

The Design of Hypermedia Tools for Learning: Fostering Conceptual Change and Transfer of Complex Scientific Knowledge

Michael J. Jacobson and Anthi Archodidou

The Journal of the learning science, 9(2), 145-199,2000

はじめに

背景 1：教育場面におけるハイパーメディアの利用環境

- ・ハイパーメディアによるアクセスが容易な膨大な情報リソース
- ・この主の技術の潜在的なインパクトに関する期待が増加

背景 2：ハイパーメディアにおける学習の実験的研究

- ・Tergan(1997)“認知理論に基づくハイパーメディア学習環境の枠組みの必要性”
- ・Dillon and Gabbard(1998)“学習効果に関する報告が少ない”

研究の目的：学習のためのハイパーメディアデザインに関する適切な手法の検討

ハイパーメディア開発のためのアプローチ：KMF(Knowledge Mediator Framework)

KMF：デザイン要素と社会認知的な理論に基づいた学習活動から構成

研究の焦点：学習者に役立つハイパーメディアを含むデザインの特徴と学習活動

(a)深い概念理解

(b)エキスパートと質的に異なる初期のモデルからの表象の変化

(c)新しい問題や状況への知識の転移

論文の構成

(1)KMF が提供するデザイン要素，学習活動，理論的な背景

(2)高校生を対象にした KMF に基づくハイパーメディアでの実践的な検討

(3)結果や KMF の利用に関する考察と展望

学生の豊富で適切な理解に役立つハイパーメディアツールの教育的な原理へ貢献

KMF HYPERMEDIA DESIGN FEATURES AND LEARNING ACTIVITIES

KMF：ハイパーメディアの学習と認知に関する複数の研究をベース

デザイン要素(DE-1～DE-4)と学習活動(LA-1～LA-6) (Table1)

デザイン要素と学習活動：2つの関係を媒介

- ・異なる文脈での知識表象と抽象的な概念的知識
- ・多くの学生が保持している初期のモデルとエキスパートのモデル

KMFのハイパーメディア：キーとなる概念と概念的なモデルの抽出を支援

DE-1: Representational Affordances of Technology

ハイパーメディアの技術：非線型な知識の表現手法が可能(Figure1)

理論的背景：アフォーダンスの概念(Gibson, 1979)

人間の視覚-知覚システムに様々な方法で表象的なアフォーダンスを提供

DE-2: Represent Knowledge-In-Context

ハイパーメディアの利用：文脈と知識の関連付け

学習者に複数文脈で表現された知識を提供

複数文脈での領域知識の表現を含む認知的に処理しやすい学習活動を提供

理論的背景 1：最新の学習理論における知識の捉え方の変化

“知識は文脈に独立した物質ではなく特定の文脈で現れるプロセス”

理論的背景 2：経験的な記憶の類推利用

“人間の記憶は過去の記憶を類推的に利用する事例として表現する。”

DE- 3: Reify the Deep Structure of Knowledge

理論的背景：表層的な特徴と深層的な構造の差異

“ノービスは問題の表象的な特徴に注目し深い構造の理解に失敗する。”

学習ツールの開発における問題

学習者がアクセスできるレベルへの概念的な深い知識構造の具体化・明確化

KMF の 3 つのサブエレメント：深い知識構造を明確にする足場を提供

DE-3A: Abstract domain concepts

抽象的な概念に対する説明の提供(Figure 2)

学習者は全ての概念に対する説明にどこからでもアクセス可能

DE-3B: Deep structure indexing and commentaries

ノービスは表層的な特徴の制約から深い構造の認識に失敗

知識の構造的な次元と様々な問題や事例との関連を明確化(Figure 3)

(1)事例のセクションを抽象的な概念との関連によって索引付け

(2)構造の解説において抽象的な概念を特定の事例の点から説明

DE-3C: Conceptual visualizations

言語的な表象に加えた視覚的な概念的な深い構造の表現を提供

conceptual visualization：動的・質的な表象，メンタルモデルの視覚化

cf. Figure4,Figure5

DE-4: Intra- and intercase hyperlinks for conceptual and representational interconnectedness

