

# 再構成型学習環境における理解変化の推定のための学習ログデータからの質的・量的なエラー分析

## Qualitative and Quantitative Error Analysis of Learning Log Data for Estimating Understanding Changes in Reconstructive Learning Environment

濱田 恭佑<sup>\*1</sup>, 平嶋 宗<sup>\*2</sup>, 林 雄介<sup>\*2</sup>

Kyosuke Hamada<sup>\*1</sup>, Tsukasa Hirashima<sup>\*2</sup>, Yusuke Hayashi<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 広島大学情報科学部

<sup>\*1</sup>School of Informatics and Data Science, Hiroshima University

<sup>\*2</sup> 広島大学大学院先進理工系科学研究科

<sup>\*2</sup>Graduate Scholl of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

Email: b215320@hiroshima-u.ac.jp

あらまし：エラーは学習を促進する重要な機会とされている。しかし、学習者は誤りを経験すればよいというわけではなく、自力での解消が困難なエラーを経験した場合、そのエラーに基づいた適切な支援を行うことが求められる。そのためにはまず、その誤りがどのような誤りなのか特定する必要がある。本研究では、単文統合型学習環境「モンサクン」を対象に Ordered Network Analysis(ONA)という分析手法を用いて、エラー分析をすることにより、自力での解消が困難なエラーの特定を試みる。

キーワード：エラー学習、自力での解消が困難なエラー、モンサクン、ONA 分析

### 1. はじめに

エラーは学習と理解を促進する重要な機会となっている。Impasse-Driven learning<sup>(1)</sup>は学習者が自分の行き詰まりの原因を特定し、学びを深める効果的な学習方法とされている。したがって、単に正解を教えるのではなく、学習者が間違えながら学習できる環境が理想的であると考えられる。

エラーが学習に有益である一方で、誤りを経験すればよいというわけではない。学習者に対して教えすぎても教えなさすぎても学習の発達を妨げる<sup>(2)</sup>と指摘されており、全てのエラーに対する支援は適切ではなく、自力での解消が困難なエラーへの適切な支援が求められる。そのためには、まず自力での解消が困難なエラーを特定する必要がある。

本研究では、単文統合型学習環境「モンサクン」を対象に、Ordered Network Analysis(ONA)<sup>(3)</sup>という分析手法を用いて、学習ログデータから自力での解消が困難なエラーを特定することを目的とする。

### 2. 対象

モンサクンは、学習者が要求された算数文章題を与えられた単文で作成する学習環境である。図1にモンサクンのインターフェイスを示す。作成した算数文章題は自動診断され、学習者はシステムからのフィードバックを受けながら正解するまで作成する。

モンサクンにおける学習では、それぞれの学習者の理解に合わせて誤った作問もしながら、演習を進めて行くに従って誤りが減少していくことが確認されている<sup>(4)</sup>。これは、学習者が認知的困難を乗り越えながら正しい問題構造を理解していくことを示していると考えられる。しかし、演習を進めていっても誤りが完全に消えない学習者もいる。そのような学習者の自力での解消が困難なエラーを見つけるこ

とが支援のために必要となる。

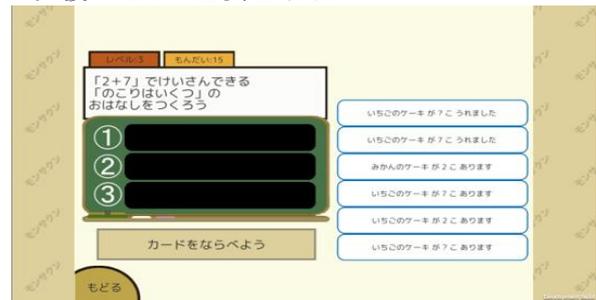


図1 モンサクン演習画面

### 3. 分析手法

Ordered Network Analysis(ONA)は、データ内に含まれる要素間の関係性を時系列や順序を考慮したネットワークとしてモデル化し、解析する手法である。データ中の意味のある特徴をコードとして設定し、そのコードを用いてデータに意味づけを行い分析する。この分析により、コード間の遷移やコードの出現頻度の可視化をすることができる。

本研究では、モンサクンにおける学習ログデータを意味づけるために、妥当な算数文章題の構成条件に基づき、学習者が1操作ごとに作成している算数文章題の状況(作問状態)をコード化する。コードは表1に示す6つの構成要素から構成され、条件を満たしていれば大文字、満たしていなければ小文字で

表1 構成要素一覧

表記	説明
S	物語の文構成
N	式に含まれる数字
O	オブジェクト構成
T	物語の種類
C	物語の順序構造(増加・減少のみ)
E	要求された数式で表現される文構成

表記する。小文字を含むコードは、その作問状態から作問を進めても正解しないことを示しており、これをここでは作問状態における「エラー」とよぶ。

#### 4. 分析とその結果

本研究では「自力での解消が困難なエラー」とは、次の2つの条件を両方満たす作問状態とした。

- A) 作問課題を進めても出現する
- B) 答え合わせや他の誤った作問状態に遷移する

2.1節で述べたように、モンサクンでは基本的に学習者は作問課題を進めていくにつれて学習し、答え合わせでの誤りが減少していく一方で、学習者によってはエラーがまだ作問プロセスに含まれる。ただし、その状態から少ないステップで正解に到達できていたら、自分で解消したと言える。逆に、エラーの中での遷移やそのまま不正解となっている場合は、それらがエラーである認識ができておらず、自分で解消が困難であると推測される。

