

科学をどう教えるか

レディッシュの教育のための戒律

- 第1戒律：大半の学生の場合、機能的な科学的メンタルモデルは、ひとりでに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し行う必要がある。
- 第2戒律：大半の学生たちは、物理学の学習法や考え方を学ぶためには、彼らが学習についてのより高度なスキーマを探求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戒律：学生に対するもっとも有効な支援の一つは、彼らの思考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で。
- 第4戒律：自分の学生たちが何を考えているのかについて、できるだけ多く探り出さない。
- 第5戒律：学生が質問をしてきたり、手助けを求めるときは、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のかどうかを見極めるために、まず質問を返してみるのだ。
- 第6戒律：もし学生に何かを学んで欲しいなら、それについて試験をしなければならない。このことは特に、『隠れたカリキュラム』の項目について当てはまる。

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

学習者のための認知的リソース(P.39)

ほとんどの学生は、すべての現象を記述することができる単一の一貫性のある描像を作ろうとはしないのだ。ほとんどの学生は、「事物がどのように機能するかに関して、しばしば互いに矛盾する不完全な法則を、そこそこの数だけ寄せ集めることに満足してしまっているのだ。」(P.39)

実は限られた状況や問題についてのみ使える限定的なモデルを持っていて、その範囲で首尾一貫していると感じているのかもしれない。(P.40)

- プリミティブ/リソース
 - 経験したことを直接解釈することに基づいた、これ以上分割できない機能的な部品
 - 『AとBが逆方向に作用しているとき、より大きい方から小さい方を引いた効果が現れる』
- ファセット
 - 特定の状況に対して推察された、(一面的な)物理法則
 - 『動くためには力が必要』

認知モデルから得られる教育の指針：足掛かりとなる5つの原理(P.48)

- 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作ることで、知識を構築する。また、すでに持っている知識を用いて、受け取った情報に対する創造的な応答を生み出す。
 - 系1.1：学習は移転ではなく成長である。強固でかつ機能的な知識を形成するためには、反復、省察、および統合が必要である。(P.78)
 - 情報にアクセスするプロセスこそがスキーマの本質的な構成要素であるため、文脈を限定し詳細な手がかりを与えてしまえば、その学生たちの関連づけのパターンを試験していることにはならない。学生は情報を「持って」入るが、それは、

ほとんど事前にプログラムされているような、非常に限定的な状況以外では用いられることも想起されることもない。(P.50)

• 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、その人の心的状態(mental state)も含まれる。

- 我々はこの警告をつい忘れて、学生はあることを知っているか知っていないかのどちらかであると仮定するモデルにたやすく逆戻りしがちである。応答の文脈依存性に注目すると、状況はそんなに単純ではないということを常に念頭に置くことができる。(P.50)

• 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ぶのは比較的容易だが、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。
 - 系3.2 : 学習の多くは、アナロジー(類推)を通じてなされる。
 - 系3.3 : 「**試金石**」的な問題および例は非常に重要である。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。
- 相互につながりを持つ一連の試金石問題を中心として学習過程を構築することは、各要素の重要性と相互関連性を学生が理解する上での大きな助けになりうることを示唆している。
- これまで伝統的に、我々は、原理 1 (構成主義の原理)を過度に単純化した「学生に十分な量の問題演習を行わせさえすれば、いずれは考え方を理解するだろう」という見方をあてにしてきた。残念なことに、この原理のこうした単純な解釈は必ずしも成り立たない。(中略) 韓国のこれらの学生も、アメリカの学生の場合と同程度の割合で、力学の基本概念の理解に困難を抱えていた。

• 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(mental structure)を構築するので、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さまざまである。
 - 系4.2 : 「特定の主題を教えるのに最良の方法は何か？」という問い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方法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 : 学生の知識の状態についての情報は、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のならば、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ければならない!
- すべての点で平均的な学生などいないのだから、「平均的な」アプローチは誰にも適合しないものになるだろう。学生は異なる経験を持ち、その経験から異なる結論を引き出すという事実に加えて、彼らのアプローチの方法も互いに大きく異なりうる。

- 学生によって肯定的に反応するアプローチは異なるだろう。もし自分のすべての学生を**教えたい**(自分メモ：**理解させたい**の意か?)という見地に立とうとするなら、さまざまなアプローチを組み合わせる用いなければならず、そしてその中には一部の学生にとってはうまくいかないものもあることを覚悟しなければならない。
 - 物理教員は典型的とは言えない集団である。
 - 私は、物理学科の自分の級友たちの多くのその後のキャリアを、学部や大学院の頃から数十年にわたって関心を持って追跡してみたが、絶対的に明らかなことが一つある。それは、学校の勉強で「もっともよくできた」者が、必ずしも物理学にもっとも重要な貢献をしてきたわけではないということだ。
- 原理 5 (社会的学習の原理) :
 - ほとんどの個人にとって、もっとも効果的な学習は、社会的な相互作用を通して行われる。

認知モデルから導かれるいくつかの一般的な教育方法(P.63)

