

技術科においてトレードオフの検討を経て 最適解を導くことへの理解を促すアプリケーションの開発

菊池 天都也*・工藤 雄司**

(2021年10月22日受理)

Application Development to Promote Understanding of Deriving Optimal Solution
Through Consideration of Trade-offs in Technology Education

Tetsuya KIKUCHI and Yuji KUDO

キーワード:技術科,トレードオフ,最適化,問題解決学習,アプリケーション

本研究では、最適な解決策を導く過程で相反する複数の要求が複雑に影響し合うことを生徒自身が捉えて、トレードオフを細かく検討できる学習を実現するアプリケーションの開発を目的とした。はじめに、技術科の学習過程の中で開発するアプリケーションを用いて授業を行う場面を、技術の見方・考え方に気付く場面と働かせる場面として2場面を設定した。次に、学習の枠組みを設定しその学習を実現するための機能を搭載したiPad用のアプリケーションを開発した。最後に、大学生を協力者として設定した2場面の授業を行い、アプリケーションを用いる効果を検証した。その結果、協力者の「折り合いを付けること」への理解が向上し、「相反する要求」、「最適な解決策」への理解が有意に向上したことから、トレードオフや最適化の理解を促す効果が確認できた。また、約5割の協力者が「最適な解決策とは、2つ以上の点に着目し、トレードオフを踏まえて検討した解決策である」と理解して、自身の設計・計画について考えられていたことが確認できた。さらに、協力者は2回の授業を通して、技術の見方・考え方にどちらかと言えば近いものを十分であると判断し、遠いものを十分ではないと判断できるようになった傾向があることが確認できた。

1. はじめに

中学校学習指導要領（平成29年告示）解説技術・家庭編（以下「学習指導要領解説」とする）では、目標で「技術の見方・考え方を働かせ」と記されている¹⁾。技術の見方・考え方とは「生活や社会における事象を、技術との関わりの視点で捉え、社会からの要求、安全性、環境負荷や経済性などに着目して技術を最適化すること」である²⁾。学習指導要領解説では、この技術の見方・考え

*茨城大学教育学研究科 **茨城大学教育学部

方を働かせることについて「相反する要求の折り合いを付け、最適な解決策を考えることが技術分野ならではの学び」とあり²⁾、一方を追求すると他方が犠牲になるような両立しえない関係であるトレードオフの検討を経て最適解を導く学びが示されている。

トレードオフを検討するには技術の見方・考え方にもある通り、複数の要求に着目する必要がある。一つひとつの要求が複雑に影響し合う中で、複数の要求に着目すると検討は複雑になり、従来のワークシート等を用いた学習では困難が生じると考えられる。

秋山・本多らは、類似の困難を抱えた中学校技術家庭科技術分野（以下「技術科」とする）の授業において、タブレット端末用アプリを用いた授業を実践し困難を解決した³⁾。さらに、近年、GIGA スクール構想⁴⁾により、1人1台のPC 端末や高速大容量の通信ネットワーク環境といった ICT 環境が整備されている。中央教育審議会は、ICT 環境の効果的な活用により、「新学習指導要領の着実な実施」「全ての子供たちの可能性を引き出す、個別に最適な学びや支援」「可視化が難しかった学びの知見の共有やこれまでになかった知見の生成」等に寄与することが可能になることを示している⁵⁾。これらのことから、トレードオフを検討する際にもタブレット端末用アプリケーション等の ICT を用いることで検討が複雑になることで生じる困難を解決し、効果的な学習を実現できると考える。

技術科におけるトレードオフに関する先行研究では、生徒がトレードオフを検討できるようにする様々な学習法が提案されており、トレードオフや技術の見方・考え方の理解に一定の効果が示されている。

村松・原山らは、「中学生に栽培技術におけるトレードオフの理解を促すシナリオゲーム教材の開発」⁶⁾において、シナリオゲーム教材を用いて、生徒がトマト栽培の方法を選択する授業実践を行った。栽培方法の選択肢は、収量、品質、環境負荷のどれかを向上させるがどれかを犠牲にするという、相反する要求となるものであり、選択しながらストーリーを進めることでトレードオフを理解できるようにしている。

谷田・向田らは、「技術科授業でトレード・オフの思考・判断を導く学習の枠組みと実践的指導方法」⁷⁾において、教材に TECH 未来⁸⁾を使い空間照明の構想を行う際に、相反する要求である経済性と環境負荷のトレードオフを検討しながら照明の配置や部品を選択する授業実践を行った。

坂口は、「多目的最適化の視点を取り入れた技術科問題解決学習に関する研究」⁹⁾において、生徒が、機能、デザイン、環境性、安全性の評価基準に 10 点を振り分ける形で優先度を設定することでトレードオフを検討できる学習を提案した。

以上のように、栽培方法や部品を選択したり、点数を振り分けたりすることでトレードオフを検討する学習法が実践されている。しかし、いずれも生徒が行うトレードオフの検討は大まかなものに留まっており、複数の要求が複雑に影響し合うことを捉えて細かく検討したり、アプリケーションを用いて検討したりする学習法、及びそのためのアプリケーションは見当たらない。

本研究では、最適な解決策を導く過程で相反する複数の要求が複雑に影響し合うことを生徒自身が捉えてトレードオフを細かく検討できる学習を実現するアプリケーションの開発を目的とする。

