

令和5年度

修士論文

再構成型概念マップを対象とした

概念マップ作成過程の分析

指導教員 平嶋 宗 教授

広島大学大学院 博士課程前期

先進理工系科学研究科

先進理工系科学専攻 情報科学プログラム

M212285

長木 勇真

令和6年2月6日 提出

概要

概念マップとは、2つ以上の概念（ノード）とそれらの関係（リンク）から構成される命題の連結によって意味構造を表す図的表現である。この概念マップは知識や理解の整理・外化活動としての学習効果があり、またそれらを共有することもできる利点などから教育現場等での利用が行われている。作成されたマップは学習者の理解が反映されていることから、その評価に関しては様々な試みが行われており、その評価の有用性も認識されている。一方、作成プロセスに関しては、作成中のマップを見直して修正する活動が、自身の生成物に対する評価やその修正といった高次思考に属するとされることから、学習にとって重要であることは指摘されているが、これまでのところ定量的な分析の報告は見当たらない。これは、一般的な概念マップでは個々の学習者がそれぞれの言葉を用いて概念マップを作成するため、その分析が非常に困難であることに起因するといえる。再構成型概念マップは、教授者が学習者と共有したい理解状態を表したものとして作成した概念マップ（共有理解マップ：Shared Understanding Map）をノードとリンクに分解して部品化し、学習者にその部品からのマップの作成を行わせるものである。この再構成型概念マップでは、学習者の概念マップ（学習者マップ）と共有理解マップの構成要素が同じであるため、重畳により命題単位で学習者マップと共有理解マップを比較し差分（つまり命題としての誤り）を検出することが可能となる。本研究は、このような特徴を持った再構成型概念マップを対象とすることで、概念マップ作成過程の定量的な分析を試みるものである。

そこで本研究では再構成型概念マップを用いた実践利用において収集されたデータを用いて、学習者マップの作成過程の分析を行った。本研究では再構成型概念マップを用いた実践において収集されたデータを用いて、学習者マップの作成過程の分析を行った。データは、30名の大学生2年生による同一科目（プログラミング）におけるトピックの異なる3回のマップ作成を通して収集したものであり、それぞれのトピックに対する共有理解マップの規模は平均12.7命題であった。この3つのデータセットの分析は、マップスコアに対して影響を与える要因を調べることを目的とし、マップスコアと下記の要因との相関を分析した。なお本研究の分析におけるマップスコアは学習者マップで作成された命題のうち、共有理解マップと共通である命題数としている。

概要

- ・ 誤命題出現回数：作成した全命題のうち誤りである命題数
- ・ 所要時間：活動に費やした時間
- ・ 命題変更回数：すでに作成した命題に対して変更を行った回数
- ・ 誤命題変更回数：誤命題のうち命題変更の対象になった命題数
- ・ グラフ間距離：誤命題を作成した時に用いた2つのノードの共有理解マップ上での距離
- ・ 空間距離：誤命題を作成した時に用いた2つのノードの操作画面上での距離

結果として、まず、誤命題出現回数と命題変更回数を説明変数、マップスコアを目的変数とした重回帰分析において、3つのデータセットすべてにおいて、高い決定係数が得られた。命題変更の重要性が示唆されたため、追加分析としてマップスコアが中央値以上のグループと中央値未満との2つのグループ（上位グループ、下位グループ）に分け、命題変更後の命題の正誤状態の変化について調査した。この分析では、グループに関係なく、命題変更の大部分は誤った命題に対して行われていることが分かった。このことは、マップスコアに関係なく、マップに対する修正活動の対象となる個所は適切であったことを示唆する。また、所要時間、命題変更回数においてもスコア別のグループ間で違いがみられなかったことから、活動自体の活性度はマップスコアに関係していないことも示唆された。続いて誤命題出現回数（重複を除く）、誤命題変更回数を説明変数、マップスコアを目的変数として重回帰分析を行ったところ、3つのデータセット全てにおいて高い決定係数が得られた。この結果はマップスコアが低いことに対して、誤命題出現回数がプラスに、後命題変更回数がマイナスに寄与することを意味しており、従ってマップスコアが低いことは、誤った命題に対する見直しが局所的なものになっていることが示唆された。最後に、グラフ間距離と空間距離はそれぞれマップスコアとの間に有意な相関は見られなかった。またグラフ間距離に関して、スコア下位者においても全パターン距離より算出した平均値よりも小さい値を示したことから、誤りではあるものの正解の近傍で修正活動を行っていることが示唆された。これらの結果は従来から想定されている自己理解を反映するという概念マップ作成における効果が、再構成型概念マップにも同様に現れていることを示すものであり、また見直しが上手に行えていない学習者に対する支援の必要性を示唆するものだと考えられる。

目次

概要	ii
目次	iv
図索引	v
表索引	vi
第1章 はじめに	1
第2章 概念マップ	2
2. 1. 再構成型概念マップ	2
第3章 概念マップの作成過程分析	4
第4章 分析結果	10
4. 1 被験者	10
4. 2 分析項目とマップスコアとの相関分析	10
第5章 まとめ	26
謝辞	27
参考文献	28
付録	29

図索引

図 1：ノードとリンク及びそれらの構成によって構成される命題の例	2
図 2：再構成型概念マップイメージ	3
図 3：共通理解マップ例	6
図 4：共通理解マップの分解により得られる部品	6
図 5：学習者マップ例（マップスコア：1）	6
図 6：命題変更イメージ（変更前→変更後）	6
図 7：誤命題変更回数イメージ_変更前（誤命題数：2，誤命題変更回数：0）	7
図 8：誤命題変更回数イメージ_変更後（誤命題数：1，誤命題変更回数：1）	7
図 9：実験に利用した共有理解マップ	8
図 10：グラフ間距離が近い例（グラフ間距離が1の場合）	8
図 11：グラフ間距離が遠い例（グラフ間距離が5の場合）	9
図 12：空間距離のイメージ	9

表索引

表 1：マップ作成に関する項目	5
表 2：実験使用マップに関する項目とその値	10
表 3：各項目からマップスコアへの単回帰分析結果	11
表 4：各項目群からマップスコアへの重回帰分析結果	12
表 5：各変数の回帰係数と影響度（命題変更回数，誤命題出現回数）	13
表 6：命題変更による命題正誤状態に関する分析	14
表 7：誤りの検出力に関する項目の分析	16
表 8：誤りの検出力に関する重回帰分析（誤命題出現回数（重複を除く），誤命題変更回数）	17
表 9：各変数の回帰係数と影響度（誤命題出現回数（重複を除く），誤命題変更回数） ..	18
表 10：グラフ間距離に関する項目の分析	20
表 11：グラフ間距離に関する回帰分析	21
表 12：平均グラフ間距離に関する分析	22
表 13：マップ毎のランダム選択時平均グラフ間距離	23
表 14：空間距離に関する項目の分析	24
表 15：空間距離に関する回帰分析	25

