

7. Learning to Research about Learning

H. A. Simon

abst:

この章の目的は、全く新しいテーマを、この本の中で行っている議論に持ち込むのではなく、(どのようにして我々の認知理解はそれらの方向を定義できるかという) 学習研究の方向についての他の章において議論された研究から、一般的な関係性を強調することである。

LEARNING AS THE LINK

認知と教育の間の繋がりは、"学習"にある。

- ・心理学における中心的なトピックである 2 つの理由
 - 人間という生物の最も重要な活動の一つ。
 - 生物が生き残るための適応力に強く関係、環境に適応するための最も強力なメカニズムの一つ。
- 人間という種が成功している理由は、capability
- ・人は小さい頃から、何か学習すると、行動が変化する。
- ・科学における課題は、不変(invariants)の特徴を発見すること。
- ・変化する対象において不変の特徴とは？
不変性は、主に、学習メカニズムそれ自身に存在する。

・以下の基本的なメカニズムにと同様に
; 感じること(sensing), 気づくこと(perceiving), 思考と呼ぶような神経系における記号操作, 感情を表に出すこと

学習研究・理論における 2 つのレベル

- ・1st メタレベル: 学習するために学習すること
 - より効果的な学習方法, より効果のない学習方法の存在は疑いようがない。
- ・2nd メタレベル: 学習方法を人に教える方法を学習すること
 - 本章のタイトルであり, 今回の会議におけるテーマ。

学習についての研究は、複雑。

- ・学習は複雑なプロセス。あるいは、複雑なプロセスの集まりである。

学習研究の課題は、それら複雑なプロセスの理解すること、そしてどのように学習を促進すれば良いかを理解すること。

THE PROCESSES OF LEARNING

「この本の構成はそれら複雑性を反映している。」

1 .

- ・我々は、幼児や子供の生物学的な成長・発達について、学ばなくてはならない。
- ・多くの研究は、子供たちを対象にしている。
- ・未成年期における生物学的、あるいは心理的な発達。

- ・だから、発達と学習の関係は、我々の1番目のテーマとなるのだ。
- 2 .
- ・教師あるいは Tutor と呼ばれる進行役によって構築された環境下で学習が実行される。
 - ・ computer tutor や、より進歩したデバイス（黒板よりも）が利用された環境下での学習も
 - ・ それら教師や教師の方略の役割も、また一つのテーマである。
- 3 .
- ・ 学習は社会的なものであり、学校等のフォーマルな場だけで行われるわけではない。
 - ・ 学校において学ぶことと、農民社会(peasant society)において学ぶことの違い
 - ・ 将来的には2つの社会で学ぶことはより近づくかもしれないし、離れるかもしれない。
 - ・ 我々は、極端な構築主義者が主張するような、誤りを犯すべきではない。
 - 学習とは偶然生じるものではない。学校でさえも、効果的な学習が偶然生じるわけではない。
(??だから、厳密に学習を構成しなくてはならないということ)
 - ・ "学習における社会的なプロセス"と言うときの、"社会的"の意味は、"人々があちこちにいる"という以上の意味を持つ。
 - 現代では、人は周りにいなくても、本やその他のコミュニケーション形式との学習
 - 本で学習をさせる場合も、非社会的なわけではない。
 - ・ 少なくとも90%の人(数値は推測)は、社会的なプロセスの中で学習する。
 - 他人を見たり、他人の言うことを聞いたり、他人の書いたものを見たり。
 - ・ 野生に暮らす人を除けば、心理学は全て社会的である。
 - 外部の世界についての情報のほとんどは、人の手を介している。
 - 旅人など、話し手や、書き手が、話したり書いたりした情報に深く依存している
- 4 .
- ・ 人が他の活動のために道具を作り利用してきたように、学習についても道具を使う。
 - ・ これまで紹介した最も重要な3つの道具 (tools) について
 - ；書かれた言語(本など)、教師、黒板
 - プロジェクタや、ビデオテープの利用
 - Mind's Eye : (Tabachneck-Schijf, Leonardo, & Simon, 1997)の利用
 - ・ 我々は、学習の増強を熱望しており、歴史的には道具や他の創造的な活動を利用して達成した。
 - ・ 今日、我々は、教育の工業化"industrialization"の頂点にあり、その可能性は、研究の余地が十分にある。
 - "information revolution", "industrial revolution"
- 5 .
- ・ 自然環境が学習に与える影響。明らかにするのは簡単ではない。
 - ・ 都市部の子供は、様々な経験が少ないかもしれない。コンピュータや TV といったツールを除いて。
 - より多くの社会的な経験(??他人の書いた文書等)によって、補正されるかもしれない。

