

# 書籍紹介: 「科学をどう教えるか」

久野 靖\*

2012.7.18

- Edward F. Redish, Teaching Physics with the Physics Suite, Wiley, 2003.
- レディツシュ著, 日本物理教育学会訳, 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 —, 丸善, 2012.

- 原題のように、物理教育 (大学1年次、一部高校も含む) のための教材や教育方法の話だが…
- 邦題のように「科学的なものの教育」という視点で広くあてはまることもあり、他分野の人 (久野) にもとても興味深い
- とくに「普通に授業やっても大半の学生は何も学んでいない」というのはショッキングだが言われてみればそうだろうと思う
- 自分の分野 (コンピュータ、プログラミング) は実習があるからマシな面があるが、物理も実験があることは同じで、物理実験も「やるだけ」では意味がないというのは厳しい指摘

## 1 導入と動機づけ

- 教えようとしても「分かってくれない」学生多数
- 「広範囲な研究によって、学生は、教科書からは、ほとんど何も学んでいないということが分かってきた」
- 効果的に学ぶには brains-on 状態が必要: そのような学習活動が必要
  - → 物理教育 suit を開発した
  - → 「物理教育の共同体地図」を作りたい
- 教育研究は複雑なテーマ (人間が複雑)。だが分かって来たこともある

## 2 認知科学的原理から導かれる指針

- 人間の認知モデル: 作業記憶 (WM) に短時間情報が留まり、それが反芻されることで長期記憶 (LTM) に入る
  - LTM は「創造的」「文脈依存」「構造化され連想的」

- 学生の認知モデル (知識・推論のモデル) を知ることで…
  - → (1) どんな間違いをしやすいか理解できる
  - → (2) 学生が持つリソースが分かる。具体的には:

### 2.1 学生が持つリソース

- 1) 一般的な素朴概念 (common naive conception) --- 思いものは速く落ちる、のような信念
- 2) モジュール型推論構造 (primitive, facet) --- 背が高いと大きい、のようなこれ以上分解できないもの → それによる特定推論結果
- 3) 状況に立脚した認知 (situated cognition) --- 認知は文脈に依存

### 2.2 認知モデルに基づく5原則

- 1) 構成主義 --- 知識はすでに持っている知識とつながることで構築される → 学生が何を学んでいる/いないかを知るには非常に多くの情報を得る必要がある
- 2) 文脈の原理 --- 認知的応答がどうなるかは、文脈によって変化 → 同じことを問われても、見せ方/文脈で違い
- 3) 変容の原理 --- 既に持っているスキーマを拡張する学びは用意だが、それを大きく変化させる学びは難しい
  - 3-1) すでにほとんど知っている以外のことを学ぶのは難しい。given-new principle → 新しい情報は常に慣れている文脈で提示されるべき
  - 3-2) 学習の多くはアナロジーを通じてなされる
  - 3-3) 「試金石問題」が重要 ← 学習の中で何度もそれに立ち戻り、他の問題を解くよりどころとなるような問題
  - 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
- 4) 個別性の原理 --- 個人ごとに心的構造が異なりアプローチも異なる
  - 4-1) 人それぞれの学習スタイルは多様

\*筑波大学ビジネスサイエンス系

- 4-2) 特定主題を教えるのに最良の方策というのは無い
- 4-3) 教員の個人的経験は学生を教える最良の方法に対する指針として当てにならない
- 4-4) 学生の知識の状態は学生の中にある → 学生の言うことに耳を傾けなければ分からない

