

テキストをグラフで置換する可能性と教育現場での実証

橋田浩一^{1,2} 張子良² 姚子凡² KARILAS Vili Valtteri²

方詩涛² 譚匡桓² 柴田健一¹ 松原勇介²

¹理化学研究所 革新知能統合研究センター ²東京大学 大学院情報理工学系研究科

koiti.hasida@riken.jp hasida.koiti@i.u-tokyo.ac.jp

概要

グラフの形の文書を作ることにより批判的思考力が高まることが知られている。われわれは、比較的小さな文書の共同作成はテキストよりグラフの方が簡単であることを示した。さらに、余分なコストをかけずに高校の通常の授業にグラフ文書の共同作成を導入して授業の効率が高まることを実証した。したがって、教育の現場にグラフ文書を普及させて生徒たちの批判的思考力を高めることができると考えられる。さらに、一般的な業務の現場にもグラフ文書を普及させることにより社会全体の知的生産性を高められる可能性がある。

1 はじめに

KJ法 [1] の A 型図式、概念地図 (concept map) [2]、議論地図 (argument map)、マインドマップ (mind map)、多段の箇条書きなどの広義のグラフは、教育や発想支援のための補助資料として用いられてきた [3, 4, 5, 6]。実際、グラフの教育的効果が近年の研究で明らかになっている。たとえば、批判的思考の明示的なトレーニングをしなくても、また概念地図の内容によらず、概念地図を1人で作っていると批判的思考力が高まる [7]。また、概念地図の共同作成も単独作成と同程度以上に批判的思考力を高める [8, 9, 10]。概念地図以外のグラフも批判的思考力を高める [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] ので、グラフの種類によらず、グラフの単独作成も共同作成も批判的思考力を高める効果があり、その際に批判的思考の明示的なトレーニングは不要で、またグラフの内容も特に限定しなくて良いと考えられる。

それにもかかわらずグラフが一般にあまり普及していないのは、グラフの作成および作成法の習得にコストがかかるためと言われている [20]。しかし一方では、グラフの作成を経ることによってテキスト文書の質が高まる (合計 30 分以内で KJ 法の A 型図

式を作ってからテキスト文書を作った場合と、同じく 30 分以内でテキスト文書だけを作った場合を比べると、前者の方がテキスト文書の質が高い) こともわかっている [21]。これはおそらく、基本的にはグラフの方がテキストよりも作りやすいために複雑化しやすく、その複雑性の制御が難しいということだろう。たとえば八木下らの実験 [21] では、あまり大きなグラフができない設定になっていたために、グラフの複雑性を制御するコストが顕在化しなかったと解釈できる。

文書があまり大きくない場合にグラフの方がテキストより作りやすいとすれば、文書が大きい場合もグラフの方がテキストより作りやすくと考えるのが自然だろう。グラフの複雑性の制御は簡単ではないがテキストの複雑性の制御ほど難しくないとわれわれは考えている¹⁾。この考えが正しければ、社会全体においてグラフでテキストを置き換えることにより文書作成の生産性を高めるとともに批判的思考力を高めることができるはずである。

以下ではまず、文書があまり大きくない場合にグラフがテキストよりも共同作成しやすいことを示す (共同作成に着目するのはネットワーク外部性によってグラフの普及を促進するためである)。次に、実際の業務等にグラフの共同作成を導入可能であることを示す教育現場での実証実験について述べる。最後に、テキスト文書をグラフ文書で置換して社会全体の生産性を高める可能性とそのための課題を論ずる。

1) テキスト文書の作成に習熟するのは難しいが、これはテキストの複雑性の制御が難しいということだろう。OECD の国際成人力調査 https://www.oecd.emb-japan.go.jp/itpr_ja/11.000001.00107.html によれば、OECD 諸国で文章をまともに読めるのは成人の 4 割程度であり、まともな文章を書ける成人はさらに少ないはずである。

