

デジタル Diamond Mandala Matrix を用いた宇宙における農業を 題材とする協調学習型オンライン授業の実践例と分析

青木成一郎^{†1, †2}, 小林信三^{†1, †3, †4}, 檜木隆彦^{†1, †4}, 岡本敏雄^{†1}

概要: 協調学習型オンライン授業として設計した授業で得たデータの分析結果と用いたデジタル DMM アプリの有効性を示す。授業は、zoom を用いて実施するリアルタイムオンライン授業と受講生による事前学習及び事後学習から成る。受講生は、オンライン授業参加に先立ち、デジタル Diamond Mandala Matrix (DMM) を作成し、講義と DMM を踏まえたディスカッションから構成されるオンライン授業へ参加し、授業後には DMM を改善する。用いたデジタル DMM アプリは我々が開発中のもので、受講生は 8 つのキーワードとそれを代表する概念となるキーワード及びそれらの補足説明を入力する。分析対象は、受講生が授業前に作成した DMM (事前学習 DMM) と授業後に改善した DMM (事後学習 DMM) で、KH Coder を用いてテキスト分析を行った。その結果、リアルタイム授業へ参加したことによる学習効果が DMM に現れていることを確認できた。また、受講生が作成した DMM の実例も示し、事前学習 DMM と事後学習 DMM の間の具体的な DMM の変化と学習効果も述べている。これらから、我々が開発中のデジタル DMM アプリが協調学習に有効なツールであることを示すことができた。また、DMM は、コンセプトマップと類似するが、よりシンプルで制限された枠組みを持つため、受講生が取り組みやすく、また学習効果を分析しやすい。そのため、今後、より多くの実例を分析して学習効果を数値化することで、デジタル DMM アプリを用いた授業の有効性を示すことができ、デジタル DMM アプリを用いた授業の改善に役立つと考えられる。

キーワード: 協調学習, オンライン授業, Diamond Mandala Matrix, 天文学, テキスト分析, KH Coder

Practical Examples and Analysis of Data Obtained Online Collaborative Class on Agriculture in Space by Digital Diamond Mandala Matrix

SEIICHIRO AOKI^{†1, †2}, SHINZO KOBAYASHI^{†1, †3}, TAKAHIK NARAKI^{†1},
TOSHIO OKAMOTO^{†1}

Abstract: The results of analysis of the data obtained in the class designed as a collaborative learning online course, and the effectiveness of the digital DMM application used in the class are shown. The class consists of the real-time online lecture and discussion through zoom, and the pre-learning and post-learning with our digital Diamond Mandala Matrix (DMM) application. The digital DMM application has been developed by us, and it has several cells such as eight keywords, the representative keyword for the keywords, and their supplementary description. Students input keywords and description to their DMM, participated in an online lecture and discussion based on the DMM, and improve the DMM after the discussion. We performed text data analysis on DMMs (pre-learning DMM and post-learning DMM) with KH Coder. From the analysis, it is confirmed the learning effect through the real-time online class appeared in the DMMs. It is also shown the example of DMMs created by a student, and specific advance on effective learning with DMMs by comparing post-learning DMM to pre-learning DMM. Thus, the digital DMM application of us is an effective tool for collaborative learning. DMM is similar to the concept map, but more restricted framework, which makes it easier for students to work on and for researchers to analyze learning effects on. In the future, by quantifying the learning effect with analyzing more examples, it will be possible to show the usefulness of our digital DMM application on a course, which will lead to improve the course.

Keywords: Collaborative Learning, Online Course, Diamond Mandala Matrix, Astronomy, Text Analysis, KH Coder

1. はじめに

本稿では、2020 年度秋学期に京都情報大学院大学の授業「次世代農業情報学」(担当教員: 檜木隆彦, 受講生数: 36 名)において実施した、デジタル Diamond Mandala Matrix を用いた協調学習型オンライン授業の実践とデータ分析の

結果について述べる。なお、今回対象とした授業は、宇宙における農業をテーマとしている。

Diamond Mandala Matrix (DMM) は元来、業務機能の効果的抽出に有効な表である。分析対象となる業務の機能を洗い出して分割、階層化することで、機能の分割及び階層構

†1 京都情報大学院大学

The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics

†2 京都大学天文台天文普及プロジェクト室

The Astronomical Outreach Project Office, Astronomical Observatories,
Kyoto University

†3 NPO 法人 CCC-TIES 附置研究所

CCC-TIES

†4 一般社団法人グリーンカラー・プラネット

Green Collar Planet

<https://green-collar.work/>

造を明確化できる点が利点である。日本では、例えば経済産業省が中心に取り組んできた EA(Enterprise Architecture)における「業務・システムの全体最適」を実現する方法として DMM が取り入れられている [1]。

DMM は、一瞥で認識することが可能な限界を 9 つのセルとする。そのため、3 行 3 列にセルを並べた表の形式をとり、中心のセルに関連する機能を周りの 8 つのセルへ配置するという考え方で DMM は設計されている。

デジタルマングラによる実務研修教材の構造化と多言語化

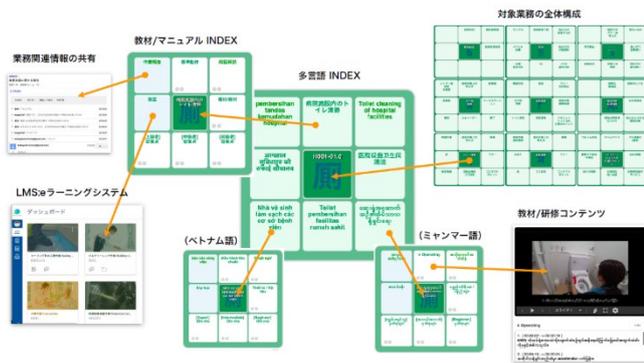


図 1 デジタル DMM の構造

トップレベルの DMM (中心の表) の中心セルの周りに 8 つのセルに関連するキーワードが配置される。それらの各キーワードがセカンドレベルの中心セルに入るキーワードとなる。セカンドレベルでは中心に入ったキーワードの周りの 8 つのセルに、関連するキーワードが配置される。小林ら (2019)[2]の図 1 より転載

