

生態学におけるモデルと法則に関する 科学哲学論考の意義

島谷 健一郎[†]

(受付 2023 年 1 月 10 日；改訂 4 月 7 日；採択 5 月 11 日)

要 旨

生態学における科学哲学的問題を提起した論文で、科学哲学誌上で繰り返し議論された2つについて、主な論点と哲学論争の経緯を振り返り、現在の統計モデルを活用する生態研究における科学方法論的指針の布石を打つ。「集団生物学におけるモデル構築法」と題する論文では、集団生物モデルにおける一般性・現実性・正確性の間のトレードオフが主張された。用語の定義に曖昧さを含み命題として証明されていないなどの哲学批判を受けたが、そもそも論文の目的は集団生物モデリングの実践論だった。「生物群集に一般法則はあるか?」と題する論文は、そもそも生態学における法則とは何かという論争を招いた。いずれの論文についても、哲学誌上での議論は、一般性や法則などの言葉の定義に割かれがちだった。また、最近公表された科学哲学論文においても、情報量規準やベイズ統計などを駆使する生態研究に関する言及はほとんどない。それでも、何でも込みの複雑モデルと理想化された単純モデルのどちらが適切かのような、データの質・量や計算機の発展を経ても変わらない論点もあり、科学哲学的論考は、議論による成熟を経て研究現場へ恩恵をもたらしていると考えられる。

キーワード：生態学，一般性，法則，科学哲学，モデリング。

1. はじめに

統計学は予測や推定など、実用・応用目的でその価値や役割を議論されがちだが、仮説検証に代表される基礎科学目的でも重要な役割を担っている。とりわけ、野外環境における生き物を扱う生態学では、野外調査で得られるデータは、計測誤差に加え、個体差、1日の中の時間変動、季節変動、環境変動、地域差、地震や津波、山火事などの偶発的イベント等々、研究対象である生態系自体も多様な不確実性を含む。それらを確率分布で表現する統計モデルは、今日、生態データに基づく科学的推論では不可欠になっている。実際、和文誌においても日本生態学会誌や本統計数理誌で特集が組まれており（飯島, 2016; 久保, 2016）、その注目度が伺える。

生態学は、地球温暖化に伴う種の分布域の変遷や生物多様性消失など、環境問題に対峙する科学として、社会の期待感が高まっている。そうした社会的需要である応用・実用問題に貢献するには、種の分布域を制限する要因や種の共存機構を促すメカニズムの解明など、基礎科学としての成熟度を高めていくことも望まれる。すると、不確実さに富む研究対象に関する不確実さに富むデータに基づく科学方法論や推論形式など、科学哲学的な課題や葛藤に見舞われる。科学哲学の視点から生態学の歴史や現状を分析し、さらに、今日の大規模時空間データに

[†] 統計数理研究所：〒190-8562 東京都立川市緑町 10-3

基づく推論と統計学の役割について、科学方法論を開拓・整備・確立していく必要がある。

生態学の専門学術誌には、古くから科学哲学的視点を含む論文が掲載され、生態研究者間で議論の俎上に上がっている。ただ、その多くはクーンやポパーなど、有名哲学者による古典的科学哲学書の引用にとどまる。しかし、哲学誌上で引用され科学哲学者により繰り返し議論されるに至った論文も、数は少ないが存在する。

本稿では、生態学における数理モデルの役割や意義について、哲学誌でも盛んに議論された生態学論文の事例を2つ取り上げる。そこでの議論の大半は数理生物学、特に偏微分方程式を用いる数理モデルに重点が置かれており、情報量規準やベイズ統計、機械学習など21世紀以降の主要な統計モデルを活用する生態学への言及はないに等しい(島谷, 2021; Shimatani, 2021)が、その萌芽は見え隠れしている。最終節では、統計モデルを駆使する今日の生態学研究における科学哲学的論考の役割について、筆者の見解を述べる。なお、現在の標準的科学論文の構成は「序>材料と方法>結果>考察」であり、本研究もこれに準じた流れで遂行した。それで、付録に、「序>材料と方法>結果>考察」の形式だった場合の要旨を付けた。

