

機関番号：12102

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500745

研究課題名 (和文) プログラミング言語にもとづいた空間認知表現の評価

研究課題名 (英文) Valuation on Spatial Cognition using a Programming Language

研究代表者

山本 順人 (YAMAMOTO NOBUHITO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師

研究者番号：30111090

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、簡便な構文規則と数学的に定義されたセマンティクスを持っているプログラミング言語を記述・表現メディアとして採用する事により、被験者の自然言語運用能力の影響を減少させ、空間の認知をより精密に表出させる事を意図した。複数種の課題を考察・作成し、難聴者グループ、健聴者グループそれぞれを比較対照する実験を行った。その中で特に地図トレース課題において、戦術変更動作にグループ間の有意差を検出する事が出来た。

研究成果の概要 (英文)：

Programming languages normally have simple syntaxes and mathematically defined semantics. Hyperlogo language took place of the natural language and was utilized for expressional media in the experiment of the research. Groups of the hard of hearing students and the hearing students were subjects of the experiment, and their responses on spatial cognition were analyzed comparatively. The significant difference was found in the tactics change behavior of the map tracing problems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：情報科学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：プログラミング言語、実験系心理学、聴覚障害者、空間認知

## 1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループは、平成 15 年度科学研究費補助金基盤(C)「聴覚障害者のプログラミングにおける抽象概念の取得方法に関する研究」(課題番号 234234)の支援の下、聴

覚障害者の抽象概念の取り扱いについて 3 年間の研究を行ったが、この過程で、抽象概念を含む認知一般に関する能力についての調査を行ったところ、空間認知能力の重要性がより強く浮かび上がってきた。

聴覚障害者(特に児童)の空間認知能力については、[Furth, 1966]をはじめ、古くからの研究が存在する。聴覚チャネルを断たれた分を視覚により補わなくてはならない聴覚障害者においても、これらの研究における能力評価のためのテストでは、出題と回答には英語や日本語などの書記言語が用いられている。したがって、これらの評価結果は、空間認知能力の差のみならず、書記言語の運用能力に依存していることが否定できない。聴覚障害者は、日本語などの音声言語(およびそれにもとづく書記言語)の習得が困難なため、テストに際しこれらの言語を用いると、課題が正確に伝わらない、あるいは回答を正確に記述できないなどの問題が起こりうる。その解決策として、従来はジェスチャーや手話で回答させる試みがなされている。近年では、[中野, 2002]が、聴覚障害児の空間認知能力の発達について、出題・回答言語として日本手話を使用することで、従来よりも精緻に発達を記述することに成功している。

しかし、日本の聴覚障害者教育のこれまでの経緯から、日本手話を第一言語として習得する聴覚障害者は決して多くはない。したがって、仮に日本手話を出題・回答言語に用いたとしても、「母語ではない言語で回答しなくてはならない」という問題と、評価結果から言語運用能力の影響を排除することができないという問題を克服できない。

そこでわれわれは、構造が単純で習得が容易なプログラミング言語を用いることで、自然言語の持つ曖昧さ等の影響を可能な限り統制した形で、聴覚障害者の空間認知能力の評価が可能となるのではないかとの発想に至った。

プログラミング言語が持つ「人工的であるが故の認知上の困難性」については、米国カーネギー・メロン大学(CMU)が推進してきている Natural Programming Project 等の Human-Computer Studies 分野で近年活発な研究が行われており、自然言語-プログラミング言語間の特性の同一性および差異に考察が加えられてきている。この先行研究が示唆している方向に、本研究も指向しようとするものである。

我々の研究グループが開発中のプログラミング言語 Hyperlogo は、教育の分野で豊富な実績のある伝統的な logo 言語を拡張し、高階関数などの数学的概念や、静的スコープなどの概念を取り込むことで、近代的なプログラミング言語として設計したものである。Hyperlogo は単純な構文で高度な数学概念を自然に表現することができる。また、最近になって図形描画をシンプルかつ直感的な命令で行うことができるタートルグラフィックスの機能も持つようになり、自然言語から中立的な、空間の記述のための言語として

利用することが可能となっている。この Hyperlogo を記述言語として用いることで、よりニュートラルな形で空間知覚能力の評価が出来るのではと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、視覚の重要性が健聴者よりも高い聴覚障害者の空間認知能力を、日本語や日本手話の言語運用能力に影響を受けない形で計測する方法として、視覚的プログラミング言語を用いることの可能性について考察し、従来の方法よりも高い精度で被験者の空間認知能力を計測する方法を確立することを目的としている。