構造は次のようになる。1. 中央に配置された表が階層構造のトップレベルの DMM である。その中心のセルに業務名を配置する。2. トップレベルの DMM の中心セルのまわりの 8 つのセルには業務を構成する機能を配置する。3. セカンドレベルの DMM の中心セルには、トップレベルの中心の周りの 8 セルの業務を配置する。4. セカンドレベルの中心の周りの 8 セルには、中心セルの機能を細分化した機能を配置する。我々は、DMM の考え方にに基づき小林らが開発したデジタル DMM[2]を授業で用いた。

2. 授業の形態と用いたツール

本稿で紹介するのは、京都情報大学院大学における授業「次世代農業情報学」における実践例と分析である。ここでは、授業の内容と用いたツールについて説明する。

2020 年度春学期の「次世代農業情報学」は、授業全体のテーマを「持続可能な農業と地域について考える」とした。

新型コロナウイルス感染対策のため、Zoom によるリアルタイムオンライン授業の形式をとったが、受講生が効果的な学修ができるよう協調学習 (Collaborative Learning [3]) 型オンライン授業として、予め授業設計をしている。協調

学習は、「学習者が自らの学習視点を持ち、クラス内での意見交換や協同作業を通して共通の課題に対する解を導き出していくこと。また、その能力を身につけること。」を重要な学習目標として掲げている。本授業では、全授業回を通じた授業の共通課題 (ターゲット・スコープ) として「農業 × 異なるもの = 持続可能 (Sustainable) な社会」を設定した。このターゲット・スコープを対象として、各授業回では、それを細分化したスコープ (ターゲット・スコープに関わるトピック) として、例えば「農業 × ライフスタイル = 持続可能 (Sustainable) な社会」、「農業 × 気候/気候 = 持続可能 (Sustainable) な社会」、「農業 × 宇宙 = 持続可能 (Sustainable) な社会」などを設定し、スコープごとに異なる専門家をゲスト講師として招いて授業を実施した。本稿の第一著者は天文学を専門の 1 つとするため、本稿の分析対象は、スコープとして「農業 × 宇宙 = 持続可能 (Sustainable) な社会」を設定した授業の回である。

授業は、協調学習の考えに基づき、いずれの授業回も、事前学習、リアルタイムオンライン授業 (講義とディスカッション) 及び事後学習から構成され、これらを実現するためのツールとして以下の 3 つを用いた。

(a) デジタル DMM アプリ: 小林ら (2019) [2]が開発したアプリ (図 1) である。ブラウザから使用可能であるため、受講生は、PC とスマートフォンのいずれを用いても使用することができる。なお、本稿で扱う事例ではトップレベル DMM のみ使用した (セカンドレベル DMM は、他の授業回と組み合わせで使用)。

(b) 遠隔会議システム: ゲスト講師による講義と受講生が作成したデジタル DMM に基づくディスカッションをリアルタイムオンライン授業として実施するために、zoom を使用した。

(c) Learning Management System (LMS): 受講生との教材共有や事前及び事後学習内容の連絡などのため、京都情報大学院大学で全学的に使用されている dotCampus を用いた。授業は、具体的に以下の内容で実施した。

1. (事前学習) 受講生は、リアルタイムオンライン授業を受講する前に、トップレベルの DMM を作成した。受講生は参考資料などを用いて調べ、宇宙における農業に関連するキーワードを見つけ、中心セルの周りの 8 つのセルに入力している (図 2 の点線囲み)。なお、中心セルは、全受講生で共通の「農業 × 宇宙」に指定した。また、DMM の 9 つのセルの下の横並びの 3 つのセル (図 2 の破線囲み) には、我々が指定した SDGs ラベルから、自ら作成した DMM に関連するラベルを選んで受講生が入力する。ただし、本稿ではこのラベルの分析については述べない。さらに、一番下のセル (図 2 の一点破線囲み) は、DMM を説明する文章を記述する欄である (本稿で分析対象とした事例では、教員が設定した質問「火星で農業をするとしたら、何が重要だと思いますか?」への回答を記述する欄として使用し

た). なお, 受講生一人一人が DMM を作成した.

2. (授業) リアルタイムオンライン授業は, zoom を用いて実施した. 前半は,「京都千年天文学街道アストロトーク」[4,5,6,7]の後半で使用している京都大学 4 次元宇宙シアター[8] (国立天文台 4D2U プロジェクト提供の「Mitaka」[9]と京都大学天文台独自の立体視用 3D 天文映像「Kyoto4D」[10]を組み合わせたもの)により, 天文学研究により得られた知見を題材として, 宇宙の中での地球や火星などの惑星やエウロパやエンケラドゥスなどの衛星の位置と概要を説明した. その上で, Microsoft PowerPoint を使い, 農業にとって必要不可欠な太陽 (太陽フレアの他の惑星への影響など), 将来移住して農業を行う可能性がある火星 (液体の水はほぼ無いが氷はあること, 気圧が低く大気の主成分が二酸化炭素であること, 気温が平均摂氏マイナス 55 度と低いこと, 土壌の成分, 放射線が強い環境などを説明), 生命が存在する可能性がある木星の衛星エウロパ及び土星の衛星エンケラドゥスとタイタン, 地球のように水の海がある可能性があるハビタブルゾーンに位置する系外惑星などの説明をした. これは, 地球以外の天体の情報を, 特に宇宙での農業の観点から, 知識として受講生へ提供するためである. これを踏まえ, 事前学習で受講生が各自作成した DMM を題材とし, 批評やディスカッションを行った (ゲスト講師: 青木, ファシリテーター: 檜木, ディレクター: 小林).