分析対象のデータは、大学生による図1に示すような「減少」の物語に関する逆思考問題の作問課題5問のデータである。モンサクンの実際の対象は小学1,2年生であるが、先行研究<sup>(4)</sup>により大人でも、誤りとその解消が確認されている。

図2と図3に最初と最後の作問課題について window size を4として分析した結果の ONA グラフを示す。これら2つが異なるグラフであることから (t検定 x 軸: 0.02, y 軸: 0.90), 作問状態の遷移に変化があり、理解の変化が起きていることが分かるが、依然としてエラー作問状態も出現している。

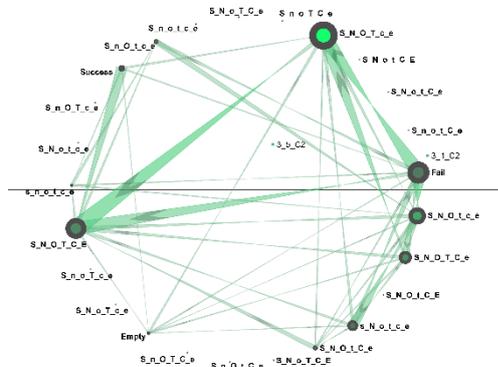


図2 最初の作問課題における ONA グラフ

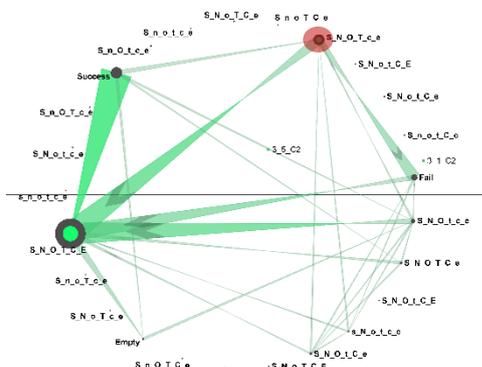


図3 最後の作問課題における ONA グラフ

最後の問題で出現する作問状態の遷移関係の weight (ONA グラフ上では太さで表示) について、その値が高いものをカーネル密度推定 (KDE) と密度関数の局所最小点を分類の閾値として用いて算出した。その結果、エラーとなる作問状態のうち、S\_N\_O\_T\_c\_e から同じ作問状態に移る遷移関係が全体の中で高いことが示され、S\_N\_O\_T\_c\_e が自力での解消が困難なエラーであることが推定できる。

この誤りは「物語の順序構造」と「数式」による誤りであるが、物語の順序構造が成立していなければ、数式は成立しないという依存関係があるため、この誤りは「物語の順序構造による誤り」であると言える。これは、二つの数量の関係を表す「関係文」の位置による誤りを指し、減少の物語では関係文を2文目に配置しなければいけないが、それができていないことを示す。表2は作問課題ごとのそれぞれの誤りの数を示し、カイ二乗検定を行い Holm 法で調整を行った結果、有意な差が得られた ( $\chi^2(4)=19.983, p<.01$ )。また残差分析の結果、最初の作問課題 3-1 では関係文を1文目に使用する誤りが有意に多いが、最後の作問課題 3-5 では関係文を3文目に使用する誤りが有意に多い。

表2 関係文の位置別の誤りの数

問題番号	関係文が 1文目	関係文が 3文目	合計
3-1	40	20	60
3-2	77	102	179
3-3	6	7	13
3-4	9	19	28
3-5	1	11	12

#### 5. まとめと今後の課題

本研究では、単文統合型学習環境モンサクンに ONA 分析を適用し、自力での解消が困難なエラーの特定を試みた。その結果、今回の事例では物語の順序構造による誤りが自力での解消が困難なエラーであることが分かった。今後の課題としては、物語の順序構造を間違えてしまう学習者への適切な支援の検討や、関係文の位置に関する分析、小学生データを用いた分析を行いたいと考えている。

#### 参考文献

- (1) VanLehn, K. Toward a Theory of Impasse-Driven Learning. In H. Mandl & A. Lesgold (Eds.), Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems, 19-41. Springer US. (1988)
- (2) Vygotsky, L. S.: Mind in Society: The Development of Higher Mental Processes, Harvard University Press, Cambridge, MA (1987)
- (3) Tan, Y. et al. Ordered Network Analysis. in Proc. of International conference on quantitative ethnography (eds. Damşa, C. & Barany, A.) vol. 1785 101-116, Springer Nature Switzerland, Cham, (2022).
- (4) Hasanah, N., Hayashi, Y., & Hirashima, T. Posing arithmetic word problems in a sentence integration learning environment in English and Indonesian: A utilization analysis. The Journal of Information and Systems in Education, 18(1), 51-62. (2019)