

2026/03/06 情報処理学会



中学校数学の証明学習における 記述支援を通じた論理構成力育成の試み



愛媛大学教育学部
大野蒼太 河村泰之

証明学習で求められていること

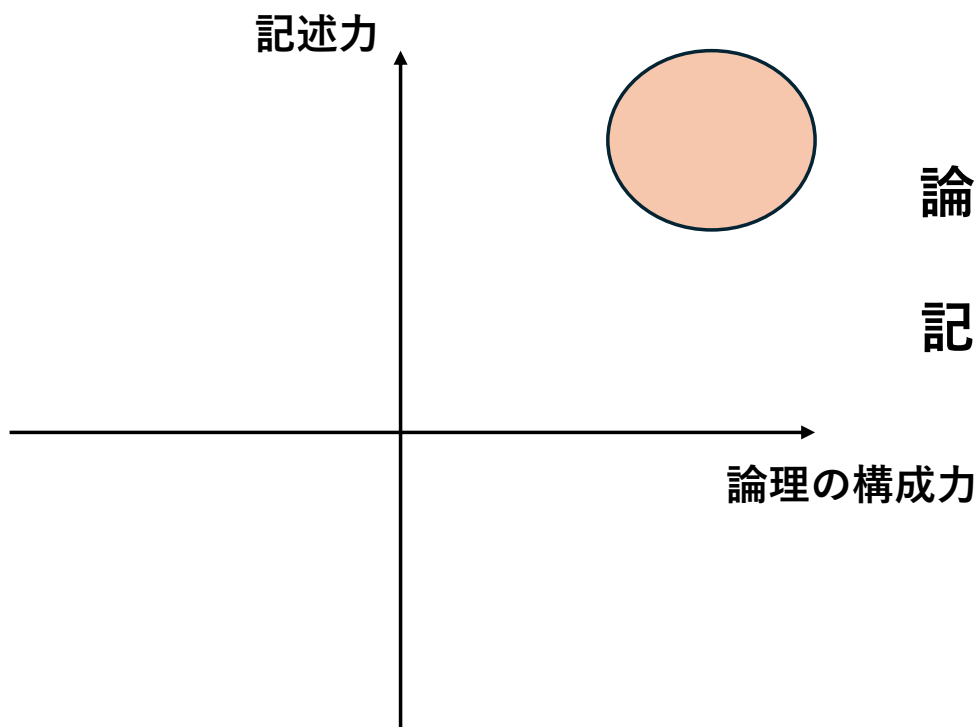


根拠を明らかにし、筋道を立てて説明する。

その中でも

論理の構成力：仮定から結論までの骨格を構成する力

記述力：数学的形式に従って表現する力



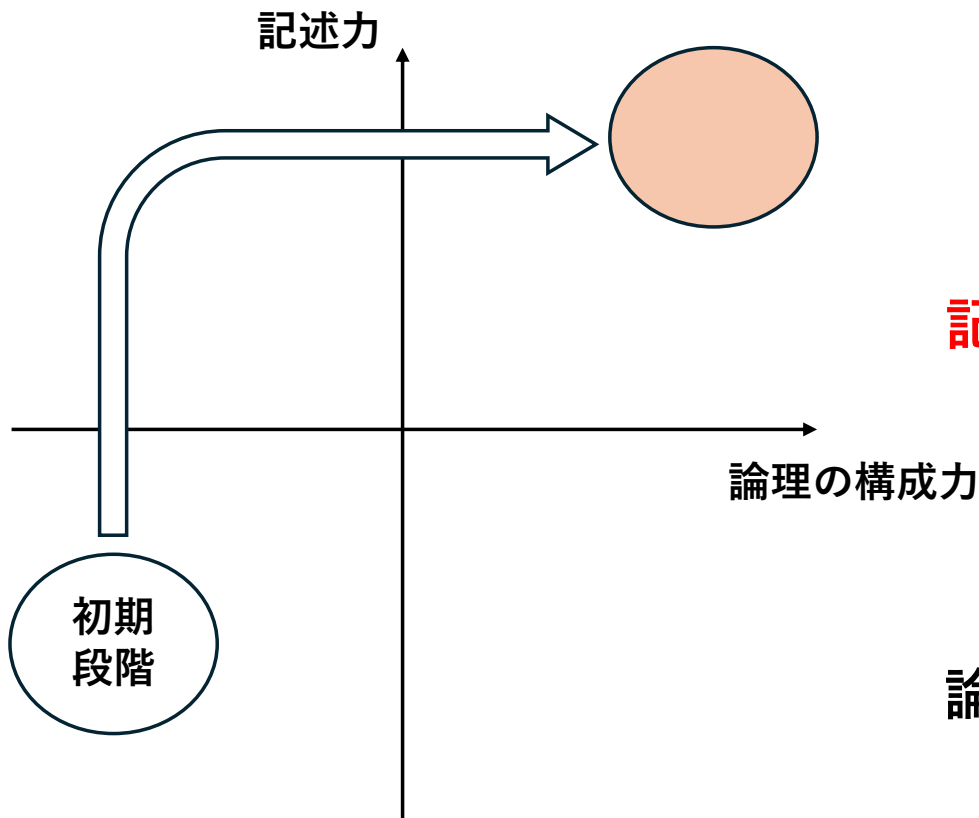
論理の構成力と記述力の両方の力が必要とされている

現場では記述に時間を割かれる



初期段階

論理を考える以前に証明特有の書き方でつまづく



記述の誤りに関する指導に時間を割かれる



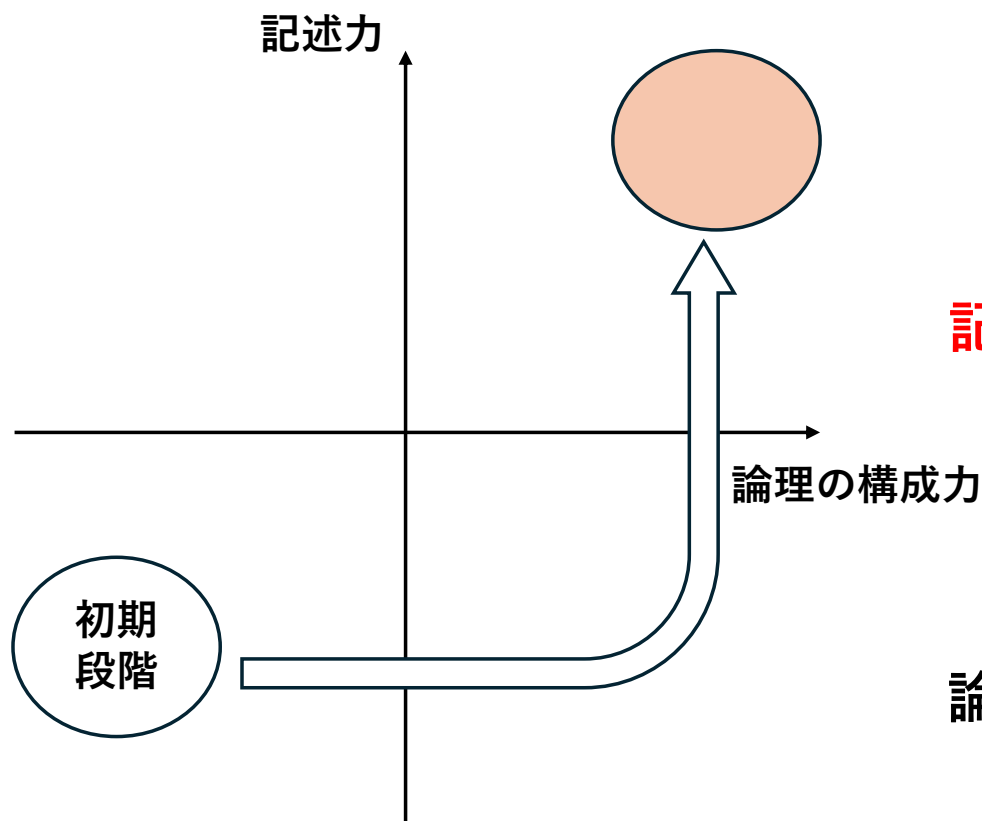
論理構成力の指導が十分になされていない

現場では記述に時間を割かれる



初期段階

論理を考える以前に証明特有の書き方でつまづく



記述の誤りに関する指導に時間を割かれる



論理構成力の指導が十分になされていない

記述を支援することで…**論理構成力**を育成



二列証明 (Two-column proof) の位置づけ

左側に主張、右側に根拠を分離して記述

利点

主張と根拠を構造的に分離
主張に対して根拠を記述しなければならない

記述力不足による影響を取り除くことが可能



主張だけが並ぶことによって
論理の飛躍や不備を検出しやすくなる

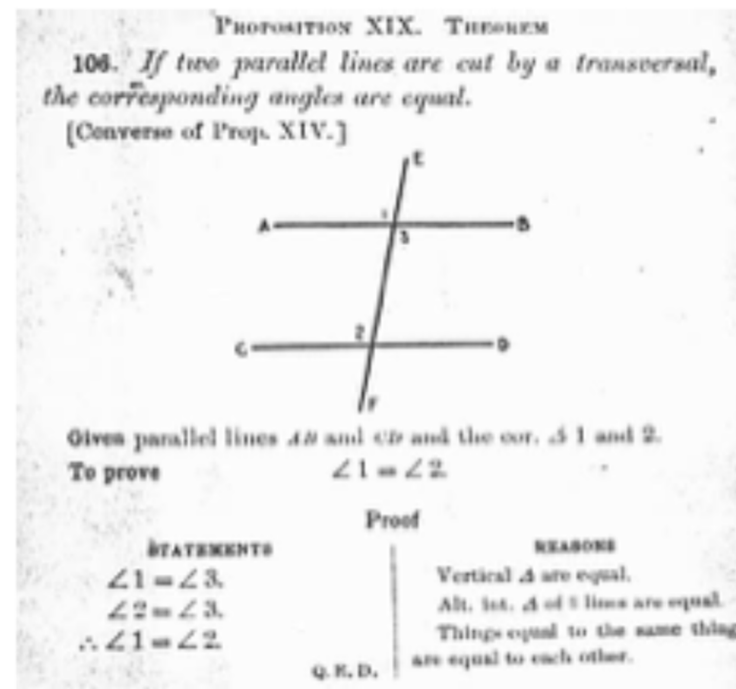


Figure 1. A two-column proof (photographed by the author from Schulze and Sevenoak, SO1 3, p. 53, Macmillan publishers).

スライド 5