- 認知的葛藤
 - **認知的葛藤**という方式は、不適切な一般化や不正確な連想(関連付け)が特に頑強でへようさせにくい場合に用いられる。
 - 授業における主要な教育的手段として、認知的葛藤を用いることが、困難を生じることもありうる。なぜなら、認知的葛藤はかなり否定的なアプローチだからである。高校で認知的葛藤を利用した授業(中略)『やれやれ、また、自分たちが物理に関してどんなに馬鹿かを教えてくれるテストだ。』
- 橋渡し
 - **橋渡し**という方式は、物理の学習に役立つ知識のリソースを学生は持っているという認識に基づき、適切な方法でそのリソースを明示的に活性化させようとする方法である。
 - 生活体験と基づけるなど、素朴概念に配慮したうえで、論理的な筋道で説明する。
- 枠組みを限定する
 - 何に注目するか、何を切り捨てるかを考える。スケッチは大事だけど、難しい。
 - サグレドは自分の学生によく「物理の問題を解くときの最初のステップは、図を書くことだ」と教えるが、学生たちは、しばしば「書くことさえできない」と愚痴をこぼしている。私は、そのような指示を受けて2次元で済むのに3次元の図を書いたり、問題を解くにはブロックを使えば済むのに、リアルな車や人、馬を丁寧に書く学生たちを見てきた。
- 多様な表現
 - 言葉
 - 方程式
 - 数値の表
 - グラフ
 - 特定の目的に合わせた図表

物理教育の目標を再考する(P.74)

- 目標 1 : 概念(concept)
 - 学生は、自分が学習しつつある物理が、どんなものなのかを、物理的世界にしっかりと根ざしたさまざまな概念が構成する強い基盤の上に立って、理解すべきである。
 - ある概念の定義を紹介する前に、現象の直接的な観察を通じて、その概念の必要性について動機づけをすることが役立つことが重要。
 - **「考えを先に、名前は後に」**アーノルド・エイロンズ
- 目標 2 : 整合性(coherence)
 - 学生は、物理の授業で獲得した知識を全体として整合性のある物理的モデルへと関連付けるべきである。
- 目標 3 : 機能性(functionality)
 - 学生は、今学んでいる物理をどう使うか、およびそれをいつ使うのか、の両方をまなぶべきである。
- 目標 4 : 現実との結びつき(Reality Link)
 - 学生は、自分たちが学んでいる物理学と、物理的世界における自分たちの経験とを、結び付けなければならない。
- 目標 5 : メタ学習(Metalearning)
 - 私たちの教えている学生たちは、科学を学ぶとはどういうことなのか、そして科学を学ぶためには何をしなければならないのか、について十分に理解を深めるべきである。とりわけ、学生たちは自分の持っている知識を評価し、さらに構造化することを学ばなければならない。

第3章 物理授業には教える内容以上のモノがある：隠れたカリキュラム

第二の認知レベル(P.81)

- 2章で述べた認知レベルの上位にあって、その働きをコントロールしている、**第2の認知レベル**が存在する。これは、**実行機能(executive function)**とよぶ。以下の3つが重要
 - 期待感(期待・予測・思い込み)
 - 青年期には、権威から真理を学ぶこと（すべてを真偽・善悪に分けるなど）を期待する一方、発達するにつれて、自分自身の理解を構成する段階に到達する。
 - メタ認知(認知過程を認知する機能)
 - 情緒・情動(affect)

学生の期待感の構造：ハマー変数(P.84)

好ましい姿勢

好ましくない姿勢

| 好ましい姿勢 | 好ましくない姿勢 |
|---|---|
| 独立性 自らの理解を、自分自身の意思で構築しようとする。 | 権威(教師や教科書)から与えられるものを無批判に受け入れる。 |
| 整合性 物理学は、自然を理解するための、互いに関連付けられた、首尾一貫した体系として理解されなければならぬ、と信じている。 | 物理学は、互いに無関係な事実やばらばらの事実の断片として扱えばよい、と信じている。 |
| 概念 背景によこたわっている考え方や概念を理解することが大切だと考えている。 | 解釈や意味を理解することなしに、公式の暗記や使い方に集中する。 |
| <ul style="list-style-type: none"> サグレドよ、問題の一つは、我々がそれと気づかずに、学生が好ましくない態度をとるよう、しばしば学生を仕向けていることなのだよ。 たとえ、学生が現実世界に意味づけられた重要な概念を構築したとしても、認知的応答が強く文脈に依存しているため、学生は、物理の授業で学んだことを物理の授業の文脈の中だけでとらえてしまう傾向が極めて強い。 | |

第4章 学習評価の方法とその高度化：宿題と試験

成績評価と授業評価

- いつ？：学期の授業が進行している間に問うのか、それとも終わった後で問うのか
 - クラス全体について調べたものは、『授業評価』、個々の学生について調べるのが、『成績評価』
- 何を？：ここの学生について問うのか、それともクラス全体について問うのか？

