

## システム工学の考え方に基づく中学校技術科における最適化概念の検討

## Examination of the Concept of Optimization in Junior High School Technology Education Based on the Discipline of System Engineering Science

山下 義史\* 森山 潤\*\*  
YAMASHITA Yoshifumi MORIYAMA Jun

本研究では、中学校技術・家庭科技術分野における見方・考え方として提唱された最適化の概念を俯瞰的に把握するために、システム工学の文献から関連する要素を抽出した。2017年に告示された学習指導要領によると技術分野の見方・考え方は、技術の開発・利用の場面で用いられる「生活や社会における事象を、技術との関わり方の視点で捉え、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」とされている。この見方・考え方の鍵概念である最適化概念について、その背景学術体系としてのシステム工学に着目し、文献から関連する要素を抽出した。その結果、上位概念として「ユーザ視点」、「制約条件」、「モデル化」、「問題解決」、「評価」の5カテゴリが抽出された。また、各上位概念のもとで「問題解決に関連する事柄や要素の検討」などの下位概念計31項目の要素を抽出することができた。

キーワード：中学校技術・家庭科技術分野、システム工学、見方・考え方、最適化

Key words : junior high school technology / home economics technology field, system engineering, viewpoint and way of thinking, optimization

## 1. はじめに

2017年7月に告示された中学校学習指導要領（以下、新学習指導要領）では、教育課程全体を通して育成を目指す資質・能力を明確化するとともに、その実現に必要な授業改善に向けた基本的な考え方が示された<sup>1)</sup>。特に、これからの学校教育の質を高める視点として「主体的・対話的で深い学び」の推進は、各教科における授業改善の方向性が示すものである。「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けて、新学習指導要領総則第1章では、言語活動や問題解決学習の充実やグループなどで対話する場面の設定等によって授業改善を図っていくことを示すと同時に、「見方・考え方」を働かせることを重要な鍵として挙げている。この見方・考え方とは、各教科を学ぶ本質的な意義の中核をなすものと位置づけられ、「『どのような視点で物事を捉え、どのような考え方で思考していくのか』というその教科等ならではの物事を捉える視点や考え方」と定義されている。これを児童生徒が学習のみならず、人生においても自在に働かせることができるようにすることが求められている。中学校技術・家庭科技術分野（以下、技術科）においても、新たな内容「技術の見方・考え方」に気付き、課題の解決に必要な知識・技能を習得させる内容（「生活や社会を支える技術」）を加えた構成の必要性が示されており、教科および分野の目標に「技術の見方・考え方を働かせる」ことが加えられた。中学校学習指導要領 技術・家庭科技術分野の改訂のポイントによると、まず【生活や社会を支えている技術】について調べる活動などを

通して、技術に関する科学的な原理・法則と、技術の基礎的な仕組みを理解させるとともに、これらを踏まえて、技術が生活や社会における問題を解決するために、社会からの要求、安全性、環境負荷や経済性などの視点の長所・短所の折り合いを付けて生み出されてきているといった「技術の見方・考え方」に気付かせる。

次に、【生活や社会を支える技術】で気付いた技術の見方・考え方を働かせ、生活や社会における技術に関わる問題を解決することで、理解の深化や技能の習熟を図るとともに、技術によって課題を解決する力や自分なりの新しい考え方や捉え方によって解決策を構想しようとする態度などを育成する。

そして、【生活や社会を支える技術】における技術の見方・考え方の気付きや、【技術による問題の解決】における技術による問題の解決の学習を踏まえ、社会の発展のための技術の在り方や将来展望を考える活動などを通して、技術についての概念の理解を深めるとともに、よりよい生活や持続可能な社会の構築に向けて、技術を評価し、適切に選択、管理・運用したり、新たな発想に基づいて改良、応用したりする力と、社会の発展に向けて技術を工夫し創造しようとする態度を育成する。

このように教科および分野の目標に「技術の見方・考え方を働かせる」ことが重要であるとされ、「技術の見方・考え方を働かせ」ながら学習を進めていくことが求められている。

技術の見方・考え方とは、技術の開発・利用の場面で用いられる「生活や社会における事象を、技術との関わり

\*兵庫教育大学大学院（修士課程）人間発達教育専攻生活・健康・情報系教育コース

令和2年7月17日受理

\*\*兵庫教育大学大学院人間発達教育専攻生活・健康・情報系教育コース 教授

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」とされ、技術を「最適化」することが重要な鍵概念となっている。

