

《研究ノート》

再利用型宇宙輸送機の輸送コストについて：初発的考察

— 打上げコストの通増的要因と下方硬直的要因について —

朝 倉 啓一郎

Launch Cost Feature on Reusable Launch Vehicle

KEIICHIRO ASAKURA

キーワード

再利用型宇宙輸送機 (Reusable Launch Vehicle), 学習効果 (Learning Effect), 宇宙保険 (Space Insurance)

1. はじめに

宇宙空間への人員・貨物輸送において、再利用型の輸送システムとして開発されたスペースシャトルの運用は、1981年4月にコロンビア号の打上げから開始され、多くのミッションを経た後、2011年7月のアトランティス号を最後に幕を閉じた。そして、今日に至るまで、有人で地上と低軌道・人工衛星軌道を繰り返し往還する技術システムが開発されなかったこともあり、「再利用型の宇宙輸送機とは、スペースシャトルみたいなもの」というイメージが、広く社会に浸透した。

その一方、2000年代初頭より、宇宙観光を主目的とするサブオービタル飛行や、一見、使い捨て型ロケットのような形状でありながら、その一部を再利用する輸送システムなど、スペースシャトルとは異なる設計・発想にもとづいて、再利用型の宇宙輸送機の開発が民間主導で具体化されてきた。

そういった多様な輸送方法についての議論において、興味をひく論点の一つは、やはり、コストに関連する話題である。

これまで、とくに再利用型の宇宙輸送機について、「再利用型の宇宙輸送機自体は高価であ

るが、繰り返し何度も利用できるため、使い捨て型の宇宙輸送機より、打上げコストは低い値になる」という内容が繰り返し述べられてきた。しかし、それは、スペースシャトルについては成立しなかったことも、多くの論者が指摘しているところである。

したがって、今日、多様に展開しつつある宇宙ビジネスに関連する輸送コストについて、その議論の論点を整理し、具体的に考察していくためにも、本稿では、まずは初発的なアプローチとして、朝倉(2017)の作業経験をもとに、「スペースシャトル的なイメージの輸送システム」にもとづく輸送コストモデルを再吟味し、とくに打上げコストの低下を阻害する要因のうち、2つの要因に絞って概観してみたい。

なお、再利用型宇宙輸送機の輸送コストのモデル計算は、高頻度で繰り返し打上げられる将来型の輸送ビジネスを想定していることに留意されたい。

2. 平均コストの通増要因： 「修理・改修コスト」

再利用型の宇宙輸送機のコストモデルの特徴は、「回収コスト (Recovery Cost)」と「修理・改修コスト (Refurbishment Cost)」を含むこ

とである。

「回収コスト」は、輸送機が地上に戻ってきた後、発射場まで輸送されるコスト、再利用するパーツを回収するコスト、それらのパーツを修理、改修、交換、および検査・再検査等のプロセスに送るコスト、そして、そのプロセスを終えて所定の場所まで戻されるコストなどを含んでいる。それは例えば、悪天候のため、スペースシャトル（オービター）がカルフォルニアのエドワード空軍基地に帰還した場合、シャトル輸送機によって、フロリダのケネディー宇宙センターまで輸送されるコストや、スペースシャトルの打ち上げ時に使用する固体ロケットブースター（Solid Rocket Booster：SRB）を海上から回収するコストである。

また、「修理・改修コスト」は、帰還した輸送機やパーツ等について、修理、改修、交換・取替え、および検査・再検査に関連するコストである。例えば、スペースシャトル（オービター）の熱防護システム（Thermal Protection System：TPS）やメインエンジン（Space Shuttle Main Engine：SSME）の検査・修理等のコストである。また、回収されたSRBの洗浄、修理および検査等を行うコストや、SRBが水没した時は、その取替えコストも含んでいる。ちなみに、KoelleのTRANSCOST¹⁾においては、将来型の再利用型輸送機の修理・改修コストの8割前後は取替え部品のコストであり、残りは検査や取替えのための人員コストであることが述べられている²⁾。

