

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17124

研究課題名(和文) 先端の航空宇宙プロジェクトの価値評価モデル開発と応用研究

研究課題名(英文) Evaluation model development and application to futuristic aerospace projects

研究代表者

湊 宣明(MINATO, NOBUAKI)

立命館大学・テクノロジー・マネジメント研究科・教授

研究者番号：30567756

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大規模かつ長期間にわたる航空宇宙プロジェクトのエコシステム(生態系)を再現する統合評価モデルを提案した。システムダイナミクスを用いて、政府、研究開発機関、供給事業者、製造事業者、サービス事業者、労働者、消費者の相互依存性をモデル化した。これにより、売上高、事業価値、雇用者数、税収等の定量指標を用いてプロジェクト価値を時系列評価することを可能にした。さらに、キャッシュフローを基に雇用創出や税収効果を推計し、雇用調整や産業シフトのタイミングを事前予測できる可能性を示した。先端的研究開発プロジェクトの戦略的マネジメントに貢献する

研究成果の概要(英文)：I proposed an integrated evaluation model that reproduces the ecosystem of a large-scale and long-term aerospace project. System dynamics is used to model the interdependency among project stakeholders such as governments, R&D institutions, suppliers, manufacturers, service providers, workers and consumers. The model made it possible to quantitatively evaluate project values in chronological order using multiple indicators such as sales, net present values, employments and tax revenues. It enabled to estimate employment generation and tax revenue effects based on cash flow and to forecast the timing of employment adjustment and industrial shift. It contributes to strategic management of advanced R&D projects.

研究分野：技術経営学

キーワード：システムダイナミクス プロジェクト評価 エコシステム 航空宇宙 ヘルスケア 技術経営

1. 研究開始当初の背景

(1)先端的航空宇宙プロジェクトの価値評価は、投資の大きさや長さ、波及効果の広さなどから困難であり、研究開発着手の障壁となっている。既往研究の多くは、プロジェクトの事業収益性を測定するもの、社会・経済的価値を測定するものに大別できるが、以下の限界を指摘できる。

(2)事業収益性の測定では Discounted Cash Flow(DCF)法を用いて正味現在価値(NPV)や内部収益率(IRR)を評価するが、Morimoto and Hope によれば、長期間のプロジェクトでは割引率が強く働き過ぎ、将来の金銭価値を適正に評価できないという難しさが指摘されている。航空宇宙関連プロジェクトは長期に及ぶことが多く、DCF法のみを採用した評価手法には限界がある。

(3)社会・経済的価値の測定には一般に費用便益分析や産業連関分析、仮想評価法が用いられる。これらは、過去データに基づく統計的推算又は主観的価値の集計に留まり、将来のダイナミックな社会変化を反映できないという限界がある。航空宇宙プロジェクトは大規模かつ複雑であり、ステークホルダーの関係性を踏まえた評価を行う必要がある。また、先端的な研究開発の投資意思決定では、短期的な製品事業化による経済価値創出のみを念頭に置くべきではなく、将来派生的に生じるサービス事業も含めて、全体的かつ長期的視点での評価が求められる。

2. 研究の目的

(1)本研究は、公共 - 産業 - 市場の相互依存性を再現可能な新たな評価モデルを提案し、社会への価値の蓄積と価値の流れについて、時系列での変化を定量的に評価可能にすることを目的とする。

(2)また、航空宇宙領域の具体的研究開発に評価モデルを適用しつつ、ヘルスケア領域へのモデル応用展開を図った。

3. 研究の方法

(1)評価モデルの構築にはシステムダイナミクス(SD)を採用した。SDとは、連続系シミュレーション技法の一つであり、ストック・フロー構造(図1)によるグラフィックモデルを構築し、計算論理やパラメータ値を定義することで、シミュレーション実行を可能にする。ストック・フロー構造は、ストック、フロー、バルブ、クラウドの4構成要素からなる。ストックは、システムの価値の蓄積を再現し、ストック変数により表現する。フローは、システムの価値の流れを再現し、フロー変数によって表現する。SDではバルブを用いてフロー変数の制御を再現し、クラウドを用いてシステムの境界を再現する。クラウドには無限のリソースが入出力することを想定する。ここで、時刻Tにおけるストックの状態Stock(T)は、初期時刻t₀からTまでのinflowとoutflowの差分を積分し、ス

