カーボンニュートラル社会と資源・素材の将来需給シナリオ

所属：　東京工業大学　環境・社会理工学院

助成対象者：時松　宏治

概要

カーボンニュートラル社会に向けた再生可能エネルギーや蓄電池、電気自動車など民生部門における創エネルギーは、運輸、電気機械（耐久消費財)、建築、インフラ（発電・送配電等）の産業社会の主要 4 部門に波及する。エネルギーバランスとカーボンニュートラルのような地球温暖化を扱う分野と、マテリアルバランスとエコバランスを対象とする分野の、両方を包括的に含むシミュレーションモデルの開発は行われておらず、本研究課題ではこれに取組むことを目的とする。鉱物資源モデル（後者の分野）の「最終製品需要」に関するデータ収集と推計式を産業社会の主要 4 部門について構築し、エネルギーモデル（前者の分野）とモデル間リンクを行った。

abstract

Energy creation in residential sectors by renewable energy, power storage, and electric vehicle toward a carbon neutrality society are strongly promoted. Such promotion of energy creation gives influences four major economic sectors, namely, transport, electronics and machinery (consumer durables), buildings, and infrastructures (power generation, transmission, and distribution). A research area treating energy balance and climate change such as carbon neutrality and one addressing the material balance and ecobalance had been separated and little crossing point.

No model covering both research areas had been developed, which the current study addressed. Regression estimations and their data are made for estimating demands on final products for the four major sectors in our material balance model in the latter research area. The material balance model is hard-linked with our energy model in the former research area.

研究内容

【背景】

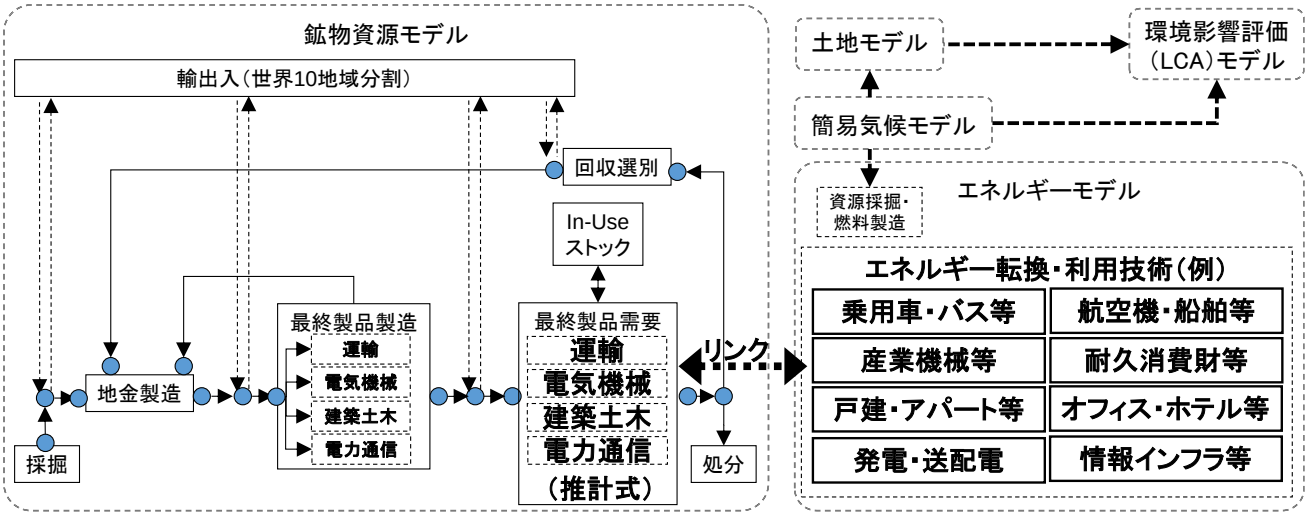
「成長の限界」(1972 年) は世界的な衝撃を当時与えたが、学術的基盤に欠くと激しく批判された。その急先鋒の Nordhaus(2018 年ノーベル経済学賞受賞)と鉱物地質学者 Gordon はそれぞれ、エネルギーモデル (1979 年) と地球温暖化の経済モデル (1994 年～)、北米銅需給モデル (1987 年) を開発してきた。エネルギーモデルは主に工学、地球温暖化の経済モデルは主に経済学で、それぞれ発展してきた。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)への学術的対応から、統合評価モデル分野に発展している。