「修理・改修コスト」は、Wertz（2000）もTRANSCOSTも最初の1機を製造する機体コストの2%程度と設定し、さらに、その金額そのものに対しては、機体の往復回数が増えるごとに、学習効果が100%を超える値として設定されている。つまり、学習効果モデルの特性として、打ち上げ回数あたりの費用（平均費用）が逓増しており、それが、再利用型の大きな特徴点となっている。

ここで、「修理・改修コスト」は最初の1機を製造するコストの割合： γ とし、学習効果を $S\%$ とすると、何回の打ち上げで、最初の1機と同じ金額に到達するのかを、朝倉（2017）をもとに単純計算してみる。そこで、 n 回目までの累積「修理・改修コスト」を $AUMC_n^{Refurb}$ とすると、つぎのように計測できる³⁾。

$$a = \frac{\log\left(\frac{S}{100}\right)}{\log 2} \quad \dots (1)$$

$$AUMC_n^{Refurb} = \gamma \times C_1^{vehicle,R} \cdot n^{a+1} \dots (2)$$

ただし、

S ：学習効果（%），

a ：学習効果パラメータ，

$AUMC_n^{Refurb}$ ： n 回打ち上げた時の累積
「修理・改修コスト」，

γ ：再利用型輸送機の最初の1機（TFU）
のコストにたいする修理・回収コストの
割合，

$C_1^{vehicle,R}$ ：再利用型輸送機の最初の1機
（TFU）のコスト

ここで、式(1)において、学習効果を、例えば、

でETと表記している。なお、ETとSRBのコストの関係は、文献によっても異なるようであり、コストのカバリッジや数値情報については、さらなる確認が必要である。

3) 朝倉（2017）の式（3.1.1.1）から（3.1.1.5）を援用した。なお、今回はシンプルな計算として、割引現在価値等は考慮していない。

1) TRANSCOSTは、バージョン7.2を参照した（Koelle（2007））。

2) スペースシャトルについて、使い捨てされる外部燃料タンク（External Tank：ET）については、TRANSCOSTでは、「回収コスト」と「修理・改修コスト」を含む「オペレーションコスト」の枠組みには含めず、機体コストの枠組みに含めている。そして、1年間に6回打ち上げる頻度をベースにして、SRB（2本、スベアを含めた「修理・改修コスト」の8割程度と見積もっている。ちなみに、TRANSCOSTにおいても、外部燃料タンクの略称はETであるが、Expendable Tankの略とし

$S=110\%$ とし⁴⁾、式(2)において、 $\gamma=0.02$ とし、(2)の左辺を

$$AUMC_n^{Refurb} = C_1^{vehicle,R} \dots (3)$$

として n について解くと、50回ではなく、約30回の飛行で、最初の1機に相当する「修理・改修コスト」が累積されていくことがわかる⁵⁾。それは、単純なモデル計算値ではあるものの、学習効果モデルの基本的な性格を考えると、再利用型輸送機の打上げ回数が増え、一見、一回あたりのトータルの打上げコストは下がっていくようにも見えるが、その一方で、1回あたりの平均的な「修理・改修コスト」が増大していくことも意味している。

3. 平均コストの下方硬直的な要因： 「宇宙保険」

再利用型宇宙輸送機の輸送コストモデルにおいて、打上げ時の輸送機に対する保険料は、打上げコストに大きな影響を与える。そこで、はじめに、宇宙活動に関連する保険として、「宇宙保険」全般について概観し、つぎに、輸送コストモデルとの関連性を考察する。