第1章 はじめに

概念マップ[1]とは2つの概念（ノード）とそれらの関係（リンク）から構成される命題の連結によって意味構造を表す図的表現であり，このマップの作成は知識や理解の整理・外化活動としての学習効果が認められている．しかしマップの構成は学者依存であるため評価が困難であった．それに対して，概念マップ作成活動の1つである再構成型概念マップ（再構成型概念マップ）[2][3]では，教授者が作成したマップ（共有理解マップ）を分解することで，マップ作成のための必要十分な部品群（キット）を作成する．学習者はその部品の組立としてマップを作成するので，再構成終了後のマップと共有理解マップの差分を計算することで一致度（マップスコア）を求めることができるという利点を有しており概念マップの評価の困難さを解消している．従来の再構成型概念マップの研究ではこの一致度を学習者の理解度の指標として分析に用いていたが，本研究では学習者のマップの作成過程に注目し，どのような作成活動がマップの完成度へ影響を及ぼすのか，概念マップ作成に関する新たな傾向を見つけ，マップの作成に対する支援方法を探ることを目的としている．

マップの作成過程分析を行うにあたり，幾つかの項目を設定し，それらの項目とマップスコアとの関係について調べた．結果からの考察として，命題変更の大部分が誤命題に対して行われていること，すなわち自己理解を認知しながら作成を行なっていること，マップスコア下位者は誤った命題に対する見直しが局所的なものになってしまっていること，誤りではあるものの正解の近傍で修正活動を行っていること，無思考ではなく試行錯誤的な活動が行われていることなどが考えられる．これらの結果は従来から想定されている自己理解を反映するという概念マップ作成における効果が，再構成型概念マップにも同様に現れていることを示すものであり，また学習者に対する支援の必要性を示唆するものだと考えられる．以下本稿では，第2章において概念マップおよび再構成型の概念マップを実現した再構成型概念マップについて紹介する．第3章では概念マップ作成過程分析に用いた項目に関する説明を述べる．第4章で大学生30名を対象に行われた再構成型概念マップを用いた授業実践から得られたデータの分析結果について述べる．

第2章 概念マップ

概念マップとは、理解の図的表現の1つであり、概念（ノード）とそれらの関係（リンク）から構成される命題の連結によって意味構造を表す（図 1）。

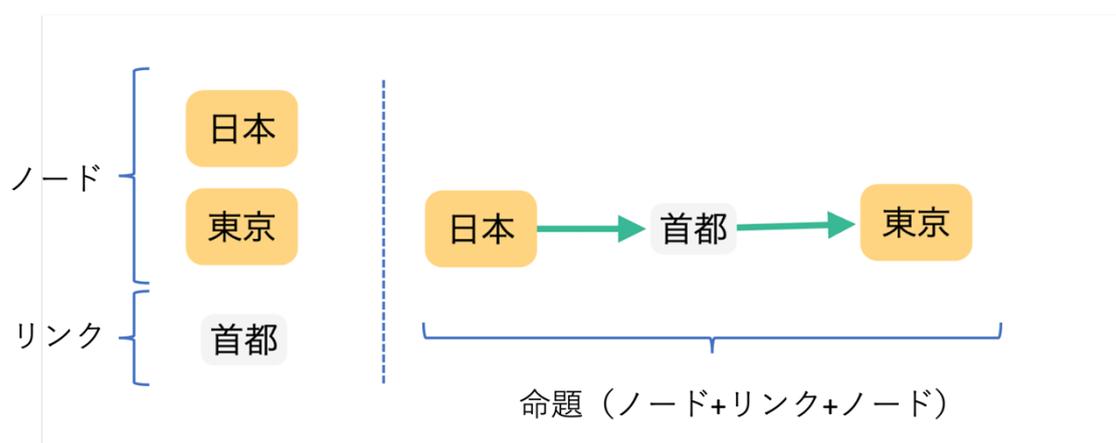


図 1: ノードとリンク及びそれらの構成によって構成される命題の例

図 1 のように日本と東京というノードを首都というリンクで結ぶことで“日本の首都は東京である”という命題を作成することができる。このマップの作成は知識や理解の整理・外化活動としての学習効果があり、またそれらを共有することもできる利点などから教育現場等での利用が行われている。作成されたマップは学習者の理解が反映されていることから、その評価に関しては様々な試みが行われており、その評価の有用性も認識されている。

一方、作成プロセスに関しては、作成中のマップを見直して修正する活動が、自身の生成物に対する評価やその修正といった高次思考に属するとされることから、学習者にとって重要であることが指摘されているが[4]、これまでのところ定量的な分析の報告は見当たらない。これは、一般的な概念マップでは、個々の学習者がそれぞれの言葉を用いて概念マップを作成するため、その分析が非常に困難であることに起因するといえる。

2. 1. 再構成型概念マップ

再構成型概念マップでは、あらかじめ教授者が用意したマップ（共有理解マップ）をノードとリンクへ分解して部品化し、その部品を用いて学習者が概念マップを再構成する

(図 2).

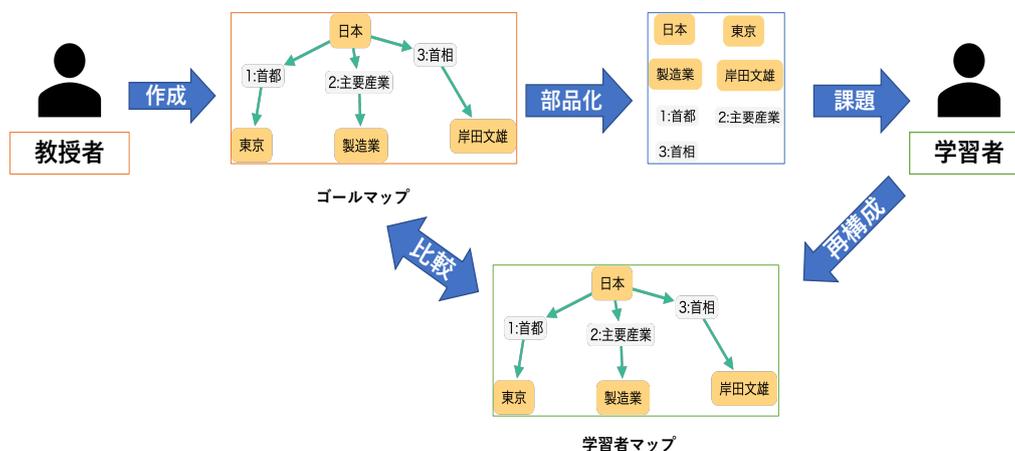


図 2：再構成型概念マップイメージ

この活動のメリットとして、教授者と学習者がマップ構成に使用する要素が同一であるため、マップの重畳によって両者の差分を抽出することが可能であり、従来の評価の困難さを解消している。差分比較により、学習者マップと共有理解マップとの一致度として再構成したマップにスコアを与えることができる。このスコアをマップスコアと呼び、ペーパーテストの成績と有意な強い相関があることが実践利用を通して確認されている[5][6]。本研究では、部品が同一でありマップの評価・分析が容易であるという特徴を持った再構成型概念マップを対象とすることで、概念マップ作成過程の定量的な分析を試みる。

