
 書 評 ・ 紹 介

Hal Caswell

Sensitivity Analysis: Matrix Methods in Demography and Ecology

Springer Open, 2019 pp.299

安定人口モデルを主題とした人口学の教科書は国内外でも散見されるが、その中でも感度分析 (sensitivity analysis) という一つの解析方法だけに注目したものは本書以外に筆者は知らない。感度分析とは、行列の固有値に対する各行列要素の偏微分係数をその固有ベクトルと随伴固有ベクトルの演算によって表現する方法である。人口学の用語を用いれば、Leslie 行列の内的自然増加率の各年齢における出生率と生存率に関する偏微分係数 (これを感度という) は、その年齢の安定年齢分布と繁殖価の成分を用いて表すことが出来るということである。この方法は本書の著者である Hal Caswell 教授の1978年の論文で紹介された。この論文ではまさに先述の Leslie 行列の感度分析を行っている。この数理モデルのように安定年齢分布と繁殖価が生命表や人口統計などで得られるデータから直接計算できる場合、一般的に固有値と行列要素との関数関係は陽に表せない (5×5 以上の行列の場合) にもかかわらず数値的に表すことが出来る。感度が高い要素とは、その変化に対して内的自然増加率が敏感に反応する要素である事を意味する。つまり、その行列要素が人口動態を左右する要であると解釈出来る。こうした意味合いから感度の高い要素を見つけることは人口学のみならず、生態学においても保全や資源管理、進化動態の分析などで重要な意味を持つとされてきた。

感度の構成に関する詳述は本書に任せるとして、その理論の根幹はとてもシンプルであるため、過去40年以上の研究から様々な応用と理論的な発展を遂げてきている。年齢構造化モデルだけでなく、サイズや生育ステージで作られた安定人口モデルにも対応できる。さらに本書では、ランダムノイズを含む行列モデルの内的自然増加率の共分散などの統計量も感度を用いて表現出来ることや、非自励系 (non-autonomous system) および非線形 (non-linear) 行列モデルに関しても感度分析の手法を紹介している。一方で、行列の要素ではない、寿命や基本再生産数 (純再生産率) といった本来それだけでは内的自然増加率と直接結びつかない概念にも感度を付与することが出来ることも示されている。

このように感度分析の集大成とも言える本書は、人口動態の解析方法に体系的な視点を与えるだけでなく、地域間移動や年齢構成など様々な要素を含む数理モデルにも感度分析が応用できる事を示している。少子高齢化問題が取りざたされる我が国の人口動態に対して、前出のような様々な要素を盛り込んだ人口モデルを評価できることはより深い洞察が可能となるだろう。こうした問題に興味を持たれた方がおられたなら、一読することをお勧めしたい。

(大泉 嶺)