

科学の頑健性の分析による科学的实在論の擁護

野内 玲

1 はじめに

近年、科学哲学において科学における頑健性（robustness：ロバストネス）の研究が活発になってきている。しかし、この言葉は自然科学以外の分野ではなかなか耳にしないかもしれない。頑健性は科学研究の様々な場面・様々な意味で用いられている。簡単な例を挙げてみよう。

古生物学者から研究内容について話を聞いているとする。古生物学は化石や地層の情報、現在の生物の姿から過去の地球上に生息していた生物の姿を、時間を遡って描こうとする。アノマロカリスやハルキゲニアは、化石から想像した姿が二転三転している生物として有名である。ここで古生物学者に「どのようにして過去の生物の正しい姿を描いたと根拠づけるのか」と問いかけたら、古生物学者は「たしかに、古生物学ではある学説を正しいと言い切ることはできない。それでも、出来るだけロバストなものになることを目指しています」と答えた。この場合の「ロバスト」という言葉の意味は、古生物の姿を、詳細の多少の変更はあれども、大きな意味での変更は起きないように推測することである。この場合、ロバストという言葉は、正しさとは別の次元で学説の信頼性を表現することになるだろう。

他の分野での例を考えてみる。工学の分野において、この言葉はあるシステムが何らかの外的擾乱に対して示す安定性のことを指す。柳の樹が風に吹かれて揺れる際、その枝や幹が揺らぐことはあっても、樹自体が倒れることはなく、頑健である。揺れることで、風によって受ける外部からの力を受け流すのである。建築でいえば、免震構造とは地震が起きた際に建物が倒れないように導入するものである。地震という外的擾乱に対して部分的に揺れを制御する構造を導入することで、地震に対して頑健となる。ただし、その安定性については、どの程度の規模の地震まで大丈夫か、地盤等も含めた建築物を取り巻く環境全体で考慮する程度の判断になる。

他の頑健性の例は、システムであったり（どこかにバグが発生してもシステム全体が落ちることがないように設計する）、交通網であったり（何処かで渋滞や事故が発

生しても迂回路を確保する)、様々な場面にもある。以上のように頑健性という言葉は、科学研究の現場において、多様な仕方で用いられている。

また、科学哲学においても頑健性という概念は、多くの研究者のテキストの端々に登場している。科学研究の多様な現場において使われるがゆえに、その意味の適切な理解を求めて、近年、この概念に関する分析が進んでいる。元々は科学研究の特定の分野における頑健性概念の1論文が皮切りとなり、その後、多様な分野での用法や、様々な意味について検討がされている状況である。そこで本論では、まずは科学哲学における頑健性の議論の流れを概観し(2章)、それが科学的实在論論争の中心的話題に接続可能であるという議論の方向性についてまとめる(3章)。その後、頑健性という概念が科学的实在論論争において果たす役割について検討する。この概念を用いても科学的实在論を積極的に擁護する議論にはならず、科学的反实在論の既存の議論を補強することにはなるが、新たな論点を提示するには至らない(4章)。こうしたことから、科学における頑健性という概念の分析は、科学的实在論論争とは切り離れた形で実施することが望ましいと考えられる。

2 科学哲学における頑健性の議論

科学哲学において、頑健性という概念の研究の主流を作ったのは、Levinが1966年に発表した集団生物学の論文である。しかし、Levinの論文は発表した当時それほど影響力を持たなかった。その後、Wimsattが1981年に行った頑健性の議論が注目を浴び、Levinの議論が掘り起こされた。現在では、科学の多様な分野における頑健性概念の分析・検討を行った論文集として、(Soler et al. 2012)が出版されるに至っている。この論文集は、1990年代頃に科学哲学で生じた「実践的転回」を引き継ぐものと言える。以下では上記の時系列が多少前後するが、Wimsattの議論を端緒として科学哲学において頑健性がどのように議論されているかを概観する。

Wimsattは科学理論において頑健な部分を見いだすことが重要であると主張する。

頑健性の分析の目的は、实在を仮想から、信頼できるものを信頼できないものから、客観的なものを主観的なものから...、区別することにある。(Wimsatt 1981, 63)

