

研究論文

Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化： 動物の発生と成長をテーマとした小学校の理科授業を事例にして

竹中真希子

神戸大学大学院総合人間科学研究科／大分大学教育福祉科学部附属教育実践総合センター

稲垣成哲

神戸大学発達科学部

山口悦司

宮崎大学教育文化学部

大島純

静岡大学総合情報処理センター

大島律子

中京大学通信制大学院
情報科学研究科

村山功

静岡大学教育学部

中山迅

宮崎大学教育文化学部

山本智一

神戸大学発達科学部附属
住吉小学校

Analogies and Conceptual Change Supported by Web Knowledge Forum : Case Study of an Elementary Science Lesson about "Animal Growth and Development"

Makiko TAKENAKA*, **Shigenori INAGAKI****, **Etsuji YAMAGUCHI*****, **Jun OSHIMA******,
Ritsuko OSHIMA*****, **Isao MURAYAMA*******, **Hayashi NAKAYAMA*****,
and **Tomokazu YAMAMOTO*******

Graduate School of Cultural Studies and Human Science, Kobe University/Center for Research in Education and Human Development, Oita University.** *Faculty of Human Development, Kobe University,** *****Faculty of Education and Culture, University of Miyazaki.** ******Information Processing Center, Shizuoka University.** *******Chukyo University.** *******Faculty of Education, Shizuoka University.** *******Sumiyoshi Elementary School Attached to Faculty of Human Development, Kobe University**

A growing body of research shows that analogies may be powerful tools for guiding students from their naive conceptions towards science concepts. Recent research indicates that students' well-understandings of base domain and their own analogical mapping between base and target domain can be effective in fostering conceptual change. However, the research fails to foster students' conceptual change as many as possible. The purpose of this study is to assess the efficacy using Web Knowledge Forum, a CSCL system, to support analogies bringing most of students' conceptual change.

First of all, we try to localize the interface of Web Knowledge Forum for supporting students' well-understandings of base domain and their own analogical mapping. Second, we conduct an experimental lesson using Web Knowledge Forum. This lesson is designed to learn animal growth and development during 5 th grade science unit. Base domain in this lesson is human, target domain is other animals. Third, we analyze students' understandings about base domain and target domain before and after the lesson, and relation their conceptual change and analogical mapping between base and target using Web Knowledge Forum. The result shows that all students understand human growth and development (namely base domain) well. Furthermore, all students' naive conceptions about animal growth and development (namely target domain) change science conceptions during analogical mapping using Web Knowledge Forum.

Key words : Analogy, Conceptual Change, CSCL, Web Knowledge Forum, Elementary Science Lesson, Animal Growth and Development

1. 問題の所在

未知の事象を理解するとき、未知の事象を既知の事象に当てはめて推論するという認知活動は、アナロジーとして知られている (Gentner, & Stevens, 1983; Holyoak, & Thagard, 1995; 福田, 1997; 鈴木, 1996)。アナロジーに関する研究では、未知の事象は「ターゲットドメイン」、既知の事象は「ベースドメイン」、当てはめて推論することは「マッピング」と一般的に呼ばれている。理科授業の場合でいえば、これから新しく学習しようとする内容がターゲットドメイン、これまでの授業で学習した内容や授業以外で見聞きして知っている事項がベースドメイン、既習内容や既習事項に基づいてこれから学習する内容を理解しようとするのがマッピングである。

理科授業へアナロジーを導入することの有効性は、これまでに一定の評価を得ている。1990年代以降、構成主義的アプローチに基づく理科の教授・学習研究が行われる中で、アナロジーは、学習者が所有する素朴概念を基点にしながら、それを科学的に妥当な概念へと変化させる有力な教授方法論として評価されてきている (Good, 1993)。アナロジーの有効性に関する研究成果については、Duit (1991), Dagher (1994), 松森 (1996) などの総説で紹介されている。

しかし、その一方で、アナロジーの授業導入に対する問題点も指摘されてきている。その問題点とは、アナロジーが概念変化を引き起こさない、場合によってはアナロジーが誤った概念の獲得を促進してしまう、というものである (Champagne et al., 1985; Cosgrove, & Osborne, 1985; Duit, 1991; Glynn, Duit, & Thiele, 1996)。それゆえに、理科授業におけるアナロジーは、あるときは概念変化を促進し、またあるときには概念変化を制約する「諸刃の剣」であるとも言われている (Glynn, 1989)。

近年では、従来の問題点を乗り越えて、学習者の概念変化を確実にもたらすアナロジーの授業導入のあり方が検討されている。代表的な研究としては、Brown & Clement (1989), Brown (1993), Clement (1993) のブリッジングアナロジー, Glynn (1989, 1991), Harrison & Treagust (1993) の TWA モデルに関する研究を挙げることができる。ブリッジングアナロジーについては、我が国でも、林ら (1997), 高垣

(2003) によって追試研究が行われている。

これらの研究には、細部で異なるものの、授業で利用するアナロジーに対して2点の共通認識を見出すことができる。1点目は、「ベースドメインに対する十分な理解」である。近年の研究で採用されているベースドメインについては、ターゲットドメインとの対応関係が科学的に適切だと教師がみなした内容というよりも、むしろ、学習者が十分に理解している内容が選定されている (Dupin, & Johnsua, 1989; 市川・戸北・堀, 1995; Treagust, Harrison, & Venville, 1996)。こうしたベースドメインへの姿勢は、教科書に記載されたアナロジーや、教師が学習者に与えるアナロジーに関する従来の研究への反省に基づいている。従来の研究の問題点として、教科書や教師から与えられたベースドメインを学習者が理解できないために、概念変化を引き起こさなかったことが指摘されている (Brown, 1994; Glynn, 1991)。そもそもアナロジーは、既知の事象に基づいた推論であることから、学習者が理解している内容をベースドメインとすることで、ターゲットドメインとのマッピングを確実に進めるようにすることが目指されている (Brown, & Clement, 1989; Clement, 1993; Duit, 1999)。

2点目は、「学習者によるマッピング」である。近年の研究では、教師が2つのドメイン間のマッピングをあらかじめ規定した上でそれを学習者に与えるのではなく、学習者自身が2つのドメイン間のマッピングを行うように支援している (Wong, 1993ab)。教師の視点からすれば、ベースドメインとターゲットドメインの間の対応関係は明白で固定された意味を持っているが、その意味は学習者と共有できない場合があると指摘されている (Duit et al., 2001)。こうした危険性を考慮し、学習者が2つのドメイン間のマッピングを行い、それらのドメインの対応関係を自ら構成することを促進し、ターゲットドメインに対して学習前に抱いていた素朴概念を確実に変換しようというわけである (Baker & Lawson, 2001; Glynn, Duit, & Thiele, 1995; Kaufman, Patel, & Magder, 1996; Pittman, 1999; Yerrick et al., 2003)。

それでは、上記のような近年の研究は、アナロジーを授業に導入することで、学習者の概念変化を確実に引き起こせているのであろうか。残念ながら、現状では、6割程度の素朴概念を変化させることには成功しているものの、それ以上には至っていない (Duit,

1991; Good, 1993; 市川・戸北・堀, 1996; 松森, 1995; 高垣, 2003). このような現状において次に求められる作業は, これまでの研究で見出されてきたアナロジーに関する知見を周到しつつ, 学習者の概念変化を確実に引き起こすようなアナロジーの授業導入の方策を検討することであると考えられる.

