

リアル・オプション・アプローチを用いた
航空会社の機材計画の分析

東京理科大学工学部 4 年

宮田 剛裕

目次

| | |
|------------------------------------|----|
| 1. 研究背景..... | 2 |
| 2. 研究目的..... | 3 |
| 3. 事例研究..... | 3 |
| 4. 理論の概要..... | 4 |
| 4.1 リアル・オプション(Real Option)の定義..... | 4 |
| 4.2 ROA が発展してきた背景..... | 4 |
| 4.3 オプション(option)とは..... | 5 |
| 4.4 オプション価格式..... | 5 |
| 4.5 2項格子オプション理論..... | 6 |
| 5. モデル化..... | 7 |
| 6. 結果と考察..... | 10 |
| 7. 今後の課題..... | 13 |
| 8. 参考文献・URL..... | 13 |
| 付録..... | 14 |
| S-PLUS による program, command..... | 14 |
| S-PLUS による出力結果..... | 15 |

1. 研究背景

近年、世界的に深刻な問題として取り上げられている原油価格の高騰(表 1「原油価格推移図」参照)により、その原油を精製して得られる航空燃料(ジェット燃料)の価格も飛躍的に高騰しており、航空業界各社の経営状態を圧迫している。

ある航空会社の報告によれば、原油価格が 1\$高騰することにより、年間の燃油費が 50 億円増額するほど燃油価格の高騰は深刻な事態を招く。航空業界は、もともと SARS やテロのような外的要因に左右されやすい業界であるが、2005 年に入ってからアメリカの大手航空が燃油価格の高騰による経営状態の悪化を理由に破産法を申請するなど、近年の燃油価格の高騰が航空会社に与える影響は多大である。原油を用いない燃料の開発が進んでいるとの記事も存在するが、例えば航空燃料に代わる代替燃料が開発されたとしても、航空機は非常に高い高度を飛行するために、果たしてその低温度でも実用可能であるのか、更には新燃料に対応した航空機の開発・導入が不可欠である、という 2 点の理由から、実用化されるのは今後数十年の近い将来では期待できない。即ち、今後とも航空会社は、航空燃油価格を見定めた上で、事業計画を立て、各種の意思決定を行わなければならない状況にある。

[\$ / B]

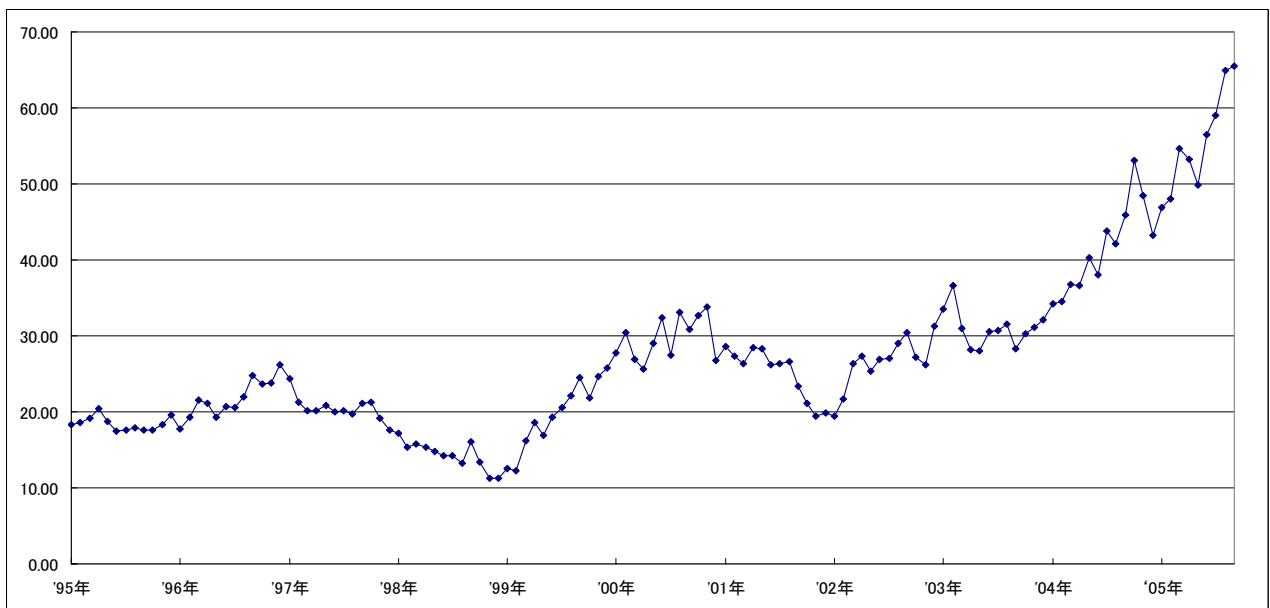


図 1:原油価格推移図

注)縦軸は[\$ / B]: 1B(バレル)当たりのスポット価格\$である。

日本経済新聞より取得可能な WTI スポット価格の月平均価格を用いて作成。(下記, 表 1)

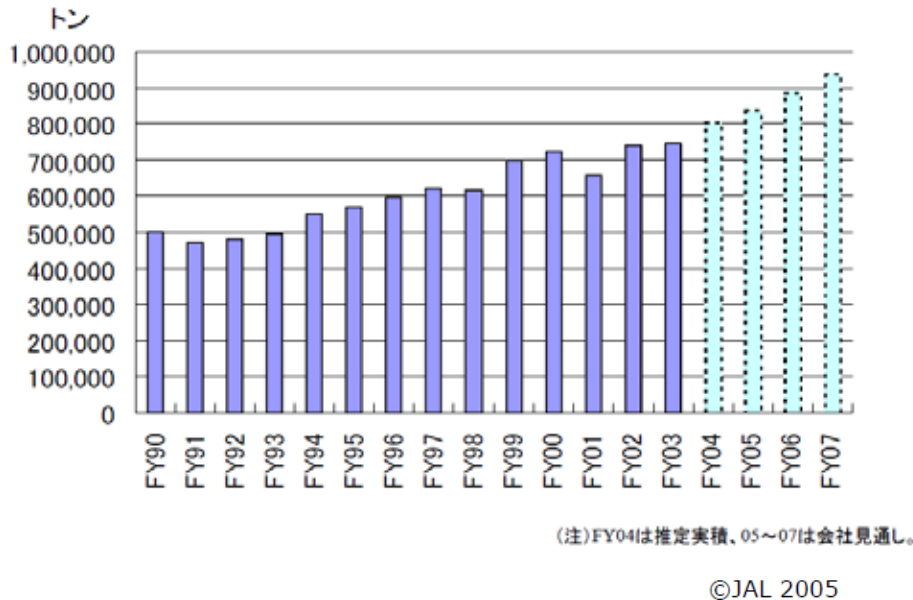
WTI=ウエスト・テキサス・インターミディエイトを意味する原油 3 大ベンチマークのうちの一つ。