一方、最適化の概念を中核に据えた学問分野としてはシステム工学がある。日本工業規格によるとシステム工学とは「システムの目的を最もよく達成するために対象となるシステムの構成要素、組織構造、情報の流れ、制御機構などを分析し、設計する技術」と定義されている。しかし、システム工学における最適化の概念と技術科における見方・考え方との関連性についてはこれまで十分に検討されてきたとは言えないのが現状である。そこで、本研究では、システム工学の考え方に基づいて技術科における最適化概念の検討を行うこととした。

## 2. システム工学における最適化概念

### 2.1 システム工学と最適化の概念

JISZ8121<sup>3)</sup>によればシステム工学における最適化とは、「システムの目的を、与えられた環境・条件のもとで最もよく達成させること」と定義されている。これを、新学習指導要領と照らし合わせると「生活や社会における事象を、技術との関わり方の視点で捉える」ために現在の「システムの構成要素、組織構造、情報の流れ、制御機構などを分析」することが重要であり、「社会からの要求、安全性、環境負荷や経済性などに着目」することで「与えられた環境・条件」を把握し、「技術を最適化すること」が「システムの目的を最もよく達成させること」につながっていると見える。以上の点から技術科の見方・考え方はシステム工学の考え方との関係性が強いと考えられる。

### 2.2 システム工学に関する文献の選定

システム工学の教科書として使用されている次の3つの文献を使用した。

- (i) 田村坦之 (1999) : システム工学, オーム社<sup>4)</sup>
- (ii) 平井一正 (1994) : システム工学, 放送大学教材<sup>5)</sup>
- (iii) 室津義定, 大場史憲, 米沢政昭, 藤井進 (1980) : システム工学, 森北出版株式会社<sup>6)</sup>

