

# 論文要約

## 空間知覚と身体運動の相互関係性の解明 —身体傾斜時の上肢運動による検証—

谷 恵介

ヒトは様々な感覚器を通して身体内部および外部環境から情報を取得し、身体と環境との空間的な関係性を知覚する。この情報に基づいて運動を計画および実行することにより、目的とした行為を遂行することができる。したがって、適切に運動を行うためには、空間を正確に知覚することが必要不可欠であると言えよう。このような「運動のための知覚」という捉え方は、認知科学や心理学の領域において従来から広く受け入れられており、知覚と運動の関連性はこれまでに数多くの研究により実証されてきた。一方、生態心理学の視座によれば、運動の行為者と環境とを一つのシステムと捉え、両者が相互作用することによって、身体や周辺環境の状況を正確に知覚ことができると考えられている。この考えに基づけば、身体運動と空間の知覚は双方向的に影響を及ぼし合い、さらには循環していることが想定されるが、これに関する客観的な証拠は未だほとんど得られていない。そこで本学位論文では、ヒトの空間知覚と身体運動の相互関係性に着目し、身体傾斜と上肢運動を用いたヒト行動実験を通してそのメカニズムの解明を試みた。

本学位論文は全4章で構成される。第1章では、本研究の着想に至った背景と意義について述べている。中枢神経系は、視覚、体性感覚、あるいは前庭感覚といった感覚系からの複数の情報を統合し、重力や身体の方角を内的に表象する。先行研究において、重力方向や身体の方角の推定は、身体が直立にある場合には比較的正確に行えるが、傾斜され重力軸と身体軸との間に空間的な乖離が生じた場合には正確性が低下することが知られている。このような現象が潜在するため、スポーツ場面のように重力軸と身体軸の空間的な関係性が時々刻々と変化する状況下では、重力方向や身体方向の知覚に歪みが生じやすくなり、身体運動の制御が格段に難しくなると考えられる。過去の研究では、空間の知覚が運動に及ぼす影響について実験的に検証されているが、これらの多くは身体長軸を重力方向と一致させた姿勢で行っており、身体の傾きに依存して生じる空間の知覚の歪みを想定していない。そこで、本学位論文の1つ目の研究(第2章)ではこの点に着目し、身体の傾斜と上肢到達運動のパフォーマンスとの関連性を調べた。これによって得られた結果を、重力方向および自己中心的な方向の知覚の点から解釈することにより、空間知覚と運動の関係性について詳細な理解を得ることを目指した。

空間の知覚が運動の遂行に影響を与えることはある程度想定されるが、これとは反対に、身体運動は空間の知覚にどのような影響を及ぼすのであろうか。四肢を能動的に動かす際、

筋紡錘や関節受容器からの固有感覚情報、あるいは中枢からの運動指令出力（遠心性コピー）が生じ、それらに基づいて四肢の位置や動き、筋の力量感覚、さらには四肢の重さが知覚される。また、運動を行う際、身体の傾きに依存して変化する重力の作用（方向と大きさ）は、重力方向や身体方向を知覚するための手がかりとなり得る。先行研究では、上肢を運動させることによって把持した物体の長さや重さがより正確に知覚されることが示されているが、この現象が重力空間の知覚においても同様に生じるか否かは明らかではなかった。そこで、本学位論文の2つ目の研究（第3章）ではこの点に注目し、身体傾斜中の上肢運動が重力方向や身体方向の知覚にもたらす効果を定量し、運動の遂行が空間の知覚に及ぼす影響の解明を試みた。

第2章の研究は2つの実験により構成された。実験1では、身体を前額面上で傾斜させ、記憶誘導性の上肢到達運動のパフォーマンスとキネマティクスを評価した。その結果、示指の最終到達位置は、実際の標的位置から身体傾斜側に偏倚する現象が観察された。実験2では、実験1と同様に前額面上で身体を傾斜させた姿勢で主観的な身体長軸方向（**subjective body orientation: SBO**）を評価し、自己を中心とした空間の知覚と上肢運動パフォーマンスの関連性を調べた。その結果、SBOは身体の傾斜側へと傾いて知覚されることが明らかとなった。さらに、このSBOの偏倚量と実験1で観察された示指の最終到達位置の偏倚量の間には、正の相関関係が認められた。これら2つの実験結果から、自己を中心とした周辺空間の知覚は、上肢運動の正確性に影響を及ぼすことが明らかとなった。

第3章では、身体運動の遂行が空間の知覚に及ぼす影響について検証した。前額面上において身体の傾斜を維持（**Prolonged-tilt**）する間に上肢運動を課し、これによって生じる主観的な重力方向（**subjective visual vertical: SVV**）の変化を観察した。その結果、身体傾斜位において動的な上肢運動を行った場合、**Prolonged-tilt**によって生じるSVVが身体傾斜方向に偏倚する現象が抑制されることが明らかとなった。この結果から、ヒトは中枢において重力方向を推定する際、前庭感覚や体性感覚といった空間内における頭部や身体の傾きに関する情報だけでなく、上肢の動きに伴って筋紡錘や腱器官から入力される固有感覚、さらに運動指令の遠心性コピーといった情報も利用していると考えられ、結果として上肢運動の遂行が重力空間の知覚を促進させていることが示唆された。

第4章では、上記の研究結果を総合的に考察し、本研究の意義、今後の展望および課題についてまとめている。第2章および第3章における研究結果から、空間知覚は運動に影響を及ぼすこと、さらにこれとは反対に、動的な上肢運動の遂行が空間知覚の正確性を促進させるといった相互関係性の存在が示された。換言すれば、身体周辺の空間に関して知覚と運動の両者は機能的に連結されており、双方向性の影響が経時的に循環することにより、相互の機能を向上させる仕組みを持つと考えられる。このような考えに基づくと、重力空間においてヒトが意図した行為を正確かつ精度良く達成させることが可能なのは、運動と知覚との相互作用により、双方を適切な状態へと徐々に洗練させる機構が存在するためと捉えることができよう。

本研究によって得られた空間知覚と身体運動の相互関係性に関する知見は、ヒトにおける知覚と運動制御のメカニズムの理解を促進させるだけでなく、競技スポーツやリハビリテーションなどの臨床場面において直接的に還元可能な知識となり得る。例えば、臨床場面において、中枢神経系や末梢の前庭感覚器の障害により重力空間の知覚に障害を呈する疾患患者に対して、動的な身体運動の遂行により外部環境からの情報の入力を促進させ、空間知覚の正確性を高めるといった新たなアプローチが提案される。今後、このような手段の有効性が実際の臨床場面において検証されることが期待される。その一方で、本研究は身体が静的に傾斜された際の空間知覚と上肢運動を対象としており、得られた知見が立位や歩行といった動的な運動制御が必要な状況においても当てはまるか否かは不明である。動的な運動の制御には、身体に生じる慣性力や複数の関節間で相互に作用するトルクを考慮する必要がある。さらには、身体の動きに伴った感覚情報も動的に変化するため、これらの関係性を理解することは格段に難しくなる。今後はこのような課題を克服し、ヒトの空間知覚と運動制御の関連性についてのさらなる理解の促進が期待される。