

大型ロケット打上げ市場の分析

—EGAS の妥当性について—¹

各務公将²

森脇悠貴³

2011 年 9 月 15 日

要旨

本稿は、我が国の HIIA ロケットが、静止トランスファー軌道への打上げ能力が 5,400kg 以上の大型ロケット打上げ市場に価格競争力を持って参入した場合の分析を行うための準備として、European Space Agency (ESA) が交付している European Guaranteed Access to Space (EGAS) という価格低減のための補助金の有効性について分析したものである。EGAS とは欧州のロケット打上げ企業 Arianespace 社に向けて年間約 2 億ユーロを交付するものであり、Arianespace 社が Ariane5ECA ロケットを年間 6 本以上打上げるための資金援助を行っている。本稿では分析の簡略化のために以下の仮定をおいて分析した。

- ① 需要関数は線形で傾きは -2 である。
- ② 大型ロケット打上げ市場には欧州の Arianespace 社とロシアの International Launch Service (ILS) 社の 2 社のみ存在している。
- ③ ILS の打上げる ProtonM ロケットは開発費が安く、かつこれまでに 300 本以上の打上げ実績を誇るために、ロケットの打上げ 1 本あたりにかかる固定費用は無視出来るほど小さい。他方で、Arianespace 社には無視できないほどの固定費用がかかる。
- ④ EGAS の額は、Arianespace の赤字額と等しい。

我々はこれらの仮定に加えて、2 社の費用関数や競争の方式を様々に仮定して分析をおこなった。この分析によって、EGAS は全社会の社会厚生からも、欧州の社会厚生からも容認され難いという結果を得ることができた。しかしながらこの結果は各種の仮定、とりわけ需要関数の傾きによって大きく変わることに留意する必要がある。

¹ 本稿は、東京大学公共政策大学院の 2011 年度事例研究「ミクロ経済政策・問題分析／解決策分析Ⅲ」で行われた研究の中間レポートである。(担当教官：東京大学社会科学研究所・松村敏弘教授、東京大学公共政策大学院・戒能一成非常勤講師)。

² 東京大学大学院公共政策学教育部公共政策学専攻経済政策コース 専門職学位課程 2 年

³ 東京大学大学院公共政策学教育部公共政策学専攻経済政策コース 専門職学位課程 2 年

目次

1. 本分析の目的.....	3
2. 分析対象概要.....	3
2-1. 大型ロケット打上げ市場.....	3
2-1-1. 大型ロケット打上げ需要.....	3
2-1-2. 大型ロケット打上げ供給.....	4
3. 分析.....	9
3-1. 分析における仮定.....	9
3-2. パラメータの推定（分析 1～7）.....	11
分析 1.....	11
分析 2.....	12
分析 3.....	13
分析 4.....	14
分析 5.....	15
分析 6.....	16
分析 7.....	17
3-3. EGAS の正当性に関する分析.....	18
3-3-1. EGAS による余剰の変化.....	18
ケース 1：EGAS が行われる場合 1（固定資産の減価償却が必要な 15 年間）.....	18
ケース 2：EGAS が行われる場合 2（固定資産の減価償却が終わって以降）.....	19
ケース 3：EGAS が行われない場合（Arianespace が参入しない場合）.....	19
3-3-2. 全世界の社会厚生観点から.....	20
3-3-3. 欧州の社会厚生観点から.....	20
3-3-4. 結果の解釈.....	20
4. 後期に向けての課題.....	21
5. 参考文献.....	22
Appendix: 感度分析.....	22

1. 本分析の目的

我が国の H-IIA ロケットは、低価格化・信頼性向上により輸送システムの国際競争力を高めることを目的として開発され 2001 年より運用が開始された。しかし、日本がこれまで海外からの受注に成功したのは 1 件のみで、現状、国際競争力がない。その原因のひとつに、競合する ProtonM ロケットや Ariane5 ロケットと比較し打上げ価格が高いことが挙げられる。そこで、H-IIA ロケットがロケット打上げ市場に価格競争力を持たせる政策を行い、参入させた場合のシミュレーションおよび余剰分析を行うことで我が国の宇宙輸送システム政策に対する政策提言を行いたい。

そのために、まず、価格低減補助を受けている Ariane5 ロケットの参入に対する、プライスリーダーである ProtonM ロケットの対応をシミュレーションし余剰分析を行うことで政府による価格低減補助の意義を確認する。本中間報告では価格低減補助の意義を確認することまでを扱う。

2. 分析対象概要

2-1. 大型ロケット打上げ市場

本分析では、重量が 5400kg 以上の衛星を静止トランスファー軌道まで打上げることができる能力を持つ大型ロケットの打上げ事業を対象とする。

2-1-1. 大型ロケット打上げ需要

打上げる衛星は年々重量化しており、2011 年現在では 5400kg を超える大型衛星の需要が最も多く、大型ロケットの需要が高まっていることが分かる (図 1)。

大型衛星は主に静止軌道に打上げられる通信衛星、放送衛星であり、そのうち商用のものは 2000 年代前半頃までは毎年 30 機ほどの打上げ需要があったが、景気の悪化、通信衛星市場の低迷などの理由から徐々に減少し、今後は毎年 20 機ほどの需要が見込まれている (図 2)。

図1 打上げ衛星の重量の推移と予測

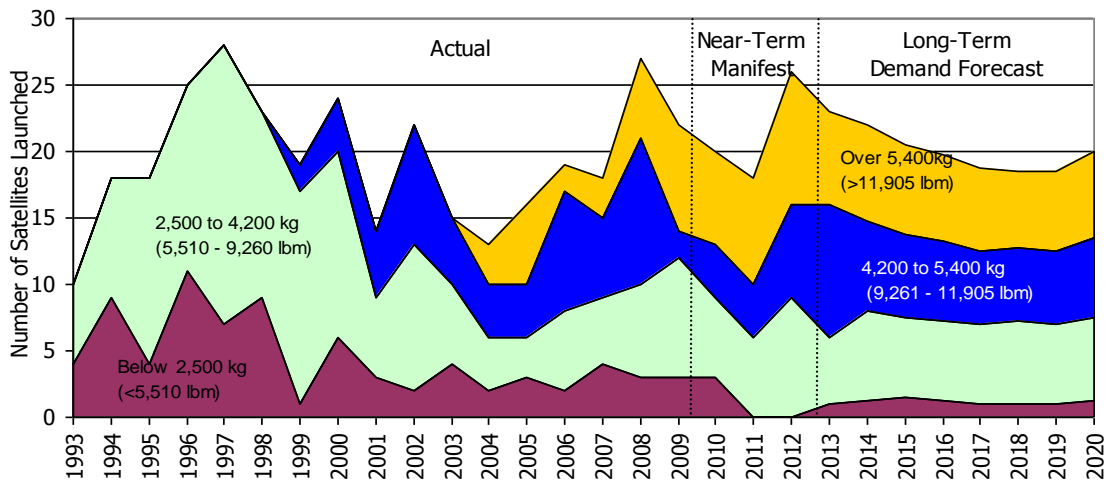
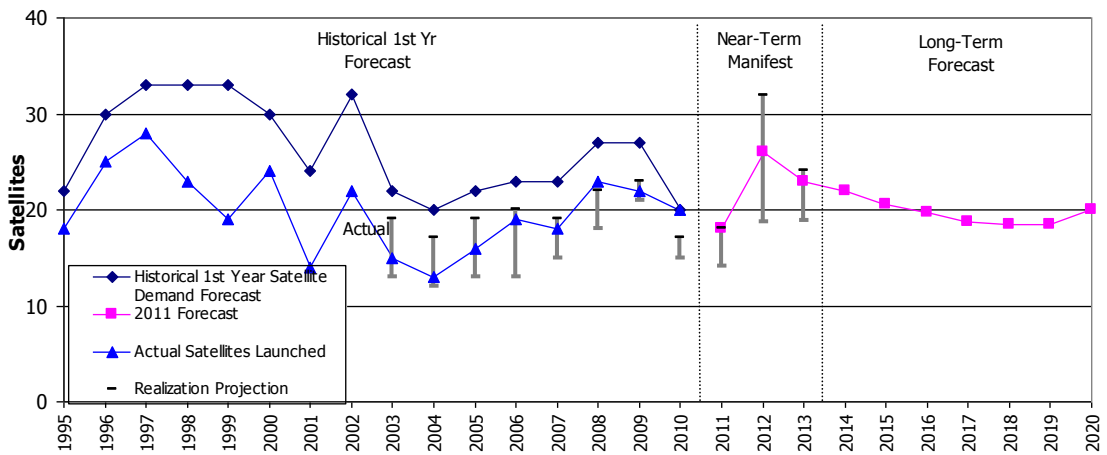