### 2.3 システム工学に関する文献の内容構成

- (i) 田村坦之 (1999) : システム工学

#### 1 章 システム工学への招待

##### 1.1 システム工学とは

##### 1.2 システム工学は何の役に立つか - 横形工学としてのシステム工学 -

##### 1.3 本書の構成

##### 1.4 システム工学の学びかた

#### 2 章 システムをどのように表現すればよいか

##### 2.1 モデリングの目的を明らかにしよう

##### 2.2 モデルを分類してみると

##### 2.3 数学モデルの作りかた

##### 2.4 図的モデルの作りかた

#### 3 章 コンピュータの上でシステムを模擬すると

##### 3.1 確定システムのシミュレーション

##### 3.2 制御システムのシミュレーション

##### 3.3 不規則システムのシミュレーション

##### 3.4 定性的な知識を使ったシミュレーション

##### 3.5 シミュレーションのまとめ

#### 4 章 システムの最適化を図るには

##### 4.1 最適化とは

##### 4.2 最適化問題を定式化するには - 数理計画のいろいろ -

##### 4.3 単一目的最適化問題の解きかた

##### 4.4 複数目的最適化問題の解きかた

#### 5 章 システムの安全性・信頼性・保全性を高めるには

##### 5.1 システムの信頼性の考えかた

##### 5.2 信頼性を評価するものさし

##### 5.3 故障に対する対処のしかた

##### 5.4 ソフトウェアや人間の信頼性を測るには

##### 5.5 安全性とシステム監査

ほか

- (ii) 平井一正 (1994) : システム工学

#### 1- 序論

##### 1.1 システムとは

##### 1.2 システム工学とは

##### 1.3 システム概念

#### 2- 種々のシステム

##### 2.1 システムの分類

##### 2.2 分野ごとのシステムの例

#### 3- システム工学とは

##### 3.1 システムの発展

##### 3.2 システムの複雑、大規模化の原因

##### 3.3 システム工学の必要性

##### 3.4 システム工学の特徴

##### 3.5 システム関係の他の科学と技術

#### 4- システム工学のアプローチ

##### 4.1 アプローチの方法

##### 4.2 チーム リーダ

#### 5- システムの表し方 (モデリング)

##### 5.1 モデリングとその一般的注意

##### 5.2 モデルの種類

##### 5.3 モデリングの方法

#### 6- シミュレーション

##### 6.1 はじめに

##### 6.2 確定モデルのシミュレーション

##### 6.3 確率モデルのシミュレーション

##### 6.4 待ち行列シミュレーション

##### 6.5 シミュレーション言語

##### 6.6 視覚画像によるシミュレーション

#### 7- 構造モデルとファジィ

##### 7.1 必要性和目的

##### 7.2 構造モデル

##### 7.3 ファジィモデル

#### 8- 価値と評価のモデル

##### 8.1 価値観のモデル化

##### 8.2 聖ペテルスブルグの逆説

##### 8.3 期待効用モデル

- 8.4 多属性効用関数とその同定
- 8.5 評価の事例：道路環境アセスメントと保全対策の評価
- 9- システムの特性と解析
  - 9.1 システムの方程式
  - 9.2 ダイナミカルシステムの状態方程式
  - 9.3 出力の一般解
  - 9.4 可制御性と可観測性
  - 9.5 入出力関係微分方程式表現
  - 9.6 伝達関数表現
  - 9.7 安定性
  - 9.8 特性の解析
- 10- システムの異常・故障と信頼性
  - 10.1 物質，エネルギー，情報から見たシステムの構造と特性
  - 10.2 信頼性
  - 10.3 保全性
- 11- システムの最適化 (1)
  - 11.1 最適化とはどういうことか
  - 11.2 最適化問題をどう定式化するか
  - 11.3 最適化問題の解法
- 12- システムの最適化 (2)
  - 12.1 動的システムの最適化とは
  - 12.2 最適制御問題の定式化
  - 12.3 最適制御の解法

ほか

(iii) 室津義定他 (1980)：システム工学

- 1. システムとシステム工学
  - 1.1 システム
  - 1.2 システム工学
  - 1.3 システム開発におけるシステム工学の役割
  - 1.4 システム工学で用いられる主な手法
- 2. システムの計画と評価
  - 2.1 システムの価値
  - 2.2 システムの経済性評価
  - 2.3 費用・便益分析
  - 2.4 システムの総合評価
  - 2.5 プロジェクト・スケジューリング
- 3. データの統計的解析
  - 3.1 統計データの処理
  - 3.2 確率分布
  - 3.3 確率分布のあてはめ
  - 3.4 回帰分析
- 4. モデリングとシミュレーション
  - 4.1 システム解析とモデル
  - 4.2 システム解析の簡単な事例
  - 4.3 モデリング
  - 4.4 システムの構造の解析
  - 4.5 シミュレーション
  - 4.6 乱数の発生
- 5. 最適化手法
  - 5.1 線形計画法

- 5.2 非線形計画法
- 5.3 最適解の探索法 (制約のない場合)
- 5.4 最適解の探索法 (制約のある場合)
- 5.5 動的計画法
- 5.6 アナログ計算機による最適化法

ほか

## 2.4 抽出の方法

まず、それぞれの文献の中から、システム工学における問題解決のアプローチ方法を抽出した。次に、最適化について記述されているところに着目し概念を抽出した。また、その最適化に関するシステム工学の考え方の項目について着目し、概念の抽出を行った。

## 3. システム工学に基づく技術科における最適化概念の検討

### 3.1 上位概念の抽出

#### 3.1.1 「最適化」概念

最適化の概念について文献 (i) ~ (iii) の言説を抽出した。その結果、(i) の文献によると、「どのような目的のためにモデルを作成するのか、まずモデリングの目的を明確にしなければならない。同じシステムでも目的によって作られるモデルは異なってくる。意思決定問題では、何に関して最適化するのか決めることが重要であり、意思決定の問題を最適化問題として定式化 (モデリング) するとき、「何に関して最適化するか」に相当するものを目的関数として定式化する」とある。

(ii) の文献によると、最適化の問題は「与えられたシステムにおいて、与えられた制約条件の下で、与えられた評価基準に関して最適な選択、決定、配置、運用などを求めることである」とある。また、「最適化問題をできる限り一般的な形で定式化する」とある。

(iii) の文献によると、「最適化問題は与えられた制約条件を満たし目的関数を最小または最大にする変数を決定する問題として記述できる」とある。

これらの言説に共通するのは、モデル化することで可視化した問題の中で、できるだけ良い解を見つけようと努力することであると考えられる。これを技術の見方・考え方、技術の概念、問題解決と関連づけると以下のようなになる。

技術分野で育成することを目指す資質・能力は、単に何かをつくるという活動ではなく、技術の見方・考え方を働かせつつ、生活や社会における技術に関わる問題を見だし<sup>(a)</sup>て課題を設定<sup>(b)</sup>し、解決方策が最適なものとなるよう設計・計画<sup>(c)</sup>し、製作・制作・育成<sup>(d)</sup>を行い、その解決結果や解決過程を評価・改善<sup>(e)</sup>するという活動の中で効果的に育成できると考えられる<sup>2)</sup>。(学習指導要領解説 p10)

(a) に関わることは、「ユーザ視点 (問題意識)」に関わることである。(b) に関わることは「制約条件」に関わることである。(c) に関わることは「モデル化」に関

わることである。(d)に関わることは「解決方法」に関わることである。(e)に関わることは「評価」に関わることである。そこで、これらの観点に基づいてシステム工学の文献から関連するそれぞれの概念の抽出を試みた。

