

オープン情報構造アプローチに基づく思考外在化
環境の設計・開発・評価に関する研究

(Design, Development and Evaluation of Thought
Externalization Environment based on Information
Structure Open Approach)

きたむら たくや

北村 拓也

2019 年 09 月

広島大学大学院工学研究科

内容梗概

オープン情報構造アプローチは、課題設計の方法である。オープン情報構造アプローチでは、学習課題を意味的で記号的な(Computational な)情報構造として記述し、その構造を操作する活動を設計することで、学習者がその記述をインタラクティブに操作できる環境を学習者に提供することができる。オープン情報構造アプローチを学習課題に適用する場合は、以下の三つのステップが必要になる。(1)情報構造を外在化して学習者に提供する(2)外在化された情報構造の学習者による直接的な操作を可能にする(3)学習者の操作結果を反映・フィードバックする。オープン情報構造アプローチに従って、対象を情報構造として記述し、その情報構造についてのインタラクティブな操作を計算機上で実現することで、その対象についてのより深い学びを可能にする学習環境の設計開発と実践利用が行われている。しかしながら、オープン情報構造アプローチの課題として、ドメインごとに情報構造を定義する必要があるため、適用範囲が制限されることが挙げられる。ドメインに依存しない方法として、学習対象の情報構造を概念マップで表現し、提供された部品を組み立てることで作成する **Kit-Build** 概念マップの枠組みが提案され、実践的に利用されている。しかしながら、学習効果に関する評価は十分にされていなかった。そのため、本研究ではまず **Kit-Build** 概念マップの有用性を比較実践により確認した。しかしながら、情報構造を概念マップで表現するときの課題として、論理を扱うことが出来ないことが挙げられる。そのため、新たに三角ロジックモデルという論理構造を定義し、その構造を組み立てる活動を通して論理的思考力についての学習を行う演習支援システムを設計開発した。また、その有効性を比較実験により示した。

そのため本研究ではまず、学習対象の情報構造を、概念マップで表現し、提供された部品を組み立てることで作成する **Kit-Build** 概念マップの評価を行う。**Kit-Build** 概念マップの試みにおいては、主に作成した概念マップの自動診断とその診断結果に基づくフィードバックの有効性に焦点が当てられていた。しかしながら、概念マップを組み立てることは、その概念マップで表現された内容に関する理解の促進の効果も見込めると考えている。そのため本研究では、「再構成に基づく学習」の観点から、同様な有効性を持つといえる穴埋め問題と **Kit-Build** 概念マップ構成課題の学習効果の比較を行い、**Kit-Build** 概念マップの学習効果を確認した。

情報構造を概念マップにすることの課題として、論理が扱えないことが挙げられる。そこで新たに三角ロジックモデルという論理構造を定義し、オープン情報構造アプローチを適用した学習支援システムを設計・開発し、比較実験により学習効果を確認した。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。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

内容梗概

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。まず、構造化操作に関して、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。

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。しかしながら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られる。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、分節化操作を可能にするシステムを設計・開発し、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。テストスコアについては、両群ともに有意な学習効果がみられ、また両群に差がみ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。

以下に、本論文の各章の内容を示す。第1章では、本研究を行うに至った背景、概要について述べる。第2章では、オープン情報構造アプローチに関する説明、先行研究事例の紹介、オープン情報構造アプローチの課題と本研究の意義について述べる。第3章では、穴埋め問題と Kit-Build 概念マップのシステムと、小学生を対象として行った学習効果を測る実践の結果も報告する。第4章では、論理構造部品-論理構造表現(構造化)のシステムと大学生を対象として行った学習効果の比較実験結果を報告する。第5章では、言語表現-論理構造部品(分節化)のシステムと大学生を対象として行った実験結果を報告する。第6章では、これらの研究のまとめを行う。

目次

内容梗概.....	ii
目次.....	iv
図索引.....	vii
表索引.....	vii
第1章 序論.....	9
第2章 オープン情報構造アプローチに基づく思考外在化環境	11
2.1 オープン情報構造アプローチの枠組み.....	11
2.2 先行研究.....	11
2.2.1 三角ブロック.....	12
2.2.2 モンサクン.....	12
2.2.3 Kit-Build 概念マップ.....	13
2.3 オープン情報構造アプローチの適用範囲に関する課題.....	13
2.3.1 オープン情報構造アプローチの課題.....	13
2.3.2 学習効果の比較.....	14
2.3.3 論理構造の取り扱い.....	14
第3章 穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ組み立て課題の学習効果の比較.....	15
3.1 前書き.....	15
3.2 穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ.....	15
3.3 授業の要点整理と課題化.....	16
3.4 システムの全体構成.....	17
3.5 課題の作成と利用の流れ.....	17
3.5.1 教授者による課題作成.....	18
3.5.2 学習者のシステム利用.....	22
3.5.3 教授者による解答分析.....	23
3.6 実践概要.....	24

目次

3.7	小学校での学習効果の比較実践手順	25
3.8	小学校での学習効果の比較実践結果	25
3.9	小学校での学習効果の比較実践考察	28
3.10	大学での比較実践手順	28
3.11	大学での比較実践結果	29
3.12	大学での比較実践考察	29
3.13	結論	30
第4章	論理構造部品・論理構造表現変換プロセスの演習システム(構造化演習)	31
4.1	前書き	31
4.2	言語表現・論理構造変換プロセス	32
4.3	三角ロジックモデル	32
4.3.1	Toulmin モデル	33
4.3.2	三要素への限定	33
4.3.3	三段論法への限定	34
4.3.4	論理構造の組み立て操作	35
4.3.5	学習者三角ロジックの診断	36
4.3.6	組み立てに限定することの妥当性	37
4.4	構造化演習	38
4.4.1	正誤判定演習	38
4.4.2	組み立て演習 1	39
4.4.3	組み立て演習 2	40
4.4.4	組み立て演習 3	40
4.4.5	ダミー命題	41
4.5	構造化演習の言語論理における評価実験	41
4.5.1	実験概要	41
4.5.2	手順	41

目次

4.5.3	結果.....	42
4.5.4	テスト結果の分析.....	43
4.5.5	演習時間とテスト結果の分析.....	43
4.5.6	フロー体験・重要度認知調査.....	44
4.5.7	システム利用に関する主観調査.....	45
4.5.8	実験結果に対する考察.....	46
4.5.9	正解率が上昇した問題に対する追加分析.....	47
第5章	言語表現-論理構造部品プロセス演習システム(分節化演習).....	49
5.1	前書き.....	49
5.2	分節化演習システム.....	50
5.3	実験概要.....	51
5.4	手順.....	51
5.5	結果と分析.....	52
5.5.1	結果分析の方法.....	52
5.5.2	テストスコアの分析.....	52
5.5.3	演習時間の分析.....	52
5.6	考察.....	53
第6章	結論.....	54
	参考文献.....	55

図索引

図 2.1 1 乗 2 除関係の三角ブロック	12
図 2.2 三文構成モデルにおける合併の問題	13
図 2.3 概念マップの例.....	13
図 3.1 穴埋め問題と KB マップの関係	17
図 3.2 システム構成	17
図 3.3 マップ情報から自動生成された命題例.....	19
図 3.4 穴抜き個所を選択している図.....	19
図 3.5 自動生成された要点マップ.....	20
図 3.6 ノード・リンク決定画面	20
図 3.7 自動生成・自動レイアウトされた要点マップ	21
図 3.8 静的にレイアウトした要点マップ	21
図 3.9 穴埋め問題作成エディタから KB アナライザに登録された要点マップ	22
図 3.10 穴埋め問題エディタ初期画面	23
図 3.11 穴埋め問題アナライザで学習者解答データを分析.....	24
図 3.12 穴埋め問題の学習者解答データを KB マップアナライザで分析	24
図 4.1 言語表現・論理構造変換プロセス全体図	32
図 4.2 演習環境の画面:判定演習	39
図 4.3 組み立て演習の画面.....	40
図 4.4 調査問題の例 (問①および問②)	48
図 4.5 問①についての三角ロジック	48
図 4.6 問②についての三角ロジック	48
図 5.1 分節化演習のシステム画面.....	50
図 5.2 構造化演習画面で間違えた時のシステム画面	51

表索引

表 3.1 事前テスト結果.....	25
表 3.2 記述テスト結果.....	26
表 3.3 事前テストと記述テストの相関	26
表 3.4 総合マップと記述テストの相関	26

表索引

表 3.5	総合マップと実力テストの相関	26
表 3.6	各回マップと実力テストの相関	27
表 3.7	各回小マップと記述テストの相関.....	27
表 3.8	各回小マップと総合マップの相関.....	28
表 3.9	大学利用でのアンケート結果.....	29
表 4.1	プレテストおよびポストテストの得点（22点満点）	43
表 4.2	システム利用時間と得点の相関	44
表 4.3	フロー体験調査結果	45
表 4.4	システム利用に関する主観調査結果	46
表 5.1	構造化演習および分節化・構造化演習の演習時間.....	53

第1章 序論

Galperin の知的行為多段階形成モデルでは、ある思考形式を身につけるためには、その思考形式を具体物に対する具体的な操作として行えるようにすることが有効であるとしている[1]. Papert はマインドストームにおいて、対象についての操作可能なモデル表現を持ち、それを操作できることが対象の理解に重要であることを指摘している[2]. これらの研究では、人の思考を情報構造に対する操作として捉えることができると仮定されており、このような仮定に基づく学習支援システムの設計開発は、オープン情報構造アプローチと呼ばれることがある[3][4]. このオープン情報構造アプローチに従って、対象を情報構造として記述し、その情報構造についてのインタラクティブな操作を計算機上で実現することで、その対象についてのより深い学びを可能にする学習環境の設計開発と実践利用が行われている[5][6][7][8]. 中でも、学習対象の情報構造を、概念マップで表現し、提供された部品を組み立てることで作成する Kit-Build 概念マップの枠組みが提案され、実践的に利用されている[9][10][11]. しかしながら、学習効果に関する評価は十分にされていなかった. そのため、本研究ではまず Kit-Build 概念マップの評価を行い有用性を確認した[12]. Kit-Build 概念マップでは、提供された部品を学習者に組み立てさせる方式を採用しており、これを Kit-Build 方式と呼ぶ. この方式はオープン情報構造アプローチに基づく思考外在化支援環境を作る上で様々なドメインに対して適用できる. しかしながら、概念マップでは論理を表現できなかった. そのため本研究では、近年重要視されている論理的思考育成のために論理構造に対して Kit-Build 方式を用いた支援環境を開発し、評価を行い、有用性を確認した.

本研究ではまず、学習対象の情報構造を、概念マップで表現し、提供された部品を組み立てることで作成する Kit-Build 概念マップの評価を行う. Kit-Build 概念マップの試みにおいては、主に作成した概念マップの自動診断とその診断結果に基づくフィードバックの有効性に焦点があてられていた. しかしながら、概念マップを組み立てることは、その概念マップで表現された内容に関する理解の促進の効果も見込めると考えている. そのため本研究では、「再構成に基づく学習」の観点から、同様な有効性を持つといえる穴埋め問題 (Fill-in-Blank problem) と Kit-Build 概念マップ構成課題の学習効果の比較を行い、Kit-Build 概念マップの学習効果を確認した[12].

Kit-Build 概念マップの有効性は確認したが、対象の情報構造を概念マップの形で表現する必要がある、対象特有の情報構造は扱えないという課題があった. そのため、対象特有の情報構造を扱うためには、それぞれの対象の新しい情報構造を定義する必要がある. そこで、近年重視されている論理的思考力の育成を事例として、論理の情報構造を定義し、Kit-Build 方式を用いて論理的思考力の育成に適用した. 論理的思考力の育成は近年特に重要視されるようになってきている[13]. しかしながら、論理的思考力をどのように育成する

序論

かについて明確な答えは出ていない。そこで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を適用することによる学習効果を確認した[14][15]。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。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[16]。まず、構造化操作に関して、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。

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。しかしながら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。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[17]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、分節化操作を可能にするシステムを設計・開発し、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[18]。

第2章 オープン情報構造アプローチに基づく思考外在化環境

2.1 オープン情報構造アプローチの枠組み

オープン情報構造アプローチは、課題設計の方法である。オープン情報構造アプローチでは、学習課題を意味的で記号的な(Computational な)情報構造として記述し、その構造を操作する活動を設計することで、学習者がその記述をインタラクティブに操作できる環境を学習者に提供することができる[14]。ここで情報構造とは、情報構造の構成要素と構成要素間の関係として記号的に思考の対象を記述したものを言う。この情報構造は通常、心的表象として学習者の内部に存在する。そのため学習者に情報構造を操作させるためには、情報構造を外在化する必要がある。ここで外在化とは、外に表出する、すなわち内面にあるものを外からわかる形式にあらわし出すことを意味する。思考外在化環境とは、情報構造を外在化させ、学習者がインタラクティブにその情報構造を操作できる環境を言う。情報構造の操作には 2 種類ある。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操作である。

学習者の思考負荷としては、(1)分節化操作(2)構造化操作(3)心的表象としての情報構造の保持の三つの面から生じると考えられている[16]。そのため課題設計としてはこの三つの面における学習を阻害する負荷を軽減し、かつ学習を促進する負荷を維持することが重要となる。実際にオープン情報構造アプローチを学習課題に適用する場合は、以下の三つのステップが必要になる。(1)情報構造を外在化して学習者に提供する(2)外在化された情報構造の学習者による直接的な操作を可能にする(3)学習者の操作結果を反映・フィードバックする[16]。このオープン情報構造アプローチに従って、対象を情報構造として記述し、その情報構造についてのインタラクティブな操作を計算機上で実現することで、その対象についてのより深い学びを可能にする学習環境の設計開発と実践利用が行われている[5]。次節で具体的な事例について述べる。

