

アメリカ合衆国における数学・理科・技術の統合カリキュラム —イリノイ州立大学IMaSTプロジェクトについて—

Curriculum for Integrated Mathematics, Science and Technology of USA—Case Studies of IMaST Project in Illinois State University—

角 和博
SUMI Kazuhiro
佐賀大学
Saga University

田中 喜美
TANAKA Yoshimi
東京学芸大学
Tokyo Gakugei University

[要約] 数学・理科・技術科の統合学習 (IMaST) は、生徒が、科学的思考方法や数量的思考方法の学習を行い、日常事象の観察に基づいて理科や数学を学ぶ、数学・理科・技術科の統合カリキュラムである。最終的には、技術科の学習が、それらの思考方法を使って様々な問題解決を行う側面を構成する。IMaST の学級におけるその問題解決過程の活動は、明確化する、検討する、計画する、実行する、意見交換する、の相互作用からなる。IMaST の学習の捉え方は、従来の学習が事実または知識に基づいた活動であったのに対して、逆に活動を通して事実や知識をつかんでいくというものである。これは人間が実際に知識を獲得していく認知構造の構築過程に従った学習形態であるといえる。

1. はじめに

アメリカ合衆国における数学・理科・技術科の統合学習IMaST (Integrated Mathematics, Science and Technology) の教育目標と内容について、IMaSTプロジェクトが発行している冊子 (IMaST at a glance) と教科書をもとに検討した。IMaSTの教科書はMiddle school用に開発されたもので、現在6, 7, 8学年用18種類が完成している。これはアメリカ合衆国の中学校全体の80%以上が6, 7, 8年生のMiddle school のためである。

IMaSTプロジェクト設立の理由について1991年からイリノイ州立大学のCeMaST (Center for Mathematics, Science and Technology) でIMaSTプロジェクトを始めたF. Loeppe教授に質問し、つぎのような回答を得た。

- ①大部分の中学校生徒は、数学を楽しく学んでいない。
- ②多くの生徒は、技術の授業を履修する機会が限られている。
- ③生徒が各教科 (数学, 理科, 技術) の中で思考を関係づけるとき、より長く、概念を覚えていることを調査結果は示している。
- ④現実の問題は、通常教科で扱われる知識と技能を必要とする。
- ⑤学際的であると同時に構成主義の学習理論に基づく中学校のためのカリキュラムが存在しない。モジュールの選択・決定にあたっては、つぎのことが考慮されたという。
- ①それらは中学校の数学, 理科および技術の教育目標標準の全てに対応することを可能にする環境を提供しなければならない。
- ②モジュールは生徒の関心を捕らえなければならない。
- ③モジュールは現実と関係づけなければならない。

このようにいくつかの基本的な方針をもとに10年以上をかけて教科書作成が行われ出版された。

2. 学習内容と目標

7 学年用教科書の学習目標を表 1 に示す。いずれも問題解決過程の利用，意思決定のための問題解決スキルの活用などを目標としている。

各教科書は，一つの領域を設定して数学，理科および技術をひとつにまとめ，その領域名（たとえばWellness）を教科書の名称にしている。

3 教科はあるテーマについての問題解決を行うためのさまざまな知識や技術を共有していると考え，生徒一人ひとりが自分自身でそのテーマについて学習するために教科がある。すなわち各教科で生徒の自己学習能力を啓発することが授業の目的であり，問題解決に際して，数学的な能力，理料的な能力，技術的な能力を総合的に伸ばそうとするとこのプロジェクトの基本的な考え方がある。

目標設定と教科書の単元項目の比較から目標と内容は密接に結びついていることがわかる。数学，理科，技術を統合する視点は，学習者の認知過程の把握にある。実験，観察，製作などの具体的な問題解決を通して学習者は，知識・技術を自己の認知構造に則して学習するようになる。

表1 7学年用教科書の学習目標

| 教科書名 | 目 標 | 要点 |
|-------------------------------------|--|--------------------------|
| Wellness (健康) | 生活に影響を与えたり，健康を増進したりする栄養，運動及び伝染病などに関する知識に基づいた意思決定のための問題解決スキルの適用 | 栄養，運動 伝染病 |
| Food Production (食物生産) | 材料の適切な使い方及び食物を生産するための技術に関する知識に基づいた意思決定のための問題解決過程の実行 | 選択，準備 訓練，普及 結果 |
| Waste Management (廃棄物管理) | 発生抑制，再使用，再生利用，及び完全な消費利用の方法を再考することに進んで参加し，知識に基づいた意思決定 | 発生抑制， 再使用，再生 利用，再考 |
| Energy Transformations (エネルギー変換) | 協力的な創造，健康，食物生産及び消費管理と結びついたエネルギー変換の1つのモデル | 協力，変換， 保存，分配， 管理 |
| Manufacturing (製造) | デザインする，生産する，製作を評価する。必要を満たす，材料の効果的な利用を提示する。浪費を抑える余裕がある。 | 品質，効率， 設計，生産， 材料 |
| Forecasting (予測) | 予測のための言語，表，グラフ，及び記号で表した展開，図式，1次方程式の解法 | 型，勾配， 予測 |