決定に際して複数の手段を用いて、共通した現象・対象・結論の存在と特徴を「triangulate⁴⁾」することは、科学において長年の伝統があるが、一義的な焦点を当てられたことはほとんどなかった。(Wimsatt 1981, 61)

例えば、科学において何らかの新奇な現象を発見したというためには、一つの、一回の実験結果だけでは足りない。単なる偶然の産物ではないことを示すために、その現象を支持する他の方法や、場合によってはその現象に基づいて別の結論を導き出すことが必要となる。そうした多点による理論的支えを、Wimsatt は triangulate というのである。ここで Wimsatt は科学理論において仮説的に導入された対象を識別することを念頭に置いており、彼による頑健性の議論は、実験等によって対象を検出する際の手続きに関わることだと理解できる。

Wimsatt は科学哲学において頑健性という概念が見落とされてきたと述べているが、この話題の古典的な話に戻ると、Levin は次のように考えていた。

我々の真理は独立した嘘の交差点にある。(Levin 1966, 423)

ここで述べられている科学における「嘘」とは、一種のレトリックである。後にナンシー・カートライトが著作『物理法則はどのようにして嘘をつくか』(1983)において指摘した通り、科学のモデルは多様な仕方現実の特定の側面を取捨選択もしくは抽象化した理想化を行っている。たとえば、万有引力の法則は質量を持った2個体間に働く力を記述するが、現実世界において、完全に2個体の間に働く力だけを考慮することは不可能である。地球と太陽の間の万有引力を記述する際には、それ以外の惑星や恒星も含め、様々な質量源からの寄与がある。しかし、そうした多くの寄与のほとんどは近似的に0とみなせるから、といった理由で無視することになる。したがって、科学の基本的な法則は、細かな要因や関係する対象を限定した結果を記述しているのであり、現実をありのままに描写することはない。このことをもって、カートライトは科学の基本的な法則は嘘をついているという。Levin の主張はカートライトと同じである。ここで強調すべきなのは、嘘の交差点という表現であろう。科学のモデルには様々な嘘が入り込んでいるが、複数のモデルにおいて共通して用いられる部分

には、真理が見出されるということである。

Orzack と Sober がまとめているように、Levin はこの真理というレトリックを言い換えて「頑健な定理 Robust Theorem」という用語を導入する。

もしあらゆるモデルが偽なる仮説を含んでいるのなら、我々は真であるものを発見するという望みを一体どのようにして持ち得るのだろうか？Levin の答えはこうだ。我々は「頑健な定理 Robust Theorem」を探すべきだ。(Orzack and Sober 1993, 538)

定理という語を用いていることから分かるように、ここで Levin は、Wimsatt が重視した実験的な検出の場合における頑健性ではなく、理論的な導出の場合について焦点を当てている。複数の仮説から導かれる結論が収束する場合、もしくは、どの仮説においても中心的な役割を果たしている部分がある場合、それは頑健な定理とみなせる。

先に引用した Orzack と Sober は、引用した箇所の後で、Levin が考えているのは論理的な確証に関するものであって観察によるものではなく、経験的な確証力が無いという批判を与えている(Orzack and Sober 1993, 538)。それに対して、Levin は Orzack らの批判に、観察という手続きはコアとなるモデルの選択およびモデルの妥当な変種を選択する際に入り込むという反論をしており(Levin 1993, 533)、観察と理論的導出の間に乖離があるとは考えていないと主張している。

こうした議論の応酬をさらに広げたのが Weisberg である。Weisberg は Levin を擁護する形で、Orzack らは頑健性の分析の一部だけ見て批判しているとし、頑健性の様々な回構造を分析する必要があると述べる。

...ある現象に対して十分に異質なモデルの集合がすべて共通した構造を持っていたとしたら、現実世界の現象が対応する因果的構造を持っていることは非常にありそうである。(Weisberg 2006, 739)

十分に形成された頑健な定理は三つの部分を持つ：共通構造、頑健な性質、*ceteris paribus* [他の条件は同じ] 条件の集合である。(Weisberg 2006, 741)