2.2 先行研究

オープン情報構造アプローチに従って実現された学習環境の事例として、三角ブロック、モンサクン、Kit-Build 概念マップについて述べる。

2.2.1 三角ブロック

三角ブロックは数量関係を可視化するモデルである。このモデルは、算数文章題の構造的な操作を可能にするために提案され、学習教材として実践的に利用されている[5]。三角ブロックの事例を図 2.1 に示す。算数文章題の問題解決には4つの過程がある。(1)変換(2)統合(3)プラン化(4)実行である。これらの過程の中で、統合過程が最も困難であることが指摘されており[41]、三角ブロックシステムはこの統合過程を支援するためのシステムである。

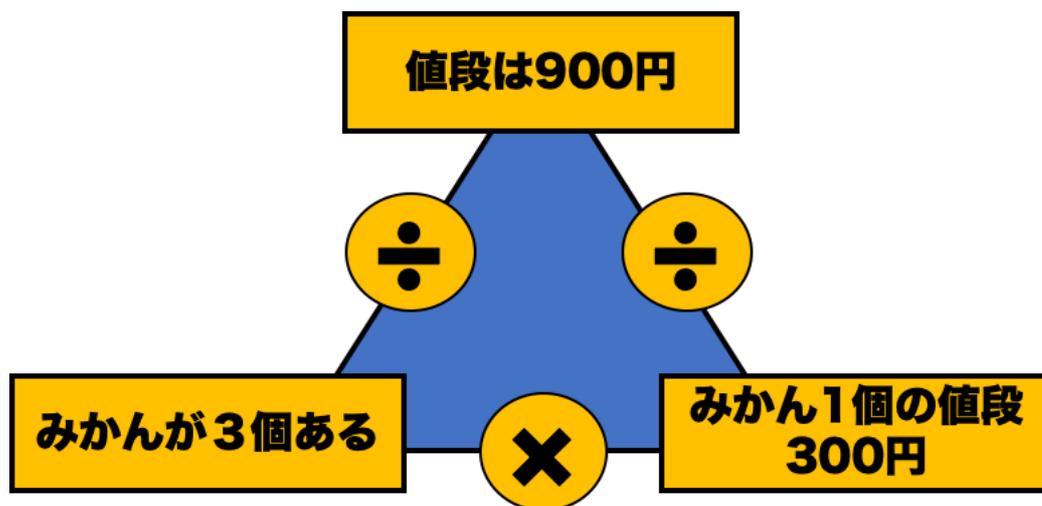


図 2.1.1 乗 2 除関係の三角ブロック

2.2.2 モンサクン

モンサクンは作問学習支援システムである[43]。三文構成モデルによる単位算数文章題の定義に基づいて設計されている。三文構成モデルの例として合併の問題を図 2.2 に示す。モンサクンでは、複数の単文を学習者に与え、それを組み立てる形で学習者に文章題を作らせる。システム側で自動診断し、学習者に即時的にフィードバックを返すことが可能になっている。このモンサクンを用いた実践が複数行われており、算数文章題の構造的な理解の促進への効果も実証されている[44][45]。

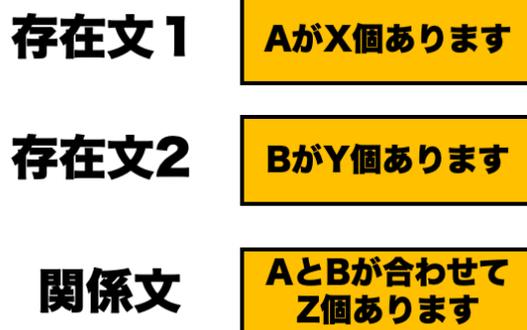


図 2.2 三文構成モデルにおける合併の問題

2.2.3 Kit-Build 概念マップ

概念マップとは図的表現の1つである。意味構造を、二つの概念(ノードと呼ぶ)とそれらの関係(リンクと呼ぶ)から構成される命題群によって表す[42]。概念マップの具体例を図2.3に示す。この概念マップを用いて学習対象の情報構造を表現し、提供された部品を組み立てることで作成する Kit-Build 概念マップの枠組みが提案され、実践的に利用されている[9][10][11]。

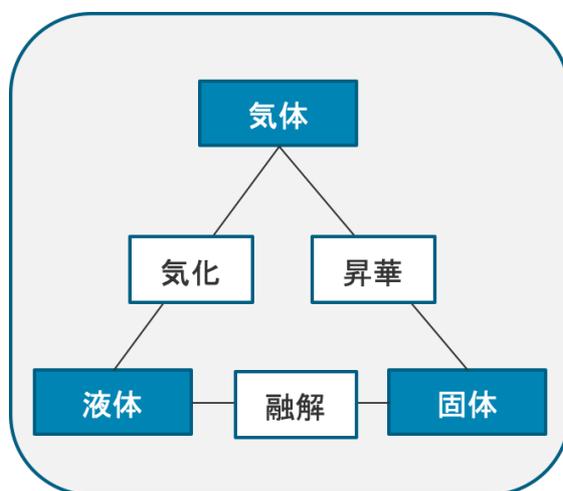


図 2.3 概念マップの例

2.3 オープン情報構造アプローチの適用範囲に関する課題

2.3.1 オープン情報構造アプローチの課題

オープン情報構造アプローチの課題として、ドメイン(領域)ごとに情報構造を定義する必

要があるため、適用範囲が制限されることが挙げられる。ただし、先行研究の事例として述べた **Kit-Build** 概念マップは、情報構造を概念マップで表現するため、ドメインに依存せず適用することが可能である。ただし、**Kit-Build** 概念マップは他の一般的な学習教材と比較した学習効果を示せていなかったため、比較実践により有効性を示す必要がある。また、**Kit-Build** 概念マップでは近年重視されている論理的思考力育成のために必要となる論理構造を扱うことができなかつたため、論理構造を扱える仕組みが必要である。

2.3.2 学習効果の比較

Kit-Build 概念マップは、ドメインに依存せず適用することが可能である。先行研究では、主に作成した概念マップの自動診断とその診断結果に基づくフィードバックの有効性に焦点が当てられていた。しかしながら、概念マップを組み立てることは、その概念マップで表現された内容に関する理解の促進の効果も見込めると考えている。そのため、比較実践により学習効果の有効性を示す必要がある。本研究ではまず **Kit-Build** 概念マップの評価を、穴埋め問題との比較実験により行い、有用性を確認した[12]。比較対象として穴埋め問題を選んだ理由は2点ある。1つは穴埋め問題が一般的に広く理解度合いを確認するテストとして利用されていることである。2つ目は、穴埋め問題も **Kit-Build** 概念マップも、どちらも「再構成に基づく学習」の観点から、同様な有効性を持つと考えられるからである。

2.3.3 論理構造の取り扱い

Kit-Build 概念マップを利用することで、汎用的に対象の情報構造を概念マップを表現することは可能となるが、論理構造を扱うことは出来なかつた。また、論理的思考力の育成は近年特に重要視されるようになってきている[13]。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。そのため、論理構造の外在化を可能にする学習支援システムを開発し、評価を行った[15]。なお本研究は、論理的思考力の基盤として「論理の構造」に対する理解があり、その論理の構造についての理解を促進することが論理的思考力の向上に寄与するとの仮定のもとで行われたものである。

第3章 穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ組み立て課題の学習効果の比較

3.1 前書き

これまでに、学習した内容についての概念マップを、提供された部品を組み立てることで作成する、Kit-Build 概念マップの枠組みで実践的な利用が行われている[29][30]。これらの試みにおいては、主に作成した概念マップの自動診断とその診断結果に基づくフィードバックの有効性に焦点が当てられていた。しかしながら、概念マップを組み立てることは、その概念マップで表現された内容に関する理解の促進の効果も見込めると考えている。本研究では、「再構成に基づく学習」の観点から、同様な有効性を持つといえる穴埋め問題 (Fill-in-Blank problem) と Kit-Build 概念マップ構成課題の学習効果の比較を行う。

既に記憶していることであっても、それを思い出したり[31]、要約する[32]、あるいは説明する[33]といった活動を行うことが学習として効果的であることはよく知られている。これは、既に記憶していることの想起であっても、想起対象がある程度の規模と構造を持っている場合、単なる検索ではなく、想起内容の再構成活動を伴うためであると考え、本論文ではこれを再構成に基づく学習と呼ぶ。既に知っている内容を異なる表現で表すパラフレーズの学習効果もこれと同様の理由によってもたらされていると考えられる[34]。

穴埋め問題は、学習内容の理解度テストのために非常によく用いられる課題であり、採点・フィードバックが簡単なため、eLearning で用いられる問題の中心になっているとあってよい。想起や言い換えの学習効果を考慮すると、この穴埋め問題は、単なる理解度テストではなく、学習活動としても重要であると言える。このような考察のもと、再構成に基づく学習としての穴埋め問題の解決活動と、Kit-Build 概念マップの作成活動の学習効果を比較することで、Kit-Build 概念マップの有用性を検証するのが本研究の目的となる。

3.2 穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ

本研究では、一つのトピックに関する命題集合は、互いに関連しており、一つの構造をなしていると考えられる。ここでの構造とは、命題が孤立しているのではなく、それらが関連しているということを意味する。このように考え、個々の命題は、RDF の三つ組み表現[35]に準拠した記述である一文で記述できるものであるとすると、これらの命題集合は、概念と概念を関係で結ぶ形でのネットワークの形式で表現できる。本稿では、これを要点マップと呼ぶ。

具体的には、「太陽は東の空から昇る」「太陽は西の空に沈む」という命題集合は、「太陽」を中心に命題間で関係があるので、構造をなしている。個々の命題を構成する三要素のうちいずれかを指定することで、その要素を空欄とした課題が穴埋め問題であり、三要素全てをバラバラにした課題が概念マップ組み立て式課題である。ここで、三要素は、二つの概念と概念間の関係で表現され、それぞれ、概念をノード、概念間の関係をリンクと呼ぶ。本研究で開発したシステムによって、理解度確認手段として、穴埋め問題と概念マップ組み立て式課題の2つの活動が行えるようになった。また、穴埋め問題の命題構造を可視化したものが概念マップであるという点に着目し、学習者の穴埋め問題の解答を概念マップの形式で分析する機能を開発した。

以下では、穴埋め問題を提示するシステムを穴埋め問題システム、概念マップ組み立て式課題を提示するシステムを Kit-Build 概念マップシステム(以下 KB マップシステム)と呼ぶ。実際にこのシステムを、小学校の授業および大学の授業に関する予習映像の視聴による自習を対象として、授業内容の理解の確認・補強を目的とした活動を実施した。

3.3 授業の要点整理と課題化

穴埋め問題と KB マップの関係例を図 3.1 に示す。この例では、(A)4つの命題が定義されており、要点マップとして太陽の動きが整理されている(B1)。KB マップとしては、(C1)キットのように分解され、学習者に提供される。一方、この要点マップは、(B2)まとめ文のように自然言語で表現することもできる。そして、これを(C2)穴埋め問題のように各文においてマップ中のノードまたはリンクに対応する部分を空欄とし、それらの部分を空欄補充の部品として提供することによって、一般的な穴埋め問題を作成することができる。図 3.1 (C1)のキットを組み立てることと、図 3.1 (C2)の穴埋め問題において空欄にした部分の語彙を選択肢として提供することで、内容としては同じことを問う課題となる。このように穴埋め問題を要点マップとしても表すことが出来る命題構造から生成することによって、同じ内容で形態を変えて課題化することができる。また、この例の規模の命題構造であれば、それほど変わりはないが、規模が大きくなり命題数が増加すると、まとめ文および穴埋め問題では文および問題が多くなってしまい、紙媒体での実施は困難となる。そのため、より抽象度を上げてまとめの項目を少なくするか、一般的な理解確認のための穴埋め問題の提示では、一部を使ってサンプリング的に学習者の理解を測っているといえる。

穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ組み立て課題の学習効果の比較

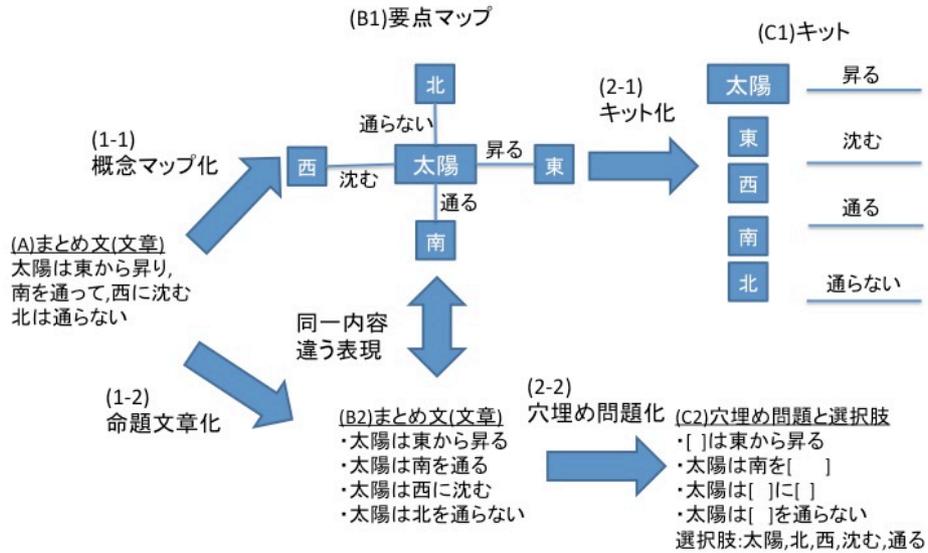


図 3.1 穴埋め問題と KB マップの関係

3.4 システムの全体構成

システムの全体構成を図 3.2 に示す。本研究で作成したシステムは、「穴埋め問題」「学習者回答」「穴埋め問題作成エディタ」「穴埋め問題アナライザ」になる。[12]

