学位論文題名

Studies on Situation-Dependent Control of
Language Processing in Brain

(脳内言語処理における状況依存制御に関する研究)

学位論文内容の要旨

言語はヒトが持つシンボル処理能力の中で最も複雑であり、ヒトとその他の動物とを区別する最大の特徴である。ここ十数年の間に発展した非侵襲脳計測等の手法により、これまで未知の領域であった脳の言語処理メカニズムもまた明らかになりつつある。しかしながら現在までの研究だけでは、言語という複雑な現象のほんの一部を明らかにしたにすぎず、言語処理メカニズムの全体の解明にはほど遠いのが現状である。また、これまでの多くの研究は、例えば語彙獲得に観察される学習バイアスのように、ある状況における処理の性質を明らかにしているのみで、その処理がどの程度汎用性があるのか、あるいは状況に応じた処理の選択という制御は可能なのか、等を明らかにした研究は少ない。言語という複雑な現象に迫るには、各状況における処理の様式を明らかにするとともに、状況に応じた制御の選択という、脳の動的な制御の性質を明らかにする必要がある。

そこで本研究では「状況依存制御」という観点で言語の周辺現象について取り上げ、言語に係わる脳処理メカニズムの一端を明らかにすることを目的とする。状況に依存した制御は人間が持つ問題解決能力の一つであり、人間を進化させた一つの能力である。その能力は言語処理においても同様で、本研究では言語獲得と発話処理に着目する。言語獲得の場面では、無数に存在する[物体]と[言葉]のマッピングを、形バイアスやカテゴリーバイアスといった多くの学習バイアス(=学習ルール)によって解決していることが知られている。しかし、幼児はいかにしてバイアスを使い分けているかという点については不明である。そこで本研究では脳内における処理の切り替えという観点から、第一番目の題材として、複数の相矛盾するバイアスをスイッチして使用する制御メカニズムについて提案する。

次に、言語の発話・聴覚処理についても同様の観点から考察する。発話・聴覚においても状況依存制御は行われている。本研究ではそのような処理の中でも、発話時の運動制御を取り上げる。人間は発話する際、常に聴覚からの情報を用いて制御をしており、発話と聴覚の相互作用があることが知られている。本研究では、この相互作用を定量的に測定できる変換聴覚フィードバック手法を用いる。ところで発話運動障害の一つ、吃音に関する先行研究によると、吃音者は同じ文章を他人と同期して話すと吃音が軽減することが知られている。つまり、フィードバック音声は自分の声では吃音になり、他人の声では吃音が軽減する。また、ピッチを変換してフィードバックさせながら話してもらう、FAF (Frequency Altered Feedback) と呼ばれる治療方法によると、この条件でも吃

音者は吃音が軽減する。これらの知見は「構音のフィードバック制御が自分の声が聴覚にフィードバックされる状況でのみ特異的に働く」ことを示唆している。そこで本研究では、変換聴覚フィードバックのうち、遅延聴覚フィードバック (Delayed Auditory Feedback; DAF) とピッチの変換聴覚フィードバック (Transformed Auditory Feedback; TAF) と呼ばれる二つの手法を用いて仮説を検証する。遅延聴覚フィードバックは一般に200msの遅延で吃音が発生すると言われるが、もし同時にピッチも変換して自分の声とは異なる声にしてフィードバックさせれば、吃音が抑制されることが予測される。これはまさに聴覚フィードバックの状況に依存した制御である。実験では、実際にTAFによってDAFが抑制されることが示され、仮説を支持する結果が得られた。

本論文は四部構成からなる。第一部では本研究の位置づけと本論文の構成について述べる。第二部では、語彙獲得における状況依存制御について取り上げる。まず、言語獲得における学習バイアスの位置づけを確認し、その中でも形バイアスとカテゴリーバイアスの先行研究について述べる。その後本論文における学習バイアスの状況制御という観点で仮説を提示し、状況依存制御を実現可能な脳の記憶モデルPATONを取り上げる。そしてPATONを用いて学習バイアスの処理プロセスを提案したのち、計算機実験によりモデルの評価を行う。結果的に注意ベクトルという回路動作を動的に制御する機構を用いれば、相反する複数の学習バイアスを、内部処理で切り替えれば矛盾することなく再現可能であることを示す。

第三部では発話・聴覚における状況依存制御について取り上げる。まず発話と聴覚の相互作用という観点について触れた後、吃音やFAFといった現象から示唆される構音とピッチの制御メカニズムについて言及する。次に変換聴覚フィードバックを導入し、DAFとTAFを用いた実験（実験Ⅰ）について述べる。その結果として、通常DAFで発生する吃音は、TAFによりピッチを変換すれば抑制されることを示す。さらに、ピッチを変換することですぐに抑制されるのではなく、徐々に抑制されることを示し、自分の声から他人の声へのモードの移行が徐々に起こることを示す。次に実験Ⅱとして、実験Ⅰでは定量化できなかった構音のフィードバック制御について、ホルマントを変換させた実験について述べる。そこではホルマントを変換させると同時にピッチも変換させることで、構音制御系とピッチ制御系の相互作用をより詳しく観察する。結果として、構音からピッチへの影響は少ないが、ピッチから構音への影響は大きく、両者の制御機構が非対称の相互作用を持つことを示す。以上の実験により、発話・聴覚においても、状況依存の制御が行われていることを示した。

