

## はじめに

認知とは、外界にある対象を知覚した上で、それが何であるかを判断したり解釈したりする過程であるが、その最終的な目的は外界に対して生存のために素早く適切な行動を遂行することである。もし何らかの対象を判断したり解釈したりする必要がなくても（極端に言えば、外界に何も存在しなくても）、五感を通じて外界から我々に与えられた入力刺激は、様々な脳内処理過程において変換され、認知主体、もしくは認知主体を取り巻く環境についての表象としてまとめ上げられる。認知主体に関する表象が身体表象であり、認知主体を取り巻く環境に関する表象が空間表象である。すなわち、認知主体とそれを取り巻く環境が、身体表象や空間表象として統合されることを基盤として、外界にある対象を知覚した上で、素早く適切な次の行動が計画されることになる。本書では、このような統合的認知の1つの側面として、刺激の受容から身体表象や空間表象が形成される過程で生じる様々な現象を取り上げる。

まずは身体表象に関して、我々の身体の各部に対応する脳内地図が大脳皮質において統合され、身体表象として形成されていることが知られている。カナダの脳外科医 Penfield らはてんかん患者の手術部位を決めるために、患者の大脳皮質を電気刺激し、運動野や体性感覚野と身体部位との対応関係をまとめた (Penfield & Boldrey, 1937)。身体の各部分の大きさが、大脳皮質運動野の対応領域の面積に比例するように描かれた結果、実際の身体形状に比べてとてもゆがんでおり、たとえば親指、顔、舌などが異常に大きい。このような各部の大きさに基づいて書かれた身体像が Penfield のホムンクルス (Homunculus, ラテン語でこびとの意) と呼ばれる。Penfield のホムンクルスの特徴は、体の表面積と脳の対応部分の面積は比例しないが、体の隣接する部分は大脳皮質でも隣接するように配置されている点である。大脳皮質の中心溝をはさんで両側にある1次運動野と1次体性感覚野は、ほぼ対称に配置されており、体の下の部

分は内側に、体の上の部分は外側に配置されており、体の左半分は右の大脳皮質に、体の右半分は左の大脳皮質に対応部分を持っており、これらの配置を体部位局在と呼ぶ。ただし、単に身体表象が投影されたスクリーンを見ているホムンクルスを仮定するのでは、さらにホムンクルスの認知過程を調べなければならず、結局のところ論理的錯誤に陥り、身体表象の問題を何も解決することはできない。脳は入力刺激を空間的、時間的に分散して処理しながら身体表象を形成するので、運動野や体性感覚野などの脳の特定部位を選び出して、身体表象として対応させることだけでは身体表象の問題は理解できたことにならないのである。また、自分自身の身体に限らず、人間の身体は外界に存在する他のオブジェクトとは異なり、我々にとって常に特別な存在であり、たとえば芸術作品において、男性や女性の身体に理想や道徳など、さまざまな意味が与えられてきたが、脳内での身体表象に関わる心理現象についても、これまでに様々な研究が行われている。

四肢などの身体部分を喪失したときに起こる幻肢 (Phantom Limb) という現象は、失われた身体部分がいまだ現存するかのように感じられる錯覚である (Ramachandran & Hirstein, 1998)。幻肢をもつ患者はそれを意図的に動かすことができるというが、動かせない場合には非常に強い痛みを感じる。すなわち、幻肢を経験するとき、派生症状として存在しないはずの手肢に痛みを感じる事が多く、このような難治性の疼痛は幻肢痛 (Phantom Pain) と呼ばれる。いずれにしても、幻肢という現象は、物理的に実在する身体とは必ずしも一致しない身体表象を我々が持ちうることを明らかにする。

一方、空間表象とは、五感で階層的に処理された外的空間が脳内で統合された表象を指す。ただし、脳内の複数の領域で形成された様々な表象も空間表象と呼び、上下、左右、前後の空間的広がりに関して、主にどの感覚系に依存した情報に基づくかによって、視空間、聴空間、触空間の表象として区別される。動物種によって使われる主たる感覚は異なるが、人間では視覚系による空間把握が優位になることが多いので、主に視空間の表象が空間表象と呼ばれることが多い。視覚系は、網膜から後頭葉1次視覚野を経由し、二つの経路に分かれることが知られている。一つは、頭頂連合野に至る背側経路であり、もう一つは側頭連合野に至る腹側経路である (Ungerleider & Mishkin, 1982)。特に、背

