

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 宮脇陽一

本論文は「生体信号計測による初期及び中次視覚情報処理過程の研究」と題し、6章からなる。

両眼立体視とそれに伴う図地分離の過程は人間の基本的な初期及び中次の視覚過程であるが、その機序の全貌はまだ明らかにされておらず、特に時間的階層性ともいべき側面からの解明が必要とされている。本論文は、誘発電位という非侵襲的脳活動計測手法に基づき、人間の初期—中次視覚情報処理過程の時間的側面に関し、立体視とそれに伴う図地分離過程において発生する視覚誘発電位の解析より、二峰性反応という新しい現象を発見し、各反応成分の機能的意味付けを行い、その結果をもとに各処理段階に対応する潜時帯を求め、その逐次的反応過程に介在する神経生理現象を同定して、その背後に潜む神経機構を明らかにするための手がかりを得たものである。

第1章は序論で、視覚情報処理における階層性と処理の流れについて概観し、古典的な意味での解剖学的な領野間結合や受容野構造ではなく、それらの間の時間的反應推移こそが、視覚情報処理の本質を理解するのに重要であることを述べ、その中でも特に立体視過程に着目することの意義、および解析手法として視覚誘発電位計測を利用することの有効性に関して論じて、立体視に伴う視覚情報処理過程を時間的側面から明確化し、その背後に潜む神経機構を明らかにするという、本研究の目的と立場と意義を明らかにしている。

第2章は、「立体視と視覚誘発電位」と題し、ランダムドットステレオグラム(RDS)による両眼視差刺激提示時の従来単峰性を示すとされていた誘発電位が、潜時約100–200msで発生する初期陰性成分と、潜時約200–300msで遅れて発生する後期陰性成分の二峰性を示すことを精密な実験により明らかにしている。第二の成分は、刺激偏位に依存した振幅変調を示し、交差視差を除去した非対応領域刺激で潜時が遅れ、交差視差を全面に付加した形状特徴のない刺激で抑制されるのに対して、第一成分は、いずれの刺激に対してもほとんど変化を示さないことを実験から導き、これらの結果より、第一成分は局所輝度パターンの変化あるいは局所視差の検出過程に、そして第二成分は高次の立体視過程に起因すること強く示唆しているとしている。

第3章は「二峰性誘発電位の一般性」と題し、この二峰性陰性波の一般性と再現性に関して論じている。従来の実験設定との最大かつ唯一の相違点である刺激提示視野角が及ぼす影響について検討し、刺激提示視野角が与える誘発電位への影響を、刺激提示の総量(面積)と局所視野特性の不均一性という二点から捉え、二峰性の反応傾向との因果関係を調べ、その結果、たとえ見かけ上顕著な二峰性の反応を示していなくとも、刺激提示視野条件に関わらず、立体視誘発電位には逐次的に発生する二つの成分が内在していることを明らかにしている。続いて、これら二峰性反応に対応する脳内活動部位の推定を電流双極子追従法を適用して試み、第一成分の潜時帯では、鳥距溝付近に限局性高く活動部位が見出され、その後、一旦広範な部位に展開したあと、第二成分の潜時帯において、再び後頭-頭頂部付近に収束する傾向があることを見出している。これらの実験及び

解析を通して、本論文で捉えられた二峰性反応が立体視に伴う逐次的な反応推移に対応する現象であることを示している。

第4章は「遅延性誘発電位と図地分離過程」と題し、二峰性反応の後期潜時帯における陰性成分(第二成分)と図地分離過程との関連について議論している。図地属性の連続的な変化と対応した第二成分の反応変化を取得すべく、単一閉領域の背景領域に対する相対面積比を連続的に変化させるという実験の枠組みのもとで、交差視差手掛かりに加え、両眼融像できない両眼性手掛かり(両眼競合性の手掛かり)、および線分方位テクスチャパターンで定義された単眼性手掛かりを用いることにより、交差視差及び両眼競合刺激時には、刺激面積の増加に伴って第一成分の振幅値が顕著に増加することを見出し、従ってダイナミックRDS刺激による実験であることを考慮すれば、第一成分潜時帯の陰性反応が局所視差検出過程を反映していることを示しているとしている。一方、第二成分は、いずれの局所手掛かりに対しても同様に、矩形領域面積の増加に従ってその振幅を減少させ、領域が背景をすべて覆う条件下で最小値を示し、さらにこの傾向が、矩形領域面積の絶対量には依存せず、背景との相対量で特徴付けられていたことから、第二成分が顕著に誘発されるには、矩形領域がある程度狭小であること、すなわち背景に対して“図”として分離していることが重要であり、かつ第二成分の潜時帯以前には両眼融像/競合過程がある程度完了している必要があることを結論し、第二成分が両眼立体視のみに限定されたものではなく、一般的な図地分離の過程を反映したものであることを立証している。

第5章は「二峰性陰性波誘発における神経機構」と題し、二峰性反応誘発の生理学的背景について論じている。本論文における一連の実験において示される第二成分の性質と、古典的受容野外変調のそれとが極めて酷似したものであることを示している。しかしながら、同様の反応傾向は視覚的注意の副次的効果によっても引き起こされる可能性が指摘されるため、前章までの実験結果のみでは、第二成分と古典的受容野外変調との同一性を立証するに十分ではないことから、視覚的注意の空間位置を二重弁別課題によって強制的かつ独立に制御する実験を行って、第二成分が示す代表的性質において視覚的注意状態が支配的要因ではないことを立証し、この成分が刺激の局所特徴抽出の後、遅延性の古典的受容野外変調が発現するまでの反応推移過程を、頭皮上からマクロに捉えたものである可能性が高いと結論している。

第6章は結論で、本論文をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本論文では、立体視とそれに伴う図地分離過程において発生する視覚誘発電位の解析により、二峰性反応という新しい現象を発見し、その各反応成分の機能的意味付けを行い、その結果をもとに各処理段階に対応する潜時帯を求め、その逐次的反応過程に介在する神経生理現象を同定することにより、初期-中次視覚情報処理過程の時間的側面を非侵襲的に捉え、その背後に潜む神経機構を明らかにするとともに、非侵襲計測法である視覚誘発電位というマクロな神経活動の計測結果を利用しながらも、単一細胞レベルで確認された現象との類似性を多側面より確認し検証するという方法論の有用性を示したものであり、脳科学や神経工学の発展に寄与できると考えられ、計測工学及び脳神経科学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。