表 1: 原油スポット価格時系列データ

| year month | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 18.35 | 17.75 | 24.40 | 17.16 | 12.49 | 27.68 | 28.66 | 19.48 | 33.51 | 34.22 | 46.85 |
| 2 | 18.58 | 19.29 | 21.20 | 15.32 | 12.29 | 30.48 | 27.39 | 21.74 | 36.60 | 34.50 | 48.05 |
| 3 | 19.18 | 21.48 | 20.10 | 15.76 | 16.17 | 26.89 | 26.28 | 26.31 | 31.04 | 36.72 | 54.63 |
| 4 | 20.38 | 21.16 | 20.10 | 15.32 | 18.66 | 25.70 | 28.46 | 27.29 | 28.14 | 36.62 | 53.22 |
| 5 | 18.80 | 19.33 | 20.84 | 14.79 | 16.85 | 29.03 | 28.37 | 25.31 | 28.07 | 40.28 | 49.87 |
| 6 | 17.40 | 20.65 | 20.01 | 14.29 | 19.36 | 32.43 | 26.25 | 26.86 | 30.52 | 38.05 | 56.42 |
| 7 | 17.56 | 20.54 | 20.21 | 14.21 | 20.53 | 27.40 | 26.35 | 27.02 | 30.70 | 43.80 | 59.03 |
| 8 | 17.89 | 22.02 | 19.67 | 13.26 | 22.11 | 33.12 | 26.67 | 28.98 | 31.60 | 42.12 | 64.99 |
| 9 | 17.54 | 24.80 | 21.16 | 16.10 | 24.54 | 30.86 | 23.43 | 30.45 | 28.31 | 45.93 | 65.55 |
| 10 | 17.67 | 23.62 | 21.28 | 13.45 | 21.78 | 32.69 | 21.18 | 27.22 | 30.35 | 53.09 | |
| 11 | 18.24 | 23.79 | 19.09 | 11.24 | 24.60 | 33.82 | 19.44 | 26.19 | 31.06 | 48.48 | |
| 12 | 19.56 | 26.24 | 17.66 | 11.29 | 25.78 | 26.79 | 19.84 | 31.20 | 32.14 | 43.26 | |

単位[\$/B]

また、日本の製造業では数年前からの中国進出を始めとして、最近ではアジア全体への進出が目覚しい。アメリカなどの北米に対しても、自動車会社が工場建設をするなど、それに伴う海外への輸送量は増加している。その影響により、近年国際貨物輸送量は増加傾向にある。下記の図 2 は、日本の大手航空会社 2 社のうちでも、国際路線を多く持つ(株)日本航空のこれまでの航空貨物搭載量であるが、過去 15 年間ほぼ一定の伸び率で安定的に推移していることがわかる。今後とも国際貨物需要は伸びると見込まれており、更なる国際航空貨物の増加が予想される。



出典)2005-07年度 中期経営計画 補足資料

図 2:国際貨物搭載重量((株)日本航空の場合)

2. 研究目的

研究背景で取り上げた様に、航空業界では原油価格の高騰が引き起こす航空燃油価格により将来の不確実性が増してきている。更に図 2 で示した様に日本の航空会社では国際航空貨物搭載量が伸びており、今後の需要を踏まえた上で更なる意思決定を行わなければならない。その現状に対して、事業の途中で予期せぬ事態が発生する可能性があっても、計画していたシナリオを変更できるといった経営の柔軟性や可能性の価値を評価できることが望ましい。そこで、リアル・オプション・アプローチを用いて、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も含めて事業価値を算出すると共に、将来時点の経営判断を実行するタイミングについての考察も行う。

3. 事例研究

2005年6月30日に発表された(株)日本航空のプレスリリースによると、近年の、国際貨物需要の増加を背景に、日本航空はボーイング767型(以後、B767-300と表記)の貨物専用機を3機発注した。(財)日本航空機協会による報告によれば、ボーイング767型機は2004年1月時点、1\$=120円換算で1機当たり91.2億円との報告がある。即ち3機の購入で機材のみで273.6億円という多額の投資である。

そこで、このような多額の投資に対し、リアル・オプション・アプローチを適用して分析することとした。具体的には、航空燃油価格を不確実要因として設定し、過去の推移から航空燃油の上昇・下降の変動(ばらつき)を求め、今後10年における意思決定のタイミングと、その時点における貨物機3機購入する事業の事業価値を算出する。

4. 理論の概要

4.1 リアル・オプション(Real Option)の定義

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。その基本理論は株や債券で用いられている金融手法であるフィナンシャルオプションと同様である。(理論は次頁)権利であるので、その権利を行使すれば実行されるが、義務は発生しない。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 Option)であることから、株や債券に用いる financial という表現と明確に区別する意味で“リアル”・オプションと呼ぶ。リアル・オプションの分析手法をリアル・オプション・アプローチ(Real Option Approach)と言う。(以後、ROA と表記する。)

4.2 ROA が発展してきた背景

IT インフラの整備も進み、市場が複雑化の様相を呈している事が一因であることは否めない。そんな不確実性(フレキシビリティ)が高まる現社会においても、企業は将来の為に研究開発や投資、M&A などの事業活動は怠れない。そこで、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。ゆえに発展したのが ROA なのである。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。