2. アプリケーションの開発

2.1 使用場面の検討

技術科では、生活や社会で利用されている主な技術について、「A 材料と加工の技術」、「B 生物育成の技術」、「C エネルギー変換の技術」、「D 情報の技術」の4つの内容に整理し学習する¹⁰⁾。この4つの内容全てにおいて、同様の学習過程を経ることになっている。技術科の学習過程は、①既存の技術を理解した上で、②問題を見出し課題を設定し、③解決策が最適なものとなるよう設計・計画し、④製作・制作・育成を行い、⑤結果や過程を評価・改善し、⑥今後の社会における技術の在り方について考えるといったものである¹⁰⁾。

この学習過程の中で、相反する要求の折り合いを付け、最適な解決策を考える学びを行う場面は「③解決策が最適なものとなるよう設計・計画し、」にあたる学びの場面であると言える。したがって、③の設計・計画の場面をアプリケーションを用いる場面として決定した。学習指導要領解説では、③の設計・計画の場面を含む問題解決の学習は、「技術による問題の解決」の要素として位置付いており、この要素について「技術の見方・考え方を働かせ、」¹⁰⁾と記されている。このことから、この場面を「見方・考え方を働かせる場面」とした。

また、技術科の学習過程「①既存の技術を理解した上で、」にあたる学習は、学習指導要領解説では、「生活や社会を支える技術」の要素として位置付いている。この要素の「イ 技術に込められた問題解決の工夫について考えること。」について、内容の取扱い(5)イには、「イでは、社会からの要求、安全性、環境負荷や経済性などに着目し、技術が最適化されてきたことに気付かせること。」と記されている¹¹⁾。設計・計画では自身の問題解決で利用する技術の最適化を考えるが、ここでは既存の技術の最適化について考える。対象となる技術に違いはあるものの最適化されてきたことに気付く過程は、相反する要求の折り合いを付け、最適な解決策を考える学びと言える。したがって、この要素の「イ 技術に込められた問題解決の工夫について考えること。」にあたる場面をアプリケーションを用いる場面として決定した。学習指導要領解説では、「生活や社会を支える技術」について、「技術の見方・考え方に気付かせる要素であり、」¹⁰⁾と記されている。このことから、この場面を「見方・考え方に気付く場面」とした。

以上のことから、開発したアプリケーションを用いる場面を表1のように決定した。

表1 アプリケーションの使用場面

場面	内容	要素	項目	学習内容
見方・考え方に 気付く場面	各内容	生活や社会を 支える技術	イ	問題解決の工夫について考え、 最適化に気付く。
見方・考え方を 働かせる場面		技術による 問題の解決	イ	解決策が最適になるように 設計・計画する。

2.2 機能の検討

アプリケーションの使用場面は、技術の見方・考え方に気付いたり働かせたりする場面であることから、初めに、技術の見方・考え方に基づいて学習の枠組みを設定し、その学習の枠組みを実現

するように機能を決定した。

学習指導要領解説には、4つの内容ごとにそれぞれ見方・考え方が記されている^{12), 13), 14), 15)}。各内容の見方・考え方の文言を、学習指導要領解説の中で説明されている表現で置き換えたり（表2下線部）、各内容で異なる表現を記号で統一したりして一つにまとめると表2のようになる。

表2 各内容の技術の見方・考え方をまとめたもの

生活や社会における事象を，○○の技術との関わりの視点で捉え，△△に着目し，原理・法則にも配慮し，基礎的な技術の仕組みを最適化すること。

本研究では、表2の「△△」を「着目点」とし、技術を捉える際の視点としてアプリケーション内で用いることとした。また、表2の配慮することとして表された「原理・法則」を「トレードオフを検討する際の根拠」として用いる（後に詳述する）。用いる着目点は、学習指導要領解説の例示を基に4つの内容ごとに4～5つ設定した（表3）。なお、「効率」は「収量、品質の効率」、「変換、伝達効率」のように複数の意味を持つが、統一することによる中学生へのわかりやすさを優先し「効率」としたため、授業時に何の効率を表すか具体的な説明が必須となる。

表2の見方・考え方、また、前述の「最適な解決策を導く過程で相反する複数の要求が複雑に影響し合うことを生徒自身が捉えてトレードオフを細かく検討できる学習」を踏まえ、アプリケーションを用いて行う学習の枠組みを設定した（表4）。

表3 アプリケーションで用いる各内容の着目点

内容A	安全性	機能性	効率	環境配慮	経済性
内容B	安全性	効率	環境配慮	経済性	生命倫理
内容C	安全性	効率	環境配慮	省エネルギー	経済性
内容D	安全性	経済性	情報モラル	セキュリティ	

表4 設定した学習の枠組み

ある技術に対する着目点ごとの評価を数値で導く。数値を導くために、ある技術を工夫点ごとに細分化し、その工夫点を実現する際に生じる着目点間のトレードオフを検討する。トレードオフの検討の結果、優先した着目点の評価の数字は上昇し、犠牲にした着目点の評価の数字は低下する。すべての工夫点について検討を終えたら、導いた着目点ごとの評価の数値を用いて最適化の程度をグラフに表現する。学習者はその表現と一連の学習の過程から、技術を最適化することを理解する。

表4の学習を実現するためにアプリケーションに必要な機能は、①技術を工夫点ごとに細かく捉えられるようにする機能、②トレードオフを検討する際の根拠となるように原理・法則を表示する機能、③工夫点を実現する際にトレードオフの関係になる着目点を選択する機能、④トレードオフの程度を検討する機能、⑤最適化の程度をグラフに表現する機能である。

