中学校数学科における ICT を活用した探究的な学習のための教材開発
－教科書の問題の発展的扱いに焦点を当てて－

中村好則*，佐藤寿仁*，浅倉祥**，稲垣道子**，工藤真以**
*岩手大学，**岩手大学教育学部附属中学校

（令和５年３月１日受理）

１．はじめに

GIGA スクール構想のもと，各学校にはタブレットと大容量高速通信ネットワークが整備され，その効果的な活用が期待されている。特に，国際化や高度情報化，急激な技術革新が進展する現代社会においては，探究的な学習を通して「想定外の課題や解のない問題等に主体的に協働的に取り組み問題解決する資質･能力」の育成が必要であり重要である。しかし，ICT を活用して探究的な学習を実現するための教材は十分とは言えない状況である。そこで，本研究では，中学校数学科において ICT を活用した探究的な学習を実現するための教材を，教科書の問題の発展的な扱いに焦点を当てて開発し，その教材を用いた指導実践を行い，その結果を分析することを通して，開発した教材の効果や課題を考察することを目的とする。

２．方法

(1)　中学校の数学指導における ICT を活用した探究的な学習の先行研究を調査する。
(2)　先行研究の調査結果を基に，ICT を活用した探究的な学習のための教材を，教科書の問題の発展的な扱いに焦点を当てて開発する。
(3)　開発した教材を用いて指導実践を行い，その結果（ビデオ記録）を分析することを通して，開発した教材の効果や課題を考察する。

３．結果

1）ICT を活用した探究的な学習の先行研究

佐伯・磯田・清水編（1997）は，テクノロジー活用の意義を，(1)多様な問題解決と発展性，(2)実験観察のオーナーシップ，(3)単純作業の時間短縮による効果，(4)誤った経験的知識の修正，(5)インフォーマルな知識からフォーマルな知識への 5 つをあげている。

また，清水・垣花編（1990）は，図形ソフトは図形学習における「知識を自分で作りあげる」生徒の活動のうち，「みる」活動，「探索し・発見する」活動，「観察し・実験する」活動，「いつでも成り立つ理由を考える」活動を支援することを述べている。

最近では，飯島（2021）は「探究や対話を活性化するための道具として ICT を位置づけていく学び」の重要性を指摘し（p.22），「多くの生徒にとっての ICT の役割は，思考のサイクルを実感するとともに，それ自体を自分で行うことを可能するための道具である（p.29）」ことや「問いの連鎖と深まりに注目する」ことの大切さ（p.30）を述べている。その具体的な事例として，以下の問題（図 1）をあげている（p.33）。この問題は，東京書籍（中 2，平成 3 年度版，p.206）でも扱われている。

四角形 ABCD の 4 つの角の二等分線を引き，それらの交点を右図のように E，F，G，H としてそれらを結び，四角形 EFGH をつくる。ABCD をいろいろな四角形にしたとき，EFGH はどんな四角形になるかを調べよ（p.33）。

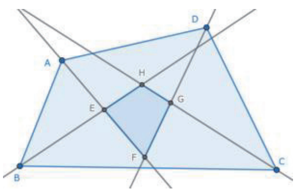

図 1　四角形の各角の 2 等分線の問題

これらの先行研究からは，ICT を活用することで生徒の探究的な学習活動を構成できることが分かった。しかし，その一方で，ただ単に ICT を活用するだけではなく，生徒が主体的・探究的に学び

たいと思えるような教材(問い)こそが重要である。つまり，そのような教材（問い）を通して，生徒が主体的・探究的に学ぶことを支援するために ICT 活用があると考えることが重要である。

2）ICT を活用した探究的な学習のための教材開発

ICT を活用した探究的な学習の教材としてよく扱われる下の問題①「四角形の 4 つの辺の中点を結んでできる四角形」（図 2）は，すべての中学校教科書（東京書籍 p.149，大日本図書 p.157，学校図書 p.165，教育出版 p.157，啓林館 p.143，数研 p.153，日本文教 p.145，いずれも平成 3 年度版，以下同様）にある。