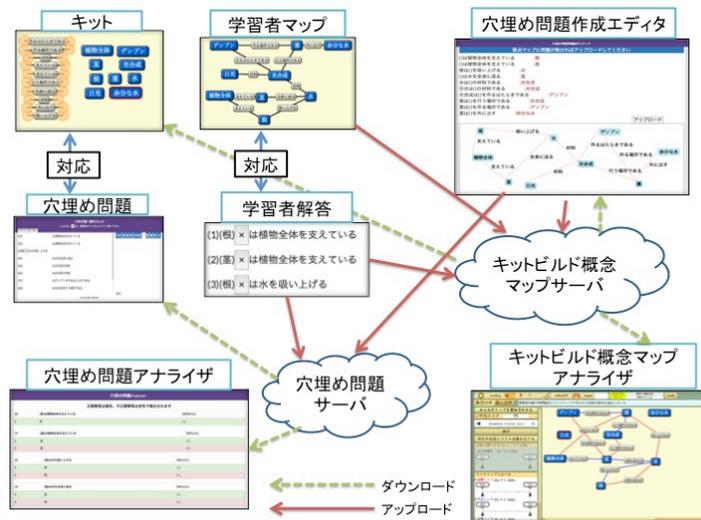


図 3.2 システム構成

3.5 課題の作成と利用の流れ

実際の授業において、教授者と学習者が本システムを使用する場合の流れを示す。

3.5.1 教授者による課題作成

教授者は穴埋め問題作成エディタを用いて、課題の作成を行う。この際に、既に概念マップ組み立て式課題を KB マップシステムで作成しているかどうかで、処理が分岐する。

(1)既に概念マップ組み立て式課題を登録している場合

穴埋め問題作成エディタにおいてそのマップを選択することで、ノード・リンク情報から自動的に命題をシステムが提示する。

命題には予めノード、リンク位置を示す記号が埋め込まれている。マップ情報から自動生成された命題例を図 3.3 に示す。これはマップの「ノード・リンク・ノード」を一つの命題として整形し、間を固定された助詞(ノードはノードのリンクである)で補うことにより実現している。

教授者は必要があれば、その情報を修正し、穴埋めにするノード・リンクを選択することで、穴埋め問題を作成する (図 3.4)。

この際に、自動生成された要点マップ図 3.5 を見ることで、教授者は何を問うて、何を問わないかを確認することが出来る。

(2)概念マップ組み立て式課題を登録していない場合

この場合は、穴埋め問題と概念マップ組み立て式課題を同時に作成し、登録を行う。教授者は穴埋め問題作成エディタ上で、自由に命題を入力、もしくは頻繁に使われる命題をまとめた、命題テンプレートを用いることで、授業の要点を命題形式で記述する。

次に、命題テンプレートを用いていない場合、ノード・リンクを決定する必要がある。ノード・リンク部分を選択し、教授者が決定するか、自動選択機能を用いて、命題のノード・リンクを自動決定する (図 3.6)。これは形態素解析と係り受けを用いて判定を行う。係り受けによる、末尾と判定された句から、形態素解析により助詞を抜いた単語をリンクとし、それに掛かっている句から助詞を抜いた単語をそれぞれノードとする。全ての命題のノード・リンクを決定し、穴抜き箇所を選択すると、自動的に要点マップが生成される。要点マップのレイアウトは自動で決まり、7 秒間システムが動的にレイアウトし、その後静的に教授者が配置を変更する。配置を決定すると、穴埋め式課題と概念マップ組み立て式課題が登録される。

要点マップ生成手順は、以下である。

(i)全ノードをユニークなノードにする

(ii)各々のノードをリンクと紐づける

(iii)その構造を元に、力学モデルによるグラフ描画 (力指向アルゴリズム) を用いて動的なレイアウトを行う (図 3.7)。

(iv)7 秒後にレイアウト計算を止めて、教授者が静的なレイアウト操作を可能にする (図 3.8)。

穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ組み立て課題の学習効果の比較

要点マップ名を入力し,決定すると,ノードの座標,リンクの座標などが KB マップサーバに登録され,穴埋め問題作成エディタで生成した要点マップがレイアウトも含めて登録される(図 3.9).この機能により,従来まで概念マップ形式でしか作れず,難易度が高かった(普段しない作業のため)要点マップ作成が,命題形式で入力するだけで作られるようになった.また,同時に穴埋め問題サーバにその要点マップに紐づいた穴埋め問題が登録される.(1)の場合もだが,穴埋め問題を登録する際,同時に命題テーブルに命題を登録している.命題を登録することで,穴埋め問題アナライザによる命題ベースの採点が可能となる.

穴埋め問題問題制作エディタ
命題を入力してください

node link

#根#は&植物全体&の@支えている@である
#茎#は&植物全体&の@支えている@である
#根#は&水&の@吸い上げる@である
#茎#は&水&の@全身に送る@である
#水#は&光合成&の@材料@である
#日光#は&光合成&の@材料@である
#光合成#は&デンプン&の@作るはたらきである@である
#葉#は&光合成&の@行う場所である@である
#葉#は&デンプン&の@作る場所である@である
#葉#は&余分な水&の@外に出す@である

決定

図 3.3 マップ情報から自動生成された命題例

穴埋め問題問題制作エディタ
穴抜きにする個所を選択してください

node link

()は植物全体を支えている :根
()は植物全体を支えている :茎
根は()を吸い上げる :水
茎は水を@全身に送る@
水は光合成の@材料@である
日光は光合成の@材料@である
光合成はデンプンを@作るはたらきである@
葉は光合成を@行う場所である@
葉はデンプンを@作る場所である@
葉は余分な水を@外に出す@

決定

図 3.4 穴抜き個所を選択している図

穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ組み立て課題の学習効果の比較

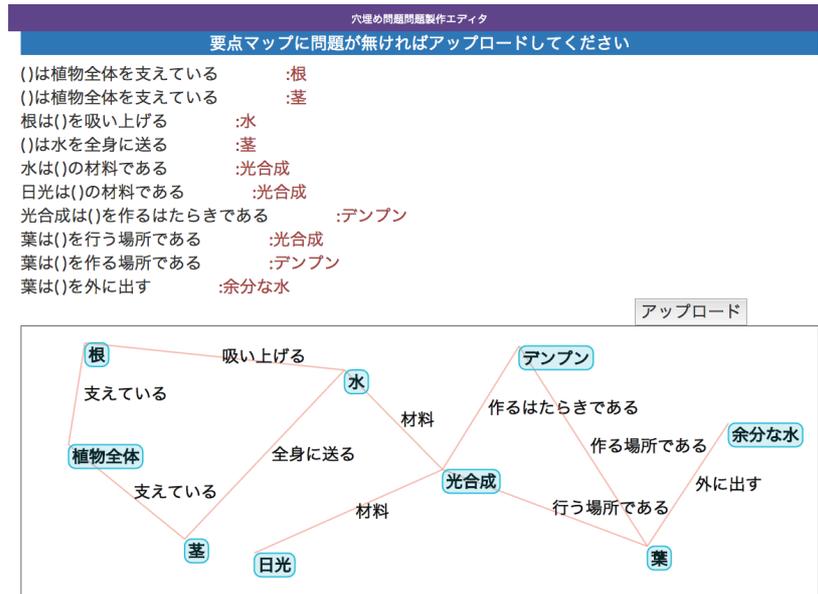


図 3.5 自動生成された要点マップ

穴埋め問題問題製作エディタ+要点マップ
命題を入力してください

<input checked="" type="radio"/> node1	<input type="radio"/> #根#は&植物全体&を@支えている@
<input type="radio"/> node2	<input type="radio"/> #茎#は&植物全体&を@支えている@
link	<input type="radio"/> #根#は&水&を@吸い上げる@
決定	<input type="radio"/> #茎#は&水&を@全身に送る@
リセット	<input checked="" type="radio"/> #水#は光合成の材料
自動解析	<input type="radio"/> 日光は光合成の材料
	<input type="radio"/> #光合成#は&デンプン&を@作るはたらきである@
	<input type="radio"/> #葉#は&光合成&を@行う場所である@
	<input type="radio"/> #葉#は&デンプン&を@作る場所である@
	<input type="radio"/> #葉#は&余分な水&を@外に出す@
	()は植物全体を支えている 選択肢:根
	()は植物全体を支えている 選択肢:茎
	()は水を吸い上げる 選択肢:根
	()は水を全身に送る 選択肢:茎

図 3.6 ノード・リンク決定画面

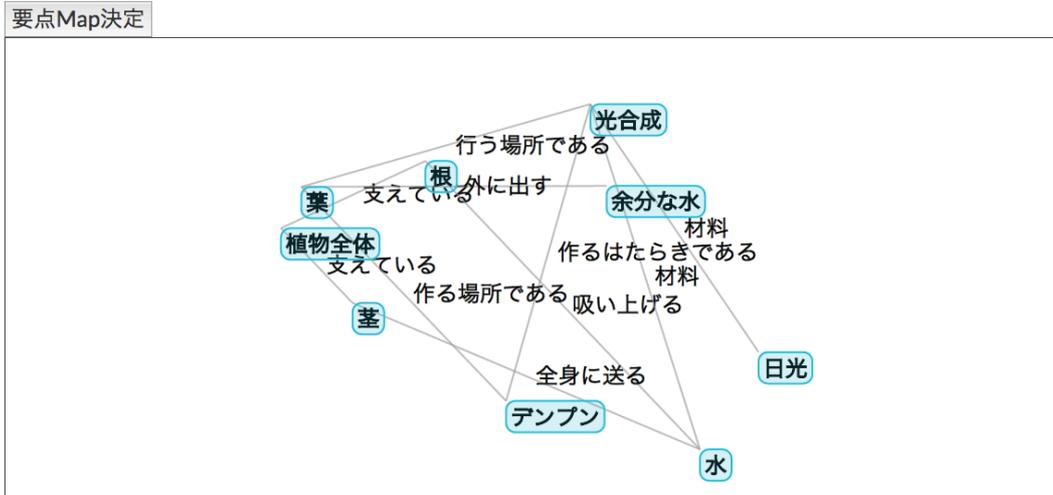


図 3.7 自動生成・自動レイアウトされた要点マップ

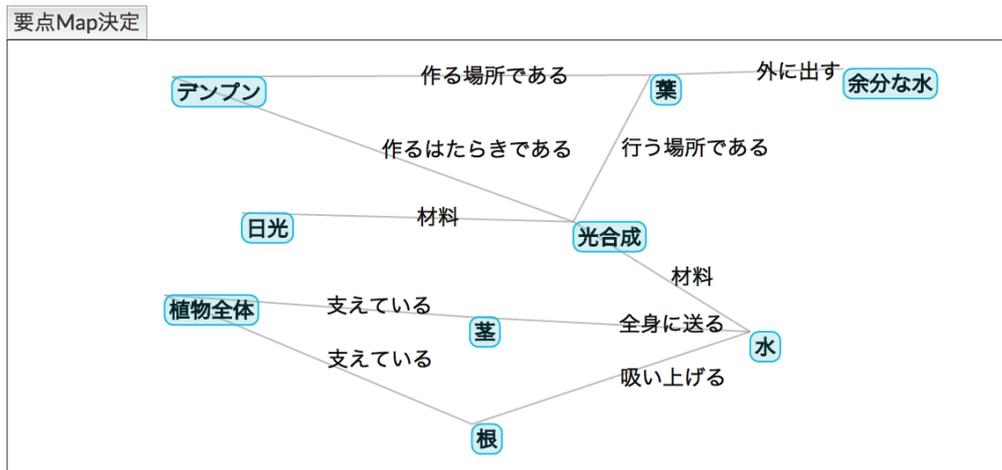


図 3.8 静的にレイアウトした要点マップ

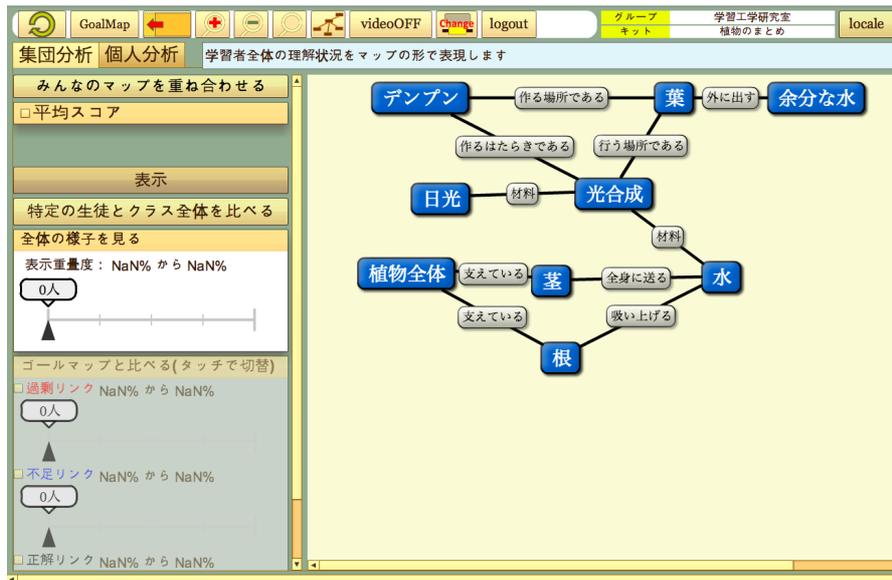


図 3.9 穴埋め問題作成エディタから KB アナライザに登録された要点マップ

3.5.2 学習者のシステム利用

学習者は穴埋め問題エディタ(図 3.10)を用いて、穴埋め問題に解答する。解答箇所を指定した部分が空欄になり、選択肢として用意されたノード・リンクをドラック&ドロップして解答する。学習者が解いた穴埋め問題の解答は、命題形式で KB マップサーバ・穴埋め問題サーバにアップロードされる。