### 3.1.2 「ユーザ視点」の抽出

ユーザ視点について文献には、次のように述べられている。まず、(i)には、「意思決定者が何に関して最適化しようとしているのかは十分に吟味する必要がある」と述べられている。また、(ii)には、「システムの要素の1つに人間が含まれることは、航空管制システムや、オフィスシステム、社会システムなど、その例は多い」とある。(iii)では「システムとは定義で述べたように目的指向の概念であり、目的とは人間がより良く生きるために生み出したものである」とされている。

### 3.1.2 「制約条件」概念

制約条件について文献には、次のように述べられている。(i)によると、「相互関係性をモデル化すると、そのシステムにおいて考慮すべき制約条件が明らかになる」と記述されている。(ii)では「様々な制約条件である。予算範囲内で、決められた面積の土地に、法規の枠の中で、などいずれも最適化を考える上で前提としなくてはならない制約条件である」とされている。(iii)によると、「システムの設計においては、一般に、経済的な制約、技術的制約、時間的制約、資源の制約、環境上の制約その他諸々の制約の下に要求される性能を持つ」と述べられている。

### 3.1.3 「モデル化」概念

モデル化について文献では、次のように述べられている。(i)では「対象とするシステムの特徴や挙動をうまく表す数学モデルや図的モデルなどの抽象的モデルを作ることをモデリング (modeling) といい (p5) どのような目的のためにモデルを作成するのか、まずモデリングの目的を明確にしなければならない。同じシステムでも目的によって作られるモデルは異なってくる。(p6)」と述べられている。(ii)では「目的がきまり、機能がきまると、目的のシステムの具体的な解析と設計に移るが、そのとき、自分が考えているシステムを人にわかってもらうためには、システムを何らかの方法で表現しなければならない。この操作をモデリングという。(p32)」と述べられている。また、(iii)では「システムの単純化 (simplification) と抽象化 (abstraction) を行い、解析に適した形でシステムを表現することが必要である。このように表現したものはモデル (model) とよばれ、システム解析に限らず科学的研究に共通して用いられる。モデルを作成することをモデル化、モデリング (modeling)、またはモデルビルディング (model building) などとよぶ。(p95)」と述べられている。

### 3.1.4 「解決方法」概念

解決方法について文献には、次のように述べられている。(i)では「システムの諸問題を解決するうえでもシステム工学は重要な役割を果たす」と述べられて

いる。(ii)では「システムの目的が実現できるためには、どんな要素が必要か、またこれをいかに組み合わせ、どのような設計をするべきか、また出来上がったシステムを常にうまく使いこなすには、どんな運用が必要か、などの問題を解決しなければならない。」と述べられている。(iii)では「システム開発の過程の各段階において、問題の解決は次のような6つの手順から成り立っている。1.問題の設定 2.目的の選択 3.システム合成 4.システム解析 5.システムの選択 6.実行計画 これらは互いに複雑に関連し合っている。」と述べられている。

### 3.1.5 「評価」概念

評価について文献には、次のように述べられている。(i)では「モデルを作成したら、その精度を検証する必要がある」と述べられている。(ii)では「何が最適かを判断する評価の基準である。あるいは、最適化の目標と言ってもいい」とされている。(iii)では「システムの価値は、価格、性能、信頼性、納期、両立性、安全性、無公害性など種の評価項目によって評価される」と述べられている。

以上のように、技術科における技術の見方・考え方、技術の概念、問題解決と関連から設定した5つの観点に即して、システム工学には関連する言及を見出すことができた。言い換えれば、システム工学における最適化概念の全てが技術科に適用することはできないものの、少なくとも技術科でいう最適化概念はシステム工学の範疇で捉えうることが示唆された。そこで、これらを最適化概念の上位概念として設定することとした。

## 3.2 下位概念の抽出

続いて、それぞれの上位概念を把握するための下位概念の抽出を行った。

### 3.2.1 「ユーザ視点」の下位概念の抽出

上位概念「ユーザ視点」についてさらに詳細に文献の言説を整理した。

まず、(i)では「意思決定者」、(ii)では「人間を主体にした方策を追求するシステム工学 (p74)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決において解決結果を享受し、評価するユーザの存在を想定している点である。そこで、「ユーザの想定」を下位概念として設定した。

次に、(i)では「どのような目的のためにモデルを作成するのか (p6)」(ii)では「どういう目的でモデルを作るかということをもまず明らかにすべきである。(p39)」と述べられている。これらの言説に共通することは、想定したユーザの抱える問題を適切に捉えることの重要性である。そこで、これらの言説から、「ユーザの問題把握」を下位概念として設定した。