＜問題①＞

四角形 ABCD をかいて，辺 AB，BC，CD，DA の中点をそれぞれ E，F，G，H とします。このとき，四角形 EFGH はどんな四角形になるでしょうか。

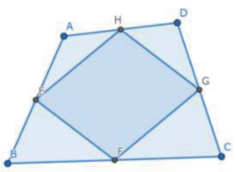

図 2　四角形の各辺の中点の問題

この問題は，単なる中点連結定理の応用問題として扱うだけでなく，外側の四角形 ABCD の 2 つの対角線の関係に着目して，四角形の包摂関係を探究することで発展的問題として扱うことが可能である。実際，中学校教科書 7 社すべてがこの問題を取り上げ，どんな四角形になるかを探究させる課題になっている。しかし，ICT を活用して探究する扱いは，2 社（東京書籍 pp.149-150，学校図書 pp.165-166）だけである。本研究では，このように ICT を活用して探究的に学習ができる教材を開発し，その効果を検討する。

多くの教科書(東京書籍以外の教科者すべてで扱っている。大日本図書 p.157，学校図書 p.176，教育出版 p.158，啓林館 p.143，数研 p.164，日本文教 p.171）で，上の問題①の演習問題として扱われている問題②「四角形の 2 つの辺と 2 つの対角線の中点を結んでできる四角形」（図 3）を，ICT を活用した探究的な学習の教材として検討する。この問題②を扱っているどの教科書でも ICT を活用して探究するような取り扱いはない。

＜問題②＞

四角形 ABCD をかいて，辺 AD，BC，対角線 AC，BD の中点をそれぞれ E，F，G，H とします。このとき，四角形 EHFG はどんな四角形になるでしょうか。

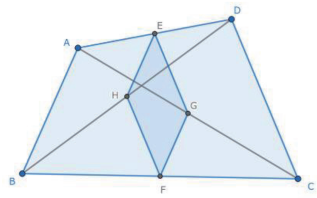

図 3　四角形の 2 辺と 2 対角線の中点の問題

単に平行四辺形になることを証明する問題として扱うのでなく，内側の四角形 EHFG がどんな四角形になるのかを ICT を活用して探究する問題としての扱いを検討する。中点をとっていない辺 AB と CD の関係に着目して，四角形の包摂関係を探究することが可能である。この問題②をこのように探究的に扱った授業を検討したい。

四角形 EHFG は，平行四辺形(ひし形や長方形，正方形ではない平行四辺形)，ひし形，長方形，正方形，四角形にはならず一直線になる場合の 5 種類できる。これらは，四角形 ABCD の 2 辺 AB と CD の関係で以下のように決まる。

(1) 四角形 EHFG が平行四辺形になる場合（図 4）

AB と CD がどんなときでも四角形 EHFG が平行四辺形になる。ただし，AB//DC ではない。

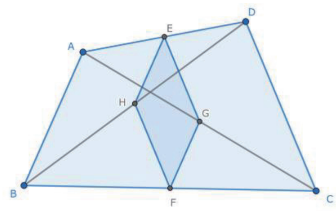

図 4　四角形 EHFG が平行四辺形

(2) 四角形 EHFG がひし形になる場合（図 5）

AB=DC のとき，四角形 EHFG がひし形になる。

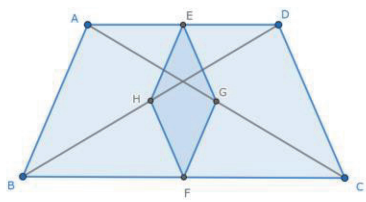

図 5　四角形 EHFG がひし形

(3) 四角形 EHFG が長方形になる場合（図 6）

AB⊥DC のとき，四角形 EHFG が長方形になる。ただし，AB⊥DC かどうかを考えるときに，AB と DC を延長して考える必要がある。

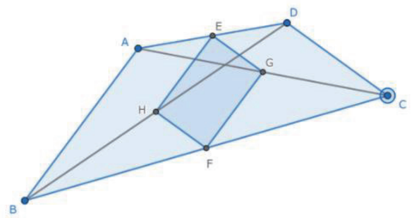

図 6　四角形 EHFG が長方形

(4) 四角形 EHFG が正方形になる場合（図 7）

AB=DC，AB⊥DC のとき，四角形 EHFG が正方形になる。ただし，AB⊥DC かどうかを考えるときに，(3)と同様に，AB と DC を延長して考える必要がある。

