Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-07-11

Mono-Koto Interaction Produces Sensitivity

Tani, Iori

(Degree)
博士（理学）

(Date of Degree)
2014-03-25

(Date of Publication)
2015-03-01

(Resource Type)
doctoral thesis

(Report Number)
甲第6128号

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006128

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

（別紙様式 3）

論 文 内 容 の 要 旨

氏　　名　　谷 伊織

専　　攻　　地球惑星科学専攻

論文題目（外国語の場合は，その和訳を併記すること。）

Mono-Koto Interaction produces Sensitivity

（感覚をつくるものとことの相互作用）

指導教員　　郡司 幸夫

本研究は感覚の起源にかんする考察を行う。ここで感覚とは、情動や量感を含む我々の主観的な経験を指している。我々がもつ様々な感覚が脳の活動によって生じているということは疑いがない。一方で、特定の神経活動によってこれらの経験を説明付けることには常に重大な困難が伴う。このような困難のひとつは砂山のパラドックスにおいて例示されている。目の前の砂山から一粒の砂を取り除いたとしても、砂山が砂山でなくなることはない。しかし、取り除くという操作を有限回繰り返すことで、砂山はいずれ砂山とは呼べない砂の集まりへと変貌してしまう。一回の操作は適切に定義されているにも関わらず、砂山が砂山でなくなる瞬間は決して決定できない。なぜなら、砂山とは“もの”としての砂粒の集まりではなく、ひとつの“こと”であるから。意識の問題において、意識は砂山に、個々の神経発火は砂粒に比される。両者の間には“もの”と“こと”というレベルの差があり、これらを分離する限りにおいて両者をうまく接合するような方法は原理的に決して得られない。このことは、砂山という語が厳密に定義された上で用いられているのではないということに起因している。したがって、かような立論はある種の不良設定問題ということになる。

動物行動学で哲学者のニコラス・ハンフリーは経験の内容を命題的なものと現象的なものに分離した上で、そのような経験がそれぞれ独立の脳活動によって得られるものと結論した。ハンフリーは盲視とよばれる脳の器質障害を原因とする疾患にかんする観察から、現象的な経験を経ることなく命題的な経験を構成することが可能であることを見出した。すなわち、例えば、盲視患者は“赤い”という量感をまったく持たないにも関わらず、そこに“赤い”ものがあることを“知覚”できるという。しかし、ハンフリーはこのようなレベルの異なる経験が我々に生じる理由を進化論によって説明しようとする。ハンフリーによれば、原生生物における局所的な刺激応答を中枢神経系がモニタリングすることが原初的な感覚の起源であるという。高等生物においては、進化にともなってこのモニタリング信号が脳内で短絡し、内在化することで感覚が生じるとされる。しかし、この説明は“もの”と“こと”というレベルの異なるものの接続という問題に対して実質的にはなにも答えておらず、先送りしているにすぎない。

しかし、かような意識の起源にかんする議論において暗黙の内に前提されている条件がある。それは「神経細胞はひとつだけでは意識を持たない」という思考である。このことは一見、当然のように思われるが、実際には論証することも（反駁することも）出来ない。なぜなら、我々は先に見たように意識という概念を未だうまく定義できていないのであるから。そのような概念を含む命題もまた意味を決定できない。翻って、このことが“もの”と“こと”の二項対立図式を解体する視座を与えるの。“もの”と“こと”の区別が無根拠であるが故に無効化されるとき、両者を同じレベルで混同することが権利上可能となる。これによって“もの”と“こと”という本来レベルが異なると考えられてきた者同士の相互作用を擁護する理論を構築可能になる。

そのような相互作用の結果として生まれるものはなにか？それは量感（クオリア）や情動を含む我々の感覚的な経験であろうと考えられる。実際、これらの感覚は主観的な“こと”として経験されるにも関わらず、“こと”的な操作性を有している。例えば、我々はある色彩感覚を「赤」や「青」のように名づけ比較することができるし、また、快・不快といった情動にのみ従うのではなく、それらを我慢して行動することができる。したがって感覚は“こと”化された“もの”（あるいは、“もの”化された“こと”）という両義性を担う。かような両義性を獲得するには“もの”と“こと”をあるレベルで対置し、両者を貼り合わせる必要がある。

本研究では、そのような貼りあわせを実装する感覚の起源モデルとして、真性粘菌変形体 *Physarum polycephalum*（和名：モジホコリカビ）を用いた生物計算機を用いて、変形体がカニッツァの錯視図形における非感性的輪郭線と呼ばれる視覚的錯視を再現することを示す。カニッツァの三角形における非感性的輪郭線の構成には、局所的な刺激勾配に基づくエッジの検出、すなわち微分的操作とそれらの大域的な結合としての積分的操作の両方が必要だと考えられている。前者を個々の視細胞の刺激に対する応答、後者をそれらを貼りあわせてひとつの視野を構成する処理と対応させるとき、あきらかに"もの"と"こと"の対立図式が現れる。変形体において、微分的処理は局所的な刺激勾配の検出、積分的処理は個体全体での挙動決定に対応する。ここで、両者は原形質の流動による情報伝播によって連続的に接続される。したがって、変形体は非感性的輪郭線を構成するための十分な機能性を有する。