一方、従来の DCF(Discounted Cash Flow)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。DCF 法についての詳細を記述はしないが、DCF 法が将来のシナリオを固定しているのに対し、ROA は複数の意思決定を組み込んでいるため経営の柔軟性を考慮している点が大きく異なる。

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。そのため、リアル・オプションは、拡張正味現在価値(Net Present Value)とも呼ばれる。

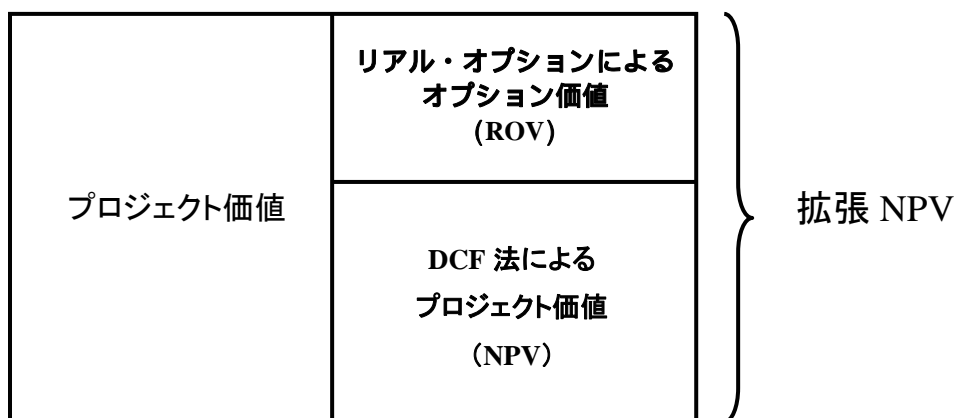


図 3: 拡張 NPV の概念

4.3 オプション(option)とは

オプションとは、指定された条件のもとで、資産を買う(もしくは売る)権利のことをいう。権利であるので、その権利行使すれば取引は実行されるが、義務は発生しない。基本的なオプション用語を以下に示す。

<基本的なオプション用語>

- ・ 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。

資産の記述, コールかプットか, 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。

4.4 オプション価格式

1 期間後のケースにおけるオプションの価格式を以下に示す。

$$\text{コール・オプション } C = \max(0, S - K) \dots \textcircled{1}$$

$$\text{プット・オプション } P = \max(0, K - S) \dots \textcircled{2}$$

【 記号の意味 】

C : コールオプションの価格

P : プットオプションの価格

S : 対象とする原資産の価格

K : 行使価格(現時点で取り決めた価格)

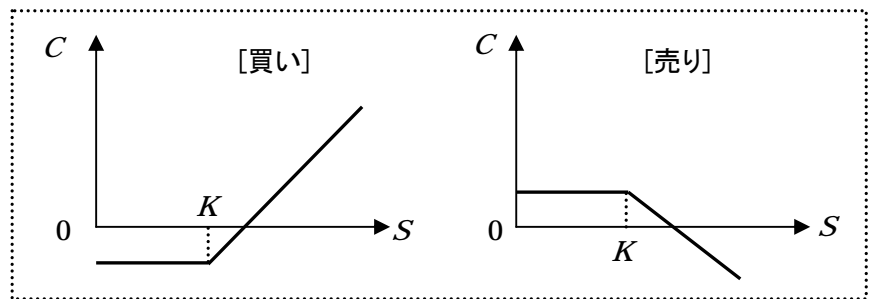


図 4: オプションのペイオフ曲線(コール)

【 式の解釈 】

コールの場合の上記の式の解釈を示す。

1 期間が経った時点で、原資産の価値 S の価格から取り決めた行使価格 K との差である $S - K$ と、権利を破棄した場合 0 を比較して値の大きな方 (\max をとる) をコール・オプションの価格とする。

コールの場合: 満期日の株式の価格 S が $S > K$ ならば、このオプションは価値がない。

オプション価格の決定方法にはいくつかの方法があるが、今回分析で用いる 2 項格子オプション理論について次ページより記述する。

4.5 2 項格子オプション理論

最終ノードから出発し、初期時点まで戻りながら、1 期間の無リスク割引を格子上のすべてのノードで繰り返すことでオプションの価格を求めることができる。

1 期間でのモデルを以下に示す。

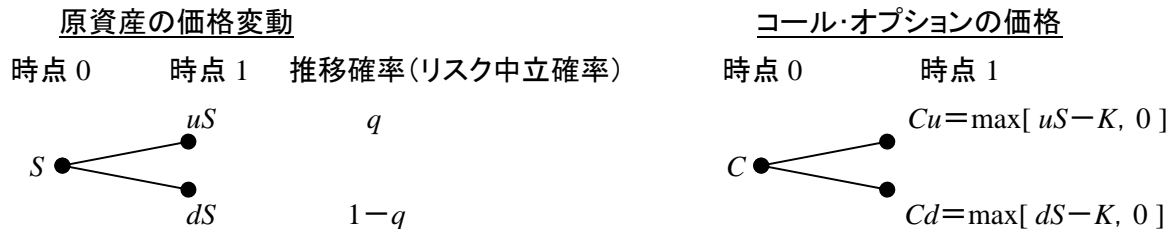


図 5:2 項モデル(1 期間)

初期の原資産価格 S とすると、期末に推移確率 q で u 倍の uS になるか $(1-q)$ で d の dS になるかのいずれかである。期末のコール・オプションの価格はそれぞれ $Cu = \max[uS - K, 0]$ 、 $Cd = \max[dS - K, 0]$ となる。

時点 1 で満期を迎えるコール・オプションが時点 0 で適正価格で売却されるために、時点 1 から時点 0 まで割り引く必要がある。割り引く方法を以下に示す。

〔複製ポートフォリオの作成〕

オプションの満期(この場合、時点 1)にコール・オプションと同等の価値を持つ、「株式と無リスク資産(債券など)のポートフォリオ」を時点 0 において作る。

期末の上昇時、下降時それぞれにおいて株式を x ドル分、無リスク資産を b ドル分購入したとすると、

$$\begin{aligned} ux + Rb &= Cu \quad \dots\dots ③ \\ dx + Rb &= Cd \end{aligned}$$

