

The design and evaluation of a teaching–learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students

Kabapinar. F., Leach. J., & Scott. P.

International Journal of Science Education, 26, 5, p635–652, 2006.

1 . Introduction

- ・トルコの高校 1 年生を対象に物質の溶解現象に関する授業を行った
- ・トルコの科学授業において、通常、溶解に関する専門知識を学習するが、知識を意味づける組織的な学習は行われない
- ・溶解現象を巨視的な視点と微視的な視点から説明する授業をデザインした
例えば、水に食塩を溶かしたときの溶ける過程の説明の場合
：巨視的な視点からの説明：食塩が水に混ぜられて徐々に小さくなる
：微視的な視点からの説明：水の粒子が食塩の粒子にぶつかって食塩を分解する
- ・学習者は、巨視的な視点からは説明できるが微視的な視点からはできない
この研究の目的は、粒子モデル(微視的な視点からの説明に関連)を学習させることにより、溶解現象に関する学習の効果を検討すること
：まず、学習者は、粒子モデルについて学習する
：その後、粒子モデルを適用して、様々な溶解現象の説明を行った

2 . 授業をデザインする 3 つの視点

- (1)溶解の学習に関する先行研究から得られた知見を考慮する
 - ・概念理解や粒子の表現の仕方に関する先行研究をレビューした(3 . で後述)
- (2)社会構成主義に関する先行研究から得られた知見を考慮する(Driver et al., 1994; Leach & Scott, 2003)
 - ・社会構成主義では、学習を学習者と外界との相互作用のプロセスと考える
内在化(Vygotsky, 1987)によって、社会的な水準で、学習者の既存の知識がどのようにして新規の知識と相互作用するか、知識がどのように活用されるのかが説明される
 - ・教師の役割は、学習者に領域に関する専門知識を教え、学習者自身がその知識を活用して問題を解決できるように導くこと(Bakhtin, 1981)
- (3)学習に対する要請・学習目標を考慮する(4 . で後述)
 - ・学習に対する要請は日常で獲得した知識と授業における科学知識の相違によって生じる
 - ・日常の知識と科学知識の相違は、領域を限定することによって起こる
例えば、ストローで飲み物を飲むとき、「なぜ、飲み物が上がるのか」を説明する場合
：日常の感覚では、「吸う力によって引きつけられるから」と説明する(この説明は日常にのみ限定すれば、うまく説明しているように見える)
：科学に適切な説明は「ストローで吸うことによってできた圧力差によって飲み物が上がるから」である

3 . 学習者の溶解現象の説明を扱った先行研究

- ・7 歳から 17 歳の学習者を対象に調べた研究(Holding, 1987; Fensman, 1987; Stavy, 1987; Longden et al.,

1993; Lijnse et al., 1990; Meheut, 1998; Slone & Bokhurst, 1992; Lee et al., 1993; Ebenezer & Ericson, 1996; Blanco & Prieto, 1997)

研究をまとめると、溶質(例えば、砂糖・食塩)を溶媒(例えば、水)の中でかき混ぜたときに起きることの説明が多様である(学習者の説明は多様)

: 例えば、「砂糖は消えた」、「砂糖は液体になった」、「砂糖が小さくなった」、「砂糖は水と混ざった」、「砂糖は底に溜まっていて均一になっているわけではない」

学習者は、巨視的な視点から見た溶解と微視的な視点から見た溶解の区別できず、日常の感覚に基づいて考えるため、このように説明する

・粒子モデルを用いて考えるときにも問題が生じる

学習者は粒子モデルと実際の物質を対応させることができない(Griffiths & Preston 1992; Johnston 1998; Novick & Nussbaum, 1981)

学習者は粒子の特徴(粒子と粒子の間には何もないこと、粒子は動くこと)を理解できない(Holding 1987; Johnston & Driver, 1991; Lee et al. 1993)