3. (事後学習) 2 を踏まえた上で, 宇宙における農業に関連するキーワードについて, 受講生は事前学習で作成した DMM を各自修正した. 事前学習では「農業×宇宙」と

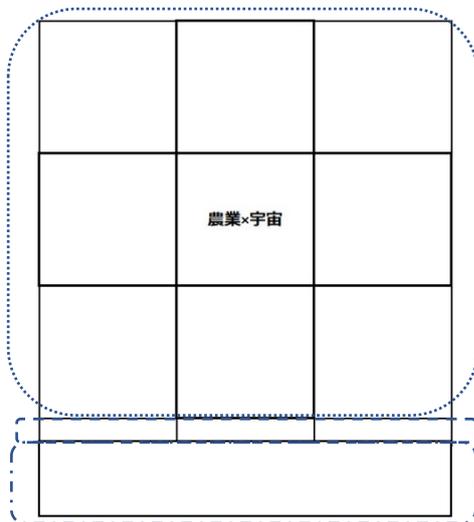


図 2 授業に用いた DMM のテンプレート

事前学習では上部の 9 つのセル (点線囲み) の中心に「農業×宇宙」を指定 (事後学習では, 周りの 8 つのセルを代表して表すキーワードを受講生が考えて入力). 中間部の横並びの 3 つのセル (破線囲み) には SDGs ラベルを入力. 下部のセル (一点破線囲み) は, 事前学習 DMM では教員が設定した質問への回答を記述する欄として, 事後学習 DMM では DMM を説明する文章を記述する欄として使用.

指定した DMM の中心セルに入れる語彙は, 事後学習では, 中心セルの周りの 8 つのセルに入れたキーワードを代表して表す概念となるキーワードを, 受講生が自ら考えて設定した.

3. 事前学習時の DMM と事後学習時の DMM の比較と分析

ここで示す分析結果は, 2020 年度春学期に初めて実施した「農業 × 宇宙 = 持続可能 (Sustainable) な社会」をスコープとする授業回 (受講生 36 名) である.

これから DMM のテキスト分析の結果を示すが, 分析には KH Coder[11,12]を使用した. 同様のテキスト分析を以前, 「京都千年天文学街道アストロトークのアンケート」について行っている[13,14]. なお, 語彙の統一を事前に行っている (「放射線」「宇宙放射線」を「宇宙線」へ統一). まず, 事前学習で作成した DMM と事後学習で作成した DMM の

表 1 事前学習 DMM と事後学習 DMM の上部セルへの出現回数が 3 回以上の語彙

事前学習 DMM		事後学習 DMM	
語彙	出現回数	語彙	出現回数
宇宙	29	宇宙	29
農業	12	農業	14
技術	11	技術	11
栽培	11	栽培	11
人工衛星	8	人工衛星	9
衛星	7	衛星	8
遺伝子	5	開発	6
開発	5	水	6
未来	5	未来	6
する	4	遺伝子	5
環境	4	する	4
月	4	火星	4
作物	4	環境	4
飛行	4	研究	4
宇宙線	3	作物	4
可能性	3	飛行	4
観測	3	宇宙線	3
研究	3	可能性	3
種類	3	観測	3
水	3	月	3
太陽	3	種類	3
地球	3	生産	3
発展	3	太陽	3
無重力	3	地球	3
		発展	3
(火星)	2	無重力	3

全体的な傾向である。DMM の中心セルのまわりの 8 つのセル (図 2 の点線囲みのうち「農業×宇宙」を除くセル) に入力された語彙について、事前学習と事後学習に分けてラベル付けをしてテキスト分析を行った。語彙の出現回数上位 (表 1) を見ると、事前学習 DMM と比べて事後学習 DMM では、「水」と「火星」が出現回数上位に上がったことが分かる (表 1 の太字灰色セルの項目)。また、図 3 は、このデータの対応分析図である。図 3 の左下のラベル「事前学習」よりも左下に分布する語彙 (図 3 の破線囲み: 月, 節気) は、事前学習 DMM における出現回数が事後学習 DMM と比べて多いものである。また、右上のラベル「事後学習」よりも右上に分布する語彙 (図 3 の点線囲み: 水, 火星, 活用, 変異 (セルに記述された語彙は、変異, 遺伝子変異), 生産 (セルに記述された語彙は、生産量, 生産高, 生産効率), 食料 (セルに記述された語彙は、食料危機, 食料格差), 研究開発) は、事後学習 DMM での出現回数が事前学習 DMM と比べて多いものである。