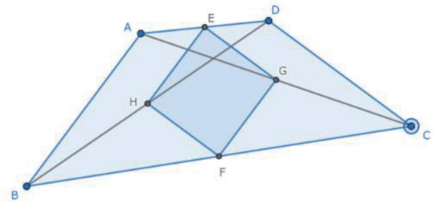

図 7　四角形 EHFG が正方形

(5) 四角形 EHFG 一直線になる場合（図 8）

AB//DC のとき，四角形 EHFG が一直線になる。

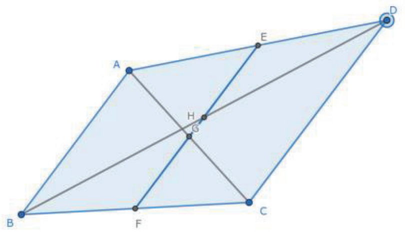

図 8　四角形 EHFG が長方形

AB⊥DC であることは，AB と DC を延長して考える必要がある。このことは，中学校ではあまり扱われていない。

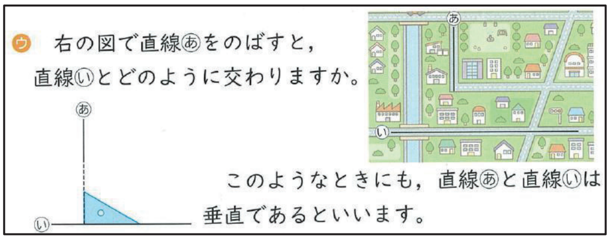

図 9　小学校算数（啓林館 4 年上，p. 68）

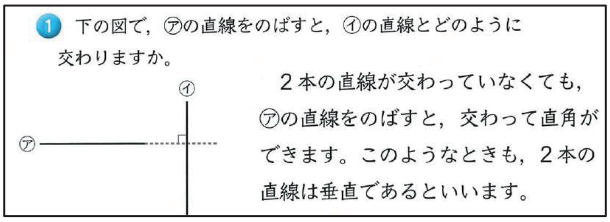

図 10　小学校算数（東京書籍 4 年下，p. 20）

しかし，2 直線が垂直であることは，2 直線が交わっている場合だけではなく，交わっていない場合は延長した直線が垂直であれば垂直であることは，図 9 や図 10 のように小学校で学習済みである。中学校であまり扱われていなくとも，既習事項を活用して考えることが必要である。

その他にも，いくつかの教材を開発した。例えば，数研（中 3，p.267）や学校図書（中 3，p.167）で扱われている以下の問題（図 11）の発展的扱いを検討した。

AB=DC である四角形 ABCD において，辺 AD，BC の中点をそれぞれ E，G とし，対角線 BD の中点を F とする。このとき，△EFG はどのような三角形になりますか。

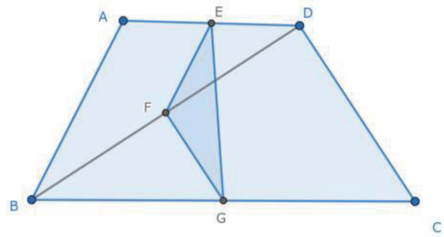

図 11　四角形の 2 辺と 1 対角線の中点の問題

また，教育出版（中 3，p.273）で扱われている以下の問題（図 12）の発展的扱いを検討した。

BA=BC である二等辺三角形 ABC の辺 AB，BC，CA の中点をそれぞれ D，E，F とします。このとき，四角形 DBEF はどんな四角形になりますか。

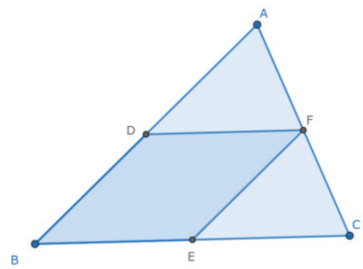

図 12　四角形の 3 辺中点と 1 頂点の問題

3）開発した教材を用いた指導実践の計画

(1) 課題の提示（2 分）図 13

＜問題＞

四角形 ABCD をかいて，辺 AD，BC，対角線 AC，BD の中点をそれぞれ E，F，G，H とします。このとき，四角形 EHFG はどんな四角形になるでしょうか。

