

「起業家の宇宙時代」を支える新産業育成の仕掛け ーX プライズ、NASA、ルクセンブルクの事例ー

竹下 智

■ 要 約 ■

1. かつては国家主導の事業であった宇宙分野において近年、民間企業による新しい産業／ビジネスが立ち上がっている。その背景には民間の宇宙関連産業を立ち上げ、成長をサポートする「仕掛け」があったと考えられる。
2. X プライズ財団による最初の有人弾道宇宙飛行を競う賞金付きコンテストは、民間による商業宇宙旅行ビジネスの市場創出に大いに貢献したとされる。
3. スペースシャトルの退役後、国際宇宙ステーションへの輸送手段を民間企業に委託することを決定した NASA の民間企業の能力開発プログラム（COTS）も、SpaceXの躍進の契機となるなど、関連ベンチャーの資金調達と、技術・ビジネス開発の両面に好影響を与えたと評価できる。
4. ルクセンブルクは、宇宙資源探査を金融の次の国家重点セクターと位置づけ、資金、法整備、人材育成の側面から有カスタートアップの誘致、育成を推進している。宇宙資源探査がビジネスとして本格的に成立するのは2030年以降といわれているなかで、同国は先手を打って将来の宇宙産業の中核を担うことを狙っている。
5. 上記の事例は、官（政府、公的機関等）と民間企業との連携という点では非常に興味深い取り組みであり、宇宙開発のみならず、産業振興や地方活性化に携わる日本の関係者への示唆にも富んでいる。

I フロンティアを拓く民間宇宙関連ビジネス

米国の TV ドラマシリーズ「スタートレック」は「宇宙、そこは最後のフロンティア」という有名なナレーションで始まる。かつては国家主導の事業であった宇宙分野において近年、民間企業による新しい産業／ビジネスが立ち上がっている。宇宙はビジネスにおいてもフロンティアになったと言えよう。

米国の SIA (Satellite Industry Association、衛星産業協会) の委託を受け、米国の調査会社 Bryce Space and Technology (以下、Bryce) が作成しているデータによると、2018 年の世界の宇宙関連ビジネスの経済規模は 3,600 億米ドルとされる (図表 1)。商業宇宙旅行 (Commercial Human Spaceflight) の市場規模は 18 億米ドルと、全体からみれば微々たるものであるが、現在の日本の JAXA (宇宙航空研究開発機構) の年間予算とほぼ同じ規模のビジネスを生み出す可能性が期待される¹。2019 年時点で、顧客を乗せたフライトは開始されていないにもかかわらず、参入する企業は増加しており、フロンティアの一部を形成していると言えよう。

2009 年 7 月、Space Exploration Technology Corp. (以下、SpaceX) が自社で設計／開発したロケット (Falcon 1²) でマレーシアの地球観測衛星 (50kg) の商業打ち上げおよび衛星の軌道投入に民間企業として初めて成功した。これが現在も続く「起業家の宇宙時代 (Entrepreneurial Space Age)」の始まりといわれる³。ただし、米国政府や米国航空宇宙局 (NASA) の技術および資金面での支援なしに、民間企業 (スタートアップ) が宇宙ビジネスの主役となることはなかったのも事実であろう。宇宙開発事業における官民の役割変化の契機になったのは、米国政府が 2011 年 7 月にスペースシャトルを退役させ、ISS (International Space Station、国際宇宙ステーション) への輸送手段を民間企業に委託すると決めたことにあったと考えられる。この後、NASA は民間企業の能力開発プログラムを実施し、SpaceX など宇宙関連ビジネスを手がけるスタートアップの躍進の契機を作った。

一方、ルクセンブルク大公国 (以下、ルクセンブルク) は、宇宙資源探査を金融の次の国家重点政策として位置づけ、有力スタートアップの誘致、育成を推進している。

本稿では、宇宙開発事業の担い手が、国から民間企業、スタートアップに移行する中で、宇宙関連産業の成長をサポートする「仕掛け」について、①民間 (XPRIZE) によるイノベーションコンテスト (Prize competitions⁴)、②国の機関 (NASA) のプログラム、③政府 (ルクセンブルク) としての戦略という事例の経緯と示唆をみていくこととする。

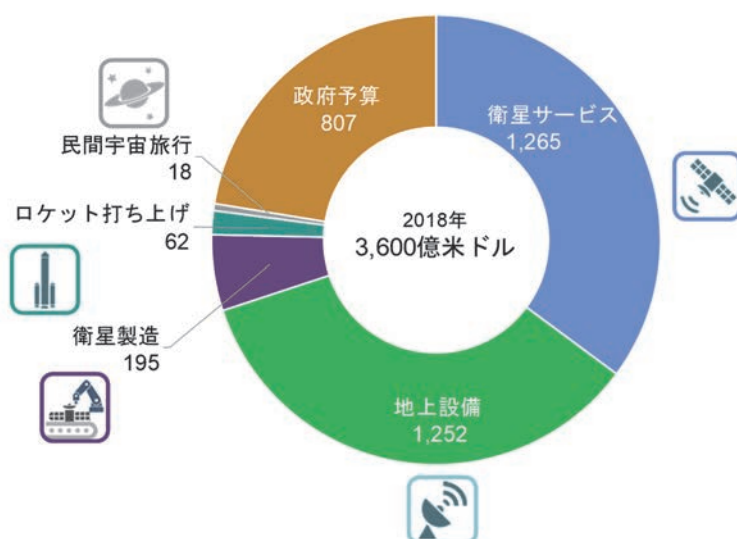
¹ JAXA の平成 30 年度予算 (本予算+補正予算) 1,831 億円。

² 映画「スターウォーズ」のミレニアムファルコン号 (Millennium Falcon) にちなんで命名された。

³ “Entrepreneurial Space Age Began in 2009”, Ars Technica, October 31, 2017.

⁴ 他に“Inducement prize contest”, “Challenge prize”, “Incentive competition”等の名称が使われる。

図表 1 宇宙関連ビジネスの市場規模（2018 年、億米ドル）



カテゴリー	サブカテゴリー	収益規模 (億米ドル)	構成比
衛星サービス Satellite Services		1,265	35.1%
	TV	942	
	固定衛星業務 (FSS)	179	
	衛星ラジオ	58	
	移動衛星業務 (MSS)	41	
	ブロードバンド	24	
	リモートセンシング	21	
地上設備 Ground Equipment		1,252	34.8%
	GNSS	933	
	放送設備	181	
衛星製造 Satellite Manufacturing		195	5.4%
	ネットワーク設備	138	
ロケット打ち上げ Launch Industry		62	1.7%
民間宇宙旅行 Commercial Human Spaceflight		18	0.5%
政府予算 Government Budget		807	22.4%
	米国	501	
	欧州	115	
	中国	85	
	ロシア	39	
	日本	35	
	インド	16	
	その他	35	

(注) GNSS (Global Navigation Satellite System) は、GPS 等の衛星測位システムの総称。

(出所) Bryce Space and Technology 「2018 Global Space Economy」より野村資本市場研究所作成

Ⅱ 賞金付きコンテストから生まれた商業宇宙旅行ビジネス

1. 社会に大きな影響を与えた賞金付きコンテスト

社会的な問題解決や技術進歩を促すために、賞金付きコンテストの形式で幅広くアイデアを募集するというやり方は古くから存在していた。1714 年の英国政府による「Longitude rewards⁵」や 1927 年大西洋単独無着陸飛行に成功したチャールズ・リンドバーグ（Charles Augustus Lindbergh）氏に授与された「オルティエグ賞（Orteig Prize）」などが有名である。