その方策の手がかりはどこにあるのだろうか. 本研究では, 学習者による共同データベース構築を支援するCSCLシステム「Web Knowledge Forum」(以下, Web-KF)に着目した. Web-KFは, CSILE¹⁾ (Scardamalia & Breiter, 1996; Scardamalia, Bereiter, & Lamon, 1994; Scardamalia et al., 1989)のWWW版であり, 学習者一人ひとりが収集した情報や自分自身のアイデアをコンピュータ・ネットワーク上に外化し, それを構造的に配置するためのデータベース型システムである(竹中ら, 2002). このWeb-KFを利用することで, 学習者は, 他者と共同して, コンピュータ・ネットワーク上に自分たち独自のデータベースを構築することができる. 同時に, データベースに蓄積された情報やアイデアにアクセスして, それを自由に読むことができる.

このようなシステム特性を有するWeb-KFを授業で利用すれば, 授業に参加した学習者全員の「ベースドメインに対する十分な理解」と「学習者によるマッピング」を支援することが可能になる. 言い換えると, 近年の研究で見出されてきた, 概念変化をもたらすアナロジーに必要な2つのポイントを確実に実現することができるかと期待される.

まず, 前者の「ベースドメインに対する十分な理解」がどのように実現されるのかについて検討する. 学習者はWeb-KFを利用する中で, 自分が収集した情報や自分自身のアイデアを外化することができる. 外化という活動には, 情報やアイデアに対する内省と再構成という認知活動が伴うので, 学習内容に関する理解深化を促進する効果があることが知られている(三宅・白水, 2003). したがって, Web-KFを利用して, ベースドメインに相当する内容のデータベースを学習者に作成させると, ベースドメインに対する学習者の理解を深めることができると考えられる.

さらに, 学習者は, 自分の情報・アイデアを外化することに加えて, 他者の情報やアイデアを読むことができる. Web-KFに関するこれまでの研究では, 他者の情報やアイデアを読むことが, 自分の情報・アイ

デアと他者の情報・アイデアの相互的な比較検討を誘発し, 学習内容に対する理解の深化に加えて, 他者との議論や理解の共有化をもたらすことが見出されている(Oshima, Scardamalia, & Bereiter, 1996; Oshima et al., 2004). これら先行研究の結果を踏まえると, 学習者全員でWeb-KFを利用し, 相互の情報・アイデアを読ませることで, 結果的に, 学習者全員のベースドメインに関する理解深化を促進できると推察される.

後者の「学習者によるマッピング」は, どのように実現されると期待できるだろうか. 前述したように, Web-KFでは, 学習者がネットワーク上に外化した情報・アイデアを構造的に配置することができる. この特性を利用すれば, データベースの一方の領域にベースドメインに相当する情報・アイデアを配置すると同時に, もう一方にターゲットドメインに相当する情報・アイデアを配置できる. さらに, 2つのドメインが並置されていることを, 学習者に視覚的に示すことが可能となる.

このように2つの領域が並置されて, その並置の関係が可視化されたデータベースへ学習者が授業の中で自由にアクセスできるようにすれば, ベースドメインとターゲットドメインの情報・アイデアを領域横断的に読んで, それぞれのドメインの情報・アイデアを比較検討することを支援できる. こうした支援は, 学習者自身が2つのドメイン間の対応関係を構成する機会を授業の中で提供することになり, その結果, より多くの学習者の概念変化を促進できると推察できる. Schwartz (1993)はアナロジーにおける可視化が学習者の理解を促進していることを明らかにしている. このSchwartzの研究知見は, 2つの領域を並置し, その並置関係を可視化する本研究の試みが, 学習者の概念変化を促進できることを示唆していると考えられる.

そこで本研究では, Web-KFの利用がより多くの学習者の概念変化を確実にもたらすアナロジーの方策になり得るかという課題について検討することを目的し, 次の3点を実施した. 1点目は, 概念変化をもたらすアナロジーという観点から, Web-KFのシステム特性を最大限に発揮できるように, Web-KFのインターフェースを工夫することであった. 2点目は, Web-KFを利用した実験授業を計画・実施することであった. 3点目は, 実験授業の評価として, 「ベー

ストメインに対する十分な理解」と「学習者によるマッピング」の2つの観点から、実験授業における学習者の理解や概念変化、Web-KFの利用のされ方を検討することであった。

Web-KFのようなCSCLシステムを利用した研究では、「デザイン実験」(Brown, 1992; Collins, 1992)と呼ばれる研究方法論が採用される。従来の実験研究では多数の児童・クラスを調査対象とし、実験群と統制群を設けて両者の比較を行ってきた。これに対して、デザイン実験では、少数の児童・クラスを調査対象とし、学校現場の実践者と研究者が協力して、実際に授業をデザインする。そして、授業中に書かれたノートの内容やコンピュータ利用のログデータなどに基づいた学習のプロセス分析を通して、コンピュータが学習に与える効果を検討しようとする。したがって、このデザイン実験を採用することで、現実の授業実践におけるコンピュータ利用の学習効果を授業の文脈から離れずに検討できると同時に、コンピュータの学習効果を検討するという研究そのものを通して教育実践の改善に直接的に貢献することが可能になるのである。このような観点から、現実の授業実践を扱ったコンピュータ利用に関する数多くの研究が、デザイン実験を採用し、その有効性を認めてきている (Barab, 2004; 三宅・白水, 2003; 中原ら, 2001; 中原ら, 2002; 鈴木ら, 2002; 永田ら, 2002)。

本研究でも、このデザイン実験方法論を採用している。したがって、実験授業は小学校5年生の1クラスが行った1つの理科の単元であり、筆者らと対象校の教師が協力して、この単元の計画・実施を行った。また、実験授業の評価では、学習者が授業中に作成した成果物や、Web-KF上のノートやログデータを分析データとして、Web-KFが概念変化をもたらすアナロジーの方策になり得るかどうかについて検討した。

II. Web-KFのインターフェースの工夫

後述するように、本研究の実験授業では、「ヒトの発生と成長」「ヒト以外の動物の発生と成長」の2つの学習内容を扱っている。単元の前半ではヒトに関する内容、後半ではヒト以外に関する内容を学習するようになっている。つまり、本研究のベースドメインはヒトに関する内容、ターゲットドメインは他の動物に関する内容である。

