

金沢大学大学院  
教育学研究科 教育実践高度化専攻  
石川県立鹿西高等学校 教諭 屋敷 秀樹

## 研究主題 理科におけるISM構造学習法に関する研究

**要約:**本研究は、高校物理におけるISM構造化法の授業設計による生徒の学習効果の有無から、ISM構造学習法の効果を検証することを目的としている。その結果、理科におけるISM構造学習法は、1つの定義から導き出されるさまざまな物理法則を考える中で、多くの物理量の関係を明らかにする授業展開になること。ISM構造学習法は、物理量の関係式に関する内容で生徒に最も効果的であること。ISM構造学習法が適した生徒とは、自己評価で毎時間理解できたと認識するとともに、授業のポイントに公式の導出に必要な図や知識を押さえることのできる生徒であることが明らかになった。

**キーワード:**理科教育, 高校物理, ISM構造学習法

## I はじめに

私は、これまで高等学校における物理の授業において、各単元で重要な知識を箇条書きにまとめたプリントを配布した上で、問題演習を行ってきた。この方法は、たいへん生徒に評判がよかったが、その一方で、物理を苦手とする生徒からは、「どの知識を使えば解けるのかが分からない」「自力で問題を解こうとすると、なぜその知識が必要なのか分からない」といった声もきかれた。これは、生徒のもつ知識が、論理的なつながりを持たず、箇条書きにされた知識の断片に過ぎないからではないかと推測する。そこで、学習内容を構造化することで、学習内容の系統性と関連性から、生徒は正しく物理現象を捉えることができるようになるのではないかと考えた。以上のことから、知識の構造化を行ない、それを提示しながら授業を進めることで、論理的な思考力の育成につながると仮定し、授業の構造化に取り組んだ。

## II 構造化を行なうソフトウェアの開発

たとえ有用な知識であっても、羅列しただけでは知識間には論理的な関連が生まれてこない。また、それぞれの知識の関連を1対1で図1のように書き出すのは容易であるが、これらすべての関連を図示することは容易ではない。知識の数が多くなればなるほど、その図は関連を示す矢印が複雑に交差し、表現しづらだけでなく、知識の関連を把握しにくいものになってしまう。

そこで、構造化に際して、ISM(Interpretive Structural Modeling)法を用い階層構造の決定を行なうことにした。これは、授業者が学習要素を抽出し、それぞれの学習要素間の前後関係や上下関係といった、部分的な関連づけを行い、その上で全体構造を把握しやすいISM構造チャートを作成するものである。このチャートは、学習要素間の関連づけを授業者が行うため、学問的な系統性にしばられることなく、生徒の実態に応じて作成することができる利点がある。また、階層を決定した上で、図示する際なるべく関連を示す矢印が交差しないように、CS(Chimura&Sato)系列要素配列法(以下CS法と略)を用いた。以下に、ISM法およびCS法の概略について示す。

### (1)「直接関係の確認」

まず、各要素の直接関係を考える。ここでは、S1からS10の10つの学習要素の関係について考える。図1「要素の直接関係」の学習要素S4およびS5からS8に矢印が伸びている。これは、学習要素S4およびS5の知識や理解があって、S8が理解できることを表す。一方、S1はこれを理解するために必要となる知識等がないため、下位の要素が存在しない。具体的には、新しい単元に入った際、初めて学習する定義等がこれにあたる。他も同様である。

