

Hmelo, C.E., Holton, D.L., and Kolodner, J.L. (2000).
Designing to learn about complex systems.
The Journal of the Learning sciences, 9(3), 247-298.

概要

- ・自然科学などの領域でみられる複雑なシステムの組織・動き・機能の関係を理解することは難しい
- ・それらのシステムを深く理解する方法として、システムのモデルをデザインさせる方法を提案する
- ・小学6年生を対象に、人工肺のモデルのデザイン活動を通して呼吸器のシステムを学習させる実験（実践）を実施、評価

0. はじめに

- ・複雑なシステムを学習することは大人でも難しい (Feltovich et al., 1992)
- ・モデリング（モデルの形成と検証を繰り返すこと）によって小学生でも複雑なシステムを学習することが可能 (Penner et al., 1997)
- ・本論文では、Perkins (1986) の “knowledge as design” アプローチをさらに発展させた “Learning by design (LBD)” アプローチを採用する
- ・本論文で明らかにする点（目的）
 1. デザイン（させる）アプローチは、子どもが複雑なシステムを学習することのどの程度支援することができるのか？
 2. デザインさせることの利点である、組織 - 動き - 機能 (SBF) の関係の暗黙的な強調が子どものより深い思考を支援するか？
 3. デザインアプローチを中学校で実施するための方法を検討する
 - ・どのように学習環境をデザインすればよいのか？

1. LEARNING ABOUT COMPLEX SYSTEMS THROUGH DESIGN ACTIVITIES

- ・SBF 理論 (Goel and Chandrasekaran, 1989)
 - 複雑なシステムの記述方法 (例: Table1)
 - ・ Structure (組織) : システムの構成要素
 - ・ Behavior (動き) : 構成要素のメカニズムやその働き
 - ・ Function (機能) : 構成要素の機能・目的
- ・組織だけでなく、動きや機能にも注目したシステムの把握を支援することが重要
 - 呼吸器のシステムの理解だけでなく、一般的な「システム」を理解することにつながる

Designing Affords Such Understanding

- ・デザイン活動（モデルを考えさせる活動）の特徴
 - ・機能や動きといった点が強調される
システムの理解につながる
 - ・代表的な科学・工学のプロセスの体験になる
（作成・検証・モデルの評価・モデルの改良など）

2. IMPLEMENTING LBD

- ・デザイン活動を行う際の注意点
 1. デザインする活動と省察する活動のバランスに注意すること
 2. 非生産的な（関係ない）方向に脱線しないようにすること
 3. 課題を終わらすことよりも原理を理解することを強調すること
- ・LBD は PBL と CBR の方法・考え方をもとにしている（PBL + CBR）
- ・PBL（problem-based learning）の概要
 1. グループで以下の点を話し合っ、ホワイトボードに書き込む（Figure1）
 - ・FACTS：これまでに集めたデータをまとめる
 - ・IDEAS：FACTS に対する疑問や仮説を考える
 - ・LEARNING ISSUES：疑問や仮説を解決するために学ぶべきことをまとめる
 - ・ACTION PLAN：次に進めるべきプランを考える
 2. メンバーは分担してプランを遂行する
 3. 再び集まり、成果を共有し、1.の点について話し合う（以下繰り返し）
 - ・PBL における教師（ファシリテーター）の役割
 - ・全員が関与（発言、コメント等）するようにする
 - ・話が脱線（重要でない方向に進展）しないようにする
- ・CBR の概要
 - ・新しい問題を解決する際に過去の事例を利用する
- ・LBD の概要
 - ・グループで investigation, construction, testing, interpretation, redesign を行う
 - ・省察活動（planning, monitoring, mindful abstraction）を教師が促進する
 - ・活動内容を whiteboard に書き込む

3. THE DESIGN EXPERIMENT

Participants and LBD Classroom Setting

- ・LBD 群
 - ・生命科学クラスの小学 6 年生（2 クラス 42 名）
 - ・2.5 週（13 コマ）
 - ・8 台の Mac（資料と Whiteboard システム）

- ・ Comparison 群
 - ・ 同じ学校の生徒？名
 - ・ 2 週
 - ・ テキストを読む，レクチャー，教師主導のディスカッション

Data Collection and Analysis

- ・ 2 種類のデータを分析
 - ・ プレノポスト
 - 理解度テスト（付録参照）
 - システムを図示したもの（cf. Figure4,5）
 - 呼吸器に関するインタビュー（付録参照）
（LBD 群のランダムに選ばれた 20 名が参加）
 - ・ 授業中の活動記録（質的データ）

4. THE LBD CLASSROOM: A CASE STUDY

Getting Started

- ・ 文脈「人工肺を実現できれば，肺の病気と臓器移植の問題が解決できる！」
- ・ 具体的な資料を読ませ，FACTS や IDEAS を考えさせる（練習）

Generating Learning Issues

- ・ PBL プロセスと whiteboard の具体的な説明
- ・ LEARNING ISSUES をまとめさせる

Self-Directed Learning (Investigation)

