

文系大学生を対象としたデータリテラシー 教育に関する一考察 ～「WRDII <R>8: データリテラシーのすすめ」 授業開発を例に～

標 葉 靖 子

1. はじめに

現代に生きる我々の生活において、科学・技術に関与する状況や場面は、より多様に、より複雑になってきている。このような現代を小林 (2007) は「トランス・サイエンスの時代」と表現した。トランス・サイエンスという言葉は、1970年代にアメリカの核物理学者であるワインバーグが、「科学に対して問うことはできるが、科学では答えることができない問題」があることを示し、それを「トランス・サイエンス的問題 (trans-scientific questions)」(Weinberg 1972) と呼んだことに始まる。環境・エネルギーや再生医療、人工知能などの社会的課題だけでなく、食品や健康、防災などの日常生活に関わることに於いて、我々はトランス・サイエンス的問題に囲まれて生きていると言える。そのような「トランス・サイエンスの時代」において、科学・技術の専門家ではない市民にとって必要な科学技術リテラシーとはどのようなものだろうか。

科学技術リテラシーの定義については多くの検討がなされている (科学技術振興機構科学コミュニケーションセンター 2015; 川本ら 2008; 西條・川本 2008; 田中 2006) が、市民の科学技術リテラシーを考える上で現在最も影響力があるのは、経済協力開発機構 (OECD) が2000年以降3年おきに実施している、15歳の児童を対象とした国際的な学習達成度調査 (PISA 調査) における「科学的リテラシー」であろう。

PISA2015では「科学的リテラシー」は以下のように定義されている。

科学リテラシーとは、思慮深い市民として、科学的な考えを持ち、科学に関連する諸問題に関与する能力である。科学リテラシーを身に付けた人は、科学やテクノロジーに関する筋の通った議論に自ら進んで携わり、それには以下の能力（コンピテンシー）を必要とする。

- ・現象を科学的に説明する：自然やテクノロジーの領域にわたり、現象についての説明を認識し、提案し、評価する。
- ・科学的探究を評価して計画する：科学的な調査を説明し、評価し、科学的に問いに取り組む方法を提案する。
- ・データと証拠を科学的に解釈する：様々な表現の中で、データ、主張、論（アーギュメント）を分析し、評価し、適切な科学的結論を導き出す。

(OECD 編 2016: 32)

この定義において注目すべき点は、科学リテラシーを単に科学上の研究成果に関する知識としてだけでなく、一般の人々が科学的方法論を理解した上で科学的知識を使って効果的に生活し、さらには科学が関連する政策決定に参加することを可能にする能力として定義している点である。この能力はまさに「トランス・サイエンスの時代において求められる能力」（松下 2014: 158）であり、「民主主義社会に生きる自律した市民の基礎的能力の一つ」（原 2015: 197）であると言える。

科学リテラシーを含む市民に求められる市民リテラシーについて、楠見 (2011) は図1のような整理を行っている。すなわち市民リテラシーとは、批判的思考（スキル・知識及び態度）を土台として、市民生活に必要な読解・メディア・ICTリテラシーや科学・数学、経済、法律、健康などの対象領域のリテラシーからなる高次のリテラシーである。

このような高次のリテラシー及びその土台となる批判的思考は21世紀型スキルとして大学教育でも注目され、その教授法についても多くの知見が蓄積されてきている（楠見ら 2011; 楠見・道田 2015）。しかしながら、大学初年次教育のなかで、「トランス・サイエンスの時代」で求められる科学技術リテラシーをどのように教授するのか、とりわけ理数系科目に対して苦手意識があり、また科学技術への

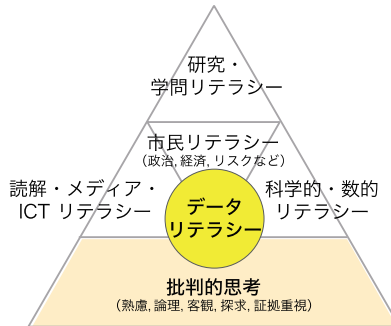


図1 批判的思考に支えられたリテラシーの構造と本研究におけるデータリテラシー
楠見 (2011: 17) の図 1-3 を元に、筆者が一部改変

関心が高い訳ではない学生を対象としたアプローチについては、管見の限りまだ知見が十分に蓄積されているとは言えないのが現状である。そこで本研究は、科学・技術の専門家ではない市民に求められるリテラシーの核として、批判的思考および身の回りにある数的/科学的データを読み解き活用する力（以下、データリテラシーという）に注目し、「数学や科学に苦手意識のある学生」を対象に、その向上を目的とする授業プログラムの開発を行った。

本稿ではまず、文系大学1年生を対象とした、データリテラシーの向上を目指す「WRDII <R> 8: データリテラシーのすすめ」授業プログラム（以下、本授業プログラムという）の開発について述べる。次に、開発した本授業プログラムの実施効果や課題について、当該科目の履修学生が授業期間内に提出した課題提出物やリアクションペーパーの記述内容からの分析を試みる。最後に、それら結果を踏まえ、大学初年次における文系学生向けデータリテラシー教育のあり方について考察する。

2. 開発および実施

2.1 授業プログラムの位置づけ

本授業プログラムは、首都圏にある私立文系大学において「W=Write、R=Read、D=Debate」の基礎力涵養を目標に設置された大学初年次生を対象とし

た WRD 科目群のうち、R=Read に特化した科目群の一つである。その中でも特に本科目（R8: データリテラシーのすすめ）では、さらに、数的／科学的データを読むことに焦点を絞り、数学や科学に苦手意識がある人こそ身につけておきたいデータリテラシーの向上を目標に授業を開発した。開発した授業の 2016 年度履修学生数は 12 名であった。

2.2 授業の到達目標

シラバスには、「身の回りの様々なデータに着目することで数学や科学が苦手な人こそ身につけておきたいデータリテラシーの向上を目指す」ことを掲げた。また、「数学や科学の前提知識は問わない」こと、「数式は使わず、グループディスカッションおよび演習を中心に、批判的思考によるデータ解釈を行う」ことも明記した。具体的に授業の到達目標として掲げたのは、以下 2 点である。

1. 身の回りの様々なデータを批判的に読むことができるようになる。
2. ある主張の根拠となりうる「科学的データ」について、具体例を挙げて説明できるようになる。

2.3 授業計画の全体像

全 15 回講義のうち、第 1 回は導入、第 14 回は総合討論、第 15 回はまとめとなっている。残りの 12 回を前半 6 回と後半 6 回の 2 つのユニットに分け、前半ユニットでは統計リテラシーを、後半ユニットでは科学的思考をテーマとした。前半の統計ユニットで到達目標の 1 を、後半の科学的思考ユニットで到達目標の 2 を達成することを目指す（表 1）。

2.4 成績評価

2016 年度の授業プログラムでは、最終まとめを除く 14 回の授業での議論・演習への参加・貢献度（計 35 点）、2 回の発表および中間課題（計 15 点）、最終レポート（計 50 点）を合わせた 100 点満点で評価することとした。それぞれの評価の観点及び配点は以下表 2 の通りである。