S01 不備と飛躍が検出しやすくなるという例題
ONO Sota, 2026-02-09T04:47:35.447



二列証明 (Two-column proof) の位置づけ

日本では定着していない

WHY?

二列証明は文章として一体的な**記述力が弱まり得る**という懸念

日本では^{S01}**文章による証明記述が重要視**されてきた

スライド 6

S01

日本は最後に結論を言いがち
英語は結論言ってから根拠言う
だからアメリカではマッチする

ONO Sota, 2026-02-09T04:49:28.414

研究目的



文章による証明記述の中で論理の骨組みの可視化を支援

論理構成力を育成

論理構成力の中でも、仮定から結論までの骨組みを作る力の向上・定着を図る

本ツール 入力

問題画像

仮定
条件
結論

解答画像

位置情報
数式・記号
接続表現
主張・根拠候補
記述上の特徴

時間

ユーザー名

問題画像

拡大

右の図のように、 $AD \parallel BC$ 、 $AC = DB$ である四角形 $ABCD$ がある。辺 BC を C の方向に延長した直線上に $AC \parallel DE$ となる点 E をとる。このとき、 $AB = DC$ であることを証明せよ。

解答画像

繰り返し

$\triangle ABC$ と $\triangle DCB$ において
仮定から $AC = DB$... ①
平行線の同錯角は等しいから $AD \parallel BC$ 、 $AC \parallel DE$ より
 $\angle ECD = \angle CDA = \angle ABD$... ②
 $\angle EDC = \angle DCA = \angle CAB$... ③
①②より1組の辺とその両端の角がそれぞれ等しいので
 $\triangle ABC \equiv \triangle DCB$
よって $AB = DC$

お名前 (必須)

