

氏名	寺岡 諒
学位の種類	博士 (情報科学)
学位記番号	情博第710号
学位授与年月日	令和2年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) システム情報科学専攻
学位論文題目	聴覚の内因性空間的注意に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 坂本 修一 東北大学教授 塩入 諭 東北大学教授 堀尾 喜彦 東北大学名誉教授 鈴木 陽一

論文内容の要旨

第1章 序論

ヒトの周辺環境の把握は、様々な感覚器 (例: 目, 耳) から取得された感覚情報を脳内で処理することによって実現している。しかし、常に周囲の膨大な信号源から発せられる感覚情報を一様に処理することは難しい。この問題に対する効果的方略として、注意による情報の取捨選択が考えられる。ヒトは注意により、その状況で必要な情報に対する処理を促進し、それ以外の情報に対する処理のリソースを削減することで、効率の良い周辺環境の認知を実現している。例えば、騒がしい環境下で特定の会話を聴き取る際、その会話に意識を向けることでその会話の聴き取りが容易になることが知られている (カクテルパーティ効果)。特に聴覚は、常に 360° 様々な方向から発せられ、かつ動的に変化する音響信号を処理していることから、注意による情報の取捨選択がより重要な役割を果たしていることが予想される。以上のことから、注意が日常生活における周辺環境の把握や対人コミュニケーションにおいて重要な役割を果たしていることは想像に難くない。しかし、このような営みがどのような情報処理過程によって実現されているのかについては明らかではない。

本論文では、特定の方向に対して向けられる注意 (空間的注意: auditory spatial attention) に着目した。聴覚における空間的注意は、特定の方向から到来する音に対する情報処理を促進する営みである。直感的には、カクテルパーティ効果のように、騒がしい環境下で特定の音を聴き取るような状況においては、この営みが重要な役割を果たしていることが推察される。しかし、カクテルパーティ効果が生じることが予想される、複数の話者が比較的狭い領域内で同時に会話している環境下 (カクテルパーティ環境) において、聴覚の空間的注意が特定の会話の聴き取りに及ぼす影響については明らかではない。また、過去の研究では、空間的注意が聴き取りに及ぼす影響に関しては、その影響が小さい、または影響を及ぼさないと結論づけた研究と、聴き取りに影響すると結論づけた研究が存在し、どのような状況下で影響を及ぼすのかについては明らかではない。加えて、空間的、時間的な特性 (注意の空間的範囲、どれくらい持続させられるか等) についても、注意を体系的に理解する上で重要な要素であるにも関わらず、その全容は明らかになっていない。

そこで本論文では、聴覚の空間的注意が競合音存在下での標的音聴取に及ぼす影響とその効果が生起する要因、そしてその空間的、時間的な特性を明らかにすることを目的とした。その目的を達成するために、標的音が複数存在する環境を構築し、空間的注意の有無が標的音聴取に及ぼす影響を心理物理学的に検討した。

第2章 聴覚の空間的注意が競合音存在下での標的音聴取に及ぼす影響

第2章では、聴覚の空間的注意が競合音存在下における標的音聴取に及ぼす影響とその効果が

生起する要因について検討した。前述のように、過去の研究では、カクテルパーティ環境において内因性空間的注意が標的音の聴き取りに及ぼす影響については明らかになっていない。また、過去の研究では、空間的注意が標的音の聴き取りに影響を及ぼさないと結論づけた研究と、聴き取りに大きな影響を及ぼすと結論づけた研究が存在し、どのような要因が空間的注意効果を表出させているのかについては検討されてこなかった。この問題を検討するため、カクテルパーティ環境を再現し、その中で特定の音声の聴き取る際に空間的注意の有無が及ぼす影響を計測した(実験 2.1)。また、同様のカクテルパーティ環境を再現しつつ、聴取対象を音声から狭帯域雑音に変えることで、聴き取る対象の違いが空間的注意効果に及ぼす影響を明らかにした(実験 2.2)。そして、以上の実験で得られた結果を比較し、空間的注意効果を表出させる要因を明らかにした(第 2.4 節)。

実験 2.1 では、聴取者の正面方向を 0° として、 0° 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$ の方向にラウドスピーカを設置し(図 1 参照)、そこから同時に音刺激を提示することで、日常生活での聴取環境を模擬した。このとき、聴取者は 0° 方向へ空間的注意を向け、標的音声の話した単語を回答した。その正答率から空間的注意が標的音の聴取に及ぼす影響を検討した。実験の結果を図 2 に示す(図 2, Speech)。その結果、標的音声提示される方向へ注意を向けた場合、そうではない場合に比べて聴き取りの精度が 15% 程度向上することを示した。これは、空間的注意が競合音声存在下での標的音声の聴き取りに影響を及ぼすことを示している。また、注意を向けた正面方向から離れるに従って徐々に聴き取りの精度が減少していく様相が確認された。これは、注意を向けた方向に対して比較的緩やかな注意窓が形成されることを示唆している。