トックの初期値Stock(t₀)を加えた式(1)により計算される。

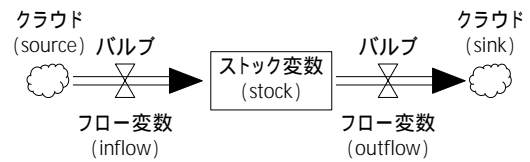


図1 ストック・フロー構造

$$Stock(T) = \int_{t_0}^T (Inflow - Outflow)(t)dt + Stock(t_0) \quad \text{式(1)}$$

(2)モデルは、公共システム、産業システム、市場システムの3階層とし、さらに政府、研究開発、供給、製造、サービス、労働者、消費者の7種類のサブシステムに分割してSDモデルを構築した。公共システムでは、政府による研究開発予算の支出、及び研究開発機関における研究開発計画とそれを実現する民間企業への開発補助をモデル化した。産業システムでは、研究開発の成果を基盤として創出された産業活動を供給業者、製造業者、サービス業者に分割してモデル化した。さらに、市場システムでは、サービス業者から提供される顧客サービスの採用過程に加え、産業によって生み出される雇用をモデル化した。最終的には産業システムから生み出される税収、及び労働者から生み出される税収が、政府に対して還元されるフィードバック構造を再現可能なモデル構成とした。

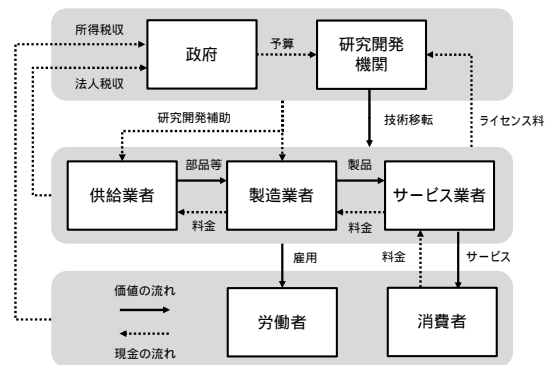


図2 評価モデル(概念図)

4. 研究成果

(1)先端的航空宇宙プロジェクトの評価

具体的事例として、極超音速旅客機の研究開発プロジェクトを対象に評価を実施した。極超音速旅客機とは、音速の約5倍の速さで飛行可能な次世代の航空機であり、宇宙航空開発機構(JAXA)が2025年を目標にマッハ5.0クラスの機体実現を目指し基礎研究開発を進めている。

図3は価値の蓄積を事業サブシステム毎に

示したものである。政府サブシステム（棒グラフ）は、研究開発への補助金支出が初期に発生し、市場が立ち上がり始めたばかりで産業が活性化しない間は税収が増えないため、累積 NPV は負の値をとる。しかし、市場の成長とともに産業からの税収、労働者からの所得税収が増え、価値は増加し続ける。一方、研究開発サブシステムでは市場成長と共に供給事業、製造事業の生産規模が拡大し、ライセンス収入が増加することによって価値が蓄積し続ける傾向が示されている。

産業システム内では事業システム毎に対照的な振る舞いを示している。供給事業は当初エンジンの研究開発費用が発生するために NPV は負の値をとるが、市場成長とともに生産規模が徐々に拡大し、25 年目に NPV が正の値に転じてその後は価値の蓄積が進む。製造事業も供給事業と同じ傾向を示すが、NPV が正の値に転じるのはベースライン設定で 40 年目と遅くなる。これは機体の研究開発費がエンジンの研究開発費に比べ巨額であり、初期投資負担の大きいためである。機体製造事業よりもエンジンを供給する事業が早い段階で投資を回収でき、より魅力的な事業であることを示唆する。一方、サービス事業は複雑な振る舞いを示している。研究開発期間はキャッシュフローが発生しないが、機体販売開始とともに機体購入投資が発生し、NPV は負の値を取り続け、20 年目で最小値となった後にやや回復する。これは減価償却の完了した機体によりキャッシュインフローを創出できるためである。しかし、回復後に再度 NPV の値は悪化する。これは機体耐用年数を過ぎた機体の更新のための追加投資が発生するためである。市場成熟とともに機体購入投資は減少するため、30 年目以降は急速に NPV の値が回復し、32 年目には正の値に転じる結果が示されている。評価モデルを用いて異なるサブシステムの特徴的振る舞いを再現することで、魅力的な事業への参入や適切な投資時期、投資規模の判断に貢献できる。

