

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12608  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2018～2022  
課題番号：18K11736  
研究課題名(和文) 水を媒介としてLCAモデルを組込んだ統合評価モデルによる2 シナリオの持続性評価

研究課題名(英文) Assessing sustainability on a 2-degree Celsius scenario by an integrated assessment model interlinking an LCA model and water

研究代表者  
時松 宏治 (Tokimatsu, Koji)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：50415717  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：水資源需給とそれに伴うライフサイクル環境影響評価を扱う水モデルを新規に開発した。その新規開発の水モデルを申請者が既に開発した他資源需給モデル(エネルギー、鉱物、土地)とリンクさせたモデルを開発した。このリンクは水需要(エネルギー・鉱物と工業用、土地と農業用、人口・GDPと生活用)と水供給(エネルギー)を通じて行った。リンクさせたモデルを用いて2 シナリオとなる試算結果を得ることができた。これに加えライフサイクル影響評価モデルを統合評価モデルへ組込む方法と持続性指標に関わる論文執筆作業を行った。執筆論文はモデリングや資源環境経済学の国際学会の査読を経て報告として、発表する機会を得た。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究での水モデルの一部は、エネルギーモデルとのリンクを行った既往の水資源需給モデルを参考にはした。しかしながら、エネルギー以外の資源を含む資源需給モデルとのリンクを、水に関わるライフサイクル影響評価を含めた水モデルと行った研究は知る限りにおいて存在しない。経済学的基盤に基づくコンパクトな経済成長モデルとのリンクの拡張を行い、水を含む資源・環境の多くの項目を明示的に扱うシミュレーションモデルとなり、水を含む持続性指標の推計に発展させる基礎となるため、本研究成果の社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：We developed a new water model consisting of the demand and supply of water and the consequential impacts by lifecycle basis assessments. The water model is integrated with other resource balance models (for energy, mineral, and land) developed by us in the past. The integrations are made through water demand (i.e., industry use from the energy model and the mineral model, agricultural use from the land-use model, and domestic use from scenarios of demography and GDP) and water supply (from the energy model). The integrated assessment model (IAM) could successfully generate preliminary results of a 2-degree Celsius scenario. Moreover, paper draftings were undergone regarding methodological innovations on integrating a lifecycle impact assessment model and an IAM, and, measuring sustainability indicators by using the models. The written papers were accepted for prestigious international conferences on modelings and environment and resource economics after peer reviews.

研究分野：エネルギーシステム工学

キーワード：水 影響評価モデル 地球温暖化緩和策シナリオ 持続性指標

## 1. 研究開始当初の背景

「成長の限界」モデルは、人類の経済活動の破綻と持続の将来を描くものとして著名である。しかしながら、モデルで描かれる資源や環境は集約化されたものであり、その具体的な中身も内訳も不明である。鉱物資源の需要予測や物理的な供給量に関する設定には、地質学や鉱物資源経済学から疑問が出された。またモデルでの技術進歩の扱い等に新古典派経済学的基盤の弱さが指摘されている。この「成長の限界」モデルを批判し、対案として開発されてきたのはノードハウスによるモデル群である。最初にグローバルなエネルギーモデルを開発した。そこでは技術進歩の扱いに重きを置くため、1970年代に様々開発されていたエネルギー技術を多数扱い、既に当時に炭酸ガス問題として温室効果ガスによる気温上昇を含めた将来シナリオの分析を行っていた。次いで1980年代中頃には北米を対象とした銅資源需給モデルを開発した。資源の需要推計と供給量、そして資源の代替（銅からアルミへ等）を考慮したものとして、「成長の限界」モデルでの課題克服に取り組んだ。1990年中頃から現在に至るまで、地球温暖化の費用便益分析モデルの開発と気候政策評価を行ってきた。

このような将来シナリオを分析評価するモデルにも限界がある。ノードハウスに限らずエネルギーモデルでは様々なエネルギー技術に用いられる希少鉱物資源や水資源による制約は考慮されていない。鉱物資源の将来需給シナリオは銅のみ、かつグローバルではない。地球温暖化の費用便益分析モデルでは、温暖化による被害の経済評価に特化しており、その被害評価を行うダメージ関数の設定に批判が集中している。上記のモデルとは別に、気候変動・水と食料・エネルギーの関係を分析するモデル研究では、水の資源制約は考慮されるが、地理的詳細解像度が高いため、対象はグローバルではない。モデル研究以外では、資源環境経済学の持続性指標が著名であるが、対象資源は包括的であっても水資源は対象となっておらず、環境影響項目は限定的であり、かつ、過去国別推計であり将来時間軸は含まれていない。また、ライフサイクルアセスメントでは、環境影響項目を広範に扱うが、将来時点の検討は少ない。

このような課題を解決し、より広範囲に水を連携させる方法はないのだろうか？代表者の解決策は、「ノードハウス」モデルの地球温暖化の経済評価をライフサイクル環境影響評価モデルに代替し、エネルギー・鉱物・土地の各資源需給モデルを組み込み、水を媒介として資源と環境影響をリンクさせる。水は「ウォーターフットプリント」のようにライフサイクルアセスメントと親和的である。これにより、「成長の限界」モデルと「ノードハウス」モデルの課題克服を目指す。課題は、経済学的基盤に基づき、水を含む多数の資源・環境を明示的に扱い、かつ、環境経済学的手法を含むライフサイクル影響評価モデルによる経済評価を含めることである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、水を媒介としてエネルギー・鉱物・土地資源と、その資源利用に伴う環境影響を明示的に扱う統合評価モデルを開発すること、そして、統合評価モデルから推計される持続性指標を用いて将来シナリオを評価する手法を世に出すことである。これら2項目の開発を基礎として、地球温暖化緩和策シナリオを元に、資源・環境要因を基盤とした社会の持続性の将来

