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

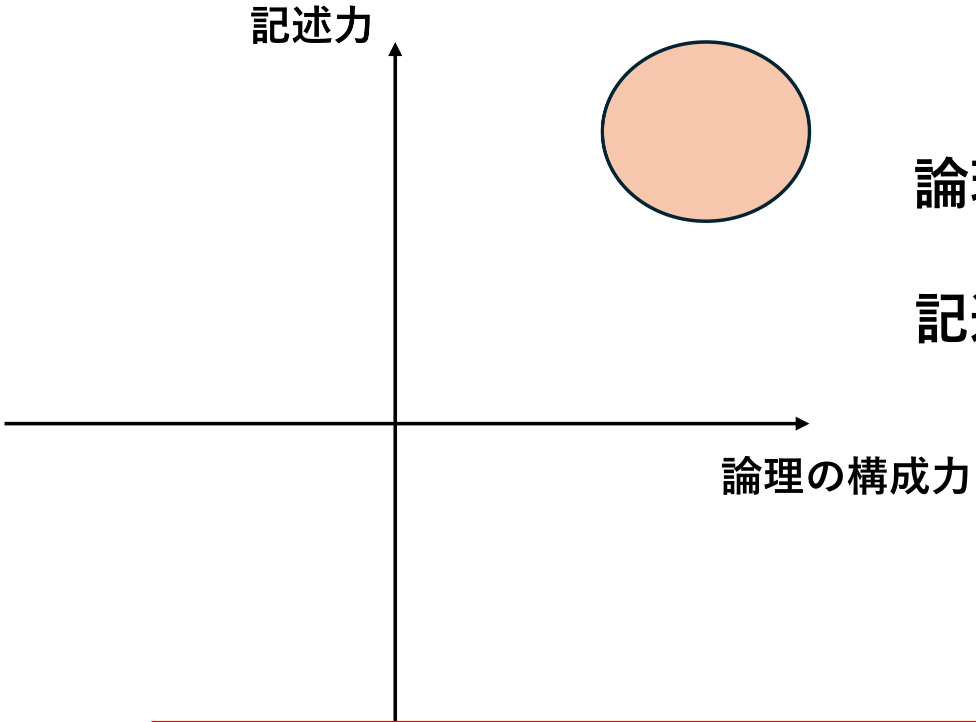
愛媛大学教育学部
大野蒼太　河村泰之

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。

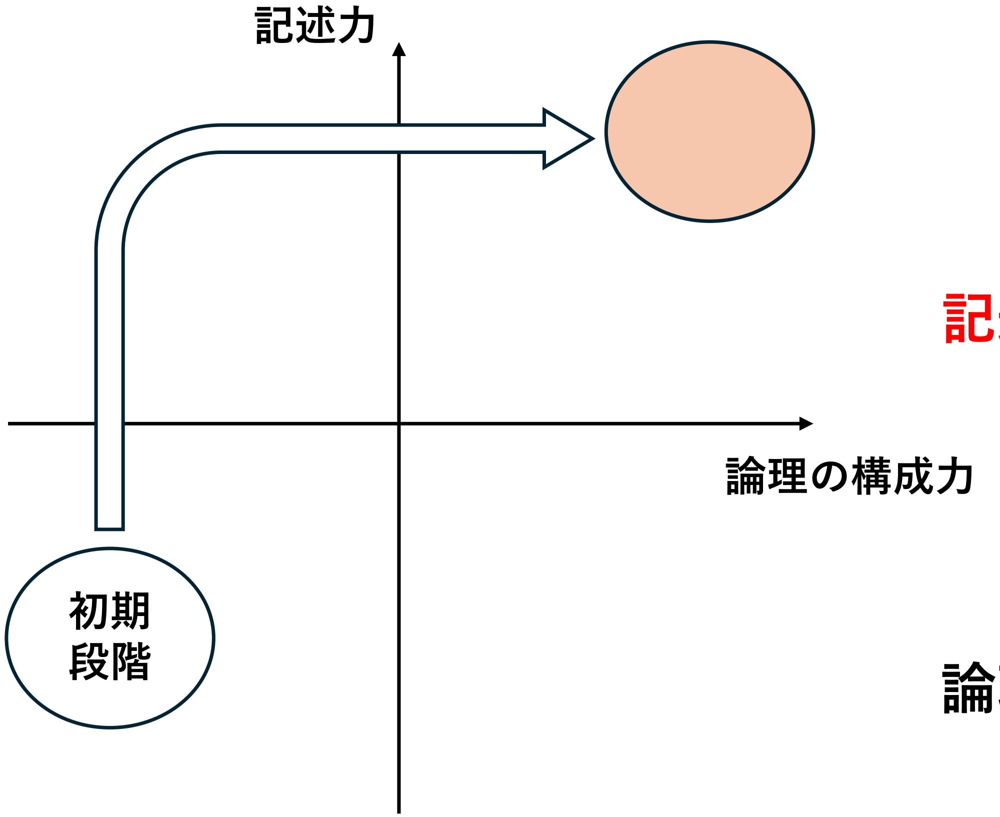
その中でも

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

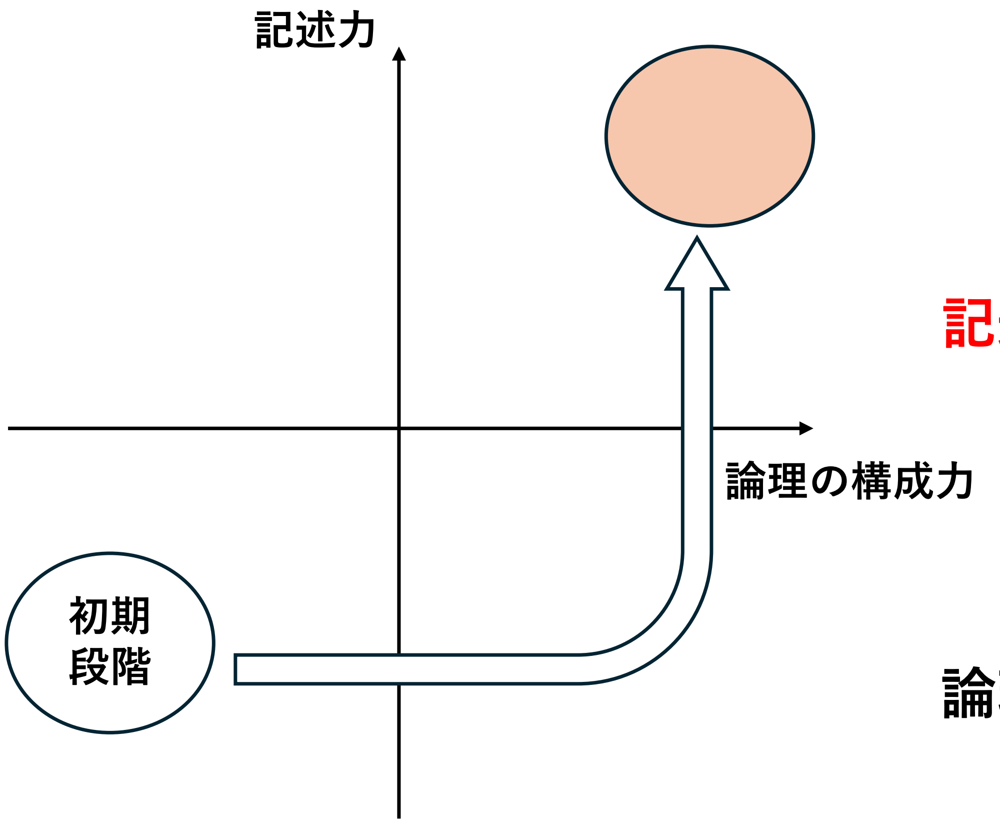
論理を考える以前に証明特有の書き方でつまづく

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

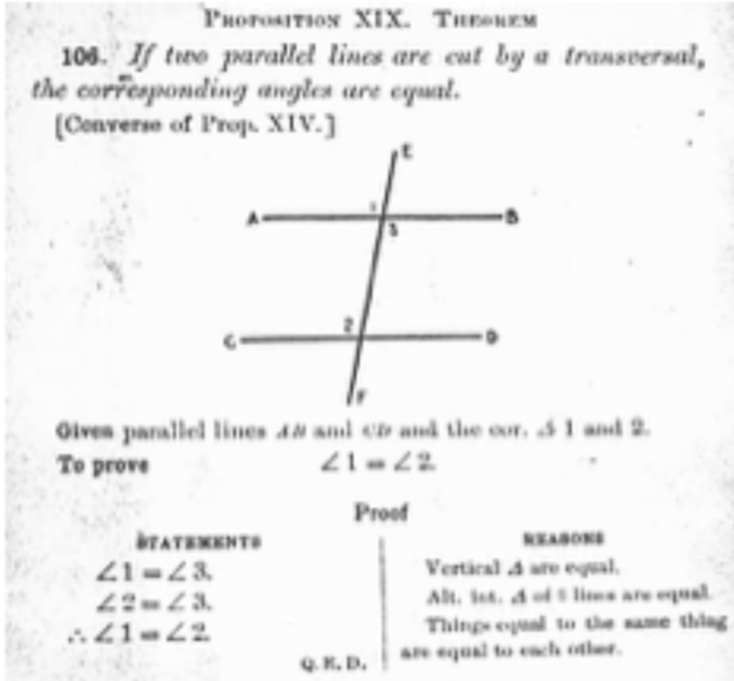
利点

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


PROPOSITION XIX. THEOREM

106. *If two parallel lines are cut by a transversal, the corresponding angles are equal.*

[Converse of Prop. XIV.]

Given parallel lines *AB* and *CD* and the cor. ∠s 1 and 2.

To prove $\angle 1 = \angle 2$.

Proof

STATEMENTS	REASONS
$\angle 1 = \angle 3$.	Vertical ∠s are equal.
$\angle 2 = \angle 3$.	Alt. int. ∠s of ∥ lines are equal.
$\therefore \angle 1 = \angle 2$.	Things equal to the same thing are equal to each other.