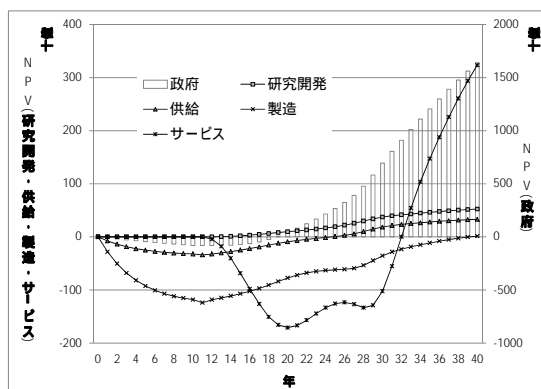


図 3 プロジェクトによる価値の蓄積

評価モデルを用いることでレイオフ発生のタイミング及び解雇人数を予測すること

ができる。図 4 は供給事業、製造事業及びサービス事業の労働者数が調整される状況を時系列で示したものである。供給事業及び製造事業において、研究開発期間終了後に一時的に利益が創出できず、小規模なレイオフが発生している。これは、研究開発フェーズから事業化フェーズに移行する際に先行投資が膨らむとともに、主に研究開発領域に従事する研究者等のニーズが減少し、レイオフが発生する可能性を示唆するものである。供給及び製造事業開始後は市場成長と共に新規雇用が継続的に発生し、22 年目を過ぎたあたりで雇用が急増する様子が示されている。これは市場成長に加えて、機体耐用年数を 15 年と設定しているため、古い機体が廃棄され機体の更新需要が生まれることに対応する動きである。一方、27 年目を過ぎたあたりから新規雇用数は減少し、30 年目には負の値へと転じている。このことは市場成長の鈍化により供給及び製造事業において雇用過剰状態となり、適切な雇用調整が行われる可能性があることを示唆するものである。雇用調整はその後継続的に実施され、評価期間中（40 年）に供給事業、製造事業で再び新たな雇用が発生する可能性は少ないことが示されている。一方、サービス事業では新規雇用数は減少するものの一定のサービス需要に対応するために評価期間を通じてレイオフは発生しない。これは、評価期間の後期においては、2 次産業（供給事業及び製造事業）から 3 次産業（サービス事業）への雇用シフトが発生する可能性があることを示す結果であると言える。評価モデルを用いることで、レイオフ発生のタイミングや規模を事前に把握し、雇用シフトを戦略的に促すための政策設計や意思決定に反映させることができる。

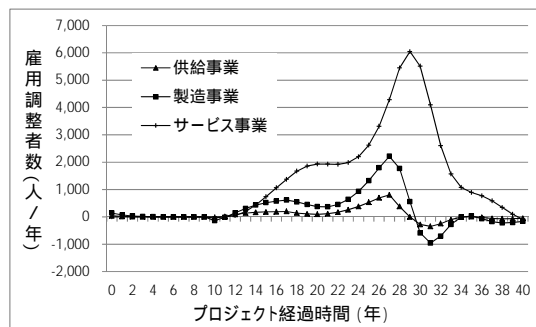


図 4 雇用調整の予測

(2)ヘルスケア領域への評価モデル応用

ヘルスケア領域へのモデル応用展開として、マレーシアの医療サービス市場を再現するモデルを構築した。マレーシアの医療制度は、医療サービス需要の増加に対応するための供給制約に直面している。これは、高齢化、人口統計的变化、疾患パターンの変化に起因している。高い医療費と医療サービスの間の非効率性に対処するため、革新技術の導入が議論されている。例えば、スマートフォンを