第3章 概念マップの作成過程分析

本研究では、どのような作成活動がマップの完成度へ影響を及ぼすのかを調べるために、概念マップの作成過程分析を行うにあたって、マップ作成に関する以下の項目を設定（表 1）し、回帰分析を用いて各項目とマップスコアとの相関を調べる。そして、見つかった学習者の新たな傾向から支援の糸口を探る。

表 1：マップ作成に関する項目

分析項目	定義
マップスコア (図 3, 図 4, 図 5)	共有理解マップ (図 3) と学習者マップ (図 5) とを比較した時に一致している命題の数
誤命題出現回数	命題を誤って作成した回数
所要時間	活動を始めてからある命題を作成するまでに経過した時間
命題変更回数 (図 6)	既に作成した命題を変更した回数 例えば, “日本の主な輸入品は自動車である”という命題から “日本の主な輸入品は原油である”という命題への変更のように (図 6), 作成されている命題に対して変更を行なった場合にカウントする。
誤命題変更回数 (図 7, 図 8)	誤命題のうち, 命題変更の対象となった命題数 例えば, “日本の首都は大阪である”という誤りである命題 (図 7) から, “日本の首都は東京である”という命題への変更 (図 8) のように, 誤命題のうち命題変更の対象となった命題をカウントする したがって図 8 で示したマップは2つの誤命題を作成したのち, 1つの命題が見直しの対象とされたと考ええる
グラフ間距離 (図 9, 図 10, 図 11)	誤命題を作成した時に用いた2つのノードの共有理解マップ上での距離 共有理解マップにおけるノード元からノード先までの最短リンク数で算出する
空間距離 (図 12)	誤命題を作成したときに用いた2つのノードの操作画面上での距離 操作画面に割り振られた座標を抽出し, 2つのノードのユークリッド距離を算出

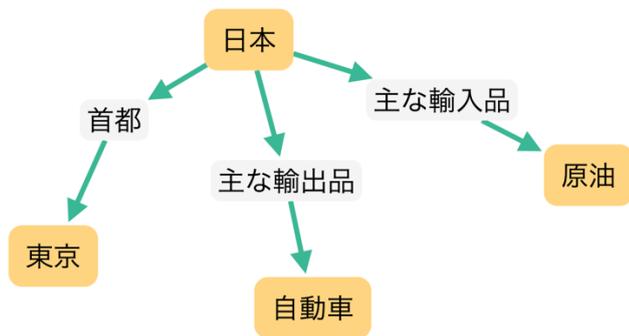


図 3：共通理解マップ例



図 4：共通理解マップの分解により得られる部品

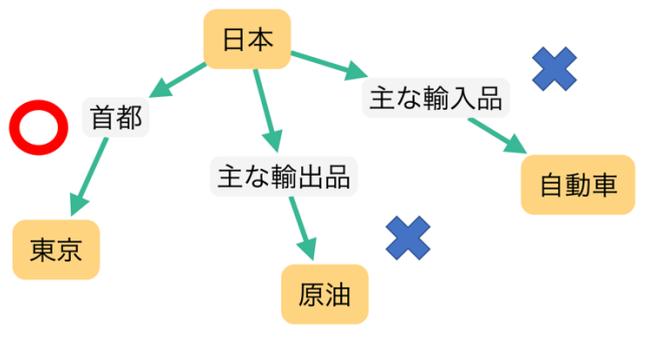


図 5：学習者マップ例（マップスコア：1）

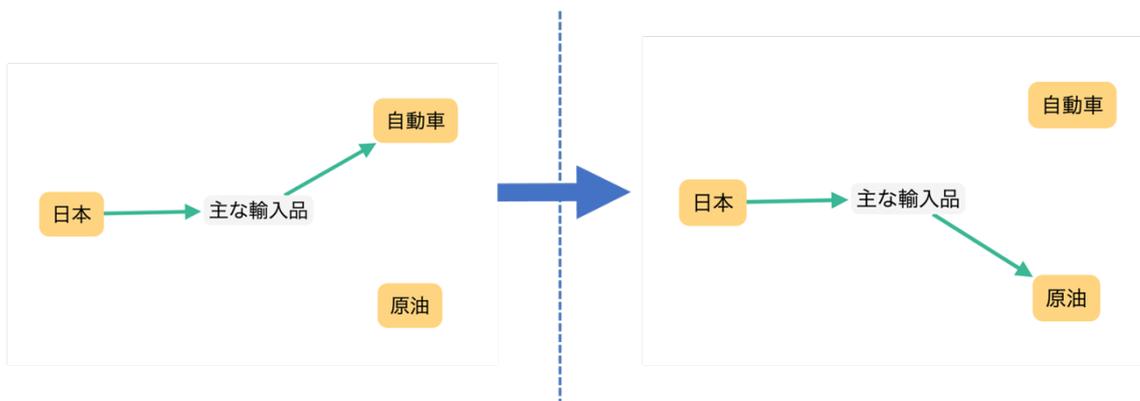


図 6：命題変更イメージ（変更前→変更後）

第3章 概念マップの作成過程分析

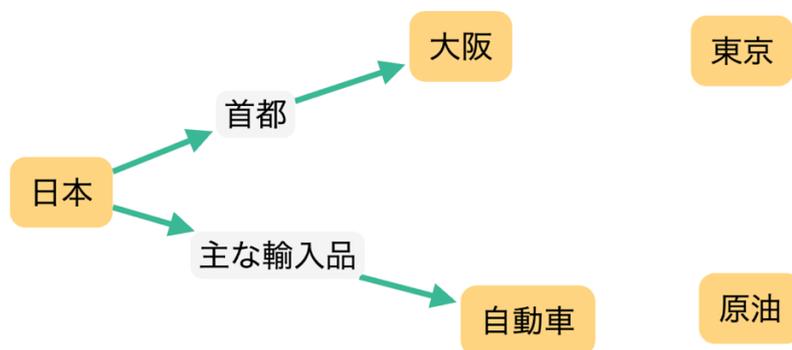


図 7 : 誤命題変更回数イメージ_変更前 (誤命題数 : 2, 誤命題変更回数 : 0)