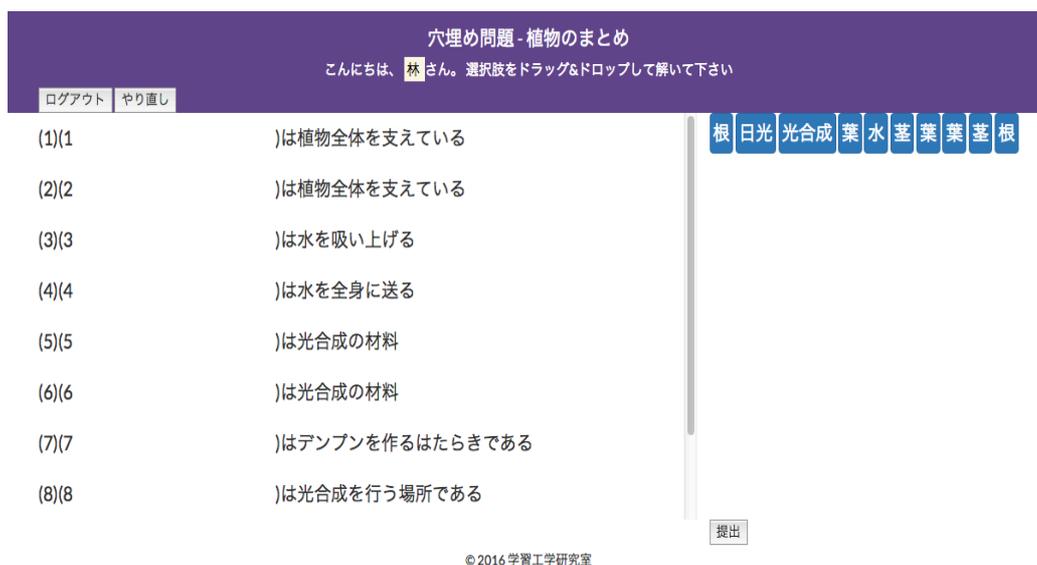


図 3.10 穴埋め問題エディタ初期画面

3.5.3 教授者による解答分析

教授者は穴埋め問題アナライザ (図 3.11) を用いて各設問での解答, 解答人数, 正誤, 正答率等を確認できる。また, KB マップアナライザ (図 3.12) を用いて, 各学習者の解答と教授者が作成した要点マップとの比較によつて正誤や学習者全員の解答をマップ形式で重ね合わせた重畳マップから, 全体の傾向を確認することが出来る。これらはリアルタイムに行うことが出来, 教授者はその情報を用いてフィードバックを返す。

また, 穴埋め問題解答構造を可視化することにより, 教授者には以下の利点があると考えられる。第一に, 命題間の関係性が可視化されていることの利点として, 個別に見るだけでは分からない, 学習者におけるどの命題に対する理解が不足しているかが分かる。具体的には, 以下の命題を出題した場合を考える。

{(1)根は植物全体を支えている, (2)茎は植物全体を支えている, (3)根は水を吸い上げている, (4)茎は水を全身に送る, (5)水は光合成の材料である, (6)日光は光合成の材料である, (7)光合成はデンプンを作る働きである, (8)葉は光合成を行う場所である, (9)葉はデンプンを作る場所である, (10)葉は余分な水を外に出す}

この時, 学習者が {(5)水は光合成の材料である, (6)日光は光合成の材料である, (7)光合成はデンプンを作る働きである, (8)葉は光合成を行う場所である} という 4 問を間違えていた場合, 通常の穴埋め問題では, その問題が間違えているという正誤と 10 問中 6 問正解で 60 点という得点化を行えるが, 一見ただけで学習者の理解状況を把握することは難しい(図 3.11)。

穴埋め問題解答構造を可視化した場合, 一見してこの生徒が「光合成」に関する理解が不

足していることが分かる(図 3.12).

また,問題数が増えた場合も,1 つの図として学習者全体の理解状況の把握が出来るということも利点として挙げられる.

穴埋め問題Analyzer -		
正解解答は緑色、不正解解答は赤色で表示されます		
(0)	(根)は植物全体を支えている	100%2/2人
0	根	2人
(1)	(葉)は植物全体を支えている	50%1/2人
0	茎	1人
0	葉	1人
(2)	(根)は水を吸い上げる	50%1/2人
0	根	1人
0	葉	1人
(3)	(葉)は水を全身に送る	50%1/2人
0	茎	1人
0	根	1人
(4)	(水)は光合成の材料	100%2/2人
0	日光	1人
1	水	1人
(5)	(日光)は光合成の材料	100%2/2人
0	水	1人
1	日光	1人

図 3.11 穴埋め問題アナライザで学習者解答データを分析

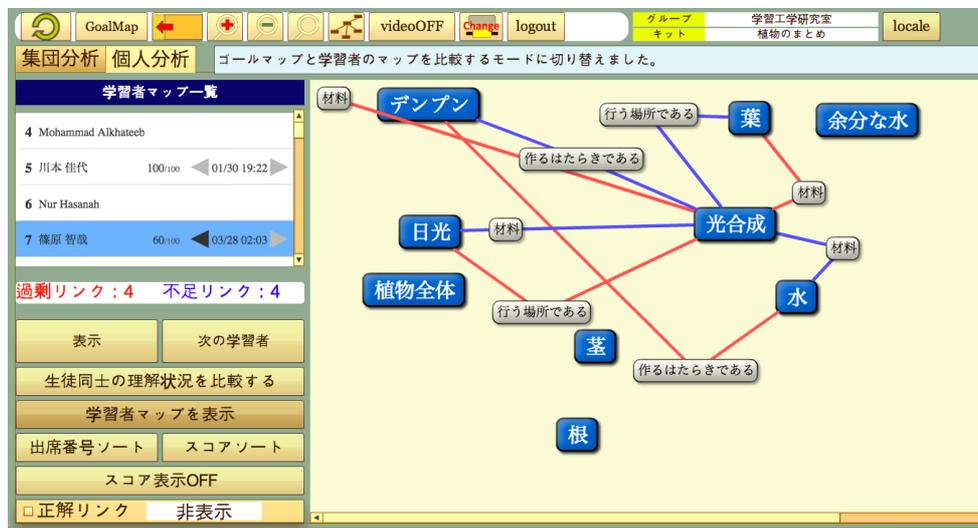


図 3.12 穴埋め問題の学習者解答データを KB マップアナライザで分析

3.6 実践概要

本システムを (I) A 大学附属小学校 5 年生の理科の 3 時限 (1 単元), および (I I) B

大学文学部での集中講義で利用した.小学校での利用では, 2 クラスで同一内容の授業において穴埋め問題のみもしくは KB マップのみを用いて, それぞれの課題の成績と最終課題として両クラスに提供し,共通の記述式問題の成績を比較した. 大学での利用については, 1 クラスのみでの実施であり, 学習者に穴埋め問題, KB マップの順で両方の課題を実施した後に行ったアンケート調査の結果について分析する.

3.7 小学校での学習効果の比較実践手順

本利用は小学5年生の2クラスでの理科の授業で「植物の生態」という3回の授業で構成される単元で行われた. この2クラスは, 本研究とは別途行われた理科についての学習内容全般に対するプレテスト(実力テスト)で成績の有意差が無く(表3.1), この2クラスを穴埋め問題利用群とKBマップ利用群として分け,全3回の授業の各回の授業の理解の確認をそれぞれ,穴埋め問題, KB マップを利用して行った. 授業時間,学習内容,教授者は同じである.また,最後の授業後に同一の記述式のテストを行った.記述テストの内容は下記である.

- 1.植物の根には役割があります.その役割とは何ですか,説明しなさい.
- 2.植物の茎には役割があります.その役割とは何ですか,説明しなさい.
- 3.光合成とはどのようなはたらきですか,根・茎・葉という言葉を用いて説明しなさい.
- 4.枯れそうなホウセンカに水やりをしました.水は土によくしみこんでいきました.その水の行方について,これまで学習したことを用いて説明しなさい.

表 3.1 事前テスト結果

	平均点	標準偏差
穴埋め問題群	60.0	12.7
KBマップ群	60.9	15.5

3.8 小学校での学習効果の比較実践結果

各回の課題では, 穴埋め群が全ての課題で全員が正解していたのに対して, KB 群では平均点は 79.3 であり, キットから概念マップを一部正しく組み立てられない学習者がいた. それに対して, 記述テストでは傾向が逆転しており, KB マップ群の平均点が有意に高かった. 授業における2群の差は, 授業の確認における穴埋め問題の利用とKBマップの利用の違いだけであり, KBの利用効果が表れていると思われる.

また, 両群での実力テストと記述テストの相関(表3.3), KB群での最後の総合的なマップ課題と記述テストの相関を表に示す(表3.4). 両群共に実力テストと記述テストの成績に中

穴埋め問題と Kit-Build 概念マップ組み立て課題の学習効果の比較

程度の相関があり、有意であった。このことは、今回実施した記述テストがある程度児童の理科の理解度合を捉えていること、また、総合マップと記述テストの間にも弱い相関がみられたことから、マップにおけるスコアは、ある程度学習者の理解状況を表していることも示唆された。このことは、穴埋め問題ではできる学習者が、KB マップではできない場合があること、そして、そのできない場合には理解状態が不十分ではない可能性があることも示唆している。

表 3.2 記述テスト結果

	平均点（正解率）	標準偏差
穴埋め問題群	0.65	0.21
KBマップ群	0.80	0.19

表 3.3 事前テストと記述テストの相関

	相関係数	p 値
穴埋め問題群	0.63	3.07E-05
KBマップ群	0.59	0.0001

表 3.4 総合マップと記述テストの相関

	相関係数	p 値
穴埋め問題群	0.45	0.0046
KBマップ群	0.52	0.0008

表 3.5 総合マップと実力テストの相関

	相関係数	p 値
穴埋め	0.50	0.0016
KB	0.34	0.039

表 3.6 各回マップと実力テストの相関

	平均スコア	標準偏差	相関係数	p 値
第 1 授業第初 回マップ	75.7	21.1	-0.089	0.61
第1回授業最終 マップ	93.6	15.1	0.015	0.93
第 2 授業第初 回マップ	78.3	26.8	0.60	0.0002
第 2 回授業最 終マップ	86.7	18.3	0.47	0.005
第 3 授業第初 回マップ	83.6	24.2	0.45	0.007
第 3 回授業最 終マップ	89.1	21.1	0.41	0.013

表 3.7 各回小マップと記述テストの相関

	平均スコア	標準偏差	相関係数	p 値
第 1 授業第初 回マップ	75.7	21.1	-0.02718	0.876842
第1回授業最終 マップ	93.6	15.1	0.037	0.83
第 2 授業第初 回マップ	78.3	26.8	0.67	8.8E-6
第 2 回授業最 終マップ	86.7	18.3	0.54	0.0006
第 3 授業第初 回マップ	83.6	24.2	0.66	8.4E-6
第 3 回授業最 終マップ	89.1	21.1	0.61	5.7E-5

表 3.8 各回小マップと総合マップの相関

	平均スコア	標準偏差	相関係数	p 値
第 1 授業第初 回マップ	75.7	21.1	0.12	0.51
第1回授業最終 マップ	93.6	15.1	0.14	0.41
第 2 授業第初 回マップ	78.3	26.8	0.48	0.003
第 2 回授業最 終マップ	86.7	18.3	0.66	1.3E-5
第 3 授業第初 回マップ	83.6	24.2	0.78	7.7E-9
第 3 回授業最 終マップ	89.1	21.1	0.76	3.6E-8

3.9 小学校での学習効果の比較実践考察

小学校での実践において、記述式テストに大きな差が出た要因について考察する。これには大きく 2 つの要因があると考えられる。1 つ目は、穴埋め問題と KB マップにおける、学習者の考える内容の違いである。穴埋め問題では学習者は問題を解くために、個々の命題について考えれば良かったことに対して、KB マップでは個々の命題と命題間のつながりの両方について考える必要がある。2 つ目は、理解度確認精度の違いである。記述式テストの結果から、穴埋め群、KB 群の両群に、理解に不十分な点があることがわかる。しかし、穴埋め問題群では各回の課題では理解が十分であると教授者は判断した。一方 KB マップ群では、各回の課題で理解が不十分な点が見られ、教授者がそれに対して指導を行った。この 2 点の要因から、大きく結果に差がでたと考えられる。つまり、本システムを用いて、教授者にとっては、課題作成時の作業量は等しく、同一内容から、深い思考を要する、理解確認精度が高い Kit-Build 概念マップ課題を提供出来ることが分かった。

3.10 大学での比較実践手順

大学の利用では、予習用の講義映像を視聴後に、KB マップおよび穴埋め問題の解答の両方を行ってもらった。その後、実際に講義を行い、その後で、KB マップと穴埋め問題の比較についてのアンケートを取った。質問項目は、(1) 小テスト (穴埋め問題) とマップ

(KB マップ) のどちらが難しかったですか, (2) 予習講義の理解を深めたのはどちらですか, (3) 予習講義の自身の理解度を確認するのにどちらが有用でしたか, (4) 講義の理解を深めるのに役立ったのはどちらですか, であった.

