論理構造の構造化演習と分節化演習の演習順序による演習難易度の差

Difference in Task Difficulty Level Based on Task Order of Structuring Task of Logic Structure and Segmentation Task

北村 拓也

Takuya Kitamura

広島大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Hiroshima University

kitamura@lel.hiroshima-u.ac.jp, <http://hiroshima-u.jp/eng>

平嶋 宗

Tsukasa Hirashima

(同上)

tsukasa@lel.hiroshima-u.ac.jp, <http://hiroshima-u.jp/eng>

Keywords: logical thinking, triangle logic model, logic structure

Summary

Regarding cultivation of the capacity to think logically, we designed/developed system that enables segmentation task and measured time change and learning effect by application order using structuring task system developed in the existing study. Subjects were 14 university students/graduate students. In order to verify the difference of task difficulty by exercise working order, we analysed exercise time. As a result, the structuring task first group showed significant decrease of segmentation task exercise time compared to that of the segmentation first group.

1. はじめに

論理的思考力[文化庁 04, 文部科学省]の育成は近年特に重要視されるようになってきている。しかしながら、論理的思考力をどのように育成するかについて明確な答えは出ていない。著者らは先行研究において、論理的思考力の育成に対し、オープン情報構造アプローチ[平嶋 18a]を適用することによる学習効果を確認した[北村 17]。具体的には、論理の構造を情報構造として具体化し、学習者がインタラクティブに操作活動を行える環境を設計・開発し、その活動に効果があることを実験的に検証した。

オープン情報構造アプローチは、思考を情報構造に対する操作とする仮説に基づいている[平嶋 15]。情報構造とは、思考の対象を構成要素と構成要素間の関係として記述したものである。そして、情報構造に対する操作は2種類に分けられる。思考の対象から情報構造を取り出す「分節化操作」と、取り出された情報構造を操作する「構造化操作」である[平嶋 18b]。

先行研究[北村 17]では、既に分節化された部品を提供することで、学習者は構造化操作だけを行うシステムを実装し、その有効性を検証した。なぜなら、分節化操作は新たなプリミティブを自分で定義することと考えると、学習者に新規性のある知を生み出すことを期待することになり、極めて困難なタスクであるからである[平嶋

18b]。

しかしながら、順序的には分節化操作を先に行うことが、対象の理解において重要であるとも考えられる。人が文章を読み、その文章の情報構造を理解する時、文章から情報構造を取り出す(分節化操作)を行い、取り出した情報構造を操作する(構造化操作)という順序で行うためである。

著者らは分節化操作の重要性を認めつつも、構造化操作を先に行うことが妥当であると考えている。この仮説は、分節化操作の目的が構造化操作であり、構造化操作を先に行うことで、構造化操作が分節化操作に対する先行オーガナイザー[Ausubel 60]として機能すると考えるからである。

この仮説を検証するために、本研究では分節化操作を可能にするシステムを設計・開発し、先行研究で開発した構造化操作のシステムを用いて、使用順序による時間の変化と学習効果を計測した。第2章では、実験で用いた構造化操作と分節化操作のシステムについて説明する。第3章で実験とその結果について述べ、第4章でまとめを述べる。なお、学習者がシステム内で構造化操作、分節化操作を行う演習をそれぞれ構造化演習、分節化演習と表現する。

2. システム

本章では、論理の三角ロジックモデルと三角ロジックを対象とした構造化演習システム[北村 17]、および本研究で開発した分節化・構造化演習システムについて述べる。

2.1 三角ロジックモデルと構造化演習

論理において、モーダスポネンス $((P \rightarrow Q) \wedge P) \vdash Q$ 、および三段論法 $((P \rightarrow Q) \wedge (Q \rightarrow R)) \vdash R$ は、三つの命題により成立している。三角ロジックモデルは、この三つの命題を根拠、理由付け、主張として、三角形の各頂点に配置し、それぞれの要素を他の要素と結んだ構造的表現である。図 1 にその例を示した。図 1 における各辺の推論は、各辺の両端の命題が与えられた場合に対頂点の命題を推論することを表している。