実際、変形体の非同期型オートマトンによる数理モデルと現実の粘菌を用いた実験において、カニッツァの図形（パックマンの口が三角形をなすように内側を向いて置かれた図形）を刺激パターンとして与えた場合と、各パックマンの向きを逆転させた図形を与えた場合では、得られるネットワークの形状が異ることが示される。このことは、変形体が図形に固有の構造を反映したネットワークを形成していることを示唆している。

本研究は、また生物計算機科学においてもひとつの新しい視座を与える。通常、変形体をはじめとする生物計算機科学においてはある種の最適化問題が中心的な関心であった。この場合、生物計算素子は複雑な計算を上手く解決するために用いられる。しかし、本研究では、我々の感覚という、我々が脳で行っているであろう計算過程を機能的な観点からモデル化するために生物計算機を用いている。このような視座は、原理的な困難に直面する意識の問題に対して、ひとつの構成論的なアプローチを可能にするものである。

（別紙１）　　論文審査の結果の要旨

氏名	谷　伊織		
論文題目	Mono-Koto Interaction produces sensitivity （感覚をつくるものとことの相互作用）		
審査委員	区　分	職　名	氏　　名
	主　査	教授	郡司幸夫
	副　査	教授	兵頭政幸
	副　査	教授	林祥介
	副　査		
	副　査		

要　　旨

日本語における「もの」と「こと」は、分類概念における外延と内包に対応するようにも思える。しかし、外延と内包なら、一つの概念に対して一対一にその双対的関係が決まる。偶数という概念に対して「２で割り切れる自然数」という内包と、「2,4,6...」という具体例の列挙たる外延とは、曖昧さなく対応する。これに対して、「もの」の集まりとしての理解と、全体としての強度―「こと」としての理解、が一致するとは限らず、「もの」と「こと」の関係は、システム論における部分と全体の関係―全体は部分の総和ではない―にも似る。つまり、こう考えることができるだろう。外延と内包の場合は、互いに一致するような理念的文脈を設定しているが、より一般的な「もの」と「こと」の対は、多様な文脈に開かれており、両者の対はよりダイナミックに変化し、両者間の齟齬を変質し続ける。ここでは、「もの」と「こと」の対による齟齬形成と齟齬への対処が生命の本質であり、感覚や情動でさえもその延長上で理解できるとのアプローチが、真性粘菌のパターン形成を通して論じられる。

第１章では研究戦略を述べている。本論文では、「もの」と「こと」の動的な双対性、その双対性を真性粘菌に見出すというアプローチ、動的双対性による感性の構築、翻って感性を真性粘菌に見出すという段階的なステップを経た議論となっているため、これらについて研究史が述べられる。

第１に、「もの」と「こと」の双対性が完全な対ではなく、動的であり、或る場合には階層的、或る場合には単層的となることが、Humphrey(2006)の議論を土台にして、述べられる。Humphreyは、知覚と感覚とを、外部刺激への表象形成と、形成された表象へのメタ表象として理解するが、それは階層的というより独立、並列的であると述べる。視覚的知覚では、「見え」と「見えの知覚」の並列性がこれに当たると言われる。「見え」は成立するが見えているという知覚がないため、自分は見えていないと主張しながら障害物を避ける盲視は、表象のみで表象の表象を欠く現象である。対して、自分では見えていると言いながら、顔の半分のみを化粧する半側無視は、表象を欠き、表象の表象のみが存在する現象である。このように、一見、階層的、逐次的でありながら、単層的、並列・独立的でもある点に、知覚・感覚現象の特徴が潜んでいる。ただし、申請者は、見えと見えの知覚のような対を完全に独立ではなく、強弱の違いはあっても絶えず両義的であると主張している。

第２に、実際の具体的知覚に、前述のような知覚と感覚の両義性が見出せるか否か、錯視現象を例に述べられる。人間の視覚モデルは、エッジの検出に基礎付けられる。したがって刺激領域を微分し、その変化量の極大点などでこれを検出する。しかし視覚は単なる輪郭の検出・知覚ではなく、領域の知覚、領域パターンの形成をも意味する。これらは領域の積分として理論化されている。すなわち視覚は、すばやい微分とそれによるエッジ検出、引き続き起こる積分的領域形成の総合プロセスとして理解される。ところが、微分プロセスと積分プロセスを明瞭に分解することは、時間的に両者を分離するなど計算効率を悪くするものであり、現実的ではない。そのため、現実の知覚・認知プロセスでは、両者は同時進行し、分離しがたいと考えられる。計算資源の面で効率的ではあるが、そのことを理由に、エッジの検出に冗長性が現れ、様々な歪みの知覚が得られる、と考えられている。すなわち一般に広く認められる錯視は、このように実現される知覚計算プロセスの副産物と考えられる。

第３に、真性粘菌の振る舞いとそのモデルについて述べられる。真性粘菌は、多核単細胞生物で、生活サイクルの一部に変形体と呼ばれるアメーバ相を示す時期がある。この変形体の挙動が、従来詳