3. IMaST の学習サイクルと形態

IMaSTの学習サイクルの各段階の間，生徒がDAPIC（明確化する，検討する，計画する，実行する，意見交換をする）と呼ばれる問題解決過程を経ることで，概念の内面化に至る活動に引き込まれる。

IMaSTプログラムにおける学習サイクルは，4段階教授モデルである探究→着想→応用→発展の各段階で，表2のように教師と生徒の役割が明示されている。

IMaSTの学習サイクルは，問題解決過程そのものであると考えられ，探究→着想→応用→発展のような段階をスパイラルに繰り返しながら進んでいく。

このような学習の捉え方は，従来の学習が事実または知識に基づいた活動であったのに対して，逆に活動を通して事実や知識をつかんでいくというものである。これは人間が実際に知識を獲得し

ていく認知構造の構築過程に従った学習形態であるといえる。

表2 IMaST学習サイクルにおける教師と生徒の役割

| | 教師の役割 | 生徒の役割 |
|----|---|--|
| 探求 | 材料収集。生徒に作業を継続させる。安全と技術教示を用意する。質問をする。観察し、容易にする。必要に応じて日誌を書き進める。 | 材料と相互作用する。設計し、試行する。データを収集し、記録する。予測する。 |
| 着想 | クラスを議論に導く。生徒に質問する。誤解を訂正する。条件を整える。クラスのデータを作成する。 | データを比較する。質問をする。形式一般化。日誌を書く。 |
| 応用 | 材料を供給する。安全な実行を保証する。生徒に作業を継続させる。長引く誤解を訂正する。 | 概念、原理または法則を適用する。計画を立てる。実験を指導する。 |
| 発展 | 資源が有用であることを確認する。生徒により広い視野をもたせるために質問する。 | 読書、調査および日誌の記述を通して、より一般的または広範な状況へ概念を拡大する。 |

4. IMaST の各モジュールの時間配当

表3 IMaSTの各モジュールの時間配当（1時限＝45分）

| 学年 | モジュール名 | 数 | 時配 |
|----|--|---|-----------|
| 6 | 学習の道具 大地の型式 身の回り型式 動きの型式 変化の型式 身体の中の型式 空の型式 遊びながら学ぶ数学, 理科, 技術 | 8 | 60 - 70 |
| 7 | 健康 食物生産 廃棄物管理 エネルギー変換 | 6 | 60 - 70 |
| | 製造 予測 | | 130 - 145 |
| 8 | 動物のすみか 人間の住まい システム コミュニケーションのあり方 | 4 | 130 - 145 |

IMaSTプロジェクトでは、2001年から6学年生のモジュールを作成するための資金提供が決定されている。新しいモジュールは次のような題である。学習の道具、大地の様式、身の回り様式、動きの様式、変化の様式、身体の中の様式、および空の様式、遊びながら学ぶ数学、理科および技術。これら8モジュールの各々は60-70(または1ヶ月)時限(1時限あたり45分の授業)である。7学年のうち健康、食物生産、消費管理、エネルギー変換の4モジュールは、各々60-70時限(または1ヶ月)である。また製造と予測の2モジュールは、およそ130-145(9週間)時限である。8学年の動物のすみか、人間の住まい、システムおよびコミュニケーションのあり方の4モジュールの各々は、およそ130-145(9週間)時限である。以下表4に示すとおりである。

5. 問題解決過程の5つの活動目標

つぎに問題解決過程の5つの活動を示すDAPICの教育目標について以下に列挙する。

(1) **明確化する (Define)** : 簡略に明確に問題点を説明することは、問題認識を深め、可能な解決を提示しやすくする。この説明と質問の過程で疑問、不確実な内容、問題の難易度などを確認する。これにより生徒にとって必要かまたは知っている必要があるかを明確にする。課題は教師によって

確認され、また生徒には経験から確認される。

(2) **検討する (Assess)**: 問題を取り巻く状況、解決のために必要な情報を検討する。生徒は問題を解決するに際して過去になされた成功や失敗について調査・実験を行う。ここでの目標は計画を実行する前に問題について可能な限り学ぶことである。

(3) **計画する (Plan)**: 問題に関する多くの選択肢を提案し分析する。これは変数が最多かまたは最も実行可能である計画決定のための実験の設計を意図する。この問題解決を効果的に行うための計画を展開する。