2. 数理モデルの一般性・現実性・正確性とその間のトレードオフ

「集団生物学におけるモデル構築法」と題する Levins (1966)は、生態学者のみならず科学哲学者からも繰り返し引用され議論の俎上に挙げられている。ここで集団生物学(population biology)とは、大きく集団遺伝学(population genetics, 特定種の集団内の遺伝子頻度の変動)と個体群生態学(population ecology, 特定種の集団の個体数の変動)から成る(後の Odenbaugh, 2003では、行動生態学や生物地理学も含めている)。Levins (1966)で革新的だったのは、一般性(generality), 現実性(realism), 正確性(precision)の3者にはトレードオフがあり、3者すべてを最大にする数理モデルを作ることはできない、という主張である。

一般性：その数理モデル(方程式)で表される法則性は、広く様々な現象を説明する。

現実性：現実と著しく乖離した仮定などは置かれておらず、現実に近いものになっている。

正確性：正確な予測を導き出せる。

トレードオフがあるため、数理モデルの構築では、このいずれかを犠牲にせざるを得ない。

1. 一般性を犠牲にする。

ある生態系や個体群などに特化した、例えば種や地域を限定したモデルにする。

2. 現実性を犠牲にする。

古典物理学における摩擦のない斜面や、理想気体などのように、非現実的な仮定を置く(理想化を行う)。現実と乖離していても、それらが互いにキャンセルするといった予測が得られることもある。また、モデル予測と現実の乖離からどのような複雑化が必要かが見えてきたりもし、より現実的なものに修正していくこともできる。

3. 正確性を犠牲にする。

定量的予測をあきらめ、定性的なパターン、例えば安定平衡解の存在、周期解の存在、相転移の発生、縞模様や渦巻きなど空間パターンの形成、あるいは変量間の正の相関や不等式などを数理モデルで予測し、現実と比較検証する。実際のところ、多くの数理生態学モデルはこれを選んでいく。

この論文は数理生態学に大きな影響を与え、その後の数理生態学の多くが定性的パターンに関する考察を主題にしてきた。Orzack (2012)によると Web of Science(2011年10月)で490回以上引用され(2023年1月9日の時点の Google Scholar では引用元数は2560)、その多くが Levins

の3分類の3つめに属することに言及していた。実際、定量的正確性を捨て定性的パターンに焦点を当てることで様々な非線形微分方程式の性質が明らかにされ、生態学を含む諸科学で効果を上げた。

今日、数理モデルを状態空間モデルの中のシステムモデルに用い、観察モデルを通して実データと統計的に適合させる研究が盛んである(飯島, 2016)。システムモデルに一般的かつ現実的な数理モデルを用い、システム・観察の両モデルに確率分布を入れることでデータに適合させる。しかし、両方に確率分布による不確実性が入ると、モデルがデータによく合っている、データはモデルを説明できる、と言われても、それが「正確な予測」であるとは直観的にも受け入れがたい。今日に至るも、正確性を犠牲にする研究が主流と言えるのかもしれない。

数理モデルを用いる集団生物学の方法論として繰り返し引用され参照されている Levins (1966)であるが、Orzack and Sober (1993)で科学哲学の視点で検証を受けると、その議論に多くの問題が指摘された。

Orzack and Sober (1993)が最初に取り上げた問題は、一般性・現実性・正確性の定義である。科学哲学では、言葉の定義が正確でないと議論が始まらないし、それが原因でかみ合わない議論が進行することはしばしば見られる。確かに、上にあげた3者の説明は、筆者による和文表現であり、用語の定義としては不完全である。ニュートンの運動方程式はリングの落下から太陽と地球の動きまで説明する「一般性」を有する、摩擦のない斜面は「現実性」を欠いている、など、3つの概念は直観的に納得いくものであるだけに、特に問題視されてこなかったであろう。

さらに、「トレードオフがあり3者を同時に最大にはできない」と主張するには、前提としてモデル間で一般性や現実性の大小を比較できないと困る。しかし、具体例を取って考えれば、モデル間の相対比較が容易には解決しない問題であることが見て取れる。

