

**Design Experiments in Japanese Elementary science education with computer support for collaborative learning: hypothesis testing and collaborative construction.**

Oshima, J., Oshima, R., Murayama, I., Inagaki, S., Takenaka, M., Nakayama, H., and Yamaguchi, E. *International journal of science education*. (2004)

**概要**

- ・ 知識構築活動に基づいた理科授業を行った
  - 知識構築コミュニティー
  - Knowledge forum による支援
- ・ 2つの実践
  - 実践1：空気と物の燃え方
  - 実践2：水溶液の性質改善して繰り返すということはない
- ・ 授業評価と考察

**1 . Introduction**

- ・ 日本における小学校の理科教育
  - 社会構成主義に基づいている
  - 問題点：知識構築に関してはそれほど検討されていない
    - ：理由：生徒による協同知識構築活動の構造と教師が設定した教育目標以上の学習を支援する活動の構造が組織化されていないから
- ・ 研究目的
  - 日本の小学校理科教育における問題点を特定すること
  - 新しい生徒参加型の活動の構造を提案すること

**2 . 社会構成主義**

(1) 構成主義アプローチ(社会構成主義とは異なる)

- ・ 立場：学習を「知識が学習者自身によって構築され学習者の中に貯蓄される」と考える
- ・ 研究成果
  - 前概念を発見：学習者が学習前に持っている概念(知識、考え方)
  - 学習者の前概念と科学的概念の違い、前概念に基づいた学習デザインの可能性を検討
- ・ 問題点
  - 周辺的な概念変容のみうまくいった

(2) 社会構成主義アプローチ

- ・ 立場：概念変容は学習者と外界の資源との相互作用によって起きる

：学習とは外界との関係を発展させること

資源：協同学習者 教材 実験器具など

- ・授業では、適切な支援、Scaffolding、認知的な徒弟関係を与える

### (3)知識構築の観点(この研究の立場)

- ・立場：社会構成主義アプローチより、より認識論的な問題に関心を当てる

：知識を改善可能なものとする

- ・授業における支援

- 学習者が自分の知識が改善可能であると気づくことを支援

- 協同知識構築を支援

協同で学習をすることを通して、外界との関係を構築し、専門性を発展させる

## 3 . 日本における理科教育のカリキュラム：活動の構造

### 3.1 東京の小学校における 10 の理科授業を分析(Linn2000)

学習内容と学習者の先行知識、興味を結びつける段階

- ・学習内容に対して興味を持ち、内容と関連した生活経験について考える

- 持っている先行知識や誤概念を引き出す

学習者のアイデアや意見を明確にする段階

- ・これまでの学習内容を振り返る

- 教師の中で学習者が持っている考えを明確にする

調査の計画をする段階(仮説や予想を立てることも含む)

- ・議論を通して問題と焦点を当てるべき要因を特定

- 教師は学習者の現象に対する理解と洞察力を評価

調査を行う段階(実験活動)

- ・仮説や予想を検討する方法を考えて、実験を計画・遂行する

- 学習者は安全に、かつ、うまくいくための実験計画スキルを獲得する

実験結果をグループ内及びクラス全体で共有する段階

- ・自らのアイデア、意見と他者のものを関連付けたり、対比させる

教師によるまとめの段階

- ・教師が学習者が共有した情報やアイデアを要約したり組織化する

- 学習者に考えや結果のパターン、類似点、相違点を見ることを促す

- 学習者に考えや結果を分析、組織化することを促す

効果的に結論を導くことを支援

仮説や予想に立ち返る段階

- ・仮説や結果が妥当であったかどうか検討するために実験を繰り返す

- 結果から妥当な結論を導いたり、結果と仮説を結びつける

次の学習へつなげる段階

- ・これまでの学習において未解決の問題を特定

### 3.2 問題点

- ・ 学習者による知識構築活動が見られない
  - 理由1：各活動がお互いに関連がなく、教授に関する理論的な方向付けがない
  - 理由2：ほとんどのコミュニティは知識構築活動を必要としていないこと

### 3.3 知識構築活動において学習者にもとめられるもの

- ・ 学習者は知識を発展させる活動と自分自身で学習状況をデザインすること
- ・ 知識を発展させる方略を学習すること

## 4 . 学習目標としての集団における認知的な責任

### 4.1 集団における認知的な責任

- ・ 知識構築コミュニティにおける中心的な信念
- ・ 学習者が集団に対する自らの関与に責任を持つことを目指す

### 4.2 知識構築における 12 の決定的要素(Scardamaria2002)

現実的なアイデアと権威ある問題(Real idea and authentic problem)