図 1 三角ロジックモデル

構造化演習では、(1) 提供された部品を使って三角ロジックを組み立てる演習(組み立て演習)、(2) 提供された部品を使って複数の三角ロジックを組み立てる演習(複数組み立て演習)、の二つの演習を実装した。組み立て演習はさらに、(1-1)二つの命題が配置された三角ロジックと残りの一つの命題の候補集合を提供し、残りの一つの命題を選択・配置する演習、(1-2)一つの命題が配置された三角ロジックと残りの二つの命題の候補集合を提供し、残りの二つの命題を選択・配置する演習、(1-3)命題が配置されていない三角ロジックと三つの命題の候補集合を提供し、適切な命題を選択・配置する演習を実装している。

図 2 に、組み立て演習(二つの命題が配置)のシステム画面を示した。学習者は、システムから提供された複数の命題 (Cards と記された場所に提供されている) から取捨選択を行って、三角形の頂点に配する。システムは作成された三角ロジックを診断し、即時的に診断結果をフィードバックし(間違えた箇所が赤くなる)、間違いの場合は学習者に修正を促す。複数組み立て演習の画面を図 3 に示した。

図 2 組み立て演習画面：二つの命題が配置されている

図 3 複数組み立て演習のシステム画面

2.2 分節化・構造化演習システム

分節化操作とは、論理を構成する命題を取り出すことであり、本研究では、自然言語文から三角ロジックを構成する部品としての命題を取り出すことであるとする。分節化操作はそれだけでは意味を持たないため、分節化操作によって取り出された命題を構造化操作する部分も行う必要があると考え、まず自然言語文から命題を取り出す作業として分節化演習を行い、さらに取り出した命題を三角ロジックに当てはめる作業を行う。

分節化演習の画面を図 4 に示す。学習者のフローを述べる。学習者は画面左側の文章を読み、指示された主張を組み立てるための三つの命題を抜き出す。この際、学習者は自分の考えた命題を自由記述で入力する。システムにはあらかじめ候補となりうる命題が用意されており、学習者の入力との類似度を取り、類似度の高い候補をいくつか学習者に提示する。学習者はその中から意図した命題を選択する。本システムでは、命題候補はレーベンシュタイン距離と N-gram を用いて、学習者の入力と類似度が高い命題上位三つを選出し、候補として表示している。選択可能な命題が提示されない場合は、学習者の自由記述での命題表現の変更を求めることになる。この作業を三つの命題を作るまで繰り返す。学習者が取り出し可能な命題としては、正解となる論理を構成する命題(正しい命題)に加えて、正しい命題の構成要素を組み合わせて作られたダミーの命題(ダミー命題)が用意されている。学習者がダミー命題を選択した場合でも、システムは正誤のフィードバックを行わない。これは、学

習者がそのフィードバックを手掛かりに、命題を吟味せずに選択することを避けるためである。正誤のフィードバックは論理が組み立てられた後に行われるため、学習者は論理の組み合わせの問題か、その論理を構成する命題の問題であるかは、自身で吟味することが求められる。

三つの命題を作り終わった学習者は、構造化に進む。作成した命題に対しての構造化演習は2・1で説明した図2の内容と同様である。構造化演習で間違えたときのシステム画面を図5に示した。

図4 分節化演習のシステム画面

図5 構造化演習画面で間違えたときのシステム画面

3. 実験

3.1 実験概要

本実験は、本演習が(i) 学習者の論理的思考力育成に効果があるか (以下、学習効果と呼ぶ)、(ii)分節化・構造化演習と構造化演習を行う順序で、演習の難易度に差があるか、を調べるために行った。学習効果については、プレテストとポストテストにおけるスコアの差を比較することで評価した。演習の難易度の差については演習を終えるのに要した時間 (以下、演習時間と呼ぶ)、を用いて評価した。なお、本演習では正解となる論理構造を組み立てることができて初めて次の課題に進めるようになっている。