重回帰モデルを例に取り上げる。よりたくさんの変数を含む重回帰モデルの方が、より広範な現象に適用できる点で一般性は高いと考えるとする。また、どの変数も、程度の差はあれど目的変数に影響を与えうるので、変数はなるべくたくさん含める方が現実性も高いと考えることにする。さて、データが一つ与えられたとき、どの変数まで含めた重回帰モデルがもっとも予測力が高いか、これは、赤池情報量規準(AIC)などの情報量規準が普及した今日、あまりに少ない変数では予測力は低く、変数を増やすに連れて予測力は増していくが、増やしすぎると逆に予測力は落ちていくというモデル評価が多く見られる。後者は、まさしく一般性・現実性と正確性のトレードオフである。しかし、前者では、変数の増加とともに3者すべてが増加しており、トレードオフは働いていない(Orzack and Sober, 1993では情報量規準についての言及はないが、のちにSoberはAICについての哲学的考察を深めていく(Sober, 2008, 2015))。

つまり、3者のトレードオフはいつでも存在するわけではないか、あるいは、それ以前に3者の概念、特に一般性と現実性における大小関係の定義に問題がある。

ここには、それまでLevins (1966)を引用・参照してきた論文にない視点が2つ入っている。ひとつは、モデルの数式の中のパラメータを固定したときと未知(自由)な状態のときの区別である(Orzack and Sober, 1993はこれらをinstantiated-uninstantiatedと呼んだが、その後、この用語はあまり普及していない)。これは、重回帰モデルのようなネスト構造を有するモデル群について、部分的にパラメータを(0に)固定したモデル(残りのパラメータは自由)とそうでないモデルについて、前者のほうが一般性が高いといっているか、あるいは、ネストしているモデル群について一般性の比較に意味があるか、という問題も含有する。

今一つは、Levins (1966)を参照する多くの論文がひとつの数理モデルを取り上げ、それが3者のどれを犠牲にしているかを論じていたのに対し、Orzack and Sober (1993)は複数の数理モデルについて3者を相対比較するという視点である。

Levins (1966)は、さらに頑健性(robustness)、十分パラメータ(sufficient parameter)という概念も提唱している。この頑健性は、今日の統計学で使われる頑健性とは別の概念で、大雑把には、一つの生物学的仮説について、その数理モデル化(用いる数式、単純化のための仮定、など)によらず同じような結果がもたらされることを指し、Levins (1966)は「真実は独立な嘘の交わりにある」(P423)と書き表した。十分パラメータも十分統計量とは別概念で、個体群増殖率のように生残・成長・繁殖などをひとまとめに表現するパラメータを意味し、重力定数や摩擦係数などと対比させられる概念ととらえている。

こうした批判に対し、Levinsは同じ学術誌上のLevins (1993)で応えている。筆者から見た要点を単純に言ってしまうと、Levins (1966)は集団生物学のモデリング現場における指針であり、3者のトレードオフの存在という哲学の命題を証明する論文ではない。だからこの命題に根拠がないとか真でないという批判は意味がない、とだろう。確かに、一般性や現実性という概念を正確な定義なしに導入することに問題はある。しかし、そもそも論文の目的はモデル論という科学哲学における命題の証明ではなかった。

Odenbaugh (2003)は、科学哲学の立場からLevins (1966)を擁護する。「実用論的(pragmatic)」、「形式的(formal)」、「意味論(semantics)」などの哲学用語で論文の科学哲学における位置付けを行い、目的の違いを説明する。トレードオフを考慮せざるをえない背景として、生態系のような複雑な動態を偏微分方程式系による数理モデルで分析するには、(1)大量のパラメータを推定し、(2)数学として解き、(3)結果を意味付け解釈しないといけない。あまりにつまらないモデルについて、それより3者全てで優るモデルを作ることは可能である(トレードオフは働かない)。しかし、あるレベルを越すと、3者を同時に最大化することは上の(1)-(3)という需要を満たさないといけないためはや無理で、いずれかを犠牲にせざるをえない(P1504のFigure 1はこれらを図で説明している)。

Orzack (2005)はこれに対する反論だが、Odenbaugh (2003)が「OrzackとSoberの議論は失敗している」と書いた(P1496, 1497)のに呼応してか、「Odenbaugh (2003)の主張は集団生物学のモデリングに対し、何の有益な洞察ももたらさない」(P479, 484)という強い表現で始めている。ただ、集団生物学のモデリング現場に位置する立場にとって、議論は科学哲学としての言葉の使い方など末梢的な方向へ向かい、集団生物学の研究現場から遠ざかっていく印象しかもたらさなかったもので、これ以上言及しない。