オルティエグ賞とは、ニューヨークからパリまでまたはその逆のコースを無着陸で飛んだ最初の連合国側の飛行士に対して与えられる賞であった。ニューヨークのホテル経営者レイモンド・オルティエグ（Raymond Orteig）氏によって 1919 年 5 月に賞金 25,000 米ドル、5 年の期限を設定して開始された。当初の期限内に挑戦者が現れなかったため、1924 年さらに 5 年の期間を再設定した。リンドバーグ氏の成功を受け、1927 年は米国のパイロット免許の申請者が 3 倍に膨らみ、認可済みの航空機の数も 4 倍を記録した。また、米国の航空旅客者数（予約座席数）も 1926 年の 5,782 から 1929 年には 17 万 3,405 まで増加し、それ以降の航空業界に大きな影響を与えた⁶。

2. 有人弾道宇宙飛行を競うコンテストから生まれた商業宇宙旅行ビジネス

1994 年、オルティエグ賞にヒントを得たピーター・ディアマンディス（Peter H. Diamandis）氏によって X プライズ財団が設立された⁷。そして 1996 年 5 月、リンドバーグ氏ゆかりのセントルイスで、民間による最初の有人弾道宇宙飛行を競うコンテスト「（Ansari）XPRIZE⁸」（賞金 1,000 万米ドル）の開催が発表された⁹。同財団では賞金の全額を集めることが出来なかったため、半分（2003 年 12 月から 1 年間は全額）は保険会社との保険契約（成功者が出た場合に保険金が支払われる）によって用意された¹⁰。

その後、2004 年 10 月に、著名な航空機設計者であるバート・ルータン（Burt Rutan）氏

⁵ 「経度賞」1714 年、英国政府が海上において船舶の位置の経度を正確に測定する方法を開発するために実施した緯度測定コンテスト。

⁶ “The 30 Most Important Airplanes of All Time”, *Popular Mechanics*, September 1, 2015.

⁷ 国際宇宙大学（International Space University : ISU）およびシンギュラリティ大学（Singularity University）の共同創設者。また、改造した旅客機を使った無重力体験を提供する Zero-G の共同創業者でもある。

⁸ 発表当初の名称は「XRPIZE」のみで後からスポンサー名を冠する予定であったが、最後までタイトルスポンサーに名乗りをあげる企業も人物もいなかったため、最大の後援者（benefactor）である Ansari family の名を冠して「Ansari XPRIZE」となった。

⁹ 発表セレモニーでは、チャールズ・リンドバーグ氏の孫のエリック・リンドバーグ（Erik Lindbergh）氏がスピーチを行っている。また、同氏は 2002 年 5 月、X プライズの資金集めのために祖父と同じ大西洋単独無着陸飛行に挑戦し成功している。

¹⁰ 2003 年 12 月 17 日までに成功者が出た場合は、銀行から 500 万米ドルの契約があったため、保険会社からは残りの 500 万米ドルが支払われ、それまでに成功者が現れなかった場合は、保険期間が 1 年間延長され、保険会社から 1,000 万米ドルが支払われる契約となっていた。

が創設し、マイクロソフト共同創業者のポール・アレン（Paul Allen）氏が出資する Scaled Composites 社が 2 度目のフライトを成功させ、賞金 1,000 万米ドルを獲得した。

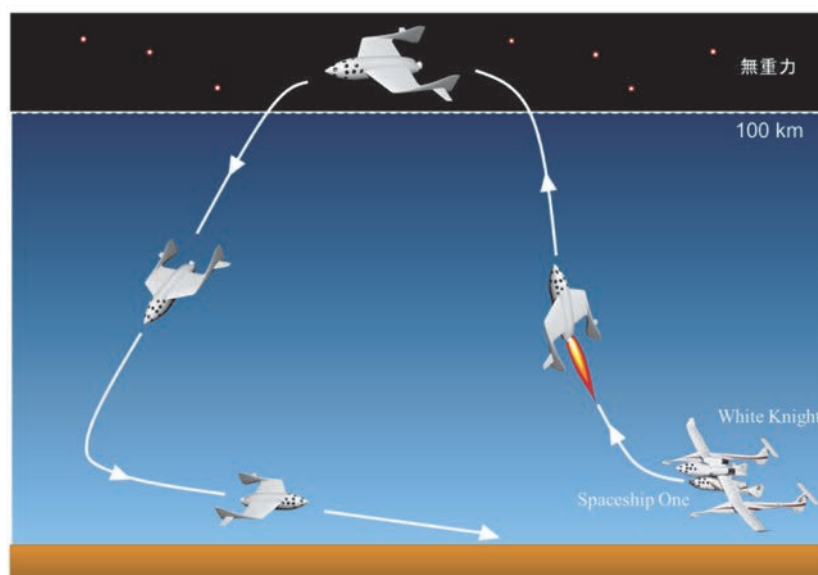
同社の宇宙船（SpaceShipOne、スペースシップワン）は、まず 2 つの飛行機を合体させたような独特の形状の飛行機（White Knight、ホワイトナイト）に吊るされ、上空まで運ばれる。上空で切り離されたスペースシップワンは、ロケット・エンジンに点火し高度 100km まで上昇し宇宙空間に到達、その後主翼の後ろ半分を約 60 度折り曲げる「フェザー・モード」に移る。この形態になることで、降下のスピードを抑えつつ、機体を安定させることができる。この（宇宙）空間で、乗客は窓を通じて眼下に広がる光景を楽しむとともに、無重力状態を体験することができる。そしてフェザー・モードで大気圏に再突入し、ある程度降下したところで翼を元の状態に戻して、そのままグライダーのように滑空し、滑走路に着陸する（図表 2）。

また、同機で使われるロケットは、ハイブリッド・ロケットと呼ばれる安全性が高いもので、爆発などを起こす危険性が低く、さらに機体にトラブルが起きても、燃焼をすぐに停止させることができる。

同社の 2 つの機体を含めたテクノロジーはリチャード・ブランソン氏が使用許諾を得て、Virgin Galactic（本社、米国カリフォルニア州）が設立された。同社が計画する宇宙飛行（弾道宇宙飛行）は料金が 25 万米ドルと高額にもかかわらず、すでに 600 人以上の予約が入っているとされる¹¹。

また、参加チーム全体への投資は合計で 1 億米ドルを超えるとされ、賞金額以上の経済効果がもたらされた。

図表 2 有人弾道宇宙飛行の飛行経路



（出所）Scaled Composites 社資料等より野村資本市場研究所作成

¹¹ “Virgin Galactic gearing up to start selling suborbital spaceflight tickets again”, *Space*, February 26, 2020.

3. 月面への民間ロボット探査機着陸を競うコンテスト

「Ansari XPRIZE」に続き、2007年Xプライズ財団は月面への民間ロボット探査機着陸を競う「Google Lunar XPRIZE」（当初賞金総額3,000万米ドル）を実施した（図表3）。日本から参加した「HOKUTO」を含む5チームが最終フェーズまで進出したが、最終的にどのチームも期日内の打ち上げを実現できず、勝者のないまま期限切れにより終了となった。途中の2013年11月、順調に開発を進めていたチームを経済的にサポートし、更なる投資や認知を上げることを目的にマイルストーン賞が追加され、各チーム50万～175万米ドルを獲得している。

もともとXプライズ財団のコンセプトは「民間市場のないところに民間市場を作る」ことであり、参加した宇宙ベンチャーが賞金以上に民間から資金を集めることが出来るようになったことで、コンテストの目的は十分に達成できたといえよう。