## 3. 研究の方法

課題の提示方法として静止画像や動画を用いるこの方法は、自然言語とプログラミング言語の比較研究[Pane, 2001]などにおいても用いられている。この手法を用いることで、自然言語の影響を極力少なくした状態での空間認知能力の評価が可能になると期待される。

具体的には、まず空間認知能力を確認するための課題の提示方法を検討する。課題としては、平面・立体の基本図形(正方形、円錐など)の記述、複数物体の相対位置記述、物体の移動に関する記述などを考える。

次にその課題を提示するために必要な基本描画命令セットを確定し、我々の研究グループが開発中のプログラミング言語 Hyperlogo 上にこれを実現する。実装に当たっては、数学的理論に基づく性質のよさを失わないようにしつつ、仕様変更に対する柔軟性を十分に持たせる。

ついで、Hyperlogo を回答記述言語とする空間認知能力測定課題を作成し、聴覚障害者・健聴者にこの課題を回答させることで、両者の空間認知能力の差異を測定する。課題は、まず二次元的表現での評価を行い、その上で三次元空間表現の評価を行う。これにあわせ、Hyperlogo にも三次元タートルグラフィックス機能を実装する。

これらの段階を経ることにより、本研究の目的とする空間認知能力評価に新しい一面を開くことを願うものである。

### 1) 空間認知能力計測課題策定

空間認知能力を確認するための課題と、その具体的提示方法を検討する。課題としては、基本平面図形(正方形、円など)の組み合わせにより作られる図形の記述、基本立体(長方体や三角錐など)の二次元/三次元表現の記述、複数物体の二次元/三次元における相対位置・移動に関する記述を考える。またその

発展として、地図のナビゲーション課題を構成する。出題に当たっては、文章ではなく図を多用するなど、問題の記述に対する自然言語の影響ができるだけ少なくなるように配慮する。また、回答に関しても、図示で可能な範囲、言語が必要な範囲などの特定を行う。

## 2) 実験環境の整備

1)の結果を受け、空間認知力を計測するための設問について検討し、具体的な実験手順を設定する。購入する被験者端末一式を利用した実験環境を設計・実装する。この際、聴覚障害者への問題提示および回答方法について、日本語や日本手話の影響を極力排除するように十分注意する。

実験装置は、30インチ大型ディスプレイを用いたものと、既設の液晶プロジェクタを用いてより大きな画面を使ったものの2種類について検討する。

## 3) Hyperlogo の 二次元タートルグラフィックスの強化

出題・回答記述に用いるプログラミング言語 Hyperlogo のタートルグラフィックス機能の見直しを行う。空間認知力を計測するのに適切な描画のための基本命令セットを選出し、これを Hyperlogo に実装する。この際、数理的な基礎理論をそのまま反映する形での設計を行う。

また、現状の処理系は、コードの見通しのよさを重視した実装となっているが、これに加えて描画効率についても考慮した実装を行う。この際、可能な限り高レベルで実装(自己記述)し、プラットフォームに依存する部分を最小限に抑えることで高い移植性と拡張性を持たせ、実験環境設計の自由度を高める。

## 4) 具体的な実験課題の作成と実施

人手により伝統的に行われてきた物体の配置関係による空間知覚課題と計算機援用による思考過程の推定抽出を目指し、難聴者、健聴者の二群を対象とした実験を行う。特にナビゲーション課題では、局所座標系と大域座標系の使用方法、使用状況に着目し、ナビゲーション指示における戦術変更動作を調査することにより、難聴者と健聴者の空間認知方法の差異傾向を導き出す。

## 4. 研究成果

空間認知能力を計測するための課題については、先行の予備実験の結果、二次元空間における問題提示・回答方法としての有用性が確認された地図表現について、被験者の試行過程の追跡を重点目標として課題の内容、被験者への提示方法などに関して検討を行った。また、三次元空間課題についても引き

続き検討を行った。

検討した課題内容、提示方法を用いて、昨年度と同様の実験を行い、地図課題による相対的・絶対的方角指示方法に基づく空間認知能力の比較と、被験者の試行錯誤過程の解析による経路決定戦略についての分析を行った。

並行して、出題・回答用言語である Hyperlogo について、主に三次元タートルグラフィックス機能に関しての改良を行った。具体的には、昨年度の予備実験で判明した、被験者に対するユーザインタフェースの改善、および三次元表示機能の安定化・高速化などを目標に、言語処理系のプログラムの改良を行った。

