

奥行きを伴う角度判断における視触覚相互作用

江良 中
横澤 一彦

東京大学大学院人文社会系研究科

東京大学大学院人文社会系研究科

3次元空間の触知覚における視覚情報の干渉効果を調べることによって、視触覚相互作用について検討した。実験では、仮想3次元触空間に構成した平面对を力覚フィードバックによって仮想的になぞらせ、平面对のなす角度を判断させる課題を行った。この触行動に同期した触位置と、平面对の配置に関する触空間を視覚手がかりとしてそれぞれ独立に操作した。これらの視覚手がかりを平面的に与えた実験1、奥行き情報を付加した実験2ともに、視覚手がかりとして触位置を与えることによって角度判断が変化し、触行動に同期する前額平行面上の視覚手がかりが、奥行きを伴う触知覚に干渉することが分かった。また、触空間で左右回転した平面对を比較した実験3では、視覚手がかりのない触知覚のみによる角度評定が回転によらず一定である一方、視覚手がかりとして触位置を付加することにより角度の過大評定が生じたことから、視覚手がかりによる前額平行面上の動的な位置情報が触覚による角度評定に加算されることを明らかにした。

Keywords: crossmodal interaction, visual interference, haptic perception, 3D touch.

問題・目的

我々は、様々な感覚モダリティに基づく知覚を統合することによって、円滑な行動をしている。モダリティ間相互作用に関する研究では、モダリティ間の齟齬や統合への障害が生じた場合の表象を調べることによって、それらの統合基盤を明らかにしてきた。たとえば、Ernst & Banks (2002)によれば、視覚と触覚から得られた情報を統合する際には、各々のモダリティから得られた情報の最尤推定によって表象が決定されると考えられている。すなわち、得られた知覚情報の分散が小さいモダリティの信頼性が高いと判断し、統合の加重が決定されるという主張である。しかしながら、モダリティ間で同期した空間情報を与えるとき、すなわち触空間の動的な把握をサポートするような視覚手がかりを与えたときに、この最尤推定仮説に基づく相互作用が得られるかどうかは定かではない。

本研究では、仮想3次元触空間に構成した平面对の角度判断を行わせる触知覚課題における視覚手がかりの影響を調べた。実験では、触行動に同期した触位置と、平面对の配置に関する触空間を別々の視覚手がかりとして呈示する実験操作を行った。Ernst & Banks (2002)の研究とは異なり、触空間と視空間はあえて一致させていない。もし呈示空間が異なることで、モダリティ間の統合が困難な場合には、視覚手がかりによらない触知覚のみに基づく角度判断が予想される。逆に、いずれの視覚手がかりも仮想3次元触空間を把握するための情報を与えるので、呈示空間が異なるとしても両者が統合されるならば、統合された情報に基づいて角度判断されると考えられる。

実験1

方法

力覚フィードバックデバイスPHANToM Omni (SensAble technologies社製)を用いて、仮想触空間に1

対の平面を呈示し、これを触覚刺激とした。この平面对は常に接しており、そのなす角度は45度から135度までの間で5度刻みであった。また、視覚手がかりとして、仮想触空間と異なる位置に設置したディスプレイ上に触位置に同期して移動する光点(触位置手がかり)と、平面对の配置を表す線図形(触空間手がかり)を呈示した。被験者は、力覚フィードバックによって仮想的に平面对をなぞり、そのなす角度と直角(90度)との大小を2AFCで判断した。触位置手がかりの有無×触空間手がかりの有無の4ブロックを実施した。

結果と考察

実験の結果、触空間手がかりの影響はみられなかったが、触位置手がかりの有無によって角度判断に差異が生じた。すなわち、触位置手がかりのみが有効だったことから、触運動に同期した動的視覚情報が触知覚に影響することが分かった。最小二乗法を用いてロジスティック関数へ当てはめることによって「直角より大きい」という反応が50%となる角度(すなわち、直角との大小判断が拮抗する角度)を算出した結果、触位置手がかり呈示条件で85.6度、非呈示条件で101.1度となった。比較すると、触位置手がかり呈示条件で直角に近い結果となり、モダリティ間の統合によって、正確な角度判断が可能になったと考えられる。触覚のみでは角度が過小評定される(呈示角度が101.1度以上でなければ直角より大きいと判断されにくい)が、触位置手がかりを呈示することによって15度以上角度が過大に評定された。すなわち、触覚のみで生じた角度の過小評定が、視覚情報を伴うことによって補正される結果となった。Kappers & Koenderink (1999)によれば、触空間は非ユークリッド的で、左右に偏位するほどその歪みが大きいと考えられている。この空間的な歪みが角度判断に影響するのであれば、触知覚のみでは実際の角度より過小に評定される可能性があり、視覚情報が伴うことでこの歪みが修正されたと考えることができる。