表1 WRDII<R>-8: データリテラシーのすすめ 授業計画の全体像

回	授業構成(関連キーワード)
1	導入ガイダンス& 事前アンケート
2	統計でウソをつく-1: 様々なバイアス(サンプリング, 隠れた前提, 用語の定義, 視覚トリック, 偏り)
3	統計でウソをつく-2: 相関関係と因果関係 (因果の誤謬, 疑似相関, 交絡)
4	統計でウソをつく-3: 統計的検定の考え方 (代表値, 分散/標準偏差, 誤差, 有意差, 検定)
5	発表会: 統計のウソを探そう!
6	発表会・続き, 中間課題の発表
7	統計ユニットまとめ: 中間課題提出物を用いたワークショップ
8	地球温暖化問題について考える(トランス・サイエンス, シミュレーション, 不確実性, フレーミング)
9	科学的思考-1: システム思考 (還元主義*全体論, 複雑系, 因果ループ, モデル)
10	科学的思考-2: 「科学的に考える」とは (反証可能性, 仮説と真理 仮説思考, 帰納的推論)
11	科学的思考-3: アブダクションによる仮説形成, アーギュメンテーション
12	発表会: 政府統計を用いて, 仮説形成&検証をしよう!
13	発表会・続き, 最終レポート課題の発表
14	総合討論: なぜデータリテラシー, 科学的リテラシーが重要なのか & 事後アンケート
15	まとめ

表2 評価の観点および配点

	観点	趣旨	配点
毎回の授業 (14×2.5点)	参加	授業内で自身の意見・疑問等を表明している	1点
	貢献	批判的思考に基づく指摘等により, 議論の質を高めている	1.5点
発表/中間課題 (3×5点)	問題発見	自らの調査に基づきユニークな問題を設定できている	2点
	理解	扱っている概念や事例の理解が正しい	2点
	表現・構成	課題に対し適切な表現・構成となっている	1点
最終レポート (50点)	問題発見	自らの調査に基づきユニークな問題を設定できている	15点
	態度	授業で扱った概念等を積極的に取り入れている	15点
	理解	扱っている概念や事例の理解が正しい	10点
	表現・構成	課題に対し適切な表現・構成となっている	10点

2.5 授業内容

2.5.1 統計ユニット (第2回~第7回)

前半6回の統計ユニットでは、まずは統計の基礎的な用語・概念についての講義およびグループディスカッション・演習(3回)を行った。その後、3回の授

業で扱った内容を参考に、身の回りにある「統計のウソ」を見つけ出し、問題点を指摘するプレゼンテーションを2回にわたって行った（履修者全員がそれぞれ発表者となる）。さらに統計ユニットのまとめとなる中間課題を課し、統計ユニット最終回（第7回）でその中間課題提出物を用いたワークショップを行うことで、統計ユニットの振り返りとした。

統計ユニットでのグループディスカッション・演習では、数学や科学の前提知識を問わず、履修学生全員が議論に参加できるようにする工夫として、筆者らが開発したカードゲーム教材“nocobon”（福山ら 2017; 標葉ら 2017）を用いた協調学習（Miyake 1986; 三宅ら 2016）形式を採用した。“nocobon”は3-6名のグループで実施するコミュニケーション型推理ゲーム（Sloane and MacHole 1993）の一つで、カードのオモテに記された科学技術と社会やデータ/科学リテラシーに関連する不思議なストーリーについて、1名が出題者兼進行役となり、他の人が「はい（肯定）」か「いいえ（否定）」で答えられる質問をしていくことによって、カードのウラに書かれた答えを解き明かすことを目指すゲームである⁽¹⁾。カードの表に書かれた問題文だけでは答えが一意に決まらないことから、解答者には論理的思考だけでなく、水平的思考⁽²⁾や積極的に質問していく姿勢が必要となってくるのが特徴である。

本授業では、“nocobon”カード全50種（2017年2月1日時点）のうち、統計リテラシーに関わるカードだけを選び使用した（図2）⁽³⁾。また上述の統計ユニットとしてのまとめ課題となる中間課題では、授業で扱った統計用語等をキーワードとする“nocobon”カードを2枚作成することを求めた。

2.5.2 科学的思考ユニット（第8回～第13回）

後半の科学的思考ユニットでは、「ポストノーマルサイエンス」（Ravez 1999）的な現代の科学のあり方についての理解を深めるとともに、既存の政府統計データを活用して、科学的思考によりアークギュメント⁽⁴⁾を構築できるようになることを目指した。ポストノーマルサイエンスとは、ラベッツ（Ravez 1999）が提示した概念であり、科学技術の影響を確認する実験の不在、専門家間での意見の不一致、意思決定システムなど諸体系の不確実性、価値や経済的な利害関係の増大

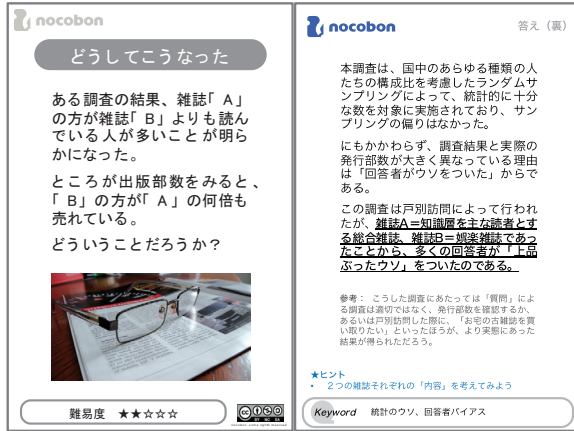


図2: 授業で使用した nocobon の例、左: オモテ (問題)、右: ウラ (解答)
戸別訪問調査の場合、設問によっては回答者が見栄からウソをつく傾向があることを扱った問題で、キーワードは「回答者バイアス」となっている。

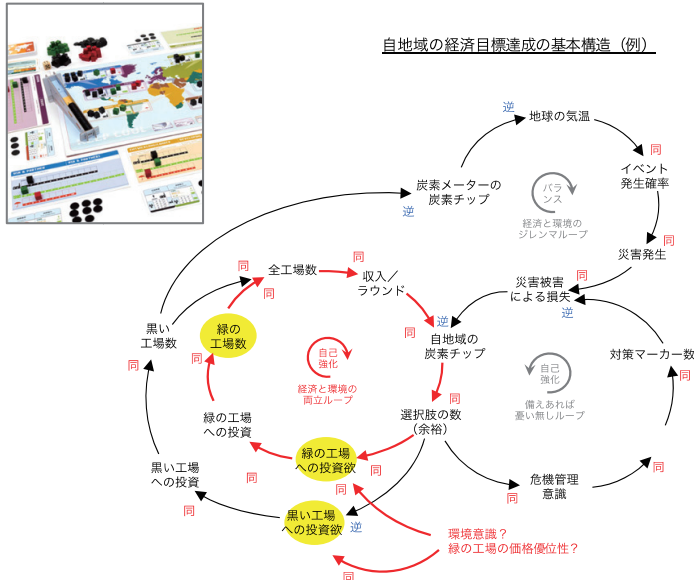


図3: キープクール (左上枠内) とゲームシステムの因果ループ図の例 (右)
販売メーカー: Spieltrieb (2013年、原版2004年)、作者: Klaus Eisenack & Gerhard Petschel-Held
因果ループ図における「同」は、矢印がつながる2変化の向きが同じ、「逆」は変化の向きが逆であることを示す