これまでの実験結果に基づく研究成果をまとめたものを、2009年7月にアメリカ・サンディエゴ市で開催された第13回コンピュータと人間のインタラクションに関する国際学会 HCII2009 にて発表した。また、この分野の研究者と研究の今後の方向性などについての意見交換を行った。

更に、これまでの予備実験の結果をもとに、最終的な実験環境の整備を行い、その元で評価実験を行った。

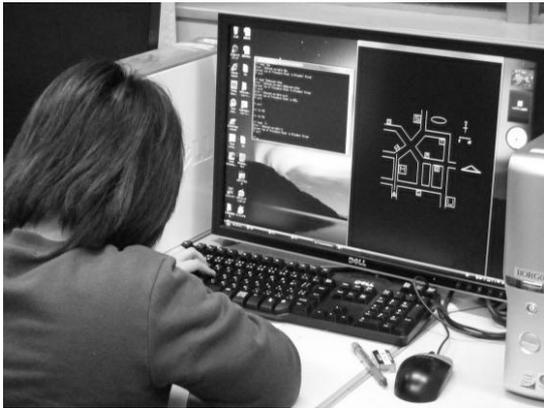
空間認知能力を計測するための課題については、これまでの予備実験からその有用性が確認された地図表現を用い、被験者の試行過程の追跡を重点目標として、課題の内容、被験者への提示方法、および被験者人数の増加への対応などに関して改良を行った。

検討した課題内容、提示方法を用いて、聴覚障害学生と健聴学生に対して地図表現における進路決定に関する実験を行い、相対的・絶対的方角指示方法に基づく空間認知能力の比較と、被験者の試行錯誤過程の解析による経路決定戦略・戦術についての分析を行った。抽出された戦略は、局所的座標系を用いる方法と大域的座標系を用いる方法に大別され、かつ、再試行を修正的に行う戦術と、取り消し・再試行の戦術が組み合わさったものであった。難聴者のグループと健聴者のグループの比較では、統計的に有意な差異が抽出され、プログラミング言語を援用する事の有意性が確かめられた。この結果を元に、従来からの技法である心理分析との比較を試みている。

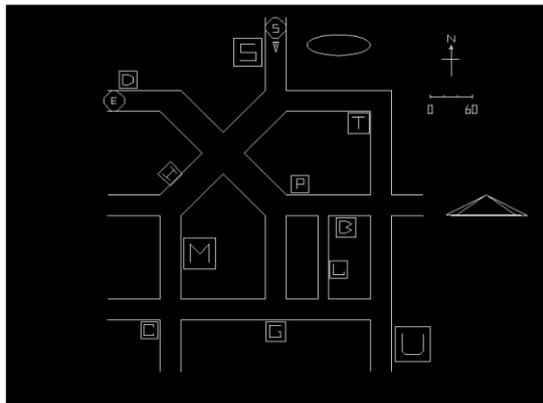
あわせて、出題・回答に用いるプログラミング言語 Hyperlogo について、言語アーキテクチャの再構成について検討を行った。処理系の可搬性を高めるため、仮想計算機のプラットフォームの変更を含めたシステム構成の組み直しについて検討した。

これまでの実験結果に基づく研究成果をまとめたものを、2011年7月にアメリカ合衆国オーランド市で開催される第14回コンピュータと人間のインタラクションに関する

国際学会 HCII2011 に投稿し、採択された。



ナビゲーション課題



## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

1. Yamamoto, N., Shiroma, S., Nishioka, T.: Tactics Choice Behaviors Represented in a Programming Language in the Map Tracing Problems. In: Stephanidis, C. (ed.), UAHCI 2011. LNCS, vol. 6766, pp. 410-419. Springer, Heidelberg (2011), 査読有.

2. Yamamoto, N., Nishioka, T., Shiroma, S.: Building problem spaces for deaf and hard of hearing students' spatial cognition in a programming language. In: Stephanidis, C. (ed.), UAHCI 2009. LNCS, vol. 5616, pp. 167-175. Springer, Heidelberg (2009), 査読有.

[図書] (計1件)

1. 城間祥子: 教室の内と外: コラボレーション型授業の創造. In: 茂呂雄二・田島充士・城間祥子 (編), 「社会と文化の心理学:

ヴィゴツキーに学ぶ」世界思想社 (2011)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 順人 (YAMAMOTO NOBUHITO)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師  
研究者番号: 30111090

### (2) 研究分担者

西岡 知之 (NISHIOKA TOMOYUKI)  
筑波技術大学・産業技術学部・准教授  
研究者番号: 70310191

城間 祥子 (SHIROMA SYOKO)  
愛媛大学・教育・学生支援機構・助教  
研究者番号: 30457379