

科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践

エドワード・F・レディッシュ 著 丸善出版

レディッシュの教育のための戒律

第 1：大半の学生の場合、機能的な科学的メンタルモデルはひとりで構築されることはない。メンタルモデルの構築のためには、整合性の形成を促すような様々な活動を繰り返す必要がある。

第 2：大半の学生たちは、物理学の学習法や考え方を学ぶには、彼らが学習についてのより高度なスキーマを探索し発展させることができるための明示的な指導を必要とする。

第 3：学生に対する最も有効な支援の一つは、彼らの施行に詳細なフィードバックを与えることである。彼らがそれに注意を払い活用できるような状況の中で。

第 4：自分の学生が何を考えているかについて、できるだけ多く探り出さない

第 5：学生が質問をしてきたり、手助けを求めるときに、すぐに答えてはいけない。彼らの質問についてあなたの想定が正しいかどうか見極めるためにまず質問を返してみることだ。

第 6：もし学生に何かを学んでほしいなら、それについて試験をせねばならない。

第 7：どんなことがあっても、授業で学生の発言をけなしたり、クラスメートの前で学生に恥をかかすようなことをしてはいけない。

第 1 章 導入と動機づけ

- ・私たちが教えているのはだれか、またそれはなぜか
- ・なぜ物理教育研究が必要なのか

民主国家では国民が選ぶ指導者が国の基礎科学の支援を決定するだけでなく彼らが決定する政策課題の多くが技術的情報に強く依存する。国民の大多数が科学の誤った使用や疑似科学に騙されないようにすることが非常に重要である。

- ・何が有効であるかを理解するには、我々が何を教えているかではなく学生が何を学んでいるかについて注意を集中しなければならない。
- ・学生の成績を付けるよりももっとしなければならないことがある。彼らが何を考え、どのように学んでいるのかについてもっと耳を傾け、分析しなければならない。

学生は物理を正しく理解していなくても、手続きに従えばできるアルゴリズム的な問題は正答することがしばしばある。

第2章 認知科学の原理から導かれる授業へのガイドライン

記憶のモデル

記憶機能 = 作業記憶 + 長期記憶

作業記憶

- ・高速だが限定的である。作業記憶はかなり少数のユニットないしチャンクしか扱えない。チャンク＝意味のまとまり。チャンクは当人の中で意味を持てばかなり複雑なものも形成しうる。

- ・作業記憶中の個々の事項の解釈と理解は、長期記憶におけるそれらの事項に関する要素の存在とそれらの間の関連付けの影響を受ける。

- ・ある情報が作業記憶の中で占有するチャンクの数はいくつになるかは、その個人の知識と心的状態（＝その知識が活性されているか否か）に依存する。

⇒教員はコンパイル（＝ある知識が容易に取り出せ、作業記憶のユニットとして利用できる形になっている）された多数の大きな知識の塊を持っている。その結果教員にとって単純な議論が学生の作業記憶の限界を超えてしまう。

長期記憶

- ・創造的である。つまり、能動的である。
- ・長期記憶は文脈に依存する。つまり、外部状況とその刺激の与えられ方、および刺激を与えられた時の応答者の心的状態に依存する。
- ・長期記憶は構造化されておりかつ連想的である。学生の推論を理解す

る鍵は、知識要素を活性化するこの連想のパターン（知識構造）を理解することにある。

学生は、物理の問題に関しての推論をするとき、個人的な経験を一般化することによって獲得した、自分が知っていると思っている知識を使っている。

認知モデルから得られる教育への指針

原理1（構成主義の原理）

個々人はすでに持っている知識とのつながりをつくることで知識を構成する。またすでに持っている知識を使って受け取った情報に対する創造的な応答を生み出す。

学生が何を知っているかを見出すためには、彼らがどんなリソースを持ち込み、どんなリソースを使っているかを見出さなくてはならない。自分が何を考えているかを言葉で説明する機会を彼らに与えなくてはならない。

原理2（文脈の原理）

人が構成するものは文脈に依存する。この文脈には人の心的状態も含まれる。学生が知識を相互に結び付けて、広い範囲の妥当な文脈の中で活性化される首尾一貫したスキーマとして形成していくことが真に支援すべきことである。

スキーマ：様々な文脈のなかで高い確率で相伴って活性化される傾向にある連想のパターン

原理 3（変容の原理）

既存のスキーマに合致するか、それを拡張する事柄を学習することは比較的簡単だが、確立されているスキーマを大きく変えることは難しい。

系 3.1

すでにほとんど知っていること以外のことを学ぶのは難しい

新しい情報はつねに読み手がなれている文脈において提示されるべきであり、また、文脈が先に提示されるべきである。

系 3.2

学習の多くはアナロジーを通じてなされる

以上を見ると、各段階で学生が何を知っているかは彼らに何を教えらるかにとって決定的に重要であることがわかる。

系 3.3

「試金石」的な問題及び例は非常に重要である

試金石の問題：学生が様々のスキーマのより精巧な要素をその上に打ち立てるためのテンプレになる。たとえば、調和振動子としてのばねの問題。相互につながりを持つ一連の試金石の問題を中心として学習過程を構成をすることは、各要素の重要性と相互関連性を学生を理解するうえでの大きな助けとなりうる。