2 グラフはテキストより作りやすい

一般にテキストは文の間を談話関係等をつなぎ合わせたものだから、文を表わすノードと談話関係等を表わすリンクからなるグラフによって任意のテキストの内容を表現することができる。そのようなグラフの作成を容易にし価値を高めるため、談話関係等を定義するオントロジーに基づく図 1 のような RDF グラフ [22] を考える。以後このようなグラフを**グラフ文書** (graph document) と呼ぶ。概念地図や議論地図など他の種類のグラフではリンクの種類(関係)を自由テキストで表現するが、それでは入力の手間が大きいだけでなく、関係が標準化されないため誤解が生じやすく自動処理が難しく学習用データとしての価値も低い。グラフ文書の場合は標準化された関係を選択入力できるので、他種のグラフよりも作成が容易で利用価値が高いと考えられる。

ここでは、グラフ文書の共同作成がテキスト文書の共同作成より容易である(生産性が高い)ことを示した実験 [23] の概要を報告する。紙面の都合により詳細は割愛するが、研究参加者を各々 2 人からなるいくつかのグループに分けて、各グループにいくつかの文書作成課題の各々に対してテキスト文書またはグラフ文書を共同作成させ、そうして作られたテキスト文書とグラフ文書をいくつかの指標に関して比較する、というのが実験計画の概要である。各々の共同文書作成作業において各参加者の作業時間を 30 分以内とした。そのような実験を同期的な共同作成と非同期的な共同作成について実施した。

同期的な共同作成では、図 2 のように、各グループの 2 人のメンバーが対面で話をしながら各々の PC で共有文書を編集する。それによって作られたテキスト文書とグラフ文書の比較を図 3 に示す。比較の指標は、課題に関連する論点の個数、推論の長さ、議論の展開の度合、および展開された議論が統合される度合である。テキスト文書もグラフ文書も、課題(たとえば「教育予算を増やすべきか」など)を根ノードとする木(サイクルを含むことがあるので正確には木とは限らないが木に近いグラフ)に変換し、同義のノードを 1 個にまとめ、課題と無関係なノードを削除することによって、指標の値を求めた。図 3 では各指標で平均が 1 になるように値を正規化し、各指標についてテキスト文書とグラフ文書の平均値を示す。統合度の差は統計的有意性が低い、他の指標についてはテキスト文書よりもグラ

フ文書の方が 3%水準で有意に優れていることがわかる。

非同期的な共同作成では、図 4 のように、各グループのメンバーのうち 1 人がまず文書の半分ほどを作り、次にもう 1 人が残りを作る。2 人間のコミュニケーションは文書データの共有のみによる。その場合のテキスト文書とグラフ文書の比較を図 5 に示す。比較の指標として連結度を加えたが、これは 2 人が作った部分グラフの間を結ぶリンクの本数である(それらのリンクは 2 番目のメンバーが作ったものである)。各指標の値の求め方は上記と同様である。推論の長さについては統計的有意性がやや低い、すべての指標についてテキスト文書よりグラフ文書の方が優れていることがわかる。

以上を要するに、30 分程度以内の共同文書作成においてはテキスト文書よりもグラフ文書の方が生産性が高い。上記の実験で作られたグラフ文書はノードの個数が 50 程度以下だったので、ノードが 50 個程度以下のグラフ文書は同程度のサイズのテキスト文書より作りやすいと言えよう。

3 グラフ文書を教育に導入できる

さしあたりは文書が比較的小さい場合に限られるにせよ、テキスト文書よりグラフ文書の方が作成が簡単なことから、少なくともその範囲においてテキスト文書をグラフ文書に代わって普及させることができ、それにより多くの人々の批判的思考力を高めることが可能と考えられる。

グラフ文書を最初に導入する先としては教育の現場が有望と考えられる。批判的思考力などの社会情緒的能力(非認知能力)が高ければ将来経済的に成功する可能性が高い [24] と考えられているので、教育にグラフ文書を導入するメリットはわかりやすい。また、教育の現場へのグラフ文書の導入による批判的思考力の向上を測定するのは比較的容易と考えられる。これに対し、一般的な業務の現場では各個人の能力の向上よりも会社の利益や組織のミッションの方が重要だが、グラフ文書による利益の向上やミッションの達成は測定が難しい。