学習者は日常における粒子と授業で示された科学的な粒子の区別がつかないためこのような問題が生じる

上述の問題が、溶解現象に関する学習者の説明を困難にしている

4 . 学習への要請と学習目標

(1)学習への要請(物質と粒子の科学的な概念)

・溶解現象に関する学習者の授業前の説明と科学において要求させる説明を比較することによって特定した

溶解の物理的な過程は、粒子の分布と配列の観点から説明される

物質の巨視的な特徴は、粒子の分布と配列の観点から説明される

分子や原子などの粒子と砂糖や食塩の塊としての粒は存在論的に異なる

: 分子・原子は微視的(科学的)な意味での粒子で速度・電荷を持つ

: 砂糖や食塩の塊としての粒は、巨視的な意味での粒子で大きさ・形・色・味を持つ

学習者は、微視的な意味での粒子と巨視的な意味での粒子の区別をつけることに困難がある
粒子は運動し、粒子と粒子の間には物質はない

(2)学習目標

・第1段階の目標：物質の粒子モデルについて理解すること

全ての物質は粒子からできている

粒子は小さすぎて見るができない

粒子は、例え小さくても質量を持つ

粒子の配列と運動の仕方は、固体、液体、気体によって異なる

粒子と粒子の間には力が働き、この力は粒子間の距離が広がるほど小さくなる

粒子と粒子の間には何もない

粒子は一定の運動をする

粒子の運動は、温度が高くなるほど速くなる

・第2段階の目標：前述のモデルを用いて多様な溶解現象を説明できるようになること

物質は保存されることの理由が説明できる(例：100gの水に20gの食塩を溶かすと120gの食塩水になる)

体積は保存されないことの理由が説明できる(例：100mlの水に20mlの食塩を溶かしても120mlの食塩水にはならない)

溶解後、物質は目に見えないが存在していることが微視的な視点から説明できる

溶ける物質の量は温度に依存し、かき混ぜ方には依存しないことが微視的な視点から説明できる
巨視的に見た溶けることと溶解には違いがあることが微視的な視点から説明できる

4．教授方法

- ・社会構成主義の観点に基づいて授業をデザインする
教師に学習者の教授活動における視点を与える
 - ：視点1：学習者に既存の知識による説明の限界を気付くための支援する
 - ：視点2：教師が科学者としてのお手本となる
 - ：視点3：学習者の新奇のアイデアの応用を支援する
- ・教授プランについて(筆者らは)教師と詳しく話し合った
授業における学習者の相互作用がどのようにして学習目標を達成するか、また、学習者の反応をどのように扱うか話し合った

5．授業デザイン

- ・参加学習者：トルコの14歳から15歳の学生23名(男子11名、女子12名)
 - ・授業は4つのフェイズで構成され、全部で9回(1回の授業につき50分)
- (1)フェイズ1：イントロダクション(1回)
- ・学習者に、この授業における教授方法と学習方略を理解させた
この授業で採用した教授方法・学習方略はトルコにおける従来の授業形式とは異なり、学習者にとって馴染みのないものであるため
 - ：従来の授業形式では、学習者が自らのアイデアを説明したり、評価することは行われない
 - ・アンケート(プレテスト)を行った
- (2)フェイズ2：既存の知識による説明の限界への気付き(2回)
- ・このフェイズの目的：学習者に、溶解現象に関する従来の方法(既存の知識)による説明の限界を気付かせること
 - ・学習活動
溶解現象に関する様々な現象について説明をさせる
 - ：この活動により、学習者は自分達の説明を見直して批評する
 - ：最終的には、既存の知識でうまく説明できないことに気付かせる
- (3)フェイズ3：粒子モデルの学習(1回)
- ・教師により、粒子モデルの様々な側面が紹介された
粒子モデルが、フェイズ2における現象の説明に、どのように関与するのかに焦点が当てられた
 - ：学習者に対する教師による質問、評価、説明がこれらの学習を支援した

(4)フェイズ4：モデルを用いた溶解現象の説明(5回)