Q. E. D.

SO1

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

SO1 不備と飛躍が検出しやすくなると言う例題

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**文章による証明記述が重要視**されてきた

スライド 6

SO1

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

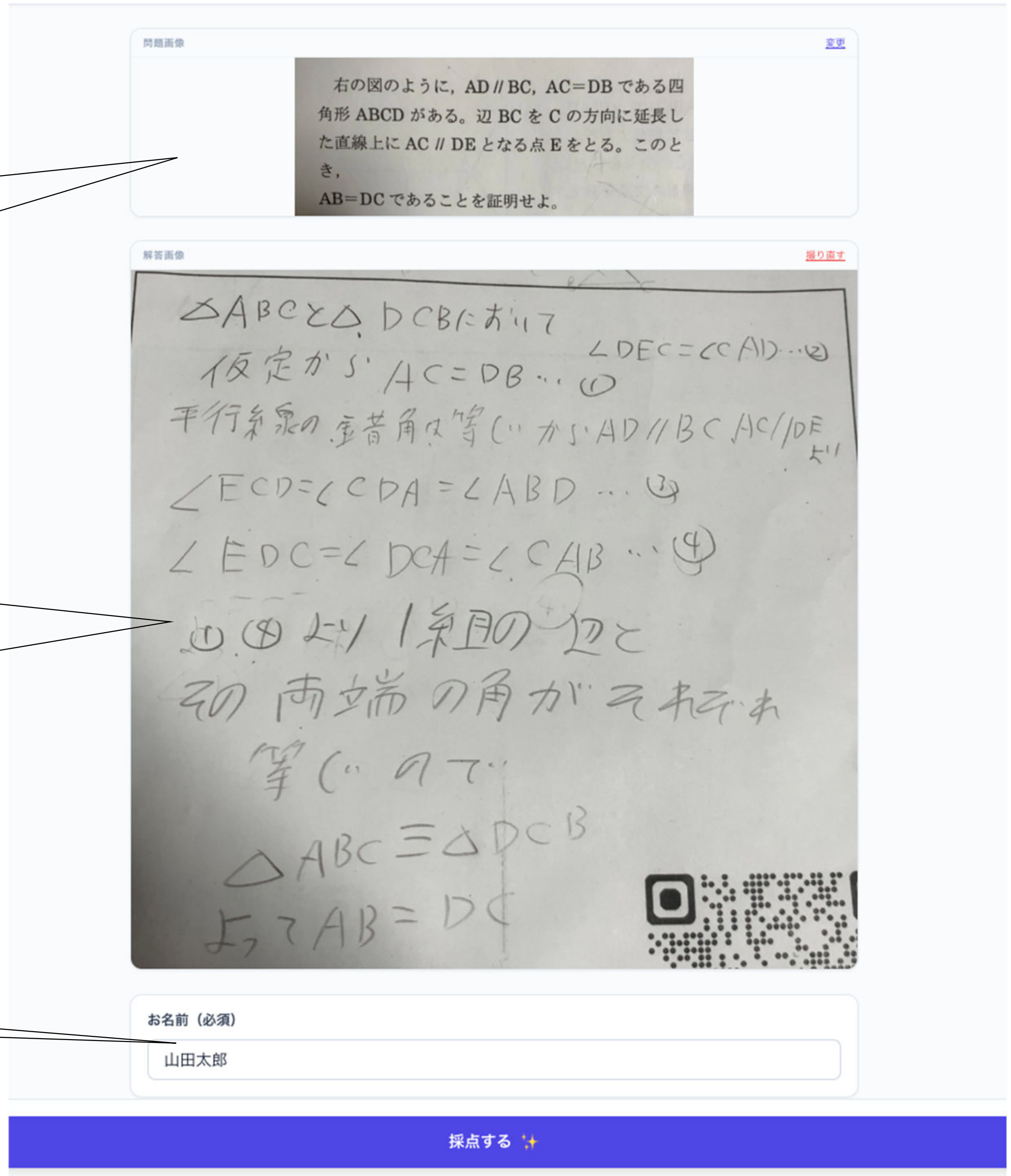
本ツール　入力

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



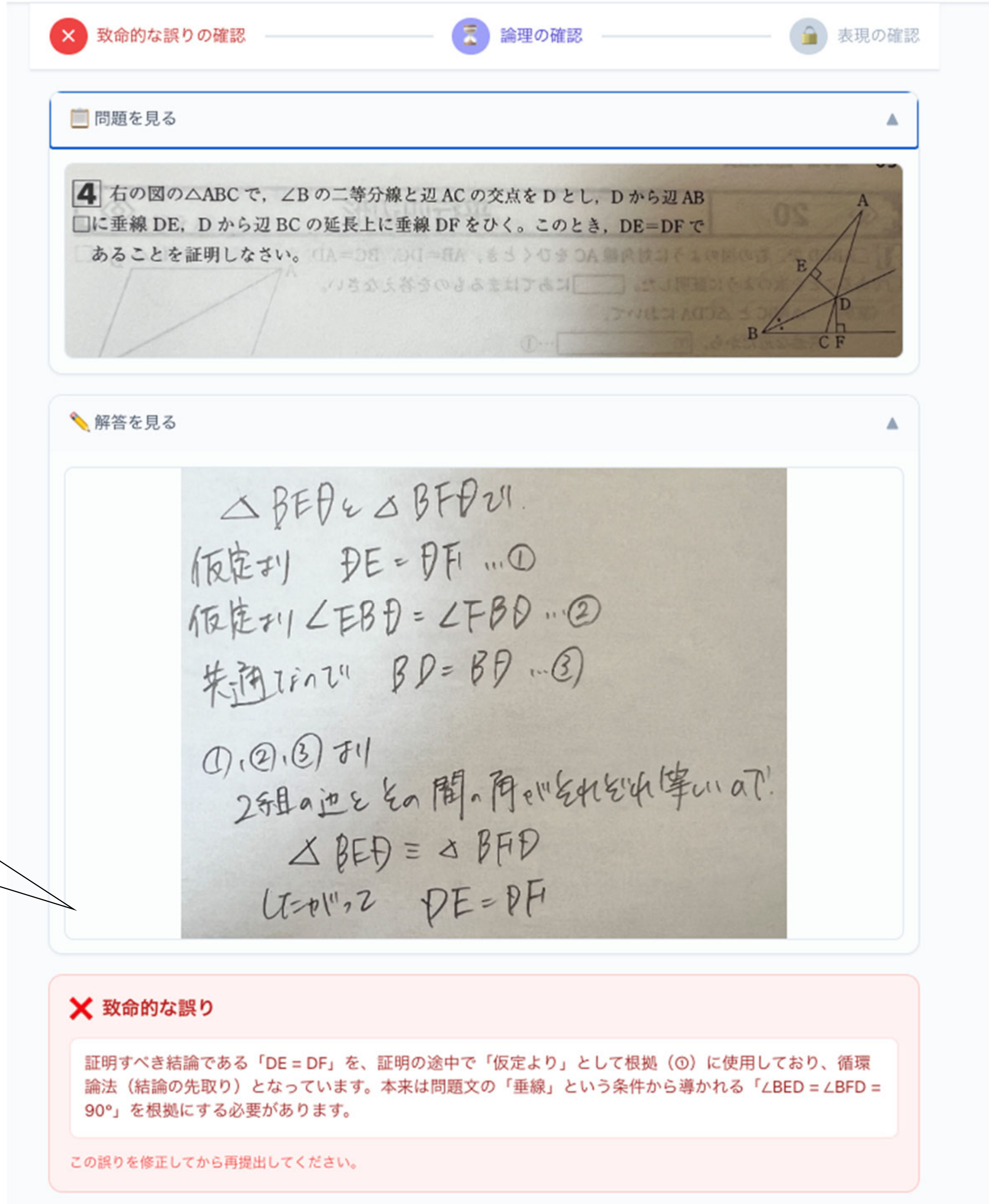
本ツール　出力

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

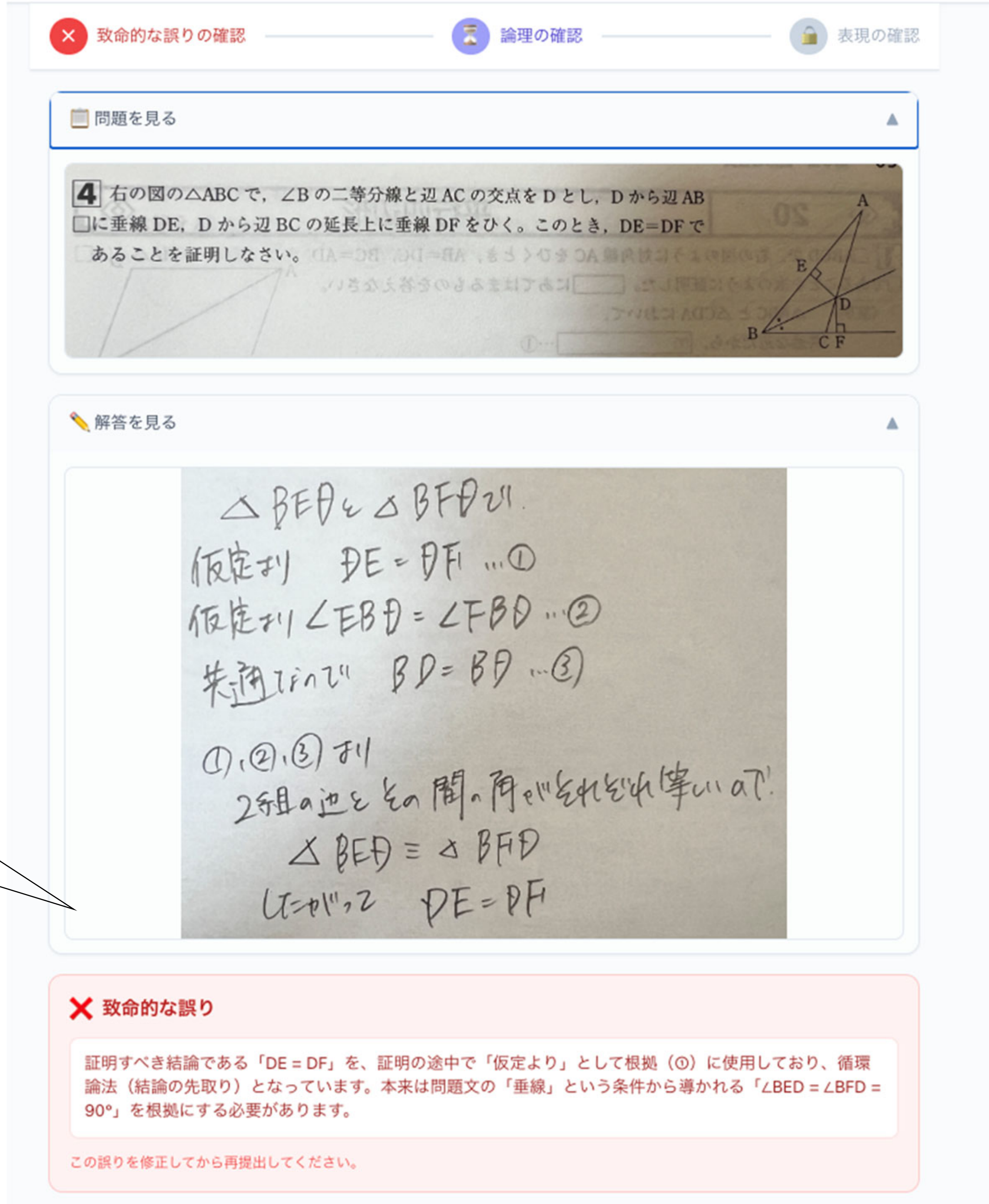
論理構成力の育成へ進むため

⇩

はじめに致命的な誤りを指摘