まず最初に、Web-KFにもともと備わっているシ

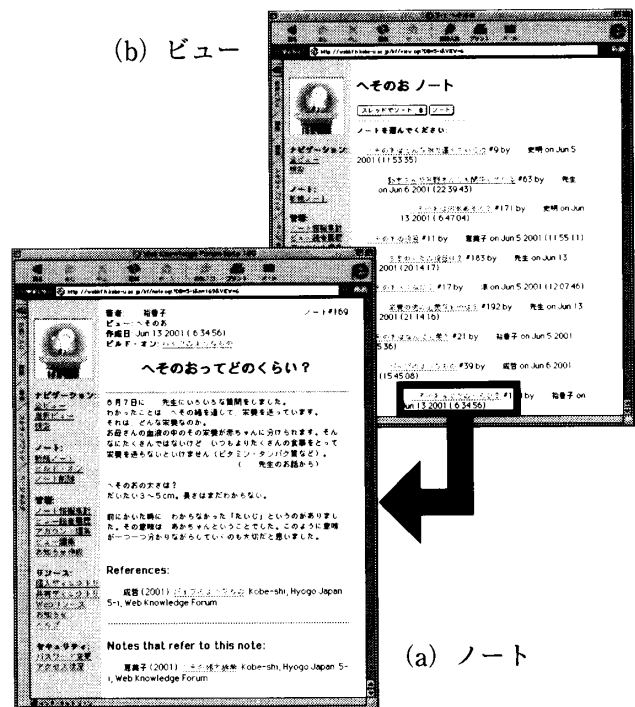


図1 Web-KFのノートとビュー

ステム特性である「ノート」と「ビュー」について説明する。学習者は、「ノート」の中に、自分が収集した情報やアイデアを文章や図・写真の形式で外化することができる。図1 (a)は、学習者がデータベースに書き込んだ、ヒトのへそのおに関するノートである。ここには、自分の考えや収集した情報といった、へそのおに関して図書や資料で調べた情報や、へそのおに対する自分の考えが文章の形で外化されている。一方、図1 (b)は、内容的に関連のあるノートがまとめて配置された「ビュー」である。ヒトのへそのおに関するノートは、このビューにすべて配置されている。ビューの中にあるタイトル「へそのおってどのくらい?」をクリックすることで、図1 (a)のノートが表示されるようになっている。

本研究で工夫したWeb-KFのインターフェースを説明する。本研究では、ヒトに関する情報・アイデアとヒト以外の動物に関する情報・アイデアが構造的に配置されるように、Web-KFのインターフェースを工夫した。図2には、本研究で工夫したWeb-KFのインターフェースを示している。このインターフェースは、複数のビューへのリンクを構造的に配置したクリックابلマップになっている。クリックابلマップの中にはビューへのリンクが埋め込まれており、例えば「へそのお」と書かれた領域をクリックすると図2

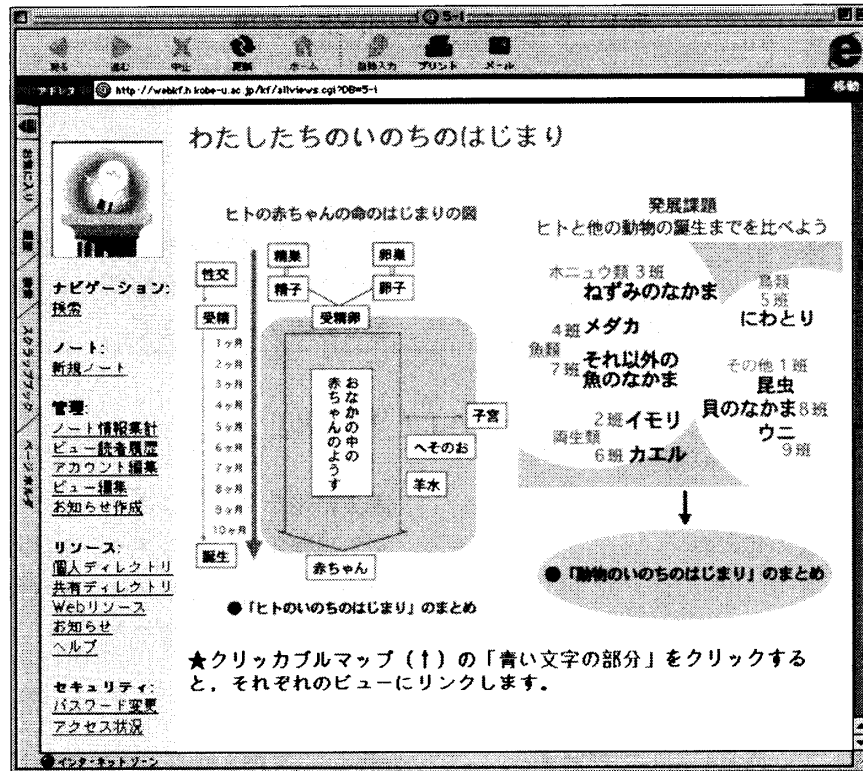


図2 本研究で工夫した Web-KF のインターフェース

のビューが表示される。

しかも、ビューの配置は、ヒトに関するビューと、ヒト以外の動物に関するビューが並置されたものになっている。クリックマッピングの左側には、母体内におけるヒトの発生と成長の時間的プロセスを表示するように、「精巣」「子宮」「羊水」「受精」といった生殖系の器官や現象に関するビューが構造的に配置されている。右側には、ヒト以外の動物に関するビューが配置されている。

図の左側と右側ではビューの構成が異なっているが、このような構成にすることで、どの動物を担当することになったとしても、ヒトの精巣や子宮といった情報・アイデアに直接アクセスできるようになっている。後述するように、単元の後半において、学習者は9種類の動物を9つのグループで分担して調査する。このとき、ヒト以外の動物についての学習が進行中であり、各動物の生殖系の器官や現象の有無や相互関係がまだ明らかにはなっていない。しかし、ヒトについては学習が終了しており、器官や現象の有無や相互関係が明確になっている。こうした状況において、図2のような構成にすることで、クラス全体で1つのヒトに関するデータベースを共有しながらも、ネズミの受

精や受精卵について調査している学習者がヒトの受精や受精卵の情報・アイデアに、メダカの精子や卵子について調査している学習者がヒトの精子や卵子の情報・アイデアにそれぞれ直接アクセスすることを支援しようとしたのである。

このように本研究における Web-KF のインターフェースでは、第一に、ベースドメインであるヒトの内容について学習する際には、学習者が母体内におけるヒトの発生と成長の時間的プロセスと関連づけて、生殖系の器官や現象に関するノートを読むことができるように工夫している。第二に、ターゲットドメインであるヒト以外の動物に関する内容を学習する際には、学習対象である動物のビューと、ベースドメインであるヒトのビューの両方を横断的に自由にアクセスできるように工夫している。

III. Web-KF を利用した実験授業

実験授業は、兵庫県内の国立大学附属小学校5年生の1クラス(37人)を対象に実施された。単元は、理科のA区分(生物分野)「動物の発生と成長」で実施された。期間は2001年5月下旬から7月中旬までの計39時間であった。単元目標は、次の2点であった。(1)