2.3 画面の構成と操作方法

アプリケーションの動作環境は iPad とし、Apple 社が提供する統合開発環境である Xcode とプログラミング言語 Swift を用いて開発した。

以下、開発したアプリケーションの画面構成と操作方法を説明する。

アプリケーションを起動すると表示されるタイトル画面で「技術の最適化について考える」をタップすると、内容選択画面 (図 1) に遷移するため、授業に合わせて内容を選択する (図 2 へ遷移)。

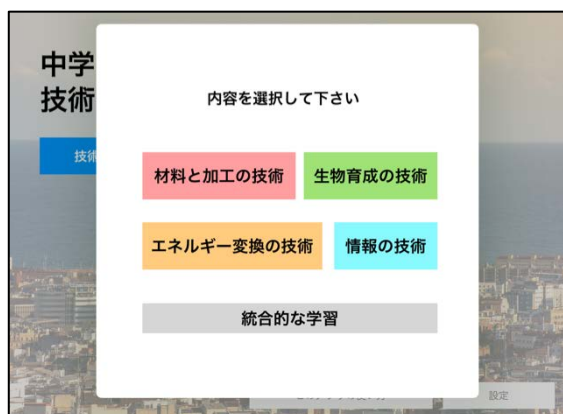


図 1 内容選択画面



図 2 検討結果表示画面

検討結果表示画面 (図 2) は、トレードオフを検討した結果が表示される画面である。円グラフは、五つの着目点間のトレードオフを検討した結果の数値を割合で表しており、操作を進めて検討を重ねると適宜検討結果がこの画面に反映されることとなる。ここでは、まず、設計・計画した技術や既存の技術における工夫点を思い浮かべる。次に、思い浮かべた工夫点によって向上している着目点、つまり、円グラフの幅を大きくしたい着目点を画面右下の「向上させたい着目点」から選択して、「検討開始」をタップする (図 3 へ遷移)。



図 3 工夫点入力・根拠選択画面

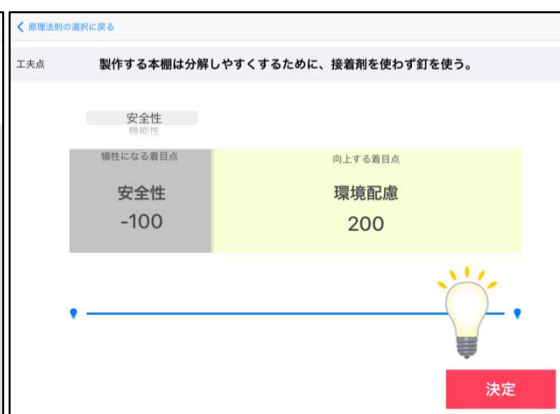


図 4 トレードオフの検討画面

工夫点入力・根拠選択画面（図 3）では、選択した着目点の数値を向上させる工夫点を画面上部の入力欄に入力する。また、その工夫を行うことで、選択した着目点の数値が向上する根拠を、画面中央の原理・法則に基づいて作成した一覧から選択し、画面右上の「決定」をタップする（図 4 へ遷移）。なお、これらの機能は、前述の「①技術を工夫点ごとに細かく捉えられるようにする機能」と「②トレードオフを検討する際の根拠となるように原理・法則を表示する機能」にあたる。

村松らは、「情報源」を与えることで学習者が選択の際の判断の根拠を持てるようにしたことを述べている¹⁶⁾。また、谷田らは、構想を行う際に授業者が知識や価値観を提示することの重要性を述べている¹⁷⁾。これらのことから、搭載した機能である。なお、表示する原理・法則の一覧は、学習指導要領解説や技術科の教科書^{18), 19)}を参考に作成した。

トレードオフの検討画面（図 4）では、入力した工夫点により犠牲となる着目点を選択し、画面中央に相反する 2 つの着目点を並べる。なお、この機能は、前述の「③工夫点を実現する際にトレードオフの関係になる着目点を選択する機能」にあたる。その上で、どの程度犠牲になるか、トレードオフにどのように折り合いをつけるかを豆電球のイラストをスライドさせて入力する。



図 5 トレードオフの検討例

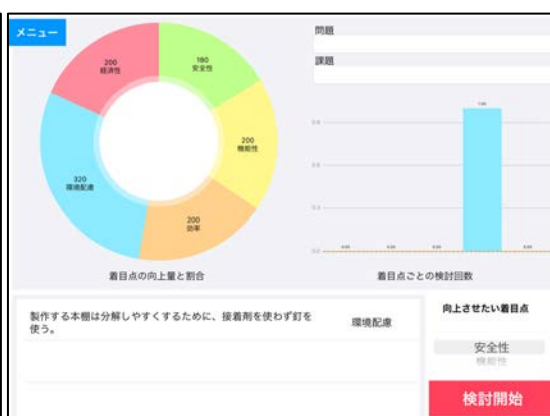


図 6 検討結果表示例

豆電球のイラストを右にスライドすると「向上する着目点」側に光が当たり、「犠牲になる着目点」側が影になる（図 5）。光を当てるほど数値が向上するが、その分犠牲となる側の減点も大きくなるため、もどかしい体験ができるユーザインタフェースである。なお、この機能は、前述の「④トレードオフの程度を検討する機能」にあたる。