側経路は空間的な情報を処理する経路として、空間表象の形成を担う役割が非常に大きい。物体の詳細な形態や質感などを分析して、記憶を参照してその物体がどのようなカテゴリーに属するかの認知的判断を行なう腹側経路とは別経路が用意されている意味は大きい。

空間表象に基づく知覚の成立に関しては、先験説と経験説との間に長い論争の歴史がある。空間が心の基本的なカテゴリーであることを示唆した Kant を代表とする、空間の概念がアプリオリなものと考えるのが先験説であり、外界の事物は触覚が教え導く (Touch teaches vision.) という Berkeley (1709) を代表とする、経験による感覚間の連合によって空間が獲得されると考えるのが経験説である。触覚優位の立場に立つ経験論者に対して、むしろ視覚が触覚を教育するのであって、その逆ではないという心理学的現象に基づく主張もある (Rock, 1966)。いずれにしても、知覚的空間性は様々な感覚が意識にのぼる上での固有の成立要件であるので、空間性のない視覚、聴覚、触覚などを想定することは通常困難であり、ある対象を知覚するということは、多くの場合空間内のある場所に定位されることを含んでいる。

ここまで身体表象と空間表象を分けて論じてきたが、両者は独立に存在するわけではなく、お互いに依存関係を持っている。そもそも、上下、左右、前後という空間表象を形成する座標軸は、身体表象の座標軸が決まらない限り、確定できない相対的な座標軸であることは明白であろう。特に、身体の一部である手と頭は認知すべき空間の水先案内人としての重要な役割を担っていることが明らかになっている (積山, 1997)。Merleau-Ponty (1945) は、様々な身体経験の連合が空間的身体表象を形成するのではなく、身体表象を持つことが身体の空間的統一性だけでなく、世界と身体との有機的な関係を成立させると捉えた。たとえば、身体近傍空間 (peri-personal space) と呼ぶ、自己の身体に近接した空間は、身体との関係が深く、外的空間との接触や衝突を避ける必要がある空間である。多感覚ニューロンは、身体のある部分に受容野を持ち、その受容野と近接した空間、すなわち身体周辺空間に視覚受容野を持つので、身体部位の動きにともなって視覚受容野が移動し、自己の身体を越えて手にもった道具の端にまで身体表象を拡張でき、身体と道具とを有機的につなぐ役割を持つことになる (Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996)。

このような関連研究の歴史的経緯を踏まえ、本書では身体表象と空間表象をめぐる研究の現状について概観しつつ、さらに掘り下げて考えてみたい。本書は5章から構成されている。第1章はまず、主に手の表象に関して、心的回転課題を中心に、心理学的な知見とその神経基盤について取り上げる。さらに、身体近傍に呈示された視覚刺激が、触覚刺激と強い相互作用を引き起こすクロスモーダル一致効果で示されていることを明らかにし、運動前野や頭頂連合野の部位のニューロンの可塑性から、道具の使用、腕の切断、変換された視野への適応などによって身体表象が変化することが脳活動レベルでもとらえられるようになっていることが示される。第2章は、空間表象について検討する上で、知覚と行為の相互作用を検討することは重要であるとの認識のもと、空間的特徴共有に基づく刺激反応適合性を扱っている。たとえば左右に呈示される刺激に対して左右の反応を行う場合、刺激と反応が同側にある方が逆側にあるよりも課題成績が良いという現象である空間的刺激反応適合性効果について、広範にみられる頑健な現象の基本特性と生起メカニズム、および刺激と反応の表象について説明している。第3章は、刺激反応適合性における左右の空間表象特性について、上下の空間表象特性と対比させながら比較することで、上下と左右では異なる身体表象の関与を示す知見を紹介する。第4章は、逆さメガネのような視野変換が、視覚と運動との関係を変換し、身体表象が空間知覚や視覚行動に果たす役割を明らかにする。逆さメガネは、視野を逆さにするメガネであり、上下を逆さにするメガネでは、天井が下に、床が上に見え、左右を逆さにするメガネでは、自分の右手が身体の左側から出ているように見えるが、その変換された空間に対する適応メカニズムに基づき、身体表象の可塑性についても取り上げる。第5章は、身体知覚における錯覚として、身体歪み錯覚、ラバーハンド錯覚、幽体離脱体験を取り上げ、身体表象が視覚および自己受容感覚から得られた情報に大きく影響されることを明らかにするとともに、人工物や仮想現実感が得られる視覚環境であるにも関わらず、身体所有感を感じてしまう現象から、身体表象における脳の高度な可塑性を知ることになる。