本ツール　出力



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

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

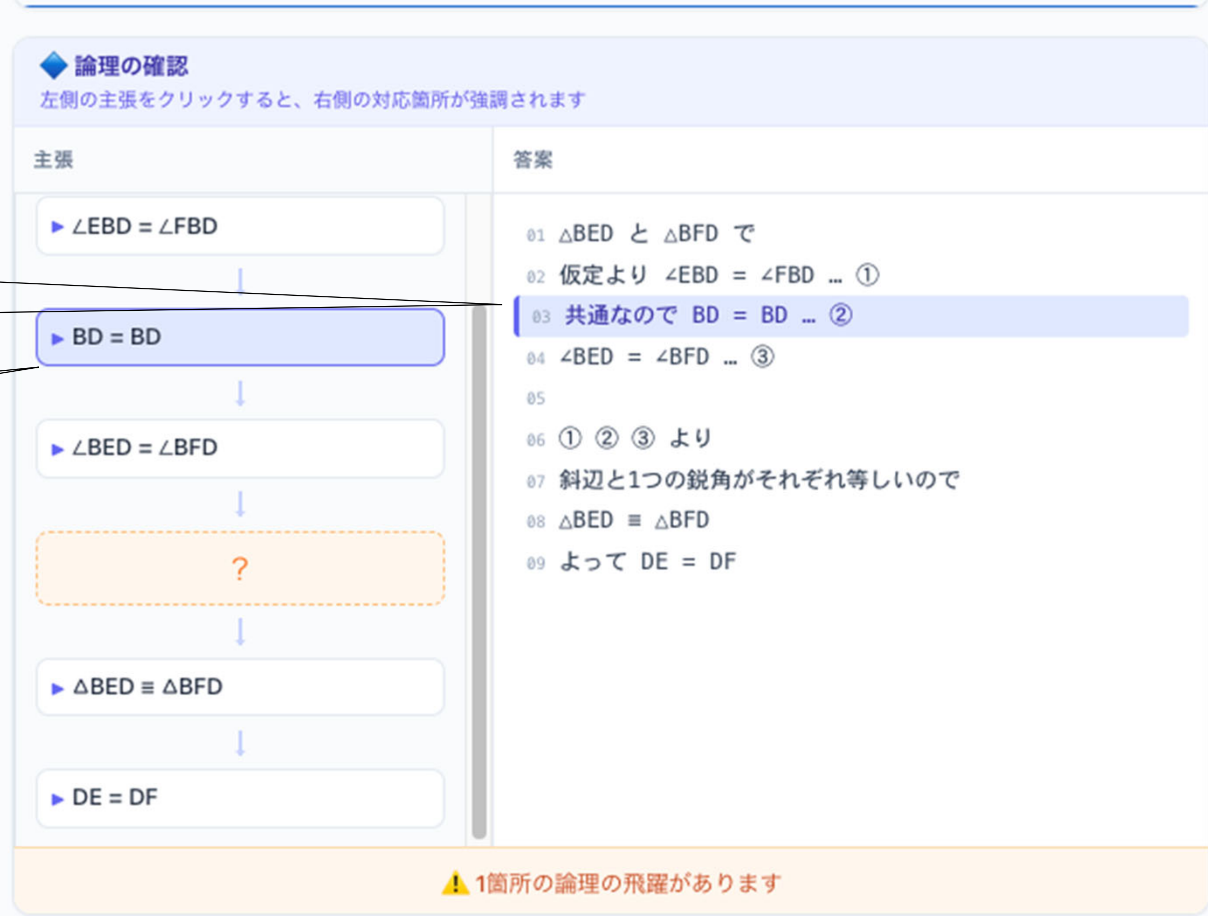
二列証明における1行に対応する単位

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

本ツール 出力

・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

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

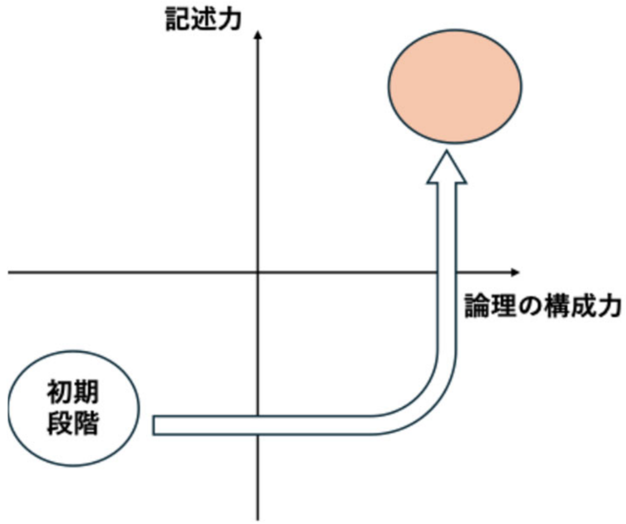
空白ブロック

空白ブロック件数

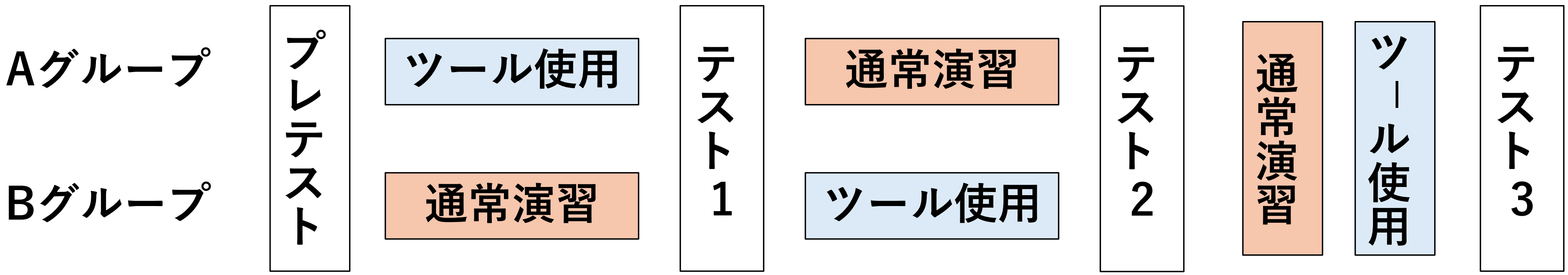
本ツール　出力

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



検証方法