### (2)「直接関係マトリクスの作成」

上記の関係を、図2のように直接関係マトリクスにまとめる。

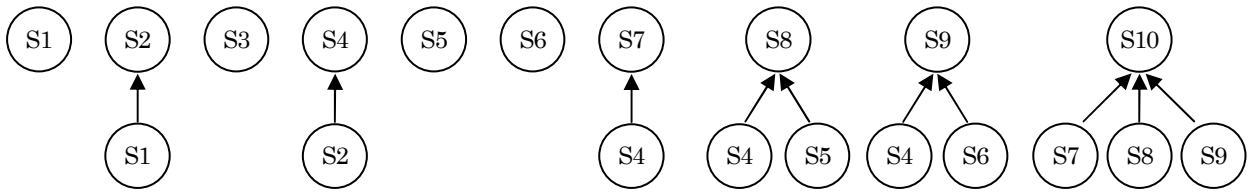


図1 要素の直接関係

(3) 「階層的有効グラフの作成」

(2)で作成した直接関係マトリクスから、パソコンを用いて図3や図4のような階層的有効グラフをつくる。

(4) 「CS法による見やすいチャートの作成」

ISM法は、各要素の階層を求める手段に過ぎないため、要素数が多い場合には図3「CS法適用前の階層的有効グラフ」のように、学習要素間の関連を示す矢印が交差し、大変見づらい図となる。そこで、千村と左藤が考案したCS法を用いる。そのため、下位から上位に至るすべての系列を書き出す。その後、最下位の要素から最上位の要素までつながる主となる関連を抽出し、図の中心に配置する。次に、残りの系列の中で最も中心的である系列を、主系列との相関の高い側(右または左)から加える。これを繰り返すことで、配列を決定する。その結果、図4「CS法適用後の階層的有効グラフ」のように変更することができる。実際に作成し、本実践の単元「電子の電荷と質量」で用いたISM構造チャートが図5である。

		上位要素									
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
下位要素	S1		1								
	S2				1						
	S3										
	S4							1	1	1	
	S5								1		
	S6									1	
	S7										1
	S8										1
	S9										1
	S10										

図2 直接関係マトリクス

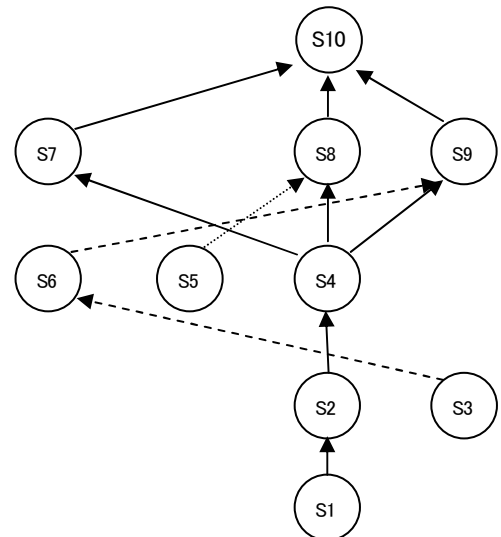


図3 CS法適用前の階層的有効グラフ

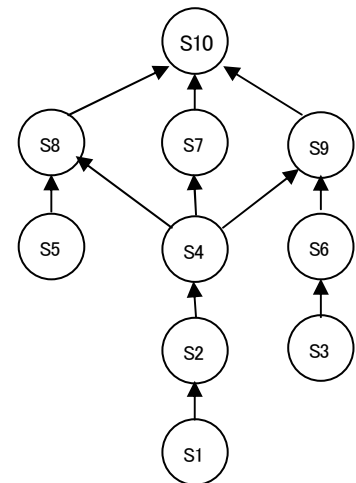


図4 CS法適用後の階層的有効グラフ

### Ⅲ ISM構造チャート作成ソフトウェア開発の意義

このようなプログラムは、BASIC言語を用いたものはこれまでもあった。また、C言語等で作成したものがインターネット等で公開されている。しかし、高等学校において、プログラム言語を用いて教材開発できる人間はごく一部に限られているため、多くの授業者はこれらのソフトウェアをカスタマイズすることができない。そこで、校内のほとんどのコンピュータにインストールされている表計算ソフトウェアMicrosoft ExcelのVBAを用いて構造化プログラムを作成することとした。これにより、以下の利点が挙げられる。

- ① 教育現場にあるほとんどのコンピュータで利用可能である。
- ② 構造化を行なうたびに必要とされる知識項目とその関連を入力する必要がなく、年間を通じて授業者が気付いた項目を追加し、必要に応じて取捨選択しながら、構造図を作成することができる。
- ③ VBAはコンピュータ言語に比べて、理解できる人が多いため、カスタマイズが容易である。
- ④ オートシェイプ機能が充実しており、階層化、配列された知識の関連を図示することがExcel上で可能である。