第2章と第3章の関連は深いものの、それ以外の章は中心的な実験パラダイムがそれぞれ異なり、独立しているので、どこから読み進めても構わない。どの章においても、身体とその近傍空間は当然ながら最も身近な存在で

あるにも関わらず、不思議だと感じられる現象も少なくないことに気づかれるに違いない。ただし、身体表象と空間表象を考えるということは、我々人間の存在を確認するという深遠な研究テーマを含んでおり、すべて読み進んでもらうことで、身体表象と空間表象の両者を体系的に理解する指針となるだろう。

## おわりに

KY 「はじめに」では、身体表象と空間表象を論じるけれども、両者は独立ではなく、お互いに依存関係を持っていると位置付けています。全体として、このような位置付けについて、どのように思われますか？

KS そもそも、空間認知は身体表象がなければ成立しないと考えています。この信念は、逆さメガネをかけた経験から来るものです。左右反転メガネをかけた直後には、これまで無意識的にうまく働いてくれていた身体表象が、変換された視覚と体性感覚との関係に不適な予期や行動を生むために、行動の結果として視覚と体性感覚との矛盾を感じ、行動は間違いであることがわかり、そして自分のいる空間のまとまりのあるイメージを思い描くことが困難でした。ふだんの生活では身体表象をあまり意識することがありませんが、当たり前によく機能してくれる身体表象があればこそ、意識する必要がないのだと思います。

AN 認知機能は、この（たとえば、重力が働き、基本的に光源は上、などをはじめとした様々な特徴のある）世界を、この身体で生き抜いていく中で進化・発達してきたと考えられます。身体は外空間から影響を受け、また及ぼすことになるので、空間の表象と身体の表象は相互に深く関連しているという位置付けには納得できます。ただそういった表象は必ずしも1種類というわけではなく、場面の切り取り方や目的によっては、刺激反応適合性効果における腕の交差のように、身体表象と空間表象が相互に独立して働くような場合もみられますが、基本的には両者は深く関係していると考えるのが自然だと思います。近年、身体化認知が注目を集めてきましたが、身体と空間の表象の相互依存的関係もまたこの中に位置付けることもできるかもしれません。

KY 第1章「身体の表象」では、特に手の表象に関する心理学的な知見や、その神経基盤について取り上げています。身体近傍空間における視覚と触覚と

の強い相互作用が脳活動レベルでもとらえられるようになってきて、あらためて手の表象の特異性は、身体全体の表象を考えるとときに、その重要性が明らかになってきたということでしょうか？

KS 自身の手は、私たちが最も使い慣れた道具ということもできるでしょう。左右反転メガネへの適応で、利き手はもっとも速く視空間に対応できるようになる一方で、非利き手は後れを取り、そして足もなかなか適応しないことを経験しました。こうしたことを考えると、手、特に利き手の表象が空間認知にとって特別な意味を持つことが容易に想像できます。しかし、空間全体を考えたとき、手の表象だけでは不十分です。今は視野に入っていない背後の世界も含めて初めて、空間表象としてのまとまりを感じることができます。背後の世界まで計算に入れるには、もう1つ上のレベルの身体表象が関与するように思います。

AN 手は、感覚野、運動野いずれのホムンクルスでも非常に大きく描かれるように、重要な役割を有しているのだと思います。世界と物理的に相互作用する、特に世界に対して意図的に影響を及ぼす身体部位の代表は手であり、したがって空間と身体の表象を考えるうえで、特別な地位にあるといえるかもしれません。ただ、どの程度「特別」なのでしょう。手は他の部位と質的に違うのでしょうか、それとも量的に（程度が）違うのに過ぎないのでしょうか。逆さメガネによる順応（第4章）では、利き手と非利き手やその他の身体部位との間で違いがみられたようですが、最終的には順応は進んでいったように思います。足の使用に高度に熟練した場合、たとえば足で箸を使える、ピアノを弾ける、などしたときに、その表象はどうなるのでしょうか。