図2 静止衛星打上げ需要の変遷および予測



(図1、2ともに2010 Commercial Space Transportation Forecasts より抜粋)

2-1-2. 大型ロケット打上げ供給

大型ロケットの打上げ事業は現在主に以下のロケットによって行われている (表1)。

表1 大型衛星打上げロケット一覧

ロケット名	Ariane5EC A	ProtonM	Zenit3SL	DeltaIV	長征 3B/E	H II A
サービス企業	ArianeSpace	ILS	SeaLaunch	ULA	長城工業公司	三菱重工業
射点	ギアナ	バイコヌー ル	赤道直下海上	米国フロリダ州	中国 西昌	種子島
打上げ能力	10.5t	5.5t	6 t	4.2~13 t	5.5 t	5.8 t
打上げ開始年	2002 年	2000 年	1999 年	2002 年	2007 年	2001 年
打上げ成功率	95%(53/56)	92%(46/50)	91%(32/35)	93% (14/15)	データなし	95%(19/20)
開発費	9000 億円	不明	不明	2750 億円	不明	1802 億円

※ILSは、International Launch Service、ULAはUnited Launch Allianceの略。

打上げ能力は、静止トランスファー軌道までの打上げ能力。

打上げ成功率は、2011年2月28日時点。括弧内の数字は、成功した打上げの回数/打上げた回数。

① Ariane5

Ariane5は、人工衛星打上げ、特に商用静止衛星の2機同時打上げのために製造された欧州のロケットであり、Ariane5G、Ariane5G+、Ariane5GS、Ariane5ECA、Ariane5ESATVがバリエーションとして開発されている。Ariane5G、Ariane5G+、Ariane5GSは運用が終了しており、現在ではAriane5ECAが主流である。開発費が他のロケットと比較して非常に高いのは、Ariane5がAriane1~4の改良型ではなく、全く新規の開発であったためである。

Ariane5の運用が開始されたのは1996年で、1997~1998年に相次いで起こった米国の打上げ失敗によりAriane5はマーケットシェアを伸ばし始めた。1990年代までは米国射場から打上げた場合の軌道投入条件が市場の標準であったが、現在ではAriane5による軌道投入条件（赤道付近からの軌道投入）が標準となっている。

また、マーケットシェア拡大の背景には、手厚い政府補助もある。Ariane5の打上げには2004年以降ESAより価格低減のための補助政策がおこなわれている。European Guaranteed Access to Space (EGAS)といわれるその政策は、2005年から2009年にかけて、Ariane5に係る固定費をカバーするように補助金を支給し競争力のある価格設定を可能にすることでAriane5の毎年最低6機の打上げを目標にしている。5年間で9.6億ユーロが支給された。2011年から2012年の2年間は毎年1.35億ユーロが支給される予定である。

打上げ価格はFederal Aviation Administration (FAA)のYear in Reviewの推定値によると14000~24000万ドル。Ariane5は基本的に衛星2機以上を同時に打上げるため、衛星打上げ需要者の直面する価格は約1/2以下になると考えられる。また、2008年のリーマンショックによるユーロ安の影響、さらには、後述するが2009年の

SeaLaunch 社の倒産を受けて、2008 年以降打上げ価格を上昇させている⁴。

② ProtonM

ProtonM は、ロシアの Proton ロケットシリーズのひとつで、ProtonK、ProtonBlockDM の改良版である。Proton シリーズはもともと ICBM（大陸間弾道ミサイル）として開発が開始されたがその後月探査計画などのために改良され、さらにそうした計画が中止になったあとは宇宙ステーション（ISS）打上げなど低軌道への打上げに利用されてきた。1997 年に官需の衛星だけでなく商業衛星の打上げ事業への参入を決定し、低軌道への打上げを担当する ProtonK を改良して ProtonM が静止衛星など大型衛星の打上げのために製造された。このように ProtonM は新規開発ではなく過去のロケットの改良を重ねて製造されているため、開発費は不明となっているが他のロケットに比して小さいものだと考えられる。

ProtonM は 2008 年のリーマンショック以降のルーブル安の影響で、商業衛星打上げ市場においてプライスリーダーとなっている。打上げ価格は FAA の推定値によると 7000~10000 万ドル。Ariane5 同様、2008 年以降価格が上昇している。

③ Zenit3SL

Zenit3SL は ProtonK の改良版である Zenit3 から派生したロケットで、ロケットの 1 段目、2 段目がウクライナ製、3 段目がロシア製で、3 段目は ProtonBlockDM にも用いられているものである。

Zenit3SL を打上げる SeaLaunch 社は、米国の Boeing、ロシアの Energia、ノルウェーの Aker Solutions、ウクライナの SDO Yuzhnoye の 4 社で立ち上げたベンチャー企業で、Boeing が筆頭株主であった。しかし、2007 年に起きた打上げ失敗が原因で SeaLaunch 社は 2009 年に破産、再生法の適用を受け、2010 年に ILS の株主でもあるロシアの企業、Energia Overseas Limited が筆頭株主となり 2011 年よりロケットの打上げを再開する。

打上げ価格は FAA の推定値によると 7000~10000 万ドルで ProtonM と同じであり、価格の推移も ProtonM と一致している。

④ DeltaIV、AtlasV

DeltaIV は 1960 年から打上げが継続されている Delta ロケットシリーズの最新型で、2002 年に商業衛星打上げ市場に参入したが、一時期高コストなどを理由に商業衛星打

⁴ 2010 年 5 月 1 日付、Space News「Arianespace 2009 Revenue Boosted by Higher Launch Rate」による。

<http://www.spacenews.com/launch/100105-arianespace-revenue-boosted-launch-prices.html>（2012 年 9 月 13 日閲覧）

上げ市場から撤退し、その後も商業的な打上げはほとんど行われておらず、官需、軍需の打上げが多い。DeltaIVはミディアム、ミディアム+ (4,2)、ミディアム+ (5,2)、ミディアム+ (5,4)、ヘビーの 5 種類があり、ペイロードの規模と重量によって使い分ける。静止トランスファー軌道への打上げ能力が 5400kg 以上を持つのはミディアム+ (5,4) とヘビーである。

AtlasVもDelta同様歴史が古く、1960年代から打上げが継続されているAtlasロケットシリーズの最新型である。AtlasVは401、431、551、HLVの4種類があり、ペイロードの規模と重量によって使い分ける。静止トランスファー軌道への打上げ能力が5400kg以上を持つのは431、551、HLVの3種類である。打上げ以降高い成功率を維持しているが、商業受注は少なく、官需に利用される。

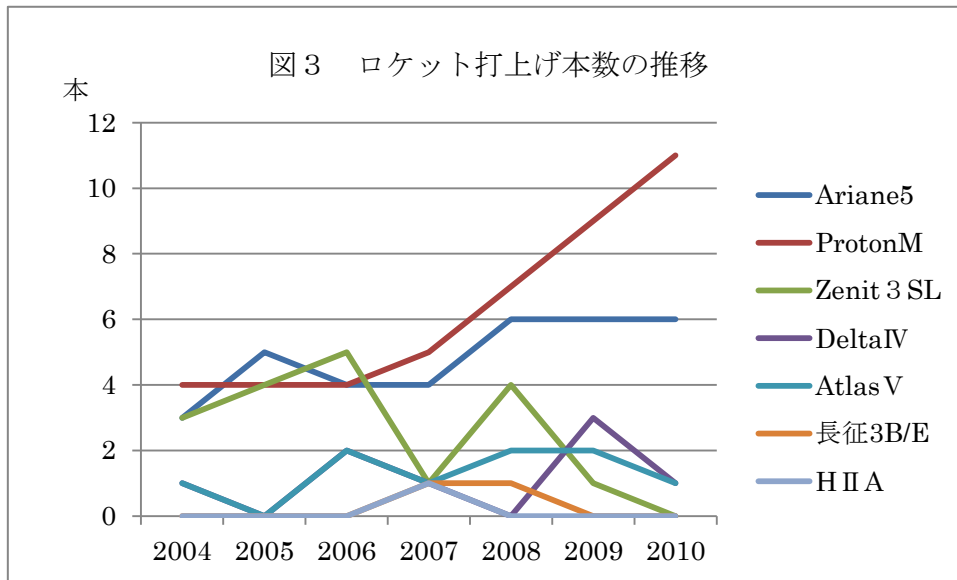
⑤ 長征 3B/E

長征 3B/Eは中国が静止軌道に衛星を送るために開発した長征 3号の改良型である長征 3Bの強化型で、予想されていた 2000年代の衛星重量化を見据え静止トランスファー軌道に 5t 近い衛星を打上げられる性能を持つように開発された長征 3Bをさらに静止トランスファー軌道に 5.5t まで運べるようにしたロケットである。2007年に打上げが開始された新しいロケットであり、データがない。長征 3B/Eのもととなっている長征 3Bの打上げ価格はFAAの推定値によると 5000 万ドルと他のロケットに比べて安価であるが、打上げの成功率が 90%と低く信頼性が高くない。また、米国のミサイル技術拡散防止の法律により、米国製部品を用いた衛星の中国への輸出が禁止されていることから、実質的に受注は困難な状況にある。