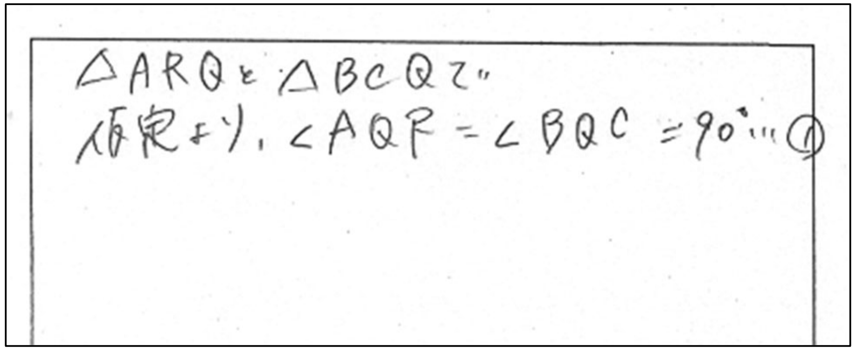


中学3年生14名を対象に検証

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

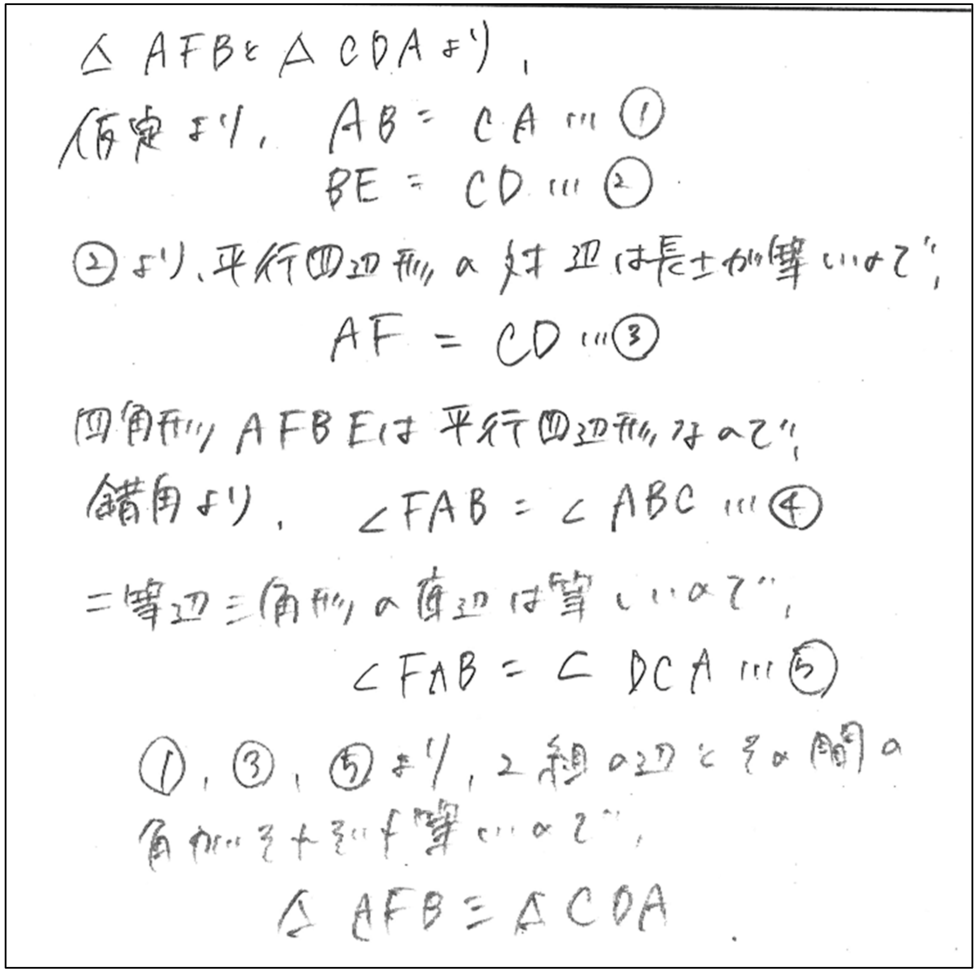

△ARQと△BCQで
仮定より、$\angle AQP = \angle BQC = 90°$ …①

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


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

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

△ARQ と △BCQ で
仮定より ∠AQR = ∠BQC = 90°.

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

△AFB と △CDA で
仮定より AB = CA —①
平行四辺形の対辺は等しいので
AF = BE —②