THE FIRST LAW OF LEARNING

この本に登場するツールに関する研究では、数多くの認知的理論を見ることができる。
これら素晴らしい理論を今後も生かすために、一般化を行わなければならない。
まず、(同僚たちが基礎としていると思われる) 共通認識について理論的な核を明示する。

- 学習者中心 学習理論： Learning takes place inside the learner and only inside the learner.
- ・ 学習は学習者の頭の中での変化を必要とする。
 - ・ その変化について、神経レベルでの記述はできないが、記号レベルでの理論的な記述は行われている。
 - ・ 様々な学習のためのツールは、全て、頭の中に知識やスキルを蓄えさせるために用いられている。
 - ・ 1930年代の Carnegie Tech(現 CMU) . エンジニア教育の先端 . "Carnegie Plan" では問題解決スキルを重視。
 - Learning depends on what the learner does, and only on what the learner does.

この理論が暗示しているのは、頭の中の学習プロセスやメカニズムについての理解を目的とすること

- ・ 心理学における過去 100 年 (特に過去 50 年) の道筋。
- ・ LTM(long-term memory), STM(short-term memory).
- ・ Mind's Eye[Fig7.1]の理論的背景でもある
 - 聴覚(auditory) STM -> magic number seven
 - LTM における domain specific な知識の貯蔵 (検索可能な形での)
=> 特定領域において、LTM の容量が増大(Richman, Staszewski, & Simon, 1995) .
- ・ LTM , STM という構成要素は、学習範囲や記憶に関する現象から導かれた。
- ・ 一般脳(general brain)の存在は n , 脳障害患者や、EEG , PET , MRI により導かれた。
 - 特定領域における記憶機能の解明のためのデータ収集が fMRI により始まりつつある(Postle & D'Esposito, in press)

以上が予測できただけで、神経レベルでの理解なくとも、いくつかの学習の促進方法を考えることができる。

- ・ このような心理学における知見を学習に適用(John Anderson, chap.8) .

教育的なプログラムを実行するために必要とされる基本的な学習法則についてわかること

- (a)活発な学習の間に学習者が何を学んだのかを理解する必要がある。
- 優秀な学習者は、記憶中に新しい知識・プロセスを、後で連想可能なように組織化して蓄えることができる
- (b)どのような環境が能力を伸ばすのかを理解する必要がある。
- 環境 (教師も含む) は、蓄えるプロセスを促進すればよい。

- 関係する情報の方に学習者の注意を誘い,
- より役立つ形式で理解させるような方法を構成し,
- やる気を起こさせながらその方法を獲得させる.

完全な task analysis は学習環境デザインの必須条件である.

- ・ "drill and practice" には反対である. 多くの時間を費やし, 特定の領域の問題しか解けないような学習方法.
- ・ 深く理解する必要がある知識・プロセス(スキル)は何かを調べ, それらを効率よく記憶させる方法を考えること
- ・ 学習者が活発に活動(積極的に反応を返す)のような条件について理解することも必要.
- 動機付けがなくては, 不十分な時間しか学習が行われない
- ・ そして, 学習者自身のプロセスについて理解することも必要.
- 意味のない時間を過ごすことも考えられる(Simon, 1994).

学習プロセスにおける動機付けに関する良いモデル表現はない.

- ・ あるとしても, 多くの実験を通して得られた予測でしかない.
- ・ attention-focusing メカニズムは, 動機付けと運動の間を結ぶものとなるだろう.

以上の議論については, 明白なので, 討論することなく受け入れられるだろう.

しかし, 唯一, 明白でないのは, なぜ練習は学習から落ちこぼれを生じさせるのかということ. 例えば, 暗記学習と理解を伴う学習について考えてみる.

Rote Learning and Understanding

"理解"は, とても神秘的だが, "理解"について理解しなければ, "理解"について学ぶことはできない.

定義は難しいが, "知識"や"スキル"について我々が定義したように(Simon, 1975), "理解"についても定義する.

- ・ 関連するタスク課題で良い成績を取ることができたら, その人は情報を"理解した"と定義する.
- ・ ただし, 暗記によって学習したのか, 理解を得ることによって学習したのか, 注意深く研究する必要がある.

3 という数字を理解したのか?

- ・ $3+4$, 3×7 の質問に答える. 3 は基数かどうか?
- ・ 暗記学習では, 質問に答えることができない. 答えられるならば, それは理解したということ.
- ・ "intuition", "insight", "creativity"などの神秘的な言葉もこの方法が使える.