表1 単元の展開と Web-KF の利用

ヒトに関する学習		
時間目	内容	Web-KF の利用
1～3	学習課題の設定	
4～12	グループ別の調査	調査結果をノートに書く
13～16	調査のまとめ	自分たちの調査結果ノートを読む 他のグループの調査結果ノートを読む
15～23	発表とクラス全体のまとめ	まとめのノートを書く
ヒト以外の動物に関する学習		
時間目	内容	Web-KF
23・24	学習課題の設定	
25～31	グループ別の調査	調査結果をノートに書く
32～34	調査のまとめ	ヒトに関する学習のノートを読む 自分たちの調査結果ノートを読む まとめのノートを書く
35～39	発表とクラス全体のまとめ	

母体内におけるヒトの発生と成長に関して理解する、(2)ヒトの発生・成長とヒト以外の動物の発生・成長との共通点・相違点を理解する。

表1には単元の展開と Web-KF の利用について整理している。単元の展開は、前半の23時間がヒトに関する学習、後半の16時間がヒト以外の動物に関する学習であった。このような単元構成は、稲垣(1995)に代表される、子どもの素朴生物学に関する研究成果を背景にしている。稲垣(1995)の研究では、子どもたちは、すでに幼児の段階から、ヒトに関する知識を利用して、ヒト以外の動物に関するアナロジーを自発的に行うことが示されている。こうした子どもの認知特性を考慮して、単元の前半でヒトの学習、後半でヒト以外の動物の学習を行うようにすれば、ヒトに関する十分な理解に基づいてヒト以外の動物についてアナロジーを行うことに加えて、そのアナロジーを基盤にして子どもたちの素朴概念を科学的に妥当な方向へと変化することを支援できると考えられる。

前半のヒトの学習において、まず、学習者は、「ヒトの発生と成長」に関するテレビ番組を視聴し、知らない言葉や気になったことを話し合った(1～3時間目)。次に、「卵子・卵巣」「精子・精巣」「性交・受精・受精卵」「子宮」「おなかの中の赤ちゃんのようす」「へそのお」「羊水」「誕生」を選択し、それぞれの器官や現象をグループ(1グループは3～4名)で

分担して調査した(4～12時間目)。子どもたちは、図書や Web ページなどで検索したり、保護者や授業実施時に妊婦であった教師にインタビューしたりして、自分が担当した器官や現象に関する情報を調査した。併せて、調査によって得られた情報を、Web-KF のノートに書いていった。調査がある程度終了すると、今度は、調査結果をまとめていった(13～16時間目)。ここでは、自分たちのこれまでの調査結果のノートや、必要に応じて他のグループの調査結果ノートを読みながら、調査結果のまとめをグループで協力してノートに書いていった。最後には、各グループがクラス全体に対して調査結果を発表し、ヒトの発生と成長についてクラス全体でまとめていった(15～23時間目)。

単元の後半では、「ヒトの生まれ方と、ヒト以外の動物の生まれ方は同じ?」という学習課題を設定し(23・24時間目)、その課題の解決に取り組んだ。具体的には、「ネズミのなかま」「イモリ」「カエル」「メダカ」「メダカ以外の魚のなかま」「にわとり」「昆虫」「貝のなかま」「ウニ」という9種類の動物をグループごとに分担し、それらの発生・成長について、カラー写真が豊富に掲載されている図書、Web ページなどを活用しながら調査した(25～30時間目)。同時に、調査結果を Web-KF のノートに書いていった。調査が一通り終了すると、今度は、調査のまとめを

行った(32~34時間目)。ここでは、自分が担当した動物に関する調査結果のノートだけではなく、単元の前半で学習したヒトに関するノートも読みながら、担当動物の調査結果をノートにまとめていった。最後には、各グループの発表を行い、ヒト以外の動物の発生と成長についてクラス全体でまとめていった(35~39時間目)。

なお、コンピュータは、子ども1人が1台を利用できるようになっていた。したがって、Web-KFは、基本的には、子ども一人ひとりが個別に利用できるようになっていた。ただし、単元の学習が全体的にグループ単位で実施されていたので、同じグループの2~4人が1台のコンピュータを使って共同でノートを書いたり読んだりすることも、しばしば行われていた。

IV. 実験授業の評価

1. 目的

前述したように、実験授業の評価の目的は、「ベースドメインに対する十分な理解」と「学習者によるマッピング」の2つの観点から、実験授業における学習者の理解や概念変化、Web-KFの利用のされ方を検討することであった。具体的には、次の2点を明らかにすることを試みた。

- (1)ベースドメインに対する十分な理解：学習者は、ヒトの発生と成長について十分に理解できたか。
- (2)学習者によるマッピング：学習者自身による「ヒト」と「ヒト以外の動物」の間のマッピングは、ヒト以外の動物の発生と成長に関する素朴概念の変化に寄与したか。

2. 方法

a. 対象者

対象者は、実験授業に参加した児童35人であった。児童は全員で37人であったが、2名については、学校欠席などの理由から、後述する動物の成長と発生を表現した図を作成できなかった。したがって、この2名を対象者から除外した。

b. 分析データ

分析データは、学習者が自分の理解を表現した図、ならびに、Web-KFに自動的に蓄積されるアクセスログであった。

前者の図については、学習者は、単元の前半の最終時間に、ヒトの発生と成長に対する理解を表現した図を作成していた。また、単元終了後に、自分のグループが担当したヒト以外の動物の発生と成長に対する理解を表現した図を作成していた。ベースドメインに対する理解、および、学習者の素朴概念の変化の分析に際しては、これら2種類の図を分析データとした。図の作成にあたっては、授業者が、発生と成長に関する12の用語(精巣、精子、卵巣、卵子、性交、受精、受精卵、細胞分裂、子宮、へそのお、誕生、赤ちゃん)を与えた。学習者は、それらの用語を取捨選択し、発生と成長の時系列順に配置する、というように図を作成した。

後者のアクセスログについては、Web-KFのサーバには、ある学習者がいつ、どのノートにアクセスしたかのログが自動的に蓄積されるようになっている。学習者によるマッピングの分析に際しては、ベースドメインとターゲットドメイン間のマッピングの実態を把握するためにアクセスログを利用した。

c. 分析の手続き

(1) ベースドメインに対する十分な理解

学習者一人ひとりが作成したヒトの発生と成長に関する図について、次の2つの観点から分析した。①胎生動物と卵生動物の共通点(性交、受精、卵巣、精巣、精子、卵子)が科学的に妥当な仕方では表現されているか、②胎生動物と卵生動物の相違点(子宮、羊水、へそのお)が科学的に妥当な仕方では表現されているか。