山田太郎

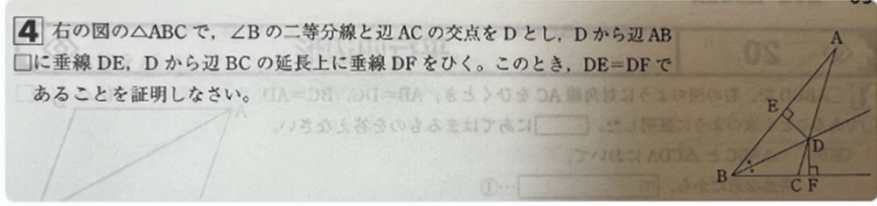
採点する ✦

本ツール 出力

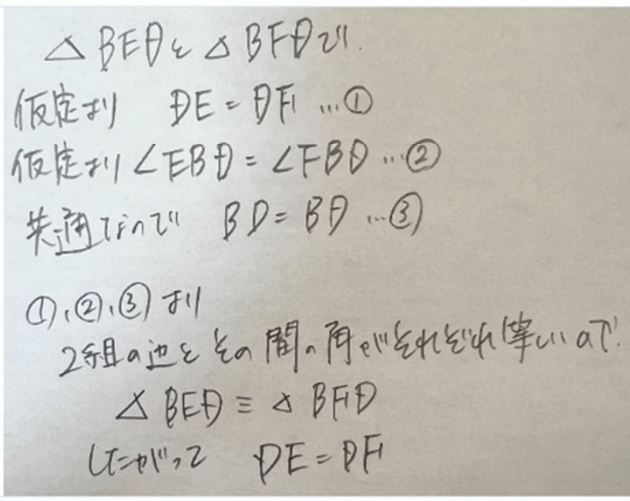
致命的な誤りの確認 論理の確認 表現の確認

問題を見る

4 右の図の△ABCで、∠Bの二等分線と辺ACの交点をDとし、Dから辺ABに垂線DE、Dから辺BCの延長上に垂線DFをひく。このとき、DE=DFであることを証明しなさい。



解答を見る



致命的な誤り

証明すべき結論である「DE = DF」を、証明の途中で「仮定より」として根拠 (⊙) に使用しており、循環論法 (結論の先取り) となっています。本来は問題文の「垂線」という条件から導かれる「∠BED = ∠BFD = 90°」を根拠にする必要があります。

この誤りを修正してから再提出してください。

致命的な誤り

- 仮定や結論の記述漏れ
- 問題の取り違い
- 白紙・判読不能
- 循環論法

論理構成力の育成へ進むため



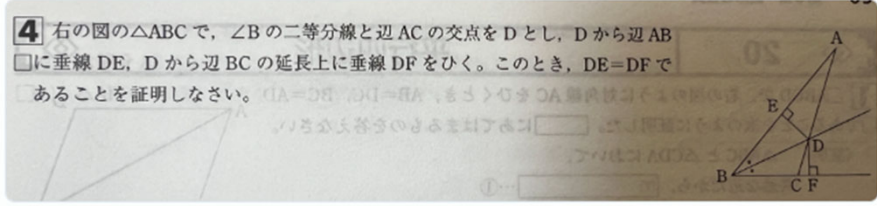
はじめに致命的な誤りを指摘

本ツール 出力

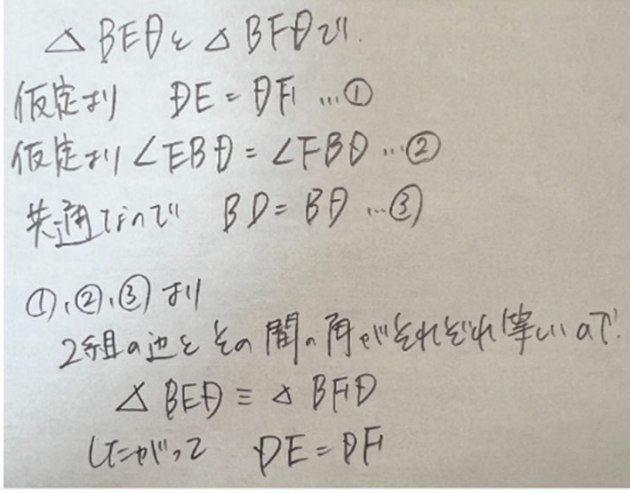
致命的な誤りの確認 論理の確認 表現の確認

問題を見る

4 右の図の△ABCで、∠Bの二等分線と辺ACの交点をDとし、Dから辺ABに垂線DE、Dから辺BCの延長上に垂線DFをひく。このとき、DE=DFであることを証明しなさい。



解答を見る



致命的な誤り

証明すべき結論である「DE = DF」を、証明の途中で「仮定より」として根拠 (ⓐ) に使用しており、循環論法 (結論の先取り) となっています。本来は問題文の「垂線」という条件から導かれる「∠BED = ∠BFD = 90°」を根拠にする必要があります。

この誤りを修正してから再提出してください。

致命的な誤り

- 仮定や結論の記述漏れ
- 問題の取り違え
- 白紙・判読不能
- 循環論法

論理構成力の育成へ進むため



はじめに致命的な誤りを指摘

本ツール 出力

合格段階

OCR全文

論理ブロック

主張・根拠・位置・行範囲

主張

空白ブロック

空白ブロック件数

The screenshot shows a web interface for logic verification. At the top, there are three status indicators: a green checkmark for '致命的な誤りの確認' (Fatal error check), a red X for '論理の確認' (Logic check), and a lock icon for '表現の確認' (Expression check). Below these are two dropdown menus: '問題を見る' (View problem) and '解答を見る' (View answer). The main content area is titled '論理の確認' (Logic check) and includes a sub-header: '左側の主張をクリックすると、右側の対応箇所が強調されます' (Clicking a claim on the left highlights the corresponding part on the right). The interface is divided into two columns: '主張' (Claims) and '答案' (Answers). The 'Claims' column contains a vertical sequence of boxes: $\angle EBD = \angle FBD$, $BD = BD$ (highlighted in blue), $\angle BED = \angle BFD$, a dashed orange box with a question mark, $\triangle BED \cong \triangle BFD$, and $DE = DF$. The 'Answers' column contains a list of steps: 01 $\triangle BED$ と $\triangle BFD$ で, 02 仮定より $\angle EBD = \angle FBD$... ①, 03 共通なので $BD = BD$... ② (highlighted in blue), 04 $\angle BED = \angle BFD$... ③, 05, 06 ① ② ③ より, 07 斜辺と1つの鋭角がそれぞれ等しいので, 08 $\triangle BED \cong \triangle BFD$, 09 よって $DE = DF$. At the bottom, a warning message states: '⚠️ 1箇所の論理の飛躍があります' (⚠️ There is a jump in logic in one place).