事例内(intracase)・事例間(intercase)の観点からの知識の相互結合

intracase：具体的な事例と深層的な構造，抽象的な概念の結合(DE-3B,3C)

intercase：深層的な構造を共有する事例・問題間の結合

理論的背景：エキスパート対ノービス，類推，転移

ノービスは表層的な特徴から問題間の類似性を判断する。

ノービスは深い構造的なつながりの発見や転移に失敗する。

KNOWLEDGE MEDIATOR FRAMEWORK LEARNING ACTIVITIES

学習活動のゴール：十分な学習効果(深い概念的な理解，概念変化，知識の転移)

6種類の学習活動のタイプ(Table 1)

LA-1: Cognitive interactivity

理論的背景：“mindfulness”，認知的な処理と学習への意欲的な取り組みの重要性

ハイパーメディア環境の容易な適用は逆効果

KMF：ハイパーメディアの学習活動が認知的な双方向性を促進

LA-2: Scaffolded problem solving

理論的背景：近年の社会認知的研究で見られる最も強力な学習活動

挑戦的な問題解決に対する学生の積極的な取り組み

Story Maker：問題解決のモジュール

学習者は画面に示された一連の文章から問題の説明を構成(Figure 6)

学習者は自分の心的モデルに対応する文章を選択

nonintelligent artificial intelligence なアプローチ

認知モデルに基づいているがシステム自身は学習者モデルを含まない。

従来のハイパーメディアシステムよりも認知的な双方向性を促進

LA-3: Cognitive preparation

理論的背景 1：学習者の表象

“ノービスの学習者が保持している心的表象と科学的な理解との不一致”

パイロットスタディ

“知識構造の再構成や概念変化は学習者にとって困難である。”

学生は初期の理解とは質的に異なるエキスパートの概念の理解が期待される。

3つの主要な技術の実装

(a)思考実験(Figure 7)

(b)学生の解に対するギャップの提示

(c)新しい概念やモデルの seeding(種をまく)

LA-4: Preliminary learning tasks with deep structure knowledge resources

学生の予備的な学習：線形的なリソースの利用

テキスト 図 Story Maker ビデオクリップ 深い構造の解説

KMF 学習活動の基盤となるリソースへの慣れを獲得

LA-5: Guided conceptual criss-crossing

理論的背景：“inert knowledge”問題

学生は学習した知識の再現はできるが新しい問題状況へ転移できない。

“noninert”な方法での学習を支援するハイパーメディアでの学習活動

guided conceptual criss-crossing

先行研究：guided conceptual criss-crossing の検討

“実験群の学生は統制群に比べて獲得した知識を新しい問題に転移できた。”
guided conceptual criss-crossing

研究 1 の Special Topic の問題を解決する過程

解決には KMF の複数リソースの統合が必要 (Figure 8)

KNOWLEDGE MEDIATOR FRAMEWORK HYPERMEDIA AND RESEARCH INTO LEARNING NEO-DARWINIAN EVOLUTIONARY BIOLOGY

Learning Evolutionary Biology

進化生物学の新ダーウィン主義に関する理論的基礎の学習

近代生物学的な思考において非常に重要

“様々な授業を受けたあとでも，大多数の学生が十分に理解できない。”

進化論の学習における native と expert のメンタルモデルの比較

native：進化論は種の特徴的な性質の時間的な変化という単一のプロセス

学生は環境や”種が進化しようとする”ことを性質の変化の原因と考える。

Native view：Lamarckian の考え方

獲得形質の遺伝の法則：“生きている間に獲得された形質は子孫に受け継がれる。”

