

情報科で育成すべき問題解決力と思考・判断・表現方法の指導

松田 稔樹^{1) 2)}

要 旨

筆者は、日本教育工学会の「コンピテンシースタンダードと能力評価方法の開発」というSIGの立ち上げに参画し、今回の学習指導要領改訂の議論をフォローしながら、必要な批判や提言をしてきた。本稿では、その概要について、従来の教育が抱えている問題の原因の捉え方の違いに焦点を当てて整理し、情報科の問題点・改善すべき方向性を議論する。また、問題解決力という言葉の多様性をふまえ、情報科で育成すべき問題解決力を明確にする。その後、認知的アプローチによる指導法の設計の必要性を指摘し、筆者らの指導の枠組みを提示する。

キーワード：問題解決、認知主義 vs. 構成主義、学習者モデル、縦糸・横糸モデル、見方・考え方

1. はじめに

1.1 学習指導要領改訂の問題点

中央教育審議会教育課程企画特別部会(2016)が、「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ」を公表した。これに先立って文部科学省に設けられた「育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会」の主査だった安彦(2014)は、今回の改訂がコンテンツ・ベースからコンピテンシー・ベースへの移行を意図したものと述べている。それは、国立教育政策研究所(2013)の調査報告にあるスタンダードに基づく教育改革という世界的潮流とも密接に関連している。検討会や部会報告に見られるキーワードには、汎用的・教科横断的スキル、メタ認知、見方・考え方、主体的・対話的で深い学び(アクティブ・ラーニング)、社会に開かれた教育課程などが上がっており、改革の目玉は、総則の改訂にある。よって、今回の改訂の目的を達成するには、個々の教科の内部的な改善以前に、学校教育全体として育成すべき資質・能力をふまえ、そこに各教科がどう貢献するかという視点からの議論が不可欠である。

一方、上記の報告や関連資料に共通的に出現し、議論に影響を与えた学術研究に、Anderson and Krathwohl(2001)の「改訂版ブルームタクソノミー」や、Wiggins and McTighe(2005)の「逆向き設計の理論」がある。これらは、日本の教育工学でも馴染み深いBloom et al. (1956)の教育目標の分類学を認知主義や構成主義に基づいて改良したものと理解されている(石井 2011)。しかし、筆者は、これらの研究やそれを

ベースにした文部科学省の議論に対して、いくつかの問題点を指摘してきた(松田 2015b, 2016)。

第1の問題は、学力の3要素(知識・技能、思考力・判断力・表現力、主体的に学習に向かう力)を、その学習過程(習得、活用、探求)と一体的に段階説で捉えている点である。段階説は、教科固有の知識・技能が基盤であり、その本質はコンピテンシー・ベースではなく、コンテンツ・ベースである。

第2の問題は、段階説と密接に関連して、経験主義的、行動主義的指導観に立ち、目標とするパフォーマンスを発現すべき活動をさせることが、目標を達成するための手段であるとの立場に立っている点である。アクティブ・ラーニングの強調も、この立場と密接に関連している。アクティブ・ラーニングを「主体的・対話的で深い学び」と言い換えたところで、外形的にわかりにくい「深い学び」についての説明は不十分である。苦肉の策として教科固有の見方・考え方を前面に出したものの、その内容はこれまでの学術的な議論を踏まえることもなく、学習指導要領の内容項目に対応したキーワードと、問題解決に求められる解の良さを組み合わせただけのものである(Matsuda 2016)。

第3の問題点は、最も本質的なものである。議論の参考とされた前掲の理論は、認知主義を取り入れたと主張しているものの、認知主義(特に情報処理アプローチ)の本質である「人間の思考や学習過程のメカニズムやダイナミズムを明確にする」という視点が欠けている。料理に喩えるならば、おいしい料理を作るのに、「表面はカリカリで、中はジューシーに焼き上げ、繊細で風味豊かな味付けをする」と、料理に期待されるパフォーマンスをレシピとして書くようなものである。レシピは、通常、材料や下ごしらえを含めた調理の方法・工程を詳細に示すべきである。もちろん、調理人は、個々の食材の特質や調理が味や質感に与える影響に関するヒューリスティックな知識が必要だが、一流

2017年1月31日受付 2017年2月28日受理

1) 東京工業大学リベルアーツ研究教育院

2) 江戸川大学情報教育研究所

の調理人や料理研究家は、細胞レベル、化学反応レベルで起こる変化の知識も持ち、それが調理の再現性やアレンジの可能性を広げる。

これらの問題を踏まえず前のめりに進むことの危険性は、「元気にさせるには、元気づければよい」という単純な発想に基づき「鬱病患者を元気づける」ことの危うさを引き合いに出せば想像できるだろう。目的を達成するには、それこそ「(深い学びならぬ)深い思慮」が必要であり、そのベースになるのは学習過程のメカニズムやダイナミズムに関する「多様な仮説や代替案」と「批判的思考・検証」である。学習指導要領の法的拘束力は大綱的な範囲(菱村 2014)であり、指導法等の細部については、今後、学校や教員が生徒の実態等をふまえて取捨選択することが望まれる。

1.2 カリキュラム・マネジメントが求めるもの

教育課程企画特別部会の審議のまとめは、カリキュラム・マネジメントの重要性を指摘し、その定義を次のように示している。

教育課程とは、学校教育の目的や目標を達成するために、教育の内容を子供の心身の発達に応じ、授業時数との関連において総合的に組織した学校の教育計画であり、その編成主体は各学校である。各学校には、学習指導要領等を受け止めつつ、子供たちの姿や地域の実状等を踏まえて、各学校が設定する学校教育目標を実現するために、学習指導要領等に基づき教育課程を編成し、それを実施・評価し改善していくことが求められる。これが、いわゆる「カリキュラム・マネジメント」である。

カリキュラム・マネジメントについては、定義の最後にある「編成(Plan)→実施(Do)→評価(Check)→改善(Action)」というPDCAサイクルに注目が集まりがちである。しかし、教育工学の立場から見れば、多様な良さが求められ、設計条件も常に変化する教育課程を常に評価し見直すのは当然である。多くの学校も、既に実施済みとの認識に立っている(斎藤 2016a)。

今回、カリキュラム・マネジメントが強調される理由は、別のところにある。注意を向けるべきは、今回の改訂がコンピテンシー・ベースへの移行を意図しており、汎用的資質・能力の育成を重視している点である。つまり、学校教育の目標を汎用的な資質・能力の育成に据え、その達成に向けた教育課程の全体設計と各教科等の教育内容の相互関連づけを行った上で、教科の指導に必要な内容とその指導法を考えるという発想が求められる。このことは、審議のまとめで強調さ

