

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23330065

研究課題名(和文)地球環境問題への非線形均衡動学の応用

研究課題名(英文)Application of nonlinear equilibrium dynamics to global environmental issues

研究代表者

赤尾 健一 (Akao, Ken-Ichi)

早稲田大学・社会科学総合学院・教授

研究者番号：30211692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、非線形均衡動学モデルを用いて、地球環境問題と社会の関係を分析した。そのモデルは、共有資源を巡る動学ゲームモデル、非凸最適成長モデル、極端かつ予測不可能なショックを伴う内生的成長モデル、そして非指数的割引をもつ社会での社会計画者モデルである。これらの分析を通じて、以下の「研究成果」に示すように、本研究では様々な新しい結果を得た。その一部は6本の論文として国際雑誌で公表した。本研究はまた、世代間衡平への公理的アプローチおよび低下する割引率についてのサーベイも行った。本研究の成果は、非持続的な経路がなぜ選ばれてしまうのかを理解し、どのようにそれを避けるかを考えるための一助となるものである。

研究成果の概要(英文)：Global environmental issues such as the global warming and the biodiversity loss have serious long-term consequences and several other novel features. Using nonlinear economic dynamics models incorporating those features, we analyzed the interaction between the society and the issues. The models are: dynamic game model with an environmental asset, non-concave optimal growth model, endogenous growth model with large and unpredictable shocks, and a social planner model for agents with non-exponential discounting. From them we have several new results as shown in "Research Performance" below. Some of them are found in our papers published in international journals. We also surveyed some related research issues that are recently extensively studied. They include the axiomatic approaches to intergenerational equity and the declining discount rate for social cost/benefit analysis. Our results help to understand why and when we choose an unsustainable path and to consider how to avoid it.

研究分野：環境経済学

キーワード：地球環境問題 非線形動学モデル 非凸性 共有地の悲劇 国際交渉 莫大かつ予測不可能なショック  
世代間衡平 持続可能性

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動問題や生物多様性保全問題などに代表される地球環境問題は、地球大気や生態系といった環境資産の通時的利用に関する問題であり、非線形均衡動学の重要な応用分野である。同時にそれらは、その固有の特徴によって、経済学的に新規な問題を提示している。

### 2. 研究の目的

本研究では、非線形均衡動学を応用して、地球環境問題に関わる次の5つの経済学的にも新規な問題を分析し、それらを総合することによって、地球環境問題の解決に向けて実践的な政策的含意を得ることを目的とする。  
(1) 国際交渉等に見られる共有資産を巡る戦略的依存関係から生じる多均衡、  
(2) 非凸性に起因する環境資産の突然かつ急速な変化(レジームシフト)、  
(3) 現在世代の選択が超長期にわたり影響をもたらす現象に対する時間割引のあり方、  
(4) 不確実性下での通時的費用便益分析あるいは適切な意思決定ルール、  
(5) 持続可能な開発という価値基準と経済学的最適性が両立するための条件。

### 3. 研究の方法

経済動学モデルを作成し解析する。

### 4. 研究成果

(1) ではダイナミックゲーム分野での貢献として、地球公共財や国際交渉や地域資源を巡るいわゆる共有地の利用問題について、それをマルコフ完全ナッシュ均衡と見なすとき、2回連続微分なダイナミカルシステムで表現されるいかなる経路も経済学の標準的な仮定を満たすモデルから得られることを明らかにした(Akao, Mitra and Sorger, 2012; Akao and Sorger, 2014)。このことは共有資源利用の危うさとともに、例えば国際交渉による持続可能な開発の実現の可能性もまた示唆する。

(2) は凸凹生産関数をもつ1セクター最適成長モデルに関する研究であり、離散時間モデルによって、それよりも資本ストック(環境資源を含む広い意味での)が小さくなると、非持続的経路が最適となる臨界資本量が存在し、それが割引率に対して単調かつ連続であることを証明した(Akao, Kamihigashi and Nishimura, 2011)。さらに連続時間モデルにおいて、臨界資本量の上限と効用関数の弾力性の関係を含む諸結果を得た(Akao, Kamihigashi and Nishimura, 2015)。また成長関数の凸部分での正準システムの定常状態の最適性に関する結果も得た(Akao, Kamihigashi and Nishimura, mimeo)。さらに、人々の仕事に対する非貨幣的価値(失業によるプライド喪失)がもたらす効用関数の非凸性とその結果としての非持続的資源利

用の可能性を示した(Farzin and Akao, 2015)。これらは非持続的経路を我々がいかにして辿るか、そのメカニズムを明らかにする。

(3) については、非指数的割引モデルをサーベイしたうえで、人々の通時的選好が非指数的割引によって表現される場合の時間整合的な社会計画者の問題を考察した。標準的なhyperbolic discountingモデルの場合、その社会厚生関数は一意的な指数的割引率をもつという結果を得た(未発表)。

