



私の研究

前庭三半規管の心理学

～外界の認識を支える

三半規管のはたらき～

末次 晃 (すえつぐ あきら)

いわき明星大学 教養学部
教授



1. はじめに

本稿では前庭三半規管（以下、三半規管とする）を取り上げます。三半規管は、平衡感覚を司る感覚器です。この三半規管からの情報が視覚や聴覚からの情報とどのように統合され、外界の認識が成立しているのかを検討した研究を紹介します。とはいえ、なぜ心理学で三半規管を研究対象としているのか、多くの方が疑問に思われることでしょう。そこで、研究は何を目指しているのか、最初にその目的と意義について簡単に述べます。

2. 三半規管のはたらき

三半規管は、両側の内耳にある感覚器で、三次元空間内での頭部の回転加速度を検出しているセンサーです。三半規管では回転加速度を検出していますが、それに続くプロセスで回転加速度情報から回転速度や回転角度が算出されています。身体が回転すると、当然のことながら自分の身体が回転している感覚が生じます。これは回転加速度を検出し、そこから、どれくらいの速さで、どれくらいの角度回転したのかを算出している仕組みが備わっているおかげです。

三半規管からの情報は、こうした空間内での頭部の回転を知覚するためだけに使われているわけではありません。視覚や聴覚と協調することで、外界の認識にも関わっています。たとえば、暗室で、実験参加者を回転装置に座らせ、重力軸まわりで等速に回転させます。しばらくして、急ブレーキをかけて回転を停止します。このとき、三半規管には回転方向とは逆向きの回転加速度が加わります。時計回り（参加者の右手方向）で回転していた場合、逆の、左方向への回転加速度となります。この結果、身体はすでに静止しているにもかかわらず、逆方向へ回転しているような感覚が起きます。

このとき目の前に静止光点を提示すると、回転感覚と同じ方向に光点が動いて見える錯視（見かけの動き）が生じます。この錯覚は動眼回転性錯視（oculogyral illusion）と呼ばれる、三半規管刺激誘発性の錯視です。また、この錯覚には、実際の位置よりも光点が回転感覚の方向にずれて見える、見かけの位置がずれるといった現象も起きます（図1参照）。

以上のような現象は、われわれの見ている世界が、視覚情報のみから成立しているのではなく、

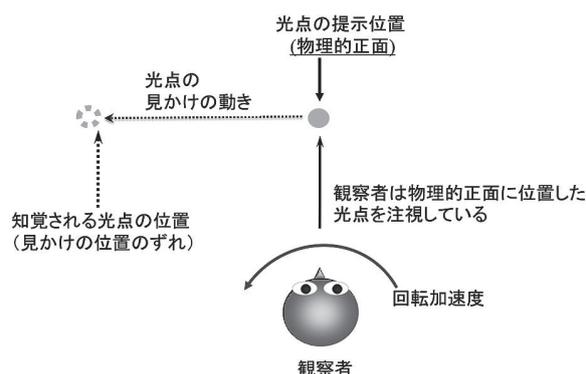


図1 現象の模式図 時計回りの等速回転（時計回り）停止後の例を上から図示した。観察者の物理的正面に提示した光点が、回転加速度の方向に動いているかのように知覚されるとともに、位置も同じ方向にずれて知覚される。

三半規管からの身体の動きの情報も使われていることを示しています。視覚情報と身体感覚情報である三半規管からの情報とが何らかの形で統合され、その結果がわれわれの見ている視覚世界であるということです。したがって、視覚世界の成立を理解するためには、三半規管からの情報が視覚情報とどのように統合されているか、そのプロセスを明らかにすることも必要となります。

3. 見かけの動きと位置ずれの時間応答特性

これまでの動眼回転性錯視の研究では、同じ刺激に対する見かけの動きと位置ずれの時間経過を比較した報告はありませんでした。そこでまず手始めとして、基本的な特徴である時間応答特性を調べました。見かけの位置ずれを生じさせる三半規管からの情報は、回転速度を時間で積分した回転角度信号が使われていると考えられています、それを実験的に検証することが主な目的でした。

実験では、暗室で、実験参加者を回転装置に座らせ、重力軸まわりで等速（72度/秒）に回転させた後、急ブレーキをかけて回転を停止する方法で三半規管に刺激を加えました。これは、インパルス状の刺激に対する時間応答特性を調べていることに相当します。なお、72度/秒は5秒で1回転する比較的ゆっくりとした回転であり、実験参加者への負担は軽く、気分が悪くなったりする参加

