

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K01714

研究課題名(和文) 曖昧性を考慮したリアルオプション・アプローチによる環境政策評価モデルの開発と応用

研究課題名(英文) Developing Evaluation Models of Environmental Policies under Ambiguity by using Real Options Approach and Their Applications

研究代表者

辻村 元男 (Tsujimura, Motoh)

同志社大学・商学部・教授

研究者番号：40335328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：研究期間全般にわたる主な研究成果として、(1)汚染物質削減政策と、(2)企業の資本投資について述べる。(1)Tsujimura(2020a)は、汚染物質削減政策の実施費用について2種類の費用構造を考慮し、政策実施主体の問題を特異確率制御問題・確率インパルス制御問題として定式化し、最適な汚染物質削減時期とその規模を示した。(2)Tsujimura(2019, 2020b, 2021a, 2021b)は企業の資本投資政策に対して、需要の曖昧性や投資費用のリスクなどを考慮し、資本の拡張・縮小問題を考察した。企業の問題を特異確率制御問題あるいは確率インパルス制御問題として分析し、最適な資本投資政策を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リアルオプション・アプローチを用いた曖昧性を考慮した環境政策の分析は、研究蓄積が待たれている分野である。理論モデルを開発し、定量的・定性的に曖昧性の影響を明らかにして、現実の環境政策への示唆を与えられれば、学術的に意義のある研究となりうる。また、環境政策に対する政策議論が世界各国で繰り広げられており、新たな環境政策に対する評価モデルが必要とされており、本研究課題で開発されたモデルを応用し、気候変動のような地球規模の環境政策に対する評価モデルを提示することが出来れば、社会の持続可能な発展に対して環境政策面での貢献が可能となり、社会的な意義も期待される。

研究成果の概要(英文)：The main research findings over the entire research period are (1) pollutant reduction policies and (2) firm's capital investment. (1) Tsujimura (2020a) formulated the problem of policy maker as a singular stochastic control problem or stochastic impulse control problem, considering proportional cost or fixed and proportional cost for the implementation cost of pollutant reduction policy. The results of the analysis indicate the optimal timing and scale of pollutant reduction. (2) Tsujimura (2019, 2020b, 2021a, 2021b) considered capital expansion and contraction problems for firm's capital investment policies, considering demand ambiguity and investment cost risk. They analyzed the firm's problem as singular stochastic control problem or stochastic impulse control problem and showed optimal capital investment policies.

研究分野：ファイナンス

キーワード：リアルオプション 曖昧性 確率制御

1. 研究開始当初の背景

環境問題に対してリアルオプション・アプローチを用いた研究が積み重ねられているが、未だ解決されていない問題点も多い。代表的な例として、不確実性の取り扱いがある。気候変動を例に挙げると、大気メカニズムが極めて複雑であるため、二酸化炭素の濃度が上昇することによって、地表の温度がどれくらい上昇するかについては、2013年に発表された気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書(AR5)においても、推計に大きなばらつきがある。このように、将来の気候変動の程度とその影響については、大きな不確実性が伴っており、対象とする事象の確率分布を一意に定められない場合が、より現実的である。単一の確率分布を特定化できないような不確実性は、曖昧性(あるいはナイト的不確実性)と呼ばれ、気候変動などのような長期にわたる環境政策を評価する場合は、曖昧性を前提とした環境政策の評価モデルが必要とされている。しかし、これまでリアルオプション・アプローチを用いた環境政策の分析は、主に確率分布を一意に特定化できるような不確実性(以降これをリスクと呼ぶ)の下で実施されてきた。曖昧性の下では、人々は一般的に曖昧性回避の行動を取ることが知られている。政策議論においては、1992年の国連開発会議のリオ宣言などのように、予防原則として曖昧性回避が考慮されてきた。Gilboa and Schmeidler (1989)によって公理的基礎付けが与えられた maximin 期待効用(MEU)を用いたモデルでは、曖昧性の下、意思決定者は最悪のケースにおける効用を最大とするように意思決定をする。この意思決定は予防原則との親和性が高く、曖昧性下の環境政策評価に適応が可能である。しかし、MEUモデルでは、最悪のケースのみを考慮してしまうため、極端に悲観的な意思決定となってしまう。そこで、Hansen と Sargent と共著者達(Hansen and Sargent, 2001; Hansen et al., 2006)は、ロバスト制御と曖昧性に対する態度の関係を明らかにし、最悪のケースを考えることに対してペナルティー関数を導入し、参照となるモデルからの乖離を内生的に求め、MEUモデルを拡張した。環境政策評価への応用も始まっている。このように、曖昧性を考慮した環境政策に対して、リアルオプション・アプローチを用いた分析は、緒に就いたばかりであり、今後の学術的な発展が求められていた。