Weisberg は科学理論における頑健性の分析は、複数のシステムで共通している構造を探し、その中から頑健な性質を同定し、それが成立する一定の条件を決定するという段階を経てなされるという。この各段階において、共通構造自体は数学的に記述できるものかもしれないが、それを同定するために経験的な決定がなされる。つまり、Orzack と Sober が Wimsatt に向けた議論は、批判というよりも、頑健性の分析をより拡張する必要がある、ということを示唆するものと理解できる。

以上のように、Weisberg によって、科学理論における頑健性の分析に関して、経験的な検出と理論的な定式化は相補的な役割を持っていることが論じられた。このようにして見ると、頑健性という概念には、その適用対象に応じて様々な意味があることが分かる。Weisberg は後に、科学の理論モデルの分析において、パラメータに関する頑健性（例：多少の温度変化があっても結果に影響しない）、構造的頑健性（モデルの数学的方程式に変化があっても結果に影響しない）、表象的頑健性（粒子説から波動説など、モデルの表象枠組みの変化があっても結果に影響しない）という3つのタイプを提示している(Weisberg and Reisman 2008)。すなわち、頑健性を分析する際には、具体的に何が何に対して頑健であるのかという対応の組み合わせを考慮する必要があるのである。

ここで、Boon が作成した、頑健性概念の様々な意味の表を示す。この表は Weisberg らとは異なり、より抽象的なレベルで、頑健性の様々な役割や意味を網羅する意図がある。

カテゴリー	対象	意味
形而上学的	実在	安定、決定的 独立した物理世界
認識論的	現象論的法則と科学的モデル	信頼性
存在論的	観測データと物理的出来事 観察的・理論的対象 現象と因果的關係性	再現性 安定性 普遍性
方法論的	科学的方法	反復、多様な決定
規則的	科学的実践	知識算出に対する可能性の条件

表 1. 頑健性の多様な意味 ((Boon 2012, p. 296)の表の各列をその順序のみ改編)

この表で頑健性は、研究対象が持つ性質、研究対象についての知識に関するもの、研究対象に接近するための方法の評価といったように、多様な意味合いを持つことが示されている。この多様な観点からすると、上述してきた頑健性の議論は同時に複数のカテゴリーに入りうる仕方ではなされてきたことが分かるだろう。例えば、先に引用した Wimsatt の「頑健性の分析の目的は、実在を仮想から、信頼できるものを信頼できないものから、客観的なものを主観的なものから...、区別すること」という記述は、認識論的カテゴリーに関する議論である。どこまでが嘘でどこからが真実なのかといった線引きを行うのである。また、「決定に際して複数の手段を用いて、共通した現象・対象・結論の存在と特徴を triangulate すること」は、存在論的・認識論的カテゴリーに関する議論である。複数の観察データが同じ仮説を支持する場合、それは観察対象の存在と、手持ちのモデルの正しさをより確かなものとするだろう。

一方で、方法論的・規則的カテゴリーは、科学の手続き自体の話であり、科学理論の中身やその帰結に関する存在論的・認識論的カテゴリーと分離して考えることはできない。例えば、これまで全く取り組まれていない研究を行う場合に実験装置が信頼できる挙動を示すかどうかは、実験によって得られたデータをフィードバックとして精査することや、先行研究の知見と照らし合わせることでなされる。既存の研究によって確かめられた安定的かつ普遍的な結果をもとにして、キャリブレーション(校正)を行い、当該装置の信頼性を判定する。

そして、これらの最上位に形而上学カテゴリーがある。眼前にある事実として、我々の手持ちの科学的手続きは、特定の仕組みで自然現象を観測できるし、場合によっては制御もできるということがある。果たして、その仕組みのゆえに、もしくはその仕組みの範囲の中という限定的な意味で、我々は世界の規則性に関する知識を獲得しているのか。それとも実在の対象が法則的な振る舞いをする一定の性質を持っており、それと科学的手続きの仕組みが対応しているから、我々はその対象についての知識を獲得しているか。現象の背後に安定した実在物があるからこそ、我々は安定して、信頼可能なデータを入所可能なのか。このような問いは、まさしく、科学的实在論の論争に関わることとなる。

