中学校数学科における批判的思考力を育成するための錯視を用いたSTEAM教材の開発

Development of STEAM teaching materials using optical illusions to foster critical thinking skills in junior high school mathematics

堤 美羽*・葛城 元**・田端 優介***・井場 恒介***
大阪教育大学大学院連合教職実践研究科*・大阪教育大学教育学部**・大阪教育大学附属池田中学校***

本稿では，中学校数学科における批判的思考力の育成を目指して，錯視図形を題材とするSTEAM教育をデザインした。生徒がオリジナルの錯視デザインを用いて三角形の合同条件による証明を行い，さらに自ら錯視図形を作成して検証する学習活動を組み込んだ。その結果，本実践の特徴として，第1に，学習者が「見かけ」と「数学的事実」のズレを検討・評価し，合同条件を用いた証明を通して批判的思考のプロセスを体験できること，第2に，観察・測定・作図といった具体的な操作を通じて錯視を数学的に吟味し，自らの発想を論理的に検証することで，批判的に思考する態度を実践的に養えるよう構成されていることが明らかになった。

キーワード：錯視図形，STEAM 教材，批判的思考力，教材開発

1. はじめに

数学の指導においては，批判的思考力を育むことが求められている。内閣府(2018)は「IT技術で代替が難しい問題解決能力や分析能力を鍛えるためには，受動的に与えられたことをこなすだけではなく，生徒が能動的に考えることや，批判的思考を促すこと等が重要であると考えられる。」と述べている。これらを中学校数学科の授業で実現していくためには，生徒自らが問題の正誤を判断，検討・修正できるような力，すなわち「批判的思考力」の育成が必要だと考えられる。ここでの「正誤の判断」とは，問題の解法が合っているか否かを見定めることである。「検討・修正」とは，より良い解決を追求することである。

しかし，内閣府(2018)は，日本の学校教育において，生徒のポテンシャルは高いものの，主体的な学びやICT利用に課題があることを指摘している。そして，批判的思考の育成に関わる，主体的な学びの引き出しに自信を持つ教員の割合が，日本は調査国平均と比較して低くなっている。そこで，日常で出会うさまざまな事柄に対して適切に疑問を持ち賢く判断できるようになってほしいという思いから，批判的思考力の育成が必要であると考える。

また，批判的思考力について，道田（2001）は，見かけに惑わされず，多面的にとらえて，本質を見抜くことと定義し，これを「問題の発見–解の探索–解の評価–解決」という問題解決の流れの中に示している。

本研究では，この問題解決の流れを重要視している。

これまで中学校数学科の授業では批判的思考力を育成する授業がなされてきた。圓岡ら（2023）は，問題発見を重視した授業の有効性を示している。また，滝田ら（2022）は，説明の評価・改善を通した中学校１年生の批判的思考の進展を述べている。これらのように，それぞれに焦点化された先行研究は多くあったが，道田（2001）が示す，問題解決の流れに沿ったものはあまり見られなかった。

滝田ら（2022）は，「図形」領域の内容では，自己や他者が納得できるように推論の過程を簡潔・明瞭に表現する必要性が生じやすいと示している。「推論の過程を簡潔・明瞭に表現すること」は，道田（2001）が示す問題解決の流れの「解の探索」や「解の評価」に当てはまり，問題解決の流れに沿った教材開発に適している領域だと考える。

そこで，生徒たちの批判的思考力を育成するには，この道田（2001）の問題解決の流れに沿った新規教材の開発が必要ではないか，と考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は，中学校数学科における批判的思考力の育成を目指して，錯視図形を探究するSTEAM

教育をデザインし，その特徴を明らかにすることである。

3. 錯視を用いた教材開発

3.1. 教材の題材

本研究では，近年注目されている「STEAM教育」の視点を取り入れる。

STEAM教育における「A」について，「ART（芸術）」と「ARTS（教養）」の二つの概念が存在するが，本研究では，文部科学省の「Society5.0に向けた人材育成」でも使用されている「ART（芸術）」の概念を使用する。

大谷（2021）は，具体的なSTEAM教育の考え方として，社会的課題の解決のために「①拡散的思考に基づく創造」，「②収束的な目的に沿った創造・探究」の活動を通して諸能力を育成していくものであると述べている。このことから，山中ら（2024）は，理科や算数・数学等の学習内容を踏まえ，社会課題の解決に向けて拡散的思考と収束的思考を行わせるといった点が，STEAM教育の要素であると捉えている。

また，Maeda（2013）は，STEMの各分野が収束思考なのでイノベーションが生まれないが，それらにARTを追加することで批判的思考が加わり，より深い思考となってイノベーションが生まれる，と主張している。そして，辻合ら（2020）は，STEMとARTは，問題解決アプローチにおいては対極的であるが，そのため補完しあい，互いに必要不可欠なものであると主張している。STEAM教育とはまさに，批判的思考力の育成の実践の場である，と考えた。