3.2 実験手順

被験者は情報工学系の大学生・大学院生 14 名である。被験者の内訳は、構造化演習を先に行う構造化先群 7 名と、分節化・構造化演習を先に行う分節化先群 7 名である。構造化先群における手順は、(1)プレテスト、(2)構

化演習および分節化・構造化演習(プレテストの7日後)、(3)演習の直後のポストテスト、となっている。分節化先群は、上記手順(2)において、分節化・構造化演習を先に行い、次に構造化演習を行った。

プレテストおよびポストテストには、国立教育政策研究所教育課程研究センターが高校生を対象に論理的に思考する力の育成状況に着目して実施した「特定の課題に関する調査(論理的な思考)」で用いられた問題のうち、「一般的な表現形式による問題」(22問)を用いた[国立教育政策研究所 17]。回答時間は45分、44点満点に設定した。先行研究[北村 17](回答時間40分、22点満点)と異なるのは、より正確に調査するためである。

分節化・構造化演習には1問の課題を実装した。構造化演習には、30問の課題を実装した。問題数は、両演習合わせて30分以内程度に演習時間を短くするために調整した。

3.3 実験結果と分析

§1 結果分析の方法

演習の学習効果は、プレテストとポストテストの差を構造化先群と分節化先群とで比較することで確認した。また、演習取り組み順序による課題難易度の違いを確認するために、演習時間の分析を行った。

§2 テストスコアの分析

プレテストおよびポストテストの結果を示す。構造化先群における、プレテストの結果は30.571(SD: 5.386)分、ポストテストの結果は35.571(SD: 2.871)分であった。また、分節化先群における、プレテストの結果は30.429(SD: 3.736)分、ポストテストの結果は36.571(SD: 1.761)分であった。演習の取り組み順序の違いを被験者間要因、テストのプレ・ポストを被験者内要因としてANOVA4を用いた2要因分散分析を行ったところ、交互作用は有意差は無かった($p=0.6838>0.05$)。下位検定(ANOVA4に組み込まれたRayn法を用いた)を行ったところ単純主効果として、プレテストにおいて構造化先群と分節化先群の有意差はなく($p=0.947>0.05$)、ポストテストにおいても有意差はなかった($p=0.641>0.05$)。また、構造化先群においてプレテストとポストテストにおいて有意差があった($p=0.024<0.05$)。分節化先群においてもプレテストとポストテストにおいて有意差があった($p=0.008<0.05$)。

§3 演習時間の分析

構造化演習および分節化・構造化演習を終えるのに要した時間を表1に示す。構造化先群における、構造化演習時間は13.571(SD: 4.594)分、分節化・構造化演習時間は5.714(SD: 2.05)分であった。また、分節化先群における、構造化演習時間は12.571(SD: 4.924)分、分節化・構造化演習時間は14.0(SD: 4.66)分であった。演習の取

り組み順序の違いを被験者間要因、構造化演習時間と分節化・構造化演習時間を被験者内要因としてANOVA4を用いた2要因分散分析を行ったところ、交互作用は有意であった($p=0.0256<.05$)。下位検定を行ったところ単純主効果として、構造化演習時間において構造化先群と分節化先群の有意差はなく($p=0.6852>.05$)、分節化・構造化演習時間において有意差があった($p=0.0024<.01$)。

表1 構造化演習および分節化・構造化演習の演習時間

	構造化演習 時間[分](SD)	分節化・構造化 演習時間[分](SD)
構造化先 群 (n=7)	13.571 (4.594)	5.714 (2.05)
分節化先 群 (n=7)	12.571 (4.924)	14.0 (4.66)
p 値	0.6852>0.05	0.0024<0.01