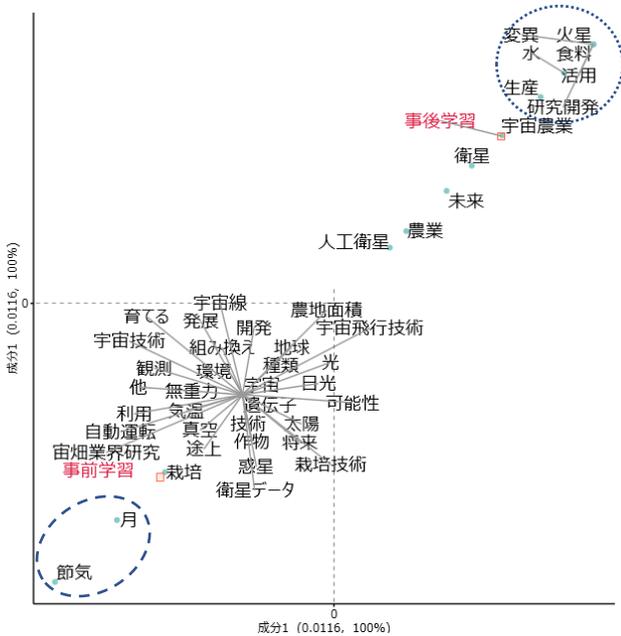


図 3 DMM の中心の周りの 8 つセルに入力された語彙の対応分析図

出現回数 3 回以上 (出現回数上位 47 位) の語彙を用いて作成。左下の語彙が「事前学習」の DMM に現れた回数が多い語彙で、右上の語彙が「事後学習」の DMM に現れた回数が多い語彙。

対応分析図による分析を踏まえ、事前学習 DMM と事後学習 DMM の中心セルを除く各 8 つのセル (図 2 の点線囲み) に入力された語彙について、それぞれ KH Coder で処理して作成した共起ネットワーク図 (図 4 が事前学習 DMM, 図 5 が事後学習 DMM) を比較すると以下のことが分かる。

1. 事後学習 DMM に比べて事前学習 DMM で出現回数が多い「月」と「節気」(図 3 の左下の破線囲み) につい

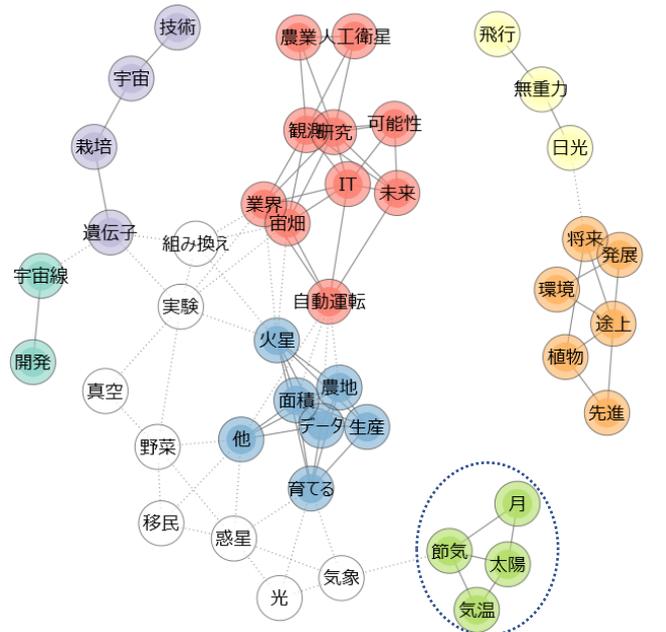


図 4 事前学習 DMM の 8 つのセルに入力された語彙の共起ネットワーク図

出現回数が 2 回以上の語彙を用いた。線で繋がっている語彙は、それらの語彙を同時に DMM のセルに入力した受講生数が多いことを示す (実線はその数が多く、点線はその数が比較的小さいことを示す)。

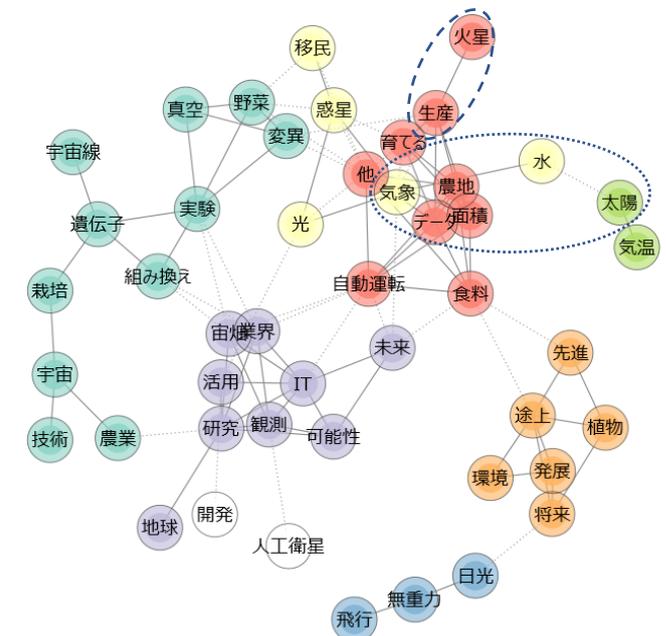


図 5 事後学習 DMM の 8 つのセルに入力された語彙の共起ネットワーク図

出現回数が 2 回以上の語彙を用いた。線で繋がっている語彙は、それらの語彙を同時に DMM のセルに入力した受講生数が多いことを示す (実線はその数が多く、点線はその数が比較的小さいことを示す)。