本ツール 出力

- ・ 解答画像をテキスト化
- ・ Gemini APIを用いて「主張とその根拠」の単位に分けるよう指示
- ・ 各単位を主張・根拠・位置・行範囲をもつデータとして出力
- ・ 構造化データを画面上の該当箇所に対応付け

論理ブロック

二列証明における1行に対応する単位
主張と根拠の組み合わせ

論理ブロック

主張・根拠・位置・行範囲

主張

主張を抜き出す

- ・ 各段階で何が成立しているか
- ・ 結論に至るまでの流れ



論理構造に焦点化することができる

◆ 論理の確認
左側の主張をクリックすると、右側の対応箇所が強調されます

主張	答案
▶ $\angle EBD = \angle FBD$	01 $\triangle BED$ と $\triangle BFD$ で
▶ $BD = BD$	02 仮定より $\angle EBD = \angle FBD$... ①
▶ $\angle BED = \angle BFD$	03 共通なので $BD = BD$... ②
?	04 $\angle BED = \angle BFD$... ③
▶ $\triangle BED \cong \triangle BFD$	05
▶ $DE = DF$	06 ① ② ③ より
	07 斜辺と1つの鋭角がそれぞれ等しいので
	08 $\triangle BED \cong \triangle BFD$
	09 よって $DE = DF$

⚠ 1箇所の論理の飛躍があります

本ツール 出力

空白ブロック

結論までに必要だが、
答案中では抜けている**論理ブロック**

空白を明示する

- ・どこで論理が途切れているか
- ・結論に至るまでに何が欠けているか



証明の全体像を俯瞰しやすくなる

空白ブロック

空白ブロック件数

- ・ 解答画像・問題画像をテキスト化
- ・ Gemini APIを用いて現在の論理の流れで結論に到達できるか判定
- ・ 途中で欠けている主張を特定
- ・ 不足箇所の「位置」と「不足内容」を出力

◆ 論理の確認
左側の主張をクリックすると、右側の対応箇所が強調されます

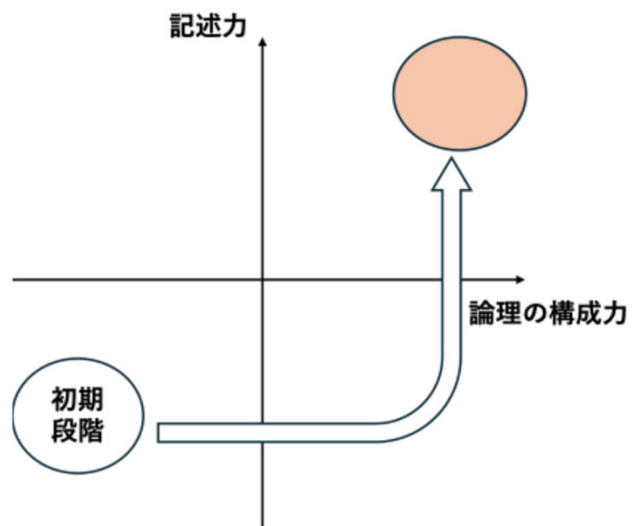
主張	答案
▶ $\angle EBD = \angle FBD$	01 $\triangle BED$ と $\triangle BFD$ で
↓	02 仮定より $\angle EBD = \angle FBD$... ①
▶ $BD = BD$	03 共通なので $BD = BD$... ②
↓	04 $\angle BED = \angle BFD$... ③
▶ $\angle BED = \angle BFD$	05
↓	06 ① ② ③ より
?	07 斜辺と1つの鋭角がそれぞれ等しいので
▶ $\triangle BED \cong \triangle BFD$	08 $\triangle BED \cong \triangle BFD$
↓	09 よって $DE = DF$
▶ $DE = DF$	

⚠ 1箇所の論理の飛躍があります

本ツール 出力

記述指摘箇所

- I. 命題の構造が追えるか
- II. 根拠が明示されているか
またその根拠が正しいか
- III. 記号の正確性
- IV. 論理の接続
- V. AIによる判定



✔ 致命的な誤りの確認 ✔ 論理の確認 ✖ 表現の確認

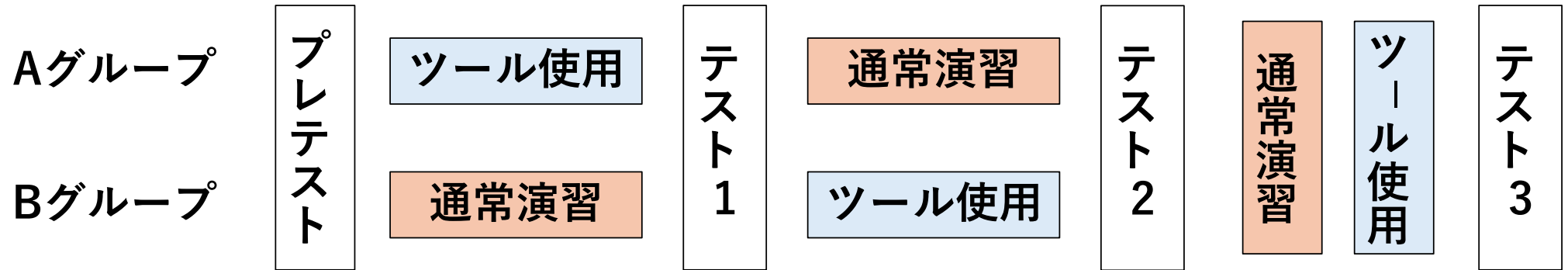
📄 問題を見る

✎ 解答を見る

◆ 論理の確認
左側の主張をクリックすると、右側の対応箇所が強調されます

主張	答案
▶ $\triangle BED$ と $\triangle BFD$ において考える	01 $\triangle BED$ と $\triangle BFD$ で
▶ $\angle EBD = \angle FBD$	02 仮定より $\angle EBD = \angle FBD$ - ①
▶ $BD = BD$	03 共通なので $BD = BD$ - ②
▶ $\angle BED = \angle BFD = 90^\circ$	04 $\angle BED = \angle BFD = 90^\circ$ - ③
▶ $\triangle BED \equiv \triangle BFD$	05 ①~③より $\triangle BED \equiv \triangle BFD$
▶ $DE = DF$	06 よって $DE = DF$

検証方法



中学3年生14名を対象に検証

ツールを使用したグループ演習・各テストの様子を質的に分析
本ツールによって論理構成力が育成されたか検証

結果

ツール使用前後のテストの解答

$\triangle ARQ$ と $\triangle BCQ$ 2つ
仮定より、 $\angle AQR = \angle BQC = 90^\circ \dots ①$

S1(ツール使用)プレテスト

プレテストでは仮定の列挙まで



アプリ使用後のテスト1では
結論まで到達

$\triangle AFB$ と $\triangle CDA$ 2つ、
仮定より、 $AB = CA \dots ①$
 $BE = CD \dots ②$
②より、平行四辺形、 α 対辺は長さが等しいから、
 $AF = CD \dots ③$
四角形 $AFBE$ は平行四辺形、 α から、
錯角より、 $\angle FAB = \angle ABC \dots ④$
二等辺三角形、 α の底辺は等しいから、
 $\angle FAB = \angle DCA \dots ⑤$
①、③、⑤より、2組の辺とその間の角がそれぞれ等しいから、
 $\triangle AFB \cong \triangle CDA$

S1(ツール使用)テスト1

結果

ツール使用前後のテストの解答

$\triangle AQR \cong \triangle BCR$ 1'
仮定より $\angle AQR = \angle BCR = 90^\circ$.