しかしながら、この実験では奥行きを伴う3次元触空間に対して、視覚手がかりとして前額平行面上の2

次元情報を与えており、それがこのような結果に影響を及ぼした可能性が考えられる。すなわち、平面的な視覚手がかりにより、触知覚がより平面的な角度に過大評定された可能性がある。そこで、実験2では視覚手がかりにおける奥行き情報を強調することでこのような可能性を検討した。

実験2

方法

触位置手がかりの大きさを触空間の奥行きに同期して変化(遠空間の触位置手がかりはその距離に比例して小さく)させ、触空間手がかりもより絵画的奥行き手がかりとして機能するようにテクスチャ勾配を加えた。触位置手がかりに付加した大きさ変化は、物理的には実際の触空間の奥行きより急峻な変化であるため、視覚手がかりからの奥行き情報が作用するのであれば、触知覚による過小な角度評定に対する触位置手がかりによる補正効果が弱くなると考えられる。一方、前額平行面上の情報のみが作用するのであれば、実験1と同様の結果が得られると予想された。

結果と考察

実験の結果、触空間手がかりの影響はみられなかったが、直角との大小判断が拮抗する角度(50%閾)は、触位置手がかり呈示条件で75.6度、非呈示条件で101.2度となった。実験1と比較すると、触位置手がかり呈示条件で過大評定が増加する結果となった。触位置手がかり非呈示条件で平面对の角度が過小評定される傾向は変わらず、触位置手がかりを呈示することによって25度以上過大に角度評定されたことになる。すなわち、触知覚のみで生じた角度の過小評定が、奥行き情報を強調した視覚手がかりによって明らかに過大評定されるまで変化したことを意味する。この結果は、いづれの予想とも異なった。これは、視覚手がかりの効果が、実験1で考察したような触覚による角度判断の補正ではなく、触位置手がかりが動的に大きさを変化させることにより視覚モダリティへの加重が大きくなり、3次元的な触知覚に視覚の前額平行面での触位置情報がより大きく加算された結果、平面的に、すなわち過大に角度評定されたのではないかと推定される。

実験3

方法

実験3では触空間を左右に回転させることで、触知覚に対する動的な視覚手がかりの加算的相互作用の頑健性を調べた。触空間は正中面から左右に20度回転させ、触位置手がかりの有無を操作した。尚、触位置手がかりの大きさは変化させなかった。

結果と考察

実験の結果、直角との大小判断が拮抗する角度(50%閾)は、右20度回転では触位置手がかり呈示条件で61.2度、非呈示で96.3度、回転なしでは触位置手がかり呈示条件で60.4度、非呈示で95.7度、左20度では触位置手がかり呈示条件で70.8度、非呈示で96.2度で

あった。回転にかかわらず、視覚手がかりが非呈示で触覚情報のみの場合に角度の過小評定が生じ、触位置手がかりの呈示によって角度の過大評定が生じた。

触空間を回転しても、同様の傾向の視覚手がかりによる干渉が生じたことから、視覚手がかりの前額平行面上の情報の加算により、触知覚がより平面的に、すなわち過大に角度評定されたと考えられる。尚、左20度回転で触位置手がかりの呈示による過大評定が減少したのは、右利きの被験者が左に回転した触覚刺激を探索したために空間同士のマッチングにコストが生じた結果ではないかと考えられる。

総合考察

本研究では、奥行きを含む3次元の触空間における角度判断において、触位置に関する視覚手がかりによる干渉が生じた。この干渉の際、視覚情報は前額平行面上の動的な位置情報のみが用いられた。

Ernst & Banks (2002)によれば、複数モダリティからの入力を統合する際には、各々のモダリティから得られた情報の最尤推定に基づいて知覚表象が決定される。すなわち、視覚手がかりから得られる前額平行面上での動的な位置情報の信頼性が高ければ、触空間の奥行きは平面的に推定され、結果的に過大評定されたと考えられる。このとき、実験2では手がかりの大きさが変化し、実験3では触空間の配置が左右非対称になることによって、実験1よりも視覚モダリティへの加重が高まり、より大きな過大評定が生じたと考えられる。

実験2では過小評定が生じるような奥行き手がかりを与えたにも関わらず過大評定が生じた。実験2の触位置手がかりは大きさの変化のみの絵画的奥行き手がかりであるので、3次元的な奥行き運動をしない。その結果、奥行きに関する視覚情報の有効性が損なわれた可能性が考えられる。また、Kappers & Koenderink (1999)によれば触空間は奥行き方向へは歪んでいないと考えられ、奥行き方向に対する触知覚の信頼性が充分高いために、視覚情報は前額平行面上の動的な位置情報のみが用いられた可能性も考えられる。

引用文献

- Ernst, M. O., & Banks, M. S. 2002 Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415, 429-433.
- Kappers, A. M. L., & Koenderink, J. J. 1999 Haptic perception of spatial relations. *Perception*, 28, 781-795.