れている「社会に開かれた教育課程」の意味とも関係する。多くの人は、この言葉を「情報公開」や「地域・社会連携」というニュアンスで捉えがちだが、武藤部会長は、この言葉が強調しているのは、学校を卒業し、社会に出た時に役立つ資質・能力を育てる教育課程という意味だと指摘している(斎藤 2016b)。

以上の視点に立った時、カリキュラム・マネジメントの方法は、特に、中等教育段階を中心に本質的に変える必要がある。中等教育段階では、最終的に上級学校への入試が重視され、結果的に、入試出題科目・内容を中心にコンテンツ・ベース、ボトムアップでカリキュラムや授業が設計・管理されてきたからである。

2. 問題解決の縦糸・横糸モデル

2.1 汎用的資質・能力を育成する枠組み

以上の問題点を克服するために、松田(2015a)は、「問題解決の縦糸・横糸モデル」を提案している(図1)。

当該モデルは、学習科学の成果として、「汎用的方略、メタ認知技能、領域固有知識の3つが人間の知能と熟達した活動の全要素である」というBruer(1993)の指摘(図2)にほぼ対応して、問題解決手順のスク립ト的知識、手順の中で活用すべき見方・考え方、それを使って活性化すべき領域固有の内部知識(と、それを使って検索・参照すべき外部知識)との関係を明示している。

Bruerによれば、汎用的スキル(おそらくメタ認知技能を含む)が真に文脈を超えて転移し汎用化するには、「それは何で、いつ、どのように活用すればよく、また、なぜ役立つのか」を明示的(インフォームド)に指導する必要がある。同様の指摘は、類推研究でも指摘されており(鈴木 1996)、知識の汎用性・一般性と、それを汎用的に使えるか否かという問題とを分けるべき

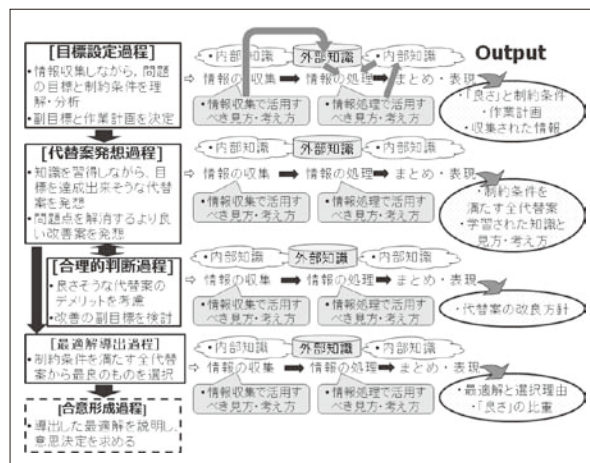


図1 問題解決の縦糸・横糸モデル

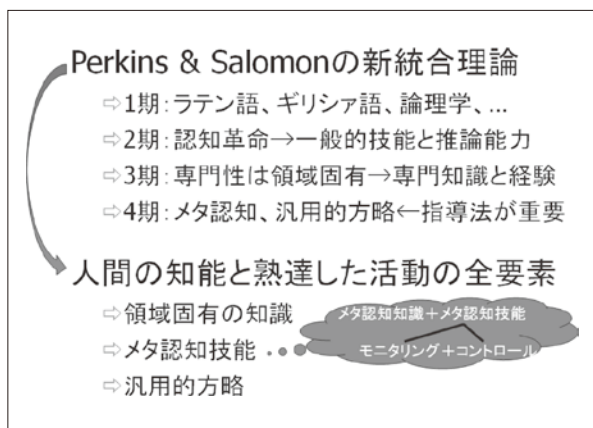


図2 学習科学が示唆する汎用的資質・能力育成の鍵

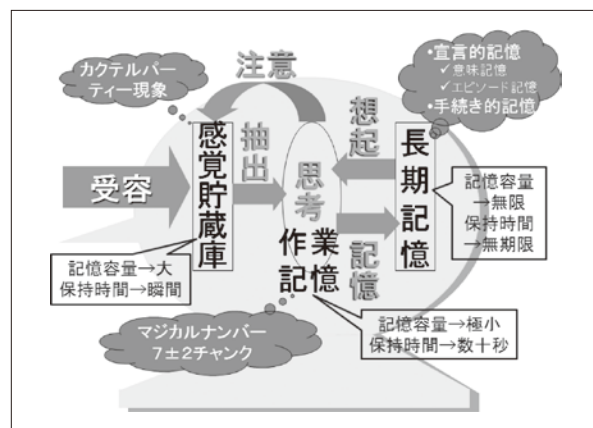


図3 記憶の特徴に着目した人間の情報処理モデル

との主張は、知識の状況依存性として知られている。

筆者は、この問題の原因が、人間の作業記憶の容量限界(マジカルナンバー 7)と密接に関連していると捉えている(図3)。意識的に活用可能な知識が7チャンクに限られれば、長期記憶から活性化させるべき知識を必然的に絞り込む必要が生じるからである。汎用的な知識であっても、それを学ぶ文脈は特定の文脈に限られる。それが汎用的であることは分かりにくいし、たとえ汎用的であると教え込まれても、その数が多くなれば、不可避的に選択の必要が生じる。よって、それらを使うべき文脈と関連づけて分類し、選択を助ける必要がある。役立つ理由が納得できれば、優先度が高まり、活性化される確率が高まる上に、「役立つ理由」は「活用する目的」と密接に関連しているから、状況に応じた知識の変換が促される可能性も高まる。

以上をふまえ、汎用的資質・能力を育成するキーポイントをまとめると、以下になるだろう。

- ①真に汎用な方略的知識を厳選し、それが汎用的であるという根拠を明示する。また、インフォームドな指導の意味が、文脈や目的と活性化すべき知識との関連づけを重視していることを考慮すれば、この知識は、問題解決の文脈の違いを認識することに役立つ必要がある。
- ②作業記憶の容量限界を乗り越えるために、知識のチャンク化(関連づけて一塊にすること)を支援する。①に基づけば、まず、重要で汎用的な知識が文脈と関連づけられることで活性化され、その知識がさらに別の知識と関連づけられていることで「芋づる」式の活性化を促すことが可能になる。
- ③知識の活性化を促すために、知識の関連づけの強さと方向に注意を払う。関連づけの強さは、活用度、有用度、興味・関心、自信などに支えられる。また、構成主義が「学びの文脈の真正性」を重視することに関連して、一般に、学問の知識体系に即したトッ

プダウン的な知識の教授は、文脈に即した知識の活性化とは逆方向の関連づけを促しているに過ぎないことに注意を向ける必要がある。

- ④上の①～③を考慮し、知識の関連づけや幅広い転移(活用)を促すために、自己学習の方法や、文脈に応じた知識の転用の方法を明示的に指導する。自己学習の方法には、覚えるべき知識を確実に覚えるために、覚えなくてもよい知識を容易に検索する手段を身につけることや、検索した情報を効率的に理解する枠組みを持つこと、必ず関連づけておくべき知識同士のリンクを自ら関連づけられる手立てを持つことなどを含む。また、知識の転用の方法としては、問題の目的や内容の違いに応じて、持っている知識や検索した情報を使いやすいように変換(例えば、言葉の言い換えや数量化・図表化などを)する方法や、そのベースとなる変換のための知識(例えば、類似語彙群)を指導する。