3 頑健性に関する議論と科学的实在論論争

頑健性の議論は、科学理論の正しさや信頼性、科学的実践の評価にも関わることから、その提唱者たちから科学的实在論の立場と親和的なものとして理解されている。以下にその典型的な記述を引用する。

頑健性は、頑健だとされるところの事物の实在性もしくは信頼性の基準として、広く用いられている。(Wimsatt 1981, 74)

...頑健性を理解する一つの道は、奇跡論法として理解することである。すなわち、もし多様式な証拠が一致してある仮説を支持していて、なおかつ、その仮説が真ではないとしたら、それは奇跡というものだろう。(Stegenga 2012, 210)

ここで引用した Stegenga による奇跡という言葉は、科学的实在論論争の中核をなす議論を射程に入れている。すなわち、科学的实在論者がその立場を擁護する際に用いる、奇跡論法 (no-miracle argument) である。

奇跡論法：科学理論が世界の実在を捉えていると考えなければ、現代科学の成功を説明するためには奇跡を持ち出す以外に術がない。しかし科学は奇跡などではない。したがって、科学の営みは实在についての真なる知識を与えている。

観察結果が何度も繰り返し同じ値を示したり、様々な仕方で入手した証拠が特定の理論的仮説を支持するようであれば、これらのことを奇跡と考えるよりも、現象の背後に共通した実在があると考えのほうが、合理的で最善の説明だとみなせるのである。

科学的实在論論争において、このような奇跡論法の典型的な例とされるのは、次の二つである。すなわち、特定の理論に基づいて構築された装置が実際に人間の意図する通りの挙動を示すため、その理論を真と見なす場合（操作可能性による擁護）と、ある現象を説明するために構築された理論が、全く別の現象も同時に説明することができる場合（新奇な予言の成功による擁護）である。

具体例として、ハッキングのテキストから奇跡論法と頑健性の概念の共通項を読み

取ることができる。

二つの物理的過程 - 電子透過と蛍光再放射 - が赤血球内の濃密体を検出するために使われている。これらの過程が共通に持っているものは実質的には何もない。それらは物理学において本質的に無関係な二つの領野である。二つの完全に異なった物理的過程が再三再四、同一の視覚上の配置を作り出すが、それは細胞内の本物の構造ではなく物理的過程の人為構造であったというのであれば、途方もない偶然の一致ということになるだろう。(Hacking 1983, 201)

注目に値すべきなのは、我々は常に、別の筋道から接近し、本質的には同じ数に達するということである。唯一の説明は、そこに分子があるということ、実際に、任意の気体の 1 グラム、1 モルあたり 6.023×10^{23} 個の分子が存在するという他に他ならない。(Hacking 1983, 54-55)

どちらの引用も、観察もしくは実験結果の収束が見られることから、その収束を偶然や奇跡ではなく、実在によるものと考えるべきだという主張へと繋がっている。とりわけ、分子量に関する引用は、ペランがかつてブラウン運動、 α 崩壊、X 線回折、黒体輻射など、様々な方法で計算したアボガドロ数が驚くほどに一致していたことから原子の実在を立証したという事実立脚しており、多様な方法による結論の収束が実在性を担保するという議論に説得力をもたらしている。先の表で示した意味で言えば、観察結果の再現性や安定性は存在論的な頑健性をもたらし、その頑健性を説明する最善の説明として、実在が措定されるのである⁽²⁾。

このようにして、科学における頑健性の内実と奇跡論法に共通する主張が見て取れた。すると、科学的実在論者はある一つの可能性を検討したくなるだろう。すなわち、頑健性という概念によって、科学的実在論を擁護することが可能か、ということである。科学的実在論は科学的反実在論よりも、認識論的にも存在論的にも大きなことを主張している以上、挙証責任は常に実在論側にあり、それゆえ議論の対立構造ができた瞬間から実在論は劣勢である。現在、主流な流れとなっているのは、実在とみなす対象をなんらかの意味で制限した立場（選択的実在論 selective realism と呼ばれることが多い）を提示し、科学的反実在論の批判を免れようとする戦略である (Psillos