3.11 大学での比較実践結果

この結果を表に示した(表 3.9). いずれの項目においても, マップが高い評価を得た. 特に, (3) の自身の理解度の確認に関しては, 「マップをよいと判断する/しないを無作為に選ぶ」を帰無仮説にしたうえで正確 2 項検定をすると, 両側検定で有意となった($p=0.031$). (1) および (4) についても同様の検定で, 有意傾向が見られた.

表 3.9 大学利用でのアンケート結果

質問項目	KBマップ(人)	小テスト(人)	不明(人)
(1)小テスト(穴埋め問題)とマップ(KBマップ)のどちらが難しかったですか	13	4	1
(2)予習講義の理解を深めたのはどちらですか	12	4	2
(3)予習講義の自身の理解度を確認するのにどちらが有用でしたか	14	0	4
(4)講義の理解を深めるのに役立ったのはどちらですか	13	2	3

3.12 大学での比較実践考察

したがって, 多くの学習者が, マップは小テストより難しいと判断しながら, マップが自身の理解の確認や, 講義の理解の促進に有用であると判断していることになる. これは,

小学校で得られた結果と対応するものであるといえる。

また、理由を自由に記述してもらった中では、穴埋め問題よりも **KB** マップの方が回答するためのより考えることが必要という記述や関係性を考えるために理解を深めやすかったという記述が何名かから見られた。これは、アンケート結果を補強するものである。ただし、良い評価だけでは無く、**KB** マップではラベルの言葉が短く分かりにくく、穴埋め問題のような文章の方が分かりやすいといった指摘もあった。これらは **KB** マップの使いにくさを表すものであり、改善が必要と思われる。ただし、今回の学習者はこれまでに **KB** マップを利用したことがなく、事前の練習も行わずに使った上での結果であることから、**KB** マップの利用可能性は十分であるとも判断できる。

3.13 結論

本研究では、**KB** マップと穴埋め問題を同一内容から生成できるシステムを作成し、授業実践による比較を行った。このことから、両者とも命題の再構成課題として扱え、**KB** マップ課題の方が深い思考を要し、理解の確認精度が高いことが明らかになった。このことより、同じ再構成課題においても、命題構造の可視化により学習効果に違いがあることが明らかになった。

第4章 論理構造部品-論理構造表現変換プロセスの演習システム(構造化演習)

4.1 前書き

本研究では、近年特に重要視されるようになってきている論理的思考力[13]に関してオープン情報構造アプローチが適用可能であると考え、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、その活動の効果を実験的に検証した。なお本研究は、論理的思考力の基盤として「論理の構造」に対する理解があり、その論理の構造についての理解を促進することが論理的思考力の向上に寄与するとの仮定のもとで行われたものであり、「論理的思考力とは」自体を直接的に論じることはできていない。

論理の構造を情報の構造として明示的に表現するモデルの一つとして Toulmin モデルが知られている[19]。本研究では、この Toulmin モデルの簡略化版としてしばしば用いられる「根拠」「理由づけ」「主張」の三つの要素で構成されるモデル（本稿では、三要素に簡略化された Toulmin モデルを「三角ロジックモデル」と呼ぶ）を用いて、この三角ロジックモデルで表現された論理構造を学習者が操作的に組み立てることができる演習環境を設計・開発した。この環境では、キットビルド方式[6]を採用することで、学習者の作成した論理構造の診断と診断に基づくフィードバックというインタラクティブ化を実現している。また、Toulmin モデルをベースとしたいくつかの研究は、この三要素の扱いでさえ多くの学習者にとって自明ではないことを指摘しており[20][21][22]、この構造に限定した演習にも十分意義があると判断している。

本研究ではこの演習環境の評価として、(1)実験群：プレテスト、システムを用いた演習、ポストテスト、(2)統制群：プレテスト、ポストテスト、の二つのグループを設けて比較を行ったところ、実験群でプレテストに対してポストテストの成績が有意（効果量大）に向上し、統制群において有意差がみられなかったことから、本演習の有効性が示唆された。なお、プレテスト、ポストテストとしては、国立教育政策研究所が実施した「特定の課題に関する調査（論理的な思考）」[37]を構成する、「特定の教科の内容に依らない論理的な思考に関する調査（調査 I）」および「数学的な表現形式を用いた論理的な思考に関する調査（調査 II）」のうち、調査 I を用いている。調査 II が「数学的表現形式による問題」とされているのに対して、調査 I は「一般的な表現形式による問題」とされており、自然言語を基本とし、グラフや表などが援用された問題表現となっている。

以下本稿では、まず操作対象とする情報構造としての論理の構造のモデルについて述べる。

次に、その構造の操作としての演習をインタラクティブに行うことのできる演習環境の設計開発について述べる。さらに、利用実験とその結果について述べる。

4.2 言語表現-論理構造変換プロセス

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。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。言語表現から論理構造へ変換するプロセスを考えると、思考の対象から情報構造を取り出す「言語表現から論理構造の部品への変換(分節化操作)」と、取り出された情報構造を操作する「論理構造の部品から論理構造への変換(構造化操作)」である。[16] 言語表現-論理構造変換プロセスの全体像を図 2.1 に示す。次に、対象とする論理構造である三角ロジックモデルについて述べる。

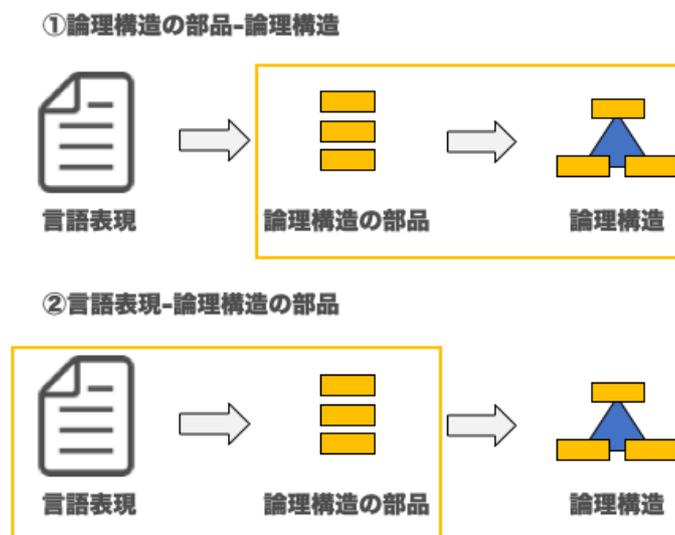


図 4.1 言語表現-論理構造変換プロセス全体図

4.3 三角ロジックモデル

本節では、論理構造を情報構造として表現した先行研究である Toulmin モデルについて述べた後、(A) 三要素への限定、(B) 三段論法への限定、(C) 組み立てとしての構造操作へ

の限定, について述べ, さらに, このような限定の元での学習者によって組み立てられた論理構造の自動診断の可能性について説明する. さらに, 学習者の活動を組み立てに限定することの妥当性についても述べる.

4.3.1 Toulmin モデル

Toulmin は何らかの主張を論理的に展開するためには, 主張・理由づけ・根拠・限定・反証・裏付けの 6 要素が構造的に関係づけられている必要があるとしたモデルを提唱しており, そのモデルは Toulmin モデルと呼ばれている[19]. 論理の構造をこの 6 要素で定式化することで, 論理を構成する要素や要素間の関係が明確化され, 構造自体の理解に役立つとともに, その正誤の判定や修正, さらに, 論理の組み立ての方法自体を学ぶことが可能になるとされている. この Toulmin モデルを論理的思考力の基準として全面的あるいは部分的に採用している研究は数多く存在する[20][21]. また, Toulmin モデルを演習環境に取り入れる試みも行われており, 例えば, Karsten はオンラインディスカッション用にシンプルな Toulmin モデルの枠組みで自由記述する形の演習環境を実装している[22]. しかしながら, 構成された論理構造を自動診断し即時的なフィードバックを返すといったインタラクティブ化を指向した研究は見当たらない. 本研究はこのインタラクティブ化を目指したものとなる.

4.3.2 三要素への限定

井上は, Toulmin の示した 6 項目のうち, 「根拠」と「理由づけ」と「主張」が論の骨組みであり, 「裏付け」「反証」「限定」の三つは一括して但し書きと考えた方が实际的に扱いやすいとしている[23]. また, 三要素を用いて論理の学習を行っている事例も多く存在する[24][25]. 本研究も, この三つの要素だけで構成できる論理構造に限定した上で, その演習化を試みている. 本論文では, この三要素を三角形の頂点に配置し, それぞれの要素を他の要素と結んだ構造的表現を三角ロジックモデルと呼んでいるが, その具体例を図 2.2 に示した(この事例は Toulmin モデルで標準的に用いられている例である). 三角形の各頂点は, それぞれ論理構造の特定の要素が割り当てられており, 底辺左の頂点に「根拠」, 底辺右の頂点に「理由づけ」, 底辺の対頂点に「主張」が割り当てられる.

本研究では, 取り扱う論理構造を三段論法に限定することで「根拠」, 「理由づけ」, 「主張」の構成要素とそれらの要素間の関係を定式化し, さらに三角形の各辺に推論としての意味付けを追加して, それぞれの推論を演習化していることが特徴となる. 次頁では, 更にこ

の三角ロジックモデルを三段論法を表現したものに限定する。また本論文では三角ロジックモデルのインスタンスとしての記述を三角ロジックと呼ぶ。

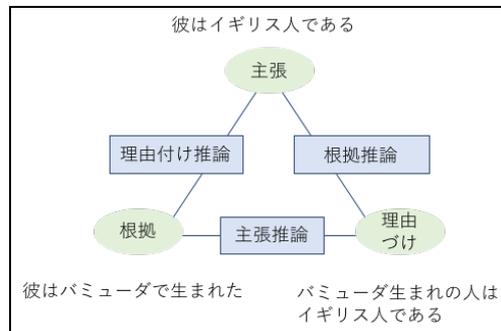


図 2.2 三角ロジックモデル

4.3.3 三段論法への限定

これまでの Toulmin モデルに関する研究では、構成された論理構造の妥当性は人が判断するものとされていたため、これらの三つの構成要素の満たすべき性質については厳密には定められていなかった。本研究では学習者が取り扱う論理構造を仮言的三段論法“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”, 定言的三段論法“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”に限定する。この場合、根拠が“A→B/A→B”, 理由づけが“B→C/B→C”, 主張が“A→C/A→C”となる。これら三つはそれぞれ命題となっており、ここで取り扱う論理構造は三つの命題から構成されることになる。また、命題を構成する A, B, C を本稿では命題要素と呼ぶ。図 1 の例 (Toulmin が用いた例) であれば、A: 彼, B:バミューダ生まれ, C:イギリス人, となる。三段論法は演繹推論の代表例として学ばれるものであり、これを取り扱えるようにすることは意義があると判断している。

三角ロジックモデルで取り扱う論理構造を三段論法で記述可能なものに限定することで、三角ロジックを構成する部品と部品間の関係が定式化されることになる。よって、教材の用意が容易となり、さらに、学習者の組み立てた論理構造の診断やフィードバックが設計可能となる。また、この三角ロジックモデルにおいては、三段論法が成立していることを前提として、図 2.2 のように、(1) 主張推論, (2) 理由づけ推論, (3) 根拠推論, の 3 つを定義する事ができる。これらは、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であり、主張推論は、根拠と理由づけから主張を導くことであり、三段論法そのものとなる。理由づけ推論も、対応する主張と根拠が決定されていれば、理由づけを導くことが可能となる。根拠推論についても同様となる。

なお、三段論法に限定することで、従来三要素を用いて取り扱われていた事例を直接扱えない場合がでてくる。たとえば、図 2.2 の例において、「バミューダで生まれた」を「イギ

リス領で生まれた」に抽象化し、「イギリス領で生まれた人はイギリス人である」という、より一般的な理由づけを用いるような事例を考えてみる。三段論法として考えると、「バミューダで生まれた人」が「イギリス領で生まれた人」であることは自明ではなく、それを導くための理由づけが追加が必要となる。本研究では、「バミューダで生まれた人は、イギリス領で生まれた人である」という理由づけを用いて、「彼はバミューダで生まれた」を根拠として、「彼はイギリス領で生まれた」を主張として導き、さらに、この主張を根拠として、「イギリス領で生まれた人はイギリス人である」を理由づけとすることで、「彼はイギリス人である」という主張を導けると表現することになる。図 2.3 に、上記論理を三角ロジックで表現した例を示す。記述自体の柔軟性は失われることになるものの、論理の構造としては厳密なものになっているといえるので、妥当な制限であると判断している。