図表3 Xプライズ財団主催のイノベーションコンテストの一部

	Ansari XPRIZE	Google Lunar XPRIZE
目標	信頼性の高い再利用可能な民間の有人宇宙船の開発を推進し、宇宙飛行のリスク及びコストを低減し、商業宇宙旅行を実現する。	① 手頃な月へのアクセス手段を提供し、宇宙起業家に月面輸送に関する長期的なビジネスモデルを開発するためのプラットフォームを提供する。 ② 次世代の科学者、エンジニア、宇宙探検家、冒険家にSTEM分野への参入を促す。
開催期間	1996～2004年	2007～2018年
スポンサー等	Ansari Family (Benefactors)	Google (Sponsor) ANA (General Foundation Partner)
賞金	1,000万米ドル	総額3,000万米ドル 優勝2,000万米ドル、準優勝500万米ドル ボーナスミッション500万米ドル ダイバーシティ賞100万米ドル（2017年） （2013年追加） マイルストーン賞総額1,000万米ドル
クリアすべき条件	民間資金を活用し、再利用可能な有人宇宙船を製造。 ・乗員3名 ・地表高度100km ・2週間以内に2回	民間資金による無人探査機を月面に着陸させ、着陸地点から500m以上走行し、高解像度の画像、動画データを地球に送信。
結果	2004年10月、米国ScaledCompositesの「SpaceShipOne」が世界初の民間企業による有人宇宙飛行を実現	米国、日本、インド、イスラエル、国際チームの5チームが、打ち上げ契約が承認され同レースの最終フェーズに進んだが、最終的にどのチームも期日内の打ち上げを実現できず、勝者のないまま期限切れにより終了
インパクト	・参加チームへの1億米ドル以上の投資 ・受賞したテクノロジーはリチャード・ブランソン氏にライセンスされ、Virgin Galacticが設立された。 ・コンテストを機に、20億米ドル規模の新しい民間宇宙産業が誕生。	・参加チームへの3億米ドル以上の投資 ・インド、マレーシア、イスラエル、ハンガリーに初の民間宇宙企業設立 ・参加チームと政府宇宙機関（JAXA、NASA等）の提携 ・ファイナリストチームによる新規雇用創出 ・技術進歩（小型化、3Dプリンター） ・STEM教育プログラムの推進

（出所）XPRIZE Foundation ウェブサイトより野村資本市場研究所作成

X プライズ財団では、宇宙分野以外にも革新的な挑戦に高額な賞金を懸けたイノベーションコンテストをいくつも実施している¹²。現在実施中のコンテストには、全日本空輸（ANA）がスポンサーとして支援する「ANA Avatar XPRIZE¹³」（2018 年 3 月開始、賞金 1,000 万米ドル）も含まれている。

4. イノベーションコンテストの広がり

いわゆるビジネス（アイデア）コンテストや（オープン）イノベーションコンテストと称されるものは、起業アイデアを競うものが多い。一方、本章でとりあげた事例（コンテスト）は、与えられた具体的な課題の解決あるいは目標の達成が競争の基準であり、勝者（賞金獲得者）は客観的に決まる。スポンサーから見ると、具体的なソリューション開発のみに資金を使うことが出来るという点で、非常に効率的な手段といえよう。

特に宇宙開発事業では、多くのアイデアはあるものの現時点の技術では実現が困難とされるものがほとんどである。現状の技術の応用および問題解決のための新技術開発を含めた実現可能性を示すことができなければ、単なるアイデアでしかない。いくらアイデアを高く評価し、賞金をつけたとしても、次の段階、ビジネスとしての展開はない。

上記 Scaled Composites の成功を契機として、宇宙関連に限らず多くのコンテストが実施されるようになった。米国コンサルティング会社のマッキンゼー（McKinsey & Company）によると、2007 年のコンテストの賞金総額は 3 億 1,500 万米ドルと 10 年前の 4 倍以上となっている¹⁴。また、1991 年以降に発表されたコンテストの約 8 割は、特定のイノベーションにインセンティブを提供するよう設計されていた。

米国政府は 2010 年 7 月、各政府機関が抱える喫緊の問題を課題として提示し、賞金付きコンテスト形式で幅広く民間からアイデアを募集するためのプラットフォーム「Challenge.gov」を開設している。同プラットフォームは開設以来、100 以上の連邦政府機関により約 1,000 件の課題（賞金総額 2 億 5,000 万米ドル以上）が提示されている¹⁵。大学や企業によるイノベーションコンテストも実施されており、賞金付きコンテストの有効性が広く認められてきたといえよう。

III NASA が育てた民間打ち上げビジネス

1. 米国の宇宙開発における官民の役割変化

米国のスペースシャトル計画は、機体を再利用することで打ち上げの低コスト化を実現し、宇宙の商業利用を推進させるはずであった。当初スペースシャトルは機体を 100 回程

¹² 現在開催中の XPRIZE : <https://www.xprize.org/prizes>

¹³ <https://www.xprize.org/prizes/avatar>

¹⁴ McKinsey & Company, “Using prizes to spur innovation”, July 2009.

¹⁵ Challenge.gov ウェブサイト。 <https://www.challenge.gov/>

度繰り返し利用することにより、打ち上げ費用の削減を目的としていたものの、1986年1月のチャレンジャー事故、2003年2月のコロンビア号事故で宇宙飛行士の命が失われたことで、安全対策等のために打ち上げコストが当初の計画よりも大幅に増大し、結果として使い捨てのロケットよりも打ち上げコストが割高となってしまった¹⁶。

2004年1月、米国ジョージ・W・ブッシュ大統領はスペースシャトルを2010年までに退役させる方針およびスペースシャトルに代わる宇宙機（Crew Exploration Vehicle: CEV）の開発を含む新たな宇宙構想を発表した（図表4）。これを受け、NASAはISSへの輸送や月着陸等の多様なミッションへ適合した有人宇宙機計画（コンステレーション計画、Constellation program）に着手した¹⁷。

その一方で、NASAは民間の宇宙事業者を積極的に活用し、宇宙開発事業に官民が連携して取り組む計画も進めていた。具体的には、ISSへの輸送を民間企業に委託するというものである。ただし、当時要求水準を満たす輸送能力を提供できる民間企業は存在しなかった。そこで、NASAは民間企業による（ISSのある）地球低軌道（low Earth orbit、LEO¹⁸）に貨物と乗組員を輸送する能力の開発を支援する「フェーズ1」と、顧客として輸送サービスを購入する「フェーズ2」で構成される新しいイニシアチブを計画した。フェーズ1が「COTS（Commercial Orbital Transportation Services、商業軌道輸送サービス）」プログラムであり、フェーズ2が「CRS（Commercial Resupply Services、商業物資輸送サービス）」契約である（図表5）。

図表4 米国のスペースシャトルおよびその後継機開発

年 月	出来事
1981年4月	スペースシャトル、宇宙空間への初飛行
1986年1月	チャレンジャー号事故
2003年2月	コロンビア号事故
2004年1月	ブッシュ大統領、2010年にスペースシャトル退役および代替宇宙機開発を含む新たな宇宙構想を発表
2004年10月	（Ansari XPRIZE 世界初の民間企業による有人宇宙飛行）
2006年1月	COTSプログラム開始（～2013年11月）
2009年9月	CRSプログラム開始（～2016年12月）
2010年2月	オバマ大統領、コンステレーション計画の中止を表明
2010年4月	オバマ大統領、新宇宙政策を発表
2011年7月	スペースシャトル計画最後の飛行

（出所）各種公表資料より野村資本市場研究所作成

¹⁶ 1回のスペースシャトルの打ち上げ費用は平均4億5千万米ドル。

¹⁷ コンステレーション計画は、アレス I（Ares I）およびアレス V（Ares V）打ち上げ機と、オリオン（Orion）宇宙船・アルタイル（Altair）着陸機から構成される。

¹⁸ 地球周回軌道の高度による区分：低軌道（Low Earth Orbit、LEO）高度2,000km以下、中軌道（Medium Earth Orbit：MEO）高度2,000kmから地球同期軌道（約36,000km）まで、高軌道（High Earth Orbit：HEO）地球同期軌道（約36,000km）より外。

図表 5 NASA が管理する民間支援プログラムの一部

プログラム	正式名称	期間	概要	対象企業
COTS	Commercial Orbital Transportation System (商用軌道輸送システム)	2006 年 1 月 ～ 2013 年 11 月	民間企業による地球低軌道 (LEO) への貨物／乗組員輸送システム (ロケット/補給機) 開発支援	・ SpaceX ・ Orbital Sciences (注) ※当初契約した Rocketplane Kistler は途中で契約終了
CRS	Commercial Resupply Services (商業物資輸送サービス)	2009 年 1 月 ～ 2016 年 12 月	ISS (国際宇宙ステーション) への貨物輸送のために、実績のある「既存」輸送サービスを購入する標準調達契約	・ SpaceX ・ Orbital Sciences