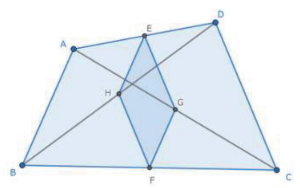

図 13　課題提示

(2) 課題の解決と証明（5 分）

教師：「四角形 EHFG はどんな四角形になりますか」

生徒：「四角形 EHFG は平行四辺形になる」

教師：「本当に，四角形 EHFG が平行四辺形になるか，証明してみよう」

※　証明を確認する（図 14）。

（証明）

△ABD において，中点連結定理より，

AB//EH，AB=$\frac{1}{2}$EH

△ABC において，中点連結定理より，

AB//GF，AB=$\frac{1}{2}$GF

よって，EH//GF，EH=GF

一組の対辺が平行でその長さが等しいので，四角形 EHFG が平行四辺形である。

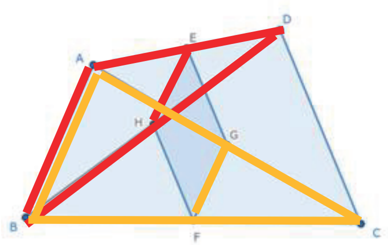

図 14　課題の証明

※　証明を振り返る

教師：「辺 AB が共通な 2 つの三角形 ABD と ABC において，中点連結定理を使って，辺 EH と GF が等しいことや平行なことが証明できました」

教師：「辺 EG と HF が等しいことや平行であることはどのように証明できますか」

生徒：「辺 DC が共通な 2 つの三角形 ACD と BCD において，中点連結定理を使って証明しました（図 15）」

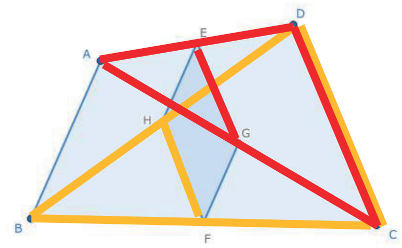

図 15　課題の別証明

(3) 課題の発展（5 分）

教師：「四角形 ABCD の形を変えると，中の四角形 EHFG はどうのように変わりますか」

※　GeoGebra で図形を操作

生徒：「四角形 EHFG の形は変わるけど，平行四辺形であることは変わらない」

教師：「それはなぜですか」

生徒：「四角形 ABCD の形を変えても，辺 AB や DC の長さや向きの変化に応じて，辺 EH や GF の長さや向きも変わるけれども，辺 AB や DC と平行になることや，長さが辺 AB や DC の長さの半分になることは変わらないからです」