□ 5) 社会学習の原理 --- 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

## 2.3 認知モデルから導かれる教育方法

□ 認知的葛藤 --- 素朴概念では矛盾する事態を与えて、矛盾を引き出し、直面させ、解決・省察させる

- 弱点: ネガティブ・否定的であること

□ 橋渡し --- 補間的なステップを発見させる → メンタルモデルの正しい方向への変容をうながす

□ 枠組の限定 --- 現実には複雑で直面すると困難 → 問題解決に適切な枠組みの構築を支援するのがよい

□ 多様な表現 --- さまざまな表現方法(グラフ、図、…)が扱えるように支援するのがよい

## 2.4 学習内容に関する拡張された目標

□ (目標 1): 概念 (concept) --- 対象世界にしっかり根ざした各概念の基盤の上に立って、学習するそれぞれのことがらを理解する

- 「考え方を先に、名前は後に」 --- 知ったかぶりで専門用語を出してきたら、それが何か分かるまで説明させる

□ (目標 2): 整合性 (cohesion) --- 各知識を整合性のあるモデルに関連づけられるようにする

- 内容をつかむだけでなく、正確で効果的なメンタルモデルを構築させる

□ (目標 3): 機能性 (functionality) --- 学んでいることをいつ使うか、どう使うかの両方を学ぶ

- 文脈を認識し、正しく知識を用いることができるように

□ (第 1 戒律) --- 機能的な科学的メンタルモデルは、ひとりでの構築されることはない → 整合性の形成を促すさまざまな活動を反復する必要

## 3 隠れたカリキュラム

□ 「多くの学生は、物理学を学ぶということがどういうことかについての適切なメンタルモデルをもっていない」

□ よくあるメンタルモデル

- 教師が黒板に書いた方程式や法則を(教科書に書かれていても)ノートにとる
- 各章の終りにある公式とともに暗記
- どの公式がどの問題に使えるか「わかる」のに十分な問題練習
- 試験に合格し、すべて忘れる(次の科目を覚える場所をあける)

### 3.1 第二の認知レベル

□ 前章の認知レベルよりも上位にありそれをコントロールするもの

□ 学習に対する期待感

□ ハマー変数: 期待感の構造を表すもの

- 独立性: 理解を自分の意思で構築 VS 教科書や教師を無批判に受け入れ
- 整合性: 関連づけら一貫した体系として考える VS 事実の断片であるとする
- 概念: 背後の概念を理解することを重視 VS 解釈や意味はさておいて公式暗記

□ 望ましい態度を持っていたのに、挫折させて望ましくない方に行かせてしまうこともある

### 3.2 現実世界とのつながり

□ (目標 4): 現実とのつながりを持つことが理解のために大切

□ MPEX 調査: 現実との関連についての調査(+:好ましい方向、-:好ましくない方向)

- 物理法則は現実世界とほとんど関係ない(-)
- 物理の理解には個人的経験とトピックの関連づけが必要(+)
- 物理は現実役に役立つが授業でどうしてもそれが必須ではない(-)
- 物理を学ぶことは日常生活の出来事を理解するのに役立つ(+)

□ 授業のあと、好ましい方向の解答がむしろ減少したものもあった

### 3.3 メタ認知: 考えることについて考える

- (目標5): 科学を学ぶとはどういうことか、学ぶには何をしなければならないか、を理解する。自分の持つ知識を評価し、構造化する
- (第2戒律) --- 大半の学生が物理学の学習方法や考え方を学ぶためには、学習についてのより高度なスキーマを探究し発展させられるような明示的な指導が必要
- メタ認知を改善するための質問群
  - 君は(本当のところ)何をしているの? (正確に説明できる?)
  - 君はなぜそれをしているの? (どのようにしてそこから答えに至る?)
  - それをすると、どうなるの? (答えが出たら結果をどう使う?)

### 3.4 情緒・情動: 動機づけ、自己イメージ、感情

- 動機づけはあれば望ましいが簡単ではない --- 教師による違いが大きい部分でもある
- 自己イメージは大きく影響する --- 自信過剰も、自信不足もよくない
- 感情 --- 学生が好感を持つことは有効(それに注力しすぎるべきでもないが)