2.2 問題解決手順のスキプティック的知識

縦糸・横糸モデルも、Bruerの指摘も、汎用的資質・能力の育成に異なる3つのタイプの知識を指導することが必要であるとしている。実は、育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会(2014)も、教科横断的・汎用的スキルとメタ認知、教科固有の見方・考え方、教科固有の知識や個別スキルの3つを資質・能力に対応して指導すべき教育目標・内容として挙げていた。つまり、教育課程企画特別部会だけが段階説(パフォーマンスのみを区別する立場)に立ち、指導要素の区別をしていない。

一方、図4に示す通り、教育課程企画特別部会以外の3つの立場も、その主張が完全に一致しているわけではなく、メタ認知と教科固有の見方・考え方の位置づけが異なる。また、汎用的技能あるいは教科横断的・汎用的スキルについても、検討委員会およびBruerは、

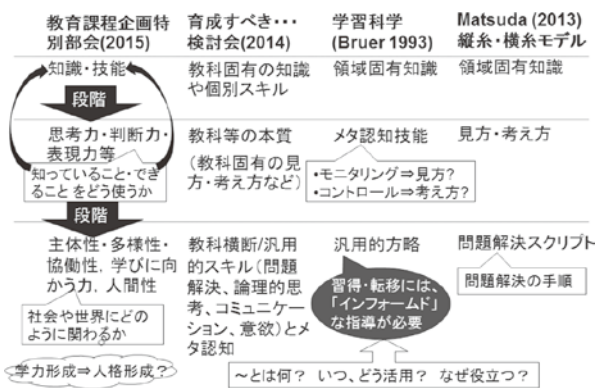


図4 4つの立場の指導観・指導要素の違い

縦系の問題解決過程	数学 課題学習	理科 探求活動	情報 問題解決	ITEA(2007)の設計過程
→目標設定 ✓問題分析 ✓計画立案	→定式化・問題理解 →方針	→問題理解 →研究の計画	→発見・明確化 →分析	→問題の同定と定義
→代替案発想	→方法の決定 →解く	→観察・実験・調査	→解決策の検討	→多様な解決策の発想
→合理的判断	→解の吟味	→結果の整理と考察	→実践	→モデル化・テスト・再評価
→最適解導出	→レポート	→レポート作成・発表	→実践	→決定
→合意形成	→レポート	→レポート作成・発表	→評価	
→ふり返り				

図5 STEM各教科及び縦系の問題解決手順の比較

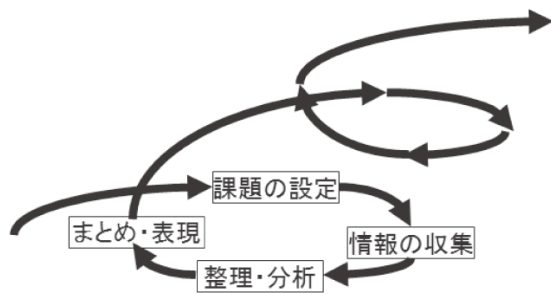


図6 「総合的な学習の時間」の問題解決手順

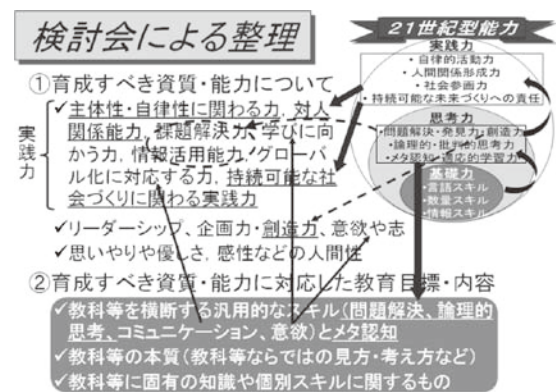


図7 育成すべき資質・能力の相互関係

その内容を明示していない。本節以降は、これらの要素について、前節で述べた指導のキーポイントと関連づけた考察を進める。

本モデルは、STEM各教科(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)の問題解決手順(図5)と、「総合的な学習の時間」の問題解決手順(文部科学省 2009, 図6)とを統合したものである(Matsuda 2015)。筆者は、かつて技術・家庭科「技術分野」の教科書に出てくる問題解決過程が領域(ものづくり, エネルギー利用, 情報技術を活用した問題解決, マルチメディアなど)ごとに異なり、修得や活用を妨げていることを指摘し、ちょうど縦系・横系モデルと同様の枠組みで統一することを提言していた(Matsuda & Sato 2009)。その後、共通教科「情報」用の教材開発を目的に、情報的な見方・考え方(松田 2003)と「3種の知識」に基づく情報モラル判断の枠組み(玉田・松田 2004)を統合した問題解決の手順を提案した(平林・松田 2012)。それをさらに汎用化する過程で、STEM各教科の問題解決手順が領域固有の方法等を強調しており、生徒の問題解決力育成を妨げていると考え、ITEA(2007)の技術教育スタンダードで提案されている設計過程やシステム工学の問題解決アプローチ、日本で古くから研究されビジネス分野で活用されてきた問題解

決手法(高橋 1985)の共通性に着目して改良したものが、縦系・横系モデルである。

教科に閉じた問題解決を指導している限り、それは汎用的な資質・能力を育成することにはならない。1.1に述べた通り、これからの時代に求められる教科指導は、まず、教科を超えた汎用的な資質・能力の育成を目指して設計されねばならない。育成すべき汎用的スキルの枠組みも、教科を超えて通用すべく設計される必要がある。そこで筆者らは、育成すべき資質・能力と縦系・横系モデルとの関係について、次のように検討してきた。

1つの方向性は、図7に示した安彦らの検討会がまとめた今後育成すべき資質・能力や国立教育政策研究所が提案する21世紀型能力、そのベースとなった諸外国等の教育改革で育成すべきとされている資質・能力(図8)の整理・統合である。考察の詳細は松田(2016)に譲るが、図4に示した通り、文部科学省の部会や検討会が挙げている社会的スキル等は、学力というよりも人間性や態度であり、道徳教育等で扱う範疇である。実際に資質・能力に対応した教育目標・内容として「汎用的なスキル」に挙げられているものは、(同様の理由で「意欲」を除外すると)問題解決や論理的思考、コミュニケーションのスキルとなる。この中で、図8の