ここで、 $R(=1+r)$ は割り引き率、 u は期末に上昇する際の係数、 d は期末に下降する際の係数である。

これを解くと、

$$x = \frac{Cu - Cd}{u - d}, \quad b = \frac{Cu - ux}{R} = \frac{uCd - dCu}{R(u - d)} \quad \dots\dots ④$$

この x と b を足し合わせるとポートフォリオの価値が求まる。

$$x + b = \frac{Cu - Cd}{u - d} + \frac{uCd - dCu}{R(u - d)} = \frac{1}{R} \left(\frac{R-d}{u-d} Cu + \frac{u-R}{u-d} Cd \right) \quad \dots\dots ⑤$$

構築されたポートフォリオの実現値がコール・オプションの実現とまったく同じであることより、(同値でなければ裁定機会が生じてしまうため)

$$C = \frac{1}{R} \left(\frac{R-d}{u-d} Cu + \frac{u-R}{u-d} Cd \right) \quad \dots\dots ⑥$$

であると結論付けられる。

$$q = \frac{R-d}{u-d} \text{ とおくと, } C = \frac{1}{R} (qCu + (1-q)Cd) \quad \dots\dots ⑦$$

となり、時点 0 に割り引けたことになる。

同様の操作を最終ノードから現在時点まで繰り返すことで、各ノードにおけるオプション価値を算出する。

複数期間における2項ツリーのイメージは以下の図6の通り。

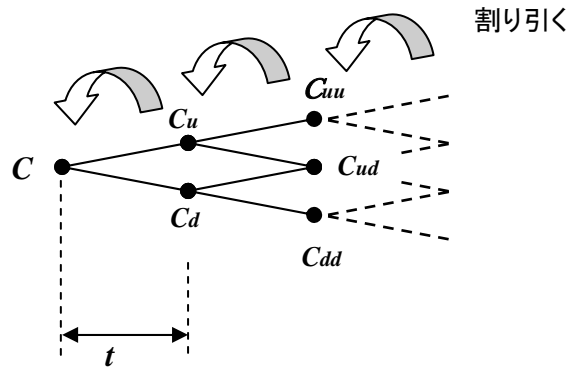


図6: 複数期間の2項ツリー

以上の理論を元に、事例をに対しモデルを作成する。

5. モデル化

将来の航空燃油価格を不確定要因とし、その変動に応じて B767-300 型貨物専用機を『 k 機購入して飛ばす』という事業をモデル化すると、以下のモデル式のように表現できる。

$$V_T = \max_{k_T} \left\{ k_T(D - P_T - C) \mid 1 \leq k_T \leq 3 \right\}$$

$$V_t = \max_{k_t} \left\{ k_t(D - P_t - C) + \frac{1}{1+r} V_{t+1} \mid 1 \leq k_t \leq k_{t+1} \right\} \quad \dots\dots \textcircled{8}$$

[各種パラメータ]

各種パラメータは以下の通り。

航空燃油価格を不確定要因としているため、その標準偏差をボラティリティ(ばらつき)として用いて、燃油価格の上昇確率 u と下降確率 d を求めた。

$$\mu = E \left[\log \left(\frac{P_{t+1}}{P_t} \right) \right], \quad \sigma = \nu \left[\log \left(\frac{P_{t+1}}{P_t} \right) \right], \quad u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}, \quad d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}}, \quad u + d = 1 \quad \dots\dots \textcircled{9}$$

[記号の定義]

- V_T : 最終ノード(T 期)での事業価値
- V_t : k 期での事業価値
- k_T : T 期での購入機体数
- k_t : t 期での購入機体数
- D : 購入した1機がもたらす貨物収益
- P_T : 購入した1機を飛ばすのに必要な T 期での航空燃油費用
- P_t : 購入した1機を飛ばすのに必要な t 期での航空燃油費用
- C : 固定費(購入した1機を飛ばす際に必要な人件費と運航関連費)
- r : リスクフリーレート

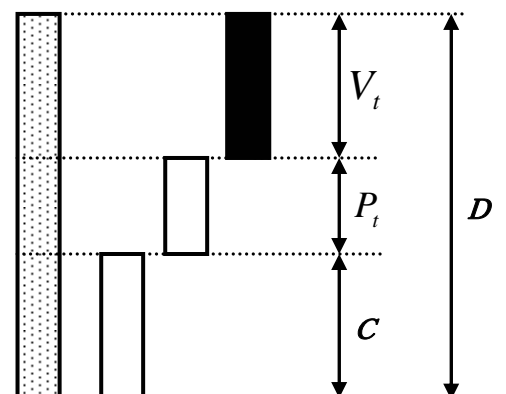


図7: モデルのイメージ(1機当たり)

[モデル化の際の設定事項]

《意思決定の期間》：1年毎 ($\Delta t=1$)

《シミュレーション期間 T 》：10年

《リスクフリーレート r 》：

将来時点の事業価値を現在価値に割引く際に用いる割引率は $r = 0.01575 (= 1.575\%)$ とする。
(この値は2000年1月～2005年9月までの10年国債利回りの金利の平均値を使用した。)

《当該機が導入後1年間に生み出す収益 D 》： $D=26.516$ [億円]

2004年度の貨物収益から既存機1機当たりの金額を算出し、その値をB767-300型機に適用できるように、搭載貨物量のデータを用いて換算した。

詳細は以下の通りである。

2004年度(H16.04.01～H17.03.31)JALグループ貨物収益は、連結財務諸表より国際線:171,399 [百万円]、国内線:30,534 [百万円]であり、全体の合計額は201,933 [百万円]となる。

既存の貨物専用機(B747型機)が12機存在し、型式もほぼ同等の機体であることから、
(合計額)÷(貨物路線)の値をB747型機1機が1路線で一年間に生み出す貨物収益とする。