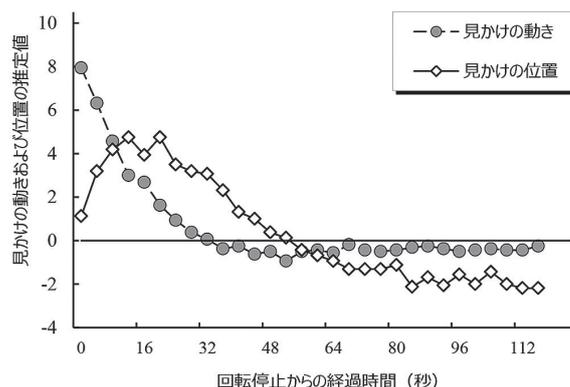


図2 時計回り方向での回転停止後の、見かけの動きの大きさおよび位置の平均推定値の時間的変化。横軸は回転停止からの経過時間（秒）。縦軸はマグニチュード推定値で、「0」が正面、プラスが左方向、マイナスが右方向を表す。

者はほぼいませんでした。

視覚刺激にはLEDの光点を用いました。参加者の前方、物理的な正面にLEDを設置し、点滅させました。見かけの動きの測定では1秒間光点を提示し、どれくらいの距離を移動したように見えたかを答えてもらいました。見かけの位置ずれに関しては、動きが知覚されると位置判断が難しくなるので、0.1秒だけ光点を提示し、それが自分の正面からどれくらいずれているのかを報告してもらいました。急ブレーキをかけてから120秒間、4秒ごとに計30試行測定しました。

結果を図2に示します。見かけの動きの大きさは指数関数的な減少を示しています。これは三半規管からの回転速度信号の時間応答特性の特徴と一致しています。このため、見かけの動きは三半規管からの回転速度信号を反映していることが裏付けられたと言えます。

一方、見かけの位置は、急ブレーキをかけてから、約20秒かけて増加し、その後、漸次的に減少するパターンを示しています。これは、三半規管からの回転速度信号を時間で積分し、回転角度に変換したものと特徴が一致しています。

これらの結果から、動眼回転性錯視の見かけの動きは回転速度信号と視覚信号とを加算的に統合していること、見かけの位置では、回転速度信号を時間積分した回転角度信号と視覚信号との加算

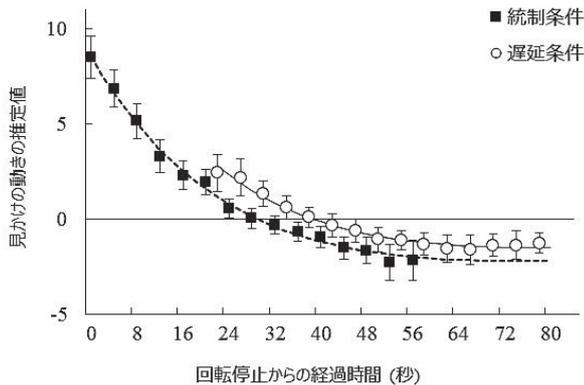


図3-1 統制条件と遅延条件の見かけの動きの大きさの平均推定値の時間的変化。縦軸のプラスが左方向、マイナスが右方向を表す。2つの条件平均値がほぼ重なっている。

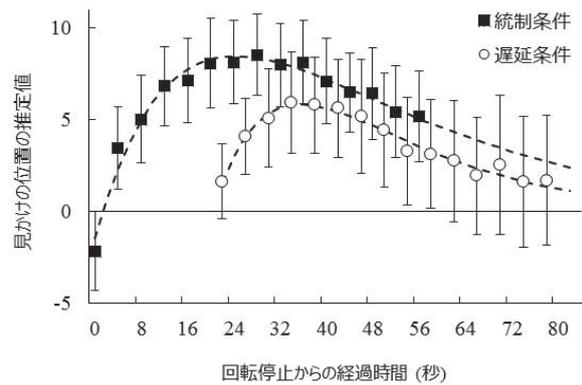


図3-2 統制条件と遅延条件の見かけの位置の平均推定値の時間的変化。縦軸のプラスが左方向、マイナスが右方向を表す。24～32秒の間、2つの条件平均値がずれている。

過程である可能性が示唆されます。

4. 視対象の位置がずれて見える仕組み：主観的な正面がずれることが原因か？

光点の位置を判断する課題では、「自分の正面を基準として」光点が左右どちらに、どれくらいの距離が離れて見えるかを判断してもらいました。つまり、実験参加者が主観的に感じている正面を位置判断の基準としていました。このことから、光点の位置がずれて知覚される現象の背後には、基準としている主観的な正面がずれている可能性が考えられます。この点を検証する実験を実施しました。実験方法は先に述べたものとはほぼ同じですが、課題を自分の正面を指さしするポインティング課題とした点だけ異なります。

結果は予想された通りでした。実験参加者がポイントした正面は、光点の位置判断課題で見られた位置ずれとほぼ同じ時間経過をたどりました。ただし、向きは光点のずれと逆向きです。こうした結果から、三半規管への刺激による光点定位のずれの原因は、主観的に感じている正面のずれに起因することが分かりました。つまり、三半規管への刺激によって主観的な正面がずれる→そこに視覚系から光点の位置情報をもたらされる→結果、主観的な正面がずれた方向とは逆向きに光点の位置がずれているように知覚される、という解釈が