また BE = CD —③
②③より AF = CD —④
FA ∥ BC 平行 ∠FAB = ABC —⑤
∠FAB = ∠DCA —⑥
①、④、⑥より 2組の辺とその間の角が
それぞれ等しいので、
△AFB ≡ △CDA

S2(ツール使用)テスト1

結果

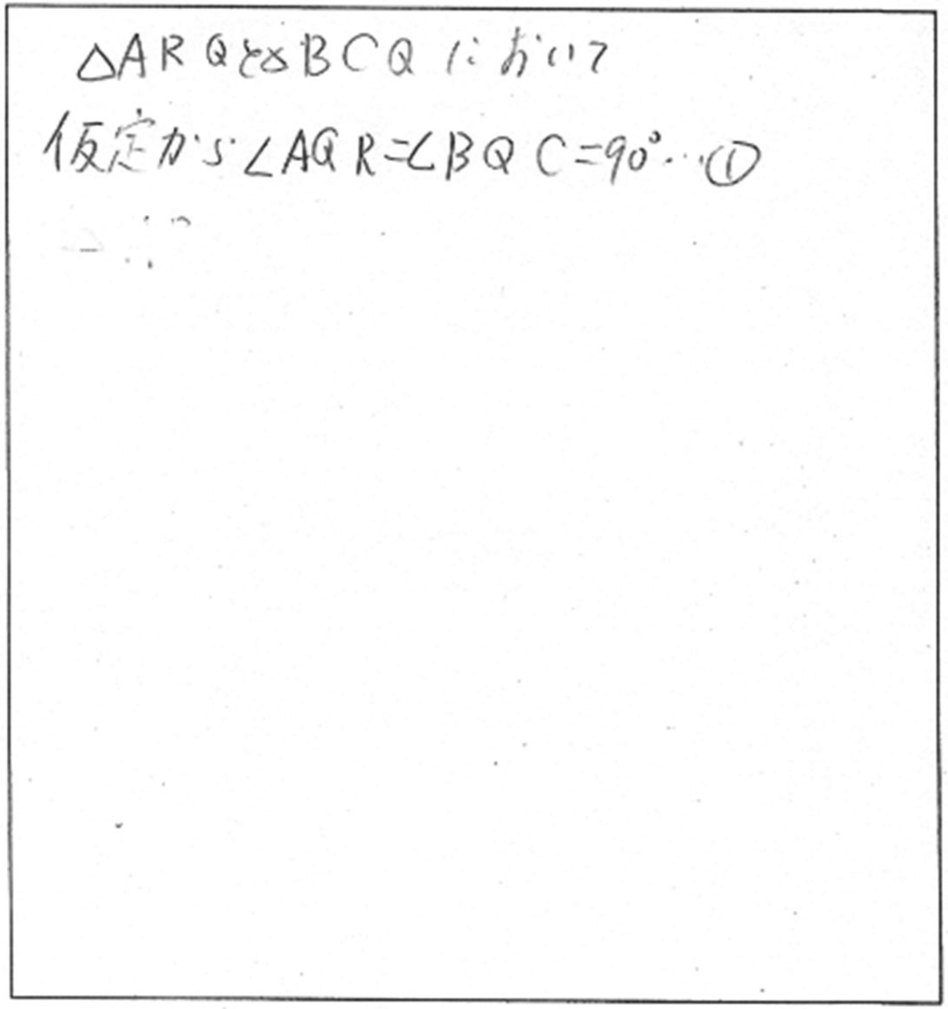
演習問題の提出過程

<u>**ある生徒**</u>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



△ARQと△BCQにおいて
仮定から∠AQR=∠BQC=90°…①

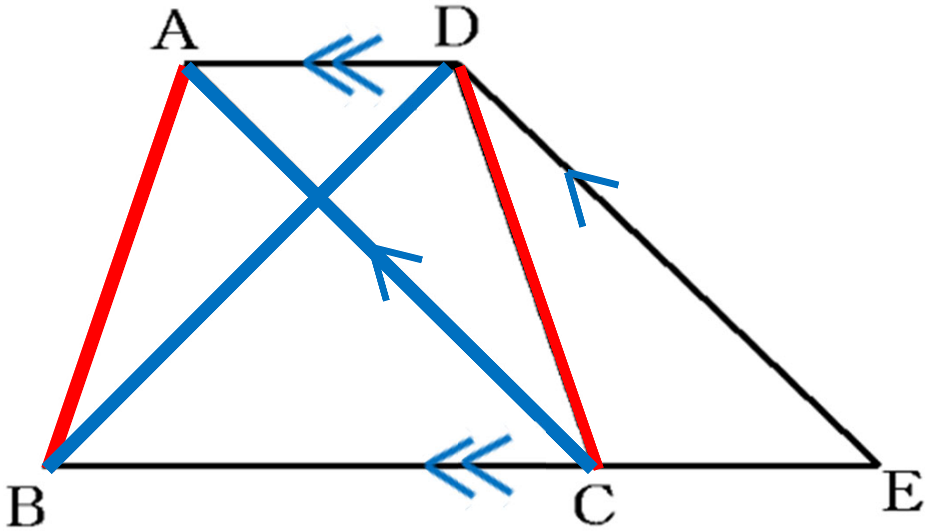
ある生徒（ツール使用）プレテスト

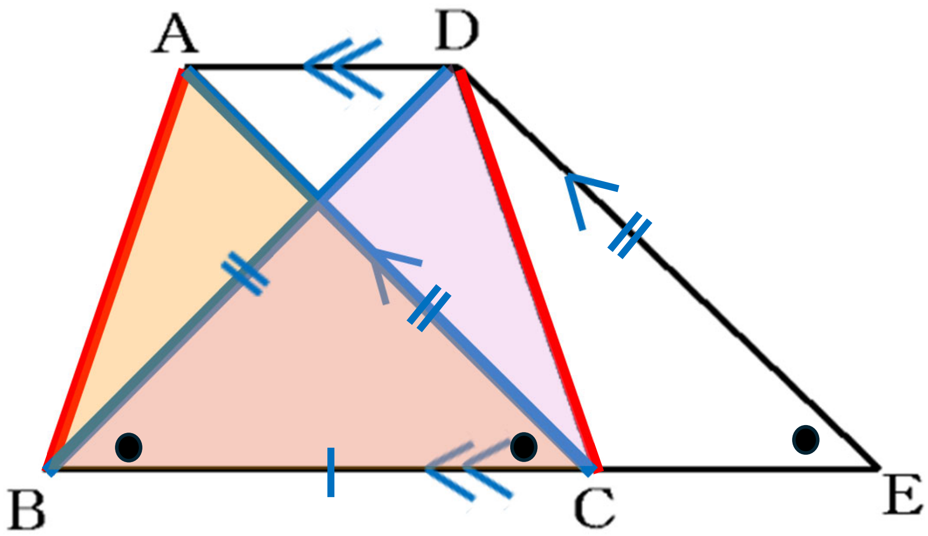
結果

演習問題の提出過程

右の図のように，AD // 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 // 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。