Levins (1966)は、2022年に*American Naturalist*という伝統ある学術誌で公表された「実証研究者のための理論生態学使い方ガイド」と題する論文(Grainger et al., 2022)や、「生態学と進化学において数理モデルについて肝に銘じておくべき9つの事項」と題する論文Joshi (2022)でも取り上げられている。Orzack and Sober (1993)が指摘するような用語の定義の曖昧さなどの問題はあっても、初学者が数理生態モデルを学ぶ時、一般性・現実性・正確性という概念は直観的でわかりやすく、2022年になっても、個別の現象に特化したモデルと根本原理から始まるモデルの間で揺れる現場の研究者、特に初学者には、有益な指針を与えている。

Levins (1966)の時代は、何でも込みの複雑モデル(原文はbrute-force approach)を扱える体制になっておらず、理想化された単純モデル(idealization approach)の方が有効と考えられがちだった。しかし、21世紀に入り、マルコフ連鎖モンテカルロ法と計算ベイズ統計や機械学習の発展により、何でも込みの複雑モデルも扱えるようになってきた。

そうした時代の変化を鑑み、Odenbaugh (2006)では、パラメータ推定以外は解決が見えてきており、Levins (1966)はもはや「あまりに悲観的だった」と結論している(P620)。

「40年後のLevins」と題するWeisberg (2006)は、Levins (1966)がモデリングの意義を「自然を理解し、予測し、上手く付き合う(原文はmodifyで、人の都合のいいように改変していくという意味にとれるが、現在の感覚からはこのような訳語が適切と判断した)」という記述は、「科

学とは説明, 予測, 統制(control)である」という科学哲学界で普通に言われる見解と対応するなど, 科学哲学から見て時代を先取りした視点が多数見られるという指摘から始まる(P625). 一般性・現実性・正確性や何でも込みの複雑モデル・理想化された単純モデルについても, Levins 自身の記述より深い洞察を伴う解釈を与える. そして, 査読付き科学哲学誌に掲載された論文ではないため, 記述の不完全さについて科学哲学者から批判を受けてしまったが, Levins (1966)の主張は, 科学哲学の立場から, とりわけ実用(practice)視点で, 40年を経た今でも色褪せることなく読み込める. 願わくば, 自分の学生の学生に「80年後のLevins」を書いて欲しい, そのときは科学哲学も変貌しているだろうが, そこにはLevins (1966)に内在していた様々な科学哲学的発想が吸収されているだろう, と締めくくる(P644).

一方, Orzackは「モデリングの科学哲学, または生物学の科学哲学は何らかの使い道があるか?」と題する論文を哲学誌に出す(Orzack, 2012). そこでは, 「生物学者は哲学に注意を向けるべきか? 生物学者は生物学の哲学に注意を向けるべきか? 生物学者はモデルに関する生物学の哲学論文に注意を向けるべきか?」という3つの疑問から始め, 3番目についてはYesと断定する. Orzack and Sober (1993)からここに至る論争には, 科学研究先端に位置する研究者と科学哲学者の異分野交流の難しさ, しかし年月を経た後に収穫をもたらす期待を感じさせる.

Orzack and McLoone (2019)では, Breiman (2001)が「統計モデルには, データモデリング文化とアルゴリズムモデリング文化の2つがある」と論じた論文を引用し, そこへさらに「因果モデリング文化」を導入する(P83). データモデリング文化は情報量規準やベイズ推定など, アルゴリズムモデリング文化は機械学習に対応すると考えてよく, ようやく現在の統計モデルを用いる生物研究に言及されるようになった. しかし, 引用は18年前の論文であり, 「アルゴリズム文化(機械学習)に携わる統計研究者は全体の2%である」(P199)といった2023年の感覚と程遠い記述も見られる. 一方Levins (1966)については, 「モデルに対する擬哲学的(pseudo-philosophical)支援」と表現したり(P79), 総合科学誌に掲載されたにも関わらず引用の大半は進化学と生態学に偏ってきた事実を論じる(P79). そして, 集団生物学でなく, 細胞生物や分子生物も含めた生物学全般のモデリング, 特に生物学内でのモデル文化の多様性や違いについても言及しながら, (古典)物理学と生物学における「複雑さ」の捉え方の違いなども議論する.