認知的スキルと社会的スキルの両方に出現するのが、問題解決(力)である。

筆者らは、論理的・批判的思考が求められる数学や科学でも、縦糸・横糸モデルで問題解決できると考えている。また、教科「情報」のコミュニケーションの工夫(ネットワークの活用)も当該モデルで扱っており、縦糸に「合意形成過程」が含まれていることから、コミュニケーションは問題解決の一部と捉えている。結局、今後育成すべき資質・能力は、全て問題解決力を統一的な目標として整理・統合でき、それによって教科横断的・汎用的資質を育成するためのカリキュラム・マネジメントが可能になると考えている。そして、日本語の作文指導(竹村・松田 2016)やソーシャルスキル教育(岡田・松田 2016)など、さまざまな分野に縦糸・横糸モデルを適用したり、逆に、数学教育の中の課題学習以外に、「データの分析」(合田・松田 2016)や「学び直し」(西尾・松田 2016)に求められる問題解決過程を縦糸・横糸モデルに基づいて検討して、その汎用性・転用可能性を検証しつつある。

一方、上述の転用可能性の検討は、キープポイント④を考慮して、図1の内部知識や外部知識はもちろん、横糸の活動(情報の収集⇒処理⇒まとめ)やOutputの内容を表1のように具体化したり、言い換えたりしながら進めている。そして、問題解決の指導をする際に、言い換えの仕方や理由についても(原則として「問題の特性や解決の目的⇒Output⇒横糸の活動」の順で)指導する。言い換えの指導が可能になるのは、汎用的・共通的なモデルがあるからであり、それが無ければ言い換えの組み合わせが膨大になり、事実上、指導不可能になるだろう。鈴木(1996)は、類推の理解に準抽象化という媒介構造を導入すべきと提唱しているが、共通モデルとその言い換えや具体例を媒介とした転移の指導は、準抽象化に基づく支援となるかもしれない。

2.3 教科固有の見方・考え方と関連概念との関係

日本では、初めて学習指導要領が作られた時から、数学教育の目標には「数学的な(見方)考え方の育成」が含まれてきた。ただし、国がその定義を示したこと

DeSeCo	EU	イギリス	オーストラリア	ニュージーランド	(アメリカほか)	
キーコンピテンシー	キーコンピテンシー	キースキルと思考スキル	汎用的能力	キーコンピテンシー	21世紀スキル	基礎的リテラシー
相互作用の道具活用力	言語、記号の活用 知識や情報の活用 技術の活用	第1言語 外国語 数学と科学技術のコンピテンシ	コミュニケーション 数学の応用	リテラシー ニューメラシー	言語・記号・テキストを使用する能力 情報リテラシー ICTリテラシー	
反省性(考える力) (協働する力) (問題解決力)	学び方の学習	思考スキル (問題解決) (協働する)	批判的・創造的思考力	思考力	創造とイノベーション 批判的思考と問題解決 学び方の学習 コミュニケーション 協働	
自律的活動力	大きな願望 人生設計と個人的プロジェクト 権利・利害・限界 や要求の表明	進取の精神と起業精神	倫理的行動	自己管理能力	キャリアと生活	社会スキル
異質な集団での交流力 (問題解決力)	人間関係力 協働する力	社会的・市民的コンピテンシー 文化的気風と表現	協働する 個人的・社会的能力 異文化理解	他者との関わり 参加と貢献	個人的・社会的責任 シティズンシップ	

図8 諸外国の教育改革における資質・能力目標

表1 各教科分野別の目標設定過程の横糸の具体的活動内容

	情報の収集	情報の処理	まとめ・表現	Output
情報	問題分析のための情報収集	解の「良さ」や「条件」を検討	問題状況を定式化	・良さと制約条件 ・定式化時の仮定 ・トレードオフ
理科	既習事項や課題状況、位置づけ確認	相違点・着眼点や発想の観点の理解	本時の学習成果の習得方針を決定	・良さと条件 ・着眼点・仮説 ・扱う現象の範囲
社会スキル	相手を理解し、自分の気持ち理解するために情報を収集・確認	問題状況の要因や事情を考える + 相手の意図・感情を解釈	複数目標の選択 + 目標の優先順位の検討 + 検証すべき意図の列挙	・状況の客観的な理解 ・相手の反応の読解

は無く、数学教育の研究者が独自にその定義や指導実践の研究をしてきた。その代表例が、国内および外国の Mathematical Thinking / Problem-solving / Ideas など多くの研究を分析し整理した片桐(1988)の枠組みである。それは、数学的な見方・考え方を数学の内容に関係したものと、方法に関係したものに分類し、後者として、演繹、帰納、類推、統合、発展、抽象化、単純化、一般化、特殊化、記号化、数量化、図形化を挙げている。ただし、筆者は、片桐の整理枠では、学習者がそれらを区別し、状況に応じて活用することは難しいと考え、数学的な問題解決過程と対応づけた図9の枠組みを示し、それらを「情報の変換」として連続的に活用することが重要だとした(松田 1993)。

一方、教育課程部会・算数・数学ワーキンググループ(2016)の報告は、数学的な見方・考え方を「事象を数量や図形及びそれらの関係等に着眼して捉え、論理的・統合的・発展的に考えること」と定義した。しかし、部会報告が作られる過程(ワーキンググループの議事録や資料)を見ても、従来の研究成果を参考にした形跡は(最終回の資料で、それまでの議論とは無関係に、中学校版の表の欄外に片桐の項目が説明も無く追加されたが)ほとんど見られない。使われている用語の類似性だけに着目すると、この定義と片桐のものは似ているように見える。しかし、定義にある「数量や図形、関係」は、学習指導要領の内容項目カテゴリーと対応づいており、それは他教科の見方・考え方で、同様である。つまり、部会報告案の意図は、従来の学習指導要領の枠組みを補強し、権威づけることに焦点を当てていると推測される。それは、学習指導要領を変え、それを通じて教育を変えようとする趣旨からは、大きくはずれるものと言わざるを得ない。

教育工学分野では、「教育工学とはどのような学問か」が永きにわたって議論されてきた。筆者も、数十年にわたり、この問題を常に自問自答している。しかし、工学者が「工学とは何か」を常に自問自答してい

るかは疑わしいと思っている。工学は既に確立された学問であり、「工学ありき」で研究に取り組んでいるからである。見方・考え方も、日本人にとっては日常語化しているため、それが何かを問うという意識が薄い。しかし、教育の中で「見方・考え方」を扱う以上、その意味をプラグマティックに問う必要がある。つまり、「見方・考え方を(単に辞書的に定義するのではなく)学習者や教師の授業設計・評価・自己学習等の支援に活用できるようにする」という視点から、それをどう捉えるべきかを議論することが重要である。