ステップ1：状況を把握する（すでに確認できているデータ<事実>の確認・整理）

そのデータは誰が・何のために・どのように収集分析/発表しているのでしょうか。またそのデータを読むにあたって留意すべき点（バイアス等）は何ですか。
そのデータからどのような事実の記述ができますか？
その<事実の記述>から、「なぜ〇〇なのか？」「〇〇の正体は何か？」といった、「問い」を発してください

ステップ2：仮説を立てる

ステップ1で発した「問い」に対して、すでに確認できている<事実>をうまく説明することのできる「仮説」を思いつく限り書き出してください。

ステップ3：仮説から「予言」を引き出す

ステップ2で立てた仮説がもし正しければ、どのような<事実>が確認できるはずかを考え、「予言」を引き出してください。

「予言」があたっているかどうかを確認するために必要なデータは何か、検証条件と反証条件それぞれについて書き出してください。

仮説	予言	検証するために必要なデータ・何と何を比較するか
内容	# 内容	# 検証条件/実験群 vs 反証条件/対照群

ステップ4：検証する

仮説検証のための追加データを収集し、そのデータの出典、概要（バイアス等データ解釈上の注意点を含む）、及びそのデータによって確認できる新しい<事実>を書き出してください

確認された新しい事実が予言通りの結果だったかどうかを確認し、仮説が正しかったかどうか判断してください。

検証のための追加データ			対応する仮説についての判断（採用・棄却・保留）		
出典	データ概要	確認された新しい<事実>	#	判断	備考

上述の各判断結果を踏まえ、全体としての結論（&より良い仮説）を簡潔にまとめてください。

結論

図4: アブダクションによる仮説形成及びデータに基づくアーギュメント構築のためのワークシート

などがかわる科学技術の問題を示している。

科学的思考ユニットの初回（第8回）では、まずは科学が関わる社会の諸問題への関心を喚起することを目的に、地球温暖化を扱ったボードゲーム「キープクルール」を用いたゲーム学習を実施した⁽⁵⁾。ゲームをプレイした翌週に、地球温暖化問題の構造を読み解く科学的思考の一例として、問題解決スキル⁽⁶⁾における重要なキーワードの一つにもなっている「システム思考」⁽⁷⁾を取り上げ、複雑な問題を構成する要素やその相互作用等の全体構造を見抜き、因果ループを描くグループ演習を行った（図3）。

その後、「科学的に考える」ことについての講義およびグループディスカッションを2回にわたって行い、実際の政府統計データ等を用いて、アブダクションによる仮説形成ならびに仮説演繹法を用いたアーギュメント構築を繰り返した。第12・13回の2回にわたって実施した発表会では、各自で政府統計データベース e-stat (<https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>) からデータを選び、仮説形成及びアーギュメント構築の結果導いた主張をレジメ形式で発表させた。なお発表に使用するレジメのフレームとして、アブダクションからアーギュメント構築までのステップを順に埋めていくワークシート（図4）を指定した。また最終レポート課題は、発表したレジメの内容を、当日の質疑応答や教員からのフィードバックを反映させた上で、論文に書き下すよう指示した。

3. 評価・分析の手続き

3.1 質問紙調査（2016年9月22日/2017年1月12日実施、有効回答数 n=9）

授業内容の準備等の参考とするため、初回授業日（2016年9月22日）の冒頭で匿名での質問紙調査を行った。質問紙調査では、履修学生が高校や大学で履修した理数・情報系科目について尋ねた他、履修学生の科学技術に対する関心・関与度や批判的思考態度について尋ねた（表3）。批判的思考態度については、本授業プログラム最終講義日（2017年1月12日）の終わりにも再度同じ設問で尋ねた。

科学技術に対する関心・関与度については、加納ら（2013）や後藤ら（2014）

表 3 2016 年度 質問紙調査の設問構成

設問群	問数	回答法	
1 高校での理数・情報系科目の履修状況	1	多肢選択法 (複数回答)	事前のみ ^{※1}
2 大学で統計/社会調査系科目を履修しているか	1	2 件法 (Y/N)	事前のみ
3 日頃の興味・関心について (加納ら 2013; 後藤ら 2014; 加藤・標葉 2016)	6	5 段階評定法	事前のみ
4 批判的思考態度尺度 (平山・楠見 2004)	33	5 段階評定法	事前・事後 ^{※2}

※1 事前とは、初回授業の冒頭で実施した質問紙調査のことである。

※2 事後とは、第 14 回授業の終わりに実施した質問紙調査である。事前・事後ともに各自の携帯電話の番号下 5 桁を記載してもらい、それを ID として事前と事後とでの対応をとった。

がその有効性を確認しているオーストラリア・ヴィクトリア州政府によるセグメンテーション手法 (以下 VSEG と記す) (Victorian Department of Innovation, Industry, and Regional Development 2007) を採用した⁽⁸⁾。本授業の履修学生には文系学部の学生であることから、科学・技術への関心は低いものの、社会・文化に関わることへの関心が高い層が存在することが予想される。そこで本研究では、加藤・標葉 (2016) と同様に、VSEG での質問項目中の「科学・技術」という単語を「社会・文化」に置換した質問も同時に行い、二軸の組み合わせによる分類を試みることにした。

批判的思考態度尺度については平山・楠見 (2004) で使用された「論理的思考への自覚」、「探究心」、「客観性」、「証拠の重視」因子の、計 33 項目をランダムに並び替え構成し、「1. あてはまらない」から「5. あてはまる」の 5 段階で評定させた。事前アンケートに対してそれぞれの因子の信頼性係数を調査した結果、「論理的思考への自覚」、「探究心」、「客観性」、「証拠の重視」それぞれの信頼性係数は順に、 $\alpha=0.74, 0.85, 0.79, -0.42$ であった。そのため、「論理的思考への自覚」、「探究心」、「客観性」については信頼性に問題ないと判断し、「証拠の重視」については本解析から除外した。

3.2 成果物およびリアクションペーパー記述内容の分析 (n = 12)

毎回の授業後に提出させたリアクションペーパーおよび 2 回の発表、中間最終

課題の提出物を対象に、その記述内容についての分析を行い、本授業プログラムの効果と課題について考察した。なおリアクションペーパーでは、毎回の授業についての「感想・意見等」を自由記述させた。ただし最終回のみ、「本授業全体を通して学んだこと」「その他、意見・感想等」の2点を記述させた。