⑥ HIIA

HIIAは、日本初の純国産ロケット「H-II」で培われた技術をもとに、人工衛星の打上げ・国際宇宙ステーションへの補給などの多様な輸送需要に、高い信頼性を確保しつつ、低コストで対応するために開発されたロケットである。しかし、開発がすすめられてきた 1990年代後半以降、打上げる衛星の大型化、価格競争の激化などの市場の変化があり、実用段階に入った 2001年にはすでに需要に対応できない面が多く、2011年現在までの商業受注は 1 回のみである。この受注での HIIAの打上げ価格はFAAの推定値によると 12000 万ドルであるが、これは他の衛星との同時打上げのため価格を安く提示できたためである。

上記のロケットによる打上げ回数の変遷を図 3 に示す。



※2004年、2005年のAriane5ECAのシェアにはAriane5Gもシェアを含む。

DeltaIVはミディアム+ (5,4)とヘビーの合計、AtlasVは431、551、HLVの合計。

長征3B/Eの2009年、2010年の打上げ本数は1か0だが、詳細データがないため0としている。

図から、Ariane5ECA、ProtonM、Zenit3SL ロケットの打上げ本数が多いことが分かる。

こうした打上げ本数の差の背景には、以下の3つの要因があると考えられる。

① 価格

上位の3ロケットは他のロケットに比べ打上げ価格が安い。プライスリーダーのProtonMは開発費が安くProtonシリーズとしての打上げ経験の豊富さから固定費などが安く抑えられ、低価格を実現できると考えられる。Zenit3SLロケットも旧ソ連時代に開発され、それがロシアとウクライナに継続して改良されていることから、ProtonMに近い費用構造をしていると考えられる。さらにAriane5は価格低減補助を受けており、ProtonMやZenit3SLより若干価格は高いが対抗できる価格設定が可能である。

② 信頼性

衛星打上げ需要者は信頼性の高いロケットによる打上げを好む。特に商業衛星の打上げは商業衛星打上げ実績の差が大きく影響する。さらに、リスクをカバーするため保険をかけるのが通例であるが、保険はこれまでの打上げ実績、成功率に大きく依存するため、例えば中国の長征3Bは打上げ価格は安いですが打上げ成功率が低く、保険料が高くつくと考えられる。

③ 射場

静止トランスファー軌道への打上げは、射場が赤道に近ければ近いほど燃料が少なくて済み、その分衛星の寿命を延ばせることから需要者にとって好都合である。そのため、緯度 6 度にある Ariane5 の射場、赤道直下にある Zenit3SL の射場は好条件であるといえる。

こうした市場の状況から、以下の分析では簡略化のため DeltaIV、AtlasV、長征 3B、H II A は分析から除外して考える。

3. 分析

3-1. 分析における仮定

宇宙開発は商業的な目的のみならず軍事的な目的も併せ持ち、各国の宇宙開発に関するデータの公開は非常に限定的である。このような限られたデータから分析をおこなうためには、いくつかの仮定を置かざるを得ない。本稿においては、我々は以下のような仮定を置いた。

① Ariane5ECA はその他のロケット 2 本分としてカウントする。

先述の通り、Ariane5ECA は 1 度に 2 機以上の大型衛星を静止軌道に打上げることができることに特徴があり、ProtonM や Zenit3SL と比較しても打上げ能力は約 2 倍、価格も約 2 倍となっている。そこで、Ariane5ECA の打上げ数を 2 倍にしたものを Arianespace の打上げロケット数としてカウントし、価格についてもこれを半分にしたものを Arianespace の打上げ価格とみなす。すなわち 2009 年には Ariane5ECA が 6 本、それぞれ\$220M で打上げられたので、これを 12 本のロケットがそれぞれ\$110M で打上げられたものとみなす。

② 大型ロケット打上げ市場には Arianespace と ILS の 2 社のみが存在する。

経年的なシェアの推移を見ると、近年では Arianespace と ILS がシェアの大半を占めており、加えて米国や中国、日本の打上げロケットは政府の衛星を打上げることが主である。したがって先述のように、分析の簡略化のために Arianespace と ILS 以外の打上げサービス企業については考えない。なお、近年では Sealaunch が大きなシェアを持つこともあったため、分析 7 では Sealaunch を含めた 3 社が市場に存在するとして分析を行っている。

- ③ ILS は固定資産の減価償却が終わっており固定費用がかからない一方で、Arianespace は固定費用がかかる。

ILS の打上げる ProtonM ロケットは、開発費が安く、かつこれまでに 300 本以上の打上げの実績があることから、ロケット 1 本の打上げにかかる開発費や工場設備等の固定費用は非常に小さいと考えられる。したがって、ILS は固定費用がかからないと仮定する。他方で、Arianespace は開発費や工場設備などの固定費用がかかることを想定して分析を行う。なお、分析 7 における Sealaunch についても、Zenit3SL が ProtonM をベースとしていることを鑑みて、固定費用がないことを仮定している。

- ④ 需要関数は線形で、傾きは -2 である。

需要関数に関しては、その形状について推定することが非常に困難であると考えられる。したがって、単純化のために需要関数は $p = a - bq$ のように線形で、かつ傾き b が -2 であることを仮定する。なお、需要関数の傾きについては感度分析の対象としている。

- ⑤ Arianespace の 1 年間の赤字は \$270M である。

EGAS によって 2005 年から 2009 年の 5 年間で €960M、年間では €192M \approx \$270M⁵ の援助が Arianespace になされている。我々はこれを Arianespace の赤字補填と解釈し、Arianespace の 2009 年の赤字額が \$270M であると仮定する。

- ⑥ Ariane5ECA、Ariane5GS、ProtonM、Zenit3SL は同質的である。

実際は各企業のロケットはそれぞれ信頼性や射場の位置によって違いはあるが、仮定①で述べたように Ariane5ECA をその他のロケット 2 本分とみなす以外では、単純化のために各ロケットの違いは本分析では無視して考える。

- ⑦ 商業ロケットの打上げと非商業ロケットの打上げは区別しない。

ロケットには商業打上げと非商業打上げの 2 つがあり、非商業打上げでは軍事用の衛星やその他政府の気象衛星等が打上げられている。非商業打上げでは打上げサービス企業間での競争がないと考えられるため、本来であれば商業打上げと非商業打上げを区別して考えるべきである。しかしながら、分析の簡略化のために本分析では両者を区別せずに取り扱う。このことより、非商業打上げでは打上げ価格は公開されていないが、商業打上げの場合と等しい価格を軍や政府が打上げサービス企業に支払っていることとなる。

⁵ €1 = \$1.4 として計算。三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング HP「外国為替相場：2009 年平均」にて、2009 年の年間平均 TTS が €1 = \$1.3926 ... であったことより。

また、2009年における大型ロケットの打上げ本数と打上げ価格は、以下のようである。

表2：2009年の大型ロケット打上げ本数

開発国	サービス企業	ロケット名	打上げ数	価格
ロシア	ILS	ProtonM	9	\$100M
欧州	Arianespace	Ariane5ECA	6	\$220M
		Ariane5GS	1	非公開
協業	SeaLaunch	Zenit3SL	1	\$100M
米国	ULA	DeltaIVmedium+	2	\$170M
		DeltaIVheavy	1	非公開
		Atlas V 421	1	非公開
		Atlas V 431	1	\$125M
日本	三菱重工	H II A2024	1	非公開
		H II B	1	非公開
中国	長城工業公司	長征3B	1	非公開

