

博士（行動科学） 竹川忠男

学位論文題名

周波数変化音に関する生理・心理学的研究

学位論文内容の要旨

本論文の序章から第5章までは、それ以降の章の説明を容易にするための導入部ということができ、周波数変化音の物理的特性、周波数変化音の知覚に関する研究の歴史、聴覚刺激に対する脳内の神経生理学的反応についての解説が主となっている。第6章から第10章までは、本論文の主部であり、著者が行った9つの実験的研究の報告からなっている。

その第1実験（第6章）においては、変化パターンが異なる周波数変化音の弁別を扱い、通常の音楽で用いられている範囲の変化幅や変化速度では、変化のパターンの相違を検出できないことを明らかにしている。そして、こうした結果を説明するために、聴覚系において周波数を時間的に積分し、その積分系列の相違によって弁別できるかどうかが決まるという仮説を提出している。この仮説によれば、周波数が周期的に変化する速度を早くすると、知覚される変化幅が次第に狭くなるとの予測が生ずる。この予測を検証したのが第2実験と第3実験（第7章）である。これらの実験では、音楽家の間でビブラートやトристリルの速度を速くすると音程が縮小するとして知られている音程縮小現象を、客観的に確認し、音程縮小が変化速度の対数と一次的な関係にあることを明らかにしている。

第4実験（第8章）では、聴覚系が音の周波数を時間的に積分して音の高さの識別を行っているということを確認するために、音の継続時間の長短と音の高さの識別の関係を検討している。この実験では、従来の方法と異なる新しい測定方法、すなわち、一定の周波数の音を連續して表示している途中で、短時間だけ周波数を偏移させ、その偏移を検知できるかどうかを調べるという方法を採用しており、その実験結果から、偏移時間の長さと弁別閾の大きさとの関係は、偏移時間の長さが100 msecを境に異なる、との結論を提出している。

著者は、聴覚系における音の周波数の積分機構の性質を明らかにするためには、生理的指標に基づく検討も必要と考え、以上の心理物理学的手法による実験に加えて、生理心理学的手法による実験も行っている。まず、第5実験（第9章）において、音波を受け取る受容器（蝸牛）での過渡特性を調べている。末

梢の聴器官が周波数変化音に対してどのように応答するかは、末梢の動作を反映する蝸牛電位を測定することによって調べることができる。この実験の結果、蝸牛電位は音の周波数変化に対して迅速に応答し、その過渡特性が極めて良いことを明らかにしている。

神経活動に変換された聴覚信号の応答は、上行して最終的には大脳皮質の聴覚野に達する。第6実験～第9実験（第10章）は、その大脳皮質から発生する脳波に重ね合わせ法を適用して、周波数が変化する音に対する誘発電位を測定している。そして、それらの実験結果から、誘発電位の測定では周波数変化の速度が重要な変数であって、速度が早くなるほど、誘発電位の一つの成分であるN1の潜時が短くなることを明らかにしている。また、著者は、この潜時が周波数変化の検知と関わっていると考え、様々な変化速度の条件でN1潜時を測定している。その実験においては、同時に、周波数変化を検知した際に、直ちに応答させる反応時間も測定しており、これとN1潜時との間に高い相関があることを見いだしている。さらに、この潜時は基準周波数が1000Hzよりも高いか低いかによって異なり、1000Hz以下ではほぼ同じ潜時であるが、それより高い基準周波数に対しては潜時間が長くなることを確認している。この1000Hzを境に応答が異なるという結果は、周波数の弁別閾のそれと性質を同じくしており、著者は、この結果を、N1潜時が周波数の弁別と密接に関連していることを示唆するものであると解釈している。また、これらの実験においては、周波数の変化時間をえた場合のN1潜時の変化も調べている。その結果は、変化速度が一定の場合、潜時は、より短い時間での変化に対しては短く、変化時間が長くなるにつれて次第に長くなり、20 msecを越すとほぼ一定になる、というものであった。著者は、この結果を、周波数の変化量がある大きさに達したときN1成分が生じると考えれば説明でき、周波数変化の積分値が関連していることを示唆するものであると解釈している。また、それらの実験では、変化の検知とN1潜時との関連を検討するために、被験者に周波数の変化を認めたら直ちにボタン押し反応で応答するよう要求する条件も課しており、誘発電位と周波数の変化の検知との関係も調べている。その結果、N1潜時は課題関連電位の影響はそれほど受けず、N1成分と課題関連電位とは中枢神経系の異なる系からの応答ではないかとする考察が提出されている。