知識構築コミュニティにおける授業(この研究の立場に基づいた授業)

- ・ 学習者は権威的な探求に基づいた学習に関心を払う
  - 取り上げる課題は決して学習者にとって身近なものではない
- ・ 学習指導要領の内容以上のことに関する学習を行う

従来の理科授業

- ・ 学習者の興味や先行知識と学習内容を関連付ける
- ・ 学習指導要領の内容以上のことに関する学習を行わない

改善可能なアイデア(Improvable idea)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ 学習者のアイデアを改善可能なものであると考える
  - 学習者が構築した知識を客観化して共有することによって改善

従来の理科授業

- ・ 先行知識は教師が授業の方向付けをするために活用される
- ・ 授業全体の中で異なる時間の知識を深く結び付けようとししない
- ・ 教師はポートフォリオを支援ツールとしてよく用いる
  - ポートフォリオでは改善しているプロセスの中で支援をすることができない

アイデアの拡散(Idea diversity)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ 知識の拡散に関して学習者が責任を負う
  - 学習者による知識の拡散は授業において自然に起きて、かつ、必要不可欠なもの

従来の理科授業

- ・ 教師が知識の拡散に責任を負う
- ・ 学習指導要領の内容以上のことを扱わないため深い理解へ至るための拡散が起きにく

い

上位レベルの知識の構築(Rise above)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ Rise above とは知識を改善することによって上位のレベルの知識へと構築されること
- ・ 学習者が視点を変更することを必要とする
  - 新しい視点はより強力な説明を与える

従来の理科授業

- ・ 知識を結合することが並列的な知識の寄せ集めとなっているためこのようなことは起きにくい

認識論的なエージェント(Epistemic agency)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ 学習者が自らの知識構築をどのように行うか管理をする
  - 自らのアイデアと他者とのアイデアを統合 協同の仕方をモニター

従来の理科授業

- ・ 教師は学習者には時期が早すぎるため、管理をすることが不可能と考える
  - 比較的若い学習者でも適切な知識構築活動を行うことができる

コミュニティにおける知識と集団への責任(Community knowledge, collective responsibility)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ 集団で共有された知識を改善することを目的とする
  - 学習者は集団の理解へ貢献するようになる

従来の理科授業

- ・ 学習とは個人の内的表象が変わるものと捉える
  - 集団活動は内的表象の変容を促進するもの
  - 集団で共有された知識を発展させるようなことはない

民主化する知識(Democratizing knowledge)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ グループ活動による集団の知識構築活動への貢献に焦点を当てる

従来の理科教育

- ・ アイデアや知識を表現する状況はあるが全体の知識構築へ貢献するわけではない
- ・ 教師は個の学習に関する支援を行うが全体の知識構築活動は重要視しない

対照的な知識構築(Symmetric knowledge advancement)

知識構築コミュニティにおける授業

- ・ 個の知識やグループの知識を発展させることが、他のグループの知識やクラス全体の知識を発展させる
  - 相互教授によって達成

### 従来の理科教育

- ・学習を個人の内的変化とみなし、知識を維持したり共有するために表現することをしていないので、上記のことは起きない

### 広がる知識構築(Pervasive knowledge building)

#### 知識構築コミュニティにおける授業

- ・文脈や学年を超えて知識が拡張していくことを目標とする

### 従来の理科教育

- ・教師は学習者の内的変容に重点を置き、上記のような知識の発展に重点を置かない

### 権威的な資源の構築的な活用(Constructive use of authoritative sources)

#### 知識構築コミュニティにおける授業

- ・権威ある資源を活用して状況やテキストモデルを創造する

### 従来の理科授業

- ・権威ある資源を活用するが上記のことは行わない

### 知識構築ディスコース(Knowledge building discourse)

#### 知識構築コミュニティにおける授業

- ・ディスコースがアイデアを客観化、共有、発展を導く
  - 知識構築コミュニティの授業では典型的なもの
  - 知識構築を学習者に教えるためには
    - ：目的によって方向付ける
    - ：メディア上で維持可能な知識として表現する

### 従来の理科授業

- ・学習者は学習プロセスの学習はするが、知識構築プロセスは学習しない  
平行的で深い評価(Current, embedded and transformative assessment)