仮定①により Ariane5ECA の打上げ数は 12 であり、打上げ価格は \$110M ~ \$100M である。また、仮定⑥より Ariane5GS と Ariane5ECA を同一であると考えることから、Arianespace の打上げロケット総数は $6 \times 2 + 1 = 13$ 、打上げ価格は \$100M であるとみなす。さらに仮定②より、ロシアと欧州以外のロケットの打上げは考慮しない。これまでに述べた仮定と 2009 年の打上げ実績から、我々は以下を得る。

$$\text{需要関数: } p = a - 2q, \quad \text{where } q = q_A + q_I \quad (1)$$

$$\text{均衡: } p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = q_A^* + q_I^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (2)$$

ここで、 p はロケット 1 本あたりの打上げ価格、 q_i は i 社の打上げロケット数、 π_i は i 社の利潤を示し、添字の A、I はそれぞれ Arianespace と ILS を意味するものとする。なお、以降の価格や利潤、費用の単位はすべて 100 万ドルである。

3-2. パラメータの推定（分析 1~7）

本節では、Arianespace、ILS の行動原理、Arianespace と ILS の費用関数、市場でのプレーヤー数の仮定を様々に変えて、それぞれ需要関数、費用関数の推定を行う。なお以下の F は Arianespace の固定費用を示している。

分析 1

【Arianespace】

EGAS なし：Cournot 競争、EGAS あり：競争的

費用関数： $c_A(q_A) = F + \alpha q_A + \beta q_A^2$

【ILS】

Cournot 競争

費用関数 : $c_I(q_I) = \alpha q_I + \beta q_I^2$

Arianespace は競争的に行動するため、

$$\max_{q_A} \pi_A(q_A) = pq_A - F - \alpha q_A - \beta q_A^2 \quad (3)$$

なる最適化問題を解く。FOC より、

$$p - \alpha - 2\beta q_A = 0 \quad (4)$$

を得る。他方で ILS は Cournot モデルに従って行動するため、

$$\pi_I(q_I) = [a - 2(q_A + q_I)]q_I - \alpha q_I - \beta q_I^2 \quad (5)$$

を最大化するように行動する。FOC より、

$$a - 2q_A - 4q_I - \alpha - 2\beta q_I = 0 \quad (6)$$

である。均衡では、

$$p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (7)$$

が成立することから、

$$100 = a - 44 \quad (8)$$

$$100 - \alpha - 26\beta = 0 \quad (9)$$

$$a - 62 - \alpha - 18\beta = 0 \quad (10)$$

$$1300 - F - 13\alpha - 169\beta = -270 \quad (11)$$

が得られる。これらを連立させて解くことにより、

$$a = 144, \quad \alpha = 41.5, \quad \beta = 2.25, \quad F = 550 \quad (12)$$

が得られる。

分析 2

【Arianespace】

EGAS なし : Cournot 競争、 EGAS あり : 競争的

費用関数 : $c_A(q_A) = F + \alpha q_A + \beta q_A^2$

【ILS】

参入阻止

費用関数 : $c_I(q_I) = \alpha q_I + \beta q_I^2$

Arianespace と ILS が Cournot 競争をしていると仮定する。Arianespace は、

$$\pi_A(q_A) = [a - 2(q_A + q_I)]q_A - F - \alpha q_A - \beta q_A^2 \quad (13)$$

を最大化するように行動する。FOC より Arianespace の最適反応 \hat{q}_A は、

$$a - 2q_I - 4q_A - \alpha - 2\beta q_A = 0 \quad (14)$$

$$\therefore \hat{q}_A(q_I) = \frac{a - 2q_I - \alpha}{4 + 2\beta} \quad (15)$$

である。ILS は、Arianespace が最適反応を行うときに Arianespace の利潤がちょうど 0 と等しくなるように打上げロケット数を決定する。したがって、

$$\pi_A[\hat{q}_A(q_I^*)] = [a - 2(\hat{q}_A + q_I^*)]\hat{q}_A - F - \alpha\hat{q}_A - \beta\hat{q}_A^2 = 0 \quad (16)$$

を満たすように、 q_I^* は決定される。実際には Arianespace は EGAS の補助金を受け、競争的に行動している。したがって、Arianespace は

$$\max_{q_A} \pi_A(q_A) = pq_A - F - \alpha q_A - \beta q_A^2 \quad (17)$$

なる最適化問題を解く。FOC より、

$$p - \alpha - 2\beta q_A = 0 \quad (18)$$

を得る。均衡では、

$$p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (19)$$

が成立することから、

$$100 = a - 44 \quad (20)$$

$$100 - \alpha - 26\beta = 0 \quad (21)$$

$$(a - 10b - \alpha)^2 = 4(b + \beta)F \quad (22)$$

$$1300 - F - 13\alpha - 169\beta = -270 \quad (23)$$

が得られる。これらを連立させて解くことにより、

$$a = 144, \quad \alpha = 136, \quad \beta \approx -1.4, \quad F = 37.8 \quad (24)$$

が得られる。ここで、 β が負であると推定されたことに注意すると、これは Arianespace の最適解が FOC によって特徴付けられることと矛盾する。したがって、この推定値は意味をなさないものである。

分析 3

【Arianespace】

EGAS なし : Cournot 競争、 EGAS あり : 利潤最大化しない

費用関数 : $c_A(q_A) = F + \alpha q_A$

【ILS】

参入阻止

費用関数 : $c_I(q_I) = \alpha q_I$

Arianespace と ILS が Cournot 競争をしているとき、Arianespace は、

$$\pi_A(q_A) = [a - 2(q_A + q_I)]q_A - F - \alpha q_A \quad (25)$$

を最大化するように行動する。FOC より Arianespace の最適反応 \hat{q}_A は、

$$\therefore \hat{q}_A(q_I) = \frac{1}{4} (a - 2q_I - \alpha) \quad (26)$$

である。ILS は Arianespace が最適反応を行うときに Arianespace の利潤が 0 となるよう

に打上げロケット数を決定する。したがって q_I^* は、

$$\pi_A[\hat{q}_A(q_I^*)] = [a - 2(\hat{q}_A + q_I^*)]\hat{q}_A - F - \alpha\hat{q}_A = 0 \quad (27)$$

を満たすように決定される。しかしながら実際は、Arianespace は EGAS の援助を受け、利潤最大化とは別の目的で打上げロケット数を $q_A^* = 13$ となるように決定している。このときの Arianespace の利潤は\$270M の赤字であるので、

$$(a - 44) \times 12 - F - 12\alpha = -270 \quad (28)$$

となる。均衡では、

$$p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (29)$$

が成立することから、(3)、(4) を踏まえて、

$$100 = a - 44 \quad (30)$$

$$\frac{1}{4} \left[a - \frac{1}{2}(a - 18 - \alpha) - 20 \right] (a - 18 - \alpha) - F - \frac{1}{4} \alpha (a - 18 - \alpha) = 0 \quad (31)$$

$$1300 - F - 13\alpha = -270 \quad (32)$$

が得られる。これらを連立させて解くことにより、

$$a = 144, \quad \alpha \approx 27.5, \quad F \approx 1212 \quad (33)$$

が得られる。

(ここで、実際には $\alpha \approx 120$ or 27.5 と求められたが、 $\alpha \approx 120$ の場合には F の値が極めて小さくなるため (約 4)、 $\alpha \approx 27.5$ の場合のみを考える。)

