

仮現運動におけるフレーム内の空間的距離の効果について

加藤 知佳子

1. 問題

人間の視覚系は、時間的に離散化された画像から、連続的な運動を復元する。また、物体の運動あるいは観察者の運動に伴う、複数時点における画像を提供されれば、空間的に離散化された画像からも、物体の3次元構造を復元することが可能である。前者は、仮現運動(apparent motion)と呼ばれ、後者は、運動からの構造復元(structure from motion)(Wallach & O'Connell, 1953)と呼ばれる。

物体の運動および構造の視覚的復元にあたっては、断続的に提示されるフレーム間の時間的間隔(stimulus onset asynchrony: SOA)に、一定の制約がある。この時間的制約について、効果的に検証するために考案されたのが、Frame-splitting procedure(Suga & Kato, 1995)である。これは、1フレームをさらに複数のピースに分割し、時間的順序を攪乱して提示することによって、視覚系の復元能力を検証するものである。

加藤(1995)は、この実験パラダイムを応用して、フレーム間の空間的距離と時間的距離を同時に操作する実験を行った。これによれば、フレーム間の時間的・空間的サンプリングレイトによって、運動の視認性を説明することはできるが、どのようにし

て(フレーム間ではなく)物体の真の速度を復元しているかということについては、説明不可能である。

一方、フレーム内(あるいはピース間)の時間的・空間的サンプリングレイトについてはどうだろうか。須賀・内田(1996)によれば、ピースの提示順序をランダムにしまうと、物体の剛体性の知覚が難しくなる。しかし、物体を構成する点の分布が疎らであれば、その復元能力は回復する。つまり、物体(あるいは画像)を構成する点の密度は、ピースの統合およびフレームの時分割・整列化に対して、何らかの影響をもつということである。

そこで本研究では、フレーム内の空間的サンプリングレイト、あるいはそれに伴って変化する空間的距離の影響が、SOAに関する時間的制約にまで及ぶものであるかどうかには焦点をあてて検討することにした。

須賀・内田(1996)が予測したように、点が疎らであることによって計算能力に余剰が生じ、それによって物体の構造・運動の復元が回復するとすれば、その計算(時間)に依存したSOAの制約に関しては、点の密度をコントロールすることによって、その閾値が変化する可能性がある。一方、画像の統合・分割・整列化に関わる計算時間とは無関係に決まっている時間的制約であるならば、点の密度の影響はないものと予想

される。

さらに、物体の構造の知覚に依存して運動の復元が行われるならば、あまりに点が疎らになって、物体の構造の知覚そのものがあいまいになった場合には、運動の知覚にも困難が生じるものと予測される。

以上のような予測の元に、以下の実験を行ったので、ここに報告する。

2. 実験

(1) 方法

元刺激は、Suga & Kato(1995)および加藤(1995)が使用したものと同じで、それぞれ20点からなる螺旋4本から構成される円筒型の物体2つが、1つ(A)は垂直軸周りに、もう1つ(B)は水平軸周りに回転運動するものである。

今回使用した加工手続きは、1フレームを2ピース(a, b)に分割して、二重交替で提示するものである。つまり、時間を $t = n$ とすると $A(a)_1, A(b)_1, A(a)_2, A(b)_2, B(a)_3, B(b)_3, B(a)_4, B(b)_4, \dots, A(a)_n, A(b)_n, A(a)_{n+1}, A(b)_{n+1}, B(a)_{n+2}, B(b)_{n+2} \dots$ のように提示する。

点の密度に関しては、物体の大きさ、構造は変えないで、同じ長さの螺旋を、20点で描くものから、10、5、4、2点と疎らにしたものまで、5種類用意した。

SOAについては、2から46 msecまで、2 msec間隔で実験を行った(23種類)。各条件ごとに6試行(上昇系列、下降系列が各3試行)を行った。総試行数は、690(=5 × 23 × 6)試行である。

刺激作成および制御は、EPSON 386GSによって行い、刺激提示はKIKUSUI COS1611 X-Y DISPLAY(P31)を使用した。

実験には、正常な視力(矯正)を有する1

名(筆者)が参加した。被験者はディスプレイから約60cmの距離から観察した。頭部は固定せず、観察時間も特に限定しなかった。

被験者の課題は、2つの回転する物体の運動が知覚された場合、それぞれを構成する螺旋の本数を答えることである。

(2) 結果

結果は、運動の知覚が質的に変化する閾を、ピース間のSOA(msec)で求めた。質的な変化とは以下の通りである。物体を構成する螺旋が、

多重から二重(8本)に (multiple/double)

二重(8本)からあいまい(4本か8本)に (double/ambiguous)

あいまい(4本か8本)から正答(4本)に (ambiguous/correct)

なり、運動の知覚そのものが

安定した運動の知覚から、あいまいな運動の知覚に (correct/ambiguous)

あいまいな運動の知覚から、運動の知覚不成立に (ambiguous/meaningless)

変化する閾値をそれぞれ、6試行の平均として求めた。は8本に見える下限閾、は正答(安定した知覚)の下限域に相当し、は、その間に運動視の上限域が存在することになる。

各閾であるSOA(msec)と螺旋1本あたりの点の数との関係をグラフに表したのが、図1である。

運動視成立の上限閾に相当する およびは、点が疎らになるにしたがって、わずか

に上昇した。また、3種類の下閾値に関しては、元刺激の5分の1である4点で提示した場合が最も下降し、10分の1の2点にまで疎らにしてしまうと、再び上昇してしまった。