(注) Orbital Sciences は 2015 年 ATK (Alliant Techsystems) の航空宇宙部門と合併し Orbital ATK となった後、2018 年航空宇宙・防衛企業の Northrop Grumman に買収された。

(出所) NASA 資料より野村資本市場研究所作成

コンステレーション計画についてはオーガスティン委員会 (Augustine Committee)¹⁹からの提言を受け、2010 年 2 月、バラク・オバマ大統領は 90 億米ドルが投入された同計画の中止を表明、NASA による宇宙機開発は白紙となった。同年 4 月、同大統領は、2030 年代半ばまでに宇宙飛行士を火星の軌道に送り込む目標を掲げた新宇宙政策を公表した。そのなかで、NASA はコンステレーション計画で開発中であった宇宙機 (Orion) の技術を応用し (ISS の緊急脱出用の) 救助船の開発を行うこととなった。その後、NASA は計画を仕切りなおす形で、月や火星、小惑星への飛行を主眼に置いた多目的有人宇宙船 (Multi-Purpose Crew Vehicle: MPCV) の開発を発表している。

なお、ISS に物資や宇宙飛行士を輸送する手段については民間に委託し政府は投資しないという方針には変更がないことが改めて示されている。ISS への定型的な輸送は民間、リスクの高い宇宙開発は国・NASA が行うという官民の役割をはっきりさせたということである。

2. COTS (商用軌道輸送システム) プログラム²⁰

1) 乗り物ではなく、チケットを買う (Buy a Ticket, Not a Vehicle)

米国は歴史的に、規制緩和と政府のサポートにより、新たな民間産業／市場の創設とそれに伴う民間企業の競争力強化を推進してきた。例えば、ケリー法 (Kelly Act) として知られる米国の 1925 年航空郵便法 (1925 Contract Air Mail Act) を契機に、当

¹⁹ 正式名称は「米国有有人宇宙飛行計画再検討委員会 (The Review of United States Human Space Flight Plans Committee)」。

議長のオーガスティン (Norman Ralph Augustine) 氏は元ロッキードマーチン社の会長兼 CEO。他 9 名の有識者で構成されている。同委員会の報告書は 2009 年 10 月に発表された。

²⁰ NASA は COTS プログラムに関して 146 ページに及ぶ詳細な報告書を作成している。NASA, “Commercial Orbital Transportation Services: A New Era in Spaceflight”, May 2014. なお「COTS」とは軍事や宇宙開発で利用する民生品 (commercial-off-the-shelf) を意味する用語として使われる。

時の郵便局が郵便配達のために民間企業の航空便サービスを利用するようになった²¹。民間航空会社が乗客と貨物の両方を輸送したため、米国の新生航空産業が誕生した。飛行機での旅行が危険で向こう見ずな娯楽から日常業務に移行したことで、普通の旅行に民間航空機を使用することとなった。

COTS プログラムの背景には、1998 年の商業宇宙法（Commercial Space Act of 1998）にもとづく、宇宙への物資・人員輸送のために「乗り物ではなく、チケットを買う（Buy a Ticket, Not a Vehicle）」というコンセプトがある。同法には「連邦政府はその活動上、宇宙輸送サービスが必要な場合は必ず、米国の商業的供給者から宇宙輸送サービスを取得するものとする。連邦政府は、利用できる最大限まで米国の商業的供給者の宇宙輸送サービス能力に便宜を図るべく、ミッションを立案するものとする²²」とあり、民間商業サービスの開発を奨励している。

また、NASA は COTS 等のプログラムを管理する組織として、テキサス州ヒューストンのジョンソン宇宙センター（Lyndon B. Johnson Space Center、JSC）に Commercial Crew & Cargo Program Office (C3PO) を設置した。この C3PO のミッションの一つとして「商業宇宙輸送サービスが政府および民間部門の顧客に利用可能な市場環境の構築」があげられている。

すなわち、ビジネスとして成り立つ事業は民間に任せるべきであり、民間でも出来ることに国民の税金を使うことは無駄以外の何ものでもない、また ISS への輸送は民間に任せて NASA はさらにその先、儲からなくても人類にとってやるべきことに挑戦する、民間には取れないレベルのリスクを取る、というのが現在の NASA が考える国の役割だといえよう。

2012 年 5 月、SpaceX の宇宙機（Dragon²³）が COTS プログラムの一環として ISS への最初のミッションに成功した際、SpaceX は「NASA の助けなしには SpaceX を始めることも、このポイントに到達することも出来なかった」とコメントしている²⁴。米国政府および NASA は、民間による宇宙への物資および人員の輸送という新しい産業/市場の創設に大きな役割を果たした。

2) 投資家のように考える（Thinking Like an Investor）

COTS プログラムには、多くのベンチャー投資の要素、投資家（ベンチャーキャピタリスト）的な思考が織り込まれていた。当時の NASA 長官、マイケル・グリフィン（Michael D. Griffin）氏がかつて CIA（米国中央情報局）の VC（ベンチャーキャピタ

²¹ チャールズ・リンドバーグ氏は航空便の初期パイロットの一人で、この経験が 1927 年の大西洋単独無着陸飛行に成功につながったとされる。

²² 米国「1998 年商業宇宙法」第 50131 条（商業宇宙輸送サービス取得の要件）。

²³ Dragon の名称は米国のフォークグループ Peter, Paul & Mary の曲「Puff The Magic Dragon」（1963 年）に由来している。

²⁴ “Not So Private Space: The SpaceX-NASA Partnership is Blasting Off”, *Good*, May 25, 2012.

ル)である In-Q-Tel の社長を務めていたことも影響したといわれる²⁵。例えば、COTS プログラムの参加企業からの提案のビジネスおよび管理の側面を評価する際に NASA をサポートするメンバーとして物理学者、ホワイトハウス職員と並んでベンチャーキャピタリストのアラン・マーティ (Alan Marty) 氏が含まれていた²⁶。

COTS における NASA の役割は、開発請負業者に開発コストの全額を支払う従来の政府機関の顧客ではなく、投資家、技術コンサルタントおよびパートナーという位置づけである。

3) 企業選定

2006 年 3 月までに 20 の企業から 21 の提案があった。ボーイング (Boeing Company) やロッキードマーチン (Lockheed Martin Corp.) といった航空宇宙産業の大手企業から小規模のロケット打ち上げスタートアップまで含まれていた。選考の過程で 6 社に絞られた時点では、大手企業の名前はなかった。最終的に、SpaceX と Rocketplane Kistler (以下、RpK) が選定され、両企業の提案で要求された金額に基づく 2 億 7,800 万米ドルと 2 億 700 万米ドルで契約を結んだ²⁷。

この時点で、SpaceX はロケット (Falcon 1) の打ち上げに成功していなかったが、NASA の選考チームは同社のロケットと宇宙船に関する技術面、資金面および打ち上げ市場の市場シェアを獲得する計画を評価したとされる。また、提案を提出した数社に対して資金提供はしないものの、技術的なサポートを提供する契約 (Unfunded Space Act Agreements) を結んでいる²⁸。

なお、RpK はプログラムの途中で契約終了となり (後述)、再度選考が実施され Orbital Sciences (以下、Orbital、現 Northrop Grumman²⁹) が選ばれた。

4) 身銭を切れ (Skin in the Game)

COTS プログラムでは、契約企業に対して、NASA 以外からの資金調達 (Skin in the Game³⁰) を課した。COTS の予算として当初承認された 5 億米ドルは選ばれた複数の企業 (2 社) がプログラムを完了するためには十分とはいえず、企業が自ら資金を調達する必要があった。これは単に NASA の予算を節約するためだけではなく、「真の民間サービスを立ち上げるためには、民間からの資本と民間の顧客を確保する必要がある