現在就航している貨物路線は36路線であることから、

$$2019.33[\text{億円}] \times \frac{1}{36} = 56.0925 \dots [\text{億円}] \quad \text{が得られる.}$$

さらに、JALのプレスリリースによれば、B747-400型貨物専用機の貨物搭載量は110t、B767-300型貨物専用機の貨物搭載量は52tであることから概算すると、B767-300型機が生み出す収益は

$$56.0925 \times \frac{52}{110} = 26.516454 \dots [\text{億円}] \quad \text{である.}$$

《航空燃油価格 P_t 》：

$$P_t = (P_{spot} + 4.0) \times \frac{1}{159} \times 115 \times \alpha \times 10^{-8} \quad (\because \alpha = 2.5315 \times 10^7) \quad \dots \textcircled{10}$$

$$\left. \begin{aligned} P_{spot} &= P_0 u^k d^{t-k} \\ &= P_0 e^{k\sigma} e^{-(t-k)\sigma} \\ &= P_0 e^{(2k-t)\sigma} \end{aligned} \right\} \quad \dots \textcircled{11}$$

P_t 式の構成：

① P_{spot} (WTI原油スポット価格)[\$/B] に一律 4.0 [\$]を加算し航空燃油とする。

初期値 $P_0 = 46.85$ [\$/B](2005年1月平均価格を初期値とする)

② バレルからリットル換算する(1[B]=159[ℓ])

③ 円相場を一律 1\$=115円とし、[円/ℓ]に換算

④ α : B767-300型機が年間使用する燃料量[ℓ]

⑤ 10^{-8} を掛けて[億円]に換算

《 固定費 C 》:

C=20.353 [億円]

固定費 C は B767 型機を 1 年間飛ばした時に掛かる「人件費・運航関連費」と、購入した際に必要な機体価格をシミュレーション期間で減価償却した「減価償却費」を合計した金額とする。

設定する際には、「航空機数」・「燃料容量」・「2004 年度 JAL グループ営業費用」の各値を用いた。用いたデータは以下の二つの表(表 2, 表 3)に示す。

表 2: JAL グループ航空機数(2005 年 3 月 31 日現在)

| 機 種 | 所有機 | リースイン機 | 合計機数 | 燃料容量(リットル) | 機数×燃料容量 | 機種別燃料容量構成率 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------------|-----------------|
| B747-400 | 40 | 2 | 42 | 216,000 | 9,072,000 | 0.267640 |
| B747-400F | 0 | 2 | 2 | 216,000 | 432,000 | 0.012745 |
| B747LR | 18 | 4 | 22 | 216,000 | 4,752,000 | 0.140192 |
| B747SR | 3 | 0 | 3 | 216,000 | 648,000 | 0.019117 |
| (B747) | 21 | 4 | 25 | 216,000 | 5,400,000 | 0.159309 |
| B747F | 7 | 3 | 10 | 216,000 | 2,160,000 | 0.063724 |
| B767 | 18 | 19 | 37 | 91,400 | 3,381,800 | 0.099769 |
| B737 -400 | 9 | 14 | 23 | 23,800 | 547,400 | 0.016149 |
| DC-10 | 6 | 0 | 6 | 138,725 | 832,350 | 0.024556 |
| B777 | 10 | 21 | 31 | 117,000 | 3,627,000 | 0.107003 |
| CRJ200 | 0 | 6 | 6 | 8,100 | 48,600 | 0.001434 |
| A300 | 6 | 0 | 6 | 62,000 | 372,000 | 0.010975 |
| A300-600R | 14 | 8 | 22 | 73,000 | 1,606,000 | 0.047380 |
| MD-90 | 14 | 2 | 16 | 22,100 | 353,600 | 0.010432 |
| MD-81 | 12 | 6 | 18 | 22,100 | 397,800 | 0.011736 |
| MD-87 | 6 | 2 | 8 | 22,100 | 176,800 | 0.005216 |
| YS-11 | 6 | 0 | 6 | 5,040 | 30,240 | 0.000892 |
| DHC-8-Q400 | 2 | 3 | 5 | 6,526 | 32,630 | 0.000963 |
| DHC-8-Q100 | 4 | 0 | 4 | 6,526 | 26,104 | 0.000770 |
| SAAB340B | 9 | 5 | 14 | | | |
| BN-2B | 3 | 0 | 3 | | | |
| 合計 | 187 | 97 | 284 | | 33,896,324 | 1.00 |

注) JAPAN AIRLINES ホームページより 2005 年 3 月 31 日現在の所有航空機一覧を抜粋。

財) 日本航空機開発協会 「平成 16 年度民間航空機関連データ集 別冊主要民間機の概要」より、燃料容量の各値を抜粋。

記載がない機種は取り扱わないこととした。

表 3: 2004 年度 JAL グループ営業費用(内訳)

| 費用項目 | 金額(億円) | 総営業費用に占める割合 |
|---------------|----------|-------------|
| 燃料費 | 2887.88 | 0.174 |
| 人件費 | 2821.49 | 0.170 |
| 航空機 賃貸料/減価償却費 | 1809.07 | 0.109 |
| 販売関連費 | 1377.55 | 0.083 |
| 運航関連費 | 1344.36 | 0.081 |
| その他 | 6356.65 | 0.383 |
| 合計 | 16597.00 | 1.000 |

出典) JALCARGO プレスリリース「燃油サーチャージ」について(2005 年 9 月)

表 2 において、各機種毎の燃料容量に、飛ばしている機体数を掛けて、JAL グループにおける機種毎の燃料容量とした。合計値で各値を割ることにより、当該機の構成率を算出(上記表 2 で B767 型機は 0.099769)。

表 3 より、人件費と運航関連費の総額は $2821.49+1344.36=4165.847$ [億円]である。

この値に、先程算出した当該機の構成率(0.099769)を掛けて得られる値を、B767 の合計機数 37 機で割った値を B767 型機 1 機当たりの「人件費+運航関連費」として設定する。

$$\text{即ち, } 4165.847 \times 0.099769 \times \frac{1}{37} = 11.23302975 \dots \quad 11.233[\text{億円}]$$