- ・溶解に関連した様々な現象の説明をする
教師は、学習者に問題を課し、科学的に説明ができるように支援する
- ・全授業終了後、アンケート(ポストテスト)を行った

6．評価方法

(1)行った評価テスト

- ・プレテスト：フェイズ1において行った
- ・ポストテスト：フェイズ4終了後に行った
- ・保持テスト：全授業終了の6ヵ月後に行った

(2)評価テストの内容

- ・筆記型の合計5つの問題で構成

溶解に関する巨視的な視点における理解を評価する課題(従来のトルコにおけるカリキュラムで行われているテスト)

- ・問題1：水の入ったグラスに緑色の結晶を入れて混ぜたら、緑色の液体ができて、いくつかの結晶は底に溜まったという現象を写真で提示

学習者には、この緑色の液体は溶液であるかどうかたずねた(答え：溶液である)

- ・問題2：溶解の現象そのものに関する理解度を評価する問題

自らの言葉を文章化する問題

：学習者による文章化の例：硫酸カリウムは、20 の水 100g に対して、11.1g 以上は溶けない現象の予想を問う問題

：問題例：20 の水 100g に 15g の硫酸カリウムを溶かすとどうなるか(予想を立てた理由も求められた)

粒子モデルを用いて溶解に関する様々な現象を説明する能力を評価する課題(これらの問題は、Driver & Erickson (1983)と Holding (1987)に基づいて作成した)

- ・問題3：「砂糖を水に溶かしたときにどうなるのか(答え：見えなくなる)」と「見えなくなった理由」を説明させる問題

- ・問題4：溶解における質量の保存に関する問題

一連の溶解現象を示した3つの写真を学習者に提示する

：1つ目の写真：天秤の両サイドに水の入ったビーカーと砂糖が置いてあり、つりあっている

：2つ目の写真：一方の砂糖を同一の天秤上のビーカーに入れた

：3つ目の写真：砂糖が見えなくなるまでかき混ぜた

3つ目の写真において、「天秤のバランスはどうなるのか(答え：つりあったまま)」と「つりあっている理由」を答えさせる

：要は、質量は保存されるわけであるが、質量が保存される理由の説明が求められた

- ・問題5：温度と溶解度に関する理解度を評価する課題

学習者に溶解に関する実験を示す

：2つのビーカーがあり、それぞれに、温度は異なるが同体積の水が入っている

：それぞれに、同体積の砂糖を入れる(このさい、混ぜずに、自然に溶かす)

: 温度の高い水の方が低い水より溶けるのが速い
「なぜ、温度の高い水の方が低い水より砂糖が速く溶けるのか」を説明させた

7. 評価の結果

・この授業を受けた学習者(実践群 23 名)と従来の授業を受けた学習者(統制群 23 名)を比較した
統制群では粒子モデルの教授をしたが、この授業のように組織立てて行わなかった

・評価の観点

溶解の過程に関して適切に説明ができたかどうか(7.1)

溶解の過程に関して粒子モデルを用いて説明ができたか(7.2)

巨視的視点から見た溶解と微視的視点から見た溶解の区別ができたかどうか(7.3)

物質の保存に関して適切な説明ができたかどうか(7.4)

溶解に関する巨視的な視点からの説明ができたかどうか(7.5)

7.1 溶解の過程に関して適切に説明ができたかどうか評価

(1)評価の対象：問題 3

・「砂糖を水に溶かしたときにどうなるのか(答え：見えなくなる)」と「見えなくなった理由」を説明させる問題

見えなくなった理由に関して粒子モデルを用いて説明ができたかどうか評価

: 見えなくなった理由が溶解の過程と関連する

(2)評価の基準(4 段階で Code A が一番低く、D が一番高い評価)