学生は個体群の変動性を重要視せず，目的論バイアスを保持する。

新ダーウィン主義：4つの主要な構成要素

(a)進化は個々の形質を持つ個体群における固体の割合の変化である。

(b)個体群の新しい形質は突然変異によるランダムな変化によって発生する。

(c)形質の存続・消滅は環境に関連した選択的な生殖の成功によって起こる。

(d)個体群内のばらつきは自然淘汰による進化にとって重要である。

native な Lamarckian と expert の新ダーウィン主義モデル：多くの差異

Lamarckian 型のモデルの単純さ，表面的なもっともらしさ

他のモデルに変えさせることは難しい。

STUDY1: LEARNING EVOLUTIONARY BIOLOGY WITH HYPERMEDIA

Method

KMF hypermedia materials の特徴

HyperCard による開発

前述したデザイン要素と学習活動の使用

4つの構成要素

認知的な準備セクション，4つの進化論の事例，5つの抽象的概念，Special Topics

Evaluation items

学生の理解の評価：3タイプの問題を使用

(a)簡潔に答える質問

(b)記述式の問題解決の質問

(c)口頭式の問題解決の質問

高校の生物学の教科書や進化生物学の学習に関する科学教育の文献
プレテスト：学生の科学と進化生物学に関するバックグラウンドの確認

(a)授業外で進化論に関する情報(本, テレビ等)を読んで(見て)いるか?

(b)進化の概念に関する個人的な理解

(c)進化の近代科学的な考えが正しいかどうかに関する個人的な意見

(d)進化生物学の問題

(b),(c)は第3セッション後に再び行った。

第2,第3セッションでの評価

Story Maker

事実に関する質問

問題解決課題：hypermedia の情報を合成する能力の尺度

転移課題：hypermedia に含まれていなかった進化生物学の問題

Participants and Experiment Procedure

参加者：14 から 16 歳の高校生 8 名(男女 4 名づつ)

手続き：3 回のセッション

各セッション約 2 時間づつ, 1 人でモニターの前で作業

セッション 1：プレテスト プログラム開始 導入 認知的な準備のセクション

セッション 2：2 つの事例の学習 Special Topics 評価テスト

セッション 3：2 つの事例の学習 Special Topics 評価テスト インタビュー

Evolution Mental Models Analytical Framework

分析の焦点：知識の統合や転移を行っている時に学生が生成する表象の特徴

Vosniadou and Brewer のメンタルモデル分析手法の適用

EMMF

進化論に関する 4 つの components beliefs(Table 2)

Origin of new traits：個体群の新しい形質に関する知識

(1)突然変異と遺伝子組替え：新ダーウィン主義に対応

(2)環境が新しい形質を”必要”とし”原因”となる。：新ダーウィン主義に矛盾

Inheritance：次の世代への異なる形質の継承に関する知識

(1)遺伝物質が継承される：新ダーウィン主義に対応

(2)獲得した形質が継承される。

(3)獲得した形質は継承されないが、他のメカニズムの存在は不明

Mechanism of evolution：新しい形質の存続と消滅に関する知識

(1)自然淘汰：形質の適合性の違いが存続と消滅を決定

(2)発達の説明：一般的な発達による個体群での変化

Final causes : 進化のプロセスがランダムか意図的かに関する考え方

(1)nonteleological : 意図的ではない .

(2)teleological : 意図的である .

(3)hidden teleology : インタビュアーが聞くと意図的であると答える .

components beliefs を組み合わせた 6 つの合成モデルの提案

Scoring Procedure

データ

学生のプロトコルデータ + 記述回答とコメント + 16 の質問に対する回答

スコアリング

2 名の評価者が component beliefs とメンタルモデルのタイプを独立にコード化

Table 3 : 各セッションの学生のクラスとメンタルモデル

Results

Understandings, beliefs, and models

(1)進化に関する理解の 7 段階尺度による自己評定

pretest : 4.0(SD=1.20) < posttest : 5.6(SD=0.52), $t(7)=3.87, p<.05$ 有意差あり

自己評価 : hypermedia の使用後 , 進化論に関する理解が向上した .

(2)進化に関する科学的な概念を信じているかに関する自己報告

pretest : 4.9(SD=1.46) < posttest : 6.0(SD=0.76), $t(7)=1.84, p>.05$ 有意差なし

(3)進化のメンタルモデル

pretest : 8 名のうち 6 名の学生が C1 の native model

セッション 2 の終わり : 5 名が C4, 3 名が C3 の新ダーウィン主義のモデル

posttest : 5 名が C4 の新ダーウィン主義, 3 名が C2 の合成した native のモデル

各クラスを数値化(C1=1, C2=2...)してセッション毎の平均を比較

セッション	平均値(標準偏差)
セッション1(pretest)	M=1.50(SD=0.93)
セッション2	M=3.5(SD=0.54)
セッション3(posttest)	M=3.3(SD=1.04)