実験 2.2 では、実験 2.1 と同様の実験環境を用い、中心周波数の異なる複数の狭帯域雑音と標的となる狭帯域雑音をそれぞれ同時提示した。このとき、聴取者は 0° 方向へ空間的注意を向け、標的雑音が聴こえたか否かを判断した。標的音が聴き取れた割合から空間的注意効果を検討した。実験の結果(図 2, Narrow-band noise)、聴き取りの精度は注意の向きによらず一定であることを示した。これは、空間的注意が雑音の検出に影響を及ぼさないことを示している。

このような違いが生じた要因として、課題の特性の違いが影響を及ぼしたことが考えられる。実験 2.1 は、標的音声と競合音声の聴き分けのみならず、標的音声の話していた単語を判断する必要があった。この課題の遂行には、ある程度の時間、標的刺激を聴き続ける必要があるため、注意を特定の方向へ向け続ける必要がある。一方で実験 2.2 では、課題の遂行には標的音が聴こえたかどうか判断できれば良いため、特定の方向へ注意を向け続ける必要はない。以上のことは、課題の遂行に**注意を特定の方向へ向け続ける必要があるかどうか**が、空間的注意効果に大きな影響を及ぼしていることを示唆している。

第 3 章 水平面における聴覚の内因性注意の空間特性に関する検討

第 2 章において、聴覚の空間的注意効果の表出に課題の特性の違い(課題の遂行に、特定の方向へ注意を向け続ける必要があるか否か)が影響していることが示唆された。加えて、 0° に空間的注意を向けた場合、この注意が、 0° 方向を中心とした比較的緩やかな分布を持つことが示唆さ

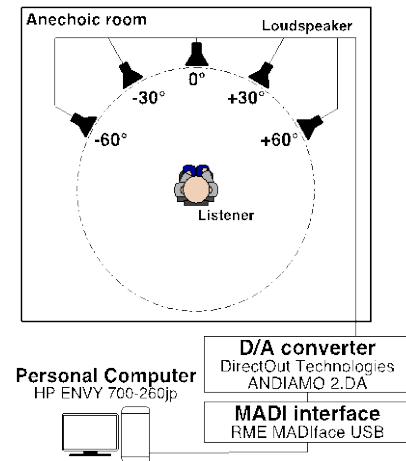


図 1. 実験環境の模式図

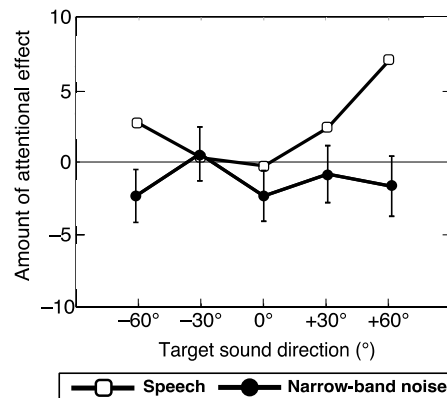


図 2. 第 2 章の実験結果。縦軸と横軸はそれぞれ注意効果の大きさと標的音の提示角度を示す。値が 0 に近いほど注意効果が大きいことを示す。

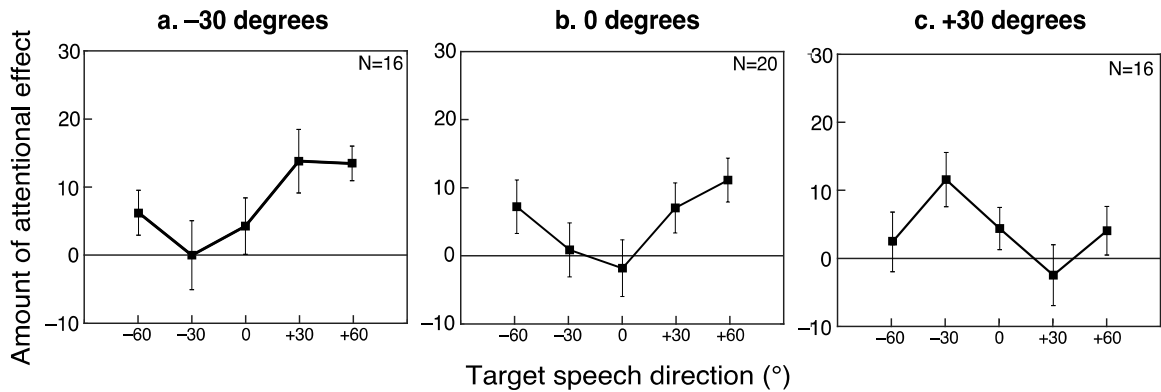


図3. 実験 3.1の実験結果. a. -30° へ注意を向けた場合, b. 0° へ注意を向けた場合, c. $+30^\circ$ へ注意を向けた場合の結果をそれぞれ示す. 縦軸と横軸はそれぞれ注意効果の大きさと標的音の提示角度を示す.