1999, 大西 2012, 野内 2012, 戸田山 2015)。選択的実在論による実在論の擁護の可能性は現在も活発な議論がなされており、その方向性を開拓することは十分に意味がある。ここでは頑健性という概念枠組みが、そうした一定の評価を得ている方向性とは別の仕方、実在論論争に新たな観点を提供することが可能かということを検討したい。

4 各頑健性概念による科学的実在論の擁護は可能か

科学的反実在論からの批判として代表的な議論は、悲観的帰納法である。この議論は、科学には現象の経験的説明には成功していても、後に実験によって非存在が証明された理論的対象物が多く、それゆえ、現在の科学理論で用いられている理論的対象物もまた否定される可能性があるとする議論である。悲観的帰納法の典型例としてよく用いられる例は、フロギストンや光学エーテルである。これらの対象物はかつて現象の説明上有用であり、実在すると考えられていたが、実際の観察・検出には至らず、現在では放棄されている。ある科学理論の現時点における成功は、その理論の将来的な成功を保証するものではない。

科学理論の頑健性に関しても、実在論にとっては残念ながら、同様の議論を行うことができる事例が見受けられる。生物学の分野において、かつて、メソソームという対象が細菌の細胞内に存在していると考えられていた。顕微鏡でサンプルを覗くたびにメソソームの存在が確認されていたため、細胞内で何らかの機能を有しているとも考えられていた。しかしその後、研究が進むにつれ、メソソームは電子顕微鏡のサンプルを作成する際の化学固定の過程で生成される、人工物だと見なされるようになっていった。自然に存在する対象では無いという同意が生物学者たちの間で得られているのである。

メソソームという細胞内の構造の観察自体は成功し、複数の研究者が同じ観察結果を獲得し、実際に存在することが確かであると認められた。その意味で、経験的な成功を収めており、観察に関する頑健性を有していた。それにもかかわらず、顕微鏡サンプルを作成する別の過程との比較により、その非存在が証明された。すなわち、生物学者たちは間違った結論への収束を、実在の証拠として見誤っていたに過ぎなかったのである。ここで得られる教訓は、各モデルからの帰結が収束し、頑健なものであ

ったとしても、それが真理であるとは限らないということである。先の表のカテゴリーでいえば、方法論的かつ存在論的に頑健であったとしても、認識論的もしくは形而上学的に頑健であるとは限らないと言える。

こうした事例を踏まえると、頑健性はそれだけで実在を担保するための要件を満たさないと考えられる。メソソームの事例と類似した構造をした議論は、科学的反実在論からの別の反論においても見受けられる。それはファン・フラーセンが提示した、不良ロット論法 (The argument from the best of a bad lot) (van Fraassen 1989, pp. 142-143)である。

・不良ロット論法

考察中の仮説の集合が真なる理論を含むだろうと考えるのなら、何らかの「特権性原理」が必要になる。なぜなら、われわれが持っている最善の説明仮説は、駄目な一群の中で最善のもの(the best of a bad lot)でしかないかもしれないからである。まだ考察していない他の可能な説明があるのに、現在の理論が最善であることをわれわれはいかにして知りうるのだろうか。

現象に最善の説明を与える理論を持っているとしても、それを超える説明力を有した理論の可能性はいくらでもある。メソソームの事例も同じく、仮に特定の結論へと収束する頑健な理論があったとして、その収束点が真理に向かっているという保証はどこにあるのだろうか。メソソームの場合では、例えるならば、生物学者たちは顕微鏡を覗くたびにレンズについた汚れを視野の中に見て、それを実在物だと主張していたようなものである。

一方で、メソソームの事例は従来の悲観的帰納法の議論とは細部が異なり、この議論の新たなバリエーションを示すこととなる。メソソームは観察によってその存在は証明されていたが、その機能に関する説明はなされていなかった。後に、メソソームは人工的な存在だと判明したが、見えているのに何のために存在しているのかが分からないという状態は、研究者にとって研究意欲を強く掻き立てるものとなったであろう。メソソームは、いわば、頑健な観察によって支えられた、観察の擬似的な成功例とでもいうべきものである。悲観的帰納法の伝統的な言い回しで言い換えれば、科学には観察には頑健な仕方でも成功していても、後にその成功が誤りであったことが判明

