-57.05	82.277	97.863	151.13	154.19	-138.2	-82.56	-107.1	-57.05	82.277	97.863	151.13	154.19													
								1.4	-132.2			20.46	-7.96	40.03	37.81			20.46	-7.96	40.03	37.81													
								-175.5	-113			-38.76	-1.164	11.591	40.029			-38.76	-1.164	11.591	40.029													
												0	-90.69	0	-57.66			0	-90.69	0	-57.66													
												-129.8	-75.62	-93.43	-45.89			-129.8	-75.62	-93.43	-45.89													
												0	-152.8	0	-129.3			0	-152.8	0	-129.3													
												-198.1	-131.5	-172.3	-110.4			-198.1	-131.5	-172.3	-110.4													
												0	-199.6	0	-183.2			0	-199.6	0	-183.2													
												-249.6	-173.6	-231.5	-158.9			-249.6	-173.6	-231.5	-158.9													
												0	-234.8	0	-223.8			0	-234.8	0	-223.8													
												-288.2	-205.3	-276.2	-195.4			-288.2	-205.3	-276.2	-195.4													
														0	-254.2					0	-254.2													
														-309.7	-222.8					-309.7	-222.8													

0年(操業開始時)における事業価値は117.86(億円)である。オプションを組み込まない場合、得られるキャッシュフローが負であっても、そのまま計算に用いる。しかし、オプションを考慮すると、権利を放棄することが可能となる。よって、オプションを導入する事によって生まれる価値の差は、オプションの権利を放棄する(撤退する、拡大、縮小する)という選択肢の有無の差、つまりリスクを考慮したからであると考えられる。つまり、今回の事例でのオプションの価値は、オプション有りの場合の事業価値からオプション無しの場合の事業価値を引いて30.07(億円)となる事が分かる。

また、表5のガス価格の推移と合わせて見ることにより、ガス価格が変化した時の将来の価値も含めた意思決定が可能であることが分かる。ガス価格が大幅に下落すると、期待されるガス販売収入が見込めず、設備費や運営費を回収できず、事業価値がマイナスになってしまう。本事業では、撤退オプションを考慮した場合、ガス価格が10.1(円/m³)になる時期、つまり6年連続でガス価格が下落した場合、事業収益が見込めない事が分かり、そのような場合は天然ガス採掘事業を退くという意思決定を行うことができる。またノードの色が水色になっているノードは拡大オプションを行使したノード、ノードの色が黄色になっているノードは縮小オプションを行使したことを示す。各オプションが行使されたかどうかの判定は各ノードにおける4つの事業価値(通常操業時、拡大創業時、縮小創業時、撤退時)の値を比較すればよい。

～生産量を不確実要因とした場合～

表 6: 事業価値(左上→オプション有, 右上→オプション無, 左下→拡大価値, 右下→縮小価値)

0		1		2		6		7		9		10 (年)	
98.6	87.78	125.9	119.32	158.23	154.2	341.48	333.96	402.21	390.99	545.71	522.95	628.92	599.02
66.558	85.002	101.25	113.39	139.62	144.78	337.36	306.56	400.09	357.89	545.25	476.66	628.92	545.12
		66.76	50.04	88.5	78.39	227.11	225.28	275.03	272.05	389	380.49	457.47	443.15
		25.044	51.036	56.229	76.551	217.81	208.75	269.26	250.85	388.54	348.44	457.47	404.84
				40.98	15.07	135.91	134.53	173.15	172.76	262.29	261.57	314.24	287.66
				-13.42	19.563	117.98	127.08	160.04	161.48	257.73	241.41	314.24	314.25
						66.61	58.72	92.51	89.81	162.3	162.3	204.36	204.36
						34.592	58.848	68.791	86.829	148.53	152.07	194.8	194.8
						22.64	-4.61	35.42	20.51	80.31	79.36	113.6	113.6
						-35.07	1.851	-7.439	24.459	57.296	77.424	94.96	108.24
						3.82	-57.49	6.88	-37.36	22.25	10.03	40.03	37.81
						-93.24	-45.74	-71.1	-27.62	-18.97	15.027	11.591	40.03
						0	-101.6	0	-85.66	0	-47.85	0	-25.63
						-141.8	-85.47	-124.2	-71.09	-82.64	-37.07	-58.19	-17.07
								0	-126	0	-96.11	0	-78.38
								-168.6	-107.4	-135.7	-80.5	-116.2	-64.54
										0	-136.5	0	-122.6
										-180.1	-116.8	-164.8	-104.3
										0	-170.2	0	-159.4
										-217.2	-147.2	-205.3	-137.5
												0	-190.3
												-239.3	-165.3