また、本研究の範囲では、三段論法における定言と仮言の違いは考慮していない。論理構造を意味的に解釈するためには、定言と仮言の違いは重要となるが、三角ロジックモデルで表現される論理の構造においては両者を区別する必要がないとの考え方からである。また、三段論法の一つとされる選言的三段論法を現在扱っていない。選言的三段論法においても、 $(A \vee B) \wedge (\neg B) \vdash A$ と命題や命題要素が定式化されているため取り扱いが可能であると思われる。この取り扱いの実現についても、今後の課題となっている。

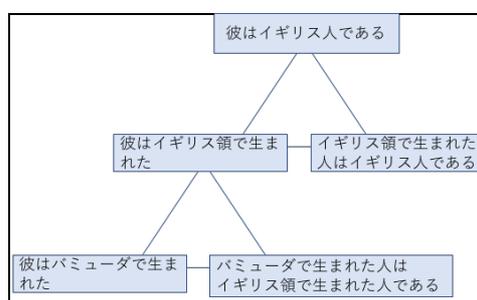


図 2.3 「彼はイギリス人である」を導く三角ロジック

4.3.4 論理構造の組み立て操作

本研究では、予め教授者が正解となる論理構造を三角ロジックモデルに基づいて記述する（教授者三角ロジックと呼ぶ。図 2.4(1)）。作成された教授者三角ロジックは三段論法を構成しており、左底辺に根拠に相当する命題，右底辺に理由づけに相当する命題，底辺の対頂点に主張に相当する命題が配置される。この際，この命題及び配置が正しいかどうかについては，教授者が保証する必要がある，現在のところ教授者三角ロジック自体の妥当性を診断する機能は用意されていない。

教授者三角ロジックが作成されると、これを分解することで三つの命題を取り出すことができる。この三つの命題を再構成して三角ロジックを組み立てるためには、三つの命題の関係を表す三角形の枠組み（三角ロジックフレームと呼ぶ）も必要となる。命題と三角ロジックフレームのセットをキット（図 2.4(2)）と呼ぶ。学習者にこのキットを提供し、このキットから妥当な論理構造を組み立てるのが、本演習における学習者の活動となる。学習者の組み立てた三角ロジックについては、学習者三角ロジックと呼ぶ。

一つの教授者三角ロジックを分解して作られるキット（三つの命題と一つの三角ロジックフレーム）から、 $3 \times 2 \times 1 = 6$ 通りの三角ロジックを組み立てる事ができる。三つの命題は三段論法を構成するものであり、正解は一つしか作成することはできない。図 2.4(3)の d)に間違った論理構造の組み立て例を示している。この例では、根拠に配置すべき命題と理由づけに配置すべき命題を間違っており、三段論法を構成できていない。また、演習環境で設計した課題では3個のダミーの命題を追加しているので、 $6 \times 5 \times 4 = 120$ 通りとなっており、論理の構造を考えずに再構成することが難しい課題となっている。

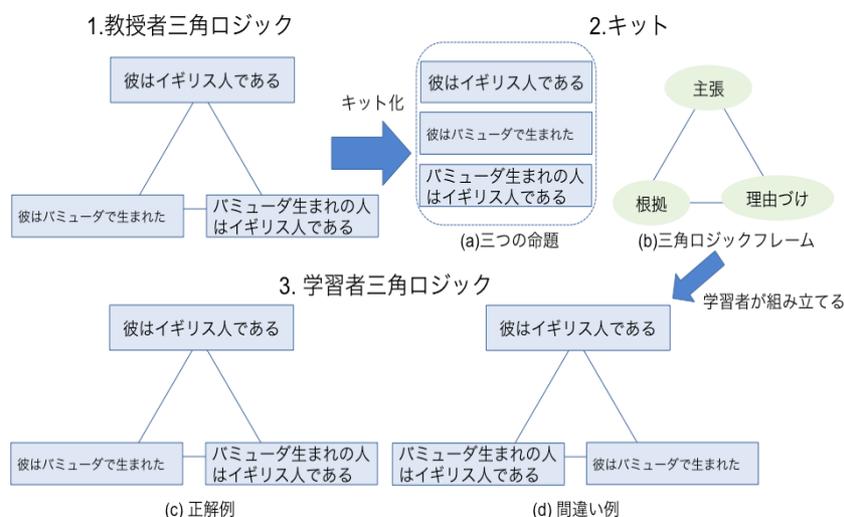


図 2.4 三角ロジック組み立てのフロー

4.3.5 学習者三角ロジックの診断

学習者三角ロジックの診断は、根拠、理由づけ、主張に配置されている命題を、教授者三角ロジックのものと比較することにより行うことができる。扱う論理の構造を三段論法に限定し、個々の命題の命題要素も明確化しているため、教授者三角ロジックの構成要素の組み合わせによる別解は存在しない。ダミーカードについては、教授者三角ロジックの構成要素に幾つかの方法で摂動[26]を加えることによって生成しており、それらの命題の性質

を踏まえた上で、ダミー命題として追加しているため、それらを用いた別解は、発生しないようにしている。

学習者三角ロジックの根拠、理由づけ、主張に配置された命題が、教授者三角ロジックと異なっている場合、学習者三角ロジックが誤っていると判定される。さらに、三角ロジックのどの部分が誤っているかの特定も可能となる。この診断によって、正誤判定および間違っている場合に修正対象となる箇所の指摘、までが行える。

なお、この診断は部品の組み立てに学習者の操作を限定することにより可能になっているが、同時に、個々の命題自体の生成・操作や、学習者独自に論理構造を作成することはできない。このトレードオフについては、次節で考察する。

4.3.6 組み立てに限定することの妥当性

キットビルド方式では部品は提供されているため、提供されている部品のそれぞれが何であるかを「認識」することは必要となるが、学習者自身がその部品自体を「生成・操作」することは許されていない。このような制限をすることで、(1)学習者の組み立てた論理構造の診断が可能となり、インタラクティブ化が実現できる、(2)部品自体の生成や操作に対する負荷が軽減され、学習者が構造に対して集中することができる、というメリットが期待できる。このメリットは、前述の算数文章題の事例においては、キットビルド方式を採用することで、文章題の構成部品を学習者自らが生成する負荷をなくし、より負荷が軽いと考えられる認識に置き換えることで、活発な作問活動を可能にし、また、構造に集中した活動を可能にしたと考察されている。このことは、学習障害を持つ学習者に対しても効果があったことから傍証される[7][27]。認知負荷理論[28]は、学習目標に応じて、学習者にどのような負荷をかけることが適切であるかは変わってくることを指摘している。学習者にかかる論理構造組み立てについての認知的負荷を考えると、ディベート／作文は論理構造を組み立てる活動であるが、組み立てるべき論理自体を考案することがまず求められ、また、多くの認知的負荷がかかる活動になると思われる。組み立てるべき論理自体の考案が主眼であれば、この過程に大きな認知的負荷がかかることは適切と言えるが、論理構造に対する理解を主眼においた場合、論理自体を考案する過程に大きな認知的負荷がかかることは必ずしも適切とはいえない。キットビルド方式は、論理の考案の過程に負担をかけずに構造について考えさせることを可能にする方法であり、本研究の目的に合致した方式と言える。デメリットとしては、(I) 個々の命題の妥当性の吟味が行われず、(II) 学習者独自の論理構造が作成できない、ということが指摘できる。(I)に関しては、個々の命題の妥当性はドメインに関する知識が必要となるものであり、特定のトピック／単元を教える中で論理的思考を学ぶ上では必然的に含まれるものとなるが、論理構造自体を教えることを目的とした場合には、大きなデメリットではないと判断している。本研究で用いているテストの名称が、「特定の教科の内容に依らない論理的な思考に関する調査」であるこ

ともこのことの傍証になっている。(II)に関しては、本研究は論理構造自体を学ぶという論理的思考力育成における初期段階の演習と位置付けることで、大きな問題ではないと考えている。

4.4 構造化演習

本章では、三角ロジックモデルに基づき開発した論理組み立て演習環境について説明する。この演習環境では、(1) 提示された三角ロジックの正誤判定を行う演習(正誤判定演習)、(2) 三角ロジックを提供された部品を使って組み立てる演習(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、(2-1)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(主張推論、理由づけ推論、根拠推論に対応する)(組み立て演習1)、(2-2)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(組み立て演習2)、(2-3)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(組み立て演習3)を実装している。以下、それぞれの演習について概説する。

4.4.1 正誤判定演習

正誤判定演習の演習画面を図 4.1 に示す。この演習では学習者は提示された三角ロジックの正誤を判定する。また、誤りの場合には、一箇所だけ命題が不適切であるようにしてあるため、その一箇所を学習者に指定させる。提示された三角ロジックが正しい場合は、画面左側にある「あっている」ボタンを選択する。誤りの場合は、三角ロジック中の間違っ

ている命題を選択した上で、左側の「間違えている」ボタンを選択する。具体的に図 4 の例は、根拠の「カツオは魚である」と主張「カツオは泳ぐ」の 2 つは、理由づけ「魚は泳ぐ」があれば正しい三角ロジックとなるが、ここでは理由づけに「泳ぐのは魚である」が配置されているため、これが誤りとなる。この配置で一箇所だけ入れ替えて正しくできるのは、理由づけだけであり、箇所の特定が可能である。診断は正誤のみで行っており、フィードバックも正誤のみになっている。間違っていた場合には、再度の回答を学習者に要求し、正解になるまで回答を繰り返させるようにしている。正解の場合は、次の問題に進む。この演習は与えられた三角ロジックの正誤判定であるので、組み立て演習への導入と位置づけている。

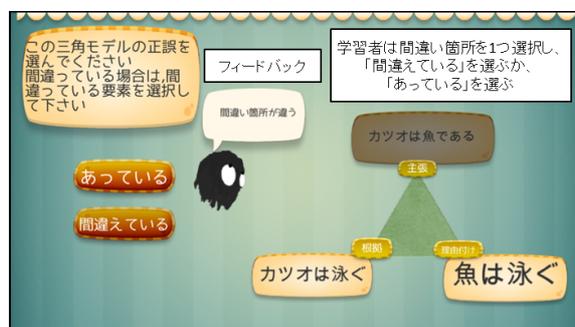


図 4.2 演習環境の画面:判定演習

4.4.2 組み立て演習 1

組み立て演習 1 では、二つの命題が与えられた三角ロジックに対して、残り 1 個の命題を与えられた命題リストから選択して配置する。三角ロジックのどこを空欄にするかによって以下の三つの演習に分けることができ、(1)主張推論：与えられた根拠と理由づけから適切な主張を選択する、(2)理由づけ推論：与えられた根拠と主張から、適切な理由づけを選択する、(3)根拠推論：与えられた理由づけと主張から、適切な根拠を選択する。図 4.2 は主張推論の例に相当し、根拠と理由づけに命題（カード）がすでに配置されている三角ロジックが提示されており、主張の部分が空欄となっている。この空欄に、左側に並べられた命題のリスト（カード）から適切なカードをドラッグ&ドロップ操作で選択・配置する。この演習は、予め配置されている命題と整合性のある論理構造となるように一つだけ命題を選択するものであり、単純化された組み立て演習と位置づけている。この演習に行っている診断は正誤だけであり、フィードバックも正誤だけとなる。この演習においても、正解となるまで回答を繰り返させ、正解となると、次の問題が提示される。



図 4.3 組み立て演習の画面

4.4.3 組み立て演習 2

組み立て演習 2 としては、(1)与えられた根拠に対して、理由づけと主張を組み立てる、(2)与えられた理由づけに対して、根拠と主張を組み立てる、(3)与えられた主張に対して、根拠と理由づけを組み立てる、の三種類の演習を実装している。図 5 において、例えば三角ロジックフレームの理由づけのところに配置されているカード(命題)が、左のカードのリストに存在するところからスタートするのが、組み立て演習 2 の(1)となる。この場合、すでに根拠に配置されている「ヘリウムは希ガスである」を根拠としつつ、与えられている命題中からどの命題をそれぞれ理由づけ及び主張とすることで、正しい論理構造を組み立てることができるかを考える課題となっている。

間違いの場合は、学習者が配置した二つの命題のいずれか、もしくは一方が間違っているということになり、フィードバックとしては、間違いの箇所を指摘する。例えば、主張に配置した命題が間違っていれば、「主張が間違っています」というメッセージを表示する。この演習においても、正解にあるまで回答を繰り返させ、正解となると次の問題が提示される。

4.4.4 組み立て演習 3

組み立て演習 3 では、三つの命題を三角ロジックフレームに配置することが課題となる。例えば、根拠および理由づけに配置されている二つのカードが左のカードリストにあり、三角ロジックフレームに三か所空欄が存在する状態が演習のスタートとなる。すべての命題を学習者自身が配置する必要があることから、最も難しい課題と位置づけている。診断及びフィードバックについては、組み立て演習 2 と同様である。

4.4.5 ダミー命題

本演習環境で用いたダミー命題は、以下のような手順で教授者三角ロジックの作成者が作成した。

(1)教授者三角ロジックの命題を命題要素に分解し、それらを組み合わせた命題を作成した。たとえば、教授者三角ロジックが“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”であるとした場合、A, B, C を命題要素として、教授者三角ロジックにない命題を作成し、ダミー命題候補とした。つまり、 $B→A$, $C→B$, $C→A$ がダミー命題候補となる。

(2)教授者三角ロジックの命題が論理的包含 (A→B) の形式であることから、前提を否定に入れ替えたもの(¬A→B), 帰結を否定に入れ替えたもの (A→¬B) をダミー命題候補とした。

