

## 審査の結果の要旨

氏名 森 裕紀

本論文は「ヒト胎児モデルシミュレーションに基づく触覚を通じた自己組織的行動発達構成論 A constructivist model of behavioral development of human fetuses from the perspective of self-organization through tactile sensation.」と題し、妊娠初期の胎児の行動発達について、触覚に導かれた自己組織的行動発達の観点から構成論的なアプローチによりモデル化を行ったもので、全9章からなる。胎児の行動は受胎後10週前後から活発となり、12週前後で手を突発的に動かす独立四肢運動や手と顔の接触行動、歩行様運動などが現れる。しかし、このような行動がどのようなメカニズムで発生するかについてほとんど理解されていなかった。以下の章では、胎児の行動発達を理解するため、構成論的アプローチに基づき胎児全身筋骨格シミュレーションを用いて胎児行動がヒトらしい触覚分布を通じた子宮内環境、身体、神経系の相互作用によるものである可能性を示した。

第1章「序論」では、胎児発達理解の必要性を主張している。まず、理解すべき胎児行動とその意義を議論し、方法論としての構成論的アプローチについて簡潔に示している。最後に本論文の構成を述べている。

第2章「ヒト胎児発達の構成論的理解」では、理論的観点と医学的観点から胎児発達理解の重要性を主張し、理解のためのアプローチを議論している。理論的観点として、胎児行動発達理解が発達科学における生得と経験の対立を超えたヒト発達理解の原点となるとしている。医学的観点として、早産児の増加に伴う発達障害の増加を踏まえて療育に関する役割について述べている。さらに、早産児や満期産児を含めた個人差にも対応できる発達原理解明のため、発達リストの作成にとどまらない理解の方法として「相互作用」「身体性」「適応・創発・自己組織化」を重視する構成論的アプローチの必要性について議論し、本論文における胎児発達理解のための戦略を明らかにしている。最後に、本論文における主要仮説として胎児の身体構造、とりわけ触覚の分布に行動発達の基盤構造が埋め込まれた胎児行動発達シナリオについて議論している。

第3章「胎児全身筋骨格・神経系シミュレーション」では、開発した胎児筋骨格モデルと神経系モデルの詳細を説明する。胎児モデルは受胎後20週を想定した筋骨格モデルであり、触覚分布に導かれた行動発達仮説を検討するため(1)ヒトらしい二点弁別閾に従う触覚、(2)均一分布、(3)(1)の反転分布、の3種類の触覚分布を用意している。神経系モデルは、脊髄・延髄モデルと触覚入力からなり、触覚入力と運動神経の間でCovariance則により学習する。まず、神経系モデルの基本的な性質を調べるため、簡易な筋骨格モデルにより基礎実験を行い、定量的な解析により触覚が行動を導くことを示している。最後に胎児モデルによる実験を行い、触覚分布の違いにより振る舞いが異なることを定性的な観察により示している。

第4章「滑らかで未分化な運動からの行動分化」では、独立四肢運動の発達を定量的に解析している。定性的に定義された独立四肢運動を定量化することで、触覚分布間の比較によりヒトらしい分布が滑らかな行動から独立四肢運動を分化させていることを示している。

第5章「自己接触による探索行動の発現」では、手と顔の接触行動を定量的に解析している。この行動は生後の認知発達においても重要であるが、発現メカニズムは理解されていない。触覚分布の異なる実験で手と顔の接触行動を定量的に比較することで、身体構造が行動を発現させるとの提案仮説を検証している。

第6章「脚間協調運動の発現と原始歩行」では、子宮内の歩行様運動と原始歩行について定量的に解析を行っている。子宮内経験の乏しい早産児は予定日を基準としても満期産児に比べて歩行の開始が遅れる。本章では、歩行発達に影響を与えるとされる原始歩行に関して、子宮内の経験がある場合とない場合で比較し、ある場合には出生後を模した床環境中で原始歩行の様な行動が現れることを定量的に示している。

第7章「固有感覚からの反射回路の自己組織化」では、上述の結果で重要な役割を果たしている触覚と比較するため、固有感覚の影響を吟味している。筋紡錘からの出力を運動神経に入力して子宮内で学習させたところ、胎児の行動が抑制され、筋紡錘からの結合荷重から伸張反射回路が獲得されたことを示している。この結果は、妊娠初期の子宮内での行動発達の多様性は主に触覚により導かれている可能性を示した。

第8章「考察」では、本研究で残された課題について、理論的な観点と医学的な観点から論じている。

第9章「結論」では、本論文の学術的貢献が、これまで光が当てられなかった胎児行動発達メカニズムを触覚を通じた自己組織化の観点から初めて捉え、理論的な枠組みを与えたことであり、早産児の療育などへの応用の道を開くものであると結論付けた。

以上これを要するに、本論文は子宮内での触覚経験が胎児行動発達を導くとの新仮説を提案し、構成論的アプローチにより妊娠初期の胎児の身体および触覚・運動関係を学習する神経系を計算機上にモデル化して実験と解析を行った結果、実際の胎児のものと客観的に対応づけ可能な振る舞いが当該モデルから創発することを示し、新たなヒト胎児行動発達原理の可能性を確立した。これにより、従来、試行錯誤的に改善されてきた早産児への療育に対しても理論的な枠組みを与え、改善の指針を与える可能性も拓いた。

以上の理由から、本論文は知能機械情報学上貢献するところ大である。よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。