

論文の内容の要旨

Development of Articulatory Coordination in Speech Production

(音声生成の調音運動の発達)

大橋 浩輝

背景 乳幼児の言語能力の発達は、行動と神経の両レベルにおいて明らかにされてきた。知覚的側面に関して、初期の普遍的な音韻知覚が、外部からの言語入力によって調整され、個別言語に特化した知覚能力が獲得される。また、音声生成の側面に関して、外部入力が乳幼児の発声する音声に影響を与える。こうした知見は、入力を受容する系としての乳児を印象付けるが、発達初期に観察される数多くの自発的な運動は、自律的な系としての乳児を示唆している。この観点に立つと、自律的な行動生成と外部入力の知覚との相互作用無しには言語は獲得されないと推察される。乳児期に観察される喃語には、顎の周期的開閉によって生成されると考えられる音韻列が多いという報告は、発達初期の自律性を示す。一方、成人の言語には、反復が少なく非反復が多いという報告は、乳幼児が発達に伴い言語入力へ適応することを示す。これらは、自律的な音声生成の重要性とその適応的発達が言語の複雑性を生み出していることを示唆しているが、自律的な音声生成の発達機構は未解明である。

第一章では、成人と乳幼児の発話生成に関する先行研究の知見をまとめ、調音系による発話生成の発達過程が未解明であることを示した。第二章では、比較的定常な調音運動である母音生成の発達過程の解明を試みた。調音運動、特に口腔内の舌の運動は、外部から測定することが困難であるため、乳幼児の音声生成時の調音運動の発達に関する実証的な報告は存在しない。本研究では、実測された母音の音響的特徴量から調音器官の状態を推定する手法を用いることで、日本語の母音生成の発達が3つの段階を経ることを示した。第三章では、音韻列の組織化

の系列順序に着目し、子音-母音-子音の生成に関わる調音器官の関係性の変化を、日本語と英語において調べた。調音運動は、調音器官の筋骨格系の特性と、それを制御する中枢神経系によって生成される。従って、音韻列の系列順序は、神経-筋系の協調の問題と捉えることができる。この観点から、同一器官内の協調、及び異なる器官間の協調が、発達に伴う言語の複雑化の制約の1つとなっていることを示した。第四章では、第二章・三章で得られた結果について、調音運動の発達と音響的特徴量の変化の関連性、運動発達と器質的発達の関連性、示唆される神経基盤、及び身体性の観点から見た発話発達に関して議論した。

研究 1. 音声からの逆推定を用いた母音調音の発達 母音生成の際の調音運動の発達変化を解明することを目的とした。母音の生成に関して、転記テキストや音響分析を用いた先行研究が数多く存在し、音の共鳴帯域（以降、フォルマントと呼び、共鳴帯域の内、最も周波数が低いものを第一フォルマント、次に低いものを第二フォルマント、と呼ぶ）に関して、喃語の段階では、口腔の上下方向の形状変化を反映する第二フォルマントの変化が多様であることが示されている。しかし、声道の幾何学的な形状変化と調音器官の運動が一意に対応していないため、乳幼児の調音器官がどのように動いているのかは明らかではない。また、乳幼児の調音器官の形態は、喉頭部分に比して口腔部分が大きいという特徴が示されている。この特徴が言語の母音体系の代表である /i/, /u/, /a/ という音の生成を制限しており、発達に伴う喉頭の下降によって、この3つの母音の生成が可能になるという仮説が提案されている。一方で、器質的発達よりも、神経-筋系の運動制御の発達が、発話発達を制限しているとする説も提案されており、構造発達と機能発達が母音生成にどのように関わっているのかは、更なる解明が待たれる。これらの問題を明らかにするためには、音声の音響的特徴量だけではなく、音声を生み出している調音状態の理解が不可欠である。