・Code A：粒子モデルには全く言及しない説明

例：砂糖が溶けて水と混ざる

・Code B：砂糖の粒(砂糖の塊としての粒で、モデルの粒子とは異なる巨視的な視点)にのみ言及した説明

例：砂糖がバラバラになって粒になる

・Code C：水の粒子の動きについては全く言及していないが、砂糖の粒子と水の粒子の関係について言及した説明

例：砂糖(または砂糖の粒子)が水の粒子と混ざる

・Code D：砂糖と水の相互作用の様々な側面について言及した説明

例：砂糖(または砂糖の粒子)に、水の粒子がぶつかることによって、くっついていた粒子同士が引き離される

・Uncodable：コード不可能な回答

・No response：無回答

(3)結果(Table 1)

・実践群におけるポストテストの結果

96%(22/23 人)の学習者が、適切な説明(Code D)をしていた

しかし、半分以上の学習者は、授業中はモデルの全ての特徴について言及しなかった(中には、全く言及しなかった学習者もいた)

: つまり、授業中は粒子モデルについて言及しなかったけれども、ポストテストではできていたということ

正答者のうち 5 人がモデルの粒子(微視的な視点)と砂糖の塊としての粒(巨視的な視点)の混同をしていた(インタビューより)

・実践群における保持テストの結果

Code D が 57%(13/23 人) 、 Code C が 13%(3/23 人) 、 Code B が 17%(4/23)

・実践群における結果のまとめ

溶解現象の説明において最も困難な点は、先行研究でも指摘されていた巨視的な観点から見た溶解現象と微視的な観点から見た溶解現象を区別することであったが、実践群の学習者は粒子モデルを用いて微視的な観点からの説明ができるようになった

保持テストの結果から、粒子モデルを用いることが今後の授業においても有効である

・統制群におけるポストテストの結果

26%(6/23 人)の学習者が Code C の説明であり、これが統制群において最高ランクであった

7.2 溶解の過程に関して粒子モデルを用いて説明できたか評価

(1)評価の対象：問題 3

(2)評価の基準(7.1 の基準に基づく)

・ No reference to particle model : 粒子モデルに全く言及しなかったもの

7.1 における Code A

・ Reference to particle model : 粒子モデルに言及したもの

7.1 における Code B、C、D の合計(つまり、間違っても粒子モデルを用いたもの)

(3)結果(Table 2)

・ポストテストの結果

Reference to particle model(粒子モデルに言及したもの)に関して、実践群と統制群において有意差があった($p < 0.01$)

統制群においては、粒子モデルの教授を組織的に行わなかったにも関わらず、ポストテストで 26%(6/23 人)の学習者がこのモデルを用いていたことは驚きであった

・保持テストの結果

実践群においては、ほとんどの学習者(87%で、20/23 人)が粒子モデルを用いて説明していた
：粒子モデルの教授を組織的に行うことが保持を促進した

7.3 巨視的視点から見た溶解と微視的視点から見た溶解の区別ができたかどうか評価

(1)評価の対象：問題 3

(2)評価の基準

・回答において「melt」という用語を用いた学習者と「dissolve」という用語を用いた学習者の頻度をカウント

dissolve : 微視的視点から見た溶解を示し、ここでの説明に適切な用語

melt : 巨視的視点から見た溶解を示し、この用語を用いた説明は、微視的視点と巨視的視点が混同していることを示す

(3)結果(Table 3)

・実践群におけるプレテストとポストテストの結果

プレテストでは、約半数(52%で、12/23 人)しか「Dissolve」という用語を用いなかったが、ポストテストでは、全員がこの用語を用いて説明していた

- ・ 統制群におけるポストテストの結果
 - ほとんどの学習者(83%で、19/23 人)が「Dissolve」という用語を用いており、「melt」という用語を用いて説明した学習者は 13%(3/13 人)であった
- ・ 実践群における保持テストの結果
 - 30%(7/23 人)の学習者が「melt」という用語を用いて説明をしていた
 - ：そのうち、6 人が粒子モデルを用いて説明をしていた
 - ：さらに、そのうちの 5 人は砂糖が液化するのではなく、「水の中に消えてなくなる」と説明をしていた(この説明は部分的に dissolve における意味と同じ)
 - ：さらに、このうち 2 人が「dissolve」という意味で「melt」という用語を用いていたことをインタビューで確認した
- ・ 結果のまとめ
 - 粒子モデルを組織的に教授することは、巨視的視点(melt)と微視的視点(dissolve)の区別をさせるのに有効であったが、用語の使い方に困難が残る