3. 生物群集の生態的法則

生態学誌 *OIKOS* 誌上で公表された「生態学に一般法則はあるか?」と題する論文 Lawton (1999)では, 群集生態学ではいわゆる一般法則は存在しないと主張された. その根拠は, 群集生態学では山火事や洪水など, 偶発的な(contingent)イベントが群集動態に与える影響が大きい, というものである. 一方, より大きなスケールで考えるマクロ生態学では諸々の偶発的イベントの影響が互いにキャンセルし, 大域的法則性が発見できるかもしれないし, 逆に種を限定する個体群生態学でも対象に限られるため法則性を期待できる. 群集生態学はその中間ゆえ, 法則性は期待できない, というものである.

これに対し, 生態学者から, 賛同や, 賛同する面もあるがここまで言い切れないなど, いろいろな反響があった. *Biology and Philosophy* 誌で公表された Roughgarden (2009)は, 進化学のような一般理論が群集生態学には見られないという意見から始まる. 群集生態学では, 古くからニッチ理論(種間相互作用により種には固有の環境条件に生息し, それらは重なり合ってもいい)が一般理論の候補だが, 未だ一般理論に至っていない. そこで, 進化学が突然変異で始まる多様性生成(production)の理論であるのに対し, 群集生態学は多様性形成(formation)の理論を目指すべきと主張する. 進化学における突然変異と自然選択という, 多様性の供給と相

相互作用に関する進化学の概念に対応する群集生態学の概念として、散布や移動により群集に達する新種の加入(移入)と、群集内での種間相互作用(による多様性維持機構)を提唱する。ちなみに論文の結びは、「現在、群集生態学に一般理論はあるか? いいえ」、「あり得るか? はい」、「あるべきか? わからん」である。なお、Roughgarden (2009)は「群集生態学の一般理論は存在するか?」という Lawton (1999)と似たような題で Lawton (1999)も引用しているが、「共通点を積み上げていけば群集生態学の一般論になるかと問われると、大半の人はそう考えていない」という文脈での先行研究例のひとつという引用にとどまっている(P525-526)。

Linguist は一連の論文の中で Lawton (1999)を批判的に検証している。その中のひとつである Linguist et al. (2016)では、まず法則・法則性とは何かについて科学哲学的に整理する。法則が有する一般性は、普遍性、説明能力及び予測能力を特徴として持つ。さらに、法則は様々な場面で安定的に成り立つというとき、生態学では、不変性(invariant)と弾力性(resilient)に分けることを提唱する。そして、弾力性には3つの条件に沿った弾力性があると主張する。

分類ランク間の弾力性(taxonomically resilient):ある法則が、様々な種、属、科、目を通して成り立つ。

生息地間の弾力性(habitat resilient):森林、草原、湖沼、海洋、様々な生息環境で成り立つ。

空間スケールの弾力性(spatially resilient):地域レベル、局所群集レベル、個体レベル、細胞レベル、分子レベルなど、空間スケールを問わず成り立つ。

その上で、公表された生態論文についてメタ解析を行い、個体群生態学やマクロ生態学と比べて群集生態学が弾力性について数的に劣っているかを比較したところ、特に有意な差は見られなかったと報告する。そして、そこで発見された法則として、

- 生息機の分断は送粉と植物の繁殖に負の影響を与える。
- 草食動物が増えると1次生産されるバイオマスは減る。

といった例を挙げている。そして、Lawton の論文の演題「生態学に一般法則はあるか?」に呼応して、「はい、生態学には弾力的一般化(法則)があります」という演題で答えている。

ただ、上記の例を見て「法則」と思う人は生態学界でも少ないのではないか? 法則と聞いて連想するのは、物理学でならニュートンの万有引力の法則や電磁気学におけるクーロンの法則などである。これらと比べるとはるかに矮小で、Linguist et al. (2016)は(弾力的という修飾語が伴うにせよ)法則というより単なる傾向でしかないものを列挙したに過ぎないように思えてくる。

Lean (2019)は、生態学ではニッチ理論や多様性-安定性仮説(多様な生態系ほど安定的である)といったものが法則に対応し、law-like, local law などの用語を持ち出しながら Linguist の事例は低レベル(lower-level)な法則の例である(P139)などを論じ、生態学に欠けているのは一般統一理論(general unificatory theory)であると主張する。