- ⑤ ワープロソフトウェア等、他のソフトウェアにコピーするのが容易である。

#### IV ISM 構造チャートの利用場面

作成した ISM 構造チャートは、授業および問題演習において活用することができる。授業で使用する場合、ISM 構造チャートの下ほど基礎的な知識が並ぶ。多くの場合、最下層に位置する学習要素は既習内容である。そこで、単元の始めに復習するとともに、今後の授業の展開について説明し、単元の最終到達先を提示することができる。また、単元の途中では、授業の最初に前時までの学習内容とその関係について確認するとともに、本時の狙いを明確にすることができる。さらに、単元の終わりには、これまでの学習内容を振り返り、学習内容の位置づけを明確にすることが期待できる。以上のことから、授業前に ISM 構造チャートを作成することで、授業者は授業の展開を考慮することができる。よって、これまでとは違った授業展開の方法について検討することができる。

一方、問題演習の際には、複雑な思考過程を整理し、可視化することができる。さらに、問題を作成する観点から考えると、問題を解く際の思考過程が自然か否か、さまざまな思考を必要とする問いか否かを確認することができることから、問題の善し悪しを検討する上でも有効であると考えられる。

#### V 調査の目的

本研究では、ISM 構造化法の授業設計による生徒の学習効果の有無から、ISM 構造学習法の効果を検証することとした。そのために、以下の4点について調査した。

- 調査1 ISM 構造チャートが授業設計に有効であるとの仮定に基づき、ISM 構造チャートを作成することで、教科書の配列とは異なる授業展開をすることになるか否かについて検証する。
- 調査2 本時の学習内容の位置づけを可視化することによって、生徒は学習内容のイメージ化が容易となるとの仮定に基づき、学習の狙いの定着率が上昇するか否かについて検証する。
- 調査3 ISM 構造学習法が適した生徒には、共通の特徴があるとの仮定に基づき、学習効果がある生徒の特徴を検証する。
- 調査4 力や加速度、速度についての意識が変容する生徒の特徴から、学習効果について分析を行なう。

#### VI 調査の方法

調査1の授業展開に変化が見られるか否かについては、円運動における ISM 構造チャートを作成し、授業者が考えた指導計画と教科書の配列を比較することで、検証する。

調査2～4については、石川県内の公立高等学校3年生、物理Ⅱ履修者21名を対象に授業実践し調査する。まず、調査2の学習のねらいの定着率の上昇については、ISM 構造チャートを用いた授業を行うとともに、単元実施前と実施後のアンケートから、生徒の意識や理解度を分析することとした。選んだ単元は、5月に実施した円運動と、11月に実施した電子の電荷と質量である。

円運動の単元においては、生徒が運動方程式  $F = ma$  を学習しているものの、弧度法、角速度、回転数、周期といった概念ははじめて出会うものである。そこで、定性的に、力、加速度、速度の関係についての意識の変容を調査することとした。一方、電子の電荷と質量においては、荷電粒子が電場から受ける力、変位、速度、加速

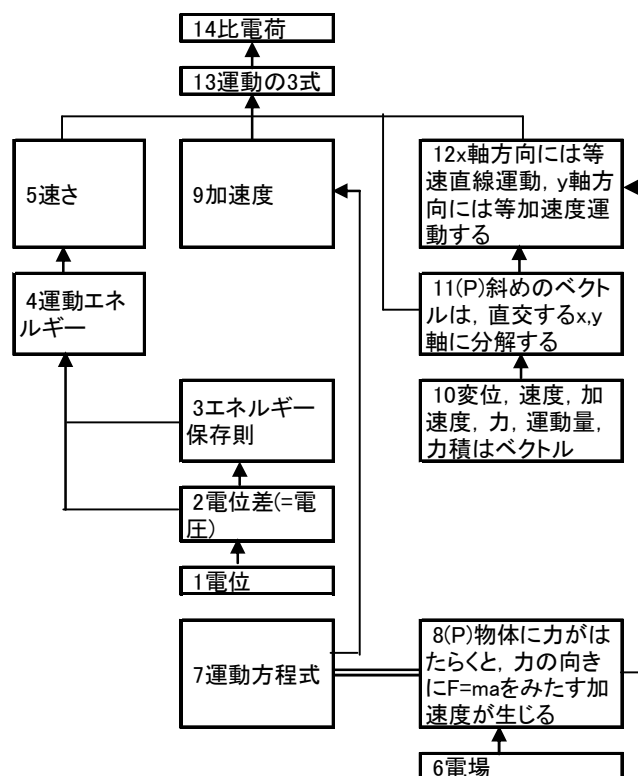


図5 「電子の電荷と質量」 ISM 構造チャート

度の関係、放物運動等、すべて既習の物理量である。そこで、これらの物理量を定量的に扱う力の変容を調査することとした。なお、円運動と電子の電荷と質量の授業実践の時期がそれぞれ5月および11月と、半年間のずれがあることから、長期間の物理の授業を通しての生徒の意識の変化を確認するため、共通の質問も設けることとし、その変化については調査4で検証する。