同様に、(i)では「意思決定者の望む解が得られるようにモデル作りをする (p73)」(iii)では「システム工学は、要求 (needs) を満たす新しいシステムを創出する (p4)」と述べられている。これらの言説に共通することは、想定したユーザの抱えるニーズを適切に捉えることの重要性である。そこで、「ユーザのニーズ

の把握」を下位概念として設定した。

一方、(i)では「意思決定者の価値観は希求水準に反映されている (p71)」、(ii)では「人々がいかに決定をなすべきかに焦点をおいた (p76)」と述べられている。これらの言説に共通することは、想定したユーザの問題に対する価値観の把握を適切に捉えることの重要性である。ここで、これらの言説から、「ユーザの問題に対する価値観の把握」を下位概念として設定した。

また、(i)では「最適化をとるか満足化をとるか」、(ii)では「人々が現実においてどのように決定を下しているか (p75)」と述べられている。これらの言説に共通することは、想定したユーザの納得水準の検討をすることの重要性である。そこで、これらの言説から、「ユーザの納得水準の検討」を下位概念として設定した。

そして、(i)では「変数としてどのように表現するかは、この問題をどのようにして得かという処方とも密接に関連する」、(iii)では「問題の明確化 (p112)」と述べられている。これらの言説に共通することは、想定した問題の解決の目標を考えることである。そこで、これらの言説から、「改善目標の決定」を下位概念として設定した。

### 3.2.2 「制約条件」の下位概念の抽出

「制約条件」の下位概念として、関連する言説を以下のように抽出した。

まず、(ii)では「最適化の問題には2つの重要な事柄があることに気がつく。第1は様々な制約条件である (p120)」、(iii)では「システムに課せられた制約によって取り得る値の範囲」と述べられている。これらの言説に共通することは、問題を解決する際に、どんな制約条件があるか考える点である。そこで、「制約条件の想定」を下位概念として設定した。

次に、(i)では「制約の右辺を少し変えたとき目的関数がどのように変わるかがだいたいわかる (p63)」、(iii)では「ある時点での計画によって生じた結果が次の時点の計画に影響を及ぼす (p160)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決において焦点を当てるべき特別な条件があるか考える点である。そこで、「制約条件の影響の想定」を下位概念として設定した。

さらに、(i)では「制約式も目標ということができる (p69)」、(iii)では「制約領域の端点すなわち可能基底解の一つとして求められる (p164)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決において解決結果を享受し、評価するユーザの存在を想定している点である。そこで、「焦点化すべき制約条件の検討」を下位概念として設定した。

そして、(i)では「制約付き問題を制約なし問題に変換する (p60)」、(iii)では「制約領域外の点から出発して最適解を見出す (p183)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決において解決結果を享受し、評価するユーザの存在を想定している点である。そこで、「条件の度外視」を下位概念として

設定した。

### 3.2.3 「モデル化」における下位概念の抽出

「モデル化」の下位概念として、関連する言説を以下のように抽出した。

まず、(i)では「システムの構成要素 (p6)」、(iii)では「モデリングにおける仮定事項を明確にしておく (p118)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決に関係する事柄や要素を考える点である。そこで、「問題の解決の事柄や要素の想定」を下位概念として設定した。

次に、(i)では「抽象的モデルを作ること (p5)」、(iii)では「モデルの詳細に立ち入りすぎて、複雑にしないこと (p118)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決に関する事柄や要素同士の関係性を考える点である。そこで、「状況把握するための簡略化」を下位概念として設定した。

さらに、(i)「数学モデルはシステムの振舞いを代数方程式、差分方程式、微分方程式、論理式など数学的表現のみで記述したモデルである (p7)」

(ii)「モデリングに際して、システムの振舞いを代数方程式、微分方程式、論理式、数表など、何らかの意味で数学的な表現で表したものを数学モデルという (p42)」、(iii)「構成要素はその機能や属性を変数、パラメータ、関係として抽象化して表される。したがって、数学的モデルの作成は、システムを変数、パラメータ、関係を用いて数学的、論理的な形式で表現することである (p115)」。

これらの言説には、微分方程式など技術科では扱えない数学的な概念を含んでいる。しかし、これらの言説の抽象度を高めて捉えると、それは問題解決において最適化したいことが物理的に計測可能なものなのか計量化が困難のものか考えたかを表し、「最適化したいことが計測可能か検討」という下位概念を設定した。

そして、(i)では「人間行動の合理性は最適化ではなく満足化にある (p68)」、(ii)では「システムを構成する要素の接続、システム内の情報伝達経路などをグラフなどを使って図的に表現したものを図的モデルという (p42)」と述べられている。これらの言説に共通することは、問題の解決に関連することでユーザの気持ちや感性を考える点である。そこで、「問題解決の関連事項とユーザの気持ちや感性の関係の想定」を下位概念として設定した。