教師：「四角形 EHFG は平行四辺形で変わらないけど，特別な平行四辺形ができませんか」

教師：「四角形 ABCD を動かして，どんな特別な平行四辺形ができるかを探しましょう」

※　GeoGebra で図形を操作

※　できた特別な平行四辺形を保存（キャプチャ）し，ロイロノートで共有する。

教師：「どんな特別な平行四辺形ができましたか」

生徒：「ひし形，長方形，正方形」

生徒：「一直線になるときもある」

(4) 発展した課題の探究（33 分）

① 四角形 EHFG がひし形になる場合（10 分）

教師：「四角形 EHFG がひし形になるのは，四角形 ABCD がどんな時が調べてみよう」

教師：「四角形 EHFG がひし形になる場合をたく

さん調べて，その時の四角形 ABCD の特徴を考えましょう」

※　GeoGebra で図形を操作

※　四角形 EHFG がひし形になる場合の図を共有

教師：「四角形 EHFG がひし形になるときの図を見て，そのときの四角形 ABCD の共通点はないかな」

生徒：「AB=DC」

教師：「AB=DC ならば，四角形 EHFG がひし形になるのはなせですか」

生徒：「ひし形は 4 つの辺が等しい四角形だから，四角形 EHFG の 4 つの辺が等しくなるためには，・・・」

生徒：「AB=DC ならば，中点連結定理が成り立っているので，EH=HF，EG=GF」

教師：「AB と DC との関係（相等）が，四角形 EHFG の各辺の関係（相等）に影響しているんだね」

②　四角形 EHFG が長方形になる場合（13 分）

教師：「次に，四角形 EHFG が長方形になるのは，四角形 ABCD がどんな時が調べてみよう」

教師：「四角形 EHFG が長方形になる場合をたくさん調べて，その時の四角形 ABCD の特徴を考えましょう」

※　GeoGebra で図形を操作

※　四角形 EHFG が長方形になる場合の図を共有

教師：「四角形 EHFG が長方形になるときの図を見て，そのときの四角形 ABCD の共通点はないかな」

生徒：「AB⊥DC」

教師：「AB⊥DC ならば，四角形 EHFG が長方形になるのはなぜですか」

生徒：「長方形は 4 つ角が 90°の四角形だから，四角形 EHFG の辺 GF と HF が 90°になるためには，辺 GF と HF は，それぞれ AB と DC と平行だから，・・・」

生徒：「中点連結定理で，・・・・・・」

教師：「AB と DC との関係（垂直）が，四角形 EHFG の HF と GF の関係（垂直）に影響しているんだね」

③　四角形 EHFG が正方形になる場合（5 分），場合によってはカット

教師：「四角形 EHFG が正方形になるのは，四角形 ABCD がどんな時が調べてみよう」

教師：「四角形 EHFG が正方形になる場合をたくさん調べて，その時の四角形 ABCD の特徴を考えましょう」

※　GeoGebra で図形を操作

※　四角形 EHFG が正方形になる場合の図の共有

教師：「四角形 EHFG が正方形になるときの図を見て，そのときの四角形 ABCD の共通点はないかな」

生徒：「AB=DC，AB⊥DC」

教師：「AB=DC，AB⊥DC ならば，四角形 EHFG が正方形になるのはなせですか」

生徒：「中点連結定理で，・・・・・・」

教師：「AB と DC との関係（相等と垂直）が，四角形 EHFG の各辺の関係（相等と垂直）に影響しているんだね」

生徒：「正方形は，ひし形と長方形の両方の条件を満たしているから，AB=DC，AB⊥DC」

④　四角形 EHFG が一直線になる場合（5 分），場合によってはカット

教師：「四角形 EHFG が一直線になるのは，四角形 ABCD がどんな時が調べてみよう」

教師：「四角形 EHFG が一直線になる場合をたくさん調べて，その時の四角形 ABCD の特徴を考えましょう」

※　GeoGebra で図形を操作

※　四角形 EHFG が一直線になる場合の図を共有

教師：「四角形 EHFG が一直線になるときの図を見て，そのときの四角形 ABCD の共通点はないかな」

生徒：「AB//DC」

教師：「AB//DC ならば，四角形 EHFG が一直線になるのはなせですか」

生徒：「中点連結定理で，・・・・・・」

教師：「AB と DC との関係（平行）が，四角形 EHFG の各辺の関係（平行）に影響しているんだね」

(5) 発展した課題の統合（5 分）

教師：「今日の活動から，分かることは何ですか」

生徒:「内側の四角形 EHFG の形は，外側の四角形 ABCD の辺 AB と CD の関係できまる」
教師:「それはなぜですか」
生徒:「中点連結定理が成り立っているので，EH と EG の関係（相等，垂直，平行）が，AB と DC の関係（相等，垂直，平行）できまるからです」

4．結果と考察

1）指導実践結果の分析

指導実践は，2022 年 11 月 30 日（水）の第 2 校時に岩手大学教育学部附属中学校第 3 学年の 1 クラス（30 名）において数学科担当教諭によって行われた。授業は 2 台のビデオカメラで記録し，それらを基に生徒の発言や活動の様子を分析し，開発した教材の効果や課題を考察する。