検討を終え、「決定」をタップすると再び検討結果表示画面に遷移し（図 6）、円グラフの水色で表された着目点の幅が大きくなっているように、検討結果が反映されていることが確認できる。棒グラフは、着目点ごとの検討回数が表示されている。画面左下の一覧には、入力した工夫点と数値を向上させた着目点が表示されており、検討の活動を振り返ることができる。なお、この機能は、前述の「⑤最適化の程度をグラフに表現する機能」にあたる。

村松らは、選択結果の影響をフィードバックとして明示することで、学習者が選択の適切性を考えられるようになることを述べている¹⁶⁾ことから、トレードオフの検討が終わったらすぐに結果がグラフに反映されることで検討の適切性を考えられる仕様とした。



図7 工夫点入力・根拠選択例



図8 トレードオフの検討例2

ここまでと同様の操作を工夫点の数だけ繰り返す(図7, 図8)と, 設計・計画した技術や既存の技術におけるトレードオフの検討結果を表すことができる(図9)。

既存の技術を対象に検討した「見方・考え方に気付く場面」の学習であれば, 図9の表示内容から, 技術が最適化されてきたことを読み取ることが想定される。一方, 問題の解決策として設計・計画した技術を対象に検討した「見方・考え方を働かせる場面」の学習であれば, 図9の表示内容から, 設計・計画が最適と言えるか考え, 最適であると納得できるまで再検討することができる。例えば, 図9の棒グラフでは黄色で表される着目点が0であるため検討が不十分であり最適ではないと判断し, これまでの操作を再び行い, 図10のようにすることが想定される。

このように, 解決策の設計・計画の良いところを可視化するだけでなく, 不十分な点も可視化できるため, 構想を最適なものにするためにはどのように改善したら良いか考えることができる仕様とした。

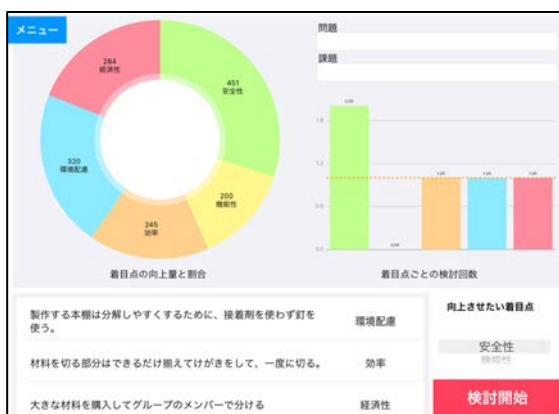


図9 トレードオフの検討結果



図10 再検討の結果表示例

着目点や原理・法則の一覧は, 授業の内容や生徒の実態に合わせて変更が必要になる場合も考えられるため, アプリケーション内で変更する機能も搭載した。

3. 開発したアプリケーションの効果の調査

3.1 授業の実施

授業は技術科の内容「B 生物育成の技術」の指導計画を作成し（表5）、その中でアプリケーションの使用場面として表1に示した「見方・考え方に気付く場面」と「見方・考え方を働かせる場面」に該当する2時間分を実施した。アプリケーションをインストールしたiPadは1人1台配布した。2つの場面の学習内容の詳細を表6に、使用したワークシートをそれぞれ図11と図12に示す。

授業への参加協力者は、某国立大学1年生計16名とした。本来であれば中学生を協力者とするのが望ましいが、新型コロナウイルスの感染拡大防止のため、大学生とした。16名の内、男性が12名、女性が4名であり、全員が技術科教育法の単位未修得であったため、協力者として適当であると判断した。

「見方・考え方に気付く場面」の授業は令和2年12月11日に（図13）、「見方・考え方を働かせる場面」の授業は令和2年12月18日に（図14）行った。

表5 B 生物育成の技術の指導計画（全15時間）

時数	学習活動	アプリの使用
第1次 (6時間)	1 光、温度、水分、土、育成場所や時期の管理など、育成環境の調節方法を調べる。	
	2 種まき、間引き、摘芽、追肥など、作物の成長を管理する技術について調べる。	
	3 目的に応じて栽培方法を選択する必要性を理解するために、調べたことやその目的をまとめる。	
	4 家畜、成長や育成環境の管理など、動物を育てる技術を調べる。	
	5 成長や育成環境の管理、作物の育成との共通点や違いなど、水産生物を育てる技術を調べる。	
	6 最適な解決策から、生物育成の見方・考え方に気付くために、技術に込められた問題解決の工夫について考える。	○
第2次 (7時間)	7 問題を見出し、課題を設定する。育成する生物の特徴や作業内容を調べる。育成	
	8 計画における工夫を構想する。	
	9 育成計画における工夫の構想が最適であるかどうか、納得できるまで検討する。	○
	10 栽培計画表を作成する。	
	11 育成する。(定植、支柱立て、誘引、追肥、摘芽、摘芯、害虫除去、収穫など)	
	12	
	13 構想との比較を通して、問題解決の評価、改善、修正を行う。	
第3次 (2時間)	14 技術の概念の理解のために、自身の問題解決と最適な解決策の共通点を見出し、抽象化する。	
	15 評価、選択、管理、運用について考え、技術のあり方について話し合う。	