論点の1つは、(一見、見方・考え方と無関係に見えるが)図4におけるBruerと検討会との「メタ認知」の分類の違いである。後者がメタ認知技能と汎用的スキルとを1つにまとめている理由は、メタ認知が(見方・考え方とは異なり)教科に依存しないと捉えているためだろう。一方、学習科学者は教科教育の専門家ではないので、教科に固有のものは領域固有知識に焦点化し、汎用的な学習要素を2つに分類したのだろう。しかし、ここでガニエの学習成果の5分類(Gagne et al. 2005)を参照すると、メタ認知技能に対応する知的方略の多くは、汎用的というよりも教科・領域依存だとの指摘がされている。つまり、メタ認知技能には汎用的なものや教科依存のもの両方があり、教科依存のメタ認知技能が、見方・考え方と密接に関連しているという捉え方もできる。ただし、見方・考え方が教科固有なのかについては、異なる見解もある。筆者は、科学的な方法論をベースとした科学的な見方・考え方についても提案しているが(松田 2012)、例えば、「ある要因を無視したり追加したりした場合を考える」は、数学の一般化/特殊化と関連しており、「関数を当てはめて結果を定量的に予測してみる」は、数学の数量化や関数的な見方・考え方に関係する。教科固有と言うと教科に縛られた使い方しかできないが、類似性に着目し、相互に言い換えたものと捉えれば、汎用的に活用できる可能性もある。

第2の論点は、Bruerの分類に「見方・考え方」が出てこないことも関係して、この概念が日本固有のものだという点である。筆者は、国際会議で見方・考え方を説明する際、ways of viewing and thinkingと訳しているが、これを英文校正に出した際、別の言葉にしばしば直された経験を持つ。その多くは、～thinkingに直されるというものである。先に挙げた数学的な見方・考え方は、片桐も分析対象にしたmathematical thinkingに対応づけられることが多い。そこで、最近では、情報科でcomputational thinkingを養うべきとの指摘もある。しかし、Matsuda(2016)が、～thinkingについていくつかの分野で調べた限り、これらに関す

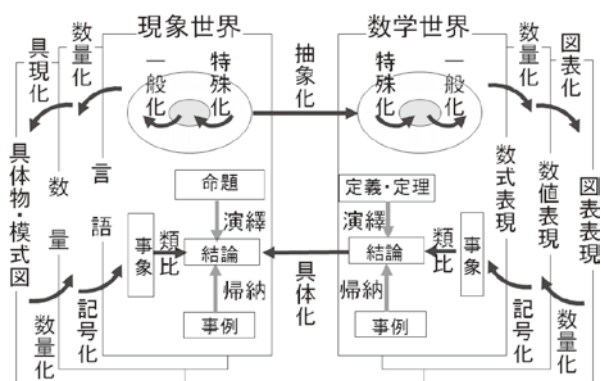


図9 数学的な見方・考え方の相互関係を示す図式

表2 松田が提案した「情報的な見方・考え方」

1. 問題解決の様々な場面で情報の活用を考える
2. システム的な観点で問題を捉える
3. 多様な「良さ」に着目して、より良い問題解決を考える
4. 「良さ」の間のトレードオフ関係を考える
5. 解決方法の工夫を情報の収集や処理方法の工夫という観点から考える
6. 解決方法には多様な代替案が存在すること、その1つに情報技術の活用があることを意識して発想する
7. 多くの代替案の中から「良さ」に応じた選択をする
8. 意思決定の権利を行使する際に、決定がもたらす結果への責任や他者への影響を自覚して判断を行う
9. 状況や判断する人によって解決方法に求める「良さ」の観点が変わり、代替案の「良さ」の評価も変わりを意識する
10. 情報技術を効果的に活用するために、人が行うべき工夫を考える
11. これまで解決が困難と思われてきた状況や分野でこそ情報技術を活用した新たな解決方法を発想する
12. 想定外のケースや、誤りを犯す危険性を考慮し、変化や突発的な事態への対応方法を準備しておく
13. 間違い防止や失敗の改善のために、解決手順の明確化やルール共有化、その確認方法を考える

る研究は、「数学／科学／プログラミング等の体験により、創造的／批判的／分析的／論理的／・・・など心理学的な尺度として把握できる思考傾向の何がかわるか」に焦点を当てたものが多い。この立場は、～thinkingを指導内容として捉えるのではなく、学習成果として捉えているに過ぎない。しかも、この種の変化は長期的な体験をベースに測定されるから、その変化が本当にその体験によって起きたのか疑問であるし、それが全ての対象者に起きるのかどうかも不明確である。いずれにせよ、見方・考え方という概念は、指導対象として捉える点に特徴があり、また、その視点からプラグマティックに内容を定義することが必要だと考える。

内容として指導するという観点からは、見方・考え方と、技術教育のコア概念や、コンピュータサイエンスの再起／頻出概念(recurring concepts)(ACM／IEEE-CS Joint Curriculum Task Force 1991)との関係も論点になる。筆者は、情報科が新設された際、他教科の目標に見方・考え方の育成が含まれていることをふまえ、現職教員等講習会のテキスト(松田ほか2000)執筆に際して、情報科でも見方・考え方を指導すべきだと考え、表2に示す13項目の情報的な見方・考え方を定義し、その指導方法のモデルも提案した。この時に参考にしたのが、システムズアプローチによる問題解決の手法と再起／頻出概念であり、それらの統合を意図した。

ここには統合の経緯を詳細に示さないが、直感的には、図10に示すような統合がされている。情報的な見方・考え方の特徴は、指導しやすいように文章として示されていることであり、作業上のチェックポイント／発想の観点として活用しやすいものとしている。ま

た、システムズアプローチとの関連性を考慮しているため、図1との関係で言えば、どの見方・考え方を問題解決のどの場面で使うかが明確に関連づけられており、インフォームドな指導が可能になっている。例えば、多様な良さを考える、トレードオフを考える、システムとして捉える、などは目標設定過程で主に使われる。その理由は、目標設定過程のOutputを見れば容易に想像がつく。また、再起概念とコア概念は、本質的には近いものを指していると思定されるが、用語だけを見るとトレードオフ以外は別々のものである。これは、両者が領域固有知識として独自に定義されているからであるが、情報的な見方・考え方を媒介すると両者の類似性が読み取りやすくなる。このように、見方・考え方は、前述した準抽象化を支援する役割も担える可能性がある。また、筆者は、情報的な見方・考え方の項目6、10、11にある「情報技術」を「技術」と置き換え、さらに以下のように手を加えて技術的な見方・考え方を定義している(Matsuda 2016)。