活用し患者が医師とオンラインで受診することを可能にするサービスは、費用対効果の高い医療の実現に貢献する。そこで、スマートフォンを利用した受診サービス採用が医療費に与える影響と、公衆衛生サービスにおける病院利用率の関係について分析することを目的として評価モデルを構築した。図5に概念図を示す。モデル変数は、研究論文、政府文書、マレーシア市民の意見に基づいて設定し、2010年から2030年までをシミュレーション期間とした。モデルは、公衆衛生財政、医療需要、ベッド容量利用率、患者の医療費、および、スマートヘルスケア技術採用過程の5つのサブシステムに分割して構築した。モデル出力は、政府、病院経営の意思決定者、医師に対して、システムとしての医療制度のボトルネックは何かという洞察を提供し、スマートフォンを医療サービスに適用するための検討に役立つと考えられる。

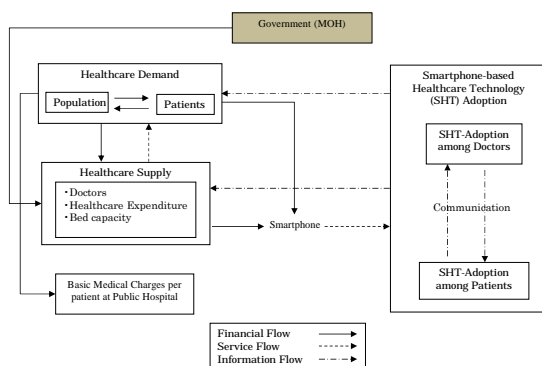


図5 ヘルスケア領域への応用展開

(3)まとめ

先端的研究開発の社会経済への広範囲な影響をどのように評価するかという課題に対し、公共レベル - 産業レベル - 市場レベルの相互依存性に着目する新たな評価モデルを提案した。

システムダイナミクス (SD) を用いて評価モデルを実装し、極超音速旅客機の研究開発プロジェクトを事例として評価を実施した。

従来の評価手法では、投資回収期間の長い航空宇宙研究開発プロジェクトは不利になることが多かったが、提案する手法は、政府、研究開発、供給、製造、サービス、労働者、消費者の7種類のサブシステムにより公共 - 産業 - 市場間の相互依存性を再現し、売上高、事業価値、雇用者数、税収等の定量指標による評価を可能にした。また、キャッシュフローを基に雇用創出や税収を推計し、雇用調整や産業シフトのタイミングを事前に把握することで、長期に渡る航空宇宙プロジェクトの戦略的マネジメントを可能にした。

さらに、評価モデルをヘルスケア領域にも拡張適用し、スマートフォンを活用した受診サービスの導入による公共医療支出削減の可能性について、公共 - 産業 - 市場間の相互

依存性を踏まえ評価できる可能性を示した。

〔引用文献〕

1. Morimoto, R., Hope, C. Making the case for developing a silent aircraft. *Transport Policy*, Vol.12 (2), 2015, 165-174.
2. Liebhardt, B., Luetjens, K., Gollnick, V. 2011. Estimation of the Market Potential for Supersonic Airlines via Analysis of the Global Premium Ticket Market. *AIAA Conference 2011*. 2011.
3. Idris, H., Evans, A., Evans, S. Single-Year NAS-Wide Benefit Assessment of Multi-Center TMA. Billerica, MA: TITAN Systems Corporation: Air Traffic Systems Division. 2004.
4. Taguchi, H., Kobayashi, H., Kojima, T., Ueno, A., Imamura, S., Hongoh, M., Harada, K.: Research on hypersonic aircraft using pre-cooled turbojet engines. *Acta Astronautica*, Vol. 73, pp.164-172. 2012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

Minato, N., Morimoto, R., Dynamically interdependent business model for airline-airport coexistence, *Journal of Air Transport Management*, 査読有, Volume 64, Part B, 2017, 161-172

湊宣明, 増岡拓真, 永井希依彦, 神武直彦航空産業における Cyber Physical System 概念の発展過程分析, 研究技術計画, 査読有, Vol. 32, No. 3. 2017, 293-308

湊宣明, 航空路線証券化による地域航空システムの共生型マネジメント. *日本経営システム学会誌*. 査読有, Volume 34, No.2. 2017, 177-184