2. 研究の目的

緒に就いたばかりの、リアルオプション・アプローチを用いた曖昧性を考慮した環境政策の分析に対して、理論モデルを開発し、定量的・定性的に曖昧性の影響を明らかにして、現実の環境政策への示唆を与えられれば、学術的に特色のある研究となる。また、パリ協定に基づく政策議論が世界各国で繰り広げられており、新たな環境政策に対する評価モデルが必要とされており、本研究課題で開発されたモデルを応用し、気候変動のような地球規模の環境政策に対する評価モデルを提示することが出来れば、学术界に対する社会的な要請にも応えられると共に、社会の持続可能な発展に対して環境政策面での貢献が可能になると期待される。

3. 研究の方法

ショックブラウン運動、 γ -ignorance の概念、Hansen-Sargent 型のロバスト制御などを用いて曖昧性の表現し、経済主体の問題を確率制御問題として定式化した。取り分け、制御を実施する際に制御規模に比例した費用と独立した 2 種類の費用を考慮した、インパルス制御を主に取り扱った。

4. 研究成果

2018年度の主な研究成果として、Tsujiura(2019)は、将来のアウトプットへの需要に曖昧性が存在する資本投資の分析を行った研究(Tsujiura, 2017)を拡張し、投資費用の曖昧性も考慮した資本投資について分析を行った。両研究とも曖昧性をショックブラウン運動を用いて表現し、最適な資本投資のタイミングとその規模について考察した。分析の結果、企業のマネージャーが曖昧性回避的であれば、アウトプットの需要と投資費用のボラティリティが高くなるほど資本投資が抑制されることを示した。さらに、曖昧性回避の度合いが大きくなると、資本投資が抑制されることも示した。この研究では、資本の拡張のみを考察しており、資本の縮小も考慮した企業の投資行動についての分析が課題として残された。

次に、2019年度の主な研究成果として、Yoshioka and Tsujimura(2020)は、制御対象の観測時間が離散的な場合について、観測費用に制御費用を加えた総費用を最小化するように、観測するタイミングと制御規模を求める問題を考察した。本論文では、観測情報が不足するため、制御対象の動学の定式化に曖昧性が存在する場合を考察した。特に、ブラウン運動に曖昧性が存在する場合について考察した。意思決定者の問題を、曖昧性下における確率インパルス制御問題とし

で定式化して分析を行った。分析の結果、最適性方程式が一意的な解を持つことを示した。さらに、得られたモデルをロジスティック確率微分方程式に従う個体群の管理問題に応用し、数値例を示した。

次に、2020年度の主な研究成果として、(1) 汚染物質削減政策と、(2) 企業の資本投資について述べる。(1) Tsujimura(2020a)は、汚染物質削減政策として、確率的に蓄積する汚染物質を削減する政策について考察した。特に本研究では、政策実施主体が必要に応じて何度でも当該汚染物質を削減できる政策を考察対象とした。また、削減政策は、政策実施に要する費用構造によって2種類に分類される。1つ目の政策は政策実施に要する費用として削減量に比例した費用(比例費用)のみがかかる場合を、2つ目の政策は、比例費用に加えて削減量に変わらず必要となる固定費用も考慮した。こうした費用構造によって、1つ目の政策は特異確率制御問題として定式化され、2つ目の政策は確率インパルス制御問題として定式化される。定式化された問題を、それぞれ変分不等式、準変分不等式を用いて解き、最適な汚染物質削減政策を導出した。(2) Tsujimura(2020b)は、企業の資本投資の研究として、将来にわたる利益を最大化するために、アウトプットの需要に応じて、企業が資本の規模を拡張あるいは縮小する問題を考察した。本研究では、アウトプットの需要の取り扱い方を2段階に分けて研究を実施した。本研究では、アウトプットの需要は確率的に変化し、幾何ブラウン運動に従う場合を考察した。次いで、Tsujimura(2021a)は、アウトプットの需要に曖昧性が存在する場合について考察した。曖昧性は *-ignorance* の概念を用いて表現した。両研究に共通して、企業が資本の規模を変更する時には、変更規模に比例した費用に加え定額の費用の2種類の費用を考慮した。こうした費用構造を反映し、企業の問題を確率インパルス制御問題として定式化した。定式化された問題は、準変分不等式を用いて解き、最適な資本の変更規模とそのタイミングを数値的に導出した。