4. 実践・分析結果

本授業プログラムでは、「数学や科学が苦手な人こそ身につけておきたいデータリテラシーの向上」を目標に掲げ、「数式は使わず、グループディスカッションおよび演習を中心に、批判的思考によるデータ解釈」を行うことを徹底した。以下、2016年度履修学生の高校時代の理数・情報系科目の履修状況や授業初回時点での科学・技術への関心度に言及した上で、毎回の授業でのリアクションペーパー、発表/課題提出物を材料に本授業プログラムの効果と課題についての分析結果を報告する。

4.1 履修学生について

4.1.1 高校理数・情報系科目の履修状況

履修学生が高校時代に履修していた理数・情報系科目について、初回質問紙調査での集計結果を表4に示す。回答者9名全員が高校数学の必修科目である「数学I」の他に「数学A」を履修していた。すなわち、本授業プログラムの統計ユニッ

表4 履修学生の高校時代の科目履修状況（数学と理科/情報のクロス集計）(n = 9)

	小計	理科系			情報系		履修なし
		物理基礎 化学基礎 生物基礎 のみ	化学基礎 生物基礎 地学基礎 のみ	物理基礎 化学基礎 生物基礎 + 生物	社会と 情報	情報の 科学	
数学 I, A	1	1	0	0	1	0	0
数学 I, A, II	2	1	0	1	0	0	2
数学 I, A, II, B	6	3	2	1	3	1	2

その他、数学III、物理、化学、地学、理科課題研究については、いずれも履修者はいなかった。

トの内容と関連する「集合と論理」や「データの分析」、「確率」については全員が履修していた。一方、9名中3名は「行列」や「ベクトル」、「確率分布」や「統計処理」を扱う「数学B」を履修していなかった。さらに理科系については9名中7名が基礎科目までの履修であり、情報系科目については4名の学生が履修していなかった。

初回授業ガイダンスでのリアクションペーパー (n=9) でも、「数学は苦手だと突き放していた」「数学や科学は苦手」「理系分野に関しては高2の段階で諦めてしまっていた」「数学は初歩から危うい」「科学は苦手」といったコメントがみられた。このことから、本授業プログラムの受講生は、高校までの理数・情報系科目の履修状況にバラツキはあるものの、本授業開発において想定した「数学や科学に苦手意識のある学生」であると考えられる。

4.1.2 科学・技術への関心

授業初回での質問紙調査結果を用いて、VSEGによるセグメンテーションを行った (n=9)。その結果、科学・技術、社会・文化への関与度がどちらも高い全方位タイプの学生は、アンケート有効回答者数9名中1名であった (表5)⁹⁾。残りの科学・技術への非高関与層8名 (潜在的関心層¹⁰⁾1名、低関与層7名) について、社会・文化への関与については高関与層3名、潜在的関心層5名、科学・技術だけでなく社会・文化に対しても関心がない低関心タイプは一人もいなかった。

表5 「科学・技術」と「社会・文化」の2軸によるVSEGセグメンテーション (n=9)

	科学・技術への高関与層 (上位2層)	科学・技術への潜在的関心層 (中位2層)	科学・技術への低関与層 (下位2層)
社会・文化への高関与層 (上位2層)	1 (全方位タイプ)	1	2 (社会・文化好き)
社会・文化への潜在的関与層 (中位2層)	0	0	5
社会・文化への低関与層 (下位2層)	0 (科学・技術好き)	0	0 (低関心タイプ)

本授業プログラムでは、「数学や科学の前提知識は問わない」とシラバスに明記しているものの、高校までの数学や理科・情報系科目で学習する知識・考え方が現実的文脈のなかでいかに活用できるかが、授業全体に通底する一つのテーマとなっている。履修学生の間で高校までの数学や理科・情報系科目の履修状況が異なっていること、また科学・技術に対して関心が比較的高い学生は9名中2名であることから、学生全員が議論に参加できるようにするためには「数式を用いない」だけでは不十分であり、いかに学生の関心を喚起できるかが大きな課題になる。そこで数理は前面に出さず、まずは比較的高い関心を示す社会・文化的な話題を導入とすることで、関連する科学技術に関わる議論への関心へとうまく接続させられるかが鍵となると考えた。

4.2 本授業プログラムの効果

4.2.1 統計ユニット（第2回～第7回）

履修学生が全員議論に参加できるようにするための工夫として用いたカードゲーム教材 nocobon について、授業では12名を4名×3グループに分け、全ての学生が出題者と回答者の両方を経験するよう指示した。そのため議論に参加しない学生は一人もいなかった。学生のリアクションペーパーでのコメント（表6）からも、nocobon が学習者の参加をうながす一定の機能を果たしていたことがうかがえた。他にも、高校までの数学や理科・情報系科目で学習する知識・考え方が、現実的文脈のなかでいかに活用できるのかという本授業全体に通底するテーマへの気づきを得た学生も見受けられた。

表6 nocobon への感想（自由記述・抜粋）

-
- 1 ゲームのように統計について触れることができ楽しい。毎回やりたいです！
 - 2 グループで1つの問題を話し合うと複雑そうに見えるところや自分が勘違いしていたことに気づくことができたので日常生活でも、目の前に出された情報に不安を感じたら周りの人と考えることが大事であると思った。
 - 3 解説で標準偏差が出てきて高校数学を改めて思い出した。高校生の時は「こんなもの何でやるんだろう」と思っていました。データリテラシーを習得するための基礎になるからなんだと気がきました。
-

統計ユニットのまとめとして課した中間課題（nocobon カード 2 枚の作成）について、学生が作成したカード（計 24 枚）で扱われていたキーワードは表 7 の通りであった。第 4 回で扱った「統計的検定の考え方」を取り上げたカードは 1 枚もなかったものの、第 2 回、第 3 回で扱ったキーワード、とりわけ「思い込み / 認知バイアス」「隠れた前提」「サンプリング / データ収集でのバイアス」「疑似相関、交絡」が多くとり上げられていた。またリアクションペーパーの記述からは、カード問題の作成を通して統計リテラシーを身近な事例の中に感じている様子がうかがえた（表 8）。

表 7 授業で扱ったキーワードと学生カードのキーワード

授業	キーワード	学生のカード数	誤った理解*
第 2 回	思い込み/認知バイアス	5	0
	用語の定義	2	0
	隠れた前提	6	1
	直感と論理のギャップ	1	0
	サンプリング/データ収集でのバイアス	6	0
第 3 回	びっくりグラフ	2	1
	代表値（平均/中央/最頻）	2	0
	バラツキ（分散/標準偏差）	1	0
	因果の誤謬	3	1
	疑似相関、交絡	5	1
第 4 回	統計的検定の考え方、有意差	0	0
	第 1 種の過誤、第 2 種の過誤	1	0

