

高校数学の教科書における単元コミュニティによる習熟者と非習熟者の比較

Comparison Between Experts' and Non-experts' Knowledge Structures with High School Mathematics Textbooks

谷口 陽聖†
Yosei Taniguchi

1. 緒言

情報化に従い、有する知識の量よりも、知識をいかに応用できるかが評価されるようになり、文部科学省も知識を関連付けて学習し、活用できる知識として身に付けていくことが重要であるとしている^[1]。知識の構造化に関する研究は多数行われているが、どのように知識を関連付ければ習熟者になることができるかは未だ不明瞭であり、習熟者と非習熟者の違いの解明が期待される。

これより本研究では、高校数学の知識ネットワーク解析により習熟者と非習熟者の知識構造を明らかにした。また客観的なデータである高校数学の教科書から単元コミュニティを抽出し、習熟者と非習熟者を比較する。

2. 知識ネットワーク解析

本研究では、高校数学にある 24 単元のつながりを解析するために、グラフ理論の総合影響行列により知識ネットワークを表現した^[2]。その中でコミュニティ分割のための指標であるモジュラリティによる解析も行った^[3]。以下では教科書、習熟者、非習熟者の知識構造解析について述べる。

2.1 教科書における知識構造

客観的なデータの知識構造を抽出するために、高校数学の教科書分析を行った。その際に最も適切に類似度を算出できるとされるレベル 2 のシンボル化を施し、知識ネットワークを作成した^[4]。その結果を可視化した図を Fig.1 に示す。ここでノードの大きさは重み付き入出次数に、リンクの大きさは重みの大きさに対応する。またコミュニティ毎にノード及びリンクの色を変え、見やすさのために重みの小さいリンクは意図的に非表示にしている。

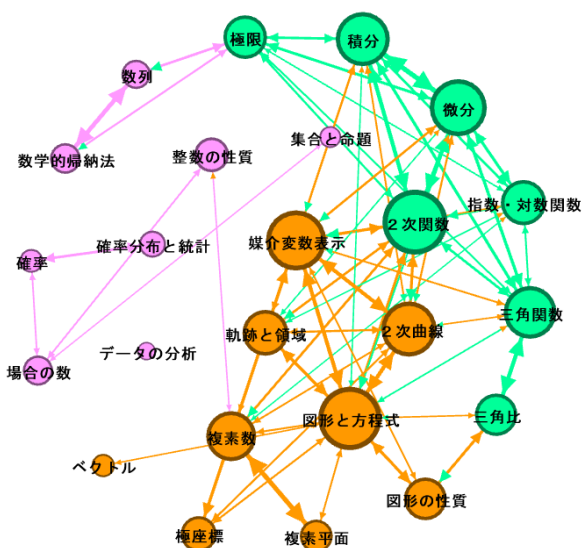


Fig.1 Knowledge network of textbooks

2.2 習熟者・非習熟者について

本研究では、以下の 2 つの学力試験を導入し、ともにある大学の新生 95 名に実施した。

2.2.1 単元別型試験

単元別型試験は高校数学の教科書の例題で構成され、学習者の各単元の理解度を分析するために用いる。試験は全 24 問で、それぞれの問題は本研究で用いる 24 単元に対応する。本試験問題はその単元の中心的な内容かつ、他の単元の理解度になるべく影響を受けない問題を出題した。

2.2.2 単元融合型試験

習熟度と知識構造の関係を分析するために、知識のつながりを理解できている学習者（習熟者）と理解できていない学習者（非習熟者）の分類をする必要がある。つながりの理解の有無に従って分類するために、単元融合型試験は複数の単元の知識を組み合わせることで解答できる問題で構成した。その試験結果を Fig.2 にヒストグラムで示す。