7.4 物質の保存に関する説明の評価

(1)評価の対象：問題 4

- ・ 一連の溶解現象を示した 3 つの写真を学習者に提示する
 - 1 つ目の写真：天秤の両サイドに水の入ったビーカーと砂糖が置いてある
 - 2 つ目の写真：一方の砂糖を同一の天秤上のビーカーに入れた
 - 3 つ目の写真：砂糖が見えなくなるまでかき混ぜた
- ・ 3 つ目の写真において、「天秤のバランスはどうなるのか(答え：つりあったまま)」と「つりあっている理由」を答えさせる
 - 要は、質量は保存されるわけであるが、質量が保存される理由の説明が求められた

(2)評価の基準(3 段階で Code A が一番低く、B2 が一番高い評価)

- ・ Code A：「質量は保存されない」と回答したもの
- ・ Code B1：「質量は保存される」と回答しているが、理由に粒子モデルの言及がないもの
- ・ Code B2：「質量は保存される」と回答し、その理由に粒子モデルへの言及があるもの

(3)結果(Table 4)

- ・ プレテストの結果
 - 統制群と実践群ともに大半の学習者が「保存されない (Code A)」と回答をしていた
 - ：統制群 65%(15/23 人)、実践群 69%(16/23 人)
- ・ ポストテストの結果
 - 統制群と実践群ともに大半の学習者が「保存される (Code B1、B2)」と回答をしていた
 - ：統制群 78%(18/23 人)、実践群 87%(20/23 人)
- ・ 保持テストの結果
 - 統制群と実践群ともに大半の学習者が「保存される (Code B1、B2)」と回答をしており、これらの間に有意差はなかった
 - ：統制群 65%(15/23 人)、実践群 78%(18/23 人)
- ・ 結果のまとめ
 - 実践群、統制群ともにほとんどの学習者が「保存される」と回答することができたが、粒子モデル

を用いて理由の説明ができた学習者は少なかった(Code B2 の回答が少ないことより)

: 学習者が粒子モデルを用いて説明をする必要性を感じなかったから(インタビューにより確認)

7.5 溶解に関する巨視的な視点からの理解に関する評価

(1)評価対象：問題 1 と 2(おそらく)

- ・問題 1：水の入ったグラスに緑色の結晶を入れて混ぜたら、緑色の液体ができて、いくつかの結晶は底に溜まったという現象を写真で提示

学習者には、この緑色の液体は溶液であるかどうかたずねた(答え：溶液である)

- ・問題 2：溶解の現象そのものに関する理解度を評価する問題

(2)評価基準

- ・トルコの科学教育で行われている従来の基準(おそらく)

(3)結果

- ・実践群、統制群の間に有意差なし(図表はなし)

7.6 結果のまとめ

- ・学習者に粒子モデルを理解させ、溶解現象の説明にそのモデルを用いさせる授業をデザインすることは可能である
- ・溶解の過程に関して、実践群は、統制群よりモデルを用いた説明がよくできていた(7.1、7.2 より)
さらに、実践群は巨視的な視点から見た溶解(melt)と微視的な視点から見た溶解(dissolve)の違いに関してモデルを用いて説明ができていた(7.3 より)
- ・質量の保存に関する説明においては、実践群と統制群の間に差はなかった(7.4 より)
- ・粒子モデルが長期に渡って保持される証拠がいくつか示された(各保持テストの結果より)
この結果が今後の授業デザインに貢献する可能性を示している