グラフ文書を教育に導入するには、中学校や高等学校の通常の授業で近年広く行なわれるようになっているグループディスカッション(協調学習)において各グループがディスカッションの議事録を共同作成するという方法が考えられる。特に公教育においては教員が多忙なため通常の授業を越える負担を求

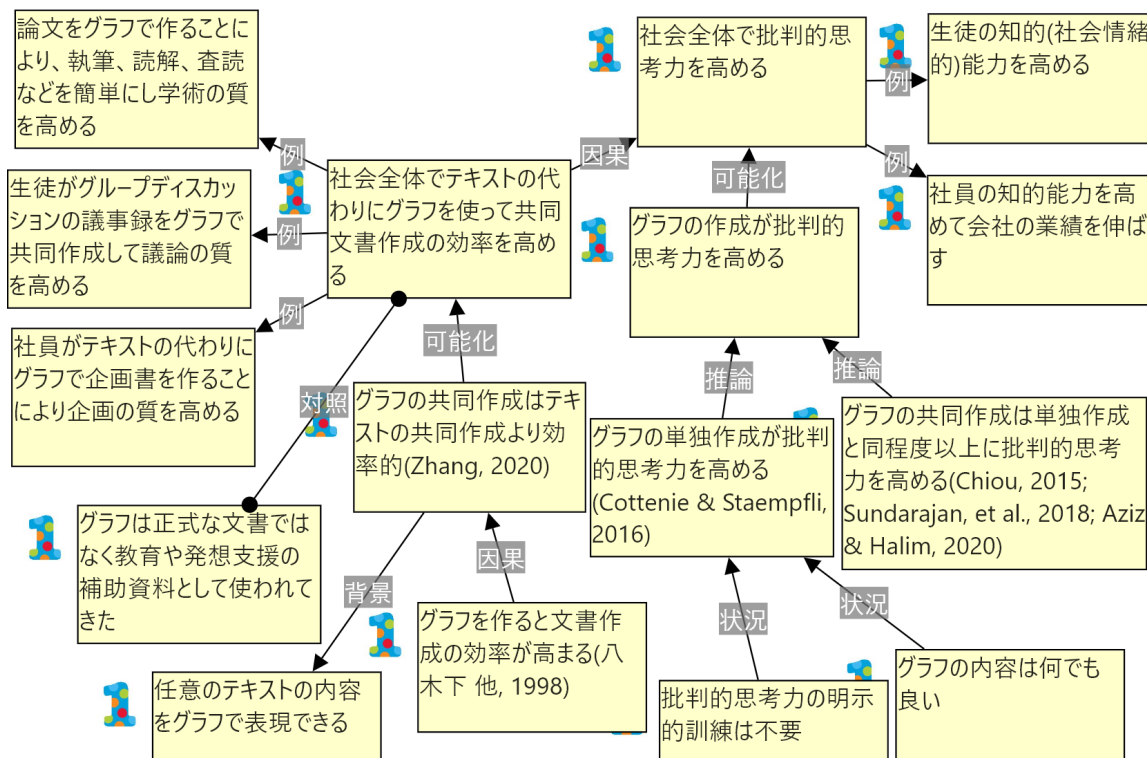


図1 本稿の一部を表わすグラフ文書



図2 文書の同期的共同作成

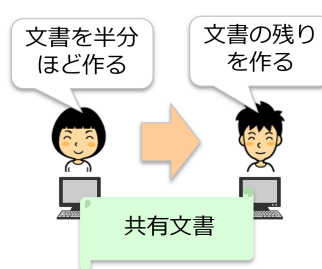


図4 文書の非同期的共同作成

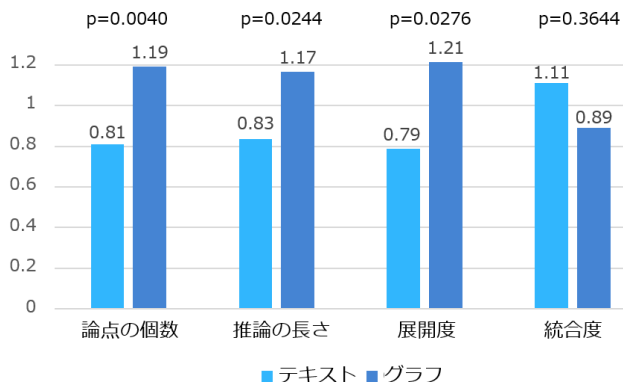


図3 テキスト文書とグラフ文書の同期的共同作成

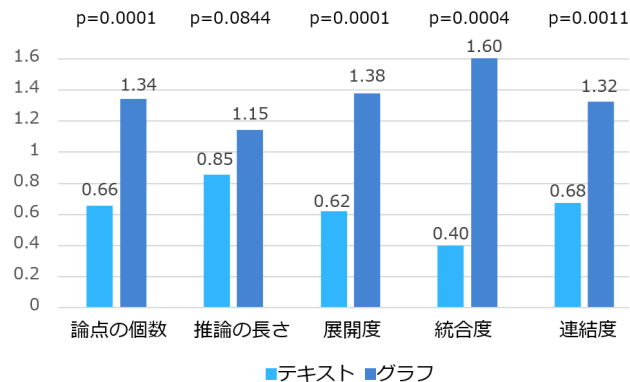


図5 テキスト文書とグラフ文書の非同期的共同作成

めるのは実際上不可能であり、逆に授業の効率を高める(負担を軽減する)必要があるが、この方法であれば、学習指導要領に従う通常の学校教育において教員の負担を増さずにグラフ文書の共同作成を導入して授業の効率を向上させられる可能性が高いと思われる。

そこでわれわれは、埼玉県川口市の川口市立高校および神奈川県横須賀市の三浦学園高校の協力を得て、各高校で1年生の1クラスずつを対象とし、必修科目である「現代の国語」の通常の授業のグループディスカッションにグラフ文書の共同作成を導入した。各クラスの生徒約20名が2~5名からなるグループに分かれて、各グループが20分程度のディスカッションの内容を表わすグラフ文書を共同作成し、そのグラフ文書に教員と他のグループがコメントした。各クラスでこのような授業を2022年10月から2022年12月または2023年1月にかけて5回行ない、その前後に批判的思考力の標準的なテストを実施した。