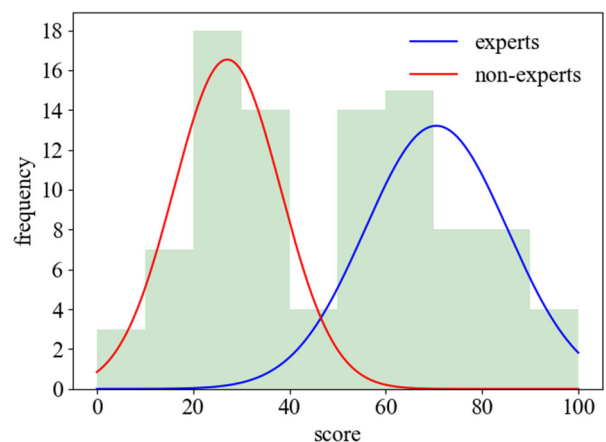


Fig.2 Histogram of a test composed of multi-unit questions and estimated normal distribution for each group

Fig.2 のヒストグラムで双峰性が確認できることから、つながりの理解度の観点で、学習者が二極化していることが考えられる。そのため、全学習者のうち閾値よりも得点が高い群に属している学習者を習熟者、低い群に属している学習者を非習熟者として分析を行う。本研究では混合ガウス分布に最尤推定を適用し、閾値を決定した。その結果、習熟者の平均は 71.9 点で標準偏差は 14.3 点、非習熟者の平均は 25.4 点で標準偏差は 10.1 点であった。それぞれの群でガウス分布の確率密度関数に対応した曲線を Fig.2 に示した。以上より、全学習者は習熟者と非習熟者の 2 つの集団で構成されていると考えられ、今後この 2 群の違いについて議論する。