て、事前学習 DMM の共起ネットワーク図 (図 4) から、「節気」や「月」は「太陽」や「気温」を同時にセ

- ルに入力する受講生数が多い(図4の点線囲み)ことがわかる。しかし、事後学習 DMM の共起ネットワーク図(図5)には「月」と「節気」は現れていない。
2. 事前学習 DMM に比べて事後学習 DMM で出現回数が多い「水」(図3の右上の点線囲み)について、事後学習 DMM の共起ネットワーク図(図5)から、「水」は「太陽」や「気象」を同時にセルに入力する受講生数が多い(図5の点線囲み)ことがわかる。しかし、事前学習 DMM の共起ネットワーク図(図4)には「水」は現れていない。
 3. 事前学習 DMM に比べて事後学習 DMM で出現回数が多い「火星」と「生産」(図3の右上の点線囲み)について、事後学習 DMM の共起ネットワーク図(図5)から、「火星」と「生産」を同時にセルに入力する受講生数が授業を経て増えた(図5の破線囲み)と言える。
 4. 事前学習 DMM に比べて事後学習 DMM で出現回数が多い「活用」「変異」「食料」「研究開発」については、DMM のセルへの記述数の増加がそれぞれ1件にとどまっているため、明らかに増えたとは言えない。
- 従って、事前学習 DMM と比べて事後学習 DMM では、「月」と「節気」の繋がりが弱くなった、つまり、これらの語彙を同時に入力した受講生数が減った。また、「水」、「太陽」、「気象」及び「火星」、「生産」の繋がりが強くなった、つまり、これらの語彙の2つ以上を同時に入力する受講生数が増えた。すなわち、リアルタイムオンライン授業を通し

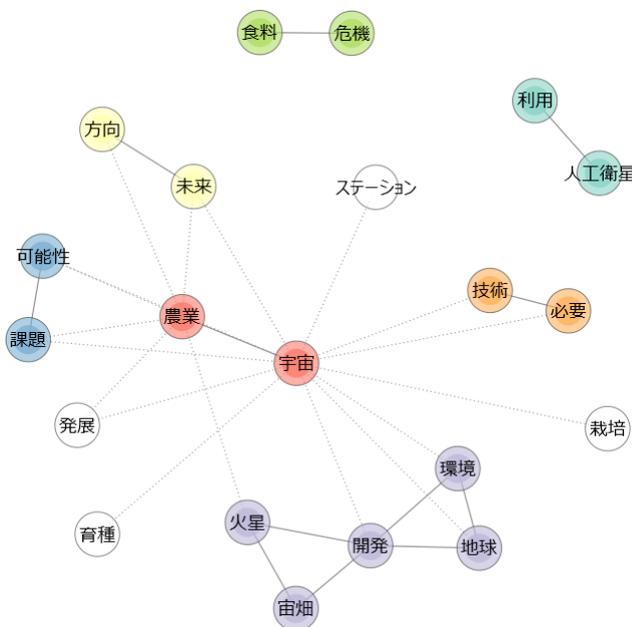


図6 事後学習 DMM の中心セルに入力された語彙の共起ネットワーク図

出現回数が1回以上の語彙を用いた。線で繋がっている語彙は、それらの語彙を DMM の中心セルに入力した受講生数が多いことを示す(実線はその数が多く、点線はその数が比較的小さいことを示す)。

て、「月」と「節気」のような地球での農業を前提とした暦の観点の延長線上で考えていた(宇宙では節気が農業に関係しないことの気づきに至っていない)受講生数が減り、「火星」での(農業による)「生産」には「水」が必要で「太陽」と「気象」が重要であることを自覚した受講生数が増えたと言える。これにより、受講生は宇宙での農業をよりリアルに考えられるようになったと読み取ることができる。

次に、事後学習 DMM の中心セル(図2の点線囲みの中心のセル)に入力された語彙(周りの8つのセルを代表するキーワード)のテキスト分析について述べる。なお、事前学習 DMM の中心セルは「宇宙×農業」を指定したので、分析対象としていない。共起ネットワーク図(図6)から、事前学習 DMM で指定した「宇宙×農業」(図6の中心)から、事後学習 DMM では「農業」と「未来」「火星」「可能性」「発展」「方向」「課題」との関連が受講生の概念上で新たに生じていることが確認できる。

さらに、DMM の下部のセル(図2の一点破線囲み)の分析について述べる。ここに記入する内容は、事前学習 DMM では教員が設定した質問「火星で農業をするとしたら、何が必要だと思いますか？」への回答、事後学習 DMM では DMM を説明する文章である。ここでは、事前学習 DMM と事後学習 DMM でデータを分けて分析した。事前学習 DMM について語彙の出現回数を見ると、事前学習の段階においても、水(氷)、温度(気温、温室で気温上昇)、光、気圧、酸素、土(土壌)が上位に位置し、これらが必要であることを受講生が事前学習時に認識していたことが分かる(表2の太文字灰色背景セル)。なお、本分析では、動詞、形容詞、形容動詞、副詞を分析対象から除いている。

一方、事後学習 DMM について、DMM の下部のセルに

表2 事前学習 DMM の下部のセルへの回答に出現した回数上位の語彙

語彙	出現回数	語彙	出現回数
火星	35	人類	5
農業	20	地表	5
水	14	飛行	5
植物	12	氷	5
温度	10	温室	4
環境	9	科学技術	4
宇宙	8	気温	4
技術	8	根本	4
光	8	食糧	4
地球	7	生存	4
気圧	6	生命	4
酸素	6	長期	4
条件	6	土	4
栽培	5	土壌	4