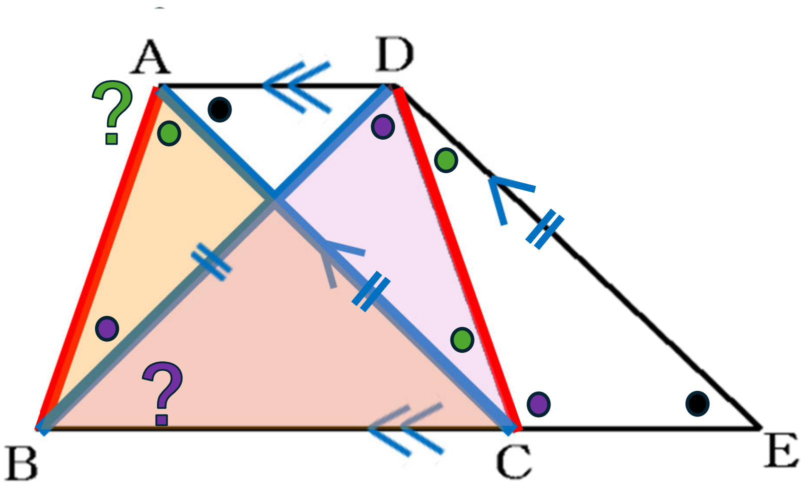


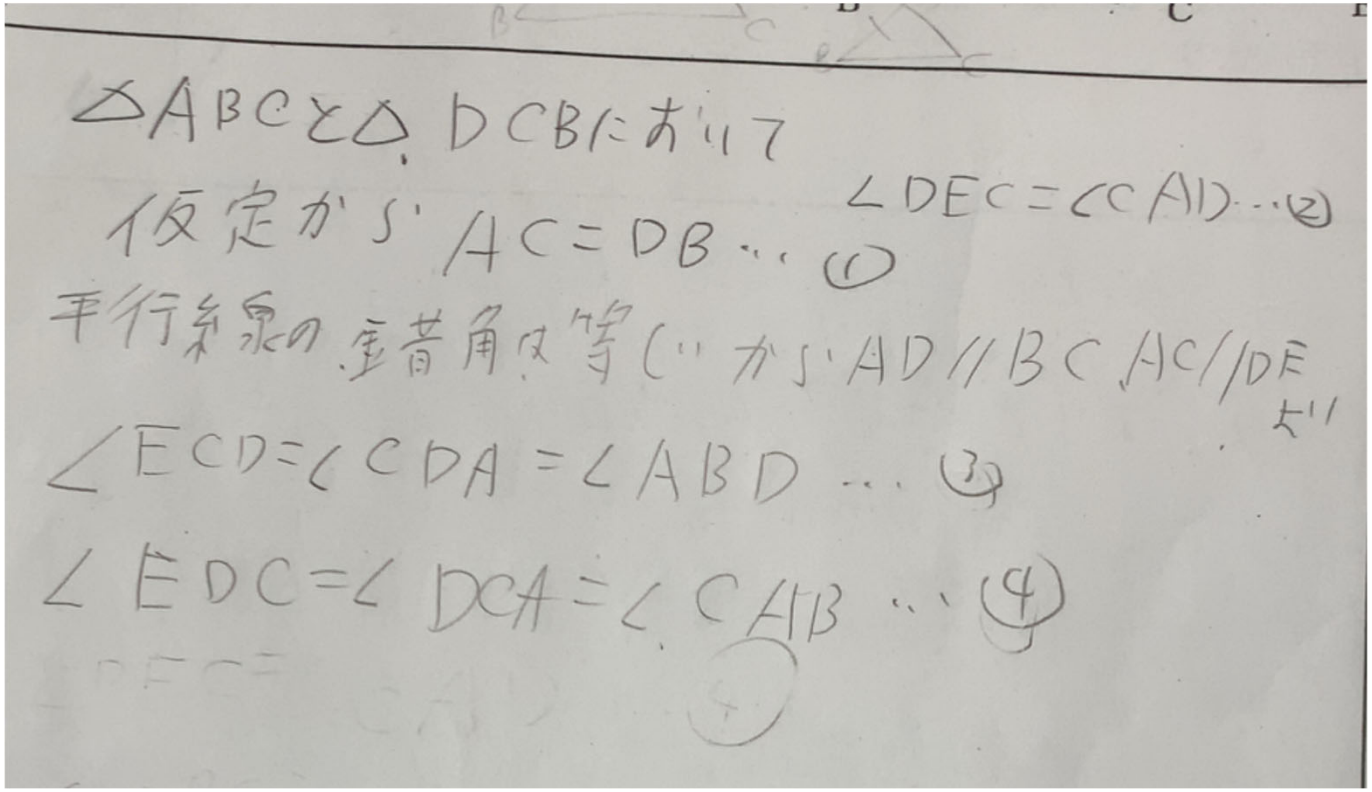


結果

演習問題の提出過程

1回目の提出





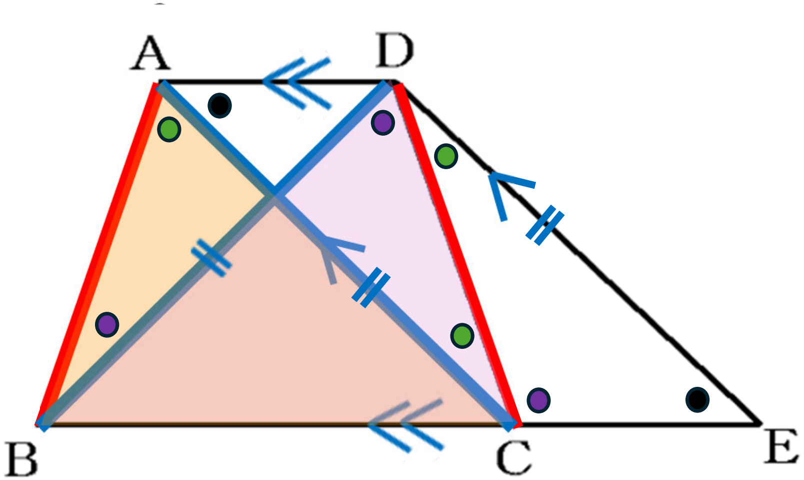
ある生徒 1度目の提出

結論が示されていないため**致命的な誤り**

結果

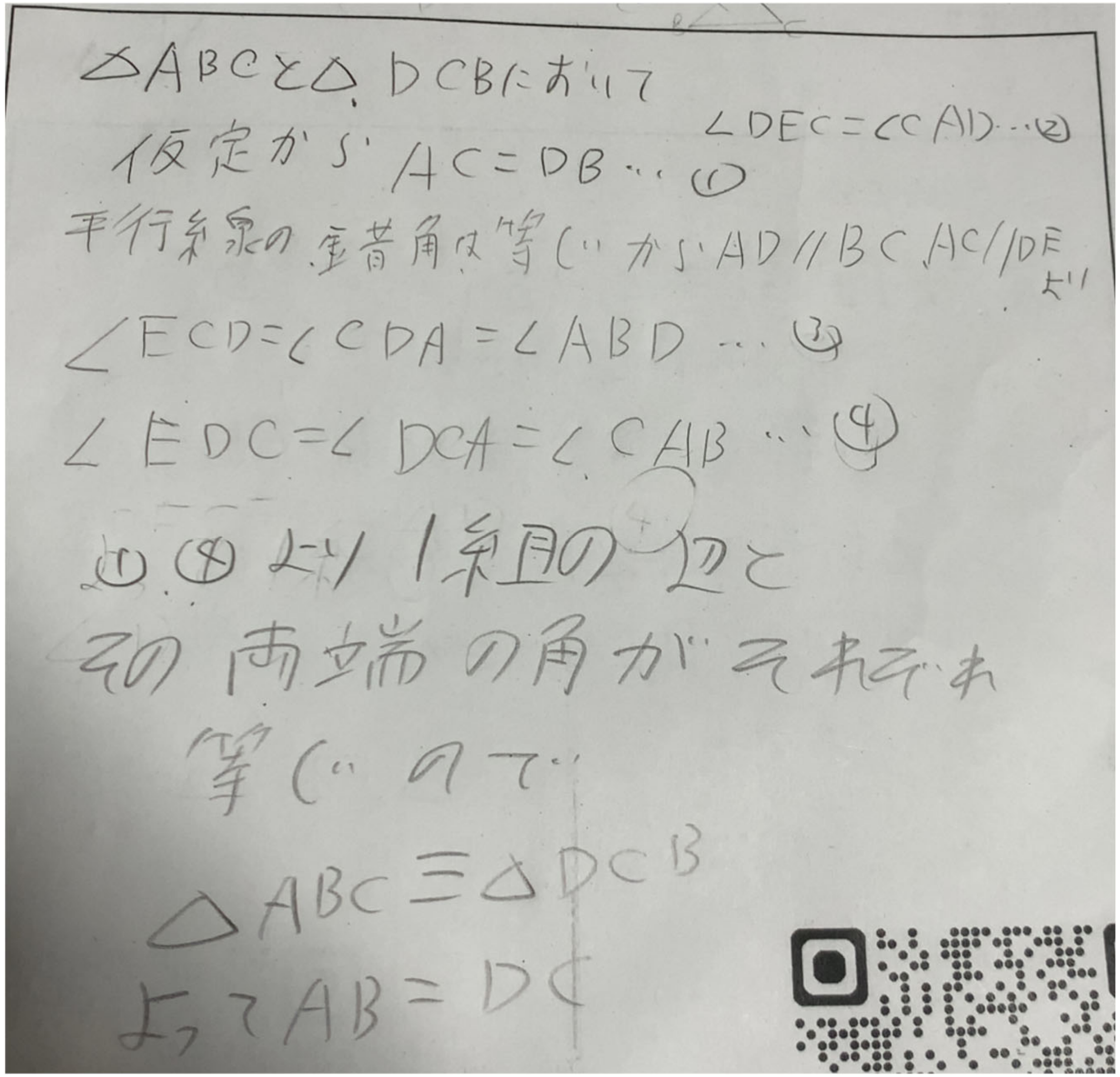
演習問題の提出過程

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