※問題の内容、キーワード等の理解が間違っていた問題の数。

表 8 第 7 回 nocobon ワークショップの感想（自由記述・抜粋）

- 1 自作の nocobon のクイズでグループワークをしているとき、他の人が自分の問題を考えている間、自分はずっと「すぐに答えがバレませんように」とか「うまく騙せますように」という気持ちだった。これまで授業で扱ってきた怪しいサプリメントの広告なんかも、作った側は「いかに商品がよく見えるように錯覚できるか」など、似たような気持ちで作っていたのだろうか？
- 2 自分で nocobon カードを作ってみて、今までより「シンプソンのパラドックス」などの用語の理解が深められたと思います。
- 3 宿題の問題を作るために疑似相関を調べていたら、たくさんの問題に興味を持ちました。
- 4 皆の宿題でクイズをしました、レベルが高かったです。習ったことを実践型で復習しているし、身につくやすいと思います。自分で考える機会も多くあり、おもしろいと思いました。

4.2.2 科学的思考ユニット（第8回～第14回）

第8・9回の「キープクール」を使ったシステム思考の授業について、学生のリアクションペーパーからは、複雑な問題についてはまず整理・可視化すること、局所最適ではなく問題の全体像を捉えようとすることの重要性といった、問題解決プロセスの一端を擬似的に体験できていたことを示唆するコメントが確認できた（表9）。

表9 キープクールセッション（第8、9回）の感想（自由記述・抜粋）

-
- 1 ボードゲームをやっている時にはずっと「お金がない」「工場が増えない」ばかりを考えていましたが、今日自己強化型の図で考えると災害や緑の工場への投資が不十分であったことなどが分かりました。日本の官僚の人たちもこんな感じで（より難しい事柄だとは思）会議をしているのかなと思った。
 - 2 私のチームはあまり考えずにゲームを進めてしまったのですぐ詰んでしまいましたが、今日のシステム思考のように整理してみると、もっと考えてやるべき点がいくつもあり、視野が狭かったなと感じました。何か複雑な問題に出会った時は、一度落ち着いてシステム思考を思い出してみようと思います。
 - 3 自分が考えていることを図式化することは難しいけど、図式化しないと見えないこともあるし、より論理的に考えられるようになるのだと思いました。また少子高齢化や道路の混雑など、身の回りのことをこうしたループを使って考えると、問題点がより明確になるのだと学びました。こうしたループでの考え方は初めてだったし、まだ使いこなせる自信はないけど、使えば問題解決がスムーズになるなと思いました。
-

一方、科学的思考ユニットの後半に行ったアブダクションによる仮説形成及び検証（アーギュメント構築）・発表課題・最終レポートでは、推理小説やドラマでの探偵と引きつけて考えたことで、仮説形成やアーギュメント構築を身近なものとして捉えることができていた学生がいた一方で、データから〈事実〉を読み取ること、さらにそこから仮説を形成するという点に戸惑いや難しさを感じる学生のコメントが多くみられた（表10）。

表 10 アブダクションによる仮説形成&検証（第 11、12、13 回）の感想（自由記述・抜粋）

- 1 自分は時々、サスペンスドラマを見たり、某探偵アニメを見たりするのだが、いつも見ているだけで推理はできなかった。ところが今日のアブダクションにおいて、それらの推理に重なるところがあり、推理も高度な科学的なものだったのだと感じ、また、自分もそれにのっとって考えてみようと、身近なものに感じる事ができた。
- 2 今回やったアブダクションで、結論や規則などを書いて仮説を立てるということを行なったが、どれが結論で、どれが規則かが全く分からず、仮説を考えることが困難でした。また事実の整理というものをするのが難しかったように感じました。
- 3 データをウソとしてみるのではなく、何通りもの仮説から考えることは、また別種の難しさであると感じました。否定でなく考えるやり方は、ある意味否定以上に難しいと思いました。

4.2.3 批判的思考態度の変化

平山・楠見（2004）の批判的思考態度尺度のうち「論理的思考への自覚」、「探究心」、「客観性」の3因子について事前・事後それぞれの結果を単純加算平均し、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて分析した。その結果、「論理的思考への自覚」について、1%水準で有意差が認められた（表 11）。

表 11 批判的思考態度尺度の事前・事後比較（n = 9）

	自由度 df	事前 平均値	事後 平均値	検定量 Z	有意差
論理的思考への自覚	8	2.60	3.15	3.52	* p<.01
探究心	8	3.71	3.53	-2.17	
客観性	8	3.33	3.50	0.95	

母数が少なく対照群もないことから本結果の解釈には注意が必要である。しかしながら、最終日のリアクションペーパーの記述からも、本授業が「論理的思考への自覚」をうながす一定の効果があつた可能性を見ることが出来る（表 12）。また、記述からは統計や科学に対する苦手意識の緩和、関心の喚起といった面でも、効果があつた可能性がうかがえた。

4.3 本授業プログラムの課題

本授業プログラムについて、数学や科学に苦手意識がある人のデータリテラ

シーの向上に一定の効果があつたと考えられる一方で、いくつか課題もみえてきている。なかでも重要な課題は、批判的思考態度や数的/科学的なものへの関心の喚起を優先したことで、一部知識量や正確性を犠牲にせざるを得ず、数学や科学知識そのものについては十分に取扱いえなかつた点である。結果として、学生自身がその「科学的合理性」を自分で判断できる範囲が限定されてしまい、社会の問題における「科学的合理性」が持つ意味や限界、ポストノーマルサイエンス的問題について十分に議論するまでは至らなかつた。最終回のリアクションペー

表 12 最終回リアクションペーパーでの自由記述 (抜粋)

論理的思考への自覚	
1	この授業を受ける前、私は自分は物事を客観的に見ているから、データリテラシーはある方だ、と思っていました、しかし、授業を受けてみてそれは違うとわかりました。授業で様々な事例、データに触れたりゲームを通して学んだことで、自分の思考の弱さに気づきました。
2	これまで学校の授業においてプレゼンを行う際、発表の下調べとしてネットでウィキペディアやまとめサイトを利用することが多かったが、この授業を受けてから、調べものをするときはいくつかのサイトを比べてから利用するということが普通になった。またテレビを見ている時も、情報をそのまま信じ込むということがなくなった。(疑いすぎて家族にウザがられることも一回あった)。
3	この授業を受ける前まではインターネットの情報よりかは新聞や大きい会社が出しているデータの方が信じよう性があると思っていた。しかし、各新聞社には少なからず考え方に偏りがあり、同じニュースに対するアンケートでも調べてみると差が大きいことに驚いた。違いが生まれる原因も質問方法やグラフの目盛りの取り方などがあり面白かった。
苦手意識の緩和、関心の喚起	
4	この講義で私が学んだことは、物事の見極め方を学びました。この講義を受ける前の私は、テレビ、ネットの流れているデータ、情報を少しも疑わずに信じ込んでいました。しかし、科学や技術の専門家の人たちでさえ、間違っていることを世の中に流していることを知り、非常に驚きました。複雑なことを考えることは嫌いでしたが、自分自身もつと興味・関心を持たなければ嘘の情報、データに騙される人生を送っていたかも知れないと気づくことができ、とても勉強になりました。
5	データリテラシーを学ぶこと、知っていることの重要性、ありがたみ、全般的な知識を学びました。データを読む授業が高校生の頃ありましたが、数学の分野だったので、データを読むこと = 理系/数学のはなしであるので苦手だ、と思っていましたが、実際は文/理など関係なく、全員が理解しておいた方が得だし、それは可能だと思えました。この授業によってデータについて考えたり、実際見て判断することへの敷居が低くなりました。日常生活にも活かせるし、とてもためになりました。内容も楽しかったです。ありがとうございました。
6	何に対しても良い意味で疑いを持つことは大切であるということを学んだ。疑う事で、その物事に關して深くかかわることができ、また、新たな一面を知ることができた。また意識的に思考することで、普段から多くのことに興味を持つことができるようになった。科学・数学・グラフと言われると、苦手意識が働きすぐに身構えてしまっていたが、この講義を通して言葉に対する意識、概念が少し変わったように感じる。難しいから触れない、というのは大変もったいないことで、触れてみてから少しでも理解しようとすることが大切だと思った。その触れるという行為のためにも、疑うということは役に立つものであると感じた。