(4) は2つの研究に分かれる。ひとつは不確実性によって突然かつ急速な変化が起きるときのマクロ経済の動向についてであり、もうひとつは不確実性下の費用便益分析についてである。

前者については甚大な災害の可能性がマクロ経済の成長経路と長期成長率に及ぼす影響を分析した。災害の可能性とその災害の甚大さは長期経済成長率を高めることもあれば低めることもある。その違いを生み出すのは危険回避性向である(Akao and Sakamoto, 2013; 赤尾・阪本, 2013)。

不確実性下の費用便益分析については、近年注目を集めている低下する割引率(Declining Discount Rate; DDR)に関する研究をサーベイした。社会的報酬率の低下という意味でのDDRは理論的に適切だが、低下の下限はこの問題に関心のある人からすればまだ高い。一方、消費サイドのEuler方程式(Keynes-Ramsey方程式)から得られる確実等価割引率は時間整合性の問題を抱える(赤尾・大沼・阪本, 投稿中)。したがって、この分野はさらなる研究が必要である。

(5) の規範的な研究課題については、まず世代間衡平の観点から既存の論文をサーベイした(赤尾, 2012)。公理的に基礎づけられている代表的な2つの価値基準として世代間平等主義と世代間功利主義があるが、持続可能な開発が想定している世界(持続可能な世界)では、後者が人々によりアピールすること、さらに規範的な非割引功利主義よりも実証的な正割引率に基づくモデルが効率性の観点から望ましいことを論じた。

以上の結果を受け、割引功利主義モデルの下で、持続可能な開発が最適経路となるための必要条件のうち、選好に関係する条件を緩和した(Akao, 2014)。また同様のモデルを用いて、地球温暖化問題に焦点をあてた森林資源の最適利用モデルを分析した(Akao, 2011)。

最後に、以上の個々の課題に対する研究成果を総合した考察をここで示し、本研究の総括としたい。さまざまな地球環境問題とそれへの対処を経済学的に分析する上で、割引功利主義に基づく動的最適化問題は有用であることを本研究は示すことができた。具体的には、ダイナミックゲーム的な状況、ポアソ

ン過程で表現される不確実性が存在する状況、そして非指数的割引をもつ個人から成る社会での最適計画の分析がこのタイプの最適化問題として最終的に記述できることを明らかにした。

動的最適化問題に帰着させることによって、あるいは地球環境問題それ自身がもつ性質によって、その問題は、経済学が標準的に仮定する凸性を満たさない可能性がある。本研究では非凸な動的最適化問題についても詳細にその解経路の性質を分析することで、その分析範囲の拡大に貢献している。

#### <引用文献>

Akao, Kamihigashi and Nishimura (2014) Optimal steady state of economic dynamic model with nonconcave production function. Mimeo, 14p.

赤尾健一・大沼あゆみ・阪本浩章 (2016) 割引率は何を意味しどのように変化してきたか. Mimeo, 30p.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8件)

Ken-Ichi Akao, Takashi Kamihigashi and Kazuo Nishimura (2015) Critical Capital Stock in a Continuous-Time Growth Model with a Convex-Concave Production Function. *RIEB Discussion Paper Series DP2015(39)*, 1-37.

Farzin, Y.H. and K.I. Akao (2015) Poverty, social preference for employment, and natural resource depletion. *Environmental Economics and Policy Studies*17(1), 1-26. 査読有. DOI: 10.1007/s10018-013-0074-6.

Ken-Ichi Akao (2014) Preference constraint for sustainable development. *Environmental Economics and Policy Studies* 16(4), 343-357. 査読有. DOI: 10.1007/s10018-012-0053-3.

Ken-Ichi Akao and Hiroaki Sakamoto (2013) A Theory of Disasters and Long-run Growth. *RIETI Discussion Paper Series* 13-E-061, 1-39.

Ken-Ichi Akao and Shunsuke Managi (2013) A tradable permit system in an intertemporal economy. *Environmental and Resource Economics* 55(3), 309-336. 査読有. DOI: 10.1007/s10640-012-9628-5.