分析 4

【Arianespace】

EGAS なし : Cournot 競争、 EGAS あり : Cournot 競争

費用関数 : $c_A(q_A) = F + \alpha q_A$

【ILS】

Cournot 競争

費用関数 : $c_I(q_I) = \beta q_I$

Arianespace と ILS はそれぞれ以下の最適化問題に直面している。

$$\max_{q_A} \pi_A(q_A) = [a - 2(q_A + q_I)]q_A - F - \alpha q_A \quad (34)$$

$$\max_{q_I} \pi_I(q_I) = [a - 2(q_A + q_I)]q_I - \beta q_I \quad (35)$$

FOC より、

$$q_A = \frac{1}{4} (a - 2q_I - \alpha) \quad (36)$$

$$q_I = \frac{1}{4} (a - 2q_A - \beta) \quad (37)$$

が得られる。これを連立させて解くことにより、

$$q_A = \frac{1}{6} (a - 2\alpha + \beta) \quad (38)$$

$$q_I = \frac{1}{6} (a + \alpha - 2\beta) \quad (39)$$

となる。均衡では、

$$p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (40)$$

が成立することから、Arianespace の赤字が\$270M であることにも注意すると、

$$100 = a - 44 \quad (41)$$

$$\frac{1}{6} (a - 2\alpha + \beta) = 13 \quad (42)$$

$$\frac{1}{6} (a + \alpha - 2\beta) = 9 \quad (43)$$

$$1300 - F - 13\alpha = -270 \quad (44)$$

が得られる。これを解くと、

$$a = 144, \quad \alpha = 74, \quad \beta = 82, \quad F = 608 \quad (45)$$

となる。

分析 5

【Arianespace】

EGAS なし : Cournot 競争、 EGAS あり : 利潤最大化しない

費用関数 : $c_A(q_A) = F + \alpha q_A$

【ILS】

Cournot 競争

費用関数 : $c_I(q_I) = \alpha q_I$

ILS は以下の最適化問題に直面している。

$$\max_{q_I} \pi_I(q_I) = [a - 2(q_A + q_I)]q_I - \alpha q_I \quad (46)$$

ここで、Arianespace が利潤最大化とは別の目的で 13 本のロケットを打上げることを ILS が知っているとは仮定すると、問題は以下のように書き換えることができる。

$$\max_{q_I} \pi_I(q_I) = [a - 2(13 + q_I)]q_I - \alpha q_I \quad (47)$$

FOC より、

$$q_I = \frac{1}{4} (a - 26 - \alpha) \quad (48)$$

である。均衡では、

$$p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (49)$$

が成立することから、Arianespace の赤字が\$270M であることにも注意すると、

$$100 = a - 43 \quad (50)$$

$$\frac{1}{4}(a - 26 - \alpha) = 9 \quad (51)$$

$$1300 - F - 13\alpha = -270 \quad (52)$$

となる。これを解くと、

$$a = 144, \quad \alpha = 82, \quad F = 404 \quad (53)$$

が得られる。

分析 6

【Arianespace】

EGAS なし : Cournot 競争、 EGAS あり : 競争的

費用関数 : $c_A(q_A) = F + \alpha q_A$

【ILS】

Cournot 競争

費用関数 : $c_I(q_I) = \beta q_I$

Arianespace は競争的に行動するため、

$$\max_{q_A} \pi_A(q_A) = pq_A - F - \alpha q_A \quad (54)$$

なる最適化問題を解く。Arianespace の供給関数は、

$$q_A = \begin{cases} 0 & \text{if } p < \alpha \\ [0, \infty) & \text{if } p = \alpha \\ \infty & \text{if } p > \alpha \end{cases} \quad (55)$$

である。他方で ILS は Cournot モデルに従って行動するため、

$$\pi_I(q_I) = [a - 2(q_A + q_I)]q_I - \beta q_I \quad (56)$$

を最大化するように行動する。FOC より、

$$a - 2q_A - 4q_I - \beta = 0 \quad (57)$$

である。均衡では、

$$p^* = 100, \quad q_A^* = 13, \quad q_I^* = 9, \quad q^* = 22, \quad \pi_A^* = -270 \quad (58)$$

が成立することから、Arianespace の赤字が\$270M であることに注意すると、

$$100 = a - 44 \quad (59)$$

$$100 = \alpha \quad (60)$$

$$a - 62 - \beta = 0 \quad (61)$$

$$1300 - F - 13\alpha = -270 \quad (62)$$

が得られる。これらを連立させて解くことにより、

$$a = 144, \quad \alpha = 100, \quad \beta = 82, \quad F = 270 \quad (63)$$

が得られる。

分析 7

分析 7 では、Arianespace と ILS のほかに、Sealaunch も市場のプレーヤーとして取り扱う。分析 7 においてもこれまでのものと表記に変わりはないが、添字の S が Sealaunch を表すことに留意されたい。

【Arianespace】

EGAS なし : Cournot 競争、 EGAS あり : Cournot 競争

費用関数 : $c_A(q_A) = F + \alpha q_A$

【ILS】

Cournot 競争

費用関数 : $c_I(q_I) = \beta q_I$

【Sealaunch】

Cournot 競争

費用関数 : $c_S(q_S) = \gamma q_S$

Arianespace と ILS、Sealaunch はそれぞれ以下の最適化問題に直面している。

$$\max_{q_A} \pi_A(q_A) = [a - 2(q_A + q_I + q_S)]q_A - F - \alpha q_A \quad (64)$$

$$\max_{q_I} \pi_I(q_I) = [a - 2(q_A + q_I + q_S)]q_I - \beta q_I \quad (65)$$

$$\max_{q_S} \pi_S(q_S) = [a - 2(q_A + q_I + q_S)]q_S - \gamma q_S \quad (66)$$

FOC より、

$$q_A = \frac{1}{4} [a - 2(q_I + q_S) - \alpha] \quad (67)$$

$$q_I = \frac{1}{4} [a - 2(q_A + q_S) - \beta] \quad (68)$$

$$q_S = \frac{1}{4} [a - 2(q_A + q_I) - \gamma] \quad (69)$$

が得られる。均衡では、

$$p^* = 100, q_A^* = 13, q_I^* = 9, q_S^* = 1, q^* = 23, \pi_A^* = -270 \quad (70)$$

が成立することから、

$$100 = a - 46 \quad (71)$$

$$13 = \frac{1}{4} [a - 20 - \alpha] \quad (72)$$

$$9 = \frac{1}{4} [a - 26 - \beta] \quad (73)$$

$$1 = \frac{1}{4} [a - 42 - \gamma] \quad (74)$$

$$1300 - F - 13\alpha = -270 \quad (75)$$

が得られる。これを解くと、

$$a = 146, \quad \alpha = 74, \quad \beta = 82, \quad \gamma = 98, \quad F = 608 \quad (76)$$

となる。

3-3. EGAS の正当性に関する分析

本節では、前節で求めたパラメータの値を用いて、EGAS は経済学的な観点から正当化されうるか否かを分析する。

3-3-1. EGAS による余剰の変化

まず、EGAS が行われる場合を考える。この場合、固定資産の減価償却が必要な 15 年の間 Arianespace は EGAS の援助を受ける。そして、固定資産の減価償却が終わって以降は、EGAS の援助がなくなると同時に Arianespace の固定費用もなくなり、Arianespace と ILS (分析 7 においてはこの 2 社に Sealaunch が加わる) とが Cournot 競争を行うものとする。

次に、EGAS が行われない場合を考える。この場合は、Arianespace と ILS が Cournot 競争を行うこととなる。しかしながら、この場合は Arianespace の利潤が負となるため、Arianespace は大型ロケット打上げ市場に参入しない (この議論は後に検証される)。したがって EGAS が無い場合には ILS の完全独占 (分析 7 においては ILS と Sealaunch の寡占) となる。

以上の議論から EGAS の正当性を議論するためには、

- ① EGAS が行われる場合 1 (固定資産の減価償却が必要な 15 年間)
- ② EGAS が行われる場合 2 (固定資産の減価償却が終わって以降)
- ③ EGAS が行われない場合 (Arianespace が参入しない場合)

の 3 つのケースの余剰を求め、それらを比較する必要がある。

ケース 1 : EGAS が行われる場合 1 (固定資産の減価償却が必要な 15 年間)

固定資産の減価償却が必要な 15 年間の打上げ価格 p 、企業 i の打上げロケット数 q_i 、消費者余剰 CS 、企業 i の利潤 π_i 、そして総余剰 SS はそれぞれ以下のように求められる。

表 3 : ケース 1 における余剰

ケース1									
	p	q _A	q _I	q _S	CS	π _A	π _I	π _S	SS
分析1	100	13	9		484	-270	344.3		558.3
分析2	100	13	9		484	-270	-210.2		3.8
分析3	100	13	9		484	-270	652.3		866.3
分析4	100	13	9		484	-270	162		376
分析5	100	13	9		484	-270	162		376
分析6	100	13	9		484	-270	162		376
分析7	100	13	9	1	529	-270	162	2	423

ケース 2 : EGAS が行われる場合 2 (固定資産の減価償却が終わって以降)

固定資産の減価償却が終わって以降の打上げ価格 p' 、企業 i の打上げロケット数 q'_i 、消費者余剰 CS' 、企業 i の利潤 π'_i 、そして総余剰 SS' はそれぞれ以下のように求められる。