となる。

さらに、航空機を購入した際に発生する機体購入額は、(株)日本航空では定額法を用いて減価償却している。B767 型機 1 機あたりの購入金額は 91.2 [億円](参考 URL[7]参照のこと)である。償却期間についてであるが、耐用年数は機種毎と飛ばす航続距離によって異なるため、正確に何年とは限定できない。通説によれば 8 年~27 年であり、その幅は大きい。よって今回は、シミュレーション期間が 10 年であることより、償却期間を 10 年とする。故に、 $91.2 \div 10 = 9.12$ [億円]となる。

以上より、「1 機当たりの人権費+運航関連費」と「購入金額の減価償却費」を合計した

$$11.233 + 9.12 = 20.353[\text{億円}]$$

を固定費として設定する。

6. 結果と考察

S-PLUS を用いてモデル式のシミュレーションを行い、各ノードでの事業価値を算出すると、以下の表 4~表 6 のような結果が得られた。表上の各値は各ノードにおける「事業価値」、「購入する機体数」、「航空燃油価格」を示している。(どのノードの時の値を示しているのかは、表 7 に示した対応表を参照)

表 4:各ノードでの事業価値

| | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 44.27278 | 31.61525 | 20.75506 | 11.90775 | 5.309214 | 1.217713 | -0.08389 | 0.008094 | 0 | 0 | 0 |
| | 58.77985 | 44.40024 | 31.66101 | 20.75119 | 11.87897 | 5.273478 | 1.186801 | -0.10386 | 0 | 0 |
| | | 73.16742 | 57.76809 | 43.76032 | 31.31825 | 20.63333 | 11.91608 | 5.397829 | 1.33274 | 0 |
| | | | 94.7514 | 77.42577 | 61.30635 | 46.5518 | 33.33656 | 21.85241 | 12.3101 | 4.941173 |
| | | | | 107.6604 | 88.34799 | 70.081 | 53.00335 | 37.27343 | 23.06541 | 10.57078 |
| | | | | | 110.8879 | 89.69319 | 69.39613 | 50.12725 | 32.03024 | 15.2632 |
| | | | | | | 106.0405 | 83.05993 | 60.84125 | 39.50266 | 19.17445 |
| | | | | | | | 94.44906 | 69.77163 | 45.73112 | 22.43458 |
| | | | | | | | | 77.21534 | 50.9227 | 25.15198 |
| | | | | | | | | | 55.25001 | 27.41701 |
| | | | | | | | | | | 29.30497 |

表 5: 各ノードでの購入機体数

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | | | | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | | | | | 3 | 3 |
| | | | | | | | | | | 3 |

表 6: 各ノードでの航空燃油価格

| | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 8.563934 | 9.310427 | 10.12807 | 11.02366 | 12.00461 | 13.07906 | 14.25593 | 15.54498 | 16.95689 | 18.50339 | 20.1973 |
| | 7.882404 | 8.563934 | 9.310427 | 10.12807 | 11.02366 | 12.00461 | 13.07906 | 14.25593 | 15.54498 | 16.95689 |
| | | 7.260183 | 7.882404 | 8.563934 | 9.310427 | 10.12807 | 11.02366 | 12.00461 | 13.07906 | 14.25593 |
| | | | 6.692111 | 7.260183 | 7.882404 | 8.563934 | 9.310427 | 10.12807 | 11.02366 | 12.00461 |
| | | | | 6.173473 | 6.692111 | 7.260183 | 7.882404 | 8.563934 | 9.310427 | 10.12807 |
| | | | | | 5.69997 | 6.173473 | 6.692111 | 7.260183 | 7.882404 | 8.563934 |
| | | | | | | 5.267672 | 5.69997 | 6.173473 | 6.692111 | 7.260183 |
| | | | | | | | 4.872995 | 5.267672 | 5.69997 | 6.173473 |
| | | | | | | | | 4.512664 | 4.872995 | 5.267672 |
| | | | | | | | | | 4.18369 | 4.512664 |
| | | | | | | | | | | 3.883345 |

表 7: 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] |
| | [u,d] | | | [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] |
| | | | | | | [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] |

注) 対応表の見方:

[u,d]で示された数字は、燃油価格が「上昇した回数」と「下降した回数」の組み合わせを意味する。

モデル式ではuとdは上昇した際の倍数・下降した際の倍数であったが、ここでは便宜上、数値はその回数とし、

[]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、そのうち3期間上昇し、2期間下降した、という意味である。