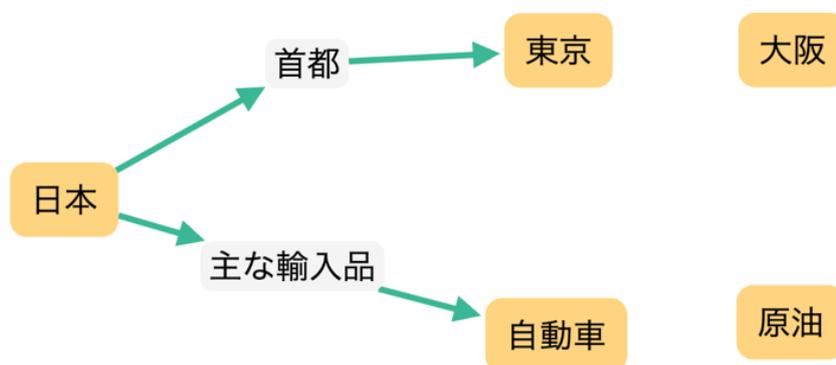


図 8 : 誤命題変更回数イメージ_変更後 (誤命題数 : 1, 誤命題変更回数 : 1)

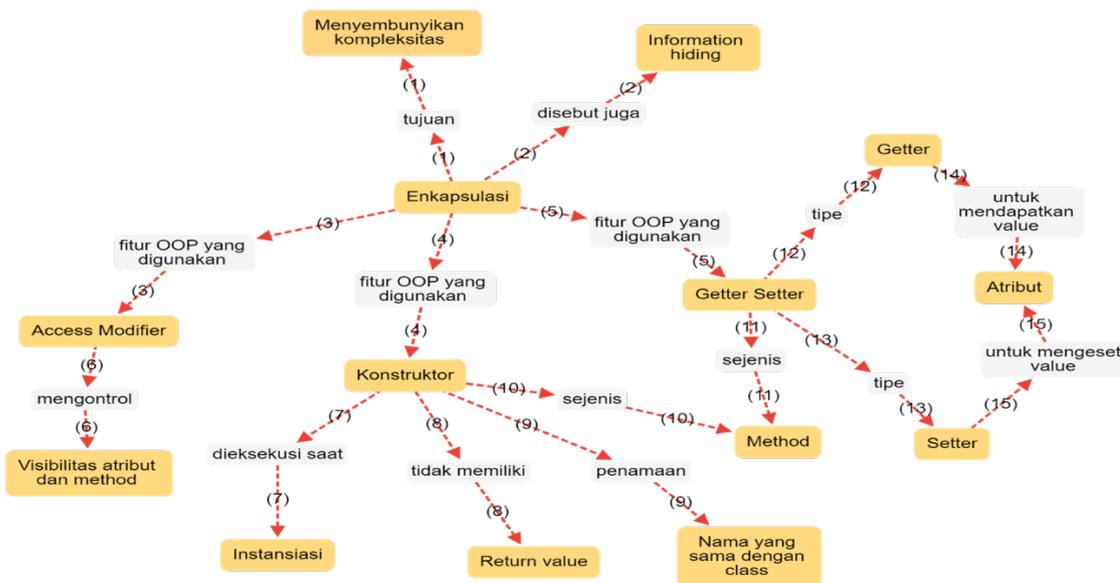


図 9：実験に利用した共有理解マップ

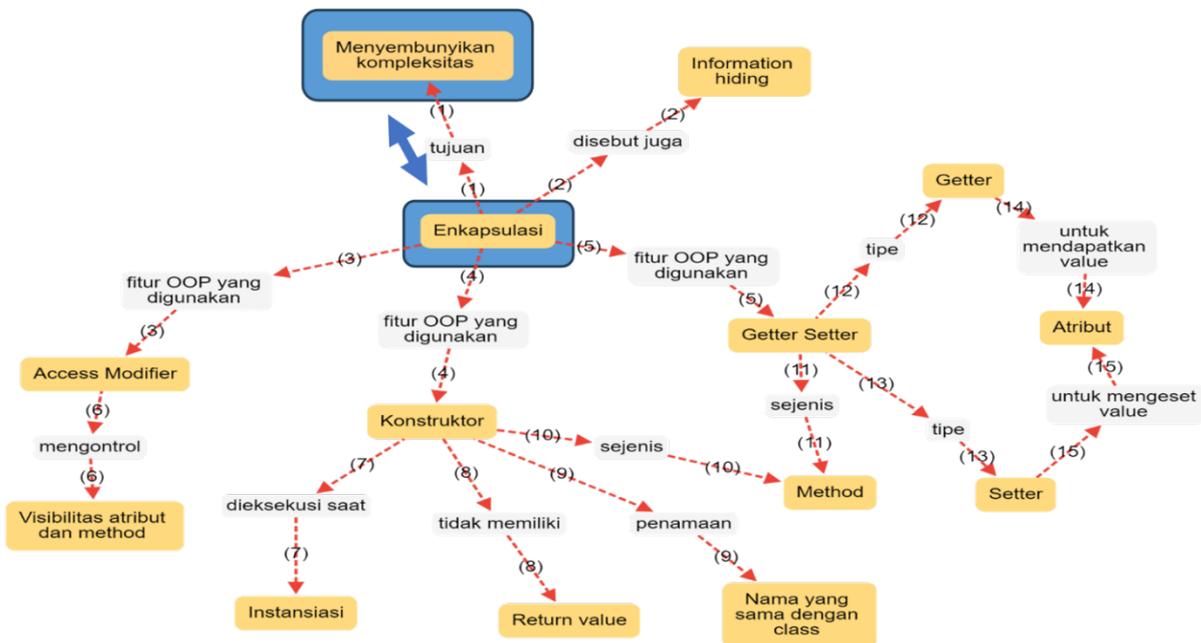


図 10：グラフ間距離が近い例（グラフ間距離が1の場合）

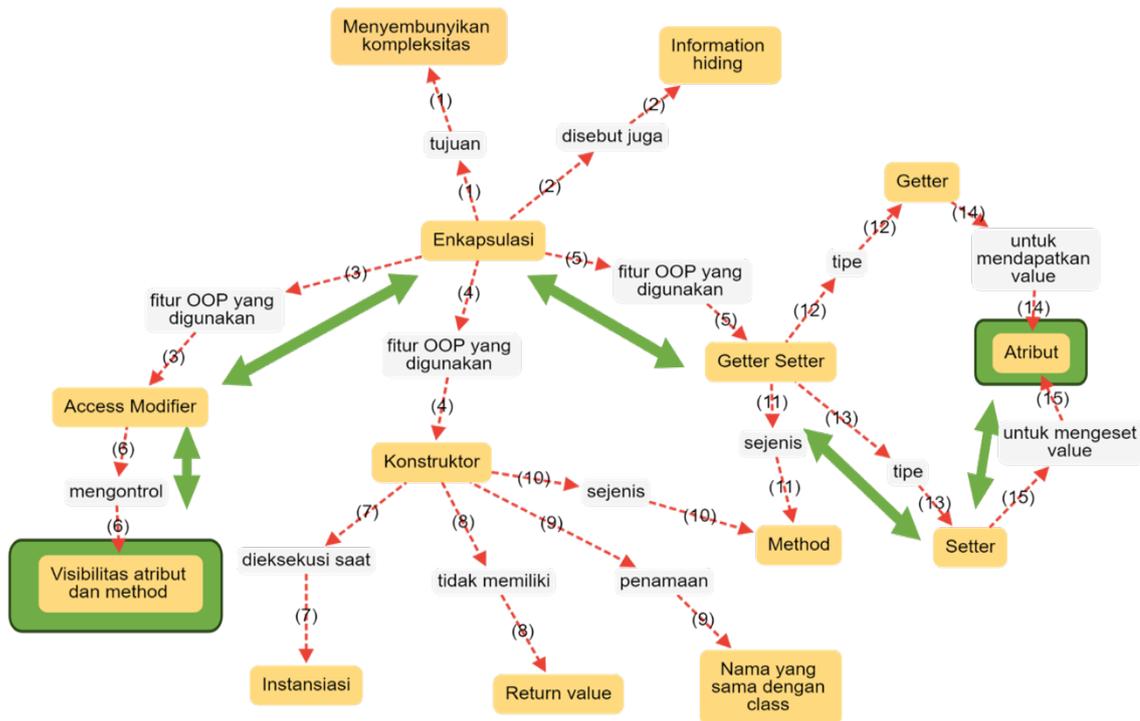


図 11 : グラフ間距離が遠い例 (グラフ間距離が5の場合)

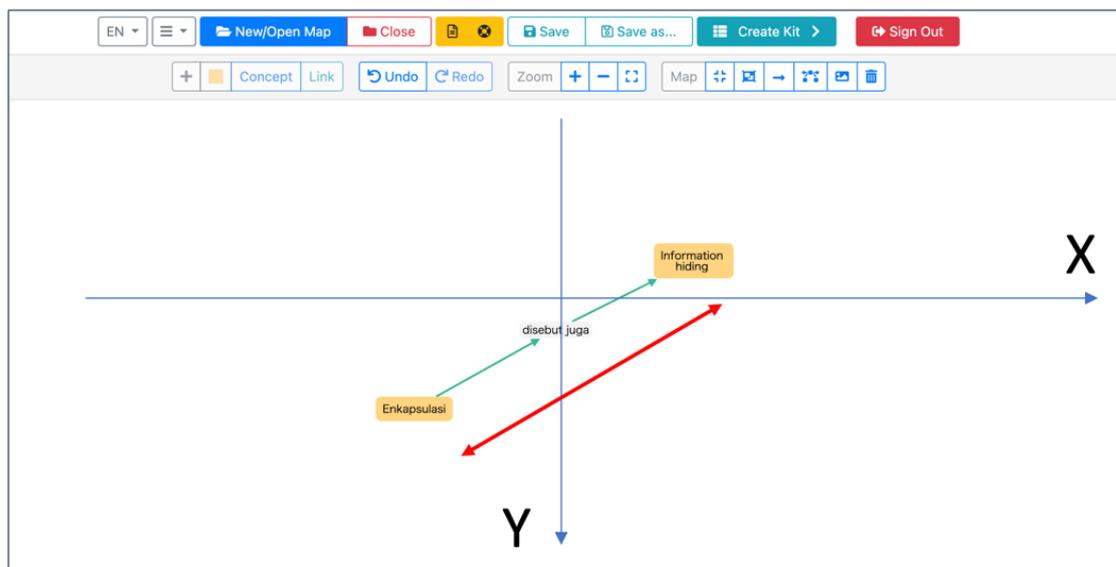


図 12 : 空間距離のイメージ

第4章 分析結果

4. 1 被験者

大学2年生を対象としたオブジェクト指向型プログラミングの授業において用いられた,

1. カプセル化
2. 継承
3. 多態性

以上の3つのテーマの授業後に行われた実践利用で得られた, 30名の概念マップ作成過程データを分析に利用した.

表 2: 実験使用マップに関する項目とその値

使用マップ	ノード数	リンク数	中央値	平均点	標準偏差	天井効果
Map1	14	15(100%)	9.00(60%)	9.20(61%)	4.80	無
Map2	12	13(100%)	11.50(88%)	9.90(76%)	3.59	有
Map3	13	10(100%)	9.00(90%)	8.03(80%)	2.23	有

実験に使用したマップに使用したノード数, リンク数およびマップスコアに関する項目を表 2 に示す. リンク数の値が各マップにおけるマップスコアの最大値に相当する. 中央値と平均値の数値は, マップスコアと全体に対する割合を示している. 第 3 章にて示したマップ作成に関する項目とマップスコアとの相関を各 Map について調べ, 共通として見られる特徴を探す.