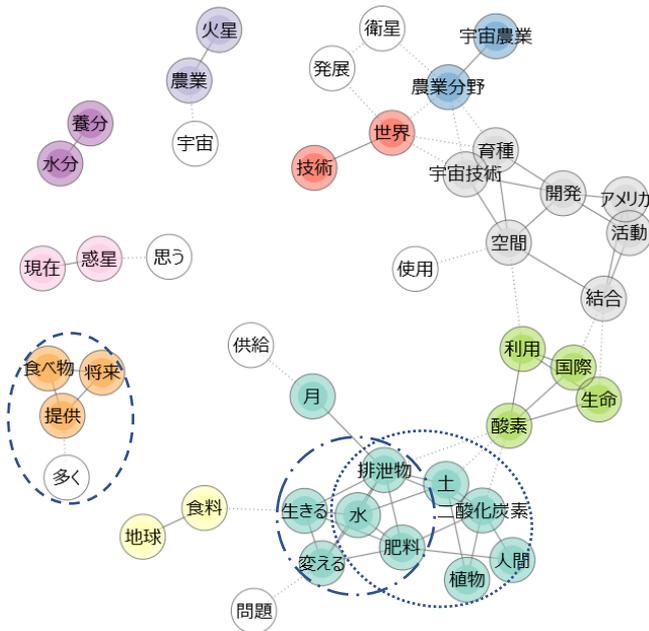


図 7 事後学習 DMM の説明に現れた語彙の共起ネットワーク図

出現回数が 3 回以上の語彙を用いた。線で繋がっている語彙は、それらの語彙を自分の DMM の中心セルに入力した受講生の数が多いことを示す（実線はその数が多く、点線はその数が比較的小さいことを示す）。

入力された文章のテキスト分析から作成した共起ネットワーク図（図 7）を見ると、事前学習 DMM の質問「火星で農業をしたら、何が必要だと思いますか？」に対する回答として多かった、「水」、「酸素」、「土」のほか、「二酸化炭素」や「肥料」など、宇宙での農業（「植物」を育てる）で想定される語彙を同時に使用した受講生が多いことがわかる（図 7 の点線囲み）。これは、講義で特に火星の環境を詳しく説明したためと考えられる。また、これらの語彙と一緒に「生きる」を語彙として使用した受講生数が多いことが分かる（図 7 の一点破線囲み）が、これは本稿での分析対象が「農業 × 宇宙 = 持続可能 (Sustainable) な社会」をスコープとした授業回であり、持続可能 (Sustainable) な社会という観点から記入したためと考えられる。さらに、「多く」、「将来」、「食べ物」及び「提供」の繋がり（図 7 の破線囲み）は、「将来」「多く」の宇宙移民のための「食べ物」を「提供」することになる等の受講生の記述によるものである。これも、持続可能 (Sustainable) な社会の観点によると考えられる。また、受講生による記述には（「人間」の）「排泄物」を回収して、再利用すべき等もいくつか見られる（図 7 の一点破線囲みに対応）が、これは、リアルタイムオンライン授業のディスカッションで、火星で農業を行う場合には火星に生物が生存する可能性を考慮し、ドームなどの閉鎖空間で農業を行うことで物質や生物が外部へ出ていかないようにすべきとの意見が出たことを踏まえたものと考えられる。なお、事後学習 DMM

(a)

彗星衝突の対策と環境問題	宇宙植物学	将来的に必要
発展途上の分野	農業×宇宙	根は色々な方向に
衛生ではエンケラドゥスが一番の候補地(現在)	金星や水星では難しいと思う	行くとすれば施設での栽培

(b) 火星には、最高峰の「オリンポス山」をはじめとした火山や峡谷も存在するため、もし高地で農業をすれば、対策は地球以上に必要となる。また、気温はマイナス 60 度で気圧も非常に低いため、その対策も必要である。

図 8 受講生が作成した事前学習 DMM

(a) DMM のセル, (b) 「火星で農業をしたら、何が必要だと思いますか？」への回答

(a)

隕石、彗星の衝突に関する対策	宇宙植物学	将来的に必要
発展途上の分野	宇宙農業の可能性と課題	水と土地環境
衛生ではエンケラドゥス、エウロパ	金星や水星では難しいと思われる	行くとすれば施設での水耕栽培

(b) 宇宙での農業は、「未開拓」に等しい分野である。可能性としては無限だが、惑星や衛星では農業を行うことができる場所が限られるため、実際に行うとしてもごくわずかであると思われる。さらに、現在の天文学で惑星や衛星の詳細が判明しているものがあまりにも少ないため、農業を実現するには「惑星、衛星の詳細なデータ」が必要であると考えられる。

図 9 受講生が作成した事後学習 DMM

(a) DMM のセル, (b) DMM の説明

の元データを確認したが、DMM の上部セル（図 2 の点線囲み）に入力された語彙に対して、下部セル（図 2 の一点破線囲み）に入力された文章が、必ずしも最適な説明とは

なっており、上部のセルとの関係の分析は困難である。

4. DMM の実例

ここで、受講生が作成した DMM の一例を示し、どのように DMM が変化したかを説明する。この例では、事前学習時からキーワード (DMM の上部セル; 図 8a) と教員の質問への回答 (DMM の下部セル; 図 8b) が比較的適切に設定されている。リアルタイムオンライン授業 (講義とディスカッション) を経て、より具体的なキーワード (図 9a) と補足説明 (図 9b) へ改善されていることが分かる。