⑴ 課題の提示（2 分）

ロイロノートで課題を提示（写真 1）し，生徒とともに GeoGebra で作図しながら課題の内容を確認する。次に，教師が本時の課題「四角形の 2 つの辺と対角線の中点を結んでできる四角形について考えよう」を板書し，生徒はそれをノートに書く。教師が「内側にできる四角形 EHFG はどんな四角形になるか」と問うと，すぐに多くの生徒が「平行四辺形」と答える。与えられた図を見ると，四角形 EHFG が平行四辺形であることは直感的に分かる。

写真 1　課題提示の場面

⑵ 課題の解決と証明（20 分）

グループで「四角形 EHFG が平行四辺形になることは，どんな方針で証明できるか」を考える。教師が「方針として使えそうなことは」と問うと，生徒はすぐに「中点連結定理」と答える。使える「平行四辺形になるための条件」を確認すると「1 組の対辺が平行でその長さが等しい」と「2 組の対辺が平行」がでる。それらを確認後，各自で証明を考える。約 5 分後に，隣の生徒と証明の方針や手順などを確認する。どのように証明ができそうかを生徒に問う。挙手した生徒を指名し，投影したロイロノートの図に線や記号等を書き加えながら証明の方針や手順について説明させる。説明した生徒の発表内容をもとにどのように証明ができるかを生徒同士で相談させる。その間に，教師が証明を板書する。発表した生徒が使った条件「1 組の対辺が平行でその長さが等しい」と板書した証明を確認する。その他の方法で証明した生徒がいるかを確認すると，何名かの生徒が挙手する。そのうちの 1 人を指名し，その生徒は「2 組の対辺が平行」を使って証明したことを投影したロイロノートの図に線や記号等を書き加えながら説明する。説明した生徒の発表内容をもとに証明ができるかを生徒同士で相談させる。その間に，教師が証明を板書する。投影したロイロノートの図と板書した証明をもとに，生徒とともに証明を確認する（写真 2）。

写真 2　証明の確認の場面

⑶ 課題の発展（5 分）

生徒 1 人ひとりが GeoGebra で課題の図を作図し，証明したことがいつでも成り立つかどうかを確認する（写真 3）。作図がうまくできなかった生徒には，教師が GeoGebra で作成した図を配信する。生徒からは「わすごい」「先生，一直線になりました」などの声が聞こえた。教師が「四角形 EHFG

が平行四辺形になることはいつでも言えること」を確認し，四角形 EHFG が特別な平行四辺形にもなりそうかどうかを問う。生徒からは，ひし形，長方形，正方形，平行四辺形ではないけれども一直線にあることもあることが挙げられる。GeoGebra で特別な平行四辺形ができたら，その場面を写真に撮り，ひし形，長方形，正方形，一直線のロイロノートの提出箱に提出することを指示する。GeoGebra で変形している段階で，生徒からは「外の四角形が三角形になってもいいですか」という質問がでた。