3.1 宇宙保険の概観⁶⁾

宇宙保険の契約内容は、個別的な性格が強く、衛星と宇宙輸送機を明確に区分して確認す

ることも難しいため、一般的な内容として、宇宙保険を概観しておこう。その後、宇宙保険が開始された時期について、簡単に振り返ってみる。

今日の宇宙保険は、衛星や宇宙輸送機を対象とした保険として、「打上げ前保険 (Pre-launch Insurance)」、「打上げ保険 (launch Insurance)」、「寿命保険/軌道保険 (Life / In-Orbit Insurance)」があり、さらに、「第三者賠償責任保険 (Third Party Liability Insurance)」に区分され、議論されることが多い。「打上げ前保険」は、宇宙輸送機の点火 (intentional ignition) までの保険であり、衛星等の製造、輸送、そして射場への搬入・設置までを広く含むが、宇宙保険としての特徴は、やはり、射場への搬入・設置から点火までの保険期間にあるといえる⁷⁾。また、「打上げ保険」は、点火後、衛星がある一定の目標軌道・目標時点に到達するまでをカバーする保険であり、衛星の初期機能検査が終了するまでを保険期間とする場合が多いようだ。そして、「寿命保険/軌道保険 (Life / In-Orbit Insurance)」は、衛星が定常的な運転に入った後の保険である。なお、衛星の打上げにおいては、打上げのみ (Launch Vehicle Flight Only ; LVFO) の保険は一般的ではなく、打上げから一定期間 (例えば1年後) までを保険でカバーする契約が多いとされる。最後に「第三者賠償責任保険」は、衛星や宇宙輸送機が準備段階も含めて地上や宇宙空間で与える損害を対象としており、宇宙活動から生じる損害に関する国内外の法律や国際条約との関連で議論されることとなる。

ここで、宇宙保険が開始された時期を振り返ってみよう⁸⁾。

最初の保険契約は、1965年に打上げられた

4) 学習効果の値は、Wertz (2000)において、Low Cost ReusableとModest Cost Reusableの値とした。

5) スペースシャトルをTRANSCOSTの将来型の再利用型宇宙輸送機と比較すると、最初の1機を製造するコストに対する「修理・改修コスト」の割合： γ が高いことも影響している。

6) 宇宙保険の全体像については、宇宙保険を取り扱う企業のHP (Munich REやMillerなど)、石井 (1986)、今井 (1984a, b)、川本 (2015a, b)、北野 (1995)、小塚・佐藤 (2018)、下世古 (1995)、人工衛星打上げ等に係る損害てん補等検討会 (1986)、生命保険経営学会 (1970)、田中 (1999)、中澤 (2008)、保険研究所 (1981b, 1992)、的川 (2011a, b)、李 (2001)などを参照した。

7) 2016年9月、SpaceXのFalcon 9が打上げ準備中に爆発した事故において、それが打上げ前の事故であることから、「打上げ前保険」が付保されていたか否かが話題となった (例えば、Space News (2016.10.06))。

8) 主に、今井 (1984a)を参照した。

アーリーバード（インテルサット衛星1）に対し、打上げ前保険と第三者賠償責任保険が付保されたケースとされ、その後、1968年以降に打上げられた第三世代のインテルサット衛星シリーズに対し、打上げ保険と軌道保険が付保された⁹⁾。ただし、このときには、一部の打上げ失敗については衛星運用側が引き受けるという免責条項が付いていたが、その後の打上げ状況より、1970年半ばに免責事項は撤廃された¹⁰⁾。もちろん、宇宙保険の保険料は高価であり、また、引き受け側も慎重な審査が必要なことから、その後の全ての衛星等が付保されている、というわけではない。

なお、輸送機に打上げ保険を付保した最初の事例は、新聞のみの情報ではあるが、1970年、第3世代のインテルサットを打ち上げる際、デルタロケットに対して付保された事例のようだ（朝日新聞②）。ただし、一般的には自家保険などもあり、明確には把握できなかった。

つぎに、わが国の宇宙保険の導入時期に目を向けてみると¹¹⁾、まずは1975年の技術試験衛星I型「きく1号」に対する第三者賠償責任保険にはじまり、1977年の静止気象衛星「ひまわり1号」から、打上げ前保険と打上げ保険が付保されている。もちろん、それ以降全ての衛星に打上げ関連の保険が付保されているというわけではない¹²⁾。なお、日本における「最初の寿命

保険/軌道保険」や輸送機に対する「最初の打上げ保険」として明示される事例を把握することは出来なかったが、「ゆり2号a」と「ゆり2号b」を巡る話題において「寿命保険/軌道保険」が大きく取り上げられており、それについては、脚注12を参照されたい。