さらに、調査3の意識が変容する生徒の特徴については、単元実施前と実施後のアンケートおよび毎時間実施する授業の「ふり返しシート」から、生徒の意識や理解度を分析することとした。この「ふり返しシート」では、「授業のポイント(重要語句、式など)」「理解度」「理解できたこと」「疑問点&感想」の4点を生徒に記述させた。

また、調査2～4については、授業前調査と授業後調査の各標本を正答と誤答の2つのカテゴリーに分け、2×2分割表を作成し、5%および1%水準で $\chi^2$ 検定を行ない、ISM構造学習法を用いた実践が効果的であったか否かについて検証した。その際、標本度数が5以下のカテゴリーが存在するため、イエーツの補正を行なった。

## Ⅶ 全体のまとめと考察

本研究における、4つの調査をとおして、調査1の結果は図6のようになった。このことから、理科におけるISM構造学習法は、教科書のように1つの物理量に注目しその物理量について深く学習した上で、新たな物理量を取り上げるのではなく、1つの定義から導き出されるさまざまな物理法則を考える中で、多くの物理量の関係を明らかにした授業展開となる(結論1)。そして、ISM構造学習法は、物理量の関係式に関する内容で生徒に最も効果的であると考えられる(結論2)。また、ISM構造学習法に適した生徒とは、自己評価で毎時間理解できたことと認識でき、授業のポイントに公式の導出に必要な図や知識を押さえることができる生徒であると判断できる(結論3)。一方、ISM構造学習法を用いても、たとえば「速さ」と「速度」の違いを認識しているが、「等速運動」と「等速度運動」を明確に区別して使うことができない生徒の多いことが明らかになった(結論4)。そこで、生徒が区別できないような物理量や物理の用語について、構造チャート等に明記しておく必要があると考えられ、今後の課題としてあげられる。

	本実践の配列		教科書の配列	
	「等速円運動」用語の説明		「等速円運動」用語の説明	
追加	直線運動する物体の速度、加速度、力の向き			
追加	運動方程式 $ma = F$ と加速度、力の向きの関係			
移動	円運動の速度、加速度の向き			
追加	1rad の定義			
	角速度の定義			角速度の定義
	角速度と回転角の関係 $\theta = \omega t$			角速度と回転角の関係 $\theta = \omega t$
移動	速度と角速度の関係 $v = r\omega$			移動距離と回転角の関係 $s = r\theta$
	移動距離と回転角の関係 $s = r\theta$			速度と角速度の関係 $v = r\omega$
	周期と速さ、角速度の関係 $T = 2\pi / v = 2\pi / \omega$			周期と速さ、角速度の関係 $T = 2\pi / v = 2\pi / \omega$
	回転数の周期の関係 $n = 1/T$			回転数の周期の関係 $n = 1/T$
	円運動の加速度の導出 $a = r\omega^2 = v^2 / r$			円運動の速度、加速度の向き
追加	運動方程式 $ma = F$			円運動の加速度の導出 $a = r\omega^2 = v^2 / r$
移動	円運動する物体にはたらく力の大きさ $f = mr\omega^2 = mv^2 / r$			「向心力」用語の説明
	「向心力」用語の説明			向心力の大きさ $mr\omega^2 = F$ または $mv^2 / r = F$
追加	「慣性」の説明			「慣性力」用語の説明
	「慣性力」の説明			「慣性系」と「非慣性系」用語の説明
	「慣性系」と「非慣性系」用語の説明			「慣性系」と「非慣性系」用語の説明
移動	円運動する物体にはたらく慣性力の大きさ $f = mr\omega^2$ または $f = mv^2 / r$		「遠心力」用語の説明	
	「遠心力」用語の説明		遠心力の大きさ $f = mr\omega^2$ または $f = mv^2 / r$	

図6 教科書とISM構造学習法による授業の配列