①②の両方の観点からみて科学的に妥当な仕方では表現された図というのは、発生と成長の時系列が「性交」「受精」「誕生」という段階に区切られており、かつ、性交の段階に「精巣」「卵巣」「精子」「卵子」を、受精の段階に「受精卵」を、受精から誕生までの間に「子宮」「へそのお」「羊水」を、誕生の段階に「赤ちゃん」を配置しているものである。このような図における12の単語の配置は、図2の「ヒトの赤ちゃんの命のはじまりの図」と同じになっている。

2つの観点ともに科学的に妥当である場合を「十分理解している」、いずれか1つの観点が妥当である場合を「理解している」、どちらの観点も妥当でない場合を「理解していない」とした。なお、これらの評価は、筆者のうちの3人が行った。評価が不一致の場合は、協議の上で一致させた。

(2) 学習者によるマッピング

ベースドメインとターゲットドメイン間のマッピングについては、アクセスログを分析することで、まず、ヒト以外の動物を学習する際に、ヒトのノートを読んでいたか否かを明らかにした。ヒトのノートの閲覧があった場合を「マッピング有」、閲覧がなかった場合を「マッピング無」とした。次に、マッピングが行われたときの学習状況を検討するために、マッピングが「有」の場合について、それが、ヒト以外の動物のノートを「書く」際に行われていたのか、「読む」際に行われていたのかを明らかにした。

ターゲットドメインに関する素朴概念の変化については、学習者は、単元終了時だけではなく、ヒト以外の動物の学習が始まる前にも、自分のグループが担当する動物の発生と成長に関する図を作成していた。この学習前の図と、単元終了時の学習後の図の2種類について、次の2つの観点から分析した。①胎生動物と卵生動物の共通点（性交、受精、卵巣、精巣、卵子、精子）が科学的に妥当な仕方で表現されているか、②胎生動物と卵生動物の相違点（子宮、羊水、へそのお）が科学的に妥当な仕方で表現されているか。

①②の両方の観点からみて科学的に妥当な仕方で表現された図というのは、発生と成長の時系列が「性交」「受精」「誕生」という段階に区切られており、かつ、それぞれの段階に担当動物に存在する器官の単語のみを配置し、存在しない器官は図の外側に配置しているというものである。

次に、この分析結果に基づいて、子ども一人ひとりの学習前の図と学習後の図を比較し、素朴概念の変化の程度を評価した。学習前後で変化のある場合を「変化有」、変化がない場合を「変化無」とした。さらに、「有」については、2つの観点ともに科学的に妥当な方向へ変化していた場合を「高い概念変化」、いずれか1つの観点が変化している場合を「低い概念変化」とした。なお、これらの評価は、筆者のうちの3人が行った。評価が不一致の場合は、協議の上で一致させた。

3. 結果

a. ベースドメインに対する十分な理解

表2には、ベースドメインに対する十分な理解の分析結果を示している。対象者全員35名が、「十分な理解」であった。表2について1×3の χ^2 検定を行っ

表2 ベースドメインに対する十分な理解

十分理解している	理解している	理解していない
35	0	0

$N = 35$, 単位は人。

表3 マッピングと素朴概念の変化

概念変化	マッピング有	マッピング無
変化有	19	3
変化無	4	9

$N = 35$, 単位は人。

表4 マッピングの学習状況と概念変化の高低

概念変化	書く	読む
高い ($N = 12$) **	11	1
低い ($N = 7$)	4	3

単位は人。 ** $p < .01$

たところ、人数の偏りは有意であった ($p < .01$)。したがって、対象者全員は、ヒトの発生と成長というベースドメインを十分に理解できていたと言える。

b. 学習者によるマッピング

表3には、マッピングと素朴概念の変化に関する結果を整理している。「変化有」の計22人(19人+3人)については、学習前に22人全員が素朴概念を所有しており、単元終了後にはその全員が科学的に妥当な概念へと変化していた。「変化無」の計13人(4人+9人)については、学習前と学習後のいずれも、科学的に妥当な概念であった。表3について、2×2の直接確率計算(両側検定)を行ったところ、人数の偏りは有意であった ($p < .01$)。この結果より、ターゲットドメインに対して素朴概念を所有していた学習者は、マッピングを行う中で、その素朴概念を科学的に妥当な概念へと変化させていたといえる。

表4は、マッピングが行われた学習状況と概念変化の高低に関する結果である。「高い概念変化」と「低い概念変化」のそれぞれについて1×2の直接確率計算を行ったところ、高い概念変化における人数の偏りは有意であった ($p < .01$)。したがって、高い概念変化を起こしていた学習者は、Web-KFのノートを書くという状況においてマッピングを行う傾向にあった

と考えられる。

「書く」という行為は情報やアイデアの外化である。「問題の所在」においても述べたように、外化という活動には、情報やアイデアに対する内省と再構成という認知活動が伴う(三宅・白水, 2003)。このことを踏まえると、書くという行為は、これまでに外化した情報・アイデアへアクセスするという活動とともに、自らが内的に所有している情報・アイデアへアクセスするという活動を要求するために、2つのドメイン間のマッピングを誘発しつつ、素朴概念の変化を同時に誘発していたと推察できる。

4. 事例分析

前節では、学習前に素朴概念を所有していた学習者は、Web-KFを利用してマッピングを行う中で、素朴概念を科学的に妥当な概念へと変化させていたことが明らかになった。また、高い概念変化を起こしていた学習者は、Web-KFのノートを書くという状況においてマッピングを行う傾向にあったという結果が見出された。

これらのうち、「高い概念変化を起こしていた学習者は、Web-KFのノートを書くという状況においてマッピングを行う」という結果は、Web-KFの利用を通じた学習者によるマッピングと概念変化という本研究の関心からすると、特に注目できるものである。したがって、本節では、1つの事例を取り上げて、Web-KFのノートを書きながらのマッピングと概念変化の内実について検討する。事例は、カエルの発生と成長を担当したグループ(子どもA・B・C・D)が調査のまとめを行った34時間目の授業から抽出したものである。

子どもA~Dのグループを対象としたのは、このグループでは子ども4人全員がカエルの発生と成長について学習前に低い理解であり、学習の最後には4人全員が高い概念変化を起こしていたからである。また、34時間目の授業から事例を抽出したのは、単元後半のうちの32~34時間目の学習活動が、ベースとターゲットドメイン間のマッピングを積極的に実施するようにデザインされていたからである。Ⅲ章でも述べたように、32~34時間目は、「調査のまとめ」の時間であった。32時間目以前の「グループ別の調査」においては子どもたちはヒト以外の動物に関するノートを書くことが中心であったが、32~34時間目は、まとめ

のノートを書くにあたって、ヒトに関するノートとともにヒト以外の動物に関するノートを読む活動、つまり、ベースとターゲットの間のマッピングが行われるように授業が計画・実施されたのである。以上の理由から、子どもA~DのWeb-KFのログデータを分析することで、子どもA~Dのグループが32~34時間目に行ったノートの書き込みやマッピングのプロセスを追跡し、まとめのノートを書く際に2つのドメイン間のマッピングを同時的に行っていた学習プロセスを抽出して、ここで検討する事例を作成した。