本稿執筆の時点でそのテストのデータの分析が終了していないので、授業の観察と教員および生徒からの聞き取りに基づいて報告すると、結果は良好であった。教科書の図表等のコピーに注釈を加えた資料を教員が事前に用意して生徒に配布することがあったが、同様の資料は従来の授業でも作成していたので、グラフ文書の導入が教員の準備の負担を増やすことはないと考えられる。授業中に各グループが作ったグラフ文書を教員がプロジェクタで投影して即座にコメントしていたが、テキスト文書だとコメントするまでにもう少し時間がかかるはずである。生徒はグラフ文書作成ツール(セマンティックエディタ²⁾)を特に支障なく使いこなしており、また談話関係等の選択入力グラフ文書を作りやすくしていることも理解していた。以上から、グラフ文書の導入により授業の効率が高まったと言えよう。

グラフ文書を用いた5回の授業による批判的思考力の向上をこれから定量的に分析する予定であるが、その結果はおそらく統計的有意性の低いわずかな向上であろう。今回の実証の最大の意義はグラフ文書が授業の効率を高めることを示した点にあり、さらに長期にわたるグラフ文書の共同作成により批判的思考力が大きく向上することは先行研究に鑑みて確実に考えている。

2) セマンティックエディタは PLR 標準アプリ Personary <https://assemblogue.com/apps/PLR2.html> の機能として実装されている。