## 4 学習評価: 宿題と試験

- 学生へのフィードバック
- (第3戒律) --- 学生に対する最も有効な支援の1つは、学生の思考に詳細なフィードバックを与えること(それに注意を払い活用できるような状況下で)。
- 宿題は学習の上で大きな価値を持ち得るが、悪い宿題は「事実と方程式で充分」のような悪いメッセージを送ってしまう
  - 計算問題をやめ、論述問題、文脈に富んだ問題を増やした
  - 何が重要で何が重要でないかをヒントに出したりしない方がよい
- 学生からフィードバックを得る
- (第4戒律) --- 学生たちが何を考えているのかについて、できるだけ多くを探り出すべし
  - その方法: 授業中や面談での観察、調査票やアンケート、短答式問題(適切な誤答つき)、論述問題

- (第5戒律) --- 学生たちが質問してきたり手助けを求めたとき、すぐに答えてはいけない。その質問についてのあなたの想定が正しいかどうか見極めるために質問を返してみるべき。
- 試験 --- 学生に知的な学びをさせたければ試験でメッセージを送る
- (第6戒律) --- 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。「隠れたカリキュラム」の項目については、とりわけそうである。

## 5 授業を評価する: 調査

- 研究に基づく調査が必要
  - 試験では難しい --- 得点分布、評価目標、学生がなぜ間違えたかを知る
- 授業の中での調査
  - 事前と事後で同じ学生を比較できるデータのみ使うのがよい
  - 解答は配ってはならない、評価に使ってはならない(参加点はよい)
- 妥当性と信頼性
  - 妥当性 --- 学生がどう考えているかを調査できているかどうか
  - 信頼性 --- 再現性があるか、変動に対処できているか
- 具体的な調査
  - 内容理解 --- FCI, FCME, MBT
  - 学習姿勢 --- MPEX, VASS, EBAPS

## 6 教育指導への示唆

- 教室のさまざまなモデル
- 伝統的な教室 VS 能動参加型

## 7 講義を基本とする方法

- 伝統的な講義では学生はあまり学んでいない
- 定石的な手法(学生に質問する等)はあまり成功していない

## 7.1 伝統的な講義

- ノートをきちんと取って利用することが重要だが学生はあまりやらない
- より相互作用的にするのがよい
  - ストーリーを立てて話す/まとまりに切り分ける
  - ノートを取るようにながす
  - 上手な話し方
  - 本気の質問 (学生に考えさせる)
  - 討論の過程を重視
  - 学生の一人一人と人間的な交流をはかる
- (第7戒律) --- 授業で学生をけなしたり、クラスメートの前で恥をかかせたりしてはならない
- (第8戒律) --- 教員が学生が学ぶことに注意を払っていて、教えることはどの学生も必ず分かると信じていることを学生たちに確信させる

## 7.2 ピアインストラクション/コンセプテスト

- ConcepTest --- 講義途中 (5~7分の区切り毎) で実施する、講義内容について深く考えさせる多選択肢問題
  - 挙手などで全員の答えの分布を見る
  - 2分間くらい仲間で話し合う
- この結果、講義は10~15分サイクルで進むことに
- コンセプテストの難易度は正答率35~70%くらいに

## 7.3 ILD(相互作用型演示実験講義)

- ILD: interactive lecture demonstration
  - 2枚のワークシート: 1枚は事前予測、もう1枚は実験結果を記入
  - 予め予測シートに記入させる (これは評価には使わない)
  - 演示をデータを取らずにやり、次にデータを取ってみせる
  - 結果を結果シートに書き込ませる
  - 結果について短い討論をさせる
- 討論が有効: 「間違いない答え」でなく考えて推論する体験

## 7.4 ジャストインタイム教授法

- JiTT: グループ討論と Web 技術を統合した手法
  - 講義の前に Web にウォームアップ問題が提示され取り組む (これから授業で取り組む内容)
  - 学生は最良の解答を求められる (内容でなく努力)。締切は授業の2~3時間前
  - 教員は学生の解答を見て授業で使う解答例をピックアップ
  - 授業はこの題材を中心に討論
  - テーマの終わりに Web に「パズル」問題が提示され取り組む
- ウォームアップ問題の内容が重要

## 8 演習と学生実験を基礎とした方法

- 演習と学生実験は能動参加型に活用できそうな要素
  - しかし実際はそうっていない (料理本型の実験など)