#### 知識構築コミュニティにおける授業

- ・学習者は知識構築プロセスに対して適切なモニタリングを行う
- ・教師は知識構築コミュニティの一員として関与し、知識構築プロセスの評価をして支援する

### 従来の理科授業

- ・教師は理解できたかどうかは評価するがプロセスの評価はしない

## **5.2 つの小学校理科授業におけるデザイン実験**

### 5.1 クラスの概要

- ・対象とした小学校
  - 国立大学の附属小学校であり、世間の評判も高く入学試験の倍率も高い
- ・対象クラス
  - 学習者：6年生 41名
  - 担当教師：教師歴 10年以上で、教育学修士を持っている

：ネットワークに関する知識がある

2つの授業を担当

- 基本的に2,3人の大学院生が授業に参加する

：学習者の活動の補助 ビデオで授業の記録

## 5.2 新しい知識構築メディアの導入：Knowledge forum(KF)

・新しい研究パラダイム：Computer Support for Collaborative Learning(CSCL)

- 協同学習を支援するシステムを発達させることを目的とする

：社会構成主義に基づいて、知識の外化、他の知識と交流、内省をさせるシステム

- デザイン研究：システムの実装と評価を通してデザイン原則を導出する

・Web Knowledge Forum

- Web上のノートにアイデアや考えたことを記入

：ノートは定型文書として表される

：個人や共通のディレクトリーから写真や動画を取り出し、ノートにHTML形式で貼り付けることができる

- インターフェイス

：理論、実験結果と解釈を記入するスペースがある

：理論やモデルを修正するスペースがある

：他のグループの仮説と行っている実験を参照することができる

：ポートフォリオのウィンドウがあり、授業計画が示してある

- 機能

：基本情報(著者、日にち、タイトルなど)を参照することができる

：引用しているノートや引用されているノートへハイパーリンクできる

：ノートを様々な観点から分類できる

：管理者や学習者が簡単にリンクを張ったり再構成をすることができる

：学習者がView mapを作成することができる

## 5.3 学習者のディスコースにおける参加の構造のデザイン

### 5.3.1 日本の理科教育における3つのディスコースの階層

教師主導のクラス全体のディスコース

グループ内のディスコース

グループ間のディスコース 十分に行われていない

- 教師はグループ間のディスコースを設けるが情報交換が十分に行われていない

### 5.3.2 デザイン原則(Figure 1)

・グループ内におけるディスコース(Figure1の最下層)

- Face to faceのディスコース

- Knowledge forumに考えを書き込む

知識の客観化

- ・グループ間におけるディスコース(Figure1 の中間層)
  - Knowledge forum を用いて情報交換をする
- ・教師と科学者による Scaffolding(グループ内外のディスコースにおいて)
  - きっかけとなるセンテンスを与える
  - 学習者のディスコースに関してメタ的な立場から解説をする
- ・ベンチマークセッションにおけるクラス全体のディスコース(Figure1 の最上層)
  - 教師主導で行う

#### 5.4 2つの小学校理科授業におけるデザイン実験

- ・学習内容と目標

##### 実践1：空気と物の燃え方

- 物が空气中で燃えるには酸素が必要なことを理解すること
- 空気中の酸素の量との関連で自分の言葉を用いて燃えているものが消える理由を説明できること

##### 実践2：水溶液の特徴

- 溶液には酸性、中性、アルカリ性のうちどれかの特徴があることを理解
- 3つの特徴に基づいて溶液の種類を特定できること

#### 5.4.1 実践1：空気と物の燃え方(仮説テストコース)

- ・課題：ふたをしたビンの中でろうそくの炎はどのようにして消えるのだろうか?
  - 酸素、二酸化炭素、窒素を要因として理論を構築する
  - 実験、結果の解釈を通して理論を修正する
- ・授業の流れ

導入：学習課題の提示

個人で説明を与えるモデルの構築

クラス全体のセッション

- ・グループ構成のために行う
  - 各学習者の構築したモデルの類似性に基づいて構成
- 各グループでモデルを構築して Knowledge forum へ記入
- グループ間で Knowledge forum を用いてモデルに関して内省を行う
- 各グループで実験を行い結果と解釈を Knowledge forum に記入
- 全体のセッション