4 おわりに

この実証の結果から、グラフ文書を教育現場に普及させて多くの生徒の批判的思考力を高めることが可能と考えられる。その普及がある程度進んで批判的思考力向上の効果が広く知られるようになれば、一般の業務の現場にグラフ文書の共同作成を導入することによって文書共同作成の生産性と社員の批判的思考力が高まり企業の業績が向上することを多くの人が容易に想像できるだろう。こうしてグラフ文書の共同作成が一般に普及して産業や学術の水準が永続的に高まると考えられる。

また、オントロジーで構造化されたグラフ文書は AI の学習データとしても入力データとしても有用性が高いので、グラフ文書の普及が AI を振興し、AI の振興がグラフ文書の活用を高度化すると期待される。それを見越して、セマンティックエディタ(SE)は図6のように PLR (Personal Life Repository; 分

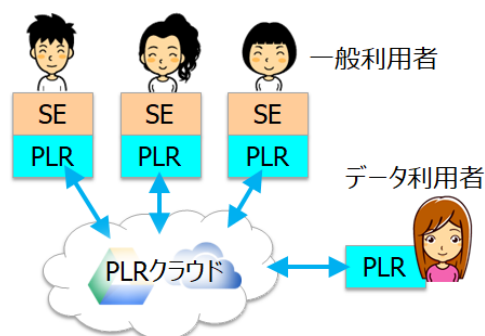


図6 PLRによるデータの共有と収集

散 PDS ライブラリ) [25, 26] によりデータを容易かつ安全に共有・収集できるように実装してある。

以上のようなグラフ文書の効果を最大化するには、ノードが50個程度よりも多いグラフ文書を効率的に作成・活用する方法を明らかにし、あらゆるテキスト文書をグラフ文書で置換する必要がある。前述のように、グラフが複雑化しやすいのはグラフを作るのが簡単だからであり、その複雑化の制御はテキスト文書の複雑化の制御よりも簡単だとわれわれは考えている。複雑性の制御には構造化とそれによる構造共有が重要であり、その点でグラフはテキストより優れているはずである。その優位性を生かしたユーザインタフェースの開発が、グラフ文書の効果を最大化するために最も重要な研究課題である。

謝辞

グラフ文書を用いる授業を担当された川口市立高校の石原直哉教諭と三浦学苑高校の佐々木綱衛教諭、ならびに実証の準備等にご尽力下さった両校の先生方に感謝する。本研究の一部はNEDOの「人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発」事業の支援を受けた。