- また、図 8a と図 9a の比較から、以下のことが言える。
1. 上段左端のセルで、事前学習 DMM では「彗星衝突の対策と環境問題」だったが、事後学習 DMM では「隕石、彗星の衝突に関する対策」と変化している。これは、リアルタイムオンラインの講義において月や火星には数多くの隕石が落下しクレーターが多数あることを説明したため、宇宙での農業には、彗星衝突だけでなく隕石衝突も考慮する必要があることが学習者に理解されたと考えられる。
 2. 中段右端のセルで、事前学習 DMM では「根はいろいろな方向に」だったが、事後学習 DMM では「水と土地環境」となっている。また、下段右端のセルで、事前学習 DMM では「行くとすれば施設での栽培」だったが、事後学習 DMM では「行くとすれば施設での水耕栽培」となっている。この変化の理由として考えられるのは、(1) 水の確保が容易ではないこと、(2) 土を使った農業には様々な微生物が必要なために火星の土壌への負担が大きく、火星に生命が存在する場合に影響を与えてしまう可能性があることから、水耕栽培にすべきかもしれない、という意見がディスカッションで出たことが反映されたためと考えられる。
 3. 下段左端のセルで、事前学習 DMM では「衛星ではエンケラドゥスが一番の候補地 (現在)」だったが、事後学習 DMM では「衛星ではエンケラドゥス、エウロパ」と変化し、講義での土星の衛星エウロパの説明を踏まえ、エウロパが追加されている。
 4. 中心セルは事後学習 DMM で「宇宙農業の可能性と課題」と設定され、事前学習 DMM の「農業×宇宙」よりも適切なキーワードへ変化している。

また、図 9b では、より具体的な記述内容となっており、例えば、「惑星や衛星では農業を行うことができる場所が限られる」及び「現在の天文学で惑星や衛星の詳細が判明しているものがあまりにも少ない」という記述は、講義及びディスカッションにおいて得た情報を踏まえて反映されたものと考えられる。

ここで示したのは一例であり、学習効果は学習者に依存するが、事前学習 DMM と事後学習 DMM の全般的な変化から、

協調学習のためのツールとしてデジタル DMM が有効であると言える。

5. おわりに

本稿では、協調学習型オンライン授業として設計した京都情報大学院大学の授業「次世代農業情報学」の中の、「農業 × 宇宙 = 持続可能 (Sustainable) な社会」をスコープとする授業回で、受講生が記入した Diamond Mandala Matrix (DMM) を対象とした分析結果を示した。授業は、事前学習で受講生が取り組む DMM (事前学習 DMM) と、zoom を用いたリアルタイムオンライン授業 (前半: 講義, 後半: 事前学習 DMM に基づくディスカッション)、オンライン授業後に事後学習として受講生が取り組む DMM (事後学習 DMM; 事前学習 DMM の改善) からなる。我々が用いたデジタル DMM アプリは、8 つのキーワードとそれを代表する概念となるキーワード及び補足説明から構成され、事前学習 DMM と事後学習 DMM に受講生が記述した内容を KH Coder を用いてテキスト分析した。さらに、受講生が作成した事前学習 DMM と事後学習 DMM を比較することで、具体的な DMM の変化を捉え、リアルタイム授業へ参加したことによる学習効果が DMM に現れていることを確認できた。これらにより、我々が開発中のデジタル DMM アプリが協調学習に有効なツールであることを示すことができた。今後、多くのデータが蓄積された後、より詳細な分析を行いたい。なお、オンライン授業では、対面授業よりも受講生からの発言を得やすく、より積極的な取り組みへ繋がると感じた。さらに、デジタル DMM は 1 つのレベルにつきセル数が 9 と少なく、かつ、ブラウザ上に表示して画面共有できるので、互いに離れた場所からオンラインで参加しても、講師が指定したデジタル DMM (特に図 2 の点線囲み) へ、ファシリテーター、ゲスト講師、受講生、ディレクターの全員が集中して議論することが出来る。これは、対面形式に対するオンライン形式でのデジタル DMM 使用の大きな利点である。また、オンライン授業は PC 利用が前提のため、デジタル DMM を利用可能な環境であり、オンライン授業との親和性が高い。その他、対面形式と比べたオンライン形式でのデジタル DMM 使用に不都合はないが、対面授業とは違い、学生の横で補助できないため、デジタル DMM の使い方の丁寧な説明が必要である。

ところで、思考を文章化する能力は学生によって異なるため、文章のわかりやすさが学生の学びのレベルに対応するとは必ずしも言えない。しかし、文章では無く、キーワードを定めることには、受講生にはあまり困難は無いと考えられる。さらに、DMM は、コンセプトマップ[15]と類似するが、よりシンプルで制限された枠組みを持つ。従って、デジタル DMM の上部セルを主な学習ツールとして用い、下部セルは上部セルに対して補足的に用いれば、受講生が取り組みやすく、また学習効果も分析しやすい。今後、よ

り多くの事例を分析して学習効果を数値化すれば、デジタル DMM を用いた協調学習の効果と有用性を示すことができ、デジタル DMM を用いた授業の改善に役立つと考えられる。

デジタル DMM は、大学生や大学院生（本稿の分析対象のほか、青山学院大学大学院にて小林らが実践）には有効だが、思考をキーワード化する必要があるため、中学生や高校生にはハードルが高い可能性がある。しかし、学生自身がキーワードを明確化できなくとも漠然としたイメージから絵を描くことは可能と考えられる。また、学習環境によってはデジタルデバイスで入力することが困難な場合がある。そこで、学生に絵を描いてもらい、描かれた要素を言語化し、それを DMM と同等に扱うことが出来る仕組みの構築を進めている。その実践例が、美濃加茂市が推進している里山×STEAM MINOKAMO2030 事業の講座として、岐阜県に加茂農林高校で実施されている「高校生が考える持続可能な森づくり」プロジェクトの一環として zoom とデジタル DMM アプリにより実施した協調学習型オンライン授業（スコープを「里山×宇宙」として高校3年生に対して2限分×2回の計4限分で実施）である。リソースが非常に限られた火星での里山建設を考えることにより、地球の里山における重要な要素を理解することが本授業の目的である。火星にはドームが用意される条件を設定し、4人1名のグループワークで火星での里山の絵を描いてもらったところ、単一ドームという著者らの想定を超え、里山の