²⁵ グリフィン氏は初期の SpaceX にも深く関わっており、2001 年イーロン・マスク氏がロシアに ICBM を買い付けに行った際にも同行している。

²⁶ マーティ氏は COTS チームにクレイトン・クリステンセン (Clayton M. Christensen) 氏の著書「イノベーションのジレンマ (The Innovator's Dilemma)」を送った。

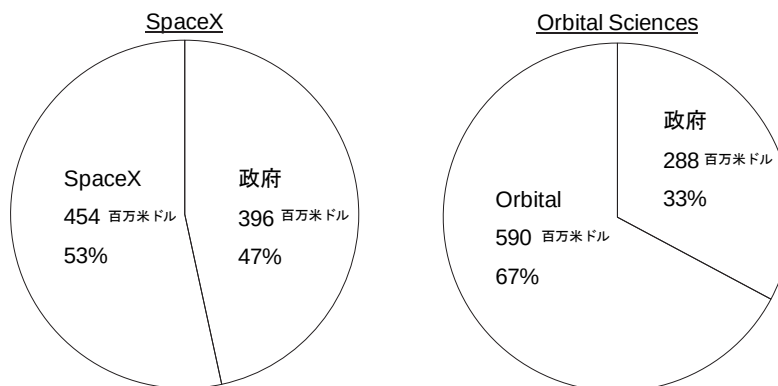
²⁷ COTS の予算 (5 億米ドル) のうち、1,500 万米ドル (3%) を組織運営費にあて、残り 4 億 8,500 万米ドルを 2 社に振り分けた。

²⁸ 契約企業は、PlanetSpace、t/Space、Constellation Services International、SpaceDev、SpaceHab。

²⁹ Orbital Sciences は 2015 年 ATK (Alliant Techsystems) の航空宇宙部門と合併し Orbital ATK となった後、2018 年航空宇宙・防衛企業の Northrop Grumman に買収された。

³⁰ Skin in the Game : 成果を得るための投資、個人的な関与。企業などで高い地位にいる者が事業を成功させるために自費をつぎ込んだりすることを指す。「身銭を切る」と訳されることもある。

図表6 COTS プログラムの開発費用の内訳



(出所) NASA, “Commercial Orbital Transportation Services: A New Era in Spaceflight”, May 2014 (P95) より野村資本市場研究所作成

ある」という考えに基づいている。政府の関与が多すぎると「市場を破壊する」リスクがある。

NASA は民間からの資金調達をサポートするために、限定的な終了規定を契約に盛り込んでいる。NASA にとって制御不能な理由（議会が十分な資金を適切に提供できない場合等）を除いて一方的に契約を終了することが出来ない契約とした。一方、企業は契約条件をクリアできなかった場合、契約終了となる。投資家にとっては、NASA による一方的な契約終了というリスクはなくなる。

SpaceX は最終的に COTS 予算から 3 億 9,600 万米ドルを受領し、それを越える 4 億 5,400 万米ドルを自ら調達している（図表6）。Orbital も自己調達分のほうが多くなっている。

5) マイルストーン

COTS の支援企業は、合意したマイルストーンをクリアする毎に、NASA からの支払いを受ける仕組みとなっている。これは、住宅建設費の一部前払いなどでみられる、出来高（分割）払いに例えることが出来る。何かの理由により請負業者が建設を続けられなくなったとしても、損害は最小限にとどまり、新たな業者と契約して建設を続行し完成にたどりつくことが出来る。

支払いは、NASA が客観的な基準に従ってマイルストーンが完了したと判断した後に行われる³¹。この明確でシンプルな支払いプロセスにより、主観的なコストの評価が回避され、会計年度の予算計画が簡素化される。さらに重要な点として、NASA のマイルストーン支払いは、契約企業が実際に負担した費用に関係なく固定されているため、プロジェクトの任意の時点でのコスト超過は企業側の責任になる。

³¹ NASA の従来の調達契約では支払いに 15～30 日かかっていたが、COTS ではマイルストーン承認後 3 日以内に企業の銀行口座に入金された。

図表 7 SpaceX の COTS マイルストーン

	\$M	\$M	2006				2007				2008				2009				2010				2011				2012			
Milestones		Total	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
1 Project Mgmt Plan	278.0	23.1		▼ Sep 15																										
2 Demo 1 SRR	5.0	28.1		▼ Nov 29																										
3 Demo 1 PDR	18.1	46.2			▼ Feb 8																									
4 Finacing Round 1	10.0	56.2			▼ Mar 1																									
5 Demo 2 SRR	31.1	87.4			▼ Mar 15																									
6 Demo 1 CDR	8.1	95.5			▼ Aug 22																									
7 Demo 3 SRR	22.3	117.8						▼ Oct 29																						
8 Demo 2 PDR	21.1	139.0							▼ Dec 19																					
9 Draco Init. Hot fire	6.0	145.0							▼ Mar 21																					
10 Finacing Round 2	10.0	155.0							▼ Mar 21																					
11 Demo 3 PDR	22.0	177.0							▼ Apr				▼ Jun 27																	
12 Multi-Engine Test	22.0	199.0								▼ Aug 4			▼ Sep																	
13 Demo 2/3 CDR	25.0	224.0											▼ Dec 18			▼ Jun														
14 Finacing Round 3	10.0	234.0											▼ Feb 8			▼ Mar														
15 Demo 1 RR	5.0	239.0							▼ Feb							▼ Mar				▼ Jun 8										
16 CUCU Flight Unit	9.0	248.0																												
17 Demo 1 Misson	5.0	253.0											▼ Sep			▼ May			▼ Jul 23											
18 Demo 2 RR	5.0	258.0																												
19 Demo 2 Misson	5.0	263.0																												
20 Cargo Int. Demo	5.0	268.0																												
21 Demo 3 RR	5.0	273.0																												
22 Demo 3 Misson	5.0	278.0																												

(注) ▼当初予定、▽変更、▼完了

SRR（システム要求レビュー）、PDR（基本設計レビュー）、CDR（詳細設計レビュー）

(出所) NASA 資料より野村資本市場研究所作成

SpaceX の場合は当初 2 億 7,800 万米ドルに対して、22 のマイルストーン（3 度の資金調達ラウンドを含む）が設定された（図表 7）。2010 年 10 月の COST 予算の増強により 1 億 1,800 万米ドルと 18 のマイルストーンが追加された。

一方、当初 SpaceX とともに選定された RpK は技術的な問題点はないにもかかわらず、2007 年 5 月までに求められた 5 億米ドルの資金調達（マイルストーン 4）が達成出来ず、同年 10 月契約を終了するに至った³²。

3. CRS（商業物資輸送サービス）契約

イニシアチブの第 2 フェーズとなる CRS は、当初は COTS プログラムの全マイルストーン終了後に契約企業を選定する予定であったが、それまで待つと ISS への影響が深刻となるため、予定を早める必要に迫られた。その結果、2008 年 12 月、NASA は SpaceX と 12 回分のミッションで 16 億米ドル³³、Orbital と 8 回のミッションで 19 億米ドルの CRS 契約を結んだ。SpaceX は COTS プログラムに政府からの補助よりも多い 4 億 5,400 万米ドルの自己資金を投入したが、CRS により 16 億米ドルの契約を獲得することとなった。

なお、COTS プログラムと同じ 2 社が選定されたが、米国連邦政府調達規則（Federal Acquisition Regulation）に基づき、他の企業も含めた選考プロセスの結果である。

³² Rocketplane Kistler は最初の 3 つのマイルストーンを完了し、3,200 万米ドルの支払いを受けていた。

³³ この CRS 契約により得た資金により、SpaceX だけでなく同様に財務的な問題を抱えていたテスラも破綻を回避することが出来たとされる。

4. その他の米国政府による宇宙ベンチャー支援

Space Angels の調査によると、2000 年から 2018 年にかけて NASA を含む米国の公的機関からの資金を受け取った宇宙ベンチャーが 67 社、その総額は 72 億米ドルにのぼる³⁴。このうち、NASA は約 61 億米ドル（85%）、次いで米国空軍（USAF/AFRL³⁵）の 8 億 7,400 万米ドル（12%）となっており、この 2 機関で 97%以上を占めている（他に 13 機関）。宇宙産業別の内訳をみると 93%が「ロケット打ち上げ」であった。さらに NASA は「バイオスフィア（生物圏）」「インダストリアルズ」「惑星間」関連の企業にも資金を提供している。