また、(i)では「一つのモデルで事足りりとするのではなく、常に他の可能性があることを念頭に置くことが重要 (p44)」、(iii)では「各代替案に対してシステム解析の過程を基本的には繰り返す (p98)」と述べられている。これらの言説に共通することは、今の問題を別の角度から捉えられないか考える点である。そこで、「同問題の別の角度からの検討」を下位概念として設定した。

さらに、(i)では「目的関数の最適値がどのように変化するかで決まる (p63)」、(ii)では「構成要素を

結びつける情報の流れと物の流れを明らかにしておく。(p33)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決の関する要素を変化させると結果にどのような影響が出るか考える点である。そこで、「要素の変化と結果への影響の検討」を下位概念として設定した。

一方、(i)では「あちらをたてればこちらがたたとすといった状況に陥るのは世の常である(p67)」, (ii)では「いくら精度がよくても複雑極まりないモデルでは、なんにもならないし、また簡単だからと言って精度が悪いものでは使い物にならない。(p40)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最適化問題解決において解決結果を享受し、評価するユーザの存在を想定している点である。そこで、「トレードオフ」を下位概念として設定した。

そして、(i)では「目的関数を最大にすること(p44)」, (iii)では「目的変数を最大にする変数を決定する(p159)」と述べられている。これらの言説に共通することは、解決方法を考える際、何を最大限にすれば、問題が解決できるか考える点である。そこで、「何を最大にしたいかの検討」を下位概念として設定した。

最後に、(i)では「目的関数を最小にすること(p44)」, (iii)では「目的変数を最小にする変数を決定する(p159)」と述べられている。これらの言説に共通することは、解決方法を考える際、何を最小限にとどめておきたいか考える点である。そこで、「何を最小にしたいかの検討」を下位概念として設定した。

### 3.2.4 「解決方法」の下位概念の抽出

まず、(i)では「解の候補となる案を代替案という(p43)」, (iii)では「問題を定式化する過程を通じて、解析者は問題に対する認識を明確にする(p96)」と述べられている。これらの言説に共通することは、達成したい目標を、いくつかの具体的な小さな目標に分けることである。そこで、「目標をリスト化」を下位概念として設定した。

次に、(i)では「本来はいくつもある目的のうち、便宜上一つの目的関数と定め、残りを制約にとっていると考えられる(p65)」, (iii)では「サブシステムのモデリングを行ったのちに、それらを統合して全体を表現する(p118)」と述べられている。これらの言説に共通することは、複数の解決方法を組み合わせて問題解決を図る点である。そこで、「解決方法の組み合わせの検討」を下位概念として設定した。

そして、(i)では「過去の経験や直感的洞察と矛盾している場合には、モデルを見直す必要がある(p28)」, (iii)では「実験あるいはかんそくにもとづいて収集されたシステムの特徴に関するデータを解析し、その特徴を把握する(p53)」と述べられている。これらの言説に共通することは、解決方法を考える際、自分や他の人の過去の失敗について思い出す点である。そこで、「過去の失敗の振り返り」を下位概念として設定した。

一方、(i)では「システムの特徴を調べるために、

コンピュータを使ってシステムの振る舞いを模擬すること(p25)」, (ii)では「モデリングに際しては種々の仮定、仮説をおく。(p40)」と述べられている。これらの言説に共通することは、シミュレーションや思考実験している点である。そこで、「システムの振る舞いを模擬して特性の検討」を下位概念として設定した。

また、(i)では「定式化を変えることで、いままでとは違った見方ができることも多い(p44)」, (iii)では「手続きを行う過程で問題に対する認識を深め、新たな課題を発見するっこともある(p119)」と述べられている。これらの言説に共通することは、問題の捉え方には、常にほかの方法や可能性があることを考えておく点である。そこで、「他の捉え方の可能性の想定」を下位概念として設定した。

そして、(i)では「問題の解を求めるためには、必要があれば条件をいろいろ変更してシミュレーションを実施する(p28)」, (ii)では「種々な代替案に対して最適解を求められる」と述べられている。これらの言説に共通することは、一つの解決方法にこだわらず、様々な解決方法をいろいろと考える点である。そこで、「他の解決方法の検討」を下位概念として設定した。

### 3.2.5 「評価」の下位概念の抽出

まず、(ii)では「項目によって評価するとき、個別的でなく総合的に評価(p34)」, (iii)では「システムの価値の総合評価(p16)」と述べられている。これらの言説に共通することは、最終的な解決方法は、様々な観点から総合的に判断して決めたか判断する点である。そこで、「解決方法の総合的判断」を下位概念として設定した。