つまり、本実験の刺激においては、元刺激の5分の1程度の密度で提示した場合が、最も運動視成立の時間帯が拡大したといえる。

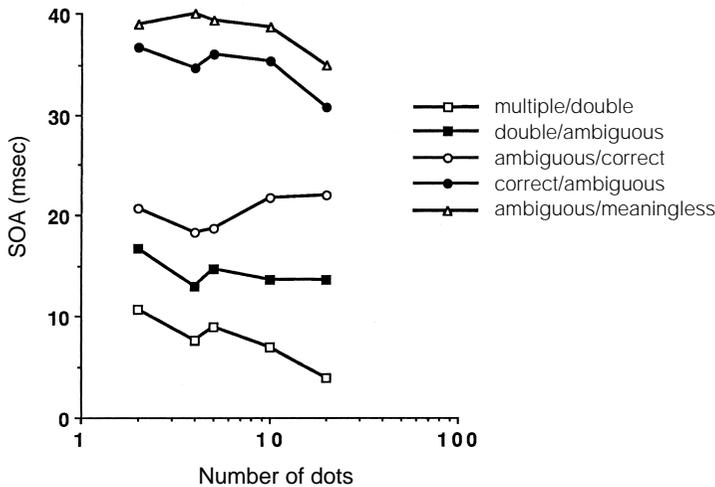


図 1. The results of Experiment.

(3) 考察

運動視成立の上限閾とは、須賀(1992)のモデルによれば、物体の運動に関する仮説の、記憶減衰限界である。物体を構成する点が疎らになるとこの限界が上昇するという事は、記憶容量が点の密度に依存している可能性を示しており、注目に値する。

異なるフレーム間に属する同一の点同士の対応問題 (correspondence problem) (Ullman, 1979) を解く、須賀(1992)の計算モデルでは、計算量の爆発を回避するために、近傍点から候補を探すアルゴリズムを採用している。フレーム間の空間的距離を一定とした場合、フレーム内の点の密度が高く、点同士の空間的距離が小さければ小さいほど、同じフレームに属する点同士という

誤った候補から答を探す結果となり、解に到達するまでの試行回数は増加するものと考えられる。加藤(1995)では、フレーム内の空間的距離を一定とした場合に、フレーム間の空間的距離が大きいほど、運動視成立の閾値が上昇するデータが得られたことから、近傍点から候補を探すアルゴリズム

は支持されると結論づけられたが、どちらも、誤った候補が近傍にあり、解にたどりつくまでの試行回数が増えると予測されるという点では、同様である。

須賀のモデルで仮定されているように、脳内でも、フレーム間の空間的距離とフレーム内の空間的距離とが全く区別されずに処理されているかどうかは、検証する必要が

あるが、本研究でも、近傍点から解を探している可能性は支持されたといえよう。

下限閾に関しては、時間的に連続して提示されるフレームを、時分割するために必要な計算時間と考えられているが、これについては、安定した知覚が得られる閾値が、4点あるいは5点の場合に最も下降しており、2点になると再び上昇してしまうことから、予測どおり、一定の範囲内では、点が疎らである方が時分割が容易になる可能性が示されたといえよう。

一方で、安定した知覚が得られる前の時分割が難しい時間閾においては、点が密である方がむしろ閾値が小さいことから、その時間閾においては、物体の構造の仮説に基づいて、時分割が行われている可能性

が示唆される。

最近の脳研究においては、異なるモジュール間の入出力関係に関する研究が盛んに行われているが、本研究との関連でいえば、運動視に関わる部位と、形態の知覚に関わる部位との関連がどのようになっているかが最も注目されよう。脳の各部位の振る舞いが、計算理論上のモジュールと同様、閉じた入出力機構であるかどうかは、議論の分かれるところであろうが、視覚系は非常に早い段階から多くのモジュールの出力を利用して、妥当な解を導くという、非常に頑強な構造を持っているということは、本実験の結果からも、垣間みえたのではないだろうか。

3. まとめ

まず第1に、物体を構成する点が疎らになるにつれて、運動視成立の上限閾が上昇

したことから、運動視成立の上限閾は、物体を構成する点の密度に依存している可能性がある。

第2に、フレームを時分割する下限閾は、元刺激の5分の1の割合で提示した場合が、最も下降した。つまり、時分割するためには、ある程度のドット密度が必要であることが示された。

第3に、時分割が安定して行われる閾値以下の時間帯において、点があまりに疎らだと、あいまいな知覚しか得られない時間帯が拡大することから、フレームの時分割には、物体の構造そのものに関する仮説が利用されている可能性が示唆された。

データ数を増やしてさらなる検討を行う必要はあるが、本実験によって、先行研究で明らかにされた運動視成立の時間的制約の質的な意味について、いくつかの示唆が得られたといえよう。

引用文献

- 加藤知佳子 1995, 「仮現運動におけるフレーム数の効果について」『豊橋短期大学研究紀要』12: 163-173.
須賀哲夫 1992, 「3次元構造の知覚的復元について」『日本女子大学紀要人間社会学部』2: 133-141.
Suga, T., & Kato, C. 1995, Spatio-temporal properties in multi-framed apparent motion using frame-splitting procedure. 『日本基礎心理学研究』13: 69-79.
須賀哲夫・内田真理子 1996, 「運動する物体の構造化を図る視覚系の性質」『日本基礎心理学会第15回大会プログラム』17.
Ullman, S. 1979, The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London B* 203: 405-426.
Wallach, H., & O'Connell, D. N. 1953, The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology* 45: 205-217.