(3)正しい命題が (A→B) の場合に、A や B の命題要素と概念的に近い命題要素に置き換えることでダミー命題候補を作成した。

なお、ダミーカードの設定によっては、複数の正しい三角ロジックを作らせる演習も設定可能である。たとえば、上記(1)の例で、 $C→A$, $C→B$ をダミーとして用いれば、元からある命題 $A→B$ を用いることで、“(C→A) ∧ (A→B) ⊢ (C→B)”を作成することが可能となる。しかしながら現在の演習環境では、(i)演習課題としての難易度が上がる、(ii)教授者三角ロジック以外を扱う必要が生じ、個々の命題の妥当性が問題となってくる、ことから、単一の論理構造しか作成できないようにダミーの選択を行っている。

4.5 構造化演習の言語論理における評価実験

本章では評価実験について述べる。

4.5.1 実験概要

本演習が、(i)論理的思考を要する演習になっているか、(ii)学習者の論理的思考力育成に効果があるか、を検証するために、評価実験を行った。(i)に関しては、大学生に対するシステム評価アンケート及び演習環境の利用時間と論理的思考力に関する調査問題を用いたプレテスト、ポストテスト(以下、テストと表記する)の成績の相関、及びフロー調査・認知度調査[36]に基づいて評価した。(ii)については、テストの結果から調査した。

4.5.2 手順

被験者は情報工学系の大学生・大学院生 31 名である。大学生はすべて 4 年生であり、授業としての学部教育は修了している。大学院生は全員学部においても情報工学系の学部教育を受けている。情報工学系の授業は論理的思考力の向上に有用な活動であるとされているプログラミングが重要な柱になっており、一般的な意味において論理的思考力に関する訓練を受けているとみなせる被験者群である。被験者の内訳は演習環境を利用する実験群 15 名と、演習環境を利用しない統制群 16 名である。実験群における手順は、(1)プレテスト、(2)プレテストの 7 日後の演習環境の利用、(3)演習環境利用直後のポストテストおよびシステム評価アンケート・フロー調査・認知度調査となっている。統制群は、(1)プレテスト、(2)プレテストの 7 日後のポストテストとなっている。

プレ・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[37]。今回は大学生以上に用いるということ、また事前に大学生を対象に行った問題のみを解かせる予備調査において約 40 分で回答できたことから、回答時間を 40 分に設定した。

実験群においては、(2)の演習環境の利用の前に、三角ロジックモデル自体の説明、および、演習環境の使い方の説明を約 10 分間使って行っている。三角ロジックモデルの説明は、事例を用いて、根拠、理由づけ、主張の役割を、それらの三角形の各頂点への割り当てについて説明した。この際、間違っただ角ロジックの事例も説明しており、この説明は正誤判定演習に対応するものとなっている。演習環境の使い方としては、事例を用いて、三角形の各空欄に対して、カードを割り当てることで三角ロジックを完成させる演習を行うことを説明している。間違っただ場合のフィードバックについても事例を見せて説明した。なお、演習に臨む態度、たとえば、じっくり考えよ、あるいはなるべく試行錯誤を繰り返すように、といったような指示はしなかった。また、実験の最中においてシステム利用自体についての質問は出なかった。

演習環境には 8 つの課題を実装しており、8 つ全ての課題に正解するまでの時間を計測し、演習環境利用時間とした。学習者は課題を正解するまで次の課題に進めないようになっている。8 つの課題の内訳は、判定演習が 1 問、組み立て演習 1 が 3 問（3 種類）、組み立て演習 3 が 4 問となっている。課題の種類は、対象が大学生以上であることを考慮し、難易度の高いと考えられる論理構成演習 3 を基本とした。演習環境利用前に行った説明は、三角ロジックの事例を示し、三角形のそれぞれの位置に根拠、理由づけ、主張が配置されることと、それらが論理構造において異なって意味を持つことを説明した。さらに、演習環境を使った三角ロジックの組み立て方についても説明した。

4.5.3 結果

本節では、まず演習の学習効果の評価として、プレテストとポストテストの結果の分析を行う。さらに、演習課題が論理的思考を必要とする課題になっていたのかを評価するために、演習時間とテスト結果の関係を分析する。さらに、これらの結果の妥当性の傍証として、システム評価アンケート結果およびフロー調査を分析する。

4.5.4 テスト結果の分析

プレテスト及びポストテストの結果を表 4.1 に示す。演習環境利用の有無を被験者間要因、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、交互作用が有意であった ($p=0.000<0.001$)。下位検定 (ANOVA4 に組み込まれた Rayn 法) を行ったところ単純主効果として、プレテストにおいて実験群と統制群の有意差はなく ($p=0.059>0.05$)、ポストテストにおいて有意差が見られた ($p=0.020<0.05$)。また、実験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り ($p=0.000<0.001$)、効果量大 (Cohen's $d = 1.30$) となった。統制群においてプレテストとポストテストにおいて有意差は見られなかった ($p=0.840>0.05$)。今回、プレテスト、ポストテスト共に同じテストであったが、統制群の結果より、ポストテストの成績に対するプレテストを受けた効果はないと判断できる。したがって、実験群におけるポストテストの成績向上は、演習環境の効果であることが示唆される。また、今回の実験は、他の方法との比較とはなっていないが、効果量大であったことから演習環境を用いた演習が有力な方法であることが示唆される。

表 4.1 プレテストおよびポストテストの得点 (22 点満点)

	プレ(SD)	ポスト(SD)	p 値	効果量(Cohen's d)
実験群 (15 人)	12.6 (3.5)	16.7 (2.8)	0.000 <.001	大(1.3)
統制群 (16 人)	14.5 (2.2)	14.4 (1.9)	0.840 > .05	
p 値	0.0594 >.05	0.0203 <.05		

4.5.5 演習時間とテスト結果の分析

本演習では、学習者は正解となる論理構造を組み立てるまで次の課題に進めないようになっている。このため、今回の演習に関してはすべての被験者がクリアできたが、各被験

者で演習を終了するまでにかかった時間（演習時間）は異なったものになっている。本頁では、この演習時間とテスト結果の関係を分析する。なお、本実験での平均演習時間は 27.4 分 (SD=18.3) となり、比較的長時間の演習であったにもかかわらず、被験者で演習を脱落したものはいなかった。

演習時間とプレテスト、ポストテスト、およびプレテストとポストテストの成績差についての相関を表 4.2 に示す。演習時間とプレテストの成績に有意に高い負の相関が出ており、プレテストの時点で成績が悪い場合には、演習を終了するのに時間がかかっていることを示している。これは、演習が論理的思考を要するものになっていることを示唆する。また、成績が向上した後のポストテストにおいても同様に高い負の相関が現れており、プレテストとポストテストのスコアの差と演習時間にはほとんど相関がなく、全く関係が見られなかった。これらのことから、演習を短時間で完了できた（演習が簡単であった）場合でも、演習の完了に時間がかかった（演習が難しかった）場合でも学習効果があったことが示唆される。

表 4.2 システム利用時間と得点の相関

n=15	プレテスト得点	ポストテスト得点	得点変化
システム利用時間	-0.71 ($p=0.003$)	-0.79 ($p=0.0005$)	0.02 ($p=0.94$)

4.5.6 フロー体験・重要度認知調査

本実験において被験者が真剣に演習に取り組んだかどうかを調べる一つの方法として、フロー体験・重要度認知調査を演習直後に行った。この際用いた調査紙は、筆者らが過去に行ったいくつかの学習支援システム（リズム演習支援システム[38]、単視点 EBS システム（初等力学）[39]、多視点 EBS システム（初等力学）[40]）の実験的評価の際に用いたものと同様のものであり、Rheinberg らによって作成された Flow Short Scale[36]を日本語に訳したものである。

フロー体験・重要度認知度調査の結果を表 4.3 に示す。今回得られた数値を前述の同様の質問紙に対して得られた他の学習支援システムの実験的利用の際の数値と比べると、フロー体験の値は若干低いものの、重要性認知は高く出ており、熱心に取り組まれただけでなく、意義のある活動として認識されていたことが示唆される。

表 4.3 フロー体験調査結果

	リズム演習 [38]	単視点 EBS [39]	多視点 EBS [40]	本演習
フロー	5.0	4.8	4.8	4.5
重要性 認知	3.2	3.8	3.5	4.2

4.5.7 システム利用に関する主観調査

フロー体験・重要度認知調査に続いて、今回のシステムを利用した演習についての被験者の感想を質問項目に対する5件法（1:まったくそう思わない, 2:そう思わない, 3:どちらでもない, 4:そう思う, 5:とてもそう思う）で回答してもらった。質問項目およびその結果を表4.4に示した。

結果として、(1)の論理的思考力を必要とする演習になっているか、および(2)の論理的思考力を鍛える演習になっているか、については、高い同意が得られ、否定的意見（1もしくは2）は見られなかった。このことから、三角ロジックを組み立てるという活動の有用性が認められたと判断できる。(3)は従来の課題と比べた場合の有用性を質問しているが、「従来の課題」とは何か明確ではなかったため、“3:どちらでもない”，という回答が8件あったが、他はすべて肯定的な回答であり、これも本演習の有用性が認められたことを示唆している。(4)は活動がうまく行えたかという問いであり、若干低い値となり、また、否定的意見も2件あった。これは課題自体の難しさも含まれた質問となっており、否定的意見は本演習自体の否定を意味していないと判断することができる。

(5)は本演習環境のフィードバックに対する評価となっているが、評価は比較的低かった。本演習におけるフィードバックでは、正誤判定および誤り箇所の指摘のみを行っており、このフィードバックに従って被験者は全課題を終了している。正誤判定および誤り箇所の指摘がおかしいとの指摘はなかったことから、正誤判定および誤り箇所の指摘については妥当なものであったと判断している。このためシステム評価アンケート項目の値は、誤り修正支援としては十分ではなかったことを示していると思われる。学習者の誤りに応じてその修正を誘導するようなフィードバックの設計・開発は今後の重要な課題となる。(6)は本演習を行う上で専門知識が必要かどうかを問うたものであるが、これについてはほとんどの被験者が否定的であった。本演習は、専門知識ではなく論理の構造に頼って解答することを指向しているものであり、この目標に沿った演習になっていることを示唆する結果となっている。

表 4.4 システム利用に関する主観調査結果

質問文(n=15)	回答の平均値
(1)このシステムは、論理的思考力を要求すると思いますか	4.4
(2)このシステムで論理的思考力が鍛えられたと思いますか	4.1
(3)このシステムは従来の論理的思考を要する課題と比べて妥当性があると思いますか	3.8
(4)根拠と理由付けから主張、主張と理由付けから根拠、主張と根拠から理由付けといった推論を行えましたか？	3.6
(5) このシステムのフィードバックは適切だと思いますか	3.0
(6) システムを使う上で専門知識が必要でしたか	2.0

4.5.8 実験結果に対する考察

テストスコアの分析より、統制群ではプレとポストでテストスコアの変化が見られなかったのに対して、実験群では効果量大となるテストスコアの変化が見られた。統制群と実験群の違いは演習の有無だけであるので、演習が今回用いたテストのスコア向上に効果があったことが示されたといえる。今回用いたテストが論理的思考力を測るものとされていることから、本演習が論理的思考力の向上に効果があることが示唆される。

プレテストのスコアと演習時間に有意で強い負の相関があることから、プレテストのスコアとして測定されている能力が本演習を遂行する上でも求められていることを示している。このことは、本演習が論理的思考力の活用を被験者に求めるものになっていることと解釈できるので、本演習の妥当性を裏付けるものとなっている。

また、ポストテストのスコアと演習時間にも有意で強い負の相関が見られたこと、および、得点変化と演習時間については相関が見られなかったことから、演習を短時間で完了できた（演習が簡単であった）場合でも、演習の完了に時間がかかった（演習が難しかった）場合でも学習効果があったことが示唆される。このことから、少なくとも今回の被

験者群に対して、論理的思考力の高低に関係なく、妥当な演習になっていたことが示唆される。

次に、システム利用に関する主観調査の結果について考察する。質問項目(1)、(2)および(3)の結果から、三角ロジックを組み立てるという活動の有用性が認められたと判断できる。(4)については、課題自体の難しさも含まれた質問となっており、否定的意見は本演習自体の否定を意味していないと判断することができる。(5)について、本演習におけるフィードバックでは、正誤判定および誤り箇所の指摘のみを行っており、このフィードバックに従って被験者は全課題を終了している。正誤判定および誤り箇所の指摘がおかしいとの指摘はなかったことから、正誤判定および誤り箇所の指摘については妥当なものであったと判断している。このためシステム評価アンケート項目の値は、誤り修正支援としては十分ではなかったことを示していると思われる。学習者の誤りに応じてその修正を誘導するようなフィードバックの設計・開発は今後の重要な課題となる。(6)について、本演習は、専門知識ではなく論理の構造に頼って解答することを指向しているものであり、この目標に沿った演習になっていることを示唆する結果となっている。これらの結果は、論理的思考力の育成を目指して本演習の主旨を被験者が受け入れていることを示唆している。

以上のことから、本実験を通して、本演習が(i) 学習者の論理的思考力育成に効果があること、および、(ii)論理的思考を要する演習になっていること、を確認できたと判断している。また、5・3・5で述べたフロー体験調査の結果も、活動に対する没入感については先行研究の値よりも低いものの、重要性認知に関しては高い値を示しており、被験者が今回の演習を意義のある活動と捉えていたことを示している。