表6 実施した授業の詳細

	見方・考え方に気付く場面 (表5の6時間目)	見方・考え方を働かせる場面 (表5の9時間目)
目標	最適な解決策とは何か理解し、技術の見方・考え方に気付くことができる。	技術の見方・考え方を働かせて、最適な解決策の構想ができる。
学習活動	<ul style="list-style-type: none"> ・パブリカ工場の映像を視聴し、工夫点を整理する。 ・工夫点と着目点の関連を整理する。 ・アプリを用いて最適な解決策とは何か可視化する。 ・作成されたグラフや操作の過程から最適な解決策とは何か考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・種の蒔き時を過ぎた人参を栽培する際にどのような工夫をするか構想する。 ・工夫点と着目点の関係を整理する。 ・アプリを用いて自身の構想が最適な解決策になっているか可視化する。 ・作成されたグラフや操作の過程から最適な解決策であるか考える。

技術・家庭科（技術分野） 日生物育成の技術 令和2年 月 日

年 組 番 氏名

問題

1. 映像を見ながら、工夫点を記入しよう。

- ・長さ200mのガラス温室で、炭酸()を使い、露地栽培と比べて約()倍の収量
- ・()や湿度はコンピュータで管理、温度は()℃前後、湿度は70%~80%
- ・()と糞分もコンピュータで管理
- ・建物の上の装置で()や日照量を測り、自動的に天窓を開閉
- ・脱脂粉乳入りのナイフを使い、()の侵入を防ぐ
- ・背丈が()m。()をせず上に伸ばし栄養を行き渡らせる。()を使って収穫
- ・()を使い、根張りをよくする。糞分、()を通りやすくする。
- ・担当者の名札をつけて、最後は()がチェックし品質を保つ。選別後も()がチェック

3. アプリを使おう。問題の**最適な解決策**とはどのような解決策ですか。

アプリの操作を振り返って…… グラフを見て……

④ ()の経営者は、どのようにして問題の最適な解決策を考えたのか。

- 2. 関係する着目点を線で結ぼう。
- 「安全性」
生産時、食べる時に危険なことはないか。
- 「効率」
品質の良いものが、たくさん取れるか。
- 「環境配慮」
捨てやすいか。自然に還るものになっているか。Co2, 有害物質は出ないか。
- 「経済性」
育成にお金がかからないか。作業が簡単、手間がかからないか。
- 「生命倫理」
生命に関して、人として守り行うべき道。

図11 「見方・考え方に気付く場面」のワークシート

技術・家庭科 (技術分野)	B 生物育成の技術	令和2年 月 日	年 組 番 氏名 _____
② どのように問題を解決するか、最適な解決策を考えよう。		(問題 季節外れの野菜は、値段が高いため食べられない)	(課題)
1. 行い工夫点を記入しよう。		2. 関係する着眼点を線で結びよう。	
・栽培場所は学校の () * ・栽培容器は、(発泡スチロール ・ 土が入っていた袋 ・ プランター) *		「安全性」 生産時、食べる時に危険なことはないか。	
その他 水やりは,,, 温度は,,, 光は,,, 肥料は,,, 種まきは,,, 植え替えは,,, 手入れは,,, 収穫は,,,		「効率」 品質の良いものが、たくさん取れるか。	
		「環境配慮」 捨てやすいか。自然に還るものになっているか。Co2, 有害物質は出ないか。	
		「経済性」 育成にお金がかからないか。作業が簡単、手間がかからないか。	
		「生命倫理」 生命に関して、人として守り行うべき道。	
4. アプリを使おう。あなたの構想した解決策は、最適な解決策ですか。どこがどのように最適であるか詳しく書こう。			
アプリの操作を振り返って…… グラフを見て……			

図 12 「見方・考え方を働かせる場面」のワークシート



図 13 見方・考え方に気付く場面の授業



図 14 見方・考え方を働かせる場面の授業

3.2 調査項目と方法

調査項目は、①「トレードオフの理解」、②「最適化の理解」、③「技術の見方・考え方の理解」の3つとした。これらを調査するために授業への参加協力者に対する質問紙調査と、授業で使用したワークシートに記述欄を設け記述を求めた。質問紙調査は各授業の前後のタイミングで合計4回行い、その回答の変化と記述を分析した。作成した1回分の質問紙を図15に示す。なお、質問項目の内容は某国立大学教育学部大学生3名、大学教員1名の計4名で協議し決定した。

①「トレードオフの理解」は、トレードオフの要求に対して適切に折り合いをつけるといった考え方を理解できたか検証する調査項目である。回答が分析対象となる質問項目は、図15「質問2番号01, 02」である。

②「最適化の理解」は、最適化とは相反する要求の折り合いをつけて解決策を考えることであること、既存の技術が最適化されてきたことを理解できたか、また、自身の設計・計画を最適化することができたか検証する調査項目である。回答が分析対象となる質問項目は、図15「質問2 番号03」である。

③「技術の見方・考え方の理解」は、技術の見方・考え方に気付いたり働かせたりすることができたか検証する調査項目である。回答が分析対象となる質問項目は、図15「質問1」である。

「質問1」は、作物の育成時の具体的な構想を16個提示し、その構想を十分であるか評価してもらうことにより、協力者の技術の見方・考え方の理解を調査するものである。提示する16個の構想は表7に示すようにグループ番号1から4の4つに分けられる。グループ番号が大きい項目ほど、技術の見方・考え方に沿った構想であるため、質問紙調査のタイミングが後になるほど、グループ番号の大きい項目を「十分である」と高く評価し、グループ番号の小さい項目を「十分ではない」と低く評価すると仮定した。質問紙調査ごとに項目をランダムに並び替えていたため、図15におけるグループ番号は青字で示す通りである。