した事例がある。したがって、観察の頑健性はその観察対象の存在を必ずしも保証しないのである。

また、ハッキングは、実体实在論という立場を提唱した後の議論では、頑健性の維持と存在との積極的な関係について疑問を呈している。(伊勢田 2005) によれば、ハッキングは「自己確証」という考え方を提示し、実験が安定的な結果を産み出しているのは、実験に関連する 15 のファクターをうまく調節しているからにすぎない、という考え方に至っている(Hacking 1988)。すなわち、存在についての想定が大きく誤っていたとしても、他の要素をうまくいじれば安定した結果が出るというのである。ハッキングが念頭においているのは、繰り返し行われ、すでに結果が分かっている実験に関してであるが、安定した実験結果を得るために、その現象の詳細な理解や、その現象に関連する存在へのコミットメントが不要なことは否めない(中学生の理科実験で、電磁波についての正しい知識がなく、光子の存在を認めていなくとも、どの生徒も同じく電磁誘導に関する結果を導くことができる)。このように、頑健性という観点から科学の研究対象の観察や検出という手続きをみると、むしろ反实在論的な見方を擁護することにもなり得るのである。

以上のように、頑健性という概念を用いても、科学的实在論を擁護することが可能な新たな議論の道筋は得られない。むしろ科学的反实在論にとっては反論の幅を広げる道具立てとなることが理解された。メソソームの事例に関してさらに言えば、Rasmussen は認識論的決定という観点からメソソームの存在に関する入念なケーススタディを分析し、メソソームの非存在を認める際に、科学者集団の判断という社会的要因も重要であることを述べている(Rasmussen 1993, 259-260)。メソソームが自然な存在物であるかの判断には顕微鏡の手法の発展という外的要因が関わっていたことから、存在概念は社会的な構成物であるかのようにみならず、反实在論的立場も後押しするのである。

一方で、实在論論争に特有の議論枠組みに捉われずにメソソームの事例をみると、頑健性という概念それ自体がもつ意味を考慮する必要も浮き彫りになる。メソソームが人工物であるということを主張する際には、結論に関する頑健な一致が見られているはずである(Culp 1994)。この頑健な一致の意味は、仮に科学者たちが社会的な文脈でメソソームの非存在を認める判断を行っていたのだとしても損なわれることはない。先の表でも言及したように、頑健性とは様々な文脈で多様な意味で用いられ

ている用語である。実在性とは別の基準として、頑健性は科学の営みを記述するために用いられており、それら自体は依然として有用である。科学的实在論の論争において、实在論と共倒れになることはないだろう。

まとめ

本論では、科学における頑健性という概念に焦点を当て、この概念が科学的实在論論争に果たす寄与を検討した。科学理論の頑健性は、その説明の与えられ方として、科学的实在論の奇跡論法と親近的な概念としてみることができる。しかし、この概念は实在論を擁護する新たな視点をもたらすことはなく、むしろ科学的反实在論にとって有利な洞察をもたらすこととなる。ただし、その洞察も科学的反实在論の既存の議論を補強するものという程度の位置づけで理解をすることが穏当である。科学的实在論・反实在論どちらの立場にとっても利点は少なく、科学の頑健性という概念は、科学的实在論論争と切り離して、その探求を行っていく方が有益であろう。

註

- (1) “triangulate”を直訳すると「三角測量」となる。これは三角形の幾何学的性質を利用した測量方法である（一辺とその両端の二角が分かっている場合に残りの辺の長さを求めることができる）。ここではもちろん測量法のことを指している訳ではないので「三角測量」以外の訳を与えたいが、訳語の検討が議論の本質ではないため、ここでは原語のまま記す。
- (2) ここで、一点、注意しておきたい。科学的实在論論争において、ハッキングの立場は実体实在論と呼ばれ、我々が操作可能な理論の対象（例：電子は、装置を操作して自由に放出することができる）に関しては実在性を認めるというものである。ハッキング自身はここで引用した箇所を、同立場の擁護のための事例として用いているわけではない。したがって、ここでハッキングが推論的な