さて、本節を作成するにあたり、宇宙保険の開始時期を調べてみたが、その際、宇宙飛行士の生命保険も宇宙保険として取り上げているケースも見られたため、最後に、それについても触れておく。なお、生命保険のうち、保険期間が宇宙空間であることがわかる情報のみを取り上げることとする。

まず、芥（1963）は、アメリカ人として最初に地球周回軌道を飛行したグレンに対し、アメリカの保険会社を通して、ロイズが生命保険の引き受けを打診されている新聞記事を紹介している¹³⁾。また、生命保険経営学会（1970）は、海外の保険会社のPR誌の内容紹介として、「宇宙保険の誕生」というタイトルのもと、「最初の宇宙保険」として、1969年に月面着陸するアポロ11号の3人の乗組員にたいして、離陸から帰還後の隔離まで、生命保険が付保されたこと

えば、舘沢（1980）など）。その後、とりわけ「寿命保険」との関係で話題となったのは、1984年と1986年に世界初の本格的な放送衛星として期待され打上げられた「ゆり2号a」と「ゆり2号b」の事例であろう。「ゆり2号a」は、打上げには成功したものの、「寿命保険」の交渉中、「空白の10日間」に衛星に不具合が発生し、結果として、一部の機能での運用となった。もちろん、打上げには成功していることから、打上げ保険料は支払っていることになる。つぎの「ゆり2号b」においては、「打上げ保険」と「寿命保険」を付保して打ち上げに臨んだが、再び不具合が生じ、「寿命保険」の切り替えの交渉において、不具合箇所を免責にすることを求められ、結果として、不具合箇所に起因する事案については免責となった。その後、衛星自体は衛星運用側に引き渡されたものの、それに至るまでに衛星運用側と打上げ側・製造側との厳しい交渉が行われたことが伝えられている。（朝日新聞③、日経新聞①、日経産業新聞①、齋藤（1992）など）

13) 元記事は、朝日新聞①である。

9) 宇宙保険は1968年から開始された、とする記述も見られるが、最初の時点について、本稿ではこだわらない。

10) 保険研究所（1981a）が紹介する識者の講演において、「最初のディダクティブのない保険」として、その意義が確認されている。なお、今井（1984a）と保険研究所（1981a）で免責条項が撤廃された年が異なるようにも見受けられるが、これ以上立ち入らない。

11) 主に、人工衛星打上げ等に係る損害てん補等検討会（1986）を参照した。

12) 日本において、宇宙保険との関連で話題となったのは、1979年と1980年に打上げられた「あやめ1号」と「あやめ2号」が連続して打上げに失敗した際、あやめ1号には打上げ保険が付保され、2号には付保されていなかったことなどがある（例

を述べている。さらに、保険毎日新聞社(1983)は、1975年のアポロ・ソユーズテスト計画において、ソユーズ19号とドッキングしたアポロ18号の3人の乗組員に対し、宇宙空間において、生命保険だけでなく傷害保険も付保されたことを紹介している¹⁴⁾。

3.2 輸送コストと宇宙保険

宇宙空間への輸送コストのモデル計算において、使い捨て型においても、再利用型においても、機体コストに対して一定の保険料率を定め、打上げごとに保険料の支払いが発生する。ここでは、打上げサービスの供給側・需要側を問わず、打上げ時の必要経費として、輸送機に対する保険料をとらえておく。なお、打上げサービスの需要側に対し、供給側が打上げ失敗時に再打上げや打上げ費用の返還を保障すること(Launch Risk Guarantee: LRG)などもあるが¹⁵⁾、ここでは立ち入らないこととする。

さて、再利用型の輸送コストにおいて、打上げコストが下方硬直的な性格を示す要因は、打上げ時に機体コストに掛けられる一定の保険料率に起因する。それは、繰り返し利用可能、という再利用型の利点と表裏一体であり、次のように説明できる。