パーで記述を求めた「本授業で学んだこと」（自由記述）でも、9名全員が前半の統計ユニットで目指した「データを批判的に読む」ことについて言及していた一方で、後半の科学的思考ユニットの「(社会の問題について) 科学的データを根拠にアーギュメントを構築すること」やその先の市民リテラシーについて明確に言及した学生は3名だけであった。このことは、表10のコメント2や3で見られたように、後半が難しかったとの意見が多くみられたことが影響していると考えられる。初年次教育の共通科目群の一つであることを考えると、本授業で取り扱った統計やデータリテラシーを、その先の市民リテラシーや研究・学問リテラシーといった高次のリテラシーにどう繋げていけるかが非常に大きな課題となる。そのためには、後半の科学的思考ユニットについて、難易度含めたコンテンツの調整が必要だと思われる。

5. おわりに

本稿ではここまでで、文系大学1年生を対象としたデータリテラシーの向上を目指す「WRDII <R> 8: データリテラシーのすすめ」授業プログラムの開発について紹介するとともに、当該科目の履修学生が授業期間内に提出した課題提出物やアクションペーパーの記述内容から、開発した授業プログラムの効果や課題についての分析を試みた。その結果、数式を使わずに批判的思考によるデータ解釈を中心とした本授業プログラムを通して、「データを批判的に読む」こと、とりわけ論理的思考への自覚がうながされる可能性が明らかとなった。また身近な事例を取り上げたゲーム教材等を活用することで、科学・技術への関心が高くない層に対しても、数学や科学に関わる社会の問題について一定の関心を喚起させられる可能性が示唆された。

これらの結果を踏まえ、最後に大学初年次における文系学生向けデータリテラシー教育のあり方について以下の観点から考察することで本稿のまとめとした。すなわち「文系学生へのデータリテラシー教育におけるシリアスゲーム活用の可能性と課題」についてである。

そもそも何のためのデータリテラシー教育かという点について、本稿の「1. は

じめに」で、トランス・サイエンスに関わる政策決定プロセスへの関与の観点から説明を行った。しかしながら、トランス・サイエンス的問題を扱うにあたっては、単純な知識伝与だけでなく、議論などで学習者に深い理解を促すための工夫が重要となる。そこで本授業開発において注目したのが「シリアスゲーム」(Abt 1987; 藤本 2007) の活用である。

シリアスゲームとは、「教育をはじめとする社会の諸領域の問題解決のために利用される(デジタル)ゲーム」(藤本 2007) ⁽¹¹⁾ のことで、ゲームを学びにどう活かすかという、その使い方も検討するという特徴を持っている。本授業プログラムで用いた nocobon やキーブクールもシリアスゲームの一つである。

藤本(2007)によれば、シリアスゲームを利用した学習には「モチベーションの喚起・維持」「全体像の把握や活動プロセスの理解」「重要な学習項目を強調した学習体験」「安全な環境での体験学習」「行為・失敗を通じた学習」などのメリットがあるという。ここでは、文系学生向けデータリテラシー教育にシリアスゲームを利用した学習を取り入れることの意義について、藤本(2007)が示したこれらメリットに沿って検討していくこととする。

まず第一に、「モチベーションの喚起・維持」について述べる。Suits ([1978] 2005=2015)によれば、ゲームとは「不必要な障害物を自ら望んで克服しようとする試み」(Suits [1978] 2005=2015: 37)であるという。もともと苦手意識が強い、あるいは関心がない事項に対して積極的な参加を促すという点で、ゲームの持つそうした性質は、文系学生へのデータリテラシー教育の導入として大きな力を発揮することが期待される。実際、本稿で使用したカードゲーム教材 nocobon については、文系学生を対象としたワークショップ実践で、「科学技術と社会」への関心喚起について一定の効果が認められている(福山ら 2017)。

次に、複雑な問題状況をわかりやすくする効果について検討する。これは藤本(2007)が挙げた5つのメリットのうち、「全体像の把握や活動プロセスの理解」と「重要な学習項目を強調した学習体験」が該当する。シリアスゲームでは複雑な事象がモデル化によって単純化されることがほとんどである。このことは正確性を損なうという点ではデメリットとも言える。しかしながら、学習ポイントが強調されていることやシステムが明確化されていることは、初学者にとって問題

の概観を理解しやすいというだけでなく、振り返りによる議論を促進できるというメリットを持つ。参加型授業において振り返りは極めて重要な学習プロセスである（逆に言えば、振り返らないと十分な学習効果は得られない）。したがって、ゲームプレイを振り返ることで学習としての振り返りが可能な点はシリアスゲームの大きなメリットであると言えよう。実際、本授業プログラム第9回で地球温暖化問題の社会・経済的ジレンマが関わるシステムループ図を描かせたが、「キープクール」のゲームプレイを振り返るという形式を採用しなければ、そのような複雑な関係を読み解くことは困難であっただろう。

最後に、「安全な環境での体験学習」および「行為・失敗を通じた学習」について述べる。トランス・サイエンスの議論で扱われるような事例には、過去に重大な問題を引き起こした事件などが含まれており、学習者が実際に体験することは危険であるか不可能であることが多い。そのことを考えれば、安全な環境で疑似体験でき、行為・失敗を繰り返せるという点は、ゲーム学習の大きな強みになると考えられる。キープクールで扱った地球温暖化問題はまさにその良い例であると言えよう。

一方でゲーム学習には課題もある。まず挙げられるのが、「面白いゲームは、教育用途には正確さが不十分、正確なものは逆に退屈である」（藤本 2007）という点である。ゲームとしての面白さと学習としての正しさをどう調整していくかは、授業デザインにおいて重要なポイントとなってくるだろう。またゲームは講義に比べると同じ時間で学習できる知識量については不利になりやすい。ルール説明などの時間も取られるため使い方によっては必要以上に学習時間がかかりやすい。他にも、ファシリテーションに不慣れな教員ではゲーム進行のコントロールができないという、教員による統制が困難になりやすいことなども問題として指摘できる。