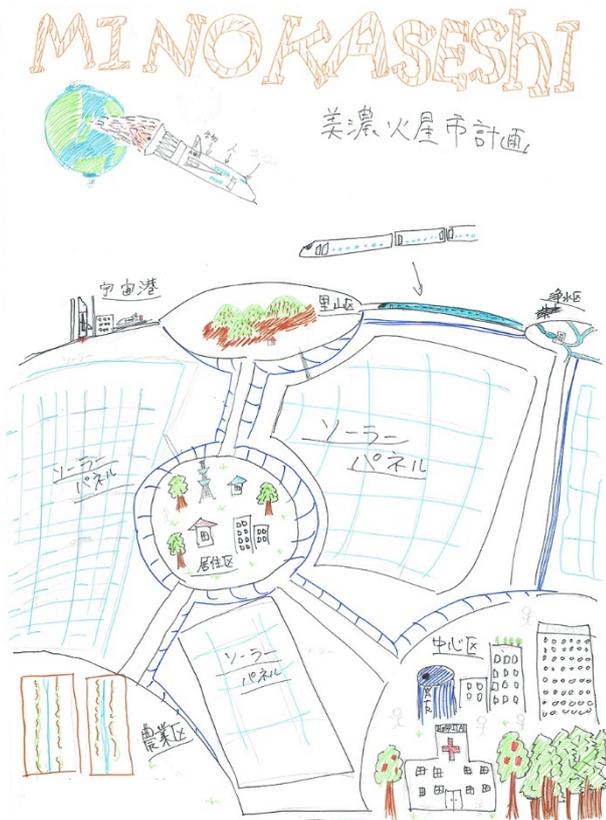


図 10 加茂農林高校のグループが描いた絵の例

機能を分けて複数のドームへ分散配置する考えを示したグループがいた（図 10）。地球の里山における重要な要素を理解するという目的が想定外の形で達成されている。現在、この結果などを踏まえ、絵の要素を言語化し、DMM と同等に扱う研究を進めている。

謝辞 本研究の一部は JPSP 科研費 16H03087, 19H01724 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] “自治体 EA 業務・システム刷新化の手引き 機能分析表 (DMM)” .
https://www.soumu.go.jp/denshijiti/system_tebiki/hyouki/gyomu/2-a-2-dmm.html, (参照 2020-10-02).
- [2] 小林 信三, 江見 圭司, 湯下 秀樹, 大西 健吾, 土持・ゲーリー・法一, 岡本 敏雄. Diamond Mandala Matrix を用いたインストラクショナル・デザインによる多言語化された反転教材の開発実践. 情報教育シンポジウム論文集, 2019, p. 283-286.
- [3] 岡本 敏雄, 二宮 利江, 香山 瑞恵. 協調学習と e-Learning. 人工知能学会誌, 2008, <特集>協調学習と AI, p. 193-199.
- [4] S. Aoki. “Millennium Trail of Astronomy in Kyoto” Outreach Activity: an Astronomical Walking Tour with Historical Features and Lectures. Book of Proceedings Communicating Astronomy with the Public Conference, 2018, p. 220-221.
- [5] 青木成一郎. 古の天文観測と現代天文学研究の繋がりを学ぶツアー「京都千年天文学街道」. 第 31 回天文教育普及研究会年会集録, 2017, p. 138-141.
- [6] NPO 花山星空ネットワーク・京都千年天文学街道ツアー事務局. 京都千年天文学街道ツアー. KICC, 2012, Spring Issue 9, p. 2-11.
- [7] 作花一志, 青木成一郎. 報告「アストロトーク@京大博物館」. 天文教育, 2014, vol. 26, no. 2, p. 35-36.
- [8] 青木成一郎. 京都大学 4 次元デジタル宇宙シアターによる天文普及活動. 宇宙ユニットシンポジウム, 2017, https://www.uss.kyoto-u.ac.jp/etc/symp10/short_present/short_present_10_61.pdf, (参照 2020-10-02).
- [9] “国立天文台 4 次元デジタル宇宙プロジェクトウェブサイト”. <http://4d2u.nao.ac.jp/t/index.html>, (参照 2020-10-02).
- [10] Okumura, J., Mineyama, D., Watanabe, H., Otsuji, K., Matsumoto, T., Nakamura, T., Aoki, S., Asano, E. and Shibata, K. Three Dimensional Visualization of the Solar Corona using Soft X-ray Images taken with Yohkoh/SXT and Hinode/XRT. in The 1st ICSU World Data System Conference, 2011, <http://pacocat.com/sun/IGY50.pdf>, (参照 2020-10-02).
- [11] 石田基広, 金明哲編著. コーパスとテキストマイニング. 共立出版, 2012
- [12] 樋口耕一. 社会調査のための計量テキスト分析. ナカニシヤ出版, 2014
- [13] Aoki, S., Sakka, K., Emi, K., Kobayashi, S. and Okamoto, T.. Text Data Analysis on Answers Written in Japanese to Free Text Questions obtained at Astronomy Lectures. In: Brinda T., Passey D., Keane T. (eds) Empowering Teaching for Digital Equity and Agency. OCCE 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer, Cham., 2020, vol. 595, p. 139-143
- [14] 青木成一郎. 天文学講演におけるアンケートの自由記述欄に対する計量テキスト分析. 情報教育シンポジウム論文集, 2019, p. 277-282.
- [15] Novak, J. D. and Gowin, D. B. Learning how to Learn Cambridge University Press, 1984, p.1-18