- ・次の実験の方向性を定める                      へ戻る

#### 5.4.2 実践2：水溶液の特徴(協同構築コース)

- ・課題：酸性、中性、アルカリ性、pH の概念について理解して、オリジナルの pH を測定する尺度を作成すること
- ・授業の流れ

##### フェイズ1：酸性の物質に関して学習

導入において課題の提示：酸性とは何か？

コンセプトマップを作成してクラス全体のディスカッション

酸性の水溶液の特徴に関する基本事項の学習

- 5つの未知の溶液が与えられる
  - リトマス紙やアルミニウムを用いて実験
- クラス全体で酸性の特徴に関する結果を共有  
身近な物質に対して実験

結果を Knowledge forum へ記入

### フェイズ2：オリジナルの pH の尺度を作成して活用の仕方を考える

身近な物質の pH を測定

- 教師が pH の概念を教える
- 実験をする

課題の提示：オリジナルの pH の尺度を作成しよう

- 課題：誰でも簡単に pH の値の意味が分かる尺度を作成すること

グループでサンプルとする物体の候補を選択して基準を決定

Knowledge forum へ記入してグループ間でディスカッション

クラス全体のセッション

- 課題：作成した尺度の活用の仕方を考える

個別にアイデアを Knowledge forum へ記入

グループ構成

- 7グループ構成

グループで実験を行い Knowledge forum へ記入

### フェイズ3：まとめ

お互いの結果をどのように関連付けるか考える

Knowledge forum 上でグループ間のディスカッション

## **6．デザインの評価と比較：理解度の評価に基づいて行う**

- ・教育目標が異なるため直接2つを比較することはできない  
：むしろ、目標が異なることを考慮して分析して比較した

### 6.1 実践1：空気と物の燃え方の評価

#### (1)評価方法

- ・評価対象：初期に構築したモデル(初期モデル)と最終的に構築したモデル(最終モデル)
- ・分析基準
  - Third International Mathematics and Science Study questionnaire(TIMSS)の基準に基づいてコーディング 問題が同じだから

#### (2)結果

- ・初期モデルの分析



- 3つの誤概念を特定

空気や酸素を連続体とする考え方(Figure4)：4人の学習者の解答

消える原理を酸素の粒の大きさを説明する考え方(Figure5)：12人の学習者の解答

酸素の粒(酸素分子)が減って二酸化炭素の粒(二酸化炭素分子)が増えると考えることができない

：9人の学習者が「炎が消えたときには酸素が全くない」と考えていた

：17人の学習者が「炎が消えたときに酸素が増えている」と考えていた

・最終モデルの分析

- 「炎が消えたときには酸素が全くない」と「炎が消えたときに酸素が増えている」と考える学習者はいなくなった

- 「酸素が少し残っている」という考えが彼らの探求を促進した

：どうして、残っている酸素は口ウソクを燃やすことができないか？

50%が「燃える部分にある程度の量の酸素が必要」と考えた

TIMSSにおける中学2年生の比率(51%)と同程度

- 「粒の数が変わる」という考えを持った学習者は減ったが「大きさが変わる」という考えを持った学習者は減っていない(Table1)

## 6.2 実践2：水溶液の特徴の評価

### (1)分析方法

・分析対象：Knowledge forum 上のノート

・分析基準

- Categorical scale：酸性、中性、アルカリ性の3つの尺度

- Rank-order scale：強酸、弱アルカリなどの尺度を設定したもの

- Interval scale：尺度を等間隔に設定したもの

Rank-order scale が学習指導要領の最低基準で Interval scale は上のレベル

### (2)結果

・42人中35人が概念の獲得に成功した(Table2)

学習者は学習指導要領のレベルを超えた知識を獲得したことを示す

・29人が学習した知識を用いて更なる調査をした

## 7. Knowledge forum における学習者の知識構築活動の評価

・集団における認知的な責任の観点から分析

- 対称的なディスコースの構造 知識構築ディスコース 認識論的なエージェント

### 7.1 対照的なディスコースの構造の観点からの分析

#### (1)全体の流れ

はじめに、他のグループのアイデアにアクセス

スレッドをたてることによってアイデアの交換

#### (2)他のグループへアクセス状況の評価

- ・分析方法
  - Log file より、各 view に対してアクセスしてきたグループ数をカウント
    - : view ごとにグループの割合もとめ、平均を算出
  - 仮説テストコース(Lesson1)における授業と協同構築コースにおける授業(Lesson2)を比較
- ・結果
  - 協同構築コースにおける授業(86.30%) > 仮説テストコースにおける授業(65.29%)
    - :  $t(186) = 3.33, p < 0.01$