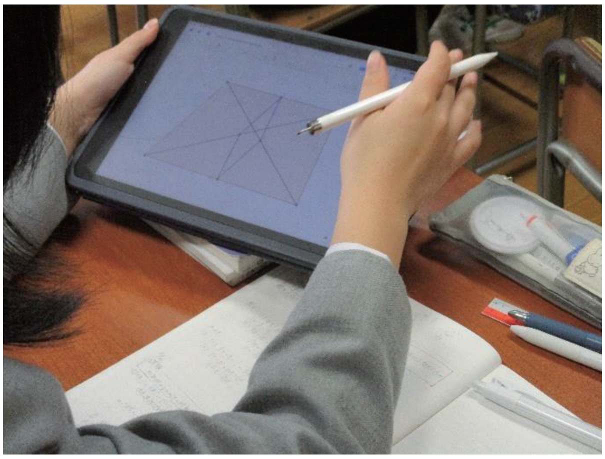

写真 3　各自で探究する場面

(4) 発展した課題の探究（20 分）

①　四角形 EHFG がひし形になる場合（5 分）

教師から「内側の四角形 EHFG がひし形になるのは，外側の四角形 ABCD がどんなときか考えてみよう」と問う。

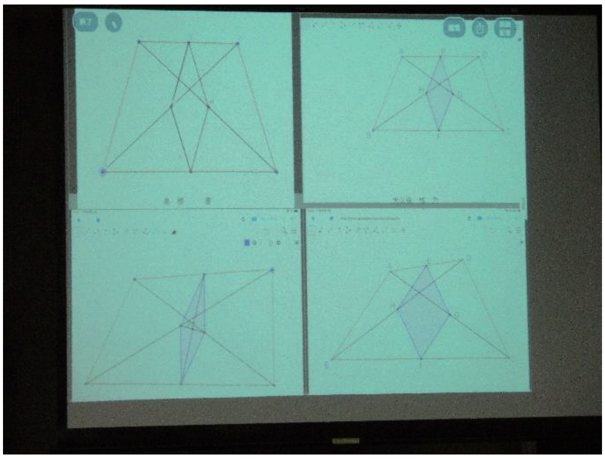

写真 4　ひし形になる場合を共有する場面

ロイロノートの提出箱に提出された複数の図を見ながら，周りの生徒と相談する（写真 4）。生徒からは「等脚台形」とでる。「等脚台形でないとだめ」という問いに対して，すぐに「AB と CD の長さが等しければいい」と答える。「AB と CD の長さが等しいとなぜひし形になるか」を周りの生徒と相談する。生徒からは「中点連結定理が成り立っているから，隣り合っている辺も等しくなる」と答えが返る。板書しながら，理由を確認する。

②　四角形 EHFG が長方形になる場合（15 分）

内側の四角形 EHFG が長方形になる場合は，外側の四角形 ABCD がどんなときかを図を見ながら隣の生徒と考える。「90°と聞こえるけれど，どうして 90°を考えるのか」と問うと，生徒は「長方形は 4 つの角が 90°だから」と答える。90°ということは 2 つの線分（直線）が垂直に交わるということを確認する。一人の生徒の図をロイロノートで提示して，FH と FG が 90°になってほしいことを確認する。GeoGebra で作図した図を観察したり，長さや角度を表示させたりしながら考える（写真 5）。「AB と CD が延長線上で垂直になりそうなんだけど」と 1 人の生徒から発言がある。「そうか」「へえ」などの声が周りの生徒からでる。教師が板書をしながら，このことを確認し，その理由を問う。「中点連結定理で平行であることを使えばよい」とう答えが生徒からでる。

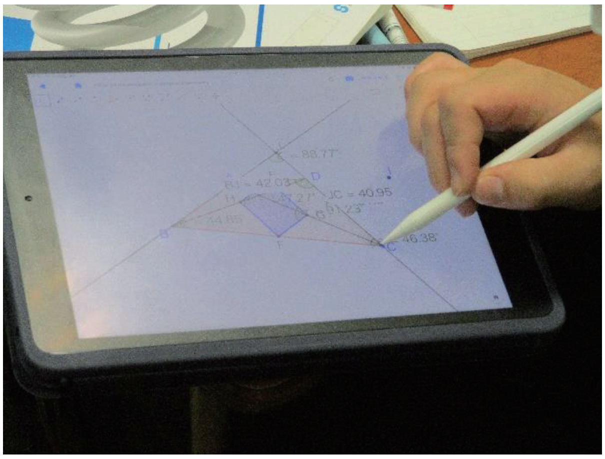

写真 5　長方形になる場合を探究する場面

(5) 発展した課題の統合（3 分）

クラスで「内側の四角形 EHFG の 2 辺の関係は，外側の四角形 ABCD の 2 辺の関係できまる。なぜかというと中点連結定理が成り立っているので，内側の四角形 EHFG の辺と外側の四角形 ABCD の辺が平行になっているから」を確認する（写真 6）。