3.4 実験結果に対する考察

テストスコアについては、両群ともに有意な学習効果が見られ、また両群に差が見られなかったことから、演習順序による学習効果の影響は見られなかった。ただし本研究での学習効果には、得点の上昇に関してテストの慣れがあったのではないかと考えられる。そのため、先行研究[北村 17]での三角ロジックの演習効果を示すために用いた統制群のデータ(44点満点で採点)と比較したところ、三群(構造化演習先群、分節化演習先群、統制群)の分散分析で、交互作用がでた(有意傾向 $p=0.0611$)、演習をした群だけ成績向上が見られたことから、演習の効果があったことが確認できた(構造化先群 $p=0.0029$ 、分節化先群 $p=0.0004$ 、統制群 $p=0.6648$)。統制群は、本研究で用いたプレテスト・ポストテストと同内容のテストを1週間の間隔をあけて2回解いた群(大学生・大学院生16名)である。

演習に要した時間に関しては、構造化先群において、あとの演習である分節化・構造化演習の時間が、分節化先群の分節化・構造化演習の時間よりも大幅に短縮されている。これは、構造化演習を行うことが、分節化・構造化演習の遂行を容易にしていることを示している。これは当初の仮説どおり、構造化演習が先行オーガナイザーとして機能したと考えられる。なぜなら、分節化の練習を行っていないにもかかわらず、分節化・構造化演習の解決速度が上がっていることを示唆する結果(分節化演習先群との比較において)が得られているからである。構造化演習により情報構造を理解した学習者は、分節化において切り出す構造の部品に対する理解が促進された

と考えられる。本研究では小規模の実験ではあるが、人の学習支援において、分節化・構造化演習よりも構造化演習を先に行う重要性を示す傍証になったと考えられる。

4. まとめ

分節化演習の仕組みを実装した上で、実験により構造化演習と分節化演習を行う順序が、課題の難易度に及ぼす影響について確認した。今回は演習問題数・被験者数共に小規模な実験であったが、構造化演習の重要性に関して重要な示唆が得られたと考えている。今後、分節化演習の問題数を増やし、被験者を増やした大規模な実験にも取り組む予定である。

◇ 参考文献 ◇

- [Ausubel 60] Ausubel, D P: The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material, Journal of Educational Psychology, Vol.51, pp.267-272(1960).
- [文化庁 04] 文化庁:「これからの時代に求められる国語力について」文化審議会答申(2004).
- [文部科学省]文部科学省:国語力を身に付けるための国語教育の在り方,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/bunka/toushin/04020301/007.htm(閲覧日:2019年4月11日).
- [平嶋 15] 平嶋宗:「学習課題」中心の学習研究—情報構造としての学習課題の再定義と構造操作としての学習活動の設計—, 人工知能学会誌, Vol.30, No.3, pp.277-280(2015).
- [平嶋 18a] 平嶋宗, 林雄介: メタ問題設計法としてのオープン情報構造アプローチ, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B509(2018).
- [平嶋 18b] 平嶋宗: ディープアクティブ・ラーニングを指向した課題設計法としてのオープン情報構造アプローチ: 外在タスク・メタ問題・仮説検証的試行錯誤, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence(2018).
- [北村 17] 北村拓也, 長谷浩也, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: 論理構造の組み立て演習環境の設計開発と実験的評価, 人工知能学会論文誌 Vol.32, No.6 C-H14_1-12(2017).
- [国立教育政策研究所 17] 特定の課題に関する調査(論理的な思考), http://www.nier.go.jp/kaiatsu/tokutei_ronri/(閲覧日:2019年4月11日).

[担当委員: 長谷川 忍]

2018年7月13日 受理

著 者 紹 介

北村 拓也（学生会員）

2016年広島大学工学部第二類情報工学課程卒業。2017年同大学院工学研究科博士課程前期修了。現在、同課程後期に所属。2016年度本学会研究会優秀賞受賞。

平嶋 宗（正会員）

1986年大阪大学工学部応用物理学卒業，1991年同大学院工学研究科博士課程修了。同年，大阪大学産業科学研究所助手，同講師，九州工業大学情報工学部助教授を経て，2004年より広島大学大学院工学研究科教授。人間を系に含んだ計算機システムの高度化，特に学習工学に関する研究に従事。工学博士。