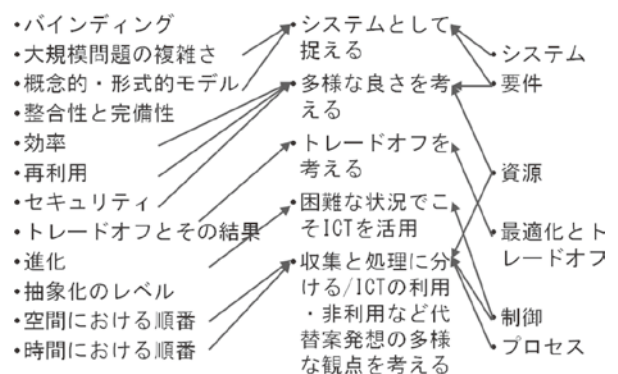


図10 再起概念／コア概念と見方・考え方

- 5' リソース(もの・エネルギー・情報)の変換と、その手続的組み合わせに基づいて多様な解決案を発想する
 - 14 技術の信頼性は、必要な情報を市民に提供する透明性の高い制度やシステムによって保証されることをふまえ、その情報を理解すべく技術について学び続ける
 - 15 一般公開されている情報について科学的／統計的な見方・考え方を活用する
 - 16 技術が将来もたらすリスクを予測するために、類推の考えを使って適切な事例を見つける
- ※14～16は、技術教育で育成する問題解決力を実践力にするためのもので、情報科でも追加すべきと考えている

情動的な見方・考え方については、加納や本郷らの提案もある。ここでは、それらについて論評しないが、筆者の提案の目的は、以下の特徴としてまとめられる。

- 概念(知識)を列挙しても、それらを全て想起してどれが有用かを選択することは、作業記憶に限界があるため、困難である。問題解決の文脈に即して有用な知識を自動的に選択できる仕組みが必要であり、その仲介役を見方・考え方に担わせる。
- 上の目的から、見方・考え方は活用すべき内部知識とその活用法を示唆する形で文章として示す。例えば、「多様な良さを考える」ために、多様な良さは内部知識として覚える。そこには、必然的に、効率、再利用可能性、保安性に加え、信頼性、公平性など、多種多様な良さが含まれるし、良さを知識として覚える際には、それらのトレードオフ関係もチャンク化して覚えることを求める。
- 上のことから自明であるが、見方・考え方は、問題解決の文脈によって分類されるべきであり、利用すべき知識ごとに分類することは意味がない。どの知識を利用するかを先に決めて問題解決することは、答えありきの問題解決であり、先入観にとらわれた問題解決になる。それはテストでは通用しても、真正な問題解決では通用しない。

2.4 領域固有知識～内部知識と外部知識

領域固有(の宣言的)知識は、意味ネットワーク構造(Collins & Quillian 1969)で保持される。図3に示した通り、長期記憶の知識は、失われることは無く再生するのに失敗するのだと考えられている。よって、知識が活用されるためには、知識が活性化されるプロセスに着目したモデルが必要である。その鍵は関連づけであり、それは同時に、作業記憶の容量限界に対抗するチャンク化にも貢献する。

人工知能の分野では、1つの概念に関連して一定のスロットを持つフレームという知識表現が使われる。筆者は、坂元の「次元分け」(松田ほか 2013)という手法を参考に、ある概念には、名前、具体例、式、単位、条件など、一定のスロット名を持つ周辺情報を関連づけて記憶することが重要だと考えている。その上で、「問題解決スクリプト(文脈)⇒見方・考え方⇒内部知識⇒外部知識」の順に芽づる式の知識の活性化が(熟練に伴って自動的に)起こるように、意識的に知識を関連づけ、記憶していくことが重要だと考える。そのためには、例えば、情報技術の知識には、利用目的や活用例、メリット／デメリットといったスロットが必要であり、それらに対して、良さの知識や問題の分類の知識、事例の知識等からリンクが張られる必要がある(図11)。

知識の関連づけとしては、2.1に述べた④とも関連して、言葉の言い換え(図12)を学ぶ必要がある。これは、言語活動の充実ということと密接に関連するが、重要なのは活動の充実ではなく、言語活動を通じてどのような知識体系を身につけるかである。

知識を関連づけるリンクは、単に関連づけられていればよいのではなく、その向きや結びつきの強さも重要になる。ここには、知識を自己学習・再構成する活動や、興味・関心・自信など、動機づけも深く関わってくる。動機づけについては、Keller(1987)が提案しているARCS動機づけ理論を考慮する必要がある。特に、具体例や体験に即して知識の有用性を強調することで、relevanceを高めることや、知識を教え込むのではなく、問題解決過程の中で自己学習させたり、それを活用して問題解決に成功する体験を与え、confidenceを高める工夫などが必要だと考えている。そのためにも、新しい情報技術を学ぶための自己学習の方法を、見方・考え方を使得スロット値を自動的に埋めるメカニズムとして、明示的に指導する必要があると考えている。逆に、知識をフレーム的な枠組みで覚える必要があるという考え方が、この自己学習の方法を明示的に指導する上で、役立つとも考えている(井出・松田 2017)。

技術に関する知識は、変化が激しく、内部知識として覚えるべき範囲は最低限に限定する必要がある。筆者は、極論すれば、情報技術の辞書的で詳細な知識は、一般の人にとってほとんど活用されないまま陳腐化するか、少なくとも、必要な時、Web等で簡単に検索できるものであり、内部知識にする必要が無いと考えている。言い換えると、学問的成果のように、言語化し、共有化可能な知識にできるものは外部知識に位置づけても支障が無く、それらの外部知識を効率的に参照する方法やその時に必要になる知識、ノウハウやヒューリスティクスに近い(ただし、ある意味で見方・考え

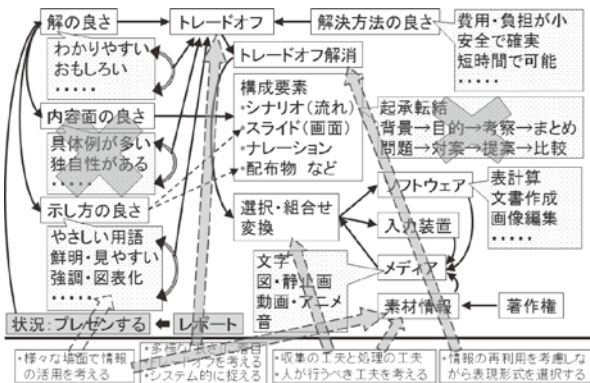


図11 知識を文脈に応じて活性させる関係づけ

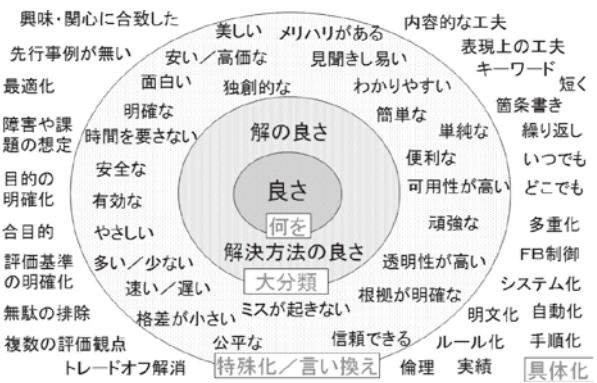


図12 ささまざまな良さを言い換えるための関係づけ



図13 情報科 (社会と情報) 用に詳細化した「縦系・横系」モデル (松田・小川 2015)