S2(ツール使用)プレテスト

S1と同じく結論まで到達

しかし途中 (⑤と⑥の間) に論理の飛躍

まず骨格を作ろうとする姿勢

本ツールによって促された

$\triangle AFB \cong \triangle CDA$ 1'
仮定より $AB = CA$ - ①
平行四辺形の対角は等しい
 $AF = BE$ - ②
1'より $BE = CD$ - ③
②, ③より $AF = CD$ - ④
 $FA \parallel BC$ 平行 $\angle FAB = ABC$ - ⑤
 $\angle FAB = \angle DCA$ - ⑥
①, ④, ⑥より 2組の辺とその間の角がそれぞれ等しい。
 $\triangle AFB \cong \triangle CDA$

S2(ツール使用)テスト1

結果

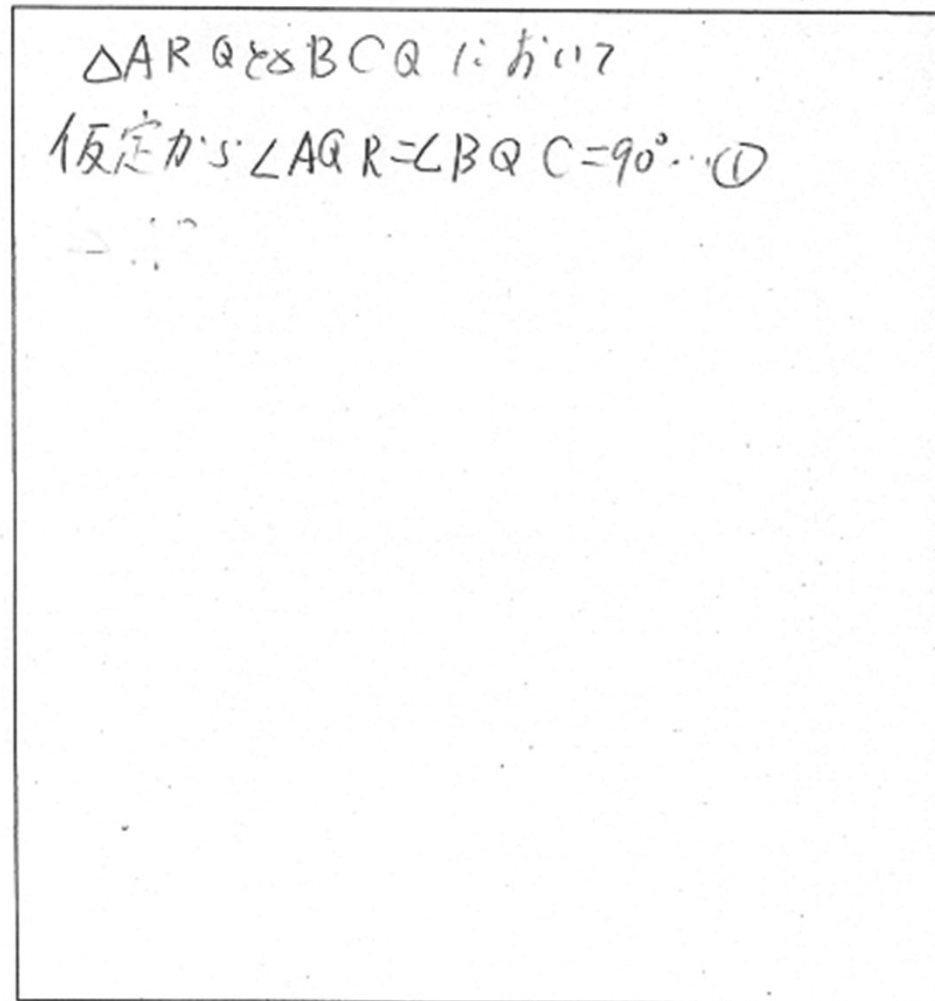
演習問題の提出過程

ある生徒のツールを使って演習過程を見る

(プレテストで仮定までしか記述できていない
私から見て証明が苦手)

ツールを使用することによって
答案にどのような変化があった？

一つの演習問題の提出過程（計3回の提出）を分析

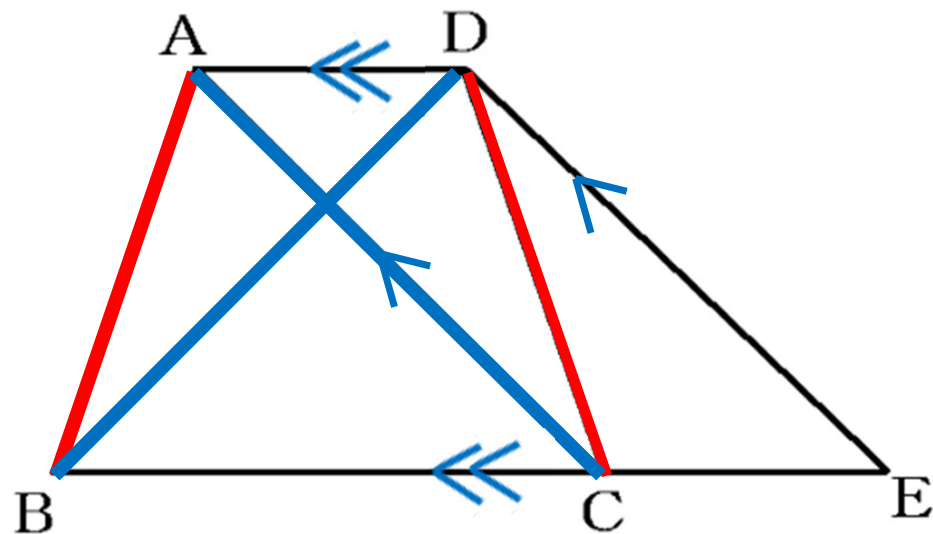
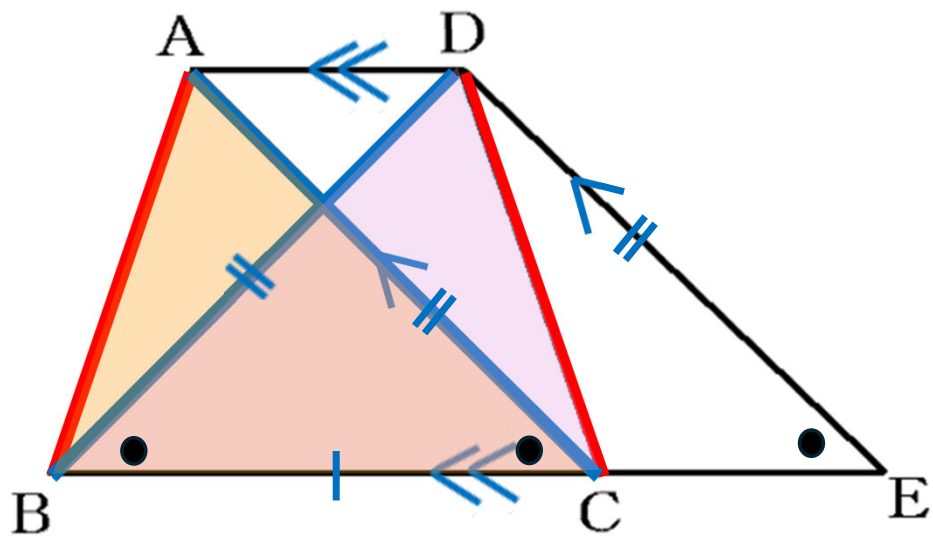