表 4 : ケース 2 における余剰

ケース2									
	p'	q _{A'}	q _{I'}	q _{S'}	CS'	π _{A'}	π _{I'}	π _{S'}	SS'
分析1	105.0	9.8	9.8		381.2	405	405		1191.2
分析2	133.8	2.5	2.5		25.9	4.1	4.1		34
分析3	66.3	19.4	19.4		1507.4	753.7	753.7		3014.8
分析4	100	13	9		484	338	162		984
分析5	102.7	10.3	10.3		427.1	213.6	213.6		854.2
分析6	108.7	4.3	13.3		312.1	37.6	1093.6		1443.2
分析7	100	13	9	1	529	338	202.5	2.5	1072

ケース 3 : EGAS が行われない場合 (Arianespace が参入しない場合)

固定資産の減価償却が終わって以降の打上げ価格 p'' 、企業 i の打上げロケット数 q''_i 、消費者余剰 CS'' 、企業 i の利潤 π''_i 、そして総余剰 SS'' はそれぞれ以下のように求められる。

表 5 : ケース 3 における余剰

ケース3							
	p''	q _{I''}	q _{S''}	CS''	π _{I''}	π _{S''}	SS''
分析1	119.9	12.1		130	618		748
分析2	130.8	6.6		40.6	27.3		68
分析3	85.8	29.1		790.7	1695.8		2486.5
分析4	113	15.5		225	604.5		829.5
分析5	113	15.5		225	480.5		705.5
分析6	122	11		110.3	440		550.3
分析7	108.7	13.3	5.3	348.4	355.6	56.9	760.9

以下では、これまでに求めた結果から EGAS の正当性について議論を行う。EGAS の正当性を述べる上では、全世界の社会厚生観点からの議論と、欧州の社会厚生観点からの議論の 2 つに分けることができる。

3-3-2. 全世界の社会厚生観点から

いま、

$$SS \times 15 + SS' \times n_1 = SS'' \times (15 + n_1) \quad (77)$$

となるように n_1 を定義する。このとき、Arianespace が固定資産の減価償却が終わって以降に n_1 年間 Ariane5ECA の運用を行うのであれば、全世界の社会厚生観点から EGAS が正当化されることとなる。分析 1~7 における n_1 の値は、それぞれ以下のように求められる。

表 6 : n_1 の値

	分析1	分析2	分析3	分析4	分析5	分析6	分析7
n_1	7.2	-27.2	53.4	50.5	38.7	3.1	18.8

3-3-3. 欧州の社会厚生観点から

ここでは、全世界の打上げロケット数のうち k 割合を欧州の衛星の打上げに利用しているものとする。すなわち CS のうち k 割合を欧州が享受するものであると考え。このとき、欧州が享受する余剰は、Arianespace の利潤と CS の k 割合との和である。いま、

$$(\pi_A + CS \times k) \times 15 + (\pi'_A + CS' \times k) \times n_2 = CS'' \times k \times (15 + n_2) \quad (78)$$

のように n_2 を定義する。すると、減価償却が終わって以降に n_2 年間以上 Ariane5ECA を使用するとき、欧州の社会厚生観点から EGAS は正当化されることとなる。2009 年には $k = 0.27 \approx 0.3$ であるため、この場合の n_2 の値は以下のように求められる。

表 7 : n_2 の値

	分析1	分析2	分析3	分析4	分析5	分析6	分析7
n_2	30.9	-1610.6	6.0	7.2	11.0	25.5	8.3

3-3-4. 結果の解釈

n_1 の値は平均で約 20、また、外れ値である分析 2 の値を除いた n_2 の値が平均で約 15 である。したがって Ariane5 の運用を 30 年強以上行うのであれば、この観点から EGAS は正当化されると言える。しかしながら、Ariane3 の運用年数が 4 年間 (1984~1988)、

Ariane4 の運用年数が 15 年間 (1988~2003) であったことを考慮すると、Ariane5 の運用年数が 30 年以上となることは想定しがたいであろう。しかしながら、この結果の解釈については注意が必要である。

まず、 n_1 と n_2 の値は分析 1~7 で大きく異なることが見て取れる。今回は分析 1~7 の平均値をとって議論をおこなったが、分析 1~7 のうちでどの仮定が現実を正しく描写しているかについての考察も必要であろう。例えば分析 6 では $n_1 = 3.1$ となっているため、もし分析 6 こそが正しく現実を描写した分析であるとすると、Ariane5 の運用年数が約 18 年以上であれば EGAS が正当化されることとなる。この 18 年という数字は、Ariane4 の運用年数 15 年からみても大きすぎる数字であるとは言えないであろう。

また、感度分析の結果によると、需要曲線の傾きが大きいほど、 n_1 の値も n_2 の値も小さくなるという傾向がみられる。したがって、需要曲線の傾きの大きさによっては EGAS が正当化されることは十分に考えられる。

4. 後期に向けての課題

- H2 ロケット参入の分析

本レポートでは H2 ロケットについての議論は行っていないが、最終稿では H2 ロケットに関して政策提言ができるようにしたい。

- 分析 1~7 の解釈

中間レポートでは考え得る分析をすべて試したが、7 つも列挙すると見づらいので、それぞれの仮定の正当性について議論し、取捨選択をするべきであると考え。とりわけ、現実への妥当性から、Arianespace は EGAS の援助を受ける場合には利潤最適化行動を取っていないという仮定を置いている分析 3 や分析 5 を軸に分析を進めていくべきであると考え。また、分析の結果の解釈についても、より現実インプリケーションのある形で議論するべきである。

- マイナーチェンジに関わる固定費用の扱い

Ariane5 は 1996 年に Ariane5G の運用が開始されたことに続いて、2004 年には Ariane5G+ の運用が、そしてさらに幾つかの派生モデルがあり、2002 年から Ariane5ECA の運用が開始された。最初の開発に関わる固定費用とマイナーチェンジに関わる固定費用を本稿では明示的に区別して取り扱わなかったが、議論が必要である。

- ILS の参入阻止行動について

本レポートでは Arianespace の 1 期間の利潤が負となるように ILS は行動していた

が、将来にわたっての利潤の和が負となるように行動することも考慮すべきである。

- ・ 需要曲線について

本レポートでは需要曲線の形状については考察を行っていないが、その形状について何らかの推察を行うことが出来れば、より現実にインプリケーションのある結果を得ることができると思う。

5. 参考文献

Federal Aviation Administration (各年) "Commercial Space Transportation: Year in Review 2000~2010."

Strategic Planning United Launch Alliance, Ronnie Johnson (2011) "GSO Demand Forecast."

瀧田実(1999)『特集・世界のロケット最前線』誠文堂新光社

浅田正一郎(2009)『H-IIAによる商用衛星打上げ輸送サービス』精密工学会誌 vol.75, No.4

鈴木一人(2011)『宇宙開発と国際政治』岩波書店

的川泰宣(2002)『トコトンやさしい宇宙ロケットの本』日刊工業新聞社

三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング『外国為替相場：2009年平均』

<http://www.murc.jp/fx/yearend/index.php?id=2009> (2011年8月22日閲覧)

JAXA(2011)『我が国の宇宙輸送系の現状と今後の方向性』

http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/senmon/dai12/siryous3_2.pdf (2011年8月22日閲覧)

ESA、JAXA、Arianespace 社、SeaLaunch 社、Boeing 社、三菱重工業各ホームページ

Appendix: 感度分析

ここでは、分析 1~7 の結果が需要曲線の傾き b の大きさによってどのように変化するかを分析する。先述のように、分析 2 を除けば、 b が大きくなればなるほど、 n_1 の値も n_2 の値も小さくなるという傾向が見て取れる。