米国には SBIR や STTR³⁶と呼ばれる中小企業支援のプログラムがある。SBIR では 1 億米ドルを超える R&D 予算を持つ連邦政府機関は、同予算の一定比率を中小企業への研究

図表 8 NASA COTS プログラムと SpaceX の資金調達の経緯

時期	NASA	SpaceX
2002 年 6 月		会社設立
2005 年 11 月	Commercial Crew & Cargo Program Office (C3PO) 設立	
2006 年 1 月	COTS プログラム発表(予算 5 億米ドル)	イーロン・マスク氏、1 億米ドルを出資
3 月	20 の企業から 21 の提案	
8 月	2 社(SpaceX、RpK)を選定	契約にサイン(政府からの補助 278 百万米ドル)
2007 年 2 月		資金調達(シリーズ C、32 百万米ドル)
10 月	RpK、資金調達出来ず撤退	
2008 年 2 月	第 2 回公募の結果、Orbital Sciences を選定	
8 月		資金調達(シリーズ D、2,900 万米ドル)
9 月		Falcon1 ロケット、ペイロードの軌道投入に成功(4 回目での成功)
12 月		CRS 契約締結(12 回、16 億米ドル)
2009 年 3 月		資金調達(シリーズ E、1,500 万米ドル)
7 月		Falcon1、初の商業打ち上げ成功(マレーシアの衛星)
2010 年 10 月	追加予算 3 億米ドル	
11 月		FAA(連邦航空局)、Space の Dragon に商用宇宙船として初めて大気圏再突入の免許を交付
12 月		資金調達(シリーズ F、5,000 万米ドル)
12 月		Falcon9、宇宙船の打ち上げ、軌道、および回収に成功(Dragon) COTS デモフライト1
2012 年 5 月		Dragon 宇宙船、ISS にドッキング成功
8 月		全 40 のマイルストーン達成を確認
10 月		民間企業として ISS へ初の物資補給(それまでの成功実績は、米国、ロシア、日本、欧州の各宇宙開発機構のみ)
2013 年 10 月	Orbital Sciences 貨物輸送船「シグナス」の最終デモンストレーション成功	
12 月	COTS プログラム終了	

(注) RpK : Rocketplane Kistler Limited Inc.

(出所) 各種資料より野村資本市場研究所作成

³⁴ “U.S. GOVERNMENT SUPPORT OF THE ENTREPRENEURIAL SPACE AGE”, Space Angels, July 17, 2019. レポートのサンプルは、2000 年から 2018 年 3Q までの間に、米国の公的資金を確保した特定された 67 社の宇宙関連企業。

³⁵ AFRL : Air Force Research Laboratory (空軍研究所)

³⁶ SBIR : Small Business Innovation Research、STTR: Small Business Technology Transfer

助成に用いるよう定められている³⁷。アップル、コンパック、インテル、その他の多くの米国企業はその創業期に SBIR 等の政府資金援助を受けていた³⁸。

このようなプログラムをすべて合算すると、2002 年から 2018 年の間に米国 27 の州にある 35 社の宇宙ベンチャーに総額 1 億 3,370 万米ドルが提供された。米国政府の資金が、「起業家の宇宙時代」のテクノロジー開発を支え競争を促す役割を果たしていると言えよう。

IV ルクセンブルクが推し進める宇宙資源ビジネス

1. ルクセンブルクが宇宙資源ビジネスを手掛ける理由

ルクセンブルクは、宇宙資源ビジネスを金融の次の国家重点政策として位置づけ、有力スタートアップの誘致、育成を推進している。

同国は、人口約 61 万人、国土の面積は 2,586 ㎢と佐賀県や神奈川県とほぼ同じという小規模国家であるにもかかわらず、多くの外国金融機関が進出し、一人当たり GDP は OECD 加盟国の中で 1 位となっている³⁹。労働力についてもその多くを近隣諸国に依存しており、雇用（労働力）の 45%は隣国であるフランス、ベルギー、ドイツからの越境労働者が占めている⁴⁰。

これまでのルクセンブルクの発展の要因は、積極的な経済開放政策下で、優遇税制や銀行法の改定など、金融機関に有利な法制度を整えて誘致を図ったことにあるとされる。

国家における宇宙開発、宇宙産業育成は、主に軍事目的や学術目的として発展してきた。一方、ルクセンブルクは、現在のように宇宙関連ビジネスが注目を集める以前から、民間宇宙ビジネスに参入し、成功体験をもっていた。同国政府が主導する官民パートナーシップとして 1985 年に設立された SES⁴¹は、1988 年に欧州初の民間衛星運用者となった。同社はルクセンブルク政府からの支援を受け、売上高ベースで世界第 2 位の情報通信衛星運用企業となるまでに拡大した。現在もルクセンブルク政府は SES の主要株主である。宇宙関連産業は同国の GDP の約 1.8%を占めている。

したがって、ルクセンブルクには、金融サービス業で優れたビジネスモデルを確立し世界的に存在感を示してきた実績と、民間主導の宇宙ビジネスの成功事例を掛け合わせれば、革新的な宇宙資源ビジネスを推進できるという発想があったと思われる。宇宙に限らず、

³⁷ 2017 年度の SBIR は 3.2%。11 の連邦政府機関が SBIR プログラムに参加している。

<<https://www.sbir.gov/about/about-sbir>>

³⁸ マリアナ・マツカート（Mariana Mazzoucatto）「企業家としての国家 ―イノベーション力で官は民に劣るといふ神話―」薬事日報社、2015 年 9 月（原題）“The Entrepreneurial State : Debunking Public vs. Private Sector Myths”

³⁹ 一人あたり GDP（2018 年）：ルクセンブルク（115,536 米ドル）、日本（39,304 米ドル）。

IMF, World Economic Outlook Databases, October 2019.

⁴⁰ Chambre de Commerce Luxembourg（ルクセンブルク商業会議所）「ルクセンブルクの経済」

⁴¹ 設立時の社名は「Société Européenne des Satellites（欧州衛星会社）」、2001 年「SES グローバル」への変更を経て、2006 年より現在の社名である「SES」。ルクセンブルク証券取引所およびユーロネクスト・パリ（Euronext Paris）に上場している。

まったく新しい分野、ハイリスク・ハイリターンビジネスでは基本的に先に参入した者がゲームのルールを設定し、主導権を握ることが多い。宇宙資源探査がビジネスとして本格的に成立するのは 2030 年以降といわれているなかで、同国は先手を打って将来の宇宙産業の中核を担うことを狙っていると考えられる。

2. 欧州の金融センターとしてのルクセンブルク

ルクセンブルクは「1970 年代初頭の石油危機以降、金融サービス業中心の産業構造への転換に成功し、欧州の金融センターとしての地位を確立した」⁴²。現在、金融業は同国の GDP の 26.5%、雇用の 10.9%を占めている（2018 年）。現在、同国には 130 行の銀行があり、そのうち約 9 割が外国銀行となっている。その国籍は 26 カ国にのぼる（2019 年 10 月時点）⁴³。

また、投資ファンドの拠点および運用センターとしても存在感を示しており、投資信託資産残高は 5 兆 200 億米ドル（2019 年 6 月時点）と、国別では米国に次いで世界 2 位の規模となっている⁴⁴。なお、日本で公募されている外国投信の純資産総額の設定国別シェアはケイマン諸島籍が 52.2%でトップ、次いでルクセンブルク籍が 37.0%となっている（2019 年 9 月末）⁴⁵。