子どもA~Dの素朴概念については、胎生動物と卵生動物の共通点に関しては「性交(カエルは性交しない)」という素朴概念を、差異点に関しては「子宮(カエルには子宮がある)」を4人全員がそれぞれ所有していた。これらの素朴概念が、単元終了後には、科学的に妥当なものへと変化していたのである。

ターゲットドメインであるカエルに関する学習が始まると、子どもA~Dは、1人ないしは2人にわかれて、カラー写真が豊富に掲載されている図書や資料などを使ってカエルの発生と成長について調査した。Web-KF上にカエル専用のビューが準備されており、調査結果はこのビューのノートとして蓄積された。ターゲットドメインとベースドメイン間のマッピングが行われたのは、調査活動が終了した後で、カエルの発生と成長に関するまとめのノート1つを4人全員で書く段階であった。

図3には、子どもA・B・C・Dのノートの読み書きと概念変化を整理している。図中の四角い枠で囲まれているのがノートの読み書きに関する情報であり、ノートの読み書きとドメイン(ヒト, カエル)、読み書きした時刻、ノートの著者、ノートの記述(抜粋)を示している。矢印に付した語句は、ノートの記述と学習前に子どもA・B・C・Dが所有していた素朴概念との関連を示している。なお、Web-KFのノートは、子どもA・B・C・Dのコンピュータ上では個別に表示されていたが、この図では解説の便宜上、一覧表示にしている。

まず最初に、子どもたちは、ヒトに関するノート(番号216)を読んでいた(10時43分)。このノートは4人全員でヒトの発生と成長についてまとめたものである。ここには、子宮の中で精子と卵子が受精し赤ちゃんが育つこと、性交して受精が行われること、というヒトの発生と成長に関する事項が、文章の記述や

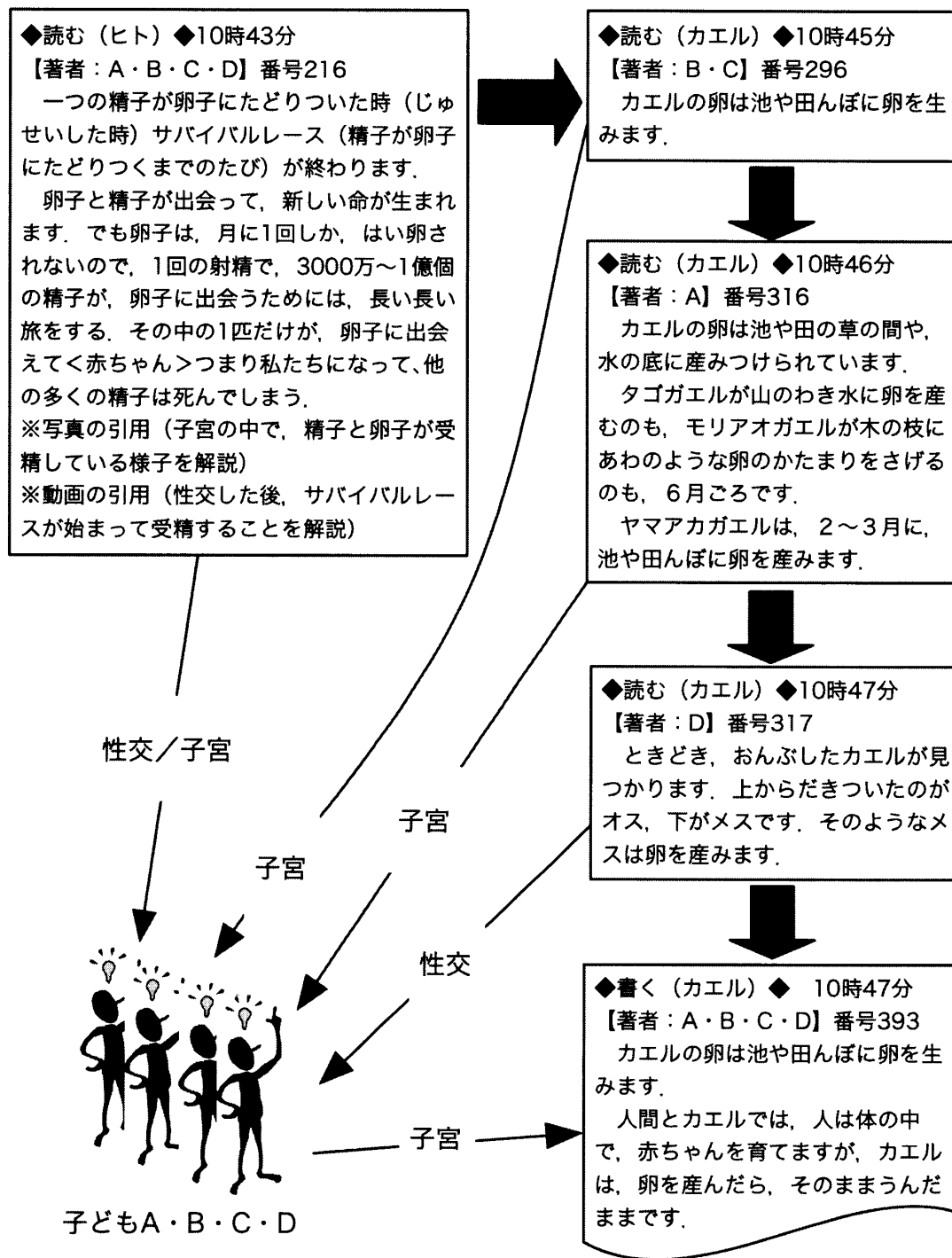


図3 子どもA・B・C・Dのノートの読み書きと概念変化

四角い枠で囲まれているのがノートの読み書きに関する情報であり、ノートの読み書きとドメイン（ヒト、カエル）、読み書きした時刻、ノートの著者、ノートの記述（抜粋）を示している。

矢印に付した語句は、ノート内容と学習前に子どもA・B・C・Dが所有していた素朴概念との関連を示している。

Web-KFのノートは、子どもA・B・C・Dのコンピュータ上では個別に表示されていたが、この図では解説の便宜上、一覧表示している。

写真と動画の引用によってまとめられている。

続いて、子どもたちはカエルに関する自分たちのノート3つを連続して読んでいた。1つ目は、子どもB・Cが書いたカエルの産卵場所に関するノート（番号296, 10時45分）、2つ目は、子どもAが書いたカエルの産卵場所に関するノート（番号316, 10時46分）、3つ目は子どもDが書いたカエルの性交の様子を描写したノートである（番号317, 10時47分）。

この3つのノートを読んだ後、子どもたちは4人全員でカエルの発生と成長に関するまとめのノート（番号393）を書き始めた（10時47分）。このノートには、カエルの産卵場所が池や田んぼであること、ヒトは体の中で赤ちゃんを育てるがカエルは卵を産んだらそのまま、といったカエルの発生と成長の特徴がまとめられている。