乳幼児を対象に外部から口腔内の状態を測定するのは困難であるが、発声された音声のフォルマントから調音パラメタを逆推定する手法が存在する。7つの異なる調音器官の状態に対応する関数（図 1A）に、調音パラメタと呼ばれる係数を乗算することで声道形状を決定し、発声された音声のフォルマントを計算する成人のモデルが提案されている。このモデルを乳幼児の声道長に合わせて調整し、実測された音声のフォルマントから、最適な調音パラメタを逆推定することができる。本研究では、実測された乳幼児の音声から、調音状態を逆推定することで、母音調音の発達変化の解明を試みた。試料として、「NTT 乳幼児データベース」において縦断的に収録された3名の乳児の、6ヶ月齢から60ヶ月齢までの母音音声を用いた。逆推定された調音パラメタを独立変数、母音の種類をカテゴリにした線形判別分析の変数選択によって、乳幼児の母音調音は、以下の3つの発達段階を経ることが明らかにされた（図 1B, C）。段階 1: 6-9ヶ月齢においては、口唇の開き具合と舌体の位置によって母音の区別が生じているが、母音は

日本語 5 母音に
分かれておらず、
前母音 (/i/,
/e/), 中央母音
(/a/), 後母音
(/u/, /o/) の
3 つに分かれて
いる。段階 2:
10-17 ヶ月齢に
おいては、顎と
舌先の調音が加
わることで、母

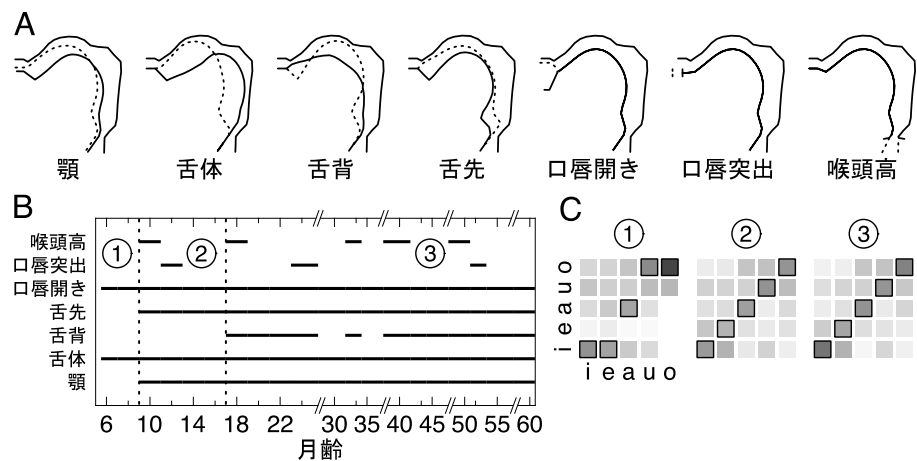


図 1 A: 調音器官の運動と声道形状の変化。B: 母音の分化に関わる調音器官の編入。C: 発達段階毎の混合行列，色調は判別率を示す。

音が 5 つに分化する。段階 3: 18 ヶ月齢以降に舌背の調音が加わることで、母音生成の精緻化が起こり、5 母音が明瞭化する。この結果は、発達初期に調音器官の協調を反映した母音構造が現れること、発達に伴い日本語に適応した母音構造が分化・精緻化することを示唆している。

研究 2. 音韻の系列順序の基底となる調音協調の発達 研究 1 では、発達に伴い徐々に調音器官が編入されることで母音が分化する過程を示した。更なる言語の複雑性は、音韻の組み合わせによって実現されるものである。そこで研究 2 では、音韻の系列順序の発達を解明することを目的とした。

伝統的な音韻論の立場では、心的な言語処理が音韻列の組織化を決定すると考えられている。一方で、身体性を重視する立場では、初期喃語における顎の周期的開閉が、音韻列生成の発達に重要な役割を果たしていることが主張されている。この立場からは、初期喃語から選好される両唇音 (/p/, /b/, /m/), 歯茎音 (/t/, /d/, /n/), 軟口蓋音 (/k/, /g/) の 3 種類の子音に着目することで、子音-母音の組み合わせに関して、特定の組み合わせが有意に多く観察されることが報告されている。この結果に基づき、発達初期から音節の枠組みを決定する顎の周期的開閉が存在し、そこに舌の積極的な運動が加わることで言語生成が発達するという仮説が示されている。本研究では、こうした顎の周期的開閉から始まる音声生成の複雑化に関して、神経-筋系の協調が制約となっていると考え、子音の生成に寄与する調音器官間の関係性に注目することで、音韻の系列順序の発達過程の解明を試みた。具体的には、日本語と英語のデータベースに収録された乳幼児発話に含まれる子音-母音-子音を抽出し、それぞれの子音を、調音する際に使用する器官と声道の狭窄位置に対応付けた。先行子音と後続子音を、調音する際に使用する器官と声道の狭窄位置の変化に基づき、i: 反復, ii: 運動方向 (狭窄位置の順序の前後比),

iii: 同じ調音器官（器官内調音), iv: 異なる調音器官（器官間調音), の4つに分類し（図2左列), その生起割合から発達曲線を定義した。その結果, 両言語において, 15-18ヶ月齢前後で大きな発達変