0年(操業開始時)における事業価値は98.6(億円)である。オプションを組み込まない場合、得られるキャッシュフローが負であっても、そのまま計算に用いる。しかし、オプションを考慮すると、権利を放棄することが可能となる。よって、オプションを導入する事によって生まれる価値の差は、オプションの権利を放棄する(撤退する、拡大、縮小する)という選択肢の有無の差、つまりリスクを考慮したからであると考えられる。つまり、今回の事例でのオプションの価値は、オプション有りの場合の事業価値からオプション無しの場合の事業価値を引いて10.82(億円)となる事が分かる。

また、表8の生産量の推移と合わせて見ることにより、生産量が変化した時の将来の価値も含めた意思決定が可能であることが分かる。生産量が大幅に下落すると、期待されるガス販売収入が見込めず、設備費や運営費を回収できず、事業価値がマイナスになってしまう。本事業では、撤退オプションを考慮した場合、生産量が9.43(億 m^3)になる時期、つまり6年連続で生産量が下落した場合、事業収益が見込めない事が分かり、そのような場合は天然ガス採掘事業を退くという意思決定を行うことができる。またノードの色が水色になっているノードは拡大オプションを行使したノード、ノードの色が黄色になっているノードは縮小オプションを行使したことを示す。各オプションが行使されたかどうかの判定は各ノードにおける4つの事業価値(通常操業時、拡大創業時、縮小創業時、撤退時)の値を比較すればよい。

以上の結果より得られた天然ガス採掘事業における最適意思決定を表7に示す。

4.3 オプションの有無と不確実要因による事業価値の比較，検討

表 9: 事業価値とオプション価値

不確実要因	事業価値(オプション有)	事業価値(オプション無)	オプション価値
ガス価格	117.86(億円)	87.79(億円)	30.07(億円)
生産量	98.6(億円)	87.78(億円)	10.82(億円)

不確実要因ごとに事業価値とオプション価値をまとめたものが表 9 である。どちらの不確実要因であっても事業価値がプラスであることから現時点で天然ガス生産を操業するという意思決定を行う。またガス価格を不確実要因としたときのほうが事業価値，オプション価値ともに大きいことから，ガス価格のほうが生産量よりも事業に及ぼす影響が大きいということがわかる。

4.4 各オプションの価値とその相互作用についての考察

今までのシミュレーションと同様に各不確実要因と各オプションについて，オプションの価値とその相互作用についての分析結果を以下に記す。

表 10: オプション価値(ガス価格)

拡大	縮小	撤退
2.34(億円)	4.89(億円)	27.26(億円)
拡大と縮小	拡大と撤退	縮小と撤退
7.23(億円)	30.1(億円)	27.73(億円)
全部		
30.07(億円)		

表 11: オプション価値(生産量)

拡大	縮小	撤退
0.49(億円)	2.61(億円)	9.9(億円)
拡大と縮小	拡大と撤退	縮小と撤退
3.1(億円)	10.39(億円)	10.33(億円)
全部		
10.82(億円)		

これより縮小オプションと撤退オプションを同時に組み込んだ場合に，ガス価格を不確実要因としたときは 4.92[億円]，生産量を不確実要因としたときは 2.18[億円]の負の相互作用があることがわかる。これは縮小オプションと撤退オプションの行使領域が重なるため，縮小オプションが撤退オプションの価値に影響を及ぼすと考えられる。