れた. 第3章では以上の結果を踏まえ, 空間的注意の空間特性(注意がどれくらいの範囲に渡って影響を及ぼすか)について定量的な検討を行った.

聴覚では 360° 様々な方向から発せられた音を知覚できることから, 視覚情報が得られない後方に対する注意は, 重要な役割を果たしていることが予想される. しかし, 従来の研究では正面に対する注意の様相について焦点を当てたものがほとんどで, 正面以外での空間的注意の様相についてはほとんど明らかになっていない. そこで本章では, 実験 2.1 の実験デザインを応用し, $\pm 30^\circ$ (実験 3.1) と 180° (実験 3.2) に対して向けられる空間的注意の様相とその空間特性について検討を行った.

実験 3.1 では, 実験 2.1 と同様の実験デザインを用い, $+30^\circ$ または -30° に対する空間的注意が標的音声の聴き取りに及ぼす影響と, その空間特性を検討した. 実験結果を図3に示す. 実験の結果, 0° に対する注意効果と同様, 注意方向 ($\pm 30^\circ$) へ注意を向けた場合, そうではない場合に比べて, 聴き取りが $15\sim 20\%$ 向上することを示した. また, 注意を向けた方向から離れるに従って徐々に聴き取りが減少していく様相が確認された. これは, 注意を向けた方向を中心とした比較的緩やかな分布を持つことを示唆している. さらに, この空間特性が注意方向によってほぼ同一で, 120° 程度の広がりを持つことを示した. これは, 注意を $\pm 30^\circ$ へ向けた場合, 0° へ向けた場合と同様の空間特性をもって向けられることを示唆している.

実験 3.2 では, 聴取者の真後ろを 180° として, $\pm 120^\circ$, $\pm 150^\circ$, 180° の方向にラウドスピーカを設置し, そこから同時に音刺激を提示した. このとき, 聴取者は 180° へ空間的注意を向け, 標的音声の話した単語を回答した. 実験の結果を図4に示す. 実験の結果, 180° へ注意を向けた場合, それ以外の方向に比べて聴き取りが 15% 程度向上し, 180° から離れるに従って徐々に聴き取りが減少していく様相が確認された. さらに, この空間特性について正面と広がりと比較したところ, ほぼ同一で 120° 程度の広がりを持つことを示した. これは, 後方に対して注意を向けた場合も, 正面と同様の空間特性をもって向けられることを示唆している.

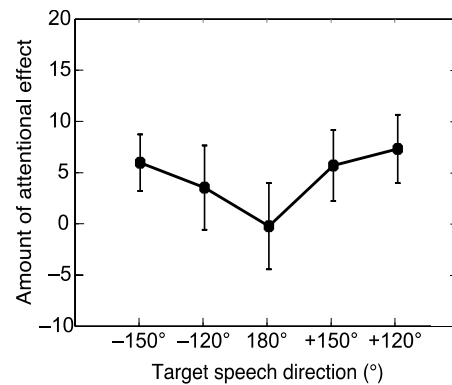


図4. 実験 3.2の実験結果. 縦軸と横軸はそれぞれ注意効果の大きさと標的音の提示角度を示す.

第4章 聴覚の内因性注意の時間特性に関する検討

日常生活では, 聴きたい音(例: 会話)を聞き逃さないために, 注意を素早くその方向へ向ける. その際, その音がどの角度から生じているかを判断するために, 音像定位を行う必要がある. よって, その音を聴き取るまでの流れとしては, 「定位→注意の移動+固定→聴き取り」となる. しかし, これらのプロセスにどれほどの時間を要するのか(注意を向けるまでにどれほどの時間を要するのか)については明らかではない. 第4章では, このような空間的注意の時間特性(経時変化)について検討した.