シナリオを評価することに繋がりたい。このモデルアプローチは「成長の限界」モデルや、「ノードハウス」モデルとも決定的に異なる、本研究の独自性である。また、創造性を既存概念や関係性などを打破して問題解決を図る能力とすると、本研究の創造性の核心は学際的アプローチにある。個別研究分野を深耕する研究とは、本研究は間逆である。

### 3．研究の方法

水モデルの新規開発になるため、文献・情報・データ収集、モデル枠組み検討、コーディング、モデルのテストラン、テクニカルな総合調整と工夫を経て、試算結果が得られる。水に関連する資源需給・統合評価モデルを中心として、モデリングやデータセット、水消費増に起因する人間健康損害、水資源部門における経済評価（ダメージ関数）など既往研究調査を、文献および国際会議情報収集、モデル開発者へのヒアリング等を通じて実施し、現状と問題点の把握に努めた。水を専門的に研究しモデリングを行っている視点から評価すると、他分野でのアプローチは大なり小なり部分的であったり、モデリングの妥当性に疑義が生じるようなものであったりした。とは言え全てを満たす十全なモデルは存在しない。そのため、申請者が既に開発済みの他の資源需給モデルやライフサイクル環境影響評価モデルとの親和性を重視し、エネルギーモデルとのリンクを行った既往の水資源需給モデルを参考にして、モデル枠組みの検討を行った。

モデル枠組みの検討は、その既往の水資源需給モデルとエネルギーモデルのリンケージを拡張する方法となった。エネルギーモデルでは水需要を賄う水供給技術とそれに要するエネルギーが中心となる。一方、開発済みの資源需給モデルではエネルギー以外に、鉱産物、土地（農業系）の資源が対象となる。そのため追加される資源（鉱産物と土地）に関わる水資源需要を切り出して別途推計を行い、追加資源とそれに伴う水供給側、さらには生活用水の需給のリンケージを行った。さらに水に関するライフサイクル環境影響評価モデルとのリンケージを検討した。生活用水と農業用水の不足量に起因する人間健康被害（感染症、栄養失調）の推計式を適用した。以上の検討を踏まえ、コーディング、モデルのテストラン、総合調整等を経て試算結果を得た。

同時並行で水モデルを加える前段階での開発済みの他資源需給モデルとライフサイクル環境影響評価モデルを統合するモデリング手法と、統合評価モデルを用いて持続性指標を推計する論文執筆作業を行った。

### 4．研究成果

水資源需給とそれに伴うライフサイクル環境影響評価を扱う水モデルを新規に開発した。その新規開発の水モデルを申請者が既に開発した他資源需給モデル（エネルギー、鉱物、土地）とリンクさせたモデルを開発した。このリンクは水需要（エネルギー・鉱物と工業用、土地と農業用、人口・GDPと生活用）と水供給（エネルギー）を通じて行った。リンクさせたモデルを用いて2シナリオとなる試算結果を得ることができた。これに加えライフサイクル影響評価モデルを統合評価モデルへ組込む方法と持続性指標に関わる論文執筆作業を行った。執筆論文はモデリングや資源環境経済学の国際学会の査読を経て報告として、発表する機会を得た。

本研究での水モデルの一部は、エネルギーモデルとのリンクを行った既往の水資源需給モデルを参考にはした。しかしながら、エネルギー以外の資源を含む資源需給モデルとのリンクを、水に関わるライフサイクル影響評価を含めた水モデルと行った研究は知る限りにおいて存在しない。経済学的基盤に基づくコンパクトな経済成長モデルとのリンクの拡張を行い、水を含む資源・環境の多くの項目を明示的に扱うシミュレーションモデルとなり、水を含む持続性指標の推計に発展させる基礎となるため、本研究成果の社会的意義は大きい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Koji Tokimatsu, Longlong Tang, Rieko Yasuoka, Ryota Ii, Norihiro Itsubo, Masahiro Nishio	4. 巻 -
2. 論文標題 Toward more comprehensive environmental impact assessments: interlinked global models of LCIA and IAM applicable to this century	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The International Journal of Life Cycle Assessment	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） 10.1007/s11367-020-01750-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tokimatsu Koji, Dupuy Louis, Hanley Nick	4. 巻 72
2. 論文標題 Using Genuine Savings for Climate Policy Evaluation with an Integrated Assessment Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental and Resource Economics	6. 最初と最後の頁 281 ~ 307
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10640-018-0292-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Koji TOKIMATSU
2. 発表標題 Beyond aggregated damage functions in an integrated assessment model
3. 学会等名 Fourteenth IAMC Annual Meeting 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji TOKIMATSU
2. 発表標題 Beyond aggregated damage functions in an integrated assessment model
3. 学会等名 International Energy Workshop 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji TOKIMATSU
2. 発表標題 Beyond aggregated damage functions in an integrated assessment model
3. 学会等名 European Association of Environmental and Resource Economists (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji TOKIMATSU
2. 発表標題 Beyond aggregated damage functions in an integrated assessment model
3. 学会等名 The International Association for Energy Economics (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担 者	鼎 信次郎  (Kanae Shinjiro)  (20313108)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授   (12608)	

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		
フランス	APESA		