Tools for Banishing Mysteries

50 年に及ぶ認知心理学が用いてきた神秘性を打ち消す道具

- ・カメラ, テープレコーダによる verbal protocol
- ・EEG, PET, fMRI
- 言語の発達
- ・Newton, Maxwell, Einstein, Schrodinger らは, 物理現象について推論ために必要な言語をもっていた.
- ・同じように, コンピュータプログラミングシステムは, 物理的な記号処理を行う推論システムを構築するのに使える.
- ・コンピュータプログラムは, どのような記号パターンでも, 許容するし, 符号化できる.
 - 脳が取り扱うような, 数的なもの, 言葉, 図的なもの, 絵のようなもの, 音声.
- ・The Physical Symbol System hypothesis(Newell & Simon, 1976)が主張すること
 - これはまさに, システムが知性を見せるために必要な能力である
- (?? 知能はある種の記号操作によって実現されていると仮定できる.
 - 従って, 人間の認知過程のモデルをプログラムの形式で実現できるはず)
- ・この効果は絶大.

(Anderson, Corbett, Koedinger, & Pelletier, 1995; Feigenbaum & Feldman, 1963;

Langley, Simon, Bradshaw, & Zytkow, 1987; Newell & Simon, 1972; Newell, 1990; Simon, 1996)

この章の残りの内容について

- ・どのようにして学習のコンピュータモデルが, 学習プロセスについての考えを明確にしてくれるのか?
- ・学習を促進するために何ができるのか?
 - ・EPAM (Feigenbaum, 1960)
 - 専門家が学習すること, その学習が記憶中に組織化されることをどのように記述するのか
 - ・ZBIE (Siklossy, 1972)
 - 子供が学習する際に使う自然言語について説明する. 自然言語教示に役立つだろう.
 - ・プロダクションシステム言語 OPS5
 - 学校学習タスクのための効果的な材料を構築する最初のステップとして OPS5 を使う方法. ; 教科書, 問題集, computer tutor (Zhu, Lee, Simon, & Zhu, 1996; Zhu & Simon, 1987)
 - ・John Anderson の ACT-R プログラムについては Chap.8
 - ・これらシステムや理論が, 完全であるという主張ではなく, 重要な提案をしてくれる強力なツールという主張.

EPAM(Feigenbaum, 1960)

- ・人間の知覚と記憶のコンピュータプログラム.
- ・人間の音声学習についての実験結果を説明する (Feigenbaum & Simon, 1984)
- ・専門家の記憶の内容や, 構造を記述 (Richman, et al., 1995)
- ・Categorization (Gobet, Richman, Staszewski, & Simon, 1997)

- ・ 基本的な構造は,[Fig. 7.1]と同様だが, 運動系と, 初期の知覚については実装されていない.
 - 刺激情報がベクターとして与えられる.
 - ・ 記憶構造は "symbolic", 言葉だけではなく, 図や絵の形でも. 触覚, 嗅覚も持つ.
 - ・ 拳動
 - 刺激が与えられる 反応の正確さの程度をフィードバック 刺激を識別
 クラス分け 意味情報ネットワークの形でクラスごとに組織化, 蓄えられる
 - 識別ネット(discrimination net)は, それぞれのノードごとに並べ替えられる 成長
 - 識別ネットの成長により, 似た刺激などが検索可能になる.
 - ・ プロセスやパラメータの変換無しに, 著しい記憶の専門家やチェスプレイヤーの記憶量を示すことができる.
 - EPAM-like モデルでは, 世界クラスのチェス専門家は, 300,000 以上の枝を必要とする.
 - templates, chunks の記憶
 - ・ EPAM による専門家の一般的なモデル
 - 認識し, それから行動(recognize, then act)
 - 課題で 完全な行動系列が行えない場合に, means-ends analysis を使って似た手続きを検索, 実行する
 - より統合された専門家のモデルである, 一般問題解決器 (GPS)も EPAM と同じような手段を使う.
 - EPAM と ACT-R は, 基本的部分で類似点がある.
 - ・ 足し算の表と時間表を同時に渡して習得させることは可能だろう, しかし, 何らかの機会ですし算をしている時に, 時間表も連想する.
- ZBIE (Siklossy, 1972)
- ・ 言語教示法の一つである, "language by pictures" books からひらめく.
 - 第 2 言語も第 1 言語と同じように, 絵や図から勉強すべきだ (I. A. Richards)
 - ・ ZBIE の刺激内容
 - シンプルな scene(リスト構造からなる図)と学習される言語の sentence のペア.
 - ・ scene と sentence のマッチング
 - "dog" と ある絵の中のオブジェクト, "cat" とその他のオブジェクト, そして"chases"と猫と犬が競争している絵
 - ・ マッチしたら, そのオブジェクトに名前をつける.
 - ・ 構文法(syntax)と意味の間に強いリンクを張ることによって, 言語習得理解のアイデアを提供してくれる.
 - 辞書的な意味に制限されない, 言語学習
 - 状況と言語の繋がり, (特に幼い)子供の自然な学習と一致する
 - より後では, 図だけからではなく, 他の文法的な形容によって学習 (ユニコーンの例)