表 4 を 2 項ツリーに置き換えて表現したものを以下の図 8 に示す。

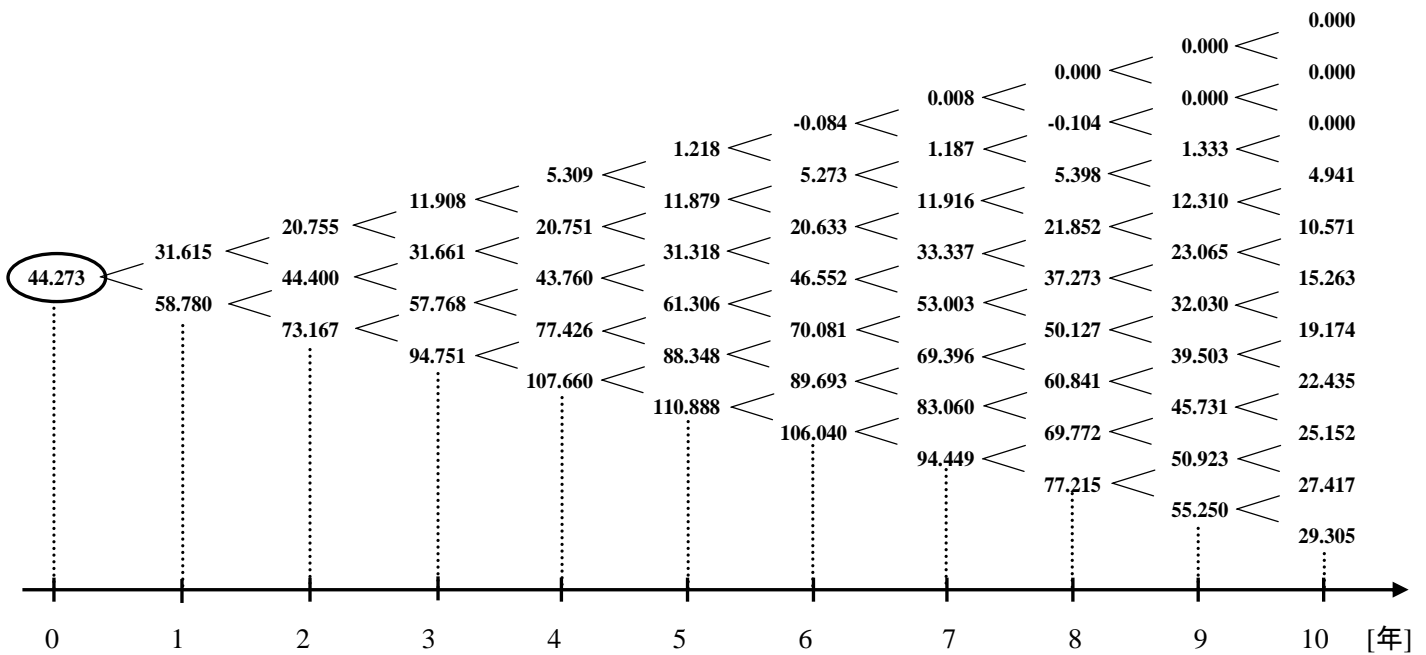


図 8: 事業価値の 2 項ツリー

図 8 において、横軸は[年]を意味し、0 時点は現在時点を意味する。

0 時点での値である 44.273(図 8 にて丸枠で囲んだ数値)は本事業の現在価値である。

初期時点を基準とし、1 期後、燃油価格が上昇した時は上のノードへ移動し、下落した時は下のノードへと移動する。例えば、初期時点から 1 年後航空燃油価格が上昇した時の事業価値は 31.615、逆に 1 年後下落した時の事業価値は 58.780 である、ということの意味する。それをシミュレーション期間 10 期間すべてのノードにおいて算出した。

得られた結果と考察すると、まず、図 8 の出力結果より、事業価値の現在価値は 44.273[億円]であった。航空燃油が非常に高騰している現状から考えると、3 機導入することにより得られる国際航空貨物収益は、その高騰による経営の圧迫の規模を補えると判断され、黒字を生み出す事業であるということになる。これは、6 期連続で高騰する際に事業価値が初めてマイナスの結果を示す時点[6, 0]を境に、事業価値がマイナスになり始める時点[7, 0][8, 0][7, 1][9, 0][8, 1][10, 0][9, 1][8, 2]の各値が他のノードの値に比べると、0.00...といった非常に小さい値を示していることに起因すると考えられる。つまり、その時点では、航空燃油価格の高騰による想定燃油費用が、期待される事業収益を上回ることになり事業が赤字を記録する。その際に“撤退する”するといった意思決定の選択肢をモデルを組み込んだことで、その経営判断のフレキシビリティがオプション価値を増大させ、結果それを現在価値に割り引いた時にプラスの値を算出したと考えられる。

表 6 の航空燃油価格の推移表を見ると、燃油の初期値は 8.56 億円であり、10 期間全て高騰し続けると 20.1973 億円、10 期連続で下落すると 3.88345 億円であることが読み取れる。D の設定より 1 機を飛ばした時に得られると仮定した金額が 26.512 億円であることから考えると、[10, 0]時点の燃油価格と[0, 10]時点の燃油価格の差 $20.1973 - 3.8835 = 16.3138$ [億円]という金額は得られる収益からすると非常に大きい値である。これはパラメータとした原油価格の変動(ボラティリティ)が大きかったことによってもたらされたと考えられるが、その背景には、いかに最近の原油価格の高騰の変化率が高かったかという事が伺える。

7. 今後の課題

本研究では、不確実要因の対象を、最も経営への影響が大きいという理由から原油スポット価格による航空燃油価格に絞って行い、更に、モデルを立てる際に、対象とした(株)日本航空の航空貨物需要が過去 10 年一律で上昇傾向にあることから、今後もこれまでと同様の伸び率で航空貨物需要が推移すると仮定した。しかし、現実問題として考えると、永続的に需要が拡大することはありません、いつか需要規模は一定額に収まり、やがては減少する。故に、航空貨物需要も不確実要因としてモデルに組み込む必要がある。

また、モデルの固定費に関しては、B767-300 型機 1 機を飛ばした際に掛かる人件費と運航関連費を、所有機とその燃料容量を掛け合わせた値を全体の合計値で割って、各機種毎の構成率としたが、実際の航空機の運航では、機種毎で飛んでいる路線が異なりそれによる航続距離が異なる。さらに、利用空港も異なれば各空港毎に着陸料や空港施設利用料などの費用も異なってくる。つまり、飛ぶ路線や距離の違いによる消費燃料の違いを考慮する必要がある。企業側も詳細なデータは公表していないことから、出来る限りの範囲で更なる検討が必要である。

航空業界が航空燃油の不確実性に経営を圧迫されている現状と貨物需要の伸びに着目して、リアル・オプションアプローチを適用して分析したが、従来の意思決定手法と比較して、リアル・オプション・アプローチの有用性について比較検討する必要がある。

8. 参考文献・URL

- [1] 今井潤一：「リアルオプション」投資プロジェクト評価の工学的アプローチ，中央経済社(2004)
- [2] トム・コーブランド，ウラジミール・アンティカロフ：「決定版 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)
- [3] デービット・G・ルーエンバーガー：「金融工学入門」，日本経済新聞社(2002)
- [4] 日揮株式会社 モノ造りマネジメント研究会：リアルオプションアプローチによる適正発注計画(2004)
- [5] (株)日本航空(<http://www.jal.com/ja/>)(アクセス日：2005/10/24)
- [6] (財)日本航空機開発協会：「平成 13 年度 超大型民間航空機の需要動向予測」
(<http://www.jadc.or.jp/>)(アクセス日：2005/10/20)
- [7] (財)日本航空機開発協会「平成 16 年度 超高効率民間輸送機に関する調査研究」
(<http://www.jadc.or.jp/JADCF05.pdf>)(アクセス日：2005/10/20)
- [8] (財)日本航空機開発協会「平成 16 年度民間航空機関連データ集 別冊 主要民間輸送機の概要」
(http://www.jadc.or.jp/10_AircraftD.pdf)(アクセス日：2005/11/4)

付録

S-PLUS による program, command

本分析で用いたprogram, commandを付録として添付する.