4. 2 分析項目とマップスコアとの相関分析

4. 2. 1. 誤命題出現回数/所要時間/命題変更回数とマップスコアとの単回帰分析

始めに, 一般的な概念マップ作成でも見られる3つの項目(誤命題出現回数, 所要時間, 命題変更回数)とマップスコアとの相関を単回帰分析にて調べる. 以下の表 3 にてそ

第4章 分析結果

の結果を示す。

表 3：各項目からマップスコアへの単回帰分析結果

使用マップ	誤命題出現回数	所要時間	命題変更回数
Map1	0.189 ($p = .016$)	0.205 ($p = .012$)	0.001 ($p = .887$)
Map2	0.671 ($p = .000$)	0.108 ($p = .016$)	0.088 ($p = .016$)
Map3	0.299 ($p = .002$)	0.143 ($p = .039$)	0.089 ($p = .108$)

表中の値は、第一行目で示した命題作成に関する各項目を説明変数、マップスコアを目的変数として単回帰分析を行った時に得られた決定係数 R^2 とモデルの有意性 p 値を示している。誤命題出現回数を用いた場合、Map2において強い相関 ($R^2 \geq 0.5$) が見られたが、共通の傾向であることは確認できなかった。所要時間/命題変更回数においてはどのMapにおいても高い相関が確認できなかったことから、活動自体の活性度はマップスコアに関係していないことも示唆される。

4. 2. 2 誤命題出現回数/所要時間/命題変更回数とマップスコアとの重回帰分析

4. 2. 1 で使用した3つの項目を用いて重回帰分析を行い、単回帰分析では見つけることできなかった傾向を探る。またこの時、解析の信頼性を考慮して、使用する説明変数の数はデータの母数を15で割った値とした。本研究の分析では30名のデータを使用しているため説明変数は2つに設定した。3つの分析項目から2つを選んだ3通りの説明変数の組み合わせとマップスコアとの相関を調べた。説明変数が増えるにつれて決定係数が大き

第4章 分析結果

くなるという特性を考慮して調整済み決定係数 $Adj. R^2$ を評価基準として使用した。

表 4：各項目群からマップスコアへの重回帰分析結果

使用マップ	{誤命題出現回数, 所要時間}
Map1	0.264 ($p = .016$)
Map2	0.653 ($p = .000$)
Map3	0.330 ($p = .002$)
使用マップ	{所要時間, 命題変更回数}
Map1	0.184 ($p = .024$)
Map2	0.097 ($p = .096$)
Map3	0.141 ($p = .049$)
使用マップ	{命題変更回数, 誤命題出現回数}
Map1	0.573 ($p = .000$)
Map2	0.854 ($p = .000$)
Map3	0.778 ($p = .000$)

表 4 の値は、命題作成に関する各項目群を説明変数、マップスコアを目的変数として重回帰分析を行った時に得られた調整済み決定係数 $Adj. R^2$ とモデルの有意性 p 値を示している。結果として、命題変更回数と誤命題出現回数を説明変数としてマップスコアに対する重回帰分析を行った際に、全てのマップのデータにおいて高い調整済み決定係数 ($Adj. R^2 \geq 0.5$) の値が得られた。加えて、この時の各変数の回帰係数と影響度を t 値と p 値より調べる。この時、 $|t| \geq 2.0$ または $p \leq .050$ で有意であると見なしている（以降の分析でも同

様).

表 5 : 各変数の回帰係数と影響度 (命題変更回数, 誤命題出現回数)

Map1	命題変更回数	誤命題出現回数
回帰式	命題変更回数×0.940+誤命題出現回数×(-1.101)+12.362	
回帰係数	0.940	-1.101
t値	5.303	-6.396
p値	.000	.000
Map2	命題変更回数	誤命題出現回数
回帰式	命題変更回数×0.696+誤命題出現回数×(-1.001)+12.666	
回帰係数	0.696	-1.001
t値	6.179	-12.395
p値	.000	.000
Map3	命題変更回数	誤命題出現回数
回帰式	命題変更回数×0.796+誤命題出現回数×(-1.026)+9.847	
回帰係数	0.796	-1.026
t値	8.035	-9.590
p値	.000	.000

結果として, どの Map を用いた分析においても, 命題変更回数と誤命題出現回数のどちらも回帰モデルに対する十分な影響度を持っていることが確認された.

4. 2. 3 命題変更による正誤状態変化分析

4. 2. 2 で得られた結果より, 命題変更と命題の正誤状態がどのようにマップスコアに影響しているかを調べるため, マップスコアが中央値以上と中央値未満の2つのグループに分けて, それぞれのグループの学習者による命題変更がどのようなものであるかを調べ

第4章 分析結果

る。表 6 の値はグループ内での平均値を使用している。

表 6：命題変更による命題正誤状態に関する分析

Map1	命題変更回数	① 正→正	② 正→誤	③ 誤→正	④ 誤→誤
中央値以上 (18名)	4.28 (100%)	0.79 (18.5%)	0.28 (6.5%)	1.94 (45.3%)	1.28 (29.9%)
中央値未満 (12名)	4.50 (100%)	0.50 (11.1%)	0.33 (7.3%)	0.33 (7.3%)	3.33 (74.0%)
Map2	命題変更回数	正→正	正→誤	誤→正	誤→正
中央値以上 (15名)	3.00 (100%)	0.33 (11.0%)	0.40 (13.3%)	1.93 (64.3%)	0.33 (11.0%)
中央値未満 (15名)	5.07 (100%)	0.67 (13.2%)	0.67 (13.2%)	0.87 (17.2%)	2.87 (56.6%)
Map3	命題変更回数	正→正	正→誤	誤→正	誤→正
中央値以上 (16名)	3.13 (100%)	0.25 (8.0%)	0.13 (4.2%)	1.00 (31.9%)	1.75 (55.9%)
中央値未満 (14名)	4.07 (100%)	0.00 (0.0%)	1.00 (24.6%)	1.29 (31.7%)	1.79 (44.0%)

表中の項目①から④は命題変更による命題の正誤状態の変化を示している。例えば③誤→正は誤っている命題が変更によって正しい命題に修正されたことを表している。表中の値は各状態変化の回数と命題変更回数全体を100%とした時のパーセンテージを示している。

結果として、中央値以上の学習者は誤りから正しい命題への修正活動（項目③）が主であるのに対して、中央値未満の学習者は誤った命題に変更を行っても依然として誤りのままとなる活動（項目④）の割合が大きいことがわかった。Map 3では天井効果が現れているため、中央値以上の学習者の修正活動の割合が減っていると考えている。これらの結果は、修正能力の低い学習者が存在していること、またそのような学習者に対する支援の

第4章 分析結果

必要性を示唆するものとなっている。

また、項目①と②の和と項目③と④の和を比較すると、後者の方が大きく、また割合として70～80%ほどを占めていることがわかる。この結果は、学習者は自分の理解を認知しながら必要な箇所に対して変更を行うことができているという、従来の概念マップのメリットである自己理解の反映が再構成型概念マップにおいても同様に現れていると考えられる。

4. 2. 4 誤命題に対する命題変更に関する分析（誤りの検出力）

4. 2. 3の結果より、マップスコアの上位者と下位者との間に修正能力の差が生じていることがわかった。この結果に対して、下位者は変更（見直し）を行う箇所が局所的になっているのではないかという仮説を立てた。その仮説を検証するために、誤命題出現回数（重複を除く）と誤命題変更回数という2つの項目を用いて分析を行った。表7の値はグ