- ・ 資料を用意し，LEARNING ISSUES を調べさせる
- ・ 紙媒体だけでなく，Mac のアプリケーションも利用できる
- ・ 徐々に自己学習させる

Back to the Whiteboards for Review and Update

- ・ 授業の開始時と終了時に whiteboard を見て省察する
- ・ 教師はうまく記入できるよう支援する

Hands-On Investigations

- ・ 資料による調査以外に，自分の手による調査（実験）を行う
- ・ 例：肺活量の測定

Making Connections

- ・集めた情報の関連づけを行った
- ・教師は「もし~なったらどうなるか？」という質問を行うことで情報の関連づけの支援を行った

Getting Ready for Design

- ・「人工肺を実現するには何が必要か」についてディスカッションを行った
- ・工学教授がデザインプロセスの説明を行った（ただしあまり理解できなかった）
- ・次に問題点（IDEAS）をしぼることを教示
- ・最後に人工肺を作る材料と粘土，工具を用意させた

Designing

- ・身近な材料で人工肺の作成を行った
- ・ほとんどが資料や他のグループの模倣から始まっていた

Building Models

- ・whiteboard の再作成を行った（省察活動）
- ・その後人工肺の作成を再開した

Student Presentations

- ・最初にこれまでの活動を思い出すための説明を行う
- ・グループごとに自分たちの作品とモデルのプレゼンを行う（教師は説明を引き出すようにうまく質問する）

Final Review and Summary

- ・最後に呼吸器のシステムについて，呼吸をするということについて学んだことを考えさせる
- ・さらに学んだことを発展させるようなディスカッションを行わせる（教師がうまく質問しながら）

6. ANALYSIS: INTENDED VERSUS ENACTED CURRICULUM

- ・以下の6点について，本実験の良かった点，悪かった点を振り返る

Scaffolding（足場組み）

- ・Whiteboard の利用による活動の促進
- ・教師の質問による思考の促進
 - ・ただし，デザイン・モデルに関する活動については支援することができなかった

Integrating Doing and Reflection

- ・ Whiteboard の利用による記憶の保持・省察活動の促進

Iteration Toward Understanding

- ・ 前半（疑問と学習のサイクル）については活発に活動が行われていた
- ・ しかし、後半（モデルの形成と検証のサイクル）はサイクルが止まってしまった

Design and Modeling

- ・ デザイン活動に対するモチベーションは高かった
- ・ しかし、複雑すぎて学んだことを適用できなかった
時間が足りなかった
前半とのつながりが悪かった
モデルの目的（機能）をしぼるようなディスカッションが必要

Getting to Function and Behavior

- ・ ディスカッションや体験の中でシステムの機能や動きに注目するような活動は観察されなかった
モデルを改善する機会が少なかった
最初のモデルを作成した後にモデルの機能やパーツの
関連性についてディスカッションさせるとよい

Rules of Collaboration

- ・ グループ内のコラボレーション（協力して作業をする）
- ・ クラス全体のコラボレーション（情報・アイデアの共有）
- ・ さらにグループを越えたインフォーマルなコラボレーションが観察された
教室内の混乱を緩和する役割

7. RESULTS: WHAT DID STUDENTS LEARN?

- ・ LBD 群と Comparison 群の比較
理解度テストの比較（Figure2）
 - ・ LBD 群のみ理解度が向上（ $p < .05$ ）システム図（モデル）の比較
 - ・ 描かれたモデルを 5 つのレベルに分類（Table2）
 - ・ LBD 群のみレベルが向上（ $p < .005$ ）（Figure2,3）
 - ・ 具体例（Figure4,5）インタビューデータの比較（LBD 群のみ）
 - ・ 回答を SBF モデルに基づいて分類（Table4）
 - ・ Structures, Relations, Behaviors の回答が増加（ $p < .05$ ）（Table5）

8. DISCUSSION

Affordances of Design

- ・どのような学習環境をデザインすればいいのか？
 - ・ 作成，検証，タイミングの良い正しいフィードバック，修正活動をアフォードするようなデザイン
 - ・ 学んだことを日常生活に適用させることができるようなデザイン

Choosing the Right Construction Materials

- ・どのような材料を使用すればいいのか？
 - ・ 機能を連想しやすいような材料を用いる
 - ・ 動きをデザインし，組み立て，検証できるような材料を用いる

Connecting Modeling and Design

- ・どのようにデザイン活動とモデリング活動を結びつければいいのか？
 - ・ システムのある現象を実現するためのモデルを作成させることを支援する
 - ・ モデルをたてる活動を一般化できるように支援する

9. PUTTING IT ALL TOGETHER: FACILITATING LEARNING IN THE DESIGN CLASSROOM

- ・デザイン活動の授業の推薦プラン
 1. 課題・材料のプレゼン（説明）
 2. 簡単な作成活動または作成に関連した活動
 3. whiteboard のような省察・プランニング活動（クラスで情報を共有）
 4. 作成するために必要な知識を得る活動（本を読む，実験をする，モデルをたてる）
 5. 新しい知識の適用と最終プランニング
 6. 作成と解の検証を繰り返す
 7. プレゼンテーション，省察，評論