しかしながらこのような課題はあるものの、先述したゲーム学習のメリットを考えるとやはりトランス・サイエンスを扱う授業でシリアスゲームを活用することはやはり非常に理に適っていると言えるのではないだろうか⁽¹²⁾。とりわけ「数学や科学に苦手意識のある文系学生」を対象としたデータリテラシー教育においては、いかに数学や科学的な事柄への関心を喚起するかが入口での大きな障壁の

一つになると考えられる。知識量や正確性といった点でのゲーム学習のデメリットは、講義とうまく組み合わせることによって補うことができるものである。その点を考慮すれば、「モチベーションの喚起・維持」を期待できるシリアスゲームの活用は、データリテラシー教育の入口として、大きなインパクトを持つことが期待できるだろう。

謝辞

本研究にご協力くださった学生の皆様に心から感謝申し上げます。

注

- (1) ゲーム構造の中で、自分の考えを質問として外に出し、他者の言葉を聞きながら自分の考えと組み合わせて理解を深めるという点で、“nocobon”での活動は、建設的相互作用 (Miyake 1986) を実現する協調学習 (Miyake 1986; 三宅ら 2016) の一種ととらえることができる。
- (2) 水平思考とは、1967年にエドワード・デボノが提唱した思考法で、既成の理論や概念にとらわれずに多様な視点から物事を見つめることで直感的な発想を生み出す方法である (De Bono [1967] 2014)。
- (3) “nocobon”の他の多くのカードは、科学技術と社会に関わる実際にあった事件/事例を扱っている。ファシリテーションガイドとともに、「クリエイティブ・コモンズ表示 - 非営利 - 継承 4.0 国際ライセンス < <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ja> >」の下無償で配布している。問い合わせ先等詳細は、nocobonのウェブサイト < <http://science-interpreter.c.u-tokyo.ac.jp/nocobon/> >を参照のこと。
- (4) 理科教育の文脈においても、科学的基準に従う論理的思考とその表現を育成する実践として、アーギュメントならびにアーギュメンテーションが重視され、その教授法の研究が進められている (坂本 2015)。
- (5) 「キープクール」は、ドイツのポツダム気候影響研究所が連邦環境省の委託により作成したボードゲームである。環境政策における地球温暖化をテーマとした交渉型ゲームで、プレーヤーは6つの立場の国々 (アメリカとそのパートナー、ヨーロッパ、中進国、発展途上国、旧ソ連、オベック) のどれかに割り振られる。それぞれが経済を潤すために二酸化炭素排出工場 (黒い工場) を稼働させ地球温暖化を促進したり、環境破壊のダメージを避けるために技術開発や (緑の工場) 経済援助で地球温暖化を抑えたりしながら、自地域の秘密の条件2つ (経済目標と世界レベルでの政策目標) の同時達成を目指す。いち早く自地域の秘密条件を満たした人が勝ち、温暖化が進み

すぎて世界が極限状態になった場合は全員の負けとなる。社会的ジレンマを内包する地球温暖化問題の全体像や、シミュレーションという科学の営みがつつ可能性と限界への理解、またシステム思考の練習などを目的とした教育利用の実践例があり、日本においても大学教育への導入・評価が検討されている（杉浦・吉川 2009）。

- (6) 21世紀型スキル（P. グリフィンら編 2014）における思考法の一つとして、批判的思考と共に問題解決が挙げられている。近年、問題解決スキルについて多くの定義やフレームワークが提案されており、OECD による国際比較調査 PISA における評価の一部にも登場している。
- (7) ここでいうシステム思考とは、物事をシステムとして捉え、その要素間の因果関係をグラフとして表し、その構造を利用して振舞の特徴把握や定性的な分析を行う考え方のことである。シミュレーション手法であるシステムダイナミクスから生まれた分析手法として知られる。L・フォン・ベルタランフィの一般システム理論（Bertalanffy 1968）や、ノーバート・ウィナーのサイバネティクス（Wiener [1948] 1961）、ハーバート・A・サイモンのシステムの科学（Simon [1967] 1996）などの流れをくんでいる。システム思考という言葉が一般に広く知られるようになったのは、アメリカの経営学者ピーター・センゲがその著書（Senge 1990）で取り上げたことがきっかけであった。昨今では、問題解決スキルにおける重要なキーワードとしてもよく知られている（Griffin et al. eds. 2012）。
- (8) VSEG とは、科学・技術についての3つの質問（質問1: 関心があるか、2: 関連情報を積極的に調べることがあるか、3: 調べた際にその情報を見つけることができたか）への回答の組み合わせによる決定木によって、回答者を関与度大から小までの6つのセグメントに分ける手法である。
- (9) なお、社会・文化には関心がないが科学・技術には関心が高い「科学・技術好きタイプ」は一人もいなかった。
- (10) 後藤ら（2014）は、VSEG の中間層（関心がないわけではないが、積極的に調べたりはしない。あるいは、関心はないが調べることがある層）のことを、下位層（関心もなく、調べることもない低関心層）とは区別して「潜在的関与層」と呼んでいる。後藤らは「潜在的関与層」について、低関心層と異なり、潜在的科学ファンではないものの、彼らが関心を持つその他の話題とうまく組み合わせることで、科学・技術系のトピックスにも関心を示すようになることが期待できる層としている。
- (11) 必ずしもデジタルゲームのみを示す訳ではなく、カードゲームやボードゲームといったアナログゲームもシリアスゲームとして考えることができる。さらに2010年代になると、ゲームの持つ「人をめり込ませる仕組み」をゲーム以外の領域に適用する試みが様々な分野で行われるようになった。これをゲーム化するという意味で「ゲーミフィケーション」と呼ぶ。教育におけるゲーミフィケーションとしては、シリアスゲームのように教材などをゲーム化する方法と、カリキュラム自体をゲーム化する方法がある（Salen et al. 2010）。
- (12) そのようなシリアスゲーム開発に関する先行研究としては、たとえば水町ら（2016）

の「幹細胞研究やってみよう！」や、Squire and Jan (2007) の「Mad city Mystery」などがある。前者は、ボードゲーム風幹細胞教育教材を開発し、学習者に倫理や法的規制の影響を考えながら幹細胞研究の活動を学ばせることを可能にしている。また後者は、学習者はある街で起きた死亡事件を調査するなかで、湖の水質汚染が起こす問題やそれに関連する様々な事象を学習し、科学的思考を身につけることに成功している。さらに、科学技術が関わるような政策の意思決定プロセスへの市民参加をめぐる議論を背景に開発されたシリアスゲームとして、European Commission の Joint Research Centre が 2035 年に向けた EU の政策立案プロセスをサポートする予測研究の一環として開発したボードゲーム Scenario Exploration System (SES) (Bontoux et al. 2016; European Commission 2016) があげられる。SES 第 2 版では、European Commission、産業界、市民社会、学術界をステークホルダーに設定したロールプレイングや 2 x 2 matrix というシナリオ作成の古典的手法を取り入れることによって、食糧の安全保障にかかわる 4 つの未来シナリオをゲームプレイのなかで作成・議論させることに成功している。