第4章 分析結果

ループ内での平均値を使用している。

表 7：誤りの検出力に関する項目の分析

Map1	誤命題出現回数 (重複を除く)	群間有意差	誤命題変更回数	群間有意差
中央値以上 (18名)	3.78	.128	2.50	.325
中央値未満 (12名)	5.58		1.75	
Map2	誤命題出現回数 (重複を除く)	群間有意差	誤命題変更回数	群間有意差
中央値以上 (15名)	2.07	.000	2.07	.644
中央値未満 (15名)	5.67		2.33	
Map3	誤命題出現回数 (重複を除く)	群間有意差	誤命題変更回数	群間有意差
中央値以上 (16名)	1.44	.001	1.06	.153
中央値未満 (14名)	4.14		2.00	

表 7では各マップのスコア別グループ毎の誤命題出現回数（重複を除く）と誤命題変更回数を調べ、加えてそれらの間に群間有意差（ p 値）が生じているかを調査した結果を示している。また群間有意差の分析では、ノンパラメトリック検定により得られた結果を用いている（以降の群間有意差の分析も同様）。こちらでは誤命題出現回数（重複を除く）に

第4章 分析結果

対して部分的に群間有意差が見られたが全てのマップにおいて同様の傾向を得られなかった。

続けて、誤命題選択率（誤命題のうち命題変更で使用された割合）とマップスコアとの間に相関が見られるかを調べるため、誤命題出現回数（重複を除く）と誤命題変更回数を説明変数、マップスコアを目的変数として重回帰分析を行うことで、間接的に誤命題選択率とマップスコアとの相関を調べた。

表 8：誤りの検出力に関する重回帰分析（誤命題出現回数（重複を除く）、誤命題変更回数）

使用マップ	{誤命題出現回数（重複を除く）、誤命題変更回数}
Map1	0.451 ($p = .000$)
Map2	0.833 ($p = .000$)
Map3	0.849 ($p = .000$)

表 8 の値は、調整済み決定係数 $Adj. R^2$ とモデルの有意性 p 値を示している。全てのマップにおいて中程度以上の相関を確認することができた。加えて、この時の各変数の回帰係

第4章 分析結果

数と影響度を t 値と p 値より調べる。

表 9：各変数の回帰係数と影響度（誤命題出現回数（重複を除く），誤命題変更回数）

Map1	誤命題出現回数（重複を除く）	誤命題変更回数
回帰式	誤命題出現回数（重複を除く） $\times (-1.365)$ + 誤命題変更回数 $\times 1.221 + 12.655$	
回帰係数	-1.365	1.221
t 値	-5.057	3.295
p 値	.000	.003
Map2	誤命題出現回数（重複を除く）	誤命題変更回数
回帰式	誤命題出現回数（重複を除く） $\times (-1.524)$ + 誤命題変更回数 $\times 1.245 + 13.053$	
回帰係数	-1.524	1.245
t 値	-11.783	5.343
p 値	.000	.000
Map3	誤命題出現回数（重複を除く）	誤命題変更回数
回帰式	誤命題出現回数（重複を除く） $\times (-1.258)$ + 誤命題変更回数 $\times 0.540 + 10.620$	
回帰係数	-1.258	0.540
t 値	-9.722	3.198
p 値	.000	.004

表 9 より，結果として，どの Map を用いた分析においても，誤命題出現回数（重複を除く）と誤命題変更回数のどちらも回帰モデルに対する十分な影響度を持っていることが確認された。

この分析より，誤命題出現回数（重複を除く）対して，相当する誤命題変更回数がなければマップスコアが下がってしまうことが分かった。このことからマップスコアの低い学習者は誤命題に対する見直しが局所的なものになってしまっていることが確認され，またマップ作成における見直しの必要性が確認された。

4. 2. 5 グラフ間距離に関する分析

第4章 分析結果

4.2.3の結果より示唆されたスコア下位者は見直しによる修正が上手に行えていないことに対して、新たに、スコア下位者はノード同士の意味の繋がりを把握できていないため修正が困難になっているという仮説を立てた。そこで誤った命題を作成したときに用いた2つのノードが共有理解マップ上で、近いものを選択しているのかあるいは遠いものを選択しているのか、そしてそれがマップスコアに影響を及ぼすのかを調査する。分析を行うにあたり、学習者毎の誤命題出現回数とグラフ間距離総和の2つの項目を使用する。表

第4章 分析結果

10 の値はグループ内での平均値を使用している。

表 10：グラフ間距離に関する項目の分析

Map1	誤命題出現回数	群間有意差	グラフ間距離総和	群間有意差
中央値以上 (18名)	5.06	.113	8.61	.078
中央値未満 (12名)	8.92		17.42	
Map2	誤命題出現回数	群間有意差	グラフ間距離総和	群間有意差
中央値以上 (15名)	2.40	.000	3.33	.000
中央値未満 (15名)	8.73		15.33	
Map3	誤命題出現回数	群間有意差	グラフ間距離総和	群間有意差
中央値以上 (16名)	3.19	.184	5.13	.134
中央値未満 (14名)	6.07		14.50	

表 10 では各マップのスコア別グループ毎の誤命題出現回数とグラフ間距離総和を調べ、加えてそれらの間に群間有意差 (p 値) が生じているかを調査した結果を示している。どちらの項目についても有意差は一部 (Map2) にしか確認できなかった。加えて粒度の細かい分析のために回帰分析を行った。またこの時、2つのマップについて誤命題出現回数とグラフ間距離総和との間に多重共線性が見られたため、ここではグラフ間距離総和のみを

第4章 分析結果

説明変数とした単回帰分析を行った。

表 11：グラフ間距離に関する回帰分析

使用マップ	グラフ間距離総和
Map1	0.216 ($p = .010$)
Map2	0.632 ($p = .000$)
Map3	0.515 ($p = .000$)

表 11 の値は、決定係数 R^2 とモデルの有意性 p 値を示している。誤命題出現回数を用いた場合、Map2 と Map3 において強い相関が見られたが、Map1 では中程度の相関に留まっ

第4章 分析結果

た.

続いて、上記で用いた2つの項目から算出される平均グラフ間距離について調べる.