(4) **実行する (Implement)**: 計画はまず試行される。データを計画に従って組織的に集め分析する。必要に応じて計画を実行する。

(5) **意見交換する (Communicate)**: 結果を分析し結論を導き、それらの結果を他者と共有する。これらは文書かまたは口頭で行う報告の形式を取り、結論の予測を行い、解法の新しい問題を確認する。

DAPICステージによる問題解決過程は明確な出発点や順序を持たない。一連の連続したステージでもない。また授業中の生徒の観察からも学習過程の多くが非線形なアプローチであるとしている。線形の順序で問題を解決しようとする生徒は、より高い柔軟性が必要であるとも述べている。問題点の明確化の最中、計画開発中、あるいは計画実行中などの各段階でさまざまな解決すべき問題が生じるし、このとき意見交換は問題解決過程のどの段階でも必要となる。DAPICモデルは、これらの変化のすべてを考慮している。しかし生徒たちは自分たちで自分たちの行動を助け合う必要がある。自分たちで問題を定義することや再定義することを奨励されなければならないと述べている。

6. IMaST の学習の評価

IMaSTでは、生徒が新しい状況に対してモジュール間に習得した知識と技術を適用することができるかを評価によって明確にする。統合カリキュラムにおける生徒の成功を決定するために必要な評価は、統合化された評価である。

IMaSTモジュール評価は、①グループ活動評価、②ポートフォリオ評価、③DAPIC自己評価（生徒）、④DAPIC評価（教師）、⑤チーム成長規則の5つの部分から成る。

①のグループ活動評価では、2つのクラスが完了する期間を必要とし、数学、科学および技術の3つの分野すべてから内容と過程を取り入れ、モジュール目標に焦点を合わせる。グループ活動評価は、彼らの解決を発展させるためにモジュールのなかの数学、科学および技術を通して、彼らが学んだ概念と技術と同様に、生徒チームにDAPICを適用することを要求し、問題に基づいた計画を提示する。

②のポートフォリオ評価は、進行中の活動である。学期の最後まで、この作業の完成に対して用意されていなければならない。この最終学期間に、生徒はモジュールの課題に関するモジュールの重要な概念を記述するエッセイを書くことになる。彼らは彼らのポートフォリオを完了するので、彼らは彼らのエッセイ（例えばジャーナル・シート、活動評価またはプロジェクト仕様）においてなされる記述を図示する実証的な文書を付け加えなければならない。規則は、教師の資料集のなかに用意されているので、生徒はグループ活動とポートフォリオ評価の活動の両方を評価される。DAPIC自己評価（生徒のための）とDAPIC評価（教師のための）は、グループ活動評価の間、DAPICの使用を評価する規則を含む。モジュール評価の目標のために作成されているが、これらのフォームは、またモジュール（多分しばしば各々の活動の後）を通して使われることができる。

③の生徒のためのDAPIC自己評価は、彼らにDAPICを使うことで彼らに成就感を得る機会を与える。

④の教師のためのDAPIC評価は、教師に生徒の達成感を比較することを認める。

⑤チーム成長規則評価は、グループ活動評価の間、生徒のチーム技術を評価する。しかしながらそれはまたモジュールを通して行うこともできる。チーム成長規則は、DAPIC自己評価に似ている自

已評価として使用に際して修正できる。チーム成長規則は、教師の資料集に収められている。

参考文献

- 1)Center for Mathematics, Science, and Technology Illinois State University, An Overview IMaST, November, 1997
- 2)Center for Mathematics, Science and Technology: "IMaST at a glance",Illinois State University(1998-1999)
- 3)IMaST Project, Tools for Learning, McGraw-Hill
- 4)IMaST Project, Patterns Of Mobility, McGraw-Hill
- 5)IMaST Project, Patterns Within Us, McGraw-Hill
- 6)IMaST Project, Patterns Around Us, McGraw-Hill
- 7)IMaST Project, Patterns Of Change, McGraw-Hill
- 8)IMaST Project, Patterns Above Us, McGraw-Hill
- 9)IMaST Project, Patterns Below Us, McGraw-Hill
- 10)IMaST Project, Wellness, McGraw-Hill,1998
- 11)IMaST Project, Food Production, McGraw-Hill,1998
- 12)IMaST Project, Enagy Tranceformations, McGraw-Hill,1998
- 13)IMaST Project, Waste Management, McGraw-Hill,1998
- 14)IMaST Project, Manufacturing, McGraw-Hill
- 15)IMaST Project, Forecasting, McGraw-Hill
- 16)IMaST Project, Animal Habitats, McGraw-Hill
- 17)IMaST Project, Human Settlements, McGraw-Hill
- 18)IMaST Project, Systems, McGraw-Hill
- 19)IMaST Project, Communication Pathways, McGraw-Hill