

# 多目的最適化の視点を取り入れた社会の発展と技術の在り方を考える学習に関する研究

田口 喜与志  
教科領域コース

## 1. はじめに

学習指導要領（平成 29 年告示）解説 技術・家庭編<sup>1)</sup>技術分野（以下、技術分野を技術科とし、本解説の技術分野を技術科解説とする）のねらいは「技術を評価、選択、管理・運用、改良、応用することによって、よりよい生活や持続可能な社会を構築する資質・能力を育成すること」とされており、技術科「社会の発展と技術」の学習はこのねらいと高い共通性をもつ。また、このねらいの達成には、技術の見方・考え方や技術の概念の中核と言える「技術の最適化」に基づいて学習を進めることが重要となる。坂口ら<sup>2)</sup>は、技術科の問題解決的な学習に多目的最適化の視点を取り入れ、最適化の達成度を定式化し、中学生が「どの程度最適化されたか」を把握しながら学習を進めることができる学習法を提案している。しかしながら、坂口ら<sup>2)</sup>の研究では、定式化によって算出される値の表現方法や制約条件の設定に改善の余地があった。

そこで本研究では、坂口ら<sup>2)</sup>の検討を踏まえ、多目的最適化の状況を可視化するとともに制約条件を設定可能な手法および教材を開発するとともに、中学生が多目的最適化の視点を取り入れながら製品を適切に評価し、選択や改良などを工夫し創造しながら考えることのできる授業を開発し、その効果を検証した。

## 2. 多目的最適化の基本的な考え方

一般に、技術による解決が期待される問題は、機能、コスト、安全性、環境性など、個別に最大化もしくは最小化を目指す複数の目的関数を持つ多目的最適化問題として捉えることができる。坂口ら<sup>2)</sup>は、個別の目的関数を技術科問題解決学習において検討される評価基準<sup>3)</sup>とし、問題解決全体の目的関数を以下のような重み付き線形和として定式化した。

$$p(\mathbf{x}) = w_1 f_1(\mathbf{x}) + w_2 f_2(\mathbf{x}) + \dots + w_n f_n(\mathbf{x}) \quad (1)$$

ここで、最適化の達成度を表す目的関数  $p(\mathbf{x})$  に対して、 $f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x})$  は各評価基準の到達度（最適化の程度）、 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  は変数、 $w_1, w_2, \dots, w_n$  はその評価基準をどの程度重視して、設計・評価を行うかを表す重みであり、 $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$  となる。坂口ら<sup>2)</sup>の研究では、制約条件を各評価基準の到達度にものみ設定しているため、その際の最適解は「各評価基準の到達度が最大値を取るただ 1 点」となり、評価規準間のトレードオフの考え方に繋がるパレート最適を表現することができなかった。

そこで本研究では、各評価基準の到達度の合計値に制約を設けることで、パレート最適を擬似的に表現する方法を取った。

### 3. 開発した教材

#### 3.1 多目的最適化の視点を可視化する手法

本研究では、坂口ら<sup>2)</sup>の式 (1) に基づいて、各評価基準の重みを横軸に、各評価基準の到達度を縦軸に取った棒グラフを考え、 $w_i \times f_i(x)$ を  $i$  番目 ( $i = 1 \sim n$ ) の棒の面積  $S_i$  として、全体の目的関数  $p(x)$  を以下の式 (2) のように表す手法を考案した。

$$p(x) = S_1 + S_2 + \dots + S_n \quad (2)$$

この手法によって描かれるグラフを「重み付き棒グラフ (以下、グラフとする)」と呼び、その模式図を図 1 に示す。このように、評価基準の重み  $w_i$  と到達度  $f_i(x)$  の積、すなわち各棒グラフの面積  $S_i$  で各評価基準の達成度を表し、その総和として目的関数、すなわち最適化の達成度  $p(x)$  を表すことで、坂口ら<sup>2)</sup>の方法では数値としてしか表現できなかった最適化の達成度を可視化した。

#### 3.2 重み付き棒グラフの教材化

考案した手法を用いて、製品の評価・分析を行うためのアプリケーション (以下、アプリとする) を開発した。その全体像を図 2 に示す。ここでは、これまでに述べた「重み」に「優先度」という言葉を用い、できるだけ整数で入力できるように  $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 = 10$  とした。各評価基準の到達度には「評価点」という言葉を用い、制約条件を  $1 \leq x \leq 10$  かつ  $f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x) + f_5(x) \leq 30$  とした。評価基準の評価は、達成していることを前提とした「達成/未達成」の 2 値で評価する「基本機能」、「倫理観」の評価基準、程度によって評価する「機能性」、「デザイン」、「経済性」、「環境性」、「安全性」の評価基準 (以下、5 つの評価基準とする) で行うことにした。