実験では、 0° 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $\pm 120^\circ$ 、 $\pm 150^\circ$ 、 180° の 12 箇所を設置されたラウドスピーカのうち、1 箇所から標的音声、残りの 11 箇所から競合音声と同時に提示される。このとき、標的音から提示される方向から標的音が提示される数百ミリ秒前にホワイトノイズが提示し、聴取者の注意をその方向へ向けるよう仕向ける。その注意を向けるまでの猶予を 4 段階 (100, 200, 500, 1000ms) の間で変化させることで、注意を向けるまで、または向けた後の注意効果の変容を検討した。実験の結果、ホワイトノイズが提示されてから 500ms で標的音声提示される場合、最も聴き取り精度が高いことを示した。これは、音像定位を始めてから聴き取りの準備ができるまでに 500ms 程度要することを示唆している。

第 5～6 章 聴覚の内因性空間的注意に関する総合的考察と結論

本論文では、心理物理学的指標を用いて、空間的注意が競合音存在下での標的音聴取に及ぼす影響とその効果が生起する要因、そしてその空間的、時間的な特性を検討した。その結果、(1) 空間的注意の表出には、課題の遂行に、特定の方向へ注意を向け続ける必要があること、(2) 空間的注意は注意方向を中心として左右 60° 程度の広がりをもって向けられ、注意を向ける方向による差異(方位依存性)がないこと、(3) 音像定位を始めてから聴き取りの準備ができるまでに 500ms 程度要することが明らかになった。以上の知見や過去の関連研究をもとに、カクテルパーティ環境下における音声聴取に関する定性的なモデルを検討した。

本論文で焦点を当てたカクテルパーティ効果は、騒がしい環境下で特定の音を聴き取るという、日常のコミュニケーションに直結する営みである。よって本研究で得られた知見は、カクテルパーティ効果の情報処理過程の全容解明、およびその知見を基盤とした、高臨場感システムにおける効果的な刺激提示や、聴きたい音を選択的に聴くことができるスマート補聴器の開発などに資するものと期待される。

論文審査結果の要旨

同時並列的に入力される音情報の中から所望の音情報を聴取する営みは、人間のコミュニケーションの根幹をなす重要な知覚過程である。聴覚における内因性注意はこの営みに大きな役割を果たしており、音情報の持つ様々な物理特性に注意を向けることで、人間は所望の音を抽出し聴き取ることができる。このうち音源位置に向けられる注意、すなわち空間的注意は、様々な研究によりその寄与や重要性が示されてきたものの、示された知見には矛盾している点も多く、特に日常生活で想定されるような競合音が存在する環境下での機序については、全体像が明らかとなっていなかった。著者は、実際の日常環境に即した聴取条件、すなわち、競合音声が存在する環境下での音声聴取を想定することで空間的注意の機序が明らかになると考え、空間的注意の持つ空間特性、時間特性に着目し、空間的注意の様相を明らかにし、あわせて、そのモデル化を進めてきた。本論文はその成果をまとめたもので、全編 6 章からなる。

第 1 章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、単語理解度を指標として、空間的注意の空間特性を詳細な実験により検討している。空間的注意が向けられた状態と向けられない状態での単語理解度の差を、空間的注意が向けられた方向からの角度の関数として表現し、その空間形状を明らかにした。また、同様な環境での空間的注意の効果を純音の検出課題でも検証し、空間的注意の効果が生じるためには、注意をある程度の時間向け続けているような状況が必要であることを見いだした。この成果は、これまで一貫していなかった空間的注意の効果が表れる要因の一端を明らかにしたものであり、高く評価できる。

第 3 章では、第 2 章で明らかとなった空間的注意の空間特性をより詳細に明らかにすべく、後方を含む聴取者の周囲全体における空間的注意の空間特性を示している。聴取者の左右 30 度、真後ろでの空間的注意が示す空間特性を求めたところ、得られた空間特性の形状は、注意を向ける方向にはほとんど依存せず、聴取者後方を含め類似した形状となることを明らかにした。日常的な聴取環境において、聴取者後方を含めた全方向での空間的注意の空間特性を初めて明らかにしたものとして評価できる。

第 4 章では、空間的注意の時間特性を明らかにしている。空間的注意を向けるように促した後に実際にその方向から標的音声を提示するまでの時間間隔を操作した単語理解度試験により、空間的注意が向けられるまでの時間を分析し、注意を向け終えるのに必要な時間は概ね 500 ms であることを示した。さらに、音像定位の機序は空間的注意の移動も包含する可能性を示した。これは、単に聴覚の空間的注意の機序だけでなく音像定位の機序を明らかにする上でも重要な知見である。

第 5 章では、それまでの知見を元に聴覚の空間的注意の処理モデルを提案している。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、聴覚の内因性空間的注意の機序を、その空間特性、時間特性にわたって詳細に調べ、モデル化をとおして体系的に明らかにしたもので、システム情報科学ならびに音情報科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。