- (1) 再利用型輸送機は、繰り返し使用されるため、使い捨て型輸送機と比較して、製造される機体数は少なくてもすが、結果として、製造プロセスにおける学習効果が作動せず、1機あたりのコストは高いままである。

14) スコット・ジュレック(2014翻訳)は、アポロ計画の宇宙飛行士が生命保険に加入しており、1967年のアポロ1号の火災事故によって死亡した宇宙飛行士に対して、保険金が支払われたことを紹介しているが、この生命保険契約の保険期間や保険対象が宇宙飛行士の宇宙空間での活動を含んでいたかは、把握できなかった。ちなみに、この生命保険契約は、賛否両論を引き起こしたライフ誌による宇宙飛行士の独占取材契約とワンセットであることも記されている。

15) 田中(1999)やMeredith et al.(2009)を参照した。

- (2) もちろん、1回あたりの打上げコストにおいて、機体コスト部分は、平均化された値が使用される。しかし、保険は、平均化された機体に掛けられるのではなく、繰り返し打ち上げられる機体そのものに掛けられる。
- (3) したがって、機体が高価か、あるいは、保険料率が高い場合、打上げのたびごとに、高額な保険料支払いが発生し、打上げコストの低下を阻む「壁」となる。

(1)から(3)の観点にもとづいて、Wertz(2000)の機体コストに対する打上げ保険料率を眺めてみると、使い捨て型については、15%と8%でモデル計算される一方、再利用型については、15%と0.3%でモデル計算されている。それは、再利用型輸送機は、そもそも繰り返し再利用可能だからこそ「再利用型」であり、高い打上げ成功率を前提として、低い保険料率が設定されているともいえる。しかしそれは、再利用型輸送機は高価であり、打上げが繰り返し成功することを前提とした低い保険料率を設定しないのならば、打上げごとに高い保険料が繰り返し発生し、打上げコストの優位性が薄れてしまうことも意味している。また、高い打上げ成功率が担保されるのならば、保険料率は低下することが見込まれるが、歴史的に、宇宙保険のマーケットは他社の打上げ失敗に大きく影響されてきたことも事実であり、結果として、保険料率が高止まりする可能性についても考慮が必要だろう。

ただし、機体コスト=保険価額=保険金額とすることは、打上げ失敗=全損をイメージしてモデル計算することにつながるが、再利用型の場合、不具合が発生した時、そのまま発射場に戻る、という選択肢や、不具合があったとしても宇宙空間への飛行は問題ない、ということ想定しても良いケースはあるだろう¹⁶⁾。その場合、保険金額や保険料率を操作したりしながら、打上げコストをシミュレートすることも、

16) 例えば、Greenberg(2003)、稲谷(2005)など。

興味深い論点となろう。

小括

本稿は、再利用型の宇宙輸送機のコスト特性において、打上げコストの低下を阻む要因として、修理・改修コストと保険コストについて触れ、「再利用型なので打上げコストは安い」とは断言出来ない側面について概観した。

再利用型の輸送システムを議論する際、どうしても「スペースシャトル的なイメージの輸送システム」を念頭においてしまうことから、本稿でも、まずは、そのイメージを大切にしながら、論点を確認してきた。それにもとづいて、今日の民間主導の再利用型輸送システムとして、スペースXのファルコン9の第1段の再利用方法をみると、スペースシャトルのように大気圏突入から生じる摩擦部分を極力少なくすることで、「修理・改修コスト」を抑え、さらには再利用される部分を「飛行証明済 (Flight-proven)」として示すことで、保険料率を下げるかのようなシステムである。

そう考えると、「スペースシャトル的なイメージの輸送システム」は、今後は不要のようにも感じるが、今回、宇宙保険の内容を概観することで、その意義を確認できるような出来事もあった。それは、本文中には触れなかったが、1984年、スペースシャトルから発射された衛星が軌道に乗らなかったことにより、保険者から被保険者に保険金が支払われたが、その後、今度は保険者が失敗した衛星の保有者となり、衛星を救出するためにNASAと契約し、スペースシャトルで無事に回収後、地上で修理し、再び売却した話題である¹⁷⁾。それは、「使い捨て型宇宙輸送機が安いのか、再利用型宇宙輸送機が安いのか」という議論において、それぞれ