そこで，「錯視」という視覚的な現象を題材にした数学×ARTの教材を開発する。錯視とは，目にしているものが実際の形や長さなどと異なって見える現象のことで，見た目に惑わされず図形や数量の本質をとらえることが求められる。この過程で生徒は，視覚的印象と数学的分析の間に生じるズレを検討・評価し，どのように認識が形成されているかを問い直す必要がある。この学びは，まさに道田（2001）のいう「問題の発見–解の探索–解の評価–解決」というプロセスと一致している。

3.2. 教材の特徴

本教材の特徴として，「数学の視点から批判的思考力を育成できること」と「STEAMの全分野を網羅した教材であること」が挙げられる。

1つ目の「数学の視点から批判的思考力を育成できること」について，表1のように，道田（2001）の問題解決の流れに沿って，批判的思考力を育成することができる。

2つ目の「錯視教材を用いたSTEAMの全分野を網羅した教材であること」について，本教材では表2のように各分野を捉えている。

表1：問題解決の流れ（道田，2001）とそれに対応する学習活動の定義

問題解決の流れ（道田，2001）	本教材での学習活動
問題の発見	合同に見えないが実際には合同な図形について，どの組み合わせが合同に見えるか，を探すこと。
解の探索	どのような条件が揃えば，合同であることを示せるか，考えること。
解の評価	実際に長さや角度を測り，本当に合同なのかを示すために必要な条件なのか，を検討すること。
解決	自身で揃えた条件を用いて，合同であることを示すこと。

表2：本研究における STEAM に対応する学習活動の定義　（（田中・大谷（2024）を参考に作成）

STEAM教育の視点	既従の研究におけるSTEAMの捉え方	STEAMの捉え方に対応する学習活動
S	理論化・ 法則化 (Yata.et.al, 2020)	どのように図形を動かしたり組み合わせたりすれば，錯視に見えるか，という法則に基づいて探究する活動
T	最適化・ システム化（Yata.et.al, 2020）	実際に定規や分度器，コンパスを用いて，長さや角度を測って作図すること。
E	収束的思考に基づく創造(大谷,2021)	錯視について知ったことで分かったことなどをまとめ，錯視を作成する際にアイデアを考案する活動
A	批判的思考（Maeda，2013）	さまざまな錯視を知り，どのような原理で合同に見えないか，などを学ぶ活動
M	数式化・記号化 (Yata.et.al, 2020)	どのような条件があれば合同であることを示せるか，を考え，実際に示す活動

4. 授業開発

4.1. 授業実践の構想

三角形の合同条件を用いる証明の授業において，錯視図形を用いた証明から出発し，さらに生徒が自ら錯視図形を作成して証明をする授業を開発した。

まず，生徒に錯視デザインを提示し，その中から合同だと思う図形を探して合同であることを示すために必要な情報を集めさせる。ここで使用する錯視デザインは，既存のシェパード錯視をもとにオリジナルで作成したもので，図１に示す。

次に，生徒自身に錯視デザインを作成させる。このとき，ルールとして「合同な図形は，三角形の合同条件を用いて合同証明ができること」と設定する。これにより，錯視の作成がゴールなのではなく，自分たちで作成した錯視を合同であると示すにはどのような条件が必要なのかを理解しておくことが目的だと意識させるようにする。

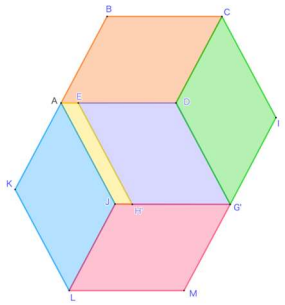

図１：オリジナル錯視デザイン

最後に，自分たちが作成した錯視について，どのような条件をもとに合同といえるかについて，証明を行う。

このように本授業構想では，錯視図形を用いた証明から出発し，個人と班での活動を使い分けながら錯視図形の作成と証明を行うことで，問題解決の流れに沿った批判的思考力を育成する学習を目指す。

表３：本研究で提案する授業の展開

学習項目	学習活動	STEAM 教育の視点
【第１時】（50 分）		
①定義の確認	・さまざまな錯視に触れる。 ・錯視の定義について学ぶ。	S，M
②シェパード錯視の分析	・シェパード錯視を用いて，合同であることを示すにはどのような条件が必要か，を考える。その際，定規や分度器などを用いて，実際に長さや角度を測りながら考える。	T，M
③オリジナル錯視デザインの分析	・オリジナル錯視デザインの中から，見かけに惑わされずに，合同だと思う図形の組み合わせを探す。 ・該当する図形について，合同であることを示すにはどのような条件が必要か，を考える。 ・その条件をもとに，合同証明を行う。	T，A，M
【第２時】（50 分）		
④問題設定	・第１時で触れたさまざまな錯視をもとに，どのような工夫をすれば合同な図形を見つけづらい図形，すなわち錯視を作成できるのか，というアイデアを見つける。 ・錯視を作るときのルールを確認する。	S，E，A
⑤自作の錯視を考案・作成	・実際に錯視を班ごとに作成する。その際，定規や分度器などを用いて，実際に長さや角度を測って作図する。	S，T，E，A
【第３時】（50 分）		
⑥自作の錯視の分析	・班ごとに作成した錯視について，合同であることを示すにはどのような条件が必要か，を考える。	T，M
⑦発表	・班で作成した錯視について，どうして合同な図形を見つけづらいか，また，どのような条件により合同であることを示せるか，を全体に発表する。 ・他の班の発表を聞き，それぞれどの図形が合同に見えるか，を考える。	S，T，E，A，M