Lorenzano and Díaz (2020)では、法則とモデルと理論について、個体群動態を例に論じる。法則について、数式はそれぞれが特別な法則を表し、基本的法則・ガイド原理とは、生誕・死亡・移出入という基本デモグラフィーに環境など様々な要素を組み合わせていく指針を提供するものとしている。ただ、個体群動態を論じると明記していても、飯島(2016)にあるような最近の状態空間モデルについては触れていない。

なお、Levins (1966)が提起した一般性と、Lawton (1999)が提起した一般法則は、哲学誌上では別に議論されている。本節で取り上げた論文の中では唯一、Lorenzano and Díaz (2020)が Levins (1966)に1段落設けて言及しているが、その段落は「他の著者…」、次の段落は「…の話題に戻ると」で始まり、言及しないわけにいかないから差し込んだという印象を否めない。

4. 科学哲学論考は生態学に恩恵をもたらすか？

生態学の科学哲学を論じた2つの流れを紹介したが、いくつか共通してみられる点がある。

まず、科学哲学界で議論の遡上に上るのに、10年以上の時間遅れが見られる。Levins (1966)にOrzackとSoberが議論をもちかけたのも、コンピュータが身近になり、数理生態学の教科書も多数出版されるようになった1990年代のことである。

次に、10年遅れで哲学議論が始まっても、科学哲学として噛み合う議論に成熟するまで、新たに10年を要する。その間には、哲学者間による言葉の定義を争うような、研究現場から乖離した議論も挟まる。

そして、さらに10年を経て、科学哲学的論考は研究現場へフィードバックされ始める。実際、本稿で引用した論文に限っても、Odenbaugh (2006)やWeisberg (2006)、Orzack (2012)などは、生態学はじめ各専門分野の学術誌において、モデルの役割や限界などの文脈で引用されている。

ただ、こうした哲学系論文の生態誌における引用のされ方を見てみると、その多くはLevins (1966)を引用するとき、その理解を助けてくれる論文の例としてこれらを列挙しているに過ぎない。Evans et al. (2012)では、どういうモデルを使うかは哲学的スタンスに基づいて決められるという文脈でOrzack (2012)は引用されているに過ぎない(P164)。一方、Amano (2012)では、生態学のモデルはほぼすべて(分子や細胞などから個体に至るまで、などの)詳細を省いたブラックボックスを含んでいるが、ブラックボックスの存在自体が問題ではなく、その活用の仕方が重要であるという主張を補佐する先行研究としてOrzack (2012)を引用している(P501)(本稿では特に取り上げなかったが、Orzack, 2012ではブラックボックスを含むモデルについても言及している)。

残念ながら、今回調べられた範囲では、ほぼすべて哲学者が書いた主要な主張を外した引用と言わざるを得ない。ただ、この理由のひとつに、哲学を専門としていない研究者に哲学者の主張の主要な部分の大半は理解できない、という現実がある。実際、本稿で哲学者による論文を言及するところでは、「…について論じている」という書き方にせざるを得なかった場合も多く、その最大の理由は、「…」についてその哲学者が何を主張したのか、日本語で要約できるほどの理解に筆者が至らなかったからである。

哲学者による論文の生態学者による引用を見る限り、生態研究者の中で科学哲学論文を読んで直接自身の研究思考に活用している人は少ないと言わざるを得ない。しかし、引用回数だけからでも、哲学者の論文を読んでいる生態研究者が決して少なくないことはわかる。そして、そこで得た発想を議論や講演の場で発信したり論文の中で言及するなどして、科学哲学界の議論を拡散している。哲学者による議論は生態学者の中だけの議論とは異なる次元の思考を含み、生態学の中の哲学的問題を成熟させる。こうして、科学の業界は哲学論考の恩恵を間接的に受けていると考えられる。

たとえば今日、生物多様性消失や復元という実社会の問題を前に、現実に即応できる何でも込みのモデルか、多様性に関する基本法則を表現する理想化されたモデルか、今でも研究業界は2分されがちである。こうした2者択一論はわかりやすいが、単純化され過ぎるなどの落とし穴に陥りやすい。一方、Levins (1966)が唱えたのは3者とその間のトレードオフであり、何でも込みモデルと理想化モデルの対立はこの中の1断面でしかない。こんなモデリング思考が科学哲学的に精査を繰り返されたため、(科学的証拠を提示できるわけではないが)生態学の業界において安易な2分論は抑制されているのではないか。