のシステムの利用目的、技術的可能性、そして効用・効果なども考慮に入れて、検討する大切さを改めて教えてくれる。

最後になるが、本稿の執筆のための調査を通して、宇宙保険のマーケットは、保険者と被保険者の間に、巨額の保険料と保険金がやり取りされる振幅の大きなマーケットであることを再確認した。そこには、プールや再保険の仕組みはあるものの、打上げ等に失敗した場合は、保険者も被保険者も大きなダメージを蒙ることになる。今後、アメリカの「2015年宇宙資源探査利用法」を意識した個人や民間企業による宇宙ビジネスが大きく展開する時代が来るとするならば、わが国においても、「個人・民間企業であること」を担保しつつ、起業家精神を陰で支える保険制度などについても、考察していく大切さを改めて感じた。

参考文献

- Baker, David (2011), *NASA Space Shuttle*, Zenith Press.
 Bizony, Piers (2011), *The Space Shuttle: Celebrating Thirty Years of NASA's First Space Plane*, Zenith Press.
 Greenberg, Joel S.(2003), *Economic Principles Applied to Space Industry Decisions*, AIAA, Inc., Virginia.
 Koelle, Dietrich E (2007), *Handbook of Cost Engineering for Space Transportation Systems with TRANSCOST 7.2*, TCS-TransCostSystems.
 Manikowski, Piotr and Weiss, Mary A (2013), "The Satellite Insurance Market and Underwriting Cycles", *The Geneva Risk and Insurance Review*, vol.38 no.2, pp.148-182.
 McCleskey, Carey M. (2005), *Space Shuttle Operations and Infrastructure*, NASA/TP-2005-211519.
 Meredith, Pamela L. (2008), "Space Insurance Law", *The Air & Space Lawyer*, vol.21 no.4, pp.13-15.
 Meredith, Pamela L., Scutt, Zuckert and Rasenberger (2009), "Commercial Space Transportation : Liability and Insurance", *Air Transport, Air & Space Law and Regulation*, Abu Dhabi.
 NASA (1991), *Shuttle Operations Zero Based Cost Study, Presentation to Dr. Lenoir*.
 Schöffski, Oliver and Wegener, Andre Georg (1999), "Risk Management and Insurance Solutions for Space and Satellite Projects", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol.24 no.2, pp. 203-215.

17) スペースシャトルによる衛星の打上げと失敗、その後の回収、修理、再打ち上げに至る経過は、その都度、新聞・雑誌等で紹介されているが、保険との関係で明示的に述べている文献として、木村(1985)を参照した。