使用したprogram, commandは以下の通り.

[Program]

```
Valuation = function(mu=0.007206713,sigma=0.0910453,k.max=3,k.min=0,freq=1,Time=10,Income =
  (26.516),Fix.cost = 11.233,alpha = 25315000,Dipreciation = 9.12,P.zero=46.85,r=0.0157)
{
  alpha = alpha * 1e-8
  P = Value = k = matrix(rep(NA,(freq*Time + 1)^2),ncol=freq*Time+1)
  prob = (1 + (mu/sigma)*sqrt(1/freq))
  for(i in seq(to=freq*Time+1,from=0)){
    for(j in seq(from=0,to=i)){
      P[j,i] = (P.zero * exp((i - 2*j)*sigma*sqrt(1/freq)) + 4) * (1/159) * 115 * alpha
    }
  }
  for(i in seq(from=freq*Time+1,to=0)){
    for(j in seq(from=0,to=i)){
      if(i == freq*Time+1){
        num.k = seq(from=k.min,to=k.max)
        V = num.k*(Income - P[j,i] - Dipreciation) - Fix.cost*ifelse(num.k == 0,0,1)
        k[j,i] = seq(from=k.min,to=k.max)[order(V) == length(V)]
      }else{
        omega = (1+r)^(-1) * (prob*Value[j,i+1] + (1-prob)*Value[j+1,i+1])
        num.k = seq(from=k.min,to=max(k[j,i+1],k[j+1,i+1]))
        V = num.k*(Income - P[j,i] - Dipreciation) - Fix.cost*ifelse(num.k == 0,0,1) + omega
        k[j,i] = seq(from=k.min,to=max(k[j,i+1],k[j+1,i+1]))[order(V) == length(V)]
      }
      Value[j,i] = max(V)
    }
  }
  rslt = list(Value = Value,Number.of.Plane = k,Price = P)
}
```

[Command]

>Valuation()

S-PLUSによる出力結果

\$Value:

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] | [,8] | [,9] | [,10] | [,11] |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| [1,] | 44.273 | 31.615 | 20.755 | 11.908 | 5.3092 | 1.2177 | -0.084 | 0.0081 | 0 | 0 | 0 |
| [2,] | NA | 58.78 | 44.4 | 31.661 | 20.751 | 11.879 | 5.2735 | 1.1868 | -0.104 | 0 | 0 |
| [3,] | NA | NA | 73.167 | 57.768 | 43.76 | 31.318 | 20.633 | 11.916 | 5.3978 | 1.3327 | 0 |
| [4,] | NA | NA | NA | 94.751 | 77.426 | 61.306 | 46.552 | 33.337 | 21.852 | 12.31 | 4.9412 |
| [5,] | NA | NA | NA | NA | 107.66 | 88.348 | 70.081 | 53.003 | 37.273 | 23.065 | 10.571 |
| [6,] | NA | NA | NA | NA | NA | 110.89 | 89.693 | 69.396 | 50.127 | 32.03 | 15.263 |
| [7,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 106.04 | 83.06 | 60.841 | 39.503 | 19.174 |
| [8,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 94.449 | 69.772 | 45.731 | 22.435 |
| [9,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 77.215 | 50.923 | 25.152 |
| [10,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 55.25 | 27.417 |
| [11,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 29.305 |

Number.of.Plane

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] | [,8] | [,9] | [,10] | [,11] |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| [1,] | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| [2,] | NA | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| [3,] | NA | NA | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| [4,] | NA | NA | NA | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| [5,] | NA | NA | NA | NA | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| [6,] | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| [7,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| [8,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 3 | 3 | 3 |
| [9,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 3 | 3 |
| [10,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 3 |
| [11,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 |

\$Price:

| | [,1] | [,2] | [,3] | [,4] | [,5] | [,6] | [,7] | [,8] | [,9] | [,10] | [,11] |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| [1,] | 8.5639 | 9.3104 | 10.128 | 11.024 | 12.005 | 13.079 | 14.256 | 15.545 | 16.957 | 18.503 | 20.197 |
| [2,] | NA | 7.8824 | 8.5639 | 9.3104 | 10.128 | 11.024 | 12.005 | 13.079 | 14.256 | 15.545 | 16.957 |
| [3,] | NA | NA | 7.2602 | 7.8824 | 8.5639 | 9.3104 | 10.128 | 11.024 | 12.005 | 13.079 | 14.256 |
| [4,] | NA | NA | NA | 6.6921 | 7.2602 | 7.8824 | 8.5639 | 9.3104 | 10.128 | 11.024 | 12.005 |
| [5,] | NA | NA | NA | NA | 6.1735 | 6.6921 | 7.2602 | 7.8824 | 8.5639 | 9.3104 | 10.128 |
| [6,] | NA | NA | NA | NA | NA | 5.7 | 6.1735 | 6.6921 | 7.2602 | 7.8824 | 8.5639 |
| [7,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 5.2677 | 5.7 | 6.1735 | 6.6921 | 7.2602 |
| [8,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 4.873 | 5.2677 | 5.7 | 6.1735 |
| [9,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 4.5127 | 4.873 | 5.2677 |
| [10,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 4.1837 | 4.5127 |
| [11,] | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3.8833 |