奇跡論法を用いているかのように引用することは適切ではないかもしれない。これらの引用の目的は、あくまで頑健性が関係していると見られる科学の実例を提示することである。

参考文献

- Boon, M. (2012) "Understanding Scientific Practices: The Role of Robustness Notions" *Characterizing the Robustness of Science After the Practice Turn in Philosophy of Science, Boston Studies in the Philosophy and History of Science*, Vol. 292, pp. 289-315.
- Cartwright, N. (1983) *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Clarendon Press.
- Culp, S. (1994) Defending Robustness: The Bacterial Mesosome as a Test Case, *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1994:1, pp. 46-57.
- Levins, R. (1966) The Strategy of Model Building in Population Biology, *American Scientist*, 54, pp. 421-431.
- Levins, R. (1993) A Response to Orzack and Sober: Formal Analysis and the Fluidity of Science, *The Quarterly Review of Biology*, Vol. 68, No. 4 (Dec., 1993), pp. 547-555.
- Houkes, W., & Vaesen, K. (2012). Robust! Handle with Care. *Philosophy of Science*, 79 (July 2012), pp. 345-364.
- Hudson, R. (2013) *Seeing Things: The Philosophy of Reliable Observation*, Oxford University Press
- Orzack, S. and Sober, E. (1993) A Critical Assessment of Levins's The Strategy of Model Building in Population Biology (1966), *The Quarterly Review of Biology*, Vol. 68, No. 4 (Dec., 1993), pp. 533-546.
- Rasmussen, N. (1993) Facts, artifacts, and mesosomes: Practicing epistemology with the electron microscope, *Studies in History and*

Philosophy of Science Part A 24 (2):227-265.

- Silva, M. T. et al. (1976) Bacterial mesosomes: Real structures of artifacts?, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*, Volume 443, Issue 1, 4 August 1976, Pages 92-105.
- Soler (eds.) (2012) *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science* (Boston Studies in the Philosophy and History of Science 292), Springer
- Stegenga, J. (2009) Robustness, Discordance, and Relevance, *Philosophy of Science*, 76 (December 2009) pp. 650-661.
- Stegenga, J. (2012) Rerum Concordia Discors: Robustness and Discordant Multimodal Evidence, in Soler (eds.) (2012) Soler (eds.) (2012) *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science* (Boston Studies in the Philosophy and History of Science 292), pp. 207-226.
- Urbach, P. (1981) On the Utility of repeating the 'same' experiment, *Australasian Journal of Philosophy*, 59:2, pp. 151-162.
- Weisberg, M. (2006) Robustness Analysis, *Philosophy of Science*, 73, 730-742.
- Weisberg, M. and Reisman, K. (2008) The Robust Volterra Principle, *Philosophy of Science*, Vol. 75, No. 1 (January 2008), pp. 106-131.
- Weisberg, M. (2013) *Simulation and Similarity Using Models to Understand the World*, Oxford University Press
- Wimsatt, W. C. (1981) Robustness, Reliability, and Overdetermination, reprinted in Soler (eds.) (2012) Soler (eds.) (2012) *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science* (Boston Studies in the Philosophy and History of Science 292), Springer pp. 61-87.
- Woodward, J. (2006) Some varieties of robustness, *Journal of Economic Methodology*, Volume 13, Issue 2, 2006
- 伊勢田哲治 (2005) 「科学的実在論はどこへ向かうのか」『Nagoya Journal of Philosophy』 vol. 4、 pp. 35-50.

- ・ 大西勇喜謙 (2012) 「認識論的観点からの实在論論争」『科学哲学』 44 号、pp. 65-81.
- ・ 戸田山和久 (2015) 『科学的实在論を擁護する』名古屋大学出版会
- ・ 野内玲 (2012) 『科学的知識と实在：科学的实在論の論争を通して』名古屋大学博士論文