8 . この研究から得られた知見

- ・粒子モデルを組織的に教授する授業をデザインして、従来のデザインで行った授業と比較した組織的に教授した授業の方が有効であった
：なぜ、この授業はうまくいったのか?
- ・この研究の主要な目標(大きな目標)は、授業デザインにおいて実用的であること(このことは他の研究(e. g., Viennot & Rainsong, 1999)とも共通する)
この授業で目標とした実用的な側面
：学習時間が従来の授業よりも長引かないこと
：テストを行うことによって、学習者に不利益が生じないこと
：授業が学習者の期待に沿ったものであり、授業への意欲が高められること
このような実用的な制約により、他の先行研究から得られた知見(e. g., Lijnse, 1995; 2000)を適用することができなかった
- ・この授業が従来のデザインの授業よりうまくいった理由
教師がこの授業のデザインにおける合理性に賛同し、計画に対して過不足なく実行できたから
学習目標を学習者の既存の知識と科学的な説明に関する情報から特定したから

Table 1. Students' explanations in terms of the ways in which they referred to the particle model.

	Typical teaching group (n = 23) ^a			Designed teaching group (n = 23) ^a		
	Pre questionnaire	Post questionnaire	Delayed post questionnaire	Pre questionnaire	Post questionnaire	Delayed post questionnaire
A, No reference to the particle model	20 (87)	17 (74)	19 (83)	21 (92)	1 (4)	3 (13)
B, Reference to particles of sugar only	-	-	-	1 (4)	-	4 (17)
C, No reference to the dynamic nature of water particles	2 (9)	6 (26)	3 (13)	1 (4)	-	3 (13)
D, Reference to the dynamic role of water particles	-	-	-	-	22 (96)	13 (57)
U, Uncodeable	1 (4)	-	1 (4)	-	-	-
N, No response	-	-	-	-	-	-
Total	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)

^aData presented as number (%).

Table 2. Number of students referring to the particle model in their explanations.

	Typical teaching group (n = 23) ^a			Designed teaching group (n = 23) ^a		
	Pre questionnaire	Post questionnaire	Delayed post questionnaire	Pre questionnaire	Post questionnaire	Delayed post questionnaire
Code A { No reference to the particle model	20 (87)	17 (74)	19 (83)	21 (92)	1 (4)	3 (13)
Code B, C, D { Reference to the particle model	2 (9)	6 (26)	3 (13)	2 (8)	22 (96)	20 (87)
Uncodeable	1 (4)	-	1 (4)	-	-	-
No response	-	-	-	-	-	-
Total	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)

^aData presented as number (%).

Table 3. Students use of the words ‘melt’ and ‘dissolve’ to describe what happens to sugar when stirred with water.

	<i>Typical teaching group</i> (n = 23) ^a			<i>Designed teaching group</i> (n = 23) ^a		
	<i>Pre</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Delayed post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Pre</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Delayed post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>
Melt	17 (74)	3 (13)	12 (52)	11 (48)	–	7 (30)
Dissolve	6 (26)	19 (83)	11 (48)	12 (52)	23 (100)	16 (70)
No response	–	1 (4)	–	–	–	–
Total	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)

^a Data presented as number (%).

Table 4. Students’ use of the particle model to justify their predictions about the mass of dissolved sugar.

	<i>Typical teaching group</i> (n = 23) ^a			<i>Designed teaching group</i> (n = 23) ^a		
	<i>Pre</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Delayed post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Pre</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>	<i>Delayed post</i> <i>question-</i> <i>naire</i>
A, Mass is not conserved	15 (65)	4 (18)	6 (26)	16 (69)	3 (13)	5 (22)
B1, Mass is conserved (no reference to the particle model)	7 (31)	15 (65)	15 (65)	7 (31)	14 (61)	12 (52)
B2, Mass is conserved (reference to the particle model)	–	3 (13)	–	–	6 (26)	6 (26)
Total of B responses conserving mass	7 (31)	18 (78)	15 (65)	7 (31)	20 (87)	18 (78)
N, No response	1 (4)	1 (4)	2 (9)	–	–	–
Total	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)

Code B2 の回答は少ない

有意差なし

^a Data presented as number (%).