次に、(ii)では「何が最適かを判断する評価の基準である(p121)」, (iii)では「各要因に対する相対的重要度を考慮する(p17)」と述べられている。これらの言説に共通することは、問題がうまく解決できたかどうかを適切に判断するための評価のポイントを考える点である。そこで、「最適化しようとしていることが適しているか判断する評価項目の検討」を下位概念として設定した。

そして、(ii)では「将来予測や意思決定などに必要な情報が得られる(p53)」, (iii)では「プロジェクトを実施するためには、多くの手順があり、それらが並行してあるいは逐次的に行われる必要であり(p16)」と述べられている。これらの言説に共通することは、問題を解決している過程で、上手く進められているかどうかを判断するために、途中で評価するポイントを考える点である。そこで、「問題解決の過程での進行状況の評価ポイントの検討」を下位概念として設定した。

また、(i)では「新たな課題が提起されるような場合には、モデルを修正(p28)」, (ii)では「異常な事態に対して対策がたてやすい(p53)」と述べられている。これらの言説に共通することは、解決中に生じた失敗を繰り返さないためにどうしたらよいか考える点である。そこで、「解決中に生じた失敗を繰り返さないための想

定」を下位概念として設定した。

加えて、(i)では「意思決定者の目標(すなわち、行動基準)を満足化ととらえ(p69)」、(ii)では「人の頭の中に漠然と存在する価値観を、効用関数や価値関数などの数理モデルで取り出す(p74)」,これらの言説に共通することは、問題解決の結果が、本当にユーザを満足させるものになっているか想定している点である。そこで、「ユーザが満足するかどうかの検討」を下位概念として設定した。

さらに、(i)では「モデルが現実の問題を完全に現していないかぎり、現実の問題に対しての最適解では決していない(p63)」, (ii)では「モデルの振る舞いを実験的に検討(p53)」,これらの言説に共通することは、問題解決の結果が、実際の生活や社会に役立つかどうか考える点である。そこで、「現実の問題解決に役立っているかの検討」を下位概念として設定した。

3.3 概念のワーディング

以上、本研究では、技術科の最適化概念として、5つの上位概念と31の下位概念を抽出することができた。これらの概念要素を中学生にとってわかりやすく表現し直すことができれば、それを羅針盤として生徒の思考を最適化へと適切に導くことが可能となるのではないかと期待される。そこで、抽出した下位概念の単位で、概念を中学生にもわかりやすい表現でワーディングを行った。ワーディングは、技術科教育の研究者(大学教員)1名、中学校技術科教員1名、工業高校教員1名、高校情報科教員1名の計4名で協議して行った。その結果を表1に整理した。

例えば、上位概念の「ユーザ視点」では、下位概念の「ユーザの問題把握」から「ユーザはどのようなことに困りごと(問題)を感じているか考えましたか」とワーディングした。次に、上位概念の「制約条件」では、下位概念の「制約条件の想定」から「問題を解決する際に、

どんな制約条件がある」とワーディングした。また、上位概念の「モデル化」では、下位概念の「状況把握するための簡略化」から「問題の解決に関連する事柄や要素同士の関係」とワーディングした。さらに、上位概念の「解決方法」では、下位概念の「目標をリスト化」から「達成したい目標を、いくつかの具体的な小さな目標に分けてリスト化してみましたか」とワーディングした。そして、上位概念の「評価」では、下位概念の「解決方法の総合的判断」から「最終的に解決する方法を決める際、様々な点に注意しながら総合的に判断しましたか」とワーディングした。

表1に示す各項目は、中学生にも理解できるレベルの表現であり、これらを用いて問題解決時の内省を問うことが可能となった。しかし、現段階では、これらの構成要素は、文献から抽出したものを羅列しただけであるため、技術科の授業の中で展開される問題解決に対してどの程度、適用可能であるかは定かではない。また、生徒の思考内容が本研究で設定した上位概念の構造を保持しているのか、発達段階に即した異なる構造を呈するのかについても定かではない。したがって今後は、表1の構成要素とワーディングした項目を用いた調査を実施し、中学生の最適化問題解決における思考内容を構造的に把握していく必要がある。

4. まとめと今後の課題

以上、本研究では、システム工学の考え方に基づいて、技術科における最適化概念の検討を行い、構成要素の抽出を行った。今後は、ワーディングした各項目を用いて、中学生を対象とした調査を実施し、技術科の授業における生徒の最適化に向けた思考内容を把握しうる測定尺度を構成していく予定である。これについては今後の課題とする。