また，その他のオプションの相互作用には加算性が成り立っていることがわかる。

第5章

5.1 結論

本研究では、今後のエネルギー需給の柱となるであろう天然ガス事業に対して、実際に帝国石油株式会社の天然ガス生産プラントを取り上げ、事例研究を行った。

天然ガス採掘事業において考えられる不確実要因としてガス価格と生産量を取り上げ、対象とする不確実要因の将来動向を考慮した投資意思決定理論である *ROA* を適用し、算出される事業価値の相違について分析・考察を行った。

また、*ROA* においては、オプションの有無による事業価値の相違を確認すること、それに伴った最適意思決定を提案することを目的とし、オプションを組み込むときと組み込まないときの2種類について分析を行った。

分析の結果、オプションを組み込むことで事業価値は増大し、生産量よりもガス価格のほうが事業価値に及ぼす影響が大きいことがわかった。また、様々なシナリオに対応する意思決定を提案することができた。オプションの価値についてはオプションの加算性と負の相互作用を確認することが出来た。

5.2 今後の課題

本研究では、帝国石油株式会社の天然ガス生産プラントのデータをもとに、今後10年間における事業価値のシミュレーションを行った。今後の課題として、一般的に広く適用できるモデルを作成するために設備費や運営費の試算も定式化する必要があると考える。

本研究では撤退、拡大、縮小オプションを導入したが、他にも考えられるオプションとして天然ガス生産を延期する延期オプションが考えられる。今後の課題として、様々なオプションの導入を考え、オプションによってどのように変化を及ぼすのか検討する必要があると考えた。

また、本研究では不確実要因としてガス価格と生産量が2項乗法モデルに従うとしてシミュレーションを行ったが、不確実要因を2個にして4項モデルを作成することでより複雑ではあるが、より正確に事業価値を評価できると考えられる。

さらに、天然ガス採掘事業特有の制約条件として天然ガスの埋蔵量を制約条件に加えた分析をすることで、さらに一般化することが出来ると考えられる。

主要参考文献

[1]今井 潤一 「リアル・オプション」 中央経済社(2004)

[2]David G. Luenberger 「金融工学入門」 日本経済新聞社(2002)

[3]刈屋 武昭, 山本 大輔 「入門 リアル・オプション」 東洋経済新報(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」 東洋経済

[4] INPEX 国際石油開発株式会社

<http://www.inpex.co.jp/recruit/oildevelopment/development.html> (最終閲覧日 2007/11/5)

[5]帝国石油株式会社

<http://www.teikokuoil.co.jp/> (最終閲覧日 2007/11/5)

[6]帝国石油株式会社有価証券報告書

[7]JOGMEC

<http://www.jogmec.go.jp/gas/index.html> (最終閲覧 2007/11/5)

付録 S-PLUSによるprogramとcommand

```
[program]
Valuation = function(price,sigma,ryou,hiyou){
prob=(1.0157*exp(-sigma))/(exp(sigma)-exp(-sigma))
P =V =N= matrix(rep(NA,11^2),ncol=11)
for(i in seq (to=11,from=1)){
for(j in seq (from=1,to=i)){
P[j,i] = price*exp((i-2*j+1)*sigma)
}
}
P=round(P,2)
P
V=ryou*P-hiyou
for(i in seq (to=11,from=1) ){
for(j in seq (from=0,to=i) ){
V[j,i] = max(V[j,i],0)
}
}
for(i in seq (to=0,from=10)){
for(j in seq (from=0,to=i)){
V[j,i]=(V[j,i+1]*prob+V[j+1,i+1]*(1-prob))/1.0157
}
}
V = round(V,2)
V
N=ryou*P-hiyou
for(i in seq (to=0,from=10)){
for(j in seq (from=0,to=i)){
N[j,i]=(N[j,i+1]*prob+N[j+1,i+1]*(1-prob))/1.0157
}
}
N = round(N,2)
N
rslt=list(ROA=V,nashi=N,price=P)
}
```