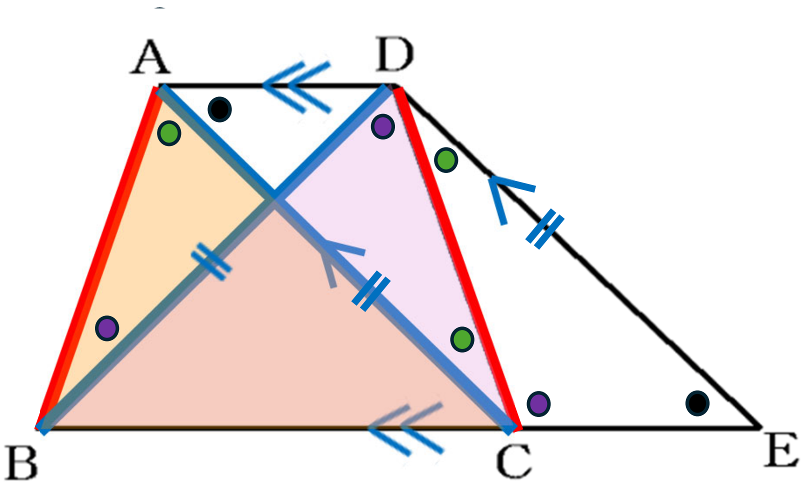


ある生徒 2度目の提出

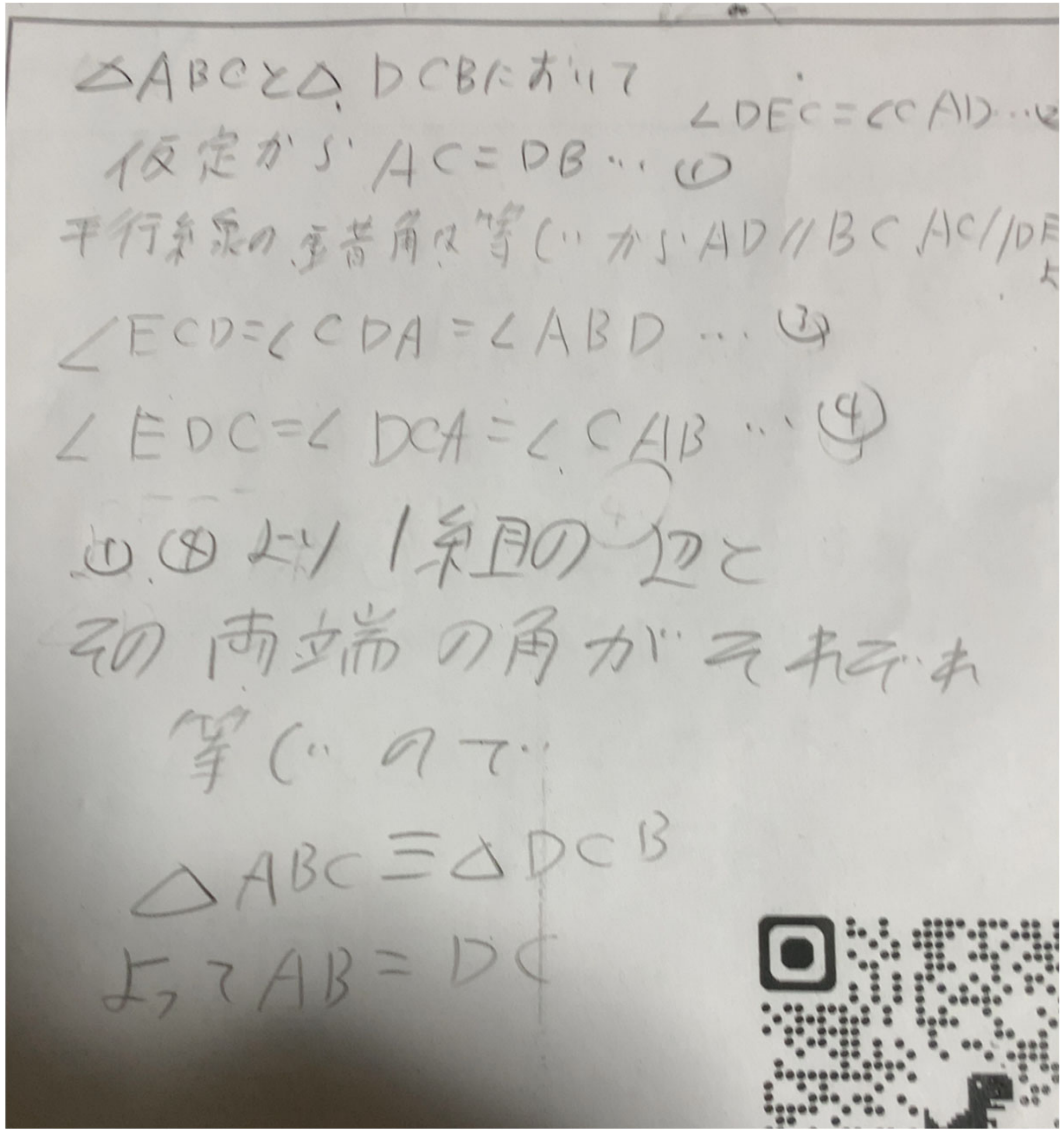
結果

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



△ABCと△DCBにおいて
∠DEC=∠CAD…②
仮定から AC=DB…①
平行線の錯角は等しいから AD//BC AC//DE より
∠ECD=∠CDA=∠ABD…③
∠EDC=∠DCA=∠CAB…④
①.④より 1組の辺と
その両端の角がそれぞれ
等しいので
△ABC≡△DCB
よってAB=DC