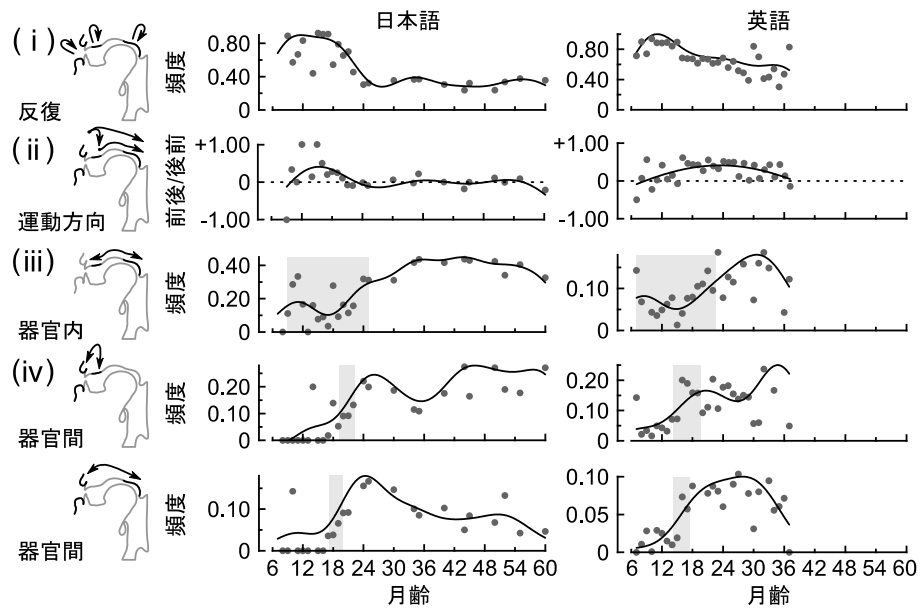


図2 音韻の系列順序の発達変化. (i), (iii), (iv)は生起頻度を, (ii)は方向性尺度を示す.

化が見られることが分かった（図2）. 15ヶ月齢以前には, 顎の周期的な開閉と口唇・舌の受動的な同期に起因すると考えられる反復の割合が多く, また少ない割合ではあるものの器官内調音も観察された（図2i, iii）. 一方, 器官間調音は18ヶ月齢以降に出現し, 器官内調音よりも急速に増加していた（図2iii, iv）. また, 言語間で観察された運動方向の発達変化の差異（図2ii）は, 入力言語に依存した発話生成の発達を示唆している.

結論 研究1では, 発達初期には, 舌体と口唇の協調によって, 母語の音韻構造によらない母音調音がなされており, 発達に伴い, 顎, 舌先, 舌背の調音器官が編入されることで, 母語に適した調音が可能になることを示した. 舌背の運動の編入と声道の器質的発達変化の時期が一致していることも考慮すると, この結果は, 母音構造の獲得に関して, 運動発達と器質的発達の両者が寄与することを示唆している. 研究2では, 反復, 器官内調音, 器官間調音の発達変化を報告した. 舌は物理的には1つの連続体であるが, 舌先, 舌体, 舌背の3つに区分される. 従って, 器官内調音の増加は, 舌の運動に関わる神経-筋系の協調の分化を反映し, 器官間調音は異なる器官の運動に関わる神経-筋系の協調の統合を反映していると考えられる. この結果は, 発達期に現れる音韻系列が, 調音器官の協調の発達に依存していることを示唆している. 以上, 2つの研究によって, 本論文は, 乳幼児の自律的な発話の生成において調音器官の協調が重要な役割を果たしていることを実証し, 身体性が言語発達の拘束条件になることを示唆するものである.