Aminah, F., Mohamed, N., Minato, N. A system dynamic analysis of the healthcare resources in Malaysia. *International Journal of Japanese Association of Management System (IJAMS)*, 査読有, Vol. 9, Issue 1, 2017, 61-69

Aminah, F., Mohamed, N., Minato, N., Ishida, S. Norashidah Mohamed Nor., Social Environment Determinants of Life Expectancy in Developing Countries: A Panel Data Analysis. *Global Journal of Health Science*. 査読有, Volume 9, Issue 5, 2016, 105-117

Minato, N., Why Does a Company Fail to Manage a Corporate Scandal? *International Journal of Japan Association for Management Systems*, 査読有, Volume 8,

No.1, 2016, 17-26

湊宣明, 航空宇宙研究開発プロジェクトの社会経済価値評価モデル. システムダイナミクス学会誌, 査読有, Volume 13-14, 2016, 1-16

〔学会発表〕(計 14 件)

荒牧輝, 湊宣明, 非財務指標を用いた航空会社の破綻確率推定モデルの開発, 日本 MOT 学会研究発表大会, 2018 年

東本有生, 葛西悠葵, 湊宣明, Space Flight Resource Management を援用したテレワーク研修の開発, 日本 MOT 学会研究発表大会, 2018 年

Minato, N., A systems evaluation framework for futuristic aerospace projects. The 31st International Symposium on Space Technology and Science, 2017 年

Aminah, F., Mohamed, N., Minato, N., A system dynamic analysis on accessibility and affordability of healthcare resources in Malaysia. International System Dynamics Conference 2017, 2017

Aminah, F., Mohamed, N., Minato, N. Technological adoption and healthcare spending in Malaysian healthcare sector, International Conference of Business and Information, 2017 年

吉田崇花, 湊宣明, 宇宙食開発の時系列変化と発展の可能性, Marketing Conference 2017, 2017 年

永井希依彦, 荒牧輝, 湊宣明, エアラインの信用リスクに影響を与える経営指標抽出, 日本経営システム学会第 58 回全国大会, 2017 年

岡井将記, 湊宣明, 宇宙技術を活用したスピンオフ事例の成功要因の抽出, 日本経営システム学会第 56 回全国研究発表大会 2016 年

Minato, N., Morimoto, R.. A dynamically inter-dependent business model for airline and airport coexistence. International Forum on Shipping, Ports and Airports, 2015 年

竹岡紫陽, 湊宣明, 石田修一, 玄場公規. 不確実性を低減させるダウンイノベーションアプローチの効用と限界. 日本経営システム学会第 54 回全国研究発表大会, 2015 年

Takeoka, S., Minato, N., Ishida, S., Genba, K. (2015). Four strategic archetypes of large-scale R&D management for commercialization. Open Innovation and Collaboration Conference 2015. 2015 年

Endo, K., Minato, N., Nakano, M.. User Benefit Analysis for Hypersonic Air Transport Services -Comparative Study with Subsonic and Supersonic Flight Services-. ATRS2015, 2015 年

Amjad, B., Hirano, M., Minato, N.. Loosely Coupled SME Network in Manufacturing Industry: A Challenge in Niigata Sky Project. PICMET2015. 2015 年
竹岡紫陽, 湊宣明, 石田修一, 研究開発の不確実性に対応したダウンイノベーションアプローチの提案, 日本経営システム学会第 53 回全国研究発表大会. 2015 年

〔図書〕(計 2 件)

湊宣明, 講談社, 実践システムシンキング - 論理思考を超える問題解決のスキル -, 2016, 182 (1-182)

湊宣明, 玄場公規他, オデッセイコミュニケーションズ, Excel で学ぶビジネスデータ分析の基礎, 2016, 184 (57-115)

〔その他〕

湊宣明研究室ホームページ
<https://www.minato-lab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

湊 宣明 (MINATO, Nobuaki)
立命館大学大学院・テクノロジー・マネジメント研究科・教授
研究者番号: 30567756

(2) 研究協力者

Prof. Risako Morimoto
University of London, SOAS, Lecturer
Prof. Fredrik Hacklin
ETH Zurich, D-MTEC, Associate Professor