表 12：平均グラフ間距離に関する分析

Map1	平均グラフ間距離（グラフ間距離総和/誤命題出現回数）
中央値以上 (18名)	1.70
中央値未満 (12名)	1.95
Map2	平均グラフ間距離（グラフ間距離総和/誤命題出現回数）
中央値以上 (15名)	1.39
中央値未満 (15名)	1.76
Map3	平均グラフ間距離（グラフ間距離総和/誤命題出現回数）
中央値以上 (16名)	1.61
中央値未満 (14名)	2.39

表 12 の値を評価するために、全てのノードの組み合わせとそのグラフ間距離総和からラ

第4章 分析結果

ランダム選択時平均グラフ距離を算出し、比較する。

表 13：マップ毎のランダム選択時平均グラフ間距離

使用マップ	ランダム選択時平均グラフ間距離
Map1	2.64
Map2	2.09
Map3	2.91

表 12 と表 13 とを比較すると、学習者全体として、ランダム選択による平均値よりも小さなグラフ間距離であることがわかった。

グラフ間距離に関する分析では、誤りの仕方（どれだけノード同士が離れているか）からマップスコアを推定し得る可能性があること、また学習者のグラフ間距離はランダム選択時よりも小さいこと、すなわち誤り箇所の場合でも試行錯誤を行い、正解に近いところまで辿りついていることがわかった。

4. 2. 6 空間距離に関する分析

4.2.3 の結果より示唆されたスコア下位者は見直しによる修正が上手に行えていないことに対して、スコア下位者は命題変更の際に操作画面上での位置が近いもののみを参照しているため修正が困難になっているという3つ目の仮説を立てた。そこで、誤った命題を作成したときに用いた2つのノードが操作画面上で、近いものを選択しているのかあるいは遠いものを選択しているのか、そしてそれがマップスコアに影響を及ぼすのかを調査す

第4章 分析結果

る. 表 14 の値はグループ内での平均値を使用している.

表 14 : 空間距離に関する項目の分析

Map1	誤命題出現回数	群間有意差	空間距離総和	群間有意差
中央値以上 (18名)	5.06	.113	1685	.498
中央値未満 (12名)	8.92		2130	
Map2	誤命題出現回数	群間有意差	空間距離総和	群間有意差
中央値以上 (15名)	2.40	.000	771	.000
中央値未満 (15名)	8.73		2918	
Map3	誤命題出現回数	群間有意差	空間距離総和	群間有意差
中央値以上 (16名)	3.19	.184	1070	.354
中央値未満 (14名)	6.07		1729	

表 14 では各マップのスコア別グループ毎の誤命題出現回数と空間距離総和を調べ、加えてそれらの間に群間有意差 (p 値) が生じているかを調査した結果を示している. どちらの項目についても有意差は一部 (Map2) にしか確認できなかった. 加えて粒度の細かい分析のために回帰分析を行った. またこの時, 全てのマップについて誤命題出現回数と空間距離総和との間に多重共線性が見られたため, ここでは空間距離総和のみを説明変数とし

第4章 分析結果

た単回帰分析を行った。

表 15：空間距離に関する回帰分析

使用マップ	空間距離総和
Map1	0.077 ($p = .138$)
Map2	0.676 ($p = .000$)
Map3	0.185 ($p = .018$)

表 15 の値は、決定係数 R^2 とモデルの有意性 p 値を示している。こちらの分析でも強い相関は一部でしか確認されなかった。

結果として、本研究での空間距離に関する分析では、マップスコアとの間に相関を確認することができなかった。今回得られた空間距離の値の評価や新たなパラメータの追加など今後検討する必要がある。

第5章 まとめ

本研究では、概念マップの作成過程の分析による新たな傾向の把握を目的として、再構成型概念マップ（再構成型概念マップ）を通して得られたデータを分析に利用した。

結果として、まず、誤命題出現回数と命題変更回数を説明変数、マップスコアを目的変数とした重回帰分析において、3つのデータセットすべてにおいて、高い決定係数が得られた。命題変更の重要性が示唆されたため、追加分析としてマップスコアが中央値以上のグループと中央値未満との2つのグループ（上位グループ、下位グループ）に分け、命題変更による命題の正誤状態の変化について調査した。この分析では、グループに関係なく、命題変更の大部分は誤った命題に対して行われていることが分かった。このことは、マップスコアに関係なく、マップに対する修正活動の対象となる個所は適切であったことを示唆するものとなっている。また、所要時間、命題変更回数においても違いがみられなかったことから、活動自体の活性度はマップスコアに関係していないことも示唆された。続いて誤命題出現回数（重複を除く）、誤命題変更回数を説明変数、マップスコアを目的変数とした重回帰分析を行った場合においても高い決定係数が得られた。この結果から、マップスコア下位者は誤った命題に対する見直しが局所的なものになってしまっていると考えられる。最後に、グラフ間距離と空間距離はそれぞれマップスコアとの間に有意な相関は見られなかった。またグラフ間距離に関して、スコア下位者においても全パターンの距離より算出した平均値よりも小さい値を示したことから、誤りではあるものの正解の近傍で修正活動を行っていることが示唆された。これらの結果は従来から想定されている自己理解を反映するという概念マップ作成における効果が、再構成型概念マップにも同様に現れていることを示すものであり、また見直しが上手に行えていない学習者に対する支援の必要性を示唆するものであり、今後の課題であると考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり，多くのご指導をいただきました，平嶋宗教授，林雄介教授，心から感謝いたします。並びに，本論文を審査していただきました，北須賀輝明准教授に感謝いたします。

また，分析に対する助言を頂きました松本慎平教授（広島工業大学情報コミュニケーション学科），実験に用いるデータを提供して頂いた RISMANTO RIDWAN 氏，学習工学研究室の皆さんに心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Novak, J. D., & Canas, A. J. (2006). The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them” , Technical Report IHMC CmapTools, 2006-01.
- [2] Hirashima, T. , Yamasaki, K. , Fukuda, H. , & Funaoi, H. (2015) . Framework of kit-build concept map for automatic diagnosis and its preliminary use. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 10, 1-21.
- [3] Hirashima, T. (2019). Reconstructional concept map : automatic Assessment and reciprocal reconstruction. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 5, 669-682.
- [4] Cañas, A. J., Reiska, P., & Möllits, A. (2017). Developing higher-order thinking skills with concept mapping : A case of pedagogic frailty. *Knowledge Management & E-Learning*, 9 (3), 348.
- [5] Sugihara, K, Osada, T, Nakata, S, Funaoi, H, & Hirashima, T. "Framework of kit-build concept map for automatic diagnosis and its preliminary use. " *Research and Practice in Technology Enhanced Learning* 10 (2015) : 1-21.
- [6] Wunnasri, W., Pailai, J., Hayashi, Y., & Hirashima, T. (2018). Validity of kit-build method for assessment of learner-build map by comparing with manual methods. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 101 (4), 1141-1150. 5

付録

付録 1. 実験に使用した共有理解マップ

Map1