- ・ 現在では、より豊かな計算機資源で実装することで、大人の語彙能力や文法スキルの獲得を目指すことができるだろう。
- ・ この ZBIE の素晴らしい点を誉めることには興味はなく、複雑な学習に関する最初の効果的なコンピュータモデルであることを評価する。

Learning From Examples: Production Systems.

プロダクションシステム言語 OPS5 (Neves, 1978)

タスク分析によって、高校における代数・幾何学に関する効果的なカリキュラムを構築する手続きを記述。

- ・ コンピュータモデルを、学習プロセスの効果のデモンストレーションに用い、カリキュラム自体には含まない。
- ・ OPS5 には、基礎代数学における一次方程式の解決を学習する能力がある。
- ・ If condition C is satisfied, then take action A.
- ・ 優先権のあるルールがあり、複数のルールが同時に満足されたら、そのうち特定の 1 つだけが実行される。

- ・ 次のように方程式の解決が可能

$$7x - 12 = 4x + 6$$

$$7x = 4x + 18$$

$$3x = + 18$$

$$x = + 6$$

- ・ 3つのプロダクションルール

If there is a number on the left,

then subtract the number from both sides.

If there is a term in x on the right,

then subtract the term in x from both sides.

If there is a term in ax on the left, and a≠1,

then divide both sides by a.

タスク分析、及びカリキュラム構築

- ・ 教科書や、教師は、計算の正規の操作 (action 節) については入念に教えるが、(condition 節) についてはほとんど教えない。
- ・ どのような操作が許されるかは教えても、どのような操作をすべきかは教えない。
- ・ 方略ではなく法則を教えたいのに、同じことは教科書でも言える。
- ・ このように、生徒に教えたい問題について分析をして、完全なルール集合を考えついたとする。
- ・ これを生徒に教える前に、プロダクションシステムに解かせることで、正しさを確認する。
- ・ このルールを生徒に覚えさせることで、生徒が似た状況で、その問題を解くことができるようになれば成功。

プロダクションシステム適用事例

- ・ 1980年代の中ほど、中国における採用。3年間の適用により、他の年よりもポストテストの成績向上

・ 紙と鉛筆の授業。教師は講義をほとんどせず、質問のある生徒の tutoring に専念。

Anderson らの事例(Anderson et al., 1995)

CONCLUSION: THE TOOLS OF MODERN THEORY

EPAM：私たちに人間の専門家についての認知ベースの深い理解を与えてくれるような認知モデル

- ・特に，専門家のパフォーマンスにおける記憶ベースのパターン識別や知覚について．

ZBIE：構文法と自然言語の意味の両方の獲得について，教示によりこのようなスキルを獲得する可能性

プロダクションシステムの適用：効果的なカリキュラム構築に関する手続きと，その事例の紹介．

コンピュータモデルは，心理学，とりわけ認知における，理論を描写する強力で自然な言語である．

- ・理論を，明白で正確な表現にすることができる．
- ・我々の研究していることは複雑で，表現やコミュニケーション，理解，そして説明の媒体として普通の言語使っていたのでは困難．

The Social Dimension of Learning

学習ツールとしてコンピュータを議論してきたが，社会的な文脈については話してきていない．他章で述べているので，ここでは，2,3のコメントをするだけ．

"constructivism" と "a return to the fundamental" の議論は有意義だが，前者の方が役に立ちそうだ．

- 少なくともこの本の議論は，より物質的な論調だ．
- 社会的学習場面を設定する際に，次の2つの学習目的が融合している．
- 子供に社会的なスキルを教える社会的場面を設定する，子供の学習のために社会的な場面を設定する
- 代数学を教えるのに，社会的なスキルを改善すべきだろうか？
- 社会的なスキルを上げるのにグループ活動を通して代数学を教えるべきだろうか？ どちらも？ どちらでもない？
- 教育界は，全く異なる意見に分かれており，より確実な事実を必要としている．
- このトピックに関しては，既に共同研究として他の場所で言っているのだから，これ以上付け加えない．