成り立ちます。

5. 視覚情報と三半規管からの情報統合は単純な加算なのか？

時間応答特性の研究から、三半規管からの回転速度あるいは回転角度信号と光点の位置に関する視覚情報とが加算されていることが示唆されました。しかしながら、この単純な加算仮説が妥当かどうかは検証する余地があります。単純加算を仮定した場合、見かけの動きの大きさや位置ずれは、三半規管からの回転速度や回転角度情報の変化を直接反映しており、それは視覚刺激の有無には影響を受けない、ということになります。

この予測を検証するために、急ブレーキをかけてから光点の提示開始を20秒遅らせた条件（遅延条件）で見かけの動きと位置ずれを測定しました。単純な加算仮説では、見かけの動き、位置ずれの大きさは三半規管へ刺激を加えたときからの時間の関数として変化しますから、どの時点で視覚刺激提示を開始してもグラフは重なることが予測されます。

実験の結果を図3に示しました。見かけの動きでは（図3-1）2つの条件のグラフがほぼ重なり、予測どおりの結果となりました。一方、単純加算仮説からの予測とは異なり、見かけの位置ずれはグラフが重なっていません（図3-2）。

この結果から、見かけの動きは三半規管からの回転速度情報と視覚情報とを単純に加算していること、見かけの位置ずれについては単純加算仮説では説明できないことが分かりました。この現象の説明は、かなり専門的になりますし、紙面の都合もありますので割愛いたします。

6. 視空間内における距離の均一性の一時的な崩れ

これまでの実験では、光点は物理的正面に固定して提示していました。しかし、空間内でのどの位置でも三半規管への刺激の影響は等しいと考えていいのでしょうか？

この点を検討する実験では、物理的正面、物理的正面から左右に15cmはなれた位置の3つの位置に光点を提示しました。そして、等速回転停止後、どれか1つの位置に光点を提示し位置の判断を求めました。それを3つの位置について繰り返し実施しました。結果を図4に示します。これは時計回り回転後の結果です。グラフに示したように、回転停止直後、左位置に提示した光点の位置は、ほぼ正面と知覚されています。それ以降は、正面条件を中心として、3つの光点の位置がほぼ等間隔の位置に知覚されています。これは物理的な提示位置をそのまま正しく知覚していることを示しています。したがって、三半規管へ刺激を加えた直後、正面を境として左の領域（回転加速度方向の領域）は、実際よりも正面よりに位置が知覚されていることを示す結果となりました。三半規管への刺激の効果で、位置がずれて知覚されるだけでなく、空間の特定領域で距離の均質性が崩れたと考えられます。急ブレーキ直後、回転加速度方向（左方向）に位置する空間領域では、空間内の距

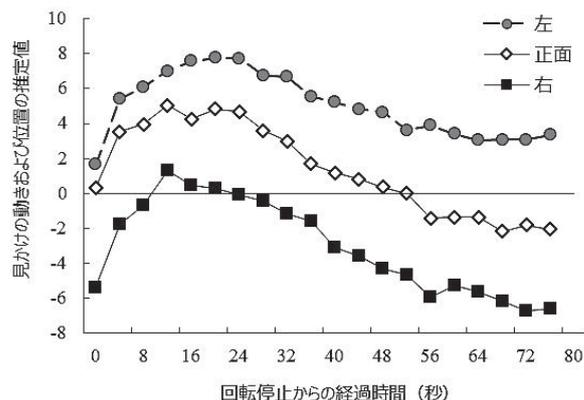


図4 提示位置べつの見かけの動きの大きさの平均推定値の時間的変化。縦軸のプラスが左方向、マイナスが右方向を表す。

離が圧縮され、その結果、左位置の光点が正面よりの位置に知覚されたとも解釈できる結果でした。

7. おわりに

本稿では、三半規管へ刺激を加えることによって生じる錯視現象を対象に、外界の認識に三半規管が果たしている役割を調べる研究を駆け足で紹介してきました。

では、なぜ三半規管を研究テーマに選んだのかと改めて振り返ってみると、大学院生当時の指導教員であった先生の口癖、「他人のやっていないおもしろいことをしようよ」という言葉の影響が大きいと思います。当時、このテーマに取り組んでいる心理学の研究者はほとんどいませんでした。流行の研究テーマに取り組むことも大事でしょう。しかしそうではないテーマであっても取り組んでみると、こころのはたらきの重要な側面を明らかにすることができます。三半規管は私にとってそうしたテーマであったと思います。

<プロフィール>

1967年、宮崎県生まれ。2000年3月神戸大学大学院文化科学研究科社会文化専攻修了。博士（学術）。2000年4月より神戸大学大学院文化科学研究科助手。2004年4月、神戸大学大学院経営学研究科助手。2007年にいわき明星大学人文学部心理学科に准教授として着任。現在、いわき明星大学教養学部教授。専門は実験心理学、認知心理学。