セッションの主効果が有意 : $F(2, N=8)=13.46, p<.05$ 下位検定

セッション 1 < セッション 2 , セッション 1 < セッション 3 に有意差あり ($p<.05$)

セッション 2 と 3 の間には有意差なし ($p>.05$)

セッション 1 と 2 の間で多くの学生がダーウィン主義のモデルに変化

セッション 3 の終わりまで多くの学生が expert よりのモデルを維持

Descriptive analysis : Judy

Judy : 研究 1 と 2 両方に参加した女子学生

セッション 1(pretest)

理解に関する自己評定：3/7
 科学的な考え方への信頼：2/7
 メンタルモデル：C1の native model
 理解に関するメタ認知的評価とパフォーマンスは一致
 セッション2の終わり：新ダーウィン主義のモデルを使用して回答
 セッション3の終わりまで維持
 posttest：pretestに比べ上昇
 理解に関する自己評定：5/7
 科学的な考え方への信頼：7/7

STUDY 2: FOLLOW-UP EVOLUTION PROBLEM-SOLVING STUDY

Method

研究1：被験者内計画で7~10日間を置いた3回のセッション
 1年後同じ学生(8名中6名)による検討+統制群のデータを収集
 13名の学生(男7名,女6名)を使った追加的な進化論の問題解決の検討
 実験群：研究1に参加した6名の学生
 統制群：研究2のみに参加した7名の学生
 1セッション約1時間,1人でモニターの前で作業

Test Materials

pretest,posttestは研究1と同様
 5つの進化生物学の問題
 個体群の形質の小進化や変化を扱う4つの問題
 1つの種から他の種への小進化や進化的な変化を扱った問題

Scoring Procedures

4つの小進化の問題に対する回答：研究1と同じ手法で分析
 研究1と同じ2名の評価者が52の問題(13×4)をコード化
 メンタルモデルのタイプとクラスの割り当て

Results

Understandings, beliefs, and models

実験群のデータ：研究1との比較

参加者のタイプ	理解	科学的概念	メンタルモデル
研究1	M=5.5,SD=0.55	M=6.2,SD=0.75	M=3.3,SD=1.03
研究2の実験群	M=5.4,SD=0.98	M=5.6,SD=0.79	M=3.7,SD=0.52

理解に関する自己評定：t(5)=0.35,p>.05

科学的な考え方が正しいと信じているか：t(5)=1.17,p>.05

進化論のメンタルモデル：t(5)=0.79,p>.05

実験群と統制群の比較

理解に関する自己評定： $t(12)=0.59, p>.05$

科学的な考え方が正しいと信じているか： $t(12)=0.19, p>.05$

進化論のメンタルモデル： $Mann-Whitney U=0.00, p<.05$

Descriptive Analysis of Two Students

学生 2 名(実験群：Judy, 統制群：Tammy)の問題解決の回答の分析

類似点：理解の自己評定と科学的な考え方に対する信頼

相違点：チーターの進化生物学の解決で使用したメンタルモデル

Judy：研究 1 の参加者

進化に関する理解の自己評価が低下(5 から 4)

科学的な概念を正とする考え方を保持(7 から 6 に低下)