問題提起から20年以上を経て扱うモデルやデータが大きく変貌を遂げている時代になってようやく、哲学的論考は成熟し、科学哲学論文はモデルを使う生態研究者に参照され、そのモ

デリング思考を助けるなど、生態学に貢献するに至る。Levins (1966)が提起したモデリング論は、哲学論争を経たからこそ40年を経た今なお有益な指針を与え続けられるようになった。Lawton (1999)はまだそこまで成熟していないが、もう10–20年の哲学論争を経れば、同様な期待を持てる。

統計モデルを駆使する現在の生態研究については、例えば主要な統計手法のひとつである情報量規準に関する哲学でさえ、Sober (2008, 2015)など論文や書籍こそ公表されているものの、統計学研究現場へのフィードバックを実感できない。それは、哲学論考がまだ成熟に至っていないからと考えられる。機械学習や生態学における状態空間モデルに関する哲学的考察は、それぞれ島谷 (2021), Shimatani (2021)などのように、始まったばかりである。これらが成熟期を迎える頃、機械学習も状態空間モデルも、現在とは異なる様相を示していることだろう。それでも今の哲学的発想のいくつかは科学哲学界で議論されることで成熟していき、その恩恵は20年後40年後の研究者にもたらされる。それには、議論が不毛に終わることを極度に恐れることなく、分野間の積極的なフィードバックが欠かせない。

付録 序>材料と方法>結果>考察 の形式だった場合の要旨

生態モデリングにおける科学哲学的問題を取り上げた科学哲学論文は、生態モデリングの発展に貢献しているか。

材料と方法

1. 生態モデリングにおける科学哲学的問題を提起した論文で哲学誌でも繰り返し引用された論文を探し適切と思われる論文を2つ以上選ぶ。
2. 議論された内容の流れを追い、共通する傾向の有無を探す。
3. 2で取り上げた哲学論文の中で最近の生態学論文で引用されているものを検索し、引用のされ方を調べることで科学哲学の生態学への貢献(フィードバック)を判断する。

結果

1. 生態学から提起された哲学的問題が哲学誌で議論されるまでにタイムラグがある。
2. 哲学者が議論を始めても生態学者との議論が噛み合うまでに新たなタイムラグがある。
3. それでもそうした科学哲学論文は生態学者に引用されるようになる。ただし、主要な部分でなく参考資料の例程度の引用が目立つ。

考察

生態学術誌における哲学論文の引用のされ方はマイナーなものが目立つが、引用されたという事実は生態学界に哲学論文を読む研究者が少なからずいることを示す。哲学論文を読むことでそこでの哲学思考の感化を受けているはずで、間接的ながら科学哲学者による議論は現在の生態学研究に正のフィードバックをもたらししていると考えられる。

参 考 文 献

- Amano, T. (2012). Unravelling the dynamics of organisms in a changing world using ecological modelling, *Ecological Research*, **27**, 495–507.
- Breiman, L. (2001). Statistical modeling: The two cultures, *Statistical Science*, **16**(3), 199–231.
- Evans, M. R., Norris, K. J. and Benton, T. G. (2012). Predictive ecology: Systems approaches, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **367**, 163–169.
- Grainger, T. N., Senthilnathan, A., Ke, P.-J., Barbour, M. A., Jones, N. T., DeLong, J. P., Otto, S. P., O'connor, M. I., Coblenz, K. E., Goel, N., Sakarchi, J., Szojka, M. C., Levine, J. M.