- Space News (2016.10.06), "How SpaceX's Spectacular Pre-Flight Failure Fueled a Jump in Hasty Conclusions".
- Wertz, James R. (2000), "Economic Model of Reusable vs. Expendable Launch Vehicle", IAF Congress, Rio de Janeiro, Brazil.
- JAXA (2007)「スペースシャトル概要」<http://iss.jaxa.jp/shuttle/overview/> (最終アクセス日：2019年9月1日)。
- JAXA (2009)「第36回 JAXAタウンミーティング in大阪 会場で行われた意見について：『第一部 地球を見る，世界をつなぐ人工衛星のはたらき』で出された意見」2009年7月25日。<https://fanfun.jaxa.jp/c/townmeeting/2009/36/opinion.html> (最終アクセス日：2019年9月1日)。
- JAXA宇宙情報センター (2014)「JAXAの人工衛星打ち上げ実績」http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/jaxa_satellites.html (最終アクセス日：2019年9月1日)。
- 青木節子 (2015)「宇宙太陽光発電衛星打上げ・運用に関する国際宇宙法の課題」『第6回「宇宙太陽光発電実現応援」ワークショップ』未踏科学技術協会。
- 青木節子・小塚莊一郎 (2019)『宇宙六法』信山社。
- 芥潤一 (1963)『新種保険』保険研究所。
- 朝倉啓一郎 (2017)「宇宙への輸送コストモデルのフレーム構築実験—使い捨て型輸送機と再利用型輸送機による低軌道輸送—」『流通経済大学論集』vol.51 no.4, pp.17-31。
- 朝倉啓一郎 (2019)「宇宙観光プロジェクトの資本コストについて」『流通経済大学論集』vol.53 no.4, pp.23-32。
- 朝日新聞①：(1962.02.08)「海外トピックス：宇宙飛行保険 ロイド引き受け」。
- 朝日新聞②：(1970.01.07)「失敗保険付きロケット 米で打上げへ 三億円かけ」。
- 朝日新聞③：(1984.09.02)「衛星保険は大赤字」。(1984.10.09夕刊)「ゆり2号 a 故障の背景」。(1986.06.26)「放送衛星の故障原因は欠陥IC」。(1986.07.04)「放送衛星，宙に浮く」。(1986.07.10)「ゆり2号 b，補償なければ引き取りを断る」。(1986.07.12)「NHK，ゆり2bを引き取る 2条件付けて」。(1986.07.16)「再検討迫られる放送衛星『ゆり』負担重いNHK」。
- 石井敏弘 (1986)「人工衛星に関する国際保険市場の状況と損害てん補のあり方について」『季刊国際衛星通信時代』国際衛星通信協会 vol.6, pp.13-19。
- 稲谷芳文 (2005)『「ロケットの次のゴール」または『詐欺師ベテナーの世界』』『ISASニュース』, No.286。
- 今井久次郎 (1984a)「解説：人工衛星保険 (ミュンヘン再保険会社発行の『宇宙飛行と保険』の部分訳)」『インシュアランス』保険研究所, pp.10-13。
- 今井久次郎 (1984b)「宇宙飛行損害のいろいろ (ミュンヘン再保険会社発行のSpace Flight and Insuranceの部分訳)」『損保企画』, no.244, pp.4-9。
- 宇賀克也 (2019)『逐条解説 宇宙二法』弘文堂。
- 宇宙政策委員会 (2014)『宇宙輸送システム長期ビジョン』『宇宙輸送システム長期ビジョン 参考資料集 その1 その2 その3』内閣府宇宙政策委員会。
<https://www8.cao.go.jp/space/committee/kettei.html> (最終アクセス日：2019年9月4日)
- 大谷孝一・中出哲・平澤敦編 (2012)『はじめて学ぶ損害保険』有斐閣。
- 川本英之 (2015a)「宇宙保険の概要」『航空と宇宙』2015年3月号, pp.1-8。
- 川本英之 (2015b)「特別記事：宇宙保険の概要」『Law and Practice』早稲田大学大学院法務研究科臨床法学研究会, no.9, pp.263-267。
- 北野義胤 (1995)「宇宙開発に貢献する保険」『Keidanren』no.6, pp.64-67。
- 木村栄一 (1985)『ロイズ・オブ・ロンドン』日本経済新聞社。
- 小泉宏之 (2018)『宇宙はどこまで行けるか』中公新書。
- 小塚莊一郎・佐藤雅彦編著 (2018)『宇宙ビジネスのための宇宙法入門，第2版』有斐閣。
- 齋藤成文 (1992)「宇宙開発不具合の歴史」『日本宇宙開発物語』第5章, pp.179-229, 三田出版。
- 下世古幸雄 (1995)『衛星通信研究：世界の通信衛星の変遷と市場動向』国際衛星通信協会, no.54。
- 人工衛星打上げ等に係る損害てん補等検討会報告書 (1986)「人工衛星打上げ等に係る損害てん補等検討会報告書」『季刊国際衛星通信時代』国際衛星通信協会 vol.6, pp.21-61。
- スコット，デイヴィッド ミーアマン・ジュレック，リチャード：関根光宏・波多野理彩子訳 (2014)『月をマーケティングする』日経BP (Scott, David Meerman and Richard Jurek (2014), *Marketing the Moon*, MIT Press)。
- 生命保険経営学会 (1970)「ニュース：宇宙保険の誕生 (タンボラス・インシュアランス・オーガニゼーションのPR誌 *Syndesmos* の特別号より)」『生命保険経営』vol.38 no.6, pp.166-167。
- 第一東京弁護士会編 (2018)『弁護士による宇宙ビジネスガイド』同文館。
- 武部俊一 (2011)『人工衛星図鑑』朝日文庫。
- 館沢貢次 (1980)「明暗織りなす有望大型商品“宇宙保険”の現実」『実業往来』no.10, pp.18-21。
- 田中博之 (1999)『衛星通信研究：宇宙保険の概要と動向』no.82, KDDエンジニアリング・アンド・コンサルティング。
- ダベンポート，クリスチャン：黒輪篤嗣訳 (2018)『宇宙の覇者 ベゾス vs マスク』新潮社 (Davenport, Christian (2018), *The Space Barons*, PublicAffairs,