分析1

EGASあり (Arianespace : 競争的, ILS : Cournot競争)													EGASなし (ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	π_A	π_I	SS	p''	q''	CS''	π_I''	SS''
0.5	111	85.4	0.56	265	100	13	9	22	121	-270	86	-63	104.9706	12.05882	36.4	154.5	190.9
1	122	70.8	1.13	360	100	13	9	22	242	-270	172	144	109.9412	12.05882	72.7	309.0	381.7
1.5	133	56.1	1.69	455	100	13	9	22	363	-270	258	351	114.9118	12.05882	109.1	463.5	572.6
2	144	41.5	2.25	550	100	13	9	22	484	-270	344	558	119.8824	12.05882	145.4	618.0	763.4
2.5	155	26.9	2.81	645	100	13	9	22	605	-270	430	765	124.8529	12.05882	181.8	772.5	954.3
3	166	12.3	3.38	740	100	13	9	22	726	-270	516	972	129.8235	12.05882	218.1	927.0	1145.1
3.5	177	-2.4	3.94	835	100	13	9	22	847	-270	602	1179	134.7941	12.05882	254.5	1081.5	1336.0
固定資産償却後 (Cournot競争)																	
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	$\pi_{A'}$	$\pi_{I'}$	SS'	n1	n2			
0.5	111	85.4	0.56	265	101	9.76	9.76	19.5	95.3	101.3	101.3	297.8	35.6	30.9			
1	122	70.8	1.13	360	102	9.76	9.76	19.5	190.6	202.5	202.5	595.6	16.7	13.8			
1.5	133	56.1	1.69	455	104	9.76	9.76	19.5	285.9	303.8	303.8	893.4	10.4	8.1			
2	144	41.5	2.25	550	105	9.76	9.76	19.5	381.2	405.0	405.0	1191.2	7.2	5.3	cA=F+ α q+ β q ²		
2.5	155	26.9	2.81	645	106	9.76	9.76	19.5	476.5	506.3	506.3	1489.0	5.3	3.6	cI= α q+ β q ²		
3	166	12.3	3.38	740	107	9.76	9.76	19.5	571.8	607.5	607.5	1786.8	4.0	2.5	2次形式、異質性なし		
3.5	177	-2.4	3.94	835	109	9.76	9.76	19.5	667.1	708.8	708.8	2084.6	3.1	1.7	単位 : Million Dollar		

分析2

EGASあり (Arianespace : 競争的, ILS : Cournot参入阻止)													EGASなし (ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	π_A	π_I	SS	p''	q''	CS''	π_I''	SS''
0.5	111	112	-0.5	192	100	13	9	22	121	-270	-71	-220	117.2811	-12.5621	39.5	6.2	45.6
1	122	122	-0.8	127	100	13	9	22	242	-270	-129	-157	121.7811	0.218935	0.0	0.0	0.0
1.5	133	130	-1.1	76	100	13	9	22	363	-270	-176	-83	126.2811	4.47929	15.0	7.1	22.1
2	144	136	-1.4	37.8	100	13	9	22	484	-270	-210	4	130.7811	6.609467	43.7	27.3	71.0
2.5	155	140	-1.5	12.8	100	13	9	22	605	-270	-233	102	135.2811	7.887574	77.8	60.8	138.6
3	166	141	-1.6	1.01	100	13	9	22	726	-270	-244	212	139.7811	8.739645	114.6	107.6	222.1
3.5	177	141	-1.6	2.46	100	13	9	22	847	-270	-242	335	144.2811	9.348267	152.9	167.5	320.5
固定資産償却後 (Cournot競争)																	
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	$\pi_{A'}$	$\pi_{I'}$	SS'	n1	n2			
0.5	111	112	-0.5	192	113	-1.7	-1.7	-3.4	2.9	0.1	0.1	3.1	-93.6	-339.3			
1	122	122	-0.8	127	122	0.05	0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-93626	-577250.6			
1.5	133	130	-1.1	76	129	1.43	1.43	2.86	6.1	0.7	0.7	7.6	-108.2	-1273.7			
2	144	136	-1.4	37.8	134	2.54	2.54	5.09	25.9	4.1	4.1	34.0	-27.2	-1610.6	cA=F+ α q+ β q ²		
2.5	155	140	-1.5	12.8	138	3.46	3.46	6.92	59.9	11.7	11.7	83.4	-9.9	263.1	cI= α q+ β q ²		
3	166	141	-1.6	1.01	141	4.23	4.23	8.46	107.5	25.2	25.2	157.9	-2.3	56.2	2次形式、異質性なし		
3.5	177	141	-1.6	2.46	143	4.89	4.89	9.77	167.2	45.8	45.8	258.7	3.5	18.5	単位 : Million Dollar		

分析3-1

EGASあり (Arianespace : 利潤最大化しない、ILS : Cournot競争)														EGASなし (ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	πA	πI	SS	p''	q''	CS''	πI''	SS''	
0.5	111	70.3		657	100	13	9	22	121	-270	268	119	90.6	40.7	414.9	829.8	1244.7	
1	122	54.1		866	100	13	9	22	242	-270	413	385	88.1	33.9	575.7	1151.4	1727.0	
1.5	133	40.3		1047	100	13	9	22	363	-270	538	631	86.6	30.9	716.9	1433.7	2150.6	
2	144	27.5		1212	100	13	9	22	484	-270	652	866	85.8	29.1	847.9	1695.8	2543.7	
2.5	155	15.5		1368	100	13	9	22	605	-270	760	1095	85.3	27.9	972.5	1945.0	2917.4	
3	166	4.08		1517	100	13	9	22	726	-270	863	1319	85.0	27.0	1092.4	2184.9	3277.3	
3.5	177	-7		1661	100	13	9	22	847	-270	963	1540	85.0	26.3	1208.9	2417.8	3626.7	
固定資産償却後 (Cournot競争)																		
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	πA'	πI'	SS'	n1	n2				
0.5	111	70.3		657	83.8	27.2	27.2	54.3	737.6	368.8	368.8	1475.2	73.3	11.5				
1	122	54.1		866	76.8	22.6	22.6	45.2	1023.4	511.7	511.7	2046.9	63.0	8.6				
1.5	133	40.3		1047	71.2	20.6	20.6	41.2	1274.4	637.2	637.2	2548.9	57.2	7.0				
2	144	27.5		1212	66.3	19.4	19.4	38.8	1507.4	753.7	753.7	3014.8	53.4	6.0	cA=F+αq			
2.5	155	15.5		1368	62	18.6	18.6	37.2	1728.8	864.4	864.4	3457.7	50.6	5.2	cI=αq			
3	166	4.08		1517	58.1	18	18	36	1942.1	971.1	971.1	3884.2	48.4	4.6	1次形式、異質性なし			
3.5	177	-7		1661	54.3	17.5	17.5	35	2149.2	1074.6	1074.6	4298.3	46.6	4.2	単位 : Million Dollar			

分析3-2

EGASあり (Arianespace : 利潤最大化しない、ILS : Cournot競争)														EGASなし (ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	πA	πI	SS	p''	q''	CS''	πI''	SS''	
0.5	111	117		52.4	100	13	9	22	121	-270	-151	-300	113.9	-5.7	8.2	16.5	24.7	
1	122	120		11.8	100	13	9	22	242	-270	-179	-207	120.9	1.1	0.6	1.1	1.7	
1.5	133	121		0.26	100	13	9	22	363	-270	-187	-94	126.9	4.1	12.5	25.0	37.5	
2	144	120		3.81	100	13	9	22	484	-270	-184	30	132.2	5.9	34.6	69.2	103.8	
2.5	155	119		17	100	13	9	22	605	-270	-175	160	137.2	7.1	63.1	126.3	189.4	
3	166	118		37	100	13	9	22	726	-270	-161	295	142.0	8.0	96.3	192.6	288.9	
3.5	177	116		62.2	100	13	9	22	847	-270	-144	433	146.5	8.7	133.0	265.9	398.9	
固定資産償却後 (Cournot競争)																		
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	πA'	πI'	SS'	n1	n2				
0.5	111	117		52.4	115	-3.8	-3.8	-7.7	14.6	7.3	7.3	29.3	1063.9	383.5				
1	122	120		11.8	121	0.71	0.71	1.42	1.0	0.5	0.5	2.0	9864.1	4627.7				
1.5	133	121		0.26	125	2.72	2.72	5.44	22.2	11.1	11.1	44.5	283.4	176.2				
2	144	120		3.81	128	3.92	3.92	7.84	61.5	30.7	30.7	123.0	57.8	52.2	cA=F+αq			
2.5	155	119		17	131	4.74	4.74	9.48	112.3	56.1	56.1	224.5	12.7	22.7	cI=αq			
3	166	118		37	134	5.34	5.34	10.7	171.2	85.6	85.6	342.5	-1.6	11.3	1次形式、異質性なし			
3.5	177	116		62.2	136	5.81	5.81	11.6	236.4	118.2	118.2	472.8	-7.0	5.6	単位 : Million Dollar			