系 3.4

確立されたメンタルモデルを変容させることは非常に難しい

学生が説いてきた問題の数と彼らの示す概念理解度の間には相関がほとんどなかった。反復が効果的に用いられるためには、コンパイルされる要素がその主題についての一貫性のあるスキーマとして相互に関連づけられることが必要。

原理 4（個別性の原理）

個々人それぞれが自分自身の心的構造を構成するので、学生が異なれば心的応答も学習に対するアプローチ方法も異なってくる。このためいかなる学生集団においても、非常に多数の認知的変数について大きな分布の広がりを持つであろう。

系 4.1

人それぞれの学習スタイルは多様である

- ・ 人から学ぶ or 自分で学習する
- ・ 一般から特殊へ or その逆
- ・ 数式で表現 or 図を描くことで理解 など

系 4.2

「特定の主題を教えるのに最良の方法はなにか」に対する唯一絶対の答えはない

系 4.3

我々自身の個人的な経験は、学生を教える最良の手段に対する指針として、おそらく非常にあてにならない

系 4.4

学生の知識についての情報は彼らの中にある。もし彼らが何を知っているかを知りたいければ、我々は質問をするだけでなく、彼らのいうことに耳を傾けなくてはならない

原理 5（社会的学習の原理）

ほとんどの個人にとって、最も効果的な学習は、社会的な相互作用を通して行われる

第3章 隠れたカリキュラム

人々は学ぶ内容だけではなく、どのように学ぶかについても、さらにどういうではどういう行動が適切であるかについても、スキーマを作り上げている。

学生の期待感は授業等で学生が何に耳を傾け、何を無視するかに大きくかわってくる。学生がしようと思っていることと、教師が学生にさせたい事の間に大きなずれがあるとき、この影響は特に大きい。

青年層初期には、すべてを真か偽か、よいか悪いかに分けたり権威から「真理」を学ぶことを期待する（二者択一的）。その後、この世で完全に理解できるものは何もないのだということを受け入れ、さらに、自分たちにとって最も生産的で役に立ちそうな見方は何かを決めることは、自分自身の役割であると自覚する。

現実世界とのつながり

多くの学生は、原則としては、物理学は現実世界と関連付けられていると信じているように見えるが、相当な割合の学生が彼らが物理学の授業で学んでいることは個人的な経験とは全く、またはほとんど関係がないとも信じている。学生は、**物理の授業で学んだことを物理の授業の文脈だけでとらえてしまう傾向がきわめて強い**。問題を解くプロセスの本質的部分は、問題が現実世界で意味することは何なのか、その状況下では何が重要なのか、そしてそれらが物理学のどのような原理や方程式に対応付けられているのかを理解することである。間違った生徒は、数学的操作に心を奪われて、問題の意味を現実世界の観点から理解していな

い。学生に物理を自分の経験に結び付けるように誘導する記述問題と見積もり問題を定期的に出題すること（そして、その両方をすべての試験で必ず出題して、重要な問題であると認識させること）だけが、現実の世界と物理学の世界の間につながりを付けるための、ほんの少しのちょっとした手助けとなっている。

動機づけ

学生たちが目指す職業と物理学との関連をしめすことは、ときとして役に立つ。授業で話すエピソードは問題にしている物理に関連しているものでなければならず、初心者にも意味が分かるようなものでなければならない。

第4章 学習評価の方法とその高度化：宿題と試験

学生の学習を評価する際に考慮すること

- ・学生は、ある項目の知識を持っていたとしても、それは非常に狭い範囲の手掛かりにのみ反応して想起され、広範囲の適切な状況においてそれを想起して適用することができないことがある。
- ・学生は願望的思考によって論理の道筋の空白部を補ってしまう。

宿題の落とし穴

- ・物理の概念について深く考えさせる問題、また物理をどう適用すればいいかをしっかり理解させる問題を出題しても、その中に計算問題が含まれていると、学生の中には計算問題以上のことをしようとしないうちに出てきてしまう。

- ・問題の状況の中にあらわれる量に変数名を付けてしまったり、問題に関係する量についてだけ言及して無関係なことについては省いてしまったり、何が重要で何がそうでないかの選択が明白になるように問題を設定してしまうと、私たちは学生から、広範な本質的な問題解決スキルを学習する機会を奪ってしまう。

- ・宿題が採点させてもそれが何週間か後に返却されたのでは、学生は自分がその問題を解いた時の心的状況を再構成することは出来ないだろう。採点して返すなら、できるだけはやく！

試験をする際の注意

- ・試験の内容は教師が学生に何を求めているかについての強いメッセージを与える。
- ・多くの学生は、試験は総括的な評価をするためだけのものと思い込んでいる。そのため、学生に対して適切なフィードバックができるような工夫が必要。工夫の例は教科書 p119。
- ・選択問題式のテストでは間違った理由づけによって正答を選択したり、ヒントに導かれて本質的な理解を経由せずに正しく解けてしまうことがあるので、学生の学習を過大評価しがちになる。

- ・教科書に様々な問題の例がある