表1 技術科における最適化概念の構成要素

上位概念	下位概念	ワーディング結果
ユーザ視点	1 ユーザの想定	あなたの作るものをだれが使うのか考えましたか(以下、その人をユーザと呼びます)。
	2 ユーザの問題把握	ユーザはどのようなことに困りごと(問題)を感じているか考えましたか。
	3 ユーザのニーズの把握	その問題の解決に向けてユーザが求めているものは何か考えましたか。
	4 ユーザの問題に対する価値観の把握	その問題の解決にあたってユーザが大切にしたいと思っていることは何か考えましたか。
	5 ユーザの納得水準の検討	その問題に対してユーザはどこまで解決できると満足するのか考えましたか。
	6 改善目標の決定	問題解決の目標(ゴール)を具体的に考えましたか。
制約条件	7 制約条件の想定	問題を解決する際に、どんな制約条件があるか考えましたか。
	8 制約条件の影響の想定	問題の解決に影響がでない程度に何か制約条件を変えられないか(緩められないか)考えましたか。
	9 焦点化すべき制約条件の検討	問題を解決する上で、焦点を当ててべき特別な条件があるか考えてみましたか。
	10 条件の度外視	問題を解決する上で今回は無視してもよい条件がないか考えましたか。
モデル化	11 問題の解決の事柄や要素の想定	問題の解決に関連するどんな事柄や要素があるか考えましたか。
	12 状況把握するための簡略化	問題の解決に関連する事柄や要素同士の関係を模式的に考えましたか。
	13 最適化したいことが計測可能な検討	問題の解決に関連する事柄や要素をどのようにすれば測定できるか考えましたか。
	14 問題解決の関連事項とユーザの気持ちや感性の関係の想定	問題の解決に関連することでユーザの気持ちや感性に考慮すべきことがないか考えましたか。
	15 同問題の別の角度からの検討	問題を別の角度から捉えられないか考えましたか。
	16 要素の変化と結果への影響の検討	解決方法を考える際、「何をどのように」変えると、結果が「どのように変わるか」考えましたか。
	17 トレードオフ	解決方法を考える際、「あちらを立てればこちらが立たない」のような関係があるか考えてみましたか。
	18 何を最大にしたいかの検討	解決方法を考える際、何を最大限にすれば、問題が解決できるか考えましたか。
	19 何を最小にしたいかの検討	解決方法を考える際、何を最小限にとどめておきたいか考えましたか。
解決方法	20 目標をリスト化	達成したい目標を、いくつかの具体的な小さな目標に分けてリスト化してみましたか。
	21 解決方法の組み合わせの検討	複数の解決方法を組み合わせることで問題を解決できないか考えましたか。
	22 過去の失敗の振り返り	今度の問題を解決する際、自分や他人の「過去の失敗」について思い出さずにしましたか。
	23 システムの振る舞いを模擬して特性の検討	考えた解決方法がうまくいくかシミュレーションや思考実験(頭の中で結果を予測)して確かめてみましたか。
	24 他の捉え方の可能性の想定	解決方法を取り組みながら様子を見て、途中でやり方を変える必要があるか考えましたか。
	25 他の解決方法の検討	一つの解決方法にこだわらず、常にほかの方法や可能性があることを考えていましたか。
評価	26 解決方法の総合的判断	最終的に解決する方法を決める際、様々な点に注意しながら総合的に判断しましたか。
	27 最適化しようとしていることが適しているか判断する評価項目の検討	問題をうまく解決できたかどうかを適切に判断するための評価のポイントを考えましたか。
	28 問題解決の過程での進行状況の評価ポイントの検討	問題を解決している過程で、上手く進められているかどうかを判断するために、途中で評価するポイントを考えましたか。
	29 解決中に生じた失敗を繰り返さないための想定	解決中に生じた失敗を繰り返さないためにどうしたらよいか考えましたか。
	30 ユーザが満足するかどうかの検討	問題解決の結果が、本当にユーザを満足させるものになっているか考えましたか。
	31 現実の問題解決に役立っているかの検討	問題解決の結果が、実際の生活や社会に役立つかどうか考えましたか。

## [ 文献 ]

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成29年告示），[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661\\_5\\_4.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf),（最終アクセス2020.7.3）
- 2) 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，[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1387018\\_9\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1387018_9_1.pdf),（最終アクセス2020.7.3）
- 3) 日本産業標準調査会：オペレーションズリサーチ用語，<https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISNumberNameSearchList?toGnrJISStandardDetailList>,（最終アクセス2020.7.3）
- 4) 田村坦之：システム工学，オーム社（1999）
- 5) 平井一正：システム工学，放送大学教材（1994）
- 6) 室津義定，大場史憲，米沢政昭，藤井進：システム工学，森北出版株式会社（1980）