### 8.1 伝統的な演習

- 学生に問題を解かせ、TA が解説する
  - 学生は「パターン記憶型」になりやすい
- 相互作用型に改善するためのアプローチ
  - 本気の質問をする (学習内容に関わり、学生に考えさせるもの)
  - 議論を導く (質問に答えてしまうのではなく、議論させて到達)
  - 問題に共同で取り組ませる (授業に出ていなくて、基本概念を理解してないと分からないような問題を使用) → 各グループが答えを書く → さらに討論
  - 問題数を減らしてより深く考察させる (簡単でない)
- (第9戒律) --- 可能な限り学生の言葉に耳を傾ける。自分の考えを説明する機会を与え、それをよく聞く。

### 8.2 「チュートリアル」

- 注意深く設計されたワークシートを用いるグループ学習活動
  - 学生は3~4名のグループ、1人あたり12~15名を見るファシリテータ
- 「チュートリアル」の構成
  - 10分間の「事前テスト」(定性的・概念的問題)

- TA と教員は事前テストを検討（採点はしない）
  - 50 分の授業。学生はグループ作業でワークシートに解答
  - 自分の推論を説明することを求めるような宿題
  - 次回の試験でチュートリアル教材に関わる問題
- チュートリアルは高い効果を生み、演習よりよかった
- 学生は慣れる必要があった

### 8.3 「ABP チュートリアル」

- ABP: activity based physics
- コース全体に渡って概念学習を目標とする
  - 定量的な問題も目標
  - コンピュータ・ツールも使用
- 伝統的授業に比べて大きな改善

### 8.4 CPS: 協同による問題演習

- CPS: cooperative problem solving
- 文脈に富んだ問題文を与えてグループで考えさせる
  - 行き詰まった時のための支援を系統的に用意
  - 「グループ活動の結果は、その中の最も優秀な学生の結果よりよい」
- グループの相互作用を増強する手法
- 3名のグループ（2名は効果的でない、4名だと消極的な人が出る）
  - さまざまな能力レベルの学生から成るグループがよい
  - ジェンダー問題に気をつける
  - 結論を早く出しすぎるグループを支援

### 8.5 伝統的な学生実験

- 目標は「講義で与えられた真実の確認」「よい値を得る」が多く、学生が何を学ぶかではないという問題
- 学生は手引を読んでやることを理解するのに大半の時間を使う
  - 学生の目標は実験レポートに記載する数値を得ること
  - 実験そのものについて考えたり概念理解につながることはない
- 相互作用型にするためのアプローチ
- 討論により全員で議論させ1つの「クラス」にする

- 実験の手引は廃止。代替案：課題をボードに書き、学生が何をすべきか案出
- 授業のはじめに実験計画について議論する
- 何をしているか、なぜしているかを学生に時々たずねる
- 結果を共有する（共有のための時間をとる）

### 8.6 RTP: リアルタイム物理

- RTP: real time physics
- コンピュータとセンサを使って即時的に結果を取得+グラフ化するなどのサポートを用いる
  - 高い効果を示している
  - 誤差解析に時間をあまり使っていない --- 伝統的実験でも誤差解析は言われた通りやっているだけでは

## 9 ワークショップ/スタジオ方式

- 講義がまったく（またはほとんど）無い方式
- 学生は一連の小さな課題に取り組みながら全課程を過ごす
  - 時間の大半は実験機器を使用

### 9.1 PbI: 探究による物理

- PbI: Physics by Inquiry
- コンピュータや大規模な機材は使わず、簡単な機器を使う
  - 少数のトピックについて深く学ぶ（浅く広くより有効）
  - 認識葛藤型のモデル
  - 学生の期待/先入観と大きく違うので支援が必要
  - 複数の大学で実施され、高い効果を示した

### 9.2 ワークショップ物理

- コンピュータ・センサを使った実験
- 講義は実験結果に対する数学的モデルの組み立てを扱う
  - 学生の学習の枠組を理解すること、根拠を考えることに変更させる
  - 概念形成に有効

## 10 物理スイートを使う

(略)