

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 Comparison Between Textbooks and Learners in High School Mathematics with Knowledge Network Analysis

谷口陽聖[†]
Yosei Taniguchi

1. はじめに

近年の情報化により、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った。これを受けて文部科学省は、「基礎的・基本的な知識を着実に習得しながら、既存の知識と関連付けたり組み合わせたりしていくことにより、学習内容の深い理解と、個別の知識の定着を図るとともに、社会における様々な場面で活用できる知識として身に付けていくことが重要となる」としている^[1]。指導方法の工夫や知識の構造化に関する研究が行われているが、学習者がどのように知識を関連付ければよいかは未だ不明瞭である。

これより本研究では、高校数学の知識ネットワークを用いて学習者の知識構造を明らかにする。知識ネットワークに対する客観的なデータとして高校の教科書を用いる。そこで本研究では、教科書を適切に分析するために「シンボル化」というデータ処理手法を提案する。教科書データのシンボル化の妥当性を示すとともに、教科書と学習者の知識構造を比較した結果について述べる。

2. 学習者の知識構造解析

本研究では、直接的な影響だけでなく間接的な影響を考慮した総合影響行列によって知識ネットワークを表現することで、学習者の知識構造を明らかにした。またランダムグラフと異なる度合いを示したモジュラリティにより分割したコミュニティの解析も行った^[2]。今回は、ある大学の新生 95 名を学習者として知識ネットワークを解析した。学習者の知識ネットワークをオープンソースの Gephi により可視化した結果を 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。

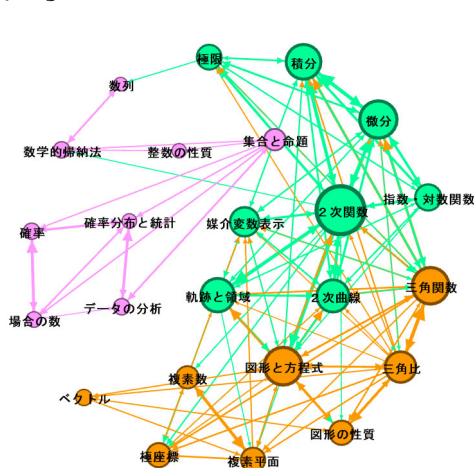


Fig.1 Learners' knowledge network

3. 教科書の知識構造解析

教科書の知識構造を解析する手法として、テキストデータに対して自然言語処理を行うのが最も自然な流れである。高校数学の教科書に記載される 24 単元のテキストデータにおける、それぞれの単元間の類似度を TF-IDF^[3]により算出する。その類似度をノード間の重みとした知識ネットワークを作成し、可視化を行う。

しかし、教科書が学習者に知識を与える要因はテキストだけではなく、図やグラフ、数式など通常自然言語処理では考慮できない要因も考えられる。そのような要因を考慮した解析のために「シンボル化」という手法を提案する。

3.1 シンボル化

例えば、 $y = 2x^3$ のグラフを {1 変数 3 次関数 グラフ} という 1 つの単語で表現し、これをシンボルと呼ぶことにする。また、それぞれの図やグラフ、数式などをシンボルに置き換える処理をシンボル化と呼ぶ。シンボル化により、図やグラフを考慮した解析が可能となる。しかし、上記のシンボルは {1 変数} {3 次} {関数} {グラフ} のようにさらに 4 つのシンボルに分割することもでき、どの分割レベルが適切な処理となるか検証する必要がある。本稿ではシンボル化を施していないデータをレベル 0、{1 変数 3 次関数 グラフ} のようなシンボル化を施したデータをレベル 1、{1 変数} {3 次} {関数} {グラフ} のようなシンボル化を施したものをレベル 2 とする。

3.2 教科書の知識構造の可視化

レベル 0, 1, 2 の各シンボル化を施した教科書データで知識ネットワークを作成し、それぞれ Fig.2, Fig.3, Fig.4 に可視化を示す。可視化の条件は 2 章と同様であり、図のキャプションの末尾の数値はモジュラリティである。

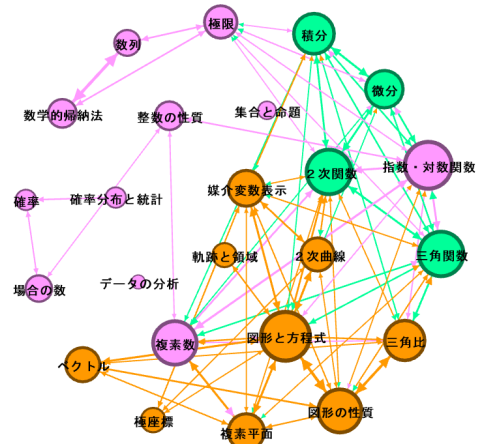


Fig.2 Knowledge network of textbooks with level 0 symbolization [0.073]

[†] 同志社大学大学院生命医科学研究科 Graduate School of Life & Medical Sciences, Doshisha University