分析4

EGASあり (Arianespace : Cournot競争, ILS : Cournot競争)													EGASなし(ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	πA	πI	SS	p''	q''	CS''	$\pi I''$	SS''
0.5	111	93.5	95.5	355	100	13	9	22	121	-270	41	-109	103.25	15.5	60.1	151	211.2
1	122	87	91	439	100	13	9	22	242	-270	81	53	106.5	15.5	120.1	302	422.4
1.5	133	80.5	86.5	524	100	13	9	22	363	-270	122	215	109.75	15.5	180.2	453	633.6
2	144	74	82	608	100	13	9	22	484	-270	162	376	113	15.5	240.3	605	844.8
2.5	155	67.5	77.5	693	100	13	9	22	605	-270	203	538	116.25	15.5	300.3	756	1055.9
3	166	61	73	777	100	13	9	22	726	-270	243	699	119.5	15.5	360.4	907	1267.1
3.5	177	54.5	68.5	862	100	13	9	22	847	-270	284	861	122.75	15.5	420.4	1058	1478.3
固定資産償却後 (Cournot競争)																	
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	$\pi A'$	$\pi I'$	SS'	n1	n2			
0.5	111	93.5	95.5	355	100	13	9	22	121.0	85	41	246.0	137.7	36.7			
1	122	87	91	439	100	13	9	22	242.0	169	81	492.0	79.6	17.0			
1.5	133	80.5	86.5	524	100	13	9	22	363.0	254	122	738.0	60.2	10.5			
2	144	74	82	608	100	13	9	22	484.0	338	162	984.0	50.5	7.2			cA=F+ α q
2.5	155	67.5	77.5	693	100	13	9	22	605.0	423	203	1230.0	44.7	5.2			cI= β q
3	166	61	73	777	100	13	9	22	726.0	507	243	1476.0	40.8	3.9			1次形式、異質性あり
3.5	177	54.5	68.5	862	100	13	9	22	847.0	592	284	1722.0	38.0	3.0			単位 : Million Dollar

分析5

EGASあり (Arianespace : 利潤最大化しない, ILS : Cournot競争)													EGASなし(ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	πA	πI	SS	p''	q''	CS''	$\pi I''$	SS''
0.5	111	95.5		229	100	13	9	22	121	-270	41	-109	103.25	15.5	60.1	120.1	180.2
1	122	91		287	100	13	9	22	242	-270	81	53	106.5	15.5	120.1	240.3	360.4
1.5	133	86.5		346	100	13	9	22	363	-270	122	215	109.75	15.5	180.2	360.4	540.6
2	144	82		404	100	13	9	22	484	-270	162	376	113	15.5	240	481	721
2.5	155	77.5		463	100	13	9	22	605	-270	203	538	116.25	15.5	300.3	600.6	900.9
3	166	73		521	100	13	9	22	726	-270	243	699	119.5	15.5	360.4	720.8	1081.1
3.5	177	68.5		580	100	13	9	22	847	-270	284	861	122.75	15.5	420.4	840.9	1261.3
固定資産償却後 (Cournot競争)																	
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	$\pi A'$	$\pi I'$	SS'	n1	n2			
0.5	111	95.5		229	101	10.3	10.3	20.7	107	53	53	214	129.8	56.0			
1	122	91		287	101	10.3	10.3	20.7	214	107	107	427	69.1	26.0			
1.5	133	86.5		346	102	10.3	10.3	20.7	320	160	160	641	48.9	16.0			
2	144	82		404	103	10.3	10.3	20.7	427	214	214	854	38.7	11.0			cA=F+ α q
2.5	155	77.5		463	103	10.3	10.3	20.7	534	267	267	1068	32.7	7.9			cI= α q
3	166	73		521	104	10.3	10.3	20.7	641	320	320	1281	28.6	5.9			1次形式、異質性なし
3.5	177	68.5		580	105	10.3	10.3	20.7	747	374	374	1495	25.7	4.5			単位 : Million Dollar

分析6

EGASあり (Arianespace : 競争的、ILS : Cournot競争)															EGASなし (ILSの独占)				
b	a	α	β	F	p	qA	qI	q	CS	πA	πI	SS	p''	q''	CS''	$\pi I''$	SS''		
0.5	111	100	95.5	270	100	13	9	22	121	-270	41	-109	105.5	11	30.3	110.0	140.3		
1	122	100	91	270	100	13	9	22	242	-270	81	53	111	11	60.5	220.0	280.5		
1.5	133	100	86.5	270	100	13	9	22	363	-270	122	215	116.5	11	90.8	330.0	420.8		
2	144	100	82	270	100	13	9	22	484	-270	162	376	122	11	121.0	440.0	561.0		
2.5	155	100	77.5	270	100	13	9	22	605	-270	203	538	127.5	11	151.3	550.0	701.3		
3	166	100	73	270	100	13	9	22	726	-270	243	699	133	11	181.5	660.0	841.5		
3.5	177	100	68.5	270	100	13	9	22	847	-270	284	861	138.5	11	211.8	770.0	981.8		
固定資産償却後 (Cournot競争)																			
b	a	α	β	F	p'	qA'	qI'	q'	CS'	$\pi A'$	$\pi I'$	SS'	n1	n2					
0.5	111	100	95.5	270	102	4.33	13.3	17.7	78.0	9	948	1035.8	4.2	153.5					
1	122	100	91	270	104	4.33	13.3	17.7	156.1	19	997	1171.6	3.8	68.1					
1.5	133	100	86.5	270	107	4.33	13.3	17.7	234.1	28	1045	1307.4	3.5	39.7					
2	144	100	82	270	109	4.33	13.3	17.7	312.1	38	1094	1443.2	3.1	25.5	cA=F+ α q				
2.5	155	100	77.5	270	111	4.33	13.3	17.7	390.1	47	1142	1579.0	2.8	16.9	cI= β q				
3	166	100	73	270	113	4.33	13.3	17.7	468.2	56	1190	1714.8	2.4	11.2	1次形式、異質性あり				
3.5	177	100	68.5	270	115	4.33	13.3	17.7	546.2	66	1239	1850.6	2.1	7.2	単位 : Million Dollar				

分析7

EGASあり (Arianespace、ILS、Sea LaunchのCournot競争)															EGASなし (ILSとSea LaunchのCournot競争)									
b	a	α	β	y	F	p	qA	qI	qS	q	CS	πA	πI	πS	SS	p''	qI''	qS''	q''	CS''	$\pi I''$	$\pi S''$	SS''	
0.5	112	93.5	95.5	99.5	355	100	13	9	1	23	132	-270	41	1	-97	102	13	5	19	87.1	88.9	14.2	190	
1	123	87	91	99	439	100	13	9	1	23	265	-270	81	1	77	104	13	5	19	174	178	28.4	380	
1.5	135	80.5	86.5	98.5	524	100	13	9	1	23	397	-270	122	2	250	107	13	5	19	261	267	42.7	571	
2	146	74	82	98	608	100	13	9	1	23	529	-270	162	2	423	109	13	5	19	348	356	56.9	761	
2.5	158	67.5	77.5	97.5	693	100	13	9	1	23	661	-270	203	3	596	111	13	5	19	436	444	71.1	951	
3	169	61	73	97	777	100	13	9	1	23	794	-270	243	3	770	113	13	5	19	523	533	85.3	1141	
3.5	181	54.5	68.5	96.5	862	100	13	9	1	23	926	-270	284	4	943	115	13	5	19	610	622	99.6	1332	
固定資産償却後 (Cournot競争)																								
b	a	α	β	y	F	p'	qA'	qI'	qS'	q'	CS'	$\pi A'$	$\pi I'$	$\pi S'$	SS'	n1	n2							
0.5	112	93.5	95.5	99.5	355	100	13	9	1	23	132	84.5	41	1	258	63.7	39.2							
1	123	87	91	99	439	100	13	9	1	23	265	169	81	1	516	33.8	18.6							
1.5	135	80.5	86.5	98.5	524	100	13	9	1	23	397	254	122	2	773	23.8	11.7	cA=F+ α q						
2	146	74	82	98	608	100	13	9	1	23	529	338	162	2	1031	18.8	8.3	cI= β q						
2.5	158	67.5	77.5	97.5	693	100	13	9	1	23	661	423	203	3	1289	15.8	6.2	cS=yq						
3	169	61	73	97	777	100	13	9	1	23	794	507	243	3	1547	13.8	4.8	1次形式、異質性あり						
3.5	181	54.5	68.5	96.5	862	100	13	9	1	23	926	592	284	4	1804	12.3	3.8	単位 : Million Dollar						