これらのノートの読み書きと素朴概念の変化を併せて検討すると、子どもA・B・C・Dは、ヒトに関するノートとカエルに関するノートを領域横断的に読みながら、それらの内容を比較検討しつつまとめのノートを書くことを通して、カエルの性交・子宮に関する学習前の素朴概念を変化できていたと推察できる。

カエルの性交については、カエルの学習が始まると、子どもDはカエルが性交することを知り、それをノートに書き込んだ。カエルのまとめのノートを書く授業では、子どもDのノート（番号317）を4人全員で読んで、子どもDの発見を4人全員で共有すると同時に、ヒトに関するまとめのノート（番号216）を読むことで、ヒトは性交し精子と卵子が受精することを確認している。カエルに関する学習前、子どもたちは4人全員ともカエルが性交しないという素朴概念を所有していたが、こうしたカエルとヒトの比較を通して、カエルの性交に関する素朴概念は変化していったと考えられる。

また、カエルの子宮については、カエルの学習前、4人全員がカエルには子宮があると考えていた。しかし、カエルの学習において、子どもB・Cはカエルが池や田んぼに卵を産むことを調べて、それをノートに書き込んでいた。カエルに関するまとめのノートを書く段階では、ヒトのノート（番号216）を読むことで、ヒトは子宮の中に卵があり、子宮の中で赤ちゃんが育つことを再確認している。同時に、子どもB・Cのノート（番号296）と子どもAのノート（番号316）を4人全員で読むことで、子どもB・Cや子ども

Aが調べたことを4人で共有している。その結果、カエルのまとめのノート（番号393）の中に、カエルの産卵場所が池や田んぼという体外であるという事実とともに、カエルの卵・赤ちゃんの育て方をヒトと比較する形で記述できている。このようなヒトとカエルの比較を通してヒトの子宮の存在が明確になり、その結果として、カエルには子宮がないことを知ることができていたと推察できる。

V. 考察

本研究では、Web-KFの利用がより多くの学習者の概念変化を確実にもたらすアナロジーの方策になり得るかという課題について検討するために、Web-KFのインタフェースの工夫、実験授業の計画・実施、実験授業の評価、という3つの作業を行ってきた。

Web-KFのインタフェースの工夫については、理科授業におけるアナロジーに関する近年の研究で見出されてきた「ベースドメインに対する十分な理解」と「学習者によるマッピング」の確実な実現を目指したものであった。実験授業の計画・実施については、小学校5年生理科の単元「動物の発生と成長」を対象として、単元全体にわたってWeb-KFを積極的に利用する授業を計画・実施してきた。

実験授業の評価に関しては、次のような結果を得ることができた。ベースドメインに対する十分な理解については、学習者全員がヒトの発生と成長について十分に理解できていたことが明らかになった。また、ターゲットドメインに対して学習前に素朴概念を所有していた学習者は、マッピングを行う中で、素朴概念を科学的に妥当な概念へと変化させていたことがわかった。同時に、高い概念変化を起こしていた学習者は、Web-KFのノートを書くという状況においてマッピングを行う傾向も明らかになった。カエルの発生と成長を担当したグループの事例からも、こうした傾向を授業の文脈に即して捉えることができた。

以上の結果を総合すると、学習者の情報・アイデアの外化と他者の情報・アイデアへのアクセスを可能にするというシステム特性を有するWeb-KFは、そのインターフェースを工夫することにより、学習者の概念変化を確実にもたらすアナロジーの方策になり得ると結論することができる。

もちろん、本研究は小学校5年生のA区分を対象とした1つの実験授業だけしか実施していないため

に、この結論は、その実験授業の範囲内という制約付きではある。しかしながら、本研究から導き出された結論の意義は過小評価されるべきではない。本研究の実験授業では、ヒト以外の学習前に所有していた22人の素朴概念をすべて、科学的に妥当な概念へと変化させることに成功できていた。これに対して、従来の研究では、「アナロジーを通じた学習者の概念変化」を実現させることにはさほど成功できていなかったのである。このことを踏まえると、Web-KF というCSCLシステムを利用することで素朴概念を所有していた学習者全員の概念変化を実現できたという本研究の結果は、概念変化を目指したアナロジーの授業導入に関する研究分野の知見を前進させるものであると評価することができる。

今後の課題は、他の内容領域、他の学年においてWeb-KFを利用した授業を計画・実施・評価することである。すでに述べたように、本研究は小学校5年生のA区分を対象としていたが、B区分(物理分野、化学分野)やC区分(地学分野)、あるいは小学校3・4・6年生や他の学校段階の理科授業にWeb-KFを導入することで、Web-KFが学習者の概念変化をアナロジーの方策に成りうるかどうかを検討することが必要であると言える。同時に、こうした作業は、「ベースドメインに対する十分な理解」と「学習者によるマッピング」という2点が概念変化をもたらす指針であるかどうかをさらに検討することになり、これまでの理科授業に関するアナロジーの研究で蓄積されてきた成果の意義を明確化することにつながると考えられる。

また、実験授業の時間数が一般的な理科授業よりも多かったために、今回得られた結果に対する授業時間という要因の影響の有無は、今後検討すべき課題として残されている。本研究では、CSCLシステムを日本の小学校の理科授業で活用することそのものが十分に行われていない中で、Web-KFを活用するという新しい試みに取り組んできた。そのため、今回の実験授業では標準的な時間数よりも多くの時間がかかっている。今後は、本研究における実験授業デザインの時間的な側面を修正しながら次の実験授業をデザイン・実施することで、上記の課題を検討する必要があると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、神戸大学発達科学部附属住吉小学校の長戸基氏(当時)、藤本雅司氏に支援を受けた。ここに記して感謝の意を表する。

附記

本論文は、日本科学教育学会第27回年会の発表論文を、アナロジーとWeb-KFの利用という観点から大幅に加筆・修正したものである。なお、本研究は、平成14・15年度科学研究費補助金・基盤研究(B)(1)(課題番号14380058, 代表・稲垣成哲)、および、平成14・15年度科学研究費補助金・基盤研究(A)(1)(課題番号14208015, 代表・大島純)の援助を受けている。

注

1) CSILEは、Computer Supported Intentional Learning Environmentsの略語である。

引用文献

- Baker, W. P., & Lawson, A. E.: Complex instructional analogies and theoretical concept acquisition in college genetics. *Science Education*, 85, 665-683, 2001.
- Barab, S. (Ed.): Special issue: design-based research: clarifying the terms. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 2004.
- Brown, A. L.: Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions. *The Journal of the Learning Sciences*, 2, 141-178, 1992.
- Brown, D. E.: Refocusing core intuitions: a concretizing role for analogy in conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1273-1290, 1993.
- Brown, D. E.: Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models. *International Journal of Science Education*, 16(2), 201-214, 1994.
- Brown, D. E., & Clement, J.: Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261, 1989.
- Campagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E.: Instructional consequences of students' knowledge