3. ルクセンブルクの宇宙資源開発

2016 年 2 月、ルクセンブルク政府は同国が宇宙資源の探査・利用における欧州のハブ（中心）となるための「SpaceResources.lu イニシアチブ」を発表した⁴⁶。

新しいイニシアチブは、衛星通信や航空・海洋監視など従来の宇宙関連産業とは異なり、地球近傍天体（Near-Earth object、以下、NEO⁴⁷）に探査機を送り込み、そこに眠る鉱物などの資源調査・採掘活動の支援を目的としている。もちろん、地理的・人的資源の限られたルクセンブルクが探査機を開発するわけではない。宇宙資源開発に挑む民間企業が活動しやすい環境を整えることで、多くの有望な企業をルクセンブルクに誘致することが基本的な産業育成の柱となっている。

具体的には、同国でビジネスを行う企業に対する資金的なサポートおよび NEO から採掘された鉱物等の所有権についての法的および規制の枠組みが含まれる。つまり、金融と同様に「国としての先見性と政府の組織力を活かした資金援助と法整備」ということが出来る。

⁴² ルクセンブルク外務省ウェブサイト <https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/luxembourg/data.html>

⁴³ “Number of banks per country of origin”, Commission de Surveillance du Secteur Financier (CSSF)

⁴⁴ 投資信託協会「投資信託の世界統計」（2019 年第 3 四半期）

⁴⁵ 日本証券業協会「公募外国投資信託証券の状況」。

⁴⁶ Luxembourg Ministry of the Economy, “Luxembourg to launch framework to support the future use of space resources”, February 3, 2016.

⁴⁷ 地球に接近する軌道を持つ天体（彗星、小惑星、大きい流星体）の総称。

4. 宇宙資源に関する法整備⁴⁸

2017年7月、ルクセンブルクは小惑星から抽出した資源の権利を宇宙採掘会社に与える新法「宇宙資源探査利用法（Law of July 20th 2017 on the exploration and use of space resources）」を制定した。

米国も小惑星での水や鉱物資源の商業的な探査と利用を認める「宇宙資源探査利用法⁴⁹」を2015年11月に成立させている。この米国の法律の対象となるのは「米国民（United States citizen）」である。一方ルクセンブルクの場合は、「ルクセンブルクに本店を置く欧州会社」が対象となっており、ルクセンブルクに本社を構える企業はもちろん、欧州本社や子会社をルクセンブルクにおく欧州域外の企業も支援対象となる。

なお、1967年の国連宇宙条約（Outer Space Treaty）⁵⁰では、「月その他の天体を含む宇宙空間」に対していずれの国家も領有権を主張出来ない、とされている。その一方で「天体それ自体ではなく、宇宙空間において採掘した資源の所有は禁止されていない」との見解もある⁵¹。なによりも宇宙資源採掘が現実味を帯びてきたことにより、各国政府が宇宙における財産権（property rights in space）について真剣に検討するようになったことが重要である⁵²。

5. 宇宙ベンチャーに対するサポート

ルクセンブルクでは、図表9にあるように様々なチャネルを活用し、同国に拠点を置いた宇宙ベンチャーに対して資金のサポートを行っている。

2018年9月、SpaceResources.lu イニシアチブを推進および主導することを目的としてルクセンブルク宇宙庁（Luxembourg Space Agency、LSA）が設立された。LSAは、他国の宇宙機関とは異なり、ロケットの打ち上げや衛星の運用をミッションとしてはいない。LSAの活動は「企業の誘致、人材の育成、革新的な金融ソリューションの提供、教育・研究インフラの支援を通じてルクセンブルクの宇宙産業を発展させること」を目的としている。

ルクセンブルクは2011年からESA（European Space Agency、欧州宇宙機関）に加盟しており、ルクセンブルクに拠点を置く宇宙ベンチャーはルクセンブルクの助成金だけでなく、ESAの助成金も申請できる⁵³。LSAはESAに提出する書類のチェックも含め、サポートを行っている。

⁴⁸ 宇宙関係の各国法令等については、青木節子・小塚荘一郎「宇宙六法」信山社（2019年）を参照。

⁴⁹ 51 U.S. Code CHAPTER 513— SPACE RESOURCE COMMERCIAL EXPLORATION AND UTILIZATION

⁵⁰ 正式名称は“Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies”（月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約）

⁵¹ 宇宙資源の所有権に関する法的議論については、藤井康次郎「世界の宇宙ビジネス法（第5回）宇宙資源開発をめぐる法的問題と国際動向」『国際商事法務』（2018年46巻7号）参照。

⁵² “How the asteroid-mining bubble burst”, MIT Technology Review, June 26, 2019.

⁵³ ルクセンブルクはESAの予算の0.7%に権利があり、これは2,660万ユーロに相当する（2018年）

図表 9 ルクセンブルク SpaceResources.lu イニシアチブによる資金サポート

組織／プログラム／ファンド	設立	概要	備考
Société Nationale de Crédit et d'Investissement (SNCI)	1977 年	ルクセンブルクの公的金融機関 投資プロジェクトの中長期の資金 調達を専門とする	Planetary Resources に外国企業として 初めて投資
National Research Fund (FNR)	1999 年	研究活動への資金提供	NASA で研究活動を行う研究者への 奨学金
Luxembourg Futur Fund (LFF)	2015 年	SNCI と欧州投資基金 (FEI) からの 資金をもとに設立 基金は 1 億 5 千万ユーロ	Spire に出資
LuxIMPULSE		宇宙関連企業を財政支援するプロ グラム	ルクセンブルク賞 (40 万ユーロ)
Space Research Fund	2018 年	FNR と経済省によって設立 基金は 1 億ユーロ	

(出所) 各種資料より野村資本市場研究所作成

イニシアチブ発表以降、小惑星資源探査を目指す宇宙ベンチャーがルクセンブルクに拠点を設けて活動を始め、資金面も含めサポートを受けている。Google Lunar XPRIZE で最終フェーズに残った日本チーム「HOKUTO」を運営する ispace も 2017 年 3 月、ルクセンブルク政府と月の資源開発に関する覚書を締結し、同国に拠点を設けた。また、2018 年 10 月に開催された宇宙資源探査に特化した ESA 主催の Space Exploration Masters コンペティションにおいて、ルクセンブルクからの「Space Resources.lu Challenge」（賞金 50 万ユーロ）を受賞した台湾の ODYSSEUS Space は本社を台湾からルクセンブルクに移転する予定とされる⁵⁴。

ルクセンブルクは当初、小惑星の資源採掘および関連事業に携わる企業に焦点をあてていたが、近年はより広範な宇宙ベンチャーに対象を拡大しており、2018 年 9 月には米国の宇宙ベンチャー 3 社がルクセンブルクに新たに拠点を設けて事業を行うことが発表された⁵⁵（図表 10）。

⁵⁴ 2019 年 3 月、日本の小型衛星開発のアクセルスぺースは ODYSSEUS と地球観測データの台湾への提供に関する提携を発表している。

⁵⁵ Luxembourg Space Agency, “Three US space companies choose Luxembourg to implement activities in Europe”, September 27, 2018.