本来、2020年度が最終年度であったが、Covid-19感染拡大による影響によって、研究期間を1年延期して2021年度が最終年度となった。最終年度の主な研究実績として、辻村(2021b)では、企業はアウトプットの需要と資本価格に対する不確実性に直面しており、その下で需要に応じて資本ストックの規模を変更する問題を考察した。企業の資本投資の分析では、多くの場合、資本への投資費用は全額埋没費用である場合について考察している。これに対して、本研究は、資本を他の企業あるいは中古市場に売却ができる場合について考察した。すなわち、資本投資は完全に不可逆ではなく部分的に不可逆である場合を考察した。資本ストックの規模を変更する際には、資本の購入額あるいは売却額に加えて、資本の変更水準とは独立な費用を考慮した。こうした事業環境下で、企業がいつ・どれだけ資本ストックの規模を変更すれば良いかについて考察した。企業の問題は、確率インパルス制御問題として定式化され、準変分不等式を用いて問題を解くことができる。本研究では、準変分不等式を示し、最適な投資規模変更政策を特徴付ける6つの閾値を用いて、資本規模を拡張する領域、資本規模を縮小する領域、資本規模を変更しない領域を定めた。ただし、6つの閾値については数値計算によって求める必要があり、これについては残された課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Motoh Tsujimura	4. 巻 72
2. 論文標題 Capital expansion and reduction with fixed and proportional costs under demand ambiguity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 同志社商学	6. 最初と最後の頁 209-227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hidekazu Yoshioka, Yuta Yaegashi, Motoh Tsujimura, Yumi Yoshioka	4. 巻 37
2. 論文標題 Cost-efficient monitoring of continuous-time stochastic processes based on discrete observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Stochastic Models in Business and Industry	6. 最初と最後の頁 113-133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asmb.2559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Motoh Tsujimura	4. 巻 2173
2. 論文標題 Partially reversible capital investment with both fixed and proportional costs under demand risk	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 108-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hidekazu Yoshioka, Motoh Tsujimura, Kunihiko Hamagami, Yumi Yoshioka	4. 巻 41
2. 論文標題 A hybrid stochastic river environmental restoration modeling with discrete and costly observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optimal Control Applications and Method	6. 最初と最後の頁 1964-1994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/oca.2616	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Yaegashi, Hidekazu Yoshioka, Motoh Tsujimura, Masayuki Fujihara	4. 巻 7
2. 論文標題 Finite volume computation for the non-stationary probability density function of an impulsively controlled 1-D diffusion process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 262-287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.7.262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoh Tsujimura	4. 巻 50
2. 論文標題 Pollution reduction policies and their associated costs under uncertainty	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 社会科学	6. 最初と最後の頁 83-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hidekazu Yoshioka, Motoh Tsujimura, Kunihiko Hamagami, Yumi Yoshioka	4. 巻 12143
2. 論文標題 A Simple Stochastic Process Model for River Environmental Assessment Under Uncertainty	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 In: Krzhizhanovskaya V. et al. (eds) Computational Science - ICCS 2020. ICCS 2020. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 494-507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-50436-6_36	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hidekazu Yoshioka and Motoh Tsujimura	4. 巻 366
2. 論文標題 Analysis and computation of an optimality equation arising in an impulse control problem with discrete and costly observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 112399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2019.112399	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉岡秀和, 辻村元男, 八重樫優太, 藤原正幸	4. 巻 11
2. 論文標題 費用対効果が高い観測時期と作業量を決定するための河川環境管理モデリング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 リアルオプション研究	6. 最初と最後の頁 25~37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12949/realopn.11.25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hidekazu Yoshioka, Yuta Yaegashi, Motoh Tsujimura, and Masayuki Fujihara	4. 巻 1094
2. 論文標題 Non-Local Fokker-Planck Equation of Imperfect Impulsive Interventions and its Effectively Super-Convergent Numerical Discretization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In: Tan G., Lehmann A., Teo Y., Cai W. (eds) Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems. AsiaSim 2019. Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 79-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoh Tsujimura	4. 巻 -
2. 論文標題 Investment for capital expansion under output demand and investment cost ambiguity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Motoh Tsujimura
2. 発表標題 An abatement investment strategy with ambiguous abatement technology
3. 学会等名 The 23rd Annual International Real Options Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoh Tsujimura
2. 発表標題 An abatement investment strategy with ambiguous abatement technology
3. 学会等名 The 2nd International Symposium "Social Innovation and Engagement in the Digital Society" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoh Tsujimura
2. 発表標題 Stochastic growth with ambiguous technological jumps
3. 学会等名 日本リアルオプション学会2019年研究発表大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoh Tsujimura
2. 発表標題 Partially Reversible Capital Investment under Demand Ambiguity
3. 学会等名 The 22nd Annual International Real Options Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoh Tsujimura
2. 発表標題 Capital Investment and Dividend under Ambiguity
3. 学会等名 日本リアルオプション学会2018年研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoh Tsujimura
2. 発表標題 Partially reversible capital investment under demand and cost ambiguity
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所RIMS共同研究(ファイナンスの数理解析とその応用)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Motoh Tsujimura https://mtsujimu.doshisha.ac.jp/
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関