### (3) アイデアの交換状況の評価

- ・分析方法
  - 他のグループが関与した view やスレッドの数をカウント
  - 仮説テストコース(Lesson1)における授業と協同構築コース(Lesson2)における授業を比較
- ・結果(Figure6)
  - 協同構築コースにおける授業 > 仮説テストコースにおける授業(  $\chi^2 = 5.96, p < 0.05$ )

### 7.2 知識構築活動のディスコース

- ・分析方法
  - ノートの内容を 3 つの観点に基づいてコーディング
    - : Non-informative-idea : 学習内容を参照しないが社会的に会話をしたもの
    - : Personal idea : 学習内容について議論するがアイデアの発展がないもの
    - : Sharable idea : 学習内容について議論をし、かつ、アイデアの発展のあるもの
- ・結果(Figure3)
  - Lesson1
    - : Non-informative-idea が少ない(  $\chi^2 = 41.35, p < 0.05$ )
    - : グループ間のディスコースにおいてはアイデア間に差がない
  - Lesson2
    - : グループ内、グループ間ともに Non-informative-idea が少ない(  $\chi^2 = 42.10, p < 0.01$ )
    - : グループ間においては Non-informative-idea が少なく Sharable-idea が多い(  $\chi^2 = 14.77, p < 0.01$ )

### 7.3 認識論的なエージェント

- ・知識構築ディスコースがどのように発展するか質的に検討
  - Sharable-idea がどのように構築されるか検討

#### (1) 実践 1 : 空気と物の燃え方

- ・教師による 2 種類の Scaffold が Sharable idea の構築を導いたアイデアを客観化する Scaffold
  - 教師が記述内容を意識したり問題を提起した

例：「これは2つの意味に解釈できるけど・・・、どちらの意味かはっきりさせる必要があるね」

仮説・実験の一貫性を内省させる Scaffold

例：「これを調べようと思ったら、この実験では分からないと思うよ。他の実験を考えてみたら」

- ・全体として Sharable idea は少なかったが、下記のような知識構築活動が見られた
  - 仮説が類似していても異なった実験を行ったグループの実験に関心を持った
  - 実験が終わったときに類似した実験を行ったグループを見つけたらそのグループのノートへ記入をした

## (2)実践2：溶液の特徴

- ・教師がほとんど関与しなかった

### フェイズ1

- ・様々な溶液の pH を測定してオリジナルの尺度を作成
  - 学習者の焦点：「どの溶液が尺度上に来るか？」
- ・候補の溶液を選んで理由を Knowledge Forum 上に記述した
  - 選択するときのディスカッションは生産的であった

### フェイズ2

- ・学習者は作成した pH の尺度の活用の仕方について議論をした
- ・教師による Scaffolding
  - 関連している探求を行っているグループのノートを参照することを促した
  - メタ認知を促した
    - ：今行っている探求と酸性雨との間にある関連を明確にするよう促した

### フェイズ3

- ・分かったことを記入しお互いの探求を関連付けた

## 8. 考察

### (1)結果のまとめ

- ・2つの探求のスタイルが異なる実践を行った
  - 学習者は概念的な知識を獲得した
  - 理由：普段の約3倍の時間をとったから
    - ：学習指導要領の内容を学習し、延長した時間に更なる探求を行った

### (2)教育への示唆

- ・アイデアや考えを可視化し、共有可能にすることが、学習者の活発なディスコースへの参加を導く
  - 教師もより効果的に活動を促進することが可能になる
  - 教師も学習者のディスコースに参加
    - ：KFのようなシステムによって学習者の知識を用いて多様な評価が可能になる

- ・知識メディア(KF)のみでは学習者の参加の構造を変えることができない
    - 実践 1 では知識の共有が起こる活動がグループ内に偏っていた
      - ：学習者共通の現象に関するレポートを記入するからグループ間のコミュニケーションが起き、更なる探求について考えることを期待した 起きなかった
      - 今後支援の仕方を考えていかなければならない
    - 実践 2 では、バランスよくグループ内外において知識の共有が起こっていた
      - ：決まった解がない探求ベースの学習では知識メディアを用いることによってより社会的な知識構築活動へと導くことが可能である
  - ・学習者が自らの活動を管理すること
    - 実践 1
      - ：学習者が自らの活動を管理すること支援することを行わなかった
      - ：学習活動の状況がそれを制約した
    - 実践 2
      - ：活動を教師によって決められるのではなく、自ら行った(活発に起きた)
- 学習者が自らの活動を管理することが必然的になるように活動をデザインする必要がある