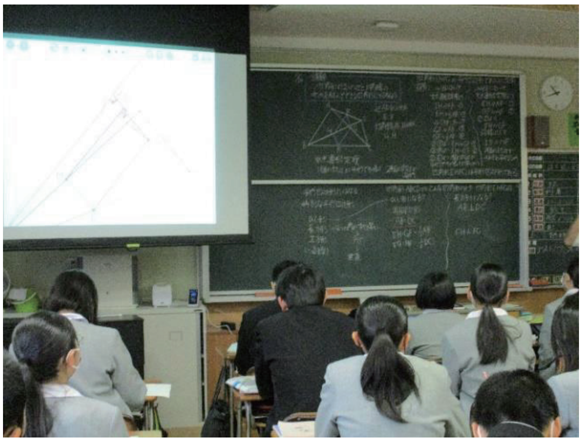

写真 6　解決した結果を統合する場面

2）開発した教材の効果と課題の考察

(1) 生徒自身による探究的な学習の構成

教科書の問題は，初めにこうなるということ（四角形 EHFG が平行四辺形）が示されているか，或いは，図を見ればすぐに分かるように提示され（どんな四角形になるか），それを証明することが学習活動の中心となるようにつくられている場合が多い。しかし，開発した教材のように，問題を発展的に扱うことで，ICT を活用して，内側の四角形 EHFG はどうなるのかということ（特別な平行四辺形はできないのか）を探究し，その理由を考える活動にすることができ，生徒自身による探究的な学習を構成することができる。

(2) 統合的・発展的に考える力の育成

開発した教材では，発展し多様な四角形（平行四辺形，ひし形，長方形，正方形，一直線）になることを見つけ出した後で，そのような四角形になることを，内側の四角形の 2 つの辺の関係（相等，垂直，平行）は，外側の四角形の 2 つの辺の関係（相等，垂直，平行）で決まるということに統合することができるとともに，その理由は中点連結定理が成り立っているからだと理解することができた。このような学習の経験を通して，統合的・発展的に考える力の育成ができるものと考える。

(3) 主体的・協働的な解決を支援

今回の実践では，ただ単に個人で考えるだけでなく，いろいろな場面で，自分で作図した図や考えを見せながら隣の生徒と協働的に考える場面が何度も設けられた。また，他の生徒の意見を解釈し，自分の考えと比較しながらさらに考えるなど，開発した教材は，生徒の主体的的・協働的な活動や解決を支援できたものと考える。

(4) 探究的な活動の時間の確保

最初の指導計画では，1 時間ですべての四角形（平行四辺形，ひし形，長方形，正方形，一直線）を扱う予定であったが，実際の指導実践では長方形までしか扱うことができなかった。探究的な活動を行う時間の確保が課題である。

5．まとめ

本研究では，中学校数学科において ICT を活用した探究的な学習を実現するための教材を，教科書の問題の発展的な扱いに焦点を当てて開発し，その教材を用いた指導実践を行い，結果を分析することを通して，開発した教材の効果や課題を考察した。その結果，開発した教材は，(1)生徒自身による探究的な学習の構成，(2)統合的・発展的に考える力の育成，(3)主体的・協働的な解決の支援に効果があることなどが示唆された。今後は，さらに ICT を活用した探究的な学習を実現するための教材を開発・実践し，その有効性等を考察することが課題である。

謝辞

授業にご協力いただきました岩手大学教育学部附属中学校第 3 学年の生徒の皆さんに感謝いたします。

引用文献

藤井斉亮・真島秀行ほか 84 名『新しい算数 4 下 考えると見方が広がる!』(東京書籍，2020)，p.20.

飯島康之『ICT で変わる数学的探究　次世代の学びを成功に導く 7 つの条件』(明治図書，2021)，pp.120-130.

佐伯昭彦・磯田正美・清水克彦編『テクノロジーを活用した新しい数学教育－実験・観察アプローチを取り入れた数学授業の改善－』（明治図書，1997），pp.32-33.

清水克彦・垣花京子編『コンピュータで支援する生徒の活動－数学科・図形分野での新しい展開－』（明治図書，1999），pp.11-19.

清水静海・根上生也ほか 122 名『わくわく算数 4 上』（啓林館，2020），p.68.