②「最適化の理解」と③「技術の見方・考え方の理解」の調査では、ワークシートの記述の評価も用いる。記述が評価対象となるワークシートの問いは、図11「3. 問題の最適な解決策とはどのような解決策ですか。」、図12「4. あなたの構想した解決策は、最適な解決策ですか。どこがどのように最適であるか詳しく書こう。」の2つである。評価基準の作成にあたって、坂口が、技術の見方・考え方を問う質問紙の記述をトレードオフの考え方の有無、着目する視点の数の違い等により、

アンケート1		名前など			
質問1					
中学生のAさんは、自宅でホウレンソウを育てることにしました。しかし、Aさんの住む地域では種を置く適期な時期を過ぎ、外で栽培するには気温が低くなり遅れていることがわかりました。そこでAさんは、家の中で種を育てることにし、この時、いくつかのことを考えました。					
以下の「Aさんが考えたこと」を生物を育成する時の考え方で十分かどうか、当てはまる選択肢の番号に丸をつけてください。					
※ 育成期間をどのようにするかなどの具体的な方法の正しさではなく、視点や考え方に注目して回答してください。					
番号	Aさんが考えたこと	十分ではない 1から3まで	どちらか 4から5まで	どちらか 1から3まで	十分である 4から5まで
01	虫がつかない綺麗なホウレンソウを収穫するためには家を撤去すれば良いが、近くに農作業の虫を駆除するゼリー剤の家を置くだけにし、こまめに虫を駆除することにする。	4	3	2	1
02	誰かと成長の様子を共有しながら栽培すると楽しいので、余った種は友達にあげて栽培することを勧める。	4	3	2	1
03	家族のほとんどがホウレンソウが好きでよく食べるが、姉はあまり食べないので理由を知りたい。	4	3	2	1
04	家から入る日光が当たらなくなったら、こまめに移動させることと、種を栽培用のLEDライトを導入し使用することが考えられたので、こまめに移動させることにする。	4	3	2	1
05	種を置くための台は、グラグラしない丈夫なものであると同時に分解しやすいものが良いので、各部品が釘でしっかり固定してあるものを選ぶ。	4	3	2	1
06	種の保存に貢献するために、ある地域でしか栽培していないホウレンソウ(固有種)の種を購入し栽培する時には、近所の生産者への影響に注意しなければいけないが、今回は市内での栽培なのであまり気にしない。	4	3	2	1
07	お金をかけたくないため、ホームセンターで売っている種本鉢の中で、一番価格の安いものを購入する。	4	3	2	1
08	ホウレンソウは、オムレツや味噌汁に入れて食べたいので、調理方法をインターネットや本を使って事前に調べる。	4	3	2	1
1					
番号	Aさんが考えたこと	十分ではない 1から3まで	どちらか 4から5まで	どちらか 1から3まで	十分である 4から5まで
09	台の上や高さのある場所に種本鉢を置くことで落下した時に傷れやすくなる恐れがあるので、必ず下に置くことにする。	4	3	2	1
10	種本鉢の土はホウレンソウを収穫後、ふるいにかけてゴミを除去し、日中は外に広げ、天日で1ヶ月乾燥し、塩素や石灰を落とすことで再利用できるようにする。	4	3	2	1
11	緑色の野菜を育てることで、今まで以上に緑色が好きになるかもしれない。	4	3	2	1
12	隣人が広くなるように隣寄せをすれば大きく育つが、種本鉢がそんなに大きくないため、後が少し小さくなくても良いことにし、狭い空間で隣寄せを行うことにする。	4	3	2	1
13	できるだけお金と手間をかけずホウレンソウを収穫したいので、農作業の時間に自宅で水やりをする景観を購入して使用する。	4	3	2	1
14	大きく育てるには種本鉢を一番暖かい場所に置くのが良いが、人がよく通りかかると、二番目に暖かい場所に置くことにする。	4	3	2	1
15	ホウレンソウは生き物であるため、生命を大切にすると気持ちよく、隣寄せで育てる株が出ないように種を植え、1つ1つを大切に扱い、丁寧に育てる。	4	3	2	1
16	昼間の時間に気温を保つには毎日暖房をつけた方が良いが、毎日つけるとう電気がかかってしまうため、室温から10℃以上寒い時だけつけるようにする。	4	3	2	1
質問2					
次の項目の文章について、あなたの状況に当てはまる選択肢の番号に丸をつけてください。					
番号		4から5まで 1から3まで	どちらか 4から5まで	どちらか 1から3まで	十分である 4から5まで
01	相反する要求とはどのような要求であるかわかる。	4	3	2	1
02	新しい合いをつけるなどどのようなことかわかる。	4	3	2	1
03	技術によって問題を解決する際の最適な解決策とはどのような解決策であるかわかる。	4	3	2	1
質問は以上です。ご協力ありがとうございました。					
2					

図15 質問紙

表7 「質問1」の項目の分類

グループ 番号	質問項目の作成基準
1	5つの着目点のうち、できるだけどれにも関係しないような考え方で、生物育成時の構想と関係のない記述にする。
2	5つの着目点のうち、1つの視点のみを重視した構想の記述にする。
3	5つの着目点のうち、トレードオフの関係にある2つの視点を踏まえた考えを示すが、折り合いはつけずどちらか片方のみを重視した構想の記述にする。
4	5つの着目点のうち、トレードオフの関係にある2つの視点を踏まえた考えを示し、両者の折り合いをつけてどちらの点にも配慮した構想の記述にする。