- about physical phenomena. In L. H. T. West, & A. L. Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Academic Press, 259-266, 1985. (進藤公夫監訳：認知構造と概念転換，東洋館出版社，83-115, 1994.)
- Clement, J.: Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257, 1993.
- Collins, A.: Toward a design science of education. In E. Scanlon, & T. O'Shea (Eds.) *New directions in Educational Technology*. Springer-Verlag, 1992.
- Cosgrove, M., and Osborne, R.: A teaching sequence on electric current. In R. Osborne, & P. Freyberg (Eds.) *Learning in Science: The Implication of Children's Science*. Heinemann, 112-123, 1985. (森本信也・堀哲夫訳：子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論—，東洋館出版社，165-182, 1988.)
- Dagher, Z. R.: Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-614, 1994.
- Duit, R.: On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672, 1991.
- Duit, R.: Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.) *New Perspectives on Conceptual Change*. Pergamon, 263-282, 1999.
- Duit, R., Roth, W. -M., Komorek, M., & Wilbers, J.: Fostering conceptual change by analogies: between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283-303, 2001.
- Dupin, J. J., & Johsua, S.: Analogies and "modeling analogies" in teaching: some examples in basic electricity. *Science Education*, 73(2), 207-224, 1989.
- Gentner, D., & Stevens, A. L. (Eds.): *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates, 1983. (古川康一・溝口文雄 (共編)：メンタル・モデルと知識表現，共立出版，1986.)
- Glynn, S. M.: Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.) *The Psychology of Learning Science*. Lawrence Erlbaum Associates, 219-240, 1991. (武村重和監訳：理科学習の心理学：子どもたちの見方と考え方をどう変容させるか，東洋館出版社，240-265, 1993)
- Glynn, S. M., Duit, R., & Thiele, R.: Teaching science with analogies: a strategy for constructing knowledge. In S. M. Glynn, & R. Duit (Eds.) *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice*. Lawrence Erlbaum Associates, 247-273, 1995.
- Good, R. (Ed.): Special issue: the role of analogy in science and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1993.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F.: Teaching with analogies: a case study in grade-10 optics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307, 1993.
- 林秀雄・安藤雅夫・石原敏秀・尾崎浩巳：理科学習におけるブリッジングアナロジー方略の有効性についての実証的研究，日本理科教育学会研究紀要，38(2)，121-134, 1997.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P.: *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. MIT Press, 1995. (鈴木宏昭・河原哲雄監訳：アナロジーの力：認知科学の新しい探求，新曜社，1998.)
- 福田健：類推と比喩—学習と理解からみた類推と比喩—，児童心理学の進歩—1997年版—，金子書房，53-77.
- 市川英貴・戸北凱惟・堀哲夫：電流回路のモデルによる中学生の認知的方略の育成，日本理科教育学会研究紀要，36(2)，21-31, 1995.
- 稲垣佳世子：生物概念の獲得と変化—幼児の「素朴生物学」をめぐって—，風間書房，1995.
- Kaufman, D. R., Patel, V. L., & Magder, S. A.: The explanatory role of spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386, 1996.
- 松森靖夫：理科授業研究の動向に関する一考察—アナロジーを導入した授業の効果に関する既存研究を中心にして—，科学教育研究，19(4)，189-201, 1996.
- 三宅なほみ・白水始：学習科学とテクノロジー，放送大学教育振興会，2003.

- 永田智子・鈴木真理子・浦嶋憲明・中原淳・森広浩一郎：CSCL 環境での異学年交流によるポートフォリオ作成活動を取り入れた教員養成課程の授業実践と評価，日本教育工学雑誌，26(3)，215-224，2002。
- 中原淳・西森年寿・杉本圭優・堀田龍也・永岡慶三：教師の学習共同体としての CSCL 環境の開発と質的評価，日本教育工学雑誌，24(3)，161-171，2001。
- 中原淳・山内祐平・須永剛司・今井亜湖・田口真奈・井藤享：自律型ロボットの製作を促進する Web 学習コミュニティシステムの開発と評価，日本教育工学雑誌，26(3)，205-214，2002。
- Oshima, J., Scardamalia, M., & Bereiter, C.: Collaborative learning processes associated with high and low conceptual progress. *Instructional Science*, 24, 125-155, 1996.
- Oshima, J., Oshima, R., Murayama, I., Inagaki, S., Takenaka, M., Nakayama, H., & Yamaguchi, E.: Design experiments in Japanese elementary science education with Compuetr Support for Collaborative Learning (CSCL): Hypothesis testing and collaborative construction. *International Journal of Science Education*, 26(10), 1199-1221, 2004.
- 鈴木宏昭：類似と思考，共立出版，1996。
- Pittman, K. M.: Student-generated analogies: another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22, 1999.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C.: Computer support for knowledge-building communities. In T. Koshmann (Ed.) *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*. Lawrence Erlbaum Associates, 249-268, 1996.
- Scardamalia, M., Bereiter, C., & Lamon, M.: The CSILE project: Trying to bring the classroom into World 3. In K. McGilly (Ed.) *Classroom Lessons: Integrating Cognitive Theory and Classroom Practice*. MIT Press, 201-228, 1994.
- Scardamalia, M., Bereiter, C., McLean, R. S., Swallow, J., & Woodruff, E.: Computer supported intentional learning environments. *Journal of Educational Computing Research*, 5, 51-68, 1989.
- Schwartz, D. L.: The construction and analogical transfer of symbolic visualizations. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1309-1325, 1993.
- 鈴木真理子・永田智子・中原淳・浦嶋憲明・今井靖・若林美里・森広浩一郎：電子掲示板を利用した協調的な知識構築過程の図式化による質的分析：高等教育の授業における天文領域学習の事例，日本教育工学雑誌，26(3)，117-127，2002。
- 高垣マユミ：力の作用・反作用における知識の再構成を促す理科授業のデザイン，科学教育研究，27(3)，159-170，2003。
- 竹中真希子・稲垣成哲・大島純・大島律子・村山功・山口悦司・中山迅・山本智一：Web Knowledge Forum[®]を利用した理科授業のデザイン実験，科学教育研究，26(1)，66-77，2002。
- Treagust, D. F., Harrison, A. G., & Venville, G. J.: Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. *International Journal of Science Education*, 18(2), 213-229, 1996.
- Wong, E. D.: Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 367-380, 1993 a.
- Wond, E. D.: Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1259-1272, 1993 b.
- Yerrick, R. K., Doster, E., Nugent, J. S., Parke, H. M., & Crawley, F. E.: Social interaction and the use of analogy: an analysis of preservice teachers' talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 443-463, 2003.

(受付日2004年4月8日；受理日2004年9月8日)

〔問い合わせ先〕

〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11
 神戸大学大学院総合人間科学研究科
 竹中 真希子
 e-mail: tmakiko@kobe-u.ac.jp
 神戸大学発達科学部
 稲垣 成哲
 e-mail: inagakis@kobe-u.ac.jp