- New York)。
- 寺門邦次 (2014)『宇宙飛行士の知られざる真実』実業之日本社。
- 東京海上火災保険株式会社編 (1984)『損害保険実務講座 8 新種保険 (下)』有斐閣。
- 中澤勝 (2008)「海外主要国の宇宙輸送システムの動向〈打上げ保険の視点〉」, 内閣府宇宙政策委員会 宇宙輸送システム部会 第 1 回会合 (平成25年 3 月28 日)。
- 中西貴之 (2010)『宇宙と地球を視る人工衛星100』ソフトバンククリエイティブ。
- 中原宏・西本修一・辻広雅文 (1986)「知られざる人工衛星保険」『衛星通信がわかる本』6 章10節, pp.170-172, コンピュータ・エージ社。
- 日経新聞① (1984.05.16 (夕刊))「放送衛星の成功条件」, (1984.05.18)「踏んだりけったり放送衛星 無保険“空白の10日間”, 国・NHKに詰め甘さ?」, (1986.07.10)「ゆり 2 号 b, 引き取りで対立—NHK, 事業団に補償要求」。
- 日経産業新聞① (1986.07.10)「故障発生のゆり 2 号 b 引き渡しめぐりつば競り合い—NHK・宇宙事業団」, (1986.07.14)「ゆり 2 号 b, 引き取りに不安残す, NHK」。
- 福井幸男 (1997)『知の統計学 2』共立出版。
- 保険研究所 (1981a)「宇宙保険リスクと日本保険市場 (A・H・ボルトン氏の講演要旨, 共栄火災社再保険外国部による抄訳)」『インシュアランス』5 月号第 4 集, 損保版, pp.4-6。
- 保険研究所 (1981b)「損保業界: 人工衛星保険で一般認可」『インシュアランス』8 月号第 4 集, 損保版, pp.10-11。
- 保険研究所 (1992)「海外保険情報: 宇宙保険の現状を考察 (ミュンヘン・リ社の提供原稿の翻訳)」『インシュアランス』3 月号第 2 集, 損保版, p.13。
- 保険毎日新聞社 (1983)「宇宙に関する保険」『損害保険変わりだね』第 9 章, pp.143-159, 保険毎日新聞社。
- 松浦晋也 (2010)『スペースシャトルの落日 増補』ちくま書房。
- 的川泰宣 (2011a)『宇宙ビジネス』アスキー・メディアワークス。
- 的川泰宣 (2011b)『宇宙ロケットのしくみ』PHP文庫。
- 向笠公威・ボノボプロダクション (2011)『スペースシャトル 30年のすべて』宝島社。
- 村沢譲・洋泉社編集部 (2014)『スペースシャトル飛行記録 完全版』洋泉社。
- 山下友信・竹濱修・洲崎博史・山本哲生 (2015)『保険法 第 3 版補訂版』有斐閣アルマ。
- 李健斌 (2001)「宇宙産業の危機管理と宇宙保険」『中央学院大学 社会システム研究所 紀要』vol.2 no.2, pp.57-68。