方と同様に明示的に指導することが可能な)属人的知識こそ、内部知識化する必要があると考えている(図13)。ITEAの技術教育スタンダードでも、「個々の知識の詳細には指導の時間をかけず、コア概念や原理の理解により多くの時間を費やすべき」としている。既に述べた通り、コア概念は、見方・考え方と直接的に関連づけられる知識の範囲であり、外部知識を参照する際に必要な知識と位置付く。筆者は、ノウハウやヒューリスティックスが原理に近いものだと考えている。

3. 情報科における問題解決力育成の方策

3.1 合宿先の予約課題

筆者が、情報Bで問題解決の指導をするために考えた教材が「合宿先の予約課題」であり、現職教員等講習会のテキスト(松田ほか 2000)に公表したものである。これは、個人的な問題解決のレベルのものであり、社会的な問題解決(社会情報システムの導入の是非を議論する課題)は、このような個人的な問題解決を修得した上で行うべき問題解決となる。

この問題は、次のような文脈として与えられる。

- あなたがやっている部活では、毎年夏合宿に行きます。
- 合宿には、練習用施設と宿との両方が必要です。
- 練習用施設と宿の組み合わせは表(省略)の通りです。
- 空き状況や料金は電話しないと分かりません。
- 電話以外の手段は使えません。
- 以下の条件A～Eを満足することが必要です。
 - A) 7月20日～31日の間に3泊4日
 - B) できるだけ多くの部員が参加できる
 - C) 期間中同一の宿に全員が宿泊
 - D) 施設費+宿代 \leq 25000円/人で、より安い方がいい
 - E) 移動は10分以内で、より近い方がいい
 - ※部屋割りや収容人数は考える必要無し
 - ※一度予約したら解約は不可(手順終了)
- あなたの役割は、より良い作業手順を30分以内に考え、後輩部員に指示することです。

この問題は、実は二重構造になっている。合宿先の施設と宿を予約するのは、後輩の課題であり、自分にとっての課題は、その後輩が行うべき作業の手順を決めることである。図14で言えば、後輩が行う問題解決において、目標設定過程で行うべき「作業計画立案」の部分自分を代わりに行う。この作業計画立案のみを下位問題として取り出して、図14を再帰的に呼び出し、自分が問題解決を行うというような構造である。したがって、自分の問題解決における「良さ」は、上のA

～Eに書かれているような「良さ」ではなく、むしろ、指示が正確に伝わり、間違った作業が行われない、(第三者に先に予約されないように)作業に時間がかからない、電話代がかからない、など、作業の良さに焦点を当てる必要がある。作業をより良く行うからこそ、情報や情報技術の活用が必要になるのであって、単に合宿費用を安くする、できるだけ多くの部員が参加できるようにする等を追求するなら、それは情報科の問題解決ではなく、数学の最適化問題になってしまう。

図11は、筆者らのグループで作成し、実践している「スライド作成ゲーム」の設計方針を示すものでもある。「社会と情報」の内容(1)では、マルチメディア技術を活用した情報の表現に関する問題解決を扱う。その前提となる学習が情報の特質(モノとの違い)であり、そのポイントは、複製が容易で再利用性が高い点にある。よって、この特性を活かして作業を効率化することが鍵であり、ここでも、作業方法を考えさせることに焦点を当てるべきで、作品(プレゼンテーション等)の内容や、実際の発表(演示)の良さなどに焦点を当てることは、情報科の目標から外れている。与えられた制限時間を考慮して、作業にかかる時間とより良い表現を実現するというトレードオフ問題を素材情報の収集やICTによる情報の変換という作業効率向上のための工夫を用いて解消するのが、この課題の焦点である。そのために、発表内容を改めて考えさせないよう、既に、レポートを書き終わり、それをプレゼンテーションするために、スライド作成の作業をするという課題設定としている。

3.2 ゲーミング教材の開発

前節で述べた合宿先の予約課題は、協働学習形式で問題解決する形をとっているが、スライド作成ゲームはe-learning教材化して実践している。この他に、「社会と情報」の各単元に対応して、「ネットオークション・ゲーム」「セキュリティポリシー・ゲーム」「マイナンバー・ゲーム」(小川・松田 2015)などが開発されており、現在は、アルゴリズム型のプログラムと人工知能(データオリエントドな学習)型プログラムの違いと、応用システムのメリット/デメリットを考えさせるための「システム開発ゲーム」を開発し、実践評価している(金井・松田 2017)。

筆者らがゲーミング教材を重視する理由は、具体的な課題例に基づいてインフォームドな指導を行うには、一斉授業はもちろん、協働学習や教師が個別フィードバックするような授業形態では、効果が上がらないと考えるからである。開発している教材の特徴は、全て、20分～30分で図15の問題解決全体を終了することであ

り、何回もの授業を使って図1がようやく終わるといような指導では、効果は上げにくいだろう。

3. おわりに

今回の学習指導要領改訂に関連して、高大接続も1つの議論の焦点になっている。これに関連して、注目すべきなのは、私立大学情報教育協会が、全ての大学で共通的に取り組むべき情報リテラシー教育のガイドラインの改訂作業を進めている点である(玉田・松田2015)。基本的な考え方は、高等学校における情報科教育との連続性を意識し、かつ、大学教育と社会との接続を考慮して、社会人基礎力の育成に結びつけるということである。その意味で、今回の改訂で最も重視されているのが、「情報活用の実践力」に関わる問題解決力の育成である。この能力が重視される理由は、文字通り、どの専門分野に進んでも必要な資質・能力であり、「何を学んだか」から「何ができるか」がより重視される社会人基礎力としても重要だからである。これまで、大学入試での扱いという点、情報系の専門分野に進学する生徒を中心に考えがちであったが、今後は、どの分野に進むにしても必要な資質を育成する観点から情報科教育のカリキュラムを考えることが、生徒の学習意欲を高める上で重要になろう。

注

本稿は7月31日に開催された江戸川大学情報教育研究会の発表内容に加筆し、2016年12月25日に開催された日本情報科教育学会第8回フォーラム用に作成した資料に、さらなる推稿を加えたものである。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会・科学研究費補助金(基盤研究(C)No. 26350313, 代表:松田稔樹と、基盤研究(C)No. 15K01087, 代表:玉田和恵)の支援、及び、日本教育工学会SIG-10の活動と関連づけて行われた。関係する方々に感謝する次第である。

参考文献

安彦忠彦(2014) 「コンピテンシー・ベース」を超える授業づくり, 図書文化, 東京
 ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force (1991) Computing Curricula: 1991 Report from ACM, IEEE Computer Society