学生へのフィードバック

- 誤った考え方を持っている生徒に、フィードバックを返しながらかの思考を解きほぐすことは重要。
- クラスのサイズが大きくなると、宿題の採点は行われなくなり、教科書に解答のある問題ばかりを課すようになる(長倉メモ 耳が痛い...) そこに書かれている詳細な解放は助けにはなるが、個々の問題の解法には多くのアプローチがあるので、学生の思考の誤りを修正させるものになるとは限らない。

宿題

- 宿題は学生に物理を学ばせる上で大きな価値をもちうるが、悪い宿題は逆に、「事実と方程式で十分だ」というような見方を補強するような悪いメッセージを送ってしまう。
- ...しかし、計算問題という抜け穴を与えてしまうと、学生の中には、それを解く以上のことはしようとしなくなる。この抜け道を閉ざすためのいささか冷徹な試みとして、宿題の一部として計算問題を課すことをやめてみた
 - 計算問題は自分でやりな、ただ、それだけじゃこの授業では良い成績は取れないよ。もっとハイレベルなことを望んでいるからね。
- 毎週の宿題として多様な挑戦的な問題を出すことは、物理を学ぶにあたって必要なことは何かについての学生の考えを方向転換させる上で効果がある。

- あなたが良いフィードバックを与えたとしても、彼らがそれを活用する保証はない。宿題が採点されコメントをつけて返却されたとしても、何週間か後に返されたのでは、学生は自分がその問題を解いた時の心的状態を再構成することはできないだろう。書き込まれたコメントを解釈するのに困難を感じれば、彼らはそれを無視する結果になりがちである。

学生からフィードバックを得る。

- 学生からフィードバックを得るのは大事。以下の4つの方法がある。
 - 授業中や、オフィスアワーでの面談に際して、学生の振る舞いを観察する。
 - 調査票やアンケートによって、学生の満足度を測定する。
 - 概念調査問題を用いて、学生の学習を測定する。
 - 明確な答えがない問題(自由記述式等)を用いて、学生の学習を測定する。

試験

- マークシート採点は、我々の指導の性格に強力な影響を及ぼす。学生の学習状況について得られるフィードバックが著しく限られてしまうだけでなく、学ぶべき重要なことは何であると私たちが信じているかについて、学生に強力なメッセージを送ってしまうことになるのだ。
- 私たちがさせたいと思うような知的な活動に学生を取り組ませるためには、そのような活動に関わるテストを行うことで、それを彼らに知らせなければならない。

形成的なフィードバックとしての試験

- 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。試験や小テストの提示や実施の方法を工夫すること(以下の通り)によって、学生に試験での自分の間違いに注意を払わせることができる。
 - 試験を週の最後の授業に行う。
 - 試験はすぐに(週末の間に)採点し、次の週の最初の授業で返却する。
 - 授業の冒頭で試験を返却してその時間中に見直しをおこない、部分点を与える解答のパターンも、もしあれば明示する。
 - 学生に採点の間違いや、問題文の別の解釈の可能性を見つけさせ、自分の得点を上げることを奨励する。
 - もし試験の点数が不満なら、授業時間外に同じ題材について(ただし違う問題で)やり直し試験を受けることができる。しかし、再テストの点数を最初のテストの点数に置き換えるのではなく、二つのテストの平均点が与えられる。
 - 以下テストの実施方法について、略

8つのタイプの試験問題と宿題

- 1.選択肢式および短答式の問題
 - 採点が楽
 - 偽正答や偽誤答の可能性もあり。
 - 十分に調査された問題を使うとよい。
- 2.多選択肢・複数回答問題
 - 学生は一つ一つ問題文を吟味しそれについて判断することが求められる。学生たちが物理的な状況について複数の文脈依存モデルを混同して抱きがちな場合には、このタイプの問題は特に

有効である。

- 3.表現変換問題
 - 私が学生に物理量の意味を考えさせることに成功したのは、彼らに物理的な状況とたくさんさんのグラフを見せるような問題を課したときである。
- 4.並び替え問題
 - 採点がしやすい
- 5.文脈に基づいた推論問題
 - 日常の文脈に置き換えた問題。ちょっとは面白く！
- 6.見積問題
 - フェルミ推定
 - やがて、機器のサイズや測定の精度に関する具体的な推定にうつる準備らしいけど、高校ではできないな。
- 7.定性的問題
 - 関連する物理原理や概念を見つけ、定性的に推論し、説明を記述することを要求するので、現実世界での個人的な経験と、物理で学んだこととを結びつけさせるのに効果的である。
 - 理由を書かせるのもよし。
- 8.論述問題
 - 必要な配慮が3つある。
 - 大学の状況によっては、入門レベルの学生たちは、しばしば大人数での講義だけからなる授業を受けていて、しかも彼らは試験の際に実際に文章を記述しなければならないという経験をほとんどしていないことがある。
 - 試験では学生はすさまじい心理的なプレッシャーを受けていることに配慮する必要がある。試験時間が長くて時間的なプレッシャーもある場合には、彼らは自分が書いている内容について考える余裕がないことがある。
 - 論述式の問題から最も多く学び取ることができるのは、採点者である。

第5章 我々の授業を評価する：調査

(略)

第6章 教育指導への示唆：いくつかの効果的な教授法

•

<ここから>