Ken-Ichi Akao, Tapan Mitra and

Gerhard Sorger (2012) Some rationalizability results for dynamic games. *International Journal of Economic Theory* 8(4), 361-379. 査読有. DOI: 10.1111/j.1742-7363.2012.00195.x

Ken-Ichi Akao, Takashi Kamihigashi and Kazuo Nishimura (2011) Monotonicity and continuity of the critical capital stock in the Dechert-Nishimura model. *Journal of Mathematical Economics* 47(6), 677-682. 査読有. DOI: 10.1016/j.jmateco.2011.08.005

Ken-Ichi Akao (2011) Optimum forest program when the carbon sequestration service of a forest has value. *Environmental Economics and Policy Studies* 13 (4), 323-343. 査読有. DOI: 10.1007/s10018-011-0016-0

[学会発表](計 14件)

赤尾健一, 低下割引率 (Declining Discount Rate) の誕生と現れた問題点. 環境経済・政策学会 20周年大会 (京都大学, 2015/9/18 - 20) (環境経済・政策学会) 2015年9月18日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao: An Economic Analysis of the "Home Appliance Eco-Point System" in Japan. The 5th Congress of EAAERE (Academia Sinica, 2015/08/05-07, Taipei, Taiwan) 2015年8月06日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Takashi Kamihigashi, Kazuo Nishimura: Critical capital stock in a continuous time growth model with convex-concave production function. The 9th International Conference on Nonlinear Economic Dynamics: NED 2015. June 25 - 27, Chuo University, Tokyo 2015年6月26日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Takashi Kamihigashi, Kazuo Nishimura: Critical capital stock and optimal steady states in a continuous time aggregate growth model with convex-concave production function. 環境経済学ワークショップ, March 13 - 14, 2015. 国立環境研究所, つくば 2015年3月13日

Ken-Ichi Akao, Optimality of sustainable development: The preference constraint and the assimilation capacity of the environment. 包括的富会計と生態系サービスワークショップ (名古屋大学大学院環境学研究科) 2014年11月9日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Hiroaki Sakamoto: A theory of disasters and long-run growth

5th World Congress of Environmental and Resource Economists, June 28 - July 3, 2014, Istanbul Lutfi Kirdar Convention & Exhibition Centre, Turkey 2014年6月29日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Hiroaki Sakamoto: A theory of disasters and long-run growth. 4th Congress of East Asia Association of Environmental and Resource Economics, February 12-13, 2014, BEXCO at Busan, South Korea 2014年2月13日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Takashi Kamihigashi, Kazuo Nishimura: Critical capital stock and optimal steady states in a continuous time aggregate growth model with convex-concave production function. 1st Asia-Pacific Conference on Economic Dynamics, November 21 - 22, 2013, University of Economics and Law, Ho Chi Minh City, Vietnam 2013年11月21日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Gerhard Sorger: On the sustainability of a common property resource: An implication from dynamic game theory. 環境経済・政策学会 2013年大会 (神戸大学 9/20-21, 2013) 2013年9月21日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Tapan Mitra, and Gerhard Sorger: Some rationalizability results for dynamic games. PET13-Annual Conference of the Association for Public Economic Theory (Catolica Lisbon, Lisbon, Portugal. July 4-7, 2013) 2013年7月5日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Gerhard Sorger: On the sustainability of a common property resource: An implication from dynamic game theory. The 3rd Congress of the Association of East Asian Environmental and Resource Economics, February 20-22, HuangShan, China 2013年02月21日

赤尾健一, 気候変動問題の経済学的特徴とその理論的問題. 環境経済・政策学会 2012年大会(東北大学 9/15, 16, 2012) 2012年9月15日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Gerhard Sorger: On the sustainability of a common property resource: an implication from dynamic game theory. 日本経済学会 2012年度春季大会 (北海道大学) 2012年6月14

日

Ken-Ichi Akao, Ken-Ichi Akao, Takashi Kamihigashi, Kazuo Nishimura: On the critical capital stock in a continuous time aggregate growth model with a convex-concave production function 12th SAET Conference, June 30 - July 3, 2012, University of Queensland, Australia 2012年7月1日

〔図書〕(計 3件)

Ken-Ichi Akao and Gerhard Sorger (2014) On the sustainability of a common property resource: An implication from dynamic game theory, in K. Asano and M. Takata (eds.) *Rural and Urban Sustainability Governance*, United Nations University Press, Ch. 1, 11-21.

赤尾健一・阪本浩章 (2013) 災害と経済成長: 理論上の諸結果. 馬奈木俊介編著「環境・エネルギー・資源戦略」日本評論社. 第12章, 269-280)

赤尾健一 (2012) 持続可能な開発と世代間の衡平. 細田衛士編著「環境経済学」ミネルヴァ書房. 第12章, 281-312.

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページでの公表  
[http://www.f.waseda.jp/akao/KA/Kenichi\\_Akao.htm](http://www.f.waseda.jp/akao/KA/Kenichi_Akao.htm)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤尾 健一 (Akao, Ken-Ichi)  
早稲田大学・社会科学総合学術院・教授  
研究者番号: 30211692

(2)研究分担者

上東 貴志 (Kamihigashi, Takashi)  
神戸大学・経済経営研究所・教授  
研究者番号： 30324908

(3)連携研究者

( )

研究者番号：