参考文献

- [1] 川喜田二郎. 発想法 改版 — 創造性開発のために. 中公新書. 2017.
- [2] Joseph D. Novak and D. Bob. Gowin. **Learning How to Learn**. New York: Cambridge University Press, 1984.
- [3] Marvin Willerman and Richard A. Mac Harg. The concept map as an advance organizer. **Journal of Research in Science Teaching**, Vol. 28, pp. 705–711, 1991.
- [4] Ray McAleese. The knowledge arena as an extension to the concept map: Reflection in action. **Interactive Learning Environments**, Vol. 6, No. 3, pp. 251–272, 1998.
- [5] Joseph. D. Novak. **Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- [6] Christina De Simone, Richard F. Schmid, and Laura Mcewen. Supporting the learning process with collaborative concept mapping using computer-based communication tools and processes. **Educational Research & Evaluation**, Vol. 7, No. 2-3, pp. 263–283, 2001.
- [7] Karl Cottenie and Marianne Staempfli. Concept mapping as means to critical thinking. **Teaching & Learning Innovations**, 2016.
- [8] Chei-Chang Chiou. Comparing the effect of computer-assisted collaborative and individual concept mapping on improving critical thinking ability: The role of student learning style. In **Proc. of The Second Intl. Conf. on Advances in Economics, Social Science and Human Behaviour Study**, pp. 83–84, 2015.
- [9] Narayankripa Sundararajan, Olusola O. Adesope, and Andy Cavagnetto. The process of collaborative concept mapping in kindergarten and the effect on critical thinking skills. **The Journal of STEM Education: Innovations and Research**, Vol. 19, No. 1, pp. 5–13, 2018.
- [10] Fatin Azhana Abd Aziz and Lilia Halim. Concept mapping plays important roles on students' critical thinking skills in science. In **The Eurasia Proceedings of Educational & Social Sciences (EPESS)**, No. 17, pp. 1–9, 2020.
- [11] Alma Mueller, Mary Johnston, Diane Bligh, and Judith Wilkinson. Joining mind mapping and care planning to enhance student critical thinking and achieve holistic nursing care. **International Journal of Nursing Terminologies and Classifications**, Vol. 13, No. 1, pp. 24–27, 2002.
- [12] Claudia María Álvarez Ortiz. Does philosophy improve critical thinking skills?, 2007. Master thesis, The University of Melbourne.
- [13] Shiah-Lian Chen, Tienli Liang, Mei-Li Lee, and I-Chen Liao. Effects of concept map teaching on students' critical thinking and approach to learning and studying. **Journal of Nursing Education**, Vol. 50, No. 8, pp. 466–469, 2011. doi:10.3928/01484834-20110415-06.
- [14] Ebrahim Khodadady and Afsaneh Ghanizadeh. The impact of concept mapping on efl learners' critical thinking ability. **English Language Teaching**, Vol. 4, No. 4, pp. 49–60, 2011. doi:10.5539/elt.v4n4p49.
- [15] Weillie Lee, Chi-Hua Chiang, I-Chen Liao, Mei-Li Lee, Shiah-Lian Chen, and Tienli Liang. The longitudinal effect of concept mapping teaching on critical thinking. **Nurse Education Today**, Vol. 33, pp. 1219–1223, 2013.
- [16] James Gorman and Jane Heinze-Fry. **Conceptual Mapping Facilitates Coherence and Critical Thinking in the Science Education System**, pp. 1227–1258. IGI Global, 2015.
- [17] Mahmoud Kaddoura, Olga Van-Dyke, and Qing Yang. Impact of a concept map teaching approach on nursing students' critical thinking skills. **Nursing & Health sciences**, Vol. 18, No. 3, pp. 350–354, 2016. doi:10.1111/nhs.12277.
- [18] Meng Yue, Meng Zhang, Chunmei Zhang, and Changde Jin. The effectiveness of concept mapping on development of critical thinking in nursing education: A systematic review and meta-analysis. **Nurse Education Today**, Vol. 52, pp. 87–94, 2017.
- [19] Sheng-Shiang Tseng. Using concept mapping activities to enhance students' critical thinking skills at a high school in taiwan. **The Asia-Pacific Education Researcher**, Vol. 29, pp. 249–256, 2020.
- [20] E. Michael Nussbaum. Argumentation and student-centered learning environments. In David H. Jonassen and Susan M. Land, editors, **Theoretical foundations of learning environments (2nd ed.)**, p. 114–141. New York: Routledge, 2012.
- [21] 八木下和代, 宗森純, 首藤勝. 内容と構造を対象とした KJ 法 B 型文章評価方法の提案と適用. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 7, pp. 2029–2042, 1998.
- [22] ISO. ISO 24627-3: Language resource management — comprehensive annotation framework (ComAF) — part 3: Diagrammatic semantic authoring (DSA), 2021. <https://www.iso.org/standard/74582.html>.
- [23] Zilian Zhang. Collaborative graph composition is more productive than collaborative text composition, 2020. Master thesis, the University of Tokyo.
- [24] Leslie Morrison Gutman and Ingrid Schoon. The impact of non-cognitive skills on outcomes for young people. A literature review, Institute of Education, University of London, 2013.
- [25] Kôiti Hasida. Decentralized management and utilization of personal data. In **SFDI2020: Fourth Workshop on Software Foundations for Data Interoperability**, 2020. invited talk.
- [26] 橋田浩一. パーソナルデータの分散管理による価値の最大化. 計測と制御, Vol. 59, No. 9, pp. 653–658, 2020.