ある生徒(ツール使用)プレテスト

結果

演習問題の提出過程

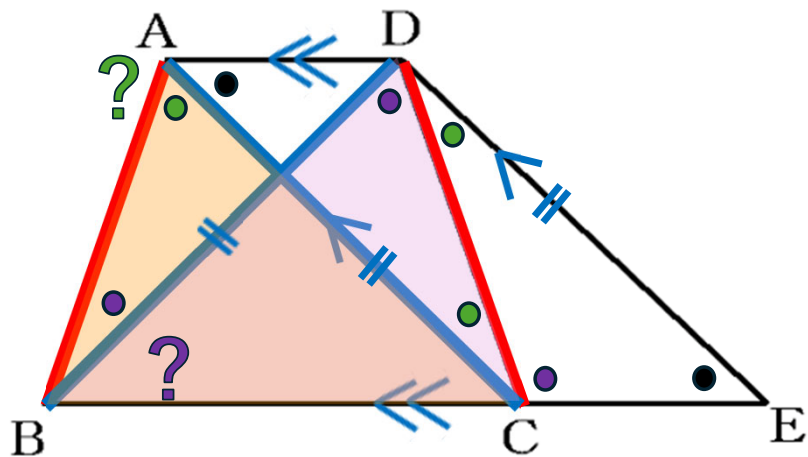
右の図のように、 $AD \parallel BC$, $AC = DB$ である四角形 $ABCD$ がある。辺 BC を C の方向に延長した直線上に $AC \parallel DE$ となる点 E をとる。このとき、 $AB = DC$ であることを証明せよ。



結果

演習問題の提出過程

1回目の提出



$\triangle ABC$ と $\triangle DCE$ において
仮定から $AC = DE \dots (1)$
平行線の錯角が等しいから $AD \parallel BC, AC \parallel DE$
 $\angle ECD = \angle CDA = \angle CAB \dots (2)$
 $\angle EDC = \angle DCA = \angle CDE \dots (3)$
 $\angle DEC = \angle CAD \dots (4)$

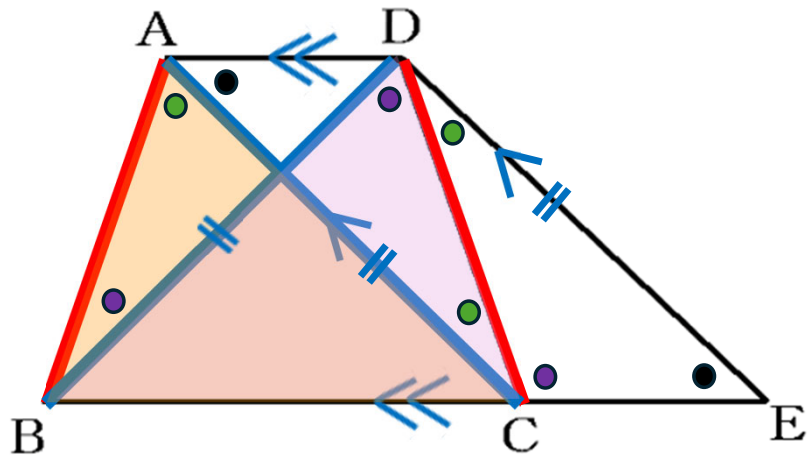
ある生徒 1度目の提出

結論が示されていないため**致命的な誤り**

結果

演習問題の提出過程

2回目の提出




結論は示せている

③、④主張が誤り

空白ブロックが提示

$\triangle ABC$ と $\triangle DCB$ において
仮定から $AC = DB \dots ①$ $\angle DEC = \angle CAD \dots ②$
平行線の錯角が等しいから $AD \parallel BC$ $AC \parallel DE$ より
 $\angle ECD = \angle CDA = \angle ABD \dots ③$
 $\angle EDC = \angle DCA = \angle CAB \dots ④$
①④より1組の辺と
その両端の角がそれぞれ
等しいので
 $\triangle ABC \equiv \triangle DCB$
よって $AB = DC$