KY 第2章「空間的刺激反応適合性」では、空間的適合性効果が広範にみられる頑健な現象であり、知覚と行為が共通の認知表象で符号化されると考えるわけです。このとき、一見対応のない刺激と反応の組み合わせにも適合性が存在する場合には特に問題になるかもしれないのですが、日常生活ではなかなか気づくことが難しいように思います。たとえば認知的負担の軽いインターフェースのデザインに応用するコツはあるのでしょうか？

AN そうですね、正面に左右の刺激と左右のボタンのような基本的な場合には間違いようがありませんが、少し事態が複雑化すると、どちらが使いやすい

かの予測は人々の間でわかれることもありますし、研究者でも間違えることもあります。また、知覚的あるいは概念的対応はわかりやすいことが多いですが、一見すると対応がないけれどもじつは構造的対応が隠されている場合（第3章）にも注意が必要です。ありきたりになりますが、刺激反応適合性は幅広い事態で関連している可能性があることと知ることが大切なかもしれません。一方で、そういった影響は小さいからこそ気づきにくいかもしれませんし、ちょっとした操作で大きく影響されることもあります。そうだとすると、実際に可能性のある設計の間でデータを取り比較する以外にも、他の認知的負担を軽くするような設計につながる要素、たとえばアフォーダンス、観念運動原理、あるいは強い適合性などをうまく導入することで、解決できるかもしれません。

KY 第3章「左右と上下の空間表象と身体表象」では、左右空間表象と上下空間表象の認知的対応および反応空間における身体表象の関与について論じています。我々が生活している環境を3次元空間として考えると、前後空間表象、すなわち奥行き空間表象と、左右空間表象と上下空間表象との相違点はどうに考えれば良いのでしょうか？

AN 自分にとっての前後は、少なくとも視覚的には、同時に処理するのは不可能であり、また前方に重みづけされているといえるでしょう。もちろんここで言われる前後は、奥行き（遠近）方向のことだと思いますが、そういった意味で、前後は自己中心座標と環境中心座標で大きく変わってくるという特徴があるかもしれません。一方で、要素間の対称性が低く、混乱が生じにくいのは上下との類似点といえるかもしれません。また、上下と左右は網膜座標上で定まりますが、奥行きに関しては制約条件をもとに復元する必要があります。物体は奥行き変化に伴い大きさが変化するため、どのように統制するか、という問題も出てきます。加えて、奥行きには遠近という要素も入ってくることから、接近-回避と関連するおそれや、距離によっては身体近傍空間に入るか否かといった要素が影響する可能性もあります。少し話は変わりますが、前後に関する空間表象間の関連としては、画面上でのカーソルの上下移動は手元のマウスの前後移動と対応しているなど、上下と奥行き面の変換はほぼコストなくできる場合があります。この点においては、上下と前

後の空間次元の対応は、上下と左右の空間次元の対応であるところの直交型適合性よりもはるかに強い適合性を生じているように思われます。このように、上下と左右だけでなく、前後も含めての3次元空間の表象の検討は、第3章でも少しふれたように始まっていますが、もしかすると仮想現実空間(第5章)を利用することも有望かもしれません。

KY 第4章「逆さメガネ実験と視覚運動学習」では、身体表象が空間知覚や視覚行動に果たす役割を考えると共に、脳の可塑性についても重要な研究成果が得られている分野であることが分かります。実験をすることはなかなか難しいのですが、逆さメガネを装着して慣れた状態では、装着前と本当に同じように左右や上下が見ているのですか？

KS 確実に言えることは、視覚と触覚との間に矛盾がなくなるということです。しかし、(大人の1ヵ月程度の着用では)着用前と同じように見えているとは言いがたいと思います。たとえて言うなら、外国語を体当たりで学習して、口が滑らかに動き音もすらすら聞き取れるようになるのと似ていて、どこまで行ってもそれが母語と異なる言語であることが自覚できるのと同じように、以前の見えと異なることは自覚できます。