図表 10 ルクセンブルクに拠点等を設立した宇宙ベンチャー

	企業名	ビジネス	設立	ルクセンブルクでの動向		資金サポート
1	Deep Space Industries (DSI)	小惑星探査	2012 年 米国	2016 年 5 月	欧州拠点を設置	LuxIMPULSE
2	Planetary Resources	惑星探査	2010 年 米国	2016 年 5 月	欧州本社を 設立	SNCI による出資
3	ispace	月面資源開発	2010 年 日本	2017 年 3 月	ispace Europe を 設立	ESA プログラム
4	Blue Horizon	惑星探査	2017 年 3 月 ルクセンブルク		独 OHB 傘下の企 業として設立	
5	Kleos Space	地理位置情報 サービス	2017 年 7 月 ルクセンブルク		英 Magna Parva か らスピニアウト	LuxIMPULSE
6	GomSpace	ナノ衛星製造	2007 年 デンマーク	2017 年 9 月	100%子会社を 設立	LuxIMPULSE
7	Spire	衛星による 船舶情報	2012 年 米国	2017 年 11 月	欧州本社を 設立	LFF
8	Made In Space	3D プリンター	2010 年 米国	2018 年 9 月	施設を開設	
9	Hydrosat	農業関連 衛星データ	2017 年 米国	2018 年 9 月	欧州本社と R&D work を 開設	
10	CubeRover	ローバー (探査車)開発	2018 年 9 月 ルクセンブルク		米 Astrobotic から スピニアウト	

(注) DSI は 2019 年 1 月 Bradford Space により買収された。また、Planetary Resources は 2018 年 10 月 ConsenSys によって買収された。

(出所) 各種資料より野村資本市場研究所作成

6. 人材育成

有望な企業を誘致しても、それらの企業が必要とする優秀な人材がいなければビジネスを継続拡大していくことは出来ない。逆に、優秀な人材が集まる場所であれば、企業も自ずと集まってくる。ルクセンブルクは宇宙産業に携わる人材育成についても戦略的な施策を実施している。

2019 年 2 月、ルクセンブルク大学 (University of Luxembourg) は SpaceResources.lu イニシアチブに沿った独自の教育として、2019 年秋から学際宇宙学修士課程 (Interdisciplinary Space Master) を開始することを発表した。同大学の説明には「ロケット工学から宇宙関連ビジネスの管理まで、ルクセンブルクの宇宙産業が必要とする幅広いスキルを習得すると同時に、急速に発展する宇宙資源セクターで成功するために必要な起業家精神を養う」とある。エンジニアリングや科学のバックグラウンドを持つ参加者に、同国の宇宙産業をサポートするために必要な分野での追加の技術的専門知識と、ビジネスに関する強固な基盤を提供することを目指している。加えて LSA からの資金提供により、同国に拠点を置く宇宙関連企業へのインターンシップも含まれている。

また、法律・規制に関して「Master in Space, Communication and Media Law」として、宇

宙法、国際および欧州の衛星通信法、メディア法、電子通信・電子商取引法、知的財産法、およびデータ保護法に関するコースを設けている。

ルクセンブルクは ESA（欧州宇宙機関）との合意により、同国の大学・大学院卒業生に対して「Luxembourgish Young Graduate Trainee (LuxYGT)」プログラムとして ESA のインターンシップ（1～2 年）を提供している。同プログラムの目的は、同国の若者⁵⁶が宇宙分野でのスキルを開発し、航空宇宙分野で専門的経験を得ることができるようにすることにある。また、インターンシップ期間中の毎月の給与はルクセンブルクによって支払われる。

V 日本への示唆

本稿で紹介した 3 つの事例には、その時点ではまだビジネスとしては成立していない民間の宇宙関連産業を立ち上げ、成長をサポートする「仕掛け」がある（図表 11）。

3 つの事例に共通するのは、単に政府が民間に資金を出すだけではなく、新たな民間産業の創出のための「仕掛け」を構築したということであろう。しかも、官（政府、公的機関等）の役割が縮小あるいは変化せざるを得ないなかで、民間企業の知恵や競争力の高い

図表 11 民間の宇宙関連ビジネスをサポートする「仕掛け」

	X プライズ財団 Ansari XPRIZE	NASA COTS プロジェクト	ルクセンブルク SpaceResources.lu イニシアチブ
概要	民間による最初の有人弾道宇宙飛行を競うコンテスト	民間企業による地球低軌道への貨物／乗組員輸送システムの開発支援	民間企業による地球近傍天体（NEO）の資源調査・採掘活動の支援
対象	制限なし	プロジェクトに提案を提出した企業から選定 ただし、企業規模・実績は不問	ルクセンブルクに本社／欧州本社を置く宇宙ベンチャー
賞金／ 資金的 サポート	最初に課題（クリアすべき条件）を達成したチームが賞金を受け取る	当初に設定した課題（マイルストーン）をクリアする毎に支払いを受ける	公的金融機関等から出資 研究機関等から助成等
原資	スポンサー等からの提供	NASA の予算	政府予算 ESA の助成金
技術的 サポート	—	NASA 職員が「技術アドバイザー」として参加企業をサポート 開発された知的財産は企業に帰属	—
その他 サポート			小惑星から抽出した資源の権利を宇宙採掘会社に与える新法を制定（法的サポート） ルクセンブルク大学に専門過程を新設（人的サポート）
その後の ビジネス 展開	成功したテクノロジーをもとに、Virgin Galactic を設立 商業宇宙旅行ビジネスを開始	打ち上げシステム（ロケット・宇宙機）完成後、NASA は顧客として ISS への輸送を委託	

（出所）各種資料より野村資本市場研究所作成

⁵⁶ LuxYGT プログラムの対象はルクセンブルク国民であり、過去 2 年以内に学位（修士レベル、学士レベル）を取得した卒業生。

人材を引き入れたという点で非常に興味深い。この「仕組み」づくりには、宇宙開発事業に限らず、産業振興や地方創生の方策を検討している日本の官民の関係者に重要な示唆があるといえよう。

日本においても、多くのビジネスアイデアコンテストが実施されている。宇宙関連では、内閣府宇宙開発戦略推進事務局が主催する「S-Booster」が2017年より実施されている。S-Boosterの趣旨は「起業や企業内での新規プロジェクト立ち上げ等を目指す方を対象に、宇宙のアセットを活用した、新たなビジネスアイデアを募集し、専門家によるメンタリングと呼ばれる、経営面での助言等を通じて、各アイデアの事業化に向けた支援を行うコンテスト」とされている。なお、応募資格には「既に機関投資家から資金調達を受けているアイデアは応募できない（エンジェル投資家からの資金調達を受けている場合は応募可能）」とある⁵⁷。

ビジネスアイデアコンテストに加えて、Ⅱ章でとりあげたような「与えられた具体的な課題の解決あるいは目標の達成」をゴールとする賞金付コンテストにも拡大されることが期待される。

Ⅲ章でとりあげたNASAのプログラムは、公的機関と民間企業の役割分担、協業に関して参考となろう。ビジネスとして成り立つ事業は民間に任せ、儲からなくても国として取り組むべき挑戦、民間には取れないリスクを取ることが国の役割だともいえよう。

また、宇宙ベンチャーに限らず、政府の方針（戦略）にうまく乗る、つまり政府が目指す成果に自社のビジネスでソリューションを提供することが出来れば、スタートアップにとって急成長のチャンスとなる。SpaceXはCOTSプログラムのプロバイダーとしてNASAに選定されたことが躍進の契機となっている。新しい産業を興していくためには、会社の規模や過去の実績にとらわれることなく、失敗を許容しさらに前進させていくという強い意志が重要となろう。

さらに、ルクセンブルクの取り組みは、宇宙関連ビジネスに限らず、わが国の地方活性化においても活用できるアイデアを含んでいる。地方に人を呼び込むためには、やはり魅力的な働く場が必要である。そして、スタートアップを魅力的な仕事と考えるのは若者だけではない。人を惹きつけ、新たな投資を呼び込み、さらに雇用を生み出すスタートアップを立ち上げるもしくは誘致するために、地方自治体、金融機関、大学等が連携し、企業が活動しやすい環境を整える仕掛けが期待される⁵⁸。

今後、日本では、政府と民間の協力体制を具体的にどうやって実現していくかが注目される。さらに、宇宙ベンチャーが大きく飛躍するためには、アイデアや技術とともに資金調達が重要となる。これら企業に多額のエクイティ資金を供給するためのアイデア、仕組みが求められるところである。

⁵⁷ <https://s-booster.jp/>

⁵⁸ 地方活性化については、竹下智「米国の『オポチュニティゾーン』プログラムー税のインセンティブとファンドで低所得地域の活性化を図るー」『野村資本市場クォーターリー』2019年夏号（ウェブサイト版）参照。