2.3 習熟者と非習熟者の知識構造

習熟者の知識ネットワークをFig.3に、非習熟者の知識ネットワークをFig.4に示す。ここで、可視化の条件は2.1節と同様である。

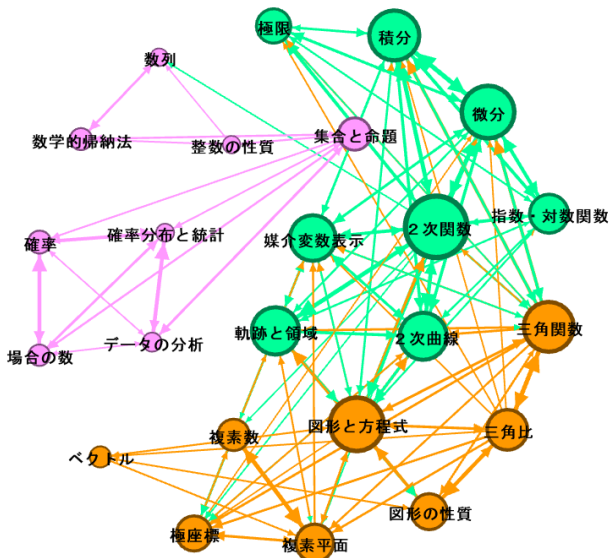


Fig.3 Experts' knowledge network

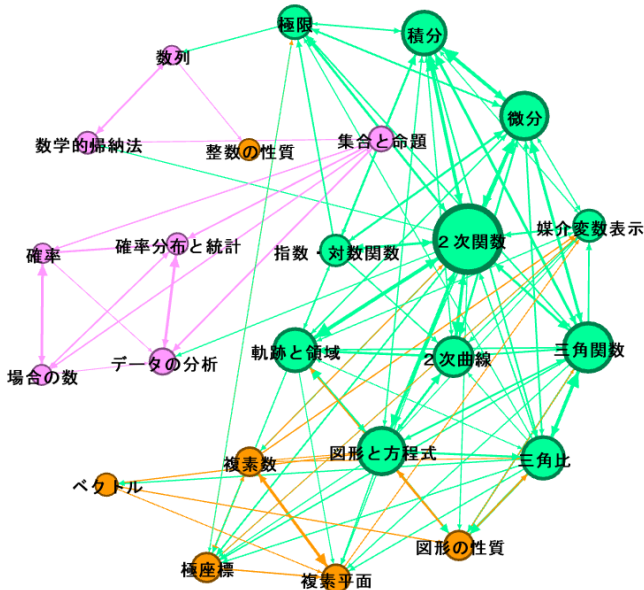


Fig.4 Non-experts' knowledge network

3. 習熟者と非習熟者の比較

3.1 知識ネットワークの可視化について

教科書(Fig.1), 習熟者(Fig.3), 非習熟者(Fig.4)の知識ネットワークの可視化から、いずれにおいても3つのコミュニティに分割されていることがわかる。また教科書と習熟者の知識ネットワークで各コミュニティが有する単元に数個の違いはあるものの、緑色のコミュニティは連続関数の解析を行う単元群(以下、解析コミュニティ)、オレンジ色のコミュニティは図形を扱う単元群(以下、図形コミュニティ)、ピンク色のコミュニティは論理的に推論を進めるための学習に役立つ単元群(以下、推論コミュニティ)という傾向がみられる。その点において、非習熟者は他2群

と比較すると不自然なコミュニティ分割となっている。また教科書, 習熟者, 非習熟者の知識ネットワークのモジュラリティはそれぞれ0.145, 0.208, 0.188となっている。モジュラリティはランダムグラフと異なる度合いを示すことから、その値が大きいほど同じコミュニティ内の関連が密であることを示している。学習者のモジュラリティが教科書よりも大きくなったのは、学習者は教科書から知識を取得し、その後自身で知識構造を再構築するためであると考えられる。また習熟者のモジュラリティが非習熟者よりも大きくなったのは、単元間のつながりを理解できている学習者は、より知識の再構築が進んでいるためと考えられる。これより、教科書から取得した知識を、自身で既有知識と関連付けることで再構築を行う重要性が示唆された。

3.2 単元コミュニティ別正答率解析

教科書の知識ネットワークは、解析コミュニティ、図形コミュニティ、推論コミュニティのそれぞれが8単元ずつ有している。この単元コミュニティを基準に、単元別型試験の正答率を分析する。まず各コミュニティ内で、習熟者と非習熟者の正答率に有意な差があるかを検定すると、すべてのコミュニティにて有意な差があるといえた。さらに、習熟者と非習熟者の正答率の差はコミュニティ間で異なるかを検定すると、図形コミュニティが他のコミュニティよりも正答率の差が有意に大きいといえた。以上より、習熟者はどの分野においても非習熟者よりも有意に正答でき、その中でも特に図形分野においてその差が有意に大きいことがわかった。このことから習熟者に近づくために、図形分野に対する新たな学習支援が期待される。

4. 結言

本稿では、知識ネットワーク解析を用いて、習熟者と非習熟者の知識構造を可視化した。また、高校数学の教科書分析や学力試験結果を基にして、習熟者と非習熟者を比較した。その結果、非習熟者は知識の再構築が足りないことや、図形分野の理解に課題があることが示唆された。そのため、これらの課題を解消し、非習熟者が習熟者になるための学習方法の提案が期待される。非習熟者は知識の関連付け方自体がわからない傾向があることから、知識ネットワーク解析を基にして、どのように知識の関連付けに挑戦すればよいかを教授する支援方法を検討している。

参考文献

- [1] 文部科学省 中央教育審議会, 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申), https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf, (参照日 2021.07.16).
- [2] Wang, W. et al., DEMATEL-based model to improve the performance in a matrix organization, Expert Systems with Applications, Vol.39, Issue.5, (2012).
- [3] 谷口陽聖, 高校数学の知識ネットワークによる単元構造の可視化とその応用, 2020年度情報処理学会関西支部支部大会, (2020).
- [4] 谷口陽聖, 知識ネットワークを用いた高校数学における教科書と学習者の比較, 第20回情報科学技術フォーラム, (2021).