以上の結果を総合し、著者は、周波数変化音に対しては、聴覚中枢系に想定される周波数変化音に対する積分機構が100-250 msecを時間単位として働いており、それが周波数変化の検知や周波数の弁別をも規定していると結論づけている。

学位論文審査の要旨

主査教授 岩本 隆茂
副査教授 岡田 宏明
副査教授 三谷 鉄夫
副査教授 阿部 純一
副査教授 諸富 隆

学位論文題名

周波数変化音に関する生理・心理学的研究

本論文の主部は、周波数変化音に関する9種の実験的研究の報告からなっている。

第1実験（第6章）においては、変化パターンが異なる周波数変化音の弁別を扱い、ある範囲の変化幅や変化速度では、そのパターンの相違を検出できないことを明らかにしている。また、これを説明するために、聴覚系においては周波数を時間的に積分し、その積分系列の相違によって弁別できるかどうかが決まるとする仮説を提出している。この仮説によれば、周波数の変化速度を早くすると、知覚される変化幅が次第に狭くなるとの予測が生ずる。この予測を実験的に検証したのが第2実験と第3実験（第7章）である。第4実験（第8章）では、聴覚系が音の周波数を時間的に積分して音の高さの識別を行っていることを確認するために、音の継続時間の長短と音の高さの弁別閾との関係を検討している。この実験では、刺激音の周波数を短時間だけ偏移させ、その偏移を検知できるかどうかを調べるという測定方法を採用し、結果から、偏移時間の長さと弁別閾の大きさとの関係は偏移時間の長さが 100 msecを境に異なることを明らかにしている。

以上の心理物理学的手法による実験に加えて、生理心理学的手法による実験も行っている。まず、第5実験（第9章）において、受容器での過渡特性を蝸牛電位によって調べ、変化音に対する応答が極めて素早いことを明らかにしている。第6実験～第9実験（第10章）では、大脳皮質から発生する脳波に重ね合わせ法を適用して周波数変化音に対する誘発電位を測定しており、結果から、変化速度が高くなるほど、誘発電位の一成分であるN1の潜時が短くなることを明らかにしている。また、このN1潜時は、基準周波数が1000Hzよりも高いか低いかによって異なる様相を示すことを確認している。さらには、N1潜時は、周波数の変化速度が一定の場合、より短い時間の変化に対しては短く、変化時

間が長くなるにつれて次第に長くなり、20 msecを越すとほぼ一定になる、という結果を提出している。

以上の結果を総合し、著者は、周波数変化音に対しては、聴覚中枢系に想定される周波数変化音に対する積分機構が 100-250 msecを時間単位として働いており、それが周波数変化の検知や周波数の弁別をも規定していると結論づけている。

このような内容をもつ本論文に対する評価は概略以下のとおりである。

本論文の前半部には、周波数変化音の物理的特性の優れた記述とその知覚研究の歴史の詳しい解説があり、その部分だけでも展望論文として十分価値のあるものである。第6章以降では、周波数変化音の識別の諸現象を、周波数の時間的な積分という統一した見地から説明できることを明らかにし、100-250 msecを時間単位として積分していることを心理物理学的手法と生理心理学的手法の両側面から実証している。特に、周波数の時間的な積分機構の特性を生理学的側面から明らかにするために、受容器レベルでの過渡特性を蝸牛電位で検討しており、そこでは周波数の積分機能は働いていないとみなせることを確認している。また、それと対応する形で、より上位の大脳皮質聴覚野での反応特性を誘発電位を測度とした実験的研究で検討しており、そのレベルでは積分機能が働いていることを確認している。これらの点は氏独自の知見として基本的に評価できる。誘発電位を測度とした研究についてより詳しくいえば、その研究は、一応外因性電位と考えられているN1成分を測度とする研究と内因性電位と考えられているP300様電位を測度とする研究とに大別することができ、その後者の研究については、実験実施上の技術的な側面やP300と運動反応との関係の解釈において多少の疑問を残す部分も見受けられるが、前者の研究については、以下の点で高い評価を与えることができる。すなわち、周波数の変化の検知に対する反応時間とN1潜時との間には高い相関があるということ、また、周波数変化時間の特定の時間帯に対応してN1潜時が変化するということ、を見出している点である。特に後者の知見については、このような単純な条件に影響されてN1潜時が変動するということは従来の聴覚誘発電位研究では殆ど報告がなく、N1成分を指標とする研究に新しい方向性を与えるものとして高く評価できる。全体として、本論文には、新しい発見と新しい実験研究を導く独創性があるとみなすことができる。

以上により、審査委員会は、別に施行した試験の結果とあわせて評価した上で、本論文の著者竹川忠男氏に博士（行動科学）の学位を授与するのが妥当であるとの結論に達した。