参考文献

- Abt, Clark C. (1987). *Serious Games*. Lanham, Maryland: University Press of America.
- Bertalanffy, L. von (1968). *General System Theory: Foundations, Developments, Applications*. New York: George Braziller.
- Bontoux, L., Bengtsson, D., Rosa, A. and Sweeney, J. A. (2016). The JRC Scenario Exploration System - From Study to Serious Game. *Journal of Futures Studies*, 20(3): 93–108. DOI: 10.6531/JFS.2016.20(3).R93
- de Bono, E. ([1967] 2014). *Lateral Thinking: An Introduction*, London: Vermilion.
- European Commission (2016). Scenario Exploration System (SES) <<https://ec.europa.eu/jrc/en/research/foresight/ses>, accessed 22 March 2017>.
- 藤本徹 (2007). シリアスゲーム—教育・社会に役立つデジタルゲーム, 東京電機大学出版局.
- 福山佑樹, 標葉靖子, 江間有沙 (2017). 科学・技術と社会への関心を喚起するゲーム教材 “nocobon” の実践—文系大学生を対象に—, 日本デジタルゲーム学会 2016 年次大会 予稿集 55—58.
- 後藤崇志, 水町衣里, 工藤充, 加納圭 (2014). 科学・技術イベント参加者層評価に豪州発 セグメンテーション手法を用いることの有効性, 科学技術コミュニケーション 15: 17—35.
- Griffin, P. McGaw, B. and Care, E. ed. (2012). *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*, Springer Netherlands. (=2014, 三宅なほみ監訳, 益川弘如・望月俊男編訳. 21 世紀型スキル: 学びと評価の新たなカタチ, 北大路書房.)
- 平山るみ, 楠見孝 (2004). 批判的思考態度が結論導出プロセスに及ぼす影響 — 証拠評価と結論生成課題を用いての検討 —, 教育心理学研究 52: 186—198.

- 科学技術振興機構科学コミュニケーションセンター (2015). 科学技術リテラシーに関する課題研究報告書【改訂版】(初版2014年12月,改訂版2015年2月). https://www.jst.go.jp/csc/mt/mt-static/support/theme_static/csc/pdf/literacy_01.pdf (最終閲覧日2017年10月27日)
- 加納圭, 水町衣里, 岩崎琢哉, 磯部洋明, 川人よし恵, 前波晴彦 (2013). サイエンスカフェ参加者のセグメンテーションとターゲティング: 『科学・技術への関与』という観点から, 科学技術コミュニケーション 13: 3-16.
- 加藤俊英, 標葉靖子 (2016). 科学コミュニケーション入門としての大学公開講座の可能性: 「高校生のための金曜特別講座」参加者のセグメンテーション分析, 科学技術コミュニケーション 19: 17-29.
- 川本思心, 中山実, 西條美紀 (2008) 科学技術リテラシーをどうとらえるか: リテラシークラス別教育プログラム提案のための質問紙調査, 科学技術コミュニケーション 3: 40-60.
- 小林傳司 (2007). トランス・サイエンスの時代—科学技術と社会をつなぐ, NTT 出版.
- 楠見孝 (2011). 生涯にわたる批判的思考力の育成. 楠見孝・子安増生・道田泰司 (編) 批判的思考力を育む: 学力と社会人基礎力の基盤形成, 有斐閣 2-24.
- 楠見孝, 子安増生, 道田泰司 編 (2011). 批判的思考力を育む: 学力と社会人基礎力の基盤形成, 有斐閣.
- 楠見孝, 道田泰司 編 (2015). 批判的思考—21世紀を生き抜くリテラシーの基盤, 新曜社.
- 原壘 (2015). 科学・技術リテラシー—民主主義と国際競争力の基盤となる能力. 楠見孝, 道田泰司編, 批判的思考—21世紀を生き抜くリテラシーの基盤, 新曜社 192-197.
- 松下佳代 (2014). トランス・サイエンスの時代の科学的リテラシー, 鈴木真理子, 都築章子, 鳩野逸生, 松下佳代, 楠見孝編. 科学リテラシーを育むサイエンス・コミュニケーション: 学校と社会をつなぐ教育のデザイン, 北大路書房 156-162.
- Miyake, N. (1986). Constructive Interaction and the Iterative Process of Understanding. *Cognitive Science* 10(2): 151-177.
- 三宅なほみ, 東京大学 CoREF, 河合塾 (2016). 協調学習とは—対話を通して理解を深めるアクティブラーニング型授業—, 北大路書房.
- OECD (経済協力開発機構) 編著, 国立教育政策研究所 監訳 (2016). PISA2015年調査評価の枠組み: OECD 生徒の学習到達度調査, 明石書店.
- Ravey, J. R. (1999). What is Post-Normal Science, *Futures* 31: 647-653.
- 西條美紀, 川元思心 (2008) 社会関与を可能にする科学技術リテラシー—質問紙の分析と教育プログラムの実施を通じて—, 科学教育研究 32 (4): 378-391.
- 坂本美紀 (2015). 理科教育—データと原理に基づく論証を組み立てる. 楠見孝, 道田泰司 (編), 批判的思考—21世紀を生き抜くリテラシーの基盤, 新曜社, 134-139.
- Salen, K., Torres, R., Wolozin, L., Rufo-Teppe, R. and Shapiro, A. (2010). *Quest to Learn: Developing the School for Digital Kids*. Massachusetts: MIT Press.
- Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization*. New

York: Doubleday/Currency.

標葉靖子, 江間有沙, 福山佑樹 (2017). 科学技術と社会への多角的視点を涵養するためのカードゲーム教材の開発, *科学教育研究* 41(2): 161—169.

Simon, H. A. ([1967] 1996). *The Sciences of the Artificial*. 3rd edition. Massachusetts: MIT Press.

Sloane, P. and MacHale, D. (1993). *Challenging Lateral Thinking Puzzles*, New York: Sterling Pub Co Inc.

杉浦淳吉, 吉川肇子 (2009). 環境政策ゲーム「キープクール」の教育への導入とその評価: ゲーム実施者とプレイヤー双方の観点から, *シミュレーション &ゲーミング* 19(1): 87—99.

Suits, B. ([1978] 2005). *The Grasshopper Games : Life and Utopia*, University of Toronto Press. (=2015, 川谷茂樹・山田貴裕訳 *ギリギリの哲学 ゲームプレイと理想の人生*, パーナード・スーツ著, ナカニシヤ出版)

Squire, K.D. and Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers, *Journal of Science Education and Technology* 16 (1): 5—29.

田中久徳 (2006). 科学技術リテラシーの向上を巡って—公共政策の社会的合意形成の観点から—, *レファレンス* 平成 18 年 3 月号 57—83.

Victorian Department of Innovation, Industry and Regional Development (2007). *Community Interest and Engagement with Science and Technology in Victoria Research Report*.

Weinberg, A.M. (1972). *Science and trans-science*. *Minerva* 10(2): 209—222.

Wiener, N. ([1948] 1961). *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2nd edition, Massachusetts: MIT Press.