表8 ワークシートの記述の評価基準

A 評価	5つの着目点のうち2つ以上の視点を踏まえた記述であり、トレードオフを踏まえて検討する考え方が読み取れる。 折り合いを付ける、バランスをとる、負担をかける、犠牲にする等の表現がある。
B 評価	5つの着目点のうち2つ以上の視点を踏まえた記述であるが、明確なトレードオフを踏まえて検討する考え方は読み取れない。
C 評価	1つの視点からの記述である。

A, B, C, Dの4段階で評価を行なった²⁰⁾ことを参考に、また、調査項目②と③の両方で使用することを考慮し作成した(表8)。

質問紙調査の回答の変化は、繰り返しのある一元配置分散分析にて比較した。有意差が認められた場合は、ボンフェローニ法による多重比較を行った。

4. 結果及び考察

4.1 調査項目①「トレードオフの理解」について

4回の質問紙調査ごとの「質問2 番号01, 02」の回答の平均値と分析結果を表9に示す。

表9 「トレードオフの理解」の調査結果

番号	質問項目		1回目	2回目	3回目	4回目	p 値	判定
01	相反する要求とはどのような要求であるかわかる。	平均値	2.81	3.00	3.19	3.50	0.002	**
		標準偏差	0.91	1.10	0.75	0.52		
02	折り合いをつけるとはどのようなことかわかる。	平均値	3.25	3.31	3.31	3.50	0.315	
		標準偏差	0.93	0.87	0.70	0.63		

**=p<.01 * =p<.05

番号01の質問項目では有意差が認められた ($F(3, 45) = 5.69, p < .01$) ため、ボンフェローニ法による多重比較を行なった。その結果、1回目と4回目に1%水準で、2回目と4回目に5%水準で有意差が認められた。検証期間全体を通して平均値が上昇していることから、協力者は犠牲になる要求を常に意識するようなアプリケーションの操作を繰り返し行ったことで「相反する要求」の具体的なイメージを持って理解できるようになったと言える。特に、2回目と4回目に有意差が認められたのは、自身の問題解決の設計・計画について考える2回目の授業の方が、犠牲となる要求を自分ごととして捉えることができたためであると考えられる。

番号02の質問項目では有意差は認められなかった。1回目の調査から平均値が高いことから、大学生にとって「折り合いを付ける」という言葉は日常的に聞いたり使用したりする言葉であったと推察できる。しかし、2回の授業の前後で平均値が上昇しており、4回目の調査では3.50と高いことから、アプリケーションの操作を通して技術科における「折り合いを付ける」に対してより具体的なイメージを持てるようになったと考えられる。

4.2 調査項目②「最適化の理解」について

4回の質問紙調査ごとの「質問2 番号03」の回答の平均値と分析結果を表10に示す。

表10 「最適化の理解」の調査結果

番号	項目		1回目	2回目	3回目	4回目	p 値	判定
03	技術によって問題を解決する際の最適な解決策とはどのような解決策であるかわかる。	平均値	2.25	2.88	3.00	3.19	0.000	**
		標準偏差	0.58	0.81	0.73	0.66		

**=p<.01 *=p<.05

番号03の質問項目では有意差が認められた ($F(3, 45) = 8.01, p < .01$) ため、ボンフェローニ法による多重比較を行なった。その結果、1回目と3回目、1回目と4回目に1%水準で、1回目と2回目に5%水準で有意差が認められた。1回目の授業の前後で平均値が有意に上昇したことから、1回目の授業の活動を通して、既存の技術が最適化されてきたことに気付けたと言える。2回目の授業では、自身の設計・計画を最適化するためにアプリケーションを操作する。したがって、2回目の授業の前までに、最適な解決策とは何か理解ができるようにする必要があるが、それができたことが確認できた。

2回の授業で用いたワークシートの記述を評価した。各基準に該当する人数を表11に示す。

表11 ワークシートの記述の評価結果

授業\評価	A 評価	B 評価	C 評価	合計
1回目	7(43.8%)	5(31.3%)	4(25%)	16
2回目	8(50%)	7(43.8%)	1(6.3%)	16

1 回目の授業ではB評価以上が75%であったが、2 回目の授業では約94%がB評価以上となり、ほぼ全員が「最適な解決策」についておおむね満足できる説明ができていた。2 回目の記述がC評価となった協力者が1名いたが、この協力者の1 回目の記述はA評価であるため、理解はできていたが何らかの理由で記述はしなかったと考えられる。このため、2 回の授業を通して全員が「最適化の理解」ができていたと言える。

A評価の記述の協力者は1 回目約44%、2 回目50%であった。つまり、表8の評価基準に照らすと、約5割の協力者が「最適な解決策とは、2 つ以上の点に着目し、トレードオフを踏まえて検討した解決策である」と理解して、自身の設計・計画について考えることができていたと言える。

4.3 調査項目③「技術の見方・考え方の理解」について

4 回の質問紙調査ごとの「質問1」の回答を分散分析にて比較した。そのうち有意差が認められた項目は、グループ番号1の番号03 ($F(3, 45) = 4.47, p < .01$)、番号04 ($F(3, 45) = 4.20, p < .05$)、グループ番号3の番号10 ($F(3, 45) = 7.84, p < .01$) の3つのみであった(表12)。