KY 以前の見えと異なることは自覚できても、視覚と触覚の矛盾がなくなるというのは具体的にどのようなことなのでしょう。

KS 視覚と触覚との間に矛盾がなくなるためには、3つくらいのことが起こります。1つは、対象の見えとそれを触った時の配置が調和して感じられるようになること。2つ目として、認知地図が変わります。自分がいる空間の配置は、逆さメガネを通した見えとして認知地図に表象され、昔の配置の見えは、逆さメガネ着用中は思い出すが非常に困難になります。3つ目に、自己身体の新しい表象が形成されます。自分の右手が昔の基準で言う左手として見えることが記憶に定着し、右手の触運動感覚と「左手像」が結びつきます。

KY その中間移行状態では、どのように見えが変わっていくのでしょうか？

KS 上記の3つの事項の進行速度が若干異なることから、中間段階のようなものはいろいろあると思います。逸話的になってしまいますが、上記の第一段階に至る頃に驚愕した体験は、ドアの開口部を通り抜ける時の手と腕の感覚

です。進行方向を安定させるために両手を広げ開口部の両端を手で押さえた時、1回目は見えている手と触運動的な手は反対側にあるように乖離して感じました。数日後に同じことをしたら、今度は見えている手と触運動的な手は同じところにあるように一致して感じられたのですが、その時、両肩から出ている腕が、自分の胸の前で交差して反対方向へ伸びているように感じました。手での感覚間一致を実現するために、手と肩との自己受容感覚の関係にしわ寄せが来たのかもしれませんが。

AN 面白い感覚ですね。第5章で紹介されている身体の歪みの錯覚をはじめ、不自然な事態に対してもつじつまを合わせて、全体としてある種の一貫性を保つような認知がなされるようですね。このようなことは、シリーズ第1巻『注意』の選択の見落としにおける「していない」選択の理由の説明や、認知的不協和の解消などの認識面のみならず、身体表象においても生じるのですね。誰にでもそう感じられるのでしょうか。それとも、この段階は（意識的には）スキップされる、あるいは別の意識体験を持つ人もいるのでしょうか。

KY 数学的には単純な対称操作ですが、神経回路的にはどのようなことが起きていると考えられるのでしょうか？

KS 神経回路はまだよくわかりませんが、おそらく運動系が大きく関与していると考えられます。

KY 身体表象と空間表象といっても、実は地球上という重力空間に身体が物理的に存在しているという大前提があって、従来の研究が行われてきたと思います。第4章で議論された逆さメガネなどの変換視の研究も、このような大前提は変わっていません。第5章「身体所有感と偽体錯覚」では、先端技術を利用することで、仮想現実感を与え、現実空間ではない仮想空間に身体が存在するように錯覚させたときの身体表象や空間表象が議論されるようになってきています。ただ、視覚情報としてはある種の変換視だと思うのですが、仮想現実感における身体表象や空間表象に特殊性はあるのでしょうかね。

KS 仮想現実感の場合、自己身体情報は体性感覚と直結した位置情報から取られていて、自分の身体が見えていないのが普通だと思います。その場合は、逆さメガネのように自己身体が見えているのとは異なる身体表象が用いられ

ると考えるべきだと思います。

AN 仮想現実の特筆すべき点としては、現実世界での制約条件から大幅に解放されることが挙げられると思います。われわれはかなり柔軟に空間の表象と身体の表象を結びつけることができるように思われますが、その限界や特性について更なる理解が期待されます。変換視としても、かなり研究の自由度が上がるのではないかと思いますし、むしろ仮想現実をうまくツールとして使うことで、身体表象や空間表象に関する理解がさらに進むことも期待されます。また逆に、仮想現実感における身体表象と空間表象の理解の進展は、没入感を高めることにもつながるでしょう。というのは、仮想現実感における没入感、仮想空間表象にいかにも身体表象を関連づけられるか、ということではないかと思われるからです。

KY 各章で扱ってきた様々な現象を通じて、我々の身体とその周囲の空間が脳内でどのように表象されているのかを知ることによって、行動の制約条件や拡張可能性を明らかにする重要性が再確認できたように思います。