- and Germain, R. M. (2022). An empiricist's guide to using ecological theory, *The American Naturalist*, **199**, 1–20.
- 飯島勇人 (2016). 生態学分野における状態空間モデルの利用：趣旨説明, *日本生態学会誌*, **66**(2), 337–338.
- Joshi, A. (2022). Nine things to keep in mind about mathematical modelling in ecology and evolution, *Journal of Biosciences*, **47**, 19.
- 久保拓弥 (2016). 「特集 生態学における統計モデリング」について, *統計数理*, **64**(1), 1–2.
- Lawton, J. H. (1999). Are there general laws in ecology?, *Oikos*, **84**, 177–192.
- Lean, C. H. (2019). General unificatory theories in community ecology, *Philosophical Topics*, **47**(1), 125–142.
- Levins, R. (1966). The strategy of model building in population biology, *American Scientist*, **54**, 421–431.
- Levins, R. (1993). A response to Orzack and Sober: Formal analysis and the fluidity of science, *The Quarterly Review of Biology*, **68**, 547–555.
- Linquist, S., Gregory, T. R., Elliott, T. A., Saylor, B., Kremer, S. C. and Cottenie, K. (2016). Yes! There are resilient generalizations (or “laws”) in ecology, *The Quarterly Review of Biology*, **91**(2), 1–13.
- Lorenzano, P. and Díaz, M. A. (2020). *Laws, Models, and Theories in Biology: A Unifying Interpretation. Life and Evolution: Latin American Essays on the History and Philosophy of Biology* (eds. L. Baravalle and L. Zaterka), 163–207, Springer Nature, Switzerland.
- Odenbaugh, J. (2003). Complex systems, trade-offs and mathematical modeling: Richard Levins. ‘Strategy of model building in population biology’ revisited, *Philosophy of Science*, **70**, 1496–1507.
- Odenbaugh, J. (2006). The strategy of “The strategy of model building in population biology”, *Biology and Philosophy*, **21**, 607–621.
- Orzack, S. H. (2005). Discussion: What, if anything, is “The strategy of model building in population biology?” A comment on Levins (1966) and Odenbaugh (2003), *Philosophy of Science*, **72**, 479–485.
- Orzack, S. H. (2012). The philosophy of modelling or does the philosophy of biology have any use?, *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B*, **367**, 170–180.
- Orzack, S. H. and McLoone, B. (2019). Modeling in biology: Looking backward and looking forward, *Studia Metodologiczne*, **39**, 73–98.
- Orzack, S. H. and Sober, E. (1993). A critical assessment at Levins’s The strategy of model building in population biology (1966), *The Quarterly Review of Biology*, **68**, 533–546.
- Roughgarden, J. (2009). Is there a general theory of community ecology?, *Biology and Philosophy*, **24**, 521–529.
- Shimatani, K. (2021). Philosophy of statistical sciences: The roles of mathematics and statistical models in estimation and other inductive inferences, *Annals of the Japan Association for Philosophy of Science*, **30**, 5–22.
- 島谷健一郎 (2021). 推定目的の統計モデルを用いる帰納推論における数学・演繹の位置付けと役割, *Linkage: Studies in Applied Philosophy of Science*, **1**, 32–41.
- Sober, E. (2008). *Evidence and Evolution: The Logic Behind the Science*, Cambridge University Press, U.K. (松王政浩 抄訳 (2012). 『科学と証拠：統計の哲学入門』, 名古屋大学出版会, 名古屋.)
- Sober, E. (2015). *Ockham’s Razors: A User’s Manual*, Cambridge University Press, U.K. (森元良太 訳 (2021). 『オッカムのかみそり：最節約性と統計学の哲学』, 勁草書房, 東京.)
- Weisberg, M. (2006). Forty years of ‘The strategy’: Levins on model building and idealization, *Biology and Philosophy*, **21**(5), 623–645.

Does Philosophical Discussion about Ecological Modelling and Laws Contribute to the Developments of Ecological Studies?

Ichiro Ken Shimatani

The Institute of Statistical Mathematics

The literature includes ecological papers that have examined philosophical issues in ecology and have been repeatedly cited in both ecological and philosophical journals. This paper discusses two examples. One example is the tradeoff among generality, realism, and precision in population biology modeling. This proposed tradeoff has been criticized by philosophers because of a lack of proof for the existence of a tradeoff relationship and because of unclear usage of the three terms, although the aim of the original paper was to discuss modeling strategies for population biologists. The second example is a paper that asked if there are general laws in ecology. The philosophical literature tends to focus on what the terms “general” and “law” indicate, and some of the discussions diverge from the concerns of ecologists. In addition, very few philosophers have mentioned recent ecological studies that use up-to-date statistical modeling. Even though some philosophical issues have been invariant despite rapid developments in data and computer technologies, philosophical discussions are expected to make ecological issues mature and then feedback to ecological research.