第四部は本論文の結論である。

以上の内容から本論文は、言語処理における状況依存制御の二つの側面を示し、その存在と特性を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 森 隆 司
副 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

Studies on Situation-Dependent Control of Language Processing in Brain

(脳内言語処理における状況依存制御に関する研究)

言語はヒトが持つシンボル処理能力の中で最も複雑なものである。近年、幼児・大人・サルを対象とした実験等から、言語処理のメカニズムが徐々に明らかになってきているが、現状は言語処理メカニズムの原理の理解にはまた遠い。これまでの多くの研究は、例えば語彙獲得に観察される学習バイアスのように、ある状況における処理の性質を明らかにしているのみで、その処理がどのように選択・制御されているかということは明らかされていない。言語という複雑な現象に迫るには、各状況での処理の内容の解明とともに、状況に応じた制御という、動的な制御の性質を明らかにする必要がある。

本研究では「状況依存制御」という観点で言語処理メカニズムの一端を解明することを目的とする。状況依存の制御は人間の問題解決能力の一つである。その能力は言語処理にもみられ、本研究では言語の多くの側面のうちから言語獲得と発話処理に着目している。幼児は言語獲得の場面では、無数に存在する[物体]と[言葉]のマッピングを、形バイアスやカテゴリーバイアスといった学習ルールにより解決することが知られている。バイアスの各現象については従来から報告されているが、現時点では幼児のバイアスの使い分けの方法は不明である。本研究では、脳内における処理回路の切り替えという観点から、第一の題材として、複数のバイアス間の制御メカニズムについて提案している。

本論文のもう一つの対象は、言語の発話・聴覚処理である。発話・聴覚においても状況依存制御は行われている。本研究ではその中から発話の際に観察される制御のスイッチ現象を取り上げている。人間は発話する際に常に聴覚からの情報を用いる。この発話と聴覚の相互作用を定量的に測定する方法が変換聴覚フィードバックであり、マイクで拾った声をヘッドフォンに返す回路に声のパラメータ変換の装置を挿入し、変換に対する声の応答を測定する。ところで発話運動障害の一つ、吃音に関する先行研究では、吃音者は同じ文章を他人と同期して話すとき吃音が軽減する、つまり、フィードバック音声は自分の声では吃音になり、他人の声では吃音が軽減するという報告がある。また、ピッチを変換してフィードバックさせながら話してもらう、FAFの治療方法でも、この条件で吃音者は吃音が軽減する。これらの知見は「構音のフィードバック制御が自分の声聴覚にフィードバックされる状況にだけ特異的に処理する」ことを示唆し、本論文ではこれを作業仮説としている。それを本研究では、遅延聴覚フィードバック(DAF)とピッチの変換聴覚フィードバック(TAF)という二手法を用いて検証している。遅延聴覚フィードバックは一般に200msの遅延で吃音が発生する。ここでもし、同時にピッチも変換して自分の声以外の声にしてフィードバックすれば、吃音の抑制効果が期待される。実験では実際にTAFによってDAFが

抑制されることが示され、仮説を支持する結果が得られている。

本論文は四部構成からなる。第一部では本研究の位置づけと本論文の構成について述べ、第二部では語彙獲得における状況依存制御について取り上げている。まず、言語獲得における学習バイアスの位置づけを確認し、その中でも形バイアスとカテゴリーバイアスの先行研究について述べている。その後本論文における学習バイアスの状況制御という観点で仮説を提示し、状況依存制御を実現可能な脳の記憶モデルPATONを取り上げた。そしてPATONによる学習バイアスの処理プロセスを提案したのち、計算機実験によりモデルの評価を行なっている。結果的に注意ベクトルという回路動作を動的に制御する機構を用いれば、相反する複数の学習バイアスを、内部処理で切り替えれば矛盾することなく再現可能であることを示している。

第三部では発話・聴覚における状況依存制御について取り上げている。まず発話と聴覚の相互作用という観点について触れた後、吃音やFAFといった現象から示唆される構音とピッチの制御メカニズムについて言及している。次に変換聴覚フィードバックを導入し、DAFとTAFを用いた実験について述べ、結果として、通常DAFで発生する吃音は、TAFによりピッチを変換すれば抑制されることを示している。さらに、ピッチを変換することで抑制はただちに起動されるのではなく、徐々に抑制されることを示し、自分の声から他人の声へのモードの移行が連続的に起こることを示している。次に実験Ⅱとして、実験Ⅰでは定量化できなかった構音のフィードバック制御について、ホルマントを変換させた実験について述べている。そこではホルマントを変換させると同時にピッチも変換させることで、構音制御系とピッチ制御系の相互作用をより詳しく観察している。その結果、構音からピッチへの影響は少ないが、ピッチから構音への影響は大きく、両者の制御機構が非対称の相互作用を持つことを示した。以上の実験により、発話・聴覚においても、状況に依存した制御が行われていることを示している。

第四部は本論文の結論である。

これを要するに本論文は、言語に関連した語彙獲得と発話のフィードバック制御という現象に注目し、その制御システムに共通にある状況依存の制御のスイッチング現象についての新知見を得たものであり、脳の言語処理系のシステム原理の理解に対して貢献するところが大きい。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。