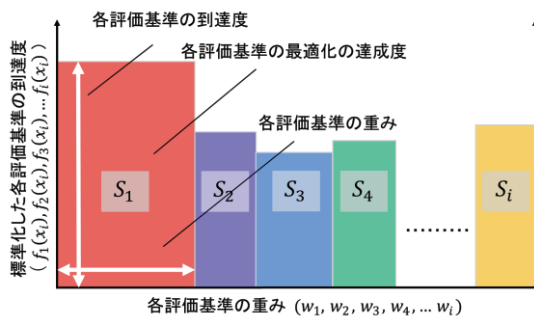


図 1 重み付き棒グラフ



図 2 開発した教材の全体像

### 4. 開発した授業

技術科の学習への適用を検討した多目的最適化の視点とアプリを用いた内容「A 社会の発展と材料と加工の技術」における全 3 時間の授業を開発した。授業の流れを図 3 に示す。第 1 時では、重みとその技術あるいは製品が開発された当時の開発者の視点、評価点を当時の使用者の視点に設定し、それぞれの年代・視点からアプリを用いて最適化の達成度を評価する。生徒はアプリを用いた評価・分析を通して、「時代に伴った重みの変化」や「製品による重み付けの違い」、「開発者の意図 (重み) と使用者の評価 (評価点) とのズレ」などに気づき、さらに、幅の広い (優先度の大きい) 評価基準が高く評価される問題解決は最適化の達成度が大きくなるというグラフの特性に気づく。さらに生徒はその気づきを基に、材料と加工の技術が果たしてきた役割について考察する。第 2 時以降は、4 人 1 班の開発チームとなり、未来の製品開発を考える。生徒は、教師が設定した未来の

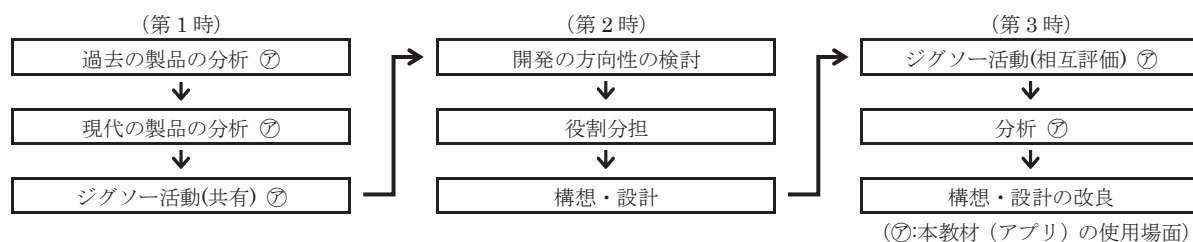


図3 授業の流れ(概要)

シミュレーションから30年後の未来の問題を見だし、その解決に向けた方向性(優先度)を検討する。この活動によって、生徒の製品開発の方向性を優先度として数値で表現することで、役割分担後の活動で、どの評価基準の向上やトレードオフを検討しなければならないかの見通しを持つことができる。第3時では、第2時に構想した製品について、ジグソー活動を用いて相互評価を行う。相互評価の場面では、発表に対し5つの評価基準からアプリと同様の制約条件で評価する。生徒は他者から得た評価をアプリに入力し、グラフを生成する。その後は班に戻り、互いに生成したグラフを比較し、評価点(グラフの高さ)や方向性と他者の評価の関係(重み付けと評価点とのズレ)について分析することで構想の改良を図る。これらの学習を通して、生徒が技術の最適化を中核とした技術の概念の理解を深め、評価に基づく技術の適切な選択、管理・運用や新たな発想に基づく改良や応用について考え、技術を工夫し創造しようとする資質・能力を獲得することを目指した。

## 5. 効果の検証方法

### 5.1 調査の方法

開発した教材と授業の効果を検証するために、授業の実践と質問紙による調査を行った。調査の対象は、国立I大学教育学部附属中学校の第1学年の生徒108名、実施日は、2025年12月17日～2026年1月22日である。調査は質問紙により、「1時間目の開始前(以下、授業前とする)」と「3時間目終了時(以下、授業後とする)」の計2回行い、有効回答数は79であった。質問紙は、大きく「技術の概念」、「技術ガバナンス」、「技術イノベーション」の3要素で構成した。また、技術ガバナンスは、「評価」、「選択」、「管理・運用」、技術イノベーションは「改良」、「応用」、「創造」の要素に細分化して質問項目(以下、No.とする)を設け、全25問に対し、7件法による回答を得た。

### 5.2 分析の方法

質問紙の結果を1～7に得点化し、逆転項目の10項目は反転処理を行った。回答の分布を確認したところ一部の項目で天井効果が見られ、正規性が十分でないと判断したため、授業の前後の比較には、ノンパラメトリック検定であるウィルコクソンの符号付順位和検定を用いた。効果量は順位双列相関係数( $r$ )を用いて算出した。一般に $r$ は $-1 \leq r \leq 1$ を取る値であり、本研究においては、「授業前-授業後」で分析を行ったため、 $-1$ に近づくほど効果量が高いことを表す。