表12 「技術の見方・考え方の理解」の調査結果の一部

グループ 番号	番号		1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	p 値	判定
1	03	平均値	3.31	2.69	2.81	2.50	0.008	**
		標準偏差	(1.01)	(1.01)	(1.17)	(1.21)		
	04	平均値	2.44	1.81	2.13	2.50	0.011	*
		標準偏差	(0.96)	(0.83)	(0.89)	(0.97)		
3	10	平均値	2.31	2.44	2.94	3.13	0.000	**
		標準偏差	(0.95)	(1.03)	(0.85)	(0.81)		

**= $p < .01$ *= $p < .05$

自由度はいずれも3と45

グループ番号1, 2の項目は平均値が減少し、グループ番号3, 4の項目は平均値が増加すると仮定をしていたが、以上の3つ以外は有意差が認められなかった。しかし、有意差が認められる程ではないものの、ある一定量仮定通りに変化している項目もあったため、表13に最初と最後の平均値の変化を示す。

表13の判定の列に印が付いている項目は、0.25以上平均値が変化した項目であり、○は増加、△は減少を表している。6個の○のうち5個はグループ番号3または4の項目に付いていることや、△が付いた項目はグループ番号1の項目のみであった。このことから、2回の授業を通して協力者は技術の見方・考え方にどちらかと言えば近いものを十分であると判断し、遠いものを十分ではないと判断できるようになった傾向があると言える。

表 13 質問 1 の回答の平均値の変化

グループ 番号	番号	①1回目	②4回目	②と①の差	判定
1	01	2.81	2.69	-0.12	
	02	2.38	2.13	-0.25	△
	03	3.31	2.50	-0.81	△
	04	2.44	2.50	0.06	
	05	2.50	2.75	0.25	○
2	06	2.75	2.94	0.19	
	07	3.44	3.63	0.19	
	08	3.13	3.25	0.12	
3	09	3.00	3.25	0.25	○
	10	2.31	3.13	0.82	○
	11	2.56	2.63	0.07	
	12	2.38	2.81	0.43	○
4	13	2.69	3.13	0.44	○
	14	2.50	3.00	0.50	○
	15	3.13	3.19	0.06	
	16	2.44	2.63	0.19	

1 回目の授業で技術の見方・考え方に気付き、2 回目の授業で技術の見方・考え方を働かせることができたかは、表 11 に示したワークシートの記述の評価結果から判断する。

その結果、1 回目の授業では、43.8%が技術の見方・考え方に十分満足できる水準で気付くことができ、31.3%がおおむね満足できる水準で気付くことができた。2 回目の授業では、50%が技術の見方・考え方を十分満足できる水準で働かせることができ、43.8%がおおむね満足できる水準で働かせることができた。

5. おわりに

本研究では、技術科において、最適な解決策を導く過程で相反する複数の要求が複雑に影響し合うことを生徒自身が捉えてトレードオフを細かく検討できる学習を実現するアプリケーションの開発を行った。授業を行い、アプリケーションを用いる効果を調査した。その結果、トレードオフや最適化の理解、技術の見方・考え方に気付いたり働かせたりすることができるようになることに一定の効果があることが確認できた。

今後は中学生を対象にした授業実践や、トレードオフを検討する際の根拠となる原理・法則の一覧の再検討、iPad 以外の端末への対応を行う所存である。

注

- 1) 文部科学省『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 技術・家庭編』(開隆堂, 2018), 18.
- 2) 同書, 19.
- 3) 秋山政樹・本多満正・管家久貴・佐々木純・花田守「アルゴリズム構築の協同学習を支援するタブレット端末用アプリの開発」『鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要』第24巻(2015), 81-90.
- 4) 文部科学省初等中等教育局学びの先端技術活用推進室「GIGAスクール構想による1人1台端末環境の実現等について」
(https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_chousa02-000007680-6.pdf, 2021年9月13日20時00分閲覧).
- 5) 中央教育審議会『「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～(答申)』(2021), 26.
(https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt_syoto02-000012321_2-4.pdf, 2021年9月14日1時30分閲覧)
- 6) 村松浩幸・原山千秋・原山康則「中学生に栽培技術におけるトレードオフの理解を促すシナリオゲーム教材の開発」『日本教育工学会論文誌』第40巻, Suppl号(2016), 173-176.
- 7) 谷田親彦・向田識弘・田鎖浩太・田中誠也「技術科授業でトレード・オフの思考・判断を導く学習の枠組みと実践的指導方法」『日本産業技術教育学会誌』第58巻, 第2号(2016), 81-89.
- 8) 「TECH未来」とは特定非営利活動法人東京学芸大こども未来研究所が開発したエネルギー変換学習用の教材である。
- 9) 坂口竜之介「多目的最適化の視点を取り入れた技術科問題解決学習に関する研究」, 令和元年度茨城大学大学院教育学研究科修士論文(2020).
- 10) 文部科学省, 前掲書, 22.
- 11) 文部科学省, 前掲書, 27.
- 12) 文部科学省, 前掲書, 25.
- 13) 文部科学省, 前掲書, 33.
- 14) 文部科学省, 前掲書, 40.
- 15) 文部科学省, 前掲書, 48.
- 16) 村松浩幸・原山千秋・原山康則, 前掲書, 174.
- 17) 谷田親彦・向田識弘・田鎖浩太・田中誠也, 前掲書, 83.
- 18) 田口浩継ほか64名『新編 新しい技術・家庭 技術分野 未来を創るTechnology』(東京書籍, 2016).
- 19) 安東茂樹ほか71名『技術・家庭 [技術分野]』(開隆堂, 2016).
- 20) 坂口竜之介, 前掲書, 42-43.