4.5.9 正解率が上昇した問題に対する追加分析

本実験は、前述の学習効果と演習の妥当性の検証のために行い、それについては検証できたと判断している。本節では、さらに、実験群においてテストの得点が向上した問題には一定の傾向が見られるのではないかと考え、実験結果から得られる問題ごとの正解率の違いから特に正解率が向上した問題を追加的に分析したので、その結果を説明する。

実験群における改善率(ポストテストの正答率/プレテストの正答率)の平均改善率は146.5%であった。この平均改善率を超えた改善率が見られた問題のうち、ポストテストでの正解人数が10人を超えているものが4問あったので、これらは顕著に効果があった問題とってよいと考え、分析の対象とした。分析としては、それらの問題に対する三角ロジックを記述できるかどうかを調べたところ、これらすべての問題において三角ロジックを記述することができ、かつ回答を導くために利用できることがわかった。最も改善率が高かった問題例を図4.3に示す(この問題は問いが二つ含まれているので、2問分となる。それぞれのプレとポストのスコアは、プレ: 6, 8, ポスト: 13, 14であった)。この問題に対して、図4.4, 図4.5のような三角ロジックを作成することができる。この問題には、死者数

が減少に転じる時期においても事故件数と負傷者数が増加しているグラフが添付されており、図7にあるように「事故件数と負傷者数はなかなか減らなかった」は、「事故件数と負傷者数が増える」ことを意味していると解釈できる。なお、図4.4においては、同じ意味の命題の置き換えが発生しており、演習システムへの実装は今後の課題になっている。ここで、図4.4および図4.5の三角ロジックは、“ $(P \wedge (P \rightarrow Q)) \vdash Q$ ”というモーダスポネンスの形式となっており、本演習での三段論法よりも基本的な形式の論理構造となっている。このことは、モーダスポネンス形式の論理構造に関しても演習を用意する必要があることを示唆するものといえる。

Bさん：私は、この30年間で販売されてきた自動車の台数と品質に関係があると思います。つまり、[①]ので事故件数と負傷者数はなかなか減らなかったけれども、[②]ので死者数は減ってきたということです。

問題：Bさんは、「つまり」以下で、どのような事実関係を述べることになるか。
空欄[①][②]に当てはまる言葉をそれぞれ書きなさい。

図4.4 調査問題の例(問①および問②)

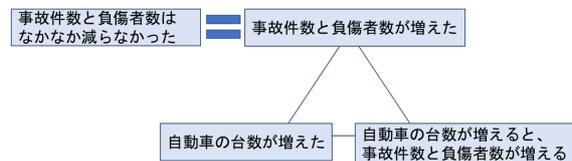


図4.5 問①についての三角ロジック

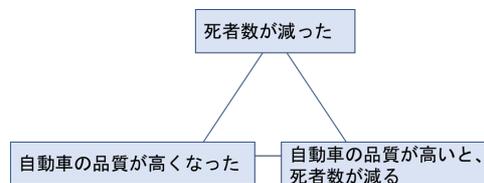


図4.6 問②についての三角ロジック

第5章 言語表現-論理構造部品プロセス演習システム(分節化演習)

5.1 前書き

論理的思考力[13]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。そこで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 [14]を適用することによる学習効果を確認した[15]。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。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。[16]

構造化操作に関しては、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。[16]

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。

筆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[17]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、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。[18]

第二章では、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。第三章で実験とその結果について述べ、第四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。

5.2 分節化演習システム

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 5.1 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 3 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え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 3 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 3 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で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。

3 つの命題を作り終わった学習者は、構造化に進む。構造化演習で間違えた時のシステム画面を図 5.2 に示した。

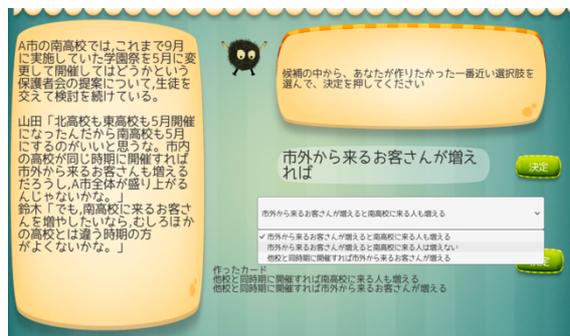


図 5.1 分節化演習のシステム画面



図 5.2 構造化演習画面で間違えた時のシステム画面

5.3 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。

5.4 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)構造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[37]。回答時間は 45 分、44 点満点に設定した。先行研究[18](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。

5.5 結果と分析

本章では実験の結果と分析について述べる。

5.5.1 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。

5.5.2 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($p = 0.6838 > .05$)。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 ($p = 0.947 > .05$)、ポストテストにおいても有意差は無かった ($p = 0.641 > .05$)。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 ($p = 0.024 < .05$)。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 ($p = 0.008 < .05$)。

5.5.3 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 5.1 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 5.1 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>.05	0.0024<.01

5.6 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みられ、また両群に差がみ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[18]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、交互作用がでて(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。

第6章 結論

本研究では、オープン情報構造アプローチの、ドメインごとに情報構造を定義する必要があるため、適用範囲が制限されるという課題に取り組んだ。具体的には学習対象の情報構造を概念マップの形で表現する **Kit-Build** 概念マップの学習効果の有効性を比較的实验により示した。また、概念マップでは論理を表現できないため、新たに三角ロジックモデルという論理構造を定義し、その構造を組み立てる活動を通して論理的思考力についての学習を行う演習支援システムを設計開発し、その有効性を比較实验により示した。これらの結果により、今後は概念マップと論理構造という汎用的に表現できる形で、オープン情報構造アプローチを様々なドメインに対して適用することが可能になった。

参考文献

- [1] 駒林 邦男:「知的行為の多段階形成理論」研究覚書, 岩手大学教育学部研究年報, 31.1-86(1971).
- [2] Papert, S.: Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas, New York: Basic Books(1980).
- [3] Carbonell, J. R.: Ai in CAI: an artificial intelligence approach to computer-assisted instruction. IEEE Transaction on Man-Machine Systems, Vol.11, No.4, pp.190-202(1970).
- [4] 平嶋 宗:学習課題の内容分析とそれに基づく学習支援システムの設計・開発:算数を事例として, 教育システム情報学会誌, Vol.30, No.1, pp.8-19(2013).
- [5] 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, 277-280(2015).
- [6] Hirashima, T., Hayashi, Y., Yamamoto, S. Maeda, K.: Bridging model between problem and solution representations in arithmetic/mathematics word problem, Proc. of ICCE2015, pp. 9-18, (2015).
- [7] 山元 翔, 神戸 健寛, 吉田 祐太, 前田 一誠, 平嶋 宗:教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクン Touch の開発と実践利用, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.10, pp.2440-2451(2013).
- [8] Horiguchi, T., Imai, T., Toumoto, T.and Hirashima, T.: Error-based simulation for error-awareness in learning mechanics: An evaluation, Journal of Educational Technology & Society, Vol.17, Issue 3, pp.1-13 (2014).
- [9] 平嶋 宗, 長田 卓哉, 杉原 康太, 中田 晋介, 舟生 日出男:キットビルド概念マップの小学校理科での授業内利用の試み, 教育システム情報学会誌, Vol.33, No.4, pp.164-175(2016).
- [10] Hirashima, T., Yamasaki, K., Fukuda, H., Funaoi, H.: Framework of kit-build concept map for automatic diagnosis and its preliminary use, research and practice in technology enhanced learning, 10:17(2015).
- [11] K Sugihara, T Osada, S Nakata, H Funaoi, T Hirashima: Experimental evaluation of Kit-Build concept map for science classes in an elementary school, Proc. ICCE2012, 17-24,(2012).
- [12] Kitamura, T., Hayashi, Y., Hirashima, T., Generation of Fill-in-the-blank Questions from Concept Map and Preliminary

参考文献

- Comparison between Multiple-Choice Task and Kit-Build Task, JSiSE 英文誌, Vol. 18 Issue 1, pp.11-15(2019).
- [13] 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).
- [14] 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).
- [15] 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 32(6),C-H14_1-12(2017).
- [16] 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).
- [17] Ausubel,DP: The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material ,Jounal of Educational Psychology,Vol.51,pp.267-272.(1960).
- [18] 北村拓也,平嶋宗: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, 人工知能学会論文誌 34(5),C (2019).
- [19] Toulmin, S.E.: The Uses of Argument, Updated Edition, Cambridge: Cambridge University Press(First published:1958)(2003).
- [20] 富田 英司, 丸野 俊一:思考としてのアーギュメントと研究の現在, Japanese Psychological Review , Vol.47, No.2, 187-209(2004).
- [21] 鈴木 宏昭 ほか:Toulmin モデルに準拠したレポートライティングのための協調学習環境, 京都大学高等教育研究(2007).
- [22] Karsten. S., Armin, W., Frank, F, :Facilitating argumentative knowledge construction with computer-supported collaboration scripts, Computer-Supported Collaborative Learning 2, 421-447(2007).
- [23] 井上 尚美 :言語論理教育入門—国語科 における思考, p.86-1, 明治図書(1989).
- [24] 堀江 祐爾, 成瀬 雅巳:思考力・判断力・表現力を育成するために言語活動を取り入れた効果的な指導方法の研究 : 論理的に「話す・聞く」「書く」指導をとおして, 平成 24・25 年度「理論と実践の融合」に関する共同研究活動成果報告書(2003).
- [25] 佐藤 かおり:論理的思考力・表現力を育成する指導—「思考の型」を用いた論理的文章指導—, 全国大学国語教育学会発表要旨集,Vol. 111, pp. 205-208 全国大学国語教育学会 (2006) .
- [26] 平嶋宗:学習者モデリングと適応的インタラクション, 人工知能学会誌, Vol.14,No.1,pp 17-24 (1999).
- [27] Yamamoto.S, Hirashima.T, and Ogiyama.A: Experimental use of learning environment by posing problem for learning disability, Proc. of ACIT2015, pp.101-112(2015).

参考文献

- [28] Sweller J., Van Merriënboer, J. J., and Paas F. G.: Cognitive architecture and instructional design, *Educational Psychology Review*, Vol.10, No.3, pp.251-296(1998).
- [29] T Hirashima, K Yamasaki, H Fukuda, H Funaoi: Kit-Build concept map for automatic diagnosis, *Proc. of Artificial automatic diagnosis, Proc. of Artificial Intelligence in Education 2011*, 466-468, (2011).
- [30] Hirashima T, Yamasaki K, Fukuda H and Funaoi H: Framework of Kit-Build concept map for automatic diagnosis and its preliminary use, *Research and Practice in Technology Enhanced Learning 2015*, 10:17, (2015).
- [31] Jeffrey D. Karpicke*, Janell R. Blunt, Retrieval Practice Produces More Learning than Elaborative Studying with Concept Mapping, *Science*: Vol. 331, Issue 6018, pp. 772-775(2011).
- [32] Learning with summaries: Effects of representation mode and type of learning activity on comprehension and transfer Claudia Leopold, Elke Sumfleth, Detlev Leutner *Learning and Instruction Volume 27*, October 2013, Pages 40–49
- [33] Studying a complex knowledge domain by exploration or explanation J. J. Beishuizen* *Issue Journal of Computer Assisted Learning Journal of Computer Assisted Learning Volume 8*, Issue 2, pages 104–117, January 1992
- [34] van Dijk, T. A. and Kintsch, W.(1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. New York: Academic Press.
- [35] RDFWorkingGroup:RDFSemantics,<http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-mt-20040210/>,(2004)
- [36] Rheinberg, F., Vollmeyer, R., and Engeser, S.: Measuring components of flow: The flow-short-scale. In Poster presented at the first international positive Psychology Summit, Washington, DC(2002).
- [37] 特定の課題に関する調査（論理的な思考）,
http://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei_ronri/(閲覧日:2017年1月14日).
- [38] 中川 響, 濱田 侑太郎, 山元 翔, 林 雄介, 平嶋宗:音楽リズム課題における単純化方略を用いた自己克服支援とその実験的評価, *電子情報通信学会論文誌 Vol.J98-D,No.1*, pp,142-152(2015).
- [39] 篠原 智哉, 今井 功, 東本 崇仁, 堀口 知也, 山田 敦士, 山元 翔, 林 雄介, 平嶋宗: 運動する物体にはたらく力を対象とした **Error-based Simulation** の中学校理科における実践利用, *電子情報通信学会論文誌, Vol.J99-D, No.4*, pp.439-451(2016).

参考文献

- [40] 山田 敦士, 篠原 智哉, 堀口 知也, 林 雄介, 平嶋 宗:多視点 Error-Based Simulation の設計・開発と実験的評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J99-D, No.12, pp.1158-1161 (2016).
- [41] 多鹿秀継: 算数文章題解決過程の分析, 愛知教育大学研究報告, 44, pp157-167, (1995).
- [42] Novak, J. D. and Canas, A. J.: “The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them”, Technical Report IHMC CmapTools (2006)
- [43] Hirashima, T., Nakano, A. and Takeuchi, A.: A diagnosis function of arithmetical word problem for learning by problem posing, PRICAI 2000 Topics in Artificial Intelligence, pp.745-755(2000).
- [44] 倉山めぐみ, 平嶋宗: 逆思考型を対象とした算数文章題の作問学習支援システムの設計開発と実践的利用, 人工知能学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.82-91(2012) .
- [45] 山元翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗: 教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクン Touch の開発と実践利用, 電子情報通信学会論文誌(D), Vol.J96-D, No.10, pp.2440-2451(2013) .