Anderson, L.W., Krathwohl D.R. (Eds.) (2001) A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives", Longman
 Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., Krathwohl, D.R. (1956) Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain", David McKay Company
 Bruer, J.T. (1993) Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom. The MIT Press.
 Collins, A.M., Quillian, M.R.. (1969) Retrieval time from semantic memory, Journal of verbal learning and verbal behavior, 8(2), 240-247
 Gagne, R.M., Wager, W.W., Golas, K.C., & Keller, J.M. (2005) Principles of Instructional Design (Fifth Edition), Wadsworth
 合田智一, 松田稔樹(2016) 問題解決に活用可能な高校「データ分析」の知識及び見方・考え方のモデル化と教材開発, 日本教育工学会研究会報告集, JSET16-1, pp.401-408
 平林翔太, 松田稔樹(2012), 「情報モラルに配慮して情報技術を効果的に活用する力を育成する情報科教材の開発支援」, 『日本教育工学会研究会報告集』, JSET12-1, pp.7-14.
 菱村幸彦(2014) 学習指導要領の用件. 内外教育, 6366, 時事通信社, p.23
 井出未来, 松田稔樹(2017) 自己学習のための学習技能の習得と活用を促す指導法とそれに基づく教材の開発, 日本教育工学会研究会報告集, JSET17-1, pp.467-474
 育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会(2014) 育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会-論点整理, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/095/houkoku/1346321.htm
 石井英真(2011) 現代アメリカにおける学力形成論の展開:スタンダードに基づくカリキュラムの設計, 東信堂, 東京
 ITEA [International Technology Education Association] (2007) Standard for Technological Literacy (third edition). ITEA.
 金井文哉, 松田稔樹(2017) : “プログラミング方法論の違いに基づき社会的問題解決を考えさせるゲーミング教材の開発, 日本教育工学会研究会報告集, JSET17-1, pp.185-192
 片桐重男(1988) 数学的な考え方の具体化. 明治図書, 東京

- Keller, J.M. (1987) Development and use of the ARCS model of motivational design, *Journal of Instructional Development*, 10(3), pp.2-10
- 国立教育政策研究所(2013) 教育課程の編成に関する基礎的研究報告書5: 社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則, 国立教育政策研究所, 東京
- 教育課程部会・算数・数学ワーキンググループ(2016) 議事要旨・議事録・配付資料, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/073/giji_list/index.htm
- 松田稔樹(1993) 教授活動モデルに基づく授業改善, In 坂元昂監修・牟田博光編「教育システムの設計と改善」, 第一法規出版, pp.89-110
- 松田稔樹(2003) 普通教科「情報」で指導すべき「情報的な見方・考え方」, 東京都高等学校情報教育研究会, pp.44-47
- 松田稔樹(2012) ゲーミングの立場から見た高校の「数学I・課題学習」および「理科基礎科目・探究活動」の設計原理, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会報告集, 2012年春号, pp.71-76
- 松田稔樹(2015a) 情報科教育で扱うべき問題解決活動の明確化と授業・教材の設計指針, *Informatio*, 12: 37-43
- 松田稔樹(2015b) シミュレーション&ゲーミング手法をベースとした能力評価規準とその評価方法開発～中教審教育課程企画特別部会「論点整理」の批判的検討とその課題克服に向けて, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文報告集, 2015年度秋号, pp.68-73
- 松田稔樹(2016) 縦糸・横糸モデルに基づくカリキュラム設計方法論構築の試み－SIG-10活動の中間まとめに向けて, 日本教育工学会研究会報告集, JSET16-3, pp.83-90
- Matsuda, T. (2015) Design Framework of Gaming Materials to Cultivate Problem-solving Abilities: Differences and Commonalities among STEM Educations, The 13th Hawaii International Conference on Education, pp.2147-2159
- Matsuda, T.(2016) Technological Ways of Viewing and Thinking: What is it and How it Can be Cultivated?, H. Middleton (Ed.) *Creating Context for learning in Technology Education*, University of South Australia, pp.158-166
- 松田稔樹, 波多野和彦, 江守恒明(2000) 指導計画の作成と実習指導法, 平成11年度・新教科「情報」指導者研究協議会資料(1), 文部省, 東京
- 松田稔樹, 星野敦子, 波多野和彦(2013) 学習者とともに取り組む授業改善～授業設計・教育の方法および技術・学習評価, 学文社, 東京
- 松田稔樹, 小川諒大(2015) 情報科で育成すべき資質・能力のモデル化と授業・教材設計の視点, 日本情報科教育学会第8回全国大会講演論文集, pp.27-28
- Matsuda, T. and Sato H. (2009). *Instructional Materials for Cultivating Students' Analogical Thinking Competency in Problem Solving and their Virtual Lessons to innovate Japanese Technology Teachers*, PATT-22, pp.291-302
- 文部科学省(2009) 高等学校学習指導要領解説～総合的な学習の時間編, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2010/01/29/1282000_19.pdf
- 西尾真由子, 松田稔樹(2016) 数学の主體的な「学び直し」を促す学習者モデルの検討と教材開発, 日本教育工学会研究会報告集, JSET16-2, pp.35-42
- 小川諒大, 松田稔樹(2015) 問題解決のモデルに基づく「望ましい情報社会の構築」学習ゲームの設計, 日本情報科教育学会第8回全国大会報告集, pp.55-56
- 岡田佳子, 松田稔樹(2016) ソーシャルスキル教育の指導・評価法とゲーミング教材の可能性, 日本教育工学会第32回全国大会講演論文集, pp.103-106
- 斎藤剛史(2016a) 小中学校の9割以上に課題あり～教育調査研究所の「カリキュラム・マネジメント」調査, *内外教育*, 6527, p.5
- 斎藤剛史(2016b) 評の評～教育誌9月号, *内外教育*, 6529, pp.20-23
- 鈴木宏昭(1996) 類似と思考, 共立出版, 東京
- 中央教育審議会教育課程特別部会(2016) 次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて(報告), http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm
- 高橋誠(1984) 問題解決手法の知識, 日経文庫, 東京
- 竹村徳倫, 松田稔樹(2015) 問題解決の枠組みに基づく日本語学習支援のモデル, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会報告集, 2015年度秋号, pp.84-87
- 玉田和恵, 松田稔樹(2004) 「3種の知識」による情報モラル指導法の開発, *日本教育工学雑誌*, 28, 79-88.
- 玉田和恵, 松田稔樹(2015) 学士力としての情報リテラシー教育ガイドラインの検討, 日本教育工学会研究会報告集, JSET15-1, pp.339-346
- Wiggins, G., and McTighe, J. (2006) *Understanding by Design (Expanded 2nd edition)*. Pearson Education: Upper Saddle River, NJ.