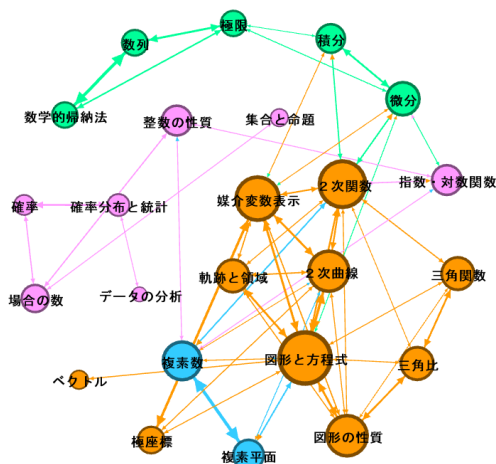


Fig.3 Knowledge network of textbooks with level 1 symbolization [0.132]

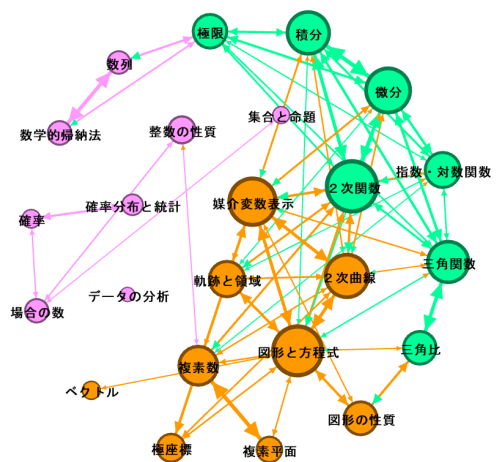


Fig.4 Knowledge network of textbooks with level 2 symbolization [0.145]

Fig.2はレベル0のシンボル化、つまりテキストデータのみを用いて解析した知識ネットワークである。3つのコミュニティに分割されているが、それぞれに属する単元を確認すると、Fig.1と異なる部分が多く、高校数学に精通した者にとっても解釈し難い分割となっていた。この原因として、学習者が教科書を用いて学ぶ際に、テキストデータのみで知識を獲得していないことが考えられる。そこで、レベル1のシンボル化を導入し可視化したFig.3では、知識構造が変化しモジュラリティが向上した。しかし依然として解釈ができない部分がある。レベル1のシンボル化では、例えば{1変数指数関数グラフ}と{2変数指数関数グラフ}が全く関係ないものとして処理される。しかし、それらのシンボルは関連があると考えられ、実際に学習する際も1変数の関数から2変数の関数への拡張を経て知識を深める。この点でレベル1では解釈し難い分割になったと考えられる。そこで、さらに細かいシンボルに分割したレベル2のシンボル化を施したFig.4に着目する。モジュラリティがより向上し、学習者の知識構造を表すFig.1と非常に似通った知識構造となっており、解釈可能な分割となった。これは分割レベルを上げることで、図やグラフ、数式間の類似度

を考慮できるようになり、レベル1での欠陥を補うことができたと考えられる。したがって、シンボル化を行うことで知識構造をより適切に処理できることが確認でき、そのシンボル化の分割レベルはレベル2のような細かい分割が適していることが判明した。

4. 学習者と教科書の知識構造の比較

Fig.1, Fig.4の知識ネットワークは3つのコミュニティに分割され、それぞれ特徴的な単元が集まっていることが確認できる。本稿では、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）とする。ここで、レベル2のシンボル化をした知識構造においても、学習者の知識構造とは異なるコミュニティに属している単元がある。具体的に挙げると、「三角比」、「三角関数」、「軌跡と領域」、「媒介変数表示」、「2次曲線」の5つの単元があり、これらは一方では図形コミュニティに属し、もう一方では解析コミュニティに属している。教科書データのシンボル化において、図形をシンボル化したものや、関数・方程式をシンボル化したものなどに分類することができる。教科書内における、ある単元の1ページあたりの図形シンボル数と関数・方程式シンボル数に着目すると、教科書と学習者ともに解析コミュニティに分類される単元と、ともに図形コミュニティに分類される単元は明確に分けることができた。一方で、上記の教科書と学習者で異なるコミュニティとなった5単元は、解析コミュニティと図形コミュニティの中間に位置することがわかり、これらの単元は解析的な要素と図形的な要素の両方の特徴を持っていることが示唆された。以上より、学習者と教科書のコミュニティはともに妥当性のある分割であったことが確認でき、解析的な素養と図形的な素養が必要とされる単元が存在することも示唆された。

5. おわりに

本研究では、学習者の知識構造を客観的なデータと比較するために、客観的なデータとして教科書データを用いた。教科書データの分析では適切に単元間の類似度を算出するために、「シンボル化」という手法を提案し、その妥当性を検証した。これによって学習者と教科書で知識構造の比較が可能となった。今後の展望として、本研究の手法を応用して、学習者が知識の関連付け方を身につけ、知識の活用ができるような支援を目指す。

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, (2021-06-16).
- [2] 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).
- [3] Salton, G., Wong, A., Yang, C. S., A vector space model for automatic indexing, *Communications of the ACM*, Vol.18, No.11, pp.613-620, (1975).