氏名	谷　伊織

しく調べられている。アメーバ運動は原形質流動によって実現されるが、効率的変形のため、原形質内の細胞骨格を重合してチューブとし、その内部に原形質を流す。この間断ない変形によって、変形体はゾルとゲルの変形を繰り返し、餌領域などへ速やかに移動することができる。真性粘菌変形体のモデルとして、拡散反応系を用いた境界条件が変化しないもの、エージェント型の群れモデルを利用したもの、ゲルとゾルの交代を非同期オートマトンで実装したもの、などが知られているが、いずれも局所的計算と大域的情報伝播の総合や協調が実装されている、と論じられている。

第２章では、真性粘菌のゲルとゾルの交代を非同期オートマトンで模したモデルが拡張され、特定の誘引刺激パターンに対する粘菌の挙動がシミュレートされると共に、現実の真性粘菌でも実験を行い、同様のパターンが実現されるか否か評価している。このパターンは、カニッツァの三角形と言われる代表的な錯視を誘導するパターンであり、ここから誘導されるパターンが、錯視という「見え」の生成として解釈可能か否か、議論される。

まず非同期オートマトンに局所的偏向が導入され、前述のエージェント型モデルに認められた、局所的相互作用の特徴が取り入れられる。また状態数を増やすことで原形質の厚みが導入される。以上によって、誘引刺激に向かって移動した原形質は速やかに刺激の上で厚みを増すことになる。受け継がれたエージェントモデルの機能は、エッジに沿ったパターンを発達させ、形成された樹枝状パターンを自律的に伸長させる。与えられた誘引刺激の検出は、局所的に実現されるが、それに伴う原形質の移動は非同期的に実現されるため、検出されたエッジは過度に伸長することが可能となる。同時に、余分な枝は速やかな原形質流動によって消去されてしまう。こうして本モデルが、与えられた特定の局所的パターンのみを強調し、特異なパターンを出現させることが示され、刺激パターンとしてカニッツァの三角形が与えられた。カニッツァの三角形は口を内側に向けた３個のパックマンから構成されるパターンで、パックマンの開口部を延長すると、三角形を成す。人間がこれを見た場合、開口部の延長に三角形の輪郭を感じ、見かけ上の三角形を知覚することができる。本論文で提案されたモデルでは、開口部の縁が延長され、三角形の輪郭パターンが形成される。またパックマンの開口部を互いに外向きに向けた対照実験では、３つのパックマンが Y 字状に結び付けられたシュタイナーツリーと呼ばれるパターンで安定し、開口部の延長方向が三角形を成す場合に限り、三角形輪郭パターンが形成されると示された。

乾燥した含グルコース寒天は自由に切り取ることができるため、これを用いてカニッツァの三角形を構成するパックマンを整形可能だ。本論文ではこのカニッツァ図形を、現実の真性粘菌に与え、どのようなパターンが形成されるか実験している。このとき変形体は、パックマンの開口部延長方向に伸長が認められ、パックマンが互いに向き合う内部領域には決して侵入しない傾向が認められた。また３つのパックマンを外向きに向けた場合、粘菌はパックマン内部領域に侵入する傾向が認められた。これらは、非同期オートマトンで得られた結果と一致している。さたに、各々の条件に対して得られた粘菌パターンを全ての試行について重ね合わせたとき、カニッツァ図形条件においては三角形輪郭線が、対照実験条件下では、パックマンを Y 字状に結びつけたパターンが得られた。特にどの方向に原形質が伸長するか角度に関する分布を求めると、非同期オートマトンにおいても、真性粘菌においても、カニッツァ図形条件と対照実験条件の結果に有意差が認められた。

以上を踏まえて、真性粘菌における三角形輪郭形成が、「見え」の形成をもたらすと解釈できるかについて述べている。第１に、カニッツァの三角形なる錯視と粘菌におけるパターン形成との間には、現象論的な類似性が認められる。しかし第２に、単なる現象論的類似ではなく、機構に関する類似性も認められると論じられる。錯視は、単なる知覚ではなく、知覚表象を表象化するような感覚・感性と階層的でありながら、知覚・感覚の分離が困難なことから生じる現象と考えられる。つまり、「見え」は、知覚（もの）と感覚（こと）の両義性およびその混同によってもたらされ、その典型的副産物が錯視というわけだ。粘菌は原形質の遅い運搬と、細胞骨格チューブを用いた速い運搬とによって、局所を検出する「もの」的運動と、全体として初めて形態が意味をもつ「こと」的運動の両義性と混同を有している。これは非同期オートマトンによってより直接的に実装されたが、この「もの」と「こと」の両義性と混同が、得られた定常パターンの基礎になっていると考えられる。したがって少なくとも機構レベルでの類似性を認めることは可能で、ここに全体としての「こと」が見出せると結論付けられている。

本研究はもの・ことの関係に関し，真性粘菌のパターン形成を題材に研究したものであり，環境への応答を感性として理解するアプローチについて重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって，学位申請者の谷伊織は，博士（理学）の学位を得る資格があると認める。