研究 1 の最後と同様に進化の問題の解決時に新ダーウィン主義のモデルを使用

統制群とは異なり，新ダーウィン主義のモデルを保持

Tammy：統制群

Nova and National Geographic Society のようなテレビ番組の視聴

進化に関する理解の自己評価は 6

科学的な概念を正とする考え方は 5

進化の問題の解決時に C1 の native モデルを使用

DISCUSSION

研究 1 と 2 の結果

適切にデザインされた問題中心の hypermedia システムの使用

学生による複雑な科学的知識の理解と保持を支援

Learning Evolutionary Biology and KMF Hypermedia

進化生物学の学習に関する研究：学習の困難さを指摘する傾向

hypermedia の学習では実験的な研究が行われていない。

この研究で得られた知見の重要性

セッション 2 から 3 で C3(新ダーウィン)から C2(native)に変化した学生 3 名

セッション 3 でも 6 つのうち 5 つの問題では C3 のモデルを使用

難しい転移問題を解決する時に pretest で使った native モデルに戻った。

研究 2：hypermedia を使用して 1 年後の学生に関する補足的なデータ

実験群の学生(C3, 4)と統制群の学生(C2)のモデル：異なるパターン

実験群の学生：研究 1 で C2 で終わった学生 2 名が参加：C3 に改善

研究 1 での経験が研究 2 での教室での授業に対する理解を促進

本研究で得られた知見

研究 1：問題中心の hypermedia を含んだ短期間の学習活動

進化生物学の問題を解決する能力を改善

教室での進化生物学の学習を促進する可能性
研究 2：学習効果の長期保持を確認
研究 1 に参加した学生は正しいモデルを使用
今後はより組織的な実験が必要
なぜ学習効果が得られたのか？
研究 1 の学生：belief abstraction のプロセスを経験
Vosniadou and Brewer の概念変化の理論に対応
“概念変化のプロセスはメンタルモデルの基本的な構成概念の変化を必要とする。”
今後は component beliefs が学生によって抽出されるかどうかを検討

The Evolution Mental Models Framework

EMMF：複数のレベルで問題解決反応のコード化が可能
進化生物学の質問に対する回答を組み立てる学習者の表象を同定
学生の component beliefs やモデルがどのように変化するのかを記録できる。
EMMF：教師による進化生物学の学習における学生の発達的な評価に使用可能
EMMF の基本的な構造：追加や拡張が可能
EMMF の外的妥当性：知見が現実の教育場面に一般化できるか？
教室場面での数多くの多様な学生を使用した検討が必要

GENERAL ISSUES AND FUTURE APPLICATIONS

KMF, New Domains, and the Web
KMF のゴール：一般に適用可能な hypermedia デザインと学習活動の原理
他領域への KMF の適用：ベトナム戦争に関する KMF の開発
プラットフォームを Web へ
ベトナム戦争に関する KMF の開発(Figure 9)
Web ベースの新しい進化論の KMF の開発(Figure 10)
Authoring Considerations
開発時の検討事項：KMF のコアとなる要素について議論する。
事例と問題(DE-2), 概念(DE-3), criss-crossing(LA-5)
KMF の目的：難しい領域の知識の学習を支援する。
事例や問題の選択(DE-2)や領域のテーマや概念の同定(DE-3)
優れたパフォーマンスや熟達化，学習者の特徴に関する深い理解
問題の選択や概念の同定における重要な側面
領域の概念的な深い理解に関連した抽象的な概念の同定
領域に関する思考を反映する重要な概念の抽出
KMF で使用する事例の選択
全体の長さが短く，セクションに分かれている事例を選択

hypermedia のノードのモジュール化，再結合が可能
表面的な特徴が対照的な事例の開発
領域知識の柔軟な理解，新しい問題への知識の転移を促進
Zietsman & Clement(1997)：“対照的な事例の使用が概念変化を促進する。”
Guided conceptual criss-crossing を起こす問題の決定
複数レベルにまたがるソースの検討や統合を必要とする問題
Hypermedia Tools and Scaffolding Problem and Project-Centered Learning
KMF の 6 番目の学習活動：学習者中心，課題中心の学習
学習者の自発性や独立心を必要とする課題の一部として KMF の要素を活用
KMF の教育的な連続性：プログラムの概念的足場を次第になくす。
支援的，指導的な活動(5 つの学習活動)から学習者の直接的な活動(学習活動 6)へ
もう 1 つの学習者中心の活動：自分自身で KMF を生成する活動
KMF オーサリングテンプレートを自分自身の事例を開発するために使用
学習者にとってのメタ認知的な足場を提供
子供のメタ認知的な気づき
Carey(1995)：子供はメタ認知的な気づきに乏しい。
Vosniadou(1996)：自分自身の知識を認識する能力にネガティブな影響
KMF プロジェクト：学生のメタ認知的な気づきの足場となる 4 つの方法
(a)事例に特殊な事実や情報の表面的な特徴に対する気づき
(b)抽象的な概念を反映する知識の深い構造に対する気づき
(c)概念的に深い構造と事例との相互作用に対する気づき
(d)事例を超えた相互作用的な知識の関係に対する気づき
KMF 利用の可能性
CSCL 活動，プロジェクトの Web での出版