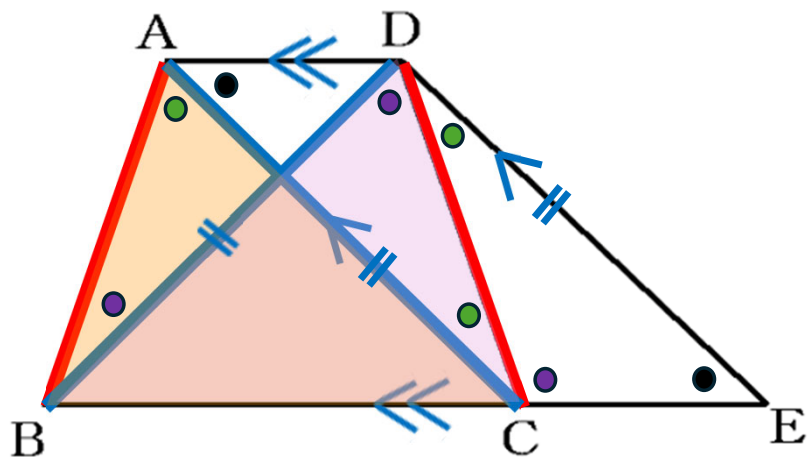


ある生徒 2度目の提出

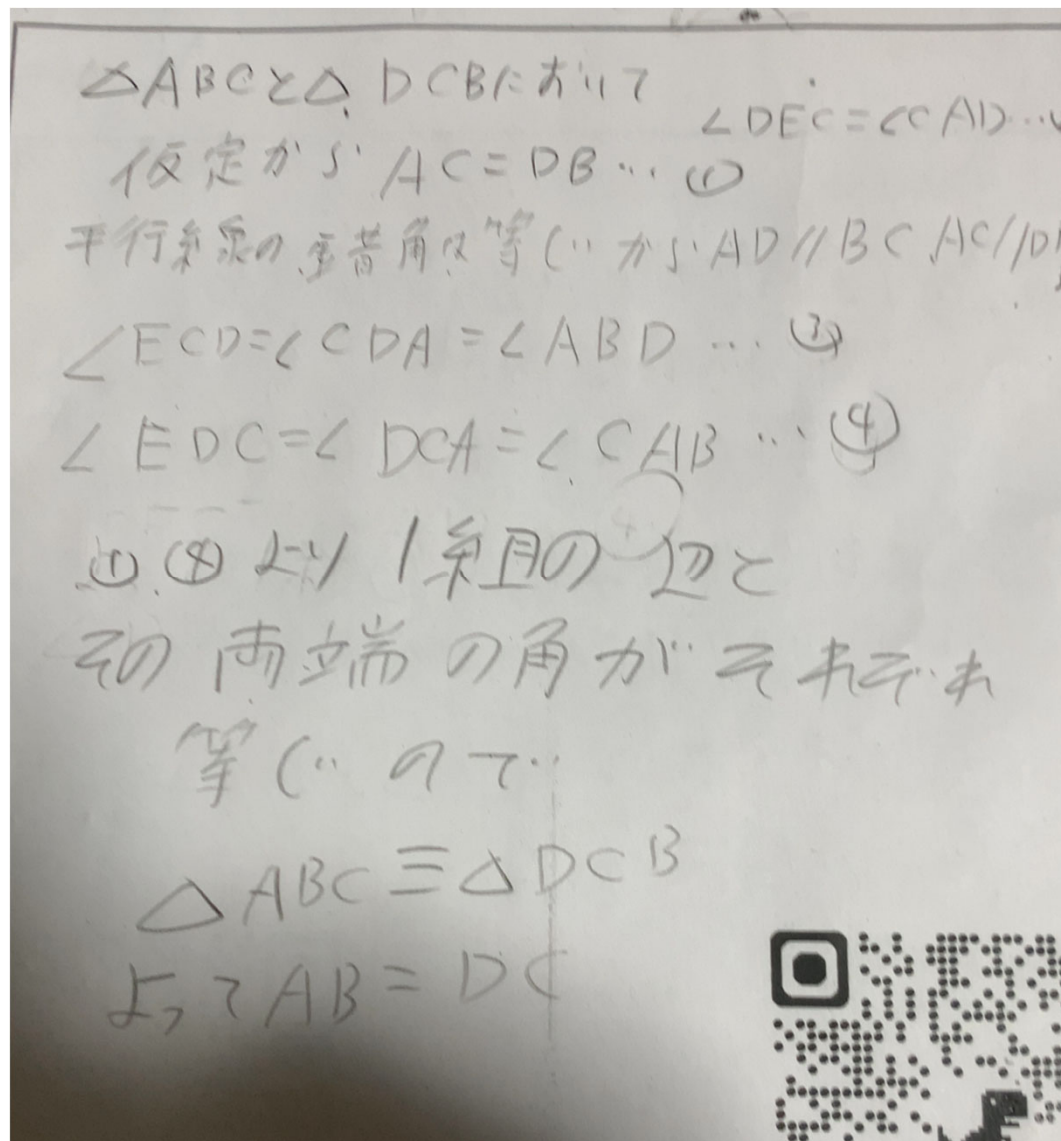
結果

演習問題の提出過程

3回目の提出



2回目の提出と同じ解答



S3 3度目の提出

考察

2回目の提出

主張自体は誤り

しかし

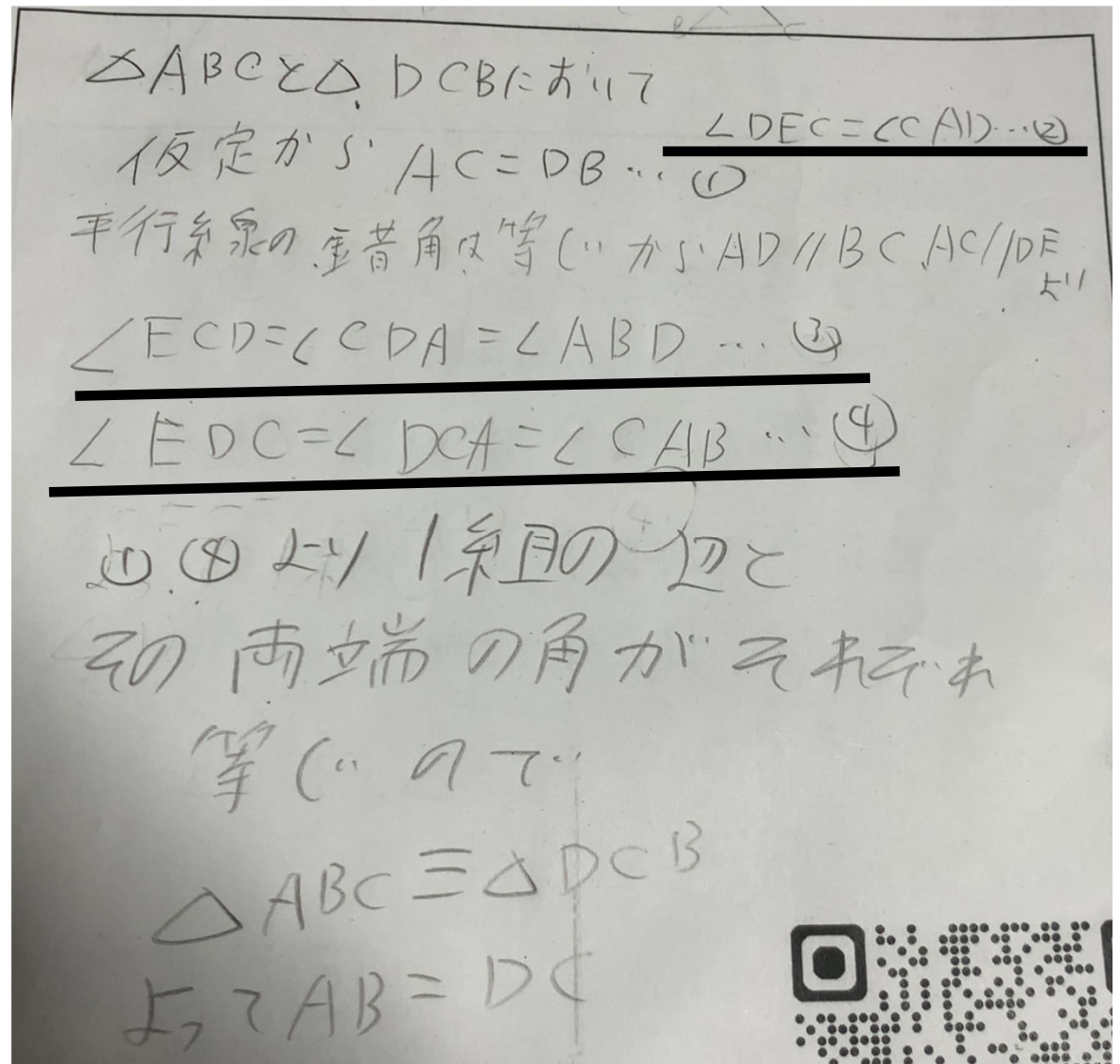
結論に向けて

主張を列挙し結論まで骨格を作る

記述力重視の指導では現れにくい

論理構成先行の思考

ツールの使用による効果の可能性



ある生徒 2度目の提出

考察

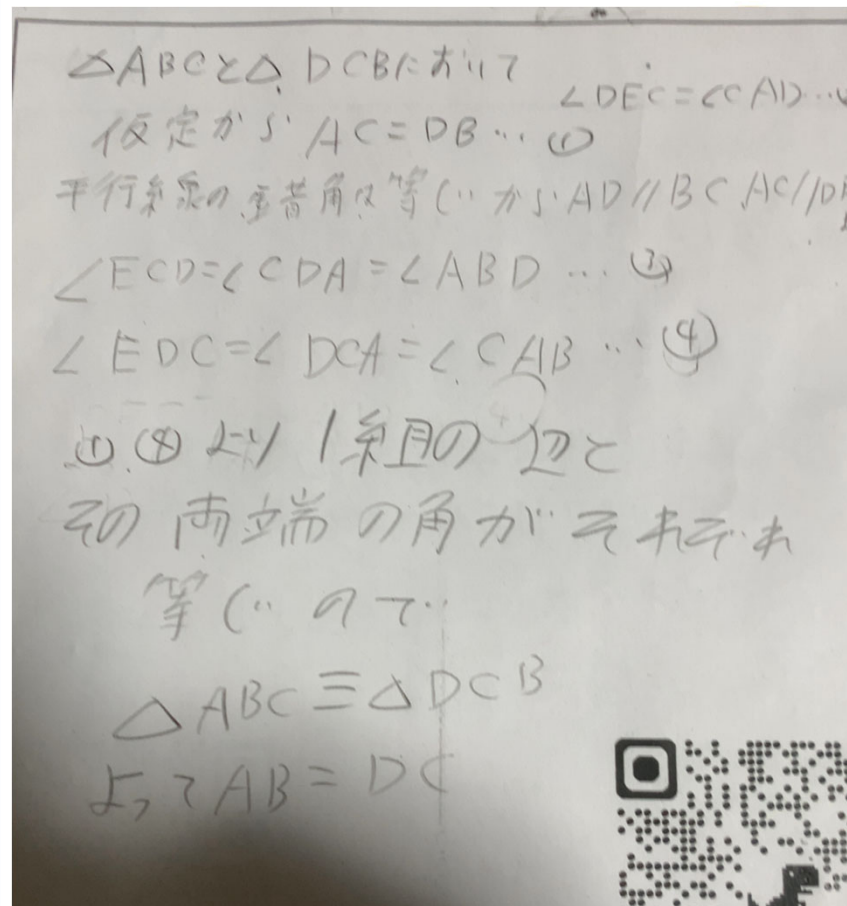
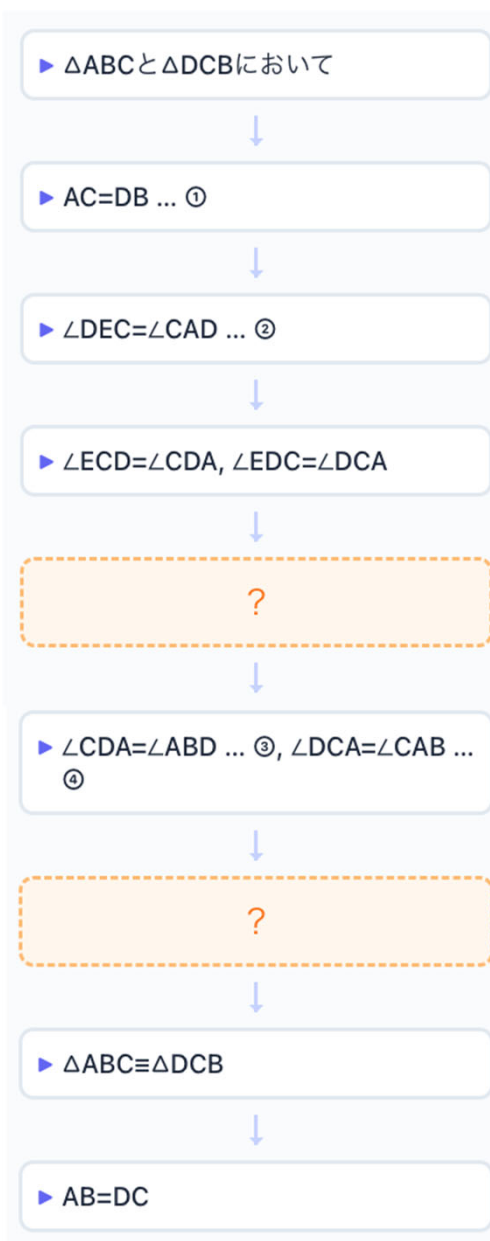
一方で限界も確認

主張自体が誤り
→空白ブロックが提示

主張は正しい前提
空白だけ探す



行き詰まり・諦め



S3 3度目の提出

まとめ

本研究では、文章による証明指導を維持しながら、論理の骨組みを可視化する支援ツールを開発した。



- ・ ツール使用後の答案では結論までの道筋を意識し、主張を列挙して**骨格を先に構成**する記述が見られた
- ・ とくに、プレテストでほとんど記述できなかった生徒でも**結論提示→主張列の形成**へと提出行動が変化する事例が確認された
- ・ 一方で、**主張自体が誤っている場合**、提示が空白ブロックとなり、学習者が**主張の誤りを疑わず行き詰まる**可能性

本ツールによって

仮定から結論までの骨格を構成する思考を促す可能性
一方、**誤主張の修正を支援する機能の強化**が課題

今後は、

- ・ 空白ブロック検出に加え、誤った主張の検出と修正の手がかり提示を強化
- ・ 長期的な学習効果の検証