4.2. 授業の展開

本研究では，中学校２年生（三角形の合同条件を学習済み）を対象に授業を提案している。表３は，計150分の授業をまとめたものである。

第１時では，まず，さまざまな錯視を学び，錯視の定義を確認する。次に，シェパード錯視を用いて，合同であることを示すにはどのような条件が必要かを分析する。このとき，合同であることを示したい図形は四角形であるが，対象学年の生徒は四角形の合同条件が未履修により利用できない。そのため，三角形の合同条件を用いるために，補助線を引く必要がある。続いて，再度どのような条件が必要なのか再考する。その後，オリジナル錯視を用いて，合同だと思う図形について，条件を整理して，合同証明を行う。

第２時では，第１時に触れたさまざま錯視を取り上げ，どのような工夫をすれば合同な図形を見つけづらい図形を作成できるか，のアイデアを探す。その後，作成するうえでのルールとして「合同な図形は，三角形の合同条件を用いて合同証明ができること」「曲線は使わないこと」「合同な図形を見つけづらくする自分なりの工夫をすること」の３つを確認する。このルールとアイデアをもとに，班ごとに錯視を作成していく。

第３時では，第２時で生徒自身が作成した錯視を用いて，合同であることを証明していく。また，班ごとに作成した錯視を全体で共有し，それぞれどの図形が合同に見えるか，合同であることを証明するにはどのような条件が必要なのかを考える。

5. まとめ

本研究では，批判的思考力の育成を目指して，錯視図形を題材とするSTEAM教育の実践をデザインした。その特徴を集約すると，以下の2点である。

（1）錯視における「見かけ」と「数学的事実」のズレを検討・評価し，合同条件を用いた証明により妥当性を確かめることで，批判的思考のプロセスを段階的に体験できること

（2）観察や測定，作図といった具体的な操作を通して，数学的に事象を吟味し，自らの発想を形にして検証することにより，批判的思考を実践的に養えるように構成されていること

今後は授業実践を行い，本教材の有効性を検証する予定である。

参考文献

圓岡悠・服部裕一郎（2023）「中学校数学授業における算数・数学の問題発見・解決の過程の具現化-「日常生活の事象の数学化」及び「活用・意味づけ」の過程の強調-」日本数学教育学会誌，105巻，3号，pp.2-14

道田泰司（2001）「批判的思考の諸概念：人はそれを何だと考えているか？」琉球大学教育学部紀要，59号，pp.109-127

道田泰司・仲宗根亜矢子・小島哲夫（2018）「中学生は誤答をどのように分析するか？：誤答レポート内容の検討」琉球大学教育学部紀要，第92集，pp.379-386

文部科学省（2018）「中学校数学学習指導要領（平成29年告示）解説　数学編」日本文教出版，大阪，p.7，p.21

内閣府（2018）「年次経済財政報告第２章第２節　人生100年時代の人材」https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je18/h02-00.html（2025.8.20現在）

大谷忠（2021）「STEM/STEAM教育をどう考えればよいか–諸外国の動向と日本の現状を通して–」科学教育研究，45巻，2号，pp.93-102

滝田和徳・水野高宏・川上貴・牧野智彦・日野圭子（2022）「説明の評価・改善を通した中学１年生の批判的思考の進展の特徴づけ」日本数学教育学会誌，104巻，5号，pp.4-15

田中若葉・大谷忠（2024）「小学校総合的な学習の時間における 探究活動と創造活動の往還を導入した STEM 教育の実践」STEM教育研究，6号，pp.41-48

辻合華子・長谷川春生（2020）「STEAM教育における“A”の概念について」科学教育研究，44巻，2号，pp.93-103

山中真悟・古石卓也・中山貴司・木下博義（2024）「小学校理科における批判的思考力の育成に関する基礎的研究–STEAM教育を通した「よりよい解の追求」の育成に着目して–」理科教育学研究，64巻，3号，pp.375-383

Yata, C., Ohtani, T., Isobe, M. (2020). Conceptual Framework of STEM Based on Japanese Subject Principles, International Journal of STEM Education：7，12，pp.7-10