## 6. 結果および考察

全25問の質問項目の授業前後の回答を比較した結果、 $p$ 値において16項目で有意差、2項目で有意傾向が認められ、多くの項目で肯定的な変化がみられた。特に「評価」と「選択」の調査結果(表1)では、8項目中6項目で有意な変化が認められ、特に平均値( $\mu$ )で顕著な増加が見られた

No.3 と No.8 では、いずれも  $p < 0.001$  で有意となった。このことから、多目的最適化の視点を取り入れた優先度（重み）と評価点の2つを用いた評価活動が、生徒の評価し選択する際の意識の向上に寄与したと考えられる。さらに、「創造」の調査結果（表2）では、3つの質問項目全てにおいて有意差が認められた。これは、本授業で行った未来の優先度の検討や教材を用いた改良点の分析が生徒の工夫し創造しようとする意識の向上に寄与したと考えられる。一方、「改良」の調査結果（表3）では、3つの質問項目のうち、No.13 と No.14 は有意差が得られず、効果が限定的となる結果となった。本授業では、本教材を用いて改良点を分析する活動を設定したものの、設定した3時間の授業内で十分に改良点を考える時間を確保できなかったことが影響したと考えられる。

表1 「評価」、「選択」の調査結果

要素	No.	授業前		授業後		$p$ (前-後)	$r$ (前-後)
		$\mu$	SD	$\mu$	SD		
評価	1	6.10	1.01	6.42	0.84	0.011*	-0.45
	2	6.01	1.08	6.03	0.99	0.802	0.04
	3	4.71	1.51	5.35	1.36	<0.001***	-0.52
	4	5.35	1.44	5.80	1.21	0.007**	-0.46
選択	5	5.99	0.81	6.14	0.84	0.183	-0.23
	6	5.87	1.03	6.20	0.88	0.009**	-0.46
	7	5.76	1.03	6.14	0.81	0.002**	-0.53
	8	5.06	1.41	5.84	1.03	<0.001***	-0.71

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ , \*\*\* :  $p < 0.001$

表2 「創造」の調査結果

要素	No.	授業前		授業後		$p$ (前-後)	$r$ (前-後)
		$\mu$	SD	$\mu$	SD		
創造	20	5.46	1.38	6.09	0.89	<0.001***	-0.68
	21	5.18	1.29	5.65	1.21	0.002**	-0.50
	22	4.46	1.59	5.16	1.53	<0.001***	-0.51

\*\* :  $p < 0.01$ , \*\*\* :  $p < 0.001$

表3 「改良」の調査結果

要素	No.	授業前		授業後		$p$ (前-後)	$r$ (前-後)
		$\mu$	SD	$\mu$	SD		
改良	13	5.76	1.12	5.97	0.95	0.139	-0.25
	14	5.81	0.95	6.03	0.96	0.07†	-0.28
	15	4.18	1.56	4.91	1.62	<0.001***	-0.59

\*\* :  $p < 0.01$ , \*\*\* :  $p < 0.001$

## 7. おわりに

本研究では、多目的最適化の視点を可視化する手法および教材を開発するとともに、中学生が多目的最適化の視点を取り入れながら製品を適切に評価し、適切な選択や改良、応用などを工夫し創造して考えることのできる授業を開発し、その効果の検証を行った。本研究の成果を要約すると以下のようなになる。

- (1) 最適化の達成度を可視化する重み付き棒グラフとそれを描画する教材を開発した。
- (2) 内容「A (3) 社会の発展と材料と加工の技術」の学習において多目的最適化の視点を取り入れた製品の評価や未来の製品開発の方向性および構想について考える授業を開発した。
- (3) アンケート調査の結果から、開発した授業が生徒の技術の概念を中心とした意識の向上に一定の効果があり、特に「創造」について高い効果があることが明らかになった。

以上のように、本研究で開発した教材および授業が、限られた時間（3時間）の中でも、技術の概念などの意識の形成に対して有益となる可能性を示すことができた。今後は、本授業を実践していない学校へのアンケート調査を行い、さらなる検証を行う必要がある。また、開発した教材の「生活や社会を支える技術」「技術による問題の解決」の学習における効果的な活用法の検討や年間を通した実践を行うなど、技術科の授業全体を通した検討を進めていく所存である。

## 参考文献

- 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，pp.18-32（2018）
- 2) 坂口竜之介，小祝達朗，野崎英明：多目的最適化の視点を取り入れた技術科問題解決学習法の提案，日本産業技術教育学会 第62回全国大会（静岡）講演要旨集，p.22（2019）
- 3) 花原和之：“最適設計の基本的な考え方”，日本機械学会関西支部，第262回講習会「製品開発，技術開発のための最適設計技術と応用」，pp.1-14（2003）