一方、エネルギーと地球温暖化と比して、銅需給モデルを知るのは鉱物や資源開発、鉱物資源経済学の分野くらいである。理論物理学者 Ayres と資源環境経済学者 Kneese(1969)が、社会経済活動の経済モデルに、エネルギーと鉱物資源の投入、CO2 や廃棄物の排出を描いた。これから、資源環境経済学やエコロジー経済学、ライフサイクルアセスメント(LCA)や産業エコロジーの分野に発展した。この分野では近年急速に将来シナリオ研究が進んできているが (例 ; Shipper ら 2018)、当初は (Ayres ら 2003) くらいしか無かった。

前者の分野 (エネルギーモデル、地球温暖化の経済モデル、統合評価モデル) と、後者の分野 (LCA、産業エコロジー) の特徴は大まかには次の通りである。共通点と接点が極めて少ない。経済活動全セクターを扱う産業連関モデルや応用一般均衡モデルくらいである。違いは、資源・技術をボトムアップに扱う点も共通するが、前者はエネルギー資源 (エネルギーバランス) と地球温暖化を対象として経済的手法 (経済性工学、ラムゼーモデル) をほぼ必ず用いるが、後者は鉱産物等のマテリアル資源 (マテリアルバランス) と環境影響全般(エコバランス)を対象とするが経済的手法を必ずしも用いない、という点である。両分野の対象 (資源・環境) と経済的手法を包括的に用いたシミュレーションモデルの開発は助成対象者以外には行われていない。

【目的】

本研究で新規開発するシミュレーションモデルを図に示す。図中「エネルギーモデル」の転換・利用技術と整合的に、「鉱物資源モデル」の「最終製品需要」推計式を産業社会の主要 4 部門について構築し、モデル間のリンクを行う。エネルギー需給構造に密接にリンクする、主要 4 部門に利用される資源・素材の需要量と、その供給構造を解明する。



【結果】

運輸（特に自動車）、耐久消費財（家庭用、産業用、商業用）、建築、インフラ（特に発電、送配電）、という主要 4 部門（サブカテゴリでは 30 程度）における需要推計方法と使用データを最新のものにアップデートするため、過去 10 年間程で激増した文献収集・調査・レビュー作業を行った。分析作業を行った文献数は 30 程度である。文献中に掲載のある使用データや推計方法を網羅的に拾い出し、資源毎・需要サブカテゴリ毎に素材の使用強度、製品寿命、リサイクル率、資源量、鉱石品位とエネルギー消費量、コストデータなど 100 点超を収集することが出来た。これにより鉱物資源モデルにおいて必要となる、資源需要（フロー）を推計するためのストック量の推計式とパラメター設定データも含め、概ね収集することが出来た。また、国際エネルギー機関などのデータベースも援用し、鉱物資源モデルとリンクする、エネルギーモデルでのエネルギー転換・利用技術に関わるエネルギー需給などのデータも収集整備することが出来た。

上記作業を基に、社会経済シナリオ（Shared Socioeconomic Pathways, SSPs）を用いて今世紀における資源毎・サブカテゴリ毎に需要推計を行うことが出来た。この鉱物資源需

要と必要なエネルギー消費を整合的に満たすよう、鉱物資源モデルとエネルギーモデルのリンク作業を行った。リンク後のこの２つのモデルの予備的な動作確認を行った後に、さらに簡易気候モデル、土地モデル、環境影響評価モデルとのリンク作業を行い、予定していたモデル開発を一通り実施した。

【今後】

今後、カーボンニュートラル社会を模擬したシナリオ分析を充実させ、産業エコロジーやライフサイクルアセスメントなどの国際学会発表、英文論文としてとりまとめ、国際学術雑誌へ投稿する予定である。

引用文献

Ayres, R.U., Kneese, A.V., 1969. Production, consumption, and externalities. *American Economic Review* 59 (3), 282-297

Ayres, R.U., Ayres, L.W., Råde, I., 2003. *The Life Cycle of Copper, Its Co-Products and Byproducts*. Springer; 2003rd edition.

Gordon, R.B., Koopmans,T.C., Nordhaus, W.D., Skinner, B.J., 1987. *Toward a New Iron Age?: Quantitative Modeling of Resource Exhaustion*, Harvard University Press

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Behrens III, WW. 1972. *The Limits to Growth*, Universe Books, New York.

Nordhaus, W.D., 1979. *The efficient use of energy resources*, Yale University Press. New Haven and London.

Nordhaus, W.D., 1994. *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press

Schipper, B.W., et al., 2018, Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics, *Resources, Conservation and Recycling* 132, 28-36.

本助成に関わる成果物

助成期間において無し。今後成果確保に尽力する。