S3 3度目の提出

考察

2回目の提出

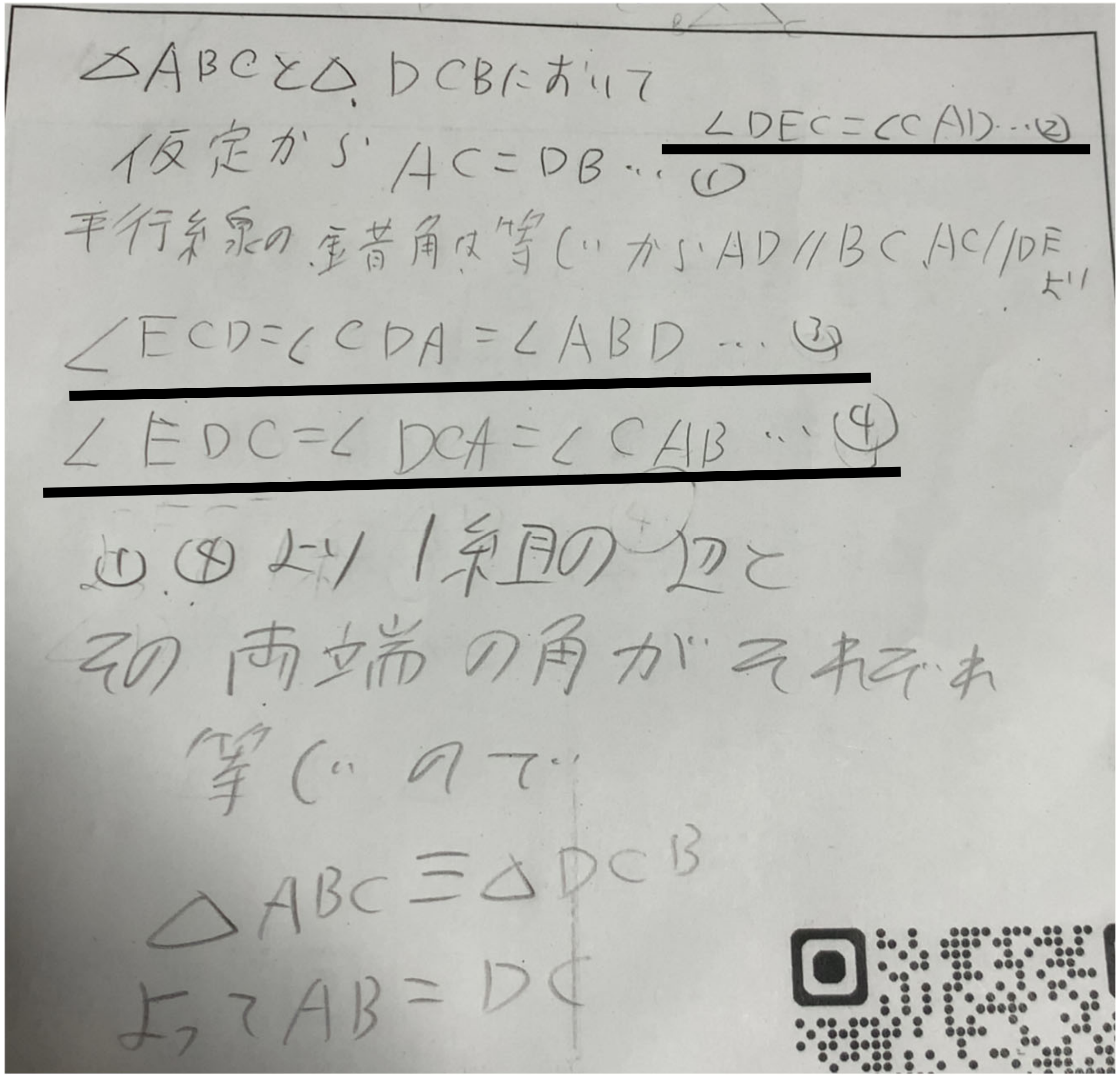
主張自体は誤り

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
<u>**論理構成先行の思考**</u>

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

⇩

<u>行き詰まり・諦め</u>

▶ △ABCと△DCBにおいて

↓

▶ AC=DB … ①

↓

▶ ∠DEC=∠CAD … ②

↓

▶ ∠ECD=∠CDA, ∠EDC=∠DCA

↓

?

↓

▶ ∠CDA=∠ABD … ③, ∠DCA=∠CAB … ④

↓

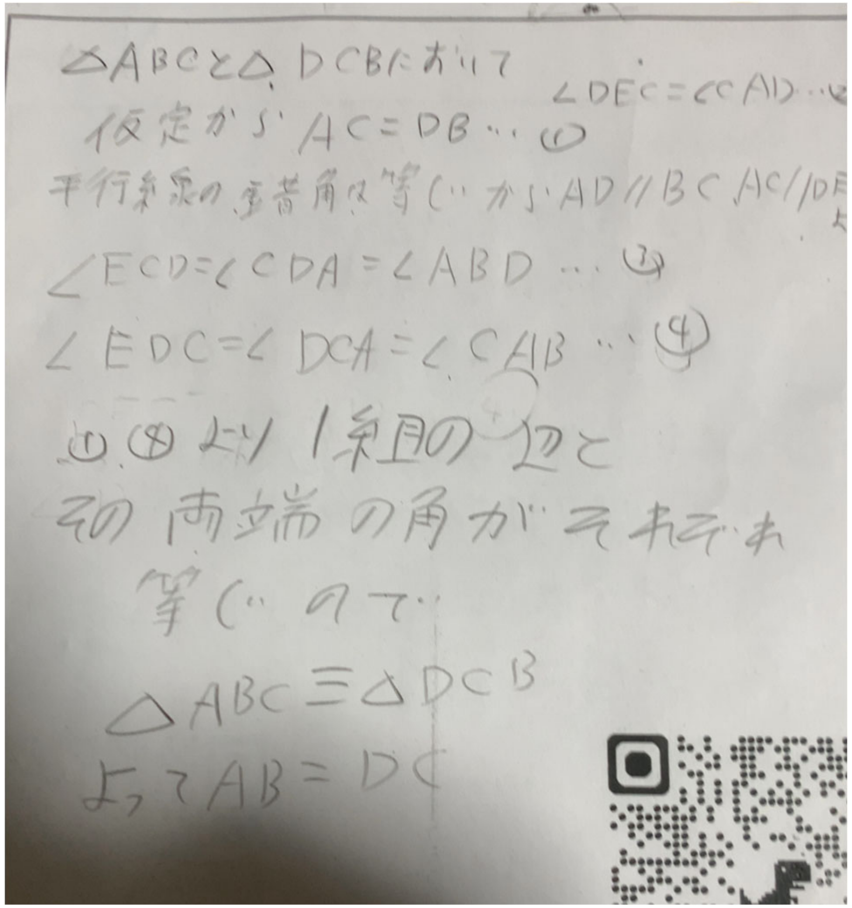
?

↓

▶ △ABC≡△DCB

↓

▶ AB=DC



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